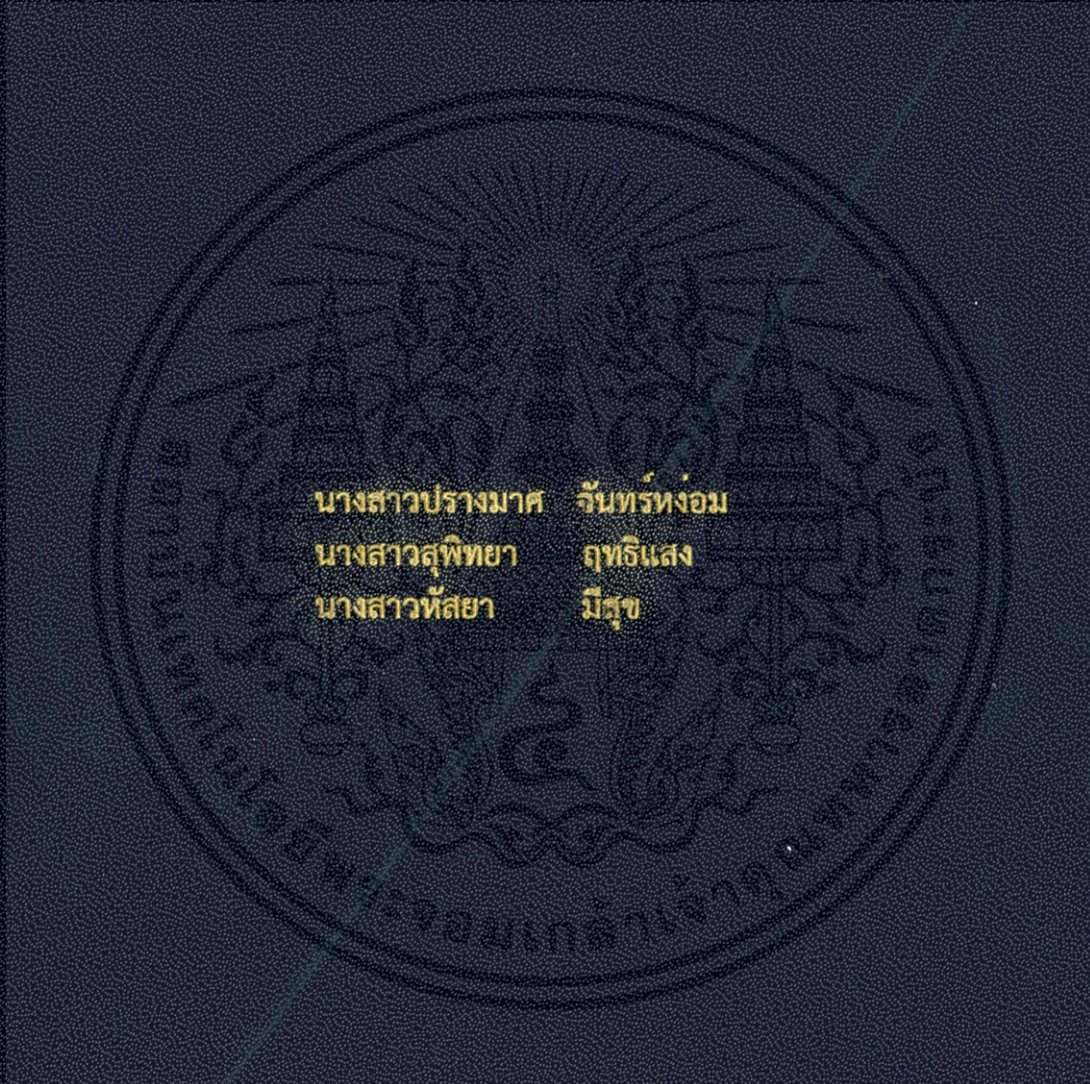


การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตและการ
ตรวจวัดหาปริมาณตะกั่วในตัวอย่างน้ำด้วยวิธีการตรวจวัดสี

UV-ASSISTED SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES AND COLORMETRIC
APPROACH FOR MEASURING OF LEAD IN WATER SAMPLE



นางสาวปรางมาศ จันทร์หังอ้ม
นางสาวสุพิทยา ฤทธิแสง
นางสาวทัสยา มีสุข

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตและการ
ตรวจวัดหาปริมาณตะกั่วในตัวอย่างน้ำด้วยวิธีการตรวจวัดสี

UV-ASSISTED SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES AND COLORMETRIC
APPROACH FOR MEASURING OF LEAD IN WATER SAMPLE



นางสาวปรางมาศ จันทรห่อม

นางสาวสุพิทยา ฤทธิแสง

นางสาวหัสยา มีสุข

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2557

UV-ASSISTED SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES AND
COLORMETRIC APPROACH FOR MEASURING OF LEAD
IN WATER SAMPLE



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

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำออกให้ผู้อื่นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลอันเป็นลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตและการตรวจวัดหาปริมาณตะกั่วในตัวอย่างน้ำด้วยวิธีการตรวจวัดสี
Uv-assisted Synthesis of Silver Nanoparticles and Colormetric Approach For Measuring of Lead in Water Sample

ชื่อนักศึกษา นางสาวปรางมาศ จันทร์ห่องม รหัสนักศึกษา 54050212
นางสาวสุพิทยา ฤทธิแสง รหัสนักศึกษา 54050312
นางสาวหทัย มีสุข รหัสนักศึกษา 54050327


ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2557

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.เอกรัฐ เดชศรี

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติคุณย์ ประธานกรรมการ	กิตติมนต์
ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการ	
ดร.เอกรัฐ เดชศรี กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	เอกรัฐ เดชศรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกส่งมอบหรือเผยแพร่เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตและการตรวจวัดหาปริมาณตะกั่วในตัวอย่างน้ำด้วยวิธีการตรวจวัดสี		
	UV-Assisted Synthesis of Silver Nanoparticles and Colorimetric Approach for Measuring of Lead in Water Sample		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุพิทยา ฤทธิแสง	รหัสนักศึกษา	54050312
	นางสาวปรางมาศ จันทรห่องม	รหัสนักศึกษา	54050212
	นางสาวหทัย มีสุข	รหัสนักศึกษา	54050327
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.เอกรัฐ เดชศรี		

บทคัดย่อ

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยการใช้วิธีเคมีสีเขียวเป็นการสังเคราะห์ซึ่งมีการใช้ตัวทำละลายที่เป็นที่ยอมรับทางสิ่งแวดล้อมและมีการใช้ตัวรีดิวซ์ที่เป็นมิตรกับธรรมชาติซึ่งถือว่ามีค่าสำคัญเป็นอย่างมาก ในงานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้พอลิเมทาคลิกแอซิด (PMA) เป็นตัวรีดิวซ์สำหรับไอออนของเงิน อีกทั้งยังทำหน้าที่เป็นสารรักษาเสถียรภาพสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนภายใต้การเกิดรีดักชันโดยการใช้แสงยูวี ซึ่งอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้นี้จะถูกนำไปตรวจสอบคุณลักษณะด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมทรี (UV-vis spectrophotometry), เทคนิคฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) และการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy) จากนั้นจะถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้เชิงสีในการตรวจวัดปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่าง ซึ่งพบว่าสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนจะเปลี่ยนสีจากสีม่วงกลายเป็นสีเหลืองเมื่อทำการผสมกับสารคิเลตติงเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิดและสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นในช่วง 100-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลอง พบว่า สมการถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) มีค่าเท่ากับ $y=0.0001+0.041x$ และ 0.999 ตามลำดับ ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (3SD/slope) และค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (10SD/slope) มีค่าเท่ากับ 46.47 และ 154.92 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่า อนุภาคเงินระดับนาโนซึ่งมีการใช้พอลิเมทาคลิกแอซิดเป็นสารรักษาเสถียรภาพภายใต้การเกิดรีดักชันโดยการใช้แสงยูวี เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้เชิงสีของการตรวจวัดปริมาณตะกั่วในน้ำตัวอย่าง

คำสำคัญ : เคมีสีเขียว อนุภาคเงินระดับนาโน ตะกั่ว การวิเคราะห์สารบนกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	UV-Assisted Synthesis of Silver Nanoparticles and Colorimetric Approach for Measuring of Lead in Water Sample		
Students	Miss Supittaya	Ritthisang	Student ID 54050312
	Miss Prangmart	Junngom	Student ID 54050212
	Miss Hudsaya	Meesuk	Student ID 54050327
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Academic Year	2014		
Advisor	Dr. Ekarat Detsri		

Abstract

Green synthesis of silver nanoparticles that have environmentally acceptable solvent system and eco-friendly reducing agent is of great important. The aim of this work was to synthesis silver nanoparticles using poly(methacrylic acid sodium salt), (PMA) as reducing agent for silver ions as well as stabilizing agent for the synthesized silver nanoparticles under UV reduction. The formed silver nanoparticles have been confirmed by UV-vis spectrophotometry, FTIR analysis and TEM. The resultant silver nanoparticles colloidal solutions were applied to use as colorimetric approach for measuring of lead in water sample. Interestingly, the silver nanoparticles was found to display a strong color shift from purple to yellow upon mixing with EDTA chelating and increasing concentration of lead ranging from 100-1000 mg/L. The regression equation and correlation coefficient (r^2) were found as $y = 0.0001x + 0.041$ and 0.999, respectively. The LOD ($3SD/slope$) and LOQ ($10SD/slope$) were 46.47 and 154.92 mg/L, respectively. The PMA stabilized silver nanoparticles under UV reduction are to be an alternative method for colorimetric detection of lead in water sample.

Keywords : Green synthesis, Silver nanoparticles, Lead, Paper analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ก็ด้วยความอนุเคราะห์จาก ดร.เอกรัฐ เดชศรี อาจารย์ที่ปรึกษาทางวิจัย ที่ได้กรุณาให้ข้อมูล คำแนะนำต่างๆ ช่วยเหลือ และช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆให้ โดยเฉพาะการวางเค้าโครง แนวทางการเขียนเนื้อหาและบทวิเคราะห์ตลอดจนการกำหนดกรอบเวลาในการเสนอความคืบหน้าของงาน ซึ่งถือเป็นแรงกระตุ้นได้อย่างดียิ่ง ทั้งท่านอาจารย์ยังได้สละเวลาอันมีค่าตรวจสอบความถูกต้องของงานอีกด้วย งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จ ได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง จึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ และ ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติดุล อาจารย์ภาควิชาเคมี ที่ให้ความกรุณามาเป็นคณะกรรมการสอบงานวิจัย และให้กรุณาชี้แนะแนวทาง ให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนข้อสังเกตต่างๆ ทำให้ผู้เขียนได้พัฒนาแนวความคิดและไตร่ตรองปัญหาต่างๆ ได้อย่างรอบคอบมากขึ้น จนทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน อันที่ผู้เขียนมิได้เอ่ยนาม ที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้ทางด้านวิชาการแก่ผู้เขียน รวมทั้งได้แต่งตั้งตำราให้ผู้เขียนได้ใช้ค้นคว้า อ้างอิง จนทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณกัลยาณมิตรของผู้เขียนทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้ผู้เขียนตลอดมา ขอขอบคุณพี่ๆ และน้องๆรวมทั้งเพื่อนๆ สาขาเคมีอุตสาหกรรมทุกท่านที่เป็นกำลังใจ และคอยช่วยเหลือ ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา และจัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ บิดาและมารดา ของผู้วิจัย และผู้มีพระคุณทุกท่านด้วยความเคารพยิ่ง หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขอ อภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวสุพิทยา	ฤทธิแสง
นางสาวปรางมาศ	จันทร์หอม
นางสาวหัสยา	มีสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4.2.3 วิเคราะห์ผล.....	43
3.4.3 การศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว.....	43
3.4.3.1 การศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity).....	43
3.4.3.2 การศึกษาหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน (%Recovery).....	44
3.4.3.3 การศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection) และขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation).....	46
3.4.3.4 การศึกษาผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการ วิเคราะห์.....	47
3.4.3.5 วิเคราะห์ผล.....	48
3.4.4 วิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของอนุภาคเงินระดับนาโนโดยเทคนิคกระดาษ วิเคราะห์.....	49
3.4.4.1 การศึกษาความเป็นเส้นตรง(Linearity).....	49
3.4.4.2 การศึกษาหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน (%Recovery).....	50
3.4.4.3 การศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection) และขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation).....	52
3.4.4.4 การศึกษาผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการ วิเคราะห์.....	53
3.4.4.5 การใช้โปรแกรม Image J TM ในการหาความเข้มสี.....	55
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	59
4.1 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน.....	59
4.1.1 การศึกษาความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PMA.....	59
4.1.1.1 สารรักษาเสถียรภาพ PMA 8 mM.....	59
4.1.1.2 สารรักษาเสถียรภาพ PMA 13 mM.....	61
4.1.1.3 สารรักษาเสถียรภาพ PMA 20 mM.....	63
4.1.2 ผลการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเงินในระดับนาโน โดยเทคนิค FTIR.....	68
4.1.3 ผลการศึกษาสภาพความเป็นประจุของอนุภาคเงินในระดับนาโน โดยการวัดค่า ศักย์ซีต้า (Zeta potential).....	69
4.2 การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี.....	70
4.2.1 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิด.....	70
4.3 การศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วย สารละลายอนุภาคเงิน ระดับนาโน.....	73
4.3.1 การศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity).....	73

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.3.2 การศึกษาหาค่าร้อยละการคืนกลับของสารมาตรฐาน (%Recovery).....	74
4.3.3 การศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection) และขีดจำกัดของการ วิเคราะห์ (Limit of quantitation).....	75
4.3.4 การศึกษาตัวรบกวนการวิเคราะห์.....	75
4.4 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วด้วยเทคนิคการวิเคราะห์สารด้วยกระดาษ.....	77
4.4.1 การศึกษาชนิดของสารยึดติด.....	77
4.4.2 การศึกษาความเข้มข้นและระยะห่างที่เหมาะสมของสารยึดติดบนกระดาษ กรอง.....	78
4.4.3 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วด้วยเทคนิคกระดาษวิเคราะห์.....	79
4.4.3.1 ความเป็นเส้นตรง (Linearity).....	79
4.4.3.2 ความแม่นยำ (Accuracy).....	80
4.4.3.3 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection) และขีดจำกัดของ การตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation).....	81
4.4.3.4 การศึกษาตัวรบกวนการวิเคราะห์.....	82
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	83
5.1 สรุปผลจากการทดลอง.....	83
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	84
เอกสารอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	91
ภาคผนวก ก.....	92
ภาคผนวก ข.....	96
ประวัติผู้วิจัย.....	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สารตั้งต้น ตัวรีดิวซ์ และสารเพิ่มความเสถียรที่นิยมใช้ ในกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน.....	9
4.1 ตารางแสดงหมู่ฟังก์ชันของ AgNPs และหมู่ฟังก์ชันของ PMA.....	68
4.2 แสดงสภาพความเป็นประจุของอนุภาคเงินในระดับนาโน.....	69
4.3 แสดงผลที่ได้คำนวณหาค่าร้อยละการคืนกลับ (%Recovery)	74
4.4 แสดงความยาวคลื่นสูงสุดเมื่อเติมตัวรบกวนต่างๆ.....	76
4.5 แสดงค่าความเข้มสีของสารยัดติด.....	77
4.6 แสดงค่าความเข้มสี (RGB) ของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	78
4.7 แสดงค่าความเข้มสีของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	79
4.8 แสดงค่าร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) ของตะกั่วในตัวอย่างไม่อิ่ม.....	81
4.9 แสดงค่าความเข้มสีเมื่อเติมตัวรบกวนต่าง.....	82



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 อนุภาคนาโนรูปร่างทรงกลมที่กำลังขยายแตกต่างกัน.....	5
2.2 อนุภาคนาโนแบบท่อน (Nanorods).....	6
2.3 อนุภาคนาโนแบบถ้วย (Nanocup).....	6
2.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคเงินระดับนาโน ทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope: TEM).....	7
2.5 ภาพแสดงการเกิดเซอร์เฟส พลาสมอน เรโซแนนซ์ โดยแสดงการสั่นของกลุ่มอิเล็กตรอนในแถบเหนี่ยวนำเมื่อมีแสงจากภายนอกส่องผ่าน.....	8
2.6 การเกาะระหว่างไอออนของซีเทรตกับพื้นผิวของอนุภาคเงิน.....	12
2.7 รูปการวิเคราะห์สารบนกระดาษ.....	18
2.8 แสดงแผนภาพสี.....	19
2.9 แสดงแผนภาพสีแบบ CMYK.....	20
2.10 การเตรียมขนาดภาพจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดด้วยโปรแกรม photoshop.....	21
2.11 ลำดับการเปิดไฟล์ภาพที่ต้องการวิเคราะห์.....	21
2.12 การวัดสเกลจริงในภาพ.....	22
2.13 การเปลี่ยนหน่วยของภาพในคำสั่ง set scale.....	23
2.14 การเลือกบริเวณผลึกสังกะสีเพื่อการวิเคราะห์.....	24
2.15 การคำนวณหาสัดส่วนโดยพื้นที่ของผลึก, จำนวนผลึก และขนาดเฉลี่ยของผลึก สังกะสี โดยใช้คำสั่ง Analyze Particles.....	25
2.16 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง.....	28
2.17 ไอออนและความต่างศักย์ที่ทำหน้าที่เป็นขั้วบนผิวของอนุภาคสาร.....	29
2.18 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง.....	30
3.1 แผนผังวิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนที่ความเข้มข้น 8, 13 และ 20 mM.....	42
3.2 แผนผังวิธีศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิด.....	43
3.3 แผนผังวิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของอนุภาคเงินระดับนาโน.....	44
3.4 แผนผังวิธีการศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว.....	45
3.5 แผนผังวิธีการหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน (%Recovery).....	47
3.6 แผนผังวิธีการหาขีดจำกัดของการตรวจวัดและขีดจำกัดของการวิเคราะห์.....	48
3.7 แผนผังวิธีการศึกษาผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์.....	49
3.8 แสดงวิธีการสร้างกราฟมาตรฐานของวิธีกระดาษวิเคราะห์.....	51
3.9 แผนผังวิธีการหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐานและสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน.....	54
3.10 แผนผังวิธีการหาขีดจำกัดของการตรวจวัดและขีดจำกัดของเทคนิคกระดาษวิเคราะห์.....	54
3.11 แผนผังวิธีการศึกษาผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์.....	56
3.12 แสดงแถบเมนูของโปรแกรม Image J TM	57
3.13 แสดงรูปการหาค่า RGB และกำหนดพื้นที่ที่แน่นอนเพื่อหาค่า RGB.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับบริการเชิงวิชาการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.14 แสดงรูปและพื้นที่ที่ต้องการเพื่อการคำนวณค่า RGB.....	58
3.15 ตารางแสดงค่า RGB ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Image J TM	58
4.1 ค่าการดูดกลืนแสงและสีสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน.....	58
4.2 ขนาดของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA 8 mM.....	58
4.3 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 8 mM.....	59
4.4 ค่าการดูดกลืนแสงและสีสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน.....	60
4.5 ขนาดของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA 13 mM.....	60
4.6 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 13 mM.....	61
4.7 ค่าการดูดกลืนแสงและสีสารละลายขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโน.....	62
4.8 ขนาดของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA 20 mM.....	62
4.9 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 20 mM.....	63
4.10 แผนภาพการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน.....	64
4.11 IR สเปกตรัมของอนุภาคเงินในระดับนาโน โดยใช้สารรักษาเสถียรภาพความเข้มข้นต่างๆ.....	68
4.12 แผนภาพกลไกการทำปฏิกิริยาของสารละลายผสม.....	70
4.13 แสดงความยาวคลื่นของสารละลายผสม.....	71
4.14 แสดงสีของสารละลายผสม.....	72
4.15 แสดงค่าความยาวคลื่นของสารละลายตะกั่วความเข้มข้นต่างๆ.....	73
4.16 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว.....	74
4.17 แสดงค่าการดูดกลืนแสง.....	76
4.18 แสดงภาพจุดสีของสารยัดติดทั้งสองชนิด.....	78
4.19 แสดงระยะห่าง 1, 3 และ 5 เซนติเมตร.....	79
4.20 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าความเข้มสีกับความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว.....	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

WHO	World Health Organization
FAAS	Flame atomic absorption spectrometry
GFAAS	Graphite furnace atomic absorption spectrometry
ICP-AES	Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry
ICP-MS	Inductively coupled plasma mass spectrometry
AuNPs	Gold nanoparticles
AgNPs	Silver nanoparticles
UV-vis spectrophotometry	Ultraviolet-visible spectrophotometry
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
TEM	Transmission Electron Microscopy
AFM	Atomic force microscope
SPR	Surface plasmon resonance
μL	Microliter (ไมโครลิตร)
mL	Milliliter (มิลลิลิตร)
mM	Millimolar (มิลลิโมลาร์)
ppm	Milligram per liter (มิลลิกรัมต่อลิตร)
mV	Milivolt (มิลลิโวลต์)
%wt	Percent by weight (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
nM	Nanometer (นาโนเมตร)
μM	Micrometer (ไมโครเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ Power of Hydrogen⁺ ion อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์ (ต่อ)

pKa	ค่าคงที่การแตกตัวของกรด
r^2	correlation coefficient (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์)
SD	standard deviation (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
LOD	Limit of detection (ขีดจำกัดต่ำสุดการตรวจพบ)
LOQ	Limit of quantitative (ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มลภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดโดยโลหะหนักได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ซึ่งตะกั่วถือเป็นหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกทั้งเป็นภัยคุกคามต่อสุขภาพมนุษย์มากที่สุดในบรรดาโลหะหนักทั้งหมด [1] โดยที่โลหะหนักชนิดนี้มีพิษที่ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินอาหาร ระบบไต และระบบประสาท แหล่งกำเนิดของมลพิษจากตะกั่วที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์นั้น ส่วนใหญ่มีที่มาจากมลพิษทางอากาศหรือการปนเปื้อนในน้ำ [2] โดยแหล่งกำเนิดมลภาวะประเภทนี้มาจากหลายสาเหตุ ได้แก่ งานอุตสาหกรรม, คิวโนไอเสียอันเนื่องมาจากการจราจร และการเกษตรกรรม [3] องค์การอนามัยโลก (World Health Organization; WHO) จึงได้มีการกำหนดระดับปริมาณตะกั่วในน้ำดื่มที่ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร [4] ดังนั้นการประเมินระดับปริมาณตะกั่วในสิ่งแวดล้อมให้ใกล้เคียงกับข้อกำหนดข้างต้นนี้ถือจึงเป็นสิ่งสำคัญมากแต่ก็เป็นงานที่ยากเช่นเดียวกัน เนื่องจากมีไอออนของโลหะชนิดอื่นๆ และสารประกอบอินทรีย์หลากหลายชนิดปนเปื้อนอยู่ในน้ำเช่นกัน [5,6]

ดังนั้นเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วที่มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำสูง นั้นมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น เทคนิคเฟลม อะตอมมิก แอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตเมทรี (Flame atomic absorption spectrometry; FAAS), เทคนิคกราฟไฟท์ เฟอร์เนส อะตอมมิก แอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตเมทรี (Graphite furnace atomic absorption spectrometry; GFAAS), อินดักทีฟลี คัพเพิลด์ พลาสมา อะตอมมิก อีมิสชัน สเปกโทรโฟโตเมทรี (Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry; ICP-AES), เทคนิคอินดักทีฟลี คัพเพิลด์ พลาสมา แมสส์ สเปกโตรเมทรี (Inductively coupled plasma mass spectrometry; ICP-MS) [7] เป็นต้น อย่างไรก็ตาม วิธีการเหล่านี้ยังจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือราคาแพงซึ่งต้องวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ไม่สามารถนำไปตรวจวัดภาคสนามได้ ใช้ผู้ชำนาญการในการวิเคราะห์ ใช้ตัวอย่างและรีเอเจนต์ปริมาณมากในการวิเคราะห์ ดังนั้นการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ใหม่ที่มีความเรียบง่าย มีความรวดเร็วต่อการวิเคราะห์ มีความจำเพาะเจาะจงสูง และประหยัดค่าใช้จ่าย จากปัญหาดังกล่าวจะเห็นว่ามีมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องพัฒนาวิธีในการตรวจวัด ที่มีความไวสูง ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น ใช้ปริมาณสารตัวอย่างในการวิเคราะห์น้อย

อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มสี (Colorimetric sensors) เป็นที่รู้จักกันดี และโดยทั่วไปมักใช้สำหรับการวิเคราะห์แบบไม่มีความซับซ้อนทางการใช้เครื่องมือ และเมื่อเร็วๆนี้ โลหะขนาดนาโนเมตรได้รับความสนใจอย่างมากในการนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มสี (Colorimetric sensors) เนื่องจากคุณสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นผิวเมื่อเทียบกับอัตราส่วนปริมาตร

ยกตัวอย่างเช่นใน อนุภาคทองในระดับนาโน (AuNPs) [8] หรือ อนุภาคเงินในระดับนาโน (AgNPs) [9] ซึ่งอนุภาคเงินในระดับนาโนเป็นที่น่าสนใจ เพราะมีคุณสมบัติเชิงแสง ซึ่งสามารถกระเจิงแสงแล้วให้สีได้ โดยลักษณะของสีจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ซึ่งการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนนี้ จะสามารถแสดงคุณสมบัติทางแสงที่แตกต่างกันได้ เช่น อนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีสีเหลืองจะมีขนาดของอนุภาคที่เล็กมากประมาณ 1-100 นาโนเมตร [10] เป็นต้น

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการสังเคราะห์และควบคุมคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ [11] ซึ่งวิธีการสังเคราะห์นั้นมียุทธวิธีหลายวิธี เช่น ไมโครอิมัลชัน, การสลายตัวทางความร้อน, การใช้แสงเลเซอร์, การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง [12] หรือ การใช้สารเคมี ซึ่งโดยวิธีทั่วไปนี้จะนิยมใช้สารเคมีในการสังเคราะห์ เช่น ไตรโซเดียมซิเตรต, โซเดียมโบโรไฮไดรด์, พอลิเอไมด์, พอลิเอมีน, เซลลูโลส, โซเดียม อัลจินต, โซเดียมโอดีเตดซิลซัลเฟต [13] เป็นต้น ซึ่งในบางครั้งวิธีเหล่านี้มีข้อเสียคือ มีราคาแพง และเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

ด้วยเหตุผลดังกล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาวิธีในการตรวจวัดปริมาณตะกั่ว จากการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ที่มีพอลิเมทาคริลิกแอซิดโซเดียมซอลล์ (PMA) เป็นสารรักษาเสถียรภาพ [14] และมีแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นแหล่งให้พลังงาน เพื่อให้มีสมบัติทางแสง และทางเคมีที่พิเศษขึ้น [12] เพื่อนำคุณสมบัติทางแสงและทางเคมีของอนุภาคเงินในระดับนาโนมาประยุกต์ใช้ทำเป็นตัวรับรู้ในการตรวจวัดตะกั่ว และในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแผ่นตรวจวัดตะกั่ว โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สารบนกระดาษ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่หาง่าย ราคาไม่แพง ไม่มีความยุ่งยากทางด้านกาวิเคราะห์ มีความแม่นยำ และมีความไวสูง [13,14]

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว ที่มีพอลิเมทาคริลิกแอซิดโซเดียมซอลล์ (PMA) เป็นสารรักษาเสถียรภาพ และมีแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นแหล่งให้พลังงาน
- 2) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว
- 3) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการตรวจวัดปริมาณตะกั่วโดยใช้สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน และเอทิลีนไดอามีนเตตราอะเซติก แอซิด (EDTA) เป็นตัวรับรู้
- 4) เพื่อสร้างแผ่นตรวจวัดของอนุภาคเงินในระดับนาโน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สารบนกระดาษ ไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ของสารละลายตะกั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของพอลิเมทาคริลิกแอซิดโซเดียมซอลล์ (PMA) ในขั้นตอนการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนโดยวิธีเคมีสีเขียว
- 2) ศึกษาความเข้มข้นของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่เหมาะสมเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการทำเป็นตัวรับรู้
- 3) ศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการตรวจวัดหาปริมาณตะกั่วโดยใช้สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายตะกั่ว
- 4) ศึกษาหาวิธีใหม่เพื่อใช้ตรวจวัดหาปริมาณสารตะกั่วที่มีความจำเพาะเจาะจงในการวิเคราะห์ซึ่งอาศัยวิธีการตรวจวัดสีของคุณสมบัติทางแสงของอนุภาคเงินในระดับนาโน

1.4 สมมติฐานของงานวิจัย

- 1) สามารถสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสภาวะเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ได้
- 2) วิธีการตรวจวัดปริมาณตะกั่วโดยใช้สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน และเอทิลีนไดอามีนเตตระอะเซติกแอซิด (EDTA) เป็นตัวรับรู้ สามารถตรวจวัดหาปริมาณตะกั่วได้อย่างจำเพาะเจาะจง
- 3) แผ่นตรวจวัดที่สร้างขึ้นโดยเทคนิคการวิเคราะห์สารบนกระดาษมีความจำเพาะเจาะจงสูง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ของสารละลายตะกั่วได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ก่อให้เกิดองค์ความรู้และความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีความหลากหลายของวิธีในการสังเคราะห์ และ ตัวรีดิวซ์ต่างๆ ที่ส่งผลต่อ คุณสมบัติทางด้านเคมีกายภาพ เช่น ขนาด รูปร่าง และโครงสร้าง
- 2) ก่อให้เกิดความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรต่างๆและสภาวะที่เหมาะสมในระหว่างการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว
- 3) ก่อให้เกิดการเรียนรู้ในการพัฒนาวิธีและเทคนิคในการวิเคราะห์หาปริมาณสารตะกั่วที่มีความจำเพาะสูง โดยการนำอนุภาคเงินระดับนาโนมาประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้
- 4) ก่อให้เกิดการเรียนรู้เทคนิคการวิเคราะห์สารบนกระดาษ และสามารถนำมาปรับประยุกต์ใช้ทำเป็นอุปกรณ์การตรวจวัดในงานวิจัยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี

2.1.1 ประวัติศาสตร์นาโน

วิทยาศาสตร์ระดับนาโน (Nanoscience) นั้นที่จริงแล้วไม่ใช่ความรู้ใหม่ที่เพิ่งจะมีการนำมาใช้ประโยชน์กับเทคโนโลยีการผลิตในช่วงตอนปลายศตวรรษที่ 20 แต่อย่างใด เพราะมนุษย์เคยมีการนำมาใช้แล้วในอดีตตั้งแต่สมัยยุคโรมันอันรุ่งเรือง หากแต่ในสมัยก่อนยังไม่มีความรู้หรือความเข้าใจอย่างถ่องแท้ในเรื่องเกี่ยวกับกระบวนการจัดการ และการสร้างหรือผลิตวัสดุต่างๆ ในระดับนาโน และไม่ทราบว่าสิ่งของที่ผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษสำหรับเป็นของใช้ของกษัตริย์หรือชนชั้นสูงนั้นล้วนแล้วแต่เป็นการใช้วิทยาศาสตร์ระดับนาโนในการสร้างหรือการผลิตมาแล้วทั้งนั้น หรือแม้แต่สิ่งของที่นำมาใช้ประดับตามโบสถ์หรือวิหารต่างๆ ก็มีวิทยาศาสตร์ระดับนาโนมาเกี่ยวข้อง

ด้วยความก้าวหน้าทั้งทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในปัจจุบัน ทำให้วิทยาศาสตร์ระดับนาโนพัฒนาขึ้นมาได้อย่างรวดเร็ว จากการศึกษาค้นคว้าของเหล่านักวิทยาศาสตร์ ทำให้มีการประดิษฐ์เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ระดับนาโนขึ้นมา ตัวอย่างเช่น การประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์แบบต่างๆ การสร้างไดโอด (Diode) การประดิษฐ์ กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning tunneling microscope; STM) และกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscope; AFM) เป็นต้น ทำให้การศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ระดับนาโนในปัจจุบัน สามารถทำได้โดยง่ายและมีความสะดวกมากยิ่งขึ้นซึ่งก็เป็นผลอันสืบเนื่องมาจากการพัฒนามาตั้งแต่ยุคอดีต [15]

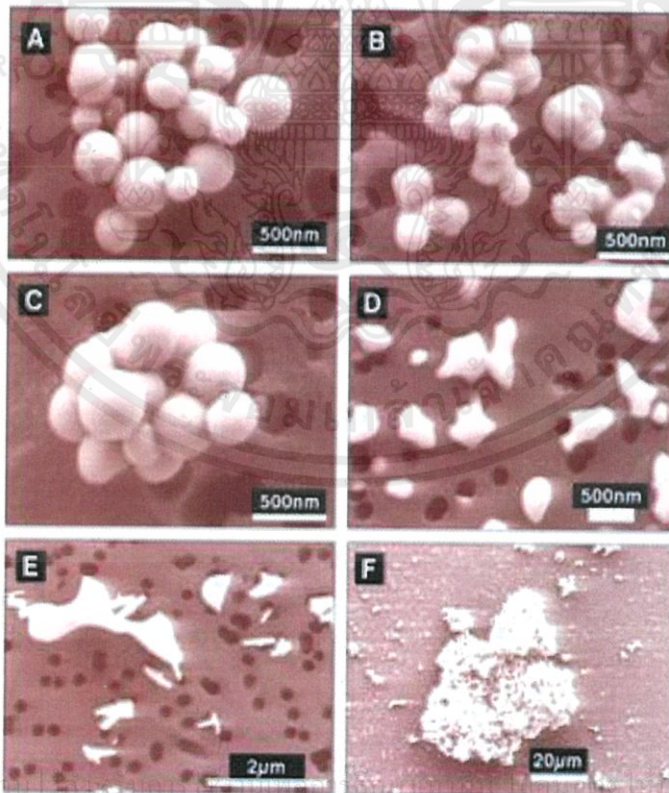
2.1.2. อนุภาคระดับนาโน (Nanoparticles)

อนุภาคนาโน (Nanoparticles) คือ อนุภาคนาโนที่ถูกจัดเป็นอนุภาคระดับกล้องจุลทรรศน์ซึ่งไม่สามารถมองเห็นอนุภาคนั้นได้โดยตรงด้วยตาเปล่า มีหลายสิ่งที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าแต่สิ่งเหล่านั้นก็ไม่ได้ถูกนำมารวมเป็นอนุภาคนาโนทั้งหมด เพราะอนุภาคนาโนนั้นจะต้องมีขนาดในระดับนาโนเมตรเท่านั้น (nm = นาโนเมตร) แต่ก็ใช่ว่าอะไรก็ตามที่มีหน่วยเป็นนาโนเมตรนั้นคืออนุภาคนาโนทั้งหมดอีกเช่นกัน

โดยทั่วไปอนุภาคนาโนถูกสร้างมาจากวัสดุกึ่งตัวนำโดยอาจนำมาติดด้วยควอนตัมดอท (Quantum dot) หรือที่รู้จักกันในอีกนามว่า เซมิคอนดักเตอร์ นาโนคริสตัล (Semiconductor nanocrystal) ซึ่งหมายถึงผลึกของแข็งของสารกึ่งตัวนำ ที่ประกอบไปด้วยขนาดของอะตอมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางราว 10-20 นาโนเมตร ประมาณ 10 ถึง 50 อะตอม รวมทั้งมีอิเล็กตรอนเป็น

องค์ประกอบตั้งแต่ 100 - 1000 อิเล็กตรอน อนุภาคนาโนนั้นมีความสัมพันธ์ระหว่างอะตอมกับพื้นที่ผิวของอนุภาคนาโนขนาดเล็ก โดยปริมาณของอะตอมที่พื้นที่ผิวมีนัยสำคัญกับขนาดของอนุภาคในระดับนาโน นอกจากนี้แล้วอนุภาคนาโนสามารถอยู่ในรูปของแขวนลอยได้เช่นกัน เนื่องจากแรงระหว่างพื้นที่ผิวของอนุภาคนาโนในตัวทำละลายมีมากเพียงพอที่จะทำให้อนุภาคนาโนนี้ลอยตัวอยู่ได้

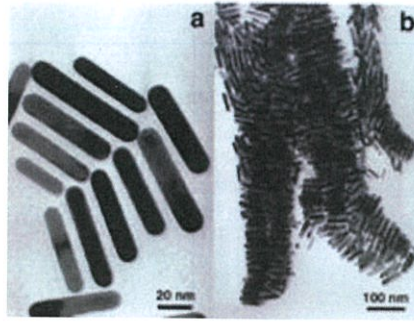
ซึ่งอนุภาคนาโนบางชนิดมีขนาดเล็กมากทำให้เกิดการสะท้อนของแสงที่เราสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น อนุภาคนาโนของทอง ซึ่งปรากฏให้เห็นเป็นสีแดงที่เรียกกันว่า รูบี้ (Ruby) หรือ เบอร์กันดี (Burgundy) อนุภาคนาโนยังคงเกี่ยวโยงไปถึง คลัสเตอร์ (Clusters) ซึ่งหมายถึงกลุ่มเล็กๆของอะตอมหรือโมเลกุลนั่นเอง คุณสมบัติเกี่ยวกับ สสารที่มีแรงดันอย่างสูงต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า (Dielectric) เช่น ฉนวนไฟฟ้า และความสามารถของการเป็นสารกึ่งตัวนำของอนุภาคนาโนนั้น สามารถถูกสร้างขึ้นเป็นโครงสร้างผสมขึ้นมานำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการนำไปใช้ให้ดียิ่งขึ้น เช่น นาโนเชล (Core-shell nanoparticles) ยิ่งไปกว่านั้นอนุภาคนาโนสามารถถูกออกแบบให้มีรูปร่างแตกต่างกันไป เช่น ทรงกลม (Nanospheres) รูปที่ 2.1 คืออนุภาคนาโนรูปร่างทรงกลมที่กำลังขยายแตกต่างกัน รูปที่ 2.2 นั้นคืออนุภาคนาโนแบบท่อน (Nanorods) นอกจากนี้แล้วยังมีรูปร่างอื่นๆอีกมากมายที่ดูแล้วเป็นถ้วยสวยงาม เช่น อนุภาคนาโนแบบถ้วย (Nanocups) ดังรูปที่ 2.3 [16]



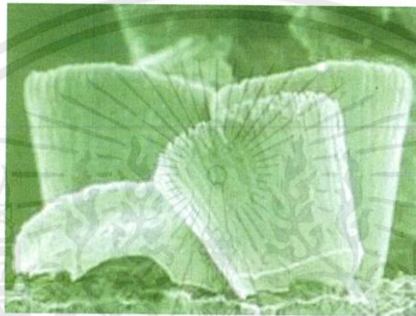
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 อนุภาคนาโนรูปร่างทรงกลมที่กำลังขยายแตกต่างกัน [16]



รูปที่ 2.2 อนุภาคนาโนแบบท่อน (Nanorods) [16]

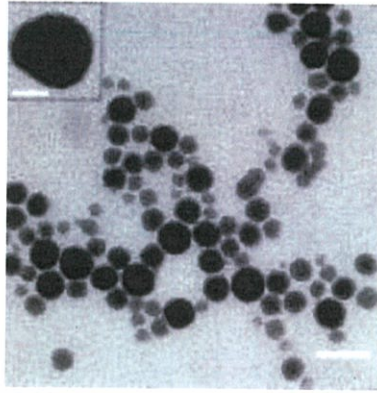


รูปที่ 2.3 อนุภาคนาโนแบบถ้วย (Nanocups) [16]

2.2 อนุภาคเงินในระดับนาโน (Silver nanoparticles)

