

ผลของสภาวะการใช้งานที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของเทอร์โมพลาสติกที่ผสม
สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีควเอ็ม

Effect of Service Conditions on Anti-bacterial Performance of Thermoplastics
Doped with HPQM

อาทิตย์ เอกศิรินิมิตร¹, เอกชัย วิมลมาลา¹, กุลนิตา เทพทิม^{2*}, และ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ¹
 Artith Eksirinimitr¹, Ekachai Wimolmala¹, Kulnida Taptim^{2*} and Narongrit Sombatsompop¹

¹ กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF) สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.)

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

² สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

96 ม.3 ถนนพุทธมณฑล สาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

¹Polymer Processing and Flow (P-PROF) Group, Division of Materials Technology,
School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT)
126 Pracha-Uthit, Thungkru, Bangkok 10140, THAILAND

²Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin (RMUTR)

96 Moo3 Phutthamonthon Sai 5 Road, Salaya, Phutthamonthon, Nakorn Patom 73170, THAILAND

*kulnida.tap@rmutr.ac.th, +66-2889-4585 ต่อ 2696

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของสภาวะการใช้งานที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิสไตรีน (PS) ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด 2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline Carboxylic acid Methacrylate (HPQM) 2 รูปแบบ คือ รูปแบบบนสารดูดซับแมกนีเซียมอลูมิโนเมตาซิลิเกต (Neusilin[®]) และรูปแบบสารละลาย ที่ความเข้มข้น 0 ถึง 1250 ppm โดยทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อชนิด *Escherichia coli* (*E.coli*) ด้วยเทคนิคการนับเชื้อแบคทีเรียทั้งก่อนและหลังผ่านการจำลองการใช้งาน จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อด้วยเทคนิคการนับเชื้อแบคทีเรียก่อนการทดสอบสภาวะการใช้งานมีร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรียถึง 99.9% ที่ความเข้มข้น 500 750 1250 และ 1250 สำหรับระบบ PP/HPQM-neu PP/HPQM-sol PS/HPQM-neu และ PS/HPQM-sol ตามลำดับ หลังผ่านการทดสอบสภาวะการใช้งานพบว่า ชิ้นงาน PP/HPQM-neu 500 ppm และ PS/HPQM-neu 1250 ppm มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อไม่ถึง 99.9% แต่การใช้งานไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อของระบบ PP/HPQM-sol และ PS/HPQM-sol ซึ่ง PP/HPQM-sol 750 ppm และ PS/HPQM-sol 1250 ppm สามารถยับยั้งเชื้อได้ที่ 99.9% แต่เมื่อแช่ชิ้นงานในน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ชิ้นงาน PP/HPQM-sol 750 ppm and PS/HPQM-sol 1250 ppm มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ลดลง (ไม่ถึง 99.9%) และประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการแช่ชิ้นงานในน้ำเพิ่มขึ้น

คำหลัก: ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย HPQM และสารดูดซับนูซิลิน

Abstract

The effect of service conditions on anti-bacterial performance of polypropylene (PP) and polystyrene (PS) thermoplastics doped with 2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline Carboxylic acid Methacrylate antibacterial agents (HPQM) were studied. HPQM with two different forms, which were HPQM based Neusilin[®] (HPQM-neu) and HPQM based solution (HPQM-sol), were loaded in the polymers at the loading range of 0-

1250 ppm. The antibacterial efficiencies of specimens before and after through service conditions against with *Escherichia coli* (*E.coli*) bacteria were indicated by bacteria reduction test. The results suggested that, the optimal HPQM concentrations to reach 99.9% bacteria reduction were 500 and 750 for PP/HPQM-neu and PP/HPQM-sol, respectively, whereas those of PS/HPQM-neu and PS/HPQM-sol were 1250 ppm. After through service conditions at room temperature, the bacteria reduction of PP/HPQM-neu 500 ppm and PS/HPQM-neu 1250 ppm could not reach at 99.9%, but the bacteria reduction of PP/HPQM-sol 750 ppm and PS/HPQM-sol 1250 ppm still reached at 99.9%. But when tested at 80°C, the anti-bacteria performance of PP/HPQM-sol 750 ppm and PS/HPQM-sol 1250 ppm became less effectively, not reaching at 99.9%, and tended to drop with increasing water immersion time.

