

ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์
ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอชพีคิวเอ็ม

**Antibacterial Performance and Mechanical Properties of Thermoplastic Vulcanizates
Doped with HPQM**

ศุภิชา ส่องประสพ (Suphitcha Songprasob)* เอกชัย วิมลมาลา (Ekachai Wimolmala)**

ดร.กุลนิตา เทพทิม (Dr.Kulnida Taptim)*** ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ (Dr.Narongrit Sombatsompop)****

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และสมบัติเชิงกลด้านความต้านทานแรงดึง การยืดตัว และความแข็งที่ผิวของยางเทอร์โมพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ระหว่างยางอีพีดีเอ็มและพอลิโพรพิลีน ที่อัตราส่วน 0/100, 25/75, 50/50 และ 75/25 ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบการผสมในเครื่องอัดรีดสกรูคู่ 60, 80 และ 100 rpm และเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอชพีคิวเอ็มบนสารดูดซับนิวซิลินที่ปริมาณ 0, 1250, 2500, 3750 และ 5000 ppm ผลการวิจัยพบว่า การปรับเปลี่ยนความเร็วรอบการผสมในเครื่องอัดรีดสกรูคู่ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ และการเติมยางอีพีดีเอ็มในเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ส่งผลทำให้เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์มีสมบัติเชิงกลมอดูลัสแรงดึง ความต้านทานแรงดึง และความแข็งที่ผิวลดลง แต่การยืดตัว ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น ตามสัดส่วนยางอีพีดีเอ็มที่เพิ่มขึ้น และจากการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* (*E. coli*) พบว่า สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอชพีคิวเอ็มบนสารดูดซับนิวซิลินสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้ 99.99% ที่ปริมาณ 2500 ppm ในเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ทุกอัตราส่วน

ABSTRACT

This work studied the anti-bacterial efficacies and mechanical properties of Ethylene-Propylene Diene Monomer (EPDM) into Polypropylene (PP) by varying EPDM / Polypropylene ratios of 0/100, 25/75, 50/50 and 75/25, the amount of antibacterial HPQM in neusilin M at 0, 1250, 2500, 3750 and 5000 ppm (parts per million) in thermoplastic elastomers, and mixing speeds in twin screw extruder at 60, 80 and 100 rpm. The mechanical properties of tensile modulus, tensile strength, elongation at break and hardness and antibacterial efficacies were then evaluated. The results found that the speed of mixing did not affect the mechanical properties of the thermoplastic vulcanizate. Adding EPDM compound in thermoplastic vulcanizates decreased tensile modulus, tensile strength and hardness, but increased elongation at break. For the antibacterial efficacies against *Escherichia coli* (*E. coli*) it was found that HPQM in neusilin could inhibit the growth of bacteria, 99.99% at the HPQM loading at 2500 ppm in all ratios of thermoplastic vulcanizates.

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ สมบัติเชิงกล

Keywords: Anti-bacterial performance, Thermoplastic vulcanizate, Mechanical properties

* นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

** รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

*** อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

**** ศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทนำ

ปัจจุบันยางเทอร์โมพลาสติกมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยยางเทอร์โมพลาสติกที่ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีน (Polypropylene; PP) กับยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนมอนอเมอร์ (Ethylene propylene diene monomer; EPDM) นิยมใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร อุปกรณ์ออกกำลังกายของเด็กเล่น และของใช้ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน เช่น ด้ามกันลื่นแปรงสีฟัน ซึ่งผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีการสัมผัสกับร่างกายของมนุษย์ โดยผลิตภัณฑ์จากยางเทอร์โมพลาสติกอาจเกิดการสะสมเชื้อแบคทีเรียบริเวณพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ เมื่อมีการสัมผัสเกิดการแพร่เชื้อออกไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มนุษย์เกิดการติดเชื้อได้ง่าย โดยเชื้อแบคทีเรียที่ก่อโรคมียหลายชนิด เช่น เชื้อ *Escherichia coli* (*E. coli*) เมื่อมีการสะสมในลำไส้ของมนุษย์และสัตว์ ก่อให้เกิดโรคอุจจาระร่วง และเชื้อ *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ ซึ่งมักพบในสารคัดหลั่งในร่างกายของมนุษย์ ส่งผลทำให้เกิดอาการอักเสบได้ เป็นต้น (นงลักษณ์, 2544) ดังนั้น การดูแลความสะอาดและความปลอดภัยด้านสุขภาพแก่ผู้ใช้จึงเป็นสิ่งสำคัญ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline Carboxylic Acid Methacrylate (HPQM) ในพอลิเมอร์หลายชนิด เช่น พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน และยางซิลิโคน เป็นต้น โดยใช้สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอซพิควิเอ็มรูปแบบต่างๆ ดังนี้ รูปแบบสารละลาย (Solution) และรูปแบบสารดูดซับนิวซิลิน (Neusilin) หรือแมกนีเซียม อลูมิเนียมเมตาซิลิเกต (Magnesium Aluminometasilicate) พบว่าเมื่อผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอซพิควิเอ็มรูปแบบสารดูดซับนิวซิลินในพอลิโพรพิลีน พบว่าพอลิโพรพิลีนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียถึง 99.99% ที่เดิมในปริมาณของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่น้อยกว่าสารเอซพิควิเอ็มในรูปแบบสารละลาย (Sributr et al., 2012) ดังนั้น งานวิจัยนี้สนใจเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอซพิควิเอ็มรูปแบบสารดูดซับนิวซิลินในผลิตภัณฑ์ยางเทอร์โมพลาสติก เพื่อยับยั้งและลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคและเพิ่มความปลอดภัยแก่มนุษย์ โดยการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาสภาวะในการผสมและสัดส่วนการผสม ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลพลวัตของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางอีพดีเอ็ม

เพื่อศึกษาปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอซพิควิเอ็มบนสารดูดซับนิวซิลิน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางอีพดีเอ็ม

วิธีการวิจัย

วัสดุ/สารเคมี ขั้นตอนการผสม และการเตรียมชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ยางอีพดีเอ็มเกรด Nordel 4640 ซิงค์ไดเมทาคริเลตเกรด Dymalink 634 และน้ำมันพาราฟินเกรด DIANA PROCESS OIL PS 32T จากบริษัท เคมีอินโนเวชั่น จำกัด พอลิโพรพิลีนเกรด P403J จาก บริษัท เอสซีจี พลาสติกส์ จำกัด และไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์เกรด PERCUMYL D จากห้างหุ้นส่วนจำกัด กิจไพบูลย์เคมี ในงานวิจัยนี้เตรียมวัสดุในการวิจัยโดยทำการผสมเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้ 1) เตรียมยางอีพดีเอ็มคอมพาวด์ โดยเติมสารตัวเติมดังนี้ ยางอีพดีเอ็มปริมาณ 100 phr ซิงค์ไดเมทาคริเลตปริมาณ 30 phr น้ำมันพาราฟินปริมาณ 15 phr และไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์ปริมาณ 1 phr ผสมด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) จากบริษัท ขง ฟง แมชชีนเนอ

รี จำกัด เวลาผสม 18 นาที และ 2) ผสมยางอีพิตีเอ็มคอมปาว์กับพอลิโพรพิลีนในเครื่องอัดรีดสกรูคู่ (Twin screw extrusion) จากบริษัท ฮาเกต พอลิแล็ปรี โอแม็ก จำกัด ที่อัตราส่วนอีพิตีเอ็มต่อพอลิโพรพิลีน 0/100, 25/75, 50/50 และ 75/25 อุณหภูมิในการผสมแต่ละ โชนเริ่มต้น 185, 190, 195 และที่หัวคาย 200 องศาเซลเซียส โดยปรับเปลี่ยนความเร็วรอบในการผสมที่ 60, 80 และ 100 rpm ปรับเปลี่ยนปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอชพีคิวเอ็มบนสารดูดซับนิวซีลินที่ 0, 1250, 2500, 3750 และ 5000 ส่วนในล้านส่วน โดยน้ำหนัก (Part per million; ppm) ตามปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอชพีคิวเอ็มที่ดูดซับบนนิวซีลิน จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนระบบแรงดัน (Hot compression molding) จากบริษัท แพล เทค เอ็นจิเนียริง จำกัด ประเทศไทย อุณหภูมิการขึ้นรูป 170 องศาเซลเซียส แรงดันแม่พิมพ์ 190 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ขั้นตอนการทดสอบสมบัติเชิงกล

นำชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนระบบแรงดัน ทดสอบสมบัติเชิงกลด้านความต้านทานต่อแรงดึง เเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ตามมาตรฐาน ASTM D412-06 ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง จากบริษัท ซิมาสู จำกัด รุ่น Autograph AG-I 5kN ประเทศญี่ปุ่น และค่าความแข็งที่ผิวของชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D2240-03 (Shore D) ด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง จากบริษัท เทคสโกล จำกัด รุ่น GS-720N ประเทศญี่ปุ่น

การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยการนับจำนวนเชื้อแบคทีเรีย (Plate count agar method)

วิธีการนับจำนวนเชื้อแบคทีเรียเป็นการทดสอบเชิงปริมาณตามมาตรฐาน ASTM E-2149-13 โดยการนับจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียที่ปรากฏอยู่บนอาหารเลี้ยงเชื้อ กำหนดให้ชิ้นงานทดสอบมีขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร นำชิ้นงานทดสอบเขย่าในสารละลายเปปโตน (Peptone) ที่ผสมเชื้อแบคทีเรีย มีอุณหภูมิในการทดสอบ 37 องศาเซลเซียส เวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายเชื้อแบคทีเรียในเปปโตนที่ผ่านการเขย่าที่เวลาต่างๆ เจือจางความเข้มข้นของเชื้อ โดยใช้เทคนิคการเจือจางเชื้อให้ความเข้มข้นลดลงครั้งละ 10 เท่า (Ten-fold serial dilution) นำเชื้อที่ผ่านการเจือจางเลี้ยงลงบนจานเพาะเชื้อที่มีวุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อ และนำจานเพาะเชื้อเข้าตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง จากนั้นนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของเชื้อแบคทีเรียหลังการทดสอบ และคำนวณค่าร้อยละประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ดังสมการที่ 1 และ สมการที่ 2 ตามลำดับ

$$CFU/mL = \frac{A}{10^{-n} \times SV} \quad (1)$$

โดยที่ CFU/mL คือ จำนวนกลุ่มของแบคทีเรีย (Colony forming unit) ต่อมิลลิลิตร

A คือ จำนวน โคโลนีแบคทีเรียโดยเฉลี่ย

n คือ จำนวนครั้งของการเจือจาง

SV คือ ปริมาตรสารละลายแบคทีเรียที่นำมาเลี้ยงบนวุ้นอาหาร

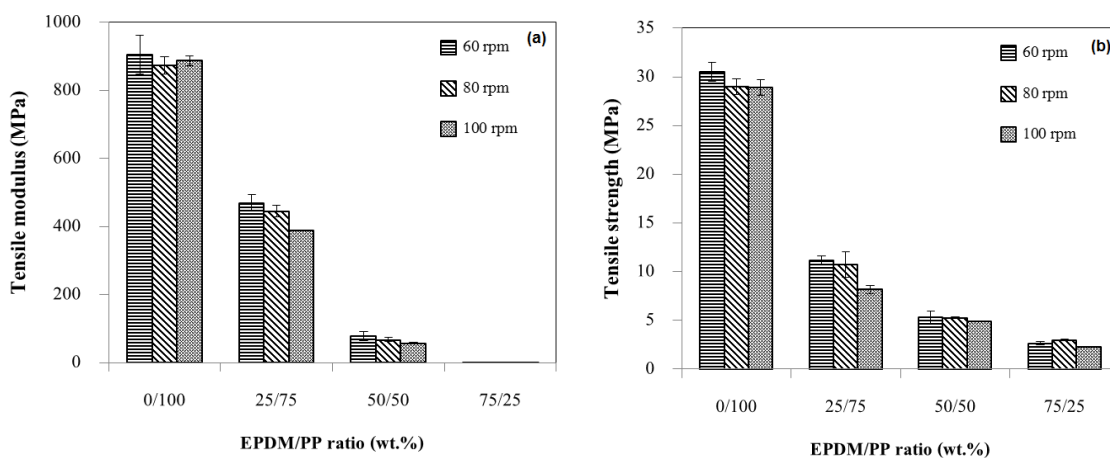
$$\text{Reduction of bacteria (\%)} = \frac{B - C}{B} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ B คือ จำนวนเชื้อแบคทีเรีย (CFU/mL) ของชิ้นงานทดสอบที่ไม่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

