การติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระจกสไลด์ ด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ เพื่อใช้เป็นชุดตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

Layer-by-Layer Assembly of Silver Nanoparticles on Glass Substrate and Application to Hydrogen Peroxide Sensor

นางสาวพิชารัตน์ นุ่มสวัสดิ์

นางสาวมุนา สะนิ

นางสาวรัตนติกาล มาดยู

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระจกสไลด์ ด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์เพื่อใช้เป็นชุดตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

Layer-by-Layer Assembly of Silver Nanoparticles on Glass Substrate and Application to Hydrogen Peroxide Sensor

นางสาวพิชารัตน์ นุ่มสวัสดิ์

นางสาวมุนา สะนิ

นางสาวรัตนิกาล มาตย์ชู

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

Layer-by-Layer Assembly of Silver Nanoparticles on Glass Substrate and Application to Hydrogen Peroxide Sensor

MISS Picharat Numsawat

MISS Muna Sani

MISS Rattikarn Martchoo

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF SCIENCE IN CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์เพื่อใช้เป็นชุดตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

Layer-by-Layer Assembly of Silver Nanoparticles on Glass Substrate and Application to Hydrogen Peroxide Sensor

นักศึกษา นางสาว พิชารัตน์ นุ่มสวัสดิ์ 53050299

นางสาว มุนา สะนิ 53050315

นางสาว รัตนติกาล มาตย์ชู 53050320

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.เอกรัฐ เดชศรี	
ดร.ธิปชัย วัฒนวิจารณ์	
ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์เพื่อใช้เป็นชุดตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
นักศึกษา	นางสาว พิชารัตน์ นุ่มสวัสดิ์ 53050299
	นางสาว มุนา สะนิ 53050315
	นางสาว รัตนติกาล มาตย์ชู 53050320
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาชุดทดสอบโดยการติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระจกสไลด์เพื่อใช้เป็นชุดตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนโดยใช้ซิเตรทเป็นสารคงตัวและใช้กระจกสไลด์เป็นซับสเตรท การติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระจกสไลด์อาศัยเทคนิคการยึดติดกันด้วยประจุทางไฟฟ้า ซึ่งมีโพลิไดอัลลิวไดแมททิวแอมโมเนียมคลอไรด์ (PDAP) 10 มิลลิโมลาร์เป็นพอลิแคทไอออน และโพลิโซเดียม-4-สไตรีนซัลโพเนท (PSS) 10 มิลลิโมลาร์เป็นพอลิแอนไอออน โพลีอิเล็กโทรไลต์ทั้งสองจะทำหน้าที่เป็นไพรเมอร์ (Primer) ให้การยึดติดดียิ่งขึ้น ชุดทดสอบที่ได้จะเห็นสารละลายอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนยึดติดบนแผ่นกระจกสไลด์มีลักษณะสีน้ำตาลอมเหลือง มีค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่ 410 นาโนเมตร ในการผลิตชุดทดสอบซ้ำๆกันจะให้ผลที่ดี (RSD=6.5%) นอกจากนี้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถออกซิไดซ์อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนได้กลายเป็นซิลเวอร์ที่มีประจุส่งผลให้สีของฟิล์มเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลอมเหลืองกลายเป็นไม่มีสี โดยปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับการนำชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นไปใช้ตรวจหาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งพบว่าจะได้กราฟเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 1-100 มิลลิโมลลาร์ ดังนั้นชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นมีแนวโน้มความเป็นไปได้ที่สามารถนำไปตรวจหาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่าง เช่น ยูเรีย, เซรั่มและอื่นๆ

คำสำคัญ : อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน, การยึดติดกันด้วยประจุทางไฟฟ้า, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

Thesis Title	Layer-by-Layer Assembly of Sliver Nanoparticles on Glass Substrate and Application to Hydrogen Peroxide Sensor
Student	Picharat Numsawat 53050299
	Muna Sani 53050315
	Rattikarn Martchoo 53050320
Degree	Bachelor of sciences
Major	Industrial Chemistry
Year	2013
Thesis Advisor	Dr.Saowapak Teerasong

Abstract

In this project, Silver nanoparticles (AgNPs) coated glass slide was developed for hydrogen peroxide (H_2O_2) sensing. The AgNPs were synthesized by using borohydridereduction with citrate stabilizer. The particle were attached on glass slide surface by the Layer-by-Layer (LbL) technique. 10 mM Poly(diallyldimethylammonium chloride(PDAD)) and 10 mM Poly(sodiam4-Styrenesulfonate(PSS)) were used as cationic and anionic polyelectrolyte. Respectively the glass slide was firstly coated with polyelectrolyte. The AgNPs were subsequently attached on the slide via electrostatic interaction. As a result, a brownish film of AgNPs was obtained with maximum absorption at 410 nm. The LbL assembly provide good reproducibility for film fabrication (RSD=6.5%). The hydrogen peroxide (H_2O_2) can oxidized the AgNPs to silver ion, resulting in a color of film change from brownish to colorless. Based on this reaction, the developed slide was used for detection of hydrogenperoxide (H_2O_2). Linear calibration was successfully obtained in range of 1-100 mM hydrogen peroxide (H_2O_2). The developed device has promising possibility to measure hydrogen peroxide (H_2O_2) in biological fluids suchas urea, serum, etc.

Keywords : Silver Nanoparticles, Layer-by-Layer (LbL), Hydrogen peroxide (H_2O_2)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดีด้วยการได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ดร. เสาวภาคย์ ธีราทรง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ให้ความช่วยเหลือ ชี้แนะ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีในการทำงาน

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.เอกรัฐ เดชศรี และ ดร.ธิปชัย วัฒนวิจารณ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการเป็นกรรมการสอบโครงงานพิเศษ พร้อมกับให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดต่างๆ ในโครงงานฉบับนี้ให้เป็นไปอย่างถูกต้อง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้มอบความรู้อันมีค่ายิ่งให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสารเคมี อุปกรณ์ เครื่องมือและคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณพี่อมรรัศมี จิณรักษ์ และพี่ๆนักศึกษาป.โทและป.เอกสาขาเคมีวิเคราะห์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำทั้งในขั้นตอนการทำการทดลอง ตลอดจนช่วยตรวจสอบในการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้และขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่เป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวที่เป็นกำลังใจและคอยสนับสนุนในทุกๆด้านคุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากโครงงานพิเศษเล่มนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พิชารัตน์ นุ่มสวัสดิ์

มุนา สะนิ

รัตนติกาล มาตย์ชู

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เคมีวิเคราะห์สีเขียว (Green Analytical Chemistry)	4
2.1.1 แนวคิดของเคมีสีเขียวและแนวทางปฏิบัติของเคมีวิเคราะห์สีเขียว	4
2.1.2 หลักการพื้นฐาน 12 ข้อ ของเคมีสีเขียว	4
2.1.3 หลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	6
2.2 เทคนิคการยึดติดกันด้วยประจุทางไฟฟ้า (Layer-by- Layer)	6
2.2.1 ประจุของโพลีอิเล็กโทรไลต์	6
2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการยึดติดกันด้วยประจุทางไฟฟ้า	8
2.3 วัสดุระดับนาโน	10
2.3.1 อนุภาคระดับนาโน (Nanoparticles)	11
2.3.1.1 โครงสร้างผลึก	11
2.3.1.2 สมบัติที่เปลี่ยนไปของอนุภาคระดับนาโน	12
2.3.1.3 พื้นที่ผิวหน้าที่เปลี่ยนไปและความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมี	13
2.3.1.4 จุดหลอมเหลวที่เปลี่ยนไป	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน(Silver Nanoparticles)	16
2.3.2.1 การสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน	17
2.3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน	17
2.4 ชุดทดสอบภาคสนาม	19
2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชุดทดสอบทางเคมี	20
2.5 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	21
2.5.1 คุณสมบัติของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	22
2.5.2 วิธีการเก็บรักษาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	22
2.5.3 อันตรายต่อสุขภาพอนามัยและการปฐมพยาบาล	22
2.5.4 ประโยชน์ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	22
2.5.5 สภาวะเครียดออกซิเดชัน (Oxidative stress)	24
2.5.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	24
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	29
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์	29
3.1.1 สารเคมี	29
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	29
3.2 การเตรียมสารละลาย	30
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง	31
3.3.1 การสร้างชุดทดสอบด้วยวิธีจุ่มซับสเตรทโดยเทคนิคการยึดติดกันด้วยประจุทางไฟฟ้า (Layer- by-Layer)	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	32
4.1 ศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่ใช้ Citrate และ PVP เป็น Stabilizer	32
4.2 ศึกษาชนิดของวัสดุที่ใช้เป็นซับสเตรท	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลของจำนวนชั้นที่เหมาะสมในการทำไพรเมอร์ (Primer)	34
4.4 ผลของจำนวนชั้นที่เหมาะสมในการจุ่มอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน	36
4.5 คุณลักษณะของชุดทดสอบ	37
4.5.1 สีและค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้น	37
4.5.2 มุมสัมผัส (Contact Angle)	38
4.6 การใช้ชุดทดสอบตรวจวัดหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)	39
4.7 การใช้ชุดทดสอบตรวจหาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)	40
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	44

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของโพลีอิเล็กโทรไลต์ 2 ชนิด	7
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างโครงสร้างของโพลีแคทไอออนและโพลีแอนไอออน	8
รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างผลึกโลหะในระดับนาโนของกลุ่มก้อนอะตอม	12
รูปที่ 2.4 ภาพแสดงการประมาณจำนวนอะตอมและพื้นที่ผิวของอนุภาคทองคำนาโน ที่มีขนาดแตกต่างกัน	13
รูปที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนอะตอมผิวหน้า(สีแดง)ของวัสดุแบบก้อนกับอนุภาค ที่มีขนาดในระดับนาโน	14
รูปที่ 2.6 อุณหภูมิ ณ จุดหลอมเหลวของทองคำที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน[11]	15
รูปที่ 4.1 สารละลายอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี PVP และ Citrate เป็น Stabilizer และลักษณะการยึดติดบนกระดาษกรอง	32
รูปที่ 4.2 อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนยึดติดบนซับสเตรท	33
รูปที่ 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของการศึกษาหาจำนวนชั้นของไพรเมอร์ที่เหมาะสม กำหนดเวลาในการจุ่มไพรเมอร์ชั้นละ 5 นาที	35
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงของการศึกษาหาจำนวนชั้นในการจุ่ม อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่เหมาะสม	36
รูปที่ 4.5 แสดงสีและค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบ	37
รูปที่ 4.6 ผลจากการวัดมุมสัมผัส (Contact angle)	38
รูปที่ 4.7 ผลจากการนำชุดทดสอบไปจุ่มในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	39
รูปที่ 4.8 ชุดทดสอบที่จุ่มลงในตัวอย่างปัสสาวะและตัวอย่างปัสสาวะที่มีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลลาร์	41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีมีความเจริญก้าวหน้าเป็นอย่างมาก มนุษย์ได้ประดิษฐ์และสร้างสรรค์เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ขึ้นมามากมาย เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ทำการวิจัย ในงานทางเคมีวิเคราะห์ได้มีการพัฒนาเทคนิควิเคราะห์ขึ้นมาอย่างหลากหลาย เช่น เทคนิคทางสเปคโตรเมทรี (Spectrometry) เทคนิค High performance liquid chromatography (HPLC) และเทคนิค Gas Chromatography -Mass spectrometry (GC-MS) เป็นต้น เทคนิคเหล่านี้ล้วนให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความน่าเชื่อถือสูง แต่ทั้งนี้ก็ต้องอาศัยผู้ที่มีความชำนาญในด้านเทคนิคทำการวิเคราะห์ อีกทั้งเครื่องมือยังมีราคาสูงและมีขนาดใหญ่ ทำให้การเคลื่อนย้ายมีความยากลำบาก ไม่เหมาะต่อการทดสอบภาคสนามและยังมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูงอีกด้วย นอกจากนี้แล้วในการทำการวิเคราะห์ในแต่ละครั้ง ยังต้องใช้ปริมาณสารเคมี ตัวทำละลายหรือรีเอเจนต์ในปริมาณมาก ส่งผลให้มีปริมาณของเสีย (Waste) เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อธรรมชาติ [1]

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับชุดทดสอบ หรือ Test Kit พบว่า ชุดทดสอบได้ถูกนำมาใช้และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ชุดทดสอบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายนั้น มีหลากหลายรูปแบบตามแต่ผู้พัฒนาและวิจัยได้ออกแบบขึ้น เช่น ชุดทดสอบแบบสารละลาย ชุดทดสอบบนซับสเตรทชนิดต่างๆ เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วแต่มีความสามารถในการตรวจวัดกับสารตัวอย่างได้หลากหลายและแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ของผู้พัฒนา ตัวอย่างเช่น ชุดทดสอบไนเทรต ไนไตรท์ ซัลไฟต์ ซัลเฟต เป็นต้น [2] การใช้งานของชุดทดสอบนั้นจะช่วยคัดกรอง (screening) และประเมินการวิเคราะห์เบื้องต้นก่อนนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ จุดเด่นของชุดทดสอบคือ ใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อย มีความสะดวก ใช้งานง่ายโดยผู้ใช้ไม่ต้องมีความเชี่ยวชาญเฉพาะ การทดสอบไม่ยุ่งยากหรือมีความซับซ้อน ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ต่ำ สามารถพกพาและนำไปวิเคราะห์ภาคสนามได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว รวมทั้งอาจจะไม่ต้องผ่านการเตรียมตัวอย่างหรือเติมสารเคมีอื่นๆ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมีได้ ทำให้ปริมาณของเสียลดลงสอดคล้องกับแนวคิดเคมีสีเขียว (Green Chemistry)[3] ส่วนใหญ่แล้วชุดทดสอบจะสังเกตโดยการเปรียบเทียบกับความเข้ม

ของแถบสี ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพหรือกึ่งเชิงปริมาณเท่านั้น ไม่สามารถบอกได้อย่างแม่นยำว่ามีปริมาณสารที่ต้องการวิเคราะห์อยู่เท่าใดในตัวอย่าง จึงเป็นข้อเสียของชุดทดสอบ [1]

อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน (Silver Nanoparicles , AgNPs) ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆมากมาย เช่น สามารถทำหน้าที่เป็น ตัวต้านแบคทีเรีย (Antibacterial agent) นำมาทำเป็นยาแทนยาปฏิชีวนะ (Antibiotic) อีกทั้งอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน ยังสามารถยับยั้งการเพิ่มจำนวนหรือการติดเชื้อของไวรัสได้ มีการประยุกต์ใช้อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนมากมาย ด้านการแพทย์ที่ใช้เป็นยารักษาโรค การเคลือบอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนอุปกรณ์ทางการแพทย์เพื่อป้องกันการติดเชื้อ การนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องสำอางที่สามารถระงับกลิ่นและลดความสกปรก ด้านเสื้อผ้า สิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม สามารถยืดอายุการใช้งานและป้องกันการเกิดกลิ่น ด้านอุปโภคบริโภคสามารถใช้ถนอมอาหารและน้ำดื่มให้สะอาด ด้านอุตสาหกรรมสามารถนำมาตรวจสอบปริมาณเมลามีนในอาหาร จะเห็นได้ว่าอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน ถูกนำมาใช้งานในด้านนาโนเทคโนโลยีอย่างมากมายและกว้างขวาง [4]

งานวิจัยนี้ได้นำอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน มาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาชุดทดสอบทางเคมีโดยการติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเทคนิคการยึดติดกันด้วยประจุทางไฟฟ้า (Layer-by-Layer) ซึ่งมีโพลิไดอัลลิวไดแมททิวแอมโมเนียมคลอไรด์ (Poly(diallyldimethylammonium chloride), PDAD) เป็นพอลิแคทไอออน และโพลิโซเดียม-4-สไตรีนซัลโพเนท (Poly(sodium 4-styrene sulfonate), PSS) เป็นพอลิแอนไอออน โพลีอิเล็กโทรไลต์ทั้งสองนี้จะทำหน้าที่เป็นไพรเมอร์ (Primer) ทำให้อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนสามารถยึดติดบนแผ่นกระจกสไลด์ได้ดียิ่งขึ้น ผู้วิจัยคาดว่าชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถนำไปใช้ตรวจวัดทางเคมีโดยติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระจกสไลด์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.ศึกษาและพัฒนาชุดทดสอบทางเคมีโดยการติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์

2.นำชุดทดสอบที่ได้พัฒนาขึ้นไปใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนซับสเตรทเพื่อใช้เป็นชุดทดสอบทางเคมี เช่น

1.1 ชนิดของซับสเตรทที่ใช้ทดลอง

1.2 จำนวนชั้น (layers) ของไพรเมอร์และอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่ยึดติดบนซับสเตรท

2. ตรวจสอบคุณลักษณะของชุดทดสอบ เช่น ช่วงความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้

3. นำชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้เป็นชุดทดสอบตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นโดยการติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์เพื่อใช้เป็นชุดตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถนำไปใช้เป็นชุดทดสอบภาคสนามในเชิงกึ่งปริมาณวิเคราะห์ (semi-quantitative analysis) ได้ และชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำให้ปริมาณการใช้รีเอเจนต์ สารเคมีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ตลอดจนปริมาณสารตัวอย่างลดลงได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเคมีสีเขียว (Green Chemistry)

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เคมีวิเคราะห์สีเขียว (Green Analytical Chemistry) [3]

2.1.1 แนวคิดของเคมีสีเขียวและแนวทางปฏิบัติของเคมีวิเคราะห์สีเขียว

แนวคิดของเคมีสีเขียวประกอบไปด้วยหลักการพื้นฐาน 12 ข้อ ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการคิดวางแผนออกแบบ การพัฒนา และการนำไปปฏิบัติเพื่อทำให้กระบวนการผลิตทางเคมีลดหรือเลิกการใช้การผลิตสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ส่วนแนวทางปฏิบัติของเคมีวิเคราะห์สีเขียวนั้นมีความสอดคล้องกับแนวคิดของเคมีสีเขียว โดยสามารถพัฒนาวิธีวิเคราะห์ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการตรวจวัดให้เป็นระบบขนาดเล็กลง มีการดำเนินงานแบบอัตโนมัติ และมีความจำเพาะเจาะจงกับสารที่วิเคราะห์ ซึ่งช่วยลดปริมาณการใช้สารตัวอย่าง รีเอเจนต์ และตัวทำละลายอีกทั้งยังช่วยลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาวิธีวิเคราะห์ให้มีการลดหรือหลีกเลี่ยงรีเอเจนต์และตัวทำละลายเป็นพิษ เปลี่ยนไปใช้สารที่ไม่เป็นอันตรายแทน และพัฒนาให้มีขั้นตอนการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นพร้อมไปด้วย

