

การสังเคราะห์และทดสอบคุณลักษณะของแบคทีเรียลเซลลูโลส
นาโนเปเปอร์ที่ตรึงอนุภาคทองคำนาโน

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF GOLD
NANOPARTICLE-EMBEDDED BACTERIAL CELLULOSE
NANOPAPER



โครงการพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ปีการศึกษา 2561** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF GOLD
NANOPARTICLE-EMBEDDED BACTERIAL CELLULOSE
NANOPAPER**



**SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัด **ACADEMIC YEAR 2018** ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์และทดสอบคุณลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลส
นาโนเปเปอร์ที่ตรึงอนุภาคทองคำ

Synthesis and Characterization of Gold nanoparticles-embedded
Bacterial Cellulose Nanopaper

ชื่อนักศึกษา นางสาวกัญวรรณ คงเพชร รหัสนักศึกษา 58050439

นางสาวจินต์สินี จินตาน้อม รหัสนักศึกษา 58050447

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. ณัฐวุฒิ เชิงชั้น

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี
อุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2561

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|---|--|
| ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ประธานกรรมการ |  |
| ผศ.ดร. เสาวภาคย์ อีราทรง กรรมการ |  |
| ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ เชิงชั้น กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิให้ต้นแบบของเอกสารฉบับนี้ถูกนำออกเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

| | |
|--------------------|--|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การสังเคราะห์และทดสอบคุณลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ตรึงอนุภาคทองคำนาโน Synthesis and Characterization of Gold nanoparticles-embedded Bacterial Cellulose Nanopaper |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาวกัญวรรณ คงเพชร รหัสนักศึกษา 58050439 นางสาวจินต์สินี จินดาน้อม รหัสนักศึกษา 58050447 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) |
| ภาควิชา | เคมี |
| คณะ | วิทยาศาสตร์ |
| มหาวิทยาลัย | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) |
| ปีการศึกษา | 2561 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ. ดร. ณัฐฉา เชิงชั้น |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์และศึกษาคุณลักษณะของแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ทำการตรึงอนุภาคทองคำนาโน ในส่วนของการสังเคราะห์แบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์นั้น ทำได้โดยเลี้ยงเชื้อ *Acetobacter Xylinum* โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อคือ Hestrin-Schramm medium เป็นเวลา 6 วัน จะได้แบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ขนาดความหนา 5 มิลลิเมตร จากนั้นจะใช้แบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่สังเคราะห์ได้เป็นทั้งตัวรีดิวซ์และตัวรองรับในการสังเคราะห์และตรึงอนุภาคทองคำนาโนแบบ in-situ โดยมีสารละลายกรดเตตระคลอโรอูริกเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ เป็นสารตั้งต้น ผลการทดลองพบว่า หลังจากการสังเคราะห์เพื่อทำการตรึงอนุภาคทองคำนาโน สีของแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์จะเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีแดง จากการศึกษาคุณลักษณะของนาโนเปเปอร์ที่สังเคราะห์ได้ด้วย Scanning electron microscope และ Energy Dispersive X-ray Spectrometer พบว่ามีปริมาณอนุภาคทองคำบนแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ อยู่ที่ร้อยละ 34.8 และ เมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง พบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ทำการตรึงอนุภาคทองคำนาโนและสารละลายอนุภาคทองคำนาโนมีความคล้ายคลึงกัน โดยพบพีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของอนุภาคทองคำนาโน จึงสรุปได้ว่า งานวิจัยนี้ สามารถการสังเคราะห์และตรึงอนุภาคทองคำนาโนลงบนแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ได้เป็นผลสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใด ทั้งสิ้น ทั้งนี้หากมีข้อสงสัยหรือต้องการแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
คำสำคัญ : แบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์, อนุภาคทองคำนาโน

Title Synthesis and Characterization of Gold nanoparticles- embedded Bacterial Cellulose Nanopaper

Students Miss Kanyawan Kongphet Student ID 58050439
Miss Jinsinee Jindanom Student ID 58050447

Degree Bachelor of Science (Industrial Chemistry)

Department Chemistry

Faculty Science

University King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)

Academic 2018

Advisor Asst. Prof. Dr. Nathawut Choengchan

Abstract

In this work, a gold nanoparticles (AuNPs) embedded bacterial cellulose (BC) nanopaper was synthesized. The BC nanopaper was prepared by culturing of *Acetobacter Xylinum* in Hestrin-Schramm (culture medium). After 6 day, the 5-mm thickness BC nanopaper was obtained. The nanopaper was used as both a reducing agent and a substrate for synthesis and 'in-situ' embedding of AuNPs by using 50 mM of tetrachlorouric acid as a precursor. It was observed that color of the BC nanopaper was changed from pale yellow to red after the embedding process. Results by scanning electron microscope and energy dispersive X-ray Spectrometer showed that 34.8 % of Au was observed on the as-prepared BC nanopaper. Results by UV-Visible spectrophotometer also revealed that patterns of the absorption spectra of the AuNPs embedded BC nanopaper and the colloidal AuNPs were similar. The characteristic absorption peak at 530 nm was observed. Theses can guarantee that the AuNPs embedded BC nanopaper was successfully prepared.

Keywords: Bacterial cellulose nanopaper, Gold nanoparticles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ เจริงชั้น อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ ตลอดจนตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษจนเสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง ที่เป็นคณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษในครั้งนี้ ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำ เพื่อให้โครงการพิเศษฉบับนี้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรัญญา พันธุ์ฤกษ์ ที่คอยให้ความรู้และคำแนะนำ ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อเตรียมแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์

ขอขอบพระคุณ คุณอาจณรงค์ เมธาวิสรรเสริญ และคุณอรฉัตร เลิศอิทธิพร รวมถึงนักศึกษา ระดับปริญญาโทและเอกทุกท่านในหน่วยวิจัยเคมีวิเคราะห์เชิงประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางการดำเนินงานตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งการดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณปราณี บุญวัฒน์ คุณวาสนี ธรรมสถิต และคุณวีรยุทธ อินบุญมา เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้ความรู้ ความช่วยเหลือ ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวัดค่า การดูดกลืนแสงของแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในโครงการพิเศษเล่มนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจ และอยู่เคียงข้างตลอดมา

สุดท้ายนี้ ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการพิเศษฉบับนี้ก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ เพื่อใช้เป็นประโยชน์ในด้านการศึกษา และหากมีความผิดพลาดประการใดทางคณะผู้จัดทำ ขอภัย ณ โอกาสนี้

กัญวรรณ คงเพชร

จินต์สินี จินตาน้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|-----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ช |
| สารบัญรูป..... | ฉ |
| คำย่อ/สัญลักษณ์..... | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... | 1 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 3 |
| 2.1 แบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนไบโเพอร์..... | 3 |
| 2.2 อนุภาคทองคำ..... | 4 |
| 2.3 หลักการตรวจวัดความยาวคลื่นยูวี-วิสิเบิล บนแผ่นฟิล์ม..... | 7 |
| 2.3.1 ระบบออปติคอล..... | 8 |
| 2.3.2 องค์ประกอบของแสง..... | 9 |
| 2.3.3 หลักการทำงาน..... | 10 |
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 11 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... | 17 |
| 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์..... | 17 |
| 3.1.1 สารเคมี..... | 17 |
| 3.1.2 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือตรวจวัด..... | 18 |
| 3.2 การเตรียมสารละลาย..... | 19 |
| 3.2.1 การเตรียมสารละลาย 1 มิลลิโมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์..... | 19 |
| 3.2.2 การเตรียมสารละลาย 5 มิลลิโมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์..... | 19 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | |
|--|----|
| 3.2.3 การเตรียมสารละลายร้อยละ 0.2 โดยปริมาตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 19 |
| 3.2.4 การเตรียมสารละลายร้อยละ 1 โดยปริมาตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 19 |
| 3.2.5 การเตรียมสารละลายร้อยละ 5 โดยปริมาตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 19 |
| 3.2.6 การเตรียมสารละลายร้อยละ 10 โดยปริมาตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 19 |
| 3.2.7 การเตรียมสารละลายร้อยละ 20 โดยปริมาตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 19 |
| 3.2.8 การเตรียมสารละลายร้อยละ 30 โดยปริมาตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 19 |
| 3.2.9 การเตรียมสารละลาย 1 มิลลิโมลาร์ กรดเตตระคลอโรอูริก..... | 20 |
| 3.2.10 การเตรียมสารละลาย 2 มิลลิโมลาร์ กรดเตตระคลอโรอูริก..... | 20 |
| 3.2.11 การเตรียมสารละลาย 30 มิลลิโมลาร์ กรดเตตระคลอโรอูริก..... | 20 |
| 3.2.12 การเตรียมสารละลาย 40 มิลลิโมลาร์ กรดเตตระคลอโรอูริก..... | 20 |
| 3.2.13 การเตรียมสารละลาย 50 มิลลิโมลาร์ กรดเตตระคลอโรอูริก..... | 20 |
| 3.2.14 การเตรียมสารละลาย 38.8 มิลลิโมลาร์ กรดซिटริก..... | 20 |
| 3.2.15 การเตรียมสารละลาย 1 โมลาร์ ไฮโดรคลอริก..... | 20 |
| 3.2.16 การเตรียมแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์สำหรับ | |
| สังเคราะห์อนุภาคทองนาโน..... | 20 |
| 3.2.16.1 สำหรับตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..... | 20 |
| 3.2.16.2 สำหรับตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์..... | 21 |
| 3.3 วิธีการทดลอง..... | 21 |
| 3.3.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ | |
| แบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์..... | 21 |
| 3.3.1.1 ศึกษาสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของ | |
| แบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์..... | 21 |
| 3.3.1.2 ศึกษาระยะเวลาที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ | |
| แบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์..... | 22 |
| 3.3.1.3 ศึกษาค่าพีเอช หลังจากทำการฟอก..... | 22 |
| 3.3.1.4 ศึกษาโครงสร้างแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์..... | 22 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 3.3.2 ศึกษาอิทธิพลต่างๆที่ส่งผลต่อการตรึงอนุภาคทองคำในลงบน แบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์..... | 22 |
| 3.3.2.1 ศึกษาอิทธิพลของการตรึงอนุภาคทองคำในลงบน แบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ วิธีต่างๆ..... | 22 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล..... | 25 |
| 4.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ แบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ วิธีต่างๆ..... | 25 |
| 4.1.1 ผลของอาหารเลี้ยงเชื้อ..... | 25 |
| 4.1.2 ผลของการศึกษาระยะเวลาที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ แบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์..... | 26 |
| 4.1.3 ผลของการศึกษาค่าพีเอช หลังจากทำการฟอก..... | 27 |
| 4.1.4 ผลของการศึกษาโครงสร้างแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์..... | 28 |
| 4.2 การศึกษาอิทธิพลต่างๆที่ส่งผลต่อการตรึงอนุภาคทองคำในลงบน แบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ วิธีต่างๆ..... | 29 |
| 4.2.1 วิธีการแช่..... | 29 |
| 4.2.1.1 ผลของการศึกษาสัณฐานวิทยาของการตรึงอนุภาคทองคำในลงบน แบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ โดยวิธีการแช่..... | 29 |
| 4.2.1.2 ผลของการศึกษาปริมาณอนุภาคทองคำในที่พบบน แบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ โดยวิธีการแช่..... | 30 |
| 4.2.2 วิธีการ In-situ..... | 31 |
| 4.2.2.1 ผลของการศึกษาสัณฐานวิทยาของการตรึงอนุภาคทองคำในลงบน แบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ โดยวิธีการ In-situ..... | 31 |
| 4.2.2.2 ผลของการศึกษาความหนาของแบคทีเรียลเซลล์ูโลส นาโนเปเปอร์..... | 32 |
| 4.2.2.3 ผลของการศึกษาปริมาณอนุภาคทองคำในที่พบบน | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ โดยวิธีการ In-situ ที่ประโยชน์ด้าน 34 คำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4.2.2.4 ผลของการศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย กรดเตตระคลอโรอริก..... | 35 |
| 4.2.2.5 ผลของการศึกษาเวลาที่ใช้ในการตรึงอนุภาคทองคำ..... | 36 |
| 4.2.2.6 ผลของการศึกษาการล้าง..... | 38 |
| 4.2.2.7 ผลจากการศึกษาการทดสอบกับตัวอย่าง..... | 39 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 44 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 44 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 44 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 45 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ตารางแสดงส่วนประกอบในการเดินทางของแสงของเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ บนแผ่นฟิล์ม..... | 9 |
| 4.1 ระยะเวลาการเจริญเติบโตของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์..... | 27 |
| 4.2 แสดงภาพแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ก่อนและหลังทดสอบกับตัวอย่างไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์..... | 40 |
| 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสก่อนทดสอบกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์..... | 41 |
| 4.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสหลังทดสอบกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์..... | 41 |
| 4.5 แสดงผลต่างของค่าการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสก่อนและหลังทดสอบกับสารละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 42 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 ภาพแสดงสีของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่ขนาดอนุภาคที่แตกต่างกัน..... | 5 |
| 2.2 แสดงสีของทองคำก่อน และหลังลดขนาดอนุภาคให้อยู่ในระดับนาโน..... | 6 |
| 2.3 แผนผังการเกิดเซอร์เฟส พลาสมอน เรโซแนนซ์ ของอนุภาคโลหะ..... | 7 |
| 2.4 องค์ประกอบชิ้นส่วนในเครื่อง UV-Vis-ISR -2600 / 2600plus..... | 8 |
| 2.5 ภาพของระบบออปติคัล..... | 8 |
| 2.6 ภาพมองทางด้านหน้าของ ISR-2600Plus..... | 9 |
| 2.7 ภาพแสดงการวัดการสะท้อนกลับแบบกระจาย..... | 10 |
| 2.8 ภาพแสดงการวัดการส่งผ่านของตัวอย่างแผ่นฟิล์ม..... | 11 |
| 3.1 ภาพแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ ขนาด 3x1x0.5 เซนติเมตร..... | 21 |
| 3.2 ภาพแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ ขนาด 1 ส่วน 4 ของแผ่นแบคทีเรียลเซลลูโลส นาโนเปเปอร์..... | 21 |
| 4.1 แสดงแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ ที่ได้จาก (ก) อาหารเลี้ยงเชื้อสูตร Erhan Zor และ (ข) อาหารเลี้ยงเชื้อสูตร Hestrin-Schramm medium | 26 |
| 4.2 แสดง (ก) แบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ไม่ได้ล้าง และ (ข) แบคทีเรียลเซลลูโลส นาโนเปเปอร์หลังทำการล้าง..... | 28 |
| 4.3 แสดงโครงสร้างของแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ (ก) ที่กำลังขยาย 10000x และ (ข) ที่ กำลังขยาย 200x | 28 |
| 4.4 แบคทีเรียลเซลลูโลสที่ตรึงอนุภาคทองนาโน เมื่อใช้แบคทีเรียลเซลลูโลสที่ความหนาแตกต่างกัน (ก) 2 มิลลิเมตร (ข) 3 มิลลิเมตร (ค) 4 มิลลิเมตร และ (ง) 5 มิลลิเมตร..... | 30 |
| 4.5 แสดงปริมาณของอนุภาคทองนาโนที่พบบนแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ความหนา แตกต่างกัน (ก) 2 มิลลิเมตร (ข) 3 มิลลิเมตร (ค) 4 มิลลิเมตร และ (ง) 5 มิลลิเมตร..... | 31 |
| 4.6 แบคทีเรียลเซลลูโลสที่ตรึงอนุภาคทองนาโน เมื่อใช้แบคทีเรียลเซลลูโลสที่ความหนาแตกต่างกัน (ก) 2 มิลลิเมตร (ข) 3 มิลลิเมตร (ค) 4 มิลลิเมตร และ (ง) 5 มิลลิเมตร..... | 32 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|---|----|
| 4.7 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสง (ก) แบนด์ที่เรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ความหนาต่างๆที่ตรงอนุภาคทองคำนาโน (ข) ของสารละลายกรดเตตระคลอโรอริกที่ความเข้มข้น 0.4 มิลลิโมลาร์ (ค) ภาพขยายสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแบนด์ที่เรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ความหนาต่างๆที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร (ง) ภาพสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคทองคำนาโน 2 นาโนโมลาร์..... | 34 |
| 4.8 แสดงปริมาณของอนุภาคทองคำนาโนที่พบบนแบนด์ที่เรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่ความหนาแตกต่างกัน (ก) 2 มิลลิเมตร (ข) 3 มิลลิเมตร (ค) 4 มิลลิเมตร และ (ง) 5 มิลลิเมตร..... | 35 |
| 4.9 แสดงภาพถ่ายของแบนด์ที่เรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่ตรงอนุภาคทองคำนาโน โดยใช้สารละลายกรดเตตระคลอโรอริกที่ความเข้มข้น (ก) 30 มิลลิโมลาร์ (ข) 40 มิลลิโมลาร์ และ (ง) 50 มิลลิโมลาร์..... | 36 |
| 4.10 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแบนด์ที่เรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่ตรงอนุภาคทองคำนาโน โดยใช้สารละลายกรดเตตระคลอโรอริกตามความเข้มข้นต่างๆ..... | 36 |
| 4.11 แสดงภาพถ่ายของแบนด์ที่เรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่ตรงอนุภาคทองคำนาโนโดยใช้เวลาต่างกัน (ก) 15 นาที (ข) 30 นาที (ค) 60 นาที (ง) 90 นาที และ (จ) 120 นาที ตามลำดับ..... | 37 |
| 4.12 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแบนด์ที่เรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่ใช้เวลาในการตรงอนุภาคทองคำนาโนแตกต่างกัน..... | 37 |
| 4.13 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแบนด์ที่เรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ความหนาต่างๆที่ตรงอนุภาคทองคำนาโน ที่จำนวนครั้งในการล้างต่างกัน..... | 38 |
| 4.14 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแบนด์ที่เรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่ทำการสังเคราะห์กับสารละลายกรดเตตระคลอโรอริกความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่จำนวนครั้งในการล้างแตกต่างกัน..... | 38 |
| 4.15 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแบนด์ที่เรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์แตกต่างกัน ที่จำนวนครั้งในการล้างแตกต่างกัน..... | 39 |
| 4.16 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของแบนด์ที่เรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์กับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ..... | 42 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

