

สมบัติเชิงกลและประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์ ที่เติมสารเสริมสภาพพลาสติกชนิดดีไอพี และสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็ม

Mechanical Properties and Antibacterial Performance of Polyvinyl chloride compound added DOP Plasticizer and HPQM Antibacterial agent

ปิยะภรณ์ นิลทуй^{1,*}, อัฐพงษ์ กิตติชัยวัชร¹, ปวีณา แต่งอุดม¹, เอกชัย วิมลมาลา¹ และ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ¹
 Piyaporn Niltui^{1,*}, Atthapong Gitchaiwatand¹, Paweena Tangudom¹, Ekachai Wimolmala¹, and Narongrit Sombatsompop¹

¹ กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถ. ประชาอุทิศ บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

¹ Polymer Processing and Flow Research Group, Division of Materials Technology, School of Energy Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Prachauthit Rd, Bangmod, Tungkru, Bangkok, 10140

*ผู้ติดต่อ: p.niltui_23@hotmail.com, โทรศัพท์: 02-4708647, โทรสาร: 02-4708647

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของปริมาณสารเสริมสภาพพลาสติกชนิดไดออกทิลฟทาเลท (Diocetyl Phthalate ,DOP) 0-50 ส่วนในร้อย ส่วนและปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็ม 0-2000 ส่วนในล้านส่วน ที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ คือ *Escherichia coli* (*E. coli*) ATCC 25923 ทดสอบความสามารถการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยเทคนิคการนับจำนวนเชื้อแบคทีเรีย (Plate count agar method, PCA) ผลการทดลองพบว่า การเติมสารดีไอพีในพีวีซีคอมปาวด์ทำให้สมบัติเชิงกลด้านมอดูลัสแรงดึงและความต้านทานแรงดึงสูงสุด มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของดีไอพี ส่วนเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด และความเหนียวของพีวีซีคอมปาวด์มีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับการเติมสารดีไอพีส่งผลให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วลดลง นอกจากนี้ การเติมปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็มไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลโดยรวม และสมบัติทางความร้อนของพีวีซีคอมปาวด์ การเติมดีไอพีที่ปริมาณ 50 ส่วนในร้อยส่วน และสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็มที่ปริมาณ 1000 ส่วนในล้านส่วน ในพีวีซีคอมปาวด์สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* ได้ถึง 99.9%

คำหลัก: พีวีซีคอมปาวด์, สารเสริมสภาพพลาสติก, สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย, สมบัติเชิงกล

Abstract

This work studied the addition of DOP (Diocetyl Phthalate) plasticizer at various loadings 0-50 parts per hundred (pph) and antibacterial agent against (HPQM at loading 0-2000 ppm on the mechanical properties, thermal properties and antibacterial performance of Poly (vinyl chloride) compound. *Escherichia coli* (*E. coli*) ATCC 25923 were used in this work. Plate Count Agar (PCA) method was employed to assess the ability of the anti-bacterial ability. The experimental results suggested that the DOP plasticizer in PVC compound improved the elongation at break and toughness. However, increasing of the DOP plasticizer loading decreased tensile modulus and tensile strength. The glass transition temperature of PVC compound decreased with increasing DOP plasticizer. Moreover, the overall mechanical and thermal properties of the PVC compounds were not affected by the addition of HPQM. Increasing DOP plasticizer at 50 pph and antibacterial agent against at 1000 ppm could achieve 99.9% antibacterial efficacy against *E. coli*.