2.1.2 หลักการพื้นฐาน 12 ข้อ ของเคมีสีเขียวดังนี้

1.ป้องกันการเกิดของเสีย (Prevent waste) การป้องกันการเกิดของเสียเป็นวิธีที่ดีกว่าการปล่อยให้ของเสียเกิดขึ้นแล้วต้องมีการบำบัดและกำจัดของเสียนั้น

2.ใช้ทุกอะตอมอย่างคุ้มค่า (Atom Economy) ควรจะออกแบบวิธีการสังเคราะห์สารเคมีให้ทุกสารที่ใช้ในกระบวนการมีส่วนร่วมมากที่สุดไปสู่ผลผลิตที่ต้องการ

3.กระบวนการสังเคราะห์ที่อันตรายน้อยกว่า(Less Hazardous Synthesis) ไม่ว่าจะเป็นการปฏิบัติในที่ใดก็ตาม ควรมีการออกแบบวิธีการสังเคราะห์ให้ใช้และทำให้เกิดสารที่มีความเป็นพิษน้อยหรือไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

4.ผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยกว่า (Safer Chemicals) ควรออกแบบผลิตภัณฑ์เคมีให้คงไว้ซึ่งสมรรถภาพการทำงานในขณะที่ความเป็นพิษลดลง

5.ตัวทำละลายและสารช่วยที่ปลอดภัยกว่า (Safer Solvents and Auxiliaries) ในทุกครั้งที่เป็นไปได้ควรจะไม่จำเป็นต้องมีการใช้สารช่วย (เช่นตัวทำละลายรีเอเจนต์ช่วยในการแยกเป็นต้น) แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้ควรจะเป็นสารที่ไม่เป็นอันตราย

6.ความมีประสิทธิภาพของพลังงาน (Energy Efficiency) ความต้องการใช้พลังงานควรจะต้องตระหนักเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและผลกระทบด้านเศรษฐศาสตร์และควรจะลดการใช้พลังงานลงกระบวนการสังเคราะห์สารควรจะจัดการที่สภาวะอุณหภูมิและความดันปกติ

7.สารตั้งต้นที่เกิดใหม่ทดแทนได้เร็ว (Renewable Feed stocks) ไม่ว่าจะปฏิบัติในที่ใดก็ตามในแง่เศรษฐศาสตร์และด้านเทคนิควัตถุดิบของสารตั้งต้นควรจะเกิดใหม่ทดแทนได้เร็วดีกว่าการใช้แล้วหมดไป

8.ลดสารอนุพันธ์(Reduce Derivatives) เมื่อไรก็ตามที่เป็นไปได้ ควรหลีกเลี่ยงการทำอนุพันธ์ที่ไม่จำเป็น (กลุ่มกีดขวาง การป้องกัน/การเลิกป้องกัน และการดัดแปลงชั่วคราวด้วยกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์)

9.การเร่งปฏิกิริยา (Catalysis) ตัวเร่งปฏิกิริยา (จำเพาะที่สุดเท่าที่เป็นไปได้) เป็นสิ่งที่ช่วยให้ผลดีกว่าการใช้รีเอเจนต์ตามปริมาณสัมพันธ์เท่านั้น

10.ออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ (Design for Degradation) ควรจะออกแบบผลิตภัณฑ์เคมีเพื่อให้ไม่มีการตกค้างในสิ่งแวดล้อมเมื่อหมดอายุการใช้งานแล้วและเสื่อมผุพังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายแล้วไม่เป็นพิษ

11.ตรวจวิเคราะห์ติดตามผลตลอดเวลาเพื่อเฝ้าระวังการเกิดมลภาวะ (Real-time analysis for Pollution Prevention) จำเป็นต้องพัฒนาวิธีวิเคราะห์เพิ่มเข้ามาเพื่อให้มีการติดตามกระบวนการแบบทันทีตลอดเวลาและกำกับดูแลก่อนที่จะมีสารซึ่งเป็นอันตรายเกิดขึ้น

12.ระวังความปลอดภัยทางเคมีเป็นปกติวิสัยเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ (Inherently Safer Chemistry for Accident Prevention) ควรจะเลือกสารและสถานะของสารที่ใช้ในกระบวนการเคมีให้เหมาะสมทั้งนี้เพื่อลดอุบัติเหตุทางเคมีที่อาจเกิดขึ้นอันได้แก่ การรั่วไหล การระเบิดและไฟไหม้ในกระบวนการผลิตทางเคมีมีความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุตลอดเวลา ควรมีการฝึกป้องกันและพร้อมแก้ไขสถานการณ์ ควรเลือกใช้สารเคมีที่มีความปลอดภัยสูงไม่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย ไม่เกิดการรั่วไหลของสารเคมี ไม่เกิดการระเบิดและไม่เป็นวัตถุไวไฟ

2.1.3หลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการพัฒนาชุดทดสอบบนแผ่นกระจกสไลด์ซึ่งชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นจะช่วยลดปริมาณการใช้ตัวทำละลาย รีเอเจนต์ตลอดจนสารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์น้อยลง ทำให้มีปริมาณของเสียลดลงด้วย การผลิตและการใช้งานชุดทดสอบสามารถทำได้ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิห้องและความดันปกติ จึงเป็นการลดการใช้พลังงานและต้นทุนของการวิเคราะห์ นอกจากนี้ชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน มีความปลอดภัยสูงและไม่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย

2.2 เทคนิคการยึดติดกันด้วยประจุทางไฟฟ้า (Layer-by-Layer)

เทคนิคการยึดติดกันด้วยประจุทางไฟฟ้า คือ การทำฟิล์มบางหลายชั้นของโพลิอิเล็กโทรไลต์ หรือพีอีเอ็มฟิล์ม (Polyelectrolyte multilayer (PEM) film)สามารถนำมาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวของวัสดุเพื่อส่งเสริมการตอบสนองของสารที่ต้องการยึดติดบนวัสดุ

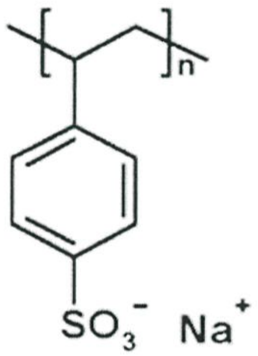
โพลีอิเล็กโทรไลต์ [5] เป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีหน่วยซ้ำกันแบบกลุ่มกลุ่มเหล่านี้จะแยกจากกันเมื่ออยู่ในตัวละลายที่เป็นน้ำ ทำให้คุณสมบัติของโพลีอิเล็กโทรไลต์ มีลักษณะผสมคล้ายกับอิเล็กโทรไลต์ของเกลือและโพลิเมอร์ที่เป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ในบางครั้งจึงเรียกว่า polysalts สารละลายพวกนี้สามารถนำไฟฟ้าได้ สารละลายโพลิเมอร์มักจะมีความหนืด ห่วงโซ่ของโมเลกุลมักมีความสำคัญในการกำหนดโครงสร้างที่มั่นคงและมีความสัมพันธ์กับการประกอบโมเลกุลต่างๆ ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้จึงมีการนำโพลีอิเล็กโลต์ไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายในสาขาวิชาเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมยกตัวอย่างเช่น polypeptides, glycosaminoglycansและดีเอ็นเอ เป็นโพลีอิเล็กโทรไลต์ ทั้งโพลีอิเล็กโทรไลต์ธรรมชาติและสังเคราะห์ที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย

2.2.1 ประจุของโพลีอิเล็กโทรไลต์ [5]

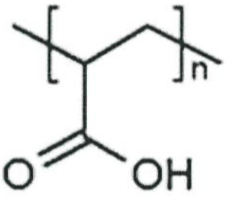
โพลีอิเล็กโทรไลต์สามารถแบ่งออกเป็นประเภท“อ่อน” และ“แรง” ซึ่งโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่แรงนั้นเป็นหนึ่งในการแยกตัวออกของประจุอย่างสมบูรณ์ในสารละลายที่มีค่า pH ที่เหมาะสม ส่วนโพลีอิเล็กโทรไลต์อ่อนจะมีค่าคงที่ในการแยกออกจากกัน (pK_a หรือ pK_b) อยู่ในช่วงประมาณ 2 ถึงประมาณ 10 ซึ่งหมายความว่ามันจะเกิดการแตกตัวบางส่วนที่ pH ปานกลาง ดังนั้นโพลีอิเล็กโทร

ไลต์อ่อนจะมีประจุไม่เต็มอยู่ในสารละลาย และนอกจากนี้ประจุบางส่วนในสารละลายสามารถเปลี่ยนค่า pH และความเข้มข้นในสารละลายหรือความเข้มข้นของไอออนิก คุณสมบัติทางกายภาพของสารละลายโพลีอิเล็กโทรไลต์มักได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงจากประจุตั้งแต่โพลีอิเล็กโทรไลต์แยกออกจากกันมีการปล่อยไอออนซึ่งจะมีผลกระทบต่อสารละลายไอออนิกที่แรง ดังนั้นจึงส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติอื่นๆได้ เช่น การนำไฟฟ้า

นอกจากนี้เมื่อสารละลายโพลีเมอร์ทั้ง 2 ชนิดที่มีประจุตรงข้ามกัน (นั่นคือ สารละลายโพลีแคทไอออนและโพลีแอนไอออน) มาผสมกันมักจะเกิดรวมกัน โดยปกติเกิดจากโพลิเมอร์ที่อยู่ตรงข้ามกันจะเกิดการดึงดูดอีกฝ่ายหนึ่งและเกิดการรวมกัน



ภาพ ก.



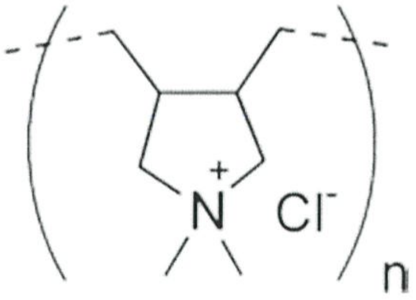
ภาพ ข.

รูปที่ 2.1ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของโพลีอิเล็กโทรไลต์ 2 ชนิด

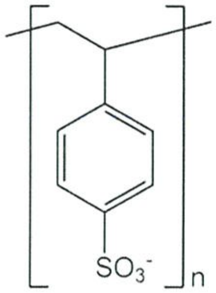
ภาพ ก. คือ พอลิโซเดียมสไตรีนซัลโฟเนต Poly (sodium styrene sulfonate,PSS)

ภาพ ข. คือ กรดพอลิอะไซลิก (Polyacrylic, PAA) ซึ่งโพลีอิเล็กโทรไลต์ทั้ง 2 ชนิดนี้มีประจุติดลบ เมื่อเกิดการแยกตัวพอลิสไตรีนซัลโฟเนตจะเป็นโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่แรงในขณะที่พอลิอะไซลิกจะอ่อน (มีประจุเพียงบางส่วน)

โพลีอิเล็กโทรไลต์แบ่งออกเป็นประเภทประจุ คือ พอลิแคทไอออนและพอลิแอนไอออน แสดงตัวอย่างโครงสร้างดังรูป



ภาพ ก.



ภาพข.

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างโครงสร้างของโพลิแคทไอออนและโพลีแอนไอออน

ก. โพลีแคทไอออน: โครงสร้างของPoly(dimethyldiallylammonium chloride)

Molecular formula $(C_8H_{16}NCl)_n$[6]

ข. โพลีแอนไอออน: โครงสร้างของPoly(4-vinylbenzenesulfonic acid)

Molecular formula $[C_8H_8SO_3]_n$ [6]

2.2.2งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการยึดติดกันด้วยประจุทางไฟฟ้า

วลัยพร สุธาบัณฑิตพงศ์ [7] ศึกษาการยึดติดสังกะสีออกไซด์ลงบนโพลีอิเล็กโทรไลต์ฟิล์มด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์

โดยในงานวิจัยนี้ทำการศึกษา 3 วิธีได้แก่ วิธีการตกผลึกสังกะสีออกไซด์ในพอลิอิเล็กโทร-ไลต์ฟิล์ม การเตรียมจากสารแขวนลอยของสังกะสีออกไซด์ในสารละลายพอลิอะคริลิคแอซิด และวิธีโซลเจล ซึ่งตัวอย่างนั้นจะถูกเตรียมเป็นโพลีอิเล็กโทรไลต์ฟิล์มโดยอาศัยหลักการของเลเยอร์บายเลเยอร์จากนั้นจะทำการเคลือบสังกะสีออกไซด์ที่เตรียมได้จากทั้ง 3 วิธีด้วยเทคนิคการเคลือบแบบจุ่ม จากการทดลองพบว่าโพลีอิเล็กโทรไลต์ฟิล์มที่มีความหนาและมีผิวที่เรียบเหมาะแก่การนำไปยึดติดสังกะสีออกไซด์นั้นควรเคลือบบนกระจกเพียง 1 ชั้นด้วยความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโทรไลต์ 2 โมลต่อลิตร ด้วยอัตราการจุ่มและดึงขึ้น 3.0 เซนติเมตรต่อนาที หลังจากนั้นจะทำการยึดติดสังกะสีออกไซด์ระดับนาโนเมตรลงบนโพลีอิเล็กโทรไลต์ฟิล์มด้วยวิธีโซลเจลที่มีค่า pH ของสารละลายโซลเท่ากับ1ฟิล์มบางที่เตรียมได้มีค่าการส่องผ่านแสงมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์

ในช่วงแสงที่มองเห็นและกระจกมีสมบัติความชอบน้ำอย่างมากแสดงด้วยค่ามุมสัมผัสของน้ำมีค่าน้อยกว่า 5 องศา หลังจากกระตุ้นด้วยแสดงอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 15 นาที ทั้งนี้ฟิล์มบางใสของสังกะสีออกไซด์ที่เตรียมได้จากทุกวิธีจะมีการวัดความหนาของฟิล์ม และค่าความขรุขระของพื้นผิว อย่างไรก็ตามวิธีการยึดติดสังกะสีออกไซด์ระดับนาโนเมตรลงบนโพลีอิเล็กโทรไลต์ฟิล์มด้วยการเคลือบสารแขวนลอยของสังกะสีออกไซด์ในสารละลายพอลิอะคลิริคแอซิดนั้นสามารถนำมาปรับปรุงสมบัติความชอบน้ำของกระจกได้ แต่ต้องใช้เวลาในการกระตุ้นด้วยแสงมากเพื่อทำให้กระจกมีความชอบน้ำเนื่องจากสังกะสีออกไซด์ที่ยึดติดบนฟิล์มนั้นเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนและกระจายตัวได้ไม่ดี

ธิดารัตน์ อังวราวงศ์แมนสรวง อักษรนุกิจประสิทธิ์ ภวสันต์[8] ศึกษาการพัฒนาพื้นผิวไทเทเนียมเพื่อสนับสนุนการยึดเกาะและการแปรสภาพของเซลล์สร้างกระดูก

โดยงานวิจัยนี้ได้ทำฟิล์มบางหลายชั้นของโพลีอิเล็กโทรไลต์ หรือพีอีเอ็มฟิล์ม {polyelectrolyte multilayer (PEM) film} ซึ่งเตรียมขึ้นด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์สามารถนำมาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวของวัสดุเพื่อส่งเสริมการตอบสนองของเซลล์กับวัสดุ การศึกษาในครั้งนี้ใช้โพลิไดอัลลิวไดแมททิวแอมโมเนียมคลอไรด์ (พีดีเอดีเอ็มเอซี) โพลิโซเดียม-4-สไตรีนซัลโพเนท (พีเอสเอส) และโพลิ-4-สไตรีนซัลโพนิกแอซิดโคมาเลอิคแอซิดโซเดียมซอลล์ (พีเอสเอสโคเอ็มเอ) เพื่อทำให้เกิดพีอีเอ็มฟิล์ม {(PDADMAC/PSS)4/PDADMAC+PSS-co-MA PEM film} บนกระจก ไทเทเนียม และแผ่นโพลิคาร์โพรแลคโตน (พีซีเอล) พบว่ากระจกและไทเทเนียมที่เคลือบด้วยพีเอสเอสโคเอ็มเอพีอีเอ็มฟิล์ม (PSS-co-MA PEM films) มีคุณสมบัติความชอบน้ำมากกว่าพื้นผิวปกติของกระจกและไทเทเนียม จากนั้นทำการทดสอบผลของพีเอสเอสโคเอ็มเอพีอีเอ็มฟิล์มต่อเซลล์สร้างกระดูกของหนู (เอ็มซีสามทีสาม-อีหนึ่ง) และเซลล์สร้างกระดูกที่ได้มาจากมนุษย์ พบว่ากระจกและไทเทเนียมที่เคลือบด้วยพีเอสเอสโคเอ็มเอพีอีเอ็มฟิล์มส่งเสริมการแปรสภาพของเซลล์สร้างกระดูก ในรูปแบบของการเพิ่มขึ้นของการทำงานของเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเทส การแสดงออกอาร์เอ็นเอนำรหัสที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกระดูก ได้แก่ คอลลาเจนชนิดที่หนึ่ง ออสตีโอพอนทิน โบนไซอะโลโปรตีน ออสตีโอแคลซิน เดนทีนเมทริกซ์โปรตีนชนิดที่หนึ่ง และเพิ่มการสร้างโปรตีนออสตีโอแคลซิน รวมถึงเร่งอัตราการตกตะกอนแคลเซียมเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวปกติของกระจกและไทเทเนียม สำหรับการศึกษาการสร้างกระดูกในสัตว์ทดลอง ทำการฝังพีเอสเอสโคเอ็มเอพีอีเอ็มฟิล์มที่เคลือบบนแผ่นพีซีเอลในความวิการของกระดูกที่ทำขึ้นในกะโหลกศีรษะของหนู พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของปริมาณกระดูกที่สร้างใหม่รอบๆ พีเอสเอสโคเอ็มเอ

ฟิล์มที่เคลือบบนแผ่นพีซีเอล เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นพีซีเอลที่ไม่ได้เคลือบ จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าพีเอสเอสโคเอ็มเอพีอีเอ็มฟิล์มสนับสนุนการแปรสภาพของเซลล์สร้างกระดูก และสามารถนำมาใช้เพื่อส่งเสริมการพอกแร่ธาตุในงานวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูก และปรับปรุงกระดูกเชื่อมประสานสำหรับรากเทียม

