

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และขอบพระคุณสมาชิกกลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF)ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งร่างกาย และแรงใจในการทำงาน

ประโยชน์อันใดที่เกิดจากรายงานการวิจัย ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของวัสดุผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ และสารยับยั้งแบคทีเรีย รวมถึงสารตัวเติม โดยพิจารณาถึงอิทธิพลของโครงสร้างโมเลกุลของเทอร์โมพลาสติก ปริมาณของสารยับยั้งแบคทีเรียและสารตัวเติม เทอร์โมพลาสติกที่ใช้ศึกษาได้แก่ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิโพรพิลีน (PP) พอลิสไตรีน (PS) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) สารยับยั้งแบคทีเรียคือไตรโคลซานและสารตัวเติมคือแคลเซียมคาร์บอเนต ใช้เชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ในการทดสอบ แบ่งวิธีทดสอบเป็นสองวิธีคือ รัศมีการยับยั้งแบคทีเรียและการวัดเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรีย และได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ หลังผสมสารยับยั้งแบคทีเรีย ซึ่งพบว่าที่สัดส่วนสารไตรโคลซาน 15,000 ppm สีของเทอร์โมพลาสติกมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จากการทดสอบรัศมีการยับยั้งแบคทีเรียและการวัดเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียพบว่าสำหรับเทอร์โมพลาสติกที่ไม่มีขั้ว (PE PP และ PS) รัศมีการยับยั้งแบคทีเรียและเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนปริมาณไตรโคลซาน ซึ่งในเทอร์โมพลาสติกที่มีขั้ว (PVC) กลับมีผลตรงกันข้าม โดยประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียลดลงดังนี้ LDPE MDPE HDPE PP PS และ PVC ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้นี้สามารถพิสูจน์ได้โดยการวัดความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซานในเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ จากการผสมสารตัวเติมลงในเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ ให้ผลในการยับยั้งแบคทีเรียดังนี้ ในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและพอลิสไตรีนการผสมแคลเซียมคาร์บอเนตส่งผลให้รัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียน้อยลง ซึ่งในพอลิไวนิลคลอไรด์การผสมแคลเซียมคาร์บอเนตส่งผลให้รัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : สารยับยั้งแบคทีเรีย; พอลิเอทิลีน; Halo test; Plate count agar; วัสดุชีวภาพ

Abstract

In this study, the effects of additions of triclosan and calcium carbonate (CaCO_3) filler on anti-bacterial performances for thermoplastics with various molecular structures were investigated. The thermoplastics used were low density polyethylene (LDPE), medium density polyethylene (MDPE), high density polyethylene (HDPE), polypropylene (PP), polystyrene (PS) and poly(vinyl chloride) (PVC) with and without CaCO_3 , which were then incorporated with triclosan as anti-bacterial agent. *Escherichia coli* (ATCC 25922) was used as testing bacteria. The Halo and Plate-Count-Agar (PCA) tests were employed to assess the efficacies of the anti-bacterial performances. The color index of each thermoplastic film was determined also. The experimental results suggested that % transmittance of the thermoplastic film filled with 15,000 ppm still as the same as neat thermoplastic film. The halo and PCA tests showed that the inhibition zone increased with increasing triclosan content for the non-polar thermoplastics (PE, PP and PS) whereas the opposite effect was observed for the polar thermoplastic like PVC. The effectiveness of the triclosan added in the thermoplastics decreased in the order of LDPE > MDPE > HDPE > PP > PS > PVC. These results can be confirmed from triclosan releasing rate measurement. The addition of CaCO_3 had two different effects on the inhibition zone and %reduction depending on the type of thermoplastics used. The addition of CaCO_3 reduced the inhibition zone and %reduction of the bacterial, this being the case for HDPE and PS matrices whereas the addition of CaCO_3 improved the inhibition zone and %reduction for PVC.

