

โคเอเจนต์สำหรับการวัลคาไนซ์ยางด้วยเพอร์ออกไซด์

ดร.นันทิยา หัตถะปณิตย์ และ ดร.พวงษ์ธร ราชอยู่

บทนำ

เนื่องจากยางดิบมีข้อจำกัดในการใช้งานต่างๆ มากมาย เช่น มีรูปร่างที่ไม่เสถียร มีความยืดหยุ่น และสมบัติเชิงกลต่ำ นอกจากนั้นสมบัติเชิงกลของยางดิบยังเปลี่ยนแปลงได้ง่ายตามอุณหภูมิอีกด้วย ดังนั้นก่อนที่จะนำยางดิบไปใช้งาน ผู้ประกอบการจึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพของยางดิบโดยการเปลี่ยนสภาพจากยางดิบที่อ่อนและไหลได้ง่าย (มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก) ไปเป็นยางสุกหรือยางวัลคาไนซ์ (มีสมบัติเป็นเทอร์โมเซต) ซึ่งปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการเปลี่ยนสภาพจากยางดิบไปเป็นยางวัลคาไนซ์ เรียกว่า “ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์หรือปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน (vulcanization)” เมื่อเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน โมเลกุลยางจะเกิดการเชื่อมโยงกันเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ (crosslinking) และสมบัติของยางก็จะเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ ยางจะมีความยืดหยุ่นสูงขึ้น มีสมบัติเชิงกลที่ดี มีความทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากสิ่งแวดล้อมและสารเคมีรวมถึงตัวทำละลายต่างๆ สูงขึ้น นอกจากนี้ยางวัลคาไนซ์จะมีสมบัติที่เสถียรไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก

โดยทั่วไป การวัลคาไนซ์ยางที่ใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบใหญ่ๆ ตามชนิดของสารเคมีที่ใช้ ได้แก่ ระบบกำมะถัน (sulfur) ระบบเพอร์ออกไซด์ (peroxide) และระบบที่ใช้สารเคมีอื่นๆ เช่น โลหะออกไซด์ เรซิน ซึ่งระบบการวัลคาไนซ์แบบหลังนี้จะนิยมใช้เฉพาะการวัลคาไนซ์ยางบางชนิดเท่านั้น เช่น ยางคลอโรพรีน (CR) หรือยางบิวไทล์ (IIR) อย่างไรก็ตาม ระบบการวัลคาไนซ์ที่นิยมใช้มากที่สุดในการอุตสาหกรรมยางก็คือ ระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันเพราะเป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ การวัลคาไนซ์สามารถเกิดขึ้นได้เร็ว (เมื่อใช้กำมะถันร่วมกับสารตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่เหมาะสม) และยางวัลคาไนซ์ที่ได้ก็จะมีสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงพลวัตที่ดี อย่างไรก็ตาม ระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันก็มีข้อจำกัดหลัก คือ สามารถใช้วัลคาไนซ์ได้เฉพาะยางที่มีพันธะคู่อยู่ภายในโมเลกุลเท่านั้น แต่จะไม่สามารถใช้วัลคาไนซ์ยางที่มีเฉพาะพันธะเดี่ยวได้ เพราะพันธะคู่เป็นตำแหน่งที่กำมะถันจะเข้าไปทำปฏิกิริยาและทำให้เกิดการเชื่อมโยงทางเคมีขึ้น ดังนั้นในกรณีที่ผู้ประกอบการต้องการวัลคาไนซ์ยางที่มีเฉพาะพันธะเดี่ยวอยู่ภายในโมเลกุล จึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่ผู้ประกอบการจะต้องหันไปใช้ระบบการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์แทน

ระบบการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์

แม้ว่าการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์จะเป็นระบบการวัลคาไนซ์ที่สามารถใช้ได้กับยางส่วนใหญ่ (ทั้งชนิดที่มีพันธะคู่และไม่มีพันธะคู่) อยู่ภายในโมเลกุล แต่การวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์เป็นระบบการวัลคาไนซ์ที่มีต้นทุนสูง และยางวัลคาไนซ์ที่ได้ก็จะมีสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงพลวัตที่ดีกว่ายางที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน นอกจากนี้ยางที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์บางชนิดยังมีความทนทานต่อแสงของอะซิโตน (acetophenone) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการทำปฏิกิริยาวัลคาไนซ์อีกด้วย ด้วยเหตุนี้ระบบเพอร์ออกไซด์จึงนิยมใช้เฉพาะในการวัลคาไนซ์ยางกลุ่มที่ไม่มีพันธะคู่อยู่ภายในโมเลกุลหรือยางกลุ่มที่มีพันธะคู่อยู่ภายในโมเลกุลในปริมาณที่ต่ำมากๆ เท่านั้น เช่น ยางเอทิลีนโพรพิลีนโมโนเมอร์ (EPM) ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนโมโนเมอร์ (EPDM) ยางเอทิลีนโวนิลอะซิเตต (EVA) ยางคลอริเนตโพลีเอทิลีน (CPE) ยางไฮโดรจีเนตอะโครโลไนไตรล์บิวทาไดอีน (HNBR) ยางคลอโรซัลโฟเนตโพลีเอทิลีน (CSM) และยางซิลิโคน (Q) เป็นต้น ตารางที่ 1 แสดงชนิดของเพอร์ออกไซด์ที่นิยมนำมาใช้ในการวัลคาไนซ์ยาง



ตารางที่ 1 เพอร์ออกไซด์ที่นิยมใช้ในการวัลคาไนซ์ยาง [3]

ชื่อทางเคมี	ชื่อทางการค้า	อุณหภูมิที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ (°C)
2,5-dimethyl-2,5 bis (tert-butyl peroxy) hexyne-3	Luperox 130/Triganox 145	195
di-tert-butyl peroxide	Triganox B/Di-t-B-Peroxide	190
2,5-dimethyl-2,5 bis (tert-butyl peroxy) hexane	Luperox 101/Triganox 101	185
tert-butyl cumyl peroxide	Luperox 801/Triganox T	175
bis (tert-butyl peroxy isopropyl) benzene	Luperox F/Perkadox 14/VulCup	180
dicumyl peroxide	Luperox DCP/DiCup	160
N-butyl-4,4-bis (tert-butyl peroxy) valerate	Luperox 230/Triganox 17	160
1,1-di-tert-butyl peroxy-3,3,5-trimethyl cyclohexane	Luperox 231/Triganox 29	150

สำหรับยางไดอีนหรือยางที่มีพันธะคู่อยู่ในปริมาณสูง เช่น ยางธรรมชาติ (NR) ยางไนไตรล์ (NBR) ยางบิวทาไดอีน (BR) หรือยางสไตรีนบิวทาไดอีน (SBR) นั้น แม้ว่าผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะนิยมใช้ระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันมากกว่า แต่ในกรณีที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความทนต่อความร้อนสูงๆ หรือต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติการเสียรูปถาวรหลังกดที่อุณหภูมิสูง (compression set at elevated temperature) ที่ดี ผู้ประกอบการก็สามารถใช้เพอร์ออกไซด์ในการวัลคาไนซ์ยางเหล่านี้แทนได้ เพราะการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์จะทำให้การเชื่อมโยงของโมเลกุลยางเกิดผ่านพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนและคาร์บอน (C-C bond) ซึ่งมีความแข็งแรงของพันธะสูงกว่าพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนและกำมะถัน (C-S bond) หรือระหว่างอะตอมของกำมะถันและกำมะถัน (S-S bond) ซึ่งเป็นพันธะการเชื่อมโยงที่เกิดจากระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (ดูค่าพลังงานพันธะในตารางที่ 2 ประกอบ) ด้วยเหตุนี้ยางที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์จึงมีสมบัติความทนต่อความร้อนและการเสียรูปถาวรหลังกดที่อุณหภูมิสูงดีกว่ายางที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน

ตารางที่ 2 พลังงานพันธะของการเชื่อมโยงรูปแบบต่างๆ [4]

รูปแบบการเชื่อมโยง	พลังงานพันธะ (kJ/mol)
-C-C-	351
-C-S-C-	285
-C-S-S-C-	267
-C-S _x -C-	< 267

