ผลของสภาวะการบ่มเร่งที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและสมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอ็ชพีคิวเอ็ม

โดย

กุลนิดา เทพทิม

เอกชัย วิมลมาลา

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2558

Effect of Aging Conditions on Anti-bacterial Performance and Mechanical Properties of Polypropylene and Polystyrene Doped with HPQM

By

Kulnida Taptim

Ekachai Wimolmala

Granted by

Rajamangala University of Technology Ratttanakosin

Fiscal year 2015

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากงบประมาณเงินแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2558 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ โดยได้รับการประเมินข้อเสนอจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) คณะผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ อีกทั้งขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีสำหรับความอนุเคราะห์เครื่องมือในการขึ้นรูป และการทดสอบพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือสำหรับความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

ขอขอบคุณที่ปรึกษาศาสตราจารย์ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และสมาชิกกลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF) สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

คณะผู้วิจัยเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์กับผู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำไปศึกษาให้เป็นประโยชน์ต่อสังคม และประเทศ ต่อไป

กุลนิดา เทพทิม และคณะ

ตุลาคม 2558

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : Social022/2558

ชื่อโครงการ : ผลของสภาวะการบ่มเร่งที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและสมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอ็ชพีคิวเอ็ม

ชื่อนักวิจัย : ดร.กุลนิดา เทพทิม, รศ.เอกชัย วิมลมาลา

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 หลังผ่านการทดสอบสภาวะการใช้งานพบว่าชิ้นงาน 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 โดยการผสมสาร HPQM-*neu* และ HPQM-*sol* ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลด้านความต้านทานต่อแรงดัดโค้งและแรงกระแทกสำหรับพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน

คำสำคัญ : พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียHPQM สารดูดซับนูซิลิน

E-mail Address : kulnida.tap@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2557-กันยายน 2558

Abstract

Code of project : **Social022/2558**

Project name : Effect of Aging Conditions on Anti-bacterial Performance and Mechanical Properties of Polypropylene and Polystyrene Doped with HPQM

Researcher name : Dr. Kulnida Taptim, Asst Prof. Ekachai Wimolmala

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%. 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. 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® Adsorbent

---

E-mail Address : **kulnida.tap@rmutr.ac.th**

Period of project : October 2014 – September 2015

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ก

บทคัดย่อภาษาไทย ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค

สารบัญ ง

สารบัญตาราง ฉ

สารบัญภาพ ช

บทที่ 1 บทนำ **1**

1. หลักการและเหตุผล 1

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย 2

4. ผลการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง **4**

1. พอลิเมอร์ 4

2. การเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ 5

3. แบคทีเรีย 6

4. สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ 7

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน **10**

1. วัสดุที่ใช้วิจัย 10

2. วิธีการดำเนินการวิจัย 16

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 การวิจัยและผลการวิจัย 20

1. ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน ที่ผสมสาร HPQM ก่อนการบ่มเร่ง 20
2. สมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนผสมสาร HPQM 24
3. การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของชิ้นงานหลังการเสื่อมสภาพด้วยการแช่น้ำ 25

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 30

บรรณานุกรม 31

ประวัติผู้วิจัย 33

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1 เอกลักษณ์ สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางความร้อนของวัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัย 10

2 รายละเอียดของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในงานวิจัย 12

3 รายละเอียดอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในงานวิจัย 13

4 รายละเอียดอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยสำหรับการผสมและเตรียมชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 14

5 รายละเอียดอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแสดง 14

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่

1. สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิโพรพิลีน 4
2. สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิสไตรีน 5
3. โครงสร้างของแบคทีเรียแกรมลบ และแบคทีเรียแกรมบวก 6
4. โครงสร้างทางเคมีของสาร HPQM 11
5. แผนการศึกษาชนิดของพอลิเมอร์ที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และสมบัติเชิงกล 16
6. การศึกษาสภาวะการบ่มเร่งที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน 17
7. รัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน PP/HPQM-*neu* PP/HPQM-*sol* PS/HPQM-*neu* และ PS/HPQM-*sol* ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 750 1000 และ 1250 ppm 20
8. เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน (a) PP/HPQM-*neu* (b) PS/HPQM-*neu* ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 750 1000 และ 1250 ppm 21
9. เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน (a) PS/ HPQM-*sol* (b) PS/HPQM-*sol* ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 750 1000 และ 1250 ppm 22
10. 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 23

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่

11. สมบัติเชิงกลด้านความต้านทานต่อแรงกระแทกของ PP/HPQM-*neu* PP/HPQM-*sol* PS/HPQM-*neu* และ PS/HPQM-*sol* ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 750 1000 และ 1250 ppm 24

12. เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน (a) PP/HPQM-*neu* 500 ppm (b) PP/HPQM-*sol* 750 ppm หลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0 ถึง 7 วัน 26

13. เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน (a) PS/HPQM-*neu* 1250 ppmและ (b) PS/HPQM-*sol* 1250 ppm หลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0 ถึง 7 วัน 27

14. เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน (a) PP/HPQM-*neu* 500 ppm (b) PP/HPQM-*sol* 750 ppm หลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 ถึง 7 วัน 28

15. เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน (a) PS/HPQM-*neu* 1250 ppmและ (b) PS/HPQM-*sol* 1250 ppmหลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 ถึง 7 วัน 29

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเป็นที่ทราบว่าแบคทีเรียเป็นสาเหตุของโรคต่างๆ เช่น อหิวาตกโรค วัณโรค เนื่องจากแบคทีเรียนั้น สามารถสร้างสารที่เป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์ ปัจจุบันจึงได้มีการป้องกัน และรักษาโรคที่เกิดจากแบคทีเรีย กันอย่างแพร่หลาย เช่น การใช้ยาปฏิชีวนะในการรักษา ดังนั้นการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในสิ่งของที่ใช้ในชีวิตประจำวัน หรือภาชนะที่ใช้บรรจุอาหาร จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการป้องกันโรคต่างๆที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย สำหรับผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่ผลิตจากวัสดุชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนนั้น เป็นของใช้ในชีวิตประจำวันที่สามารถพบได้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในงานด้านบรรจุภัณฑ์ที่ใช้อุปโภคโดยตรง เช่น กล่องบรรจุอาหาร ถุงพลาสติกบรรจุอาหาร ขวดน้ำ เป็นต้น จึงมีงานวิจัยที่พัฒนาความสามารถในการยับยั้งเชื้อในผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์อย่างแพร่หลาย

สำหรับพอลิโอเลฟินชนิดต่างๆนั้น จากผลงานวิจัยเกี่ยวกับการนำสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียผสมในพอลิโอเลฟินชนิดต่างๆ โดย Silapasorn และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาผลของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดไตรโคซานในไวนิล เทอร์โมพลาสติก พบว่ามีประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* โดยประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของไตรโคซานลดลงตามชนิดของไวนิล เทอร์โมพลาสติก ดังนี้ พอลิเอททิลลีนความหนาแน่นต่ำ มีประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อมากกว่า พอลิเอททิลลีนความหนาแน่นปานกลาง พอลิเอททิลลีนความหนาแน่นสูง พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน และ พอลิไวนิลคลอไรด์ นั้นมีประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อแบคทีเรียต่ำที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายได้จาก สมบัติด้านความคงรูป (rigidities) ความสามารถความเป็นผลึก และปริมาตรอิสระ (Free volume) ของวัสดุ หรือ ความหนาแน่นของโมเลกุล

พอลิโพรพิลีนซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิโอเลฟินที่มีโครงสร้างทางเคมี คือ poly(1-methylethylene) ผลิตจากพรอพิลีน ซึ่งพอลิโพรพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นผลึก มีสมบัติเด่นคือ ทนการขีดข่วน ทนแรงกระแทกสูง ทนสารเคมี มีความหนาแน่นต่ำ มีจุดอ่อนตัวสูง และมีอุณหภูมิในการหลอมสูง ทำให้สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 120 องศาเซลเซียส จากสมบัติเด่นดังกล่าว พอลิโพรพิลีนจึงนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารอย่างแพร่หลาย คณะวิจัยฯ จึงมีแนวคิดในการเติมสารยับยั้งเชื้อลงในผลิตภัณฑ์พอลิโพรพิลีน เพื่อให้ผลิตภัณฑ์

จากวัสดุดังกล่าวปลอดเชื้อ จากงานวิจัยของ Ramos และคณะ [2] ได้นำสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดไทรมอลและคาร์วารอล มาเติมในพอลิโพรพิลีน เพื่อผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์แบบแอคทีฟ พบว่าการเติมปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดไทรมอล และคาร์วารอล ร้อยละ 8 โดยน้ำหนักในพอลิโพรพิลีนสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดี ในส่วนของวัสดุพอลิ เมอร์ชนิดพอลิสไตรีนนั้น มีสมบัติทางด้านทนต่อกรด ด่าง ไอน้ำและอากาศซึมผ่านได้ มีอุณหภูมิหลอมเหลวเป็นช่วงกว้าง ทำให้ง่ายต่อการขึ้นรูป น้ำหนักเบา และโปร่งใส เนื่องจากมีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นอสัณฐาน มีโครงสร้างทางเคมีคือpoly(1phenylethylene) ซึ่งจากงานวิจัย Haroun และคณะ [3] ได้นำพอลิสไตรีนมาเชื่อมต่อกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นด้วยวิธีกราฟโคพอลิเมอร์ไรเซชั่น (Graft copolymer) ด้วยโมโนเมอร์ 2 ชนิด คือ กรดอะคริลิกและกรดมาลิอิค พบว่า การกราฟด้วยกรดอะคริลิกและกรดมาลิอิคลงในพอลิสไตรีน ส่งผลให้พอลิสไตรีนมีสมบัติที่ชอบน้ำมากขึ้นจึงทำให้สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้และการเสื่อมสภาพทางชีวภาพได้เร็วขึ้นอีกด้วย

จากผลงานวิจัยที่ผ่านข้างต้น คณะวิจัยฯ จึงมีความสนใจผลของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดใหม่ในรูปแบบของแข็งและของเหลว ที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกล สมบัติกายภาพ และประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอ็ชพีคิวเอ็มบนสารดูดซับนิวซิลิน (ของแข็ง) และเอ็ชพีคิวเอ็มแบบสารละลาย (ของเหลว) ที่เติมในพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน สำหรับการใช้งานบรรจุภัณฑ์อาหาร และจะทำการศึกษาผลของการบ่มเร่งด้วยสภาวะต่างๆ ของชิ้นงานบรรจุภัณฑ์พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดเพื่อศึกษาระยะเวลาในการใช้งานของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งสามารถนำพอลิเมอร์ที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียนี้ไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ในอุตสาหกรรมการผลิตบรรจุภัณฑ์อีกด้วย

