



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การหาปริมาณการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงิน  
และไอออนเงิน (I) ในผลิตภัณฑ์อาหาร  
(Determination of silver nanoparticle  
and Ag (I) contaminated in food products)

หัวหน้าโครงการผู้รับทุน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อภิญา นวคุณ

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้  
(เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562  
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 23442  
สัญญาเลขที่ 12/2562

## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

### โครงการ

การหาปริมาณการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงิน  
และไอออนเงิน (I) ในผลิตภัณฑ์อาหาร  
(Determination of silver nanoparticle  
and Ag (I) contaminated in food products)

หัวหน้าโครงการผู้รับทุน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อภิญา นวคุณ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล)  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เลขที่  
สัญญา 12/2562

## Acknowledgement

This work was financially supported by the Research Grant of Burapha University through National Research Council of Thailand (Grant no. 12/2562)

## บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นไอออนเงินในตัวอย่างน้ำด้วยเทคนิคด้วยวิธีการสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจาย และการสกัดไอออนเงินในตัวอย่างอาหารด้วยเทคนิคด้วยวิธีการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิก และตรวจวัดปริมาณไอออนเงินด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโทรเมตรีสำหรับการหาปริมาณไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงิน โดยได้ศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์พบว่ามีค่าที่ยอมรับได้ตามวิธีมาตรฐานสากล นอกจากนี้ยังได้นำวิธีการนี้ไปวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างอาหารทะเล โดยพบปริมาณไอออนเงินในตัวอย่างน้ำดื่ม น้ำผิวดินและน้ำทะเลต่ำกว่าค่ามาตรฐาน สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินในตัวอย่างอาหารทะเลพบปริมาณไอออนเงินอยู่ในช่วง 1.13 -3.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อนำมาประเมินความเสี่ยงพบว่าตัวอย่างอาหารส่วนใหญ่มีความเสี่ยงในการบริโภคต่ำ อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ปริมาณอนุภาคนาโนของเงินพบในปริมาณต่ำมากอันเนื่องมาจากความไม่เสถียรของอนุภาคนาโนของเงินในสิ่งแวดล้อม

## Abstract

The dispersive liquid liquid microextraction for extraction and preconcentration of silver ion in water sample and the ultrasonic extraction for extraction of silver ion in food samples were developed in this research for determination of silver ion and silver nanoparticles. The proposed methods were validated by mean of international standard criteria. The method was also used to determine silver ions and silver nanoparticles in water and seafood samples. The amount of silver ions found in the drinking water, surface water and sea water are below the standard value. For the analysis of silver ions in seafood samples, silver ions were found in the range of 1.13 - 3.16 mg/kg. In addition, in the risk assessment study, it was found that most food samples were at a low risk. However, the silver nanoparticles found in samples were in trace level due to the instability of silver nanoparticles in the environment.

# สารบัญเรื่อง

	หน้า
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
เนื้อหาของเรื่องที่เคยมีผู้ทำการวิจัยมาก่อน	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	8
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	9
ขอบเขตของงานวิจัย	9
แนวทางความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย	9
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	11
<b>บทที่ 2 การดำเนินการวิจัย</b>	
2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี	12
2.2 วิธีทดลอง	13
2.2.1 การศึกษา method validation ของวิธีการวิเคราะห์ไอออนเงินตามวิธีมาตรฐาน	15
2.2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง	16
2.2.3 การประเมินความเสี่ยงของไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม	17
<b>บทที่ 3 ผลและการอภิปรายผลการวิจัย</b>	
3.1 ผลการศึกษา method validation ของวิธีการวิเคราะห์	19
3.1.1 ความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ของเทคนิค DLLME	19
3.1.2 ความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ของเทคนิค Ultrasonic extraction	24
3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่าง	30
3.2.1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ	30
3.2.2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างอาหารทะเล	32
3.3 การประเมินความเสี่ยงของไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม	34
<b>บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยในขั้นตอนต่อไป</b>	37
<b>ผลผลิต</b>	38
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	39
<b>ประวัตินักวิจัยและคณะ</b>	45

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสารเชิงซ้อนและการสกัดระดับจุลภาค ด้วยของเหลวแบบกระจายตัวในการวิเคราะห์ไอออนเงินใน ตัวอย่างน้ำ	14
ตารางที่ 2.2 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารเชิงซ้อนไอออนเงินในตัวอย่าง อาหารทะเลด้วยเทคนิคการสกัดด้วยอัลตราโซนิก	14
ตารางที่ 2.3 สรุปลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน	14
ตารางที่ 2.4 สภาวะที่อนุภาคนาโนของเงินสลายตัวเป็นไอออนเงิน	15
ตารางที่ 2.5 ลักษณะตัวอย่างและสถานีเก็บตัวอย่าง	18
ตารางที่ 3.1 ค่าการดูดกลืนแสงจากการศึกษาความเป็นเส้นตรง (n=3)	19
ตารางที่ 3.2 ค่าการดูดกลืนแสงของแบลงค์ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าขีดจำกัดใน การตรวจวัดและขีดจำกัดในการวิเคราะห์ปริมาณ (n=12)	20
ตารางที่ 3.3 ค่าการดูดกลืนของสารเชิงซ้อนจากการศึกษา Repeatability (n=12)	21
ตารางที่ 3.4 ค่าการดูดกลืนของสารเชิงซ้อนจากการศึกษา Reproducibility (n=12)	22
ตารางที่ 3.5 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานไอออนเงินที่ความ เข้มข้นต่างๆ	23
ตารางที่ 3.6 ผลการศึกษาร้อยละการได้กลับคืนของตัวอย่างน้ำดื่ม	24
ตารางที่ 3.7 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (n=3)	24
ตารางที่ 3.8 ค่าการดูดกลืนแสงของแบลงค์ในการศึกษาขีดจำกัดการตรวจวัดและ ขีดจำกัดการวิเคราะห์ปริมาณ	25
ตารางที่ 3.9 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนจากการศึกษา Repeatability (n=12)	26
ตารางที่ 3.10 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนจากการศึกษา Reproducibility (n=12)	27
ตารางที่ 3.11 ค่าการดูดกลืนแสงของไอออนเงินที่ความเข้มข้นต่างๆ (n=3)	28
ตารางที่ 3.13 ความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยวิธี DLLME	29
ตารางที่ 3.14 ผลการศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างของแข็งด้วย เทคนิคultrasonic Extraction	30



	หน้า
ตารางที่ 3.15 ค่าความเข้มข้นของไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่างน้ำ	30
ตารางที่ 3.16 ค่าความเข้มข้นของไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่างน้ำ	31
ตารางที่ 3.17 ปริมาณไอออนเงินที่ตรวจพบในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร	34
ตารางที่ 3.18 ปริมาณไอออนเงินที่ตรวจพบในตัวอย่างในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	34
ตารางที่ 3.19 ปริมาณไอออนเงินที่ได้รับต่อวันและค่าสัดส่วนความเสี่ยง	36

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงินจากการศึกษาความเป็นเส้นตรง	19
รูปที่ 3.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานไอออนเงิน	23
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนกับความเข้มข้นของไอออนเงิน (มิลลิกรัมต่อลิตร) (n=3)	25
รูปที่ 3.4 กราฟมาตรฐานของไอออนเงินสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างของแข็ง (n=3)	28
รูปที่ 3.5 ปริมาณไอออนเงินที่พบในตัวอย่างน้ำ	32
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างอาหารทะเลที่นำมาวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงิน	33

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

DLLME	Dispersive liquid liquid microextraction
SD	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
%RSD	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์
HQ	ค่าสัดส่วนความเสี่ยง
EDI	ปริมาณไอออนเงินที่ได้รับต่อวัน

## บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

### (Executive Summary)

ข้าพเจ้า ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภิญา นวคุณ ได้รับทุนสนับสนุนโครงการวิจัยจากมหาวิทยาลัยบูรพา ประเภทงบประมาณรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) มหาวิทยาลัยบูรพา โครงการวิจัยเรื่อง การหาปริมาณการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในผลิตภัณฑ์อาหาร (Determination of silver nanoparticle and Ag (I) contaminated in food products) รหัสโครงการ 23442 / สัญญาเลขที่ 12/2562 ได้รับงบประมาณรวมทั้งสิ้น 592,700 บาท (ห้าแสนเก้าหมื่นสองพันเจ็ดร้อยบาทถ้วน) ระยะเวลาการดำเนินงาน 1 ปี 11 เดือน (ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม 2561 ถึง 31 สิงหาคม 2563)

## บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นไอออนเงินในตัวอย่างน้ำด้วยเทคนิคด้วยวิธีการสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจาย และการสกัดไอออนเงินในตัวอย่างอาหารด้วยเทคนิคด้วยวิธีการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิก และตรวจวัดปริมาณไอออนเงินด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโทรเมตรีสำหรับการหาปริมาณไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงิน โดยได้ศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์พบว่ามีความแม่นยำที่ยอมรับได้ตามวิธีมาตรฐานสากล นอกจากนี้ยังได้นำวิธีการนี้ไปวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างอาหารทะเล โดยพบปริมาณไอออนเงินในตัวอย่างน้ำดื่ม น้ำผิวดินและน้ำทะเลต่ำกว่าค่ามาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินในตัวอย่างอาหารทะเลพบปริมาณไอออนเงินอยู่ในช่วง 1.13 -3.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อนำมาประเมินความเสี่ยงพบว่าตัวอย่างอาหารส่วนใหญ่มีความเสี่ยงในการบริโภคต่ำ อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ปริมาณอนุภาคนาโนของเงินพบในปริมาณต่ำมากอันเนื่องมาจากความไม่เสถียรของอนุภาคนาโนของเงินในสิ่งแวดล้อม

## Abstract

The dispersive liquid liquid microextraction for extraction and preconcentration of silver ion in water sample and the ultrasonic extraction for extraction of silver ion in food samples were developed in this research for determination of silver ion and silver nanoparticles. The proposed methods were validated by mean of international standard criteria. The method was also used to determine silver ions and silver nanoparticles in water and seafood samples. The amount of silver ions found in the drinking water, surface water and sea water are below the standard value. For the analysis of silver ions in seafood samples, silver ions were found in the range of 1.13 -3.16 mg/ kg. In addition, in the risk assessment study, it was found that most food samples were at a low risk. However, the silver nanoparticles found in samples were in trace level due to the instability of silver nanoparticles in the environment.

## Output/Outcome

1. Navakhun, A., and Natongtam, A. (2019). Determination of silver (I) in seafood samples by ultrasonic extraction method. *In the Proceedings of PACCON 2019*. (pp AC112-AC116). Bangkok: BITEC.

สถานะ ตีพิมพ์แล้ว

2. อภิญญา นวคุณ และ ณรงค์ดี ผาสุกเจริญไพบูลย์ (xxx) ปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินในสิ่งแวดล้อม

สถานะ อยู่ในระหว่างการเขียนบทความวิจัย

## ข้อเสนอแนะ

รายงานวิจัยนี้เป็นรายงานวิจัยปีที่ 2 ของโครงการวิจัยต่อเนื่อง 2 ปี ผลการศึกษาของโครงการวิจัยสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการศึกษาผลกระทบของไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินที่มีต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ได้ ตลอดจนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเฝ้าระวังผลกระทบของไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินได้ อย่างไรก็ตามหากต้องการข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติม โดยใช้วิธีการอื่นๆ ในการยืนยันผลให้มีความถูกต้องมากขึ้น

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 งานวิจัยที่มีผู้ทำการวิจัยมาก่อน

#### การวิเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินด้วยเทคนิคต่างๆ

Tatiana และคณะ (2019) ได้วิเคราะห์ปริมาณอนุภาคนาโนของเงิน โดยทำการสกัดอนุภาคนาโนของเงินด้วยเทคนิค dispersive suspended microextraction ด้วย octanol หลังจากนั้นสกัดย้อนกลับให้อนุภาคนาโนของเงินเข้าสู่ชั้นน้ำที่มีกรดไนตริกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อเปลี่ยนอนุภาคนาโนของเงินให้กลายเป็นไอออนเงินก่อนวิเคราะห์ปริมาณด้วยเทคนิค atomic absorption spectrometry พบว่าวิธีการนี้ได้ร้อยละการได้กลับคืน 90-104% และมีค่าความเที่ยง (reproducibility) น้อยกว่า 7%

Anekthirakun และ Imyim (2019) ได้แยกไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินด้วยเทคนิค solid phase extraction โดยใช้ aminopropylsilica (SiAP) เป็นตัวดูดซับของแข็ง และใช้สารละลาย thiourea ในการชะและแยก ไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินออกจากกัน และนำไปวิเคราะห์ปริมาณด้วยเทคนิค ICP-OES

นุจรินทร์ วะสุกัน และคณะ (2561) ได้ศึกษาการใช้ไดโตะโซโทนเพื่อตรวจวิเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินในสารละลายที่เป็นของเหลว รวมทั้งการศึกษาความจำเพาะเจาะจงของอนุภาคนาโนของเงินเปรียบเทียบกับไอออนของโลหะอื่นๆ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อสารละลายไดโตะโซโทนทำปฏิกิริยากับอนุภาคนาโนของเงินและโลหะไอออนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวเป็นสีส้ม ในกรณีสารประกอบเชิงซ้อนอนุภาคนาโนของเงินกับไดโตะโซโทนเท่านั้น โดยมีการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 477 นาโนเมตร และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้เท่ากับ 0.071 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นวิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการตรวจวิเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่าง

Pablo, Eric และ Mohammad (2017) ได้ศึกษาการตรวจวัดอนุภาคนาโนของเงินในน้ำธรรมชาติด้วยเทคนิค UV-Visible spectroscopy เมื่อมีการปรับขนาดของคิวเวตที่ใช้โดยเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ง่ายสามารถตรวจวัดอนุภาคนาโนของเงินได้จากการวิเคราะห์พบว่าค่าขีดจำกัดการตรวจวัดของอนุภาคนาโนโดยใช้คิวเวตที่มีความยาวมากกว่า 10 เซนติเมตร ร่วมกับเทคนิค UV-Visible spectroscopy มีค่าอยู่ในช่วง 0.1-10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าขีดจำกัดการตรวจวัดนี้มีค่าต่ำพอที่จะตรวจวัดอนุภาคนาโนของเงินในธรรมชาติ

Gürkan และคณะ (2016) ศึกษาเทคนิคการสกัดด้วยอัลตราโซนิก โดยใช้สารซาฟรานิน-ที เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดสารเชิงซ้อนของไอออนเงิน การศึกษาได้ใช้ตัวอย่างผัก 10 กรัม ย่อยด้วย กรดไนตริก : กรดเปอร์คลอริก : น้ำ (1:1:1 v/v) วางในอ่างอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 15 นาที กรองตัวอย่าง ในสภาวะที่เหมาะสม เกิดสารเชิงซ้อนของไอออนเงินกับโพแทสเซียมไอโอดด์ 0.005 โมลต่อลิตร เติมสารซาฟรานิน-ที 0.1x10<sup>-4</sup> โมลต่อลิตร พีเอช 6 สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ หมุนเหวี่ยงที่ 3000 รอบต่อนาที เวลา 5 นาที วางในอ่างอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิ 40 °C เป็น

เวลา 10 นาที นำไปหมุนเหวี่ยงที่ 4000 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที เติมนีโอทานอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฟลม อะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรเมทรี วิธีนี้ให้ช่วงของความเข้มข้นเท่ากับ 0.08-90 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9975 ได้ค่าขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าขีดจำกัดการวิเคราะห์ปริมาณเท่ากับ 0.08 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 2.2-3.6% ที่ความเข้มข้นไอออนเงิน 0.5, 5, 0 และ 2.5 ไมโครกรัมต่อลิตร เทคนิคนี้สามารถนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไอออนเงินในผักและผลไม้

Bahar (2015) ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดระดับจุลภาคด้วยตัวทำละลายกระจายตัว (DLLME) เพื่อหาปริมาณไอออนเงิน สภาวะที่ศึกษาได้แก่ พีเอชของสารละลายบัฟเฟอร์ ตัวทำละลายที่ใช้สกัด ตัวทำละลายกระจายตัว ปริมาตรของตัวทำละลายผสม และเวลาในการสกัด โดยใช้ไอออนเงินทำปฏิกิริยากับไดไทโซน เข้มข้น 0.1 กรัมต่อลิตร มีสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต พีเอช 2 ละลายผสมรวมกัน มีเอทานอลเป็นตัวทำละลายกระจายตัว คาร์บอนเตตระคลอไรด์เป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัด ปริมาตรตัวทำละลายรวมผสมที่ใช้คือ เอทานอล 1.5 มิลลิลิตร คาร์บอนเตตระคลอไรด์ 100 ไมโครลิตร และเวลาในการสกัด 5 นาที และได้ศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ พบว่าช่วงของความเข้มข้นตรงอยู่ที่ 0.05-0.80 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 30.4 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร และ ค่าการเพิ่มความเข้มข้น เท่ากับ 73.21

Dasbasi, Sacmaci, Ulgen และ Kartal (2015) ใช้เทคนิคการสกัดแบบ dispersive liquid-liquid microextraction เพื่อสกัดไอออนเงินและหาปริมาณด้วยเทคนิค flame atomic absorption spectroscopy ในการสกัดอาศัยการเกิดสารเชิงซ้อนของไอออนเงินกับ 8-hydroxyquinoline และทำการสกัดสารเชิงซ้อนด้วยคลอโรฟอร์ม โดยมีเอทานอลเป็นตัวทำละลายกระจายตัว สภาวะที่เหมาะสมในการทดลองได้แก่ พีเอช 6 และใช้ 8-hydroxyquinoline ความเข้มข้น 0.1% ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้สกัดและตัวทำละลายกระจายตัวคือ 400 และ 1600 ไมโครลิตร ตามลำดับ เวลาในการสกัด 10 นาที และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมได้กราฟมาตรฐานที่มีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.02-0.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 2.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ 4% และค่าร้อยละการได้กลับคืนอยู่ในช่วง 95-102%

Rastegarzadeh, Pourreza และ Larki (2015) ใช้เทคนิคการสกัดแบบ dispersive liquid-liquid microextraction ซึ่งเป็นวิธีที่รวดเร็ว สำหรับวิเคราะห์ไอออนเงินและตรวจวัดด้วยเทคนิค flame atomic absorption spectrometry (FAAS) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในวิเคราะห์ไอออนเงินด้วยการเกิดสารเชิงซ้อนของไอออนเงินกับ 2-mercaptobenzimidazole และสกัดด้วยวิธี DLLME โดยใช้คาร์บอนเตตระคลอไรด์เป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัดและอะซิโตนเป็นตัวทำละลายกระจายตัว สภาวะที่เหมาะสมในการทดลองได้แก่ พีเอช 5.5 2-mercaptobenzimidazole ความเข้มข้น 0.026 โมลต่อลิตร ปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้สกัดและตัวทำละลายกระจายตัวคือ 200 ไมโครลิตร และ 3 มิลลิลิตร ตามลำดับ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ได้กราฟมาตรฐานที่มีช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้น 1-100 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.41 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร และค่าร้อยละการได้กลับคืนอยู่ในช่วง 95.3-104.6% โดยวิธีการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาไอออนเงินในน้ำ น้ำเสียจากการล้างรูปและน้ำเสียจากการทำเหมืองแร่ Saadat, Nahid และ Arash (2015) ได้ศึกษาการหาปริมาณไอออนเงินปริมาณน้อยโดยใช้การสกัด



ระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจายและใช้เทคนิค Flame atomic absorption spectroscopy ในการตรวจวัด วิธีนี้ใช้วิธีการแยกที่มีประสิทธิภาพสูงและทำการเพิ่มความเข้มข้นของไอออนเงินโดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ 2-เมอร์แคปโตเบนซิมิดาโซล และสกัดโดยกระบวนการสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจายโดยใช้คาร์บอนเตตระคลอไรด์เป็นตัวสกัดและอะซีโตนเป็นตัวทำละลายกระจาย เมื่อทำการสกัดจะเกิดเป็นสารละลายขุ่น (Cloudy solution) ทำให้เกิดการแยกชั้นเป็นชั้นของสารละลายและชั้นตัวทำละลาย โดยจะดูไอออนเงินที่ละลายอยู่ในชั้นตัวทำละลายไปวิเคราะห์ต่อโดยเทคนิค Flame atomic absorption spectroscopy วิธีนี้ให้ช่วงความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 1–100 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร และค่าขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.41 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร วิธีการที่นำเสนอถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนเงินปริมาณน้อยในตัวอย่างน้ำและน้ำเสียที่มาจากผลการประมวลผลฟิล์มรังสีวิทยาและตัวอย่างแร่

Behbahani และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาปริมาณทองและไอออนเงินในดิน โดยเทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง และตรวจหาปริมาณด้วยเทคนิคเฟลม อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรี เตรียมดินโดยขังมา 50 มิลลิกรัม ย่อยด้วย 37% กรดไฮโดรคลอริก : 2% กรดไนตริก ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ย่อยด้วยระบบไมโครเวฟ เป็นเวลา 8 นาที เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร บรรจุ 3,4-dihydroxybenzaldehyde-MCM-41 ลงในคอลัมน์และล้างคอลัมน์ด้วยเอทานอล โทลูอีน เอทานอลตามลำดับ และน้ำปราศจากไอออน นำสารละลายตัวอย่างปรับพีเอชเป็น 5 แล้วผ่านคอลัมน์โดยการดูดซับบนของแข็ง 3,4-dihydroxybenzaldehyde-MCM-41 และชะไอออนของโลหะด้วย 2 M HCl : 0.5 M ไทโอยูเรีย ปริมาตร 3 มิลลิลิตร วิธีนี้พบช่วงของความเข้มข้นเป็นเส้นตรงเท่ากับ 0.5-80.0 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร และ 1 -180 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับทองและไอออนเงิน ค่าขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.09 และ 0.5 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับทองและไอออนเงิน ร้อยละการได้กลับคืนอยู่ในช่วง 96-99%

Mashhadizadeh และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาปริมาณไอออนเงินและปรอทในอาหาร โดยเทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง มี Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles ที่เคลือบด้วย 3-(trimethoxysilyl)-1-propanethiol และปรับสภาพด้วย ethylene glycol bis-mercaptoacetate (EGBMA-MSPT-MNPs) เฟสของแข็งแบบแม่เหล็กเป็นตัวดูดซับปริมาณ 50 มิลลิกรัม ในการวิเคราะห์ตัวอย่างได้เตรียมตัวอย่างปลาทุให้เป็นเนื้อเดียวก่อน นำตัวอย่าง 0.5 กรัม เติมกรดไนตริก ปริมาตร 7 มิลลิลิตร และ 30%(v/v) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ย่อยด้วยระบบไมโครเวฟ เป็นเวลา 10 นาที เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนให้ได้ 300 มิลลิลิตร แล้วปรับพีเอชให้เป็น 6 ด้วย 0.1 M กรดไนตริก นำสารละลายผ่านEGBMA-MSPT-MNPs ร่วมกับอัลตราโซนิก และชะไอออนของโลหะด้วย 1 M กรดไฮโดรคลอริก : 5% (w/v) ไทโอยูเรีย ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ตรวจหาปริมาณด้วยเทคนิค ICP-OES วิธีนี้ให้ค่าขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.07 และ 0.01 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับไอออนเงินและปรอท ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 3.1 และ 3.6% สำหรับไอออนเงินและปรอท ร้อยละการได้กลับคืนอยู่ในช่วง 96.7-102.0% วิธีนี้ถูกนำไปหาปริมาณไอออนเงิน และปรอท ในอาหารกระป๋อง เนื้อสัตว์ และผัก

Chen และคณะ (2012) ได้ทำการหาปริมาณไอออนเงิน ด้วยการสกัดด้วยเทคนิคการสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจายตัวโดยใช้อัลตราโซนิกช่วย (UAE-DLLME) จากการศึกษาพบว่า ความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดในการสกัดแบบ UAE-DLLME คือ 415 นาโนเมตร

และเทคนิค DLLME คือ 460 นาโนเมตร และได้สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแบบ UAE-DLLME ได้แก่ ไอออนเงินเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อลิตร ไดโทโซนเข้มข้น  $3.5 \times 10^{-6}$  โมลต่อลิตร และเวลาในการอัลตราโซนิก 3 นาที สำหรับทำให้ไอออนเงินกับไดโทโซนเกิดเป็นสารเชิงซ้อน Ag-Dithizone ได้ค่าขีดจำกัดการตรวจวัดอยู่ที่ 0.45 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าร้อยละการได้กลับคืน อยู่ที่ 95.7–104.3%.

Fabiana, Marco และ Zezzi (2012) ได้ศึกษาวิธีการหาปริมาณไอออนเงินโดยไม่มีขั้นตอนการเพิ่มความเข้มข้นโดยใช้ Thermo spray flame atomic absorption spectrometer โดยได้ศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้ ชนิดของสารเคลื่อนที่และอัตราการไหล ปริมาตรของตัวอย่าง สภาวะของเปลวไฟ (อัตราการไหลของอะเซทิลีนและอากาศ) อัตราการไหลของน้ำในตัวพ่นละออง ท่อโลหะและประเภทและความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ใช้เจือจาง และมีค่าขีดจำกัดการตรวจวัดและการหาปริมาณเท่ากับ 0.15 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.50 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ระหว่าง 0.50 ไมโครกรัมต่อลิตร ถึง 40 ไมโครกรัมต่อลิตร

Calle และคณะ (2011) ศึกษาเทคนิคการสกัดด้วยอัลตราโซนิก ตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอิเล็กโทรเทอร์มอล อะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโทรเมทรี ในการตรวจวัดหาไอออนเงินในตะกอน โดยชั่งตัวอย่างแห้ง 30 มิลลิกรัม สกัดด้วยสารละลายผสม 25% (v/v) กรดไนตริก : 25% (v/v) กรดไฮโดรฟลูออริก : 5% (v/v) กรดไฮโดรคลอริก (1:1:1) ปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร นำไปอัลตราโซนิกเป็นเวลา 20 นาที ที่อัตราการสั่น 60% ของโซนิเคชันโพรบ นำไปหมุนเหวี่ยงที่ 5000 รอบต่อ นาที เวลา 2 นาที ทำการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง ได้ค่าขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.08 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าขีดจำกัดการวิเคราะห์ปริมาณเท่ากับ 0.30 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 3.7% ร้อยละการได้กลับคืนอยู่ในช่วง 81.4-107.0% สภาวะที่เหมาะสมนี้สามารถพัฒนาไปใช้กับตะกอนและดินในเขตแม่น้ำได้

Karimi และคณะ (2011) วิเคราะห์ไอออนเงินด้วยเทคนิค flame atomic absorption spectrometry โดยการแยกไอออนเงินด้วย 2-mercaptobenzothiazole/sodium dodecyl sulfate ตรึงบน alumina-coated magnetite nanoparticles (MBT/SDS-ACMNPs) สภาวะที่เหมาะสมของการทดลองได้แก่ พีเอช 6.5 MBT ความเข้มข้น  $4 \times 10^{-7}$  โมลต่อลิตร และ SDS ความเข้มข้น  $2.0 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง enrichment factor เท่ากับ 250 สำหรับสารละลายตัวอย่าง 500 มิลลิลิตร ชิดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.56 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ช่วงความเป็นเส้นตรงที่ความเข้มข้น 2.0–100.0 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ความเที่ยงมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ 3.1% และค่าร้อยละการได้กลับคืนอยู่ในช่วง 96-102% โดยวิธีการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาไอออนเงินในน้ำตัวอย่าง

Kocurova และคณะ (2011) ใช้เทคนิคการสกัดแบบ dispersive liquid-liquid microextraction เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไอออนเงินด้วยเทคนิค UV-Visible spectrophotometry โดยการเกิดสารเชิงซ้อนของไอออนเงินกับ bisindocarbocyanine chloride (BDIC) สภาวะที่เหมาะสมในการทดลองได้แก่ พีเอช 6 KI ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร BDIC ความเข้มข้น  $5.0 \times 10^{-5}$  โมลต่อลิตร และทำการสกัดสารเชิงซ้อนด้วยโทลูอีนและคาร์บอนเตตระคลอไรด์เป็นตัวทำละลายช่วย โดยมีเอทานอลเป็นตัวทำละลายกระจายตัว ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมได้กราฟมาตรฐานที่มีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.07–2.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความยาวคลื่น 566 นาโน

เมตร และขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร วิธีการนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสามารถวิเคราะห์ไอออนเงินในสารตัวอย่างได้ เช่น อนาคตนาโนของเงินและฟิล์มบางกึ่งตัวนำได้

Liang, LZhang และ Zhao (2010) ใช้เทคนิคการสกัดแบบ displacement-dispersive liquid-liquid microextraction เพื่อวิเคราะห์หาไอออนเงินในสิ่งแวดล้อมและตรวจวัดปริมาณด้วยเทคนิค graphite furnace atomic absorption spectrometry โดยการทำให้ปฏิกิริยาของไอออนเงินกับ Copper-diethyldithiocarbamate (Cu-DDTC) และสกัดสารเชิงซ้อนด้วยคาร์บอนเตตระคลอไรด์ โดยมีเมทานอลเป็นตัวทำละลายกระจายตัว ซึ่งจะเกิด cloudy solution ของสารละลายไอออนเงินในตัวอย่างกับเมทานอล เนื่องจากไอออนเงินมีขนาดใหญ่กว่าไอออนคอปเปอร์ ทำให้มีความเสถียรมากกว่า ได้สารเชิงซ้อน Ag-DDTC สภาวะที่เหมาะสมในการทดลองได้แก่ DDTC ความเข้มข้น 0.06 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร Cu ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตรของตัวทำละลายกระจายตัว 0.20 มิลลิลิตร และปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้สกัด 48 ไมโครลิตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ได้ช่วงความเป็นเส้นตรงที่ความเข้มข้น 0.1-5.0 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9996 ขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 20 นาโนกรัมต่อลิตร ความเที่ยงมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ 2.7% และ enhancement factor เท่ากับ 72 วิธีการวิเคราะห์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาไอออนเงินในสิ่งแวดล้อมและในทางธรณีวิทยาได้

Christou และ Anthemidis (2009) ใช้เทคนิคการสกัดแบบ Flow injection on-line displacement/solid phase เพื่อวิเคราะห์หาไอออนเงินในน้ำตัวอย่างและตรวจวัดด้วยเทคนิค flame atomic absorption spectroscopy (FAAS) โดยเติม lead diethyldithiocarbamate (Pb-DDTC) เป็นตัวดูดซับลงในคอลัมน์ที่มี PTFE-turnings โดยไอออนเงินจะไปแทนที่ lead(II) ใน lead diethyldithiocarbamate (Pb-DDTC) ได้สารเชิงซ้อน Ag-DDTC จากนั้นชะคอลัมน์ด้วย isobutyl methyl ketone (IBMK) สภาวะที่เหมาะสมในการทดลองได้แก่ เวลาที่ใช้ 120 วินาที อัตราการไหล 7.6 มิลลิลิตรต่อนาที enrichment factor เท่ากับ 110 ขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.2 กรัมต่อลิตร และความเที่ยงมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ 3.1% ที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อลิตร

Mohammadia และคณะ (2009) ใช้เทคนิคการสกัดแบบ dispersive liquid-liquid microextraction เพื่อวิเคราะห์ไอออนเงินด้วยเทคนิค flame atomic absorption spectrometry โดยมีคาร์บอนเตตระคลอไรด์เป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัด และเอทานอลเป็นตัวทำละลายกระจายตัว สภาวะที่เหมาะสมในการทดลองได้แก่ ปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้สกัดและตัวทำละลายกระจายตัว คือ 15.0 ไมโครลิตร และ 0.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ พีเอช 5 และเวลาที่ใช้สกัด 5 นาที ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ได้กราฟมาตรฐานที่มีช่วงความเป็นเส้นตรงที่ความเข้มข้น 5.0 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร-2.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9995 ขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 1.2 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ความเที่ยงมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ 1.5% และได้ร้อยละการได้กลับคืนในช่วง 98-106%

Yang และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาปริมาณนิกเกิล เงิน และแคดเมียมในดิน โดยเทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง ชั่งดิน 0.1 กรัม เติมกรดไนตริก ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรฟลูออริก ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำเข้าเตาอบไมโครเวฟ เป็นเวลา 20 นาที เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออน 20 มิลลิลิตร เติม 1% 2-(2-Quinolinil azo)-4-methyl-1,3-dihydroxido-

benzene ปริมาตร 10 ไมโครลิตร เตรียมคอลัมน์โดยใช้ MCI GEL CHP 20Y ล้างคอลัมน์ด้วยน้ำ อะซิโตน และน้ำตามลำดับ นำสารละลายตัวอย่างปรับพีเอชเป็น 8.0 แล้วผ่านคอลัมน์โดยการดูดซับบนของแข็ง MCI GEL CHP 20Y และชะไอออนของโลหะด้วย 1.0 M กรดไนตริก ปริมาตร 10 มิลลิตร และตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอิเล็กโทรเทอร์มอล อะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโทรเมทรี พบช่วงของความเข้มข้นเป็นเส้นตรงเท่ากับ 0.012-190, 0.010-120 และ 0.015-120 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับนิกเกิล ไอออนเงิน และแคดเมียม ตามลำดับ ค่าขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 1.00, 0.85 และ 1.40 นาโนกรัมต่อลิตร สำหรับนิกเกิล ไอออนเงิน และแคดเมียม ตามลำดับ ร้อยละการได้กลับคืนอยู่ในช่วง 93-102%

Gavrilenko และ Saranchina (2008) ได้ทำการหาปริมาณไอออนเงิน ด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางสเปกโทรโฟโตเมทรีแบบการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (Solid phase) โดยไอออนเงินทำปฏิกิริยากับไดไทโซนาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิด Ag-dithizone พบว่าไอออนเงินเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และไดไทโซน 0.002 โมลต่อลิตร ทำการสแกนหาสเปกตรัมการเกิดสารเชิงซ้อนที่พีเอชต่างๆ ได้ผลว่า สารเชิงซ้อน AgHDz มีความยาวคลื่น 462 นาโนเมตรและ สารเชิงซ้อน Ag<sub>2</sub>Dz มีความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ในการทดลองนี้สามารถถูกรบกวนได้สารอื่นอีกด้วย เช่น Ni(II), Zn(II), Co(II), Cu(II), Mn(II), Cd(II), Hg(II), Bi(III) และ Pb(II) เป็นต้น ในการหาปริมาณของไอออนเงินจากตัวอย่าง เช่น น้ำแร่ และ ยาชนิดต่างๆ พบว่าในน้ำแร่มีปริมาณไอออนเงินอยู่ ประมาณ 0.05-0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในยาไม่มีปริมาณไอออนเงิน

Absalan และ Goud (2004) ได้ทำการหาปริมาณของไอออนเงิน โดยการสกัดแบบ Solid-phase ซึ่งมี SDS เป็นตัวดูดซับ ทำปฏิกิริยากับ ไดไทโซน จากการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการเกิดสารละลาย โดยใช้ไอออนเงินเข้มข้น 5 ไมโครกรัมต่อลิตรและตัวดูดซับ (DTZ/SDS/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ที่พีเอช 5.5 เป็นพีเอชที่เหมาะสม ทำการศึกษาอัตราการไหลในการวิเคราะห์เครื่อง FAAS ที่เหมาะสมเท่ากับ 2.5 มิลลิตรต่อนาที และได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับตัวชะ โดยศึกษาความเข้มข้น พีเอชของสารละลายที่ชะ อัตราการไหลในการชะ ได้ว่า Thiourea เป็นตัวชะ ที่ความเข้มข้น 0.4 โมลต่อลิตร พีเอช 5 เป็นพีเอชที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ขั้นต่อไป และ อัตราการไหลที่ 1.0 มิลลิตรต่อนาที สภาวะที่ทำการศึกษานี้ นำไปใช้ในการวิเคราะห์กับตัวอย่างต่อไป โดยตัวอย่างที่ใช้เป็นน้ำจากในแม่น้ำ มีปริมาณไอออนเงินอยู่ที่ช่วง 0.192-0.540 มิลลิกรัม และเมื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์นี้ให้ค่า %RSD เท่ากับ 3.21%

### การสังเคราะห์และการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน

ณศร่า แก้วคง และคณะ (2557) ได้ศึกษาวิธีสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของอนุภาคนาโนของเงินเพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งทอการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินทำได้ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมีโดยใช้ NaBH<sub>4</sub> เป็นตัวรีดิวซ์โดยมีสภาวะ 2 สภาวะคือ ที่ภายใต้อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปตรวจสอบสมบัติของอนุภาคนาโนของเงินด้วย Spectrophotometer, Scanning Electron microscope และ Dynamic light scattering พบว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ให้อนุภาคที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาดเล็กกว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินที่อุณหภูมิห้อง โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 84±5 นาโนเมตร และมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด 391 นาโนเมตร เมื่อนำอนุภาคนาโนของเงินไปทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* สายพันธุ์มาตรฐาน AATCC 6538

และ *Escherichia coli* สายพันธุ์มาตรฐาน AATCC 8739 พบว่าอนุภาคนาโนของเงินสามารถยับยั้งการทำงานของเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli*

