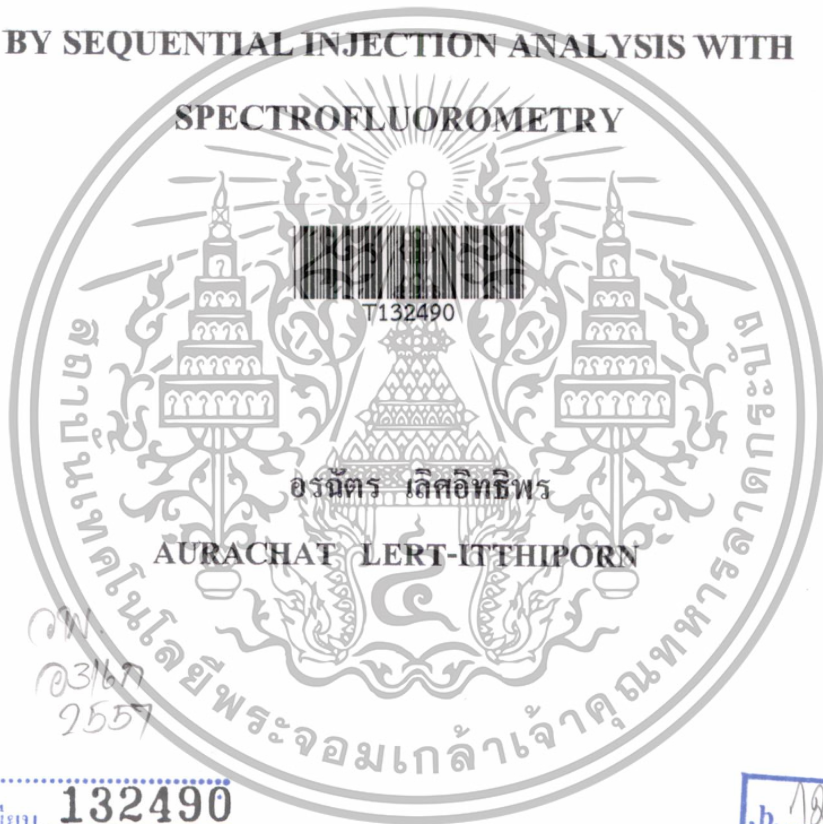


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์และประยุกต์ใช้ซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทในการตรวจวัด
ปริมาณปรอท (II) โดยอาศัยระบบซีเควนเชียลอินเจกชันและ
เทคนิคสเปกโทรฟลูออโรเมทรี

SYNTHESIS AND APPLICATION OF ZINC SULFIDE
QUANTUM DOTS TO DETERMINATION OF MERCURY (II)
BY SEQUENTIAL INJECTION ANALYSIS WITH
SPECTROFLUOROMETRY



พ.
๐3/๖๓
๑๕๕๗

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...132490
วัน,เดือน,ปี...1.8.๒๕๕๗

b. 1๑๖14๙๕1
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2557

KMITL-2014-SC-M-012-010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SYNTHESIS AND APPLICATION OF ZINC SULFIDE
QUANTUM DOTS TO DETERMINATION OF MERCURY (II)
BY SEQUENTIAL INJECTION ANALYSIS WITH
SPECTROFLUOROMETRY**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2014

KMITL-2014-SC-M-012-010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2014

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสังเคราะห์และประยุกต์ใช้ซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทในการตรวจวัดปริมาณปรอท (II) โดยอาศัยระบบซีควอนเซียลอินเจกชันและเทคนิคสเปกโทรฟลูออโรเมทรี

Synthesis and application of zinc sulfide quantum dots to determination of mercury (II) by spectrofluorometry injection analysis with spectrofluorometry

นักศึกษา

นางสาวอรฉัตร เลิศอิทธิพร

รหัสประจำตัว

53650910

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร. ณัฐวุฒิ เชิงชั้น

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	
ดร.เสาวภาคย์ อีราพร	
ดร.กาญจนา อูโรสินธุ์	
ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น	

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 22 เมษายน พ.ศ. 2557 เวลา 10.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 502 ชั้น 5 อาคารจุฬารามรณาลัยสภามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.เดชณี ฐานะบริพัฒน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่ 23 เดือน 04 พ.ศ. 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสังเคราะห์และประยุกต์ใช้ซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทในการตรวจวัดปริมาณปรอทโดยอาศัยเทคนิคสเปกโทรฟลูออโรเมทรีและระบบซีเควนเชียลอินเจกชัน
นักศึกษา	นางสาวอรฉัตร เลิศอิทธิพร
รหัสประจำตัว	53650910
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมี
พ.ศ.	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ณัฐฉมิ เจริงชัน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการสังเคราะห์ซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท (ZnS QDs) และการประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์ปริมาณปรอท โดยระบบซีเควนเชียลอินเจกชันอะนาไลซิส (SIA) และตรวจวัดด้วยเทคนิคสเปกโทรฟลูออโรเมทรี การสังเคราะห์ควอนตัมดอททำภายใต้ระบบเปิดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยผสมสารละลายซิงค์อะซิเตตและโซเดียมซัลไฟด์ ใช้อะซิติกซีสเตอิน (n - acetyl - L - cysteine ; NAC) เป็นสารเพิ่มความเสถียร ตกตะกอนอนุภาคที่ได้ด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ แยกอนุภาคออกแล้วจึงละลายด้วยน้ำก่อนนำไปใช้ ศึกษาคุณสมบัติทางแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ พบว่าค่าความยาวคลื่นสูงสุดของการดูดกลืนแสง (λ_{ab}) และการคายแสง (λ_{em}) เป็น 300 และ 425 นาโนเมตร ตามลำดับ และจากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่าอนุภาคที่สังเคราะห์ขึ้นมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 3.60 ± 1.50 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ปริมาณปรอท อาศัยการตรวจวัดค่าการเรืองแสง (Fluorescence Intensity) ที่ลดลงของควอนตัมดอท เนื่องจากเกิดควENCHING กับไอออนของปรอท (Hg(II)) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์เป็นไปตามสมการ Stern-Volmer ผลการศึกษาพบว่าระบบซีเควนเชียลอินเจกชันสามารถวิเคราะห์ปริมาณปรอทได้ในช่วง 0.5 -10 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยมีความเป็นเส้นตรงที่ดี มีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด (LOD = 3SD of blank / slope) และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (LOQ = 10SD of blank / slope) เป็น 0.10 และ 0.34 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ยังพบอีกว่ามีความแม่นยำและความเที่ยงสูง (ค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับอยู่ในช่วงร้อยละ 85-98 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า ร้อยละ 1.30 เมื่อศึกษาด้วยสารละลายมาตรฐานปรอท ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร) เมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง ได้แก่ น้ำทะเล น้ำดื่ม น้ำประปา และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าผลการวิเคราะห์ไม่แตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับ การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP – OES และการวิเคราะห์แบบ Batch ด้วยวิธีทางสถิติคือ Paired *t*-test

คำสำคัญ : ปรอท, ซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท, ฟลูออเรสเซนซ์, เควนซิง, สเตียร์น – โวลเมอร์, น้ำตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Synthesis and application of zinc sulfide quantum dots to determination of mercury (II) by spectrofluorometry and sequential injection analysis
Student	Aurachat Lert-itthiporn
Student ID	53650910
Degree	Master of Science
Program	Chemistry
Year	2014
Thesis Advisor	Dr. Nathawut Choengchan

ABSTRACT

This work presents a method for synthesis of zinc sulfide quantum dots (ZnS QDs) and its application to spectrofluorometric determination of Hg (II) by sequential injection analysis (SIA). The dots were prepared under open air at 90 °C by mixing of zinc acetate and sodium sulfide in water media. N-acetyl-L-cysteine (NAC) was used as stabilizer. Pure ethanol was added for dots precipitation. The precipitates were then collected and were re-dissolved with water prior to use. The dots were optically characterized by spectrophotometer and spectrofluorometer. The excitation wavelength (λ_{ex}) was located at 300 nm while the maximum emission wavelength (λ_{em}) was obtained at 425 nm. From the results obtained by transmission electron microscope, the dot size distribution was ranged between 3.60 ± 1.50 nm.

Detection principle for determination of Hg (II) is based on quenching of fluorescence intensity of ZnS QDs by Hg (II). Decreasing in the intensity in the presence of Hg (II) was monitored at 425 nm. Calibration was plotted accordingly to the Stern-Volmer's relationship. Results from the SIA demonstrated good linearity in the concentration of standard Hg(II) ranging from 0.5 to 10 mg/L was observed. Limit of detection (LOD: 3SD of blank / slope) and limit of quantitation (LOQ: 10SD of blank / slope) was 0.10 and 0.34 mg/L respectively. High precision (RSD < 1.30 % by 3 mg/L of Hg(II)) and high accuracy were obtained (Recovery = 85-98 %). This developed method was applied to water samples i.e. sea water, drinking water, tap water and wastewater. By means of paired *t*-test, the results by the developed method were not significant difference at 95 % confidence with the results by batchwise techniques (for sea water) and by ICP – OES (for drinking water, tap water and wastewater).

Keywords: Mercury; ZnS Quantum dots; Fluorescence; Quenching; Stern-Volmer; Water sample

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 III
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยได้รับความกรุณาจาก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในทุกๆ ขั้นตอนของการทำวิทยานิพนธ์นี้ อย่างใกล้ชิด ซึ่งผู้เขียนต้องขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ จากสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และดร.เสาวภาคย์ ชีราทรง ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ รวมถึงชี้แนะแนวทางในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและเรียบร้อย

ขอขอบคุณ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์จากภายนอก คือ ดร.กาญจนา อุไรสินธุ์ อาจารย์ประจำ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีวิเคราะห์

ขอขอบคุณ ดร. อภิวัฒน์ ชมภูสอ จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับความอนุเคราะห์ในการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ในการหาขนาดและศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ คอนแทคที่สังเคราะห์ขึ้น

ขอขอบคุณ ศูนย์ห้องปฏิบัติการวิจัยทางการแพทย์และการเกษตรแห่งเอเชีย (AMARC) สำหรับความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง ICP-OES สำหรับทดสอบความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้นในการตรวจวัดปริมาณปรอท

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่สนับสนุนและให้กำลังใจผู้เขียน ด้วยดีเสมอมา

นางสาวอรันต์ เลิศอิทธิพร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	XIII
สัญลักษณ์และคำย่อ	XV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับปรอท	7
2.2 ควอนตัมดอท	24
2.3 หลักการของเทคนิคสเปกโทรฟลูออโรเมตรี	27
2.4 หลักการของ Stern – Volmer’s Reletionship	32
2.5 ซีควนเชียลอินเจกชันอะนาไลซิส (Sequential Injection Analysis, SIA)	33
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35
2.6.1 งานวิจัยที่ใช้วิธีมาตรฐานในการตรวจวัดปรอท	35
2.6.2 งานวิจัยที่ใช้ฟลูออโรฟออร์ (fluorophore) ในการตรวจวัดปรอท	37
2.6.3 งานวิจัยที่ใช้ควอนตัมดอทและอนุภาคนาโนในการตรวจวัดปรอท	38
2.6.4 งานวิจัยที่ใช้เทคนิคที่อาศัยการไหลในการตรวจวัดปรอท	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	48
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์	48
3.1.1 สารเคมี	48
3.1.2 อุปกรณ์ เครื่องตรวจวัด	49
3.2 การเตรียมสารละลาย	50
3.2.1 การเตรียมสารละลายสำหรับการสังเคราะห์ซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท	50
3.2.2 การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอท	50
3.2.3 การเตรียมสารตัวอย่าง	52
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง	52
3.3.1 การสังเคราะห์และศึกษาคุณสมบัติทางแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท	52
3.3.2 การศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท	53
3.3.3 การศึกษาสมบัติการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท	53
3.3.4 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ควอนตัมดอทวิเคราะห์ปริมาณ ปรอทโดยการวิเคราะห์แบบ batch	53
3.3.5 ออกแบบระบบซีเควินเจกชันอะนาไลซิส	54
3.3.6 ลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์	54
3.3.7 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง	55
3.3.8 กราฟมาตรฐานที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสม	57
3.3.9 ประเมินคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์	58
3.3.10 ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้นกับการวิเคราะห์ปริมาณ ปรอทโดยอาศัยเทคนิค ICP-OES	59
3.3.11 ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้นกับการวิเคราะห์ปริมาณ ปรอทโดยวิธีแบบ Batch	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	61
4.1 การศึกษาคุณสมบัติการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท	61
4.2 ศึกษาคุณสมบัติการกระจายตัวและขนาดของอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท	62
4.3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ควอนตัมดอทวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยการ วิเคราะห์แบบ batch	65
4.4 ออกแบบระบบซีเควนเชียลอินเจกชันอะนาไลซิส	66
4.5 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง	67
4.5.1 ชนิดของบัฟเฟอร์	67
4.5.2 พีเอชของบัฟเฟอร์	69
4.5.3 ความเข้มข้นของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท	70
4.5.4 ลำดับในการทำปฏิกิริยา	71
4.5.5 ปริมาตรสารที่ฉีดเข้าสู่ระบบ	72
4.5.6 อัตราการไหล	74
4.5.7 ความยาวของไฮลด์คอยล์	75
4.6 กราฟมาตรฐานที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสม	77
4.7 ประเมินคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์	78
4.7.1 ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์	78
4.7.2 ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์	79
4.7.3 ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดและขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์ เชิงปริมาณ	79
4.8 ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้นกับการวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดย อาศัยเทคนิค ICP-OES	80
4.9 ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้นกับการวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยวิธี แบบ Batch	81

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	82
5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	82
5.2 ข้อเสนอแนะ	83
เอกสารอ้างอิง	84
ภาคผนวก	88
ประวัติผู้เขียน	108



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	12
ตารางที่ 2.2 มาตรฐานน้ำทะเล	16
ตารางที่ 2.3 แสดงประเภทของภูมิเนสเซนส์	28
ตารางที่ 2.4 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ปริมาณปรอท	43
ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทด้วยเทคนิค ICP – OES	60
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบสมบัติการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงระหว่างเอกสารอ้างอิงและงานวิจัยนี้	62
ตารางที่ 4.2 สรุปสมการเชิงเส้นตรงและสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจเมื่อใช้ชนิดของบัฟเฟอร์ต่างกัน	68
ตารางที่ 4.3 สรุปสมการเชิงเส้นตรงและสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจเมื่อใช้พีเอชของบัฟเฟอร์ต่างกัน	69
ตารางที่ 4.4 สรุปสมการเชิงเส้นตรงและสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจเมื่อใช้ความเข้มข้นของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทต่างกัน	71
ตารางที่ 4.5 สรุปสมการเชิงเส้นตรงและสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจเมื่อใช้ลำดับปฏิกิริยาที่ต่างกัน	72
ตารางที่ 4.6 สรุปสมการเชิงเส้นตรงและสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจเมื่อปริมาตรที่ดูดเข้าสู่ระบบต่างกัน	73
ตารางที่ 4.7 สรุปสมการเชิงเส้นตรงและสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจเมื่อใช้อัตราการไหลที่ต่างกัน	74
ตารางที่ 4.8 สรุปสมการเชิงเส้นตรงและสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจเมื่อใช้ความยาวโพลดิงคอยด์ที่ต่างกัน	75
ตารางที่ 4.9 สรุปการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยอาศัยระบบซีควนเซียลอินเจกชัน	76
ตารางที่ 4.10 ผลการคำนวณหาค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอท	78
ตารางที่ 4.11 สรุปคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์ในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยอาศัยระบบซีควนเซียลอินเจกชัน	79
ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอท โดยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นและเทคนิค ICP – OES	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
IX
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอท โดยการวิเคราะห์แบบ Batch และเทคนิค SIA ที่พัฒนาขึ้น	81
ตารางที่ ข.1 ค่าการคายแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทเมื่อทำปฏิกิริยากับปรอท โดยการวิเคราะห์แบบ batch	91
ตารางที่ ค.1 (ก) ค่าการคายแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท เมื่อใช้บัฟเฟอร์ชนิดซิงค์ไดไฮดรอกไซด์โพสเฟต	92
ตารางที่ ค.1 (ข) ค่าการคายแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท เมื่อใช้บัฟเฟอร์ชนิดโซเดียมไฮดรอกไซด์โพสเฟต – โซเดียมโพสเฟต	92
ตารางที่ ค.1 (ค) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทเมื่อใช้บัฟเฟอร์ชนิดทริส – โซเดียมคลอไรด์	93
ตารางที่ ค.2 (ก) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทเมื่อใช้บัฟเฟอร์พีเอช 2.0	93
ตารางที่ ค.2 (ข) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทเมื่อใช้บัฟเฟอร์พีเอช 4.0	94
ตารางที่ ค.2 (ค) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทเมื่อใช้บัฟเฟอร์พีเอช 6.0	94
ตารางที่ ค.2 (ง) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทเมื่อใช้บัฟเฟอร์พีเอช 7.2	94
ตารางที่ ค.2 (จ) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทเมื่อใช้บัฟเฟอร์พีเอช 8.0	95
ตารางที่ ค.3 (ก) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท ความเข้มข้น 1×10^{-3} M	95
ตารางที่ ค.3 (ข) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท ความเข้มข้น 2×10^{-3} M	96
ตารางที่ ค.3 (ค) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท ความเข้มข้น 3×10^{-3} M	96
ตารางที่ ค.3 (ง) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท ความเข้มข้น 4×10^{-3} M	96
ตารางที่ ค.4 (ก) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท โดยใช้ลำดับปฏิกิริยาแบบ non – sandwich	97
ตารางที่ ค.4 (ข) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท โดยใช้ลำดับปฏิกิริยาแบบ sandwich	97
ตารางที่ ค.5 (ก) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท โดยใช้ควอนตัมดอท และปรอท อย่างละ 20 ไมโครลิตร	98
ตารางที่ ค.5 (ข) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท โดยใช้ควอนตัมดอท และปรอท อย่างละ 40 ไมโครลิตร	98

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ค.5 (ค) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท โดยใช้ควอนตัมดอท และ ปรอท อย่างละ 80 ไมโครลิตร	99
ตารางที่ ค.6 (ก) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท โดยใช้อัตราการไหล 25 ไมโครลิตรต่อวินาที	99
ตารางที่ ค.6 (ข) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท โดยใช้อัตราการไหล 50 ไมโครลิตรต่อวินาที	99
ตารางที่ ค.6 (ค) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท โดยใช้อัตราการไหล 100 ไมโครลิตรต่อวินาที	100
ตารางที่ ค.7 (ก) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท โดยใช้ความยาวของ โซลคิงคอยด์ 100 เซนติเมตร	100
ตารางที่ ค.7 (ข) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท โดยใช้ความยาวของ โซลคิงคอยด์ 150 เซนติเมตร	101
ตารางที่ ค.7 (ค) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท โดยใช้ความยาวของ โซลคิงคอยด์ 200 เซนติเมตร	101
ตารางที่ ง. ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม	102
ตารางที่ จ.1 ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ที่เติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นสุดท้าย 4 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไป	103
ตารางที่ จ.2 ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ที่เติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นสุดท้าย 3 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไป	104
ตารางที่ ฉ.1 ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ที่เติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นต่างๆลงไป	105
ตารางที่ ฉ.2 การเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ pair t – test	105
ตารางที่ ช.1 ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ทะเล ที่เติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นต่างๆลงไป โดยการ วิเคราะห์ด้วยระบบ SIA	106
ตารางที่ ช.2 ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ทะเล ที่เติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นต่างๆลงไป โดยการ วิเคราะห์แบบ Batch	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ ข.3 การเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทะเลด้วยวิธีการทางสถิติ pair t – test

หน้า

107



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
XII
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ภาพข่าวการตรวจพบปรอทที่จังหวัดปราจีนบุรี	2
รูปที่ 1.2 ภาพข่าวการปนเปื้อนสารปรอทบริเวณเกาะเสม็ด	3
รูปที่ 2.1 แสดงปริมาณปรอทที่ตรวจพบในตัวอย่างปลาจากคลองชะลอกวาง	10
รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของควอนตัมดอท	24
รูปที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนระดับพลังงานของควอนตัมดอทตามขนาดต่างๆ	26
รูปที่ 2.4 แสดงความยาวคลื่นของควอนตัมดอทตามขนาดต่างๆ	27
รูปที่ 2.5 แสดง Jablonski's diagram	29
รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบของเครื่องฟลูออโรมิเตอร์	30
รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ตามสมการของ Stern – Volmer	32
รูปที่ 2.8 แสดงระบบการวิเคราะห์แบบซีเควนเชียลอินเจกชันอะนาไลซิส	34
รูปที่ 2.9 แสดงการเคลื่อนที่ของสารภายในท่อ	35
รูปที่ 3.1 ระบบซีเควนเชียลอินเจกชันที่ได้พัฒนาขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอท	54
รูปที่ 3.2 แสดงหน้าจอของซอฟต์แวร์ MGC Auto – Pert Version 4	55
รูปที่ 3.3 แสดงลำดับการทำปฏิกิริยาแบบ non - sandwich	56
รูปที่ 3.4 แสดงลำดับการทำปฏิกิริยาแบบ sandwich	56
รูปที่ 4.1 (ก) สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท (ข) สเปกตรัมการคายแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท	61
รูปที่ 4.2 (ก) ซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่ปราศจากอะซิติลซีสเตอีน (ข) ซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่มีอะซิติลซีสเตอีน (ค) ซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่มีอะซิติลซีสเตอีนและทำปฏิกิริยากับปรอท	63
รูปที่ 4.3 แบบจำลองทางโครงสร้างของอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท	64
รูปที่ 4.4 แสดงของอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท	65
รูปที่ 4.5 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 0.010 มิลลิกรัมต่อลิตร	66
รูปที่ 4.6 ระบบซีเควนเชียลอินเจกชันที่ได้พัฒนาขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอท	67
รูปที่ 4.7 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้บัฟเฟอร์ชนิดต่างๆ	68
รูปที่ 4.8 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้บัฟเฟอร์พีเอชต่างๆ	69

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ควอนตัมคอตความเข้มข้นต่างๆ	70
รูปที่ 4.10 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ลำดับการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน	72
รูปที่ 4.11 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ปริมาตรสารที่ดูดเข้าสู่ระบบที่แตกต่างกัน	73
รูปที่ 4.12 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้อัตราการไหลที่แตกต่างกัน	74
รูปที่ 4.13 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ความยาวของโวลติงคอดที่แตกต่างกัน	75
รูปที่ 4.14 สัณฐานที่ได้จากการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานปรอทความเข้มข้น 0 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร	77
รูปที่ 4.15 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร	77
รูปที่ ก.1 แสดงโครงสร้างของอะเซติลซีสเตอิน	88
รูปที่ ก.2 แสดงโครงสร้างของอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมคอตที่มีการเคลือบพื้นผิวด้วย อะเซติลซีสเตอิน	89
รูปที่ ก.3 แสดงโครงสร้างของอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมคอตหลังทำปฏิกิริยากับปรอท	89
รูปที่ ข.1 สเปกตรัมการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมคอตเมื่อทำปฏิกิริยากับปรอท โดยการวิเคราะห์แบบ batch	90

สัญลักษณ์และคำย่อ

SIA	Sequential Injection Analysis
NAC	n – acetyl – L- cysteine
I_0	ค่าการคายแสงเมื่อไม่มี quencher
I	ค่าการคายแสงเมื่อมี quencher
ICP-OES	Inductively Couple Plassma – Optical Electron Microscope
TEM	Transmission Electron Microscopoe



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องด้วยในปัจจุบันมีการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ทำให้มีของเสียเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากเช่นเดียวกัน และอาจมีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมเช่น แหล่งน้ำ ได้ หากของเสียเหล่านั้นไม่ได้รับการบำบัดที่ได้มาตรฐาน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งมีชีวิตได้ หนึ่งในของเสียอุตสาหกรรมเหล่านั้นรวมไปถึงการใช้โลหะหนักในภาคอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ

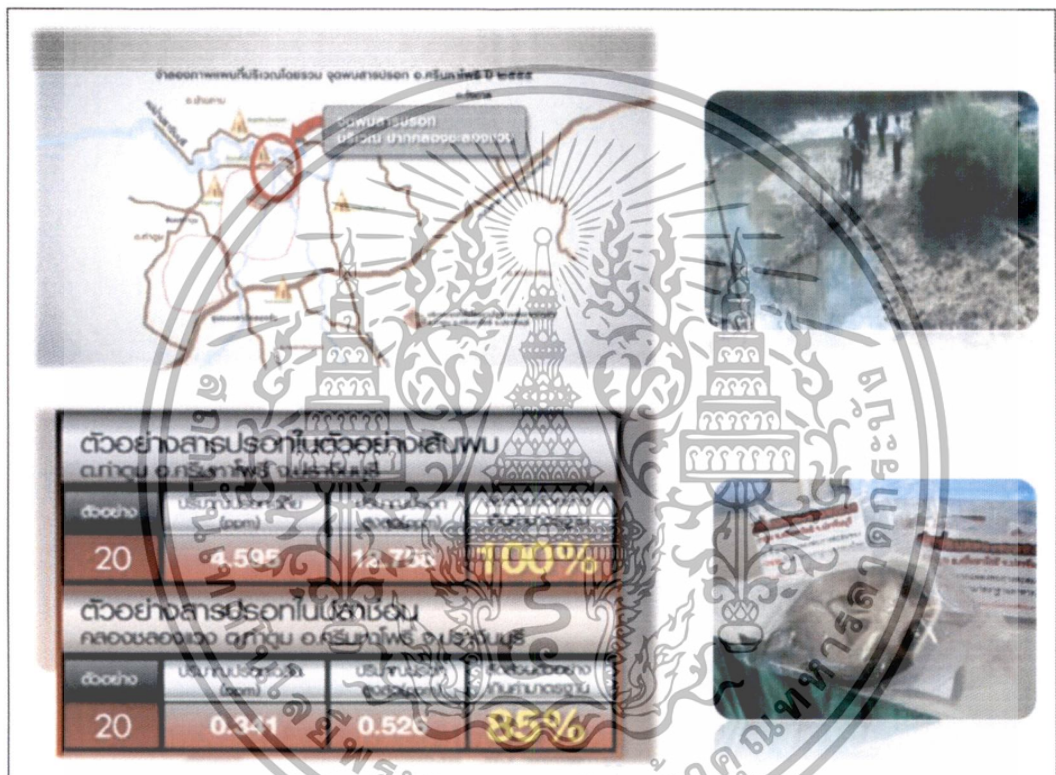
ปรอท (Mercury) เป็นหนึ่งในโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูง อุตสาหกรรมที่มีแนวโน้มที่จะปล่อยปรอทสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ การผลิตพลาสติก สี และ ถ่าน ไฟฉาย เป็นต้น แต่โดยส่วนมากปรอทที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมมักมาจากการระเหยและเผาไหม้ของการผลิตถ่านหินแล้วปล่อยสู่บรรยากาศ จากนั้นไอปรอทในบรรยากาศจะรวมตัวกับอนุภาคและสารอื่นๆ ตกสู่พื้นดินและน้ำต่อไป ทำให้เกิดการปนเปื้อนขึ้น [1]

ปรอทสามารถเกิดการสะสมได้ในสิ่งมีชีวิต (Bioaccumulation) โดยความเป็นพิษขึ้นอยู่กับ (1) ปริมาณปรอทที่ได้รับ (2) ความสามารถในการดูดซึม (3) ความสามารถในการขับพิษออกจากร่างกาย รวมถึง (4) ความสามารถในการต้านทานพิษของร่างกาย พิษของปรอทจะก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลาง เป็นผลให้การทรงตัว การเคลื่อนไหว การพูด และการรับรู้รู้สึกสูญเสียไป นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อต่างๆ อีกด้วย การเกิดพิษเรื้อรัง จะรู้สึกเวียนศีรษะ ตามัว มือสั่น น้ำลายไหลตลอดเวลา ดังอาการของผู้ป่วยโรคมีนามาตะ [2]

สำหรับสถานการณ์การปนเปื้อนของปรอทในประเทศไทยนั้น พบการปนเปื้อนของปรอทเป็นระยะๆ ดังเช่น เมื่อต้นปี พ.ศ. 2556 พบการปนเปื้อนของปรอท จากการสำรวจบริเวณคลองชะลอกวาง ตำบลท่าตูม อำเภอศรีมหาโพธิ จังหวัดปราจีนบุรี ใกล้กับสวนอุตสาหกรรม 304 ผลการศึกษาที่ส่งไปตรวจสอบยังสถาบันวิจัยความหลากหลายทางชีวภาพ หรือ บิอาร์ไอ สหรัฐอเมริกา ระบุชัดเจนว่า มีค่าปรอทตกค้างเกินกว่าค่าอ้างอิง โดยพบปริมาณปรอทตกค้างในตัวอย่างเส้นผมของประชากรที่อาศัยในละแวกนั้น จำนวน 20 ตัวอย่าง (พบ 100 % ของตัวอย่างเส้นผมที่ศึกษา) และพบในตัวอย่างปลาช่อน 20 ตัวอย่าง ที่เก็บมาจากคลองที่ไหลผ่านในบริเวณที่สำรวจ (พบถึง 85% ของตัวอย่างปลาช่อนที่ศึกษา) [3] และล่าสุด เมื่อปลายเดือนกรกฎาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พ.ศ. 2556 เกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วบริเวณเกาะเสม็ด จังหวัดระยอง จากการตรวจสอบคุณภาพน้ำทะเล และชายหาดต่างๆ บริเวณโดยรอบ พบว่าบริเวณอ่าวพร้าว และ อ่าวทับทิม มีการปนเปื้อนของสารปรอทในปริมาณที่สูงถึง 2.9 มิลลิกรัมต่อลิตร และนอกจากนี้ยังพบว่าปะการังเกิดการฟอกขาวในบริเวณดังกล่าวอีกด้วย [4] ภาพข่าวการตรวจพบปรอทตกค้าง แสดงดังรูปที่ 1.1 และ 1.2 ตามลำดับ จากข่าวตัวอย่างนี้ แสดงให้เห็นว่าการปนเปื้อนของปรอทสู่แหล่งน้ำยังคงเป็นหามลภาวะทางน้ำที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อในวงกว้าง



รูปที่ 1.1 ภาพข่าวการตรวจพบปรอทที่จังหวัดปราจีนบุรี
(อ้างอิงจาก <http://news.thaipbs.or.th> วันที่ 10 มกราคม 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 ภาพข่าวการปนเปื้อนสารปรอทบริเวณเกาะเสม็ด
(อ้างอิงจาก <http://momypedia.matichon.co.th> วันที่ 24 สิงหาคม 2556)

ตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษาได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม โดยอนุญาตให้ตรวจพบปริมาณปรอทได้ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร (หรือ 0.005 พีพีเอ็ม) [5] หากโรงงานหรือภาคอุตสาหกรรมใดละเลยปล่อยน้ำทิ้งที่มีปริมาณปรอทเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จะถือว่าผิดกฎหมายและต้องถูกดำเนินคดี และได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล โดยอนุญาตให้ตรวจพบปริมาณปรอททั้งหมดได้ไม่เกิน 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร (หรือ 0.0001 พีพีเอ็ม) [6] ดังนั้นเพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพน้ำให้ปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต และให้สอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนด การวิเคราะห์หาปริมาณปรอทในแหล่งน้ำจึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่ง วิธีวิเคราะห์จะต้องให้ผลวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำ เพื่อให้สามารถนำผลวิเคราะห์ไปใช้เผยแพร่และอ้างอิงได้

วิธีมาตรฐานตามที่กำหนดในราชกิจจานุเบกษานั้นอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์ที่เรียกว่า Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry (CV-AAS) ซึ่งเป็นเทคนิคที่จะต้องทำให้ปรอทในน้ำตัวอย่างระเหยแล้วผ่านกระบวนการทำให้เกิดเป็นอะตอมอิสระ ก่อนตรวจวัดการดูดกลืนแสงของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะตอมอิสระ เทคนิคนี้ได้รับการยอมรับว่าให้ผลการวิเคราะห์ถูกต้อง น่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตาม เทคนิคดังกล่าวก็มีข้อจำกัด เช่น เครื่องมือมีราคาแพง เพราะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้มีเครื่องมือนี้ใช้อย่างจำกัดในบางห้องปฏิบัติการเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีความยุ่งยากซับซ้อนในการวิเคราะห์ อีกทั้งยังใช้เวลานานกว่าจะรู้ผล อาจไม่เหมาะสมในกรณีที่มีตัวอย่างน้ำเป็นจำนวนมาก

เพื่อเป็นการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ให้มีความสะดวกรวดเร็ว ต้นทุนต่ำ และมีประสิทธิภาพในการตรวจวัด ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาและพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปรอทที่ขึ้นมาใหม่ หลักการตรวจวัดอาศัยปฏิกิริยาควอนซิงระหว่างควอนตัมดอทและปรอท กล่าวคือ การเรืองแสงฟลูออเรสเซนส์ของควอนตัมดอทจะลดลงในสถานะที่มีปรอท โดยสังเคราะห์ควอนตัมดอทขึ้นเองในห้องปฏิบัติการซึ่งควอนตัมดอทที่สังเคราะห์ขึ้นคือ ซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท นำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคการตรวจวัดทางสเปกโทรฟลูออโรเมทรีโดยอาศัยระบบซีควนเชียลอินเจกชันอะนาไลซิส (Sequential Injection Analysis, SIA) [7] ในการผสมและนำส่งของเหลวไปตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้วิธีวิเคราะห์แบบอัตโนมัติ ใช้งานง่าย และรู้ผลเร็ว

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์และศึกษาคุณสมบัติทางแสงของควอนตัมดอท (QDs) ชนิดซิงค์ซัลไฟด์
2. เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจวัดปรอทโดยอาศัยระบบ SIA
3. เพื่อนำควอนตัมดอทร่วมกับระบบ SIA ที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่างและตรวจสอบความถูกต้องของวิธีที่พัฒนาขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เริ่มจากการทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งงานวิจัยในเชิงการสังเคราะห์ควอนตัมดอท และ ในเชิงวิธีการวิเคราะห์ปรอท (เน้นที่การใช้เทคนิคที่อาศัยไหลของของเหลวในท่อขนาดเล็ก เช่น เทคนิคโฟลอินเจกชัน (Flow injection analysis, FIA) และ เทคนิค SIA แล้วจึงทำการสังเคราะห์ควอนตัมดอท ศึกษาคุณสมบัติทางแสง ได้แก่ สมบัติการเรืองแสงและการดูดกลืนแสง โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ตามลำดับ จากนั้นจะศึกษาความเป็นไปได้ในการนำควอนตัมดอทไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณปรอทโดยอาศัยการวิเคราะห์แบบไม่ต่อเนื่อง (Batch analysis) โดยพิจารณาว่าการลดลงของค่าการเรืองแสงของควอนตัมดอทเนื่องจากถูกควอนซิงด้วยปรอทมีความสัมพันธ์เป็นไปตามสมการของ Stern-Volmer หรือไม่ เมื่อพบว่าควอนตัมดอทมีแนวโน้มที่ใช้ตรวจวัดปริมาณปรอทได้ ก็จะพัฒนาวิธีการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์โดยอาศัยเทคนิค SIA โดยเมื่อสร้างระบบแล้ว ก็จะได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ (Optimization) โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ทั้งทางเคมีและทางกายภาพที่มีผลต่อความไว และเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแล้ว จะประเมินคุณลักษณะเด่นของระบบที่ได้พัฒนาขึ้น เช่น ความเที่ยง ความแม่นยำ และค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ เป็นต้น จากนั้นจึงจะนำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบกับตัวอย่างน้ำ ได้แก่ น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำคลอง และน้ำดื่ม เป็นต้น รวมถึงจะได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีที่พัฒนาขึ้น (Method validation) โดยเปรียบเทียบปริมาณปรอทที่วิเคราะห์ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นกับปริมาณที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง Inductively Couple Plasma – Optical Emission Spectrometer (ICP - OES) ว่ามีความใกล้เคียงกันหรือไม่ โดยใช้วิธีทางสถิติเป็นกลไกทดสอบ ในขั้นสุดท้ายจะได้ดำเนินการเผยแพร่รายงานวิจัยต่อไป

สามารถกล่าวสรุปเป็นขั้นตอนการดำเนินงาน ได้ดังนี้

1. ทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ทำการสังเคราะห์ควอนตัมดอท
3. ศึกษาคุณสมบัติทางแสง ได้แก่ สมบัติการดูดกลืนแสงและการเรืองแสง โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์และเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์
4. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำควอนตัมดอทไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณปรอทโดยอาศัยการวิเคราะห์แบบ Batch analysis
5. สร้างระบบ SIA
6. ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ (ทางเคมีและทางกายภาพ) ที่มีผลต่อความไว และเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์
7. ประเมินคุณลักษณะเด่นของระบบที่ได้พัฒนาขึ้น
8. นำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับตัวอย่างน้ำ
9. เปรียบเทียบปริมาณปรอทที่วิเคราะห์ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นกับปริมาณที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง Inductively Couple Plasma – Optical Emission Spectrometer (ICP - OES) โดยใช้วิธีทางสถิติ
10. ดำเนินการเผยแพร่รายงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสังเคราะห์ควอนตัมดอทได้สำเร็จ และทราบถึงคุณสมบัติทางแสงของควอนตัมดอทที่สังเคราะห์ขึ้น เช่น ทราบความยาวคลื่นสูงสุดที่ดูดกลืนและที่คายแสง
2. ได้วิธี STA ที่มีความเป็นอัตโนมัติในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทได้อย่างถูกต้อง
3. สามารถนำเทคนิคและวิธีการที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้ในการตรวจวัดปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่างเพื่อเป็นการติดตามและเฝ้าระวังมลพิษทางสิ่งแวดล้อมได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับปรอท [8-11]

2.1.1 แหล่งที่พบตามธรรมชาติและการนำมาใช้ประโยชน์

ปรอทมีลักษณะสีขาวคล้ายเงิน เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มีความหนาแน่นสูง สามารถขยายตัวได้เมื่อได้รับความร้อน และสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย ในธรรมชาติจะพบในรูปของแร่ Cinnabar ore (HgS) เมื่อนำมาสกัดจะได้เป็นโลหะปรอทซึ่งมี 3 รูป คือ

1. รูปร่างอนุภาคอิสระ (Elemental mercury) จะเป็นโลหะของเหลวสีเงินวาว
2. รูปร่างประกอบปรอทอนินทรีย์ (Inorganic mercury) เช่น Mercuric chloride ($HgCl_2$)
3. รูปร่างประกอบปรอทอินทรีย์ (Organic mercury คือ Alkyl & Aryl mercury) เช่น Methylmercury ($HgCH_3$) เป็นต้น

สามารถนำปรอทมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ดังนี้

1. ใช้ในการทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์ เช่น เทอร์โมมิเตอร์ และเครื่องวัดความดันโลหิต
2. ใช้ในอุตสาหกรรมไฟฟ้า เช่น สวิตช์อัตโนมัติสำหรับตู้เย็น ใช้ในการปรับไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Mercury arc rectifier) และบรรจุในหลอดฟลูออเรสเซนต์ เพื่อช่วยในการเรืองแสง
3. ซัลไฟด์ของปรอทใช้ผลิตเป็นสีแดงในอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา
4. ออกไซด์ของปรอทใช้ในการทำสี เพื่อป้องกันการแตกลอก นิยมนำไปใช้ทำสีทึบเงา
5. เป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับโลหะบางชนิด สารละลายที่ได้เรียกว่า อะมาลแกม การนำอะมาลแกมไปใช้ประโยชน์ เช่น ดีบุกอะมาลแกมใช้ในการทำกระจกเงา หรือ เงิน - ดีบุกอะมาลแกมใช้เป็นวัสดุในการอุดฟัน
6. ทิเมอร์ซอล (Thimerosal) เป็นสารที่มีปรอทเป็นส่วนผสมใช้เป็นสารกันเสียในวัคซีน
7. Mercuric oxide ใช้เป็นส่วนผสมสำหรับการทำสีเพื่อใช้ในการสักรายผ้าไหม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 รูปแบบการปนเปื้อนของปรอทเข้าสู่ร่างกาย

หากเกิดการรั่วไหลหรือการปนเปื้อน ปรอทสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง เช่นเดียวกับสารพิษอื่นๆ คือ (1) ทางการหายใจโดยสูดเอาผง หรือไอปรอทเข้าสู่ปอด เนื่องจากปรอทสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย (2) ทางปากโดยการรับประทานเข้าไปซึ่งเกิดจากการปนเปื้อนในอาหารและน้ำดื่ม และ (3) ทางผิวหนังโดยการดูดซึมไอระเหยหรือฝุ่นละอองของปรอททำให้ผิวหนังเกิดการระคายเคืองได้

2.1.3 อันตรายของปรอทเมื่อเข้าสู่ร่างกาย

ปรอทสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ทั้งในแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง ซึ่งปริมาณเฉลี่ยที่ทำให้เสียชีวิตได้คือประมาณ 0.02 กรัม

อันตรายแบบเฉียบพลัน จะมีอาการไอ อาเจียน ปวดศีรษะอย่างรุนแรง หายใจติดขัด มีการอักเสบของเนื้อเยื่อต่างๆ ปวดท้องอย่างรุนแรง เนื่องจากปรอทมีฤทธิ์ทำลายระบบทางเดินอาหาร หรืออาจทำให้เกิดอาการท้องร่วงอย่างรุนแรง อุจจาระเป็นเลือด หมดสติเนื่องจากร่างกายเสียเลือดมาก เมื่อปรอทเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิตไตจะถูกทำลาย ทำให้ปัสสาวะไม่ออกหรือปัสสาวะเป็นเลือด และเสียชีวิตในที่สุด

อันตรายแบบเรื้อรัง จะส่งผลกระทบต่อหลายๆ ระบบในร่างกาย เช่นทำปฏิกิริยากับหมู่ Sulfhydryl (SH) ทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เป็นผลให้เกิดพยาธิสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ที่ผิดปกติ หากพิจารณาแยกตามชนิดแล้วพบว่า Elemental mercury และ Methylmercury ทำให้เกิดอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งได้แก่ สมอ และไขสันหลัง ทำให้เสียการควบคุมเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของแขน ขา ทำให้เกิดการกระตุกของกล้ามเนื้อและนิ้วมือเป็นพักๆ และก่อให้เกิดอาการทางจิตประสาท ทำให้สมอเสื่อม ไม่สามารถควบคุมอารมณ์ได้ โมโห ฉุนเฉียว และหงุดหงิดง่าย ทำให้ระบบประสาทการรับรู้สึกเสียไป เช่น การได้ยิน และการมองเห็น นอกจากนี้ ยังก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อปอด สำหรับ Inorganic mercury จะทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง เกิดการอักเสบเป็นผื่นแดงและต่อมาทำให้ผิวหนังหนาตัวขึ้น ทำให้เกิดการกระตุกของเปลือกตา ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินอาหารโดยจะมีน้ำลายไหลมากผิดปกติ ปวดบริเวณเหงือกและปาก เหงือกบวมอักเสบ เลือดออกง่าย บางรายอาจมีอาการลำไส้ใหญ่อักเสบ ถ่ายเป็นมูกเลือด และเป็นพิษต่อไต ซึ่งอาการเหล่านี้ไม่สามารถรักษาให้คืนเดิมได้

2.1.4 โรคมินามาตะ

โรคมินามาตะ เกิดขึ้นเนื่องจากการปนเปื้อนของสารปรอทจากน้ำเสียของโรงงานผลิตปุ๋ยเคมีและสารเคมีชื่อว่า “บริษัทนิปปอนชิโมสะ” ซึ่งถือเป็นภาวะมลพิษที่รุนแรงที่สุดในประวัติศาสตร์ของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งชื่อโรคมินามาตะ มีที่มาจากชื่อของหมู่บ้านเล็กๆ บนเกาะทางตอนใต้ของประเทศญี่ปุ่นที่ชาวบ้านส่วนใหญ่ประกอบอาชีพประมง ในปี ค.ศ.1959 เกิดโรคประหลาดขึ้นกับชาวบ้านจนกลายเป็นข่าวดังไปทั่วโลก เนื่องจากผู้ป่วยที่มาพบแพทย์จะมีอาการเดินเซ ไม่สามารถยืนได้ด้วยตัวเอง ซาตามแขนขา หูตึง มองเห็นภาพแคบลง พูดไม่ชัด มือสั่น กลืนอาหารลำบาก บางครั้งจะแสดงอาการคลื่นไส้ และมักจะส่งเสียงดังตลอดเวลา มีอาการนอนไม่หลับ ชักบ่อยๆ แขนขาบิดเบี้ยว อาการรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตในเวลาต่อมา ซึ่งในขณะนั้นแพทย์ยังไม่สามารถวินิจฉัยโรคได้ นอกจากนี้ยังพบว่าปลาว่ายน้ำแบบนอนหงายท้องขึ้นและว่ายน้ำช้าลงจนสามารถจับได้ด้วยมือเปล่า นกทะเลจะบินหัวตั้งตกทะเล แมวก็มีอาการเซ น้ำลายไหล ชัก และเสียชีวิตในเวลาต่อมา จึงเรียกอาการดังกล่าวว่า “โรคแมวเดิน”

ในเบื้องต้นสันนิษฐานว่าโรคนี้น่าจะเกิดจากสารเคมีที่สะสมอยู่ในสัตว์ทะเล และเมื่อคนรับประทานอาหารทะเลเข้าไปก็จะส่งผลกระทบต่อร่างกาย เมื่อได้ทดลองกับสัตว์และคนผลก็เป็นที่สันนิษฐานไว้ ในเวลาต่อมาได้มีการนำดินจากบริเวณที่ทิ้งน้ำเสียของโรงงานมาตรวจ พบว่ามีสารปรอทอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งตรงกับการตรวจพบสารปรอทในอวัยวะส่วนต่างๆ ของผู้ป่วยที่เสียชีวิต

2.1.5 สถานการณ์การปนเปื้อนของปรอทในประเทศไทย [12 - 13]

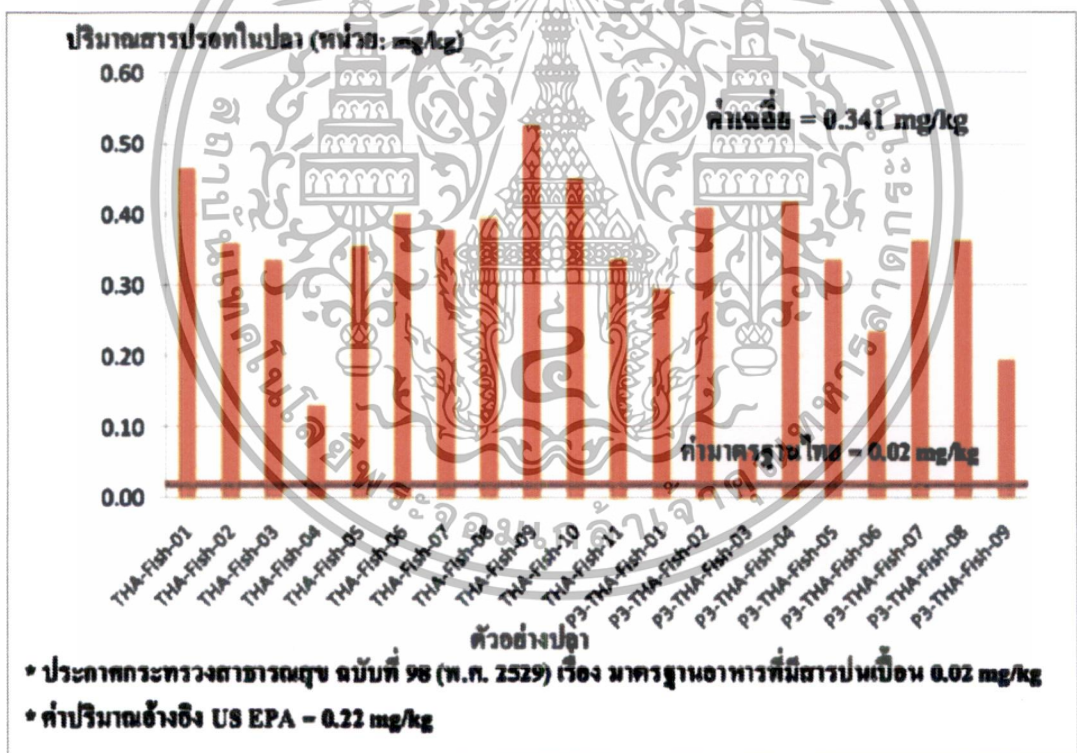
เมื่อต้นปี พ.ศ. 2556 พบปรอทปนเปื้อนในชุมชนที่คลองชะลอกแวง ตำบลท่าตูม อำเภอศรีมหาโพธิ จังหวัดปราจีนบุรี ใกล้กับสวนอุตสาหกรรม 304 ที่มีโรงงานผลิตกระดาษ และโรงไฟฟ้าถ่านหิน เมื่อดูจากแผนที่ของสวนอุตสาหกรรมพบว่า ทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ถูกสร้างเป็นบ่อพักน้ำทิ้งขนาดใหญ่ ติดกับกลุ่มโรงงานเยื่อกระดาษและโรงไฟฟ้าบ่อพักน้ำทิ้งดังกล่าวยังตั้งอยู่ติดกับอ่างเก็บน้ำดิบและมีคลองชะลอกแวงไหลผ่าน

จากการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างปลาช่อนและเส้นผมของชาวบ้านท่าตูมที่อาศัยใกล้บริเวณดังกล่าว พบว่ามีปรอทปนเปื้อน โดยปลาช่อนตัวอย่างที่จับได้จากคลองชะลอกแวง 20 ตัว ทุกตัวมีปริมาณสารปรอทปนเปื้อนสูงเกินค่ามาตรฐานอาหารของกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งกำหนดให้มีการปนเปื้อนของปรอทไว้ไม่เกิน 0.02 พีพีเอ็ม แต่ปลาที่จับได้มีปรอทปนเปื้อนตั้งแต่ 0.067-0.22 พีพีเอ็ม ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 3-11 เท่า ปริมาณปรอทที่ตรวจพบในตัวอย่างปลาจากคลองชะลอกแวงแสดงดังรูปที่ 2.1 ขณะที่ผลการตรวจตัวอย่างเส้นผมของอาสาสมัครชาวบ้าน 20 คนที่บริเวณปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอาศัยอยู่ในรัศมี 2 กิโลเมตร รอบพื้นที่อุตสาหกรรม พบว่า เส้นผมของทุกคนมีสารปรอทสะสม ตั้งแต่ 1.628–12.758 พีพีเอ็ม เป็นตัวเลขที่เกินค่าปริมาณอ้างอิง 1.00 พีพีเอ็ม ไปค่อนข้างมาก

สวนอุตสาหกรรม 304 มีโรงไฟฟ้าถ่านหินขนาด 400 เมกะวัตต์ ใช้ถ่านหินในกระบวนการผลิตไฟฟ้า 900,000 ตันต่อปี ซึ่งปรอทเป็นสารที่พบได้ในถ่านหินและพบได้ในเชื้อเพลิงจากการเผาถ่านหินด้วย ในสวนอุตสาหกรรมแห่งนี้ ยังมีโรงงานผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษจะมีการเติมสาร Phenyl Mercury Acetate เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเยื่อจะถูกส่งเข้าระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท ซึ่งเป็นแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge Process) ซึ่งเป็นวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ปัญหาของระบบบำบัดน้ำเสียคือ ระบบนี้ไม่สามารถกำจัดสารโลหะหนักได้ โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะนำมาพักไว้ในบ่อพักน้ำทิ้ง เพื่อนำไปรดต้นยูคาลิปตัสในสวนป่าของโครงการ



รูปที่ 2.1 แสดงปริมาณปรอทที่ตรวจพบในตัวอย่างปลาจากคลองชะลอกเวง [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ล่าสุด เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 ขณะที่เรือบรรทุกน้ำมัน Malan Plato สัญชาติกรีซ กำลังถ่ายน้ำมันดิบผ่านท่รับน้ำมันดิบมายังโรงกลั่นน้ำมันของบริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) ได้เกิดเหตุที่อรับน้ำมันดิบขนาด 16 นิ้วรั่วที่บริเวณท่รับน้ำมันดิบ (Single Point Mooring) ที่อยู่ห่างจากชายฝั่งท่าเรือมาตาพุดไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 20 กิโลเมตร คาดว่ามีจำนวนน้ำมันดิบที่รั่วสู่ทะเลประมาณ 50,000 ลิตร ในเวลาต่อมาน้ำมันดิบจำนวนหนึ่งได้เคลื่อนตัวตามกระแสคลื่นเข้าสู่อ่าวพร้าว ทางทิศตะวันตก ก่อนไปทางเหนือของเกาะเสม็ด จังหวัดระยอง คราบน้ำมันถูกซัดเข้าชายฝั่งคิดเป็นพื้นที่ยาวกว่า 600 เมตร มีชั้นความหนาประมาณ 20-30 เซนติเมตร บางส่วนลอยอยู่เป็นระยะๆ มีลักษณะคล้ายฟิล์มบางๆจากฝั่งออกไปในทะเลอีกประมาณ 200 เมตร จากผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำทะเลชายหาดและพื้นที่อ่าวต่างๆ รอบเกาะ พบปริมาณสารปรอทบริเวณอ่าวพร้าวและอ่าวทับทิมสูงถึง 2.9 และ 0.25 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร การปนเปื้อนของสารปรอทบริเวณอ่าวทับทิมนั้น กรมควบคุมมลพิษกล่าวว่าจะไม่ได้เกิดจากผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำมันรั่วแต่อาจเกิดจากการปล่อยน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมลงหาด ซึ่งจะต้องมีการตรวจสอบอย่างละเอียดและมีมาตรการในการดำเนินการต่อไป

2.1.6 ปริมาณปรอทที่อนุญาตให้มีได้

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้ตีพิมพ์ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ซึ่งได้กำหนด มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจาก โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมอนุญาตให้ตรวจพบปริมาณปรอทได้ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร [5] และกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลอนุญาตให้ตรวจพบปริมาณปรอทได้ไม่เกิน 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร [6] ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง	5.5-9.0	pH Meter
2. ค่าทีดีเอส (TDS) หรือ Total Dissolved Solids	<ul style="list-style-type: none"> ● ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ● น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือลงสู่ทะเล ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103 –105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออาจแตกต่างกันแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มิลลิกรัมต่อลิตร	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	Titrate
7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid
8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันแต่แต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อลิตร	สกัดด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
9. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	Spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	Iodometric Method
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	Gas-Chromatography
13. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือแตกต่างกันแต่แต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตร	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันแต่แต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร	Kjeldahl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
15. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันแต่แต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร	Potassium Dichromate Digestion
16. โลหะหนัก (Heavy Metal) 16.1. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
16.2. โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร	-
16.3. โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร	-
16.4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	-
16.5. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร	-
16.6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	-
16.7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร	-
16.8. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	-
16.9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
16.10. อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร	- Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Hydride Generation หรือ วิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
16.11. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร	- Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือ วิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
16.12.ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร	- Atomic Absorption Cold Vapour Techique

แหล่งที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานน้ำทะเล

ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล								
พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีการตรวจสอบ	ประเภทการใช้ประโยชน์					
			1	2	3	4	5	6
1. วัตถุที่ลอยน้ำ (Floatable Solids)	-	สังเกต	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ					
2. สี	-	สังเกต โดยเทียบกับ Fore-Ule color scale	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ					
3. กลิ่น (Odour)	-	ดม โดยต้องมีคณะผู้ตรวจวัดไม่น้อยกว่า 3 คน และเก็บตัวอย่างในขวดแก้วหรือ TFE-line 2 ขวดต่อ 1 จุดเก็บตัวอย่าง ให้ตรวจวัดทันที โดยให้ถือความเห็นของคณะผู้ตรวจวัดต้องเป็นเอกฉันท์	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ					
4. อุณหภูมิ (Temperature)	องศาเซลเซียส	1) Thermometer 2) Electrical Sensor Method	+ 1	-	+1	+2		
5. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	pH meter	7.0 - 8.5					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล						
พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีการตรวจสอบ	ประเภทการใช้ประโยชน์			
			1	2	3	4
6.ความโปร่งใส (Transparency)	-	Secchi disc สำหรับตรวจวัดน้ำทะเล	ลดลงจากสภาพธรรมชาติไม่เกินกว่า 10% จากค่าต่ำสุด			
7.สารแขวนลอย	-	Gravimetric Method	ดูหมายเหตุ 1			
8.ความเค็ม (Salinity)		1) Argentometry 2) Electrical Conductivity Method 3) Density 4) Refractometer	เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกินกว่า 10% ของค่าต่ำสุด			
9.น้ำมันหรือไขมันบนผิวน้ำ (Floatable Oil & Grease)	-	สังเกต	มองไม่เห็น			
10.ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน	µg/l	Fluorescence Spectrophotometry	≤ 0.5		≤ 1	≤ 5
11.ออกซิเจนละลาย (DO)	mg/l	1) Azide Modification Method 2) Membrane Electrode Method 3) Winkler Method	≤ 4	≤ 6	≤ 4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

132490

ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล								
พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีการตรวจสอบ	ประเภทการใช้ประโยชน์					
			1	2	3	4	5	6
12.แบคทีเรีย กลุ่มโคลิ ฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	MPN/100ml	Multiple Tube Fermentation Technique	≤ 1000					
13.แบคทีเรีย กลุ่มฟิโคไล ติฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)	CFU/ 100 ml	Membrane Filter Technique	≤ 70		≤ 100			
14.แบคทีเรีย กลุ่มเอ็นเทอ โรคอกไค (Enterococci Bacteria)	CFU/ 100 ml	Membrane Filter Technique	-	≤ 35	-	≤ 35	-	-
15.ไนเตรท- ไนโตรเจน (NO ₃ -N)	µg - N/l	Cadmium Reduction Method เป็น NO ₂ ⁻ แล้ว ใช้ Colorimetric Method	≤ 20	≤ 60				
16.ฟอสเฟต- ฟอสฟอรัส (PO ₄ -P)	µg - P/l	Colorimetric Method	≤ 15	≤ 45	≤ 15	≤ 45		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล						
พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีการตรวจสอบ	ประเภทการใช้ประโยชน์			
			1	2	3	4
17. แอมโมเนียไนโตรเจน (NH ₃ -N)	µg - N/l	Phenol-Hypochlorite Method	≤ 70		≤ 100	≤ 70
18.ปรอททั้งหมด (Total Hg)	µg/l	1) Cold-Vapor/Hydride Generation Atomic Absorption Spectrometric Method 2) Cold-Vapor/Hydride Generation-Atomic Fluorescence Spectrometric Method 3) Inductively Coupled Plasma			≤ 0.1	
19.แคดเมียม (Cd)	µg/l	1) Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric Method			≤ 5	
20. โครเมียมรวม (Cr)	µg/l	2) Inductively Coupled Plasma Method			≤ 100	
21. โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Cr-Hexavalent)	µg/l	1) Pre-concentration ตามด้วยวิธี Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric Method 2) Inductively Coupled Plasma Method			≤ 50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล							
พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีการตรวจสอบ	ประเภทการใช้ประโยชน์				
			1	2	3	4	5
22.ตะกั่ว (Pb)	µg/l	1) Electrothermal	≤ 8.5				
23.ทองแดง (Cu)	µg/l	Atomic Absorption Spectrometric Method 2) Inductively Coupled Plasma Method	≤ 8				
24.แมงกานีส (Mn)	µg/l	1) Pre-concentration ตามด้วยวิธี Flame	≤ 100				
25.สังกะสี (Zn)	µg/l	Atomic Absorption Spectrometric Method	≤ 50				
26.เหล็ก (Fe)	µg/l	2) Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric Method 3) Inductively Coupled Plasma Method	≤ 300				
27.ฟลูออไรด์ (F)	µg/l	SPADNS Colorimetric Method	≤ 1				
28.คลอรีนคงเหลือ (Residual Chlorine)	µg/l	N,N-diethyl-p-phenylenediamine Method	-	-	-	-	≤ 0.01
29.ฟีนอล (Phenols)	µg/l	Distillation ตามด้วย 4-Aminoantipyrine Colorimetric Method	≤ 0.03				
30.ซัลไฟด์ (Sulfide)	µg/l	Methylene Blue Colorimetric Method	≤ 10				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล								
พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีการตรวจสอบ	ประเภทการใช้ประโยชน์					
			1	2	3	4	5	6
31.ไซยาไนด์ (Cyanide)	µg/l	Pyridine-Barbituric Acid Colorimetric Method	≤ 7					
32.พีซีบี (PCB)	µg/l	Gas Chromatography with Electron Capture Detector	ตรวจไม่พบ					
33.สารเคมีที่ใช้ ในการป้องกัน กำจัดศัตรูพืช และสัตว์ (Total Organochlorine Pesticides)	-	1) Gas Chromatography with Mass Spectrophotometry 2) Highly Performance Liquid Chromatography (HPLC)	ดูหมายเหตุ 2					
34.สารหนู (Arsenic)	µg/l	1) Hydride Generation Atomic Absorption Spectrometric Method โดยตัวอย่างจะต้องทำ การย่อยก่อนที่จะนำไป วัด 2) Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric Method 3) Inductively Coupled Plasma Method ที่มี ระบบขจัดการรบกวน ของคลอไรด์	≤ 10					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล							
พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีการตรวจสอบ	ประเภทการใช้ประโยชน์				
			1	2	3	4	5
35. กัมมันตภาพรังสี (เบคเคอเรลต่อ ลิตร)	µg/l	วิธี Co-precipitation วิธี Evaporation วิธี Gamma Spectrometry (USEPA) หรือวิธีคำนวณจากค่า Salinity					
- ค่า กัมมันตภาพรังสี รวมแอลฟา			≤ 0.1 สำหรับค่ากัมมันตภาพรังสีรวม แอลฟา				
- ค่า กัมมันตภาพรังสี รวมเบตา (ไม่รวมค่า โปตัสเซียม-40)			≤ 1.0 สำหรับค่ากัมมันตภาพรังสี รวมเบตา				
36.สารประกอบ ดีบุกอินทรีย์ ชนิดไตรบิวทิล	µg/l	1) Gas Chromatography with Flame Photometric Detector 2) Gas Chromatography with Mass Spectrophotometry 3) Highly Performance Liquid Chromatography -ICPMS			≤ 10		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ :

