

เพปไทด์สำหรับอุตสาหกรรมยาง

วันสิริสุนร์ อุนร์ดิย: และ ดารณี เจริญสุข

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางนั้น นอกจากการออกสูตรเคมียางแล้ว การผสมสารเคมีกับยางให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันก็ถือเป็นหนึ่งในขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อการบวนการผลิตที่ครอบคลุมของยาง เพราะถ้าองค์ประกอบหรือสารเคมีเหล่านี้ผสมเข้ากันกับยางได้ไม่ดี อาจส่งผลในทางลบต่อสมบัติเชิงกลหรือสมบัติอื่นๆ ของผลิตภัณฑ์ได้เช่นกัน โดยทั่วไปแล้วก่อนที่จะเติมสารเคมีผสมลงไปยางนั้น ในลำดับแรกผู้ผสมจะต้องบดยางให้หยาบก่อน เพื่อให้ยางพร้อมที่จะรับสารเคมีเหล่านี้ ซึ่งขั้นตอนการบดยางให้หยาบก่อนที่จะเติมสารเคมีลงไปมีชื่อเรียกทางเทคนิคว่า “มาสติเคชัน (mastication)”

การบดยาง (mastication)

การบดยาง นับเป็นขั้นตอนแรกๆ ของกระบวนการผสม โดยหลังจากใส่ยางเข้าไปในเครื่องผสม ผู้ผสมต้องบดยางให้หยาบเพื่อลดความหนืดของยางลงก่อนที่จะเติมสารเคมีอื่นๆ ลงไป การบดยางให้หยาบดังกล่าวจะช่วยทำให้สารเคมีที่เติมลงไปนั้นผสมเข้าไปด้วย (incorporation) ได้ง่ายขึ้น ดังนั้นการบดยางจึงเป็นขั้นตอนสำคัญในการผสมยางธรรมชาติที่มีความหนืดสูงและสามารถทำได้โดยใช้เครื่องผสมระบบปิด (internal mixer) หรือเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) แรงเฉือนจากเครื่องผสมจะทำให้โมเลกุลยางขาดออกจากกัน ส่งผลให้ความหนืดของยางลดลง ยางอ่อนตัวและไหลง่าย ทำให้กระบวนการผสมเป็นไปได้อย่างยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนการบดยางนี้ไม่ค่อยมีความสำคัญในการผสมยางสังเคราะห์มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากโดยปกติแล้วยางสังเคราะห์มีน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดเริ่มต้นที่ไม่สูงมาก สารเคมีต่างๆ จึงผสมเข้าไปในเนื้อยางสังเคราะห์ได้ง่ายกว่ายางธรรมชาติ นอกจากนี้ยางสังเคราะห์ยังมีค่าความหนืดให้เลือกได้หลากหลายเกรดตามความต้องการอีกด้วย

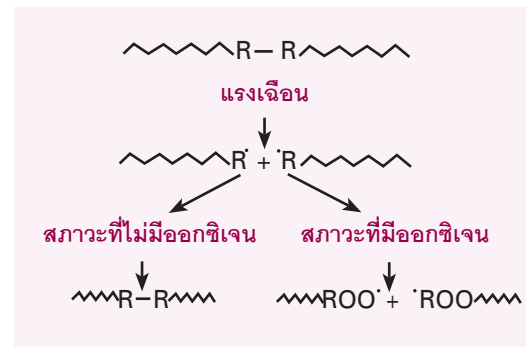
กลไกการบดยางหรือการตัดสายโซ่โมเลกุลยาง

การตัดขาดของสายโซ่โมเลกุลยางจะเกิดผ่านกลไกสองขั้นตอนพร้อมๆ กัน คือ ขั้นตอนเชิงกลและขั้นตอนทางเคมี

- ขั้นตอนเชิงกล (thermo-mechanical breakdown)

