



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ยางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนต้านเชื้อราและแบคทีเรีย  
เพื่อประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ยางในห้อยน้ำ

โดย ดร. ระพีพันธุ์ แดงตันกี และคณะ

พฤษภาคม 2553

สัญญาเลขที่ RDG5250031

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์  
โครงการ ขงธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนต้านเชื้อราและแบคทีเรีย  
เพื่อประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ยางในรองเท้า

| คณะผู้วิจัย            | สังกัด                                     |
|------------------------|--------------------------------------------|
| ดร. ระพีพันธ์ แดงตันกี | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| นางสาว รพีภรณ์ ศรีสุข  | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| นางสาว อ้อยใจ คงสำราญ  | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| นางสาว ณิชารีย์ ชาวนา  | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |

ชุดโครงการวิจัยแห่งชาติ : ขงพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)  
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

## บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร

**ชื่อโครงการ** ขางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนด้านเชื้อราและแบคทีเรียเพื่อประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ยางในห้องน้ำ

Processing of antifungi and bacterial natural rubber filled with nano silver products in restroom

## หัวหน้าโครงการ

**ชื่อ-สกุล** ดร. ระพีพันธุ์ แดงตันกี

**หน่วยงาน** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

**ที่อยู่** ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กทม. 10800

**โทรศัพท์** 02-9132500-24 ext. 1558      **โทรสาร** 02-5561306

**E-mail** [rdg@kmutnb.ac.th](mailto:rdg@kmutnb.ac.th)

## นักศึกษาที่ร่วมวิจัย

1. นางสาว รพีภรณ์ ศรีสุข
2. นางสาว อ้อยใจ คงสำราญ
3. นางสาว ณิชารีย์ ชาวนา

## ปัญหาที่ทําวิจัยและความสำคัญ

การนํายางธรรมชาติที่เป็นยางแผ่นไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในห้องนํ้าต่างนํ้าได้พบปัญหาการเกิดเชื้อราและแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์แปรรูปดังกล่าว การศึกษาวิจัยปรับปรุงคุณภาพยางแผ่นขึ้นรูปให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนํามาใช้โดยการเพิ่มสารเติมแต่งลงไปในช่วงก่อนนํามาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อปรับปรุงสมบัติการต้านทานเชื้อราและแบคทีเรีย โดยใช้ซิลเวอร์นาโน (Nano silver) ซึ่งเป็นสารต้านทานเชื้อราและแบคทีเรีย เนื่องจากอนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถเกาะที่ผนังของเชื้อราและแบคทีเรียและแทรกเข้าไปภายในเซลล์ทำให้ไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์และทำให้เชื้อราและแบคทีเรียขาดอาหารและตายในที่สุด ส่งผลให้ยางที่เป็นผลิตภัณฑ์ในห้องนํ้าผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนมีสมบัติการต้านทานต่อเชื้อราและแบคทีเรีย

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาปริมาณของซิลเวอร์นาโนที่เหมาะสมที่ใช้เป็นส่วนผสมในยางแห้งต่อการต้านทานเชื้อราและแบคทีเรีย
2. หาวิธีการผสมที่ทำให้อนุภาคซิลเวอร์นาโนกระจายตัวในยางธรรมชาติได้ดีที่สุด
3. จัดทำต้นแบบผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติต้านเชื้อราและแบคทีเรียที่ประยุกต์ใช้ในห้องนํ้าเป็นแผ่นขึ้นรูปขนาด  $15 \times 15$  ซม.<sup>2</sup>

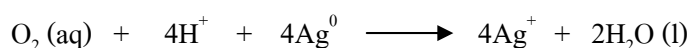
## ผลการดำเนินงาน

การศึกษายางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนด้านเชื้อราและแบคทีเรียเพื่อประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ในห้องนํ้า สามารถทำได้โดยทำการเตรียมยางคอมพาวด์ผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ และยางคอมพาวด์ที่ไม่ผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน โดยใช้เครื่องผสมแบบเปิดสองลูกกลิ้ง จากนั้นนํามาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่อุณหภูมิ  $160^{\circ}\text{C}$  จากนั้นจึงนํายางคงรูปที่ได้ไปทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

1. การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียของยางคงรูป พบว่า ยางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อ *E. coli* ได้ดีกว่าเชื้อ *S. aureus* เนื่องจากเชื้อ *E. coli* เป็นเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ ส่วนเชื้อ *S. aureus* เป็นเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก เชื้อแบคทีเรียทั้งสองมี

ความแตกต่างกันในส่วนของผนังเซลล์ ซึ่งเชื้อ *S. aureus* มีชั้น cross-linked peptidoglycan ที่หนา มาก ทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรง ส่งผลให้อนุภาคซิลเวอร์นาโนแทรกเข้าไปภายในเซลล์ แบคทีเรียที่ยังขึ้นนั่นเอง โดยการใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนความเข้มข้น 100 ppm เป็นความเข้มข้น ที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อราของยางคงรูป พบว่า บนแผ่นยางคงรูปที่เป็น control มี เชื้อราขึ้นเป็นจำนวนมากและไม่พบบริเวณ clear zone ส่วนยางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ไม่มีเชื้อราขึ้นบนแผ่นยาง แต่ไม่พบบริเวณ clear zone แสดงให้เห็น ว่า อนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถกำจัดเชื้อราได้แต่ยังไม่มีประสิทธิภาพมากนัก เนื่องจากไม่พบ บริเวณ clear zone โดยการใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนในระดับความเข้มข้นที่ 50 ppm เป็นความเข้มข้นที่ต่ำที่สุด ที่สามารถกำจัดเชื้อราได้
3. เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย พบว่าการใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* ได้ดีกว่าเชื้อรา *A. niger*, *A. flavus* และ *Penicillium sp.* เนื่องจากอนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถเกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวก โดยอนุภาค จะเกิดการแตกตัวอยู่ในรูป  $Ag^+$  ดังสมการต่อไปนี้



ไอออนเหล่านี้จะเหล่านี้จะเข้าไปเกาะที่ผนังเซลล์แบคทีเรียและแทรกเข้าไปภายในเซลล์ เพื่อจับกับสารกำมะถัน ฟอสฟอรัส ไนโตรเจนและออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น โปรตีน กรด นิวคลีอิกและลิปิด เป็นต้น ทำให้เมแทบอลิซึมของเซลล์แบคทีเรียเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากจนเซลล์ ตายในที่สุด แต่เนื่องจากความแตกต่างของเซลล์เชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย คือ เชื้อแบคทีเรียจัดเป็น เซลล์โปรคาริโอต ส่วนเชื้อราจัดเป็นเซลล์ยูคาริโอต ซึ่งเป็นเซลล์ยูคาริโอตจะมีความซับซ้อนและมีความแข็งแรงมากกว่าเซลล์ของแบคทีเรียซึ่งเป็นเซลล์โปรคาริโอต ดังนั้นเมื่อซิลเวอร์เข้าไปเกาะ กับผนังเซลล์จึงสามารถแทรกเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรียได้ง่ายกว่าเซลล์ของเชื้อรา เป็นผลทำให้ ซิลเวอร์นาโนมีความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าเชื้อรา ดังนั้นจึงเลือกใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนความเข้มข้น 100 ppm ผสมกับยางเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติด้านเชื้อราและ

แบคทีเรีย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติที่ผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนน้อยที่สุดที่มีประสิทธิภาพของการกำจัดเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย

## สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาทางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนด้านเชื้อราและแบคทีเรียเพื่อประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ภายในห้องน้ำ พบว่าจากการศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย จะเห็นได้ว่าการใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* ได้ดีกว่าเชื้อรา *A. niger*, *A. flavus* และ *Penicillium sp.* เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียจัดเป็นเซลล์โปรคาริโอต ส่วนเชื้อราจัดเป็นเซลล์ยูคาริโอต ซึ่งเป็นเซลล์ยูคาริโอตจะมีความซับซ้อนและมีความแข็งแรงมากกว่าเซลล์โปรคาริโอต ส่งผลทำให้ซิลเวอร์สามารถแทรกเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรียได้ง่ายกว่าเซลล์ของเชื้อรา และอนุภาคซิลเวอร์นาโนความเข้มข้น 100 ppm เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการนำไปผสมยางเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติด้านเชื้อราและแบคทีเรียและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

## ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติ

จากการศึกษาทางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนด้านเชื้อราและแบคทีเรีย พบว่าอนุภาคซิลเวอร์นาโนมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อราน้อยกว่าเชื้อแบคทีเรีย ดังนั้นควรมีการศึกษาหาอนุภาคนาโนที่มีประสิทธิภาพในการด้านเชื้อรา มาผสมกับอนุภาคซิลเวอร์นาโน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านเชื้อราและแบคทีเรียต่อไป

## ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

วารสารทางวิชาการระดับชาติหรือระดับนานาชาติ อย่างน้อย 1 ฉบับ

### บทคัดย่อ

การนำยางธรรมชาติไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ นั้นได้พบปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน โดยเกิดเชื้อราและแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์แปรรูปจากยางธรรมชาติ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของยางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนต้านเชื้อราและแบคทีเรียเพื่อประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ยางในห้องน้ำ โดยใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนขนาดเฉลี่ย 50-80 นาโนเมตรนำมาทดสอบกับเชื้อ 5 ชนิด ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* และเชื้อรา *A. niger*, *A. flavus* และ *Penicillium sp.* จากการศึกษาพบว่าการใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรีย (*E. coli* และ *S. aureus*) ได้ดีกว่าเชื้อรา (*A. niger*, *A. flavus* และ *Penicillium sp.*) เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียจัดเป็นเซลล์โพรคาริโอต ส่วนเชื้อราจัดเป็นเซลล์ยูคาริโอต ซึ่งเป็นเซลล์ยูคาริโอตจะมีความซับซ้อนและมีความแข็งแรงมากกว่าเซลล์โพรคาริโอต ส่งผลทำให้ซิลเวอร์สามารถแทรกเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรียได้ง่ายกว่าเซลล์ของเชื้อรา และอนุภาคซิลเวอร์นาโนความเข้มข้น 100 ppm เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการนำไปผสมยางเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติต้านเชื้อราและแบคทีเรีย

### Abstract

Now aday, the problem of fungi and bacteria was found in natural rubber products. This research studied the processing efficiency of antifungal and bacterial natural rubber filled with silver to the application of rubber products in the restroom. Using silver nanoparticles average size 50-80 nm and tested for infection with five types namely *E. coli*, *S. aureus*, *A. niger*, *A. flavus* and *Penicillium sp.*. The study was found that using Silver nanoparticles have more effective in bacterial (*E. coli* and *S. aureus*) than fungi (*A. niger*, *A. flavus* and *Penicillium sp.*). Because of bacterial classified as prokaryote cell, the fungi was classified eukaryotic cell. The prokaryote cell also will have more complex and stronger than eukaryotic cell. Silver can be insert into the bacterial cells more easily than the cells of the fungi. It could be concluded that 100 ppm of silver nanoparticle are the appropriate amount to bring the mixing natural rubber as a model anti-fungal and bacterial rubber.