มงคล สุขวัฒนาสนิทธ [9] ศึกษาการประกอบแบบทีละชั้นของพอลิไดอะเซทิลีนเวสิเคิลที่คงรูปร่างและสมบัติทางสี

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมฟิล์มบางหลายชั้นของนาโนเวสิเคิลของพอลิ 10,12-เพนตะโคซะไดไอโนอิก แอซิด โดยอาศัยเทคนิคการยึดติดกันด้วยประจุทางไฟฟ้าของโพลีอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งมีไคโตซานหรือพอลิเอทธิลีนอิมมีนเป็นพอลิแคทไอออนและเวสิเคิลเป็นพอลิแอนไอออนให้ฟิล์มบางที่คงสีน้ำเงินของเวสิเคิลไว้ได้ ซึ่งแสดงการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 635 นาโนเมตร และมีค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นของเวสิเคิลอย่างเป็นเส้นตรง แสดงให้เห็นถึงการประกอบแบบทีชั้นที่มีความหนาของแต่ละชั้นคงที่ ผลการตรวจวิเคราะห์ด้วย AFM แสดงลักษณะทรงกลมของนาโนเวสิเคิลที่ยังคงอยู่ไม่มีการแตกสลายไประหว่างการเตรียมฟิล์มและการทดสอบสมบัติการเปลี่ยนสีของแผ่นฟิล์ม พบว่าสามารถเปลี่ยนสีได้เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิเปลี่ยนตัวทำละลายจากน้ำเป็นเอทธานอล หรือการปรับ pH ให้เป็นด่าง ฟิล์มบางที่เตรียมได้นี้มีความเสถียรมากกว่าเวสิเคิลที่กระจายตัวอยู่ในน้ำจึงสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานเป็นปี ในขณะที่เวสิเคิลที่กระจายตัวในน้ำเก็บไว้ไม่เกินหนึ่งเดือนก็จะเริ่มมีตะกอนเกิดขึ้น เทคนิคการเตรียมฟิล์มโดยวิธีนี้จึงถือได้ว่าเป็นวิธีที่สะดวกสำหรับการเตรียมอุปกรณ์เซนเซอร์ที่สามารถสังเกตเห็นผลการตรวจวัดได้ด้วยตาจากพอลิไดอะเซทิลีนเวสิเคิล

2.3วัสดุระดับนาโน [10]

วัสดุนาโนเป็นวัสดุที่กำลังอยู่ในความสนใจของนักวิทยาศาสตร์ ศักยภาพของวัสดุนาโนสามารถปฏิวัติงานทางด้านวัสดุศาสตร์ให้เกิดประโยชน์อย่างมหาศาล คุณสมบัติของวัสดุนาโนมีการเปลี่ยนแปลงไปจากคุณสมบัติเดิมของวัสดุนั้นๆคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงดังกล่าวถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมศาสตร์ แพทยศาสตร์ วัสดุศาสตร์ วิทยาศาสตร์พื้นฐาน และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ อย่างไรก็ตามวัสดุนาโนอาจจะทำให้เกิดผลกระทบในหลายด้านซึ่งสามารถป้องกันไว้ก่อนได้ โลกในอนาคตจะให้ความสำคัญต่อศาสตรแห่งนาโนยิ่งขึ้นวัสดุนาโนสามารถจะจัดแบ่งได้เป็นผลึกนาโน (nanocrystalline) และอนุภาคนาโน (nanoparticles)โดยที่ก้อนหรือ

ปริมาตรของผลึกนาโนซึ่งประกอบด้วยเม็ดผลึก (grain sizes) ที่มีขนาดช่วงสเกลการวัดอยู่ในระดับนาโน ถึงประมาณ 100 นาโนเมตร แต่ขณะที่อนุภาคนาโน มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 100 นาโนเมตร ดังนั้นก้อนหรือปริมาตรของวัสดุที่เป็นผลึกนาโนจึงประกอบขึ้นหรือเกิดจากการรวมกลุ่มกันของอนุภาคนาโนนั่นเอง การศึกษาค้นคว้าวิจัยทางด้านวัสดุนาโนต้องใช้ความพยายามสูงมีความเกี่ยวข้องกันในหลายๆสหสาขาวิชา รวมทั้งปฏิสัมพันธ์ของนักวิจัยในสาขาต่างๆ เช่น ฟิสิกส์ เคมี วิศวกรรมศาสตร์ และวัสดุศาสตร์ หรือแม้กระทั่งชีววิทยาและการแพทย์งานวิจัยวิทยาศาสตร์พื้นฐานของวัสดุนาโนเป็นสิ่งสำคัญที่นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจเช่นกัน มีความคิดเห็นหลายประเด็นที่จะกล่าวถึง ศักยภาพของวัสดุนาโนที่มีประโยชน์อย่างมากมาย เช่น ในทางอุตสาหกรรม การสังเคราะห์วัสดุที่มีความบริสุทธิ์สูง การเพิ่มคุณค่าทางเศรษฐกิจและสภาพแวดล้อม คุณลักษณะเฉพาะของโครงสร้างใหม่และคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุนาโน

2.3.1อนุภาคระดับนาโน (Nanoparticles)

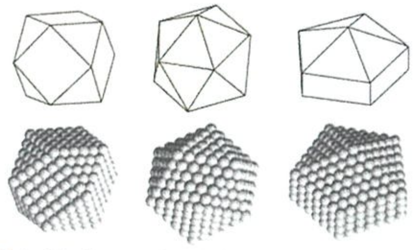
เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากกว่า 100 นาโนเมตร ซึ่งอาจจะมีรูปร่างเป็นทรงกลม ทรงกระบอก เป็นต้น แต่รูปร่างที่สังเคราะห์ได้ง่ายจะเป็นรูปทรงกลม โดยวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การรีดิวซ์ทางเคมี (Chemical reduction) การปล่อยประจุสปาร์ก (Spark discharge) การฉายรังสีสารละลาย (Solution irradiation) เป็นต้น

อนุภาคระดับนาโนจะมีสมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแม่เหล็ก สมบัติเชิงแสง สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงเคมีแตกต่างไปจากวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากวัสดุหรือโครงสร้างที่มีขนาดในระดับนาโนถูกจัดว่าเป็นโครงสร้างที่มีระบบมิติต่ำ (Low – dimensional system, LDSs) ทั้งนี้เนื่องจากมิติทางกายภาพ (กว้าง ยาว และสูง) ของวัสดุหรือโครงสร้างนาโนอย่างน้อยหนึ่งมิติจะถูกจำกัดขนาดอยู่ในช่วง 1 ถึง 100 นาโนเมตรเท่านั้น ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในวัสดุหรือโครงสร้างนาโนแตกต่างไปจากวัสดุก้อนใหญ่ (bulk materials)

2.3.1.1 โครงสร้างผลึก

เนื่องจากผลึกแบบก้อนใหญ่ (bulk crystals) ของโลหะจะมีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยหน่วยย่อยซ้ำๆกันที่เรียกว่า แลตทิช (lattice) และมีการจัดเรียงเรียงตัวอย่างเป็นระบบ แต่สำหรับผลึกโลหะขนาดนาโนเมตร (metal nanocrystals) จะมีองค์ประกอบเป็นกลุ่มก้อนของอะตอมไม่กี่ร้อยอะตอม ทำให้อะตอมส่วนมากเป็นอะตอมที่อยู่ในบริเวณผิวสัมผัสของโครงสร้างกลุ่มก้อน โดยรูปทรงกลมของผลึกที่มีสภาวะสมดุลนั้นเกิดจากการพยายามจัดรูปทรงของผลึกให้มีพลังงานอิสระบริเวณผิวหน้าต่อหน่วยปริมาตรน้อยกว่าเท่าที่จะเป็นไปได้ สำหรับผลึกขนาดใหญ่การจัดรูปทรงของผลึกจะเป็นไปตามกฎเกณฑ์แบบ “Wulff Constructioin” แต่ผลึกที่มี

ขนาดระดับนาโนอาจมีรูปทรงที่แตกต่างไปจากกฎเกณฑ์ดังกล่าว ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ผลึกนาโนมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงจึงทำให้ผลึกนาโนหรือกลุ่มก้อนมีการจัดเรียงตัวกันใหม่กลายเป็นผลึกที่มีรูปทรงใหม่ๆที่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในผลึกขนาดใหญ่ จากการศึกษาพบว่าอนุภาคนาโนทองคำโดยส่วนใหญ่จะมีรูปร่างผลึกเป็นแบบทรังเคท คิวบอกตาฮีดรอน (truncated cuboctahedron) อย่างไรก็ตามมีการค้นพบว่าผลึกนาโนทองคำมีรูปทรงเรขาคณิตแบบอื่นๆอีกด้วย เช่น ดีคาฮีดรอน (decahedron) โดดีคาฮีดรอน (dodecahedron) และไอโคซะฮีดรอน (icosahedron) ดังรูป



รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างผลึกโลหะในระดับนาโนของกลุ่มก้อนอะตอม

2.3.1.2 สมบัติที่เปลี่ยนไปของอนุภาคระดับนาโน

คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนไป อนุภาคระดับนาโนจะมีสีที่แตกต่างไปจากวัสดุชนิดเดียวกันแต่มีขนาดใหญ่กว่า เช่น ทองคำแบบก้อนใหญ่มีสีเหลืองอันเนื่องมาจากทองคำสามารถดูดกลืนแสงสีน้ำเงินที่อยู่ในช่วงปลายของสเปกตรัมคลื่นแสงที่มองเห็นได้ แต่ถ้าย่อขนาดทองคำให้เล็กลงไปเรื่อยๆจนมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงที่มาตกกระทบมากๆจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Surface Plasmon Resonance(SPR) ซึ่งเป็นคลื่นความหนาแน่นของประจุที่เกิดจากการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระที่มีลักษณะการสั่นพร้อมเพรียงกันเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของโลหะกับสารไดเล็กทริก เช่น ระหว่างทองคำหรืออากาศหรือสารละลาย โดยที่ขนาด ยอดคลื่น และความกว้างของสเปกตรัมพลาสมอนเรโซแนนซ์ของวัสดุต่างๆจะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ประเภทของวัสดุ และสภาพแวดล้อมรอบๆวัสดุนั้น ซึ่งจะทำให้อนุภาคทองคำเปลี่ยนไปดูดกลืนแสงสีเขียว (ความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโนเมตร) ซึ่งจะส่งผลให้อนุภาคนาโนทองคำมีสีแดงทับทิมแทนที่จะเป็นสีเหลืองวาวอย่างที่พบได้ทั่วไป

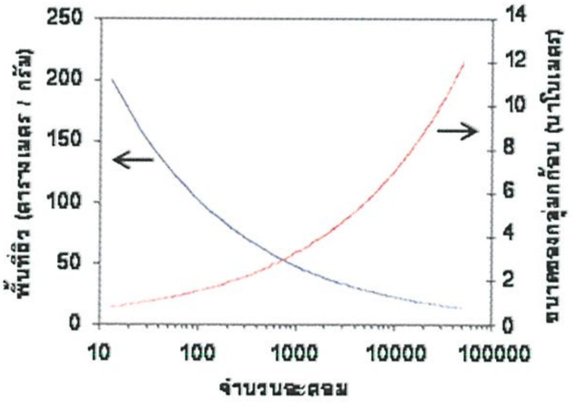
อย่างไรก็ตามถ้าควบคุมให้อนุภาคนาโนทองคำให้กลับมารวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะทำให้ทองคำเปลี่ยนไปเป็นสีอื่นได้ตั้งแต่สีชมพูจนถึงสีม่วง ซึ่งปรากฏการณ์นี้

เองสามารถนำทองคำในระดับนาโนไปประยุกต์ใช้ในการเป็นไบโอเซ็นเซอร์ ตรวจจับสารชีวภาพชนิดต่างๆ เป็นต้น

โลหะชนิดอื่น นอกเหนือไปจากทองคำก็สามารถแสดงปรากฏการณ์เชิงแสงในลักษณะเดียวกันนี้ได้เช่นกัน เช่น อนุภาคนาโนของซิลเวอร์จะมีสีเหลืองเข้มแทนที่จะเป็นสีเงินวาว อย่างไรก็ตามโลหะส่วนใหญ่จะมีความถี่เรโซแนนซ์อยู่ในช่วงใกล้รังสียูวีซึ่งอยู่นอกสเปกตรัมของช่วงแสงที่มองเห็น นอกจากนี้อนุภาคนาโนของโลหะเกือบทุกชนิดไม่สามารถคงตัวอยู่ในรูปอนุภาคนาโนได้นานในสภาวะแวดล้อมตามปกติ ทำให้ไม่ค่อยพบปรากฏการณ์นี้ในโลหะชนิดอื่นๆ

2.3.1.3 พื้นที่ผิวหน้าที่เปลี่ยนไปและความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมี

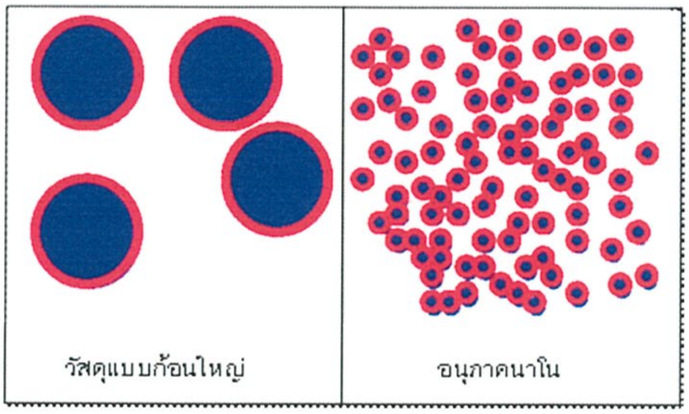
วัสดุที่มีขนาดในระดับนาโนเมตรจะมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (surface-to-volume) สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่า เช่น อนุภาคทองคำที่มีขนาด 2 นาโนเมตรจะมีพื้นที่ผิวสูงถึง 150 ตารางเมตรต่อกรัม



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงการประมาณจำนวนอะตอมและพื้นที่ผิวของอนุภาคทองคำนาโนที่มีขนาดแตกต่างกัน

สัดส่วนของอะตอมผิวหน้าจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลง เช่น อนุภาคนาโนที่มีขนาด 3 นาโนเมตร จะมีจำนวนอะตอมอยู่ที่บริเวณผิวหน้าประมาณร้อยละ 45 แต่เมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลงเหลือ 1 นาโนเมตร จะมีจำนวนอะตอมอยู่ที่บริเวณผิวหน้าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 76 ซึ่งจากวัสดุนาโนมีอะตอมจำนวนมากอยู่ที่บริเวณผิวหน้าจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวหน้าวัสดุได้ง่ายและยังเป็นการส่งเสริมให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ อันเนื่องมาจากอิทธิพลของ

เคมีผิวหน้า ประโยชน์ที่ได้จากการเพิ่มปริมาณพื้นที่ผิวของอนุภาคนาโนที่เห็นได้ชัดเจน คือ การนำไปใช้ในการเร่งปฏิกิริยาเคมีและการใช้เป็นตัวกรองแบบพิเศษ



รูปที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนอะตอมผิวหน้า (สีแดง) ของวัสดุแบบก้อนใหญ่กับอนุภาคที่มีขนาดในระดับนาโน

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุ เมื่อวัสดุมีปริมาณอะตอมผิวหน้ามากขึ้น อาจมีสาเหตุมาจากอิทธิพลอิเล็กทรอนิกส์และและอิทธิพลสเตอริก (electronic and steric effects)โดยที่อิทธิพลอิเล็กทรอนิกส์ (electronic effect) จะเกี่ยวข้องกับความหนาแน่นของอิเล็กตรอน ที่บริเวณศูนย์กลางปฏิกิริยา (reaction center) เช่นการเกิดประจุบวกหรือประจุลบขึ้น ส่วนอิทธิพลสเตอริก (steric effect) จะเกี่ยวข้องกับลักษณะ รูปร่าง และความเกะกะภายในโครงสร้าง

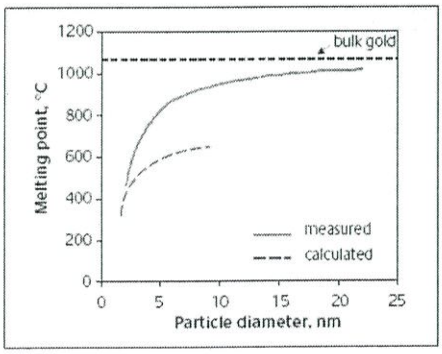
นาโนเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการประกอบอะตอมหรือโมเลกุลให้กลายเป็นโครงสร้างสังเคราะห์ที่เล็กในระดับนาโนเมตร (nanostructures) โครงสร้างดังกล่าวนี้มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมีต่างๆมากโดยเฉพาะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยกตัวอย่างเช่นในกรณีของสารโลหะบางชนิดซึ่งปกติแล้วมักจะมีชั้นผิวนอกสุดเป็นสารประกอบออกไซด์ที่มีความหนาอย่างน้อยหลายไมโครเมตร ดังนั้นถ้านำสารโลหะชนิดเดียวกันนี้มาสังเคราะห์เป็นโครงสร้างในระดับนาโนเมตร ก็จะทำให้โครงสร้างนาโนของโลหะชนิดนี้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งโครงสร้าง ดังนั้นจึงไม่มีปัญหาในการนำอนุภาคนาโนหรือฟิล์มบางนาโนที่เป็นสารประกอบออกไซด์หรือซิลิเกตไปใช้ประโยชน์เพราะว่าทุกส่วนของโครงสร้างนาโนเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศไปเรียบร้อยแล้วทั้งสิ้น

ตัวอย่างการนำโครงสร้างนาโนที่เป็นสารประกอบออกไซด์ไปใช้ประโยชน์ได้แก่ การใช้เป็นส่วนผสมของครีมกันแดด (ZnO,TiO_2) ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมแผ่นเวเฟอร์ซิลิกอนใช้เป็นฟิลเลอร์ (filler) สำหรับพอลิเมอร์และใช้เคลือบผิวหน้าของวัสดุต่างๆให้กลายเป็นวัสดุทำความสะอาดตัวเอง เป็นต้น

