# ผลของการบ่มเร่งจากรังสียูวีที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิเอทิลีนและพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผสมซิลเวอร์คอลลอยด์

# Effect of UV Aging on Antibacterial Performance of Polyethylene and Polyvinyl Chloride Doped with Silver Colloid

**รัชนี ฉินกมลทอง[1], ขวัญเนตร สมบัติสมภพ[2], อภิสิทธิ์ โฆษิตชัยยงค์[1], ธีระศักดิ์ หมากผิน[1], และ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ[1]**

Ratchanee Chinkamonthong[1], Kwannate Sombatsompop[2], Apisit Kositchaiyong[1], Teerasak Markpin[1], and Narongrit Sombatsompop[1]

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการบ่มเร่งวัสดุพอลิเอทิลีนและพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผสมซิลเวอร์คอลลอยด์ต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สำหรับสภาวะการบ่มเร่งชิ้นงานทดสอบอาศัยมาตรฐาน ASTM G154 โดยชิ้นงานสัมผัสรังสียูวี-เอ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง สลับกับการสัมผัสความชื้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เป็นเวลารวมทั้งหมด 8 วัน โดยผสมซิลเวอร์คอลลอยด์ในพอลิเอทิลีนและพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ความเข้มข้นในช่วง 0-1,000 และ 0-300 ppm ตามลำดับ แบคทีเรียที่ใช้ทดสอบคือ *Escherichia coli* (*E. coli*) การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียใช้วิธี ASTM E 2149 โดยรายงานเป็นค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย ผลการวิจัยพบว่า พอลิเอทิลีนผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ 1,000 ppm มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อ *E. coli* 84.4% ส่วนพอลิไวนิลคลอไรด์ผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ 300 ppm มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อ *E. coli* 99.9% สำหรับผลของการบ่มเร่งพบว่า การเจริญของเชื้อมีค่าต่ำลงในกรณีของพอลิเอทิลีน ในขณะที่กรณีของพอลิไวนิลคลอไรด์มีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากการเสื่อมสภาพลงของวัสดุพอลิเมอร์ส่งผลต่อกลไกการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์

**คำสำคัญ**: การบ่มเร่งด้วยรังสียูวี, นาโนซิลเวอร์คอลลอยด์, พอลิเอทิลีน, พอลิไวนิลคลอไรด์

## ABSTRACT

This research studied the effect of UV aging on polyethylene and polyvinyl chloride doped with silver colloid on the efficiency of anti-bacterial properties. The aging condition used ASTM G154 standard by specimen exposure to UV radiation A at 60°C for 8 hours, then exposed to humidity at 50°C for 4 hours. The overall aging time was 8 days. The amounts of nano-silver colloid added in polyethylene and polyvinyl chloride were 0-1,000 and 0-300 ppm, respectively. The antibacterial performance was reported as a percentage reduction of bacteria using ASTM E2149 standard which were used against *Escherichia coli (E. coli)*. The percentage reduction of bacteria of polyethylene doped with 1,000 ppm nano-silver colloid was 84.4% and that of polyvinyl chloride doped with 300 ppm nano-silver colloid was 99.9%. For the UV aging effect, the aged polyethylene resulted in decreasing rate of bacteria whereas aged polyvinyl chloride showed a reverse effect. The mechanisms of killing bacteria for nano-silver colloid embedded in polyethylene and polyvinyl chloride were different and were interfered by polymer degradation.