* เมื่อ x เท่ากับ 3-8 หรือมากกว่านั้น

การออกสูตรยางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเพอร์ออกไซด์

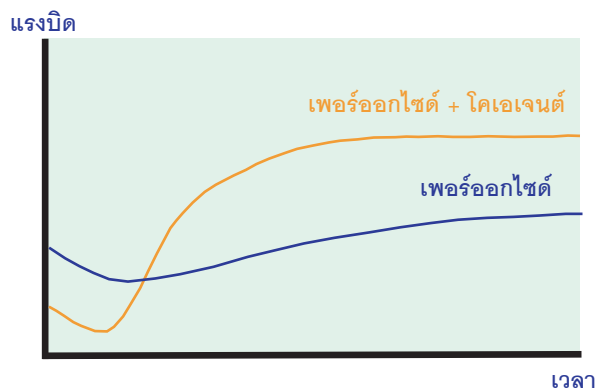
สำหรับในกรณีที่ต้องการวัลคาไนซ์ยางด้วยระบบเพอร์ออกไซด์ การออกสูตรเคมียางควรทำด้วยความระมัดระวัง โดยทั่วไปผู้ออกสูตรเคมียางต้องหลีกเลี่ยงการเติมสารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือสารเคมีที่มีไอออนของโลหะเป็นองค์ประกอบ (โดยเฉพาะไอออนของโลหะทรานซิชัน) เพราะสารเคมีเหล่านี้สามารถเร่งอัตราเร็วในการแตกตัวของเพอร์ออกไซด์ได้ นอกจากนี้ผู้ออกสูตรยางยังต้องตระหนักไว้ว่าการเติมสารเคมีบางประเภทลงไปในส่วนผสมอาจส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์ลดลง ตัวอย่างของสารเคมีเหล่านี้ ได้แก่ สารประกอบในกลุ่มเอมีน (amines) สารประกอบในกลุ่มไกลคอล (glycols) และสารประกอบในกลุ่มฟีนอล (phenols) นอกจากนี้การเลือกใช้น้ำมันของน้ำมันให้ถูกต้องก็ถือเป็นเรื่องสำคัญด้วยเช่นกัน เพราะทั้งน้ำมันอะโรมาติกและน้ำมันแนฟทีนิกต่างก็ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์ลดลง ด้วยเหตุนี้หากต้องการวัลคาไนซ์ยางโดยใช้ระบบเพอร์ออกไซด์ ผู้ออกสูตรก็ควรเลือกใช้น้ำมันพาราฟินิกเกรดเฉพาะที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้กับระบบการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์เท่านั้น (น้ำมันเกรดที่มีปริมาณของอะโรมาติกต่ำมาก) อย่างไรก็ตาม ผู้ผลิตก็จำเป็นต้องพิจารณาถึงความเข้ากันได้ระหว่างน้ำมันพาราฟินิกกับยางที่ใช้ด้วย

การเติมสารประกอบใดๆ ก็ตามที่มีปริมาณพันธะคู่สูงก็อาจมีส่วนทำให้ประสิทธิภาพในการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์ลดลงได้ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้การเติมสารเคมีบางกลุ่ม เช่น สารป้องกันการเสื่อมสภาพก็อาจส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์ลดลง เพราะสารเคมีในกลุ่มนี้สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดจากการแตกตัวของเพอร์ออกไซด์ ทำให้อนุมูลอิสระที่เคยมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีกลายเป็นอนุมูลอิสระที่มีความเสถียร ซึ่งจะส่งผลต่อเนื่องทำให้ปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ในเซชันเกิดได้ช้าลง ด้วยเหตุนี้สารป้องกันการเสื่อมสภาพจึงสามารถทำหน้าที่เป็นสารหน่วง (cure retarder) สำหรับการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์ได้

บทบาทของโคเอเจนต์ (coagents หรือ co-curing agents)