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอ็ชพีคิวเอ็มบนสารดูดซับนิวซิลิน ที่เติมในพอลิเมอร์ชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน ที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและสมบัติเชิงกล

2.2 เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล และประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียหลังการบ่มเร่งของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอ็ชพีคิวเอ็มบนสารดูดซับนิวซิลิน และสารละลายเอ็ชพีคิวเอ็ม

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

3.1 วัสดุพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน เกรดที่ใช้ในงานบรรจุภัณฑ์

3.2 สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในงานวิจัย 2 รูปแบบ คือ 1) สารเอ็ชพีคิวเอ็มบนสารดูดซับนิวซิลิน (แบบแข็ง) และ 2) เอ็ชพีคิวเอ็มแบบสารละลาย (ของเหลว)

3.3 การผสมด้วยเครื่องผสมอัดรีดลูกกลิ้งคู่ (Twin screw extruder) และขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบโดยแม่พิมพ์ ด้วยวิธีการอัดขึ้นรูปร้อนระบบแรงดัน

3.4 ระยะเวลาในการบ่มเร่งชิ้นงานทดสอบคือ 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง (ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM G154-2006)

3.5 เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในงานวิจัย คือแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) และแบคทีเรียแกรมลบชนิด *Escherichia coli* (ATCC 25922)

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

4.1 ด้านวิชาการ: เพื่อทราบผลของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอ็ชพีคิวเอ็ม บนสารดูดซับนิวซิลิน และแบบสารละลายเอ็ชพีคิวเอ็ม ที่เติมในพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน ที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สมบัติเชิงกล กายภาพ และจากการบ่มเร่งสภาวะชิ้นงาน และสามารถนำองค์ความรู้จากงานวิจัยเผยแพร่ผลงานในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ และถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ภาคเอกชนที่สนใจ

4.2 ด้านเศรษฐศาสตร์และภาคอุตสาหกรรม: เพื่อเป็นแนวทางและศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอ็ชพีคิวเอ็มบนสารดูดซับนิวซิลินและสารละลายเอ็ชพีคิวเอ็ม ในบรรจุภัณฑ์จากพอลิเมอร์พอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน

4.3 ด้านสิ่งแวดล้อม: เพื่อใช้สารยับยั้งเชื้อในการป้องกันการแพร่เชื้อแบคทีเรียที่เจริญเติบโตอยู่บนบรรจุภัณฑ์พอลิเมอร์ ที่ส่งผลต่อสุขภาพผู้บริโภค

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. พอลิเมอร์

พอลิเมอร์ (Polymer) คือ สารประกอบไฮโดร(H)คาร์บอน(C)โมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยเล็ก ๆ ของ มอนอเมอร์ (Monomer) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ โดยพอลิเมอร์สามารถแบ่งออกตามสมบัติทางกายภาพได้ 2 ชนิด ได้แก่

– เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic polymers) พอลิเมอร์เหล่านี้ละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อถูกความร้อนสามารถหลอมตัวได้ และเมื่ออุณหภูมิลดลงทำให้พอลิเมอร์มีสถานะแข็ง และสามารถทำให้หลอม และขึ้นรูปได้หลายครั้งโดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมี

– เทอร์โมเซต (Thermosetting polymers) เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบร่างแห ซึ่งขึ้นรูปด้วยการเพิ่มอุณหภมิเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีกับตัวเชื่อมขวาง(curing agent) เพื่อให้ตัวเชื่อมขวางเชื่อมสายโซ่เข้าด้วยกันส่งผลให้พอลิเมอร์มีรูปร่างถาวร ไม่สามารถหลอมเหลวได้อีกเมื่อได้รับความร้อน เมื่อได้รับความร้อนสูงเกินไป ส่งผลให้พันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลแตกออก

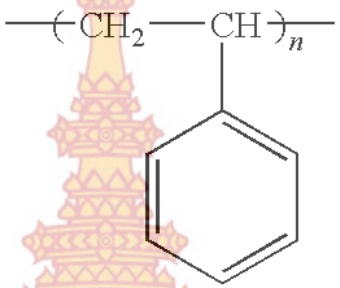
1.1 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP)

พอลิโพรพิลีนอยู่ในกลุ่มของเทอร์โมพลาสติก มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ยาวของโดยเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของก๊าซ C_3H_6 อยู่ในกลุ่มของเทอร์โมพลาสติก มีสมบัติทนต่อปฏิกิริยาเคมี การแตกหัก จึงนำมาใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์กันอย่างแพร่หลาย โดยมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังภาพที่ 2.1

ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิโพรพิลีน

1.2 พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS)

พอลิสไตรีนอยู่ในกลุ่มของเทอร์โมพลาสติกเช่นเดียวกับพอลิโพรพิลีน เป็นวัสดุสำหรับบรรจุภัณฑ์คุณภาพสูงที่มีคุณสมบัติ มีความคงรูปดี แต่เปราะ สามารถทำเป็นสีต่างๆได้ มีทั้งลักษณะใส ฝ้าและทึบ มีความแข็งทนทาน โดยมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิสไตรีน

2. การเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์

การเสื่อมสลาย (Degradation) ของพอลิเมอร์ นั้นส่งผลให้โครงสร้างของวัสดุพอลิเมอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดการแตกออกของโมเลกุลของสายโซ่ของพอลิเมอร์ เป็นกระบวนการที่แบบไม่สามารถผันกลับได้ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากการสูญเสียสมบัติบางประการ เช่น น้ำหนักโมเลกุล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล การเสื่อมสภาพเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น พอลิเมอร์ได้รับความร้อน หรือแรงเค้นเฉือนที่สูง หรืออยู่ภายใต้บรรยากาศต่างๆ

การเสื่อมสลายจากพลังงาน เช่น

– พลังงานความร้อน (Thermal energy): เกิดจากการที่พอลิเมอร์ได้รับความร้อน ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลเกิดการแตกออกหรือขาด ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง

– พลังงานทางกล (Mechanical energy): เกิดจากการได้รับแรงกระทำจากภายนอก ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่โมเลกุลหลัก ส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง เช่น การให้แรงเฉือน

– พลังงานจากรังสี (Radiatoin energy): รังสีทำให้เกิดการกระตุ้น (Exiting) ส่งผลให้เกิดการย้ายของอิเล็กตรอนไปอยู่ในระดับพลังงานใหม่ที่สูงกว่าเดิม ซึ่งอาจนำไปสู่การแตกออกของพันธะระหว่างอะตอม

การเสื่อมสลายจากปฏิกิริยาทางเคมี เช่น

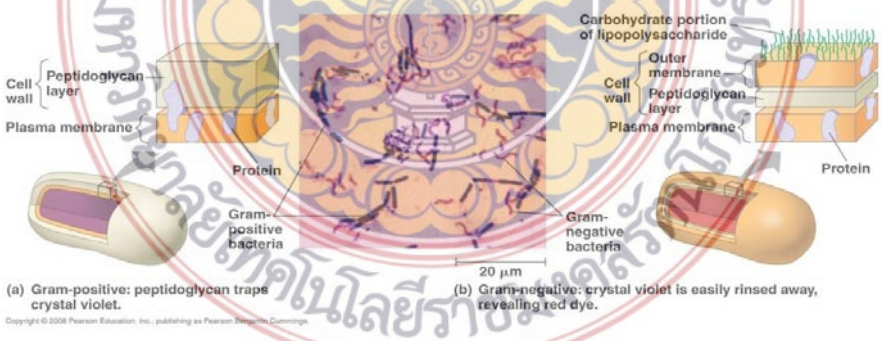
– ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis reaction): ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นปฏิกิริยาเกิดขึ้นในพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังกชันที่ไวต่อการทำปฏิกิริยากับน้ำและเกิดจากการพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น

– ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction): ปฏิกิริยานี้เป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยาโดยออกซิเจน

– ปฏิกิริยาอื่นๆ : การเสื่อมสลายเนื่องจากจุลินทรีย์ทำลาย (Biological deterioration) ซึ่งเกิดขึ้นได้กับพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชั่นที่จุลินทรีย์สามารถเข้าไปทำลายได้ เช่น หมู่ฟังก์ชั่นที่เป็นแป้ง

3. แบคทีเรีย

แบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็ก ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยส่วนใหญ่มีเซลล์เดียว สามารถพบได้ทั่วไป เช่น อากาศ ดิน แหล่งน้ำ ตามร่างกายของมนุษย์ จนกระทั่งเครื่องอุปโภคบริโภคต่างๆ ซึ่งแบคทีเรียบางชนิดสามารถก่อให้เกิดโรคในสิ่งมีชีวิตได้ในคน สัตว์ หรือพืชโดยอาศัยกลไกทางชีวเคมี โรคที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงมากน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด และจำนวนของแบคทีเรียนั้นๆ โดยทางชีววิทยา แบคทีเรียสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามสภาพการติดสีที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรีย คือแบคทีเรียแกรมลบ สามารถย้อมติดด้วยสีแดง ในทางตรงข้ามที่แบคทีแกรมบวกสามารถย้อมติดด้วยสีม่วง ทั้งนี้เนื่องจากเพราะผนังเซลล์ ของแบคทีเรียแกรมบวก มีความสามารถ ในการที่จะรับสารพวกย้อมสีม่วงได้ดีกว่า อีกทั้งในแบคทีเรียแกรมลบ มีชั้น peptidoglycan บางกว่าด้วย โดยโครงสร้างของเซลของแบคทีเรียแกรมลบ และแบคทีเรียแกรมบวกแสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 3 โครงสร้างของแบคทีเรียแกรมลบ และแบคทีเรียแกรมบวก

4. สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย HPQM

2–Hydroxypropyl–3–Piperazinyl–Quinoline carboxylic acid Methacrylate (HPQM) เป็นสารเคมีอินทรีย์ที่ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย HPQM สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้หลายชนิด มีความต้านทานต่อความชื้น แสงแดด และสารเคมี ได้ดี กลไกในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของ HPQM คือการทำปฏิกิริยากับผนังเซลล์ของเชื้อแบคทีเรีย ทั้งนี้ HPQM สามารถสัมผัสกับอาหารได้โดยไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ ดังนั้น จึงมีการอนุญาตให้ใช้ในการผสมเข้ากับบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยสาร HPQM ผ่านการทดสอบจากองค์การอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกา FDA cGLP (Shuster lab) และสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประเทศเกาหลี (KOTRIC: Korea Testing and Research Institute for Chemical Industry) สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์มักถูกนำไปประยุกต์ใช้งานใน อุตสาหกรรมที่หลากหลาย ได้แก่ อุตสาหกรรมสีทาภายนอกและภายในอาคาร (Paints), การผลิตกาว (Adhesives), ผลิตภัณฑ์ในครัวเรือน (Household), สิ่งทอ (Textile) และเครื่องสำอาง (Cosmetic) ในปัจจุบันสาร HPQM มี 2 รูปแบบ คือรูปแบบสารละลาย และรูปแบบสารดูดซับสารประกอบแมกนีเซียม อลูมิโนเมตาซิลิเกต (Magnesium Aluminometasilicate) $Al_2O_3.MgO.1.7SiO_2.xH_2O$ หรือ นูซิลิน (Neusilin®)