Key words: UV aging, Nano-silver colloid, Polyethylene, Polyvinyl chloride

[1] กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF) คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[2] วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail address: chomm_poo@hotmail.com

## บทนำ

พลาสติกเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เช่น บรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ ชิ้นส่วนยานยนต์ และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากพลาสติกมีน้ำหนักเบา ราคาถูก มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซต่ำ ทนต่อสภาพแวดล้อมและสารเคมีได้ดี (งามทิพย์, 2550) เป็นต้น นอกเหนือจากสมบัติดังกล่าวผลิตภัณฑ์บางชนิดต้องการความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตหรือฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค (Pathogen) ปัจจุบันพลาสติกหรือพอลิเมอร์ที่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่เตรียมจากการผสมระหว่างพอลิเมอร์กับวัสดุหรือสารเคมีที่มีสมบัติต่อต้านหรือยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (Antimicrobial agent) เช่น วัสดุเชิงประกอบระหว่างเงินกับพอลิโพรพิลีน (Ag/Polypropylene) (Radheshkumar and Munstedt, 2006) ไลโซไซม์กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Lysozyme/Polyvinyl alcohol) เบนโซอิคกับพอลิเอทิลีนเชิงเส้นชนิดความหนาแน่นต่ำ (Benzoic/Linear Low Density Polyethylene) (Appendini and Hotchkiss, 2002) หรือ ไตรโคลซานกับพอลิสไตรีน (Triclosan/Polystyrene) (Kalyon and Olgun, 2001) เป็นต้น โดยอนุภาคซิลเวอร์ (Silver nanoparticles) จัดเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์เพื่อเพิ่มสมบัติการยับยั้งหรือฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าวัสดุผสมระหว่างอนุภาคเงินกับพอลิเมอร์สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ถึงร้อยละ 99.9 (Takagi *et al.,* 2000) และได้มีการทดสอบแล้วว่าการใช้อนุภาคเงินในปริมาณน้อย ไม่มีโทษและปลอดภัยต่อร่างกาย เนื่องจากเงินเป็นธาตุเฉื่อยคล้ายกับทองคำ (Ronald, 1999)

อย่างไรก็ตาม พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC) หรือ พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันย่อมหลีกหนีไม่พ้นเรื่องการเสื่อมสภาพ โดยพอลิไวนิลคลอไรด์สามารถเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องมาจากปัจจัยภายนอก (ออกซิเจน ความชื้น หรือ รังสีอัลตราไวโอเลต) ได้ง่าย ซึ่งกลไกการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดีไฮโดรคลอริเนชัน (Dehydrochlorination) ทำให้พอลิไวนิลคลอไรด์มีโครงสร้างโมเลกุลที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม กล่าวคือโมเลกุลเกิดเป็นพอลิอีน ทำให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของพอลิไวนิลคลอไรด์เกิดการเปลี่ยนแปลง (Jakubowicz *et al.,* 1999) สำหรับกลไกการเสื่อมสภาพของพอลิเอทิลีน ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับ ความร้อน (Thermal) แรงทางกล (Mechanical force) และ การกัดกร่อนทางเคมี (Corrosive chemicals) เป็นต้น (Dilara and Briassoulis, 2000) ซึ่งผลจากการเสื่อมสภาพของบรรจุภัณฑ์เหล่านี้ อาจส่งผลให้การแพร่ผ่านของสารเคมีต่างๆ เกิดการเปลี่ยนแปลง หรืออาจรวมไปถึงความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของวัสดุผสมอีกด้วย

งานวิจัยนี้ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติก ในบทบาทของการเป็นบรรจุภัณฑ์เนื่องมาจากสาเหตุที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยพลาสติกที่เลือกใช้สำหรับสำหรับวิจัยได้แก่ พอลิเอทิลีน และ พอลิไวนิลคลอไรด์ เนื่องจากเป็นวัสดุที่ใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์จำนวนมาก นอกจากนี้ พลาสติกทั้งสองชนิดได้มีการวิจัยและพัฒนาสำหรับใช้เป็นวัสดุยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์อยู่กันอย่างแพร่หลาย แต่การวิจัยในเชิงการเปลี่ยนแปลงสภาพอันเนื่องมาจากปัจจัยภายนอกหรืออายุการใช้งานของวัสดุยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้ ยังถือว่าน้อยโดยเฉพาะวัสดุพลาสติกผสมอนุภาคเงิน เมื่อเปรียบเทียบกับการวิจัยในเชิงการผลิตหรือการเตรียมวัสดุ

