อิทธิพลของสารป้องกันการเกาะติดผิวแม่พิมพ์ต่อสมบัติของยางธรรมชาติและยางคลอโรพรีน

Effect of Mold Releasing Agent on Properties of Natural Rubber (NR) and Chloroprene Rubber (CR)

กรรณิกา หัตถะปะนิตย์[1,2] ฐานันดร วันทะนะ[1,2] ชาคริต สิริสิงห์[2,3] และพงษ์ธร แซ่อุย[1,2]

[1]ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

[2]ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

[3]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

Kannika Hatthapanit[1,2] Thanandon Wantana[1,2] Chakrit Sirisinha[2,3] and Pongdhorn Sae-oui[1,2]*

[1]National Metal and Materials Technology Center, 114 Thailand Science Park, Paholyothin Rd., Klong 1, Klong-Luang, Pathumthani 12120, Thailand.

[2]Research and Development Centre for Thai Rubber Industry, Faculty of Science, Mahidol University, Salaya, Phutthamonthon, Nakorn Phathom, 73170, Thailand.

[3]Deparment of Chemistry, Faculty of Science, Mahidol University, Salaya, Phutthamonthon, Nakorn Phathom, 73170, Thailand.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อศึกษาอิทธิพลของสารป้องกันการเกาะติดผิวแม่พิมพ์ต่อสมบัติต่าง ๆ ของยางธรรมชาติ (NR) และยางคลอโรพรีน (CR) โดยได้ดำเนินการนำสารป้องกันการเกาะติดผิวแม่พิมพ์ที่มีชื่อทางการค้าว่า MOLD FREE 935/P ไปผสมกับยางธรรมชาติและยางของคลอโรพรีนในเครื่องผสมระบบปิด (ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณของ MOLD FREE 935/P จาก 0 ถึง 6 phr) จากนั้นจึงนำยางคอมพาวด์ที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ต่อไป จากการศึกษาพบว่าการเติม MOLD FREE 935/P ส่งผลให้พลังงานที่ใช้ในการผสมและความหนืดของทั้งยางธรรมชาติและยางคลอโรพรีนลดลงเล็กน้อย แม้ว่า MOLD FREE 935/P จะส่งผลทำให้ยางธรรมชาติมีระยะเวลาสกอร์ชและระยะเวลาในการคงรูปที่เหมาะสมลดลง แต่เนื่องจาก MOLD FREE 935/P ไม่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยง ดังนั้น MOLD FREE 935/P จึงไม่ได้ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของยางธรรมชาติ ยกเว้นสมบัติความทนทานต่อความร้อนที่พบว่ามีแนวโน้มด้อยลงตามปริมาณของ MOLD FREE 935/P ในทางตรงกันข้าม สำหรับในกรณีของยางคลอโรพรีน กลับพบว่า MOLD FREE 935/P แม้ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาสกอร์ชและระยะเวลาในการคงรูปของยาง แต่ก็ส่งผลทำให้ระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ด้วยเหตุนี้ การเพิ่มปริมาณของ MOLD FREE 935/P จึงส่งผลทำให้ยางคลอโรพรีนมีความยืดหยุ่นและสมบัติเชิงกลในภาพรวมลดลงเล็กน้อย อย่างไรก็ดี ผลการทดลองบ่งชี้ว่า MOLD FREE 935/P ส่งผลทำให้ยางคลอโรพรีนมีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนสูงขึ้นเล็กน้อย

คำสำคัญ : สารป้องกันการเกาะติดผิวแม่พิมพ์, สมบัติเชิงกล, ยางธรรมชาติ, ยางคลอโรพรีน

***Corresponding author.** E-mail: Pongdhor@mtec.or.th

Abstract

This research aims to study the effect of mold releasing agent on properties of natural rubber (NR) and chloroprene rubber (CR). Experiment was carried out by mixing a commercial mold releasing agent, namely MOLD FREE 935/P, with the rubbers (the amount of MOLD FREE 935/P was varied from 0 to 6 phr). The properties of the compounds were subsequently determined. The results reveal that, regardless of rubber type, MOLD FREE 935/P gives rise to the slight reduction of both mixing energy and compound viscosity. Despite the reduction of both scorch and optimum curing times, the presence of MOLD FREE 935/P shows no significant effect on crosslink density of natural rubber. Most mechanical properties of natural rubber are therefore little affected by the addition of MOLD FREE 935/P. Exception is given to the aging resistance in which it is slightly impaired with increasing MOLD FREE 935/P loading. On the contrary, for chloroprene rubber, even though both scorch and optimum curing times are independent of MOLD FREE 935/P, its crosslink density is significantly reduced with increasing MOLD FREE 935/P loading. The overall mechanical properties and degree of elasticity of chloroprene rubber therefore tend to decrease with increasing MOLD FREE 935/P loading. Surprisingly the results indicate that MOLD FREE 935/P somehow improves the thermal aging resistance of the chloroprene rubber.

Keywords : Mold releasing agent, Mechanical properties, Natural rubber, Chloroprene rubber

