

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้กรดฮิวมิกและการนำไป
ประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้

HUMIC ACID ASSISTED SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES
AND ITS SENSING APPLICATION



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้กรดฮิวมิกและการนำไป
ประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้

HUMIC ACID ASSISTED SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES
AND ITS SENSING APPLICATION

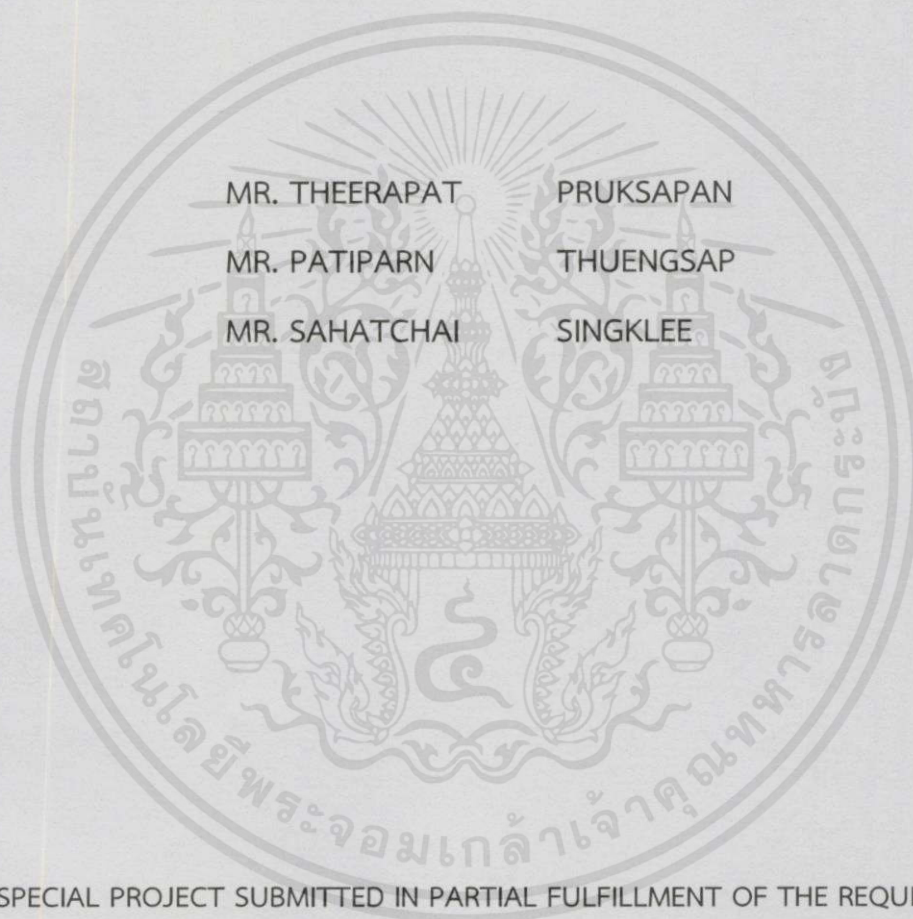


นายธีรภัทร พงกษาพันธ์
นายปฏิภาณ ถึงทรัพย์
นายสหัสชัย ถึงคลี

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อปีการศึกษา 2557 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HUMIC ACID ASSISTED SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES
AND ITS SENSING APPLICATION



MR. THEERAPAT PRUKSAPAN
MR. PATIPARN THUENGSAW
MR. SAHATCHAI SINGKLEE

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL CHEMISTRY
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก ACADMIC YEAR 2014 ใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้กรดฮิวมิกและการนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้

Humic acid Assisted Synthesis of Silver Nanoparticles and Its Sensing Application

ชื่อนักศึกษา

นายธีรภัทร พฤกษาพันธ์ รหัสนักศึกษา 54050185

นายปฏิภาณ ถึงทรัพย์ รหัสนักศึกษา 54050202

นายสหัชชัย สิงคลี รหัสนักศึกษา 54050295

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

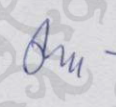
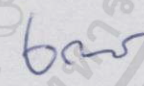
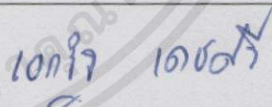
ภาควิชา

เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. เอกรัฐ เดชศรี

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร. ณัฐวุฒิ เชียงชั้น ประธานกรรมการ	
ดร. เสาวภาคย์ อีราทรง กรรมการ	
ดร. เอกรัฐ เดชศรี กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้กรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรและการนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้
ชื่อนักศึกษา	นาย ธีรภัทร พฤชาพันธ์ รหัสนักศึกษา 54050185 นาย ปฏิภาณ ถึงทรัพย์ รหัสนักศึกษา 54050202 นาย สหัสชัย สิงคลี รหัสนักศึกษา 54050295
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. เอกรัฐ เดชศรี

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท โดยใช้กรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพ โดยกรดฮิวมิกจะทำหน้าที่เป็นสารรักษาเสถียรภาพของอนุภาคเงินในระดับนาโน ทำให้มีความไวต่อปฏิกิริยาการเพิ่มขึ้นของสารละลายตะกั่ว จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสีของสารละลายของอนุภาคระดับนาโนจากสีเหลืองเป็นสีส้ม ซึ่งผลของความเข้มข้นกรดฮิวมิกที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโน เราจะศึกษาอัตราส่วนของซิลเวอร์ต่อกรดฮิวมิกที่ความเข้มข้น 1:0.25 ถึง 1:00005 โดยใช้เครื่อง UV-visible spectroscopy ในการตรวจวัดหาสเปกตรัมของสารละลายตะกั่วโดยมีอนุภาคเงินระดับนาโนเป็นตัวรับรู้ เมื่อเราเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ 0, 10, 100, 200, 300, 400, 600, 800 และ 1000 ppm สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนจะเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีส้มแดงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว

คำสำคัญ: การขึ้นรูปแบบขั้นต่อขั้น ตะกั่ว ตัวตรวจวัดการเปลี่ยนสี อนุภาคเงินระดับนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title Humic acid Assisted Synthesis of Silver Nanoparticles and Its Sensing Application

Students Mr. Theerapat Pruksapan Student ID 54050185
Mr. Patiparn Thuengsap Student ID 54050202
Mr. Sahatchai Singklee Student ID 54050295

Degree Bachelor of Science (Industrial Chemistry)

Department Chemistry

Academic Year 2014

Advisor Dr. Ekarat Detsri

Abstract

In this work, silver nanoparticles have been synthesized by reduction of silver nitrate in the presence of humic acids (HA) which acted as stabilizing agents. The HA protected nanoparticles were found to be sensitive to increasing concentrations of lead ions in solution which induced a variation in color of the nanoparticles solution from yellow to orange. The effect of the humic acid concentration used in the nanoparticles synthesis was studied by varying the $[Ag^+]:[HA]$ ratio content from [1:0.25] to [1:0.00005]. UV-visible spectroscopy was used to monitor the extinction spectra of silver nanoparticles after the synthesis and in the lead ions sensing experiments. When exposed to increasing concentration of lead ions (0, 10, 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1000 ppm), the solution of nanoparticles was found to change from yellow color to orange red with increasing lead ions concentration.

Keywords: Silver nanoparticles, Colorimetric sensing, Lead, Layer-by-Layer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดีเนื่องจากผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่านดังนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.เอกรัฐ เดชศรี อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ที่ให้ความช่วยเหลือคำปรึกษา ความรู้ความเข้าใจ ตลอดจนคำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์มาโดยตลอด อีกทั้งยังให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้นจนสำเร็จด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านซึ่งได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆและอำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์และสารเคมี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความร่วมมืออำนวยความสะดวก ในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณพี่ๆและเพื่อนๆที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำตลอดงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำลังใจและให้ความสนับสนุนในด้านทุนการศึกษามาโดยตลอด หากงานวิจัยเล่มนี้ก่อให้เกิดประโยชน์แก่ท่านผู้ใด ผู้วิจัยขอมอบความดีที่พึงบังให้ แก่บิดา มารดา และ คณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ช่วยส่งเสริมให้ผู้วิจัยมีความรู้ความสามารถจนสำเร็จการศึกษา

ธีรภัทร พลุกษาพันธ์

ปฏิภาณ ถึงทรัพย์

สหัชชัย สิงคลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
คำย่อและสัญลักษณ์.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 วิทยาศาสตร์นาโนและเทคโนโลยี.....	3
2.2 อนุภาคเงินระดับนาโน.....	4
2.2.1 สมบัติของธาตุเงินและอนุภาคเงินระดับนาโน.....	5
2.2.2 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน.....	6
2.2.2.1 การสังเคราะห์ทางเคมี.....	6
2.2.2.2 การสังเคราะห์ทางแสง.....	8
2.2.3 การเปลี่ยนสีของอนุภาคเงินระดับนาโน.....	10
2.3 เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น.....	11
2.3.1 ประจุของพอลิอิลีกโตรไลต์.....	12
2.4 โลหะตะกั่ว.....	14
2.4.1 ประโยชน์ของโลหะตะกั่ว.....	15
2.4.2 โทษของโลหะตะกั่ว.....	16
2.4.2.1 ผลกระทบต่อมนุษย์.....	16
2.4.2.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ผลการศึกษานี้ได้ดำเนินการไว้ ไม่สมควรเผยแพร่ไปให้ประโยชน์แก่ผู้อื่น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกที่ 2.5.1 UV-visible spectrophotometer จึงเป็นสิ่งสมควรเผยแพร่ในที่นี้ด้วย 18 ปี

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2 Fourier Transform Infrared Spectroscopy.....	19
2.5.3 Zeta potential analysis.....	21
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	28
3.1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	28
3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	28
3.2 การสังเคราะห์เงินระดับนาโนโดยใช้กรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพ.....	28
3.2.1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน.....	29
3.3 การสร้างแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนด้วยการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น.....	30
3.3.1 การปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นกระจกสไลด์ให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ.....	31
3.3.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมของแผ่นฟิล์มบาง โดยการจุ่มสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน.....	31
3.3.3 การศึกษาจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโน.....	32
3.4 การศึกษาสภาวะการรับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนและฟิล์มบาง.....	33
3.4.1 การตรวจวัดตะกั่วด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน.....	33
3.4.2 การตรวจวัดตะกั่วด้วยฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโน.....	34
3.4.3 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD).....	34
3.4.4 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ).....	35
3.4.5 การศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery).....	35
3.4.6 การศึกษาการทดสอบแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนในตัวอย่างน้ำที่มีสารละลายตะกั่ว ที่ความเข้มข้นต่างๆ	
3.4.7 การศึกษาตัวรบกวน.....	36
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	37
4.1 การศึกษาสภาวะในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนโดยการใช้สารละลายกรดฮิวมิกเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ.....	37
4.1.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน.....	37
4.1.2 การศึกษาลักษณะเฉพาะของอนุภาคเงินในระดับนาโนโดยการใช้สาร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยกรมการศึกษาระดับอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2.1 การศึกษาสภาพความเป็นประจุของอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารละลายกรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพ.....	40
4.1.2.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเงินในระดับนาโนใช้สารละลายกรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพ ด้วยเทคนิค FTIR.....	40
4.2 การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี (UV-visible spectrophotometry)	42
4.3 การศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน.....	45
4.3.1 การศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity)	45
4.3.2 การศึกษาค่า Limit of detection (LOD) ของการตรวจวัดตะกั่วด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน.....	45
4.3.3 การศึกษาค่า Limit of quantitation (LOQ) ของการตรวจวัดตะกั่วด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน.....	46
4.3.4 การศึกษาตัวรบกวนในการวิเคราะห์สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน.....	46
4.3.5 ศึกษาการร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery)	47
4.4 การศึกษาสภาวะต่างๆในการสร้างแผ่นฟิล์มบางขนาดนาโนด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer Technique).....	49
4.4.1 การสร้างฟิล์มบางเพื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมของแผ่นฟิล์มบางในการจุ่มสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน.....	49
4.4.2 การสร้างฟิล์มบางเพื่อศึกษาจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโน.....	51
4.5 การนำสารละลายและฟิล์มบางขนาดนาโนของอนุภาคเงินในระดับนาโนมาใช้ในการวิเคราะห์ตะกั่ว.....	53
4.5.1 การตรวจวัดตะกั่วโดยการใช้สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน.....	53
4.5.1.1 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการนำแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินระดับนาโน 1 ชั้น 5 ชั้น และ 9 ชั้น ในสารละลายตะกั่ว.....	53
4.5.1.2 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่ว.....	55
4.5.1.3 การศึกษาค่า Limit of detection (LOD) ของการตรวจวัดตะกั่ว.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.1.4 การศึกษาค่า Limit of quantitation (LOQ) ของการ ตรวจวัดตะกั่วด้วยแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินระดับนาโน.....	57
4.5.1.5 ศึกษาคร่าวละของการคืนกลับ (%Recovery) ของแผ่น ฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโน.....	57
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	58
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	58
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	59
เอกสารอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก.....	64
ภาคผนวก ก.....	65
ภาคผนวก ข.....	67
ประวัติผู้วิจัย.....	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 พอลิเมอร์ที่เป็นประจุลบที่ใช้ในการเตรียม PE-PE.....	13
2.2 พอลิเมอร์ที่เป็นประจุบวกที่ใช้ในการเตรียม PE-PE.....	14
2.3 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของโลหะตะกั่ว.....	15
2.4 คุณสมบัติเชิงกลของโลหะตะกั่ว.....	15
3.1 สารเคมีทั้งหมดเป็นสารเคมีระดับเกรดวิเคราะห์.....	28
3.2 อัตราส่วนความเข้มข้นของ ซิลเวอร์ไนเตรท : กรดฮิวมิก : โซเดียมโบโรไฮไดรด์.....	30
4.1 ตารางแสดงค่าศักย์ซีต้าของ AgNPs ที่มีความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่แตกต่างกัน.....	40
4.2 ตารางแสดงหมู่ฟังก์ชันของ AgNPs และหมู่ฟังก์ชันของ กรดฮิวมิก.....	42
4.3 แสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดของตัวรับการต่างๆที่เติมลงไป.....	46
4.4 ตารางแสดงค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) ของตัวอย่าง A, B, C และ D.....	48
4.5 ตารางแสดงค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) ของตัวอย่างน้ำประปา.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพ Transmission electron microscopy (TEM) ของอนุภาคเงินระดับนาโน มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 20 60 และ 100 nm.....	4
2.2 กราฟการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินระดับนาโน.....	7
2.3 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน ด้วยวิธีทางเคมี.....	7
2.4 กระบวนการสั่นของพลาสมอน (Plasmon oscillation) ในอนุภาคทรงกลม.....	10
2.5 การปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นกระจกสไลด์.....	12
2.6 อาการของผู้ป่วยที่ได้รับพิษจากสารตะกั่วภาพ ก.โรคเก๊าท์ภาพ ข.โรคท้องร่วง.....	17
2.7 ผลกระทบจากพิษของโลหะตะกั่วในสิ่งแวดล้อมทั้งในอากาศและในแหล่งน้ำ.....	18
2.8 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-visible spectrophotometer.....	19
2.9 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)	20
2.10 ไอออนและความต่างศักย์ที่ทำหน้าที่เป็นขั้วบนผิวของอนุภาคสาร.....	21
3.1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน โดยใช้กรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพและใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นรีดิวซ์ซิง เอเจนท์.....	29
4.1 สเปกตรัมแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีกรดฮิวมิก ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน.....	39
4.2 แผนผังแสดงกลไกปฏิกิริยาของการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยการในสารละลายกรดฮิวมิกเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ.....	40
4.3 สเปกตรัม FTIR ของ A คืออนุภาคเงินระดับนาโนที่มีกรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพและ B คือ กรดฮิวมิก.....	41
4.4 ผลค่าการดูดกลืนแสงของการทดสอบการรับรู้ตะกั่วด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน.....	43
4.5 แสดงสีของสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้นต่างๆ เมื่อผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน.....	43
4.6 แสดงกลไกปฏิกิริยาของอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีกรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพกับตะกั่ว.....	44
4.7 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว.....	45
4.8 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่มีการเติมตัวรบกวนชนิดต่างๆ.....	47
4.9 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของการจุ่มแผ่นฟิล์มบางในสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้ระยะเวลาที่ต่างกัน.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 แสดงค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนในระยะเวลาที่ต่างกัน.....	50
4.11 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของการศึกษาจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนที่ 1,3,5,7,9,11 ชั้น.....	51
4.12 แสดงสีของแผ่นฟิล์มที่เกิดที่มีจำนวนชั้นของอนุภาคเงินระดับนาโน 1,3,5,7,9,11 ชั้นตามลำดับ.....	52
4.13 ผลการดูดกลืนแสงของการจุ่มแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินระดับนาโนในสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 600 ppm ของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโน 1 ชั้น.....	53
4.14 ผลการดูดกลืนแสงของการจุ่มแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินระดับนาโนในสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 600 ppm ของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโน 5 ชั้น.....	54
4.15 ผลการดูดกลืนแสงของการจุ่มแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินระดับนาโนในสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 600 ppm ของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโน 9 ชั้น.....	54
4.16 ผลค่าการดูดกลืนแสงของการทดสอบการรับรู้ตะกั่วด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน.....	55
4.17 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มบาง AgNPs-Humic.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

AgNPs	Silver nanoparticles
PDADMAC	Poly (diallyl dimethyl ammonium chloride)
PSS	Poly (4-styrene sulfonic acid) sodium salt
NaBH ₄	Sodium borohydride
NaCl	Sodium chloride
FCC	Face cubic center
UV-visible spectrophotometry	Ultraviolet-visible spectrophotometry
FT-IR	Fourier transform infrared spectrophotometer
TEM	Transmission electron microscope
ml	Milliliter, (มิลลิลิตร)
mM	Millimolar, (มิลลิโมลาร์)
μM	Micromolar, (ไมโครโมลาร์)
nM	Nanomolar, (นาโนโมลาร์)
nm	Nanometer, (นาโนเมตร)
μm	Micrometer, (ไมโครเมตร)
pH	Power of Hydrogen ion
pKa	ค่าคงที่การแตกตัวของกรด
r ²	correlation coefficient, (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์)
SD	standard deviation, (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
LOD	Limit of detection, (ขีดจำกัดต่ำสุดที่ตรวจพบ)
LOQ	Limit of quantitative, (ขีดจำกัดต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันนี้ตะกั่วถูกนำมาใช้ประโยชน์ในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และ อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ เป็นต้น ซึ่งปัญหาการใช้ตะกั่วก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตเป็นจำนวนมาก ซึ่งความเป็นพิษของตะกั่วที่มีต่อร่างกายจะเกิดทั้งในลักษณะที่เป็นพิษแบบเฉียบพลันถ้าบริโภคเข้าไปในปริมาณมาก หรือแบบเรื้อรังถ้าบริโภคเข้าไปในปริมาณเล็กน้อยและสะสมในร่างกายเป็นระยะเวลายาวนาน เช่น การเกิดภาวะกรดยูริกคั่งในร่างกายจนอาจทำให้เกิดภาวะไตวายเรื้อรังหรือมีอาการของโรคเก๊าท์ได้ [1] ตะกั่วจึงเป็นสารเคมีที่จำเป็นในการควบคุมคุณภาพเพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และ ในปัจจุบันการตรวจวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคการการดูดกลืนแสงระดับอะตอม (Atomic-absorption spectrophotometry) [2] การวัดหาปริมาณธาตุในระดับอะตอมโดยใช้การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy) [3] และเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า เช่น (Polarography) [4] แต่ข้อจำกัดในการใช้เทคนิคดังกล่าว ที่มีราคาเครื่องมือที่แพงและค่าใช้จ่ายของการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างค่อนข้างสูง และจำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะในการวิเคราะห์

ปัจจุบันอนุภาคเงินระดับนาโน ได้รับความสนใจในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ เช่น นำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และ ใช้เป็นตัวรับรู้ต่างๆ เป็นต้น เนื่องด้วยคุณสมบัติของอนุภาคเงินระดับนาโนสามารถนำไฟฟ้าได้ดี มีคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงสี และ มีความไวต่อปฏิกิริยาสูง อนุภาคเงินระดับนาโนจึงได้รับความสนใจในการใช้เป็นตัวรับรู้ รวมถึงสมบัติทางแสงของอนุภาคเงินระดับนาโนที่เป็นหัวใจของวิจัยนี้ โดยอนุภาคเงินระดับนาโน สามารถเกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงสีได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีในลักษณะนี้ สามารถอธิบายได้ด้วยปรากฏการณ์การเรโซแนนซ์ของพลาสมอนพื้นผิว (Surface Plasmon Resonance) [5] ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เกิดบริเวณผิวรอยต่อระหว่างโลหะและไดอิเล็กทริก (อากาศ หรือ แก้ว ทำหน้าที่ไม่ให้ประจุถ่ายถึงกันแต่ยอมให้อำนาจไฟฟ้าส่งผ่านถึงกันได้) เนื่องจากการสั่นพ้องของอิเล็กตรอนที่ผิวของโลหะถูกกระตุ้นด้วยแสง โดยอนุภาคเงินระดับนาโนนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงสีเป็นสีเหลืองเข้มแทนที่จะเป็นสีเงินขาว เมื่อมีการเกิดปฏิกิริยากับสารตัวอื่น ดังนั้น เราจึงสามารถสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงสีของอนุภาคเงินระดับนาโน ขนาดยอตกสั้น ความกว้างของสเปกตรัมได้ด้วยเทคนิคทางแสง เช่น UV-visible spectroscopy เป็นต้น

จากแนวคิดดังกล่าว จึงนำมาซึ่งงานวิจัยในการที่จะพัฒนาชุดทดสอบตรวจวัดปริมาณตะกั่วภาคสนาม โดยอาศัยอนุภาคเงินระดับนาโนเป็นตัวติดตามปริมาณของตะกั่ว ซึ่งการเตรียมอนุภาคเงิน

ระดับนาโน ได้จากการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต โดยมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Na_2BH_4) เป็นตัวรีดิวซ์และมีกรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพ จากนั้นศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจวัดปริมาณตะกั่วในระบบที่เป็นสารละลาย โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสีของอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายที่มีตะกั่ว ลำดับต่อไปเป็นการพัฒนาชุดทดสอบตรวจวัดปริมาณตะกั่วภาคสนาม โดยใช้กระจกสไลด์ที่ผ่านกระบวนการที่เรียกว่าเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ (Layer-by-Layer technique) ซึ่งจะนำอนุภาคเงินระดับนาโนมาติดบนแผ่นกระจกสไลด์ และ นำชุดทดสอบดังกล่าวทำการตรวจวัดหาปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำตามชุมชนเขตอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการสังเคราะห์สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ใช้กรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพ
2. เพื่อนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนใช้ตรวจวัดหาปริมาณตะกั่วในตัวอย่างน้ำ
3. เพื่อศึกษาและพัฒนาชุดทดสอบทางเคมีโดยการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนและติดบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์
4. เพื่อนำชุดทดสอบที่พัฒนาได้ตรวจวัดปริมาณตะกั่วในแหล่งน้ำตามชุมชนในเขตอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน
2. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการติดอนุภาคเงินระดับนาโนบนกระจกสไลด์เพื่อใช้เป็นชุดทดสอบตรวจวัดปริมาณตะกั่ว
3. ตรวจสอบคุณลักษณะของชุดทดสอบที่เตรียมได้
4. นำชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ตรวจวัดหาปริมาณตะกั่วในแหล่งน้ำตามชุมชนในเขตอุตสาหกรรม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถประยุกต์ใช้ชุดทดสอบตรวจวัดหาปริมาณตะกั่วในแหล่งน้ำตามชุมชนในเขตอุตสาหกรรมแบบภาคสนามได้ ซึ่งมีความสะดวกในการใช้งาน และ ประหยัดค่าใช้จ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี

วิทยาศาสตร์นาโน (Nano science) คือวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวัสดุอินทรีย์ อนินทรีย์ และรวมไปถึงสารชีวโมเลกุล ที่มีโครงสร้างสามมิติ ยาว กว้าง สูงด้านใดด้านหนึ่งอยู่ระหว่าง 1-100 นาโนเมตร ดังนั้นถ้าพูดถึงนาโนศาสตร์ก็จะเป็นการสร้างหรือศึกษาวัสดุที่มีโครงสร้างในระดับนาโนเมตร คุณสมบัติของวัสดุนาโนจะแตกต่างจากวัสดุขนาดใหญ่ (Bulk materials) ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และ ชีวภาพล้วนแล้วแต่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวดังนั้นถ้าพูดถึงนาโนศาสตร์ก็จะเป็นการสร้างหรือศึกษาวัสดุที่มีโครงสร้างในระดับนาโนเมตร โดยผลลัพธ์ที่ได้ก็คือจะได้วัสดุชนิดใหม่หรือรู้คุณสมบัติที่แตกต่างและน่าสนใจนาโนเทคโนโลยี [6]