| คำย่อ/สัญลักษณ์ | คำอธิบาย |
|--|---|
| AuNPs | อนุภาคทองคำนาโน |
| HAuCl ₄ | กรดเตตระคลอโรอูริก |
| BC | แบคทีเรียลเซลลูโลส |
| NaOH | โซเดียมไฮดรอกไซด์ |
| H ₂ O ₂ | ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ |
| C ₆ H ₁₂ O ₆ | กลูโคส |
| Na ₂ HPO ₄ | ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต |
| C ₆ H ₈ O ₇ | กรดซิตริก |
| Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇ | ไตรโซเดียมซิเตรต |
| Na ₂ SO ₄ | โซเดียมซัลเฟต |
| KH ₂ PO ₄ | โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต |
| MgSO ₄ ·7H ₂ O | แมกนีเซียมซัลเฟต |
| mL | มิลลิลิตร |
| mM | มิลลิโมลาร์ |
| nM | นาโนโมลาร์ |
| M | โมลาร์ |
| mm | มิลลิเมตร |
| cm | เซนติเมตร |
| nm | นาโนเมตร |
| g | กรัม |
| LOD | ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด |
| LOQ | ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์เชิงปริมาณ |
| SEM | กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ (Bacterial Cellulose Nanopaper) เป็นวัสดุอเนกประสงค์ที่มีคุณสมบัติมากมาย ทั้งการเข้ากันได้ทางชีวภาพ, ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ, ความโปร่งใสทางแสง, คุณสมบัติทนความร้อน, ความยืดหยุ่น, ความแข็งแรงเชิงกลสูง, ความพรุนสูง ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการตรวจทางแสง และอธิบายถึงวิธีการปรับลักษณะของแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์โดยใช้วัสดุนาโนเพื่อแสดงคุณสมบัติของฟลอสโมนิค หรือ photoluminescent ที่สามารถใช้ประโยชน์สำหรับการตรวจจับด้วยแอปพลิเคชัน

งานวิจัยนี้สนใจที่จะนำแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์มาทำการตรึงอนุภาคทองคำนาโนเพื่อนำไปใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดบนกระดาษ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่อง Spectrophotometer และยังสามารถนำไปใช้งานในภาคสนามได้ เนื่องจากพกพาสะดวก วิเคราะห์ได้รวดเร็ว และไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในขณะที่ทำการทดสอบ แบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ตรึงอนุภาคทองคำนาโนจึงเป็นทางเลือกใหม่ในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่มีการตรึงอนุภาคทองคำนาโน
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติลักษณะของแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ตรึงอนุภาคทองคำนาโน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาการเตรียมอนุภาคทองคำนาโน
3. ศึกษาการเตรียมแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ทำการตรึงอนุภาคทองคำนาโน

4. ศึกษาคุณสมบัติลักษณะของแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่เตรียมได้โดยการใช้เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าเห็นชอบหรือให้การรับรองใดๆ
ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอยู่ ึ่งองเองเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เผยแพร่ผลงานวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

วิธีที่เหมาะสมในการตรึงอนุภาคทองคำนาโนลงบนแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ ซึ่งสามารถลดเวลาในการสังเคราะห์ลง และมีวิธีการที่ไม่ซับซ้อน เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ [1-7]

แบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ (Bacterial cellulose nanopaper) หรือ แบคทีเรียเซลลูโลส (Bacterial Cellulose, BC) เป็นสารที่ได้จากการสกัดเซลลูโลสโดยผ่านกระบวนการต่างๆ ทั้งเคมีและกายภาพ แบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์มีโครงสร้างขนาดเล็กในระดับนาโน เนื่องจากมีขนาดของเส้นใยอยู่ในระดับนาโน ซึ่งแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ เกิดจากกระบวนการหมักของเชื้อ *Acetobacter xylinum* โดยแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ มีคุณสมบัติมากมาย เช่น ความเข้ากันได้ทางชีวภาพ, ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ, ความโปร่งใสทางแสง, คุณสมบัติทางความร้อน, ความยืดหยุ่น, ความแข็งแรงเชิงกลสูง เป็นต้น แบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์นั้น นิยมนำมาใช้ในการตรวจจับด้วยแสงที่ใช้วัสดุนาโนหรืออนุภาคนาโนหลายชนิดรวมตัวกันเพื่อแสดงคุณสมบัติของพลาสมอนิก (plasmonic) หรือ photoluminescent ที่สามารถใช้ประโยชน์สำหรับการตรวจจับแอปพลิเคชัน

Acetobacter xylinum (*A. xylinum*) คือ แบคทีเรีย (bacteria) สกุล *Acetobacter* เป็นแบคทีเรียที่ไม่ทำให้เกิดโรค (non pathogen) ย้อมติดสีแกรมลบ (Gram negative bacteria) รูปร่างเป็นท่อน (rod) ตรงหรือโค้ง ขนาดความกว้าง 0.6-0.8 ไมครอน และความยาว 1.0 -1.4 ไมครอน สามารถพบเป็นเซลล์อยู่เดี่ยวๆ จับคู่ หรือต่อกันเป็นสายสั้นๆ ไม่สามารถสร้างสปอร์ภายในเซลล์ (non spore forming bacteria) เจริญได้ในที่มีอากาศ (aerobic bacteria) ผลิตกรดแอซีติก (acetic acid) ได้เล็กน้อย โดยผลผลิตของ *Acetobacter xylinum* จากกระบวนการหมักของแบคทีเรียนี้คือ โพลีแซคคาริไรด์ หรือที่เรียกว่า “วุ้นน้ำมะพร้าว” แผ่นวุ้นนี้เป็นเซลลูโลส (Bacterial cellulose) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสเรียงต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเบต้า-1,4 ไกลโคซิดิก (B-1,4 glycosidic bond)

กระบวนการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ด้วยเชื้อ *Acetobacter xylinum* เกิดจากการนำเชื้อ *Acetobacter xylinum* มาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมกับการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสที่เป็นของเหลว ทำการปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 4.0 – 6.0 นำไปฆ่าเชื้อด้วยการต้มให้เดือดหรือใช้หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ ทิ้งไว้จนเย็นและทำการเติมหัวเชื้อ *Acetobacter xylinum* ที่เตรียมไว้ หมักในสภาวะนิ่งนาน 5-7 วัน จะมีการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์จากเชื้อแบคทีเรียขึ้น โดยจะมีลักษณะเป็นแผ่นวุ้นสีขาวขุ่นลอยอยู่บนผิวหน้าของของเหลว การผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเป

เปอร์จากเชื้อแบคทีเรียในช่วง 7 วันแรกจะมีอัตราการเกิดสูง แต่หลังจาก 7 วัน จะพบว่าอัตราการผลิตลดลง เนื่องจากธาตุอาหารถูกใช้ไปจนเหลือน้อยลง แต่แผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์บนผิวของอาหารจะหนาขึ้น ทำให้การซึมผ่านของอากาศสูงเชื้อทำได้ยาก ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ และอัตราการเกิดเซลลูโลสนาโนเปเปอร์จากเชื้อแบคทีเรียลดลง โดยในขั้นตอนการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์จะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง ดังนี้

1. แหล่งคาร์บอน เป็นสารอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของเชื้อทุกชนิด โดยกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนที่นิยมใช้ นอกจากนี้ยังมี ฟรักโทส ซูโครส แล็กโทส แมนนิทอล ที่สามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนได้
2. แหล่งไนโตรเจน เป็นสารอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *Acetobacter xylinum* ซึ่งอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบจะทำให้เชื้อไม่สามารถเจริญเติบโต และผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ได้ โดยแหล่งไนโตรเจนที่ใช้มีทั้งเป็นสารอนินทรีย์ เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ และแอมโมเนียมฟอสเฟต $((\text{NH}_4)_3\text{PO}_4)$ ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น สารสกัดจากยีสต์ สารสกัดจากมอลต์ เปปโตน เป็นต้น
3. ค่าพีเอช หรือ ความเป็นกรด-ด่าง เป็นสิ่งสำคัญในการเลี้ยงเชื้อ *Acetobacter xylinum* เนื่องจากค่าพีเอชเริ่มต้นของอาหารที่เหมาะสมนั้นจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการผลิตเซลลูโลสนาโนเปเปอร์สูงแล้ว ยังช่วยป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อราและเชื้อที่ทนในสภาวะกรด
4. อุณหภูมิ การเจริญเติบโตและการผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ของเชื้อ *Acetobacter xylinum* ส่วนใหญ่อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 28 -32 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส เชื้อสามารถเจริญเติบโตแต่ไม่สามารถผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ได้
5. การให้อากาศ เชื้อ *Acetobacter xylinum* เป็นเชื้อแบคทีเรียที่ต้องการอากาศในการเจริญเติบโต ดังนั้นในการผลิตเชื้อแบคทีเรียเซลลูโลสควรใช้ภาชนะที่มีผิวหน้ากว้างเพื่อให้มีพื้นที่ในการซึมผ่านของอากาศ

2.2 อนุภาคของนาโน [8]

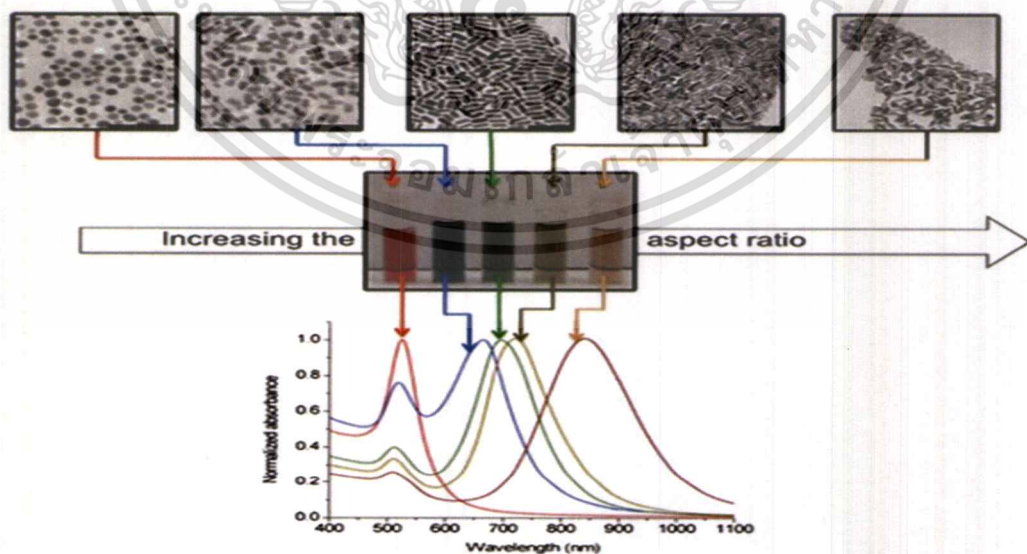
คำว่า “นาโน” ในทางวิทยาศาสตร์ใช้เป็นตัวนำหน้าหน่วยหรือคำอุปสรรค (prefix) ซึ่งเป็นหน่วยความยาวในระบบ SI แปลความหมายได้ว่า 1/1,000 ล้าน (หนึ่งในพันล้าน) 1 นาโนเมตรจึงมีขนาดเท่ากับ 1 ใน 1,000 ล้านส่วนของเมตร สามารถเขียนได้โดยแทนด้วยสัญลักษณ์ 1 nanometer (อักษรย่อคือ nm) = $1/1,000,000,000 \text{ m} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$ คำว่า “นาโน” จึงใช้กับวัตถุต่างๆ ที่มีขนาดอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงระหว่าง 1 – 100 นาโนเมตร สำหรับวิทยาศาสตร์ โครงสร้างของวัตถุต่างๆ ในระดับนาโน ที่มีขนาดโครงสร้างในระดับนี้จะเรียกว่า โครงสร้างนาโน (nanostructure)

วัสดุหรือโครงสร้างที่มีขนาดในระดับนาโนจะถูกจัดว่าเป็นโครงสร้างที่มีระบบมิติต่ำ (Low dimensional systems, LDSs) เนื่องจากมิติทางกายภาพ (กว้าง ยาว และ สูง) ของวัสดุหรือโครงสร้างระดับนาโนอย่างน้อยหนึ่งมิติจะถูกจำกัดขนาดอยู่ในช่วงนาโนเมตร ทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนบนพื้นผิววัสดุหรือโครงสร้างระดับนาโน แตกต่างไปจากวัสดุขนาดใหญ่ (Bulk materials) ซึ่งส่งผลให้สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแม่เหล็ก สมบัติเชิงเคมีและสมบัติทางแสงของอนุภาคเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

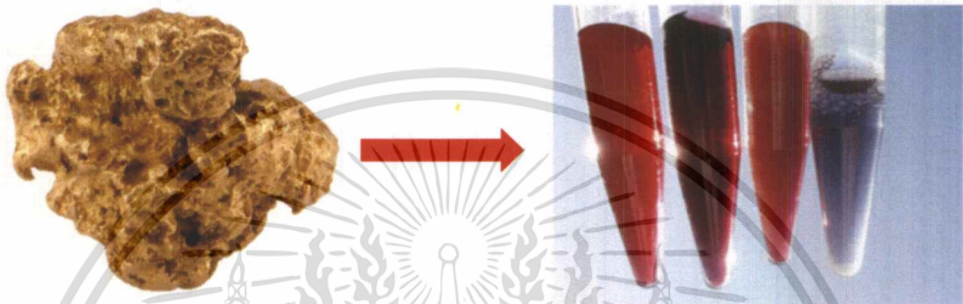
ทองคำ มีคุณสมบัติที่เป็นธาตุเฉื่อย มักไม่ทำปฏิกิริยา ทองคำมีขนาดตั้งแต่ 5 นาโนเมตรขึ้นไป จะยังคงมีลักษณะสมบัติเหมือนกันกับทองคำทั่วไป แต่เมื่อมีขนาดต่ำกว่า 5 นาโนเมตร จะมีลักษณะสมบัติที่แตกต่างจากทองคำ ได้แก่ สีของอนุภาคนาโนของทองคำจะมีสีหลากหลาย เช่น แดง ฟ้ำ เขียว หรือน้ำตาล ซึ่งไม่ได้ปรากฏเป็นสีทองเหมือนกับทองคำทั่วไป สีที่แตกต่างนี้เกิดจากการทำปฏิกิริยาของอิเล็กตรอนในแถบของ conduction ในอนุภาคนาโนโลหะกับสนามไฟฟ้าที่มาจากแสงที่ตกกระทบ ซึ่งทำให้เกิดการแทรกสอดของอิเล็กตรอนใน conduction band เกิดขึ้น ซึ่งการแทรกสอดนี้เรียกว่า localized surface plasmon resonance (LSPR) ซึ่งเกิดภายใต้สเปคตรัมของแสงยูวี-วิสิเบิล โดยการเปล่งแสงสีต่างๆนี้จะขึ้นอยู่กับรูปร่างของอนุภาคนาโนของทองคำ เช่น ทองคำในรูปของแท่งนาโนจะสามารถดูดซับแสงได้ดีที่มีความยาวคลื่น 800-1200 นาโนเมตร เป็นต้น การเปล่งแสงของอนุภาคนาโนทองคำที่มีรูปร่างแตกต่างกันแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงสีของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่ขนาดอนุภาคแตกต่างกัน [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