อนุภาคเงินระดับนาโนนั้นมีขนาดอยู่ในช่วง 5-50 นาโนเมตร โดยส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นทรงกลม และบางส่วนที่มีลักษณะยืดยาวออกมา ดังรูปที่ 2.4 อนุภาคมักพบอยู่ในรูปที่เกาะกลุ่มกัน (Aggregate) และเนื่องด้วยอนุภาคมีขนาดเล็กทำให้มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (Surface-to-volume) สูงมากเช่น อนุภาคเงิน ที่มีขนาด 5 นาโนเมตร จะมีพื้นที่ผิวสูงถึง 150 ตารางเมตรต่อกรัม เมื่ออนุภาคเล็กลงจะทำให้พื้นที่ผิวสูงขึ้น ดังนั้นจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวหน้าได้ง่าย และยังเป็น การส่งเสริมให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ อันเนื่องมาจากอิทธิพลของเคมีผิวหน้าประโยชน์ที่ไดจากการเพิ่มปริมาณพื้นที่ผิวของอนุภาคนาโนที่เห็นได้อย่างชัดเจน คือการนำไปใช้ในการเร่งปฏิกิริยาเคมี และการใช้เป็นตัวกรองแบบพิเศษ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุเมื่อวัสดุมีปริมาณอะตอมผิวหน้ามากขึ้น อาจมีสาเหตุมาจากอิทธิพลอิเล็กทรอนิกส์และอิทธิพลสเตอริก (Electronic and steric effects) โดยที่อิทธิพลอิเล็กทรอนิกส์จะเกี่ยวข้องกับความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่บริเวณศูนย์กลางปฏิกิริยา (Reaction center) เช่นการเกิดประจุบวกหรือประจุลบขึ้น ส่วนอิทธิพล สเตอริกจะเกี่ยวข้องของกับลักษณะ รูปร่าง และความเกาะเกาะภายในโครงสร้าง [17,18]

ไม่ว่าการฉีดยาทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

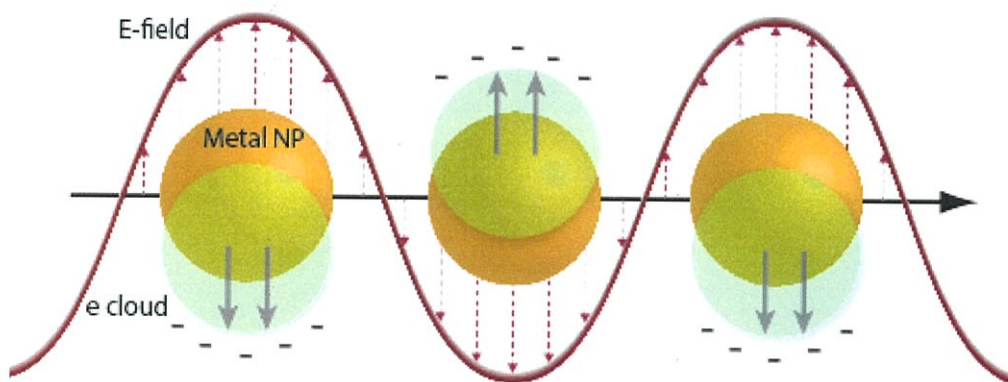


รูปที่ 2.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคเงินระดับนาโน ทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope; TEM) [19]

สำหรับสมบัติทางแสงซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของโลหะและโลหะออกไซด์โดยเฉพาะโลหะ เช่น เงิน ทองคำ เป็นต้น จะแสดงสมบัติทางแสงอย่างเด่นชัด อธิบายด้วยปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอน เรโซแนนซ์ (Surface plasmon resonance; SPR) ซึ่งเป็นคลื่นความหนาแน่นของประจุที่เกิดจากการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระ ที่มีลักษณะการสั่นพ้องเพี้ยนกัน เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยผิวต่อของโลหะกับสารไดอิเล็กทริกเช่น กระจกเงินกับสารละลาย โดยที่ขนาด ยอดคลื่น และความกว้าง ของสเปกตรัมพลาสมอนเรโซแนนซ์ของวัสดุต่างๆ จะขึ้นอยู่กับ ขนาดรูปร่าง ประเภทของวัสดุและสภาพแวดล้อมรอบๆวัสดุนั้น อนุภาคเงินในระดับนาโนจะมีสีเหลืองเข้ม แทนที่จะเป็นสีเงินวาวอย่างที่พบได้ทั่วไป โลหะชนิดอื่นที่นอกเหนือไปจากเงินก็สามารถแสดงปรากฏการณ์เชิงแสงในลักษณะเดียวกันนี้ได้เช่นกัน เช่น อนุภาคทองในระดับนาโน จะมีสีแดง แทนที่จะเป็นสีเหลืองวาวที่เราคุ้นเคย อย่างไรก็ตามโลหะสวขนาดใหญ่จะมีความถี่เรโซแนนซ์อยู่ในช่วงใกล้วงสียูวีซึ่งอยู่นอกสเปกตรัมของช่วงแสงที่มองเห็น นอกจากนี้อนุภาคนาโนของโลหะเกือบทุกชนิดไม่สามารถคงตัวอยู่ในรูปอนุภาคนาโนได้นานในสภาวะแวดล้อมตามปกติทำให้ไม่ค่อยพบปรากฏการณ์นี้ในโลหะชนิดอื่นๆ

เซอร์เฟซพลาสมอน เรโซแนนซ์ หรือสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนของโลหะ เช่น เงิน สามารถเกิดขึ้นเนื่องจากอันตรกิริยาของแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น แสง กับอิเล็กตรอนอิสระที่ผิวของอนุภาคนาโนของโลหะ ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การเกิดเซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ (Surface plasmon resonance; SPR) [20]

เนื่องจากมีคุณสมบัติที่โดดเด่นในเรื่อง เซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ (Surface plasmon resonance; SPR) คือ ปรากฏการณ์เชิงแสง ซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอิเล็กตรอนที่อยู่ใน โลหะระดับนาโน กล่าวคือเมื่อมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจาก ภายนอกมาตกกระทบ โลหะ กลุ่มอิเล็กตรอนที่ถูกจำกัด อยู่ในอนุภาคระดับนาโนจะเกิดการสั่นรวม (Collective oscillation) และเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกมีความ ยาวคลื่นเดียวกับกับความยาวคลื่นที่อิเล็กตรอนสั่นในอนุภาคนาโน จะทำให้เกิดการกักตุนขึ้น ซึ่งอันตรกิริยาที่แสงกระทำต่อโลหะจะเกิดได้สองแบบ คือ แสงจะตกกระทบและสะท้อนออกไปด้วยความยาวคลื่นเท่าเดิม ทุกทิศทางทาง เรียกว่าการกระเจิง (Scattering) และในขณะเดียวกันบางโฟตอนก็จะถูกดูดกลืนและถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานการสั่น ซึ่งเรียกว่าการดูดกลืนแสง (Absorption) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วโครงสร้างระดับนาโนของทองจะเกิดทั้งกระบวนการ กระเจิงแสงและการดูดกลืนแสงซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอนุภาคนาโน ยกตัวอย่างเช่น อนุภาคแบบทรงกลมของทอง เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 50 นาโนเมตร จะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโนเมตร ซึ่งจะให้สีแดงทับทิม [21,22]

2.3 วิธีสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน (Synthesis of silver nanoparticles)

การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนสามารถสังเคราะห์ได้หลายวิธีแต่ที่นิยมใช้กันได้แก่

2.3.1 การสังเคราะห์อนุภาคเงินด้วยกระบวนการทางเคมี (Chemical method)

ในการสังเคราะห์อนุภาคโลหะระดับนาโนนั้นได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถแสดงสมบัติทางแสง สมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ สมบัติทางแม่เหล็ก และสมบัติทางเคมีที่ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ อนุภาคโลหะระดับนาโนได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ โดยเฉพาะอนุภาคเงินระดับนาโนนั้นได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยสามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalysts) อุปกรณ์ที่มีความไวสูง ใช้เป็นตัวตรวจจับและนอกจากนี้ยังมีสมบัติในการต้านการกัดกร่อน [23] ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินด้วยกระบวนการการสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical method) โดยมีลักษณะเฉพาะ คือ อนุภาคที่สังเคราะห์ได้จะมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบกับการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางกายภาพ (Physical method) ข้อดีของการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางเคมีคือสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้ง่าย ราคาที่ขึ้นอยู่กับการผลิต ข้อเสียคือ ถ้าใช้สารเคมีที่มีความเป็นพิษจะทำให้เป็นอันตรายกับสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต ในกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีมีวัตถุดิบหลักที่สำคัญ 3 อย่าง คือ 1. สารตั้งต้นหรือเกลือของโลหะ 2. ตัวรีดิวซ์ 3. สารเพิ่มความเสถียร โดยที่สารตั้งต้นตัวรีดิวซ์และสารเพิ่มความเสถียรที่นิยมนำมาใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนนั้นจะแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 สารตั้งต้น ตัวรีดิวซ์ และสารเพิ่มความเสถียรที่นิยมใช้ ในกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน [24]

ซิลเวอร์ไอออนที่นำมาสังเคราะห์ (Ag^+)	ตัวรีดิวซ์	สารรักษาเสถียรภาพ
ซิลเวอร์อะซิเตท (Silver acetate)	โซเดียม ซิเตรท (Sodium citrate)	โพลีไวนิลไพร์โรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone; PVP)
ซิลเวอร์เตตระฟลูออโรโบเรต (Silver tetrafluoroborate)	แอสคอร์บิก แอซิด (Ascorbic acid)	โซเดียม ซิเตรท (Sodium citrate)
ซิลเวอร์ออกไซด์ (silver oxide)	ไดเมทิล ซัลฟอกไซด์ (Dimethyl sulfoxide: DMSO)	โพลีไวนิล อะซิเตท (Polyvinyl acetate)
ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate)	เอทิลีนไดอามีนเตตราอะเซติก แอซิด (EDTA)	โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate; SDS)
ซิลเวอร์ เพอร์คลอเรต (Silver perchlorate)	แอลดีไฮด์ (Aldehyde)	คอลลิก แอซิด (Cholic acid)
ซิลเวอร์ ซัลเฟต (Silver sulphate)	อะซิโตนไนไตรล์ (Acetonitrile)	เอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol)
ซิลเวอร์ ซิเตรท (Silver citrate)	โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydride)	ซันฟอนต์ (Sunfonte)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเนื้อหา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical method) จะเป็นวิธีที่ทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของเกลือโลหะโดยจะใช้ตัวรีดิวซ์ที่หลากหลาย เช่น borohydride, citrate, ethylene, glycol หรือ aldehyde มีดังนี้

2.3.1.1 ตัวรีดิวซ์

ตัวรีดิวซ์ สารที่ทำหน้าที่ถ่ายโอนอิเล็กตรอน (ตัวออกซิไดซ์) ให้แก่สารตัวอื่น ตัวรีดิวซ์จึงมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ยกตัวอย่างปฏิกิริยาดังสมการที่ (2.1)



ตัวรีดิวซ์ในปฏิกิริยานี้คือ ไฮดราซีน (N_2H_4) เป็นตัวให้อิเล็กตรอนทำให้เปลี่ยนเป็น ไนโตรเจน (N_2) ในขณะเดียวกันนั้น เกิดปฏิกิริยารีดักชันของซิลเวอร์ไอออนเป็นซิลเวอร์นาโน (Ag_0) [25]

ก. การรีดิวซ์ด้วยบอโรไฮไดรด์

เตตระไฮโดรโบเรตไอออน (BH_4^-) สารเหล่านี้มักจะถูกนำมาใช้เป็นตัวรีดิวซ์ในการสังเคราะห์อนุภาคโลหะระดับนาโนในตุ๊กกลางที่เป็นสารละลายบอโรไฮไดรด์จะรีดิวซ์ไอออนของโลหะโดยมีค่าศักย์ไฟฟ้าแบบรีดักชัน -1.24 โวลต์ ในสารละลายแอลคาไลน์ เมื่อเปรียบเทียบกับไอออนโลหะทรานซิชันที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าแบบรีดักชัน $0.5-1.0$ โวลต์ จะพบว่าปฏิกิริยาที่ถูกรีดิวซ์ด้วยสารบอโรไฮไดรด์ จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการนิวคลีเอชันของอนุภาคโลหะอย่างรวดเร็ว อนุภาคโลหะที่สังเคราะห์ได้จะมีขนาดเล็กและมีการกระจายตัวอย่างแคบ ในปฏิกิริยาทางเคมีจะเห็นได้ว่าการย้ายอิเล็กตรอนจากตัวรีดิวซ์ไปยังไอออนโลหะโดยผ่านองค์ประกอบของสารที่ซับซ้อนนั้นจะต้องลดพลังงานการย้ายอิเล็กตรอน ซึ่งยากที่จะทำการควบคุมปฏิกิริยาจึงทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่และนอกจากนั้นแล้วสารบอโรไฮไดรด์ ถึงแม้จะเป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงก็ตามแต่สารบอโรไฮไดรด์นั้นจะคงเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต ดังนั้นอนุภาคโลหะที่สังเคราะห์ได้จึงไม่ควรนำมาประยุกต์ใช้เกี่ยวกับการรักษาโรค หรือไม่เช่นนั้น ก็ควรทำให้อนุภาคโลหะที่สังเคราะห์ได้นั้นมีความบริสุทธิ์ก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้สารบอโรไฮไดรด์นั้นได้มีผู้ที่ศึกษาไว้อย่างมากเนื่องจากปฏิกิริยาเกิดได้เร็ว ยกตัวอย่างเช่น

การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนโดยวิธีรีดักชันทางเคมี เกิดการรีดักชันของซิลเวอร์ไนเตรตด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์โดยมีโซเดียมโอดีซิลซัลเฟตเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ ยกตัวอย่างปฏิกิริยาดังสมการที่ (2.2)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

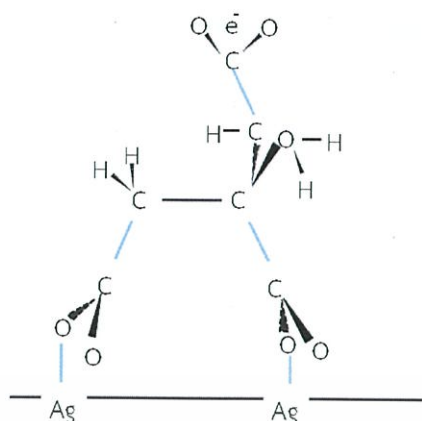
โดยขั้นตอนการสังเคราะห์ คือ ใสสารละลายซิลเวอร์ไนเตรดลงในสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์พร้อมกับตัวรักษาเสถียรภาพ ซึ่งไอออนของเงินจะถูกรีดิวซ์ด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ไปเป็นธาตุเงินโดยโซเดียมโบโรไฮไดรด์จะเกิดการไฮโดรไลซิสเป็นเตตระไฮโดรโบเรตไอออน (BH_4^-) แล้วทำการรีดิวซ์ซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) ไปเป็นซิลเวอร์นาโน (Ag^0) เกิดเป็นอนุภาคเงินในระดับนาโนและทำการศึกษขนาดอนุภาคเงินในระดับนาโนและการรวมตัวของอนุภาคเงินในระดับนาโน โดยดูจากสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของยูวี-วิสิเบิลและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนตามลำดับ [26]

โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงจึงนิยมนำมาใช้เป็นตัวรีดิวซ์ในกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน เนื่องจากโซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ที่ทำปฏิกิริยาได้ดีเยี่ยมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน แต่ข้อเสียของโซเดียมโบโรไฮไดรด์คือนอกจากจะเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตแล้ว มักจะเกิดการปนเปื้อนของเตตระไฮโดรโบเรตไอออนที่มีประจุลบกับพื้นผิวของอนุภาค แต่อย่างไรก็ตาม โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ก็ยังคงถูกใช้อย่างกว้างขวางในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน [27]

ข. การรีดิวซ์ด้วยซิเทรต

ไอออนของสารกลุ่มซิเทรตจะถูกนำมาใช้เป็นตัวรีดิวซ์ในการสังเคราะห์คอลลอยด์ของโลหะโดยวิธีการนี้ถูกคิดค้นจาก จอห์น เตอคีวิช ซึ่งจะถูกใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน ให้มีลักษณะเป็นทรงกลมและมีการกระจายตัวอย่างแคบ โดยกระบวนการนี้เรียกอีกอย่างว่า เตอคีวิช (Turkevich method) ในกระบวนการจะพบว่าไอออนของซิเทรตจะเป็นตัวรีดิวซ์ที่อ่อน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการนิวเคลิเอชันของอนุภาคเงินระดับนาโนอย่างช้า อนุภาคเงินที่ได้จากการรีดิวซ์ด้วยซิเทรตจะมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่และมีการกระจายตัวอย่างกว้างกว่าการรีดิวซ์ด้วยสารโบโรไฮไดรด์ไอออนของซิเทรตจะทำปฏิกิริยากับอนุภาคเงินระดับนาโนซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.6 จะแสดงถึงความเสถียรและในปฏิกิริยานี้ จะเกิดการขัดขวางหรือทำให้อนุภาคเกิดการรวมตัวหรือเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนอย่างช้าๆ ดังนั้น สามารถสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยตัวรีดิวซ์ซิเทรตที่ปราศจากสารเพิ่มเสถียร (Stabilizer) ได้เนื่องจากไอออนของซิเทรตสามารถประพุดตัวเป็นได้ทั้งตัวรีดิวซ์และสารเพิ่มเสถียร [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การเกาะระหว่างไอออนของซิเตรตกับพื้นผิวของอนุภาคเงิน [28]

วิธีการเตรียมแบบเตอร์คีวิช (Turkevich method) โดยอาศัยปฏิกิริยารีดักชันของ ไฮโดรเจนเตตระคลอโรอโรเรต (HAuCl_4) ด้วยซิเตรตในน้ำซึ่งในวิธีการนี้ซิเตรตจะทำหน้าที่สองแบบ คือเป็นตัวรีดิวซ์และเป็นตัวเคลือบทองไว้อนุภาคที่ได้จะมีขนาดประมาณ 15 นาโนเมตร และมีขนาดใกล้เคียงกัน ดังสมการที่ (2.3)



ซึ่งวิธีการสังเคราะห์แบบเตอร์คีวิชจะมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาด กล่าวคือจะสามารถสังเคราะห์อนุภาคได้ในช่วง 10-20 นาโนเมตร ถ้าต้องการอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะต้องเพิ่มปริมาณของซิเตรต ซึ่งจะทำให้อนุภาคเกิดการรวมตัวกันได้ [29]

ค. การรีดิวซ์ด้วยแอลดีไฮด์

ในสารกลุ่มนี้จะใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ หรือกรดแอสคอร์บิก เป็นตัวรีดิวซ์ไอออนของเงินหรือเรียกว่าปฏิกิริยาทอลเลนส์ (Tollen's reaction) ปฏิกิริยานี้นิยมใช้ในการสร้าง Silver mirror ลงบนตัวรองรับที่เป็นของแข็งแต่กระบวนการนี้นำมาดัดแปลงในการสังเคราะห์อนุภาคโลหะระดับนาโนและสามารถอธิบายการเกิดปฏิกิริยาทอลเลนส์คือการทดสอบนี้ให้ผลเฉพาะแอลดีไฮด์ ทั้งที่เป็นอะลิฟาติกและอะโรมาติกแอลดีไฮด์ ซึ่งจะถูกออกซิไดซ์ด้วย Tollen's reagent ให้เกลือคาร์บอกซิเลต ดังสมการที่ 2.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เมื่อ R คือ หมู่แอลคิลหรือหมู่แอริล
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้ไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคเงินที่สังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทอเลนส์จะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 50-200 นาโนเมตร และการรีดิวซ์ด้วยปฏิกิริยาทอเลนส์เหมาะสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินมากกว่าการเตรียมเป็นฟิล์มเงิน เนื่องจากอนุภาคที่เตรียมได้จะมีความเสถียรมาก [30]

2.3.2 การรีดิวซ์ด้วยกระบวนการโฟโตเคมีหรือโฟโตไลซิสและการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตในการสังเคราะห์

การสังเคราะห์อนุภาคในระดับนาโนด้วยกระบวนการโฟโตไลซิส เป็นกระบวนการแยกสลายสารประกอบ หรือเป็นการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีโดยใช้พลังงานแสง ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้น (Excited) แต่กระบวนการเหล่านี้จะมีข้อดีคือจะปราศจากสารมลทิน (Impurity) ดังนั้น เมื่อนำมาสังเคราะห์อนุภาคในระดับนาโนจึงมีความบริสุทธิ์ กระบวนการเหล่านี้มักจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นหลังจากที่ฉายแสงซึ่งในสารละลายจะเกิดปฏิกิริยาเช่น ดังสมการที่ 2.5



จากสมการ 2.5 เมื่อแสงอัลตราไวโอเล็ต (ความยาวคลื่นประมาณ 200-400 นาโนเมตร) และ วิสิเบิล (ความยาวคลื่นประมาณ 400-700 นาโนเมตร) ในรูปโฟตอน ($h\nu$) เมื่อเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของสารใดๆ โมเลกุลจะดูดกลืนพลังงานจากแสง แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนวงนอกของโมเลกุลจากสถานะพื้น ไปยังสถานะกระตุ้นหรือมีพลังงานสูง กระบวนการเกิดขึ้นนี้ เรียกว่า “อิเล็กทรอนิกส์ทรานสิชัน” (Electronic transition) [31]

เมื่อสารละลายโดนกระตุ้นจะทำให้เกิดอิเล็กตรอน และในสารละลายมีจึงทำให้ไอออนของโลหะไปเกาะกับอิเล็กตรอนที่ได้จากการแตกตัวของแสง จึงทำให้ได้อนุภาคโลหะเกิดขึ้น ดังสมการที่ 2.6



เมื่อ M^+ คือ ไอออนของโลหะ

e^- คือ อิเล็กตรอนของสารละลายเมื่อโดนกระตุ้น

ยกตัวอย่างงานวิจัย เช่น การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยการฉายแสงด้วยรังสียูวี ที่มีเมทอกซีโพลีเอทิลีนไกลคอลเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมอนุภาคเงินในระดับนาโน ที่มีซิลเวอร์ไนเตรตเป็นแหล่งกำเนิดอนุภาคเงิน และ ซิเมทอกซีโพลีเอทิลีนทำหน้าที่เป็นตัวรักษาเสถียรภาพของการเกิดอนุภาคเงินในระดับนาโน โดยขั้นตอนการสังเคราะห์จะทำการเติมสารละลายเมทอกซีโพลีเอทิลีนไกลคอลผสมกับสารละลายเตตระคลอโรออร์เทอ ทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำไปตั้งโต๊ะแห้งยูวี จากนั้นปฏิกิริยาจะเกิดขึ้น โดยที่สารละลายเริ่มเกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย จากไม่มีสีไปเป็นสีเหลือง หลังจากเกิดปฏิกิริยาประมาณ 10 นาที ซึ่งมีความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยได้ในช่วง 7-15 นาโนเมตร

เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปประมาณ 15 นาที สีของสารละลายจะเป็นสีแดงเหลือง มีความยาวคลื่นสูงขึ้นเป็น 420 นาโนเมตร หลังจากการฉายรังสี 25 นาที สเปกตรัมที่มองเห็นสุดท้ายจะคงที่ที่ นอกจากนี้ การฉายรังสีไม่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ ใดๆ มากนัก ซึ่งได้บ่งบอกว่าไอออนเงินนั้นถูกรีดิวซ์ทั้งหมด [32]

2.4 ตะกั่ว (Lead)

2.4.1 ข้อมูลทั่วไป

ตะกั่ว (อังกฤษ: Lead) เป็นธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 82 และสัญลักษณ์คือ Pb (ละติน; Plumbum) ตะกั่วเป็นธาตุโลหะ เนื้ออ่อนนุ่มสามารถยืดได้ เมื่อตัดใหม่ ๆ จะมีสีขาวอมน้ำเงิน แต่เมื่อถูกกับอากาศสีจะเปลี่ยนเป็นสีเทา ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มีพิษ ใช้ทำวัสดุก่อสร้าง แบตเตอรี่ กระจกเลนส์ปืน อิเล็กทรอนิกส์เครื่องใช้ไฟฟ้า หม้อน้ำรถยนต์ ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ แผงวงจรไฟฟ้า ลูกแห่ลูกอวน กระจกตะกั่ว ท่อน้ำ แผ่นตะกั่ว ตัวพิมพ์ กระจกเลนส์ สะพานไฟฟ้า ฉนวนกันรังสีอุตสาหกรรมสี สารเคลือบภาชนะ อุปกรณ์ตกแต่งบ้าน เครื่องประดับ บานพับประตู อุตสาหกรรมสี เซรามิก ยา เครื่องสำอาง และใช้ในอุตสาหกรรมถ่านไฟฉาย [33]

2.4.2 การปนเปื้อนของสารตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่มีมักจะนำไปใช้ในการผลิตสินค้าอุปโภคบริโภคหลากหลายชนิดที่มนุษย์ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น สีทาบ้าน สีป้องกันสนิม แบตเตอรี่รถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าบัดกรี ฯลฯ แต่เนื่องจากตะกั่วเป็นสารที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอย่างรุนแรงต่อมนุษย์ การสัมผัส การสูดดม การรับรส หรือการใช้สินค้าต่างๆ ที่มีตะกั่วเจือปนอยู่ทำให้มนุษย์ต้องเสี่ยงกับการได้รับตะกั่วเข้าสู่ร่างกายทางตรงและทางอ้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ตะกั่วจะไม่แสดงความเป็นพิษต่อมนุษย์ในทันทีทันใดมนุษย์จึงไม่รู้สึกรู้ว่าได้รับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายแล้ว แต่ตะกั่วจะสะสมอยู่ในร่างกายและจะแสดงความเป็นพิษออกมาเมื่อตะกั่วได้สะสมอยู่ในร่างกายจนถึงที่มีขนาดปริมาณมากแล้ว ซึ่งความเป็นพิษของตะกั่วจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์อย่างมากและรุนแรงตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ช่องทาง ได้แก่ ทางปาก ทางจมูก และทางผิวหนัง ดังนี้ [34]

- 1) ทางปาก โดยการรับประทานอาหาร เครื่องดื่มหรือยาที่มีตะกั่วปนเปื้อนอยู่การใช้เครื่องใช้หรือภาชนะต่างๆ ที่ปนเปื้อนตะกั่ว และรวมถึงการสัมผัสเครื่องมือที่ใช้มีตะกั่วปนเปื้อนและไม่ล้างมือก่อนรับประทานอาหาร

2) ทางจมูก โดยการหายใจเอาควัน ไอรระเหย ฝุ่นละออง ตะกั่วที่มีอยู่ในอากาศเข้าสู่ปอด

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2) ทางจมูก โดยการหายใจเอาควัน ไอรระเหย ฝุ่นละออง ตะกั่วที่มีอยู่ในอากาศเข้าสู่ปอด ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ทางผิวหนัง โดยการสัมผัสกับสินค้าอุปโภคบริโภคที่มีสารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว เจือปนเท่านั้น เช่น การล้างมือด้วยน้ำมันเบนซินหรือเมื่อน้ำมันเบนซินหกใส่ผิวหนัง จะทำให้ตะกั่วซึม ผ่านผิวหนังและเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดของร่างกาย

2.4.3 พิษของสารตะกั่ว

ตะกั่วส่วนมากที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นตะกั่วอินทรีย์ และเข้าสู่ร่างกายได้โดยช่องทางเดินอากาศหายใจ และทางเดินอาหาร ฝุ่นละอองสารตะกั่วไม่สามารถแทรกซึมผ่านผิวหนังได้ถ้าไม่มีแผลเปิดให้เข้า แต่สารตะกั่วในน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นตะกั่วอินทรีย์และซึมผ่านผิวหนังคนได้ การกลืนกินโดยตรงเป็นสาเหตุหลักของปัญหาสำหรับเด็กเล็ก สำหรับผู้ทำงานเกี่ยวกับการบัดกรีหรือเกี่ยวกับสีที่มีสารประกอบเป็นส่วนประสมจะรับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ แต่ฝุ่นละอองของตะกั่วก็สามารถเข้าสู่ร่างกายผ่านช่องทางเดินอาหารได้ถ้ามีตะกั่วติดอยู่บนมือและไม่ล้างทำความสะอาดก่อน จะอาจได้รับอันตรายจากตะกั่ว [35]

ตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ ความเป็นพิษเฉียบพลัน และความเป็นพิษเรื้อรัง ดังนี้ [36]

1) ความเป็นพิษเฉียบพลัน

ผู้ได้รับตะกั่วจะรู้สึกผดผื่น มีกลิ่นโลหะในปาก กระจายน้ำ คอแห้ง ปวดแสบหน้าท้อง คลื่นไส้ อาเจียน อาจมีลักษณะขาวขุ่นจากเลือดออกไรต์ ผู้ได้รับตะกั่วส่วนมากจะมีอาการท้องร่วง และสวนนอยทองผุ อูจาระมีเลือดหรือมีสีดำอันเนื่องมาจากเลือดซัลไฟด์ ผู้ได้รับตะกั่วบางรายอาจเกิดอาการช็อค กล้ามเนื้อกระตุก อ่อนเพลีย เป็นตะคริว โดยเฉพาะที่ขาทั้งสองข้าง หรือมีอาการของระบบประสาทส่วนกลาง เช่น ปวดศีรษะ นอนไม่หลับ หรืออาจมีอาการผิดปกติที่ไรสาเหตุ เช่น รู้สึกซิงเคร้า ถึงขั้นโคม่าและเสียชีวิตในที่สุด อาการที่รองลงไป ได้แก่ ภาวะไตเสื่อม ทำให้ปัสสาวะนอยลงกว่าปกติมีอัลบูมิน และมีเมือกในปัสสาวะ เจ็บไต นอกจากนี้จะมีการสลายตัวของเม็ดเลือดแดง อาจทำให้เสียชีวิตได้ภายใน 2-3 วัน

2) ความเป็นพิษเรื้อรัง

ผู้ได้รับตะกั่วอาจมีอาการทางระบบทางเดินอาหารและทางระบบประสาทอาการทางระบบทางเดินอาหาร เช่น เบื่ออาหาร เหนื่อยอ่อนในลำคอ ท้องผูกเป็นตะคริวที่หน้าท้อง อาการทางระบบประสาท เช่น ข้อมือตกรุน เหนื่อยอ่อน ไม่มีแรง แต่ยังคงมีความรู้สึกอาการทางสมองหรือเยื่อหุ้มสมองอักเสบ อาการนี้พบน้อยในผู้ใหญ่ส่วนมากมักเกิดขึ้นกับเด็ก จากสถิติผู้ป่วยที่มีอาการทางสมอง บางรายเสียชีวิต ประมาณร้อยละ 25 ของผู้รอดชีวิตอาจมีอาการทางประสาทอย่างถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของตะกั่วต่อมนุษย์ผลกระทบของตะกั่วที่มีต่อผู้ใหญ่และเด็กมีดังนี้
ผลกระทบที่มีต่อผู้ใหญ่

1. อาการทางระบบทางเดินอาหารที่พบบ่อย ได้แก่ เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก บางรายท้องเสียและปวดท้องอย่างรุนแรง เรียกว่า โคลิก
2. อาการทางระบบประสาทที่พบบ่อย ได้แก่ กล้ามเนื้อแขนขาไม่มีแรง ปวดตามกล้ามเนื้อและข้อต่อต่างๆ กล้ามเนื้อเป็นอัมพาต
3. อาการทางโลหิตที่พบบ่อย ได้แก่ เลือดจางซีดขาว อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ มึนงง ตัวและตาเหลือง

ผลกระทบที่มีต่อเด็ก

1. ระบบประสาท ตะกั่วจะทำลายระบบประสาทส่วนกลางและส่วนปลายซึ่งเด็กอายุยิ่งน้อยเท่าไรระบบประสาทจะถูกทำลายมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้น จึงเป็นอันตรายต่อเด็กเล็กเป็นอย่างยิ่ง
2. ระบบประสาท ทำลายไตและทำให้ที่กรองประสาทฝ่อลีบ
3. ระบบเลือด ทำให้เม็ดเลือดแดงแตกง่ายและทกให้ไปขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบินและโลหิตจาง
4. ระบบทางเดินอาหาร ทำให้ปวดท้องและเกร็งกล้ามเนื้อท้อง

2.4.4 ค่าปกติของสารตะกั่วในสิ่งแวดล้อม

- ค่าสารตะกั่วในน้ำดื่มไม่ควรเกิน 15 ไมโครกรัมต่อลิตร (Parts per billion; ppb)
- ค่าสารตะกั่วในดินไม่ควรเกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Parts per million; ppm)
- ค่าสารตะกั่วในอากาศไม่เกิน 1.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Micrograms per cubic meter) [37]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การวิเคราะห์สารบนกระดาษ (Lab-on-paper)

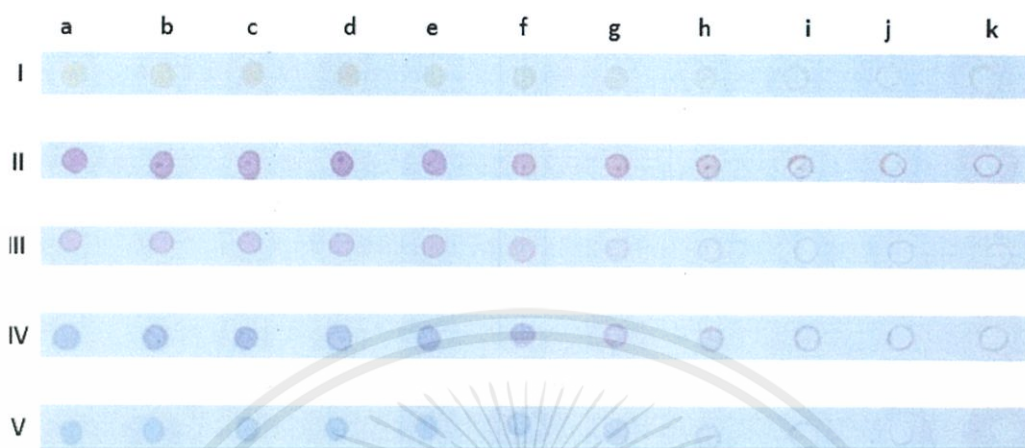
กระดาษผลิตจากเยื่อ เช่น เยื่อของต้นไม้ เพื่อลดการตัดต้นไม้ เราต้องใช้กระดาษให้เกิดประโยชน์คุ้มค่าที่สุด กระดาษเป็นวัสดุซึ่งย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ หาซื้อได้ทั่วไปและราคาถูก กระดาษถูกนำมาใช้ในชีวิตประจำวันได้หลายรูปแบบ เช่น การเขียน การวาดภาพ การพิมพ์และการบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น นอกจากนั้นแล้วกระดาษก็ยังถูกนำมาใช้งานเกี่ยวกับการวิเคราะห์สาร ซึ่งเทคโนโลยีใหม่ล่าสุดนี้ถูกเรียกว่า ห้องปฏิบัติการบนกระดาษ (Lab on a paper) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีความเป็นไปได้ในการใช้งานในลักษณะดังกล่าว เพราะน้ำหนักเบา ทนทาน สามารถกำจัดได้ง่าย และที่สำคัญ คือ มีราคาต้นทุนที่ถูก ซึ่งห้องปฏิบัติการบนกระดาษนี้ เป็นการย่อหน้าที่ของห้องปฏิบัติการที่วิเคราะห์สารซับซ้อนลงบนกระดาษแผ่นเล็กๆ แผ่นเดียว

โดยมีหลักการทำงาน คือ อาศัยแรงดึงแบบแคปิลลารี ในโพรงรูพรุนที่อยู่ในเยื่อกระดาษ ทำให้ของเหลวสามารถไหลไปตามกระดาษ โดยที่บนกระดาษอาจมีการ เตรียมสภาพผิวให้ชอบและบางบริเวณไม่ชอบน้ำ ทำให้เกิดเป็นช่อง ทางให้ของเหลว ซึ่งอาจจะเป็นสิ่งที่ต้องการตรวจวัด เช่น สารละลายเคมีต่างๆ สามารถไหลไปตามช่องขนาดเล็ก และไปทำปฏิกิริยากันบนกระดาษ โดยไม่ต้องอาศัยปั๊มจากภายนอก ในการตรวจวัดอาจอาศัยการสังเกตจากสีที่เปลี่ยนไป หรือเปลี่ยนจาก ไม่มีสี เป็นมีสีปรากฏ นอกจากการตรวจด้วยตาเปล่าแล้ว ยังสามารถใช้กล้องถ่ายภาพจากโทรศัพท์มือถือ ราคากถูกทั่วไป เพื่อบันทึกผลการตรวจวัดได้ [38]

ซึ่งจากงานวิจัยต่างๆ พบว่าการนำชุดทดสอบมาใช้ นั้น ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) แต่ก็มีบางงานวิจัยที่นำชุดทดสอบมาใช้วิเคราะห์ในเชิงปริมาณ (Quantitative analysis) ยกตัวอย่างเช่น

ในปี ค.ศ. 2014 แอลเจน จีวีกา และคณะได้ทำการศึกษาตัวตรวจวัดไอออนโลหะหนัก โดยเฉพาะไอออนคอปเปอร์ โดยใช้วิธีการวัดความเข้มข้น สำหรับการวิเคราะห์นั้นจะใช้อนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีหมู่ฟังก์ชันของเจลาตินเกาะอยู่ ซึ่งอนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีหมู่ฟังก์ชันเจลาตินจะถูกเตรียมด้วยวิธีกระบวนการปฏิกิริยาเคมีของสารซิลเวอร์ไนเตรต อนุภาคเงินในระดับนาโนที่ใส่หมู่ฟังก์ชันของเจลาติน จะแสดงเปลี่ยนสี (สีเหลืองถึงสีเขียว) เมื่อทำปฏิกิริยากับ คอปเปอร์(II)ไอออน ในช่วง 1×10^{-8} - 1×10^{-4} โมลาร์ ด้วยขีดจำกัดการตรวจวัดที่ต่ำกว่า 1×10^{-7} โมลาร์ ความจำเพาะเจาะจงต่อการตอบสนองของอนุภาคเงินในระดับนาโน จะใช้ในการประเมินความหลากหลายของไอออนโลหะที่ และจากการค้นพบที่ผ่านมา นั้นมีการนำเสนอวิธีที่มีความจำเพาะเจาะจงสูง สำหรับตรวจวัด คอปเปอร์(II)ไอออน และหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ของเจลาติน เช่นเดียวกันการศึกษาที่ผ่านการใช้อนุภาคเงินระดับนาโนที่เพิ่มจำนวนเจลาตินที่ใช้ในการตรวจวัดคอปเปอร์(II)ไอออน มีความสมบูรณ์มากขึ้น การสร้างรูปแบบใหม่ของอนุภาคเงินระดับนาโนและไฮโดรเจลจะถูกทำให้สมบูรณ์ด้วยการใช้เอทิลีนไดเอมีนเตรอะซีติกแอซิดเข้ามาช่วยการตอบสนองของการตรวจวัดของตัวอย่างจริงโดยการนำน้ำเสียมาประเมินและหาความจำเพาะเจาะจง จากนั้นนำมาลองทดสอบเทียบด้วยเทคนิคอะตอมมิคแอบซอร์ปชัน (Atomic absorption spectroscopy: AAS) จะทำให้ได้ความรู้ความเข้าใจในระบบ

การนำเสนอที่เป็นวิธีใหม่และแสดงผลที่มีความน่าเชื่อถือสำหรับการตรวจตัวอย่างใช้เงินลงทุนต่ำ และราคาถูก บางที่นำมาใช้ในการประยุกต์ฝ้าตรวจแนววินิจฉัยมลพิษ [39]



รูปที่ 2.7 รูปการวิเคราะห์สารบนกระดาษ [39]