แต่ในทางกลับกัน ถ้าต้องการให้โครงสร้างนาโนเหล่านี้สามารถนำไฟฟ้าได้หรือต้องการนำโครงสร้างนาโนไปเชื่อมติดกับโมเลกุลสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนชนิดต่างๆก็จำเป็นต้องหาวิธีการที่ป้องกันไม่ให้ผิวหน้าของโครงสร้างนาโนเหล่านี้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันยกตัวอย่างเช่น การปกป้องผิวหน้าของโครงสร้างนาโนที่เป็นสารประกอบซิลิเกตด้วยการเคลือบด้วยฟิล์มที่เป็นชั้นโมเลกุลไฮโดรเจน

2.3.1.4 จุดหลอมเหลวที่เปลี่ยนไป

จุดหลอมเหลว (melting point) ของทองคำแบบก้อนใหญ่คือ 1,064 องศาเซลเซียส แต่อนุภาคนาโนทองคำ ที่มีขนาดเท่ากับ 5, 2 และ 1 นาโนเมตรจะมีจุดหลอมเหลวลดลงเหลือแค่ประมาณ 830, 350 และ 200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ หรือแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) ที่มีขนาดผลึกในระดับนาโนเมตรจะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าแคดเมียมซัลไฟด์แบบก้อนใหญ่โดยเมื่อขนาดผลึกยิ่งเล็กลงก็ยิ่งทำให้จุดหลอมเหลวของแคดเมียมซัลไฟด์ต่ำลงไปด้วย ส่วนสาเหตุที่อาจทำให้อนุภาคนาโนของโลหะ มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าปกติเกิดจากอนุภาคนาโนมีปริมาณอะตอมผิวหน้ามากโดยที่อะตอมผิวหน้าจะมีระดับพลังงานที่ใช้ในการยึดติดกันและกันน้อยกว่าที่พบในของแข็งปกติและจากอิทธิพลเคลวิน (Kelvin effect) จะพบว่าอนุภาคนาโนจะมีความดันไอสูงขึ้นซึ่งจะทำให้ระเหยได้ง่ายขึ้นดังนั้นจึงพบว่าทองคำที่มีขนาดผลึกในระดับนาโนเมตรจะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าทองคำแบบก้อนใหญ่ โดยเมื่อขนาดอนุภาคยิ่งเล็กลงก็ยิ่งทำให้จุดหลอมเหลวของทองคำต่ำลงไปด้วย ดังรูป



รูปที่2.6 อุณหภูมิ ณ จุดหลอมเหลวของทองคำที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน [11]

2.3.2 อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน(Silver nanoparticles , AgNPs) [4]

นาโนเทคโนโลยีจัดเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวัสดุอินทรีย์ อนินทรีย์ และรวมไปถึงสารชีวโมเลกุลที่มีโครงสร้างสามมิติ ยาว กว้าง สูง ด้านใดด้านหนึ่งอยู่ระหว่าง 1-100 นาโนเมตร โดยวัสดุชนิดใดก็ตามถ้ามีมิติทั้งสามเล็กกว่า 100 นาโนเมตร วัสดุชนิดนั้นจะถูกเรียกว่า สาม-ดี วัสดุนาโน (3-D nanomaterial) ถ้ามีแค่ 2 หรือ 1 มิติที่เล็กกว่า 100 นาโนเมตร ก็จะถูกเรียกว่าวัสดุ สอง- ดี (2-D) และ หนึ่ง-ดี (1-D) ตามลำดับ คุณสมบัติของวัสดุนาโนจะแตกต่างจากวัสดุขนาดใหญ่ (bulk materials)ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพล้วนแล้วแต่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว

สำหรับอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน(AgNPs)นั้นก็จัดว่าเป็นอนุภาคซิลเวอร์ที่มีขนาดดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งอาจมีรูปร่างหน้าตาแตกต่างกัน เช่น ทรงกลม ทรงกระบอก พีระมิด และอื่นๆ แต่ที่สังเคราะห์ได้ง่ายจะเป็นพวกที่มีรูปทรงกลม (แต่อาจมีลักษณะเบี้ยว) ซึ่งในวิธีการสังเคราะห์นั้นมีหลากหลายวิธี เช่น การรีดิวซ์ด้วยวิธีทางเคมี (Chemical reduction) การใช้เลเซอร์ยิง หรือแม้แต่การใช้กระแสไฟฟ้าทำให้เกิด Electrochemical reaction เป็นต้น นอกจากนี้อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน(AgNPs)นั้นมีประโยชน์ในเรื่องคุณสมบัติเชิงแสงซึ่งพบว่าอนุภาคนาโนของเงินไม่ได้มีสีเงินวาวเหมือนที่เราพบเห็นเงินเป็นก้อนๆ แต่อนุภาคระดับนาโนเหล่านี้สามารถกระเจิงแสงแล้วให้สีที่ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค เช่น ถ้าประมาณ 10 นาโนเมตรจะเป็นสีเหลือง เป็นต้น นอกจากนี้อนุภาคมีรูปร่างเปลี่ยนไปก็จะให้สีที่แตกต่างกัน เช่น ทรงกลมกับทรงกระบอกจะให้สีที่แตกต่างกัน จากการที่คุณสมบัติเชิงแสงของอนุภาคนาโนสามารถเปลี่ยนไปได้ทำให้มีการนำเอาอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน(AgNPs) มาทำเป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ไวต่อแสง (sensor) สำหรับตรวจวัดทางชีวภาพ ตัวอย่างเช่น ตรวจเชื้อเอดส์ เนื่องจากอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน(AgNPs)จะให้ Surface Enhance Raman Scattering (SERs) โดยการนำเอาชิ้นส่วนทางชีวภาพ เช่น ปัสสาวะของคนที่เป็นโรคไปตรวจสอบด้วยอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน(AgNPs)เพียงแค่หยดใส่แล้วจะเห็นการเปลี่ยนสีก็จะทำให้ทราบว่าคนนั้นเป็นโรคหรือไม่โดยไม่ต้องทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน(AgNPs)สามารถทำหน้าที่เป็น antibacterial agentได้ด้วย เช่น การใส่เสื้อผ้านาโนแล้วจะไม่มีกลิ่นเหม็น เนื่องจากมีการนำเอาอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน(AgNPs)ไปเคลือบบนเสื้อผ้าซึ่งอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน(AgNPs)จะไปฆ่าเชื้อแบคทีเรียทำให้ไม่เกิดกลิ่นเหม็นและยังมีการนำเอาอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน(AgNPs)มาทำเป็น

ยาแทน Antibiotic ในปัจจุบันที่ใช้กันอยู่ แต่เนื่องจาก Antibiotic นั้นมีข้อเสียคือ เชื้อสามารถดื้อยาได้ง่ายและส่งผลข้างเคียงสูงในขณะที่ข้อมูลจากอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน(AgNPs)นั้นมีโอกาสที่เชื้อจะดื้อยาแทบจะไม่มีและไม่ส่งผลการะทบข้างเคียง ดังนั้นอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน(AgNPs) สามารถยับยั้งการเพิ่มจำนวนหรือการติดเชื้อของไวรัสได้

2.3.2.1 การสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน[12]

อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนสามารถสังเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น การสังเคราะห์ทางเคมี (chemical) ไฟฟ้าเคมี (electrochemical) และทางแสง (photochemical) ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีการรีดิวซ์ทางเคมีมีตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ที่ใช้หลายชนิด แต่ที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ โซเดียมบอโรไฮไดร์ (sodium borohydride) และโซเดียมซิเตรท (sodium citrate) การสังเคราะห์โดยวิธีนี้เป็นเทคนิคที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก ใช้สารเคมีเพียงไม่กี่ชนิด แต่ขนาดและรูปร่างของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความบริสุทธิ์ของสารเคมีและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้อุณหภูมิของสารละลายและความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท (silver nitrate) และตัวรีดิวซ์ในงานวิจัยนี้ จึงได้เลือกใช้วิธีการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนโดยวิธีการรีดิวซ์ทางเคมี โดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรท และโซเดียมบอโรไฮไดร์ ได้สารละลายสีเหลืองโดยปฏิกิริยาในการรีดิวซ์เป็นดังสมการที่ 1

$$AgNO_3 + NaB \longrightarrow Ag^0 + 1/2H_2 + 1/2B_2H_6 + NaNO_3 \ldots\ldots\ldots(1)$$

2.3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน(Silver nanoparticle, AgNPs)

กรกวี ธีรธร,ขวัญฤทัย ไชยธวัช,นราพร เจริญรัตน์ [13]ได้ใช้อนุภาคเงินระดับนาโนเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเมลามีน

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีวิเคราะห์หาปริมาณเมลามีนในนมโดยอาศัยการทำปฏิกิริยากับอนุภาคเงินระดับนาโนและตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปคโทรสโดรปี เมลามีนเป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีหมู่อะมิโนอยู่ในโครงสร้าง ส่วนใหญ่เมลามีนจะถูกนำไปผลิตเป็นพลาสติก ซึ่งถือว่าเมลามีนเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรม เมลามีนถูกสั่งห้ามนำมาผสมในอาหารหรือนำมาผสมในส่วนประกอบของอาหาร เนื่องจากเมลามีนมีปริมาณของไนโตรเจนสูง (66% โดยมวล) และมีราคาต่ำ เมลามีนจึงมักถูกนำมาลักลอบปลอมปนในอาหาร ซึ่งเมลามีนไม่สามารถเผาผลาญในร่างกายของมนุษย์ได้และอาจจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ

กับกรดไซยานูริคขึ้นได้ โดยขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดของปัสสาวะ ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนนี้อาจก่อให้เกิดการสะสมของผลึกเมลามีนไซยานูเรตที่ไม่ละลายน้ำอยู่ในไตและอาจทำให้เกิดภาวะไตวายได้ ปริมาณของเมลามีนที่สามารถบริโภคแล้วไม่เกิดอันตรายสำหรับผู้ใหญ่ เท่ากับ 2.5ppm และในนมสำหรับเด็กทารก เท่ากับ1ppm ซึ่งกำหนดโดยองค์กรอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกาในงานวิจัยนี้จะอาศัยหลักการที่ว่าเมลามีนจะสามารถทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคเงินในระดับนาโนทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งจะส่งผลให้สีของสารละลายเปลี่ยนมาจากสีเหลืองกลายเป็นสีแดง ในการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเมลามีนสามารถวิเคราะห์ได้โดยอาศัยการดูด้วยตาเปล่า หรือ อาศัยเครื่องยูวี – วิสิเบิลสเปคโทรโฟโตมิเตอร์ โดยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นมาใหม่นี้มีค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเท่ากับ 0.003 mM

เบญจพร อ่อนทิมวงศ์, ปวีณา ศิริคำรณ[14] ได้ทำการพัฒนาการตรวจสอบเมลามีนในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการตรวจสอบสารเมลามีนโดยใช้ปฏิกิริยาการเกิดสีซึ่งสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ทำการศึกษาด้วยการเตรียมอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนโดยการรีดิวซ์ซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$) ด้วยโซเดียมบอโรไฮไดรด์ ($NaBH_4$) เกิดเป็นอนุภาคของซิลเวอร์ระดับนาโนซึ่งเป็นคอลลอยด์ที่มีสีเหลืองใส ทำการวัด UV spectrophotometry เพื่อดู absorption spectrum ยืนยันการเกิดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนโดยมี absorption band ที่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400 นาโนเมตร คอลลอยด์ของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนมีความคงตัวอยู่เพียงช่วงหนึ่งจึงทำการเติมโพลิไวนิลไพโรลิโดน(PVP) ซึ่งเป็นสารช่วยเพิ่มความคงตัวของคอลลอยด์ของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนโดยช่วยป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนจึงได้คอลลอยด์ที่มีความคงตัวมากขึ้น ซึ่งได้ทำการทดลองโดยการเติมโพลิไวนิลไพโรลิโดน(PVP)ความเข้มข้นต่างๆแล้วตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องและทำการวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Zetasizer เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของขนาดอนุภาคเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนไปพบว่าอนุภาคของซิลเวอร์ระดับนาโนเมื่อเริ่มสังเคราะห์มีขนาดประมาณ 50 นาโนเมตร และได้นำคอลลอยด์ของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่คงตัวทดสอบกับเมลามีนเพื่อดูผลกระทบของความเข้มข้นของโพลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ที่ใช้ที่มีต่อการทำปฏิกิริยาของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนกับเมลามีน ผลจากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของโพลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ที่เหมาะสมที่ทำให้อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนคงตัวอยู่เป็นเวลานานและมีความไวต่อการทำปฏิกิริยากับสารละลายเมลามีนที่มีความเข้มข้น 25 ppm คืออนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่มีโพลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) 2%โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะให้

สารละลายสีชมพูแดง การศึกษานี้เป็นแนวทางในการพัฒนาการทดสอบเมลามีนซึ่งยังต้องมีการศึกษาต่อไป

P Jain, T Pradeep, [15] ศึกษาอนุภาคระดับนาโนของเงินที่สามารถเคลือบโฟมยูรีเทน (PU) จากการสัมผัสในชั่วข้ามคืนจากโฟม ในการแก้ไขปัญหาอนุภาคนาโนโดยการล้างซ้ำและอากาศจะต้องแห้ง ผลผลิตจากโฟม (PU) เคลือบสม่ำเสมอซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นตัวกรองน้ำดื่มที่มีการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียจากน้ำผิวดินเป็นความเสี่ยงต่อสุขภาพ โฟมจากอนุภาคนาโนนั้นมีความเสถียรและไม่ต้องล้างออกด้วยน้ำ สัณฐานวิทยาของโฟมจะถูกเก็บเอาไว้หลังจากที่เคลือบอนุภาคนาโนจะเกิดปฏิกิริยากับอะตอมไนโตรเจนจาก (PU) การทดสอบนี้ได้ดำเนินการกับเครื่องกรองน้ำที่มีอัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที ซึ่งจะนับการส่งออกของเชื้อ Escherichia Coil เป็นศูนย์ เมื่อมีน้ำไหลเข้ามาซึ่งจะมีเชื้อแบคทีเรีย 10^5 หน่วย (CFU) ต่อมิลลิลิตร วิธีนี้ใช้ค่าใช้จ่ายต่ำและมีประสิทธิภาพในการใช้งานของเทคโนโลยีซึ่งอาจมีผลการทบขนาดใหญ่ต่อการพัฒนา

2.4 ชุดทดสอบภาคสนาม [16]

ชุดทดสอบภาคสนามโดยทั่วไปแล้วมีจุดประสงค์เพื่อใช้สำหรับการทดสอบหรือการวิเคราะห์สารที่ได้จากหน้างาน(on-sit)หรือสายงานการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่ไม่ยุ่งยากและให้ผลการวิเคราะห์รวดเร็ว จึงถือว่าเป็นจุดเด่นของชุดทดสอบการนำชุดทดสอบภาคสนามมาใช้ สามารถนำมาทดสอบกับตัวอย่างที่มีจำนวนมากได้ รวมทั้งสามารถทดสอบได้ในสภาวะจริงของสารตัวอย่างนั้น เนื่องจากการนำตัวอย่างมาทดสอบยังห้องปฏิบัติการอาจมีการปนเปื้อน การสลายตัวของตัวอย่างก่อนที่ตัวอย่างจะส่งวิเคราะห์มายังห้องปฏิบัติการชุดทดสอบภาคสนามเหมาะสำหรับการคัดกรอง (Screening) ตัวอย่างที่มีจำนวนมากก่อนนำส่งตัวอย่างเข้าสู่ห้องปฏิบัติการ แต่ชุดทดสอบภาคสนามสามารถทำได้เพียงการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) ไม่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ในเชิงปริมาณได้ (Quantitative analysis) จึงทำให้เป็นข้อเสียของชุดทดสอบภาคสนาม

จุดเด่นของชุดทดสอบภาคสนาม

1.ใช้ได้ง่าย โดยผู้ใช้ไม่ต้องมีความเชี่ยวชาญด้านนั้นๆ โดยตรง กระบวนการทดสอบไม่สลับซับซ้อนเกินไป

2.สามารถนำไปใช้ในสภาวะของภาคสนามที่เกี่ยวข้อง กระบวนการทดสอบจึงต้องไม่ยุ่งยาก อาจสามารถใช้งานในสภาวะที่ต่างจากห้องปฏิบัติการได้ เช่น ไม่มีโต๊ะ ไม่มีไฟฟ้า ไม่มีน้ำ หรือ มีสภาวะอากาศแปรปรวนเป็นต้น

3. ใช้เวลาในการทดสอบน้อยเพราะเป็นการใช้งานในภาคสนาม ซึ่งมักจะไม่สามารถรอผลการทดสอบที่ใช้เวลานานได้

4. น้ำยาและสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ จะต้องมีความเสถียร เพื่อให้สามารถเก็บไว้ใช้เป็นเวลานาน

5.ราคาถูก เพราะการทดสอบภาคสนามมักจำเป็นต้องทำการทดสอบตัวอย่างจำนวนมาก

2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชุดทดสอบทางเคมี

ประภัสสร ทวีการ สรายุทธ ประกิตตระกูล อดิศักดิ์ พาพันธ์[17] ศึกษาการเตรียมชุดทดสอบสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำเสียในงานวิจัยนี้อาศัยปฏิกิริยาดีไฮเดรชันระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์และโครโมโทรปิกในสารละลายกรดเกิดสารประกอบสีม่วง โดยความเข้มของสีม่วงแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์

นฤชิต ไพโรน์[18] ได้พัฒนาชุดทดสอบสำหรับหาปริมาณเหล็กในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีโซลเจลเจือออโธฟีแนนโทรลีน และใช้สแกนเนอร์เป็นเครื่องตรวจวัด จากนั้นใช้โปรแกรม Image JTMในการหาค่าความเข้มสี (สีแดง สีเขียว น้ำเงิน) คำนวณความแตกต่างของความเข้มสีจากสมการเชิงเส้นแบบยูคลิค (Euclideam Distance, ED) ซึ่งวิธีนี้สามารถหาปริมาณเหล็กในตัวอย่างวิตามินได้ในช่วงความเข้มข้น 10-100 มิลลิกรัมต่อลิตร