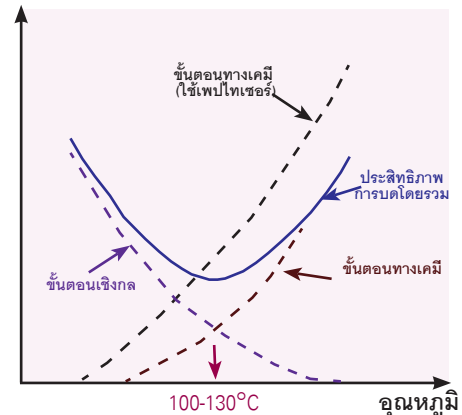
ขั้นแรกเมื่อนำยางใส่เข้าไปในเครื่องผสม อุณหภูมิในห้องผสมยังต่ำอยู่ ยางมีความหนืดสูง ส่งผลให้แรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างการผสมมีค่าสูงด้วย ดังนั้นกลไกการบดยางเพื่อตัดสายโซ่โมเลกุลยางให้สั้นลงในขั้นนี้จึงเกิดผ่านกลไกแรงเฉือนที่เกิดจากความหนืดที่ค่อนข้างสูงของยางและการหมุนของโรเตอร์ในเครื่องผสม (หรือการหมุนของลูกกลิ้งของเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง) เป็นสำคัญ และเมื่อสายโซ่โมเลกุลยางถูกตัดขาดจะเกิดอนุมูลอิสระที่ปลายสายโซ่

ซึ่งถ้าในระบบไม่มีออกซิเจนหรือสารเคมีที่ไวต่อการทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น อนุมูลอิสระเหล่านี้จะกลับมารวมกัน (recombination) เป็นสายโซ่โมเลกุลยาวเหมือนเดิม แต่โดยทั่วไปแล้วในอากาศมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบซึ่งมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระสูง ออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระและเปลี่ยนรูปไปเป็นอนุมูลอิสระของเพอร์ออกไซด์ (peroxide radical) ซึ่งพร้อมที่จะทำปฏิกิริยาถูกโซ่ต่อไป (ดังแสดงในรูปที่ 1) ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลยางสั้นลงและความหนืดของยางก็จะลดต่ำลงด้วย



รูปที่ 1 กลไกการบดยางในขั้นตอนเชิงกล

ประสิทธิภาพการบด



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการบดยางธรรมชาติที่อุณหภูมิต่างๆ

- ขั้นตอนทางเคมี (thermo-oxidative breakdown)

หลังจากบดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานขึ้น อุณหภูมิในห้องผสมจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ มีผลทำให้ความหนืดของยางลดลงและเมื่อความหนืดของยางลดลงส่งผลให้แรงเฉือนระหว่างยางกับโรเตอร์หรือลูกกลิ้งลดลงตามไปด้วย ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นประสิทธิภาพการบดยางในขั้นตอนเชิงกลจะลดต่ำลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในห้องผสมจนถึงจุดๆ หนึ่งจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบดยางเริ่มสูงขึ้นอีกครั้ง (ดังแสดงในรูปที่ 2) ด้วยสาเหตุสำคัญอันเนื่องมาจากที่อุณหภูมิสูงขึ้นนี้เกิดกลไกของการตัดขาดสายโซ่โมเลกุลยางจากปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือที่เรียกว่า “thermo-oxidative breakdown” เป็นสำคัญ ซึ่งปฏิกิริยาเคมีต่างๆ จะเกิดขึ้นได้ดีเมื่ออุณหภูมิในการผสมสูงขึ้น

ยิ่งไปกว่านั้นถ้ามีการเติมสารช่วยในกระบวนการผลิตชนิดเพปไทเซอร์ลงไปในช่วงขั้นตอนนี้ด้วยแล้วจะยิ่งทำให้ประสิทธิภาพในการตัดขาดสายโซ่โมเลกุลยางด้วยกลไก thermo-oxidative breakdown สามารถเกิดได้ง่ายยิ่งขึ้นหรือสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง (รูปที่ 2 เส้นกราฟเลื่อนไปทางซ้ายมือ; peptization (catalyzed mastication)) ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของเพปไทเซอร์จะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นโดยภาพรวมแล้วการเติมเพปไทเซอร์ลงไปในช่วงขั้นตอนการบดยางมีผลทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม พลังงาน และระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผสมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเป็นทางเลือกหรือมีส่วนช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผลิตให้กับผู้ประกอบการได้อีกทางหนึ่ง ดังนั้นเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจ และนำผลของการนำเพปไทเซอร์มาใช้เพื่อช่วยในกระบวนการผลิต รวมทั้งข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดในการใช้งาน คณะผู้เขียนจึงได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเอาไว้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งชนิดและประเภทของเพปไทเซอร์ที่นิยมนำมาใช้ในการอุตสาหกรรมยาง

