



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาการกักเก็บและปลดปล่อยของยาตัวอย่างจากฟิล์มบางหลายชั้นของสารพอลิอิเล็กโทรไลต์โพลิไบนไหมเย็บแผล

Development of model drugs loading and release from polyelectrolyte multilayer thin films on surgical sutures

นายเอกรัฐ เศษศรี

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย

จากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาการกักเก็บและปลดปล่อยของยาตัวอย่างจากฟิล์มบางหลายชั้นของสารพอลิอิเล็กโทรไลต์บนไหมเย็บแผล

Development of model drugs loading and release from polyelectrolyte multilayer thin films on surgical sutures

นายเอกรัฐ เศษศรี

12697461

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย

จากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนาการกักเก็บและปลดปล่อยของยาตัวอย่างจากฟิล์มบางหลายชั้นของ
สารพอลิเอเล็กโตรไลต์บนไหมเย็บแผล

แหล่งเงิน ทุนอุดหนุนทั่วไป/เงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2556 ถึง 30 กันยายน 2557

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ

หัวหน้าโครงการ นายเอกรัฐ เศษศรี สังกัดภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ฟิล์มบางของสารพอลิเอเล็กโตรไลต์ถูกนำมาใช้ในการเคลือบไหมเย็บแผล สารพอลิเอเล็ก
โตรไลต์จะถูกโหลดด้วยยาขมื่นชั้น โดยท่อนานคาร์บอนและอนุภาคเงินในระดับนาโนถูกนำมาใช้เป็น
ฐานในการรองรับยาขมื่นชั้น ซึ่งการสร้างฟิล์มบางถูกนำมาขึ้นชั้นผลโดยการใช้เครื่องยิว วิสิเบิลสเปกโทร
เมทรี และกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม ผลการสร้างฟิล์มบางสามารถแสดงพื้นผิวของไหมเย็บแผลที่ถูก
เคลือบด้วยสารพอลิเอเล็กโตรไลต์ ซึ่งพื้นที่ผิวที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นผลจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารพ
อลิเอเล็กโตรไลต์ที่มีประจุที่แตกต่างกัน ในขณะที่การศึกษาพฤติกรรมทางด้านจุลชีพของไหมเย็บแผลที่ถูก
เคลือบด้วยสารพอลิเอเล็กโตรไลต์ภายใต้เชื้อ *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Bacillus subtilis* (*B.*
subtilis) และ *Escherichia coli* (*E. coli*) พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อจะให้ผลสูงสุดภายใต้การใช้สาร
พอลิเอเล็กโตรไลต์ที่ท่อนานคาร์บอนและอนุภาคเงินในระดับนาโน

คำสำคัญ: ท่อนานคาร์บอน, อนุภาคเงินในระดับนาโน, การต้านจุลชีพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Development of model drugs loading and release from polyelectrolyte multilayer thin films

Researcher: Dr. Ekarat Detsri

Faculty: Science **Department:** Chemistry King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

In this research, polyelectrolyte multilayers (PEM) thin films are proposed to be used as a coating on the surface of surgical suture. The PEM coating was loaded with curcumin drug. Modified MWCNTs and silver nanoparticles were used as the drug template. The formation of prepared film was confirmed using UV-visible spectrophotometer. Results showed that PEM had highest surface coverage on surgical suture probably because of a good bonding candidate and insure strong film growth. The antimicrobial activity of PEM were tested against gram positive pathogen *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) and gram negative pathogen *Escherichia coli* (*E. coli*). The deposition of curcumin drug on modified MWCNTs and silver nanoparticles resulted in high efficiency of bacteria removal.

Keywords : Carbon nanotube, silver nanoparticles, antimicrobial

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินงานวิจัยตามโครงการการพัฒนาการกักเก็บและปลดปล่อยของยาตัวอย่างจากฟิล์มบางหลายชั้นของสารพอลิอิลเล็ก โตรไลทีบนไหมเย็บแผ่นนี้ สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์เป็นอย่างดีเนื่องจากได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากทุนวิจัยประเภทส่งเสริมนักวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้



เอกรัฐ เดชศรี

หัวหน้าโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	7
3.1 สารเคมี	7
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	7
3.3 วิธีการทดลอง	8
บทที่ 4 ผลการวิจัย	12
4.1 การศึกษาการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์เพื่อใช้สำหรับเป็นฐานรองรับสำหรับการไหลลดขนาดตัวอย่าง	12
4.1.1 การศึกษาการกระจายตัวของท่อคาร์บอนในระดับนาโนด้วยพอลิไคเอริล ไดเมทิล แอมโมเนียม คลอไรด์	12
4.1.1.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายพอลิไคเอริล ไดเมทิล แอมโมเนียม คลอไรด์ที่มีผลต่อการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์	13
4.1.1.2 การศึกษาผลของการสร้างฟิล์มบางแบบชั้นเดียวบนพื้นผิวของกระจก เพื่อหาสภาวะความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย PDADMAC ที่ถูกนำไปกระจายตัวท่อคาร์บอนนาโนทิวป์	
4.1.1.3 การศึกษาผลกระทบของเวลาของการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.4 การศึกษาเสถียรภาพของท่อคาร์บอนนาโนทิวที่ถูกกระจายตัวด้วยสารละลาย PDADMAC	16
4.1.1.4.1 ผลกระทบของเวลาที่มีผลต่อเสถียรภาพของการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวปี	17
4.1.1.4.2 ผลกระทบของอันตรกิริยาทางไอออนที่มีผลต่อเสถียรภาพของการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวปี	18
4.1.1.4.3 ผลกระทบของพีเอชที่มีผลต่อเสถียรภาพของการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวปี	19
4.1.2 การศึกษาการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวปีโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	20
4.2 การศึกษาการสร้างฟิล์มบางของท่อคาร์บอนนาโนทิวปีที่ตัดแปรบนกระจกสไลด์	21
4.2.1 การสร้างฟิล์มบางด้วยเทคนิค Layer-by-Layer	21
4.3 การศึกษาผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของฟิล์มบางท่อคาร์บอนในระดับนาโน	24
4.4 การศึกษาการประสิทธิผลของอนุภาคเงินในระดับนาโนเพื่อใช้สำหรับเป็นฐานรองรับสำหรับการไหลควาตัวอย่าง	25
4.4.1 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว	25
4.4.2 การศึกษาผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว	28
4.4.3 การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้แอมโมเนียของอนุภาคเงินในระดับนาโน	29
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	31
5.1 สรุปผลการวิจัย	31
5.2 ข้อเสนอแนะ	31
บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง	33
ภาคผนวก	35
การเผยแพร่ผลงานวิจัย	36
สรุปการใช้จ่ายเงิน	46
ประวัตินักวิจัย	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 ลักษณะไหมเย็บแผล	1
1.2 ไหมเย็บแผลชนิดต่างๆ	2
1.3 ไดอะแกรมแสดงการขึ้นรูปฟิล์มบางแบบชั้นต่อชั้นของสารละลายพอลิอิลเล็ก โตรไลต์	3
4.1 Transmission electron microscopic image of MWCNTs (baytubes C 150 P, outer diameter distribution 5-20 nm and length 1 - >10 um) จากบริษัทเบเยอร์ ประเทศไทย	12
4.2 ผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลาย PDADMAC ที่ความเข้มข้น 0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 1.0 และ 3.0 mM ที่มีผลต่อการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์	13
4.3 รูปแบบการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ โดยวิธี noncovalent surface modification ด้วยสารละลาย PDADMAC	14
4.4 การสร้างฟิล์มบางแบบชั้นเดียวบนพื้นผิวของกระจกของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ ที่ถูกกระจายตัวด้วยสารละลาย PDADMAC ที่ความเข้มข้น 0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 and 1.0 mM	15
4.5 ผลกระทบของเวลาที่มีผลต่อการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ในสารละลาย PDADMAC, Effect of sonication time onto the dispersion of MWCNTs with PDADMAC	16
4.6 เสถียรภาพของ noncovalent surface modification ของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ถูกกระจายตัวด้วยสารละลาย PDADMAC, ที่เป็นผลของเวลา	17
4.7 เสถียรภาพของ noncovalent surface modification ของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ถูกกระจายตัวด้วยสารละลาย PDADMAC, ที่เป็นผลของชนิดของเกลือ และความเข้มข้น โดย \blacklozenge = NaCl, \blacksquare = Na ₂ SO ₄ and \blacktriangle = Na ₃ HPO ₄	18
4.8 เสถียรภาพของ noncovalent surface modification ของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ถูกกระจายตัวด้วยสารละลาย PDADMAC, ที่เป็นผลของ pH	19
4.9 TEM micrograph of MWCNTs dispersed in PDADMAC (a) scale bar 50 nm, (b) scale bar 20 nm and (c) scale bar 7 nm	21
4.10 รูปแบบการสร้างฟิล์มบางของสารละลาย PDADMAC และ PSS ด้วยเทคนิค Layer-by-Layer	22
4.11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนชั้นของวัสดุแต่งประกอบ(MWCNTs.PDADMAC)/PSS กับแอมบอร์เบนซ์	22
4.12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนชั้นของวัสดุแต่งประกอบ(MWCNTs.PDADMAC)/PSS กับความหนา	23
4.14 รูป AFM ของวัสดุแต่งประกอบ(MWCNTs.PDADMAC)/PSS. ที่จำนวนชั้น 15 ชั้น	23

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่

หน้า

4.15	ค่าการดูดกลืนแสง (A) และสีสารละลาย (B) ของอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย	26
4.16	ผลการศึกษานาโนและประจุของอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย วิธีเคมีสีเขียวโดยการที่ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA 9 mM A. สีสารละลาย B. ขนาดของอนุภาค	27
4.17	ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการที่ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA 9 mM ด้วย TEM A. ขนาดสเกล 50 nm B. ขนาดสเกล 20 nm	28
4.18	ค่าการดูดกลืนแสง(A) และสีสารละลาย(B) ของอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA 9 mM ที่ไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนีย 1-120 mM	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อของฟิล์มบางเมื่อมีการเคลือบสาร curcumin (ขมิ้นชัน)	24
4.2 ตารางประจุนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย วิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA 9 mM	27
4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อของฟิล์มบางเมื่อมีการเคลือบสาร curcumin (ขมิ้นชัน)	28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื้อเยื่อผิวหนังหรือหลอดเลือดที่ได้รับการตัดจากการผ่าตัดหรืออุบัติเหตุมักจะถูกเชื่อมต่อด้วยการเย็บ โดยการใช้ไหมเย็บแผล ถึงแม้ว่ากระบวนการในการเย็บเนื้อเยื่อผิวหนังหรือหลอดเลือดโดยการใช้ไหมเย็บแผลจะเป็นวิธีการที่เรียบง่าย แต่สิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงในการใช้ไหมเย็บแผลคือคุณภาพของไหมเย็บแผลที่ดีนั้นจะต้องทำให้แผลที่ถูกเย็บนั้นหายเร็ว ไม่เกิดการอักเสบติดเชื้อ และไม่ปรากฏตัวของแผลเป็นที่เหลือทิ้งไว้บนผิวหนัง เป็นที่ทราบกันว่าหลังจากการผ่าตัดไม่กี่วัน ไหมเย็บแผลอาจจะเกิดการบวมตัวขึ้นมาได้เนื่องจากการเกิดการอักเสบจากแผล หรือเกิดการติดเชื้อแบคทีเรีย จุลินทรีย์ ในหลายๆกรณีไหมเย็บแผลสามารถที่จะมีการตอบสนองต่อการติดเชื้อ เนื่องมาจากมันสามารถที่จะดูดซับน้ำเหลือง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการขยายตัวของเชื้อแบคทีเรียได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 1.1 ลักษณะไหมเย็บแผล

ปัจจุบันนี้การพัฒนาหรือปรับปรุงคุณภาพของไหมเย็บแผลยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของไหมเย็บแผล โดยการตรึง หรือเคลือบด้วยยาต้านเชื้อจุลินทรีย์ เชื้อแบคทีเรียหรือยาต้านการอักเสบเพื่อป้องกันการติดเชื้อและการบวมของแผล ถึงแม้ว่าวิธีการในการเคลือบ หรือตรึงด้วยยานไหมเย็บแผลจะเป็นวิธีที่ง่าย ๆ แต่มันก็เป็นสิ่งที่ท้าทาย ที่ผู้วิจัยจะทำการศึกษา เนื่องมาจากถ้างานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จจะเป็นสิ่งที่มีประโยชน์อย่างมากต่อผู้ป่วยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. พัฒนาการเคลือบฟิล์มบางในระดับนาโนบนไหมเย็บแผล โดยวิธีการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น
2. ศึกษาการไหลดยาที่มีฤทธิ์ในการต่อต้านการอักเสบ และการต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย ลงบนไหมเย็บแผล ที่มีการใช้สารพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่างชนิดกัน
3. ศึกษาเสถียรภาพทางกายภาพและทางเคมีของสารพอลิอิเล็กโตรไลต์ที่เคลือบลงบนไหมเย็บแผลที่มีการใช้ยาที่มีฤทธิ์ในการต่อต้านการอักเสบ และการต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย ที่แตกต่างกัน
4. พัฒนาการการไหลดยาที่มีหลายๆ คุณสมบัติลงบนสารพอลิอิเล็กโตรไลต์ที่เคลือบลงบนไหมเย็บแผล

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้นำเทคนิคการสร้างฟิล์มบางแบบชั้นต่อชั้นมาใช้ในการเคลือบบนไหมเย็บแผล โดยเทคนิคการสร้างฟิล์มบางแบบชั้นต่อชั้นนี้สามารถที่จะพัฒนาต่อยอด โดยการนำตัวยาที่สนใจมาไหลลงบนฟิล์มบางได้ ซึ่งไหมเย็บแผลเป็นวัสดุที่ผลิตมาจากทั้งวัสดุธรรมชาติ หรือวัสดุสังเคราะห์ ที่สามารถนำมาใช้ได้ทั้งภายใน และภายนอกร่างกายของมนุษย์ ดังนั้นในการเลือกใช้ไหมเย็บแผลแต่ละชนิด จึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติที่เกิดขึ้นภายหลังจากการใช้ไหมเย็บแผลแล้ว เช่นไหมเย็บแผลสามารถที่จะกำจัดออกไปได้อย่างง่ายดายหรือไม่ หรือมันสามารถที่จะสลายตัวได้เองหรือไม่ ไหมเย็บแผลที่ใช้ในปัจจุบันในวงการแพทย์ สามารถที่จะแบ่งหลักๆ ดังแสดงในรูปที่ 2

Surgical sutures diagram

Suture material	Polyglycolic acid	Catgut	Catgut	Polypropylene
Suture technology	Synthetic	Chromic	Plain	Monofilament
Suture color	Violet	Brown or green	Milk-white	Blue
Suture code	PGA	CC	CP	PP

Surgical sutures diagram

Suture material	Polyester	Silk	Nylon	Stainless steel wire
Suture technology	Braided	Braided	Monofilament	Monofilament
Suture color	White or green	Black or blue	Black or blue	Silvered
Suture code	PB	SK	NL	SW

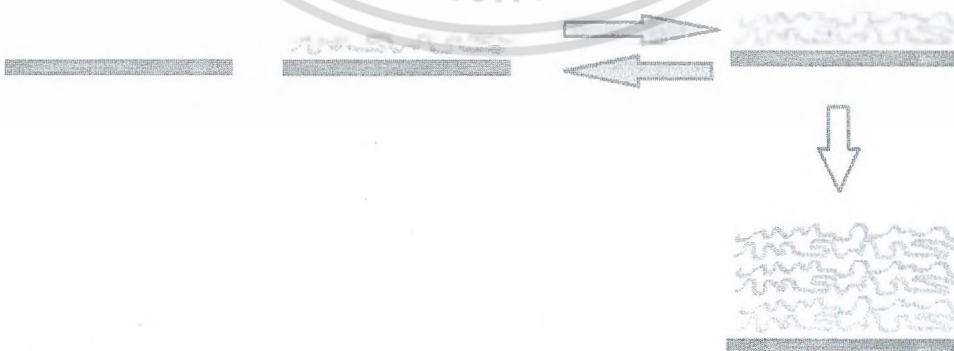
รูปที่ 1.2 ไหมเย็บแผลชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติหลักๆ ของไหมเย็บแผลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

1. สามารถที่จะใช้ในการเย็บแผลอย่างง่าย
2. ไม่เกิดปฏิกิริยากับเนื้อเยื่อ
3. ป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย
4. มีความยืดหยุ่น
5. ง่ายต่อการทำความสะอาด

