ผลกระทบของระบบการคงรูปยางที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของยางธรรมชาติที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

Effect of Vulcanization System on Antibacterial Efficiency of Natural Rubber Incorporated with Anti-bacterial Agent

คณิศร ใจเอื้อ[1] ขวัญเนตร สมบัติสมภพ[2] อภิสิทธิ์ โฆษิตชัยยงค์[1] เอกชัย วิมลมาลา[1] ธีระศักดิ์ หมากผิน[1] และ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ[1]

Kanisorn Jai-eau[1] Kwannate Sombatsompop[2] Apisit Kositchaiyong[1] Ekachai Wimolmala[1] Teerasak Markpin[1] and Narongrit Sombatsompop[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของระบบการคงรูปยางธรรมชาติที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ระบบการคงรูปแบบดั้งเดิม (Conventional vulcanization; CV) แบบกึ่งประสิทธิภาพ (Semi-efficient vulcanization; Semi-EV) และแบบประสิทธิภาพ (Efficient vulcanization; EV) สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในยางธรรมชาติ คือ Biocleanact™ และ IRGAGUARD B 5000 ที่ปริมาณตั้งแต่ 0 ถึง 5 ส่วนในยางร้อยส่วน เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ คือ *Escherichia coli* (*E. coli*) ทดสอบด้วยวิธีการตรวจวัดรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย ผลการวิจัยพบว่า การเพิ่มปริมาณสารยับยั้งเชื้อ Biocleanact™ และ IRGAGUARD B 5000 ส่งผลทำให้รัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้น และพบว่าระบบการคงรูปยางแบบ CV มีรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียสูงกว่าระบบการคงรูปแบบ Semi-EV และ EV ส่วนการเติมสารยับยั้งเชื้อ Biocleanact™ มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ดีกว่า IRGAGUARD B 5000

ABSTRACT

This work studied the effect of vulcanizing systems [Conventional vulcanization (CV), Semi-efficient vulcanization (Semi-EV) and Efficient vulcanization (EV)] on antibacterial performance of natural rubber compounds. Biocleanact™ and IRGAGUARD B 5000 at loadings from 0 to 5 parts per hundred rubber (phr) were used against *Escherichia coli* (*E. coli*). The halo test and plate count agar methods were employed to assess the efficacies of the anti-bacterial performance. The results suggested that increasing the Biocleanact™ and IRGAGUARD B 5000 resulted in appearance of inhibition zone and the % reduction of *E.coli*. It was also found that the CV system showed higher efficacy than the Semi-EV and EV systems. Biocleanact™ exhibited higher anti-*E.coli* efficiency than IRGAGUARD B 5000.

Key Words: natural rubber / antibacterial agent / vulcanizing systems

E-mail address: **kanisorn_off@hotmail.com**

[1] กลุ่มวิจัย P-PROF คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

P-PROF research group, School of Energy, Environment and Materials, King's Mongkut's University of Technology Thonburi

[2] วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม-ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

College of Industrial Technology,Department of Civil and Environmental Engineering Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

คำนำ

ปัจจุบันความนิยมใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากยางธรรมชาติในพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับสุขอนามัย เช่น แผ่นยางรองพื้นสำหรับเด็กเล็ก แผ่นยางรองอุปกรณ์การแพทย์ในโรงพยาบาล ส่วนประกอบของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารและน้ำนม เป็นต้น จากการนำไปใช้งานของผลิตภัณฑ์ยางที่มีความเสี่ยงต่อการเป็นแหล่งสะสม และบ่มเพาะเชื้อแบคทีเรีย ด้วยเหตุนี้ การป้องกันให้ผลิตภัณฑ์จากวัสดุยางธรรมชาติมีความสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียหรือเป็นยางปลอดเชื้อแบคทีเรียจึงเป็นสิ่งที่สนใจศึกษา

