

สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants)

วิบูลย์สุนันท์ อัครนันทิน: และ พงษ์วิทย์ ชัยช่วย

การพัฒนาและปรับปรุงอย่างให้มีสมบัติต่าง ๆ ตามความต้องการสำหรับการนำไปใช้งานนั้น นอกจากจะต้องเลือกชนิดและเกรดของยางให้เหมาะสมตรงตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานแล้ว การเลือกใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ ให้มีความเหมาะสมกับบีบีเป็นอีกประเด็นสำคัญที่ผู้ผลิตไม่ควรมองข้าม เพราะสารเคมีบางชนิดแม้ว่าจะสามารถช่วยทำให้ยางมีสมบัติบางอย่างดีขึ้น แต่ก็อาจส่งผลกระทบต่อสมบัติอื่น ๆ ของยางด้วยลงก็เป็นได้

สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ยางแต่ละชนิดนั้น ผู้ผลิตจำเป็นต้องเติมสารเคมีต่าง ๆ มากมายหลายชนิดลงไปในการผลิตเพื่อให้ยางมีสมบัติเฉพาะบางอย่างหรือเพื่อปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของยาง เช่น

การเติมเขม่าดำและซิลิกาซึ่งเป็นสารตัวเติมเสริมแรงที่ช่วยให้ยางมีสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ดีขึ้น

- การเติมดินขาวหรือแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรงก็จะช่วยลดต้นทุน ในการผลิตและทำให้ยางคอมพาวด์ขึ้นรูปได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยเฉพาะเมื่อต้องทำการขึ้นรูปยางด้วยเทคนิคการอัดรีด (extrusion)

- การเติมซิงก์ออกไซด์ (ZnO) และกรดสเตียริกซึ่งเป็นสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน ที่ช่วยให้ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

- การเติมน้ำมันชนิดต่าง ๆ ลงไปในการผลิตเพื่อให้ยางคอมพาวด์นิ่มมากขึ้นซึ่งจะส่งผลทำให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้อย่างง่าย เหล่านี้เป็นต้น

ในทำนองเดียวกัน สำหรับการปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อการเสื่อมสภาพของยางแต่ละชนิดต่าง ๆ เช่น ยางธรรมชาตินั้น ผู้ผลิตนิยมใช้สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (antidegradant) เติมลงไปในสูตรยางเพื่อให้ยางมีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากสิ่งเร้าต่าง ๆ (เช่น ออกซิเจน ความร้อน โอโซน รวมถึงการล้าตัว) สูงขึ้น ปัจจุบัน ได้มีการผลิตและพัฒนาสารป้องกันการเสื่อมสภาพเชิงการค้าขึ้นมามากมายหลากหลายชนิด ซึ่งสารป้องกันการเสื่อมสภาพแต่ละชนิดจะทำหน้าที่หรือให้ประสิทธิภาพในการป้องกันยางที่แตกต่างกันไป ดังนั้น การเลือกชนิดและประเภทของสารป้องกันการเสื่อมสภาพสำหรับนำมาใช้งานจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องพิจารณาถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ [1]

1. ลักษณะการนำไปใช้งานของผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์ต้องถูกใช้งานภายใต้แรงกระทำแบบสถิต (static) หรือภายใต้แรงกระทำแบบพลวัต (dynamic)
2. สีของผลิตภัณฑ์ เช่น สีอ่อน หรือสีเข้ม (เช่น สีดำ)
3. สภาพแวดล้อมในระหว่างการใช้ทดสอบ (สภาวะที่ต้องสัมผัสกับออกซิเจน โอโซน ความร้อน แสงสว่าง ฝนกรด หรือตัวทำละลายอื่น ๆ)
4. ชนิดและประเภทของยาง
5. ระบบที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ (cure system)
6. ราคา (cost)

ชนิดของสารป้องกันการเสื่อมสภาพ

โดยทั่วไปนักเทคโนโลยียางจะแบ่งสารป้องกันการเสื่อมสภาพออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ โดยใช้หลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้คือ

1. การแบ่งกลุ่มตามหมู่ฟังก์ชันทางเคมี ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1.1 กลุ่มอนุพันธ์ของเอมีน (amine derivatives) เช่น IPPD, 6PPD, DTPD, 77PD เป็นต้น

1.2 กลุ่มอนุพันธ์ของฟีนอล (phenol derivatives) เช่น BPH, BHT, SPH เป็นต้น

2. การแบ่งกลุ่มตามสมบัติการเปลี่ยนสียาง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ เช่นกันคือ

