



การสังเคราะห์ และตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย  
ของอนุภาคนาโนเงินที่สังเคราะห์โดยวิธีลดชั้นทางเคมี

(Synthesis and characterization of physical and antimicrobial properties of  
silver nanoparticles synthesis based on chemical reduction method)

เนศรา แก้วคง<sup>1</sup>, เลิศณรงค์ ศรีพนม<sup>1</sup>, เจ๊ะฮาซัน เจ๊ะอุบง<sup>1</sup>, ศิริวรรณ ดีภู<sup>1\*</sup>

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อ. ชัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110

\*siriwan@mail.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของอนุภาคนาโนเงินเพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งทอ การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินทำได้ด้วยวิธีลดชั้นทางเคมีโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ที่สองสถานะคือที่ภายใต้อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปตรวจสอบสมบัติของอนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง พบว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียสให้อนุภาคที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาดเล็กกว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินที่อุณหภูมิห้อง โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย  $84 \pm 5$  นาโนเมตร และมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด 391 นาโนเมตร เมื่อนำอนุภาคนาโนเงินไปทดสอบสมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* สายพันธุ์มาตรฐาน AATCC 6538 และ *Escherichia coli* สายพันธุ์มาตรฐาน AATCC 8739 พบว่าอนุภาคนาโนเงินสามารถยับยั้งการทำงานของเชื้อแบคทีเรียได้ทั้ง *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli*

คำสำคัญ: อนุภาคนาโนเงิน, วิธีลดชั้นทางเคมี, ยับยั้งแบคทีเรีย, สิ่งทอ

Received: Oct 29, 2014

Revised: Dec 08, 2014

Accepted: Dec 14, 2014

### Abstract

This research was studied for synthesis and characterization methods of silver nanoparticles for textiles applications. The synthesis of silver nanoparticles was based on chemical reduction method using sodium borohydride as reducing agent under different temperatures (room temperature and 2 degree Celcius). The silver nanoparticles were characterized with spectrophotometer, scanning electron microscope and dynamic light scattering apparatus and found that, silver nanoparticles (at 2 degree Celcius condition) was provided sphere shape and smaller diameter than room temperature condition. The silver nanoparticles had an average diameter of about  $84 \pm 5$  nm with wavelength of maximum absorbance at 391 nm. Then the antibacterial property of the silver nanoparticles was evaluated against *Staphylococcus aureus* AATCC 6538 and *Escherichia coli* AATCC. The results found that the silver nanoparticles have potential to be used as antimicrobial agent *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*.

**Keywords:** silver nanoparticles, chemical reduction method, antimicrobial, textile

### 1. บทนำ (Introduction)

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ สามารถสร้างรายได้จากการส่งออกได้ถึง 250,000 ล้านบาทต่อปี [1] ต่อมาสินค้านำเข้าจากต่างประเทศมาเป็นคู่แข่งตลาดส่งผลให้อุตสาหกรรมสิ่งทอต้องเสียดุลการค้า การสร้างนวัตกรรมและการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตสิ่งทอให้มีสมบัติพิเศษจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์สิ่งทอ เพราะนอกจากจะเป็นการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันแล้วยังเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคในยุคปัจจุบันอีกด้วย คาดว่า 4 ใน 5 ของผู้บริโภคจะมองหาเสื้อผ้าแฟชั่น หรือเสื้อผ้าลองที่มีคุณสมบัติพิเศษ [2] เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนและมีสภาพภูมิอากาศเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย จากสภาพแวดล้อมและมลภาวะรอบตัวของเราทำให้มีเชื้อโรคกระจายอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ที่ใกล้ตัวเรามากที่สุดก็คือแบคทีเรีย ที่มักจะสะสมอยู่ในเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม เกิดจากการทำกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวันเช่น การประกอบอาชีพ และออกกำลังกาย เป็นต้น ซึ่งนับว่าเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยให้กับเชื้อจุลินทรีย์นานาชนิดได้เป็นอย่างดีจากสภาวะที่เหมาะสมทั้งอุณหภูมิ ความชื้น และแหล่งอาหาร เป็นสาเหตุหลักของการเกิดปัญหากลิ่นอับชื้น จุดด่างดำบนเส้นใย เป็นสาเหตุการแบ่งตัวเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ก่อโรคที่สะสมอยู่บนเสื้อผ้าจากสภาพปัจจัยต่างๆที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโต ทำให้แบคทีเรียที่สะสมอยู่ในเสื้อผ้าเจริญเติบโต [2] ด้วยเหตุนี้จึงมีการคิดค้นพัฒนาสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคมุ่งเป้าออกมาเป็นจำนวนมากและพบว่าโลหะเงินเป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี [3] จึงได้มีการผลิตผืนผ้าเพื่อต่อต้านและยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยกระบวนการตกแต่งสำเร็จ (finishing process) ด้วยการนำอนุภาคโลหะเงินที่มีขนาดเล็กระดับนาโนมาเคลือบเพื่อให้แทรกซึมเข้าไปในเส้นใยสิ่งทอและส่งผลต่อความคงทนต่อการซัก ซึ่งผลการวิจัยพบว่าการ

