

# ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและสมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน

## ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย HPQM รูปแบบสารดูดซับและสารละลาย

อาทิตย์ เอกศิรินิมิตร<sup>1\*</sup> กุลนิตา เทพทิม<sup>2</sup> เอกชัย วิมลมาลา<sup>1</sup> และ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภาพ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF) สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>2</sup>สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

\*E-mail: ek.artith@gmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของการผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline Carboxylic acid Methacrylate (HPQM) 2 รูปแบบ ดังนี้ รูปแบบสารดูดซับแมกนีเซียมอลูมิโนเมตาซิลิเกต โดยมีชื่อทางการค้าว่านูซิลิน (HPQM-*neu*) และรูปแบบสารละลาย (HPQM-*sol*) ในพอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิสไตรีน (PS) ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและสมบัติเชิงกล โดยสาร HPQM มีความเข้มข้น 0 ถึง 1250 ppm เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยเทคนิคการวัดรัศมียับยั้งและการนับเชื้อแบคทีเรีย โดยใช้แบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* (*E.coli*) และ *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) พร้อมทั้งทำการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านความต้านทานต่อแรงดัดโค้งและแรงกระแทก จากผลการทดลองพบว่า PP/HPQM-*sol* และ PS/HPQM-*sol* มีรัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรียมากกว่า PP/HPQM-*neu* และ PS/HPQM-*neu* ในส่วนการทดสอบด้วยเทคนิคการนับเชื้อแบคทีเรีย 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 โดยการผสมสารยับยั้งเชื้อ HPQM ในพอลิเมอร์ทั้งสองมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *S.aureus* ไม่ถึง 99.9% และการผสมสาร HPQM-*neu* และ HPQM-*sol* ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลด้านความต้านทานต่อแรงดัดโค้งและแรงกระแทกสำหรับพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน

**คำสำคัญ:** พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย HPQM สารดูดซับนูซิลิน สมบัติเชิงกล

## Antibacterial Efficiency and Mechanical Properties of Polypropylene and Polystyrene

### Doped with HPQM Based Neusilin and Solution

Artith Eksirinimitr<sup>1\*</sup>, Kulnida Taptim<sup>2</sup>, Ekachai Wimolmala<sup>1</sup> and Narongrit Sombatsompop<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Polymer PROcessing and Flow (P-PROF) Group, Division of Materials Technology,

School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT)

<sup>2</sup>Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin (RMUTR)

\*E-mail: ek.artith@gmail.com

### Abstract

2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline Carboxylic acid Methacrylate antibacterial agents (HPQM) of two forms, which were Magnesium Alumino-metasilicate based Neusilin<sup>®</sup> (HPQM-*neu*) and based solution (HPQM-*sol*) were loaded at 0-1250 ppm in polypropylene (PP) and polystyrene (PS) and the antibacterial efficiency and mechanical properties were studied. The antibacterial efficiency against with *Escherichia coli* (*E.coli*) and *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) bacteria was indicated by inhibition radiance and the percent of bacteria reduction test. The flexural and Impact tests were performed. The results showed that the PP/HPQM-*sol* and PS/HPQM-*sol* showed higher inhibition zone than the PP/HPQM-*neu* and PS/HPQM-*neu*. The percentage of bacteria reduction indicated that the optimal HPQM concentrations to reach 99.9% *E.coli* bacteria reduction were 500 and 750 for PP/HPQM-*neu* and PP/HPQM-*sol*, respectively, whereas those for PS/HPQM-*neu* and PS/HPQM-*sol* were 1250 ppm.

When testing against *S.aureus*, the bacteria reduction has never reached at 99.9%. The addition of HPQM in both forms into PP and PS did not significantly affect the flexural and Impact properties.

Keyword : Polypropylene, Polystyrene, Antibacterial Agent HPQM, Neusilin<sup>®</sup> Adsorbent and Mechanical Properties.