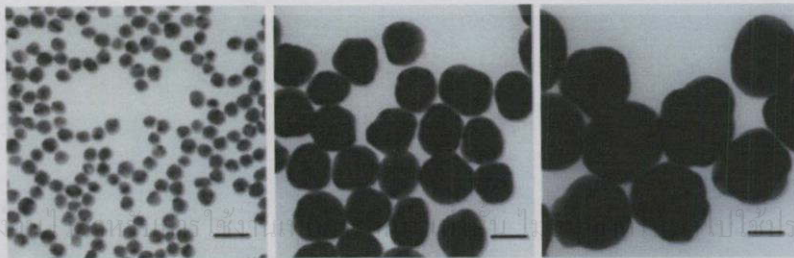
นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) คือ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดการ การสร้างหรือการวิเคราะห์ วัสดุอุปกรณ์ เครื่องจักรหรือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กมากๆ ในระดับนาโนเมตร (ประมาณ 1-100 นาโนเมตร) รวมถึงการออกแบบหรือการประดิษฐ์เครื่องมือเพื่อใช้สร้างหรือวิเคราะห์วัสดุในระดับที่เล็กมากๆ เช่น การจัดอะตอมและโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ส่งผลให้โครงสร้างของวัสดุหรืออุปกรณ์มีคุณสมบัติพิเศษขึ้นไม่ว่าทางด้านฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ และสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ โดยศาสตราจารย์ริชาร์ด ฟิลลิปส์ ไลน์แมน (Richard Phillips Feynman) นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน ได้เป็นผู้ริเริ่มแนวคิดทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีขึ้น จากการกล่าวถึงความเป็นไปได้ในการจัดการกับสิ่งของในระดับ อะตอม โมเลกุล และโมเลกุลในระดับเล็กๆ ระหว่างการปาฐกถาเรื่อง “There's plenty of room at the bottom” ที่สถาบันเทคโนโลยีแคลิฟอร์เนีย เมื่อปี ค.ศ. 1959 ซึ่งจากคำบรรยายของไลน์แมนในครั้งนั้นได้จุดประกายให้นักวิทยาศาสตร์เริ่มหันมาสนใจและสร้างอุปกรณ์ในการจัดการในระดับอะตอมทั้งนี้ไลน์แมนได้รับรางวัลโนเบลในสาขาฟิสิกส์ในปี 1965 และนับเป็นหนึ่งในนักฟิสิกส์ที่มีอิทธิพลมากที่สุดของคริสต์ศตวรรษที่ 20 ต่อมาในปี ค.ศ. 1981 เกร็ด บินนิง (Gerd Binnig) และ ไฮน์ริช โรห์เออร์ (Heinrich Rohrer) จากบริษัทไอบีเอ็มซูริก ได้ประดิษฐ์เครื่องมือที่สามารถมองเห็นการจัดเรียงอะตอมของธาตุต่างๆสำเร็จเป็นครั้งแรก นั่นคือกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Tunneling Microscope : STM) ซึ่งผลงานชิ้นนี้ทำให้ นักฟิสิกส์ทั้งสองท่านได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1986 จากนั้น 9 ปี ต่อมา ดร.ดอน ไอเกลอร์ (Don Eigler) นักฟิสิกส์จากบริษัท ไอบีเอ็ม จำกัด สามารถนำอะตอม 35 อะตอม ของก๊าซซีนอน (Xenon) มาจัดเรียงเป็นตัวอักษรว่า IBM บนผิวของโลหะนิเกิล (Nickel) ได้สำเร็จ ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มต้นการก้าวเข้าสู่โลกของนาโนเทคโนโลยีอย่างแท้จริง [7] ด้วยการพัฒนาความก้าวหน้าทางด้านนาโนเทคโนโลยี ทำให้เราทราบว่าเมื่อวัตถุต่างๆ มีโครงสร้างในระดับนาโนแล้ว จะส่งผลให้ตัว

คุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันไปจากเดิม ทำให้เกิดคุณสมบัติพิเศษที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น อนุภาคนาโนของธาตุเงินหรือนาโนซิลเวอร์ และ อนุภาคนาโนของธาตุทองเป็นต้น ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีคุณสมบัติพิเศษต่อการใช้งานมากขึ้น จึงทำให้ในปัจจุบันเหล่านักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจอนุภาคนาโนให้เกิดประสิทธิภาพในการผลิตนวัตกรรมต่างๆ ออกมาให้ผู้บริโภคได้ใช้ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ และตอบสนองต่อความต้องการได้เป็นอย่างดี รวมไปถึงขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ไดยังมีขนาดเล็กหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวัสดุระดับนาโน (Nanomaterial) ที่สามารถพกพาได้สะดวกง่ายต่อการใช้งาน จึงส่งผลให้นวัตกรรมนาโนในปัจจุบันมีอัตราการเจริญเติบโตสูง และกำลังอยู่ในความสนใจของทุกคนเป็นอย่างมาก [8]

วัสดุนาโน (Nanomaterial) เป็นวัสดุที่สามารถเป็นได้ทั้ง โลหะ เซรามิก พอลิเมอร์และคอมโพสิต ซึ่งอยู่ในความสนใจของนักวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก จึงถูกสังเคราะห์ขึ้นมาโดยการดัดแปลงการจัดเรียงตัวของอะตอมหรือโมเลกุลให้มีขนาด 0.1-100 นาโนเมตร ซึ่งเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นผม ประมาณ 1 แสนเท่า สมบัติและพฤติกรรมต่างๆ ของวัสดุนาโนเหล่านี้ คือ สมบัติการนำไฟฟ้า สมบัติเชิงกล และสมบัติทางแม่เหล็ก มีความแตกต่างจากวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในระดับที่เราคุ้นเคย ซึ่งวัสดุนาโนสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็นหลายกลุ่มตามการประยุกต์ใช้งานแต่ที่สำคัญ ได้แก่ ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon Nanotubes) อนุภาคนาโน (Nanoparticles) และ ฟิล์มบางนาโน (Nano films) [9]

2.2 อนุภาคเงินระดับนาโน (Silver nanoparticles , AgNPs) [10]

อนุภาคเงินระดับนาโน เป็นอนุภาคที่มีคุณสมบัติเด่นเฉพาะตัว ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติทางแสง คุณสมบัติทางการนำไฟฟ้า และ คุณสมบัติทางความร้อน ในปัจจุบันมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรม การแพทย์ เพื่อป้องกันแบคทีเรีย และประยุกต์ใช้เป็นรับรู้ เพื่อเป็นตัวตรวจวัดในทางชีววิทยาและทางเคมี นอกจากนี้ ขนาด รูป พื้นผิวของอนุภาค และการรวมตัวกันของอนุภาคเงินระดับนาโนเป็นกลุ่มก้อนนี้ มีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานลักษณะต่างๆ ซึ่งปัจจัยข้างต้นเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน ซึ่งในด้านอุตสาหกรรมเคมี มีการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนเพื่อใช้เป็นตัวตรวจวัดสารที่ต้องการวิเคราะห์ เช่น ตะกั่ว ปรอท แมงกานีส และอื่นๆ ภายในแหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำอุตสาหกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรราชบุรี ขอสงวนสิทธิ์ในชื่อและภาพประกอบ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 2.1 ภาพ Transmission electron microscopy (TEM) ของอนุภาคเงินระดับนาโน มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 20 60 และ 100 nm ตามลำดับ [11]

2.2.1 สมบัติของธาตุเงินและอนุภาคเงินระดับนาโน

เงินจัดเป็นโลหะมีค่าที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งในวงการอัญมณีและเครื่องประดับ เงินจะมีราคาสูงกว่าทองคำโดยประมาณถึง 70 เท่า คุณสมบัติของเงินคล้ายทองคำ คือมีโครงสร้างผลึกแบบ Face cubic center (FCC) ทำให้สามารถแปรรูปได้ง่ายมีสีขาวเงินซึ่งส่วนนี้ทำให้โลหะเงินมีผิวมันเงาสามารถนำมาขัดมันได้อย่างดี

ซึ่งคุณสมบัตินี้เพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์ด้านศิลปะกรรมต่างๆมีความเหนียวสูง และสามารถในการตีขึ้นรูปได้ดีเมื่อเทียบกับโลหะชนิดอื่น ยกเว้น ทองคำมีการนำไฟฟ้าที่เยี่ยมจึงเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีที่สุดมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนได้ดีพอควร แต่เครื่องใช้ และ เครื่องประดับเงินนั้นก็ยังมีข้อเสียคือ ผิวเงินเมื่อสัมผัสกับอากาศเป็นเวลานานจะสามารถเปลี่ยนเป็นสีดำได้เนื่องจากทำปฏิกิริยากับกำมะถันในอากาศ (ธาตุซัลเฟอร์หรือสารประกอบที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ) ทำให้เกิดความหมอง [12]

โดยสำหรับอนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs) นั้นก็จัดว่าเป็นอนุภาคซิลเวอร์ที่มีขนาดดังได้หลายแบบ ซึ่งอาจมีรูปร่างหน้าตาแตกต่างกัน เช่น ทรงกลม ทรงกระบอก พีระมิด และอื่นๆ แต่ที่สังเคราะห์ได้ง่ายจะเป็นพวกที่มีรูปร่างทรงกลม ซึ่งในวิธีการสังเคราะห์นั้นก็มีหลากหลายวิธี เช่น การรีดิวซ์ด้วยวิธีทางเคมี (Chemical reduction) การใช้เลเซอร์ยิง หรือแม้แต่การใช้กระแสไฟฟ้าทำให้เกิด Electrochemical reaction เป็นต้น นอกจากนี้ อนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs) นั้นมีประโยชน์ในเรื่องคุณสมบัติเชิงแสงซึ่งพบว่าอนุภาคนาโนของเงินไม่ได้มีสีเงินวาวเหมือนที่เราเห็นเงินเป็นก้อนๆ แต่อนุภาคเงินระดับนาโนเหล่านี้สามารถกระเจิงแสงแล้วให้สีที่ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค เช่น ถ้าประมาณ 10 นาโนเมตรจะเป็นสีเหลือง เป็นต้น นอกจากนี้อนุภาคมีรูปร่างเปลี่ยนไปก็จะมีสีที่แตกต่างกัน เช่น ทรงกลมกับทรงกระบอกจะให้สีที่แตกต่างกัน จากการที่คุณสมบัติเชิงแสงของอนุภาคนาโนสามารถเปลี่ยนไปได้ทำให้มีการนำเอาอนุภาคเงินระดับนาโน มาทำเป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ไวต่อแสง (Sensor) สำหรับตรวจวัดทางชีวภาพ เช่น ตรวจเชื้อเอชไอวี เนื่องจากอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน จะให้ (Surface Enhance Raman Scattering (SERs) โดยการนำเอาชิ้นส่วนทางชีวภาพ เช่น ปัสสาวะของคนที่เป็นโรคไปตรวจสอบด้วยอนุภาคเงินระดับนาโน เพียงแค่หยดใส่แล้วจะเห็นการเปลี่ยนสีก็จะทำให้ทราบว่าคนนั้นเป็นโรคหรือไม่โดยไม่ต้องทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้อนุภาคเงินระดับนาโน สามารถทำหน้าที่เป็น (Antibacterial agent) ได้ด้วย เช่น การใส่เสื้อผ้านาโนแล้วจะไม่มีการเหม็น เนื่องจากมีการนำเอาอนุภาคเงินระดับนาโนไปเคลือบบนเสื้อผ้าซึ่งอนุภาคเงินระดับนาโนจะไปฆ่าเชื้อแบคทีเรียทำให้ไม่เกิดกลิ่นเหม็น และ ยังมีการนำเอาอนุภาคเงินระดับนาโน มาทำเป็นยาแทนในปัจจุบันที่ใช้กันอยู่แต่เนื่องจาก (Antibiotic) นั้นมีข้อเสีย คือ เชื้อสามารถดื้อยาได้ง่ายและส่งผลข้างเคียงสูงในขณะที่ข้อมูลจากอนุภาคเงินระดับนาโนนั้นมีโอกาสที่เชื้อจะดื้อยาแทบจะไม่มี และ ไม่ส่ง ผลกระทบข้างเคียงดังนั้นอนุภาคเงินระดับนาโนสามารถยับยั้งการ

ออกสารนี้เพิ่มจำนวน หรือ การติดเชื้อของไวรัสได้ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำ ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ซิลเวอร์นาโน (Silver Nano) คือการนำธาตุเงินมาแปรรสภาพให้มีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับเชื้อโรคและด้วยขนาดเล็กมากทำให้ใช้ธาตุเงินเพียงเล็กน้อยก็

สามารถครอบคลุมพื้นที่และเพิ่มโอกาสในการสัมผัสกับเชื้อโรคได้มากขึ้น ที่จริงแล้วเมื่อร้อยกว่าปีก่อนเป็นที่ทราบกันทั่วไปว่าสารละลายซิลเวอร์หรือเงิน (Silver) สามารถนำมาใช้ในการทำลายเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราบางชนิดได้แต่เนื่องจากเงินเป็นโลหะที่มีราคาแพง และ จะถูกออกซิไดซ์จนกลายเป็นสีดำเมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานานจึงทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้งานขึ้นเมื่อนาโนเทคโนโลยีถูกพัฒนาขึ้นมา นักวิทยาศาสตร์ได้กลับไปให้ความสนใจกับธาตุซิลเวอร์อีกครั้งหนึ่ง ด้วยเหตุผลที่ว่า ถ้าทำให้อนุภาคของเงินมีขนาดเล็กมากๆ จนสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้ และ ออกฤทธิ์ในการทำลายเซลล์ของแบคทีเรียได้โดยใช้ปริมาณโลหะเงินเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ในปัจจุบันนวัตกรรมซิลเวอร์นาโนกลายเป็นพรีเซนเตอร์หลักของนาโนเทคโนโลยีไปแล้ว ไม่ที่จะเป็นการนำอนุภาคเงินในระดับนาโนมาเคลือบผิวเส้นใยผ้าชนิดต่างๆ เพื่อนำมาทำเป็นเสื่อนาโนที่สามารถฆ่าเชื้อโรคได้โดยไม่ต้องนำไปซักรวมไปถึงการผสมอนุภาคเงินในระดับนาโนลงในสีทาภายใน เพื่อใช้ทาภายในรถพยาบาลที่ต้องสัมผัสกับเชื้อโรคต่างๆอยู่เป็นประจำ [13]

ซึ่งจากขนาดของวัสดุที่เล็กลงถึงระดับนาโน จะส่งผลโดยตรงกับสัดส่วนของจำนวนอะตอมที่อยู่บริเวณผิวหน้า และ ผิวสัมผัสของวัสดุที่เพิ่มมากขึ้น จากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุที่มีขนาดระดับนาโน ส่งผลให้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแม่เหล็กและสมบัติทางแสงแตกต่างไปจากวัสดุที่มีขนาดใหญ่โดยสิ้นเชิง ดังนั้น ด้วยขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกันทำให้สมบัติแตกต่างกันไปด้วย

2.2.2 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน [14]

อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนสามารถสังเคราะห์ได้หลายวิธีเช่น การสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical) ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) และทางแสง (Photochemical)

2.2.2.1 การสังเคราะห์ทางเคมี [15]

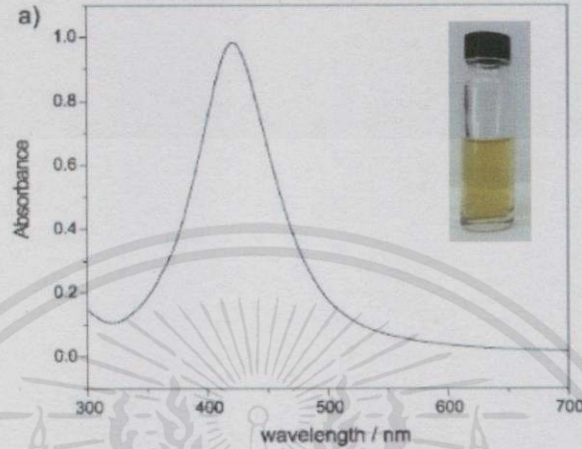
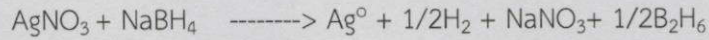
การสังเคราะห์อนุภาคเงินด้วยกระบวนการทางเคมี (Chemical method) ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีการรีดิวซ์ทางเคมี มีวัตถุดิบหลักที่สำคัญ 3 อย่างคือ

1. สารตั้งต้นหรือเกลือของโลหะ (Metal salt)
2. ตัวรีดิวซ์ (Reducing agent)
3. สารเพิ่มความเสถียร (Stabilizer)

โดยตัวรีดิวซ์ที่ใช้มีด้วยกันหลากหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydride) และ โซเดียมซิเตรท (Sodium citrate) และเซลลูโลส เป็นต้น โดยการสังเคราะห์โดยวิธีนี้เป็นเทคนิคที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก ใช้สารเคมีเพียงไม่กี่ชนิด และสามารถควบคุมขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโนได้โดยแต่ละขนาด และ รูปร่างของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความบริสุทธิ์ของสารเคมีและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ อุณหภูมิของสารละลายและความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท

(Silver nitrate) และตัวรีดิวซ์ในงานวิจัยนี้ จึงได้เลือกใช้วิธีการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน

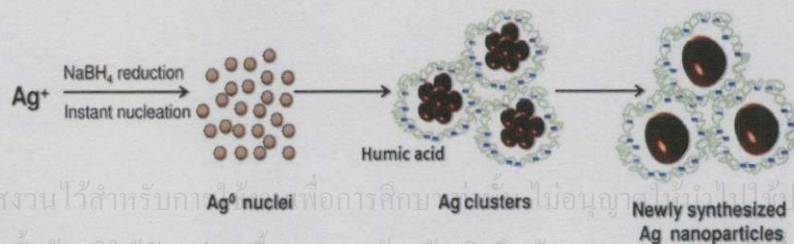
โดยวิธีการรีดิวซ์ทางเคมี โดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรท และโซเดียมบอโรไฮไดรด์เกิดเป็นสารละลายสีเหลือง โดยปฏิกิริยาในการรีดิวซ์ดังสมการ



รูปที่ 2.2 กราฟการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินระดับนาโน [16]

จากรูปที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติทางแสงของอนุภาคเงินระดับนาโน โดยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนมีลักษณะเป็นสารละลายสีเหลืองเมื่อนำไปวัดช่วงการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง (UV-visible spectroscopy) ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ประมาณ 400-500 นาโนเมตร ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวเป็นคุณสมบัติเด่นของอนุภาคเงินในระดับนาโน

สำหรับข้อดีของการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางเคมีคือสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้ง่ายราคาก็ขึ้นอยู่กับ การทดลอง ข้อเสียคือถ้าใช้สารเคมีที่มีความเป็นพิษจะทำให้เป็นอันตรายกับสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินโดยใช้วิธีดักจับทางเคมี จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือ การหาสถานะการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินโดยวิธีดักจับทางเคมี ใช้โซเดียมบอโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ เพียงสารเดียว เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายและเพื่อความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมต่อไป ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยอื่นเช่น ใช้โซเดียมบอโรไฮไดรด์ และ Poly(amideamine) เป็นตัวรีดิวซ์



รูปที่ 2.3 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน ด้วยวิธีทางเคมี [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภา... Ag⁰ nuclei เพื่อการศึกษา Ag clusters อนุภาคนาโนเงินใหม่... ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.3 แสดงกลไกการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน โดยใช้ไซโตเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ซิลเวอร์ไอออนเป็นซิลเวอร์คอลลอยด์ หลังจากนั้นเติมกรดฮิวมิกลงไป เพื่อทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพของอนุภาคเงิน โดยไปล้อมรอบอนุภาคเงินให้เป็นกลุ่มก้อน ซึ่งจากปริมาณของกรดฮิวมิคที่เติมลงไปจะมีผลต่อขนาดอนุภาคเงินระดับนาโน

E.Filippo,D.Manno และคณะ ได้มีการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนเพื่อตรวจวัดหาไตรเอทิลลามีน โดยสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยปฏิกิริยารีดักชัน โดยมีกลูโคส (Glucose) เป็นรีดิวซ์ เอเจนท์ และ มีซูคราโลส (Sucralose) เป็นสารรักษาเสถียรภาพ หลังจากนั้นนำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-visible spectroscopy ในช่วง 300-800 nm พบว่าสเปกตรัมของอนุภาคเงินระดับนาโนขึ้นที่ 400 นาโนเมตร จากผลการยืนยันด้วยเทคนิค XRD พบว่ามีการเกิดอนุภาคเงินระดับนาโนขึ้นจริง และ จากเทคนิค TEM ได้แสดงรูปภาพลักษณะของอนุภาคเงินระดับนาโน หลังจากนั้นได้นำอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีซูคราโลส เป็นสารรักษาเสถียรภาพทดสอบความจำเพาะเจาะจงกับไดเอทิลลามีน (Diethyl amine) เอทิลีนไดอะมีน (Etylenediamine) ไดเอทิลลีนไตรเอมีน (DETA) 4-MBA เอททานอล อะซิโน และ น้ำ พบว่าตัวตรวจวัดที่สังเคราะห์นี้ไม่ไวต่อสารข้างต้น แต่มีความไวต่อสารที่ต้องการวิเคราะห์เพียงสารเดียว จึงนำไตรเอทิลลามีน (TEA) มาวิเคราะห์หาความจำเพาะเจาะจง (Selectivity) ที่ความเข้มข้น 2 ช่วงคือ 0.5-1.7 mM และ 3.3-43.0 mM ซึ่งในช่วงความเข้มข้นแรก (0.5-1.7 mM) พบว่ามีค่าความเป็นเส้นตรงที่ตีระหว่างความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลง ที่ 400 nm ที่เวลา 600 วินาที มีค่า LOD 0.15 ในความเข้มข้นช่วงหลัง (3.3 - 43.0 mM) พบว่า มีความเป็นเส้นตรงที่ตีระหว่างอัตราส่วนความเข้มแสงของสเปกตรัมที่พลังงานต่ำกับความเข้มแสงของสเปกตรัมที่ 400 nm ที่เวลา 600 วินาทีเทียบกับความเข้มข้น

ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า อนุภาคเงินระดับนาโนที่มีซูคราโลสเป็นสารรักษาเสถียรภาพสามารถตรวจวัดไตรเอทิลลามีนที่ความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0.15 แต่ที่ 3.30 mM เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีด้วยสายตาได้ [18]

2.2.2.2 การสังเคราะห์ทางแสง [19]

ในการสังเคราะห์ทางแสง (Optical) การออกแบบโครงสร้างของอนุภาคนาโนนับว่าเป็นหัวใจหลักในการสร้างวัสดุนาโนชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไปจากวัสดุขนาดใหญ่ ดังเช่น การจัดเรียงตัวของอนุภาคนาโนทำให้เกิดวัสดุชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวทางไฟฟ้า แสง เชิงกล รวมไปถึงคุณสมบัติในเชิงขนส่ง (Transport)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kanokwan Jannoo และคณะ ได้สังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน โดยใช้โคโตซานเป็นสารรักษาเสถียรภาพ ในการทดลองได้กำหนดมวลโมเลกุลของโคโตซาน ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตที่เป็นสารตั้งต้น และ ผลของการเติม (Tert-butanol) โดยมีการกำหนดความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตที่ 2.5 และ 5 mM มวลโมเลกุลของโคโตซานเท่ากับ 92 (CS92) และ 580 (CS580) และ ปริมาณลำแสงอิเล็กตรอนที่ 1-20 kGy หลังจากการเตรียมซิลเวอร์ไนเตรตในโคโตซาน แล้วนำไปยิงด้วยลำแสงอิเล็กตรอน จะได้เป็นอนุภาคเงินระดับนาโน หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-visible spectroscopy จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต และมวลโมเลกุลของโคโตซาน ทำให้สีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาล ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อสัมผัสกับลำแสงอิเล็กตรอน ส่งผลให้ลักษณะของสีที่เปลี่ยนไปมีความเข้มข้น หลังจากนั้นได้ทำการทดลองโดยการสังเคราะห์อนุภาคเงินโดยไม่ใส่โคโตซานแต่ใส่ tert-butanol พบว่าสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้มเป็นสารละลายใสไม่มีสี จากการทดลองข้างต้นจึงสรุปได้ว่าขนาดที่พอเหมาะของอนุภาคเงินระดับนาโน ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต เท่ากับ 2.5 mM ในโคโตซาน มวลโมเลกุล 580 และ ปริมาณลำแสงอิเล็กตรอนที่ 10 kGy โดยอนุภาคเงินระดับนาโนที่ได้จะมีลักษณะเป็นทรงกลม ขนาด 5-20 nm และ พบว่าการเติม t-butanol ไม่ค่อยมีความจำเป็นต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน ซึ่งอนุภาคเงินที่สังเคราะห์นี้ใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียรวมถึงเชื้อราได้ดีกว่าใช้ซิลเวอร์ไอออน[20]

Sadanand, P. Gopal, K. G และคณะ ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสีการเป็นตัวรับรู้แอมโมเนีย ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนโดยทั่วไปจะเป็นตัวรีดิวซ์ ซึ่งเป็นสารเคมี เช่น (Hydrazine) หรือ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงได้ทดลองใช้แสงจากหลอด UV ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนทำได้โดยการผสม 25 มิลลิลิตร ของ 10 มิลลิโมลาร์ สารละลาย PMA และ 25 มิลลิลิตร ของ 10 มิลลิโมลาร์ ของสารละลาย AgNO_3 และ ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที (สารละลายทั้งสองเตรียมด้วย อะซิติกอะซิเตท บัฟเฟอร์ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ค่า pH = 4) จากนั้นนำสารละลายไปสัมผัสกับแสง UV พบว่าสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูอย่างช้าๆ จนสุดท้ายจะได้สีม่วง ใช้เวลาสัมผัส กับแสง UV เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ เก็บไว้ในขวดสีทึบ ทำการศึกษาอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย UV-visible spectrophotometry

พบว่าอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย (UV - lamp) จะได้สารละลายสีม่วง เกิดการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร ส่วนอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย NaBH_4 จะได้สารละลายสีเหลือง เกิดการดูดกลืนแสงที่ 400 นาโนเมตร เมื่อศึกษาด้วย TEM พบว่าอนุภาคเงินในระดับนาโนมีรูปร่างทรงกลม และมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 8 นาโนเมตร จากการนำอนุภาคเงินในระดับนาโนไป