ในอดีตไหมเย็บแผลถูกผลิตขึ้นจากการใช้วัสดุธรรมชาติ เช่น ฝ้าย หรือไหม แต่ปัจจุบันนี้ไหมเย็บแผลโดยมาก ถูกผลิตขึ้นมาจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น ไนลอน พอลิโพรพิลีน พอลิไกลคอลิก แอซิด และ พอลิไดออกเซน การเลือกใช้ไหมเย็บแผล จำเป็นต้องพิจารณาถึงประสิทธิภาพของไหมเย็บแผลแต่ละชนิด ที่จะถูกนำไปเย็บทั้งภายในและภายนอกร่างกายของมนุษย์ เนื่องจากไหมเย็บแผลบางประเภทสามารถที่จะดูดซับน้ำเหลือง หรือของเหลวภายในร่างกาย ซึ่งจะส่งผลต่อการติดเชื้อต่อไปได้ ในบางกรณีไหมเย็บแผลมีคุณสมบัติป้องกันการเกิดการติดเชื้อ ยกตัวอย่างเช่นการใช้ไหมเย็บแผลที่ผลิตจากไคติน สามารถที่จะช่วยต่อต้านการอักเสบจากแผล หรือเกิดการติดเชื้อแบคทีเรียและจุลินทรีย์ได้ด้วย โดยกลูโคซามีนที่เป็นหมู่ฟังก์ชันหนึ่งที่พบในไคตินสามารถที่จะต่อต้านการติดเชื้อดังกล่าว การใช้ไคโตซานเป็นอีกพัฒนาการหนึ่งในการนำมาประยุกต์ใช้ทำไหมเย็บแผล เนื่องจากมันสามารถที่จะต่อต้านการเกิดจุลินทรีย์ต่างๆ บนแผลได้ ยกตัวอย่างเช่น มันสามารถต่อต้านเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, และ *Staphylococcus haemolyticus* [1-4] โดยกลไกหนึ่งที่เป็นไปได้สำหรับการใช้ไคโตซานเป็นไหมเย็บแผลที่สามารถต่อต้านจุลินทรีย์ เนื่องจาก glycosamine ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่พบในไคโตซานสามารถที่จะเกิดกลไกกับคอลลาเจนที่อยู่ในร่างกาย ซึ่งจะส่งผลต่อการต่อต้านจุลินทรีย์ได้ [5]



รูปที่ 1.3 ไคอะแกรมแสดงการขึ้นรูปฟิล์มบางแบบชั้นต่อชั้นของสารละลายพอลิอิเล็กโตรไลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงร่างงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการสร้างฟิล์มบางในระดับนาโนลงบนไหมเย็บแผล โดยการอาศัยแรงดึงดูดระหว่างประจุ ภายใต้แรงดึงดูดทางไฟฟ้า ระหว่างพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน ทั้งพอลิเมอร์ธรรมชาติ และพอลิเมอร์สังเคราะห์ โดยจะทำการโหลดด้วยที่มีคุณสมบัติต่างๆ ลงบนฟิล์มบางทั้งยาที่มีคุณสมบัติเป็น hydrophobic และ hydrophilic

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. การเคลือบไหมเย็บแผลด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโตรไลต์
2. การโหลดตัวอย่างาลงบนไหมเย็บแผลบนสารละลายพอลิอิเล็กโตรไลต์
3. การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของจุลชีพ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้คือสามารถที่จะพัฒนาวัสดุไหมเย็บแผล ที่มีคุณสมบัติพิเศษที่มีความสามารถในการต่อต้านจุลชีพ ลดอาการอักเสบ ลดอาการบวม ของแผลที่เกิดจากการผ่าตัดได้ โดยยาที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆจะถูกโหลดลงบนไหมเย็บแผล โดยงานวิจัยนี้สามารถที่จะถูกนำไปตีพิมพ์นวารสารนานาชาติที่มีชื่อเสียง และจะถูกนำไปใช้ต่อมวลมนุษยชาติต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อที่จะลดการใช้ anti-biotics และป้องกันการติดเชื้อของไหมเย็บแผลจากแผลไหมเย็บแผลได้ถูกเคลือบด้วยวัสดุต่างๆ มากมาย เช่น การใช้อนุภาคเงินในระดับนาโน หรือการใช้สารเคมีต่างๆ ไป เช่น ไตรโคซาน ได้มีรายงานว่า Leaper *et al* ได้ศึกษาการนำไตรโคซานเคลือบลงบนพื้นผิวของไหมเย็บแผล โดยเขาพบว่าไหมเย็บแผลที่ถูกเคลือบด้วยไตรโคซานสามารถที่จะป้องกันการอักเสบจากการติดเชื้อได้ แต่เมื่อไม่นานมานี้กลุ่มวิจัยของ Tsai *et al*. [6] ได้มีการนำสารละลายโลหะเงินมาเคลือบลงบนไหมเย็บแผล เพื่อป้องกันการติดเชื้อแบคทีเรีย โดยรายงานการวิจัยได้เสนอไว้ว่าสารละลายโลหะเงินที่ถูกนำมาเคลือบบนไหมเย็บแผลจะมีความสามารถต่อต้านการติดเชื้อแบคทีเรียได้เช่น *S. aureus* และ *E. coli* แต่ไม่สามารถใช้ต่อต้าน *P. aeruginosa* [7]. ในกลุ่มวิจัยของ Dubas *ST*. [8] ได้ทำการเคลือบอนุภาคเงินในระดับนาโนลงบนไหมเย็บแผล เพื่อป้องกันการติดเชื้อแบคทีเรีย โดยรายงานได้สรุปว่า อนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีผลต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยความเข้มข้นของสารแคปซิงเอเจน ที่ใช้รักษาเสถียรภาพของอนุภาคนาโนมีผลต่อการต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus*. กลุ่มวิจัยหลายๆ กลุ่ม พยายามที่จะพัฒนาไหมเย็บแผลที่มีคุณสมบัติต่อต้านจุลชีพต่างๆ หนึ่งในวัสดุที่ทรงประสิทธิภาพคือ ไตรโคซาน เป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย และถูกนำมาขายในท้องตลาดภายใต้ชื่อยี่ห้อที่ว่า Vicryl Rapid and Vicryl brand name

เนื่องจากความท้าทายในการโหลดตัวยาลงบนไหมเย็บแผล ดังนั้นวัสดุไหมเย็บแผลจึงจำเป็นต้องปรับปรุงพื้นผิวให้เหมาะสมก่อน โดยการสร้างหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิก ลงบนพื้นผิวของไหมเย็บแผล เพื่อที่จะเป็นประโยชน์ต่อการ immobilize ยาต้านจุลชีพต่อไป [9]. ยกตัวอย่างเช่น ไหมเย็บแผลที่ผลิตจาก PP-graft-polyacrylonitrile (PP-g-PAN) จะถูกสร้างหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิก ลงบนพื้นผิวของไหมเย็บแผล เพื่อให้ง่ายต่อการโหลดยา furazolidone (FZ) [10] 1-vinylimidazole ลงบนพื้นผิวไหมเย็บแผล [12,13] รวมถึงง่ายต่อการโหลด antibiotics [11]

เมื่อไม่นานมานี้ Haikel และ Vodouhe [14] ได้นำเทคนิคการปรับปรุงพื้นผิวโดยการขึ้นรูปสารพอลิเล็กโตรไลต์โดยการใช่วิธีการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น ถูกนำมาปรับปรุงพื้นผิวของไหมเย็บแผล เทคนิคนี้เป็นเทคนิคการเกิดปฏิกิริยาการทางไฟฟ้าของสารละลายพอลิเล็กโตรไลต์ ระหว่างสารที่มีประจุที่แตกต่างกัน โดยในงานนี้ ได้มีรายงานว่า การฟังก์ชันนอลไลต์ สารละลายพอลิเล็กโตรไลต์ที่เคลือบบนไหมเย็บแผลด้วย chlorhexidine สามารถที่จะใช้ต่อต้านจุลชีพ *Escherichia coli* แบคทีเรียได้ โดยสามารถลดปริมาณแบคทีเรียได้ >99.46%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการสร้างฟิล์มบางแบบชั้นต่อชั้นนี้ได้ถูกสร้างขึ้นโดย Decher [15] ในประมาณปี 1990 และได้ถูกพัฒนาขึ้นด้วยอีกมากมาย [16-20] ซึ่งหลักการของการสร้างฟิล์มบางแบบชั้นต่อชั้นนี้จะเกี่ยวข้องกับ การเกิดอันตรกิริยาระหว่างประจุของสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องมี การควบคุม pH และ ionic strength ของสารละลายด้วย โดยข้อดีของเทคนิคนี้คือสามารถที่จะนำพอลิเมอร์ ทั้งพอลิเมอร์สังเคราะห์ และพอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่น โปรตีน เอ็มไซม์ DNA พอลิเมอร์นำไฟฟ้า สารประกอบอินทรีย์ อนินทรีย์ คาร์บอนนาโนทิวส์ มาใช้ในการสร้างฟิล์มบางได้ [21-25].



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	ยี่ห้อและประเทศผู้ผลิต
ซิลเวอร์ไนเตรด (Silver nitrate)	AgNO_3	Merck, USA
กรดอะซิติก (Acetic acid)	CH_3COOH	J.T.Baker, China
ท่อนาโนคาร์บอน (MWCNTs)	-	Sigma-Aldrich, USA
พอลิไดอัลดีมิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (Poly (diallyldimethyl ammonium chloride), PDAD)	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{ClN}$, 20 wt% in H_2O , $d = 1.08 \text{ g/ml}$	Aldrich, USA
พอลิ 4-สไตรีนซันโฟนิคแอซิดโซเดียมซอลต์, PSS) (Poly (4-styrene sulfonic acid) sodium salt, PSS)	$[\text{CH}_2\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{Na})]_n$	Sigma-Aldrich, USA
พอลิอะคริลิก (Poly(acrylic acid), PAA)	$(\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2)_n$	Sigma-Aldrich, USA
พอลิ 4-สไตรีนซันโฟนิคแอซิดโคมาเลอิกแอซิดโซเดียมซอลต์, CoPSS) (Poly(4-styrene sulfonic acid - co -maleic acid) sodium salt, CoPSS)		Sigma-Aldrich, USA
ไอโบรูเฟน (Ibuprofen)	$\text{C}_{13}\text{H}_{18}\text{O}_2$	Sigma-Aldrich, USA
Curcumine	$\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{O}_6$	Sigma-Aldrich, USA
น้ำกลั่นปราศจากไอออน (น้ำกลั่น)	-	-

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

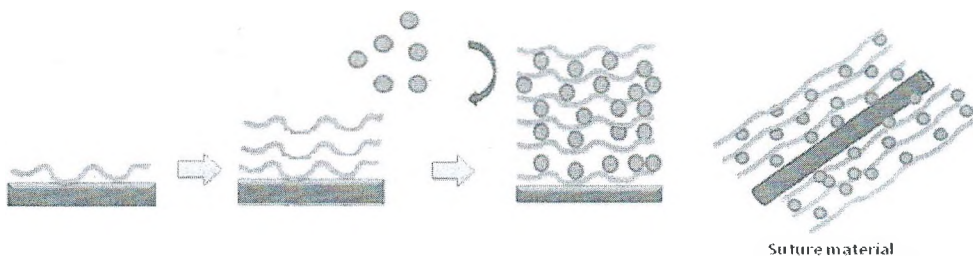
1. บีกเกอร์
2. ขวดวัดปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กระบอกรน้ำกลั่น
4. ซ้อนตักสาร
5. หลอดหยด
6. แท่งแก้วคนสาร
7. ไซ้กรองเครื่องปรับอากาศ (ไซ้กรอง)
8. แท่งแม่เหล็กกวนสาร
9. ไมโครปิเปตรุ่น SL-5000XLS และSL-1000XLS - บริษัท Rainin
10. เครื่องชั่ง4ตำแหน่ง- บริษัท ANDรุ่น GR-200
11. Home-made Ultraviolet Lamp Box (UV-C Lamp Box) - บริษัท PHILIPSรุ่น TUV 16W/G16 T5
12. เครื่องกวนสาร และแท่งแม่เหล็ก (Stirrer and Magnetic Bar)- บริษัท IKA รุ่น C-MAG HS7
13. เครื่องวัดค่าพีเอช(pH-Meter) - บริษัท Metrohmรุ่น 827 pH lab
14. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Ultra violet -Visible Spectrophotometer)- บริษัท Thermo SCIENTIFIC รุ่น GENESYS 10S UV-VIS
15. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) บริษัทJEOL รุ่น JEM-2100

3.3 วิธีการทดลอง

ไหมเย็บแผลจะถูกปรับปรุงพื้นผิวโดยการใช้เทคนิคการขึ้นรูปฟิล์มบางแบบชั้นต่อชั้นโดยการใช้สารละลายพอลิอิเล็กโตรไลต์ หลังจากนั้นตัวอย่างยาทั้ง hydrophobic และ hydrophilic จะถูกโหลดลงบนฟิล์มบางที่ถูกสร้างขึ้นบนไหมเย็บแผล



Layer-by-layer deposition + Drug loading = Active surgical suture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 1: การเคลือบไหมเย็บแผลด้วยสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์

ไหมเย็บแผลจะถูกนำไปจุ่มลงในสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุแตกต่างกัน ทั้งประจุบวกและประจุลบ โดยในการทดลองจำเป็นต้องหาสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสม รวมถึงสภาวะที่เหมาะสมทั้ง pH, ความเข้มข้น, ionic strength ของสารละลาย โดยวัสดุรองรับที่ถูกพัฒนาขึ้นในการเคลือบไหมเย็บแผลจะมีอยู่ 2 ส่วนคือท่อนาโนคาร์บอน และอนุภาคเงินในระดับนาโน

ส่วนที่ 2: การโหลดตัวอย่างยาลงบนไหมเย็บแผลบนสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์

ตัวอย่างยาที่จะถูกนำมาโหลดลงบนไหมเย็บแผล จำเป็นต้องเป็นยาที่มีประจุ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางการดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างตัวอย่างยา และสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์บนไหมเย็บแผล โดยตัวอย่างยาที่ใช้จะถูกนำมาศึกษาทั้งสองแหล่งคือยาที่มีคุณสมบัติ hydrophilic และ hydrophobic โดยความเข้มข้นของยาเป็นตัวแปรหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ศึกษา รวมถึงระยะเวลาการ โหลดยา จำนวนชั้นของยาที่โหลดลงไปบนฟิล์มบาง ซึ่งการโหลดยาลงบนฟิล์มบางพอลิอิเล็กโทรไลต์บนไหมเย็บแผลจะถูกนำมาวิเคราะห์โดย ATR-FTIR เพื่อศึกษาถึงหมู่ฟังก์ชันของยาที่ถูกโหลดลงบนตัวอย่างฟิล์ม รวมถึงศึกษาถึงความหนาของยาที่ถูกดูดซับลงบนฟิล์มบาง PEM โดยการใช้เทคนิค AFM

ส่วนที่ 3: การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของจุลชีพ

ยาที่ถูกโหลดลงบนสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์บนไหมเย็บแผล จะถูกนำมาศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญแบคทีเรีย (antibacterial) โดยเชื้อแบคทีเรียทดสอบ ได้แก่ แบคทีเรียแกรมบวก ชนิด *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) และ *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) และแบคทีเรียแกรมลบชนิด *Escherichia coli* (*E. coli*)

การทดสอบการเกิดรัศมีการยับยั้งเชื้อ (Halo test)

การทดสอบการเกิดรัศมีการยับยั้งเชื้อ คือ การสังเกตบริเวณที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้รอบชิ้นงานทดสอบ หรือเรียกว่าการเกิด บริเวณใส (Clear zone) โดยทั่วไปการทดสอบนี้ขึ้นกับความสามารถในการแพร่ของสารยับยั้งเชื้อบนวัสดุอาหารหรือภายในวัสดุที่ผสมสารยับยั้งเชื้ออยู่ ซึ่งถือเป็นวิธีการทดสอบเชิงคุณภาพ อย่างไรก็ตาม ขนาดของบริเวณใสสามารถถูกนำมาใช้เพื่อรายงานผลในเชิงปริมาณได้โดยอาศัยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 1 สำหรับขั้นตอนการทดสอบเริ่มจาก การนำเชื้อแบคทีเรียทดสอบเข้มข้น 106 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ปริมาณ 100 ไมโครลิตร เกลี่ยให้สม่ำเสมอบนวุ้นอาหารในงาน Petri dish จากนั้นวางชิ้นงานทดสอบใน ตำแหน่งที่กำหนดไว้แล้วนำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการ สังเกตและบันทึกการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยใช้จำนวนตัวอย่างในการทดสอบอย่างน้อย 2 ตัวอย่าง (Duplication)

$$R_a = \frac{D_c - D_s}{2} \dots\dots\dots \text{สมการที่ 1}$$

- โดยคือ
- R_a คือ รัศมีการยับยั้งเชื้อ; หน่วยมิลลิเมตร
 - D_c คือ เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณใส; หน่วยมิลลิเมตร
 - D_s คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบ; หน่วยมิลลิเมตร

การวัดเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (Percentage reduction of bacteria)

การวัดเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรียทำได้โดยอาศัยเทคนิคการนับจำนวนโคโลนีของเชื้อ บนวุ้นอาหาร (Plate count agar method, PCA) โดยใช้มาตรฐานการทดสอบมาตรฐาน ASTM E2149-01 ซึ่งมีขั้นตอนเริ่มจากการเตรียมสารแขวนลอยเชื้อทดสอบโดยเจือจางให้ได้จำนวนเชื้อทดสอบตั้งต้นที่ 106 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งมีสารละลายเปปโตเนเป็นตัวกลางทดสอบ (Peptone, เตรียมโดยใช้ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร ค่า pH 6.8 – 7.2) และมีชิ้นงานทดสอบอยู่ จากนั้นเริ่มทำ การทดสอบโดยการเขย่าขวดรูปชมพู่ ดังกล่าวด้วยความถี่ 120 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 37 ± 0.5 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการดูดสารแขวนลอยแบคทีเรียปริมาตร 100 ไมโครลิตร ถ่ายลงสู่วุ้น อาหารเลี้ยงเชื้อใน Petri dish แล้วเกลี่ยให้ทั่ววุ้นอาหาร เพื่อทำการนับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่เหลือ รอดชีวิตอยู่หลังการทดสอบ โดยบ่มงานเพาะเชื้อไว้ในตู้บ่มเพาะเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับเปอร์เซ็นต์การ ลดลงของแบคทีเรียสามารถคำนวณได้โดยอาศัยสมการที่ 2 คือ

$$R = \frac{A - B}{A} \times 100 \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย R คือ เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย; หน่วยเปอร์เซ็นต์ (%)

A คือ จำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียกรณีชิ้นงานพอลิเอทิลีนที่ไม่ผสมไตรโคซาน; หน่วยโคโลนีต่อมิลลิลิตร (cfu/ml)

B คือ จำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียกรณีชิ้นงานพอลิเอทิลีนที่ผสมไตรโคซาน; หน่วยโคโลนีต่อมิลลิลิตร (cfu/ml)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การศึกษาการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์เพื่อใช้สำหรับเป็นฐานรองรับสำหรับการโหลดยา ตัวอย่าง

ท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ เป็นวัสดุคาร์บอนที่ได้รับความนิยมมากที่สุดชนิดหนึ่งในปัจจุบัน เนื่องจากมีสมบัติที่ดีที่จะประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย เป็นวัสดุคาร์บอนที่มีรูพรุนขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิวสูง จึงมีสมบัติในการดูดซับได้ดี แต่เนื่องจากสมบัติการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ ที่มีแรงแวนเดอร์วาลส์สูง จึงส่งผลให้ความสามารถยึดเกาะระหว่างทิวป์แต่ละแท่งให้ยึดติดกันได้ดี ส่งผลให้ยากต่อการกระจายตัวในสารละลายต่างๆ ไป เช่นน้ำ หรือแม้แต่วัตถุหลายอย่าง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ในสารเคมีต่างๆ ทั้งพอลิเมอร์สังเคราะห์ และ พอลิเมอร์ธรรมชาติ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการโหลดยาตัวอย่าง

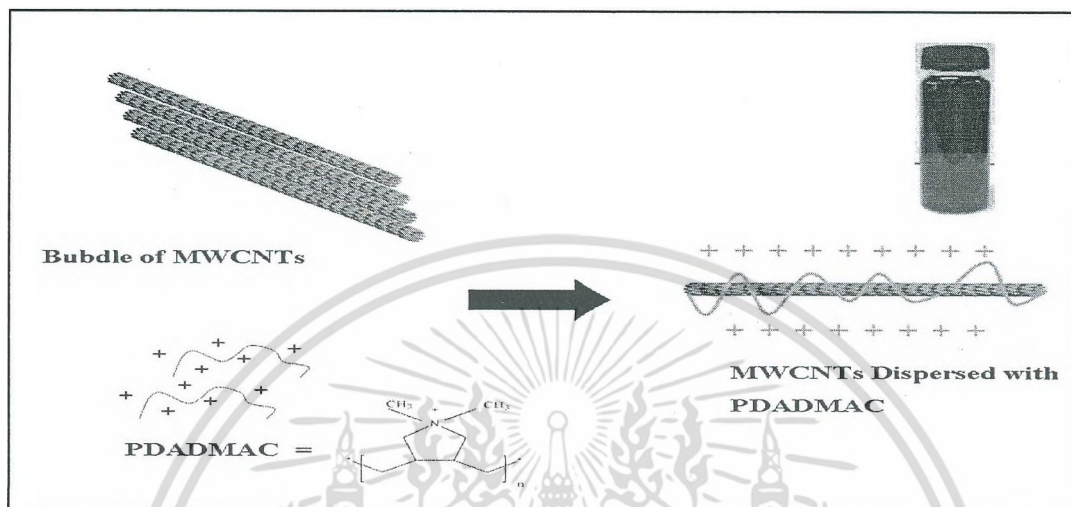


รูปที่ 4.1 Transmission electron microscopic image of MWCNTs (baytubes C 150 P, outer diameter distribution 5-20 nm and length 1 - >10 um) จากบริษัทเบเยอร์ ประเทศไทย.

4.1.1 การศึกษาการกระจายตัวของท่อคาร์บอนในระดับนาโนด้วยพอลิไดเออร์ล ไดเมทิล แอมโมเนียม คลอไรด์, Dispersion of Multiwall Carbon Nanotubes with Poly(diallyldimethyl ammonium chloride, PDADMAC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

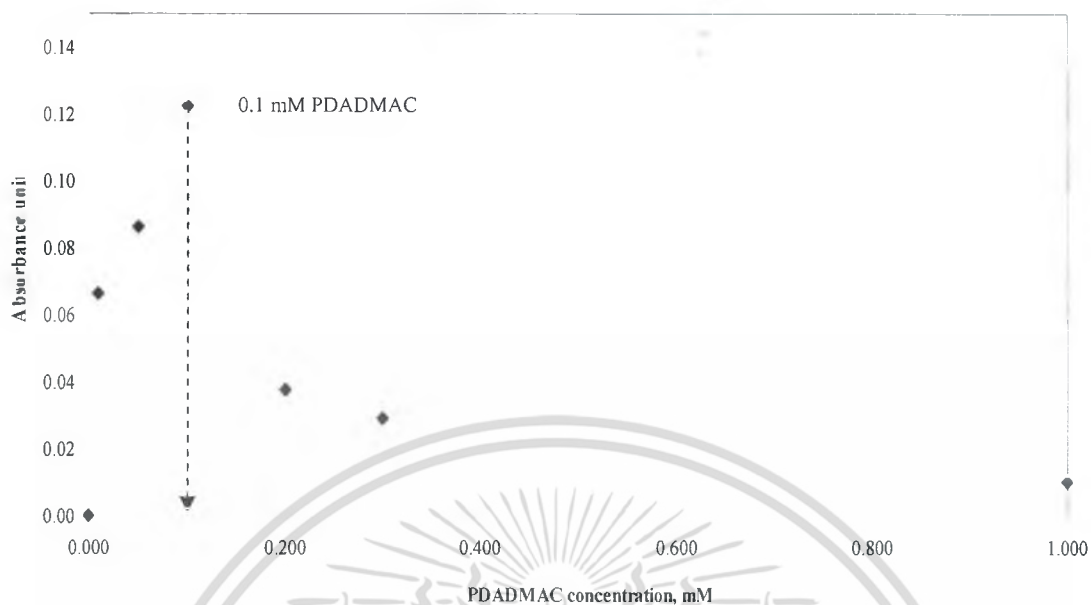
พิเศษ, Most hydrophobic สามารถที่จะเกิดการดูดซับลงบนพื้นผิวของท่อคาร์บอนส่งผลให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของท่อคาร์บอนขึ้น โดยความเข้มข้นที่เหมาะสม ของสารละลาย PDADMAC สามารถที่จะส่งผลต่อเสถียรภาพของการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์



รูปที่ 4.3 รูปแบบการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ โดยวิธี noncovalent surface modification ด้วยสารละลาย PDADMAC.

4.1.1.2 การศึกษาผลของการสร้างฟิล์มบางแบบชั้นเดียวบนพื้นผิวของกระจก เพื่อหาสถานะความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย PDADMAC ที่ถูกนำไปกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์, Monolayer of MWCNTs dispersed with the different concentration of PDADMAC

หนึ่งในตัวแปรที่มีความสำคัญ สำหรับการนำเอาท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ไปใช้ประโยชน์สำหรับใช้เป็นฐานในการรองรับการโหลดยาตัวอย่างบนไหมเย็บแผลคือ ๓. ความเข้มข้นของสารละลาย PDADMAC ที่เหมาะสมที่ใช้ในการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ ที่เท่าไร ที่จะส่งผลให้เกิดการสร้างฟิล์มบางได้มีประสิทธิภาพที่สุด งานวิจัยในส่วนนี้ได้มีการนำเอาท่อคาร์บอนที่ถูกกระจายตัวในสารละลาย PDADMAC ที่ความเข้มข้นต่างๆ มาสร้างเป็นฟิล์มบางบนกระจก โดยการใช้เทคนิคการสร้างฟิล์มบางแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer) โดยการอาศัยแรงยึดเหนี่ยวทางไฟฟ้าระหว่างประจุที่แตกต่างกันของสารละลายพอลิอิเล็กโตรไลต์ (Electrostatic Interaction) โดยสารละลายคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ถูกกระจายตัวด้วยสารละลาย PDADMAC จะถูกใช้เป็นตัวแทนของสารละลายพอลิอิเล็กโตรไลต์ที่มีประจุบวก ส่วนพอลิสไตลีน ซัลโฟเนต (Polystyrene sulfonate) จะถูกใช้เป็นตัวแทนของสารละลายพอลิอิเล็กโตรไลต์ที่มีประจุลบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การสร้างฟิล์มบางแบบชั้นเดียวบนพื้นผิวของกระจกของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ ที่ถูกกระจายตัวด้วยสารละลาย PDADMAC ที่ความเข้มข้น 0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 and 1.0 mM.

จากรูปที่ 4.4 พบว่าฟิล์มบางของสารละลายคาร์บอนนาโนทิวป์- PDADMAC ที่ความเข้มข้นต่างๆ ถูกนำมาขึ้นรูปโดยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น, LbL พบว่าค่า Absorbance ของฟิล์มบางจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารละลาย PDADMAC ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (0.01, 0.05 mM) ในการกระจายตัวท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ โดยพบว่าที่ความเข้มข้น PDADMAC 0.1 mM ให้ค่าการดูดซับที่สูงที่สุด นั่นหมายความว่า ณ ความเข้มข้นนี้การจัดวางตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ลงบนพื้นผิวของกระจกจะมีประสิทธิภาพสูงสุด และมากกว่านั้นพบว่าเมื่อนำเอาสารละลาย CNTs-PDADMAC ที่ความเข้มข้นสูงขึ้น (0.2, 0.3 และ 1.0 mM) มาสร้างฟิล์มบาง จากการศึกษาพบว่า ค่าการดูดซับ (Absorbance) จะมีค่าลดลง ซึ่งการลดลงของ (Absorbance) นั้นเกิดจากกระบวนการแข่งขัน (Competition) ระหว่างพอลิเล็กโตรไลต์ (PDADMAC) และ CNTs-PDADMAC ที่มีมากเกินไปในสารละลาย เกิดการแข่งขันที่จะยึดติดบนพื้นผิวของกระจก ดังนั้นในการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่า สารละลาย PDADMAC ที่ความเข้มข้น 0.1 mM ที่ถูกนำมากระจายท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ ให้ผลการสร้างฟิล์มบางที่ดีที่สุด ท่อคาร์บอนมีการจัดเรียงตัวบนพื้นผิวได้มากที่สุด

4.1.1.3 การศึกษาผลกระทบของเวลาของการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์, Effect of sonication times on MWCNTs dispersed with PDADMAC

การศึกษาเวลาที่ใช้ในการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการกระจายตัวของท่อ กระบวนการโซนิฟิเคชัน, sonication process ถูกนำมาใช้ในการกระจายตัวของท่อไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนในสารละลาย PDADMAC ถึงแม้ว่าท่อคาร์บอนจะถูกกระจายตัวแล้ว แต่เนื่องจากคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด, strong hydrophobic ของท่อคาร์บอนจึงส่งผลให้ท่อคาร์บอนสามารถเกิดการรวมตัวกันอีกครั้ง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกระจายตัวด้อยลงไป ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของเวลาที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ คาร์บอนนาโนทิวป์ 5 มิลลิกรัม ถูกนำมากระจายตัวในสารละลาย 100 มิลลิลิตร PDADMAC ที่ความเข้มข้น 0.1 mM โดยการการศึกษาผลของเวลาที่ มีผลต่อการกระจายตัวได้ทำการศึกษาที่เวลา 0.15, 0.30, 1.0, 1.5, 2.0 และ 3.0 hours ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ผลกระทบของเวลาที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ในสารละลาย PDADMAC, Effect of sonication time onto the dispersion of MWCNTs with PDADMAC

จากรูปที่ 4.5 พบว่าค่าการดูดซับของสารละลาย CNTs-PDADMAC ภายหลังจากการศึกษาการกระจายตัวพบว่าอิทธิพลของเวลาที่มีผลต่อการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ โดยค่า Absorbance ถูกพบว่ามีการเพิ่มขึ้น ตามการศึกษาการเพิ่มขึ้นของเวลา จาก 0.15 – 0.30 ชั่วโมง หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มเวลาของการ โชนิเคตพบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น 1.0, 1.5, 2.0 และ 3.0 hours ค่าการดูดซับแสงของสารละลาย CNTs-PDADMAC ไม่ได้เหนี่ยวนำให้สารละลายคาร์บอนนาโนทิวป์มีการกระจายตัวเพิ่มขึ้นเลย ดังนั้นในการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่า ที่เวลา 0.30 ชั่วโมง ให้ผลของการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ได้ดีที่สุด

4.1.1.4 การศึกษาเสถียรภาพของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ถูกกระจายตัวด้วยสารละลาย PDADMAC, Stability of MWCNTs dispersed with PDADMAC

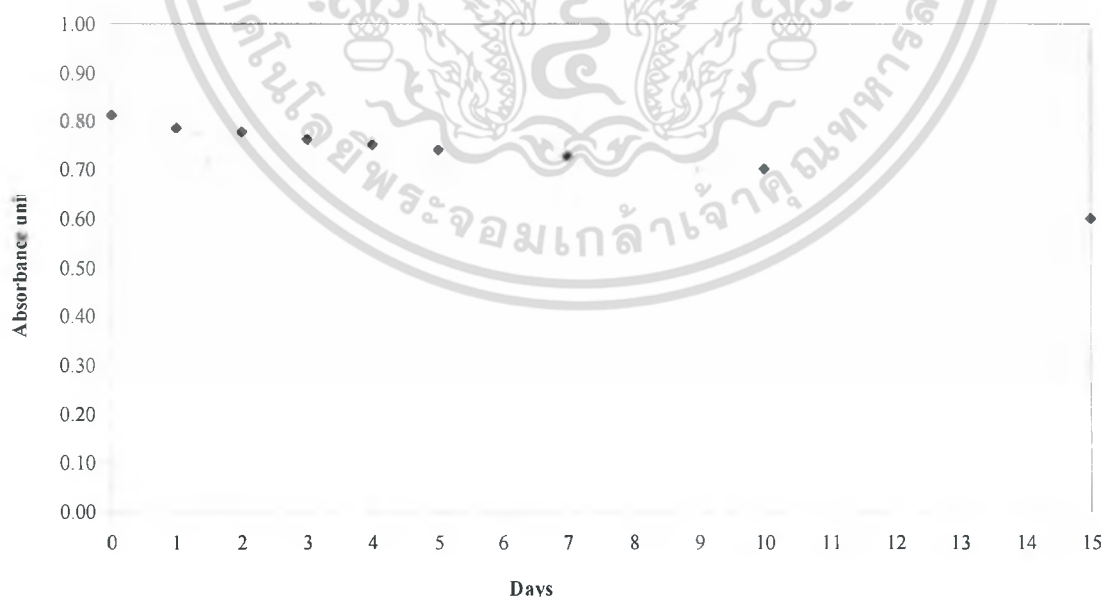
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นที่รู้กันว่ากระบวนการ Noncovalent functionalization of CNTs-โดยการใช้พอลิเมอร์, เซอร์เฟกแตนท์ และไบโอโมเลกุลต่างๆ จะส่งผลให้เกิดอันตรกิริยาอย่างอ่อน, weak interaction ระหว่าง hydrophobic backbone ของสารที่ใช้เป็นตัวกระจาย และ hydrophobic nanotubes surface ของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ ดังนั้นเพื่อเป็นการที่จะทราบได้ถึงเสถียรภาพของท่อคาร์บอนที่ถูกกระจายตัวด้วยสารละลาย PDADMAC ดังนั้นการศึกษาอิทธิพลของเวลา ความเข้มข้นของเกลือ และ พีเอช จึงได้ทำการทดลองขึ้น