## อุปกรณ์และวิธีการ

### วัสดุวิจัย

พอลิเมอร์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ พอลิเอทิลีนเชิงเส้นชนิดความหนาแน่นต่ำ เกรด M3804RU(P) จากบริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (ประเทศไทย) พอลิไวนิลคลอไรด์ เกรด Siamvic 258 RB จากบริษัท วีนิไทย จำกัด (ประเทศไทย) อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว (Nutrient Broth; NB) จากบริษัท Laboratories Britania S.A. (ประเทศไทย) อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง (Plate Count Agar; PCA) และ เปปโตน (Peptone) จากบริษัท Hi Media Laboratories จำกัด (ประเทศไทย) สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย คือ นาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ เกรด SNSE จากบริษัท โกเวนเจอร์ จำกัด (ประเทศไทย) เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดสอบ คือ แบคทีเรียแกรมลบ *Escherichia coli* (ATCC 25922) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคในมนุษย์ เช่น ท้องเสียถ่ายอุจจาระเป็นน้ำ และ อาการลำไส้ใหญ่อักเสบมีเลือดออก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทดสอบประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในการทำลายเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ

### การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

การเตรียมชิ้นงานทดสอบได้ทำการผสมโดยเทคนิคการผสมแบบแห้ง (Dry blending) ด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง โดยผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ลงในพอลิเอทิลีนและพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0-1,000 และ 0-300 ส่วนในล้านส่วน (Part per million, ppm) ตามลำดับ จากนั้นนำไปขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปที่ความหนา 0.4 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิและ

ความดัน 180 องศาเซลเซียส 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับพอลิเอทิลีน และ 185 องศาเซลเซียส 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์ โดยสภาวะการบ่มเร่งชิ้นงานทดสอบอาศัยมาตรฐาน ASTM G154 ชิ้นงานสัมผัสรังสียูวี-เอ (UVA) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง สลับกับการสัมผัสความชื้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งทำการทดสอบชิ้นงานในสภาวะการบ่มเร่งเป็นเวลา 8 วัน

**การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย**

การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเป็นการทดสอบเชิงปริมาณ ซึ่งใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E2149 แบบเทคนิคการนับเชื้อแบคทีเรีย (Plate Count Agar Method) โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว เพื่อใช้ในการบ่มเชื้อสำหรับนำมาทดสอบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเตรียมชิ้นงานขนาด 5 x 5 ตารางเซนติเมตร เพื่อทดสอบการเจริญของเชื้อแบคทีเรียในสารละลายเปปโตนด้วยวิธีการเขย่าที่ 100 รอบต่อนาที ณ เวลาการทดสอบ 30 90 150 และ 210 นาที ซึ่งเชื้อเริ่มต้นที่ใช้ในการทดสอบประมาณ $10^5$ CFU/ml โดยใช้เทคนิคการเจือจางเชื้อให้มีความเข้มข้นลดลงทีละ 10 เท่า (Ten – fold serial dilution) และนำเชื้อที่เจือจางมาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง แล้วนำเข้าตู้บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 - 24 ชั่วโมง จากนั้นนับจำนวนโคโลนีและคำนวณร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรียหลังผ่านการทดสอบในเวลาที่กำหนด ดังสมการที่ 1