Keywords: Anti-bacterial performance, Polypropylene, Polystyrene, Antibacterial agent HPQM and Neusilin®

1. บทนำ

การติดเชื้อจากแบคทีเรีย เป็นสาเหตุสำคัญของโรคร้ายไข้เจ็บหลายชนิด เช่น โรคอหิวาตกโรค วัณโรค โรคบาหะยก และอื่นๆ [1 ,2] ซึ่งแบคทีเรียมีอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้มนุษย์สามารถติดเชื้อแบคทีเรียได้ด้วยการสัมผัสกับเชื้อโดยตรง การดื่ม หรือรับประทานอาหารที่มีเชื้อแบคทีเรียเจริญเติบโตอยู่ [3] ดังนั้น การใช้ภาชนะที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้จึงเป็นอีกวิธีการในการหลีกเลี่ยงการติดเชื้อแบคทีเรียได้เป็นอย่างดี ในปัจจุบันจึงมีบรรจุภัณฑ์ต่างๆที่เติมสารยับยั้งแบคทีเรียนั้นมีใช้กันอย่างแพร่หลาย[4] โดยพอลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์นั้นมีหลายชนิดเช่น พอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิพรอพิลีน และพอลิสไตรีนที่เติมด้วยสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอชพีควเอ็ม รูปแบบบนสารดูดซับนิวซิลินและรูปแบบสารละลาย โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยเทคนิคการนับเชื้อแบคทีเรียทั้งก่อนและหลังการทดสอบสภาวะการใช้งานผลิตภัณฑ์

2. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้พอลิพรอพิลีน และพอลิสไตรีน ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอชพีควเอ็ม 2 รูปแบบ ทำการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยวิธีการอัดขึ้นรูปร้อน การทดสอบในสภาวะการใช้งานของชิ้นงานทดสอบ และการทำการทดสอบ ดังรายละเอียดด้านล่าง

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

พอลิเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัยมี 2 ชนิด คือพอลิพรอพิลีน และพอลิสไตรีน โดยพอลิพรอพิลีนจากบริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (ประเทศไทย) เกรด P403J และพอลิสไตรีนจากบริษัท สยามโพลิสไตรีน จำกัด (ประเทศไทย) เกรด 656D267 สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอชพีควเอ็ม ที่มีชื่อทางเคมี 2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline Carboxylic Acid Methacrylate (HPQM) รูปแบบสารดูดซับจากบริษัท โกวเนเจอร์ จำกัด (ประเทศไทย) และ รูปแบบสารละลายจากบริษัท Micro Science Tech จำกัด (ประเทศเกาหลีใต้) เชื้อแบคทีเรียที่ใช้วิจัย คือ ชนิด *Escherichia coli* (*E.coli*) สายพันธุ์ ATCC 25922 ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุข (ประเทศไทย) จากนั้นทำการทดสอบชิ้นงานในสภาวะจำลองการใช้งาน โดยการจำลองการใช้งานจริงของผลิตภัณฑ์ ด้วยวิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ถึง 7 วัน โดยทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งก่อน และหลังการทดสอบการใช้งาน

2.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

การผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียกับพอลิเมอร์เพื่อให้ได้ชิ้นงานทดสอบ ทำโดยผสมพอลิเมอร์กับสารยับยั้งเชื้อ HPQM ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 750 1000 และ 1250 ส่วนในล้านส่วนโดยน้ำหนัก (ppm) โดยคำนวณตามปริมาณสารออกฤทธิ์ HPQM (HPQM Active ingredient) ด้วยเครื่องผสมแบบอัดรีดเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder) เพื่อให้ได้คอมปาวด์แบบเม็ด แล้วทำการขึ้นรูปชิ้นงานขนาด 18x18x0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนระบบแรงดัน (Hot compression moulding) ที่อุณหภูมิ 200 และ 210 องศาเซลเซียส สำหรับพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีน ตามลำดับ