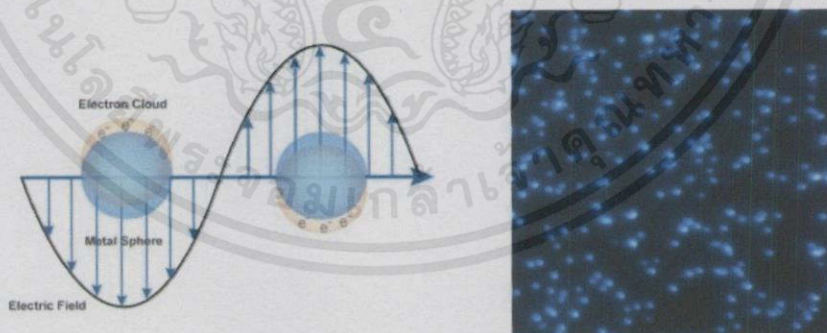
เอกสารนี้ ประยุกต์ใช้ในการเป็นตัวรับรู้แอมโมเนีย พบว่าสามารถตรวจวัดแอมโมเนียได้ในช่วง 5-100 มิลลิกรัม การคำนวณค่า ไม่ว่าการวัดต่อลิตร และพบว่าเมื่อเติมแอมโมเนีย 0 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร ถ้าไปใช้

(สีม่วง) และเมื่อเติมแอมโมเนีย 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีการดูดกลืนแสงที่ 460 นาโนเมตร (สีเหลือง) [21]

2.2.3 การเปลี่ยนสีของอนุภาคเงินระดับนาโน [22]

คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนไปอนุภาคระดับนาโนจะมีสีที่แตกต่างไปจากวัสดุชนิดเดียวกันแต่มีขนาดใหญ่กว่า เช่นเงินแบบก้อนใหญ่มีสีเงินอันเนื่องจากโลหะเงินสามารถดูดกลืนแสงสีน้ำเงินที่อยู่ในช่วงปลายของสเปกตรัมคลื่นแสงที่มองเห็นได้ แต่ถ้าย่อขนาดของเงินให้เล็กลงไปเรื่อยๆ จนมีอนุภาคเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงที่มาตกกระทบมากๆ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ ที่เรียกว่า (Surface Plasmon Resonance (SPR) ซึ่งเป็นคลื่นความหนาแน่นของประจุที่เกิดจากการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระที่มีลักษณะการสั่นพร้อมเพรียงกันเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของโลหะกับสารไดอิเล็กทริก เช่น กระจก ทองคำหรืออากาศหรือสารละลาย โดยที่ขนาดยอคคลื่น และ ความกว้างของสเปกตรัมพลาสมอนเรโซแนนซ์ของวัสดุต่างๆจะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ประเภทของวัสดุ และ สภาพแวดล้อมรอบๆวัสดุนั้นซึ่งจะทำให้อนุภาคเงินเปลี่ยนไปดูดกลืนสีเขียว (ความยาวคลื่นประมาณ 450 นาโนเมตร) ซึ่งจะส่งผลให้อนุภาคนาโนเงินมีสีส้มอมเหลืองแทนที่จะเห็นเป็นสีเงินวาวอย่างที่พบได้ทั่วไป

อย่างไรก็ตามโลหะส่วนใหญ่จะมีความถี่เรโซแนนซ์อยู่ในช่วงใกล้รังสียูวีซึ่งอยู่นอกสเปกตรัมของช่วงแสงที่มองเห็น นอกจากนี้อนุภาคนาโนของโลหะเกือบทุกชนิดไม่สามารถคงตัวอยู่ในรูปอนุภาคนาโนได้นานในสภาวะแวดล้อมตามปกติ ทำให้เราไม่ค่อยพบปรากฏการณ์นี้ในโลหะชนิดอื่นๆ เซอร์เฟจพลาสมอนเรโซแนนซ์ หรือสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนของโลหะ เช่น เงิน ทองคำ สามารถเกิดขึ้นเนื่องจากอันตรกิริยาของแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น แสงกับอิเล็กตรอนอิสระที่ผิวของอนุภาคนาโนของโลหะ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 (รูปซ้าย) กระจวนการสั่นของพลาสมอน (Plasmon oscillation) ในอนุภาคทรงกลม (รูปขวา) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ Dark field Microscope ของอนุภาคเงินระดับนาโน ขนาด 60 nm. [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จุดมุ่งหมายสูงสุดของนาโนเทคโนโลยีก็คือความสามารถที่จะสร้าง และ จัดเรียงอนุภาคต่างๆ ไม่ว่าจะวิธีใดก็ตาม อีกทั้งยังมีให้คนปลูกเบอทา และ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ได้ตามความต้องการ และ นาโนเทคโนโลยียังมีประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่เดิมให้มี

ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น และ สร้างนวัตกรรมใหม่ๆที่มีคุณสมบัติพิเศษอย่างไม่เคยมีมาก่อน เพื่อที่จะตอบสนองต่อความต้องการของตลาด และ ผู้บริโภคอีกด้วย

Diana Vilela. และคณะ ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับ Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR) ที่เป็นสมบัติเด่นทางแสงของอนุภาคทองระดับนาโน และ อนุภาคเงินระดับนาโน โดยวิเคราะห์การเปลี่ยนสีเมื่อโมเลกุลมีการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างอนุภาคเงินหรือทองกับสารรักษาเสถียรภาพ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงของสีที่อยู่ในช่วงสเปกตรัมที่มองเห็นได้ โดยเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีฟ้าสำหรับอนุภาคทอง และ เปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลสำหรับอนุภาคเงิน ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคเงินหรืออนุภาคทองกับสารล้อมรอบหรือสารรักษาเสถียรภาพจะเกิดการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ และ มีการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างผู้ให้ และ ผู้รับ ซึ่งการวิเคราะห์นี้ยังมีความสะดวกสบาย เนื่องจากสามารถสังเกตการเปลี่ยนสีในสารละลายได้ด้วยตาเปล่า และยังใช้เทคนิค UV-visible spectroscopy และTEM ในการยืนยันและการประเมินผลการทดลอง [23]

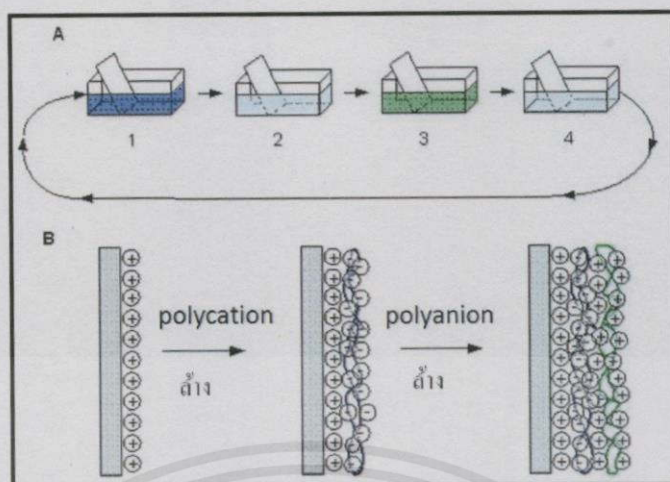
อย่างไรก็ตามถ้าควบคุมให้อนุภาคนาโนทองคำกลับมารวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะทำให้ทองคำเปลี่ยนไปเป็นสีอื่นได้ตั้งแต่สีชมพูจนถึงสีม่วงซึ่งปรากฏการณ์นี้เองสามารถนำทองคำระดับนาโนไปประยุกต์ใช้ในการเป็นไบโอเซ็นเซอร์ ตรวจจับสารชีวภาพชนิดต่างๆ เป็นต้น

2.3 เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer Technique) [24]

เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น คือ การทำฟิล์มบางหลายชั้นของโพลีอิเล็กโทรไลต์ หรือ พีอีเอ็มฟิล์ม Polyelectrolyte Multilayer film (PEM) สามารถนำมาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวของวัสดุเพื่อส่งเสริมการตอบสนองของสารที่ต้องการยึดติดบนวัสดุ

โพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีหน่วยซ้ำกันแบบกลุ่ม กลุ่มเหล่านี้จะแยกจากกันเมื่ออยู่ในตัวละลายที่เป็นน้ำ ทำให้คุณสมบัติของโพลีอิเล็กโทรไลต์ มีลักษณะผสมคล้ายกับอิเล็กโทรไลต์ของเกลือและโพลิเมอร์ที่เป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ในบางครั้งจึงเรียกว่า (Polysalts) สารละลายพวกนี้สามารถนำไฟฟ้าได้ สารละลายโพลิเมอร์มักจะมีความหนืด ห่วงโซ่ของโมเลกุลมักมีความสำคัญในการกำหนดโครงสร้างที่มั่นคง และ มีความสัมพันธ์กับการประกอบโมเลกุลต่างๆด้วยคุณสมบัติเหล่านี้จึงมีการนำโพลีอิเล็กโทรไลต์ไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายในสาขาวิชาเทคโนโลยี และอุตสาหกรรม ยกตัวอย่างเช่น (Polypeptides glycosaminoglycans) และ ดีเอ็นเอ เป็นโพลีอิเล็กโทรไลต์ ทั้งโพลีอิเล็กโทรไลต์ธรรมชาติและสังเคราะห์ที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นกระจกสไลด์ [24]

2.3.1 ประจุของโพลีอิเล็กโทรไลต์

โพลีอิเล็กโทรไลต์สามารถแบ่งออกเป็นประเภท “อ่อน” และ “แรง” ซึ่งโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่แรงนั้นเป็นหนึ่งในการแยกตัวของประจุอย่างสมบูรณ์ในสารละลายที่มีค่า pH ที่เหมาะสม ส่วนโพลีอิเล็กโทรไลต์อ่อนจะมีค่าคงที่ในการแยกออกจากกัน (pK_a หรือ pK_b) อยู่ในช่วงประมาณ 2 ถึงประมาณ 10 ซึ่งหมายความว่ามันจะเกิดการแตกตัวบางส่วนที่ pH ปานกลาง ดังนั้นโพลีอิเล็กโทรไลต์อ่อนจะมีประจุไม่เต็มอยู่ในสารละลาย และนอกจากนี้ประจุบางส่วนในสารละลายสามารถเปลี่ยนค่า pH และความเข้มข้นในสารละลายหรือความเข้มข้นของไอออน คุณสมบัติทางกายภาพของสารละลายโพลีอิเล็กโทรไลต์มักได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงจากประจุตั้งแต่โพลีอิเล็กโทรไลต์แยกออกจากกันมีการปล่อยไอออนซึ่งจะมีผลกระทบสารละลายไอออนิกที่แรงดังนั้นจึงส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติอื่นๆได้ เช่น การนำไฟฟ้า [25]

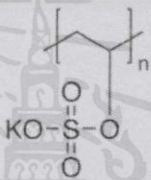
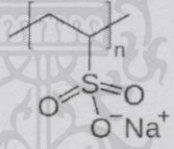
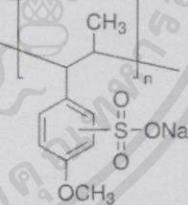
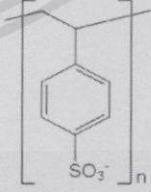
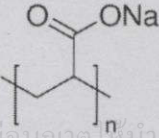
การเกิด PE-PE เป็นการเกิดปฏิกิริยาที่ทำได้โดยการผสมพอลิเมอร์ที่มีประจุตรงข้ามกัน และละลายในตัวทำละลายที่เป็นน้ำเข้าด้วยกันการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนจะเกิดขึ้นด้วยตนเอง (Spontaneous formation) ขนาดอนุภาคที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วงไมโครเมตรจนถึงนาโนเมตร โดยทฤษฎีที่ใช้อธิบายถึงการเกิด PE-PE ที่ได้รับความนิยมมี 2 ทฤษฎี คือ

1) Debye Huckel theory ซึ่งเป็นทฤษฎีที่อธิบายเกี่ยวกับการแตกตัวของอิเล็กโทรไลต์แต่ในสารละลายเจือจาง และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลจากไฟฟ้าสถิต (Electrostatic effects) ของไอออนตรงกันข้าม โดยมีความสัมพันธ์กับความแรงไอออน (Ionic strength) และ Activity coefficient ซึ่งเกิด PE-PE สามารถอธิบายได้ด้วยหลักการนี้เช่นเดียวกัน กล่าวคือเมื่อนำพอลิเมอร์ที่

แยกสารนี้ก็สามารถแตกตัวได้และมีประจุต่างกันไปทำปฏิกิริยากันแล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น ทำให้ความไม่วุ่นวายเป็นประจุของพอลิเมอร์แต่ละชนิดลดลงไป [26] ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

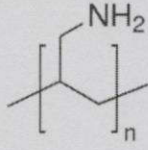
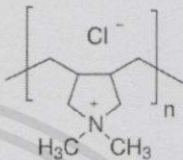
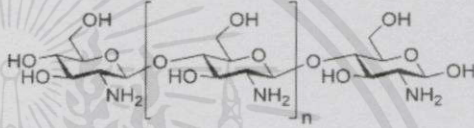
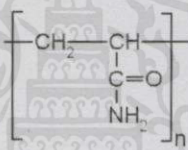
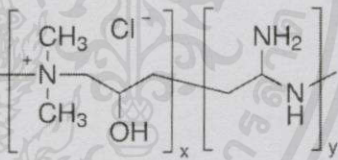
2) Flory-Huggins theory เป็นทฤษฎีว่าด้วยอุณหพลศาสตร์ของสารละลายพอลิเมอร์ในตัวทำละลายซึ่งค่าที่ออกมาคือค่าพลังงานอิสระ (Gibbs free energy) โดยการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์จะมีการจัดรูปแบบอยู่ 2 ชนิด คือ แบบไม่เป็นระเบียบ (Random coil) และแบบที่เป็นผลึก แต่ทั่วไปแล้วพอลิเมอร์ส่วนใหญ่จะมีลักษณะผสม คือมีทั้งส่วนที่มีการจัดตัวเป็นแบบผลึก และ แบบที่ไม่เป็นระเบียบ หากผสมพอลิเมอร์ที่มีประจุตรงข้ามกันทั้งสองชนิดเข้าด้วยกัน ในกรณีที่เป็นสายหลักของพอลิเมอร์มีชิ้นส่วนของชิ้นส่วนประจุ (Fragment of charge) น้อย การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนจะน้อยไปด้วย แต่ถ้าชิ้นส่วนของประจุมากขึ้นไฟฟ้าสถิตระหว่างพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้นแล้วทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน รวมไปถึงจนถึงสามารถตกตะกอนออกมาได้ [26]

ตารางที่ 2.1 พอลิเมอร์ที่เป็นประจุลบที่ใช้ในการเตรียม PE-PE [27]

ชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเตรียม PE-PE	โครงสร้าง
Poly(potassium vinyl sulfate)	
Poly(sodium vinyl sulfonic acid)	
Poly(sodium anethole sulfonic acid)	
Poly(4-vinylbenzenesulfonic acid)	
Poly(sodium acrylic acid)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 พอลิเมอร์ที่เป็นประจุบวกที่ใช้ในการเตรียม PE-PE [27]

ชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเตรียม PE-PE	โครงสร้าง
Poly(allylamine hydrochloride)	
Poly(dimethyldiallylammonium chloride)	
Chitosan	
Polyacrylamide	
Poly(dimethylamine-co-epichlorohydrin-co-ethylenediamine)	

2.4 โลหะตะกั่ว [28]

ตะกั่วเป็นที่รู้จักมานานตั้งแต่ 3,500 ปีก่อนคริสตกาลในอียิปต์สมัยโบราณมีการใช้แร่ตะกั่วเป็นเครื่องสำอางสำหรับทาตา โลหะตะกั่วก็นับเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่มีการใช้มานานที่สุดการค้นพบโลหะตะกั่วเกิดขึ้นโดยบังเอิญ โดยขณะที่มีการถลุงไพไรต์ที่มีส่วนผสมของตะกั่วได้เกิดมีโลหะตะกั่วหลอมเหลวไหลออกมาบริเวณกองไฟนั้น เนื่องจากตะกั่วมีจุดหลอมเหลวต่ำจึงสามารถสกัดเอาโลหะออกจากแร่ได้โดยง่ายด้วยอุณหภูมิที่ไม่สูงนัก ชาวโรมันโบราณ เริ่มนำโลหะตะกั่วมาใช้จริงจิ่งสำหรับผลิตเป็นภาชนะ และ ท่อน้ำซึ่งยังคงหลักฐานอยู่จนกระทั่งปัจจุบันนับจากนั้นก็ได้มีการใช้ประโยชน์จากโลหะตะกั่วอย่างแพร่หลาย จนจัดเป็นโลหะที่มีการใช้มากเป็นอันดับห้ารองจากเหล็กอลูมิเนียม ทองแดง และ สังกะสี โดยคุณสมบัติทั่วไปของตะกั่วมีดังตารางต่อไปนี้

1.คุณสมบัติทางฟิสิกส์ และ คุณสมบัติเชิงกลของตะกั่ว

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของโลหะตะกั่ว

คุณสมบัติ	
1.น้ำหนักอะตอม	207.2 g/mol
2.ระบบผลึก	FCC
3.ความหนาแน่น (ที่ 20 °C)	11.34 g.cm ⁻³
4.จุดหลอมเหลว	327 °C
5.จุดเดือด	1,749 °C
6.ความต้านทานไฟฟ้า (ที่ 20 °C)	208 ohm
7.สัมประสิทธิ์การขยายตัว (ที่ 20 °C)	28.9 $\mu\text{m.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติเชิงกลของโลหะตะกั่ว

คุณสมบัติ	
1.Youngs modulus	16 GPa
2.Shear modulus	5.6 GPa
3.Brinell hardness	38.3MPa

2.4.1 ประโยชน์ของโลหะตะกั่ว [29]

โลหะตะกั่วเป็นมีคุณสมบัติเด่นคือมีหลอมเหลวต่ำมีความหนาแน่นสูงมีความอ่อนตัวสูง ความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ต่ำมีคุณสมบัติหล่อขึ้น และ ต้านทานการกัดกร่อนได้ดี การใช้ประโยชน์โลหะตะกั่วส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรม ทำแบตเตอรี่รถยนต์ ใช้เป็นสารประกอบตะกั่ว สำหรับผสมเพื่อทำสี รวมทั้งใช้ทำลูกกระสุน และ ยุทธภัณฑ์ ใช้ทำฉากกันเพื่อป้องกันรังสีต่างๆ เช่น รังสีเอกซ์ รังสีเบต้า รังสีแกมมา เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นธาตุผสมกับโลหะทองแดง และ เหล็ก เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการกลึงหรือตัด ซึ่งการนำตะกั่วไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ทั้งสภาพโลหะ และสารเคมีที่สำคัญ มีดังนี้

1) แบตเตอรี่ โลหะตะกั่วใช้มากที่สุดในการผลิตแบตเตอรี่ ซึ่งประกอบด้วยแผ่นขั้ว และ ห่วงยึดแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์จะมีตะกั่วประมาณ 9-12 กิโลกรัม

2) เปลือกเคเบิล ใช้ตะกั่วหุ้มสายเคเบิลไฟฟ้าและสื่อสารที่อยู่ใต้ดินและใต้น้ำ เพื่อช่วยป้องกันความเสียหายจากความชื้นและการกัดแทะของหนู ซึ่งช่วยให้ไม่เกิดการขัด-ข้องในระบบไฟฟ้าและการสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3) ตะกั่วแผ่น เนื่องจากตะกั่วมีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อน จึงใช้ตะกั่วแผ่นเป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญในอุตสาหกรรมเคมี และ การก่อสร้างอาคาร แผ่นกันรังสีต่างๆ รวมทั้งการใช้ตะกั่วแผ่น

ที่ต่ำยังสามารถมีผลกระทบต่อระบบประสาท และ สมองของทารกในครรภ์หรือเด็กเล็กตั้งแต่ 6 เดือน 6 ปี โดยมากมักเกิดในเด็กที่พ่อแม่มีฐานะไม่ดีโดยได้สารนี้จากเศษสีที่หล่น หรือจากอากาศ น้ำ หรืออาหาร ซึ่งอาการเป็นพิษจะเกิดเมื่อมีการสะสมของตะกั่วในร่างกายสูงพอทำให้การมีปัญหาในเรื่องการเรียนรู้ และ IQ ต่ำผลกระทบต่อระบบหัวใจ และ หลอดเลือดโดยตะกั่วจะทำให้ความดันโลหิตสูงขึ้น ทำให้เกิดโรคหัวใจโดยเฉพาะในผู้ชาย ทำให้เกิดโรคโลหิตจางดังนี้

1. สารตะกั่วจะมีผลเสียต่อสมอง และ การติดต่อของเซลล์ประสาท โดยสารตะกั่วจะไปจับกับเซลล์แทนที่แคลเซียม จะทำให้ IQ ลดลง
2. ผลต่อเม็ดเลือดแดงจะทำให้เม็ดเลือดแดงแตกง่ายเป็นโรคโลหิตจาง และ มีผลต่อการทำงานของไต
3. ผลต่อการตั้งครรภ์ และ ทารกสารตะกั่วสามารถก่อปัญหาให้แก่ทารกในครรภ์หากมีสารตะกั่วเป็นปริมาณมากอาจจะทำให้เกิดแท้งคลอดก่อนกำหนด เด็กที่เกิดมาจะมีน้ำหนักตัวน้อยกว่าปกติ การทำงานของสมองจะพัฒนาช้า ปัญญาอ่อน เป็นต้น



รูปที่ 2.6 แสดงอาการของผู้ป่วยที่ได้รับพิษจากสารตะกั่วภาพก.โรคเก๊าท์ภาพ ข.โรคท้องร่วง [30]

รูปภาพ ก. แสดงอาการของผู้ป่วยที่ได้รับตะกั่วอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ ส่วนใหญ่จะสะสมในเนื้อกระดูก จึงส่งผลให้เป็นโรคเก๊าท์ในเวลาต่อมา

รูปภาพ ข. แสดงอาการของผู้ป่วยที่มีการบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนของสารพิษปรอทเข้าไปส่งผลให้มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องอย่างรุนแรงเป็นพักๆ

2.4.2.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ตะกั่วจะเข้าสู่ร่างกายโดยการสูดดมทางอากาศ หรือ การกินอาหาร หรือแหล่งน้ำที่ปนเปื้อนตะกั่วจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม หรือ จากน้ำจากขยะที่มีสารตะกั่วปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำที่มีปริมาณสารตะกั่วอยู่ในระดับสูงจึงทำให้ส่งผลกระทบต่อระบบการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ และ มีผลกระทบต่อระบบโลหิต และระบบประสาทของสัตว์น้ำที่อาศัยในแหล่งน้ำ ตะกั่วจึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่ต้องควบคุมการใช้งานไม่ให้เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ และ อากาศ



รูปที่ 2.7 ผลกระทบจากพิษของโลหะตะกั่วในสิ่งแวดล้อมทั้งในอากาศและในแหล่งน้ำ

2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.5.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer) [31]

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่าความเข้มของแสงในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่าง โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน และสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้ คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสาร เมื่อโมเลกุลถูกฉายด้วยแสงที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่าเมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสงของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ ส่วนประกอบของเครื่อง UV-visible spectrophotometer ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

1. แหล่งกำเนิดแสง ซึ่งสามารถให้แสงในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดเวลา รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอด้วย หลอดกำเนิดแสงมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมา จึงต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับของเหลวที่นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ตัวอย่างเช่น แหล่งกำเนิดแสง ช่วง UV ใช้หลอด H_2 and D_2 lamp ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 nm ชนิดของสเปกโทรสโกปี UV molecular absorption และ ช่วงวิซิเบิล ใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 นาโนเมตรชนิดของสเปกโทรสโกปีเป็น

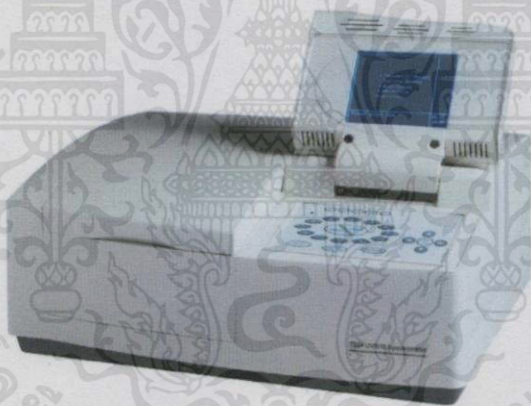
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Monochromator ส่วนประกอบนี้เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียว ใช้ฟิลเตอร์ (กระจกสี), ปริซึม (Prism) หรือ เกรตติง (Grating)

3. เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่างเซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (Cell sample) บางครั้งอาจเรียกว่า คิวเวทท์ (Cuvettes) รูปแบบที่ใช้กันทั่วไปได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะเนื้อแก้วธรรมดาถูกดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และ ควอร์ตซ์ (Quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

4. ตัวตรวจวัด (Detector) ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้าเครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีความไวสูง คือแม้ปริมาณแสงจะเปลี่ยนไปเล็กน้อย ก็สามารถตรวจจับสัญญาณความแตกต่างได้ เครื่องวัดแสงที่ยังนิยมกันอยู่ในปัจจุบัน คือ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier tube) และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด (Silicon diode detector)



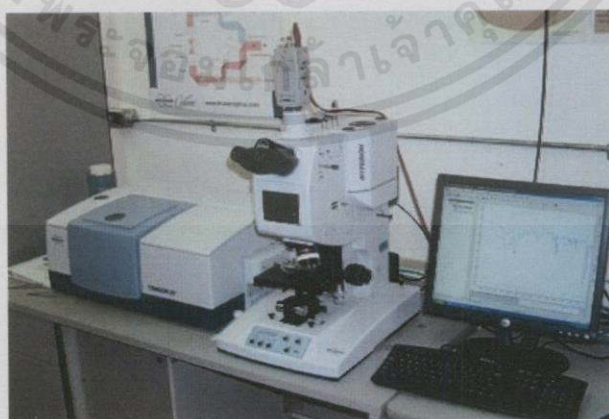
รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-visible spectrophotometer [32]

2.5.2 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) [33]