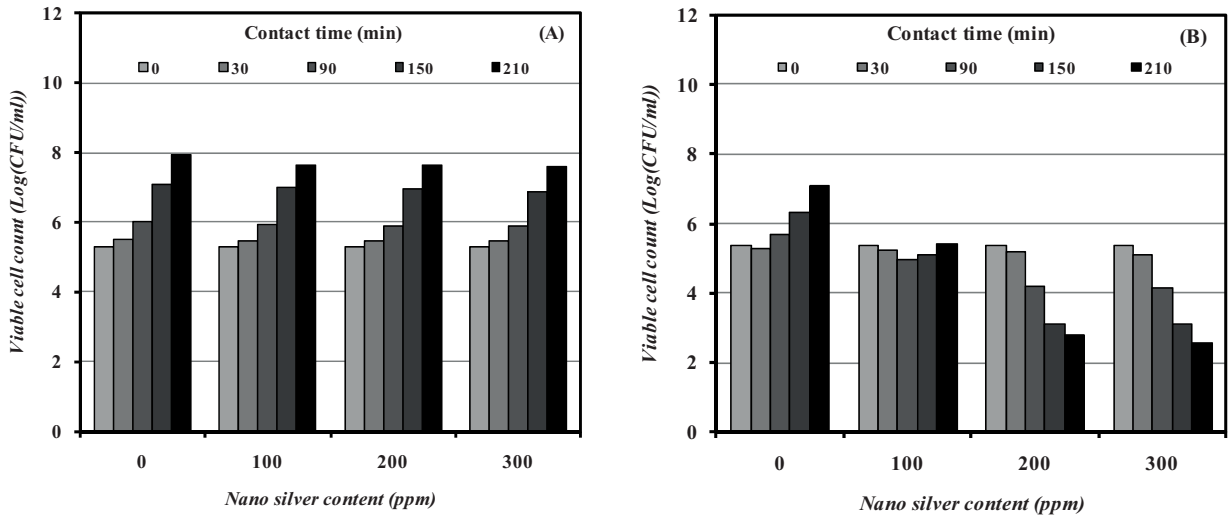
$$R = \frac{A - B}{A} \times 100 \qquad \text{สมการที่ 1}$$

โดย R คือ ร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (%)

A คือ จำนวนโคโลนีของชิ้นงานทดสอบที่ไม่มีสารยับยั้งแบคทีเรีย (CFU/ml)

B คือ จำนวนโคโลนีของชิ้นงานทดสอบที่มีสารยับยั้งแบคทีเรีย (CFU/ml)

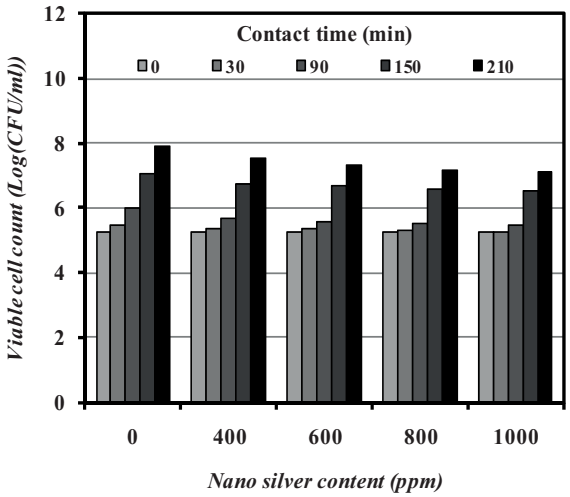
## ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย




รูปที่ 1 การเจริญของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* ในพอลิเอทิลีน (A) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (B) ที่ผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ความเข้มข้น 0 100 200 และ 300 ppm

การเจริญของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* เมื่อทดสอบกับชิ้นงานพอลิเอทิลีนและพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ปริมาณ 0-300 ppm ในช่วงเวลาการทดสอบ 0-210 นาที แสดงดังรูปที่ 1 พบว่า บริมาณเชื้อแบคทีเรียทดสอบในกรณีพอลิเอทีลีนที่ผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามเวลา ใกล้เคียงกับกรณีพอลิเอทิลีนที่ไม่ได้ผสมสารนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ ถึงแม้ว่าได้ทำการผสมสารดังกล่าวในพอลิเอทิลีนปริมาณสูงถึง 1,000 ppm แล้วก็ตาม (ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2) ในขณะที่กรณีพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ พบว่า การเจริญของเชื้อแบคทีเรียมีค่าลดลง ความแตกต่างของผลการทดลองของทั้งสองพอลิเมอร์นี้ อาจมีสาเหตุมาจากอนุภาคซิลเวอร์ส่วนใหญ่ฝังตัวอยู่ภายในเนื้อของ

