

บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผล

4.1 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณไตรโคไลซานที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ

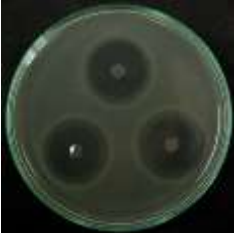
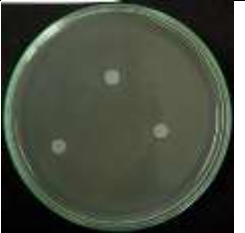
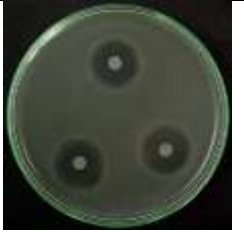
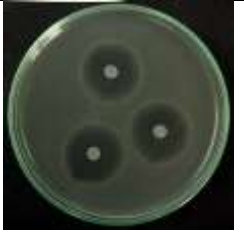
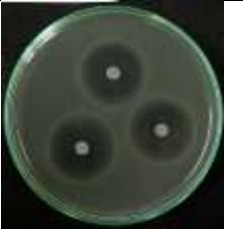
สำหรับผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณไตรโคไลซานที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสามารถแบ่งออกเป็น

- 1) การเกิดรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย
- 2) เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย

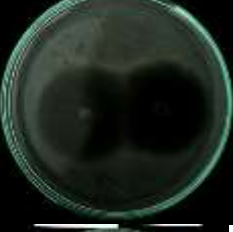
4.1.1 การเกิดรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

ในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียสองชนิดได้แก่ *E.coli* และ *S.aureus* โดยผลของการทดสอบพบว่ารัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ นั้นมีขนาดแตกต่างกัน และขึ้นอยู่กับปริมาณของสารไตรโคไลซานที่ผสมอยู่ในพอลิเมอร์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างรูปภาพแสดงผลของไตรโคซานที่มีต่ออัตราการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ กรณีทดสอบกับเชื้อ *E.coli*

ชนิดพอลิเมอร์	ปริมาณไตรโคซาน (ppm)			
	0	5,000	10,000	15,000
พอลิเอธิลีน ความหนาแน่นต่ำ				
พอลิเอธิลีน ความหนาแน่นปานกลาง				
พอลิเอธิลีน ความหนาแน่นสูง				
พอลิโพรพิลีน				
พอลิสไตรีน				
พอลิไวนิล คลอไรด์				

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างรูปภาพแสดงผลของไตรโคลซานที่มีต่อรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ กรณีทดสอบกับเชื้อ *S.aureus*

ชนิดพอลิเมอร์	ปริมาณไตรโคลซาน (ppm)			
	0	5,000	10,000	15,000
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นต่ำ				
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นปานกลาง				
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง				
พอลิโพรพิลีน				
พอลิสไตรีน				
พอลิไวนิลคลอไรด์				

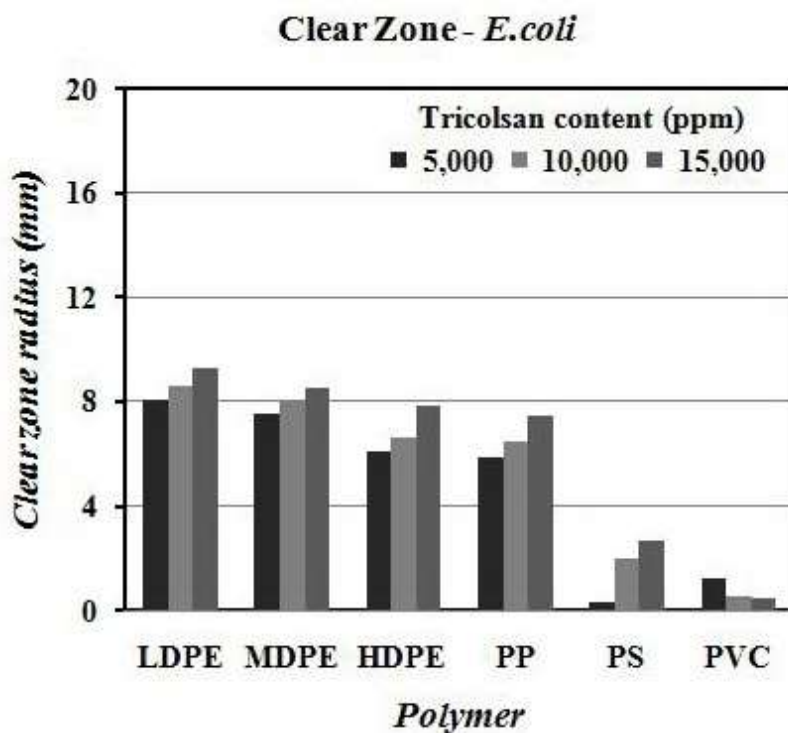
ผลการทดลองจากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 พบว่าขนาดของรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในแต่ละพอลิเมอร์มีขนาดแตกต่างกันและขึ้นอยู่กับปริมาณของสารไตรโคลซานและชนิดของเชื้อแบคทีเรียทดสอบ โดยเมื่อนำงานเพาะเชื้อของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ มาทำการแปรผลเชิงปริมาณจะได้ผลของรัศมีการยับยั้งดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 และสามารถนำค่าที่ได้นี้มาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในรูปของกราฟแท่งดังในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย จากการทดสอบผลของปริมาณไตรโคลซานในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ กรณีทดสอบกับเชื้อ *E.coli*

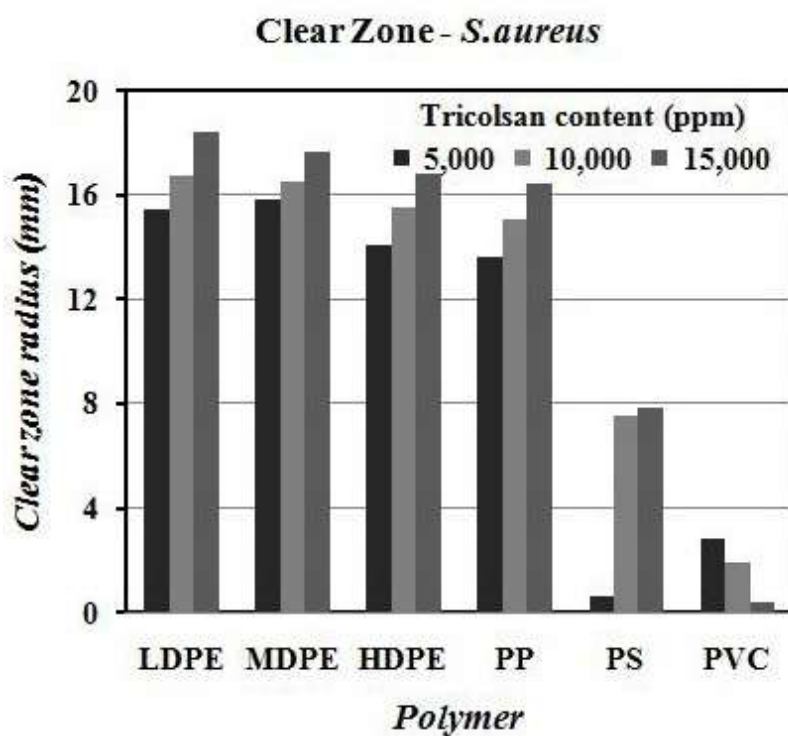
ชนิดพอลิเมอร์	รัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (มิลลิเมตร)		
	ปริมาณไตรโคลซาน (ppm)		
	5,000	10,000	15,000
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นต่ำ	8.1	8.6	9.3
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นปานกลาง	7.6	8.1	8.5
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง	6.1	6.6	7.9
พอลิโพรพิลีน	5.9	6.5	7.5
พอลิสไตรีน	0.3	2.0	2.7
พอลิไวนิลคลอไรด์	1.2	0.6	0.5

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย จากการทดสอบผลของปริมาณไตรโคลซานในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ กรณีทดสอบกับเชื้อ *S.aureus*

ชนิดพอลิเมอร์	รัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (มิลลิเมตร)		
	ปริมาณไตรโคลซาน (ppm)		
	5,000	10,000	15,000
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นต่ำ	15.4	16.7	18.5
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นปานกลาง	15.8	16.5	17.7
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง	14.1	15.5	16.8
พอลิโพรพิลีน	13.6	15.1	16.5
พอลิสไตรีน	0.6	7.5	7.9
พอลิไวนิลคลอไรด์	2.8	1.9	0.4