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Silapasorn และคณะฯ (2010) [1] ศึกษาผลกระทบของโครงสร้างทางเคมี ของชนิดของไวนิลเทอร์โมพลาสติก 6 ชนิด คือ ผสมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ที่มีต่อประสิทธิภาพการยังยั้งเชื้อของสารยับยั้งเชื้อไตรโคซาน การเตรียมวัสดุผสมใช้วิธีผสมโดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ จากนั้นจึงขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มที่มีความหนาประมาณ 0.2 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อด้วย วิธีเชิงคุณภาพ และ เชิงปริมาณ ผลการวิจัยการทดสอบเชิงคุณภาพ พบว่า พื้นที่ในการยับยั้งเชื้อที่ต่ำถ้าพอลิเมอร์มีความแข็งแกร่งสูงและความเป็นผลึกสูง โดยความคงรูป (Rigidities) ของพอลิเมอร์ทั้ง 6 ชนิด เรียงตามลำดับจากน้อยไปมากดังนี้ พอลิเอททิลลีนความหนาแน่นต่ำ พอลิเอททิลลีน ความหนาแน่นปานกลาง พอลิเอททิลลีนความหนาแน่นสูง พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน และพอลิไวนิลคลอไรด์ ทั้งนี้เนื่องจากความยากในการแพร่ของไตรโคซาน บนผิวหน้าของพอลิเมอร์ที่มีมาก ถ้าพอลิเมอร์ทีมีความคงรูป สูง ซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกันกับการทดสอบประสิทธิภาพเชิงปริมาณโดยรายงานอัตราการแพร่ของไตรโคซาน

Jeong และคณะฯ (2005) [4] ได้ทำการศึกษาวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีน และอนุภาคโลหะเงิน (Ag) ที่มีขนาดในระดับไมโครเมตร (μm) และนาโนเมตร (nm) ซึ่งอนุภาค

ดังกล่าวเตรียมจากปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ของสารละลาย $AgNO_3$ ที่ละลายใน Hydrazine และมีการเติมสารลดแรงตึงผิว สำหรับสมการเคมีของปฏิกิริยารีดักชันคือ $N_2H_4 + 4Ag^+ + 4OH^- \rightarrow 4Ag^0 + 4H_2O + N_2$ สำหรับการเตรียมวัสดุผสมใช้วิธีผสมโดยตรงด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder) จากนั้นจึงขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มที่มีความหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร แบคทีเรียทดสอบที่ใช้ คือ แบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S.aureus* และแบคทีเรียแกรมลบชนิด *E.coli* ตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่า วัสดุผสมที่มีอนุภาคโลหะเงินในระดับนาโนเมตรที่ความเข้มข้น 0.1 % สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ถึง 99.9 % ในขณะที่อนุภาคโลหะเงินที่มีอนุภาคระดับไมโครเมตรต้องเติมในพอลิโพรพิลีนในปริมาณถึง 0.5 % จึงสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการศึกษาปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุผสมด้วยเทคนิค DSC (Differential scanning calorimetry) และ Wide-angle X-ray diffractometry (WAXS) พบว่า อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิการเกิดผลึก และปริมาณความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ที่มีอนุภาคโลหะเงินผสมอยู่มีค่าลดลงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าอนุภาคโลหะเงินในพอลิโพรพิลีนเมตริกซ์ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึก นอกจากนี้ สำหรับสมบัติเชิงกลด้านการต้านแรงดึงที่เตรียมจากวัสดุผสมพอลิโพรพิลีน และอนุภาคโลหะเงินทั้งขนาดเล็กระดับนาโนเมตรและไมโครเมตร พบว่า ความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณอนุภาคโลหะเงิน

Wu และคณะฯ (2012) [5] ศึกษาพอลิโพรพิลีนที่ปรับพื้นผิวด้วยสารละลายผสมระหว่างแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตและเฟอริคไนเตรด ซึ่งสารละลายนี้ส่งผลให้อนุภาคของเงินระดับนาโนติดบนผิวของพอลิโพรพิลีนได้ดีขึ้น โดยปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในการให้คลื่นไมโครเวฟที่ 25, 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส ที่ให้บนผิวของพอลิโพรพิลีน พบว่า อุณหภูมิในการให้คลื่นไมโครเวฟสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อเพิ่มมากขึ้น

Pongnop และคณะฯ (2011) [6] ศึกษาการเติมคอลลอยด์ของอนุภาคเงินระดับนาโนที่ 0, 25 50, 75 และ 100 ส่วนในล้านส่วน ลงในเทอร์โมพลาสติกทั้ง 4 ชนิดคือ พอลิเอทิลลีนความหนาแน่นปานกลาง พอลิสไตรีน พอลิเอทิลลีนทาเลฟทาเลท และพอลิไวนิลคลอไรด์ การขึ้นรูปฟิล์มทดสอบ 0.1 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน ซึ่งมีการเติมคอลลอยด์ของอนุภาคเงินระดับนาโนในชิ้นงาน 2 วิธีการ คือการเติมคอลลอยด์ของอนุภาคเงินขณะขึ้นรูป และการพ่นคอลลอยด์ของอนุภาคเงินบนแผ่นฟิล์ม แบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ คือ *E.coli* ผลการวิจัยพบว่า การพ่นด้วยคอลลอยด์ของอนุภาคเงินระดับนาโนบนผิวหน้าแผ่นฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อดีที่สุด รองลงมาคือ พอลิสไตรีน พอลิเอทิลลีนทาเลฟทาเลท และพอลิเอทิลลีนความหนาแน่นปานกลาง

Chinkamonthong และคณะฯ (2013) [7] ได้ทำการศึกษาผลการทำการบ่มเร่งของพอลิเอททิลลีนแบบเส้นตรงความหนาแน่นต่ำ และพอลิไวนิลคลอไรด์ที่เติมคอลลอยด์ของอนุภาคเงินระดับนาโนเป็นสารยับยั้งเชื้อ สภาวะการบ่มเร่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีสองลักษณะ คือ การบ่มเร่งด้วยรังสียูวี และการบ่มเร่งด้วยความร้อน โดยใช้เวลา 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28 และ 32 วัน ทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อด้วยวิธีการนับเชื้อที่มีชีวิตอยู่ได้ หลังจากการสัมผัสฟิล์มทดสอบเป็นเวลา 0, 30, 90, 150 และ 210 นาที ผลการวิจัยพบว่า การบ่มเร่งด้วยรังสียูวี ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อมากกว่า การบ่มเร่งด้วยความร้อนของฟิล์มทั้งสองชนิด โดยการบ่มเร่งด้วยรังสียูวีส่งผลให้ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* ลดลง และในพอลิเอททิลลีนแบบความหนาแน่นต่ำลดลงอย่างต่อเนื่อง

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. วัสดุที่ใช้วิจัย

1.1 วัสดุพอลิเมอร์

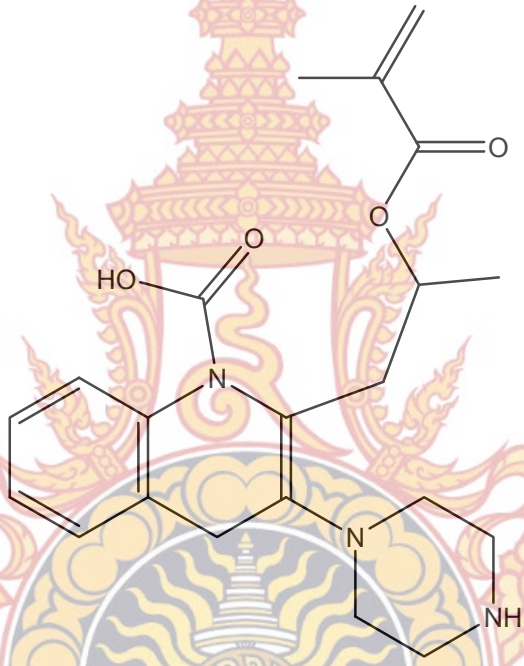
วัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี ดังนี้ พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) และพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) โดยพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีสมบัติพื้นฐานแสดงดัง**ตารางที่ 1**

ตารางที่ 1 เอกลักษณ์ สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางความร้อนของวัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

วัสดุพอลิเมอร์	สมบัติ	รายละเอียด	ผู้ผลิต/จำหน่าย
พอลิพรอพิลีน	เกรด	P403J	บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (ประเทศไทย)
	ลักษณะทางกายภาพ	เม็ดกลม สีขาวขุ่น	
	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร)	0.91	
	ดัชนีการไหล (กรัมต่อ 10 นาที)	3.5	
พอลิสไตรีน	เกรด	656D267	บริษัท สยามโพลิสไตรีน จำกัด (ประเทศไทย)
	ลักษณะทางกายภาพ	เม็ดทรงกระบอก สีใส	
	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	1.04	
	ดัชนีการไหล (กรัมต่อ 10 นาที)	8.5	

1.2 สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ HPQM (2–Hydroxypropyl–3–Piperazinyl–Quinoline carboxylic acid Methacrylate, HPQM) ซึ่งมีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารยับยั้งเชื้อยับยั้งเชื้อแบคทีเรียใน 2 รูปแบบ ดังนี้ รูปแบบสารละลาย และรูปแบบสารดูดซับ โดยมีโครงสร้างทางเคมีดัง**ภาพที่ 4** และรายละเอียด ดัง**ตารางที่ 2**



ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของสาร HPQM

ตารางที่ 2 รายละเอียดของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในงานวิจัย

ชนิดสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	เกรด	BCA-101A0	
2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline CarboxylicAcid Methacrylate (HPQM) รูปแบบสารละลาย	ลักษณะทางกายภาพ	ของเหลวขุ่นสีเหลืองอ่อน	บริษัท Micro Science Tech จำกัด (ประเทศเกาหลีใต้)
	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	1.05	
	ความเข้มข้น Active ingredient (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	10.0	
2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline CarboxylicAcid Methacrylate (HPQM) รูปแบบสารดูดซับ	ลักษณะทางกายภาพ	ผงละเอียดสีขาวคล้ายแป้ง	บริษัทโกเวนเจอร์จำกัด (ประเทศไทย)
	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.21-0.23	
	ความเข้มข้น Active ingredient (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	21-23	