การประยุกต์ให้ผลิตภัณฑ์จากวัสดุยางธรรมชาติมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สามารถทำได้โดยการเติมสารยับยั้งเชื้อผสมลงไปในวัสดุยาง จากงานวิจัยของ Lin และคณะ (2006) ศึกษาการนำผงไททาเนียมไดออกไซด์ขนาด 20 – 40 นาโนเมตร ชนิดอนาเทส (Anatase) 99% หรือชนิดรูไทล์ (Rutile) 30% ผสมในยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ไนไตรล์บิวตะไดอีน (Nitrile Butadiene Rubber; NBR) พบว่าสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ และงานวิจัยของ Chammanee และคณะ (2009) ได้มีการนำสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ 2–Hydroxypropyl–3–Piperazinyl–Quinoline carboxylic acid Methacrylate (HPQM) ผสมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) พบว่ามีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) และ *Escherichia coli* (*E.coli*) ได้สูงถึง 99.9% และจากงานวิจัยของ Kawahara และคณะ (2000) ได้มีการนำ ZEOMICS มาทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ พบว่าการเคลื่อนที่ของสารยับยั้งเชื้อต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ออกมายับยั้งเชื้อแบคทีเรีย นอกจากนี้ Kaali และคณะ (2010) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับปริมาณสารยับยั้งเชื้อ ZEOMICS ในยางซิลิโคน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ ZEOMICS ในยางซิลิโคน การเจริญของเชื้อ *Methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) Pseudomonas aeruginosa (P. aeruginosa)* และ *Candida tropicalis (C. tropicalis)* มีปริมาณที่ลดลงตามปริมาณ ZEOMICS ที่เพิ่มขึ้น

สำหรับงานวิจัยนี้ สนใจการขึ้นรูปสารประกอบยางธรรมชาติที่คงรูปด้วยสารคงรูปกำมะถัน 3 ระบบ คือ ระบบดั้งเดิม (Conventional Vulcanization; CV) ระบบประสิทธิภาพ (Efficient Vulcanization; EV) และระบบกึ่งประสิทธิภาพ (Semi-EV system) ส่วนสารยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียที่ใช้คือ Biocleanact™ และ IRGAGUARD B 5000 เป็นสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ตามลำดับ โดยผสมสารยับยั้งเชื้อ 2 ชนิด ในยางธรรมชาติทั้ง 3 ระบบ ส่วนเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ คือ *Escherichia coli* (*E.coli*) เป็นแบคทีเรียแกรมลบ

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและสารเคมี

ในงานวิจัยนี้ยางธรรมชาติเกรด STR 5L จากบริษัท พี ไอ อินดัสทรี จำกัด (ประเทศไทย) สารเคมีที่ใช้ดังนี้ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) จากบริษัท Thai Lysaght จำกัด (ประเทศไทย) เมอร์แคบโตเบ็นโซไทโซล์ (MBT) จากบริษัท ซี เอ็ม ซี แอดวานซ์ จำกัด (ประเทศไทย) สารกำมะถัน (Sulphur) จากบริษัท Zeon Advanced Polymix จำกัด (ประเทศไทย) กรดสเตียริก (Stearic acid) จากบริษัท อิมพีเรียล อินดัสเตรียล จำกัด (ประเทศไทย) ไดฟีนิลกัวนิดีน (DPG) จากบริษัท สยามเคมี จำกัด (มหาชน) (ประเทศไทย) สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

Biocleanact™ จากบริษัท Micro Science Tech จำกัด (ประเทศเกาหลี) สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย IRGAGUARD B 5000 จากบริษัท Ciba Specialty Chemicals จำกัด (ประเทศไทย) โทลูอีน (Toluene) จากบริษัท Merck จำกัด (ประเทศไทย) เชื้อแบคทีเรียที่นำมาใช้ทดสอบ คือ *Escherichia coli* (*E.coli*) ATCC 25922 เป็นแบคทีเรียแกรมลบ อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว (Nutrient broth; NB) อาหารเลี้ยงเชื้อแบบวุ้นสำหรับนับโคโลนี (Plate count agar; PCA) เปปโตน (Peptone) จากบริษัท Hi Media Laboratories จำกัด (ประเทศไทย) และอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง (Nutrient agar; NA) จากบริษัท Laboratories Britania S.A. (ประเทศไทย)

ขั้นตอนการเตรียมยางคอมปาวด์ด้วยเครื่องผสมแบบลูกกลิ้งคู่

การเตรียมยางคอมปาวด์ที่คงรูปด้วยสารกำมะถัน 3 ระบบ คือ ระบบ CV Semi-EV และ EV ใช้สารเคมีตามตารางที่ 1 เริ่มโดยนำยางธรรมชาติ STR 5L บดผสม (Mastication) ในเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ (Two roll mill) จากบริษัท ยง ฟง แมชชีนเนอรี จำกัด เป็นเวลา 5 นาที ผสมสารเคมีที่ใช้ในการคงรูปยาง 25 นาที จากนั้นผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเป็นเวลา 5 นาที อุณหภูมิการผสมอยู่ระหว่าง 40–45°C ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 50%

