

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในสารดูดซับแมกนีเซียมอลูมิเนียมเมตาซิลิเกตในพอลิโพรพิลีนเพื่อยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย
หน่วยกิต	15
ผู้เขียน	นางสาวอริยา ศรีบุตร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศ. ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ ดร.แววบุญ แยมแสงสังข์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีวัสดุ
สายวิชา	เทคโนโลยีวัสดุ
คณะ	พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
ปีการศึกษา	2556

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพของวัสดุพอลิโพรพิลีนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ชนิด 2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline Carboxylic acid Methacrylate (HPQM) รวมถึงอิทธิพลของการบ่มเร่งการเสื่อมสลายด้วยเครื่องเร่งสภาวะการทดสอบ (QUV) โดยเปรียบเทียบระหว่าง HPQM ในรูปแบบสารละลาย (HPQM- solution) และรูปแบบที่ HPQM ถูกดูดซับอยู่ในสารดูดซับแมกนีเซียมอลูมิเนียมเมตาซิลิเกต หรือ นูซิลิน (HPQM-Neusilin) ที่ปริมาณความเข้มข้นการผสมในช่วง 0 ถึง 1,250 ppm ผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* (*E. coli*) ของพอลิโพรพิลีนที่ผสมสาร HPQM ทั้งสองรูปแบบมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการผสมของสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM โดยที่ HPQM รูปแบบสารดูดซับให้ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่สูงกว่า HPQM รูปแบบสารละลาย ทั้งนี้เนื่องจากสารนูซิลินส่งเสริมให้สาร HPQM แพร่ออกจากชิ้นงานได้มากขึ้น และพบว่าการผสม HPQM รูปแบบสารละลายที่ 750 ppm และ HPQM รูปแบบสารดูดซับที่ปริมาณ 500 ppm มีการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* เท่ากับร้อยละ 99.9 ในขณะที่การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus cereus* (*B. Cereus*) ชิ้นงานไม่สามารถยับยั้งเชื้อได้ ผลทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า การผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM ทั้งสองรูปแบบ ไม่ส่งผลต่อ สมบัติเชิงกลของวัสดุพอลิโพรพิลีน การทดสอบทางกายภาพพบว่า การผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM รูปแบบสารละลายไม่ส่งผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงสีของพอลิโพรพิลีน ในขณะที่การผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM รูปแบบสารดูดซับ

ส่งผลให้ค่าความสว่างของชิ้นงานเพิ่มขึ้นตามปริมาณการผสม ในกรณีการบ่มเร่งการเสื่อมสลายด้วยเครื่องเร่งสภาวะการทดสอบ พบว่าผลการทดสอบรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย และสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมมีค่าลดลงอย่างชัดเจน

คำสำคัญ: การบ่มเร่งด้วยเครื่องเร่งสภาวะการทดสอบ/พอลิโพรพิลีน/แมกนีเซียมออกไซด์/โนเมตาซิลิเกต/  
ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย/เอชพีคิวเอ็ม

Thesis Title	Incorporation of Polypropylene Doped with Biocide Based Magnesium Aluminometasilicate Absorbent for Anti-Bacterial Applications
Thesis Credits	15
Candidate	Miss Ariya Sriyut
Thesis Advisors	Prof. Dr. Narongrit Sombatsompop Dr. Weawboon Yamsangsang
Program	Master of Engineering
Field of Study	Materials Technology
Department	Materials Technology
Faculty	School of Energy, Environment and Materials
Academic year	2013