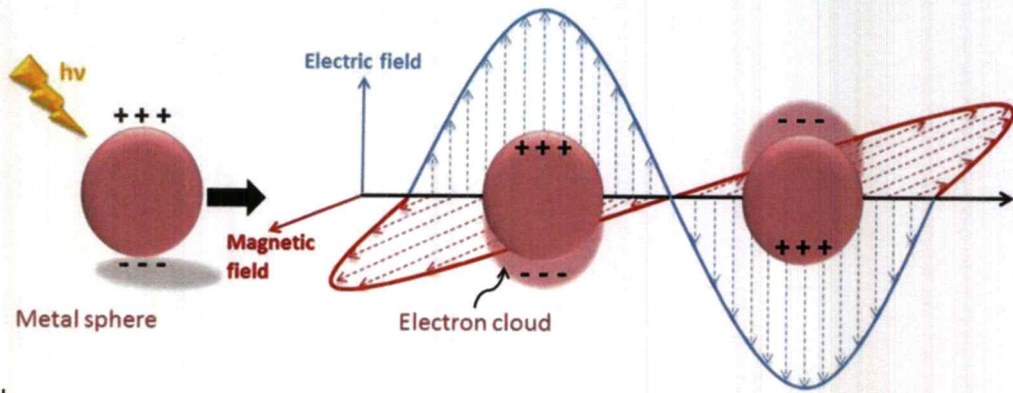
การที่ทองคำมีสีเหลือง เกิดจากทองคำดูดกลืนแสงสีน้ำเงินที่อยู่ในช่วงปลายของสเปกตรัมคลื่นแสงที่มองเห็นได้ (Visible) แต่ถ้าลดขนาดทองคำให้มีขนาดเล็กลงจนมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงที่มากกระทบจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ เซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ (Surface plasmon resonance, SPR) ซึ่งมีผลทำให้อนุภาคทองคำระดับนาโนเปลี่ยนไปดูดกลืนแสงสีเขียว (ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร) ซึ่งส่งผลให้อนุภาคทองคำระดับนาโนมีสีแดงไวน์ (Wine red) นอกจากนี้ถ้าอนุภาคทองคำระดับนาโนมีขนาดใหญ่ขึ้น สีของอนุภาคทองคำและแถบการดูดกลืนแสงจะเปลี่ยนไปทางความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้น (Red shift)



รูปที่ 2.2 แสดงสีของทองคำก่อนลดขนาด(ซ้าย) และหลังลดขนาดอนุภาคให้อยู่ในระดับนาโน(ขวา)

[10]

หลักการ เซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ (Surface plasmon resonance, SPR) เป็นคลื่นความหนาแน่นของประจุที่เกิดจากการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระที่มีลักษณะการสั่นพร้อมเพรียงกันเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อผิวของโลหะกับสารไดอิเล็กทริก เช่น กระจกหรือเงินกับอากาศหรือสารละลาย โดยที่ขนาดยอตกคลื่น และความกว้างของสเปกตรัมพลาสมอนเรโซแนนซ์ของวัสดุต่างจะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ประเภทของวัสดุ และสภาพแวดล้อมรอบๆวัสดุนั้น ทองคำสามารถแสดงปรากฏการณ์เชิงแสง โดยโลหะส่วนใหญ่จะมีความถี่เรโซแนนต์อยู่ในช่วงใกล้รังสียูวีซึ่งอยู่นอกสเปกตรัมของช่วงแสงที่มองเห็น นอกจากนี้อนุภาคนาโนของโลหะเกือบทุกชนิด ไม่สามารถคงตัวอยู่ในรูปอนุภาคนาโนได้นานในสภาวะแวดล้อมตามปกติ ทำให้ไม่ค่อยพบปรากฏการณ์นี้ในโลหะชนิดอื่น



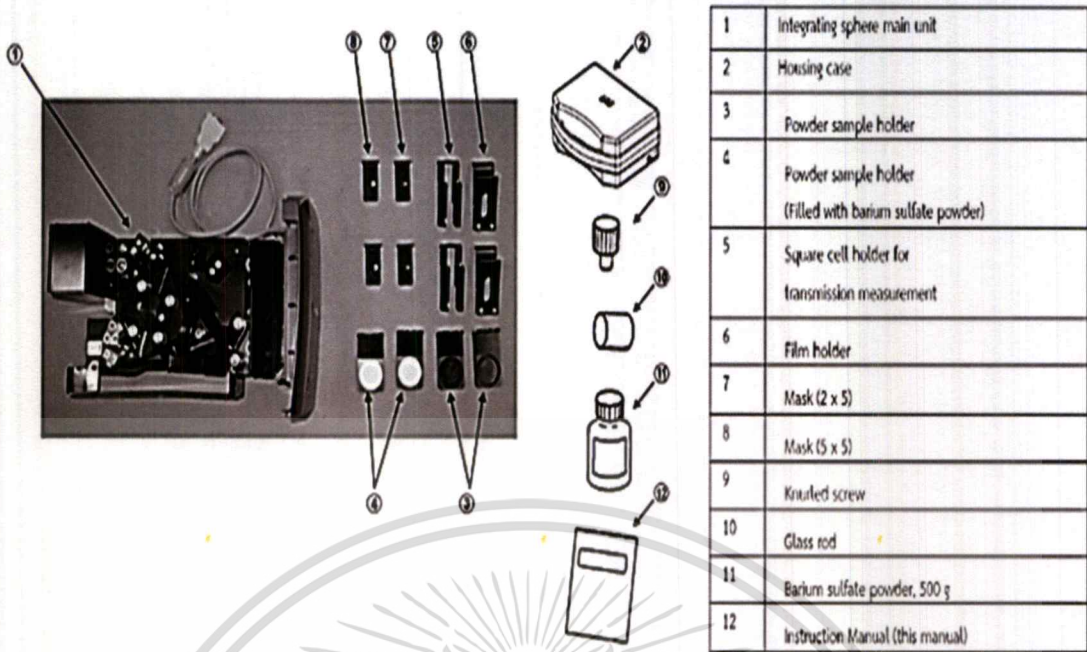
รูปที่ 2.3 แผนผังการเกิดเซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ (surface plasmon resonance) ของอนุภาคโลหะทรงกลม [11]

2.3 หลักการตรวจวัดความยาวคลื่นช่วงยูวี-วิสิเบิลบนแผ่นฟิล์ม [12][13]

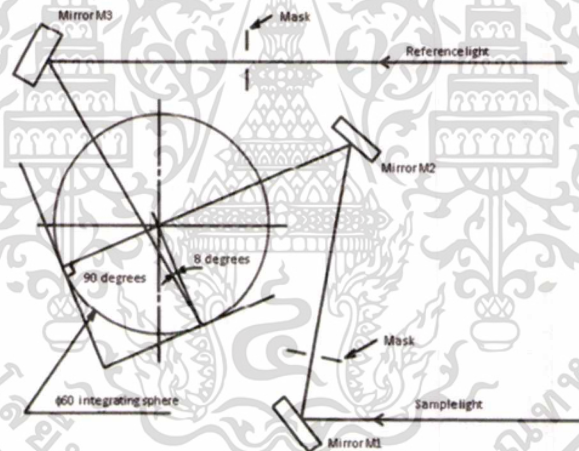
UV-Visible Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (Vis) ความยาวคลื่นประมาณ 200-900 nm โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้[28]

เครื่อง UV-Vis-ISR -2600 / 2600plus ถูกออกแบบมาเพื่อติดตั้งในช่องตัวอย่างของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่อวัดการสะท้อนแสงแบบกระจายและแบบสะท้อนแสงของตัวอย่างของแข็งและการส่องผ่านของตัวอย่างของเหลวและฟิล์ม เครื่อง UV-Vis-ISR -2600 / 2600plus เป็นเครื่องมือที่ผลานงานร่วมกับ photomultiplier โดยมีช่วงความยาวคลื่นที่ตรวจวัดได้คือ 220 nm ถึง 850 nm การวัดสามารถทำได้กับตัวอย่างของเหลวที่มีอยู่ในเซลล์และตัวอย่างของแข็ง เครื่องมือนี้ประกอบด้วยชิ้นส่วนต่อไปนี้ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบชิ้นส่วนในเครื่อง UV-Vis-ISR -2600 / 2600plus [13]

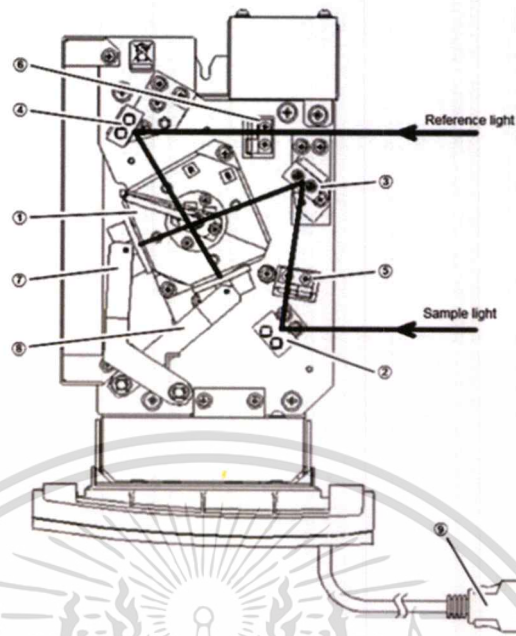


รูปที่ 2.5 แสดงระบบออปติคอล[13]

2.3.1 ระบบออปติคอล จากรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นแสงตัวอย่างทำให้เกิดมุม 0 องศา (normal incidence) และแสงอ้างอิงทำให้เกิดมุม 8 องศากับทรงกลมที่รวมเข้าด้วยกัน ด้วยการใช้ฟังก์ชันแลกเปลี่ยน S / R การตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Visible มีความสามารถวัดการสะท้อนแสงแบบกระจายในตำแหน่งการวัดการสะท้อนแสงในด้านตัวอย่างหรือวัดการสะท้อนแสงแบบ 8 องศาในตำแหน่งการวัดการสะท้อนแสงในด้านการอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 องค์ประกอบของแสง



รูปที่ 2.6 ISR-2600Plus [13]

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบในการเดินทางของแสงของเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ บนแผ่นฟิล์ม

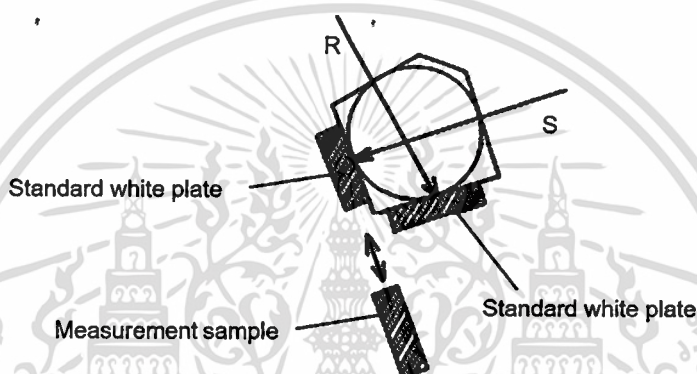
| เลขที่ | ชื่อ | ลักษณะ |
|--------|-------------------------|---|
| 1 | Integrating sphere ASSY | ตำแหน่งที่ใส่ชุด baseline ทรงกลมของแบเรียมซัลเฟตที่นำมาอัด |
| 2 | Mirror M1 | กระจกนํ้าแสงที่ด้านตัวอย่างไปยังชุด baseline ทรงกลมที่ผสมเข้าด้วยกัน |
| 3 | Mirror M2 | กระจกนํ้าแสงที่ด้านตัวอย่างไปยังชุด baseline ทรงกลมที่ผสมเข้าด้วยกัน |
| 4 | Mirror M3 | กระจกนํ้าแสงที่ด้านอ้างอิงไปยังชุด baseline ทรงกลมที่ผสมเข้าด้วยกัน |
| 5 | Mask holder (ด้าน S) | ตัวยึดนี้ใช้เพื่อลดขนาดลำแสงในตำแหน่งการวัดการสะท้อนแสงในด้านตัวอย่าง |
| 6 | Mask holder (ด้าน R) | ตัวยึดนี้ใช้เพื่อลดขนาดลำแสงในตำแหน่งการวัดการสะท้อนแสงในด้านการอ้างอิง |
| 7 | Sample holder (ด้าน S) | แถบเก็บตัวอย่างทางด้านตัวอย่าง |
| 8 | Sample holder (ด้าน R) | แถบเก็บตัวอย่างในด้านการอ้างอิง |
| 9 | สายสัญญาณ | สายเคเบิลนี้เชื่อมต่อกับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และช่วยส่งสัญญาณการวัด |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 หลักการทำงาน

ขั้นตอนที่ใช้ในการวัดการสะท้อนแสงแบบกระจายสำหรับมุมของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นที่ 0 องศาโดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐาน ขั้นตอนนี้ใช้ในการวัดตัวอย่างที่มีการแพร่กระจายสูง (แผ่น เรซิน ผง ฯลฯ)

1. ตั้งแผ่นชุด baseline ทรงกลมที่หน้าต่างทางออกแต่ละตำแหน่งที่ตรวจวัดตัวอย่างและดำเนินการอ้างอิงเพื่อตั้ง baseline
2. หลังจากตั้ง baseline แล้วให้เปลี่ยนชุด baseline ทรงกลมที่ด้านตัวอย่างด้วยการเอาตัวอย่างมาทำการวัดแล้วเริ่มดำเนินการการวัด



รูปที่ 2.7 แสดงการวัดการสะท้อนกลับแบบกระจาย [13]

การวัดการส่องผ่านของตัวอย่างฟิล์ม ส่วนนี้อธิบายถึงขั้นตอนที่ใช้สำหรับการวัดการส่องผ่านของตัวอย่างที่เป็นของแข็งโดยใช้โฟลเดอร์ฟิล์มตัวอย่างที่มีขนาด 30 มิลลิเมตร ถึง 40 มิลลิเมตร สีเหลืองจตุรัสและมีความหนาสูงสุด 3 มิลลิเมตร สามารถใช้ได้ (กระดาษแก้วแผ่นอะคริลิคและอื่นๆ)

1. ดังที่แสดงใน รูปที่ 2.8 ยึดตัวอย่างฟิล์มที่จัดมาให้เป็นอุปกรณ์เสริมมาตรฐาน (รูปที่ 2.4 -6) ไปที่หน้าต่างทางเข้าทางด้านตัวอย่างของทรงกลมที่ผสมรวมโดยใช้สกรูที่มีรูป 2.4 -9
2. ดำเนินการการวัด baseline
3. ใส่ตัวอย่างในที่ยึดฟิล์มและทำการตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงินนาโนถูกฝังอยู่ภายในแบคทีเรียลเซลลูโลส โดยวิธี in-situ เพื่อหาความสามารถในการรับรู้สารประกอบ chiral ของ AgNPs และnanopaper สำหรับการทดสอบ enantiomers AgNPs แสดงการตอบสนองต่อการตรวจจับต่อ D-cysteine ด้วยค่า LOD ที่ 4.88 μM หลักการของการตรวจจับด้วยแสง คือการทำงานร่วมกันที่เลือกของ AgNPs chiral โดยตรงกับ enantiomers ทำให้เกิดการรวมตัวของ AgNP เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเหลืองเป็นสีม่วงน้ำตาลทั้งในรูปของสารละลายและnanopaper สำหรับการใช้งานจริงบนแผ่นนาโนที่ได้รับถูกประทับเป็นชั้นวงกลม วางลงบนแผ่นพิมพ์ PET wax lm เพื่อผลิต cuvette สองมิติแบบใช้แล้วทิ้งซึ่งสามารถใส่เข้าไปในเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ทั่วไป ร้อยละของ enantiomeric ของ D-cysteine นั้นถูกตรวจสอบโดย cuvettes ที่ทำจาก nanopaper

N. Gao และคณะ [15] ได้ทำการพัฒนาวิธีการตรวจวัดเมลามีนให้มีความถูกต้อง แม่นยำ มีประสิทธิภาพและมีความจำเพาะเจาะจงสูง ด้วยวิธีการตรวจวัดทางสี (Colorimetric method) โดยใช้ Citrate-stabilized gold-nanoparticles (AuNPs) และเติม Triton x-100 เพื่อช่วยในการกระจายตัวและรักษาเสถียรภาพให้กับอนุภาคทองระดับนาโน ผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการเติมเมลามีนลงไปส่งผลให้อนุภาคทองระดับนาโนเกิดการรวมตัวกัน ทำให้Triton x-100 หลุดออกห่างจากอนุภาคทอง เนื่องจากเมลามีนเกิดการแลกเปลี่ยนลิแกนด์กับไอออนลบของซิเตรทบนพื้นผิวของอนุภาคทองระดับนาโน โดยสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน ค่าการดูดกลืนแสงจะเคลื่อนจาก 520 นาโนเมตรไปยัง 630 นาโนเมตร ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเมลามีน งานวิจัยนี้มีช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ที่ 0.75 – 1.75 ไมโครโมลาร์ และมีขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 5.1 นาโนโมลาร์ นอกจากนี้ในงานวิจัยยังประสบความสำเร็จในการตรวจวัดเมลามีนในน้ำนม โดยการใช้อนุภาคทองนาโนที่ถูกตรึงบนกระดาษเป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัดทางสี และทำการประมวลผลภาพถ่ายจากกล้องโทรศัพท์ผ่านการวิเคราะห์สีในระบบ RGB ถือว่าเป็นวิธีสะดวกรวดเร็ว ใช้งานง่ายและเครื่องมือไม่ซับซ้อน

