



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประดิษฐ์ฟิล์มบางจากวัสดุประกอบอนุภาคเงินในระดับนาโน-พอลิอะนิลีน
ด้วยเทคนิคเลเยอร์-บาย-เลเยอร์ สำหรับประยุกต์ตัวรับรู้แอมโมเนีย

Fabrication of Silver nanoparticles-Polyaniline Composite Thin Films
using Layer-by-Layer Technique for Ammonia sensing

นายเอกรัฐ เดชศรี

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประดิษฐ์ฟิล์มบางจากวัสดุประกอบอนุภาคเงินในระดับนาโน-พอลิอะนิลีน

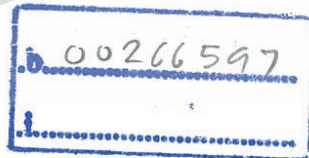
ด้วยเทคนิคเลเยอร์-บาย-เลเยอร์ สำหรับประยุกต์ตัวรับรู้แอมโมเนีย

Fabrication of Silver nanoparticles-Polyaniline Composite Thin Films

using Layer-by-Layer Technique for Ammonia sensing

นายเอกรัฐ เดชศรี

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 147861
ปี เดือน ปี 15 04 2560



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การประดิษฐ์ฟิล์มบางจากวัสดุประกอบอนุภาคเงินในระดับนาโน-พอลิเอ-
นิลีน ด้วยเทคนิคเลเซอร์-บาย-เลเซอร์ สำหรับประยุกต์ตัวรับรู้แอมโมเนีย

แหล่งเงิน คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2558

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ เศษศรี

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

เทคนิคการเคลือบแบบชั้นต่อชั้นถูกใช้สำหรับการเตรียมฟิล์มบางของวัสดุแต่งประกอบ
ของอนุภาคเงินในระดับนาโนและพอลิเอนิลีน ซึ่งวัสดุแต่งประกอบฟิล์มบางจะถูกสร้างโดยการ
ดูดซับแบบสลับกันของสารพอลิเอเล็กโตรไลต์ที่มีประจุบวกและประจุลบ โดยพอลิเอนิลีนที่
ละลายน้ำที่มีประจุลบจะถูกสังเคราะห์โดยการใช้นิวเคลียสสังเคราะห์ที่พื้นผิวระหว่างอะนิลีนมอ-
นอเมอร์และพอลิสไตรีน ซัลโฟนิคแอซิด โคมาลิอิกแอซิด (CoPSS) โดยสารละลายพอลิเอนิลีน
ดังกล่าวจะถูกนำมาทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน ซึ่งการทับถมให้เกิดฟิล์มบางจะถูก
วิเคราะห์ในคุณสมบัติเชิงแสง โดยคุณสมบัติเชิงแสงจะถูกประเมินค่าโดยการใช่วิธีสเปกโตรสโกปี
ทรานสมิซันของฟิล์มจะถูกประเมินค่าโดยการใช้อุปกรณ์ทรานสมิซันแบบแรงอะตอม (AFM) ซึ่ง
ฟิล์มบางนี้จะถูกใช้สำหรับประดิษฐ์ตัวรับรู้สำหรับตรวจสอบสารละลายแอมโมเนีย การวัดค่าการ
เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงแสงจะถูกประเมินค่าสำหรับแอมโมเนียที่ความเข้มข้นที่หลากหลาย การ
เปลี่ยนแปลงสีที่เข้มจากสีส้มเป็นสีเหลืองจะถูกมองเห็นด้วยตาเปล่าเมื่อแอมโมเนียถูกพ่นไปสู่ฟิล์ม
บาง ซึ่งวัสดุแต่งประกอบของสารพอลิเอเล็กโตรไลต์ของอนุภาคเงินในระดับนาโน และพอลิเอนิ-
ลีน มีความเป็นไปได้ที่จะถูกนำไปใช้เป็นวัสดุฟิล์มบางแต่งประกอบสำหรับการประดิษฐ์ตัวรับรู้
สำหรับสารประกอบแอมโมเนีย ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุวัดความสดสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร
ทะเลและเนื้อได้

คำสำคัญ: อนุภาคเงินในระดับนาโน พอลิเอนิลีน เทคนิคเลเซอร์-บาย-เลเซอร์ แอมโมเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Fabrication of Silver nanoparticles-Polyaniline Composite Thin Films using Layer-by-Layer Technique for Ammonia sensing

Researcher: Ekarat Detsri

Faculty: Science **Department:** Chemistry

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

The layer-by-layer deposition technique was used to prepare composite thin films of silver nanoparticles and polyaniline. The multilayer composite thin films are constructed by alternating of anionic and cationic polyelectrolyte. Anionic water soluble polyaniline was prepared by interfacial polymerization of aniline monomer in presence of poly (styrene sulfonic acid co maleic acid), (CoPSS). Silver nanoparticles stabilized with anionic water soluble polyaniline were then deposited in thin film and characterized for optical properties. The optical properties of thin films were measured by UV-Vis spectroscopy. The surface of the film was measured by Atomic force microscopy (AFM). As these films are to be used as sensor for the ammonia detection, the changes in optical properties of the film were evaluated for various ammonia concentrations. A strong color shift from orange to yellow was visible when exposed to ammonia. This composite of polyelectrolyte, silver nanoparticles and polyaniline is a promising composite film for ammonia sensing that could be used as freshness indicator for seafood and meats packaging

Keywords: Silver nanoparticles, Polyaniline, Layer-by-Layer Technique, Ammonia

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุน ทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภท เงินอุดหนุนทั่วไป/เงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

นายเอกรัฐ เดชศรี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	X
คำย่อและสัญลักษณ์	XIV
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 สมมติฐานของงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี	4
2.2 ซิลเวอร์นาโน (Silver nano)	7
2.3 พอลิเมอร์นำไฟฟ้า (Conductive Polymer)	10
2.4 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีน	18
2.4.1 การพอลิเมอร์ไรเซชันแบบระหว่างวัฏภาค	18
2.4.2 สังเคราะห์ด้วยวิธีคิสมเพอร์ชันพอลิเมอร์ไรเซชัน	19
2.4.3 วิธีอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชัน	19
2.5 เทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ (Layer-by-Layer)	19
2.6 ประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัด (Sensing Application)	22
2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	23
2.7.1 วิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD)	23
2.7.2 Fourier Transform Infrared Spectrophotometer ; FT-IR	25
2.7.3 กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM)	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)	28
2.7.5 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectrophotometer)	30
2.7.6 เครื่องวัด Zeta potential analysis	32
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33
2.8.1 พอลิเมอร์นำไฟฟ้าพอลิอะนิลีนที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีคิสมเพอร์ซันพอลิเมอไรเซชัน	33
2.8.2 การทำตัวรับรู้แก๊ส NH_3 และ HCl ด้วยพอลิอะนิลีนที่เคลือบบนพื้นผิวของเซรามิกซ์โดยวิธี Interfacial polymerization	34
2.8.3 การสังเคราะห์และการวิเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนที่ล้อมรอบไปด้วยพอลิอะนิลีนที่อยู่ในรูปของผงเคมี	34
2.8.4 การสังเคราะห์ซิลเวอร์ที่มีเสถียรภาพสูงด้วยสารละลายซัลโฟเนตพอลิอะนิลีน	35
2.8.5 การสังเคราะห์และอธิบายลักษณะของอนุภาคเงิน ที่ล้อมรอบด้วยพอลิอะนิลีนในระดับนาโน	36
2.8.6 การสังเคราะห์อนุภาคเงินขนาดนาโนที่ล้อมรอบไปด้วยพอลิอะนิลีนโดยวิธี interfacial polymerization และการศึกษาการประยุกต์ใช้ออกซิเดชันทางเคมีไฟฟ้าของไฮดราซีน	36
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	37
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	37
3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	38
3.4 วิธีดำเนินการวิจัย	39
3.4.1 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีนแบบระหว่างวัฏภาค	39
3.4.2 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน (silver nanoparticle) ด้วย Co-PSS ที่มีค่า pH แตกต่างกัน	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.3 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	44
3.4.4 การปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นกระจกด้วยเทคนิค LbL	47
3.4.5 การเลือกค่าความเข้มข้นของสารละลาย PANi-CoPSS ที่ใช้สังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนที่เหมาะสม	48
3.4.6 การศึกษากลศาสตร์การดูดซับ ของการเคลือบฟิล์มด้วย สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน	49
3.4.7 วิธีการทดสอบความแตกต่างของจำนวนชั้นของฟิล์มที่เคลือบด้วย สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วย สารละลายพอลิอะนิลีน	50
3.4.8 การประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ โดยการวิเคราะห์ตัวอย่าง สารละลาย แอมโมเนีย	51
3.4.9 การประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้โดยการวิเคราะห์ตัวอย่าง สารละลาย ที่มีค่า pH แตกต่างกัน	53
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีนที่ละลายน้ำได้โดยใช้เทคนิค Interfacial polymerization	54
4.2 สภาวะในการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนด้วยเทคนิค Interfacial polymerization	57
4.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย CoPSS ที่มีผลต่อการพอลิเมอไรเซชัน	58
4.4 คุณสมบัติการเป็นตัวรับรู้ของสารละลาย PANi-CoPSS	63
4.5 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน	67
4.5.1 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ที่มีค่า pH แตกต่างกัน	67
4.5.2 การศึกษาเสถียรภาพของอนุภาคเงินในระดับนาโน	69
4.6 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นต่างๆ	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 คุณลักษณะลักษณะของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน	74
4.8 การสร้างฟิล์มบางของอนุภาคเงินในระดับนาโนโดยใช้เทคนิคเลเซอร์-บาย-เลเยอร์	77
4.8.1 การวิเคราะห์แผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยอนุภาคเงินในระดับนาโน	77
4.8.2 ค่าการดูดกลืนแสงของการศึกษากลศาสตร์การดูดซับ (Kinetic adsorption)	78
4.8.3 ผลของจำนวนชั้นในการเคลือบฟิล์มที่มีต่อการสร้างฟิล์มบางอนุภาคเงิน ในระดับนาโน	82
4.9 คุณลักษณะของฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สร้างโดยใช้เทคนิคเลเซอร์-บาย-เลเยอร์	84
4.9.1 ความแตกต่างของจำนวนชั้นของฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยเครื่อง AFM	84
4.9.2 การวิเคราะห์สัณฐานของฟิล์มบางจากวัสดุแต่งประกอบอนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยเครื่อง XRD	87
4.10 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่ประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลายแอมโมเนีย	89
4.11 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่ประยุกต์ใช้เป็นตรวจวัดสารละลายที่มีค่า pH แตกต่างกัน	92
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	94
5.1 สรุปผลการวิจัย	94
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	96

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	97
ภาคผนวก ก	101
ภาคผนวก ข	106
ประวัติผู้วิจัย	117
สรุปการใช้จ่ายเงิน	120
การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ	121



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบขนาดตามหน่วยวัดทางคณิตศาสตร์	6
2.2 ตัวอย่างโมเลกุลที่มีคุณสมบัติเป็น Soft Base และ Soft Acid	9
2.3 ตัวอย่างพอลิเมอร์นำไฟฟ้า	11
2.4 พอลิเมอร์ที่นิยมใช้ในการเตรียม PE-PE	20
3.1 อัตราส่วนสารเคมีของการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนด้วย CoPSS	39
3.2 อัตราส่วนในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ความเข้มข้น 1 wt%	45
3.3 อัตราส่วนในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ความเข้มข้น 0.50 weight%	45
4.1 สภาพะที่ดีที่สุดที่ใช้ในการสังเคราะห์ PANi-CoPSS	57
4.2 เปรียบเทียบระหว่างค่า pH กับ λ_{max} ของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย PANi-CoPSS ที่มีค่า pH แตกต่างกัน	68
4.3 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน ที่ค่า pH แตกต่างกัน ก่อนและหลังจากทำการ Centrifuge	71
4.4 เปรียบเทียบค่าความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) ของการดูดกลืนแสงอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ PANi-CoPSS มีความเข้มข้นต่างๆ	73
4.5 อนุภาคเงินในระดับนาโนที่ความเข้มข้น PANi-CoPSS 0.005, 0.10 และ 0.80 wt% ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน และขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาค	74
4.6 ภาพ AFM และ ค่า R_{RMS} ของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่จำนวนชั้นที่แตกต่างกัน	85

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบขนาดของอนุภาคต่างๆ	5
2.2 กระบวนการสั่นของพลาสมอน (Plasmon oscillation) ของอนุภาคทรงกลม	7
2.3 เครื่องหมาย สีของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีขนาดต่างๆกัน	8
2.4 แสดงอนุภาคเงินในระดับนาโนเมื่อเกิดอันตรกิริยากับหมู่ซัลฟิวริก เพื่อหยุดยั้งการทำงานของเอนไซม์ในเชื้อแบคทีเรีย	10
2.5 อัลัน จีแมกไดอาร์มิด, ฮิเดกิ ชिरากาวา และอัลัน เจ ฮีเกอร์ ผู้ค้นพบ พอลิเมอร์นำไฟฟ้า	11
2.6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงได้ของพอลิอะนิลีน	13
2.7 โครงสร้างทางเคมีของพอลิอะนิลีนแบบต่างๆ และการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ และปฏิกิริยากรด-เบส	14
2.8 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของอะนิลีนแบบ Head-to-tail	15
2.9 การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง radical cation ของอะนิลีนในแบบ Tail-to-tail	16
2.10 สมการการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของอะนิลีน	16
2.11 การได้พอลิอะนิลีนในรูปแบบ EB ให้เป็น ES	17
2.12 การควบคุมระหว่างชั้นน้ำกับชั้นสารละลายและการเกิดปฏิกิริยา ในกระบวนการ Interfacial polymerization	18
2.13 การประดิษฐ์ฟิล์มบางด้วยเทคนิคเลเซอร์-บાય-เลเซอร์	22
2.14 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์บนระนาบของผลึกที่เป็นไปตามกฎของ Bragg's Law	24
2.15 Infrared spectrum ของ Aniline	25
2.16 การทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม	26
2.17 เครื่อง Atomic force microscope	27
2.18 พื้นผิวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AFM	28
2.19 ส่วนประกอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.20 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของอนุภาคนาโน	29
2.21 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer	31
2.22 สเปกตรัมของ UV-Vis Spectrophotometer เมื่อความเข้มข้นแตกต่างกัน	31
2.23 สร้างกราฟมาตรฐานจากค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดได้	31
2.24 ไอออนและความต่างศักย์ที่ทำหน้าที่เป็นขั้วบนผิวของอนุภาคสารแขวนลอย	33
3.1 แผนผังวิธีการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนด้วย Co-PSS ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	40
3.2 แผนผังวิธีการหา wt% ของสารละลาย PANi-CoPSS ที่สังเคราะห์ได้	41
3.3 แผนผังวิธีการเตรียมสารละลาย PANi-CoPSS ให้มี pH แตกต่างกัน	42
3.4 แผนผังวิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วย PANi-CoPSS ที่มีค่า pH แตกต่างกัน	43
3.5 แผนผังวิธีการเตรียมสารละลาย PANi-CoPSS 1 wt% และ 0.5 wt% ให้มี pH 5	44
3.6 แผนผังวิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วย PANi-CoPSS ที่ pH 5 ให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน	46
3.7 การปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นกระจกด้วยสารละลาย PDAD และสารละลาย PSS	47
3.8 แผนผังวิธีการเลือกค่าความเข้มข้นของสารละลาย PANi-CoPSS	48
3.9 วิธีการศึกษากลศาสตร์การดูดซับ (Kinetic adsorption)	49
3.10 วิธีการเตรียมแผ่นฟิล์มด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนให้จำนวนชั้นของฟิล์มแตกต่างกัน	50
3.11 การวิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายแอมโมเนีย	52
3.12 การวิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายที่มีค่า pH แตกต่างกัน	53
4.1 แผนภาพการสังเคราะห์ PANi-CoPSS	55
4.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของ PANi-CoPSS	56
4.3 ค่าการดูดกลืนแสงของ PANi-CoPSS	56
4.4 ค่าการดูดกลืนแสงของ PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นของสารละลาย CoPSS แตกต่างกัน	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ **XI** วิชาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ค่าการดูดกลืนแสงของ PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นของสารละลาย CoPSS แตกต่างกันที่ความยาวคลื่นสูงสุด	59
4.6 สเปกตรัม FTIR ของ PANi-CoPSS, Co-PSS และ PANi	60
4.7 แสดงค่าศักย์เซต้าของ PANi-CoPSS ที่ค่า pH ต่างๆ	62
4.8 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (TEM) ของ PANi-CoPSS	63
4.9 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย PANi-CoPSS ที่ pH แตกต่างกัน	64
4.10 สีของสารละลาย PANi-CoPSS ที่ pH แตกต่างกัน	64
4.11 ค่าเปรียบเทียบระหว่าง λ_{max} กับ pH ของสารละลาย PANi-CoPSS	65
4.12 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย PANi-CoPSS แต่ละ pH ที่ 575 นาโนเมตร และ 800 นาโนเมตร	66
4.13 สีของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สารละลาย PANi-CoPSS ที่ pH แตกต่างกัน	67
4.14 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน ที่ pH แตกต่างกัน	68
4.15 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนหลังจาก Centrifuge แล้ว	69
4.16 การเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน ก่อนและหลังจากทำการ Centrifuge	70
4.17 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ PANi-CoPSS มีความเข้มข้นต่างๆ	72
4.18 ขนาดของอนุภาคเงินในระดับนาโนเมื่อ ไอออนของ PANi-CoPSS เข้าทำปฏิกิริยา	76
4.19 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคเงินในระดับนาโน ที่สังเคราะห์ด้วย PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นต่างๆ	77
4.20 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ PANi-CoPSS ความเข้มข้น 0.005 wt%	79

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ PANi-CoPSS ความเข้มข้น 0.10 wt%	80
4.22 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ PANi-CoPSS ความเข้มข้น 0.80 wt%	82
4.23 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มที่มีจำนวนชั้นการเคลือบที่แตกต่างกัน	83
4.24 กราฟมาตรฐานเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{max} กับจำนวนชั้นการเคลือบฟิล์ม	83
4.25 รูปแบบของ XRD ในอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ความเข้มข้นของ PANi-CoPSS เท่ากับ 0.005, 0.10 และ 0.80 wt% ตามลำดับ	88
4.26 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนเมื่อประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน	89
4.27 ภาพพื้นผิวของแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนจากเครื่อง AFM	91
4.28 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนเมื่อประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลายที่มี ค่า pH แตกต่างกัน	93

คำย่อและสัญลักษณ์

PANi	Polyaniline
EB	Emeraldine base
ES	Emeraldine salt
CoPSS	Poly (4-styrene sulfonic acid-co-maleic acid)
NH ₃	Ammonia
APS	Ammonium persulphate
PDAD	Poly (diallyl dimethyl ammonium chloride)
PSS	Poly (4-styrene sulfonic acid) sodium salt
UV-Vis spectrophotometry	Ultraviolet-Visible spectrophotometry
XRD	X-ray diffractometer
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spectrophotometer
TEM	Transmission Electron Microscope
AFM	Atomic Force Microscope
λ_{\max}	ความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด
ml	มิลลิลิตร
mM	มิลลิโมลาร์
nm	นาโนเมตร
μm	ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

wt%	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
pH	Power of Hydrogen ion
pKa	ค่าคงที่การแตกตัวของกรด
conc.	ความเข้มข้น
min	นาที
R^2	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
R_{RMS}	Roughness root mean squared



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันนี้ความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต่างมีบทบาทต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตและสังคมอย่างต่อเนื่องยกตัวอย่างเช่นเทคโนโลยีทางการแพทย์ เทคโนโลยีทางการสื่อสาร เทคโนโลยีทางการเกษตร เทคโนโลยีทางอุตสาหกรรม รวมไปถึงนาโนเทคโนโลยี นาโนเทคโนโลยีเป็นอีกหนึ่งความก้าวหน้าที่กำลังมีการพัฒนาอย่างมากในปัจจุบัน ซึ่งเป็นการศึกษาสารที่มีขนาดเล็กมากแล้วนำมาจัดเรียงโครงสร้างใหม่ ทำให้ได้คุณสมบัติใหม่และประโยชน์ใหม่ๆ โดยทั่วไปคุณสมบัติของสารที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีประสิทธิภาพและความสามารถดีกว่าสารที่มีขนาดใหญ่ เช่น การละลาย [1], การนำไฟฟ้า [2], หรือคุณสมบัติเชิงแสง [3] เป็นต้น

ทั้งนี้ได้มีการนำธาตุหลายชนิดมาทำให้อยู่ในรูปของอนุภาคนาโน โดยเฉพาะอนุภาคเงิน ซึ่งเป็นที่สนใจอย่างมากในวงการวิทยาศาสตร์ทั่วโลก ผลงานที่ต่อยอดทางนาโนเทคโนโลยีสู่การใช้ประโยชน์ในสังคมล้วนเป็นผลจากการประยุกต์ใช้อนุภาคเงินที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร อาทิ รถพยาบาลเคลื่อนที่นาโน [4], เลื่อนาโน [5], การทำปากกานำไฟฟ้า [6], การยับยั้งหรือฆ่าเชื้อแบคทีเรีย [7], รวมถึงการนำไปใช้เป็นเซนเซอร์ตรวจวัด [8] ได้อีกด้วย

คุณสมบัติเชิงแสงของอนุภาคเงินในระดับนาโนเมตรที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ สามารถกระเจิงแสงแล้วให้สีได้ โดยลักษณะของสีจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ซึ่งการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนนี้จะสามารถแสดงคุณสมบัติทางแสงที่แตกต่างกัน เช่น อนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีสีเหลืองจะมีขนาดของอนุภาคที่เล็กมากประมาณ 1-100 นาโนเมตร [9] ในขณะที่เดียวกันถ้ามีขนาดใหญ่ขึ้นสีจะเข้มขึ้นคุณสมบัติทางแสงก็จะเปลี่ยนแปลงไป เช่น สีของอนุภาคเงินในระดับนาโนจะเปลี่ยนเป็นสีส้ม สีแดง สีม่วง สีฟ้า [10] เป็นต้น ซึ่งการที่อนุภาคเงินในระดับนาโนแสดงคุณสมบัติทางแสงที่แตกต่างกันนี้ สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้สร้างเป็นตัวรับรู้ (Sensor) ได้เป็นอย่างดีโดยมีหลายทฤษฎีกล่าวว่า การนำอนุภาคเงินในระดับนาโนไปประยุกต์สร้างเป็นตัวรับรู้ คุณสมบัติทางแสงที่เปลี่ยนไปจะสอดคล้องกับขนาดของอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เป็นต้น [10] คุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งของอนุภาคเงินในระดับนาโน คือ อนุภาคเงินในระดับนาโนสามารถที่จะแสดงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าได้ด้วย ซึ่งการนำไฟฟ้าของอนุภาคเงินในระดับนาโนนั้น จะขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของสารที่ใช้เป็นสารรักษาเสถียรภาพในขั้นตอนของการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน

โดยงานวิจัยนี้จะนำพอลิอะนิลีน (polyaniline) มาใช้เป็นตัวรักษาเสถียรภาพในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนและเนื่องจากพอลิอะนิลีนเป็นพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ยังสามารถแสดงคุณสมบัติทางแสงและการนำไฟฟ้าได้อยู่

อนุภาคเงินในระดับนาโนมีความสามารถในการทำหน้าที่ตรวจวัดได้ดี แต่จะให้ประสิทธิภาพมากหรือน้อยต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายด้าน เช่น ความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพและขนาดของอนุภาคเงินในระดับนาโน เมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กไปคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าจะลดลงแต่มีคุณสมบัติเชิงแสงเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามอนุภาคมีขนาดใหญ่ไปคุณสมบัติการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและมีคุณสมบัติเชิงแสงลดลง

ในงานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการสังเคราะห์ วัสดุแต่งประกอบอนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยการใช้พอลิอะนิลีน-พอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิด โคมาลิลิกแอซิด (PANi-CoPSS) เป็นสารรักษาเสถียรภาพ เพื่อใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน แล้วจึงนำอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้กับสารที่ต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์พอลิอะนิลีนที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้โดยใช้เทคนิคการพอลิเมอไรเซชันแบบระหว่างภูมิภาค (Interfacial polymerization)
2. เพื่อสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน โดยใช้ PANi-CoPSS เป็นสารรักษาเสถียรภาพ
3. เพื่อสร้างฟิล์มบางของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่มี PANi-CoPSS เป็นสารรักษาเสถียรภาพ โดยใช้เทคนิคเลเซอร์-บาย-เลเซอร์
4. เพื่อนำฟิล์มบางของวัสดุแต่งประกอบอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ของสารละลายแอมโมเนีย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาความเข้มข้นของพอลิซิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิด โคมาลลิคแอซิดในขั้นตอนการสังเคราะห์ PANi-CoPSS
2. ศึกษาสภาวะความเป็นกรด-เบส และความเข้มข้นของ PANi-CoPSS ที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน
3. ศึกษาความเข้มข้นของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่เหมาะสมในการทำฟิล์มโดยเทคนิคเลเซอร์-บาย-เลเซอร์
4. ศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์มบางวัสดุแต่งประกอบอนุภาคเงินในระดับนาโน-พอลิอะนิลีน ในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนีย

1.4 สมมติฐานของงานวิจัย

1. สามารถสังเคราะห์พอลิอะนิลีนโดยใช้ CoPSS เป็นสารสำหรับสังเคราะห์เพื่อให้ PANi-CoPSS ที่ได้มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้า และการละลายน้ำได้
2. สามารถสังเคราะห์อนุภาคเงินให้อยู่ในระดับนาโนจาก PANi-CoPSS ได้ และ PANi-CoPSS สามารถทำหน้าที่เป็นสารรักษาเสถียรภาพอนุภาคเงินในระดับนาโนได้ด้วย
3. ฟิล์มที่สร้างขึ้นโดยเทคนิคเลเซอร์-บาย-เลเซอร์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ของสารละลายแอมโมเนียได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงความเข้มข้นของ CoPSS ที่เหมาะสมในการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนที่มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าและการละลายน้ำได้
2. ทราบความเข้มข้นและสภาวะของ PANi-CoPSS ที่เหมาะสมในการสังเคราะห์วัสดุแต่งประกอบอนุภาคเงินในระดับนาโนสำหรับการนำไปทำเป็นฟิล์มด้วยเทคนิค เลเซอร์-บาย-เลเซอร์
3. วัสดุแต่งประกอบอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ให้คุณสมบัติเชิงแสงและคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ของสารละลายแอมโมเนียได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี

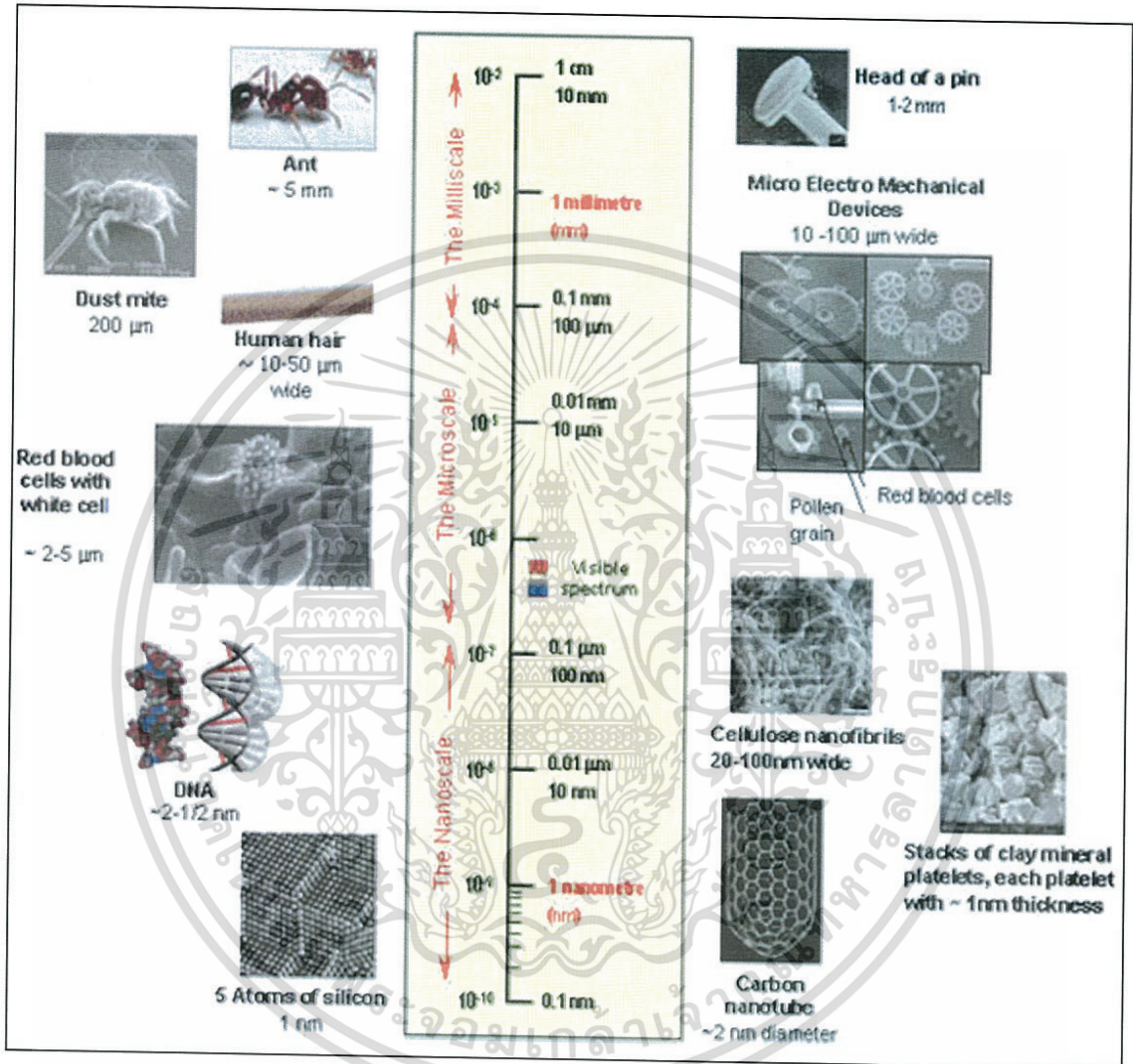
แนวคิดอันเป็นจุดเริ่มต้นให้โลกได้ก้าวเข้าสู่ยุคของนาโนเทคโนโลยีนั้นมาจากศาสตราจารย์ริชาร์ด ฟิลลิปส์ ฟายน์แมน (Richard Phillips Feynman) นักฟิสิกส์ชาวอเมริกันที่ได้กล่าวถึงความเป็นไปได้ในการจัดการกับสิ่งของในระดับอะตอม ระหว่างการปาฐกถาเรื่อง “There’s plenty of room at the bottom” ที่สถาบันเทคโนโลยีแคลิฟอร์เนีย เมื่อปี ค.ศ. 1959 ซึ่งจากคำบรรยายของศาสตราจารย์ ฟายน์แมน ในครั้งนั้น ได้จุดประกายให้นักวิทยาศาสตร์เริ่มหันมาสนใจและสร้างอุปกรณ์ในการจัดการในระดับอะตอม ทั้งนี้ศาสตราจารย์ ฟายน์แมน ได้รับรางวัลโนเบลในสาขาฟิสิกส์ในปี 1965 และนับเป็นหนึ่งในนักฟิสิกส์ที่มีอิทธิพลมากที่สุดของคริสต์ศตวรรษที่ 20 ต่อมาในปี ค.ศ. 1981 เกร็ด บินนิง (Gerd Binnig) และ ไฮน์ริช โรห์เซอร์ (Heinrich Rohrer) จากบริษัทไอบีเอ็มซูริก ได้ประดิษฐ์เครื่องมือที่สามารถมองเห็นการจัดเรียงอะตอมของธาตุต่างๆสำเร็จเป็นครั้งแรก นั่นคือกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดในอุโมง (Scanning Tunneling Microscope ; STM) ซึ่งผลงานชิ้นนี้ทำให้นักฟิสิกส์ทั้งสองท่าน ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1986 จากนั้น 9 ปี ต่อมา ดร.ดอน ไอเกลอร์ (Don Eigler) นักฟิสิกส์จากบริษัท ไอบีเอ็ม จำกัด สามารถนำอะตอม 35 อะตอม ของก๊าซซีนอน (xenon) มาจัดเรียงเป็นตัวอักษรว่า IBM บนผิวของโลหะนิเกิล (nickel) ได้สำเร็จ ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มต้นการก้าวเข้าสู่โลกของนาโนเทคโนโลยีอย่างแท้จริง [11]

วิทยาศาสตร์นาโน (Nanoscience) คือวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวัสดุอินทรีย์ อนินทรีย์ และรวมไปถึงสารชีวโมเลกุล ที่มีโครงสร้างสามมิติ ยาว กว้าง สูงด้านใดด้านหนึ่งอยู่ระหว่าง 1-100 นาโนเมตร ดังนั้นถ้าพูดถึงนาโนศาสตร์ก็จะเป็นการสร้างหรือศึกษาวัสดุที่มีโครงสร้างในระดับนาโนเมตร คุณสมบัติของวัสดุนาโนจะแตกต่างจากวัสดุขนาดใหญ่ (bulk materials) ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติ ทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ ล้วนแล้วแต่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว ดังนั้นถ้าพูดถึง นาโนศาสตร์ ก็จะเป็นการสร้างหรือศึกษาวัสดุที่มีโครงสร้างในระดับนาโนเมตร โดยผลลัพธ์ที่ได้ก็คือจะได้วัสดุชนิดใหม่หรือรู้คุณสมบัติที่แตกต่างและน่าสนใจ [12]

นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) คือ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างการสังเคราะห์ วัสดุอุปกรณ์เครื่องจักรหรือผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตรเทียบเท่ากับระดับอนุภาคของโมเลกุลหรืออะตอม รวมถึงการออกแบบหรือการใช้เครื่องมือสร้างวัสดุที่อยู่ในระดับที่เล็กมากหรือการเรียงอะตอมและโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างแม่นยำและถูกต้องทำให้โครงสร้างของวัสดุหรือสารมีคุณสมบัติพิเศษ-ทั้งทางด้านฟิสิกส์ เคมีหรือชีวภาพ ซึ่ง

จะก่อให้เกิดผลประโยชน์สูงสุดต่อผู้ใช้สอย [12] ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทเอกชน ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


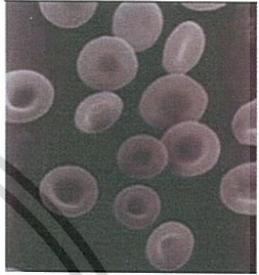

จุดมุ่งหมายสูงสุดของนาโนเทคโนโลยีก็คือความสามารถที่จะสร้างและจัดเรียงอนุภาคต่างๆ ได้ตามความต้องการ และนาโนเทคโนโลยียังมีประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่เดิมให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น และสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ ที่มีคุณสมบัติพิเศษอย่างไม่เคยมีมาก่อน เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาดและผู้บริโภคอีกด้วย



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบขนาดของอนุภาคต่างๆ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบขนาดตามหน่วยวัดทางคณิตศาสตร์ [11]

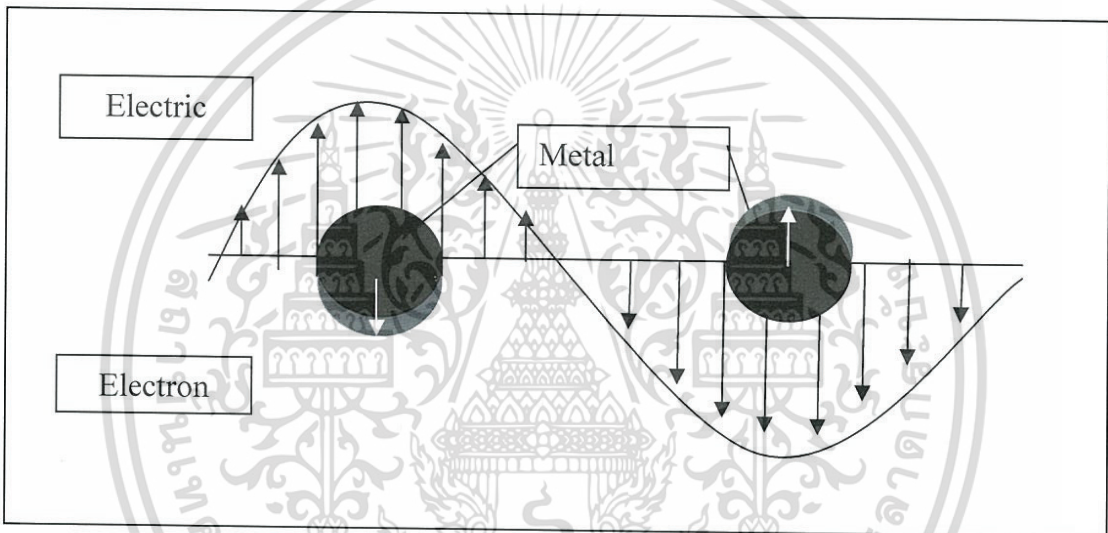
ขนาด	ความหมาย	ตัวอย่าง	ภาพตัวอย่าง
มิลลิเมตร	หนึ่งในพันเมตร คือ 0.001 เมตร หรือ 10^{-3}	มด มีขนาดเฉลี่ย 5 มิลลิเมตร	
ไมโครเมตร	หนึ่งในล้านเมตร คือ 0.000001 เมตรหรือ 10^{-6}	ไรฝุ่นมีขนาดเฉลี่ย 6-8 ไมโครเมตร	
นาโนเมตร	หนึ่งในพันล้านเมตรคือ 0.000000001 เมตร หรือ 10^{-9}	ความกว้างของ เกลียวดีเอ็นเอ ขนาดเฉลี่ย 2 นาโน เมตร	

ในด้านของคุณสมบัติเชิงแสง (Optical property) การออกแบบโครงสร้างของอนุภาคนาโนนับว่าเป็นหัวใจหลักในการสร้างวัสดุนาโนชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไปจากวัสดุขนาดใหญ่ ดังเช่น การจัดเรียงตัวของอนุภาคนาโนทำให้เกิดวัสดุชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวทางไฟฟ้า แสง เชิงกล รวมไปถึงคุณสมบัติในเชิงขนส่ง (Transport)

สมบัติทางแสงซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของโลหะและโลหะออกไซด์ โดยเฉพาะโลหะ เช่น ทองคำจะแสดงสมบัติทางแสงอย่างเด่นชัด อธิบายด้วยปรากฏการณ์เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ (surface plasmon resonance ; SPR) [3] ซึ่งเป็นคลื่นความหนาแน่นของประจุที่เกิดจากการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระ ที่มีลักษณะการสั่นพร้อมเพรียงกัน เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยผิวต่อของโลหะกับสารไดอิเล็กทริก เช่น ระหว่างทองคำหรือกับอากาศหรือสารละลาย

โดยที่ขนาดขดคลื่น และความกว้างของสเปกตรัมพลาสมอนเรโซแนนซ์ของวัสดุต่างๆ จะขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่กับขนาด, รูปร่าง, ประเภทของวัสดุ และสภาพแวดล้อมรอบๆ วัสดุนั้น อนุภาคนาโนของทองคำ จะมีสีแดงแทนที่จะเป็นสีเหลืองวาวอย่างที่พบได้ทั่วไป โลหะชนิดอื่นที่นอกเหนือไปจากทองคำ ก็ยังสามารถแสดงปรากฏการณ์เชิงแสงในลักษณะเดียวกันนี้ได้เช่นกัน เช่น อนุภาคเงินขนาดนาโน จะมีสีเหลืองเข้ม แทนที่จะเป็นสีเงินวาวที่เราคุ้นเคย อย่างไรก็ตาม โลหะส่วนใหญ่จะมีความถี่เรโซแนนซ์อยู่ในช่วงใกล้อินฟราเรดซึ่งอยู่นอกสเปกตรัมของช่วงแสงที่มองเห็น นอกจากนี้อนุภาคนาโนของโลหะเกือบทุกชนิดไม่สามารถคงตัวอยู่ในรูปอนุภาคนาโนได้นานในสภาวะแวดล้อมตามปกติทำให้เราไม่ค่อยพบปรากฏการณ์นี้ เซอร์เฟจ พลาสมอน เรโซแนนซ์ หรือสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโน เช่นทองคำ สามารถเกิดขึ้นเนื่องจากอันตรกิริยาของแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กับอิเล็กตรอนอิสระที่ผิวของอนุภาคนาโนของโลหะ [14] ดังรูปที่ 2.2

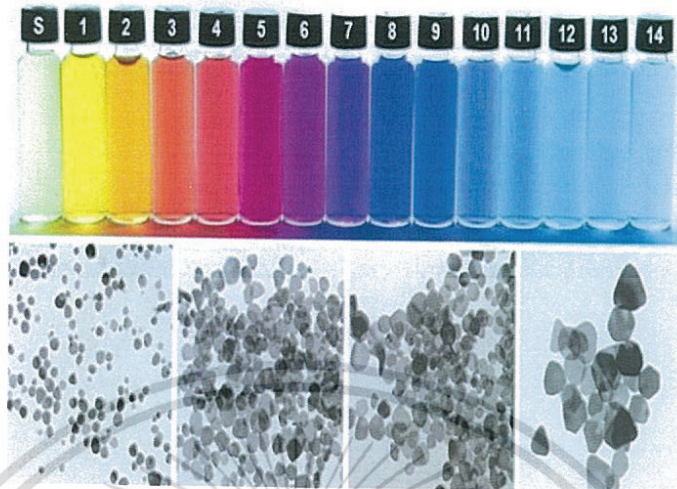


รูปที่ 2.2 กระบวนการสั่นของพลาสมอน (Plasmon oscillation) ในอนุภาคทรงกลม [14]

2.2 ซิลเวอร์นาโน (Silver nano)

ซิลเวอร์นาโน (Silver nano) คือการนำธาตุเงินมาแปรสภาพให้มีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับเชื้อโรคและด้วยขนาดที่เล็กมากทำให้ใช้ธาตุเงินเพียงเล็กน้อยก็สามารถครอบคลุมพื้นที่และเพิ่มโอกาสในการสัมผัสกับเชื้อโรคได้มากขึ้น ที่จริงแล้วเมื่อร้อยกว่าปีก่อนเป็นที่ทราบกันทั่วไปว่าสารละลายซิลเวอร์หรือเงิน (Silver) สามารถนำมาใช้ในการทำลายเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราบางชนิดได้ [15] แต่เนื่องจากเงินเป็นโลหะที่มีราคาแพงและจะถูกออกซิไดซ์จนกลายเป็นสีดำเมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานานจึงทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้งานขึ้น เมื่อนาโนเทคโนโลยีถูกพัฒนาขึ้นมา นักวิทยาศาสตร์ได้กลับไปให้ความสนใจกับธาตุซิลเวอร์อีกครั้งหนึ่ง ด้วยเหตุผลที่ว่า ถ้าทำให้อนุภาคของเงินมีขนาดเล็กมาก ๆ จนสามารถแพร่ผ่านเข้าไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้ และออกฤทธิ์ในการทำลายเซลล์ของแบคทีเรียได้โดยใช้ปริมาณโลหะเงินเพียงเล็กน้อยเท่านั้น [16]



รูปที่ 2.3 เครื่องหมาย สีของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีขนาดต่างๆกัน (หมายเหตุ เครื่องหมาย S-14 จะเรียงตามขนาดอนุภาคเล็กไปใหญ่ตามลำดับ) [17]

ซึ่งในปัจจุบัน นวัตกรรมซิลเวอร์นาโนกลายเป็นฟรีเซนต์เตอร์หลักของนาโนเทคโนโลยีไปแล้ว ไม่ว่าจะเป็นการนำอนุภาคเงินในระดับนาโนมาเคลือบผิวเส้นใยผ้าชนิดต่างๆ เพื่อนำมาทำเป็นเสื้อผ้าที่สามารถฆ่าเชื้อโรคได้โดยไม่ต้องนำไปซัก รวมไปถึงการผสมอนุภาคเงินในระดับนาโนลงในสีทาภายในเพื่อใช้ทาภายในรถพยาบาลที่ต้องสัมผัสกับเชื้อโรคต่างๆอยู่เป็นประจำ [4]

ประโยชน์ของซิลเวอร์นาโน

อนุภาคเงินในระดับนาโนนั้นสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้เช่นเดียวกับ Silver Ion J. R. Morones และคณะ (2005) [18] ศึกษาการฆ่าเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ 4 ชนิด ด้วยอนุภาคเงินในระดับนาโน ได้แก่ E.coli (ทำให้เกิดอาการท้องเสีย), S.typhus (ทำให้เกิดโรคไทฟอยด์), P.aeruginosa (ทำให้เกิดการติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ) และ V.Cholerae (ทำให้เกิดอหิวาตกโรค) พบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียของอนุภาคเงินในระดับนาโนขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรีย แต่เมื่อความเข้มข้นของอนุภาคเงินในระดับนาโนมากกว่า 75 ส่วนในล้านส่วน ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียของอนุภาคเงินในระดับนาโนต่อเชื้อแต่ละชนิดจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

แม้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแบคทีเรียเมื่อใช้อนุภาคเงินในระดับนาโนจะไม่เหมือนกับการใช้ Silver Ion ในทุกกรณี แต่ก็พบว่าอนุภาคเงินในระดับนาโนกระจายอยู่ตามผนังเซลล์และแทรกเข้าไปภายในเซลล์ของแบคทีเรีย แล้วเกิดการรวมตัวของดีเอ็นเอภายในเซลล์เช่นเดียวกับการใช้ Silver Ion ขนาดของอนุภาคเงินที่สามารถฆ่าเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วงไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 – 10 นาโนเมตร เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กจะแสดงอิทธิพลของ Electronic Effect ได้ดียิ่งขึ้นทำให้ความว่องไวของพื้นผิวของอนุภาคนาโนในการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น อีกทั้งความแข็งแรงในการจับของอนุภาคเงินในระดับนาโนกับแบคทีเรียขึ้นกับพื้นที่ผิวที่เกิดอันตรกิริยา ดังนั้นพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลง ทำให้ประสิทธิภาพของอนุภาคเงินในระดับนาโนเพิ่มขึ้น ผิวหน้าของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สามารถจับกับแบคทีเรียได้ดีคือ ระนาบ {111} จากผลการทดลองข้างต้นทำให้สามารถสรุปได้ว่ามี 3 กลไกหลักที่ทำให้อนุภาคเงินในระดับนาโนสามารถต่อต้านแบคทีเรียได้ดี เริ่มจากอนุภาคเงินขนาด 1-10 นาโนเมตรจับกับผิวหน้าของเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย และรบกวนการทำงานระดับเซลล์ของแบคทีเรีย เช่น การขนส่งสารเข้าออกจากเซลล์และการหายใจหลังจากนั้นอนุภาคเงินในระดับนาโนสามารถแทรกเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรียและรบกวนการทำงานระดับโมเลกุลโดยจับกับสารที่มีกำมะถัน และฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ เช่น ดีเอ็นเอ และกลไกสุดท้ายคือ อนุภาคเงินในระดับนาโนเกิดการสลายตัวและปลดปล่อย Silver Ion เนื่องจากอนุภาคเงินในระดับนาโนมีขนาดเล็กและมีจำนวนมาก ทำให้สามารถปลดปล่อย Silver Ion ออกมาด้วยความเข้มข้นสูง สามารถฆ่าแบคทีเรียได้อย่างรวดเร็ว ด้วยกระบวนการที่ Q. L. Feng ได้นำเสนอ

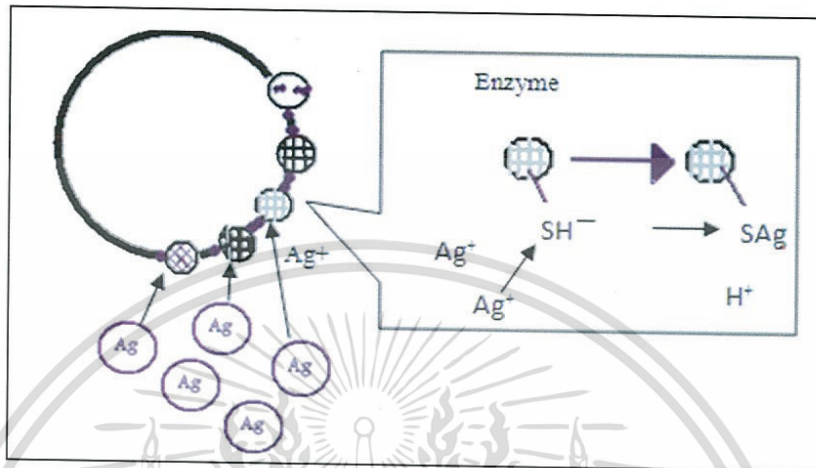
อนุภาคเงินในระดับนาโนที่ผลิตได้จากการใช้นาโนเทคโนโลยีจะมีขนาดอนุภาคประมาณ 25 นาโนเมตร หรือประมาณ 1 ใน 1,000 ของขนาดเซลล์ของแบคทีเรีย หนึ่งในสมมุติฐานเกี่ยวกับการทำงานของอนุภาคเงินในระดับนาโนคือ เมื่ออนุภาคเงินในระดับนาโนสัมผัสกับผนังเซลล์จะสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในเซลล์ของแบคทีเรียหรือเชื้อราได้ จากนั้นอนุภาคเงินในระดับนาโนซึ่งมีสมบัติเป็นกรดลิวอิสที่มีอะตอมที่รับคู่อิเล็กตรอนชนิด Soft (Soft Acid) จะเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลที่เป็นกรดลิวอิสที่มีอะตอมที่ให้อิเล็กตรอนชนิด Soft (Soft Base) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่าง โมเลกุลที่มีคุณสมบัติเป็น Soft Base และ Soft Acid [19]

Soft bases	Soft acids
H^-	$Co(CN)_6^{3-}, Pd^{2+}, Pt^{2+}$
I^-	
H_2S, HS^-, S^{2-}	$BH_3, Tl^+, Ti(CH_3)_3$
RSH, RS^-, R_2S	
SCN^-, CN^-, RNC^-	$Ga(CH_3)_3, GaCl_3, GaBr_3$
$S_2O_3^{2-}$	$Cu^+, Ag^+, Au^+, Cd^{2+}, Hg^{3+}$
$R_3P, (RO)_3P, R_3As$	Hg^{2+}, CH_2Hg^-
C_2H_4, C_6H_6	$CH_2, carbenes$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งก็คือส่วนที่เรียกว่าหมู่ซัลไฟดริล (Sulphydryl group) ของเอนไซม์โปรตีนเอส (Proteinase) ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับเมตาบอลิซึมของเซลล์ โดยหมู่ซัลไฟดริล (-SH) ที่มีอะตอมของซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบจะจับตัวกับอนุภาคของเงินทำให้กระบวนการทำงานของเอนไซม์หยุดการทำงานจนกระทั่งเซลล์ของแบคทีเรียหยุดการเจริญเติบโต และเสื่อมสภาพไปในที่สุด [20] ดังรูปที่ 2.4

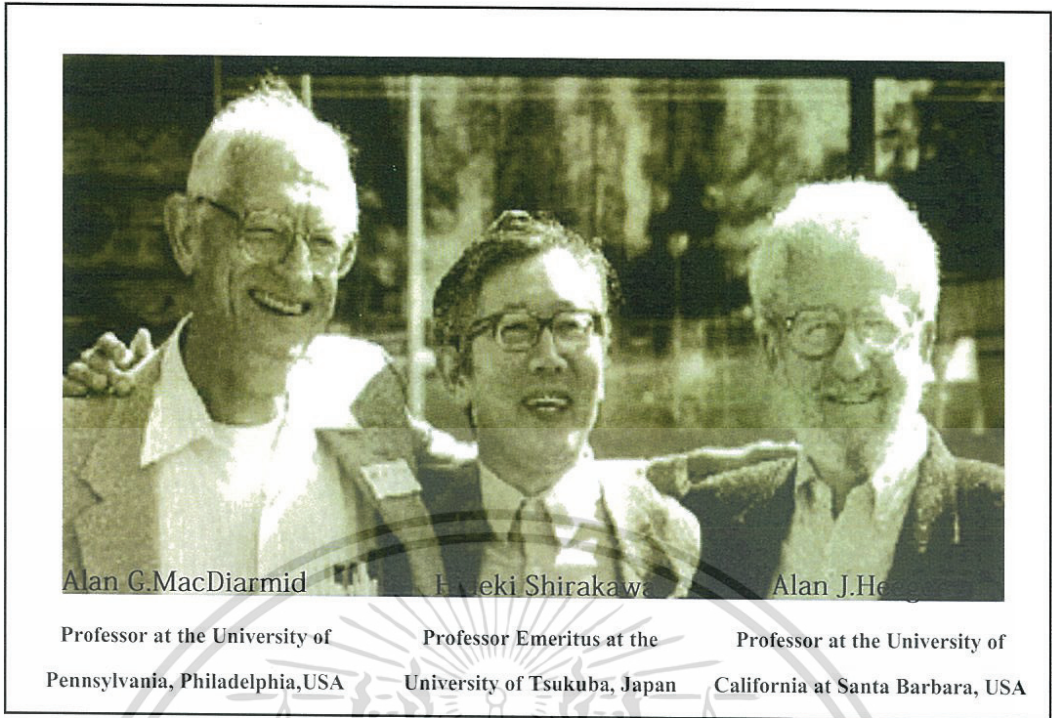


รูปที่ 2.4 อนุภาคเงินในระดับนาโนเมื่อเกิดอันตรกิริยากับหมู่ซัลไฟดริล เพื่อหยุดยั้งการทำงานของเอนไซม์ในเชื้อแบคทีเรีย[20]