นํ้าอนุภาคนาโนเงินมาดกแต่งบนผ้าคอตตอน พบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อโรคได้ทั้ง *Staphylococcus* (*S. aureus*) และ *Escherichia coli* (*E. coli*) และสามารถทนต่อการซักล้างด้วยเครื่องซักผ้า โดยใช้นํ้ายาซักผ้าได้ถึง 10 ครั้ง [4]

ในงานวิจัยนี้ได้นำเชื้อแบคทีเรียที่เป็นตัวแทนของแบคทีเรียก่อโรคแกรมบวกคือ *S. aureus* และตัวแทนของแบคทีเรียแกรมลบคือ *E. coli* โดยเชื้อทั้งสองชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส สามารถทนความร้อน แสงแดด และสารเคมีได้ มีรายงานว่าเชื้อกลุ่ม *S. aureus* เป็นสาเหตุสำคัญของโรคติดเชื้อบนผิวหนัง [5] และยังเป็นสาเหตุของโรกระบาดที่เรียกว่า Staphylococcal food poisoning มีแหล่งที่มาจากคนที่เป็โรกระบบทางเดินหายใจ คนที่มีบาดแผลเป็นหนองและมีโอกาสสัมผัสกับอาหาร ส่วน *E. coli* เป็นแบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์มสามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ดี โดยสามารถรอดชีวิตเมื่อเกาะตามเสื้อผ้าแห้งและฝุ่นละอองได้หลายวัน แบคทีเรียชนิดนี้ทำให้เกิดอาการท้องร่วง [6] และเมื่อแบคทีเรียเหล่านี้สะสมอยู่บนเสื้อผ้าจะเจริญเติบโตและเกิดการย่อยคราบเศษอาหารทำให้เกิดกลิ่นเหม็นอับ วัสดุที่มีขนาดระดับนาโนเมตรที่มีความสามารถยับยั้งแบคทีเรียมีหลากหลาย เช่น อนุภาคนาโนเงิน [7-9] อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ [10] และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ [11] แต่พบว่าอนุภาคนาโนเงินเป็นวัสดุ มีสมบัติเด่นคือสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ดี สามารถเข้าไปจับกับอะตอมซัลเฟอร์ของเอนไซม์โปรตีนสทำให้เอนไซม์หยุดทำงานจนทำให้แบคทีเรียหยุดเจริญเติบโตและตายลงไปในที่สุด [12] พบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียด้วยอนุภาคนาโนเงินขึ้นอยู่กับขนาดและความเข้มข้นของอนุภาค [13] โดยการนำอนุภาคนาโนเงินมาเคลือบบนผ้าโดยวิธี Pad-dry-cure [14-16]

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินมีหลายวิธีดังตารางที่ 1 วิธีรีดักชันทางเคมีเป็นวิธีที่ใช้ทั่วไปเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ใช้สารเคมีน้อย และสามารถควบคุมขนาดของอนุภาคนาโนเงินได้ ตัวรีดิวซ์ที่นิยมใช้ได้แก่ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ไตรโซเดียมซัลไฟด์ เซลลูโลส เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินโดยใช้วิธีรีดักชันทางเคมี จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือ การหาสภาวะการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินโดยวิธีรีดักชันทางเคมี ใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ เพียงสารเดียว เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายและเพื่อความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมต่อไป ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยอื่นเช่น Ibrahim และคณะ [17] ใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ และ poly(amide-amine) เป็นตัวรีดิวซ์ นอกจากนี้นงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเงินที่สังเคราะห์ได้ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งทอต่อไป