Kandarp (2013) ได้ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินโดยปฏิกิริยารีดักชันของสารละลาย  $\text{AgNO}_3$  โดยใช้  $\text{NaBH}_4$  โดยแอนไอออนโบโรไฮไดรด์จะดูดซับลงบนอนุภาคนาโนของเงินและการเติมสาร PVP จะช่วยป้องกันการรวมตัวของอนุภาคนาโนที่เกิดขึ้น โดยสีของอนุภาคนาโนที่ได้จะมีสีเหลืองมีความยาวคลื่นประมาณ 386 นาโนเมตร โดยใช้ Spectrophotometer ที่มี Surface Plasmon Resonance (SPR) และพบว่าอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 10 ถึง 20 นาโนเมตร

ปาริชาติ สดสุริยะ (2551) ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินที่มีความเข้มข้นสูง (10,000 ส่วนในล้านส่วน) และมีเสถียรภาพสูง สังเคราะห์โดยวิธีรีดักชันเกลือซิลเวอร์ด้วย  $\text{NaBH}_4$  ในสภาวะที่มีสารคงสภาพโดยสารคงสภาพที่ใช้คือ PVP, เจลาตินและแป้ง การตรวจสอบขนาดและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคนาโนของเงินด้วย UV-Visible spectroscopy และ Transmission electron microscope (TEM) พบว่าอนุภาคนาโนของเงินที่อยู่ในสารละลายแป้งจะมีขนาดเล็กและการกระจายตัวแคบกว่าอนุภาคนาโนของเงินในสารละลายเจลาตินและสารละลาย PVP อนุภาคนาโนของเงินในสารละลายแป้งจะถูกตรึงลงบนผ้าฝ้ายและผ้าโพลีเอสเตอร์ด้วยกระบวนการอัด วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ เนื่องจากไม่ต้องเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตและเครื่องจักรของโรงงานโดยลูกกลิ้งในกระบวนการอัดมีการควบคุมแรงกด เพื่อควบคุมปริมาณของคอลลอยด์น้ำของอนุภาคนาโนของเงินบนผ้า ผลจากการศึกษาด้วย Transmission electron microscope ยืนยันการเกาะติดของอนุภาคนาโนของเงินบนผ้าสมบัติการต้านแบคทีเรียของอนุภาคนาโนของเงินบนผ้าถูกทดสอบโดย AATCC test method 147-1998 ของ the American Association of Textiles Chemist and Colorists พบว่าอนุภาคนาโนของเงินมีฤทธิ์ต้านการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้ดี

Pronk (2009) ได้ศึกษาการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน โดยพบว่าอนุภาคนาโนของเงินมีลักษณะสมบัติเหมือนกันกับไอออนเงินทั่วไป อนุภาคนาโนของเงินเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำแต่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นไอออนเงินที่แตกตัวอยู่ในน้ำได้ ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ต่อไปโดยอนุภาคนาโนของเงินซึ่งเป็นของแข็งที่เป็นโลหะมักจะละลายน้ำ แต่จะอยู่ลักษณะรวมเป็นกลุ่มหรือในรูปของอนุภาคนาโนที่ไม่ละลายน้ำมีลักษณะเป็นคอลลอยด์ เมื่ออนุภาคนาโนของเงินผสมอยู่ในน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนเงินและเกิดการออกซิเดชันที่พื้นผิวซึ่งจะทำให้ได้ไอออนของโลหะที่ถูกออกซิไดซ์ในรูปของ  $\text{Ag}^+$  ที่ล้อมรอบด้วยนาโนของเงินที่ยังอยู่ในรูปโลหะหรืออนุภาคนาโนอยู่ในน้ำ โดยอนุภาคนาโนของเงินเมื่อปรากฏในน้ำจึงจะให้ไอออนเงินด้วย โดยการสลายตัวนั้นมีหลายสภาวะ เช่น ความร้อนแสงที่มีความเข้มสูง จนกระทั่งการถูกออกซิไดซ์หรือถูกรีดิวซ์อย่างรุนแรงซึ่งในการพิจารณาถึงปฏิกิริยาเคมีของอนุภาคนาโนของเงินจึงต้องครอบคลุมถึงไอออนเงินด้วย

## 1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เงิน (Silver, Ag) ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากสมบัติการต้านแบคทีเรีย เช่นการใช้สารประกอบเงินในการกรองน้ำในสระว่ายน้ำหรือกระบวนการผลิตน้ำดื่ม ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร ยา และเครื่องสำอาง นอกจากนี้เงินยังใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมภาพถ่ายและอุตสาหกรรมสิ่งทอ อีกทั้งในปัจจุบันจากความเจริญก้าวหน้าทางนาโนเทคโนโลยีจึงมีการใช้อนุภาคนาโนในผลิตภัณฑ์ในชีวิตประจำวันมากขึ้น เช่น การใช้อนุภาคนาโนของเงินในผลิตภัณฑ์ซักผ้า ในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เพื่อวัตถุประสงค์ในการลดการเจริญของแบคทีเรีย จากการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินโดยอุตสาหกรรมและจากประชาชนทั่วไป และจากการขาดความรู้เกี่ยวกับอันตรายของไอออนเงินทำให้เกิดการชะล้างและทิ้งน้ำเสียดังกล่าวสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและไหลลงสู่ทะเลโดยปราศจากการบำบัด ทำให้เกิดการปลดปล่อยของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินสู่สิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมากและปนเปื้อนสู่อาหาร จนทำให้เกิดปัญหาความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ได้เนื่องจากเงินมีความเป็นพิษต่อระบบประสาท (neurotoxicity) โดยองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ของ Ag(I) ในน้ำดื่มมีค่า 0.1 mg/L และองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US-EPA) กำหนดค่าที่แนะนำสูงสุดของ Ag(I) ในน้ำดื่ม ที่ 0.05 mg/L นอกจากนี้ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตอาหารทะเลที่สำคัญ โดยส่งอาหารทะเลหลายชนิดเช่น กุ้ง การปนเปื้อนสารพิษในอาหารทะเลจะก่อให้เกิดปัญหาการส่งออกของไทยจากการกีดกันทางการค้าอันก่อให้เกิดผลกระทบต่อรายได้และการพัฒนาเศรษฐกิจของไทยได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาปริมาณอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลเพื่อใช้เป็นประโยชน์ในการบริหารจัดการเรื่องความปลอดภัยในผลิตภัณฑ์อาหาร (Food Safety) โดยเน้นศึกษาในอาหารทะเล เช่น ปลา กุ้ง ปูและหอย โดยเฉพาะที่มีแหล่งเพาะเลี้ยงบริเวณภาคตะวันออกของประเทศไทย เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการสัมผัสกับแหล่งน้ำที่มาจากอุตสาหกรรมและน้ำทิ้งจากชุมชนเป็นปริมาณมาก โดยปริมาณการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินในอาหารทะเล เพื่อบ่งบอกถึงระดับความเป็นพิษของอาหาร สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดการปัญหาความเป็นพิษที่มีต่อสุขภาพมนุษย์ได้ นอกจากนี้ยังประเมินถึงแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนและไอออนเงิน เพื่อหาวิธีการป้องกันและเป็นแนวทางการบริหารจัดการและการแก้ปัญหาการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนเงินและไอออนเงินที่มีต่อสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยของอาหารต่อไปได้

### 1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจวัดอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหาร
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน
3. เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหาร
4. เพื่อประเมินความเป็นพิษของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหาร
5. เพื่อหาที่มาของการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหาร
6. เพื่อหาแนวทางป้องกันการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหาร
7. เพื่อหาแนวทางป้องกันอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ในการรับประทานอาหารที่มีการปนเปื้อนไอออนเงิน

### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหาร ด้วยวิธีการสกัดแบบจุลภาค (microextraction)
2. ศึกษาวิธีการวัดปริมาณอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ที่มีสภาพไวระดับไมโครกรัม ด้วยวิธีทางสเปกโตรสโคปี
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน เช่น ความเป็นกรด-เบส อุณหภูมิ การถูกแสง เป็นต้น
4. หาปริมาณอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินในตัวอย่างอาหารทะเล ที่มีแหล่งผลิตบริเวณภาคตะวันออกของประเทศไทย
5. หาปริมาณอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินในตัวอย่างน้ำทะเล น้ำทิ้งจากชุมชนและน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่ไหลลงสู่ทะเล
6. ประเมินความพิษของตัวอย่างอาหารที่พบการปนเปื้อนอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานความปลอดภัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ
7. ระบุที่มาของการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหาร
8. เผยแพร่วิธีการป้องกันการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) แก่เกษตรกรและชุมชน

### 1.5 แนวทางความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย

การปลดปล่อยน้ำทิ้งที่มีอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินจากอุตสาหกรรมและการใช้งานในชีวิตประจำวัน ทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ปนเปื้อนและสะสมในอาหารจนทำให้เกิดปัญหาความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ได้ นอกจากนี้ประเทศไทยโดยเฉพาะภาคตะวันออกเป็นแหล่งผลิตอาหารทะเลที่สำคัญ อย่างไรก็ตามพื้นที่ภาคตะวันออกยังเป็นพื้นที่ที่มีการพัฒนาทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว มีนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เช่นนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด นิคมอุตสาหกรรมและท่าเรือแหลมฉบัง นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมโรงแรมและชุมชนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น ทำให้ปัญหาการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนและไอออนเงินจากอุตสาหกรรมและจากชุมชนสู่แหล่งผลิตอาหารทะเลเช่น

กระชังปลา ฟาร์มเลี้ยงกุ้งและฟาร์มเลี้ยงหอย ที่มีอยู่ทั่วไปบริเวณชายทะเลภาคตะวันออก จากปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของอาหารในเรื่องความปลอดภัยของอาหาร (Food Safety) ซึ่งสามารถเกิดปัญหาของสุขภาพมนุษย์ที่บริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนสารพิษ และยังมีผลต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยได้เนื่องจากการส่งออกผลิตภัณฑ์ที่มีการปนเปื้อนจะทำให้เกิดปัญหาการกีดกันทางการค้าได้

ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาปริมาณอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในผลิตภัณฑ์อาหารทะเล เช่น ปลา กุ้ง ปูและหอย ที่มีแหล่งเพาะเลี้ยงบริเวณภาคตะวันออกของประเทศไทย เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการสัมผัสกับแหล่งน้ำที่มาจากอุตสาหกรรมและน้ำทิ้งจากชุมชนเป็นปริมาณมาก โดยปริมาณการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินในอาหารทะเล เพื่อบ่งบอกถึงระดับความเป็นพิษของอาหาร สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดการปัญหาความเป็นพิษที่มีต่อสุขภาพมนุษย์ได้ นอกจากนี้ได้ศึกษาแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนและไอออนเงิน โดยหาปริมาณการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินจากน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากชุมชน และน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ที่เกี่ยวข้องกับแหล่งเพาะเลี้ยงอาหารทะเล เพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณการปนเปื้อนในอาหารกับแหล่งที่มาของการปนเปื้อน โดยศึกษาเปรียบเทียบตัวอย่างที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เขตชุมชนหนาแน่น (ตำบลอ่างศิลา ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี) พื้นที่ใกล้เขตอุตสาหกรรม (มาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง และแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี) และพื้นที่ห่างไกลเขตชุมชนหนาแน่นและเขตอุตสาหกรรม (อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี) เพื่อหาวิธีการป้องกันและเป็นแนวทางการบริหารจัดการและการแก้ปัญหาการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนเงินและไอออนเงินที่มีต่อสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยของอาหารต่อไปได้

อย่างไรก็ตามปริมาณของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินที่ปนเปื้อนในตัวอย่างอาหารและตัวอย่างน้ำในสิ่งแวดล้อมมีอยู่ในระดับต่ำ (ระดับไมโครกรัมต่อลิตร) จึงต้องมีการพัฒนาวิธีการหาปริมาณอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินดังกล่าว โดยจากรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาปริมาณอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินจะใช้เทคนิค atomic spectrometry เช่น flame atomic absorption, inductively coupled plasma mass spectrometry ในการวิเคราะห์ไอออนเงินในตัวอย่างและใช้เทคนิคในการเตรียมตัวอย่างเพื่อสกัดและเพิ่มความเข้มข้นก่อนการวิเคราะห์ โดยในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเทคนิคการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินด้วยวิธีการสกัดแบบจุลภาค (microextraction) เช่นเทคนิค dispersive liquid liquid microextraction ซึ่งเป็นเทคนิคที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องใช้สารเคมีปริมาณน้อยในระดับไมโครลิตร และสามารถเพิ่มความเข้มข้นของตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ (50-500 เท่า) จากผลการศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินในตัวอย่างอาหารทะเล น้ำทะเล น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมและน้ำทิ้งจากชุมชนจะเป็นข้อมูลสำคัญในการบ่งบอกและประเมินความปลอดภัยของอาหาร และสามารถใช้เป็นแนวทางในการป้องกันความพิษต่อสุขภาพมนุษย์จากการบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อน และจากการศึกษาแหล่งที่มาของการปนเปื้อนสามารถนำไปใช้ในการหาแนวทางป้องกันและแก้ไขการปนเปื้อนจากชุมชน อุตสาหกรรมสู่สิ่งแวดล้อมและอาหารและเผยแพร่ต่อชุมชนและเกษตรกรที่เกี่ยวข้องกับการเพาะเลี้ยง



## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการตรวจวัดอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหารที่มีประสิทธิภาพ
2. ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินเพื่อใช้ประเมินความเสี่ยงในสิ่งแวดล้อม
3. ได้ทราบการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหารเพื่อนำไปใช้ในการประเมินความเป็นพิษของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหาร
4. ได้ทราบแหล่งที่มาของการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหารเพื่อใช้ประโยชน์ในการหาแนวทางป้องกันการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหาร

## บทที่ 2 การดำเนินการวิจัย

### 2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องยิววี-วิลิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น UH5300 บริษัท Hitachi, Japan
- เครื่องทำน้ำปราศจากไอออน บริษัท Barnstead, U.S.A
- เครื่องชั่งแบบละเอียด รุ่น RC 250 S บริษัท Sartorius, New Zealand
- เครื่องชั่งแบบหยาบ บริษัท Mettler Toledo, Switzerland
- เครื่องพีเอชมิเตอร์ บริษัท Mettler Toledo, Switzerland
- เครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง บริษัท Sorvall, USA
- เซลล์ใส่ตัวอย่าง ขนาด 70 ไมโครลิตร ความกว้าง 1 เซนติเมตร บริษัท Hellma Analytics, Germany
- ไมโครปิเปต ขนาด 300 ไมโครลิตร, 1000 ไมโครลิตร และ 5 มิลลิลิตร บริษัท Thermo Scientific, Finland
- ไมโครไซริงค์ ขนาด 250 ไมโครลิตร บริษัท Agilent, Australia
- ขวดแก้ว (vial) ใส่ตัวอย่างพร้อมฝา ขนาด 2 และ 30 มิลลิลิตร
- ขวดวัดปริมาตร ขนาด 5, 10, 25, 50, 100, 200 และ 500 มิลลิลิตร
- ปิเปต ขนาด 5, 10 และ 25 มิลลิลิตร
- บิเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร

#### สารเคมี

- ซิลเวอร์ไนเตรต : Silver nitrate ( $\text{AgNO}_3$  , Mw=169.87 g/mol , AR Grade บริษัท POCh S.A , Australia )
- ไดไทโซน : Dithizone ( $\text{C}_{13}\text{H}_{12}\text{N}_4\text{S}$  , Mw=256.32 g/mol , AR Grade บริษัท Ajax Chemicals, Australia )
- โซเดียมเตตระบอเรต : Borax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  , Mw=381.37 g/mol , AR Grade บริษัท Ajax Finechem, Australia )
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ : Sodium hydroxide ( $\text{NaOH}$  , Mw= 40.00 g/mol , AR Grade บริษัท Ajax Chemicals, Australia )
- โซเดียมไบคาร์บอเนต : Sodium bicarbonate ( $\text{NaHCO}_3$  , Mw=84.007 g/mol , AR Grade บริษัท Ajax Chemicals, Australia )
- แอมโมเนียมคลอไรด์ : Ammonium chloride ( $\text{NH}_4\text{Cl}$  , Mw=53.49 g/mol , AR Grade บริษัท Asia Pacific Specialty Chemicals Limited, Australia )
- แอมโมเนีย : Ammonia ( $\text{NH}_3$  , Mw= 17.03 g/mol , AR Grade บริษัท Panrec, Spain )

- โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต : Potassium dihydrogen phosphate ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$  , Mw=136.09 g/mol , AR Grade บริษัท VWR Prolabo Chemicals , Belgium )
- ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตโดเดคะไฮเดรต : Disodium hydrogen phosphate ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  , Mw= 358.14 g/mol , AR Grade บริษัท VWR Prolabo Chemicals, Belgium )
- ไดคลอโรมีเทน : Dichloromethane ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  , Mw=94.93 g/mol , AR Grade บริษัท VWR Prolabo Chemicals, France )
- เมทานอล : Methanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$  , Mw= 32.04 g/mol , AR Grade บริษัท VWR Prolabo Chemicals, France )
- อะซิโตไนไตรล์ : Acetonitrile ( $\text{CH}_3\text{CN}$  , Mw=41.05 g/mol , AR Grade บริษัท QReC, New Zealand)
- อะซิโตน : Acetone ( $\text{CH}_3\text{COCH}_3$  , Mw=58.08 g/mol , AR Grade บริษัท VWR internation, France )
- โซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส : Sodium sulfate anhydrous ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  , Mw=142.04 g/mol , AR Grade บริษัท Fisherchemical, Belgium )
- โซเดียมคลอไรด์ : Sodium chloride ( $\text{NaCl}$  , Mw= 58.44 g/mol , AR Grade บริษัท VWR PROLABO CHEMICALS, Belgium )

## 2.2 วิธีทดลอง

จากการวิจัยปีที่ 1 (งบประมาณปี 2561) ได้สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นของไอออนเงินในตัวอย่งน้ำโดยวิธีการสกัดด้วยของเหลวระดับจุลภาคแบบกระจายตัว (Dispersive liquid liquid microextraction, DLLME) และการสกัดไอออนเงินในตัวอย่งอาหารด้วยวิธีอัลตราโซนิค (Ultrasonic extraction, UE) แสดงดังตารางที่ 2.1-2.2 และได้ศึกษาการสังเคราะห์และสภาวะที่มีผลต่อการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน ได้ผลการศึกษารูปดังตารางที่ 2.3-2.4

**ตารางที่ 2.1** สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสารเชิงซ้อนและการสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจายตัวในการวิเคราะห์ไอออนเงินในตัวอย่างน้ำ