## เนื้อหา

### 1. ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก ยางผลิตภัณฑ์ยางและผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพารา เป็นสินค้าส่งออกที่สร้างรายได้ให้กับประเทศ โดยประเทศผู้ส่งออกยางหลักของตลาดโลก คือ ไทย อินโดนีเซีย มาเลเซีย และเวียดนาม ประเทศไทยมีการส่งออกยางปริมาณ 2.042 ล้านตันหรือประมาณ 40% ของตลาดการส่งออกยางทั่วโลก ซึ่งประเทศไทยสามารถขยายส่วนแบ่งในตลาดการส่งออกยางโลกได้อีก จากวิกฤติเรื่องของราคาน้ำมันในตลาดโลกที่ไม่แน่นอน ทำให้ยางสังเคราะห์มีราคาไม่แน่นอนเช่นกันความต้องการใช้ยางพาราเพื่อทดแทนยางสังเคราะห์ก็จะเพิ่มมากขึ้น จึงเป็นโอกาสทองของไทยในการที่จะเร่งพัฒนาคุณภาพของ วัตถุดิบยางและผลิตภัณฑ์ยาง นอกจากยางจะเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญแล้ว ปริมาณความต้องการใช้ยางในประเทศก็มีมาก ด้วยปัจจุบันประเทศไทยได้กลายเป็นฐานการผลิตของอุตสาหกรรมยานพาหนะและเป็นผู้ผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์ถุงมือยางรายใหญ่ของโลก ประกอบกับมีการใช้ยางธรรมชาติในอุตสาหกรรมอื่นๆอีกมากมาย อาทิ วงการแพทย์ วงการวิทยาศาสตร์ วงการก่อสร้าง วงการสื่อสาร การขนส่ง ตลอดจนของใช้ต่างๆ ภายในบ้าน อะไหล่รถยนต์ ยางยืด สายพาน รองเท้า ฯลฯ จะเห็นได้ว่าประเทศไทยยังสามารถที่จะเข้าไปทำตลาดในส่วนของผู้ผลิตที่แปรรูปยางอื่นๆได้อีกมาก หนึ่งในนั้นคือผลิตภัณฑ์ยางพาราที่ใช้ในห้องน้ำที่มาจากการขึ้นรูปยางแห้ง

การนำยางธรรมชาติไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆนั้นได้พบปัญหาการเกิดเชื้อราและแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์แปรรูปจากยางธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้จึงมีการคิดโครงการศึกษาวิจัยปรับปรุงคุณภาพยางให้เหมาะสมโดยการเพิ่มสารเติมแต่งลงไปยางธรรมชาติ เพื่อปรับปรุงสมบัติการต้านทานเชื้อราและแบคทีเรีย การศึกษาวิจัยครั้งนี้มุ่งใช้ซิลเวอร์นาโน (Nano silver) เนื่องจากอนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถเกาะที่ผนังของเชื้อราและแบคทีเรียและแทรกเข้าไปภายในเซลล์ทำให้ไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ และทำให้เชื้อราและแบคทีเรียขาดอาหารและตายในที่สุด ส่งผลให้ยางคอมพาวด์ที่ผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนมีสมบัติการต้านทานต่อเชื้อราและแบคทีเรียซึ่งผลงานของโครงการวิจัยนี้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ยางต้านเชื้อราและแบคทีเรียที่ประยุกต์ใช้ในห้องน้ำ นำไปถ่ายทอดความรู้และขยายผลในเชิงพาณิชย์ได้ ทั้งอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยางแปรรูปอื่นๆและยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ยางและพัฒนาศักยภาพทางด้านอุตสาหกรรมในประเทศไทย



## 2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาปริมาณของซิลเวอร์นาโนที่เหมาะสมที่ใช้เป็นส่วนผสมในยางแห้งต่อการต้านทานเชื้อราและแบคทีเรีย
2. หาวิธีการผสมที่ทำให้อนุภาคซิลเวอร์นาโนกระจายตัวในยางธรรมชาติได้ดีที่สุด
3. จัดทำต้นแบบผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติต้านเชื้อราและแบคทีเรียที่ประยุกต์ใช้ในห้อยน้ำเป็นแผ่นขึ้นรูปขนาด  $15 \times 15$  ซม.<sup>2</sup>

## 3. ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ได้ทำการศึกษาของซิลเวอร์นาโนในยางธรรมชาติและพอลิเมอร์ชนิดอื่น ซึ่งได้มีการศึกษาการสังเคราะห์และลักษณะของอนุภาคซิลเวอร์นาโนในยางธรรมชาติ โดยใช้ น้ำยางข้นและน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ซึ่งมีปริมาณเนื้อยางอยู่ 60% นำมาผสมกับซิลเวอร์ไนเตรด โดยเมื่อผสมแล้วน้ำยางจะมีปริมาณของซิลเวอร์อยู่ 0.03% (v/v) จากนั้นนำน้ำยางไปให้แสงยูวีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา Photo reduction พบว่า อนุภาคซิลเวอร์นาโนมีขนาดอนุภาค 4-10 nm และโปรตีนในยางธรรมชาติทำให้อนุภาคซิลเวอร์นาโนในยางธรรมชาติมีความเสถียร [2] ในส่วนของการต้านทานแบคทีเรียของซิลเวอร์นาโนได้มีการศึกษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของพอลิเอไมด์ 6/ซิลเวอร์นาโนและไมโครคอมโพสิต โดยใช้เชื้อ *Escherichia coli* ในการศึกษาที่ปริมาณการเติมในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า พอลิเอไมด์ 6 ที่เติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนปริมาณ 0.06 wt.% สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียหมดภายใน 24 ชั่วโมง พอลิเอไมด์ 6/ซิลเวอร์ ไมโครคอมโพสิตที่มีปริมาณของซิลเวอร์ 1.9 wt.% สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้เพียง 80 % เท่านั้นที่เวลาเหมือนกัน [3] และการศึกษาการต้านเชื้อแบคทีเรียของนาโนคอมโพสิตของซิลเวอร์และเส้นใยเซลลูโลสจากแบคทีเรียหรือผัก โดยเซลลูโลส/ซิลเวอร์นาโนคอมโพสิตเตรียมจากการใช้วิธีการ 2 วิธีที่แตกต่างกัน และเซลลูโลสจากผักและแบคทีเรีย ซึ่งรายละเอียดการศึกษการต้านเชื้อแบคทีเรียของนาโนคอมโพสิตที่ใช้เชื้อ *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* และ *Klebsiella pneumonia* ในการทดสอบ พบว่า เส้นใยเซลลูโลสที่มีอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นต่ำ  $5.0 \times 10^{-4}$  wt.% เป็นนาโนคอมโพสิตที่ต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดี [4] ในการศึกษาเชื้อราจากห้องน้ำและห้องอับชื้น พบว่า มีเชื้อรา 7 ชนิด คือ *Aspergillus flavus* (Group), *Penicillium sp.*, *Fusarium sp.1*, *Fusarium sp.2*, *Phoma sp.*, *Cladosporium sp.* และ *Curvalaria lunata* [1] จากการศึกษาการสังเคราะห์ซิลเวอร์ผสมโคพอลิเมอร์ 2 ชนิดคือ butyl acrylate-co-itaic acid (BuA/IA) และ butyl acrylate-co-maleic acid (BuA/MA) พบว่า สารประกอบ (BuA/IA)Ag และ (BuA/MA)Ag สามารถต้านเชื้อราได้ที่ปริมาณสารประกอบต่างๆ จากความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถต้านเชื้อราของสารประกอบที่ทำการศึกษาครั้งนี้ สารประกอบ (BuA/IA)Ag ความเข้มข้น 0.05 mg/l สามารถ

ต้านเชื้อ *A. flavus*, *F. oxysporum*, *Botrytis allii* และ *Trichoderma reesei* ส่วนความเข้มข้น 0.2 mg/l สามารถต้านเชื้อ *A. niger*, *A. terreus*, *Diplodia oryzae*, *Helminthosporium turcicum*, *Macrophomina phaseoli* และ *Mucor rouxii* NRRL 1894 และสารประกอบ (BuA/MA)Ag ความเข้มข้น 0.05 mg/l สามารถต้านเชื้อ *A. flavus*, *A. terreus*, *B. allii*, *H. turcicum* และ *F. oxysporum* ส่วนความเข้มข้น 0.2 mg/l สามารถต้าน *A. niger*, *D. oryzae*, *M. phaseoli*, *M. rouxii* และ *T. reesei* [5] และการศึกษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของ ซิลเวอร์คอลลอยด์ในซิลิกาเมทริกซ์บนผ้าฝ้าย โดยใช้ซิลเวอร์ความเข้มข้น 48 – 290 ppm ผสม reactive organic-inorganic binder (RB) แล้วนำ Ag-RB มาเคลือบบนผ้าฝ้ายด้วยวิธี Pad-dry-cure และ exhaustion และนำมาทดสอบกับเชื้อราสองชนิด คือ *Aspergillus niger* และ *Chaetomium globosum* และเชื้อแบคทีเรียคือ *Escherichia coli* พบว่า ผ้าฝ้ายเคลือบ Ag-RB ด้วยวิธี Pad-dry-cure ที่ความเข้มข้น 48 และ 52 ppm มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียแต่ไม่สามารถต้านเชื้อราได้ ผ้าฝ้ายเคลือบ Ag-RB ด้วยวิธี exhaustion ที่ความเข้มข้นมากกว่า 100 ppm มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อรา และการเคลือบผ้าฝ้ายด้วยวิธี exhaustion ให้ผลการทดสอบดีกว่าวิธี Pad-dry-cure [6] นอกจากนี้หัวหน้าโครงการวิจัยนี้ยังมีการศึกษาวิธีการสังเคราะห์และการผลิต การนำซิลเวอร์นาโนผสมลงในพอลิเมอร์เป็นมาสเตอร์แบบซิลเวอร์นาโนในพอลิเมอร์ต่างๆ [7] และได้มีการศึกษาผลกระทบในด้านความเป็นพิษต่อเซลล์มนุษย์ รวมถึงประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรีย พบว่า ซิลเวอร์นาโนไม่เป็นพิษต่อเซลล์มนุษย์ [8,9] และยังสามารถต้านทานเชื้อแบคทีเรียได้ [10]