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบของสารประกอบยางที่ใช้ในงานวิจัย

Components	Vulcanizing Systems (phr)		
	CV	Semi-EV	EV
Natural rubber; STR 5L	100 part		
Zinc oxide; ZnO	5.0		
Stearic acid	2.0		
Mercaptoben zothaiazole; MBT	0.5	1.5	2.5
Diphenyl guanidine; DPG	0.2	0.6	1.0
Sulphur	3.0	1.2	0.2
Biocleanact™ or IRGAGUARD B 5000	Varying 0 / 1 / 3 / 5		

การเตรียมชิ้นงานทดสอบ การหาเวลาคงรูป และพิสูจน์ความหนาแน่นของพันธะข้าม

การตรวจสอบเวลาในการคงรูปของยางคอมปาวด์ทั้ง 3 ระบบ ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง (Oscillating disk rheometer; ODR) จากบริษัท GOTECH Testing Machine รุ่น GT 70-70-S2 ใช้ในการทดสอบหาเวลาในการคงรูปของยางที่ 90% (t_{c90}) และตรวจสอบความหนืดของยางจากค่าผลต่างแรงบิด (Delta torque; dT) ตามมาตรฐาน ASTM D2084-01 ที่อุณหภูมิทดสอบ 160°C ส่วนการขึ้นรูปสารประกอบยางคอมปาวด์เป็นแผ่นชิ้นงานทดสอบที่ความหนา 1 mm ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนระบบแรงดัน (Hot press) จากบริษัท LAB TECH จำกัด อุณหภูมิการขึ้นรูปที่ 160°C แรงดันแม่พิมพ์ 180 kg/cm^2 และพิสูจน์ความหนาแน่นของพันธะข้ามโดยใช้ Flory–Rehner equation (Sombatsompop และคณะ, 2004)

การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

<u>การทดสอบการเกิดบริเวณการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Halo test)</u> (Chammanee และคณะ, 2009) โดยนำอาหารเลี้ยงเชื้อแบบวุ้นสำหรับนับโคโลนีเทลงบนจานเพาะเชื้อ และรอทิ้งไว้ให้แข็งตัว ต่อจากนั้นทำการผสมอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็งกับอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวที่อัตราส่วน 1:1 เพื่อให้ได้อาหารเลี้ยงเชื้อแบบกึ่งแข็ง (Soft agar) จากนั้นผสมอาหารเลี้ยงเชื้อแบบกึ่งแข็งกับเชื้อแบคทีเรีย ให้ได้ค่าดัชนีความขุ่นที่ความยาวคลื่น 600 nm (OD_{600}) เท่ากับ 0.1 จากนั้นเทอาหารเลี้ยงเชื้อแบบกึ่งแข็งที่ผสมเชื้อแบคทีเรียลงบนจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อแบบวุ้นสำหรับนับโคโลนีอยู่ จากนั้นวางชิ้นทดสอบบนจานเพาะเชื้อ แล้วนำเข้าตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ตรวจสอบรัศมีการยับยั้งเชื้อที่เกิดขึ้น

<u>การทดสอบเชิงปริมาณโดยใช้วิธีการนับจำนวนเชื้อแบคทีเรีย (Plate count agar method)</u> ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM E2149-01 โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบขนาด 5 × 5 cm^2 บ่มเชื้อแบคทีเรียทดสอบเพื่อตรวจสอบการเจริญของเชื้อแบคทีเรียในเปปโตนที่มีชิ้นงานทดสอบอยู่ตามเวลาที่กำหนดด้วยวิธีเขย่าที่ 100 rpm อุณหภูมิ 37°C โดยความเข้มข้นของเชื้อแบคทีเรียที่ใช้มีค่าดัชนีความขุ่นที่ความยาวคลื่น 600 nm เท่ากับ 0.1 จากนั้นนำเชื้อแบคทีเรียจากสารละลายมาเจือจางความเข้มข้นของเชื้อลง โดยใช้เทคนิคเจือจางเชื้อให้ความเข้มข้นลดลง 10 เท่า (Ten – fold serial dilution) แล้วนำเชื้อที่ถูกเจือจางมาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแบบวุ้นสำหรับนับโคโลนี นำเข้าตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นนับและคำนวณเชื้อแบคทีเรียบนวุ้นเลี้ยงเชื้อ ดัง**สมการที่ 1** (ณรงค์ฤทธิ์ และคณะ, 2550) และ **สมการที่ 2** (ASTM E2149-01)