การวัลคาไนซ์ยางด้วยระบบเพอร์ออกไซด์มีข้อควรระวังต่างๆ หลายประการดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ดังนั้นในการออกสูตรเคมียางผู้ออกสูตรควรเริ่มต้นด้วยการใช้สารเคมีที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าสามารถใช้ได้ดีกับระบบการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์ ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ ได้แก่ เซมาดำ และสารตัวเติมสีขาวยุคใหม่ต่างๆ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผู้ออกสูตรเคมียางจะเลือกใช้สารเคมีต่างๆ ได้อย่างเหมาะสมแล้ว แต่บ่อยครั้งที่พบว่ายางที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์ยังคงมีสมบัติเชิงกลไม่ดีเท่าที่ควร เป็นเพราะข้อเสียหลักของระบบการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์ คือ ยางที่ได้จะมีสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงพลวัตที่ต่ำกว่ายางที่ได้จากระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน ปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาสารเคมีชนิดใหม่ๆ ขึ้นมาเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติของยางที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์ เรียกสารเคมีต่างๆ เหล่านี้ว่า **“โคเอเจนต์”**

เนื่องจากโคเอเจนต์สามารถเข้าไปมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยาง ซึ่งนอกจากจะส่งผลทำให้รูปแบบของพันธะการเชื่อมโยงเปลี่ยนแปลงไปแล้ว ยังส่งผลทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วยิ่งขึ้น (ในบางครั้งอาจทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วกว่าปกติถึง 10 เท่า) และยางวัลคาไนซ์ที่ได้ก็จะมีระดับของการเชื่อมโยงที่สูงขึ้นด้วย (ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1) ดังนั้นการเลือกใช้โคเอเจนต์ที่เหมาะสมจึงส่งผลทำให้สมบัติอื่นๆ ของยางดีขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 1 ตัวอย่างลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางที่วัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์และเพอร์ออกไซด์ร่วมกับโคเอเจนต์

ชนิดและสมบัติพื้นฐานของโคเอเจนต์

ปัจจุบัน โคเอเจนต์ที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมยางมีหลายชนิด ได้แก่

- Maleimide type เช่น N,N'-phenylenebismaleimide (MBM)
- Allylic type เช่น triallyl cyanurate (TAC), triallyl isocyanurate (TAIC), diallyl diglycolcarbonate (ADC) และ allyl methacrylate (AMA)
- Methacrylate type เช่น ethyleneglycol dimethacrylate (EGDMA), trimethylolpropane trimethacrylate (TMPTMA) และ zinc dimethacrylate (ZDMA)
- Acrylic type เช่น ethyleneglycol diacrylate (EGDA), trimethylolpropane triacrylate (TMPTA) และ zinc diacrylate (ZDA)
- Polymeric coagents เช่น liquid 1,2-polybutadiene resins (PBD)