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าการเกาะติดผิวแม่พิมพ์ของยางนับเป็นปัญหาหลักที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการขึ้นรูปยางโดยใช้แม่พิมพ์ ซึ่งปัญหาดังกล่าวจะส่งผลทำให้การนำผลิตภัณฑ์ยางออกจากเบ้าพิมพ์เป็นไปด้วยความยากลำบาก โดยทั่วไป ปัญหาการเกาะติดระหว่างยางกับผิวแม่พิมพ์มักจะพบในการขึ้นรูปยางที่มีความเป็นขั้วสูงเช่น ยางคลอโรพรีน หรือพบในการขึ้นรูปยางที่มีการเติมซิลิกาหรือสารตัวเติมที่มีขั้วลงไปในปริมาณสูง [1] ด้วยเหตุนี้ เพื่อเป็นการป้องกันปัญหาดังกล่าวผู้ประกอบการส่วนใหญ่จึงนิยมทำการฉีดพ่นสารหล่อลื่น เช่น น้ำสบู่หรือสารแขวนลอยของซิลิโคนลงไปที่ผิวแม่พิมพ์ก่อนที่จะทำการขึ้นรูปยางในแต่ละครั้ง ซึ่งการพ่นสารหล่อลื่นนอกจากจะทำให้ขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นไปได้ล่าช้ามากยิ่งขึ้นแล้ว ยังส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปได้มีพื้นผิวที่ลื่นอีกด้วย นอกจากนี้ ปัญหาอีกอย่างที่มักพบในการขึ้นรูปยางโดยใช้แม่พิมพ์คือเรื่องความสกปรกของแม่พิมพ์หลังจากที่ทำการขึ้นรูปยางเป็นระยะเวลานานที่เรียกว่า “mold fouling” [2-5] ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นบนผิวแม่พิมพ์ดังกล่าวจะทำให้พื้นผิวผลิตภัณฑ์ขาดความสวยงาม บริษัทผู้ผลิตสารเคมีบางรายจึงได้คิดค้นและพัฒนาสารป้องกันการเกาะติดผิวแม่พิมพ์ชนิดใหม่ขึ้นมา เมื่อทำการเติมสารเคมีชนิดนี้ลงไปในสูตรเคมียาง (ในขั้นตอนของการผสม) สารเคมีเหล่านี้นอกจากจะสามารถทำหน้าที่ช่วยป้องกันหรือลดปัญหาการเกาะติดกันระหว่างยางกับผิวแม่พิมพ์ในขั้นตอนของการขึ้นรูปแล้ว ยังสามารถลดการสะสมของคราบสกปรกบนผิวแม่พิมพ์ได้อีกด้วย อย่างไรก็ดี จากการสืบค้นข้อมูล ยังไม่พบว่ามีการรายงานผลกระทบของสารป้องกันการเกาะติดผิวแม่พิมพ์ต่อสมบัติต่าง ๆ ของยาง ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์หลักเพื่อศึกษาอิทธิพลของสารป้องกันการเกาะติดผิวแม่พิมพ์ที่มีชื่อทางการค้าว่า MOLD FREE 935/P ต่อสมบัติของยางธรรมชาติซึ่งจัดเป็นยางที่ไม่มีขั้วและยางคลอโรพรีนซึ่งจัดเป็นยางที่มีความเป็นขั้วปานกลางและเป็นยางที่มักพบปัญหาในเรื่องของการเกาะติดผิวแม่พิมพ์ในระหว่างกระบวนการผลิต

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ

ยางธรรมชาติ (NR) เกรด STR 5L ผลิตโดยบริษัทยูเนี่ยนรับเบอร์โพรดักส์ คอร์ปอเรชัน จำกัด ยางคลอโรพรีน (CR, 44-ML1+4@100˚C) ผลิตโดยบริษัท DuPont Dow Elastomers จำกัด สารเคมีชนิดอื่น ๆ ที่ใช้เป็นองค์ประกอบในการผสมเคมียาง ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ได้รับจากบริษัท Konoshima Chemicals Co., Ltd. กรดสเตียริก (Stearic acid) ซิงก์ออกไซด์ (ZnO) และกำมะถัน (S_8) ได้รับจากบริษัท เคมมิน คอร์ปอเรชัน (ประเทศไทย) จำกัด เอทธิลีนไทโอยูเรีย (ETU 22S) ได้รับจากบริษัท Kawakushi Co., Ltd. บิวทิลเบนโซไทอะโซลซัลฟีนาไมด์ (Santocure-TBBS) และเตตระเบนซิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (Perkacit-TBzTD) ได้รับจากบริษัท Reliance Technochem (Flexsys) Co., Ltd. สารป้องกันการเกาะติดผิวแม่พิมพ์ (MOLD FREE 935/P) ได้รับจากบริษัท Texxco Enterprise Co., Ltd. ส่วนซิลิกา (TokuSil 255s) และพอลิเอทธิลีนไกลคอล (PEG) ผลิตโดยบริษัทโตกุยามาสยามซิลิกา จำกัด และบริษัท Condea Chemica D.A.C. ตามลำดับ

2.2 การเตรียมและทดสอบสมบัติของยางคอมพาวด์

ตารางที่ 1 แสดงสูตรเคมีที่ใช้ในการเตรียมยางคอมพาวด์ หลังจากเตรียมองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการผสมเคมียางเรียบร้อยแล้ว ได้ดำเนินการผสมโดยใช้เครื่องผสมระบบปิด (Brabender Plasticorder) ตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นของห้องผสมไว้ที่ 60˚C ความเร็วรอบในการหมุนของโรเตอร์ที่ 40 รอบต่อนาที และใช้ fill factor เท่ากับ 0.7 โดยมีลำดับขั้นตอนของการผสมดังต่อไปนี้

1. สูตรยางธรรมชาติ : เริ่มด้วยการใส่ยางธรรมชาติเข้าไปในเครื่องผสม บดให้ยางนิ่มเป็นเวลา 1 นาที จึงเติมซิงก์-ออกไซด์และกรดสเตียริกลงไปจากนั้นจึงเติมซิลิกาจำนวนครึ่งหนึ่ง (15 phr) พร้อมทั้งพอลิเอทธิลีนไกลคอลลงไปในนาทีที่ 3 ผสมต่อจนถึงนาทีที่ 6 จึงเติม MOLD FREE 935/P และซิลิกาส่วนที่เหลือ (15 phr) ลงไป และท้ายสุดจึงทำการเติมบิวทิลเบนโซไทอะโซลซัลฟีนาไมด์ เตตระเบนซิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ และกำมะถันลงไปในนาทีที่ 10 แล้วผสมต่ออีกเป็นเวลา 2 นาทีก่อนที่จะนำยางคอมพาวด์ออกจากเครื่องผสม