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์วัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ และ อินทรีย์เทคนิคนี้เป็นวิธีการทาง Spectroscopy ชนิดหนึ่งที่ศึกษาการดูดกลืนแสงของสสารในย่านความถี่ของแสงซึ่งโดยการวิเคราะห์โครงสร้างจะอาศัยการดูดกลืนที่แตกต่างกันของแต่ละโมเลกุล ซึ่งโมเลกุลแต่ละชนิดจะมีการดูดกลืนช่วงคลื่นอินฟราเรดที่ต่างกันโดยช่วง wave numbers $4000 - 1500 \text{ cm}^{-1}$ จะเป็นช่วงที่บ่งบอกถึงหมู่ฟังก์ชันอล ของโมเลกุล เช่น -OH , C=O , N-H , CH_3 เป็นต้น และ ในช่วง wave numbers $1500 - 400$ เป็นช่วง the fingerprint region ซึ่งจะมีลักษณะของสเปคตรัมที่เฉพาะเจาะจงของสารแต่ละตัวแต่เนื่องจากจะมีพีคเกิดค่อนข้างเยอะดังนั้นการวิเคราะห์สเปคตรัมช่วงนี้ค่อนข้างยาก การนำเทคนิคนี้จะนำไปใช้

ประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับ ด้านวัสดุศาสตร์ เช่น พอลิเมอร์ช่วยในการจำแนกชนิดของพอลิเมอร์ และในด้านอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเนื่องจากเทคนิคนี้มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างไม่แพงและรวมไปถึงชนิดของตัวอย่าง สามารถวิเคราะห์ได้เกือบทุกชนิดดังนั้นจึงการนิยมที่ใช้เทคนิคนี้ในการตรวจวิเคราะห์หาโครงสร้าง และ องค์ประกอบของโมเลกุลรวมกับเทคนิคอื่นๆ FT-IR spectrometer (Fourier Transform Infrared Spectrometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบ โครงสร้างของสาร โดยการวัดการดูดกลืน รังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด ในช่วงเลขคลื่น (Wave number) ประมาณ $12,800-10\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งสามารถ วิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งของแข็ง ของเหลว และ ก๊าซ

รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) เป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าแต่ ให้ความร้อนที่สัมผัสได้ รังสีอินฟราเรดอยู่ระหว่างช่วง Visible radiation กับ Microwave radiation โดยช่วงของรังสีอินฟราเรดแบ่งเป็น 3 ช่วงได้แก่ Near Infrared ($12,800 - 4,000\text{ cm}^{-1}$), Middle Infrared ($4,000 - 200\text{ cm}^{-1}$) และ Far Infrared ($200 - 10\text{ cm}^{-1}$) ช่วงของรังสีอินฟราเรดที่ใช้ ประโยชน์ในการวิเคราะห์ทางเคมีได้แก่ช่วง Middle IR เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีพลังงานค่อนข้างต่ำ เมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเข้าไปจะทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการสั่น และ การหมุน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล การที่โมเลกุลจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้นั้นความถี่ของรังสี อินฟราเรดต้องเท่ากับความถี่การสั่นของโมเลกุลของสารนั้นๆซึ่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไปทำให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและ ชนิดของสารอินทรีย์ได้การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Wave number กับ Transmittance ซึ่งเรียกว่า Infrared spectrum การใช้เครื่อง FTIR spectrometer วิเคราะห์ตัวอย่าง ใช้เวลาน้อยและไม่สิ้นเปลืองสารเคมี จึงนิยมนำมาใช้เพื่อการ ตรวจสอบสารในเชิงคุณภาพหรือเพื่อยืนยันสูตรโครงสร้างของตัวอย่าง เช่น วิเคราะห์ชนิดของสาร เคลือบผิวภาชนะบรรจุอาหาร ตัวอย่างสารสกัดจากพืช ตัวอย่าง พอลิเมอร์ เป็นต้น นอกจากการ วิเคราะห์โดยใช้ช่วง Middle IR แล้ว ช่วง Near IR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 2.9 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) [34]

2.5.3 เครื่องวัด Zeta potential analysis [35]

ศักย์ซีตา (Zeta potential) คือความแตกต่างของประจุไฟฟ้าระหว่างชั้นความหนาแน่นของไอออนที่อยู่รอบๆอนุภาคและประจุในของเหลวที่อยู่ล้อมรอบ อนุภาคเกิดขึ้นในกระบวนการโคแอกกูเลชันฟล็อกคูลेशन (มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์) เป็นค่าที่ใช้เพื่อบอกแนวโน้มว่าอนุภาค จะมีการเกาะตัวกันเป็นก้อนหรือไม่ เช่น เมื่อมีการปรับค่า pH อนุภาคแขวนลอยจะเสถียร เมื่อศักย์ซีตามีค่ามากกว่า + 30 mV หรือน้อยกว่า -30 mV

สำหรับค่า Zeta potential จะสัมพันธ์กับประจุบนผิวของอนุภาค ซึ่งมีผลต่อการตกตะกอน และการเกาะตัวกันเทคนิคนี้จะทำการวัดการเคลื่อนที่ของอนุภาคในของเหลวภายใต้สนามไฟฟ้า ซึ่งก็คือการวัดความเร็วของอนุภาคนั้นเอง โดยเมื่อให้สนามไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์ อนุภาคจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วตรงข้ามกับชนิดของประจุ โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้าที่ให้นี้จะสัมพันธ์กับค่า Zeta potential ของคอลลอยด์ โดยเทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์ขนาดอนุภาคในช่วง 0.3 - 5,000 นาโนเมตรและอนุภาคควรอยู่ในตัวกลางที่สามารถนำไฟฟ้าได้ หรือมีค่าไดอิเล็กทริกค่อนข้างสูง เช่น น้ำ เป็นต้น [36]



รูปที่ 2.10 ไอออนและความต่างศักย์ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นบนผิวของอนุภาคสาร [37]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การใช้อนุภาคเงินระดับนาโนและโพลีอนิลินในการสร้างชั้นฟิล์มโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นเพื่อใช้ตรวจจับแอมโมเนีย, (Fabrication of silver nanoparticles/poly aniline composite thin films using Layer-by-Layer self-assembly technique for ammonia sensing) [38]

Ekkarat Detsri และ คณะได้ศึกษาเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นเพื่อเตรียมฟิล์มบางที่ประกอบด้วยอนุภาคเงินระดับนาโนและโพลีอนิลินซึ่งเป็นสารรีกษาเสถียรภาพ ชั้นฟิล์มจะประกอบไปด้วยฟิล์มบางๆที่สร้างจากประจุลบและประจุบวกหลายๆชั้น ประจุลบจะถูกเตรียมโดยการรีดักชัน

ของซิลเวอร์ไอออนโดยใช้โพลีนาโนเป็นสารรักษาเสถียรภาพเพื่อให้เกิดเป็นอนุภาคเงินที่มีประจุลบ ซึ่งโพลีนาโนจะถูกเตรียมโดยปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันของอนิซีน โดยเทคนิคนี้จะใช้ โพลีสไตรีนซัลโฟนิคร่วมกับกรดมาลิกแอซิด (Polystyrene sulfonic co maleic acid) หรือ (CoPSS) เป็นสารละลายที่ก่อให้เกิดการกระจายตัวของโพลีนาโน และจะถูกใช้ในการทำให้อนุภาคเงินในระดับนาโนมีความเสถียร ในการสร้างฟิล์มบางของอนุภาคเงินในระดับนาโนและโพลีนาโน ฟิล์มบางจะถูกสร้างขึ้น โดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารละลายที่มีประจุบวกของโพลีไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (Poly(diallyldimethyl ammonium chloride) หรือ (PDADMAC) และ นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของชั้นฟิล์มโดยใช้เทคนิค (UV-visible spectroscopy) พื้นผิวของฟิล์มถูกวัดโดย (AFM) ขณะที่ฟิล์มถูกใช้เป็นตัวตรวจจับแอมโมเนีย และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของฟิล์มถูกวัดค่าได้โดยความเข้มข้นของแอมโมเนีย เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมีมากจะเกิดการเปลี่ยนสีจากสีส้มแดงเป็นสีเหลือง แผ่นฟิล์มที่มีส่วนประกอบของอนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs) และ โพลีนาโน (Polyaniline) เหล่านี้ จะแสดงการเปลี่ยนสีอย่างรวดเร็วและใช้สำหรับการตรวจจับแอมโมเนียในภาคอุตสาหกรรม

2.6.2 การตรวจสอบการปลอมปนของเมลามีนในน้ำนมดิบด้วย เทคนิคเลเบลฟรี อนุภาคเงินระดับนาโน, (Visual detection of melamine in raw milk by label-free silver nanoparticles) [39]

Hong Ping และคณะ ได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาณเมลามีนโดยใช้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเป็นขั้ว (Prob) หรือเซนเซอร์สี และตรวจวัดด้วยเทคนิค UV-visible spectroscopy ซึ่งวิธีที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้ เป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว ประหยัด และเหมาะสมสำหรับการใช้ในภาคสนาม โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสำหรับการคัดกรองเมลามีน โดยอาศัยขนาดหรือระยะห่างระหว่างอนุภาคที่แตกต่างกันแล้วทำให้ได้สเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Absorption spectrum) และสีของสารละลายที่แตกต่างกันด้วย เมื่ออนุภาคเงินระดับนาโนเข้าใกล้กัน หรือเรียกว่าเกิดการ Aggregation สีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนจะเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีแดงหรือสีเขียวคล้ำ ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนของ Surface Plasmon band ไปยังความยาวคลื่นที่ยาว เมื่อเติมเมลามีนลงในสารละลาย Label - free อนุภาคเงินระดับนาโนจะสามารถสังเกตเห็นสีที่เปลี่ยนไปจากสีเหลืองไปเป็นสีแดงได้ชัดเจน

เทคนิคนี้สามารถตรวจวัด เมลามีนในน้ำนมดิบได้โดยการตรวจสอบด้วยตาเปล่าหรือ ใช้เทคนิค UV-visible spectroscopy ที่อุณหภูมิห้อง กระบวนการตรวจสอบทั้งหมดเสร็จสมบูรณ์ภายในเวลาไม่ถึง 30 นาที ซึ่งค่าจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเมลามีน (LOD) คือ $2.32 \mu\text{M}$ ($\approx 0.29 \text{ mg/L}$) ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าปริมาณปลอดภัยในการนำเข้าสู่ร่างกายที่ถูกกำหนดไว้ (2.5 ppm ใน USA และ EU และ 1 ppm

สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับทารกในประเทศจีน) และมีค่า LOD ต่ำกว่าค่า LOD ที่ได้จากเทคนิคอื่นๆ นอกจากนี้เทคนิคการทดสอบที่นำเสนอนี้สะดวกกว่า Kjeldahl และ Dumas test ดังนั้นจึงสามารถตรวจวัดเมลามีนในน้ำนมดิบได้อย่างรวดเร็ว

2.6.3 การวิเคราะห์หาระดับโฮโมซิสเตอีนจากของเหลวในมนุษย์ด้วยวิธีการตรวจวัดสีอนุภาคเงินระดับนาโน, (Selective determination of Homocysteine levels in human plasma using a silver nanoparticle-based colorimetric assay) [40]

Wipawee Leesutthiphonchai และคณะ ได้พัฒนาวิธีการที่จำเพาะสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณโฮโมซิสเตอีน (Homocysteine : Hcy) ในตัวอย่างเลือด โดยใช้ AgNPs เป็นตัวเซนเซอร์สี และตรวจวัดด้วยเทคนิค UV-visible spectroscopy ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษา Hcy ร่วมกับกรดอะมิโนอีก 5 ชนิด ได้แก่ Cys, Glutathione, Methionine, Histidine และ Alanine โดยจะอาศัยความสามารถในการเหนี่ยวนำให้ AgNPs เกิดการรวมตัวกัน (aggregation) ทางจลนศาสตร์ที่แตกต่างกันของ Hcy และกรดอะมิโนอีก 5 ชนิด ซึ่งเกิดการเลื่อนตำแหน่งของสเปกตรัมการดูดกลืนในช่วงวิซิเบิล

วิธีนี้ให้ความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัด Hcy อยู่ในช่วง 2 – 12 μM ($r^2 = 0.9936$) ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ) คือ 0.5 μM และ 1.7 μM ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าที่วิเคราะห์ได้จากวิธีใหม่นี้กับเทคนิค Chemiluminescent Micro particle Immunoassay (CMIA) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการทดลอง พบว่า วิธีวิเคราะห์ที่ได้นำเสนอนี้มีความเลือกจำเพาะ (selectivity) ที่ดี มีขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว และราคาไม่แพง

2.6.4 การสังเคราะห์ส่วนประกอบนาโนของพอลิเมอร์ชีวภาพ-อนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้เครื่องตรวจจับขนาดสำหรับการตรวจสอบแอมโมเนีย, (Green synthesis of biopolymer-silver nanoparticle nanocomposite: An optical sensor for ammonia detection) [41]

Sadanad Pandey และ คณะได้พัฒนาวิธีวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย (Ammonia : NH_3) โดยใช้ AgNPs เป็นตัวเซนเซอร์สี และตรวจวัดด้วยเทคนิค UV-visible spectroscopy เนื่องจากมีการใช้ NH_3 กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม ซึ่ง NH_3 เป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์และสัตว์ จึงต้องมีการตรวจวัดและควบคุมปริมาณ NH_3 ที่อาจรั่วไหลออกมาจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม

เพื่อเป็นการป้องกันผู้ผลิตและชุมชนรอบข้าง ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการตรวจวัดสารละลาย NH_3 โดยใช้ AgNPs เป็นตัวเซนเซอร์สี โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงด้วยเทคนิค Surface Plasmon Resonance (SPR) ของ AgNPs เมื่อมีสารละลาย NH_3 และตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงด้วยเทคนิค UV-visible spectroscopy ซึ่งผู้วิจัยสังเคราะห์ AgNPs โดยใช้ polysaccharide *Cyamopsis tetragonaloba* หรือเป็นที่รู้จักกันในนามของ guar gum (GG) จากพืชมาเป็นตัวรีดิวซ์ในขั้นตอนการเตรียม AgNPs ซึ่งพบว่าได้ขนาด AgNPs น้อยกว่า 10 นาโนเมตร และเป็นวิธีการเตรียม AgNPs ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เทคนิคใหม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณ NH_3 เสร็จภายในเวลา 3 วินาที และให้ค่า LOD เท่ากับ 1 ppm สามารถนำไปใช้วิเคราะห์หาปริมาณ NH_3 ในตัวอย่างของเหลวทางชีวภาพได้ เช่น เลือด เหงื่อ น้ำลาย ของเหลวในสมองและไขสันหลัง หรือตัวอย่างทางชีวภาพด้านการแพทย์ทั่วไป

2.6.5 การเปลี่ยนแปลงสีในการตรวจวัดปรอทไอออน ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายโดยใช้ Gold nanoparticles chemodosimeter, (Colorimetric detection of mercuric ion (Hg^{2+}) in aqueous media using chemodosimeter-functionalized Gold nanoparticles) [42]

ในงานวิจัยนี้การสังเคราะห์ของ chemodosimeter สำหรับในการตรวจวัดปรอทไอออน ปรอทจากการกระตุ้น intramolecular cyclic guanylation จากไทโอยูรีเชื่อมต่อกับ 1,8-naphthalimide และอยู่กับที่บนพื้นผิวของอนุภาคนาโนทองคำ (AuNPs) chemodosimeter บริเวณที่ถูกกระตุ้นความสามารถหลังจากที่อยู่ติดกับ AuNPs และแสดงการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญการดูดซึ่มสเปกตรัมเมื่อใช้ Acetonitrile ในการตอบสนองของปรอทไอออน ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดได้ด้วยตาเปล่า อย่างไรก็ตามระบบนาโนเทคโนโลยียังคงส่งผลในการตอบสนองการดูดกลืนแสงที่ไม่ดีของปรอทไอออนในน้ำ โซดที่มาจากสารลดแรงตึงผิวของโซเดียมซัลเฟตโดเดซิ anionic (SDS) เพื่อให้แน่ใจ สื่อสารที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นระหว่างตัวตรวจวัดและปรอทไอออน และจึงนำไปสู่การตอบสนองสีของปรอทไอออนในน้ำ มีความไวมากขึ้น ปรอทไอออนทำให้เปลี่ยนแปลงการดูดกลืน เนื่องจากประสิทธิภาพของ AuNPs ต่อ Fluorophores

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.6 การตรวจวัดปรอทไอออนด้วยตาเปล่า โดยใช้ตัวทดสอบอนุภาคนาโนทองคำบนหลักการปรับปรุงโครงสร้างจากโปรตีนและการใช้เทคนิค lateral flow assay ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ที่รวดเร็วและสามารถพกพาได้, (A rapid and portable sensor based on protein-modify Gold nanoparticle probes and lateral flow assay for naked eye detection of mercury ion.) [43]

การปนเปื้อนของไอออนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาสำคัญที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย ปรอทไอออน (Hg^{2+}) เป็นหนึ่งในโลหะหนักที่ต้องทำการตรวจสอบเนื่องจากเป็นโลหะที่เป็นพิษ ในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาการออกแบบตัวทดสอบอนุภาคนาโนทองคำ (AuNP) โดยการดัดแปลงหมู่คาร์บอกซิลิกจากโปรตีนและทดสอบการไหลของปฏิกิริยาในการตรวจสอบปรอทไอออน (Hg^{2+}) โดยไม่ใช้เครื่องมือที่ซับซ้อนและเทคนิคที่ต้องใช้ความชำนาญ การทำงานของ AuNP บนโชนที่ใช้ทดสอบและโชนการควบคุมของเซ็นเซอร์ จะมีลักษณะเป็นแถบสีแดง ทำให้เกิดการเลือกจับเฉพาะของปรอทไอออน (Hg^{2+}) ที่ความเข้มข้นต่างๆ

การตรวจสอบวิเคราะห์ปรอทไอออน Hg^{2+} ในการใช้งานด้านสิ่งแวดล้อม ต้องใช้การวิเคราะห์ที่มีวิธีการที่เรียบง่าย รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ในตัวอย่างด้านสิ่งแวดล้อม น้ำและอาหาร

2.6.7 การตรวจวัดแบบความไวสูงและการทำงานเป็นคู่ของเซ็นเซอร์ของการตรวจวัดปรอทไอออน (Hg^{2+}) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของอนุภาคเงินระดับนาโน, (Ultrasensitive and dual functional colorimetric sensors for mercury ions and hydrogen peroxide based on catalytic reduction property of silver nanoparticles.) [44]

วิธีการที่จะทำให้การทำงานเป็นคู่ของเซ็นเซอร์สำหรับการตรวจวัดปรอทไอออน (Hg^{2+}) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ นอกจากนี้การผสมระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับอนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs) และปรอทไอออน (Hg^{2+}) ในการเปลี่ยนสีของสารละลายในไม่กี่นาทีที่ Hg 2.0 nM ไอออนโลหะอื่นๆไม่สามารถเปลี่ยนสีได้ที่ 10 μ M ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในงานวิจัยนี้ เนื่องจากตัวทดสอบในงานวิจัยนี้ไม่เพียงแต่สามารถตรวจวัดปรอทไอออนได้สำเร็จเท่านั้น แต่สามารถใช้ทดสอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่ำ 50 nM โดยใช้การสังเกตด้วยตาเปล่า ความไวและความเลือกเฉพาะต่อคุณสมบัติของปรอทไอออนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ได้ผลมากจากการใช้ AgNPs ในปฏิกิริยารีดักชันของปรอทไอออน Hg^{2+} ไปเป็นธาตุปรอท (Hg) ในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้การรวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 คุณสมบัติของปรอทไอออนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ได้ผลมากจากการใช้ AgNPs ในปฏิกิริยารีดักชันของปรอทไอออน Hg^{2+} ไปเป็นธาตุปรอท (Hg) ในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้การรวมกัน

และการทดสอบสีของ AgNPs เป็นสิ่งสำคัญ ความไวและความเลือกจำเพาะเป็นสิ่งสำคัญของการพัฒนาวิธีการตรวจสอบสำหรับโลหะไอออนและชีวโมเลกุลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดปฏิกิริยาของ AgNPs

2.6.8 การสังเคราะห์เซ็นเซอร์ที่มีประสิทธิภาพและความไวสูงในการตรวจวัดปรอทไอออน โดยสังเกตรatiometric และการเปลี่ยนแปลงสีจากการทำปฏิกิริยาร่วมกันของ, (Rhodamine nitrobenzoxadiazole A highly sensitive and selective ratiometric and colorimetric sensor for Hg^{2+} based on a rhodamine- nitro benzoxadiazole conjugate Inorganic) [45]

การออกแบบตัวทดสอบปรอทไอออนให้มีประสิทธิภาพและมีความจำเพาะโดยอาศัย (Rhodamine nitrobenzoxadiazole) มาทำปฏิกิริยาร่วมกัน โดยตัวทดสอบที่สังเคราะห์ขั้นนี้ได้ทำการศึกษาโดยใช้เครื่อง UV-visible spectrophotometer และ Fluorescence spectroscopy ในการตรวจวัดปรอทไอออน ในงานวิจัยนี้สามารถตอบสนองโดยการเปลี่ยนแปลงของสีและอัตราส่วนในการดูดกลืนแสงที่ 525 และ 460 นาโนเมตร สำหรับสองกลุ่มธาตุที่ทำให้เกิดสีในสารประกอบ โดยที่ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นจาก 0.17 – 0.46 จะเห็นได้ว่า ตัวทดสอบที่สังเคราะห์ขั้นนี้ มีความจำเพาะเจาะจงและความไวในการตรวจวัดปรอทไอออนมากกว่าไอออนของโลหะอื่นๆ โดยอัตราส่วนของตัวทดสอบในการจับกับปรอทไอออนในสารประกอบนั้นมีอัตราส่วนที่เสถียรคือ 1 ต่อ 1

2.6.9 การตรวจวัดปรอทไอออน (Hg^{2+}) โดยใช้ Rhodamine-B ในระบบเปิดของฟลูออเรสเซนต์และเคมีเซ็นเซอร์คลอริเมตริกที่มีสภาพไวและความเลือกจำเพาะสูง, (Rhodamine B-based turn-on fluorescent and colorimetric chemosensors for highly sensitive and selective detection of mercury ions) [46]

โมเลกุลขนาดใหญ่ 2 โมเลกุล บนหลักการการนำโมเลกุลของ 2-[3-(2-aminoethylsulfanyl)propylsulfanyl]ethanamine มาต่อพันธะกับ 1 และ 2 หน่วยของ rhodamine-B จะได้เป็นเซ็นเซอร์ 1 และ เซ็นเซอร์ 2 ตามลำดับ ซึ่งจะเตรียมและใช้เป็นฟลูออโรฟอร์และโครโมฟอร์สำหรับตรวจวัดปรอทไอออน (Hg^{2+}) เซ็นเซอร์นี้จะถูกเตรียมโดยการสังเคราะห์ 2 ขั้นตอน โดยเฉพาะเซ็นเซอร์ 1 จะมีสภาพไวสูงและมีความเลือกจำเพาะในการตรวจจับปรอท ซึ่งเป็นการตรวจวัดการเปลี่ยนสีของสารละลายโดยการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ (เปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีชมพูถึงสีแดง) แสดงให้เห็น

ความแตกต่างของไอออนโลหะหนัก โดยเฉพาะ Ag^+ และ Cu^+ เช่นเดียวกับ Cd^{2+} Na^+ Li^+ K^+ Mg^{2+} Mn^{2+} และ Al^{3+} จำกัดความเข้มข้นที่ 10 ppb

2.6.10 การขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นของคาร์บอนนาโนทิวบ์ประจุบวกและประจุลบเพื่อสร้างชั้นฟิล์มในการพัฒนาคุณสมบัติการนำไฟฟ้า, (Layer-by-layer deposition of cationic and anionic carbon nanotubes into thin films with improved electrical properties) [47]

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการสร้างแผ่นฟิล์มบางของท่อคาร์บอนนาโนทิวบ์โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer Technique) โดยแผ่นฟิล์มบางของท่อคาร์บอนนาโนทิวบ์ได้ถูกสร้างขึ้นเป็น 3 โครงสร้างคือ

1. แผ่นฟิล์มบางของท่อคาร์บอนนาโนทิวบ์ที่สร้างจาก MWCNTs ที่ถูกกระจายด้วย PDADMAC และถูกนำมาสร้างแผ่นฟิล์มบางกับสารละลาย PSS

2. แผ่นฟิล์มบางของท่อคาร์บอนนาโนทิวบ์ที่สร้างจาก MWCNTs ที่ถูกกระจายด้วย PDADMAC และ ถูกนำมาสร้างเป็นแผ่นฟิล์มบางกับสารละลาย PANI.PSS

3. แผ่นฟิล์มบางของท่อคาร์บอนนาโนทิวบ์ที่สร้างจาก MWCNTs ที่ถูกกระจายด้วย PDADMAC และถูกนำมาสร้างเป็นแผ่นฟิล์มบางกับสารละลาย MWCNTs ที่ถูกกระจายด้วยสารละลาย PANI.PSS

จากผลการทดลองพบว่า แผ่นฟิล์มบางชนิดที่ 3 ให้ค่าการนำไฟฟ้าที่สูงที่สุด และมากกว่าแผ่นฟิล์มบางชนิดที่ 2 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer Technique) สามารถใช้สร้างแผ่นฟิล์มบางที่ให้ค่าการนำไฟฟ้าที่สูงได้ และ Layer-by-Layer Technique สามารถที่จะนำไปประยุกต์สร้างแผ่นฟิล์มบาง สำหรับวัสดุแต่งประกอบต่างๆได้ ที่อาศัยปฏิกิริยาการดึงดูดกันทางไฟฟ้าสถิตของสารละลายโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆดังนี้ ส่วนที่หนึ่งคือขั้นตอนสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนโดยใช้กรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพ โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนกับสารละลายกรดฮิวมิก ส่วนที่สองคือ การสร้างแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique) และ การศึกษาสถานะต่างๆในการสร้างแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโน และ การศึกษาสถานะการรับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน และ ฟิล์มบางในระดับนาโนกับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 สารเคมีทั้งหมดเป็นสารเคมีระดับเกรดวิเคราะห์