2.3 พอลิเมอร์นำไฟฟ้า (Conductive Polymer)

พอลิเมอร์สังเคราะห์ที่กลายเป็นที่นิยมและมีการนำไปประยุกต์ใช้งาน มากกว่าพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ ทั้งในด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและอุตสาหกรรม เป็นที่รู้จักกันมากกว่าร้อยปี พอลิเมอร์สังเคราะห์ส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า แต่มีพอลิเมอร์บางกลุ่มที่แสดงสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำหรือนำไฟฟ้าได้ พอลิเมอร์นำไฟฟ้าซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชนิดใหม่นี้ ถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ. 1976 โดย อลัน เจ ฮีเกอร์ (Alan J. Heeger), อลันจี แมกไดอาร์มิด (Alan G. MacDiarmid) และฮิเดกิชิราคาว่า (Hideki Shirakawa) ต่อมาทั้งสามท่านได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมีร่วมกัน ในปี ค.ศ. 2000 จากการร่วมกันค้นพบและศึกษาการสังเคราะห์พอลิอะเซทิลีนพอลิ (Crystalline polyacetylene) ที่มีค่าการนำไฟฟ้าเทียบเท่าโลหะ การค้นพบของทั้งสามท่านทำให้เกิดการตื่นตัวในบรรดานักวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมากในการพัฒนาพอลิเมอร์นำไฟฟ้าชนิดใหม่ให้มีคุณสมบัติตามความต้องการที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าในศตวรรษที่ 21 โลกกำลังเปลี่ยนจากศตวรรษของฟิสิกส์ไปสู่ศตวรรษของเคมี และนำอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำที่มีอยู่ในโลกไปสู่ยุคอุตสาหกรรมใหม่ ซึ่งไม่มีใครเคยคิดมาก่อนเลยว่าอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำไฟฟ้า จะมาจากสารอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



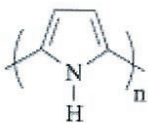





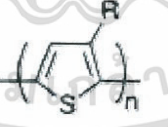
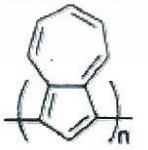
รูปที่ 2.5 อัลัน จีแมกไดอาร์มิด , ฮิเคกิ ชิรากาวา และอัลัน เจ ฮีเกอร์ ผู้ค้นพบพอลิเมอร์นำไฟฟ้า [21]

การนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์นำไฟฟ้า เกิดจากโครงสร้างทางเคมีที่สำคัญของพอลิเมอร์กลุ่มนี้คือมีระบบแบบไพคอนจูเกต (π -conjugated system) ซึ่งเป็นอะตอมของคาร์บอนต่อกันอยู่ด้วยพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยวหรือมีวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) หรือมีอะตอมของธาตุไนโตรเจนและกำมะถันอยู่ในวงแหวนทำให้พอลิเมอร์กลุ่มนี้มีคุณสมบัติในการกระจายอิเล็กตรอนได้ดี นอกจากนั้นแล้วความสามารถในการนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับชนิดของ พอลิเมอร์ วิธีการสังเคราะห์ และการโด๊ป (Doping process) กระบวนการโด๊ปทำให้พอลิเมอร์นำไฟฟ้าซึ่งอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันหรือรีดอกซ์ (Oxidation-reduction or redox reaction) การโด๊ปทำให้พอลิเมอร์ซึ่งจากเดิมเป็นฉนวนเปลี่ยนเป็นวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ดี เสมือนเป็นโลหะแต่อย่างไรก็ตามตัวนำและฉนวนไฟฟ้าของพอลิเมอร์กลุ่มนี้สามารถผันกลับได้ [22]

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างพอลิเมอร์นำไฟฟ้า [23]

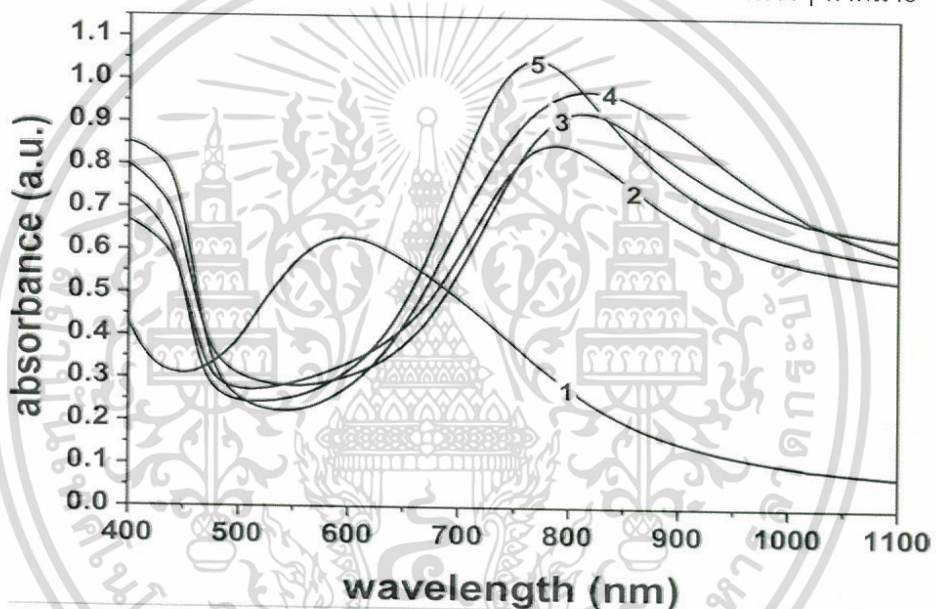
พอลิเมอร์	สูตรโครงสร้าง	ค่าการนำไฟฟ้า (Siemens/cm)
Polyacetylene		10,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์	สูตรโครงสร้าง	ค่าการนำไฟฟ้า (Siemens/cm)
Polypyrrole		500 - 7,500
Polyaniline		200
Polythiophene		1,000
Polyphenylenevinylene		10,000
Polyphenylene		1,000
Polyfuran		100
Poly (3-alkylthiophene)		1,000 - 10,000
Polyazulene		1

พอลิเมอร์นำไฟฟ้า (Conducting polymer) มีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อย่างกว้างขวาง อาทิเช่น ด้านการแพทย์ (เช่น การนำพาเข้าสู่เป้าหมาย (Drug Delivery) และอวัยวะเทียม) ด้านเคมี (เช่น การตรวจวัดสารเคมีหรือเซนเซอร์ การแยกสารอินทรีย์ไอออนอร์ การแยกธาตุ และการวิเคราะห์สาร) ด้านสิ่งแวดล้อม (เช่น ตรวจวัดสารมลพิษ) เป็นต้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

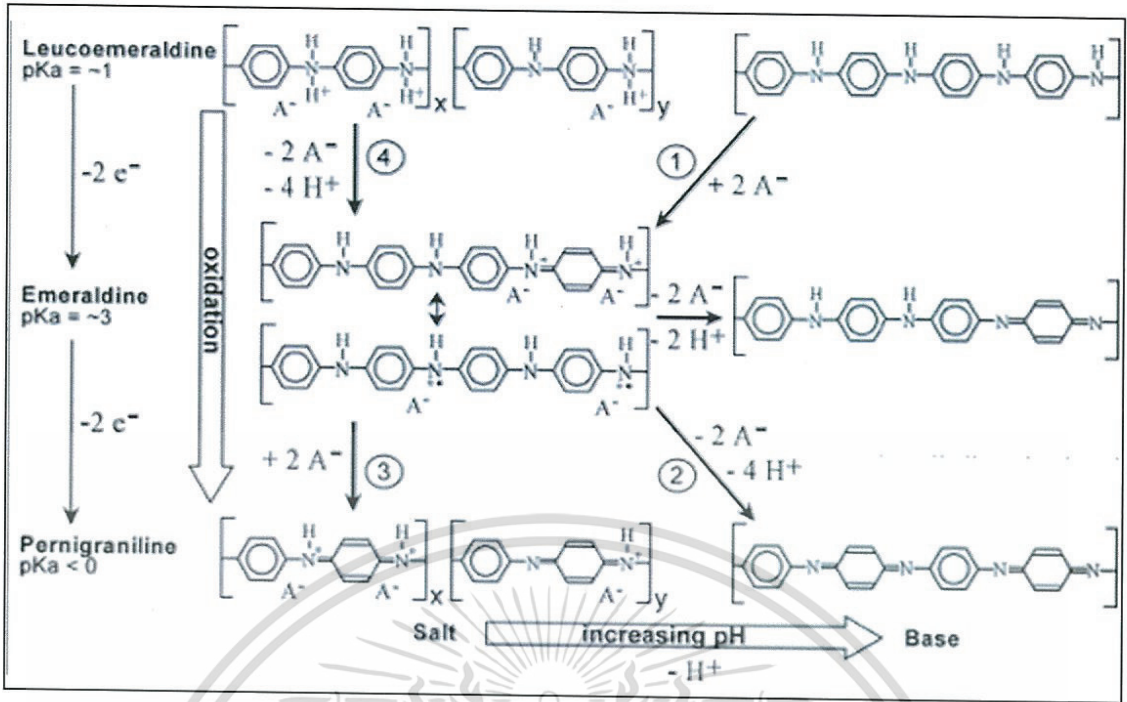
พอลิอะนิลีน (PANi) นับเป็นพอลิเมอร์นำไฟฟ้าที่มีการศึกษาและการนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุดชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นคือ สัณฐานให้ได้ง่ายทั้งวิธีทางเคมีและเคมีไฟฟ้า ราคาถูก ทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี และมีลักษณะเฉพาะที่พิเศษคือมีโครงสร้างทางเคมีที่หลากหลายถึง 6 แบบที่เกิดจากปฏิกิริยารีดอกซ์ และปฏิกิริยากรด-เบสแต่โครงสร้างที่นำไฟฟ้าได้มีเพียงแบบเดียวเท่านั้น คือ ES ดังนั้นการได้ปฏิกิริยาเกิดได้ทั้งจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลูโคเอมเมอร์ลดีน (Leucoemeraldine) และการเติมโปรตอนให้กับ EB ด้วยการทำปฏิกิริยากับกรดประเภทโปรโทนิค (Protonic Acid) ดังรูปที่ 2.6 จึงกล่าวได้ว่า พอลิอะนิลีนมีสมบัติทั้งรีดอกซ์สวิตชิงและพีเอชสวิตชิง (Redox Switching and pH Switching) นอกจากนี้โครงสร้างที่แตกต่างกันยังส่งผลทำให้เกิดสีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนอีกด้วย เช่น ES สีเขียว, EB สีน้ำเงิน, ลูโคเอมเมอร์ลดีนสีเหลืองอ่อน และเพอร์นิกรานิลีนสีม่วง ทำให้มีการนำพอลิอะนิลีนไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย



รูปที่ 2.6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงได้ของพอลิอะนิลีน โดย (1) PANi-emeraldinebase (EB) ส่วนที่เหลือเป็นของ PANi-emeraldinesalt (ES) โดยใช้กรดเป็นตัวได้ปฏิกิริยา ดังนี้ (2) CSA, (3) TSA, (4) HCl และ (5) MSA [24]

อุปสรรคสำคัญในการนำพอลิอะนิลีนไปใช้งานจะเหมือนกับพอลิเมอร์นำไฟฟ้าส่วนใหญ่ คือกระบวนการขึ้นรูปทำได้ยาก (Poor Processability) เพราะไม่สามารถหลอมหรือหล่อขึ้นรูป (Infusible and Unmolding) และไม่ละลายในตัวทำละลายทั่วไป (Insoluble) เนื่องจากโครงสร้างหลักของสายโซ่พอลิเมอร์มีพันธะคู่หรือพันธะไพ (π-bond) อยู่มาก ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่ที่แข็งแรงมาก (π-π Interaction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของพอลิอะนิลีนแบบต่างๆ และการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์และปฏิกิริยากรด-เบส [25]

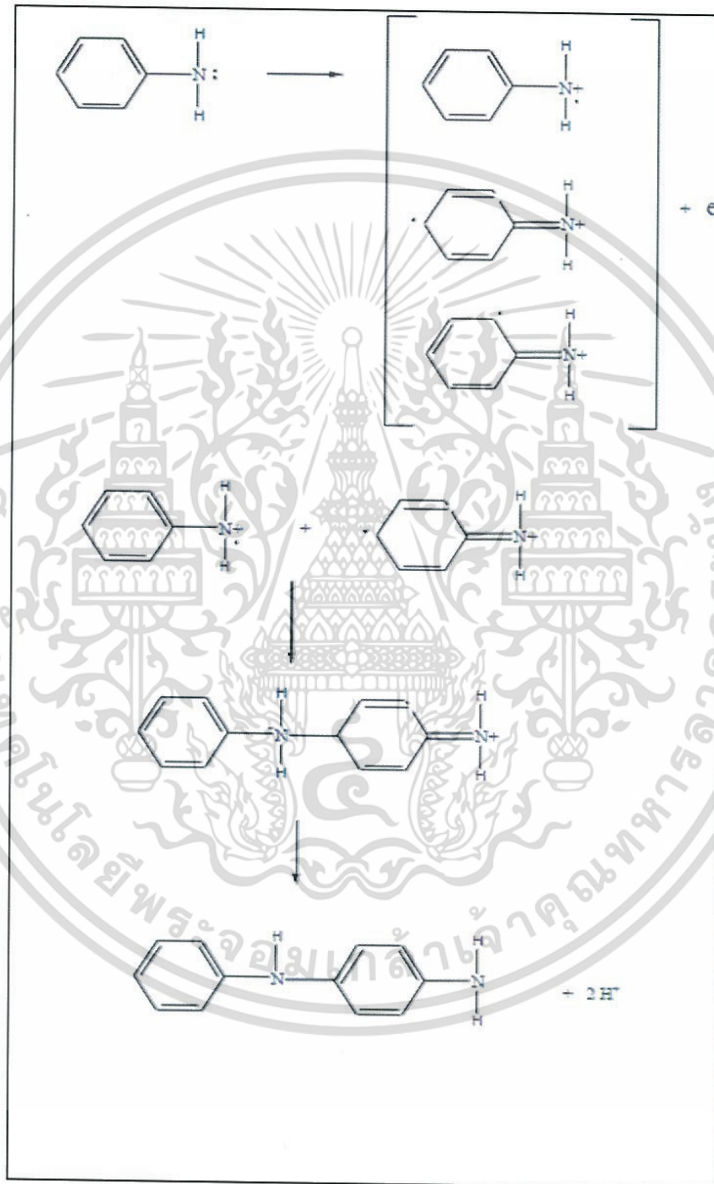
การสังเคราะห์พอลิเมอร์นำไฟฟ้า

การสังเคราะห์พอลิเมอร์นำไฟฟ้า เช่น พอลิอะนิลีน สามารถสังเคราะห์ได้ทั้งในแบบที่ใช้ปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีและสังเคราะห์โดยผ่านกลไกปฏิกิริยาทางเคมีแบบทั่วไป ซึ่งการสังเคราะห์โดยใช้ปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์เกิดขึ้นที่บริเวณขั้วอิเล็กโทรด สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรง เช่น ทำเป็นเซนเซอร์ แต่วิธีทางเคมีไฟฟ้านี้มีข้อจำกัดมาก เช่น อิเล็กโทรดต้องเป็นวัสดุนำไฟฟ้าเท่านั้น ขนาดและรูปร่างของอิเล็กโทรดต้องเหมาะสมกับชุดเครื่องมือ แต่สำหรับการสังเคราะห์โดยกลไกปฏิกิริยาทางเคมีแบบทั่วไป (ไม่ใช่ไฟฟ้าหรือไม่ผ่านปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์) นั้นสามารถทำได้ง่าย ไม่มีข้อจำกัด และราคาถูกกว่า จึงได้รับความนิยมมากกว่าในการใช้สังเคราะห์พอลิอะนิลีน

ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์นำไฟฟ้าด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้า จะเริ่มจากการผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังสารละลาย โมโนเมอร์ (สารอิเล็กโทรไลต์และตัวทำละลายบรรจุอยู่ในภาชนะ ทำปฏิกิริยาที่มีอิเล็กโทรดอย่างน้อย 2 ชนิด ได้แก่ขั้วทำงาน (Working electrode) และขั้วช่วย (Counter electrode)) เพื่อให้โมโนเมอร์เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (โดยมากจะใช้วิธีการทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน) โดยโมโนเมอร์จะสูญเสียอิเล็กตรอนเกิดเป็นประจุบวกและอนุมูลอิสระ (Radical cation หรือ polaron) โดยถ้าพิจารณาในกรณีของ การสังเคราะห์พอลิอะนิลีน พบว่าจะเกิดปฏิกิริยา

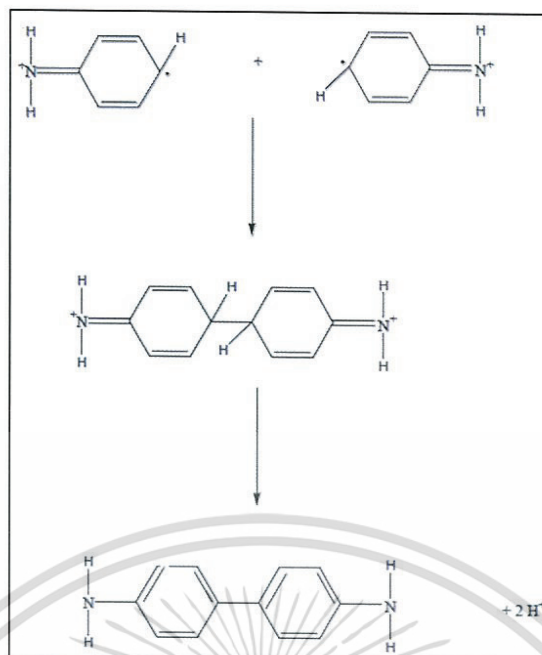
ออกซิเดชันของอะนิลีนได้เป็น Radical cation ก่อน จากนั้นจึงเป็นการรวมตัวกันระหว่าง Radical ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cation โดยการเกิดพันธะคาร์บอน-ไนโตรเจน จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้เป็นพอลิเมอร์
ในที่สุด โดยการเกิดการรวมตัวระหว่าง Radical cation นั้นจะเกิดได้ทั้งแบบ head-to-tail
(1,4-substitution) ดังรูปที่ 2.8 และแบบ tail-to-tail ดังรูปที่ 2.9 ส่วนการเกิดการรวมตัวกันระหว่าง
Radical cation ในแบบ head-to-head จะเกิดได้ยากกว่าเนื่องจากมีแรงผลักระหว่างประจุของ
หมู่เอมีน



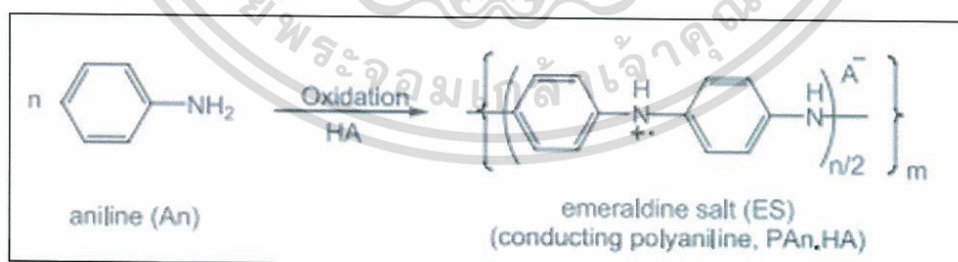
รูปที่ 2.8 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของอะนิลีนแบบ head-to-tail [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Radical cation ของอะนิลีนในแบบ tail-to-tail [26]

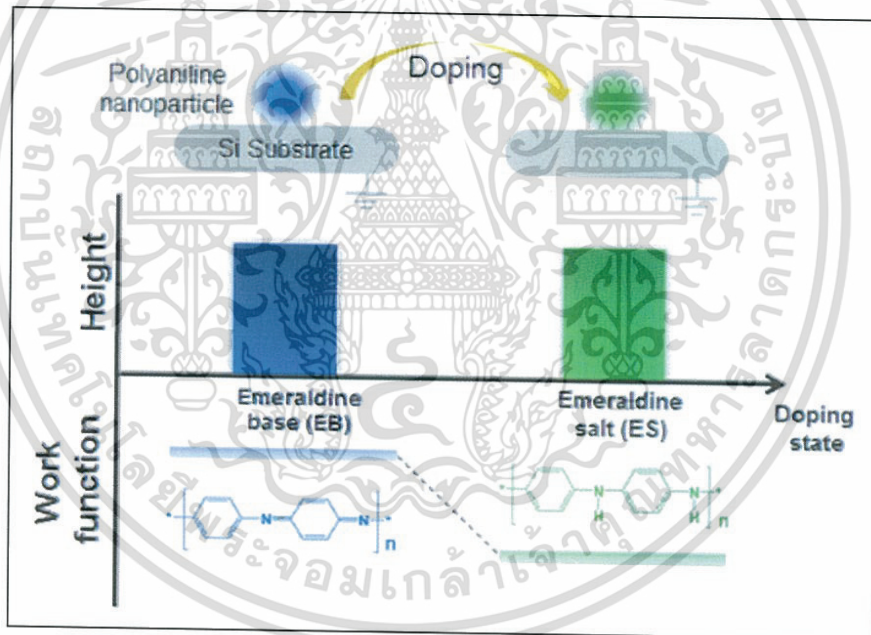
การสังเคราะห์พอลิอะนิลีนด้วยวิธีทางเคมี นิยมใช้วิธีพอลิเมอไรเซชันแบบต่างเฟส หรือเฮเทอโรเฟส (Hetero-phase Polymerization) ที่มีน้ำเป็นตัวกลาง ทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีคุณภาพดีและไม่มีปัญหาจากตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีระเหยง่ายและมีพิษมาก โดยอะนิลีนมอนอเมอร์ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายกรด (เช่น HCl, H₂SO₄) เนื่องจากหมู่เอมีน (-NH₂) จะทำปฏิกิริยากับกรดโปรโทนิค (HA) เกิดเป็น เกลือแอมโมเนียม (-NH₄⁺A⁻) เมื่อทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์หรือตัวริเริ่มปฏิกิริยา เช่น แอมโมเนียมเปอร์ออกซีไดซัลเฟต เพอริกคลอไรด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 สมการการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของอะนิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีข้างต้นจะได้เป็นพอลิอะนิลีนในรูปแบบของ ES สีเขียวเข้มซึ่งเป็นรูปที่นำไฟฟ้าได้ เนื่องจากสังเคราะห์ในสารละลายกรด พอลิเมอร์จึงอยู่ในสภาพที่ถูกโด๊ป พอลิอะนิลีนที่เกิดขึ้นไม่ละลายในตัวกลาง จึงแขวนลอยอยู่และรวมกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ที่สามารถกรองแยกพอลิเมอร์ออกจากสารละลายได้โดยง่าย ค่าการนำไฟฟ้าของพอลิอะนิลีนที่เตรียมโดยวิธีนี้จะอยู่ระหว่างปานกลางถึงค่อนข้างสูง (ประมาณ 10^{-2} ถึง 10^2 S.cm⁻¹) ขึ้นกับสถานะในการสังเคราะห์ เช่น อุณหภูมิ, ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ และสารออกซิไดซ์ชนิดของสารละลายกรดซึ่งใช้เป็นตัวกลางในการสังเคราะห์และเป็นสารโด๊ปด้วย [27,28] สำหรับตะกอน ES ที่สังเคราะห์ได้จะไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป แต่อาจละลายได้บ้างบางส่วนในตัวทำละลายเฉพาะ (มักเป็นส่วนที่มีมวลโมเลกุลต่ำถึงปานกลาง) จึงมักเปลี่ยนให้อยู่ในรูป EB หรือดีโด๊ปด้วยการทำปฏิกิริยากับเบส เช่น NH₄OH และ NaOH ตะกอน EB มีสีน้ำเงินเข้ม เป็นรูปที่ไม่นำไฟฟ้า แต่จะละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิดเช่น N-methyl-2-pyrrolidinone (NMP), dimethylsulfone (DMSO) และ N,N-dimethylformamide (DMF) ซึ่งมักเป็นพิษและมีราคาแพง



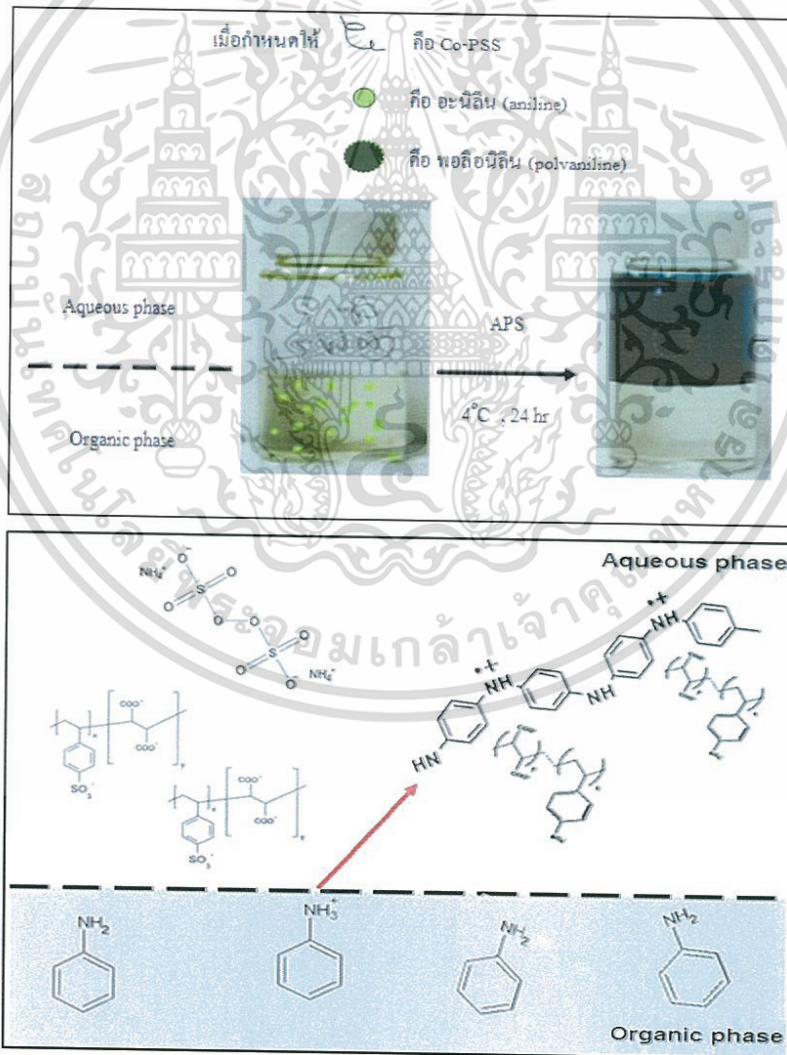
รูปที่ 2.11 การโด๊ปพอลิอะนิลีนในรูปแบบ EB ให้เป็น ES [29]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีน

การสังเคราะห์พอลิอะนิลีนที่ควบคุมให้อนุภาคพอลิเมอร์มีขนาดเล็กและกระจายตัวอยู่ในตัวกลางได้อย่างเสถียรไม่เกิดการรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

2.4.1 การพอลิเมอไรเซชันแบบระหว่างวัฏภาค (Interfacial polymerization) โดยมอนอเมอร์จะแยกอยู่คนละชั้นในสารละลายและจะทำปฏิกิริยาควบแน่นที่ระหว่างชั้น ขณะที่เกิดปฏิกิริยาควบแน่น พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นของสารละลายจะถูกดึงออกมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างต่อเนื่อง Interfacial polymerization เป็นการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีข้อดีคือ อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาไม่สูง ทำให้ไม่เกิดการสลายตัวของพอลิเมอร์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง ส่งผลให้ผลที่ได้เป็นร้อยละของผลิตภัณฑ์สูงเกือบ 100% และพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีความบริสุทธิ์สูง [30]



รูปที่ 2.12 การควบแน่นระหว่างชั้นน้ำกับชั้นสารละลายและการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการ

Interfacial polymerization [21] เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 วิธีดิสเพอร์ชันพอลิเมอร์เซชัน (Dispersion Polymerization) โดยการเติมสารเพิ่มความเสถียร (Stabilizer) ลงในสารละลายที่ใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์ สารเพิ่มความเสถียรนี้มักเป็นพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งที่ละลายได้ในน้ำและเกิดการดูดซับทางฟิสิกส์ (Physical Adsorption) หรือทางเคมี (Chemical Graft) บนพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้และกำลังจะรวมกันเป็นตะกอน แต่เมื่อมีการดูดซับสารเพิ่มความเสถียร จะทำให้คงตัวอยู่ในสารละลายได้โดยเกิดเป็นคอลลอยด์หรือดิสเพอร์ชันที่มีอนุภาคพอลิเมอร์ในระดับไมครอน (10^{-6} เมตร), ซับไมครอน ($<10^{-6}$ เมตร) หรือนาโนเมตร (10^{-9} เมตร) โดยจะขึ้นกับชนิดของสารเพิ่มความเสถียรและสภาวะในการสังเคราะห์

2.4.3 วิธีอิมัลชันพอลิเมอร์เซชัน ซึ่งมีทั้งแบบตรง (Direct Emulsion Polymerization) หรือแบบน้ำมันในน้ำ (Oil in Water, o/w) และแบบน้ำในน้ำมัน (Water in Oil, w/o) โดยหลักการของวิธีอิมัลชันพอลิเมอร์เซชันนี้มอนอเมอร์อะนิลีนจะกระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่ประกอบด้วยกรด และสารออกซิเดนท์ ในสารละลายผสมของน้ำกับตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วน้อย เช่น Xylene, Chloroform, Toluene และ Isooctane เกิดเป็นอิมัลชันที่เสถียร เพราะเกิดโครงสร้างไมเซลล์ (Micellar Solution) จากการเติมสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ซึ่งมีใช้กันทั้งชนิดไอออนลบ, ชนิดไอออนบวก และชนิดไม่มีประจุ

2.5 เทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ (Layer-by-Layer)

เทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ เป็นเทคนิคที่ใช้ในการประดิษฐ์ฟิล์มบางโดยใช้เทคนิคการเคลือบผิวแบบชั้นต่อชั้นด้วยการเรียงตัวของสารที่มีขั้วของพอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) แตกต่างกันไป มีการบันทึกว่าเทคนิคนี้ถูกค้นพบครั้งแรกโดย R. K. Iler ในปี ค.ศ. 1966 [31] หลังจากนั้นเทคนิคนี้เป็นที่สนใจอีกครั้งเมื่อมีการค้นพบการประยุกต์ใช้พอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) ที่หลากหลายมากขึ้น โดย Prof. Gero Decher ที่ Johannes Gutenberg-Universität Mainz [32]

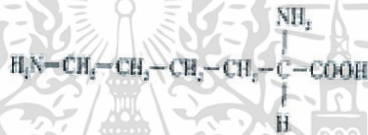
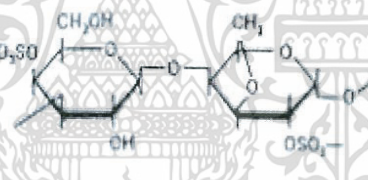

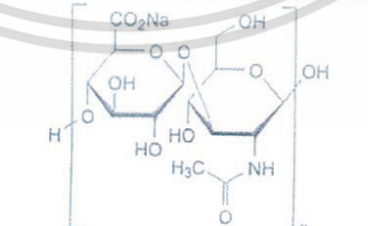
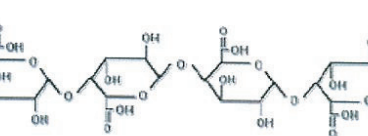
พอลิอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte)

พอลิอิเล็กโทรไลต์ คือกลุ่มของสาร โมเลกุลใหญ่ (Macromolecules) ที่สามารถแตกตัวได้เมื่ออยู่ในของเหลว เกิดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ การศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนพอลิอิเล็กโทรไลต์เริ่มต้นโดย Fuoss[33] ที่นำสารที่มีประจุบวกและประจุลบมารวมกัน ทำให้เกิดการตกตะกอน ได้ตะกอนที่ไม่ละลายน้ำ พันธะที่เกิดขึ้นระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดเกิดจาก coulomb interaction ที่แข็งแรง แต่ในบางกรณีการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของพอลิอิเล็กโทรไลต์สามารถเกิดได้จากพันธะไอออนิกที่ไม่แข็งแรง (Weak ionic interaction) ได้เช่นกัน สารประกอบเชิงซ้อนพอลิอิเล็กโทรไลต์สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้สองกลุ่ม [34] คือสารประกอบเชิงซ้อนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวกกับประจุลบ (PE-PE) และสารประกอบเชิงซ้อนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวกกับแอนไอออนนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

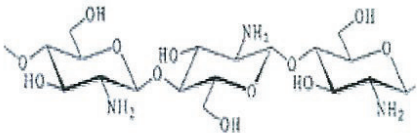
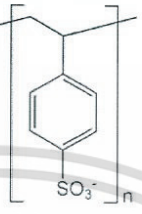
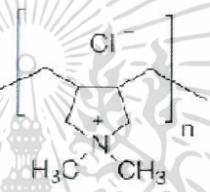
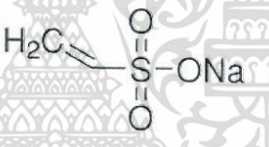
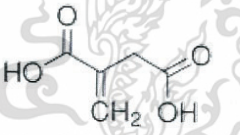
สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ หรือในทิศทางตรงกันข้าม โดยในที่นี้จะขอกล่าวถึงสารประกอบเชิงซ้อนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง PE-PE เท่านั้น

การเกิด PE-PE เป็นการเกิดปฏิกิริยาทำได้โดยการผสมพอลิเมอร์ที่มีประจุตรงกันข้ามในตัวทำละลายที่เป็นน้ำ การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน จะเกิดขึ้นด้วยตนเอง (Spontaneous formation) โดยจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างประจุที่แตกต่างกัน (ประจุบวก และประจุลบ) โดยแรงที่เกิดเป็นแรงยึดเหนี่ยวทางไฟฟ้า หรือ Electrostatic interaction

ตารางที่ 2.4 พอลิเมอร์ที่นิยมใช้ในการเตรียม PE-PE [35]

ชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเตรียม PE-PE	โครงสร้าง	ชนิดของประจุ
Poly(L-lysine)		polyanion
Carageenan		polyanion
Alginates		polyanion
Hyaluronic acid		Polyanion
Pectin		polyanion

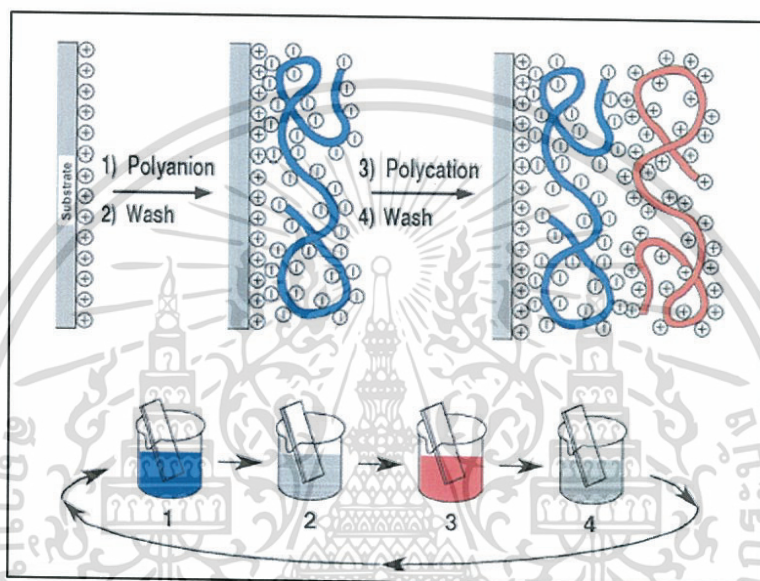
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเตรียม PE-PE	โครงสร้าง	ชนิดของประจุ
Chitosan		polycation
Poly(styrenesulfonic acid)		polyanion
Poly(diallyldimethylammonium)		polycation
Poly (vinylsulfonic acid)		polyanion
Poly (itaconic acid)		polyanion

พอลิอิเล็กโทรไลต์แบบหลายชั้น (Polyelectrolyte multilayers) เป็นการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการนำประจุมาห่อหุ้มอนุภาคหรือสายพอลิเมอร์เป็นชั้นๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติของอนุภาคหรือ พอลิเมอร์ให้เป็นไปตามที่ต้องการ โดยมีประโยชน์ในการนำมาใช้ในการนำส่งยา และกระบวนการเคลือบผิวหน้าของสารต่างๆ พอลิอิเล็กโทรไลต์หลายชั้นเกิดจากการที่พอลิอิเล็กโทรไลต์ถูกดูดซับไว้บนชั้นสเตรตที่มีประจุตรงกันข้าม (Polyanion และ Polycation) เพื่อเป็นการกลับประจุของชั้นสเตรต โดยจำนวนชั้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์ขึ้นอยู่กับสมบัติที่ต้องการและการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น นำไปเตรียมเป็นฟิล์มผสมชนิดบาง (Thin-film) จากพอลิไคเอเซทิลิน เวลีเคิลเพื่อตรวจหาสารประกอบแอมโรเมติก [36] โดยความหนาของแต่ละชั้นฟิล์มอยู่ในระดับนาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคเลเซอร์บายเลเซอร์ ได้กลายเป็นทางเลือกที่สำคัญสำหรับการสร้างฟิล์มอิเล็กทรอนิกส์ ที่ทำงานร่วมกันระหว่างวัสดุที่มีขั้วแตกต่างกัน ซึ่งเทคนิคนี้สามารถตรวจสอบผลได้อย่างแม่นยำ รวดเร็ว และมีราคาถูก อีกทั้งยังสามารถเลือกใช้วัสดุได้อย่างกว้างขวาง และการประดิษฐ์ฟิล์มจะต้องทำด้วยความระมัดระวัง ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการรักษาสภาพของสารชีวโมเลกุล กลุ่มวัสดุดังกล่าวที่มีคุณสมบัติของไวทางไฟฟ้า (Electro active) ซึ่งทำให้นักวิจัยประยุกต์ใช้ฟิล์มใช้งานต่างๆ รวมถึง การเปลี่ยนสีของชั้นฟิล์ม (Electrochromism) การทำปฏิกิริยา การตรวจวัดทางเคมีไฟฟ้าและการตรวจวัดทางชีวภาพ (Bio sensing) เป็นต้น



รูปที่ 2.13 การประดิษฐ์ฟิล์มบางด้วยเทคนิคเลเซอร์-บาย-เลเซอร์ [21]

2.6 การประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัด (Sensing application)

เป็นการวิเคราะห์เพื่อตรวจวัดปริมาณสารต่างๆ มีความสำคัญมากในงานทางเคมีวิเคราะห์ ดังนั้นเซนเซอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในห้องปฏิบัติการที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากปฏิกิริยาเคมีเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถตรวจวัดและบันทึกได้ เซนเซอร์ที่ใช้ฟิล์มของพอลิเมอร์นำไฟฟ้า โดยเฉพาะพอลิอะนิลีนและอนุพันธ์มีการนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการที่หลากหลายตั้งแต่การควบคุมคุณภาพทางสิ่งแวดล้อมไปจนถึงการวินิจฉัยโรคทางการแพทย์ ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาเซนเซอร์ที่ใช้ฟิล์มของพอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ได้ถูกนำมาใช้เป็นตัวตรวจวัดโมเลกุลสารทางเคมี (Chemical sensors) เช่น ตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย (Ammonia, NH_3) [37], ตรวจวัดปริมาณวิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) [38], pH Sensor [39], ทำหมึกพิมพ์ [40] และตัวตรวจวัดโมเลกุลสารทางชีวภาพ (Biosensors) เช่นกลูโคส (Glucose) [41] เป็นต้น จุดเด่นของเซนเซอร์ชนิดนี้ คือสามารถใช้งานได้หลากหลายที่อุณหภูมิต่างๆ ตัวเซนเซอร์มีความไวสูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการตอบสนองสามารถตรวจวัด โมเลกุลที่มีความเข้มข้นระดับต่างๆ และมีความเสถียรในระหว่างที่ใช้งานอีกด้วย

2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.7.1 วิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer; XRD)

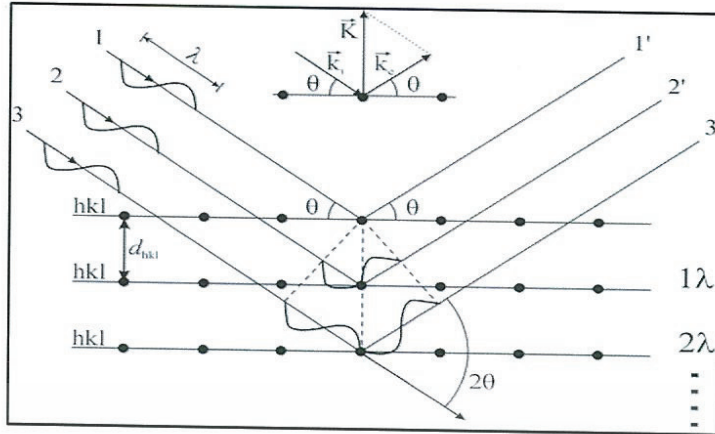
เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ หรือ (X-ray Diffractometer ; XRD) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้อีกด้วย ในผลึกของตัวอย่างแต่ละชนิด จะมีขนาดของ Unit Cell ที่ไม่เท่ากัน รูปแบบของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จึงออกมาไม่เท่ากัน ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่างๆ กับ รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้ ซึ่งจะทำให้ทราบว่า ในตัวอย่างนั้นๆ มีสารประกอบอะไรอยู่บ้าง และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่าง

โดยอาศัยหลักการของ Bragg' law ตามสมการดังนี้

$$2d \sin\theta = n\lambda$$

เมื่อ	λ	คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์
	d	คือ ระยะระหว่างระนาบที่ขนานกัน
	θ	คือ มุมที่สะท้อนจากระนาบซึ่งจะเท่ากับมุมตกกระทบ
	n	คือ ลำดับของการเลี้ยวเบน มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม คือ 1,2,3...n
	2θ	คือ มุมเลี้ยวเบนที่เป็นมุมระหว่างรังสีตกกระทบทำกับรังสีสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์บนระนาบของผลึกที่เป็นไปตามกฎของ Bragg's Law [42]

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ของ XRD จะสามารถหาองค์ประกอบของตัวอย่างได้แล้วนั้น ยังสามารถคำนวณหาปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่าง, คำนวณหาขนาดอนุภาคของแต่ละ Unit cell, ความเครียดของตัวอย่าง, ค่าความเป็นผลึกของตัวอย่าง องค์ประกอบของฟิล์มบาง และคำนวณค่าความหนาของชั้นฟิล์มบางได้อีกด้วยแต่ข้อจำกัดของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ก็คือ ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อหาปริมาณหรือองค์ประกอบตัวอย่างที่เป็น Amorphous ได้ เนื่องจากสารตัวอย่างกลุ่มนี้จะไม่เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ แต่เราสามารถให้ XRD คำนวณหาปริมาณของส่วนที่เป็น Amorphous ในตัวอย่างว่ามีสัดส่วนกี่เปอร์เซ็นต์ได้ โดยใช้การเปรียบเทียบกับปริมาณของสารมาตรฐานที่ทราบค่าแน่นอน

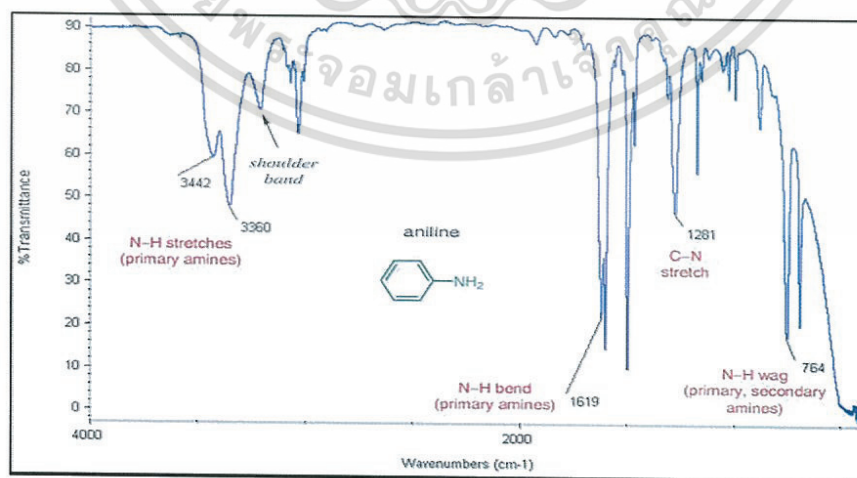
ลักษณะตัวอย่างที่เหมาะสมในการส่งวิเคราะห์เครื่อง XRD นั้นสามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งในรูปแบบของแข็ง หรือตัวอย่างที่เป็นผงได้ ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นของแข็ง ด้านที่ต้องการทดสอบผิวจะต้องเรียบ ส่วนในกรณีตัวอย่างที่เป็นผงจะต้องมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 325 mesh หรือ ประมาณ 40 ไมครอน (ผงละเอียดคล้ายผงแป้ง) จึงจะให้ผลการทดสอบที่ดี โดยปริมาณที่ต้องใช้ในการทดสอบต่อครั้ง จะอยู่ประมาณ 1-2 กรัมในกรณีที่ตัวอย่างเป็นก้อน ต้องมีขนาดกว้างยาว ไม่เกิน 10 เซนติเมตร ทั้งนี้พื้นที่ที่จะทำการทดสอบจะเป็นเพียงบริเวณเล็กๆ ประมาณ 10 มิลลิเมตร เท่านั้น กรณีที่ตัวอย่างมีปริมาณน้อยมากก็อาจทำการทดสอบได้ โดยทางห้องปฏิบัติการจะใช้แผ่น Zero Background ในการวางตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบ

2.7.2 Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR)

FT-IR spectrometer (Fourier Transform Infrared Spectrometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของสาร โดยการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด ในช่วงเลขคลื่น (Wave number) ประมาณ $12,800-10\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งของแข็ง, ของเหลว และก๊าซ

รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) เป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แต่ให้ความร้อนที่สัมผัสได้ รังสีอินฟราเรดอยู่ระหว่างช่วง Visible radiation กับ Microwave radiation โดยช่วงของรังสีอินฟราเรดแบ่งเป็น 3 ช่วงได้แก่ Near Infrared ($12,800 - 4,000\text{ cm}^{-1}$), Middle Infrared ($4,000 - 200\text{ cm}^{-1}$) และ Far Infrared ($200 - 10\text{ cm}^{-1}$) ช่วงของรังสีอินฟราเรดที่ใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ทางเคมีได้แก่ช่วง Middle IR เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีพลังงานค่อนข้างต่ำ เมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเข้าไปจะทำให้พันธะใน โมเลกุลเกิดการสั่นและการหมุน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล การที่โมเลกุลจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้นั้นความถี่ของรังสีอินฟราเรดต้องเท่ากับความถี่การสั่นของโมเลกุลของสารนั้นๆ ซึ่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไป ทำให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของสารอินทรีย์ได้ การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Wave number กับ Transmittance ซึ่งเรียกว่า Infrared spectrum

การใช้เครื่อง FT-IR spectrometer วิเคราะห์ตัวอย่าง ใช้เวลาน้อยและไม่สิ้นเปลืองสารเคมี จึงนิยมนำมาใช้เพื่อการตรวจสอบสารในเชิงคุณภาพหรือเพื่อยืนยันสูตร โครงสร้างของตัวอย่าง เช่น วิเคราะห์ชนิดของสารเคลือบผิวภาชนะบรรจุอาหาร, ตัวอย่างสารสกัดจากพืชและตัวอย่างพอลิเมอร์ เป็นต้น

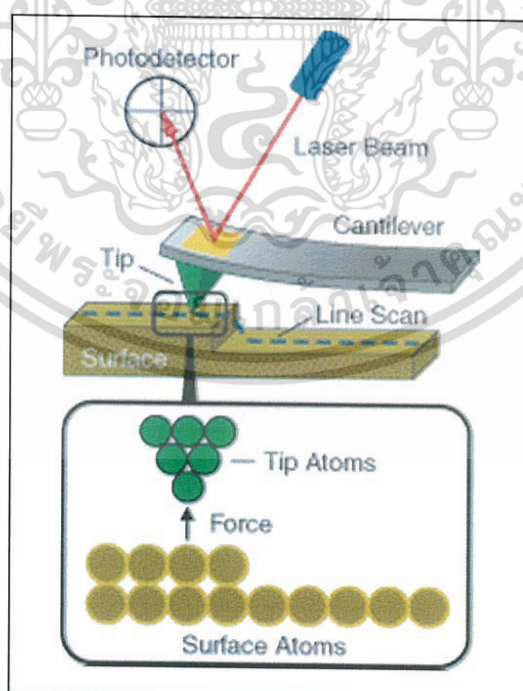


รูปที่ 2.15 Infrared spectrum ของ Aniline [43]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic Force Microscope; AFM)

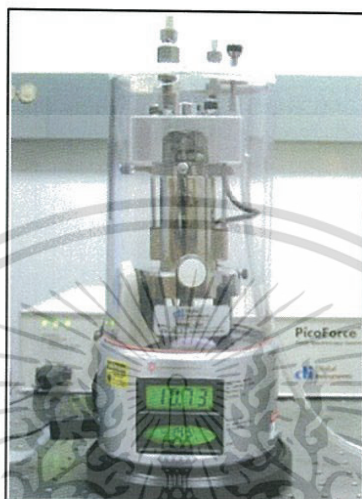
หลักการการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic Force Microscopy ; AFM) เป็นเทคนิคประเภทหนึ่งในกลุ่มของ กล้องจุลทรรศน์แบบหัวสแกน (Scanning Probe Microscopy ; SPM) AFMเป็นเทคนิคที่สามารถใช้ในการถ่ายภาพวัตถุที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร หรือสามารถใช้ในการดูสภาพพื้นผิวของวัสดุประเภทต่างๆได้ โดยมีหลักการพื้นฐาน คือ การใช้คานตรวจวัดที่มีปลายแหลมขนาดเล็ก (Probe Tip) ที่ทำจากวัสดุซิลิกอนไนไตรด์ (Silicon nitride; Si_3N_4) เคลื่อนที่สแกนไปทั่วบริเวณของผิววัสดุ โดยจะส่งแสงเลเซอร์ไปยังส่วนปลายแหลมของคานยื่นที่มีขนาดระดับอะตอมในระยะใกล้ ซึ่งส่วนปลายแหลมของคานนั้นจะไปสัมผัสแบบกระดกในทิศทางขึ้นและลงกับพื้นผิวของวัตถุ และเมื่อเครื่อง AFM ลากส่วนปลายแหลมผ่านโครงสร้างระดับนาโน แรงปฏิกิริยาที่กระทำในแนวตั้งฉากที่เกิดขึ้นระหว่างอะตอมของพื้นผิวกับปลายแหลมจะดึงคานให้โก่งงอทำให้สามารถตรวจวัดขนาดของแรงเชิงปฏิสัมพันธ์ระหว่างความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งของส่วนปลายแหลมและพื้นผิวของวัตถุ (ทำให้สามารถทราบถึงระดับพลังงานที่เกิดขึ้นได้) ซึ่งจะถูกนำมาแปรสัญญาณร่วมกัน เพื่อนำมาสร้างเป็นภาพพื้นผิวที่เป็นลักษณะเชิงโครงสร้างระดับอะตอมที่มีกำลังการขยายสูงไปแสดง บนจอภาพ ที่เป็นมอนิเตอร์ เช่นเดียวกันกับเครื่อง STM (ด้วยหลักการเดียวกันนี้สามารถใช้ปลายแหลมของคานในการสร้างแรงผลัก เพื่อเคลื่อนย้ายอะตอมแต่ละตัวของโครงสร้างวัสดุได้อีกด้วย) จึงทำให้ได้ภาพที่ออกมาสอดคล้องตามสภาพพื้นผิวในแต่ละบริเวณ



รูปที่ 2.16 การทำงานของเครื่อง AFM [44]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผังรูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างเครื่อง AFM ซึ่งจากภาพบริเวณตรงกลาง คือบริเวณที่ใช้วางชิ้นงานและเป็นบริเวณที่เข็มวัด (Probe Tip) วางอยู่ด้วย ส่วนที่บริเวณด้านบนของเครื่องจะมีกล้อง Video Microscope ติดตั้งไว้เพื่อดูตำแหน่งของเข็มที่จะถูกวางลงบนบริเวณต่างๆของพื้นผิว ภาพที่เกิดขึ้นจากกล้องจะแสดงออกมาทางจอทีวี นอกจากนี้ทางด้านบนยังมีแหล่งให้กำเนิดแสงเลเซอร์ ที่ใช้สำหรับเป็นตัวบอกตำแหน่งของเข็มที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเคลื่อนที่