พอลิเอทิลีน ซึ่งส่งผลให้อนุภาคซิลเวอร์ไม่สามารถสัมผัสกับเชื้อแบคทีเรียได้ ส่วนกรณีของพอลิไวนิลคลอไรด์นั้นมีสาเหตุมาจากคลอรีนอะตอมที่อยู่ในโครงสร้างของพอลิเมอร์ดังกล่าวถูกปลดปล่อยออกมาที่ผิวของชิ้นงาน เนื่องจากการเสื่อมสภาพทางความร้อนผ่านกลไกในปฏิกิริยาดีไฮโดรคลอริเนชันระหว่างกระบวนการขึ้นรูป ด้วยเหตุนี้ คลอรีนอะตอมดังกล่าวจึงสามารถทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับส่วนประกอบของเซลล์แบคทีเรียได้ นอกจากนี้ คลอรีนอะตอมที่หลุดออกมาจากโมเลกุลของพอลิไวนิลคลอไรด์ยังอาจสามารถเกิดสารประกอบกับอนุภาคซิลเวอร์เป็นซิลเวอร์คลอไรด์ ซึ่งสารประกอบดังกล่าวมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้สูงกว่าอนุภาคซิลเวอร์ (Impellitteri *et al*., 2009) โดยอนุภาคซิลเวอร์สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเมื่อเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของซิลเวอร์ไอออน ซึ่งซิลเวอร์ไอออนจะกระจายอยู่ตามผนังเซลล์และแทรกเข้าไปภายในเซลล์ของแบคทีเรียทำให้เกิดการรวมตัว (Condensation) ของดีเอ็นเอ (Deoxyribonucleic acid, DNA) ภายในเซลล์และสูญเสียความสามารถในการเพิ่มจำนวน (Replication) แบคทีเรีย รวมทั้งเกิดการจับกับโปรตีนบริเวณผนังเซลล์ของแบคทีเรียที่หมู่ไธออล (Thiol, -SH) ของกรดอะมิโน (Amino acid) ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างผนังเซลล์และโปรตีนด้วยการยับยั้งการทำงานของกระบวนการเผาผลาญในผนังเซลล์ ทั้งนี้ โดยทั่วไปเป็นที่ทราบกันว่าพอลิเอทิลีนมีความเสถียรต่อความร้อนมากกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ (Briassoulis *et al*., 2004, Ekelund *et al*., 2007) เมื่อพิจารณาค่าร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรียในพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด (ดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 1) พบว่า ร้อยละการลดลงของเชื้อ *E. coli* มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามเวลาในการทดสอบ โดยร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรียของพอลิเอทิลีนที่ผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ 1,000 ppm มีค่าเท่ากับ 84.4% และพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ที่ความเข้มข้น 300 ppm มีค่าเท่ากับ 99.9% ที่เวลาการทดสอบ 210 นาที




รูปที่ 2 การเจริญของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* ในพอลิเอทิลีนผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ ที่ความเข้มข้น 0 400 600 800 และ 1,000 ppm