2. สูตรยางคลอโรพรีน : เริ่มด้วยการใส่ยางคลอโรพรีนเข้าในเครื่องผสม จากนั้นจึงเติมแมกนีเซียมออกไซด์และกรดสเตียริกลงไปในนาทีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อผสมต่อจนถึงนาทีที่ 4 จึงเติมซิลิกาจำนวนครึ่งหนึ่ง (15 phr) และพอลิเอทธิลีนไกล-คอลลงไปในยาง เมื่อผสมจนถึงนาทีที่ 7 จึงเติม MOLD FREE 935/P และซิลิกาส่วนที่เหลือ (15 phr) ลงไป ผสมต่อจนถึงนาทีที่ 11 จึงเติมซิงก์ออกไซด์ เอทธิลีนไทโอยูเรีย บิวทิลเบนโซไทอะโซลซัลฟีนาไมด์ และกำมะถัน แล้วผสมต่ออีกเป็นเวลา 2 นาที จึงนำยางคอมพาวด์ที่ได้ออกจากเครื่องผสม

หลังจากเสร็จสิ้นการผสม นำยางคอมพาวด์ที่ได้ไปรีดให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Collin W 100 T) จากนั้นจึงแบ่งยางคอมพาวด์ออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกนำไปวัดค่าความหนืดมูนนี่ด้วยเครื่อง Mooney viscometer (TechPro visc TECH+) ที่อุณหภูมิ 100 ˚C ตามมาตรฐาน ASTM D1646-87 ส่วนที่ 2 นำไปหาค่าระยะเวลาสกอร์ช (Scorch time, t_S1) ค่าระยะเวลาในการคงรูปที่เหมาะสม (Optimum curing time, t_C90) ค่าแรงบิดต่ำสุด (Minimum torque, M_L) และค่าแรงบิดสูงสุด (Maximum torque, M_H) ด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR TechPRO MD+) ที่อุณหภูมิ 155˚C และส่วนที่ 3 นำไปขึ้นรูปสำหรับทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของยางคงรูปต่อไป

ตารางที่ 1 สูตรเคมีที่ใช้ในการเตรียมยางคอมพาวด์

องค์ประกอบ	ปริมาณ (phr : part per hundred of rubber)									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
ยางธรรมชาติ (NR)	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0
ยางคลอโรพรีน (CR)	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
ซิงก์ออกไซด์ (ZnO)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4
กรดสเตียริก	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ซิลิกา (TokuSil 255s)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
โพลีเอทธิลีนไกลคอล (PEG)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
MOLD FREE 935/P	0	1.5	3	4.5	6	0	1.5	3	4.5	6
บิวทิลเบนโซไทอะโซลซัลฟีนาไมด์ (TBBS)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
เอทธิลีนไทโอยูเรีย (ETU)	0	0	0	0	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
เตตระเบนซิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (TBzTD)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0	0	0	0	0
กำมะถัน (S_8)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

2.3 การเตรียมและทดสอบสมบัติของยางคงรูป

นำยางคอมพาวด์ส่วนที่ 3 ไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่อุณหภูมิ 155 ˚C ตามระยะเวลาในการคงรูปที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำยางคงรูปที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ สมบัติแรงดึง (ความทนทานต่อแรงดึง 100% โมดูลัส และการยืดตัว ณ จุดขาด) และความทนทานต่อการฉีกขาดโดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal testing machine, Instron 5566 Series) ตามมาตรฐาน ISO 37 (ดายชนิดที่ 1) และ ISO 34 (ดาย C) ตามลำดับ ความแข็งตามมาตรฐาน ISO 7619 Part 1 โดยใช้เครื่องดูโรมิเตอร์ (Wallace Shore A Durometer) การกระเด้งกระดอนตามมาตรฐาน ISO 4662 โดยใช้เครื่องดันลอปทริปโซมิเตอร์ (Dunlop tripsometer, Toyoseiki 221) ความต้านทานต่อการขัดถูตามมาตรฐาน DIN 53510 โดยใช้เครื่องทดสอบการขัดถู (Zwick Abrasion tester) และสมบัติความทนทานต่อการเสื่อมสภาพตามมาตรฐาน ISO 188 โดยนำชิ้นทดสอบไปทำการบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 ˚C เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึงเปรียบเทียบกับสมบัติของชิ้นทดสอบที่ไม่ได้รับการบ่มเร่ง และแสดงผลในรูปของสมบัติสัมพัทธ์ (ดังแสดงในสมการที่ 1)

$$\text{สมบัติสัมพัทธ์} = P_a / P_i \quad \text{...(1)}$$

เมื่อ Pa คือ สมบัติของยางคงรูปหลังการบ่มเร่ง

Pi คือ สมบัติของยางคงรูปก่อนการบ่มเร่ง

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 พฤติกรรมการผสม ความหนืดมูนนี่ และลักษณะการคงรูปของยาง

ผลของปริมาณ MOLD FREE 935/P ต่อค่าพลังงานที่ใช้ในการผสม ความหนืดมูนนี่ และลักษณะการคงรูปของยาง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 จากตารางจะเห็นได้ว่าการเพิ่มปริมาณ MOLD FREE 935/P ส่งผลทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการผสมมีแนวโน้มลดลงอย่างช้า ๆ ทั้งในกรณีของยางธรรมชาติและยางคลอโรพรีน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในระหว่างที่ทำการผสม ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการขัดสี (frictional heat) จะทำให้ยางที่อยู่ในห้องผสมมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีค่าสูงกว่าจุดหลอมเหลวของ MOLD FREE 935/P ซึ่งมีค่าอุณหภูมิของจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วงประมาณ 60-70 ˚C [6] เมื่อ MOLD FREE 935/P เกิดการหลอมเหลวและละลายเข้าไปอยู่ในเนื้อยางก็จะส่งผลทำให้ยางมีความหนืดลดต่ำลง ด้วยเหตุนี้ ทั้งค่าความหนืดและพลังงานที่ใช้ในการผสมจึงมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณของ MOLD FREE 935/P หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ MOLD FREE 935/P นอกจากจะทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเกาะติดผิวแม่พิมพ์แล้ว ยังสามารถทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์ของยางได้ด้วย