ตารางที่ 1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงิน

| วิธีการสังเคราะห์        | สารตั้งต้น     | ตัวรีดิวซ์                                 | อ้างอิง |
|--------------------------|----------------|--------------------------------------------|---------|
| วิธีรีดักชันทางเคมี      | ซิลเวอร์ไนเตรต | โซเดียมโบโรไฮไดรด์<br>และพอลิ เอไมด์-เอมีน | [17]    |
| วิธีรีดักชันทางเคมี      | ซิลเวอร์ซัลเฟต | โซเดียมโบโรไฮไดรด์<br>และซีเตรต            | [18]    |
| วิธีรีดักชันด้วยไมโครเวฟ | ซิลเวอร์ไนเตรต | โซเดียมอัลจินต                             | [19]    |
| วิธีไมเซลล์              | ซิลเวอร์ไนเตรต | โซเดียมโคเคซิลซัลเฟต                       | [20]    |

## 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย (Materials and Experiment)

### 2.1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงิน

เติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (ALDRICH) ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ลงในขวดทดลอง (ในกรณีสถานะที่อุณหภูมิ  $2\pm 1$  องศาเซลเซียส) ทำการทดลองโดยแช่ขวดทดลองในอ่างน้ำแข็ง จากนั้นเติมซิลเวอร์ไนเตรต (POCH) ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นสารละลายเนื้อเดียวกันนาน 3 นาที สุดท้ายจะเกิดเป็นสารคอลลอยด์สีเหลือง จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปตรวจสอบสมบัติทางเคมีของอนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น UV – 1601 บริษัท SHIMADZU) ตรวจสอบลักษณะพื้นฐานของอนุภาคนาโนเงินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (รุ่น JSM-6510 บริษัท JEOL) และวัดขนาดอนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องไดนามิก ไลส์ สแกตเตอร์ริง (รุ่น Delsa™ Nano C บริษัท BECKMAN COULTER) สำหรับเครื่องแก้วที่นำมาใช้ในการทดลองจะต้องแช่กรดไนตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร นาน 12 ชั่วโมงและตามด้วยการแช่เครื่องแก้วในน้ำปราศจากไอออนนาน 12 ชั่วโมง แล้วจึงนำเครื่องแก้วไปอบให้แห้ง

ทำการทดลอง 2 สถานะคือที่อุณหภูมิห้อง ( $25\pm 1$  องศาเซลเซียส) [21] และอุณหภูมิ  $2\pm 1$  องศาเซลเซียส [22] ทำการทดลองโดยนำขวดทดลองแช่ในอ่างน้ำแข็ง ส่วนสถานะของการทดลองอื่นๆ เหมือนกัน

### 2.2 วิธีการทดสอบสมบัติการยับยั้งด้วยแบคทีเรียมาตรฐานตามวิธีของ Rajendran และคณะ (2010) [23]

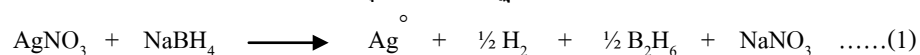
ในการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียใช้ *Staphylococcus aureus* AATCC 6538 เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมบวก และ *Escherichia coli* AATCC 8739 เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมลบ โดยเฉพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร NUTRIENT BROTH (NB) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปรับปริมาณของเชื้อเริ่มต้นโดยเปิดเชื้อมา 5 มิลลิลิตร โดยใส่ในขวดรูปชมพู่ที่มีอาหาร NUTRIENT BROTH (NB) 100 มิลลิลิตร แล้วจึงจุดเชื้อ *S. aureus* หรือ *E. coli* ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ เทอาหารแข็ง Nutrient Agar (NA) ปริมาตร 15 มิลลิลิตร (ที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส) ลงไป จากนั้นให้กระจายอาหารให้ทั่วจาน

เพาะเชื้อ วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอาหารแข็งตัว สำหรับการเตรียมแผ่นทดสอบอนุภาคนาโนเงิน (เตรียมจาก 2.1) ทำได้โดยการหยดสารดังกล่าว 50 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองที่ปราศจากเชื้อ แล้วนำแผ่นทดสอบไปวางบนจานเพาะเชื้อที่เตรียมไว้ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำมาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนยับยั้ง (inhibition zone) ที่เกิดขึ้นด้วยไม้บรรทัด