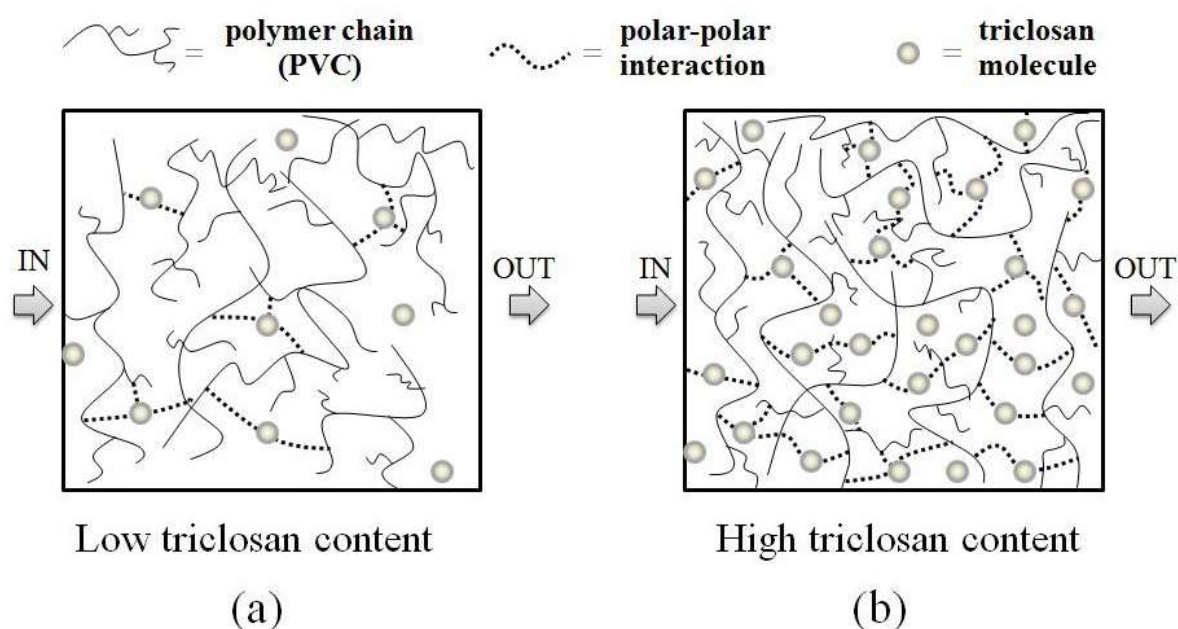
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลของปริมาณสารไตรโคลซานต่อรัศมีการยับยั้งแบคทีเรียในพอลิเมอร์ ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ *E.coli*



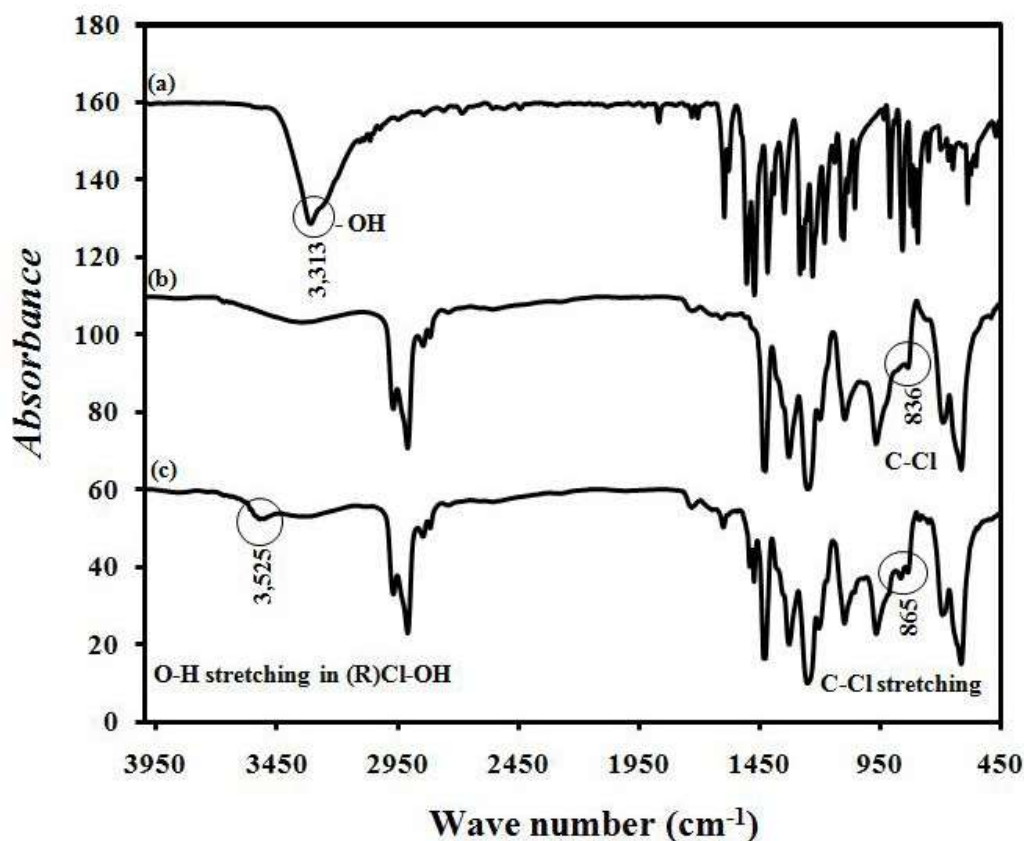
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลของปริมาณสารไตรโคลซานต่อรัศมีการยับยั้งแบคทีเรียในพอลิเมอร์ ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ *S.aureus*

รูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารไตรโคลซานส่งต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยมีแนวโน้มจากมากไปน้อยดังนี้ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน พอลิไวนิลคลอไรด์ ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อปริมาณสารไตรโคลซานเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณาแล้วจะพบว่าในกรณีของ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และพอลิโพรพิลีน นั้นจะมีความแตกต่างกันในเรื่องของความหนาแน่นและความเป็นผลึก [8] เนื่องจากไตรโคลซานเป็นสารยับยั้งแบคทีเรียที่สามารถแพร่ได้ พอลิเมอร์ที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด ไตรโคลซานย่อมสามารถแพร่ออกมาได้ง่ายที่สุด [33] ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียจึงสูงที่สุด เพราะฉะนั้นพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำจึงแสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียที่สูงที่สุดในทุกสัดส่วนไตรโคลซาน ส่วนในกรณีของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง จะมีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียต่ำกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำและประสิทธิภาพจะลดลงตามลำดับ ส่วนในกรณีของพอลิโพรพิลีน แม้ว่าจะมีความหนาแน่นที่ต่ำกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง แต่พบว่าพอลิโพรพิลีนนั้นมีโครงสร้างทางเคมีเป็นแบบเกลียวจึงสามารถอัดตัวกันได้ดีกว่าพอลิเอทิลีน ความเป็นผลึกจึงมากกว่า รวมถึงมีค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวมากกว่าพอลิเอทิลีนอีกด้วย ดังนั้นไตรโคลซานจึงสามารถแพร่ผ่านออกมายับยั้งแบคทีเรียได้ยากกว่าในกรณีของพอลิเอทิลีน ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียจึงต่ำกว่าพอลิเอทิลีน ส่วนในกรณีของพอลิสไตรีนพบว่าเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนแล้วจะพบว่าพอลิสไตรีนนั้นมีขนาดของหมู่แทนที่ที่มีขนาดใหญ่ คือมีวงแหวนเบนซีนอยู่ในโครงสร้างและมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเป็นคล้ายยางสูง [6, 31] จึงทำให้มีความแข็งแรงกว่าเมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีนหรือพอลิโพรพิลีน รวมถึงความสามารถในการเข้ากันได้ของไตรโคลซานและพอลิสไตรีนโดยโครงสร้างทางเคมีของไตรโคลซานมีวงแหวนเบนซีนเช่นเดียวกับหมู่ข้างเคียงบนสายโซ่โมเลกุลของพอลิสไตรีน [9] อยู่ถึงสองวงด้วยกัน เพราะฉะนั้นความสามารถในการแพร่ผ่านของไตรโคลซานออกมาจากพอลิเมอร์เมตริกซ์ของพอลิสไตรีนจึงต่ำ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียของพอลิสไตรีนจึงด้อยกว่าพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน ในกรณีของพอลิไวนิลคลอไรด์นั้นพบว่ามีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียได้ต่ำที่สุดและยังมีแนวโน้มแตกต่างจากพอลิเมอร์ชนิดอื่นคือเมื่อเพิ่มสัดส่วนปริมาณไตรโคลซานลงในพอลิเมอร์ พบว่ารัศมีการยับยั้งแบคทีเรียกลับลดลงไม่เพิ่มขึ้นเหมือนกับกรณีของพอลิเมอร์ชนิดอื่น ซึ่งอาจให้เหตุผลจากการที่พอลิไวนิลคลอไรด์เป็นพอลิเมอร์มีขั้ว และตัวสารไตรโคลซานเองก็มีขั้วด้วยเช่นกัน ดังนั้นเมื่อผสมเข้าด้วยกันอาจทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้ว [8,