2.3 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ

การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเชิงปริมาณด้วยเทคนิคการนับเชื้อแบคทีเรีย (Plate count agar method) ทำโดยการเตรียมเชื้อแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แล้วทำการเตรียมสารละลายเปปโตเนให้มีความเข้มข้นของเชื้อเริ่มต้นประมาณ 10^5 CFU/ml ในขวดรูปชมพู่ที่มีชิ้นงานที่มีขนาด 5x5 ตารางเซนติเมตร แล้วนำมาเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แล้วทำการนำเชื้อ

แบคทีเรียที่เวลา 1 2 3 และ 4 ชั่วโมง เลี้ยงบนวุ้นอาหารเป็นเวลา 18 ถึง 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำมานับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่สามารถเจริญเติบโตบนวุ้นอาหาร และคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียตามสมการที่ 1

$$R = \left(\frac{A-B}{A} \right) \times 100$$

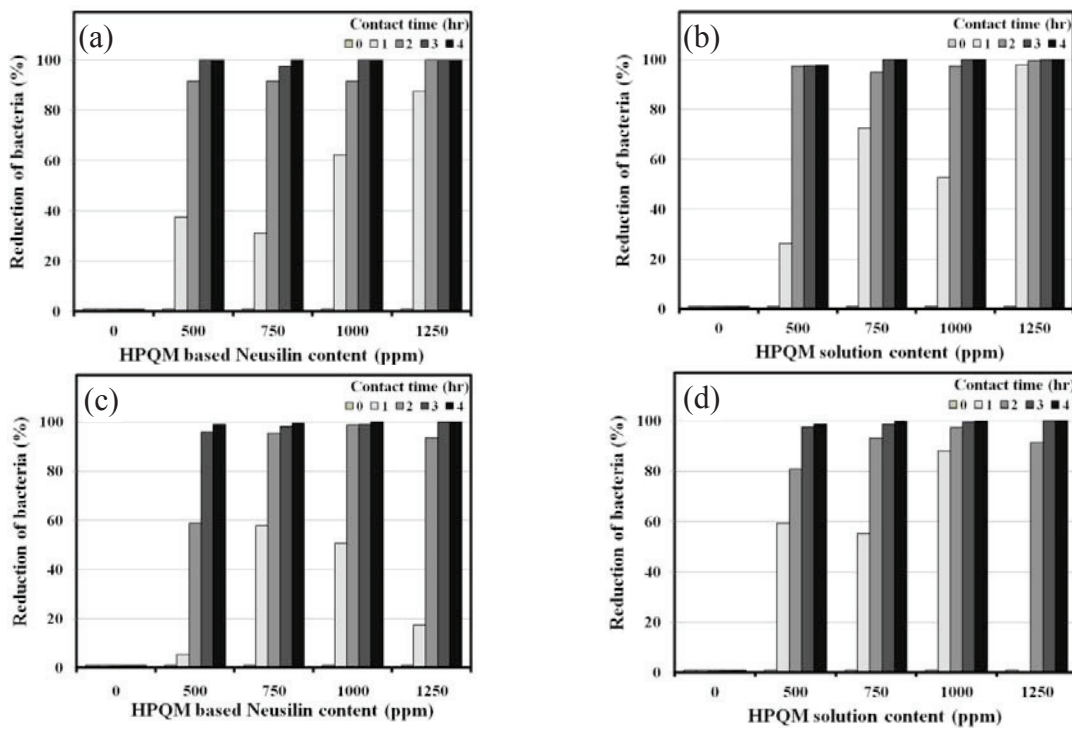
สมการที่ 1

โดยที่ R คือ เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%)
 A คือ จำนวนโคโลนีของชิ้นงานที่ปราศจากสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)
 B คือ จำนวนโคโลนีของชิ้นงานที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)