C คือ จำนวนเชื้อแบคทีเรีย (CFU/mL) ของชิ้นงานทดสอบที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

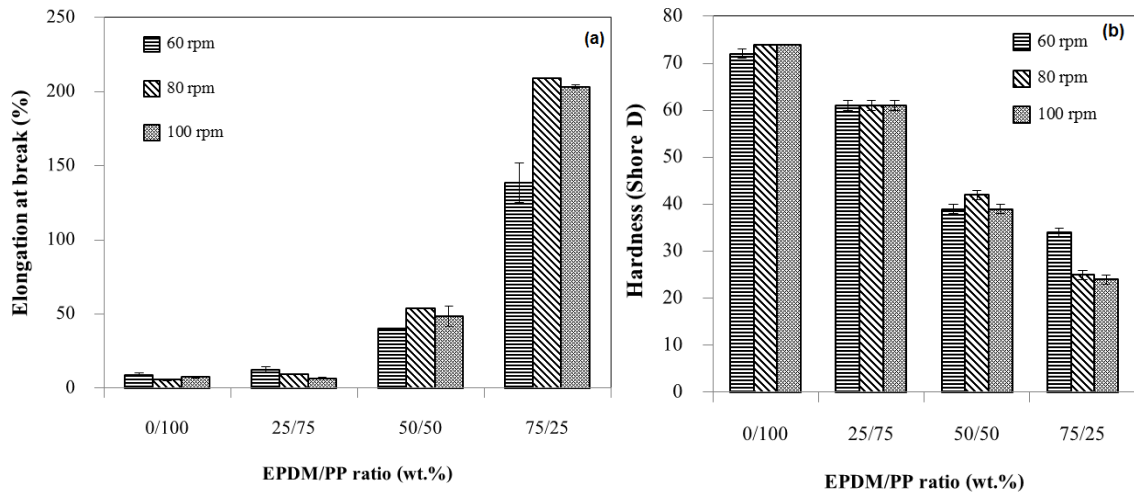
ผลการวิจัย

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านมอดุลัสแรงดึงและความต้านทานแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 1 และผลการทดลองการยึดตัว ณ จุดขาด และความแข็งที่ผิวดังแสดงในรูปที่ 2 ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ระหว่างยางอีพิตีเอ็มคอมปาวนกับพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วน 0/100, 25/75, 50/50 และ 75/25 ความเร็วรอบในการผสม 60, 80, และ 100 rpm พบว่า มอดุลัสแรงดึงและค่าความต้านทานแรงดึงในรูปที่ 1(a) และ 1(b) มีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนยางอีพิตีเอ็มคอมปาวนในเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากยางอีพิตีเอ็มมีค่ามอดุลัสและค่าความแข็งแรงที่ต่ำกว่าพอลิโพรพิลีน อีกทั้งการเติมยางอีพิตีเอ็มในพอลิโพรพิลีนทำให้เกิดผลึกของวัสดุลดลง (วัชรินทร์ และคณะ, 2551) ส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ลดลง ส่วนสมบัติการยึดตัว ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้น ตามสัดส่วนของยางอีพิตีเอ็มในเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2(a) เนื่องจากยางอีพิตีเอ็มเป็นยางที่มีหมู่ไดอินในสายโซ่โมเลกุลจึงสามารถทำให้เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์มีความยืดหยุ่นสูง (Elasticity)