Key words: Antimicrobials; Polyethylene; Halo test; Plate count agar; Biomaterials

สารบัญเรื่อง

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฅ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัยโดยสังเขป	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	5
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	6
2.1.1 เทอร์โมพลาสติกที่ใช้ในงานวิจัย	6
2.1.2 สารยับยั้งแบคทีเรียที่ใช้ในงานวิจัย	8
2.1.3 สารตัวเติมที่ใช้ในงานวิจัย	9
2.2 บรรจุภัณฑ์พลาสติก	9
2.3 แบคทีเรีย	14
2.3.1 รูปร่างของแบคทีเรีย	15
2.3.2 โครงสร้างพื้นฐานของแบคทีเรีย (Essential structure)	15
2.4 การควบคุมจุลินทรีย์	19
2.4.1 หลักในการควบคุมจุลินทรีย์	19
2.4.2 อัตราการตายของแบคทีเรีย	20
2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมจุลินทรีย์	20
2.4.4 กลไกการออกฤทธิ์ของสารต้านจุลินทรีย์ (Mode of action of antimicrobial agents)	21
2.4.5 การควบคุมจุลินทรีย์ด้วยสารเคมี	23
2.4.6 สารเคมีที่ใช้ควบคุมจุลินทรีย์	24

2.5	บรรจุภัณฑ์ยับยั้งจุลินทรีย์ (Antimicrobial Packaging)	27
2.5.1	ประเภทของสารต้านจุลินทรีย์	27
2.5.2	สารต้านจุลินทรีย์ที่แต่งเติมในพอลิเมอร์ (Antimicrobial Agents Incorporated into Polymer)	30
2.5.3	สารต้านจุลินทรีย์ตรึงกับพอลิเมอร์ด้วยพันธะไอออนิกและโควาเลนต์ (Immobilized antimicrobials to polymers by covalent linkages)	33
2.5.4	สารต้านจุลินทรีย์เคลือบพอลิเมอร์หรือดูดซับที่ผิวพอลิเมอร์ (Coating or adsorbing antimicrobials to polymer surface)	34
2.5.5	พอลิเมอร์ที่มีสมบัติต้านจุลินทรีย์ (Inherently Antimicrobial polymers)	34
2.6	พอลิเมอร์ยับยั้งจุลินทรีย์ (Antimicrobial polymer)	35
2.6.1	ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย (Factors affecting the antimicrobial activity)	35
2.7	การถ่ายเทมวลสารและการซึมผ่าน	38
2.7.1	ทฤษฎีการซึมผ่าน (Permeation)	39
2.7.2	สมการการแพร่และการดูดซับ (Diffusion and Sorption Equations)	40
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	45
3.	การออกแบบ และวิธีการทดลอง	50
3.1	วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	50
3.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	53
3.3	เชื้อแบคทีเรียทดสอบ	56
3.4	การออกแบบการทดลอง	56
3.4.1	การศึกษาอิทธิพลของปริมาณไตรโคลซานที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	57
3.4.2	การศึกษาอิทธิพลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	58
3.5	วิธีการทดลอง	59
3.5.1	การเตรียมวัสดุผสม	59
3.5.2	การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มทดสอบ	60
3.5.3	การเตรียมชิ้นงานทดสอบ	62
3.5.4	วิธีการทดสอบการวัดรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	63
3.5.5	วิธีทดสอบเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรีย (Plate count agar, PCA)	70

3.5.6	วิธีทดสอบประสิทธิภาพในการแพร่ของสารยับยั้งในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	74
3.5.7	การศึกษาผลของสารไตรโคลซานต่อการเปลี่ยนแปลงของสีในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	74
4.	ผลการทดลอง และอภิปรายผล	76
4.1	การศึกษาอิทธิพลของปริมาณไตรโคลซานที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	76
4.1.1	การเกิดรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	76
4.1.2	เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย	84
4.1.3	การศึกษาความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซาน	92
4.2	การศึกษาอิทธิพลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	94
4.2.1	การเกิดรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	94
4.2.2	เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย	99
4.2.3	การศึกษาความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซาน	105
4.3	การศึกษาผลของสารไตรโคลซานต่อการเปลี่ยนแปลงของสีในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	108
5.	สรุปผลการทดลอง	109
5.1	การศึกษาอิทธิพลของปริมาณไตรโคลซานที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	109
5.1.1	การเกิดรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	109
5.1.2	เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย	109
5.1.3	การศึกษาความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซาน	109
5.2	การศึกษาอิทธิพลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	110
5.2.1	การเกิดรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	110
5.2.2	เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย	110
5.2.3	การศึกษาความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซาน	110
5.3	การศึกษาผลของสารไตรโคลซานต่อการเปลี่ยนแปลงของสีในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	111
	เอกสารอ้างอิง	112
	เอกสารแนบ: บทความวิจัยที่ลงตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ	118