## บทนำ

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับอาหารสามารถผลิตได้จากวัสดุหลากหลายชนิด ได้แก่ กระดาษ พลาสติก แก้ว และโลหะ โดยพลาสติกเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถต้านทานการซึมผ่านของแก๊สและความชื้นได้ดีกว่ากระดาษ มีความทนทานสามารถใช้งานได้ ขึ้นรูปได้หลากหลายรูปแบบ และน้ำหนักเบา เป็นต้น บรรจุภัณฑ์ถูกใช้เพื่อป้องกันสิ่งเจือปน และปัจจัยที่ทำให้อาหารมีคุณภาพลดลง ได้แก่ ความชื้น ออกซิเจน อุณหภูมิ และเชื้อแบคทีเรีย เป็นต้น (ปุ่นและสมพร, 2541; เจริญขวัญ, 2556) แม้ว่าการเก็บรักษาอาหารภายในบรรจุภัณฑ์ไม่สัมผัสกับสิ่งเจือปนภายนอก แต่แบคทีเรียที่ปนเปื้อนมากับอาหารส่งผลต่อคุณภาพของอาหารและสุขภาพของผู้บริโภค เช่น เชื้อแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* เป็นสาเหตุของโรค อูจจาระร่วง โรคติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ และโรคติดเชื้ออื่นๆ พบได้ในอาหารสด และอาหารแห้ง (พิมพ์เพ็ญ, 2553) ดังนั้น ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุพอลิเมอร์ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเพิ่มมากขึ้น โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิสไตรีนที่ผสมด้วยอนุภาคเงินขนาดนาโนเคลือบลงบนกระดาษด้วยเชื้อแบคทีเรียชนิด *Pseudomonas*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* และ *Bacillus cereus* พบว่าชิ้นงานสามารถแสดงการยับยั้งแบคทีเรียชนิด *E.coli* *S.aureus* และ *Bacillus cereus* ได้มากขึ้นตามปริมาณอนุภาคเงินขนาดนาโน (Nassar and Youssef, 2012) รวมถึงมีการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของพอลิเมอร์ 6 ชนิดที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด ไตรโคซาน พบว่าพอลิเมอร์แต่ละชนิดแสดงประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจากมากไปน้อย ดังนี้ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นกลาง พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน และพอลิไวนิลคลอไรด์ เนื่องจากโครงสร้างของพอลิเมอร์ส่งผลต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในการปลดปล่อยสารไตรโคซานออกมาจากพอลิเมอร์ (Silapasorn et al., 2011) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด HPQM ใน 2 รูปแบบ ดังนี้ รูปแบบสารดูดซับและสารละลายเข้ากับพอลิโพรพิลีน พบว่าพอลิโพรพิลีนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย HPQM รูปแบบสารดูดซับมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียได้ถึง 99.9% ที่ความเข้มข้นของสาร HPQM น้อยกว่าการผสมด้วยรูปแบบสารละลาย เป็นผลจากสารดูดซับส่งเสริมการปลดปล่อยสาร HPQM ออกมาระหว่างการทดสอบได้ดี (Sributr et al., 2014) นอกจากนี้สาร HPQM เป็นสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ได้รับการรับรองความปลอดภัยจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประเทศเกาหลีใต้ (The Korea Food & Drug Administration, KFDA) ให้สามารถใช้งานกับบรรจุภัณฑ์อาหารได้ (Micro Science Tech Co., Ltd., 1999) และมีงานวิจัยที่ทำการทดสอบความเป็นพิษเรื้อรังของสาร HPQM กับหนู ซึ่งพบว่าสาร HPQM ไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษในร่างกายของหนู (เรวดีและคณะ, 2556)

งานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะศึกษาการผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย HPQM รูปแบบสารดูดซับและสารละลาย ในพอลิเมอร์ 2 ระบบ คือ พอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและสมบัติเชิงกล เนื่องจากพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะและการใช้งานที่แตกต่างกันมาก รวมถึงถูกนำมาผลิตเป็นกล่องบรรจุภัณฑ์อาหารและสามารถใช้งานได้หลายครั้ง ซึ่งมีโอกาสเป็นแหล่งสะสมของเชื้อแบคทีเรียได้

## วิธีการวิจัย

### วัสดุวิจัย

วัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้วิจัยมี 2 ระบบ คือ พอลิโพรพิลีน (Polypropylene; PP) เกรด P403J จากบริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (ประเทศไทย) และ พอลิสไตรีน (Polystyrene; PS) เกรด 656D267 จากบริษัท สยามโพลิสไตรีน จำกัด (ประเทศไทย) สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline Carboxylic Acid Methacrylate (HPQM) โดยรูปแบบสารละลาย (HPQM-sol) จากบริษัท Micro Science Tech จำกัด (ประเทศเกาหลีใต้) และรูปแบบสารดูดซับ (HPQM-neu) จากบริษัท โกเวนเจอร์ จำกัด (ประเทศไทย) เชื้อแบคทีเรียที่ใช้วิจัยมี 2 ชนิด ได้แก่ เชื้อแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* (*E.coli*) สายพันธุ์ ATCC 25922 และเชื้อแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) สายพันธุ์