Keywords: Poly (vinyl chloride) compound, Plasticizer, Antibacterial agent, Mechanical properties

1. บทนำ

พอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี (Polyvinyl Chloride, PVC) เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีสมบัติแข็ง (Rigid) และเปราะ (Brittle) ไม่อ่อนตัว และแตกหักง่ายเมื่อได้รับแรงกระแทก ดังนั้น หากต้องการปรับปรุงพีวีซีให้เหมาะสมต่อการใช้งานจึงต้องมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มสมบัติให้ได้ตามที่ต้องการ สารเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับพีวีซีเรียกว่า สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) ซึ่งสารเสริมสภาพพลาสติกช่วยเพิ่มความสามารถในการไหลแบบพลาสติก (Plastic flow) และลดความหนืดของพอลิเมอร์ขณะหลอมเหลว ทำให้สามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น [1] โดยที่สารเสริมสภาพสำหรับพีวีซีมีหลายประเภท ได้แก่ กลุ่มพทาเลท กลุ่มฟอสเฟส กลุ่มไตรเมททาลเลต กลุ่มพอลิเมอร์ โดยกลุ่มพทาเลทเอสเทอร์ชนิดไดออกทิลพทาเลท (Diocetyl Phthalate ,DOP) นิยมใช้มากในพีวีซี โดยดีโอพีมีอุณหภูมิการละลายที่ 120 องศาเซลเซียส เพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความอ่อนตัวที่ดี ที่อุณหภูมิต่ำได้ [2] ปัจจุบันพีวีซีแบบนิ่ม (Plasticizer PVC; pPVC) นำไปใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งในด้านบรรจุภัณฑ์ ด้านสถาปัตยกรรม/วัสดุตกแต่ง และด้านการแพทย์ เช่น ขวดบรรจุน้ำ แผ่นรองพื้น สายยาง พรมพลาสติก ผ้าใบหลังคา ถุงเลือด และม่านในโรงพยาบาล อาหารแข็ง เป็นต้น จึงสนใจนำพีวีซีแบบนิ่มมาประยุกต์ใช้งานด้านวัสดุพลาสติกปลอดเชื้อแบบที่เรียกว่าต้องสัมผัสกับร่างกายและปราศจากเชื้อแบคทีเรีย เช่น แผ่นรอง/เครื่องมืออุปกรณ์ในโรงพยาบาล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของปริมาณสารเสริมสภาพพลาสติกชนิดดีโอพีและปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็มที่มีต่อสมบัติเชิงกลด้านมอดุลัสแรงดึง ความทนทานต่อแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด และประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* และตรวจสอบผลทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุดิบ

พีวีซีเกรด SIAMVIC-258RB (ค่า K =58) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท วีพี วู๊ด จำกัด (ประเทศไทย) สารเสริมสภาพพลาสติกไดออกทิลพทาเลท (Diocetyl Phthalate ,DOP) จากบริษัท เอแอนด์พี พาวเวอร์คลีน จำกัด (ประเทศไทย) สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็มในนิวซิลีน (มีปริมาณเอชพีคิวเอ็ม 20 เปอร์เซ็นต์) จากบริษัท โกเวนเจอร์ จำกัด (ประเทศไทย) เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ คือ *Escherichia coli* (*E. coli*) สายพันธุ์ ATCC 25923 จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

2.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

นำพีวีซี สารเติมแต่ง และสารยับยั้งเชื้อเอชพีคิวเอ็ม ตามอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณดีโอพี ที่ 0, 25 และ 50 ส่วนในร้อยส่วน (Part per hundred, pph) และปรับเปลี่ยนปริมาณสารละลายเอชพีคิวเอ็ม ที่ 0, 500, 1,000, 1,500, และ 2,000 ส่วนในล้านส่วน (Part per million, ppm) เตรียมผสมโดยใช้ด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง (High speed mixer) จากบริษัท Lab tech Engineering ที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที เวลา 5 นาที จากนั้นผสมในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนคู่ (Twin screw extruder) จากบริษัท HAAKE รุ่น Rheomex CTW 100p ที่อุณหภูมิการผสม ดังนี้ feed zone ที่ 150 องศาเซลเซียส compression zone ที่ 160 องศาเซลเซียส และ die zone ที่ 165 องศาเซลเซียส เมื่อได้เม็ดคอมปาวด์แล้วนำไปเตรียมเป็นแผ่นด้วยเครื่อง Hot two roll mill ที่อุณหภูมิ ที่ 160 องศาเซลเซียส ที่เวลา 5 นาที ต่อจากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนระบบแรงดัน (Hot compression molding) จากบริษัท Lab tech Engineering ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ความดัน 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เวลา 15 นาที แล้วเตรียมแผ่นขึ้นงานให้มีขนาดตามมาตรฐานการทดสอบสมบัติเชิงกล และประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ใช้ในงานวิจัย