$$CFU/ml = \frac{A}{(10^n \times B)}$$ **สมการที่** 1

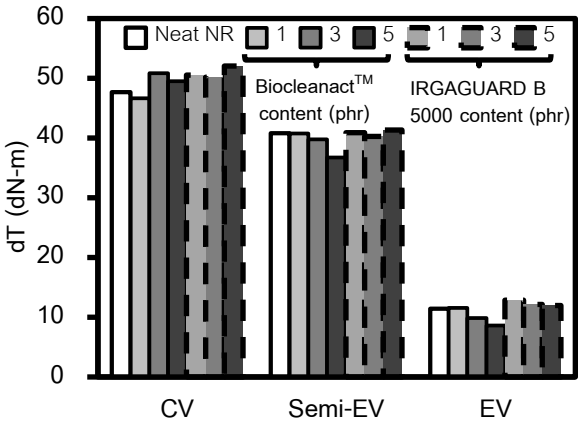
โดยที่ CFU/ml คือ กลุ่มแบคทีเรีย (Colony forming unit) ต่อมิลลิลิตร A คือ จำนวนกลุ่มแบคทีเรียโดยเฉลี่ย n คือ จำนวนครั้งการเจือจาง และ B คือ ปริมาตรสารละลายแบคทีเรีย (ในงานนี้ใช้ที่ปริมาตร 0.10 ml)

$$Reduction, \%(CFU/ml) = \frac{C-D}{C} \times 100$$ **สมการที่** 2

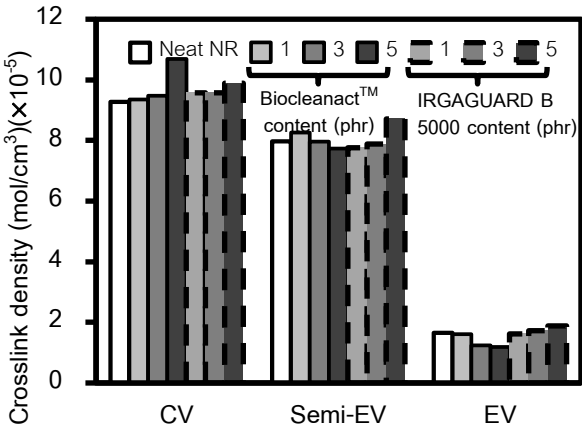
โดย C และ D คือ จำนวนแบคทีเรียทดสอบที่มีชีวิตอยู่หลังผ่านการทดสอบในเวลาที่กำหนด: กรณีชิ้นงานทดสอบที่**<u>ไม่เติม</u>**สารยับยั้งแบคทีเรีย และกรณีชิ้นงานทดสอบที่**<u>เติม</u>**สารยับยั้งแบคทีเรีย ตามลำดับ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดสอบด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่งและปริมาณความหนาแน่นของพันธะข้ามของยางคอมปาวด์ ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ มีความสอดคล้องกันระหว่างค่าผลต่างแรงบิด (dT) และปริมาณความหนาแน่นของพันธะข้าม โดยยางคอมปาวด์ระบบ CV มีค่าสูงที่สุด เนื่องจากยางคอมปาวด์ระบบ CV นั้นมีปริมาณสารกำมะถันต่อสารเร่งการกระตุ้นปฏิกิริยาสูง ทำให้มีพันธะข้ามเพิ่มขึ้น ส่วนการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด คือ Biocleanact™ และ IRGAGUARD B 5000 ไม่ส่งผลต่อค่าผลต่างแรงบิดและปริมาณความหนาแน่นของพันธะข้ามในยางคอมปาวด์ อาจเนื่องจากปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เติมในยางธรรมชาติมีปริมาณที่น้อย