### **Abstract**

This work aimed to study the anti-bacterial efficacies physical and mechanical properties of polypropylene (PP) doped with 2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline Carboxylic acid Methacrylate (HPQM) as well as UV aging effect. The HPQM as an effective biocide was supplied in two forms, including the solution form (designated as HPQM-solution) and the embedded magnesium aluminometasilicate (Neusilin) (designated as HPQM-Neusilin) using the concentration loading of biocide at 0 – 1,250 ppm. The results suggested that anti-bacterial performances of PP improved by additions of both HPQM forms. HPQM-Neusilin had higher antibacterial efficacies than HPQM-solution because the Neusilin could act as a promoter to enhance the mobility of HPQM substance to emerge to the PP surface. The optimal concentration to achieve 99.9% of bacteria reduction for HPQM-solution and HPQM-Neusilin were 500 and 750 ppm, respectively. According to tensile property test, adding either the HPQM-solution or based-Neusilin in PP did not significantly affect the tensile modulus, maximum stress and elongation at break. For surface color changes, adding HPQM-Neusilin was found to considerably change the lightness ( $L^*$ ) of PP whereas the changes became less pronounced in the case of HPQM-Solution. Regarding accelerated Q-UV aging study, clear zone radius (by halo test), percentage of bacteria reduction and tensile properties considerably decreased after the accelerated deterioration.

**Keywords:** Accelerated Q-UV aging/Anti-bacterial performance/HPQM/Magnesium  
aluminometasilicate/Polypropylene

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความรู้และคำแนะนำต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาระหว่างการทำงานวิจัย ตลอดจนได้รับประสบการณ์ใหม่ๆ ในการทำงานจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศ. ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.แววบุญ แยมแสงสังข์ อาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช รวมทั้งคณาจารย์และนักวิจัยทุกท่านในสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. ดร.เบญจภรณ์ ประภักดิ์ อาจารย์คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และ รศ. ดร.พรทิพย์ ศรีแดง อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร สำหรับความกรุณาในการสละเวลาเพื่อการสอบวิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบพระคุณ รศ.เอกชัย วิมลมาลา และคุณอัฐพงษ์ กิตติชัยวัชร นักวิจัย คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับความรู้ และคำแนะนำในการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับทุนวิจัยภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว.-อุตสาหกรรม สัญญาเลขที่ MRG-555S053 วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย ขอขอบคุณสมาชิกกลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจ สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวสำหรับกำลังใจในการสนับสนุนที่ดีเสมอมา

ประโยชน์อันใดที่เกิดจากการทำวิทยานิพนธ์นี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

## สารบัญ

## หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๘
กิตติกรรมประกาศ	๙
สารบัญ	๗
รายการตาราง	๙
รายการรูปประกอบ	๑๑

## บทที่

<b>1. บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัยโดยสังเขป	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
<b>2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>5</b>
2.1 พอลิเมอร์	5
2.1.1 พอลิโพรพิลีน	7
2.2 การเสื่อมสลายของพอลิเมอร์	9
2.2.1 การเสื่อมสลายของพอลิเมอร์โดยมีพลังงานแสงเป็นตัวกระตุ้น	10
2.2.2 การเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีน	14
2.3 แบคทีเรีย	15
2.3.1 โครงสร้างของเซลล์แบคทีเรีย	16
2.4 การออกฤทธิ์ของสารยับยั้งแบคทีเรียต่อโครงสร้างแบคทีเรีย	20

2.4.1	ออกฤทธิ์ที่ระดับผนังเซลล์ (Cell wall)	20
2.4.2	ออกฤทธิ์ที่ระดับเยื่อหุ้มเซลล์ (Cytoplasmic membrane)	20
2.4.3	ออกฤทธิ์ที่ระดับการสังเคราะห์สารในซัยโทพลาสซึม (Cytoplasm)	21
2.5	สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM และการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	21
2.5.1	สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM	21
2.5.2	การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของ HPQM	22
2.6	การดูดซับ และสารดูดซับ	22
2.6.1	การดูดซับ	22
2.6.2	สารดูดซับนูซิลิน (Neusilin)	24
2.7	การเปลี่ยนแปลงสี	26
2.8	การเปื่อยกผิว	27
2.9	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
<b>3.</b>	<b>การออกแบบและวิธีการทดลอง</b>	<b>32</b>
3.1	วัสดุที่ใช้วิจัย	32
3.2	อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	34
3.3	เชื้อแบคทีเรียทดสอบ	35
3.4	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้วิจัย	35
3.5	การออกแบบการทดลอง	38
3.5.1	การศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สมบัติเชิงกล และลักษณะ พื้นฐานวิทยา ของพอลิโพรพิลีนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบ สารละลาย และรูปแบบสารดูดซับ	38
3.5.2	การศึกษาอิทธิพลของการบ่มเร่งที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สมบัติเชิงกล และลักษณะทางพื้นฐานวิทยา ของพอลิโพรพิลีนที่ผสมสาร ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์	39