3. ผลการทดลอง

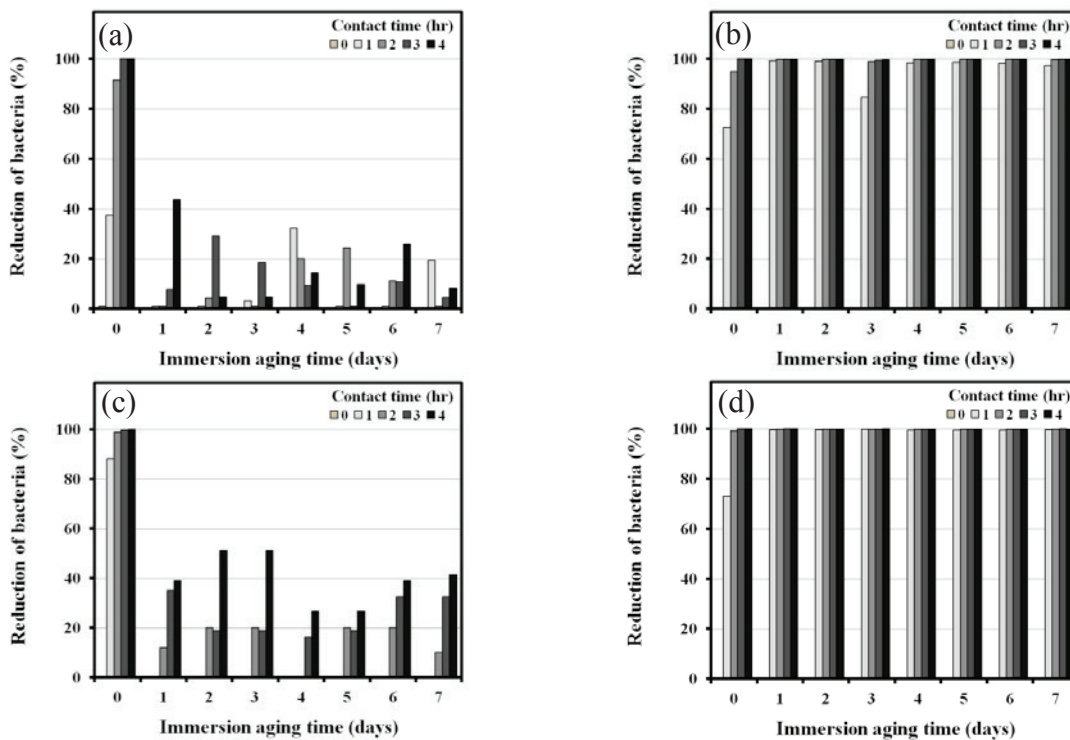
3.1 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของชิ้นงานก่อนผ่านการทดสอบการใช้งาน

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนผสมสาร HPQM ใน 2 รูปแบบ ดังนี้ รูปแบบสารละลายและสารดูดซับที่ความเข้มข้น 0 500 750 1000 และ 1250 ppm แสดงในรูปที่ 1 โดยรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย พบว่าการผสมสาร HPQM ในพอลิเมอร์ 2 ระบบ โดย PP/HPQM-neu และ PP/HPQM-sol มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* เท่ากับ 99.9% ที่ความเข้มข้น 500 และ 750 ppm ตามลำดับ ขณะที่ PS/HPQM-neu และ PS/HPQM-sol ต้องใช้ความเข้มข้นเท่ากับ 1250 ppm ซึ่งสังเกตได้ว่าพอลิพรอพิลีนสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ที่ความเข้มข้นของสาร HPQM น้อยกว่าในพอลิสไตรีน ทั้งนี้เนื่องจากสายโซ่ของพอลิสไตรีนมีความแข็งเกร็ง (rigidity) มากกว่าพอลิพรอพิลีน ส่งผลทำให้เกิดการขัดขวางการปลดปล่อยสาร HPQM ออกมายับยั้งเชื้อแบคทีเรีย[5] ทั้งนี้เป็นผลจากพอลิสไตรีนมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเท่ากับ 80 ถึง 100 องศาเซลเซียส ขณะที่พอลิพรอพิลีนมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส โดยในการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิสไตรีน ในกรณีการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบของสาร HPQM ในพอลิพรอพิลีน แสดงในรูปที่ 1(a) และ 1(b) พบว่า PP/HPQM-neu มีร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรียถึง 99.9% ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า PP/HPQM-sol เนื่องจากสารดูดซับอนุซิลินที่ใช้ดูดซับสาร HPQM มีความเป็นรูพรุนและชอบน้ำ อีกทั้งทั้งสาร HPQM สามารถละลายน้ำได้ดี จึงส่งเสริมการปลดปล่อยสาร HPQM ออกมาได้อย่างรวดเร็วบริเวณผิวหน้าชิ้นงานที่สัมผัสกับน้ำ ในระหว่างการทดสอบ[6] ขณะที่พอลิสไตรีนมีปริมาณการผสมที่เท่ากัน แสดงในรูปที่ 1 (c) และ 1(d) อาจเป็นผลจากความแข็งเกร็งของสายโซ่พอลิสไตรีนขัดขวางการปลดปล่อยสาร HPQM