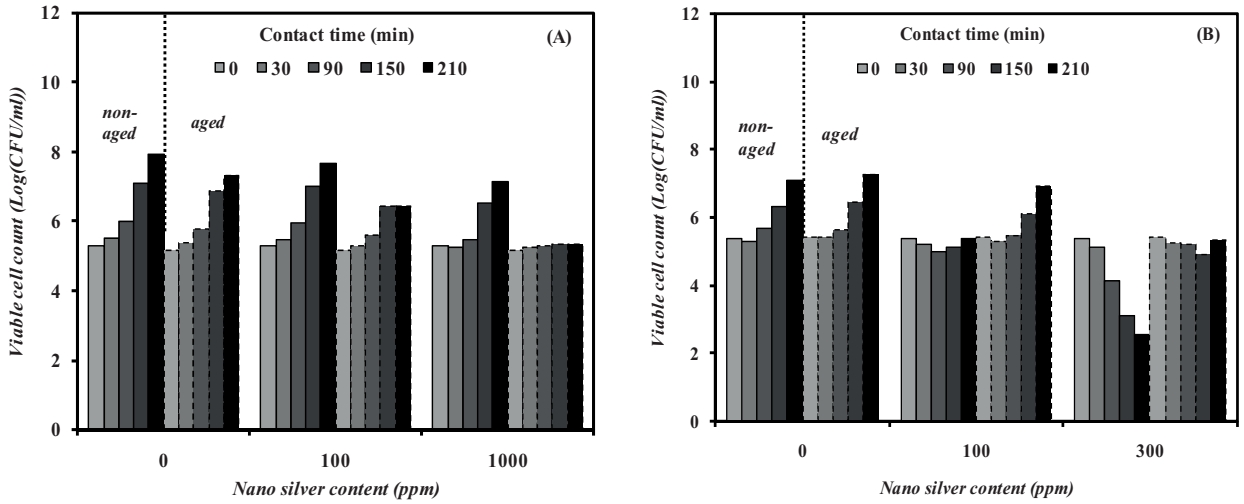
สำหรับผลกระทบของการบ่มเร่งจากการเสื่อมสภาพของชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM G154 เป็นเวลา 8 วัน แสดงดังรูปที่ 3 พบว่า การบ่มเร่งของพอลิเอทิลีนทั้งที่ไม่ผสมและผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ส่งผลให้ปริมาณการเจริญของเชื้อมีค่าลดลง โดยเฉพาะปริมาณการผสมสารดังกล่าวที่ 1,000 ppm ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากการเสื่อมสภาพของพอลิเอทิลีนทำให้อนุภาคซิลเวอร์ที่ฝังตัวอยู่ในพอลิเมอร์เคลื่อนที่ออกมาที่บริเวณพื้นผิวชิ้นงาน และสามารถสัมผัสกับเชื้อแบคทีเรียได้มากขึ้น ทั้งนี้ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของพอลิเอทีลีนที่ผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่งแสดงดังรูปที่ 4 โดยอนุภาคซิลเวอร์มีลักษณะกลมอยู่ในพอลิเอทิลีน

สำหรับการเจริญของเชื้อในกรณีพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผ่านการบ่มเร่ง พบว่า อัตราการเจริญของเชื้อแบคทีเรียมีค่าสูงกว่ากรณีที่ไม่ได้บ่มเร่ง ทั้งนี้คาดว่าเป็นผลมาจากสภาวะที่ใช้ในการทดสอบ กล่าวคือ ถึงแม้ว่าพอลิไวนิลคลอไรด์เกิดการเสื่อมสภาพลงและเกิดคลอรีนอะตอมเป็นจำนวนมาก แต่ในช่วงระหว่างการบ่มเร่ง ปริมาณคลอรีนอะตอมอาจลดลงเมื่อเทียบกับชิ้นงานก่อนการบ่มเร่ง กอรปกับการเสื่อมสภาพด้วยความชื้นซึ่งมีน้ำเกิดขึ้นที่ผิวชิ้นงาน อาจทำให้อะตอมของคลอรีนถูก