4.1.1.4.1 ผลกระทบของเวลาที่มีผลต่อเสถียรภาพของการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์,

Effect of functionalization times on the stability of MWCNTs

ในการทดลองนี้ท่อคาร์บอนนาโนทิวป์จำนวน 5 มิลลิกรัม ถูกนำมากระจายตัวในสารละลาย PDADMAC ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 0.1 mM โดยสารละลาย CNTs-PDADMAC ถูกนำมากระจายตัวโดยใช้กระบวนการ Sonification เป็นเวลา 0.30 ชั่วโมง หลังจากนั้นสารละลายดังกล่าวจะถูกเก็บไว้ที่เวลา 1-15 วัน โดยแต่ละวัน สารละลายจะถูกนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 550 นาโนเมตร ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยจากรูปที่ 4.6 พบว่า สารละลายที่ได้หลังจากถูกโซนิเคต และถูกนำมาศึกษาเสถียรภาพที่เวลา 1 – 15 วันพบว่าการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ – PDADMAC ให้เสถียรภาพที่สูงมาก โดยพบว่าอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์ PDADMAC และท่อคาร์บอน มีอัตราการตกตะกอนที่ต่ำมาก ดังนั้นการใช้พอลิเมอร์ชนิดนี้ไปทำการกระจายตัวจึงน่าจะส่งผลดีต่อการกระจายตัวของท่อคาร์บอน กอปรกับสามารถเก็บสารละลายดังกล่าวไว้ได้นานอีกด้วย

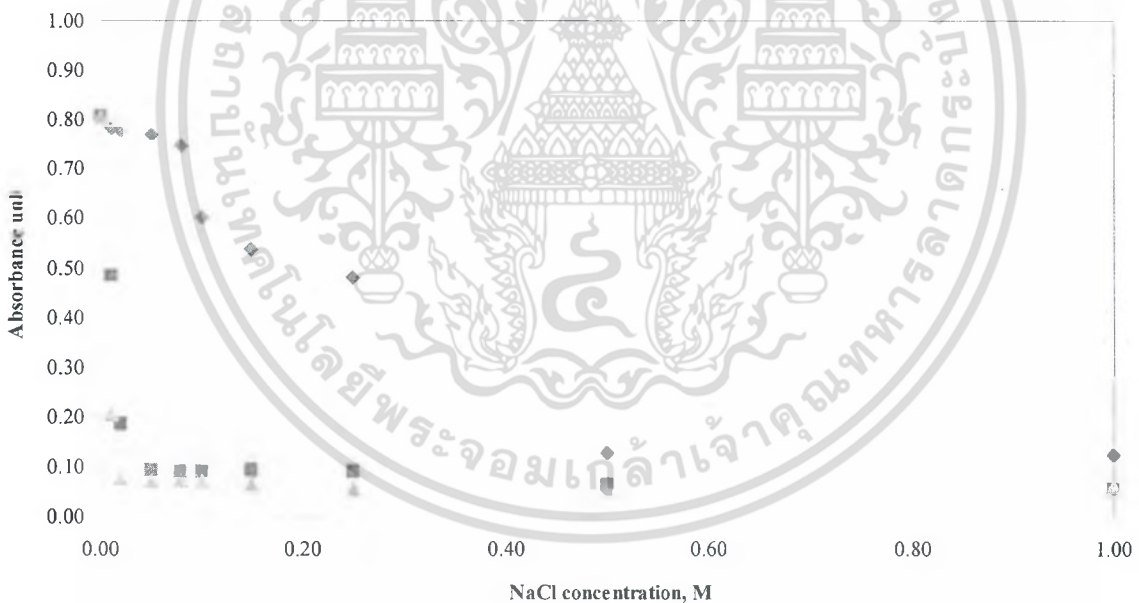


รูปที่ 4.6 เสถียรภาพของ noncovalent surface modification ของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ถูกกระจายตัวด้วยสารละลาย PDADMAC, ที่เป็นผลของเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.4.2 ผลกระทบของอันตรกิริยาทางไอออนที่มีผลต่อเสถียรภาพของการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์, Effect of ionic interaction on the stability of MWCNTs

การปรับปรุงพื้นผิวแบบ Noncovalent surface modification ของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ ยังไม่มีประสิทธิภาพสูงมากพอสำหรับเสถียรภาพของท่อคาร์บอนหลังจากการทำกรกระจายตัวด้วยพอลิเมอร์ เนื่องจากอันตรกิริยาอ่อนๆ ระหว่างสปีชีร์ที่ใช้ในการกระจายตัวและพื้นผิวของท่อคาร์บอน ในส่วนนี้ อิทธิพลของชนิดของเกลือ และความเข้มข้นของเกลือ ที่มีผลต่อเสถียรภาพของสารละลาย CNTs-PDADMAC จึงได้ทำการศึกษาขึ้น รูปที่ 7 แสดงเสถียรภาพของท่อคาร์บอนที่ถูกกระจายด้วยสารละลาย PDADMAC ที่ความเข้มข้น 0.1 mM ภายใต้การทดสอบเสถียรภาพด้วยเกลือต่างชนิดกัน เช่น NaCl, Na₂SO₄ and Na₃HPO₄ และผลของความเข้มข้นของมัน อิทธิพลของ Cl⁻, SO₄²⁻ และ HPO₄³⁻ ที่มีผลต่อเสถียรภาพของท่อคาร์บอนที่ถูกกระจายตัวด้วย PDADMAC ได้ถูกทำการศึกษาขึ้นภายใต้การนำท่อคาร์บอนจำนวน 5 มิลลิกรัม มากระจายตัวในสารละลาย PDADMAC 0.1 mM ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยใช้เวลาการโซนิเกต 0.30 ชั่วโมง



รูปที่ 4.7 เสถียรภาพของ noncovalent surface modification ของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ถูกกระจายตัวด้วยสารละลาย PDADMAC, ที่เป็นผลของชนิดของเกลือ และความเข้มข้น โดย ◆ = NaCl, ■ = Na₂SO₄ and ▲ = Na₃HPO₄

จากการศึกษาพบว่า SO₄²⁻ และ HPO₄³⁻ ไอออนให้กราฟเสถียรภาพที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือสารละลาย CNTs-PDADMAC มีความสามารถในการตกตะกอน เมื่อเติมเกลือไอออน ทั้ง 2 ชนิดลงไป โดยการตกตะกอนดังกล่าวจะสามารถเกิดการตกตะกอนอย่างรวดเร็วเนื่องจากอิทธิพลของ di- และ tri-valent ของค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

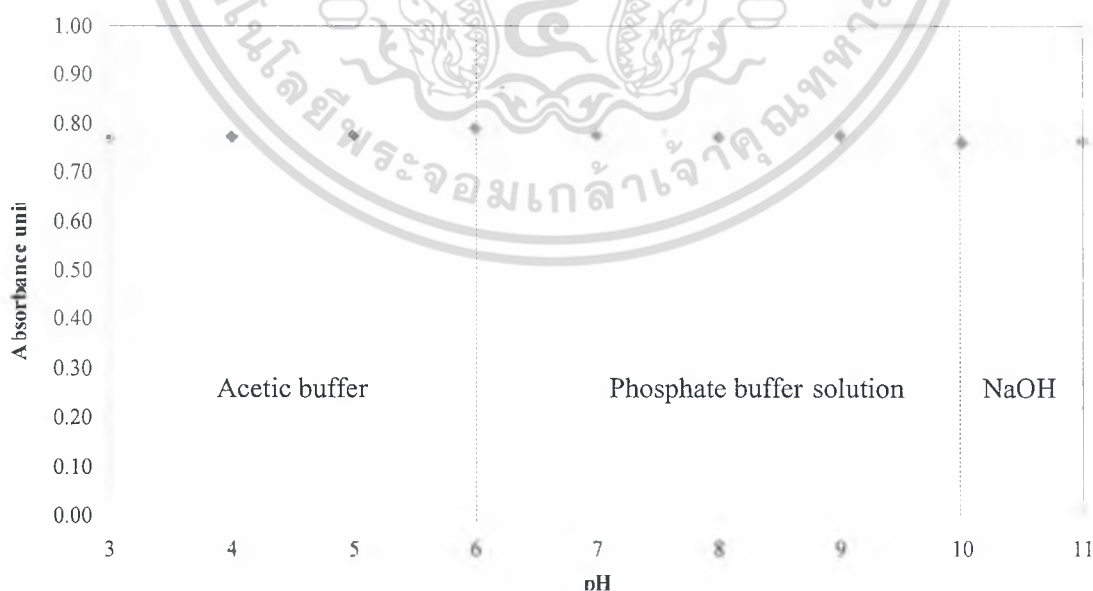
เกลือที่เติมลงไป ซึ่งการตกตะกอนของสารละลาย CNTs-PDADMAC สามารถที่จะอธิบายได้เนื่องจากการลดลงของ hydrophobic interaction ระหว่างสปีซีรีซของ PDADMAC และพื้นผิวของท่อคาร์บอน ซึ่งส่งผลให้เกิดแรงผลักทางไฟฟ้าที่ต่ำลง, electrostatic repulsion ระหว่างท่อคาร์บอน จึงเหนี่ยวนำให้เกิดการรวมตัว, aggregation ของท่อคาร์บอนอีกครั้งหนึ่ง ส่งผลให้สารละลายเกิดการตกตะกอนขึ้น

ในทางตรงกันข้ามอิทธิพลของ mono valent, Cl^- จะส่งผลให้เกิดการตกตะกอนอย่างช้าๆ ของสารละลาย CNTs-PDADMAC โดยพบว่าที่ความเข้มข้นของ NaCl ต่ำๆ NaCl สามารถที่จะบดบังพื้นผิวของท่อคาร์บอน แต่เนื่องจาก energy barrier (hydrophobic) ของพื้นผิวท่อคาร์บอนยังสูงกว่าแรง van der Waals attractive force ของท่อคาร์บอน ดังนั้นจึงส่งผลให้ที่ความเข้มข้นต่ำๆ ของ NaCl จึงมีเสถียรภาพสูงกว่า NaCl ที่ความเข้มข้นสูงๆ

4.1.1.4.3 ผลกระทบของพีเอชที่มีผลต่อเสถียรภาพของการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์,

Effect of pH on MWCNTs dispersed with PDADMAC

การศึกษาอิทธิพลของพีเอชที่มีผลต่อเสถียรภาพของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ถูกกระจายตัวในสารละลาย PDADMAC โดยการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาเสถียรภาพพีเอชของสารละลาย CNTs-PDADMAC ที่พีเอช 3-11 โดยผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.7.



รูปที่ 4.8 เสถียรภาพของ noncovalent surface modification ของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ถูกกระจายตัวด้วยสารละลาย PDADMAC, ที่เป็นผลของ pH

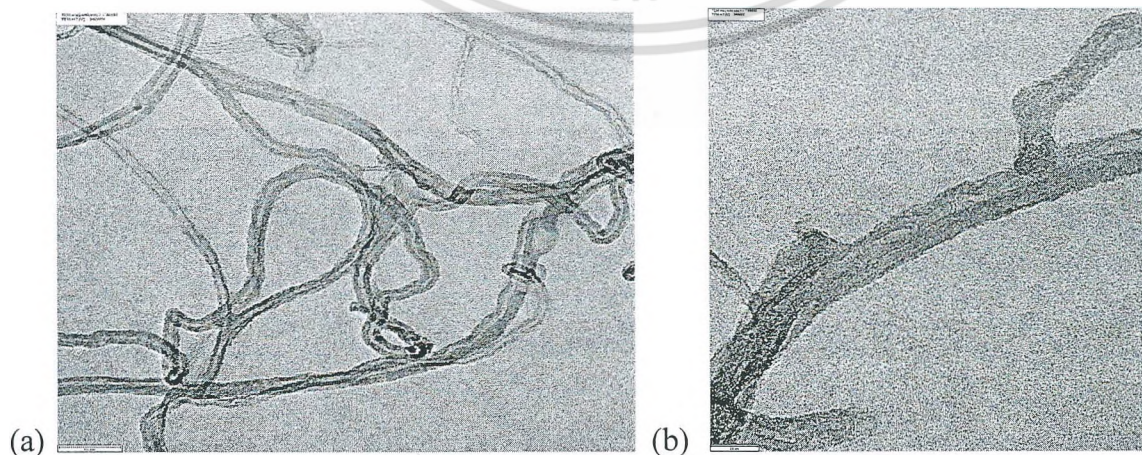
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาอิทธิพลของพีเอช พบว่า CNTs-PDADMAC สามารถรักษาเสถียรภาพของ ที่ pH 3-11 ได้ดี สารละลายมีความเสถียรดี และไม่ก่อให้เกิดการตกตะกอน ดังนั้นสารละลาย CNTs ที่ถูกกระจายตัวด้วย สารละลาย PDADMAC สามารถนำไปใช้ประโยชน์ ได้ทุกช่วงของ pH

4.1.2 การศึกษาการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน, Transmission Electron Microscope(TEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูงในการตรวจสอบวัตถุ แทนแสงธรรมดา เนื่องจากความยาวคลื่นของลำอนุภาคอิเล็กตรอนนั้นสั้นกว่าความยาวคลื่นแสงถึง 100,000 เท่า ทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสามารถให้ประสิทธิภาพของกำลังขยาย และการแจกแจงรายละเอียดได้เหนือกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยสามารถแยกรายละเอียดของวัตถุที่เล็กขนาด 10 อังสตรอม หรือ 0.1 นาโนเมตร (กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงจะแจกแจงรายละเอียดได้ประมาณ 0.2 ไมโครเมตร) จึงทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีกำลังขยายสูงมากถึง 500,000 เท่า

การกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ถูกนำมาศึกษาโดยใช้กล้องดังกล่าว โดยนำท่อคาร์บอนนาโนทิวป์จำนวน 5 มิลลิกรัม ถูกนำมากระจายตัวในสารละลาย PDADMAC ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้น 0.1 mM รูปที่ 8 แสดง TEM nanograph ของสารละลาย CNTs-PDADMAC ที่สเกลบาร์ต่างๆ โดยจากการศึกษาพบว่าการใช้ PDADMAC เป็นตัวกระจายท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ สามารถที่จะแยกท่อคาร์บอนเดี่ยวออกจากกันได้ โดยความหนาของท่อที่วัดได้หลังจากกระจายตัวด้วย PDADMAC แล้วให้ความหนาที่ 18.5 nm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 TEM micrograph of MWCMTs dispersed in PDADMAC (a) scale bar 50 nm, (b) scale bar 20 nm and (c) scale bar 7 nm.