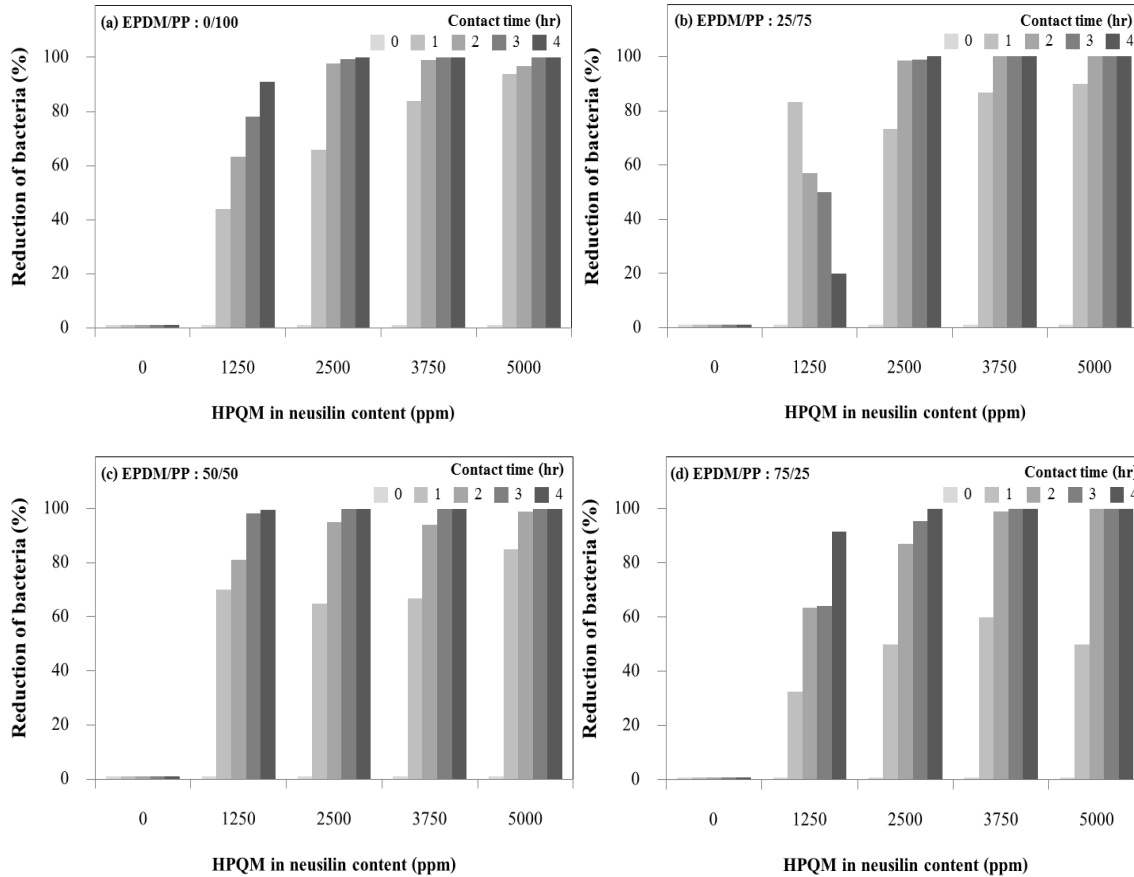


รูปที่ 1 มอดุลัสแรงดึง (a) และ ความต้านทานแรงดึง (b) ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ระหว่างยางอีพิตีเอ็มและพอลิโพรพิลีนสัดส่วน 0/100, 25/75, 50/50 และ 75/25 ที่ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบในการผสม

ในส่วน of ค่าความแข็งที่ผิวของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2(b) มีแนวโน้มลดลงเมื่อสัดส่วนของยางอีพิตีเอ็มเพิ่มขึ้นที่ 75 wt.% เนื่องจากเฟสของยางอีพิตีเอ็มมีค่าความแข็งที่ต่ำกว่าพอลิโพรพิลีน จึงทำให้ค่าความแข็งแรงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ลดลง (Naskar, Noordermeer, 2006) และเมื่อพิจารณาการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบในการผสมด้วยเครื่องอัลตราซอว์พบว่า ความเร็วรอบในการผสมไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลด้านมอดุลัสแรงดึง ความต้านทานแรงดึง การยึดตัว ณ จุดขาด และค่าความแข็งที่ผิว แต่มีข้อสังเกตที่สัดส่วน 75/25 ความเร็วรอบการผสม 60 rpm มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยยะสำคัญของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ ทั้งนี้อาจเนื่องจากแรงเฉือนหลักในการผสมให้เข้ากันของพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดมาจากการเสียดสีของสกรูและบาร์เรล จึงส่งผลให้การผสมที่ความเร็วรอบในการผสมที่ต่ำสุด 60 rpm ก็สามารถผสมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางอีพิตีเอ็มเข้ากันได้ ทั้งนี้ในการผสมพอลิเมอร์คำนึงถึงด้านการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และป้องกันการเสื่อมสภาพ (Degradation) ของพอลิเมอร์ (เสาวรจน์, 2541) เนื่องจากความร้อนจากแรงเฉือนในกระบวนการผสมลดลง ดังนั้นในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอชพีคิวเอ็มจึงเลือกใช้ความเร็วรอบในการผสมที่ 60 rpm



รูปที่ 2 การยืดตัว ณ จุดขาด (a) และความแข็งที่ผิว (b) ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ระหว่างยางอีพดีเอ็มและพอลิโพรพิลีนสัดส่วน 0/100, 25/75, 50/50 และ 75/25 ที่ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบในการผสม



รูปที่ 3 การลดลงของแบคทีเรียของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ระหว่างยางอีพดีเอ็มและพอลิโพรพิลีนสัดส่วน (a) 0/100 (b) 25/75 (c) 50/50 และ (d) 75/25 มีการปรับเปลี่ยนปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอชพีคิวเอ็มและเวลาในการทดสอบ

การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* ด้วยวิธีการนับจำนวนเชื้อแบคทีเรีย (Plate count agar method) โดยตรวจสอบค่าการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็มที่ปริมาณความเข้มข้น 0, 1250, 2500, 3750 และ 5000 ppm ในเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่สัดส่วนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3 ผลการทดลอง พบว่า เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ปริมาณการเติมเอชพีคิวเอ็มความเข้มข้น 1250 ppm มีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียหรือแสดงความสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้ไม่ถึง 99.99% และเมื่อเพิ่มปริมาณการเติมเอชพีคิวเอ็มความเข้มข้น 2500 ppm ในเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ พบว่า สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้ถึง 99.99% โดยที่เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ระหว่างยางอีพีดีเอ็มกับพอลิโพรพิลีนสัดส่วน 0/100, 25/75, 50/50 และ 75/25 ใช้เวลาในการทดสอบ (Contact time) ที่ 4 ชั่วโมง นอกจากนี้ พบว่า ที่อัตราส่วน 75/25 มีข้อสังเกตคือ สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสามารถออกมายับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้น้อยกว่าที่สัดส่วนอื่นๆ ตามเวลาในการทดสอบที่ความเข้มข้นของเอชพีคิวเอ็ม 2500 ppm ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุยางอีพีดีเอ็มคอมปาว์นมีพันธะการเชื่อมขวางภายในวัสดุที่หนาแน่น เมื่อมีสัดส่วนของยางอีพีดีเอ็มในเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์มากขึ้น ทำให้พันธะการเชื่อมขวางภายในวัสดุหนาแน่นขึ้นจากการเติมซิงค์ไดเมทาคริเลตที่เป็นตัวช่วยทำให้เกิดพันธะเชื่อมขวาง อีกทั้งยังทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรงอีกด้วย (Chen et al., 2012) จึงส่งผลทำให้สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียบริเวณพื้นผิวของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ถูกขัดขวางโดยพันธะเชื่อมขวางและออกมาได้ยากขึ้น (Katathikankul et al., 2015 และ Taptim, Sombatsompop, 2014) และอาจเนื่องจากวัสดุยางอีพีดีเอ็มคอมปาว์นผ่านการคงรูปจึงทำให้มีการชะออกของสารเอชพีคิวเอ็มในสารดูดซับนิวซิลินที่ผิวได้น้อยกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ และสารเอชพีคิวเอ็มสามารถละลายน้ำได้ อีกทั้งนิวซิลินเป็นสารดูดซับที่มีความเป็นรูพรุนและชอบน้ำ (Hydrophilic) น้ำจึงสามารถพาเอชพีคิวเอ็มบริเวณผิวหน้าของชิ้นงานออกมายับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้ (Eksirinimitr et al., 2016)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษาอัตราส่วนของยางอีพีดีเอ็มต่อพอลิโพรพิลีน ความเร็วรอบในการผสมและปริมาณของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอชพีคิวเอ็มบนสารดูดซับนิวซิลิน ในเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ สามารถสรุปได้ดังนี้