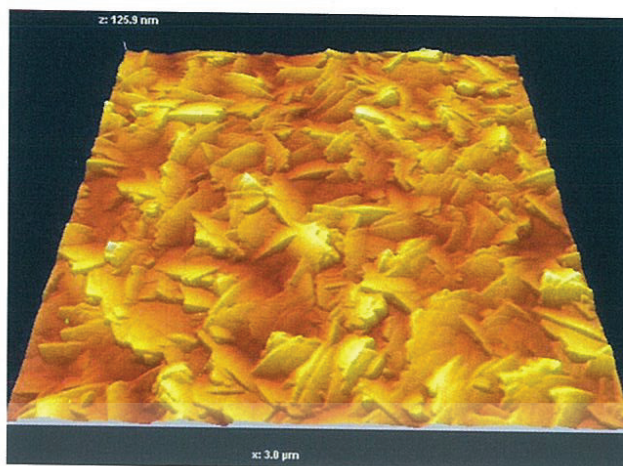
รูปที่ 2.17 เครื่อง Atomic Force Microscope (AFM) [45]

วิธีการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอมที่นำมาใช้งานทางด้านวิทยาศาสตร์ระดับนาโน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี [46] ได้แก่

1. การสัมผัสพื้นผิวพร้อมกับการลากปลายแหลมไปบนพื้นผิวนั้นๆตลอดเวลา ข้อเสียของวิธีนี้คือ จะทำให้เกิดแรงต้านในแนวของการเคลื่อนที่ซึ่งขนานกับพื้นผิวขึ้น อันอาจทำให้คานของโพรบที่ใช้วัดเกิดการโก่งงอตัวหรือเกิดบิดเบี้ยวไป โดยที่มิได้เกิดจากแรงดึงดูดที่ปลายเนื่องจากแรงในแนวตั้งฉากเพียงอย่างเดียว จึงทำให้ข้อมูลความสูงของพื้นผิวที่วัดได้นั้นอาจผิดไปจากความจริงที่แท้จริง

2. คือการสัมผัสพื้นผิวโดยให้ปลายแหลมสัมผัสกับพื้นผิวเป็นระยะเวลาสั้นๆในแนวตั้งฉากกับพื้นผิว ด้วยลักษณะการสัมผัสแบบนี้แรงต้านในแนวตั้งฉากจะไม่เกิดขึ้นแต่เนื่องจากปลายแหลมสัมผัสพื้นผิวเป็นระยะสั้นๆ จึงทำให้เกิดการสั่นของคาน ซึ่งจะส่งผลให้ค่าสัญญาณที่ตรวจวัดได้นั้น ไม่คงที่หรือไม่แม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 พื้นผิวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AFM [46]

2.7.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope ; TEM)

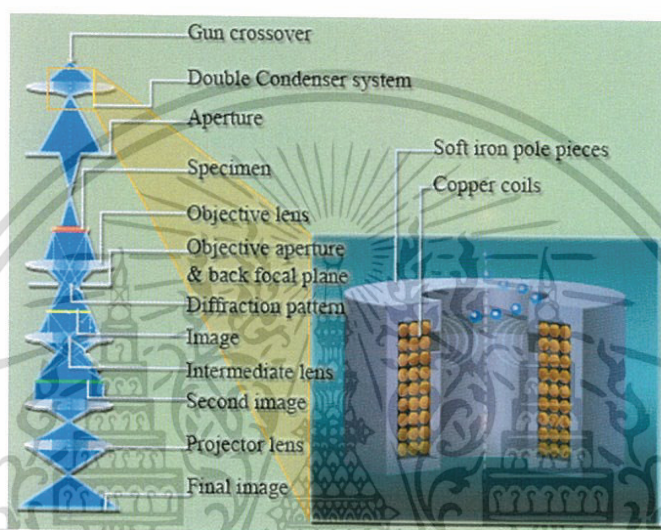
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (TEM) คิดค้นโดย เอิร์นส์ ทรุสกา ในปี พ.ศ. 2475 เพื่อใช้ศึกษาโครงสร้างภายในของ TEM เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของวัสดุต่างๆ ทั้งวัสดุกายภาพและวัสดุชีวภาพ ตัวอย่างที่ใช้ศึกษาต้องเป็นตัวอย่างที่แบนและบางมากที่มีความหนาประมาณ 10^{-6} เมตรเมื่อนำตัวอย่างวางบนอุปกรณ์ (specimen grid) แล้วจึงนำตัวอย่างเข้า TEM อิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยจาก Electron gun ที่ส่วนบนของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยศักย์ไฟฟ้าสูงระหว่าง 80-200 kV จนมีความเร็วและถูกโฟกัสด้วยเส้นแรงแม่เหล็กจนมีลำเล็กเร็วมาก ขนาดความโตของลำเล็กกว่า 1^{-6} ในพื้นที่ส่วนของ 1 มิลลิเมตร ลำอิเล็กตรอนนี้จะตกกระทบบนตัวอย่างบางและทะลุผ่านตัวอย่าง แล้วแสดงเป็นภาพบนจอภาพโดยภาพของตัวอย่างที่เกิดขึ้นได้ถูกขยายด้วยกำลังขยายสูงจนสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

ระบบการทำงานของ TEM มี 4 ระบบ[47] ได้แก่

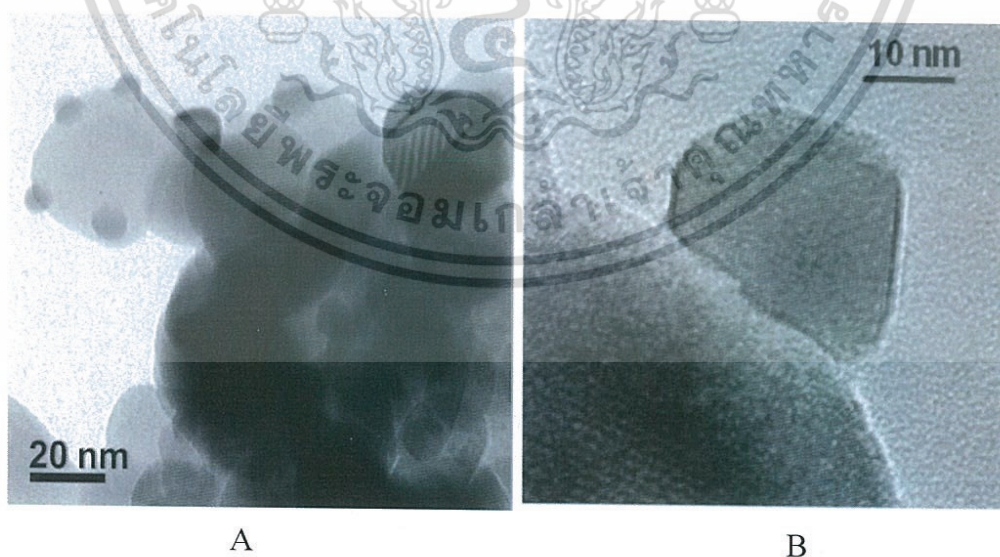
1. ระบบแสง (Illuminating System) ประกอบด้วย
 - แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron gun)
 - เลนส์ควบคุมลำอิเล็กตรอน (Condenser lens)
2. ระบบภาพ (Imaging System) ประกอบด้วย
 - เลนส์สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic lens)
 - ฉากรับภาพ (Fluorescent screen)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบบันทึกภาพ (Photographic system) ประกอบด้วย
 - กล้องฟิล์ม (Dispensing magazine)
 - กล้องรับฟิล์ม (Receiving magazine)
4. ระบบสุญญากาศ (Vacuum system) ประกอบด้วย
 - ตัวดูดอากาศชนิดไอน้ำแบบหยาบ (Oil rotary pump)
 - ตัวดูดอากาศชนิดไอน้ำมันแบบละเอียด (Oil diffusion pump)



รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบของเครื่อง TEM [47]



รูปที่ 2.20 ภาพ TEM A อนุภาคนาโน ZrO_2 และ B อนุภาคนาโน CeO_2 (ขวา) [48]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.5 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectrophotometer)

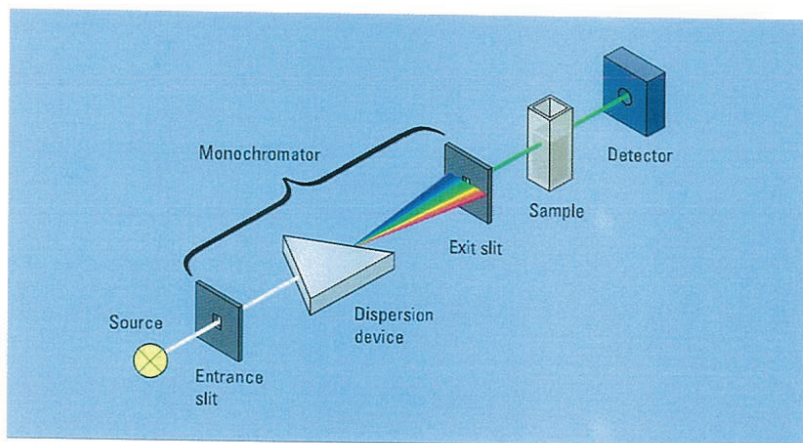
UV-Vis Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่าความเข้มของแสงในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่าง โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ และชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์, สารประกอบเชิงซ้อน และสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้ คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลถูกฉายด้วยแสงที่มีพลังงานเหมาะสม จะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสง แล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาวคลื่นค่าต่างๆ ตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสงของสารจะแปรผันกับจำนวน โมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างได้

โดยส่วนประกอบของเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งสามารถให้แสงในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดเวลา รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอด้วย หลอดกำเนิดแสงมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมา จึงต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับของเหลวที่นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง

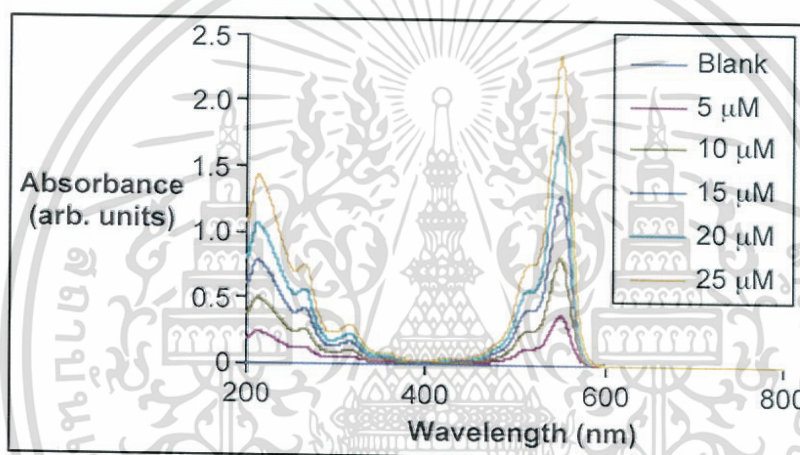
Monochromator ส่วนประกอบนี้เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียว ใช้ฟิลเตอร์ (กระจกสี), ปริซึม (Prism) หรือ เกรตติง (Grating)

เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่างเซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (Cell sample) บางครั้งอาจเรียกว่า คิวเวตต์ (Cuvettes) รูปแบบที่ใช้กันทั่วไปได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะเนื้อแก้วธรรมดาถูกดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอร์ตซ์ (Quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

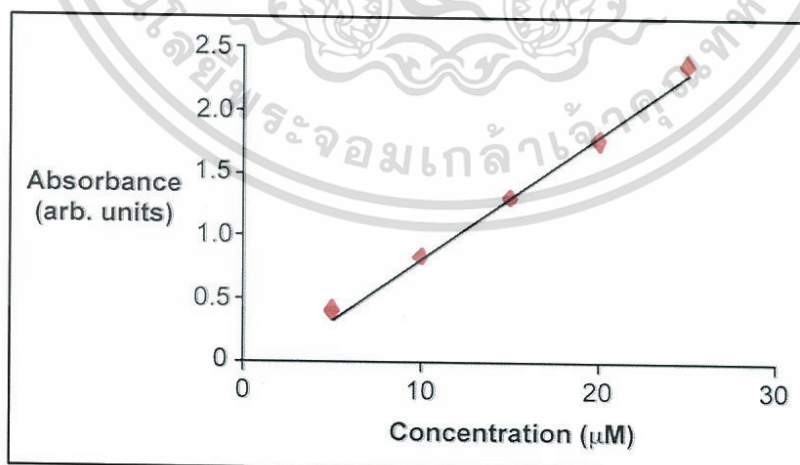
ตัวตรวจวัด (Detector) ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้าเครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีความไวสูง คือแม้ปริมาณแสงจะเปลี่ยนไปเล็กน้อย ก็สามารถตรวจจับสัญญาณความแตกต่างได้ เครื่องวัดแสงที่ยังนิยมกันอยู่ในปัจจุบัน คือ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier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



รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer [49]



รูปที่ 2.22 สเปกตรัมของ UV-Vis Spectrophotometer เมื่อความเข้มข้นแตกต่างกัน [50]



รูปที่ 2.23 กราฟมาตรฐานจากค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดได้ [50]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำแนกประเภทของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. Single-Beam spectrophotometer เมื่อลำรังสีออกจากแหล่งกำเนิดรังสีจะผ่านเลนส์โมโนโครเมเตอร์ที่เป็น Grating ผ่านสารตัวอย่าง แล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณ เนื่องจากสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำรังสีเพียงลำเดียวผ่านจากโมโนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัด ดังนั้นลำรังสีนี้จะเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณเลย การวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ให้ลำรังสีผ่านสลับกัน

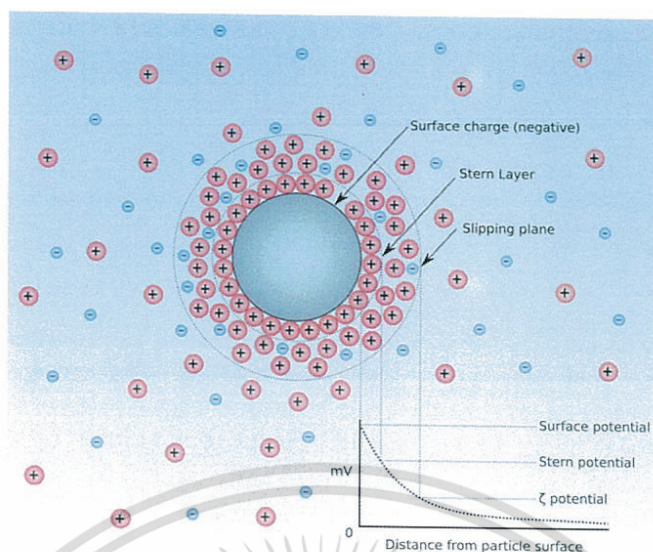
2. Double-Beam Spectrophotometer ลำรังสีจะผ่านโมโนโครเมเตอร์ 2 ครั้งด้วยกัน ทำให้ได้ลำรังสีความยาวคลื่นเดียวอย่างมีประสิทธิภาพและความละเอียดมากขึ้น เมื่อออกจาก Exit slit แล้ว ลำรังสีจะเข้าสู่อุปกรณ์ตัดลำรังสี (Beam chopper) ก็จะสะท้อนไปผ่านสารตัวอย่าง ในขณะที่เดียวกันลำรังสีจะผ่านไปผ่านสารอ้างอิง ด้วยวิธีนี้ ลำรังสีลำเดี่ยวที่ผ่านโมโนโครเมเตอร์จะถูกอุปกรณ์ตัดลำรังสีแยกออกเป็นลำรังสีสองลำที่มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลา เมื่อลำรังสีทั้งสองนี้ไปตกกระทบ Phototube ความแตกต่างของความเข้มจะกลายเป็นสัญญาณส่งต่อไปยังอุปกรณ์บันทึกสัญญาณต่อไป

2.7.6 เครื่องวัด Zeta potential analysis

ศักย์ซีตา (Zeta potential) คือ ความแตกต่างของประจุไฟฟ้าระหว่างชั้นความหนาแน่นของไอออนที่อยู่รอบอนุภาคและประจุในของเหลวที่อยู่ล้อมรอบ อนุภาคเกิดขึ้นในกระบวนการโคแอกกูเลชันฟล็อกกูเลชัน (มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์) เป็นค่าที่ใช้เพื่อบอกแนวโน้มว่าอนุภาคจะมีการเกาะตัวกันเป็นก้อนหรือไม่ เช่น เมื่อมีการปรับค่า pH อนุภาคแขวนลอยจะเสถียร เมื่อศักย์ซีตามีค่ามากกว่า + 30 mV หรือ น้อยกว่า -30 mV [51]

สำหรับค่า Zeta potential จะสัมพันธ์กับประจุบนผิวของอนุภาค ซึ่งมีผลต่อการตกตะกอนและการเกาะตัวกัน เทคนิคนี้จะทำการวัดการเคลื่อนที่ของอนุภาคในของเหลวภายใต้สภาวะที่มีสนามไฟฟ้า ซึ่งก็คือการวัดความเร็วของอนุภาคนั้นเอง โดยเมื่อให้สนามไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์อนุภาคจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วตรงข้ามกับชนิดของประจุ โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้าที่ให้นี้จะสัมพันธ์กับค่า Zeta potential ของคอลลอยด์ [52] โดยเทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์ขนาดอนุภาคในช่วง 0.3 - 5,000 นาโนเมตรและอนุภาคควรอยู่ในตัวกลางที่สามารถนำไฟฟ้าได้ หรือมีค่าไดอิเล็กทริกค่อนข้างสูง เช่น น้ำ เป็นต้น [52]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 ไอออนและความต่างศักย์ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นบนผิวของอนุภาคสารแขวนลอย[53]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 พอลิเมอร์นำไฟฟ้าพอลิอะนิลีนที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีดิสเพอร์ชันพอลิเมอไรเซชัน

[54]

การจะสังเคราะห์พอลิอะนิลีนที่ให้พอลิเมอร์มีอนุภาคขนาดเล็กและกระจายตัวอยู่ในตัวกลางได้อย่างเสถียร ไม่เกิดการรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่มีแนวทางทำได้สองวิธีคือ วิธีดิสเพอร์ชันพอลิเมอไรเซชัน (Dispersion Polymerization) และสังเคราะห์ด้วยวิธีอิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน การสังเคราะห์ด้วยวิธีดิสเพอร์ชันพอลิเมอไรเซชัน โดยการเติมสารเพิ่มความเสถียรลงในสารละลายที่ใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์ สารเพิ่มความเสถียรนี้มักเป็นพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งที่ละลายได้ในน้ำนอกเหนือจากนั้นแล้วยังสามารถดูดซับพอลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์และกำลังจะรวมกันเป็นตะกอน โดยกลไกทางฟิสิกส์หรือทางเคมี เมื่อมีการดูดซับซึ่งจะทำให้อนุภาคพอลิเมอร์สามารถเกิดคอลลอยด์ที่เสถียร ได้อนุภาคพอลิเมอร์ในระดับไมครอน, ซับไมครอน, หรือนาโนเมตร ขึ้นกับชนิดของสารเพิ่มความเสถียรและสภาวะ ในการสังเคราะห์ หลักการของวิธีอิมัลชันพอลิเมอไรเซชันนั้นอะนิลีนมอนอเมอร์จะกระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่ประกอบด้วยกรด และสารออกซิเดนต์ในสารละลายผสมของน้ำกับตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วน้อย เช่น Xylene, Chloroform, Toluene และ Isooctane เกิดเป็นอิมัลชันที่เสถียร การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอิมัลชันพอลิเมอไรเซชันจะเกิดภายในไมเซลล์ ดังนั้น ขนาดของอนุภาคพอลิเมอร์จึงถูกควบคุมด้วยขนาดของไมเซลล์ในอิมัลชัน ซึ่งขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างเช่น ชนิดของระบบตัวกลาง ชนิดและปริมาณความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอลลอยด์ของพอลิอะนิสสามารถนำมาใช้งานได้โดยตรง ด้วยการสกรีนลงบนวัสดุรองรับ เช่น ผ้า หรือ กระดาษ เพื่อนำไปให้เป็นวัสดุป้องกันไฟฟ้าสถิตได้ และใช้เซนเซอร์ต่างๆ ได้แก่ วัดความเป็นกรดต่าง, ก๊าซแอมโมเนีย หรือ biosensor

2.8.2 การทำตัวรับรู้แก๊ส NH_3 และ HCl ด้วยพอลิอะนิลिनที่เคลือบบนพื้นผิวของเซรามิกซ์ โดยวิธี Interfacial polymerization [55]

งานวิจัยนี้ทำการสังเคราะห์พอลิอะนิลिनโดยวิธี Interfacial polymerization และเพื่อนำมาทำเป็นตัวรับรู้แก๊สที่มีสถานะกรดและเบส เริ่มจากการเตรียมพอลิอะนิลिन โดยนำอะนิลีนมาละลายในโทลูอีนในส่วนที่เป็นชั้นของอ็อกแทนิก ส่วนในชั้นของน้ำจะใช้แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตที่ละลายในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกจะได้เป็นพอลิอะนิลिनที่มีขนาด 50 นาโนเมตร ซึ่งพอลิอะนิลिनที่ได้จะอยู่ในฟอร์มของ Emeraldine salt จากนั้นจึงนำไปเคลือบบนผิวของเซรามิกและนำไปตรวจวัดหาลักษณะ โดย XRD, FTIR, UV-Vis spectrophotometer และ Raman spectroscopy

จากการวิเคราะห์โครงสร้างที่ได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นพอลิอะนิลีนในส่วนของเซนเซอร์ที่ทำจากพอลิอะนิลिनที่นำไปตรวจสอบกับก๊าซแอมโมเนียและกรดไฮโดรคลอริกได้ผลดี ซึ่งในส่วนของ การวัดแอมโมเนีย นั้น เซนเซอร์มีขีดจำกัดการตรวจวัดที่ต่ำและมีการตอบสนองสูง การรักษาระดับ ความเป็นกรดของเซนเซอร์พอลิอะนิลีนเปลี่ยนแปลงระดับการกระตุ้นของพอลิอะนิลีน ซึ่งมีอิทธิพลของคุณสมบัติการตรวจวัด และสำหรับการตรวจวัดของกรดไฮโดรคลอริก จะเกิดกระบวนการที่ไม่ย้อนกลับและสารอิมตัวเกิดการตอบสนอง เมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกสูงถึง 200 ppm ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อดีของเทคนิคการทำเซนเซอร์และคุณสมบัติ การตรวจวัดที่โดดเด่น โดยสรุปเซนเซอร์ที่ทำจากพอลิอะนิลีนทำงานได้ดีในการตรวจสอบ กรดและแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นต่ำ

2.8.3 การสังเคราะห์และการวิเคราะห์ห่ออนุภาคเงินในระดับนาโนที่ล้อมรอบไปด้วยพอลิอะนิลีนที่อยู่ในรูปของผงเคมี [56]

งานวิจัยนี้จะทำการรีดิวซ์อนุภาคเงินโดยใช้พอลิอะนิลีนที่อยู่ในรูปของผงในซิลเวอร์-ไนเตรตที่มีความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งการรวมตัวกันที่ดีของซิลเวอร์และพอลิอะนิลีนนั้นขึ้นอยู่กับ การเกิดปฏิกิริยาที่พอดีและจากการกวน ซิลเวอร์จะกระจายตัวเข้าไปในพอลิอะนิลีนเป็นเนื้อเดียวกัน ทำ ภายใต้อุปกรณ์การกวนด้วย Ultrasonic stirred การพิสูจน์เอกลักษณ์โดย X-ray diffraction, Scanning electron microscopy และ Cavity microelectrode (CME)

ในขั้นตอนของการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนจะใช้ในรูปของ Emeraldine salt ละลายด้วย คลอไรด์ไอออน โดยใช้แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตในกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลาร์ ในการสังเคราะห์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นชอบที่จะใช้ประโยชน์จาก เอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์ออกมาเป็นตะกอน แล้วจึงนำไปกรองและล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก จนได้สีที่เปลี่ยนไป นำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันต่ำ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง Emacral hydrochloride จะถูกเปลี่ยนเป็น Emeraldine salt โดยการกวนที่ใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินไปเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำตะกอนไปล้างด้วยน้ำกลั่นจนค่า pH เปลี่ยนไปเพื่อให้ได้เป็น Emeraldine base การรีดิวซ์ของพอลิอะนิลีนเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์โดยใช้ Monohydrate hydrazine หลังจากที่ทำปฏิกิริยาแล้ว 3 ชั่วโมง จากนั้นกรองและล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนและอะซิโตน ทำให้แห้งภายใต้ความดันต่ำ ในด้านการสังเคราะห์ซิลเวอร์ สารละลายพอลิอะนิลีนถูกกวนในปฏิกิริยาการรวมตัวของอนุภาคเงิน โดยเกิดที่อุณหภูมิห้องในเวลาต่างๆ อนุภาคเงินจะถูกรวมเข้าไปใน Emeraldine base จากการทำปฏิกิริยาของผงพอลิอะนิลีนกับสารละลายซิลเวอร์ในเตรตที่ความเข้มข้นต่างๆ ในการรวมตัวของพอลิเมอร์กับสารละลายซิลเวอร์ จะทำการกวนที่อุณหภูมิห้อง ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างกันจากนั้นจะได้ตะกอนออกมา แล้วจึงนำไปกรองและล้างด้วยน้ำกลั่น นำผงที่ได้ไปทำให้แห้งภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนในเดซิเคเตอร์แล้วเก็บไว้ที่ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันของซิลเวอร์ นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบเอกลักษณ์โดยใช้ Cavity microelectrode ; CME, XRD, XPS, FTIR และ UV-vis spectroscopy การรายงานลักษณะทางเคมีไฟฟ้าโดย CME ในปัจจุบันวิธีนี้เป็นประโยชน์มากในการอธิบายลักษณะของวัสดุผสม

2.8.4 การสังเคราะห์ซิลเวอร์ที่มีเสถียรภาพสูงด้วยสารละลายซัลโฟเนตพอลิอะนิลีน [57]

การสังเคราะห์ซิลเวอร์ที่มีเสถียรภาพสูงด้วยสารละลายซัลโฟเนตพอลิอะนิลีน เป็นเทคนิคที่พัฒนาเพื่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินขนาดนาโนในตัวกลางที่เป็นสารละลายที่มีความเสถียรภาพที่มีประสิทธิภาพไม่มีขี้ ซึ่งการกระจายของขนาดที่จำกัดของอนุภาคเงินในระดับนาโน เทคนิคนี้จะทำการสังเคราะห์โดยการหยดซิลเวอร์ในเตรตลงไปผสมกับซัลโฟเนตโพลี-เอมเมอร์อัลดีนและมีปริมาณของ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ที่มากเกินไปซึ่งวิธีการนี้สามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำได้ ในการพิสูจน์ลักษณะจะใช้ Electron microdiffraction, XRD, XPS, FTIR และ UV-Vis spectrophotometer

ในการสังเคราะห์พอลิอะนิลีน ใส่สารละลายอะนิลีนในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลาร์ ซึ่งจะถูกออกซิไดซ์โดยการหยดสารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตทีละหยด โดยกวนควบคู่ไปด้วย ปฏิกิริยาการผสมกันของสารละลายทั้งคู่เกิดที่อุณหภูมิ 0-3 องศาเซลเซียส เกิดตะกอนของพอลิอะนิลีนที่เป็นสีเขียว นำไปกรองและล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลาร์และนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในการศึกษานี้ทำการเตรียมโดยวิธี In situ chemical oxidation polymerization อนุภาคเงินและทองที่เคลือบด้วย ซัลโฟเนตโพลี-เอมเมอร์อัลดีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงให้เห็นได้ชัดและพิสูจน์ได้ว่า พอลิอะนิลีนทำหน้าที่เป็น Protective reagent มีประสิทธิภาพเพียงพอที่ทำให้ได้อนุภาคเงินและทองที่มีเสถียรภาพสูง

2.8.5 การสังเคราะห์และอธิบายลักษณะของอนุภาคเงิน ที่ล้อมรอบด้วยพอลิอะนิลีนในระดับนาโน [58]

ในขั้นตอนการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนสามารถสังเคราะห์โดยการผสมซิลเวอร์ไนเตรตลงในน้ำที่ปราศจากไอออนแล้วกวนให้เข้ากัน จากนั้นใส่สารละลายเมอแคปโทคาบออกซิดิกและหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ลงไปในส่วนผสมภายใต้การกวนอย่างแรง สีของสารละลายที่ได้จะมีสีเหลืองอ่อนของอนุภาคเงินในระดับนาโนจากนั้นจึงใส่โซเดียมโบโรไฮไดรด์ลงไปซึ่งเป็นตัวรีดิวซ์ AGI ลดลงจนเห็นสีแดงของงอนุภาคซิลเวอร์นาโน Ag/polyaniline ถูกสังเคราะห์โดยวิธี In situ chemical oxidation polymerization ใส่อะนิลีนลงในสารละลายเมอแคปโทคาบออกซิดิกที่เคลือบซิลเวอร์นาโนไว้ แล้วกวนต่อ จากนั้นจึงใส่สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตลงในสารละลายผลิตภัณฑ์ที่ได้ นำมากรอง ล้างด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนและเมทานอล แล้วนำไปอบไว้ค้างคืนทำการอธิบายลักษณะ โดย SEM, TEM, XRD, FT-IR และ UV-Vis spectra

2.8.6 การสังเคราะห์อนุภาคเงินขนาดนาโนที่ล้อมรอบไปด้วยพอลิอะนิลีนโดยวิธี interfacial polymerization และการศึกษาการประยุกต์ใช้ออกซิเดชันทางเคมีไฟฟ้าของไฮดรารซิน [59]

งานวิจัยนี้การสังเคราะห์พอลิอะนิลีนจะใช้เป็น ไคเมอร์อะนิลีนและพอลิอะนิลีนในงานวิจัยนี้จะทำหน้าที่ 2 บทบาท คือ เป็น Phase transfer agent และ Reducing agent การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนที่คลุมด้วยพอลิอะนิลีน งานวิจัยนี้จะทดลองเปรียบเทียบอัตราส่วนของอะมิโนพีนิดโดพีนิดเอมีนและซิลเวอร์ไนเตรตที่ต่างกันคือ 1:1 ถึง 10:1 กระจายในคลอโรฟอร์มในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตเกิดการตอบสนองในช่วงของการถ่ายโอนโดยไม่มีกรกวน ซึ่งจะใช้ที่อัตราส่วน 1:1 ของไคเมอร์อะนิลีนและซิลเวอร์ไนเตรตในการสังเคราะห์ ความก้าวหน้าของการเกิดปฏิกิริยาสามารถตรวจสอบโดยการวัดด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ในช่วงเวลาต่างๆ ปฏิกิริยาการผสมกันจะใช้เวลา 2 วันภายใต้สภาวะที่คงที่ในการรีดิวซ์ซิลเวอร์ไนเตรตที่สมบูรณ์ และทำในห้องมืด แยกอนุภาคนาโนที่ได้โดยการกรองและล้างด้วยคลอโรฟอร์มเพื่อล้างไคเมอร์อะนิลีนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกไป อธิบายลักษณะ โดย SEM, EDX, XRD, TEM และ FTIR

การศึกษานี้คือการสังเคราะห์แบบ In situ nucleation และการขยายตัวของพอลิอะนิลีนลงบนผิวของโลหะที่เป็นคอลลอยด์ผลของ SEM, EDX, XRD, TEM และ FTIR ระบุว่า PANi-Ag ประสบผลสำเร็จในการสังเคราะห์

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. บีกเกอร์
2. ขวดวัดปริมาตร
3. ขวดรูปชมพู่
4. พาราฟิล์ม
5. แผ่นกระจก
6. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
7. ชุดกรองคูด (Buchner Funnel) พร้อมกระดาษกรอง
8. ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump)
9. ไมโครปิเปตขนาด 5000 μl รุ่น SL-5000XLS และ ขนาด 1000 μl รุ่น SL-1000XLS ผลิตโดย บริษัท Rainin, ประเทศสหรัฐอเมริกา
10. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH-meter) รุ่น 827 pH lab ผลิตโดย บริษัท metrohm, ประเทศสหรัฐอเมริกา
11. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า พร้อมแท่งกวนแม่เหล็ก
12. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ รุ่น UNB 200 ผลิตโดย บริษัท memmert, ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrophotometer) รุ่น GENESYS 10S UV-Vis ผลิตโดยบริษัท thermo scientific, ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เครื่องวัด Zeta potential analysis รุ่น Zetasizer NanoZS ผลิตโดยบริษัท Malvern , ประเทศอังกฤษ
3. เครื่องตรวจการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer ; XRD) รุ่น D8 Advance ผลิตโดยบริษัท Bruker, ประเทศเยอรมัน
4. เครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer; FTIR) รุ่น Spectrum GX ผลิตโดยบริษัท Perkin Elmer, ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope ;TEM) รุ่น JEM-2100 ผลิตโดยบริษัท JEOL, ประเทศ ญี่ปุ่น
6. กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope ; AFM) รุ่น SPA400 ผลิตโดย

บริษัท Seiko Instrument inc., ประเทศ ญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammonium persulphate ; APS : $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) - ผลิตโดยบริษัท Carlo Erba, ประเทศ อิตาลี
2. กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid : H_2SO_4) - ผลิตโดย บริษัท Fisher Scientific, ประเทศ อังกฤษ
3. พอลิสไตรีนซัลโฟนิคโคมาลลิกแอซิด (Poly (4-styrene sulfonic acid-co-maleic acid) sodium salt , CoPSS : $\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{Na}_2\text{O}_7\text{S}$) - ผลิตโดย บริษัท Sigma-Aldrich, ประเทศ สหรัฐอเมริกา
4. อะนิลีน (aniline : $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$) - ผลิตโดย บริษัท Sigma - Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. คลอโรฟอร์ม (chloroform : CHCl_3) - ผลิตโดย บริษัท Carlo Erba, ประเทศ อิตาลี
6. ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver (I) nitrate : AgNO_3) - ผลิตโดยบริษัท Merck, ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydride : NaBH_4) - ผลิตโดย บริษัท Fisher Scientific, ประเทศ อังกฤษ
8. พอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (Poly (diallyldimethylammoniumchloride) ; PDAD : $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{ClN}$) - ผลิตโดย บริษัท Sigma - Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา
9. พอลิสไตรีนซัลโฟนิคโคมาลลิกแอซิด (Poly (4-styrene sulfonic acid) sodium salt), PSS : $[\text{CH}_2\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{Na})]_n$ - ผลิตโดยบริษัท Sigma-Aldrich, ประเทศสหรัฐอเมริกา
10. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide : NaOH) - ผลิตโดย บริษัท Lobe Chemie, ประเทศ อินเดีย
11. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide : NH_4OH) - ผลิตโดย บริษัท Carlo Erba, ประเทศ อิตาลี
12. Deionized Water (DI Water)

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

3.4.1 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีนแบบระหว่างวัฏภาค

1. วิธีสังเคราะห์ PANi-CoPSS

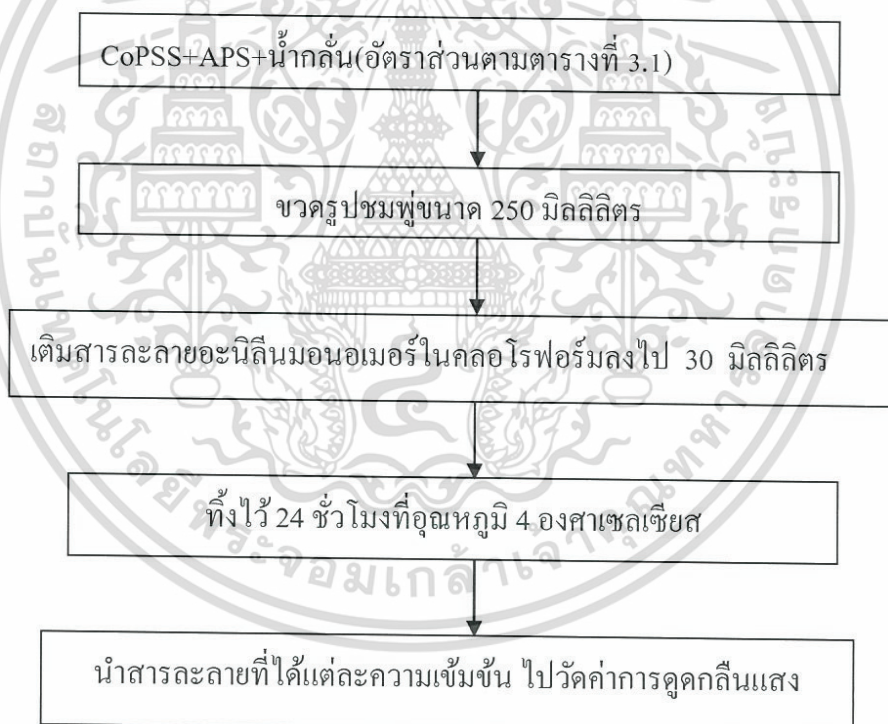
ตวงสารละลาย CoPSS 100 มิลลิโมลาร์, สารละลาย APS 50 มิลลิโมลาร์ และน้ำกลั่นลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยปรับอัตราส่วนตามความเข้มข้นตามตารางที่ (3.1) หลังจากนั้นเติมสารละลายอะนิลีนมอนอเมอร์ในคลอโรฟอร์ม 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ ปิดปากขวดรูปชมพู่ด้วยพาราฟิล์มและทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (การตวงสารละลายอะนิลีนมอนอเมอร์ในคลอโรฟอร์มให้ทำภายในตู้ดูดควัน)

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนสารเคมีของการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนด้วย CoPSS

ขวดที่	อัตราส่วนความเข้มข้น (CoPSS:Aniline:APS), (mM)	องค์ประกอบ			
		100mM CoPSS (ml)	50 mM APS (ml)	DI water (ml)	10 mM Aniline in Chloroform (ml)
1	0:10:5	0	10	90	30
2	1:10:5	1	10	89	30
3	2:10:5	2	10	88	30
4	3:10:5	3	10	87	30
5	4:10:5	4	10	86	30
6	5:10:5	5	10	85	30
7	6:10:5	6	10	84	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขวดที่	อัตราส่วนความเข้มข้น (CoPSS:Aniline:APS), (mM)	องค์ประกอบ			
		100 mM CoPSS (ml)	50 mM APS (ml)	DI water (ml)	10 mM Aniline in Chloroform (ml)
8	7:10:5	7	10	83	30
9	8:10:5	8	10	82	30
10	9:10:5	9	10	81	30
11	10:10:5	10	10	80	30



รูปที่ 3.1 แผนผังวิธีการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนด้วย CoPSS ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์ผล

1. FT-IR

นำสารละลายพอลิอะนิลีนที่สังเคราะห์ได้ (PANi-CoPSS) ออบในตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ 90-100 องศาเซลเซียส จนได้ผงของพอลิอะนิลีน จากนั้นอัดเป็นเม็ดแล้วตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วง IR เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของสาร ทำการตรวจวัดผงของ CoPSS ด้วยเพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างของสารทั้งสอง

2. UV-Vis Spectrophotometer

นำสารละลาย PANi-CoPSS ที่สังเคราะห์ได้ด้วย Co-PSS แต่ละความเข้มข้น ทำการตรวจวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer โดยการใส่สารละลายลงในคิวเวท แสกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1,000-300 นาโนเมตร ที่ละความเข้มข้นตามลำดับ

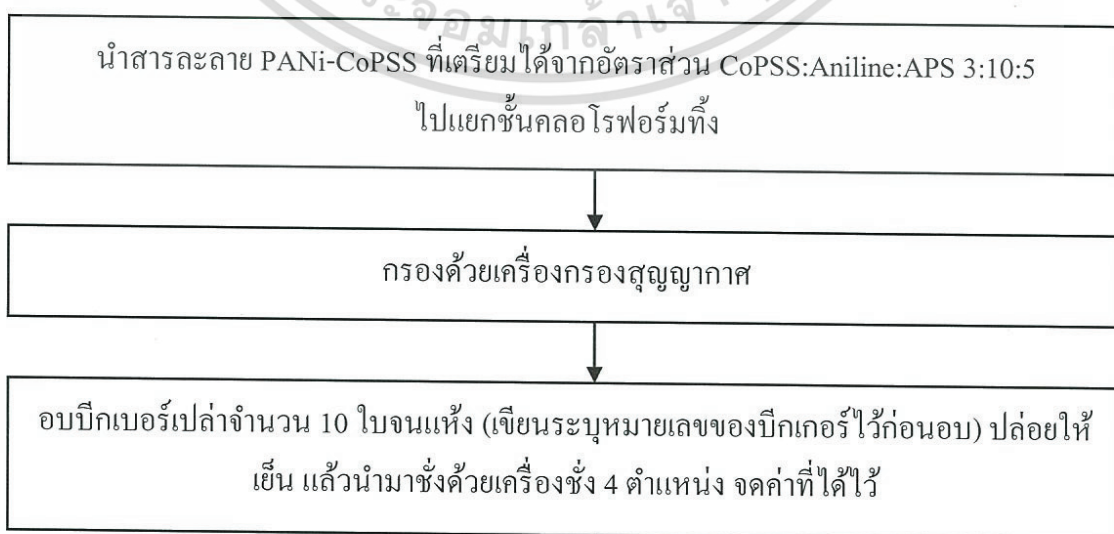
3. TEM

นำสารละลาย PANi-CoPSS ที่สังเคราะห์ได้ มาหยดลงบนกริดเพื่อนำไปส่องด้วยเครื่อง TEM เพื่อศึกษาลักษณะรูปร่าง การกระจายตัวและขนาดของพอลิอะนิลีนที่สังเคราะห์ได้

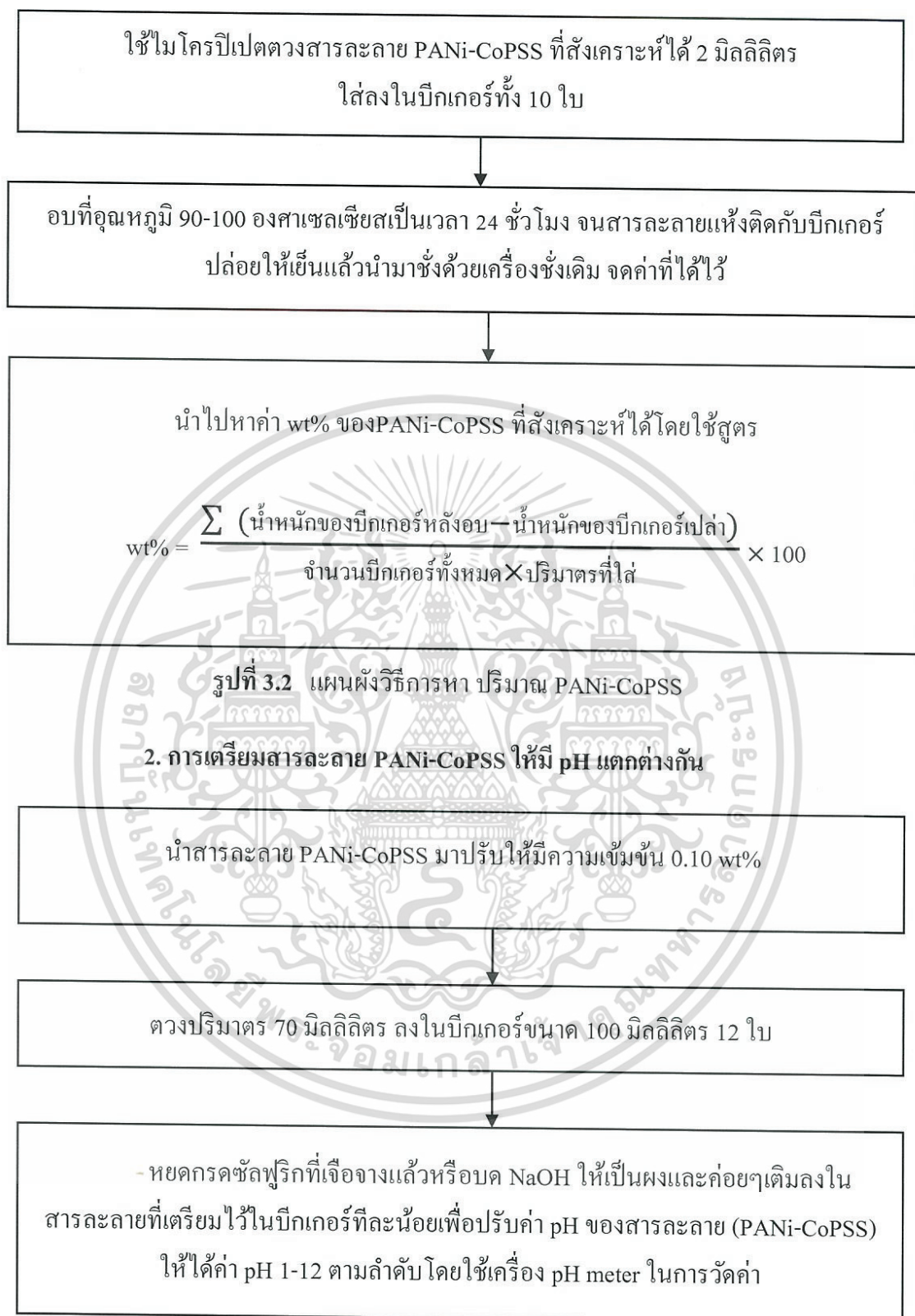
3.4.2 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วย PANi-CoPSS ที่ pH แตกต่างกัน

เลื้แก่ความเข้มข้นของ CoPSS ที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ PANi-CoPSS ที่หาได้จากขั้นตอนที่ 3.4.1 มาทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนที่ค่า pH ต่างกัน

1. การหา wt% ของสารละลาย PANi-CoPSS ด้วย Co-PSS จากอัตราส่วนความเข้มข้น 3:10:5 (CoPSS: Aniline: APS)



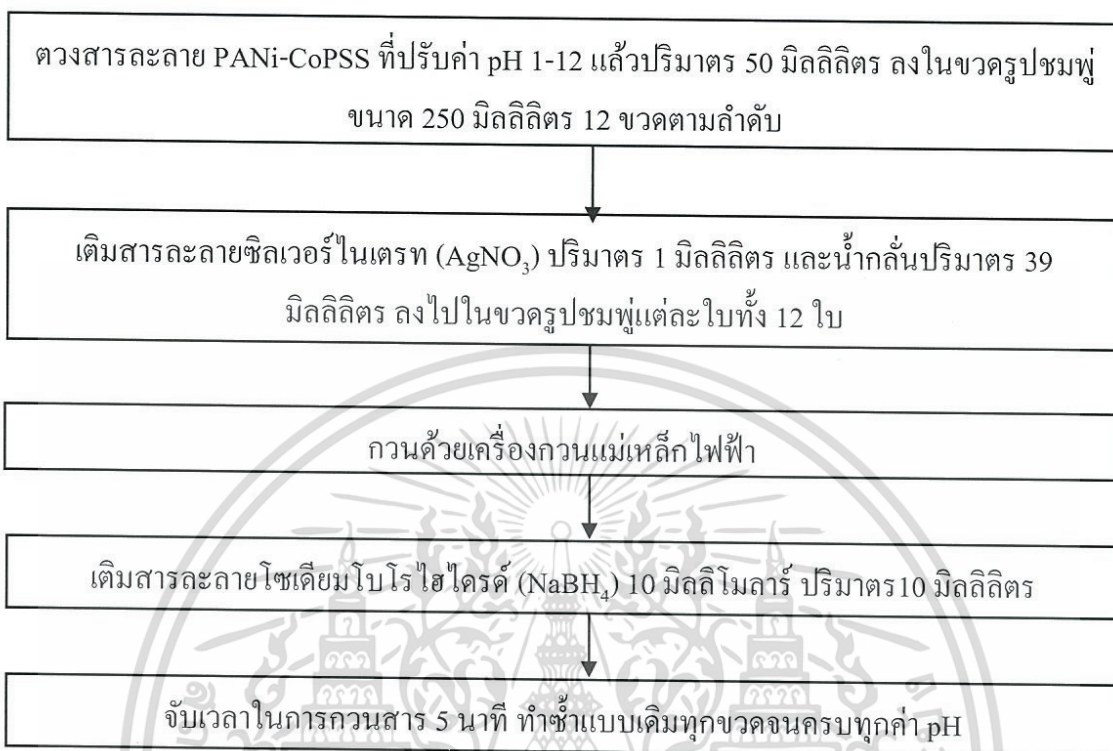
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนผังวิธีการเตรียมสารละลาย PANi-CoPSS ที่ค่า pH 1-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยสารละลาย PANi-CoPSS 0.1 ที่มีค่า pH แตกต่างกัน



รูปที่ 3.4 แผนผังวิธีสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วย PANi-CoPSS ที่มีค่า pH แตกต่างกัน

4. การวิเคราะห์ผล

1. UV-Vis Spectrophotometer

นำสารละลาย PANi-CoPSS และสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS แต่ละค่า pH ไปทำการตรวจวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer โดยการใส่สารละลายลงในคิวเวท ทำการสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1,000-300 นาโนเมตร ที่ค่า pH ตามลำดับ

2. เครื่องวัดค่าศักย์ซีต้า

นำสารละลาย PANi-CoPSS แต่ละค่า pH ไปทำการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดค่าศักย์ซีต้า (Zeta potential analysis) เพื่อศึกษาผลที่แตกต่างกันของสารละลายแต่ละค่า pH โดยกำหนดให้ค่า Reflective Index ของอนุภาคเงินในระดับนาโนมีค่า 1.59

3. คำนวณค่าคงที่การแตกตัว (pKa)

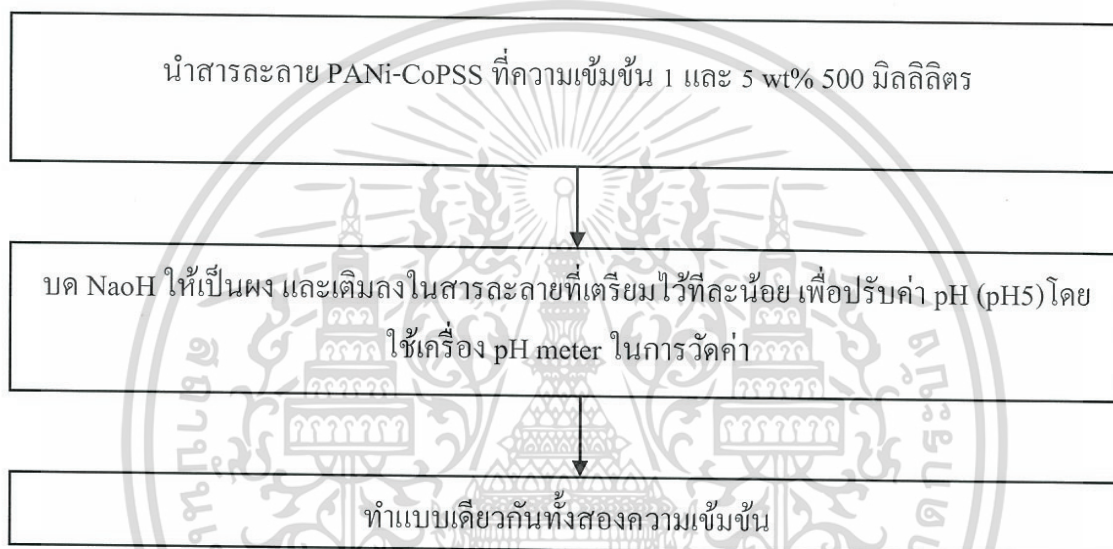
ทำการคำนวณค่า pKa ของสารละลาย PANi-CoPSS แต่ละค่า pH ด้วยสูตร $pKa = pH + \log[AH]/[A^-]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ที่มีค่า pH ที่เหมาะสมซึ่งหาได้จากการทดลองที่ 3.4.2 โดยปรับให้สารละลาย PANi-CoPSS มีความเข้มข้นแตกต่างกันและวิเคราะห์ผลอนุภาคเงินที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลาย PANi-CoPSS ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน

1. การเตรียมสารละลาย PANi-CoPSS ให้มี pH ที่เหมาะสม



รูปที่ 3.5 แผนผังวิธีการเตรียมสารละลาย PANi-CoPSS 1 wt% และ 0.50 wt% ให้มี pH 5

2. การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยสารละลาย PANi-CoPSS pH5 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ตวงสารละลาย PANi-CoPSS ที่ปรับ pH แล้ว สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท และน้ำกลั่นตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.2 ใช้สารละลาย PANi-CoPSS 1 wt% ตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.3 ใช้สารละลาย PANi-CoPSS 0.50 wt% ลงในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ นำไปกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เติมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เป็นขั้นตอนสุดท้ายจับเวลาในการกวนสาร 5 นาที ทำซ้ำแบบเดิมทุกขวดจนครบทุกอัตราส่วน

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของสารในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ความเข้มข้น 1 wt%