เพปไทเซอร์

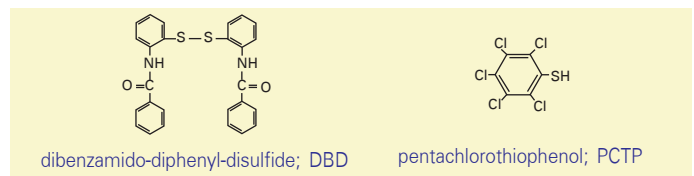
เพปไทเซอร์ คือ สารช่วยในกระบวนการผลิตชนิดหนึ่งที่มีนิยมนำไปใช้ในยางในช่วงแรกของการผสม เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบดย่อยหรือตัดสายโซ่โมเลกุลของยางในขั้นตอนการบดยางให้สามารถเกิดได้เร็วขึ้นหรือเป็นไปได้ง่ายขึ้น ดังนั้นสารชนิดนี้จึงสามารถช่วยลดระยะเวลาในขั้นตอนการบดยางลงได้ ส่งผลให้ประหยัดพลังงานในกระบวนการผสม โดยทั่วไปแล้วเพปไทเซอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ ฟิสิคัลเพปไทเซอร์ (physical peptizer) และเคมีคัลเพปไทเซอร์ (chemical peptizer) ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะการใช้งาน บทบาทและหน้าที่ ดังนี้

- ฟิสิคัลเพปไทเซอร์ (physical peptizer) คือ สารเคมีที่เติมลงไปยางโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยลดความหนืดของยางเป็นสำคัญ โดยเพปไทเซอร์ชนิดนี้เมื่อเติมลงไปยางจะเข้าไปแทรกตัวอยู่

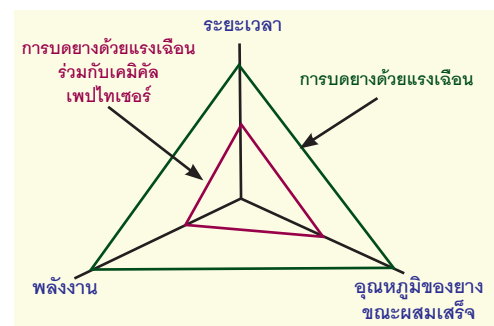
ระหว่างโมเลกุลของยาง โดยไม่ทำให้โมเลกุลของยางเกิดการขาดออกจากกัน โดยทั่วไปแล้วเพปไทเซอร์ชนิดนี้เป็นสารประกอบในกลุ่มของกรดไขมัน เช่น ซิงก์สเตียเรต หรืออนุพันธ์ของกรดไขมัน (เกลือโลหะหรือเกลือโลหะสังกะสี) ซึ่งปริมาณที่ใช้งานของเพปไทเซอร์ชนิดนี้อยู่ในช่วง 5-10 phr