รูปที่ 1 ผลต่างแรงบิดของการคงรูปยางคอมปาวด์ระบบ CV Semi-EV และ EV ที่ไม่เติมและเติมสาร Biocleanact™ และ IRGAGUARD B 5000

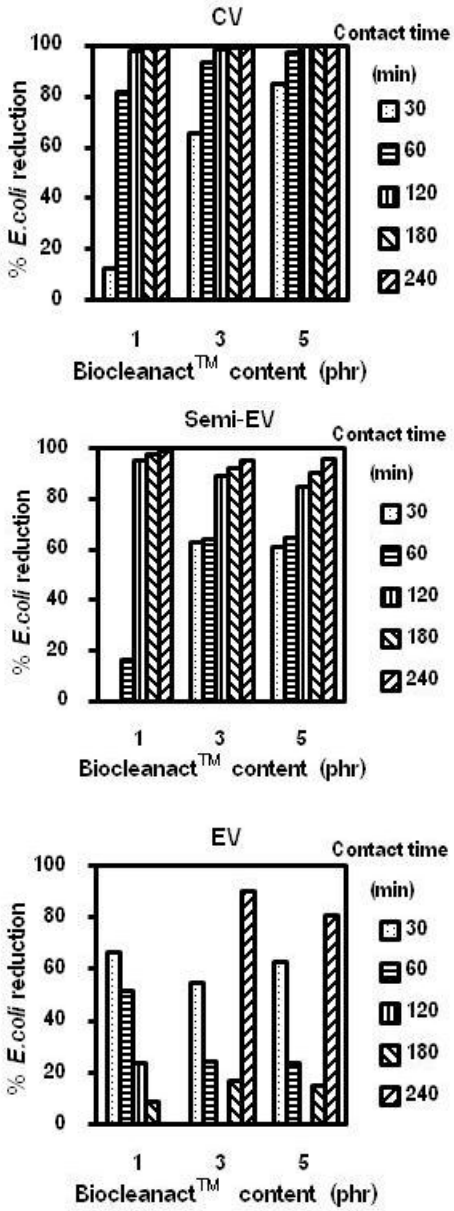


รูปที่ 2 ปริมาณความหนาแน่นของพันธะข้ามของการคงรูปยางยางคอมปาวด์ระบบ CV Semi-EV และ EV ที่ไม่เติมและเติมสาร Biocleanact™ และ IRGAGUARD B 5000

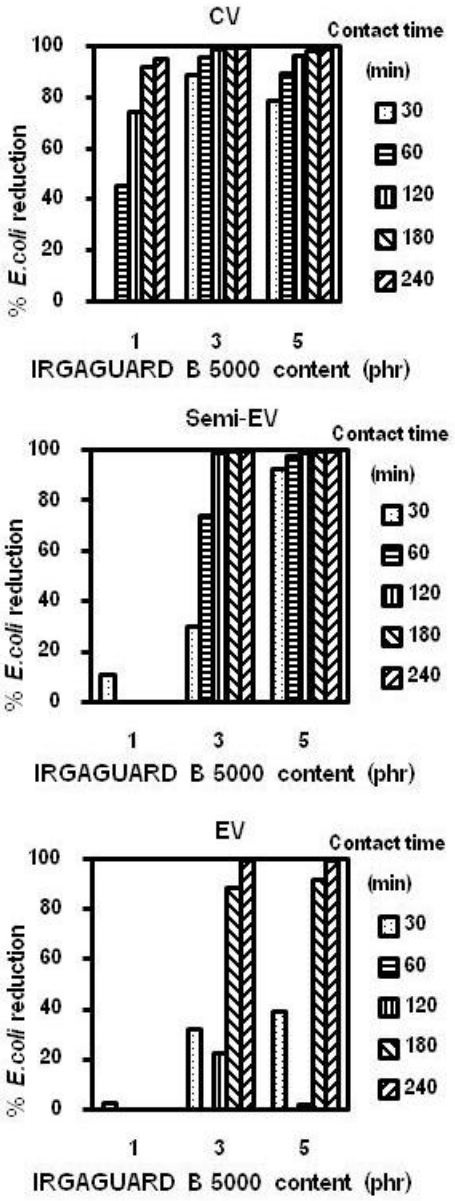
ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบ Halo test ด้วยเชื้อแบคทีเรีย *E.coli*