ATCC25923 จากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุข (ประเทศไทย) อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง (Plate Count Agar; PCA) เปปโตน (Peptone) และอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว (Nutrient Broth; NB) จากบริษัท Hi Media Laboratories จำกัด วัณอาหารเลี้ยงเชื้อ (Nutrient Agar; NA) จากบริษัท Laboratories Britania S.A. (ประเทศไทย)

**ตารางที่ 1** สมบัติของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย HPQM รูปแบบบนสารดูดซับและสารละลาย (Sributr et al., 2014)

Antibacterial agent	Active ingredient (HPQM) content	Physical properties
HPQM based Neusilin <sup>®</sup> (HPQM-neu)	21.0-23.0% (carried on Magnesium aluminometasilicate, Neusilin <sup>®</sup> )	- Clear liquid, Odourless - Density = 1.05 g/cm <sup>3</sup> (25 °C)
HPQM based solution (HPQM-sol)	10.0 % (based Deionized water)	- White powder (Amorphous, degree of whiteness 95%) - Density ~ 0.21-0.23 g/cm <sup>3</sup> (25 °C)

#### การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

การเตรียมชิ้นงานทดสอบเริ่มจากการผสมพอลิเมอร์ (พอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน) เข้ากับสาร HPQM-neu และ HPQM-sol ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 750 1000 และ 1250 ส่วนในล้านส่วนโดยน้ำหนัก (ppm) โดยคำนวณตามปริมาณสารออกฤทธิ์ HPQM (HPQM Active ingredient) ด้วยเครื่องผสมแบบอัดรีดเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder) เพื่อให้ได้คอมปาวด์แบบเม็ด จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบขนาด 18x18x0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนระบบแรงดัน (Hot compression moulding) ที่อุณหภูมิ 200 และ 210 องศาเซลเซียสสำหรับพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน ตามลำดับ ที่ความดันเท่ากับ 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และหล่อเย็นชิ้นงานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

#### การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเชิงคุณภาพด้วยเทคนิคการวัดรัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Halo test) โดยเตรียมเชื้อแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว และบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นผสมเชื้อแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวเข้ากับวัณอาหารเลี้ยงเชื้อในอัตราส่วน 1:1 ได้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดกึ่งแข็งที่มีความเข้มข้นเชื้อแบคทีเรียประมาณ 10<sup>5</sup> กลุ่มแบคทีเรียต่อมิลลิลิตร (CFU/ml) และเทลงบนจานเพาะเชื้อที่เตรียมไว้ (อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดกึ่งแข็งบนจานเพาะเชื้อ) ทำการวางชิ้นงานทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร บนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดกึ่งแข็ง บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ถึง 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และคำนวณตามสมการที่ 1

$$R_A = \frac{D_B - D_A}{2}$$

สมการที่ 1

- โดยที่  $R_A$  คือ รัศมีการยับยั้งเชื้อ (มิลลิเมตร)  
 $D_A$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานทดสอบ (มิลลิเมตร)  
 $D_B$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้งเชื้อ (มิลลิเมตร)

การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเชิงปริมาณด้วยเทคนิคการนับเชื้อแบคทีเรีย (Plate count agar method) โดยเตรียมเชื้อแบคทีเรียในสารละลายเปปโตนให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นประมาณ 10<sup>5</sup> CFU/ml จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบขนาด 5x5 ตารางเซนติเมตร เขย่าร่วมกับเชื้อแบคทีเรียในสารละลายเปปโตนด้วยความเร็วการเขย่า 100 รอบต่อนาที

ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ติดตามการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เวลา 1 2 3 และ 4 ชั่วโมง ด้วยการนำเชื้อแบคทีเรียที่ผ่านการเขย่ามาเจือจางให้มีความเข้มข้นลดลงครั้งละ 10 เท่า และเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็งที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ถึง 24 ชั่วโมง ภายในตู้บ่ม เก็บผลการทดลองด้วยการนับจำนวนโคโลนี (กลุ่มแบคทีเรีย) และคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียตามสมการที่ 2

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

สมการที่ 2

โดยที่ R คือ เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%)