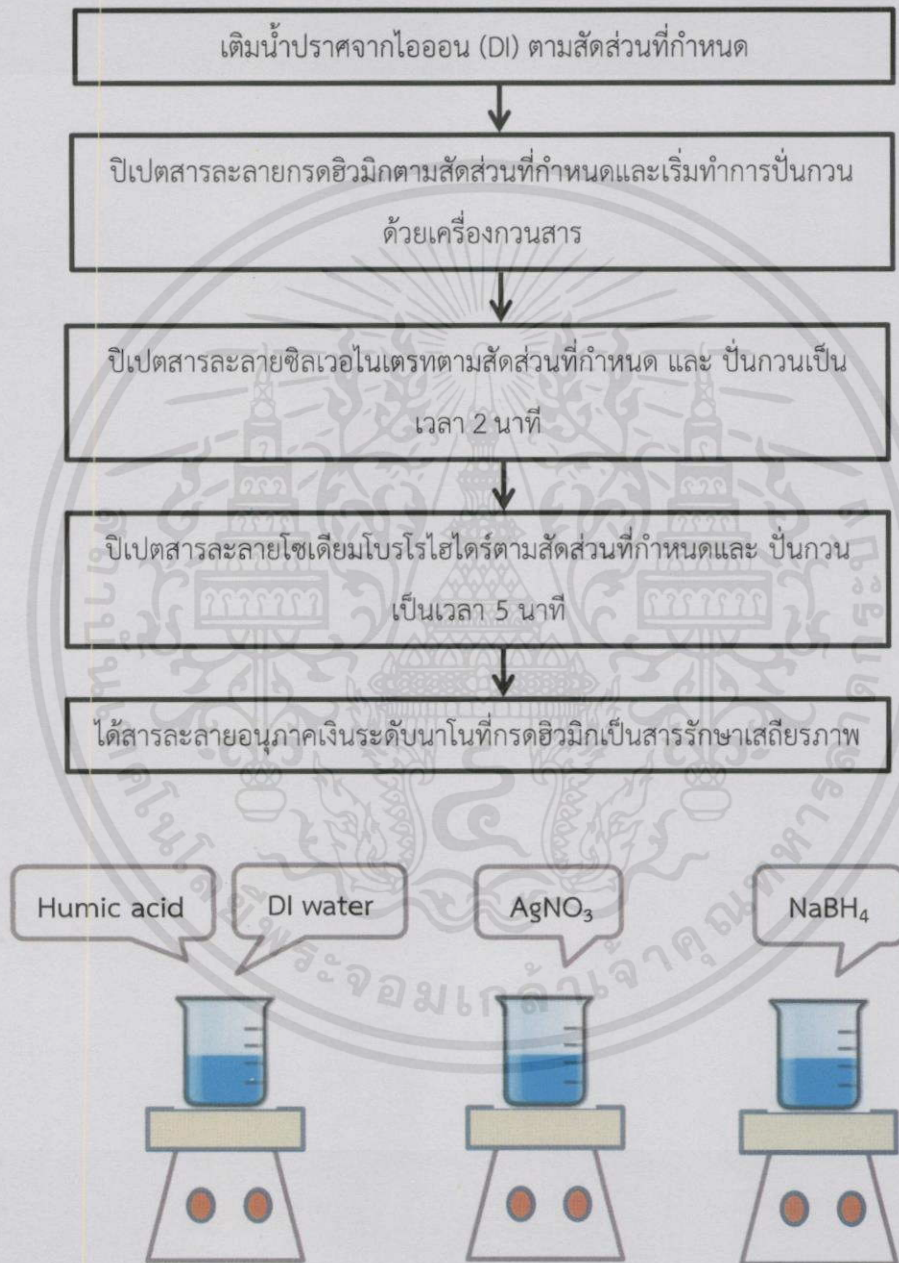
สารเคมี	สูตรเคมี	ยี่ห้อและประเทศผู้ผลิต
1.ซิลเวอร์ไนเตรด	(AgNO ₃)	Sigma-Aldrich, USA
2 กรดฮิวมิก	(C ₁₈₇ H ₁₈₆ O ₈₉ N ₉ S)	Sigma-Aldrich, USA
3.โซเดียมโบโรไฮไดรด์	(NaBH ₄)	Sigma-Aldrich, USA
4.Poly(diallyldimethylammonium chloride) solution	(C ₈ H ₁₆ ClN) _n	Sigma-Aldrich, USA
5.Poly(sodium4styrenesulfonate)	(C ₈ H ₇ NaO ₃ S) _n	Sigma-Aldrich, USA
6.โซเดียมคลอไรด์	(NaCl)	Sigma-Aldrich, USA
7. lead(II)nitrate	(Pb(NO ₃) ₂)	Sigma-Aldrich, USA

3.2 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้กรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพ

วิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนจะอาศัยการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH₄) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์และใช้กรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพของอนุภาคเงินระดับนาโน โดยมีการกำหนดปริมาณกรดฮิวมิกทั้งหมด 6 ความเข้มข้นที่แตกต่างกันดังตาราง โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ เตรียมขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร 3 ขวด ซึ่งสารซิลเวอร์ไนเตรด 0.1686 กรัมซึ่งกรดฮิวมิก 1 กรัม และ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.378 กรัม ใส่ขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตรในแต่ละขวด ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นใส่น้ำปราศจากไอออนตามสัดส่วนที่กำหนด

ตั้งตารางในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายกรดฮิวมิกตามสัดส่วนที่กำหนดตั้งตาราง และเริ่มทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวน ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 20 มิลลิลิตรและปั่นกวนเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นปิเปตสารละลายโซเดียมโบโรโรไฮไดรด์และทำการปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที

3.2.1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน



รูปที่ 3.1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน โดยใช้กรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพและใช้เอคสารนี้ โซเดียมโบโรโรไฮไดรด์เป็นรีดิวซ์ซึ่ง เอเจนท์ ที่เอคการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในการทดลองมีการกำหนดอัตราส่วนของซิลเวอร์ไนเตรต กรดฮิวมิก และโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ทั้งหมด 6 สภาวะ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนความเข้มข้นของ ซิลเวอร์ไนเตรต : กรดฮิวมิก : โซเดียมโบโรไฮไดรด์

อัตราส่วน	อัตราส่วนของความเข้มข้น ซิลเวอร์ไนเตรต : กรดฮิวมิก : โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (mM)					
	1:0.25:10	1:0.1:10	1:0.01:10	1:0.005:10	1:0.0001:10	1:0.00005:10
สารเคมี						
AgNO ₃ 10 mM	20 ml	20 ml	20 ml	20 ml	20 ml	20 ml
Humic 1%wt	50 ml	20 ml	2 ml	1 ml	0.02 ml	0.01 ml
NaBH ₄ 100 mM	20 ml	20 ml	20 ml	20 ml	20 ml	20 ml
น้ำกลั่น	110 ml	140 ml	158 ml	159 ml	159.98 ml	159.99 ml
รวม	200 ml	200 ml	200 ml	200 ml	200 ml	200 ml

โดยจะทำการศึกษาตัวแปรดังต่อไปนี้

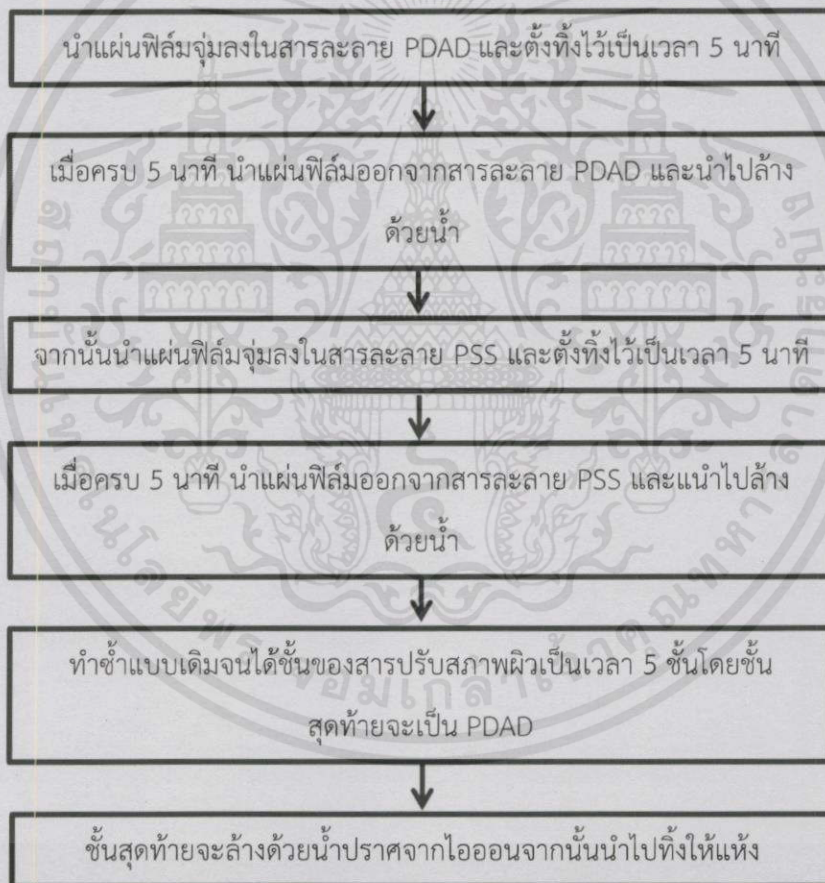
ลำดับ	ตัวแปร	การวิเคราะห์
1.	ศึกษาผลของการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินระดับ นาโน	UV-visible spectrophotometry
2.	ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเงินระดับนาโน	FTIR
3.	ศึกษาสภาพความเป็นประจุของอนุภาคเงินระดับนาโน	Zeta potential

3.3 การสร้างแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยการขึ้นรูป แบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer Technique)

เนื่องจากแผ่นฟิล์มปกติจะมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ดังนั้นเราจึงต้องทำให้แผ่นฟิล์มมีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) เพื่อให้อนุภาคเงินระดับนาโนกรดฮิวมิกสามารถติดอยู่บนแผ่นฟิล์มโดยใช้เทคนิคชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer Technique) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ ซึ่ง

เตรียมสารละลาย Poly(diallyldimethylammonium chloride)(PDAD) และ Poly(sodium 4-styrenesulfonate) (PSS) โดยปีเปตสารละลาย Poly(diallyldimethylammonium chloride) (PDAD) 7.47 ml จากนั้นชั่ง NaCl 57.44 กรัมและปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เป็น 1,000 mL และ ชั่ง Poly(sodium 4-styrenesulfonate) (PSS) 2.07 กรัมจากนั้นชั่ง NaCl 57.44 กรัม และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เป็น 1,000 mL จากนั้นนำแผ่นฟิล์มบางจุ่มในสารละลาย PDAD และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที พอลครบนานำไปล้างให้สะอาด จากนั้นนำแผ่นฟิล์มบางนั้นไปจุ่มต่อในสารละลาย PSS ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที พอลครบนานำไปล้างให้สะอาด ทำการจุ่มสลับกันรวมทั้ง 5 ครั้ง จะได้แผ่นฟิล์มที่มีคุณสมบัติชอบน้ำโดยชั้นสุดท้ายจะเป็นสารละลาย PDAD ซึ่งสามารถแสดงแผนผังการทดลองได้ดังนี้

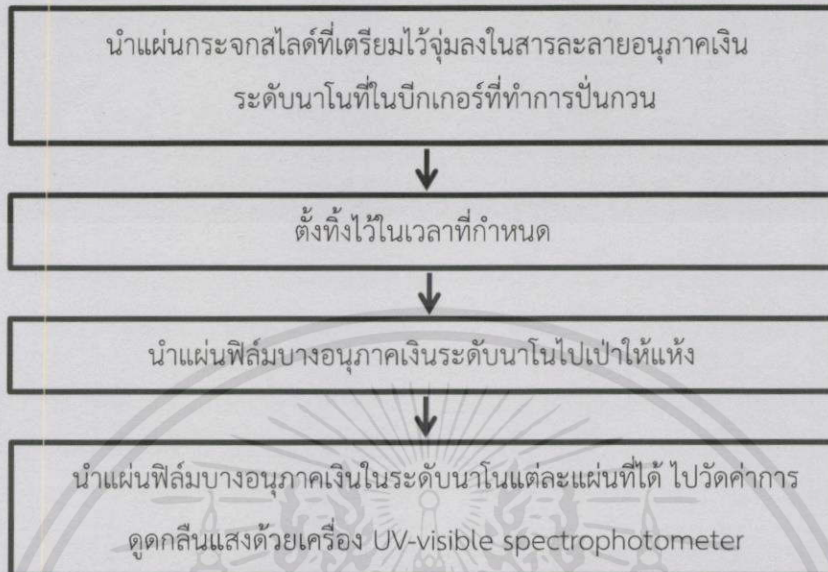
3.3.1 การปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นกระดาษเคลือบให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ



3.3.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมของแผ่นฟิล์มบาง โดยการจุ่มสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

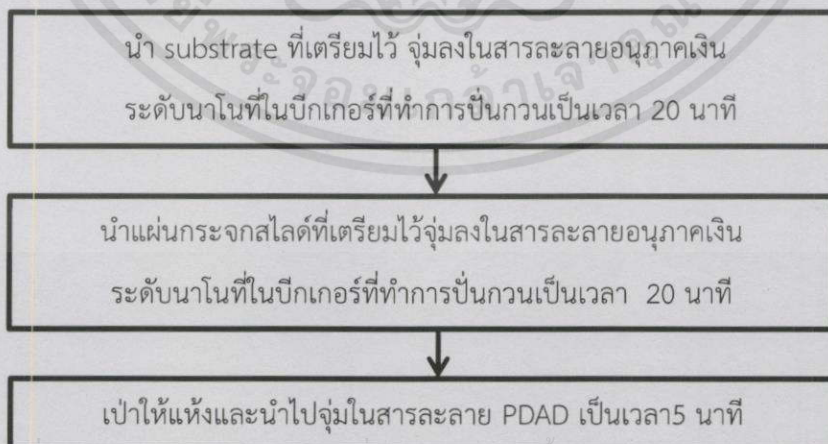
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า นำฟิล์มบางที่มีคุณสมบัติชอบน้ำมาจุ่มลงในสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนและทำการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกกรณีที่มีการนำไปใช้ ปับกวนตลอดเวลา ในเวลาที่แตกต่างกัน (นาที) (1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60) เมื่อครบเวลานำ

ออกมาเป่าให้แห้ง จากนั้นนำแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนแต่ละแผ่นไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-visible Spectrophotometer ซึ่งสามารถแสดงแผนผังการทดลอง ดังนี้

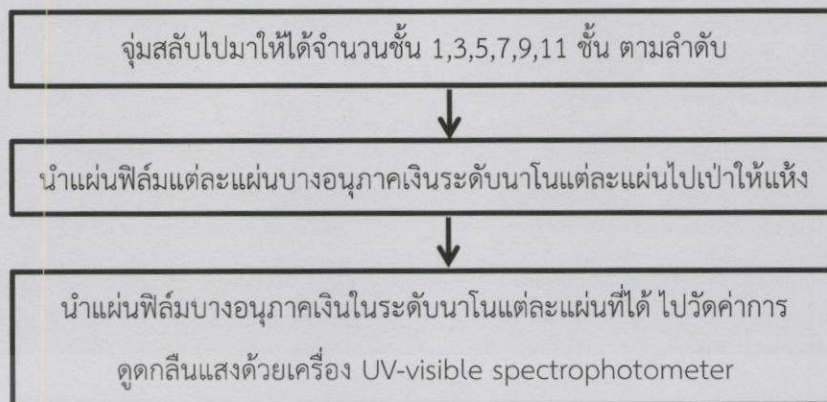


3.3.3 การศึกษาจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโน

นำสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนเทลงบีกเกอร์พร้อมปั่นกวนสารละลายตลอดเวลา หลังจากนั้นนำแผ่นกระจกที่ปรับสภาพผิวแล้ว (Primer) ที่มีประจุบวก (จากตอน 3.3.1) จุ่มลงในสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำออกมาเป่าให้แห้ง สลับไปจุ่มลงในสารละลาย PDAD ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำออกมาเป่าให้แห้ง ทำการจุ่มสลับไปมาให้ได้จำนวนชั้น 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 ชั้นตามลำดับ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer สามารถแสดงแผนผังการทดลองได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการวิชาการ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



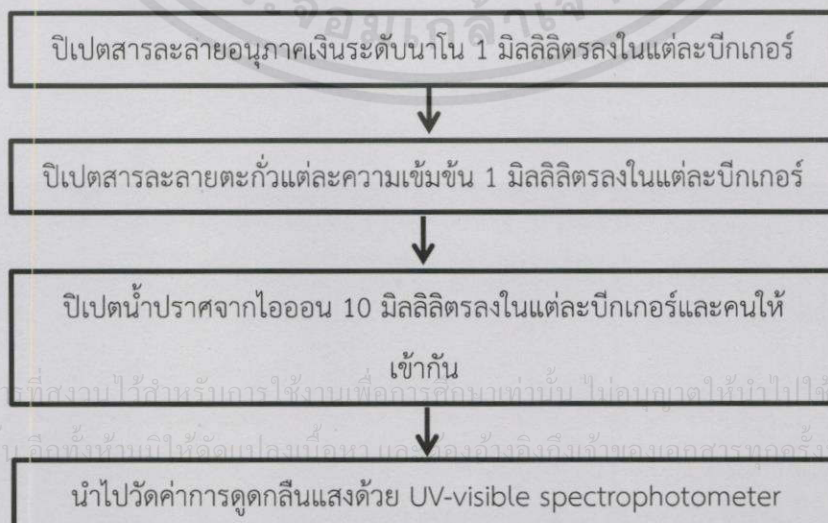
โดยจะทำการศึกษาตัวแปรดังต่อไปนี้

ลำดับ	ตัวแปร	การวิเคราะห์
1.	ศึกษาผลของการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินระดับนาโน	UV-visible spectrophotometry

3.4 การศึกษาสภาวะการรับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนและฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโน

3.4.1 การตรวจวัดตะกั่ว (lead) ด้วยสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน

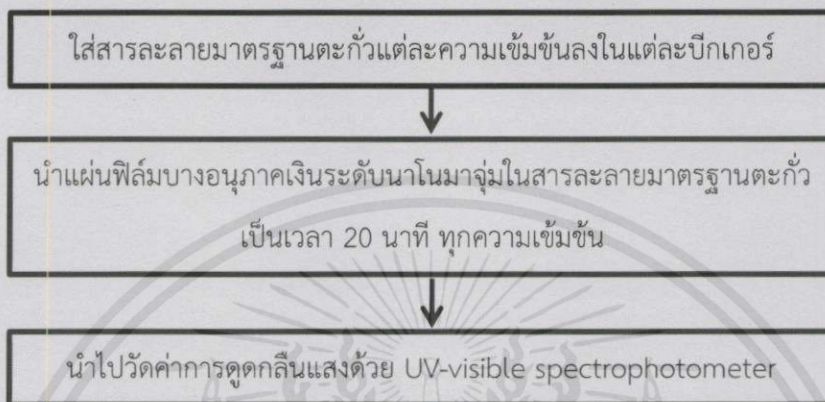
สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่ว (lead) เตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 10, 50, 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1000 ppm โดยใช้สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน 1 ml สารละลายมาตรฐานตะกั่ว 1 ml และ น้ำปราศจากไอออน 10 ml คนให้เข้ากัน จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-visible spectrophotometry สามารถแสดงดังตาราง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับความไว้วางใจเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และทั้งนี้ยังเป็นข้อมูลเบื้องต้น และอาจจำเป็นต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การตรวจวัดตะกั่ว (lead) ด้วยฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโน

เตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 1, 10, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 800 และ 1000 ppm จากนั้นนำฟิล์มที่สร้างไว้มาจุ่มลงในสารละลายมาตรฐานตะกั่วเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยวิธี UV-visible spectrophotometry



3.4.3 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD)

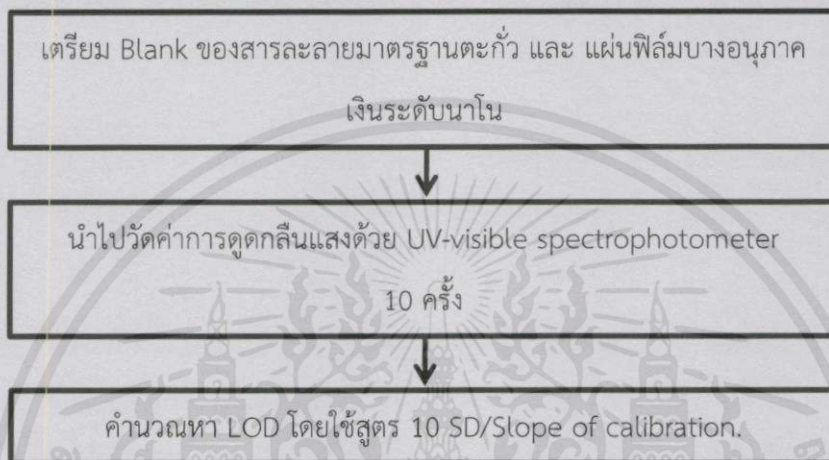
การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดด้วยวิธี UV-visible spectrophotometry จะเป็นการศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดของตะกั่วที่ตรวจวัดได้โดยใช้กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐาน ตะกั่ว (ppm) และสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน สามารถหาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) ได้โดยการวัด Blank จำนวน 10 ครั้ง หลังจากนั้นคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) ของ Blank แล้วนำมาเข้าสู่สูตร $3SD$ of blank/Slope of calibration.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ)

การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์โดยวิธี UV-visible spectrophotometry จะเป็นการศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดของตะกั่วที่สามารถวิเคราะห์ได้ โดยใช้กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐาน (ไมโครโมลาร์) สามารถหาขีดจำกัดต่ำสุด ของการวิเคราะห์ (LOQ) ได้โดยการวัด Blank จำนวน 10 ครั้ง และคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) ของ Blank แล้วนำมาเข้าสู่สูตร $10 \text{ SD of blank/Slope of calibration}$.



3.4.5 การศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery)

การศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับของสารละลายมาตรฐานตะกั่วในตัวอย่างน้ำประปาและน้ำดื่ม โดย ปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 100, 200, 300, และ 600 ppm 1 มิลลิลิตร และปิเปตน้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตรแต่ละขวด ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นเทสารละลายใส่บีกเกอร์แต่ละบีกเกอร์จากนั้นนำแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินระดับนาโนมาจุ่ม 20 นาที แล้วทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยวิธี UV-visible spectrophotometer นำค่าที่ได้มาคำนวณ

$$\% \text{Recovery} = (C_1 - C_2 / C_3) \times 100$$

C_1 คือค่าการดูดกลืนแสงที่เติมสารมาตรฐานความเข้มข้น 100 200 300 และ 600 ppm เตรียมโดยในสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 1 มิลลิลิตร น้ำตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่บีกเกอร์จากนั้น นำฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนมาจุ่ม 20 นาที

C_2 คือค่าการดูดกลืนแสงจากตัวอย่างที่ไม่เติมสารละลายมาตรฐานเตรียมโดยน้ำตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่บีกเกอร์จากนั้น นำฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนมาจุ่ม 20 นาที

C₃ คือค่าการดูดกลืนแสงความเข้มข้นสารมาตรฐานที่เติมซึ่งดูจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (แกน X) กับความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ (แกน Y)

3.4.6 การศึกษาการทดสอบแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนในตัวอย่างน้ำที่มีสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้นต่างๆ

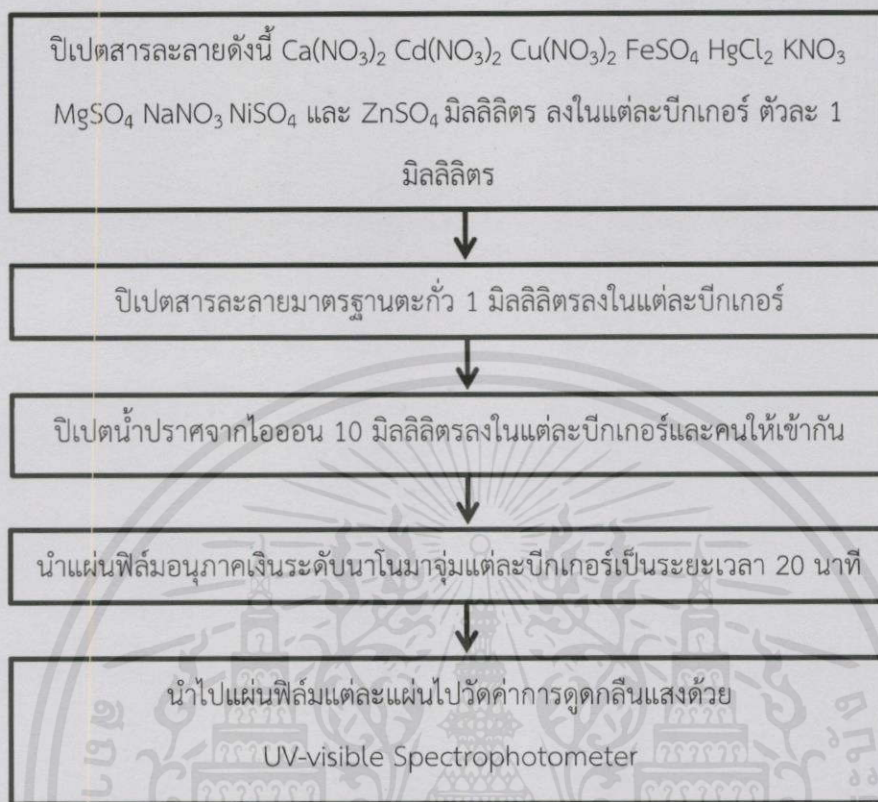


3.4.7 การศึกษาดัรบวง (Interference)