C. Guan-Hua และคณะ [16] ทำการพัฒนาวิธีการตรวจวัดที่มีความจำเพาะเจาะจงกับสารปรอท Hg (II) ในแหล่งน้ำ โดยใช้บนอุปกรณ์ตรวจวัดที่ทำจากกระดาษ ในการทดลองจะใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย DNA เป็นรีเอเจนต์ในการตรวจวัดทางสี เมื่อทำการเติมปรอทลงไปเบสไทมีน (Thymine) จะเข้าไปจับกับปรอท ($\text{T-Hg}^{2+}\text{-T}$) ส่งผลให้ DNA ไม่สามารถรักษาเสถียรภาพอนุภาคทองได้ ส่งผลให้เกิดการรวมตัวกัน สีของสารละลายเปลี่ยนจากสีแดงเป็นน้ำเงินตามความเข้มข้นของปรอท และนำสารละลายไปหยดลงบนกระดาษ จากนั้นทำการบันทึกภาพผ่านกล้องโทรศัพท์มือถือและวิเคราะห์ภาพถ่ายผ่านระบบสี RGB โดยงานวิจัยที่พัฒนาขึ้นนี้มีขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 50 นาโนโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G. Jian-feng และคณะ [17] ทำการพัฒนาวิธีการตรวจวัดหาปริมาณโครเมต (VI) ไอออน ด้วยวิธีการตรวจวัดทางสี (Colorimetric method) บนอุปกรณ์ตรวจวัดที่ทำจากกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วย Silanization-titanium dioxide และทำการตรึงอนุภาคทองระดับนาโนที่ทำให้เสถียรด้วย Bovine serum albumin (BSA-AuNPs) โดยในการตรวจวัดจะทำการเติมกรดไฮโดรโบรมิกเข้มข้น 1 โมลาร์ลงไป เพื่อช่วยเร่งให้โครเมต (VI) ไอออน ออกซิไดซ์อนุภาคทองระดับนาโน เกิดเป็นโครเมต (III) ไอออน และเกิดสารประกอบ $AuBr_2^{2+}$ ขึ้น ทำให้จำนวนของอนุภาคทองระดับนาโนลดลง ส่งผลให้กระดาษมีสีจางลงเมื่อปริมาณของโครเมต (III) ไอออนเพิ่มขึ้น และทำการถ่ายภาพด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ ทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยระบบสี RGB เพื่อหาความเข้มข้นของสาร ซึ่งงานวิจัยที่พัฒนาขึ้นนี้มีช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ที่ 0.5 – 50 ไมโครโมลาร์ และมีขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 280 นาโนโมลาร์

S. Abbasi-Moayed และคณะ [18] ทำการพัฒนา biothiols สำหรับการตรวจวินิจฉัยโรคต่างๆ ชุดทดสอบที่พัฒนาจะมีราคาไม่แพง พกพาได้สะดวก วิเคราะห์ได้ไวสำหรับการระบุและแยกแยะสาร จึงได้ทำการพัฒนาชุดเซ็นเซอร์ ratiometric fluorescence (RF) ที่มีความหลากหลายของสีเปล่งแสงบนวัสดุ แบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ (BC) สำหรับแสดงความแตกต่างทางชีวภาพของ biothiols โดยมีจุดประสงค์ในการใช้คลื่นความถี่วิทยุตรวจหา N-Acetyl L-Cysteine ที่ปกคลุมด้วยจุดควอนตัมสีเขียวของ CdTe -Rhodamin B (QDs-RhB) และ จุดสีแดงสองจุดของ CdTe QDse (0 และ 5 mM) ที่ความเข้มข้นของ NaOH (0 และ 5 mM) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำหรับการแสดงความแตกต่างของ biothiols เนื่องจากความสัมพันธ์ที่สูงของกลุ่ม thiols (SH) กับพื้นผิวของ CdTe QDs และการรวมกันของ QDs การปล่อยแสงของฟลูออเรสเซนต์ (FL) ของ QDs เปลี่ยนไปในขณะที่การปล่อย CD และ Rhodamine B เกือบจะไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นรูปแบบการพิมพ์ลายนิ้วมือ FL ที่มีลักษณะเหมือนรู้งูกสร้างขึ้นสำหรับแต่ละ biothiols ซึ่งได้ทำการจำแนกให้เห็นได้ทั้งภาพ และสเปกโทรสโกปี การวิเคราะห์กลุ่มลำดับขั้น (HCA) และการวิเคราะห์จำแนกเชิงเส้น (LDA) ใช้เทคนิคการจำแนกรูปแบบสำหรับการระบุลักษณะเฉพาะและความแตกต่างของ biothiols ขึ้นอยู่กับอาร์เรย์เซ็นเซอร์ (RF) ที่ได้รับการออกแบบแถบทดสอบที่ถูกประดิษฐ์บนแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ สำหรับวิเคราะห์ความแตกต่างทางชีวภาพของ biothiols นั้นแสดงให้เห็นว่างานวิจัยนี้สามารถระบุ biothiols ในพลาสมาของมนุษย์ได้เป็นอย่างดี อาร์เรย์เซ็นเซอร์ที่พัฒนาโดยใช้แบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ เป็นเครื่องมือในวิเคราะห์ความแตกต่างทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในอนาคตอันใกล้ในด้านการรักษาโรค

S. Song และคณะ [19] ทำการสังเคราะห์ฟิล์มสำหรับการตรวจวัดด้วยฟลูออเรสเซนต์ริบเบอกราฟเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าแบบ Dual-Emission สำหรับการตรวจจับไอออนโลหะ ฟิล์ม Dual-Emission คือการเตรียมไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคโตซาน, กราไฟต์คาร์บอนไนไตรด์ (g-C3N4), และทองคำนาโนคลัสเตอร์ (Au NCs) จากฟิล์มที่ผลิตจากโคโตซานแสดงให้เห็นว่ากราฟต์คาร์บอนไนไตรด์ ไม่เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดการปล่อยแสงฟลูออเรสเซนซ์เท่านั้น แต่ยังช่วยเพิ่มเสถียรภาพเชิงกลและความร้อนของฟิล์ม ในขณะเดียวกันทองคำนาโนคลัสเตอร์ จะถูกดูดซับบนพื้นผิวของฟิล์มโคโตซานโดยการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าสถิต ฟิล์มแบบ dual-emission ที่เตรียมไว้สามารถเลือกตรวจจับ Cu^{2+} ซึ่งนำไปสู่การจับของการเรืองแสงสีแดงของทองคำนาโนคลัสเตอร์ ในขณะที่การเรืองแสงสีฟ้าจาก g-C3N4 ซึ่งยังคงมีอยู่ อัตราส่วนของความเข้มของฟลูออเรสเซนซ์ทั้งสองนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ Cu^{2+} และสีของฟลูออเรสเซนซ์เปลี่ยนจากสีส้มแดงเป็นสีเหลืองสีฟ้าและเป็นสีน้ำเงินในตอนสุดท้ายโดยการเพิ่มความเข้มข้น Cu^{2+} ดังนั้นฟิล์มแบบ dual-emission ที่ได้รับการจัดทำขึ้นสามารถใช้เป็นเซนเซอร์จากกระดาษสำหรับตรวจวัดเชิงอัตราส่วนสำหรับการตรวจจับ Cu^{2+} นอกจากนี้ฟิล์มยังแสดงถึงความไวต่อปฏิกิริยาที่สูงและความเฉพาะเจาะจง โดยมีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด (LOD) 10 ppb จากการวิจัยสังเกตได้ว่าเซนเซอร์จากกระดาษสามารถตรวจจับการเรืองแสงแบบตรวจวัดเชิงอัตราส่วนของ dual-emission เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกในการตรวจจับไอออนของโลหะ ในอนาคตงานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางหนึ่งในการตรวจจับไอออนของโลหะในสิ่งแวดล้อม

N. Pourreza และคณะ [20] ทำการกล่าวถึงแนวทางใหม่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับการสร้างอนุภาคเงินนาโนแบบ in-situ โดยใช้วัสดุนาโนเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่มียืดหยุ่นและโปร่งใส ในวิธีนี้ไอออนเงินที่ถูกดูดซับบนแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์จะถูกรีดิวซ์ โดยกลุ่มไฮดรอกซิลของแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ที่ผลิตสารประกอบนาโนชีวภาพ “อนุภาคนาโนสีเงินฝังตัวในแท่งนาโนที่โปร่งใส (ESNPs)” ESNPs ได้รับการตรวจสอบและดูลักษณะเฉพาะ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิด field emission (FE-SEM), เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี, เครื่องฟลูอริเมตริคสเฟอโรม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR), เครื่องมือวิเคราะห์เชิงความร้อน (TGA) และเครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองแสงรังสีเอกซ์ (EDX) พารามิเตอร์ที่สำคัญส่งผลกระทบต่อ ESNPs ถูกปรับให้เหมาะสมในระหว่างการประดิษฐ์ชิ้นงานผลิตภัณฑ์ได้นั้น ESNP ถูกใช้เป็นตัววิเคราะห์แบบใหม่และละเอียดอ่อนสำหรับการตรวจจับด้วยแสงของไซยาไนด์ไอออน (CN-) และ 2-mercapto benzothiazole (MBT) ในตัวอย่างน้ำที่มีผลิตภัณฑ์น่าพอใจ การเปลี่ยนแปลงของความเข้มของการดูดกลืนด้วย surface plasmon resonance ของพื้นผิวของ ESNPs เป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับความเข้มข้นในช่วง $0.2 - 2.5 \mu\text{g mL}^{-1}$ และ $2 - 110 \mu\text{g mL}^{-1}$ พร้อมขีดจำกัดสำหรับการตรวจวัดอยู่ที่ $0.012 \mu\text{g mL}^{-1}$ และ $1.37 \mu\text{g mL}^{-1}$ สำหรับ CN- และ MBT ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A. T. Vicente และคณะ [21] ทำการกล่าวถึงวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นหลายชนิด กำลังอยู่ในระหว่างการตรวจสอบเพื่อใช้เป็นเครื่องมือเชิงกลสำหรับการใช้งาน ในกลุ่มพวกเซลลูโลส, พอลิเมอร์อินทรีย์ที่มีมากที่สุดบนโลกในรูปแบบของกระดาษได้รับความสนใจในงานวิจัยมากมาย เนื่องจากข้อดีของการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ยืดหยุ่นยืดหยุ่นน้ำหนักเบาเข้ากันได้ทางชีวภาพและต้นทุนต่ำมากเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ เซลลูโลสสามารถพบได้ในหลายรูปแบบตั้งแต่กระดาษเซลลูโลสแบบดั้งเดิมที่ใช้สำหรับการเขียนการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์อาหาร/เครื่องดื่ม ไปจนถึงกระดาษนาโนเซลลูโลสซึ่งมีคุณสมบัติเชิงแสง, ความร้อนและกลไกที่แตกต่างกัน ที่สามารถปรับแต่งให้เหมาะสมกับการใช้งาน บทความปัจจุบันอธิบายเกี่ยวกับการรวมและการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงสร้างโฟโตนิกและเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวแสงบนแพลตฟอร์มที่ใช้กระดาษสำหรับการใช้งานเช่น การกระเจิงแสงแบบรามัน หรือ Surface Enhanced Raman Scattering (SERS) สนับสนุนการปรับปรุงสัญญาณที่ 107 และเซลล์สุริยะที่มีประสิทธิภาพถึง 5% สำหรับการจ่ายพลังงานในการใช้งานแบบสแตนด์อโลน ขณะนี้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระดาษนั้นกำลังเป็นที่นิยม เนื่องจากการเคลือบผิวแบบใหม่ที่ใช้งานบนพื้นผิวกระดาษได้พร้อมกับการอธิบายการจัดการแสงขั้นสูง (เช่นโครงสร้างการตรวจจับแสงด้วยคลื่นแสงและการแปลงค่า NIR-to-Visible) การค้นพบเหล่านี้เป็นแนวทางให้กับผลิตภัณฑ์จากนวัตกรรมการตรวจวัดทางแสงแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถใช้แล้วทิ้ง สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางและมีมูลค่า โดยอุปกรณ์เหล่านี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายเพราะมีความยืดหยุ่นและสอดคล้องกับวัตถุหรือพื้นผิวใดๆ ก็จะทำให้กลายเป็นส่วนหนึ่งการปฏิวัติ Internet of Things (IoT) ซึ่งต้องการความคล่องตัวของระบบและฟังก์ชันการใช้พลังงานเพื่อตอบสนองความต้องการ ความสะดวกสบาย และการดูแลสุขภาพของผู้ใช้

E. Zor และคณะ[22] ได้ทำการสังเคราะห์นาโนเปเปอร์ที่เกิดจากเส้นใยเซลลูโลสในระดับนาโน โดยกระดาษจะมีความยืดหยุ่นและมีความโปร่งใส เหมาะกับการเป็นเซนเซอร์ จึงนำแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์มาใช้เป็นแนวทางในการตรวจวัดทางแสง ในงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการตรึงคาร์บอนความต็มต่อทลงบนแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ เพื่อใช้ในการตรวจวัดไอโอดีน โดยแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์นั้นผลิตจากวัตุธรรมชาติ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ เกิดจากเส้นใยเซลลูโลสในระดับนาโน (เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอยู่ที่ 40 ± 10 นาโนเมตร) ซึ่งผลิตมาจากเชื้อ A. Xylinum. ในการวิจัยครั้งนี้มีการใช้หยดของไนโตรเจน หยดลงบนคาร์บอนความต็มต่อทที่ตรึงลงบนแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์จะเพิ่มคุณสมบัติการวางแสง จากนั้นนำมาตัดให้มีขนาดเป็นแผ่นรูวงกลมหรือแผ่นสี่เหลี่ยมและทำการแทรกลงบนแผ่นแวคซ์เพื่อใช้เป็น microcuvette สำหรับการตรวจวัดด้วยเครื่อง spectrofluorometer โดยสุดท้ายนี้ได้นำแผ่น naonapaper มาใช้ในการตรวจวัดไอโอดีนในน้ำทะเล ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีค่าขีดจำกัดการตรวจวัดและค่าขีดจำกัดการตรวจวัดเชิงปริมาณจะได้ค่าอยู่ที่ 48 และ 144 ไมโครโมลาร์ตามลำดับ (6.1 และ 18.3 ppm) ดังนั้นจึงทำนำมาใช้เป็น microcuvette ในการตรวจวัดน้ำทะเล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

| ชื่อสารเคมี | สูตรเคมี | ยี่ห้อและประเทศผู้ผลิต |
|--------------------------------|---|----------------------------------|
| Tetrachloroauric acid | $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ | Sigma-Aldrich, USA |
| Sodium hydroxide 'pellets | NaOH | SDFCL, Analytical reagent, India |
| Hydrogen peroxide | H_2O_2 | CARLO ERBA, Italy |
| D-Glucose | $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ | Sigma-Aldrich, USA |
| Disodium hydrogen phosphate | Na_2HPO_4 | CARLO ERBA, Italy |
| Citric acid | $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | Ajax Finechem Pty Ltd, Australia |
| Trisodium citrate | $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ | Sigma-Aldrich, USA |
| Sodium sulfate | Na_2SO_4 | CARLO ERBA, Italy |
| Potassium dihydrogen phosphate | KH_2PO_4 | MERCK, Germany |
| Magnesium sulfate | $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | CARLO ERBA, Italy |
| Peptone | - | SRL, India |
| Yeast | - | JT group, Japan |
| Hydrogen peroxide | H_2O_2 | VIDHYASOM, Thailand |
| (Sample A) | | |
| Hydrogen peroxide | H_2O_2 | Siribuncha, Thailand |

(Sample B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือตรวจวัด

| | | |
|--|------|-----------|
| 1) ขวดวัดปริมาตร | 10 | มิลลิลิตร |
| | 50 | มิลลิลิตร |
| | 100 | มิลลิลิตร |
| | 500 | มิลลิลิตร |
| 2) บีกเกอร์ | 25 | มิลลิลิตร |
| | 50 | มิลลิลิตร |
| | 100 | มิลลิลิตร |
| | 600 | มิลลิลิตร |
| | 1000 | มิลลิลิตร |
| 3) ขวดรูปชมพู่ | 250 | มิลลิลิตร |
| 4) ปีเปต | 5 | มิลลิลิตร |
| 5) ปีเปตทิป | 5 | มิลลิลิตร |
| 6) แท่งแก้วคนสาร | | |
| 7) ช้อนตักสาร | | |
| 8) หลอดหยด | | |
| 9) กระจกนาฬิกา | | |
| 10) กระดาษยูนิเวอร์ซัล อินดิเคเตอร์ (Universal Indicator) | | |
| 11) เครื่องกวนสาร -Heidolph MR 1000, Germany | | |
| 12) เครื่อง Mini digital scale – Carat scale | | |
| 13) เครื่องชั่งสาร - Ohaus Model: PA214, USA | | |
| 14) เครื่องกวนสารละลายให้ความร้อน - C-MAG HS 4, Germany | | |
| 15) เครื่องวัดพีเอช (pH meter) – Mettler Toledo, Thailand | | |
| 16) เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible spectrophotometer) ใช้สำหรับวัดแผ่นฟิล์ม – ISR-2600 Plus, Japan | | |
| 17) เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible spectrophotometer) – Shimadzu UV-1800 beam, Japan | | |
| 18) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) – FEI: QUANTA 250, USA | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19) เทอร์โมมิเตอร์

20) งานเพาะเชื้อ

3.2 การเตรียมสารละลาย

สารละลายทุกตัวเตรียมจากน้ำกลั่นปราศจากไอออนที่ได้จากเครื่อง ZENEER UP 900 ยี่ห้อ Human corporation และสารเคมีทุกตัวเป็นชนิดเกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent grade)