ตารางที่ 2 ผลของ MOLD FREE 935/P ต่อพฤติกรรมการผสม ความหนืดมูนนี่ และลักษณะการคงรูป

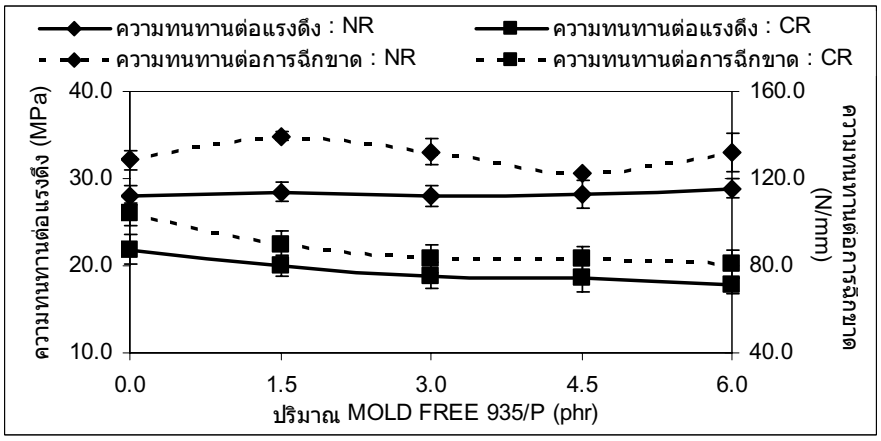
		ปริมาณของ MOLD FREE 935/P (phr)				
		0.0	1.5	3.0	4.5	6.0
NR	พลังงาน (x10^5J)	4.3	3.9	4.0	3.9	3.8
	ค่าความหนืดมูนนี่ (MU)	61.0	60.5	59.6	52.5	49.0
	t_s 1 (min)	2.55	2.40	2.13	1.45	1.28
	t_c 90 (min)	4.32	4.12	3.41	3.13	2.56
	ผลต่างแรงบิด (dN.m)	2.92	2.88	2.85	2.89	2.80
CR	พลังงาน (x10^5J)	5.70	5.66	5.48	5.46	5.35
	ค่าความหนืดมูนนี่ (MU)	115.8	102.6	101.6	99.1	100.8
	t_s 1 (min)	3.10	3.07	3.33	3.21	3.33
	t_c 90 (min)	22.29	22.02	22.26	22.19	22.30
	ผลต่างแรงบิด (dN.m)	4.07	3.81	3.77	3.72	3.71

เมื่อพิจารณาผลของ MOLD FREE 935/P ต่อลักษณะการคงรูปของยางคอมพาวด์ พบว่า MOLD FREE 935/P ส่งผลกระทบต่อค่าระยะเวลาสกอร์ชและระยะเวลาในการคงรูปที่เหมาะสมของยางธรรมชาติและยางคลอโรพรีนแตกต่างกัน กล่าวคือ ในกรณีของยางธรรมชาติพบว่าการเพิ่มปริมาณ MOLD FREE 935/P ส่งผลทำให้ทั้งระยะเวลาสกอร์ชและระยะเวลาในการคงรูปที่เหมาะสมมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่ในกรณีของยางคลอโรพรีน กลับพบว่าการเพิ่มปริมาณของ MOLD FREE 935/P ไม่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อทั้งระยะเวลาสกอร์ชและระยะเวลาในการคงรูปที่เหมาะสมของยางแต่อย่างใด อย่างไรก็ดี แม้ว่าการเติม MOLD FREE 935/P จะส่งผลทำให้ยางธรรมชาติเกิดการคงรูปได้เร็วขึ้น แต่จากผลการทดสอบในตารางที่ 2 ก็แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณของ MOLD FREE 935/P กลับส่งผลทำให้ค่าผลต่างแรงบิด (M_H - M_L) ของทั้งยางธรรมชาติและยางคลอโรพรีนมีแนวโน้มลดลงอย่างช้า ๆ เนื่องจากเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าค่าผลต่างแรงบิดที่วัดได้จากเครื่อง Moving die rheometer (MDR) จะแปรผันโดยตรงกับระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงของยาง [7, 8] ดังนั้นผลการทดลองดังกล่าวจึงบ่งชี้ว่า MOLD FREE 935/P ส่งผลทำให้ทั้งยางธรรมชาติและยางคลอโรพรีนมีระดับของการคงรูป (State of cure) หรือมีระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงลดลงเล็กน้อย อย่างไรก็ดี จากการสังเกตจะพบว่า MOLD FREE 935/P ส่งผลกระทบต่อ

ระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงของยางธรรมชาตินอ้ยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับยางคลอโรพรีน เพราะจากข้อมูลพบว่าการเติม MOLD FREE 935/P ลงไป 6 phr จะทำให้ค่าผลต่างแรงบิดของยางธรรมชาติลดลงเพียงร้อยละ 4.1 เท่านั้น ในขณะที่ทำให้ค่าผลต่างแรงบิดของยางคลอโรพรีนลดลงร้อยละ 8.9