1.3 อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

ในการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียใช้อาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อ ได้แก่ อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง (Nutrient Agar, NA) อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว (Nutrient Broth, NB) อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็งสำหรับนับจำนวนโคโลนี (Plate Count Agar, PCA) และอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวแบบอ่อนหรือเปปโตน (Peptone) โดยราละเอียดของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดัง**ตารางที่ 3**

ตารางที่ 3 รายละเอียดอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในงานวิจัย

ชนิดอาหารเลี้ยงเชื้อ	**ส่วนผสม/อัตราส่วนการผสม (กรัมต่อลิตร)**		**ชื่อทางการค้า/ ผู้ผลิต/ผู้จำหน่าย**
อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง (Nutrient Agar, NA)	Pluypeptone Beef Sodium Chloride Agar	5.0 3.0 8.0 15.0	B02-122-06 Laboratories Britania (ประเทศอาร์เจนตินา)
อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว (Nutrient Broth, NB)	Pluypeptone Beef Sodium Chloride Agar	5.0 3.0 8.0 15.0	M 002 Himedia (ประเทศอินเดีย)
อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็งสำหรับนับจำนวนโคโลนี (Plate Count Agar, PCA)	Casein enzymic hydrolysate Yeast extract Dextrose Agar	5.0 2.5 1.0 15.0	M 091 Himedia (ประเทศอินเดีย)
เปปโตน (Peptone)	Tryptophan	1.0	RM 001-500G Himedia (ประเทศอินเดีย)

1.4 เชื้อแบคทีเรียทดสอบ

ในการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียใช้เชื้อแบคทีเรีย คือ *Escherichia coli* สายพันธุ์ ATCC 25922 เป็นตัวแทนเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ ซึ่งได้รับจากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (ประเทศไทย)

1.5 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้วิจัย

รายละเอียดอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยสำหรับการผสมและเตรียมชิ้นงาน

พอลิเมอร์ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแสดงดัง**ตารางที่ 4** สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแสดงดัง**ตารางที่ 5**

ตารางที่ 4 รายละเอียดอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยสำหรับการผสมและเตรียมชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

อุปกรณ์/เครื่องมือ	รายละเอียด	ผู้ผลิต/ผู้จำหน่าย
เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder)	รุ่น CTW 100P	บริษัท Hakke Rheomex (ประเทศเยอรมนี)
เครื่องอบลมร้อน (Hot air oven)	รุ่น ULE 500	บริษัท Memmert (ประเทศเยอรมนี)
เครื่องอัดขึ้นรูปแบบใช้ความร้อน (Compression moulding)	รุ่น LP-20M	บริษัท แลบเทคเอนจิเนียริง จำกัด (ประเทศไทย)
เครื่องชั่ง น้ำหนัก (Weight scale)	ความละเอียด 0.01 กรัม	บริษัท เมดเลอโทโลโดจำกัด (ประเทศไทย)

ตารางที่ 5 รายละเอียดอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแสดง

อุปกรณ์/เครื่องมือ	รายละเอียด	ผู้ผลิต/ผู้จำหน่าย
ตู้นึ่งฆ่าเชื้อแรงดันสูง (Auto –stream sterilizer)	รุ่น VS-1321-60	บริษัท Vision Scientific จำกัด (ประเทศเกาหลีใต้)
เครื่องอบลมร้อน (Hot air oven)	รุ่น ULE 500	บริษัท Memmert (ประเทศเยอรมนี)
ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)	รุ่น MIR-153	บริษัท SANYO E&E Europe BV, Biomedical Division จำกัด (สหราชอาณาจักร)
เครื่องบ่มเชื้อแบบเขย่า	รุ่น J-SIL	บริษัท Jeil Scientific จำกัด

อุปกรณ์/เครื่องมือ	รายละเอียด	ผู้ผลิต/ผู้จำหน่าย
(Shaker incubator)		(ประเทศเกาหลีใต้)
เครื่องเขย่าแบบวอร์เท็กซ์ (Vortex shaker)	รุ่น KMC-1300V	บริษัท Vision Scientific จำกัด (ประเทศเกาหลีใต้)
ปิเปตอัตโนมัติ (Auto-pipette)	ขนาด 2-20, 20-200, 100-1000 ไมโครลิตร 0.5-5.0และ 1-10 มิลลิลิตร	บริษัท Brandtech Scientific จำกัด (ประเทศเยอรมนี)
UV-Vis Spectrophotometer	รุ่น DR400	บริษัท เนชั่นแนลไดเรค เน็ตเวิร์ค จำกัด (ประเทศไทย)
จานเพาะเชื้อ (Petri dish)	เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร	บริษัท เอ็มอาร์เอสไซแอนติฟิค จำกัด (ประเทศไทย)
ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)	ขนาด 250 มิลลิลิตร	
หลอดแก้วทดลอง (Test tube)	ขนาด 15 มิลลิลิตร	
หลอดเก็บตัวอย่าง (Eppendorf tube)	ขนาด 1 มิลลิลิตร	
กระบอกตวง (Graduated cylinder)	ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร	
บีกเกอร์ (Beaker)	ขนาด 50, 100, 250 และ 1000 มิลลิลิตร	
ตะเกียงแอลกอฮอล์ (Alcohol burner)	-	

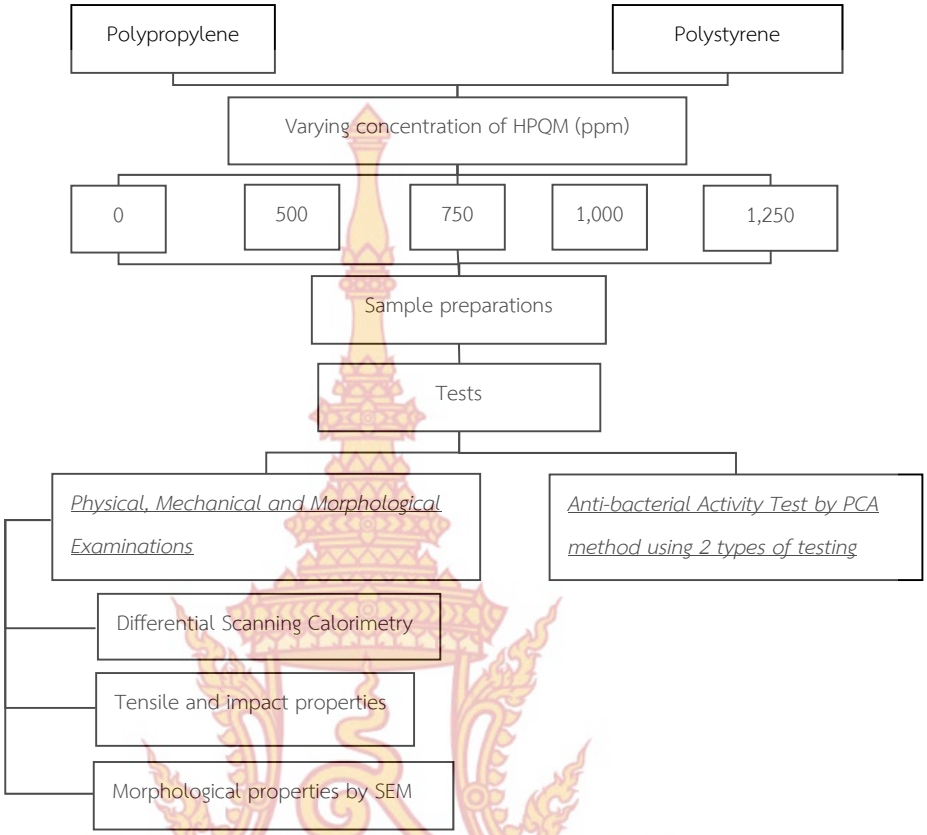
อุปกรณ์/เครื่องมือ	รายละเอียด	ผู้ผลิต/ผู้จำหน่าย
ขวดแก้ว (Bottle)	ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร	

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยในโครงการวิจัยนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนโดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 เพื่อศึกษาชนิดของพอลิเมอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและสมบัติเชิงกล

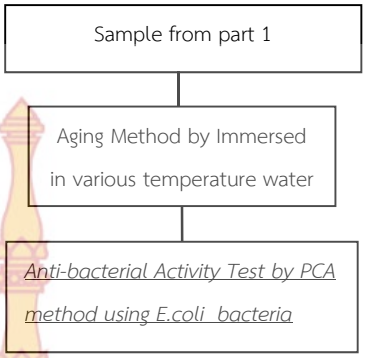
การดำเนินงานในส่วนนี้เป็นการศึกษาผลของพอลิโพรพิลีน และพอลิสไตรีน ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอ็ชพีคิวเอ็มบนสารดูดซับนิวซิลิน และสารละลายเอ็ชพีคิวเอ็ม ที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และสมบัติเชิงกล สำหรับแผนภาพการดำเนินงานแสดงดัง**ภาพที่ 5**



ภาพที่ 5 แผนการศึกษาชนิดของพอลิเมอร์ที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและสมบัติเชิงกล

ส่วนที่ 2 เพื่อศึกษาอิทธิของสภาวะการบ่มเร่งชนิดต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

การดำเนินงานในส่วนนี้ เป็นการศึกษาอิทธิพลของสภาวะการบ่มเร่งสภาวะมีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอ็ชพีคิวเอ็มบนสารดูดซับนิวซิลิน และสารละลายเอ็ชพีคิวเอ็ม โดยกำหนดสภาวะการบ่มเร่งชิ้นงาน 3 วิธี แผนการดำเนินงาน แสดงดัง**ภาพที่ 6**



ภาพที่ 6 การศึกษาสภาวะการบ่มเร่งที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน

จากแผนการดำเนินงานที่ดัง**ภาพที่ 5** และ **6** ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย คือ ชนิดของพอลิเมอร์ 2 ชนิด ดังนี้ พอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย คือ เอ็ชพีคิวเอ็มบนสารดูดซับนิวซิลิน และเอ็ชพีคิวเอ็มแบบสารละลาย ส่วนการทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อ แบ่งออกเป็น 2 รายการ รายการแรก คือ การตรวจสอบสมบัติเชิงกล (ความทนแรงดึง การยืดตัว เป็นต้น) และสมบัติทางกายภาพ ทางด้าน การกระจายตัว ลักษณะสัณฐานวิทยา และรายการที่สอง คือ การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย วิธีวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยใช้วิธีนับจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียที่มีชีวิตอยู่หลังการสัมผัสชิ้นงานทดสอบ (Plate count agar, PCA) ชนิด *Escherichia coli* (*E.coli*)