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงอัตราการตายของแบคทีเรียตามทฤษฎีเมื่อสัมผัสกับสารที่ทำให้ตาย	20
2.2 ตัวอย่างสารต้านจุลินทรีย์ที่ใช้แต่งเติมในวัสดุบรรจุภัณฑ์	28
2.3 ตัวอย่างสารต้านจุลินทรีย์ผลิตในเชิงพาณิชย์	29
2.4 ผลของโครงสร้างทางเคมีของพลาสติกต่อค่าอัตราการซึมผ่านของออกซิเจน	41
2.5 ผลของการจัดระเบียบโมเลกุลต่อค่า $Pm(O_2)$ ของพลาสติก	42
2.6 ผลของระดับความเป็นผลึกต่อค่า $Pm(O_2)$ ของพลาสติก	43
2.7 ผลของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อค่าอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ	44
2.8 ขนาดโมเลกุลและสัดส่วนของค่าอัตราการซึมผ่านของไนโตรเจนออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์	44
3.1 คุณสมบัติของวัสดุและสารเคมีในงานวิจัย	50
3.2 รายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย	52
3.3 เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในงานวิจัย	56
4.1 ตัวอย่างรูปภาพแสดงผลของไตรโคซานที่มีต่อรศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ กรณีทดสอบกับเชื้อ <i>E.coli</i>	77
4.2 ตัวอย่างรูปภาพแสดงผลของไตรโคซานที่มีต่อรศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ กรณีทดสอบกับเชื้อ <i>S.aureus</i>	78
4.3 ค่าเฉลี่ยรศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจากการทดสอบผลของปริมาณไตรโคซานในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ กรณีทดสอบกับเชื้อ <i>E.coli</i>	79
4.4 ค่าเฉลี่ยรศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย จากการทดสอบผลของปริมาณไตรโคซานในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ กรณีทดสอบกับเชื้อ <i>S.aureus</i>	79
4.5 ตัวอย่างรูปภาพแสดงผลของปริมาณไตรโคซานในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อ <i>E.coli</i> ที่เวลาทดสอบ 0.5 ชั่วโมง	85
4.6 ตัวอย่างรูปภาพแสดงผลของปริมาณไตรโคซานในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อ <i>S.aureus</i> ที่เวลาทดสอบ 0.5 ชั่วโมง	86
4.7 ตัวอย่างรูปภาพแสดงผลของปริมาณไตรโคซานในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อ <i>E.coli</i> ที่เวลาทดสอบ 1.0 ชั่วโมง	87
4.8 ตัวอย่างรูปภาพแสดงผลของปริมาณไตรโคซานในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อ <i>S.aureus</i> ที่เวลาทดสอบ 1.0 ชั่วโมง	88

ตาราง	หน้า
4.9 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งแบคทีเรีย (<i>E.coli</i> และ <i>S.aureus</i>) ของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่เวลาทดสอบ 0.5 และ 1.0 ชั่วโมง	89
4.10 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีต่ออัตราการยับยั้งเชื้อในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ กรณีทดสอบกับเชื้อ <i>E.coli</i>	95
4.11 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีต่ออัตราการยับยั้งเชื้อในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ กรณีทดสอบกับเชื้อ <i>S.aureus</i>	95
4.12 ค่าเฉลี่ยอัตราการยับยั้งเชื้อฯ จากการทดสอบผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ กรณีทดสอบกับเชื้อ <i>E.coli</i>	96
4.13 ค่าเฉลี่ยอัตราการยับยั้งเชื้อฯ จากการทดสอบผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ กรณีทดสอบกับเชื้อ <i>S.aureus</i>	96
4.14 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อ <i>E.coli</i> ที่เวลาทดสอบ 0.5 ชั่วโมง	99
4.15 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อ <i>S.aureus</i> ที่เวลาทดสอบ 0.5 ชั่วโมง	100
4.16 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อ <i>E.coli</i> ที่เวลาทดสอบ 1.0 ชั่วโมง	100
4.17 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อ <i>S.aureus</i> ที่เวลาทดสอบ 1.0 ชั่วโมง	101
4.18 ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งแบคทีเรีย (<i>E.coli</i> และ <i>S.aureus</i>) ของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่เวลาทดสอบ 0.5 และ 1.0 ชั่วโมง	102
4.19 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่ผสมสารไตรโคลซาน	108