36, 40, 41] ได้ ตามแบบจำลองที่แสดงดังรูปที่ 4.3 สามารถอธิบายได้โดยผลของปริมาณของไตรโคลซานในพอลิเมอร์เมตริกซ์คือ ถ้าสัดส่วนปริมาณไตรโคลซานในพอลิเมอร์เมตริกซ์มีน้อย การสร้างพันธะระหว่างไตรโคลซานและพอลิไวนิลคลอไรด์ก็จะมีน้อยตาม ทำให้การขัดขวางการแพร่ของไตรโคลซานออกจากพอลิเมอร์เมตริกซ์ต่ำ สารไตรโคลซานจึงแพร่ได้ แต่เมื่อสัดส่วนของปริมาณไตรโคลซานในพอลิเมอร์เมตริกซ์มีสูง ทำให้มีการสร้างพันธะระหว่างไตรโคลซานและพอลิไวนิลคลอไรด์จำนวนมาก จึงไปขัดขวางการแพร่ของไตรโคลซานออกจากพอลิเมอร์เมตริกซ์ ดังนั้นประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของพอลิไวนิลคลอไรด์จึงลดลงเมื่อปริมาณไตรโคลซานเพิ่มขึ้น การเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วของพอลิไวนิลคลอไรด์และสารไตรโคลซานนี้สามารถใช้เทคนิค FT-IR spectrum ในการตรวจสอบได้ โดยตรวจสอบจากตัวอย่าง 3 ตัวอย่างได้แก่ สารไตรโคลซาน พอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิไวนิลคลอไรด์ผสมกับสารไตรโคลซานที่สัดส่วน 15,000 ppm ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.4 พบว่าการเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วของพอลิไวนิลคลอไรด์และไตรโคลซาน สามารถสังเกตได้จากหมู่ OH ของไตรโคลซาน (เลขคลื่นที่ 3313 cm^{-1}) และพันธะ C-Cl ของพอลิไวนิลคลอไรด์ (เลขคลื่นที่ 836 cm^{-1}) ซึ่งเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งไปที่เลขคลื่น $3,525\text{ cm}^{-1}$ และเกิดการยืดออกไปที่เลขคลื่น 865 cm^{-1} ตามลำดับในกรณีวัสดุผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์และสารไตรโคลซาน



รูปที่ 4.3แบบจำลองแสดงการเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วระหว่างไตรโคลซานและพอลิไวนิลคลอไรด์ (a) ในกรณีที่มีปริมาณไตรโคลซานในพอลิเมอร์ต่ำ และ (b) กรณีที่มีไตรโคลซานในพอลิเมอร์สูง



รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบเส้นสเปกตรัมของการทดสอบด้วยวิธี FT-IR ของ (a) ไตรโคลซาน (b) พอลิไวนิลคลอไรด์ และ (c) พอลิไวนิลคลอไรด์ผสมไตรโคลซาน

นอกจากนี้ในการทดสอบอิทธิพลของปริมาณไตรโคลซานในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ต่อขนาดรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียพบว่าขนาดของรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในการทดสอบของเชื้อ *E.coli* และ *S.aureus* นั้นมีขนาดที่แตกต่างกันแม้จะใช้ชิ้นงานทดสอบเหมือนกันก็ตาม โดยขนาดรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ทดสอบกับเชื้อ *S.aureus* นั้นมีขนาดใหญ่กว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความซับซ้อนของผนังเซลล์ที่แตกต่างกัน โดยผนังเซลล์ของ *E.coli* (แบคทีเรียแกรมลบ) มีความซับซ้อนมากกว่า *S.aureus* (แบคทีเรียแกรมบวก) [12] อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าแบคทีเรียแกรมลบมีเพปทิโดไกลแคนเพียงชั้นเดียวจึงมีผนังเซลล์ที่บางกว่าแบคทีเรียแกรมบวกซึ่งมีเพปทิโดไกลแคนหลายชั้น แต่ผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบจะมีเยื่อหุ้มชั้นนอก (Outer membrane) ซึ่งมีไขมันมาห่อหุ้มเพปทิโดไกลแคน โดยเยื่อหุ้มชั้นนอกประกอบด้วยฟอสโฟไลปิด (Phospholipid) โปรตีน (Protein) และลิโปโพลิแซคคาไรด์ (Lipopolysaccharide : LPS) ซึ่ง LPS ตัวนี้มีสมบัติเป็นสารพิษชนิดเอนโดทอกซิน (Endotoxin) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกั้นเอนไซม์สารเคมีจากภายนอกไม่ให้เข้าไปทำลายเซลล์ ดังนั้นรัศมีการยับยั้งเชื้อที่ทดสอบกับเชื้อ *E.coli* จึงมีขนาดเล็กกว่าที่ทดสอบกับเชื้อ *S.aureus*

4.1.2 เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย

ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้เทคนิคการนับจำนวนเชื้อแบคทีเรีย (Plate count agar, PCA) ในการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรีย โดยทำการทดสอบกับเชื้อ *E.coli* และ *S.aureus* เหมือนกับกรณีของการวัดผลมีการยับยั้งเชื้อ และได้ใช้เวลาในการทดสอบรวม 1 ชั่วโมง โดยจะทำการเก็บผล 2 ครั้ง คือ ที่เวลาครึ่งชั่วโมง และที่เวลาหนึ่งชั่วโมง ซึ่งพบว่าที่เวลาครึ่งชั่วโมงสารไตรโคโลซานสามารถออกฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองได้ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 4.5 (*E.coli*) และตารางที่ 4.6 (*S.aureus*) และที่เวลาหนึ่งชั่วโมงพบว่าสารไตรโคโลซานสามารถออกฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองได้ชัดเจนมากขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.7 (*E.coli*) และตารางที่ 4.8 (*S.aureus*) เมื่อทำการแปรผลออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9 หรือสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ได้แสดงดังรูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างรูปภาพแสดงผลของปริมาณไตรโคลซานในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อ *E.coli* ที่เวลาทดสอบ 0.5 ชั่วโมง

ชนิดพอลิเมอร์	ปริมาณไตรโคลซาน (ppm)			
	0	5,000	10,000	15,000
พอลิเอธิลีน ความหนาแน่นต่ำ				
พอลิเอธิลีน ความหนาแน่นปานกลาง				
พอลิเอธิลีน ความหนาแน่นสูง				
พอลิโพรพิลีน				
พอลิสไตรีน				
พอลิไวนิล คลอไรด์				

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างรูปภาพแสดงผลของปริมาณไตรโคลซานในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อ *S.aureus* ที่เวลาทดสอบ 0.5 ชั่วโมง

ชนิดพอลิเมอร์	ปริมาณไตรโคลซาน (ppm)			
	0	5,000	10,000	15,000
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นต่ำ				
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นปานกลาง				
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง				
พอลิโพรพิลีน				
พอลิสไตรีน				
พอลิไวนิลคลอไรด์				

ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างรูปภาพแสดงผลของปริมาณไตรโคลซานในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อ *E.coli* ที่เวลาทดสอบ 1.0 ชั่วโมง

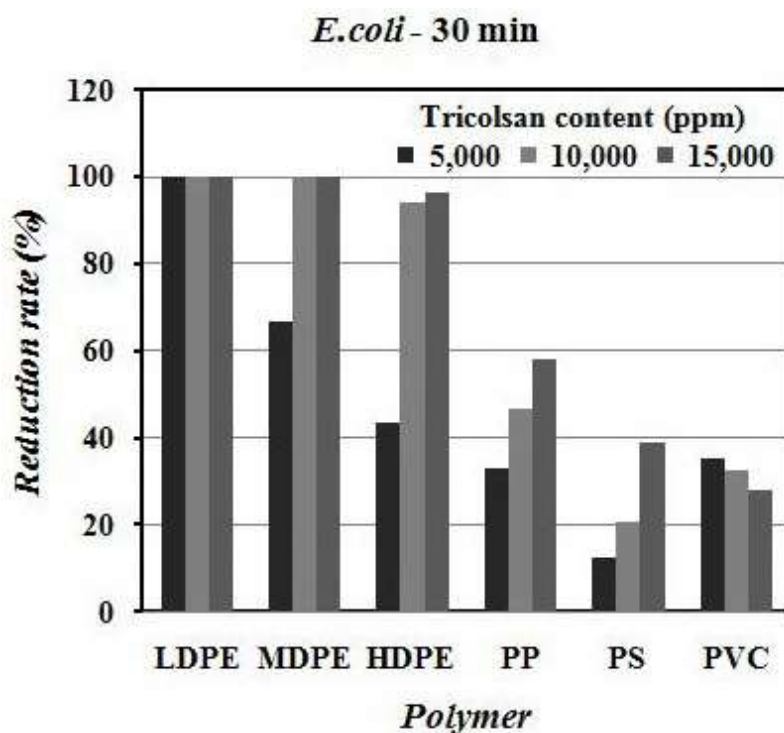
ชนิดพอลิเมอร์	ปริมาณไตรโคลซาน (ppm)			
	0	5,000	10,000	15,000
พอลิเอธิลีน ความหนาแน่นต่ำ				
พอลิเอธิลีน ความหนาแน่นปานกลาง				
พอลิเอธิลีน ความหนาแน่นสูง				
พอลิโพรพิลีน				
พอลิสไตรีน				
พอลิไวนิล คลอไรด์				

ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างรูปภาพแสดงผลของปริมาณไตรโคลซานในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อ *S.aureus* ที่เวลาทดสอบ 1.0 ชั่วโมง