ตัวแปรที่ศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม
<b>การเกิดสารเชิงซ้อน</b>	
ความยาวคลื่นที่ให้ค่าดูดกลืนแสงสูงสุด	468 นาโนเมตร
พีเอช	10
ชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์	สารละลายบัฟเฟอร์บอเรต
<b>การสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจายตัว</b>	
ชนิดของตัวทำละลายกระจายตัว	เมทานอล
อัตราส่วนตัวทำละลายสกัดต่อตัวทำละลายกระจายตัว	1:4
ปริมาตรสารละลายผสม	5 มิลลิลิตร
เวลาในการสกัด	120 วินาที
น้ำหนักของเกลือโซเดียมคลอไรด์	3.00 กรัม

**ตารางที่ 2.2** สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารเชิงซ้อนไอออนเงินในตัวอย่างอาหารทะเลด้วยเทคนิคการสกัดด้วยอัลตราโซนิก

ตัวแปรที่ศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม
ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้สกัด	น้ำปราศจากไอออน
เวลาที่ใช้ในการสกัด	15 นาที
อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด	25 °C
ปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้สกัด	25.00 มิลลิลิตร
น้ำหนักเนื้อปลาที่ใช้สกัด	2.0 กรัม
วิธีการเตรียมเนื้อปลาก่อนการสกัด	แบบเปียก

**ตารางที่ 2.3** สรุปสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน

สภาวะที่ศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม
อุณหภูมิ	ไม่มีผลกระทบต่อการสังเคราะห์
ผลการเติมสาร PVP	เติมสาร PVP ทำให้อนุภาคนาโนมีความเสถียรเพิ่มขึ้น
จำนวนโมลของสารละลาย $AgNO_3$	ปริมาตรสารละลายผสม 30 มิลลิลิตร
ความเข้มข้นของสาร PVP	0.0200 โมลต่อลิตร
อัตราการหยุดสารละลายผสม	1.5 วินาทีต่อหยด
เวลาในการเกิดปฏิกิริยา	หลังหยุดสารละลายหมด 20 นาที

## ตารางที่ 2.4 สภาวะที่อนุภาคนาโนของเงินสลายตัวเป็นไอออนเงิน

สภาวะที่ศึกษา	สภาวะที่เกิดการสลายตัว
ความเป็นกรดเบส	พีเอช 4 เกิดการสลายตัวมากที่สุด
อุณหภูมิ	อุณหภูมิห้องสลายตัวมากกว่าอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
การโดนแสง	แสงแดดมีผลต่อการสลายตัว

สำหรับงานวิจัยในปีที่ 2 (งบประมาณ 2562) ได้มีวิธีดำเนินการศึกษาดังต่อไปนี้

### 2.2.1 การศึกษา method validation ของวิธีการวิเคราะห์ไอออนเงินตามวิธีมาตรฐาน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ทั้งเทคนิค DLLME สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ และ Ultrasonic extraction สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างของแข็ง ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังตารางที่ 2.2 และ 2.3 โดยศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐานสากล (AOAC method) ความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ที่ศึกษา ได้แก่ ความเป็นเส้นตรง การหาขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดการหาปริมาณ (LOQ) การศึกษาความเที่ยงในการวิเคราะห์ การสร้างกราฟมาตรฐาน และการศึกษาความแม่นยำในการวิเคราะห์

#### - ความเป็นเส้นตรง

ศึกษาความเป็นเส้นตรงภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โดยทำการศึกษาช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอออนเงินจากต่ำสุดไปสูง ทำการวิเคราะห์ซ้ำความเข้มข้นละ 3 ครั้ง แล้วนำข้อมูลที่ได้สร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของไอออนเงินกับค่าการดูดกลืนแสงเพื่อหาสมการเส้นตรง และ พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ )

#### - ขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดในการวิเคราะห์ปริมาณ

เตรียมสารละลายเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) จากนั้นแทนลงในสมการ โดยทำซ้ำ 12 ครั้ง แล้วหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) จากนั้นแทนลงในสมการ

$$LOD = \frac{3SD}{m} \quad \text{และ} \quad LOQ = \frac{10SD}{m}$$

โดยที่ SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

m คือ ความชันของกราฟความเป็นเส้นตรง

(ICH harmonized tripartite guideline, 2005)

#### - ศึกษาความเที่ยงในการวิเคราะห์

เตรียมสารเชิงซ้อนที่มีความเข้มข้นของไอออนเงิน 2 ความเข้มข้น ทำการวิเคราะห์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม และวัดค่าการดูดกลืนแสง ศึกษา Repeatability โดยทำการวิเคราะห์ซ้ำ 12 ครั้ง ภายในวันเดียวกัน และศึกษา Reproducibility โดยทำการวิเคราะห์ซ้ำวันละ 4 ครั้ง เป็นเวลาติดต่อกัน 3 วัน คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) และนำค่า %RSD ที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

#### - การสร้างกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารเชิงซ้อนที่มีความเข้มข้นของไอออนเงินมากกว่าขีดจำกัดการหาปริมาณ ทำการสกัดและวิเคราะห์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม แต่ละความเข้มข้นวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำข้อมูลสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของไอออนเงินกับค่าการดูดกลืนแสง แล้วพิจารณาสมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ )

#### - ศึกษาความแม่นยำในการวิเคราะห์

โดยเติมสารละลายมาตรฐานไอออนเงินลงในหน่วยไมโครกรัมต่อลิตร ลงไปในตัวอย่างที่ทำการศึกษา โดยเลือกตัวอย่างน้ำทะเลและตัวอย่างน้ำดื่มในการศึกษาครั้งนี้ ทำการสกัดและวิเคราะห์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม วิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง แล้วคำนวณหาความเข้มข้นของไอออนเงินจากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน จากนั้นคำนวณหาร้อยละการได้กลับคืน (%recovery) ของตัวอย่างน้ำทะเลและน้ำดื่ม ดังสมการ แล้วเปรียบเทียบค่าร้อยละการได้กลับคืนที่ได้กับค่ามาตรฐาน

$$\%recovery = \frac{(\text{ความเข้มข้นหลังเติมสารมาตรฐาน}) - (\text{ความเข้มข้นก่อนเติมสารละลายมาตรฐาน})}{\text{ค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติม}}$$

## 2.2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

### 2.2.2.1 การเก็บและการเตรียมตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างน้ำธรรมชาติ เก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำ ธรรมชาติ จากจุดเก็บตัวอย่าง 4 สถานี บริเวณแหลมแท่น และหาดวอนนภา ต. แสนสุข อ. เมือง จ. ชลบุรี ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2561 โดยสถานีเก็บตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 2.5 สำหรับน้ำทะเล เก็บตัวอย่างน้ำทะเลจากบริเวณหาดวอนนภา ในเดือนมกราคม 2561 และเก็บตัวอย่างน้ำผิวดินจากสระน้ำภายในมหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี และซื้อน้ำดื่มบรรจุขวดสำหรับบริโภคทั่วไปจากร้านอาหารและร้านค้าปลีกโดยเก็บตัวอย่าง ในเดือนมกราคม 2561 สำหรับน้ำจากการซักล้างเตรียมตัวอย่างโดยใช้ผงซักฟอกที่มีการระบุว่ามีการเติมอนุภาคนาโนของเงินซักล้างแล้วเก็บน้ำจากการซักล้างนำไปศึกษาปริมาณไอออนเงินสำหรับตัวอย่างอาหารทะเล ซื้อตัวอย่างอาหารทะเล ได้แก่ กุ้ง หมึก ปลา และหอย โดยซื้อจากตลาดในตำบลแสนสุข จังหวัดชลบุรี ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561

### 2.2.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินในตัวอย่าง

#### ตัวอย่างน้ำ

นำตัวอย่างน้ำ ได้แก่ น้ำทะเล น้ำดื่มสำหรับบริโภคทั่วไป น้ำผิวดิน และน้ำจากการซักผ้า นำมาทำการกรองด้วยชุดกรองที่มีกระดาษกรองชนิดไนลอน เพื่อกำจัดอนุภาคแขวนลอยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ก่อนนำไปวิเคราะห์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม วัดค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งแต่ละตัวอย่างวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณความเข้มข้นของไอออนเงินในหน่วยไมโครกรัมต่อลิตร โดยใช้สมการเส้นตรงจากกราฟมาตรฐาน แล้วเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของปริมาณไอออนเงินในน้ำ

### ตัวอย่างอาหารทะเล

นำตัวอย่างอาหารทะเลมาทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น แล้วนำตัวอย่างอาหารทะเลเฉพาะส่วนเนื้อมาบดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน บรรจุตัวอย่างเนื้อปลาใส่ถุงพลาสติก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 °C ก่อนนำไปวิเคราะห์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม วัดค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งแต่ละตัวอย่างวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณความเข้มข้นของไอออนเงินในหน่วยไมโครกรัมต่อลิตร โดยใช้สมการเส้นตรงจากกราฟมาตรฐาน





#### 2.2.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณอนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่าง

นำตัวอย่างมาเติมกรดและออกซิไดส์อนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่างด้วยสารละลาย  $H_2O_2$  หลังจากนั้นมาสกัดด้วยสภาวะที่เหมาะสมและหาปริมาณเงินทั้งหมด (Total Ag) และนำตัวอย่างเติมมาสกัดเอาอนุภาคนาโนของเงินออกด้วยตัวทำละลาย octanol นำสารละลายในชั้นน้ำที่เหลือไปสกัดภายใต้สภาวะที่เหมาะสมและหาปริมาณไอออนเงิน คำนวณหาปริมาณอนุภาคนาโนของเงินจากปริมาณเงินทั้งหมดลบด้วยปริมาณไอออนเงิน

#### 2.2.3 การประเมินความเสี่ยงของไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

เมื่อทำการหาปริมาณไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่างน้ำและอาหารทะเล ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากค่ามาตรฐานไอออนเงินในน้ำและอาหารเพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานจากหน่วยงานทั้งภายในและต่างประเทศ

ตารางที่ 2.5 ลักษณะตัวอย่างและสถานีเก็บตัวอย่าง

สถานี	บริเวณ	ละติจูด	ลองจิจูด	ตัวอย่างและรูปสถานีเก็บตัวอย่าง
1	แหลมแท่น	N 13°18'00.2"	E 100°53'57.3"	น้ำทิ้งจากท่อระบายน้ำ 
2	แหลมแท่น	N 13°17'59.1"	E 100°53'56.6"	น้ำทะเล 
3	หาดวอนนภา	N 13°15'53.5"	E 100°55'34.5"	น้ำจากประตูละบายน้ำ 
4	หาดวอนนภา	N 13°15'54.2"	E 100°55'30.2"	น้ำทะเล 



### บทที่ 3 ผลและอภิปรายผลการวิจัย

#### 3.1 ผลการศึกษา method validation ของวิธีการวิเคราะห์

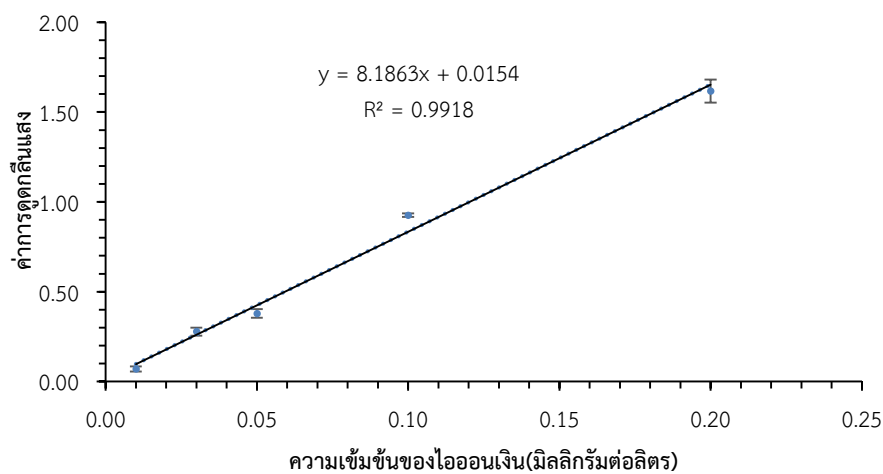
##### 3.1.1 ความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ของเทคนิค DLLME

###### -ความเป็นเส้นตรง

ในทำการศึกษาความเป็นเส้นตรงในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสารละลายมาตรฐานไอออนเงิน ในช่วงความเข้มข้น 0.01 – 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการสกัดสารเชิงซ้อนไป วัดค่าการดูดกลืนแสงดังตารางที่ 3.1 และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของไอออนเงิน ได้สมการเส้นตรงคือ  $y = 8.1863x + 0.0154$  และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9918 ดังรูปที่ 3.1 และนำสมการเส้นตรงที่ได้ไปใช้ในการศึกษาค่าขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดการหาปริมาณต่อไป

ตารางที่ 3.1 ค่าการดูดกลืนแสงจากการศึกษาความเป็นเส้นตรง (n=3)

ความเข้มข้นของไอออนเงิน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง	SD	%RSD
0.01	0.0703	0.0141	20.21
0.03	0.2777	0.0224	8.08
0.05	0.3789	0.0241	6.35
0.10	0.9259	0.0097	1.04
0.20	1.6171	0.0637	3.94



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงินจากการศึกษาความเป็นเส้นตรง

- **ขีดจำกัดในการตรวจวัดและขีดจำกัดในการวิเคราะห์ปริมาณ**

ในการศึกษาขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดการหาปริมาณ ศึกษาโดยการสกัดและวิเคราะห์สารละลายแบบลงค์ซ้ำ 12 ครั้ง ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.2 จากนั้นนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ค่า LOD และ LOQ ตามสูตรดังนี้

$$\text{LOD} = \frac{3\text{SD}}{m} \quad \text{และ} \quad \text{LOQ} = \frac{10\text{SD}}{m}$$

จากการศึกษาความเป็นเส้นตรง ได้สมการเส้นตรง  $y = 8.1863x + 0.0154$

เมื่อ  $m$  คือ slope เท่ากับ 8.1863 และ SD คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์สารละลายแบบลงค์มีค่าเท่ากับ 0.0164 แทนค่า  $m$  และ SD ลงในสมการ ได้ค่าขีดจำกัดการตรวจวัด 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 6 ไมโครกรัมต่อลิตร และขีดจำกัดการหาปริมาณ 0.020 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 20 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

**ตารางที่ 3.2** ค่าการดูดกลืนแสงของแบลงค์ที่ใช้ในการคำนวณหาขีดจำกัดในการตรวจวัดและขีดจำกัดในการวิเคราะห์ปริมาณ ( $n=12$ )

การทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสง
1	0.5073
2	0.5339
3	0.5451
4	0.5264
5	0.5243
6	0.5243
7	0.5072
8	0.5551
9	0.5419
10	0.5322
11	0.5590
12	0.5242
mean	0.5317
SD	0.0164
%RSD	3.09

**- ความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์**

ในการศึกษาความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์ ศึกษาโดยใช้สารละลายมาตรฐานไอออนเงิน ความเข้มข้น 0.05 และ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการวิเคราะห์ซ้ำภายในวันเดียว 12 ครั้ง สำหรับการศึกษ Repeatability และระหว่างวันซ้ำ 4 ครั้ง เป็นเวลาติดต่อกัน 3 วัน สำหรับการศึกษ Reproducibility พบว่า Repeatability มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 2.68- 3.56 และ Reproducibility มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 1.58-3.65 ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน AOAC ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ 15 % (AOAC international, 2016) ดังตารางที่ 3.3 และ 3.4

**ตารางที่ 3.3** ค่าการดูดกลืนของสารเชิงซ้อนจากการศึกษา Repeatability (n=12)

การทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงของไอออนเงินที่ความเข้มข้น	
	0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร
1	0.3686	1.7214
2	0.3629	1.7777
3	0.3762	1.6861
4	0.3675	1.6899
5	0.3615	1.8352
6	0.3560	1.7974
7	0.3540	1.8003
8	0.3771	1.7579
9	0.3945	1.8123
10	0.3894	1.7420
11	0.3771	1.7564
12	0.3883	1.7883
mean	0.3727	1.7637
SD	0.0133	0.0473
%RSD	3.56	2.68

**ตารางที่ 3.4** ค่าการดูดกลืนของสารเชิงซ้อนจากการศึกษา Reproducibility (n=12)

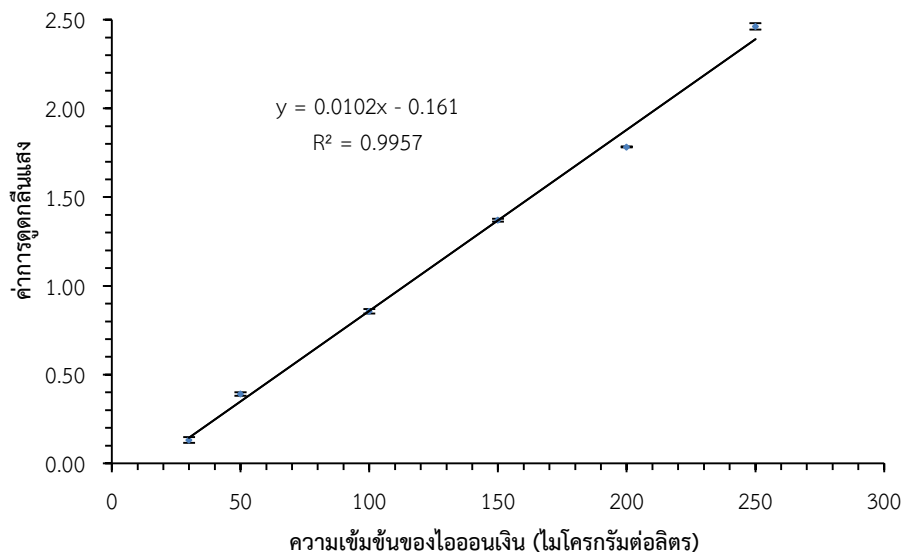
วัน	การทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงของไอออนเงินที่ความเข้มข้น	
		0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร
วันที่ 1	1	0.3686	1.7214
	2	0.3762	1.6861
	3	0.3675	1.6899
	4	0.3894	1.7420
วันที่ 2	5	0.3902	1.7141
	6	0.3863	1.7394
	7	0.3744	1.7295
	8	0.4168	1.6730
วันที่ 3	9	0.4025	1.6860
	10	0.3880	1.6896
	11	0.3941	1.6615
	12	0.3868	1.7232
	mean	0.3867	1.7046
	SD	0.0141	0.0269
	%RSD	3.65	1.58

**- กราฟมาตรฐาน**

ในการศึกษากราฟมาตรฐานของไอออนเงินสำหรับนำไปใช้ในการหาปริมาณไอออนเงินในตัวอย่าง เตรียมกราฟมาตรฐานในช่วงความเข้มข้นมากกว่าค่าขีดจำกัดการหาปริมาณ โดยศึกษาที่ความช่วงความเข้มข้น 30- 250 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยแต่ละความเข้มข้นทำการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ซ้ำ ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 3.5 แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน ดังรูปที่ 3.2 ได้สมการเส้นตรงคือ  $y = 0.0102x - 0.161$  และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9957 จากค่า  $R^2$  ของกราฟมาตรฐานที่มีค่ามากกว่า 0.99 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