จุดเด่นจุดด้อยของการวิเคราะห์สารบนกระดาษ

จุดเด่น

- 1) ใช้ได้ง่าย โดยผู้ใช้ไม่ต้องมีความเชี่ยวชาญด้านนั้นๆโดยตรง กระบวนการทดสอบ จึงต้องไม่สลับซับซ้อนเกินไป
- 2) สามารถนำไปใช้ในสภาวะของภาคสนามที่เกี่ยวข้อง กระบวนการทดสอบจึงไม่ยุ่งยาก อาจต้องสามารถใช้งานในสภาวะที่ต่างจากห้องปฏิบัติการ ไม่มีโต๊ะ ไม่มีไฟฟ้า ไม่มีน้ำ เป็นต้น
- 3) ใช้เวลาทดสอบน้อย เพราะเป็นการใช้ภาคสนาม ซึ่งไม่สามารถรอผลการทดสอบที่ใช้เวลานานได้
- 4) น้ำยาและสารเคมีที่ใช้ จะต้องมีความเสถียร เพื่อให้สามารถเก็บไว้ใช้เป็นเวลานาน
- 5) ราคาถูก เพราะการทดสอบภาคสนามมักจำเป็นต้องทำการทดสอบตัวอย่างจำนวนมาก
- 6) มีความไวและความเข้มข้นที่วัดได้เป็นไปตามที่ต้องการ
- 7) มีความถูกต้องแม่นยำในเชิงคุณภาพวิเคราะห์

จุดด้อย

- 1) ความถูกต้องแม่นยำน้อยกว่าวิธีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
- 2) ความไวต่ำกว่าวิธีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
- 3) มีข้อจำกัดด้านตัวอย่างที่ทดสอบได้ เช่น ใช้ได้เฉพาะตัวอย่างที่ไม่สลับซับซ้อน

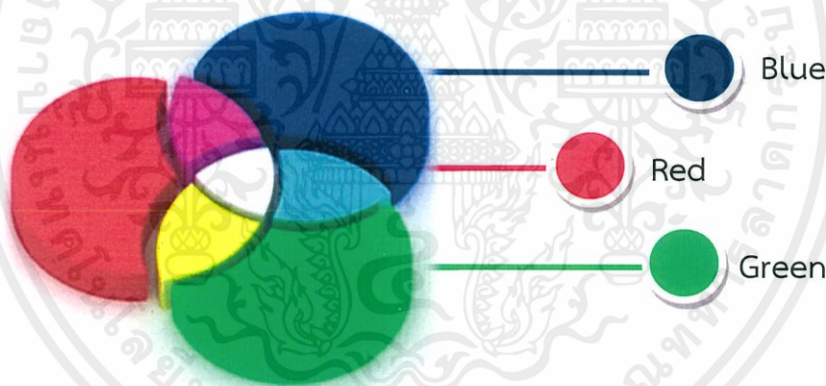
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ระบบสี (Color System)

สี คำนิยามโดยปกติแล้วจะหมายถึงแม่สีทั้ง 3 สี แต่อย่างไรก็ตามการใช้สีกับงานกราฟิกหรือในงานสำหรับคอมพิวเตอร์จะมีรายละเอียดหลายประการ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของระบบสีซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการแสดงผลของแสงที่แสดงบนจอคอมพิวเตอร์ โดยมีลักษณะการแสดงผลคือ ถ้าไม่มีการแสดงสีใดเลยบนจอภาพจะแสดงเป็น “สีดำ” หากทุกสีแสดงผลพร้อมกัน จะเห็นสีบนจอภาพเป็น “สีขาว” ส่วนสีอื่น ๆ เกิดจากการแสดงสีหลายๆ สี แต่มีค่าแตกต่างกัน สีที่ใช้ในงานด้านกราฟิกทั่วไป มีด้วยกันหลายระบบ แต่ระบบที่นิยมใช้ได้ด้วยกัน 2 ระบบ

2.6.1 RGB (Red-Green-Blue)

เป็นระบบสีที่ประกอบด้วยแม่สี 3 สี คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) เมื่อนำสีมาผสมผสานกัน ซึ่งสีหนึ่ง ๆ จะมีค่าสีเท่ากับ 256 ระดับ (ตั้งแต่ 0-255) ทำให้เกิดสีต่างๆบนจอคอมพิวเตอร์มากถึง 16.7 ล้านสี (256x256x256) ซึ่งใกล้เคียงกับสีที่ตาคนมองเห็นได้ อย่างเป็นปกติ สีที่ได้จากการผสมสีขึ้นอยู่กับความเข้มของสี โดยถ้าสีมีความเข้มมาก เมื่อนำมาผสมกัน จะทำให้เกิดเป็นสีขาว จึงเรียกระบบสีนี้ว่า “การผสมสีแบบบวก” (Additive) ซึ่งแผนภาพสีแบบ RGB แสดงดังรูปที่ 2.9

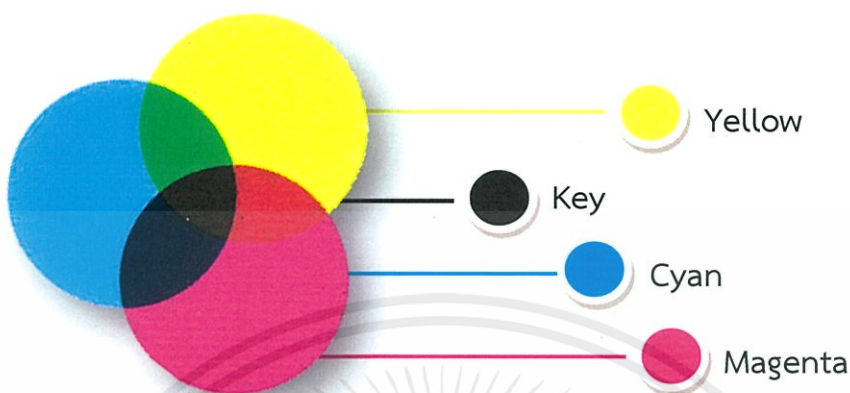


รูปที่ 2.8 แสดงแผนภาพสีแบบ RGB

2.6.2 CMYK (Cyan-Magenta-Yellow-Key)

เป็นระบบสีที่ใช้กับระบบเครื่องพิมพ์ที่พิมพ์ออกทางกระดาษหรือวัสดุผิวเรียบอื่น ๆ ซึ่งประกอบด้วยสีหลัก 4 สี คือ สีฟ้า (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) สีเหลือง (Yellow) และสีดำ (Black หรือ Key) เมื่อนำมาผสมกันจะเกิดสีเป็นสีดำ แต่จะไม่ดำสนิท เนื่องจากหมึกพิมพ์นั้นมีความไม่บริสุทธิ์จึงเป็น การผสมสีแบบลบ (Subtractive) หลักการเกิดสีของระบบนี้คือ หมึกสีหนึ่งจะดูดกลืนแสงจากสีหนึ่งแล้วสะท้อนกลับออกมาเป็นสีต่างๆ เช่น สีฟ้าดูดกลืนแสงของสีม่วงแล้วสะท้อนออกมา

เป็นสีน้ำเงิน ซึ่งจะสังเกตได้ว่าสีที่สะท้อนออกมาจะเป็นสีหลักของระบบ RGB การเกิดสีในระบบนี้จึงตรงข้ามกับการเกิดสีในระบบ RGB แผนภาพสีแบบ CMYK แสดงดังรูป 2.10



รูปที่ 2.9 แสดงแผนภาพสีแบบ CMYK

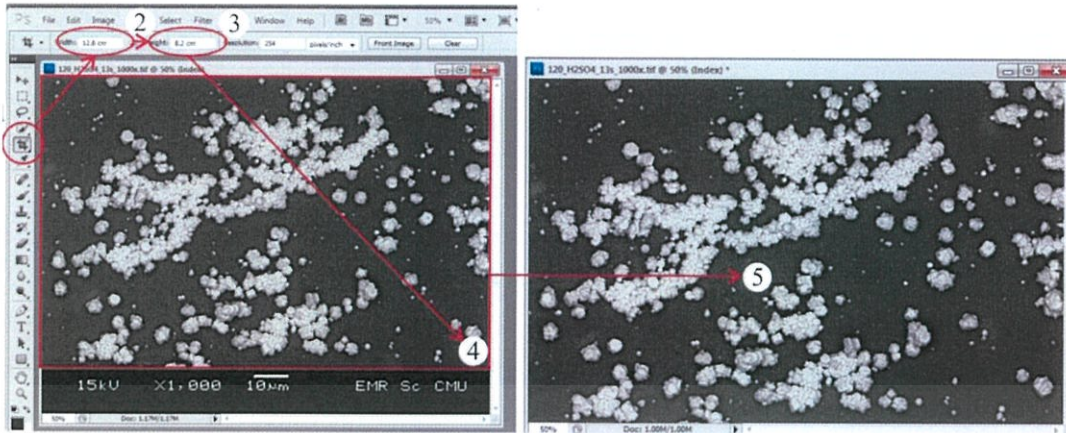
2.7 โปรแกรมอิมเมจเจ (Image J™)

อิมเมจเจ (Image J™) เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ภาพดิจิทัลซึ่งเขียนโดย Wayne Rasband จากสถาบัน National Institutes of Health สหรัฐอเมริกา ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้เขียนคือ ภาษาจาวา (Java) ผู้เขียนโปรแกรมได้เปิดให้ผู้ใช้สามารถพัฒนาโปรแกรมให้เหมาะสมงานได้โดยการ เขียนโปรแกรมเสริม (plug in) ด้วยภาษาจาวาเพื่อใช้งานร่วมกับโปรแกรมอิมเมจเจ

ยกตัวอย่างงานวิจัยใช้งานร่วมกับโปรแกรมอิมเมจเจ สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมอิมเมจเจ เวอร์ชัน Java 1.6.0_12 ในการวิเคราะห์หาสัดส่วนโดยพื้นที่ของผลึกสังกะสีจำนวนผลึก และขนาดของผลึก บนแผ่นโลหะผสมอะลูมิเนียม แคโทดจากภาพจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดโดยมีขั้นตอนการใช้โปรแกรมดังนี้ [40]

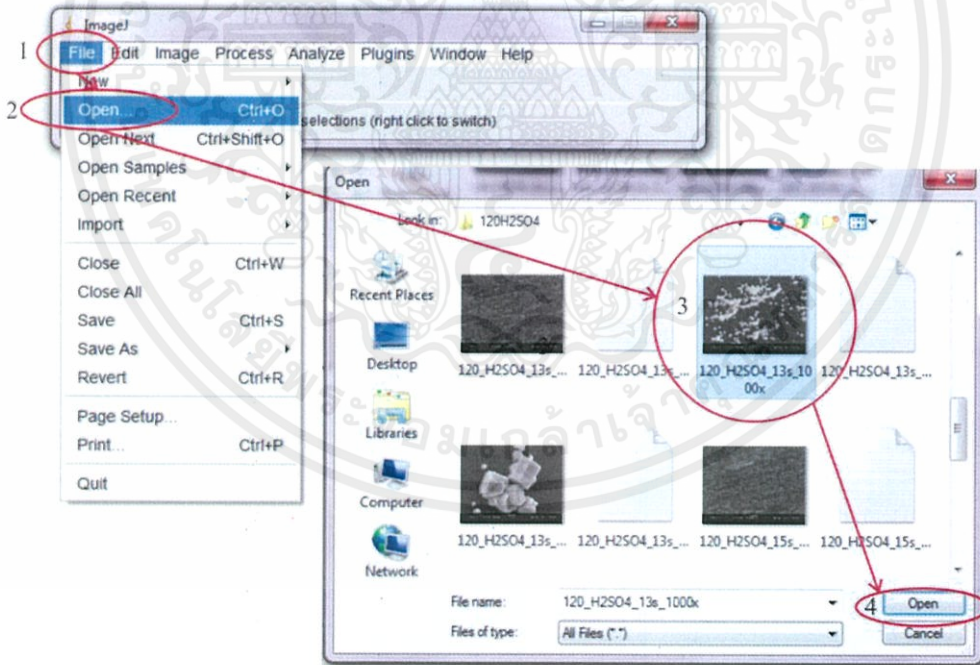
- 1) การปรับขนาดภาพจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดให้เหมาะสมกับการใช้งานโปรแกรมอิมเมจ เจ โดยใช้โปรแกรม Photoshop ขนาดรูปเป็น 12.8 x 8.2 cm (ใส่ตัวเลขในตำแหน่ง 2 และ 3 ตามรูป 2.10) โดยตัดส่วนที่เป็นข้อความบรรยายภาพออกตามกรอบสีแสดงดังรูป 2.10 เมื่อได้ภาพตามขนาดที่ต้องการแล้วให้บันทึกเป็น (save as...) โดยการเปลี่ยนชื่อไฟล์เพื่อเก็บรักษาไฟล์ต้นฉบับไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.10 การเตรียมขนาดภาพจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดด้วยโปรแกรม photoshop

- 2) เปิดโปรแกรมอิมเมจ เจ
- 3) ทำการเปลี่ยนหน่วยในโปรแกรมจาก นิ้ว เป็น ไมโครเมตร โดยทำตามขั้นตอนดังนี้
 - ก. เปิดไฟล์ภาพที่ต้องการวิเคราะห์ตามลำดับ 1-4 ตามรูป 2.11 ไฟล์ภาพต้องมีกำลังขยายและขนาดเท่ากับภาพที่ต้องการวิเคราะห์



รูป 2.11 ลำดับการเปิดไฟล์ภาพที่ต้องการวิเคราะห์

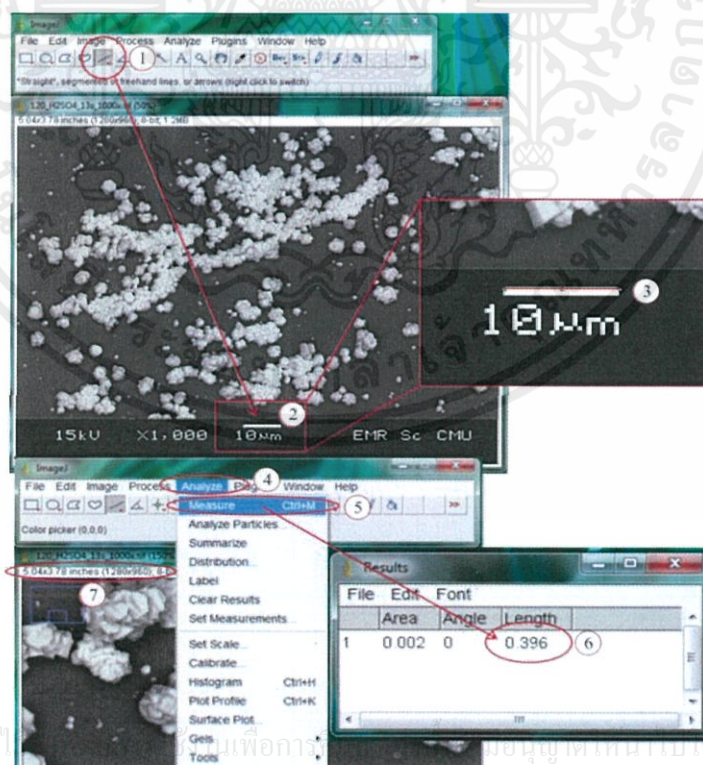
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. วัดขนาดของสเกลแล้วเทียบกับจำนวนพิกเซล โดยใช้คำสั่ง measure มีลำดับการทำตามรูป 2.12 โดย

1. คลิกที่คำสั่ง strength เพื่อสร้างเส้นตรง
2. ขยายบริเวณสเกลในภาพขึ้นเพื่อให้เห็นชัด
3. ลากเส้นตรงด้วยคำสั่ง strength ให้มีขนาดเท่ากับสเกลพอดี
4. คลิกที่เมนู Analyze
5. คลิกคำสั่ง Measure
6. ผลการวัดจะแสดงในหน้าต่าง Result มีค่าความยาวของเส้นตรงที่เท่ากับสเกลในตัวอย่างคือ 0.396 inch แต่หน่วยที่ต้องการใช้คือ ไมโครเมตร
7. บริเวณนี้แสดงขนาดภาพมีหน่วยเป็น inch และ pixel ในวงเล็บจากนั้นทำการเทียบเปลี่ยนหน่วย คือ

หน่วยที่ทราบ(บริเวณ 7)	5.04	inch	มีจำนวน pixel	1280	pixels
ถ้าความยาว	0.396	inch	มีจำนวน pixel	1280×0.396	pixels
				5.04	
				≈ 100	pixels

ความยาวที่วัดได้ 0.396 inch เท่ากับ 10 ไมโครเมตร ในภาพ เท่ากับ 100 pixel

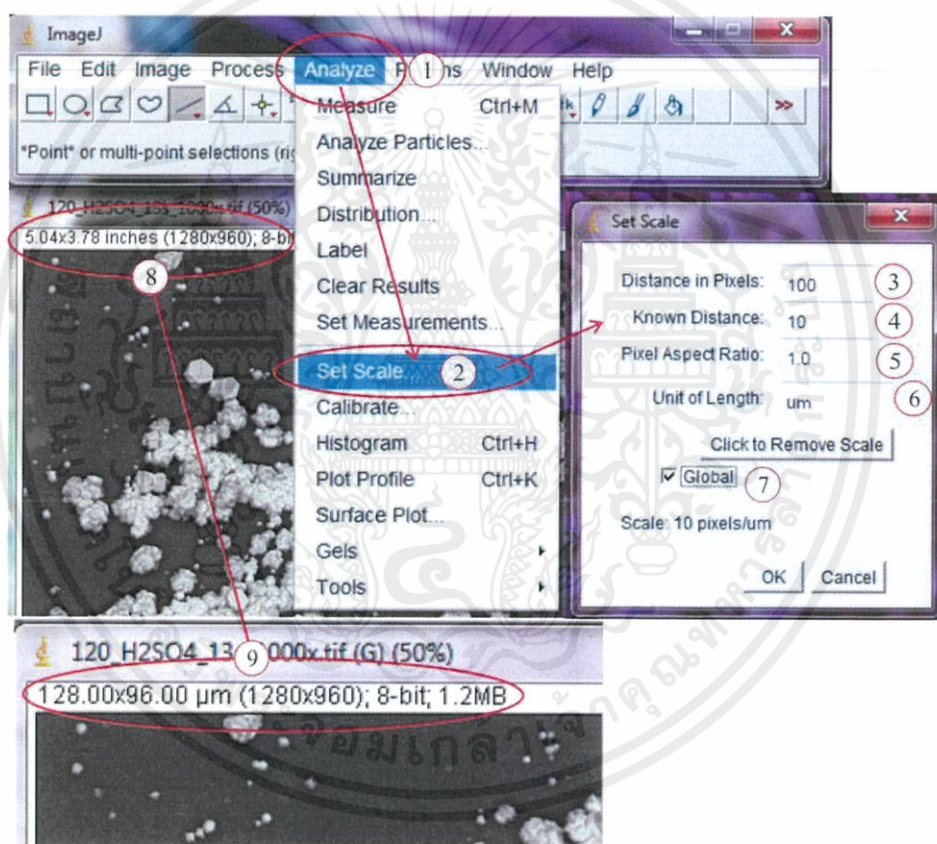


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 การวัดสเกลจริงในภาพ

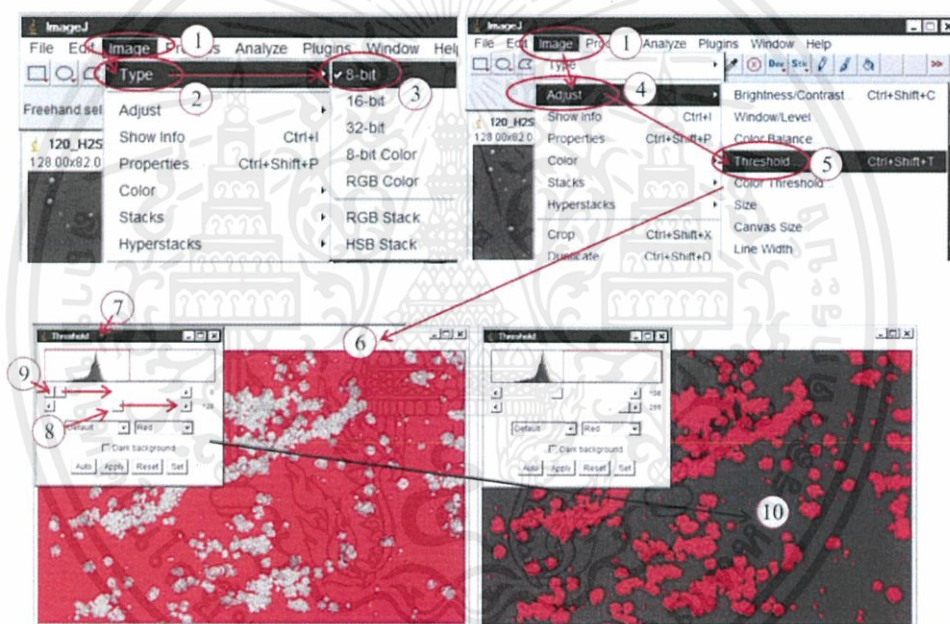
ค. ทำการเปลี่ยนหน่วยของรูปและโปรแกรมให้ตรงกัน โดยคลิกที่เมนู Analyze (1) → set scale (2) จากนั้นจะมีหน้าต่าง set scale ขึ้นมา ให้ใส่ค่าที่เราต้องการเปลี่ยนคือ ระยะ 픽เซลเป็น 100 (3), ระยะที่ทราบเป็น 10 (4), สัดส่วนของ픽เซลเป็น 1.0 (5), หน่วยเป็น ไมโครเมตร (6) (พิมพ์ “um”) และใส่เครื่องหมายถูกหน้า Global หมายถึง ให้ใช้สเกลนี้เมื่อเปิดไฟล์ใหม่ ทำให้ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนหน่วยทุกครั้งเมื่อเปิดไฟล์ภาพที่มีขนาดเท่ากัน จากนั้นคลิก OK จากนั้นสังเกตบริเวณบนซ้ายของหน้าต่างภาพ หน่วยของภาพจะเปลี่ยนจาก inch (8) เป็นไมโครเมตร (9) ดังในรูป 2.13 จากนั้นปิดหน้าต่างรูปนี้เพื่อการวิเคราะห์ภาพที่เตรียมไว้ต่อไป



รูปที่ 2.13 การเปลี่ยนหน่วยของภาพในคำสั่ง set scale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) การหาสัดส่วนโดยพื้นที่ของผลึกสังกะสี ขนาดผลึก และจำนวนผลึก จากภาพที่ผ่านการเตรียมขนาดด้วยโปรแกรม Photoshop มีขั้นตอนดังนี้
- ก. เปิดไฟล์ภาพที่ต้องการวิเคราะห์ ตามวิธีการ (3. ก.)
- ข. เปลี่ยนรูปแบบของภาพให้เป็นแบบ 8 bit โดยใช้คำสั่ง Image (1) → Type (2) → 8 bit (3)
- ค. เลือกบริเวณที่ต้องการวิเคราะห์ด้วยคำสั่ง Image (1) → Adjust (4) → Threshold..(5) ภาพจะเปลี่ยนสีดังรูป ก.5 บริเวณ (6) และปรากฏหน้าต่าง Threshold (7) จากนั้นให้เลื่อนบาร์ตำแหน่งล่าง (8) ไปทางขวาสุด ตัวเลขเป็น 255 และปรับบาร์ด้านบน (9) โดยสังเกตให้สีแดงครอบคลุมบริเวณผลึกสังกะสี ทั้งหมด ดังตัวอย่างบริเวณ (10) รูป 2.14

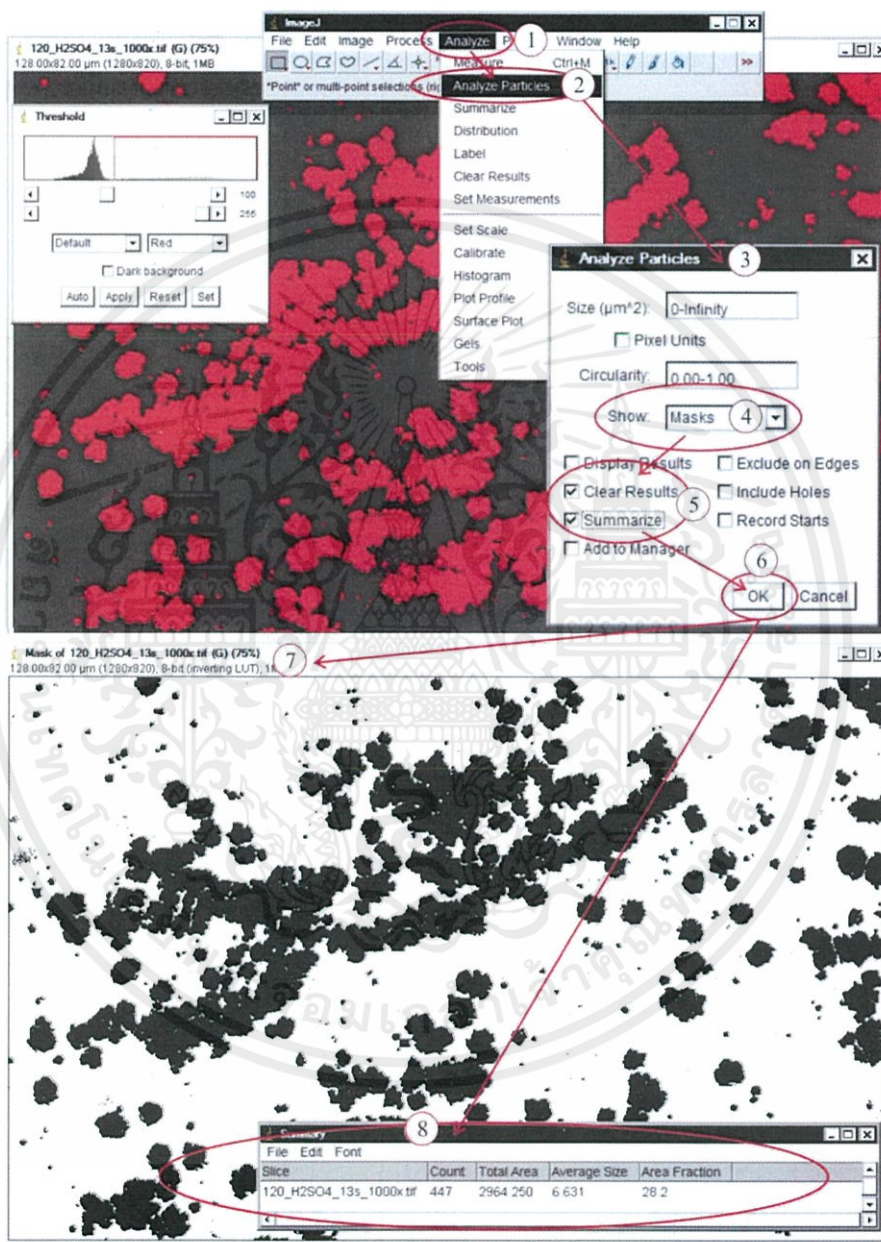


รูปที่ 2.14 การเลือกบริเวณผลึกสังกะสีเพื่อการวิเคราะห์

- ง. หาสัดส่วนโดยพื้นที่ของผลึกสังกะสีที่เลือกไว้จากข้อ ค. จากรูป 1.16 โดยใช้คำสั่ง Analyze (1) → Analyze particle (2) จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างของ Analyzeparticle (3) ในหน้าต่างนี้ ให้เลือกตรงตำแหน่ง (4) เป็น Marks หมายถึงให้โปรแกรมทำการมาร์คบริเวณที่ถูกเลือกเป็นสีดำ และมาร์คเครื่องหมายถูกหน้าข้อความ Clear Results และ Summarize (5) เพื่อลบผลที่มีอยู่ก่อนหน้าที่จะทำการวิเคราะห์ ออกก่อนและแสดงผลที่คำนวณแล้วเท่านั้น จากนั้นกด OK (6) โปรแกรมจะทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ในอันจากดูหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์และแสดงผล คือ รูปที่แสดงบริเวณที่โปรแกรมคำนวณในหน้าต่างที่ (7) บริเวณสีดำ คือ บริเวณที่โปรแกรมใช้ในการคำนวณ ส่วนบริเวณสีขาวไม่ถูกคำนวณ และหน้าต่าง Summarize (8) แสดงค่าที่คำนวณแล้วคือ จำนวน, พื้นที่ทั้งหมด, ขนาดเฉลี่ย และ สัดส่วนโดยพื้นที่



รูปที่ 2.15 การคำนวณหาสัดส่วนโดยพื้นที่ของผลึก, จำนวนผลึก และขนาดเฉลี่ยของผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 เครื่องมือในการวิเคราะห์

2.8.1 UV-Visible Spectrophotometer

UV-VIS spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 นาโนเมตร ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและปริมาณการดูดกลืนรังสีก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น การดูดกลืนแสงของสารต่างๆเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร จึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพและปริมาณ เป็นเทคนิคที่ให้สภาพไวที่ดี และใช้กันอย่างแพร่หลายผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ซึ่งเรียกว่า Spectrum ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ประกอบไปด้วย Light source แหล่งกำเนิดรังสีเป็นส่วนที่ให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการออกมาอย่างต่อเนื่องและคงที่ รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอหลอดกำเนิดรังสีมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นรังสีที่เปล่งออกมา เช่น ช่วง UV จะใช้หลอดไฮโดรเจน (Hydrogen lamp) หรือ หลอดดิวเทอเรียม (Deuterium lamp) ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 นาโนเมตร และช่วง Visible ใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 นาโนเมตร เป็นต้น Monochromator เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียวใช้ฟิลเตอร์ปริซึม หรือเกรตติง Cell sample เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง บางครั้งอาจเรียกว่า Cuvettes ที่ใช้กันทั่วไปได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วจะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะแก้วจะดูดกลืนรังสีในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอร์ต ซึ่งใช้ได้ทั้งช่วงยูวี และ Visible Detector ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้าเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.8.1.1. Single-Beam spectrophotometer

หลักการของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงเดียวนั้น เมื่อแสงออกจากแหล่งกำเนิดแสงแล้ว จะผ่านโมนโครเมเตอร์ที่เป็นเกรตติง และสารตัวอย่างตามลำดับ แล้วจึงเข้าสู่ตัวตรวจจับสัญญาณ ตลอดเส้นทางของลำแสงนี้มีลำแสงเดียว จึงเรียก สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ว่าแบบลำแสงเดียว เนื่องจากสเปกโตรโฟโต มิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำแสงเพียงลำเดียวนั้นจากโมนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัดและเข้าสู่ตัวตรวจจับสัญญาณเลย ดังนั้นการวัดจึงต้องวัด 2 ครั้งดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ครั้งแรกเซลล์บรรจุแสง (blank) ซึ่งเป็นตัวทำลายของตัวอย่างที่เราต้องการวัด เมื่อลำแสงผ่านเซลล์ปรับเครื่องให้อยู่ในตำแหน่ง “ศูนย์” (Set zero)
- 2) ส่วนครั้งหลังบรรจุสารละลายที่ต้องการวัด (Sample) แล้วจึงให้ลำแสงผ่านเซลล์ ความแตกต่างระหว่างการดูดกลืนแสงของทั้ง 2 ครั้งจะปรากฏบนหน้าปัดมิเตอร์จากนั้นก็สามารวัดตัวอย่างที่ความเข้มข้นอื่นๆ ต่อไปได้เลยโดยไม่ต้องกลับไปวัดแสงอีก
- 3) การเปลี่ยนความยาวคลื่น จะต้องวัดแสงคใหม่ทุกครั้ง

2.8.1.2 Double-Beam Spectrophotometer

สำหรับสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงคู่ เมื่อลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงออกจากช่องแสงออก (Exit slit) แล้ว ลำแสงจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำแสง (Beam chopper) ซึ่งจะทำหน้าที่สะท้อนลำแสงไปผ่านสารตัวอย่าง (Sample) ในขณะที่ต่อมาจะสะท้อนลำแสงไปผ่านสารอ้างอิง (Reference) ซึ่งก็คือ แบลงค์นั่นเองโดยที่ลำแสงทั้งสองจะมีความเข้มแสงเท่ากันก่อนที่จะผ่านสารตัวอย่างหรือสารอ้างอิง เมื่อลำแสงทั้งสองนี้ไปตกกระทบบนตัวตรวจจับสัญญาณ ความแตกต่างของความเข้มแสงหลังจากผ่านสารตัวอย่างหรือสารอ้างอิงจะกลายเป็นค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

2.8.2 FTIR-Raman Spectrometer

เทคนิคการวิเคราะห์ ตรวจสอบ โครงสร้างของสาร โดยการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด ที่อยู่ในช่วงเลขคลื่น (Wave number) ประมาณ $12800 - 10 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเลขคลื่น (Wave number) มีหน่วยเป็น จำนวนคลื่นต่อหน่วยเซนติเมตร (reciprocal centimeter ; cm^{-1}) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้ง ของแข็ง ของเหลว และก๊าซรังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) เป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าแต่ให้ความร้อนที่สัมผัสได้ รังสีอินฟราเรดอยู่ระหว่างช่วง Visible radiation กับ Microwave radiation โดยช่วงของรังสีอินฟราเรดแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่

- 1) Near Infrared $12800-4000 \text{ cm}^{-1}$
- 2) Middle Infrared $4000-200 \text{ cm}^{-1}$
- 3) Far Infrared $200-10 \text{ cm}^{-1}$

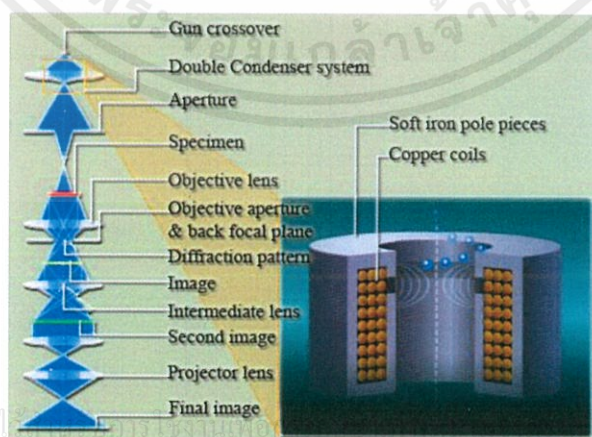
ช่วงของรังสีอินฟราเรดที่ใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ทางเคมีได้แก่ช่วง Middle IR เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีพลังงานค่อนข้างต่ำ เมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเข้าไปจะทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการสั่นและการหมุนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล การที่โมเลกุลจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้นั้นความถี่ของรังสีอินฟราเรดต้องเท่ากับความถี่การสั่นของโมเลกุลของสารนั้นๆ ซึ่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไปทำให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของสารอินทรีย์ได้ การแสดงผลที่ได้จากการ

วิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่น (Wave number) กับ Transmittance ซึ่งเรียกว่า Infrared spectrum [41]

2.8.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope ;TEM)

เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านที่ใช้ศึกษาตัวอย่างชนิดบาง ซึ่งเตรียมขึ้นโดยวิธีพิเศษเพื่อให้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนผ่านทะลุได้ การสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนั่นเอง เครื่อง TEM เหมาะสำหรับศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง เช่น องค์ประกอบภายในเซลล์ ลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์ เป็นต้น ซึ่งจะให้รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพในการแจกแจงรายละเอียดสูงมาก (กำลังขยายสูงสุดประมาณ 0.1 นาโนเมตร)

หลักการทำงานของ TEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างที่จะศึกษา (Specimen) ไป ซึ่งตัวอย่างที่จะศึกษาจะต้องมีลักษณะที่แบนและบางมาก (บ่อยครั้งที่พบว่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1 - 100 นาโนเมตร) จากนั้นจะเกิดการกระเจิงอนุภาคขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนทะลุผ่านตัวอย่างไป และอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนี้ก็จะถูกปรับโฟกัสของภาพโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่ขยายภาพให้ได้รายละเอียดมากที่สุด จากนั้นจะได้รับการขยายด้วยเลนส์ทอดภาพไปสู่จอรับ (Projector lens) และปรับโฟกัสของลำอนุภาคอิเล็กตรอนให้ยาวพอดีที่จะปรากฏบนฉากเรืองแสง สุดท้ายจะเกิดการสร้างภาพขึ้นมาได้ดังรูปที่ [42]



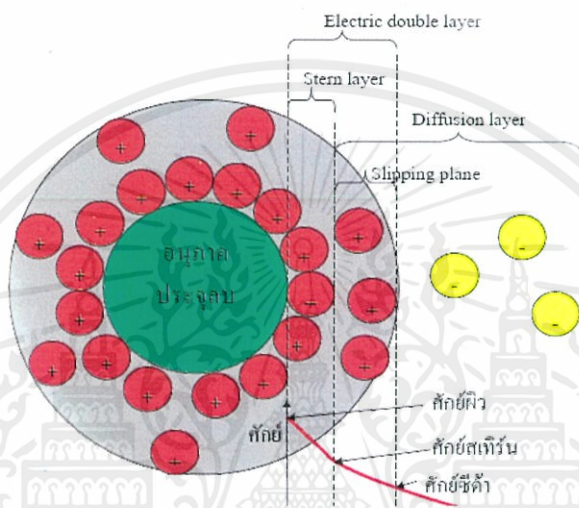
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน [42]

2.8.4 เครื่องวัดค่าศักย์ซีต้า (Zeta potential)

ศักย์ซีต้า (Zeta potential) คือ ความแตกต่างของประจุไฟฟ้าระหว่างชั้นความหนาแน่นของไอออนที่อยู่รอบอนุภาคและประจุในของเหลวที่อยู่ล้อมรอบ อนุภาคเกิดขึ้นในกระบวนการโคแอกกูเลชันฟล็อกคูเลชัน (มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์) เป็นค่าที่ใช้เพื่อบอกแนวโน้มว่าอนุภาคจะมีการเกาะตัวกันเป็นก้อนหรือไม่ เช่น เมื่อมีการปรับค่า pH อนุภาคแขวนลอยจะเสถียร เมื่อศักย์ซีต้ามีค่ามากกว่า + 30 mV หรือ น้อยกว่า -30 mV

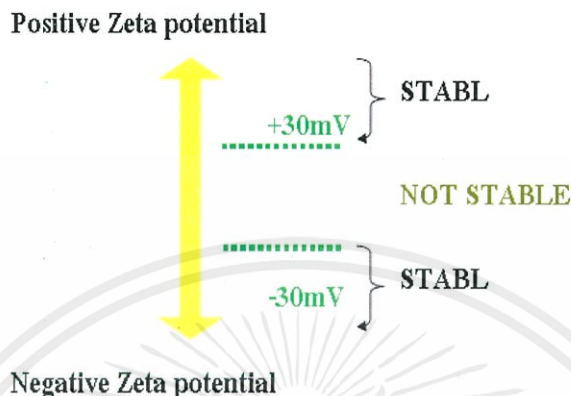


รูปที่ 2.17 ไอออนและความต่างศักย์ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นบนผิวของอนุภาคสารแขวนลอย [43]

สำหรับค่า Zeta potential จะสัมพันธ์กับประจุบนผิวของอนุภาค ซึ่งมีผลต่อการตกตะกอนและการเกาะตัวกัน เทคนิคนี้จะทำการวัดการเคลื่อนที่ของอนุภาคในของเหลวภายใต้สนามไฟฟ้า ซึ่งก็คือการวัดความเร็วของอนุภาคนั้นเอง โดยเมื่อให้สนามไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์อนุภาคจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วตรงข้ามกับชนิดของประจุ โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้าที่ให้นี้จะสัมพันธ์กับค่า Zeta potential ของคอลลอยด์ โดยเทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์ขนาดอนุภาคในช่วง 0.3 - 5,000 นาโนเมตรและอนุภาคควรอยู่ในตัวกลางที่สามารถนำไฟฟ้าได้ หรือมีค่าไดอิเล็กตริกค่อนข้างสูง เช่น น้ำ เป็นต้น

หลักการการทำงานของเครื่องวัดศักย์ซีต้า คือการวัดอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคเมื่อทำให้อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าโดยใช้ Laser doppler velocimetry (LDV) โดยเครื่องวัดค่าศักย์ซีต้า ค่าศักย์ซีต้าขึ้นกับค่าพีเอช (pH) ที่ pH ต่ำ: มีประจุบวกจาก H^+ มากเกินไป Zeta potential เป็นค่าลบ ซึ่งอนุภาคแขวนลอยจะเสถียร เมื่อศักย์ซีต้ามีค่ามากกว่า +30 มิลลิโวลต์ หรือน้อยกว่า -30 มิลลิโวลต์ ถ้าศักย์ซีต้ามีอยู่ในค่าช่วง -30 ถึง 30 มิลลิโวลต์ หรือประมาณศูนย์ สารแขวนลอยจะไม่เสถียร ดังรูป