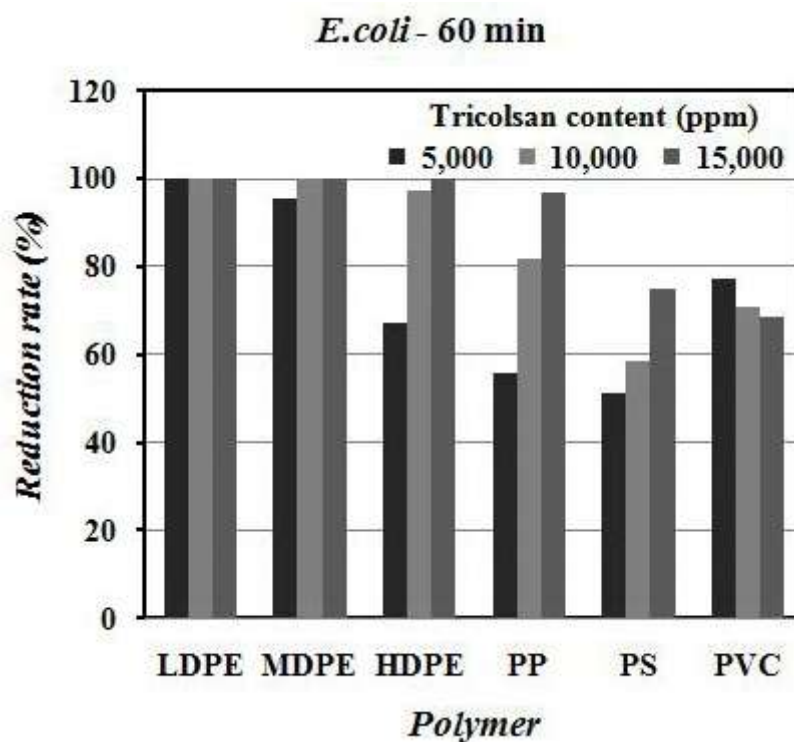
ชนิดพอลิเมอร์	ปริมาณไตรโคลซาน (ppm)			
	0	5,000	10,000	15,000
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นต่ำ				
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นปานกลาง				
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง				
พอลิโพรพิลีน				
พอลิสไตรีน				
พอลิไวนิลคลอไรด์				

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งแบคทีเรีย(*E.coli* และ *S.aureus*)ของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่เวลาทดสอบ 0.5 และ 1.0 ชั่วโมง

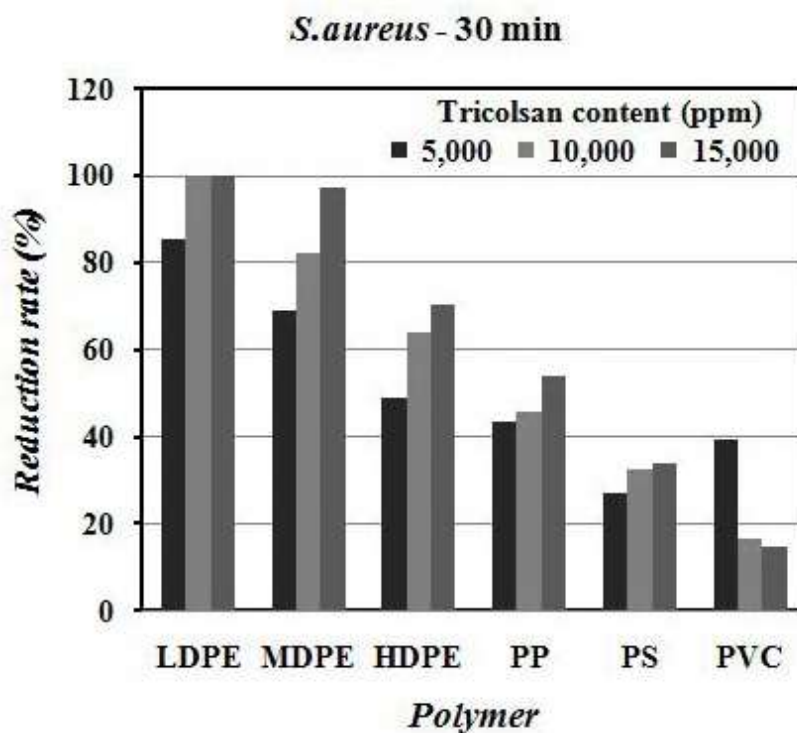
พอลิเมอร์ที่ผสมไตรโคซานปริมาณต่างๆ (x 10 ⁴ PPM)		เปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียสูงสุด (%)			
		<i>E.coli</i>		<i>S.aureus</i>	
		30 นาที	60 นาที	30 นาที	60 นาที
LDPE	0.5	99.9	99.9	85.6	95.9
	1.0	99.9	99.9	99.9	99.9
	1.5	99.9	99.9	99.9	99.9
MDPE	0.5	66.6	95.5	69.1	81.8
	1.0	99.9	99.9	82.4	93.5
	1.5	99.9	99.9	97.1	99.9
HDPE	0.5	43.2	67.1	48.9	58.8
	1.0	94.1	97.4	63.8	73.7
	1.5	96.2	99.9	70.2	98.2
PP	0.5	33.1	55.8	43.5	67.1
	1.0	46.8	81.8	45.7	69.3
	1.5	58.1	97.0	54.1	79.7
PS	0.5	12.4	51.3	27.2	16.6
	1.0	20.8	58.6	32.6	41.9
	1.5	38.9	75.0	33.7	57.4
PVC	0.5	35.4	77.3	39.3	41.6
	1.0	32.6	70.8	16.4	37.1
	1.5	28.0	68.6	14.8	25.8



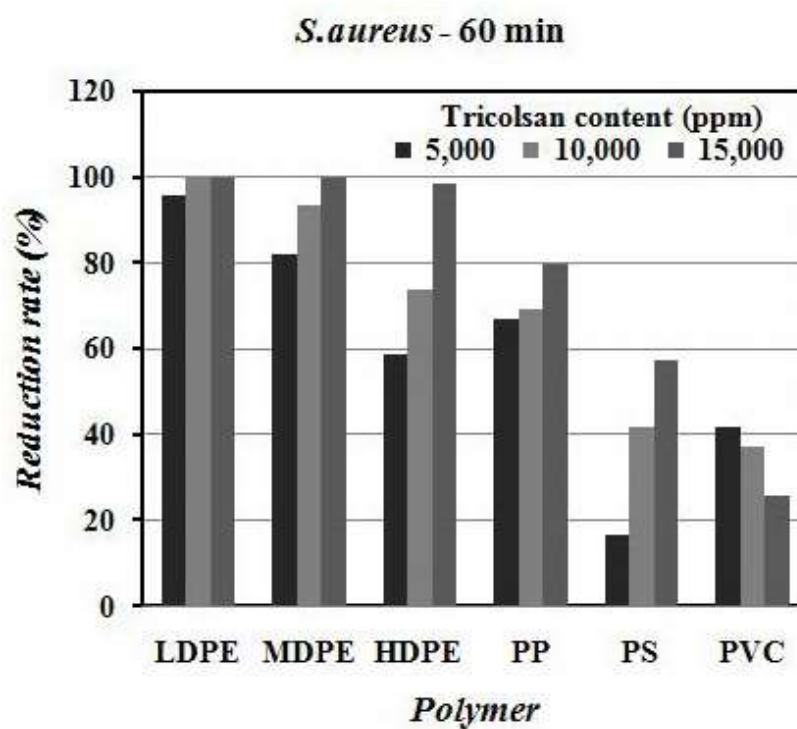
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลของปริมาณสารไตรโคลซานต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ *E.coli* ที่เวลา 0.5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบผลของปริมาณสารไตรโคลซานต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ *E.coli* ที่เวลา 1.0 ชั่วโมง



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลของปริมาณสารไตรโคลซานต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ *S.aureus* ที่เวลา 0.5 ชั่วโมง



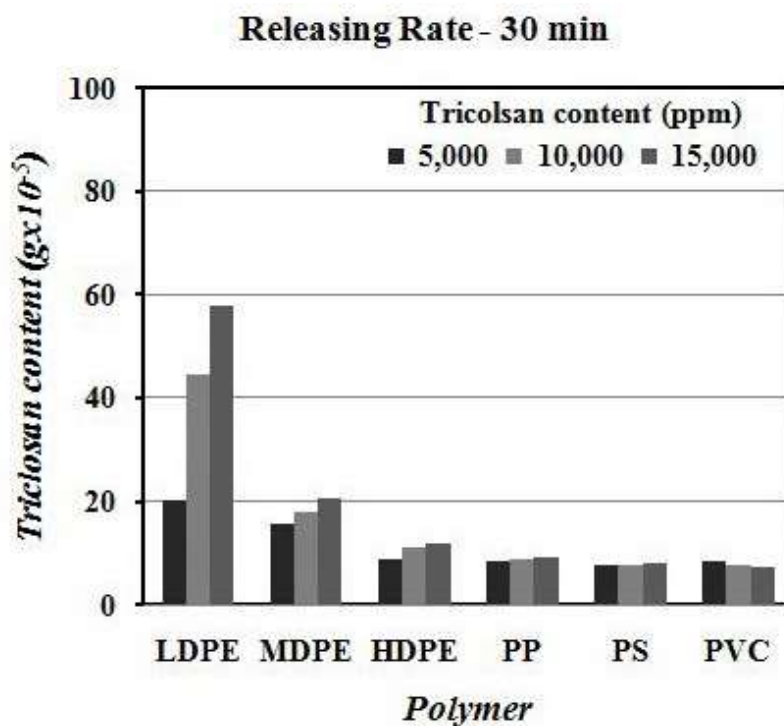
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลของปริมาณสารไตรโคลซานต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ *S.aureus* ที่เวลา 1.0 ชั่วโมง