ในการวิเคราะห์เป็นการศึกษาว่าในการวิเคราะห์มีดัรบวงตัวใดที่รบกวนการวิเคราะห์หรือไม่โดยการเปิดดัรบวงต่างๆดังนี้ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, FeSO_4 , HgCl_2 , KNO_3 , MgSO_4 , NaNO_3 , NiSO_4 และ ZnSO_4 แต่ละตัว 1 มิลลิลิตร ลงในแต่ละบีกเกอร์เปิดสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 1 มิลลิลิตรและน้ำปราศจากไอออน 10 มิลลิลิตรลงในแต่ละบีกเกอร์ คนให้เข้ากันจากนั้นนำแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโนมาจุ่มเป็นเวลา 20 นาทีจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยวิธี UV-visible Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาตัวรบกวนที่มีผลต่อแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโน



โดยจะทำการศึกษิตัวแปรดังต่อไปนี้

ลำดับ	ตัวแปร	การวิเคราะห์
1.	ตัวแปรการตอบสนองต่อเวลาที่ ตอบสนอง	UV-visible Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งผลการทดลองและการอภิปรายผลออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ ดังต่อไปนี้ ส่วนที่หนึ่ง คือ ผลการทดลองและการอภิปรายผลจากการศึกษาความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่ใช้เป็นสารรักษาเสถียรภาพในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน ส่วนที่สอง คือ ผลการทดลองและการอภิปรายผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี (UV-visible spectrophotometry) ส่วนที่สาม คือ ผลการทดลองและการอภิปรายผลจากการศึกษาสภาวะต่างๆ ในการสร้างแผ่นฟิล์มบางขนาดนาโนด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique) อันได้แก่ การศึกษาเวลาที่เหมาะสมของแผ่นฟิล์มบางขนาดนาโนในการจุ่มสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนและการศึกษาจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มบางขนาดนาโน และส่วนสุดท้าย คือ ผลการทดลองและการอภิปรายผลจากการนำสารละลายและฟิล์มบางขนาดนาโนของอนุภาคเงินในระดับนาโนมาใช้ในการวิเคราะห์ตะกั่ว

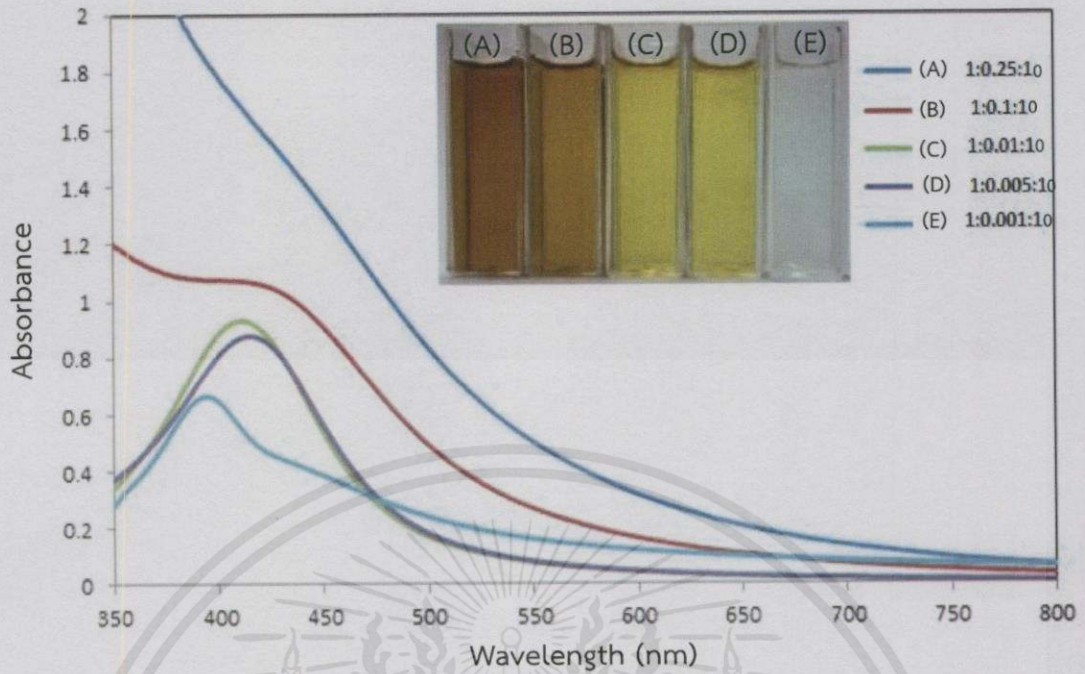
4.1 การศึกษาสภาวะในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนโดยการใช้สารละลายกรดฮิวมิกเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ

ในงานวิจัยนี้มีความต้องการที่จะสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน โดยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method) โดยการใช้สารละลายกรดฮิวมิกเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ และใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ จึงต้องมีการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของกรดฮิวมิก ที่จะใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนโดยจะใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตเมทรี (UV-visible spectrophotometry) ในการตรวจสอบผลที่ได้และเพื่อเป็นการยืนยันว่าสามารถสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน ได้จริงจึงได้มีการศึกษาสภาพความเป็นประจุของอนุภาคเงินระดับนาโนโดยการวัดค่าศักย์ซีต้า (Zeta potential) และศึกษาหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเงินในระดับนาโนโดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared spectroscopy (FTIR)

4.1.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน

ในการทดลองนี้ ทำการทดลองโดยเตรียมสารละลายกรดฮิวมิกที่ความเข้มข้น 0.25, 0.1, 0.01, 0.005 และ 0.001 มิลลิโมลาร์ แล้วทำการผสมกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปั่นกวนเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นใส่สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ความเข้มข้น 100.00 มิลลิโมลาร์ ทำการปั่นกวนต่อเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-visible spectrophotometry ซึ่งมีผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1

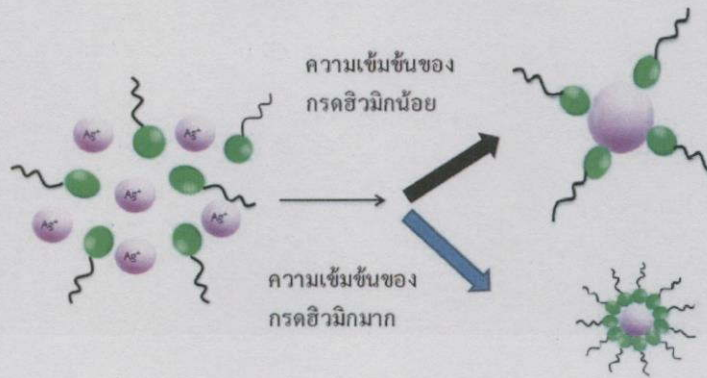
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 สเปกตรัมแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีกรดฮิวมิกความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดฮิวมิกเพิ่มขึ้น สีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม เนื่องจากสีของสารละลายกรดฮิวมิกเป็นสีน้ำตาลและเมื่อความเข้มข้นของกรดฮิวมิกน้อยๆ สีของสารละลายจะแสดงสีของอนุภาคเงินระดับนาโนคือจะมีแนวโน้มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ถ้าใส่สารละลายกรดฮิวมิกที่ความเข้มข้นน้อยมากๆ จะทำให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์มาเกิดการตกตะกอน จากรูปจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่มีแนวโน้มทำให้สีของสารละลายเป็นสีเหลือง คือ 0.01 และ 0.005 มิลลิโมลาร์ ในที่นี้เราจึงเลือกใช้กรดฮิวมิกที่ความเข้มข้น 0.005 มิลลิโมลาร์ เนื่องจาก หากใช้ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่สูงเกินไปจะทำให้อนุภาคเงินระดับนาโนมีสีน้ำตาลเข้มตามสีของกรดฮิวมิก และจะทำให้เกิดปัญหาในขั้นตอนการสร้างแผ่นฟิล์มบางของอนุภาคเงินขนาดนาโน หรือถ้าใช้ความเข้มข้นต่ำเกินไปจะทำให้มีความเข้มข้นไม่เพียงพอในการทำหน้าที่เป็นตัวรักษาเสถียรภาพและควบคุมขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโน ซึ่งปฏิกิริยาของการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แผนผังแสดงกลไกปฏิกิริยาของการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยการในสารละลายกรดฮิวมิกเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ

จากรูปที่ 4.2 กลไกปฏิกิริยาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนจะเริ่มขึ้นจาก Ag^+ จะถูกรีดิวซ์ด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ทำให้กลายเป็น Ag^0 ซึ่งมีกรดฮิวมิกทำหน้าที่เป็นสารรักษาเสถียรภาพ โดยกรดฮิวมิกซึ่งมี หมู่ COO^- จะเข้าไปล้อมรอบอนุภาคเงินในระดับนาโน ซึ่งขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโนจะขึ้นกับปริมาณของกรดฮิวมิกที่เติมเข้าไปเมื่อมีความเข้มข้นของกรดฮิวมิกมากก็จะทำให้อนุภาคเงินในระดับนาโนมีขนาดเล็กเนื่องจากมี COO^- ล้อมรอบอยู่เป็นจำนวนมาก

4.1.2 การศึกษาลักษณะเฉพาะของอนุภาคเงินในระดับนาโนโดยใช้สารละลายกรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพ

4.1.2.1 การศึกษาสภาพความเป็นประจุของอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารละลายกรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพ

ในการทดลองนี้ทำการทดลองโดยเตรียมสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีสารละลายกรดฮิวมิกที่มีความเข้มข้นต่างกัน คือ 0.005, 0.01, 0.1 และ 0.25 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ จากนั้นนำไปวัดค่าศักย์ซีต้า ซึ่งมีผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าศักย์ซีต้าของ AgNPs ที่มีความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่ต่างกัน

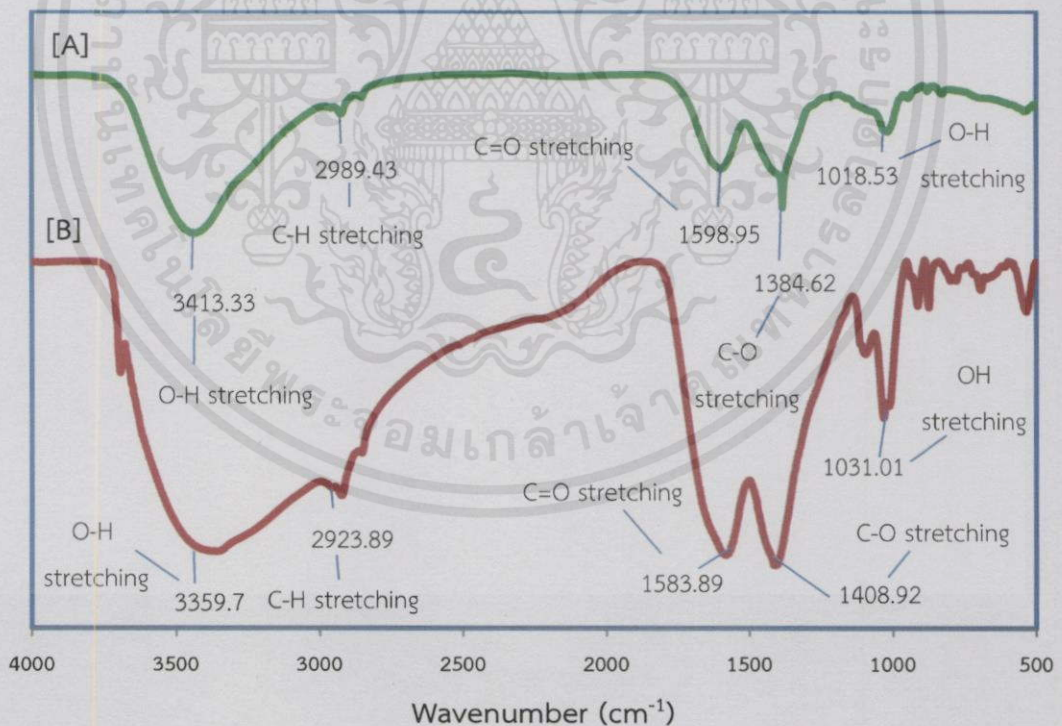
AgNPs:Humic acid (mM)	Zeta potential (mV)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1:0.005	-27.6	-26.8	-27.9	-27.4
1:0.01	-28.0	-27.9	-28.1	-28.0
1:0.1	-35.2	-35.1	-34.9	-35.0
1:0.25	-36.9	-36.8	-36.8	-36.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 ค่าศักย์ซีต้าของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีกรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพนั้นมีค่าติดลบ สามารถอธิบายได้ว่าอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์มานั้นถูกเคลือบด้วยประจุลบของกรดฮิวมิก จึงทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนมีประจุเป็นลบ ซึ่งจากตารางจะเห็นว่ากรดฮิวมิกในปริมาณที่มากขึ้นทำให้สภาพความเป็นประจุลบมีค่ามากขึ้นด้วย จึงสรุปได้ยิ่งใส่สารรักษาเสถียรภาพในปริมาณที่มากขึ้นทำให้สภาพความเป็นประจุของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนมีค่าเป็นลบมากขึ้น เนื่องจากมีสารรักษาเสถียรภาพคือกรดฮิวมิกซึ่งมีประจุเป็นลบมาล้อมรอบอนุภาคเงินมากขึ้น

4.1.2.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเงินในระดับนาโนใช้สารละลายกรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพ ด้วยเทคนิค FTIR

ในการทดลองนี้ ทำการทดลองโดยเตรียมสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีสารละลายกรดฮิวมิกความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 0.005, 0.01, 0.1 และ 0.25 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้ ไปอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared spectroscopy (FTIR) ซึ่งมีผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3 และสามารถอธิบายได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.3 สเปกตรัม FTIR ของ A คืออนุภาคเงินระดับนาโนที่มีกรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพ และ B คือ กรดฮิวมิก

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเงินระดับนาโน และหมู่ฟังก์ชันของกรดฮิวมิก

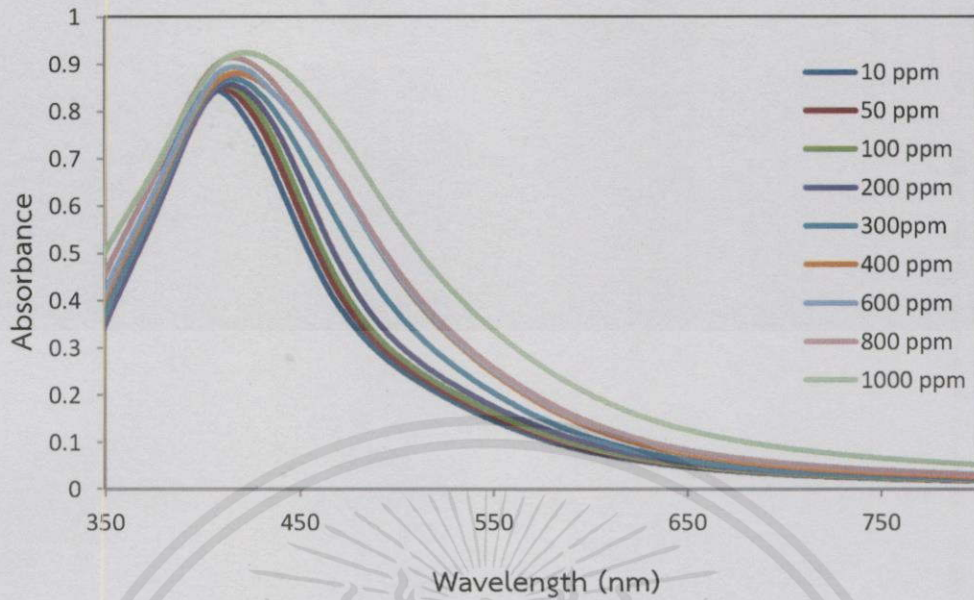
AgNPs:Humic acid		Humic acid	
Peaks	Peak assignment	Peaks	Peak assignment
3413	O-H stretching	3360	O-H stretching
2989	C-H stretching	2924	C-H stretching
1599	C=O stretching	1584	C=O stretching
1385	C-O stretching	1409	C-O stretching

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงสเปกตรัม FTIR ของกรดฮิวมิกและสารละลาย AgNPs และจากในตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงหมู่ฟังก์ชันของกรดฮิวมิก ซึ่งมีการสั่นแบบยืดหดของพันธะ O-H ที่เลขคลื่น 3360 cm^{-1} , การสั่นแบบงอของพันธะ C-H ที่เลขคลื่น 2924 cm^{-1} และการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C-O ที่เลขคลื่น 1409 cm^{-1} ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นในสารละลาย AgNPs พบว่าหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นเหมือนกับหมู่ฟังก์ชันที่ของกรดฮิวมิก โดยในสารละลาย AgNPs จะมีการสั่นแบบยืดหดของพันธะ O-H ที่เลขคลื่น 3413 cm^{-1} มีการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C=O ที่เลขคลื่น 1599 cm^{-1} มีการสั่นแบบงอของพันธะ C-H ที่เลขคลื่น 2989 cm^{-1} และการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C-O ที่เลขคลื่น 1385 cm^{-1} ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ มีฮิวมิกอยู่

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี (UV-visible spectrophotometry)

การศึกษาค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีกรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพความเข้มข้น 0.005 มิลลิโมลาร์ และสารละลายตะกั่ว ที่ความเข้มข้น $10, 50, 100, 200, 300, 400, 600, 800$ และ 1000 ppm โดยใส่สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน 1 มิลลิลิตร, สารละลายมาตรฐานตะกั่ว 1 มิลลิลิตรและน้ำปราศจากไอออน 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค (UV-visible spectrophotometry)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกผลงาน และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลค่าการดูดกลืนแสงของการทดสอบการรับรู้ตะกั่วด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

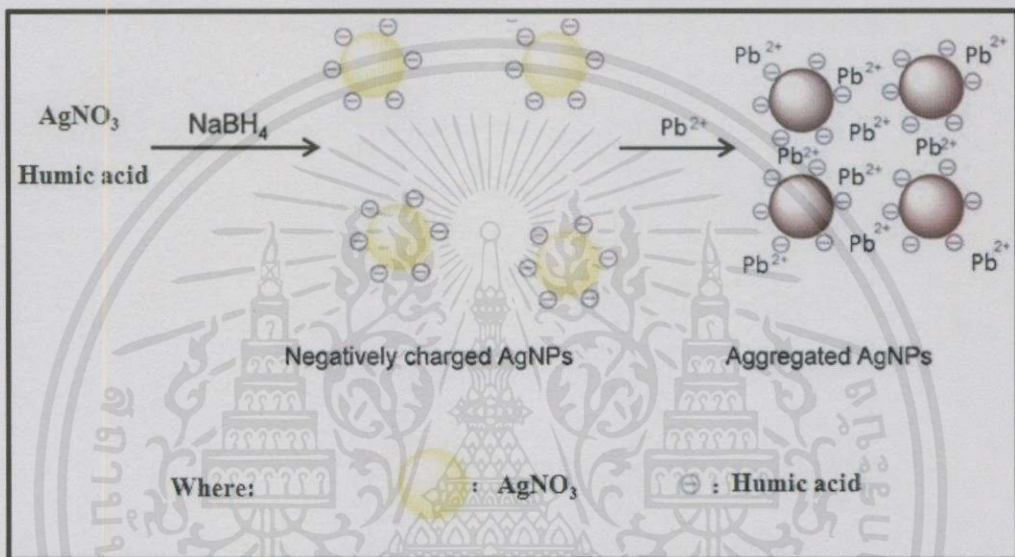


รูปที่ 4.5 แสดงสีของสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้นต่างๆ เมื่อผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วต่ำจะมีค่าการดูดกลืนแสงที่ต่ำ และที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วสูง ค่าการดูดกลืนแสงจะสูงขึ้นตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปการทดลองได้ว่า ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานตะกั่วทำให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นส้ม เนื่องจาก Pb^{2+} ในสารละลายมาตรฐานตะกั่วจะถูกดึงมาล้อมรอบอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีกรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพด้วยปฏิกิริยาทางไฟฟ้าระหว่าง COO^- และ Pb^{2+} ทำให้อนุภาคเงินในระดับนาโนเกิดการเปลี่ยนแปลงและทำให้ความเข้มของการดูดกลืนบนซอร์เฟสพลาสมอน (Surface Plasmon) ลดลง ดังนั้นยิ่งสารละลายตะกั่วมีความเข้มข้นมาก สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนจะยิ่งเปลี่ยนสีส้มเข้มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่มากขึ้น [34] สามารถแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงกลไกปฏิกิริยาของอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีกรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพที่จับกับตะกั่ว [48]

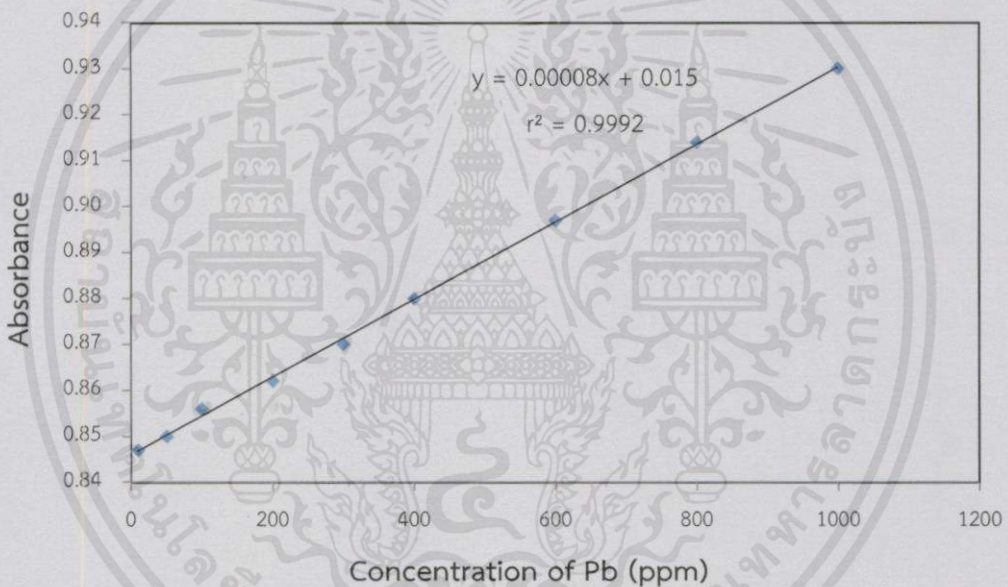
จากรูปที่ 4.6 กลไกปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีกรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพซึ่งจะเห็นว่ากรดฮิวมิกซึ่งมีหมู่ COO^- จะล้อมรอบอนุภาคเงินระดับนาโนเพื่อทำหน้าที่เป็นสารรักษาเสถียรภาพ ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับตะกั่วซึ่งเป็น Pb^{2+} หมู่ COO^- ที่ล้อมรอบอนุภาคเงินระดับนาโนจะเข้าไปจับกับ Pb^{2+} ด้วยแรงยึดทางไฟฟ้าสถิต จึงทำให้อนุภาคเงินระดับนาโนมีโครงสร้างที่เปลี่ยนไปและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

4.3.1 การศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity)

การศึกษาความเป็นเส้นตรงทำได้โดยนำสารละลายผสมของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารละลายกรดฮิวมิกเป็นสารรักษาเสถียรภาพความเข้มข้น 0.005 มิลลิโมลาร์ และตะกั่วความเข้มข้นต่างๆ มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometry สแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 800-200 nm จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงมาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y) และ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (แกน X) ผลที่ได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

จากรูปที่ 4.7 พบว่า มีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 10–1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $y=0.00008x+0.015$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9992 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

4.3.2 การศึกษาค่า Limit of detection (LOD) ของการตรวจวัดตะกั่วด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

การศึกษาค่า Limit of detection (LOD) ทำโดย ปีเปิดสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนการกำ
ไม่ว่ากรณี 1 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 11 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-visible

spectrophotometry โดยทำการวัด Blank 10 ครั้ง จากนั้นหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation,SD) แทนค่าลงในสูตร สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{LOD} = \frac{3\text{SD}}{\text{Slope of calibration}}$$

โดยใช้กราฟมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 1 -1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจากการคำนวณพบว่าวิธีนี้ มีขีดจำกัดของการตรวจพบตะกั่วเท่ากับ 7.81 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3.3 การศึกษาค่า Limit of quantitation (LOQ)ของการตรวจวัดตะกั่วด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

ทำโดยเปิดสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน 1 มิลลิลิตร และ น้ำกลั่น 11 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-visible Spectrophotometer โดยทำการวัด Blank 10 ครั้ง จากนั้นหาค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation,SD) แทนค่าลงในสูตร สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{LOQ} = \frac{10\text{SD}}{\text{Slope of calibration}}$$

โดยใช้กราฟมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 1 -1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจากการคำนวณพบว่าวิธีนี้ มีขีดจำกัดของการตรวจพบตะกั่วเท่ากับ 21.33 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3.4 การศึกษาตัวรบกวนในการวิเคราะห์สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

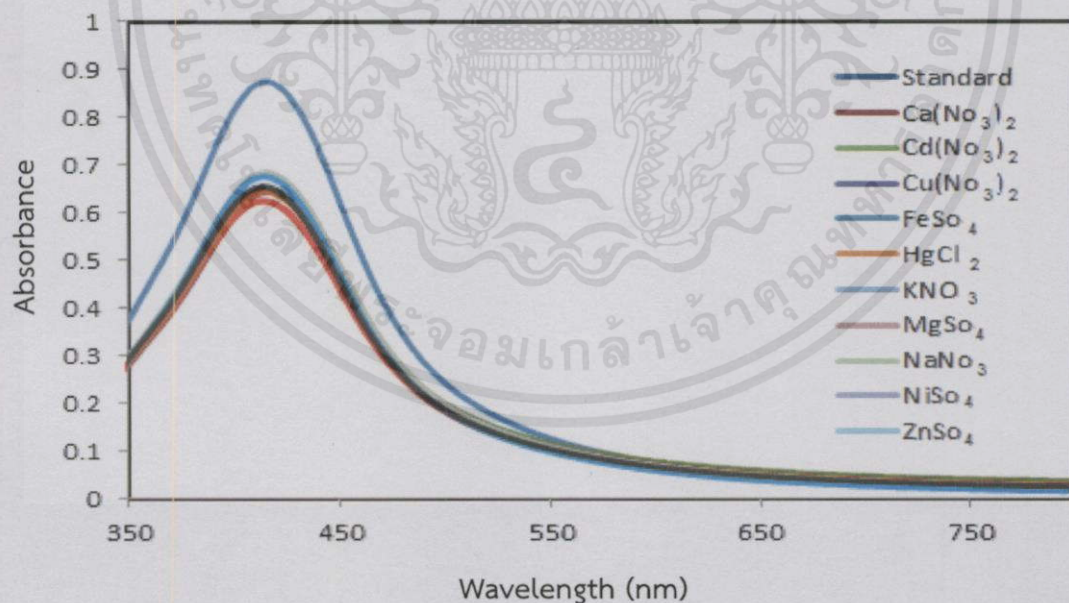
ผลจากการศึกษาว่าในการวิเคราะห์มีตัวรบกวนใดที่รบกวนการวิเคราะห์หรือไม่ โดยการเติมตัวรบกวนต่างๆไปในสารละลาย AgNPs ที่มีสารละลายมาตรฐานตะกั่วอยู่จากนั้นทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งมีผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3 ตาราง 4.3 แสดงค่า ความยาวคลื่นสูงสุด ของตัวรบกวนต่างๆที่เติมลงไป