1. ประเภทการใช้ประโยชน์: 1.) เพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ 2.) เพื่อการอนุรักษ์แหล่งปะการัง 3.) เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 4.) เพื่อการนันทนาการ 5.) เพื่อการอุตสาหกรรมและทำเรือ 6.) สำหรับเขตชุมชน

2. ค่ามาตรฐานสารแขวนลอย มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นไม่เกินผลรวมของค่าเฉลี่ย 1 วัน หรือ 1 เดือน หรือ 1 ปี บวกกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยนั้นๆ โดยวิธีการหาค่าเฉลี่ย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย 1 วัน ให้วัดทุกชั่วโมง หรืออย่างน้อย 5 ครั้ง ที่ช่วงเวลาเท่าๆ กัน ค่าเฉลี่ย 1 เดือน ให้วัดทุกวัน หรืออย่างน้อย 4 ครั้ง (ที่ช่วงเวลาเท่าๆ กัน ใน 1 เดือน) ณ เวลาเดียวกัน ค่าเฉลี่ย 1 ปี ให้วัดทุกเดือน ณ วันที่ และเวลาเดียวกัน

3. สารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีน

- ค่ามาตรฐานอัลดรินสำหรับทุกประเภทการใช้ประโยชน์ต้องมีค่าไม่มากกว่า 1.3 ไมโครกรัม/ลิตร
- ค่ามาตรฐานคลอเดนสำหรับทุกประเภทการใช้ประโยชน์ต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.004 ไมโครกรัม/ลิตร
- ค่ามาตรฐานดีดีทีสำหรับทุกประเภทการใช้ประโยชน์ทุกประเภทต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.001 ไมโครกรัม/ลิตร
- ค่ามาตรฐานดิลดรินสำหรับทุกประเภทการใช้ประโยชน์ทุกประเภทต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.0019 ไมโครกรัม/ลิตร
- ค่ามาตรฐานเอลดรินสำหรับการใช้ประโยชน์ทุกประเภทต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.0023 ไมโครกรัม/ลิตร
- ค่ามาตรฐานเอ็นโคซัลฟานสำหรับทุกประเภทการใช้ประโยชน์ทุกประเภทต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.0087 ไมโครกรัม/ลิตร
- ค่ามาตรฐานเฮปตาคลออร์สำหรับทุกประเภทการใช้ประโยชน์ทุกประเภทต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.0036 ไมโครกรัม/ลิตร
- ค่ามาตรฐานลินเดนสำหรับทุกประเภทการใช้ประโยชน์ทุกประเภท ต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.16 ไมโครกรัม/ลิตร
- ค่ามาตรฐานของ Alachlor, Ametryn, Atrazine, Carbaryl, Carbendazim, Chlorpyrifos, Cypermethrin, 2,4-D, Diuron Glyphosate, Malathion, Mancozeb, Methyl parathion, Parathion, และ Propanil ต้องตรวจไม่พบโดยใช้วิธีวิเคราะห์ที่กำหนด

แหล่งที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 27 (พ.ศ.2549) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 124 ตอนที่ 11 ง วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ควอนตัมดอท

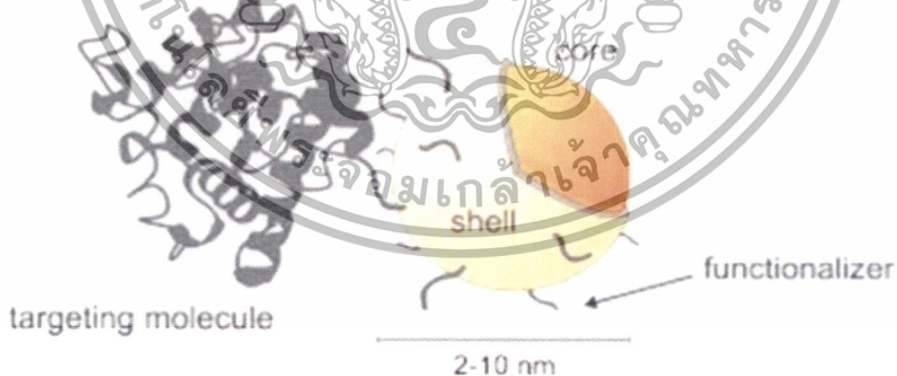
2.2.1 คำนิยามและสมบัติของควอนตัมดอท [14-15]

เมื่อมองโครงสร้างของควอนตัมดอทผ่านเครื่องมือที่สามารถสำรวจโครงสร้างระดับนาโนได้ จะเห็นว่าโครงสร้างนี้มีลักษณะเป็นจุด (Dot) และเนื่องจากโครงสร้างของควอนตัมดอทมีขนาดเล็กระดับนาโนเมตร จึงทำให้สามารถแสดงพฤติกรรมแบบควอนตัม (Quantum) ตามหลักการทางฟิสิกส์ควอนตัม (Quantum physics) ได้ จึงเรียกโครงสร้างนาโนของวัสดุที่มีลักษณะเช่นนี้ว่า “ควอนตัมดอท” (Quantum Dots, QDs)

ควอนตัมดอทประกอบขึ้นจากธาตุ หมู่ 2-6, 3-5 หรือ 4-6 ตามตารางธาตุเพริออดิก (Periodic table) มีคุณสมบัติการเรืองแสงที่โดดเด่นและมีความทนต่อสภาพแสงแรงๆ หรือที่เรียกว่า Photobleaching ได้

2.2.2 โครงสร้างพื้นฐานของควอนตัมดอท [16]

รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของควอนตัมดอทซึ่งโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วย 2 หรือ 3 ส่วน ได้แก่



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของควอนตัมดอท [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แกนกลาง (Core)

จะเป็นผลึกของธาตุที่อยู่ในหมู่ของตารางธาตุ หมู่ที่ 2-6, 3-5 หรือ 4-6 โดยจะมีขนาดอยู่ในระดับ 2-10 นาโนเมตร ชนิดของวัสดุที่ใช้เป็นแกนกลางเป็นการกำหนดช่วงการเรืองแสงของควอนตัมดอท โดยเป็นการกำหนดอย่างหยาบๆ เช่น ถ้าเป็นแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) จะเรืองแสงในย่านยูวี แคดเมียมเซเลไนด์ (CdSe) จะเรืองแสงในย่านของวิสิเบิล ส่วนรูปร่างและขนาดของอนุภาคจะเป็นตัวปรับความยาวคลื่นของการเรืองแสงอย่างละเอียดอีกชั้นหนึ่ง เช่น แกนกลางเป็นแคดเมียมเซเลไนด์ (CdSe) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นาโนเมตร จะได้ควอนตัมดอทที่เรืองแสงที่ 655 นาโนเมตร ในขณะที่แกนกลางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 3 นาโนเมตรจะได้ควอนตัมดอทที่เรืองแสงที่ 525 นาโนเมตร เป็นต้น

2. เปลือกหุ้มแกนกลาง (Shell)

เหตุผลที่ต้องมีเปลือกหุ้มแกนกลางก็คือ เพื่อให้ควอนตัมดอทสามารถเรืองแสงได้อย่างคงที่ การเลือกวัสดุที่จะใช้เป็นเปลือกหุ้มมีข้อบังคับน้อยกว่าการเลือกวัสดุที่ใช้เป็นแกนกลาง เพราะเปลือกหุ้มจะทำหน้าที่ป้องกันแต่ไม่เกี่ยวข้องกับการเรืองแสง

3. ผิวเคลือบ (Coating)

ผิวเคลือบเป็นองค์ประกอบที่อาจมีเพิ่มเติมได้ถ้าองค์ประกอบสองส่วนแรกมีความเข้ากัน ไม่ได้กับเงื่อนไขของสิ่งแวดล้อมที่ถูกใช้งาน เช่น ทางชีววิทยา โดยผิวเคลือบจะมีลักษณะเป็น 2 ชั้น ชั้นในเป็นชั้นของลิแกนด์อินทรีย์ที่จับกับเปลือกหุ้มด้วยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นกาวกับชั้นเคลือบนอก ส่วนชั้นนอกจะเป็นสารพอลิเมอร์ผสมที่มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ส่วนของโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำจะมีปฏิกิริยากับชั้นเคลือบด้านใน ส่วนของโมเลกุลที่ชอบน้ำจะมีปฏิกิริยากับตัวทำละลายข้างนอกอนุภาค วิธีการนี้ทำให้ควอนตัมดอทที่ได้มีความคงตัวในเกือบทุกสภาพแวดล้อม

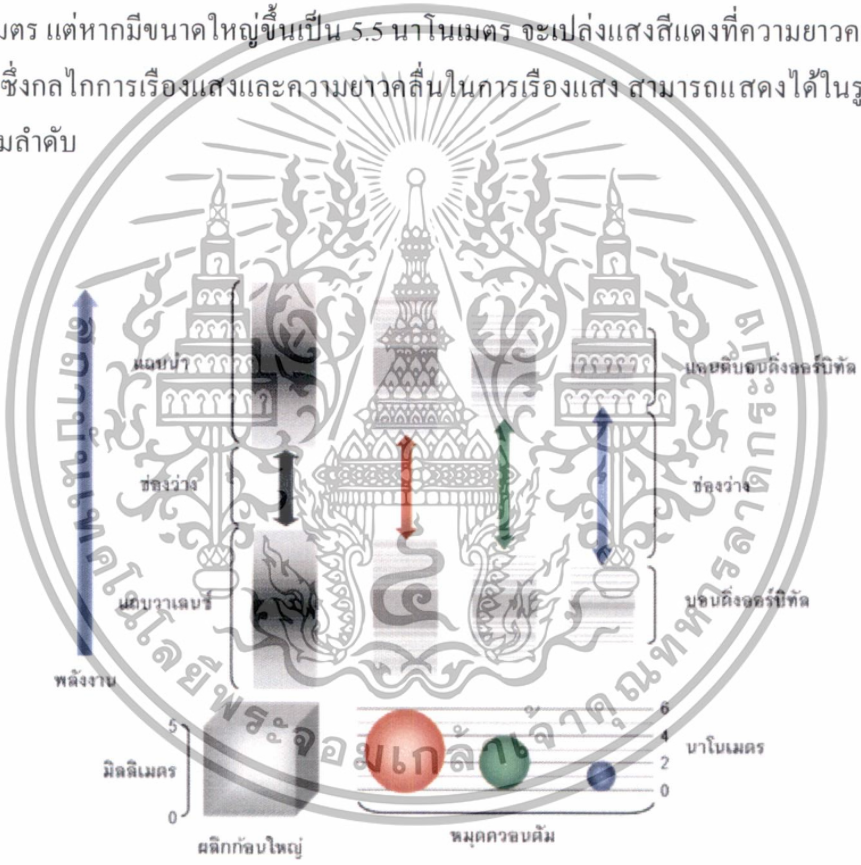
2.2.3 กลไกการเรืองแสงของควอนตัมดอท [14, 17]

เมื่ออนุภาคควอนตัมดอทได้รับการกระตุ้นด้วยพลังงานจากภายนอกที่เพียงพอ อิเล็กตรอนจะกระโดดจากชั้นนอกสุดที่มีอิเล็กตรอนอยู่ หรือที่เรียกว่า แถบวาเลนซ์ หรือ เวเลนซ์แบนด์ (Valence band) ไปสู่ชั้นว่างเปล่าที่เรียกว่า แถบนำ หรือ คอนดักชันแบนด์ (Conduction band) ทำให้เกิดหลุมบวก (Positively charged hole) ขึ้นในวาเลนซ์แบนด์ และในคอนดักชันแบนด์ก็จะมีจำนวนอิเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

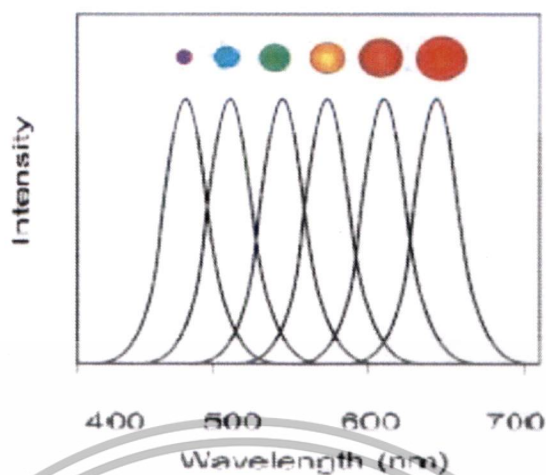
การเพิ่มขึ้นหรือการหายไปของอิเล็กตรอนในควอนตัมดอท จะส่งผลกระทบต่อระยะห่างระหว่างระดับพลังงานและคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งระยะห่างดังกล่าวนี้ เรียกว่า แบนด์แกป (Band gaps) เช่น ถ้าแบนด์แกป มีขนาดกว้างขึ้น การดูดกลืนแสง ก็จะเกิดในช่วงระดับพลังงานมากขึ้น หรือ ในช่วงความยาวคลื่นสั้นลง (Blue shift) ในทางตรงข้าม ถ้าแบนด์แกป มีขนาดแคบลง จะเกิดการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ยาวขึ้น (Red shift)

เมื่ออิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นตกกลับสู่สถานะพื้น จะเปล่งแสงฟลูออเรสเซนส์ โดยแสงที่เปล่งออกมาจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของควอนตัมดอท ซึ่งสามารถเปล่งแสงได้หลายสี ตัวอย่างเช่น แคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe) ที่มีขนาด 3 นาโนเมตร จะเปล่งแสงสีเขียวที่มีความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร แต่หากมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็น 5.5 นาโนเมตร จะเปล่งแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร ซึ่งกลไกการเรืองแสงและความยาวคลื่นในการเรืองแสง สามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนระดับพลังงานของควอนตัมดอทตามขนาดต่างๆ [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



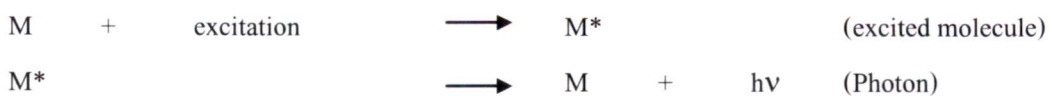
รูปที่ 2.4 แสดงความยาวคลื่นของการเรืองแสงของควอนตัมคอตตามขนาดต่างๆ [15]

2.3 หลักการของเทคนิคสเปกโทรฟลูออโรเมตรี

2.3.1 ลูมิเนสเซนซ์ (Luminescence) [18]

เป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลถูกกระตุ้นและมีการคายใน ทำให้โมเลกุลจากระดับชั้นพลังงานสถานะพื้น (Ground state) เคลื่อนที่ไปสู่ระดับชั้นพลังงานที่สูงขึ้น (Excited state) โมเลกุลที่มีการเคลื่อนที่ไปอยู่ในระดับของชั้นพลังงานที่สูงจะไม่มีเสถียร จึงมีการปลดปล่อยพลังงานในรูปของโฟตอน (Photon emission) และตกลงมาในชั้นระดับพลังงานที่ต่ำกว่า พลังงานที่โมเลกุลปลดปล่อยจากระดับชั้นพลังงาน ณ ค่าพลังงานที่กระตุ้นที่จำเพาะของสารแต่ละชนิด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ลูมิเนสเซนซ์”

ขั้นตอนของการเกิดปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์เป็นดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของการลูมิเนสเซนซ์ แบ่งตามแหล่งพลังงานกระตุ้น สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.3 [19]

ตารางที่ 2.3 แสดงประเภทของลูมิเนสเซนซ์

ประเภทของการลูมิเนสเซนซ์	แหล่งของพลังงานกระตุ้น
โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence)	อันตรกิริยากับโฟตอนของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า
1. ฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence)	
2. ฟอสฟอเรสเซนซ์ (Phosphorescence)	
เคมีลูมิเนสเซนซ์ (Chemiluminescence)	การทำปฏิกิริยาเคมี
เรดิโอลูมิเนสเซนซ์ (Radioluminescence)	อนุภาคที่มีพลังงานสูง
ไบโอลูมิเนสเซนซ์ (Bioluminescence)	การทำงานของเอนไซม์
เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (Thermoluminescence)	ความร้อน

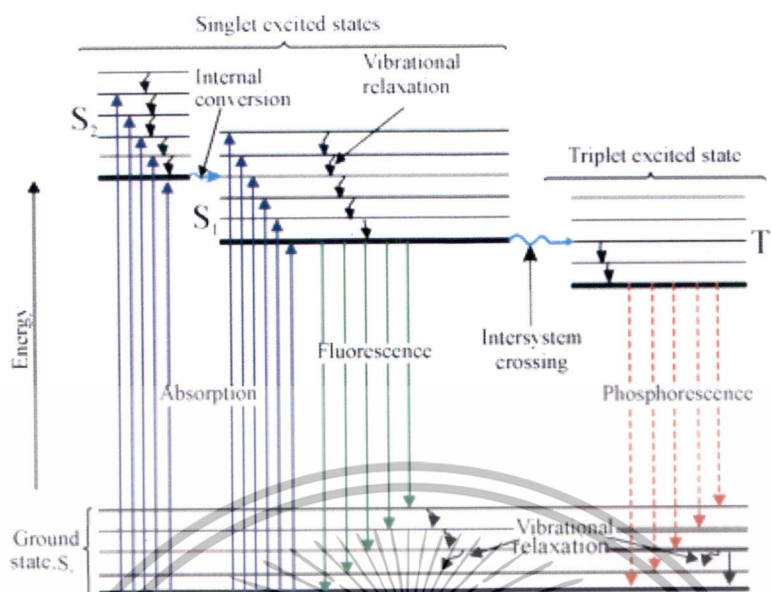
เนื่องจากลูมิเนสเซนซ์ประเภท โฟโตลูมิเนสเซนซ์นิยมนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีอย่างกว้างขวาง จึงขอกล่าวถึงหลักการ โดยละเอียดของลูมิเนสเซนซ์ประเภทนี้ ในหัวข้อต่อไป

โฟโตลูมิเนสเซนซ์ Photoluminescence

เป็น Emission process ที่เกิดจากอะตอมหรือโมเลกุลถูกกระตุ้นโดยการดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า แล้วกลับสู่ ground state โดยปล่อยพลังงานส่วนเกินในรูปของโฟตอน ถ้า Emission process เกิดขึ้นเกือบทันที ใช้เวลา 10^{-9} วินาที หรือน้อยกว่า เรียกว่า การวาวแสง หรือ ฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence) และถ้า Emission process ใช้เวลาในการเกิดมาก เป็นนาที่หรือ ชั่วโมง เรียกว่า การเรืองแสง หรือ ฟอสฟอเรสเซนซ์ (Phosphorescence)

กระบวนการเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์สามารถแสดงด้วย แผนภาพแสดงระดับพลังงาน (Jablonski's diagram) ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดง Jablonski's diagram [19]

หลังจากโมเลกุลดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตแล้ว โมเลกุลที่ถูกกระตุ้นจะกลับสู่สถานะพื้น โดยการลดพลังงานในกระบวนการที่เรียกว่า การลดการกระตุ้น (Deexcitation process หรือ Deactivation) สมมุติว่าโมเลกุลถูกกระตุ้นไปสู่สถานะกระตุ้น S₂ การที่โมเลกุลจะกลับลงมายู่สถานะพื้นนั้นต้องมีกลไกต่างๆ หลายขั้นตอน ถ้าโมเลกุลอยู่ในสารละลายจะสามารถลด Vibrational Energy ที่เกินด้วยการชนกับโมเลกุลของตัวทำละลาย กลายเป็นความร้อนโดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า Vibrational Relaxation (VR) ในขณะเดียวกันระดับพลังงาน Vibrational Energy จะลดต่ำลงมาอยู่ในชั้น Vibrational Energy ที่สูงที่สุดของ S₁ นั่นคือ S₂ พลังงานต่ำจะกลายเป็น S₁ พลังงานสูง เรียกว่าการเกิดกระบวนการ Internal Conversion (IC) กระบวนการลดพลังงานของทั้ง (VR) และ (IC) เกิดขึ้นรวดเร็ว (ประมาณ 10⁻¹² วินาที) โดยไม่มีการแผ่รังสี เมื่อโมเลกุลลงมาสู่ระดับพลังงาน S₁ ที่มีระดับพลังงานต่ำแล้วก็จะเกิด Deexcited ไปสู่ S₀ โดยมีการให้โฟตอนเรียกว่า เกิด ฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งเกิดรวดเร็วมาก (ประมาณ 10⁻⁹ - 10⁻⁷ วินาที)

สำหรับในกรณีที่มีโมเลกุลในสถานะกระตุ้น มีอิเล็กตรอนตัวหนึ่งอาจเกิดการ Spin กลับทาง (Reverse spin) ทำให้โมเลกุลนั้นจะเปลี่ยนจาก Singlet state ไปเป็น Triplet state โดยกระบวนการนี้ไม่มีการให้รังสีออกมา เรียกว่า Intersystem Crossing (ISC) ซึ่ง Triplet state นั้นจะมีพลังงานใกล้เคียงกับ singlet state เดิม หลังจาก que เปลี่ยนไปเป็น Triplet state (T₁) ที่มีพลังงานสูงแล้วเกิดกระบวนการ VR เพื่อลดพลังงานให้เป็น Triplet state (T₁) ที่มีพลังงานต่ำ แล้วเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการลดระดับพลังงานจาก T_1 ไปยัง S_0 โดยให้โฟตอนเกิดขึ้นเรียกว่า ฟอสฟอเรสเซนซ์ (Phosphorescence) ซึ่งจะใช้เวลายาวกว่าฟลูออเรสเซนซ์ (ประมาณ $10^{-3} - 10$ วินาที)

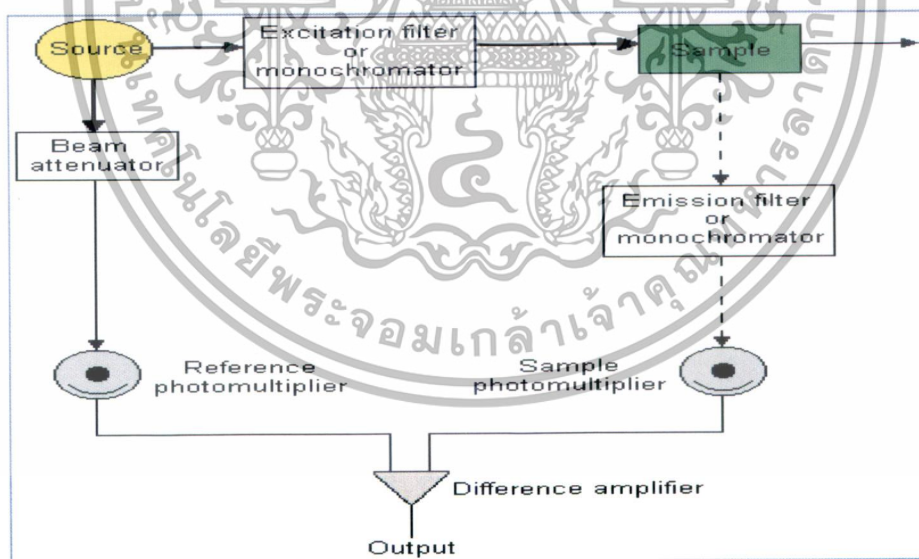
2.3.2 เครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์

เครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเรืองแสง สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. Filter fluorometer จะใช้ Filter เป็นตัวกรองแสง เหมาะสำหรับการวัดปริมาณที่ต้องการความไวสำหรับการวัดสารประกอบที่เฉพาะเจาะจง ง่ายในการใช้งานและราคาถูก

2. Spectrofluorometer จะใช้ Monochromator แทน Filter สามารถเลือกการใช้งานได้ที่ความยาวคลื่นหลายค่า การทำงานจึงสามารถตรวจสอบองค์ประกอบได้ในหลายความยาวคลื่น

ส่วนประกอบของเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ เป็นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบของเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Light Source

ทำหน้าที่ปล่อยแสงที่ความยาวคลื่นหนึ่งออกมาเพื่อกระตุ้นสารที่ต้องการวิเคราะห์ โดยแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้มีหลายชนิด ได้แก่ หลอดไฟซีนอน หลอด Mercury vapor เลเซอร์ และ LED

2. Filter and Monochromator

สเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์โดยทั่วไปจะใช้เกรตติง (Grating) เป็นโมโนโครเมเตอร์ ซึ่งสามารถเลือกใช้ความยาวคลื่นที่ต้องการสำหรับทำให้เกิดการกระตุ้น และเลือกใช้ความยาวคลื่นของฟลูออเรสเซนส์ที่จะใช้วัดได้ ลักษณะของฟิลเตอร์และเกรตติงก็เป็นแบบเดียวกันกับที่ใช้ในเครื่องยูวี-วิสิเบิล เพียงแต่ต่างกันที่มีสอง โมโนโครเมเตอร์ คือ Excitation monochromator และ Emission monochromator ซึ่งจะต้องอยู่ในตำแหน่ง 90 องศา ของกันและกัน

3. Sample cell or Cuvette

จะใช้ Quartz แต่ปัจจุบันมี Cuvette ที่ทำมาจากพลาสติก ซึ่งมีราคาถูกกว่า

4. Detector

ตัวตรวจวัดที่ใช้ใน ฟลูออโรมิเตอร์ มี 2 ชนิด คือ Photomultiplier Tube (PMT) และ Photodiode (PD)

5. Signal Processor and Data Read Out

สัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดจะผ่านเข้ากระบวนการอิเล็กทรอนิกส์แล้วแสดงผลออกมา อาจเป็นอย่างไรอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างก็ได้ ต่อไปนี้

- Meter or Digital Meter
- Recorder or Printer
- Computer or Microprocessor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 หลักการของ Stern – Volmer's Relationship [20]

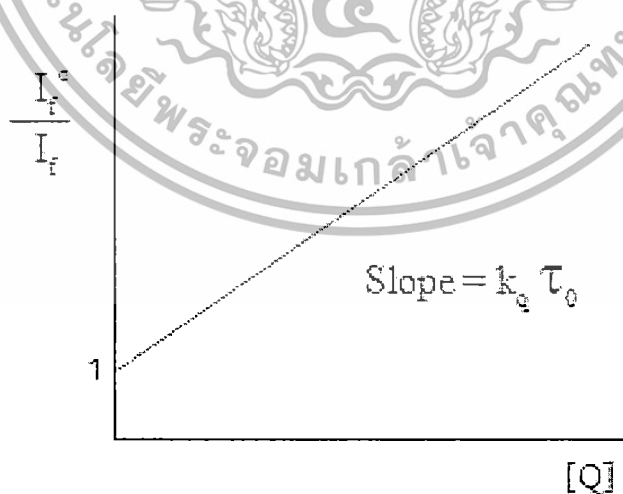
Stern-Volmer equation เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence intensity) กับความเข้มข้นของไอออนที่มีผลต่อการลดการเรืองแสง (Quencher) ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{I_f^0}{I_f} = 1 + k_q \tau_0 \cdot [Q] \quad (6)$$

เมื่อ

- I_f^0 คือ Fluorescence intensity เมื่อ ไม่มี Quencher [Q]
- I_f คือ Fluorescence intensity เมื่อมี Quencher [Q]
- k_q คือ The quencher rate coefficient
- τ_0 คือ Fluorescence lifetime ของสาร เมื่อไม่มี Quencher
- [Q] คือ ความเข้มข้นของ Quencher

จากสมการที่ (6) สามารถสร้างกราฟ Stern-Volmer ให้เป็นกราฟเส้นตรงได้ดังรูปที่ 2.7 โดยจุดตัดแกน y (y-intercept) จะเท่ากับ 1 เสมอ และสามารถประยุกต์ใช้กราฟและสมการเส้นตรงดังกล่าวในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative analysis) เพื่อหาความเข้มข้นของตัว Quencher ใดๆ ได้



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ตามสมการของ Stern – Volmer [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ซีควนเชียลอินเจกชันอะนาไลซิส (Sequential Injection Analysis, SIA) [21]

SIA เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารแบบต่อเนื่องซึ่งพัฒนาต่อมาจากเทคนิคของโฟลอินเจกชันอะนาไลซิส (Flow injection analysis หรือ FIA) โดยมีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงานของวาล์วและปั๊มในการหมุนเพื่อไหลของเหลวเข้าสู่ระบบ เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ให้ความแม่นยำและถูกต้องในการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงได้รับความนิยมนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิเคราะห์ด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านการแพทย์ เกษษกรรม อุตสาหกรรม สิ่งแวดล้อม การเกษตร และอื่นๆ

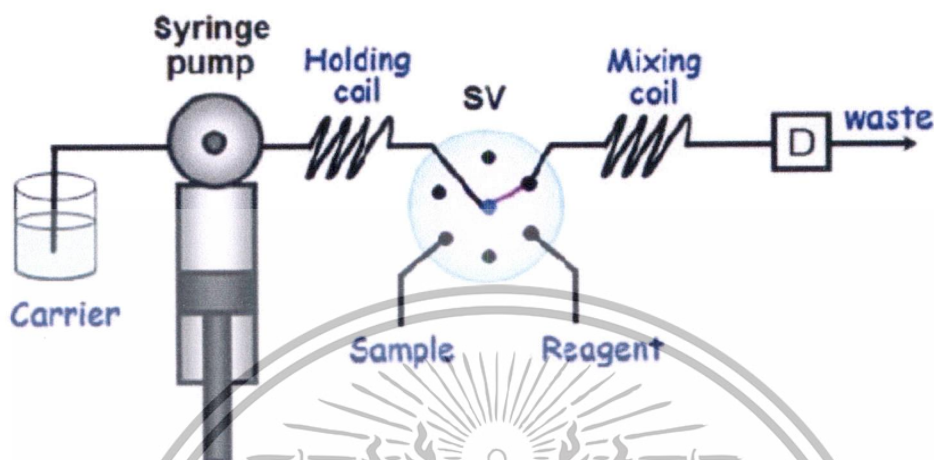
2.5.1 หลักการของ SIA

รูปที่ 2.8 แสดงระบบ SIA อย่างง่าย ซึ่งมีองค์ประกอบพื้นฐาน ดังต่อไปนี้

1. ระบบขับเคลื่อน (Propulsion system) จะทำให้เกิดการไหลของกระแสตัวพาไปยังส่วนต่างๆ ของระบบด้วยอัตราการไหลที่คงที่ ซึ่งอาจใช้ไซริงค์ปั๊ม (Syringe pump) เพียงอย่างเดียว หรือ อาจใช้ร่วมกับ เพอริสแตติก ปั๊ม (Peristaltic pump)
2. ระบบฉีด (Injection system) จะใช้ มัลติซีเล็คชันวาล์ว (Multi-selection valve) ซึ่งจะมีช่องตรงกลางทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างปั๊มกับช่องอื่นๆ ที่อยู่ล้อมรอบช่องตรงกลางเป็นวงกลม ช่องอื่นๆ นี้ อาจมีจำนวนช่องเป็น 4, 6 หรือ 8 ช่อง ช่องเหล่านี้จะต่อกับท่อสำหรับดูดสารละลายตัวอย่างและสารเคมีที่ใช้ทำปฏิกิริยา (รีเอเจนต์) เข้าสู่ระบบ นอกจากนี้ ช่องตรงกลางยังทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างปั๊มกับเครื่องตรวจวัด เพื่อเป็นเส้นทางนำส่งสารผลิตภัณฑ์เข้าสู่เครื่องตรวจวัดอีกด้วย
3. ระบบการผสม (Mixing system) ระบบของการผสมสารละลาย จะประกอบด้วย โสลดิงคอยล์ (Holding coil) และ มิกซิงคอยล์ (Mixing coil) ซึ่งสร้างขึ้นจากการนำท่อพลาสติกมาขดเป็นวงกลม (หรือ อาจขดเป็นรูปทรงเรขาคณิตอื่นๆ) โดยหลังจากที่สารละลายตัวอย่างและรีเอเจนต์ ถูกดูดผ่านวาล์วเข้ามาและพักเก็บไว้ที่ โสลดิงคอยล์ (Holding coil) จะทำให้ของเหลวทั้งหมดนี้เกิดการผสมกันเบื้องต้น (Pre - mixing) เมื่อท่อนโซนของเหลวทั้งหมดถูกผลักผ่านมิกซิงคอยล์ จะเกิดการผสมกันมากขึ้น เพราะโดยปกติ มิกซิงคอยล์ จะมีความยาวมากกว่า โสลดิงคอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