ที่ 2.31 จะมีการเกาะตัวกันเป็นก้อน และตกตะกอน เรียกจุดที่ศักย์ซีต้าเท่ากับศูนย์ว่า “Isoelectric point” [43]



รูปที่ 2.18 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน [43]

2.9 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 เคมีสีเขียวของการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนเพื่อใช้เป็นตัวรับรู้แอมโมเนีย (Green chemistry of the synthesis of silver nanoparticles for use as a sensor of ammonia)

ในปี ค.ศ. 2008 Stephan T. Dubas และ Vimolvan Pimpan [44] 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 และทำการปั่นกววนเป็นเวลา 5 นาที (สารละลายทั้งสองเตรียมด้วย อะซิติกอะซิเตรท บัฟเฟอร์ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ค่า pH 4 จากนั้นนำสารละลายไปสัมผัสกับแสง UV พบว่าสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูอย่างช้าๆ จนสุดท้ายจะได้สีม่วง ใช้เวลาสัมผัสกับแสง UV เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเก็บไว้ในขวดสีทึบ ทำการศึกษาอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย UV-Visible spectrophotometry

พบว่าอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย UV – lamp จะได้สารละลายสีม่วง เกิดการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร ส่วนอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย NaBH_4 จะได้

สารละลายสีเหลือง เกิดการดูดกลืนแสงที่ 400 นาโนเมตร เมื่อศึกษาด้วย TEM พบว่าอนุภาคเงินในระดับนาโนมีรูปร่างทรงกลม และมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 8 นาโนเมตร จากการนำอนุภาคเงินในระดับนาโนไปประยุกต์ใช้ในการเป็นตัวรับรู้แอมโมเนีย พบว่าสามารถตรวจวัดแอมโมเนียได้ในช่วง 5-100 มิลลิกรัมต่อลิตร และพบว่าเมื่อเติมแอมโมเนีย 0 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร (สีม่วง) และเมื่อเติมแอมโมเนีย 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีการดูดกลืนแสงที่ 460 นาโนเมตร (สีเหลือง) [44]

2.9.2 เซนเซอร์ตรวจจับความเข้มข้นแบบกระดาษจำเพาะและจำเพาะสูง โดยใช้ตัวเร่งไทโอซัลเฟตของอนุภาคเงินระดับนาโนในการตรวจหาคอปเปอร์ไอออน (Highly selective and sensitive paper-based colorimetric sensor using thiosulfate catalytic etching of silver nanoplates for trace determination of copper ions)

สุดเขต ไชโยและคณะ [45] ได้ทำการศึกษาและพัฒนาเซนเซอร์วิธีใหม่ที่ใช้ตรวจจับความเข้มข้นแบบวิธีใหม่สำหรับการตรวจวัดคอปเปอร์(II)ไอออน (Cu^{2+}) และเป็นเทคนิคแบบกระดาษ การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในงานวิจัยนี้ ซิลเวอร์นาโนจะถูกสังเคราะห์โดยปฏิกิริยารีดักชัน โดเนอการนำโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) เป็นตัวรีดิวซ์ซิลเวอร์ไนเตรต ผลิตภัณฑ์สารละลายที่ได้ก็จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองใส จากนั้นนำสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 30% ไปทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์สารละลายสีเหลืองใสที่ได้ทำการปั่นกวนประมาณ 10 นาที เพื่อให้เกิดกระบวนการแปลสภาพรูปร่างสมบูรณ์มากขึ้น สารละลายซิลเวอร์นาโนจะเปลี่ยนจากสีเหลืองใสเป็นสีฟ้า ต่อจากนั้นนำเฮกซะเดคซิลซัลไฟด์ เมทิล แอมโมเนียมโบรไมด์หรือซีเทป (Hexadecyl Trimethyl Ammonium Bromide; CTAB) มาเป็นตัวรักษาเสถียรภาพและนำโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ที่ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ (สารละลายทั้งสองจะเตรียมด้วยแอมโมเนียบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ค่า pH=11) ต่อจากนั้นนำซีเทปและโซเดียมไทโอซัลเฟตทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์นาโน ปั่นกวนให้เข้ากันประมาณ 5 นาที ที่อุณหภูมิห้องจะได้ไทโอซัลเฟตซีเทปซิลเวอร์นาโน $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ / CTAB- AgNPLs แล้วทำการศึกษาอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้โดยเทคนิคยูวีวิซซิบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคซิลเวอร์นาโนซีเทป CTAB-capped AgNPLs จะมีความยาวคลื่น 536 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงอยู่ที่ 0.827 และไทโอซัลเฟตซีเทปซิลเวอร์นาโน $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ / CTAB- AgNPLs และความเข้มข้นของคอปเปอร์ไอออนเพิ่มขึ้นแต่ค่าการดูดกลืนแสงจะลดน้อยลง ผลที่ได้คือ สี ของสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงเป็นสีแดงจนใสไม่มีสี งานวิจัยนี้การทดลองเปลี่ยนแปลงสีทันที จากการทดสอบด้วยสายตาจำกัดการตรวจวัดอยู่ที่ 0.3 ไมโครกรัม การศึกษาการความเป็นเส้นตรง ความเข้มข้นของคอปเปอร์ไอออนจะอยู่ที่ช่วง 0.5-200 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($r^2=0.9974$) งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการ

นำไปประยุกต์เพื่อตรวจหาคอปเปอร์ไอออน Cu^{2+} ในสารตัวอย่างได้หลากหลายเช่น น้ำ อาหารและ เลือด

2.9.3 การสังเคราะห์โครงสร้างเงินในระดับนาโนโดยวิธีหลายขั้นตอน (Synthesis of nanostructures by multistep methods)

ตง ฉาง และคณะ [46] ได้ทำการศึกษาลักษณะรูปร่างของอนุภาคระดับนาโนยกตัวอย่าง เช่น อนุภาคเงินระดับนาโนและอนุภาคทองระดับนาโน เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีรวมถึงประสิทธิภาพในการนำไปใช้งาน จากคุณสมบัติด้านต่างๆของอนุภาคระดับนาโนสามารถนำไปประยุกต์และพัฒนาให้เกิดประโยชน์กับงานวิจัยที่ทำการทดลอง ในส่วนงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์โครงสร้างเงินในระดับนาโนด้วยวิธีหลายขั้นตอน วิธีการทำจะเริ่มจากการเตรียมโครงสร้างอนุภาคระดับนาโนให้มีรูปร่างตามที่ต้องการ โดยจะมีการควบคุมรูปร่างของอนุภาคนาโนด้วยวิธี 3 ขั้นตอนประกอบไปด้วยวิธีรีดิวซ์ช้า เทคนิคการกัดและการสร้างแกนและเปลือกหุ้มอนุภาคนาโน โดยขั้นแรกวิธีการรีดิวซ์ช้าด้วยการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ NaBH_4 เป็นตัวรีดิวซ์ซิลเวอร์ไนเตรต AgNO_3 ขั้นตอนที่สองในส่วนของเทคนิคการกัดจะใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำการกัดสารละลายโลหะเงิน H_2O_2 และในส่วนขั้นตอนที่สาม การสร้างแกนกลางและเปลือกหุ้มของอนุภาคนาโนด้วยสารรักษาเสถียรภาพ

ผลที่ได้จากงานวิจัยพบว่ากลไกของวิธีรีดิวซ์ช้าด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์นั้นได้ผลอนุภาคนาโนของเงินที่มีรูปร่างแตกต่างกันตามชนิดของตัวรีดิวซ์ ซึ่งสามารถใช้เตรียมโครงสร้างนาโนที่ซับซ้อนได้เช่นโครงสร้างนาโนรูปธง (Nanoflags) เทคนิคการกัดเป็นวิธีที่สามารถคัดเลือกอนุภาคนาโนที่เราต้องการได้และยังสามารถควบคุมรูปร่างของอนุภาคนาโนได้อีกด้วยยกตัวอย่างรูปแบบโครงสร้างที่ได้ เช่น โครงสร้างนาโนรูปดอกไม้และโครงสร้างนาโนลักษณะกลวง นอกจากนี้ยังสามารถปรับเปลี่ยนลักษณะพื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโนได้และการสร้างแกนกลางและเปลือกหุ้มของโครงสร้างนาโนไม่เพียงแต่เป็นตัวช่วยที่ควบคุมรูปร่างและขนาดเท่านั้นแต่ยังแสดงคุณสมบัติทางแสงที่พิเศษ เช่น ผลจาก Strong surface-enhanced raman scattering (SERS) และคุณสมบัติทาง Localized surface plasmon resonance (LSPR) โดยโครงสร้างเงินในระดับนาโนนี้มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้งานโดยการพัฒนาเป็นอุปกรณ์นาโนพลาสโมนิกและตัวตรวจวัดได้

2.9.4 เซนเซอร์ตรวจหาคอปเปอร์แบบอนุภาคนาโนเงินในระดับนาโน (Simple silver nanoparticle colorimetric sensing for copper by paper-based devices)

นาริน รัตนาราท และคณะ [47] ได้ทำการพัฒนาเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดคอปเปอร์ไอออน Cu^{2+} ด้วยการวัดความเข้มสีโดยเทคนิคแบบกระดาษ โดยใช้อนุภาคเงินในระดับนาโนเป็นตัวรับรู้ ซึ่งจะการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนโดยใช้กระบวนการทางเคมี ซึ่งจะใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) เป็นตัวรีดิวซ์และใช้เมทิลเซลโลสเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ และปรับสภาพผิวของ

อนุภาคซิลเวอร์นาโนด้วยหมู่ฟังก์ชันซัลฟ์ไฮดริล -SH บนโฮโมซิสเตอีน Hcy และไดไธโอไธเรทอล (Dithiothreitol; DTT) เพื่อให้อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้มีเสถียรภาพสูงสุดและเหมาะสมพอที่จะนำมาใช้เป็นตัวรับรู้ในการตรวจวัดคอปเปอร์ไอออน วิธีการจะทำทำโดยนำอนุภาคซิลเวอร์นาโนมา 1 มิลลิลิตร มาผสมกับโลหะไอออนฟอสเฟสที่ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ และบัฟเฟอร์ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) pH 8 คนให้เข้ากันทิ้งไว้ 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมทรี (UV-Vis Spectrophotometry)

ผลการทดลองพบว่าเมื่อมี Cu^{2+} ไปสัมผัสบนพื้นผิวของอนุภาคซิลเวอร์นาโน กระดาษจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้มหรือเปลี่ยนไปเป็นสีเขียวน้ำตาล เนื่องจากเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของอนุภาคนาโน สีที่เปลี่ยนไปนั้นเทียบได้กับความเข้มข้นของคอปเปอร์ Cu^{2+} เมื่อมีปริมาณ Cu^{2+} มากสีก็จะเข้มมาก ในงานวิจัยนี้ศึกษาความเข้มข้นของคอปเปอร์อยู่ในช่วง 7.8-62.8 ไมโครเมตร ค่าสัมประสิทธิ์การตัดคลื่นใจ $R^2=0.992$ ค่าขีดจำกัดการตรวจวัดอยู่ที่ 7.8 ไมโครเมตร หรือ 0.5 ไมโครกรัมต่อลิตร ในงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการตรวจวัดหาปริมาณคอปเปอร์ไอออนและยังสามารถนำไปประยุกต์เป็นเซนเซอร์ในการหาโลหะชนิดอื่นๆได้ ทั้งยังเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว สะดวกพกพาได้ง่ายเหมาะสำหรับภาคสนาม

2.9.5 ตัวรับรู้เชิงสีสำหรับตรวจวัดไอออนของปรอทโดยใช้การสังเคราะห์สีเขียวและอนุภาคเงินในระดับนาโน (Highly selective Hg^{2+} colorimetric sensor using green synthesized and unmodified silver nanoparticles)

คาลิล ฟาฮาดี และคณะ [48] ศึกษาตัวรับรู้สำหรับตรวจวัดปรอท โดยใช้อนุภาคเงินในระดับนาโนเป็นตัวรับรู้ โดยทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว ทำได้โดยใช้สารสกัดของรากพืช 10 mL ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารรักษาเสถียรภาพ ในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด ความเข้มข้น 3 mM 100 mL และนำไปเขย่า 2 ชั่วโมง ในที่ไม่มีแสงอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมตัวรีดิวซ์ คือสารสกัดของพืชสมุนไพรกลุ่มไฮเดรชัน 15 mL หมุนอีก 12,000 rpm 20 นาที จะได้สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน สำหรับการเปรียบเทียบสีของการตรวจวัดไอออนปรอท ทำได้โดยการเจือจางสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยน้ำปราศจากไอออน 3 ครั้ง และเติมไอออนโลหะลงไปได้แก่ Na^+ , K^+ , Mg^+ , Ca^+ , Hg^+ เป็นต้น

ทำการศึกษาคุณลักษณะเฉพาะด้วยเซอร์เฟพพลาสมอนเรโซแนนซ์ (SPR) ยูวี - วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์อนุภาคเงินในระดับนาโนที่ถูกสังเคราะห์ทางชีววิทยาแบบใหม่นี้จะมีสีเหลืองปนน้ำตาล เนื่องจากแถบการดูดซับ SPR ที่เข้มข้น เมื่อนำไปตรวจวัดกับไอออนปรอทจะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์อย่างง่ายระหว่างอนุภาคเงินในระดับนาโนและไอออนปรอทในสารละลาย สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนจะเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นไม่มีสี ซึ่งสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าและใช้ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโต

มิเตอร์ แถบSPRจะกว้างและเปลี่ยนไปอยู่ในช่วงสีฟ้า ค่า LOD ของไอออนปรอทคือ 2.2×10^{-6} mol L⁻¹ นอกจากนี้ยังมีความไวและความจำเพาะเจาะจงในการตรวจวัดไอออนโลหะทรานซิชัน, โลหะอัลคาไลน์, และโลหะอัลคาไลน์เอิร์ทอีกด้วย โดยวิธีนี้ได้ประสบผลสำเร็จสำหรับใช้ในการตรวจหาไอออนปรอทในตัวอย่างน้ำต่างๆ

2.9.6 การใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนเพื่อตรวจวัดหาปรอท โดยเทคนิคตรวจวัดความเข้มสีบนกระดาษ (Simple and rapid colorimetric detection of Hg(II) by a paper-based device using silver nanoplates)

อมรา อภิรักษ์ และคณะ [49] ได้ทำการทดลองศึกษาและพัฒนาอนุภาคซิลเวอร์นาโนเพื่อที่จะนำมาใช้ประยุกต์ใช้ให้เป็นวิธีที่ง่ายและได้ผลที่รวดเร็วสำหรับการตรวจสอบหาปรอทไอออน ผลงานวิจัยช่วยให้การวัดปริมาณปรอทไอออน Hg(II) ได้จากการนำสารละลายตัวอย่างเพียงแค่ 2 ไมโครลิตร มาทดสอบ โดยที่สีของซิลเวอร์นาโน จะเปลี่ยนแปลงทันทีเมื่อพบปรอท และการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า วิธีนี้แสดงให้เห็นการเลือกปรอทไอออน Hg(II) อย่างจำเพาะของตัวอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับไอออนของโลหะตัวอื่นในการทดลองจะพบว่ามีความจำเพาะกับไอออนโลหะของปรอทมากกว่าไอออนโลหะชนิดอื่น ยิ่งไปกว่านั้นผลการทดลองยังพบว่ามี การเพิ่มขึ้นไอออนโลหะผลการวิเคราะห์จะยิ่งเห็นผลชัดเจนเมื่อใส่คอปเปอร์ไอออน Cu(II) ผสมรวมกับสารที่มีไอออนปรอท Hg(II) ลงไปในสารซิลเวอร์นาโน Silver Nanoplate

ผลจากการทดลองพบว่า การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลและการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่จะเป็นตัวช่วยปรับปรุงความสามารถของเทคนิคนี้ และพบว่าช่วงที่ทำการศึกษาไอออนของปรอทอยู่ที่ 5-75 ppm ขีดจำกัดการตรวจวัดอยู่ที่ 0.12 ppm และการเตรียมความเข้มข้นสารละลายไว้ก่อน แล้วนำมาทำการวิเคราะห์ซ้ำด้วยการใช้สารละลายไอออนปรอท 2 ไมโครลิตร ในขอบเขตการทดลองเดียวกันจะแปลค่าขีดจำกัดการตรวจวัดให้เหลือ 2 ppb ในงานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จในการตรวจหาไอออนปรอทอีกทั้งเป็นวิธีที่มีความรวดเร็ว จำเพาะและไวต่อ สารตัวอย่างไอออนปรอท Hg(II) และที่สำคัญคือ เหมาะสมต่อการใช้ในที่ห่างไกลหรือการวิเคราะห์สภาพแวดล้อม

2.9.7 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว และนำอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้มาประยุกต์ใช้กับเนื้อผ้าฝ้าย (Green synthesis of silver nanoparticles and their application to cotton fabrics)

เอ เฮเบช และคณะ [50] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยการใช้น้ำตาลเป็นตัวรีดิวซ์และใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารรักษาเสถียรภาพ โดยการสังเคราะห์จะใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกัน ได้แก่ 300, 2000 และ 10000 และใช้ความเข้มข้นของน้ำตาลในช่วง 0.05-0.45% ซึ่งได้ถูกปรับ pH ให้เท่ากับ 9 แล้วโดยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งในการ

ทดลองจะทำการผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลกับน้ำตาลจากนั้นเติมสารละลายซิลเวอร์ในเตรทลงไปที่หยดแล้วปั่นกวนสารละลายเข้าด้วยกันเป็นเวลา 30 นาที สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนกลายเป็นสีเหลืองเข้ม ซึ่งจากการเห็นสีของสารละลายเป็นสีเหลืองนี้บ่งบอกถึงการเกิดอนุภาคเงินระดับนาโนในสารละลายผสม หลังจากนั้นนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีความเข้มข้นต่างกันนี้ไปใช้ในการเตรียมเส้นใยฝ้ายซึ่งการเตรียมเส้นใยฝ้ายนั้นสามารถเตรียมได้สองวิธี วิธีแรกคือการนำเส้นใยฝ้ายไปจุ่มในสารละลายผสมระหว่างสารละลายบิวเทนเตตระคาร์บอกซิลิกแอซิด (BTCA) และสารละลายโซเดียมไฮโปฟอสไฟต์ (SHP) ที่มีความเข้มข้น 5% ตามด้วยการทำให้แห้ง จากนั้นนำไปจุ่มในสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่เตรียมไว้ (25-200 ppm) และทำให้แห้งโดยการใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และใช้อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ส่วนวิธีที่สองจะทำโดยการจุ่มเส้นใยฝ้ายลงในสารละลายผสมของอนุภาคเงินระดับนาโน, BTCA และ SHP ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันเลย จากนั้นทำให้แห้งโดยการใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และใช้อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นเส้นใยฝ้ายที่เตรียมได้จากวิธีทั้งสองจะถูกนำไปล้างและทำให้แห้งโดยการใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน แล้วจึงนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะโดยวิธีต่างๆต่อไป

ซึ่งการศึกษานาโนอนุภาคเงินระดับนาโนและเส้นใยฝ้ายที่เตรียมได้จะใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด, การทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรีย, wet and dry wrinkle recovery angles (WRA) และการต้านทานแรงดึง ซึ่งจากการตรวจสอบด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปีพบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้มีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 412-420 นาโนเมตร จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่า อนุภาคเงินระดับนาโนที่ได้มีรูปร่างเป็นทรงกลม และมีขนาดอยู่ในช่วง 12-16 นาโนเมตร จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า มีอนุภาคเงินระดับนาโนสะสมตัวอยู่บนเส้นใยฝ้ายจริง และจากการทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรีย พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคเงินระดับนาโนที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยฝ้ายเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคเงินระดับนาโนต่ำกว่า 100 ppm เปอร์เซ็นต์การลดลงของ *E. coli* จะสูงกว่า *S. aureus* เนื่องจากผนังเซลล์ของ *E. coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ และ *S. aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวกมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน โดยชั้นของเปปทิโดไกลแคนในแบคทีเรียแกรมบวกจะหนากว่าในแบคทีเรียแกรมลบ ดังนั้นจึงทำให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของ *E. coli* สูงกว่า *S. aureus* นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.8 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนและการประยุกต์ใช้งาน (Synthesis of silver nanoparticle and its application)

เอ มูธู คูมารา แพนเดียน และคณะ [51] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้เทคนิคทางเคมี, วิธีเคมีสีเขียวและวิธีการใช้จุลินทรีย์ ซึ่งการสังเคราะห์โดยการใช้วิธีเคมีสีเขียวจะใช้สารสกัดจากกระเทียม (*Allium sativum*) ซึ่งได้มาจากการผสมกระเทียมกับน้ำปราศจากไอออนเป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำมาผสมกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทที่มีความเข้มข้นในหน่วยมิลลิโมลาร์ ภายใน 2 ชั่วโมงสารละลายผสมจะเปลี่ยนเป็นสีส้มอ่อนซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดอนุภาคเงินระดับนาโนและเมื่อทิ้งสารละลายผสมนี้ไว้ 48 ชั่วโมง สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีส้มเข้มหรือสีน้ำตาลเข้ม จากนั้นใช้กระดาษกรองในการกำจัดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ส่วนสารละลายที่ได้จากการกรองจะถูกนำไปทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Lyophilize) และนำไปทำการวิเคราะห์ต่อไป ส่วนการสังเคราะห์โดยการใช้วิธีทางเคมีจะทำโดยการนำสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทไปให้ความร้อนจนกระทั่งเดือด หลังจากนั้นทำการเติมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทลงไปทีละหยด ซึ่งในขั้นตอนนี้ต้องทำการปั่นกววนและให้ความร้อนไปเรื่อยๆจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน หลังจากนั้นหยุดให้ความร้อนแต่ยังคงปั่นกววนต่อไปจนกระทั่งสารละลายมีอุณหภูมิลดต่ำลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ต่อมาสารละลายที่ได้นี้จะถูกทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็งและนำไปทำการวิเคราะห์ต่อไป และสุดท้ายการสังเคราะห์โดยวิธีการใช้จุลินทรีย์ จะใช้จุลินทรีย์ 2 ชนิด ซึ่งได้แก่ *A.niger* และ *A. flavus* โดยจุลินทรีย์ทั้งสองตัวนี้จะถูกเลี้ยงโดยอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีส่วนประกอบของมันฝรั่งและน้ำตาลเดกโทสที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นชีวมวลที่ได้จะถูกกรองและล้างโดยการใช้น้ำกลั่นเพื่อกำจัดอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหลืออยู่ และนำไปผสมน้ำกลั่นอีกครั้งเพื่อทำการบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงทำการกรองและนำสิ่งที่กรองได้ไปผสมกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท สารสกัดที่ได้จะถูกทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็งและนำไปทำการวิเคราะห์ต่อไป

จากนั้นสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์โดยใช้เทคนิคทางเคมี, วิธีเคมีสีเขียวและวิธีการใช้จุลินทรีย์จะถูกนำมาศึกษาคุณลักษณะต่างๆ โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีและการใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดและการตรวจสอบความเป็นพิษ ซึ่งจากการตรวจสอบด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมทรี พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนจากการสังเคราะห์ทั้ง 3 วิธี มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 400 นาโนเมตร และเมื่อนำอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้โดยใช้เทคนิคทางเคมี, วิธีเคมีสีเขียวและวิธีการใช้จุลินทรีย์นี้ไปตรวจสอบด้วยการใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าขนาดของอนุภาคที่ได้จากการสังเคราะห์มีค่าเท่ากับ 50-500 นาโนเมตร, 100-1200 นาโนเมตรและ 100-800 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากการตรวจสอบคุณลักษณะทั้งหมดของอนุภาคเงินระดับนาโนด้วยเทคนิคต่างๆเหล่านี้ พบว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธี

เคมีสีเขียวสามารถให้อนุภาคเงินระดับนาโนได้มากที่สุด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.9 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก มีความเสถียร และมีการกระจายตัวด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยมีแบ่งเป็นสารรักษาเสถียรภาพ (Green controlled synthesis of monodispersed, stable and smaller sized starch-capped silver nanoparticles) [52]

โอบูวาโทบี เอส. โอบูวาเฟมิ [52] และคณะได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีอนุภาคขนาดเล็ก มีความเสถียร และมีการกระจายตัวลักษณะเดียวกันด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยมีแบ่งเป็นสารรักษาเสถียรภาพและใช้มอลโทสเป็นตัวรีดิวซ์ ซึ่งในการสังเคราะห์นี้ไม่มีการใช้สารประกอบเชิงซ้อน เช่น แอมโมเนีย หรือตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์อย่างการทดลองอื่นที่เป็นวิธีเคมีสีเขียวเหมือนกัน ซึ่งในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนจะนำแบ่งมาละลายด้วยน้ำกลั่นและนำไปปั่นกวน ขณะที่ปั่นกวนอยู่ที่เดิมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทและสารละลายมอลโทสลงไป โดยรักษาอุณหภูมิของสารละลายผสมที่ 75°C สังเกตว่าเมื่อสารละลายผสมทำปฏิกิริยากันจะเกิดการเปลี่ยนสีจากไม่มีสีกลายเป็นสีเหลืองซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดเป็นอนุภาคเงินระดับนาโน ในการสังเคราะห์นี้เมื่อแช่คาร์ดิที่ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์มีความเข้มข้นสูงขึ้นโดยผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสของมอลโทสและแบ่ง จะช่วยควบคุมให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคอยู่ในช่วงของขนาดอนุภาคที่เล็กลง

ผลจากการศึกษาอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปีและการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้มีการดูกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 400 นาโนเมตร และอนุภาคมีขนาดเล็ก (ต่ำกว่า 5 นาโนเมตร) อนุภาคที่สังเคราะห์ได้มีความเสถียรและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจากผลที่ได้ถือว่าประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน เนื่องจากเป็นวิธีทางเคมีสีเขียว ที่สามารถทำได้ง่าย และใช้ต้นทุนต่ำสำหรับการสังเคราะห์ที่มีการควบคุมการกระจายและควบคุมขนาดของอนุภาค

2.9.10 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนเพื่อใช้เป็นตัวรับรู้เชิงสีที่มีความจำเพาะเจาะจงสำหรับไอออนของแคดเมียม โปรทและตะกั่วโดยใช้ตัวรักษาเสถียรภาพร่วมเพื่อปรับความไวและความจำเพาะเจาะจงในการตรวจวัด (Silver nanoparticles based selective colorimetric sensor for Cd^{2+} , Hg^{2+} and Pb^{2+} ions: Tuning sensitivity and selectivity using co-stabilizing agents)

วี. วินอด कुमार และคณะ [53] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้ลิแกนด์ N-(2-hydroxybenzyl)-valine (VP) และ N-(2-hydroxybenzyl)-isoleucine (ILP) เป็นตัวรีดิวซ์และตัวพืงชันกันอลไลซ์พื้นผิว เพื่อให้อนุภาคเงินระดับนาโนมีความจำเพาะเจาะจงเมื่อทำหน้าที่เป็นตัวรับรู้เชิงสีสำหรับไอออนของแคดเมียม โปรท และตะกั่วที่มีความเข้มข้นอยู่ในระดับของ

มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) โดยความไวในการตรวจวัดเชิงสีและความจำเพาะเจาะจงต่อไอออนของโลหะของอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้นี้จะขึ้นอยู่กับการทำหน้าที่ของตัวรักษาเสถียรภาพทั้งสองนี้ ซึ่งในการทดลองจะทำการผสม VP และ ILP กับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรดโดยการปั่นกวนที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นจะสังเกตเห็นสารละลายเป็นสีเหลืองซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงการเกิดอนุภาคเงินระดับนาโน ต่อจากนั้นทำการปั่นกวนต่ออีกเป็นเวลา 10 นาทีและทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้งเพื่อเป็นการยืนยันความสามารถในการทำซ้ำได้ (Reproducibility) ของอนุภาคเงินระดับนาโน

จากนั้นอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้นี้จะถูกศึกษาด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมทรี, อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี, การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ซึ่งจากการตรวจสอบด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมทรี พบว่า อนุภาคเงินในระดับนาโนที่มี VP และ ILP ทำหน้าที่เป็นตัวรักษาเสถียรภาพ จะมีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 412 และ 414 นาโนเมตร ตามลำดับ จากการตรวจสอบด้วยเทคนิคอินฟราเรด สเปกโทรสโคปี พบว่า พิกเอกลักษณะที่เกิดขึ้นอันได้แก่ 3434, 2931, 2853, 1696, 1615, 1430 และ 1385 cm^{-1} เป็นการยืนยันว่าอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้นี้มี VP และ ILP อยู่จริง และเมื่อนำอนุภาคเงินระดับนาโนนี้ไปใช้ในการตรวจวัดไอออนของแคดเมียม โปรท และตะกั่ว พบว่า เมื่ออนุภาคเงินซึ่งมี VP ทำหน้าที่เป็นตัวรักษาเสถียรภาพ (VP-AgNPs) ทำปฏิกิริยากับไอออนของแคดเมียม สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้มเข้ม ในขณะที่เมื่อทำปฏิกิริยากับตะกั่วสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้มอ่อน และไม่เกิดการเปลี่ยนสีอย่างชัดเจนเมื่อทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะอื่นๆ (ไอออนของ Cr^{3+} , Mn^{3+} , Ca^{2+} , Cu^{2+} , Hg^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} และ Co^{3+}) โดยจากสเปกตรากการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับไอออนของแคดเมียมและตะกั่วจะเห็นได้ว่า ค่าดูดกลืนแสงสูงสุดที่เกิดที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร จะเปลี่ยนไปเป็นที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร เหมือนกันทั้งสองอย่าง ทั้งนี้ขีดจำกัดต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ของไอออนของแคดเมียมและตะกั่วที่เข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคเงินระดับนาโนนี้อยู่ในความเข้มข้นระดับไมโครโมลาร์ ส่วนอนุภาคเงินซึ่งมี ILP ทำหน้าที่เป็นตัวรักษาเสถียรภาพ (ILP-AgNPs) เมื่อทำปฏิกิริยากับแคดเมียมพบว่าพลาสมอนแบนด์ที่เกิดขึ้นจะอยู่ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตรและที่ความยาวคลื่น 404 นาโนเมตร (เคลื่อนไปจากความยาวคลื่นที่ 414 นาโนเมตร) ส่วนพลาสมอนแบนด์ที่เกิดขึ้นหลังอนุภาคเงินระดับนาโนทำปฏิกิริยากับตะกั่ว จะเกิดการเคลื่อนจากที่ 414 นาโนเมตร ไปเป็นที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร และเมื่ออนุภาคเงินระดับนาโนทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะอื่น พบว่า ผลที่ได้เหมือนกับผลที่ทำปฏิกิริยากับ VP-AgNPs ได้ นอกจากนี้ได้มีการเติมตัวรักษาเสถียรภาพอื่น ซึ่งได้แก่ ไตรโซเดียมซิเตรต (TSC), เอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิด (EDTA) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ลงไปและทำการสังเกตสิ่งที่เกิดขึ้น โดยพบว่าอนุภาคของ VP-AgNPs-TSC และ VP-AgNPs-EDTA มีความจำเพาะเจาะจงกับไอออนของแคดเมียมและตะกั่ว ส่วนอนุภาคของ VP-AgNPs-PVA ความจำเพาะเจาะจงกับไอออนของโปรทและตะกั่ว โดยเมื่ออนุภาค VP-AgNPs-PVA ทำปฏิกิริยากับไอออนของโปรทสารละลายที่เดิมเป็นสีเหลืองจะหายไปและ

เมื่อทำปฏิกิริยากับไอออนของตะกั่วสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีส้มอ่อน นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคของ ILP-AgNPs-TSC จะมีความจำเพาะเจาะจงกับไอออนของแคดเมียมและตะกั่ว ส่วนอนุภาคของ ILP-AgNPs-PVA จะทำให้สีของสารละลายจางลงเล็กน้อยเมื่อทำปฏิกิริยากับไอออนของปรอท ซึ่งในทางตรงกันข้ามอนุภาคของ ILP-AgNPs-EDTA จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายอย่างชัดเจนเมื่อทำปฏิกิริยากับทั้งไอออนของแคดเมียม, ปรอท และตะกั่ว โดยสีของสารละลายจะถูกขจัดออกไปเมื่ออนุภาค ILP-AgNPs-EDTA ทำปฏิกิริยากับไอออนของปรอท สีของสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีส้มเข้ม เมื่อทำปฏิกิริยากับไอออนของตะกั่ว และกลายเป็นสีน้ำเงินเมื่อทำปฏิกิริยากับไอออนของแคดเมียม ทั้งนี้จากการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่า กลไกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะต่างๆ จะเกิดการรวมตัวกัน (Aggregation) ของอนุภาคระหว่างอนุภาคเงินระดับนาโนและไอออนที่เข้าทำปฏิกิริยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. บีกเกอร์
2. ขวดวัดปริมาตร
3. แท่งแก้ว
4. กระจกบด
5. ซ้อนตักสาร
6. กระจกน้ำกลั่น
7. ไมโครปิเปตขนาด 5000 μL รุ่น SL-5000XLS และขนาด 1000 μL รุ่น SL-1000XLS
ผลิตโดย บริษัท Rainin, ประเทศสหรัฐอเมริกา
8. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
9. เครื่องวัด pH-meter
10. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า พร้อมแท่งกวนแม่เหล็ก
11. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ
12. กล้องถ่ายรูป

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

เครื่องมือ	บริษัทที่ผลิต	ประเทศที่ผลิต
1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-vis spectrophotometer)	Thermo scientific	สหรัฐอเมริกา
2. เครื่องวัดค่าศักย์ซีต้า (Zeta potential Analysis)	Malvern	อังกฤษ
3. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer ; FTIR)	Perkin Elmer	สหรัฐอเมริกา
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope ; TEM)	JEOL	ญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	สูตรโครงสร้าง	บริษัทที่ผลิต	ประเทศที่ผลิต
1.ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver nitrate)	AgNO_3	Merck	สหรัฐอเมริกา
2.กรดอะซิติก (Acetic acid)	CH_3COOH	J.T. Baker	จีน
3.โซเดียมอะซิเตท (Sodium acetate) trihydrate	$\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Carlo Erba	อิตาลี
4.พอลิเมทาคริลิกแอซิด โซเดียมซอล (Poly(methacrylic acid) sodium salt , PMA)	$(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_2)_n$	Sigma-Aldrich	สหรัฐอเมริกา
5.สารตะกั่ว (Lead (II) nitrate)	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	Ajax. Finechem	นิวซีแลนด์
6.เอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิด (Ethylene diamine tetra-acetic acid, EDTA)	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$	Carlo Erba	อิตาลี
7.น้ำกลั่น (Distillited water)	H_2O	RHK Group	ไทย

3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

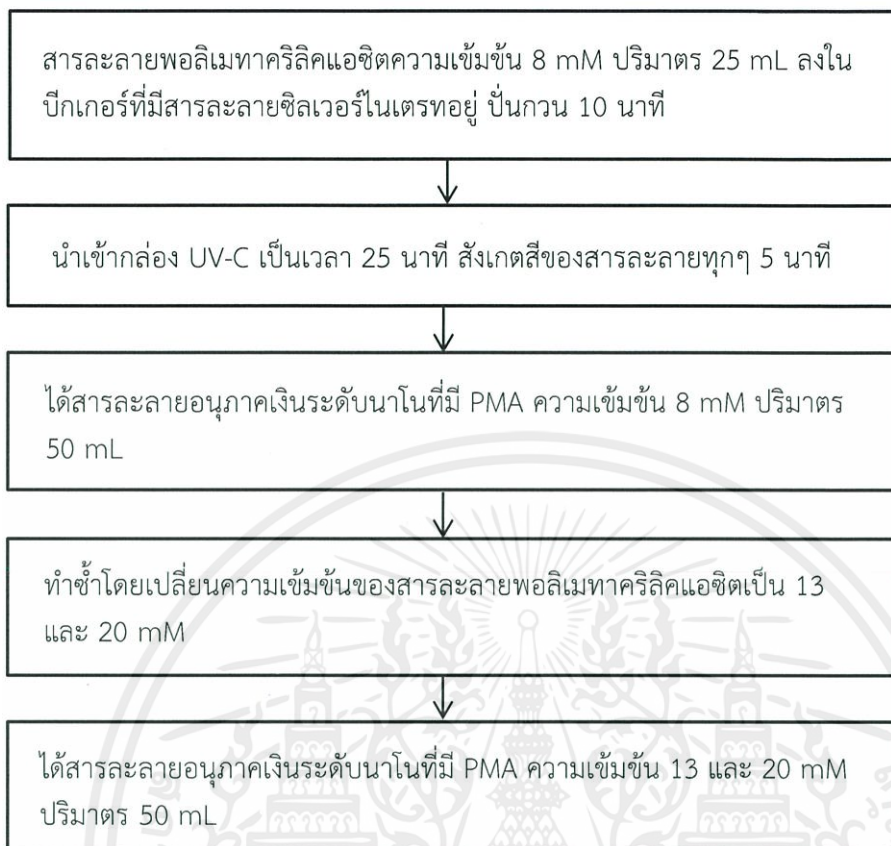
3.4.1 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน

3.4.1.1 วิธีกรสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน

ตวงสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 10 mM ปริมาตร 25 mL ใส่ลงปิกเกอร์ขนาด 250 mL เตรียมสารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิดความเข้มข้น 8, 13 และ 20 mM โดยปิเปตสารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิด ปริมาตร 4 mL ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 25 ml ปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ จะได้สารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิดความเข้มข้น 8 mM และปริมาตร 6.5, 10 mL จะได้สารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิดความเข้มข้น 13 และ 20 mM ตามลำดับ จากนั้นเติมลงในปิกเกอร์ที่ละลายความเข้มข้น นำไปปั่นกวน นาน 10 นาที แล้วนำเข้ากล่อง UV-C สังเกตสีของสารละลายโดยสารละลายจะเปลี่ยนจากไม่มีสีกลายเป็นสีม่วง ซึ่งสามารถแสดงรูปการทดลองดังรูปที่ 3.1

สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 10 mM ปริมาตร 25 mL ใส่ลงปิกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนผังวิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8, 13 และ 20 mM

3.4.1.2 การวิเคราะห์ผล

ตัวแปรที่ทำการศึกษา	เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์
ศึกษาอิทธิพลจากความเข้มข้นของพอลิเมทาคริลิกแอซิด (Poly(methacrylic acid)) (สีของสารละลาย)	UV-vis spectrophotometry
ศึกษารูปร่างและขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโน	Transmission Electron Microscopy (TEM)
ศึกษาสภาพความเป็นประจุของอนุภาคเงินระดับนาโน	Zeta potential
ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเงินระดับนาโน	Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

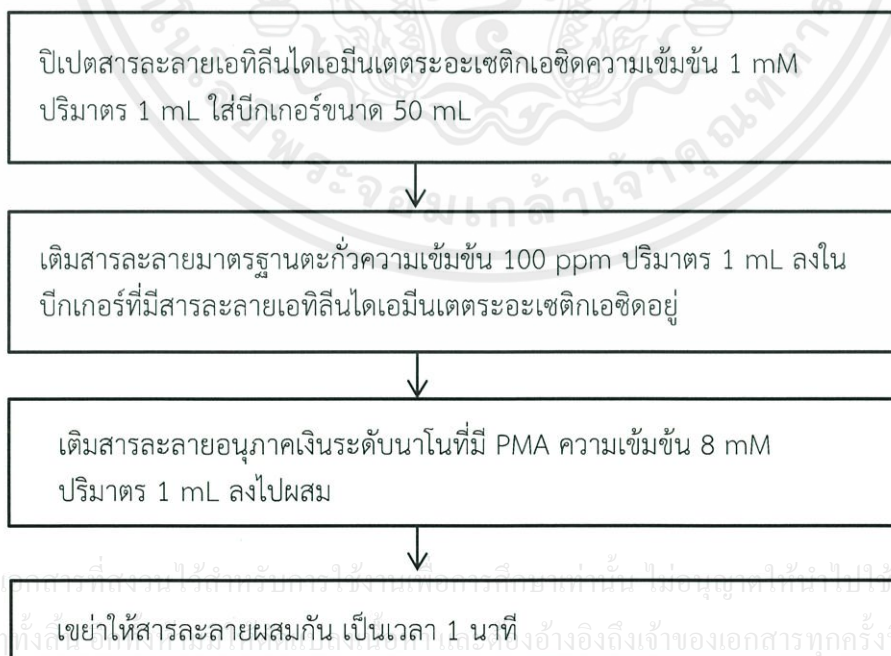
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