2.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

การเตรียมชิ้นงานทดสอบเริ่มจากทำการผสมพอลิเมอร์ (พอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน) เข้ากับสาร HPQM-*neu* และ HQPM-*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 องศาเซลเซียสสำหรับ พอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน ตามลำดับ ที่ความดันเท่ากับ 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และหล่อเย็นชิ้นงานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

2.2 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเชิงคุณภาพด้วยเทคนิคการวัดรัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Halo test) โดยเตรียมเชื้อแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว และบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นผสมเชื้อแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อ

เหลวเข้ากับวุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อในอัตราส่วน 1:1 ได้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดกึ่งแข็ง ที่มีความเข้มข้นเชื้อแบคทีเรียประมาณ 10^5 กลุ่มแบคทีเรียต่อมิลลิลิตร (CFU/ml) และเทลงบนจานเพาะเชื้อที่เตรียมไว้ (อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็งบนจานเพาะเชื้อ) ทำการวางชิ้นงานทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร บนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดกึ่งแข็ง บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ถึง 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และคำนวณตามสมการที่ 1

$$R_A = \frac{D_B - D_A}{2} \qquad \text{สมการที่ 1}$$

โดยที่ R_A คือ รัศมีการยับยั้งเชื้อ (มิลลิเมตร)

D_A คือ เส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานทดสอบ (มิลลิเมตร)

D_B คือ เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้งเชื้อ (มิลลิเมตร)

การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเชิงปริมาณด้วยเทคนิคการนับเชื้อแบคทีเรีย (Plate count agar method) โดยเตรียมเชื้อแบคทีเรียในสารละลายเปปโตนให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นประมาณ 10^5 CFU/ml จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบขนาด 5×5 ตารางเซนติเมตร เขย่าร่วมกับเชื้อแบคทีเรียในสารละลายเปปโตนด้วยความเร็วการเขย่า 100 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 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

$$R = \left(\frac{A - B}{A}\right) \times 100 \qquad \text{สมการที่ 2}$$

โดยที่ R คือ เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%)

A คือ จำนวนโคโลนีของชิ้นงานที่ปราศจากสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)

B คือ จำนวนโคโลนีของชิ้นงานที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (CFU/ml)

2.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล

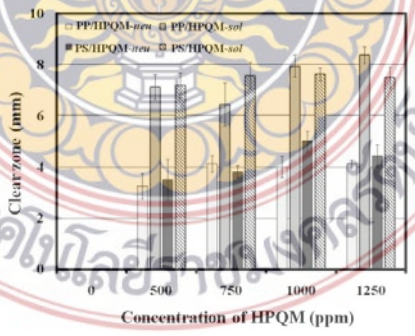
เตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D790 (Procedure A, 2010) และ ASTM D256 (2010) เพื่อทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดัดโค้ง (Flexural properties) และสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact property) ตามลำดับ

บทที่ 4

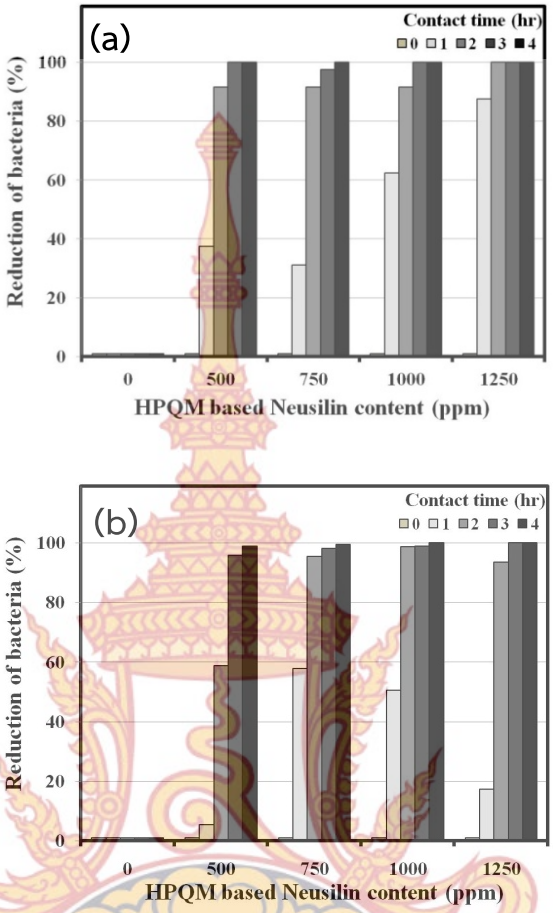
การวิจัยและผลการวิจัย

1. ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนที่ผสมสาร HPQM ก่อนการบ่มเร่ง

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเชิงคุณภาพด้วยเทคนิคการวัดรัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนผสม HPQM รูปแบบสารดูดซับและสารละลายที่ความเข้มข้น 0 500 750 1000 และ 1250 ppm พบว่ารัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสาร HPQM แสดงใน**ภาพที่ 7** ซึ่งชิ้นงานพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนที่ผสมสาร HPQM-*sol* มีรัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรียมากกว่าชิ้นงานที่ผสมสาร HPQM-*neu* เนื่องจากในการทดสอบรัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ชิ้นงานสัมผัสกับวุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 18 ถึง 24 ชั่วโมง ส่งผลให้การปลดปล่อยสาร HPQM-*sol* จากภายในชิ้นงานสู่วุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยความแตกต่างความเข้มข้นสามารถเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง ขณะที่ชิ้นงานผสมสาร HPQM-*neu* สามารถปลดปล่อยสาร HPQM จากบริเวณผิวหน้าเป็นหลัก ซึ่งเป็นผลจากสารดูดซับนูซิลินสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสาร HPQM ได้ เป็นการขัดขวางการปลดปล่อยสาร HPQM จากภายในชิ้นงาน ทั้งนี้เนื่องจากสาร HPQM มีหมู่คาร์บอกซิลิกเป็นองค์ประกอบ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Qian et al. (2012) รายงานว่าหมู่คาร์บอกซิลิกของสารอิบูโพรเฟนสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารดูดซับนูซิลินได้ ซึ่งคาดว่าหมู่คาร์บอกซิลิกของสาร HPQM สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารดูดซับนูซิลินได้เช่นกัน ดังนั้น ชิ้นงานที่ผสมสาร HPQM-*sol* จึงสามารถปลดปล่อยสาร HPQM สู่วุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อได้มากกว่าชิ้นงานที่ผสมสาร HPQM-*neu*



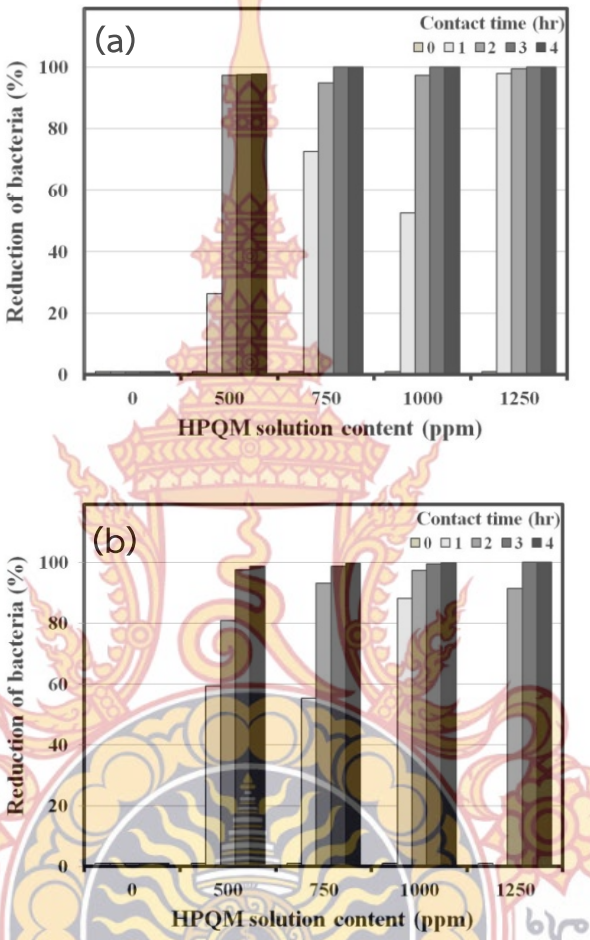
ภาพที่ 7 รัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน PP/HPQM-*neu* PP/HPQM-*sol* PS/HPQM-*neu* และ PS/HPQM-*sol* ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 750 1000 และ 1250 ppm



ภาพที่ 8 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน (a) PP/HPQM-*neu* และ (b) PS/HPQM-*neu* ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 750 1000 และ 1250 ppm

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเชิงปริมาณด้วยเทคนิคการนับเชื้อแบคทีเรียของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนผสม HPQM รูปแบบสารดูดซับและสารละลายที่ความเข้มข้น 0 500 750 1000 และ1250 ppm แสดงใน**ภาพที่ 8** พบว่าพอลิโพรพิลีนผสมสาร HPQM มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* เท่ากับ 99.9% ที่ความเข้มข้น 500 และ 750 ppm สำหรับ PP/HPQM-*neu* และ PP/HPQM-*sol* ตามลำดับ แสดงใน**ภาพที่ 8** ที่เวลาการทดสอบ 4 ชั่วโมง เนื่องจากสารดูดซับนูซินลินมีความเป็นรูพรุนและชอบน้ำ รวมถึงสาร HPQM สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งสารละลายเปปโตนที่ใช้ในการทดสอบมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักจึงสามารถเข้าทำละลายสาร HPQM (Sributr et al., 2014) ส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างสารดูดซับกับสาร HPQM ถูกทำลายและเกิดการปลดปล่อยสาร HPQM ได้ดีบริเวณผิวหน้าชิ้นงานที่สัมผัสกับน้ำ ดังนั้น