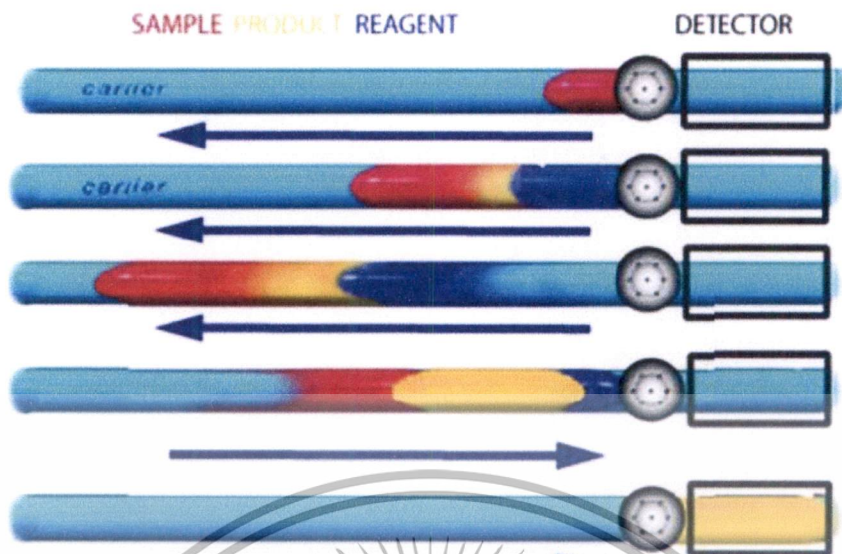
4. ระบบตรวจวัด (Detection system) จะใช้ โฟลทรูเซลล์ (Flow through cell) โดยบรรจุอยู่ในเครื่องตรวจวัด โฟลทรูเซลล์ นี้จะต้องมีรูปร่างลักษณะเหมาะสมกับชนิดของเครื่องตรวจวัดที่ใช้



รูปที่ 2.8 แสดงระบบการวิเคราะห์แบบซีเคาน์เชียนเจ็ลอินเจกชันอะนาลไลซิส (SV คือ มัลติซีเล็คชันวาล์ว (Multi- Selection Valve), D คือ ระบบตรวจวัด (Detector)) [22]

ในการทำงานของอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในระบบ SIA จะถูกควบคุมโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ก่อนการตรวจวัดจะมีการล้างระบบ จากนั้นมีการดูดและพักสารละลายตัวพา (Carrier solution) ไว้ที่ตำแหน่งโซลคิงคอยด์ โดยมีการใช้ปั๊มดูดเข้าสู่ระบบ ต่อจากนั้นจะมีการหมุนสับวาล์วซึ่งได้รับคำสั่งจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไปยังตำแหน่งของสารตัวละลายตัวอย่าง เพื่อดูดสารตัวอย่างเข้าสู่ระบบ ไปพักไว้ยังโซลคิงคอยด์ จากนั้นปั๊มจะหยุดทำงาน เมื่อมีการหมุนสับวาล์วอีกครั้ง ไปยังตำแหน่งรีเอเจนต์เพื่อดูดสารตัวอย่างเข้าสู่ระบบ ไปพักที่โซลคิงคอยด์ ซึ่งมีห้องโซนของสารตัวอย่างถูกเก็บไว้ก่อนหน้านี้แล้ว จากนั้นปั๊มจะทำงานอีกครั้งโดยผลักโซนของสารตัวอย่างและ โซนของรีเอเจนต์ไปยังมิกซ์ซิงคอยด์ เกิดเป็น โซนของสารผลิตภัณฑ์เกิดขึ้น ในขั้นตอนสุดท้ายจะมีการหมุนสับวาล์วไปยังตำแหน่งที่จะผลักสารละลายทั้งหมด รวมถึงสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไปยังดีเทคเตอร์เพื่อทำการตรวจวัดต่อไป ขั้นตอนการทำงานทั้งหมดดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9) แสดงการเคลื่อนที่ของสารภายในท่อ [22]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยที่ใช้วิธีมาตรฐานในการตรวจวัดปรอท

M. Tuzen และคณะ [23] ได้พัฒนาการตรวจวัดปริมาณปรอท (II) และ ปรอทอินทรีย์ (Methyl mercury) ในน้ำตัวอย่างและตัวอย่างเนื้อปลา โดยใช้การสกัดแบบวัฏภาคของแข็งร่วมกับเทคนิค Cold Vapour Atomic Absorption Spectrometry ใช้คอลัมน์ชนิด Staphylococcus Aureus Loaded Dowex Optipore V-493 สารละลายที่ใช้เป็นตัวชะ จะใช้เป็น กรดไฮโดรคลอริก 0.1 และ 2.0 โมลต่อลิตร สำหรับ ปรอทอินทรีย์ และ ปรอท (II) ตามลำดับ โดยมีช่วง pH ระหว่าง 2 - 6 ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม พบว่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเป็น 2.5 และ 1.7 นาโนกรัมต่อลิตร สำหรับปรอท (II) และ ปรอทอินทรีย์ ตามลำดับ ซึ่งวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ได้กับการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำตามธรรมชาติ และตัวอย่างเนื้อปลาที่ผ่านการย่อยด้วยไมโครเวฟ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

A.Q. Shah และคณะ [24] ได้พัฒนาการตรวจวัดปริมาณปรอททั้งหมดในเนื้อเยื่อต่างๆของไก่ย่าง โดยใช้การสกัดแบบ Cloud point ร่วมกับเทคนิค Cold Vapour Atomic Absorption Spectrometry เพื่อใช้ในการตรวจวัดปรอททั้งหมด โดยชิ้นส่วนของไก่ (ขา ออ ตับ และหัวใจ) จะผ่านการย่อยด้วยไมโครเวฟที่มีกรดไนตริกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในอัตราส่วน 2 : 1 ก่อนเข้าสู่กระบวนการ Preconcentration ด้วย CPE และประเมินคุณลักษณะเด่นของวิธีที่พัฒนาขึ้นโดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้วัสดุอ้างอิงมาตรฐาน (DORM-2) พบว่าการเปรียบเทียบโดยใช้ Paired *t*-test ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จีตจำกัดค่าสูงสุดของการตรวจวัดและการวิเคราะห์เป็น 0.117 และ 0.382 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณปรอทที่ตรวจพบอยู่ในช่วง 1.57 – 2.75, 1.40 – 2.27, 1.55 – 4.22 และ 1.39 – 2.61 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับขา ออก ตับ และหัวใจตามลำดับ

F. Ubillús [25] และ A.Q. Shah และคณะ [26] ได้ศึกษาพัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาณปรอทอินทรีย์ (Methyl mercury) และปรอทอนินทรีย์ (Inorganic mercury) ในตัวอย่างปลา โดยใช้เทคนิค Cold Vapour Atomic Absorption Spectrometry โดยอาศัยกระบวนการรีดักชันด้วย Stannous chloride และ Sodium tetrahydroborate ตามลำดับ โดยตัวอย่างจะถูกย่อยด้วยเบสก่อนเข้าสู่ระบบตรวจวัด สำหรับงานวิจัยของ F. Ubillús และคณะ พบว่าสามารถวิเคราะห์ปรอทใน Reduction vessel ได้ในช่วง 10 - 200 นาโนกรัม มีจีตจำกัดค่าสูงสุดของการตรวจวัดเป็น 125 และ 183 นาโนกรัมต่อกรัม สำหรับปรอทอนินทรีย์และปรอทอินทรีย์ตามลำดับ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เป็น 9.8 และ 10.1 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปรอทอนินทรีย์และปรอทอินทรีย์ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอ้างอิงพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และงานวิจัยของ A.Q. Shah และคณะ พบว่ามีจีตจำกัดค่าสูงสุดของการตรวจวัดเป็น 0.117 และ 0.133 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับปรอทอินทรีย์และปรอทอนินทรีย์ตามลำดับ สามารถวิเคราะห์ปรอทได้ในช่วง 28.4 – 56.3 และ 3.01 – 8.11 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับปรอทอินทรีย์และปรอทอนินทรีย์ตามลำดับ

N. Pourreza และคณะ [27] ได้พัฒนาการตรวจวัดปริมาณปรอทโดยใช้การสกัดแบบวัฏภาคของแข็งที่มีซัลเฟอร์รับบรรจุด้วย N-(2-chlorobenzoyl)-N'-phenylthiourea เป็นตัวดูดซับร่วมกับเทคนิค Cold Vapour Atomic Absorption Spectrometry โดยมีกรดไนตริก 3 โมลต่อลิตร เป็นตัวชะและตรวจวัดด้วยเทคนิค CVAAS ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม พบว่ามีช่วงความเป็นเส้นตรง 0.02–1.20 ไมโครกรัมต่อลิตร $r = 0.9991$ จีตจำกัดค่าสูงสุดของการตรวจวัดเป็น 0.012 และ 0.003 ไมโครกรัมต่อลิตรเมื่อใช้ปริมาตรของสารตัวอย่างเป็น 250 และ 1000 มิลลิลิตร ตามลำดับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สำหรับปรอท (II) ความเข้มข้น 0.04 และ 1.00 ไมโครกรัมต่อลิตรเป็นร้อยละ 3.9 และ 1.2 ตามลำดับ วิธีการนี้นำไปประยุกต์ใช้ตรวจวัดปรอทในน้ำตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 งานวิจัยที่ใช้ฟลูออโรฟออร์ (Fluorophore) ในการตรวจวัดปรอท

L. Feng และคณะ [28] ได้พัฒนาการตรวจคัดกรองปริมาณปรอทโดยใช้ฟลูออเรสเซนซ์เซนเซอร์ที่มีความเฉพาะเจาะจงสูง โดยเคโมเซนเซอร์เตรียมขึ้นจาก กรด 2, 6 - pyridinedicarboxylic และ *N, N* - biethylamine - perylene - 3,4,9,10 - tetracarboxylic bisimides ภายใต้สภาวะที่มีคลื่นรังสีไมโครเวฟ พบว่าเคโมเซนเซอร์นี้มีความเฉพาะเจาะจงและไวต่อปรอทมาก การตรวจวัดสามารถติดตามการเพิ่มขึ้นและลดลงของสัญญาณได้ที่ความความคลื่น 365 และ 577 นาโนเมตร ตามลำดับ ภายใต้สภาวะที่มีฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 สามารถวิเคราะห์ได้ในช่วง $(0.1 - 2.0) \times 10^{-5}$ โมลต่อลิตร มีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเป็น 1.0×10^{-8} โมลต่อลิตร

H. J. Kim และคณะ [29] ได้พัฒนาการใช้ Fluorescein-coumarin ในการวิเคราะห์ปริมาณปรอท โดยอาศัยปฏิกิริยาระหว่าง Dichlorofluorescein กับ Piperazinyl-coumarin moiety พบว่าเซนเซอร์ที่ได้มีความเฉพาะเจาะจงต่อปรอทสูง โดยมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดของสารละลายจากสีเขียวไปเป็นสีชมพู มีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเป็น 4.3×10^{-6} โมลต่อลิตร

N. Aksuner และคณะ [30] ได้พัฒนาการใช้อนุพันธ์ของ Triazine-thione เป็นฟลูออเรสเซนซ์เซนเซอร์สำหรับการตรวจวัดปริมาณปรอท ได้ทำการสังเคราะห์ 4 - ethyl - 5 - hydroxyl - 5, 6 - di - pyridin - 2 - yl - 4, 5 - dihydro -2H - [1, 2, 4] triazine - 3 - thione ขึ้นซึ่งพบว่ามีเฉพาะเจาะจงต่อปรอทสูง โดยสามารถวิเคราะห์ปริมาณปรอทได้ในช่วง 5.0×10^{-10} - 5.0×10^{-5} โมลต่อลิตร มีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเป็น 1.8×10^{-10} โมลต่อลิตร และได้นำเซนเซอร์นี้ไปใช้ในตัวอย่างน้ำประปาและเส้นผม และประเมินความน่าเชื่อถือของวิธีนี้กับ CV-AFS

Y. Yu และคณะ [31] ได้พัฒนาการใช้ *p* - Dimethylaminobenzaldehyde thiosemicarbazone เป็นฟลูออเรสเซนซ์เซนเซอร์ที่มีความไวและเฉพาะเจาะจง สำหรับการตรวจวัดปริมาณปรอท โดยฟลูออโรฟออร์ที่ได้มีการคายแสงในช่วงความยาวคลื่น 448 นาโนเมตร สามารถวิเคราะห์ปรอทได้ในช่วง $0 - 5.77 \times 10^{-6}$ โมลต่อลิตร และมีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเป็น 7.7×10^{-7} โมลต่อลิตร

2.6.3 งานวิจัยที่ใช้ควอนตัมดอทและอนุภาคนาโนในการตรวจวัดปรอท

C. Wang และคณะ [32] ได้พัฒนาการตรวจวัดปรอท (II) โดยอาศัยฟลูออเรสเซนซ์ฟิล์มที่สร้างขึ้นจากแคดเมียมเทลลูไรด์ควอนตัมดอทเคลือบพื้นผิวด้วยเมอร์แคปโตซัคซินิกแอซิด (MSA) นำมาหยดลงบนสไลด์และทำปฏิกิริยากับโพลิไคเมทิลไดอัลทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (PDDA) จากนั้นนำฟิล์มที่สร้างขึ้นไปใช้ในการตรวจวัดปรอทโดยอาศัยกระบวนการ เควนซิง (Quenching) ที่ความยาวคลื่นแสงการกระตุ้นและการคายแสงเป็น 360 และ 590 นาโนเมตร ตามลำดับ พบว่าสามารถใช้ในการตรวจวัดปรอทได้ในช่วงความเข้มข้น 0.01 – 1.00 ไมโครโมล ต่อลิตร

Z. X. Cai และคณะ [33] ได้พัฒนาการเตรียม ศึกษาคุณลักษณะ และประเมินความเป็นไปได้ในการใช้อุภาคนาโนแคดเมียมซัลไฟด์เคลือบผิวด้วยซิสเทอีน (L-cysteine) ตรวจวัดปริมาณปรอท (II) โดยเตรียมแคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่มีการเคลือบผิวด้วยซิสเทอีน (L-cysteine) ขึ้นที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้อัตราส่วนโมลลาร์ $CdCl_2 : Na_2S : L-cysteine = 1 : 0.25 : 3$ และนำมาใช้ในการตรวจวัดปรอท (II) ที่ความยาวคลื่นแสงการกระตุ้นและการคายแสงเป็น 360 และ 495 นาโนเมตร ตามลำดับ พบว่าในช่วงความเป็นเส้นตรง 16-122 นาโนโมลต่อลิตร และขีดจำกัดการตรวจวัดเป็น 2.4 นาโนโมลต่อลิตร

N. Bi และคณะ [34] ได้พัฒนาการตรวจวัดปริมาณปรอทด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยใช้แท่งทองคำระดับนาโน พบว่าแท่งทองคำระดับนาโนจะเกิดการรวมตัวเมื่อมี Dithiothreitol แต่อย่างไรก็ตาม Dithiothreitol จะเกิดการ โคออดิเนต กับปรอท (II) เกิดเป็นพันธะ โควาเลนต์ของ Hg – S และสามารถยับยั้งการรวมตัวได้ การตรวจวัดจะอาศัยอัตราส่วนความแตกต่างระหว่างการดูดกลืนแสงของสองความยาวคลื่นที่เป็นสัดส่วน โดยตรงกับความเข้มข้นของปรอท พบว่าสามารถตรวจวัดได้ในช่วงความเข้มข้น 1-50 นาโนโมลต่อลิตร โดยมีขีดจำกัดค่าสูงสุดของการตรวจวัดเป็น 0.42 นาโนโมลต่อลิตร โดยวิธีนี้มีความเฉพาะเจาะจงสูงและสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างได้

N. Vasimalai และคณะ [35] ได้พัฒนาการใช้อุภาคนาโนเงินระดับนาโนที่มีการเคลือบพื้นผิวด้วย Mercaptothiadiazole ในการเป็นเคโมเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดปรอท ได้ทำการหาสารที่มีความเฉพาะเจาะจงและมีความไวในการตรวจวัดปรอท โดยใช้สารในกลุ่ม Mercaptothiadiazole ได้แก่ 2, 5- dimercapto - 1, 3, 4 - thiadiazole (DMT), 2- mercapto - 5 - methyl -1, 3, 4 -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

thiadiazole (MMT) และ 2 - mercapto - 5 - amino -1, 3, 4 - thiadiazole (AMT) เคลือบบนพื้นผิวของอนุภาคเงิน พบว่าการใช้ DMT จะให้สารที่มีความเสถียรและมีความเข้มแสงสูงกว่าสารอื่นๆ โดยมีค่าการดูดกลืนแสงและการคายแสงเป็น 400 และ 677 นาโนเมตรตามลำดับ พบว่าเมื่อปริมาณของปรอทเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความเข้มแสงลดลงเนื่องจากเกิดการรวมตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน วิธีการนี้สามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดปรอทได้โดยมีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเป็น 1.0 พิกโตกรัมต่อลิตร และสามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดน้ำตัวอย่างได้โดยให้ผลวิเคราะห์สอดคล้องกับเทคนิค ICP-AES

M. Koneswaran และคณะ [36] ได้พัฒนาการตรวจวัดปริมาณปรอท (II) โดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่มีการเคลือบพื้นผิวด้วยเมอร์แคปโตอะซิติก แอซิด (Mercaptoacetic acid) พบว่าควอนตัมดอทที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นมีความสัมพันธ์กับไอออนของปรอทซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันของ Capping agent โดยการตรวจวัดปรอทนี้จะอาศัยการควENCHING (Quenching) ของควอนตัมดอท ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมพบว่าความเข้มแสงของควอนตัมดอทจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของปรอทในช่วง 0.05×10^{-7} - 4.0×10^{-7} โมลต่อลิตร มีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเป็น 4.2×10^{-9} โมลต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตัวย้อมชนิดสารอินทรีย์ พบว่าควอนตัมดอทมีความสว่างและคงทนต่อแสงมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าควอนตัมดอทนี้มีความเฉพาะเจาะจงต่อปรอทสูงอีกด้วย

J. Pei และคณะ [37] ได้พัฒนาการสังเคราะห์แคดเมียมเทลลูไรด์ควอนตัมดอทที่มีการเคลือบพื้นผิวด้วย Cysteamine และประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณปรอท และพบว่าค่าการเรืองแสงของควอนตัมดอทจะลดลงเมื่อมีทองแดง (II) และ ปรอท (II) ดังนั้นในการตรวจวัดปรอทจึงจำเป็นต้องมีการกำจัดคาร์บอนเนื่องจากไอออนของทองแดง โดยใช้ไซยาไนด์ไอออน (CN⁻) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม สามารถตรวจวัดปรอทได้ในช่วง 0.08 - 3.33 ไมโครโมลต่อลิตร มีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเป็น 0.07 ไมโครโมลต่อลิตร

A.N. Liang และคณะ [38] ได้พัฒนาการตรวจวัดปริมาณปรอทโดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์ที่มีการเคลือบพื้นผิวด้วยกลูตาไธโอน (Glutathione) การตรวจวัดจะอาศัย Synchronous Fluorescence Spectroscopy (SFS) พบว่า Synchronous Fluorescence มีค่าสูงสุดที่ความยาวคลื่น 335 นาโนเมตร ซึ่งได้มาจากการใช้ความยาวคลื่นในการกระตุ้นและการเรืองแสงเป็น 260 และ 440 นาโนเมตร ($\Delta\lambda = \lambda_{em} - \lambda_{ex} = 180$ นาโนเมตร) ตามลำดับ ความเข้มแสงจะถูก Quenched มากขึ้นตามความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นของปรอทซึ่งสามารถตรวจวัดได้ในช่วง $0.15 \times 10^{-7} - 125 \times 10^{-7}$ โมลต่อลิตร มีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเป็น 4.5×10^{-9} โมลต่อลิตร

Y.Q. Wang และคณะ [39] ได้พัฒนาการตรวจวัดปริมาณปรอทโดยใช้แคดเมียมเทลลูไรด์ควอนตัมดอทที่มีการเคลือบพื้นผิวด้วย Denatured ovalbumin เพื่อตัดแปลงพื้นผิวของ 3-mercaptopropionic acid (MPA) CdTe Quantum Dots (QDs) เพื่อป้องกันการยึดติดของแคทไอออนอื่นๆ (Cations) บนควอนตัมดอท และช่วยเพิ่มความเฉพาะเจาะจงในการยึดติดกับปรอท (II) การตรวจวัดจะอาศัย Synchronous Fluorescence Spectroscopy (SFS) พบว่า Synchronous fluorescence มีค่าสูงสุดที่ความยาวคลื่น 328 นาโนเมตร ซึ่งได้มาจากการใช้ความยาวคลื่นในการกระตุ้นและการเรืองแสงเป็น 250 และ 470 นาโนเมตร ($\Delta\lambda = \lambda_{em} - \lambda_{ex} = 220$ นาโนเมตร) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม สามารถวิเคราะห์ปรอทได้ในช่วง $0.08 \times 10^{-7} - 30.0 \times 10^{-7}$ โมลต่อลิตร มีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเป็น 4.2×10^{-9} โมลต่อลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการวิเคราะห์ที่ความเข้มข้น 2.0×10^{-7} และ 20.0×10^{-7} โมลต่อลิตร เป็น 2.8 และ 2.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

Y.-S. Xia และคณะ [40] ได้พัฒนาการตรวจวัดปริมาณปรอทโดยใช้แคดเมียมเทลลูไรด์ควอนตัมดอทที่มีการตัดแปลงพื้นผิวด้วย Thioglycolic acid (TGA) และเมื่อทำปฏิกิริยากับแคทไอออน พบว่าปรอท (II) ทองแดง (II) และเงิน (I) สามารถเกิดการ Quench ของควอนตัมดอทได้ โดยทองแดงและเงินจะเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวของอนุภาคแต่ไม่ทำให้ควอนตัมดอทเกิด Hole ในขณะที่ปรอทจะเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างลิแกนด์กับปรอท ดังนั้นจึงมีการเคลือบพื้นผิวอนุภาค TGA-CdTe QDs ด้วย Denatured Bovine Serum Albumin (dBSA) เพื่อป้องกันการยึดติดของแคทไอออนอื่นๆ (Cations) บนควอนตัมดอท พบว่าสามารถตรวจวัดปรอทได้ในช่วง $0.012 \times 10^{-6} - 1.5 \times 10^{-6}$ โมลต่อลิตร มีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเป็น 4.0×10^{-9} โมลต่อลิตร

J. Duan และคณะ [41] ได้พัฒนาฟลูออเรสเซนซ์เซนเซอร์สำหรับการตรวจวัดปริมาณปรอทโดยใช้ซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่มีการตัดแปลงพื้นผิวด้วยอะเซทิลซิสเตอีน (N-acetyl-L-cysteine) การวิเคราะห์ปริมาณปรอทจะอาศัยการเกิดกระบวนการควENCHING ของควอนตัมดอทเนื่องจากปรอท ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม พบว่าวิธีนี้มีความไวและความเฉพาะเจาะจงในการตรวจวัดสูง โดยสามารถตรวจวัดปริมาณปรอทได้ในช่วง $0 - 2.4 \times 10^{-6}$ โมลต่อลิตร มีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเป็น 5.0×10^{-9} โมลต่อลิตร นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีการรบกวนการตรวจวัดเนื่องจากไอออนอื่นๆ เกิดขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับตัวอย่างน้ำได้

2.6.4 งานวิจัยที่ใช้เทคนิคที่อาศัยการไหลในการตรวจวัดปรอท

L.O. Leal และคณะ [42] ได้พัฒนาการตรวจวัดปริมาณปรอทโดยอาศัยระบบ Multisyringe Flow Injection ร่วมกับเทคนิค Cold - Vapor Atomic Absorption Spectrometry สารตัวอย่าง สารรีดิวซ์ (1.1 % SnCl₂ ใน 3 % HCl) และสารละลายตัวพา carrier (3% HCl) ในปริมาตรที่แน่นอน จะถูกส่งเข้าสู่ Separation cell โดย Multisyringe burette ที่เชื่อมต่อกับ Three - way solenoid valve แก๊สอาร์กอนจะเป็นตัวขับเคลื่อนปรอทที่ผ่านการรีดิวซ์เข้าสู่ระบบตรวจวัด (Spectrometer) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมสามารถวิเคราะห์ปรอทได้ในช่วง 50–5000 นาโนกรัมต่อลิตร มีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเป็น 5 นาโนกรัมต่อลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ในการวิเคราะห์ปรอท ความเข้มข้น 250 นาโนกรัมต่อลิตร เป็น 1.4 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการนำสารเข้าสู่ระบบและวิเคราะห์เป็น 44 และ 11 ตัวอย่างต่อชั่วโมง ตามลำดับ

O. Wurl และคณะ [43] ได้พัฒนาระบบที่อาศัยการไหลในการตรวจวัดปริมาณปรอทรวม (total mercury) ในน้ำทะเล โดยใช้ระบบที่อาศัยการไหลร่วมกับเทคนิค Cold Vapour Atomic Absorption Spectrometry (CVAAS) จากการออกแบบ Manifold และศึกษาสภาวะที่เหมาะสม พบว่ากราฟมาตรฐานเป็น $p = 0.039 c + 0.0813$ (p คือ พื้นที่พีค และ c คือ ความเข้มข้น) $r = 0.9996$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ในการวิเคราะห์ปรอทความเข้มข้น 0.5 นาโนกรัมต่อลิตร เป็น 3.8 เปอร์เซ็นต์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ในการทำซ้ำ (Reproducibility) ที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมงเป็น 6.2 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์การวิเคราะห์ที่คืนกลับมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาในการวิเคราะห์ 6 นาทีต่อตัวอย่าง

Y. Zhang และคณะ [44] ได้พัฒนาการตรวจวัดปริมาณปรอทโดยอาศัยระบบ Sequential injection ร่วมกับเทคนิค Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry พบว่าวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มี อัตราการ Sampling 180 สารต่อชั่วโมง มีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเป็น 0.2 – 0.3 นาโนกรัมต่อ มิลลิลิตร สามารถวิเคราะห์ปรอทได้ในช่วง 0 – 60 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ใช้ปริมาตรสารตัวอย่าง 0.2 – 0.6 มิลลิลิตร โลหะอื่นๆ ไม่ส่งผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์ การวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนดินและ วัสดุอ้างอิงมีเปอร์เซ็นต์การวิเคราะห์ที่คืนกลับเฉลี่ย 101.2 เปอร์เซ็นต์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ในการวิเคราะห์วัสดุอ้างอิงเป็น 1.8 เปอร์เซ็นต์

D. G. da Silva และคณะ [45] ได้พัฒนาการตรวจวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างข้าวโดยใช้เทคนิค Cold Vapour Atomic Fluorescence Spectrometry โดยอาศัยระบบ MSFIA สารตัวอย่างจะผ่านการย่อยด้วยกรดไนตริกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การวิเคราะห์จะอาศัย external calibration พบว่าการวิเคราะห์มีขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดและการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเป็น 0.48 และ 1.61 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ในการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวที่มีปรอทความเข้มข้น 3.63 และ 5.81 นาโนกรัมต่อกรัม เป็น 3.28 และ 1.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้วัสดุอ้างอิงมาตรฐาน กำจัดการรบกวนจากกรดไนตริกและไนตรัสออกไซด์ด้วยโพแทสเซียมไดโครเมต การประยุกต์ใช้กับตัวอย่างข้าวที่เก็บจาก Palma de Mallorca ประเทศสเปน ในช่วงมกราคมถึงเมษายน 2012 พบปริมาณปรอทในช่วง 2.15 - 7.25 นาโนกรัมต่อกรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ปริมาณปรอท

เทคนิค	ตัวอย่าง	คุณลักษณะเด่นในการวิเคราะห์ (Analytical performances)					หมายเหตุ	อ้างอิง
		ช่วงความเป็น เส้นตรง	LOD	% RSD	% Recovery	อัตราการ ตรวจวัด		
CV - AAS	น้ำธรรมชาติ และเนื้อปลา	-	ปรอท (II) 2.5 ng L^{-1} ปรอทอินทรีย์ 1.7 ng L^{-1}	< 6	94 - 99	-	ใช้ Solid Phase Extraction ในการแยก Analyte	[23]
	ชิ้นส่วน ต่างๆ ของไก่	$0 - 10 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$	$0.117 \text{ } \mu\text{g/kg}$	4.6	> 99	-	ใช้ Could Point Extraction ในการแยก Analyte	[24]
	เนื้อปลา	10 - 200 ng	ปรอทอนินทรีย์ 125 ng g^{-1} ปรอทอินทรีย์ 183 ng g^{-1}	< 10	76 - 122	-	-	[25]
	เนื้อปลา	ปรอทอนินทรีย์ $3.01 - 8.11 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ ปรอทอินทรีย์ $28.4 - 56.3 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$	ปรอทอนินทรีย์ $0.133 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ ปรอทอินทรีย์ $0.117 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$	< 4	99 - 101	-	ตัวอย่างจะถูกย่อยด้วยเบส ก่อนการตรวจวัด	[26]
	น้ำทะเล	$0.02 - 1.20 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$	$0.012 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ (ตัวอย่าง 250 mL) $0.003 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ (ตัวอย่าง 1000 mL)	< 4	95 - 103%	-	ใช้ Solid Phase Extraction ในการแยก Analyte	[27]