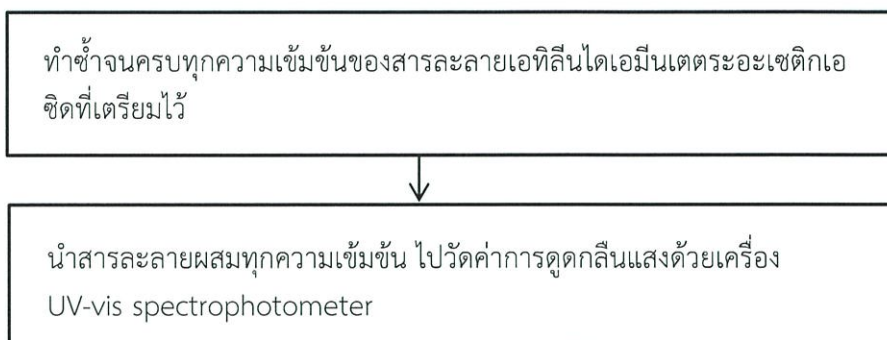
เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีความต้องการที่จะนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้เพื่อตรวจวัดปริมาณตะกั่วในน้ำด้วยเทคนิคการตรวจวัดสี ซึ่งจากการนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน (สารละลายสีม่วง) มาปฏิบัติกับสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ (สารละลายไม่มีสี) พบว่าสารละลายผสมมีสีม่วงเหมือนกับสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน แม้ว่าจะใช้สารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันก็ตาม จึงทำให้ไม่สามารถยืนยันได้ว่ามีปริมาณของตะกั่วจริงหรือไม่ ดังนั้นจึงได้มีการทดลองนำสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิด (สารละลายไม่มีสี) ซึ่งป็นสารคีเลตดึงเอาเจนต์ซึ่งมีความสามารถในการจับกับโลหะได้ มาทำการผสมกับสารละลายมาตรฐานตะกั่วและสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน พบว่าสีของสารละลายผสมเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสารละลายสีม่วงกลายเป็นสารละลายสีเหลือง จึงต้องมีการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิด

3.4.2.1 วิธีการศึกษาหาความเข้มข้นเหมาะสมของสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิด

เตรียมสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิดความเข้มข้น 1, 10 และ 25 mM และสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 100 ppm แล้วเลือกความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM ที่ได้จากการสังเคราะห์ มาผสมกันในอัตราส่วนปริมาตร 1:1:1 สังเกตสีของสารละลาย นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer ซึ่งสามารถแสดงรูปการทดลองดังรูปที่ 3.2



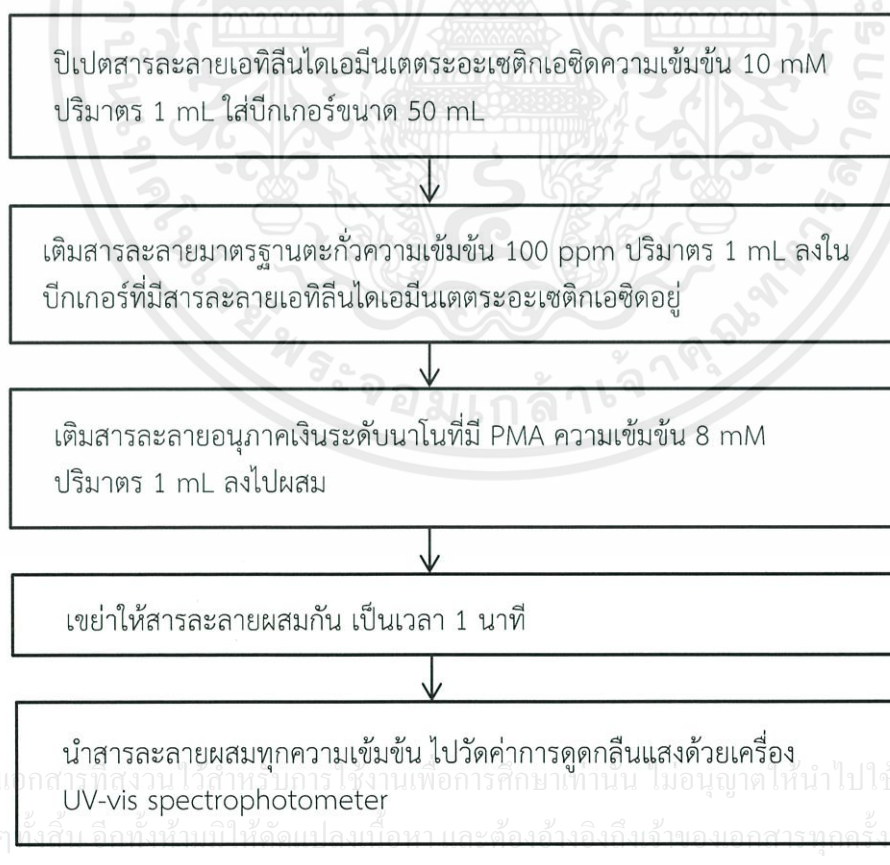
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้สำหรับการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนผังวิธีศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิด

3.4.2.2 วิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

เตรียมสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิดความเข้มข้น 10 mM และสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 100, 200, 400, 600, 800 และ 1000 ppm แล้วทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน จากนั้นนำสารละลายตะกั่วที่ความเข้มข้นดังกล่าวไปผสมกับสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิดความเข้มข้น 10 mM และสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน ในอัตราส่วนปริมาตรเท่ากับ 1 : 1 : 1 mL สังเกตสีของสารละลายผสมและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.3



ทำซ้ำจนครบทุกความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เตรียมไว้

รูปที่ 3.3 แผนผังวิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของอนุภาคเงินระดับนาโน

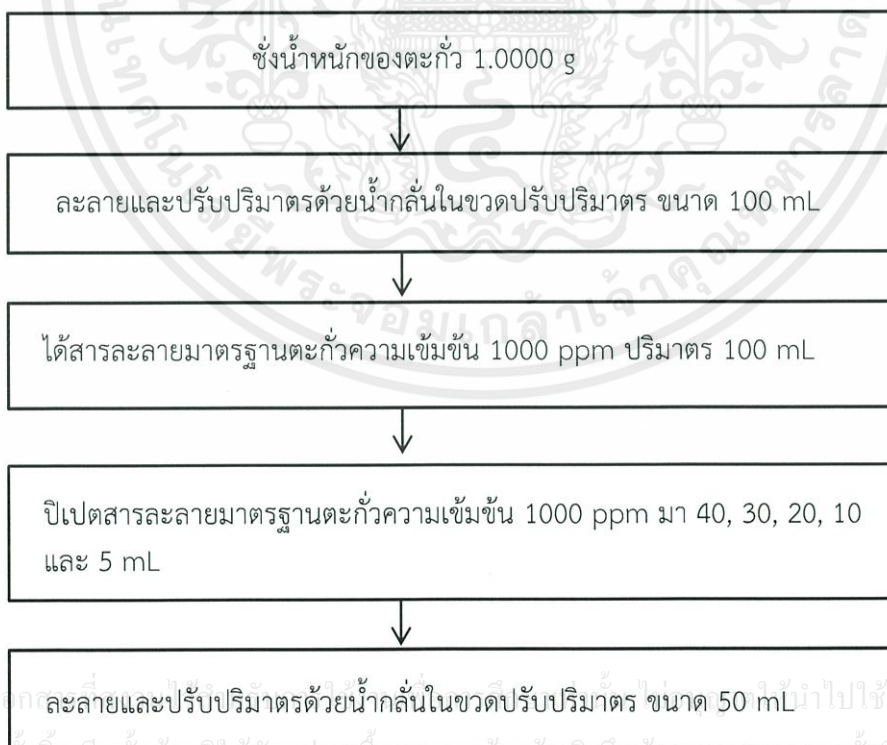
3.4.2.3 วิเคราะห์ผล

ตัวแปรที่ทำการศึกษา	เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์
ศึกษาอิทธิพลจากความเข้มข้นของสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิด (สีของสารละลาย)	UV-vis spectrophotometry

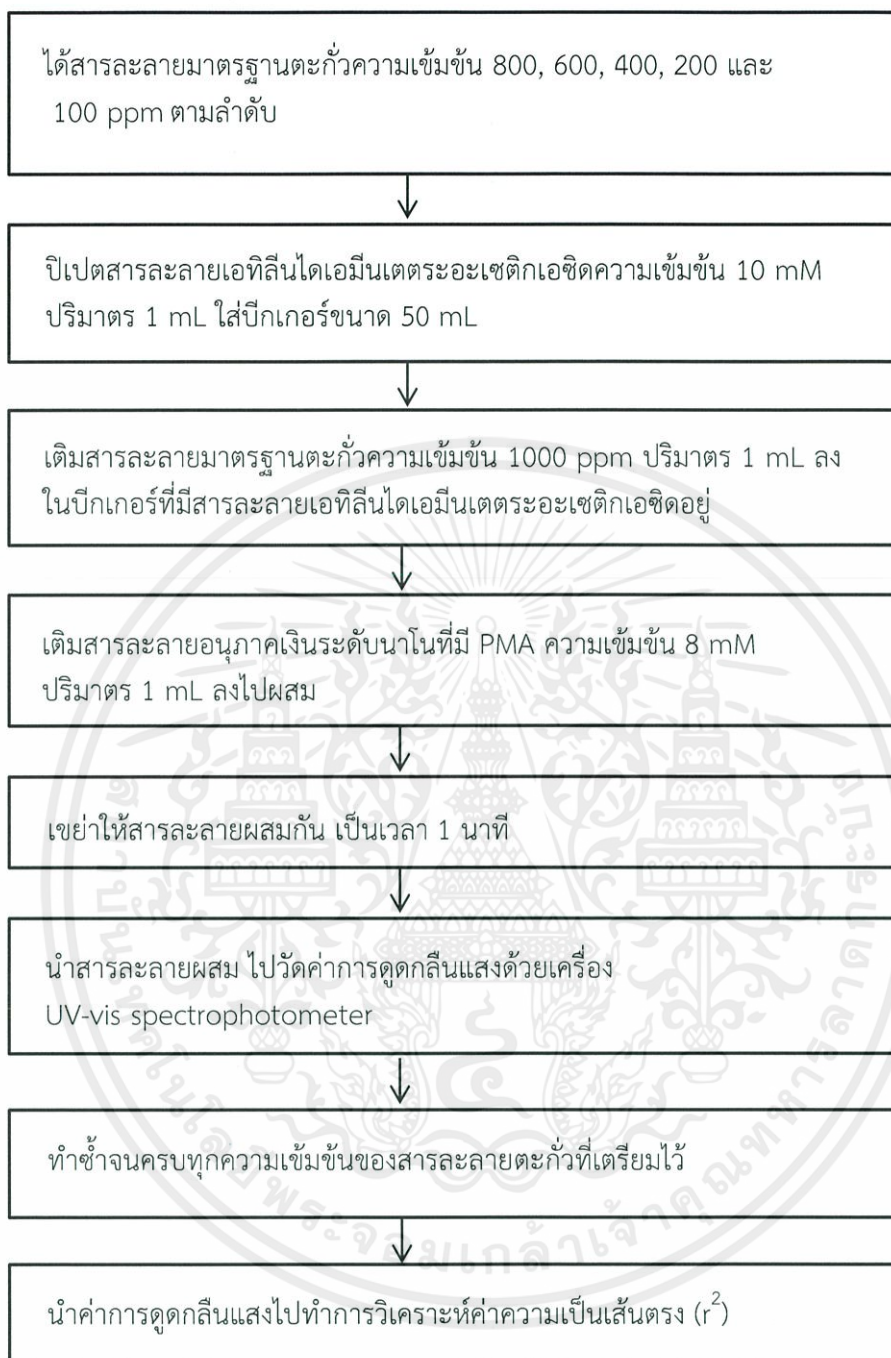
3.4.3 การศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว

3.4.3.1 การศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity)

วิธีการศึกษาความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว ด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM ศึกษาโดยการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 100, 200, 400, 600, 800 และ 1000 ppm จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นเส้นตรง (r^2) ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังที่รูปที่ 3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลที่ได้แจ้งไว้



รูปที่ 3.4 แผนผังวิธีการศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว

3.4.3.2 การศึกษาหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน (%Recovery)

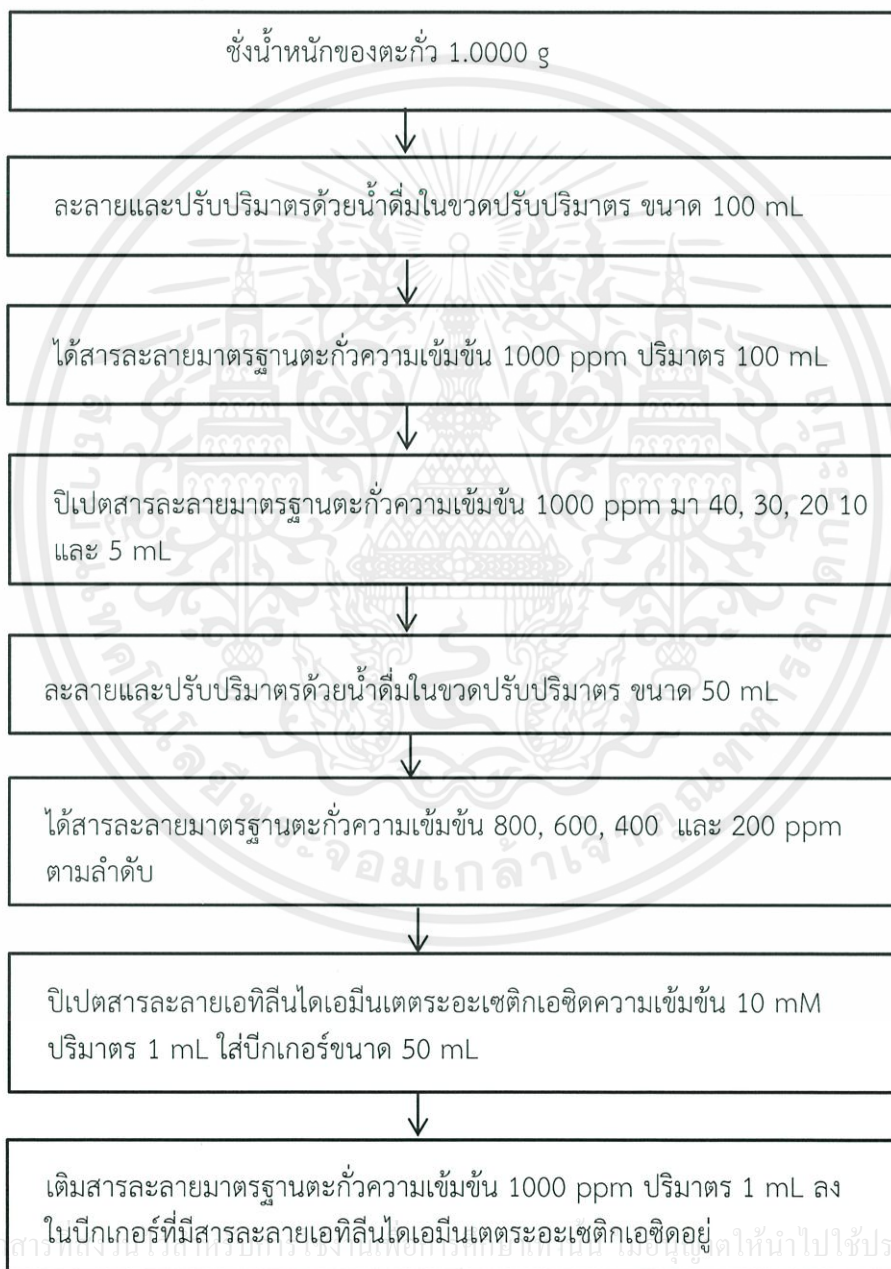
วิธีการศึกษาหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน ด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนา

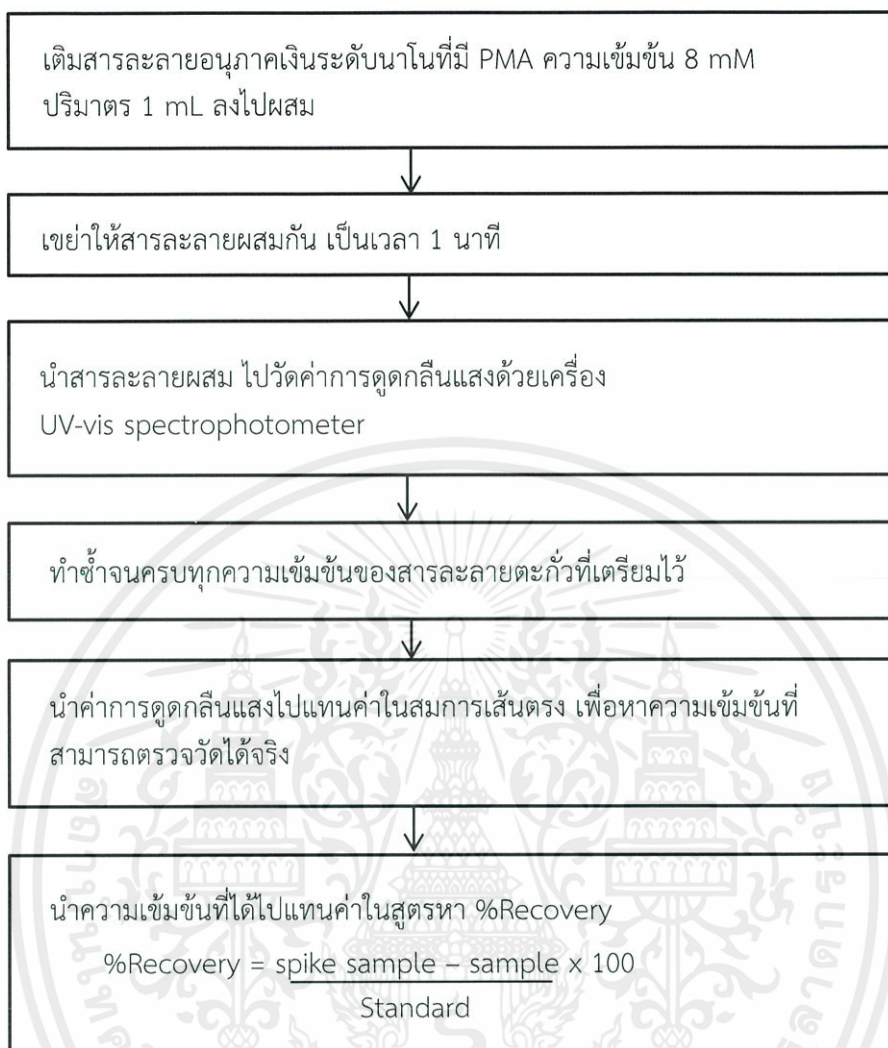
เอกสารนี้โนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ตัวอย่างที่ใช้ : น้ำดื่ม (Drinking Water) อย่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารมาตรฐานตะกั่วที่เติมลงมีความเข้มข้นดังนี้ 200, 400, 600, 800 และ 1000 mM

ทำได้โดยการเตรียมสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 200, 400, 600, 800 และ 1000 mM ด้วยน้ำดื่ม จากนั้นนำสารละลายตะกั่วแต่ละความเข้มข้นไปทดสอบด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM สังเกตสีของสารละลายที่เปลี่ยนไป จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย และนำค่าการดูดกลืนแสงไปแทนค่าในสมการเส้นตรง เพื่อหาความเข้มข้นที่สามารถตรวจวัดได้จริง และนำความเข้มข้นที่ได้ไปแทนค่าในสูตรหา %Recovery ต่อไป ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.5

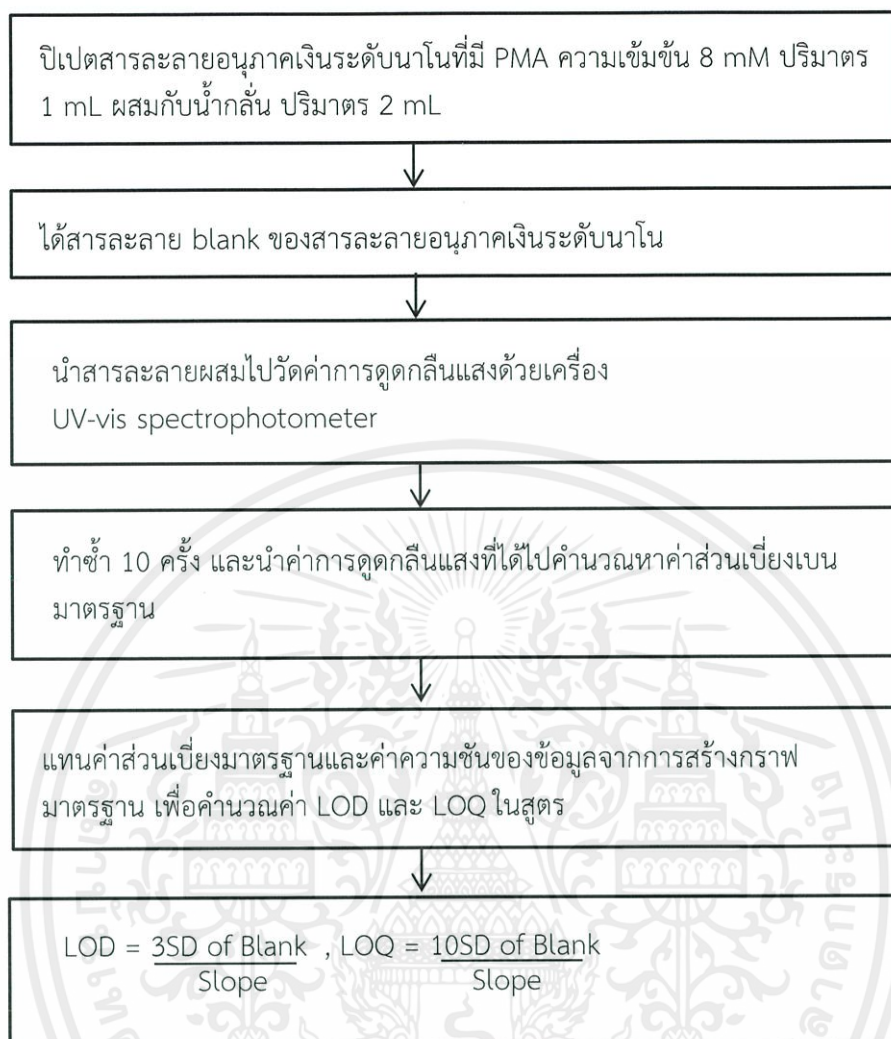




รูปที่ 3.5 แผนผังวิธีการหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน (%Recovery)

3.4.3.3 การศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection) และขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation)

การศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection) เป็นการศึกษาปริมาณที่ต่ำที่สุดของตะกั่วที่ตรวจวัดได้ และขีดจำกัดการวิเคราะห์ (Limit of quantitation) เป็นการศึกษาปริมาณต่ำที่สุดของตะกั่วที่สามารถวิเคราะห์ได้ โดยอาศัยข้อมูลจากการสร้างกราฟมาตรฐาน ทำได้โดยนำอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM ผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วนปริมาตรเป็น 1 : 2 mL เพื่อใช้เป็นสารละลาย Blank จากนั้นนำสารละลายผสมไปวัดค่าการดูดกลืนแสง และทำซ้ำ 10 ครั้ง และนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) และค่าความชัน (slope) ของข้อมูลจากการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ ไปคำนวณค่า LOD และ LOQ ต่อไป ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนผังวิธีการหาขีดจำกัดของการตรวจวัดและขีดจำกัดของการวิเคราะห์

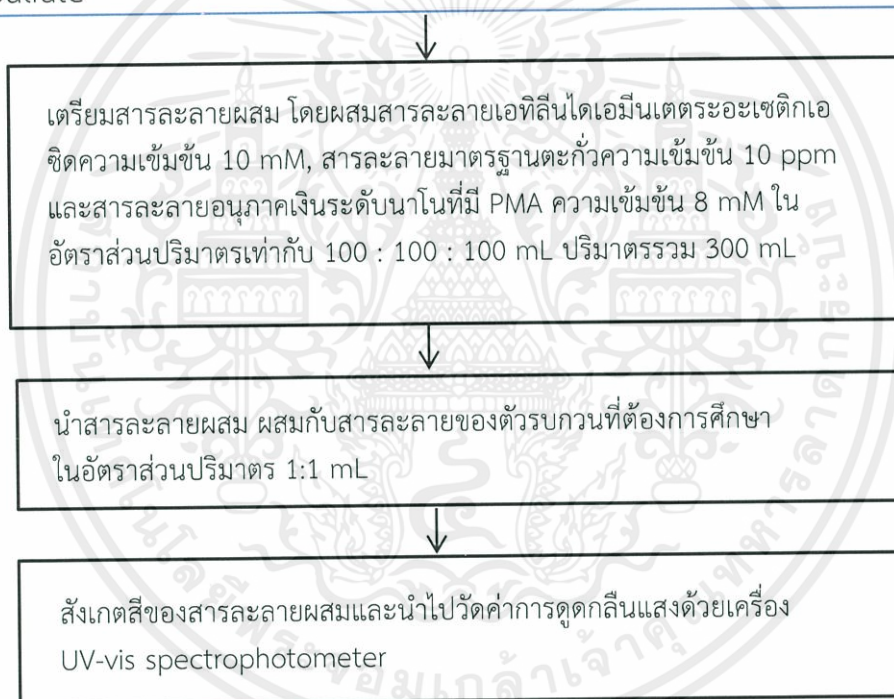
3.4.3.4 การศึกษาผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

เตรียมสารละลายของตัวรบกวน โดยใช้ น้ำกลั่น เป็นตัวทำละลาย นำไปผสมกับสารละลายผสมของสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิดความเข้มข้น 10 mM, สารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 10 ppm และสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM ในอัตราส่วนปริมาตรเท่ากับ 1 : 1 : 1 mL แล้วสังเกตสีของสารละลายผสมและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.7

ความเข้มข้นของตัวรบกวนที่ใช้ ดังตารางด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานวิจัยการศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ขอสงวนสิทธิ์ในขอบข่ายของการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของตัวรบกวน	ความเข้มข้นที่ใช้ (mM)
Calcium Nitrate	30
Potassium Nitrate	20
Sodium Nitrate	200
Mercury(II) Chloride	0.006
Cadmium Nitrate	0.003
Copper(II) Nitrate	2
Iron(II) Sulfate	0.5
Magnesium Sulfate	8
Nickel Sulfate	1
Zinc Sulfate	3



รูปที่ 3.7 แผนผังวิธีการศึกษาผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

3.4.3.5 วิเคราะห์ผล

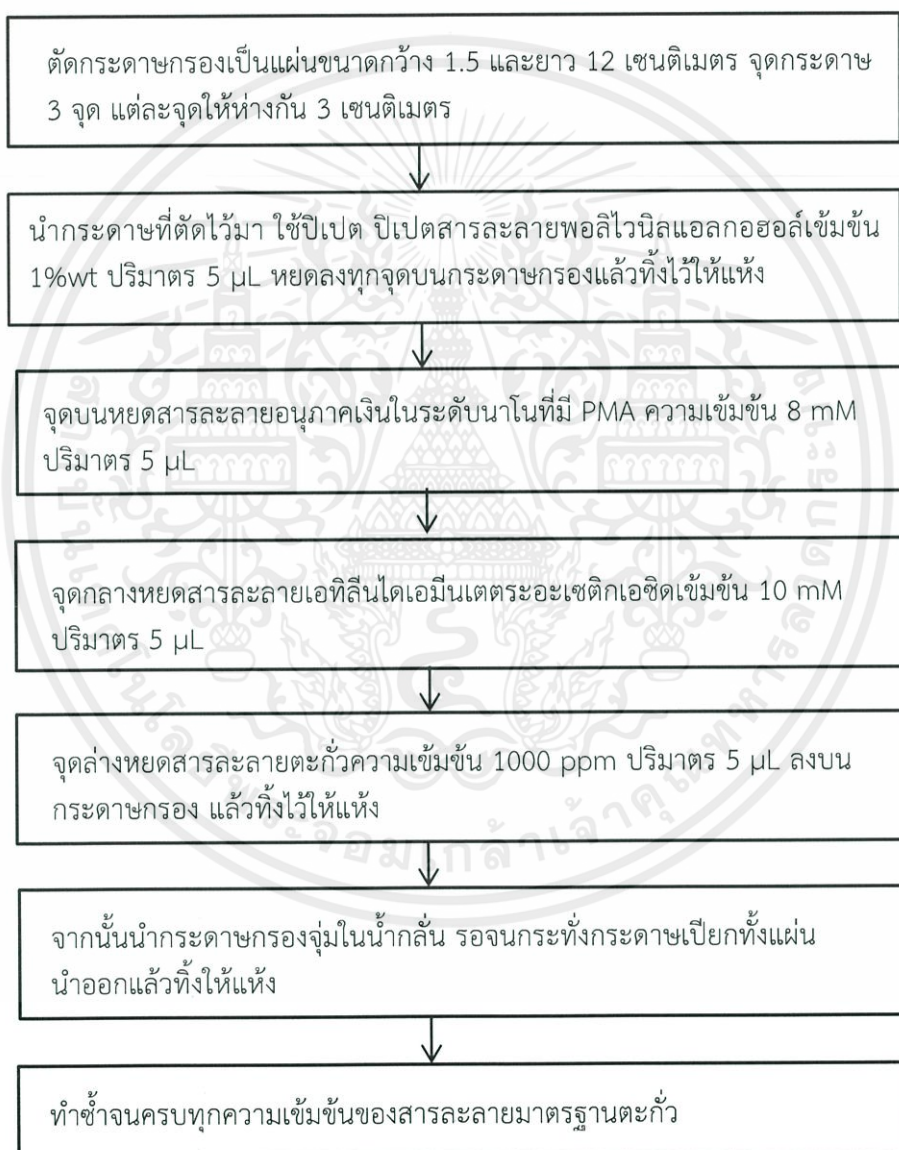
ตัวแปรที่ทำการศึกษา	เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์
ศึกษาอิทธิพลของตัวรบกวน (สีของสารละลาย)	UV-vis spectrophotometry

เอกสารนี้ศึกษาอิทธิพลของตัวรบกวน (สีของสารละลาย) การศึกษาหา UV-vis spectrophotometry โดยขั้นตอนการคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

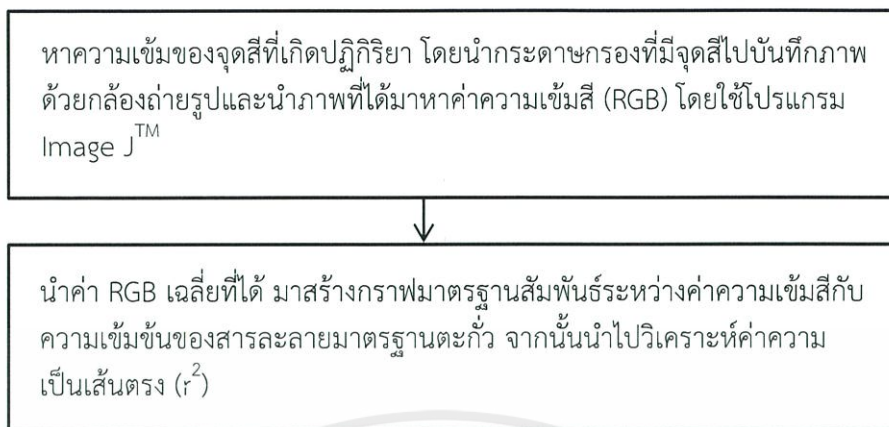
3.4.4 วิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของอนุภาคเงินระดับนาโนโดยเทคนิคกระดาษวิเคราะห์

3.4.4.1 การศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity)

ศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐาน โดยการหดยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM, สารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกแอซิดเข้มข้น 10 mM และสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 100, 200, 400, 600, 800 และ 1000 ppm ลงบนกระดาษกรองที่มีสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 1%wt เป็นตัวยึดติดบนกระดาษ จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นเส้นตรง (r^2) ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังที่รูปที่ 3.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงวิธีการสร้างกราฟมาตรฐานของวิธีกระดาษวิเคราะห์

3.4.4.2 การศึกษาหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน (%Recovery)

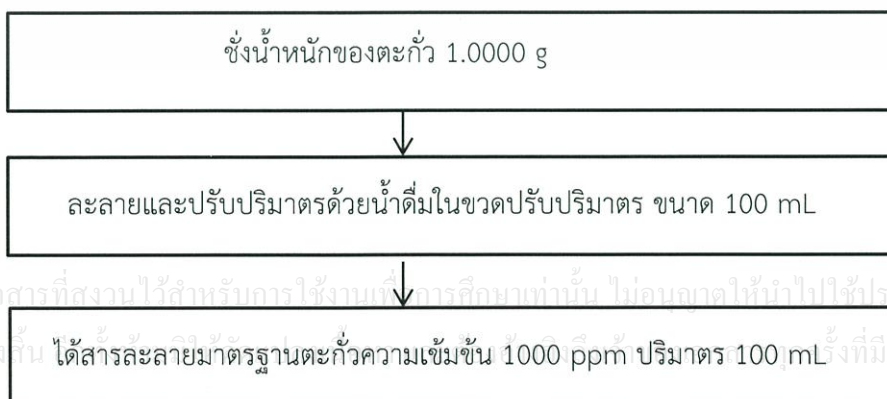
วิธีการศึกษาหาค่าคืนกลับและสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของสารมาตรฐาน

ตะกั่ว ด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM

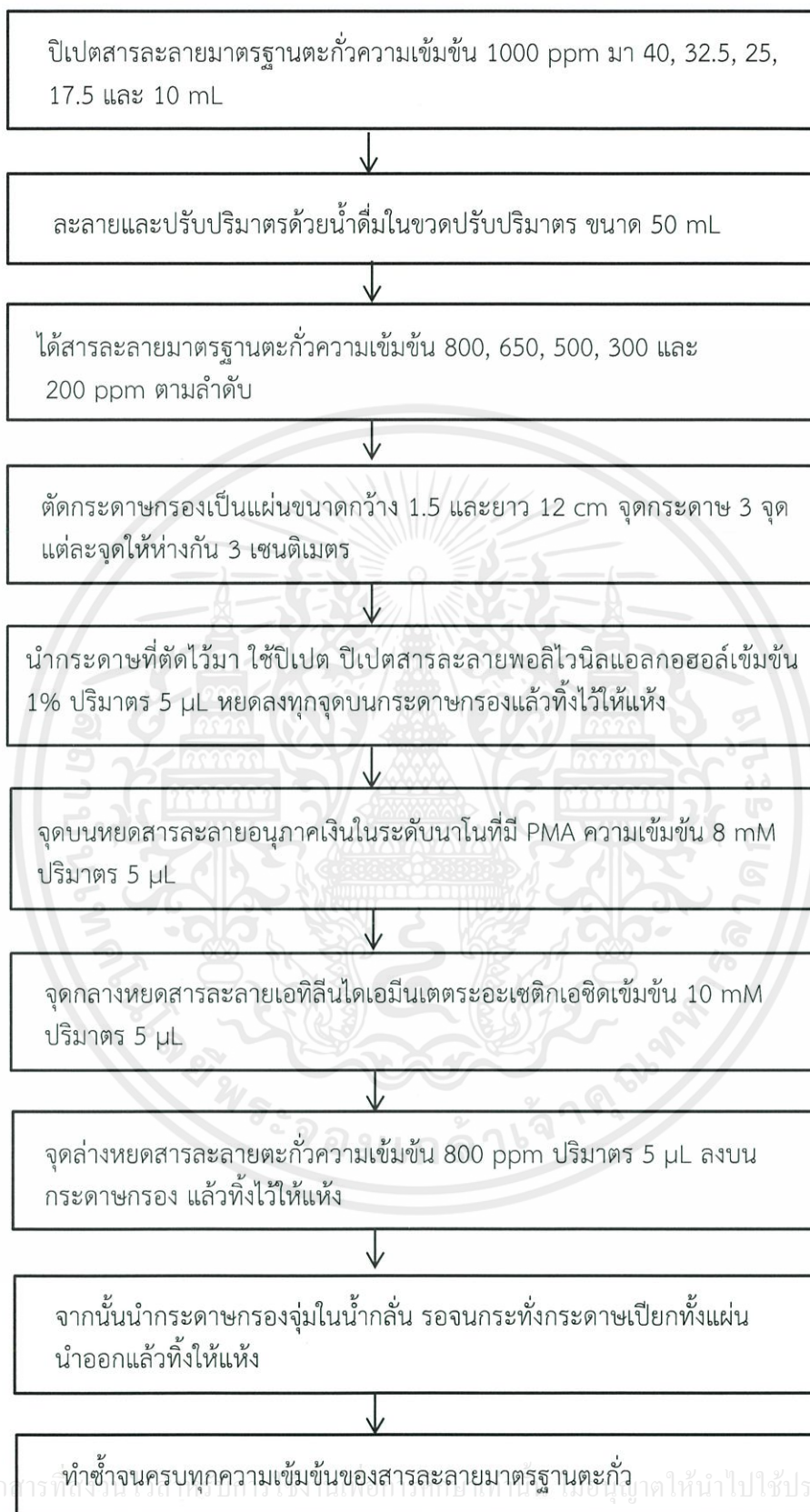
ตัวอย่างที่ใช้ : น้ำดื่ม (Drinking Water)

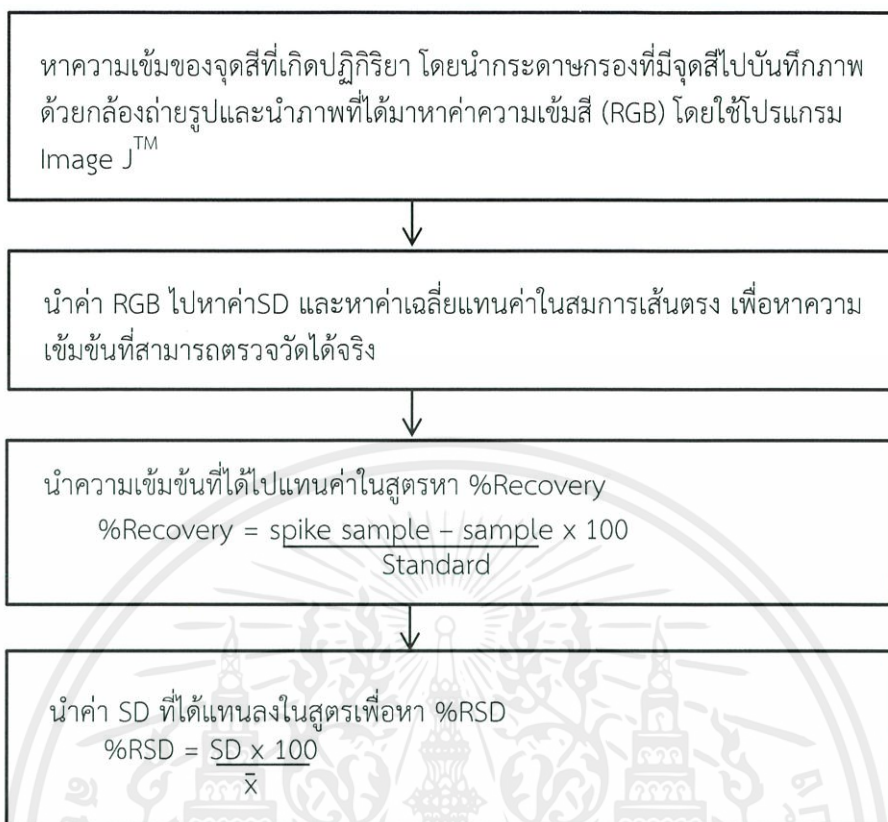
สารมาตรฐานตะกั่วที่เติมลงมีความเข้มข้นดังนี้ 200, 350, 500, 650 และ 800 mM