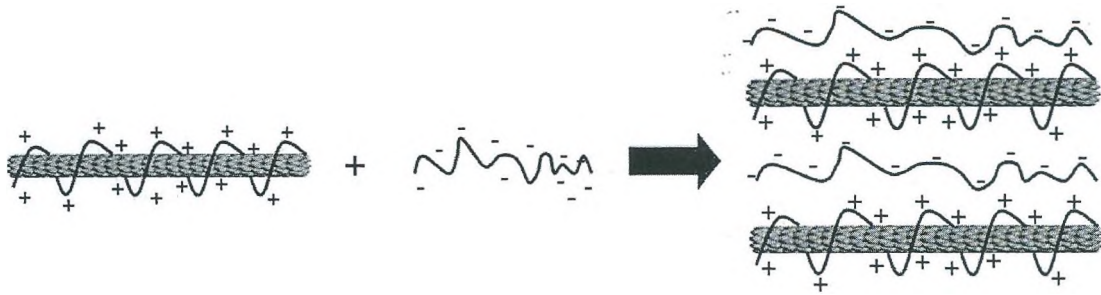
4.2 การศึกษาการสร้างฟิล์มบางของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ดัดแปรบนกระจกใส

จากการศึกษาการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์โดยใช้สารละลาย PDADMAC เป็นตัวกระจายพบว่า ท่อคาร์บอนมีความสามารถที่จะกระจายตัวได้ดีในสถานะที่มีการใช้ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ต่ำๆ 0.1 mM โดยท่อคาร์บอนดังกล่าวมีเสถียรภาพสูงมาก สามารถเก็บไว้เป็นเวลานานได้ กอปรกับท่อคาร์บอนที่ถูกกระจายตัวในสารละลายดังกล่าว สามารถนำไปสร้างเป็นฟิล์มบางโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะถูกนำไปประยุกต์ในการโพลยดิวอย่างบนไหมเย็บแผลได้ดี

4.2.1 การสร้างฟิล์มบางด้วยเทคนิค Layer-by-Layer

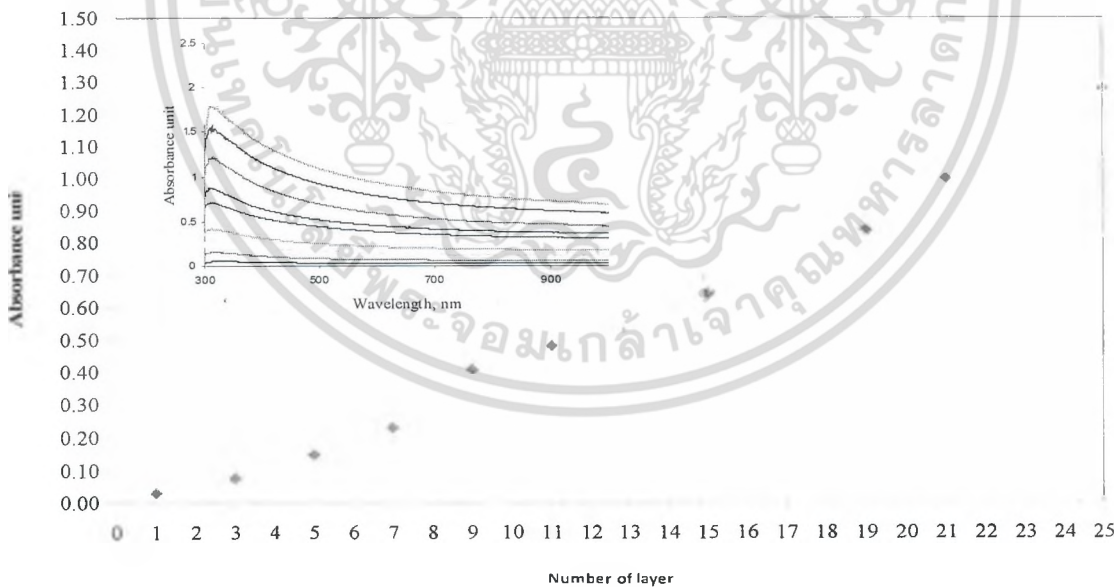
เทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ ได้ถูกนำมาใช้ศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างฟิล์มบางของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ถูกกระจายตัวในสารละลาย PDADMAC โดยท่อคาร์บอนดังกล่าวที่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวจะมีประจุเป็นบวก ซึ่งเทคนิคการสร้างฟิล์มบางแบบชั้นต่อชั้นนี้ สารละลายท่อคาร์บอนนาโนทิวป์ จะถูกทำให้เป็นฟิล์มบาง กับสารละลายพอลิไสตีนซัลฟอนิกแอซิด, PSS ดังรูปที่แสดงที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



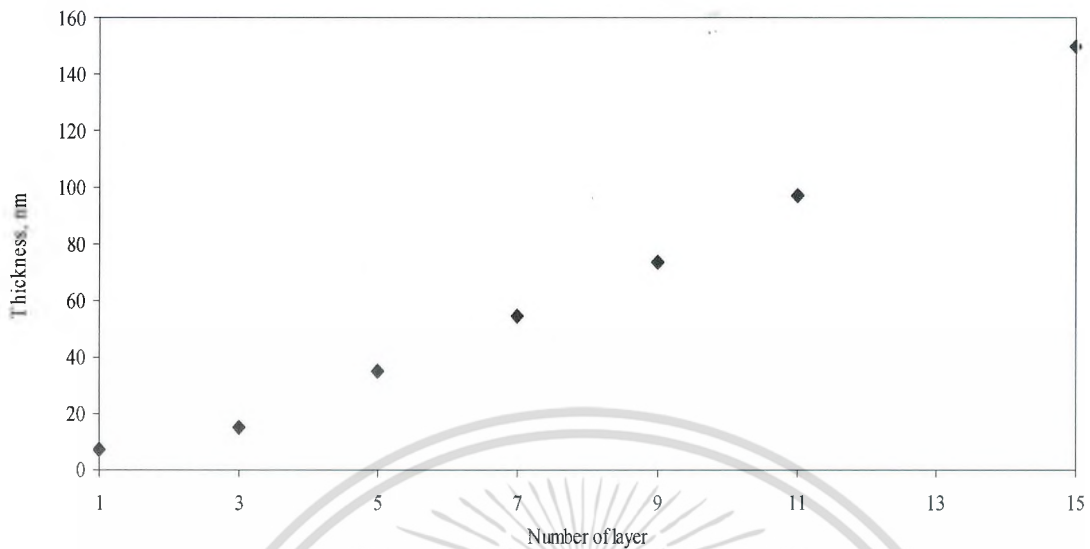
รูปที่ 4.10 รูปแบบการสร้างฟิล์มบางของสารละลาย PDADMAC และ PSS ด้วยเทคนิค Layer-by-Layer

วัสดุแต่งประกอบที่คาร์บอนนาโนทิวป์ถูกสร้างขึ้น โดยการอาศัยอันตรกิริยาทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุแตกต่างกัน ระหว่างซัลโฟนิคกรุป ของ PSS และ quaternary ammonium group ของ MWCNTs ที่ถูกกระจายตัวด้วยสารละลาย PDADMAC ซึ่งการเจริญเติบโตของฟิล์มเมื่อมีการเพิ่มจำนวนชั้นสามารถแสดงดังรูปที่ 4.11 โดยกราฟได้รายงานแอมพลิจูดและความหนาที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อจำนวนชั้นของวัสดุแต่งประกอบเพิ่มขึ้น



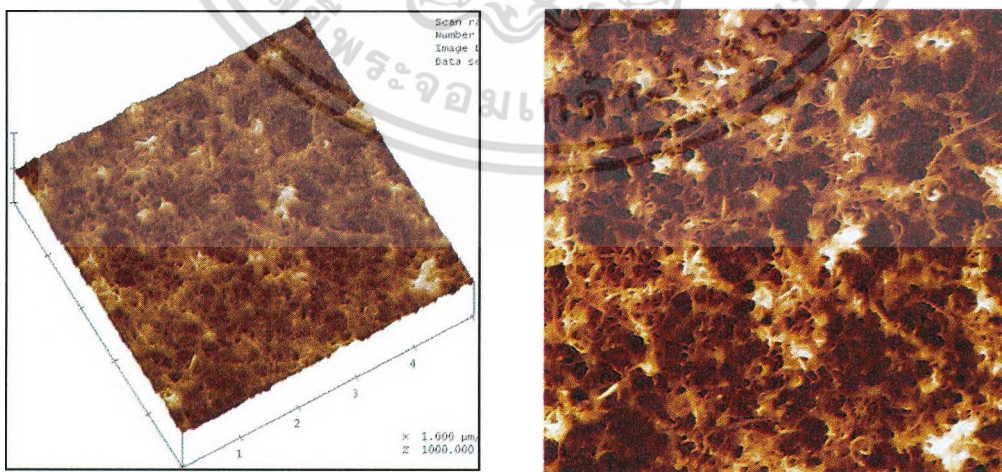
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนชั้นของวัสดุแต่งประกอบ(MWCNTs.PDADMAC)/PSS กับแอมพลิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนชั้นของวัสดุแต่งประกอบ(MWCNTs.PDADMAC)/PSS. กับ ความหนา

จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 พบว่าค่าการดูดกลืนแสง และความหนา ของฟิล์มบาง MWCNTs.PDADMAC)/PSS มีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นของ โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของทั้งค่าการดูดกลืนแสง และความหนา ค่อนข้างจะคงที่ นั่นหมายความว่า ฟิล์มบางดังกล่าวมีอัตราการเจริญเติบโตที่คงที่ ซึ่งการเจริญเติบโตของฟิล์มบางสามารถที่จะแสดงดังรูปที่ 1.14



รูปที่ 4.14 รูป AFM ของวัสดุแต่งประกอบ(MWCNTs.PDADMAC)/PSS. ที่จำนวนชั้น 15 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจากรูปที่ 4 พบว่า พิล์มบางของวัสดุแต่งประกอบ (MWCNTs.PDADMAC)/PSS มีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำมาก ท่อคาร์บอนสามารถเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี

4.3 การศึกษาผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของฟิล์มบางท่อคาร์บอนในระดับนาโน

เมื่อทำการสร้างฟิล์มบางของท่อคาร์บอนในระดับนาโนบนตัวกระจกสไลด์เรียบร้อย แผ่นฟิล์มดังกล่าวได้ถูกนำมาทำการดูดซับด้วยยา 1 ตัวยาลงบนตัวดูดซับคือ curcumin โดยการจุ่มตัวอย่างฟิล์มบางลงบนยาที่มีความเข้มข้น 50 mM และยาที่ถูกโหลกลงบนสารละลายพอลิอิเล็กโตรไลต์บนไหมเย็บแผล จะถูกนำมาศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญแบคทีเรีย (antibacterial) โดยเชื้อแบคทีเรียทดสอบ ได้แก่ แบคทีเรียแกรมบวก ชนิด *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) และ *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) และแบคทีเรียแกรมลบชนิด *Escherichia coli* (*E. coli*) ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อของฟิล์มบางเมื่อมีการเคลือบสาร curcumin (ขมิ้นชัน)

ชนิดของเชื้อ	ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อของฟิล์มบาง (%)	
	จำนวนชั้นของฟิล์มบาง	
	5 ชั้น	10 ชั้น
<i>Staphylococcus aureus</i>	82.45	95.87
<i>Bacillus subtilis</i> (<i>B. subtilis</i>)	73.21	81.43
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	75.88	89.72
Blank:		
กระจกเปล่า	0.13 %	
ฟิล์มบางที่ PDAD/PSS	5.24 %	
ฟิล์มบางท่อนาโนคาร์บอน	50.13 %	

จากผลการทดลองพบว่าขมิ้นชันที่เคลือบบนพื้นผิวของท่อนาโนคาร์บอนจะให้ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดเชื้อ *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) และ *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) และแบคทีเรียแกรมลบชนิด *Escherichia coli* (*E. coli*) โดยประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อจะแปรผันตรงตามจำนวนชั้นของท่อนาโนคาร์บอน โดยประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนชั้นของฟิล์มบางเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4. การศึกษาการประสิทธิผลของอนุภาคเงินในระดับนาโนเพื่อใช้สำหรับเป็นฐานรองรับสำหรับการไหลดยาตัวอย่าง

สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน มีด้วยกันหลายองค์ประกอบ เช่น ความเข้มข้นและปริมาณของสารละลายซิลเวอร์ไอออน, ความเข้มข้นและชนิดของสารรักษาเสถียรภาพ (Stabilizing agent) และขั้นตอนวิธีการสังเคราะห์ เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการนำซิลเวอร์ไนเตรทละลายในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH ไม่ต่ำกว่า 4.75 (ในงานวิจัยนี้ใช้ pH 4.75) จากนั้นนำสารรักษาเสถียรภาพ (stability agent) มาละลายในสารละลายบัฟเฟอร์ นำสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทและสารละลายสารรักษาเสถียรภาพ เทรวมกัน นำเข้ากล่อง UV-C lamp (ความยาวคลื่น 100 - 280 nm) เพื่อสัมผัสกับพลังงานจากหลอด UV-C จากนั้นจะได้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเพื่อนำไปประยุกต์ใช้วัสดุรองรับยาต่อไป

4.4.1 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว ชนิดและความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ ตลอดจนเวลาที่ใช้สัมผัสกับพลังงานจากหลอด UV-C มีส่วนสำคัญในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน จึงต้องทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ดังนี้

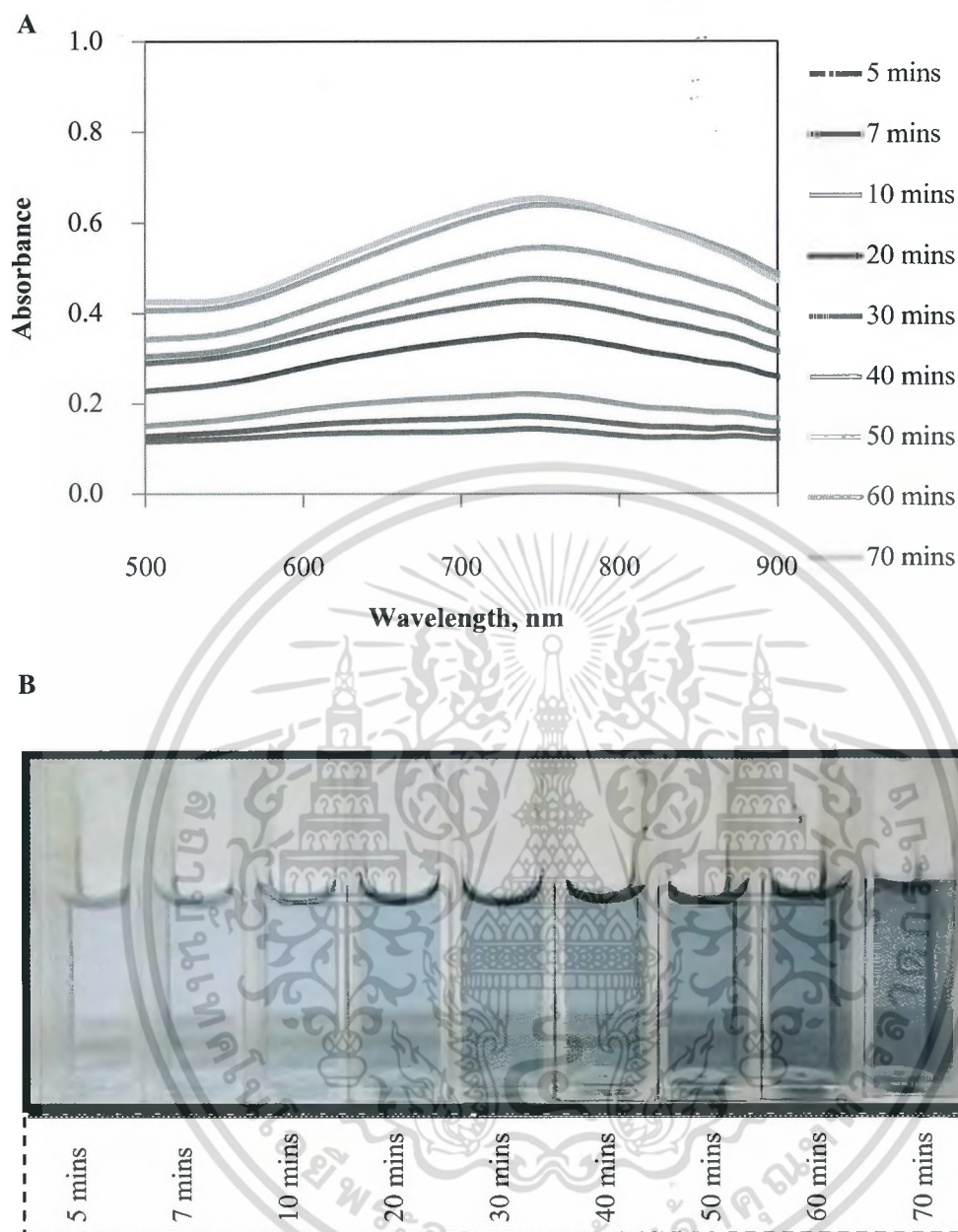
ก. ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA

โดยหลักการของสารรักษาเสถียรภาพ PAA จะให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีฟ้า ซึ่งความเข้มข้นและเวลาที่สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C มีส่วนสำคัญ จึงทำการศึกษาที่ความเข้มข้นดังต่อไปนี้

ก. สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5-70 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