**ตารางที่ 3.5** ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานไอออนเงินที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของไอออนเงิน (ไมโครกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง	SD	%RSD
30	0.1315	0.0158	12.03
50	0.3907	0.0092	2.35
100	0.8565	0.0121	1.41
150	1.3705	0.0078	0.57
200	1.7827	0.0029	0.16
250	2.4624	0.0180	0.73



**รูปที่ 3.2** กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานไอออนเงิน

**- ความแม่นยำของการวิเคราะห์**

การศึกษาความแม่นยำของการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาร้อยละการได้กลับคืนของวิธีการวิเคราะห์ โดยการเติมไอออนเงินเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 200 ไมโครกรัมต่อลิตร ลงไปในตัวอย่างที่ทำการศึกษา ได้แก่ ตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำทะเล ทำการสกัดภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ทำซ้ำ 3 ครั้ง คำนวณความเข้มข้นของไอออนเงินเทียบกับสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน และคำนวณหาค่าร้อยละการได้กลับคืน (%recovery) ผลการศึกษาได้ร้อยละการได้กลับคืนของตัวอย่างน้ำดื่มอยู่ในช่วง 86.09 - 102.19 % และได้ร้อยละการได้กลับคืนของตัวอย่างน้ำทะเลอยู่ในช่วง 93.60-94.40 % ดังตารางที่ 3.6 ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน AOAC คือ 80-110 % (AOAC international, 2016)

ตารางที่ 3.6 ผลการศึกษาร้อยละการได้กลับคืนของตัวอย่างน้ำดื่ม

ตัวอย่าง น้ำ	ความเข้มข้นไอออนเงินที่เติม (ไมโครกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นไอออนเงินจาก		ร้อยละ การได้กลับคืน
		กราฟมาตรฐาน (ไมโครกรัมต่อลิตร)		
		ก่อนเติม	หลังเติม	
น้ำดื่ม	50.0	66.40	117.50	102.14
	200	66.40	238.59	86.05
ทะเล	50.0	17.37	64.17	93.60
	200	17.37	206.17	94.40

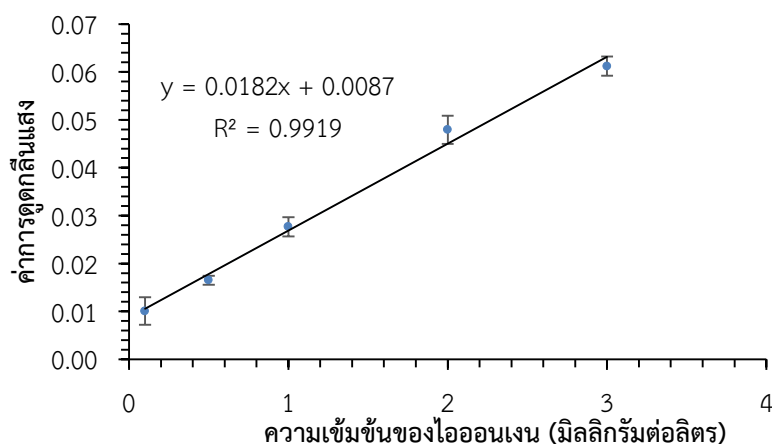
### 3.1.2 ความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ของเทคนิค Ultrasonic extraction

#### - ความเป็นเส้นตรง

การศึกษาความเป็นเส้นตรง ศึกษาโดยเติมสารละลายมาตรฐานไอออนเงินในช่วง 0.10-3.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ในตัวอย่างเนื้อปลา นำตัวอย่างไปสกัดภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังตารางที่ 2.2 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.7 และรูปที่ 3.3 พบว่าได้สมการเส้นตรง คือ  $y = 0.0182x + 0.0087$  และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9919 นำสมการเส้นตรงที่ได้ไปใช้ในการศึกษาค่าขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดการหาปริมาณต่อไป

ตารางที่ 3.7 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (n=3)

ความเข้มข้นของ ไอออนเงิน (มิลลิกรัม ต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง		
	เฉลี่ย	SD	%RSD
0.10	0.0101	0.0029	28.50
0.50	0.0165	0.0010	5.82
1.00	0.0277	0.0020	7.34
2.00	0.0479	0.0030	6.15
3.00	0.0612	0.0020	3.29



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนกับความเข้มข้นของไอออนเงิน (มิลลิกรัมต่อลิตร) (n=3)

#### - ขีดจำกัดการตรวจวัด และขีดจำกัดการหาปริมาณ

ขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดการหาปริมาณของการสกัดด้วยวิธี ultrasonic extraction ศึกษาโดยการตัวอย่างปลาแบลงค์ซ้ำ 9 ครั้ง นำสารละลายที่ได้จากการศึกษาไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.8 จากนั้นนำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD = 0.0013) และค่าความชัน (m = 0.0182) จากสมการเส้นตรง  $y = 0.0182x + 0.0087$  ไปคำนวณเพื่อหาค่าขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดการหาปริมาณ พบว่าได้ขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดการหาปริมาณเท่ากับ 0.21 และ 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 210 และ 710 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 3.8 ค่าการดูดกลืนแสงของแบลงค์ในการศึกษาขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดการวิเคราะห์ปริมาณ

การทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสง	การทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสง
1	0.1206	6	0.1265
2	0.1281	7	0.1278
3	0.1256	8	0.1228
4	0.1310	9	0.1282
5	0.1253		
Mean	0.1274		
SD	0.0013		
%RSD	2.32		

- ความเที่ยงของการวิเคราะห์

การศึกษาความเที่ยงศึกษาโดยเติมสารละลายมาตรฐานไอออนเงินความเข้มข้น 1.00 และ 3.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ในตัวอย่างเนื้อปลา ตามลำดับ สำหรับการศึกษ repeatability ทำการวิเคราะห์ซ้ำความเข้มข้นละ 12 ครั้งในวันเดียวกัน และการศึกษา reproducibility ทำการวิเคราะห์ซ้ำความเข้มข้นละ 4 ครั้ง ติดต่อกันเป็นเวลา 3 วัน ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 3.9 และ 3.10 คำนวณได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 6.48 - 7.34 และ 5.58-9.55 สำหรับการศึกษ repeatability และ reproducibility ตามลำดับ โดยค่า %RSD ที่ได้จากการศึกษาความเที่ยงมีค่าต่ำกว่า %RSD ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน AOAC ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 13.50-15.90 สำหรับความเข้มข้น 1.00 และ 3.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 3.9 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนจากการศึกษา Repeatability (n=12)

การทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงของไอออนเงินที่ความเข้มข้น	
	1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร	3.00 มิลลิกรัมต่อลิตร
1	0.0346	0.0546
2	0.0295	0.0652
3	0.0303	0.0681
4	0.0290	0.0655
5	0.0313	0.0556
6	0.0278	0.0587
7	0.0293	0.0565
8	0.0277	0.0592
9	0.0294	0.0623
10	0.0278	0.0685
11	0.0289	0.0636
12	0.0308	0.0552
เฉลี่ย	0.0297	0.0611
SD	0.0019	0.0051
%RSD	6.48	7.34



**ตารางที่ 3.10** ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนจากการศึกษา Reproducibility (n=12)

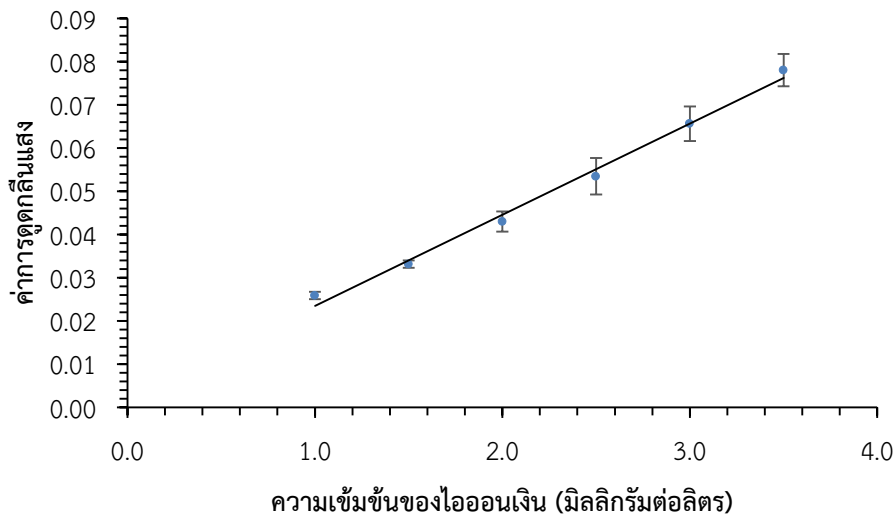
วันที่	การทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสงของไอออนเงินความเข้มข้น	
		1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร	3.00 มิลลิกรัมต่อลิตร
1	1	0.0346	0.0623
	2	0.0295	0.0602
	3	0.0303	0.0592
	4	0.0313	0.0636
2	5	0.0262	0.0595
	6	0.0276	0.0547
	7	0.0289	0.0639
	8	0.0310	0.0652
3	9	0.0288	0.0564
	10	0.0334	0.0608
	11	0.0319	0.0584
	12	0.0364	0.0653
	เฉลี่ย	0.0308	0.0608
	SD	0.0029	0.0034
	%RSD	9.55	5.58

#### -กราฟมาตรฐาน

ในการศึกษากราฟมาตรฐาน สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินในตัวอย่างอาหารทะเล ศึกษาโดยการเตรียมตัวอย่างเนื้อปลาที่มีความเข้มข้นของไอออนเงินในช่วง 1.00- 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยในแต่ละความเข้มข้นทำการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง นำสารละลายที่ได้จากการศึกษาไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.11 นำผลการวิเคราะห์มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นได้สมการเส้นตรงคือ  $y = 0.0211x + 0.0024$  และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9923 ดังรูปที่ 3.4 โดยค่า  $R^2$  ที่ได้จากราฟมาตรฐานมีค่ามากกว่า 0.99 ซึ่งถือว่ากราฟมาตรฐานมีความสัมพันธ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน

**ตารางที่ 3.11** ค่าการดูดกลืนแสงของไอออนเงินที่ความเข้มข้นต่างๆ (n=3)

ความเข้มข้นของ ไอออนเงิน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง		
	เฉลี่ย	SD	%RSD
1.00	0.0259	0.0009	3.30
1.50	0.0332	0.0009	2.58
2.00	0.0430	0.0023	5.37
2.50	0.0535	0.0042	7.86
3.00	0.0656	0.0040	6.13
3.50	0.0781	0.0037	4.79



**รูปที่ 3.4** กราฟมาตรฐานของไอออนเงินสำหรับกรณีวิเคราะห์ตัวอย่างของแข็ง (n=3)

#### -ความแม่นยำในการวิเคราะห์

ในการศึกษาความแม่นยำของการวิเคราะห์โดยการเติมสารละลายมาตรฐานไอออนเงิน ในตัวอย่างเนื้อกึ่งเปลือกบาง ปลาเห็ดโคน หมึกกล้วย และหอยแมลงภู่ ทำการสกัดภายใต้สภาวะที่เหมาะสม คำนวณหาความเข้มข้นของไอออนเงินในตัวอย่างและคำนวณหาค่าร้อยละการได้กลับคืนจากการศึกษาได้ร้อยละการได้กลับคืนอยู่ในช่วง 72.28-87.02 % ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานของ AOAC ที่ระดับความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร คือช่วง 80-110 % (AOAC international., 2016) แสดงผลดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 การร้อยละการได้กลับคืนในตัวอย่างอาหารทะเล (n=3)

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นไอออนเงินที่ เติม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นไอออนเงินจาก กราฟมาตรฐาน (ไมโครกรัมต่อลิตร)		ร้อยละ การได้กลับคืน
		ก่อนเติม	หลังเติม	
		กุ้งเปลือก บาง	1.00 3.00	
ปลา เห็ดโคน	1.00 3.00	1.15 1.27	1.97 3.77	81.99 83.41
หมึกกล้วย	0.50	1.91	2.34	86.32
	1.50	1.91	2.99	72.28
หอยแมลงภู	0.50	0.95	1.38	87.02
	1.50	0.95	2.11	77.66

ในการศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ไอออนเงินในตัวอย่างน้ำด้วยเทคนิคการสกัด dispersive liquid liquid microextraction (DLLME) และการสกัดไอออนเงินในตัวอย่างอาหารทะเลด้วยเทคนิค ultrasonic extraction ผลการศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์สรุปผลดังตารางที่ 3.13 และ 3.14 ตามลำดับ โดยจากผลการศึกษาพบว่าวิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้มีค่าที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานสากล (AOAC method)

ตารางที่ 3.13 ความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยวิธี DLLME

ความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์ที่ศึกษา	ค่าที่ได้
ขีดจำกัดในการตรวจวัด	6 µg/L
ขีดจำกัดในการวิเคราะห์ปริมาณ	20 µg/L
ความเที่ยง (%RSD)	
Repeatability (n=12)	2.68 – 3.56 %
Reproductability (n=12)	1.58 – 3.65 %
กราฟมาตรฐาน	
ช่วงความเข้มข้น	30 – 250 µg/L
สมการเส้นตรง	y = 0.102x - 0.161
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R <sup>2</sup> )	0.9957
ร้อยละการได้กลับคืน (%recovery)	86.09 - 102.19 %

**ตารางที่ 3.14** ผลการศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างของแข็งด้วยเทคนิค ultrasonic Extraction

ความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์ที่ศึกษา	ค่าที่ได้
ขีดจำกัดการตรวจวัด	0.21 mg/L
ขีดจำกัดการวิเคราะห์ปริมาณ	0.71 mg/L
ความเที่ยง (%RSD)	
Repeatability (n=12)	6.48-7.34%
Reproducibility (n=12)	5.58-9.55%
กราฟมาตรฐาน	
ช่วงความเข้มข้น	1.00-3.50 mg/L
สมการเส้นตรง	$y = 0.0211x + 0.0024$
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ )	0.9923
ร้อยละการได้กลับคืน	72.28-87.02%

### 3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่าง

#### 3.2.1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากการคำนวณความเข้มข้นของไอออนเงินด้วยสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน แสดงผลดังตารางที่ 3.15 พบปริมาณไอออนเงินในตัวอย่างน้ำดื่ม อยู่ในช่วง 1.51 – 6.64 ไมโครกรัมต่อลิตร แต่ไม่พบอนุภาคนาโนของเงินในทุกตัวอย่างที่ศึกษา ผลการวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินในน้ำผิวดินพบไอออนเงินมีค่าอยู่ในช่วง 3.28 – 17.92 ไมโครกรัมต่อลิตร พบปริมาณอนุภาคนาโนของเงินในช่วง 1.53 -3.20 นาโนกรัมต่อลิตร สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินจากน้ำที่ผ่านการชก้างพบปริมาณไอออนเงินอยู่ในช่วง 13.85-20.21 ไมโครกรัมต่อลิตร และพบปริมาณอนุภาคนาโนของเงินในช่วง 4.21 -5.02 นาโนกรัมต่อลิตร

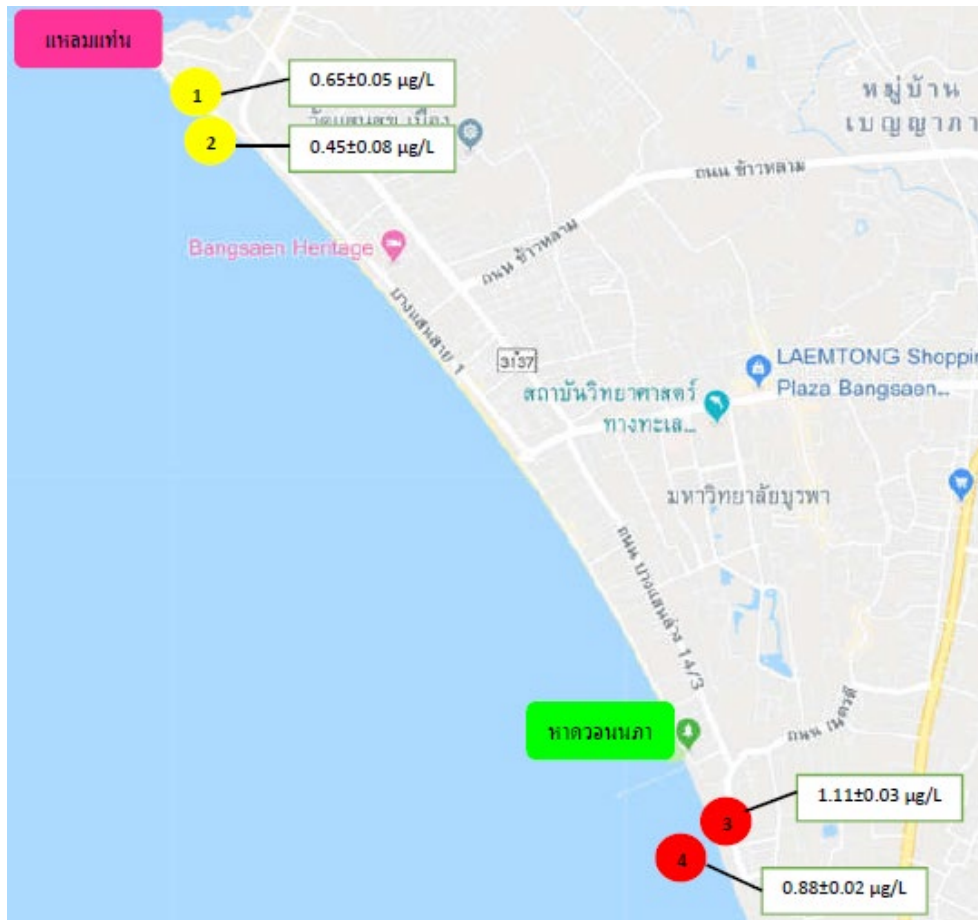
**ตารางที่ 3.15** ค่าความเข้มข้นของไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่างน้ำ

ตัวอย่างน้ำ	ไอออนเงิน ( $\mu\text{g/L}$ )	อนุภาคนาโนของเงิน ( $\mu\text{g/L}$ )
น้ำดื่มชนิดที่ 1	$6.64 \pm 0.26$	ไม่พบ
น้ำดื่มชนิดที่ 2	$1.51 \pm 0.42$	ไม่พบ
น้ำดื่มชนิดที่ 3	$2.01 \pm 0.54$	ไม่พบ
น้ำผิวดินจุดที่ 1	$3.28 \pm 1.40$	$1.53 \pm 1.02$
น้ำผิวดินจุดที่ 2	$17.92 \pm 1.32$	$3.20 \pm 1.25$
น้ำชก้างครั้งที่ 1	$20.21 \pm 3.79$	$5.02 \pm 1.58$
น้ำชก้างครั้งที่ 2	$14.14 \pm 1.48$	$4.21 \pm 1.95$
น้ำชก้างครั้งที่ 3	$13.85 \pm 0.75$	$4.89 \pm 1.52$

นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ไอออนเงินในตัวอย่างน้ำจากสิ่งแวดล้อม โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากจุดเก็บตัวอย่าง 4 สถานี แสดงดังตารางที่ 2.2 และผลการวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 3.16 และปริมาณไอออนเงินในตัวอย่างน้ำแสดงดังรูปที่ 3.5 ผลการวิเคราะห์พบไอออนเงินในตัวอย่างน้ำทั้ง (สถานีที่ 1 และ 3) อยู่ในช่วง 0.65 - 1.11 ไมโครกรัมต่อลิตร และไอออนเงินในตัวอย่างน้ำทะเล 0.45 - 0.88 ไมโครกรัมต่อลิตร และไม่พบอนุภาคนาโนของเงินในทุกตัวอย่างที่ศึกษา ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ามีการปนเปื้อนของไอออนเงินในทุกตัวอย่างที่ทำการศึกษา ซึ่งการปนเปื้อนของไอออนเงินอาจมาจากบรรจุภัณฑ์พลาสติก หรือน้ำที่เกิดจากการชะล้างที่มีการใช้อนุภาคนาโนของเงินเป็นผลิตภัณฑ์ซักล้างทำความสะอาดหรือหลุดมาจากผลิตภัณฑ์ต่างๆ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไอออนเงินในน้ำผิวดินที่เก็บตัวอย่างจากสระน้ำภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นสระน้ำปิด ทำให้เมื่อมีการปนเปื้อนของไอออนเงินหรืออนุภาคนาโนของเงินทำให้เกิดการสะสมในแหล่งน้ำได้จึงพบปริมาณไอออนเงินในน้ำผิวดินมากกว่าที่พบจากน้ำทิ้งจากท่อระบายน้ำซึ่งเป็นน้ำที่ไหลตลอดเวลา นอกจากนี้ปริมาณของไอออนเงินที่พบจากจุดที่ 2 พบในปริมาณที่สูงคือ  $17.92 \pm 1.32$  ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งบริเวณเก็บตัวอย่างน้ำดังกล่าวอยู่ใกล้กับห้องปฏิบัติการเคมีที่มีการสังเคราะห์สารชนิดต่างๆ อาจจะทำให้เกิดการปนเปื้อนสารเคมีจากห้องปฏิบัติการลงสู่แหล่งน้ำได้ อย่างไรก็ตามน้ำจากสระน้ำภายในมหาวิทยาลัยบูรพาไม่ได้ใช้ประโยชน์ในการอุปโภคหรือบริโภค ทำให้เกิดการปนเปื้อนของไอออนเงินในน้ำจากพื้นที่ดังกล่าวไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ นอกจากนี้ผลการศึกษานี้ไม่พบปริมาณอนุภาคนาโนของเงินในบางตัวอย่าง เช่น ในน้ำดื่ม น้ำทิ้งจากท่อระบายน้ำ และน้ำทะเล อาจมีสาเหตุมาจากอนุภาคนาโนของเงินไม่เสถียรในสภาวะความเป็นกรด ถูกแสงแดด รวมถึงเมื่ออนุภาคนาโนของเงินอยู่ในธรรมชาติจะสลายตัวกลายเป็นไอออนเงิน ดังผลการศึกษาความเสถียรของอนุภาคนาโนของเงินในรายงานวิจัยปีที่ 1 ของงานวิจัยนี้

**ตารางที่ 3.16** ค่าความเข้มข้นของไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่างน้ำ

สถานี	ชนิดตัวอย่าง	ไอออนเงิน ( $\mu\text{g/L}$ )	อนุภาคนาโนของเงิน ( $\mu\text{g/L}$ )
1	น้ำทิ้งจากท่อน้ำทิ้ง	$0.65 \pm 0.05$	ไม่พบ
2	น้ำทะเล	$0.45 \pm 0.08$	ไม่พบ
3	น้ำทิ้งจากประตูระบายน้ำ	$1.11 \pm 0.03$	ไม่พบ
4	น้ำทะเล	$0.88 \pm 0.02$	ไม่พบ



รูปที่ 3.5 ปริมาณไอออนเงินที่พบในตัวอย่างน้ำ

### 3.2.2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างอาหารทะเล

ตัวอย่างอาหารทะเลที่ทำการศึกษได้แก่ กุ้งเปลือกบาง กุ้งเปลือกหนา ปลาหมึก ปลาหู ปลาเห็ดโคน หอยแมลงภู่มะนาวและหอยนางรม ดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยซื้อจากตลาดในตำบลแสนสุข จังหวัดชลบุรี ในเดือน กุมภาพันธ์ 2561 เมื่อได้ตัวอย่างนำมาทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น นำตัวอย่างเนื้อเยื่อไปทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำไปสกัดและหาปริมาณไอออนเงินภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ผลการหาปริมาณไอออนเงินในตัวอย่างอาหารทะเล แสดงดังตารางที่ 3.17 และ 3.18 พบปริมาณของไอออนเงินในตัวอย่างอาหารทะเลอยู่ในช่วง 1.13-3.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าเฉลี่ยคือ 1.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพบน้อยที่สุดในกุ้งโกฮัก คือ 1.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพบมากที่สุดคือปลาหมึกคือ 3.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม



หอยแมลงภู่



หมีกกล้วย



กุ้งโอคัก

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างอาหารทะเลที่นำมาวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงิน

ตารางที่ 3.17 ปริมาณไอออนเงินที่ตรวจพบในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นไอออนเงิน (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	เฉลี่ย	SD	%RSD
กุ่มเปลือกบาง	1.33	0.18	13.77
กุ่มเปลือกหนา	1.94	0.24	12.16
ปลาหมอ	2.53	0.25	9.98
ปลาทู	1.18	0.17	14.30
ปลาเห็ดโคน	1.24	0.08	6.07
กุ่มไอคัก	0.91	0.04	4.65
หมึกกล้วย	1.91	0.07	3.90
หอยแมลงภู่	0.95	0.04	4.29

ตารางที่ 3.18 ปริมาณไอออนเงินที่ตรวจพบในตัวอย่างในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นไอออนเงิน
	(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
กุ่มเปลือกบาง	1.66±0.23
กุ่มเปลือกหนา	2.43 ±0.29
ปลาหมอ	3.16±0.32
ปลาทู	1.47±0.21
ปลาเห็ดโคน	1.55 ±0.09
กุ่มไอคัก	1.13±0.05
หมึกกล้วย	2.39±0.09
หอยแมลงภู่	2.15±0.09

### 3.3 การประเมินความเสี่ยงของไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำผลดังตารางที่ 3.15 พบปริมาณไอออนเงินในตัวอย่างน้ำดื่มอยู่ในช่วง 1.51 – 6.64 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานไอออนเงินของตัวอย่างน้ำเพื่อบริโภค คือ 50 ไมโครกรัมต่อลิตร (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 พ.ศ. 2524) พบว่าค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำดื่ม ดังนั้นการปนเปื้อนของไอออนเงินในตัวอย่างน้ำดื่มจึงไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องระวัง และจากผลการวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินในน้ำผิวดินพบไอออนเงินมีค่าอยู่ในช่วง 3.28 – 17.92 ไมโครกรัมต่อลิตร พบปริมาณอนุภาคนาโนของเงินในช่วง 1.53 -3.20



ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานไอออนเงินในธรรมชาติ คือ 0.20-0.30 ไมโครกรัมต่อลิตร (World Health Organization, 1996) ถือว่ามีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตาม น้ำจากสระน้ำภายในมหาวิทยาลัยบูรพา ไม่ได้ใช้ประโยชน์ในการอุปโภคหรือบริโภค ทำให้การเกิดการปนเปื้อนของไอออนเงินในน้ำจากพื้นที่ดังกล่าวไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินจากน้ำที่ผ่านการซักล้างพบปริมาณไอออนเงินอยู่ในช่วง 13.85-20.21 ไมโครกรัมต่อลิตร เมื่อนำไปเทียบกับค่ามาตรฐานไอออนเงินของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม 1000 ไมโครกรัมต่อลิตร (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2539) พบว่ามีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ปริมาณอนุภาคนาโนของเงินไม่สามารถนำไปประเมินความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพได้เนื่องจากยังไม่มีค่ามาตรฐานปริมาณอนุภาคนาโนของเงินที่ประกาศตามหน่วยงานต่างๆ

สำหรับผลการวิเคราะห์ตัวอย่างอาหารทะเลที่ทำการศึกษา ได้แก่ กุ้งเปลือกบาง กุ้งเปลือกหนา ปลาหมึก ปลาหู ปลาเห็ดโคน หอย และหมึก แสดงดังตารางที่ 3.17 และ 3.18 พบปริมาณของไอออนเงินในตัวอย่างอาหารทะเลอยู่ในช่วง 1.13-3.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และนำมาประเมินผลกระทบต่อสุขภาพแสดงดังตารางที่ 3.19 คือเมื่อนำมาคำนวณค่าปริมาณไอออนเงินที่ได้รับต่อวันจากสูตร

$$EDI = \frac{Mc \times IR}{Bw} \quad (\text{Meshref, 2014})$$

โดยที่

Mc (Mass concentration) คือ ความเข้มข้นของไอออนเงินในตัวอย่างปลา (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

IR (Intake Rate) คือ ปริมาณน้ำหนักปลาที่บริโภคต่อวันเท่ากับ 135 กรัมต่อวัน

BW (Body Weight) คือ น้ำหนักตัวเฉลี่ยของคนไทย 60 กิโลกรัม

พบว่าปริมาณของไอออนเงินที่ได้รับต่อวันมีค่าในช่วง 2.5 – 7.1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน โดยพบปริมาณไอออนเงินที่ได้รับต่อวันในตัวอย่างปลาหมึกสูงสุดคือ 7.1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปริมาณไอออนเงินที่ได้รับต่อวัน (Reference dose of oral exposure, RfD) จาก US-EPA ซึ่งกำหนดไว้ 5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน และนำมาคำนวณค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient, HQ) จากสูตร

$$HQ = \frac{EDI}{RfD}$$

โดยที่ HQ คือ ค่าสัดส่วนความเสี่ยง

Exposure คือ ปริมาณการรับสัมผัสต่อวัน หรือปริมาณการได้รับต่อวัน (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน)

RfD คือ ค่ามาตรฐานปริมาณที่ได้รับ สำหรับไอออนเงินมีค่า 5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน

ซึ่งได้ค่าสัดส่วนความเสี่ยงอยู่ในช่วง 0.51 -1.42 ค่าเฉลี่ยมีค่า 0.90 โดยค่าสัดส่วนความเสี่ยงน้อยกว่า 1 (HQ < 1) เป็นค่าที่ยอมรับได้ในการรับสัมผัสสาร และค่าสัดส่วนความเสี่ยงมากกว่า 1 (HQ >1) แสดงว่าเกิดภาวะเสี่ยงในการรับสัมผัสสารได้ ซึ่งจากผลการศึกษานี้พบว่าตัวอย่าง ปลาหมอ และหมึกกล้วยมีค่าสัดส่วนความเสี่ยงมากกว่า 1 (1.42 และ 1.08 ตามลำดับ) แสดงว่าตัวอย่างปลาหมอ และหมึกกล้วยมีโอกาสเสี่ยงในการรับสัมผัสไอออนเงินได้ และพบว่าตัวอย่างกุ้งเปลือกบาง กุ้งเปลือกหนา ปลาหู ปลาเห็ดโคน และหอยแมลงภู่มีค่าสัดส่วนความเสี่ยงน้อยกว่า 1 แสดงว่าไม่เกิดความเสี่ยงในการบริโภค

**ตารางที่ 3.19** ปริมาณไอออนเงินที่ได้รับต่อวันและค่าสัดส่วนความเสี่ยง

ตัวอย่าง	ปริมาณไอออนเงินที่ได้รับต่อวัน (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน)	ค่าสัดส่วนความเสี่ยง
กุ้งเปลือกบาง	3.7	0.75
กุ้งเปลือกหนา	5.5	1.09
ปลาหมอ	7.1	1.42
ปลาหู	3.3	0.66
ปลาเห็ดโคน	3.5	0.70
กุ้งโอคัก	2.5	0.51
หมึกกล้วย	5.4	1.08
หอยแมลงภู่ม	4.8	0.97

## บทที่ 4

### สรุปและเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยในขั้นตอนต่อไป

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมด้วยพัฒนาวิธีการสกัดแบบ dispersive liquid liquid microextraction และ ultrasonic extraction มาช่วยในการเตรียมตัวอย่างและตรวจวัดด้วยเทคนิค UV-visible spectrophotometry โดยวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ได้ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ที่ได้ผลยอมรับได้ตามมาตรฐานสากล เมื่อนำวิธีที่ได้พัฒนานี้มาหาปริมาณไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่างต่างๆ เช่น น้ำดื่ม น้ำผิวดิน น้ำทะเล และตัวอย่างอาหาร ผลการศึกษาพบว่า การปนเปื้อนไอออนเงินของตัวอย่างน้ำธรรมชาติมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าการปนเปื้อนดังกล่าวยังไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ และเมื่อศึกษาการปนเปื้อนของไอออนเงินในตัวอย่างอาหารพบว่าตัวอย่างอาหารส่วนใหญ่ที่นำมาศึกษามีค่าการปนเปื้อนอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดภาวะเสี่ยงในการสัมผัส อย่างไรก็ตามมีบางตัวอย่างมีค่าสัดส่วนความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ต้องระมัดระวังในการบริโภค

อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาพบว่าอนุภาคนาโนของเงินไม่เสถียร สามารถสลายตัวกลายเป็นไอออนเงินภายใต้สภาวะต่างๆ ได้เช่น แสงแดด อุณหภูมิ ความเป็นกรดเบส ทำให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณอนุภาคนาโนของเงินมีค่าต่ำ ซึ่งการศึกษาปริมาณไอออนเงินในสิ่งแวดล้อมทำให้ไม่สามารถประเมินผลกระทบของอนุภาคนาโนของเงินต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างถูกต้องนัก นอกจากนี้ยังพบว่าค่ามาตรฐานต่างๆ ที่กำหนดขึ้นโดยหน่วยงานทั้งภายในและต่างประเทศยังไม่มีกำหนดค่าที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของอนุภาคนาโนของเงิน จึงเป็นข้อจำกัดในการประเมินความเสี่ยงของอนุภาคนาโนของเงินที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ได้

นอกจากนี้จากผลการศึกษาปริมาณไอออนเงินในตัวอย่างน้ำสิ่งแวดล้อมและตัวอย่างอาหารพบว่าไอออนเงินมีการสะสมในตัวอย่างอาหารได้ ซึ่งควรมีการศึกษาการสะสมในห่วงโซ่อาหารต่อไป (bioaccumulation) เพื่อให้เกิดความรู้ในอันตรายและผลกระทบของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินที่มากยิ่งขึ้น

## ผลผลิต

Navakhun, A., and Natongtam, A. (2019). Determination of silver (I) in seafood samples by ultrasonic extraction method. *In the Proceedings of PACCON 2019*. (pp AC112-AC116). Bangkok: BITEC.

## เอกสารอ้างอิง (Reference)

- Absalan G., and Goudi A., (2004). Optimizing the immobilized dithizone on surfactant-coated alumina as a new sorbent for determination of silver. *Separation and Purification Technology*, 38, 209-214.
- Aghaee, E., Ahmadi, F., Assadi, Y., Berijani, S., Hosseini, M., M.R., and Rezaee, M., (2006). Determination of organic compounds in water using dispersive liquid-liquid microextraction. *Journal of Chromatography A*, 1116, 1-9
- Anekthirakun, P., and Imyim, A. (2019). Separation of silver ions and silver nanoparticles by silica based-solid phase extraction prior to ICP-OES determination. *Microchemical Journal*. 145. 470-475.
- AOAC International, (2016). Guidelines for Standard Method Performance Requirements, United States of America.
- Artiaga, G., Ramos, K., Ramos, L., Camara, C., and Gomez-Gomez, M. (2015). Migration and characterization of nanosilver from food containers by AF<sup>4</sup>-ICP-MS, *Food Chemistry*, 166, 76-85.
- Bahar, S., (2015). Dispersive Liquid-Liquid Microextraction of Silver Ion in Food Samples and Determination by Using Flame Atomic Spectroscopy. *Journal of Analytical Chemistry*, 2(2), 63-69.
- Basu, S., and Mandal, M., (2009). Determination of mercury by displacement substoichiometric extraction with labeled silver dithizonate in chloroform. *Applied Radiation and Isotopes*, 67, 256-258.
- Boon, N., Sintubin, L., and Verstraete, W., (2012). Biologically produced nanosilver: Current state and future perspectives. *Biotechnology and Bioengineering*, 109(10), 2422-2436.
- Boumeester, H., Dekkers, S., Noordam, M. Y., Hagens, W. I., Bulder, A. S., Heer, C., Voorde, S. E. C. G., Wijnhoven, S. W. P., Marvin, H. J. P., and Sips, A. J. A. M. (2009). Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 53, 52-62.
- Cao, Y., Li, J., Liu, F., Li, X., Jiang, Q., Cheng, S., and Gu, Y. (2016) Consideration of interaction between nanoparticles and food components for the safety assessment of nanoparticles following oral exposure: A review, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 46, 206-210.
- Chen, M., Deng, Q., Guo, J., Kong, L., Wen, X. and Zhao, X., (2012). A new coupling of spectrophotometric determination with ultrasound-assisted emulsification dispersive liquid-liquid microextraction of trace silver. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 97, 782-787.