A คือ จำนวนโคโลนีของชิ้นงานที่ปราศจากสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)

B คือ จำนวนโคโลนีของชิ้นงานที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)

### การทดสอบสมบัติเชิงกล

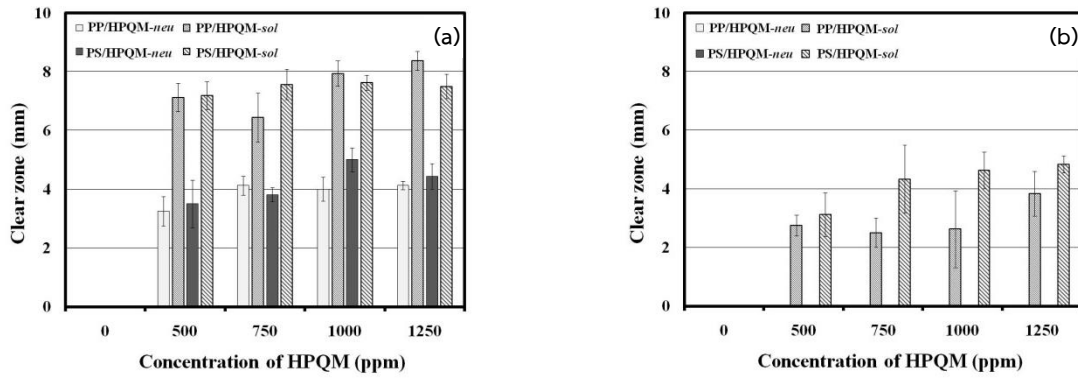
เตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D790 (Procedure A, 2010) และ ASTM D256 (2010) เพื่อทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดัดโค้ง (Flexural properties) และสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact property) ตามลำดับ

### ผลการวิจัย

#### ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนผสมสาร HPQM

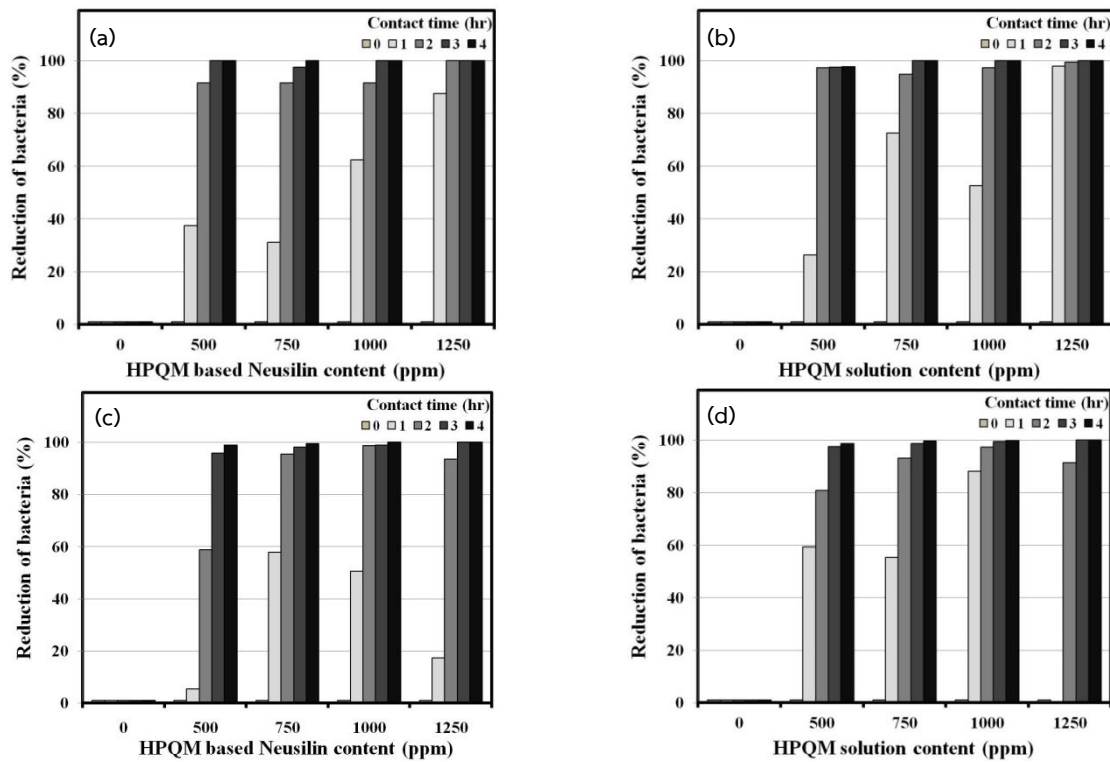
ผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเชิงคุณภาพด้วยเทคนิคการวัดปริมาณเชื้อแบคทีเรียของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนผสม HPQM รูปแบบสารดูดซับและสารละลายที่ความเข้มข้น 0 500 750 1000 และ 1250 ppm พบว่าปริมาณเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสาร HPQM แสดงในรูปที่ 1(a) ซึ่งชิ้นงานพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนที่ผสมสาร HPQM-sol มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียมากกว่าชิ้นงานที่ผสมสาร HPQM-neu เนื่องจากในการทดสอบปริมาณเชื้อแบคทีเรีย ชิ้นงานสัมผัสกับวุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 18 ถึง 24 ชั่วโมง ส่งผลให้การปลดปล่อยสาร HPQM-sol จากภายในชิ้นงานสู่วุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยความแตกต่างความเข้มข้นสามารถเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง ขณะที่ชิ้นงานผสมสาร HPQM-neu สามารถปลดปล่อยสาร HPQM จากบริเวณผิวหน้าเป็นหลัก ซึ่งเป็นผลจากสารดูดซับอนุซิลินสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสาร HPQM ได้ เป็นการขัดขวางการปลดปล่อยสาร HPQM จากภายในชิ้นงาน ทั้งนี้เนื่องจากสาร HPQM มีหมู่คาร์บอกซิลิกเป็นองค์ประกอบ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Qian et al. (2012) รายงานว่าหมู่คาร์บอกซิลิกของสารอิบูโพรเฟนสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารดูดซับอนุซิลินได้ ซึ่งคาดว่าหมู่คาร์บอกซิลิกของสาร HPQM สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารดูดซับอนุซิลินได้เช่นกัน ดังนั้น ชิ้นงานที่ผสมสาร HPQM-sol จึงสามารถปลดปล่อยสาร HPQM สู่วุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อได้มากกว่าชิ้นงานที่ผสมสาร HPQM-neu