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.8 พบว่าการเพิ่มสัดส่วนของไตรโคลซานในพอลิเมอร์ผสมจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียสูงขึ้น ยกเว้นในกรณีของพอลิไวนิลคลอไรด์ที่เปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียกลับลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนไตรโคลซานในพอลิเมอร์ ซึ่งมีคำอธิบายคล้ายกับที่เกิดขึ้นในกรณีของการวัดประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และจากรูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.8 ยังพบอีกว่าเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การยับยั้งแบคทีเรียของพอลิเมอร์แต่ละชนิด พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียสูงที่สุดตามมาด้วย พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน และพอลิไวนิลคลอไรด์ ตามลำดับ ซึ่งคำอธิบายสำหรับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนี้คล้ายกับในกรณีผลของการวัดประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียจากวัสดุที่มีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเช่นเดียวกัน

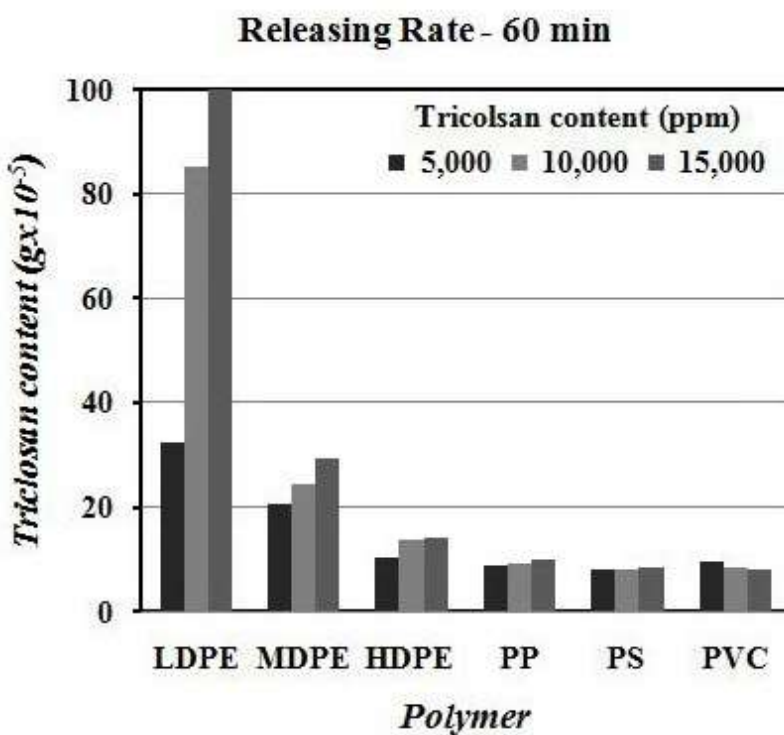
เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองจากรูปที่ 4.5 (เวลาการทดสอบ 0.5 ชั่วโมง) กับรูปที่ 4.6 (เวลาการทดสอบ 1.0 ชั่วโมง) และรูปที่ 4.7 (เวลาการทดสอบ 0.5 ชั่วโมง) และรูปที่ 4.8 (เวลาการทดสอบ 1.0 ชั่วโมง) พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียนั้นขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการทดสอบ (Contact times) ด้วย โดยความสามารถในการยับยั้งเชื้อเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทดสอบ เนื่องจากสารไตรโคลซานสามารถแพร่ออกมาได้มากขึ้น [31, 39]

4.1.3 การศึกษาความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซาน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ดังนั้นความสามารถในการแพร่ของไตรโคลซานในพอลิเมอร์แต่ละชนิดจึงมีความแตกต่างกัน นั่นคือถ้าไตรโคลซานสามารถแพร่ออกมาได้มากจะส่งผลให้การยับยั้งมีมากตามไปด้วย ดังนั้นในส่วนนี้จึงใช้เครื่อง UV-visible spectroscopy ในการทดสอบประสิทธิภาพการแพร่ของไตรโคลซาน โดยใช้ตัวกลางในการทดสอบคือ เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเป็นตัวทำละลายสารไตรโคลซานที่ดีที่สุด [] และใช้เวลาในการทดสอบที่ 0.5 และ 1 ชั่วโมง ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแพร่ของไตรโคลซานในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.9 ความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซานที่สัดส่วนต่างๆ ในพอลิเมอร์แต่ละชนิด ที่เวลา 0.5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.10 ความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซานที่สัดส่วนต่างๆ ในพอลิเมอร์แต่ละชนิด ที่เวลา 1.0 ชั่วโมง

ผลการทดลองที่แสดงดังรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 พบว่าความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซานขึ้นอยู่กับสัดส่วนไตรโคลซานในพอลิเมอร์ โดยถ้าสัดส่วนไตรโคลซานในพอลิเมอร์มากส่งผลให้ไตรโคลซานแพร่ออกมาได้มาก ยกเว้นในกรณีของพอลิไวนิลคลอไรด์พบว่าการเพิ่มสัดส่วนไตรโคลซานทำให้การแพร่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ผ่านมารวมถึงผลของการเพิ่มระยะเวลาในการทดสอบซึ่งส่งผลให้สารไตรโคลซานสามารถแพร่ออกมาจากชิ้นงานได้เพิ่มขึ้น

เมื่อเรียงความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซานจากมากไปน้อยในพอลิเมอร์แต่ละชนิดเป็นดังนี้ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน พอลิไวนิลคลอไรด์ ตามลำดับ

4.2 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ

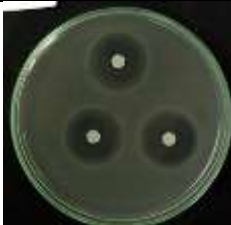
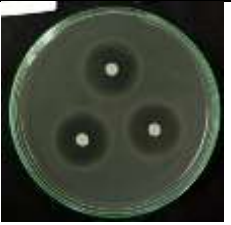
ในการศึกษาผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์แต่ละชนิด นั้นในทุกๆ สัดส่วนของการผสมแคลเซียมคาร์บอเนตจะมีการผสมสารไตรโคลซานลงไปด้วย 10,000 ppm และจะทำการทดสอบกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง พอลิสไตรีน และพอลิไวนิลคลอไรด์ ซึ่งมีวิธีการทดสอบเหมือนกับในกรณีของการศึกษาปริมาณไตรโคลซานฯ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ได้แก่

- 1) การเกิดรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย
- 2) เปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรีย

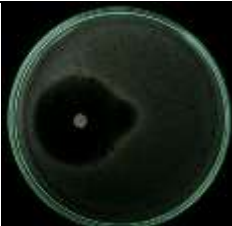
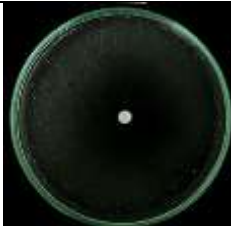
4.2.1 การเกิดรัศมีการยับยั้งแบคทีเรีย

พบว่าปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผสมในพอลิเมอร์แต่ละชนิด มีผลต่อขนาดรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแสดงดังตารางที่ 4.10 และตารางที่ 4.11 และค่ารัศมีการยับยั้งเชื้อแสดงดังตารางที่ 4.12 และตารางที่ 4.13 สำหรับแบคทีเรียทดสอบชนิด *E.coli* และ *S.aureus* ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีต่ออัตราการยับยั้งเชื้อในพอลิเมอร์ ชนิดต่างๆ กรณีทดสอบกับเชื้อ *E.coli*

ชนิดพอลิเมอร์	ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (สัดส่วนไตรโคซานคงที่ 10,000 ppm)			
	0	10	20	30
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง				
พอลิสไตรีน				
พอลิไวนิลคลอไรด์				

ตารางที่ 4.11 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีต่ออัตราการยับยั้งเชื้อในพอลิเมอร์ ชนิดต่างๆ กรณีทดสอบกับเชื้อ *S.aureus*

ชนิดพอลิเมอร์	ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (สัดส่วนไตรโคซานคงที่ 10,000 ppm)			
	0	10	20	30
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง				
พอลิสไตรีน				



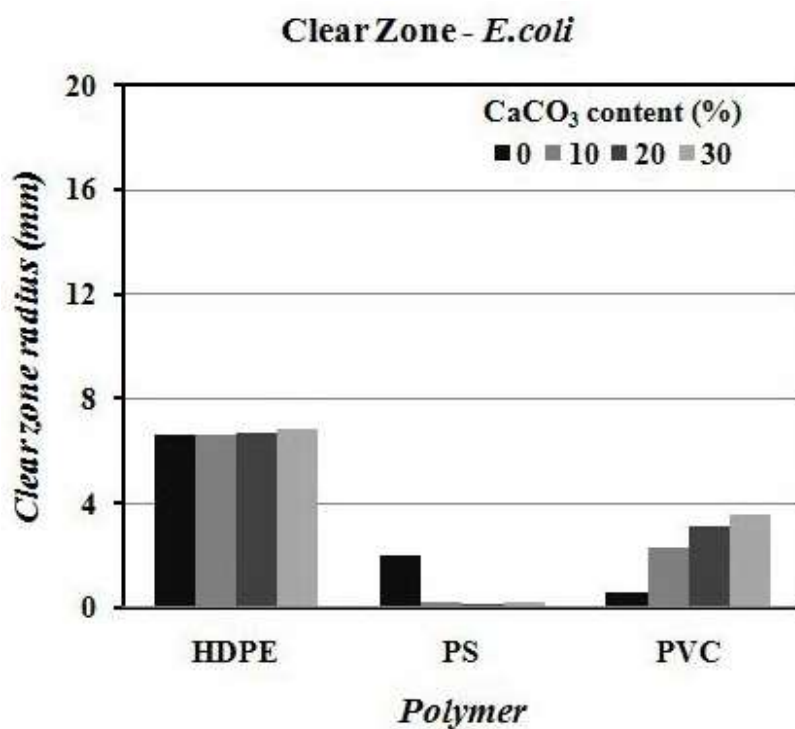
ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยรัศมีการยับยั้งเชื้อฯ จากการทดสอบผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ กรณีทดสอบกับเชื้อ *E.coli*