Antibacterial content (phr)		Inhibition zone (mm)		
		Vulcanization system		
		CV	Semi-EV	EV
Biocleanact™	0	0	0	0
	1	0	0	0
	3	2.8	2.7	2.0
	5	3.7	3.0	2.8
IRGAGUARD B 5000	0	0	0	0
	1	0	0	0
	3	2.7	2.0	1.5
	5	3.5	2.5	1.9

ผลการทดสอบ Halo test ด้วยเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่ายางคอมปาวด์ทั้ง 3 ระบบที่ไม่เติมและเติมสาร Biocleanact™ และ IRGAGUARD B 5000 ความเข้มข้น 1 phr ไม่พบรัศมีการยับยั้งเชื้อ อาจเนื่องจากปริมาณสารยับยั้งเชื้อมีปริมาณที่น้อยจนไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ ส่วนความเข้มข้น 3 และ 5 phr พบว่ารัศมีการยับยั้งเชื้อเกิดขึ้นเป็นการแสดงว่ามีสารยับยั้งเชื้อแพร่ออกจากชิ้นงานยางคอมปาวด์ได้ โดยยางคอมปาวด์ระบบ CV ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด มีรัศมีการยับยั้งเชื้อสูงกว่ายางคอมปาวด์ระบบ Semi-EV และ EV ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดที่มากขึ้นสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ได้เพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อ *E.coli* จากการทดสอบแบบเขย่าของยางคอมปาวด์ระบบ CV Semi-EV และ EV ผสมสาร Biocleanact™ ปริมาณ 1, 3 และ 5 phr ที่เวลา 30, 60, 120, 180 และ 240 นาที



รูปที่ 4 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อ *E.coli* ที่เหลือจากการทดสอบแบบเขย่าของยางคอมปาวด์ระบบ CV Semi-EV และ EV ผสมสาร IRGAGUARD B 5000 ปริมาณ 1, 3 และ 5 phr ที่เวลา 30, 60, 120, 180 และ 240 นาที

รูปที่ 3 แสดงเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* เชิงปริมาณด้วยวิธีการทดสอบการนับจำนวนเชื้อแบคทีเรียของยางคอมปาวด์ระบบ CV Semi-EV และ EV ผสมสาร Biocleanact™ ปริมาณ 1, 3 และ 5 phr ที่เวลา 30, 60, 120, 180 และ 240 นาที ตามลำดับ และยางคอมปาวด์ผสมสาร IRGAGUARD B 5000 ที่ความเข้มข้นและเวลาในการทดสอบต่างๆ แสดงในรูปที่ 4 และในตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบปริมาณและเวลาที่แบคทีเรียมีการลดลง 99% ของยางคอมปาวด์ที่ผสมสาร Biocleanact™ และ IRGAGUARD B 5000 จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในยางคอมปาวด์ทั้ง 3 ระบบ ทำให้มีการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *E.coli* เพิ่มขึ้น สำหรับยางคอมปาวด์ทั้ง 3 ระบบที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด

พบว่า ยางคอมปาวด์ระบบ CV สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ได้มีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากลักษณะการเกิดการเชื่อมขวางของกำมะถันที่เป็นแบบพันธะซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลสายโซ่ยาว (พงษ์ธร, 2548) ทำให้โมเลกุลของยางมีปริมาตรช่องว่าง (Free volume) มาก ทำให้สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียออกมายับยั้งการเจริญของเชื้อ *E.coli* ได้ง่ายกว่าระบบ Semi-EV และ EV ที่มีปริมาตรช่องว่างที่น้อยกว่า (Radheshkumarc และ Munstedt, 2006) และพบว่าสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย Biocleanact™ มีประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E.coli* ได้สูงกว่าสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย IRGAGUARD B 5000 ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย Biocleanact™ เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ส่วน IRGAGUARD B 5000 ต้องมีการเปลี่ยนเป็นไอออนในปริมาณที่มากพอถึงจะสามารถมีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้

ตารางที่ 3 สรุปผลการทดสอบปริมาณและเวลาที่แบคทีเรียมีการลดลง 99% ของยางคอมปาวด์ที่ผสมสาร Biocleanact™ และ IRGAGUARD B 5000