- เคมีคัลเพปไทเซอร์ (chemical peptizer) คือ สารเคมีที่เติมลงไปยางเพื่อช่วยลดความหนืดของยางโดยผ่านกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นสำคัญ กล่าวคือ เมื่อสายโซ่โมเลกุลยางถูกตัดขาดระหว่างขั้นตอนการบดยาง จะมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นที่ปลายของสายโซ่เพปไทเซอร์ชนิดนี้ก็จะเข้าไปจับกับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นทำให้โอกาสที่อนุมูลอิสระเหล่านี้จะกลับเข้ามารวมตัวกันมีน้อยลง ด้วยเหตุนี้บางครั้งจึงเรียกเพปไทเซอร์ชนิดนี้ว่าเป็นตัวจับอนุมูลอิสระ (radical scavenger) หรือตัวรับอนุมูลอิสระ (radical acceptor) ซึ่งกลไกการทำงานโดยภาพรวมแล้วนั้นมีความแตกต่างจากฟิสิคัลเพปไทเซอร์อย่างมาก นอกจากนี้แล้วเคมีคัลเพปไทเซอร์ยังช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) ที่เกิดขึ้นแตกตัวต่อไปได้เร็วขึ้น จึงส่งผลทำให้ความหนืดของยางลดลง เนื่องจากเพปไทเซอร์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้ในปริมาณที่ค่อนข้างน้อย (ประมาณ 0.5 phr) เพราะถ้าใช้ในปริมาณมากอาจจะส่งผลทำให้ยางมีความหนืดที่ต่ำมากเกินไป (ยางละ)

ตัวอย่างของเคมีคัลเพปไทเซอร์ที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมยาง ได้แก่ ไดเบนซามิโดไดฟีนิลไดซัลไฟด์ (dibenzamido-diphenyl-disulfide; DBD) และเพนทะคลอโรไทโอเฟโนล (pentachlorothiophenol; PCTP)



รูปที่ 3 เคมีคัลเพปไทเซอร์ที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมยาง



รูปที่ 4 การบดยางด้วยแรงเฉือน (mechanical mastication) และการบดยางด้วยแรงเฉือนร่วมกับเคมีคัลเพปไทเซอร์ (chemical peptizer)

ในภาพรวมเมื่อเปรียบเทียบการบดยางด้วยแรงเฉือนเพียงอย่างเดียวกับการบดยางด้วยแรงเฉือนร่วมกับการใช้เคมีคัลเพปไทเซอร์ (รูปที่ 4) พบว่าการบดยางโดยใช้เพปไทเซอร์ร่วมด้วยนอกจากจะช่วยลดพลังงานในการบดยางลงแล้ว ยังส่งผลทำให้ทั้งอุณหภูมิของยางขณะผสมเสร็จ (dump temperature) และระยะเวลา (dump time) ที่ใช้ในการบดลดลงด้วย ด้วยเหตุนี้การใช้เพปไทเซอร์จึงสามารถช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผลิตได้

ตัวอย่างการนำเพปไทเซอร์ไปใช้งาน

ในปี ค.ศ. 2009 Clarke และคณะได้ศึกษาผลของเพปไทเซอร์และระยะเวลาในการผสมต่อสมบัติยางธรรมชาติคอมพาวด์และยางวัลคาไนซ์ โดยได้เลือกใช้เพปไทเซอร์ 2 ชนิด ได้แก่ 1) Struktol HT 105¹ และ 2) DBD โดยใช้สูตรผสมเคมียางที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรผสมเคมียาง

สูตรผสมเคมียาง/เวลา	ปริมาณ (phr)				
	สูตร 1 3' 30"	สูตร 2 4' 00"	สูตร 3 4' 30"	สูตร 4 3' 30"	สูตร 5 3' 30"
ยางธรรมชาติ (TSR 5)	100	100	100	100	100
Struktol HT 105	-	-	-	2	-
ไดเบนซามิโดไดฟีนิลไดซัลไฟด์ (DBD)	-	-	-	-	0.2
เขม่าดำ (N234)	55	55	55	55	55
น้ำมันอะโรมาติก	5	5	5	5	5
ซิงก์ออกไซด์	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
กรดสเตียริก	1	1	1	1	1
ไดเมทิลปิวทิลฟีนิลฟีนิลดีนโดเอมีน (6PPD)	2	2	2	2	2
ไทโรเมทิลไดไฮโดรควิโนลีน (TMQ)	1	1	1	1	1
ไซ	1	1	1	1	1
กำมะถัน	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
บิวทิลเบนโซโทอะโซลซัลฟิโนไมด์ (TBBS)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