ชนิดพอลิเมอร์	รัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (มิลลิเมตร)			
	ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)			
	0	10	20	30
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง	6.6	6.6	6.7	6.9
พอลิสไตรีน	2.0	0.2	0.2	0.2
พอลิไวนิลคลอไรด์	0.6	2.3	3.1	3.5

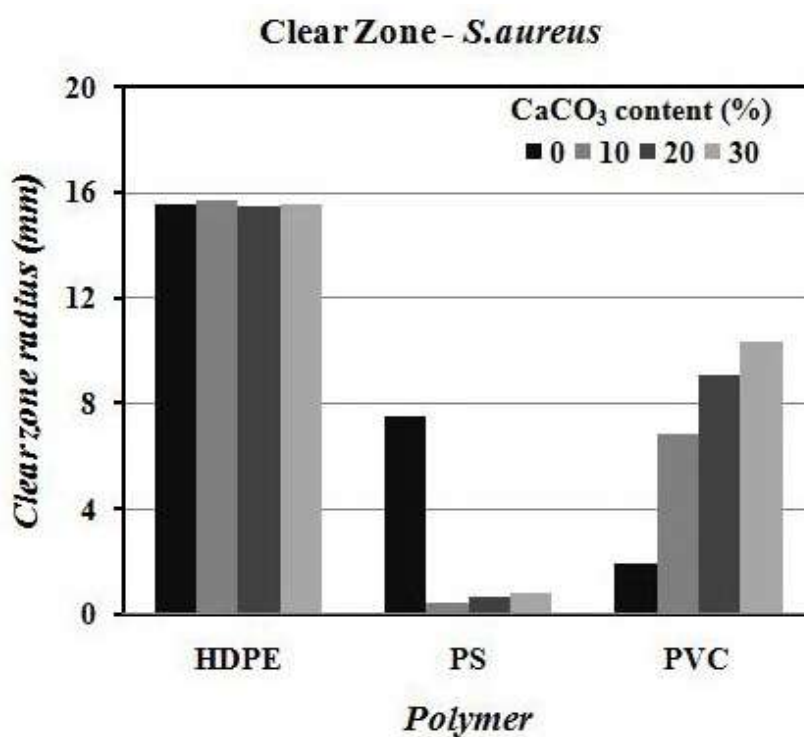
ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยรัศมีการยับยั้งเชื้อฯ จากการทดสอบผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ กรณีทดสอบกับเชื้อ *S.aureus*

ชนิดพอลิเมอร์	รัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (มิลลิเมตร)			
	ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)			
	0	10	20	30
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง	15.5	15.7	15.5	15.6
พอลิสไตรีน	7.5	0.4	0.7	0.8
พอลิไวนิลคลอไรด์	1.9	6.8	9.1	10.3

เมื่อนำค่ารัศมีการยับยั้งที่ได้จากตารางที่ 4.12 และตารางที่ 4.13 มาเปรียบเทียบค่ารัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์แต่ละชนิด สามารถแสดงดังรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 สำหรับแบคทีเรียชนิด *E.coli* และ *S.aureus* ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ต่อรัศมีการยับยั้งแบคทีเรียในพอลิเมอร์ ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ *E.coli*



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ต่อรัศมีการยับยั้งแบคทีเรียในพอลิเมอร์ ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ *S.aureus*

ผลการทดลองที่แสดงดังรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อรัศมีการยับยั้งแบคทีเรียในพอลิเมอร์แต่ละชนิด พบว่า ในกรณีของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงนั้น ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตไม่ส่งผลต่อรัศมีการยับยั้งเชื้อหรือส่งผลน้อยมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นเส้นตรงและมีการแพ็คตัวกันได้ดี การมีแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่ในเนื้อพลาสติกจึงไม่ส่งผลให้พอลิเอทิลีนมีความหนาแน่นเปลี่ยนไป โดยตัวแคลเซียมคาร์บอเนตทำหน้าที่เป็นเพียงสารเพิ่มเนื้อในพลาสติกเท่านั้น เพราะฉะนั้นการแพร่ของสารไตรโคลซานออกมาจากพอลิเมอร์เมตริกซ์จึงไม่เปลี่ยนแปลง จึงส่งผลให้รัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมีขนาดไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยของ Sahebian และคณะ (2009) [44] พบว่าการผสมแคลเซียมคาร์บอเนตลงในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลว แต่ส่งผลให้ความเป็นผลึกของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและค่าเอนโทรปีของโมเลกุลพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงลดลง ซึ่งส่งผลให้สายโซ่ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงมีความแข็งมากขึ้น จึงทำให้สารไตรโคลซานแพร่ออกมาจากพอลิเมอร์เมตริกซ์ได้ยากขึ้น

ในกรณีของพอลิสไตรีนพบว่าปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตส่งผลต่อรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียให้มีค่าลดลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใส่ลงไปในพอลิสไตรีนไปขัดขวางความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่ (มีวงแหวนเบนซีนเป็นหมู่แทนที่) โมเลกุลพอลิสไตรีน จึงทำให้การแพร่ของสารไตรโคลซานออกมานอกเนื้อพอลิเมอร์ยากขึ้น จากงานวิจัยของ Rai และคณะ (2003) [42] ได้ศึกษาผลของแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิสไตรีน พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตนอกจากเป็นสารเพิ่มเนื้อพลาสติกแล้วยังเป็นสารเสริมแรงสำหรับพอลิสไตรีนอีกด้วยโดยแคลเซียมคาร์บอเนตส่งผลให้พอลิสไตรีนมีความเหนียวมากขึ้น ดังนั้นจึงอาจเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้สารไตรโคลซานสามารถแพร่ออกมาได้ยากขึ้นนั่นเอง

ในกรณีของพอลิไวนิลคลอไรด์พบว่าการเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ส่งผลให้รัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมีขนาดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผสมเข้าไปในเนื้อพอลิเมอร์ไปลดแรงดึงดูดระหว่างขั้วของพอลิไวนิลคลอไรด์ และไตรโคลซาน จึงทำให้สารไตรโคลซานสามารถแพร่ออกมาจากเนื้อพอลิเมอร์ได้ง่ายขึ้น แม้ว่าจากงานวิจัยของ Chen และคณะ (2004) [43] จะพบว่าการผสมแคลเซียมคาร์บอเนตลงในพอลิไวนิลคลอไรด์จะส่งผลให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเพิ่มขึ้นก็ตาม

4.2.2 เพอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย

การศึกษาเพอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรีย ที่เวลาครึ่งชั่วโมงของเชื้อ *E.coli* และ *S.aureus* แสดงดังตารางที่ 4.14 (*E.coli*) และตารางที่ 4.15 (*S.aureus*) และที่เวลาหนึ่งชั่วโมงได้แสดงดังตารางที่ 4.16 (*E.coli*) และตารางที่ 4.17 (*S.aureus*) สำหรับจำนวนโคโลนีของเชื้อทั้งสองชนิดและการแปรผลการทดสอบออกมาเป็นเพอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.18 โดยสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ได้ดังรูปที่ 4.13 ถึงรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.14 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อ *E.coli* ที่เวลาทดสอบ 0.5 ชั่วโมง

ชนิดพอลิเมอร์	ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (เพอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (สัดส่วนไตรโคลซานคงที่ 10,000 ppm)			
	0	10	20	30
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง				
พอลิสไตรีน				
พอลิไวนิลคลอไรด์				

ตารางที่ 4.15 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อ *S.aureus* ที่เวลาทดสอบ 0.5 ชั่วโมง

ชนิดพอลิเมอร์	ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (สัดส่วนไตรโคซานคงที่ 10,000 ppm)			
	0	10	20	30
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง				
พอลิสไตรีน				
พอลิไวนิลคลอไรด์				

ตารางที่ 4.16 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อ *E.coli* ที่เวลาทดสอบ 1.0 ชั่วโมง

ชนิดพอลิเมอร์	ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (สัดส่วนไตรโคซานคงที่ 10,000 ppm)			
	0	10	20	30
พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง				
พอลิสไตรีน				