รูปที่ 1 เปรียบเทียบการลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน (a) PP/HPQM-neu (b) PP/HPQM-sol (c) PS/HPQM-neu และ (d) PS/HPQM-sol ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 750 1000 และ 1250 ppm

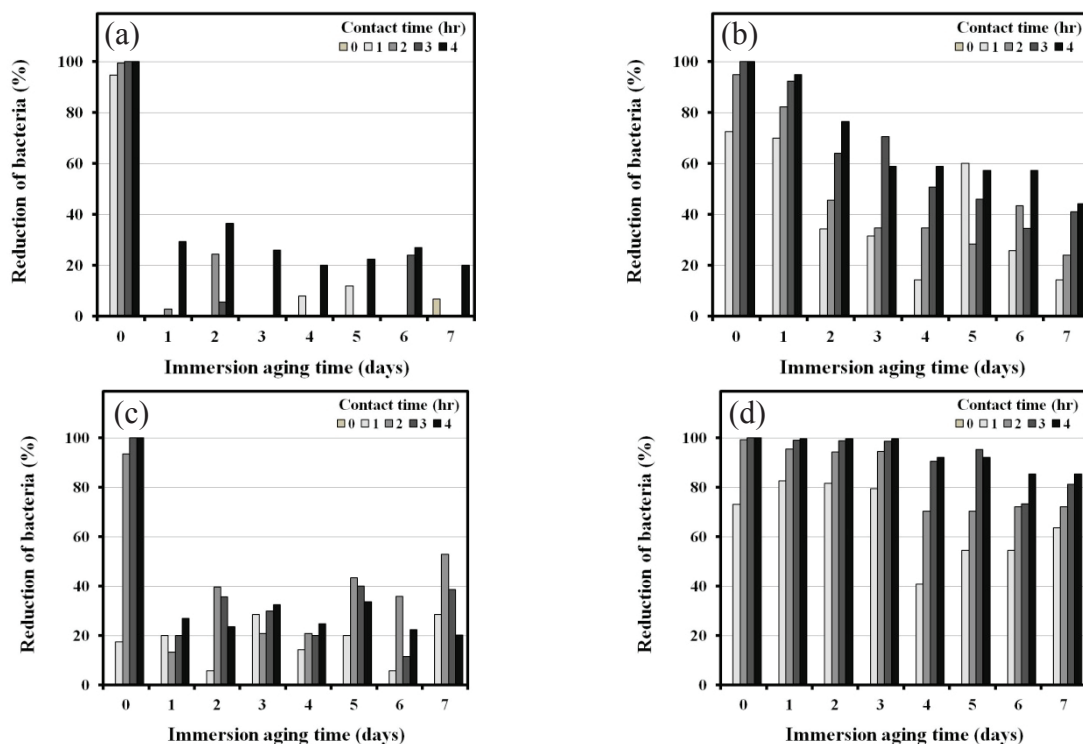
3.2 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของชิ้นงานหลังการเสื่อมสภาพด้วยการแช่น้ำ