นำยางแต่ละสูตรมาบดผสมในเครื่องผสมระบบปิด (internal mixer) โดยตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นของห้องผสมที่ 60°C ในขั้นแรกนำยางธรรมชาติผสมกับเพปไทเซอร์ (DBD หรือ Struktol HT 105) จากนั้นเติมเขม่าดำ (ครึ่งหนึ่งของที่เตรียมไว้) ซิงก์ออกไซด์ และน้ำมันลงไป หลังจากนั้นจึงเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ กรดสเตียริก เขม่าดำ (ส่วนที่เหลือ) และสุดท้ายเติมสารตัวเร่งปฏิกิริยาและกำมะถัน โดยตารางที่ 2 แสดงข้อมูลระยะเวลา อุณหภูมิ และพลังงานที่ใช้ในการผสมของยางคอมพาวด์สูตรต่างๆ

ตารางที่ 2 ข้อมูลการบดผสมของยางคอมพาวด์สูตรต่างๆ ที่ผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด

ข้อมูลการบดผสม	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
ระยะเวลา (min)	3' 30"	3' 30"	4' 30"	3' 30"	3' 30"
อุณหภูมิขณะผสมเสร็จ (°C)	122	135	164	115	124
พลังงาน (kJ)	2,122	2,537	3,076	1,915	2,103

¹ Struktol HT 105 เป็นสารผสมระหว่างเกลือของโลหะและสารประกอบอะโรมาติกไดซัลไฟด์ ดังนั้น Struktol HT 105 ทำหน้าที่เป็นทั้งฟิสิกัลและเคมีคัลเพปไทเซอร์

จากตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการบดผสมระหว่างยางที่เติมและไม่เติมเพปไทเซอร์ พบว่าที่ระยะเวลาในการบดยางเท่ากันนั้น ยางที่ใช้ Struktol HT 105 ปริมาณ 2 phr เป็นเพปไทเซอร์ (สูตรที่ 4) มีค่าอุณหภูมิขณะผสมเสร็จ และค่าพลังงานที่ใช้ในการผสมต่ำกว่ายางที่ บดโดยไม่ใช้เพปไทเซอร์ (สูตรที่ 1) ในขณะที่การใช้เพปไทเซอร์ชนิด DBD ในปริมาณเพียง 0.2 phr (สูตรที่ 5) ไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิ ขณะผสมเสร็จและค่าพลังงานที่ใช้ในการผสมอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในการทดลองนี้การใช้เพปไทเซอร์ชนิด Struktol HT 105 ในปริมาณ 2 phr นั้น มีประสิทธิภาพในการช่วยลดพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตโดยรวมลงได้พอสมควรเมื่อเทียบกับกระบวนการผสมที่ไม่มีการเติมสารเพปไทเซอร์ใดๆ ลงไปในยาง

ตารางที่ 3 สมบัติการวัลคาไนซ์และสมบัติเชิงกลของยางสูตรต่างๆ

สมบัติการวัลคาไนซ์	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
ความหนืดมูนี ML (1+4) ที่ 100°C (MU)	108	107	104	91	96
แรงบิดต่ำสุด M_L (dN.m)	4.98	4.54	4.37	3.49	4.24
แรงบิดสูงสุด M_H (dN.m)	20.75	20.82	21.07	19.39	21.27
t_{10} (min)	2.39	2.26	2.37	2.1	2.15
t_{90} (min)	4.09	4.02	4.12	4.27	3.80
สมบัติเชิงกลของยาง					
ความแข็ง (Shore A)	67	67	66	65	67
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	27.5	26.3	27.4	28.9	27.5
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	563	531	537	576	522
100%โมดูลัส (MPa)	2.3	2.3	2.6	2.4	2.7
300%โมดูลัส (MPa)	12.0	12.1	12.9	12.4	13.6
การกระด้างตัวที่อุณหภูมิ 23°C (%)	40	40	40	40	39
ปริมาตรสูญเสียโดยวิธี DIN (mm ³)	123	114	119	126	122
ค่าแทนเดลต้า ($\tan \delta$) ที่อุณหภูมิ 70°C (%)*	100	97	96	92	102