ตัวรบกวน	ความยาวคลื่นสูงสุด
Standard	410
Ca(NO ₃) ₂	410
Cd(NO ₃) ₂	410
Cu(NO ₃) ₂	410
FeSO ₄	410

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวรบกวน	ความยาวคลื่นสูงสุด
HgCl ₂	410
KNO ₃	410
MgSO ₄	410
NaNO ₃	410
NiSO ₄	410
ZnSO ₄	410

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมตัวรบกวนต่างลงไปในการละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารละลายมาตรฐานตะกั่วอยู่ จากนั้นทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง พบว่าค่าความยาวคลื่นสูงสุดของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีการเติมตัวรบกวนลงจะมีค่าเท่ากับสารละลายที่ไม่มีการเติมตัวรบกวนลงไป (Standard) จึงสามารถสรุปได้ว่าตัวรบกวนนั้นๆ ไม่มีผลทำให้โครงสร้างของอนุภาคเงินระดับนาโนที่ติดกับตะกั่วเกิดความเปลี่ยนแปลงทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสี และเมื่อสังเกตค่าการดูดกลืนแสง ที่ได้จะพบว่าค่ามีค่าต่ำลง เนื่องจากการเติมตัวรบกวน 1 มิลลิลิตรซึ่งทำให้ปริมาตรรวมมากกว่า Standard 1 มิลลิลิตรจึงทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีการเติมตัวรบกวนต่างๆ ไปมีค่าต่ำกว่า Standard ของการวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่มีการเติมตัวรบกวนชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 ศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery)

การศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) ของตัวอย่างที่นำมาทั้ง 4 ตัวอย่าง คือน้ำประปา, น้ำดื่มตราคริสตัล น้ำดื่มตราเซเว่น และ น้ำดื่มตรามิเนเร่ ทำโดย C_1 คือค่าการดูดกลืนแสงที่เติมสารมาตรฐานความเข้มข้น 100, 200, 300 และ 600 ppm เตรียมโดยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน 1 มิลลิลิตร สารละลายมาตรฐานตะกั่ว 1 มิลลิลิตร น้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร C_2 คือค่าการดูดกลืนแสงจากตัวอย่างที่ไม่เติมสารละลายมาตรฐาน เตรียมโดย สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน 1 มิลลิลิตร และน้ำตัวอย่าง 11 มิลลิลิตร และ C_3 คือ ค่าการดูดกลืนแสงความเข้มข้นสารมาตรฐานที่เติมซึ่งดูจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (แกน X) กับความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ (แกน Y) จากนั้นนำไปเข้าสู่สูตร

$$\%Recovery = \frac{(C_1 - C_2) \times 100}{C_3}$$

เมื่อ C_1 คือ ค่าจากตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน

C_2 คือ ค่าจากตัวอย่างที่ไม่เติมสารละลายมาตรฐาน

C_3 คือ ค่าจากสารมาตรฐานที่เติม

ตาราง 4.4 ตารางแสดงค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) ของตัวอย่าง A , ตัวอย่าง B , ตัวอย่าง C , และ ตัวอย่าง D

ตัวอย่าง	Added(ppm)	%Recovery
A	100	98.00
	200	99.44
	300	100.04
	600	101.08
B	100	97.64
	200	98.52
	300	99.92
	600	101.05
C	100	98.46
	200	99.43
	300	100.93
	600	102.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไปรษณีย์ฉบับนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และส่งต่อถึงเจ้าขอเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง	Added(ppm)	%Recovery
D	100	98.75
	200	100.15
	300	101.48
	600	101.14

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าในตัวอย่างน้ำคริสตัลสามารถหาค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) ได้เท่ากับ 99.0 - 101.08 % ,ในตัวอย่างน้ำปะปาสามารถหาค่าร้อยละของการคืนกลับได้เท่ากับ 97.64 - 101.05 % ,ในตัวอย่างน้ำมิเนเร่สามารถหาค่าร้อยละของการคืนกลับได้เท่ากับ 98.46 - 102.31 และ ในตัวอย่างน้ำเซเวนสามารถหาค่าร้อยละของการคืนกลับได้เท่ากับ 98.75 - 101.14 ซึ่งค่าที่ได้จากการตรวจวัดน้ำตัวอย่างทั้งหมดนี้ มีค่าใกล้เคียง 100 % แสดงให้เห็นว่าไม่มีตัวรบกวนที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ และจะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของตะกั่วเพิ่มขึ้นค่าร้อยละของการคืนกลับจะมีค่าใกล้เคียง 100% มากขึ้น

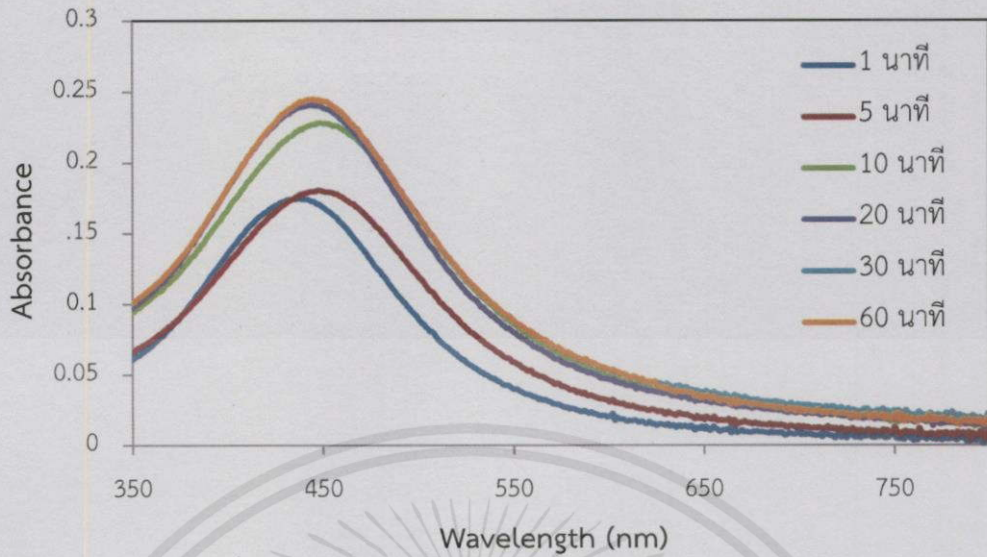
4.4 การศึกษาสภาวะต่างๆในการสร้างแผ่นฟิล์มบางขนาดนาโนด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique)

4.4.1 การสร้างฟิล์มบางเพื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมของแผ่นฟิล์มบางในการจุ่มสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

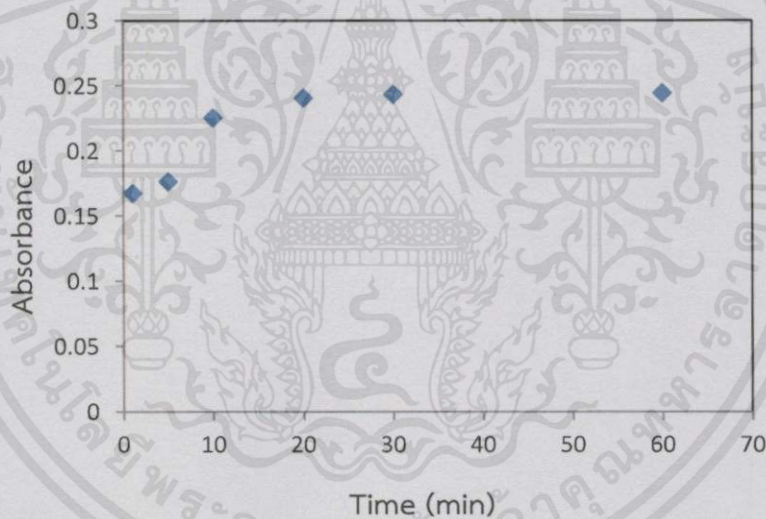
การศึกษากลศาสตร์การดูดซับ (Kinetic adsorption) เป็นการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาของการดูดซับของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโน ซึ่งวิธีการศึกษากระบวนการดูดซับทำได้โดยใช้เทคนิค การวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยการศึกษาากลศาสตร์การดูดซับนั้น เพื่อวิเคราะห์ว่าระยะเวลาในการจุ่มแผ่นฟิล์มที่มีคุณสมบัติชอบน้ำลงในสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน มีผลแตกต่างกันหรือไม่

การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของแผ่นฟิล์มในการจุ่มสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการจุ่มสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน โดยดูว่าค่าดูดกลืนแสงจะสามารถมีค่าสูงที่สุดได้เมื่อเวลาใด โดยทำการนำแผ่นฟิล์มบางมาจุ่มในสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน ในระยะเวลาที่ทำการจุ่มต่างๆกันดังนี้ 1, 5, 10, 20, 30 และ 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของการจุ่มแผ่นฟิล์มบางในสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้ระยะเวลาที่ต่างกัน



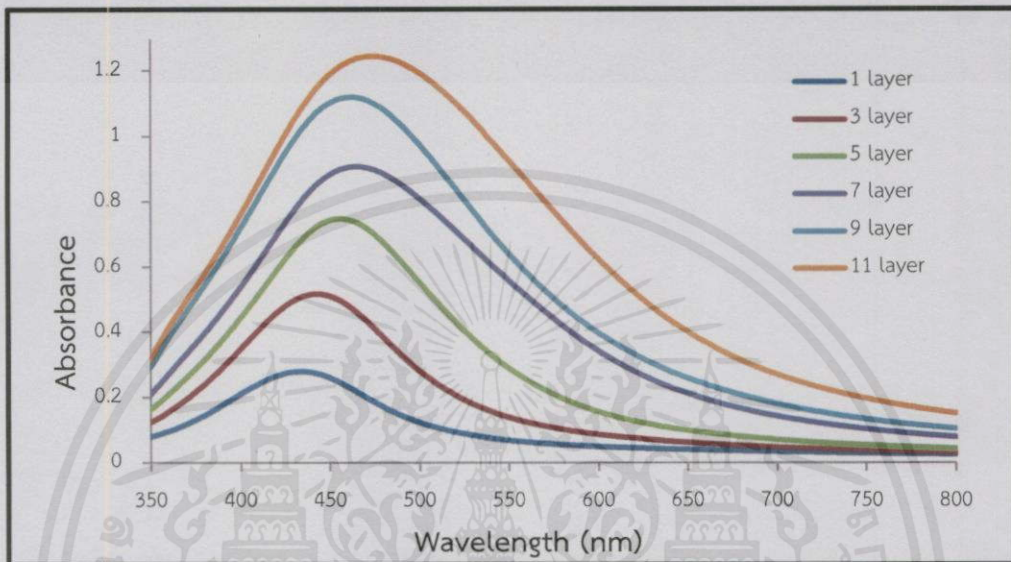
รูปที่ 4.10 แสดงค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนในระยะเวลาที่ต่างกัน

จากรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำแผ่นฟิล์มบางขนาดนาโนไปจุ่มในสารละลายมาตรฐานตะกั่วเป็นเวลานานมากขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการวัดไปเรื่อยๆจนครบ 60 นาที ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มบางขนาดนาโนคงที่อยู่ จึงได้ทำการเลือกเวลาที่ 10 นาทีในการจุ่มสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

4.4.2 การสร้างฟิล์มบางเพื่อศึกษาจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโน

เนื่องจากจำนวนชั้นบนแผ่นฟิล์มบางมีผลต่อการสร้างชุดทดสอบดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาเพื่อหาจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มบางที่เหมาะสมในการสร้างชุดทดสอบโดยทำการศึกษากการทำให้

แผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนที่ 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 ชั้น ซึ่งเริ่มโดยทำการจุ่มสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน 10 นาที่ (ชั้นที่ 1) จากนั้นจุ่มในสารละลาย PDAD 5 นาที่ (ชั้นที่ 2) จุ่มสลับไปมา จนได้แผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนที่ 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 ชั้น จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-visible spectrophotometry



รูปที่ 4.11 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของการศึกษาจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนที่ 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 ชั้น

จากรูปที่ 4.11 แสดงค่าการดูดกลืนแสงแสดงค่าการดูดกลืนแสงของการศึกษาจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนที่ 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 ชั้น จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นจะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นตามลำดับเนื่องจากเกิดแรงทางประจุไฟฟ้า ทำให้มีความหนาแน่นของประจุเพิ่มมากขึ้น เกิดการยึดติดกันด้วยประจุทางไฟฟ้ากับอนุภาคเงินในระดับ นาโน ได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจากการทดลองนี้ ทำให้เราเลือก 5 ชั้นมาใช้เป็นชุดทดสอบของงานวิจัยนี้



รูปที่ 4.12 แสดงสีของแผ่นฟิล์มที่เกิดที่มีจำนวนชั้นของอนุภาคเงินระดับนาโน

เทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์เป็นเทคนิคในการสร้างฟิล์มบางเทคนิคหนึ่ง โดยเทคนิคนี้เป็นการเคลือบผิวแบบชั้นต่อชั้นโดยอาศัยการเรียงตัวของขั้วพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่แตกต่างกัน ชั้นตอนแรกจะทำการเตรียมพื้นผิว (Substrate) ให้มีประจุบวก (Polycation) ก่อน เนื่องจาก กรดฮิวมิกที่ใช้เคลือบอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้นั้น มีประจุเป็นลบ (Polyanion) ในการสร้างแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากกรดฮิวมิกจะเกิดจากการที่พอลิอิเล็กโทรไลต์ถูกดูดซับไว้บนซับสเตรตที่มีประจุตรงกันข้าม (Polyanion และ Polycation) เพื่อเป็นการปรับประจุของซับสเตรตให้มีคุณสมบัติตามต้องการ ดังนั้นเมื่อจำนวนชั้นเพิ่มมากขึ้นจะทำให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนติดกับแผ่นฟิล์มได้มากขึ้น ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนชั้นของอนุภาคเงินระดับนาโนบนแผ่นฟิล์มดังภาพ 4.11 และมีสีบนแผ่นฟิล์มเข้มขึ้นเรื่อยๆตามจำนวนชั้น ดังภาพ 4.12

ฟิล์มที่มีความหนา 1 ชั้น มีค่าการดูดกลืนแสงค่อนข้างต่ำ เมื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดอาจมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ และถึงแม้ว่าฟิล์มที่มีความหนา 11 ชั้น จะมีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุด แต่เนื่องจากฟิล์มมีการเคลือบหลายชั้นจะมีความเรียบต่ำและอนุภาคเงินในระดับนาโนจะมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ จึงไม่สามารถประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ได้ ดังนั้นฟิล์มที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดควรมีความหนาของชั้นฟิล์มที่ 5 ชั้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้จำนวนชั้น 5 ชั้นเป็นชุดทดสอบ

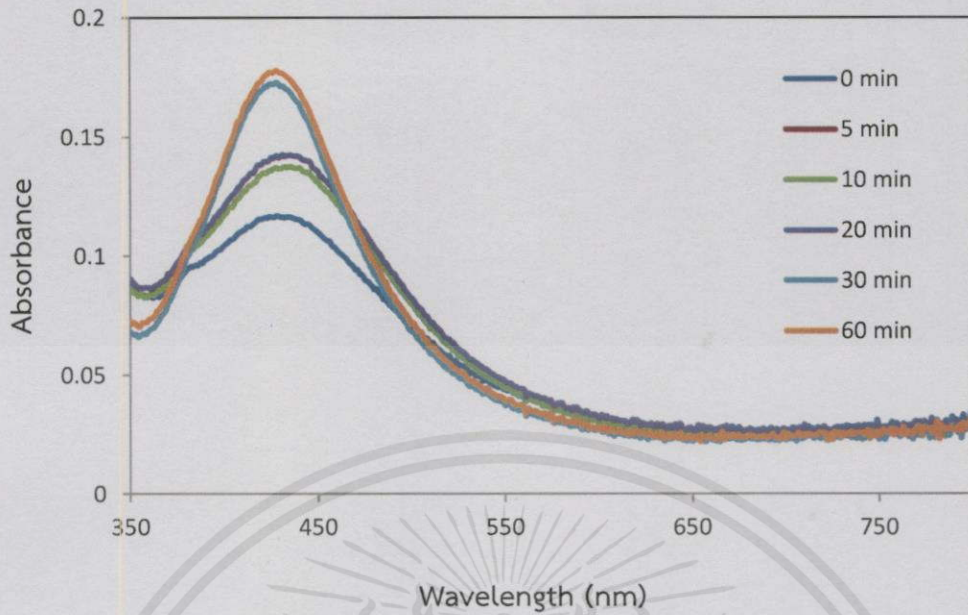
4.5 การนำสารละลายและฟิล์มบางขนาดนาโนของอนุภาคเงินในระดับนาโนมาใช้ในการวิเคราะห์ตะกั่ว

4.5.1 การตรวจวัดตะกั่วโดยการใช้สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน (AgNPs)

4.5.1.1 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการนำแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินระดับนาโน 1 ชั้น 5 ชั้น และ 9 ชั้น จุ่มในสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

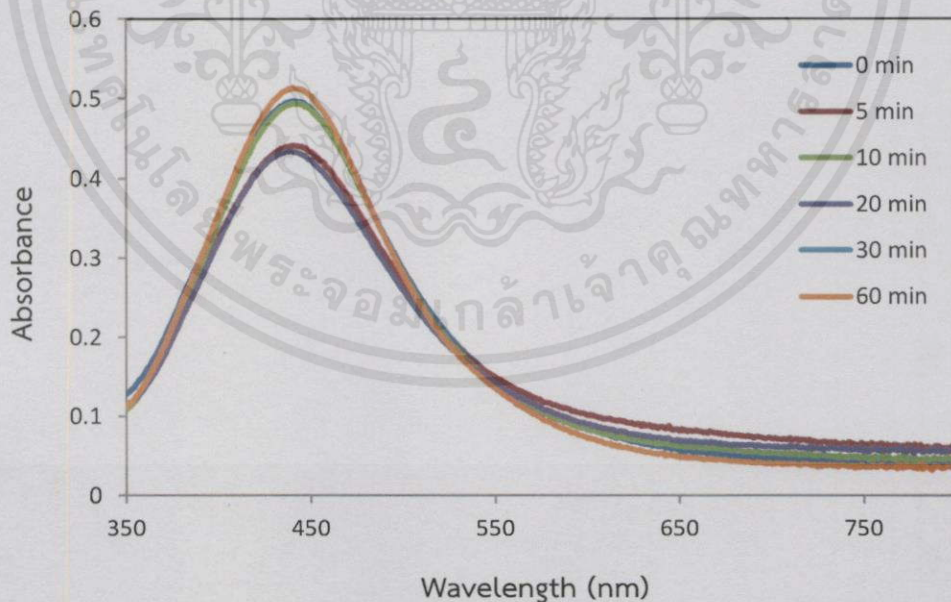
เนื่องจากจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนที่เราสร้างมานั้น มีผลต่อการสร้างชุดทดสอบเพื่อตรวจวัดสถานะการรับรู้ของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องทำการเลือกแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนแต่ละจำนวนชั้นมาทำการศึกษา เพื่อหาจำนวนชั้นที่เหมาะสมที่จะนำไปเป็นชุดทดสอบการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกจำนวนชั้น 1 ชั้น, 5 ชั้น และ 9 ชั้น มาทำการศึกษา โดยนำแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนที่จำนวนชั้น 1, 5 และ 9 ชั้น มาจุ่มในสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน ในระยะเวลาที่ทำการจุ่มต่างกันดังนี้ 0, 5, 10, 20, 30 และ 60 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค

เอกสารนี้เป็น UV-visible spectrophotometry งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

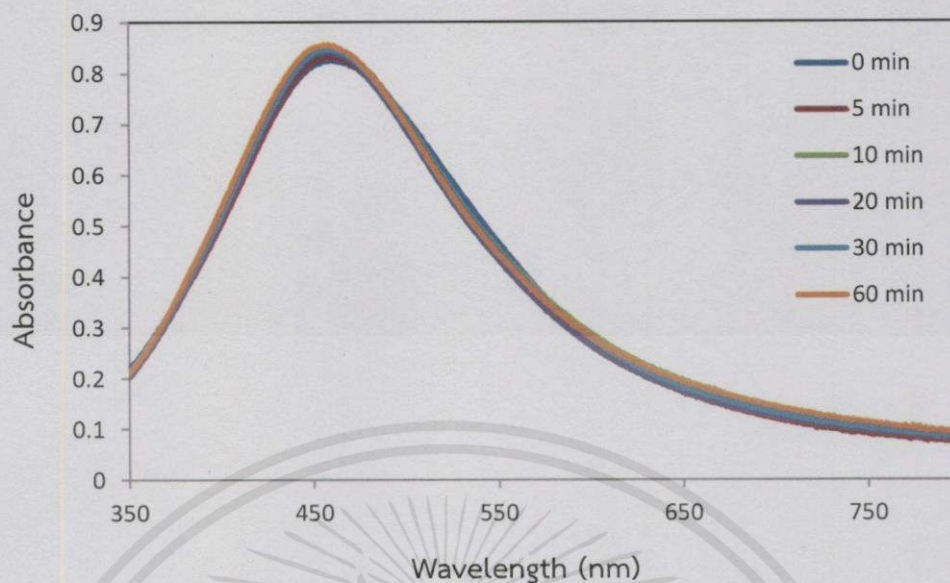


รูปที่ 4.13 แสดงผลการดูดกลืนแสงของการจุ่มแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินระดับนาโนในสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 600 ppm ในเวลาที่ต่างกันของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโน 1 ชั้น

จากรูป 4.13 พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปตั้งแต่ 20 นาทีขึ้นไปจะให้ค่าการดูดกลืนแสงที่สูงที่สุดและคงที่ เมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้น ดังนั้นจึงทำการเลือกเวลาในการจุ่มตะกั่วที่เหมาะสมคือ 20 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.14 แสดงผลการดูดกลืนแสงของการจุ่มแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินระดับนาโนในสารมาตรฐานการกำไม่ว่ากรณีใดก็ตามมาตรฐานตะกั่ว 600 ppm ในเวลาที่ต่างกัน ของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโน 5 ชั้น



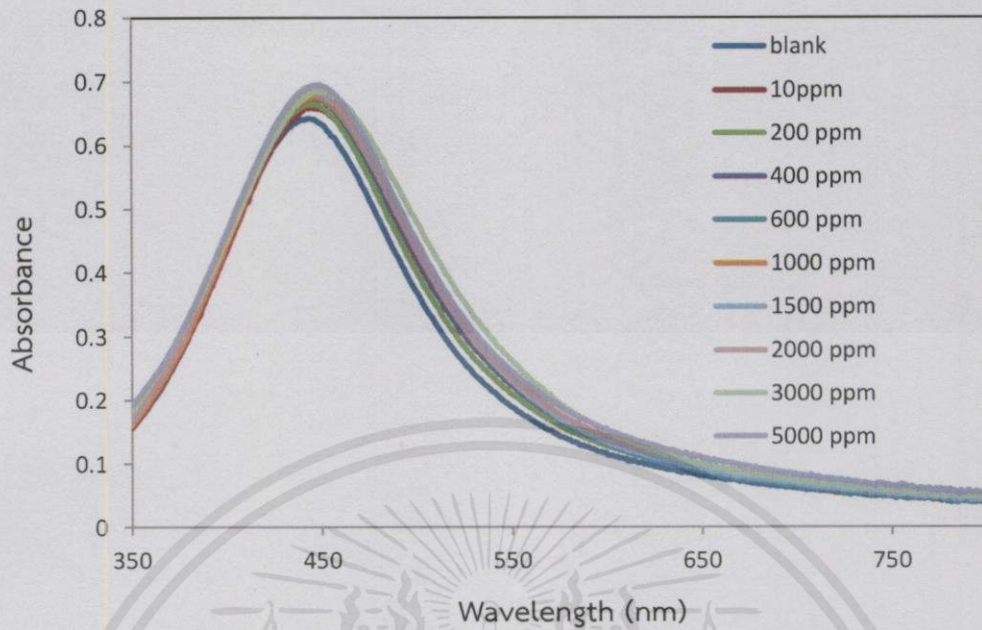
รูปที่ 4.15 แสดงผลการดูดกลืนแสงของการจุ่มแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินระดับนาโนในสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 600 ppm ในเวลาที่ต่างกัน ของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโน 9 ชั้น