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติพื้นฐานของโคเอเจนต์ที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรม จากตารางจะเห็นว่านักวิจัยได้แบ่งโคเอเจนต์ออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ ชนิด I และชนิด II ทั้งนี้การแบ่งชนิดดังกล่าวอาศัยหลักเกณฑ์ที่ว่าโคเอเจนต์แต่ละชนิดจะส่งผลกระทบต่อลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางแตกต่างกัน กล่าวคือ โคเอเจนต์ชนิด I มักจะทำปฏิกิริยากับเพอร์ออกไซด์เกิดเป็นอนุมูลอิสระที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีสูง ดังนั้นโคเอเจนต์ในกลุ่มนี้นอกจากจะส่งผลทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้นแล้ว (ยางมีโอกาสเสี่ยงต่อการตายมากขึ้น) ยังทำให้ยางวัลคาไนซ์ที่มีระดับของการวัลคาไนซ์ที่สูงขึ้นด้วย แต่โคเอเจนต์ชนิด II นั้น เมื่อทำปฏิกิริยากับเพอร์ออกไซด์แล้วจะได้เป็นอนุมูลอิสระที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีต่ำกว่า ดังนั้นโคเอเจนต์ในกลุ่มนี้จึงส่งผลทำให้ยางมีระดับของการวัลคาไนซ์ที่สูงขึ้นเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางแต่อย่างใด โดยทั่วไปโคเอเจนต์ชนิด I มักจะเป็นโคเอเจนต์ที่มีความเป็นขั้วสูงและมีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำ ดังนั้นโคเอเจนต์ในกลุ่มนี้จึงมีความสามารถในการเข้ากันได้ (compatibility) กับยางหลากหลายชนิดที่ค่อนข้างต่ำ (โดยเฉพาะกับยางที่ไม่มีขั้วหรือยางที่มีความเป็นขั้วต่ำ) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อเนื่องทำให้เกิดการบวมขึ้นได้ด้วยเหตุนี้โคเอเจนต์ชนิด I (และโคเอเจนต์ชนิด II บางตัว) จึงสามารถเติมลงไปได้อย่างได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ตัวอย่างที่สำคัญของโคเอเจนต์ชนิด I ก็คือ สารประกอบอะไครเลต และสารประกอบเมทาอะไครเลต รวมถึงเกลืออะไครเลตและเมทาอะไครเลตของสังกะสี ฯลฯ ส่วนโคเอเจนต์ชนิด II โดยเฉพาะ PBD เราชั้นนั้น ส่วนใหญ่มีความเป็นขั้วค่อนข้างต่ำจึงสามารถผสมเข้ากับยางชนิดต่างๆ ได้ดีกว่า (สามารถเติมลงไปได้อย่างได้ในปริมาณที่สูงกว่าโคเอเจนต์ชนิด I) เนื่องจากโคเอเจนต์ชนิด II ไม่ส่งผลต่ออัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์มากนัก ดังนั้นโคเอเจนต์ในกลุ่มนี้จึงไม่ส่งผลเสียต่อความปลอดภัยในกระบวนการผลิต (ไม่ทำให้ยางมีโอกาสเสี่ยงต่อการตายสูงเหมือนเช่นในกรณีของโคเอเจนต์ชนิด I) ตัวอย่างที่สำคัญของโคเอเจนต์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ PBD TAC และ TAIC เป็นต้น

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบสมบัติพื้นฐานของโคเอเจนต์ [4]

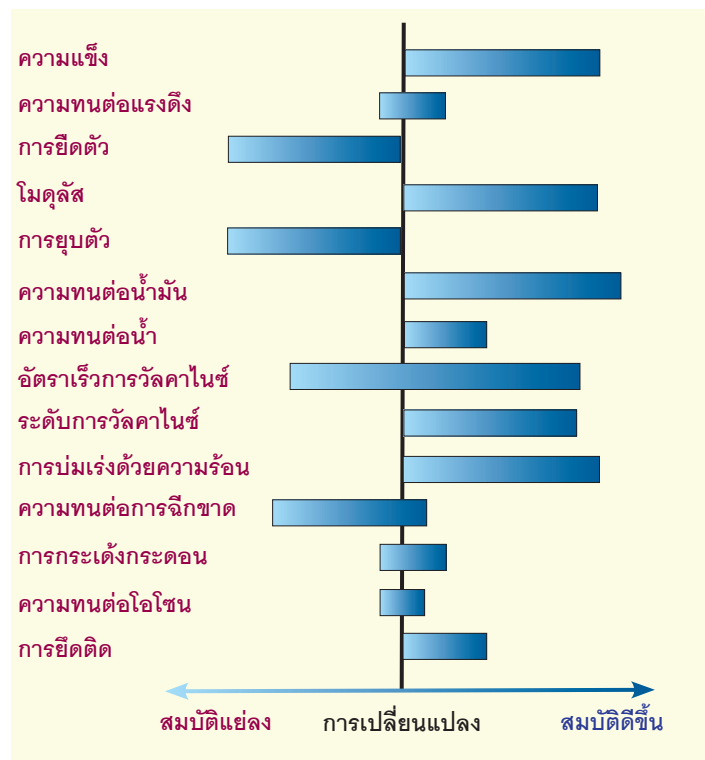
โคเอเจนต์	ชื่อทางการค้า	ชนิดของโคเอเจนต์	น้ำหนักโมเลกุล	ความสามารถในการระเหย
TMPTMA	SR-350	I	338.4	ปานกลาง
EGDMA	SR-206	I	198.2	สูง
Bismaleimide	HVA-2	I	268.3	ปานกลาง
ZDA	Saret 633	I	235.4	ต่ำ
70% 1,2 PBD	Ricon 150	II	2400	ต่ำ
90% 1,2 PBD	Ricon 151	II	3200	ต่ำ
TAC	SR-507	II	249.3	ปานกลาง
TAIC		II	249.3	ปานกลาง
TATM		II	330.3	ปานกลาง