2.1 สารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิดที่เปลี่ยนสียาง (discoloring)

สารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มนี้เมื่อเติมลงไปในยางจะทำให้ยางเกิดการเปลี่ยนสีและยังทำให้ยางเกิดการตกสี (staining) อีกด้วย ปัจจุบันสารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มนี้ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มย่อยอันได้แก่

2.1.1 สารป้องกันการเสื่อมสภาพที่ป้องกันยางจากทั้งออกซิเจน โอโซน และการล้าตัว (staining antioxidants with anti-fatigue and antiozonant) ซึ่งตัวอย่างหลัก ๆ ของสารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มนี้ได้แก่

N-isopropyl-N'-phenylene diamine	IPPD
N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylene diamine	6PPD
N,N'-bis-(1-ethyl-3-methylpentyl)-p-phenylenediamine	77PD
N, N'- ditotyl - p- phenylenediamine	DTPD

โดยทั่วไป ทั้ง IPPD และ 6PPD นิยมนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีการนำไปใช้งานภายใต้แรงกระทำแบบพลวัต ส่วน DTPD ซึ่งมีขนาดของโมเลกุลที่ค่อนข้างใหญ่ จะเคลื่อนตัวมาที่ผิวยางได้ยากกว่า แต่ในเวลาเดียวกันมันก็จะระเหยออกไปจากเนื้อยางได้ยากด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้ DTPD จึงเหมาะสำหรับใช้ในกรณีที่ต้องการปกป้องผลิตภัณฑ์ยางในระยะยาว (long-term performance)

2.1.2 สารป้องกันการเสื่อมสภาพที่สามารถป้องกันยางเฉพาะจากออกซิเจนและการล้าตัวเท่านั้น (staining antioxidants with anti-fatigue effects but without antiozonants effects) ซึ่งตัวอย่างหลัก ๆ ของสารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มนี้ได้แก่

octylated diphenylamine	ODPA
styrenated diphenylamine	SDPA
acetone/diphenylamine condensation product	ADPA

สารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มนี้ เช่น ODPA นอกจากจะสามารถนำไปใช้งานได้แบบเดี่ยวๆ แล้ว ยังสามารถนำไปใช้งานร่วมกับสารป้องกันการเสื่อมสภาพตัวอื่นๆ ได้ดีอีกด้วย เช่น อาจนำไปใช้ร่วมกับ MMBI (methyl-2-mercaptobenzimidazole) หรือ ZMMBI (zinc-2-methyl-mercaptobenzimidazole) โดยทั่วไปแล้ว การเติม ODPA ลงไปจะทำให้ยางทนต่อความร้อนได้ดี ซึ่งโดยปกติแล้วนิยมใช้ ODPA กับยางที่มีสีเหลืองอ่อน-สีน้ำตาลเป็นต้น

2.1.3 สารป้องกันการเสื่อมสภาพที่ทำให้ยางตกลี แต่สามารถป้องกันยางเฉพาะจากออกซิเจนเท่านั้น (staining antidegradants without anti-fatigue and antiozonant effects) ตัวอย่างของสารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มนี้ได้แก่

2,2,4-trimethyl-1,2-dihydroquinoline, polymerized	TMQ
6-ethoxy-2,2,4-trimethyl-1,2-dihydroquinoline	ETMQ

สารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มนี้ เป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการปกป้องผลิตภัณฑ์จากออกซิเจนเพียงอย่างเดียว เมื่อเปรียบเทียบกับภายในกลุ่มจะพบว่า TMQ จัดเป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิดที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันสูงสุด และเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการปกป้องให้สูงขึ้น ผู้ผลิตบางรายจึงนิยมนำ TMQ มาใช้งานร่วมกับ MMBI

2.2 สารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิดที่ไม่เปลี่ยนสียาง (non-discoloring)

สารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มนี้จะไม่ส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์และไม่ทำให้เกิดการตกลี (staining) อีกด้วย ปัจจุบัน สารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มย่อย อันได้แก่