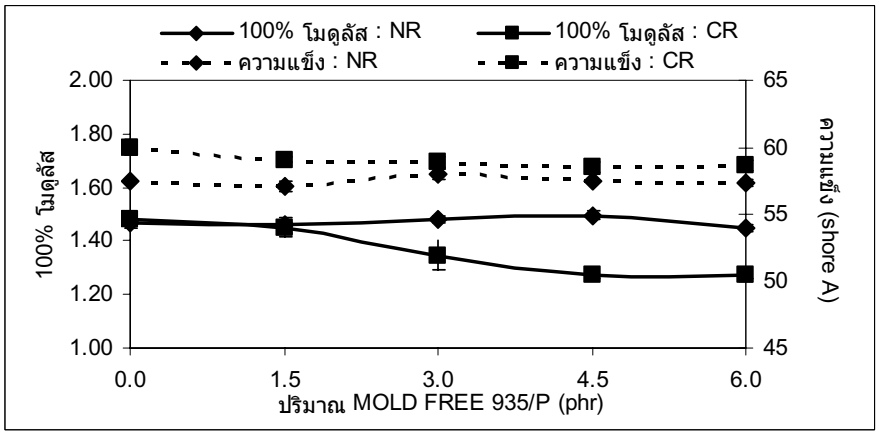
3.2 สมบัติเชิงกลของยางคงรูป

ภาพที่ 1 แสดงผลของปริมาณของ MOLD FREE 935/P ต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงและความทนทานต่อการฉีกขาดของยาง จากภาพพบว่าการเพิ่มปริมาณของ MOLD FREE 935/P ไม่ได้ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อทั้งค่าความทนทานต่อแรงดึงและความทนทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติ อย่างไรก็ดี ในกรณีของยางคลอโรพรีนกลับพบว่าการเพิ่มปริมาณ MOLD FREE 935/P ส่งผลทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงและความทนทานต่อการฉีกขาดของยางมีแนวโน้มลดลง ซึ่งการลดลงของสมบัติทั้งสองดังกล่าวคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นในกรณีของยางคลอโรพรีน



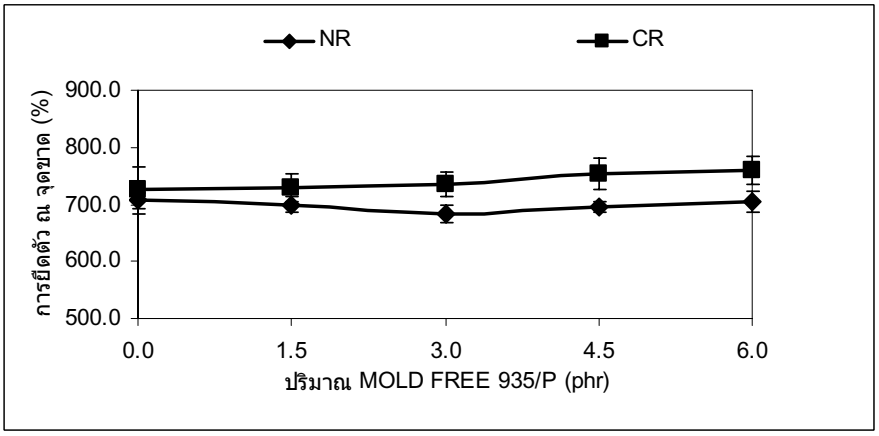
ภาพที่ 1 ผลของ MOLD FREE 935/P ต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงและความทนทานต่อการฉีกขาด

เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าค่า 100% โมดูลัสและความแข็งของยางคงรูปเป็นสมบัติที่บ่งบอกถึงความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยาง ซึ่งสมบัติทั้งสองดังกล่าวจะแปรผันโดยตรงกับระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยง ดังนั้น จากการศึกษาผลของปริมาณ MOLD FREE 935/P ต่อค่า 100% โมดูลัสและความแข็งของยางคงรูป (ดังแสดงในภาพที่ 2) จึงพบว่าการเพิ่มปริมาณของ MOLD FREE 935/P ไม่ได้ส่งผลต่อค่า 100% โมดูลัสและความแข็งของยางธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในกรณีของยางคลอโรพรีนกลับพบว่าการเพิ่มปริมาณ MOLD FREE 935/P จาก 0 ถึง 4.5 phr จะส่งผลทำให้ค่า 100 % โมดูลัสและความแข็งของยางมีแนวโน้มลดลงอย่างช้า ๆ หลังจากนั้นก็จะเริ่มคงที่ ซึ่งการลดลงของค่าโมดูลัสและความแข็งดังกล่าวก็มีสาเหตุมาจากการลดลงของระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงนั่นเอง



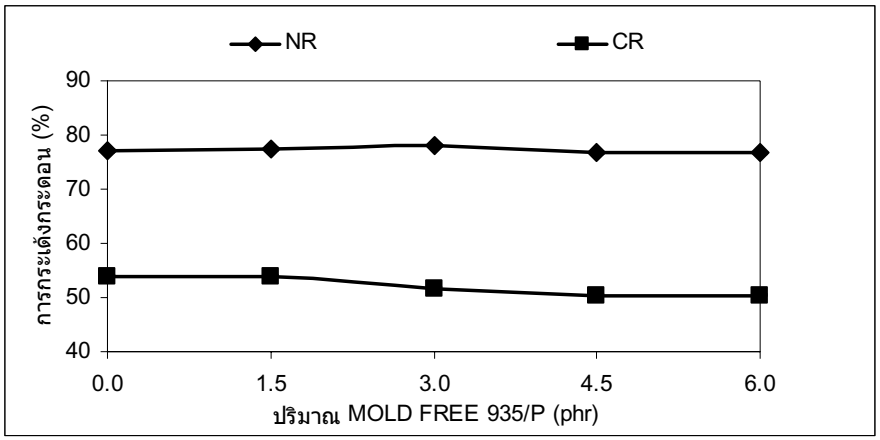
ภาพที่ 2 ผลของ MOLD FREE 935/P ต่อค่า 100% โมดูลัส และค่าความแข็ง