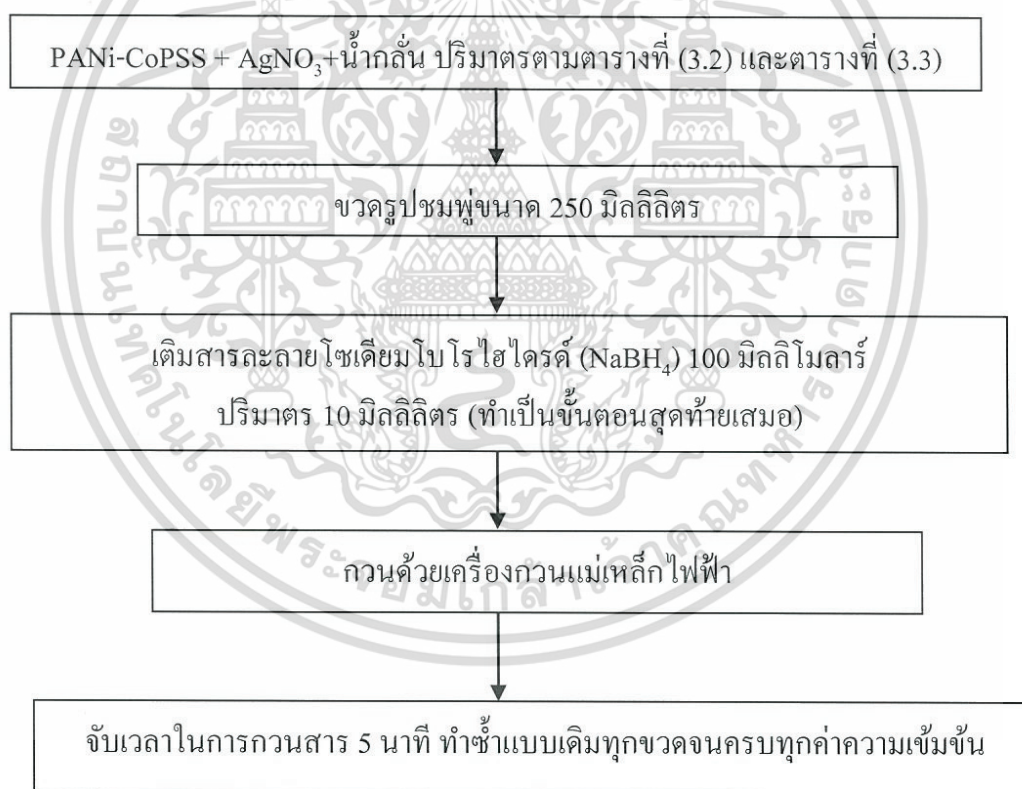
ชนิดที่	อัตราส่วนความเข้มข้น (AgNO ₃ :PANi-CoPSS: NaBH ₄), (mM)	องค์ประกอบ			
		100 mM AgNO ₃ (ml)	1 weight% PANi-CoPSS (ml)	100 mM NaBH ₄ (ml)	DI water (ml)
1	1:0.0001:10	1	0.01	10	88.99
3	1:0.001:10	1	0.1	10	88.9
4	1:0.005:10	1	0.5	10	88.5
5	1:0.01:10	1	1	10	88
6	1:0.05:10	1	5	10	84
7	1:0.1:10	1	10	10	79
8	1:0.3:10	1	30	10	59
9	1:0.5:10	1	50	10	39
10	1:0.7:10	1	70	10	19
11	1:0.8:10	1	80	10	9

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ความเข้มข้น 0.50 wt%

ชนิดที่	อัตราส่วนความเข้มข้น (AgNO ₃ :PANi-CoPSS: NaBH ₄), (mM)	องค์ประกอบ			
		100mM AgNO ₃ (ml)	0.50 weight% PANi-CoPSS (ml)	100 mM NaBH ₄ (ml)	DI water (ml)
1	1:0.00005:10	1	0.01	10	88.99
2	1:0.0001:10	1	0.02	10	88.98
3	1:0.0005:10	1	0.1	10	88.9
4	1:0.001:10	1	0.2	10	88.8
5	1:0.005:10	1	1	10	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมวดที่	อัตราส่วนความเข้มข้น (AgNO ₃ :PANi-CoPSS: NaBH ₄), (mM)	องค์ประกอบ			
		100mM AgNO ₃ (ml)	0.50 weight% PANi-CoPSS (ml)	100 mM NaBH ₄ (ml)	DI water (ml)
6	1:0.01:10	1	2	10	87
7	1:0.05:10	1	10	10	79
8	1:0.1:10	1	20	10	69
9	1:0.2:10	1	40	10	49
10	1:0.3:10	1	60	10	29
11	1:0.4:10	1	80	10	9



รูปที่ 3.6 แผนผังวิธีสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วย PANi-CoPSS ที่ pH 5 ให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวิเคราะห์ผล

1. UV-Vis Spectrophotometer

นำสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS แต่ละความเข้มข้นทำการตรวจวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer โดยการใส่สารละลายลงในควิวเวท สแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1,000-300 นาโนเมตร ที่ละความเข้มข้นตามลำดับ

2. TEM

นำสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 3 ตัวอย่าง โดยศึกษาจากค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน มาทำการหยดลงบนกริด เพื่อนำไปส่องด้วยเครื่อง TEM เพื่อศึกษาลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้

3.4.4 การปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นกระจกด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์

เทสารละลายพอลิไดอัลทิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (PDAD) 10 มิลลิโมลาร์ และสารละลายพอลิไซเคียมสไตรีนซัลโฟเนต (PSS) 10 มิลลิโมลาร์ ลงในบีกเกอร์แล้วนำแผ่นกระจกจุ่มลงไป ในสารละลาย PDAD เป็นชั้นแรก จับเวลาประมาณ 5 นาทีจึงยกขึ้น แล้วนำไปจุ่มล้างด้วยน้ำกลั่น สลับไปจุ่มในสารละลาย PSS ประมาณ 5 นาทีและยกขึ้นไปจุ่มล้าง น้ำกลั่นเช่นกัน ทำสลับไปมาประมาณ 9 ชั้น (ให้จำนวนชั้นเป็นเลขคี่) เมื่อจุ่มถึงชั้นสุดท้ายซึ่งเป็นชั้นของสารละลาย PDAD ล้างด้วยน้ำกลั่นและทิ้งไว้ให้แห้ง



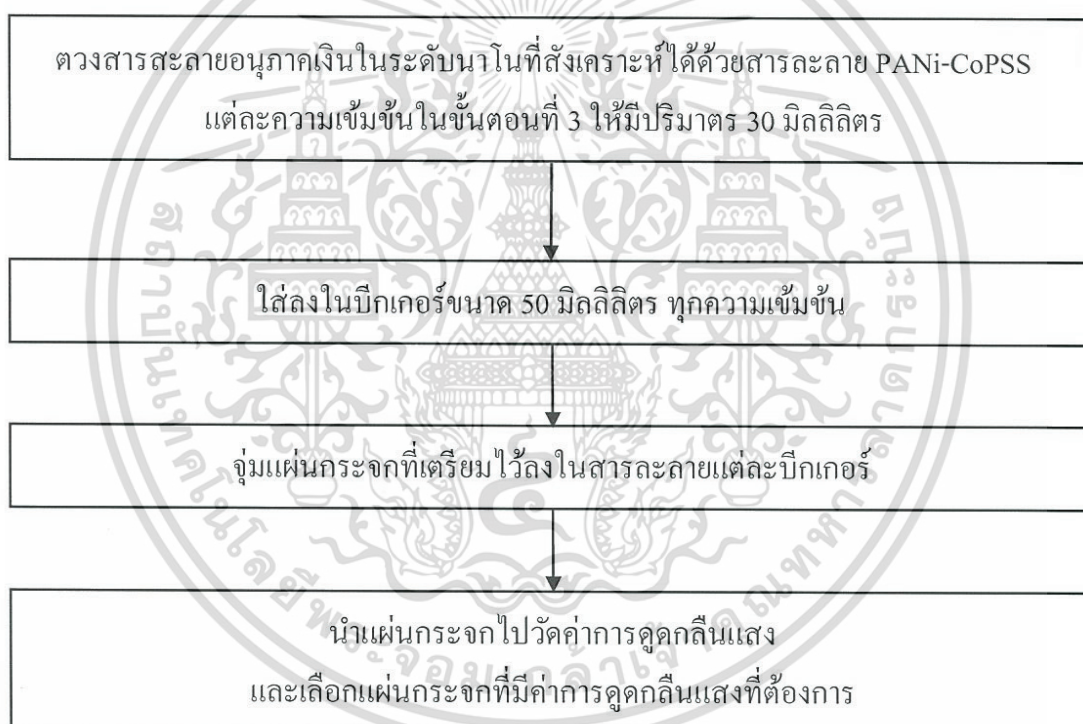
รูปที่ 3.7 การปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นกระจกด้วยสารละลาย PDAD และสารละลาย PSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การเลือกค่าความเข้มข้นของสารละลาย PANi-CoPSS ที่ใช้สังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนที่เหมาะสม

นำสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS แต่ละความเข้มข้นในขั้นตอนที่ 3 ใส่ลงในบีกเกอร์ จากนั้นจุ่มแผ่นกระจกที่ปรับสภาพพื้นผิวแล้วลงไปบีกเกอร์ละ 1 แผ่น ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectrophotometer) ในช่วงความยาวคลื่น 1,000-300 นาโนเมตร เพื่อนำผลไปศึกษาและเลือกสารละลายที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ (Sensing) ต่อไป

1. วิธีการเลือกค่าความเข้มข้นของสารละลาย PANi-CoPSS



รูปที่ 3.8 แผนผังวิธีการเลือกค่าความเข้มข้นของสารละลาย PANi-CoPSS

2. วิเคราะห์ผล

1. UV-Vis Spectrophotometer

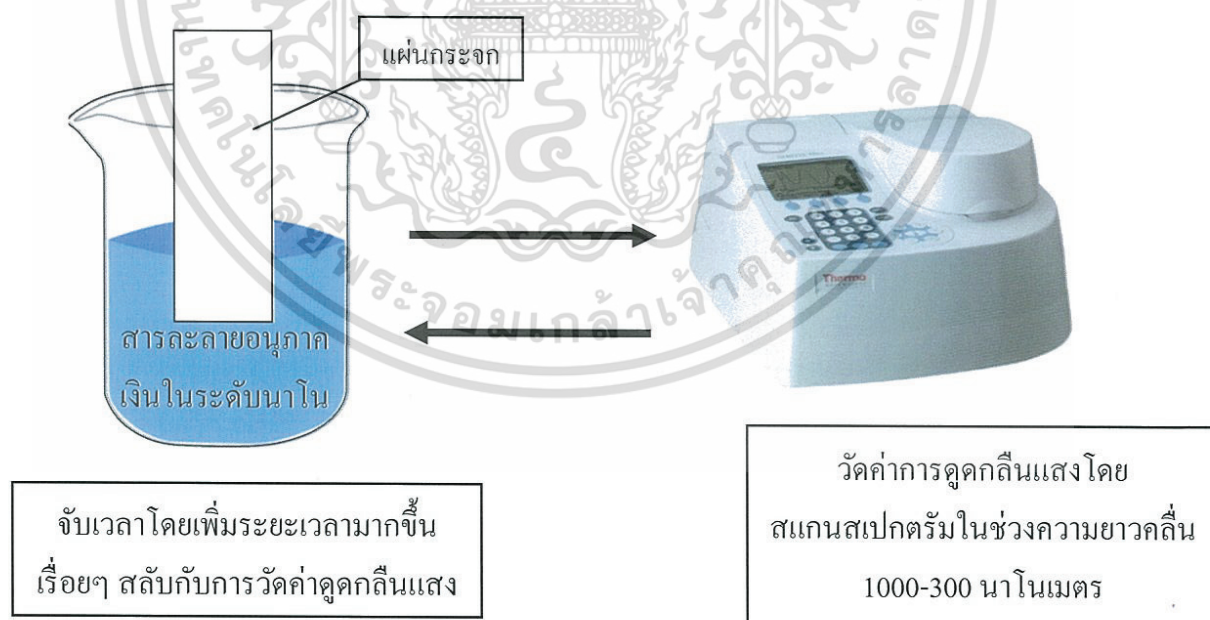
นำแผ่นกระจกที่จุ่มสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS แต่ละความเข้มข้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1,000-300 นาโนเมตร เพื่อศึกษาความแตกต่างของฟิล์มที่อุกเคลือบด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. XRD

นำแผ่นกระจกที่จุ่มสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS แต่ละความเข้มข้น เลือกมา 3 ตัวอย่าง จากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์ม ไปทำการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD เพื่อศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของแผ่นฟิล์มที่จุ่มสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่แตกต่างกัน

3.4.6 การศึกษาพลศาสตร์การดูดซับ (Kinetic adsorption) ของการเคลือบฟิล์มด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

นำแผ่นกระจกที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวแล้ว จุ่มลงไปในสารละลายอนุภาคเงิน ในระดับนาโนในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยระหว่างการเพิ่มระยะเวลาการจุ่ม จะทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ทุกครั้งเพื่อศึกษาผลของแผ่นฟิล์มที่มีระยะเวลาในการเคลือบฟิล์มแตกต่างกัน ในที่นี้จากขั้นตอนที่ 5 จะได้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ถูกสังเคราะห์ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ที่มีความเข้มข้น 0.005, 0.10 และ 0.80 wt% มาทำการวิเคราะห์ เนื่องจากมีค่าการดูดกลืนแสงที่เหมาะสม ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัด



รูปที่ 3.9 วิธีการศึกษาพลศาสตร์การดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มเวลาการจุ่มแผ่นกระจกลงในสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนมากขึ้นเรื่อยๆเป็น 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 300 และ 420 นาที ตามลำดับซึ่งจะใช้แผ่นกระจกแผ่นเดียวในการจุ่มสลับกับการวัดค่าการดูดกลืนแสง ทำแบบเดียวกันทั้งหมดกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย PANi-CoPSS ที่มีความเข้มข้น 0.005, 0.10 และ 0.80 wt%

3.4.7 วิธีการทดสอบความแตกต่างของจำนวนชั้นของฟิล์มที่เคลือบด้วยสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยสารละลายพอลิอะนิลีน

นำแผ่นกระจกที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวแล้วจุ่มลงในสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเป็นชั้นแรกแล้วสลับไปจุ่มในสารละลาย PDAD 10 มิลลิโมลาร์ เป็นชั้นต่อไปทำสลับกันไปเรื่อยๆให้มีจำนวนชั้น 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 ชั้นตามลำดับ โดยชั้นสุดท้ายของทุกแผ่นฟิล์มที่ได้จะต้องเป็นชั้นของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน ในที่นี้สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ใช้ทดสอบ สังเคราะห์ได้จากสารละลาย PANi-COPSS ที่มีความเข้มข้น 0.10 wt% เนื่องจากเป็นสารละลายที่สามารถเคลือบแผ่นกระจกได้ดีที่สุด โดยเมื่อได้แผ่นฟิล์มที่มีจำนวนชั้นที่ต้องการแล้วจึงนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer และส่องดูลักษณะของพื้นผิวของแผ่นฟิล์มด้วย AFM

1. การเตรียมแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

นำแผ่นกระจกที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวแล้ว จุ่มลงในสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน จับเวลา 20 นาที แล้วนำออกมาทิ้งให้แห้ง สลับไปจุ่มในสารละลาย PDAD 10 มิลลิโมลาร์ จับเวลา 20 นาที แล้วนำออกมาทิ้งให้แห้ง ทำสลับกันไปเรื่อยๆ ให้มีจำนวนชั้น 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 ชั้นตามลำดับ



รูปที่ 3.10 วิธีการเตรียมแผ่นฟิล์มด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนให้จำนวนชั้นของฟิล์มแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์ผล

1. UV-Vis Spectrophotometer

นำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปทำการตรวจวัด โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1,000-300 นาโนเมตร เพื่อศึกษาค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันของแผ่นฟิล์ม

2. AFM

นำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปตรวจวัดลักษณะพื้นผิว (surface) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม โดยการใช้ Tapping mode เพื่อศึกษาความแตกต่างของพื้นผิวของแผ่นฟิล์มเมื่อมีสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนเคลือบอยู่ในจำนวนชั้นที่แตกต่างกัน

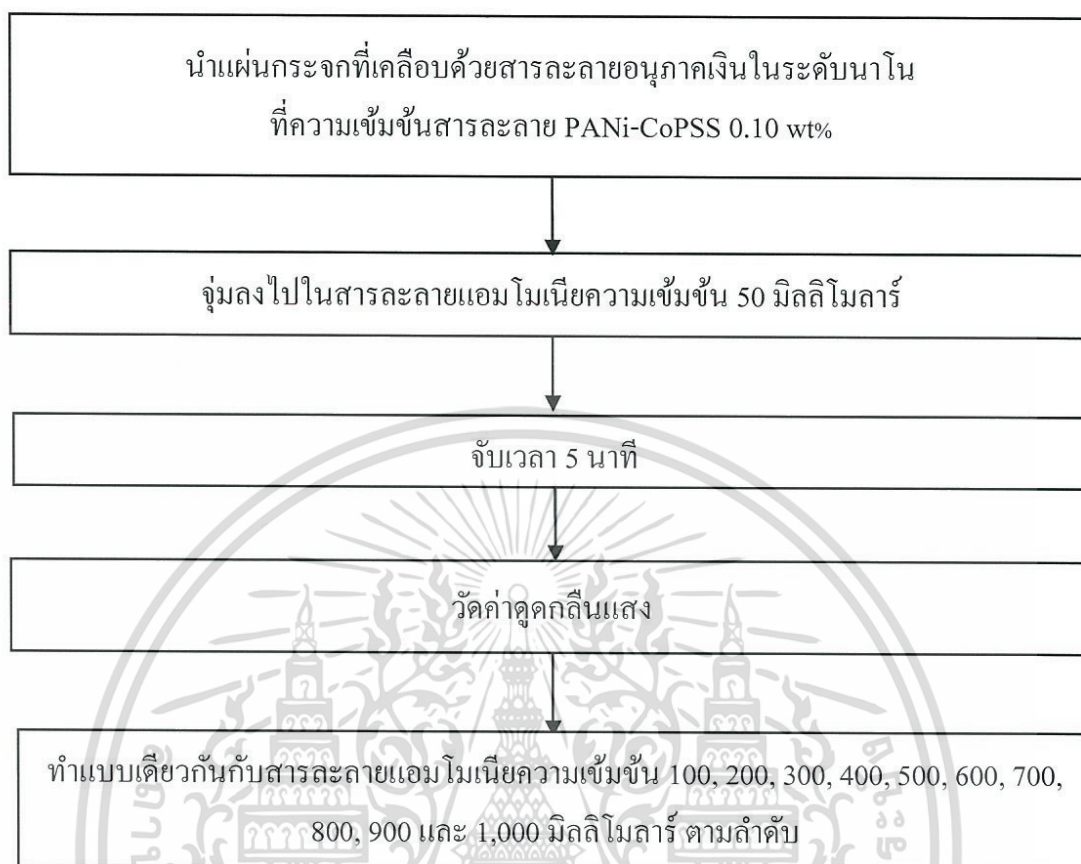
3.4.8 การประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายแอมโมเนีย

นำแผ่นกระจกที่เคลือบสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนไปจุ่มลงในสารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน แล้วศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแผ่นฟิล์มหลังการจุ่ม ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยในขั้นตอนนี้จะเลือกใช้แผ่นกระจกที่เคลือบสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ความเข้มข้น 0.10 wt% เนื่องจากเป็นสารละลายที่เคลือบแผ่นกระจกได้ดีที่สุด

1. การเตรียมสารละลายสารละลาย

เตรียมสารละลายแอมโมเนียให้มีความเข้มข้น 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 และ 1,000 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

2. การวิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายแอมโมเนีย (Ammonia sensing)



รูปที่ 3.11 การวิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายแอมโมเนีย (Ammonia sensing)

3. การวิเคราะห์ผล

1. UV-VIS Spectrophotometer

ทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่จุ่มสารละลายแต่ละความเข้มข้น โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1,000-300 นาโนเมตร

2. AFM

นำแผ่นฟิล์มที่ผ่านการจุ่มสารละลายแอมโมเนียทุกความเข้มข้นแล้วไปตรวจวัดลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม เพื่อศึกษาความแตกต่างของพื้นผิวของแผ่นฟิล์มที่ถูกประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้แล้ว (Sensing) กับแผ่นฟิล์มที่ยังไม่ถูกใช้

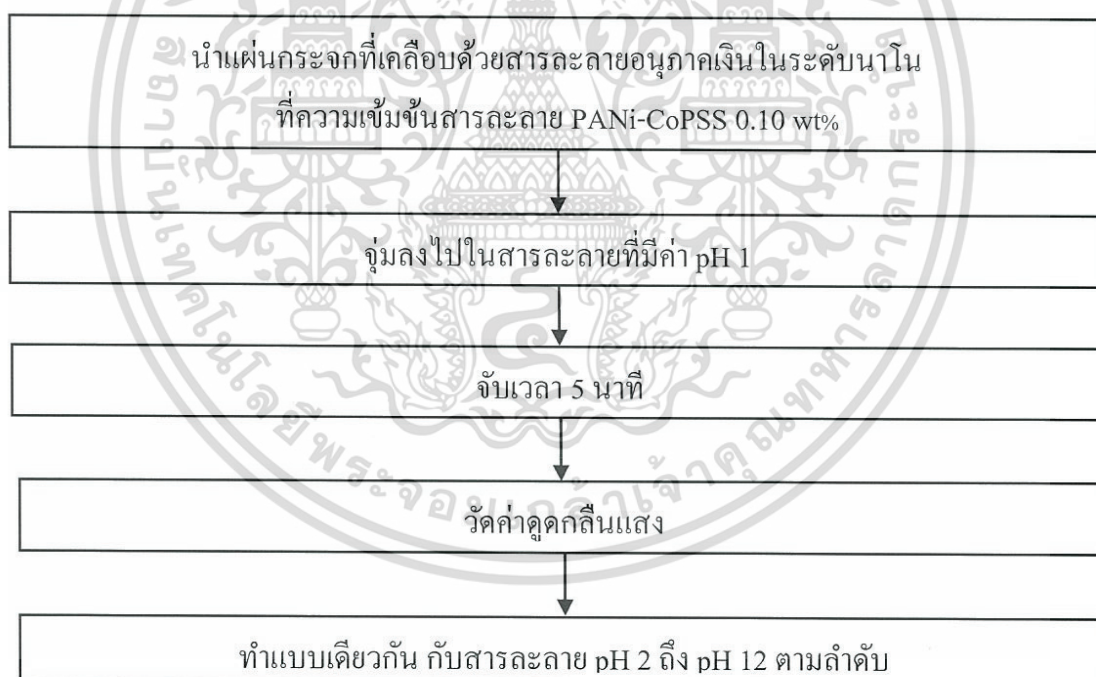
3.4.9 การประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลาย ที่มีค่า pH แตกต่างกัน

นำแผ่นกระจกที่เคลือบสารละลาย อนุภาคเงินในระดับนาโน ไปจุ่มลงในสารละลาย ที่มีค่า pH แตกต่างกัน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแผ่นฟิล์มหลังการจุ่มด้วยเครื่องวัดค่า การดูดกลืนแสง โดยในขั้นตอนนี้จะเลือกใช้แผ่นกระจกที่เคลือบสารละลายอนุภาคเงินในระดับ นาโน ที่สังเคราะห์ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ความเข้มข้น 0.10 wt% เนื่องจากเป็นสารละลายที่ เคลือบแผ่นกระจกได้ดีที่สุด

1. การเตรียมสารละลาย

นำน้ำกลั่นปริมาณ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับ pH ด้วย สารละลายกรดซัลฟูริกหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มีค่า pH 1-12 ตามลำดับโดยใช้ เครื่อง pH meter วัดค่า pH

2. การวิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายที่มีค่า pH แตกต่างกัน (pH sensing)



รูปที่ 3.12 การวิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายที่มีค่า pH แตกต่างกัน (pH sensing)

3. การวิเคราะห์ผล

ทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นกระจกที่จุ่มสารละลายแต่ละค่า pH 1-12 ในช่วงความยาวคลื่น 1,000-300 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองในการวิจัยครั้งนี้ได้จัดเรียงเป็นหมวดหมู่ตามลักษณะและขั้นตอนของงานวิจัย ดังมีรายละเอียดของผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองแต่ละหมวดหมู่ดังต่อไปนี้

4.1 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีนที่ละลายน้ำได้โดยใช้เทคนิค Interfacial polymerization

พอลิอะนิลีนที่ละลายน้ำได้ถูกสังเคราะห์โดยการใช้เทคนิค Interfacial polymerization โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างเฟส 2 เฟส ที่แตกต่างกัน ระหว่างเฟสของน้ำ (Aqueous phase) และเฟสของตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic phase) โดยในเฟสของตัวทำละลายอินทรีย์อะนิลีนมอนอเมอร์จะถูกนำมาละลายในสารละลายคลอโรฟอร์ม และในเฟสของน้ำสารละลายพอลิสไตรีน ซัลโฟนิคแอซิด-โคมาลลิคแอซิด (CoPSS) ถูกนำมาผสมกับสารละลาย แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต ในสารละลายกรดซัลฟูริก ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งตามทฤษฎีสารละลาย CoPSS ถูกนำมาใช้เป็นตัวผสม (Blending solution) สำหรับการสังเคราะห์พอลิอะนิลีน เนื่องจากสารละลาย CoPSS เป็นสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) ที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง ดังนั้นจึงสามารถที่จะแสดงตัวเป็น Anionic dopant และเป็นฐาน (Template) ในการรองรับการสร้างตัวของพอลิอะนิลีนได้ สุดท้ายสารละลาย CoPSS จะเหนี่ยวนำให้พอลิอะนิลีนเกิดการละลายน้ำได้สูงเช่นเดียวกัน

ในงานวิจัยนี้เทคนิคการสังเคราะห์พอลิเมอร์ขึ้นมานั้น ทำในระบบที่เฟสทั้ง 2 เฟส ไม่รวมตัวกัน คือชั้นของสารละลายอินทรีย์และชั้นน้ำ ซึ่ง PANi-CoPSS เกิดขึ้นโดยสารละลายอะนิลีนที่มีประจุบวก (Anilinium cation) ถูกสร้างขึ้นระหว่างผิวหน้าของทั้งสองเฟสและค่อยๆ กระจายเข้าไปทำปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้ากับหมู่ซัลเฟตจำนวนมากของ CoPSS เพื่อได้เป็น PANi-CoPSS โดยมีแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต เป็นตัวออกซิไดซ์ เมทริกซ์ระหว่างพอลิเมอร์ที่เชื่อมต่อกันอยู่นั้น เห็นได้ว่าในช่วงของพอลิเมอร์ ที่มี CoPSS นั้นเป็นผลทำให้โครงสร้างของ PANi-CoPSS มีขนาดที่ใหญ่ สังเกตจากการตั้งสมมติฐานที่จะเกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่แข็งแรงระหว่างไนโตรเจนของหมู่เอมีนในแกนหลักของพอลิอะนิลีนและหมู่ซัลเฟตของ CoPSS

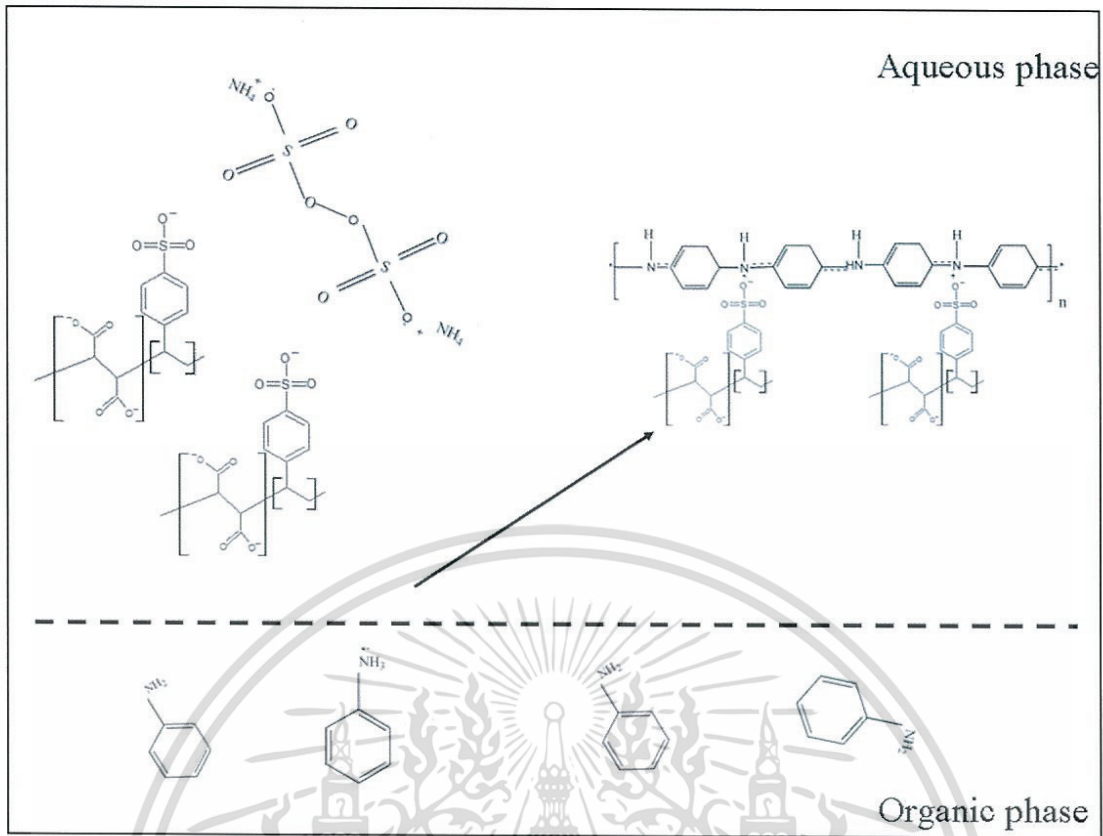
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดเป็นพอลิเมอร์นั้นเกิดขึ้นในชั้นน้ำซึ่งสามารถสังเกตได้จากสีของ PANi-CoPSS ที่ปรากฏระหว่างชั้นของชั้นน้ำและชั้นคลอโรฟอร์ม ซึ่งสีที่ได้นั้นเป็นสีเขียวของพอลิอะนิลีนที่เป็น Emeraldine salt เมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไปเรื่อยๆ สีที่เห็นในชั้นน้ำพบว่าสีเขียวเข้มแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาลิ้นสุดซึ่งโดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมงก็เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยา PANi-CoPSS ที่ได้นั้นจะต้องไม่มีตะกอนเพราะปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่แข็งแรงระหว่างไนโตรเจนของหมู่เอมีนในแกนหลักของพอลิอะนิลีน และหมู่ซัลเฟตของ CoPSS ซึ่ง PANi-CoPSS ที่ได้นั้นสามารถเก็บเป็นเวลานาน ประสิทธิภาพของ PANi-CoPSS มักจะประเมินผลในแง่ของความเสถียรภาพกับการกระจายตัวหรือการรวมตัว การรวมตัวเกิดขึ้นเมื่อจำนวนตำแหน่งหมู่ซัลโฟเนตของ CoPSS ทั้งหมดไม่สมดุลกับปริมาณไนโตรเจนของหมู่เอมีนในแกนหลักของพอลิอะนิลีนที่นำไปสู่การตกตะกอน

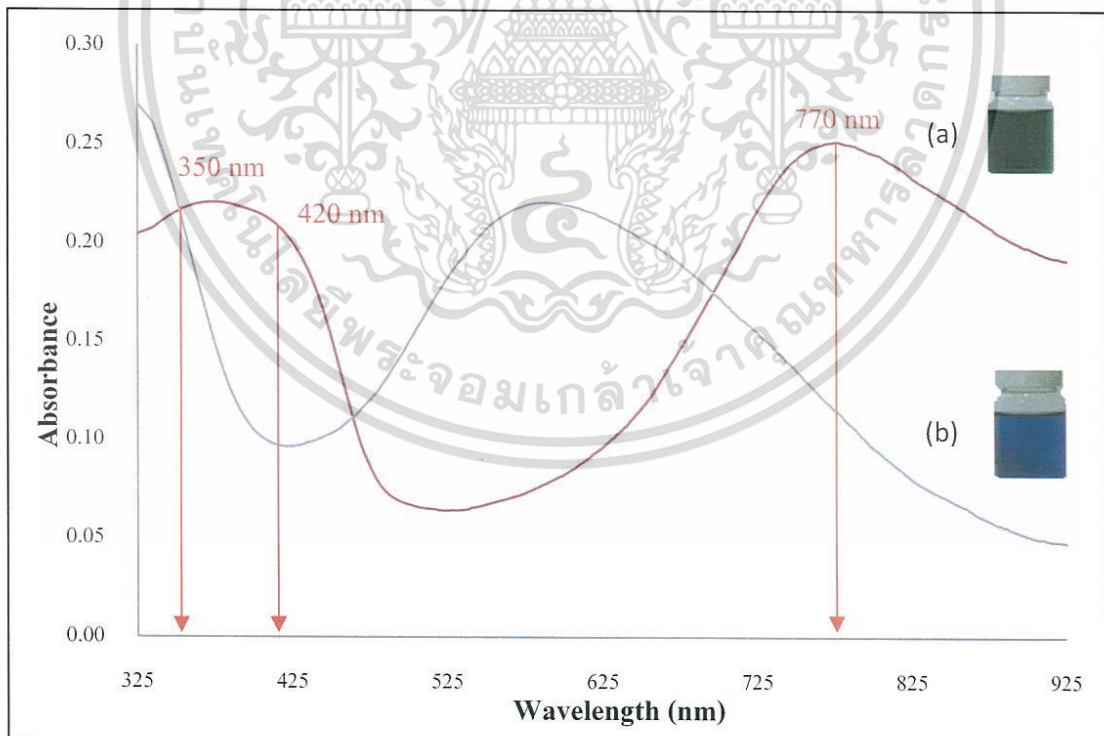


รูปที่ 4.1 แผนภาพการสังเคราะห์ PANi-CoPSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กลไกปฏิกิริยาการเกิดของ PANi-CoPSS



รูปที่ 4.3 ค่าการดูดกลืนแสงของ PANi-CoPSS โดย (a) Emeraldine salt และ (b) Emeraldine base

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการดูดกลืนแสงที่ใช้ในการตรวจสอบสถานะทางไฟฟ้าของ PANi-CoPSS ดังแสดงในรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึง 2 สเปกตรัมที่แตกต่างกันของ PANi-CoPSS ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้ได้รับการยืนยันจากหลายงานวิจัยแล้วว่าลักษณะเฉพาะของการดูดกลืนแสงของพอลิอะนิลีนที่เป็น Emeraldine salt หรือ Protonated polyaniline (a) แสดงให้เห็น 3 ลักษณะเฉพาะของการดูดกลืนแสงที่ 350, 420 และ 770 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับ π - π^* band-gap electron transition ภายในวง benzenoid ซึ่งที่ช่วงความยาวคลื่นต่ำนั้นคือ π^* และที่ช่วงความยาวคลื่นสูงคือ π ตามลำดับสำหรับ Emeraldine base (b) ซึ่งทำให้เป็นเบสโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งในสารละลายที่เป็นด่างของพอลิอะนิลีนนั้น มีการเปลี่ยนแปลงทางลักษณะเฉพาะที่ π - π^* band gap ที่ความยาวคลื่นที่ 310 นาโนเมตร และในช่วงที่ใหญ่ที่สุดของสเปกตรัมคือที่ 550 นาโนเมตร ซึ่งประกอบไปด้วยพันธะที่เชื่อมกันระหว่าง quinoid ring ที่ติดกับ imine-phenyl-amine [19]

4.2 สภาพในการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนด้วยเทคนิค Interfacial polymerization

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาตัวแปรในการสังเคราะห์ พอลิอะนิลีน ที่ละลายน้ำโดยอาศัยเทคนิค Interfacial polymerization ในการสังเคราะห์ จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนที่ละลายน้ำได้และมีการเชื่อมโยงกับการพัฒนาการนำไฟฟ้าที่ดี ในสภาพที่ใช้ในการทดลองได้ ซึ่งสามารถสรุป เป็นวิธีมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 4.1[21]

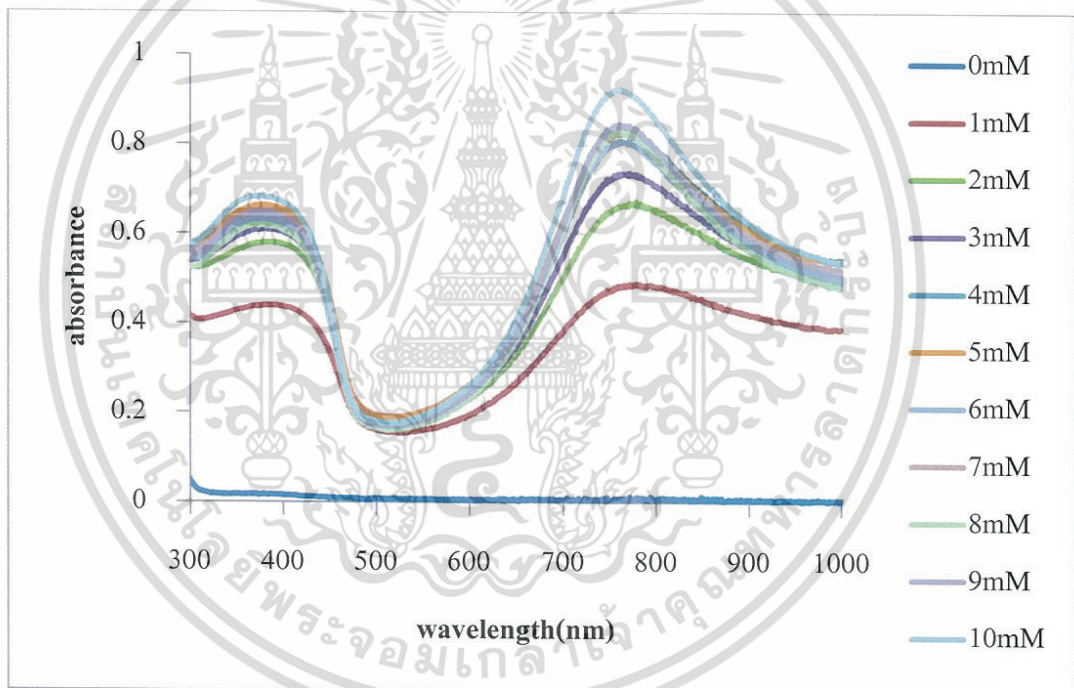
ตารางที่ 4.1 สภาพที่ดีที่สุดที่ใช้ในการสังเคราะห์ PANi-CoPSS

Parameter	Fixed condition
ความเข้มข้นของอะนิลีนมอนอเมอร์	10 มิลลิโมลาร์
ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต	5 มิลลิโมลาร์
ความแรงของกรดซัลฟูริก	1 โมลาร์
อุณหภูมิ	4 องศาเซลเซียส
เวลาในการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน	24 ชั่วโมง

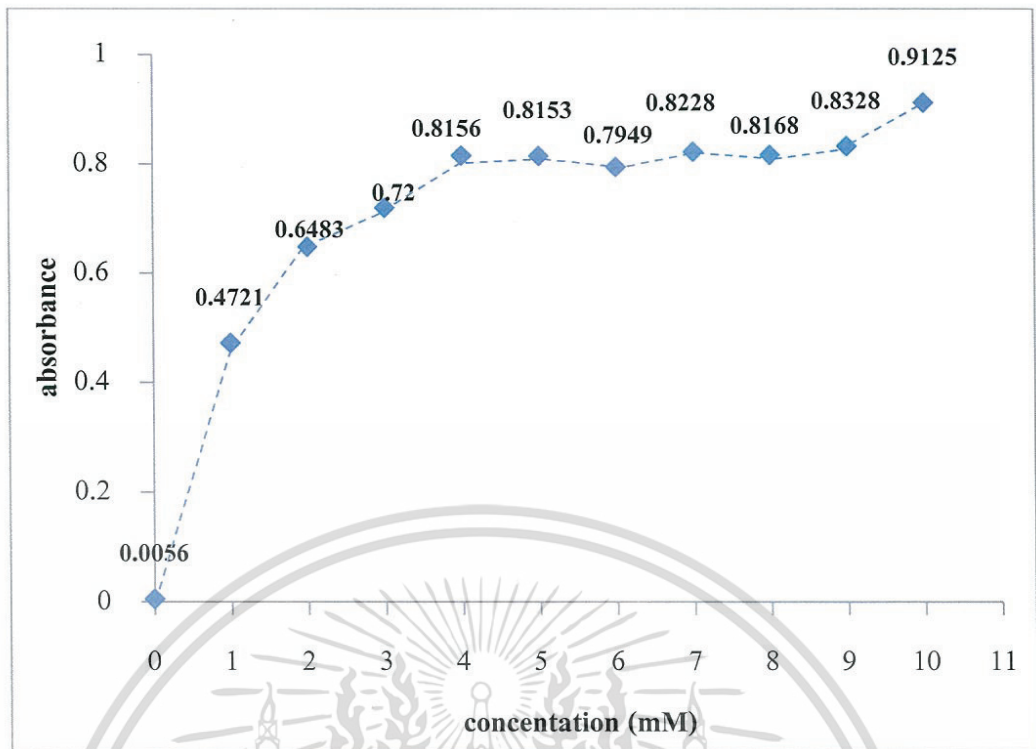
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย CoPSS ที่มีผลต่อการพอลิเมอไรเซชัน

ในการทดลองนี้สารละลาย CoPSS ถูกใช้พื้นฐานรองรับในการสังเคราะห์ PANi-CoPSS โดยสารละลาย CoPSS จะเหนี่ยวนำให้พอลิอะนิลีนเกิดการละลายน้ำได้ ซึ่งความเข้มข้นของสารละลาย CoPSS เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญที่จะเหนี่ยวนำให้พอลิอะนิลีนเกิดการละลายน้ำ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลาย CoPSS ที่มีผลต่อการพอลิเมอไรเซชัน ในชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ โดยที่อะนิลีนมอนอเมอร์ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ถูกนำมาละลายในสารละลายคลอโรฟอร์ม และในส่วนของสารละลายชั้นน้ำ นำสารละลาย CoPSS ที่ความเข้มข้นต่างกัน (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 มิลลิโมลาร์) มาผสมกับสารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายกรดซัลฟูริก 1 โมลาร์ ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงของ PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นต่างๆของสารละลาย CoPSS แสดงในรูปที่ 4.4



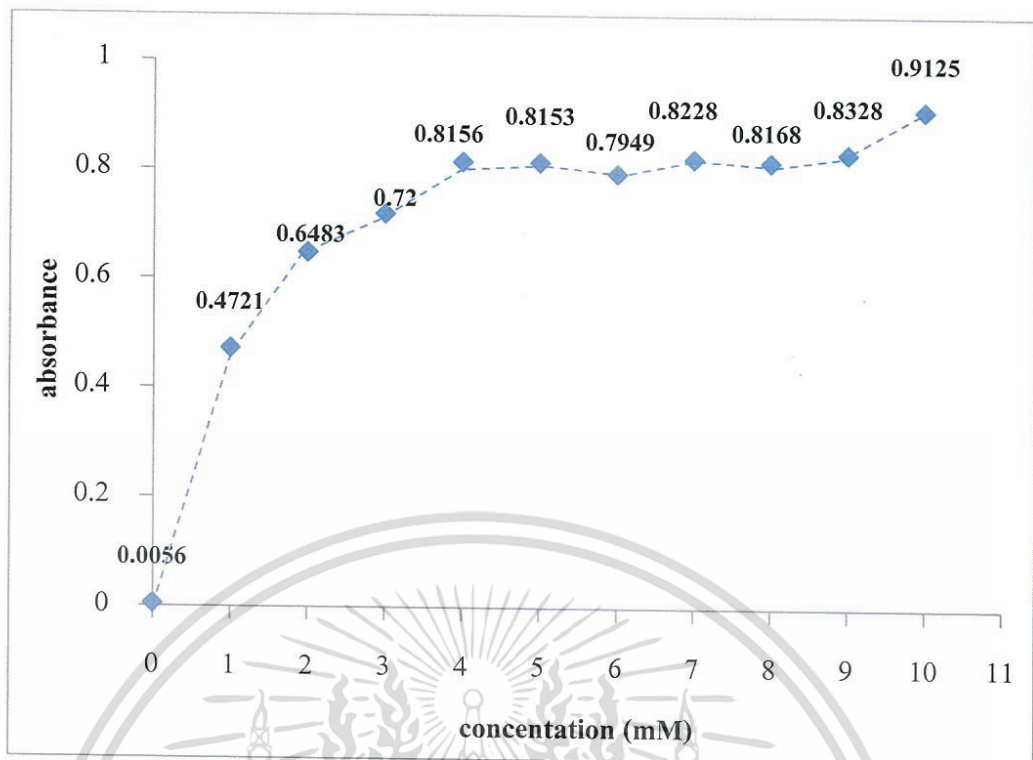
รูปที่ 4.4 ค่าการดูดกลืนแสงของ PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นของสารละลาย CoPSS แตกต่างกัน



รูปที่ 4.5 ค่าการดูดกลืนแสงของ PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นของสารละลาย CoPSS ต่างกัน ที่ความยาวคลื่นสูงสุด

จากค่าการดูดกลืนแสงแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวที่ดีของ PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นของ CoPSS ตั้งแต่ 3 ขึ้นไป ซึ่งประจุลบใน CoPSS ทำหน้าที่เป็นฐานสำหรับการสังเคราะห์ PANi-CoPSS ที่มีการละลายสูง จากค่าแนวโน้มการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมพบว่า มีการเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มความเข้มข้นของ CoPSS ที่ 1-10 มิลลิโมลาร์ ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยาจากความเข้มข้นต่างๆของ CoPSS ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ PANi-CoPSS นั้น สามารถอธิบายได้จากค่าการดูดกลืนแสงพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการปฏิสัมพันธ์ทางไฟฟ้าที่แข็งแรงระหว่างหมู่ซัลโฟเนตของ CoPSS และหมู่เอมีนในแกนหลักของพอลิอะนิลีน ในทางทฤษฎี CoPSS เป็นสารละลายมีขั้วที่นำไฟฟ้าได้สูงที่มีการกระจายตัวไปในน้ำและขยายตัวอย่างสมบูรณ์

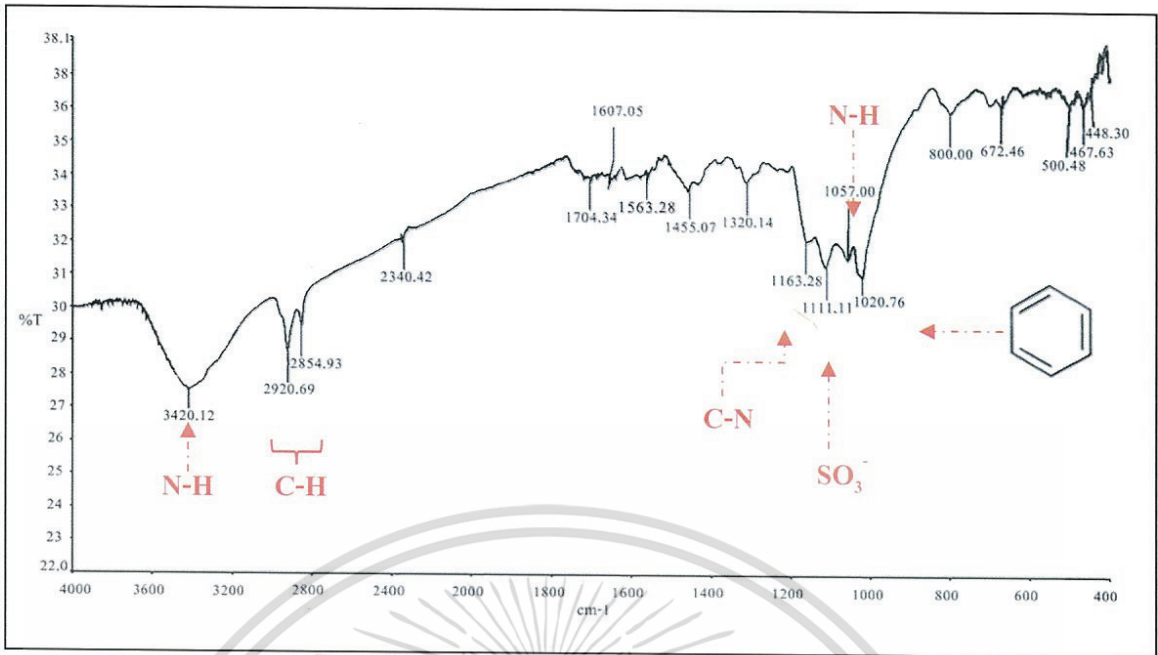
เพื่อยืนยันการประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์ PANi-CoPSS สามารถอธิบายด้วย FTIR ในการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันได้ดังนี้



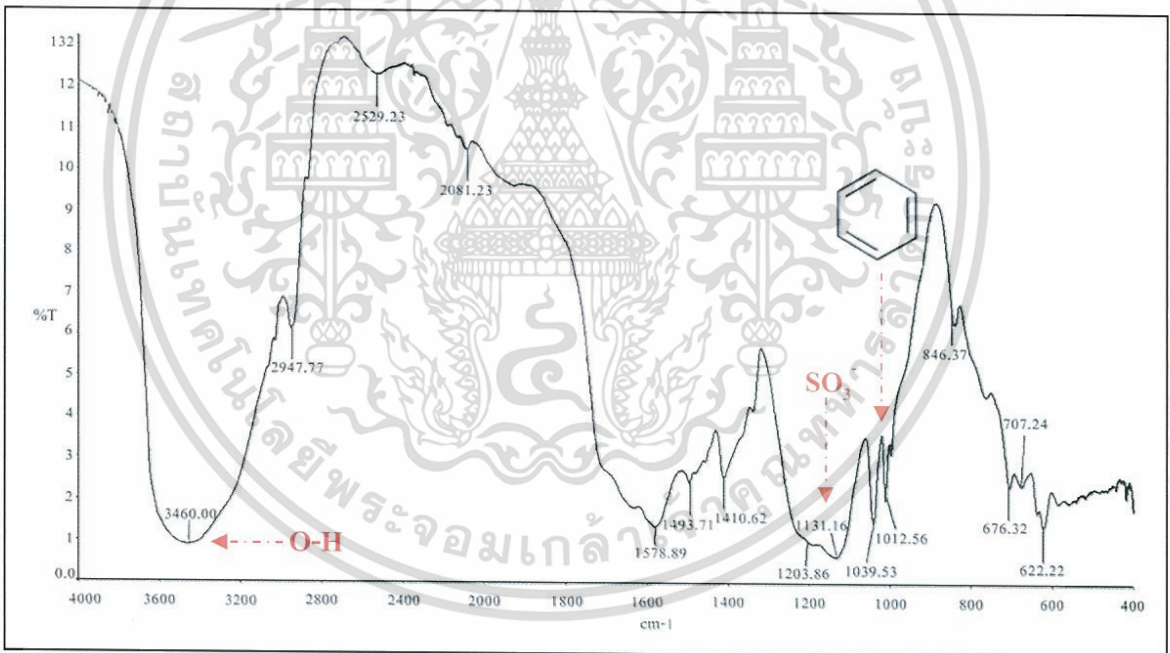
รูปที่ 4.5 ค่าการดูดกลืนแสงของ PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นของสารละลาย CoPSS ต่างกัน ที่ความยาวคลื่นสูงสุด

จากค่าการดูดกลืนแสงแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวที่ดีของ PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นของ CoPSS ตั้งแต่ 3 ขึ้นไป ซึ่งประจุลบใน CoPSS ทำหน้าที่เป็นฐานสำหรับการสังเคราะห์ PANi-CoPSS ที่มีการละลายสูง จากค่าแนวโน้มการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมพบว่า มีการเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มความเข้มข้นของ CoPSS ที่ 1-10 มิลลิโมลาร์ ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยาจากความเข้มข้นต่างๆของ CoPSS ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ PANi-CoPSS นั้น สามารถอธิบายได้จากค่าการดูดกลืนแสงพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการปฏิสัมพันธ์ทางไฟฟ้าที่แข็งแรงระหว่างหมู่ซัลโฟเนตของ CoPSS และหมู่เอมีนในแกนหลักของพอลิอะนิลีน ในทางทฤษฎี CoPSS เป็นสารละลายมีขั้วที่นำไฟฟ้าได้สูงที่มีการกระจายตัวไปในน้ำและขยายตัวอย่างสมบูรณ์

เพื่อยืนยันการประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์ PANi-CoPSS สามารถอธิบายด้วย FTIR ในการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันได้ดังนี้

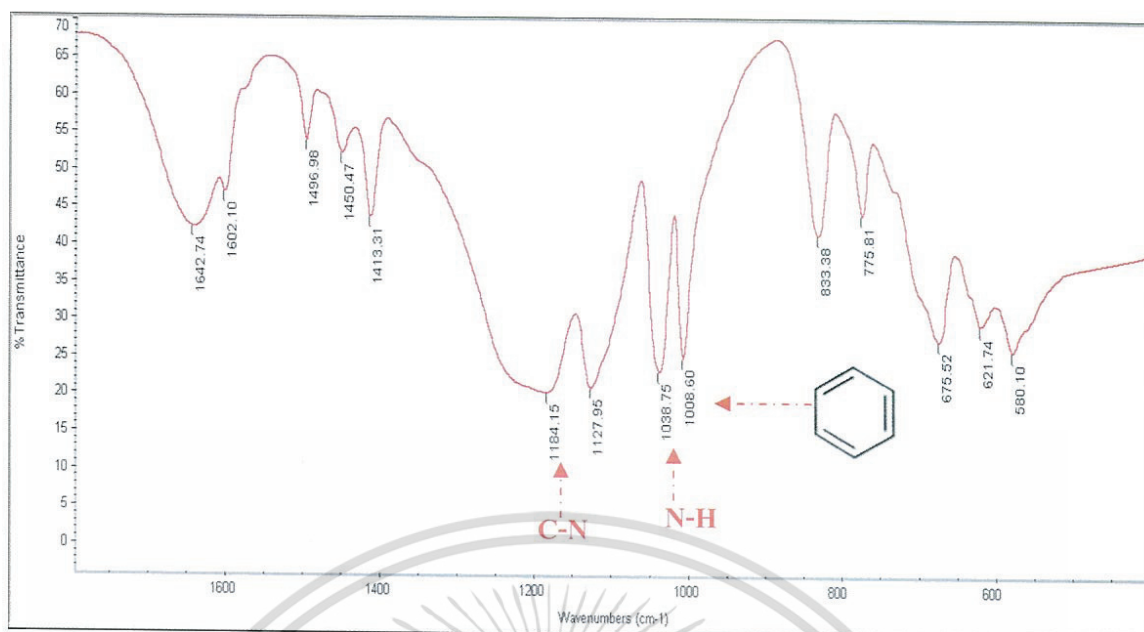


(a)