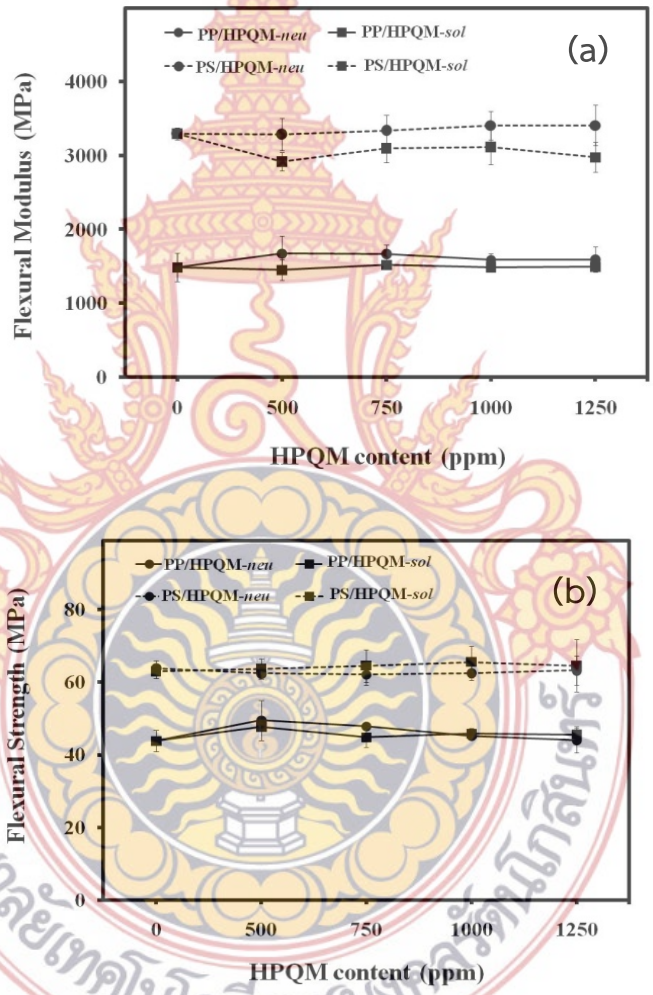
PP/HPQM-*neu* สามารปลดปล่อยสาร HPQM ออกมายับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้รวดเร็วกว่า PP/HPQM-*sol*



ภาพที่ 9 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน (a) PS/ HPQM-*sol* และ (b) PS/HPQM-*sol* ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 750 1000 และ 1250 ppm

โดยแตกต่างจากผลการทดสอบด้วยเทคนิคการวัดรัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งชิ้นงานวางอยู่บนวุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความชื้นเพียงเล็กน้อยรวมถึงเวลาในการทดสอบยาวนานกว่า ขณะที่พอลิสไตรีนผสมสาร HPQM มีเปอร์เซ็นการลดลงของเชื้อแบคทีเรียที่ 99.9% ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1250 ppm สำหรับทั้งสองรูปแบบ แสดงใน**ภาพที่ 9** เนื่องจากพอลิสไตรีนมีสายโซ่โมเลกุลที่แข็งเกร็ง (Chain rigidity) อาจจะส่งผลให้เกิดการขัดขวางการปลดปล่อยสาร HPQM ในส่วนการเปรียบเทียบระหว่างชนิดของพอลิเมอร์ พบว่าพอลิโพรพิลีนสามารถยับยั้ง

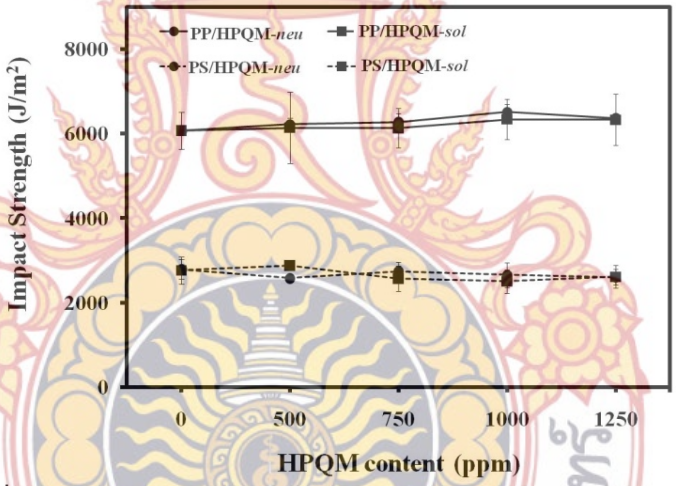
เชื้อแบคทีเรียได้ 99.9% ที่ความเข้มข้นของสาร HPQM น้อยกว่าพอลิสไตรีน เนื่องจากอุณหภูมิในการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเท่ากับ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) ของพอลิโพรพิลีน ขณะที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิสไตรีน ส่งผลให้สารโซ่ของพอลิสไตรีนมีความแข็งเกร็ง (Chain rigidity) ที่มากกว่า ดังนั้น พอลิสไตรีนสามารถปลดปล่อย (Releasing) สาร HPQM ออกมายับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้น้อยกว่าพอลิโพรพิลีน (Silapasorn et al., 2011)



ภาพที่ 10 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

2. สมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนผสมสาร HPQM

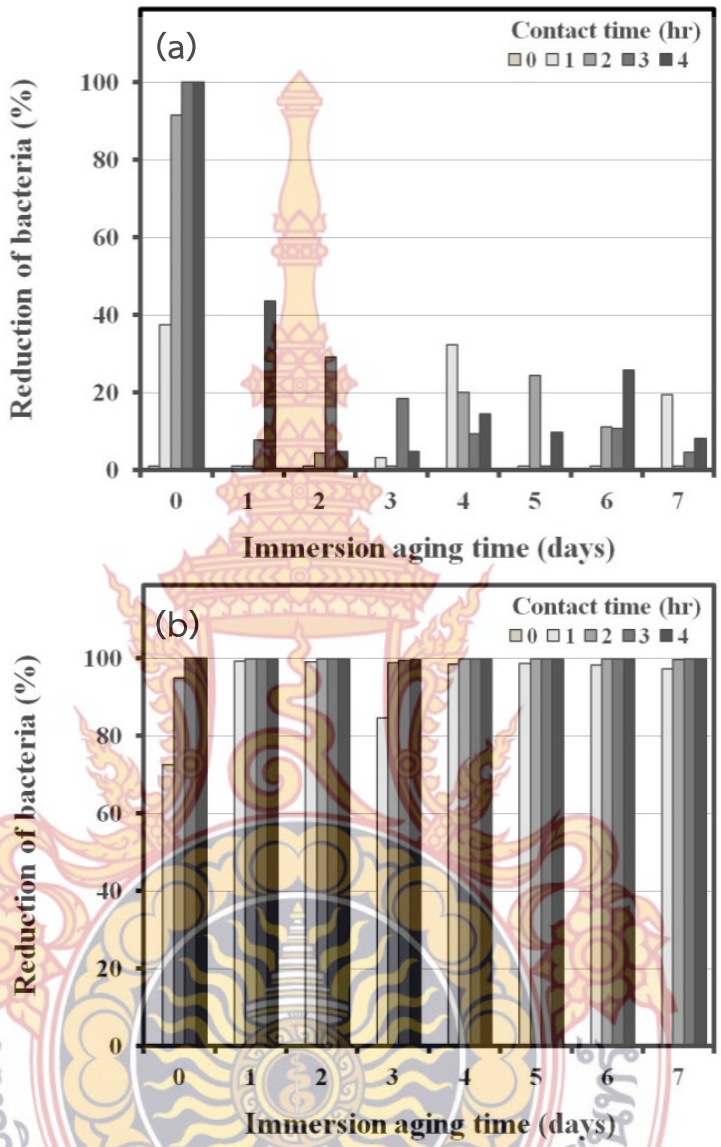
ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดัดโค้งและแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนผสม HPQM รูปแบบสารดูดซับและสารละลายที่ความเข้มข้น 0 500 750 1000 และ 1250 ppm ดังแสดงใน**ภาพที่ 10 (a และ b)** ตามลำดับ พบว่าค่ามอดุลัสต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural modulus) ค่าความต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural strength) และค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact strength) แสดงใน**ภาพที่ 11** 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



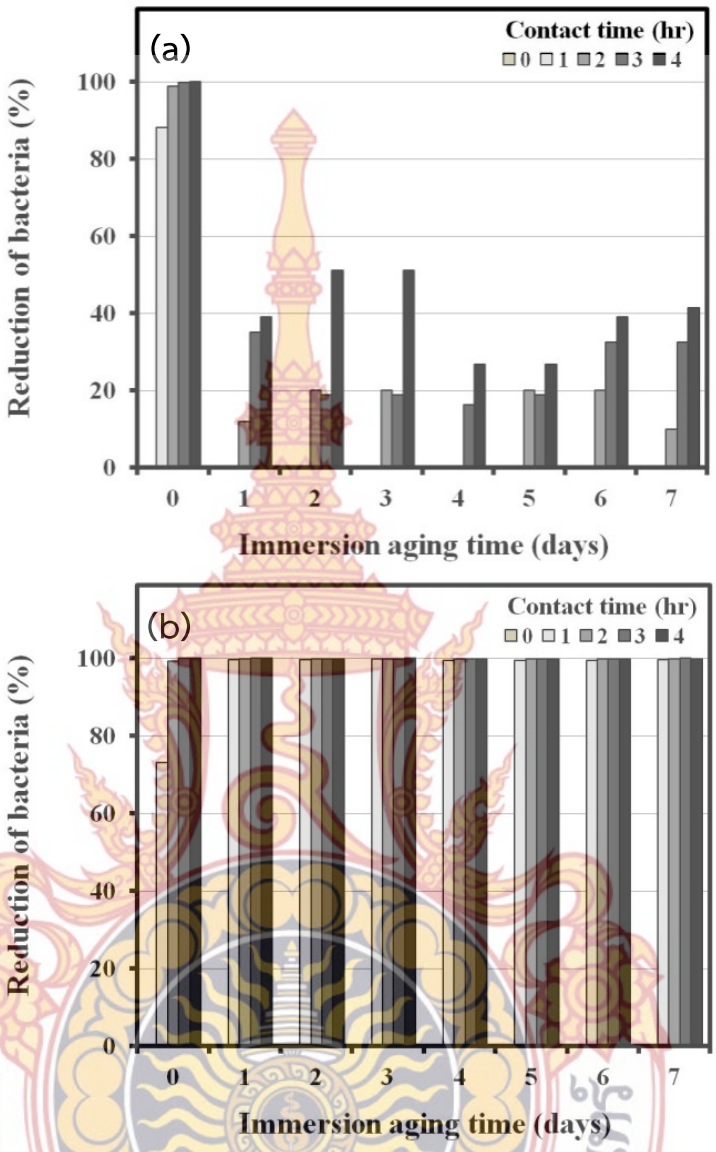
ภาพที่ 11 สมบัติเชิงกลด้านความต้านทานต่อแรงกระแทกของ PP/HPQM-*neu* PP/HPQM-*sol* PS/HPQM-*neu* และ PS/HPQM-*sol* ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 500 750 1000 และ 1250 ppm

3. การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของชิ้นงานหลังการเสื่อมสภาพด้วยการแช่น้ำ