สารบัญรูปภาพ

รูป		หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน	6
2.2	สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิโพรพิลีน	7
2.3	สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิสไตรีน	7
2.4	สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลคลอไรด์	8
2.5	โครงสร้างทางเคมีของไตรโคลซาน	8
2.6	แสดงตัวอย่างถุงบรรจุสินค้าชนิด FIBC	12
2.7	โครงสร้างพื้นฐานของแบคทีเรีย	15
2.8	โครงสร้างผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ	17
2.9	โครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์	18
2.10	แผนภาพการทำงานของสารต้านจุลินทรีย์ที่ผสมวัสดุบรรจุภัณฑ์	31
2.11	โครงสร้างของสารต้านจุลินทรีย์ Ag-zeolite	32
2.12	กระบวนการซึมผ่านพลาสติกของก๊าซ หรือ ไอ	40
2.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่าอัตราการซึมผ่านของ ออกซิเจน สำหรับพลาสติกพอลิเอทิลีน	43
3.1	ภาพการดำเนินงานการศึกษาอิทธิพลของปริมาณไตร โคลซานที่มีต่อประสิทธิภาพ การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	57
3.2	ภาพการดำเนินงานการศึกษาอิทธิพลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีต่อประสิทธิภาพ การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	58
3.3	เครื่องหลอมผสมภายในรุ่น Haake Rheomix	60
3.4	ตัวอย่างพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากเครื่องหลอมผสมภายใน	60
3.5	ตัวอย่างพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการบด	60
3.6	ตัวอย่างแม่พิมพ์ที่ใช้	61
3.7	เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน	61
3.8	ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน	61
3.9	ตัวอย่างแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปออกมาด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน	62
3.10	ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ทดสอบการวัดระสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย	62
3.11	ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ทดสอบเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียและทดสอบ ความสามารถในการแพร่	63
3.12	แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดสอบ Halo Test	63

รูป		หน้า
3.13	ขวดที่บรรจุสารละลายอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดวัน	64
3.14	ขวดที่บรรจุสารละลายอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว	64
3.15	เครื่องอบฆ่าเชื้อ	65
3.16	การเทอาหารเลี้ยงเชื้อลงบนเพลท	65
3.17	การเตรียมเชื้อแบคทีเรียเพื่อทดสอบโดย (a) ปิเปตสารใส่หลอดทดลองและ (b) เพลวคิเยวเชื้อ	66
3.18	ขั้นตอนการเตรียมเลี้ยงเชื้อ โดย (a) วิธีการกระจายเชื้อบนเพลท (b) ตัวอย่างโคโลนีเดี่ยวของเชื้อแบคทีเรีย <i>E.coli</i>	66
3.19	การเตรียมเชื้อตั้งต้น โดย (a) แสดงการเจียเชื้อโคโลนีเดี่ยว (b) เชื้อตั้งต้นในการทดสอบ	67
3.20	การวัดค่า OD โดย (a) เซลล์ใส่สารละลายที่มีเชื้อแบคทีเรีย และ (b) เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ในการวัดค่า OD	67
3.21	เครื่อง Incubator shaker	68
3.22	ตัวอย่างการเกิดรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด <i>E.coli</i>	69
3.23	แบบจำลองการวัดขนาด Clear zone	69
3.24	ขั้นตอนการเจือจางเชื้อ โดย (a) การผสมเชื้อแบคทีเรียให้เข้ากันโดยใช้ Vortex Shaker (b) การเจือจางเชื้อแบบ Ten-fold serial dilution	71
3.25	การเตรียมตัวกลางสำหรับเลี้ยงเชื้อ โดยใช้ (a) สารละลายเปปโตน และ (b) ขวดรูปชมพู่ที่ผสมสารละลายเปปโตนกับสารละลายที่มีเชื้อเจือจาง จากนั้นใส่ลงใน (c) เครื่องเขย่า	71
3.26	การเตรียมขั้นตอนการกระจายเชื้อ โดย (a) การใส่เชื้อ (b) การเกลี่ยเชื้อ และ (c) นำจานเพาะเชื้อไปบ่ม	72
3.27	เครื่องนับเชื้อแบคทีเรีย	72
3.28	ตัวอย่างการเกิดโคโลนีของเชื้อ (a) >300 colonies (b) 30 – 300 colonies และ(c) < 30 colonies	73
3.29	เครื่องวัดการเปลี่ยนแปลงสีของพอลิเมอร์ต่างๆ UV-VIS-NIR Recording Spectrophotometer	75
3.30	แกนเทียบสีตามมาตรฐาน CIE-L*a*b*	75
4.1	การเปรียบเทียบผลของปริมาณสารไตรโคลซานต่อรัศมีการยับยั้งแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ <i>E.coli</i>	80