ชื่อสารเคมี	ปริมาณ (pph) *	หน้าที่
Suspension PVC grade SIAMVIC-258RB	100	Polymer matrix
PF 608A (Pb-Ba based organic)	1.5	Heat stabilizer
Finalux®G-741	1.0	External lubricant
PA-20	1.5	Processing aids
Diocetyl Phthalate (DOP)	varying 0, 25, 50	Plasticizer
HPQM based neusilene (ppm)**	varying 0-2000 ppm**	Antibacterial agent

*pph: part per hundred, **ppm: part per million

2.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน

การทดสอบสมบัติเชิงกลด้านความต้านทานแรงตึง มอดุลัสแรงดึง เพอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าความเหนียว ตามมาตรฐาน ASTM D412-06 ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine จากบริษัท Shimadzu รุ่น Autograph Ag-I 5 kN อัตราเร็วในการดึงที่ 500 mm/min สำหรับการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) จากบริษัท Jeol รุ่น JSM-5800 อัตราการให้ความร้อน (Scanning rate) 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ในช่วงอุณหภูมิ -50 - 200 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

2.4 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และทดสอบการแพร่สารเคมีออกมาที่ผิวชิ้นงาน

การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเชิงปริมาณ ใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E2149 แบบเทคนิคการนับเชื้อแบคทีเรีย (Plate count agar method) โดยบ่มเชื้อทดสอบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง เตรียมชิ้นงานขนาด 5 x 5 ตารางเซนติเมตร เพื่อทดสอบการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในสารละลายเปปโตนด้วยวิธีการเขย่าที่ 100 รอบต่อ นาที [3] คำนวณปริมาณเชื้อแบคทีเรียหลังการทดสอบในเวลาที่กำหนด ดังสมการที่ 1

$$CFU/ml = \frac{A}{(10^{-n} \times B)} \quad (1)$$

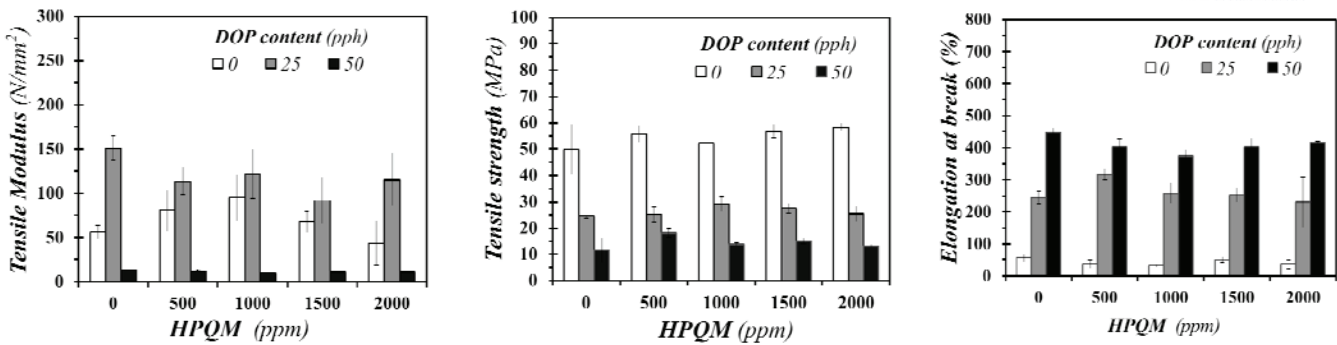
โดยที่
 CFU/ml คือ กลุ่มแบคทีเรีย (Colony forming unit) ต่อมิลลิลิตร
 A คือ จำนวนกลุ่มแบคทีเรียโดยเฉลี่ย
 n คือ จำนวนครั้งการเจือจาง
 B คือ ปริมาตรสารละลายแบคทีเรีย (ปริมาตร 100 ไมโครลิตร)