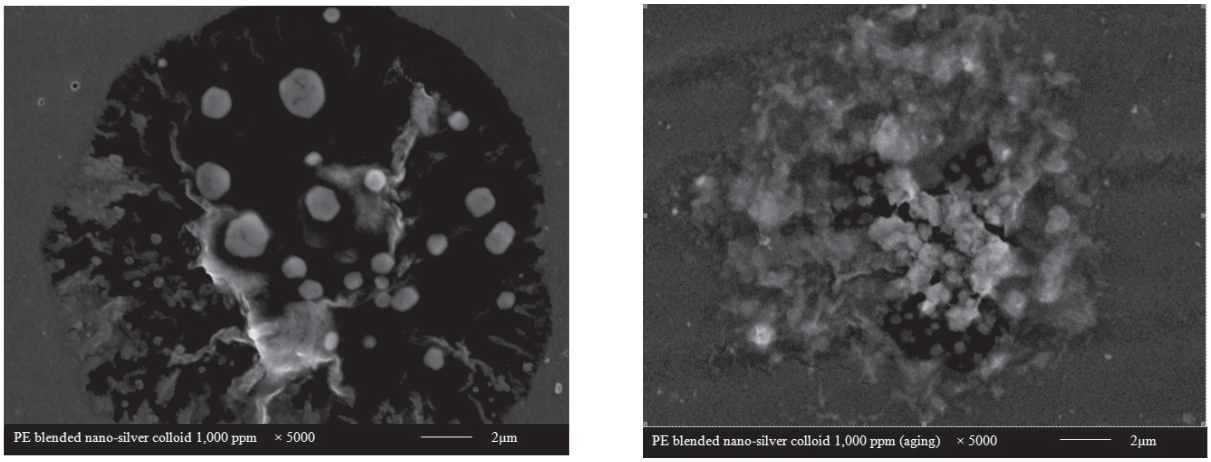
ชะล้างออกไป ดังนั้นสารที่มีส่วนช่วยในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียในกรณีนี้ ได้แก่ คลอรีนอะตอม และสารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์จึงมีปริมาณน้อยลง

ตารางที่ 1 ร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* ในพอลิเอทิลีนและพอลิไวนิลคลอไรด์ผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

| พอลิเมอร์ | ปริมาณซิลเวอร์คอลลอยด์ (ส่วนในล้านส่วน) | ร้อยละการลดลงของเชื้อที่เวลาการทดสอบต่าง ๆ (นาที) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 30 | 90 | 150 | 210 |
| พอลิเอทิลีน | 100 | 6.3 | 15.0 | 15.2 | 47.7 |
| | 200 | 10.9 | 25.0 | 25.8 | 50.0 |
| | 300 | 12.5 | 26.0 | 36.9 | 54.7 |
| | 400 | 19.5 | 53.1 | 53.3 | 61.6 |
| | 600 | 22.3 | 59.2 | 59.0 | 75.9 |
| | 800 | 31.3 | 64.3 | 69.3 | 83.1 |
| | 1000 | 31.3 | 71.4 | 72.1 | 84.4 |
| พอลิไวนิลคลอไรด์ | 100 | 11.9 | 80.5 | 93.6 | 97.9 |
| | 200 | 16.6 | 96.9 | 99.9 | 99.9 |
| | 300 | 33.5 | 97.3 | 99.9 | 99.9 |




รูปที่ 3 การเจริญของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* ในพอลิเอทิลีน (A) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (B) ผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์หลังผ่านสภาวะการบ่มเร่งตามมาตรฐาน ASTM G154 (*เส้นทึบ คือ Non-aged และ เส้นประ คือ Aged*)




(A) (B)

รูปที่ 4 ลักษณะพื้นผิวของพอลิเอทิลีนผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ 1,000 ppm ก่อน (A) และหลัง (B) สภาวะการบ่มเร่งจากรังสียูวีซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็ตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