พิมพ์พิมล อเนกธีรกุลและคณะ[19] ได้ทำการวิเคราะห์พาราไนโตรฟีนอลด้วยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายโพลิไดอะเซทิลีนเวสิเคิลซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนสีได้จากสีน้ำเงินเป็นสีแดงเมื่อได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าหรือสารเคมีบางชนิด สารละลายพอลิไดอะเซทิลีนเวสิเคิลจะมีสีน้ำเงินเข้มและดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 635 นาโนเมตร และสารละลายเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อเกิดสารเชิงซ้อนกับแอลฟาไซโคลเดกซ์ทริน แต่จะถูกยับยั้งการเปลี่ยนสีเมื่อมีสารละลายพาราไนโตรฟีนอลและสามารถทำการตรวจวัดได้โดยวิธีวิสิเบิลสเปกโทรเมทรี พบว่าวิธีนี้มีช่วงความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 0.5-1.75 มิลลิโมลลาร์

ธีรพงษ์ เทพกรณ์[20] ชุดทดสอบโพลิฟีนอลทั้งหมดที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นสามารถใช้วิเคราะห์โพลิฟีนอลทั้งหมดในชาได้ด้วยวิธีการที่สะดวกรวดเร็ว ผู้บริโภคสามารถใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ชาเพื่อสุขภาพได้

วงศ์อนันต์ ณรงค์วาณิชการ, อัจฉรา ธีระพันธ์[21] ได้ทำการพัฒนาชุดทดสอบแบบรวดเร็วสำหรับตรวจหาสารไธโอไซยาเนตในน้ำนมดิบ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการพัฒนาชุดทดสอบแบบรวดเร็วสำหรับตรวจหาสารไธโอไซยาเนตในน้ำนมดิบโดยตกตะกอนโปรตีนในน้ำนมดิบด้วยสารละลาย 20% trichloroacetic acid แล้วแยกเอาส่วนใสที่มีสารไธโอไซยาเนตมาทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์ในระบบปิดด้วยสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตและกรดซัลฟูริกได้ก๊าซไฮโดรไซยาไนด์ไปทำปฏิกิริยาเปลี่ยนสีเหลืองของ picric acid ที่ชุบติดกับกระดาษกรองกลายเป็นสารประกอบสีน้ำตาล isopurpuric acid ซึ่งสีจะเข้มขึ้นเมื่อปริมาณของสารไธโอไซยาเนตเพิ่มขึ้นผลการศึกษานี้สามารถพบสีน้ำตาลของสาร isopurpuric acid เกิดขึ้นบนกระดาษ picrate ในหลอดทดสอบที่มีสารไธโอไซยาเนตปริมาณต่ำสุดเพียง 1 ppm ที่อุณหภูมิ 75 องศาภายในเวลา 5 นาทีเท่านั้นหลังจากปฏิกิริยาดำเนินต่อไปจนครบหนึ่งชั่วโมงนำกระดาษทดสอบมาแช่น้ำเพื่อละลาย isopurpuric acid แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดความเข้มของสีด้วยวิธีวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ค่าที่วัดได้ใช้คำนวณหาปริมาณของสารไธโอไซยาเนตในตัวอย่างได้ซึ่งชุดทดสอบแบบรวดเร็วที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีความไวและความแม่นยำที่สามารถตรวจหาสารไธโอไซยาเนตในน้ำนมดิบได้ตั้งแต่ 1-10 ppm

2.5 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [22]

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (อังกฤษ: hydrogen peroxide) มีสูตรทางเคมีว่า (H_2O_2) เป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์มีสภาพเป็นของเหลวใส หนืดกว่าน้ำเล็กน้อย มีรสขม ไม่อยู่ตัว ซึ่งสามารถสลายตัวเป็นออกซิเจนกับน้ำ เมื่อเจือจางจะเป็นสารละลายไม่มีสี เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถสลายตัวเป็นน้ำได้เมื่อถูกแสงและความร้อน จึงควรเก็บรักษาสารชนิดนี้ไว้ในภาชนะทึบแสง

2.5.1 คุณสมบัติ

โดยปกติไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะสลายตัวไปเองอย่างช้าๆ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำและแก๊สออกซิเจน แสงสว่างและความร้อนจะช่วยเร่งให้เกิดการสลายตัวเร็วขึ้น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีปฏิกิริยาการสลายตัวดังนี้

$$2H_2O_2\ (aq) \longrightarrow 2H_2O\ (l) + O_2\ (g) \qquad (2)$$

นอกจากนี้หากมีส่วนผสมของโลหะโดยเฉพาะเหล็กแมงกานีส ทองแดง จะทำให้เกิดการสลายตัวเร็วยิ่งขึ้น

2.5.2 วิธีการเก็บรักษาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ให้เก็บไว้ในที่มืด หรือในภาชนะสีน้ำตาลเข้ม ภาชนะทึบแสง และในที่เย็น นอกจากนี้อาจเติมสารบางชนิดลงไปเล็กน้อย เช่น แอลกอฮอล์ เพื่อป้องกันไม่ให้สลายตัวเร็วเกินไป

2.5.3 อันตรายต่อสุขภาพอนามัยและการปฐมพยาบาล

เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีฤทธิ์กัดกร่อน การหายใจเอาสารชนิดนี้เข้าไป อาจทำให้เกิดอาการเจ็บคอ ไอ หายใจติดขัด เมื่อสัมผัสผิวหนัง อาจเกิดผื่นแดง รู้สึกปวดแสบปวดร้อน เมื่อรับประทานเข้าไป จะเกิดอาการเจ็บคอ ปวดท้อง และอาเจียนได้ และเมื่อสัมผัสถูกดวงตา จะก่อให้เกิดอาการระคายเคือง ตาแดง ปวดตา สายตาอาจพร่ามัวได้

หากได้รับสารโดยการหายใจเข้าไป ให้ผู้ป่วยออกไปอยู่บริเวณที่มีอากาศบริสุทธิ์ แต่ถ้าผู้ป่วยหยุดหายใจให้ช่วยผายปอด ถ้าหายใจติดขัดให้ออกซิเจนช่วย แล้วนำส่งไปพบแพทย์ หากสัมผัสถูกผิวหนังให้ฉีดล้างผิวหนังทันทีด้วยน้ำปริมาณมาก หากสัมผัสดวงตาให้ใช้นิ้วถ่างแยกเปลือกตาออก แล้วฉีดน้ำเย็นล้างตาทันทีเป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที แต่ถ้าหากเกิดรับประทานเข้าไปในปริมาณมาก ให้นำส่งไปพบแพทย์ทันที

2.5.4 ประโยชน์ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

โดยทั่วไปไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะอยู่ในรูปสารละลายความเข้มข้นตั้งแต่ 3–90% มักใช้เป็นสารฟอกสีในอาหาร สารทำความสะอาด น้ำยาฆ่าเชื้อ ใช้ฆ่าเชื้อโรคบนผิวหนัง ใช้ล้างภาพสีน้ำมันเก่า ๆ ให้สดใสขึ้น ทำน้ำยาบ้วนปาก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 90% สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงขับเคลื่อนจรวด

การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ล้างแผล จะใช้ในฐานะยาที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้ออ่อนๆเฉพาะที่ เช่น บาดแผลเล็กๆ แต่อาจเกิดผลข้างเคียงจากความเป็นพิษ (Cytotoxic) ซึ่งรบกวนการสมานแผล ทำให้แผลแสบ และระคายเคือง ดังนั้นจึงควรใช้สารชนิดนี้ในกรณีจำเป็นเท่านั้น

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถใช้ฟอกเส้นผม โดยการนำสารชนิดนี้ไปผสมกับสารชนิดอื่น จนให้สารละลายผสมมีฤทธิ์เป็นด่าง แล้วนำมาฟอกผม จะทำให้เส้นผมมีสีอ่อนลง ง่ายต่อการเปลี่ยนสีผม และยังทำให้สีที่ต้องการย้อมติดกับผมได้ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ยังมีส่วนผสมอยู่ในน้ำยาโกรกผม ซึ่งในยาย้อมผมไม่ควรมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิน 6% แต่ที่พบในท้องตลาดมีตั้งแต่ 3-40% ซึ่งหากใช้โดยไม่มีการเจือจางจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองหนังศีรษะและเส้นผมอาจถูกทำลายได้และยังมีการใช้เป็นสารฟอกขาวในภาคอุตสาหกรรมฟอกย้อม ซึ่งสามารถใช้ได้ดีกับเส้นใยเกือบทุกชนิด พร้อมทั้งเกิดอันตรายต่อเส้นใยน้อยที่สุด ทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "ตัวฟอกขาวสากล" (Universal bleaching agent) การฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต้องใช้โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ควบคุมการสลายตัว นอกจากใช้ฟอกเส้นใยแล้ว ยังใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ฟอกงาช้าง และขนนก และอาจใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารแอนติคลอร์ (อังกฤษ: antichlor) ซึ่งใช้ทำลายคลอรีนที่ตกค้างบนเส้นใยหลังผ่านการใช้คลอรีนฟอกขาวมีสมการดังนี้

$$Cl_2\,(g) + H_2O_2\,(aq) \longrightarrow 2HCL\,(aq) + O_2\,(g) \qquad (3)$$

นอกจากนี้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้นยังสามารถตรวจพบได้จากในร่างกาย ซึ่งเกิดจากอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งเป็นอะตอมหรือโมเลกุลที่ประกอบด้วยอิเล็กตรอนจำนวนคี่ตัวอย่างของอนุมูลอิสระได้แก่ Superoxide anion (0_2^-), hydroxyl radical (OH^-), peroxyl radical ซึ่งพร้อมที่จะจับกับโมเลกุลอื่นโดยฉับพลันการเกิดอนุมูลอิสระอาจเกิดได้จากขบวนการเมตาบอลิซึมภายในร่างกาย, ขบวนการ Phagocytosis โดยนิวโทรฟิลล์โมโนไซท์แมคโครเฟจ, การหายใจในไมโตคอนเดรีย (Mitochodrial respiration), ขบวนการทำลายสารพิษ (Xenobiotic detoxification) เช่นในขบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนถ้ามีการรับเพียงอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดักชันของ O_2ไปเป็น H_2O จะเกิดอนุมูล Superoxide radical หรือ Superoxide anion (0_2^-) ขึ้นเมื่อ 0_2^- รับ H^+ จะได้อนุมูลไฮโดรเปอร์ออกซิล (Hydroperoxyl radical, $H0_2^-$) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ $H0_2^-$ อีกอนุมูลหนึ่งเกิดเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) สามารถเกิด Dismutationโดยมี Fe^{3+}เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็น

Hydroxyl radical ($0H^{-}$) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่มีปฏิกิริยาที่ว่องไวสูงมากเป็นผลให้เกิดภาวะ Oxidative stress

2.5.5 สภาวะเครียดออกซิเดชัน (Oxidative stress)

ภาวะ Oxidative stress คือ ภาวะที่มีอนุมูลอิสระ (Free radical) มากจนสารต้านอนุมูล (Antioxidant) มีไม่เพียงพอจึงส่งผลให้เกิดการทำลายชีวโมเลกุลได้ เช่น DNA , Protein , Carbohydrate , Lipid การเกิด Oxidative stress จะทำลายไมโตคอนเดรีย ทำลายโครงสร้างต่างๆใน ร่างกาย[23] แต่ในบางโรคภาวะ Oxidative stress ก็ไม่ได้เป็นสาเหตุเบื้องต้นแต่กลับเป็นผลสืบเนื่องมาจากกระบวนการเกิดโรคและส่งผลให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่อ ดังเช่น การติดเชื้อ (Infection) การบาดเจ็บ (Trauma) การได้รับสารพิษ (Toxins) หรือภาวะอื่นๆ มักเป็นต้นเหตุของการสร้างและสะสมของอนุมูลอิสระที่ทำให้เกิดพยาธิสภาพของโรคต่อไป โดยภาวะที่ไม่สมดุลของปฏิกิริยาออกซิเดชัน(Oxidation) และรีดักชัน(Reduction) ในร่างกายมีผลต่อการปรับเปลี่ยนการแสดงออกของยีนส์ของโรคและภาวะต่างๆ ดังนี้คือโรคทางระบบหัวใจและหลอดเลือด, โรคมะเร็ง, โรคเบาหวาน, โรคทางระบบประสาท, โรคทางระบบภูมิคุ้มกัน, โรคตา, ภาวะชราภาพ

ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนาชุดทดสอบเพื่อนำมาตรวจหาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ในตัวอย่างปัสสาวะเพื่อบ่งชี้ถึงการมีภาวะ Oxidative stress ซึ่งสามารถก่อให้เกิดโรคต่างๆได้ดังที่กล่าวมาแล้ว [24]

จากเอกสารอ้างอิง[25] โดยทั่วไปในปัสสาวะของมนุษย์นั้นพบว่ามี ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่ความเข้มข้นประมาณ 0.1 มิลลิโมลลาร์ หรือเท่ากับ 100±60 ไมโครโมลลาร์ (10^{-4} โมลลาร์) แต่ถ้าปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) สูงกว่า 0.1มิลลิโมลลาร์ ก็อาจส่งผลให้เกิดภาวะ Oxidative Stress ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องที่ก่อให้เกิดโรคต่างๆภายในร่างกายได้

2.5.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

Donrawee Leelarungrayub[26] ได้มีการประยุกต์ไบโอเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากภาวะออกซิเดทีฟสเตรส เพื่อใช้ในทางการแพทย์

เนื่องจากวิธีการตรวจวัดสารอนุมูลอิสระในปัจจุบันนั้นไม่สามารถทำได้ด้วยวิธีเคมีพื้นฐาน เนื่องจากอนุมูลอิสระมีปริมาณน้อยและมีความไวในการสลายตัวค่อนข้างเร็ว ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงสนใจพัฒนานำเอาเครื่องมือวัดแบบไบโอเซนเซอร์มาประยุกต์ใช้สำหรับตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อนำมาใช้ในทางการแพทย์หรือด้านอื่นๆ ที่สามารถบ่งบอกถึงภาวะที่ร่างกายมีอนุมูล

อิสระมากเกินไป โดยที่ผ่านมาได้มีการนำไบโอเซนเซอร์เพื่อใช้ในการตรวจวัดฤทธิ์ในการทำลายสารอนุมูลอิสระชนิดซุปเปอร์ออกไซด์เรดิเคิลของยาทางการค้า (commercial drugs) ซึ่งตรึงหัวไบโอเซนเซอร์ด้วย kappa-carrangeenan gel membrane และตรวจวัดด้วย Amperometricแสดงให้เห็นว่าตัวยาที่จะนำมาใช้ในการรักษาทางการแพทย์ มีฤทธิ์ทำลายอนุมูลอิสระได้จริง นอกจากนี้ไบโอเซนเซอร์ยังได้นำมาตรวจจัดภาวะการเกิดการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อในสัตว์ทดลอง โดยเป็นลักษณะของ cytochrome c-based biosensor และทำการตรวจวัดปริมาณของซุปเปอร์ออกไซด์เรดิเคิลที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เทคโนโลยีไบโอเซนเซอร์นับว่าเป็นวิวัฒนาการทางวิศวกรรมชีวการแพทย์อย่างหนึ่ง ที่อาศัยหลักการทำงานร่วมกันระหว่างส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือส่วนของสารชีวภาพ (biological substance) และส่วนของทรานส์ดิวเซอร์ (transducer) หรือตัววัดสัญญาณ ในการที่จะนำมาใช้ในการตรวจสารชีวภาพนั้นจะต้องมีความจำเพาะเจาะจงกับสาร (specific substance) ที่ต้องการวัด การทำงานของไบโอเซนเซอร์นั้นจะเริ่มจากการที่สารชีวภาพ ซึ่งอาจจะเป็นเอนไซม์ (Enzyme) ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการวัด ตัวอย่างเช่น เอนไซม์ HRP มีความจำเพาะต่อสาร H_2O_2 เท่านั้น หรือเอนไซม์ Tyrosinase บนหัวตรึงไบโอเซนเซอร์มีความจำเพาะต่อสารที่มีกลุ่มฟีนอล (Phenol group) เท่านั้น จากนั้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าหรือมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนหรือประจุ ซึ่งหัวไบโอเซนเซอร์ อาจเป็นโลหะชนิดต่างๆ เช่น แพลททินัม ทอง หรือ คาร์บอนสามารถแปรเป็นสัญญาณที่ส่งมายังทรานส์ดิวเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางอิเลคทรอนิคส์ทำหน้าที่รับและแปลงสัญญาณที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างสารชีวภาพกับสารที่ต้องการวัดวิเคราะห์ดังกล่าวให้กลายเป็นกระแสไฟฟ้า และสัญญาณไฟฟ้านี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของสารที่ตรวจวิเคราะห์ได้และถูกนำไปดำเนินการต่อเพื่อแสดงผลออกมาเนื่องจากไบโอเซนเซอร์เป็นเทคโนโลยีที่มีหลักการที่จำเพาะและให้ผลลัพธ์รวดเร็ว ไบโอเซนเซอร์จึงได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางโดยเฉพาะทางด้านอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมหมัก เช่น การตรวจวัดสารปนเปื้อน และด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การตรวจวัดไนไตร์/ไนเตรทในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย แต่ในทางการแพทย์มีเพียงการวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสในเลือดเป็นหลัก แต่ยังไม่ได้มีการนำมาตรวจวัดสารอนุมูลอิสระในทางการแพทย์ ซึ่งจะเป็นการช่วยติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารอนุมูลอิสระในผู้ป่วยถึงแม้จะมีการผลิตและพัฒนาไบโอเซนเซอร์

โดยเฉพาะศูนย์พัฒนาและอบรมอุตสาหกรรมต้นแบบ โดย รศ.ดร.วีระศักดิ์ สุระเรืองชัย และทีมวิจัยมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี โดยสามารถตรึงหัวตรวจวัดไบโอเซนเซอร์ สำหรับ

ตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2 biosensor) แลกแตด (Lactate biosensor) และฟีนอล (phenol biosensor) ด้วยวิธีการตรึงเอนไซม์ที่จำเพาะต่อสารที่ต้องการจะวัดได้ แต่ยังไม่ได้มีการพัฒนามาใช้ในทางการแพทย์ ดังนั้นจึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าวิธีที่ตรึงอยู่ สามารถนำมาตรวจวัดในสารคัดหลั่งผู้ป่วยได้จริง รวมทั้งมีความแม่นยำและความเสถียรมากน้อยเพียงใด หรือมีสารอื่นๆ ที่อยู่ในสารตัววัดมีผลต่อสัญญาณที่ผิดไปหรือไม่ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้มีความสนใจอย่างมาก ที่จะนำไบโอเซนเซอร์มาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารคัดหลั่ง โดยจะศึกษาในปัสสาวะโดยจะอาศัยพื้นฐานเดิมของตัวเครื่องไบโอเซนเซอร์จากสถาบันไบโอเซเซอร์ที่ผลิตอยู่ คือการตรึงด้วยเอนไซม์ Horseradish peroxidase (HRP) ที่มีความจำเพาะต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่านั้นบนผิวหน้าหัวตรวจวัด ซึ่งอาจเป็นอิเลคโทรดที่ทำด้วยแพลทตินัม ทอง หรือคาร์บอนแล้วนำหัวตรวจวัดนี้ไปทำการวัดในปัสสาวะจากคน ที่ใช้เป็นโมเดลให้เกิดสารต้านอนุมูลอิสระจริงในร่างกายจากการออกกำลังกายในระยะเวลาหนึ่ง แล้วเอนไซม์นี้จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปัสสาวะ ในส่วนของการวัดสัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้น สามารถใช้เทคนิคที่เรียกว่า Amperometry โดยการป้อนศักย์ไฟฟ้าคงที่ค่าหนึ่งให้กับอิเลคโทรด ศักย์ไฟฟ้าดังกล่าวจะก่อให้เกิด oxidation หรือ reduction reaction ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์บนผิวหน้าอิเลคโทรดและเกิดการให้หรือรับอิเล็กตรอน ซึ่งเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าที่วัดได้และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณสารที่ต้องการวัดตามหลักการคร่าวๆ ของการทำหัวตรวจอิเลคโทรดสำหรับตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ได้กล่าวข้างต้น ถึงแม้ว่าจะเป็นหลักการที่ง่าย แต่ในทางปฏิบัติเนื่องจากยังเป็นเทคนิคการใช้สารชีวภาพในรูปแบบใหม่ของเทคโนโลยีไบโอเซนเซอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับประเทศไทย จึงยังต้องมีการวิจัยในด้านกรรมวิธีการทำหัวตรวจอิเลคโทรดชนิดนี้ให้ได้ประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เพื่อให้สามารถนำไปเป็นเครื่องตรวจวัดทางการแพทย์ที่แม่นยำ โดยใช้ทั้งหลักการทางชีวเคมี และทางวิศวกรรมในการออกแบบสร้าง ขั้นตอนการวิจัยในส่วนของการออกแบบสร้างหัวตรวจนี้ จึงถือเป็นส่วนสำคัญเบื้องต้นของโครงการวิจัยนี้ หลังจากการสร้างหัวตรวจสำเร็จลง ก็จะมีการทดสอบการใช้งานเพื่อหา ผลสรุปในด้านประสิทธิภาพและความแม่นยำ และสามารถตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในคนได้จริง จึงสามารถสรุปได้ว่ามีประสิทธิภาพและความแม่นยำเป็นที่น่าพอใจ โครงการวิจัยนี้ก็จะถือเป็นต้นกำเนิดของเครื่องมือวัดที่สำคัญทางการแพทย์ชิ้นใหม่ในเมืองไทย คือเครื่องตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในคนที่มีภาวะออกซิเดทีฟสเตรส ซึ่งสามารถนำไปตรวจวัดในกลุ่มผู้ป่วยโรคต่างๆได้ และให้คุณประโยชน์ที่ล้ำค่าต่อการแพทย์ในประเทศไทยต่อไป

ศิริวรรณ ตี้ภู่, พงษ์นรินทร์ ชุมแสง และ สุภาวดี ปาทาธนานนท์ [27] ได้สร้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เซนเซอร์โดยใช้อนุภาคนาโนทอง

การสร้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เซนเซอร์ โดยใช้อนุภาคนาโนทอง เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทำงานที่ทำจากไส้ดินสอชนิด 6H และทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองโดยวิธีรีดักชัน ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของอนุภาคนาโนทองโดยเทคนิคสเปกโทรสโกปีและเทคนิคภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดทะลุผ่านพบว่าได้อนุภาคนาโนทองขนาด 4.38 ± 0.66 nm เมื่อได้อนุภาคนาโนทองแล้วนำไปใช้ในการตรึงเอนไซม์ HRP โดยขั้นแรกเกาะติดบนผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าด้วยไคโตซาน จากนั้นตรึงอนุภาคนาโนทองบนไคโตซานและตามด้วยเอนไซม์ HRP เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณการตอบสนองที่ได้จากการใช้อนุภาคนาโนทองกับไม่ใช้อนุภาคนาโนทอง พบว่าการใช้อนุภาคนาโนทองให้ค่ากระแสไฟฟ้ามากกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้อนุภาคนาโนทองเพิ่มความไววิเคราะห์สำหรับสร้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เซนเซอร์ต่อไป โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสร้างขั้วไฟฟ้าไส้ดินสอเพื่อวิเคราะห์หาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยศึกษาผลของการกระตุ้น ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทำงาน หาสภาวะที่เหมาะสมของการเกาะติด ไคโตซานบนขั้วไฟฟ้าทำงาน ศึกษาจำนวนชั้นของการตรึง HRP ด้วยอนุภาคนาโนทองที่เหมาะสม โดยเทคนิค Layer-by-Layer ศึกษาความเข้มข้นของเอนไซม์ HRP ที่เหมาะสม ศึกษาการให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วไฟฟ้าทำงานศึกษา pH ของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ และศึกษาการทวนสอบวิธี โดยศึกษาความเที่ยง ความแม่นยำ ช่วงความเป็นเส้นตรง ขีดจำกัดในการตรวจพบ ขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณและความเสถียร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เซนเซอร์ไปวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่างจริง โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเทคนิคไบโอเซนเซอร์เทียบกับวิธีไทเทรต พบว่าผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้สถิติแบบ Wilcoxon signed rank test

Yuwadee Puttivisit, B.Sc., Ratana Banjerdpongchai, Ph.D.,Nattakarn Leelarungrayab, M.Sc., Viboon Rattanapanone, Ph.D.[28] ได้ทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบระดับเซรั่มของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระหว่างผู้ที่ไม่สูบบุหรี่และผู้ที่สูบบุหรี่โดย 2 วิธี คือ tetramethylenebenzidine (TMB) และการทดสอบ ferrous ion oxidation xylenol orange (FOX) ใน (n = 20) โดยระดับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปัสสาวะที่ตรวจวัดด้วยวิธี TMB และ FOX จะได้ 0.78 ± 0.35 และ 0.82 ± 0.59 μM ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เมื่อวัดระดับ

ของเซรั่มไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในผู้ที่ไม่สูบบุหรี่(n=20) และผู้ที่สูบบุหรี่(n=20)โดยวิธีการทดสอบด้วย FOX จะพบว่ามีระดับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.04±0.12 และ 0.76±0.09μM ตามลำดับ โดยการเพิ่มไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (0.01,0.02,0.03,0.04 และ 0.06 μM) การเปรียบเทียบปริมาณสูงสุดของเซรั่มในทั้ง 2 กลุ่ม โดยวิธี TMB จะพบว่ามีระดับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของผู้ที่ไม่สูบบุหรี่จะลดลง 94% และผู้ที่สูบบุหรี่จะลดลง 16.38% แต่สำหรับการทดสอบด้วย FOX จะพบว่ามีระดับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในผู้ที่ไม่สูบบุหรี่เพิ่มขึ้น 63.75 เท่า เมื่อเทียบกับการทดสอบจากก่อนหน้านี้ ในขณะที่ในผู้สูบบุหรี่จะเพิ่มขึ้น 1.79 เท่า เมื่อเทียบกันจะสรุปได้ว่าเซรั่มของผู้สูบบุหรี่มีนัยสำคัญ ($p<0.05$)สารต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าในผู้ที่ไม่สูบบุหรี่ ซึ่งทั้ง 2 วิธีให้ผลในการวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่แตกต่างกัน

Shambhu D. Varma และ P.S.Devamanoharan, ได้ทำการศึกษาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ร่างกายขับออกมาในปัสสาวะ

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีกัมมันตภาพรังสีซึ่งพัฒนาบนพื้นฐานของการเสื่อมสภาพของ alpha-ketoglutaric acid โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะนำตัวอย่างปัสสาวะไปบ่มกับ alpha ketoglutarate และทำการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีระหว่างสารละลายแบลงค์ กับตัวอย่างของปัสสาวะที่มีการบ่มด้วย alpha ketoglutarate และมี catalase พบว่าจากการศึกษาทั้งหญิงและชายโดยปกติจะพบความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ประมาณ 100±60 μM(10^{-4}M)หรือ 0.1 mM แต่ถ้าปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สูงก็อาจก่อให้เกิดภาวะ Oxidative stress ซึ่งก่อให้เกิดโรคและต้องไปทำการวินิจฉัยโรคต่อไป

บทที่ 3

การดำเนินงาน

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

1.ไตรโซเดียมซิเตรท (Sodium citrate tribasic dihydrate) เกรดวิเคราะห์

2.ซิลเวอร์ไนเตรท 99.88% (Silver nitrate, $AgNO_3$)

3.โซเดียมโบโรไฮไดรด์99.00% (Sodium borohydride, $NaBH_4$)

4.โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl)

5.โพลิไดอัลลิวไดแมททิวแอมโมเนียมคลอไรด์

(Poly (diallyldimethylammoniumchloride,PDAD))

6.โพลิโซเดียม-4-สไตรีนซัลโพเนท(Poly(sodium 4-styrene sulfonate,PSS))

7.น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์(UV-Visible spectrophotometer)

2.เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง(Analysis balance)

3.เครื่องกวนแม่เหล็ก

4. แท่งแม่เหล็ก(Magnetic bar)

5. เครื่องแก้ว (Glassware laboratory)

6.กระจกสไลด์ (Glass slide)กว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 7.5 เซนติเมตร

7.ช้อนตักสาร (Spatula)

8.บิวเรต (Buret)

3.2 การเตรียมสารลาย

3.2.1 สารละลายโซเดียมซิเตรทเข้มข้น 5 มิลลิโมลลาร์

ชั่งโซเดียมซิเตรทมา 0.0147 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ถ่ายลงในขวดวัดปริมาตร10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.2.2 สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.64 มิลลิโมลลาร์

ชั่งซิลเวอร์ไนเตรทมา 0.0187 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.2.3 สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดร์ ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v)

ชั่งโซเดียมโบโรไฮไดร์0.025 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.2.4 การเตรียมสารละลายโพลิไดอัลลิวไดแมททิวแอมโมเนียมคลอไรด์ 10 มิลลิโมลลาร์

ปิเปตสารละลายโพลิไดอัลลิวไดแมททิวแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.7476 มิลลิลิตร ใส่โซเดียมคลอไรด์ 0.5844 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.2.5 การเตรียมสารละลาย โพลิโซเดียม-4-สไตรีนซัลโฟเนท10 มิลลิโมลลาร์

ชั่งสารละลายโพลิโซเดียม-4-สไตรีนซัลโฟเนท 0.2060 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.2.6 การสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนโดยวิธีซิเตรท [29]

ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 39 มิลลิลิตรและปิเปตสารละลายโซเดียมซิเตรท 1 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร แล้วกวนสารละลายนาน20นาที จากนั้นหยด 0.1% โซเดียมโบโรไฮไดร์10 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเป็นสีเหลือง กวนสารละลายต่อไปอีก 1 ชั่วโมง ทิ้งสารละลายไว้1 วันแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น UV-VIS

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3.1การสร้างชุดทดสอบด้วยวิธีจุ่มซับสเตรทโดยเทคนิคการยึดติดกันด้วยประจุทางไฟฟ้า (Layer-by-Layer)

ในงานวิจัยนี้จะใช้ซับสเตรท เป็นแผ่นกระจกสไลด์ (glass slide)

1.เตรียมสารละลายโพลิอิเล็กโทรไลต์ โดย โพลิแคทไอออน คือสารละลายโพลิไดอัลลิวไดแมททิวแอมโมเนียมคลอไรด์ (PDAD) 10 มิลลิโมลลาร์ และโพลิแอนไอออนคือสารละลายโพลิโซเดียม-4-สไตรีนซัลโฟเนท (PSS) 10 มิลลิโมลลาร์

2.นำแผ่นกระจกสไลด์มาจุ่มในโพลิแคทไอออน 5 นาที (ชั้นที่ 1) แล้วล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นนำไปจุ่มในโพลิแอนไอออน 5 นาที (ชั้นที่ 2) ทำทั้งหมด 7 ชั้น ชั้นสุดท้ายจะได้เป็นชั้นของโพลิแคทไอออน

3.ได้ไพรเมอร์ (Primer) ของสารละลายโพลิอิเล็กโทรไลต์ที่ชั้นสุดท้ายเคลือบด้วยโพลิแคทไอออนจากนั้นนำไปจุ่มในสารละลายอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนนาน 1 ชั่วโมง

4.ทิ้งไว้ให้แห้ง สังเกตการยึดติดของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระจกสไลด์โดยดูจากความเข้มของสีน้ำตาลอมเหลืองของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน

5.นำชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยตั้งพารามิเตอร์ให้สแกนความยาวคลื่นตั้งแต่ 300-800 นาโนเมตร จากนั้นนำชุดทดสอบที่ได้ไปตรวจวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0, 0.1, 1, 50 และ 100 มิลลิโมลลาร์

บทที่ 4

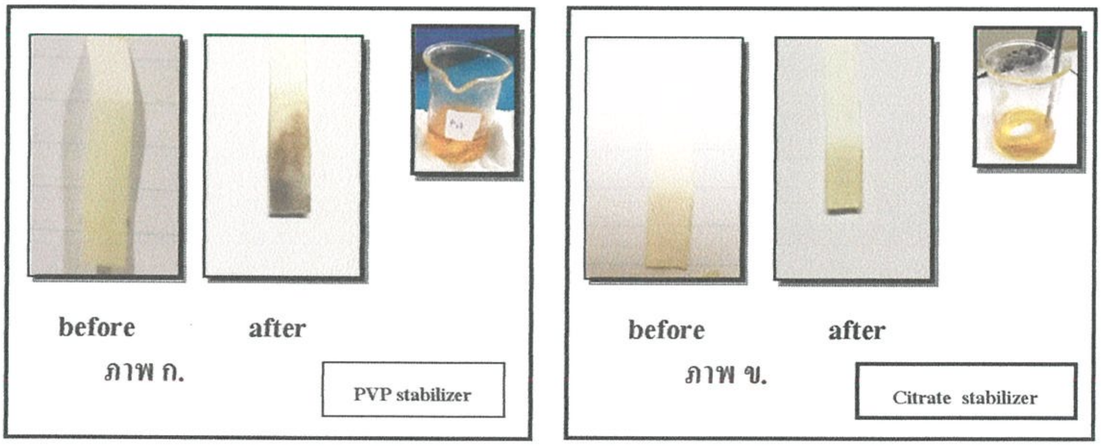
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่ใช้ Citrate และ PVP เป็น Stabilizer

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ได้แก่ Citrate [24] และ PVP [25]โดยมีสมมุติฐานที่ว่าชนิดของ Stabilizer มีผลต่อสภาพผิวของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนในการยึดติดบนซับสเตรท

โดยในการทดลองนี้จะใช้กระดาษกรองเป็นซับสเตรท และควบคุมจำนวนชั้นและเวลาในการจุ่มไพรเมอร์ที่เท่ากันคือ จุ่มไพรเมอร์จำนวน 7 ชั้น ชั้นละ 5 นาที จากนั้นจุ่มซับสเตรทในสารละลายซิลเวอร์ระดับนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ทั้ง 2 วิธี เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง

จากผลการทดลองพบว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธี Citrate และ PVP จะให้สารละลายสีเหลืองอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 410 และ 408 นาโนเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลของการยึดติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระดาษกรอง โดยสังเกตจากแถบสีเหลืองของสารละลายบนแผ่นกระดาษกรอง พบว่าอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Citrate สามารถยึดติดบนกระดาษกรองได้ดีกว่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่สังเคราะห์จากวิธี Citrate ในการติดลงบนซับสเตรท

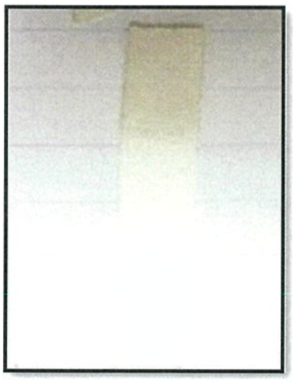


รูปที่ 4.1 สารละลายอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี PVP (ภาพ ก.) และ Citrate (ภาพ ข.) เป็น Stabilizer และลักษณะการยึดติดบนกระดาษกรอง

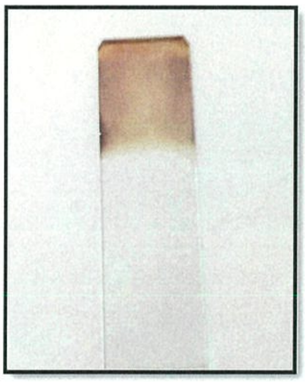
ผลการทดลองจากภาพ ก. ชุดทดสอบที่ได้เมื่อทิ้งไว้ให้แห้งแถบสีของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนเปลี่ยนสีไปจากเดิมทำให้ชุดทดสอบไม่คงสภาพเดิมจึงไม่เหมาะสมในการนำมาสร้างชุดทดสอบ ผลการทดลองจากภาพ ข. ชุดทดสอบเมื่อทิ้งไว้ให้แห้งแถบสีของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ดังนั้นจึงเลือกใช้การสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ระดับบนาโนโดยใช้ Citrate เป็น Stabilizer

4.2 ศึกษาชนิดของวัสดุที่ใช้เป็นซับสเตรท

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาชนิดของซับสเตรทที่เหมาะสมโดยการเปรียบเทียบระหว่างกระดาษกรองและแผ่นกระจกสไลด์ การทดลองทำได้โดยจุ่มในสารละลายซิลเวอร์ระดับนาโนในสภาวะเดียวกัน คือ ที่เวลา 1 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า บนกระดาษกรองอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนยึดติดได้ไม่ดี เห็นสีของสารละลายไม่ชัดเจน ซึ่งแตกต่างจากการใช้แผ่นกระจกสไลด์เป็นซับสเตรทสารละลายซิลเวอร์ระดับนาโนยึดติดได้ดี เห็นสีของสารละลายได้ชัดเจนและเมื่อทิ้งไว้ยังคงสภาพเดิม



ภาพ ก. กระดาษกรอง



ภาพ ข. แผ่นกระจกสไลด์

รูปที่ 4.2 อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนยึดติดบนซับสเตรท

จากรูปที่ 4.2 เมื่อทำการทดลองแล้วจากผลการทดลองสามารถเปรียบเทียบได้ว่า การใช้กระดาษกรองเป็นซับสเตรท จะพบปัญหากระดาษยุ่ยเพราะกระดาษจะซึมน้ำในขั้นตอนของการทำไพรเมอร์ที่จะต้องมีการล้างในแต่ละชั้นก่อนที่จะจุ่มพอลิอิเล็คโทรไลต์ทั้งสองชนิดจึงไม่สะดวกในการนำมาสร้างชุดทดสอบ

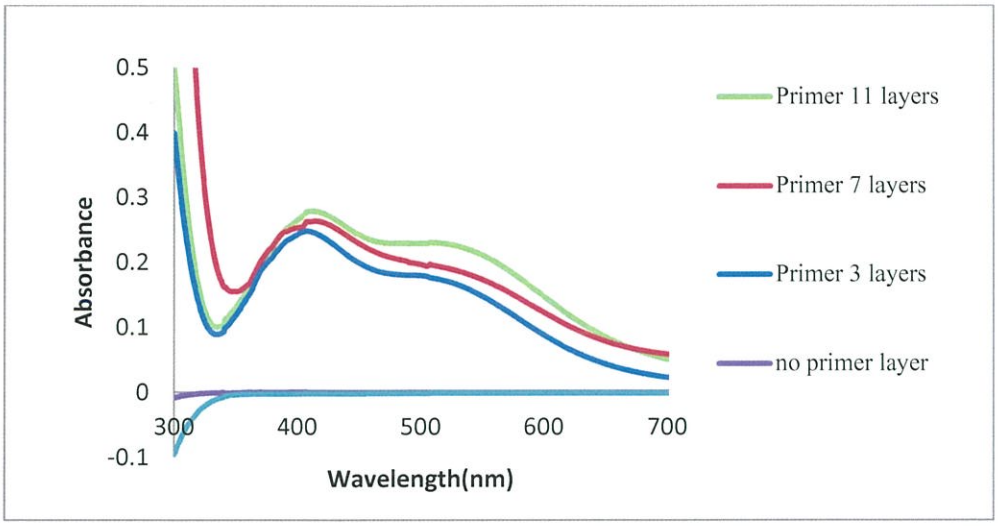
เมื่อนำแผ่นกระจกสไลด์มาใช้เป็นซับสเตรท จากผลการทดลองพบว่า สามารถแก้ปัญหาการซึมน้ำและความยุ่ยได้ มีความสะดวกในการทำไพรเมอร์ และเมื่อจุ่มสารละลายซิลเวอร์ระดับนาโนแล้วทิ้งไว้ก็ยังคงสภาพชุดทดสอบเดิม

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แผ่นกระจกสไลด์เป็นซับสเตรทเพราะสามารถขจัดปัญหาต่างๆ เช่น การซึมน้ำ การยึดติดบนซับเตรท ได้และยังเป็นชุดทดสอบที่ดี สามารถนำไปใช้งานได้สะดวกอีกด้วย

4.3 ผลของจำนวนชั้นที่เหมาะสมในการทำไพรเมอร์ (Primer)

การพัฒนาชุดทดสอบทางเคมีในงานวิจัยนี้เป็นการยึดติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระจกสไลด์เพื่อนำไปใช้เป็นชุดตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยอาศัยเทคนิคการยึดติดกันด้วยประจุทางไฟฟ้า (Layer-by-Layer) ของโพลิอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งมี โพลิไดอัลลิวไดแมททิวแอมโมเนียมคลอไรด์ (Poly(diallyldimethylammonium chloride), PDAD) เป็นพอลิแคทไอออนและโพลิโซเดียม-4-สไตรีนซัลโพเนท (Poly(sodium 4-styrene sulfonate), PSS) เป็นพอลิแอนไอออน โพลีอิเล็กโทรไลต์ทั้งสองนี้ จะทำหน้าที่เป็นไพรเมอร์(Primer)เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวของแผ่นกระจกสไลด์ให้มีการตอบสนองต่อการยึดติดของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระจกสไลด์ได้ดียิ่งขึ้น

เนื่องจากจำนวนชั้นของไพร์เมอร์มีผลต่อการสร้างชุดทดสอบดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาหาจำนวนชั้น (layer) ของไพรเมอร์ที่เหมาะสมในการสร้างชุดทดสอบโดยศึกษาการทำไพรเมอร์ที่ 3,7 และ 11 ชั้น ซึ่งแต่ละชั้นจะใช้เวลาในการจุ่มสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์นานชั้นละ 5 นาทีโดยจุ่มสารละลายPDAD เป็นชั้นที่ 1 แล้วล้างด้วยน้ำDIจากนั้นนำไปจุ่มในสารละลาย PSS เป็นชั้นที่ 2 ทำการจุ่มสลับกันอย่างนี้จนครบตามจำนวนชั้นที่กำหนด ซึ่งชั้นสุดท้ายจะเป็นชั้นของสารละลาย PDAD จากนั้นนำไปจุ่มสารละลายอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำชุดทดสอบที่ได้ไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ผลที่ได้แสดงดังรูป 4.3

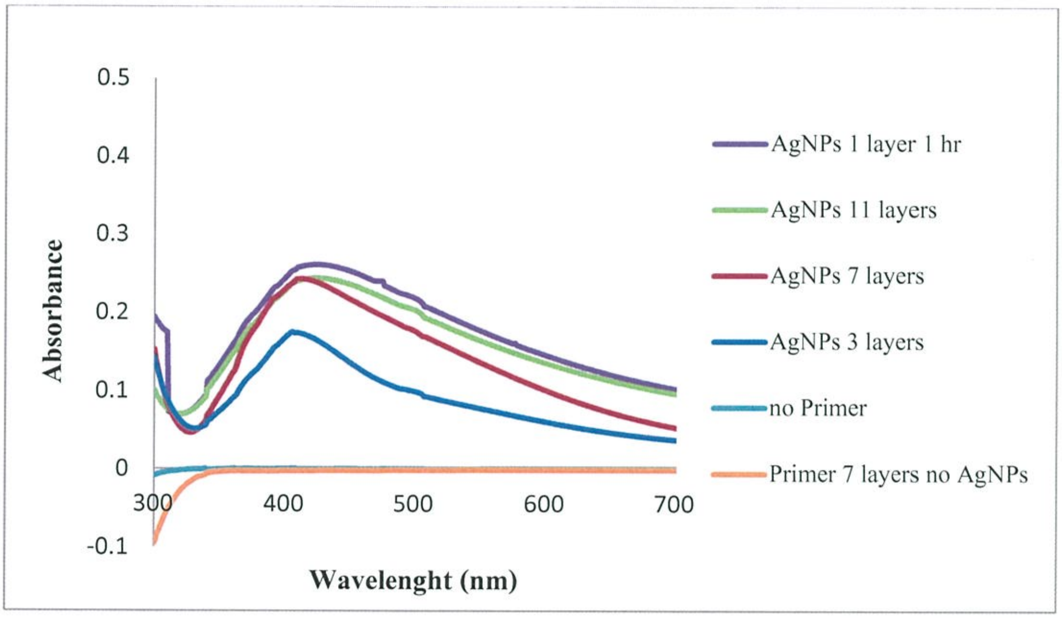


รูปที่ 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของการศึกษาหาจำนวนชั้นของไพรเมอร์ที่เหมาะสม กำหนดเวลาในการจุ่มไพรเมอร์ชั้นละ 5 นาที

จากรูปที่ 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบที่ทำไพรเมอร์ 3,7 และ 11 ชั้นเทียบกับแผ่นกระจกสไลด์เปล่าที่ไม่มีการจุ่มไพรเมอร์จากผลการทดลองพบว่าค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นของไพรเมอร์ที่เพิ่มขึ้นตามลำดับเนื่องจากเกิดแรงทางประจุ (electrostatic interaction) ทำให้มีความหนาแน่นของประจุเพิ่มมากขึ้น เกิดการยึดติดกันด้วยประจุทางไฟฟ้ากับอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนได้ดียิ่งขึ้นจะเห็นได้ว่าจำนวนชั้นของไพรเมอร์ที่จะทำให้การยึดติดของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระจกสไลด์ได้ดีที่สุดคือจำนวน 11 ชั้นแต่สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกทำไพรเมอร์ที่จำนวน 7 ชั้น เพราะเป็นจำนวนชั้นที่เหมาะสมในการสร้างชุดทดสอบ ค่าการดูดกลืนแสงของไพรเมอร์ที่จำนวน7 และ 11 ชั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่การทำไพรเมอร์ที่ 11 ชั้นจะต้องใช้เวลาในการทำชุดทดสอบนานกว่าและไม่สะดวกต่อการสร้างชุดทดสอบ ดังนั้นการเลือกทำไพรเมอร์ที่ 7 ชั้น จึงเป็นเวลาที่เหมาะสมและได้ชุดทดสอบที่มีค่าการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมด้วยเช่นกัน

4.4 ผลของจำนวนชั้นที่เหมาะสมในการจุ่มอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน

จากการศึกษาหาจำนวนชั้นที่เหมาะสมในการจุ่มอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนสลับกับการจุ่ม PDAD ที่ 3,5,7 และ 11 ชั้น โดยกำหนดเวลาในการจุ่มนานชั้นละ 5 นาทีและที่1ชั้นโดยกำหนดเวลาในการจุ่มนาน 1 ชั่วโมงเป็นตัวควบคุม เพื่อนำสภาวะที่เหมาะสมในการยึดติดของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระจกสไลด์มาสร้างเป็นชุดทดสอบ จากนั้นนำชุดทดสอบที่ได้ไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ผลที่ได้แสดงดังรูป 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงของการศึกษาหาจำนวนชั้นในการจุ่มอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่เหมาะสม

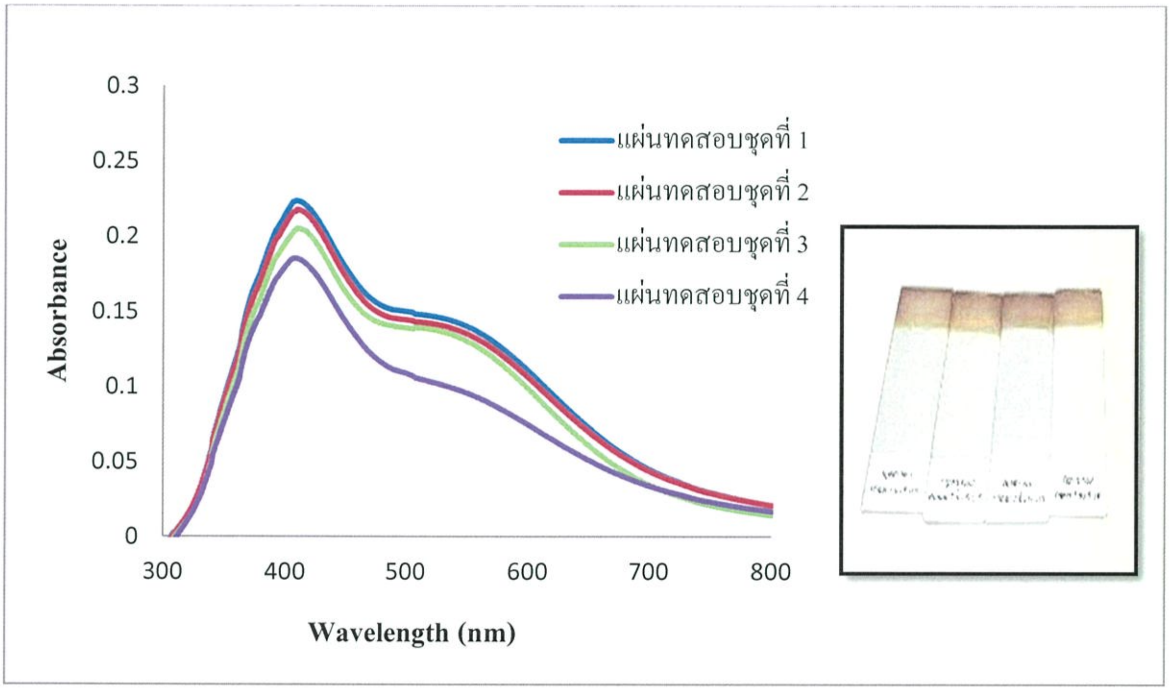
จากรูปที่ 4.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบที่จุ่มสลับอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนกับ PDAD ที่ 3, 5, 7 และ 11 ชั้น จากผลการทดลองพบว่า ค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าจำนวนชั้นที่ทำให้ชุดทดสอบมีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดคือจำนวน 11 ชั้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการจุ่มอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่ 1 ชั้น นาน 1 ชั่วโมง พบว่าค่าการดูดกลืนแสงมีความใกล้เคียงกับการจุ่ม 11 ชั้น และยังใช้เวลาในการทำใกล้เคียงกันด้วย ในขั้นตอนการจุ่ม 11 ชั้นจะต้องทำการจุ่มสลับกับสารละลาย PDAD ทำให้ต้องระมัดระวังมากกว่าเพราะอาจจะทำให้เกิดการตกตะกอนเนื่องจากการล้างที่ไม่สะอาด อีกทั้งยังทำให้สิ้นเปลืองน้ำ DI และสารละลายโดยเปล่าประโยชน์

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกการจุ่มอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่ 1 ชั้น นาน 1 ชั่วโมง ซึ่งมีสะดวก ลดการใช้ทรัพยากรและเหมาะสมในการสร้างชุดทดสอบมากกว่า

4.5 คุณลักษณะของชุดทดสอบ

4.5.1 สีและค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้น

จากการศึกษาสีและค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบที่กำหนดจำนวนชั้นของไพรเมอร์ 7 ชั้น ชั้นละ 5 นาที และจุ่มอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนนาน 1 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูป 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงสีและค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบ

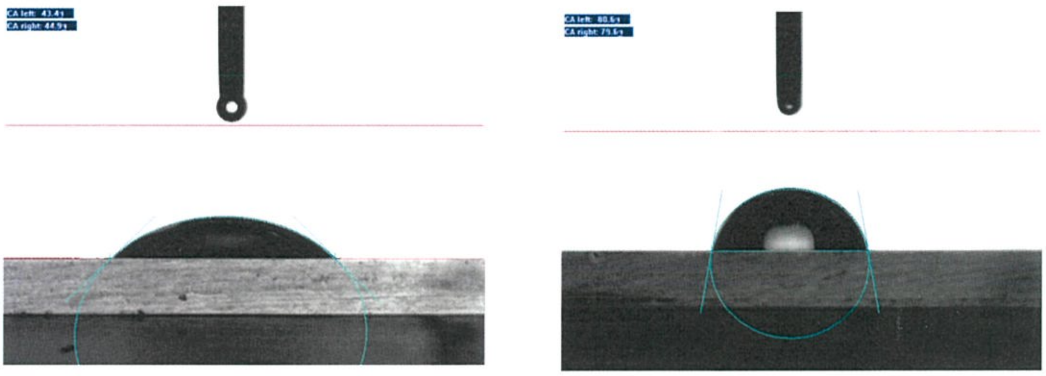
จากรูปที่ 4.5 ผลการทดลองพบว่าเมื่อสังเกตชุดทดสอบด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีน้ำตาลอมเหลืองและเมื่อนำไปวัดด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer พบว่าค่าความยาวคลื่นของชุดทดสอบมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าความยาวคลื่นสูงสุดอยู่ที่ 410 นาโนเมตร มีไหล่ค่าความยาวคลื่นที่ประมาณ 510 นาโนเมตร จะเห็นได้ว่าชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นในแต่ละชุดมีสภาวะที่ใกล้เคียงกัน

จากการทำชุดทดสอบซ้ำ 4 ครั้ง พบว่าค่าความยาวคลื่นที่ตรวจวัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน และสีของชุดทดสอบที่ได้ในแต่ละล็อตมีสีที่ใกล้เคียงกันด้วย ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลที่ได้มาหาค่า

ความแม่นยำ (precision) ของการผลิตแผ่นชุดทดสอบ โดยการวัดค่าดูดกลืนแสงของชุดทดสอบที่ผลิตในล็อตเดียวกันที่สภาวะเดียวกันนำมาหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) พบว่าได้ค่าเท่ากับ 6.5 % (n=4) ดังนั้นแสดงว่าการสร้างชุดทดสอบโดยการติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนด้วยเทคนิคการยึดติดกันด้วยประจุทางไฟฟ้า (Layer-by-Layer) ให้ผลในการทำซ้ำแต่ละครั้งใกล้เคียงกัน

4.5.2 มุมสัมผัส (Contact Angle)

การยึดติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนลงบนแผ่นกระจกสไลด์เป็นการเปลี่ยนสภาพผิวของแผ่นกระจกสไลด์ให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) น้อยลง เมื่อทำการวัดมุมสัมผัส(contact angle) แสดงดังรูปที่ 4.6



ภาพ ก. หยดน้ำบนแผ่นกระจกเปล่า

ภาพ ข. หยดน้ำบนชุดทดสอบที่มีการติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนลงบนผิวแผ่นกระจกสไลด์

รูปที่ 4.6 ผลจากการวัดมุมสัมผัส(contact angle)

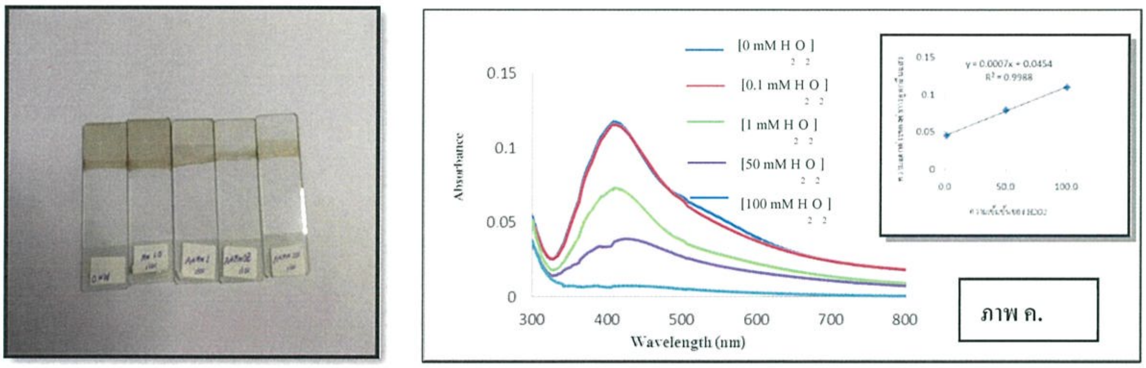
จากรูปที่ 4.6 ภาพ ก. เป็นผลจากการวัดมุมสัมผัสแผ่นกระจกเปล่าจะสังเกตเห็นว่าหยดน้ำมีลักษณะชอบน้ำและขยายตัวเป็นมุมกว้าง มีค่ามุมสัมผัสด้านขวาเท่ากับ 44.9 องศา และด้านซ้ายเท่ากับ 43.4 องศา

ภาพ ข. เป็นผลของการวัดมุมสัมผัสของแผ่นกระจกสไลด์ที่มีการยึดติดด้วยอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน จะสังเกตเห็นว่าหยดน้ำมีลักษณะทรงกลม แสดงให้เห็นถึงความไม่ชอบน้ำมีค่ามุมสัมผัสด้านขวาเท่ากับ 79.6 องศา และด้านซ้ายเท่ากับ 80.6 องศา

จะเห็นได้ว่าลักษณะของหยดน้ำบนชุดทดสอบที่ติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนจะมีลักษณะทรงกลม ดังนั้นจึงสามารถประยุกต์ชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นไปตรวจวัดในสารตัวอย่างที่มีปริมาณน้อยได้ โดยการหยดสารตัวอย่างลงบนแผ่นชุดทดสอบและสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีหลังการหยดสารตัวอย่างลงบนชุดทดสอบ

4.6 การใช้ชุดทดสอบตรวจวัดหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบเมื่อนำไปจุ่มลงในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่ความเข้มข้น 0, 0.1, 1, 50 และ 100 มิลลิโมลลาร์ โดยกำหนดเวลาในการจุ่ม 5 นาที ความสูงในการจุ่ม 1 เซนติเมตร ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7



ภาพ ก. ภาพ ข.