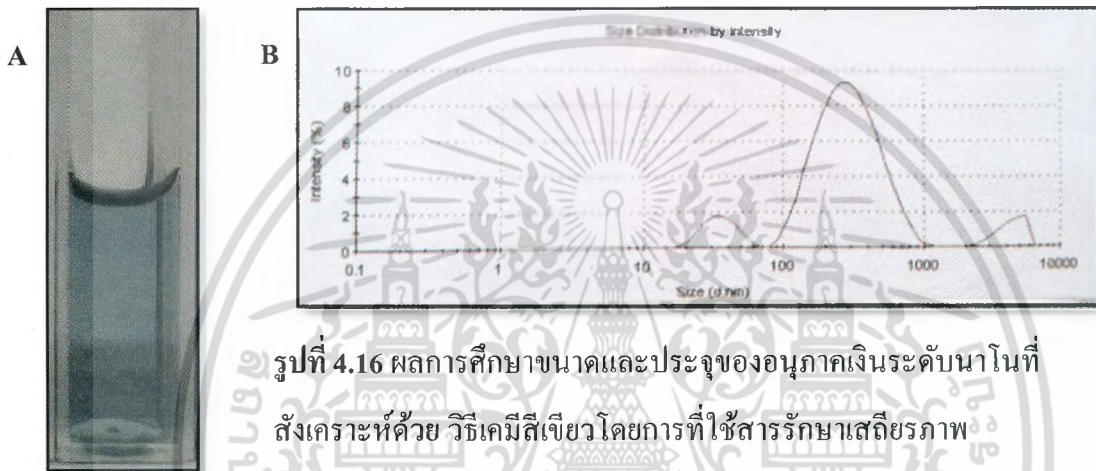


รูปที่ 4.15 ค่าการดูดกลืนแสง (A) และสีสารละลาย (B) ของอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการที่ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA 9 mM

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.15 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PAA แสดงว่าอนุภาคเงินเกิดความเสถียร การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม จะศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อดูค่าการดูดกลืนแสง ประกอบกับระยะเวลา (นาที) ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตลอดจนความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมของสารเพิ่มความคงตัว PAA ที่ความเข้มข้น 9 mM โดยการสังเคราะห์ภายใต้หลอด UV-C นาน 50 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเป็นการยืนยันผลการศึกษานอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารรักษาเสถียรภาพ ตัวช่วยให้อนุภาคเงินเกิดความเสถียร จึงใช้เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าซีต้า (Zetasizer) เพื่อทำการศึกษารูปร่างของอนุภาคได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.16 ประจุของอนุภาคเงินได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.2 และทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคเงินระดับนาโนด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.1

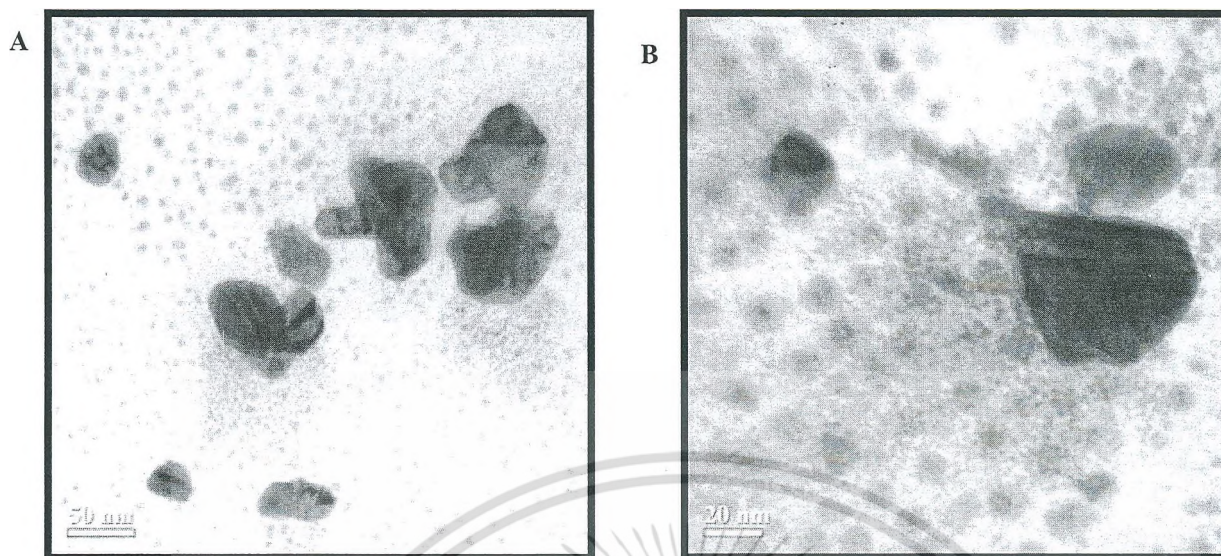


รูปที่ 4.16 ผลการศึกษารูปร่างและประจุของอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย วิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA 9 mM A. สีสารละลาย B. ขนาดของอนุภาค

ตารางที่ 4.2 ตารางประจุนอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย วิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA 9 mM

ชนิดของสารเพิ่มความคงตัว	ครั้งที่ 1 (mV)	ครั้งที่ 2 (mV)	ครั้งที่ 3 (mV)	ค่าเฉลี่ย (mV)
PAA	-14.33	-15.48	-13.15	-14.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้ สารรักษาเสถียรภาพ PAA 9 mM ด้วย TEM

A. ขนาดสเกล 50 nm

B. ขนาดสเกล 20 nm

4.4.2 การศึกษาผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของฟิล์มบางอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย วิธีเคมีสีเขียว

เมื่อทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว คณะผู้วิจัยได้นำอนุภาคเงินในระดับนาโนดังกล่าวไปทำการเคลือบลงบนพื้นผิวของไหมเย็บแผล และมีการโหลดยา curcumin ลงบนพื้นผิวของอนุภาคเงินในระดับนาโน และนำฟิล์มที่ได้ไปศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญแบคทีเรีย (antibacterial) โดยเชื้อแบคทีเรียทดสอบ ได้แก่ แบคทีเรียแกรมบวก ชนิด *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) และ *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) และแบคทีเรียแกรมลบชนิด *Escherichia coli* (*E. coli*) ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อของฟิล์มบางเมื่อมีการเคลือบสาร curcumin (ขมิ้นชัน)

ชนิดของเชื้อ	ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อของฟิล์มบาง (%)	
	จำนวนชั้นของฟิล์มบาง	
	5 ชั้น	10 ชั้น
<i>Staphylococcus aureus</i>	98.15	100
<i>Bacillus subtilis</i> (<i>B. subtilis</i>)	97.23	100

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	98.12	**	100
Blank:			
กระจกเปล่า	0.13 %		
ฟิล์มบางที่ PDAD/PSS	5.24 %		
ฟิล์มบางของอนุภาคเงินในระดับนาโน	84.13 %		

จากผลการทดลองพบว่าขมึนชั้นที่เคลือบลงบนพื้นผิวของของอนุภาคเงินในระดับนาโน จะให้ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดเชื้อ *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) และ *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) และแบคทีเรียแกรมลบชนิด *Escherichia coli* (*E. coli*) โดยประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อจะแปรผันตรงตามจำนวนชั้นของท่อนานาโนคาร์บอน โดยประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนชั้นของฟิล์มบางเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยธรรมชาติอนุภาคเงินในระดับนาโนก็มีความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียเช่นเดียวกัน

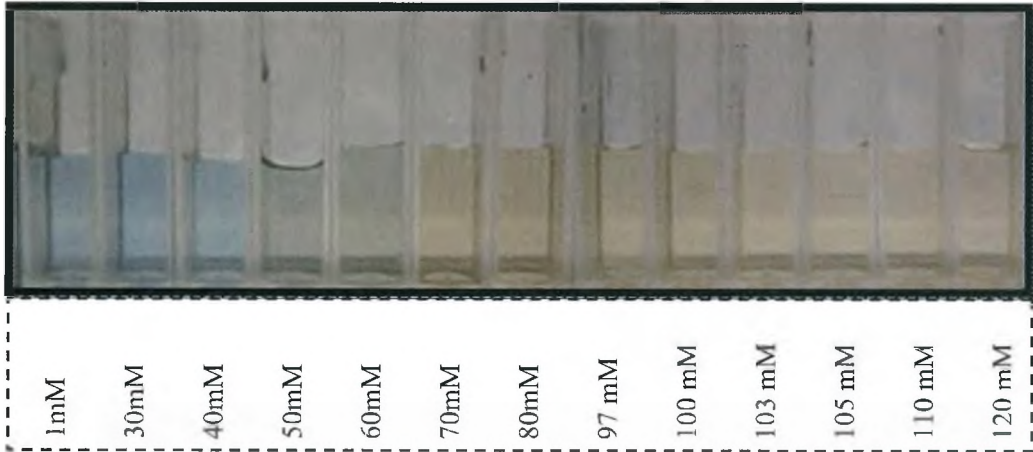
4.4.3 การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้แอมโมเนียของอนุภาคเงินในระดับนาโน

เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ ทีมวิจัยได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพของอนุภาคเงินในระดับนาโนโดยนำสารละลายดังกล่าวไปศึกษาปรากฏการณ์รับรู้สารละลายแอมโมเนีย

ตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนีย

แอมโมเนียเป็นสารประกอบเคมี ที่มีความเป็นพิษ และกัดกร่อน รูปร่างโมเลกุลมีลักษณะเป็นไดโพล (dipole) และมีความเป็นขั้ว ดังนั้นแอมโมเนียจึงละลายในน้ำได้ดีมีฤทธิ์เป็น เบส ใน สารละลายน้ำ (aqueous solution) ในชีวิตประจำวันมักจะพบในปุ๋ยและสารประกอบพอลิเมอร์บางชนิด ด้วยเหตุนี้จึงนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณสารละลายแอมโมเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ค่าการดูดกลืนแสง(A) และสีสารละลาย(B) ของอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA 9 mM ที่ไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้อาหารละลายแอมโมเนีย 1-120 mM

ผลการศึกษารูปที่ 4.18 พบว่า สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM สีของสารละลายเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อสารละลายแอมโมเนียมีความเข้มข้น 50 mM และสีของสารละลายเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนที่ความเข้มข้น 70 mM

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้นอกจากสามารถใช้เป็นฐานรองรับในการโหลดยาตัวอย่าง curcumin แล้ว ยังสามารถนำมาใช้สร้างเป็นวัสดุสำหรับเป็นตัวรับรู้อาหารละลายแอมโมเนียได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการกระจายตัวของท่อคาร์บอนนาโนทิวป์โดยใช้สารละลาย PDADMAC เป็นตัวกระจายพบว่า ท่อคาร์บอนมีความสามารถที่จะกระจายตัวได้ดีในสถานะที่มีการใช้ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ต่ำๆ 0.1 mM โดยท่อคาร์บอนดังกล่าวมีเสถียรภาพสูงมาก สามารถเก็บไว้เป็นเวลานานได้ กอปรกับท่อคาร์บอนที่ถูกกระจายตัวในสารละลายดังกล่าว สามารถนำไปสร้างเป็นฟิล์มบางโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะถูกนำไปประยุกต์ในการโพลียาต์ด้วยงบนไหมเย็บแผลได้ดี

โดยจากผลการทดลองพบว่าไขมันชั้นที่เคลือบลงบนพื้นผิวของท่อนาโนคาร์บอนจะช่วยให้ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดเชื้อ *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) และ *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) และแบคทีเรียแกรมลบชนิด *Escherichia coli* (*E. coli*) โดยประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อจะแปรผันตรงตามจำนวนชั้นของท่อนาโนคาร์บอน โดยประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนชั้นของฟิล์มบางเพิ่มขึ้น

ในขณะที่ตัวกักเก็บเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้โดยใช้พลังงานแสงในการสังเคราะห์ถูกนำมาใช้เคลือบลงบนไหมเย็บแผลและทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อ *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) และ *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) และแบคทีเรียแกรมลบชนิด *Escherichia coli* (*E. coli*) โดยพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อจะแปรผันตรงตามจำนวนชั้นของท่อนาโนคาร์บอน โดยประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนชั้นของฟิล์มบางเพิ่มขึ้น และอีกหนึ่งคุณสมบัติของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้คือนำไปสร้างเป็นตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนีย โดยพบว่าอนุภาคเงินในระดับนาโนสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีชมพูเป็นสีเขียว และสีเหลืองเมื่อสารละลายแอมโมเนียมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 1-100 ppm

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการพัฒนาการกักเก็บและปลดปล่อยของยาตัวอย่างจากฟิล์มบางหลายชั้นของสารพอลิอิเล็กโตรไลต์บนไหมเย็บแผล ซึ่งประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้คือสามารถที่จะพัฒนาวัสดุไหมเย็บแผล ที่มีคุณสมบัติพิเศษที่มีความสามารถในการต่อต้านจุลชีพ ลดอาการอักเสบ ลดอาการบวม ไม่อักเสบใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแผลที่เกิดจากการผ่าตัดได้ โดยยาที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆจะถูกไหลตกลงบนไหมเย็บแผล โดยงานวิจัยนี้สามารถที่จะถูกนำไปตีพิมพ์นวารสารนานาชาติที่มีชื่อเสียง และจะถูกนำไปใช้ต่อมวณมนุษยชาติต่อไป แต่ถ้าต้องการให้เกิดประโยชน์สูงสุด การไหลดยาที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันลงบนไหมเย็บแผล เป็นเรื่องที่น่าทำทหาย เพราะไหมเย็บแผลที่ได้จะมีคุณสมบัติที่โดดเด่นมาก โดยในอนาคตทีมผู้วิจัยจะพัฒนาการไหลดยาที่มีคุณสมบัติหลากหลายต่อไปบนไหมเย็บแผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Kumar, M.N.V.R., Muzzarelli, R.A.A., Muzzarelli, C., Sashiwa, H., Domb, A.J. Chitosan Chemistry and Pharmaceutical Perspectives, *Chem. Rev.*, 2004: 104: 6017–6084.
2. Pillai, C.K.S., Paul, W. and Sharma, C.P. (2010). Chitosan: Manufacture, Properties & Uses, In: Columbus, F. (ed.), Chitosan: Manufacture, Properties & Uses, Hauppauge, NY, Nova Science Publishers, Inc. (in press).
3. Nishimura, K., Nishimura, S., Seo, H., Nishi, N., Tokura, S. and Azuma, I. Macrophage Activation with Multi-porous Beads Prepared from Partially Deacetylated Chitin, *J. Biomed. Mater. Res.*, 1986: 20: 1359–1372.
4. Zikakis, J.P. (1984). Chitin, Chitosan and Related Enzymes, New York, Academic.
5. Singh, D.K. and Ray, A.R. Biomedical Applications of Chitin, Chitosan, and their Derivatives, *Polym. Rev.*, 2000: 40: 69–83.
6. Tsai, W.C., Chu, C.C., Chiu, S.S. and Yao, J.Y. In Vitro Quantitative Study of Newly Made Antibacterial Braided Nylon Sutures, *Surg. Gynecol. Obstetr.*, 1987: 165: 207–211.
7. Chu, C.C. (1991). Recent Advancements in Suture Fibres for Wound Closure, In: Vigo, T.L. and Turbak, A.F. (eds), High-tech Fibrous Materials, Washington, DC, ACS Symposium Series 457, pp. 167–211.
8. Dubas, S. T., Wacharanad, S. & Potiyaraj, P. Tuning of the antimicrobial activity of surgical sutures coated with silver nanoparticles. *Colloids and Surfaces a-Physicochemical and Engineering Aspects* 380, 25-28, (2011).
9. Gupta, B., Jain, R., Anjum, N. and Singh, H. Preparation of Antimicrobial Sutures by Preirradiation Grafting of Acrylonitrile onto Polypropylene Monofilament. III. Hydrolysis of the Grafted Suture, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2004: 94: 2509–2516.
10. Fedorov, M.B., Vikhoreva, G.A., Kil'deeva, N.R., Mokhova, O.N., Bonartseva, G.A. and Gal'braikh, L.S. Antimicrobial Activity of Coresheath Surgical Sutures Modified with Poly-3-hydroxybutyrate, *Appl. Biochem. Microbiol.*, 2007: 43: 611–615.
11. Bide, M., Bachuwar, A., Phaneuf, M. et al. Fiber-Antibiotic Interactions in the Development of Infection-resistant Sutures, *AATCC Rev.*, 2007: 7: 44–48.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. Anjum, N., Gulrez, S.K.H., Singh, H. and Gupta, B. Development of Antimicrobial Polypropylene Sutures by Graft Polymerization. I. Influence of Grafting Conditions and Characterization, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2006: 101: 3895–3901.
13. Gupta, B., Anjum, N., Gulrez, S.K.H. and Singh, H. Development of Antimicrobial Polypropylene Sutures By Graft Copolymerization. II. Evaluation of Physical Properties, Drug Release, and Antimicrobial Activity, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2007: 103: 3534–3538.
14. David Leaper, Ojan Assadian, Nils-Olaf Hubner, Andrew McBain, Thomas Barbolt, Stephen Rothenburger, Peter Wilson, Antimicrobial sutures and prevention of surgical site infection: assessment of the safety of the antiseptic triclosan, *International Wound Journal*, (2011) Volume 8, Issue 6, pages 556–566, December 2011
15. Jean-Claude Harnet, Errell Le Guen, Vincent Ball, Henri Tenenbaum, Joelle Ogier, Youssef Haikel, Constant Vodouhe, Antibacterial protection of suture material by chlorhexidine functionalized polyelectrolyte multilayer films, *J Mater Sci: Mater Med* (2009) 20:185–193
16. Decher, G. *Science* 1997, 277, 1232–1237.
17. Decher, G.; Schlenoff, J. B. *Multilayer Thin Films: Sequential Assembly of Nanocomposite Materials*; Wiley-VCH: Weinheim, Germany, 2003.
18. Bertrand, P.; Jonas, A.; Laschewsky, A.; Legras, R. *Macromol. Rapid Commun.* 2000, 21, 319–348.
19. Hammond, P. T. *Adv. Mater.* 2004, 16, 1271–1293.
20. Sukhishvili, S. A.; Kharlampieva, E.; Izumrudov, V. *Macromolecules* 2006, 39, 88–888173.
21. Schlemoff JB, Retrospective on the Future of Polyelectrolyte Multilayers, *Langmuir*, 2009, 25 (24), p14007–14010
22. L. Derbal, H. Lesot, J.C. Voegel, V. Ball, Incorporation of alkaline phosphatase into layer-by-layer polyelectrolyte films on the surface of affi-gel heparin beads: physicochemical characterization and evaluation of the enzyme stability. *Biomacromolecules* 4, 1255 (2003).
23. Y. Lvov, G. Decher, G. Sukhorukov, Assembly of thin films by means of successive deposition of alternate layers of DNA and poly(allylamine). *Macromolecules* 26, 5396 (1993).
24. Iamsamai, C., Soottitantawat, A., Ruktanonchai, U., Hannongbua, S. & Dubas, S. T. Simple method for the layer-by-layer surface modification of multiwall carbon nanotubes. *Carbon* 49, 2039-2045, (2011).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25. Potisatityueng A, Tumcharern G, Dubas ST, et al. Layer-by-layer assembly of intact polydiacetylene vesicles with retained chromic properties, *Journal of colloid and interface science*, 304 (1): 45-51 DEC 1 2006.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ผลผลิต (Output) ที่สำเร็จหลังการวิจัยเสร็จสิ้น

1. ประเภทการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

ก. ร่วมงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 2014 The 3rd International Conference on Nanostructures, Nanomaterials and Nanoengineering ระหว่างวันที่ 26-28 เดือนธันวาคม ปีพ.ศ. 2557 ณ สาธารณรัฐประชาชนจีน เขตบริหารพิเศษฮ่องกง

2014 The 3rd International Conference on Nanostructures, Nanomaterials and Nanoengineering

ICNNA 2014

HongKong December 26-28, 2014

โดยผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์จะถูกตีพิมพ์ที่

Indexing: Volumes are submitted for indexing to Elsevier: SCOPUS www.scopus.com and Ei Compendex (CPX) www.ei.org/. Cambridge Scientific Abstracts (CSA) www.csa.com, Chemical Abstracts (CA) www.cas.org, Google and Google Scholar google.com, ISI (ISTP, CPCI, Web of Science) www.isinet.com, Institution of Electrical Engineers (IEE) www.iee.org.

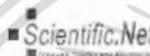
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCIENCE AND ENGINEERING INSTITUTE
www.sciei.org

Acceptance Letter

2014 The 3rd International Conference on Nanostructures, Nanomaterials and
Nanoengineering (ICNNN 2014)
Hong Kong, December 26-28, 2014
<http://www.icnnn.org/>



Paper ID: N015
Paper Title: UV- Assisted Synthesis of Silver Nanoparticles Using Poly(acrylic acid) For
Colorimetric Ammonia Sensing

Dear Ekarat Detsri, Jittaporn Popanyasak, Nathawut Laomaneenopparat and Kittima Warngbun,
With heartiest congratulations I am pleased to inform you that based on the recommendations of
the reviewers and the Technical Program Committees, your paper identified above has been
accepted for publication and oral presentation by 2014 The 3rd International Conference on
Nanostructures, Nanomaterials and Nanoengineering (ICNNN 2014).

ICNNN 2014 conference received over 60 submissions from countries and regions so far, reviewed
by international experts; the acceptance ratio is controlled below 40%. Your paper will be
published in Advanced Materials Research Journal after registration.

Herewith, the conference committee sincerely invites you to come to present your paper at
ICNNN 2014 to be held in Hong Kong, December 26-28, 2014.

For more information on the conference, please check the ICNNN 2014 web site at:
<http://www.icnnn.org/>

Yours sincerely,

For and on behalf of
SCIENCE AND ENGINEERING INSTITUTE

Amanda Wu
Authorized Signature(s)

ICNNN 2014 Organizing Committees

Hong Kong

2448 DESIRE AVENUE, ROWLAND HEIGHTS, LA, CA 91748, U.S.A
Email: info@sciei.org | Tel.: +1-562-606-1057 / +86-1820777775

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCIENCEANDENGINEERING INSTITUTE
www.sciei.org

**2014 The 3rd International Conference on Nanostructures,
Nanomaterials and Nanoengineering (ICNNN 2014)**

Review Form

Thanks for your time.

Please give comments according to *Originality, Innovation, technical merit, applicability, match to Conference Topic, etc.*

Reviewer' comments are appended below:

Paper Title: UV- Assisted Synthesis of Silver Nanoparticles Using Poly(acrylic acid) For Colorimetric Ammonia Sensing- N015					
Recommendation to Editors					
	Strongly Reject	Reject	Marginally Accept	Accept	Strong Accept
Recommendation				X	
Comments (no less than 100 words)					
<p>The authors emphasised in the introduction section, the importance of silver nanoparticles in medical and chemical industry due to the unique optical, electrical and antimicrobial properties. Characterizations of the as-synthesis silver nanoparticles prepared by the authors were carried out by various techniques such as Transmission Electron Microscopy (TEM), UV-Visible absorption microscopy. The reached result is interpreted in the Results and Discussions section, and results are summarized in conclusion section.</p> <p>The manuscript is well organized, the knowledge in the introduction section, experimental details and conclusions are satisfactory. The study is original, and subject is relevant from viewpoint of the scope.</p>					

Once again, thank you for kindly support.

Yours sincerely,

ICNNN 2014

2448 DESIRE AVENUE, ROWLAND HEIGHTS, LA, CA 91748, U.S.A
Email: info@sciei.org | Tel.: +1-6177166164/ +86-1820777775

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UV- Assisted Synthesis of Silver Nanoparticles Using Poly(acrylic acid) For Colorimetric Ammonia Sensing

Ekarat Detsri^{1,2,a}, Jittaporn Popanyasak^{1,b}, Nathawut Laomaneenopparat^{1,c} and Kittima Warngbun^{1,d}

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

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

^akdekarat@kmitl.ac.th, ^bjpopanyasak@hotmail.com, ^cNathawut_Lao@hotmail.com,

^dKittima_Warng@hotmail.com

Keywords: Green synthesis, silver nanoparticles, ammonia sensing, poly(acrylic acid)

Abstract. Silver nanoparticles was successfully synthesized by the exposure of silver nitrate solution to the high intensity ultraviolet source with an addition of poly(acrylic acid, sodium salt), (PAA) as the stabilizing agent. The silver nanoparticles were displayed a dark blue color which a maximum absorbance at 784 nm. The average size and surface charges of PAA stabilized silver nanoparticles at pH5 were 81.62 nm and -14.32 mV, respectively. Upon the addition of ammonia solution, the dark blue color of silver nanoparticles were changed to light green and yellow. The detection of ammonia concentration using PAA stabilized silver nanoparticles has been responded to 1-80 ppm. The PAA stabilized silver nanoparticles, blue solution are promising to be an alternative method for colorimetric detection of ammonia in environmental or industrial section.

Introduction

One of the area in nanotechnology which has received a lot of interest concerns the design of sensors for detecting biomolecules, pollutants and other chemicals. Among the chemicals for which analysis is needed, ammonia residues are of importance due to their high toxicity and the risk they present for the environment and for human health. The recent advanced in fabrication ammonia sensors technology have led to reduction in size of devices by incorporating nanomaterials such as metal-oxide [1] and organic conducting polymer [2] as the sensing layer to achieve the recognition toward ammonia concentration. Nanomaterial can be used as sensor based on different detection principles [3]. The most commonly used takes advantage of the change in conductivity of nanomaterials sensing layer upon adsorption of a target molecule. For the detection of ammonia in solution, optical sensor based spectrophotometric method have been developed. Although many other options exist, the optical method is very interesting because it can be easily miniaturized and interface with optical fiber for direct measurement.

Silver nanoparticles have attracted interest from the medical and chemical industry due to the unique optical, electrical and antimicrobial properties. Silver nanoparticles are widely used in numerous products, containing textiles, sensor, personal care products, food storage containers and home appliances [4]. Normally, there are several methods for the synthesis of silver nanoparticles such as chemical reduction, gas condensation, laser irradiation and sonochemical deposition [5]. According to several methods, the chemical reduction method is widely used, according to the production of nanoparticles without aggregation, high yield and low preparation cost [6]. Generally, silver nanoparticles synthesis required reducing agents such as sodium borohydride [7], hydrazine or organic compounds [8] which can be correlated with environment toxicity and biological hazard [9]. However, an alternative of green chemistry to the synthesis of silver nanoparticles become more attractive due to the increasing demand for safe and eco-friendly use. Recently, more studied have focused on the green synthesis of silver nanoparticles via UV irradiation method. In this work, we have prepared silver nanoparticles using a low cost photo-reduction-green synthesis of silver

nitrate solution in the dilute solution of polyelectrolyte, poly(acrylic acid). Characterizations of the as-synthesis silver nanoparticles capped PAA were achieved by various techniques such as Transmission Electron Microscopy (TEM), UV-Visible absorption microscopy, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and Zeta potential. The ammonia sensing properties of silver nanoparticles capped PAA were investigated.

Experimental

Chemicals. Silver nitrate (AgNO_3), poly(acrylic acid sodium salt) (PAA, molecular weight = 5,100) were purchased from Aldrich, Thailand. Acetic acid (CH_3COOH), sodium acetate ($\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) and 30 % ammonia solution were purchased from Carlo, ERBA. All of above mentioned reagents were analytical grade and used as received without further purification. Deionized water was generated by a Millipore Q water purification system and used in all experimental.

Photo reduction of silver nanoparticles capped poly(acrylic acid). Silver nanoparticles stabilized by polyanionic polymers, poly(acrylic acid sodium salt, PAA) was prepared by the reduction of silver nitrate in short wavelength ultraviolet light (280 – 100 nm). The synthesis of silver nanoparticles can be summarized as follow; 5 mM of PAA was mixed with 25 ml of 10 mM AgNO_3 in 10 mM acetic acetate buffer pH 4.75. The mixture solutions were exposed in UV light. Aliquots were taken at different time intervals to monitor the growth of the particles. The solutions were kept at room temperature and stored in closed container.

Characterization of silver nanoparticles capped poly(acrylic acid). Genesis 10s Thermo scientific UV-Vis, was used for the absorption measurement of silver nanoparticles capped with PAA in the 300 – 900 nm wavelength range which includes the absorbance peak of the silver nanoparticles centered at 784 nm. A transmission electron microscope model Jeol JEM 100SX was used to analyze the particles size and morphology of freshly prepared silver nanoparticles. The samples were prepared by placing a drop of diluted silver nanoparticles on a copper grid. The surface charges of the nanoparticles was measured by Zetasizer NanoZS (Malvern).

Results and Discussion

Silver nanoparticles were prepared by mixing polyelectrolyte, poly(acrylic acid sodium salt, PAA) in silver nitrate solution by adjust the pH of the solution to 4.75 using acetic-acetate buffer. The reduction of silver ions was achieved under exposure to high intensity UV-light. In order to evaluate ability of PAA-stabilized silver nanoparticles formation, times of UV lamp exposure were varied from 5–70 min. As shown in Figure 1, the silver nanoparticles suspension were showed drastic color change form colorless to blue according to the reaction time under UV exposure. The stabilization, PAA 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.

Interestingly, the PAA-stabilized silver nanoparticles showed the maximum absorbance peak at 784 nm with a dark blue color suspension while the common silver nanoparticles synthesized by chemical reduction were a yellow suspension with an absorbance maximum at 400 nm [10]. The different characteristic of PAA-stabilized silver nanoparticles were due to incompleteness of silver ions reduction which disturb the dielectric surrounding medium of the nanoparticles. The excesses-unreacted of the silver ion can interact with the carboxylic groups of PAA on the surface of nanoparticles to form Ag^+/COO^- . The complex formation displaces the water molecules and modifies the dielectric constant of the medium that surrounds the surface of nanoparticles [11].

The resulting suspension of PAA-stabilized silver nanoparticles were displayed a dark blue color which less hydrated and less polar surrounding medium. Normally, the color of colloidal silver nanoparticles is attributable to the so-called localized surface plasmon resonance (LSPR) which arises from the coupled oscillation of the conduction electron in the silver nanoparticles induced by the light electric field [12]. In addition, the position, shape and intensity of the LSPR can indicate morphology, dielectric constant of the environmental and inter-particle coupling. Generally, the

stability of colloidal silver nanoparticles is determined by the sum of attractive-Van Der Waal forces and repulsive-electrostatic forces which particles experience as they approach one another [13]. Theoretical, nanoparticles whose zeta potential of more than approximately ± 30 mV are considered to be stable due to electrostatic repulsion of the surface charge preventing particles aggregation [13].

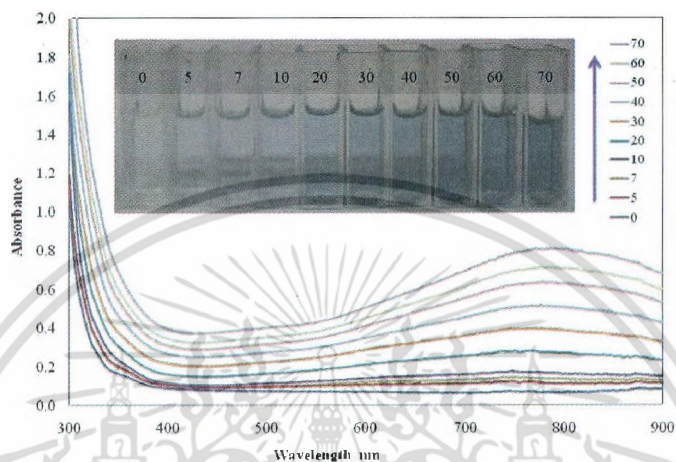


Fig. 1 UV-Visible absorption spectra and the representative digital images of silver nanoparticles stabilized PAA at different UV exposure times (0-70 min).



Fig. 2 Zeta potential of silver nanoparticles stabilized PAA by varying the pH of from 3-10.

According to results, zeta potential of PAA stabilized silver nanoparticles at different pH after preparation 1 week storage was shown in Figure 2. The zeta potential was found nearly -11 mV to -17 mV when adjust the pH from 3-10. The zeta potential was slightly increased to over than -30 mV, so it could be implied that PAA-stabilized silver nanoparticles seemed to be stable. The zeta potential of nanoparticles were indicated the surface charge of the nanoparticles which depends on the particles composition and the displace medium. The negative zeta potential values are due to the PAA stabilizer which confirm the silver nanoparticles synthesis. The lower zeta potential for pH values of 3 to 4 is the result of charges in the degree of ionization of carboxylic groups of PAA. On the other hand, the zeta potential of pH 5-10 was found to stable due to complete ionization of PAA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

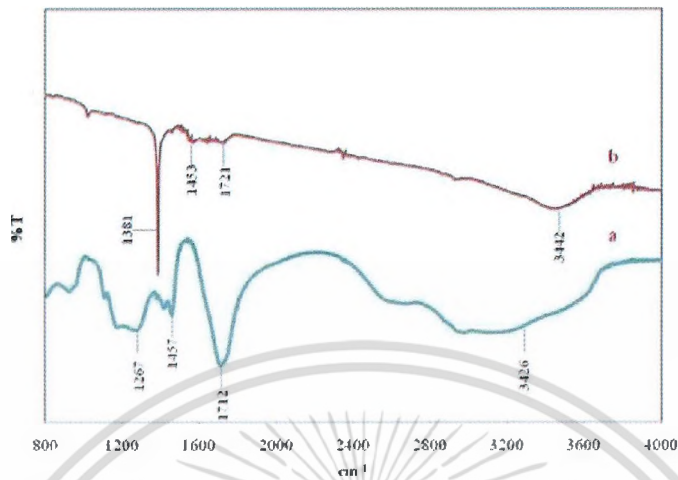


Fig. 3 FTIR spectra of pure PAA (a) and silver nanoparticles stabilized PAA (b).