3.2.1 การเตรียมสารละลายร้อยละ 1 โดยปริมาตร โซเดียมไฮดรอกไซด์

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มา 4 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.2.2 การเตรียมสารละลายร้อยละ 5 โดยปริมาตร โซเดียมไฮดรอกไซด์

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มา 20 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.2.3 การเตรียมสารละลายร้อยละ 0.2 โดยปริมาตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ปิเปตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยปริมาตร มา 0.5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.2.4 การเตรียมสารละลายร้อยละ 1 โดยปริมาตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ปิเปตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยปริมาตร มา 2.5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.2.5 การเตรียมสารละลายร้อยละ 5 โดยปริมาตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ปิเปตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยปริมาตร มา 12.5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.2.6 การเตรียมสารละลายร้อยละ 10 โดยปริมาตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ปิเปตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยปริมาตร มา 25 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.2.7 การเตรียมสารละลายร้อยละ 20 โดยปริมาตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ปิเปตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยปริมาตร มา 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.2.8 การเตรียมสารละลายร้อยละ 30 โดยปริมาตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ปิเปตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยปริมาตร มา 75 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.9 การเตรียมสารละลาย 1 มิลลิโมลาร์ กรดเตตระคลอโรอูริก

ชั่งกรดเตตระคลอโรอูริก (HAuCl_4) มา 0.02 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 50 มิลลิลิตร

3.2.10 การเตรียมสารละลาย 2 นาโนโมลาร์ ทองนาโน

ต้มสารละลายกรดเตตระคลอโรอูริกเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ 50 มิลลิลิตร จนเดือด จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมซิเตรตเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ลงไป 3.5 มิลลิลิตร ต้มสารละลายต่อไปเป็นเวลา 15 นาที

3.2.11 การเตรียมสารละลาย 30 มิลลิโมลาร์ กรดเตตระคลอโรอูริก

ชั่งกรดเตตระคลอโรอูริก (HAuCl_4) มา 0.59 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 50 มิลลิลิตร

3.2.12 การเตรียมสารละลาย 40 มิลลิโมลาร์ กรดเตตระคลอโรอูริก

ชั่งกรดเตตระคลอโรอูริก (HAuCl_4) มา 0.79 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 50 มิลลิลิตร

3.2.13 การเตรียมสารละลาย 50 มิลลิโมลาร์ กรดเตตระคลอโรอูริก

ชั่งกรดเตตระคลอโรอูริก (HAuCl_4) มา 0.98 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 50 มิลลิลิตร

3.2.14 การเตรียมสารละลาย 38.8 มิลลิโมลาร์ ไตรโซเดียมซิเตรต

ชั่งไตรโซเดียมซิเตรต ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) มา 0.2853 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร

3.2.15 การเตรียมสารละลาย 1 โมลาร์ ไฮโดรคลอริก

ตวงสารละลายไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 11.96 โมลาร์ มา 4.18 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

3.2.16 การเตรียมแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโน

3.2.16.1 สำหรับตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

นำแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์มาตัดให้ได้ขนาด $3 \times 1 \times 0.5$

เซนติเมตร



รูปที่ 3.1 แบริลที่เรียลเซลลูโลสโนเปเปอร์ ขนาด 3x1x0.5 เซนติเมตร

3.2.16.2 สำหรับตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

แบ่งแบริลที่เรียลเซลลูโลสโนเปเปอร์ ให้ได้ขนาด 1 ส่วน 4 ของแผ่น
แบริลที่เรียลเซลลูโลสโนเปเปอร์

รูปที่ 3.2 แบริลที่เรียลเซลลูโลสโนเปเปอร์ ให้ได้ขนาด 1 ส่วน 4 ของแผ่นแบริล
เซลลูโลสโนเปเปอร์

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแบริล
เซลลูโลสโนเปเปอร์

3.3.1.1 ศึกษาอาหารเลี้ยงเชื้อที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแบริล
เซลลูโลสโนเปเปอร์

1) การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อสูตร Erhan zor

ซังกลูโคส 25 กรัม ยีสต์ 2.5 กรัม แอมโมเนียมซัลเฟต ((NH₄)₂SO₄)
2.5 กรัม โพแทสเซียมไดไฮดรเจนฟอสเฟต (KH₂PO₄) 2 กรัม และ แมกนีเซียมซัลเฟต
(MgSO₄·7H₂O) 0.05 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน และปรับปริมาตรจนถึง

ขีดบอกริมาตรใน บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร นำไปปรับพีเอชด้วยสารละลายไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ จนได้พีเอชประมาณ 5.4

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อสูตร Hestrin-Schramm medium

ซังกลูโคส 10 กรัม ยีสต์ 2.5 กรัม เปปโตน 2.5 กรัม ไตโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) 1.35 กรัม และ กรดซิตริก ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) 0.6 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร นำไปปรับพีเอชด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ จนได้พีเอชประมาณ 5.2

3.3.1.2 ศึกษาระยะเวลาที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์

ทำการวัดความหนาของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ โดยใช้ไม้บรรทัดวัดด้านข้างของขูดรูปชมพู่ทุกวัน จนได้ความหนาที่ต้องการ จึงทำการหยุดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์

3.3.1.3 ศึกษาค่าพีเอชของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์

ใช้ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ วัดน้ำล้างของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ จนได้พีเอช 6

3.3.1.4 ศึกษาโครงสร้างแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์

นำแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ มาทำการตรวจหาโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.3.2 ศึกษาอิทธิพลต่างๆที่ส่งผลต่อการตรึงอนุภาคทองคำนาโนลงบนแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ วิธีต่างๆ

3.3.2.1 ศึกษาอิทธิพลของการตรึงอนุภาคทองคำนาโนลงบนแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ วิธีต่างๆ

1) การตรึงโดยวิธีการแช่

ปีเปตสารละลายทองคำนาโน 10 มิลลิลิตร ลงบนแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ที่ความหนาต่างๆที่เตรียมไว้ ทำการแช่แบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ในสารละลายทองคำนาโนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ล้างแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์จนสะอาด และทำการตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

1.1) ศึกษาสัณฐานวิทยาของการตรึงอนุภาคทองคำนาโนลงบนแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ที่ความหนาต่างๆ โดยวิธีการแช่

นำแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ที่เตรียมไว้ ทำการตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10000x ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2) ศึกษาปริมาณอนุภาคทองคำนาโนที่พบบนแบคทีเรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่ความหนาต่างๆ โดยวิธีการแช่

แบคทีเรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่เตรียมไว้ ทำการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ Energy Dispersive X-ray Spectrometer : EDS

2) การตรึงโดยวิธีการ in-situ

ต้มสารละลายกรดเตตระคลอโรอูริกเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ปริมาณ 10 มิลลิลิตรจนเดือด (ประมาณ 90 องศาเซลเซียส) นำแบคทีเรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่เตรียมไว้ลงไปต้มเป็นเวลา 90 นาที

2.1) ศึกษาสัณฐานวิทยาของการตรึงอนุภาคทองคำนาโนลงบนแบคทีเรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ โดยวิธีการ in-situ

นำแบคทีเรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่เตรียมไว้ ทำการตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10000x

2.2) ศึกษาความหนาของแบคทีเรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่มีผลต่อการตรึงอนุภาคทองคำนาโน

เตรียมแบคทีเรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่ความหนา 2, 3, 4 และ 5 มิลลิเมตร นำแบคทีเรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่เตรียมไว้ลงไปต้มกับสารละลายกรดเตตระคลอโรอูริกเป็นเวลา 90 นาที ล้างแบคทีเรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์จนสะอาด จากนั้นทำการตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

2.3) ศึกษาปริมาณอนุภาคทองคำนาโนที่พบบนแบคทีเรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ โดยวิธีการ In-situ

นำแบคทีเรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่เตรียมไว้ ทำการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ Energy Dispersive X-ray Spectrometer : EDS

2.4) ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดเตตระคลอโรอูริกที่มีผลต่อการตรึงอนุภาคทองคำนาโน

เตรียมสารละลายกรดเตตระคลอโรอูริก ที่ความเข้มข้น 30, 40 และ 50 มิลลิโมลาร์ ต้มให้เดือด นำแบคทีเรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่เตรียมไว้ลงไปต้มเป็นเวลา 90 นาที ล้างแบคทีเรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์จนสะอาด จากนั้นทำการตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

2.5) ศึกษาเวลาที่ใช้ในการตรึงอนุภาคทองคำนาโน

ต้มสารละลายกรดเตตระคลอโรอูริกที่ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ นำแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่เตรียมไว้ลงไปต้มเป็นเวลา 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที ล้างแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์จนสะอาด จากนั้นทำการตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

2.6) ศึกษาการล้าง

นำแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ทำการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทุกขนาด ทุกความเข้มข้น ทุกเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ มาทำการล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนครั้งละ 20 มิลลิลิตร และทำการปั่นกวนครั้งละ 30 วินาที จากนั้นนำไปวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สังเกตค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร

2.7) ศึกษาการทดสอบกับสารตัวอย่าง

นำตัวอย่าง A และ B หยดลงแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ทำการตรึงอนุภาคทองคำนาโนแล้ว จากนั้นทำการตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สังเกตค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตรที่เปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์

ในส่วนนี้จะศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการสังเคราะห์หอนุภาคทองนาโน โดยตัวแปรที่ทำการศึกษามีดังนี้

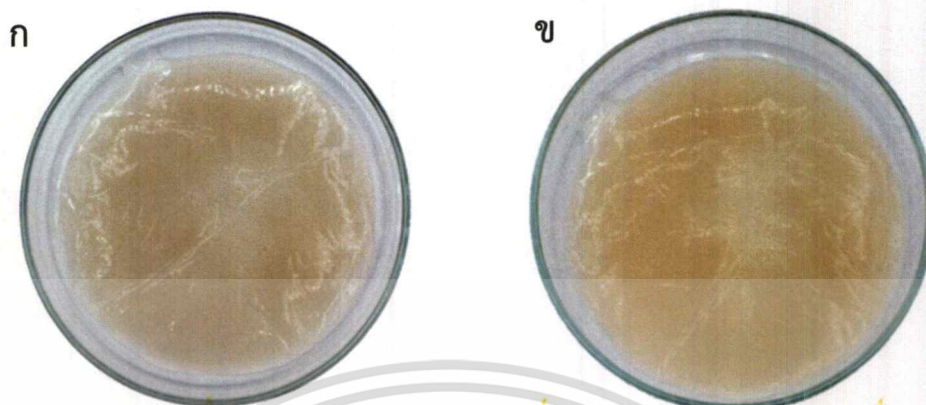
4.1.1 ผลของอาหารเลี้ยงเชื้อ

ได้ทำการศึกษาสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมในการสังเคราะห์แบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง โดยได้ศึกษาอาหารเลี้ยงเชื้อ 2 สูตร คือ สูตร Erhan Zor และ Hestrin-Schramm medium ศึกษาสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ 2 สูตร ดังนี้

1. สูตรอาหารชนิด Erhan Zor ประกอบด้วย
 - 1) กลูโคส
 - 2) ยีสต์
 - 3) แอมโมเนียมซัลเฟต
 - 4) โพแทสเซียมซัลเฟต
 - 5) แมกนีเซียมซัลเฟต
2. สูตรอาหารชนิด Hestrin-Schramm medium ประกอบด้วย
 - 1) กลูโคส
 - 2) ยีสต์
 - 3) เปปโตน
 - 4) ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต
 - 5) กรดซิตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.1









รูปที่ 4.1 แสดงแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ ที่ได้จาก (ก) อาหารเลี้ยงเชื้อสูตร Erhan Zor และ (ข) อาหารเลี้ยงเชื้อสูตร Hestrin-Schramm medium

เกณฑ์ในการเลือกสูตรอาหารที่เหมาะสมคือ เมื่อใช้เตรียมแล้วจะได้แบคทีเรียเซลลูโลสที่ใสจากรูป 4.1 (ก) จะพบว่า แบคทีเรียเซลลูโลส นาโนเปเปอร์จากอาหารเลี้ยงเชื้อสูตร Erhan Zor มีสีเหลืองขุ่นเมื่อมองด้วยตาเปล่า รูป (ข) แบคทีเรียเซลลูโลส นาโนเปเปอร์จากอาหารเลี้ยงเชื้อสูตร Hestrin-Schramm medium มีสีเหลืองใสเมื่อมองด้วยตาเปล่า ดังนั้น จึงเลือกสูตร Hestrin-Schramm medium เป็นสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมแบคทีเรียนาโนเปเปอร์ต่อไป

4.1.2 ผลของการศึกษาระยะเวลาที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์

ได้ทำการสังเกตระยะเวลาการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ โดยติดตามตั้งแต่เริ่มเลี้ยงเชื้อวันที่ 1 จนถึงวันที่ 6 ผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงระยะเวลาการเจริญเติบโตของแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์

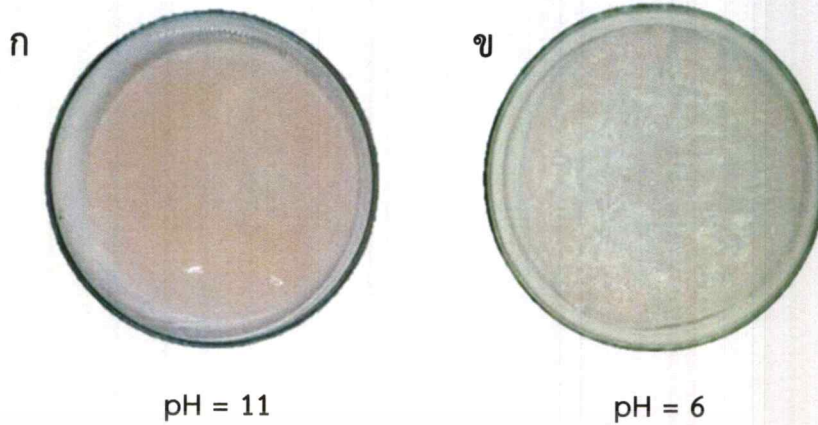
| วันที่ 1 | วันที่ 2 | วันที่ 3 |
|--|--|--|
|  |  |  |
| ยังไม่มี การเจริญเติบโต | หนา 1 มิลลิเมตร | หนา 2 มิลลิเมตร |
| วันที่ 4 | วันที่ 5 | วันที่ 5 |
|  |  |  |
| หนา 3 มิลลิเมตร | หนา 4 มิลลิเมตร | หนา 5 มิลลิเมตร |

จากตารางที่ 4.1 พบว่าแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ เจริญเติบโตอย่างเนื่อง โดยในการทดลองนี้สนใจที่จะนำแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ความหนาต่างๆ เหล่านี้ไปเพื่อใช้ในการศึกษาอิทธิพลของความหนามีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคและตรึงทองนาโน ดังจะได้กล่าวต่อไป

4.1.3 ผลของการศึกษาค่าพีเอชของแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์

ในการนำแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนที่เตรียมได้ไปใช้เพื่อสังเคราะห์และตรึงอนุภาคทองนาโนนั้น จำเป็นต้องปรับพีเอชของแบคทีเรียลเซลลูโลสให้ได้เท่ากับพีเอช 5 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโน [23] โดยวัดพีเอชของแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์จะใช้ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

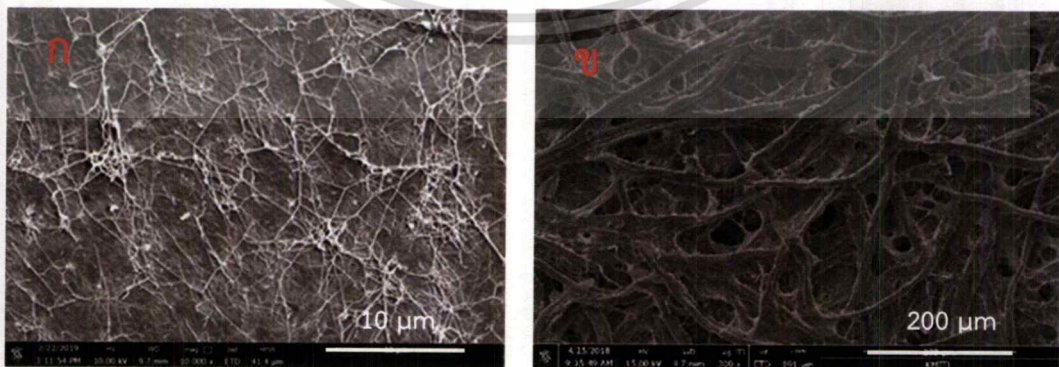


รูปที่ 4.2 แสดง (ก) แบริลที่เรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ไม่ได้ล้าง และ (ข) แบริลที่เรียลเซลลูโลส นาโนเปเปอร์หลังทำการล้าง