จากงานวิจัยดังกล่าว จึงได้คิดการพัฒนาการผลิตยางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนเพื่อด้านเชื้อราและแบคทีเรีย โดยใช้ยางแห้งและหาปริมาณที่เหมาะสมที่ใช้ผสมในยางแห้ง ในการใช้ซิลเวอร์นาโนผสมลงในยางแห้ง อาจเกิดปัญหาจากการออกซิเดชัน (Oxidation) ทำให้ยางธรรมชาติเกิดการสลายตัว ซึ่งแนวทางในการแก้ไขคือใช้ปริมาณซิลเวอร์นาโนในปริมาณที่น้อยที่สุดโดยยังมียังมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราและแบคทีเรียอยู่และหาความสัมพันธ์ในการต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันและปริมาณซิลเวอร์นาโน ซึ่งคาดว่าซิลเวอร์นาโนในปริมาณเพียงเล็กน้อยไม่มีผลต่อการเกิดการสลายตัวของยางธรรมชาติ อีกปัญหาหนึ่งที่พบคือวิธีการผสมที่ทำให้เกิดการกระจายตัวในการขึ้นรูปยางแห้งให้ดี ซึ่งในปัญหานี้เตรียมการแก้ไขโดยการผสมซิลเวอร์นาโนลงในมาสเตอร์แบบก่อนนำมาผสมในสารประกอบยางธรรมชาติ ในส่วนความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ยางธรรมชาติที่นำมาผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนอาจมีราคาค่อนข้างสูงขึ้น แต่ประสิทธิภาพและความคุ้มค่าจะอยู่ที่คุณลักษณะในการใช้งานที่ดีขึ้น ส่งผลให้ภาพลักษณ์ของห้องน้ำหรือห้องที่อับชื้นมีความสะอาด นอกจากนี้ยังสามารถดัดแปลงให้เข้ากับผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติอื่นๆได้

## 4. วิธีการ

### 4.1 วัสดุ

งานวิจัยนี้ใช้ยางธรรมชาติ (Natural rubber) เกรด STR 5L สารเคมีชนิดอื่นๆ ที่ใช้เป็นองค์ประกอบในการผสมเคมียาง ได้แก่ ชิงก์ออกไซด์ (Zinc oxide) กรดสเตียริก (Stearic acid) ไขพาราฟิน (Paraffin wax) ฌอร์เคปโตเบนโซไทอะโซล (MBT) และกำมะถัน (sulphur) จากบริษัท พอลิเมอร์อินโนเวชัน จำกัด ซิลเวอร์นาโนขนาดอนุภาคเฉลี่ย 50-80 นาโนเมตร เชื้อแบคทีเรีย ได้แก่ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* และเชื้อรา ได้แก่ *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus* และ *Penicillium sp.* จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(วว.)



รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคซิลเวอร์นาโนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)

### 4.2 การเตรียมยางคอมพาวด์และการขึ้นรูป

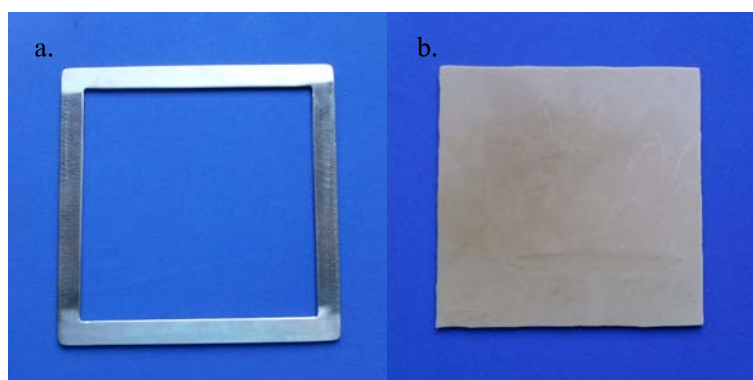
ตารางที่ 1 แสดงสูตรการผสมเคมีที่ใช้ในงานวิจัย หลังการออกสูตรได้ดำเนินการผสมเคมียางโดยใช้เครื่องผสมแบบเปิดสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) ที่อุณหภูมิ 50 °C การผสมแบ่งออกเป็น 2 ช่วงโดยที่ช่วงที่ 1 จะทำการบดยางธรรมชาติเป็นเวลา 7 นาที แล้วจึงรีดยางออกเป็นแผ่นทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นจึงนำยางมาผสมต่อในช่วงที่ 2 โดยทำการเติมชิงก์ออกไซด์ กรดสเตียริก ไขพาราฟิน ซิลเวอร์นาโน ฌอร์เคปโตเบนโซไทอะโซล และกำมะถัน ทำการรีดยางคอมพาวด์ออกจากเครื่องผสมแบบเปิดสองลูกกลิ้งทำให้เย็นที่

อุณหภูมิห้องแล้วนำไปเก็บไว้ในตู้เย็น น่ายางคอมพาวด์ไปทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่อุณหภูมิ  $160^{\circ}\text{C}$  จากนั้นจึงนำยางคงรูปที่ได้ไปทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา

**ตารางที่ 1** สูตรการผสมเคมีของยางคอมพาวด์

| ส่วนประกอบ            | ปริมาณ (phr) |
|-----------------------|--------------|
| ยางธรรมชาติ (STR 5L)  | 100          |
| ซิงก์ออกไซด์          | 4            |
| กรดสเตียริก           | 2            |
| ซิลเวอร์นาโน          | 50-500 ppm   |
| โซฟาราฟิน             | 2            |
| มอร์แคปโตแลนโซโทอะโซล | 0.7          |
| กำมะถัน               | 3            |

หมายเหตุ : phr ( parts per hundred of rubber) คือส่วนของสารต่อยาง 100 ส่วน โดยน้ำหนัก



**รูปที่ 2** a. แม่พิมพ์ขึ้นรูปขนาด  $15 \times 15$  ซม., b. ต้นแบบผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติต้านเชื้อราและแบคทีเรีย

### 4.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย

#### การเจือจางเชื้อ

ทำการเจือจางเชื้อ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus* และ *Penicillium sp.* ตั้งแต่  $10^{-10}$  -  $10^{-15}$  โดยใส่น้ำกลั่น 9 mL ลงในหลอดหัวเชื้อ สบฟลาวด์เจียเชื้อจนร้อนแดง รอให้เย็นลงประมาณ 10–20 วินาที แล้วจุ่มหลอดเจียเชื้อลงในหลอดหัวเชื้อ เพื่อทำการเจียเชื้อ จากนั้นปิเปตเชื้อจากหลอดหัวเชื้อ 1 mL ใสลงในหลอดน้ำกลั่น 9 mL (หลอดแรกมีระดับความเจือจางเป็น  $10^{-10}$ ) และปิเปตเชื้อจากหลอดที่มีความเจือจาง  $10^{-10}$  ปริมาตร 1 mL ใสลงในหลอดน้ำกลั่นอีกหลอด ทำให้ได้ระดับความเจือจางเป็น  $10^{-11}$  ทำการเจือจางเชื้อจนถึงระดับความเจือจาง  $10^{-15}$

#### การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ (อาหารแข็ง)

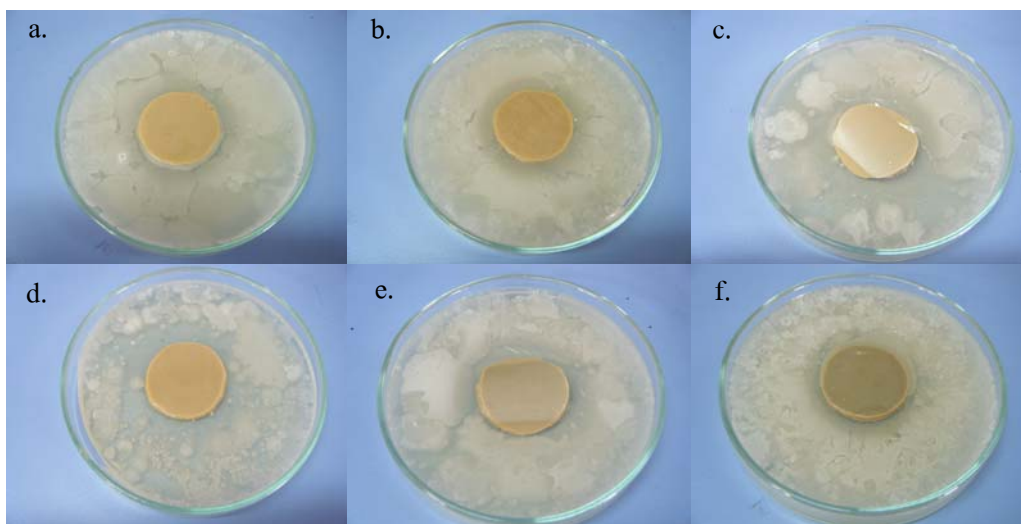
นำ Agar ปริมาณ 15 g ผสมเข้ากับอาหาร NB (สำหรับเชื้อแบคทีเรีย) ปริมาณ 13 g หรือ อาหาร PDB (สำหรับเชื้อรา) ปริมาณ 24 g ใสลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 mL เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 1000 mL คนสารละลายให้เข้ากัน นำไปให้ความร้อนพร้อมทั้งกวนสารละลายตลอดเวลาที่อุณหภูมิประมาณ  $260^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชม. จนได้อาหารหลอมที่มีสีเหลืองเข้มและใส จากนั้นจึงหยุดให้ความร้อน ทิ้งอาหารหลอมไว้จนมีอุณหภูมิประมาณ  $45^{\circ}\text{C}$

#### การทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา

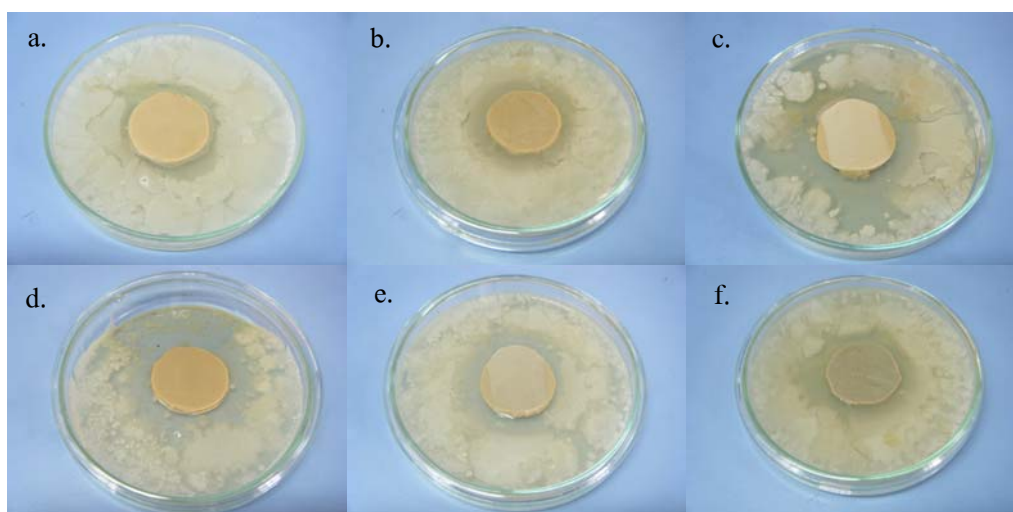
1. นำแผ่นยางรูปมาตรฐานเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 เซนติเมตร จากนั้นให้ทำความสะอาด ทิ้งไว้ให้แห้ง
2. เทอาหารหลอมลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ และวางแผ่นยางที่เตรียมไว้ลงในอาหารหลอมบริเวณตรงกลางของจาน แล้วปิดฝา ทิ้งไว้ให้อาหารเกิดการแข็งตัวมีลักษณะคล้ายวุ้น
3. ทำการถ่ายเชื้อจากหลอดเชื้อในระดับความเจือจางที่ต้องการลงสู่อาหารเลี้ยงเชื้อ โดยใช้เทคนิค Spread Plate
4. นำจานอาหารเลี้ยงเชื้อไปบ่มเชื้อแบบกลับจานในเครื่อง Incubator สำหรับเชื้อแบคทีเรียใช้อุณหภูมิที่  $37^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1-3 วัน ส่วนเชื้อราใช้อุณหภูมิที่  $30^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3–5 วัน
5. เมื่อครบกำหนดระยะเวลาในการบ่มเชื้อ ให้สังเกตลักษณะของเชื้อที่เจริญเติบโตบนแผ่นยาง
6. ทำการทดลองซ้ำเช่นเดียวกัน