(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



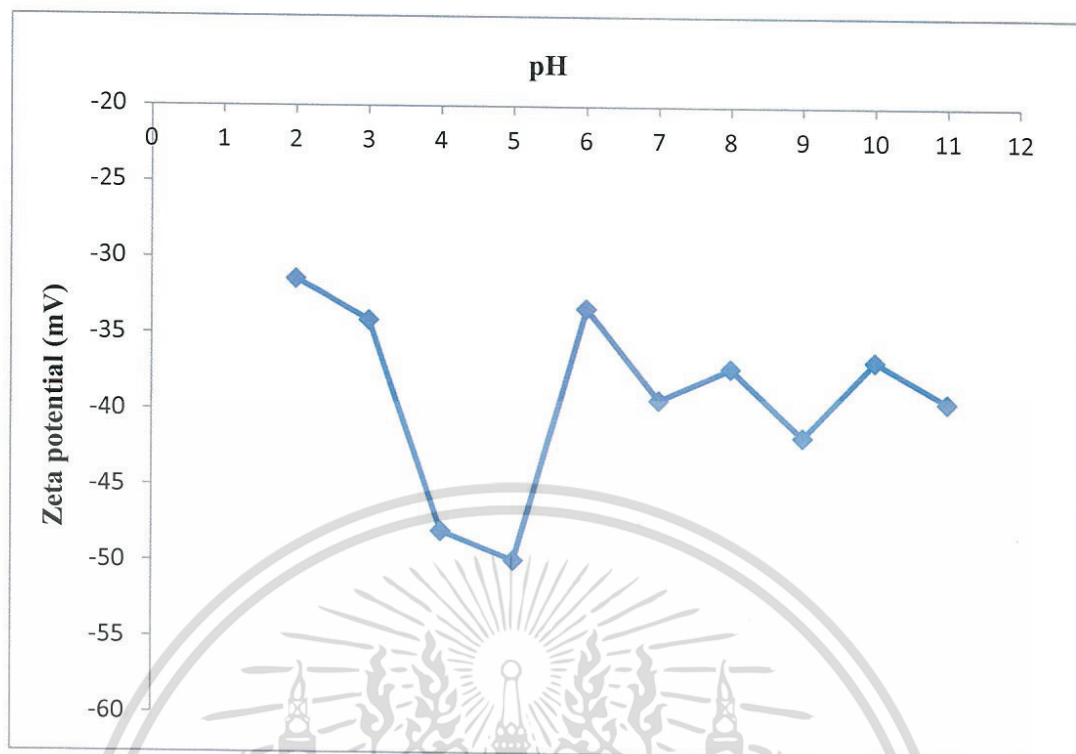
(c)

รูปที่ 4.6 สเปกตรัม FTIR ของ (a) PANi-CoPSS, (b) CoPSS และ (c) PANi

จากการตรวจวัดสเปกตรัม FTIR เพื่อหาโครงสร้างของ PANi-CoPSS สเปกตรัมที่ปรากฏในช่วงความยาวคลื่นที่ 1,131 และ 1,012.56 cm^{-1} ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการสั่นในรูปแบบการยืด Symmetric-stretching และ Antisymmetric-stretching ในหมู่ ซัลโฟเนต (SO_3^-) ในช่วงความยาวคลื่นที่ 1,563.28 และ 1,320 cm^{-1} คือการสั่นในวงเบนซีน ในช่วงความยาวคลื่นที่ 1,563.28 cm^{-1} และ 1,320.14 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นในรูปแบบการยืด ของพันธะ C-N ในหมู่ Quinonoid

จากรูปที่ 4.6 เมื่อนำสเปกตรัมของ PANi-CoPSS (a) มาเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของ CoPSS (b) และ PANi (c) เห็นได้ว่ามีสเปกตรัมของโครงสร้างที่ตรงกันคือ สเปกตรัมของหมู่ซัลโฟเนตใน CoPSS และ พันธะ C-N ในหมู่ Quinonoid ของพอลิอะนิลีนบริสุทธิ์ จึงสามารถยืนยันได้ว่าสารที่สังเคราะห์เป็น PANi-CoPSS

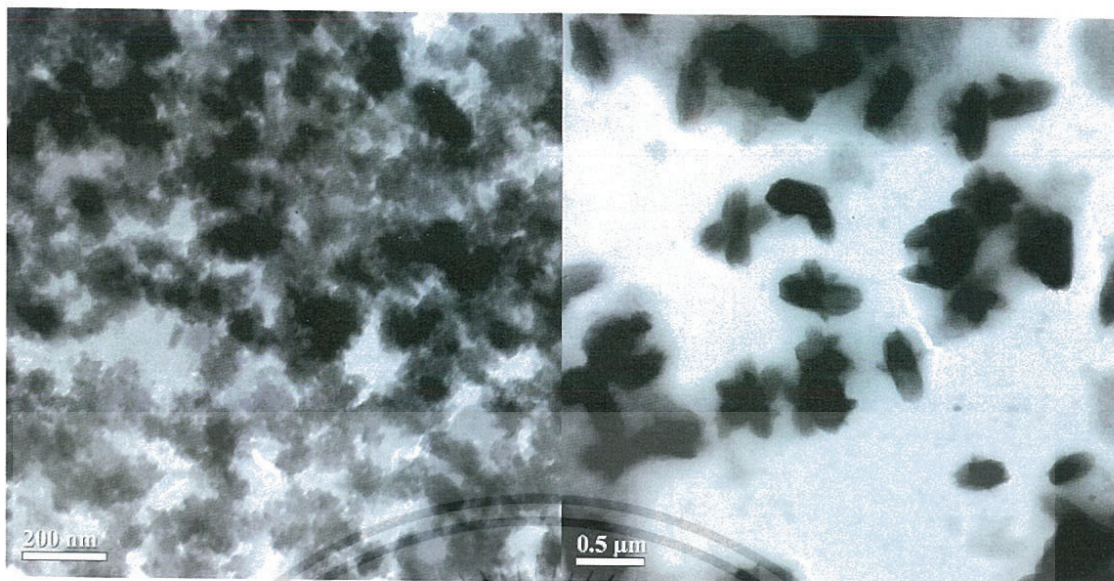
จากนั้นจึงนำ PANi-CoPSS ที่สังเคราะห์ขึ้นมาใน pH ต่างๆ ไปวัดค่าศักย์ซีดีเพื่อหาประจุของ PANi-CoPSS ที่ pH ต่างๆ ซึ่ง PANi-CoPSS ที่มีค่าศักย์ซีดีที่มีค่าติดลบมากที่สุด จะมีความเหมาะสมในการนำไปสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงค่าศักย์เซต้าของ PANi-CoPSS ที่ค่า pH ต่างๆ

จากค่าศักย์เซต้าของ PANi-CoPSS ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิค Interfacial polymerization นั้น มีค่าติดลบ สามารถอธิบายได้ว่า PANi-CoPSS ที่สังเคราะห์ได้ถูกเคลือบด้วยประจุลบ (anion) ของ CoPSS ได้ดี จึงทำให้ค่าศักย์เซต้าของ PANi-CoPSS มีประจุลบตามคุณสมบัติของตัวผสม (Blending solution) สังเกตได้ว่า PANi-CoPSS ที่ pH 5 มีค่า Zeta potential เท่ากับ -49.9 ซึ่งเป็นสถานะที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนต่อไป

เมื่อสังเคราะห์ PANi-CoPSS ได้แล้ว จึงสามารถยืนยันลักษณะเฉพาะโดยการศึกษาขนาดของอนุภาคและการกระจายตัว TEM ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของวัสดุต่างๆ ภาพที่เกิดขึ้นคือภาพของจุดบนตัวอย่างที่ถูกขยายด้วยกำลังขยายสูงจนสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังแสดงในรูปที่ 4.8



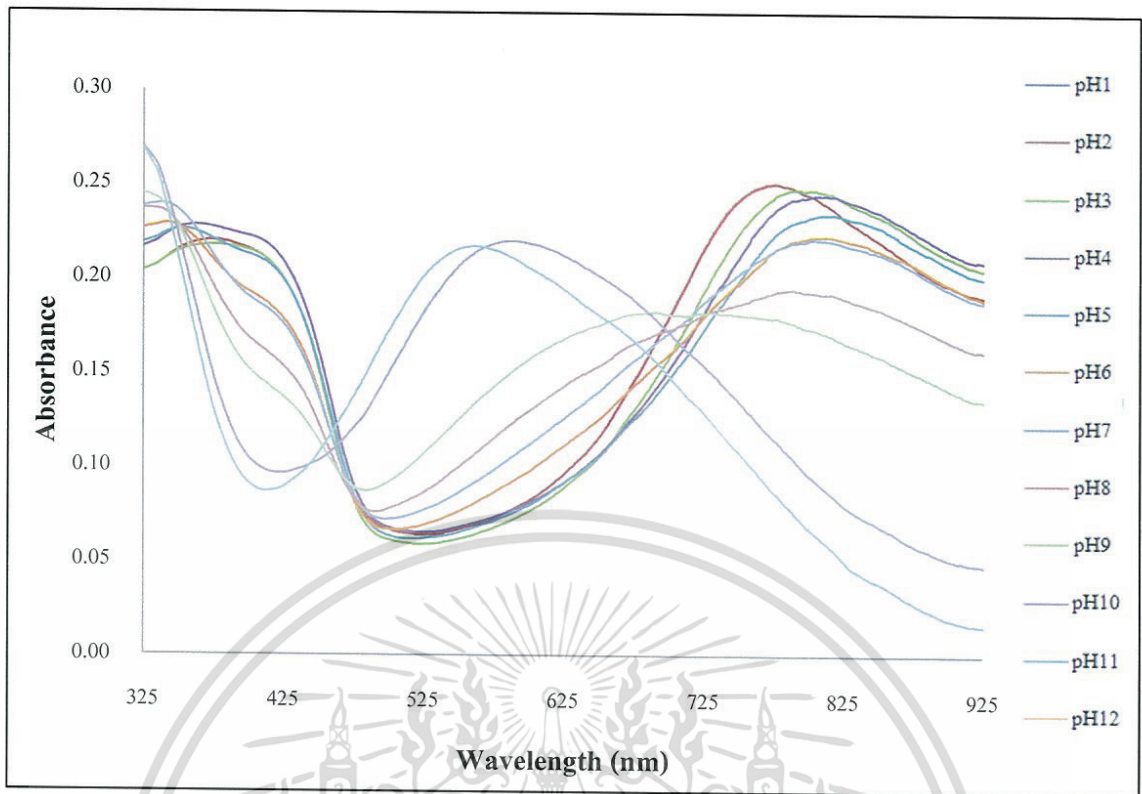
รูปที่ 4.8 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (TEM) ของ PANi-CoPSS

ภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยเครื่อง TEM สังกเกตได้ว่าสามารถบอกได้ถึงขนาดของอนุภาค และแสดงให้เห็นถึงรูปร่างของโครงสร้าง PANi-CoPSS ที่สังเคราะห์ขึ้น โดยรูปร่างที่เห็นนั้นมีลักษณะเป็นแขนงเกาะกัน ไปเรื่อยๆ ตามสูตรโครงสร้าง และมีขนาดประมาณ 0.28 ไมโครเมตร ซึ่ง PANi-CoPSS ที่สังเคราะห์ขึ้นมา นั้นจะนำไปสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนต่อไป

4.4 คุณสมบัติการเป็นตัวรับรู้ของสารละลาย PANi-CoPSS

ไม่นานมานี้พอลิอะนิลีน (PANi) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์นำไฟฟ้าที่มีการศึกษาและการนำไปใช้ประโยชน์เป็นอย่างมาก ได้ถูกนำมาใช้ในการเตรียมเป็นตัวรับรู้สำหรับตรวจวัดค่า pH (pH sensor) เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นคือสังเคราะห์ได้ง่าย ทั้งวิธีทางเคมีและเคมีไฟฟ้า ราคาถูก ทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี และมีลักษณะเฉพาะที่พิเศษคือมีโครงสร้างทางเคมีที่หลากหลาย

ในการทดลองนี้จึงใช้ PANi-CoPSS ที่ถูกสังเคราะห์โดยเทคนิค Interfacial Polymerization โดย CoPSS เป็นสารเพิ่มการกระจายตัวในชั้นน้ำ มาตรวจสอบค่าความเป็นกรด-เบส และศึกษาความแตกต่างของค่า pH โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ดังรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึงค่าการดูดกลืนแสงของ PANi-CoPSS ที่มีค่า pH แตกต่างกัน ดังนี้



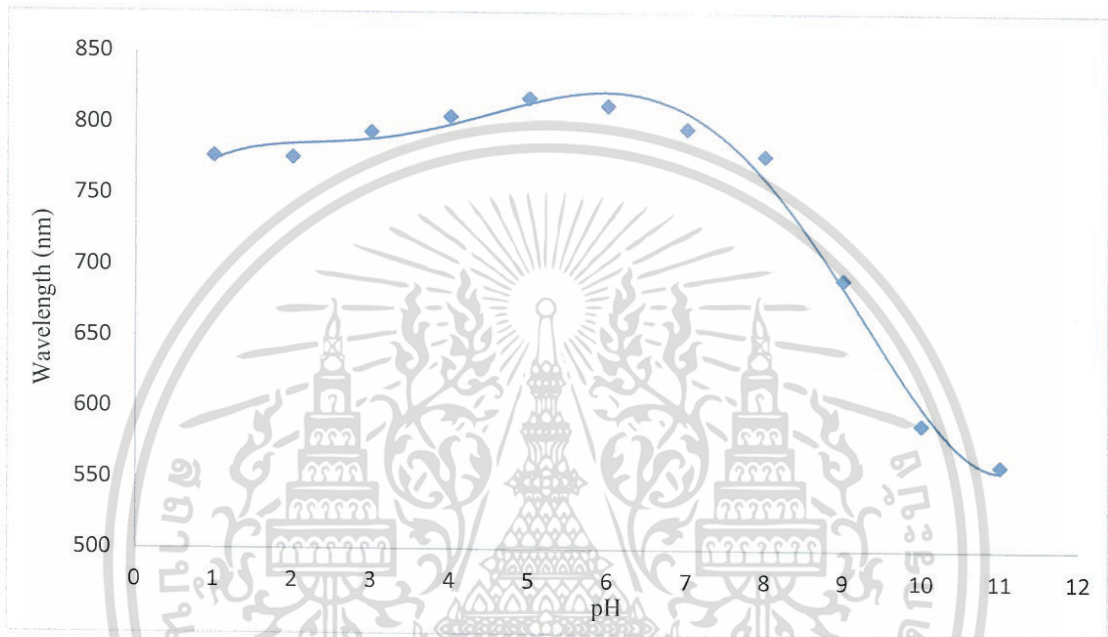
รูปที่ 4.9 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย PANi-CoPSS ที่ pH ต่างๆ



รูปที่ 4.10 สีของสารละลาย PANi-CoPSS ที่ pH ต่างๆ

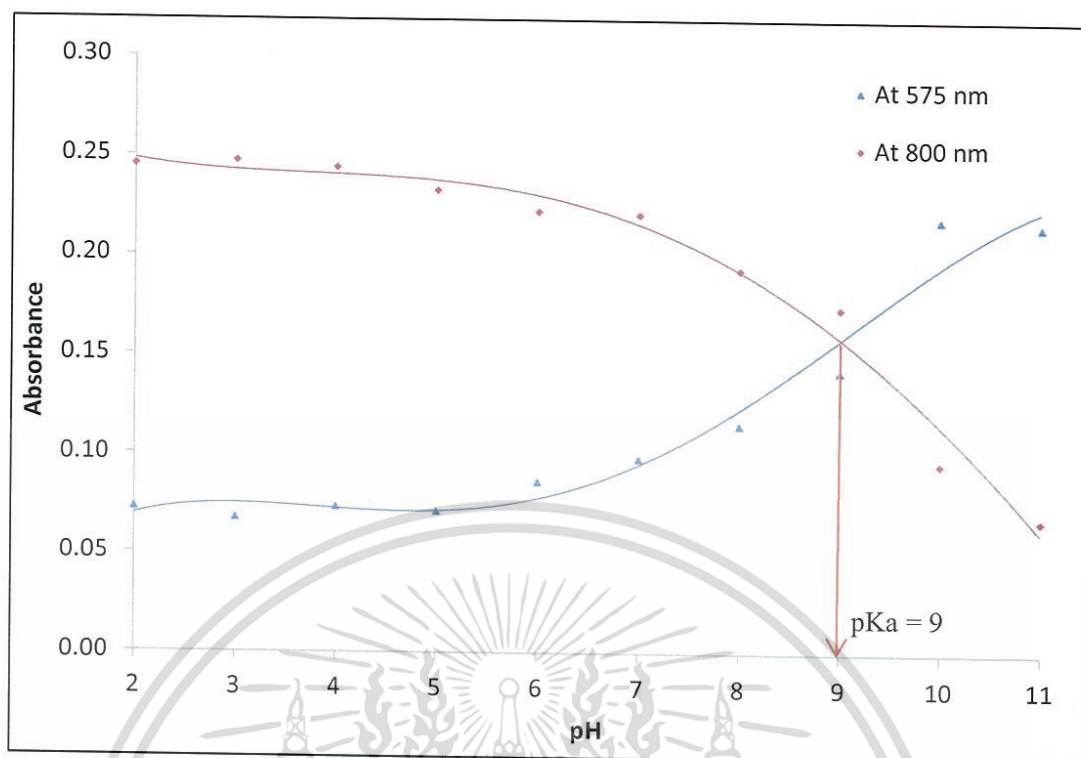
ผลของค่า pH ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสเปกตรัมการดูดกลืนของ PANi-CoPSS สามารถอธิบายได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่แสดงในรูปที่ 4.9 จะเห็นว่า PANi-CoPSS ถูกทำให้อยู่ในรูปหมู่ฟังก์ชันไฮโปรตอน (Deprotonated form) ที่ λ_{\max} เท่ากับ 560 nm (pH 11) และเมื่อนำไปปรับ pH ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH ต่างๆ PANi-CoPSS จะกลับมามีอยู่ในรูปหมู่ฟังก์ชันรับโปรตอน (Protonated form) และ λ_{\max} จะถูก shift มาอยู่ที่ 776 nm (pH 2) ระหว่างที่สารละลายทำปฏิกิริยาจับและให้โปรตอน (Protonated/Deprotonated, reaction) สีของสารละลายเอกสาร์เป็นเอกสาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเกิดการเปลี่ยนแปลงกลับจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงินและเป็นสีม่วงคังรูปที่ 4.10 โดยสีของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไปนั้น เป็นคุณสมบัติหนึ่งของพอลิอะนิลีนซึ่งสีของพอลิอะนิลีนมีความสัมพันธ์กับการนำไฟฟ้าของพอลิอะนิลีนอีกด้วย และจากรูปที่ 4.11 แสดงกราฟ λ_{\max} ของสารละลาย PANi-CoPSS เปรียบเทียบกับค่า pH ซึ่งจะเห็นว่า ในช่วง pH ที่ 2-7 ค่า pH จะค่อยๆมีการเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ แต่จากค่า pH ที่ 8-10 กลับมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วจึงนำค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{\max} มาวิเคราะห์หาค่าการแตกตัวของ PANi-CoPSS ต่อไป



รูปที่ 4.11 ค่าเปรียบเทียบระหว่าง λ_{\max} กับ pH ของสารละลาย PANi-CoPSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย PANi-CoPSS แต่ละ pH ที่ 575 นาโนเมตร และ 800 นาโนเมตร

อีกวิธีหนึ่งในการวิเคราะห์ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS คือการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงเปรียบเทียบกับค่า pH ของสารละลาย โดยวิเคราะห์ที่ λ_{\max} ของการดูดกลืนแสงที่ 575 นาโนเมตร และ 800 นาโนเมตร เนื่องจากบริเวณพีคที่ 575 นาโนเมตรเป็นพีคที่มีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดของสารละลายที่อยู่ในรูปแบบเอมเมอร์ดิคซึ่งมีค่า pH สูง ส่วนบริเวณพีคที่ 800 นาโนเมตรเป็นพีคที่มีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดของสารละลายที่อยู่ในรูปแบบเกลือเอมเมอร์ดิค การเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{\max} เป็นการศึกษาค่าคงที่ของ PANi-CoPSS หรือจุดสมมูล ที่ PANi-CoPSS เกิดการแตกตัว (pKa) ดังรูป 4.12 เส้นโค้งการเปลี่ยนแปลงไปของค่าการดูดกลืนแสงเปรียบเทียบกับค่า pH ที่ 575 นาโนเมตร และ 800 นาโนเมตร จะตัดกันที่ค่า pH เท่ากับ 9 ซึ่งจะสามารถอธิบายได้ว่า การตรวจวัดโดยใช้ค่า pKa ที่ถูกกำหนดให้เป็นค่า pH ที่แสดงค่าครึ่งหนึ่งระหว่างความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงที่ต่ำสุดและสูงสุด จะเป็นการหาค่า pH ที่พอดีของการทำปฏิกิริยาของสารละลาย PANi-CoPSS จากกราฟรูปที่ 4.12 ความสามารถในการแตกตัวของ PANi-CoPSS จะมีค่าเท่ากับ 9

4.5 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน

4.5.1 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ที่มีค่า pH แตกต่างกัน

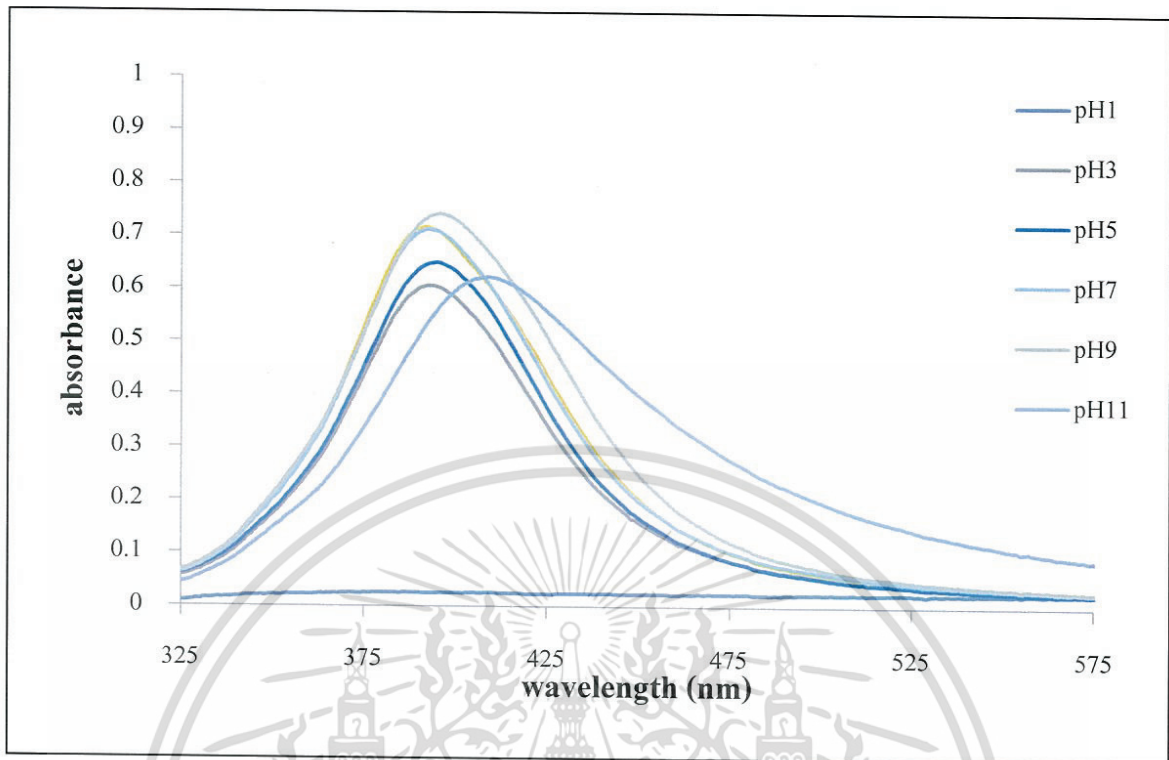
การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ที่มีค่า pH แตกต่างกันนั้น เพื่อศึกษาผลของค่า pH ของสารละลาย PANi-CoPSS มีต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน เนื่องจากสารละลาย PANi-CoPSS แต่ละ pH จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน การแตกตัวและทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรทเพื่อเกิดอนุภาคเงินในระดับนาโนจึงมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสารละลาย PANi-CoPSS ที่ทำหน้าที่เป็นสารรักษาความคงตัว (Stabilizing agent)

อนุภาคเงินในระดับนาโนที่นำมาวิเคราะห์ได้จากน้ำสารละลาย PANi-CoPSS ทำให้มีค่า pH แตกต่างกันด้วยการเติมกรดซัลฟิวริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนมีค่า pH 1-12 ตามลำดับแล้ว นำมาสังเคราะห์จนได้สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนดังนี้



รูปที่ 4.13 สีของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สารละลาย PANi-CoPSS มีค่า pH แตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นว่าสีของสารละลายเป็นสีใสจนถึงเหลืองเข้ม ซึ่งมีสีแตกต่างกัน เนื่องจากสารละลาย PANi-CoPSS ที่ใช้ในการสังเคราะห์มีค่า pH แตกต่างกัน เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer จะได้อ้างอิงดังนี้



รูปที่ 4.14 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย PANi-CoPSS ที่ค่า pH แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบระหว่างค่า pH กับ λ_{\max} ของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย PANi-CoPSS ที่ค่า pH แตกต่างกัน

pH	λ_{\max}
pH 1	-
pH 3	393
pH 5	395
pH 7	389
pH 9	396
pH 11	409

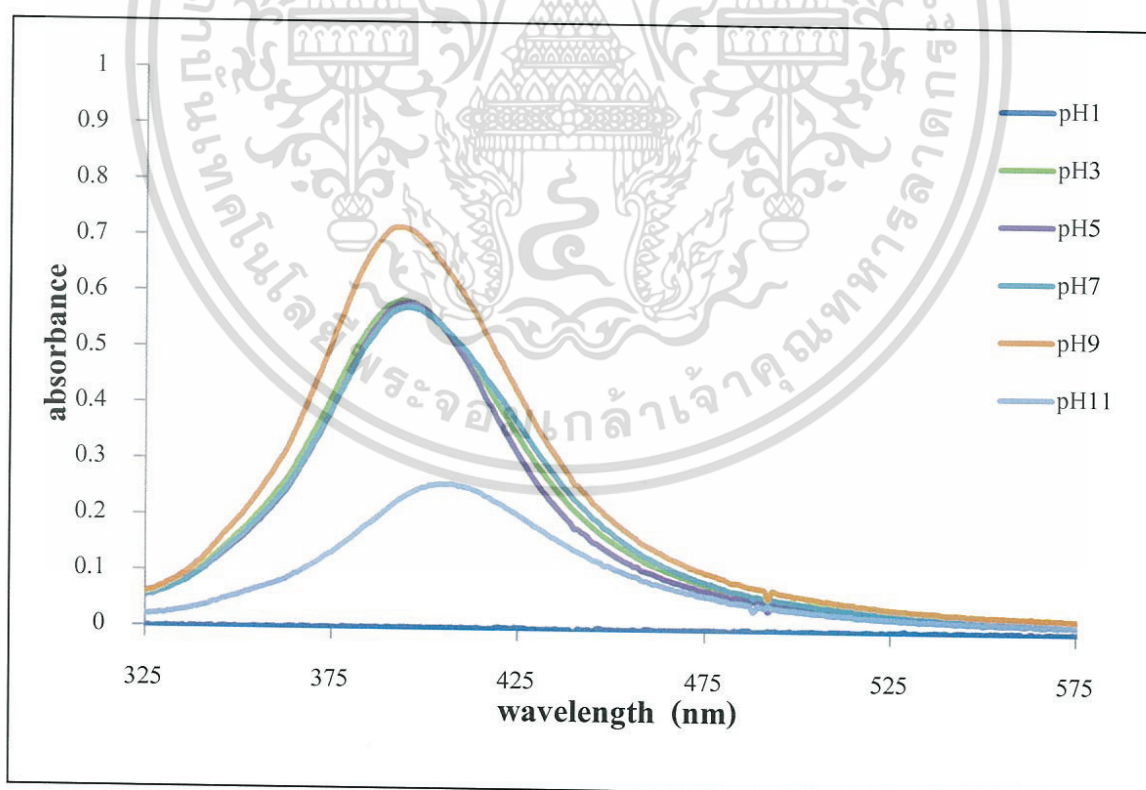
จากผลการวิเคราะห์สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ในรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนจะมีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นได้ลำดับตามค่า pH และเมื่อสังเกตพีกของสารละลายพบว่าพีกมีการ Shift ไปที่เอกซารันเป็นเอกซารันที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาติเห็นไปใช้ประโยชน์การค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่นสูงขึ้นไปเรื่อยๆ ตามตารางที่ 4.2 อธิบายได้ว่า สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีพีคบนความยาวคลื่นที่ต่ำ จะมีอนุภาคของเงินในระดับนาโนที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากคุณสมบัติเชิงแสงของอนุเงินในระดับนาโน และมีขนาดใหญ่ขึ้นไปเรื่อยๆ ตามค่า pH ของสารละลาย PANi-CoPSS ที่ใช้ในการสังเคราะห์ ดังนั้นค่า pH ที่แตกต่างกันของสารละลาย PANi-CoPSS จึงมีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนที่ขนาดอนุภาคแตกต่างกัน [50]

4.5.2 การศึกษาเสถียรภาพของอนุภาคเงินในระดับนาโน

การศึกษาเสถียรภาพของอนุภาคเงินในระดับนาโน คือการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของ PANi-CoPSS ที่ทำหน้าที่ในการเป็น Stabilizing agent หรือสารทำหน้าที่รักษาความคงตัว โดยสารละลาย PANi-CoPSS มีความสามารถในการรักษาเสถียรภาพของอนุภาคเงินในระดับนาโนแตกต่างกันตามโครงสร้างของพอลิอะนิลีนที่แตกต่างกันจากผลของค่า pH

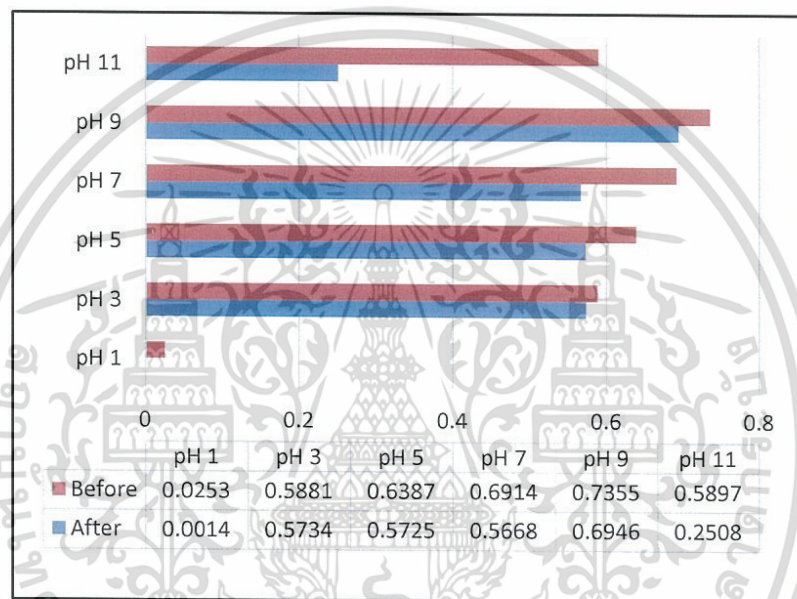
การวิเคราะห์ทำโดยให้สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้มีความสามารถในการคงตัวลดลง โดยนำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงสาร (Centrifuge) เพื่อศึกษาความแตกต่างของความคงตัวเมื่อใช้สารละลาย PANi-CoPSS ที่มีค่า pH แตกต่างกันในการสังเคราะห์ โดยใช้เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer จะได้ค่าดังนี้



รูปที่ 4.15 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนหลังจาก Centrifuge แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 ซึ่งแสดงค่าการดูดกลืนแสงหลังจากนำสารละลายที่สังเคราะห์ได้แต่ละค่า pH ไปเข้าเครื่อง Centrifuge แล้วจะเห็นได้ว่ามีค่าดูดกลืนแสงที่ลดลงและฟีกของสารละลายเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นผลมาจากสารละลาย PANi-CoPSS ที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน มีประจุที่แตกต่างกันในโครงสร้างตามค่าของ pH ซึ่งเมื่อสารละลาย PANi-CoPSS มี pH แตกต่างกัน โครงสร้างของพอลิอะนิลีนก็จะมีค่าแตกต่างกันจึงทำให้การทำหน้าที่เป็นสารรักษาเสถียรภาพ ของ PANi-CoPSS มีความสามารถที่แตกต่างกัน เมื่อสารละลายถูกปล่อยทิ้งไว้หรือนำไปเหวี่ยงด้วย Centrifuge จะทำให้ PANi-CoPSS ที่ล้อมรอบบนอนุภาคเงินในระดับนาโนไม่เสถียรและตกตะกอนกลายเป็นอนุภาคเงินซึ่งไม่มีสี ค่าการดูดกลืนแสงจึงลดลง



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน ก่อนและหลังจากทำการ Centrifuge

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงหลังจากทำการเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge แล้วจะมีค่าลดลงจากเดิม เนื่องจากมีอนุภาคเงินในระดับนาโนบางตัวตกตะกอนกลายเป็นอนุภาคเงินที่ไม่มีสี โดยค่าที่เปลี่ยนแปลงไปของแต่ละสารละลายมีค่าไม่เท่ากันเนื่องจากผลของค่า pH ดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย PANi-CoPSS ที่มีค่า pH แตกต่างกัน ก่อนและหลังจากทำการ Centrifuge

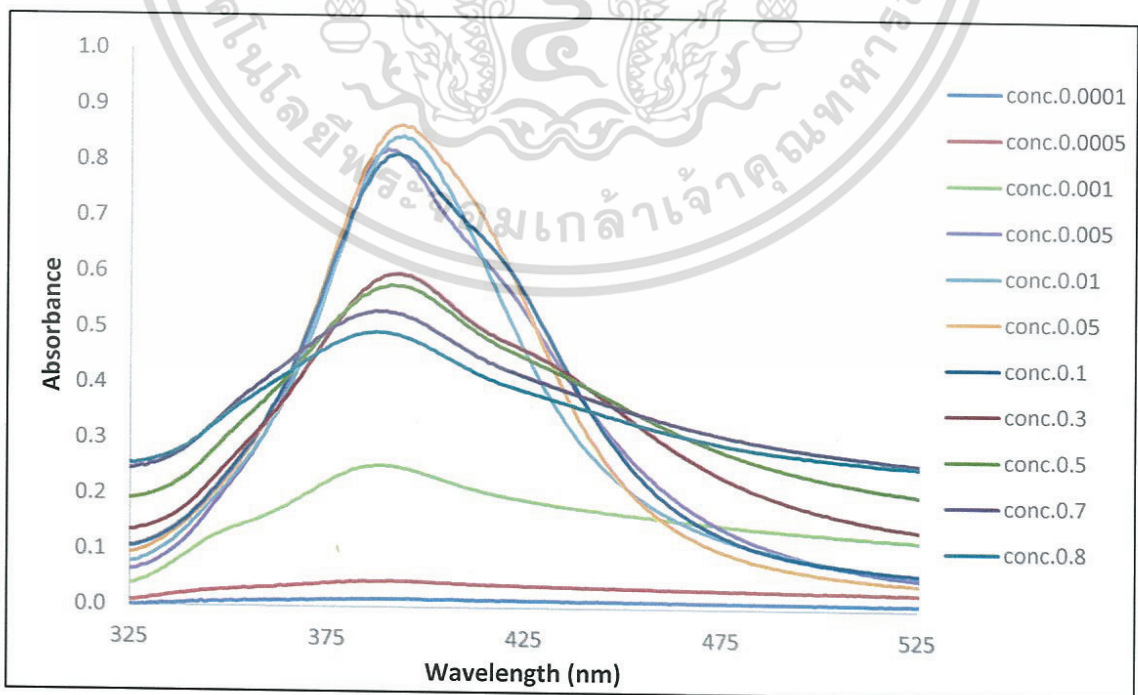
ค่า pH ของ PANi-CoPSS ที่ใช้สังเคราะห์	ค่าการดูดกลืนแสง ก่อน Centrifuge	ค่าการดูดกลืนแสง หลัง Centrifuge	เปอร์เซ็นต์ของค่าการดูดกลืนแสงที่เหลืออยู่ (%)
pH 1	0.0253	0.0014	5.53
pH 3	0.5881	0.5734	97.5
pH 5	0.6387	0.5725	89.64
pH 7	0.6914	0.5668	81.98
pH 9	0.7355	0.6946	94.44
pH 11	0.5897	0.2508	42.53

เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงก่อนและหลังเหวี่ยงสารด้วยเครื่อง Centrifuge แล้วจะพบว่าสารละลายที่ pH 1 และ pH 11 มีค่าลดต่ำลงอย่างมาก แสดงว่าสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์โดยใช้ PANi-CoPSS ที่มี pH 1 และ pH 11 มีความเสถียรต่ำ มีการตกตะกอนมากซึ่งอาจเกิดจากขนาดของอนุภาคที่สังเคราะห์ได้มีขนาดใหญ่เกินไปจึงไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ ส่วนสารละลายในช่วง pH เท่ากับ 3, 5, 7 และ 9 มีเปอร์เซ็นต์ของค่าการดูดกลืนแสงที่เหลืออยู่มีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่า เมื่อนำอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย PANi-CoPSS ที่ pH เท่ากับ 3, 5, 7 และ 9 ไปเข้าเครื่อง Centrifuge แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดการตกตะกอนน้อยมาก แสดงว่าการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย PANi-CoPSS ที่ pH เท่ากับ 3, 5, 7 และ 9 มีความเสถียรสูงจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อไปได้

4.6 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วย PANi-CoPSS ที่ ความเข้มข้นต่างๆ

อนุภาคเงินในระดับนาโนไม่สามารถคงสภาพได้นานนัก จึงต้องเพิ่มประสิทธิภาพของอนุภาคเงินในระดับนาโนให้สามารถคงสภาพได้นานขึ้นโดยใช้ PANi-CoPSS เป็นสารรักษาเสถียรภาพ แต่ประสิทธิภาพของอนุภาคเงินในระดับนาโนนั้น ต้องคำนึงถึงปัจจัยในหลายด้าน เช่น ขนาดของอนุภาคเงินในระดับนาโน รวมไปถึงความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพหรือ PANi-CoPSS ก็มีผลต่อประสิทธิภาพของอนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยเช่นเดียวกัน จากทฤษฎีเบื้องต้นพบว่าเมื่อใช้สารคงสภาพที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้ขนาดของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้นั้นมีขนาดเล็กตามไปด้วย

ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนโดยใช้ PANi-CoPSS ที่มีค่า pH เท่ากับ 5 และมีความเข้มข้นแตกต่างกัน เป็นสารรักษาเสถียรภาพ เพื่อศึกษาความแตกต่างของปริมาณร้อยละ โดยน้ำหนัก (wt%) ของ PANi-CoPSS ที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน โดยใช้สารละลายมาตรฐานเข้มข้น (Stock solution) ของ PANi-CoPSS ที่ 1 wt% มาเจือจาง (Diluted) ความเข้มข้น เพื่อให้ทราบความแตกต่างของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย PANi-CoPSS 1 wt% และเพื่อทราบความเข้มข้นของ PANi-CoPSS ที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน สำหรับนำไปสร้างแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนต่อไป



รูปที่ 4.17 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ PANi-CoPSS มีความเข้มข้นต่างๆ การค้า เอกสารฉบับนี้ขอสงวนลิขสิทธิ์ไว้ ไม่สามารถนำออกจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้ถือกรรมสิทธิ์ การค้า ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{\max}) ของการดูดกลืนแสงอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ PANi-CoPSS มีความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ PANi-CoPSS (wt%)	ความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{\max})
0.0001	-
0.0005	-
0.001	389
0.005	391
0.01	396
0.05	395
0.1	394
0.3	393
0.5	392
0.7	391
0.8	390

จากผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนโดยใช้สารละลาย PANi-CoPSS ความเข้มข้นมาตรฐาน 1 wt% ในการสังเคราะห์นั้น ค่าการดูดกลืนแสงของ PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นต่างๆนั้น สามารถอธิบายได้ว่า PANi-CoPSS ที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนนั้น มีการเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นที่เปลี่ยนไป จากรูปที่ 4.17 เมื่อสังเกตเส้นสเปกตรัมของ PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นต่างๆในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น พีกจะ shift ไปทางด้านซ้าย ซึ่งสามารถระบุได้ว่า เมื่อความเข้มข้นของ PANi-CoPSS เพิ่มมากขึ้นขนาดของอนุภาคเงินในระดับนาโนก็จะมีขนาดเล็กลง จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของ PANi-CoPSS ที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนเพิ่มมากขึ้นค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดหรือ λ_{\max} ก็จะปรับลดลง ซึ่งเกิดจากการที่สีของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้นั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงไป จากค่าการดูดกลืนแสงที่วิเคราะห์ได้ เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมถูกต้อง และแม่นยำ จึงเลือกทำการวิเคราะห์สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนโดยใช้ PANi-CoPSS ที่มีความเข้มข้น 0.005, 0.10 และ 0.80 wt% ในการสังเคราะห์ฟิล์มอนุภาคเงิน

ในระดับนาโนต่อไป


เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 คุณลักษณะของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน

1. การศึกษาขนาดของอนุภาคและการกระจายตัว

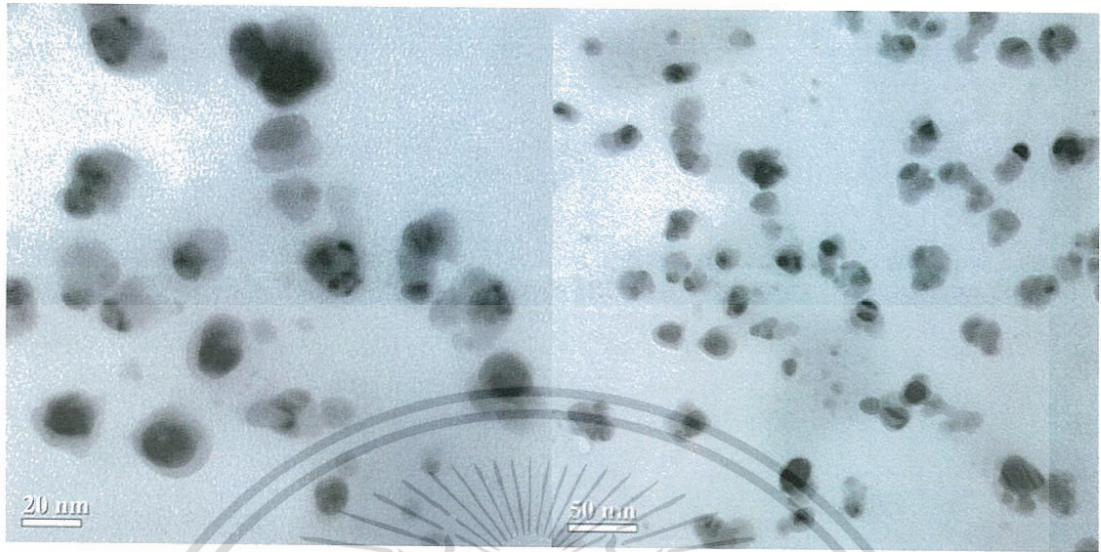
นำสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์โดยใช้ความเข้มข้นของ PANi-CoPSS ที่แตกต่างกัน คือ 0.005, 0.10 และ 0.80 wt% มาหยดลงบนกริด เพื่อเตรียมทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง TEM เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอนุภาค และศึกษาขนาดอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์โดยใช้ความเข้มข้นของ PANi-CoPSS ที่แตกต่างกัน เพื่อหาความเข้มข้นของ PANi-CoPSS ที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 อนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ที่ความเข้มข้น PANi-CoPSS 0.005, 0.10 และ 0.80 wt% ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน และขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาค

1. [PANi-CoPSS] 0.005 wt%	
	
Average size (nM)	20.63 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

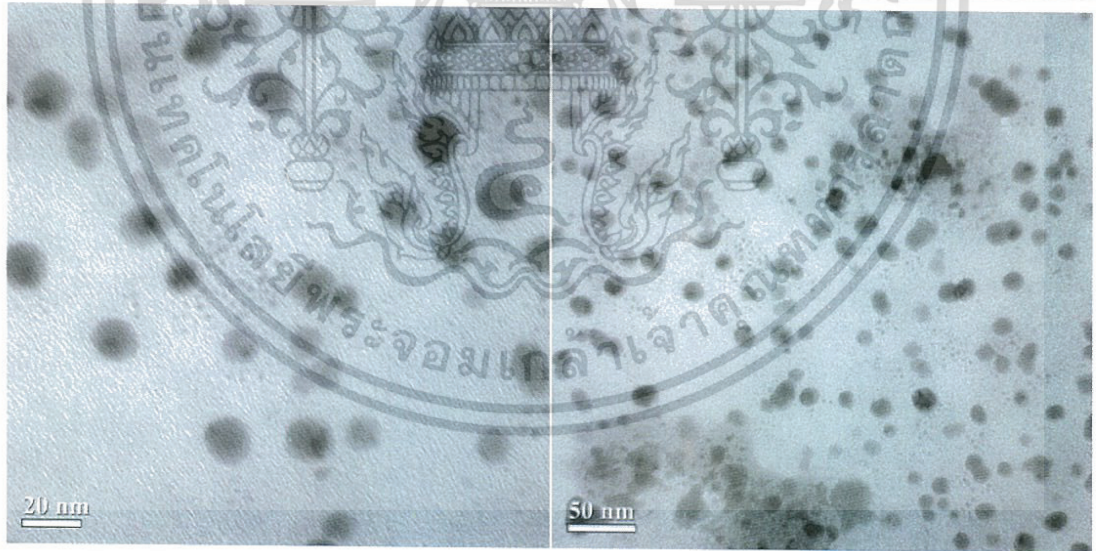
2. [PANi-CoPSS] 0.1 wt%



Average size (nm)

18.75 nm

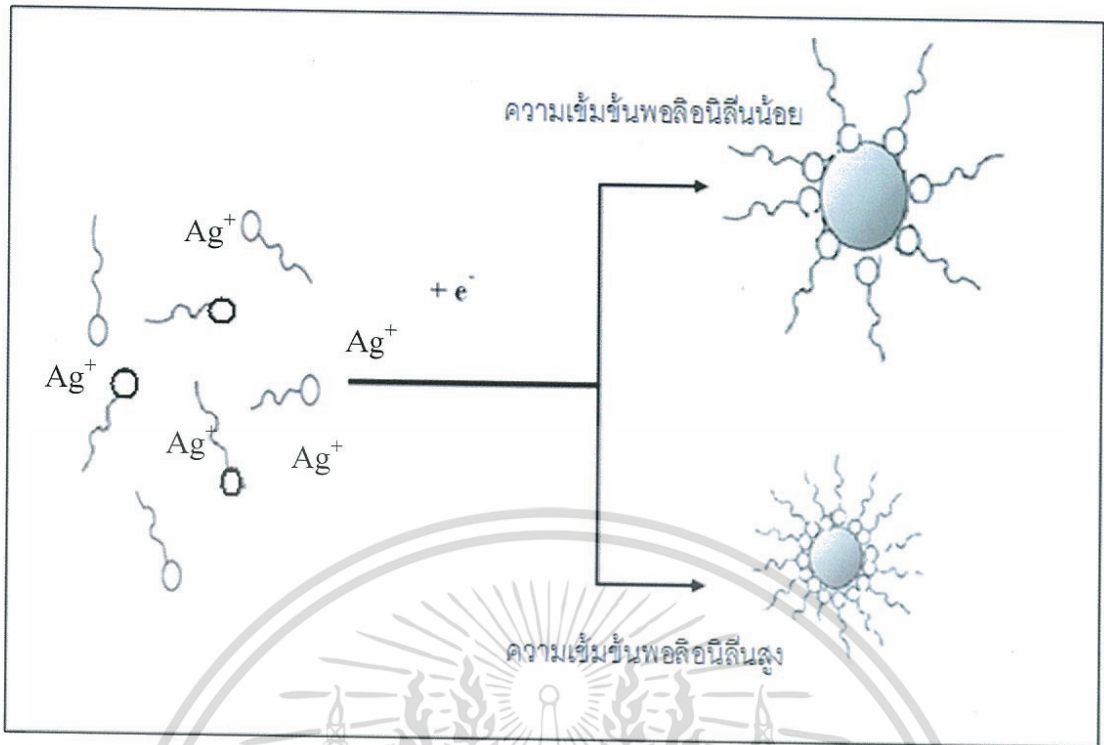
3. [PANi-CoPSS] 0.80 wt%



Average size (nm)

15.00 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ขนาดของอนุภาคเงินในระดับนาโนเมื่อไอออนของ PANi-CoPSS เข้าทำปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4.18 สามารถอธิบายได้ว่า เมื่ออนุภาคนาโนถูกล้อมรอบด้วยไอออนที่มีความแรงมาก ๆ หรือมีความเข้มข้นสูง อนุภาคนาโนจะถูกบีบอัดทำให้มีขนาดของอนุภาคเล็กลง ซึ่งจากการทดลองและวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง TEM มีผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกัน คืออนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์โดยใช้ความเข้มข้น PANi-CoPSS สูงสุด คือ 0.80 wt% มีขนาดของอนุภาคเล็กที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.5

เมื่อนำอนุภาคเงินขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่มีความเข้มข้นของ PANi-CoPSS ที่แตกต่างกันคือ 0.005, 0.10 และ 0.80 wt% มาวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง TEM จะเห็นได้ว่า PANi-CoPSS ที่เราใช้เคลือบอนุภาคเงินในระดับนาโนนั้นสามารถเคลือบได้ค่อนข้างดี และสามารถเคลือบได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้น 0.10 wt% เพราะอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้มีขนาดที่ไม่เล็กและไม่ใหญ่จนเกินไป สามารถอธิบายได้จากตารางด้านบนคือ ที่ความเข้มข้น 0.005 wt% อนุภาคเงินในระดับนาโนมีขนาดของอนุภาคใหญ่สุด รองลงมาคือ อนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย PANi-CoPSS ที่มีความเข้มข้น 0.10 และ 0.80 wt% ตามลำดับ

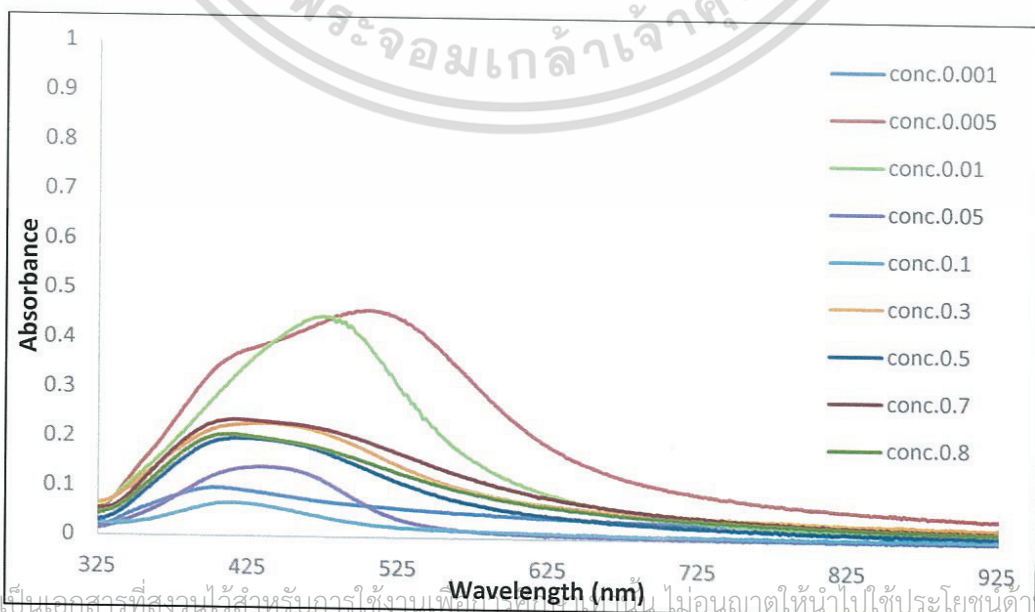
4.8 การสร้างฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโนโดยใช้เทคนิคเลเซอร์-บาย-เลเซอร์