จากรูปที่ 4.2 (ก) พบว่าก่อนทำการล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน แบริลที่เรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ มีสีใสอมเหลือง และเมื่อทำการวัดด้วยยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ พบว่ามี พีเอชอยู่ที่ 11 และจากรูปที่ 4.2 (ข) พบว่าหลังจากทำการล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน แบริลที่เรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ใสขึ้น และเมื่อทำการวัดด้วยกระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ พบว่ามีพีเอชอยู่ที่ 6 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์ท่อนาโนลงไป ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า จำเป็นต้องล้างแบริลที่เรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ก่อนนำไปใช้สำหรับการสังเคราะห์และตรึงอนุภาคท่อนาโน

4.1.4 ผลของการศึกษาโครงสร้างแบริลที่เรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์

จากการศึกษาโครงสร้างของแบริลที่เรียลเซลลูโลส นาโนเปเปอร์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เปรียบเทียบกับโครงสร้างของกระดาษกรองวีทแมนเบอร์1 พบว่าได้ผลทดลองดังรูปที่ 4.3 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 แสดงโครงสร้างของแบริลที่เรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ (ก) ที่กำลังขยาย 10000x และ (ข) ไม่ผ่านการใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ กระดาษกรองที่กำลังขยาย 200x

จากรูปที่ 4.3 (ก) พบว่าโครงสร้างของแบคทีเรียเซลลูโลสโนนาโนเปเปอร์มีขนาดไมโครเมตร พบว่ามีการจัดเรียงตัวของเส้นใยอย่างหนาแน่นและมีเส้นใยขนาดเล็ก รูปที่ 4.3 (ข) เป็นโครงสร้างของกระดาษกรองว็อดแมนเบอร์ 1 มีขนาดเส้นใยที่ใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับขนาดเส้นใยของแบคทีเรียเซลลูโลสโนนาโนเปเปอร์ จึงสรุปได้ว่า แบคทีเรียเซลลูโลสโนนาโนเปเปอร์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดในระดับนาโนเมตร ตามที่ต้องการ

4.2 การศึกษาอิทธิพลต่างๆ ที่ส่งผลต่อการตรึงอนุภาคของนาโนลงบนแบคทีเรียเซลลูโลสโนนาโนเปเปอร์ วิธีต่างๆ

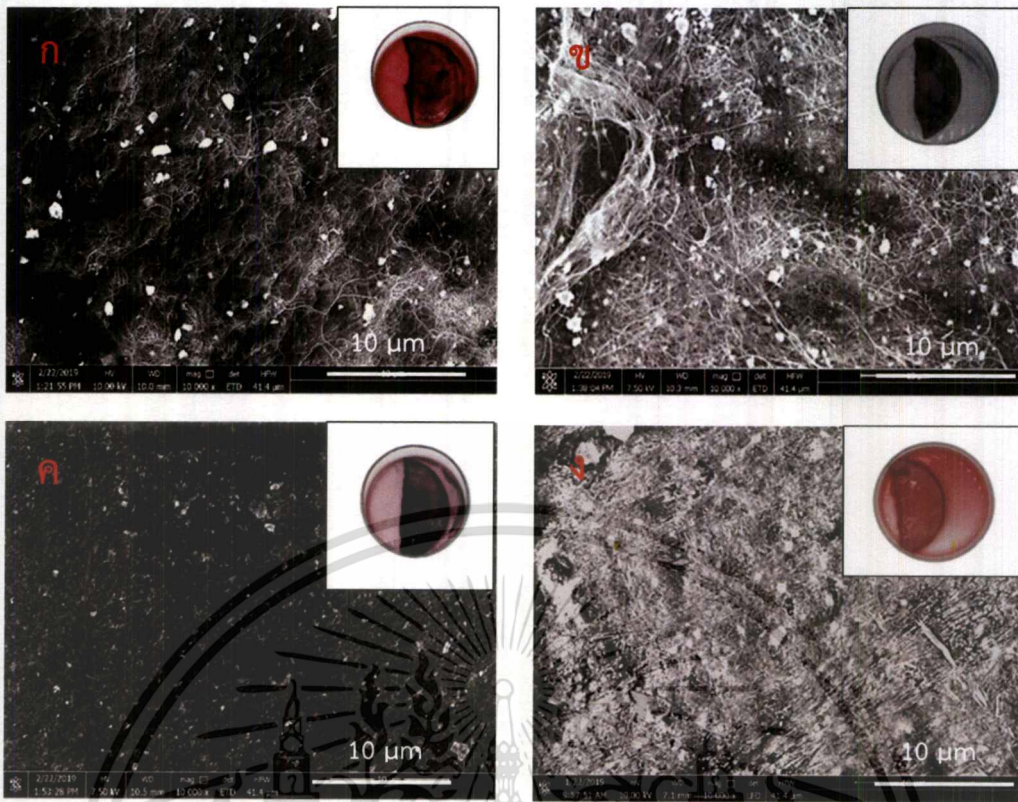
ในโครงการนี้ จะทำการตรึงอนุภาคของนาโนลงบนแบคทีเรียเซลลูโลสโนนาโนเปเปอร์ 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่ การตรึงโดยวิธีการแช่และการตรึงโดยวิธี In-situ ในส่วนนี้จะนำเสนอผลการศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อการตรึงอนุภาคของนาโนลงบนแบคทีเรียเซลลูโลสโนนาโนเปเปอร์ เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการทดสอบกับตัวอย่าง โดยตัวแปรที่ทำการศึกษามีดังนี้

4.2.1 การตรึงโดยวิธีการแช่

ได้ทำการศึกษาวិธีการตรึงอนุภาคของนาโนลงบนแบคทีเรียเซลลูโลสโนนาโนเปเปอร์ โดยวิธีการนำแบคทีเรียเซลลูโลสโนนาโนเปเปอร์ไปแช่ในสารละลายอนุภาคของนาโนที่เตรียมจากวิธี Turkevich ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 2 นาโนโมลาร์ พบว่าได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1.1 ผลของการศึกษาสัญญาณวิทยาของการตรึงอนุภาคของนาโนลงบนแบคทีเรียเซลลูโลสโนนาโนเปเปอร์ที่ความหนาต่างๆ โดยวิธีการแช่

ทำการพิสูจน์คุณลักษณะด้านสัญญาณวิทยาของอนุภาคของนาโนที่ตรึงลงบนแบคทีเรียเซลลูโลสโนนาโนเปเปอร์ โดยวิธีการแช่ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10000x โดยทำการเปรียบเทียบลักษณะทางสัญญาณวิทยาของอนุภาคของนาโนที่ความหนา 2, 3, 4 และ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่าให้ผลการทดลองดังรูป 4.4



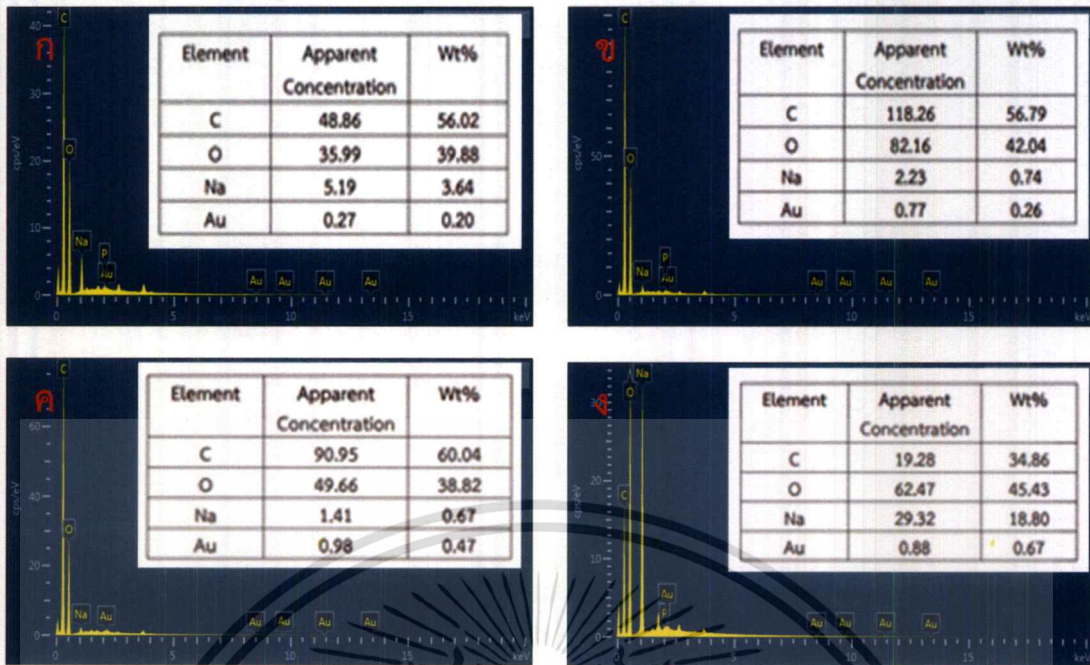
รูปที่ 4.4 แบคทีเรียเซลลูโลสที่ตรึงอนุภาคท่อนาโน เมื่อใช้แบคทีเรียเซลลูโลสที่ความหนาแตกต่างกัน (ก) 2 มิลลิเมตร (ข) 3 มิลลิเมตร (ค) 4 มิลลิเมตร และ (ง) 5 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.4 เมื่อนำแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ความหนา 2-5 มิลลิเมตร แช่ในสารละลายอนุภาคท่อนาโนความเข้มข้น 2 นาโนโมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าสีของแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีขาวอมเหลืองเป็นสีม่วงแดง และเมื่อนำไปศึกษาคุณลักษณะด้านสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ามีโครงสร้างเป็นลักษณะเป็นเส้นใยปกคลุมอย่างหนาแน่น และพบอนุภาคท่อนาโนกระจายตัวมากขึ้นตามความหนาของแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่เพิ่มขึ้น

4.2.1.2 ผลของการศึกษาปริมาณอนุภาคท่อนาโนที่พบบนแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ความหนาต่างๆ โดยวิธีการแช่

ทำการหาปริมาณของอนุภาคท่อนาโนที่ตรึงลงบนแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ โดยวิธีการแช่ ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDS) โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคท่อนาโนที่ถูกตรึงอยู่บนแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ความหนา 2, 3, 4 และ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่าให้ผลการทดลองดังรูป 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณของอนุภาคทองคำนาโนที่พบบนแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ความหนาแตกต่างกัน (ก) 2 มิลลิเมตร (ข) 3 มิลลิเมตร (ค) 4 มิลลิเมตร และ (ง) 5 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.5 เมื่อนำแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ความหนาต่างๆ ที่ตรึงอนุภาคทองคำนาโนไปศึกษาด้วย EDS พบว่าปริมาณของอนุภาคทองคำนาโนจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0.20, 0.26, 0.47 และ 0.67 ตามลำดับ)

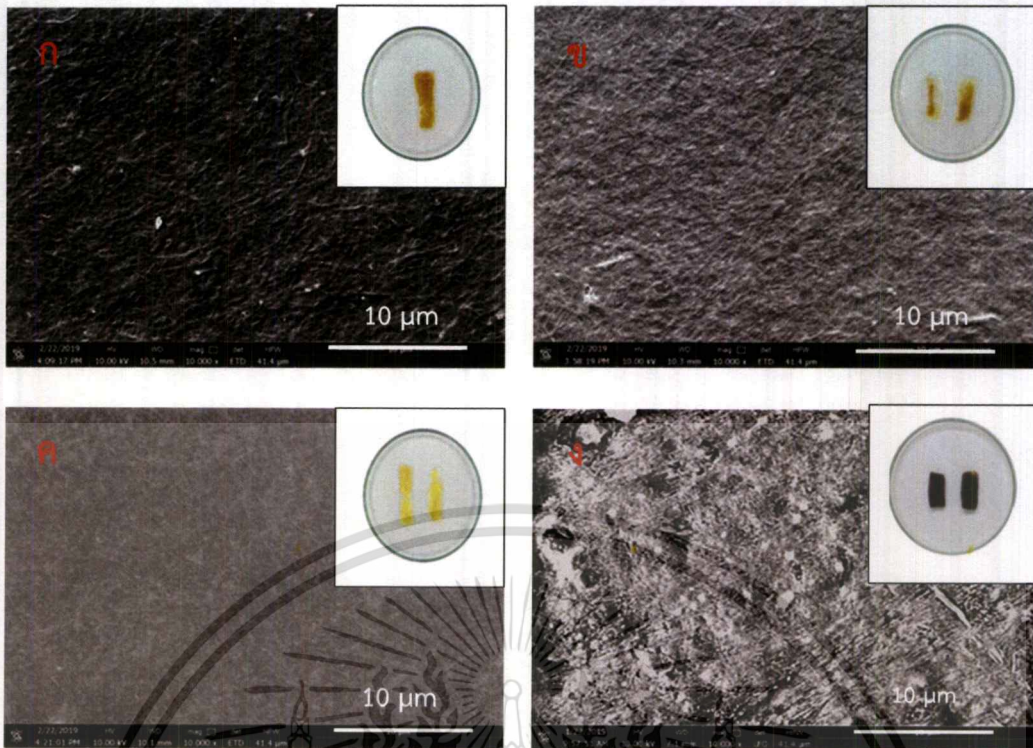
4.2.2 การตรึงโดยวิธีการ In-situ

ได้ทำการศึกษาวิธีการตรึงอนุภาคทองคำนาโนลงบนแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์โดยวิธีการ In-situ พบว่าได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.2.1 ผลของการศึกษาสัณฐานวิทยาของการตรึงอนุภาคทองคำนาโนลงบนแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ โดยวิธีการ in-situ

ทำการพิสูจน์คุณลักษณะด้านสัณฐานวิทยาของอนุภาคทองคำนาโนที่ตรึงลงบนแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ โดยวิธีการ in-situ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10000x โดยทำการเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคทองคำนาโนที่ความหนา 2, 3, 4 และ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่าให้ผลการทดลองดังรูป 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



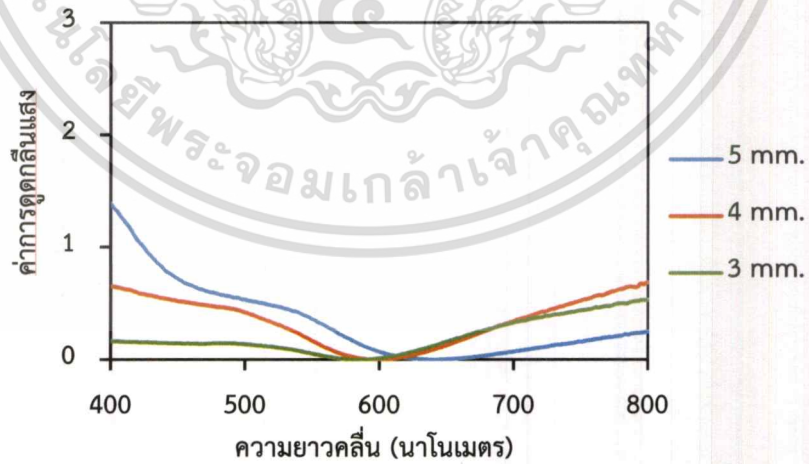
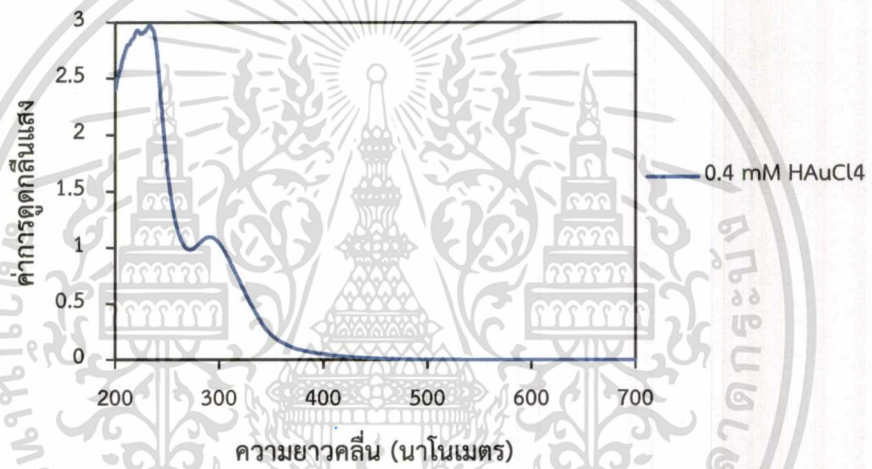
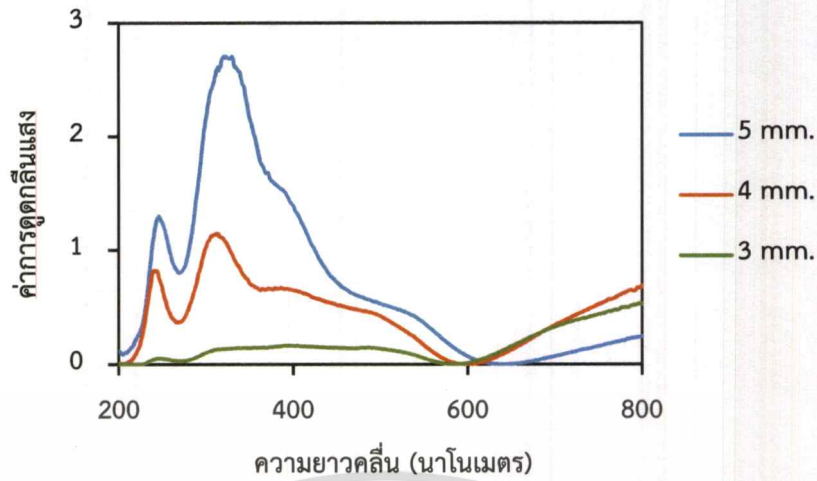
รูปที่ 4.6 แแบคที่เรียลเซลลูโลสที่ตรงอนุภาคทองนาโน เมื่อใช้แบคที่เรียลเซลลูโลสที่ความหนาแตกต่างกัน (ก) 2 มิลลิเมตร (ข) 3 มิลลิเมตร (ค) 4 มิลลิเมตร และ (ง) 5 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.6 เมื่อนำแบคที่เรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ความหนาต่างๆที่ตรงอนุภาคทองนาโนด้วยวิธีการ In-situ เป็นเวลา 90 นาที พบว่าสีของแบคที่เรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีขาวอมเหลืองเป็นสีน้ำตาลแดงมากขึ้นตามความหนาของแบคที่เรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่เพิ่มขึ้น และเมื่อนำไปศึกษาคุณลักษณะด้านสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดพบว่าโครงสร้างมีลักษณะเป็นเส้นใยปกคลุมอย่างหนาแน่น และพบอนุภาคทองนาโนกระจายอยู่เพิ่มมากขึ้นตามความหนาของแบคที่เรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่เพิ่มขึ้น