การเติมวัสดุยางอีพีดีเอ็มในเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ส่งผลทำให้เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์มีค่ามอดุลัสแรงดึง ความต้านทานแรงดึง และค่าความแข็งที่ผิวลดลง แต่สมบัติการยึดตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของยางอีพีดีเอ็มที่เพิ่มขึ้น

การศึกษาสภาวะการผสม โดยการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบในการผสมในเครื่องอัดรีดสกรูคู่ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลโดยรวม โดยเลือกความเร็วรอบในการผสมที่ 60 rpm

การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย พบว่าทุกอัตราส่วนของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เติมสารเอชพีคิวเอ็มในสารดูดซับนิวซิลินเท่ากับ 2500 ppm ที่เวลาในการทดสอบ 4 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* ได้ถึง 99.99%

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยฯ ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยภายใต้โครงการมหาวิทยาลัยแห่งชาติ (National Research University; NRU) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ และอุปกรณ์ทดสอบเชื้อแบคทีเรีย และ บริษัท เคมีอินโนเวชั่น จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ยางอีพีดีเอ็มและสารเคมี

เอกสารอ้างอิง

- นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ. แบบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับโรค. กรุงเทพฯ: NOBLE PRINT; 2544.
- วัชรินทร์ หยูสูง, ธรณิศ นาวารัตน์, สมบัติ พุทธจักร. สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรไพลีนและพอลิเอทิลีน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 2551; 31(2): 383-397.
- เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร. เอกสารประกอบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ 1. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- Chen, Y., Xu, C., Cao, L., Wang, Y. and Cao, X. 2012. PP/EPDM-based dynamically vulcanized thermoplastic olefin with zinc dimethacrylate: preparation, rheology, morphology, crystallization and mechanical properties. *Polymer Testing* 2012; 31 (6): 728-736.
- Eksirinimitr A, Wimolmala E, Taptim K, Sombatsompop N. Effects of simulation conditions on antibacterial performance of polypropylene and polystyrene doped with HPQM antibacterial agent. *Polymer Testing* 2016; 55: 123-134.
- Katathikankul C, Kanking S, Niltui P, Isarangkura K, Wimolmala E, Sombatsompop N. A correlation between reinforcing effect and antibacterial performance of carbon black and silica filled NR vulcanizates containing HPQM-based Neusilin. *Polymers & Polymer Composites* 2015; 23(8): 563-574.
- Naskar K, Noordermeer J. W. M. Influence of various peroxides in PP/EPDM thermoplastic vulcanizates at varied blend ratios. *Journal of Elastomers and Plastics* 2006; 38: 163-180.
- Sributr A, Yamsaengsung W, Israngkura K, Wimolmala E, Kositchaiyong A, Sombatsompop N. Effects of solution and solid forms of 2-hydroxypropyl-3-piperazinyl-quinoline carboxylic acid methacrylate on antibacterial, physical and mechanical properties of polypropylene sheeting. *Journal of Plastic Film and Sheeting* 2015; 31(3): 248-268.
- Taptim K, Sombatsompop N. Effect of UV weathering on mechanical and anti-bacterial performances for peroxide-cured silicone rubber with HPQM. *Journal of Vinyl and Additive Technology* 2014; 20(1): 49-56.