### 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

#### 3.1 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงิน

สังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินโดยกระบวนการรีดักชันทางเคมี โดยใช้ โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต เปลี่ยนไอออนเงินให้เป็นอนุภาคเงินดังปฏิกิริยาที่ 1



(ก)



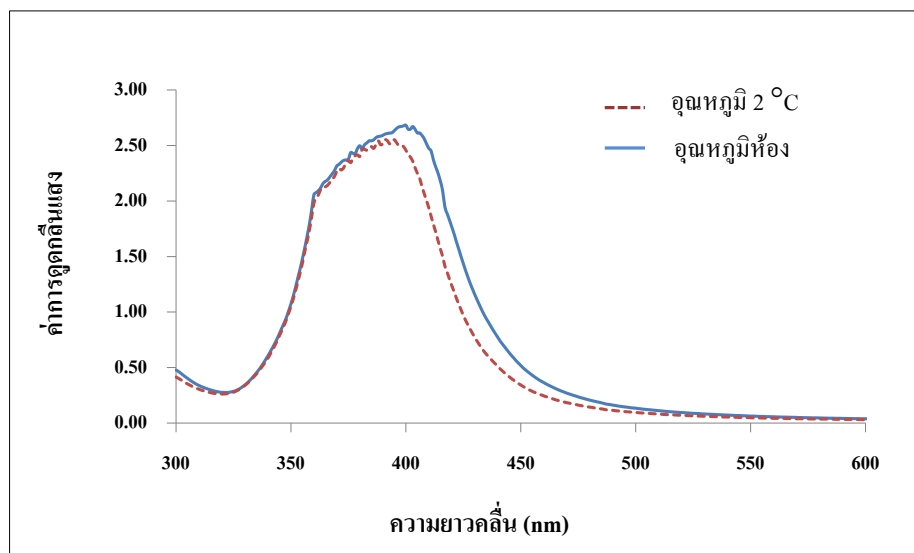
(ข)

**รูปที่ 1** อนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองอุณหภูมิห้อง (ก) และ อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส (ข)

จากรูปที่ 1 รูป ก อนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ได้สารละลายสีเหลืองเข้ม และรูปที่ ข อนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ได้สารละลายสีเหลืองอ่อน

### 3.2 การตรวจสอบสมบัติทางเคมีของอนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

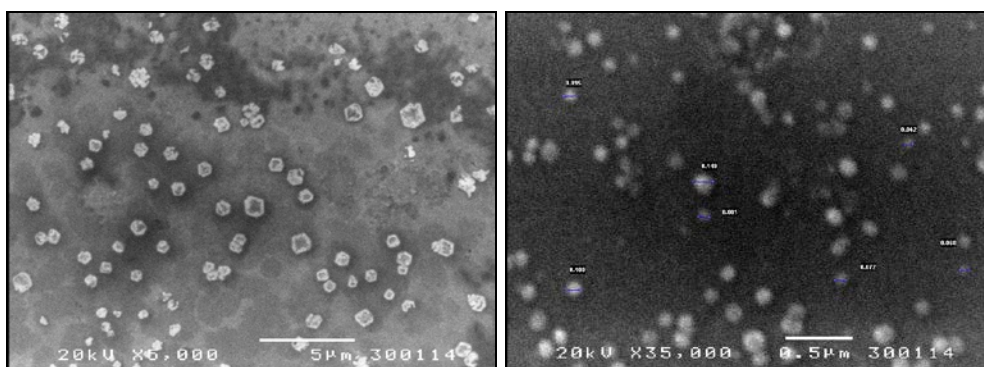
นำอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ทั้งสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ไปทดสอบสมบัติทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ให้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2 พบว่าอนุภาคนาโนเงิน (ที่อุณหภูมิห้อง) จะได้สารละลายสีเหลืองเข้มมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด 400 นาโนเมตร ส่วนอนุภาคนาโนเงิน (ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส) จะได้สารละลายสีเหลืองอ่อน มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด 391 นาโนเมตร ซึ่งพบว่าค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 350-450 นาโนเมตร แสดงให้เห็นว่าในสารละลายมีอนุภาคของนาโนเงินปรากฏอยู่ [24] โดยอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่ำกว่าที่อุณหภูมิห้อง แสดงว่าได้ขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า [24]