จากรูปที่ 1(b) ในกรณีทดสอบด้วยเชื้อ *S.aureus* พบว่าชิ้นงานที่ผสมสาร HPQM-neu ไม่มีปริมาณเชื้อแบคทีเรีย ขณะที่ชิ้นงานที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย HPQM-sol มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสาร HPQM ทั้งนี้จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบด้วยเชื้อ *E.coli* ในรูปที่ 1(a) พบว่ามีแนวโน้มในทางเดียวกัน แต่ชิ้นงานมีปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ที่สูงกว่า *S.aureus* เนื่องจากแบคทีเรียชนิด *S.aureus* มีชั้นเปปทิโดไกลแคนซึ่งเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ที่หนากว่า *E.coli* (Chinkamonthonget al., 2012)



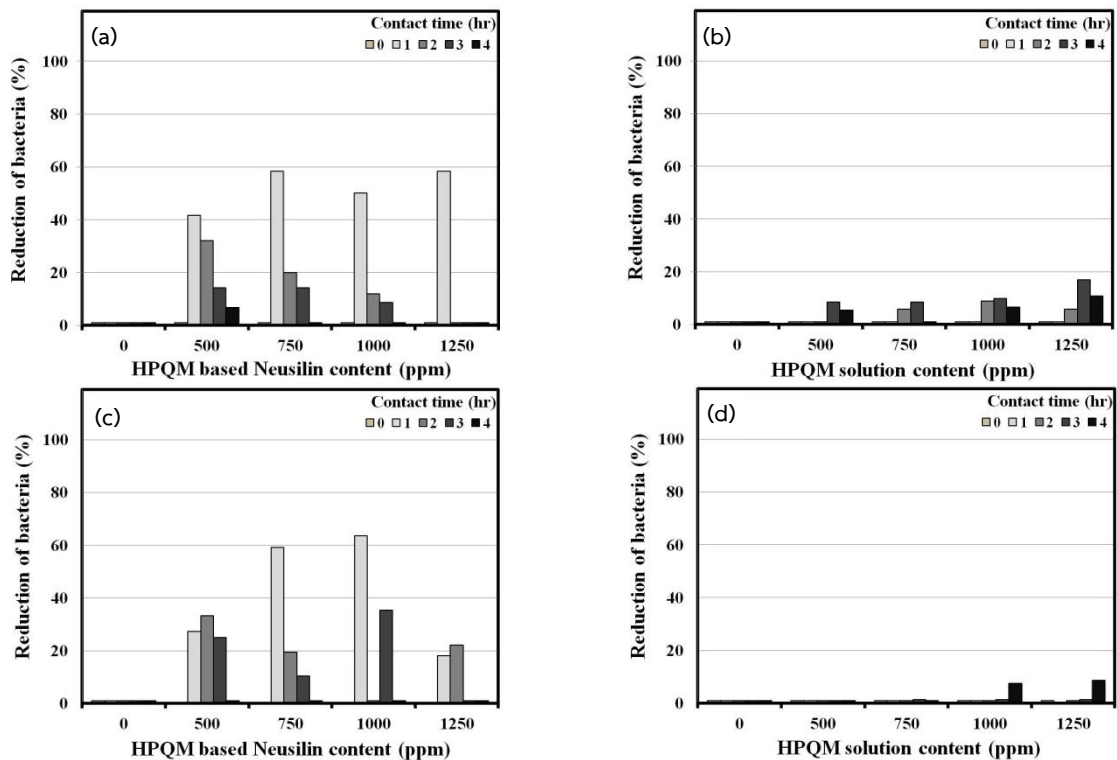
รูปที่ 1 รัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด (a) *E. coli* และ (b) *S. aureus* ของชิ้นงาน PP/HPQM-neu PP/HPQM-sol PS/HPQM-neu และ PS/HPQM-sol ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 750 1000 และ 1250 ppm

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเชิงปริมาณด้วยเทคนิคการนับเชื้อแบคทีเรียของพอลิโพรพิลีน และพอลิไทรินผสม HPQM รูปแบบสารดูดซับและสารละลายที่ความเข้มข้น 0 500 750 1000 และ 1250 ppm แสดงในรูปที่ 2 พบว่าพอลิโพรพิลีนผสมสาร HPQM มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* เท่ากับ 99.9% ที่ความเข้มข้น 500 และ 750 ppm สำหรับ PP/HPQM-neu และ PP/HPQM-sol ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 2 (a และ b) ที่เวลาการทดสอบ 4 ชั่วโมง เนื่องจากสารดูดซับนิวซิลินมีความเป็นรูพรุนและชอบน้ำ รวมถึงสาร HPQM สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งสารละลายเปปไทด์ที่ใช้ในการทดสอบมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักจึงสามารถเข้าทำลายสาร HPQM (Sributr et al., 2014) ส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างสารดูดซับกับสาร HPQM ถูกทำลายและเกิดการปลดปล่อยสาร HPQM ได้ดีบริเวณผิวหน้าชิ้นงานที่สัมผัสกับน้ำ ดังนั้น PP/HPQM-neu สามารถปลดปล่อยสาร HPQM ออกมายับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้รวดเร็วกว่า PP/HPQM-sol



รูปที่ 2 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *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

โดยแตกต่างจากผลการทดสอบด้วยเทคนิคการวัดครีมีบียังยั้งเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งขึ้นงานวางอยู่บนวันอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความชื้นเพียงเล็กน้อยรวมถึงเวลาในการทดสอบยาวนานกว่า ขณะที่พอลิสไตรีนผสมสาร HPQM มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียที่ 99.9% ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1250 ppm สำหรับทั้งสองรูปแบบ แสดงในรูปที่ 2 (c และ d) เนื่องจากพอลิสไตรีนมีสายโซ่โมเลกุลที่แข็งเกร็ง (Chain rigidity) อาจส่งผลให้เกิดการขัดขวางการปลดปล่อยสาร HPQM ในส่วนการเปรียบเทียบระหว่างชนิดของพอลิเมอร์ พบว่าพอลิโพรพิลีนสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ 99.9% ที่ความเข้มข้นของสาร HPQM น้อยกว่าพอลิสไตรีน เนื่องจากอุณหภูมิในการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเท่ากับ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature,  $T_g$ ) ของพอลิโพรพิลีน ขณะที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิสไตรีน ส่งผลให้สารโซ่ของพอลิสไตรีนมีความแข็งเกร็ง (Chain rigidity) ที่มากกว่า ดังนั้น พอลิสไตรีนสามารถปลดปล่อย (Releasing) สาร HPQM ออกมายับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้น้อยกว่าพอลิโพรพิลีน (Silapasorn et al., 2011)