เช่นเดียวกับค่าโมดูลัสและความแข็ง ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของยางก็เป็นอีกสมบัติหนึ่งที่ขึ้นอยู่โดยตรงกับระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยง ด้วยเหตุนี้ ผลการทดลองที่แสดงในภาพที่ 3 จึงแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณ MOLD FREE 935/P ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของยางธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ แต่การเพิ่มปริมาณ MOLD FREE 935/P จะส่งผลทำให้ยางคลอโรพรีนมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดสูงขึ้นเล็กน้อย

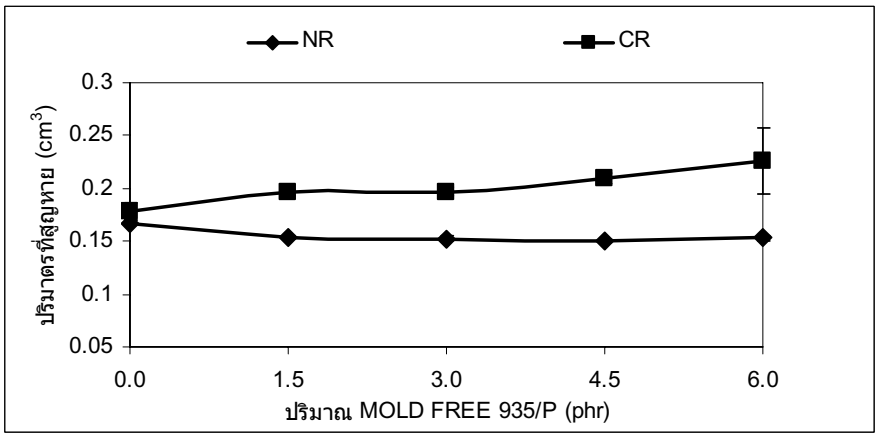


ภาพที่ 3 ผลของ MOLD FREE 935/P ต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาด

ภาพที่ 4 แสดงผลของปริมาณ MOLD FREE 935/P ต่อค่าการกระเด้งกระดอนของยางคงรูป จากรูปจะพบว่าสมบัติการกระเด้งกระดอนของยางธรรมชาติไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของ MOLD FREE 935/P แต่อย่างใดและแม้ว่าการเพิ่มปริมาณของ MOLD FREE 935/P จะส่งผลให้สมบัติการกระเด้งกระดอนของยางคลอโรพรีนมีแนวโน้มลดลงอย่างช้า ๆ แต่จากการคำนวณจะพบว่าการเพิ่มปริมาณของ MOLD FREE 935/P จาก 0 ถึง 6 phr ส่งผลทำให้ค่าการกระเด้งกระดอนของยางคลอโรพรีนลดลงเพียงแค่ประมาณร้อยละ 6.5 เท่านั้น เนื่องจากค่าการกระเด้งกระดอนเป็นตัวเลขที่บ่งชี้ถึงระดับของความยืดหยุ่นของยาง ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า MOLD FREE 935/P ไม่ส่งผลต่อความยืดหยุ่นของยางธรรมชาติแต่อาจส่งผลทำให้ความยืดหยุ่นของยางคลอโรพรีนลดลงเล็กน้อย ซึ่งการลดลงของความยืดหยุ่นที่พบในยางคลอโรพรีนคาดว่าน่าจะเกิดจากการลดลงของระดับการคงรูปของยางอันเนื่องมาจากการเติม MOLD FREE 935/P นั่นเอง