* ค่าที่รายงานเป็นร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่าแทนเดลต้าเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (สูตร 1) โดยให้ค่าแทนเดลต้าของสูตรควบคุมเท่ากับ 100

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบผลของเพปไทเซอร์ทั้งสองชนิดต่อสมบัติของยาง พบว่าการใช้ Struktol HT 105 ส่งผลให้ยางมี ค่าความหนืดมูนี แรงบิด ความแข็ง โมดูลัส ต่ำกว่าการใช้ DBD แต่มีค่าความทนต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด สูงกว่าการใช้ DBD เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการบดยางโดยใช้เพปไทเซอร์และไม่ใช้เพปไทเซอร์ พบว่ายางที่ใช้เพปไทเซอร์จะให้ค่าความหนืดมูนีและค่าแรงบิดต่ำสุด (M_L) ต่ำกว่ายางที่ไม่ใช้เพปไทเซอร์ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การเติมเพปไทเซอร์ลงไปในสูตรเคมียางมีผลทำให้ กระบวนการผสมทำได้ง่ายขึ้น สำหรับสมบัติเชิงพลวัตนั้น พบว่าการบดยางโดยไม่ใช้เพปไทเซอร์และการบดยางร่วมกับการใช้ Struktol HT 105 จะให้ค่าการกระด้างตัวที่เท่ากัน (40%) แต่เมื่อบดยางร่วมกับการใช้ DBD พบว่าการกระด้างตัวกลับมีค่าลดลงเล็กน้อย (39%) นอกจากนี้การใช้ Struktol HT 105 ยังทำให้ยางมีค่าความต้านทานต่อการสึกกร่อนสูงขึ้นและค่าแทนเดลต้าที่อุณหภูมิ 70°C ลดลง ซึ่งในกรณีที่ใช้ DBD พบว่ายางที่ได้มีค่าความต้านทานต่อการสึกกร่อนและค่าแทนเดลต้า (ที่เวลา 3 นาที 30 วินาที) ใกล้เคียงกับยางที่ไม่ใช้เพปไทเซอร์

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ Struktol HT 105 เป็นเพปไทเซอร์สามารถที่จะช่วยลดความหนืดของยางลงและทำให้ลด เวลาในการผลิตลงได้ นอกจากนี้การใช้เพปไทเซอร์ชนิดนี้ยังช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงพลวัตให้ดีขึ้นอีกด้วย

นอกจากสารเพปไทเซอร์ที่กล่าวมาข้างต้น ทางบริษัท Performance Additive จำกัด ได้แนะนำเพปไทเซอร์ที่มีชื่อทางการค้าว่า UltraPep 90 ซึ่งจะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงพลวัตของยางธรรมชาติและเหมาะกับการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตยางล้อ

UltraPep 90 เป็นของผสมระหว่าง DBD (dibenzamido-diphenyl-disulfide) และเกลือโลหะสังกะสี (zinc soap) ทางบริษัทรายงานว่า สารเคมีชนิดนี้ไม่ทำให้เกิดการรีเวอร์ชัน นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาโดยนำ UltraPep 90 ไปใช้งานดังแสดงในสูตรผสมเคมียางในตารางที่ 4 ขั้นตอนแรกผสมมาสเตอร์แบตช์ (master batch mixing) ของยางและสารเคมี โดยตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นของการบดผสมที่ 70°C และความเร็วโรเตอร์ 80 รอบต่อนาที

ตารางที่ 4 สูตรผสมเคมียาง

สูตรผสมเคมียาง	ปริมาณ (phr)	
	สูตร 1	สูตร 2
ยาง SMR 10	100.0	100.0
เซมาดำ (N220)	55.0	55.0
น้ำมันอะโรมาติก	5.0	5.0
ซิงก์ออกไซด์	3.5	3.5
กรดสเตียริก	1.0	1.0
ไดเมทิลพิวทิลฟีนิลฟีนิลดีเอมีน (6PPD)	2.0	2.0
ไทโรเมทิลไดไฮโดรควิโนลีน (TMO)	1.0	1.0
ไซ	1.0	1.0
UltraPep 90	-	2.0
ไซโคลเฮกซิลเบนโซไทโอะไซลซัลฟิโนไมด์ (CBS)	1.5	1.5
กำมะถัน	1.5	1.5