รูป	หน้า
4.2 การเปรียบเทียบผลของปริมาณสารไตรโคซานต่อรัศมีการยับยั้งแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ <i>S.aureus</i>	80
4.3 แบบจำลองแสดงการเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วระหว่างไตรโคซานและพอลิไวนิลคลอไรด์ (a) ในกรณีที่มีปริมาณไตรโคซานในพอลิเมอร์ต่ำ และ (b) กรณีที่มีไตรโคซานในพอลิเมอร์สูง	82
4.4 แสดงการเปรียบเทียบเส้นสเปกตรัมของการทดสอบด้วยวิธี FT-IR ของ (a) ไตรโคซาน (b) พอลิไวนิลคลอไรด์ และ (c) พอลิไวนิลคลอไรด์ผสมไตรโคซาน	84
4.5 การเปรียบเทียบผลของปริมาณสารไตรโคซานต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ <i>E.coli</i> ที่เวลา 0.5 ชั่วโมง	90
4.6 การเปรียบเทียบผลของปริมาณสารไตรโคซานต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ <i>E.coli</i> ที่เวลา 1.0 ชั่วโมง	90
4.7 การเปรียบเทียบผลของปริมาณสารไตรโคซานต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ <i>S.aureus</i> ที่เวลา 0.5 ชั่วโมง	91
4.8 การเปรียบเทียบผลของปริมาณสารไตรโคซานต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ <i>S.aureus</i> ที่เวลา 1.0 ชั่วโมง	91
4.9 ความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคซานที่สัดส่วนต่างๆ ในพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่เวลา 0.5 ชั่วโมง	93
4.10 ความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคซานที่สัดส่วนต่างๆ ในพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่เวลา 1.0 ชั่วโมง	93
4.11 การเปรียบเทียบผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ต่อรัศมีการยับยั้งแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ <i>E.coli</i>	97
4.12 การเปรียบเทียบผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ต่อรัศมีการยับยั้งแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ <i>S.aureus</i>	97
4.13 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ <i>E.coli</i> ที่เวลา 0.5 ชั่วโมง	103

รูป	หน้า
4.14 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ <i>E.coli</i> ที่เวลา 1.0 ชั่วโมง	103
4.15 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ <i>S.aureus</i> ที่เวลา 0.5 ชั่วโมง	104
4.16 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ <i>S.aureus</i> ที่เวลา 1.0 ชั่วโมง	105
4.17 ความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซานในพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่สัดส่วนปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตแตกต่างกันที่เวลา 0.5 ชั่วโมง	106
4.18 ความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซานในพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่สัดส่วนปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตแตกต่างกันที่เวลา 1.0 ชั่วโมง	106