เทคนิค	ตัวอย่าง	คุณลักษณะเด่นในการวิเคราะห์ (Analytical performances)					หมายเหตุ	อ้างอิง
		ช่วงความเป็นเส้นตรง	LOD	% RSD	% Recovery	อัตราการตรวจวัด		
Fluorometry using fluorophore / organic dye	-	$(0.1-2.0) \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$	$1.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$	-	-	-	ใช้ Dimethyl Sulfoxide (DMSO) เป็นตัวทำละลาย	[28]
	น้ำธรรมชาติ	$0- 2.0 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$	$4.3 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$	-	-	-		[29]
	น้ำประปา และเส้นผม	$5.0 \times 10^{-10} - 5.0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$	$1.8 \times 10^{-10} \text{ mol L}^{-1}$	-	-	-	% Relative error < 5	[30]
	-	$0 - 5.77 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$	$7.7 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$	-	-	-	S.D. = 27.83	[31]

เทคนิค	ตัวอย่าง	คุณลักษณะเด่นในการวิเคราะห์ (Analytical performances)					หมายเหตุ	อ้างอิง
		ช่วงความเป็นเส้นตรง	LOD	% RSD	% Recovery	อัตราการตรวจวัด		
Fluorometry using QDs / NPs	-	0.01 – 1 $\mu\text{ mol L}^{-1}$	-	-	-	-	การสังเคราะห์ QDs จะมีการฟั่น N_2 และรีฟลักซ์ ที่ 100 องศาเซลเซียส การตรวจวัดจะแช่ฟิล์มลงในสารตัวอย่างนาน 3 ชั่วโมงก่อนทำให้แห้งและตรวจวัด	[32]
	Synthetic water samples	16-122 n mol L ⁻¹	2.4 n mol L ⁻¹	-	92 - 95	-	การสังเคราะห์ QDs จะมีการฟั่น Ar	[33]
	น้ำประปา แม่น้ำ และ ทะเลสาบ	1-50 n mol L ⁻¹	0.42 n mol L ⁻¹	< 4.4	92.8 - 102.0	-	การสังเคราะห์อนุภาคจะต้องทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงก่อนกำจัดส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา	[34]

เทคนิค	ตัวอย่าง	คุณลักษณะเด่นในการวิเคราะห์ (Analytical performances)					หมายเหตุ	อ้างอิง
		ช่วงความเป็นเส้นตรง	LOD	% RSD	% Recovery	อัตราการตรวจวัด		
Fluorometry using QDs / NPs	น้ำทิ้ง และ น้ำประปา	10–100 pmol L ⁻¹	1.0 pg L ⁻¹	< 2	98.2 - 104.5		-	[35]
	-	0.05×10 ⁻⁷ - 4.0×10 ⁻⁷ mol L ⁻¹	4.2×10 ⁻⁹ mol L ⁻¹	3.2	-		พ่น N ₂ ตลอดการสังเคราะห์	[36]
	-	0.08–3.33 μmol L ⁻¹	0.07 μmol L ⁻¹	< 10			ให้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ข้ามคืน	[37]
	น้ำบาดาล และ ทะเลสาบ	0.15×10 ⁻⁷ - 125×10 ⁻⁷ mol L ⁻¹	4.5×10 ⁻⁹ mol L ⁻¹	< 2.5	≈ 100		พ่น N ₂ ตลอดการสังเคราะห์	[38]
	น้ำประปา และ ทะเลสาบ	0.08 x 10 ⁻⁷ - 30.0 x 10 ⁻⁷ mol L ⁻¹	4.2 x 10 ⁻⁹ mol L ⁻¹	< 3	99.6–102.6		พ่น N ₂ ตลอดการสังเคราะห์ และมีการรีฟลักซ์	[39]
	น้ำพุ และ หนองน้ำ	0.012x 10 ⁻⁶ – 1.5 x 10 ⁻⁶ mol L ⁻¹	4.0 x 10 ⁻⁹ mol L ⁻¹	1.6	103 - 109			[40]
	น้ำประปา และน้ำพุ	0 - 2.4 x 10 ⁻⁶ mol L ⁻¹	5.0 x 10 ⁻⁹ mol L ⁻¹	< 3.0	94.5 – 101.3		ให้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง	[41]

เทคนิค	ตัวอย่าง	คุณลักษณะเด่นในการวิเคราะห์ (Analytical performances)					หมายเหตุ	อ้างอิง
		ช่วงความเป็นเส้นตรง	LOD	% RSD	% Recovery	อัตราการตรวจวัด		
Flow injection - CVAAS	เนื้อปลา	50–5000 ng L ⁻¹	5 ng L ⁻¹	1.4	-	11 h ⁻¹	[42]	
	น้ำทะเล	0.5 – 5 ng L ⁻¹	0.5 ng L ⁻¹	<7	> 90	10 h ⁻¹	[43]	
	ตะกอนจากทะเลสาบและแม่น้ำ	0–60 ng mL ⁻¹	0.2–0.3 ng mL ⁻¹	1.8	101.2	-	[44]	
Flow injection - CVAFS	ข้าว	0 - 10.0 µg L ⁻¹	0.48 ng g ⁻¹	< 4	96 - 99	-	[45]	

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1. สารเคมี

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	ความบริสุทธิ์ (%)	ยี่ห้อและประเทศผู้ผลิต
ซิงค์อะซิเตต (Zinc acetate)	$Zn(Ac)_2 \cdot 2H_2O$	98.0 -101.0	Merck, USA
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	NaOH	98.0	Rankem, India
โซเดียมซัลไฟด์ (Sodium sulphide)	$Na_2S \cdot 9H_2O$	30.0	Panreac, Spain
เอทานอลบริสุทธิ์ (Absolute Ethanol)	C_2H_5OH	99.9 โดยปริมาตร	Carlo Erba, Italy
กรดซิตริก (Citric acid)	$C_6H_8O_7$	99.5	Carlo Erba, Italy
ไดโซเดียมฟอสเฟต (Disodium phosphate)	$Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$	98.0 -102.0	Fisher, UK
ปรอทคลอไรด์ (Mercury chloride)	$HgCl_2$	99.0	Carlo Erba, Italy
อะซิติลซิสเตอิน (n-acetyl-L-cysteine)	$C_5H_9NO_3S$	97.5	Acros organics, Belgium

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2. อุปกรณ์และเครื่องตรวจวัด

1. ขวดวัดปริมาตร
2. บีกเกอร์
3. ปิเปต และ ไมโครปิเปต
4. ขวดรูปชมพู่
5. หลอดหยด
6. กระบอกตวง
7. นาฬิกาจับเวลา
8. เครื่องวัด pH – Metrohm, 827 pH Lab Meter, USA
9. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมด้วยแท่งกวนแม่เหล็กไฟฟ้า – Heidolph, MR 1000, Germany
10. เครื่องให้ความร้อน - IKA® C-MAG HS 7, Malaysia
12. เครื่องเขยาสตาร์ – Vortex, Genie 2, USA
13. เครื่องยูวี - วิถีเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ - Jasco V630, USA
14. เครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ - Jasco FP-8000, USA
15. กักตุนจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน – FEI, TECNAI G² 20, USA
16. อุปกรณ์สำหรับสร้างระบบซีควนเซียลอินเจกชัน ได้แก่
 - 16.1 Syringe pump - HAMILTON PSD 4, Switzerland
 - 16.2 8 - port Multi - selection valve – HAMILTON, Serial MVP, Switzerland
 - 16.3 Flow through cell สำหรับใช้กับเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ปริมาตรภายใน 25 ไมโครลิตร- Hellma, 176.052-QS, USA
 - 16.4 PTFE tube ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.0 มิลลิเมตร- Vici AG International, JR-T6807-M 25, Switzerland
17. ซอฟต์แวร์สำหรับสร้างระบบซีควนเซียลอินเจกชัน – MGC, Auto-Pert Version 4, Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมสารละลาย

สารละลายทุกตัวเตรียมจากน้ำกลั่นปราศจากไอออนที่ได้จากเครื่องผลิตน้ำบริสุทธิ์ (RO + Mixed bed, Treat Chemical, Thailand) และสารเคมีทุกตัวเป็นเกรดสำหรับงานวิเคราะห์ทางเคมี (Analytical Reagent Grade)

3.2.1 การเตรียมสารละลายสำหรับการสังเคราะห์ซิงค์ซัลไฟด์ กวอนตัมดอท

1. สารละลายซิงค์อะซิเตต เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร

ละลายซิงค์อะซิเตต 0.5 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำเป็น 25.00 มิลลิลิตร

2. สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร

ละลายโซเดียมซัลไฟด์ 0.6 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำเป็น 25.00 มิลลิลิตร

3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 2.0 โมลต่อลิตร

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.0 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำเป็น

25 มิลลิลิตร

3.2.2 การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอท

1. สารละลายมาตรฐานปรอท

1.1 สารละลายมาตรฐานปรอท ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ละลายเมอร์คิวรีคลอไรด์ 0.0339 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำเป็น

25.00 มิลลิลิตร

1.2 สารละลายมาตรฐานปรอท ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

บีบจากสารละลายมาตรฐานปรอทความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม

ต่อลิตร ที่เตรียมได้จากข้อ 1.1 มา 12.50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำเป็น 25.00 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สารละลายมาตรฐานปรอท เข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตจากสารละลายมาตรฐานปรอทเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมได้จากจากข้อ 1.2 มา 50.00 ไมโครลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำเป็น 25.00 มิลลิตร สารละลายนี้จะใช้ในการวิเคราะห์แบบ Batch ต่อไป

1.4 สารละลายมาตรฐานปรอท สำหรับใช้วิเคราะห์ด้วยระบบซีเควนเชียลอินเจกชันอะนาไลซิส

เตรียมโดยปิเปตจากสารละลายมาตรฐานปรอทความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ โดยปริมาตรที่ปิเปตและความเข้มข้นสุดท้ายเป็นดังตารางด้านล่าง

ปริมาตรที่ปิเปต (ไมโครลิตร)	ความเข้มข้นสุดท้ายในขวดวัดปริมาตรขนาด 25.00 มิลลิตร (มิลลิกรัมต่อลิตร)
-	0
25	0.5
50	1
100	2
150	3
200	4
250	5
500	10

2. สารละลายบัฟเฟอร์ กรดซิตริก - ไดโซเดียมฟอสเฟต พีเอช 6.0 [46]

2.1 สารละลายกรดซิตริก เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร

ละลายกรดซิตริก 0.9606 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำเป็น 50.00 มิลลิตร

2.2 สารละลายไดโซเดียมฟอสเฟต เข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร

ละลายไดโซเดียมฟอสเฟต 2.6807 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำเป็น 50.00 มิลลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมสารละลายทั้ง 2 ชนิด (ตามหัวข้อ 2.1 และ 2.2) ปริมาตร 18.00 และ 33.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปรับพีเอชให้ได้ 7.2 ด้วยกรดซัลฟิวริก แล้วใช้น้ำปรับปริมาตรเป็น 100.00 มิลลิลิตร จากนั้นวัดพีเอชอีกครั้งว่าได้เท่ากับ 7.2 หรือไม่

3.2.3 การเตรียมสารตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำทั้งหมดแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ 1. น้ำประปา 2. น้ำดื่ม 3. น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และ 4. น้ำทะเล

ตัวอย่างน้ำทุกชนิดจะถูกกรองผ่านไมลอนเมมเบรน ขนาด 0.22 ไมโครเมตร (Agela Technologies, USA) แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยระบบซีเควนเซียลอินเจกชันอะนาไลซิสและแบบ Batch แต่ถ้านำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-OES จะต้องปรับค่าพีเอชเป็น 5 ด้วยกรดไนตริก 0.1 โมลต่อลิตรก่อนนำมาวิเคราะห์ [47]

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3.1 การสังเคราะห์ซิงค์ซัลไฟด์ กวอนตัมดอท

ขั้นตอนการสังเคราะห์ อ้างอิงจากวิธีการของ Junling Duan และคณะ [41] โดยชั่งอะซิติลซีสเตอีน 0.0652 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ เติมสารละลายซิงค์อะซิเตตเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำเป็น 47.50 มิลลิลิตร และปรับพีเอชเป็น 10.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร บั่นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยความเร็ว 6500 รอบต่อนาที นาน 20 นาที จากนั้นปรับพีเอชเป็น 10.8 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร และปรับปริมาตรเป็น 50.00 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง แล้วตกตะกอนด้วยสารละลายเอทานอลบริสุทธิ์ ร้อยละ 99.9 โดยปริมาตร จากนั้นควอนตัมดอทที่ได้จากการตกตะกอนจะนำมาละลายน้ำก่อนการใช้งานต่อไป

3.3.2 การศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท

การศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงจะศึกษาโดยเทสสารละลายที่มีอนุภาคควอนตัมดอทลงในควออร์ทเซสล์ (Hellma, USA) แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 – 800 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้น้ำกลั่นปราศจากไอออนในการปรับค่าศูนย์ (auto – zero)

3.3.3 การศึกษาสมบัติการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท

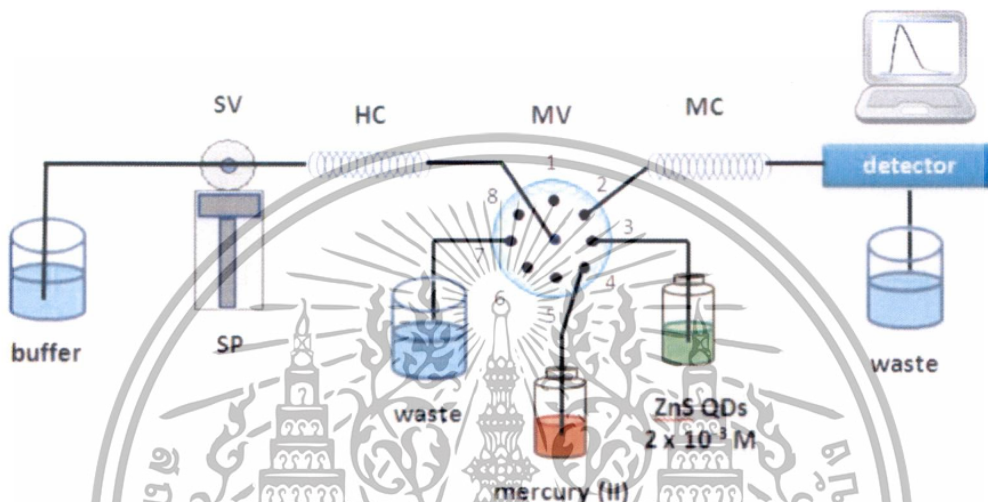
การศึกษาสมบัติการเรืองแสงจะศึกษาโดย เทสสารละลายที่มีอนุภาคควอนตัมดอทลงในควออร์ทเซสล์ (J/3, Jasco, Japan) สำหรับใช้กับเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ แล้วนำไปวัดค่าการเรืองแสงในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 305 – 750 นาโนเมตร โดยใช้ความยาวคลื่นในการกระตุ้น (λ_{ex}) เท่ากับ 300 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นปราศจากไอออนในการปรับค่าศูนย์ (auto – zero)

3.3.4 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ควอนตัมดอทเพื่อวิเคราะห์ปริมาณปรอท โดยการวิเคราะห์แบบ batch

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานปรอทความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.00, 25.00, 50.00, 75.00 และ 100.00 ไมโครลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 5.00 มิลลิลิตร
2. ปิเปตสารละลายควอนตัมดอทความเข้มข้น 2.0×10^{13} โมลต่อลิตร 0.40 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรแต่ละขวด
3. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 7.2 ปริมาตร 0.35 มิลลิลิตร ตามลงไป
4. ปรับปริมาตรด้วยน้ำเป็น 5.00 มิลลิลิตร
5. เขย่าด้วยเครื่อง vortex นาน 15 นาที แล้วนำไปตรวจวัดค่าการเรืองแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ โดยใช้ λ_{ex} เท่ากับ 300 นาโนเมตร และ λ_{em} เท่ากับ 425 นาโนเมตร
6. สร้างกราฟมาตรฐานตามความสัมพันธ์ของ Stern – Volmer และหาสมการเส้นตรงและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

3.3.5 ออกแบบระบบซีควนเชียลอินเจกชันอะนาไลซิส

ได้ทำการออกแบบระบบซีควนเชียลอินเจกชันอะนาไลซิส แสดงดังรูปที่ 3.1 โดยระบบนี้จะใช้เพื่อการศึกษาในหัวข้ออื่นๆต่อไป



รูปที่ 3.1 ระบบซีควนเชียลอินเจกชันที่ได้พัฒนาขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอท; buffer: กรดซิตริก – โซเดียมฟอสเฟต (pH 6.0), SP: โซริงค์ปั๊ม, SV: ซีลคั่นวาล์ว, HC: โซลคิงคอยล์ (100 เซนติเมตร), MV: มีดซีลคั่นวาล์ว, MC: มีดซีลคิงคอยล์ (100 เซนติเมตร) และ detector: สเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ (λ_{ex} เท่ากับ 300 นาโนเมตร และ λ_{em} เท่ากับ 425 นาโนเมตร)

3.3.6 ลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยอาศัยระบบซีควนเชียลอินเจกชันอะนาไลซิส มีลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. คูดสารละลายบัฟเฟอร์ซึ่งใช้เป็นสารละลายตัวพาเข้าสู่ระบบ
2. คูดสารละลายควอนตัมดอท ปริมาตร 80 ไมโครลิตร เข้าสู่ระบบ โดยใช้อัตราเร็ว 10 ไมโครลิตรต่อวินาที
3. คูดสารละลายมาตรฐานปรอทความเข้มข้นต่างๆหรือตัวอย่างน้ำประเภทต่างๆ ปริมาตร 80 ไมโครลิตร เข้าสู่ระบบ โดยใช้อัตราเร็ว 10 ไมโครลิตรต่อวินาที
4. ผลักสารผลิตภัณฑ์ไปยังดีเทคเตอร์เพื่อตรวจวัดค่าความเข้มแสง

โดยใช้อัตราเร็ว 50 ไมโครลิตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการทั้งหมด ตั้งแต่ข้อ 1-4 จะใช้เวลาทั้งสิ้นเท่ากับ 2 นาที
 รูปภาพแสดงลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์เป็นดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงหน้าจอของซอฟต์แวร์ MGC Auto-Pert Version 4 ซึ่งระบุลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยอาศัยระบบซีเคิวนเจียลอินเจกชันอะนาไลซิส

3.3.7 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง

1. ชนิดของบัฟเฟอร์

ทำการศึกษาชนิดของบัฟเฟอร์ที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยชนิดของบัฟเฟอร์ที่เลือกศึกษาคือ

1. ซิตริก – ไดโซเดียมฟอสเฟต (Citric – Na_2HPO_4)
2. โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต – ไดโซเดียมฟอสเฟต (NaH_2PO_4 – Na_2HPO_4)
3. ทริส – ไฮโดรคลอริก (Tris – HCl)

โดยสารละลายบัฟเฟอร์ทุกชนิดจะควบคุมให้พีเอชที่ค่าเท่ากับ 7.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พีเอชของบัฟเฟอร์

ทำการศึกษาพีเอชของซिटริก – ไดโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยพีเอชที่เลือกศึกษาคือ 2, 4, 6, 7.2 และ 8 ตามลำดับ โดยใช้ลำดับการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการศึกษาข้างต้น

3, ความเข้มข้นของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท

ทำการศึกษาความเข้มข้นของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอทที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยความเข้มข้นที่เลือกศึกษาคือ 1, 2, 3 และ 4×10^{-3} โมลต่อลิตรตามลำดับ โดยมีลำดับการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการศึกษาข้างต้น

4. ลำดับในการทำปฏิกิริยา

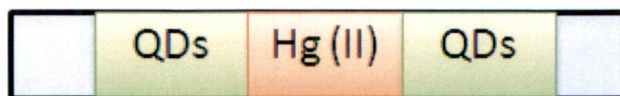
ทำการศึกษาลำดับในการทำปฏิกิริยา ที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยลำดับที่เลือกศึกษาคือ

1. ลำดับการทำปฏิกิริยาแบบ non-sandwich คูดควอนตัมดอท ปริมาตร 40 ไมโครลิตร เข้ามาก่อน ตามด้วยคูดปรอท ปริมาตร 40 ไมโครลิตร, โดยใช้อัตราเร็ว 10 ไมโครลิตรต่อวินาที โดยสามารถแสดงเป็นรูปภาพได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงลำดับการทำปฏิกิริยาแบบ non-sandwich

2. ลำดับการทำปฏิกิริยาแบบ sandwich คูดควอนตัมดอท ปริมาตร 40 ไมโครลิตร, ปรอท ปริมาตร 40 ไมโครลิตร และ คูดควอนตัมดอท ปริมาตร 40 ไมโครลิตร ตามลำดับ โดยใช้อัตราเร็ว 10 ไมโครลิตรต่อวินาที โดยสามารถแสดงเป็นรูปภาพได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงลำดับการทำปฏิกิริยาแบบ sandwich

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปริมาตรสารที่ดูดเข้าสู่ระบบ

ทำการศึกษปริมาตรสารที่ดูดเข้าสู่ระบบ ที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยปริมาตรที่ศึกษาคือ ควอนตัมคอต และ ปรอต อย่างละ 20 ไมโครลิตร โดยสารละลายจะถูกดูดเข้าสู่ระบบโดยใช้อัตราเร็ว 10 ไมโครลิตรต่อวินาที และใช้ลำดับในการทำปฏิกิริยาแบบ non-sandwich จากนั้นทำการศึกษาในทำนองเดียวกัน แต่ใช้ควอนตัมคอตและปรอต ปริมาตรอย่างละ 40 และ 80 ไมโครลิตร ตามลำดับ

6. อัตราการไหล

ทำการศึกษาอัตราการไหลของสารในขณะที่ผลึกก่อนของสารละลายเข้าสู่เครื่องตรวจวัดว่าจะส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์มากน้อยเพียงใด โดยอัตราการไหลที่ศึกษาคือ 25, 50 และ 100 ไมโครลิตรต่อวินาที โดยสารละลายทุกชนิดจะถูกดูดเข้าสู่ระบบในปริมาตร 80 ไมโครลิตรต่อวินาทีโดยใช้อัตราเร็ว 10 ไมโครลิตรต่อวินาที และใช้ลำดับในการทำปฏิกิริยาแบบ non-sandwich

7. ความยาวของโหนดคอยด์

ทำการศึกษาความยาวของโหนดคอยด์ ที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยใช้ความยาวของโหนดคอยด์เป็น 100, 150 และ 200 เซนติเมตร โดยสารละลายทุกชนิดจะถูกดูดเข้าสู่ระบบในปริมาตร 80 ไมโครลิตรต่อวินาทีโดยใช้อัตราเร็ว 10 ไมโครลิตรต่อวินาที ใช้ลำดับในการทำปฏิกิริยาแบบ non-sandwich และใช้อัตราการไหลของสารในขณะที่ส่งเข้าสู่ระบบตรวจวัดเป็น 50 ไมโครลิตรต่อวินาที

3.3.8 การสร้างกราฟมาตรฐานที่ได้จากสถานะที่เหมาะสม

เมื่อได้สถานะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอตโดยอาศัยระบบซีควอนเซียลอินเจกชันอะนาไลซิสแล้ว จึงได้ทำการสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอต โดยสารละลายทุกชนิดจะถูกดูดเข้าสู่ระบบในปริมาตร 80 ไมโครลิตรต่อวินาทีโดยใช้อัตราเร็ว 10 ไมโครลิตรต่อวินาที ใช้ลำดับในการทำปฏิกิริยาแบบ non-sandwich และใช้อัตราการไหลของสารในขณะที่ส่งเข้าสู่ระบบตรวจวัดเป็น 50 ไมโครลิตรต่อวินาที โดยมีฟเฟอร์ชนิดซิริทริก - ไดโซเดียมฟอสเฟต เป็นสารละลายตัวพา จะทำการศึกษารสละลายปรอตในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเตรียมได้ดังหัวข้อ 3.2.2

3.3.9 ประเมินคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์

1. ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์

ในการหาความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ จะพิจารณาโดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ที่เติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นสุดท้าย 4 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไป จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของตัวอย่างที่มีการเติมสารละลายมาตรฐาน และคำนวณหาร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ (% recovery) ตามสูตรดังนี้

$$\% \text{ recovery} = \frac{\text{spiked sample} - \text{sample}}{\text{standard}}$$

เมื่อ spiked sample คือ ความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่มีการเติมสารละลายมาตรฐาน
sample คือ ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง
standard คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป

2. ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

ในการหาความเที่ยงของวิธี จะพิจารณาจากค่าร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative standard deviation, % RSD) โดยทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานปรอท ที่ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซ้ำๆเป็นจำนวน 5 ครั้ง จากนั้นหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ตามสูตรดังนี้

$$\% \text{ RSD} = \frac{\text{SD}}{\bar{X}} \times 100$$

เมื่อ SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ย

3. ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ) [48]

ในส่วนนี้เป็นการหาขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด และขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์ ของวิธี ซึ่งคำนวณได้ตามสูตรดังนี้

$$LOD = 3SD \text{ of blank } / \text{slope}$$

$$LOQ = 10SD \text{ of blank } / \text{slope}$$

เมื่อ	SD of blank	คือ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแบล็งก์
	slope	คือ	ค่าความชันที่ได้จากกราฟมาตรฐาน

3.3.10 ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้นกับการวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยอาศัยเทคนิค ICP-OES

ทำการตรวจวัดปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างน้ำดื่ม น้ำประปา และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นต่างๆ ลงไป และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นและเทคนิค ICP – OES ด้วยวิธีการทางสถิติ

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอทด้วยเทคนิค ICP – OES มีสถานะที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทด้วยเทคนิค ICP – OES

ICP – OES operating condition	
RF power / W	1450
Nebulizer gas flow rate / L min ⁻¹	0.50
Auxiliary gas flow rate / L min ⁻¹	15
Sample flow rate / mL min ⁻¹	1.50
Wash rate / mL min ⁻¹	1.50
Line monitored / nm	
Hg	253.652

3.3.11 ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้นกับการวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยวิธีแบบ

Batch

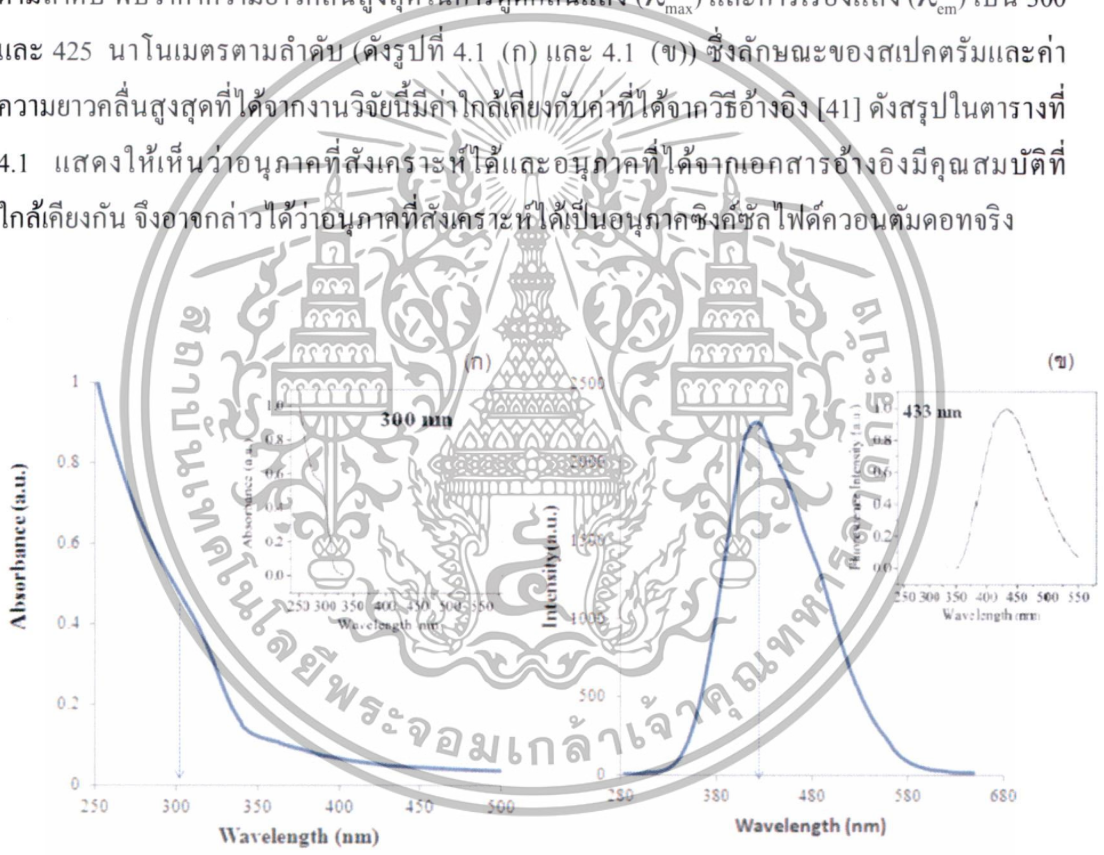
ทำการตรวจวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำทะเล ที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นต่างๆ ลงไป เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นและวิธีแบบ Batch ด้วยวิธีการทางสถิติ ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ปิเปิดตัวอย่างน้ำทะเลที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานปรอทความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 50.00 ไมโครลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 5.00 มิลลิลิตร
2. ปิเปิดสารละลายควอนตัมคอกท 0.40 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรแต่ละขวด
3. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 6.0 ปริมาตร 0.35 มิลลิลิตร ตามลงไป
4. ปรับปริมาตรด้วยน้ำเป็น 5.00 มิลลิลิตร
5. เขย่านาน 15 นาที แล้วนำไปตรวจวัดค่าการเรืองแสงด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ โดยใช้ λ_{ex} เท่ากับ 300 นาโนเมตร และ λ_{em} เท่ากับ 425 นาโนเมตร
6. คำนวณหาปริมาณปรอทโดยแทนค่าลงในสมการเส้นตรงที่ได้จากการสร้างกราฟมาตรฐานตามความสัมพันธ์ของ Stern - Volmer

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาคุณสมบัติการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท

เมื่อนำซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่สังเคราะห์ขึ้น มาศึกษาคุณสมบัติการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงด้วยเครื่องยูวี - วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ตามลำดับ พบว่าค่าความยาวคลื่นสูงสุดในการดูดกลืนแสง (λ_{max}) และการเรืองแสง (λ_{em}) เป็น 300 และ 425 นาโนเมตรตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.1 (ก) และ 4.1 (ข)) ซึ่งลักษณะของสเปกตรัมและค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิง [41] ดังสรุปในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคที่สังเคราะห์ได้และอนุภาคที่ได้จากเอกสารอ้างอิงมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าอนุภาคที่สังเคราะห์ได้เป็นอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทจริง



รูปที่ 4.1 (ก) สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท (ข) สเปกตรัมการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท (รูปเล็ก) แสดงสเปกตรัมที่ได้จากเอกสารอ้างอิง [41]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบสมบัติการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทเทียบกับระหว่างเอกสารอ้างอิง [41] และงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง	ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{\max} , นาโนเมตร)	ความยาวคลื่นที่เรืองแสงสูงสุด (λ_{em} , นาโนเมตร)
[41]	300	433
งานวิจัยนี้	300	425

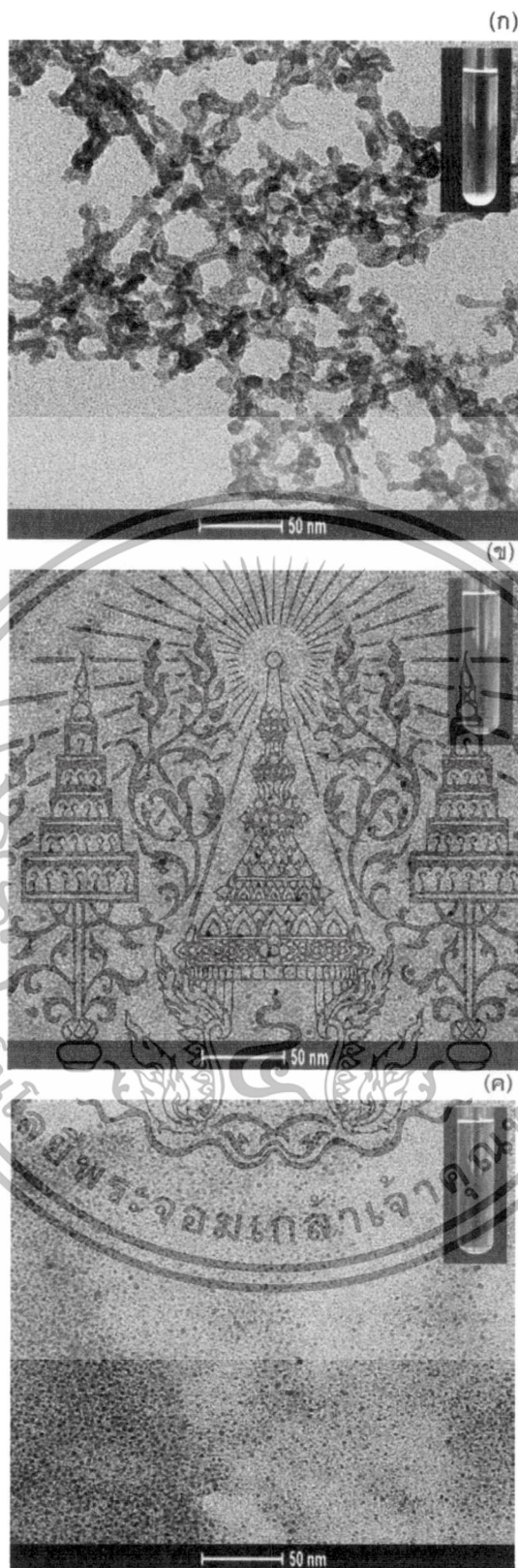
4.2 ศึกษาคุณสมบัติการกระจายตัวและขนาดของอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท

ได้นำซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่สังเคราะห์ขึ้น มาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope; TEM) โดยมีสภาวะแตกต่างกันดังนี้

- 1) ซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่ปราศจากอะซิติลซีสเตอีน
- 2) ซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่มีอะซิติลซีสเตอีน
- 3) ซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่มีอะซิติลซีสเตอีนและทำปฏิกิริยากับปรอท

ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2 (ก), (ข) และ (ค) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



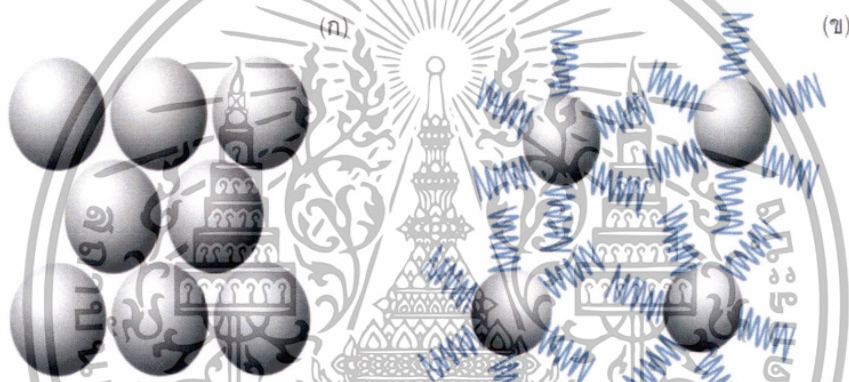
--> อนุภาคซิงค์ซัลไฟด์
ควอนตัมดอทที่เกิดการ
ตกตะกอน

รูปที่ 4.2 (ก) ซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่ปราศจากอะซิติลซีสเตอีน (ข) ซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่มีอะซิติลซีสเตอีน (ค) ซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่มีอะซิติลซีสเตอีนและทำปฏิกิริยากับปรอท

(รูปเล็กมุมบนขวา เป็นรูปถ่ายแสดงลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏขึ้นในหลอดทดลอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาพบว่าซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่ปราศจากอะเซติลซีสเตอินจะเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ดังรูปที่ 4.2 (ก) ซึ่งแตกต่างกันอย่างชัดเจนกับซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่มีอะเซติลซีสเตอินที่จะมีการกระจายตัวที่ดีกว่า ดังรูปที่ 4.2 (ข) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเติมอะเซติลซีสเตอินลงไประหว่างขั้นตอนการสังเคราะห์ อะเซติลซีสเตอินจะทำให้เกิดการปรับแต่งพื้นผิวของอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท ทำให้อนุภาคมีหมู่เกาะกะเพิ่มมากขึ้นการรวมตัวกันของอนุภาคจึงเกิดได้น้อยลง สามารถกล่าวได้ว่าอะเซติลซีสเตอินมีหน้าที่เป็นสารเพิ่มความเสถียร (Stabilizer) และมีส่วนช่วยในการกระจายตัวของอนุภาค สามารถอธิบายได้ดังแบบจำลองโครงสร้างดังรูปที่ 4.3 นอกจากนี้ผลการทดลองจากรูปถ่าย TEM ยังสอดคล้องกับการสังเกตด้วยตาเปล่าดังรูปถ่ายในหลอดทดลอง โดยจะเห็นได้ว่าอนุภาคที่ปราศจากอะเซติลซีสเตอินจะเกิดการตกตะกอนขึ้นและรวมตัวกันที่ก้นหลอด ในขณะที่อนุภาคที่มีอะเซติลซีสเตอินจะไม่เกิดการตกตะกอนแต่อย่างใด



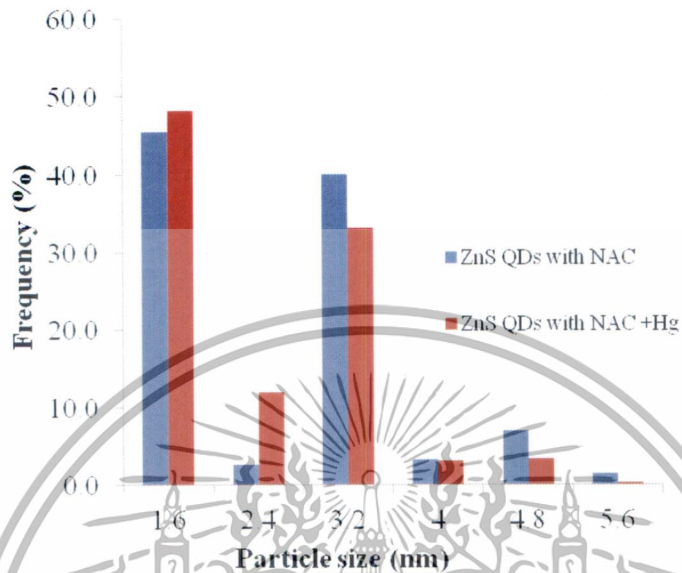
รูปที่ 4.3 แบบจำลองทางโครงสร้างของอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท (ก) ปราศจากอะเซติลซีสเตอิน (ข) มีอะเซติลซีสเตอิน (● คืออนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท และ ■ คืออะเซติลซีสเตอิน)

ขั้นตอนต่อไปได้ใช้รูปที่ 4.2 (ข) เพื่อศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท พบว่าได้กราฟการกระจายตัวของอนุภาคดังรูปที่ 4.4 พบว่าอนุภาคที่สังเคราะห์ได้ส่วนใหญ่มีขนาดระหว่าง 1.6 ถึง 5.6 นาโนเมตร จึงอาจกล่าวได้ว่าอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่สังเคราะห์ได้มีขนาดอนุภาคในระดับนาโนเมตรจริง และมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ กล่าวได้ว่าอนุภาคที่สังเคราะห์ได้มีขนาดไม่แตกต่างกันมากเท่าใด

ต่อมา เมื่อนำอนุภาคที่มีอะเซติลซีสเตอินมาทำปฏิกิริยากับปรอท พบว่าขนาดของอนุภาคเฉลี่ยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงและลักษณะการกระจายตัวยังสามารถเกิดได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ค) เป็นการยืนยันได้ว่าหลังเกิดปฏิกิริยาปรอทไม่ได้เข้าไปรวมตัวกับอนุภาคควอนตัมดอทเพียงแต่เกิดการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากควอนตัมดอทไปยังปรอทเท่านั้น [41] ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ โดยปรอทจะทำให้ค่าการเรืองแสง (intensity) ลดลงเท่านั้น แต่ไม่ได้ทำให้การเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่น (red shift) เกิดขึ้น ดังแสดงในภาคผนวก ข

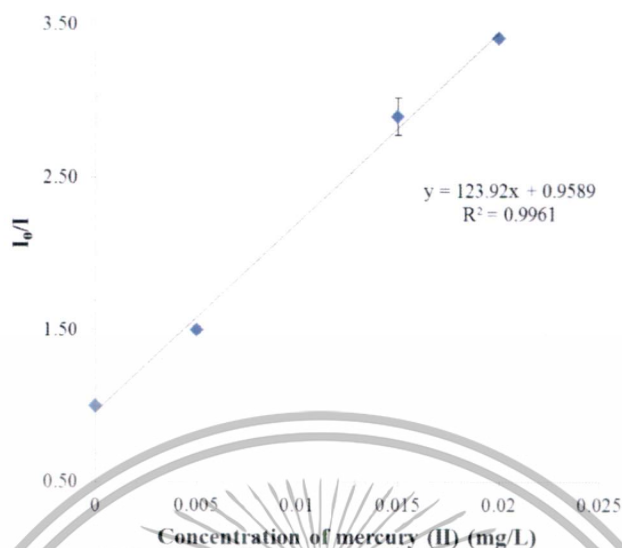


รูปที่ 4.4 แสดงขนาดของอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับปรอท

4.3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ควอนตัมดอทวิเคราะห์ปริมาณปรอท โดยการวิเคราะห์แบบ batch

นำอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่สังเคราะห์ได้ไปทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานปรอท ที่ความเข้มข้นต่างๆ ทำการวัดค่า Intensity ของควอนตัมดอทที่ความยาวคลื่น (λ_{em}) เท่ากับ 425 นาโนเมตร แล้วสร้างกราฟเส้นตรงตามหลักการของ Stern - Volmer พบว่าได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



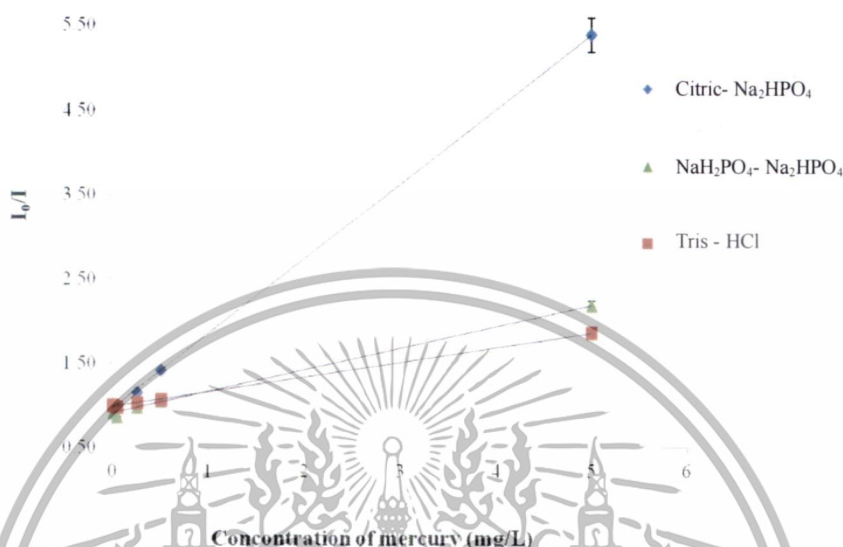
รูปที่ 4.5 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0–0.020 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทำปฏิกิริยากับซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท ความเข้มข้น 2.0×10^{-4} โมลต่อลิตร

จากกราฟ สามารถวิเคราะห์ปริมาณปรอทได้ช่วงความเป็นเส้นตรง 0.005–0.020 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination; R^2) เท่ากับ 0.9961 แสดงให้เห็นว่า ในเบื้องต้นมีความเป็นไปได้ที่จะนำซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่สังเคราะห์ขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณปรอท จึงได้นำซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทและวิธีการวิเคราะห์ปริมาณปรอท โดยอาศัยหลักการของ Stern – Volmer ไปประยุกต์ใช้กับระบบซีควนเซียลอินเจกชันอะนาไลซิสต่อไป

4.4 ออกแบบระบบซีควนเซียลอินเจกชันอะนาไลซิส

เมื่อพบว่าควอนตัมดอทที่สังเคราะห์ขึ้นมีความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์ปริมาณปรอท จึงได้ทำการออกแบบระบบซีควนเซียลอินเจกชันอะนาไลซิส โดยความยาวของโหนดค็อกอยด์และมิกซ์ซิงค็อกอยด์พิจารณาจากปริมาตรรวมทั้งหมดของสารที่ถูกดูดเข้าสู่ระบบ โดยแรกเริ่มจะอ้างอิงจากปริมาตรที่ใช้จากการศึกษาแบบ batch ระบบที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 4.6 โดยระบบนี้จะใช้เพื่อการศึกษาในหัวข้ออื่นๆต่อไป

โดยสารละลายบัฟเฟอร์ทุกชนิดจะควบคุมให้พีเอชที่ค่าเท่ากับ 7.2 แสดงผลดังรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.7 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้บัฟเฟอร์ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.2 สรุปสมการเชิงเส้นตรงและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเมื่อใช้ชนิดของบัฟเฟอร์ต่างกัน

ชนิดของบัฟเฟอร์	สมการเชิงเส้นตรง	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
ซิตริก – ไคโซเดียมฟอสเฟต	$y = 0.881x + 0.970$	0.999
โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต – ไคโซเดียมฟอสเฟต	$y = 0.252x + 0.916$	0.990
ทริส – ไฮโดรคลอริก	$y = 0.174x + 0.984$	0.998

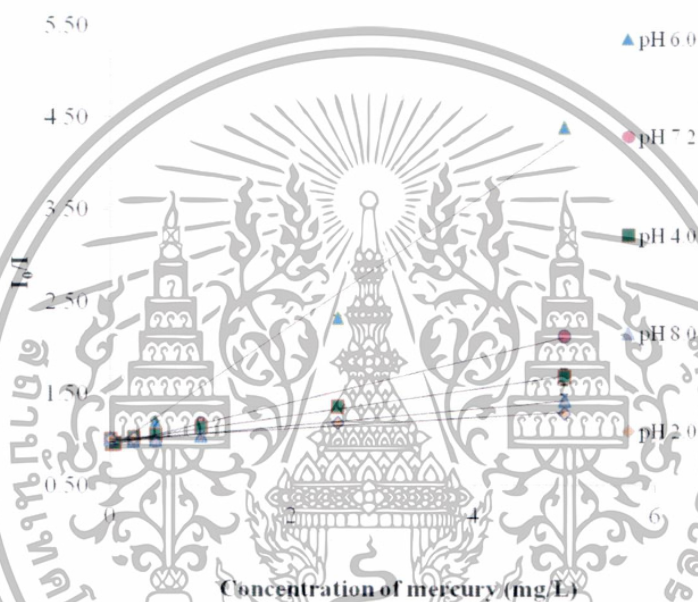
จากการทดลองจะเห็นได้ว่าบัฟเฟอร์ทุกชนิดที่เลือกใช้ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ดี ($R^2 > 0.99$) แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าบัฟเฟอร์ชนิดซิตริก – ไคโซเดียมฟอสเฟต มีความไวในการวิเคราะห์ (sensitivity) มากที่สุด สำหรับบัฟเฟอร์อีกสองชนิดมีความไวในการวิเคราะห์น้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากชนิดของบัฟเฟอร์ไม่เหมาะสม เนื่องจากจะทำให้เกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างประจุบวกของบัฟเฟอร์กับประจุลบของอะเซทิลซีส테인 ทำให้เกิดการหลุดออกของสารประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชิงซ้อนซิงค์ซัลไฟด์ – อะซิติลซีสเตอีน ส่งผลให้ควอนตัมคอททำปฏิกิริยากับปรอทได้น้อยลง [41] ดังนั้นจึงเลือกใช้บัฟเฟอร์ชนิดซिटริก – ไดโซเดียมฟอสเฟต เพื่อการศึกษาในหัวข้ออื่นๆต่อไป

4.5.2 พิเอชของบัฟเฟอร์

เมื่อเลือกชนิดของบัฟเฟอร์เป็นซिटริก – ไดโซเดียมฟอสเฟต ขั้นตอนต่อไปได้ทำการศึกษาพิเอชของบัฟเฟอร์ที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยพิเอชที่เลือกศึกษา คือ 2.0, 4.0, 6.0, 7.2 และ 8.0 ตามลำดับ แสดงผลดังรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.8 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้บัฟเฟอร์พิเอชต่างๆ

ตารางที่ 4.3 สรุปสมการเชิงเส้นตรงและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเมื่อใช้พิเอชของบัฟเฟอร์ซिटริก – ไดโซเดียมฟอสเฟตต่างๆกัน

พิเอชของบัฟเฟอร์	สมการเชิงเส้นตรง	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
2.0	$y = 0.059x + 0.998$	0.986
4.0	$y = 0.144x + 0.972$	0.994
6.0	$y = 0.672x + 0.888$	0.990
7.2	$y = 0.234x + 0.934$	0.989
8.0	$y = 0.090x + 0.963$	0.985

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าบัพเฟอร์พีเอช 6.0 มีความไวในการวิเคราะห์มากที่สุด เนื่องจากสภาวะกรดที่มากเกินไปจะเกิดการโปรโตเนชัน (protonation) ทำให้เกิดการหลุดออกของสารประกอบเชิงซ้อนซิงค์ซัลไฟด์ – อะซิติลซีสเตอีน ส่งผลให้ควอนตัมดอททำปฏิกิริยากับปรอทได้น้อยลง ในขณะเดียวกันเมื่อพีเอชมีค่าสูงขึ้น สารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าวจะเกิดการสร้างพันธะโคเวเลนต์ที่มีความแข็งแรง ส่งผลให้ควอนตัมดอททำปฏิกิริยากับปรอทได้ดีขึ้น [41] ดังนั้นจึงเลือกใช้บัพเฟอร์พีเอช 6.0 เพื่อการศึกษาในหัวข้ออื่นๆต่อไป

4.5.3 ความเข้มข้นของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท

ทำการศึกษาความเข้มข้นของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอทที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยความเข้มข้นที่เลือกศึกษาคือ 1, 2, 3 และ 4 $\times 10^{-3}$ โมลต่อลิตร ตามลำดับ แสดงผลดังรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.9 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ควอนตัมดอทความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 สรุปรูปสมการเชิงเส้นตรงและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเมื่อใช้ความเข้มข้นของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมคอตต่างๆกัน

ความเข้มข้นของ ควอนตัมคอต ($\times 10^{-3}$ M)	สมการเชิงเส้นตรง	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
1	$y = 1.090x + 0.550$	0.967
2	$y = 0.378x + 0.884$	0.989
3	$y = 0.179x + 0.951$	0.992
4	$y = 0.160x + 0.971$	0.996

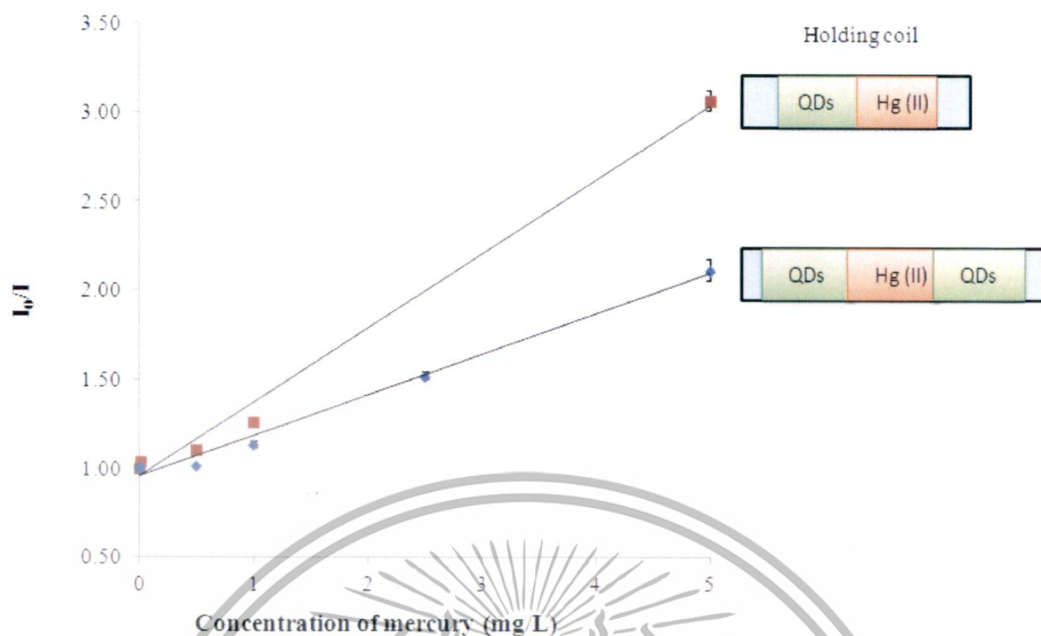
จากการศึกษาพบว่าที่ความเข้มข้นของควอนตัมคอตที่ 1×10^{-3} โมลต่อลิตร มีความไวในการวิเคราะห์มากที่สุด เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของควอนตัมคอตสูงขึ้น ความหนาแน่นของอนุภาคจะมีมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เกิดการบดบังการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากควอนตัมคอตไปยังปรอท ทำให้กระบวนการควENCHING เกิดขึ้นได้น้อยลง อย่างไรก็ตามพบว่าที่ความเข้มข้น 1×10^{-3} โมลต่อลิตรนี้ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าไม่ดีเท่าที่ควร ($R^2 = 0.967$) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ความเข้มข้นที่มีความไวในลำดับถัดไปคือ 2×10^{-3} โมลต่อลิตร ($R^2 = 0.989$) เพื่อการศึกษาในหัวข้ออื่นๆต่อไป

4.5.4 ลำดับในการทำปฏิกิริยา

ทำการศึกษาลำดับในการทำปฏิกิริยา ที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยลำดับที่เลือกศึกษาคือ

1. ลำดับการทำปฏิกิริยาแบบ non-sandwich ใช้ลำดับดังนี้: ควอนตัมคอต (40 ไมโครลิตร) และปรอท (40 ไมโครลิตร)
2. ลำดับการทำปฏิกิริยาแบบ sandwich ใช้ลำดับดังนี้: ควอนตัมคอต (40 ไมโครลิตร) ปรอท (40 ไมโครลิตร) และ ควอนตัมคอต (40 ไมโครลิตร)

แสดงผลดังรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.10 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ลำดับการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน (รูปขวามือ) แสดงลำดับของพอนโซนภายในโพลดิ้งคอยล์

ตารางที่ 4.5 สรุปสมการเชิงเส้นตรงและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเมื่อใช้ลำดับปฏิกิริยาที่ต่างกัน

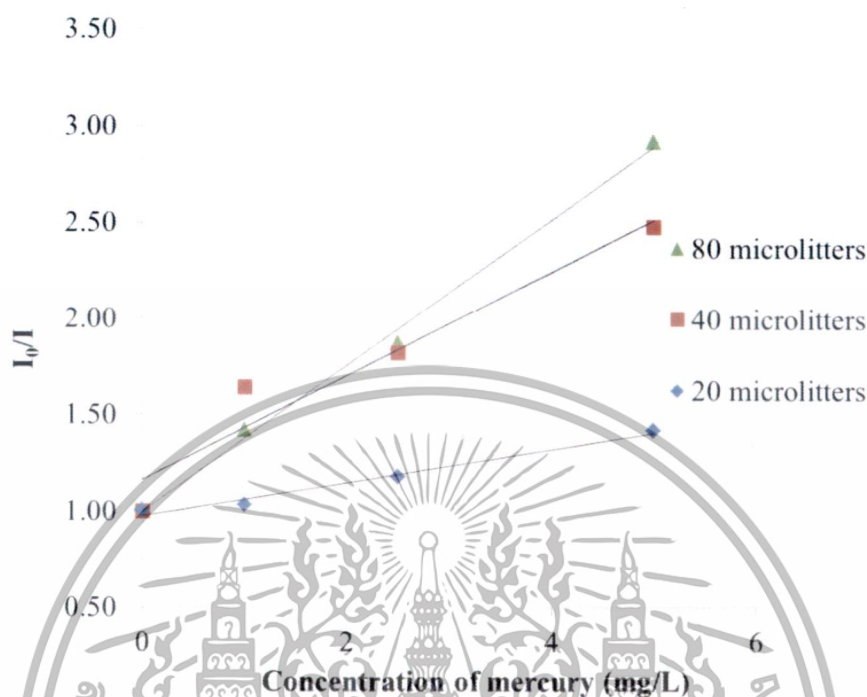
ลำดับปฏิกิริยา	สมการเชิงเส้นตรง	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
QDs / Hg (II)	$y = 0.417x + 0.954$	0.992
QDs / Hg (II) / QDs	$y = 0.228x + 0.958$	0.990

จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ลำดับปฏิกิริยาแบบ non-sandwich จะให้ความไวในการวิเคราะห์ดีกว่า เนื่องจากการใช้ลำดับปฏิกิริยาแบบ sandwich จะมีสารควอนตัมดอทที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเป็นจำนวนมาก อาจส่งผลให้เกิดการบดบังสัญญาณที่ได้จากบริเวณที่เกิดการทำปฏิกิริยาทำให้สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้น้อยลง ดังนั้นจึงเลือกใช้ลำดับปฏิกิริยาแบบ non - sandwich เพื่อการศึกษาในหัวข้ออื่นๆต่อไป

4.5.5 ปริมาตรสารที่ดูดเข้าสู่ระบบ

ทำการศึกษ ปริมาตรสารที่ดูดเข้าสู่ระบบ ที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยปริมาตรที่ศึกษาคือ ควอนตัมดอท และ ปรอท อย่างละ 20 ไมโครลิตร โดยสารละลายจะถูกดูดเข้าสู่ระบบโดยใช้อัตราเร็ว 10 ไมโครลิตรต่อวินาที และใช้ลำดับในการทำปฏิกิริยาแบบ

non-sandwich จากนั้นทำการศึกษาในทำนองเดียวกัน แต่ใช้ควอนตัมคอตและปรอท ปริมาตร อย่างละ 40 และ 80 ไมโครลิตร ตามลำดับ แสดงผลดังรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.11 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ ปริมาตรสารที่ดูดเข้าสู่ระบบที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.6 สรุปสมการเชิงเส้นตรงและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเมื่อใช้ปริมาตรสารที่ดูดเข้าสู่ ระบบต่างๆกัน

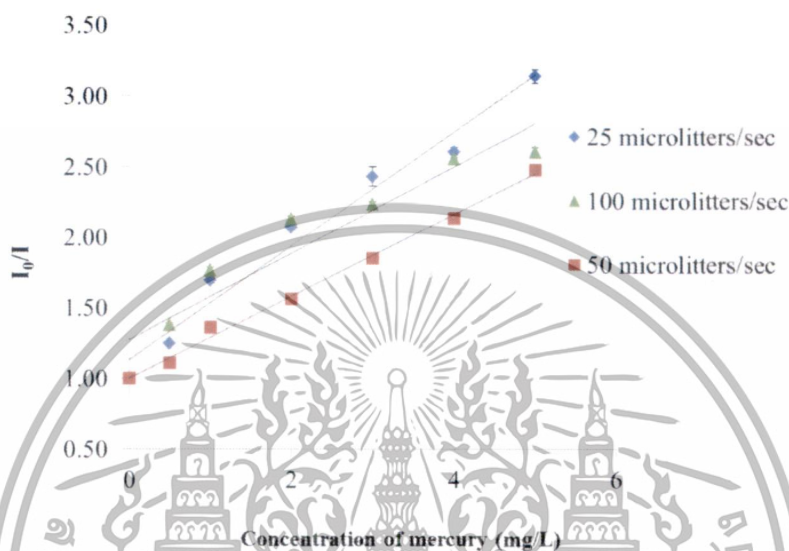
ปริมาตรสารที่ดูดเข้าสู่ระบบ (ไมโครลิตร)	สมการเชิงเส้นตรง	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
20	$y = 0.086x + 0.975$	0.980
40	$y = 0.270x + 1.161$	0.935
80	$y = 0.378x + 0.999$	0.996

เมื่อปริมาตรสารมากขึ้นจะเปรียบเสมือนการทำให้สารตั้งต้นทั้ง 2 ชนิดมีจำนวน โมลของสารที่จะทำปฏิกิริยามากขึ้น ปฏิกิริยาจึงสามารถเกิดได้ดีขึ้น จากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาตรสารที่ถูกดูดเข้าสู่ระบบเป็น 80 ไมโครลิตรจะส่งผลให้ความไวในการวิเคราะห์มีค่า มากที่สุด จึงเลือกใช้ปริมาตรนี้เพื่อการศึกษาในหัวข้ออื่นๆต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.6 อัตราการไหล

ทำการศึกษาอัตราการไหลของสารในขณะผลึกเข้าสู่ระบบตรวจวัดที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยอัตราการไหลที่ศึกษาคือ 25, 50 และ 100 ไมโครลิตรต่อวินาที ตามลำดับ แสดงผลดังรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.12 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้อัตราการไหลที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.7 สรุปสมการเชิงเส้นตรงและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเมื่อใช้อัตราการไหลที่ต่างกัน