ตารางที่ 5 ข้อมูลที่ได้จากการผสมและค่าความหนืดของยางคอมพาวด์

มาสเตอร์แบตช์	สูตร 1	สูตร 2
อุณหภูมิขณะผสมเสร็จ (°C)	141	140
พลังงาน (kWh)	0.31	0.27
ความหนืดมูนี MS (2+4) ที่ 100°C (MU) (โรเตอร์ขนาดเล็ก)	75	66
ยางคอมพาวด์ (final compound)		
ความหนืดมูนี ML (2+4) ที่ 100°C (MU)	80	72

จากตารางที่ 5 พบว่าในขั้นตอนการผสมที่ใช้ UltraPep 90 เป็นเพปไทเซอร์จะช่วยลดพลังงานที่ใช้ในการผสมรวมถึงช่วยลดความหนืดของยางคอมพาวด์ลง ส่งผลให้ยางไหลได้ง่ายขึ้น

หลังจากนั้นนำยางมาวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 6 และนำยางวัลคาไนซ์ไปทดสอบสมบัติเชิงกลก่อนและหลัง บ่มแรงที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 168 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 6 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางที่อุณหภูมิ 150°C โดยใช้เครื่อง MDR

สมบัติการวัลคาไนซ์	สูตร 1	สูตร 2
t_2 (min)	3.90	3.93
t_{90} (min)	6.3	7.4
t_{95} (min)	7.2	9.2
แรงบิดต่ำสุด M_L (dN.m)	3.1	3.0
แรงบิดสูงสุด M_H (dN.m)	16.4	16.0

ตารางที่ 7 สมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 168 ชั่วโมง

สมบัติเชิงกล	สูตร 1		สูตร 2	
	ก่อนบ่มเร่ง	หลังบ่มเร่ง	ก่อนบ่มเร่ง	หลังบ่มเร่ง
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	29	18.5 (-36%)	28	19.1 (-34%)
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	560	342 (-39%)	540	356 (-34%)
ความแข็ง (IRHD)	71	76	71	77
ISO Abrasion index	110	-	107	-
การกระด้างตัว (Dunlop resilience) ที่อุณหภูมิห้อง	57	-	54	-

* ค่าในวงเล็บ คือ ร้อยละของการเปลี่ยนแปลง

จากตารางที่ 6 พบว่ายางที่ใช้ UltraPep 90 เป็นเพปไทด์เรซินใช้เวลาวัลคาไนซ์นานกว่าแต่มีค่าแรงบิดต่ำกว่ายางที่ไม่ใช้เพปไทด์เรซิน และเมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกลก่อนบ่มเร่งของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้ UltraPep 90 เป็นเพปไทด์เรซิน พบว่าความทนต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด ต่ำกว่ายางวัลคาไนซ์ที่ไม่ใช้เพปไทด์เรซิน แต่มีค่าความแข็งเท่ากัน หลังการบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 168 ชั่วโมง พบว่ายางที่ใช้ UltraPep 90 จะมีค่าความทนต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และความแข็งสูงกว่ายางที่ไม่ใช้เพปไทด์เรซิน

สมบัติเชิงพลวัตของยาง เช่น ค่าความร้อนสะสม เวลาที่ยางระเบิด และอุณหภูมิที่ยางระเบิด จัดเป็นสมบัติที่สำคัญต่อการใช้งานของยางล้อ กล่าวคือ เมื่อมีการใช้งานจะเกิดความร้อนสะสมขึ้นภายในล้อยาง ถ้าความร้อนที่สะสมสูงขึ้นและไม่สามารถระบายออกได้ทัน จะเป็นสาเหตุทำให้ยางเกิดการระเบิดได้ง่าย ดังนั้นก่อนที่จะนำไปใช้งานจึงมีความจำเป็นต้องทดสอบสมบัติดังกล่าวด้วย ซึ่งผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 8