จากข้อมูลในตารางที่ 3 จะพบว่าโคเอนไซม์ส่วนใหญ่อยู่ในสภาวะของเหลวที่มีความหนืดต่ำหรือมีความหนืดปานกลางซึ่งอาจก่อให้เกิดความยุ่งยากในการเติมลงไปในยาง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนารูปแบบของโคเอนไซม์โดยการนำโคเอนไซม์ไปผสมกับตัวพาที่เป็นของแข็ง เช่น ซิลิกา หรือเคลย์ เพื่อให้ผู้ผสมสามารถเติมสารเคมีเหล่านี้ลงไปในยางได้ง่ายยิ่งขึ้น นอกจากนี้โคเอนไซม์ส่วนใหญ่ยังได้ค่อนข้างง่าย จึงอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานได้ ดังนั้นในการพิจารณาเลือกใช้ชนิดของโคเอนไซม์ผู้ออกสูตรจึงควรพิจารณาปัจจัยหลายๆ อย่างด้วยความรอบคอบ

โคเอนไซม์ในเชิงการค้ามีอยู่มากมายหลายชนิด ผู้ออกสูตรควรตระหนักไว้ว่าโคเอนไซม์แต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติของยางแตกต่างกัน เพราะสารเคมีแต่ละชนิดนอกจากจะส่งผลต่ออัตราเร็วของการวัลคาไนซ์แตกต่างกันแล้วยังเข้าไปมีส่วนร่วมในกลไกของการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ที่ต่างกันอีกด้วย โดยทั่วไปนอกจากการออกสูตรโดยใช้โคเอนไซม์เพียงชนิดเดียวแล้ว ผู้ประกอบการยังสามารถออกสูตรที่มีการเติมโคเอนไซม์หลายชนิดลงไปได้ด้วยเช่นกัน เพราะการเติมโคเอนไซม์มากกว่า 1 ชนิดลงไปอาจส่งผลในทางเสริมหรือที่เราเรียกกันในทางเทคนิคว่า “synergistic effect” ซึ่งจะทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วยิ่งขึ้นและยางวัลคาไนซ์ที่ได้ก็จะมีสมบัติเชิงกลต่างๆ ที่ดีขึ้นตามไปด้วย

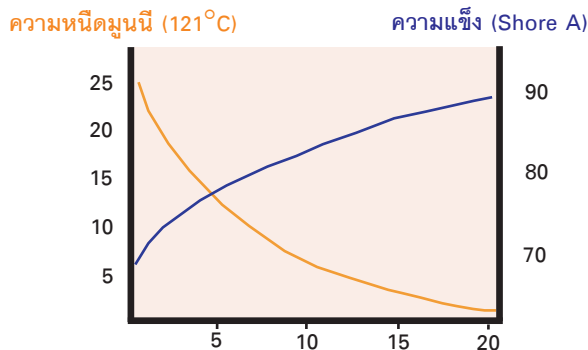
พลของโคเอนไซม์ต่อสมบัติต่างๆ ของยาง

รูปที่ 2 แสดงผลกระทบที่เป็นไปได้ของโคเอนไซม์ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของยาง อย่างไรก็ตาม ผู้ออกสูตรควรตระหนักไว้ว่าข้อมูลที่แสดงดังรูปที่ 2 นั้นเป็นเพียงข้อมูลคร่าวๆ ที่ใช้สำหรับเป็นแนวทางในการปรับปรุงสูตรเคมียางเท่านั้น ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจริงต่อสมบัติของยางจะเป็นอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น ชนิดของยาง รวมถึงชนิดและปริมาณของโคเอนไซม์ที่เติมลงไป