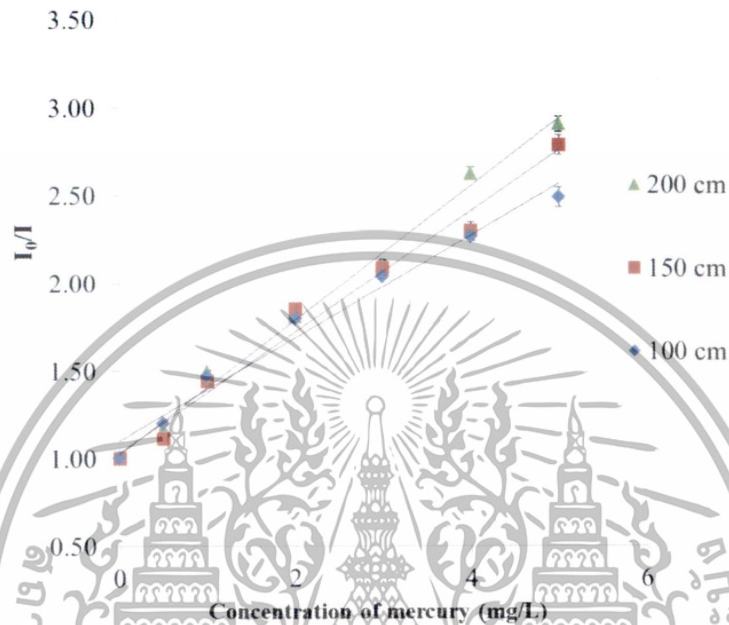
อัตราการไหล (ไมโครลิตร / วินาที)	สมการเชิงเส้นตรง	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²)	อัตราการวิเคราะห์ (ตัวอย่างต่อชั่วโมง)
25	$y = 0.404x + 1.132$	0.972	22
50	$y = 0.291x + 0.998$	0.995	35
100	$y = 0.306x + 1.274$	0.901	51

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) พบว่าเมื่ออัตราการไหลเป็น 50 ไมโครลิตรต่อวินาทีจะมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจดีที่สุด เนื่องจากอัตราการไหลที่ช้าเกินไปคือที่ 25 ไมโครลิตรต่อวินาทีจะทำให้อัตราการวิเคราะห์ต่ำ ในขณะที่เดียวกันอัตราการไหลที่เร็วเกินไปคือที่ 100 ไมโครลิตรต่อวินาทีจะทำให้สารทำปฏิกิริยากันได้ไม่ดีทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราการไหลที่ 50 ไมโครลิตรต่อวินาทีในการศึกษาหัวข้ออื่นๆต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.7 ความยาวของโพลีคิงคอยด์

ทำการศึกษาความยาวของโพลีคิงคอยด์ ที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยใช้ความยาวของโพลีคิงคอยด์เป็น 100, 150 และ 200 เซนติเมตร แสดงผลดังรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.13 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ความยาวของโพลีคิงคอยด์ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.8 สรุปสมการเชิงเส้นตรงและสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจเมื่อใช้ความยาวของโพลีคิงคอยด์ต่างๆกัน

ความยาวของโพลีคิงคอยด์ (เซนติเมตร)	สมการเชิงเส้นตรง	สัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ (R^2)	อัตราการวิเคราะห์ (ตัวอย่างต่อชั่วโมง)
100	$y = 0.292x + 1.102$	0.979	35
150	$y = 0.345x + 1.031$	0.982	34
200	$y = 0.382x + 1.022$	0.993	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาพบว่าเมื่อความยาวของโฮลดึงคอยด์เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้อัตราการวิเคราะห์มีค่าลดลงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตาม ที่ความยาวของโฮลดึงคอยด์เป็น 200 เซนติเมตรจะส่งผลให้ความไวในการวิเคราะห์หมีค่ามากที่สุดและมีความเป็นเส้นตรงที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากค่า R^2 เนื่องจากเมื่อความยาวของโฮลดึงคอยด์เพิ่มขึ้นจะทำให้การทำปฏิกิริยาจึงสามารถเกิดได้ดีขึ้นส่งผลให้ความไวในการวิเคราะห์เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้ความยาวของโฮลดึงคอยด์นี้

จากที่ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดดังกล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังตารางที่ 4.9

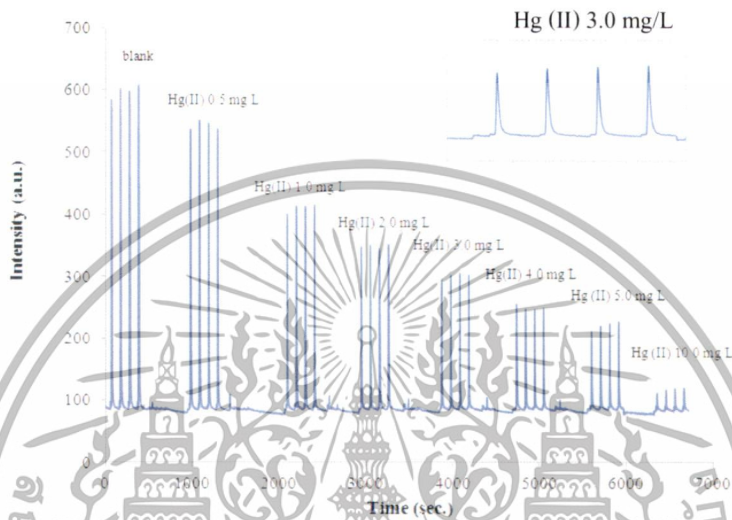
ตารางที่ 4.9 สรุปการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยอาศัยระบบซีเควนเชียล อินเจกชัน

ปัจจัยที่ศึกษา	ชนิด / ช่วงที่ศึกษา	ค่าที่เลือก
ชนิดของบัฟเฟอร์	1. ซิตริก – ไดโซเดียมฟอสเฟต 2. โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต – ไดโซเดียมฟอสเฟต 3. ทริส – ไฮโดรคลอริก	ซิตริก – ไดโซเดียมฟอสเฟต
พีเอชของบัฟเฟอร์	2.0 – 8.0	6.0
ความเข้มข้นของซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอท	$1 - 4 \times 10^{-3}$ โมลต่อลิตร	2×10^{-3} โมลต่อลิตร
ลำดับการทำปฏิกิริยา	1. non sandwich (QDs / ZnS) 2. sandwich (QDs / ZnS / QDs)	non sandwich (QDs / ZnS)
ปริมาตรที่ถูกดูดเข้าสู่ระบบ	20 – 80 ไมโครลิตร	80 ไมโครลิตร
อัตราการไหล	25 -100 ไมโครลิตรต่อวินาที	50 ไมโครลิตรต่อวินาที
ความยาวโฮลดึงคอยด์	100 – 200 เซนติเมตร	200 เซนติเมตร

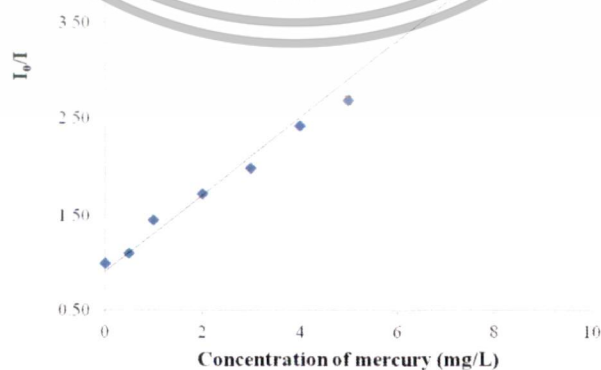
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 กราฟมาตรฐานที่ได้จากสถานะที่เหมาะสม

เมื่อได้สถานะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยอาศัยระบบซีควอนเซียลอินเจกชันอะนาไลซิสแล้ว จึงได้ทำการสร้างมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอท แสดงตัวอย่างลักษณะสัญญาณและกราฟมาตรฐาน ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 สัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานปรอทความเข้มข้น 0 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปเล็ก แสดงภาพขยายลักษณะของสัญญาณที่ได้)



รูปที่ 4.15 กราฟมาตรฐานของสารละลายปรอท ช่วงความเข้มข้น 0 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาพบว่าระบบซีเควนเซียลอินเจกชันอะนาไลซิสที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถวิเคราะห์ปริมาณปรอทได้ในช่วง 0.5 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีสมการเส้นตรงตามความสัมพันธ์ของ Stern-Volmer เป็น $I_0/I = 0.400 [\text{Hg(II)}] + 0.906$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดคืนใจ (R^2) เท่ากับ 0.989

4.7 ประเมินคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์

4.7.1 ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์

ในการหาความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ จะประเมินจากค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ที่เติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นสุดท้าย 4 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไป จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของตัวอย่างที่มีการเติมสารละลายมาตรฐาน และค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการคำนวณหาค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอท

ประเภทของตัวอย่างน้ำ	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานปรอท (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ
	แรกเริ่ม	ที่เติมลงไป	ที่ตรวจพบ	
น้ำดื่ม	n.d.*	4.00	3.74 ± 0.04	93.5
น้ำดื่ม	n.d.*	4.00	3.92 ± 0.01	98.0
น้ำประปา	n.d.*	4.00	3.48 ± 0.01	87.0
น้ำทิ้งจากโรงงาน	n.d.*	4.00	3.42 ± 0.03	85.6
อุตสาหกรรม				
น้ำทิ้งจากโรงงาน	n.d.*	4.00	3.47 ± 0.03	86.7
อุตสาหกรรม				

*n.d. คือ non detectable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ปริมาณปรอทมีร้อยละค่าคืนกลับอยู่ในช่วงร้อยละ 85 – 98 นั่นคือ วิถีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นนี้ ไม่ถูกรบกวนจากองค์ประกอบภายในตัวอย่าง จึงถือได้ว่าวิถีวิเคราะห์นี้มีความแม่นยำสูง

4.7.2 ความเที่ยงของวิถีวิเคราะห์

ในการหาความเที่ยงของวิถี จะพิจารณาจากค่าร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ โดยทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานปรอท ที่ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซ้ำๆ เป็นจำนวน 5 ครั้ง จากนั้นหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ พบว่าค่าร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับ 1.30 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 5 ดังนั้น จึงถือได้ว่าวิถีนี้มีความเที่ยงที่สูง

จากที่ได้คุณลักษณะเด่นของวิถีวิเคราะห์ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 สรุปคุณลักษณะเด่นของวิถีวิเคราะห์ในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยอาศัยระบบซีแวนเซียลอินเจกชัน

คุณลักษณะเด่น	ค่าที่ได้
ช่วงความเป็นเส้นตรง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.5 - 10
สมการเชิงเส้นตรง	$I_0/I = 0.400 [\text{Hg(II)}] + 0.906$
สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)	0.989
ร้อยละของการคืนกลับ (% recovery)	85 - 98
ความเที่ยง (% RSD) n = 5	1.30
ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.10
ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.34
อัตราการวิเคราะห์ (ตัวอย่างต่อชั่วโมง)	33

4.7.3 ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ) [48]

ในส่วนนี้เป็นการหาขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด และขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์ ของวิถี ซึ่งคำนวณได้ตามสูตรดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{LOD} = 3\text{SD of blank} / \text{slope}$$

$$\text{LOQ} = 10\text{SD of blank} / \text{slope}$$

เมื่อ SD of blank คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเบลงค์
slope คือ ค่าความชันที่ได้จากกราฟมาตรฐาน

เมื่อแทนค่าที่วิเคราะห์ได้ลงในสมการ จะได้ LOD เท่ากับ 0.10 และ LOQ เท่ากับ 0.34 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ค่า LOD และ LOQ ที่ได้จากงานวิจัยนี้ยังคงมีค่าสูงกว่าที่เกณฑ์มาตรฐานกำหนด ซึ่งจะต้องมีการพัฒนาในลำดับต่อไป

4.8 ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้นกับการวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยอาศัยเทคนิค ICP-OES

ทำการตรวจวัดปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่าง ได้แก่ตัวอย่างน้ำดื่ม น้ำประปา และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นต่างๆลงไป และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นและเทคนิค ICP-OES ด้วยวิธีการทางสถิติ ผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติแสดงผลดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นและเทคนิค ICP-OES

ประเภทของตัวอย่างน้ำ	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานปรอท (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	แรกเริ่ม	ที่เติมลงไป	ที่ตรวจพบ	
			งานวิจัยนี้	ICP - OES
น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม	n.d.*	1.0	1.01 ± 0.02	0.50
น้ำประปา	n.d.*	2.0	2.29 ± 0.02	1.99
น้ำประปา	n.d.*	2.0	2.39 ± 0.02	1.98
น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม	n.d.*	4.0	3.47 ± 0.03	3.95
น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม	n.d.*	4.0	3.42 ± 0.03	3.96

*n.d. คือ non detectable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลด้วยวิธีการทางสถิติพบว่า การวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธีให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($t_{\text{stat}} = 0.18 < t_{\text{critical}} = 2.78$) จึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้มีความแม่นยำสูงและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำดื่ม น้ำประปา และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้

4.9 ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้นกับการวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยวิธีแบบ

Batch

ทำการตรวจวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำทะเล ที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่มีความเข้มข้นต่างๆลงไป เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นและวิธีแบบ Batch ด้วยวิธีการทางสถิติ ผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติแสดงผลดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยการวิธีแบบ Batch และเทคนิค SIA ที่พัฒนาขึ้น

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานปรอท (มิลลิกรัมต่อลิตร)			วิธีแบบ Batch	งานวิจัยนี้
	แรกเริ่ม	ที่เติมลงไป	ที่ตรวจพบ		
น้ำทะเล 1	n.d.*	2.0	2.22 ± 0.0113	2.21 ± 0.0019	
น้ำทะเล 2	n.d.*	5.0	5.20 ± 0.0035	4.61 ± 0.0101	

*n.d. คือ non detectable

จากผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลด้วยวิธีการทางสถิติพบว่า การวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธีให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($t_{\text{stat}} = 1.03 < t_{\text{critical}} = 12.71$) จึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้มีความแม่นยำสูงและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำทะเลได้

บทที่ 5

สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1.1 ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเทคนิคในการตรวจวัดปริมาณปรอทในแหล่งน้ำ โดยอาศัยเทคนิคฟลูออโรเมทรี ร่วมกับระบบซีเควนเชียลอินเจกชันอะนาไลซิส และตรวจวัดค่าการเรืองแสงที่ลดลงของซิงค์ซัลไฟด์ คอนดั้มคอต เมื่อทำปฏิกิริยาควENCHING กับปรอท พบว่าได้สภาวะที่เหมาะสม ดังต่อไปนี้

- (1) สารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้คือ ซิตริก – ไดโซเดียมฟอสเฟต พีเอช 6.0
- (2) ความเข้มข้นของซิงค์ซัลไฟด์ คอนดั้มคอต เท่ากับ 2×10^{-3} โมลต่อลิตร
- (3) ใช้ลำดับการทำปฏิกิริยาแบบ non – sandwich
- (4) ปริมาตรสารที่ดูดเข้าสู่ระบบ เท่ากับ 80 ไมโครลิตร
- (5) อัตราการไหลที่ 50 ไมโครลิตรต่อวินาที
- (6) ความยาวของโซลคิงคอยด์ เท่ากับ 200 เซนติเมตร

5.1.2 ผลจากการประเมินคุณลักษณะเด่นของวิธี เป็นดังนี้

- (1) ช่วงความเป็นเส้นตรง เท่ากับ 0.5 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตรของปรอท
- (2) สมการเชิงเส้นตรงตามความสัมพันธ์ของ Stern – Volmer คือ

$$I_0/I = 0.400 [\text{Hg(II)}] + 0.906$$

- (3) สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) > 0.99x

- (4) ค่าร้อยละของการวิเคราะห์ที่คืนกลับอยู่ในช่วง 85 - 98

(5) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า ร้อยละ 1.30 เมื่อศึกษาด้วยสารละลายมาตรฐานปรอทความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) ขีดจำกัดในการตรวจวัด เท่ากับ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร และขีดจำกัดในการวิเคราะห์ เท่ากับ 0.34 มิลลิกรัมต่อลิตร

- (7) อัตราการวิเคราะห์ เท่ากับ 33 ตัวอย่างต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 เมื่อพัฒนาวิธีได้แล้ว จึงนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณปรอทในแหล่งน้ำ พบว่า สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.1.4 ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้จำนวนมากกว่าการวิเคราะห์แบบ Batch เมื่อเปรียบเทียบในช่วงเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ยังใช้สารเคมีและสารตัวอย่างน้อยกว่าและ ขั้นตอนการวิเคราะห์เป็นระบบปิด จึงสามารถลดอันตรายที่เกิดขึ้นเนื่องจากปรอทได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ซึ่งลิขสิทธิ์ไฟล์ตัวอนัตมคอตที่สังเคราะห์ขึ้น ควรเก็บรักษาไว้ในที่มีดและเย็น เพื่อป้องกันแสงและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ที่อาจส่งผลให้ค่าการคายแสงเปลี่ยนแปลงไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. พรพรรณ พนาปวุฒิกุล. 2549. โลหะหนัก: ตัวการปัญหาสิ่งแวดล้อม. **ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี.**
2. http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/3469/8/285868_ch1.pdf (มีนาคม 2556)
3. กฤษฎา สุภววรรณกุล. 2556. **จี้รัฐเร่งแก้สารปรอทรอบนิคม304 ตรวจพบในปลา-เส้นผม-ชาวบ้าน คาดต้นเหตุโรงไฟฟ้า - รง.กระดาษ. ศูนย์ข่าว TCIJ.**
4. <http://www.dailynews.co.th> (13 สิงหาคม 2556).
5. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2539. **กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม.**
6. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2549. **กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล.**
7. www.flowinjection.com. (พฤษภาคม 2556).
8. จิราภรณ์ อ่ำพันธ์. 2543. **อันตรายจากปรอท. ความรู้สิ่งเป็นพิษ.**
9. <http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%AD%E0%B8%97> (มีนาคม 2556)
10. นพ.วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์. 2555. **Mercury. มุตินิธิสัมมาอาชีวะ.**
11. [http://guru.sanook.com/796/%e0%b8%9b%e0%b8%a3%e0%b8%ad%e0%b8%97-\(Mercury\)/](http://guru.sanook.com/796/%e0%b8%9b%e0%b8%a3%e0%b8%ad%e0%b8%97-(Mercury)/) (มกราคม 2557).
12. <http://www.thairath.co.th/content/region/320182> (มกราคม 2557).
13. วารสารสาธารณสุขศาสตร์ ปีที่ 43 ฉบับที่ 2. **ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสิ่งแวดล้อมที่ปนเปื้อน: กรณีน้ำมันดิบรั่วในทะเลจังหวัดระยอง.**
14. วารสารวิชาการ ม.อบ. ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน 2549.
15. ผู้จัดการรายสัปดาห์ ปีที่ 24 (2) ฉบับที่ 1,970 วันที่ 30 ธันวาคม 2547-1 มกราคม 2548.
16. มนตรี สว่างพฤษย์. **ควอนตัมดอท. Chemical Research Laboratory University of Oxford.**
17. www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=1307&Itemid=178 (เมษายน 2556).
18. สุชาดา อุณูวัฒนกุล. **Luminescence Spectroscopy. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.**
19. ภัทรนันท์ รัตนพันธ์, วีรบุษ ศรีแย้ม และสาวิตรี ปลื้มเนตร. **Fluorescence and Phosphorescence Spectrometry. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.**
20. http://en.wikipedia.org/wiki/Stern%E2%80%93Volmer_relationship (พฤษภาคม 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21. แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ. 2553. “หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ”. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัท ชวนพิมพ์ 50 จำกัด.
22. www.flowinjectiontutorial.com (กุมภาพันธ์ 2557).
23. M. Tuzen, I. Karaman, D. Citak and M. Soylak. 2009. Mercury(II) and methyl mercury determinations in water and fish samples by using solid phase extraction and cold vapour atomic absorption spectrometry combination. **Food and Chemical Toxicology**. 47: 1648–1652.
24. A.Q. Shah, T.G. Kazi, J.A. Baig, H.I. Afridi, G.A. Kandhro, M.B. Arain, N.F. Kolachi and S.K. Wadhwa. 2010. Total mercury determination in different tissues of broiler chicken by using cloud point extraction and cold vapor atomic absorption spectrometry. **Food and Chemical Toxicology**. 48: 65–69.
25. F. Ubilluás, A. Alegre, R. Barbera, R. Farre and M.J. Lagarda. 2000. Methylmercury and inorganic mercury determination in fish by cold vapour generation atomic absorption spectrometry. **Food Chemistry**. 71: 529-533.
26. A.Q. Shah, T.G. Kazi, J.A. Baig, H.I. Afridi and M.B. Arain. 2012. Simultaneously determination of methyl and inorganic mercury in fish species by cold vapour generation atomic absorption spectrometry. **Food Chemistry**. 134: 2345–2349.
27. N. Pourreza, H. Parham, A.R. Kiasat, K. Ghanemi and N. Abdollah. 2009. Solid phase extraction of mercury on sulfur loaded with N-(2-chlorobenzoyl)-N-phenylthiourea as a new adsorbent and determination by cold vapor atomic absorption spectrometry. **Talanta**. 78 1293–1297.
28. L. Feng and Z. Chen. 2007. Screening mercury (II) with selective fluorescent chemosensor. **Sensors and Actuators B**. 122: 600–604.
29. H. J. Kim, J. E. Park, M. G. Choi, S. A. and S.-K. Chang. 2010. Selective chromogenic and fluorogenic signalling of Hg²⁺ ions using a fluorescein- coumarin conjugate. **Dyes and Pigments**. 84: 54–5.8
30. N.Aksuner, B. Basaran, E. Henden, I. Yilmaz and A. Cukurovali. 2011. A sensitive and selective fluorescent sensor for the determination of mercury(II) based on a novel triazine-thione derivative. **Dyes and Pigments**. 88: 143 -148.

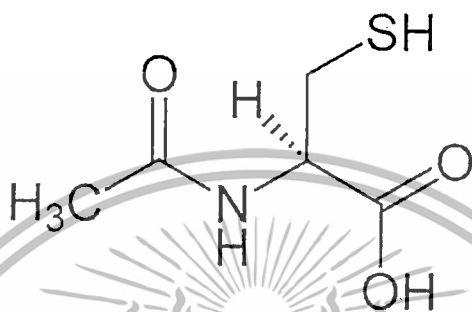
31. Y. Yu, L.-R. Lin, K.-B. Yang, X. Z., R.-B. H. and L.-S. Zheng. 2006. *p* - Dimethylaminobenzaldehyde thiosemicarbazone: A simple novel selective and sensitive fluorescent sensor for mercury(II) in aqueous solution. **Talanta**. 69: 103–106.
32. C.Wanga, J. Zhaob, Y.Wangc, N. Loub, Q. Maa and X. Su. 2009. Sensitive Hg (II) ion detection by fluorescent multilayer films fabricated with quantum dots. **Sensors and Actuators B: Chemical**. 139: 476–482.
33. Z.-X. Cai, H. Yang, Y. Z. and X.-P. Yan. 2006. Preparation, characterization and evaluation of water-soluble l-cysteine-capped-CdS nanoparticles as fluorescence probe for detection of Hg(II) in aqueous solution. **Analytica Chimica Acta**. 559: 234–239.
34. N. Bi, Y. Chen, H. Qi, X. Zheng, Y. Chen, X. Liao, H. Zhang and Y. Tian. 2012. Spectrophotometric determination of mercury(II) ion using gold nanorod as probe. **Sensors and Actuators B: Chemical**. 166–167: 766–771.
35. N. Vasimalai, G. Sheeba and S. A. John. 2012. Ultrasensitive fluorescence-quenched chemosensor for Hg(II) in aqueous solution based on mercaptothiadiazole capped silver nanoparticles. **Journal of Hazardous Materials**. 213–214: 193–199.
36. M. Koneswaran and R. Narayanaswamy. 2009. Mercaptoacetic acid capped CdS quantum dots as fluorescence single shot probe for mercury (II). **Sensors and Actuators B: Chemical**. 139: 91–96.
37. J. Peia, H. Zhua, X. Wang, H. Zhang and X. Yang. 2012. Synthesis of cysteamine-coated CdTe quantum dots and its application in mercury (II) detection. **Analytica Chimica Acta**. 757: 63–68.
38. A.-N. Liang, L. Wang, H.-Q. Chen, B.-B. Qian ,B. Ling and J. Fu. 2010. Synchronous fluorescence determination of mercury ion with glutathione-capped CdS nanoparticles as a fluorescence probe. **Talanta**. 81: 438–443.
39. Y.-Q. Wang, Y. Liu, X.-W. He, W.-Y. Li and Y.-K. Zhang. 2012. Highly sensitive synchronous fluorescence determination of mercury (II) based on the denatured ovalbumin coated CdTe QDs. **Talanta**. 99: 69–74.
40. Y.-S. Xia and C.-Q. Zhu. 2008. Use of surface-modified CdTe quantum dots as fluorescent probes in sensing mercury (II). **Talanta**. 215–221.

41. J. Duan, X. Jiang, S. Ni, M. Y. and J. Zhan. 2011. Facile synthesis of N-acetyl-l-cysteine capped ZnS quantum dots as an eco-friendly fluorescence sensor for Hg^{2+} . **Talanta**. 85: 1738–1743.
42. L.O. Leal, O. Elsholz, R. Forteza and V. Cerd. 2006. Determination of mercury by multisyringe flow injection system with cold-vapor atomic absorption spectrometry. **Analytica Chimica Acta**. 573–574: 399–405.
43. O. Wurl, O. Elsholz and R.Ebinghaus. 2000. Flow system device for the on-line determination of total mercury in seawater. **Talanta**. 52: 51–57.
44. Y. Zhang and S. B. Adeloju. 2008. A novel sequential injection—Cold vapour atomic absorption spectrometric system for rapid and reliable determination of mercury. **Talanta**. 74: 951–957.
45. D.G. da Silva, L. A. Portugal, A. M. Serra, S. L.C. Ferreira and V. Cerda. 2013. Determination of mercury in rice by MSFIA and cold vapour atomic fluorescence spectrometry. **Food Chemistry**. 137: 159–163.
46. Stoll and Blanchard. Citrate – phosphate buffer. **General Methods for Handling Proteins and Enzymes**. 1990.
47. H. Shoaee, M. Roshdi, N. Khanlarzadeh and A. Beiraghi. 2012. Simultaneous preconcentration of copper and mercury in water samples by cloud point extraction and their determination by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**. 98: 70–75.
48. Miller and Miller, 1993. **Cognitive Development**.
49. <http://en.wikipedia.org/wiki/Acetylcysteine> (มิถุนายน 2556)
50. J. Chen, Y. Gao, Z. Xu, G. Wu, Y. Chen and C. Zhu. 2006. A novel fluorescent array for mercury (II) ion in aqueous solution with functionalized cadmium selenide nanoclusters. **Analytica Chimica Acta**. 577: 77 -84.
50. R. Kho, L.Claudia and R. K. Mehral. 2000. A Simple Colloidal Synthesis for Gram-Quantity Production of Water-Soluble ZnS Nanocrystal Powders. **Journal of Colloid and Interface Science**. 227: 561 – 566.