- Edyta, N.S., Julita, M., Anna, T., Anatol, K., and Beata, G.Z., (2019). A comparison study of chemiluminescence systems for the flow injection determination of silver nanoparticles, *Journal of Microchemical*, 144, 221-228.
- Emre, Y., Serife, T., and Serkan S. (2013). FAAS determination of Ag(I) in water, anode alime, rock and cream samples by solid phase extraction method based on sepabeads SP207/5-(p-dimethylaminobenzylidene) rhodamine combination, *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 24(5), 736-742.
- Fabiana, G., Marco, A., and Zezzi, A., (2012). Thermospray flame furnace atomic absorption spectrometry for determination of silver in biological materials, *Talanta*, 97, 395-399.
- Farhadi, K., and Kokya, T. A., (2009). Optimization of dispersive liquid-liquid microextraction for the selective determination of trace amounts of palladium by flame atomic absorption spectroscopy. *Journal of Hazardous Materials*, 169, 726-733.
- Gaillet, S., and Rouanet, J.-M. (2015). Silver nanoparticles: Their potential toxic effects after oral exposure and underlying mechanisms-A review, *Food and Chemical Toxicology*, 77, 58-63.
- Gavrilenko, N. A., and Saranchina, N. V. (2010). Solid Phase Spectrophotometric Determination of Silver Using Dithizone Immobilized in a Polymethacrylate Matrix. *Journal of Analytical Chemistry*, 65(2), 148-152.
- Gras, L., Grindlay, G., Mora, J., and Martinez, D., (2018). Determination of cadmium and lead in wine samples by means of dispersive liquid-liquid microextraction coupled to electrothermal atomic absorption spectrometry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 67, 178-183.
- Hafida, E.- M., Estrella, E.- B., Mostafa, S., Manuel, G.-V., and Maria, D. G. R. (2016). Determination of ultra-trace amounts of silver in water by differential pulse anodic stripping voltammetry using a new modified carbon paste electrode, *Talanta*, 151, 14-22.
- Hashemi-Moghaddam, H., and Hosseini, M.S., (2005). Sensitized extraction spectrophotometric determination of Hg(II) with dithizone after its flotation as ion-associate using iodide and ferriin. *Talanta*, 67, 555-559.
- Hernandez-Coedaba, M., Lopez-Garcia, I., and Rivas, R.E., (2009). Speciation of very low amounts of arsenic and antimony in waters using dispersive liquid-liquid microextraction and electrothermal atomic absorption spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B*, 64, 329-333.
- ICH Q2 (R1) Guideline: Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology; 2005 November.

- International Programme on Chemical Safety, (1994). Assessing human health risks of chemicals: derivation of guidance values for health-based exposure limits.  
เข้าถึงได้จาก :  
<http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad44.htm#6.0>
- Jamshid, L. M., and Ghasem, K. N., (2003). Selective cloud point extraction and preconcentration of trace amounts of silver as a dithizone complex prior to flame atomic absorption spectrometric determination, *Analytica Chimica Acta*, 484(2), 155-161.
- Joyce, N. B., Edmar, M., and Eduardo, C. (2011). Determination of trace silver in water samples by online column preconcentration flame atomic absorption spectrometry using termite digestion product, *Journal of Automated Methods and Management in Chemistry*, 1-7.
- Kandarp, M., (2013). Synthesis of Silver Nanoparticles by using Sodium Borohydride as a Reducing Agent, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2, 1-3.
- Karim-Nezhad, G., and Manzoori, L.J., (2003). Selective cloud point extraction and preconcentration of trace amounts of silver as a dithizone complex prior to flame atomic absorption spectrometric determination. *Journal of Analytica Chimica Acta*, 484, 155-161.
- Kocurova, L., Balogh, I. S., Skrlikova, J., and Andruch, V. (2010). A novel approach into a single drop at the tip of a syringe needle. *Analytical Chemistry*, 69, 235-239.
- Liang, P., Zhang, L. and Zhao, E., (2010). Displacement-dispersive liquid-liquid microextraction coupled with graphite furnace atomic absorption spectrometry for the selective determination of trace silver in environmental and geological samples. *Talanta*, 993-996.
- Loeschner, K., Novratilova, J., Grombe, R., Linsinger, T. P. J., Kobler, C., Molhave, K., and Larsen, E. H. (2015). In-house validation of a method for determination of silver nanoparticles in chicken meat based on asymmetric flow field-flow fractionation and inductively coupled plasma mass spectrometric detection, *Food Chemistry*, 181, 78-84.
- Mahammad, H. M., Mitra, A.- D., Mahmoud, R. S., and Hossein, A. (2014). Solid phase extraction of trace amounts of silver, cadmium, copper, mercury, and lead in various food samples based on ethylene glycol bis-mercaptoacetate modified 3-( trimethoxysilyl)0-1-propanethiol coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles, *Food Chemistry*, 151, 300-305.

- Meshref, M. S. A., Moselhy, A. W., and Hassan, Y. (2014). Heavy metals and trace elements levels in milk and milk products. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 8(4), 381-388
- Pablo, L., Eric, P.A., Mohammad, S.E., (2017). Detection of silver nanoparticles in seawater at ppb levels using UV-visible spectrophotometry with long path cells, *Talanta*, 164, 257-260.
- Pimpimon, A., and Apichat, I., (2019). Separation of silver ions and silver nanoparticles by silica based-solid phase extraction prior to ICP-OES determination, *Journal of Microchemical*, 145, 470-475.
- Pronk, A., Cable, J. and Stewart, P.A., (2009). Occupational exposure to diesel engine exhaust. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 19(5), 443-457.
- Pronk, M., Wijnhoven, S., Bleeker, E., Heugens, E., Peijnenburg, W., Luttik, R., and Hakkert, B.C., (2019). Nanomaterials under REACH: Nanosilver as a case study, *National Institute for Public Health and the Environment*, RIVM report 60178003/2009, 105-132.
- Radka, M., Jiri, B., Jitka, P., Vojtech, A., Ladislav, H., Jiri, P., Ales, H., and Rene, K. (2007). Electrochemical determination of Ag-ions in environment waters and their action on plant embryos, *Bioelectrochemistry*, 70, 508-518.
- Ramos, K., Gomez-Gomez, M. M., Camara, C., and Ramos, L. (2016). Silver speciation and characterization of nanoparticles released from plastic food containers by single particle ICPMS, *Talanta*, 151, 83-90.
- Ruiz-Palomero, C., Soriano, M. L., and Valcarcel, M. (2016) Sulfonated nanocellulose for the efficient dispersive micro solid-phase extraction and determination of silver nanoparticles in food products, *Journal of Chromatography A*, 1428, 352-358.
- Saadat, R., Nahid, P., and Arash, L., (2015). Determination of trace silver in water, wastewater and ore samples using dispersive liquid-liquid microextraction coupled with flame atomic absorption spectrometry, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 24, 297-301.
- Senjen, R., (2007) . Nanosilver a threat to soil, water and human health. วันที่สืบค้น 3 มีนาคม 2562, เข้าถึงได้จาก: <http://nano.foe.org.au/node/190>
- Shekhar, A., Soumyo, M., and Suparna, M., (2014). Size-controlled silver nanoparticles synthesized over the range 5–100 nm using the same protocol and their antibacterial efficacy, *RSC Advances*, 4, 3974-3983.
- Tatiana G. C., George Z. T., and Dimosthenis L. G. (2019). Determination of silver nanoparticles by atomic absorption spectrometry after dispersive suspended



- microextraction followed by oxidativedissolution back-extraction. *Talanta*, 196, 255-261.
- US-EPA เข้าถึงจาก [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance\\_nmbr=99](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance_nmbr=99)
- Valderi, L. D., Dirce, P., and Adilson, J. C. (2001). Determination of Ag, Te, U and Au in waters and in biological samples by FI-ICP-MS following on-line preconcentration, *Analytica Chimica Acta*, 438, 235-244.
- World Health Organization, (1996). *Originally published in Guidelines for drinking-water quality*, 2(2).
- Yang, Y., Luo, L., Li, H.-P., Wang, Q., Yang, Z.- G., and Long, C.- L.(2016). Separation and determination of silver nanoparticle in environmental water and the UV-induced photochemical transformations study of AgNPs by cloud point extraction combined ICP-MS, *Talanta*, 161, 342-349.
- กระทรวงสาธารณสุข, (2524). *เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท*, ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 61, 2524)
- ฐานข้อมูลความปลอดภัยวัสดุนาโน, (2557). ลักษณะสมบัติเฉพาะนาโนซิลเวอร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร. วันที่สืบค้น 5 พฤษภาคม 2562, เข้าถึงได้จาก : [http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/cei/nanodatabase/info2.php?cat\\_id=8&p\\_id=235](http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/cei/nanodatabase/info2.php?cat_id=8&p_id=235)
- นาโนเทคโนโลยี, (2562). สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- นุจรินทร์ วะสุกัน, รวีวรรณ มณีรัตนโชติ, มะยูโซ๊ะ กูโน, สุจิตรา ศรีสังข์, (2561). การวิเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินปริมาณต่ำที่รวดเร็วในตัวอย่างที่เป็นของเหลวโดยใช้สารเทียบสีที่มีความจำเพาะ, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. วันที่สืบค้น 3 มีนาคม 2562, เข้าถึงได้จาก: <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/ssj/article/view/9736>
- ปาริชาติ สุตสุริยะ, (2551). การสังเคราะห์และการอัดอนุภาคนาโนของเงินลงบนผ้าฝ้ายและสมบัติการต้านแบคทีเรีย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภาณุวัฒน์ สรรพกุล, (2547). การบรรจุอาหารแบบต่อต้านจุลินทรีย์, Thai Packaging Newsletter, 14, 33-41. วันที่สืบค้น 3 มีนาคม 2562, เข้าถึงได้จาก: <https://il.mahidol.ac.th/imedia/nano/Page/Unit2-5.html>
- วีรพนธ์ ปฐวินทรานนท์, (2557). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนาโนซิลเวอร์จากธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ผ้าเช็ดทำความสะอาด, มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- ศิริพร จันทศิริ. (2547). *เคมีวิเคราะห์(การวิเคราะห์เชิงปริมาณ)(พิมพ์ครั้งที่ 1)*, สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, (2553). เรื่องมุกกลับของนาโนซิลเวอร์, บทความวิชาการ. วันที่สืบค้น 3 มีนาคม 2562, เข้าถึงได้จาก: [https://www2.mtec.or.th/th/emagazine/admin/upload/253\\_8-12.pdf](https://www2.mtec.or.th/th/emagazine/admin/upload/253_8-12.pdf)

- สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, (2547). *คู่มือการประกันและควบคุมคุณภาพการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำทะเล*, กรมควบคุมมลพิษ. กรุงเทพมหานคร. 29 น.
- สุเมธา สุวรรณบูรณ์, (2550). อิทธิพลของโพลีไวนิลไพโรลิโดนต่อการควบคุมขนาดอนุภาคซึ่งค่ออกไซด์ในระดับนาโนเมตร, *ฐานข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานภาครัฐด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อภิญา นวคุณ. (2557). วิธีการเตรียมตัวอย่างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการสกัดระดับจุลภาค, *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 20, 227-235.
- เอี่ยมพร เอี่ยมแพร และคณะ, (2557). ประสิทธิภาพของพอลิยูรีเทนผสมนาโนซิลเวอร์ในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบฉวยโอกาส, *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับพิเศษ*, มหาวิทยาลัยบูรพา.

## ประวัตินักวิจัยและคณะ

### หัวหน้าโครงการวิจัย

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางอภิญญา นวคุณ (ตันเฮง)  
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs. Apinya Navakhun (Tunheng)
- ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
- หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131  
โทรศัพท์ 038-103114 โทรสาร 038-393494  
ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์(e-mail) : apinyan@buu.ac.th
- ประวัติการศึกษา

ปี พ.ศ.	วุฒิที่ได้รับ	มหาวิทยาลัย	ประเทศ
2539	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) เกียรตินิยมอันดับ2	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย
2542	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมี)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย
2548	D.Sc. (Earth and Planetary Sciences)	Tokyo Institute of Technology	ญี่ปุ่น

- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ Instrumental Analysis, Chromatography, Trace Analysis, Laser Ablation-ICP Mass Spectrometry
- ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย -

### หัวหน้าโครงการวิจัย

#### โครงการวิจัยที่แล้วเสร็จ

เรื่อง การหาปริมาณสารหน่วงไฟที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ (Determination of Brominated Flame Retardant in Electronic Products)

สถานภาพ หัวหน้าโครงการวิจัย

แหล่งทุน ทุนอุดหนุนวิจัยประเภทเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา  
ปีงบประมาณ 2552

**เรื่อง** การศึกษารูปแบบการแพร่ของธาตุเบริลเลียมในพลอยสีน้ำเงิน  
(The Study of Diffusion Profile of Beryllium in Blue Sapphire)

**สถานภาพ** หัวหน้าโครงการวิจัย

**แหล่งทุน** สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2552

**เรื่อง** การหาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำบริเวณเขตนิคมอุตสาหกรรมโดยเทคนิค  
แก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรเมทรี

(Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Water from Industrial  
Area by Gas Chromatography-Mass Spectrometric Technique)

**สถานภาพ** หัวหน้าโครงการวิจัย

**แหล่งทุน** ทุนอุดหนุนวิจัยประเภทเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา  
ปีงบประมาณ 2553

**เรื่อง** การศึกษาการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ไอระเหยจากเขตอุตสาหกรรมภาคตะวันออก  
(The Study of Contamination of Volatile Organic Compounds from Eastern  
Industrial Area)

**สถานภาพ** หัวหน้าโครงการวิจัย

**แหล่งทุน** สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ปีงบประมาณ 2554

**เรื่อง** การวิเคราะห์และประเมินผลความเสี่ยงของการได้รับสารอินทรีย์ระเหยในห่วงโซ่  
อาหารในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม จังหวัดระยอง

**สถานภาพ** หัวหน้าโครงการวิจัย

**แหล่งทุน** กองทุนสิ่งแวดล้อม ปีงบประมาณ 2554

**เรื่อง** การศึกษาการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ไอระเหยจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด  
(The Study of Contamination of Volatile Organic Compounds from Map Ta Phut  
Industrial Estate)

**สถานภาพ** หัวหน้าโครงการวิจัย

**แหล่งทุน** สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2556-2557

**เรื่อง** การศึกษาการปนเปื้อนการจำแนกชนิดของสารประกอบสารหนูในสิ่งแวดล้อม  
(The Study of Arsenic Speciation in Environment)

**สถานภาพ** หัวหน้าโครงการวิจัย

**แหล่งทุน** สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2557

**เรื่อง** การศึกษาการปนเปื้อนการจำแนกชนิดของสารประกอบสารหนูในสิ่งแวดล้อม

(The Study of Arsenic Speciation in Environment)

สถานภาพ หัวหน้าโครงการวิจัย

แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปีงบประมาณ 2558-2559

เรื่อง การศึกษาการปนเปื้อนของ As, Cd และ Cr(VI) จากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด  
(The Study of As, Cd and Cr(VI) contamination from Map Ta Phut Industrail  
Estate)

สถานภาพ หัวหน้าโครงการวิจัย

แหล่งทุน ศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมและพิษวิทยา ปีงบประมาณ 2559

เรื่อง การศึกษาการปนเปื้อนของสารประกอบปรอทจากบริเวณมาบตาพุด (The Study  
of mercury compounds contamination from Map Ta Phut area)

สถานภาพ หัวหน้าโครงการวิจัย

แหล่งทุน ศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมและพิษวิทยา ปีงบประมาณ 2559

## 7. ผลงานที่ตีพิมพ์

อนุรักษ์ จันทร์แก้ว, นันทิยา สุหรัยเพชร และอภิญญา นวคุณ. (2557) การวิเคราะห์สารกลุ่มซัลโฟนาไมด์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัยครั้งที่ 6*, 348-354.

อภิญญา นวคุณ, อรุมา เพ็ชรเปลี่ยน และอนุรักษ์ จันทร์แก้ว. (2557) วิธีสกัดด้วยอัลตราโซนิคสำหรับการหาปริมาณซัลโฟนาไมด์ในเนื้อไก่. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัยครั้งที่ 6*, 277-282.

สุพรรณิการ์ บุญจำเนียร และอภิญญา นวคุณ. (2557) การสกัดโครเมียม (VI) ในดินด้วยเทคนิคการสกัดด้วยของเหลวแบบอัลตราโซนิค. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัยครั้งที่ 6*, 283-288.

มณีนุช พลสุข, วรณรัตน์ สุทธิประภา, และ อภิญญา นวคุณ. (2557) สภาวะที่เหมาะสมในการหาปริมาณไดเมทิลอาร์ซีนีตและโมโนเมทิลอาร์ซีนีตโดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6*, 289-297

ไสว ศิลา และ อภิญญา นวคุณ. (2560) การวิเคราะห์โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์แบบง่ายโดยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 9*. 173-186.

Hirata T, Asada Y, Tunheng A, Ohno T, Iizuka T, Hayano Y, Tanimizu M, Orihashi Y. (2004). Improvements in the precision and accuracy of elemental and

- isotopic analyses of geochemical samples by a laser ablation-ICP-mass spectrometer, *Bunseki Kagaku* 2004; 53 : 491-502.
- Tunheng A and Hirata T. (2004) Development of Signal Smoothing Device for Precise Elemental Analysis using Laser Ablation-ICP-Mass Spectrometry, *J. Anal. At. Spectrom.* 2004; 19: 932-934.
- Tunheng A and Hirata T. (2005) Signal Smoothing Device for Improving Analytical Precision in LA-ICP-MS and It's Applications, *Plasma Source Mass Spectrometry: Current Trends and Future Developments*, RSC Publishing, Cambridge, UK, 177-189.
- Navakhun A and Ratanasuwan Y. (2008) ppb-Level Lead Determination by UV-Visible Spectrophotometry Couple with Dispersive Solid Phase Extraction Method, *in the Proceeding of PURE AND APPLIED CHEMISTRY INTERNATIONAL CONFERENCE 2008*. Sofitel Centara Grand, Bangkok. 2008: 14-17.
- Chindudsadeegul P and Navakhun A. (2008) Rapid Determination of Be and Trace Elements in Blue Sapphire by LA-ICP-MS, *in the Proceeding of PURE AND APPLIED CHEMISTRY INTERNATIONAL CONFERENCE 2008*. Sofitel Centara Grand, Bangkok. 2008: 18-23.
- Navakhun A. (2010). Determination of Brominated Flame Retardants in Electronic Product by HPLC coupled with Ultrasonic Supported Solvent Extraction Technique, *Science Journal Ubon Ratchathani University*: 1: 67-75.
- Navakhun A. and Malapong C. (2011) Determination of Volatile Organic Compounds in Water by GC-MS and HS-SPME techniques. *In the Proceeding of PURE AND APPLIED CHEMISTRY INTERNATIONAL CONFERENCE 2011*. Miracle Grand Convention Hotel, Bangkok. 2011: 66-69.
- Navakhun A. and Malapong C. (2012) Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in water by purge and trap-Gas chromatography (PT-GC-MS). *In the Proceeding of Burapha University International Conference 2012*, Pattaya, Chonburi, 2012: 478-486.
- Anurak Chankaew and Apinya Navakhun (2016). Determination of inorganic and organo arsenic species by purge and trap gas chromatography mass spectrometry, *in the proceeding of PACCON 2016*, Bangkok, 13-19.
- Chaksawat Sangawitayakorn and Apinya Navakhun (2016) Determination of polycyclic aromatic hydrocarbon in seawater by GC-MS and dispersive liquid-liquid microextraction. *In the proceeding of PACCON 2016*, Bangkok, 60-65.