เทคนิคเลเซอร์-บาย-เลเซอร์เป็นเทคนิคในการสร้างฟิล์มบางเทคนิคหนึ่ง โดยเทคนิคนี้เป็นการเคลือบผิวแบบชั้นต่อชั้นโดยอาศัยการเรียงตัวของขั้วพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่แตกต่างกัน ชั้นตอนแรกจะทำการเตรียมพื้นผิว (Substrate) ให้มีประจุบวก (Polycation) ก่อน เนื่องจาก PANi-CoPSS ที่ใช้เคลือบอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้นั้น มีประจุเป็นลบ (Polyanion)

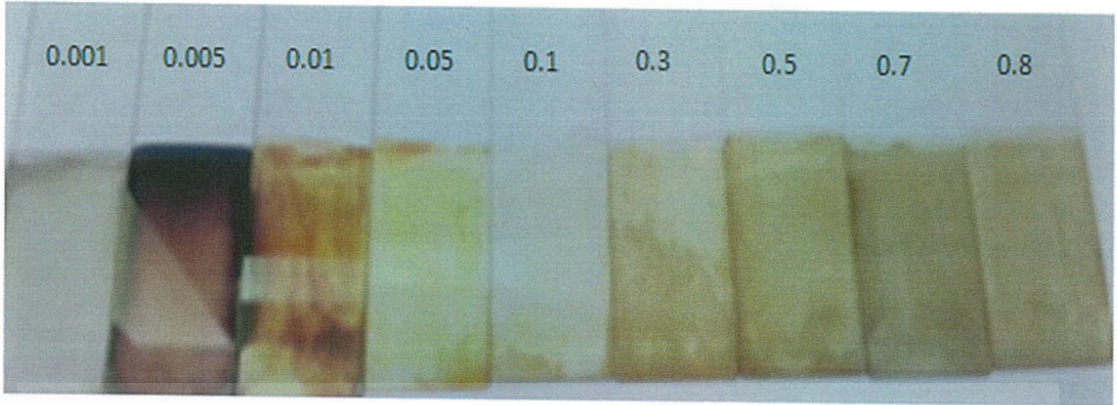
4.8.1 การวิเคราะห์แผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยอนุภาคเงินในระดับนาโน

ในการสร้างแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จาก PANi-CoPSS จะเกิดจากการที่พอลิอิเล็กโทรไลต์ถูกดูดซับไว้บนซับสเตรตที่มีประจุ ตรงกันข้าม (Polyanion และ Polycation) เพื่อเป็นการปรับประจุของซับสเตรตให้มีคุณสมบัติตามต้องการ โดยจำนวนชั้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์ และปริมาณความเข้มข้น ขึ้นอยู่กับสมบัติที่ต้องการและการนำไปใช้ประโยชน์เช่นเดียวกัน

ทำการศึกษาความแตกต่างของปริมาณร้อยละโดยน้ำหนัก (wt%) ของ PANi-CoPSS ที่ใช้ในการสังเคราะห์แผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยอนุภาคเงินในระดับนาโน โดยใช้สารละลายมาตรฐานเข้มข้น (Stock solution) ของ PANi-CoPSS ที่ 1 wt% มาเจือจาง (Diluted) เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย PANi-CoPSS ที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนเพื่อเคลือบลงบนแผ่นฟิล์ม แล้วนำฟิล์มที่ถูกสังเคราะห์ในสภาวะความเข้มข้นที่เหมาะสมของ PANi-CoPSS ไปวิเคราะห์ และนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยอนุภาคเงินในระดับนาโนโดยใช้ PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในการสังเคราะห์นั้น ค่าการดูดกลืนแสงของ PANi-CoPSS มีการเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นที่เปลี่ยนไป จากรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าเส้นสเปกตรัมจะมีการ Shift ไปทางซ้ายเมื่อแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีความเข้มข้นของ PANi-CoPSS เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับสเปกตรัมของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนโดยใช้ PANi-CoPSS ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันในการสังเคราะห์ จากภาพแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นต่ำๆ จะเห็นได้ว่าสีของฟิล์มไม่สม่ำเสมอ เกิดการผิืดเพี้ยน ไปเป็นสีน้ำตาล สามารถคาดเดาได้ว่าเกิดจากความเข้มข้นที่ไม่เพียงพอของ PANi-CoPSS ทำให้อนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้นั้นมีขนาดใหญ่เกิดการตกตะกอนขึ้นได้ จึงเลือกทำการวิเคราะห์แผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นจาก PANi-CoPSS ที่มีความเข้มข้น 0.005, 0.10 และ 0.80 wt% เพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดสารละลายแอมโมเนีย

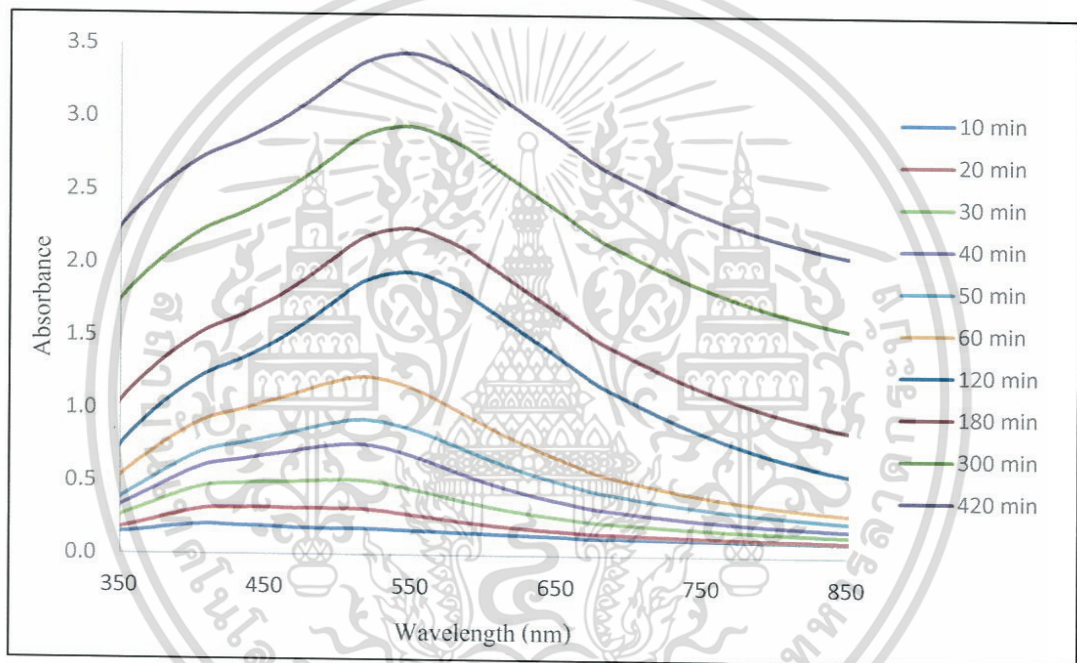
4.8.2 ค่าการดูดกลืนแสงของการศึกษาพลศาสตร์การดูดซับ (Kinetic adsorption)

การศึกษาพลศาสตร์การดูดซับ (Kinetic adsorption) เป็นการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาของการดูดซับของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโน ซึ่งวิธีการศึกษากระบวนการดูดซับทำได้โดยใช้เทคนิคทางสเปกโทรสโกปีที่เหมาะสม เช่น การวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยการศึกษาพลศาสตร์การดูดซับนั้น เพื่อวิเคราะห์ว่าความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

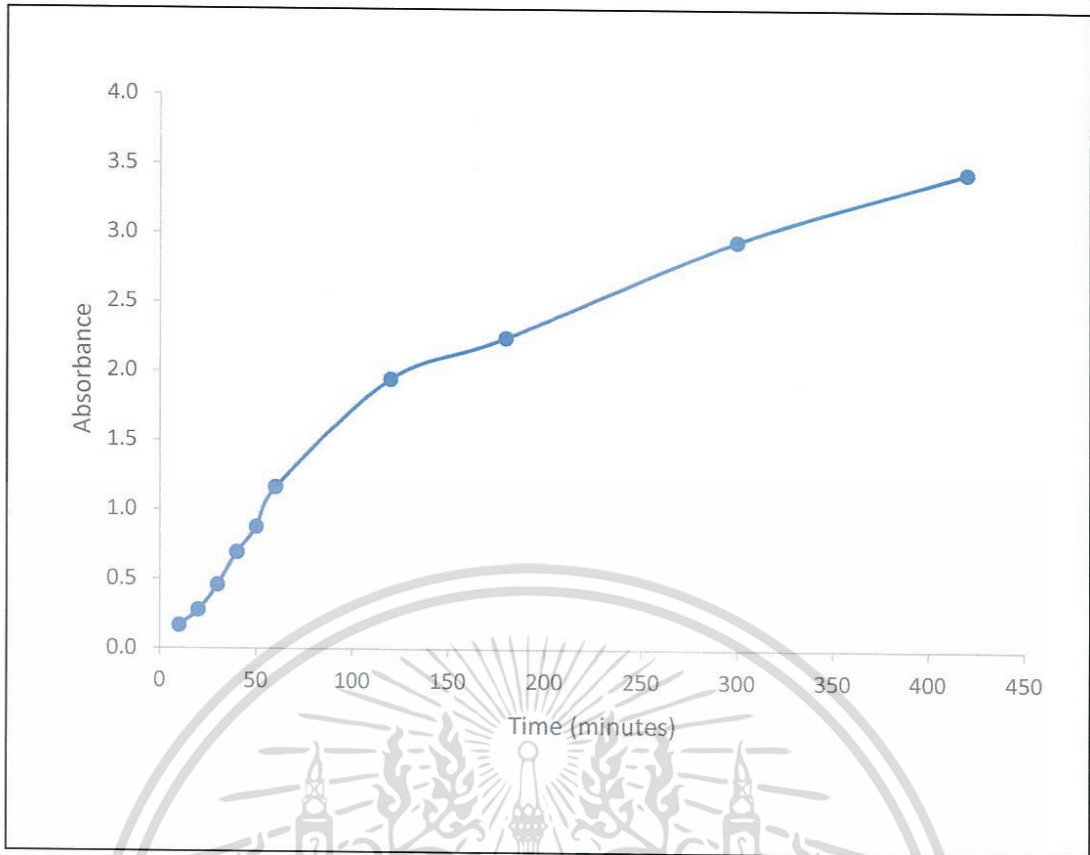
ที่สังเคราะห์ได้ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน จะมีผลต่อความสามารถในการเคลือบฟิล์มในระยะเวลาที่แตกต่างกันหรือไม่

วิเคราะห์โดยนำสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ที่มีความเข้มข้น 0.10, 0.80 และ 0.005 wt% มาทำการเคลือบเป็นฟิล์มลงบนแผ่นกระจกให้เวลาในการเคลือบแตกต่างกัน แล้ววิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-Vis Spectrophotometer เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาหรือกลศาสตร์การดูดซับในการเคลือบฟิล์มก่อนนำไปทำการประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ (Sensor) โดยจะสามารถอธิบายความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงได้ดังนี้



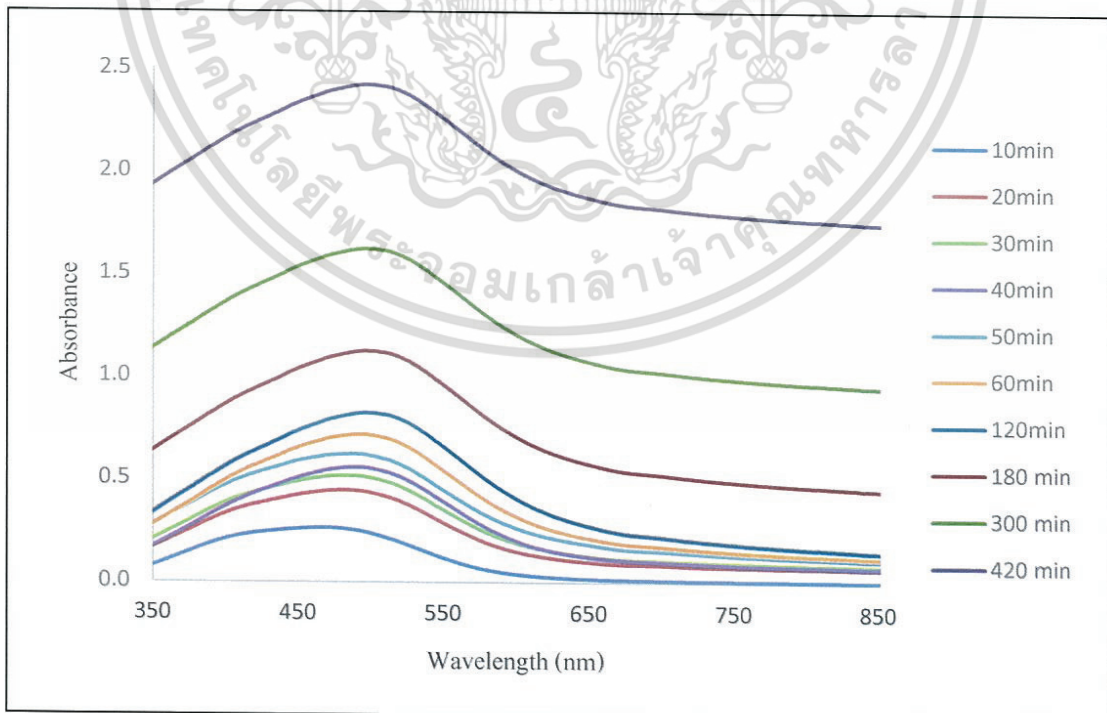
(A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



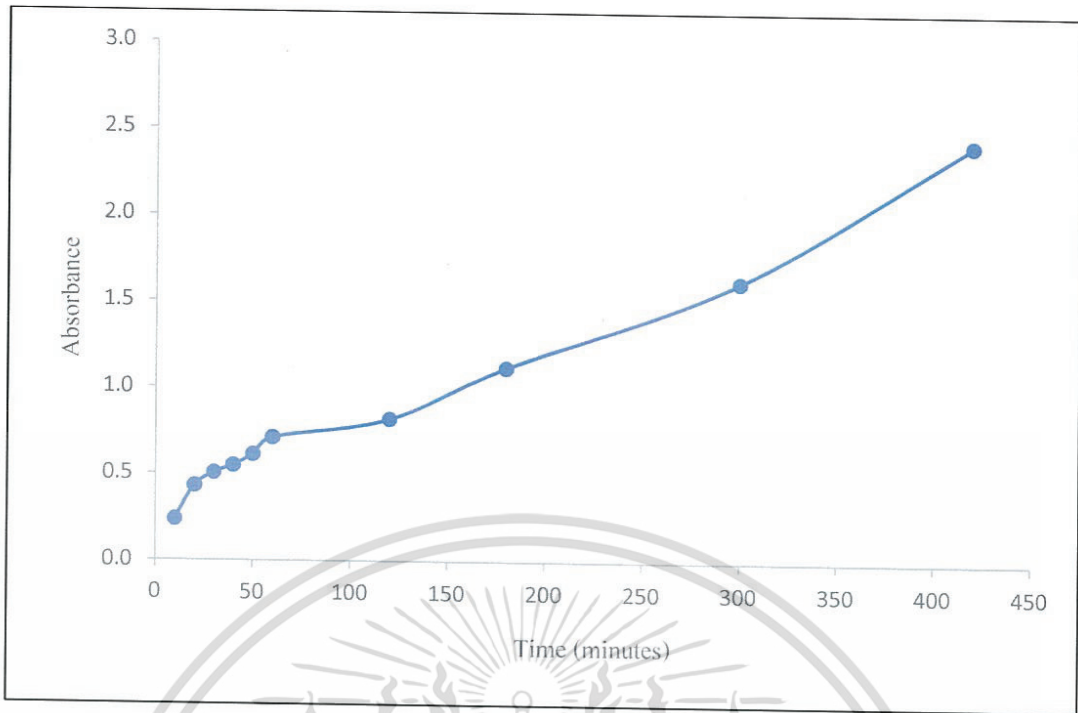
(B)

รูปที่ 4.20 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ PANi-CoPSS ความเข้มข้น 0.005 wt% โดย (A) คือค่าการดูดกลืนแสงเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น (B) คือค่าการดูดกลืนแสงเปรียบเทียบกับระยะเวลาในการเคลือบฟิล์ม



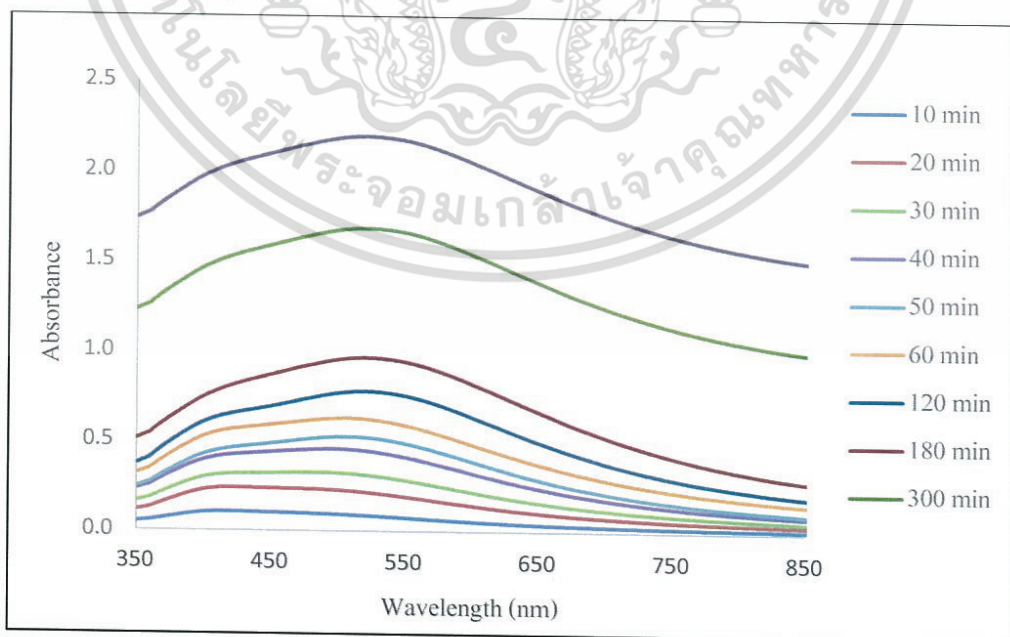
(A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



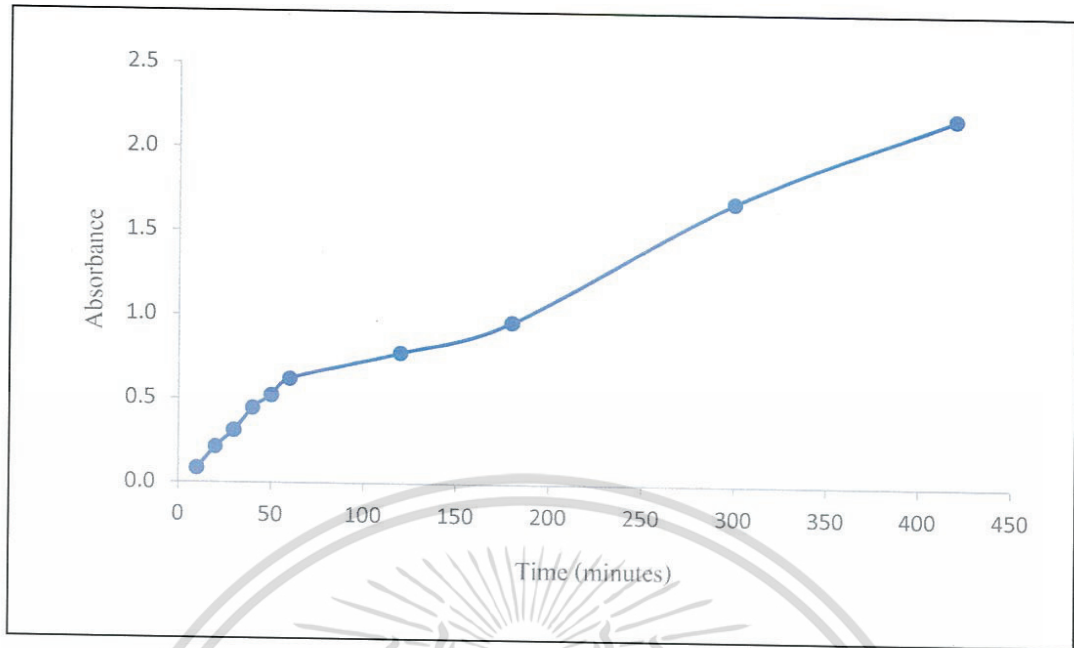
(B)

รูปที่ 4.21 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ PANi-CoPSS ความเข้มข้น 0.10 wt% โดย (A) คือค่าการดูดกลืนแสงเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น (B) คือค่าการดูดกลืนแสงเปรียบเทียบกับระยะเวลาในการเคลือบฟิล์ม



(A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(B)

รูปที่ 4.22 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ PANi-CoPSS ความเข้มข้น 0.80 wt% โดย (A) คือค่าการดูดกลืนแสงเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น (B) คือค่าการดูดกลืนแสงเปรียบเทียบกับระยะเวลาในการเคลือบฟิล์ม

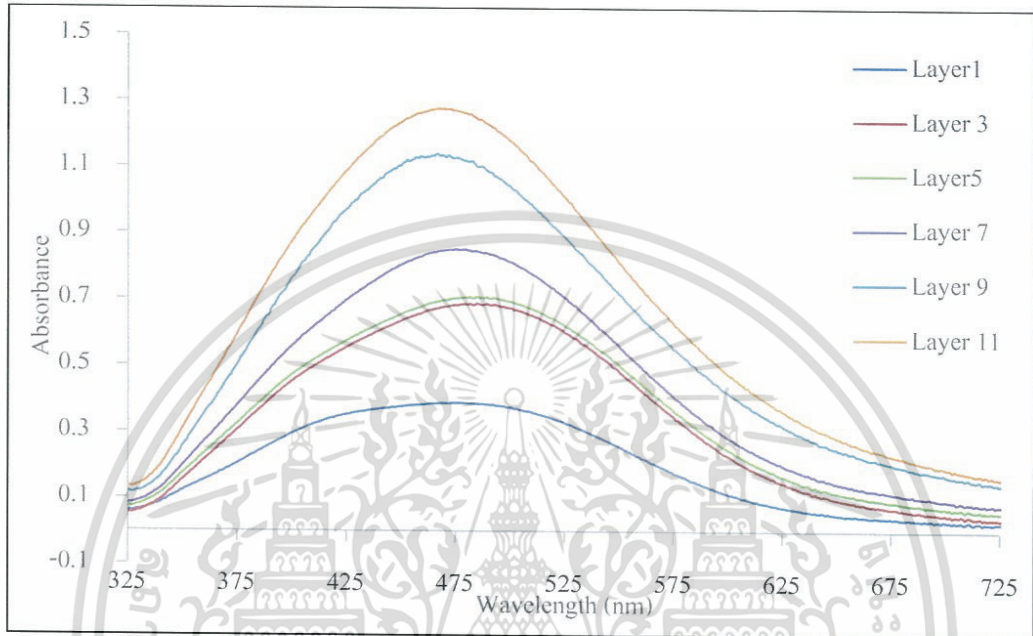
จากค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสารละลาย PANi-CoPSS ความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยระยะเวลาในการจุ่มฟิล์มแตกต่างกัน พบว่าระยะเวลาในช่วง 120 นาทีแรกของการจุ่ม ฟิล์มที่ได้จะมีค่าการดูดกลืนแสงที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามลำดับ แต่เมื่อจุ่มฟิล์มโดยใช้ระยะเวลาเกินไปจาก 120 นาที ฟิล์มจะมีค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นอย่างมากและไม่คงที่ เนื่องจากฟิล์มที่ได้จากการเคลือบมีลักษณะของผิวฟิล์มที่ไม่เรียบและอนุภาคเงินระดับนาโนที่อยู่บนฟิล์มมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งไม่สามารถใช้ในการประยุกต์เป็นตัวรับรู้ได้ ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมกับการเคลือบฟิล์มด้วยสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสารละลาย PANi-CoPSS ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันจะอยู่ที่ไม่เกิน 120 นาที

4.8.3 ผลของจำนวนชั้นการเคลือบฟิล์มที่มีต่อการสร้างฟิล์มบางอนุภาคเงิน ในระดับนาโน

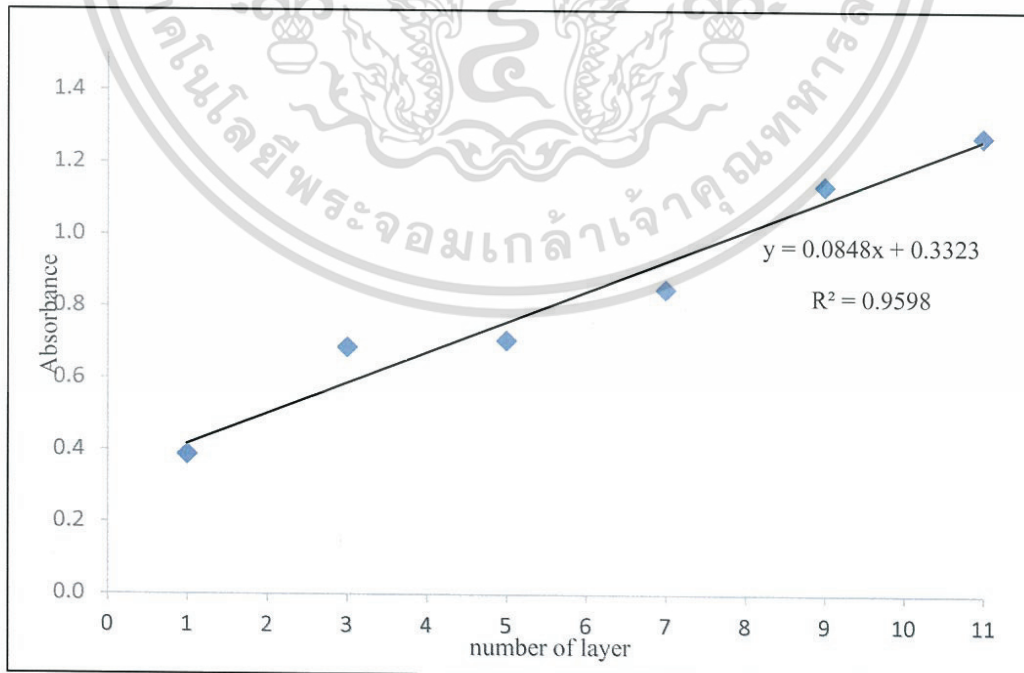
เป็นการศึกษาความแตกต่างของจำนวนชั้นการเคลือบฟิล์มที่มีผลต่อการสร้างฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโนในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ โดยทำการวิเคราะห์ผลด้วย UV-Vis Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ความเข้มข้น 0.10 wt% มาเคลือบเป็นฟิล์มลงบนแผ่นกระจกให้มีจำนวนชั้นแตกต่างกัน แล้ววิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ศึกษาผลของจำนวนชั้นในการเคลือบฟิล์มก่อนนำไปทำการประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ (Sensor) โดยจะสามารถอธิบายค่าการดูดกลืนแสงได้ดังนี้



รูปที่ 4.23 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มที่มีจำนวนชั้นการเคลือบที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.24 กราฟมาตรฐานเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{max} กับจำนวนชั้นการเคลือบฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามมิให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.23 วิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มที่เคลือบด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนโดยสังเคราะห์ฟิล์มให้มีความหนาของชั้นฟิล์มเท่ากับ 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 ชั้น ซึ่งกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มต่อค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{max} จากกราฟเส้นตรงในรูปที่ 4.24 ทำให้ทราบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณความหนาของชั้นฟิล์ม ค่าการดูดกลืนแสงก็จะปรับตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยฟิล์มที่มีความหนา 1 ชั้น มีค่าการดูดกลืนแสงค่อนข้างต่ำเมื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดอาจมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ และถึงแม้ว่าฟิล์มที่มีความหนา 11 ชั้น จะมีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุด แต่เนื่องจากฟิล์มมีการเคลือบหลายชั้นจะมีความเรียบต่ำและอนุภาคเงินในระดับนาโนจะมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ จึงไม่สามารถประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ได้ ดังนั้นฟิล์มที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดควรมีความหนาของชั้นฟิล์มที่ 3 - 9 ชั้น

4.9 คุณลักษณะของฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สร้างโดยใช้เทคนิคเลเซอร์-บาย-เลเยอร์

เมื่อประดิษฐ์ฟิล์มขึ้นด้วยการเคลือบอนุภาคเงินในระดับนาโนโดยใช้เทคนิคเลเซอร์-บาย-เลเยอร์แล้ว จึงนำมาตรวจสอบผลความแตกต่างของจำนวนชั้นของฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโน ด้วยการตรวจวัดลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่อง AFM และศึกษาสัญญาณของฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนด้วย XRD

การศึกษาคุณลักษณะของฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สร้างโดยใช้เทคนิคเลเซอร์-บาย-เลเยอร์นั้นเป็นการศึกษาสภาพลักษณะและโครงสร้างของอนุภาคเงินในระดับนาโนบนแผ่นฟิล์มที่ประดิษฐ์ได้ เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบความแตกต่างของแผ่นฟิล์ม และเลือกแผ่นฟิล์มที่มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ ไปทำการวิเคราะห์ต่อไป

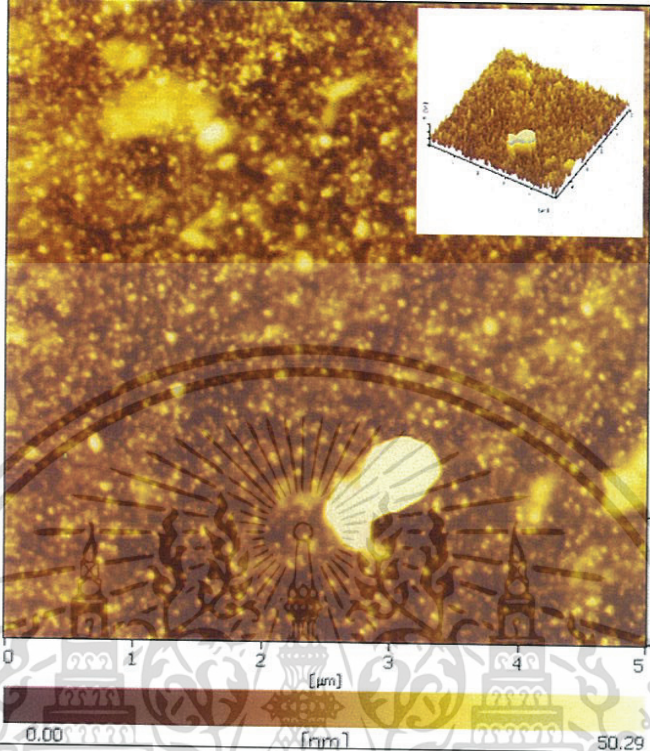
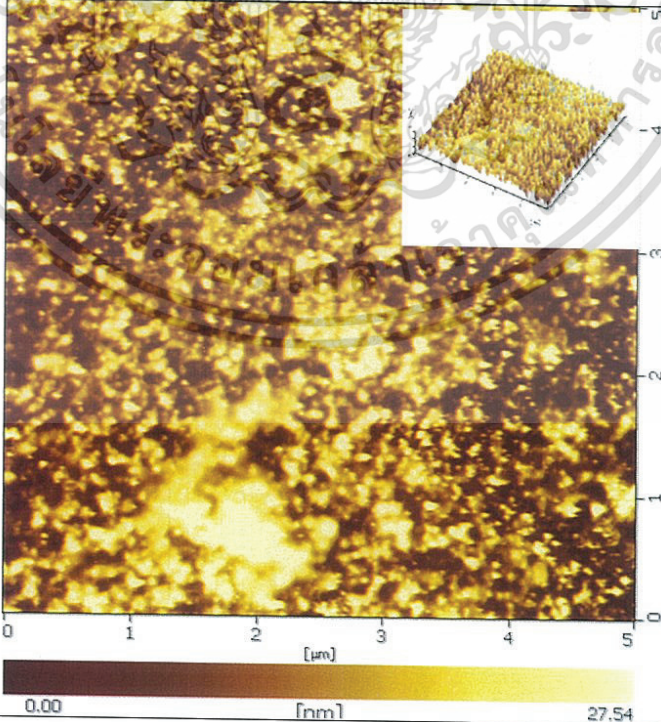
4.9.1 ผลความแตกต่างของจำนวนชั้นฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยเครื่อง AFM

การศึกษาผลความแตกต่างของจำนวนชั้นของฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยการตรวจวัดลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่อง AFM นั้น สามารถตรวจวัดสภาพความสูงต่ำของพื้นผิวได้จากมุมสะท้อนของลำแสงเลเซอร์ที่ยิงลงไป จะและสามารถทราบความแตกต่างของจำนวนชั้นของฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโนได้

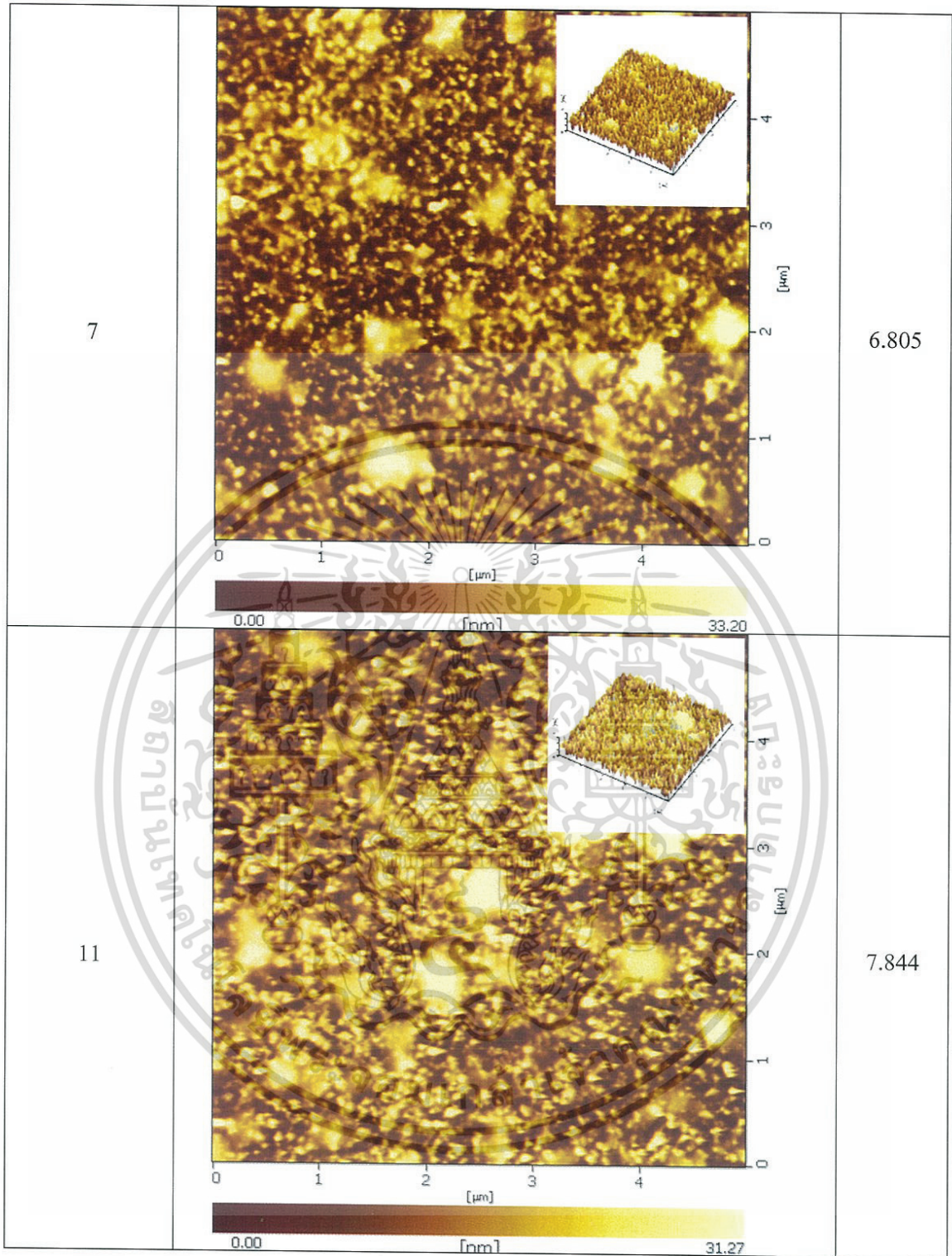
การวิเคราะห์ทำโดยนำสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยสารละลาย PANi-CoPSS ที่มีความเข้มข้น 0.10 wt% มาทำการเคลือบเป็นฟิล์มลงบนแผ่นกระจกให้มีจำนวนชั้นแตกต่างกัน แล้วนำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปส่องด้วยเครื่อง AFM เพื่อศึกษาค่าความแตกต่างของลักษณะพื้นผิวได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ภาพ AFM และ ค่า R_{RMS} ของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่จำนวนชั้นที่แตกต่างกัน

จำนวนชั้น	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM)	ค่า R_{RMS}
1		5.494
5		5.806

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



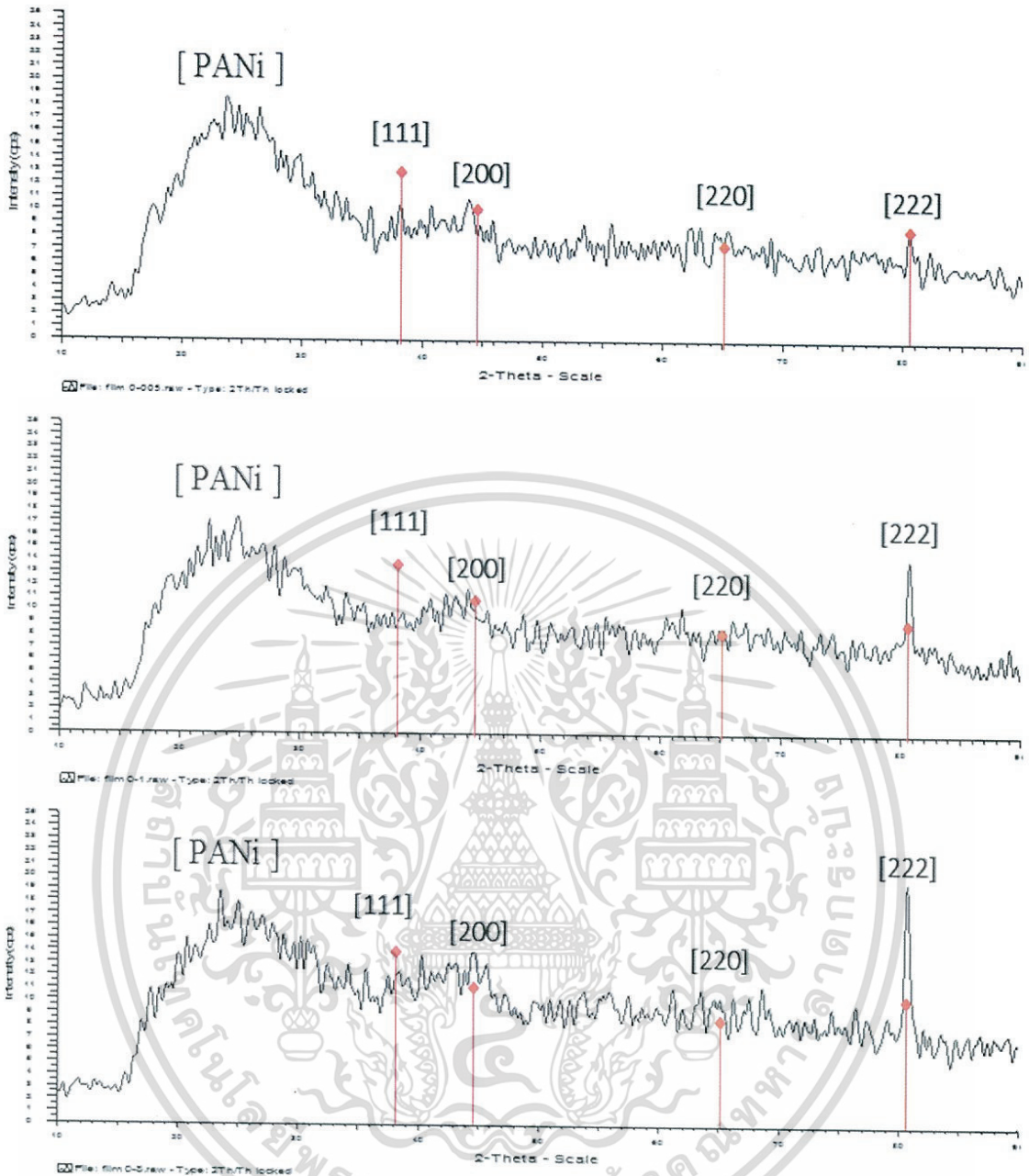
จากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่ารูปร่างของอนุภาคต่างๆบนฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่เคลือบให้มีจำนวนชั้นแตกต่างกัน จะมีรูปร่างเป็นทรงกลม มีขนาดของแตกต่างกัน และสังเกตได้ว่าบริเวณที่มีอนุภาคเงินในระดับนาโนอยู่เกาะกลุ่มเป็นจำนวนมากนั้นฟิล์มก็จะมีความสูงมาก โดยบนฟิล์มที่จำนวนชั้น 1 ชั้นจะมีความเรียบและอนุภาคเล็กที่สุด เมื่อจำนวนชั้นมากขึ้น ความสูงของชั้นฟิล์มจะเพิ่มขึ้น และมีอนุภาคขนาดใหญ่มากขึ้นซึ่งอาจจะเป็นอนุภาคของ PANi-CoPSS ที่ล้อมรอบอยู่บนอนุภาคเงินในระดับนาโนหรืออนุภาคเงินในระดับนาโนที่ถูกซ้อนทับกันหลายชั้น ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AFM นั้น สามารถเห็นพื้นผิวของฟิล์มได้และสามารถทราบลักษณะของพื้นผิวของฟิล์มได้โดยแสดงตาม ค่า R_{RMS} (Roughness root mean squared) หรือค่าที่แสดงถึงลักษณะพื้นผิวโดยรวม ซึ่งคำนวณจากทั้งส่วนที่นูนขึ้นมาและส่วนที่เป็นร่อง จะเห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นตามลำดับตามจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์ม เมื่อนำผลเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มที่จำนวนชั้นแตกต่างกันแล้วจึงสามารถเลือกจำนวนชั้นที่มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ได้เป็นแผ่นฟิล์มที่มีจำนวนชั้นเท่ากับ 5 และ 7 ชั้น

4.9.2 วิเคราะห์ลักษณะของฟิล์มบางอนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยเครื่อง XRD

ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของตัวอย่างสามารถแยกแยะประเภทและชนิด ว่ามีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบใดหรือจำแนกได้ว่าวัสดุที่พบเห็นนั้นเป็นธาตุชนิดใดโดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่างๆเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่ทำการตรวจวัด โดยตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์ได้แก่อนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีความเข้มข้นของ PANi-CoPSS เท่ากับ 0.005, 0.10 และ 0.80 wt% ซึ่งแสดงดังรูปภาพที่ 4.25





รูปที่ 4.25 รูปแบบของ XRD ในอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ความเข้มข้นของ PANi-CoPSS เท่ากับ 0.005, 0.10 และ 0.80 wt% ตามลำดับ

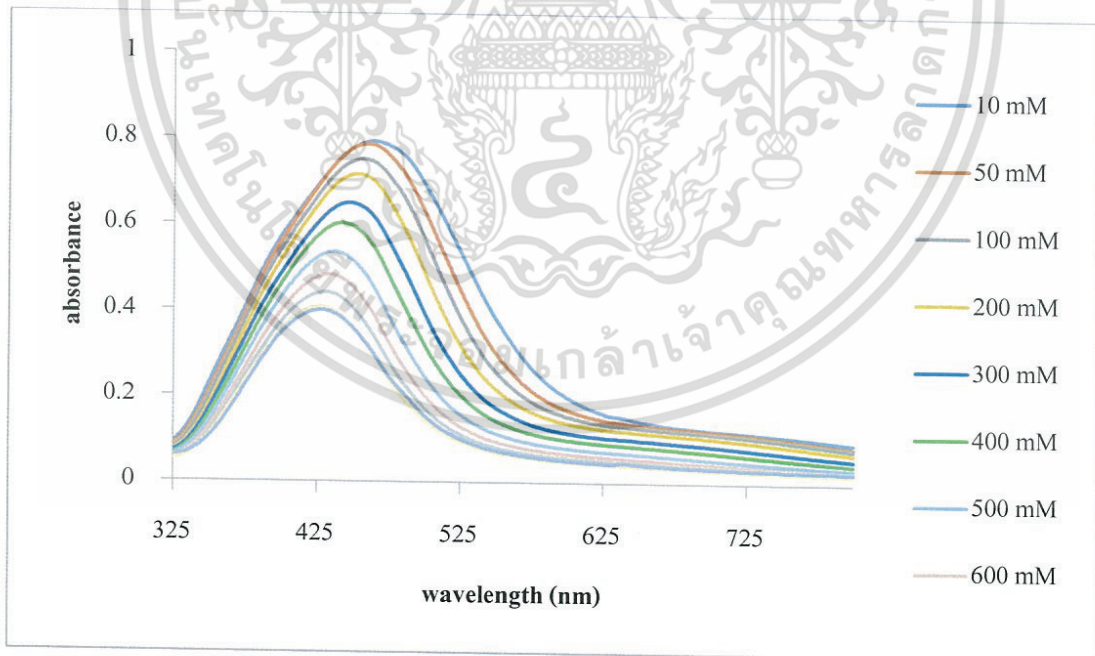
จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของอนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยเครื่อง XRD จะเห็นสเปกตรัมที่มีขนาดใหญ่ที่สุดมีค่า 2θ ประมาณ 24° ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเลี้ยวเบนของผลึกโครงสร้างของ PANi-CoPSS ส่วนค่า 2θ ที่ $39^\circ, 46^\circ, 77^\circ$ และ 82° ซึ่งเกี่ยวข้องกับการหักเหแสงของโครงสร้างผลึกของอนุภาคเงินที่ [111], [200], [220] และ [222] ตามลำดับ ดังนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่าฟิล์มที่เคลือบบนกระจกนั้นเป็นโครงสร้างของอนุภาคเงิน และ PANi-CoPSS ซึ่งยืนยันได้จากการเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มที่ประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลายแอมโมเนีย

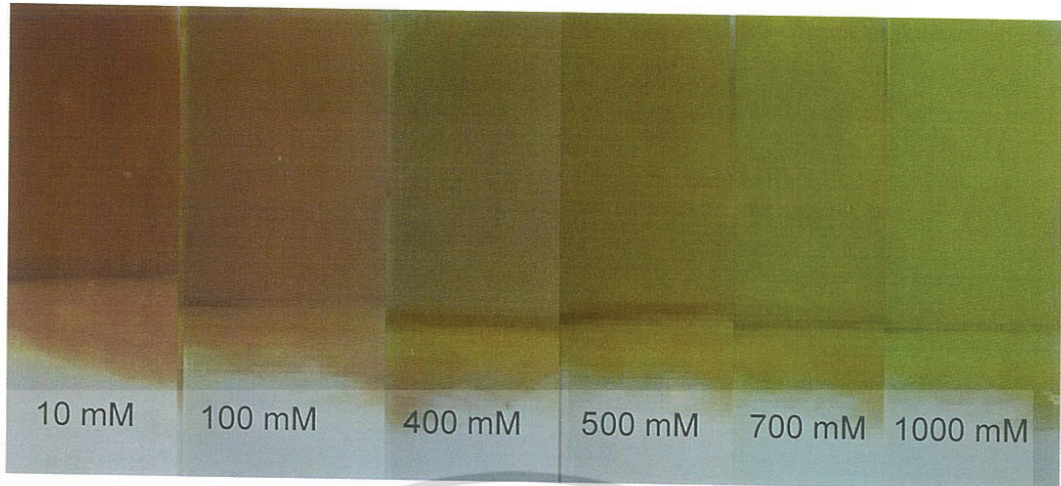
แผ่นฟิล์มที่สร้างจากพอลิเมอร์นำไฟฟ้า โดยเฉพาะ พอลิอะนิลีน และอนุพันธ์มีการนำมาประยุกต์ใช้งานในกระบวนการที่หลากหลาย และในช่วงหลายปีที่ผ่านมาฟิล์มของพอลิอะนิลีนและอนุพันธ์ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดโมเลกุลของสารละลายทางเคมี เช่น สารละลายแอมโมเนีย (NH_3) เนื่องจากสามารถตอบสนองได้ไว ตรวจวัดได้ทีหลายระดับความเข้มข้นและมีความเสถียรในระหว่างการใช้งานอีกด้วย

เมื่อนำแผ่นฟิล์มที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคเงินในระดับนาโนมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดสารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยการนำแผ่นฟิล์มที่สังเคราะห์ได้นั้นมาแช่ในสารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน แล้วจึงนำมาทำการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer เพื่อศึกษาความสามารถของตัวตรวจวัดและความเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดกลืนแสง เพื่อให้ทราบความไวในการตอบสนองของแผ่นฟิล์มเมื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดสารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนเมื่อประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



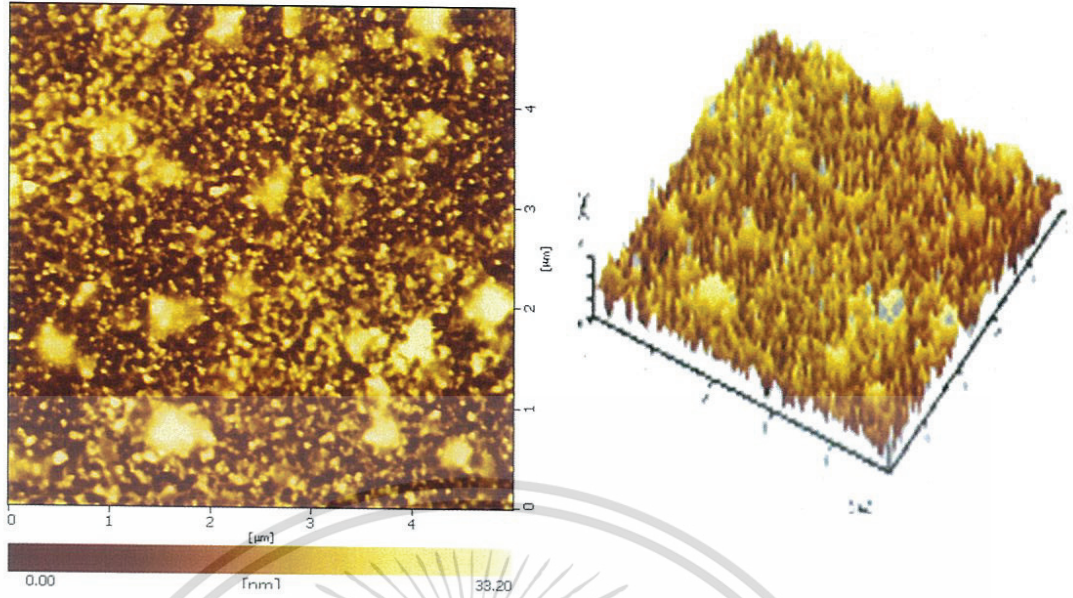
รูปที่ 4.27 สีของฟิล์มที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้นต่างๆ

จากผลการวิเคราะห์แผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดสารละลายแอมโมเนียที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ในรูปที่ 4.26 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้แผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนตรวจวัดสารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงตามไปด้วย แม้จะเพิ่มความเข้มข้นขึ้นเพียงนิดเดียวก็สามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน ค่าการดูดกลืนแสงที่ลดต่ำลงแสดงให้เห็นถึงสีของแผ่นฟิล์มที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจสอบนั้นเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน โดยสีของแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดสารละลายแอมโมเนียนั้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนีย สีบนแผ่นฟิล์มจากสีส้มเข้มจะค่อยๆ เปลี่ยนไปเป็นสีเหลือง ดังแสดงในรูป จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นนั้น สามารถประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดสารละลายแอมโมเนียที่มีความไวในการตอบสนองต่อความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียในระดับต่างๆ ได้สูง

ผลการตรวจวัด AFM ของแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนหลังจากประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลายแอมโมเนีย

เมื่อนำฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนหลังจากประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดสารละลายแอมโมเนียไปตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่ตรวจวัดสารละลายแอมโมเนียด้วยเครื่อง AFM เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงว่าแผ่นฟิล์มที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดนั้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง พื้นผิวของแผ่นฟิล์มมีลักษณะเปลี่ยนไปจากเดิม (ก่อนการประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดสารละลายแอมโมเนีย) อย่างไรบ้าง โดยสามารถอธิบายลักษณะพื้นผิวของฟิล์มได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ได้ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A)

(B)

รูปที่ 4.27 ภาพพื้นผิวของแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนจากเครื่อง AFM โดย (A) ภาพฟิล์มก่อนตรวจวัดสารละลายแอมโมเนีย และ (B) ภาพฟิล์มหลังตรวจวัดสารละลายแอมโมเนีย