จากรูป 4.13 , 4.14 และ 4.15 พบว่าเมื่อจุ่มฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนลงในสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 600 ppm ทั้งจำนวนชั้น 1 ชั้น 5 ชั้น และ 9 ชั้น พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปตั้งแต่ 30 นาทีขึ้นไปจะหาค่าการดูดกลืนแสงที่สูงที่สุดและคงที่เมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้น ดังนั้นจึงทำการเลือกเวลาในการจุ่มตะกั่วที่เหมาะสมคือ 30 นาที เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะพบว่าที่จำนวนชั้น 9 ชั้น ซึ่งมีความหนาของอนุภาคเงินระดับนาโนบนแผ่นฟิล์มมากที่สุดจะเห็นว่าค่า absorbance ของ 0 นาที และ 60 นาที มีความแตกต่างกันน้อยที่สุด รองลงมาคือจำนวนชั้น 1 ชั้น ส่วนจำนวนชั้น 5 ชั้น มีความแตกต่างกันมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกจำนวนชั้น 5 ชั้น มาเป็นชุดทดสอบในการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

4.5.1.2 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่ว

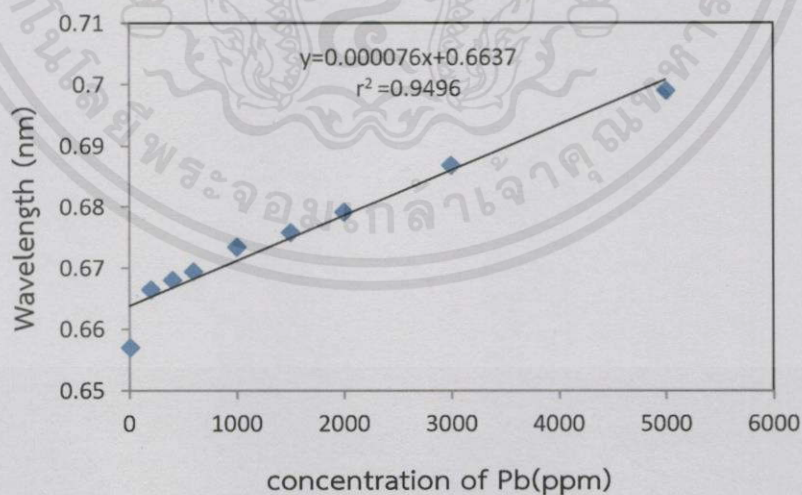
ในการทดลองนี้ ทำการทดลองโดยเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 10, 200, 400, 600, 1000, 1500, 2000, 3000 และ 5000 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ แล้วทำการวิเคราะห์ตะกั่วโดยการจุ่มแผ่นฟิล์มบาง กับสารละลายมาตรฐานตะกั่วในแต่ละความเข้มข้น แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ผลค่าการดูดกลืนแสงของการทดสอบการรับรู้ตะกั่วด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

จากรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำแผ่นฟิล์มบางขนาดนาโนไปจุ่มในสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้น แสดงว่าค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มบางขนาดนาโนแปรผันตรงกับค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว เมื่อนำไปจุ่มในสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.17 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มบาง AgNPs-Humic นี้ดำเนินการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นถึงกราฟมาตรฐานที่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วกับค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มบางขนาดนาโน และพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วเพิ่มขึ้น ค่าดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังพบว่าในกราฟมาตรฐานที่ ช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานปรอท 10 - 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความเป็นเส้นตรง (r^2) เท่ากับ 0.9496 และมีสมการเส้นตรง $y=0.000076x + 0.6637$

4.5.1.3 การศึกษาค่า Limit of detection (LOD) ของการตรวจวัดตะกั่วด้วยแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินระดับนาโน

การศึกษาค่า Limit of detection (LOD) โดยนำแผ่นฟิล์มที่มีคุณสมบัติชอบน้ำที่เตรียมไว้มาจุ่มสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเป็นเวลา 10 นาทีสลับกับสารละลาย PDAD 5 นาที จนกระทั่งแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินระดับนาโนมีจำนวนชั้น 5 ชั้น จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-visible spectrophotometry โดยทำการวัด 10 ครั้ง จากนั้นหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation,SD) แทนค่าลงในสูตร สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{LOD} = \frac{3\text{SD}}{\text{Slope of calibration}}$$

โดยใช้กราฟมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 1 -5000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจากการคำนวณพบว่าวิธีนี้ มีขีดจำกัดของการตรวจพบตะกั่วเท่ากับ 2.33 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.5.1.4 การศึกษาค่า Limit of quantitation (LOQ) ของการตรวจวัดตะกั่วด้วยแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินระดับนาโน

การศึกษาค่า Limit of quantitation (LOQ) โดยนำแผ่นฟิล์มที่มีคุณสมบัติชอบน้ำที่เตรียมไว้มาจุ่มสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเป็นเวลา 10 นาทีสลับกับสารละลาย PDAD 5 นาที จนกระทั่งแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินระดับนาโนมีจำนวนชั้น 5 ชั้น จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-visible spectrophotometry โดยทำการวัด 10 ครั้ง จากนั้นหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation,SD) แทนค่าลงในสูตร สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{LOQ} = \frac{10\text{SD}}{\text{Slope of calibration}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้กับและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้กราฟมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 10 -5000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจากการคำนวณพบว่าวิธีนี้ มีขีดจำกัดของการตรวจพบตะกั่วเท่ากับ 10.4482 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.5.1.5 ศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) ของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโน

การศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) ของตัวอย่าง น้ำประปา ทำโดย C1 คือค่าการดูดกลืนแสงที่เติมสารมาตรฐานความเข้มข้น 10, 200, 400, 600, 1000, 1500, 2000, 3000 และ 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมโดยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน 1 มิลลิลิตร สารละลายมาตรฐานตะกั่ว 1 มิลลิลิตร น้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร C2 คือค่าการดูดกลืนแสงจากตัวอย่างที่ไม่เติมสารละลายมาตรฐาน เตรียมโดย สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน 1 มิลลิลิตร และน้ำตัวอย่าง 11 มิลลิลิตร และ C3 คือ ค่าการดูดกลืนแสงความเข้มข้นสารมาตรฐานที่เติมซึ่งดูจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (แกน x) กับความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ (แกน y) จากนั้นนำไปเข้าสู่สูตร

$$\%Recovery = \frac{(C_1 - C_2) \times 100}{C_3}$$

- เมื่อ
- C₁ คือค่าจากตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน
 - C₂ คือค่าจากตัวอย่างที่ไม่เติมสารละลายมาตรฐาน
 - C₃ คือ ค่าจากสารมาตรฐานที่เติม

ตาราง 4.5 ตารางแสดงค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) ของตัวอย่างน้ำประปา

	Added (ppm)	%Recovery
น้ำประปา	100	98.33
	200	99.44
	300	100.02
	600	101.08

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าในตัวอย่างน้ำคริสตัลสามารถหาค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) ได้เท่ากับ 98.33 - 101.08 % ซึ่งค่าที่ได้จากการตรวจวัดน้ำตัวอย่างนี้ มีค่าใกล้เคียงเอกสารนี้ที่ 100 % แสดงให้เห็นว่าไม่มีตัวรบกวนที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ และจะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารมาตรฐานเพิ่มขึ้นค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) จะมีค่าใกล้เคียง 100 % มากขึ้นที่มีการนำไปใช้

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งสรุปผลการทดลองออกเป็น 4 ส่วนดังต่อไปนี้ ส่วนที่หนึ่ง คือ การศึกษาสภาวะต่างๆในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน ได้แก่ ความเข้มข้นที่เหมาะสมของกรดฮิวมิกในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน และ ศึกษาประจุทางไฟฟ้าตามลำดับพบว่าค่าความเข้มข้นของกรดฮิวมิก เท่ากับ 0.005 มิลลิโมลาร์ ซึ่ง มีค่าศักย์ซีต้า เท่ากับ -27.4 มิลลิโวลต์ ส่วนที่ 2 คือ การนำ สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดปริมาณตะกั่ว พบว่า กราฟมาตรฐานที่ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วกับค่าดูดกลืนแสง ซึ่งมีสมการ คือ $y=0.00008x + 0.015$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9992 ในช่วงความเข้มข้น 10-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีขีดต่ำสุดของการตรวจวัดและ ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ เท่ากับ 6.09 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 20.31 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) เท่ากับ 97- 102 % ส่วนที่สาม คือ การศึกษาสภาวะต่างๆในการสร้างแผ่นฟิล์มบางขนาดนาโนด้วยเทคนิคการขึ้น รูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer) ได้แก่ การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการจุ่มสารละลายของแผ่นฟิล์ม บางขนาดนาโน และการศึกษาจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มบางขนาดนาโน พบว่าที่เวลา 5 นาที และจำนวน ชั้น 5 ชั้น เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการสร้างแผ่นฟิล์มบางขนาดนาโนสำหรับการตรวจวัด ตะกั่ว และส่วนสุดท้ายคือ การนำฟิล์มบางขนาดนาโนของอนุภาคเงินระดับนาโนมาใช้ในการวิเคราะห์ ตะกั่ว พบว่า กราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว กับค่าดูดกลืนแสง พบว่ามีสมการถดถอยคือ $y=0.000076x + 0.6637$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9496 ในช่วงความเข้มข้น 10 – 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีขีดต่ำสุดของการตรวจวัดและ ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ เท่ากับ 2.36 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 7.89 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) เท่ากับ 98.33 - 101.08 % ซึ่งข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นมีแนวโน้มความเป็นไปได้ที่นำไปตรวจวัดหา ตะกั่วในเตรตในตัวอย่างเช่นน้ำประปา คลอง เป็นต้น ซึ่งในเบื้องต้นงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองตรวจหา ตะกั่วในเตรตในคลองอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นตอนของการทำโพรมีเตอร์จะต้องล้างแผ่นกระจกสไลด์ด้วยน้ำปราศจากไอออนหลายๆครั้ง เพื่อขจัดปัญหาการตกตะกอนของสารละลายซิลเวอร์นาโน
2. ในขั้นตอนสังเคราะห์หอนุภาคเงินระดับนาโน สารเคมีที่นำมาใช้ต้องมีความบริสุทธิ์และเครื่องแก้ว ที่ใช้ต้องมีความสะอาด เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการตกตะกอนของซิลเวอร์
3. นำชุดสอบที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้กับตัวอย่างอื่นๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] โรคจากตะกั่ว. [Online]. Available: <http://envocc.ddc.moph.go.th/contents/view/66>
- [2] Afrasiab Khan Tareen. "Detection of heavy metals (Pb, Sb, Al, As) through atomic absorption spectroscopy from drinking water of District Pishin, Balochistan, Pakistan." *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci* (2014) 3(1): 299-308.
- [3] เครื่องมือวิเคราะห์ในงานแร่ธาตุและโลหะหนัก. [Online]. Available: http://www.barascientific.com/article/FoodSafety/foodsafety_6.php
- [4] Polarography. [Online]. Available: <http://global.britannica.com/science/polarography>
- [5] Surface Plasmon Resonance. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_plasmon_resonance
- [6] นาโนเทคโนโลยี. [Online]. Available: <http://th.wikipedia.org/wiki/นาโนเทคโนโลยี>
- [7] Nanotechnology. [Online]. Available: <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit5-1.html>
- [8] นาโนเทคโนโลยี. [Online]. Available: <http://nanotech.sc.mahidol.ac.th/nano/nanotech1.htm>
- [9] วัสดุนาโน. [Online]. Available: <http://th.wikipedia.org/wiki/วัสดุนาโน>
- [10] Silver Nano คืออะไร ? [Online]. Available: http://www.thaibrush.com/product_th
- [11] รูปภาพ AgNPs. [Online]. Available: <http://www.sigmaaldrich.com/materials-science/nanomaterials/silver-nanoparticles.html>
- [12] เงิน...โลหะมีค่าที่ไม่ควรมองผ่าน. [Online]. Available: <http://www.git.or.th/2014/g20131120.html>
- [13] ใครอยากรู้เรื่อง silver nanoparticle มาทางนี้. [Online]. Available: https://chromst.blodspot.com/p/blog-page_6435.html
- [14] การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน. [Online]. Available: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2014/ra/c3ra44507k>
- [15] Silver nanoparticle. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Silver_nanoparticle
- [16] Size-Controlled and Optical Properties of Monodispersed Silver Nanoparticles. [online]. Available: <http://www.mdpi.com/1422-0067/14/4/7880/html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [17] การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน ด้วยวิธีทางเคมี. [Online]. Available : <http://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2014/ra/c3ra44507k>
- [18] E. Flippo^a “Green synthesis of sucralose-capped silver nanoparticles for fast colorimetric triethylamine detection.” *Sensors and Actuators B* 178 (2013) 1-9.
- [19] Silver Nanoparticles: Properties and Applications. [Online]. Available: <http://www.sigmaaldrich.com/materials-science/nanomaterials/silver-nanoparticles.html>
- [20] Kanokwan Jannoo^{a,b} “Electron beam assisted synthesis of nanoparticles in chitosan stabilizer: Preparation, stability and inhibition of building fungi studies.” *Radiation Physics and Chemistry* 112 (2015) 177-188.
- [21] Sadanand, P. Gopal, K. G. and Karuna, K. N. 2012. “Green synthesis of biopolymer-silver nanoparticle nanocomposite : An optical sensor for ammonia detection” *International Journal of Biological Macromolecules*. 51(2012) : 583-589
- [22] Surface Plasmon Resonance. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_plasmon_resonance
- [23] Diana Vilela. “Sensing colorimetric approaches based on gold and silver nanoparticles aggregation: Chemical creativity behind the assay. A review.” *Analytica Chimica Acta* 751 (2012) 24-43.
- [24] Layer-by-layer preparation of polyelectrolyte multilayer membranes for separation. [Online]. Available : <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2014/py/c3py01262j#!divAbstract>
- [25] Fuoss RM, Sadek H. Mutual “Interaction of polyelectrolytes.” *Science* 1949;110: 552-554.
- [26] การใช้สารประกอบเชิงซ้อนพอลิอิลเล็กโทรไลต์ในทางเภสัชกรรม. [Online]. Available: <http://pharm.kku.ac.th/isan-journal/journal/volume8-no2/01.pdf>
- [27] Lankalapalli S, Kolapali VRM. “Polyelectrolyte complexes : A review of their applicability in drug delivery technology.” *Indian J pharm Sci* 2009 ; 71(5):481-487.

เอกสารนี้ [28] ตะกั่ว. [Online]. Available: <http://lc.dpim.go.th/kb/1075> อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา

ไม่ว่ากรณี [29] การใช้ประโยชน์จากโลหะตะกั่ว. [Online]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/ตะกั่ว> ใช้

- [30] โทษของโลหะตะกั่ว. [Online]. Available: http://www.siamhealth.net/public_html/environment/lead.htm#.VZDbAfnvNdh
- [31] หลักการ UV-visible spectrophotometer. [Online]. Available: <http://glasswarechemical.com/scientific-instrument/หลักการ UV-visible spectrophotometer/>
- [32] UV-visible absorption Spectroscopy. [Online]. Available: http://faculty.sdmiramaredu/fgarces/LabMatters/instruments/UV_Vis/Cary50.htm
- [33] FTIR-Raman Spectrophotometer. [Online]. Available: <http://mfu.ac.th/center/stic/index.php/chemical-analysis-instrumentmenu/item/140-uv-visible-spectrophotometer.html>
- [34] FTIR-Raman Spectrophotometer. [Online]. Available: <http://mfu.ac.th/center/stic/index.php/chemical-analysis-instrument-menu/item/>
- [35] Zeta potential. [Online]. Available: <http://share.psu.ac.th/blog/easysci/17648>.
- [36] Zeta potential. [Online]. Available: <http://mfu.ac.th/center/stic/index.php/micro-analysis-instrument-menu/item/178-zetasizer-nano-zs90.html>
- [37] Zeta potential. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Diagram_of_zeta_potential_and_slipping_planeV2.svg.
- [38] Ekarat Detsri^{a,b}. "Fabrication of silver nanoparticles/polyaniline composite thin films using Layer-by-Layer self-assembly technique for ammonia sensing." *Colloids and Surface A: Physicochem Eng. Aspects* 467 (2015) 57-65.
- [39] Hong Ping. "Visual detection of melamine in raw milk by label-free silver nanoparticles." *Food control* 23 (2012) 191-197.
- [40] Wipawee Leesutthiphonchai. "Selective determination of homo cysteine levels in human plasma using a silver nanoparticle-based colorimetric assay." *Talanta* 85 (2011) 870-876.
- [41] Sadanad Pandey. "Green synthesis of biopolymer – silver nanoparticle nano composite : An optical sensor for ammonia detection". *International Journal of Biological Macromolecules* 51 (2012) 583- 589.
- [42] Bing Leng "Colourimetric detection of mercuric ion(Hg²⁺) in aqueous media using chemodosimeter-functionalized gold nanoparticles." *Sensors and Actuators B* 140 (2009) 162-169.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ Actuators B 140 (2009) 162-169. เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [43] Cheng-Han Chao. "A rapid and portable sensor based on protein-modified gold nanoparticle probes and lateral flow assay for naked eye detection of mercury ion." *Microelectronic Engineering* 97 (2012) 294-296.
- [44] Guang-Li Wang "Ultrasensitive and dual functional colorimetric sensors for mercury ions and hydrogen peroxide based on catalytic reduction property of silver nanoparticles." *Biosensors and Bioelectronics* 31 (2012) 337- 342.
- [45] Ke Liu, Yi Zhou, Cheng Yao. "A highly sensitive and selective ratiometric and colorimetric sensor for Hg^{2+} based on a rhodamine - nitro benzoxadiazole conjugate Inorganic." *Chemistry Communications* 14 (2011) 1798-1801.
- [46] Nantanit Wanichacheva . " RhodamineB-based turn-on fluorescent and colorimetric chemosensors for highly sensitive and selective detection of mercury ions." *Journal of Luminescence* 13(2012) 35-40.
- [47] Ekarat Detsri. "Layer-by-layer deposition of cationic and anionic carbon nanotubes into thin films with improved electrical properties" Volume 444, 5 March 2014, Pages 89-94.
- [48] Jae Yong Song. "Rapid biological synthesis of silver nanoparticles using plant leaf extracts" *Bioprocess and Biosystems Engineering* January 2009, Volume 32, Issue 1, 79-84.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การเตรียมสารเคมี

1. การเตรียมสารละลาย PDADMAC ที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิว MWCNTs

เตรียมสารละลาย Stock ของ PDADMAC ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ โดยเปิดสารละลาย PDADMAC ความเข้มข้น 1.3375 โมลาร์ ปริมาณ 0.7476 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

2. การเตรียมสารละลาย PSS ที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิว MWCNTs

เตรียมสารละลาย Stock ของ PSS ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง PSS มา 0.34xx กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

3. การเตรียมสารละลาย Silver Nitrate ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์

ชั่งสาร Silver Nitrate จำนวน 0.16xx กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

4. การเตรียมสารละลาย Humic acid 1%w/t

ชั่งสาร Humic acid จำนวน 1 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นและปั่นกวนให้เข้ากัน ใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

5. การเตรียมสารละลาย Sodium borohydride 10 มิลลิโมลาร์

ชั่งสาร Sodium borohydride จำนวน 0.378 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

6. การเตรียมสารละลาย Lead Nitrate ความเข้มข้น 1,000 ppm

ชั่งสาร Lead Nitrate จำนวน 0.331 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

7. การเตรียมสารละลายที่ใช้วิเคราะห์ตัวรบกวน

7.1 การเตรียมสารละลาย Ascorbic acid ที่ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์

เตรียมสารละลาย Stock Ascorbic acid ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาณ 50 มิลลิลิตร

โดยการชั่งสาร Ascorbic acid จำนวน 0.0088 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด

50 มิลลิลิตร และปรับด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตรียมสารละลาย Ascorbic acid ที่ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ ได้โดยการปิเปตสารจากสารละลาย Stock Ascorbic acid ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ มาจำนวน 0.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

7.2 การเตรียมสารละลายกลูโคส ที่ความเข้มข้น 4 มิลลิโมลาร์

ชั่งสารกลูโคสจำนวน 0.0360 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

7.3 การเตรียมสารละลาย Citric acid ที่ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์

เตรียมสารละลาย Stock Citric acid ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาณ 50 มิลลิลิตร โดยการชั่งสาร Citric acid จำนวน 0.0105 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

เตรียมสารละลาย Citric acid ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ได้โดยการปิเปตจากสารละลาย Stock Citric acid เข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ จำนวน 0.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

7.4 การเตรียมสารละลาย Uric acid ที่ความเข้มข้น 0.136 มิลลิโมลาร์

ชั่งสาร Uric acid จำนวน 0.0012 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

7.5 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 3.5 มิลลิโมลาร์

ชั่งสารโพแทสเซียมคลอไรด์จำนวน 0.0132 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

7.6 การเตรียมสารละลายแคลเซียมคาร์บอเนต ที่ความเข้มข้น 2.1 มิลลิโมลาร์

ชั่งสารแคลเซียมคาร์บอเนตจำนวน 0.0105 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การคำนวณผลการทดลอง

1.1 การคำนวณหา LOD และ LOQ ของการวิเคราะห์ตะกั่วในสารละลาย

1.1.1 การวิเคราะห์ตะกั่วในสารละลาย

คำนวณได้โดยการหาค่าเฉลี่ย และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตามตารางต่อไปนี้

สมการเส้นตรง $y=0.00008x+0.015$

$$\text{LOD} = \frac{3 \text{ SD of blank}}{\text{Slope}}$$

$$\begin{aligned} \text{LOD} &= \frac{3 \times 0.000062}{0.00008} \\ &= 6.09 \end{aligned}$$

$$\text{LOQ} = \frac{10 \text{ SD of blank}}{\text{Slope}}$$

$$\begin{aligned} \text{LOQ} &= \frac{10 \times 0.000062}{0.00008} \\ &= 20.31 \end{aligned}$$

No.	Abs
1	0.831
2	0.831
3	0.831
4	0.831
5	0.831
6	0.831
7	0.8309
8	0.831
9	0.831
10	0.831
ค่าเฉลี่ย	0.831
SD	0.000062

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.2 การวิเคราะห์ตะกั่วของฟิล์มบาง

คำนวณได้โดยการหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตามตารางต่อไปนี้

สมการเส้นตรง $y = 0.000076x + 0.6637$

$$\text{LOD} = \frac{3 \text{ SD of blank}}{\text{Slope}}$$

$$\text{LOD} = \frac{3 \times 0.00006}{0.000076}$$

$$= 2.36$$

$$\text{LOD} = \frac{10 \text{ SD of blank}}{\text{Slope}}$$

$$\text{LOD} = \frac{10 \times 0.00006}{0.000076}$$

$$= 7.89$$

No.	Abs
1	0.64086
2	0.64083
3	0.64084
4	0.64085
5	0.64086
6	0.64085
7	0.64086
8	0.64066
9	0.64076
10	0.64084
ค่าเฉลี่ย	0.64082
SD	0.00006

1.2 การคำนวณหาร้อยละการคืนกลับ % Recovery

1.2.1 การคำนวณหาร้อยละการคืนกลับของสารละลาย

$$\text{สูตรคำนวณหา \% Recovery} = \frac{\text{Abs Spiked sample} - \text{Sample}}{\text{Standard}}$$

ตัวอย่าง A ; added 100 ppm % Recovery = $\frac{0.9107}{0.9250} \times 100 = 98.46$

added 200 ppm % Recovery = $\frac{0.9276}{0.9280} \times 100 = 99.92$

added 300 ppm % Recovery = $\frac{0.9390}{0.9310} \times 100 = 100.93$

added 600 ppm % Recovery = $\frac{0.9550}{0.9400} \times 100 = 101.65$

ตัวอย่าง B ; added 100 ppm % Recovery = $\frac{0.9210}{0.9250} \times 100 = 99.58$

added 200 ppm % Recovery = $\frac{0.9359}{0.9280} \times 100 = 100.85$

added 300 ppm % Recovery = $\frac{0.9412}{0.9310} \times 100 = 101.18$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	added 600 ppm	% Recovery = $\frac{0.9550}{0.9400} \times 100 = 101.35$
ตัวอย่าง C ;	added 100 ppm	% Recovery = $\frac{0.9038}{0.9250} \times 100 = 97.71$
	added 200 ppm	% Recovery = $\frac{0.9306}{0.9280} \times 100 = 100.29$
	added 300 ppm	% Recovery = $\frac{0.9454}{0.9310} \times 100 = 101.55$
	added 600 ppm	% Recovery = $\frac{0.9584}{0.9400} \times 100 = 101.96$
ตัวอย่าง D ;	added 100 ppm	% Recovery = $\frac{0.9245}{0.9250} \times 100 = 99.95$
	added 200 ppm	% Recovery = $\frac{0.9290}{0.9280} \times 100 = 100.11$
	added 300 ppm	% Recovery = $\frac{0.9443}{0.9310} \times 100 = 101.43$
	added 600 ppm	% Recovery = $\frac{0.9556}{0.9400} \times 100 = 101.65$

1.2.2 การคำนวณหาร้อยละการคืนกลับของแผ่นฟิล์มบาง

$$\text{สูตรคำนวณหา \% Recovery} = \frac{\text{Abs Spiked sample} - \text{Sample}}{\text{Standard}}$$

ตัวอย่าง A ;	added 200 ppm	% Recovery = $\frac{0.6197}{0.6664} \times 100 = 98.33$
	added 600 ppm	% Recovery = $\frac{0.6657}{0.6694} \times 100 = 99.44$
	added 1000 ppm	% Recovery = $\frac{0.6735}{0.6734} \times 100 = 100.02$
	added 3000 ppm	% Recovery = $\frac{0.6942}{0.6868} \times 100 = 101.08$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ -สกุล นาย ชีรภัทร พุกษาพันธ์
วัน เดือน ปีเกิด 1 กันยายน 2535
ประวัติการศึกษา
ระดับมัธยมศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า
ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ -สกุล นาย ปฐิภาณ ถึงทรัพย์
วัน เดือน ปีเกิด 2 กรกฎาคม 2535
ประวัติการศึกษา
ระดับมัธยมศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนมารีวิทย์ พัทยา
ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ -สกุล นาย สหัสชัย สิงคลี
วัน เดือน ปีเกิด 10 พฤศจิกายน 2535
ประวัติการศึกษา
ระดับมัธยมศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ร้อยเอ็ด
ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้