ส่วนการทดสอบการแพร่สารเคมีที่ผิวชิ้นงาน โดยการวัดค่าการเปียกผิวของชิ้นงานด้วยการวัดมุมสัมผัสตามมาตรฐาน ASTM D7334-08 ด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle goniometer) จากบริษัท CMU-PHYS รุ่น CMU-PHYS-nanolabs

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน

รูปที่ 1 แสดงสมบัติเชิงกลด้านมอดุลัสแรงดึง ความต้านทานแรงดึงสูงสุด และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของ พีวีซีคอมปาวด์ ผลการทดลองพบว่า มอดุลัสแรงดึงและความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลง ส่วนเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของสารดีโอพีที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารดีโอพีทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, Tg) ของพีวีซีคอมปาวด์ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2 เป็นผลจากการกระบวนการพลาสติกไซเซชัน (Plasticization) โดยสารดีโอพีเข้าไปแทรกตัวระหว่างสายโซ่พีวีซีทำลายพันธะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพีวีซี แยกพันธะส่วนที่มีขั้วอะตอมคลอรีนของพีวีซีให้อยู่ห่างกัน ทำให้เพิ่มพื้นที่อิสระระหว่างสายโซ่โมเลกุล และทำให้สายโซ่ของพีวีซีเกิดการเคลื่อนไหวยาวกันได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับแรง [1, 2] แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า การเติมดีโอพีที่ปริมาณ 25 ส่วนในร้อยส่วน (การเติมที่ปริมาณน้อย) ทำให้ค่ามอดุลัสแรงดึงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกิดแอนติพลาสติกไซเซชัน (Antiplasticization) ของพีวีซีคอมปาวด์ โดยสารดีโอพีทำให้เกิดช่องว่างสายโซ่โมเลกุลสามารถจัดเรียงตัวเป็นระเบียบดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Matuana และคณะ[3] ส่วนการเติมปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็มในพีวีซีคอมปาวด์ ไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลด้านมอดุลัสแรงดึง ความต้านทานแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพีวีซีคอมปาวด์ และสมบัติทางความร้อน ทั้งนี้เนื่องจากการเติมปริมาณของเอชพีคิวเอ็มที่น้อยมาก (ประมาณ 0.05-0.2% เมื่อเทียบกับพีวีซี) ส่วนการเติมปริมาณสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็มในพีวีซีคอมปาวด์ ไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลด้านมอดุลัสแรงดึง ความต้านทานแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพีวีซีคอมปาวด์ และสมบัติทางความร้อน ทั้งนี้เนื่องจากการเติมปริมาณของเอชพีคิวเอ็มที่น้อยมาก (ประมาณ 0.05-0.2% เมื่อเทียบกับพีวีซี)