ทำได้โดยการเตรียมสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 200, 350, 500, 650 และ 800 mM ด้วยน้ำดื่ม จากนั้นนำสารละลายตะกั่วแต่ละความเข้มข้นไปทดสอบด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM สังเกตสีของสารละลายที่เปลี่ยนไป จากนั้นนำไปวัดค่าความเข้มสี (RGB) ของสารละลายโดยบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายรูปและหาค่าความเข้มสี โดยใช้โปรแกรม Image J™ และนำค่าความเข้มสีของแต่ละความเข้มข้นไปหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าเฉลี่ยแล้วแทนค่าในสมการเส้นตรง เพื่อหาความเข้มข้นที่สามารถตรวจวัดได้จริง และนำความเข้มข้นที่ได้ไปแทนค่าในสูตรหา %Recovery และ % RSD ต่อไป ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ได้สารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 100 mL ซึ่งได้มีการนำไปใช้

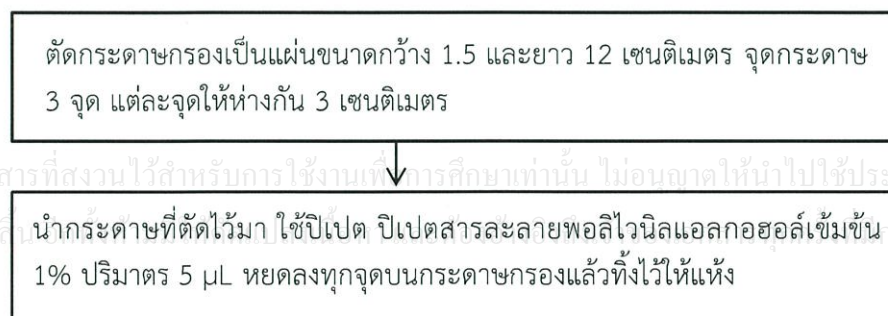




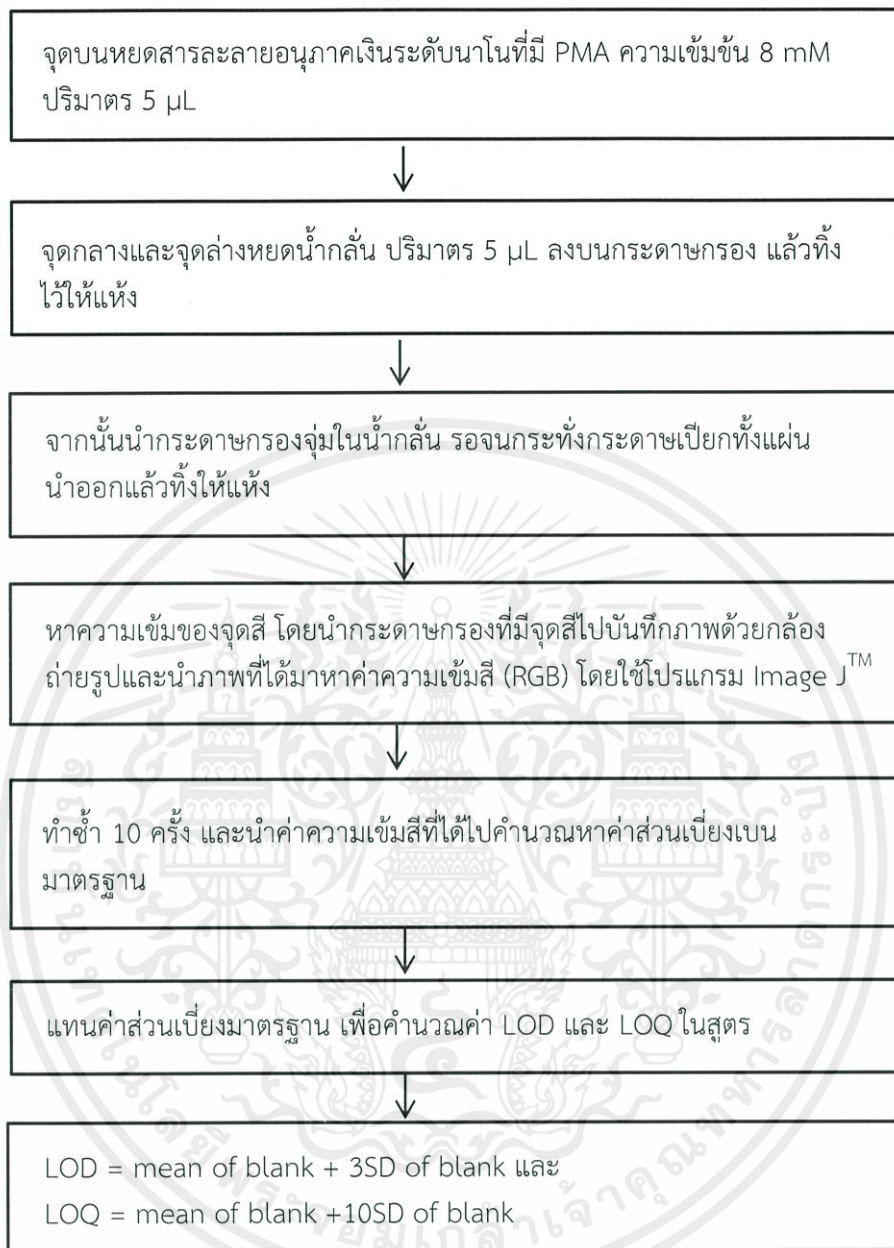
รูปที่ 3.9 แผนผังวิธีการหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐานและสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

3.4.4.3 การศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection) และขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation)

การศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection) เป็นการศึกษาปริมาณที่ต่ำที่สุดของตะกั่วที่ตรวจวัดได้ และขีดจำกัดการวิเคราะห์ (Limit of quantitation) เป็นการศึกษาปริมาณที่ต่ำที่สุดของตะกั่วที่สามารถวิเคราะห์ได้ ทำโดยหยดสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM และน้ำกลั่นลงบนกระดาษกรองเพื่อใช้เป็นแบลนด์ นำไปวัดค่าความเข้มสี ทำซ้ำ 10 ครั้ง และนำค่าความเข้มสีที่ได้ไปคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าเฉลี่ย แทนค่าที่คำนวณได้เพื่อหาค่า LOD และ LOQ ต่อไป ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น

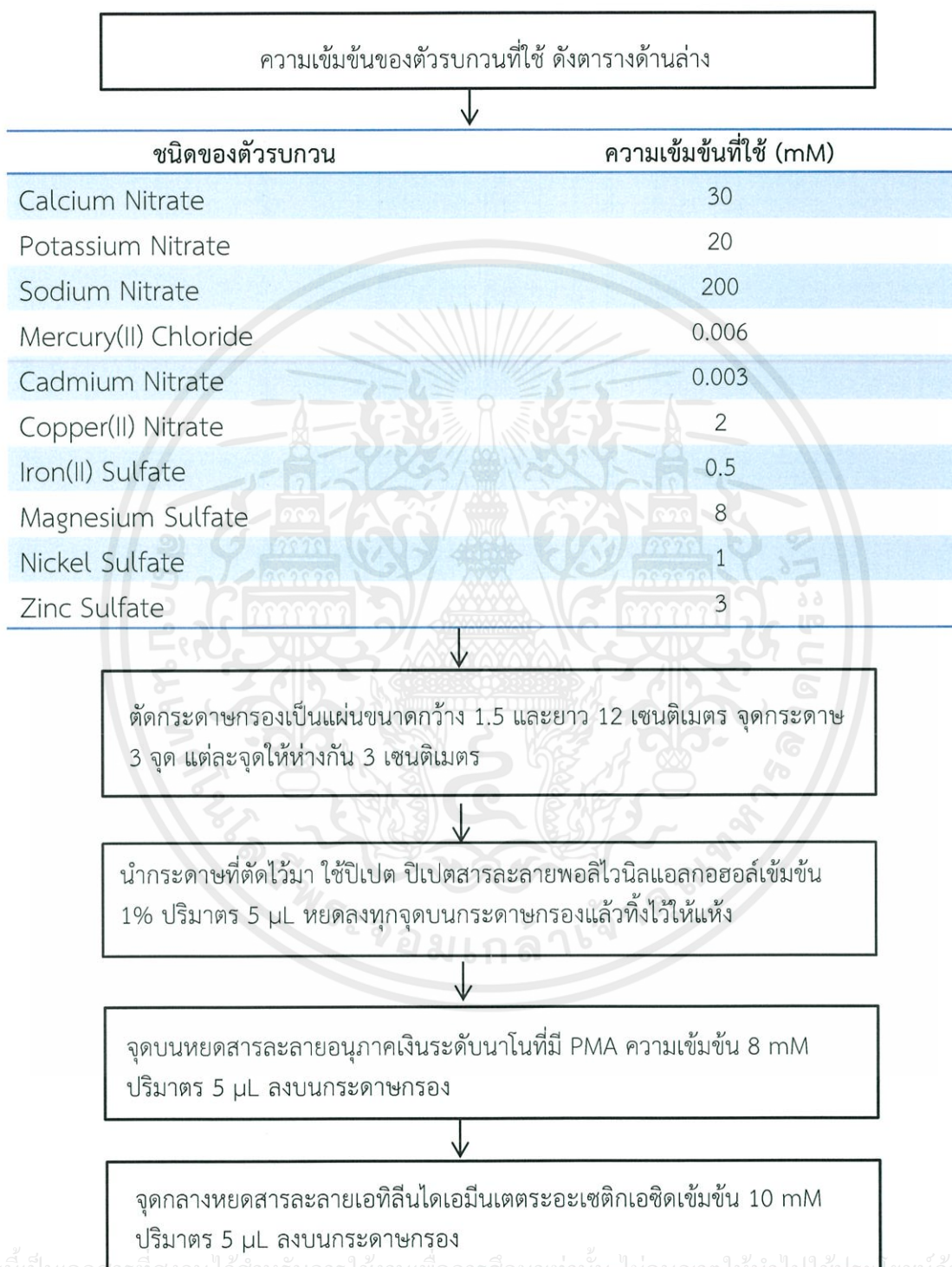


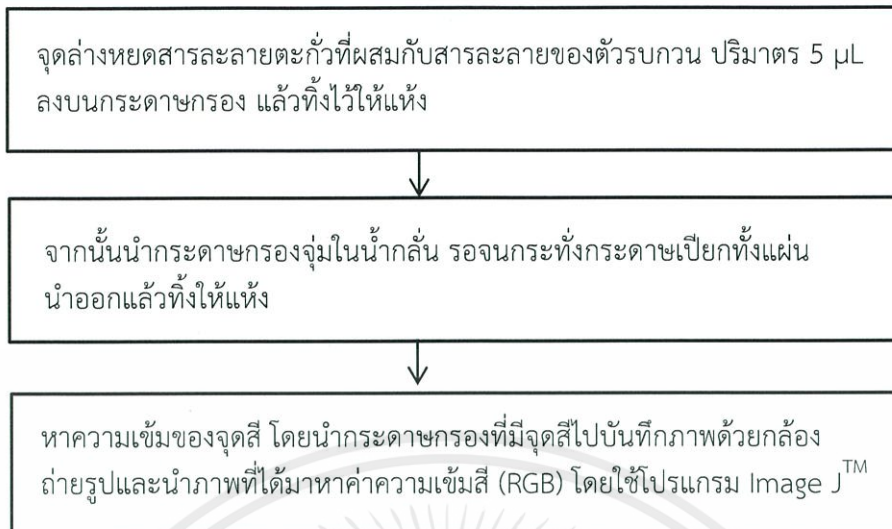
รูปที่ 3.10 แผนผังวิธีการหาขีดจำกัดของการตรวจวัดและขีดจำกัดของเทคนิคกระดาษวิเคราะห์

3.4.4.4 การศึกษาผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

เตรียมสารละลายของ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 , NaNO_3 , $\text{Hg}(\text{Cl})_2$, $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, FeSO_4 , MgSO_4 , NiSO_4 , ZnSO_4 โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย ผสมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 100 ppm ในอัตราส่วนปริมาตร 1:1 mL จากนั้นหยดสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM, สารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิดเข้มข้น 10 mM และสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 100 ppm ที่ผสมกับสารละลายของตัวรบกวน ลงบน

กระดาษกรองที่มีสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 1%wt เป็นตัวยึดติดบนกระดาษ ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.11



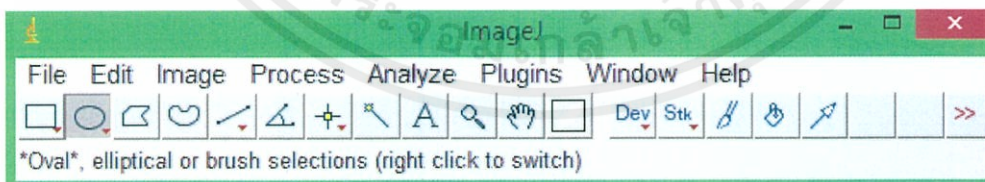


รูปที่ 3.11 แผนผังวิธีการศึกษาผลกระทบของตัวרבกวนที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

3.4.4.5 การใช้โปรแกรม Image J™ ในการหาความเข้มสี

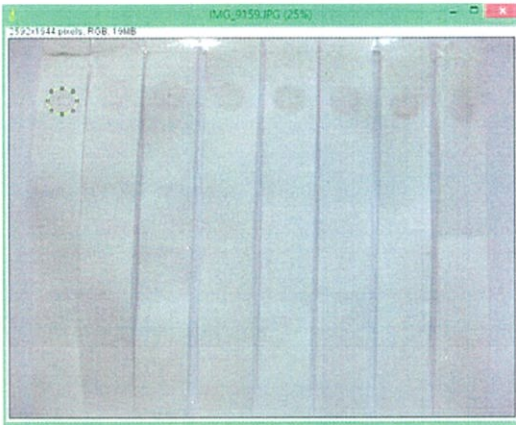
ขั้นตอนและวิธีการใช้โปรแกรม

1. ติดตั้งโปรแกรมโดยดาวน์โหลดจากเว็บไซต์
<http://rsb.info.nih.gov/ij/download.ht>
2. เปิดโปรแกรม Image J™ จากนั้นเปิดไฟล์รูปที่ต้องการ
3. คลิกที่รูปร่างกลมบนแถบเมนู แล้วสร้างรูปร่างกลมขึ้นมา โดยกำหนดพื้นที่ที่แน่นอน โดยดูจากค่าจำนวนนับ (Count)
4. คลิกที่ Plugins บนแถบเมนู เลือก Analyze จากนั้นคลิก RGB เพื่อหาค่าความเข้มของสีแต่ละสี คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue)

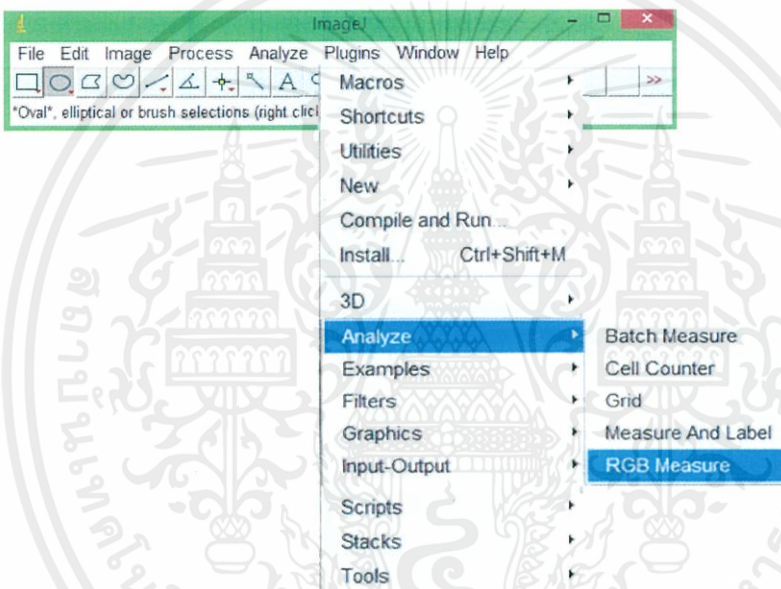


รูปที่ 3.12 แสดงแถบเมนูของโปรแกรม Image J™

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงรูปที่ต้องการหาค่า RGB และกำหนดพื้นที่ที่แน่นอนเพื่อหาค่า RGB



รูปที่ 3.14 เมื่อได้รูปและพื้นที่ที่ต้องการ โปรแกรมจะทำการคำนวณค่า RGB

	Label	Area	Mean	Min
1	Red	11304	136.571	72
2	Green	11304	136.537	67
3	Blue	11304	131.919	73
4	(R+G+B)/3	11304	135.045	71
5	0.299R+0.587G+0.114B	11304	136.030	69

รูปที่ 3.15 ตารางแสดงค่า RGB ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Image JTM

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งผลการทดลองออกเป็น 4 ส่วนหลักๆดังต่อไปนี้ ส่วนที่หนึ่ง คือ ผลการทดลองและอภิปรายผลจากการศึกษาสภาวะในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน ซึ่งได้แก่ การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของพอลิเมทาคริลิกแอซิด (PMA) และระยะเวลาในการสังเคราะห์ ส่วนที่สอง คือ ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี (UV-vis spectrophotometry) ซึ่งได้แก่ การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิด (EDTA) ส่วนที่สาม คือ ผลการศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยการใช้อนุภาคเงินระดับนาโน และส่วนสุดท้าย คือ ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วด้วยเทคนิคการวิเคราะห์สารบนกระดาษ (Paper Analysis)

4.1 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน

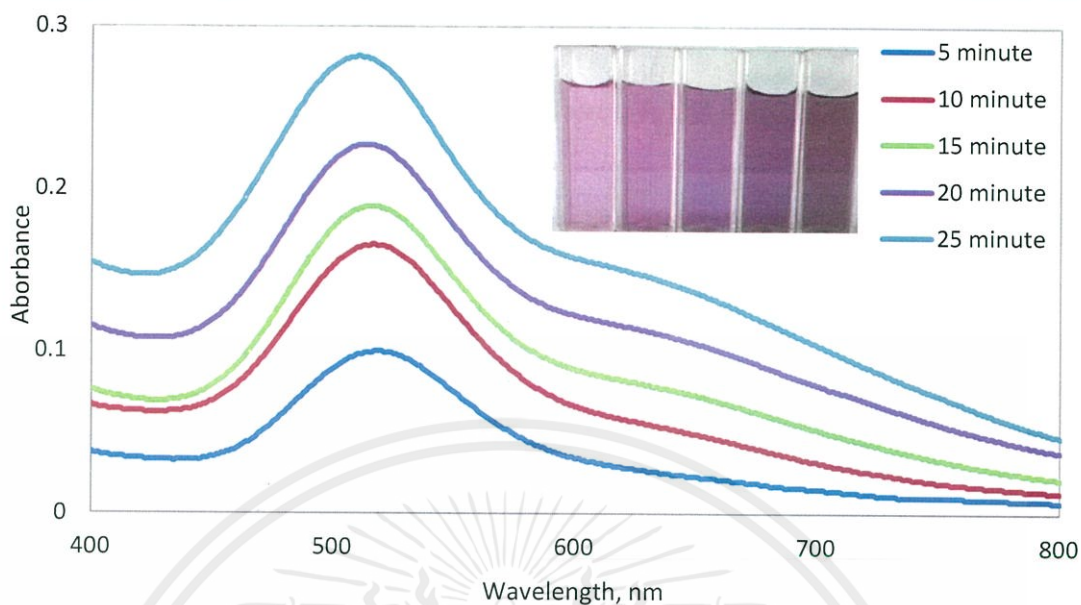
4.1.1 การศึกษาความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพพอลิเมทาคริลิกแอซิด (PMA)

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการสังเคราะห์สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีม่วง โดยใช้สารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิดเป็นสารรักษาเสถียรภาพ ซึ่งสีของสารละลายของอนุภาคเงินระดับนาโนขึ้นกับความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพและระยะเวลาที่สัมผัสกับพลังงานแสงจากหลอด UV-C จึงทำการศึกษาความเข้มข้นดังต่อไปนี้

4.1.1.1 สารรักษาเสถียรภาพ PMA 8 mM

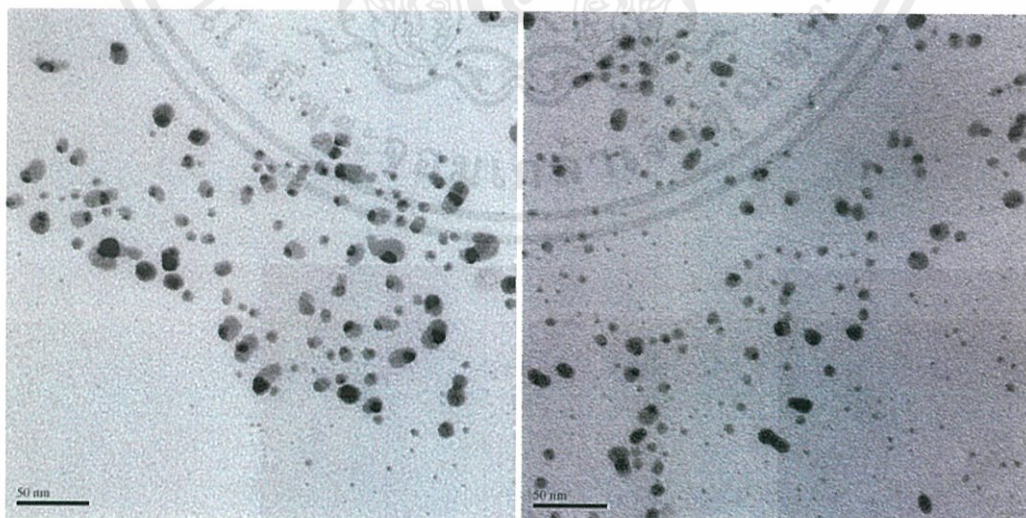
การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน ได้ศึกษาความเข้มข้นของ PMA โดยการผสมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 10 mM และ PMA ความเข้มข้น 8 mM ที่ละลายอยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์อะซิติกอะซิเตรท pH 4.75 จากนั้นนำไปสัมผัสพลังงานแสงจากหลอด UV-C ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เกิดการเปลี่ยนสีของสารละลายขึ้นจากไม่มีสีกลายเป็นสารละลายสีม่วง ซึ่งสีที่ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ PMA และระยะเวลาที่สัมผัสพลังงานแสง นำสารละลายสีม่วงไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer สแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 800-200 nm ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

ผลการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการละลายอนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 8 mM พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนเกิดความเสถียรและเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นสารละลายมีการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นสารละลายสีม่วง จากนั้นทำการศึกษานาโนของอนุภาคเงินระดับนาโนที่ทำการสังเคราะห์โดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 8 mM ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ผลที่ได้เป็นดังนี้

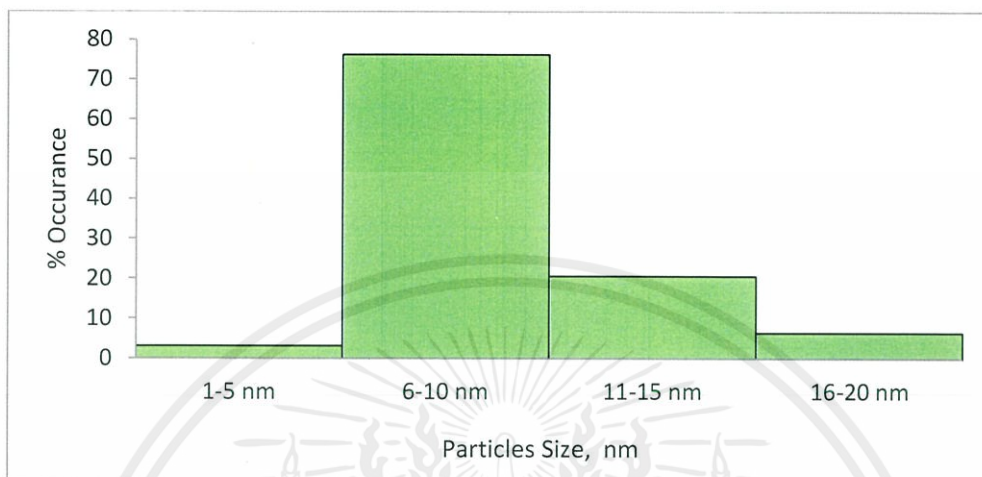


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.2 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยเทคนิค TEM

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเชิงนโยบายและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคเงินระดับนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยมี สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 8 mM มีลักษณะที่เป็นทรงกลมหลายขนาดกระจายตัวอยู่ จึงทำการวัดขนาดของอนุภาค ผลที่ได้เป็นดังนี้



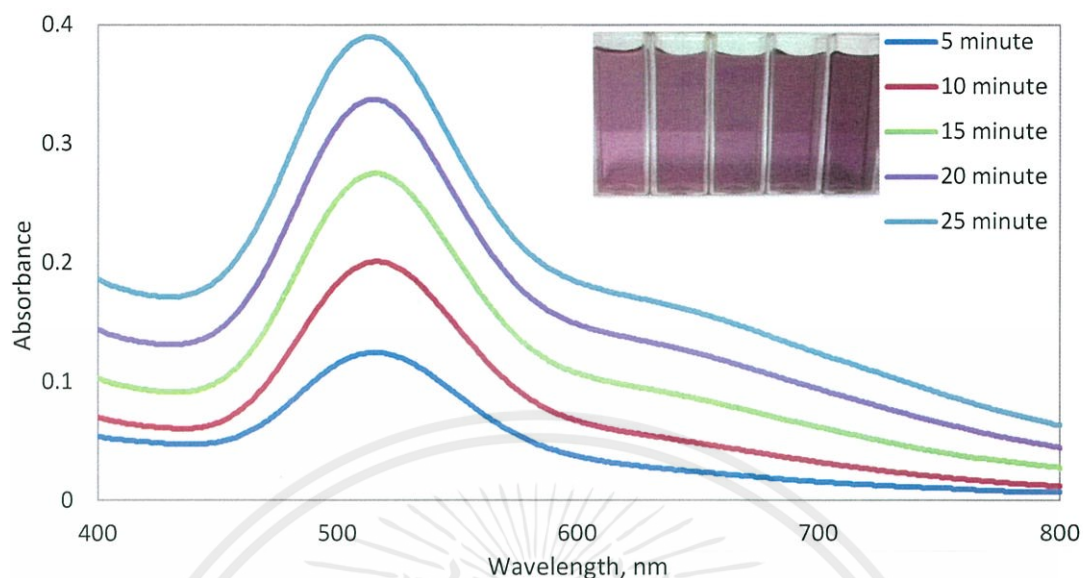
รูปที่ 4.3 ขนาดตัวของอนุภาคเงินระดับนาโนที่ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA 8 mM

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนส่วนใหญ่มีขนาดเล็กและมีขนาดประมาณ 6-10 nm

4.1.1.2 สารรักษาเสถียรภาพ PMA 13 mM

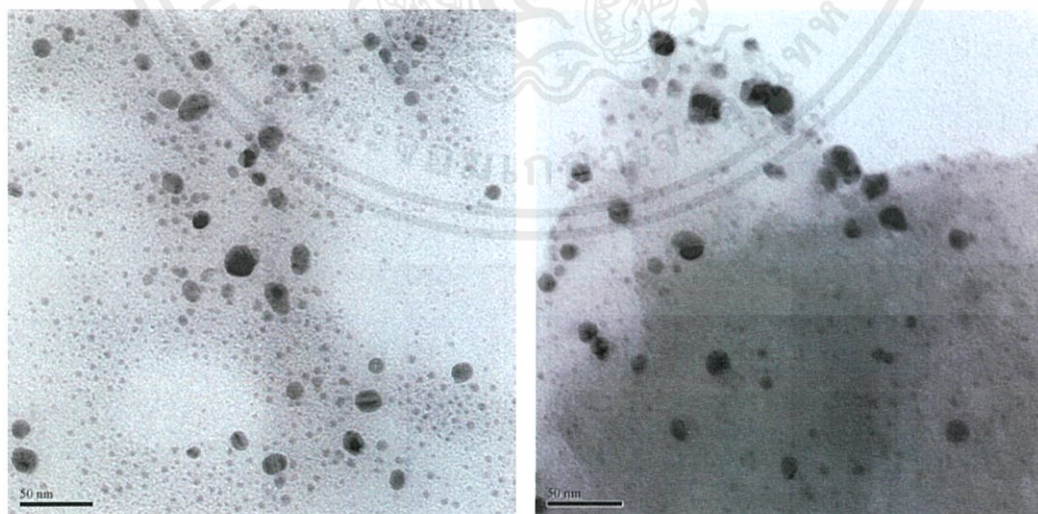
การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน ได้ศึกษาความเข้มข้นของ PMA โดยการผสมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 10 mM และ PMA ความเข้มข้น 13 mM ที่ละลายอยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์ จากนั้นนำไปสัมผัสพลังงานแสงจากหลอด UV-C ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันเกิดการเปลี่ยนกลายเป็นสารละลายสีม่วง ซึ่งสีที่ได้ขึ้นกับความเข้มข้นของ PMA และระยะเวลาที่สัมผัสพลังงานแสง นำสารละลายสีม่วงไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer สแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 800-200 nm ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ค่าการดูดกลืนแสงและสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

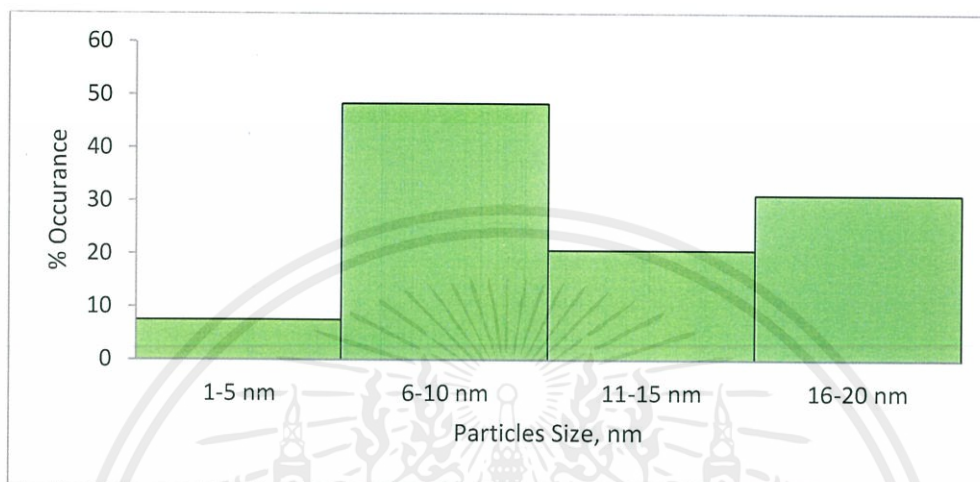
ผลการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงและสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 13 mM พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนเกิดความเสถียรและเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นสารละลายมีการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นสารละลายสีม่วง จากนั้นทำการศึกษาขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโนที่ทำการสังเคราะห์โดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 13 mM ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ผลที่ได้เป็นดังนี้



รูปที่ 4.5 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยเทคนิค TEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลบางประการที่จำเป็นต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคเงินระดับนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยมี สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 13 mM มีลักษณะที่เป็นทรงกลมมีขนาดที่ใหญ่กว่าอนุภาคเงินที่ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 8 mM ซึ่งอนุภาคมีหลายขนาดกระจายตัวอยู่ จึงทำการวัดขนาดของอนุภาค ผลที่ได้เป็นดังนี้



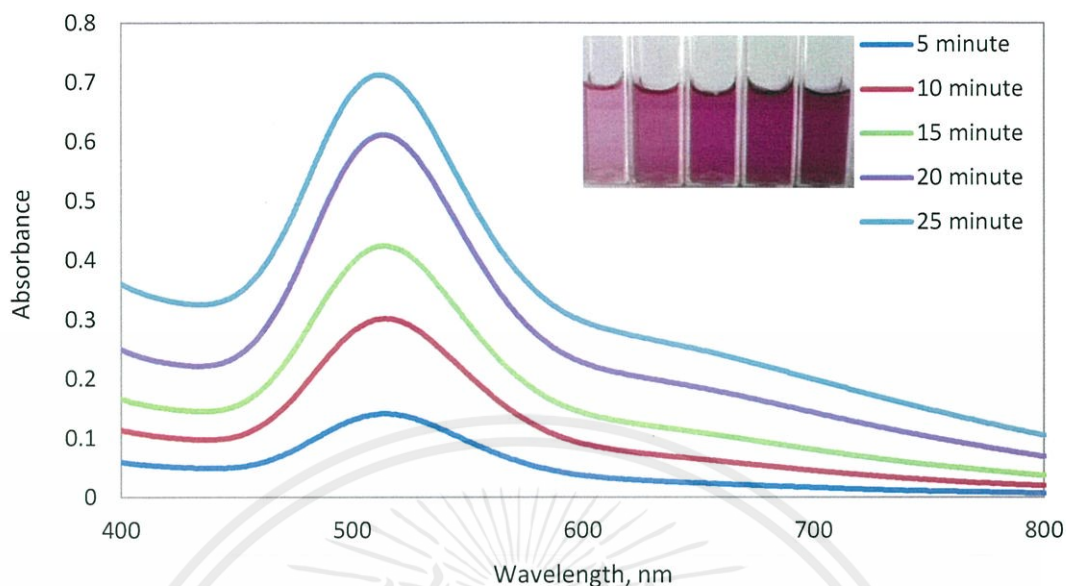
รูปที่ 4.6 ขนาดตัวของอนุภาคเงินระดับนาโนที่ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA 13 mM

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนส่วนใหญ่มีขนาดประมาณ 6-10 nm และยังมีอนุภาคขนาดใหญ่กว่าความเข้มข้น 8 mM เนื่องจากสารรักษาเสถียรภาพ PMA มีความเข้มข้นมากกว่า

4.1.1.3 สารรักษาเสถียรภาพ PMA 20 mM

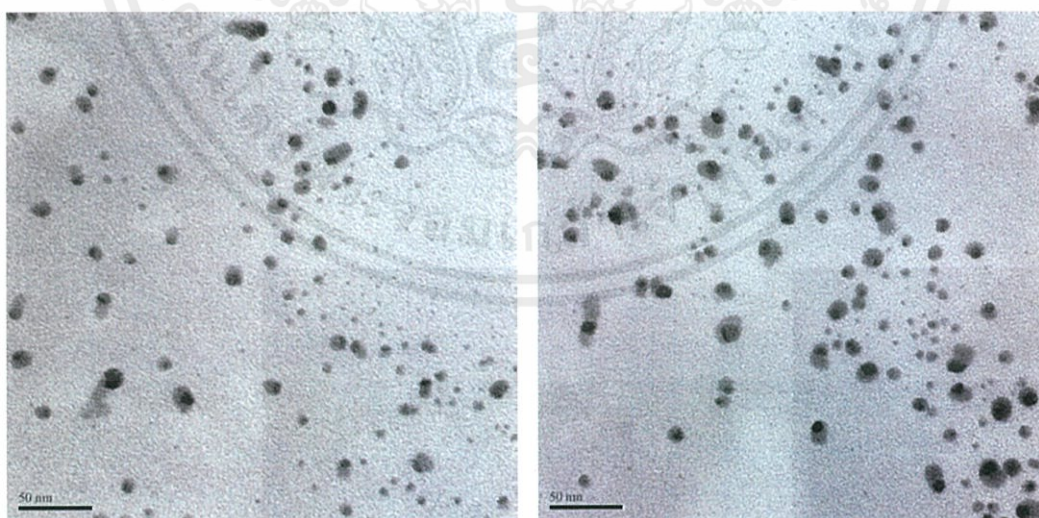
การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน ได้ศึกษาความเข้มข้นของ PMA โดยการผสมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 10 mM และ PMA ความเข้มข้น 20 mM ที่ละลายอยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์ จากนั้นนำไปสัมผัสพลังงานแสงจากหลอด UV-C ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันเกิดการเปลี่ยนสีของสารละลายขึ้นจากไม่มีสีกลายเป็นสารละลายสีม่วง ซึ่งสีที่เกิดขึ้นกับความเข้มข้นของ PMA และระยะเวลาที่สัมผัสพลังงานแสง นำสารละลายสีม่วงไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer สแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 800-200 nm ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ค่าการดูดกลืนแสงและสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

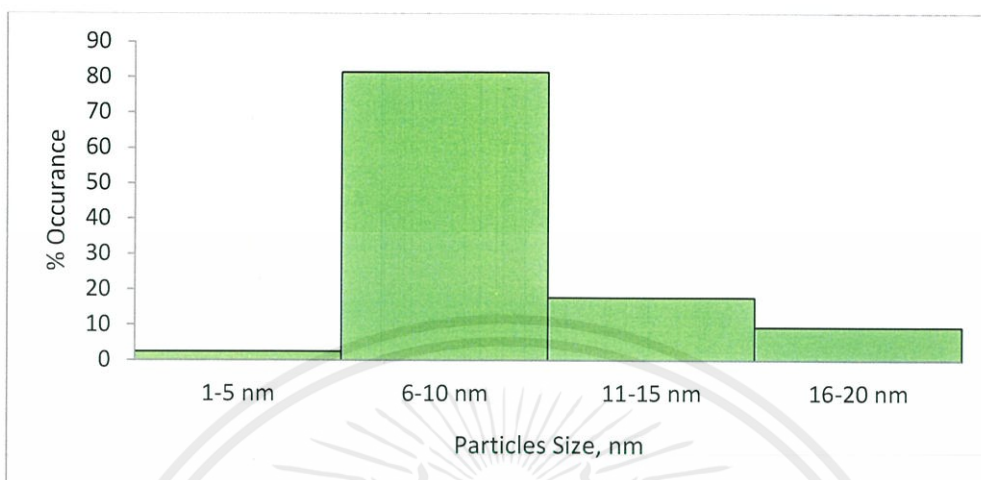
ผลการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงและสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 20 mM พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนเกิดความเสถียรและเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นสารละลายมีการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นสารละลายสีม่วง จากนั้นทำการศึกษานาโนของอนุภาคเงินระดับนาโนที่ทำการสังเคราะห์โดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 20 mM ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ผลที่ได้เป็นดังนี้



รูปที่ 4.8 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยเทคนิค TEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งจากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคเงินระดับนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 20 mM มีลักษณะที่เป็นทรงกลมที่ใหญ่กว่าอนุภาคเงินที่ใช้

สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 8 mM เนื่องจากสารรักษาเสถียรภาพ PMA มีความเข้มข้นมากกว่า ซึ่งอนุภาคมีหลายขนาดกระจายตัวอยู่ จึงทำการวัดขนาดของอนุภาค ผลที่ได้เป็นดังนี้



รูปที่ 4.9 ขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโนที่ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA 20 mM

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 20 mM พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนเกิดความเสถียรและเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นได้สีของสารละลายใกล้เคียงกับความเข้มข้น 8 mM และการศึกษาลักษณะทางกายภาพพบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนส่วนใหญ่มีขนาดประมาณ 6-10 nm แต่มีขนาดใหญ่กว่าความเข้มข้นที่ 8 และ 13 mM ดังนั้นความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ 20 mM เป็นความเข้มข้นที่มากเกินไปจนอาจส่งผลต่อการสังเคราะห์ และอาจส่งผลกระทบต่อผลของการวิเคราะห์

ผลการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA

สารรักษาเสถียรภาพ PMA (mM)	สีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน	ลักษณะทางกายภาพ	ขนาดที่พบ (nm)
8	สีม่วง	ทรงกลม	6-10
13	สีม่วง	ทรงกลม	6-10
20	สีม่วง	ทรงกลม	6-10