To further confirm PAA-stabilized silver nanoparticles, FTIR was used to analyze the organic functional groups of silver nanoparticles after synthesis. These were compared to the FTIR spectra of pure PAA, Figure 3a. The FTIR spectrum of PAA shows a characteristic peak at 1457 cm^{-1} and 1267 cm^{-1} for the symmetric and anti symmetric vibration of $-\text{COO}^-$ groups, respectively. The peak at 1712 cm^{-1} and 3426 cm^{-1} are attributed to stretching vibration of free carbonyl groups and stretching vibration of hydroxyl group, respectively. All characteristic of pure PAA can be observed in the FTIR spectra of PAA-stabilized silver nanoparticles as can be seen in Figure 3b. The main characteristic absorption peak of $-\text{COO}^-$ group are visible at 1453 cm^{-1} and 1381 cm^{-1} demonstrating the complete capping of nanoparticles. The morphology of PAA-stabilized silver nanoparticles were observed by transmission electron microscopy (TEM) and pictures are shown in Figure 4. The TEM pictures show that the elongated shape about 81.62 nm in diameter and appeared rather spherical in shape are obtained. The size of PAA-stabilized silver nanoparticles appear large when compared with data reported by other groups using chemical reduction fashion. Lei Sun and team [14], who reported the particles size of about 8.5 nm when using PAA-stabilized silver nanoparticles. They also reported that the particles size increased with increasing silver nitrate concentration by fixing PAA concentration.

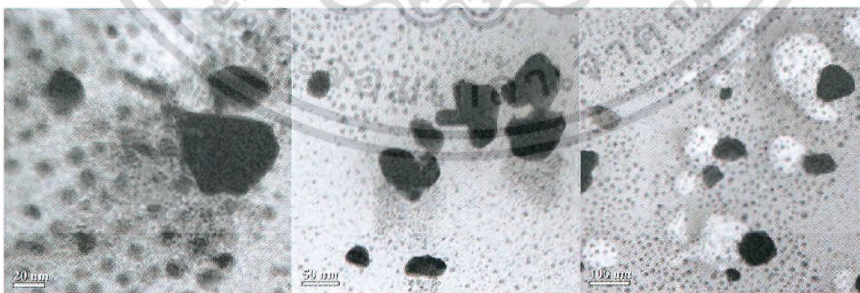


Fig. 4 TEM images of silver nanoparticles stabilized PAA at different magnitude.

Since this work concern the preparation of silver nanoparticles for ammonia sensing application, changes in optical properties of silver nanoparticles were evaluated by mixing the nanoparticles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

solution with various ammonia concentration. Shown in Figure 5 is the change in absorbance of PAA-stabilized silver nanoparticles solution as the function of ammonia concentration. The picture in cartouche displays the corresponding color change from dark blue to light green and yellow with increasing ammonia concentration from 5 to 80 ppm. It can be seen that as the concentration in ammonia increase, the peak located at 784 nm decreases and a new peak appears at 425 nm. This is probably due to the association of ammonia with excess silver ions to form $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$ coordination complex [15]. The LSPR spectral shift is usually explained by a combination of changes in inter-particles distance and dielectric constant of the surrounding medium. The $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$ complex increases the surface charge of particles and lead to increase the repulsion between the particles as well as increase the water content in the surrounding of the particles. Therefore, this results is more hydrophilic and isolated the particles which a blue shift spectrum [15].

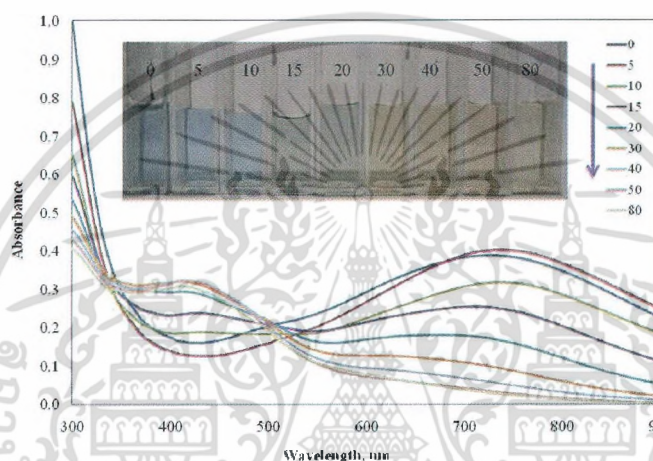


Fig. 5 The changes in color and UV-Visible spectra upon increasing concentrations of ammonia, 0-80 ppm.

Conclusions

In this study, a one step UV-assisted synthesis of silver nanoparticles was developed. The presented results show that poly(acrylic acid sodium salt) can be regarded as a good stabilizing agent for the preparation of silver nanoparticles. The dark blue color of PAA-stabilized silver nanoparticles display the characteristic LSPR located at 784 nm which is a new signature of the successful preparation of silver nanoparticles. The particle size of silver nanoparticles obtained from TEM were 81.62 nm. The color of the PAA-stabilized silver nanoparticles were changed from dark blue to light green and yellow when add the different concentration of ammonia from 5 to 80 ppm. The color and wavelength shifts might arise from $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$ coordination complex leading to the absence of excess Ag^+ in the system. PAA-stabilized silver nanoparticles are promising to be an alternative method for detection of ammonia in real samples.

Acknowledgments


This study was supported by Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang under contract No. 2557-01-05-015.

References

- [1]. G. K. Mani and J. B. B. Rayappan: *Sensor Actuat B-Chem* Vol. 183 (2013), p. 459-466.
- [2]. S. K. Mishra, D. Kumari and B. D. Gupta: *Sensor Actuat B-Chem* Vol. 171 (2012), p. 976-983.
- [3]. S. Koul, R. Chandra and S. K. Dhawan: *Sensor Actuat B-Chem* Vol. 75 (2001), p. 151-159.
- [4]. Q. Zhang, D. H. Wu, S. L. Qi, Z. P. Wu, X. P. Yang and R. G. Jin: *Mater Lett* Vol. 61 (2007), p. 4027-4030.
- [5]. P. Kouvaris, A. Delimitis, V. Zaspalis, D. Papadopoulos, S. A. Tsiapas and N. Michailidis: *Mater Lett* Vol. 76 (2012), p.18-20.
- [6]. B. Pant, H. R. Pant, D. R. Pandeya, G. Panthi, K. T. Nam, S. T. Hong, C. S. Kim and H. Y. Kim: *Colloid Surface A* Vol. 395 (2012), p.94-99.
- [7]. Z. Khan, S. A. Al-Thabaiti, A. Y. Obaid and A. O. Al-Youbi: *Colloid Surface B* Vol. 82 (2011) p. 513-517
- [8]. I. O. Ali: *Colloid Surface A* Vol. 436 (2013), p.922-929.
- [9]. B. Lee and S. Koo: *J Ind Eng Chem* Vol. 17 (2011), p. 762-766.
- [10]. J. Perez-Juste, I. Pastoriza-Santos, L. M. Liz-Marzan and P. Mulvaney: *Coordin Chem Rev*, Vol. 249 (2005), p.1870-1901.
- [11]. S. Link, M.A. El-Sayed: *Int. Rev. Phys. Chem.* Vol. 19 (2000), p. 409.
- [12]. U. Kreibig, M. Vollmer, J.P. Toennies. *Optical Properties of Metal Clusters*, Springer-Verlag, Berlin, 1995.
- [13]. K. M. Cheng, Y. W. Hung, C. C. Chen, C. C. Liu and J. J. Young: *Carbohydr Polym* Vol. 110, (2014), 195-202.
- [14]. Z. H. Ni, Z. H. Wang, L. Sun, B. J. Li and Y. B. Zhao: *Mat Sci Eng C-Mater* Vol. 41 (2014), p. 249-254.
- [15]. S. T. Dubas and V. Pimpan: *Talanta* Vol. 76 (2008), p. 29-33.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. งานวิจัยนี้ได้มีการนำไปเสนอในงานนิทรรศการวันวิทยาศาสตร์ประจำปี 2557 ระหว่างวันที่ 25-26 สิงหาคม 2557 ณ หอประชุมจุฬารัตน์ฯ ในรูปแบบโปสเตอร์ดังรูปด้านล่าง



Fabrication of Multi-Walled Carbon Nanotubes/Alginate Thin Films Using Layer-by-Layer Deposition Technique For Transdermal Drug Delivery

Ekarat Detsri

Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 105202

Abstract. The Layer-by-Layer (LbL) deposition technique was used to prepare composite thin films of cationic multi-walled carbon nanotubes and anionic alginate acid. Cationic multi-walled carbon nanotubes was prepared by dispersion of multiwall carbon nanotubes with poly(diallyldimethyl ammonium chloride). The multilayer composite thin films were constructed by alternate deposition of each anionic and cationic polyelectrolytes. This technique was found to be very interesting for the fabrication of thin carbon nanotubes films of controlled composition and architecture. The composite assembly of polyelectrolyte capped CNT and alginate acid appear to be a promising method for the fabrication of composite film for transdermal drug delivery.

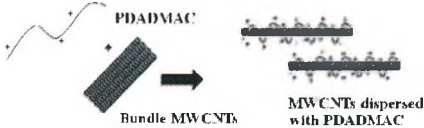
Introduction. Tissue or blood vessel that have been cut during surgery or accident are usually reconnected using surgical sutures. Although the procedure is simple, the quality of the suture will influence the recovery time, and the appearance of the scar left on the skin. Often, within the few days after surgery, the sutured wound tend to swell due to inflammation and bacterial infection. The surgical suture itself is responsible for the infection because it absorbs the extra-cellular liquid and offer a very good breeding ground for the proliferation of bacteria. The proposed treatment is often based on antibiotics taken orally as well as anti-inflammatory. The solution would be to fabricate surgical suture coated with drugs such as anti-microbial or anti-inflammatory to prevent infection and swelling of the wound. Although the concept is simple, the challenge remains the coating of the drug and their immobilization on the surgical suture surface for delivery once implanted.

Carbon nanotubes (CNTs) are very prevalent in today's world of medical research and are being highly researched in the fields of efficient drug delivery and biosensing methods for disease treatment and health monitoring. Carbon nanotube technology has shown to have the potential to alter drug delivery and biosensing methods for the better, and thus, carbon nanotubes have recently garnered interest in the field of medicine. The use of CNTs in drug delivery and biosensing technology has the potential to revolutionize medicine.

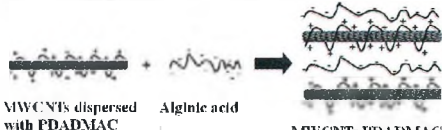
Experimental.

1. Dispersion of multi-walled carbon nanotubes with poly(diallyldimethyl ammonium chloride), PDADMAC

According to the van der Waals force between nanotubes surface, carbon nanotubes tend to aggregate to each other as a bundle. Therefore, this major problem lead carbon nanotubes hardly dispersed in any kind of solvent and induced the next problem which was how to disperse carbon nanotubes before being used in any application. There are two main approaches for modifying carbon nanotubes surface which are noncovalent and covalent surface modification. In these experiments, PDADMAC was used to disperse MWCNTs by noncovalent surface modification based on the interaction as hydrophobic.



2. Layer-by-layer self assembly of MWCNTs dispersed with poly(diallyldimethyl ammonium chloride) / alginate acid.



Results and Discussion.

Dispersion of Multiwall Carbon Nanotubes with Poly(diallyldimethyl ammonium chloride)

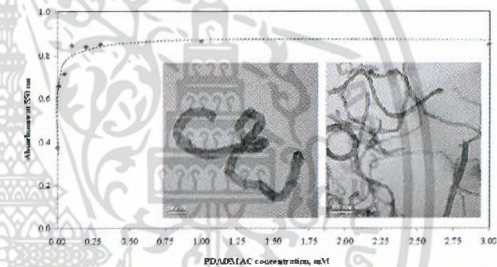


Fig 1. Effect of PDADMAC concentration of 0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 1.0 and 3.0 mM on the dispersion of MWCNTs. Inset graph show the TEM micrograph of MWCNTs dispersed in PDADMAC scale bar 50 nm and 100 nm.

Layer-by-layer, (LbL) self assembly of MWCNTs dispersed with poly(diallyldimethyl ammonium chloride) / alginate acid.

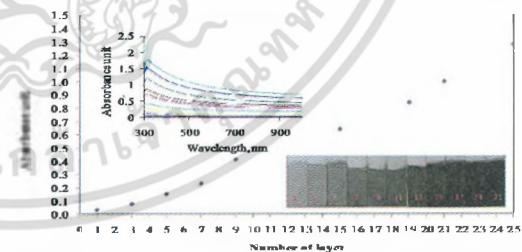


Fig 2. Plot of the changes in absorbance of Layer-by-layer self assembly of (MWCNTs/PDADMAC)/Alginate acid.

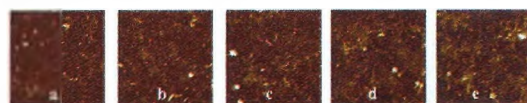


Fig 3. AFM pictures for the (MWCNTs/PDADMAC)/Alginate acid multilayer thin films at (a) 1, (b) 3, (c) 5, (d) 7, and (e) 9 layers

Conclusion. MWCNTs polyelectrolyte can be used for the preparation of composite thin films by the layer-by-layer self assembly technique in an aqueous media. This is very general and powerful technique for the fabrication of thin carbon nanotubes films of arbitrary composition and architecture. The charge compensation in these MWCNTs multilayer is intrinsic, which shows that the electrostatic interaction mainly responsible for the multilayer buildup. The thin MWCNTs composite films could be used as transdermal drug delivery template.

Acknowledgments. The authors would like to acknowledge the financial support from Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในพิธีออกวารสารเท่านั้น ไม่ควรนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการใช้จ่ายงบวิจัย

1. รายละเอียดงบประมาณที่เสนอขอ.....	50,000	บาท
2. รายละเอียดงบประมาณที่ใช้ไป		
2.1. ค่าใช้สอย (แจกรายละเอียด)	18,000	บาท
ค่าตรวจวิเคราะห์.....	9,000	บาท
ค่าจ้างเหมาบริการ.....	5,000	บาท
ค่าจัดทำรูปเล่มรายงาน.....	2,000	บาท
ค่าพิมพ์รายงาน.....	2,000	บาท
2.2. ค่าวัสดุ (แจกรายละเอียด).....	32,000	บาท
ค่าวัสดุวิทยาศาสตร์ เช่น เครื่องแก้ว.....	15,000	บาท
ค่าวัสดุการศึกษา เช่น สารเคมี.....	10,000	บาท
ค่าวัสดุคอมพิวเตอร์.....	3,000	บาท
ค่าวัสดุสำนักงาน.....	2,000	บาท
ค่าถ่ายเอกสาร.....	2,000	บาท
	รวมงบประมาณที่ใช้ไป	50,000 บาท
	คงเหลือ	0.00 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายเอกรัฐ เดชศรี
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr, Ekarat Detsri
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3450600771921
3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนน
ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์ 081-1728191
ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ Kdekarat@Kmitl.ac.th
4. ประวัติการศึกษา
Doctor of Philosophy, International program in Nanoscience and Technology, Graduate school, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.
Title of Thesis: Fabrication of Carbon Nanotube-Polyaniline Composite Thin Films Using Layer-by-Layer Technique For Gas Sensing Application.
Master of Science, Major Analytical Chemistry, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.
Title of Thesis: Defluoridation by Fired Clay and Its Application Potential.
Bachelor of Science, Major Chemistry, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.
Title of Project: Determination of trihalomethane and chlorinated organic compounds using liquid-liquid extraction by gas chromatograph ; LLE-GC.
5. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพ
1. Detsri E., Ruen-ngam D., Warngbun K and Laomaneenopparat N, Antimicrobial activity of polyester air filters coated with green synthesized silver nanoparticles using Layer-by-Layer self-assembly technique, (In press)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. 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: Physicochemical and Engineering Aspects*, 467, 2015, 57-65.
3. Detsri E., Popanyasak J., Laomaneenopparat N., and Warngbun K., UV- assisted synthesis of silver nanoparticles using poly(acrylic acid) for colorimetric ammonia sensing, *Advanced Materials Research*, 1105, 2015, 225-230.
4. 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.
5. 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.
6. Detsri, E., Dubas, S. T, Interfacial polymerization of water-soluble polyaniline and its assembly using the layer-by-layer technique, *Journal of metal, material and minerals*. 2009, 19, 39-44.