Vulcanization system	Optimum of Biocleanact™		Optimum of IRGAGUARD B 5000	
	Dose (phr)	**Time** (min)	**Dose** (phr)	**Time** (min)
CV	1	120	3	120
	5	60		
Semi-EV	1	180	3	120
			5	60
EV	N/A	N/A	3	240

N/A ผลทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ไม่ถึง 99%

สรุป

การศึกษาระบบการคงรูปยางธรรมชาติที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย Biocleanact™ และ IRGAGUARD B 5000 พบว่า ระบบ CV มีประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ดีที่สุด รองลงมาคือ Semi-EV และ EV ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพสูงสุดในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของยางธรรมชาติที่ผสมสาร Biocleanact™ คือ การใช้ระบบการคงรูปยางแบบ CV และ Semi-EV ที่ปริมาณการผสม 1 phr ที่เวลาทดสอบ 120 นาที และ 180 นาที ตามลำดับ ส่วนในกรณีผสมสาร IRGAGUARD B 5000 การคงรูปแบบ CV และ Semi-EV ใช้ปริมาณการผสม 3 phr ที่เวลาทดสอบ 120 นาที และปริมาณ 3 phr ที่เวลาทดสอบ 240 นาที สำหรับการคงรูปแบบ EV

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนโครงการวิจัยขนาดกลางเรื่องยางพารา (Medium Projects on Rubber; MPR) ปี 2552 สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) สัญญาเลขที่ RDG5250068 ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบเชื้อ

เอกสารอ้างอิง

พงษ์ธร แซ่อุย, 2548, **ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน**, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค), พิมพ์ครั้งที่ 2, หน้า 9.

ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, จันทร์ฉาย ทองปิ่น, ขวัญเนตร สมบัติสมภพ และ อภิสิทธิ์ โฆษิตชัยยงค์, 2550, "**ผลของการเติมสารยับยั้งจุลินทรีย์ที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์ในวัสดุบรรจุภัณฑ์พอลิเอทธิลีนความหนาแน่นสูง**", รายงานฉบับสมบูรณ์ ทุนวิจัยโครงการนวัตกรรม, บริษัท ปตท. เคมิคอล จำกัด (มหาชน), หน้า 31-45.

Chammanee, P., Sombatsompop, K., Kositchaiyong, A. and Sombatsompop, N., 2009, "Effects of anti-bacterial agents, sample preparation and contact time on anti-bacterial efficacy in MDPE film", **Journal of Macromolecular Science. Part B. Physics**, Vol. 48, No. 4, pp. 755–765.

Kaali, P., Strömberg, E., Aune, R., Czél, G., Momcilovic, D., Karlsson, S., 2010, "Antimicrobial properties of Ag^+ loaded zeolite polyester polyurethane and silicone rubber and long-term properties after exposure to in-vitro ageing", **Polymer Degradation and Stability**, Vol. 95, No. 9, pp. 1456–1465.

Kawahara, K., Tsuruda, K., Morishita, M., Uchida, M., 2000, "Antibacterial effect of silver-zeolite on oral bacteria under anaerobic conditions", **Dental Materials**, Vol. 16, No. 6, pp. 452–455.

Lin, G., Tian, M., LU, Y.L., Zhang, X.J., Zhang, L.Q., 2006, "Morphology, antimicrobial and mechanical properties of Nano-TiO_2 / rubber composites prepared by direct blending", **Polymer Journal**, Vol. 38, No. 5, pp. 498–502.

Radheshkumar, C., Munstedt, H., 2006, "Antimicrobial polymers from polypropylene/silver composites – Ag^+ release measured by anode stripping voltammetry", **Reactive & Functional Polymers**, Vol. 66, No. 7, pp. 780–788.

Sidwell, J.A. and Forrest, M.J., 2000, "Rubber in contact with food", **RAPRA Review Report**, Vol. 10, No. 11, pp. 5-7.

Sombatsompop, N., Thongsang, S., Markpin, T., Wimolmala, E., 2004, "Fly ash particles and precipitated silica as fillers in rubbers. I. Untreated fillers in natural rubber and styrene–butadiene rubber compounds", **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 93, No. 5, pp. 2119–2130.

Standard Test Method, **ASTM D2084**, 2001, "Rubber Property-Vulcanization Using Oscillating Disk Cure Meter".

Standard Test Method, **ASTM E2149**, 2001, "Determining the antimicrobial activity of immobilized antimicrobial agents under dynamic contact conditions".