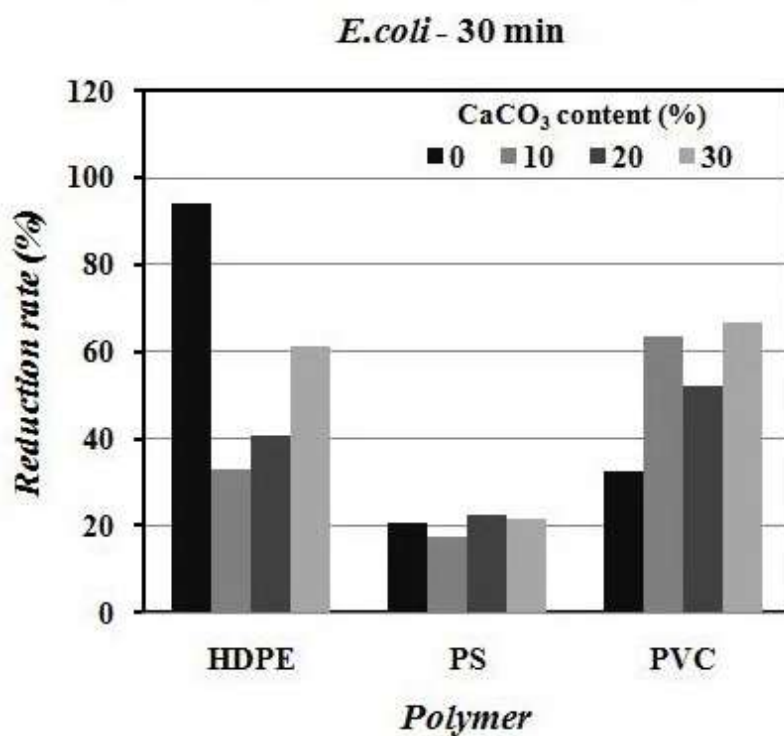
พอลิไวนิล คลอไรด์				
----------------------	---	---	--	---

ตารางที่ 4.17 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของโคโลนีของเชื้อ *S.aureus* ที่เวลาทดสอบ 1.0 ชั่วโมง

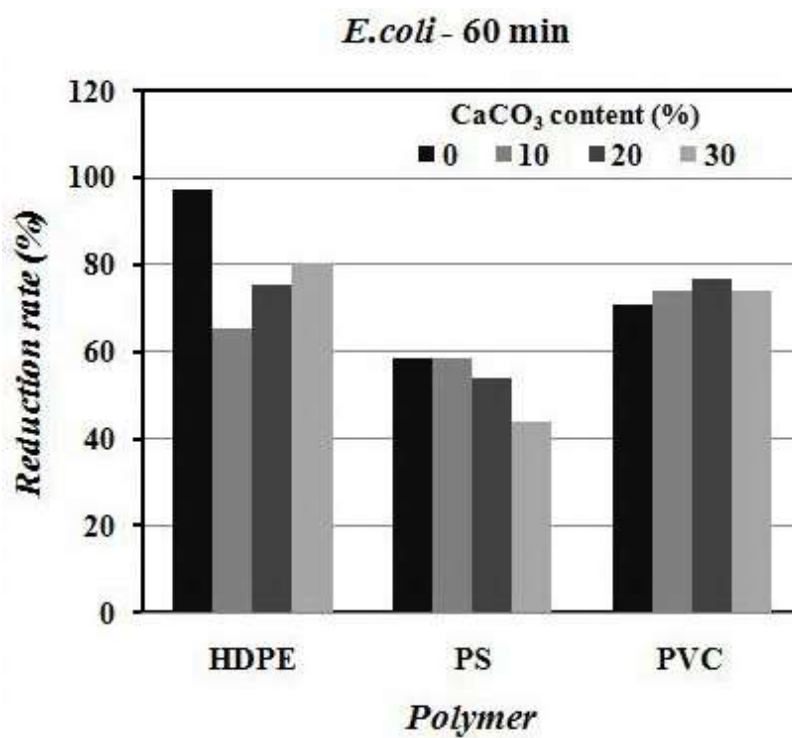
ชนิดพอลิเมอร์	ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) (สัดส่วนไตรโคซานคงที่ 10,000 ppm)			
	0	10	20	30
พอลิเอธิลีน ความหนาแน่นสูง				
พอลิสไตรีน				
พอลิไวนิล คลอไรด์				

ตารางที่ 4.18 ค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งแบคทีเรีย (*E.coli* และ *S.aureus*) ของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่เวลาทดสอบ 0.5 และ 1.0 ชั่วโมง

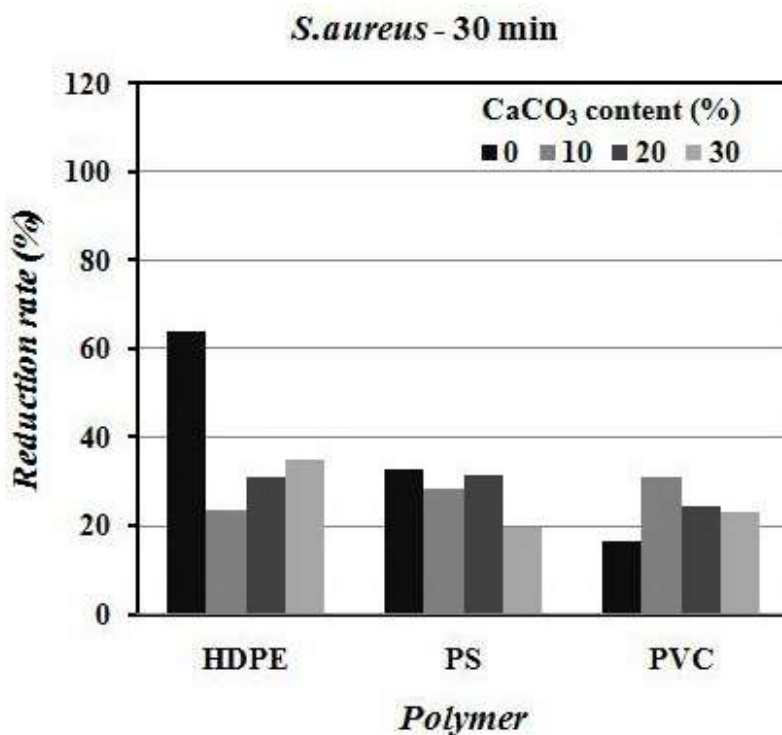
ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผสมในพอลิเมอร์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)		เปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรีย (%)			
		<i>E.coli</i>		<i>S.aureus</i>	
		30 นาที	60 นาที	30 นาที	60 นาที
HDPE	0%	94.1	97.4	63.8	73.7
	10%	33.0	65.4	23.4	30.6
	20%	40.5	75.5	30.9	40.3
	30%	61.3	80.5	35.1	55.6
PS	0%	20.8	58.6	32.6	41.9
	10%	17.4	58.4	28.3	39.3
	20%	22.2	53.9	31.5	31.5
	30%	21.5	44.1	19.6	31.0
PVC	0%	32.6	70.8	16.4	37.1
	10%	63.4	74.1	31.1	43.8
	20%	52.0	76.8	24.6	40.4
	30%	66.9	74.1	23.0	47.2



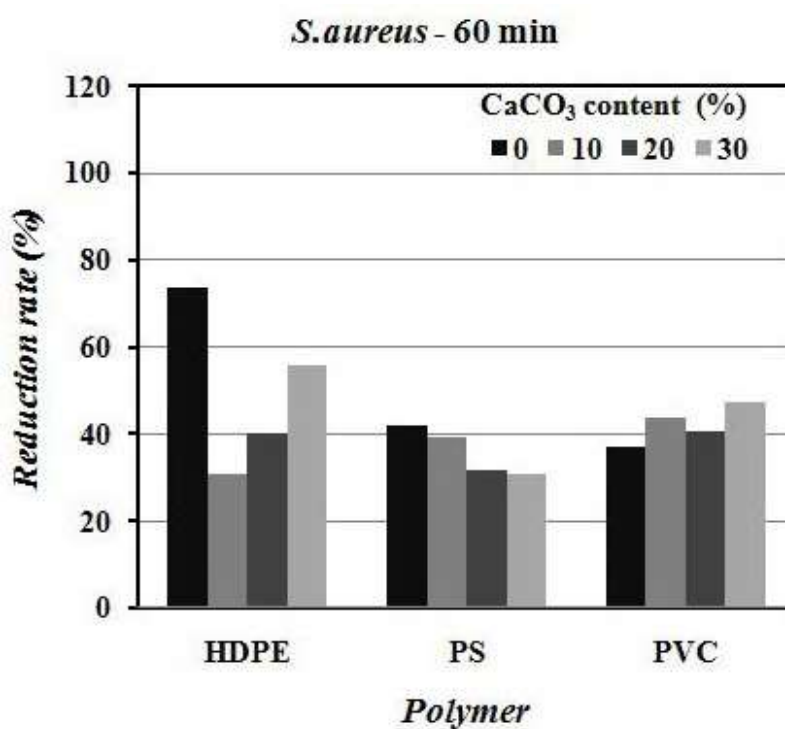
รูปที่ 4.13 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียใน พอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ *E.coli* ที่เวลา 0.5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.14 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียใน พอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ *E.coli* ที่เวลา 1.0 ชั่วโมง



รูปที่ 4.15 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ *S.aureus* ที่เวลา 0.5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.16 ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบกับเชื้อ *S.aureus* ที่เวลา 1.0 ชั่วโมง