## 5. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

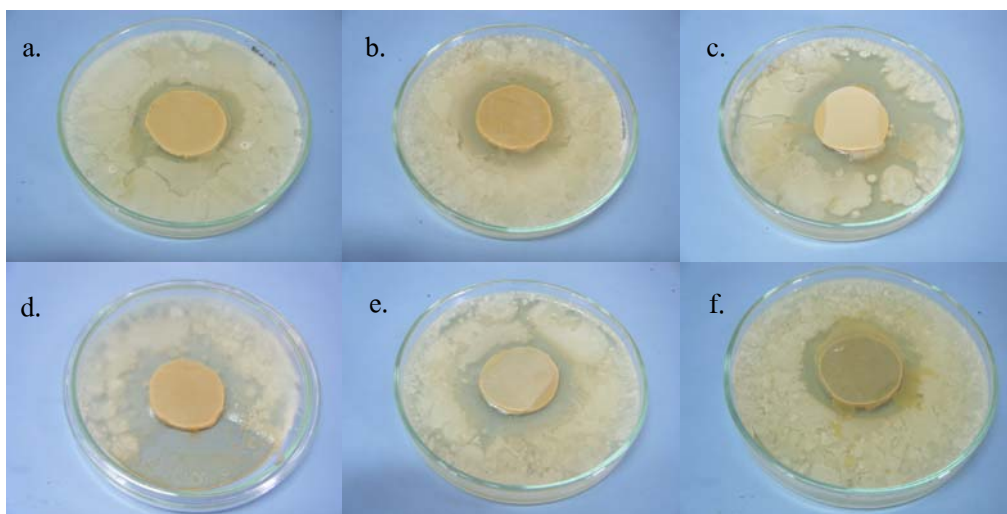
### 5.1 ผลการทดลองประสิทธิภาพของการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus*



รูปที่ 2 ผลิตกัณฑ์ขงหล้งการบ่มเชื้อ *E. coli* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 1 วัน a. Control, b. Ag nano 50 ppm, c. Ag nano 100 ppm, d. Ag nano 200 ppm, e. Ag nano 300 ppm, f. Ag nano 500 ppm

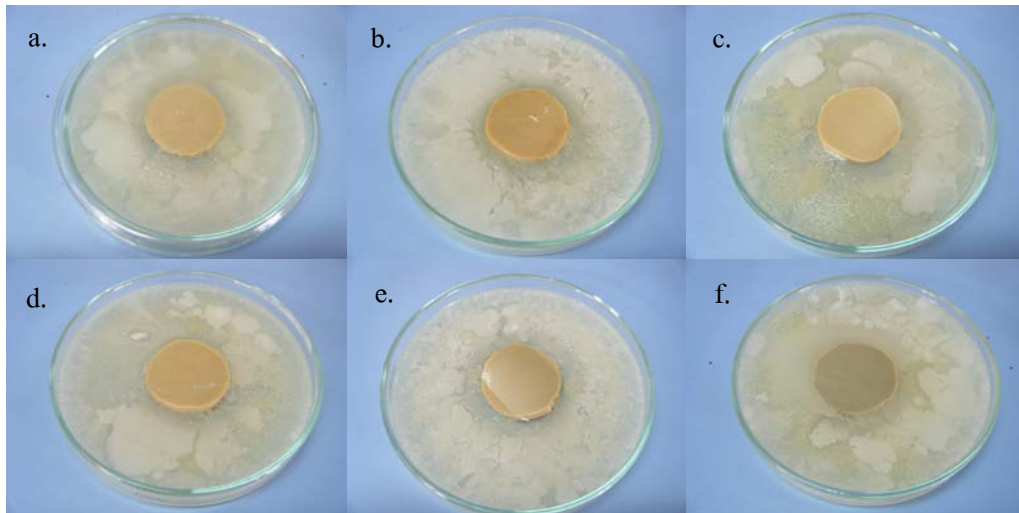


รูปที่ 3 ผลิตกัณฑ์ขงหล้งการบ่มเชื้อ *E. coli* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 2 วัน a. Control, b. Ag nano 50 ppm, c. Ag nano 100 ppm, d. Ag nano 200 ppm, e. Ag nano 300 ppm, f. Ag nano 500 ppm

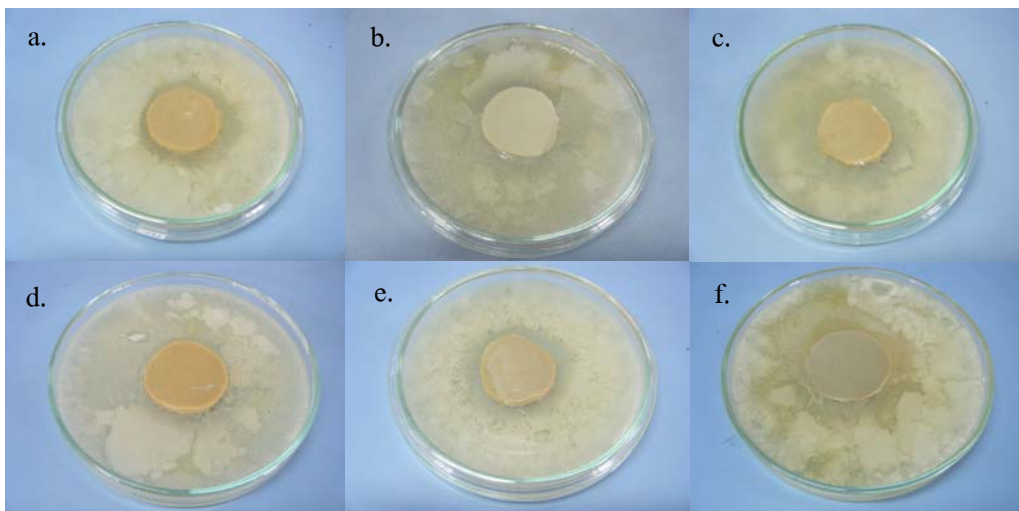


**รูปที่ 4** ผลิตกัณฑ์ยงหลัการบ่มเชื้อ *E.coli* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 3 วัน a. Control, b. Ag nano 50 ppm, c. Ag nano 100 ppm, d. Ag nano 200 ppm, e. Ag nano 300 ppm, f. Ag nano 500 ppm

จากผลการทดลอง เมื่อนำแผ่นยางคงรูปที่มีการผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันมาบ่มเชื้อ *E. coli* เป็นเวลา 1-3 วัน ดังรูปที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่า บนยางคงรูปที่เป็น control ไม่พบบริเวณ clear zone ในส่วนยางคงรูปที่มีการผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนในระดับความเข้มข้น 50 ppm พบว่าไม่พบบริเวณ clear zone แต่ที่ความเข้มข้น 100, 200, 300 และ 500 ppm นั้นมีบริเวณ clear zone เกิดขึ้น และสังเกตเห็น clear zone ได้ไม่ชัดเจนนักในชิ้นงานทดลอง 500 ppm ทั้งนี้อาจเกิดจากความผิดพลาดในการเพาะเลี้ยงเชื้อ จากการทดลองทั้งหมดโดยรวมแล้วแสดงให้เห็นว่ายางคงรูปดังกล่าว สามารถกำจัดเชื้อ *E. coli* ได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในเวลา 1- 3 วัน โดยความเข้มข้นที่ 100 ppm เป็นความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดในการทดลองที่สามารถกำจัดเชื้อ *E. coli* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

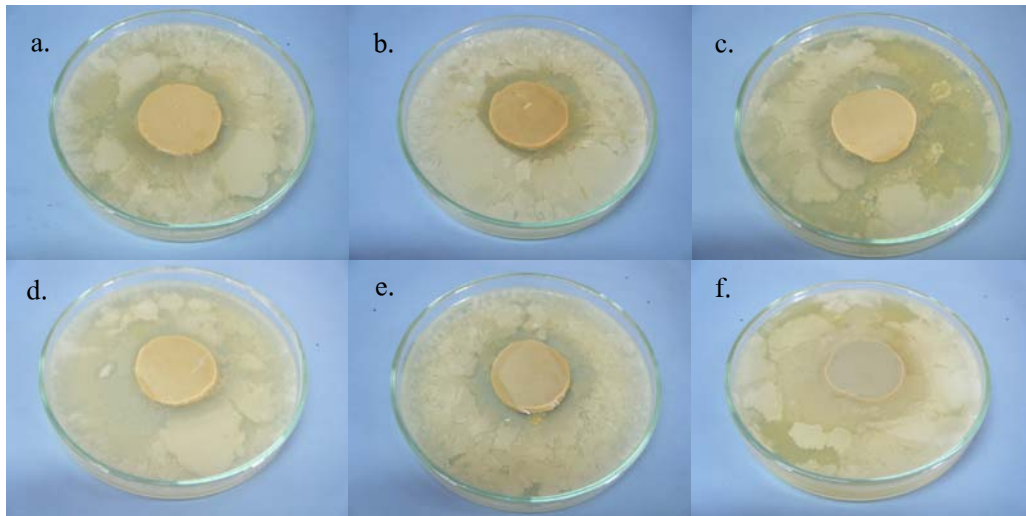


รูปที่ 5 ผลกระทบของการบ่มเชื้อ *S. aureus* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 1 วัน a. Control, b. Ag nano 50 ppm, c. Ag nano 100 ppm, d. Ag nano 200 ppm, e. Ag nano 300 ppm, f. Ag nano 500 ppm

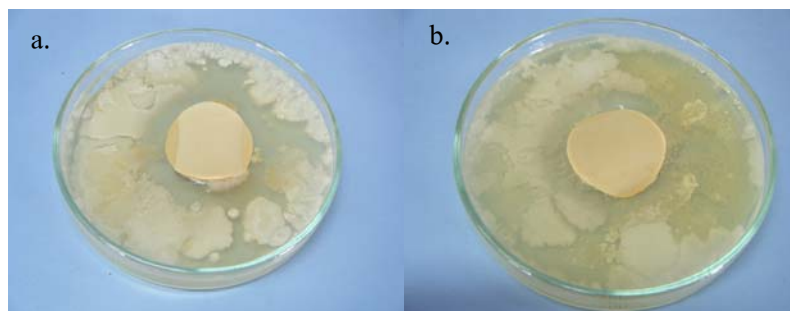


รูปที่ 6 ผลกระทบของการบ่มเชื้อ *S. aureus* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 2 วัน a. Control, b. Ag nano 50 ppm, c. Ag nano 100 ppm, d. Ag nano 200 ppm, e. Ag nano 300 ppm, f. Ag nano 500 ppm