รูปที่ 2 ยูวี สเปกตรัมของอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองอุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส

### 3.3 การตรวจสอบลักษณะพื้นฐานของอนุภาคนาโนเงินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ตรวจสอบลักษณะพื้นฐานทางกายภาพของอนุภาคนาโนเงินที่สังเคราะห์ได้ทั้งสภาวะอุณหภูมิด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ให้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้อง มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม (รูปที่ 3 ก) ส่วนอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นทรงกลม (รูปที่ 3 ข) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้การก่อเกิดเป็นอนุภาคช้าลง จึงมีระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาได้นานขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจึงสมบูรณ์ทำให้อนุภาคที่ได้มีขนาดเล็กและมีรูปร่างเป็นทรงกลม ส่วนการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้องทำให้การก่อเกิดเป็นอนุภาคเร็วขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์และส่งผลให้อนุภาคที่ได้มีขนาดไม่สม่ำเสมอและมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม [25]



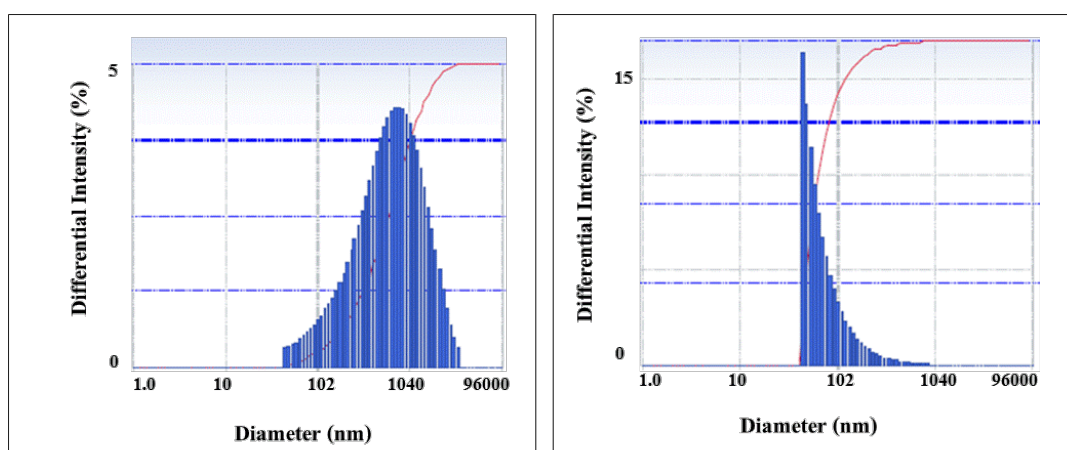
(ก)

(ข)

**รูปที่ 3** ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองอุณหภูมิห้อง (ก) และอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส (ข)

### 3.4 การวัดขนาดของอนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง

วัดขนาดของอนุภาคนาโนเงินโดยใช้เครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง เป็นเทคนิคที่อาศัยการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ภายใต้แสงเลเซอร์ อนุภาคที่มีขนาดต่างๆ กัน จะมีความเร็วในการเคลื่อนที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่าอนุภาคนาโนเงินที่สังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้อง มีขนาดเฉลี่ย  $812 \pm 13$  นาโนเมตร (รูปที่ 4 (ก)) และอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส มีขนาดเฉลี่ย  $84 \pm 5$  นาโนเมตร (รูปที่ 4 (ข)) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกวิธีสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เพราะอนุภาคที่ได้มีขนาดเล็กและมีรูปร่างเป็นทรงกลม



(ก)

(ข)

**รูปที่ 4** ผลจากเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริงของอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองอุณหภูมิห้อง (ก) และอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส (ข)