2.2.1 สารป้องกันการเสื่อมสภาพกลุ่มที่ป้องกันทั้งออกซิเจน โอโซน และการล้าตัว (non-staining antioxidants with anti-fatigue and antiozonants effects) ตัวอย่างของสารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มนี้ ได้แก่

styrenated phenol	SPH
benzofuran derivative	BD

เมื่อเปรียบเทียบกับในกลุ่มจะพบว่า BD มีประสิทธิภาพในการปกป้องยางจากออกซิเจนสูงกว่า SPH และเนื่องจาก BD ระเหยได้ยากกว่า SPH ดังนั้น BD จึงเหมาะที่จะถูกนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า แต่ BD ก็มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานคือเหมาะสำหรับยางคลอโรพรีน (CR) คลอริเนตเตดโพลิเอทิลีน (CPE) หรือยางที่มียาง คลอโรพรีนเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วยเท่านั้น นอกจากจะช่วยปกป้องยางจากออกซิเจนแล้ว ทั้ง BD และ SPH ยังสามารถป้องกันยางจากการเกิด crazing ได้อีกด้วย

2.2.2 สารป้องกันการเสื่อมสภาพกลุ่มที่ป้องกันยางเฉพาะจากโอโซนเท่านั้น (non-staining antiozonants without anti-fatigue and antioxidant effects) ตัวอย่างของสารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มนี้ได้แก่

ไขพาราฟิน (paraffin waxes)	
ไขที่สามารถตกลีได้ (microcrystalline waxes)	
benzofuran derivative (บางชนิด)	BD
enolether	EE

สารป้องกันการเสื่อมสภาพจำพวกไขพาราฟินหรือไขที่สามารถตกลีได้นั้นจะทำหน้าที่ปกป้องผลิตภัณฑ์จากโอโซนได้โดยการซึมออกมาและเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางเคลือบบริเวณพื้นผิว ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้โอโซนเข้าไปทำปฏิกิริยากับยาง และด้วยเหตุที่สารป้องกันการเสื่อมสภาพแต่ละชนิดให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ดังนั้นในการใช้งานจึงแนะนำให้ใช้สารป้องกันการเสื่อมสภาพหลายตัวร่วมกัน เช่น ใช้สารป้องกันการเสื่อมสภาพจำพวกไขที่มีขนาดโมเลกุลเล็กและใหญ่รวมกันเพื่อเพิ่มความสามารถในการป้องกันในช่วงอุณหภูมิที่กว้างขึ้น

ส่วน EE และอนุพันธ์ของ BD บางชนิดนั้นจัดเป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพจากโอโซนสำหรับยางที่มีสีอ่อนโดย BD จะมีประสิทธิภาพในการป้องกันเฉพาะในยางคลอโรพรีนหรือยางผสมที่มียางคลอโรพรีนเป็นส่วนประกอบเท่านั้น ส่วน EE นั้น ผู้ผลิตสามารถนำไปใช้กับยางได้อื่นชนิดต่างๆ ได้ เช่น ยางธรรมชาติ (NR) ยางบิวทาไดอีน (BR) และยางสไตรีนบิวทาไดอีน (SBR) เป็นต้น

2.2.3 สารป้องกันการเสื่อมสภาพกลุ่มที่ป้องกันยางเฉพาะจากออกซิเจนเท่านั้น (non-staining antioxidants without anti-fatigue and antiozonant effects) ตัวอย่างของสารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มนี้ได้แก่

2,2'-methylene-bis-(4-methyl-6-tert.-butylphenol) BPH	
2,6-di-tert.butyl-p-cresol	BHT
sterically hindered polynuclear phenol	SKF
methyl-2-mercaptobenzimidazole	MMBI
zinc-2-methyl-mercaptobenzimidazole	ZMMBI

สารป้องกันการเสื่อมสภาพกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ของฟีนอล ซึ่งในกลุ่มนี้นั้น BPH และ SKF จัดเป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพที่มีประสิทธิภาพในการปกป้องยางจากออกซิเจนและความร้อนค่อนข้างสูง (ยังช่วยป้องกันการเกิด crazing ได้ด้วย) โดยที่ไม่ทำให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป อย่างไรก็ตาม แม้ว่าสารป้องกันการเสื่อมสภาพทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวจะสามารถปกป้องผลิตภัณฑ์จากออกซิเจนและความร้อนได้ดี แต่ก็ไม่สามารถปกป้องผลิตภัณฑ์จากการแตกร้าวเนื่องจากการพับงอ (flex cracking) และการแตกร้าวเนื่องจากโอโซน (ozone cracking) ได้ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าสารป้องกันการเสื่อมสภาพกลุ่มนี้จะจัดอยู่ในกลุ่มที่ไม่เปลี่ยนสียาง แต่ถ้าหากผลิตภัณฑ์ที่เติม BPH ถูกนำไปใช้งานภายใต้สภาวะที่มีการสัมผัสกับแสงสว่างมากๆ ผลิตภัณฑ์นั้นก็อาจเปลี่ยนเป็นสีชมพูได้ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะไม่เกิดกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิด SKF