รูปที่ 4.7 ผลจากการนำชุดทดสอบไปจุ่มลงในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

จากรูปที่ 4.7 ภาพ ก. แสดงสีของชุดทดสอบที่จางลงตามลำดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลจากการทดทดลองจุ่มชุดทดสอบในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าที่ความเข้มข้น 0 และ 0.1มิลลิโมลาร์สีของชุดทดสอบจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงและยังคงสีเดิมของชุดทดสอบ แต่เมื่อจุ่มชุดทดสอบลงในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่มีความเข้มข้นที่ 1, 50 และ 100 มิลลิโมลาร์พบว่าสีของชุดทดสอบจะจางลงตามลำดับ

เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เพิ่มขึ้น การที่สีของแผ่นชุดทดสอบจางลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน ดังสมการที่ 4

$$\mathbf{H_2O_2 \xrightarrow{AgNPs} 2H_2O + O_2^- + Ag^+} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

จากนั้นนำชุดทดสอบไปตรวจวัดด้วยเครื่องUV-Visible Spectrophotometer พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดสอบหลังจุ่มในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งแสดงในภาพ ข.ที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ต่ำจะมีค่าการดูดกลืนแสงสูง และที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) สูงขึ้นค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่สูงขึ้นจะทำให้สีของชุดทดสอบจางลง และค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงตามลำดับ

จากภาพ ค. กราฟจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) (แกน X) กับความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ (แกน Y) ช่วงความเป็นเส้นตรง 1-100มิลลิโมลาร์และสมการเส้นตรง $y = 0.0007x + 0.0454$ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2 = 0.9988$

จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้อยู่ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ (จุดแรกที่สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง)

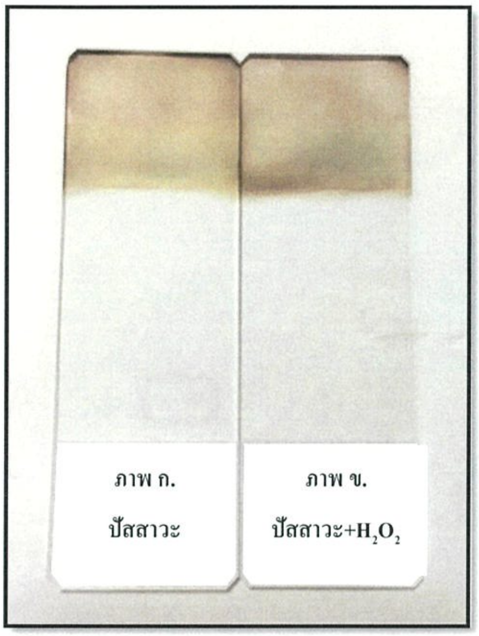
4.7 การใช้ชุดทดสอบตรวจหาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(H_2O_2)

จากการศึกษาพบว่าในปัสสาวะของมนุษย์โดยทั่วไปจะมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ประมาณไม่เกิน 0.1 มิลลิโมลาร์ แต่ถ้าปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สูงกว่า 0.1 มิลลิโมลาร์ ก็อาจส่งผลให้เกิดภาวะ Oxidative Stress [22] ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องที่ก่อให้เกิดโรคต่างๆ ภายในร่างกายได้ เช่นโรคเบาหวาน โรคทางระบบหัวใจและหลอดเลือด และโรคมะเร็ง เป็นต้น[23]

จากการศึกษาในเบื้องต้นเมื่อนำชุดทดสอบไปจุ่มในตัวอย่างปัสสาวะและทำการเปรียบเทียบกันระหว่างชุดทดสอบที่จุ่มในตัวอย่างปัสสาวะแล้วนำไปล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนกับชุดทดสอบที่จุ่มลงในตัวอย่างปัสสาวะแต่ไม่ล้าง ผลการทดลองพบว่าเมื่อนำชุดทดสอบไปจุ่มในตัวอย่างปัสสาวะแล้วนำไปล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนสามารถสังเกตสีของชุดทดสอบได้ง่ายขึ้น

แต่ในขณะเดียวกันชุดทดสอบที่จุ่มในปัสสาวะแล้วไม่ได้ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน พบว่าสีของชุดทดสอบมีสีเข้มกว่าเดิม เนื่องจากในตัวอย่างปัสสาวะอาจมีองค์ประกอบอื่นที่ก่อให้เกิดการรบกวน ดังนั้นในเบื้องต้นจึงได้ทำการทดลองโดยใช้วิธีการนำชุดทดสอบมาจุ่มลงในตัวอย่างปัสสาวะแล้วนำไปล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนเพื่อให้สังเกตสีของชุดทดสอบได้ง่ายและชัดเจนยิ่งขึ้น

จากนั้นทำการศึกษาเมื่อนำชุดทดสอบมาจุ่มลงในตัวอย่างปัสสาวะ และจุ่มลงในตัวอย่างปัสสาวะที่มีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ชุดทดสอบที่จุ่มในตัวอย่างปัสสาวะ (ภาพ ก.) และตัวอย่างปัสสาวะที่มีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์(ภาพ ข.)

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า ชุดทดสอบที่จุ่มลงในตัวอย่างทั้ง 2สภาวะสีของชุดสอบไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ซึ่งในภาพ ก. ในตัวอย่างปัสสาวะของคนปกติไม่ควรทำให้ชุดทดสอบเปลี่ยนสีแต่สำหรับ ภาพ ข. ในตัวอย่างปัสสาวะที่มีการเติมไฮโดรเจรเปอร์ออกไซดด์ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลลาร์ ควรจะมีการเปลี่ยนแปลง แต่ในการทดลองครั้งนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพราะอาจจะเกิดจากตัวรบกวนที่ส่งผลทำให้ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของสีบนชุดทดสอบ

ในการพัฒนาชุดทดสอบต่อไป อาจจะเพิ่มขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อกำจัดตัวรบกวนในปัสสาวะก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบนี้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงงานพิเศษนี้ได้พัฒนาชุดทดสอบโดยการติดอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ (Layer-by-Layer) เพื่อใช้เป็นชุดตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารละลายอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธี Citrate เป็น stabilizer [21] ได้สารละลายที่มีสีเหลือง ใช้แผ่นกระจกสไลด์เป็นซับสเตรท โดยอาศัยเทคนิคการยึดติดกันด้วยประจุทางไฟฟ้า (Layer-by-Layer) ซึ่งมีโพลิไดอัลลิวไดแมททิวแอมโมเนียมคลอไรด์ (PDAD) เป็นพอลิแคทไอออน และโพลิโซเดียม-4-สไตรีนซัลโพเนท (PSS) เป็นพอลิแอนไอออน โพลีอิเล็กโทรไลต์ทั้งสองจะทำหน้าที่เป็นไพรเมอร์ (Primer) ทำให้อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนสามารถยึดติดบนแผ่นกระจกสไลด์ได้ดียิ่งขึ้น ทำการศึกษาจำนวนชั้นในการทำไพรเมอร์ จำนวนชั้นและเวลาในการจุ่มสารละลายอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนได้สภาวะที่เหมาะสมคือ ไพรเมอร์จำนวน 7 ชั้น จุ่มชั้นละ 5 นาทีและจุ่มสารละลายอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนจำนวน 1 ชั้นนาน 1 ชั่วโมง ตามลำดับ จะได้ชุดทดสอบที่เห็นสารละลายอนุภาคซิลเวอร์ยึดติดบนแผ่นกระจกสไลด์มีลักษณะสีน้ำตาลอมเหลือง จากนั้นนำชุดทดสอบไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ได้ค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่ 410 นาโนเมตร ไหล่ของความยาวคลื่นประมาณ 510 นาโนเมตร คำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ของการผลิตชุดทดสอบได้ค่าเท่ากับ 6.5 % (n=4)

นำชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นไปตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0, 0.1, 1, 50 และ 100 มิลลิโมลลาร์ พบว่าสีของชุดทดสอบจะจางลงตามปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ค่าต่ำสุดที่สังเกตเห็นสีของชุดทดสอบจางลงอยู่ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ได้ช่วงความเป็นเส้นตรง 1-100 มิลลิโมลาร์

ชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นมีแนวโน้มความเป็นไปได้ที่นำไปตรวจวัดหาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่างเช่น ปัสสาวะ, เซรั่ม เป็นต้น ซึ่งในเบื้องต้นงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองตรวจหาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่างปัสสาวะ แต่ยังไม่ประสบผลสำเร็จเนื่องจากในตัวอย่าง

ปัสสาวะมีองค์ประกอบมากมายที่รบกวนการวิเคราะห์ ดังนั้นในอนาคตควรหาวิธีการทดลองที่ช่วยลดปัจจัยเหล่านี้ หรือนำตัวอย่างชนิดอื่นมาทำการทดลองเพื่อให้ประสบผลสำเร็จต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1.ในขั้นตอนของการทำไพรเมอร์จะต้องล้างแผ่นกระจกสไลด์ด้วยน้ำปราศจากไอออนหลายๆครั้ง เพื่อขจัดปัญหาการตกตะกอนของสารละลายซิลเวอร์ระดับนาโน

2.ในขั้นตอนสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน สารเคมีที่นำมาใช้ต้องมีความบริสุทธิ์และเครื่องแก้วที่ใช้ต้องมีความสะอาด เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการตกตะกอนของซิลเวอร์

3.นำชุดสอบที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้กับตัวอย่างอื่นๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] จิตพร โพธิ์ปัญญาศักดิ์. 2556. **"ชุดทดสอบแบบจุดโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารช่วยยึดติดสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณเฟอร์รัสไอออน"**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 1- 3.

[2] นฤชิต ไพโรจน์. 2555. **"ชุดทดสอบแบบจุดโดยใช้โซล-เจลเจือออโทฟีแนนโทรลีนสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของเหล็ก (II)"**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 1- 2.

[3] วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ. 2554. **เคมีวิเคราะห์สีเขียว** (วารสารวิทยาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม- ธันวาคม 2554). สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร.

[4] **ใครอยากรู้เรื่อง Silver nanoparticles มาทางนี้** [Online]. Available:
http://chromst.blogspot.com/p/blog-page_6435.html

[5] **Polyelectrolyte** [online]. Available:
http://en.wikipedia.org/wiki/Polyelectrolyte

[6] **Poly (dimethyldiallylammonium chloride) Poly (4-vinylbenzenesulfonic acid)** [online]. Avalable:
http:// www.signaaldrich.com/catalog/product/aldrich/409014?lang=en&region=th

[7] วลัยพร สุธาบัณฑิตพงศ์. 2553. **"การยึดติดสังกะสีออกไซด์ลงบนพอลิอิเล็กโทรไลต์ฟิล์มด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์"**. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[8] ธิดารัตน์ อังวราวงศ์, แมนสรวง อักษรนุกิจ, ประสิทธิ์ ภวสันต์. 2554. **"ศึกษาการพัฒนาพื้นผิวไทเทเนียมเพื่อสนับสนุนการยึดเกาะและการแปรสภาพของเซลล์สร้างกระดูก"** วิทยานิพนธ์ (วท.ด.)—จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[9] มงคล สุขวัฒนาสนิทธ. **"ศึกษาการประกอบแบบทีละชั้นของพอลิไดอะเซทิลีนเวสิเคิลที่คงรูปร่างและสมบัติทางสี"** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[10] **อนุภาคระดับนาโน** [Online]. Available:
www.rmutphysics.com/chadud/oldnews/67/index67.htm

[11] **จุดหลอมเหลวของทองคำ** [Online]. Available:

www.archive.lib.cmu.ac.th/full/t/2552/aphys0852pp_ch1.pdf

[12] สุภาพร พรหมศร. 2555. **“การเตรียมนาโนคอมพอสิทของยางธรรมชาติกับอนุภาคนาโนอินทรีย์และอนินทรีย์”**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีนวัตกรรม คณะวิทยาศาสต์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงลธัญบุรี. หน้า 14.

[13] กรกวี ธีรธร,ขวัญฤทัย ไชยธวัช, นราพร เจริญรัตน์. 2554. **“การใช้อนุภาคเงินระดับนาโนเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเมลามีน”**. ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีวิเคราะห์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[14] เบญจพร อ่อน,ทิมวงศ์ ปวีณา,ศิริคำรณ. 2553. **“การพัฒนาการตรวจสอบเมลามีน ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการตรวจสอบสารเมลามีน”** ปริญญาเภสัชศาสตรบัณฑิต คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

[15] P Jain, T Pradeep. 2005. **“Potential of silver nanoparticle-coated polyurethane foam as an antibacterial water filter”**. Biotechnology and bioengineering,90, 1.

[16] นฤชิต ไพโรจน์. 2555. **“ชุดทดสอบแบบจุดโดยใช้โซล-เจลเจือออโทฟีแนนโทรลีนสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของเหล็ก (II)”**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 10.

[17] ประภัสสร ทวีการ, สรายุทธ ประกิตตระกูล, อดิศักดิ์ พาพันธ์. 2551. **“ศึกษาการเตรียมชุดทดสอบสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มัลลดีไฮด์ในน้ำ”**. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า I.

[18] นฤชิต ไพโรจน์. 2555. **“ชุดทดสอบแบบจุดโดยใช้โซล-เจลเจือออโทฟีแนนโทรลีนสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของเหล็ก (II)”**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า I.

[19] จิตพร โพธิ์ปัญญาศักดิ์. 2556. **“ชุดทดสอบแบบจุดโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารช่วยยึดติดสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณเฟอร์รัสไอออน”**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 20.

[20] อ.ดร. ธีรพงษ์ เทพกรณ์. 2543. **"ชุดทดสอบโพลิฟีนอลทั้งหมดในชา"** [Online] Available:www.mfu.ac.th

[21] วงศ์อนันต์ ณรงค์วาณิชการ ,อัจฉรา ธีระพันธ์. 2006. **"การพัฒนาชุดทดสอบแบบรวดเร็วสำหรับตรวจหาสารไธโอไซนาเนตในน้ำนมดิบ"**. กลุ่มชีวเคมีและพิษวิทยา สถาบันสุขภาพสัตว์แห่งชาติ กรมปศุสัตว์.

[22] **คุณสมบัติของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์**[Online]. Available:th.wikipedia.org/wiki/ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

[23] เดช ดอกพวง, วรเชษฐ์ ขอบใจ. 2556. **"สภาวะเครียดออกซิเดชันของผู้ป่วยเบาหวานและภาวะแทรกซ้อนของเบาหวานในโรงพยาบาลพะเยา"**. สาขาวิชาเคมีคลินิก คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา, สาขาวิชาเคมีคลินิก คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น. หน้า 147-148.

[24] ดร. พรทิพย์ วิรัชวงศ์, กลุ่มวิจัยวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2557. **"ภาวะ Oxidative stress กับการเกิดโรค"** [Online]. Available:www.gpo.or.th/rdi/html/oxidative_stress.html

[25] Shambhu D. Varma, P.S. Devamanoharan.1990. **"Excretion of Hydrogen Peroxide in Human Urine"**. Departments of Ophthalmology & Biochemistry, 73-78.

[26] Donrawee Leelarungrayub.2007. **"การประยุกต์ไบโอเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากภาวะออกซิเดทีฟสเตรส เพื่อใช้ในทางการแพทย์ (Modification of Biosensor for Hydrogen Peroxide Detection from Oxidative Stress for Application in Medicine)"**. Associated Medical Sciences/Physical Therapy Biomedical Engineering Center Chiang Mai University.

[27] ศิริวรรณ ตี้ภู่, พงษ์นรินทร์ ชุมแสง และ สุภาวดี ปาทาธนานนท์.2554. **"การสร้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เซนเซอร์โดยใช้อนุภาคนาโนทอง (Hydrogen peroxide sensor fabrication using gold nanoparticles)"**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[28] Yuwadee Puttivisit, B.Sc., Ratana Banjerdpongchai, Ph.D.,Nattakarn Leelarungrayab, M.Sc., Viboon Rattanapanone, Ph.D.2005. **"Comparison of serum Hydrogen peroxide levels between non-smokers and smokers by two methods"**. Department of Biochemistry, Faculty of Medicine, Chiang Mai University,129-135.

[29] Ji-chun Qu,Yan-ping Chang, Yan-hua Ma, Jin-min Zheng, Hong-hong Li, Qian-Qian Ou, Cuiling Ren, Xing-guo Chen. **"A simple and sensitive colorimetric method for the determination of propafenone by silver nanoprobe"**. Sensors and Actuators B: Chemical,174,133-139.

[30] Lun Li, Jie Sun, Xiaorran Lio, Yan Zhang, Zhaoxu Wang, Chunren Wang, Jianwu Dai, Qiangbin Wang.2012. **"Controllable synthesis of monodispersed silver nanoparticles as standards for quantitative assessment of their cytotoxicity"**. Biomaterials,33,1714-1721.