รูปที่ 7 ผลิตกัณฑ์ยงหลังการบ่มเชื้อ *S. aureus* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 3 วัน a. Control, b. Ag nano 50 ppm, c. Ag nano 100 ppm, d. Ag nano 200 ppm, e. Ag nano 300 ppm, f. Ag nano 500 ppm



รูปที่ 8 ผลิตกัณฑ์ยงผสมซิลเวอร์นาโนความเข้มข้น 100 ppm หลังการบ่มเชื้อแบคทีเรียที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 3 วัน a. *E. coli*, b. *S. aureus*

**ตารางที่ 2** ผลการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM E 2149-01 ของผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติไม่ผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน (control)

| CONTACT TIME HOUR | <i>S. aureus</i><br>CFU/SAMPLE | <i>E. coli</i><br>CFU/SAMPLE |
|-------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 0 HOUR            | $8.5 \times 10^5$              | $1.1 \times 10^5$            |
| 1 HOUR            | $5.6 \times 10^5$              | $8.1 \times 10^4$            |
| % REDUCTION       | 34.14                          | 26.36                        |

\* Intertek Testing Services (Thailand) Limited

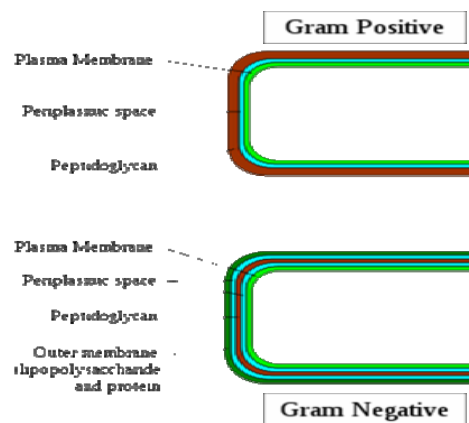
**ตารางที่ 3** ผลการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM E 2149-01 ของผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ความเข้มข้น 100 ppm

| CONTACT TIME HOUR | <i>S. aureus</i><br>CFU/SAMPLE | <i>E. coli</i><br>CFU/SAMPLE |
|-------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 0 HOUR            | $8.5 \times 10^5$              | $1.1 \times 10^5$            |
| 1 HOUR            | $5.2 \times 10^5$              | $7.3 \times 10^4$            |
| % REDUCTION       | 38.82                          | 33.64                        |

\* Intertek Testing Services (Thailand) Limited

จากผลการทดลอง เมื่อนำแผ่นยางคงรูปที่มีการผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันมาบ่มเชื้อ *S. aureus* เป็นเวลา 1-3 วัน ดังรูปที่ 4, 5 และ 6 ตามลำดับ พบว่า ยางคงรูปที่เป็น control มีไม่พบบริเวณ clear zone zone ในส่วนยางคงรูปที่มีการผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนในระดับความเข้มข้น 50 ppm พบว่าไม่พบบริเวณ clear zone แต่ที่ความเข้มข้น 100, 200, 300 และ 500 ppm นั้นมีบริเวณ clear zone เกิดขึ้น และเห็นได้อย่างชัดเจนที่ความเข้มข้น 100 ppm แสดงให้เห็นว่ายางคงรูปดังกล่าวสามารถกำจัดเชื้อ *S. aureus* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภายในเวลา 1-3 วัน โดยความเข้มข้นที่ 100 ppm เป็นความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดในการทดลอง ที่สามารถกำจัดเชื้อ *S. aureus* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อเปรียบเทียบกับการนำไปบ่มเชื้อ *E. coli* ในช่วงระยะเวลาเดียวกัน พบว่า ในยางคงรูปที่มีการผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนความเข้มข้น 100 ppm (ตามรูปที่ 8 และตารางที่ 2 และ 3) อนุภาคซิลเวอร์นาโนมี

ประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อ *E. coli* ได้ดีกว่าเชื้อ *S. aureus* เนื่องจากเชื้อ *E. coli* เป็นเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ ส่วนเชื้อ *S. aureus* เป็นเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก เชื้อแบคทีเรียทั้งสองมีความแตกต่างกันในส่วน of ผนังเซลล์ โดยเชื้อแบคทีเรียแกรมลบจะมีชั้น cross-linked peptidoglycan ที่บางกว่าแบคทีเรียแกรมบวกมาก ดังรูปที่ 9

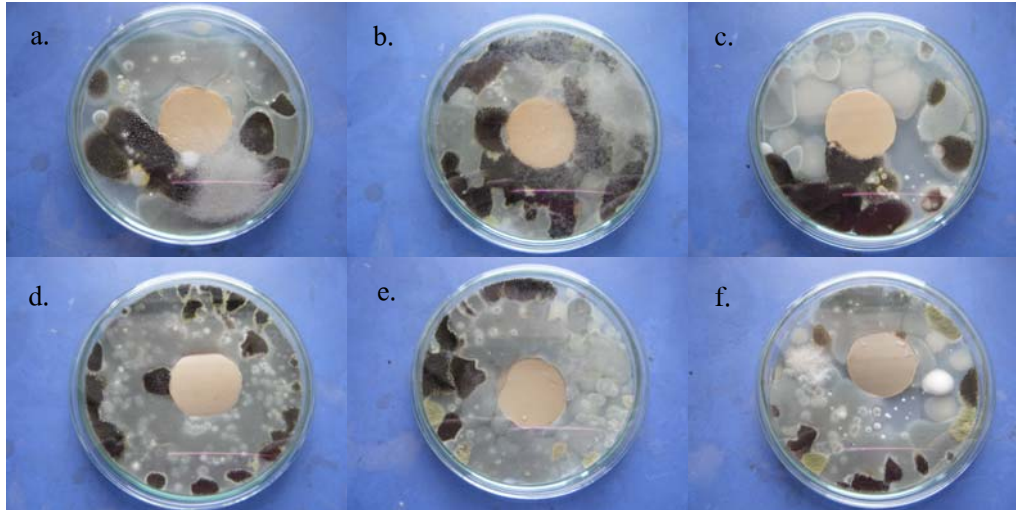


รูปที่ 9 ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ

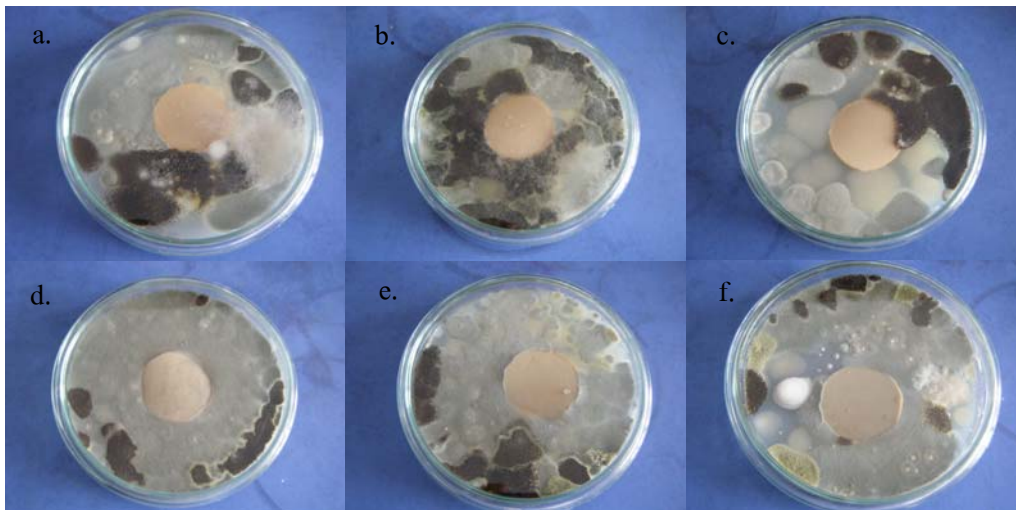
[ From : <http://liveonearth.livejournal.com/237213.html> (Gram positive , 2008) ]

ชั้น cross-linked peptidoglycan มีความสำคัญในการสร้างความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์ ช่วยในการป้องกันสิ่งต่างๆที่อยู่ภายในเซลล์แบคทีเรีย ดังนั้นเมื่อเชื้อ *S. aureus* มีชั้น cross-linked peptidoglycan ที่หนามาก ทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรง ส่งผลให้อนุภาคซิลเวอร์นาโนแทรกเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรียยากยิ่งขึ้นนั่นเอง

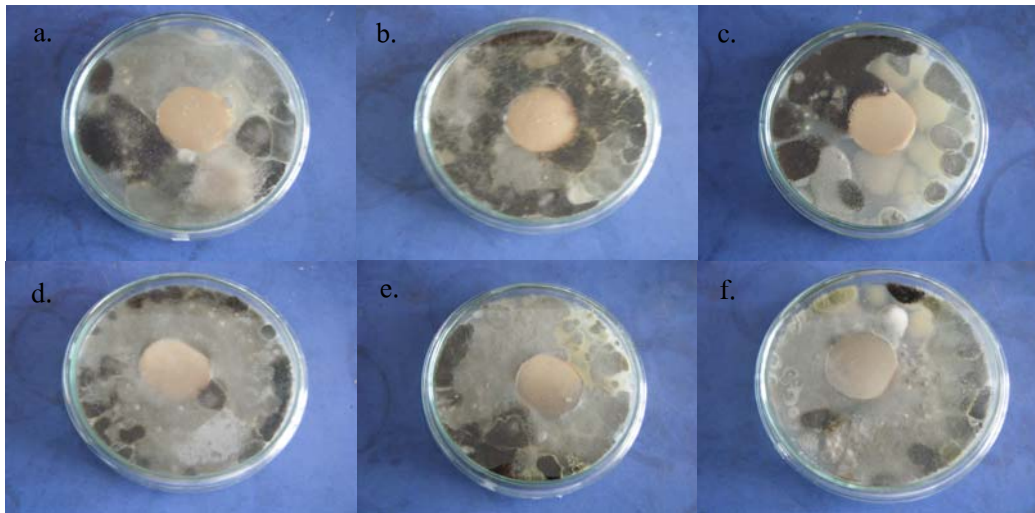
5.2 ผลการทดลองประสิทธิภาพของการกำจัดเชื้อรา *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus* และ *Penicillium sp.*