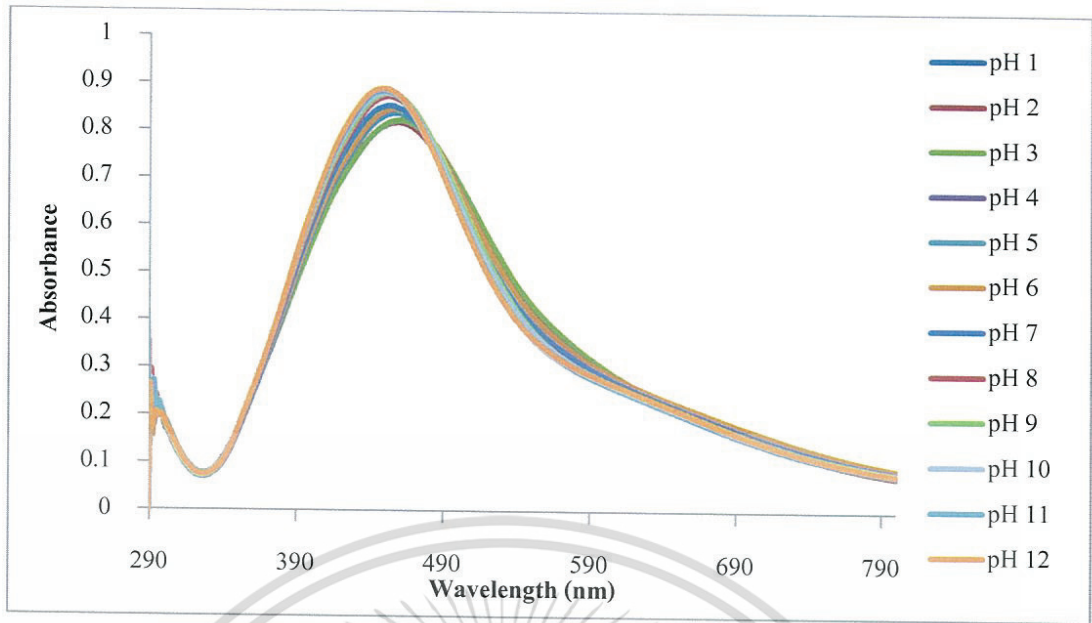
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AFM ในรูปที่ 4.27 พบว่า แผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยอนุภาคเงินในระดับนาโนหลังการประยุกต์ตรวจวัดสารละลายแอมโมเนียนั้นมีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมวางเรียงกันอยู่บนพื้นผิว (Substrate) อย่างไม่สม่ำเสมอ ฟิล์มฟิล์มไม่หยาบมาก และสามารถสังเกตเห็นช่องว่างที่เกิดขึ้นบนแผ่นฟิล์มได้ ซึ่งอนุภาคนั้นมีขนาดแตกต่างกัน โดยค่า R_a (Roughness average) คือค่าเฉลี่ยความสูงเฉพาะส่วนที่นูนขึ้นมา มีค่าเท่ากับ 2.230 และ ค่า R_{RMS} (Roughness root mean squared) คือค่าที่แสดงถึงลักษณะพื้นผิวโดยรวมซึ่งคำนวณจากทั้งส่วนที่นูนขึ้นมาและส่วนที่เป็นร่อง มีค่าเท่ากับ 3.038 จากการเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยอนุภาคเงินในระดับนาโนก่อนการประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดสารละลายแอมโมเนีย นั้น ค่าทั้งสอง (R_a , R_{RMS}) มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น คือมีการปรับลดลงจากเดิม นั้นหมายความว่า เมื่อนำแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนมาประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลายแอมโมเนีย พื้นผิวของฟิล์มจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

4.11 ค่าการดูกลืนแสงของฟิล์มที่ประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลายที่มี pH แตกต่างกัน

positive potential of the hydrogen ions (pH) หมายถึง หน่วยวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งมีช่วงระหว่าง 0-14 เป็นค่าที่แสดงความเป็นกรดจากปฏิกิริยาของไอออนของไฮโดรเจน (H^+) สามารถทดสอบได้หลายวิธี โดยวิธีที่นิยมและง่ายที่สุดมีสองวิธี คือทดสอบด้วยการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและทดสอบการเปลี่ยนสีด้วยกระดาษลิตมัส สำหรับตัวเลขที่แสดงค่าพีเอช ถ้ามีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าสารนั้นเป็นกลาง ไม่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือเบส ถ้ามีค่าน้อยกว่า 7 แสดงว่าเป็นกรด และถ้ามากกว่า 7 แสดงว่าเป็นเบส

ในการประยุกต์ใช้ฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนเป็นตัวตรวจวัดสารละลายที่มี pH แตกต่างกันนั้น จะเตรียมสารละลายจากน้ำกลั่นแล้วจึงปรับปริมาณความเป็นกรดเบสด้วยสารละลายกรดอะซิติกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้มีค่า pH เท่ากับ 1-12 เพื่อศึกษาความสามารถของแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนว่ามีประสิทธิภาพอย่างไรเมื่อนำไปตรวจวัดสารละลายที่มี pH แตกต่างกันไป และเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าการดูกลืนแสงของฟิล์มด้วย



รูปที่ 4.28 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนเมื่อประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลายที่มีค่า pH แตกต่างกัน

การนำแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนมาประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลายที่มีค่า pH แตกต่างกัน ไม่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงด้วยตาเปล่าได้ เพราะค่า pH ที่ใช้วิเคราะห์มีช่วงที่ไม่ห่างกันมากนัก จึงต้องอาศัยการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของช่วงความยาวคลื่นเมื่อมีการวิเคราะห์สารละลายที่ pH ต่างๆ จากค่าการดูดกลืนแสงที่วิเคราะห์ได้พบว่า เมื่อนำฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนมาประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลายที่มีค่า pH สูงมากขึ้น สเปกตรัมที่ได้จะ shift ไปทางซ้ายซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อนำฟิล์มไปตรวจวัดสารละลายที่ pH ต่างๆ ฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านของคุณสมบัติเชิงแสง คือเปลี่ยนจากสีเหลืองอมส้มของอนุภาคเงินในระดับนาโนไปเป็นสีเหลืองใส จึงทำให้ค่าความยาวคลื่นลดลงจากการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า แผ่นฟิล์มที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดมีความสามารถในการตรวจวัดสารละลายที่ pH ต่างๆ ได้ และมีความไวสูงในการตรวจวัดค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไป แม้เพียงแค่ 1 pH เท่านั้น

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการนี้ได้ทำการสังเคราะห์และประดิษฐ์ฟิล์มบางจากวัสดุแต่งประกอบอนุภาคเงินในระดับนาโน-พอลิอะนิลีน ด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ สำหรับประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้เพื่อใช้ทดสอบสารละลายแอมโมเนีย โดยทำการสังเคราะห์ PANi-CoPSS ภายใต้สภาวะการทดลองคือเวลาในการพอลิเมอไรเซชัน 24 ชั่วโมง โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 4 องศาเซลเซียส เลือกสังเคราะห์ที่อัตราส่วนโดยความเข้มข้น 3:10:5 (CoPSS:Aniline:APS, mM) ที่ pH เท่ากับ 5 เนื่องจากการศึกษาผลของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย PANi-CoPSS สามารถแสดงเอกลักษณ์ของพอลิอะนิลีนได้ดีที่ค่า pH เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 (ค่าการดูดกลืนแสงของพอลิอะนิลีนในรูปของเกลือเอ็มเมอริดีนจะขึ้น 2 พีค คือช่วงความยาวคลื่นที่ 400 และ 800 นาโนเมตร) และประกอบกับค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ที่ pH เท่ากับ 5 มีค่าศักย์ไฟฟ้ามากที่สุดจึงเลือก PANi-CoPSS ที่ pH เท่ากับ 5

ต่อมา นำ PANi-CoPSS ไปสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน โดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรท 1 มิลลิโมลาร์ เป็นสารตั้งต้นแล้วใช้สารละลาย PANi-CoPSS มาปรับปริมาตรให้มีความเข้มข้น 1 wt% และจึงทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน ที่มีอัตราส่วนโดยความเข้มข้น (AgNO_3 :PANi: NaBH_4 , mM) เท่ากับ (1:0.005:10), (1:0.1:10) และ (1:0.8:10) จากนั้นจึงได้สารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีสารละลายสีเหลืองอมส้ม เมื่อนำไปวิเคราะห์ TEM พบว่า PANi-CoPSS สามารถเคลือบผิวของอนุภาคเงินในระดับนาโนได้อย่างดี โดยขนาดของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้โดยใช้ PANi-CoPSS ความเข้มข้น 0.005, 0.10, 0.80 wt% มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 20.63, 18.75 และ 15.00 นาโนเมตร ตามลำดับ

ในการประดิษฐ์ฟิล์มบางจากวัสดุแต่งประกอบอนุภาคเงินในระดับนาโน-พอลิอะนิลีน โดยใช้เทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ การเตรียมแผ่นกระจก (Substrate) จะต้องเตรียมให้มีประจุบวก (Polycation) และประจุลบ (Polyanion) โดยใช้สารละลายพอลิไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (PDAD) และสารละลายพอลิไซเดียมสไตรีน (PSS) เคลือบฟิล์มซ้อนทับกันตามลำดับแล้วจึง

เคลือบทับด้วยสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน โดยแช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เป็นการวิเคราะห์ค่า
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำข้อความ
 นี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยฯ หรือมีการนำข้อความนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูคลื่นแสงและคุณสมบัติทางแสงของแผ่นฟิล์มทำให้ทราบว่า เมื่อสังเคราะห์ฟิล์ม โดยใช้ อัตราส่วนของ PANi-CoPSS ที่ 0.10 wt% ให้ฟิล์มที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเพราะ อนุภาคเงิน ในระดับนาโนสามารถเคลือบบนพื้นผิว (Substrate) ได้ดี จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AFM ทำให้ทราบว่า จำนวนชั้นของฟิล์มที่เตรียมหนา 7 ชั้นมีผิวฟิล์มที่ไม่ขรุขระมากนักและมีการกระจายตัว ที่สม่ำเสมอโดยมีค่า R_{RMS} เท่ากับ 6.805 จึงเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลาย แอมโมเนียต่อไป

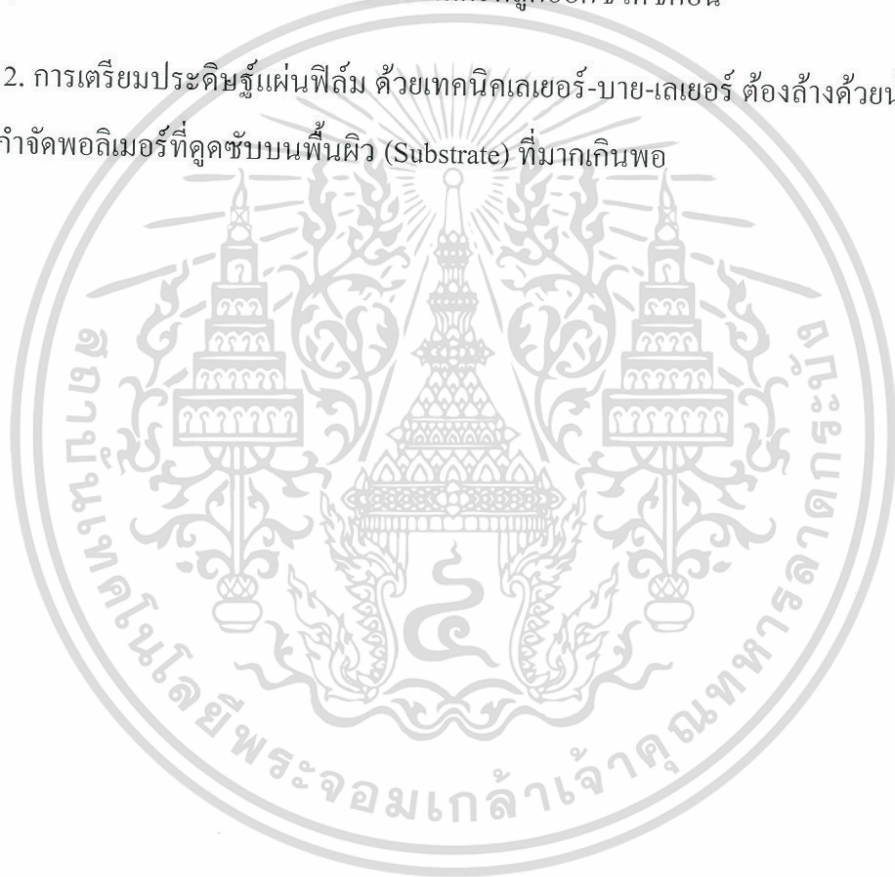
จากการวิเคราะห์ค่าการดูคลื่นแสงพบว่าเมื่อใช้แผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีความหนา 7 ชั้น มาตรวจวัดสารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นค่าการดูคลื่นแสง จะลดลงตามไปด้วย โดยสีของแผ่นฟิล์มนั้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนีย สีบนแผ่นฟิล์มจะค่อยๆเปลี่ยนไปจากสีเหลืองอมส้มจนเป็นสีเหลืองใส และจากการวิเคราะห์ แผ่นฟิล์มหลังจากที่นำไปตรวจวัดสารละลายแอมโมเนียแล้ว โดยใช้เครื่อง AFM พบว่าฟิล์มมี อนุภาคทรงกลมของเงินวางเรียงกันอยู่บนพื้นผิว (Substrate) ซึ่งอนุภาคนั้นมีขนาดแตกต่างกันและ ผิวฟิล์มไม่ขรุขระมากนัก โดยค่า R_{RMS} จากเดิมมีค่าเท่ากับ 6.805 ลดลงเหลือ 3.038 และจากการ นำฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโนมาตรวจวัดสารละลายที่มี pH ต่างกัน ตั้งแต่สารละลายที่มี pH เท่ากับ 1-12 เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าการดูคลื่นแสงสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้จากค่าความ ยาวคลื่นสูงสุดที่ลดลงเมื่อปรับ pH เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าแผ่นฟิล์มอนุภาคเงินในระดับนาโน สามารถประยุกต์ใช้ เป็นตัวตรวจวัดสารละลายแอมโมเนียและสารละลายที่มี pH ต่างกัน ได้ ซึ่งแผ่นฟิล์มที่สร้างขึ้น นั้นมีความไวในการตอบสนองต่อความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียในระดับต่างๆได้ ค่อนข้างสูง

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการสังเคราะห์และประดิษฐ์ฟิล์มบางจากวัสดุแต่งประกอบอนุภาคเงินในระดับนาโน-พอลิเอนิลีน ด้วยเทคนิคเลเซอร์-บાય-เลเซอร์ สำหรับประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้เพื่อใช้ทดสอบสารละลายแอมโมเนีย พบปัญหาและเทคนิคบางประการที่สามารถนำไปปรับปรุงการทดลอง เพื่อให้ผลลัพธ์ออกมาดีที่สุด โดยปัญหาและข้อเสนอแนะมีดังนี้

1. การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน ต้องเติมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในขั้นตอนสุดท้าย เพื่อไม่ให้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทถูกออกซิไดซ์ก่อน
2. การเตรียมประติมากรรมแผ่นฟิล์ม ด้วยเทคนิคเลเซอร์-บાય-เลเซอร์ ต้องล้างด้วยน้ำสะอาดทุกครั้งเพื่อกำจัดพอลิเมอร์ที่ดูดซับบนพื้นผิว (Substrate) ที่มากเกินไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] www.neutron.rmutphysics.com/sciencenews/index.php?option=com_content&task=view&id=470&Itemid=0&limit=1&limitstart=7
- [2] www.vcharkarn.com/varticle/324
- [3] www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit2-5.html
- [4] www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9510000128559
- [5] www.student.chula.ac.th/~53370750/nano%20cloth.html
- [6] www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9510000020403
- [7] promgong.wordpress.com/2007/07/19/ซิลเวอร์นาโนฆ่าเชื้อได้-2/
- [8] www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9520000043163
- [9] T. Joseph and M. Morrison, Nanotechnology in agriculture and food. Europ Nanotechnology Gateway, Nanoforum report, 2006. Available from www.nanoforum.org
- [10] www.manager.co.th/science/viewnews.aspx?NewsID=9560000103860
- [11] nstda.or.th/rural/public/100%20articles-stkc/33.pdf
- [12] <http://th.wikipedia.org/wiki/นาโนเทคโนโลยี>
- [13] <http://www.vcharkarn.com/varticle/352>
- [14] archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2552/aphys0852pp_ch2.pdf
- [15] http://nanotech-me.blogspot.com/2009_12_01_archive.html (befor14) p8
- [16] disayaphong.wordpress.com/2008/11/03/nanosilver/
- [17] www.prime-nano.com/#!ag/c132q
- [18] Morones, J.R., *et al*, *Nanotechnology*, 16, 2346 (2005). The bactericidal effect of silver nanoparticles
- [19] www.chemistry.science.msu.ac.th/download/K_L/Acid_base.pdf
- [20] nanotech-me.blogspot.com/2009/12/silver-nano.html
- [21] Detsri, E., Dubas, S. T. Interfacial polymerization of polyaniline and its Layer by Layer assembly into polyelectrolyte multilayer thin film *Journal of Applied polymer Science* 2013.1.28, 558-565
- [22] www.journal.kmutnb.ac.th/journal/49106255413454.pdf
- [23] K. Hatada, T. Kitayama, *Macromolecular design of polymeric materials*, Marcel Dekker, Inc., 1997, USA.
- [24] openi.nlm.nih.gov/detailedresult.php?img=3231435_sensors-11-06425f3&req=4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [25] www.smela.umd.edu/polymer-actuators/pani-fiber.html
- [26] <http://www.seem.kmutt.ac.th/research/pentec/download/Chapter2011.pdf>
- [27] J. Stejskal, A. Riede, D. Hlavatá, J. Prokeá M.Helmstedt, and P. Holler, "The effect of polymerization temperature on molecular weight, crystallinity, and electrical conductivity of polyaniline," *Synthetic Metals*, vol. 96, pp.55-61, 1998
- [28] W.A. Gazotti and M.-A. De Paoli, "High yieldpreparation of a soluble polyaniline derivative,"*Synthetic Metals*, vol. 80, pp. 263-269, 1996.
- [29] Jinsung Park *et al* 2012 *Nanotechnology* 23 365705. The work function of doped polyaniline nanoparticles observed by Kelvin probe force microscopy
- [30] Huang and Zhang, 2001; Kong et al., 2010;The high flux poly(m-phenylene isophthalamide) nano filtration membrane for dye purification and desali-nation *Desalination* 282 :19-26
- [31] R. K. Iler (1966). "Multilayers of colloidal particles". *Journal of Colloid and Interface Science* 21: 569. doi:10.1016/0095-8522(66)90018-3
- [32] Gero Decher, Jong-Dal Hong (2011). "Buildup of ultrathin multilayer films by a self-assembly process, consecutive adsorption of anionic and cationic bipolar amphiphiles on charged surfaces". *Macromolecular Symposia* 46: 321. doi:10.1002/masy.19910460145
- [33] Fuoss RM, Sadek H. Mutual interaction of polyelectrolytes. *Science* 1949; 110: 552-554
- [34] Thünemann AF, Müller M, Dautzenberg H, Joanny JF, Löwen H. Polyelectrolyte complexes. *Adv Polym Sci* 2004; 166: 16-33
- [35] Lankalapalli S, Kolapali VRM. Polyelectrolyte complexes: A review of their applicability in drug delivery technology. *Indian J Pharm Sci* 2009; 71(5): 481-487
- [36] Thoedtoon Champaiboon ,2007 .Polyelectrolyte multilayer film containing polydiacetylene vesicles for naked eye detection of aromatic compounds, Chulalongkorn University
- [37] Dhawan, S.K.; Kumar, D.; Ram, M.K.; Chandra, S.; Trivedi, D.C. 1997. "Application of conducting polyaniline as sensor material for ammonia" *Sens. Actuators, B* 40, 99.
- [38] Ambrosi, A.; Morrin, A.; Smyth, M.R.; Killard, A.J. 2008. "The application of conducting polymer nanoparticle electrodes to the sensing of ascorbic acid" *Anal. Chim. Acta* 609, 37.
- [39] H. Guo, H. Zhu, H. Lin, and J. Zhang, "Polyaniline/Fe₃O₄ nanocomposites synthesized under the direction of cationic surfactant," *Materials Letters*, vol. 62, pp.2196-2199, 2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การคัดลอกหรือการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [40] O. Ngamna, A. Moorrin, A.J. Killard, S.E.Moulton, M.R. Smyth, and G.G. Wallace, "Inkjet Printable Polyaniline Nanoformulations," *Langmuir*, vol.23, pp. 8569-8574, 2007.]
- [41] A. Morrin, F. Wilbeer, O. Ngamna, S.E.Moulton, A.J. Killard, G.G. Wallace, and M.R.Smyth, "Novel biosensor fabrication methodology based on processable conducting polyaniline nanoparticles," *Electrochemistry Communications*, vol.7, pp.317-322, 2005.
- [42] <https://fys.kuleuven.be/iks/nvsf/experimental-facilities/x-ray-diffraction-2013-bruker-d8-discover>
- [43] orgchem.colorado.edu/Spectroscopy/irtutor/aminesir.html
- [44] <http://www.home.agilent.com/agilent/editorial.jsp?cc=TH&lc=eng&ckey=1774141&nid=-33986.0.02&id=1774141>
- [45] <https://sjhsrce.wikispaces.com/AFM>
- [46] www.nano.kmitl.ac.th/index.php/tool/219-atomic-force-microscope-afm-.html
- [47] www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html
- [48] physics.ucf.edu/~roldan/gallery.html
- [49] faculty.sdmiramar.edu/fgarces/LabMatters/Instruments/UV_Vis/Cary50.htm
- [50] cnx.org/content/m34525/latest/
- [51] <http://share.psu.ac.th/blog/easysci/17648>
- [52] <http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/micro-analysis-instrument-menu/item/178-zetasizer-nano-zs90.html>
- [53] http://en.wikipedia.org/wiki/File:Diagram_of_zeta_potential_and_slipping_planeV2.svg
- [54] วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 ม.ค. - เม.ย. 2554 The Journal of KMUTNB., Vol. 21, No. 1, Jan. - Apr. 2011
- [55] Yu.A. Krutyakov, A.A. Kudrinsky, A.Yu. Olenin, G.V. Lisichkin. Synthesis of highly stable silver colloids stabilized with water soluble sulfonated polyaniline. *Applied Surface Science*. (2010) 7037–7042
- [56] Sofiane Bouazzaa,*, Veronique Alonzob, Didier Haucharda. Synthesis and characterization of Ag nanoparticles–polyaniline composite powder material. *Synthetic Metals*. (2009) 1612–1619
- [57] P. Paulraj, N. Janaki, S. Sandhya, K. Pandian*. Single pot synthesis of polyaniline protected silver nanoparticles by interfacial polymerization and study its application on

electrochemical oxidation of hydrazine. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 377 (2011) 28–34

- [58] Shengyu Jing a, Shuangxi Xing a,b, Lianxiang Yu b, Yan Wua, Chun Zhao a. Synthesis and characterization of Ag/polyaniline core–shell nanocomposites based on silver nanoparticles colloid. *Materials Letters* 61 (2007) 2794–2797
- [59] Jiangtao Chen, Jie Yang, Xingbin Yan*, Qunji Xue. NH₃ and HCl sensing characteristics of polyaniline nanofibers deposited on commercial ceramic substrates using interfacial polymerization. *Synthetic Metals* 160 (2010) 2452–2458



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
การเตรียมปริมาณสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การสังเคราะห์พอลิอะนิลีน (PANI) ด้วยเทคนิคการพอลิเมอไรเซชันแบบระหว่างวัฏภาค (Interfacial Polymerization) โดยใช้พอลิสไตรีน-ซัลโฟนิคแอซิดโคมาลติกแอซิด (Co-PSS) เป็นสารเพิ่มการกระจายตัวในชั้นน้ำ

1.1 การเตรียมสารละลายพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดโคมาลติกแอซิด 100 มิลลิโมลาร์

ชั่งพอลิสไตรีน-ซัลโฟนิคแอซิดโคมาลติกแอซิด (Co-PSS) น้ำหนัก 3.44 กรัม ลงในบีกเกอร์ ใช้น้ำกลั่นละลายเล็กน้อยและเทลงขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1.2 การเตรียมสารละลายกรดซัลฟูริก 1 โมลาร์

ตวงกรดซัลฟูริกเข้มข้น 95% ปริมาตร 28.20 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

1.3 การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (APS) 50 มิลลิโมลาร์

ชั่งแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (APS) น้ำหนัก 2.85 กรัม ลงในบีกเกอร์ ใช้น้ำกลั่นละลายเล็กน้อย และเทลงขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1.4 การเตรียมสารละลายอนิไลน์มอนอเมอร์ในคลอโรฟอร์ม 100 มิลลิโมลาร์

ตวงอะนิไลน์มอนอเมอร์ปริมาตร 0.46 มิลลิลิตร โดยใช้ไมโครปิเปต ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยคลอโรฟอร์มจนถึงขีดวัดปริมาตร (เตรียมสารในตู้ดูดควัน)

2. การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน (silvernano) ด้วยพอลิไทรอิน – ซัลโฟนิค แอซิดโคมาลิกแอซิดที่มีค่า pH แตกต่างกัน

2.1 การเตรียมสารละลายพอลิอะนิลีน (PANi-CoPSS) ให้มี pH แตกต่างกันด้วย NaOH

2.1.1 นำสารละลายพอลิอะนิลีน (PANi-CoPSS) ที่สังเคราะห์ได้ ปรับปริมาตรให้มีความเข้มข้น 0.10 weight% ตวงปริมาตร 70 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร 12 ใบ

2.1.2 บด NaOH ให้เป็นผงและเติมลงในสารละลายที่เตรียมไว้ในบีกเกอร์ทีละน้อยเพื่อปรับค่า pH ของสารละลายพอลิอะนิลีน (PANi-CoPSS) ให้ได้ค่า pH 1-12 ตามลำดับ โดยใช้เครื่อง pH meter ในการวัดค่า pH

2.2 การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) 100 มิลลิโมลาร์

ชั่งซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) น้ำหนัก 1.69 กรัมลงในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย และเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

2.3 เตรียมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) 100 มิลลิโมลาร์

ชั่งโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) น้ำหนัก 0.925 กรัม ลงในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย และเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

3. การสังเคราะห์ห่ออนุภาคเงินในระดับนาโน (silvernano) ด้วยสารละลายพอลิอะนิลีน (PANi-CoPSS) ที่มีค่า pH5 โดยความเข้มข้นของสารละลายพอลิอะนิลีนแตกต่างกัน

3.1 การเตรียมสารละลายพอลิอะนิลีน (PANi-CoPSS) 1 wt% และ 0.50 wt% ให้มีค่า pH 5

3.1.1 นำสารละลายพอลิอะนิลีน (PANi-CoPSS) ที่สังเคราะห์ได้ ปรับปริมาตรให้มีความเข้มข้น 1 weight% ปริมาณ 500 มิลลิลิตร และ 0.5 wt% ปริมาณ 500 มิลลิลิตร

3.1.2 บดโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ให้เป็นผง และเติมลงในสารละลายที่เตรียมไว้ทีละน้อยเพื่อปรับค่า pH ของสารละลายพอลิอะนิลีน (PANi-CoPSS) ให้ได้ค่า pH 5 โดยใช้เครื่อง pH meter ในการวัดค่า pH ทำแบบเดียวกันกับอีกความเข้มข้นหนึ่ง

3.2 การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) 100 มิลลิโมลาร์

ชั่งซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) น้ำหนัก 1.69 กรัม ลงในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย และเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

3.3 เตรียมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) 100 มิลลิโมลาร์

ชั่งโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) น้ำหนัก 0.925 กรัม ลงในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย และเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

4. การปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นกระจกด้วยเทคนิคเลเซอร์บายเลเยอร์

4.1 เตรียมสารละลายพอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (PDAD) 10 มิลลิโมลาร์

ปีเปตสารละลายพอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (PDAD) ปริมาตร 7.47 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำดีเอมคลอไรด์ ปริมาณ 58.5 กรัม ลงไปและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

4.2 เตรียมสารละลายพอลิไซเดียมสไตรีนซัลโฟเนต (PSS) 10 มิลลิโมลาร์

ชั่งพอลิไซเดียมสไตรีนซัลโฟเนต (PSS) ปริมาณ 2.06 กรัมและไซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 58.5 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Zeta Potential Report

Sample Details

Sample Name: 2 3
 SOP Name: mansettings.dat
 General Notes:

File Name: 2.dts
 Record Number: 3
 Date and Time:
 Dispersant Name: Water
 Dispersant RI: 1.330
 Viscosity (cP): 0.8872
 Dispersant Dielectric Constant: 78.5

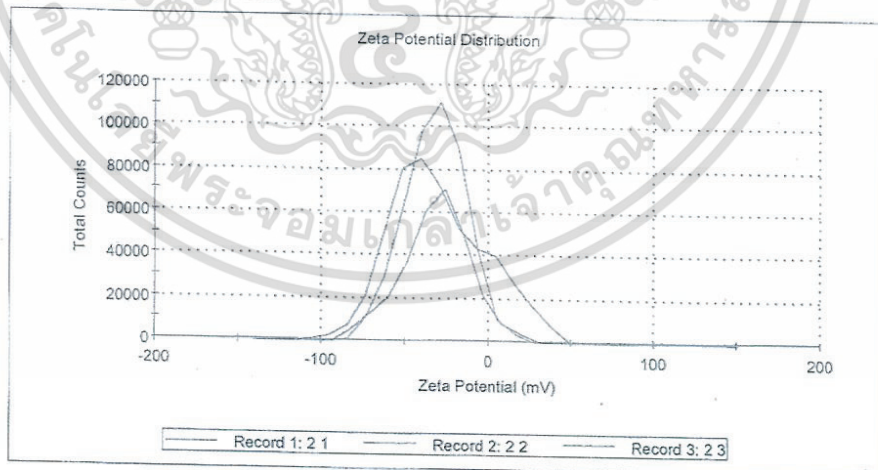
System

Temperature (°C): 25.0
 Count Rate (kcps): 59.5
 Cell Description: Clear disposable zeta cell
 Zeta Runs: 13
 Measurement Position (mm): 2.00
 Attenuator: 6

Results

	Mean (mV)	Area (%)	Width (mV)
Zeta Potential (mV): -31.4	Peak 1: -31.4	100.0	20.6
Zeta Deviation (mV): 20.6	Peak 2: 0.00	0.0	0.00
Conductivity (mS/cm): 5.40	Peak 3: 0.00	0.0	0.00

Result quality Good



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Zeta Potential Report

Sample Details

Sample Name: 3 3
 SOP Name: mansettings.dat
 General Notes:

File Name: 3.dts
 Record Number: 3
 Date and Time:
 Dispersant Name: Water
 Dispersant RI: 1.330
 Viscosity (cP): 0.8872
 Dispersant Dielectric Constant: 78.5

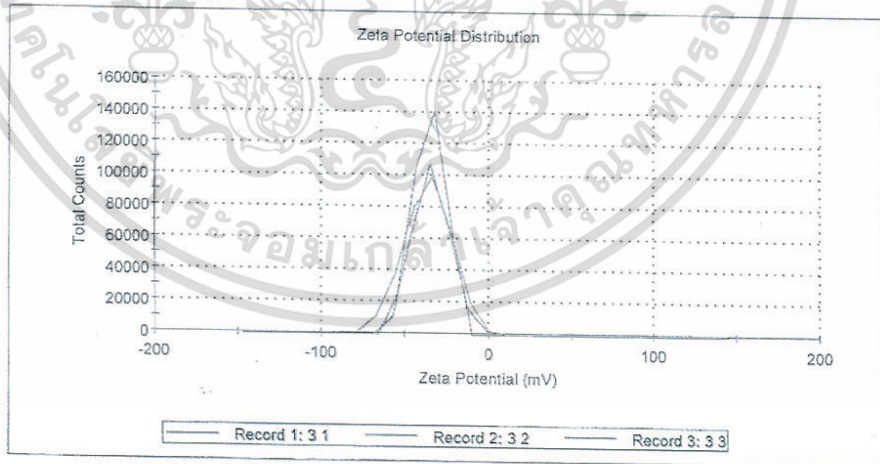
System

Temperature (°C): 25.0
 Count Rate (kcps): 47.0
 Cell Description: Clear disposable zeta cell
 Zeta Runs: 12
 Measurement Position (mm): 2.00
 Attenuator: 5

Results

	Mean (mV)	Area (%)	Width (mV)
Zeta Potential (mV): -34.1	Peak 1: -34.1	100.0	11.1
Zeta Deviation (mV): 11.1	Peak 2: 0.00	0.0	0.00
Conductivity (mS/cm): 5.20	Peak 3: 0.00	0.0	0.00

Result quality Good



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Zeta Potential Report

Sample Details

Sample Name: 4 3
 SOP Name: mansettings.dat
 General Notes:

File Name: 4.dts Dispersant Name: Water
 Record Number: 3 Dispersant RI: 1.330
 Date and Time: Viscosity (cP): 0.8872
 Dispersant Dielectric Constant: 78.5

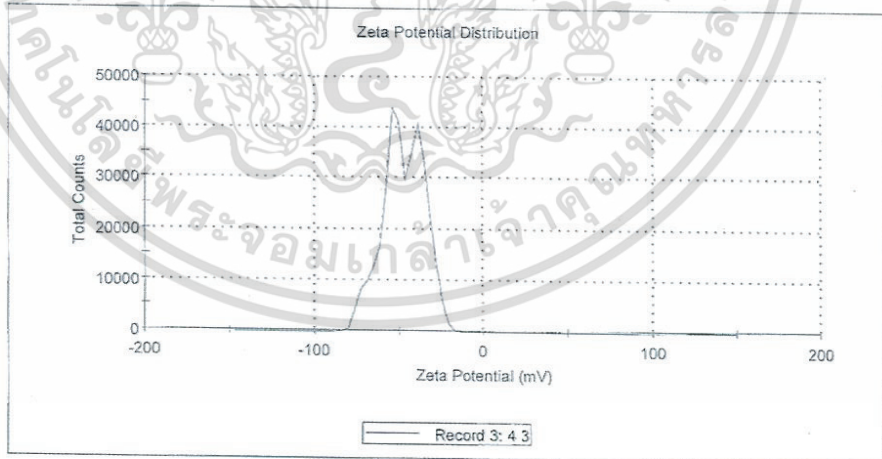
System

Temperature (°C): 25.0 Zeta Runs: 12
 Count Rate (kcps): 98.2 Measurement Position (mm): 2.00
 Cell Description: Clear disposable zeta cell Attenuator: 6

Results

	Mean (mV)	Area (%)	Width (mV)
Zeta Potential (mV): -48.0	Peak 1: -56.7	51.9	7.83
Zeta Deviation (mV): 12.0	Peak 2: -38.6	48.1	6.25
Conductivity (mS/cm): 6.38	Peak 3: 0.00	0.0	0.00

Result quality See result quality report



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Zeta Potential Report

Sample Details

Sample Name: 5 3
SOP Name: mansettings.dat
General Notes:

File Name: 5.dts
Record Number: 3
Date and Time:
Dispersant Name: Water
Dispersant RI: 1.330
Viscosity (cP): 0.8872
Dispersant Dielectric Constant: 78.5

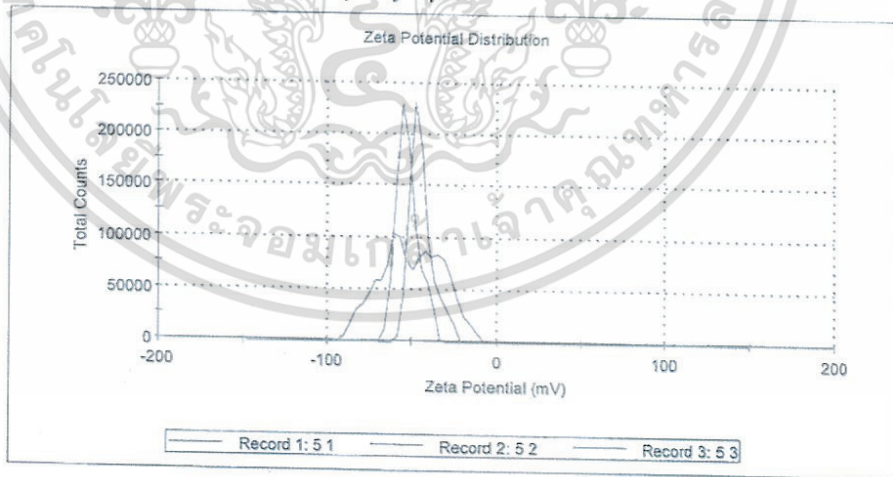
System

Temperature (°C): 25.0
Count Rate (kcps): 345.2
Cell Description: Clear disposable zeta cell
Zeta Runs: 13
Measurement Position (mm): 2.00
Attenuator: 7

Results

	Mean (mV)	Area (%)	Width (mV)
Zeta Potential (mV): -49.9	Peak 1: -63.7	48.3	10.4
Zeta Deviation (mV): 17.8	Peak 2: -29.5	28.9	7.09
Conductivity (mS/cm): 6.40	Peak 3: -43.3	22.8	4.08

Result quality See result quality report



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Zeta Potential Report

Sample Details

Sample Name: 6 3
 SOP Name: mansettings.dat
 General Notes:

File Name: 6.dts Dispersant Name: Water
 Record Number: 3 Dispersant RI: 1.330
 Date and Time: Viscosity (cP): 0.8872
 Dispersant Dielectric Constant: 78.5

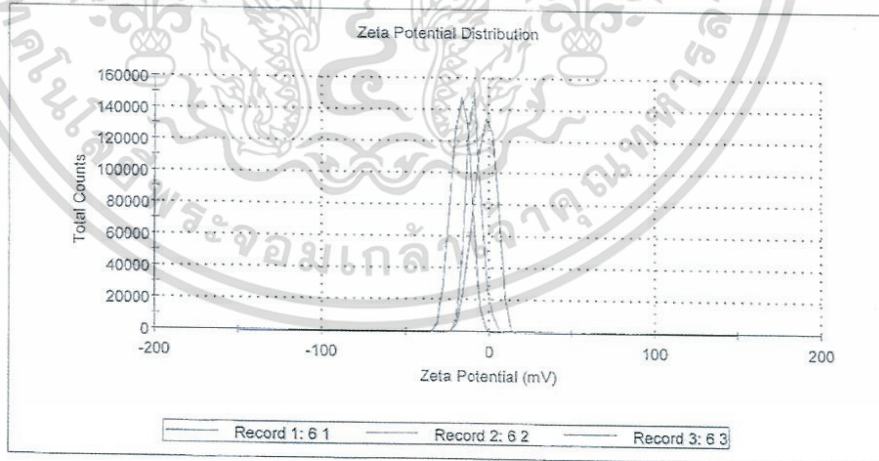
System

Temperature (°C): 25.0 Zeta Runs: 14
 Count Rate (kcps): 133.0 Measurement Position (mm): 2.00
 Cell Description: Clear disposable zeta cell Attenuator: 8

Results

	Mean (mV)	Area (%)	Width (mV)
Zeta Potential (mV): -33.3	Peak 1: -16.9	100.0	5.53
Zeta Deviation (mV): 49.3	Peak 2: 0.00	0.0	0.00
Conductivity (mS/cm): 1.46	Peak 3: 0.00	0.0	0.00

Result quality Good



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Zeta Potential Report

Sample Details

Sample Name: 7 3
 SOP Name: mansettings.dat
 General Notes:

File Name: 7.dts Dispersant Name: Water
 Record Number: 3 Dispersant RI: 1.330
 Date and Time: Viscosity (cP): 0.8872
 Dispersant Dielectric Constant: 78.5

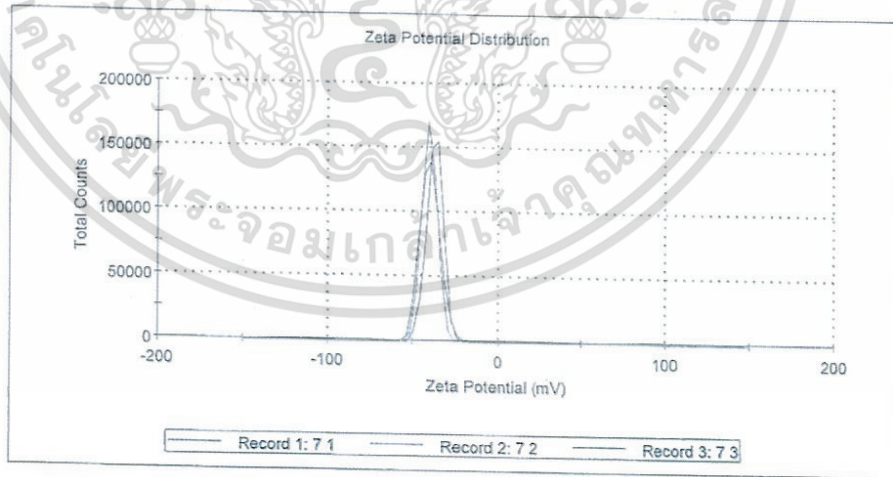
System

Temperature (°C): 25.0 Zeta Runs: 12
 Count Rate (kcps): 74.5 Measurement Position (mm): 2.00
 Cell Description: Clear disposable zeta cell Attenuator: 8

Results

	Mean (mV)	Area (%)	Width (mV)
Zeta Potential (mV): -39.3	Peak 1: -39.3	100.0	5.60
Zeta Deviation (mV): 5.60	Peak 2: 0.00	0.0	0.00
Conductivity (mS/cm): 1.52	Peak 3: 0.00	0.0	0.00

Result quality Good



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Zeta Potential Report

Sample Details

Sample Name: 8 3
 SOP Name: mansettings.dat
 General Notes:

File Name: 8.dts Dispersant Name: Water
 Record Number: 3 Dispersant RI: 1.330
 Date and Time: Viscosity (cP): 0.8872
 Dispersant Dielectric Constant: 78.5

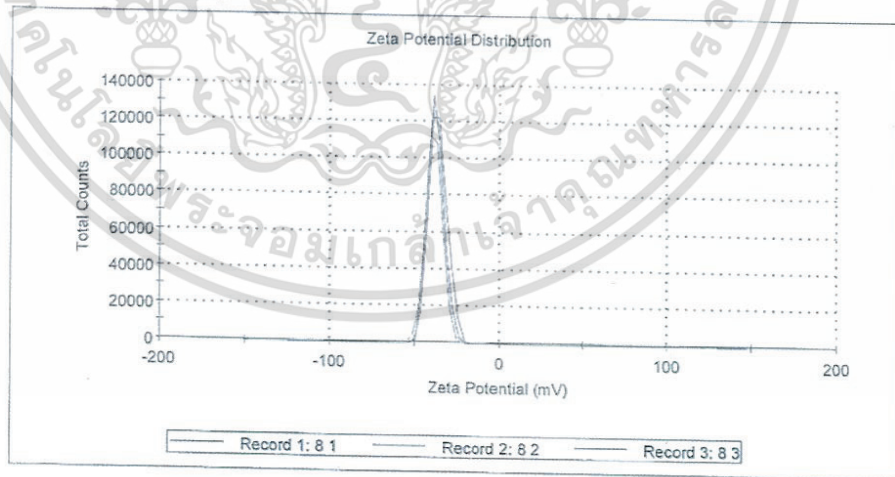
System

Temperature (°C): 25.0 Zeta Runs: 12
 Count Rate (kcps): 344.9 Measurement Position (mm): 2.00
 Cell Description: Clear disposable zeta cell Attenuator: 10

Results

	Mean (mV)	Area (%)	Width (mV)
Zeta Potential (mV): -37.2	Peak 1: -37.2	100.0	4.73
Zeta Deviation (mV): 4.73	Peak 2: 0.00	0.0	0.00
Conductivity (mS/cm): 1.47	Peak 3: 0.00	0.0	0.00

Result quality Good



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Zeta Potential Report

Sample Details

Sample Name: 9 3
 SOP Name: mansettings.dat
 General Notes:

File Name: 9.dts	Dispersant Name: Water
Record Number: 3	Dispersant RI: 1.330
Date and Time:	Viscosity (cP): 0.8872
	Dispersant Dielectric Constant: 78.5

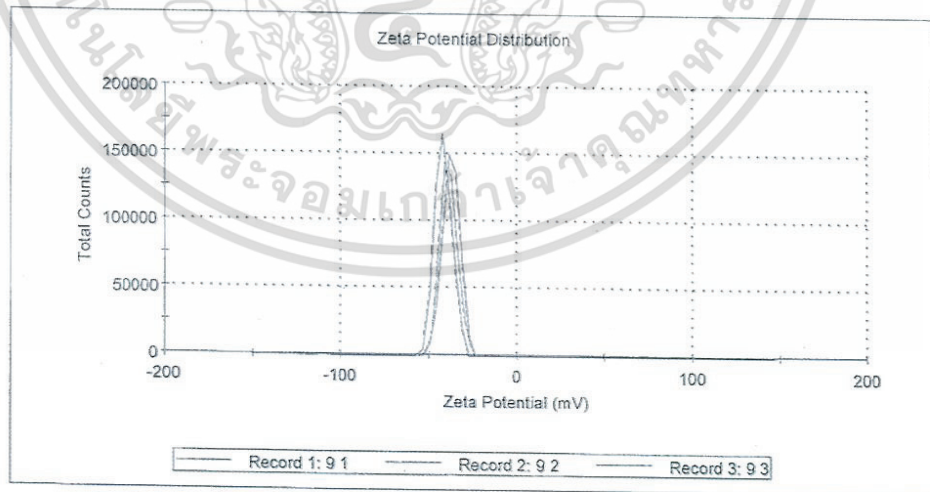
System

Temperature (°C): 25.0	Zeta Runs: 13
Count Rate (kcps): 288.4	Measurement Position (mm): 2.00
Cell Description: Clear disposable zeta cell	Attenuator: 8

Results

	Mean (mV)	Area (%)	Width (mV)
Zeta Potential (mV): -41.7	Peak 1: -41.7	100.0	4.74
Zeta Deviation (mV): 4.74	Peak 2: 0.00	0.0	0.00
Conductivity (mS/cm): 1.50	Peak 3: 0.00	0.0	0.00

Result quality Good



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Zeta Potential Report

Sample Details

Sample Name: 10 3

SOP Name: mansettings.dat

General Notes:

File Name: 10.dts

Dispersant Name: Water

Record Number: 3

Dispersant RI: 1.330

Date and Time:

Viscosity (cP): 0.8872

Dispersant Dielectric Constant: 78.5

System

Temperature (°C): 25.0

Zeta Runs: 15

Count Rate (kcps): 25.3

Measurement Position (mm): 2.00

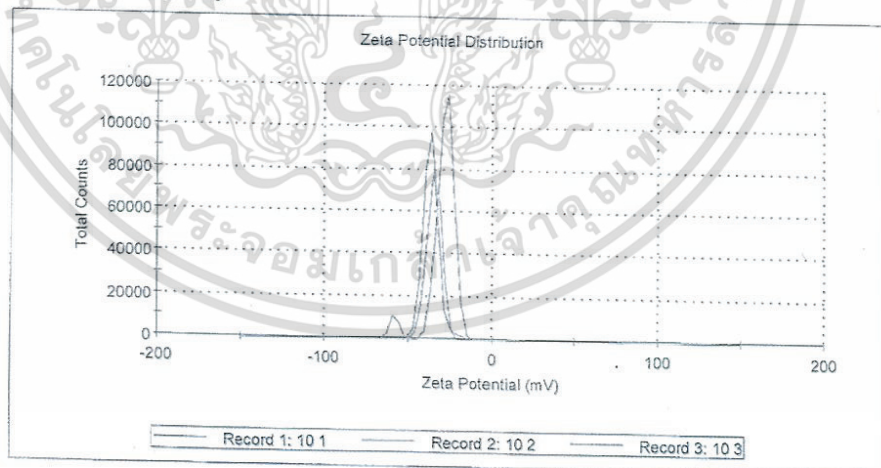
Cell Description: Clear disposable zeta cell

Attenuator: 7

Results

	Mean (mV)	Area (%)	Width (mV)
Zeta Potential (mV): -36.7	Peak 1: -36.7	100.0	4.35
Zeta Deviation (mV): 4.35	Peak 2: 0.00	0.0	0.00
Conductivity (mS/cm): 1.43	Peak 3: 0.00	0.0	0.00

Result quality Good



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Zeta Potential Report

Sample Details

Sample Name: 113
SOP Name: mansettings.dat
General Notes:

File Name: 11.dts
Record Number: 5
Date and Time:
Dispersant Name: Water
Dispersant RI: 1.330
Viscosity (cP): 0.8872
Dispersant Dielectric Constant: 78.5

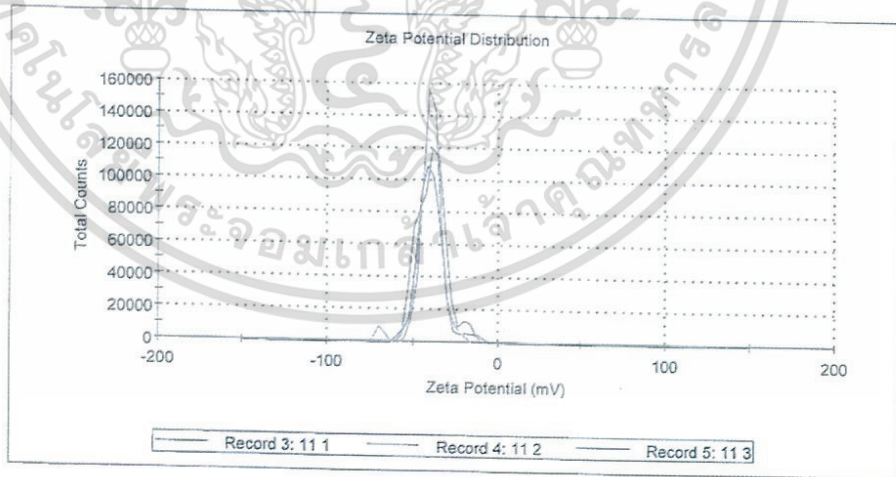
System

Temperature (°C): 25.0
Count Rate (kcps): 261.7
Cell Description: Clear disposable zeta cell
Zeta Runs: 12
Measurement Position (mm): 2.00
Attenuator: 9

Results

	Mean (mV)	Area (%)	Width (mV)
Zeta Potential (mV): -38.4	Peak 1: -40.4	95.4	6.51
Zeta Deviation (mV): 8.00	Peak 2: -16.5	4.6	4.71
Conductivity (mS/cm): 1.47	Peak 3: 0.00	0.0	0.00

Result quality Good



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ - สกุล นางสาว จีราภรณ์ เทพกฤษร
 วัน เดือน ปีเกิด 30 มิถุนายน 2535
 ประวัติการศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนสารวิทยา ปีการศึกษา 2552
 ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง



ชื่อ - สกุล นางสาว นันทมนัส กองแก้ว
 วัน เดือน ปีเกิด 3 กุมภาพันธ์ 2535
 ประวัติการศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนสาริตมมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
 ปีการศึกษา 2552
 ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง



ชื่อ - สกุล นางสาว ปรศนี มีชานาญ
 วัน เดือน ปีเกิด 7 กันยายน 2534
 ประวัติการศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนฤทธิยะวรรณาลัย ปีการศึกษา 2552
 ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Name (Thai): เอกรัฐ เดชศรี

Name (Eng): EKARAT DETSRI

Branch: Analytical Chemistry /เคมีวิเคราะห์

Position: Asst. Prof. (Chemistry) /ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาเคมี)

Tel: 02-3298400-11 ext. 6234

Fax: 02-3298428

E-mail: Ekarat.de@Kmitl.ac.th

Office address: Chulabhorn 1 Building, 5th Floor, Room 501/2, Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang 1 Chalongkrung Road, Ladkrabang District, Bangkok 10520, Thailand

Education:

- 2002 B.S. Chemistry, Khon Kaen University, Thailand
2545 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- 2005 M.S. Analytical Chemistry, Chiang Mai University, Thailand
2548 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- 2012 Ph.D. International Program in Nanoscience and Technology, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand
2555 วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตรนาโนและเทคโนโลยี) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Current research activities:

- Electro-optical sensor based on plasmonic devices
- Surface modification of carbon based materials
- Polyelectrolyte multilayer nano thin films
- Electrochemistry

International publications:

1. **Detsri, E.**, Kamhom, K., Detsri C., Microwave-assisted synthesis of unmodified gold nanoparticles for colorimetric detection of dopamine, Key Eng Mat. 2017 30(1662-9795), 167-171. (Impact factor: 0.216/2015), Content provided by Scopus
2. **Detsri, E.**, Rujipornsakul, R., Treetasayoot, T., Siriwattanamethanon, P., Nanostructured multilayer thin films of multiwalled carbon nanotubes/gold nanoparticles/glutathione for the



- electrochemical detection of dopamine, *Int J Min Met Mater.* 2016 23(10), 1204-1214. (Impact factor: 0.882/2016), Content provided by ISI
3. **Detsri, E.,** Kamhom, K., Ruen-ngam, D., Layer-by-layer deposition of green synthesised silver nanoparticles on polyester air filters and its antimicrobial activity, *J. Exp. Nanosci.* 2016 11(12), 930-939. (Impact factor: 0.832/2016), Content provided by ISI
 4. **Detsri, E.,** Novel colorimetric sensor for mercury (II) based on layer-by-layer assembly of unmodified silver triangular nanoplates, *Chin. Chem. Lett.* 2016, 27(10), 1635-1640. (Impact factor: 1.947/2016), Content provided by ISI
 5. **Detsri, E.,** Popanyasak, J., Fabrication of silver nanoparticles/polyaniline composite thin films using Layer-by-Layer self-assembly technique for ammonia sensing, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 2015, 467, 57-65. (Impact factor: 2.763/2015), Content provided by ISI
 6. **Detsri, E.,** Popanyasak, J., Laomaneenopparat, N., Warngbun, K., UV-assisted synthesis of silver nanoparticles using poly(acrylic acid) for colorimetric ammonia sensing, *Advanced Materials Research* 2015, 1105, 225-230. (Impact factor: 0.077/2015)
 7. **Detsri, E.,** Dubas, S. T, Layer-by-layer deposition of cationic and anionic carbon nanotubes into thin films with improved electrical properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 2014, 444, 89-94. (Impact factor: 2.495/2014), Content provided by ISI
 8. **Detsri, E.,** Dubas, S. T, Interfacial polymerization of polyaniline and its layer-by-layer assembly into polyelectrolytes multilayer thin-film, *Journal of Applied Polymer Science.* 2013, 128, 558-565. (Impact factor: 1.754/2013), Content provided by ISI
 9. **Detsri, E.,** Dubas, S. T, Dispersion of multiwalled carbon nanotubes with water-soluble polyaniline blend poly(sodium 4-styrenesulfonate), *Applied Mechanics and Materials.* 2012, 229, 223-227. (Impact factor: 0.099/2012), Content provided by Scopus

สรุปการใช้จ่ายเงิน

หมวดค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย (บาท)
งบบุคลากร :ค่าจ้างชั่วคราว	
งบดำเนินงาน	
ค่าตอบแทน	-
ค่าใช้สอย	25,000
ค่าวัสดุ	25,000
ค่าสาธารณูปโภค	-
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	-
รวมงบประมาณที่จ่ายไปแล้ว	50,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ **120** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

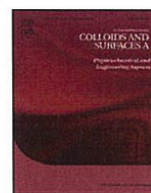
การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

International publication

1. **Detsri, E.**, Popanyasak, J., Fabrication of silver nanoparticles/polyaniline composite thin films using Layer-by-Layer self-assembly technique for ammonia sensing, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 2015, 467, 57–65. (Impact factor: 2.763/2015), Content provided by ISI

International conference

1. Jeeraporn Thepkunchon, Nanmanas Kongkeao, Passanee Meechamnun, Jittaporn Popanyasak, Ekarat Detsri, Layer-by-Layer self-assembly of silver nanoparticles/polyaniline composite thin films for ammonia sensing, *Pure and Applied Chemistry International Conference 2015 (PACCON 2015)*, (21-23 January 2015) Amari Watergate hotel, Bangkok Thailand., (Poster presentation) (International Conference)



Fabrication of silver nanoparticles/polyaniline composite thin films using Layer-by-Layer self-assembly technique for ammonia sensing



Ekarat Detsri^{a,b,*}, Jittaporn Popanyasak^a

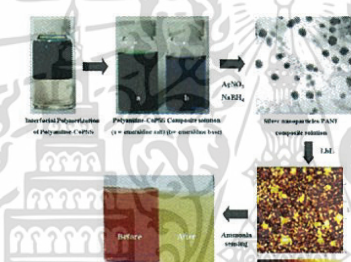
^a Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

^b Advanced Materials Science Research Unit, Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

HIGHLIGHTS

- Polyaniline blend CoPSS was synthesized using interfacial polymerization method.
- Polyaniline blend CoPSS was used as the stabilizing agent for silver nanoparticles.
- Multilayer films of Ag nanoparticles/polyaniline-CoPSS were constructed by LbL method.
- The obtained Ag nanoparticles would be of significance for ammonia sensing.
- The color of multilayer thin films was changed from orange-red to yellow.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Article history:

Received 16 June 2014

Received in revised form 30 October 2014

Accepted 9 November 2014

Available online 27 November 2014

Keywords:

Water soluble polyaniline
Silver nanoparticles
Interfacial polymerization
Layer-by-Layer (LbL)
Polyelectrolyte multilayer

ABSTRACT

In this study, the Layer-by-Layer (LbL) deposition technique was used to prepare composite thin films of silver nanoparticles and polyaniline. The multilayer composite thin films were constructed by alternate deposition of anionic and cationic polyelectrolytes. Anionic polyelectrolyte was prepared by chemical reduction of silver ion using water soluble polyaniline as the stabilizing agent to form anionic silver nanoparticles/polyaniline composite solution. The water soluble polyaniline was prepared by interfacial polymerization of aniline monomer in presence of poly(styrene sulfonic acid co maleic acid), (CoPSS). Silver nanoparticles stabilized with anionic water soluble polyaniline were then deposited in thin film with cationic poly(diallyldimethylammonium chloride), (PDADMAC) and characterized for their optical properties. The optical properties of thin films were measured by UV–visible spectroscopy. The surface of the films was measured by atomic force microscopy (AFM). As these films are to be used as sensor for the ammonia detection, the changes in optical properties of the films were evaluated for various ammonia concentration. A strong color shift from orange-red to yellow was visible when exposed to ammonia. These silver nanoparticles/polyaniline composite thin films displayed fast color change and could be used for ammonia sensing in industrial section.

© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

In recent years, nanomaterials have received much attention from the scientific community because of their unique properties due to the wide variety of functionalities, size, shape and chemistry. Silver nanoparticles are known as one of the most important

* Corresponding author at: Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand. Tel.: +66 2 329 8400; fax: +66 2 3298428.

E-mail address: Kdekarat@kmitl.ac.th (E. Detsri).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.11.019>

0927-7757/© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

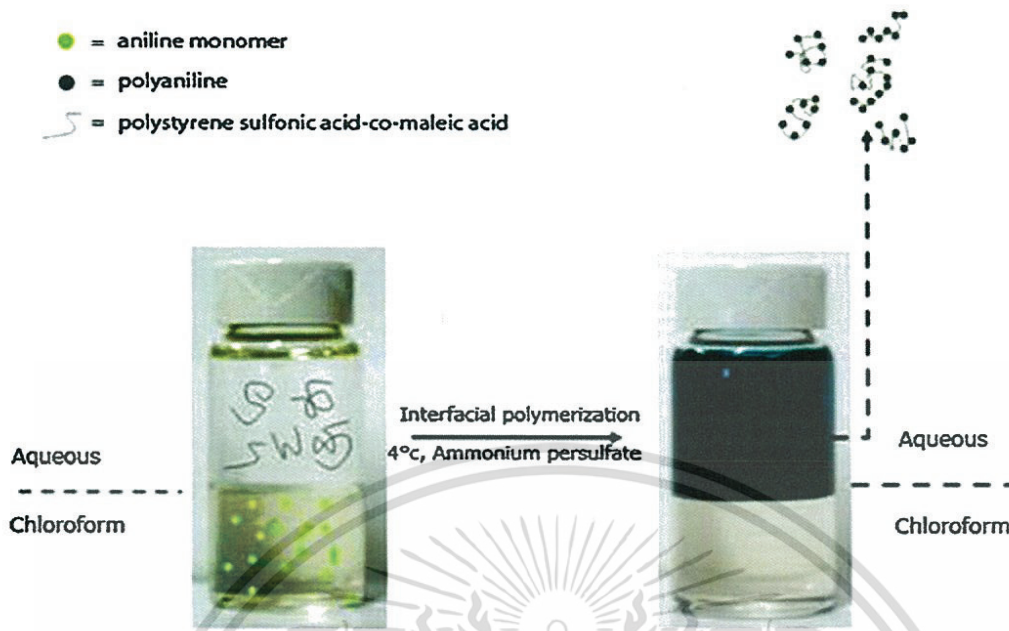


Fig. 1. Interfacial polymerization of aniline in water/chloroform system in the presence of CoPSS.

nanomaterials due to their unique chemical and physical properties. The application of silver nanoparticles is spread on many fields such as sensor [1], catalyst [2], antimicrobial material [3] and electronic devices [4]. Numerous methods have been developed for synthesis silver nanoparticles such as using laser ablation [5], ultrasound [6], gamma radiation [7], ultraviolet radiation [1,8] and chemical reduction [9]. Of each methods, stabilizing agent was purposed in order to control the growth of the nanoparticles. The role of stabilizing agent is to prevent the nanoparticle–nanoparticle interaction by steric hindrance or electrostatic repulsion thus the coalescence and further growth of the nanoparticles [10]. Many stabilizing agents have been used and are chosen such as poly(methylmethacrylate) [1,11], poly(styrene sulfonic acid)

[12], poly(vinylalcohol) [13], gelatin [14], polyamine [15] and poly(vinylpyrrolidone) [16].

Polyaniline is unique among the family of conducting polymer, since polyaniline’s conducting properties were discovered in the early 1980s [17], it has been extensively studied for many application due to its ease to synthesize, good environmental stability, high conductivity, low monomer cost and reversible doping/dedoping process [18]. Normally, polyaniline is insoluble in water, but several methods have been developed to improve its solubility such as using sulfonic-acid self-doped polyaniline by reacting polyaniline with fuming sulfuric acid ($H_2SO_4 \cdot SO_3$) in order to promote the sulfonation of polyaniline [19]. Other methods used sulfonated derivatives of aniline monomer such as m-aminobenzene sulfonic

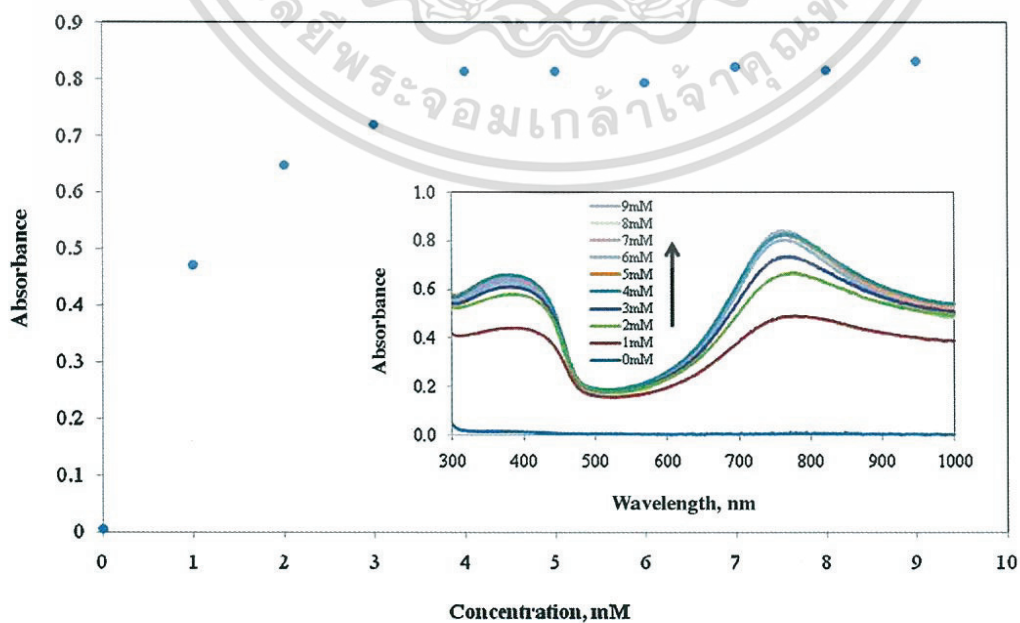


Fig. 2. Plot of the change in absorbance of the aqueous phase after polymerization.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

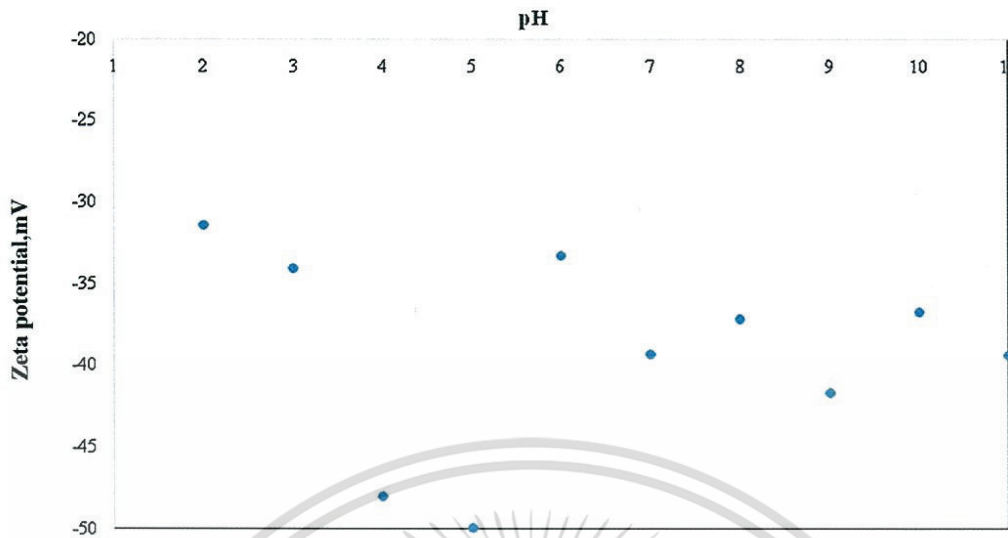


Fig. 3. Zeta potential of water-soluble polyaniline by varying the pH of from 2 to 11.

acid [20] and 2-methylaniline-5-sulfonic acid [21] via chemical oxidation process. In this study, water soluble polyaniline was prepared by the interfacial polymerization in the presence of anionic polymeric acid, poly(4-styrenesulfonic acid-co-maleic acid), sodium salt (CoPSS), due to its provides better solubility to polyaniline and helps in the uniform of stabilizing properties for silver nanoparticles production.

Because of extremely high development of the industry, ammonia is produced in very large quantity by chemical industry such as in refrigeration and fertilizers system. Owing to its toxicity, ammonia is very dangerous for human health even at very low concentration. In the past decade, ammonia sensors have been developed based on different sensing mechanisms such as electrical, mass, or optical-based methods. Among all the sensors developed, optical sensor based on the change in color have attracted extensive attention due to low power consumption, and compatibility with explosive environments. For the fabrication

of sensor in this article, silver nanoparticles/polyaniline composite have been prepared and assembled into thin films using the Layer-by-Layer (LbL) technique. This technique, first reported by Decher [22,23] was initially based on the sequential complexation of polyanionics and polycationics species at a substrate interface. This technique developed in the early 90s came as a supplement of previously used methods for the preparation of thin films such as spin coating of polymer solution as well as Langmuir–Blodgett thin film. The LbL technique in the last decade has emerged as an alternative method for the preparation of multilayer thin films mainly due to the versatility of the assembly technique [24], the ease of preparation and the low cost of chemicals used. Based on a simple dipping step, this LbL technique allows the fabrication of sensor thin films and provided outstanding control over the surface properties. The growth of the silver nanoparticles/polyaniline composite thin films was monitored by AFM and UV–vis spectroscopy. Finally, the sensing properties of silver nanoparticles/polyaniline composite

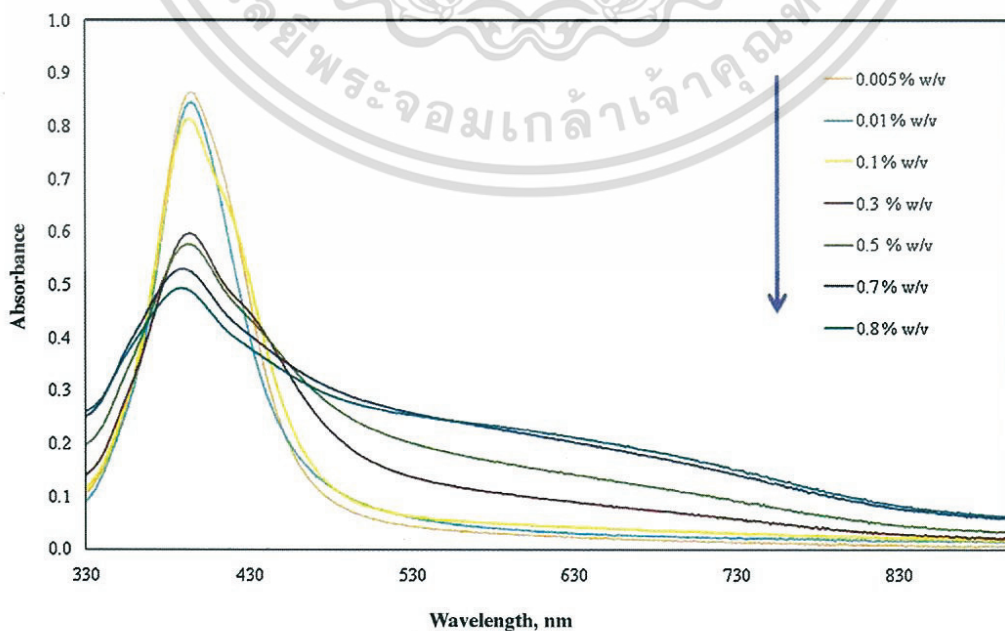


Fig. 4. UV-visible absorption spectra of silver nanoparticles by varying concentration of polyaniline-CoPSS stabilizing agent (0.005, 0.01, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 and 0.8% (w/v)).

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

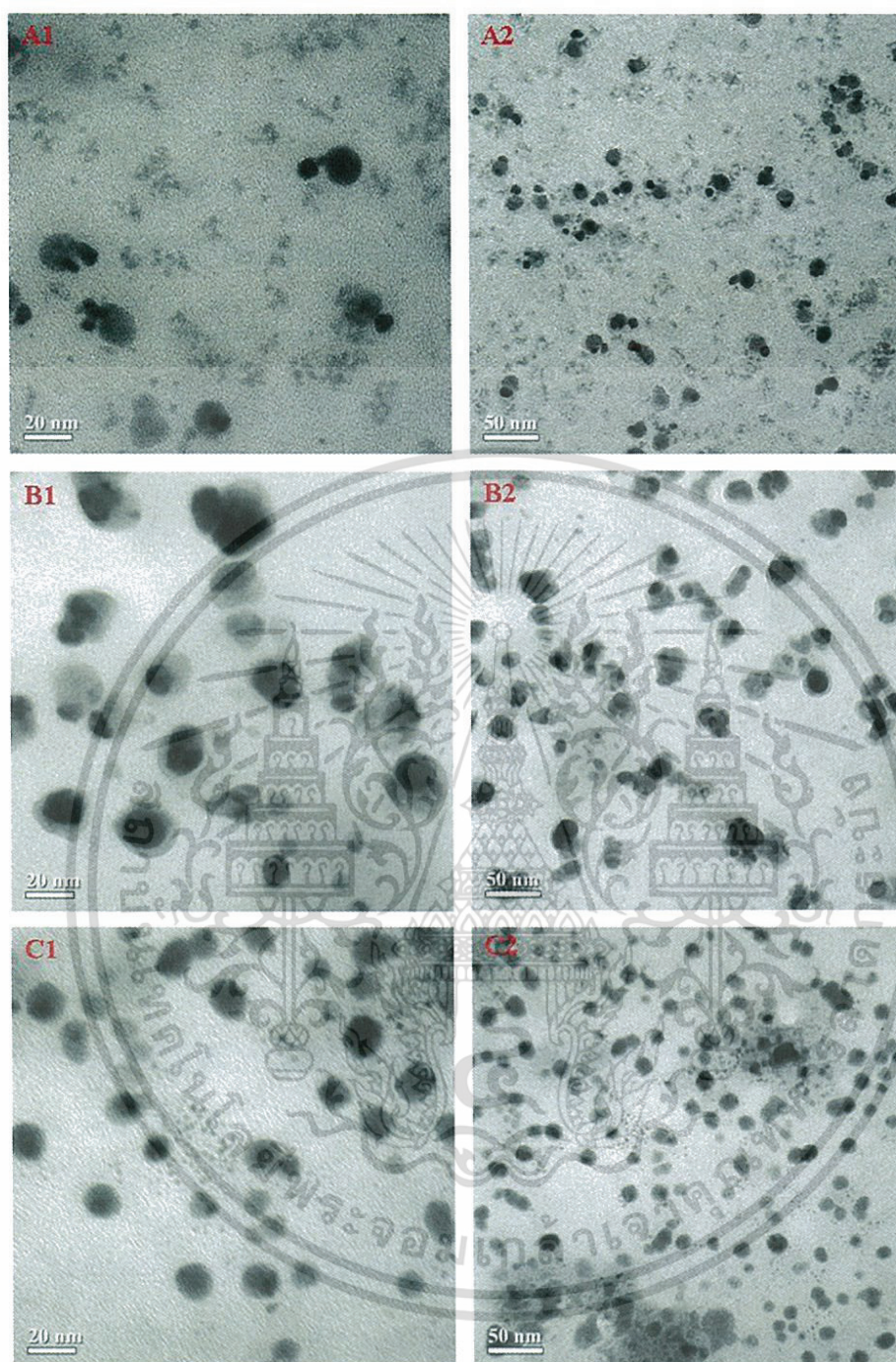


Fig. 5. TEM images of silver nanoparticles at various concentration of polyaniline-CoPSS stabilizing agent (A1 = 0.005% wt, B1 = 0.1% wt and C1 = 0.8% (w/v)).

thin films were tested against increasing ammonia concentration by monitoring the change in LSPR position and amplitude with UV-Vis spectrophotometer.

2. Experimental

2.1. Chemicals

All major chemicals used in this work were of analytical grade and used without further purification or treatment, including aniline monomer (ANI, Aldrich), poly(4-styrenesulfonic acid-co-maleic acid) sodium salt (CoPSS, Aldrich) (molecular

weight = 20,000 Aldrich), poly(sodium 4-styrene sulfonate, PSS, molecular weight = 70,000), ammonium persulfate (APS, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, Fluka), silver nitrate (AgNO_3 , Aldrich), sodium borohydride (NaBH_4 , Aldrich), chloroform (CHCl_3 , Aldrich), and hydrochloric acid (HCl, Aldrich). All aqueous solutions were prepared with double-distilled water.

2.2. Interfacial polymerization of water soluble polyaniline blend CoPSS

Water soluble polyaniline in the presence of CoPSS was prepared by interfacial polymerization technique. The experimental

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

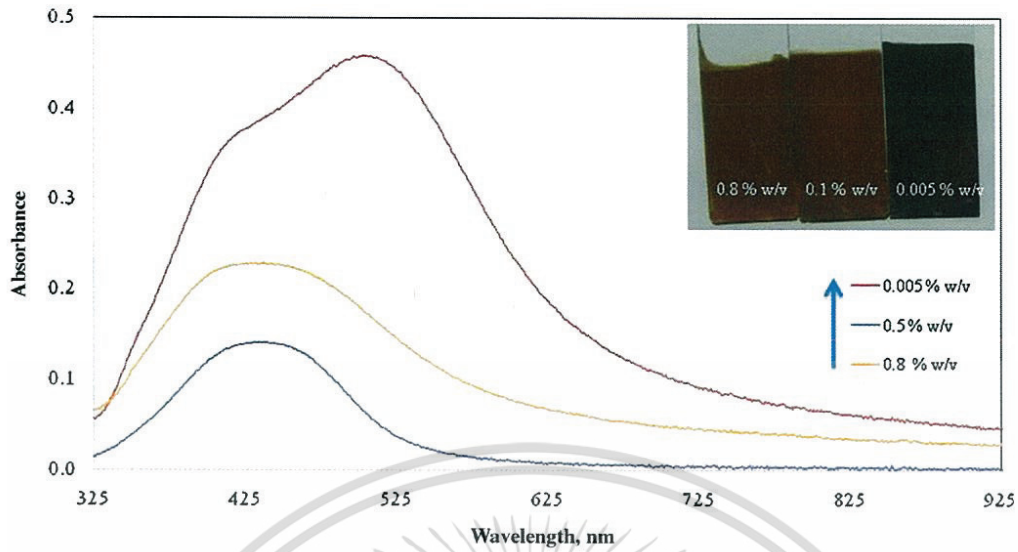


Fig. 6. The absorbance value of silver nanoparticles as the different polyaniline-CoPSS stabilizing concentration.

was performed into two phases of aqueous and organic solution. In aqueous phase, the CoPSS was reacted with oxidizing agent, ammonium persulfate (APS) and HCl dopant concentration. The aqueous solution was carefully poured into aniline monomer dissolved in chloroform solution. The reaction was kept at 4 °C without agitation for 24 h. The green water soluble polyaniline was formed at the interface within a few minutes (Fig. 1). Afterward the aqueous solution was separated from the organic solution. To remove excess acid, byproducts and remained APS from polymerization, the as-prepared water soluble polyaniline was purified either filtration (paper filter, Whatman No. 45) and dialysis (dialysis tube, 3500–6000 MW cutoff, Fisher Scientific).

2.3. Synthesis of silver nanoparticles/polyaniline composite

Silver nanoparticles was prepared using water soluble polyaniline as the stabilizing agent. In a typical experiment, 1 mM silver nitrate solution was mixed with the various concentration of water soluble polyaniline (0.005, 0.01, 0.1, 0.3, 0.5, 0.70 and 0.8% (w/v)). Then 10 mM sodium borohydride was drop into the mixture solution which have the rate of 30 drop/minutes. Sodium borohydride was used in excess volume in order to ensure full reduction of Ag ions. The obtained mixture was allowed to react for 30 minutes under constant stirring at room temperature.

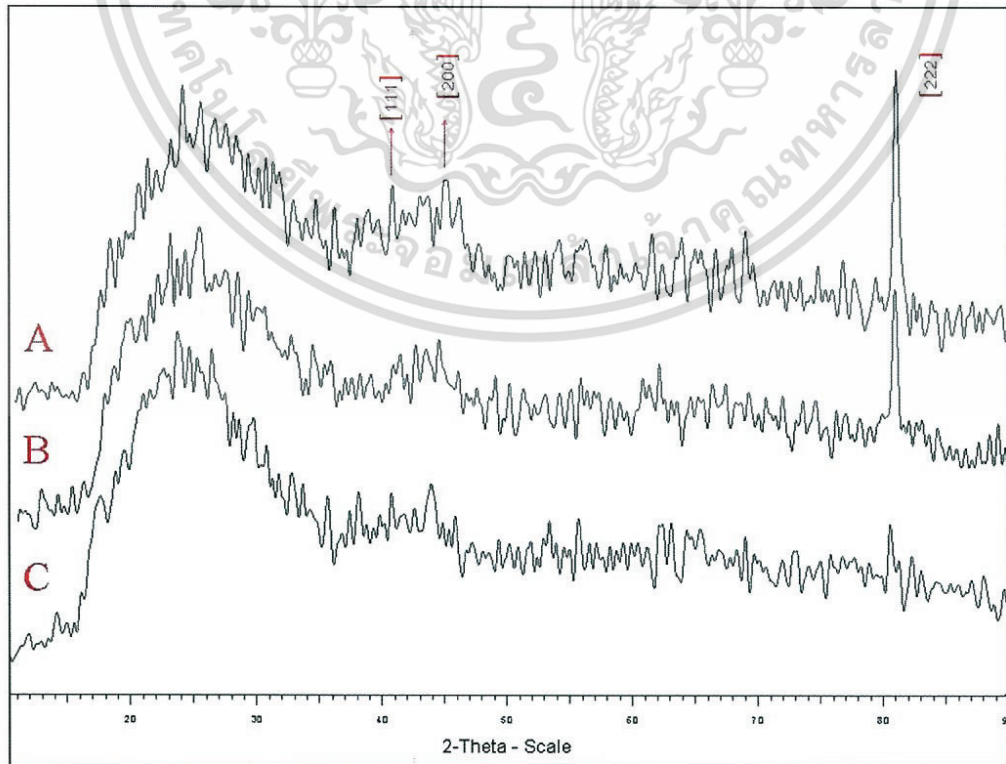


Fig. 7. XRD spectra of silver nanoparticles/polyaniline-CoPSS/PDADMAC multilayer films (A=0.005% (w/v), B=0.1% (w/v), and C=0.8% (w/v)).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

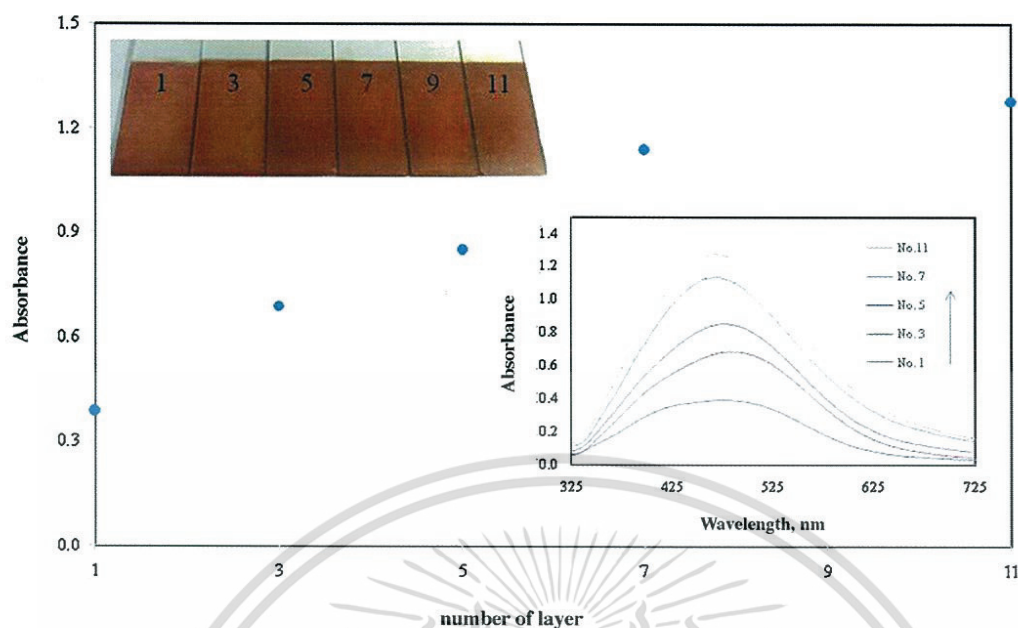


Fig. 8. The absorbance value as the function of number of (silver nanoparticles/polyaniline-CoPSS/PDADMAC multilayer films).

2.4. Layer-by-Layer film assembly

Multilayer thin films were deposited using a home-built automated dipping machine. The general self-assembled produce for preparation multilayer thin films was as follows. First, glass slide substrates were functionalized with strong polyelectrolyte of 10 mM of PDADMAC and PSS in order to generate the positively charges hydrophilic properties of the substrate. Second, the substrates were immersed into the silver nanoparticles/polyaniline composite solution and then rinsed with water to remove the excess of material. Third, the thin films were immersed into 10 mM PDADMAC and then rinsed with water again. The alternate LbL films of each positive and negative charges polyelectrolyte were achieved by repeating this process until the desired number of layer was reached.

2.5. Characterization

Ultraviolet-visible (UV-vis) spectra were recorded with a Genesys 10S UV-vis spectroscopy. X-ray diffraction (XRD) was done by using Cu K α radiation on a D8-Discover, Bruker. Transmission electron microscope, (TEM) was done on JEOL, JEM 2001. The surface roughness of the composite thin films was measured by atomic force microscopy, (AFM) (caliper, Veeco) used in tapping mode. Zeta potential was characterized by using the Zeta-seizer nano series, USA.

3. Results and discussion

During the interfacial polymerization, protonated-polyaniline blended with poly(4-styrenesulfonic acid-co-maleic acid), sodium salt can be synthesized by is strongly dependent of the experimental conditions on the polymerization. CoPSS was used to impair the water soluble properties to polyaniline in the interfacial synthesis using the standard condition [25], with increasing CoPSS concentration from 1 to 9 mM. The absorbance of the resulting solution is plotted in Fig. 2. The resulting polyaniline-CoPSS showed good dispersion in water when the concentration of CoPSS was more than 1 mM. It is expected that a minimum concentration of CoPSS is needed to disperse the polymerized polyaniline since CoPSS acted

as a template and if CoPSS concentration is too low, the polyaniline precipitate at the interface. The absorbance of the solution was found to increase with increasing the CoPSS concentration from 1 to 4 mM but stable when CoPSS concentration was increased from 5 to 9 mM. As suggested in previously published work, strong electrostatic interaction between sulfonic acid group of CoPSS and amine nitrogen groups of polyaniline backbone are responsible for the templating effect of CoPSS over polyaniline. This is possible because CoPSS which is a polyelectrolyte is completely dissociated into water and adopt a stretched structure. The anilinium cation can adsorbed completely through the electrostatic interaction onto a large amount of sulfonic groups of CoPSS. The stable in absorbance was observed that high CoPSS content tend to encapsulate the polymerized polyaniline too fast and preventing its polymerization.

Our main motivation in this work was to produce silver nanoparticles using water soluble polyaniline as the stabilizing agent. The stabilization is needed to prevent the growth of the nanoparticles. This process occurs during the formation of the nanoparticles when a capping agent adsorbs at the nanoparticles surface. In the present case, water soluble polyaniline in the presence of CoPSS was used as the stabilizing agent for silver nanoparticle production. More specifically, they all broad some carboxylic functional groups along their backbone. Carboxylic functional groups are known to interact and adsorb onto metallic surfaces and are expected to adsorb onto the silver nanoparticles. To further confirm the surface charges of water soluble polyaniline-CoPSS, zeta potential was used to analyze. Shown in Fig. 3 is plotted the effect of pH in polyaniline-CoPSS solution as the function of zeta potential. The polymerized polyaniline-CoPSS were found to have the zeta potential values ranging from -30 to -50 mV when the pH increased from 2 to 11. The negative zeta potential values are due to the carboxylic functional groups of CoPSS template which confirm the polyaniline-CoPSS polymerization.

The effect of the concentration ratio of polyaniline-CoPSS to silver nitrate solution has been studied by varying the reaction conditions. The concentration of silver nitrate was kept constant at 1 mM, different batches were prepared with a polyaniline-CoPSS concentration increasing from 0.05 to 0.38% (w/v) (0.05, 0.15, 0.30 and 0.38% (w/v)). The subsequent formation of silver nanoparticles was monitored by UV-vis spectroscopy as shown in Fig. 4. It

Number of layer	Morphological Evolution		RMS Roughness, nm
	Two dimensional (scanned at 1 μm)	Three dimensional (scanned at 5 μm)	
1			5.49
5			5.80
7			6.81
11			7.84

Fig. 9. AFM images of silver nanoparticles/polyaniline-CoPSS/PDADMAC multilayer films as the function of number of layer.

can be clearly seen that when increase the concentration of water soluble polyaniline, it led to be a broadening and a shift of the absorbance. The shift of plasmon band when increase concentration of water soluble polyaniline stabilizing agent, silver cation can capped with larger amount of anion from polyaniline-CoPSS. This effect may be explained by the changing of the value of the dielectric constant of the media surrounding medium of the nanoparticles. Normally, the position of the adsorption peaks, which are attributed to the surface plasmon resonance, are affected by the nature of metal, size and shape of the nanoparticles and dielectric of the medium. In order to further confirm that the silver nanoparticles could be capped with water soluble polyaniline-CoPSS, transmission electron microscopy (TEM) was executed to investigate the morphology of the silver nanoparticles. The TEM pictures in Fig. 5 show that silver particles are in nano-size and well dispersed. During the growth, particles presented a characteristic shape evolution. The particles were similar in shape for all polyaniline-CoPSS concentration. The particle size is more disperse with increasing polyaniline-CoPSS content and can be seen on panels A1 = 0.005% (w/v), B1 = 0.1% (w/v), and C1 = 0.8% (w/v). This effect is probably

due to a more efficient capping of the silver nanoparticles in dilute polyelectrolyte medium.

The prepared silver nanoparticles stabilized with polyaniline-CoPSS were then used for the fabrication of silver nanoparticles/polyaniline composite thin films using LbL self-assembly method. The presence of the charge is fundamental for build up of the film using the advantage of the electrostatic interaction between oppositely charged species of negatively charged silver nanoparticles and positively charged PDADMAC. The films were shown a striking color due to the nanoparticles adsorption (Fig. 6). The lowest polyaniline-CoPSS capping concentration (0.005% (w/v)) was produced a film that appeared shiny due to the close packing of the silver nanoparticles which made the nanoparticles contact one another. This is probably the result of low electrostatic charge and low electrostatic repulsion between particles. This lower electrostatic repulsion between particles has provided higher packing of the particles. On the other hand, when the polyaniline-CoPSS capping concentration is increased (0.1% (w/v) and 0.8% (w/v)) the films appear orange-red color which matches the optical properties of individual silver nanoparticles in

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

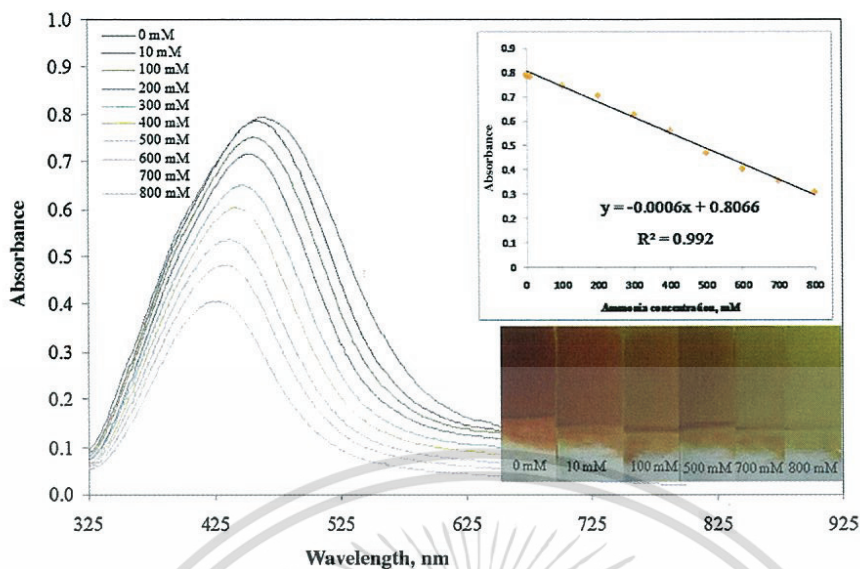


Fig. 10. UV-visible spectrum of silver nanoparticles/polyaniline-CoPSS/PDADMAC multilayer films exposed to various concentration of ammonia (0, 10, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 and 800 mM).

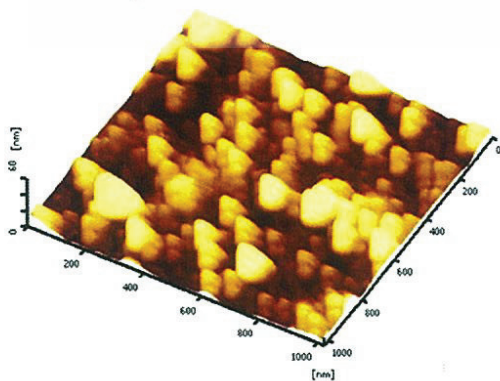
solution. The nanoparticles possess a vivid orange color as a result of the surface plasmon resonance (SPR) of the conduction electron, their assembly also led to the formation of an orange colored film.

In order to confirm the growth of silver nanoparticles/polyaniline composite onto glass substrate, X-ray Diffractometer (XRD) was used to analyze the crystalline structure of the thin films. The X-ray diffraction patterns of silver nanoparticles/polyaniline composite thin films are illustrated in Fig. 7. The prominent peaks at 2θ values of silver nanoparticles/polyaniline composite thin films are shown in 40.1° , 44.8° and 81.2° representing the 111, 200, and 222 Bragg's reflection of the face centered cubic, FCC structure of silver. The XRD diffractogram of silver nanoparticles which using polyaniline as the stabilizing agent was found agreement with the literature values [26–29] of each Ag nanoparticle production methods.

To investigate the effect of controlling LbL growth, the growth of the silver nanoparticles/polyaniline-CoPSS composite thin films were monitored by AFM and UV-vis spectroscopy as a function of the number of layer. The increase in absorbance values of silver nanoparticles-CoPSS/PDADMAC multilayer films as the function of

number of deposition was shown in Fig. 8. It can be seen that after the deposition of a few layer (1–9) the increase in absorbance is constant for each deposition step because the amount of polyelectrolyte being deposited for each dipping cycle is constant. The step increment is the function of the system parameter and is constant if the system parameters are kept constant. For reference, are shown in Fig. 9, 2D and 3D of tapping mode AFM images of silver nanoparticles/polyaniline-CoPSS composite thin films assembled at different number of layer. All AFM images clearly show that silver nanoparticles/polyaniline-CoPSS composite have an interconnection network structure with separated individual silver nanoparticles. The LbL films were shown the separate individual nanoparticles due to the electrostatic repulsion between nanoparticles that act against repulsive force interactions that yield close packed aggregate as well as electrostatic cross-linking between positively and negatively charge electrolyte during the LbL process that lead to randomly oriented, kinetically driven silver nanoparticles arrangements in the film. The RMS roughness values of each AFM images at 1, 3, 5, 7 and 11 layers were calculated to be 5.49, 5.80, 6.81 and 7.84 nm, respectively. It can be seen that the coating

a) Before dip in ammonia solution
RMS roughness 6.81 nm



b) After dip in ammonia solution
RMS roughness 10.82 nm

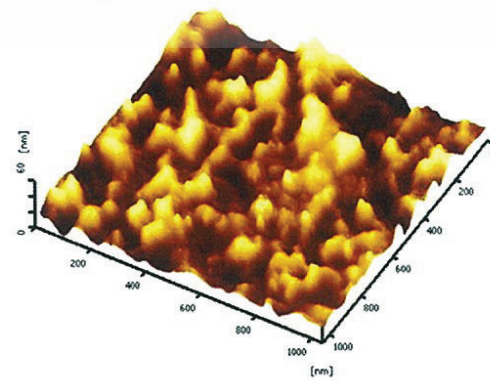


Fig. 11. AFM images of silver nanoparticles/polyaniline-CoPSS/PDADMAC multilayer films before and after dip in ammonia solution.

Fabrication of silver nanoparticles/polyaniline composite thin films using Layer-by-Layer self-assembly technique for ammonia sensing ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

is increasingly dense with individual silver nanoparticles which do not appear to aggregate confirming the efficiency of the polymer coating to onto silver nanoparticles surface.

For the design of optical ammonia sensors, the spectral absorbance of the silver nanoparticles/polyaniline-CoPSS composite thin films was found to display the strong color changes from orange-red to yellow upon adjunction of ammonia concentration. Fig. 10 shows the electronic absorption spectra of silver nanoparticles/polyaniline-CoPSS composite thin films in different ammonia concentration. It can be seen that the initial absorbance peak intensity at 462 nm decreases and it replaced by another peak appearing on blue shift while the ammonia concentration is increased. This color shift suggested the potential development of a sensor or optical device which could be trigger by the changing in dielectric constant of the surrounding medium [30]. This effect is probably due to a decrease in particle distance upon exposure to higher ammonia concentration probably caused by the aggregation of nanoparticles as it has been reported with gold nanoparticles. The AFM images shown in Fig. 11 present the surface topography of the silver nanoparticles/polyaniline-CoPSS composite thin film before and after dip in ammonia solution. It can be seen that the composite thin film after expose into ammonia solution provides the rougher films. The higher roughness value is due to bigger silver nanoparticles particle size.

The range of calibration curve for the determination of ammonia concentration was 0–800 mM (see in cartouche Fig. 10) A limit of detection (LOD, 3σ , $n = 10$) was 0.2038 mM, and a limit of quantitation (LOQ, 10σ , $n = 10$) was 0.6795 mM.

4. Conclusions

Interfacial polymerization of polyaniline in the presence of anionic polymeric electrolyte, CoPSS can open the new method to synthesis the water soluble conducting polymer based stabilizing agent for silver nanoparticles production. The synthetic conditions are very simple, flexible and can be performed with a broad selection of silver nanoparticles production. TEM, UV-visible, XRD provided evidences for the molecular level interaction between silver nanoparticles and polyaniline-CoPSS metric. The resulting composite film was found to be stable when exposed to ammonia solution, which suggest that this composite film could be used for a broad range of conditions.

Acknowledgment

The authors thank Faculty of Science (2558-02050036), King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand for financial supports.

References

- [1] S.T. Dubas, V. Pimpan, Green synthesis of silver nanoparticles for ammonia sensing, *Talanta* 76 (2008) 29–33.
- [2] Y. Fujiwara, Y. Kobayashi, K. Kita, R. Kakehashi, M. Noro, J.I. Katayama, K. Otsuka, Ag nanoparticle catalyst for electroless Cu deposition and promotion of its adsorption onto epoxy substrate, *J. Electrochem. Soc.* 155 (2008) 377–382.
- [3] Y. Li, L. Yao, Q.W. Song, E. Newton, Antimicrobial effect of surgical masks coated with nanoparticles, *J. Hosp. Infect.* 62 (2006) 58–63.
- [4] M. Biswanath, M. Moumita, Nonvolatile memory device based on Ag nanoparticle: characteristics improvement, *Appl. Phys. Lett.* 94 (2009) 233–236.
- [5] S.I. Dolgaev, A.V. Simakin, V.V. Voronov, G.A. Shafeev, F.B. Verduras, Nanoparticles produced by laser ablation of solids in liquid environment, *Appl. Surf. Sci.* 186 (2002) 546–551.
- [6] G.W. Yang, H. Li, Sonochemical synthesis of highly monodispersed and size controllable Ag nanoparticles in ethanol solution, *Mater. Lett.* 62 (2008) 2189–2191.
- [7] M.R. Karim, K.T. Lim, C.J. Lee, M-T.I. Bhuiyan, H.J. Kim, L.S. Park, M.S. Lee, Synthesis of core-shell silver-polyaniline nanocomposites by gamma radiolysis method, *J. Polym. Sci. A: Polym. Chem.* 45 (2007) 5741–5747.
- [8] W.B. Zhao, J.J. Zhu, H.Y. Chen, Photochemical synthesis of Au and Ag nanowires on a porous aluminum oxide template, *J. Cryst. Growth* 258 (2003) 176–180.
- [9] S.T. Dubas, V. Pimpan, Humic acid assisted synthesis of silver nanoparticles and its application to herbicide detection, *Mater. Lett.* 62 (2008) 2661–2663.
- [10] S.T. Dubas, Preparation of Silver Nanoparticle Thin Films for Sensing Application (Ph.D. thesis), Department of Material Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2007.
- [11] N. Singh, P.K. Khanna, In situ synthesis of silver nanoparticles in polymethylmethacrylate, *Mater. Chem. Phys.* 104 (2007) 367–372.
- [12] L.M. Huang, T.C. Wen, One-step synthesis of silver nanoparticles and poly(2,5-dimethoxyaniline) in poly(styrene sulfonic acid), *Mater. Sci. Eng. A445–446* (2007) 7–13.
- [13] E. Filippo, A. Serra, D. Manno, Poly(vinyl alcohol) capped silver nanoparticles as localized surface plasmon resonance-based hydrogen peroxide sensor, *Sens. Actuators B: Chem.* 138 (2009) 625–630.
- [14] A.V. Vegeera, A.D. Zimon, Synthesis and physicochemical properties of silver nanoparticles stabilized by acid gelatin, *Rus. J. Appl. Chem.* 79 (2006) 1403–1406.
- [15] S.S. Mahapatra, N. Karak, Silver nanoparticle in hyperbranched polyamine: synthesis, characterization and antibacterial activity, *Mater. Chem. Phys.* 112 (2008) 1114–1119.
- [16] Y. Wang, A convenient route to poly(vinyl pyrrolidone)/silver nanocomposite by electrospinning, *Nanotechnology* 17 (2006) 3304–3307.
- [17] J. Huang, R.B. Kaner, A general chemical route to polyaniline nanofibers, *J. Am. Chem. Soc.* 126 (2004) 851–855.
- [18] M.M. Oliveira, E.G. Castro, C.D. Canestraro, D. Zanchet, D. Ugarte, L.S. Roman, A.J.G. Zabin, A simple two-phase route to silver nanoparticles/polyaniline structure, *J. Phys. Chem. B* 110 (2006) 17063–17069.
- [19] X. Wei, A.J. Epstein, Synthesis of highly sulfonated polyaniline, *Synth. Met.* 74 (1995) 123–125.
- [20] B.C. Roy, M.D. Gupta, L. Bhowmik, J.K. Ray, Studies on water soluble conducting polymer aniline initiated polymerization of m-aminobenzene sulfonic acid, *Synth. Met.* 100 (1999) 233–236.
- [21] S. Shimizu, T. Saitoh, M. Uzawa, M. Yuasa, K. Yano, T. Maruyama, K. Watanabe, Synthesis and applications of sulfonated polyaniline, *Synth. Met.* 84 (1997) 1377–1338.
- [22] G. Decher, M. Eckle, J. Schmitt, B. Struth, Layer-by-layer assembled multicomposite films, *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 3 (1998) 32–39.
- [23] G. Decher, Fuzzy nanoassemblies: toward layered polymeric multicomposites, *Science* 277 (1997) 1232–1237.
- [24] K. Sato, K. Yoshida, S. Takahashi, J. Anzai, pH- and sugar-sensitive Layer-by-layer films and microcapsules for drug delivery, *Adv. Drug Deliv. Rev.* 63 (2011) 809–821.
- [25] C.W. Kuo, T.C. Wen, Dispersible polyaniline nanoparticles in aqueous poly(styrenesulfonic acid) via the interfacial polymerization route, *Eur. Polym. J.* 44 (2008) 3393–3401.
- [26] S.K. Pillalamarri, F.D. Blum, A.T. Tokunishi, M.F. Bertino, One-pot synthesis of polyaniline-metal nanocomposite, *Chem. Mater.* 17 (2005) 5941–5944.
- [27] P.K. Khanna, N. Singh, S. Charan, A.K. Viswanath, Synthesis of Ag/polyaniline nanocomposite via an in situ photo-redox mechanism, *Mater. Chem. Phys.* 92 (2005) 214–219.
- [28] X. Li, Y. Gao, J. Gong, L. Zhang, L. Qu, Polyaniline/Ag composite nanotubes prepared through UV rays irradiation via fiber template approach and their NH₃ gas sensitivity, *J. Phys. Chem.* 113 (2009) 69–73.
- [29] Y. Wang, X. Jing, Formation of polyaniline nanofibers: a morphological study, *J. Phys. Chem. B* 112 (2008) 1157–1162.
- [30] S. Link, M.A. El-Sayed, Shape and size dependence of radiative, non-radiative and photothermal properties of gold nanocrystals, *Int. Rev. Phys. Chem.* 19 (2000) 409.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PACCON 2015



Proceedings

*"Innovative Chemistry for Sustainability
of the AEC and Beyond"*

21st - 23rd January 2015

**Amari Watergate Hotel
Bangkok, Thailand**



Organized by The Chemical Society of Thailand
under the Patronage of Her Royal Highness Princess Chulabhorn Mahidol

Coorganized by Department of Chemistry Faculty of Science
King Mongkut's University of Technology Thonburi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MSN
PO
004

Novel Derivative of Amide Chemosensor: Metal Ions Detection

Supanut Kitphaitun¹, Prawonwan Thanakit¹ and Darinee S Phromyothin^{1,2,3,*}

¹College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

²Thailand Center of Excellence in Physics, CHE, 328 Si Ayutthaya Rd., Bangkok 10400, Thailand

³Nanotec-KMITL Center of Excellence on Nanoelectronic Devices, Chalongkrung Rd.,
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

*E-mail: ksDarine@kmitl.ac.th

- The efficiency of amide chemosensor derivative in detecting metal ions represented by fluorescence at 475 nm with the HOMO-LUMO energy gap amounts to 2.6 eV.
- This experiment is performed the solvent impact on fluorescent structure, including the solvent effect in dichloromethane, methanol, dimethylsulfoxide, dimethylformamide and acetonitrile which determined of responding light in UV-Visible.
- The density functional theory was investigated the structures, molecular properties and mechanism of the complexes by B3LYP/LanL2DZ level of theory.

Keywords Dithieno[3,2-b:2',3'-6]pyrrole(DTP), Chemosensor, Metal Ions Detection

MSN
PO
005

Layer-by-layer Self-assembly of Silver Nanoparticles/ Polyaniline Composite Thin Films for Ammonia Sensing

Jeeprapa Theplanchon¹, Nanmanas Kongkeao¹, Passanee Meechamnun¹,
Jittaporn Popanyasak¹ and Ekarat Detsri^{1,2,*}

¹Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of
Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

²Advanced Materials Science Research Unit, Department of Chemistry, Faculty of Science,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 10520

*E-mail: kdetkay@kmitl.ac.th

- Polyaniline capped with poly (styrene sulfonic acid-co maleic acid), (CoPSS) was used as the stabilizing agent for silver nanoparticles synthesis.
- Layer-by-Layer self-assembly technique was used to build the multilayers of composite films.
- A composite thin film of silver nanoparticles/polyaniline was used for ammonia sensing.

Keywords Silver Nanoparticles, Polyaniline, Layer-by-layer, Ammonia Sensing

MSN
PO
006

Immobilization of Silver Nanoparticles on Polyester Fibers Using Layer-by-layer Self-assembly Technique and Its Antimicrobial Application

Jittaporn Popanyasak¹, Wiboon Praditwongkum¹, Duangkamol Ruen-ngam² and Ekarat Detsri^{1,3}

¹Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok, 10520, Thailand

²Department of Biology, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok, 10520, Thailand

³Advance Materials Science Research Unit, Department of Chemistry, Faculty of Science, King
Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

*E-mail: jpopanyasak@hotmail.com

- We demonstrated the simple, fast and environmental friendly method for preparing antibacterial air filter.
- This is the first study to prepared antibacterial air filter with AgNPs using layer-by-layer technique.
- Polyester fibers coated with AgNPs showed effective antimicrobial activity when tested against *S. aureus*.

Keywords Silver Nanoparticles; Antibacterial Activity; Layer-by-Layer; Green Synthesis



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้