การทดสอบการเสื่อมสภาพโดยการนำชิ้นงาน PP/HPQM-neu 500 ppm PP/HPQM-sol 750 ppm PS/HPQM-neu 1250 ppm และ PS/HPQM-sol 1250 ppm ซึ่งมีความเข้มข้นของสาร HPQM ที่น้อยที่สุดที่มีร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรียเท่ากับ 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 แสดงใน**ภาพที่ 12(a และ b)** เนื่องจากสาร HPQM ภายในสารดูดซับนูซิลินบริเวณผิวหน้าชิ้นงานถูกปลดปล่อยออกมาได้ดี ทำให้ชิ้นงานสูญเสียสาร HPQM ไปจากผิวหน้าระหว่างการแช่น้ำ อีกทั้งสาร HPQM สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารดูดซับนูซิลินได้ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Qian et al. [8] พบว่าหมู่คาร์บอกซิลิกของสารอิบูโพรเฟนสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของสารดูดซับนูซิลินได้ ซึ่งสาร HPQM มีหมู่คาร์บอกซิลิกเช่นเดียวกัน จึงคาดว่าสาร HPQM สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารดูดซับนูซิลิน 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% แสดงใน**ภาพที่ 13 (a และ b)** เนื่องจากสาร HPQM-*sol* สามารถถูกปลดปล่อยจากภายในชิ้นงานได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างภายในชิ้นงานและสารละลายเปปโตน แม้ว่ามีการสูญเสียสาร HPQM ไปบางส่วนจากการแช่น้ำ



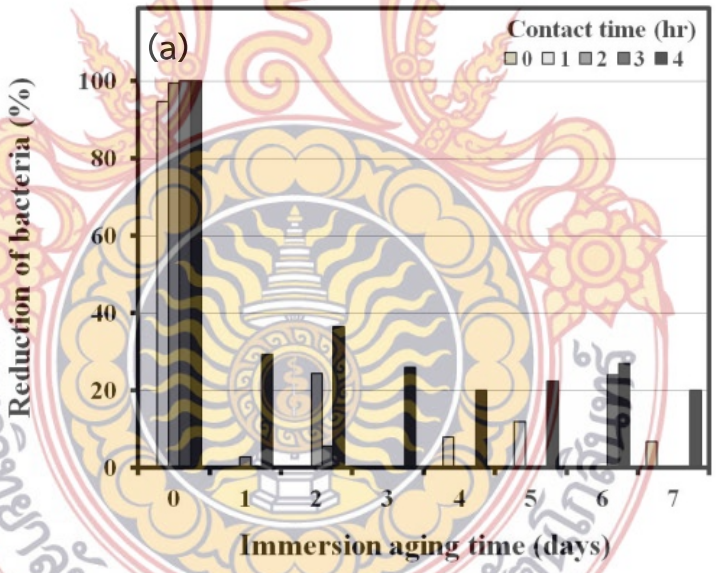
ภาพที่ 12 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน (a) PP/HPQM-*neu* 500 ppm (b) PP/HPQM-*sol* 750 ppm หลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0 ถึง 7 วัน



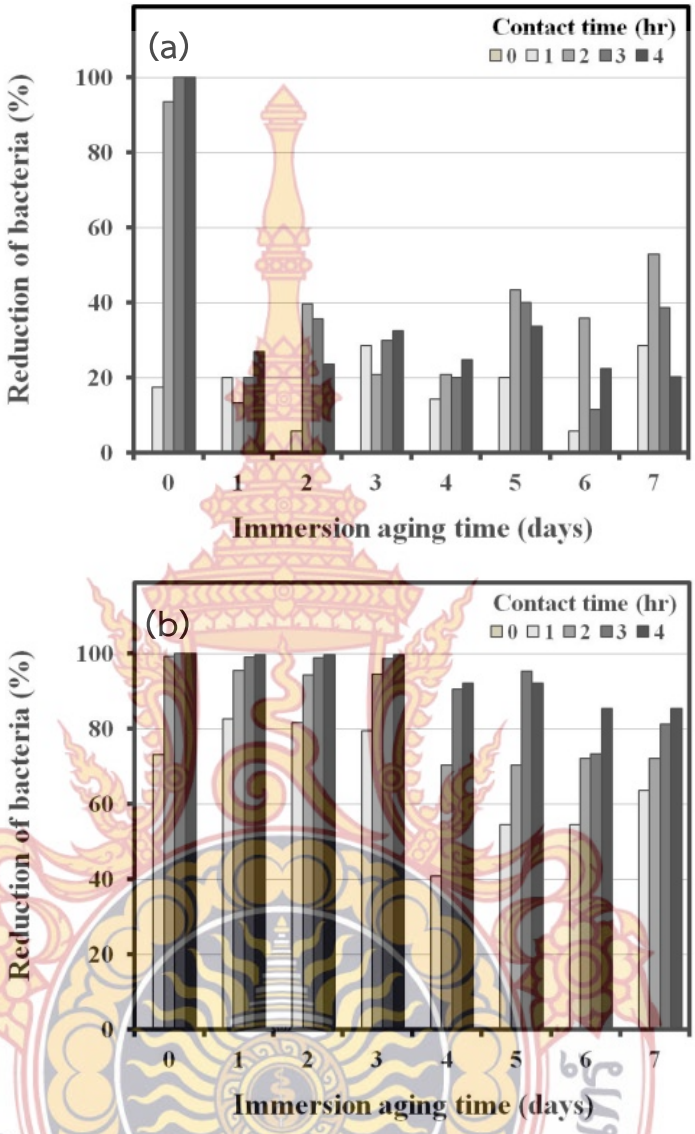
ภาพที่ 13 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน (a) PS/HPQM-*neu* 1250 ppmและ (b) PS/HPQM-*sol* 1250 ppmหลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0 ถึง 7 วัน

ในส่วนการทดสอบชิ้นงานแช่น้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นงาน PP/HPQM-neu 500 ppm และ PS/HPQM-neu 1250 ppm พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียอยู่ในช่วง 0 ถึง 52% หลังผ่านการแช่น้ำตั้งแต่วันที่ 1 จนถึงวันที่ 7 แสดงใน**ภาพที่**

14(a และ b) เช่นเดียวกับการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง ขณะที่ PP/HPQM-sol 750 ppm และ PS/HPQM-sol 1250 ppm มีแนวโน้มที่ลดลงของเปอร์เซ็นการลดลงของเชื้อแบคทีเรียตามวันที่แช่น้ำ แสดงใน**ภาพที่ 15 (a และ b)** 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 จึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านช่วงว่างดังกล่าวออกมาภายนอกชิ้นงานด้วยความแตกต่างของความเข้มข้นได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Colín-Chávez et al. [9] ที่ผสมสาร astaxanthin ในฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ พบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร astaxanthin ออกจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้แช่ชิ้นงานด้วยสารละลาย ethanol 95% ดังนั้น การแช่ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จึงมีการสูญเสียสาร HPQM-sol ได้มากกว่าที่อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 14 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน (a) PP/HPQM-*neu* 500 ppm (b) PP/HPQM-*sol* 750ppm หลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0 ถึง 7 วัน



ภาพที่ 15 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* ของชิ้นงาน (a) PS/HPQM-*neu* 1250 ppmและ (b) PS/HPQM-*sol* 1250 ppmหลังการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 ถึง 7 วัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

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 นอกจากนี้ ยังพบว่าการผสมสาร HPQM-*neu* และ HPQM-*sol* ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลด้านความต้านทานต่อแรงดัดโค้งและแรงกระแทกของวัสดุพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีน 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

บรรณานุกรม

1. Silapasorn, K., et al., *Effect of chemical structure of thermoplastics on antibacterial activity and physical diffusion of triclosan doped in vinyl thermoplastics and their composites with $CaCO_3$.* **Journal of Applied Polymer Science**, 2011. 121 (1): pp. 253-261.

2. Ramos, M., et al., *Characterization and antimicrobial activity studies of polypropylene films with carvacrol and thymol for active packaging.* **Journal of Food Engineering**, 2012. 109 (3): pp. 513-519.

3. Haroun, A.A., et al., *Antimicrobial and antioxidant properties of novel synthesized nanocomposites based on polystyrene packaging material waste.* IRBM, 2013. 34 (3): pp. 206-213.

4. Jeong, S., S. Yeo, and S. Yi, *The effect of filler particle size on the antibacterial properties of compounded polymer/silver fibers.* **Journal of Materials Science**, 2005. 40 (20): pp. 5407-5411.

5. Wu, J.J., et al., *The synthesis of nano-silver/polypropylene plastics for antibacterial application.* Current Applied Physics, 2012. 12, **Current Applied Physics,** 2 (0): pp. S89-S95.

6. Pongnop, W., et al., *Effects of incorporating technique and silver colloid content on antibacterial performance for thermoplastic films.* **Journal of Applied Polymer Science**, 2011. 122 (5): pp. 3456-3465.

7. Chinkamonthong, R.-., A. Kositchaiyong, and N. Sombatsompop, *Effects of thermal and UV aging on antibacterial properties of LLDPE and PVC films containing nano-silver colloid.* **Journal of Plastic Film and Sheeting**, 2013. 29 (2): 144-162

8. Qian, K.K., Zhou, W., Xu, X. and Udovic, T.J. (2012, May). *Characterization of Medicinal Compounds Confined in Porous Media by Neutron Vibrational Spectroscopy and First-Principles Calculations: A Case Study with Ibuprofen*. **Pharmaceutical Research Journal**, 2012(29), 1-13, April, 12, 2014, Springer Link.

9. ColÍn-Chávez, C., Soto-Valdez. H., Peralta. E., Lizardi-Mendoza. J. & Balandrán-Quintana. R. (2013). *Diffusion of natural astaxanthin frompolyethylene active packaging films into a fatty food stimulant*. **Food Research International**, 54(2013), 873-880.

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวกุลนิดา เทพทิม

   (ภาษาอังกฤษ) Miss Kulnida Taptim

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-1201-01270-15-5

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์อัตราพนักงานมหาวิทยาลัย

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

   สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 หมู่ 3 ถ.พุทธมณฑลสาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170 โทรศัพท์ 02-889-4585-7 ต่อ 2696 โทรสาร 02-889-4585-7 ต่อ 2621 E-mail : differencedesign@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปี พ.ศ.ที่จบ	ชื่อสถานศึกษา	ประเทศ
วศ.บ. (ปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์)	2546	มหาวิทยาลัยศิลปากร	ไทย
วศ.ม. (เทคโนโลยีวัสดุ)	2550	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ไทย
ปร.ด. (เทคโนโลยีวัสดุ)	2555	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

   Polymer with antibacterial applications

   Polymer and rubber composites technology and processing

   Polymer testing

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

.....ไม่มี.....

8. ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

1. หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

.....ไม่มี.....

2. งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว: ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

2.1 ผลงานที่ได้รับการตอบรับและรอการตีพิมพ์

Taptim K, Ansarifar A and Sombatsompop N - Effect of Organoclay and Silver Substituted Zeolite on the Mechanical and Anti-bacterial Properties of a Silicone Rubber Filled with 2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline Carboxylic Acid Methacrylate - **Polymer Engineering and Science,** (accepted) (JIF = 1.243).