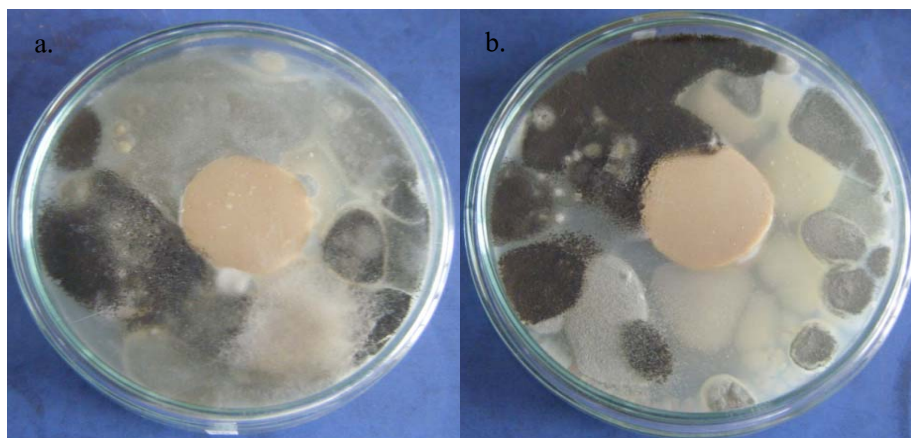
รูปที่ 10 ผลผลิตก้นถังหลังการบ่มเชื้อ *A. niger* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 3 วัน a. Control, b. Ag nano 50 ppm, c. Ag nano 100 ppm, d. Ag nano 200 ppm, e. Ag nano 300 ppm, f. Ag nano 500 ppm



รูปที่ 11 ผลผลิตก้นถังหลังการบ่มเชื้อ *A. niger* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 4 วัน a. Control, b. Ag nano 50 ppm, c. Ag nano 100 ppm, d. Ag nano 200 ppm, e. Ag nano 300 ppm, f. Ag nano 500 ppm



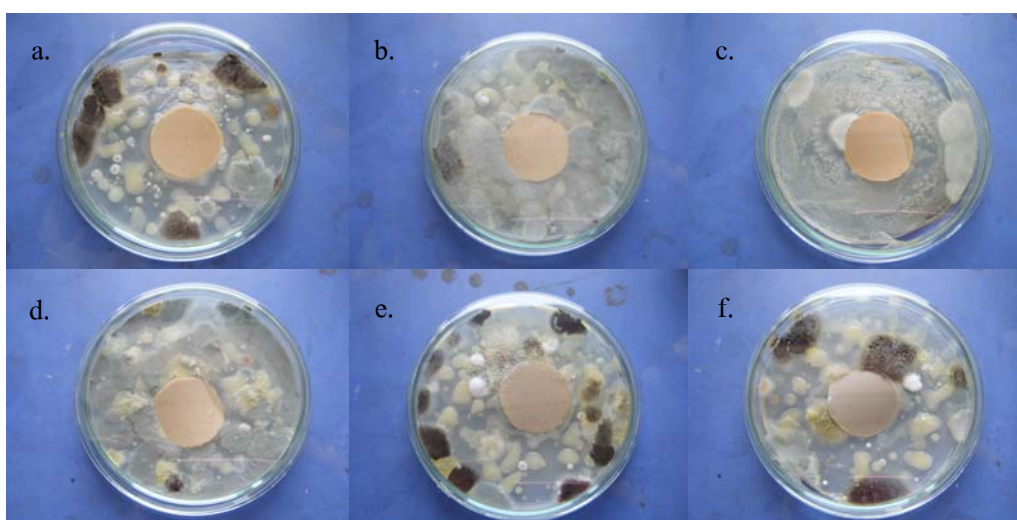
รูปที่ 12 ผลิตกัณฑ์ขางหลัการบ่มเชื้อ *A. niger* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 6 วัน a. Control, b. Ag nano 50 ppm, c. Ag nano 100 ppm, d. Ag nano 200 ppm, e. Ag nano 300 ppm, f. Ag nano 500 ppm



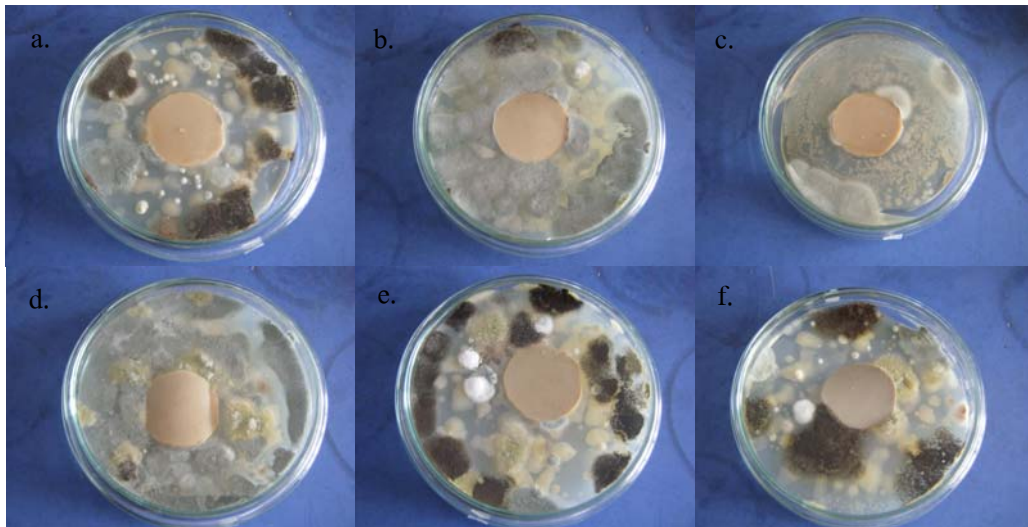
รูปที่ 13 ผลิตกัณฑ์ขางหลัการบ่มเชื้อ *A. niger* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 6 วัน a. Control, b. Ag nano 100 ppm



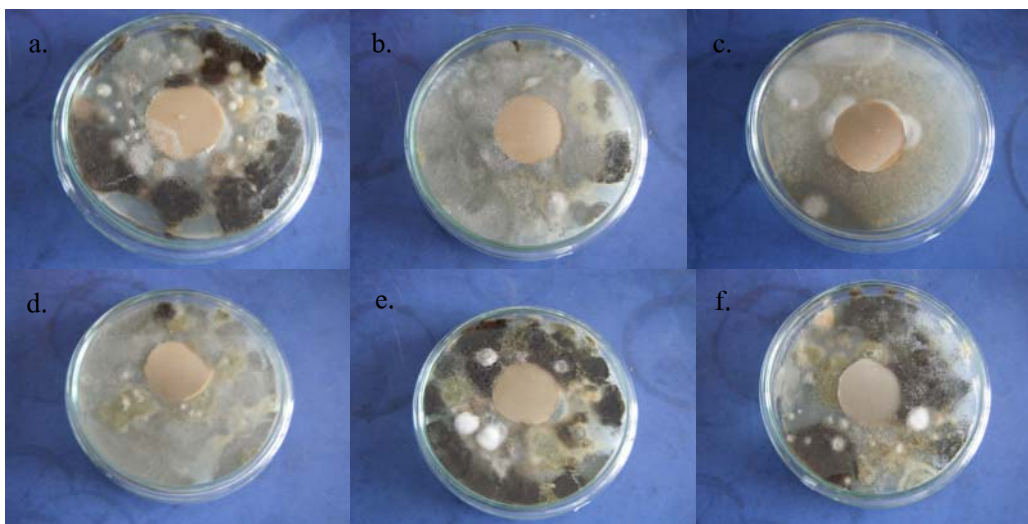
จากผลการทดลอง เมื่อนำแผ่นยางคงรูปที่มีการผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันมาบ่มเชื้อ *A. niger* เป็นเวลา 3 - 6 วัน ดังรูปที่ 10, 11, 12 และ 13 ตามลำดับ พบว่า บนแผ่นยางคงรูปที่เป็น control มีเชื้อขึ้นเป็นจำนวนมากและไม่พบบริเวณ clear zone วัน ส่วนแผ่นผลิตภัณฑ์อื่นๆ พบว่า ไม่มีเชื้อขึ้นบนแผ่นแต่ไม่พบบริเวณ clear zone แสดงให้เห็นว่า แผ่นยางคงรูปที่มีการผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนในระดับความเข้มข้นได้แก่ 50, 100, 200, 300 และ 500 ppm สามารถกำจัดเชื้อ *A. niger* ได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในเวลา 3-6 โดยความเข้มข้นที่ 100 ppm เป็นความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดในการทดลองที่สามารถกำจัดเชื้อ *A. niger* ได้อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากยางคงรูปที่มีการผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนความเข้มข้น 50 ppm มีเชื้อเติบโตขึ้นอย่างหนาแน่น



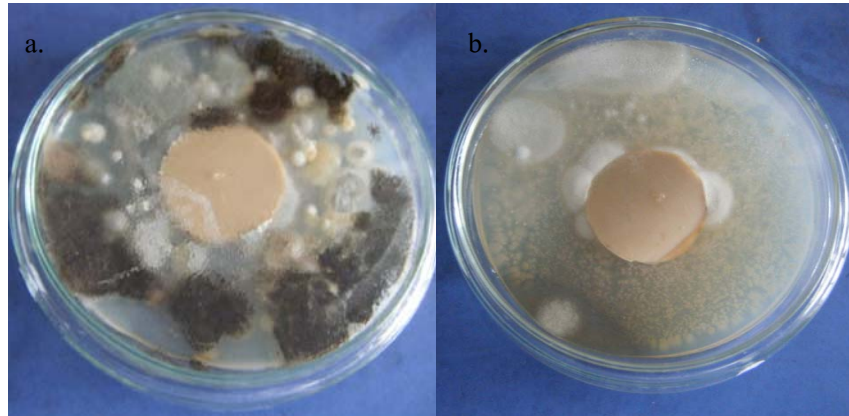
รูปที่ 14 ผลผลิตทางหลังจากการบ่มเชื้อ *A. flavus* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 3 วัน a. Control, b. Ag nano 50 ppm, c. Ag nano 100 ppm, d. Ag nano 200 ppm, e. Ag nano 300 ppm, f. Ag nano 500 ppm



รูปที่ 15 ผลิตกัณฑ์ขยงหลััการบ่มเชื้อ *A. flavus* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นวเวลา 4 วัน a. Control, b. Ag nano 50 ppm, c. Ag nano 100 ppm, d. Ag nano 200 ppm, e. Ag nano 300 ppm, f. Ag nano 500 ppm