3.6	วิธีการทดลอง	41
3.6.1	การเตรียมวัสดุผสมและการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ	41
3.6.2	การทดสอบสภาวะบ่มเร่งด้วยเครื่องเร่งสภาวะการทดสอบ	43
3.6.3	การเตรียมชิ้นงานทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	44
3.6.4	การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	44
3.6.5	การทดสอบสมบัติเชิงกลด้านความต้านทานต่อแรงดึง	50
3.6.6	การทดสอบสมบัติทางกายภาพ	51
3.6.7	การตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	52
<b>4.</b>	<b>ผลการทดลองและอภิปรายผล</b>	<b>54</b>
4.1	การวิเคราะห์สมบัติกายภาพและสมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนผสม HPQM	54
4.1.1	การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานพอลิโพรพิลีนผสม HPQM	54
4.1.2	การทดสอบการเปื่อยผิวยของชิ้นงานพอลิโพรพิลีนผสม HPQM	56
4.1.3	การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานพอลิโพรพิลีนผสม HPQM	59
4.2	ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิโพรพิลีนผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM	64
4.2.1	อิทธิพลของการผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM ในพอลิโพรพิลีนที่ส่งผลต่อรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Clear zone)	64
4.2.2	อิทธิพลของการผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM ในพอลิโพรพิลีนที่ส่งผลต่อร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย	65
4.3	ผลของสภาวะบ่มเร่งด้วยเครื่องเร่งสภาวะการทดสอบ ที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	68
4.4	การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	74

<b>5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	<b>75</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	
5.1.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกลและการบ่มเร่งของพอลิโพรพิลีนผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM	75
5.1.2 ผลของปริมาณสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM และเวลาทดสอบที่มีต่อการเจริญเติบโตและการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิโพรพิลีน	75
5.1.3 ผลของสภาวะบ่มเร่งจากเครื่องเร่งสภาวะการทดสอบ ที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	76
5.2 ข้อเสนอแนะ	77
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>78</b>
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	<b>86</b>

## รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ความแตกต่างของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวก และแบคทีเรียแกรมลบ	18
2.2	ค่ามัมสัมพัทธ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการเปื่อยผิ	27
3.1	รายละเอียดวัสดุวิจัย	33
3.2	รายละเอียดอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	35
3.3	รายละเอียดและแหล่งที่มาของอุปกรณ์สำหรับเตรียมวัตถุดิบและการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	36
3.4	รายละเอียดและแหล่งที่มาของอุปกรณ์สำหรับการวัดความหนาแน่นของเชื้อแบคทีเรีย เครื่องทดสอบสมบัติทางกายภาพเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล และเครื่องตรวจสอบคุณลักษณะของพอลิเมอร์	37
4.1	ค่ามัมสัมพัทธ์บริเวณพื้นผิวของชิ้นงานพอลิโพรพิลีนผสมสารสารถยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM	58
4.2	ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และค่าการยืดตัวที่จุดขาดของพอลิโพรพิลีนผสมสารสารถยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM	60
4.3	สมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนผสมสารสารถยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM รูปแบบสารละลาย หลังการบ่มเร่งด้วยเครื่องเร่งสภาวะการทดสอบ	62
4.4	สมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนผสมสารสารถยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM รูปแบบสารคูดซับ หลังการบ่มเร่งด้วยเครื่องเร่งสภาวะการทดสอบ	63
4.5	รัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>E.coli</i> ของชิ้นงานพอลิโพรพิลีนผสมสารสารถยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM	65
4.6	รัศมีการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ <i>B.cereus</i> ของชิ้นงานพอลิโพรพิลีนผสมสารสารถยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM	65
4.7	รัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>E.coli</i> ของพอลิโพรพิลีนผสมสารสารถยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM เมื่อผ่านสภาวะการบ่มเร่ง	69

## รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.8	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิโพรพิลีนผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM รูปแบบสารละลาย ที่ปริมาณการผสม 1,000 ppm ที่ผ่านการบ่มเร่งด้วยเครื่องเร่งสภาวะการทดสอบ	73
4.9	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิโพรพิลีนผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM รูปแบบสารละลาย ที่ปริมาณการผสม 1,250 ppm ที่ผ่านการบ่มเร่งด้วยเครื่องเร่งสภาวะการทดสอบ	73
4.10	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิโพรพิลีนผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM รูปแบบสารคูดซับ ที่ปริมาณการผสม 1,250 ppm ที่ผ่านการบ่มเร่งด้วยเครื่องเร่งสภาวะการทดสอบ	73

## รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า	
2.1	การเรียงตัวของพอลิเมอร์	5
2.2	ลักษณะสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์	6
2.3	สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิโพรพิลีน	7
2.4	โครงสร้างของพอลิโพรพิลีนชนิด Isotactic	7
2.5	โครงสร้างของพอลิโพรพิลีนชนิด Syndiotactic	8
2.6	โครงสร้างของพอลิโพรพิลีนชนิด Atactic	8
2.7	ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิโพรพิลีน	8
2.8	แผนภาพขั้นตอนของกลไกการเสื่อมสลายพอลิโพรพิลีน	15
2.9	รูปร่างของแบคทีเรีย	16
2.10	โครงสร้างแบคทีเรีย	16
2.11	ลักษณะผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวก และแกรมลบ	18
2.12	กลไกการยับยั้งเชื้อของสารยับยั้งเชื้อ HPQM	22
2.13	แผนภูมิอย่างง่ายแสดงกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นภายในรูพรุนของสารดูดซับ	23
2.14	ลักษณะโครงสร้างทางเคมี และสัณฐานวิทยาของสารอนุชีลิน	25
2.15	แกนเทียบสีมาตรฐานระบบ Hunter Lab	26
3.1	วัสดุหลักที่ใช้ในงานวิจัย	32
3.2	แผนการดำเนินงานการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพของพอลิโพรพิลีนผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM ในรูปแบบและปริมาณต่างๆ	39
3.3	แผนการดำเนินงานการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพของพอลิโพรพิลีนผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM หลังผ่านสภาวะบ่มเร่งด้วยเครื่องเร่งสภาวะการทดสอบ	40
3.4	เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่	41
3.5	เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน	42
3.6	เครื่องเร่งสภาวะการทดสอบ	43

## รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า	
3.7	เทคนิคการทำเชื้อให้บริสุทธิ์โดยวิธีการฉีดเชื้อ	46
3.8	เครื่อง UV-Vis spectrophotometer	47
3.9	แบบจำลองการวัดขนาดรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	48
3.10	เครื่อง Universal Testing Machine	51
3.11	เครื่อง UV-Vis-NIR Recording Spectrophotometer	51
3.12	เครื่องวัดมุมสัมผัส	52
3.13	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	53
4.1	ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของพอลิโพรพิลีนผสมสารสารถับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM รูปแบบสารละลาย และรูปแบบสารคูดซับ	55
4.2	ค่าความสว่างของพอลิโพรพิลีนผสมสารสารถับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM รูปแบบสารละลาย และรูปแบบสารคูดซับหลังผ่านสภาวะบ่มเร่ง	56
4.3	ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>E.coli</i> ของพอลิโพรพิลีนผสมสารสารถับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM รูปแบบสารละลาย และรูปแบบสารคูดซับ	66
4.4	ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>B.cereus</i> ของพอลิโพรพิลีนผสมสารสารถับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM รูปแบบสารละลาย และรูปแบบสารคูดซับ	67
4.5	ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>E.coli</i> หลังผ่านการบ่มเร่งด้วยเครื่องเร่งสภาวะการทดสอบ ของชิ้นงานพอลิโพรพิลีนผสม สารสารถับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM รูปแบบสารละลาย	72