ภาคผนวก ก

กลไกการเกิดปฏิกิริยาควอนซิงระหว่างควอนตัมดอทและปรอท

1. โครงสร้างของอะซีติลซิสเตอีน [49]



รูปที่ ก.1 แสดง โครงสร้างของอะซีติลซิสเตอีน

2. การเคลือบพื้นผิวของอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทด้วยอะซีติลซิสเตอีน [50- 51]

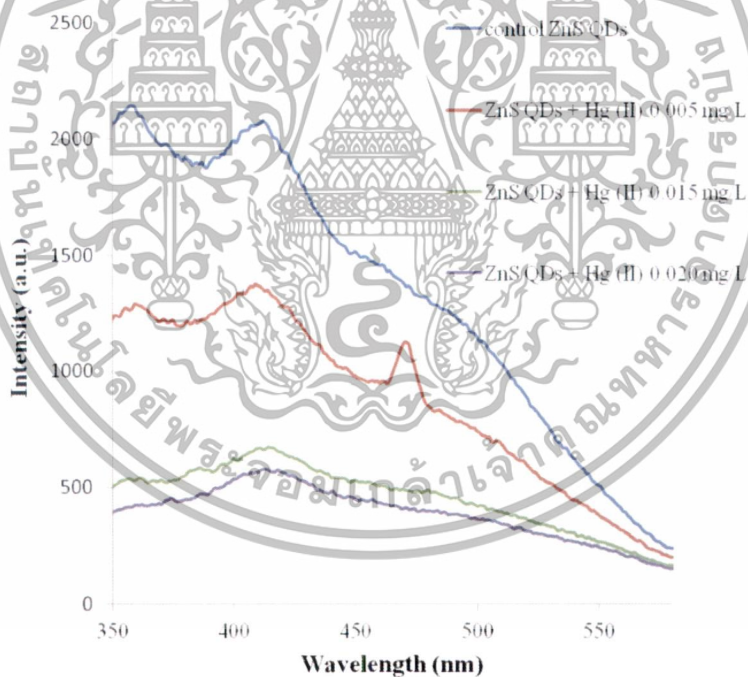
อะตอมของซิงค์จะเกิดพันธะโควาเลนต์กับหมู่ไทออล (-SH) และหมู่คาร์บอกซิล (-COO) ของอะซีติลซิสเตอีน (NAC) โดยจะเกิดเป็น zinc - cysteine complex และซัลไฟด์จะเกิดการรวมตัวกับอะตอมของซิงค์ที่ยังไม่เกิดการทำปฏิกิริยาเกิดเป็นอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ จากนั้น zinc - cysteine complex จะล้อมรอบอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ เกิดเป็นอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่มีการเคลือบพื้นผิวด้วยอะซีติลซิสเตอีน สามารถแสดงโครงสร้างได้ดังรูปที่ ก.2

ภาคผนวก ข

สเปกตรัมการเรืองแสงและค่าการเรืองแสงของ ซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท

1. สเปกตรัมการเรืองแสงและค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอทเมื่อทำปฏิกิริยากับปรอท โดยการวิเคราะห์แบบ batch

นำอนุภาคซิงค์ซัลไฟด์ควอนตัมดอทที่สังเคราะห์ได้ไปทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานปรอท (Hg II) ที่ความเข้มข้นต่าง (0 – 0.020 มิลลิกรัมต่อลิตร) ทำการวัดค่า Intensity ที่ลดลงของควอนตัมดอท



รูปที่ ข.1 สเปกตรัมการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอทเมื่อทำปฏิกิริยากับปรอท โดยการวิเคราะห์แบบ batch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ค่าการคายแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท เมื่อทำปฏิกิริยากับปรอท โดยการวิเคราะห์แบบ batch

concentration of mercury (mg/L)	$I_0(1)$	$I_0(2)$	I_0AV	I_1	I_2	I_0AV/I_1	I_0AV/I_2	I_0/I_{AV}	SD	RSD
0	1860.32	1857.26	1858.79	1860.32	1857.26	1.00	1.00	1.00	0.00	0.12
0.005	1860.32	1857.26	1858.79	1228.41	1252.43	1.51	1.48	1.50	0.02	1.37
0.015	1860.32	1857.26	1858.79	624.64	661.78	2.98	2.81	2.89	0.12	4.08
0.020	1860.32	1857.26	1858.79	544.22	548.86	3.42	3.39	3.40	0.02	0.60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการทดลอง

1. ชนิดของบัฟเฟอร์

ทำการศึกษานิตของบัฟเฟอร์ที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยมีชนิดของบัฟเฟอร์ที่เลือกศึกษาคือ

- 1.) ซิตริก – ไตโซเดียมฟอสเฟต (citric – Na_2HPO_4)
- 2.) โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต – ไตโซเดียมฟอสเฟต (NaH_2PO_4 – Na_2HPO_4)
- 3.) ทริส – ไฮโดรคลอริก (Tris – HCl)

โดยสารละลายบัฟเฟอร์ทุกชนิดจะควบคุมให้พีเอชที่ค่าเท่ากับ 7.2

ตารางที่ ค.1 (ก) ค่าการคายแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอทเมื่อใช้บัฟเฟอร์ชนิดซิตริก – ไตโซเดียมฟอสเฟต

Hg (II) (mg/L)	I_1	I_2	I_3	I_4	I_{AV}	I_{0AV}/I_1	I_{0AV}/I_2	I_{0AV}/I_3	I_{0AV}/I_4	I_0/I_{AV}	SD	% RSD
0	610.66	622.85	620.46	642.17	624.04	1.02	1.00	1.01	0.97	1.00	0.02	2.09
0.005	616.46	623.70	637.01	625.66	625.71	1.01	1.00	0.98	1.00	1.00	0.01	1.35
0.05	615.63	623.50	626.05	662.52	631.93	1.01	1.00	1.00	0.94	0.99	0.03	3.21
0.25	536.65	540.56	541.45	542.88	540.39	1.16	1.15	1.15	1.15	1.15	0.01	0.50
0.5	445.07	445.48	435.85	437.86	441.07	1.40	1.40	1.43	1.43	1.41	0.02	1.12
5	118.30	113.35	111.90	121.20	116.19	5.28	5.51	5.58	5.15	5.38	0.20	3.70

ตารางที่ ค.1 (ข) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอทเมื่อใช้บัฟเฟอร์ชนิดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต – ไตโซเดียมฟอสเฟต

Hg (II) (mg/L)	I_1	I_2	I_3	I_4	I_{AV}	I_{0AV}/I_1	I_{0AV}/I_2	I_{0AV}/I_3	I_{0AV}/I_4	I_0/I_{AV}	SD	% RSD
0	539.59	565.26	567.52	567.76	560.03	1.04	0.99	0.99	0.99	1.00	0.03	2.50
0.005	582.15	618.24	642.52	636.36	619.82	0.96	0.91	0.87	0.88	0.90	0.04	4.51
0.05	647.21	645.75	653.39	655.65	650.50	0.87	0.87	0.86	0.85	0.86	0.01	0.73
0.25	558.84	573.66	597.74	580.81	577.76	1.00	0.98	0.94	0.96	0.97	0.03	2.79
0.5	530.36	526.62	535.82	551.96	536.19	1.06	1.06	1.05	1.01	1.04	0.02	2.05
5	265.31	253.10	258.55	251.65	257.15	2.11	2.21	2.17	2.23	2.18	0.05	2.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ค) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอทเมื่อใช้บัฟเฟอร์ชนิดทริส – ไฮโดรคลอริก

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I _{0AV} /I ₄	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0	127.34	138.38	133.45	141.06	135.06	1.06	0.98	1.01	0.96	1	0.05	4.54
0.005	131.67	128.48	137.6	147.87	135.06	1.03	1.05	0.98	0.91	0.99	0.06	6.08
0.05	139.98	135.34	139.95	141.57	135.06	0.96	1	0.97	0.95	0.97	0.02	1.96
0.25	128.2	135.23	134.89	126.1	135.06	1.05	1	1	1.07	1.03	0.04	3.56
0.5	127.97	127.75	125.34	126.52	135.06	1.06	1.06	1.08	1.07	1.06	0.01	0.96
5	70.72	76.37	71.45	73	135.06	1.91	1.77	1.89	1.85	1.85	0.06	3.37

2. พิเอชของบัฟเฟอร์

ทำการศึกษาพิเอชของบัฟเฟอร์ที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยพิเอชที่เลือกศึกษา คือ 2, 4, 6, 7.2 และ 8 ตามลำดับ

ตารางที่ ค.2 (ก) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอทเมื่อใช้บัฟเฟอร์พิเอช 2.0

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I _{0AV} /I ₄	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0.00	152.99	155.90	153.25	155.46	155.90	1.01	0.99	1.01	0.99	1.00	0.01	0.97
0.01	156.21	156.97	153.93	154.65	156.97	0.99	0.98	1.00	1.00	0.99	0.01	0.90
0.05	150.76	144.78	144.53	142.57	144.78	1.02	1.07	1.07	1.08	1.06	0.03	2.39
0.25	152.02	153.99	151.63	157.76	153.99	1.02	1.00	1.02	0.98	1.00	0.02	1.80
0.50	155.56	156.07	152.55	160.21	156.07	0.99	0.99	1.01	0.96	0.99	0.02	2.01
1.00	154.71	154.29	155.06	155.39	154.29	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.00	0.31
2.50	126.35	133.48	135.03	132.39	133.48	1.22	1.16	1.14	1.17	1.17	0.03	2.95
5.00	120.24	121.46	119.58	120.81	121.46	1.28	1.27	1.29	1.28	1.28	0.01	0.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ข) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอทเมื่อใช้บัฟเฟอร์พีเอช 4.0

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I _{0AV} /I ₄	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0.00	332.15	337.77	335.23	345.58	0.98	1.02	1.00	1.01	0.98	0.98	0.02	1.73
0.01	350.77	358.24	358.46	360.51	0.94	0.96	0.94	0.94	0.94	0.94	0.01	1.22
0.05	360.23	358.28	348.61	349.10	0.97	0.94	0.94	0.97	0.97	0.97	0.02	1.69
0.25	321.54	330.74	339.54	338.62	1.00	1.05	1.02	0.99	1.00	1.00	0.03	2.59
0.50	326.22	323.67	325.75	317.44	1.06	1.04	1.04	1.04	1.06	1.06	0.01	1.24
1.00	305.47	304.83	299.33	291.44	1.16	1.11	1.11	1.13	1.16	1.16	0.02	2.13
2.50	246.29	243.62	258.88	253.77	1.33	1.37	1.39	1.30	1.33	1.33	0.04	2.81
5.00	188.87	197.98	206.44	213.09	1.58	1.79	1.71	1.64	1.58	1.58	0.09	5.57

ตารางที่ ค.2 (ค) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอทเมื่อใช้บัฟเฟอร์พีเอช 6.0

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I _{0AV} /I ₄	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0.00	530.87	523.37	536.64	533.18	531.01	1.00	1.01	0.99	1.00	1.00	0.01	1.06
0.01	569.28	563.60	545.06	574.44	563.09	0.93	0.94	0.97	0.92	0.94	0.02	2.31
0.05	551.67	561.98	569.55	557.47	560.17	0.96	0.94	0.93	0.95	0.95	0.01	1.34
0.25	478.96	515.57	534.84	533.16	515.63	1.11	1.03	0.99	1.00	1.03	0.05	5.22
0.50	440.66	449.00	451.82	459.55	450.26	1.21	1.18	1.18	1.16	1.18	0.02	1.73
1.00	368.95	387.93	408.39	407.37	393.16	1.44	1.37	1.30	1.30	1.35	0.07	4.85
2.50	227.78	230.87	232.40	225.93	229.24	2.33	2.30	2.28	2.35	2.32	0.03	1.28
5.00	112.61	120.81	126.24	126.47	121.53	4.72	4.40	4.21	4.20	4.38	0.24	5.53

ตารางที่ ค.2 (ง) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอทเมื่อใช้บัฟเฟอร์พีเอช 7.2

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I _{0AV} /I ₄	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0.00	530.90	567.06	556.24	579.04	558.31	1.05	0.98	1.00	0.96	1.00	0.04	3.74
0.01	619.71	661.24	675.81	671.55	657.08	0.90	0.84	0.83	0.83	0.85	0.03	4.04
0.05	669.72	696.22	699.29	666.87	683.03	0.83	0.80	0.80	0.84	0.82	0.02	2.50
0.25	603.01	613.33	621.46	638.89	619.17	0.93	0.91	0.90	0.87	0.90	0.02	2.43
0.50	591.15	559.10	580.99	548.81	570.01	0.94	1.00	0.96	1.02	0.98	0.03	3.42
1.00	460.73	471.28	480.86	502.58	478.86	1.21	1.18	1.16	1.11	1.17	0.04	3.67
2.50	288.50	305.60	320.60	314.77	307.37	1.94	1.83	1.74	1.77	1.82	0.08	4.67
5.00	257.55	270.88	264.44	263.61	264.12	2.17	2.06	2.11	2.12	2.11	0.04	2.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (จ) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอทเมื่อใช้บัฟเฟอร์พีเอช 8.0

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I _{0AV} /I ₄	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0.00	726.04	754.17	734.18	750.90	741.32	1.02	0.98	1.01	0.99	1.00	0.02	1.82
0.01	731.44	758.99	748.24	757.68	749.08	1.01	0.98	0.99	0.98	0.99	0.02	1.71
0.05	792.46	794.21	796.68	783.10	791.61	0.94	0.93	0.93	0.95	0.94	0.01	0.75
0.25	753.66	756.28	756.62	758.11	756.17	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.00	0.25
0.50	764.64	737.11	748.27	740.73	747.69	0.97	1.01	0.99	1.00	0.99	0.02	1.62
1.00	697.67	739.14	723.62	710.19	717.65	1.06	1.00	1.02	1.04	1.03	0.03	2.48
2.50	559.43	561.03	528.25	540.12	547.21	1.33	1.32	1.40	1.37	1.36	0.04	2.91
5.00	501.65	543.20	550.76	503.57	524.79	1.48	1.36	1.35	1.47	1.42	0.07	4.91

3. ความเข้มข้นของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท

ทำการศึกษาความเข้มข้นของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอทที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยความเข้มข้นที่เลือกศึกษาคือ 1, 2, 3 และ 4 x 10⁻³ โมลต่อลิตรตามลำดับ

ตารางที่ ค.3 (ก) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท ความเข้มข้น 1 x 10⁻³ M

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0.00	829.53	854.64	838.13	840.77	1.00	0.98	1.00	1.00	0.02	1.51
0.01	875.30	892.11	887.97	885.12	1.00	0.94	0.95	0.95	0.01	0.99
0.05	881.08	899.81	889.02	889.97	1.00	0.93	0.95	0.94	0.01	1.05
0.25	840.32	824.12	839.54	834.66	1.01	1.02	1.00	1.01	0.01	1.10
0.50	756.23	760.73	756.95	757.97	1.00	1.11	1.11	1.11	0.00	0.32
1.00	596.51	596.90	597.67	597.02	1.00	1.41	1.41	1.41	0.00	0.10
2.50	298.86	309.67	319.32	309.28	1.03	2.72	2.63	2.72	0.09	3.32
5.00	126.41	135.05	138.03	133.16	1.04	6.23	6.09	6.32	0.29	4.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ข) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท ความเข้มข้น 2×10^{-3} M

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0.00	1354.40	1369.77	1375.45	1366.54	1.01	1.00	0.99	1.00	0.01	0.80
0.50	1312.21	1332.10	1339.83	1328.05	1.04	1.03	1.02	1.03	0.01	1.08
1.00	1160.15	1171.01	1176.55	1169.24	1.18	1.17	1.16	1.17	0.01	0.72
2.50	814.94	832.42	846.08	831.15	1.68	1.64	1.62	1.64	0.03	1.88
5.00	487.15	482.81	493.85	487.94	2.81	2.83	2.77	2.80	0.03	1.14

ตารางที่ ค.3 (ค) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท ความเข้มข้น 3×10^{-3} M

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0.00	1713.25	1721.39	1734.20	1722.95	1.01	1.00	0.99	1.00	0.01	0.61
0.50	1719.49	1692.85	1723.95	1712.10	1.00	1.02	1.00	1.01	0.01	0.99
1.00	1543.05	1554.82	1571.33	1556.40	1.12	1.11	1.10	1.11	0.01	0.91
2.50	1261.44	1282.52	1276.17	1273.38	1.37	1.34	1.35	1.35	0.01	0.85
5.00	901.90	933.15	953.77	929.60	1.91	1.85	1.81	1.85	0.05	2.83

ตารางที่ ค.3 (ง) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท ความเข้มข้น 4×10^{-3} M

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0.00	1240.52	1260.90	1247.59	1249.67	1.00	0.99	1.00	1.00	0.01	0.83
0.50	1211.29	1240.07	1212.82	1221.39	0.99	1.01	1.03	1.02	0.01	1.32
1.00	1097.01	1116.78	1114.27	1109.35	1.00	1.12	1.12	1.13	0.01	0.98
2.50	930.50	923.33	922.68	925.51	1.00	1.35	1.35	1.35	0.01	0.47
5.00	703.23	707.74	703.15	704.71	1.00	1.77	1.78	1.77	0.01	0.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ลำดับในการทำปฏิกิริยา

ทำการศึกษาลำดับในการทำปฏิกิริยา ที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยลำดับที่เลือกศึกษาคือ

1. ลำดับการทำปฏิกิริยาแบบ non-sandwich ใช้ลำดับดังนี้: ควอนตัมคอต (40 ไมโครลิตร) และปรอท (40 ไมโครลิตร)
2. ลำดับการทำปฏิกิริยาแบบ sandwich ใช้ลำดับดังนี้: ควอนตัมคอต (40 ไมโครลิตร) ปรอท (40 ไมโครลิตร) และ ควอนตัมคอต (40 ไมโครลิตร)

ตารางที่ ๓.4 (ก) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมคอต โดยใช้ลำดับปฏิกิริยาแบบ non-sandwich

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0	564.92	577.24	579.71	573.96	1.02	0.99	0.99	1.00	0.01	1.39
0.005	559.74	552.02	541.70	551.15	1.03	1.04	1.06	1.04	0.02	1.65
0.05	591.21	589.16	590.06	590.14	0.97	0.97	0.97	0.97	0.00	0.17
0.25	588.16	593.06	601.25	594.16	0.98	0.97	0.95	0.97	0.01	1.11
0.5	516.60	520.78	517.36	518.25	1.11	1.10	1.11	1.11	0.00	0.43
1	448.33	451.07	460.69	453.36	1.28	1.27	1.25	1.27	0.02	1.42
2.5	311.30	320.89	308.81	313.66	1.84	1.79	1.86	1.83	0.04	2.01
5	187.17	188.27	186.54	187.33	3.07	3.05	3.08	3.06	0.01	0.47

ตารางที่ ๓.4 (ข) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมคอต โดยใช้ลำดับปฏิกิริยาแบบ sandwich

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0	1040.11	1055.26	1033.96	1040.11	1.00	0.99	1.01	1.00	0.01	1.05
0.005	1039.43	1023.64	1041.70	1039.43	1.00	1.02	1.00	1.01	0.01	0.96
0.05	1035.74	1036.59	1063.71	1035.74	1.01	1.01	0.98	1.00	0.02	1.51
0.25	1067.69	1071.16	1079.19	1067.69	0.98	0.97	0.97	0.97	0.01	0.55
0.5	1021.72	1024.61	1024.23	1021.72	1.02	1.02	1.02	1.02	0.00	0.15
1	900.70	925.34	929.16	900.70	1.16	1.13	1.12	1.14	0.02	1.70
2.5	676.77	685.00	694.35	676.77	1.54	1.52	1.50	1.52	0.02	1.28
5	484.36	486.73	509.08	484.36	2.15	2.14	2.05	2.12	0.06	2.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปริมาณสารที่ดูดเข้าสู่ระบบ

ทำการศึกษาปริมาณสารที่ดูดเข้าสู่ระบบ ที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยปริมาตรที่ศึกษาคือ

- 1) ควอนตัมคอตท และ พรอท อย่างละ 20 ไมโครลิตร
- 2) ควอนตัมคอตท และ พรอท อย่างละ 40 ไมโครลิตร
- 3) ควอนตัมคอตท และ พรอท อย่างละ 80 ไมโครลิตร

ตารางที่ ค.5 (ก) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมคอตท โดยใช้ควอนตัมคอตท และ พรอท อย่างละ 20 ไมโครลิตร

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0	204.44	204.12	205.52	204.69	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.36
1	197.51	201.96	198.86	199.44	1.04	1.01	1.03	1.03	0.01	1.14
2.5	174.20	175.14	175.36	174.90	1.18	1.17	1.17	1.17	0.00	0.35
5	145.59	144.09	145.92	145.20	1.41	1.42	1.40	1.41	0.01	0.67

ตารางที่ ค.5 (ข) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมคอตท โดยใช้ควอนตัมคอตท และ พรอท อย่างละ 40 ไมโครลิตร

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0	402.78	401.66	402.96	402.47	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.18
0.5	364.74	364.53	365.80	365.02	1.10	1.10	1.10	1.10	0.00	0.19
1	243.32	249.42	243.20	245.31	1.65	1.61	1.65	1.64	0.02	1.44
2.5	221.43	221.20	220.69	221.11	1.82	1.82	1.82	1.82	0.00	0.17
5	161.93	162.14	164.08	162.72	2.49	2.48	2.45	2.47	0.02	0.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 (ค) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท โดยใช้ควอนตัมดอท และ ปรอท อย่างละ 80 ไมโครลิตร

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0	713.69	714.68	712.21	713.53	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.17
1	502.84	505.22	498.38	502.15	1.42	1.41	1.43	1.42	0.01	0.69
2.5	380.42	383.59	380.54	381.52	1.88	1.86	1.88	1.87	0.01	0.47
5	242.06	245.34	246.74	244.71	2.95	2.91	2.89	2.92	0.03	0.99

6. อัตราการไหล

ทำการศึกษาอัตราการไหลของสาร ในขณะที่ส่งเข้าสู่ระบบตรวจวัด ที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยอัตราการไหลคือ 25, 50 และ 100 ไมโครลิตรต่อวินาที ตามลำดับ

ตารางที่ ค.6 (ก) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท โดยใช้อัตราการไหล 25 ไมโครลิตรต่อวินาที

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0	581.27	578.45	572.52	577.41	0.99	1.00	1.01	1.00	0.01	0.78
0.5	463.02	465.83	461.98	463.61	1.25	1.24	1.25	1.25	0.01	0.43
1	346.02	340.1	336.6	340.91	1.67	1.70	1.72	1.69	0.02	1.39
2	278.50	282.08	275.42	278.67	2.07	2.05	2.10	2.07	0.02	1.20
3	231.42	236.94	244.67	237.68	2.50	2.44	2.36	2.43	0.07	2.79
4	222.64	224.40	218.7	221.91	2.59	2.57	2.64	2.60	0.03	1.32
5	181.01	183.94	186.79	183.91	3.19	3.14	3.09	3.14	0.05	1.57

ตารางที่ ค.6 (ข) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท โดยใช้อัตราการไหล 50 ไมโครลิตรต่อวินาที

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0	478.68	482.40	486.78	482.62	1.01	1.00	0.99	1.00	0.01	0.84
0.5	431.03	437.28	439.28	435.86	1.12	1.10	1.10	1.11	0.01	0.99
1	350.36	354.99	360.69	355.35	1.38	1.36	1.34	1.36	0.02	1.45
2	304.89	309.40	314.02	309.44	1.58	1.56	1.54	1.56	0.02	1.48
3	258.40	259.74	264.97	261.04	1.87	1.86	1.82	1.85	0.02	1.32
4	222.33	227.71	227.62	225.89	2.17	2.12	2.12	2.14	0.03	1.37
5	192.18	194.50	197.16	194.61	2.51	2.48	2.45	2.48	0.03	1.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 (ค) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท โดยใช้อัตราการใช้แสง 100 ไมโครลิตรต่อวินาที

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0	608.21	604.90	597.18	603.43	0.99	1.00	1.01	1.00	0.01	0.94
0.5	439.28	430.15	446.70	438.71	1.37	1.40	1.35	1.38	0.03	1.89
1	342.23	345.48	337.69	341.80	1.76	1.75	1.79	1.77	0.02	1.15
2	282.58	284.05	284.18	283.60	2.14	2.12	2.12	2.13	0.01	0.31
3	266.61	268.72	275.79	270.37	2.26	2.25	2.19	2.23	0.04	1.76
4	232.52	239.65	236.51	236.23	2.60	2.52	2.55	2.55	0.04	1.52
5	232.02	228.68	234.02	231.57	2.60	2.64	2.58	2.61	0.03	1.17

7. ความยาวของโพลีคอยด์

ทำการศึกษาความยาวของโพลีคอยด์ ที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ โดยใช้ความยาวของโพลีคอยด์เป็น 100, 150 และ 200 เซนติเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ ค.7 (ก) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท โดยใช้ความยาวของโพลีคอยด์ 100 เซนติเมตร

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0	658.20	654.75	671.82	661.59	1.01	1.01	0.98	1.00	0.01	1.36
0.5	554.18	549.99	548.63	550.93	1.19	1.20	1.21	1.20	0.01	0.52
1	447.14	449.58	454.07	450.26	1.48	1.47	1.46	1.47	0.01	0.78
2	368.98	366.02	371.12	368.71	1.79	1.81	1.78	1.79	0.01	0.70
3	323.67	326.93	325.48	325.36	2.04	2.02	2.03	2.03	0.01	0.50
4	289.08	295.37	292.62	292.36	2.29	2.24	2.26	2.26	0.02	1.08
5	259.90	266.64	271.66	266.07	2.55	2.48	2.44	2.49	0.06	2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 (ข) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท โดยใช้ความยาวของโฮลดิ้งคอยด์ 150 เซนติเมตร

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0	553.80	556.28	562.47	557.52	1.01	1.00	0.99	1.00	0.01	0.80
0.5	498.58	498.76	507.44	501.59	1.12	1.12	1.10	1.11	0.01	1.00
1	378.81	390.48	389.58	386.29	1.47	1.43	1.43	1.44	0.02	1.70
2	296.36	303.33	305.54	301.74	1.88	1.84	1.82	1.85	0.03	1.60
3	260.90	269.76	270.94	267.20	2.14	2.07	2.06	2.09	0.04	2.08
4	245.14	246.90	237.06	243.03	2.27	2.26	2.35	2.29	0.05	2.18
5	196.74	199.68	204.76	200.39	2.83	2.79	2.72	2.78	0.06	2.01

ตารางที่ ค.7 (ค) ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท โดยใช้ความยาวของโฮลดิ้งคอยด์ 200 เซนติเมตร

Hg (II) (mg/L)	I ₁	I ₂	I ₃	I _{AV}	I _{0AV} /I ₁	I _{0AV} /I ₂	I _{0AV} /I ₃	I ₀ /I _{AV}	SD	% RSD
0	646.28	654.56	657.16	652.67	1.01	1.00	0.99	1.00	0.01	0.87
0.5	563.04	560.12	558.41	560.52	1.16	1.17	1.17	1.16	0.00	0.42
1	434.27	438.37	438.92	437.19	1.50	1.49	1.49	1.49	0.01	0.58
2	357.42	363.85	362.42	361.23	1.83	1.79	1.80	1.81	0.02	0.94
3	306.51	310.11	315.72	310.78	2.13	2.10	2.07	2.10	0.03	1.49
4	245.84	248.46	252.62	248.97	2.65	2.63	2.58	2.62	0.04	1.37
5	220.94	227.28	226.74	224.99	2.95	2.87	2.88	2.90	0.05	1.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

กราฟมาตรฐานที่ได้จากสถานะที่เหมาะสม

เมื่อได้สถานะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยอาศัยระบบซีเคเวนเซีย
ลอินเจกชันอะนาไลซิสแล้ว จึงได้ทำการสร้างมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอท

ตารางที่ ง. ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท ภายใต้สถานะที่เหมาะสม

Hg(II) (mg/L)	I0	I1	I2	I3	I0/I1	I0/I2	I0/I3	I0/Iav	SD	% RSD
0	601.42	601.31	596.87	606.08	1.00	1.01	0.99	1.00	0.01	0.77
0.5	601.42	550.86	546.43	536.55	1.09	1.10	1.12	1.10	0.01	1.35
1	601.42	412.60	411.76	413.78	1.46	1.46	1.45	1.46	0.00	0.25
2	601.42	350.14	345.93	350.48	1.72	1.74	1.72	1.72	0.01	0.73
3	601.42	301.76	304.92	301.20	1.99	1.97	2.00	1.99	0.01	0.66
4	601.42	248.18	247.54	249.46	2.42	2.43	2.41	2.42	0.01	0.39
5	601.42	220.18	224.51	227.02	2.73	2.68	2.65	2.69	0.04	1.55
10	601.42	117.12	119.32	119.92	5.14	5.04	5.02	5.06	0.06	1.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ประเมินคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์

1. ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์

ในการหาความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ จะประเมินจากค่าร้อยละของการวิเคราะห์ที่คืนกลับ โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ที่เติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นสุดท้าย 4 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไป จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของตัวอย่างที่มีการเติมสารละลายมาตรฐาน และค่าร้อยละของการวิเคราะห์ที่คืนกลับ

ตารางที่ จ.1 ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมตอท ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ที่เติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นสุดท้าย 4 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไป

I_0	I_1	I_2	I_3	I_0/I_1	I_0/I_2	I_0/I_3	I_0/I_{av}	SD	% RSD	Hg added (mg/L)	Hg found (mg/L)	Recovery (%)
212.07	95.19	92.42	92.56	2.23	2.29	2.29	2.27	0.04	1.66	4.00	3.74	93.53
212.07	90.92	90.83	91.48	2.33	2.33	2.32	2.33	0.01	0.39	4.00	3.92	97.98
212.07	97.05	96.42	97.44	2.19	2.20	2.18	2.19	0.01	0.53	4.00	3.48	86.98
212.07	96.56	97.84	98.88	2.20	2.17	2.14	2.17	0.03	1.19	4.00	3.42	85.62
212.07	95.91	97.12	98.35	2.21	2.18	2.16	2.18	0.03	1.26	4.00	3.47	86.72

4. 2 ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

ในการหาความเที่ยงของวิธี จะพิจารณาจากค่าร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ โดยทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานปรอท ที่ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซ้ำๆเป็นจำนวน 5 ครั้ง จากนั้นหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

ตารางที่ จ.2 ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ที่เติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นสุดท้าย 3 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไป

I_0	212.07
I_1	102.30
I_2	105.01
I_3	103.64
I_4	101.17
I_5	102.49
I_{AV}	102.92
I_0/I_1	2.07
I_0/I_2	2.02
I_0/I_3	2.05
I_0/I_4	2.10
I_0/I_5	2.07
I_0/I_{av}	2.05
SD	0.03
% RSD	1.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้นกับการวิเคราะห์
ปริมาณปรอทโดยอาศัยเทคนิค ICP-OES

ทำการตรวจวัดปริมาณปรอทในน้ำตัวอย่าง ได้แก่ตัวอย่างน้ำดื่ม น้ำประปา และน้ำทิ้งจาก
โรงงานอุตสาหกรรม ที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ลงไป และ
เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นและเทคนิค ICP – OES ด้วยวิธีการทางสถิติ

ตารางที่ ฉ.1 ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมดอท ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ที่เติม
สารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ลงไป

I ₀	I ₁	I ₂	I ₃	I ₀ /I ₁	I ₀ /I ₂	I ₀ /I ₃	I ₀ /I _{av}	SD	% RSD	Hg(II) added (mg/L)	Hg(II) found (mg/L)
212.07	150.24	153.11	153.80	1.41	1.39	1.38	1.39	0.02	1.25	1.00	1.01
212.07	116.06	118.43	118.12	1.83	1.79	1.80	1.80	0.02	1.10	2.00	2.29
212.07	114.26	115.64	116.82	1.86	1.83	1.82	1.84	0.02	1.11	2.00	2.39
212.07	97.05	96.42	97.44	2.19	2.20	2.18	2.19	0.01	0.53	4.00	3.48
212.07	96.56	97.84	98.88	2.20	2.17	2.14	2.17	0.03	1.19	4.00	3.42

ตารางที่ ฉ.2 การเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ pair t – test

t-Test: Paired Two Sample for Means

Variable	Variable 2	
	1	2
Mean	2.52	2.48
Variance	1.02	2.20
Observations	5	5
Pearson Correlation	0.99	
Hypothesized Mean Difference	0.00	
df	4.00	
t Stat	0.18	
P(T<=t) one-tail	0.43	
t Critical one-tail	2.13	
P(T<=t) two-tail	0.87	
t Critical two-tail	2.78	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้นกับการวิเคราะห์ปริมาณ ปรอทโดยวิธีแบบ Batch

ทำการตรวจวัดปริมาณปรอทในตัวอย่างน้ำทะเล ที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นต่างๆลงไป เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นและวิธีแบบ Batch ด้วยวิธีการทางสถิติ

ตารางที่ ข.1 ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมคอปท ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ที่เติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นต่างๆลงไป โดยการวิเคราะห์ด้วยระบบ SIA

I_0	I_1	I_2	I_3	I_0/I_1	I_0/I_2	I_0/I_3	I_0/I_{AV}	SD	% RSD	Hg(II) added (mg/L)	Hg(II) found (mg/L)
212.07	119.19	119.14	119.38	1.78	1.78	1.78	1.78	0.00	0.11	2.00	2.21
212.07	82.80	83.15	83.46	2.56	2.55	2.54	2.55	0.01	0.40	5.00	4.61

ตารางที่ ข.2 ค่าการเรืองแสงของซิงค์ซัลไฟด์ ควอนตัมคอปท ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ที่เติมสารละลายมาตรฐานปรอทที่ความเข้มข้นต่างๆลงไป โดยการวิเคราะห์แบบ Batch

I_0	I_1	I_2	I_0/I_1	I_0/I_2	I_0/I_{AV}	SD	% RSD	Hg(II) added (mg/L)	Hg(II) found (mg/L)
887.14	812.7	824.76	1.09	1.08	1.08	0.01	1.04	2.00	2.22
887.14	740.55	746.77	1.20	1.19	1.19	0.00	0.30	5.00	5.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 การเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ pair t – test

t-Test: Paired Two Sample for Means

	Variable 1	Variable 2
Mean	3.71	3.41
Variance	4.44	2.88
Observations	2	2
Pearson Correlation	1	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	1	
t Stat	1.03	
P(T<=t) one-tail	0.24	
t Critical one-tail	6.31	
P(T<=t) two-tail	0.49	
t Critical two-tail	12.71	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวอรฉัตร เลิศอิทธิพร
วัน เดือน ปีเกิด	22 กรกฎาคม 2531
ที่อยู่	156 ซ. อ่อนนุช 50 ถ.สุขุมวิท 77 แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง จ.กรุงเทพมหานคร 10250 โทร 080-157-9097
ประวัติการศึกษา	2552 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2554 – 2556	ผู้ช่วยสอน ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 1 ปฏิบัติกรเคมีวิเคราะห์ 2 ปฏิบัติการการประยุกต์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทาง สิ่งแวดล้อม
ผลงานวิจัย	
พ.ศ.2554	นำเสนอผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการ paccon 2011 ในหัวข้อ “Naked Eye Detection of Albumin”
พ.ศ.2556	นำเสนอผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการ paccon 2013 ในหัวข้อ “Synthesis and Characterization of CdS Quantum Dots and Its Application to Spectrofluorometric Determination of Mercury (II)”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้