โดยทั่วไปแล้ว สารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิดที่เปลี่ยนสียางอย่างรุนแรง (strong discoloring) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ของเอมีน จะมีประสิทธิภาพในการป้องกันที่สูงกว่าสารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิดที่ไม่เปลี่ยนสียาง (non-discoloring) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ของฟีนอล

ในปี ค.ศ. 1997 ได้มีการศึกษาอิทธิพลของการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิดที่เปลี่ยนสียางต่อสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ [3] โดยเลือกเฉพาะสารป้องกันการเสื่อมสภาพใน

กลุ่มที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันที่สูง (คือกลุ่มอนุพันธ์ของเอมีน) ซึ่งสามารถป้องกันการเสื่อมสภาพทั้งจากออกซิเจน โอโซน และการล้าตัวมาใช้ในการศึกษาจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ IPPD, 6PPD, 77PD และ DTPD

ตารางที่ 1 แสดงสูตรการผสมเคมีที่ใช้ในการศึกษาหลังจากผสมเคมียางเรียบร้อยแล้วจึงได้นำยาง คอมพาวด์ไปทำการขึ้นรูปและวัลคาไนซ์ ทำยสุดท้ายจึงนำยางวัลคาไนซ์ที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ทั้งก่อนการบ่มและหลังการบ่มแรงด้วยก๊าซออกซิเจนที่ความเข้มข้น 21 บาร์ อุณหภูมิ 70°C เป็นระยะเวลา 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สูตรการผสมเคมีที่ใช้ในการศึกษา [3]

ส่วนผสม	ปริมาณ (phr*)
NR	100
Zinc Oxide	5.0
Stearic Acid	3.0
Black N220	48.0
Aromatic Mineral Oil	2.5
Ozone Wax	1.0
Sulfur	2.5
Accelerator CBS	0.5
Antioxidants :IPPD, 6PPD, 77PD, DTPD	2.0

*phr : parts per hundred of rubber (ส่วนในร้อยส่วนของยางโดยน้ำหนัก)

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 จะเห็นว่าในสภาวะที่ยางไม่ได้รับการบ่มแรง การเติมสารป้องกัน การเสื่อมสภาพทั้ง 4 ชนิดลงไปไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าสารป้องกันการเสื่อมสภาพทั้ง 4 ชนิดมีประสิทธิภาพในการปกป้องยางจากออกซิเจนและความร้อนที่แตกต่างกัน กล่าวคือ สำหรับชิ้นทดสอบกลุ่มที่ไม่มีการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (blank) นั้น เมื่อทำการบ่มแรงภายใต้บรรยากาศออกซิเจนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นระยะเวลา 7 วัน จะส่งผลทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ของยางด้อยลงอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อทำการบ่มแรงชิ้นทดสอบ เป็นระยะเวลา

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่ได้จากการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิดต่างๆ [3]

สมบัติของยางวัลคาไนซ์	Blank	IPPD	6PPD	77PD	DTPD
ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)					
ก่อนการบ่มแรง	25.1	25.6	25.9	25.0	26.1
บ่มแรง 7 วัน	2.6	18.7	19.4	15.7	17.1
บ่มแรง 14 วัน	-	12.8	12.8	6.3	13.0
บ่มแรง 21 วัน	-	7.1	6.5	3.6	8.9
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)					
ก่อนการบ่มแรง	580	550	580	540	610
บ่มแรง 7 วัน	115	460	510	480	530
บ่มแรง 14 วัน	-	400	450	290	485
บ่มแรง 21 วัน	-	280	280	160	395
โมดูลัส ณ 300% ของการยืดตัว (MPa)					
ก่อนการบ่มแรง	11.3	12.5	11.7	12.5	10.3
บ่มแรง 7 วัน	-	12.8	11.9	10.6	9.9
บ่มแรง 14 วัน	-	10.6	9.5	-	8.8
บ่มแรง 21 วัน	-	-	-	-	7.3
ค่าความแข็ง ณ อุณหภูมิ 20°C (Shore A)					
ก่อนการบ่มแรง	61	63	63	65	62
บ่มแรง 7 วัน	72	68	65	65	63
บ่มแรง 14 วัน	-	69	68	65	64
บ่มแรง 21 วัน	-	69	68	79	65