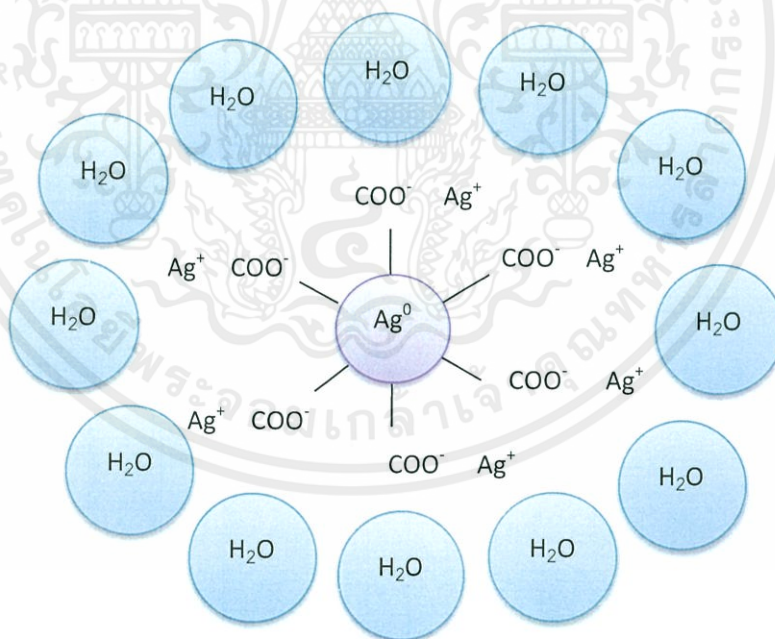
สรุปผลจากการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA โดยศึกษาที่ความเข้มข้น 8, 13 และ 20 mM พบว่าทั้งสามความเข้มข้นให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสีม่วงและมีลักษณะที่เป็นทรงกลมเหมือนกัน จากการวัดขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่วนใหญ่อนุภาคที่พบมีขนาดประมาณ 6-10 nm ดังนั้นความเข้มข้นของ PMA ที่ 13 และ 20 mM จึงเป็นความเข้มข้นที่มากเกินไปจนอาจส่งผลต่อการสังเคราะห์เนื่องจากมีปริมาณของ

PMA มากอาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานวิเคราะห์ได้ จึงเลือกอนุภาคเงินระดับนาโนที่ใช้สารรักษาเสถียรภาพที่ความเข้มข้น 8 mM เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

กลไกการเกิดปฏิกิริยาในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน

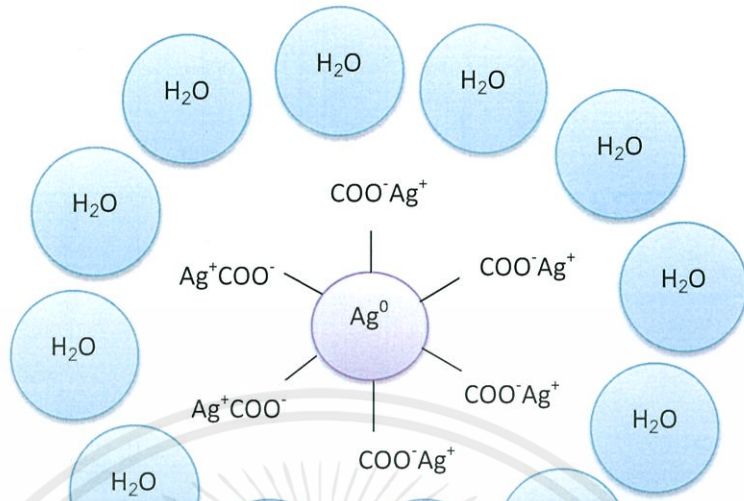
การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน โดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรททำปฏิกิริยากับสารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิด ซึ่งเป็นทั้งตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพ นำสารละลายทั้งสองผสมกันแล้วนำไปสัมผัสพลังงานแสงจากหลอด UV-C ซึ่งมีพลังงานที่ต่ำเกิดปฏิกิริยารีดักชันขึ้น ได้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีม่วงที่มีโมเลกุลของน้ำล้อมรอบอยู่ตั้งในชั้นตอนที่ 1 แต่เนื่องจากพลังงานแสงที่ต่ำจึงทำให้ปฏิกิริยาของซิลเวอร์ไอออนเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้มีปริมาณของซิลเวอร์ไอออนเหลืออยู่ ซึ่งซิลเวอร์ไอออนที่เหลือจะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคเงินระดับนาโน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนในรูปของ Ag^+ / COO^- ดังในชั้นตอนที่ 2 และสารประกอบเชิงซ้อนชนิดนี้จะเหนี่ยวนำให้โมเลกุลของน้ำที่อยู่รอบๆเกิดการผลัดออกจากโครงสร้างดังในชั้นตอนที่ 3 จึงทำให้สารประกอบเชิงซ้อนมีความชอบน้ำลดน้อยลง และระยะห่างที่โมเลกุลของน้ำถูกผลัดออกจากสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้ค่าการกระเจิงแสงแตกต่างกัน สีของสารละลายที่เห็นจึงแตกต่างกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.10

ชั้นตอนที่ 1

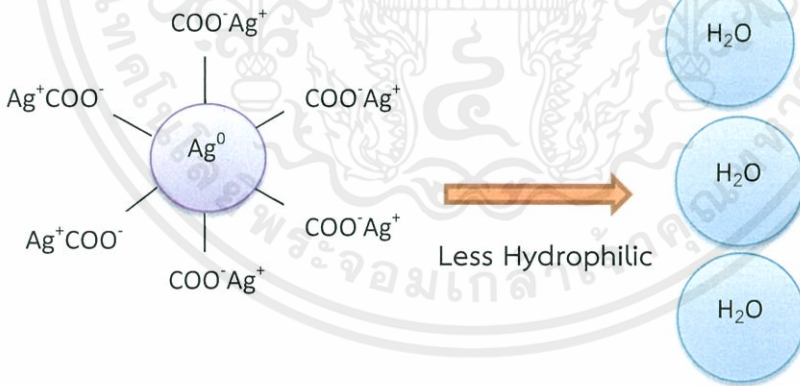


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2



ขั้นตอนที่ 3

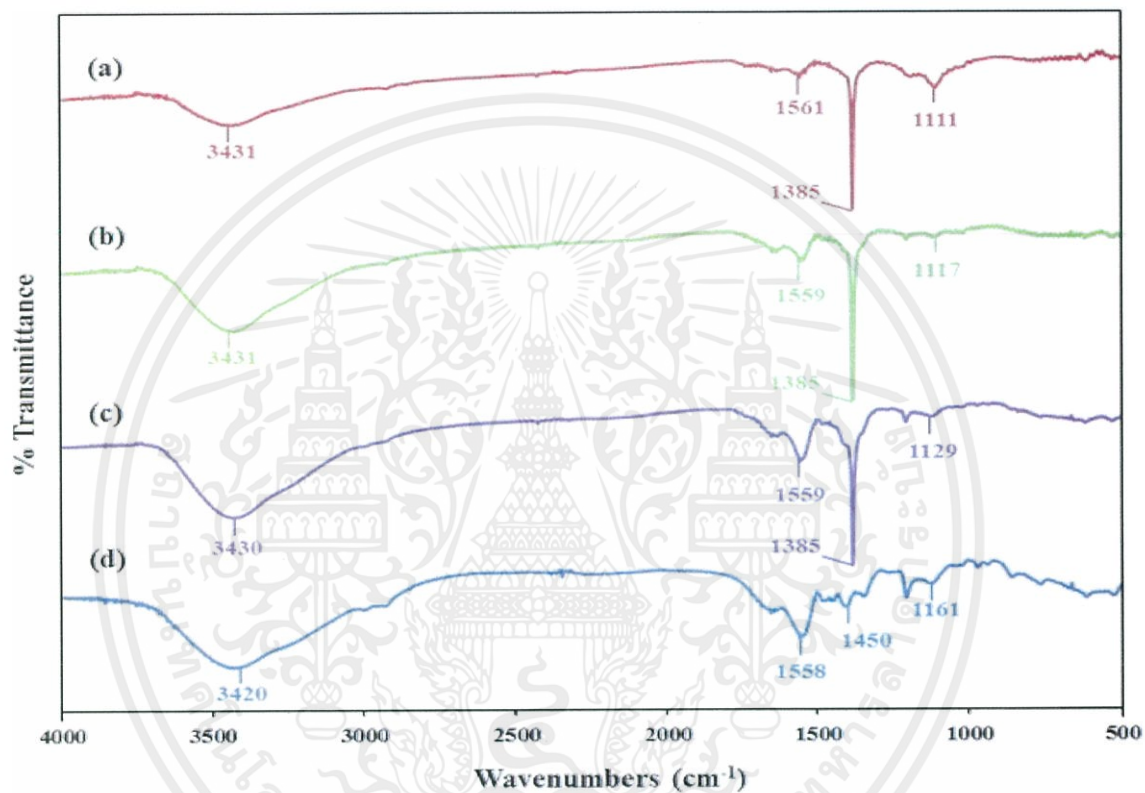


รูปที่ 4.10 แผนภาพการสังเคราะห์ห่อนุภาคเงินระดับนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเงินระดับนาโน โดยเทคนิค FTIR

เพื่อเป็นการยืนยันว่าเป็นอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ จึงทำการตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันซึ่งสามารถอธิบายด้วย FTIR โด่นการนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ และ PMA มาผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ นำเข้าเครื่องอบที่อุณหภูมิประมาณ 80 °C จนแห้งเป็นผง ทำการบดให้ละเอียดแล้วนำมาอัดเม็ด จากนั้นทำการตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้



รูปที่ 4.11 IR สเปกตรัมของอนุภาคเงินในระดับนาโน โดยใช้สารรักษาเสถียรภาพความเข้มข้นต่างๆ

(a) AgNPs:PMA 8 mM, (b) AgNPs:PMA 13 mM, (c) AgNPs:PMA 20 mM
และ (d) PMA

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงหมู่ฟังก์ชันของ AgNPs และหมู่ฟังก์ชันของ PMA

AgNPs 5:8 mM		AgNPs 5:13 mM		AgNPs 5:20 mM		PMA	
Peaks	Peak assignment	Peaks	Peak assignment	Peaks	Peak assignment	Peaks	Peak assignment
3431	O-H stretching	3431	O-H stretching	3430	O-H stretching	3420	O-H stretching
1561	C=O stretching	1559	C=O stretching	1559	C=O stretching	1558	C=O stretching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AgNPs 5:8 mM		AgNPs 5:13 mM		AgNPs 5:20 mM		PMA	
Peaks	Peak assignment	Peaks	Peak assignment	Peaks	Peak assignment	Peaks	Peak assignment
1385	C-H bending	1385	C-H bending	1385	C-H bending	1450	C-H bending
1111	C-O stretching	1117	C-O stretching	1129	C-O stretching	1161	C-O stretching

จากการตรวจวัดสเปกตรัม FTIR ของอนุภาคเงินระดับนาโนและ PMA ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า สเปกตรัมที่ปรากฏในช่วงความยาวคลื่น 1161 และ 1558 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (stretching) ของพันธะ C-O และพันธะ C=O ตามลำดับ ซึ่งเป็นการสั่นในหมู่ฟังก์ชันของกรดคาร์บอกซิลิก (COO^-) ในช่วงความยาวคลื่น 1385 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (stretching) ของพันธะ C-H และในช่วงความยาวคลื่น 3430 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (stretching) ของพันธะ O-H ซึ่งเป็นการสั่นในหมู่ฟังก์ชันของกรดคาร์บอกซิลิก (COO^-) จากรูปที่ 4.11 เมื่อนำอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารรักษาเสถียรภาพ PMA ทั้งสามความเข้มข้น (a), (b) และ (c) มาเปรียบเทียบกับโครงสร้างของสารรักษาเสถียรภาพ PMA (d) จะเห็นได้ว่ามีสเปกตรัมของโครงสร้างที่ตรงกัน คือ สเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิก (COO^-) ของสารรักษาเสถียรภาพ PMA บริสุทธิ์ จึงสามารถยืนยันได้ว่าสารที่สังเคราะห์ได้ คือ อนุภาคเงินระดับนาโน

4.1.3 ผลการศึกษาสภาพความเป็นประจุของอนุภาคเงินในระดับนาโน โดยการวัดค่าศักย์ซีต้า (Zeta potential)

เพื่อยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างสารรักษาเสถียรภาพที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นไปจะส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนเล็กลงตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการวัดค่าศักย์ซีต้าเพื่อวิเคราะห์ประจุของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ทั้งสามความเข้มข้น ผลการวิเคราะห์ประจุแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงสภาพความเป็นประจุของอนุภาคเงินในระดับนาโน

อนุภาคเงินระดับนาโน	ค่าศักย์ซีต้า (mV)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
PMA 8 mM	-10.7	-11.1	-11.9	-11.23
PMA 13 mM	-39.5	-40.1	-39.9	-39.83
PMA 20 mM	-33.9	-33.1	-33.2	-33.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น ค่าศักย์ซีต้าของอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้มีค่าเป็นลบ เนื่องจากอนุภาคเงินระดับนาโนนั้นถูกล้อมรอบด้วยประจุลบของ PMA ตามคุณสมบัติของสารรักษาเสถียรภาพ จึงทำให้

ค่าศักย์ของอนุภาคเงินระดับนาโนมีประจุลบ ซึ่งสังเกตได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารที่ใช้เป็นสารรักษาเสถียรภาพและตัวรีดิวซ์เพิ่มขึ้น สภาพความเป็นประจุก็เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโนเล็กลง เพราะอนุภาคถูกล้อมรอบด้วยประจุลบของสารรักษาเสถียรภาพ

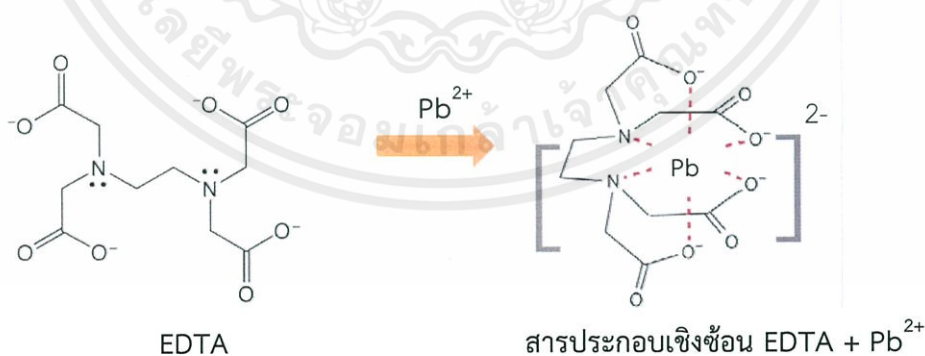
4.2 การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี (UV-Vis spectrophotometry)

4.2.1 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิด (EDTA)

เนื่องจากเป้าหมายของงานวิจัยนี้คือ การนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้มาประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้เพื่อตรวจหาปริมาณตะกั่วในน้ำ จึงได้ทดลองนำสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิด ที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลซึ่งสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนแบบคีเลตที่เสถียรกับไอออนของโลหะได้ โดยเมื่ออยู่ในรูปของสารละลาย สาร EDTA จะมีการแตกตัวให้อิออน ซึ่งมี donor atom ถึง 6 อะตอม ดังนั้นเมื่อทำปฏิกิริยากับตะกั่วไอออนที่มีเลขออกซิเดชัน+2 เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งเป็นสารละลายที่ไม่มีสี และยังมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเหลืออยู่ ดังในขั้นตอนที่ 1 จากนั้นอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่เหลือของสารประกอบเชิงซ้อนจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน (สารละลายสีม่วง) พบว่าสารละลายเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีม่วงกลายเป็นสีเหลือง ดังในขั้นตอนที่ 2

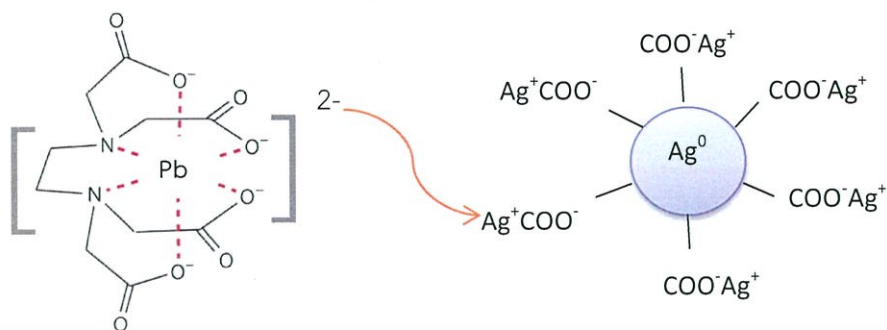
กลไกที่น่าจะเป็นในการเกิดปฏิกิริยา

ขั้นตอนที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

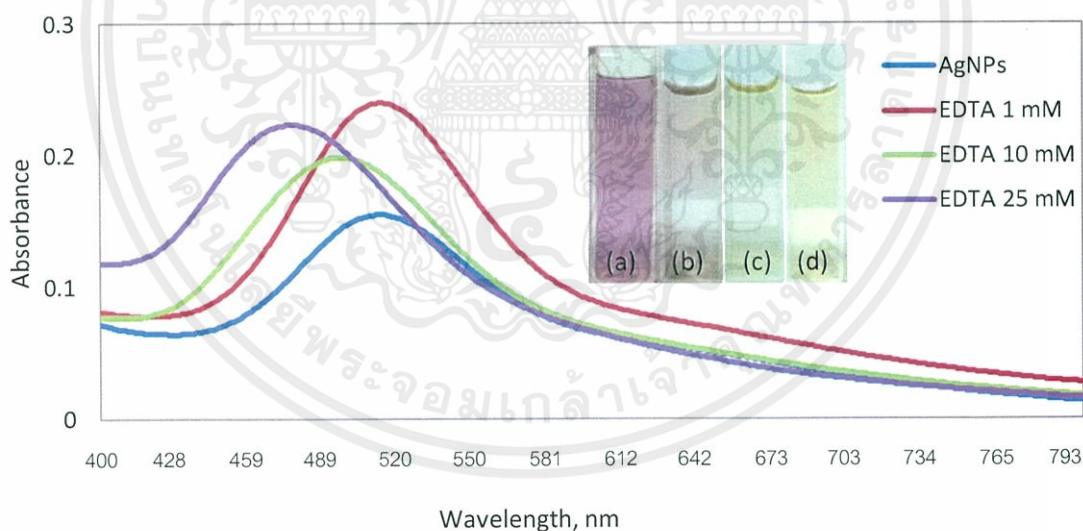
ขั้นตอนที่ 2



สารละลายผสมสี่เหลี่ยม

รูปที่ 4.12 แผนภาพกลไกการทำปฏิกิริยาของสารละลายผสม

จึงได้มีการศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิดที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยตรง โดยการนำสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิดความเข้มข้น 1, 10 และ 25 mM ผสมสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 1000 ppm และสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนความเข้มข้น 8 mM ตามลำดับได้สารละลายผสม จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer สแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 800-200 nm ได้ผลดังนี้

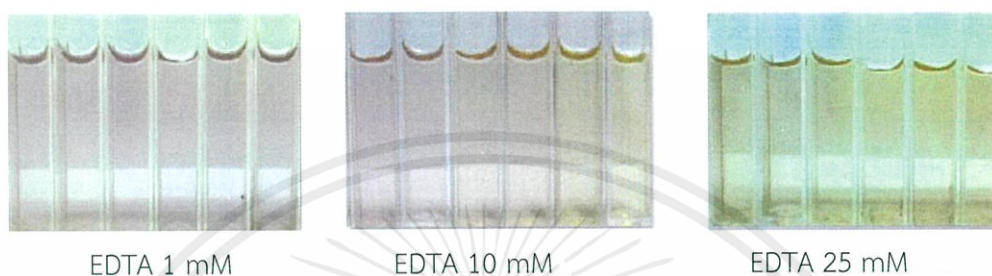


รูปที่ 4.13 แสดงค่าความยาวคลื่นของสารละลายผสม

- (a) AgNPs,
- (b) AgNPs+EDTA 1 mM+Pb 1000 ppm,
- (c) AgNPs+EDTA 10 mM+Pb 1000 ppm,
- (d) AgNPs+EDTA 25 mM+Pb 1000 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ...ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

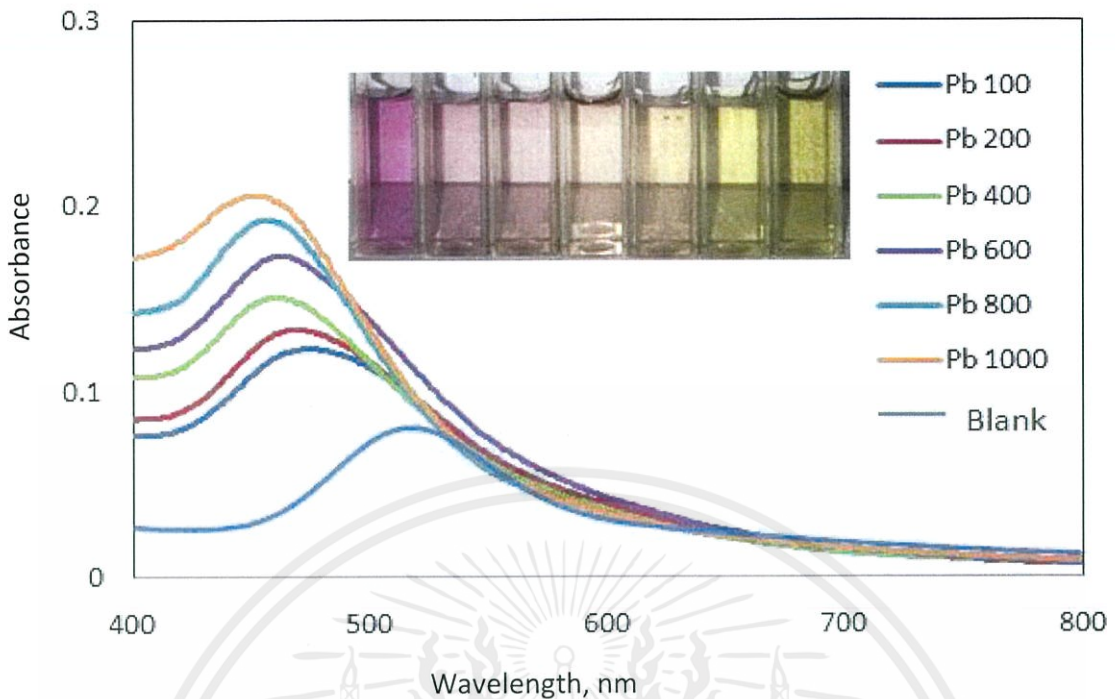
จากการศึกษาพบว่าเมื่อนำสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิดความเข้มข้น 1, 10 และ 25 mM ผสมสารละลายตะกั่วที่ความเข้มข้น 1000 ppm และสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM เกิดการเปลี่ยนสี จึงนำสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิดความเข้มข้น 1, 10 และ 25 mM ผสมกับสารละลายตะกั่วที่ความเข้มข้น 100, 200, 400, 600, 800 และ 1000 ppm และนำมาผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM ผลเป็นดังนี้



รูปที่ 4.14 แสดงสีของสารละลายผสม

จากการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย EDTA ได้ทำการเลือกที่ความเข้มข้น 10 mM เนื่องจากสารละลาย EDTA ที่ความเข้มข้น 1 mM เป็นความเข้มข้นที่ไม่เพียงพอที่จะทำให้สารละลายเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วง ในทางตรงกันข้ามสารละลาย EDTA ที่ความเข้มข้น 25 mM ก็เป็นความเข้มข้นที่มากเกินไปทำให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งหมด ดังนั้นจึงทำการเลือกสารละลาย EDTA ที่ความเข้มข้น 10 mM เพราะเป็นความเข้มข้นที่เห็นการเปลี่ยนแปลงช่วงสีของสารละลาย นอกจากนี้ได้มีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งได้แก่ อัตราส่วนปริมาตรของ AgNPs : EDTA : Pb^{2+} และระยะเวลาที่เหมาะสมในการผสมสารทั้งสามเข้าด้วยกัน พบว่าอัตราส่วนปริมาตรของ AgNPs : EDTA : Pb^{2+} ที่เหมาะสมคือ 1:1:1 mL และระยะเวลาที่เหมาะสมในการเปลี่ยนสีคือ 30 วินาที เนื่องจากหากทิ้งให้สารผสมกันนานกว่านี้จะทำให้สารละลายกลายเป็นสีเหลืองทั้งหมด ทำให้ไม่สามารถแยกช่วงของสีในแต่ละความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วได้ นำสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิดความเข้มข้น 10 mM ผสมกับสารละลายตะกั่วที่ความเข้มข้น 100, 200, 400, 600, 800 และ 1000 ppm และนำมาผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM แล้ววัดความยาวคลื่น ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



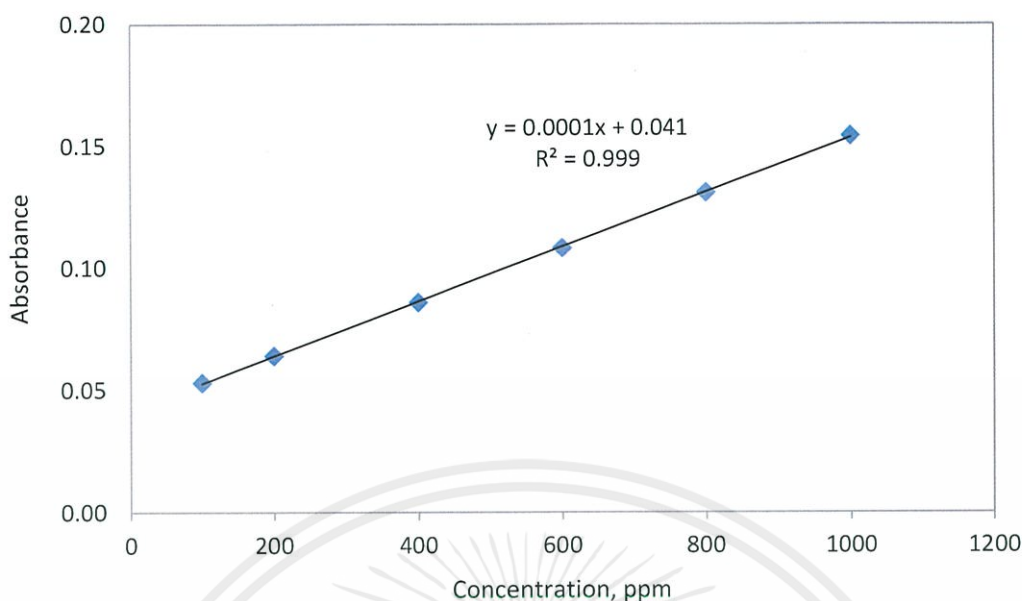
รูปที่ 4.15 แสดงค่าความยาวคลื่นของสารละลายตะกั่วความเข้มข้นต่างๆ

4.3 การศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วย สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

4.3.1 การศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity)

การศึกษาความเป็นเส้นตรงทำได้โดยนำสารละลายผสมของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ผสมกับสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิด ความเข้มข้น 10 mM และตะกั่วความเข้มข้นต่างๆ มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer สแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 800-200 nm จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงมาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y) และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (แกน X) ผลที่ได้ ดังรูปที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

จากรูปที่ 4.16 พบว่า มีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 100 – 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $y = 0.0001x + 0.041$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.999 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

4.3.2. การศึกษาค่าร้อยละการคืนกลับของสารมาตรฐาน (%Recovery)

วิธีการศึกษาค่าร้อยละการคืนกลับ ด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM โดยเติมสารมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 200, 400, 600 และ 800 mM ลงในน้ำดื่ม แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงซ้ำ 3 ครั้ง นำผลที่ได้คำนวณหาค่าร้อยละการคืนกลับ จากสูตร

$$\%Recovery = \frac{\text{spike sample} - \text{sample}}{\text{Standard}} \times 100$$

ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลที่ได้คำนวณหาค่าร้อยละการคืนกลับ %Recovery

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นตะกั่วที่เติม (ppm)	%Recovery
น้ำดื่ม	0	-
	200	99.110
	400	100.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นตะกั่วที่เติม (ppm)	%Recovery
600	101.35
800	102.60

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าค่าร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) อยู่ในช่วง 99-103 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4.3.3 การศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection) และขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation)

สามารถทำได้โดยเตรียมสารละลาย Blank นำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วนต่อปริมาตร 2:1 mL จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงซ้ำ 10 ครั้ง แล้วหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แทนค่าลงในสูตร โดยอาศัยข้อมูลจากการสร้างกราฟมาตรฐาน สามารถคำนวณได้จาก

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

และ

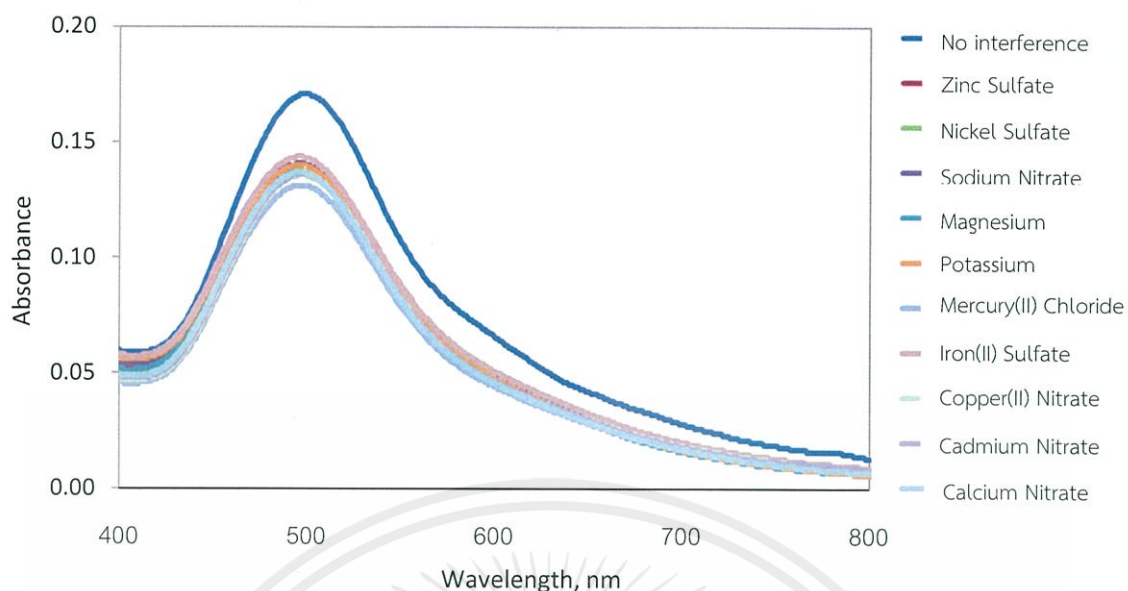
$$LOQ = \frac{10SD \text{ of Blank}}{\text{Slope}}$$

ซึ่งจากการคำนวณพบว่าวิธีนี้มีขีดจำกัดของการตรวจพบตะกั่วเท่ากับ 46.47 มิลลิกรัมต่อลิตร และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณเท่ากับ 154.92 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3.4 การศึกษาตัวรบกวนการวิเคราะห์

การศึกษาผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อการวิเคราะห์ โดยการเติมตัวรบกวนในสารละลายผสมที่มีอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM ผสมกับสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิด ความเข้มข้น 10 mM และสารมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 10 ppm นำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer สแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 800-200 นาโนเมตร ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ค่าการดูดกลืนแสง

ตารางที่ 4.4 แสดงความยาวคลื่นสูงสุดเมื่อเติมตัวรบกวนต่างๆ

ตัวรบกวนการวิเคราะห์	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
No interference	501
Zinc Sulfate	501
Nickel Sulfate	501
Sodium Nitrate	501
Magnesium Sulfate	501
Potassium Nitrate	502
Mercury(II) Chloride	501
Iron(II) Sulfate	501
Copper(II) Nitrate	502
Cadmium Nitrate	502
Calcium Nitrate	499

จากตารางที่ 4.4 เมื่อเติมตัวรบกวนลงไปในการละลายผสม แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง พบว่าค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่วัดได้จากการเติมตัวรบกวนมีค่าใกล้เคียงกับค่าความยาวคลื่นสูงสุดของสารมาตรฐานที่ไม่มีการเติมตัวรบกวน แสดงให้เห็นว่าตัวรบกวนไม่ส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วด้วยเทคนิคการวิเคราะห์สารบนกระดาษ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการสร้างแผ่นกระดาษที่ใช้สำหรับเทคนิคการวิเคราะห์สารบนกระดาษ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับอนุภาคเงินระดับนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์เพื่อใช้ในการตรวจวัดปริมาณตะกั่วในน้ำ จึงได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่มีผลต่อการสร้างแผ่นตรวจวัด มีดังนี้

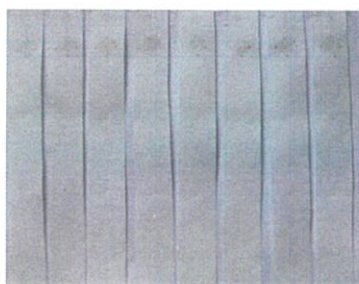
4.4.1 การศึกษาชนิดของสารย้อมติด

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการทำการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วด้วยเทคนิคการวิเคราะห์สารบนกระดาษ จึงมีการนำสารย้อมติดมาใช้เพื่อย้อมติดให้สารละลายอยู่ในบริเวณที่ต้องการศึกษา จึงได้ทำการศึกษาสารย้อมติด 2 ชนิด คือ สารเจลาติน และสารพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 1%wt ทำการเปรียบเทียบ โดยการหยดสารทั้งสองชนิดลงบนกระดาษกรองแต่ละแผ่น และกระดาษแต่ละแผ่นหยดสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนลงบนจุดที่มีสารย้อมติด นำกระดาษไปจุ่มน้ำเมื่อทิ้งให้กระดาษแห้ง จากนั้นบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายรูปแล้วนำไปสแกนหาค่าความเข้มสี (RGB) โดยใช้โปรแกรม Image JTM ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.17

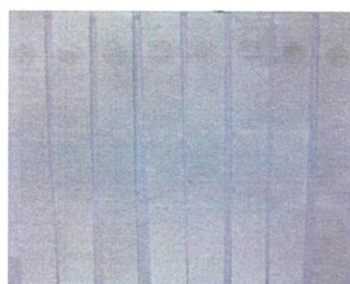
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเข้มสีของสารย้อมติด

ความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm)	ค่าความเข้มสี(RGB)	
	สารเจลาติน	สารพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
10	111.522	107.854
50	117.971	112.268
100	116.005	115.775
200	120.296	125.745
400	122.362	127.782
600	126.301	127.453
800	125.185	130.133
1000	123.918	140.308

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สารเจลาติน



พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

รูปที่ 4.18 แสดงภาพจุลทรรศน์ของสารยึดติดทั้งสองชนิด

จากตารางสามารถอธิบายได้ว่า จุดสีที่เข้มจะให้ค่าความเข้มสีที่มีค่ามาก ดังนั้นจากการเปรียบเทียบสารยึดติดทั้งสองชนิด สรุปได้ว่า สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แสดงขอบเขตจุดและเห็นสีของสารที่หยดได้ชัดเจนกว่า การทดลองนี้จึงเลือกสารพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึดติด

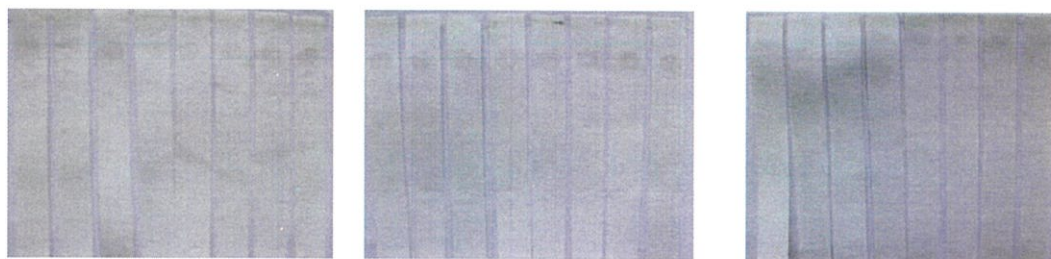
4.4.2 การศึกษาความเข้มข้นและระยะห่างที่เหมาะสมของสารยึดติดบนกระดาษกรอง

เมื่อหยดสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 1, 3, 5%wt ลงบนกระดาษแต่ละแผ่น แล้วหยดสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนทุกแผ่น นำกระดาษไปจุ่มน้ำแล้วทิ้งให้กระดาษแห้ง จากนั้นบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายรูปแล้วนำไปสแกนหาค่าความเข้มสี (RGB) โดยใช้โปรแกรม Image JTM ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.18

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความเข้มสี (RGB) ของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ ตะกั่ว (ppm)	ค่าความเข้มสี (RGB) ของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ ความเข้มข้นต่างๆ (%wt)		
	1	3	5
10	110.965	107.854	110.327
50	113.179	112.268	124.229
100	121.223	115.775	126.473
200	124.502	125.745	128.076
400	124.83	127.782	127.317
600	131.868	127.453	127.66
800	128.894	130.133	128.602
1000	124.544	140.308	125.492

สามารถอธิบายได้ว่าจุดสีที่เข้มและเห็นขอบเขตของจุดที่ชัดเจนจะทำให้ค่าความเข้มสีเอกซเรย์ (RGB) ที่วัดได้มีค่ามาก สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 แสดงระยะห่าง 1, 3 และ 5 เซนติเมตร ตามลำดับ

จากภาพที่ได้พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มากขึ้นการแพร่บนกระดาษทำได้น้อยลง เนื่องจากสารละลายมีความหนืดมากขึ้น ทำให้จุดสีที่ปรากฏบนกระดาษกรองไม่ชัดเจน และจากการศึกษาระยะห่างของแต่ละจุดบนกระดาษกรองที่ 1, 3 และ 5 เซนติเมตร พบว่าระยะห่าง 3 เซนติเมตรมีความเหมาะสม เนื่องจากระยะห่าง 1 เซนติเมตร เมื่อหยดสารลงบนกระดาษกรอง จุดของสารเกิดการซ้อนทับกัน ทำให้สารแต่ละจุดผสมกันส่งผลต่อค่าความเข้มสีที่ตรวจวัด ส่วนระยะห่าง 5 เซนติเมตรแต่ละจุดอยู่ห่างกันเกินไป ทำให้จุดสีที่ปรากฏจืดจางส่งผลต่อค่าความเข้มสีที่ตรวจวัด จากจุดสีที่ปรากฏและค่าความเข้มสี (RGB) ที่วัดได้ สามารถสรุปได้ว่าระยะห่าง 3 เซนติเมตรมีความเหมาะสมที่สุด

4.4.3 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วด้วยเทคนิคกระดาษวิเคราะห์

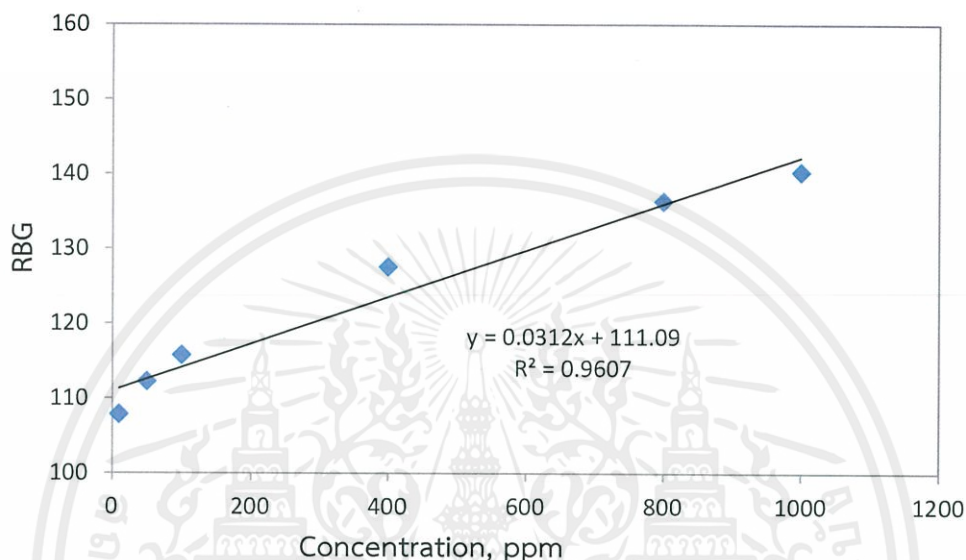
4.4.3.1 ความเป็นเส้นตรง (Linearity)