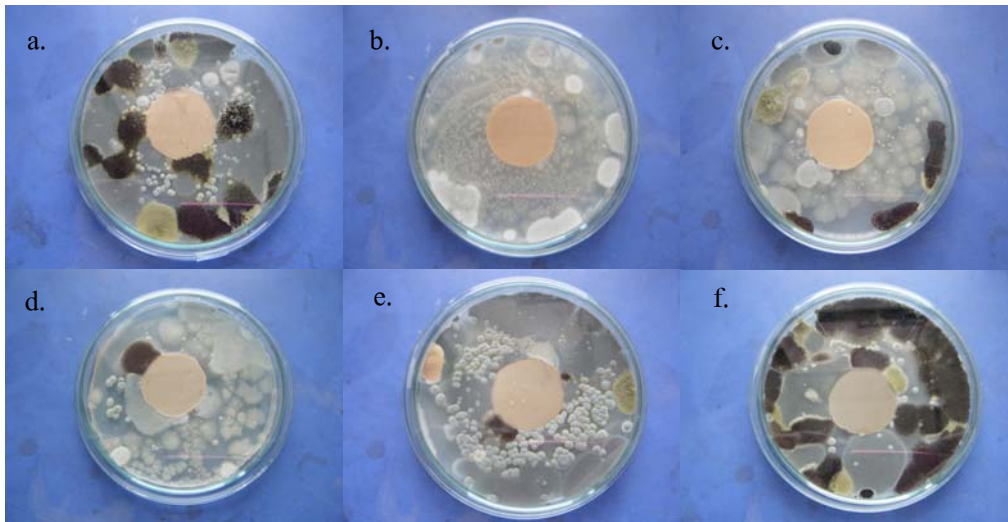
รูปที่ 16 ผลิตกัณฑ์ขยงหลััการบ่มเชื้อ *A. flavus* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นวเวลา 6 วัน a. Control, b. Ag nano 50 ppm, c. Ag nano 100 ppm, d. Ag nano 200 ppm, e. Ag nano 300 ppm, f. Ag nano 500 ppm



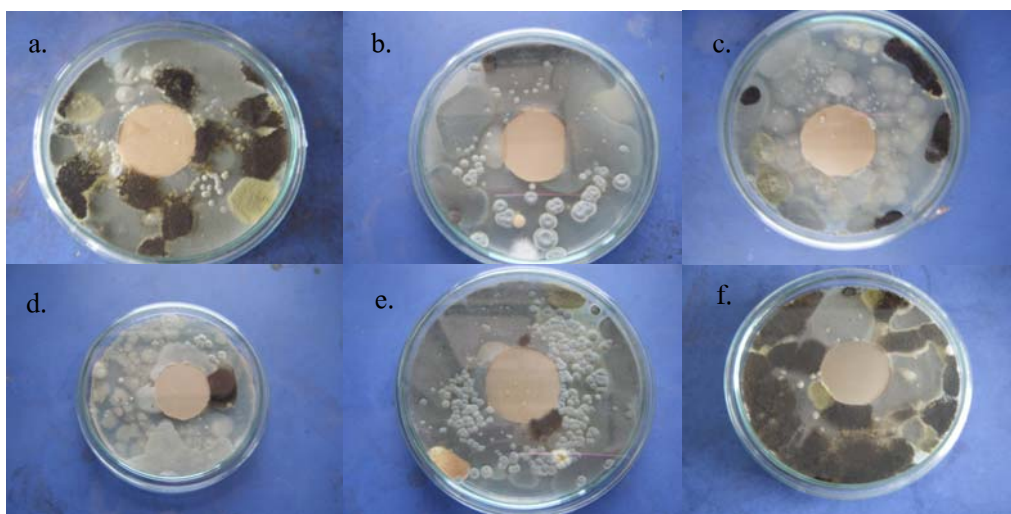
รูปที่ 17 ผลผลิตที่ยังหลงเหลือ *A. flavus* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 6 วัน a. Control, b. Ag nano 100 ppm

จากผลการทดลอง เมื่อนำแผ่นยางคงรูปที่มีการผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันมาบ่มเชื้อ *A. flavus* เป็นเวลา 3 - 6 วัน ดังรูปที่ 14, 15, 16 และ 17 ตามลำดับ พบว่า บนแผ่นยางคงรูปที่เป็น control มีเชื้อขึ้นเป็นจำนวนมากและไม่พบบริเวณ clear zone ส่วนแผ่นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีการผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนในระดับความเข้มข้นได้แก่ 50, 100, 200, 300 และ 500 ppm พบว่า ไม่มีเชื้อขึ้นบนแผ่นแต่ไม่พบบริเวณ clear zone แสดงให้เห็นว่า อนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถกำจัดเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนในระดับความเข้มข้นที่ 50 ppm เป็นความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดในการทดลอง ที่สามารถกำจัดเชื้อ *A. flavus* ได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในเวลา 3-6 วัน

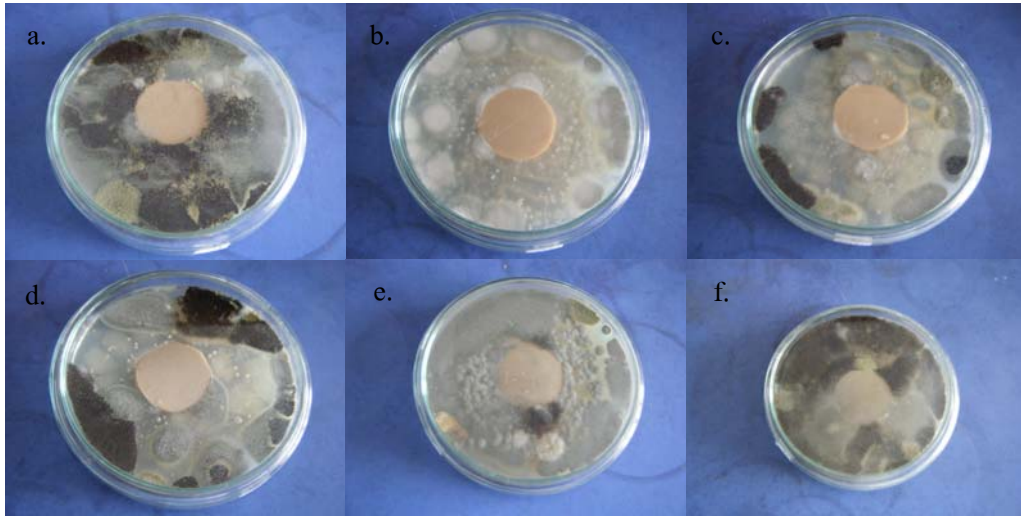




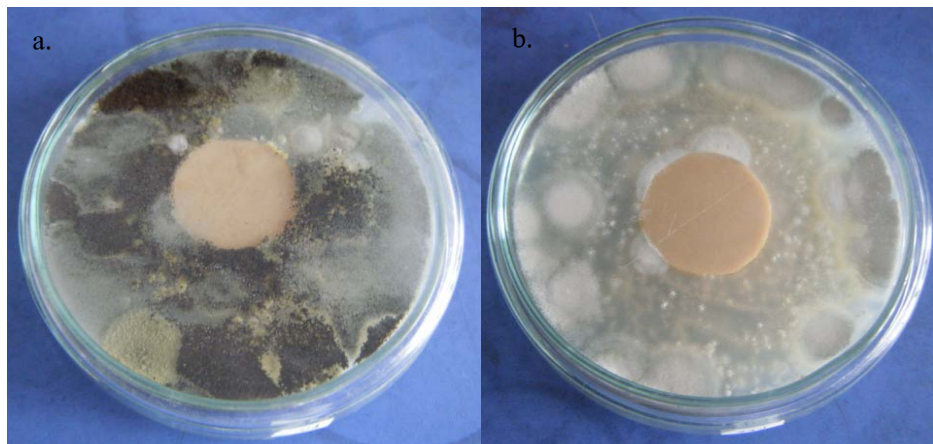
รูปที่ 18 ผลิตกัณฑ์ยงหลังการบ่มเชื้อ *Penicillium sp.* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 3 วัน a. Control, b. Ag nano 50 ppm, c. Ag nano 100 ppm, d. Ag nano 200 ppm, e. Ag nano 300 ppm, f. Ag nano 500 ppm



รูปที่ 19 ผลิตกัณฑ์ยงหลังการบ่มเชื้อ *Penicillium sp.* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 4 วัน a. Control, b. Ag nano 50 ppm, c. Ag nano 100 ppm, d. Ag nano 200 ppm, e. Ag nano 300 ppm, f. Ag nano 500 ppm



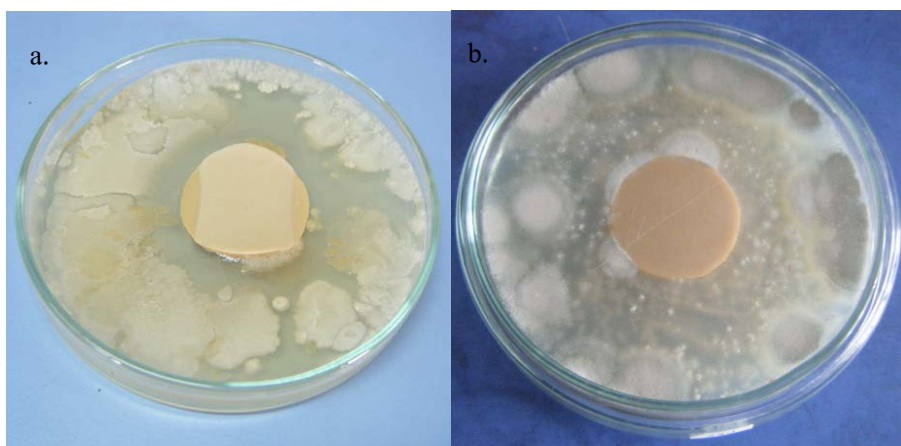
รูปที่ 20 ผลผลิตทางหลังจากการบ่มเชื้อ *Penicillium sp.* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 6 วัน a. Control, b. Ag nano 50 ppm, c. Ag nano 100 ppm, d. Ag nano 200 ppm, e. Ag nano 300 ppm, f. Ag nano 500 ppm



รูปที่ 21 ผลผลิตทางหลังจากการบ่มเชื้อ *Penicillium sp.* ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  เป็นเวลา 6 วัน a. Control, b. Ag nano 100 ppm

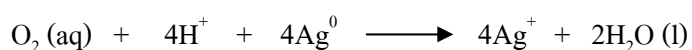
จากผลการทดลอง เมื่อนำแผ่นยางคกรูปที่มีการผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันมาบ่มเชื้อ *Penicillium sp.* เป็นเวลา 3 - 6 วัน ดังรูปที่ 18, 19, 20 และ 21 ตามลำดับ พบว่า บนแผ่นยางคกรูปที่เป็น control มีเชื้อขึ้นเป็นจำนวนมากและไม่พบบริเวณ clear zone ส่วนแผ่นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีการผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนในระดับความเข้มข้นได้แก่ 50, 100, 200, 300 และ 500 ppm พบว่า

ไม่มีเชื้อขึ้นบนแผ่นแต่ไม่พบบริเวณ clear zone แสดงให้เห็นว่า อนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถกำจัดเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนในระดับความเข้มข้นที่ 50 ppm เป็นความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดในการทดลอง ที่สามารถกำจัดเชื้อ *Penicillium sp.* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภายในเวลา 3-6 วัน



รูปที่ 22 ผลิตกัณฑ์ยงผสมซิลเวอร์นาโนหลังการบ่มเชื้อที่ระดับความเจือจาง  $10^{-13}$  a. *E.coli*, b. *Penicillium sp.*

ในการศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย จะเห็นได้ว่าการใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* ได้ดีกว่าเชื้อรา *A. niger*, *A. flavus* และ *Penicillium sp.* (ตามรูปที่ 22) เนื่องจากอนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถเกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวก โดยอนุภาคจะเกิดการแตกตัวอยู่ในรูป  $Ag^+$  ดังสมการต่อไปนี้



ไอออนเหล่านี้จะเหล่านี้จะเข้าไปเกาะที่ผนังเซลล์แบคทีเรียและแทรกเข้าไปภายในเซลล์เพื่อจับกับสารก่ามะถัน ฟอสฟอรัส ไนโตรเจนและออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิกและลิปิด เป็นต้น ทำให้เมตาบอลิซึมของเซลล์แบคทีเรียเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากจนเซลล์ตายในที่สุด แต่เนื่องจากความแตกต่างของเซลล์เชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย คือ เชื้อแบคทีเรียจัดเป็นเซลล์โพรคาริโอต ส่วนเชื้อราจัดเป็นเซลล์ยูคาริโอต ซึ่งความแตกต่างของเซลล์สองชนิดเป็นดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** แสดงความแตกต่างของเซลล์โปรคาริโอตและเซลล์ยูคาริโอต

| ลักษณะ                                                             | เซลล์โปรคาริโอต                                                                                                                                                                                                                       | เซลล์ยูคาริโอต                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| กลุ่มสิ่งมีชีวิต                                                   | แบคทีเรีย สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน                                                                                                                                                                                                    | สาหร่าย รา โปรโตซัว พืช สัตว์                                                                                                                     |
| ขนาด                                                               | 1-2 ไมโครเมตรหรือเล็กกว่านี้                                                                                                                                                                                                          | เส้นผ่านศูนย์กลาง มากกว่า 5 ไมโครเมตร                                                                                                             |
| โครงสร้างนิวเคลียส                                                 | ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส                                                                                                                                                                                                               | มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส                                                                                                                              |
| นิวเคลียร์เมมเบรน<br>(nuclear membrane)                            | ไม่มี                                                                                                                                                                                                                                 | มี                                                                                                                                                |
| ผนังเซลล์                                                          | ยูแบคทีเรีย(eubacteria)<br>มีผนังเซลล์ ประกอบด้วย<br>-เพปติโดไกลแคน<br>(peptidoglycan)<br>-อาร์เคียแบคทีเรีย<br>(archaeobacteria)<br>มีผนังเซลล์ ประกอบด้วย<br>โปรตีน คาร์โบไฮเดรตที่<br>ซับซ้อน หรือโมเลกุลที่<br>คล้ายเพปติโดไกลแคน | - เซลล์พืช สาหร่าย และรา มี<br>ผนังเซลล์ประกอบด้วย<br>เซลลูโลส (cellulose) หรือ<br>ไคติน (chitin)<br><br>-เซลล์สัตว์และโปรโตซัว<br>ไม่มีผนังเซลล์ |
| เอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง<br>กับกระบวนการหายใจ<br>และระบบถ่ายเทออกซิเจน | อยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์                                                                                                                                                                                                                 | อยู่ที่ไมโทคอนเดรีย                                                                                                                               |
| การสังเคราะห์แสง                                                   | เกิดที่เยื่อหุ้มเซลล์                                                                                                                                                                                                                 | เกิดที่คลอโรพลาสต์                                                                                                                                |

[From: [www.rmutphysics.com](http://www.rmutphysics.com) ]

จะเห็นได้ว่าเซลล์ของเชื้อราซึ่งเป็นเซลล์ยูคาริโอตจะมีความซับซ้อนและมีความแข็งแรงมากกว่าเซลล์ของแบคทีเรียซึ่งเป็นเซลล์โปรคาริโอต ดังนั้นเมื่อซิลเวอร์เข้าไปเกาะกับผนังเซลล์จึงสามารถแทรกเข้า

ไปภายในเซลล์แบคทีเรียได้ง่ายกว่าเซลล์ของเชื้อรา เป็นผลทำให้ซิลเวอร์นาโนมีความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าเชื้อรา

## 6. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากผลการวิจัยในแง่ของประสิทธิภาพ ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณความเข้มข้น 100 ppm สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด ทั้งเชื้อแบคทีเรียที่เป็นแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นหากพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แล้ว ยางธรรมชาติที่เป็นยางปูพื้นในห้องน้ำ ขนาด 1×1 ตารางฟุต

ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติด้านเชื้อราและแบคทีเรีย ขนาด 1×1 ตารางฟุต มีน้ำหนักประมาณ 260 กรัม ใช้ซิลเวอร์นาโน 1.3 มิลลิลิตร โดยการผลิตซิลเวอร์นาโนมีต้นทุนดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ต้นทุนของซิลเวอร์นาโน 100 มิลลิลิตร

| ส่วนประกอบหลัก             | ราคา (บาท) |
|----------------------------|------------|
| Silver 2 g.                | 50         |
| Polyvinylpyrrolidone (PVP) | 10         |
| Ethylene glycol            | 2          |
| <b>รวม</b>                 | <b>62</b>  |

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าซิลเวอร์มีส่วนสำคัญต่อราคาค้นทุนของซิลเวอร์นาโน และซิลเวอร์นาโนจำนวน 1.3 มิลลิลิตร คิดเป็นเงิน 0.81 บาท ดังนั้นเมื่อเราทำการผลิตผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติด้านเชื้อราและแบคทีเรีย ขนาด 1×1 ตารางฟุต จะมีต้นทุนเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.81 บาท ซึ่งการผลิตผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติด้านเชื้อราและแบคทีเรียเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่เป็นยางปูพื้นในห้องน้ำและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

## 7. สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาทางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนด้านเชื้อราและแบคทีเรียเพื่อประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ภายในห้องน้ำ พบว่าจากการศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย จะเห็นได้ว่าการใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* ได้ดีกว่าเชื้อรา *A. niger*, *A. flavus* และ *Penicillium sp.* เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียจัดเป็นเซลล์โปรคาริโอต ส่วนเชื้อราจัดเป็นเซลล์ยูคาริโอต ซึ่งเป็นเซลล์ยูคาริโอตจะมีความซับซ้อนและมีความแข็งแรงมากกว่าเซลล์โปรคาริโอต ส่งผลทำให้ซิลเวอร์สามารถแทรกเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรียได้ง่ายกว่าเซลล์ของเชื้อรา และอนุภาคซิลเวอร์นาโนความเข้มข้น 100 ppm เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการนำไปผสมยางเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติด้านเชื้อราและแบคทีเรียและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

## 8. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนด้านเชื้อราและแบคทีเรีย พบว่าอนุภาคซิลเวอร์นาโนมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อราน้อยกว่าเชื้อแบคทีเรีย ดังนั้นควรมีการศึกษาหาอนุภาคนาโนที่มีประสิทธิภาพในการด้านเชื้อรามาสวมกับอนุภาคซิลเวอร์นาโน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านเชื้อราและแบคทีเรียต่อไป

## 9. เอกสารอ้างอิง

- [1] อุไรวรรณ ดิลกคุณานันท์ และคณะ, การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 38
- [2] Abu Baker, N.H.H., Ismail J., and Abu Baker, M., Materials Chemistry and Physics, 104 (2007) 276-283.
- [3] Damm, C., Munstedt, H. and Rosch, A., Materials Chemistry and Physics, 108 (2008) 61-66.
- [4] J.B. Pinto, R., A.A.P. Marques, P., Pascoal Neto, C., Tridade, T., Daina, S. and Sadocco, P., Acta Biomaterialia, 5 (2009) 2279-2289.
- [5] L. Kansoh, A., Youssef, E.A.M. and Abd-El-Ghaffar, M.A., Biotechnology Agronomy Society and Environment 12 (2008) 231-238.

- [6] Tomšić, B., Simoncic, B., Orel, B., Zerjav, M., Schroers, H., Simoncic A. and Samardzija, Z., Carbohydrate Polymers, 75 (2009) 618-626.
- [7] ระพีพันธุ์ แดงตันกิ และ นัฏรแก้ว จันทราภรณ์, 2552 การผลิตพอลิเมอร์แม่แบบผสมเงินที่เป็นอนุภากระดับนาโนเมตร สิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 0901000461
- [8] Cytotoxicity test report, February 16, 2009. Ag-Nanopolymer masterbatch, Bioassay Laboratory, BIOTCEH, NSTDA, Thailand.
- [9] Cytotoxicity test report, February 16, 2009. Ag-Nanopolymer film, Bioassay Laboratory, BIOTCEH, NSTDA, Thailand.
- [10] Anti-bacterial test report, February 23, 2009. Ag-Nanopolymer film, Bioassay Laboratory, BIOTCEH, NSTDA, Thailand.

### รายละเอียดการปรับปรุง / แก้ไขรายงาน

“ยางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนต้านเชื้อราและแบคทีเรีย

เพื่อประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ภายในห้องน้ำ”

สัญญาเลขที่ RDG5250031

| ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ชี้แจงโดยนักวิจัย                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><u>ความเห็นด้านวิชาการ (Technical)</u></p> <p>1. การสรุปรายงาน เห็นภาพไม่ชัดเจน และไม่น่าจะถูกต้อง ควรปรับปรุง เช่น</p> <p>1.1 รูปที่ 3-5 ผลลักษณะหลังการบ่มเชื้อ E. coli ที่ความเข้มข้น 500 ppm ไม่พบ clear zone แต่นักวิจัยกล่าวว่า clear zone มีตั้งแต่ที่ความเข้มข้น 100-500 ppm</p> <p>1.2 ส่วนเชื้อ S. aureus ก็เช่นกัน รูปที่ 6-8 เห็น clear zone ชัดเจนเฉพาะรูปที่ 9 ส่วนรูปที่ 8 clear zone เห็นชัดเจนที่ความเข้มข้น 100 ppm เท่านั้น</p> <p>1.3 ตรวจสอบการสรุปและอธิบายผลการทดลองหน้า 23-26 ให้สอดคล้องกับรูปที่แสดง เนื่องจากที่ปรากฏในรูปที่ 15-23 นั้น รูปที่ 15b, 19b, 21b, 22b และ 23b เท่านั้นที่ค่อนข้างชัดเจนว่าไม่มีเชื้อรา</p> <p>2. เพิ่มเติมการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์</p> | <p>1.1 เพิ่มเติมในหน้าที่ 15</p> <p>1.2 เพิ่มเติมในหน้าที่ 18</p> <p>1.3 ในงานวิจัยได้ตรวจสอบผลของเชื้อราที่ขึ้นบนชิ้นงานเท่านั้น ส่วนเชื้อราที่เจริญเติบโตภายในงานเพาะเชื้อไม่ได้มีส่วนเข้ามาเกี่ยวข้องในการอภิปรายผลการทดลอง</p> <p>2. เพิ่มเติมในหน้าที่ 29</p> |