## สรุป

ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ของพอลิเอทิลีนและพอลิไวนิลคลอไรด์ผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ พบว่า ชิ้นงานดังกล่าวมีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อตามความเข้มข้นของนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ที่เพิ่มขึ้น โดยพอลิเอทิลีนผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ 1,000 ppm มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อ *E. coli* 84.4% ส่วนพอลิไวนิลคลอไรด์ผสมนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ 300 ppm มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อ *E. coli* 99.9% ที่เวลาการทดสอบ 210 นาที ซึ่งเมื่อพิจารณาชิ้นงานที่ผ่านการบ่มเร่งตามมาตรฐาน ASTM G154 เป็นเวลา 8 วัน พบว่า การเจริญของเชื้อลดลงในพอลิเอทิลีนและเพิ่มขึ้นในพอลิไวนิลคลอไรด์ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อที่แตกต่างกัน ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากการเสื่อมสภาพของพอลิเอทิลีนทำให้อนุภาคซิลเวอร์ที่ฝังตัวอยู่เคลื่อนที่ออกมาที่บริเวณพื้นผิวชิ้นงาน ส่งผลให้เชื้อแบคทีเรียเกิดการสัมผัสกับอนุภาคซิลเวอร์เพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีพอลิไวนิลคลอไรด์ พบว่า ในระหว่างการบ่มเร่ง ปริมาณคลอรีนอะตอมอาจลดลงเมื่อเทียบกับชิ้นงานก่อนการบ่มเร่ง โดยการเสื่อมสภาพด้วยความชื้นซึ่งมีน้ำเกิดขึ้นที่ผิวชิ้นงาน อาจทำให้อะตอมของคลอรีนถูกชะล้างออกไป ดังนั้นสารที่มีส่วนช่วยในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียจึงมีปริมาณน้อยลง

## การนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

สำหรับงานวิจัยสามารถนำผลการวิจัยมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคในด้านอาชีวอนามัย

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยฯ ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) สัญญาเลขที่ RTA5280008 และภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือสำหรับห้องปฏิบัติการวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

งามทิพย์ ภู่วโรดม 2550. **การบรรจุอาหาร**. บริษัท เอส. พี. เอ็ม การพิมพ์. กรุงเทพ. 114-188.

Appendini, P. and J. H. Hotchkiss. 2002. **Review of Antimicrobial Food Packaging**. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 3: 113-126.

Briassoulis, D., A. Aristopoulou, M. Bonora and I. Verlodt. 2004. **Degradation Characterisation of Agricultural Low-density Polyethylene Films**. Biosystems Engineering. 88: 131-143.

Dilara, P. A. and D. Briassoulis. 2000. **Degradation and Stabilization of Low-density Polyethylene Films Used as Greenhouse Covering Materials**. Journal of Agricultural Engineering Research. 76: 309 -321.

Ekelund, M., H. Edin and U. W. Gedde. 2007. **Long-Term Performance of Poly (vinyl chloride) Cables. Part 1: Mechanical and Electrical Performances.** Polymer Degradation and Stability. 92: 617-629.

Impellitteri, C. A., T. M. Tolaymat and K. G. Scheckel. 2009. **The Speciation of Silver Nanoparticles in Antimicrobial Fabric Before and After Exposure to a Hypochlorite/Detergent Solution.** Journal of Environmental Quality. 38: 1528-1530.

Jakubowicz, I., N. Yarahmadi. and T. Gevert. 1999. **Effects of Accelerated and Natural Ageing on Plasticized Polyvinylchloride (PVC).** Polymer Degradation and Stability. 66: 415-421.

Kalyon, B. D. and U. Olgun. 2001. **Antibacterial Efficacy of Triclosan Incorporated Polymers.** The Association for Professionals in Infection Control and Epidemiology. 29: 124-125.

Radheshkumar, C. and H. Munstedt. 2006. **Antimicrobial Polymers from Polypropylene/Silver Composites - $Ag^+$ Release Measured by Anode Stripping Voltammetry.** Reactive and Functional Polymers. 66: 780-788.

Ronald J. G. 1999. **Silver Colloids.** [Online]. Available: http://www.silver-colloids.com/Book/SilverColloids-s.pdf. [2008 November 1].

Takagi, H., Y. Hoshino, S. Nakamori and S. Inouye. 2000. **Isolation and Sequence Analysis of Plasmid pNO33 in the €-Poly-L-Lysine-Producing Actinomycete *Streptomyces albulus* IFO14147.** Journal of Bioscience and Bioengineering. 89: 94-96.