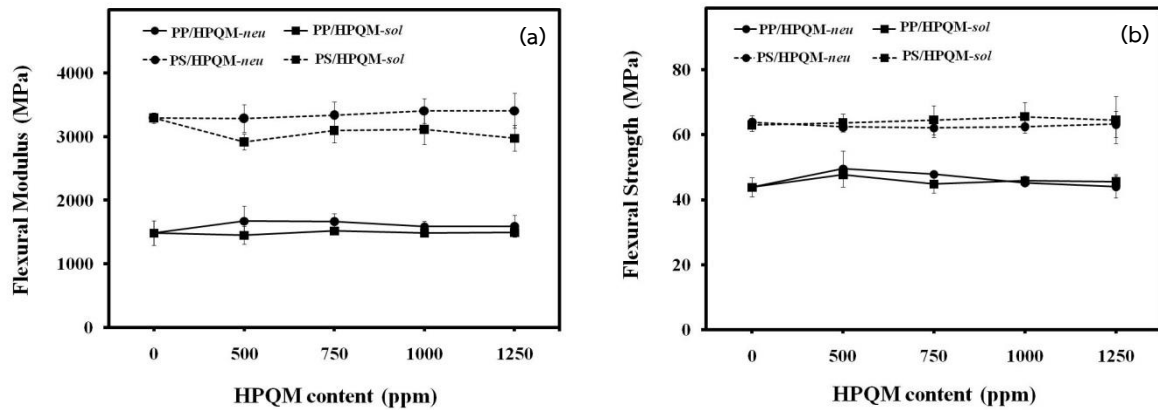
รูปที่ 3 เปรอ์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *S.aureus* ของขึ้นงาน(a) PP/HPQM-neu (b) PP/HPQM-sol (c) PS/HPQM-neu และ (d) PS/HPQM-sol ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 750 1000 และ 1250 ppm

ในกรณีทดสอบด้วยเชื้อแบคทีเรีย *S.aureus* พบว่าขึ้นงานไม่สามารถแสดงเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิดนี้ได้ถึง 99.9% สำหรับทุกกรณี แสดงในรูปที่ 3 เนื่องจากแบคทีเรียชนิด *S.aureus* มีชั้นเปปไทโดไกลแคนซึ่งเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ที่หนากว่า *E.coli* (Chinkamonthonget al., 2012) อาจส่งผลให้สาร HPQM ไม่สามารถแพร่ผ่านเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรีย *S.aureus* และยับยั้งการสังเคราะห์ผนังเซลล์และดีเอ็นเอที่มีความสำคัญต่อการแบ่งเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียได้ (อริยา, 2556)

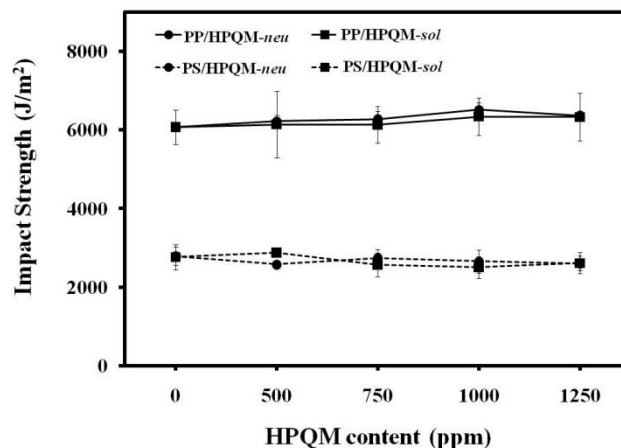
### สมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนผสมสาร HPQM

ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดัดโค้งและแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนผสม HPQM รูปแบบสารดูดซับและสารละลายที่มีความเข้มข้น 0 500 750 1000 และ 1250 ppm ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ พบว่าค่ามอดูลัสต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural modulus) ค่าความต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural strength) และค่าความ

ต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact strength) ของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนที่ผสมสาร HPQM ทั้ง 2 รูปแบบที่ความเข้มข้น 0 ถึง 1250 ppm ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากความเข้มข้นของสาร HPQM ในงานวิจัยนี้เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ตามสัดส่วนโดยน้ำหนัก สาร HPQM มีปริมาณที่น้อยกว่าพอลิเมอร์ค่อนข้างมาก (ที่ความเข้มข้น 1250 ppm คิดเป็น 0.125%) ดังนั้น การผสมสาร HPQM ในพอลิเมอร์ทั้งสองไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกล



รูปที่ 4 สมบัติเชิงกลด้านการต้านทานต่อแรงดัดโค้ง โดย (a) ค่ามอดุลัส และ (b) ความต้านทานแรงดัดโค้งของ PP/HPQM-neu PP/HPQM-sol PS/HPQM-neu และ PS/HPQM-sol ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 750 1000 และ 1250 ppm



รูปที่ 5 สมบัติเชิงกลด้านความต้านทานต่อแรงกระแทกของ PP/HPQM-neu PP/HPQM-sol PS/HPQM-neu และ PS/HPQM-sol ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 750 1000 และ 1250 ppm

#### อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่า PP/HPQM-sol และ PS/HPQM-sol มีรัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้มากกว่า PP/HPQM-neu และ PS/HPQM-neu ในส่วนการทดสอบด้วยเทคนิคการนับเชื้อแบคทีเรีย 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 โดยการผสมสารยับยั้งเชื้อ HPQM ในพอลิเมอร์ทั้งสองมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *S.aureus* ไม่ถึง 99.9% นอกจากนี้ ยังพบว่าการผสมสาร HPQM-neu และ HPQM-sol ไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลด้านความต้านทานต่อแรงดัดโค้งและแรงกระแทกของวัสดุพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยฯ ขอขอบคุณทุนวิจัยโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (NRU) ปีงบประมาณ 2557 ถึง 2558 ทุนวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือสำหรับอุปกรณ์และห้องปฏิบัติการวิจัยด้านการทดสอบเชื้อแบคทีเรีย

## เอกสารอ้างอิง

- เจิมขวัญ สังข์สุวรรณ. (2556). *บรรจุภัณฑ์และอายุการเก็บของอาหารแห้ง*. กรุงเทพฯ: โอ เอส พรีนติ้ง เฮ้าส์.
- ปุ่น คงเจริญเกียรติและสมพร คงเจริญเกียรติ. (2541). *บรรจุภัณฑ์อาหาร*. กรุงเทพฯ: บริษัท โรงพิมพ์หย่าง แจกักัด.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2553). *โรคและอาการของโรคที่เกิดจาก Escherichia coli*. สืบค้นเมื่อ 17 มีนาคม, 2558, จากเว็บไซต์ Food network solution:  
<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3938/โรคและอาการของโรคที่เกิดจาก-escherichia-coli>
- เรวดี บุตรารณ, มาสเกียรติ บุญยฤทธิ์, นวชนิษฐ์ สัจจนนท์, วริฎฐา สงวนเรืองและสมชาย แสงกิจพร. (2556). การทดสอบความเป็นพิษกึ่งเรื้อรังของสารยับยั้งเชื้อจุลชีพ 2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline Carboxylic acid Methacrylate (HPQM) ในหนูแรทสายพันธุ์วิสตาร์. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*, 55(1), 8-23.
- อริยา ศรีบุตร. (2556). *การผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในสารดูดซับแมกนีเซียมอลูมิเนียมเมตาซิลิเกตในพอลิโพรพิลีนเพื่อยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย*. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ
- Chinkamonthong, R., Kositchaiyong, A. & Sombatsompop, N. (2012), Effects of thermal and uv aging on antibacterial properties of linear low-density polyethylene and poly(vinyl chloride) films containing nano-silver colloid. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 29(2), 144-162.
- Micro Science Tech Co., Ltd (1999). *Nontoxic anti-microbial additives*. Retrieved from <http://www.biocleanact.com/eng/add/index.html>
- Nassar, M.A. & Youssef, A. M. (2012). Mechanical and antibacterial properties of recycled carton paper coated by PS/Ag nanocomposites for packaging. *Carbohydrate Polymers*, 89(39), 269– 274.
- 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
- Silapasorn, K., Sombatsompop, K., Kositchaiyong, A., Wimolmala, E., Markpin, T. & Sombatsompop, N. (2011). Effect of chemical structure of thermoplastic on antibacterial activity and physical diffusion of composites with CaCO<sub>3</sub>. *Journal of Applied Polymer Science*, 121(31), 253-261.



Sributr, A., Yamsaengsung, W., Wimolmala, E., Kositchaiyong, A., Isarangkura, K. & Sombatsompop, N. (2014). Effects of solution and solid forms of 2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyloxy-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