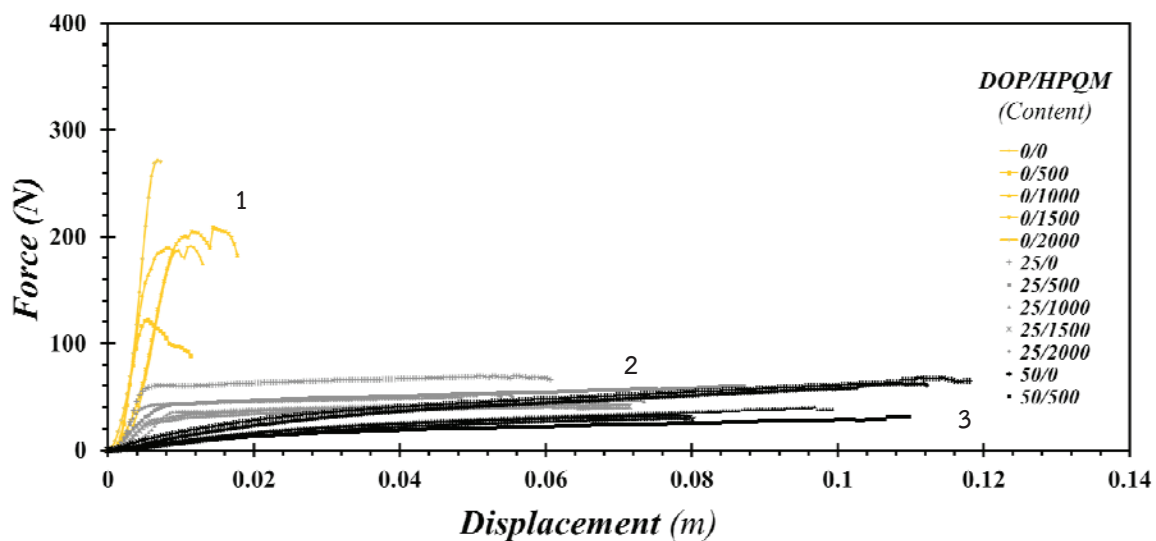


รูปที่ 1 โมดูลัสแรงดึง ความต้านทานแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพีวีซีคอมปาวด์ที่เติมสารดีไอพี และสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็ม

ตารางที่ 2 อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพีวีซีคอมปาวด์ที่มีการเติมสารดีไอพีที่ปริมาณ 50 ส่วนในร้อยส่วน และสารยับยั้งเชื้อเอชพีคิวเอ็มที่ปริมาณ 1000 ส่วนในล้านส่วน

ชิ้นงานทดสอบ	อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (องศาเซลเซียส)
PVC Compound	79.5
PVC/HPQM 1000 ppm	80.4
PVC/DOP 50 pph	13.4
PVC/DOP 50 pph/HPQM 1000 ppm	14.9

สำหรับพฤติกรรมของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะการยืด หรือ (Force – Displacement) ของพีวีซีคอมปาวด์ที่ปรับเปลี่ยนปริมาณของสารดีไอพีและสารเอชพีคิวเอ็มดังแสดงในรูปที่ 2 โดยพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงกับระยะการยืด สามารถแสดงถึงพฤติกรรมการรับแรงหรือความเหนียว (Toughness) ของวัสดุได้ จากผลการทดลองพบว่าพีวีซีคอมปาวด์ที่ไม่เติมสารดีไอพี (หมายเลข 1) โดยมีค่าการรับแรงที่สูงและมีการยืดตัวที่น้อยมาก และเมื่อเติมสารดีไอพีที่ปริมาณมากขึ้น (หมายเลข 2 และ 3) พบว่า พีวีซีคอมปาวด์รับแรงได้ลดลงแต่มีการยืดตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงพฤติกรรมวัสดุมีความเหนียวเพิ่มขึ้น[4] ทั้งนี้เนื่องจากสารเสริมสภาพพลาสติกช่วยในการเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับพีวีซีคอมปาวด์ ส่วนกรณีการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไม่ส่งผลต่อความเหนียวของพีวีซีคอมปาวด์ทุกสัดส่วนการผสม



รูปที่ 2 พฤติกรรมของกราฟแรงดึง- ระยะการยืดของพีวีซีคอมปาวด์ที่เติมสารดีไอพีและสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็ม