รูปที่ 2 เปรียบเทียบการลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน (a) PP/HPQM-neu 500 ppm (b) PP/HPQM-sol 750 ppm (c) PS/HPQM-neu 1250 ppm และ (d) PS/HPQM-sol 1250 ppm หลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0 ถึง 7 วัน

การทดสอบการเสื่อมสภาพโดยการนำชิ้นงาน PP/HPQM-neu 500 ppm PP/HPQM-sol 750 ppm PS/HPQM-neu 1250 ppm และ PS/HPQM-sol 1250 ppm ซึ่งมีความเข้มข้นของสาร HPQM ที่น้อยที่สุดที่มีร้อยละการลดลงของเชื้อ

แบคทีเรียเท่ากับ 99.9% โดยแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน หลังจากนั้นทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* พบว่าชิ้นงาน PP/HPQM-neu 500 ppm และ PS/HPQM-neu 1250 ppm มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้ออยู่ในช่วง 0 ถึง 52% หลังผ่านการแช่น้ำตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 7 แสดงในรูปที่ 2(a) และ 2(c) เนื่องจากสาร HPQM ภายในสารดูดซับอนุซิลินบริเวณผิวหน้าชิ้นงานถูกปลดปล่อยออกมาได้ดี ทำให้ชิ้นงานสูญเสียสาร HPQM ไปจากผิวหน้าระหว่างการแช่น้ำ อีกทั้งสาร HPQM สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารดูดซับอนุซิลินได้ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Qian et al. [6] พบว่าหมู่คาร์บอกซิลิกของสารอิพูปโรเฟนสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของสารดูดซับอนุซิลินได้ ซึ่งสาร HPQM มีหมู่คาร์บอกซิลิกเช่นเดียวกัน จึงคาดว่าสาร HPQM สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารดูดซับอนุซิลิน และส่งผลให้ขัดขวางการปลดปล่อยสาร HPQM จากภายในชิ้นงาน ดังนั้น ชิ้นงานที่สูญเสียสาร HPQM ไปจากผิวหน้าและไม่สามารถปลดปล่อยสาร HPQM จากภายในได้ ส่งผลให้ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ถึง 99.9% ในกรณีของ PP/HPQM-sol 750 ppm และ PS/HPQM-sol 1250 ppm หลังผ่านการแช่น้ำตั้งแต่วันที่ 1 จนถึงวันที่ 7 มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียเท่ากับ 99.9% แสดงในรูปที่ 2(b) และ 2(d) เนื่องจากสาร HPQM-sol สามารถถูกปลดปล่อยจากภายในชิ้นงานได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างภายในชิ้นงานและสารละลายเปปโตน แม้ว่ามีการสูญเสียสาร HPQM ไปบางส่วนจากการแช่น้ำ



รูปที่ 3 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน (a) PP/HPQM-neu 500 ppm (b) PP/HPQM-sol 750 ppm (c) PS/HPQM-neu 1250 ppm และ (d) PS/HPQM-sol 1250 ppm หลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 ถึง 7 วัน

ในส่วนการทดสอบชิ้นงานแช่น้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นงาน PP/HPQM-neu 500 ppm และ PS/HPQM-neu 1250 ppm พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียอยู่ในช่วง 0 ถึง 52% หลังผ่านการแช่น้ำตั้งแต่วันที่ 1 จนถึงวันที่ 7 แสดงในรูปที่ 3(a) และ 3(c) เช่นเดียวกับการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง ขณะที่ PP/HPQM-sol 750 ppm และ PS/HPQM-sol 1250 ppm มีแนวโน้มที่ลดลงของเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียตามวันที่แช่น้ำ แสดงในรูปที่ 3(b) และ 3(d) ซึ่งแตกต่างกับผลการทดลองในรูปที่ 2(b) และ 2(d) ซึ่งการลดลงของ PP/HPQM-sol 750 ppm และ PS/HPQM-sol 1250 ppm เห็นได้อย่างชัดเจนในวันที่ 1 และ 3 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการสั่นไหวเพิ่มขึ้น โดยการสั่นไหวทำให้เกิดช่องว่างระหว่างสายโซ่ ดังนั้น สาร HPQM-sol จึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างดังกล่าวออกมาภายนอกชิ้นงานด้วยความแตกต่างของความเข้มข้นได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Colín-Chávez et al. [8] ที่ผสมสาร astaxanthin ในฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ พบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร astaxanthin ออกจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ มีค่า

เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้แช่ชิ้นงานด้วยสารละลาย ethanol 95% ดังนั้น การแช่ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จึงมีการสูญเสียสาร HPQM-sol ได้มากกว่าที่อุณหภูมิห้อง

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองชิ้นงานระบบ PP/HPQM-*neu* PP/HPQM-*sol* PS/HPQM-*neu* และ PS/HPQM-*sol* มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ถึง 99.9% ที่ความเข้มข้นของสาร HPQM เท่ากับ 500 750 1250 และ 1250 ppm ตามลำดับ จากนั้นทดสอบชิ้นงานระบบ PP/HPQM-*neu* 500 ppm และ PS/HPQM-*neu* 1250 ppm หลังผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ไม่ถึง 99.9% ขณะที่ระบบ PP/HPQM-*sol* 750 ppm และ PS/HPQM-*sol* 1250 ppm ยังคงมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ถึง 99.9% ขณะที่การแช่น้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พอลิเมอร์ทั้งสองระบบ มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไม่ถึง 99.9% และมีแนวโน้มที่ลดลงตามจำนวนวันที่แช่ชิ้นงานในน้ำ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ทุนวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ปีงบประมาณ 2558 ทุนวิจัยโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (NRU) ปีงบประมาณ 2557 ถึง 2558 และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือสำหรับอุปกรณ์และห้องปฏิบัติการวิจัยด้านการทดสอบเชื้อแบคทีเรีย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Saxena, T., Kaushik, P., Mohan, M.K., (2015). Prevalence of *E. coli* O157:H7 in water sources: an overview on associated diseases, outbreaks and detection methods. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 82(3), 249-264.
- [2] Darfeuille-Michaud, A., Colombel, F., (2008). Pathogenic *Escherichia coli* in inflammatory bowel diseases: Proceedings of the 1st International Meeting on *E. coli* and IBD, June 2007, Lille, France. *Journal of Crohn's and Colitis*, 8(12), 1569-1752.
- [3] Elizabeth, S., Susan, D., Karen, M.B.S., (2009). A critical evaluation of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and other bacteria of medical interest on commonly touched household surfaces in relation to household demographics. *American Journal of Infection Control*, 37(6), 447-453.
- [4] Alexandra, M.B., Marta, F.G., (2012). Polymeric materials with antimicrobial activity. *Progress in Polymer science*, 37(2), 281-339.
- [5] Silapasorn, K., Sombatsompop, K., Kositchaiyong, A., Wimolmala, E., Markpin, T. and Sombatsompop, N. (2011). Effect of Chemical Structure of Thermoplastic on Antibacterial Activity and Physical Diffusion of Composites with CaCO₃. *Journal of Applied Polymer Science*, 121(31), 253-261.
- [6] Sributr, A., Yamsaengsung, W., Wimolmala, E., Kositchaiyong, A., Isarangkura, K. & Sombatsompop, N. (2014). 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 & Sheeting*, 0(0), 1-21, DOI: 10.1177/8756087914561137
- [7] Qian, K.K., Zhou, W., Xu, X. & Udovic, T.J. (2012). Characterization of medicinal compounds confined in porous media by neutron vibrational spectroscopy and first- principles calculations: A case study with Ibuprofen. *Pharmaceutical Research Journal*, 29(9), 2432-2444. DOI: 10.1007/s11095-012-0771-z
- [8] Colín-Chávez, C., Soto-Valdez, H., Peralta, E., Lizardi-Mendoza, J. & Balandrán-Quintana, R. (2013). Diffusion of natural astaxanthin from polyethylene active packaging films into a fatty food stimulant. *Food Research International*, 54(2013), 873-880.