### 3.5 การทดสอบสมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย

ผลการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเงิน โดยวิธีสังเกตการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี disk diffusion (มาตรฐาน AATCC 147) แสดงดังตารางที่ 2 โดยนำไปทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* (เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมบวก) และ *E. coli* (เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมลบ) เมื่อตรวจสอบผลการทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อโดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนยับยั้งในหน่วยมิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าอนุภาคนาโนเงินสามารถยับยั้งแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้ ทั้งเนื่องจากอนุภาคนาโนเงินมีขนาดเล็กทำให้สามารถแทรกเข้าสู่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้ง่าย อนุภาคนาโนเงินจะเข้าไปจับกับอะตอมซัลเฟอร์ของเอนไซม์โปรตีนเอส ทำให้เอนไซม์หยุดทำงาน จนทำให้แบคทีเรียหยุดเจริญเติบโตและตายลงไปในที่สุด [12] สาเหตุที่อนุภาคนาโนเงินยับยั้ง *E. coli* ได้ดีกว่า *S. aureus* เนื่องจาก *E. coli* เป็นแบคทีเรียแกรมลบมีชั้นผนังเซลล์บางกว่าแบคทีเรียแกรมบวก อนุภาคนาโนเงิน จึงสามารถซึมผ่านเข้าเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบได้ง่ายกว่าแบคทีเรียแกรมบวก [26]

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย

| สารทดสอบ       | ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนยับยั้ง (มิลลิเมตร)             |                                                          |
|----------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                | <i>S. aureus</i><br>( $1.69 \times 10^8$ โคโลนี/มิลลิลิตร) | <i>E. coli</i><br>( $4.69 \times 10^9$ โคโลนี/มิลลิลิตร) |
| อนุภาคนาโนเงิน | 0.22                                                       | 1.44                                                     |

## 4. สรุปผลการวิจัย

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี โดยใช้ โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ไนเตรด ให้เป็นอนุภาคเงิน ภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิที่ 2 องศาเซลเซียส เป็นวิธีที่ดีกว่าการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิห้อง การสังเคราะห์โดยวิธีนี้มีข้อดีคือ ง่าย และรวดเร็ว อนุภาคนาโนเงินที่ได้มีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาดเฉลี่ย  $84 \pm 5$  นาโนเมตร ความเข้มข้น 3 โมลาร์ มีความยาวคลื่นสูงสุดที่ 391 นาโนเมตร และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียได้ทั้ง *S. aureus* และ *E. coli* แสดงว่าอนุภาคนาโนเงินมีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งทอได้ เพื่อใช้ในการยับยั้งแบคทีเรียต่อไป

## 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.material.chula.ac.th/RADIO48/May/radio5-4.htm>
- [2] อ. เสรมฐเกียรติ์กร. นาโนเทคโนโลยีกับการพัฒนาสิ่งทอเฉพาะทาง. วารสารเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 4 (2551): 11-14.

- [3] R. Dastjerdi, M. Montazer. A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties. *Colloids Surf. B.* **79** (2010): 5–18.
- [4] S. Perera, B. Bhushan, R. Bandara, G. Rajapakse, S. Rajapakse, C. Bandarad. Morphological, antimicrobial, durability, and physical properties of untreated and treated textiles using silver-nanoparticles. *Colloids Surf. A.* **436** (2013): 975–989.
- [5] K.M. McCabe, J. Turner, M.T. Hernandez. A method for assessing the disinfection response of microbial bioaerosols retained in antimicrobial filter materials and textiles. *J. Microbiol. Methods.* **92** (2013): 11-13.
- [6] V. Bajpai, S. Bajpai, M.K. Jha, A. Day, S. Ghosh. Microbial adherence on textile materials : a review. *J. Environ. Res Dev.* **5** (2011): 666- 672.
- [7] I. Sondi, B. Salopek-Sondi. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria. *J. Colloid Int. Sci.* **275** (2004): 177-182.
- [8] C.-H. Xue, J. Chen, W. Yin, S.T. Jia, J.Z. Ma. Superhydrophobic conductive textiles with antibacterial property by coating fibers with silver nanoparticles. *Appl. Surf. Sci.* **258** (2012): 2468-2472.
- [9] E. Matyjas-Zgondek, A. Bacciarelli, E. Rybicki, M.I. Szykowska, M. Kolodziejczyk. Antibacterial Properties of Silver-Finished Textiles. *Fibres Text. East. Eur.* **5** (2008): 101-107.
- [10] N. Padmavathy, R. Vijayaraghavan. Enhanced bioactivity of ZnO nanoparticles—an antimicrobial study. *Sci. Technol. Advanced Mater.* **9** (2008):1-7.
- [11] A.A. Hebeish, M.M. Abdelhady, A.M. Youssef. TiO<sub>2</sub> nanowire and TiO<sub>2</sub> nanowire doped Ag-PVP nanocomposite for antimicrobial and self-cleaning cotton textile. *Carbohydr. Polym.* **91** (2013):549-559.
- [12] M.A.S. Melo, S.F.F. Guedes, H.H.K. Xu, L.K.A. Rodrigues. Nanotechnology-based restorative materials for dental caries management. *Trends Biotechnol.* **31** (2013): 459-467.
- [13] D. Kalpana, Y.S. Lee. Synthesis and characterization of bactericidal silver nanoparticles using cultural filtrate of simulated microgravity grown *Klebsiella pneumonia*. *Enzyme Micro. Technol.* **52** (2013): 151-156.
- [14] N. Durán, P.D. Marcato, G.I.H. De Souza, O.L. Alves, E. Esposito. Antibacterial effect of silver nanoparticles produced by fungal process on textile fabrics and their effluent treatment. *J. Biomed. Nanotechnol.* **3** (2007): 203-208.
- [15] Y. Li, P. Leung, L. Yao, Q.W. Song, E. Newton. Antimicrobial effect of surgical masks coated with nanoparticles. *J. Hos. Infect.* **62** (2006): 58-63.