ภาพที่ 4 ผลของ MOLD FREE 935/P ต่อค่าการกระเด้งกระดอนของยางคงรูป

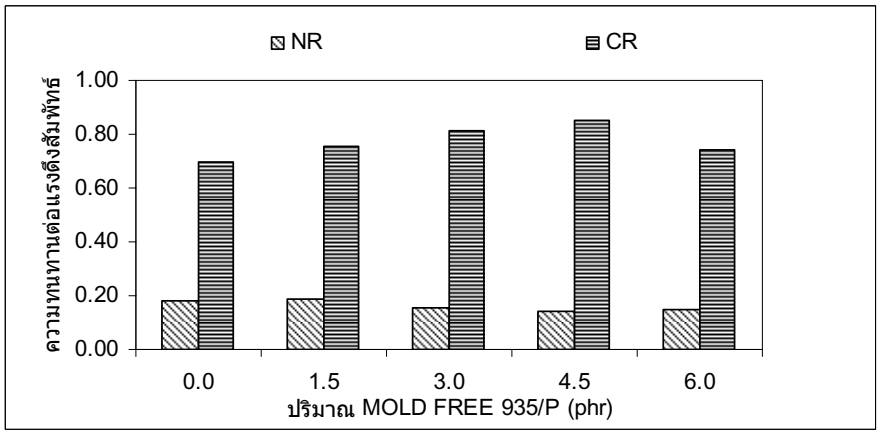


ภาพที่ 5 ผลของ MOLD FREE 935/P ต่อค่าความต้านทานต่อการขัดถู

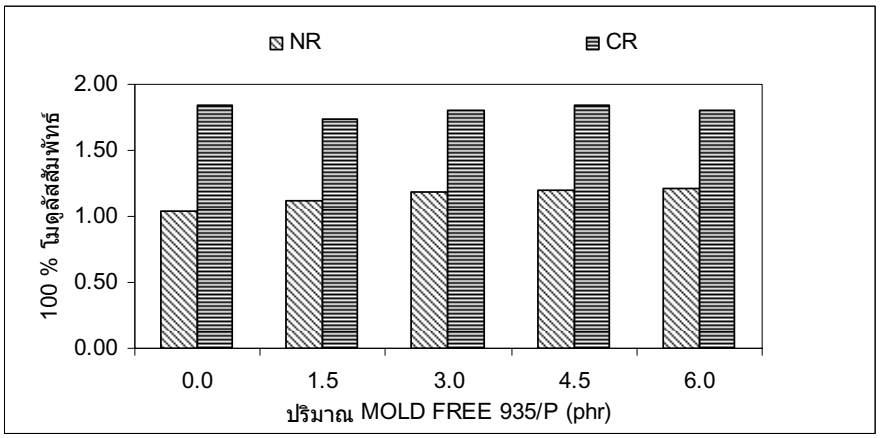
เนื่องจาก MOLD FREE 935/P ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อระดับการคงรูปของยางธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ ด้วยเหตุนี้สมบัติความต้านทานต่อการขัดถูของยางธรรมชาติจึงไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณของ MOLD FREE 935/P ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ MOLD FREE 935/P และปริมาตรที่สูญหายไปในระหว่างการทดสอบการขัดถู อย่างไรก็ดี เนื่องจาก MOLD FREE 935/P ส่งผลทำให้ยางคลอโรพรีนมีระดับของการคงรูปลดลง ดังนั้นการเติม MOLD FREE 935/P จึงส่งผลทำให้สมบัติความต้านทานต่อการขัดถูของยางคลอโรพรีนด้อยลง ดังจะเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของปริมาตรที่สูญเสียไปของยางตามการเพิ่มปริมาณของ MOLD FREE 935/P

3.3 สมบัติความทนทานต่อความร้อน

ภาพที่ 6 และ 7 แสดงผลของปริมาณ MOLD FREE 935/P ต่อสมบัติความทนทานต่อความร้อนของยาง ซึ่งแสดงในรูปของความทนทานต่อแรงดึงสัมพัทธ์และ 100% โมดูลัสสัมพัทธ์ตามลำดับ จากผลการทดลองในภาพที่ 6 พบว่าความทนทานต่อแรงดึงสัมพัทธ์ของยางทั้งหมดมีค่าต่ำกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าการบ่มเร่งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 ˚C เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ส่งผลให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ ดังนั้น ค่าความทนทานต่อแรงดึงของยางจึงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการบ่มเร่ง จากผลการทดลองยังพบว่ายางคลอโรพรีนมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสัมพัทธ์สูงกว่ายางธรรมชาติค่อนข้างมาก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากโมเลกุลของยางคลอโรพรีนมีอะตอมของคลอรีนที่สามารถไปดึงอิเล็กตรอนตรงตำแหน่งพันธะคู่ของสายโซ่หลัก ทำให้พันธะคู่ที่มีอยู่บนสายโซ่หลักของยางคลอโรพรีนไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ รวมถึงปฏิกิริยาออกซิชันด้วย ดังนั้น ยางคลอโรพรีนจึงมีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อนสูงกว่ายางธรรมชาติค่อนข้างมาก



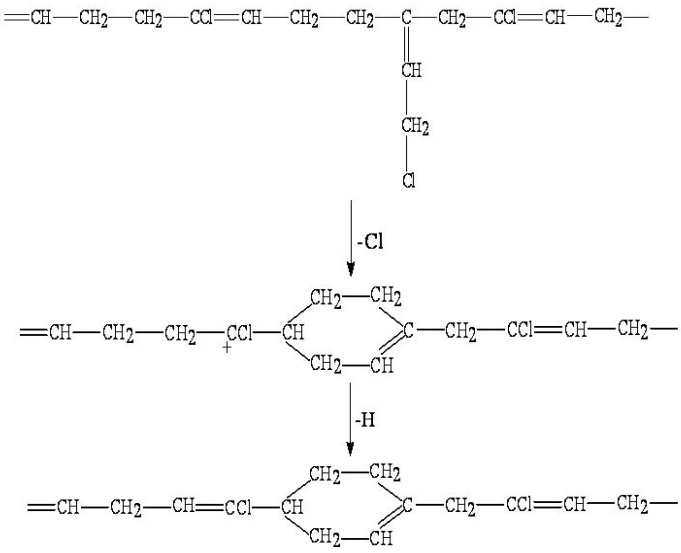
ภาพที่ 6 ผลของ MOLD FREE 935/P ต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงสัมพัทธ์



ภาพที่ 7 ผลของ MOLD FREE 935/P ต่อค่า 100% โมดูลัสสัมพัทธ์

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณ MOLD FREE 935/P ต่อสมบัติความทนทานต่อความร้อนของยาง จะพบว่า การเพิ่มปริมาณของ MOLD FREE 935/P ในยางธรรมชาติจะส่งผลทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสัมพัทธ์ของยางมีแนวโน้มลดลง แต่การเพิ่มปริมาณของ MOLD FREE 935/P ในยางคลอโรพรีนกลับส่งผลทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสัมพัทธ์ของยางมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย จนกระทั่งถึงจุดสูงสุดที่ปริมาณของ MOLD FREE 935/P เท่ากับ 4.5 phr หลังจากนั้นค่าความทนทานต่อแรงดึงสัมพัทธ์ของยางคลอโรพรีนก็จะเริ่มลดลง ทั้งนี้ การลดลงของค่าความทนทานต่อแรงดึงสัมพัทธ์ตามปริมาณของ MOLD FREE 935/P ที่พบในยางธรรมชาตินั้นคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการที่ MOLD FREE 935/P มีส่วนไปกระตุ้นทำให้โมเลกุลของยางธรรมชาติเกิด post curing มากขึ้นในระหว่างที่ทำการบ่มเร่งจนทำให้ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงที่มากเกินไป ทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติหลังการบ่มเร่งลดลงมากกว่าปรกติเล็กน้อย หลักฐานสำคัญที่แสดงให้เห็นว่า MOLD FREE 935/P มีส่วนในการกระตุ้นการเกิด post curing ของยางธรรมชาติคือการเพิ่มขึ้นของค่า 100% โมดูลัสสัมพัทธ์ตามปริมาณของ MOLD FREE 935/P ดังที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 7

เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าเมื่อยางคลอโรพรีนได้รับการบ่มเร่งด้วยความร้อน โมเลกุลของยางนอกจากจะสามารถเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (intermolecular crosslink) ต่อไปได้แล้ว ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดโครงสร้างเป็นวงภายในโมเลกุลเดียวกันอีกด้วย เรียกปฏิกิริยาแบบหลังนี้ว่า intramolecular cyclization ดังแสดงในภาพที่ 8 [9] ด้วยเหตุนี้ ผลการทดลองในภาพที่ 7 จึงแสดงให้เห็นว่ายางคลอโรพรีนมีระดับของการเกิด post curing ที่สูงกว่ายางธรรมชาติค่อนข้างมาก (100% โมดูลัสสัมพัทธ์ของยางคลอโรพรีนมีค่าค่อนข้างสูงคือประมาณ 1.8) อย่างไรก็ดี เป็นที่น่าแปลกใจที่พบว่า MOLD FREE 935/P ไม่ได้ส่งผลต่อค่า 100% โมดูลัสสัมพัทธ์ของยางคลอโรพรีนอย่างมีนัยสำคัญ นั่นแสดงว่า MOLD FREE 935/P ไม่ได้เข้าไปมีส่วนร่วมต่อการเกิด post curing ของยางคลอโรพรีน



ภาพที่ 8 ปฏิกิริยา intramolecular cyclization

สรุป

จากการศึกษาผลของสารป้องกันการเกาะติดผิวแม่พิมพ์ (MOLD FREE 935/P) ต่อสมบัติของยางธรรมชาติและยางคลอโรพรีน พบว่าสารป้องกันการเกาะติดแม่พิมพ์ชนิดนี้ส่งผลทำให้ยางธรรมชาติและยางคลอโรพรีนมีสมบัติในกระบวนการผลิตดีขึ้นเล็กน้อย ดังจะเห็นได้จากการลดลงของค่าความหนืดและพลังงานที่ใช้ในการผสม สำหรับในกรณีของยางธรรมชาติ แม้ว่า MOLD FREE 935/P ส่งผลทำให้ค่าระยะเวลาสกอร์ชและระยะเวลาในการคงรูปที่เหมาะสมของยางลดลงอย่างชัดเจน แต่ก็เป็นที่น่าแปลกใจที่พบว่า MOLD FREE 935/P ไม่ได้ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อระดับความหนาแน่นของการเชื่อมขวางของยางธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้ สมบัติเชิงกลต่างๆ ของยางธรรมชาติจึงไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณของ MOLD FREE 935/P ยกเว้นสมบัติความทนทานต่อความร้อนที่พบว่าการเพิ่มปริมาณของ MOLD FREE 935/P ส่งผลทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติความทนทานต่อความร้อนด้อยลงเล็กน้อย ส่วนในกรณีของยางคลอโรพรีนกลับพบว่าการเพิ่มปริมาณ MOLD FREE 935/P แม้ว่าจะไม่ส่งผลกระทบอย่างชัดเจนต่อค่าระยะเวลาสกอร์ชและระยะเวลาในการคงรูปที่เหมาะสมของยาง แต่ก็ส่งผลทำให้ยางมีระดับของการคงรูปลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ด้วยเหตุนี้ สมบัติเชิงกลโดยรวมของยางคลอโรพรีนจึงมีแนวโน้มด้อยลงเล็กน้อยตามปริมาณของ MOLD FREE 935/P อย่างไรก็ดี ผลการทดลองบ่งชี้ว่าการเติม MOLD FREE 935/P ลงไปในปริมาณเล็กน้อยอาจมีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อความร้อนของยางคลอโรพรีน

เอกสารอ้างอิง

[1] Chen, F.; Cen, L. and Lei, C. (2007). Study on the milling behavior of chloroprene rubber blends with ethylene-propylene-diene monomer rubber, polybutadiene rubber, and natural rubber. *Polymer Composites, 5*(28), 667-673.

[2] Van B., Ben. (2001). Mold fouling during rubber vulcanization. Rubber World, 231(3), 34-36.

[3] Van B., Ben. (2001). Mold fouling during rubber vulcanization. Rubber World, 231(3), 25-29.

[4] Ogawa, K. (1985). Mold fouling and mold materials. Nippon Gomu Kyokaishi, 58(6), 353-61.

[5] Barth, P. (1988). Mold fouling and ways for removal. Kautschuk Gummi Kunststoffe, 41(10), 1003-8.

[6] Product Information, MOLD FREE 935/P, Texxco Enterprise Co., Ltd., 3rd. Fl., No.10-1, Lane 7, Fu-San St., 22091 Panchiao, Taipei, Taiwan, R.O.C.

[7] Sae-Oui, P.; Sirisinha, C. and Hatthapanit, K. (2007). Effect of blend ratio on aging, oil and ozone resistance of silica-filled chloroprene rubber/natural rubber (CR/NR) blends. *Express Polymer Letters. 1*(1), 8-14.

[8] Sae-oui, P.; Sirisinha, C.; Wantana, T. and Hatthapanit, K. (2007). Influence of silica loading on the mechanical properties and resistance to oil and thermal aging of CR/NR blends. *Journal of Applied Polymer Science, 104*(5), 3478-3483.

[9] Miyata,Y. and Atsumi, M. (1983). Zinc oxide crosslinking reaction of polychloroprene. Rubber Chemistry and Technology, 62(1), 1-12.