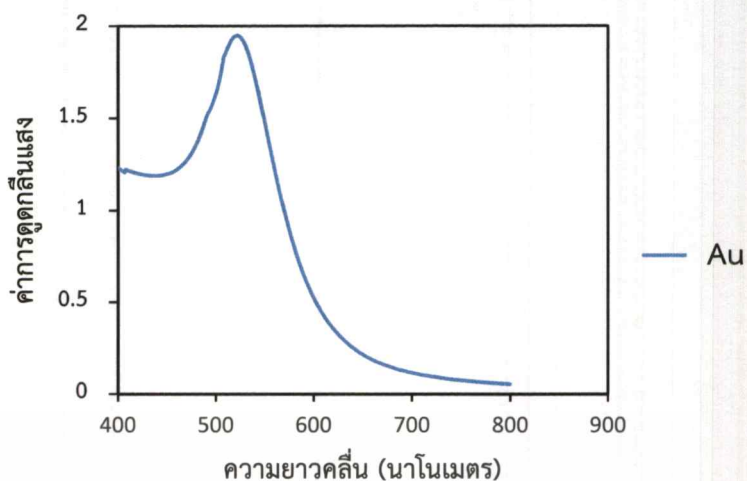
4.2.2.2 ผลการศึกษาความหนาของแบคที่เรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่มีผลต่อการตรงอนุภาคทองนาโน

ทำการศึกษาความหนาที่เหมาะสมของแบคที่เรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ในการตรงอนุภาคทองนาโนด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้แบคที่เรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ความหนา 2-5 มิลลิเมตร แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



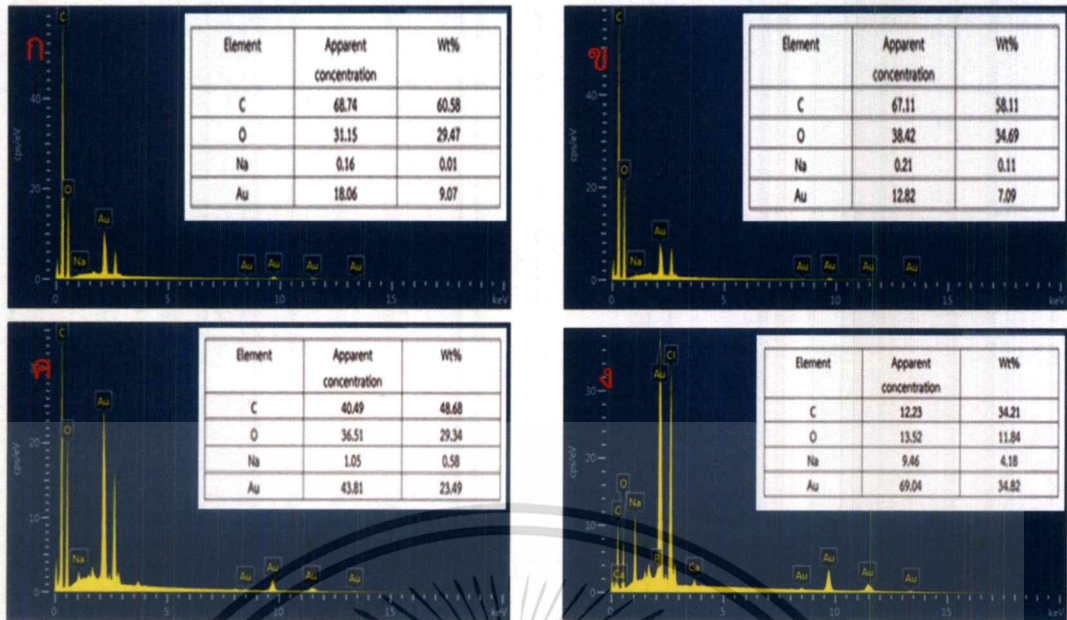
รูปที่ 4.7 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสง (ก) แบนคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ความหนาต่างๆ ที่ตั้งอุณหภูมิของนาโน (ข) ของสารละลายกรดเตตระคลอโรอูริกที่ความเข้มข้น 0.4 มิลลิโมลาร์ (ค) ภาพขยายสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแบนคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ความหนาต่างๆ ที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร (ง) ภาพสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคทองนาโน 2 นาโนโมลาร์

จากรูปที่ 4.7 เมื่อทำการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแบนคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ความหนาต่างๆ พบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสูงขึ้นตามความหนาของแบนคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่มากขึ้น เมื่อพิจารณาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 400-600 นาโนเมตร (รูป ค) พบว่ามีลักษณะคล้ายกับสเปกตรัมของสารละลายอนุภาคทองนาโน (รูป ง) จึงกล่าวได้ว่ามีอนุภาคทองนาโนเกิดขึ้นจริง นอกจากนี้ยังพบว่ามีพีคปรากฏในช่วงความยาวคลื่น 200-400 นาโนเมตร ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับสเปกตรัมของสารละลายกรดเตตระคลอโรอูริก (รูป ข) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการดูดกลืนของสารละลายกรดเตตระคลอโรอูริกบนแบนคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์

4.2.2.3 ผลของการศึกษาปริมาณอนุภาคทองนาโนที่พบบนแบนคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ โดยวิธีการ in-situ

ทำการหาปริมาณของอนุภาคทองนาโนที่ตั้งอยู่บนแบนคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ โดยวิธี In-situ ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDS) โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคทองนาโนที่ถูกตรึงอยู่บนแบนคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ความหนา 2, 3, 4 และ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่าให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



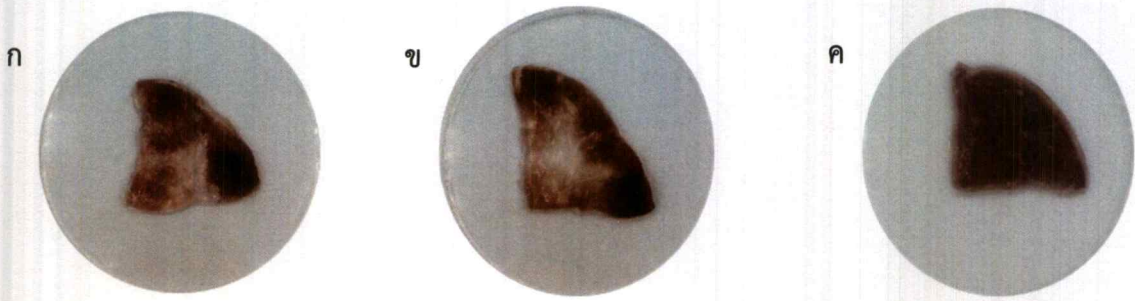
รูปที่ 4.8 แสดงปริมาณของอนุภาคทองคำนาโนที่พบบนแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ความหนาแตกต่างกัน (ก) 2 มิลลิเมตร (ข) 3 มิลลิเมตร (ค) 4 มิลลิเมตร และ (ง) 5 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.8 เมื่อนำแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ความหนาต่างๆที่ตรึงอนุภาคทองคำนาโนไปศึกษาด้วย EDS พบว่าปริมาณของอนุภาคทองคำนาโนจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ 9.07, 7.09, 23.49 และ 34.82 ตามลำดับ)

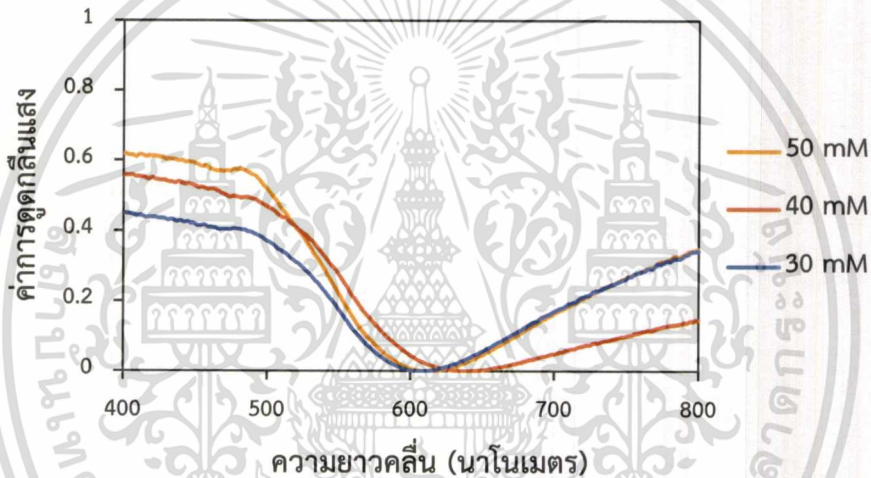
4.2.2.4 ผลของการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดเตตระคลอโรริกที่มีผลต่อการตรึงอนุภาคทองคำนาโน

ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดเตตระคลอโรริกที่มีผลต่อการตรึงอนุภาคทองคำนาโน โดยใช้สารละลายกรดเตตระคลอโรความเข้มข้น 30, 40, 50 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ แสดงผลการทดลองดังรูป 4.9 และ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงภาพถ่ายของแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ตรึงอนุภาคทองคำ โดยใช้สารละลายกรดเตตระคลอโรอูริกที่ความเข้มข้น (ก) 30 มิลลิโมลาร์ (ข) 40 มิลลิโมลาร์ และ (ง) 50 มิลลิโมลาร์



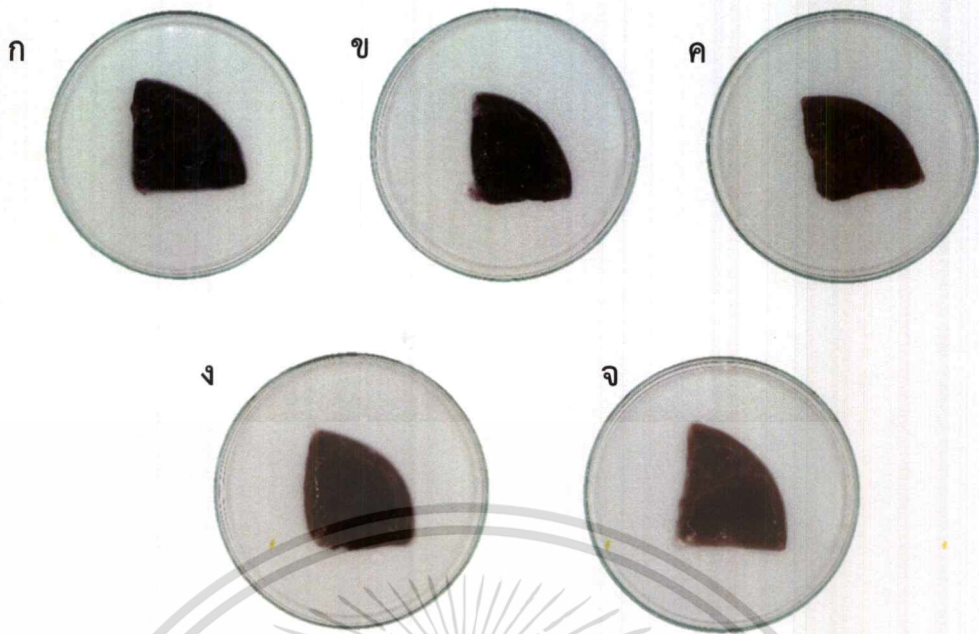
รูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ตรึงอนุภาคทองคำ โดยใช้สารละลายกรดเตตระคลอโรอูริกตามความเข้มข้นต่างๆ

จากรูปที่ 4.9 พบว่าแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ตรึงอนุภาคทองคำเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากขาวอมเหลืองเป็นสีม่วงแดงมากขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายกรดเตตระคลอโรอูริก สอดคล้องกับการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสง (รูปที่ 4.10) พบว่าการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายกรดเตตระคลอโรอูริก

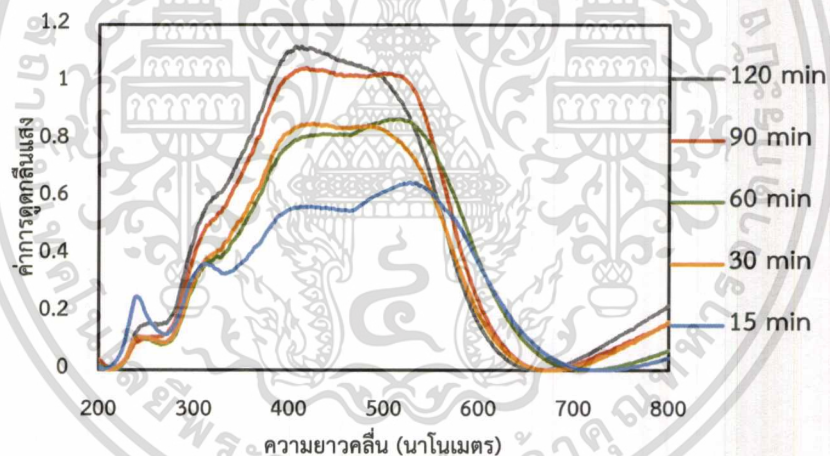
4.2.2.5 ผลของการศึกษาเวลาที่ใช้ในการตรึงอนุภาคทองคำ

ทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำในเวลาที่ต่างๆ ที่ 15 นาที 30 นาที 60 นาที 90 นาที และสุดท้าย 120 นาที พบว่าให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงภาพถ่ายของแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ตรึงอนุภาคทองคำนาโนโดยใช้เวลาต่างกัน (ก) 15 นาที (ข) 30 นาที (ค) 60 นาที (ง) 90 นาที และ (จ) 120 นาที ตามลำดับ



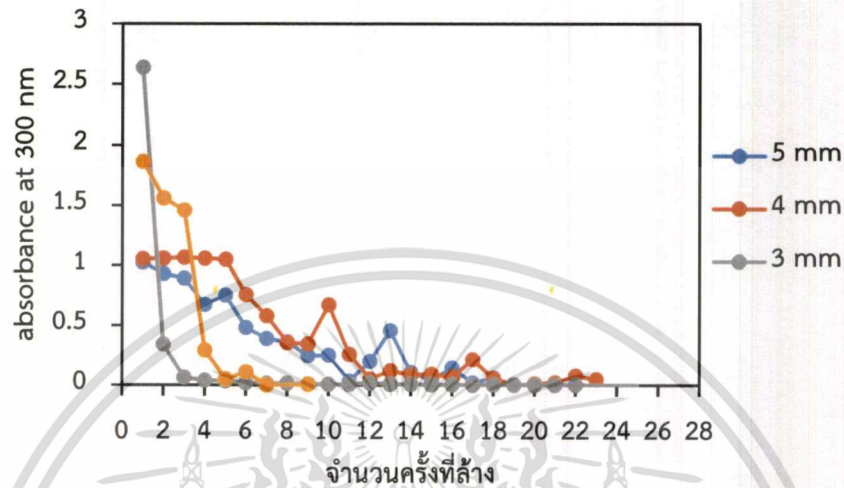
รูปที่ 4.12 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ใช้เวลาในการตรึงอนุภาคทองคำนาโนแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.11 พบว่าแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ตรึงอนุภาคทองคำนาโนเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากขาวอมเหลืองเป็นสีม่วงแดงมากขึ้นตามความระยะเวลาในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสง (รูปที่ 4.12) พบว่าการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโน

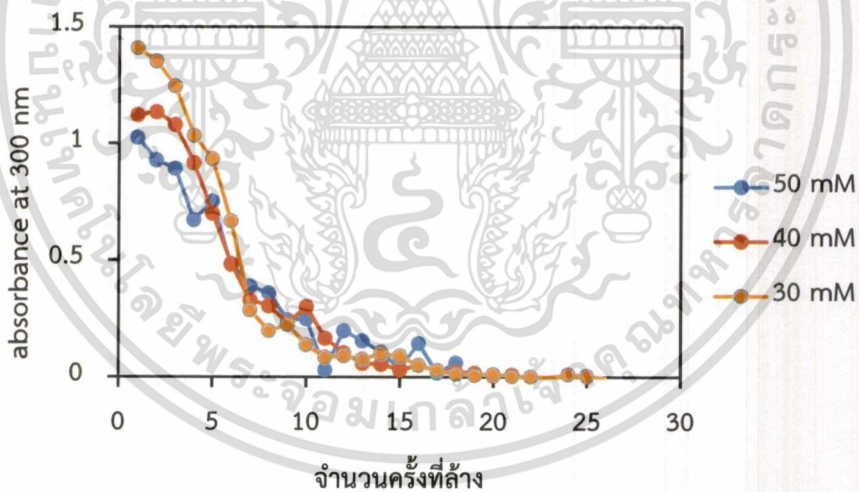
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.6 ผลของการศึกษาการล้าง