- Kaenchotikul, P., & Navakhun, A. (2017). Determination of mercury in water samples from Map Ta Phut Industrial Estate. In *Proceedings of The 9<sup>th</sup> National Science Research Conference* (pp. 104-111). Chonburi: Burapha University.
- Mongkol, N., & Navakhun, A. (2017). Determination of cadmium in water samples by dispersive liquid-liquid microextraction combined with UV-Visible spectrophotometry. In *The Proceedings of the Pure and Applied Chemistry International Conference 2017* (pp. 90-94). Bangkok: Centra Government Complex Hotel & Convention Centre Chaeng Wattana
- Ngampraserd, J., & Navakhun, A. (2017). Determination of silver by dispersive liquid-liquid microextraction preconcentration and UV-visible spectrophotometric detection. In *the Proceedings of Pure and Applied Chemistry International Conference 2017* (pp. 84-89). Bangkok: Centra Government Complex Hotel & Convention Centre Chaeng Wattana.
- Navakhun, A. (2019). Matrix-free extraction method for the determination of formaldehyde by UV-visible spectrometry. In *the Proceeding of the 7th Burapha University International Conference on Interdisciplinary Research*. (pp 549-555). Chonburi: Burapha University.
- Navakhun, A., & Natongtam, A. (2019). Determination of silver (I) in seafood samples by ultrasonic extraction method. In *the Proceedings of PACCON 2019*. (pp AC112-AC116). Bangkok: BITEC.

## ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. นางสาวจุฬารัตน์ หงส์วลีรัตน์  
Miss Chularat Hongvaleerat
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
3. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ต.แสนสุข อ.เมือง จ.  
ชลบุรี 20131 โทรศัพท์ 038-103139 โทรสาร 038-393492  
e-mail: [chularat@buu.ac.th](mailto:chularat@buu.ac.th)
4. ประวัติการศึกษา  
2550 วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีอาหาร) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
2537 M.Sc. (Food Science and Technology), the Univ. of Tennessee,  
Knoxville, USA  
2531 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตพืช) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง (เกียรตินิยมอันดับ 2)
5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)  
การบรรจุภัณฑ์อาหาร (Food packaging)
6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุ  
สถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย  
หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย
  - 7.1 -
  - 7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย  
โครงการวิจัยที่แล้วเสร็จ  
เรื่อง การเพิ่มอายุการเก็บรักษาขนมลูกชุบโดยใช้เทคโนโลยีเฮอร์ดิล  
สถานภาพ หัวหน้าโครงการวิจัย  
แหล่งทุน ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปี 2554  
งานวิจัยที่กำลังทำ  
เรื่อง บรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติจากส่วนใบของลำต้นและส่วนบนของผลสับปะรด  
สถานภาพ หัวหน้าโครงการวิจัย  
แหล่งทุน ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล)  
มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปี 2559
  - 7.3 ผลงานที่ตีพิมพ์  
มัชชลี คนโทเงิน, วราภรณ์ ปังลิขิต, อรสา สุริยาพันธ์ และ จุฬารัตน์ หงส์วลีรัตน์ 2555  
การเพิ่มอายุการเก็บรักษาขนมลูกชุบโดยใช้เทคโนโลยีเฮอร์ดิล  
วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 43(2) (พิเศษ): 189-192



## ผู้ร่วมโครงการวิจัย

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)                      นาย กรกฎ นวคุณ  
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)                      Mr. Korakot Navakhun
- ตำแหน่งปัจจุบัน                      รองศาสตราจารย์
- หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพฯ

10240

โทรศัพท์                      02-3108400-1                      โทรสาร                      02-3108401  
e-mail: [n\\_korakot@ru.ac.th](mailto:n_korakot@ru.ac.th)

- ประวัติการศึกษา  
พ.ศ. 2538: วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี)                      จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
พ.ศ. 2541: วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมีอินทรีย์)                      จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
  
พ.ศ. 2548: Doctor of Philosophy (Chemistry)                      University of  
Southampton United  
Kingdom
- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ  
เคมีโคออร์ดิเนชัน เคมีซูพราโมเลกุลลาร์ เคมีคำนวณ
- ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุ  
สถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วม  
วิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

### 6.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

- เรื่อง การศึกษาสมบัติการจับกับไอออนลบของของสารรับไอออนลบชนิดไพโรลล์  
(Anion Binding Properties study of Pyrrolic Anion Receptors)  
สถานภาพ หัวหน้าโครงการวิจัย  
แหล่งทุน กองทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีงบประมาณ  
2549
- เรื่อง สมบัติการรวมตัวกันของสารรับไอออนลบชนิดเอไมด์  
(Self-assembly Properties of amide-based anion receptors)  
สถานภาพ หัวหน้าโครงการวิจัย  
แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย  
ปีงบประมาณ 2551-2552

- 3) **เรื่อง** การวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติการจับกับลิวซีน แอสพาราจีน และฟีนิลอะลานีน ของกรดเบทูลินิกและอนุพันธ์  
(Structural Analysis and Leucine, Asparagine and Phenylalanine Binding Properties of Betulinic Acid and its Derivatives)

**สถานภาพ** หัวหน้าโครงการวิจัย

**แหล่งทุน** กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีงบประมาณ 2551

- 4) **เรื่อง** สมบัติการจดจำไอออนลบของสารรับไอออนลบชนิดเอไมด์  
(Anion Recognition Properties of Amide Based Anion Receptors)

**สถานภาพ** หัวหน้าโครงการวิจัย

**แหล่งทุน** สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยรามคำแหงและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ปีงบประมาณ 2553-2554

- 5) **เรื่อง** สมบัติการจับกับแอสพาราจีน กรดแอสปาร์ติก ฮิสติดีน ลิวซีน และฟีนิลอะลานีน ของอนุพันธ์แมงโกสติน  
(Asparagine, Aspartic acid, Histidine, Leucine, and Phenylalanine Binding Properties of Mangostin Derivatives)

**สถานภาพ** หัวหน้าโครงการวิจัย

**แหล่งทุน** กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีงบประมาณ 2553

- 6) **เรื่อง** สมบัติการรวมตัวของสารรับไอออนลบชนิดอะมิโดไพร์โรล  
(Assembly Properties of Amidopyrrolic Anion Receptors)

**สถานภาพ** หัวหน้าโครงการวิจัย

**แหล่งทุน** สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ปีงบประมาณ 2554

- 7) **เรื่อง** สมบัติการจับกับฟีนิลอะลานีน-แอสพาราจีน-ลิวซีนของ 20-ไฮดรอกซีเอคโดไซนและอนุพันธ์  
(Phenylalanine-Asparagine-Leucine Binding Properties of 20-hydroxyecdysone and its Derivatives)

**สถานภาพ** หัวหน้าโครงการวิจัย

**แหล่งทุน** กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีงบประมาณ 2555

- 8) **เรื่อง** การวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติการจับกับ O-ฟีนิลอะลานีน-แอสพาราจีน-ลิวซีน  
ของกรดเบทูลินิกและอนุพันธ์  
(Structural Analysis and O-Phenylalanine-Asparagine-Leucine

Binding

Properties of Betulinic Acid and its Derivatives)

**สถานภาพ** หัวหน้าโครงการวิจัย

**แหล่งทุน** สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ปีงบประมาณ 2559

## 6.2 ผลงานตีพิมพ์

งานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

1. **Navakun, K.**; Tuntulani, T.; Ruangpornvisuti, V. 2000. p-tert-Butylcalix[4]arene derivatives containing azathiol receptors and their recognition towards Hg(II). *J. Incl. Phenom. Macro. Chem.* 38: 113-122.
2. **Navakhun, K.**; Gale, P. A.; Camiolo, S.; Light, M. E.; Hursthouse, M. B. 2002. Pendant arm pyrrolic amide cleft anion receptors. *Chem. Commun.* 27: 2084-2085.
3. Gale, P. A.; **Navakhun, K.**; Camiolo, K.; Light, M. E.; Hursthouse, M. B. 2002. Anion-anion assembly: a new class of anionic supramolecular polymer containing 3,4-dichloro-2,5-diamido-substituted pyrrole anion dimers. *J. Am. Chem. Soc.* 124: 11228-11229.
4. Coles, S. J.; Frey, J. G.; Gale, P. A.; Hursthouse, M. B.; Light, M. E.; **Navakhun, K.**; Thomas, G. L. 2003. Anion-directed assembly: the first fluoride-directed double helix. *Chem. Commun.* 28: 568-569.
5. Light, M. E.; Gale, P. A.; **Navakhun, K.** 2005. 1,4-Phenylene-bis-(3,4-dichloro-5-phenylcarbamoyl-1H-pyrrole-2-carboxamide) bis(tetrabutylammonium chloride) acetonitrile disolvate. *Acta Cryst. E61: o1300-o1301.*
6. Light, M. E.; Gale, P. A.; **Navakhun, K.**; Maynard-Smith M. 2005. 4-Aminomethyl-phenylamino-bis-( 3,4-dichloro-5-phenylcarbamoyl-1H-pyrrole-2-carboxamide) tetrabutylammonium salt. *Acta Cryst. E61: o1302-o1303.*
7. Gale, P. A.; Light, M. E.; McNally, B.; **Navakhun, K.**; Sliwinski, K. E.; Smith, B. D. 2005. Co-transport of H<sup>+</sup>/Cl<sup>-</sup> by a synthetic prodigiosin mimic. *Chem. Commun.* 30: 3773-3775.
8. Light, M. E. ; Gale, P. A. ; **Navakhun, K.** 2006. N,N' -Bis( 3-nitrophenyl) isophthalamide tetrabutylammonium chloride. *Acta Cryst. E62: o1097-o1098.*
9. **Navakhun, K.**; Ruangpornvisuti, V. 2006. Molecular structures of 3,4-dichloro-2,5-diamido-substituted pyrrole anion dimers, their deprotonation reactions in systems with and without fluoride ion. *J. Mol. Struct.(Theochem)* 772: 23-30.
10. **Navakhun, K.**; Ruangpornvisuti, V. 2007. A DFT study of chloride and hydroxide anions effects on deprotonations of 3,4-dichloro-2,5-diamido-substituted pyrrole derivatives. *J. Mol. Struct.(Theochem)* 806: 145-153.
11. **Navakhun, K.**; Ruangpornvisuti, V. 2008. Anion binding of 3,4-dichloro-2,5-diamidopyrrole and anionic self-assembly dimerization of its deprotonated species. *J. Mol. Struct.(Theochem)* 864: 26-30.

12. **Navakhun, K.**; Ruangpornvisuti, V. 2009. Non-rigid bis(-2,5-diamidopyrrole) receptor, its deprotonated species and their complexes with fluoride, chloride and hydroxide ions. *J. Mol. Struct.(Theochem)* 907: 131-134.
13. Thongnest, S.; Sawangsri, R.; **Navakhun, K.**; Yahuafai, J.; Siripong, P.; Sutthivaiyakit, S. 2012. Oximes of 3-hydroxyphenylflavanones and their cytotoxic activities. *Heterocycles* 85(11): 2723-2734.
14. **Navakhun, K.**; Sawangsri, R.; Ruangpornvisuti, V. (2014) Syntheses of amide based anion receptors and investigation of their molecular structures using proton NMR titration and DFT methods. *J. Mol. Struct.*, 1061: 32-40.

งานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ

1. Ruangpornvisuti, V.; Kongnoi, A.; **Tumrai, K.** 1996. A Study of Complexation between Copper( II) and Pyrrole-2 -Carboxylic Acid in Methanol by Potentiometric Titration. *J. Sci. Res. Chula. Univ.* 21(2): 95-102.
2. **Navakhun, K.** 2008. Anion Binding Properties Study of Pyrrolic Anion Receptors. *Ramkhamhaeng Research Journal of Sciences and Technology* 11(2): 1-16. (in Thai).
3. **Navakhun, K.** 2008. Anion Coordination Chemistry of Pyrrolic Compounds. *Ramkhamhaeng University Journal.* 25(2): 40-53 (in Thai).
4. **Navakhun, K.** 2010. Structural Analysis and Leucine, Asparagine and Phenylalanine Binding Properties of Betulinic Acid and Its Derivatives. *Ramkhamhaeng Research Journal of Sciences and Technology* 13(1): 38-60 (in Thai).
5. **Navakhun, K.** and Sawangsri, R. 2011. Anion Recognitions of Disubstituted Isophthalamide-Base Anion Receptors: Experimental and Theoretical Studies. *Laos Journal on Applied Science* 2(1): 151-159.
6. **Navakhun, K.** 2012. Asparagine, Aspartic Acid, Histidine, Leucine and Phenylalanine Binding Properties of Mangostin Derivative. *Ramkhamhaeng Research Journal of Sciences and Technology* 15(Supplement): 81-99 (in Thai).

Proceedings ในการประชุมระดับนานาชาติและระดับชาติ

1. **Navakhun, K.**; Ruangpornvisuti, V. 2006. Effects of fluoride, chloride and hydroxide ions to the deprotonation properties of 3,4-dichloro-2,5-diamido-substituted dipyrrolic derivatives: The DFT study. 32<sup>nd</sup> Congress on Science and Technology of Thailand, 10<sup>th</sup>-12<sup>th</sup> Oct 2006, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok. C2\_C0004, 166-168.

2. **Navakhun, K.** ; Ruangpornvisuti, V. 2008. Deprotonation Properties of 3,4-Dichloro-2,5-Diamido-Substituted Pyrrole Derivatives in the Anions Environment. Proceeding of PURE AND APPLIED CHEMISTRY INTERNATIONAL CONFERENCE. 30<sup>th</sup> Jan-1<sup>st</sup> Feb 2008, Sofitel Centara Grand, Bangkok. No.67, 391-395.
3. **Navakhun, K.**; Sawangsri, R. 2008. Assembly Properties of Isophthalamide Based Anion Receptors. Proceeding of Ramkhamhaeng University Research Conference. 25<sup>th</sup> Jul 2008, Ramkhamhaeng University, Bangkok. SC-P-01, 362-368. (in Thai).
4. **Navakhun, K.**; Noikamon, K. 2008. Synthesis of Isophthalamide Derivatives as Anion Receptors. Proceeding of Ramkhamhaeng University Research Conference. 25<sup>th</sup> Jul 2008, Ramkhamhaeng University, Bangkok. SC-P-02, 369-376. (in Thai).
5. **Navakhun, K.**; Ruangpornvisuti, V. 2008. Anionic Self-Assembly Dimer Formation of 3,4-Dichloro-2,5-Diamidopyrrole: DFT Calculation Study. Proceeding of 34<sup>nd</sup> Congress on Science and Technology of Thailand. 29<sup>th</sup>-30<sup>th</sup> Oct 2008, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok. C2\_C0015, 1-4.
6. **Navakhun, K.** 2009. Synthesis of electron withdrawing groups substitution isophthalamide derivative as anion receptor. 1<sup>st</sup> National Conference on Industrial and Research Projects for Undergraduate Students IRPUSCON-01, 25<sup>th</sup>-29<sup>th</sup> Mar 2009, Siam Paragon, Bangkok. 150-152 (in Thai).
7. Sawangsri, R. ; Tongkorn, T. and **Navakhun, K.** 2009. Synthesis of Electron Withdrawing Groups Substitution Isophthalamide Derivative as Anion Receptor. Proceeding of 35<sup>th</sup> Congress on Science and Technology of Thailand. 2009, 15<sup>th</sup>-17<sup>th</sup> Oct 2009, The Tide Resort (Bangsaen Beach), Chonburi. C2\_C0006. 1-5.
8. Sawangsri, R.; **Navakhun, K.** 2010. Anion-directed assembly dimerization of *N,N'*-bis-(3,5-dinitro) isophthalamide: The DFT studies. Proceeding of PURE AND APPLIED CHEMISTRY INTERNATIONAL CONFERENCE 2010. 21<sup>st</sup>-23<sup>rd</sup> Jan 2010, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani. 351-354.
9. Sawangsri, R. ; **Navakhun, K.** 2010. Halide ion recognitions of disubstituted isophthalamide-based anion receptors. Proceeding of 36<sup>th</sup> Congress on Science and Technology of Thailand. 2010, Bangkok International Trade & Exhibition Centre (BITEC), 26<sup>th</sup>-28<sup>th</sup> Oct 2006, Bangkok. C2\_C0043. 1-5.
10. Sawangsri, R. ; **Navakhun, K.** 2011. Oxo-anion-recognitions of disubstituted isophthalamide-base anion receptors: experimental and theoretical studies. Proceeding of PURE AND APPLIED CHEMISTRY INTERNATIONAL CONFERENCE 2011. 5<sup>th</sup>-7<sup>th</sup> Jan 2011, Miracle Grand Convention Hotel, Bangkok. 244-247.

11. Khobsantia, N.; **Navakhun, K.** 2012. Small peptide complexation abilities of 20-hydroxyecdysone analogues: DFT study. Proceeding of the 6<sup>th</sup> PURE AND APPLIED CHEMISTRY INTERNATIONAL CONFERENCE 2012. 11<sup>st</sup>-13<sup>rd</sup> Jan 2012, The Empress Convention Center, Chiang Mai, 957-961.
12. **Navakhun, K.**; Sawangsri, R. 2013 Assembly Properties of Amidopyrrolic Anion Receptors: Theoretical Studies. Proceeding of the 7<sup>th</sup> PURE AND APPLIED CHEMISTRY INTERNATIONAL CONFERENCE 2013. 23<sup>rd</sup>-25<sup>th</sup> Jan 2013, The Tide Resort, Chonburi, 458-461.
13. Khobsantia, N.; **Navakhun, K.** 2015. Phenylalanine-Asparagine-Leucine Binding Properties of 20-hydroxyecdysone and its Derivatives. Proceeding of PURE AND APPLIED CHEMISTRY INTERNATIONAL CONFERENCE 2015. 21<sup>st</sup>-23<sup>rd</sup> Jan 2015, Amari Watergate Hotel, Bangkok, 531-534.
14. **Navakhun, K.**; Khobsantia, N. 2015. Synthesis of Protected Phenylalanine-Asparagine-Leucine and Its Ecdysteroid Binding Properties. Proceeding of International Congress on Chemical, Biological and Environmental Sciences (ICCBES 2015). 7<sup>st</sup>-9<sup>st</sup> May 2015, Kyoto Research Park (KRP), Kyoto, Japan, 332-342.
15. Chungla, P. ; **Navakhun, K.** 2016. Anions recognitions of trisubstituted isophthalamide-based anion receptor: DFT studies. Proceeding of PURE AND APPLIED CHEMISTRY INTERNATIONAL CONFERENCE 2016. 9<sup>th</sup>-11<sup>st</sup> Feb 2016, BITEC, Bangkok, 621-625.
16. **Navakhun, K.**; Khobsantia, N. 2017. Structural analysis and Fmoc-Leu-Asn-Phe-OMe tripeptide binding properties of betulinic acid and its derivative. Proceeding of PURE AND APPLIED CHEMISTRY INTERNATIONAL CONFERENCE 2017. 2<sup>nd</sup>-3<sup>rd</sup> Feb 2017, Centra Government Complex Hotel & Convention Centre, Bangkok, 956-960.