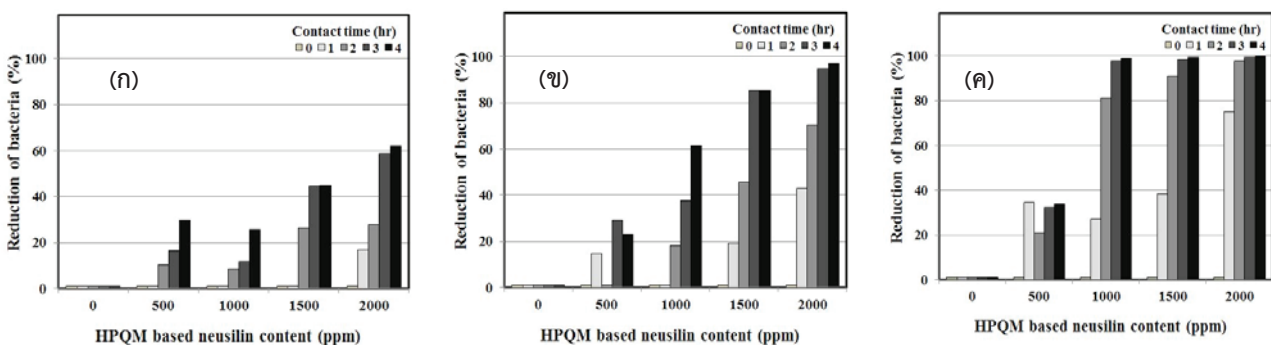
3.2 การแพร่สารเคมีออกที่ผิวชิ้นงาน และการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

กลไกของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสามารถเกิดได้โดยสารยับยั้งเชื้อแพร่ออกมาที่ผิวของชิ้นงานพีวีซีคอมปาวด์ จึงสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ สำหรับการตรวจสอบความสามารถการแพร่ของสารยับยั้งเชื้อได้ด้วยวิธีการวัดค่ามัมสัมผัส ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า ค่ามัมสัมผัสระหว่างน้ำกับผิวของพีวีซีคอมปาวด์มีค่า 78.37 องศา ในขณะที่มัมสัมผัสระหว่างน้ำกับผิวของพีวีซีคอมปาวด์ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็ม มีค่ามัมสัมผัส 72.95 องศา ซึ่งมีค่ามัมสัมผัสลดลงแสดงถึงสารยับยั้งเชื้อชนิดเอชพีคิวเอ็มมีความชอบน้ำ (Hydrophilic) สามารถแพร่ออกมาที่ผิวของพีวีซีคอมปาวด์ได้ ส่วนกรณีพีวีซีคอมปาวด์ที่เติมสารดีไอพีที่ปริมาณ 50 ส่วนในร้อยส่วน มีค่ามัมสัมผัส 104.12 องศา ซึ่งมีค่ามัมสัมผัสเพิ่มขึ้นแสดงว่าที่บริเวณพื้นผิวพีวีซีคอมปาวด์ที่เติมสารดีไอพี มีความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) เนื่องจาก โครงสร้างทางเคมีของสารดีไอพีมีหมู่อะโรมาติกขนาดใหญ่ นอกจากนี้พบว่า พีวีซีคอมปาวด์ที่เติมสารเอชพีคิวเอ็ม 1000 ส่วนในล้านส่วน และสารดีไอพีที่ปริมาณ 50 ส่วนในร้อยส่วน มีค่ามัมสัมผัส 100.03 องศา ซึ่งค่ามัมสัมผัสอยู่ระหว่างพีวีซีคอมปาวด์ที่เติมสารดีไอพีกับพีวีซีคอมปาวด์ที่เติมสารเอชพีคิวเอ็ม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารยับยั้งเชื้อเอชพีคิวเอ็มและสารดีไอพีอยู่บนผิวของชิ้นงานพีวีซี

ตารางที่ 3 ค่ามัมสัมผัสของพีวีซีคอมปาวด์ ที่ผสมและไม่ผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเอชพีคิวเอ็มที่ปริมาณ 1000 ส่วนในล้านส่วน และสารดีไอพี 50 ส่วนในร้อยส่วน

ชิ้นงานทดสอบ	ค่ามัมสัมผัส (องศา)
PVC Compound	78.37
PVC/HPQM 1000 ppm	72.95
PVC/DOP 50 pph	104.12
PVC/DOP 50 pph /HPQM 1000 ppm	100.03