ผลการทดลองที่แสดงดังรูปที่ 4.13 ถึงรูปที่ 4.16 พบว่าปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรีย ในกรณีของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงพบว่าการมีอยู่ของแคลเซียมคาร์บอเนตส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียลดลง โดยที่สัดส่วนปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียลดลงมากกว่าในกรณีที่สัดส่วนปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแคลเซียมคาร์บอเนตในเนื้อพอลิเมอร์มีผลทำให้ส่วนที่เป็นอสัณฐานเพิ่มขึ้น และทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์มีความแข็งแรงมากขึ้น [44] ดังนั้นการผสมแคลเซียมคาร์บอเนตลงในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงจึงมีผลให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการผสมแคลเซียมคาร์บอเนต

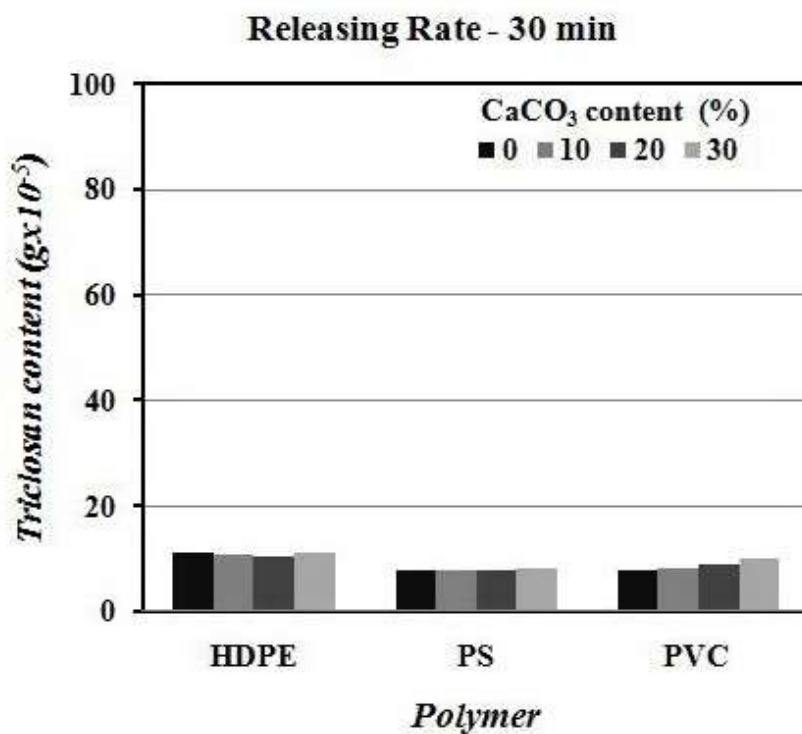
กรณีของพอลิสไตรีนพบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียจะลดลงตามปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแคลเซียมคาร์บอเนตในเนื้อพอลิเมอร์นอกจากจะประพฤติตัวเป็นสารเพิ่มเนื้อยังทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรงได้ [42] การมีแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิเมอร์เมตริกซ์ทำให้พอลิสไตรีนมีความเหนียวเพิ่มขึ้น ดังนั้นสารไตรโคลซานจึงแพร่ออกจากพอลิเมอร์เมตริกซ์ได้ยาก เปอร์เซ็นต์การยับยั้งแบคทีเรียจึงลดลง

กรณีของพอลิไวนิลคลอไรด์พบว่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งแบคทีเรียเพิ่มขึ้นตามปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแคลเซียมคาร์บอเนตไปขัดขวางการสร้างแรงระหว่างขั้ว ระหว่างไตรโคลซานและพอลิไวนิลคลอไรด์ [40, 41, 43] จึงทำให้สารไตรโคลซานแพร่ออกจากพอลิเมอร์เมตริกซ์ได้มากขึ้น

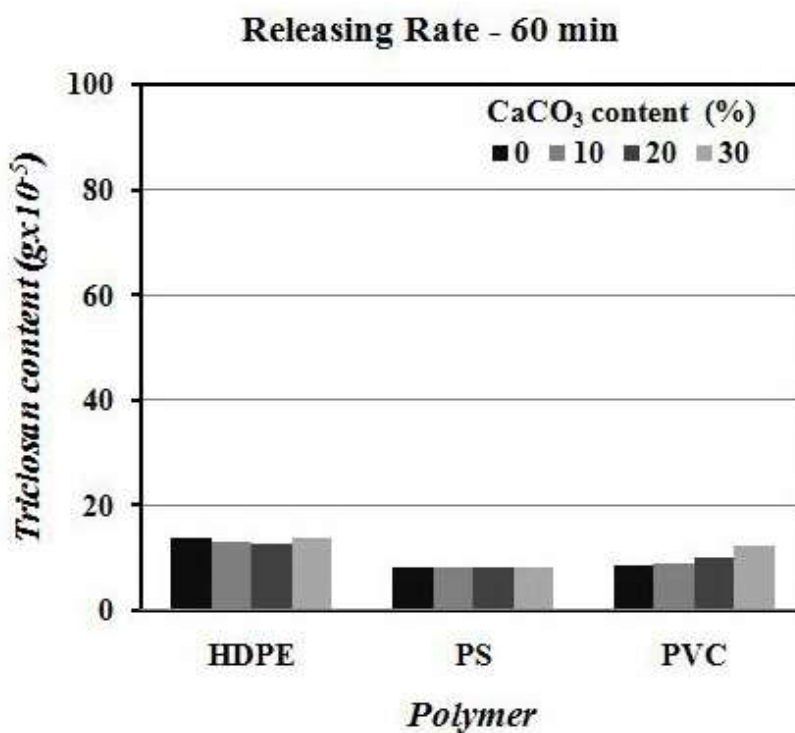
สำหรับผลของเวลาในการทดสอบ (Contact time) ในพอลิเมอร์ที่ผสมสารแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าการเพิ่มเวลาในการทดสอบส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียมีค่าสูงขึ้นเช่นเดียวกับผลการทดสอบที่ผ่านมาในกรณีของพอลิเมอร์ที่ไม่ผสมสารแคลเซียมคาร์บอเนต

4.2.3 การศึกษาความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซาน

ผลการทดสอบความสามารถในการแพร่ของไตรโคลซานในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง พอลิสไตรีน และพอลิไวนิลคลอไรด์ ที่ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 ความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซานในพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่สัดส่วนปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตแตกต่างกันที่เวลา 0.5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.18 ความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซานในพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่สัดส่วนปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตแตกต่างกันที่เวลา 1.0 ชั่วโมง

ความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซานในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตมีความแตกต่างกัน โดยกรณีของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง การเพิ่มปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตส่งผลให้ความสามารถในการแพร่ของไตรโคลซานมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเหตุผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวัดเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรีย ส่วนในกรณีของพอลิสไตรีนพบว่าปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตส่งผลต่อความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซานน้อยมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารไตรโคลซานแพร่ออกมาได้น้อยหรือสามารถแพร่ได้เพียงเฉพาะที่ผิวหน้าของชิ้นงานเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน สำหรับในกรณีของพอลิไวนิลคลอไรด์พบว่าความสามารถในการแพร่ของสารไตรโคลซานเพิ่มขึ้นตามปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้สอดคล้องกับผลการทดสอบการวัดเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรียเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า จากผลการศึกษาความสามารถในการแพร่ของสารยับยั้งแบคทีเรียมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวัดรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและผลการวัดเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรีย

4.3 การศึกษาผลของสารไตรโคลซานต่อการเปลี่ยนแปลงของสีในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่ผสมสารไตรโคลซานแสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่ผสมสารไตรโคลซาน

Colour Index	Polymer with Triclosan ($\times 10^4$ ppm)											
	LDPE		MDPE		HDPE		PP		PS		PVC	
	0	1.5	0	1.5	0	1.5	0	1.5	0	1.5	0	1.5
L^*	37.54	41.3	39.26	39.02	47.77	41.31	34.39	33.84	37.6	37.26	29.68	32.77
a^*	0.06	-0.12	0.14	-0.19	-0.3	-0.76	-0.07	-0.23	-0.09	-0.2	2.68	2.63
b^*	-2.85	-3.79	-2.99	-2.01	-7.01	-1.5	-1.63	-0.31	-1.13	-0.46	2.81	2.88
ΔE^*	-	3.88	-	1.06	-	8.50	-	1.44	-	0.76	-	3.09
$\%T$	88	83.2	86.3	85	78.3	82	89.4	90.1	89.3	88.1	70.9	72.5
T_{vis}	87.3	81.5	85.6	84.3	74.8	78.4	89.1	89.7	89.6	88.2	57	67.8

จากผลการทดสอบที่แสดงดังตารางที่ 4.19 เมื่อพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (ΔE^*) ของพอลิเมอร์แต่ละชนิดหลังจากมีการผสมสารไตรโคลซานเข้าไปแล้วพบว่าพอลิเมอร์แต่ละชนิดนั้นมีการเปลี่ยนแปลงของสีเพียงเล็กน้อย โดยพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงมีการเปลี่ยนแปลงสีมากที่สุดคิดเป็น 8.5 เปอร์เซนต์ ดังนั้นถือว่าในงานวิจัยนี้การผสมสารไตรโคลซานลงในพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ไม่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพด้านรูปลักษณะภายนอก