- [16] S. Selvam, R. Rajiv Gandhi, J. Suresh, S. Gowri, S. Ravikumar, M. Sundrarajan. Antibacterial effect of novel synthesized sulfated  $\beta$ -cyclodextrin crosslinked cotton fabric and its improved antibacterial activities with ZnO, TiO<sub>2</sub> and Ag nanoparticles coating. *Int. J. Pharm.* **434** (2012): 366 -374.
- [17] N.A. Ibrahim, B.M. Eid, H. El-Batal. Novel approach for adding smart functionalities to cellulosic fabrics. *Carbohydr. Polym.* **87** (2012): 744– 751.
- [18] D.P Chattopadhyay, B.H. Patel. Improvement in physical and drying properties of natural fibres through pre-treatment with silver nanoparticles. *Indian J. Fibre Text.* **34** (2009): 368-373.
- [19] X. Zhao, Y. Xia, Q. Li., X. Ma., F. Quan, C. Geng., Z. Han. Microwave-assisted synthesis of silver nanoparticles using sodium alginate and their antibacterial activity. *Colloids Surf. A.* **444** (2014): 180– 188.
- [20] A.L. Garden, K. Scholz, D.R. Schwass, C.J. Meledandri. Optimized colloidal chemistry for micelle-templated synthesis and assembly of silver nanocomposite materials. *Colloids Surf. A.* **441** (2014): 367– 377.
- [21] J.J. Wu, G.J. Lee, Y.S. Chen, T.L. Hu, The synthesis of nano-silver/polypropylene plastics for antibacterial application. *Curr. Appl. Phys.* **12** (2012): 589-595.
- [22] G.A. Patil, M.L. Bari, B.A. Bhanvase, V. Gunvir, S. Mishra, S.H. Sonawane. Continuous synthesis of functional silver nanoparticles using microreactor: Effect of surfactant and process parameters. *Chem. Eng. Process.* **62** (2012): 69-77.
- [23] R. Rajendran, C. Balakumar, H.A. Mohammed Ahammed, S. Jayakumar, K. Vaideki, E.M. Rajesh. Use of zinc oxide nano particles for production of antimicrobial textiles. *Int. J. Eng. Sci. Technol.* **2** (2010): 202-208.
- [24] E.Saion, E. Gharibshahi, K. Naghavi. Size-Controlled and Optical Properties of Monodispersed Silver Nanoparticles Synthesized by the Radiolytic Reduction Method. *Int. J. Mol. Sci.* **14**( 2013): 7880-7896.
- [25] X.C. Jiang, W.M. Chen, C.Y. Chen, S.X. Xiong, A.B. Yu. Role of Temperature in the growth of silver nanoparticles through a synergetic reduction approach. *Nanoscale Res. Lett.* **6**(2011): 2-9.
- [26] S. Shrivastava, T. Bera, A. Roy, G. Singh, P. Ramachandrarao, D. Dash, Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles. *Nanotechnology.* **18**(2007): 225103– 225112.