เนื่องจากแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ตรึงอนุภาคทองนาโนมีค่าการดูดซับของสารละลายกรดเตตระคลอโรอูริก จึงจำเป็นต้องทำการล้างออกโดยใช้ในปราศจากไอออนครั้งละ 20 มิลลิลิตร แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.13, 4.14 และ 4.15

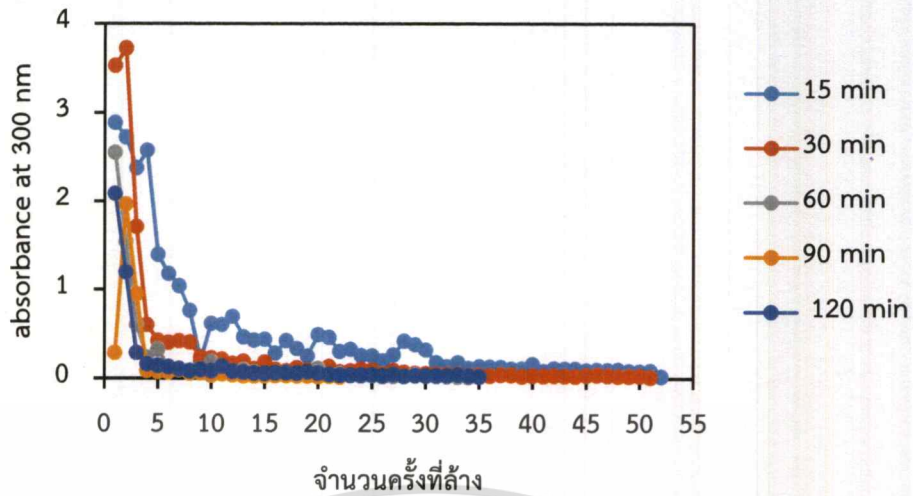


รูปที่ 4.13 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ความหนาต่างๆที่ตรึงอนุภาคทองนาโน ที่จำนวนครั้งในการล้างต่างกัน



รูปที่ 4.14 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ทำการสังเคราะห์กับสารละลายกรดเตตระคลอโรอูริกความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่จำนวนครั้งในการล้างแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์แตกต่างกัน ที่จำนวนครั้งในการล้างแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร จะมีค่าลดลงเข้าใกล้ศูนย์เมื่อจำนวนการล้างมากกว่า 25 ครั้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจำนวนการล้างที่มากขึ้นจะทำให้สารละลายกรดเตตระคลอโรอริกที่ถูกดูดซับบนแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ลดลง



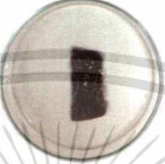
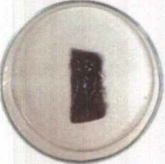







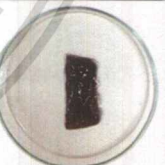
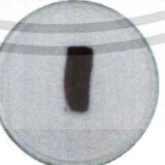
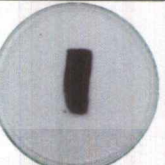
จากการศึกษาอิทธิพลต่างๆ ที่ส่งผลต่อการตรึงอนุภาคทองนาโนลงบนแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ด้วยวิธีการตรึงโดยวิธีการแช่และวิธีการตรึงแบบ In-situ สรุปได้ว่า วิธีการตรึงแบบ in-situ จะเกิดอนุภาคทองนาโนมากกว่าและมีการสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ นอกจากนี้พบว่า จะเกิดแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ที่ตรึงอนุภาคทองนาโนโดยวิธี In-situ ที่ความหนา 5 มิลลิเมตร โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดเตตระคลอโรอริก 50 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 90 นาที จะให้ค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้สภาวะการทดลองนี้ในการตรึงอนุภาคทองนาโนบนแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์และประยุกต์ใช้ต่อไป

4.2.2.7 ผลจากการศึกษาการทดสอบกับตัวอย่าง

ทำการทดสอบแบคทีเรียเซลลูโลสนาโนเปเปอร์กับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และทดสอบกับตัวอย่างน้ำยาล้างแผลที่มีส่วนผสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2 ยี่ห้อ แสดงผลดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงภาพแบคทีเรียลเซลล์ูโลสนาโนเปเปอร์ก่อนและหลังทดสอบกับตัวอย่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

| ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ | ก่อนทดสอบ | หลังทดสอบ |
|------------------------------------|---|---|
| 1% v/v |  |  |
| 5% v/v |  |  |
| 10% v/v |  |  |
| 20% v/v |  |  |
| 30% v/v |  |  |
| Sample 1 |  |  |
| Sample 2 |  |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสก่อนทดสอบกับสารละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

| ความเข้มข้น ของH ₂ O ₂ | ค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 นาโนเมตร | | | |
|---|----------------------------------|-----------|-----------|-----------------------------|
| | แผ่นที่ 1 | แผ่นที่ 2 | ค่าเฉลี่ย | ค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน |
| 1 | 0.59 | 0.39 | 0.49 | 0.15 |
| 5 | 0.42 | 0.82 | 0.62 | 0.28 |
| 10 | 0.77 | 0.69 | 0.73 | 0.06 |
| 20 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.00 |
| 30 | 0.43 | 0.27 | 0.35 | 0.11 |

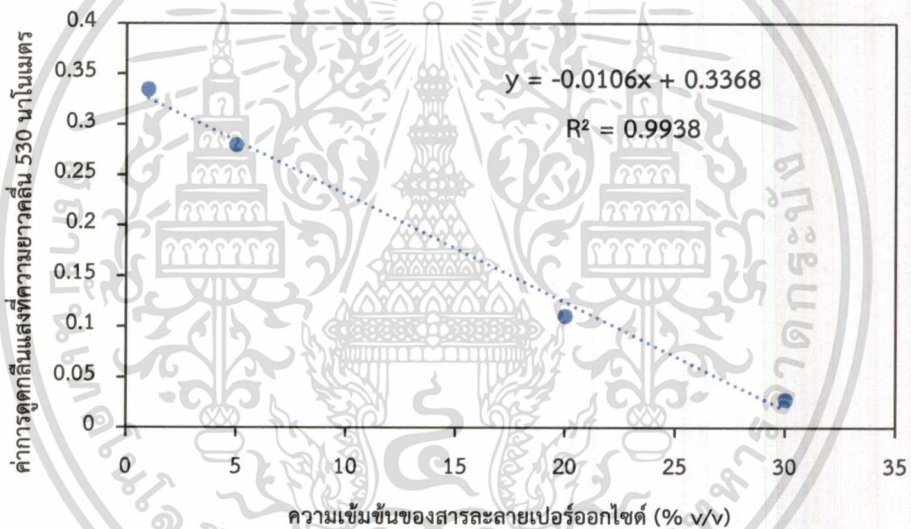
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสหลังทดสอบกับสารละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

| ความเข้มข้น ของH ₂ O ₂ | ค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 นาโนเมตร | | | |
|---|----------------------------------|-----------|-----------|-----------------------------|
| | แผ่นที่ 1 | แผ่นที่ 2 | ค่าเฉลี่ย | ค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน |
| 1 | 0.78 | 0.68 | 0.73 | 0.01 |
| 5 | 0.68 | 0.53 | 0.61 | 0.11 |
| 10 | 0.77 | 0.72 | 0.74 | 0.03 |
| 20 | 0.71 | 0.67 | 0.69 | 0.03 |
| 30 | 0.41 | 0.31 | 0.36 | 0.07 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลต่างของค่าการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสก่อนและหลังทดสอบ
กับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

| ความเข้มข้น ของH ₂ O ₂ | ค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 นาโนเมตร | | | |
|---|----------------------------------|-----------|-----------|-----------------------------|
| | แผ่นที่ 1 | แผ่นที่ 2 | ค่าเฉลี่ย | ค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน |
| 1 | 0.19 | 0.21 | 0.24 | 0.07 |
| 5 | 0.26 | 0.30 | 0.28 | 0.02 |
| 10 | 0.00 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| 20 | 0.08 | 0.03 | 0.06 | 0.03 |
| 30 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.01 |



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสกอนาโนเปเปอร์กับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อนำแบคทีเรียลเซลล์ูโลสกอนาโนเปเปอร์ที่ตรึงอนุภาคทองนาโนมาทดสอบกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มมากขึ้น สีของแบคทีเรียลเซลล์ูโลสกอนาโนเปเปอร์ที่ตรึงอนุภาคทองนาโนไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงด้วยตาเปล่า แต่เมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์ พบว่าสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ และเมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่

ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร มาศึกษาความเป็นเส้นตรง พบว่าได้ค่าความเป็นเส้นตรงที่ดี ดังแสดงในรูปที่ 4.16 จากนั้นได้ทำการทดสอบหาความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ใน

ตัวอย่างน้ำยาล้างแผล พบว่าได้ความเข้มข้นร้อยละ 2.7 และ 1.9 โดยมีค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระบุไว้บนฉลาก (ร้อยละ 3) จึงสรุปได้ว่า แยกที่เรียลเซลล์โลสนาโนเปเปอร์ที่ตรึงอนุภาคทองคำโนสามารถประยุกต์ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่างน้ำยาล้างแผลได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

BC สามารถสังเคราะห์ขึ้นจากเชื้อ *Acetobacter Xylinum* โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อสูตร H.S. เป็นเวลา 6 วัน จะได้ความหนาของ BC ที่เหมาะสม จากนั้นเมื่อนำ BC ที่สังเคราะห์ได้มาทำการตรึงอนุภาคทองคำนาโน พบว่าการตรึงแบบ In-situ โดยใช้ความเข้มข้นของ HAuCl_4 50 mM เป็นเวลา 90 นาที จะมีปริมาณทองและให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด และเมื่อทำการทดสอบกับตัวอย่างที่มีส่วนผสมของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพึงพอใจ จึงเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดทางเคมีต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีความระมัดระวังในขณะทำการทดลองกับแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ เนื่องจากว่าแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์เปรียบเสมือนเป็นคิวเวทท์ จึงต้องมีความบริสุทธิ์และความโปร่งใสที่สูง
- 2) เครื่องแก้วที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโน ต้องแช่ด้วยกรดไนตริกทุกครั้ง
- 3) ควรระมัดระวังในการใช้ภาชนะที่มีส่วนผสมของโลหะในการสัมผัสกับสารละลายกรดเตตระคลอโรอริก และอนุภาคทองคำนาโน
- 4) ควรเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อไว้ครั้งละมากๆ เพื่อลดเวลาการทดลองครั้งต่อไป ไม่จำเป็นต้องเสียเวลาสังเคราะห์ใหม่และลดความคลาดเคลื่อนจากการสังเคราะห์แต่ละครั้งได้อีกด้วย
- 5) ควรมืออุปกรณ์ที่เหมาะสมในการเตรียมขนาดของแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์แต่ละขนาด เพื่อลดปัญหาชิ้นส่วนแบคทีเรียลเซลลูโลสนาโนเปเปอร์ไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ฉัญญ์ณลิน วิญญูประสิทธิ์, ยุราพร สหัสกุล, น้ำผึ้ง รุ่งเรือง. 2017. “นาโนเซลลูโลส: การประยุกต์ใช้ในอาหารและความปลอดภัยอาหาร.” วารสารพิษวิทยาไทย. 32(1) : 67-79.
- [2] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. 2010. Cellulose / เซลลูโลส. [online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0612/cellulose>.
- [3] จุฬาลักษณ์ เขมาชีวะกุล. 2016. “การผลิตแบคทีเรียเซลลูโลสสายพันธุ์ *Acetobacter xylinum* และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
- [4] E. Morales-Narvaez, H. Golmohammadi, T. Naghdi, H. Yousefi, U. Kostiv, D. Horak N. Pourreza and A. Merkoç, 2015. “Nanopaper as an Optical Sensing Platform.” Morales- Narvaez ET AL. 9(7) : 7296–7305.
- [5] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. 2010. *Acetobacter xylinum*. [online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1507/acetobacter-xylinum>.
- [6] ไม่ปรากฏชื่อ. 2559. เซลลูโลสจากแบคทีเรีย. [online]. Available : <http://doi.nrct.go.th>.
- [7] อลิสร่า คุประสิทธิ์. 2011. วันมะพร้าว. [online]. Available : https://www.tistr.or.th/tistrblog/?tag=acetobacter_xylinum.
- [8] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2554. นาโนเทคโนโลยี. [online]. Available : <https://il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit2-1.html>.
- [9] ณัฐพันธ์ ศุภกา. 2551. นาโนเทคโนโลยี. [Online]. Available : <http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/7/Feynmam/Feynman8.html>.
- [10] ฐานข้อมูลความปลอดภัยวัสดุนาโน. 2561. ลักษณะสมบัติเฉพาะ อนุภาคนาโนทองคำ. [Online]. Available : <http://www.mwit.ac.th/~jeed/r-sp/doc/r-sp-30-06-51.pdf>.
- [11] อภิวัฒน์ ชมพูสอ. 2556. “โครงสร้างระดับนาโนของทอง: การสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง.” KGU Science. 41(4) : 859-872.
- [12] Materials Innovation Center. 2012. UV-Visible Spectrophotometer. [Online]. Available : http://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=41&id=46.
- [13] Shimadzu Corporation. 2011. ISR-2600 for UV-2600/2700 ISR-2600Plus for UV-2600. [Online]. Available : <https://www.shimadzu.com/an/molecular>

spectro/uv/accessory/solid/sample/solid.html.

- [14] Erhan Zor. 2018. "Silver nanoparticles-embedded nanopaper as a colorimetric chiral sensing platform." *Talanta*. 184(2018) : 149–155.
- [15] Nan Gao, Pengcheng Huang, Fangying Wu. 2018. "Colorimetric detection of melamine in milk based on Triton X-100 modified gold nanoparticles and its paper- based application." *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 192 : 174–180.
- [16] Guan-Hua, C. Wei-Yu, C. Yu-Chun, Y. Chia-Wei, W. Huan-Tsung, C and Chien-Fu, C. 2014. "Detection of Mercury(II) Ions Using Colorimetric Gold Nanoparticles on Paper-Based Analytical Devices." *Anal.Chem.* 86 : 6843–6849.
- [17] Jian-feng, G. Dan-qun, H. Mei, Y. Chang-jun, H. Jun-jie, L and Huan-bao Fa, Hui-bo Luo, Ping Yang. 2016. "Colorimetric detection of Cr (VI) based on the leaching of gold nanoparticles using a paper-based sensor." *Talanta*. 161 : 819–825.
- [18] Samira Abbasi-Moayed, Hamed Golmohammadi, Arafah Bigdeli, M. Reza HormoziNezhad. 2018. "A Rainbow Ratiometric Fluorescence Sensor Array on Bacterial Nanocellulose for Visual Discrimination of Biothiols." *Analyst* : 2-22.
- [19] Shanliang Song, Chuanxi Wang, Yue Zhao, Tantan Hu, Xinxin Zhou, Tianxin Zhao, Minghui Yang, Quan Lin. 2018. "Gold-Cluster-Based Dual-Emission Nanocomposite Film as Ratiometric Fluorescent Sensing Paper for Specific Metal Ion." *Partical*. 1700471 : 1-8.
- [20] Nahid Pourreza, Hamed Golmohammadi, Tina Naghdi, HosseinYousefib. 2015. "Green in-situ synthesized silver nanoparticles Embedded in bacterial cellulose nanopaper as a bionanocomposite plasmonic sensor." *Biosensors and Bioelectronic*. 74 : 353-359
- [21] António T. Vicente, Andreia Araújo, Manuel J. Mendes, Daniela Nunes, Maria J. Oliveira, Olalla Sanchez-Sobrado, Marta P. Ferreira, Hugo Águas, Elvira Fortunatoa, Rodrigo Martins. 2018. "Multifunctional Cellulose-Paper for Light Harvesting 1 and Smart Sensing Applications." *Journal of Materials Chemistry C*. 10.1039 : 1-71

[22] Erhan Zor, Sabri Alpaydin, Aylin Arici, Muhammed Esad Saglam, Haluk Bingol.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2018. “Photoluminescent nanopaper-based microcuvette for iodide detection in Seawater.” *Sensors and Actuators B: Chemical*. 254 : 1216-1224.

- [23] คณิศา ทิพย์อนันตกุล, ปริญญา เกาทอง, พิมพ์มาดา อ้อยบำรุง. 2559. “การหาปริมาณครีอะตินินในปัสสาวะโดยใช้อนุภาคทองคำนาโนซึ่งเตรียมจากแผ่นทองคำเปลวเป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัดทางเคมี.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้