Taptim K & Sombatsompop N (2014) Effect of UV weathering on mechanical and anti-bacterial performances for peroxide-cured silicone rubber with HPQM - **Journal of Vinyl & Additive Technology,** (accepted) (JIF = 1.107).

2.2 ผลงานที่ได้รับตีพิมพ์เมื่อปี พ.ศ. 2556

Taptim K & Sombatsompop N (2013) Anti-microbial Performance and Cure & Mechanical Properties for Peroxide-Cured Silicone Rubber Compounds - **Journal of Vinyl & Additive Technology,** 19 (2): 113-122. (JIF = 1.107).

2.3 ผลงานที่ได้รับตีพิมพ์เมื่อปีพ.ศ. 2551

Sombatsompop N, Taptim K, Chaochanchaikul K, Thongpin C & Rosarpitak V (2008) Improvement of Structural and Thermal Stabilities of PVC and Wood/PVC Composites by Pb and Zn Stearates, and Zeolite - **Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry ,** 45 (7): 534-541. (JIF = 0.807)

3. งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัย ว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

.....ไม่มี.....

9. ประวัติการทำวิจัยจากทุนอุดหนุนวิจัยของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ย้อนหลัง 2 ปี

9.1 ปี 2556 มีโครงการวิจัยที่ได้รับสนับสนุน จำนวน 0 โครงการ

9.2 ปี 2557 มีโครงการวิจัยที่ได้รับสนับสนุน จำนวน 0 โครงการ

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายเอกชัย วิมลมาลา

   (ภาษาอังกฤษ) Mr. Ekachai Wimolmala

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-1201-01886-23-7

3. ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

   กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF) สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โทรศัพท์ 0-2470-8695-9 ต่อ 319, 0-2470-8647 โทรสาร 0-2470-8647 E-mail: ekachai.wim@kmutt.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปี พ.ศ.ที่จบ	ชื่อสถานศึกษา	ประเทศ
อส.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2537	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์	ไทย
ป.บัณฑิต (เทคโนโลยีวัสดุ)	2540	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ไทย
วศ.ม. (เทคโนโลยีวัสดุ)	2543	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

   Rubber Technology & Additive

   Polymer Blend and Technology

   Polymer Processing & Testing

7. **ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ** โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

มีประสบการณ์ในการเป็นหัวหน้าโครงการวิจัยต่างๆ

8. ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

1. หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

- อิทธิพลของความหนาผิวเคลือบพอลิยูรีเทนและปริมาณผงไททาเนียมไดออกไซด์ในผิวเคลือบที่มีต่อสมบัติการถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์หลังคายางจากวัสดุยางธรรมชาติและขี้เลื่อยไม้ แหล่งทุน โครงการวิจัยยางพาราแห่งชาติ ฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) **สถานะโครงการ: ปิดโครงการแล้ว**

- ยางเซลลูลาร์จากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ สำหรับผลิตภัณฑ์ยางประเก็นและยางรองกันกระแทกเสริมแรงโดยผงเถ้าลอย ผงซิลิกา และผงเขม่าดำ แหล่งทุน โครงการวิจัยยางพาราแห่งชาติ ฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) **สถานะโครงการ: ปิดโครงการแล้ว**

2. งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน

2.1 ผลงานที่ได้รับการตอบรับและรอการตีพิมพ์

Promchim J, Kanking S, Niltui P, Wimolmala E and Sombatsompop N (2014) Swelling and Mechanical Properties of NBR/HNBR Blends with Precipitated Silica Filled in Gasohol Fuel - **Journal of Vinyl & Additive Technology,** (accepted) (JIF = 1.107).

Surin P, Rakkwamsook P, Womolmala E & Sombatsompop N (2014) Effects of Coir Fiber and Maleic Anhydride Modification on the Properties of

Thermoplastic Starch/PLA Composite Laminates - **Journal of Natural Fibers,** (accepted) (JIF = 0.558).

Yotkaew P, Kositchaiyong A, Wimolmala E, Rosarpitak V & Sombatsompop N - Use of synthetic fibers as co-reinforcing agents in wood/PVC hybrid composites; Effect on tribological properties - **Journal of Reinforced Plastics & Composites,** (accepted) (JIF = 0.902).

Likhitlert S, Wongchaleo C, Kositchaiyong A, Wimolmala E, Mitrprasertporn S and Sombatsompop N (2014) Thermal Characteristics and Temperature Profiles Changes in Structurally Different Polyethylenes with Peroxide Modifications -**Journal of Vinyl & Additive Technology,** (accepted) (JIF = 1.107).

2.2 ผลงานที่ได้รับตีพิมพ์เมื่อปี พ.ศ. 2556

Jai-eau K, Wimolmala E & Sombatsompop N (2013) Cure Behavior and Antimicrobial Performance of Sulfur-Cured NR Vulcanizates Containing 2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline Carboxylic Acid Methacrylate or Silver Substituted Zeolite - **Journal of Vinyl & Additive Technology,** 19 (2): 123-131. (JIF = 1.107).

2.3 ผลงานที่ได้รับตีพิมพ์เมื่อปี พ.ศ. 2555

Hamaviriyapornwattana N, Sombatsompop N, Markpin T, Kositchaiyong A & Wimolmala E (2012) Solar Reflectance, Surface Adhesion and Thermal Conductivity of Wood/NR Composite Sheet with TiO2/PU Topcoat for Roofing Applications- **Journal of Vinyl & Additive Technology,** 18(3): 184-191. (JIF = 1.107).

Thongsang S, Vorakhan W, Wimolmala E & Sombatsompop N (2012) Dynamic Mechanical Analysis and Tribological Properties of NR

Vulcanizates with Fly Ash/Precipitated Silica Hybrid Filler - **Tribology International,** 53(1): 134-141. (JIF = 1.536).

Kanking S, Niltui P, Wimolmala E, & Sombatsompop N (2012) Use of Bagasse Fiber Ash as Secondary Filler in Silica or Carbon Black Filled Natural Rubber Compound - **Materials and Design,** 41(1): 74-82. (JIF = 2.913).

Kaiyaded W, Wimolmala E, Harnnarongchai W, Sithicharoen W, & Sombatsompop N (2012) Rotating Die Technique for Sharkskin Minimization in Highly Viscous Wood/PP Composite Melt during Extrusion - **Journal of Applied Polymer Science,** 125(3): 2312–2321. (JIF = 1.395).

2.4 ผลงานที่ได้รับตีพิมพ์เมื่อปี พ.ศ. 2554

Kongvasana N, Kositchaiyong A, Wimolmala E, Sirisinha C & Sombatsompop N (2011) Fly Ash Particles and Precipitated Silica as Fillers in NR/CR Vulcanizates under Thermal and Thermal-Oil Ageing - **Polymers for Advanced Technologies,** 22 (6): 1014-1023. (JIF = 1.635).

Silapasorn K, Sombatsompop K, Kositchaiyong A, Wimolmala E, Markpin T & Sombatsompop N (2011) Effec of Chemical Structure of Thermoplastics on Anti-bacterial Activity and Physical Diffusion of Triclosan Doped in Vinyl Thermoplastics and their Composites with CaCO3 - **Journal of Applied Polymer Science,** 121 (1): 253-261. (JIF = 1.395)

2.5 ผลงานที่ได้รับตีพิมพ์เมื่อปี พ.ศ. 2553

Sriloy N, Kumnuantip C, Thongpin C, Wimolmala E & Sombatsompop N (2010) Effects of Silica based Fillers, Surface Treatment and Curing Method on Mechanical Properties of Silica/Unsaturated Polyester Composites - **Macromolecular Research,** 18 (4): 372-379. (JIF = 1.639).

2.6 ผลงานที่ได้รับตีพิมพ์เมื่อปี พ.ศ. 2552

Sombatsompop N, Markpin T, Wimolmala E, Ratchatahirun P, Premkamolnetr N, Boonradsamee B & Yochai W (2009)Relationship on Research Publications and Productivity-Export Volumes for Natural Rubber - **Scientometrics,** 81 (2): 393-405. (JIF = 2.133).

Wimolmala E, Kongnuan K & Sombatsompop N (2009) Mechanical and Morphological Properties of Cellular NR/SBR Vulcanizates under Thermal and Weathering Ageing - **Journal of Applied Polymer Science,** 114 (5): 2816-2827. (JIF = 1.395).

Kantala C, Wimolmala E, Sirisinha C & Sombatsompop N (2009) Reinforcement of Compatibilized NR/NBR Blend by Fly-Ash Particles and Precipitated Silica - **Polymers for Advanced Technologies,** 20 (5): 448-458. (JIF = 1.635).

2.7 ผลงานที่ได้รับตีพิมพ์เมื่อปี พ.ศ. 2551

Sombatsompop N, Wimolmala E & Sirisinha C (2008) Fly-Ash Particles and Precipitated Silica as Fillers in Rubbers: Part III. Cure Characteristics, and Mechanical & Oil Resistance Properties of NBR - **Journal of Applied Polymer Science,** 110 (5): 2877-2883. (JIF = 1.395).

2.8 ผลงานที่ได้รับตีพิมพ์เมื่อปี พ.ศ. 2550

Sombatsompop N, Wimolmala E & Markpin T (2007) Fly-Ash Particles and Precipitated Silica as Fillers in Rubbers: Part II. Effects of Silica Content and Si69-Treatment in NR/SBR Vulcanizates- **Journal of Applied Polymer Science,** 104 (5): 3396-3405. (JIF = 1.395).

2.9 ผลงานที่ได้รับตีพิมพ์เมื่อปี พ.ศ. 2549

Sombatsompop N, Kositchaiyong A and Wimolmala E (2006) Experimental Analysis of Temperature and Crystallinity Profiles of Wood-

Sawdust/PP Composites During Cooling - **Journal of Applied Polymer Science,** 102 (2): 1896-1905. (JIF = 1.395).

Sombatsompop N, Kantala C & Wimolmala E (2006) Wood Sawdust Fibres as a Secondary Filler in Carbon Black Filled NR Vulcanizates - **Polymers & Polymer Composites,** 14 (4): 331-347. (JIF = 0.309)

2.10 ผลงานที่ได้รับตีพิมพ์เมื่อปี พ.ศ. 2547

Sombatsompop N, Thongsang S, Markpin T & Wimolmala E (2004) Fly-Ash Particles and Precipitated Silica as Fillers in Rubbers: Part 1. Untreated Fillers in NR and SBR Compounds - **Journal of Applied Polymer Science,** 93 (5): 2119-2130. (JIF = 1.395).

3. งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัย ว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

ทุนวิจัย งบประมาณปี 2557 (ทุน ว.1ด) โครงการ “ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติที่มีสารตัวเติมเสริมแรง” แหล่งทุน วช.