ที่นานขึ้น (มากกว่า 7 วัน) จะเห็นว่าขึ้นทดสอบเกิดการเสื่อมสภาพไปมากจนไม่สามารถทดสอบสมบัติแรงดึงได้ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการปกป้องยางของสารป้องกันการเสื่อมสภาพทั้ง 4 ชนิดโดยพิจารณาจากสมบัติแรงดึง (ความทนทานต่อแรงดึง, การยืดตัว ณ จุดขาด และโมดูลัส) พบว่า สารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิด IPPD และ 6PPD นั้นมีประสิทธิภาพในการปกป้องยางที่ดีในช่วงเริ่มต้นของการบ่มแรง ส่วนชนิด DTPD นั้นมีประสิทธิภาพในการปกป้องยางต่อการเสื่อมสภาพที่ดีในระยะยาว อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพในการป้องกันที่สูงสุดจึงได้มีการแนะนำให้ผู้ผลิตใช้สารป้องกันการเสื่อมสภาพร่วมกันหลายชนิดแทนการใช้สารป้องกันการเสื่อมสภาพเพียงชนิดเดียว เช่น นิยมใช้ 6PPD และ 77PD ร่วมกันในอัตราส่วน 2 : 1 เป็นต้น [1]

เมื่อพิจารณาสมบัติความแข็งของขึ้นทดสอบ ในภาพรวมพบว่าการบ่มแรงด้วยออกซิเจนและความร้อน จะส่งผลทำให้ขึ้นทดสอบทั้งหมดมีความแข็งสูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งจะเห็นได้อย่างชัดเจนในขึ้นทดสอบกลุ่มที่ไม่มีการเติม

สารป้องกันการเสื่อมสภาพ ผลการทดลองชี้ชัดว่าการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลงไปจะช่วยปกป้องยางจากการเสื่อมสภาพและทำให้ยางสามารถรักษาสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ได้ยาวนานมากยิ่งขึ้น

นอกจากการการศึกษาอิทธิพลของการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิดที่เปลี่ยนสียางแล้วยังได้มีการศึกษาผลของสารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิดที่ไม่เปลี่ยนสียาง (ส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ของฟีนอล) ต่อสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ [3] โดยเลือกเฉพาะกลุ่มที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพจากออกซิเจนเท่านั้นมาใช้ในการศึกษาจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ BPH และ SKF ซึ่งสูตรการผสมเคมียางที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 หลังจากผสมเคมียางเรียบร้อยแล้ว จึงได้นำยางคอมพาวด์ไปทำการขึ้นรูปและวัลคาไนซ์ ทำยสุดท้ายจึงนำยางวัลคาไนซ์ที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ทั้งก่อนการบ่มแรงและหลังการบ่มแรงต่อไป ตารางที่ 4 แสดงผลของสารป้องกันการเสื่อมสภาพ BPH และ SKF ต่อสมบัติเชิงกลของยาง

ตารางที่ 3 สูตรการผสมเคบียางที่ใช้ในการศึกษา [3]

ส่วนผสม	ปริมาณ (phr*)
NR	100
Zinc Oxide	10.0
Stearic Acid	1.0
Blanc Fixe N	60.0
Titanium Dioxide	10.0
Sulfur	2.0
TMTD	1.0
Antioxidants : BPH and SKF	1.0

*phr : parts per hundred of rubber (ส่วนในร้อยส่วนของยางโดยน้ำหนัก)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4 จะเห็นว่าในสภาวะที่ยางไม่ได้รับการบ่มเร่งรวมถึงช่วงระยะเริ่มต้นของการบ่มเร่งนั้น (ในช่วง 3 วันแรก) การเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพทั้ง 2 ชนิดลงไปโดยไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการบ่มเร่งให้สูงขึ้นจะพบว่าสารป้องกันการเสื่อมสภาพทั้ง 2 ชนิดจะช่วยปกป้องยางจากการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากออกซิเจนและความร้อนโดยสารป้องกัน การเสื่อมสภาพทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพในการปกป้องยางแตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อขึ้นทดสอบได้รับการบ่มเร่งเป็นระยะเวลานานขึ้น (มากกว่า 3 วัน) พบว่าขึ้นทดสอบกลุ่มที่ไม่มีการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ จะเกิดการเสื่อมสภาพไปมากจนไม่สามารถทดสอบสมบัติแรงดึงได้ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการปกป้องยางของสารป้องกันการเสื่อมสภาพทั้ง 2 ชนิดโดยพิจารณาจากสมบัติแรงดึง (ความทนทานต่อแรงดึง, การยืดตัว ณ จุดขาด และโมดูลัส) พบว่า สารป้องกันการเสื่อมสภาพกลุ่มที่ไม่เปลี่ยนสียางชนิด BPH มีประสิทธิภาพในการปกป้องยางสูงกว่า SKF