รูปที่ 2 พลของโคเอนไซม์ต่อสมบัติต่างๆ ของยาง [4]

นอกจากโคเอเจนต์จะส่งผลกระทบต่อลักษณะการวัลคาไนซ์และสมบัติเชิงกลต่างๆ ของยางแล้ว ยังได้มีการรายงานว่าโคเอเจนต์บางชนิดสามารถทำหน้าที่เสมือนเป็นสารช่วยในกระบวนการผลิต (processing aid) ได้อีกด้วย เพราะการเติมโคเอเจนต์ลงไปจะส่งผลทำให้ความหนืดของยางคอมพาวด์มีแนวโน้มลดลงดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 พล็อตของปริมาณโคเอเจนต์ (Saret 517) ต่อความหนืดและความแข็งของยางไนไตรล์ [3]

สรุป

แม้ว่าเพอร์ออกไซด์จะเป็นสารเคมีที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาสูงและสามารถใช้ในการวัลคาไนซ์ยางได้หลากหลายชนิด (ทั้งชนิดที่มีพันธะคู่และไม่มีพันธะคู่อยู่ภายในโมเลกุล) อย่างไรก็ตาม การวัลคาไนซ์โดยใช้เพอร์ออกไซด์อย่างเดียวอาจส่งผลทำให้ยางวัลคาไนซ์ที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ค่อนข้างต่ำ ด้วยเหตุนี้การเติมโคเอเจนต์ลงไปในส่วนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ประกอบการ เพราะโคเอเจนต์นอกจากจะมีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติในกระบวนการผลิตแล้ว (ทำให้ยางมีความหนืดต่ำลง) มันยังมีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของยางวัลคาไนซ์ โดยเฉพาะสมบัติความยืดหยุ่น โมดูลัส ความแข็ง การเสียดทานหลังกด รวมถึงสมบัติความทนต่อความร้อนและน้ำมันอีกด้วย นอกจากนี้ในบางครั้งยังพบว่าการใช้โคเอเจนต์อาจส่งผลทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลงได้ ทั้งนี้เพราะการเติมโคเอเจนต์ลงไปนอกจากจะทำให้ผลิภาพการผลิตสูงขึ้นแล้ว (ทำให้ค่าแรงงานและค่าไฟต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ลดลง) ยังอาจส่งผลทำให้ผู้ประกอบการสามารถลดปริมาณการใช้เพอร์ออกไซด์ในระบบลงได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. Dick J. S., "Rubber technology" Hanser, Munich, 2001.
2. Mark J. E., Erman B. and Eirich F. R., "Science and technology of rubber" Academic Press, New York, 1994.
3. SARTOMER, Application bulletin, "Basic principles of peroxide-coagent curing of elastomers", 4101 05/02, <http://www.sartomer.com/TechLit/4101.pdf>
4. SARTOMER, Application bulletin, "Fundamental considerations in the use of coagents in peroxide curable elastomers", 4117 02/02, <http://www.sartomer.com/TechLit/4117.pdf>
5. SARTOMER, ACS Meeting in Pittsburgh, "Peroxide/coagent symposium-cure concepts", Pennsylvania, October, 1994. <http://www.sartomer.com/TechLit/3020.pdf>
6. SARTOMER, "Coagent selection for peroxide-cured elastomers", 5520 03/05, <http://www.sartomer.com/TechLit/5520.pdf>
7. พงษ์ธร แซ่อูย. สารเคมียาง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2548.

นรรณิกา หัตถะปณิตย์

การศึกษา: ปริญญาตรี (วิศวกรรมพอลิเมอร์) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สถานที่ทำงานปัจจุบัน: ผู้ช่วยนักวิจัย ฝ่ายวิจัยและพัฒนา

ห้องปฏิบัติการวิจัยยาง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

ดร.พงษ์ธร แซ่อูย

การศึกษา: ปริญญาเอก (วิศวกรรมยาง) Loughborough University ประเทศอังกฤษ

สถานที่ทำงานปัจจุบัน: นักวิจัย ฝ่ายวิจัยและพัฒนา

ห้องปฏิบัติการวิจัยยาง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