รูปที่ 3 แสดงการทดสอบการลดลงเชื้อแบคทีเรียเชิงปริมาณด้วยวิธีการนับจำนวนเชื้อแบคทีเรียของพีวีซีคอมปาวด์ โดยการทดสอบแบบเขย่าชิ้นงานที่เวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง พบว่า พีวีซีคอมปาวด์ที่มีปริมาณสารดีไอพี 0-25 ส่วนในร้อยส่วน และมีสารยับยั้งเชื้อเอชพีคิวเอ็ม 0-2000 ส่วนในล้านส่วน ดังแสดงในรูปที่ 3(ก) และ(ข) ตามลำดับ ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* ได้ถึง 99.9% ส่วนที่ปริมาณสารดีไอพี 50 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วน สารยับยั้งเชื้อเอชพีคิวเอ็มที่ปริมาณ 1000 – 2000 ส่วนในล้านส่วน มีการลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* ถึง 99.9% (แสดงถึงวัสดุปลอดเชื้อแบคทีเรีย) ดังแสดงในรูปที่ 3(ค) ทั้งนี้เนื่องจากสารดีไอพีทำให้เกิดพื้นที่อิสระระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพีวีซีคอมปาวด์เกิดการเคลื่อนไหวได้ง่าย ส่งผลทำให้สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอชพีคิวเอ็มสามารถแพร่ออกมาที่ผิวได้ อาจกล่าวได้ว่าการเติมสารดีไอพีเพิ่มขึ้นส่งผลต่อความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 ความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* ของพีวีซีคอมปาวด์ ที่เติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียร่วมกับสารดีไอพี (ก) ไม่เติม ข) 25 ส่วนในร้อยส่วน และ (ค) 50 ส่วนในร้อยส่วน

4. สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยสมบัติเชิงกล และประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพีวีซีคอมปาวด์ที่เติมสารดีไอพี สามารถสรุปได้ดังนี้ การเติมสารดีไอพีในพีวีซีคอมปาวด์ทำให้สมบัติเชิงกลด้านมอดูลัสแรงดึง และความต้านทานแรงดึงสูงสุดลดลงตามปริมาณของสารดีไอพี ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด และความเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารดีไอพี สำหรับการเติมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเซพทีคิวเอ็มไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลโดยรวมของพีวีซีคอมปาวด์ นอกจากนี้การเติมสารดีไอพีที่ปริมาณ 50 ส่วนในร้อยส่วน และสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดเซพทีคิวเอ็ม 1000-2000 ส่วนในล้านส่วน ในพีวีซีคอมปาวด์สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* ได้ 99.9%

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยฯ ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (เมธีวิจัยอาวุโส สกว., เลขที่สัญญา RTA5580009) และทุนโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (NRU) ที่สนับสนุนทุนวิจัย บริษัท โทเวนเจอร์ จำกัด (ประเทศไทย) สำหรับสารเคมีวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สำหรับอุปกรณ์และห้องปฏิบัติการวิจัยด้านจุลินทรีย์ และห้องปฏิบัติการวิจัย PENTEC มจธ. สำหรับความอนุเคราะห์เครื่อง DSC และเครื่อง Two-roll mill

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] อรุษา สรวารี (2546). สารเติมแต่งพอลิเมอร์, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [2] นวดล เพ็ชรวัฒนา (2554). การเสริมสภาพพลาสติกในพอลิไวนิลคลอไรด์, สารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 13, ตุลาคม 2554, หน้า 30-41.
- [3] Matuana, M.L., Park, B.C. and Balatinez, J.J. (1997). The effect of low levels of plasticizer on the rheological and mechanical properties of polyvinyl chloride/newsprint-Fiber composites, *Journal of Vinyl & Additive Technology*, vol. 3(4), pp.265-273.
- [4] Jai-eau, K., Wimolmala, E. and 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*, vol. 19(2), pp.123-131.
- [5] Wimomala, E., Woothikanokkhan. and Sombatsompop, N. (2001). Effect of composition and temperature on extrudate characteristics, morphology, and tensile properties of acrylic rubber- blended PVC. *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 80(13), pp. 2523-2534.