การศึกษาความเป็นเส้นตรงทำได้โดยหยดสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM บนกระดาษจุดบน แล้วหยดสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะเซติกเอซิด ความเข้มข้น 10 mM บนจุดกลางและจุดล่างหยดตะกั่วความเข้มข้นต่างๆ นำกระดาษไปจุ่มน้ำแล้วทิ้งให้กระดาษแห้ง จากนั้นบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายรูปแล้วนำไปสแกนหาค่าความเข้มสี (RGB) โดยใช้โปรแกรม Image JTM เพื่อหาค่าความเข้มสี นำค่าความเข้มสี (แกน Y) และความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (แกน X) มาสร้างกราฟมาตรฐานทำให้สามารถหาความเป็นเส้นตรงได้ผลดังการทดลองแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.19

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความเข้มสีของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าความเข้มสี (RGB)
10	107.854
50	112.268
100	115.775
400	127.56

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าความเข้มสี (RGB)
800	136.340
1000	140.308



รูปที่ 4.20 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าความเข้มสีกับความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว

จากรูปที่ 4.19 จากการวัดค่าความเข้มสีของสารละลายตะกั่วความเข้มข้นต่างๆ พบว่ามีความเข้มสีที่ค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากจุดมีเฉดสีคล้ายกัน ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มสีจึงเพิ่มขึ้นเช่นกันและจากกราฟมาตรฐานพบว่า มีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 10-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $y = 0.0312x + 111.09$ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9607

4.4.3.2 ความแม่นยำ (Accuracy)

สามารถประเมินได้โดยทำการหาค่าร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) ของตะกั่ว ในตัวอย่างน้ำดื่ม โดยการเตรียมตะกั่วที่ความเข้มข้นในตารางที่ 4.8 โดยหยดสารละลายตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างลงบนกระดาษที่มี AgNPs, EDTA 10 mM นำกระดาษจุ่มน้ำ ทิ้งให้แห้งจะเกิดจุดสีขึ้นที่กระดาษ (ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง) และหาความเข้มสีเฉลี่ย (mean) โดยนำกระดาษที่มีจุดสีไปบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายรูปและนำภาพที่ได้มาหาค่าความเข้มสี (RGB) โดยใช้โปรแกรม Image JTM นำค่า mean แทนลงในสมการเส้นตรง จะได้ความเข้มข้นที่แท้จริง จากนั้นแทนลงในสูตร

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% \text{Recovery} = \frac{\text{spike sample} - \text{sample}}{\text{Standard}} \times 100$$

ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) ของตะกั่วในตัวอย่างน้ำดื่ม

Added, mM	RGB	%Recovery	%RSD
0	-	-	-
200	121.8637	157.65	0.696
350	129.094	161.32	1.193
500	135.7167	158.59	2.439
650	138.5327	136.93	0.785
800	142.2667	127.35	3.091

ผลการศึกษาค่าร้อยละการคืนกลับของสารละลายตะกั่วในน้ำตัวอย่าง พบว่าความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นมีค่าร้อยละการคืนกลับเข้าใกล้ 100% แต่ค่าที่ได้ยังเป็นค่าที่สูงมากเนื่องจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายกระดาษจากกล้องถ่ายรูป จึงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าความเข้มข้นที่ได้จากการรบกวนของแสงภายนอก

4.4.3.3 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection: LOD) และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation: LOQ)

ทำการศึกษาขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection: LOD) และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation: LOQ) โดยทำการวัด Blank 10 ครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ย (Mean) และหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) แทนค่าลงในสูตร

สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{LOD} = \text{mean of blank} + 3\text{SD of blank}$$

และ

$$\text{LOQ} = \text{mean of blank} + 10\text{SD of blank}$$

ซึ่งจากการคำนวณพบว่าวิธีนี้มีขีดจำกัดของการตรวจพบตะกั่วเท่ากับ 141.75 มิลลิกรัมต่อลิตร และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณเท่ากับ 177 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3.4 การศึกษาตัวรบกวนการวิเคราะห์

ศึกษาตัวรบกวน โดยการเติมสารต่างๆ อันได้แก่ Zinc Sulfate, Nickel Sulfate, Sodium Nitrate, Magnesium Sulfate, Potassium Nitrate, Mercury(II) Chloride, Iron(II) Sulfate, Cadmium Nitrate, และ Calcium Nitrate ลงไปในสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 200mM จะได้สารละลายผสม 10 ชนิด โดยหยดสารผสมลงบนกระดาษแต่ละแผ่นที่มีสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM, EDTA 10 mM นำกระดาษจุ่มน้ำทิ้งให้แห้ง บันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพแล้วนำไปสแกนหาค่าความเข้มสี (RGB) โดยใช้โปรแกรม Image JTM เพื่อหาค่าความเข้มสี ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความเข้มสีเมื่อเติมตัวรบกวนต่างๆ

ตัวรบกวนการวิเคราะห์	ค่าความเข้มสี
No interference	125.745
Zinc Sulfate	125.212
Nickel Sulfate	126.732
Sodium Nitrate	129.568
Magnesium Sulfate	128.084
Potassium Nitrate	125.701
Mercury(II) Chloride	126.966
Iron(II) Sulfate	132.379
Copper(II) Nitrate	125.398
Cadmium Nitrate	124.414
Calcium Nitrate	114.639

ผลการศึกษาศึกษาตัวรบกวนพบว่าตัวรบกวนไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ เนื่องจากค่าความเข้มสีที่วัดได้จากการเติมตัวรบกวนมีค่าใกล้เคียงกับสารมาตรฐานที่ไม่มีการเติมตัวรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลจากการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนเพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ในการตรวจวัดปริมาณตะกั่วด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีและเทคนิคการวิเคราะห์สารบนกระดาษ (Paper Analysis) โดยวิธีการสังเกตการเปลี่ยนแปลงสี (Colorimetric method) ซึ่งในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน อาศัยปฏิกิริยาโพโตรีดักชันของซิลเวอร์ไนเตรทและ PMA ที่ละลายในสารละลายบัฟเฟอร์อะซิติกอะซิเตรท pH 4.75 ซึ่ง PMA จะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพ

ในการทดลองมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน ซึ่งได้แก่ การศึกษาความเข้มข้นของพอลิเมทาคริลิกแอซิด และระยะเวลาที่ใช้ในการสัมผัสพลังงานแสง พบว่า เมื่อใช้สารรักษาเสถียรภาพพอลิเมทาคริลิกแอซิด ความเข้มข้น 8 มิลลิโมลาร์ และใช้เวลาในการสัมผัสพลังงานจากแสงของหลอดอัลตราไวโอเลต นาน 10 นาที จะได้สารละลายสีม่วง ซึ่งสารละลายนี้มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 512 นาโนเมตร มีค่า Zeta potential เท่ากับ -11.23 mV และมีขนาดอนุภาคประมาณ 6-10 นาโนเมตร

การนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดปริมาณตะกั่วในน้ำโดยตรงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีไม่สามารถทำได้เนื่องจากเมื่อผสมสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนกับสารละลายตะกั่ว พบว่าสีของสารละลายไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง จึงมีการนำสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิดความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ มาผสมกับสารละลายตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆแล้วนำมาผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA ความเข้มข้น 8 mM จึงสามารถทำให้เห็นช่วงการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายตะกั่วได้ และเมื่อทำการสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับใช้ในการหาปริมาณตะกั่ว พบว่ามีสมการถดถอยคือ $y = 0.0001x + 0.041$ ซึ่งมีความเป็นเส้นตรงเท่ากับ 0.999 ในช่วงความเข้มข้น 100-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีขีดต่ำสุดของการตรวจวัดและขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ เท่ากับ 46.47 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 154.92 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อีกทั้งเมื่อทำการศึกษาตัวรบกวนต่างๆพบว่าตัวรบกวนเหล่านั้นไม่มีผลต่อการวิเคราะห์

จากการประยุกต์ใช้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเพื่อตรวจวัดปริมาณตะกั่วในน้ำด้วยเทคนิคการวิเคราะห์สารบนกระดาษ (Paper Analysis) สามารถสร้างแผ่นกระดาษเพื่อใช้ในการตรวจวัดปริมาณตะกั่ว โดยมีการใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึดติด ซึ่งเมื่อทำการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พบว่าสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 1 %wt เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมมากที่สุด อีกทั้งเมื่อทำการศึกษา

ระยะห่างของจุดของสารทั้งสามตัว ซึ่งได้แก่ สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน สารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกเอซิด และสารละลายตะกั่ว พบว่าระยะห่างแต่ละจุดที่ 3 เซนติเมตร เป็นระยะห่างที่เหมาะสมมากที่สุด สำหรับใช้ในการตรวจวัดปริมาณตะกั่วเนื่องจากเมื่อทำการบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายรูปแล้วนำมาเข้าโปรแกรม Image JTM เพื่อวัดค่าความเข้มสี พบว่าสามารถยืนยันความชัดเจนของจุดสีได้ จากนั้นเมื่อทำการสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าเฉลี่ยของความเข้มสีกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว พบว่ามีสมการถดถอยคือ $y = 0.0312x + 111.09$ ซึ่งมีความเป็นเส้นตรงเท่ากับ 0.9607 มีขีดต่ำสุดของการตรวจวัดและขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์เท่ากับ 141.75 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 177 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 0.696-3.091% และค่าร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) เท่ากับ 127.27-161.32% จึงกล่าวได้ว่า การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วโดยเทคนิคกระดาษวิเคราะห์มีข้อดีคือ สะดวก ใช้งานง่าย ราคาไม่แพง ใช้ปริมาณสารเคมีน้อยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสารยึดติดที่ใช้สามารถย่อยสลายได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาเกี่ยวกับสารรักษาเสถียรภาพชนิดอื่นเพื่อให้การทดลองมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น
2. ในการทำเทคนิคกระดาษวิเคราะห์ ควรใช้เครื่องแสกนในการบันทึกภาพ เพื่อลดค่าความเคลื่อนที่เกิดจากแสงรบกวน
3. ควรมีการพัฒนาชุดทดสอบนี้ให้มีความแม่นยำมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Pendias, K.A. and Pandias, H. 1992. "Lead In TraceElement in Soil and Plant." *Boca Raton*. (1992) : 187-197
- [2] Araina, M.B. Kazia, T.G. Jamalia, M.K. Afridia, H.I. Jalbanib, N. Sarfraza, R.A. Baiga, J.A. Kandhroa, G.A. and Memonc, M.A. 2007. "Time saving modified BCR sequential extraction procedure for the fraction of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in sediment samples of polluted lake." *Journal of Hazardous Materials*. 160(2007) : 235-239
- [3] อลิสา วังใน. 2553. "การบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพ." สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ : 243-254
- [4] สำนักจัดการคุณภาพน้ำ. 2552. "สถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมในห้วยคลิตี้." ใน: รายงานประจำปีสำนักจัดการคุณภาพน้ำ 2552. กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ. ๖. 54-65
- [5] Sadeghi, B. et al. 2014. "Spectrochimica Acta Part A. 2015. " *Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 134(2015) : 326–332.
- [6] Sylvaine, G. Stéphane, M. Eva, S. Antoine, P. Thibaut, L. Frédéric, D. and Camille, Du. 2015. "Field isotopic study of lead fate and compartmentalization in earthworm–soil–metal particle systems for highly polluted soil near Pb recycling factory." *Chemosphere*. 138(2015) 10–17
- [7] Santhoshkumar, T. Rahuman, A. Rajakumar, G. Marimuthu, S. Bagavan, A. and Jayaseelan, C. 2011. "Synthesis of silver nanoparticles using *Nelumbo nucifera* leaf extract and its larvicidal activity against malaria and filariasis vectors." *Parasitology Research*. 108(2011) : 693–702.
- [8] Nair, B.G. Maekawa, T. Yoshida, Y. and Kumar, D.S. 2010. "Nanoparticulate material delivery to plants". *Plant Science*. 179(2010) : 154–163.
- [9] Wagner, V. Dullaart, A. Bock, A. K. and Zweck A. 2006. "The emerging nanomedicine landscape". *Natural Biotechnology*. 24(2006) : 1211-1218.

- [10] Solomon, S. D. Bahadory, M. Jeyarajasingam, A. V. Rutkowsky, S. A. and Boritz, C. 2007. "Synthesis and Study of Silver Nanoparticles". *Journal of Chemical Education*. 84(2007) : 322-325.
- [11] Mittal, A.K., Chisti, Y. and Banerjee, U.C. 2013. "Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts." *Biotechnology Advances*. 31(2013) : 346-356.
- [12] Loganayaki, N., Siddhuraju, P. and Manian, S. 2013. "Antioxidant activity and free radical scavenging capacity of phenolic extracts from *Helicteres isora* L. and *Ceibapentandra* L." *Journal of Food Science Technology*. 50(4) (2013) : 687-695.
- [13] Shriram, V. Jahagirdar, S. Latha, C. Kumar, V. Dhakephalkar, P. Rojatkar, S. et al. 2010. "Antibacterial & antiplasmid activities of *Helicteres isora* L." *Indian Journal of Medicine Research*. 132(2010) : 94-99.
- [14] Narayanan, B.D. and Sakthivel, N. 2011. "Synthesis and characterization of nano-gold composite using *Cylindrocladium floridanum* and its heterogeneous catalysis in the degradation of 4-nitrophenol." *Journal of Hazardous Materials*. 189(2011) : 519-525.
- [15] ประวัติวิทยาศาสตร์ระดับนาโน.[Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit1-1.html>. (22 เมษายน 2558)
- [16] ซิลเวอร์นาโน. [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Silver_nanoparticle. (23 เมษายน 2558)
- [17] Spadaro, D. Barletta, E. Barreca, F. Currò, G. and Nerib, F. 2009. "PMA capped silver nanoparticles produced by UV-enhanced chemical process." *Applied Surface Science*. 255(2009) : 8403-8408
- [18] Bandita, M. Sini, K. Satyabrata, M. 2015. "Rapid green synthesis of silver nanoparticles and nanorods using *Piper nigrum* extract" *Journal of Alloys and Compounds*. 637(2015) : 119-126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องสมุดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [19] TEM Image. [Online]. Available : <http://www.npl.co.uk/tem-image>. (22 เมษายน 2558)
- [20] Plasmonics. [Online]. Available : <http://nanocomposix.com/pages/plasmonics>. (01 กรกฎาคม 2558)
- [21] Eustis, S. and El-Sayed, M. A. 2006. "Why gold nanoparticles are more precious than prettygold: Noble metal surface plasmonresonance and its enhancement of the radiative and nonradiative properties of nanocrystals of different shapes." *Chem. Soc.Rev.* 35(2006) : 209-217.
- [22] Cobley, C. M. Chen, J. Cho, E. C. Wang, L. V. and Xia, Y. 2011. "Gold nanostructures: a class of multifunctional materials for biomedicalb applications." *Chem. Soc. Rev.* 40(2011) : 44-56
- [23] Shahverdi, A. R. Fakhimi, A. Shahverdi, H. R. and Minaian, S. 2007. "Synthesis and effectof silver nanoparticles on the antibacterial activity of different antibiotics againstStaphylococcus aureus and Escherichia coli." *Biology and Medicine.* 3(2007) : 168-171.
- [24] Manikam, V. R., Cheong, K. Y., and Razak, K. A. 2001. "Chemical reduction methods forsynthesizing Ag and Al nanoparticles and their respective nanoalloys." *Materials Science and Engineering B.* 176(2011) : 187-203.
- [25] Chang, R. Chemistry. กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, 2546.
- [26] Song, K. C. Lee, S. M. Park, T. S. and Lee, B. S. 2009. "Preparation of colloidal silver nanoparticles by chemical reduction method." *Korean J. Chem.* 26(2009) : 153-155.
- [27] Tolaymat, T. M., et al. 2010. "An evidence-based environmental perspective ofmanufactured silver nanoparticle in syntheses and applications: A Systematic review and critical appraisal of peer-reviewed scientific papers." *Science of The Total Environment.* 408(2010) : 999-1006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [28] วีร์ พัฒนพีระเดช. การสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนโดยรีดักชันด้วยความร้อนของละอองเกลือเงิน. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, กรุงเทพฯ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550
- [29] Turkevich, J. Stevenson, P. C. and Hillier, J. 1951. "A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold." *Discuss. Faraday Soc.* 11(1951) : 55–75
- [30] พิมพ์จิต ตามพวรรณ. เคมีอินทรีย์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พรีนติ้งเฮาส์, 2539.
- [31] ลาวัลย์ ศรีพงษ์. อัลตราไวโอเลตวิสิเลบสเปกโตรสโกปี. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศิลปากร, 2543.
- [32] Mallick, K. Witcomb, M. J. and Scurrall, M. S. 2004. Polymer stabilized silver nanoparticles: A photochemical synthesis route. [Online]. Available : <http://link.springer.com/article/10.1023%2FB%3AJMSC.0000034138.80116.50#page-1>.
- [33] ตะกั่ว. [Online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/ตะกั่ว>. (01 กรกฎาคม 2558)
- [34] ตะกั่วและพิษของตะกั่ว. [Online]. Available : http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/news/ตะกั่วและพิษของตะกั่ว.pdf. (01 กรกฎาคม 2558)
- [35] ตะกั่ว. [Online]. Available : <http://www.shethai.com/home/?name=academic&file=read&id=132> (01 กรกฎาคม 2558)
- [36] ตะกั่วและพิษของตะกั่ว. [Online]. Available : http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/news/ตะกั่วและพิษของตะกั่ว.pdf. (01 กรกฎาคม 2558)
- [37] ตะกั่วและพิษของตะกั่ว. [Online]. Available : http://www.siamhealth.net/public_html/environment/lead.htm#.VZOeu_6sWSp. (01 กรกฎาคม 2558)
- [38] Tatiana, G. C. Foteini, A. K. Dimosthenis, L. G. Athanasios, G. V. 2015. "Paper-based assay of antioxidant activity using analyte-mediated on-paper nucleation of gold nanoparticles as colorimetric probes." *Analytica Chimica Acta*. 860(2015) : 61 –69.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [39] Yali, Z. Peng, Z. Bang-Ce, Y. 2015. “A low-cost and simple paper-based microfluidic device for simultaneous multiplex determination of different types of chemical contaminants in food.” *Biosensors and Bioelectronics*. 68(2015) : 14–19.
- [40] การใช้งานโปรแกรมอิมเมจเจ. [Online]. Available : http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2553/ichem1153sn_app.pdf. (28 มิถุนายน 2558)
- [41] UV-VIS spectrophotometer. [Online]. Available : <http://cosmetictestinglabs.com/2013-11-08-16-36-22/52-uv-visible-spectrophotometer.html>. (22 เมษายน 2558)
- [42] Electron Microscope - Ruska and Knoll. [Online]. Available : http://history_of_science2014.blogspot.com/2014/03/the-electron-microscope-was-co-invented.html. (22 เมษายน 2558)
- [43] พิศิษฐ์ สิงห์ใจ. 2551. “การวัดขนาดอนุภาคระดับนาโนโดยใช้เครื่อง DSC และ Zeta Potential.” วารสารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.2 : 148-153
- [44] 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
- [45] Sudkate, C. Weena, S. Amara, A. and Orawon, C. 2015. “Highly selective and sensitive paper-based colorimetric sensor using thiosulfate catalytic etching of silver nanoplates for tracedetermination of copper ions” *Analytica Chimica Acta*. 866(2015) : 75–83
- [46] Zhang, T. Song Y. J Zhang, X. Y. and Wu, J. Y. 2014. “Synthesis of Silver Nano structure by Multistep Methods.” *Sensors*. 2014(14) : 5860-5889.
- [47] Nalin, R. Orawon, C. Charles, S. H. Wijitar, D. 2012. “Simple silver nanoparticle colorimetric sensing for copper by paper-based devices.” *Talanta*. 99(2012) : 552–557.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [48] Farhadi, K. Forough, M. Molaei, R. Hajizadeh, S. and Rafipour, A. 2011. "Highly selective Hg²⁺ colorimetric sensor using green synthesized and unmodified silver nanoparticles." *Sensors and Actuators B:Chemical*. 161(2012) : 880-885.
- [49] Amara, A. Weena, S. Narong, P. Orawon, C. 2012. "Simple and rapid colorimetric detection of Hg(II) by a paper-based device using silver nanoplates." *Talanta*. 97(2012) : 388-394.
- [50] Hebeish, A. El-Bisi, M.K. and El-Shafei, A. 2015. "Green synthesis of silver nanoparticles and their application to cotton Fabrics." *International Journal of Biological Macromolecules*. 72(2015) : 1384-1390.
- [51] Muthu Kumara Pandian, A . Karthikeyan, C. Rajasimman, M. Dinesh, M.G. 2015. "Synthesis of silver nanoparticle and its application." *Ecotoxicology and Environmental Safety*. (2015) : 1-7.
- [52] Oluwatobi, S. O. Ncapayi, V. Manfred, S. Sandile, P. S. 2013. "Green controlled synthesis of monodispersed, stable and smaller sized starch-capped silver nanoparticles." *Materials Letters*. 106(2013) : 332-336.
- [53] Vinod, K. V. Savarimuthu, P. A. 2014. "Silver nanoparticles based selective colorimetric sensor for Cd²⁺, Hg²⁺ and Pb²⁺ ions: Tuning sensitivity and selectivity using co-stabilizing agents." *Sensors and Actuators B: Chemical*. 191(2014) : 31-36.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การเตรียมสารละลาย

1. การเตรียมสารละลายในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว (Green chemistry) โดยมีแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นแหล่งให้พลังงาน

1.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์อะซิติกอะซิเตท pH 4.75

ปีเปตสารละลายอะซิติก 0.2860 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ชั่งเกลือโซเดียมอะซิเตท 0.3425 กรัม ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จากนั้นนำสารละลายทั้งสองขวดมาผสมกัน แล้วทำการวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH-meter จะได้สารละลายบัฟเฟอร์อะซิติกอะซิเตท pH 4.75 ปริมาตร 2000 มิลลิลิตร

1.2 การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 10.00 มิลลิโมลาร์

ชั่งซิลเวอร์ไนเตรท 1.6987 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.75 จนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 10.00 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

1.3 การเตรียมสารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิด

1.3.1 การเตรียมสารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิด ความเข้มข้น 50.00 มิลลิโมลาร์

ปีเปตสารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิด 1.0890 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.75 จนถึงขีดบอกปริมาตร ได้สารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิด ความเข้มข้น 50.00 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

1.3.2 การเตรียมสารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิด ความเข้มข้น 8.00 มิลลิโมลาร์

ปีเปตสารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิด 50.00 มิลลิโมลาร์ 16 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.75 จนถึงขีดบอกปริมาตร ได้สารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิด ความเข้มข้น 8.00 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

1.3.3 การเตรียมสารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิด ความเข้มข้น 13.00 มิลลิโมลาร์

ปีเปตสารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิด 50.00 มิลลิโมลาร์ 26 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.75 จนถึงขีดบอกปริมาตร ได้สารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิด ความเข้มข้น 13.00 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

1.3.4 การเตรียมสารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิด ความเข้มข้น 20.00 มิลลิโมลาร์

ปิเปตสารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิด 50.00 มิลลิโมลาร์ 40 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.75 จนถึงขีดบอกริมาตร ได้สารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิด ความเข้มข้น 20.00 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนและสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

2.1 การเตรียมสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตรอะเซติกแอซิด

2.1.1 การเตรียมสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตรอะเซติกแอซิด ความเข้มข้น 25.00 มิลลิโมลาร์

ชั่งเอทิลีนไดเอมีนเตรอะเซติกแอซิดมา 2.3265 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร ได้สารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตรอะเซติกแอซิด ความเข้มข้น 25.00 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร

2.1.2 การเตรียมสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตรอะเซติกแอซิด ความเข้มข้น 1.00 และ 10.00 มิลลิโมลาร์

ปิเปตสารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตรอะเซติกแอซิดความเข้มข้น 25.00 มิลลิโมลาร์ มา 2 และ 20 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร ได้สารละลายเอทิลีนไดเอมีนเตรอะเซติกแอซิด ความเข้มข้น 1.00 และ 10.00 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

2.2 วิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน-เอทิลีนไดเอมีนเตรอะเซติกแอซิด และสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

2.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งตะกั่ว(II)ไนเตรดมา 1.0000 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร ได้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 100.00, 200.00, 400.00, 600.00 และ 800.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 10, 20, ด้านการคำนวณว่ากร 40, 60 และ 80 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร

บอกปริมาตร ได้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 100.00, 200.00, 400.00, 600.00 และ 800.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วสำหรับการศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับ

(%Recovery) และค่าความแม่นยำ (Accuracy)

2.3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ชั่งตะกั่ว(II)ไนเตรด มา 1.0000 กรัม จากนั้นละลายด้วยน้ำดื่ม แล้วเทใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำดื่ม ได้สารละลายมาตรฐาน ตะกั่ว ความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

2.3.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 100.00, 200.00, 400.00, 600.00 และ 800.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 10, 20, 40, 60 และ 80 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอก ปริมาตรด้วยน้ำประปา และ/หรือน้ำดื่ม ได้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 100.00, 200.00, 400.00, 600.00 และ 800.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ

3. วิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของอนุภาคเงินระดับนาโนโดยเทคนิคการวิเคราะห์สารบนกระดาษ

3.1 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 1, 3, 5%

ชั่งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 0.1, 0.3 และ 0.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่ร้อน ปริมาตร 1 มิลลิ- ลิตร ได้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1, 3, 5% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

3.2 การศึกษาหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน (%Recovery) สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน (Relative standard deviation: RSD)

3.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ชั่งตะกั่ว(II)ไนเตรด มา 1.0 กรัม จากนั้นละลายด้วยน้ำดื่ม แล้วเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำดื่ม ได้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 200.00, 350.00, 500.00, 650.00 และ 800.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 20, 35, 50, 65 และ 80 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำดื่ม ได้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 200.00, 350.00, 500.00, 650.00 และ 800.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นนำสารละลายมาตรฐานตะกั่วแต่ละความเข้มข้นไปทดสอบด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนความเข้มข้น 5 ต่อ 8 มิลลิโมลาร์ สังเกตสีของสารละลายที่เปลี่ยนไป จากนั้นนำไปวัดค่าความเข้มสี (RGB) ของสารละลายโดยบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายรูปและหาค่าความเข้มสี โดยใช้โปรแกรม Image JTM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การคำนวณผลการทดลอง

1. การเตรียมสารละลายในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว (Green chemistry) โดยมีแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นแหล่งให้พลังงาน

1.1 การคำนวณเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์อะซิติกอะซิเตท pH 4.75

$$\begin{aligned}
 \text{pH} &= \text{pK}_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \quad ; \quad \text{pK}_a = 1.8 \times 10^{-5} \\
 4.75 &= (-\log 1.8 \times 10^{-5}) + \log \frac{[\text{CH}_3\text{CooNa}]}{[\text{CH}_3\text{CooH}]} \\
 4.75 &= 4.75 + \log \frac{[\text{CH}_3\text{CooNa}]}{[\text{CH}_3\text{CooH}]} \\
 4.75 - 4.75 &= \log \frac{[\text{CH}_3\text{CooNa}]}{[\text{CH}_3\text{CooH}]} \\
 \log \frac{[\text{CH}_3\text{CooNa}]}{[\text{CH}_3\text{CooH}]} &= 0 \\
 \log \frac{[\text{CH}_3\text{CooNa}]}{[\text{CH}_3\text{CooH}]} &= \text{antilog } 0 \\
 &= 10^0 = 1
 \end{aligned}$$

ดังนั้นในสารละลายอะซิติกอะซิเตทจะประกอบด้วย

$$[\text{CH}_3\text{CooNa}] = 0.5 \text{ M}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ [CH₃CooH] รับการใช้งาน 0.5 M ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อต้องการใช้ 10 mM ฉะนั้นจะประกอบด้วย

$$[\text{CH}_3\text{CooNa}] = 5 \text{ mM}$$

$$[\text{CH}_3\text{CooH}] = 5 \text{ mM}$$

1.1.1 เกลืออะซิเตท 5 มิลลิโมลาร์ 1000 มิลลิลิตร

$$\frac{\text{g}}{\text{MW}} = \frac{\text{CV}}{1000}$$

$$\frac{\text{g}}{137} = \frac{[(5 \times 10^{-3})(1000)]}{1000}$$

$$\text{g} = 0.658$$

1.1.2 กรดอะซิติก 5 มิลลิโมลาร์ 1000 มิลลิลิตร

$$C = \frac{(\%99.7 \times 10 \times 1.05)}{\text{MW}}$$

$$= \frac{(99.7 \times 10 \times 1.05)}{60}$$

$$= 17.45 \text{ M}$$

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$17.45 \times V_1 = (5 \times 10^{-3})(1000)$$

$$V_1 = 0.2870 \text{ ml}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 10.00 มิลลิโมลาร์

$$\frac{g}{Mw} = \frac{CV}{1000}$$

$$\frac{g}{169.9} = \frac{10}{1000}$$

$$g = 1.6990$$

1.3 การเตรียมสารละลายพอลิเมทาคริลิกแอซิด

$$C = \frac{(\% \times 10 \times d)}{MW}$$

$$= \frac{(40 \times 10 \times 1.25)}{109}$$

$$= 4.59 \text{ M}$$

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$4.59 \times V_1 = (50 \times 10^3)(1000)$$

$$V_1 = 10.8932 \text{ ml}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การตรวจวัดตะกั่วโดยใช้สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน (AgNPs)

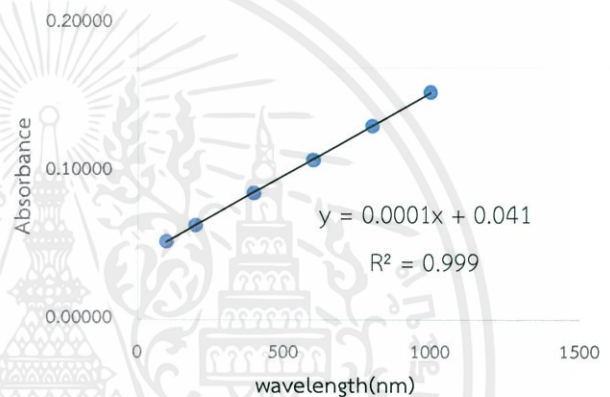
2.1 การคำนวณค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD)

จากสูตร

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

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

Concentration (ppm)	Absorbance
0	0.05200
100	0.105100
200	0.116030
400	0.137890
600	0.160256
800	0.183000
1000	0.206022



คำนวณ

Average of blank = 0.05200

SD of blank = 0.0015492

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

$$3\text{SD} = 3 \times 0.0015492$$

$$\text{Slope} = 0.0001$$

$$\text{LOD} = \frac{3 \times 0.0015492}{0.0001}$$

$$= 46.47$$

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

$$10\text{SD} = 10 \times 0.0015492$$

$$\text{Slope} = 0.0001$$

$$\text{LOQ} = \frac{10 \times 0.0015492}{0.0001}$$

$$= 154.92$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การคำนวณค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery)

สูตร

$$\% \text{Recovery} = \frac{\text{Spiked sample} - \text{Sample}}{\text{Standard}} \times 100$$

การคำนวณ

ความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm)	Abs (C1)	Abs (C2)	Abs (C3)	blank	Abs (C1)	Abs (C2)
200	0.1158	0.0517	0.116	0.0519	0.06390	-0.0002
400	0.1382	0.0520	0.137	0.052	0.08620	0.0000
600	0.161	0.0519	0.1601	0.052	0.1090	-0.0001
800	0.180	0.0516	0.178	0.052	0.1282	-0.0004

ตัวอย่างการคำนวณ %Recovery และ RSD ของสารละลายมาตรฐานปรอทความเข้มข้น 200.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากสมการเส้นตรง $y = 0.0001x + 0.0415$

ค่าจากตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน (C₁)

$$X_1 = \frac{(0.06390 - 0.0415)}{0.0001}$$

$$X_1 = 224 \text{ ppm}$$

ค่าจากตัวอย่างที่ไม่เติมสารมาตรฐาน (C₂)

$$X_2 = \frac{(-0.00020 - 0.0415)}{0.0001}$$

$$X_2 = -0.415 \text{ ppm (จึงให้ สัญญาเป็น N=0)}$$

ค่าความเข้มข้นสารมาตรฐาน (C₃)

$$X_3 = \frac{(0.08620 - 0.0415)}{0.0001}$$

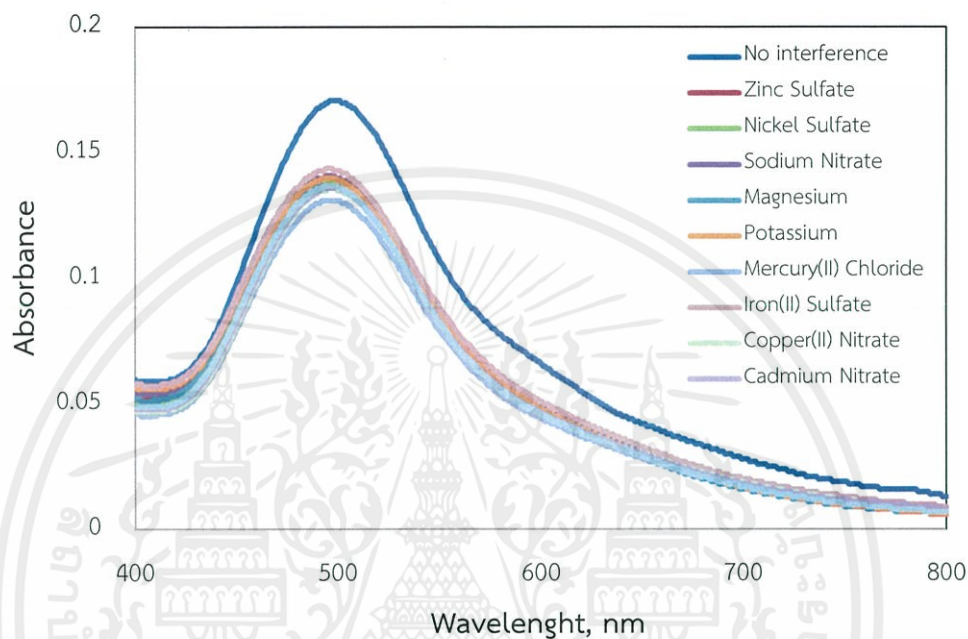
$$X_3 = 226 \text{ ppm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร

$$\begin{aligned} \% \text{ Recovery} &= \frac{224 - 0}{226} \times 100 \\ &= 99.115 \end{aligned}$$

2.3 การศึกษาตัวรบกวน (Interference) ในการวิเคราะห์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การตรวจวัดตะกั่วโดยใช้การวิเคราะห์สารบนกระดาษ

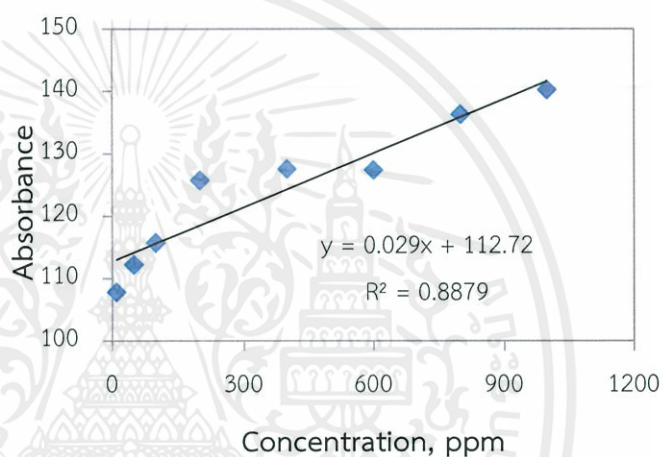
3.1 การคำนวณค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) และ ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation, LOQ)

สูตร

$$\text{LOD} = \text{mean of blank} + 3\text{SD of blank}$$

$$\text{LOQ} = \text{mean of blank} + 10\text{SD of blank}$$

No.	Absorbance
1	120.061
2	125.455
3	127.049
4	127.194
5	132.885
6	133.368
7	132.707
8	125.348
9	122.144
10	120.313
ค่าเฉลี่ย	126.6524
SD	5.034865



การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{สูตร LOD} &= \text{mean of blank} + 3\text{SD of blank} \\ &= 126.6524 + (3 \times 5.034865) \\ &= 141.75 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{สูตร LOQ} &= \text{mean of blank} + 10\text{SD of blank} \\ &= 126.6524 + (3 \times 5.034865) \\ &= 177 \text{ ppm} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การคำนวณค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery)

สูตร

$$\%Recovery = \frac{\text{Spiked sample} - \text{Sample}}{\text{Standard}} \times 100$$

ความเข้มข้น ตะกั่ว(ppm)	ค่าความเข้มสี (RGB)			ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3		
200	121.017	122.714	121.86	121.8637	0.848506
350	127.585	130.664	129.033	129.094	1.540406
500	131.965	136.953	138.232	135.7167	3.311376
650	138.286	139.722	137.59	138.5327	1.087193
800	137.284	143.909	145.607	142.2667	4.397843

ตัวอย่างการคำนวณหา %recovery ของตะกั่วความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากสมการเส้นตรง $y = 0.029x + 112.72$

$$121.8637 = 0.029x + 112.72$$

$$x = \frac{(121.8637 - 112.72)}{0.0001}$$

$$= 315.3 \text{ ppm}$$

นำค่าความเข้มข้นของตะกั่วที่พบในตัวอย่าง แทนค่าในสูตร จะได้

$$\%Recovery = \frac{(315.3 - 0)}{0.0001} \times 100$$

$$\%Recovery = 157.65$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การศึกษาตัวรบกวน (Interference) ในการวิเคราะห์

ตัวรบกวนการวิเคราะห์	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
No interference	125.745
Zinc Sulfate	125.212
Nickel Sulfate	126.732
Sodium Nitrate	129.568
Magnesium Sulfate	128.084
Potassium Nitrate	125.701
Mercury(II) Chloride	126.966
Iron(II) Sulfate	132.379
Copper(II) Nitrate	125.398
Cadmium Nitrate	124.414
Calcium Nitrate	114.639

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ - สกุล นางสาวสุพิทยา ฤทธิแสง
 วัน เดือน ปีเกิด 07 สิงหาคม 2534
 ประวัติการศึกษา
 ระดับมัธยมศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนสตรีศึกษา
 ปีการศึกษา 2552
 ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง
 อีเมลล์ dek-wit.str101@hotmail.com
 เบอร์โทรศัพท์ 092-874-4457



ชื่อ - สกุล นางสาวหทัยา มีสุข
 วัน เดือน ปีเกิด 06 สิงหาคม 2535
 ประวัติการศึกษา
 ระดับมัธยมศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนสุขุบบท
 ปีการศึกษา 2553
 ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง
 อีเมลล์ hudsaya_meesuk@hotmail.com
 เบอร์โทรศัพท์ 080-099-3525



ชื่อ - สกุล นางสาวปรางมาศ จันทรหอม
 วัน เดือน ปีเกิด 20 พฤษภาคม 2535
 ประวัติการศึกษา
 ระดับมัธยมศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนบดินทร์เดชา (สิงห์-สิงหนเสนี) สมุทรปรา
 ปีการศึกษา 2553
 ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง

อีเมลล์ prang_8943@hotmail.com
 เบอร์โทรศัพท์ 061-821-4857

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อทำวิจัยนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งเนื้อหา และเผยแพร่ไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้