ปริมาณของสารป้องกันการเสื่อมสภาพที่ควรใช้

นอกจากการเลือกใช้ชนิดของสารป้องกันการเสื่อมสภาพให้เหมาะสมกับการใช้งานแล้ว ปริมาณของ สารป้องกันการเสื่อมสภาพก็ส่งผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการปกป้องยางด้วยเช่นกัน โดยทั่วไป ผู้ผลิตนิยมทำการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลงไปปริมาณตั้งแต่ 1-3 phr ตัวอย่างเช่น สารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มที่เป็นอนุพันธ์ของเอมีนส่วนใหญ่ จะให้ประสิทธิภาพในการปกป้องยางต่อออกซิเจนได้ดีที่สุดเมื่อใช้ในปริมาณ 0.5 phr และให้ประสิทธิภาพในการปกป้องยางต่อโอโซนได้ดีที่สุดเมื่อปริมาณในการนำไปใช้งานอยู่ในช่วง 2-4 phr ส่วนสารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มที่เป็นอนุพันธ์ของฟีนอลนั้น ส่วนใหญ่จะให้ประสิทธิภาพในการปกป้องผลิตภัณฑ์ได้ดีที่สุดในช่วง 0.5-1.0 phr [1]

วินัสรินทร์ อันธ์ตัย:

การศึกษา : ปริญญาโท วัสดุศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีเซรามิกส์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน : ผู้ช่วยนักวิจัย ฝ่ายวิจัยและพัฒนา
เทคโนโลยีโพลีเมอร์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ที่ได้จากการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพชนิดต่างๆ [3]

สมบัติของยางวัลคาไนซ์	Blank	BPH	SKF
ความทนทานต่อแรงดึง(MPa)			
ก่อนการบ่มเร่ง	20.8	22.9	21.7
บ่มเร่ง 1 วัน	17.0	19.5	17.9
บ่มเร่ง 3 วัน	13.9	17.8	15.5
บ่มเร่ง 7 วัน	-	17.1	14.8
บ่มเร่ง 14 วัน	-	16.9	9.1
บ่มเร่ง 21 วัน	-	13.0	-
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)			
ก่อนการบ่มเร่ง	715	755	745
บ่มเร่ง 1 วัน	665	680	665
บ่มเร่ง 3 วัน	675	635	620
บ่มเร่ง 7 วัน	-	640	640
บ่มเร่ง 14 วัน	-	640	570
บ่มเร่ง 21 วัน	-	620	-
โมดูลัส ณ 450% ของการยืดตัว (MPa)			
ก่อนการบ่มเร่ง	7.2	6.1	5.7
บ่มเร่ง 1 วัน	7.4	6.9	6.9
บ่มเร่ง 3 วัน	6.2	7.7	7.4
บ่มเร่ง 7 วัน	-	7.7	6.6
บ่มเร่ง 14 วัน	-	8.3	5.7
บ่มเร่ง 21 วัน	-	7.6	-
ค่าความแข็ง ณ อุณหภูมิ 20 C (Shore A)			
ก่อนการบ่มเร่ง	52	51	51
บ่มเร่ง 1 วัน	52	52	53
บ่มเร่ง 3 วัน	48	54	53
บ่มเร่ง 7 วัน	-	53	51
บ่มเร่ง 14 วัน	-	53	47
บ่มเร่ง 21 วัน	-	51	-

เอกสารอ้างอิง

- 1.Dick, J.S. Rubber technology compounding testing for performance. Cincinnati : Hanser Gardner Publications Inc., 2001.
- 2.พงษ์ธร แซ่ฮุย. สารเคมียาง. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ(MTEC), 2548
- 3.Reinartz, K. S. and Ruetz, L. W. "Effective protection of Natural Rubber", Newsletter of the Rubber Foundation Information Center for Natural Rubber, December 1997.
- 4.Hofmann, W. "Rubber Technology Handbook", Hanser Publishers, Munich Vienna, New York : 1989, 268-269.
- 5.Vinod, V.S., Varghese, S. and Kuriakose, B. "Degradation behaviors of natural rubber-aluminium powder composite: effect of heat, ozone and high energy radiation", *Polymer Degradation and Stability*, **75**, (2002).