จากตารางที่ 8 พบว่า ยางที่ใช้ UltraPep 90 เป็นเพปไทด์เรซินแม้ว่าจะมีค่าความร้อนสะสมสูงกว่ายางที่ไม่ใช้เพปไทด์เรซินเล็กน้อย แต่ก็มีเวลาและอุณหภูมิที่ยางจะเกิดการระเบิดที่สูงกว่ายางที่ไม่ใช้เพปไทด์เรซินด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 8 สมบัติเชิงพลวัตของยาง

สมบัติเชิงพลวัต	สูตร 1	สูตร 2
ความร้อนสะสม (°C)	17	18
เวลาที่ยางระเบิด (min)	6	9
อุณหภูมิที่ยางระเบิด (°C)	156	158

ตารางที่ 9 ตัวอย่างเพปไทเซอร์ทางการค้า

ผู้ผลิต	ชื่อทางการค้า	องค์ประกอบ	อุณหภูมิต่ำสุดที่ใช้งาน (dropping point) (°C)
Performance Additive	UltraPep 90	Blend of dibenzamido-diphenyl-disulfide and metal soaps	95
	UltraPep 92	Blend of organo-metal complexes as catalysts and fatty acid derivatives	50-60
	UltraPep 96	Blend of organo-metal complexes as catalysts, fatty acid derivatives and peptizing agents	56
	UltraPep 148	Blend of 40% dibenzamide-diphenyl-disulfide on low melt carrier	55
	UltraPep XP 181		
Struktol	A80	Blend of organo-metal complexes, other peptizing agents, organic and inorganic dispersing agents	82-94
	A82		45-58
	A86		49-61
	A91F	Mixture of zinc soaps of high molecular weight fatty acids	76-86
	HT 105	Combination of metal soaps and an aromatic disulfide	95
Akronechem	Peptizer 4P	2,2' -dibenzamido-diphenyl-disulfide (DBDD) absorbed on a clay carrier	-
	Peptizer 6P		
	Peptizer 66		
Lanxess	Renacit 11/WG	Mixture of activator, calcium carbonate, oleic acid, 40% dibenzamido-diphenyl-disulfide	-
	Renacit 11	2,2' -dibenzamido-diphenyl-disulfide (DBD) absorbed on clay	-

สรุป

การผสมยางและสารเคมีเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ การเติมเพปไทเซอร์ลงไปช่วยให้การบดยางทำได้ง่ายขึ้น (ทำให้ยางมีความหนืดต่ำลง) ช่วยลดเวลาและประหยัดพลังงานในกระบวนการผลิต ทำให้ผู้ผลิตสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ แต่การใช้เพปไทเซอร์ในปริมาณเท่าใดนั้น ผู้ผลิตจำเป็นต้องพิจารณาให้เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เนื่องจากสมบัติของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของยาง องค์ประกอบทางเคมีที่เติมลงไป เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- Clarke, C. and Hensel, M., “Improved natural rubber processing and physical properties by use of selected compounding additives”, *Rubber World*, **241(2)**, 28 (2009)
- www.specialchem4polymers.com
- Ho, K.P., “The current status of processing chemicals and recent developments in mastication aids”, APEST conference and exhibition 2009, Bangkok, Thailand
- พงษ์ธร แซ่ฮุย และ ชาคริต สิริสิงห. ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550.
- พงษ์ธร แซ่ฮุย. สารเคมียาง. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2548.

วันสิรินทร์ อินทร์ดี:

การศึกษา: ปริญญาโท (เทคโนโลยีชีวภาพ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานที่ทำงานปัจจุบัน: ผู้ช่วยวิจัย ฝ่ายวิจัยและพัฒนา

ห้องปฏิบัติการยาง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

ธารณี เจริญสุข

การศึกษา: ปริญญาโท (ปรีศเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานที่ทำงานปัจจุบัน: เจ้าหน้าที่สารสนเทศ

ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย มหาวิทยาลัยมหิดล