

รหัสโครงการ 256101A1080013

สัญญาเลขที่ 11/2561

## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

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

หัวหน้าโครงการผู้รับทุน

**ดร. อภิญญา นวคุณ**

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล)  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เลขที่  
สัญญา 11/2561

## Acknowledgement

This work was financially supported by the Research Grant of Burapha University through National Research Council of Thailand (Grant no. 11/2561)

## บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นไอออนเงินในตัวอย่างน้ำด้วยเทคนิคด้วยวิธีการสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจาย และการสกัดไอออนเงินในตัวอย่างอาหารทะเลด้วยเทคนิคด้วยวิธีการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิค และตรวจวัดปริมาณไอออนเงินด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโตรเมตรี โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินที่มีอยู่ในระดับไมโครกรัมต่อลิตรในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมได้ นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีต่อการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินในสิ่งแวดล้อม

## **Abstract**

In this research, the dispersive liquid liquid microextraction for extraction and preconcentration of silver ion in water sample and the ultrasonic extraction for extraction of silver ion from seafood sample were developed. The amount of extracted silver ion was determined by UV-Visible spectrometry. The parameters affected the extraction efficiency were carried in order to detect the microgram per liter silver ion contaminated in environmental sample. In addition, the decomposition of silver nanoparticle in environment was also studied.

# สารบัญเรื่อง

	หน้า
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
เนื้อหาของเรื่องที่เคยมีผู้ทำการวิจัยมาก่อน	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	4
วัตถุประสงค์โครงการวิจัย	5
ขอบเขตโครงการวิจัย	5
วิธีดำเนินการวิจัยโดยสรุป	5
แนวทางความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
<b>บทที่ 2 การดำเนินการวิจัย</b>	8
2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี	8
2.2 วิธีดำเนินการวิจัย	9
2.2.1 การศึกษาวิธีการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นของไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างน้ำ ด้วยวิธีการสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจาย	9
2.2.2 การศึกษาวิธีการสกัดไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหารทะเล ด้วยวิธีการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิก	11
2.2.3 การศึกษาสภาวะที่มีผลต่อการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน	12
<b>บทที่ 3 ผลและการอภิปรายผลการวิจัย</b>	15
3.1 การศึกษาวิธีการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นของไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างน้ำ ด้วยวิธีการสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจาย	15
3.2 การศึกษาวิธีการสกัดไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหารทะเล ด้วยวิธีการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิก	24
3.3 การศึกษาสภาวะที่มีผลต่อการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน	33
<b>บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ</b>	46
สรุปผลการวิจัย	46
ข้อเสนอแนะ	47
<b>ผลผลิต</b>	48
<b>รายงานสรุปการเงิน</b>	49
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	50
<b>ประวัตินักวิจัยและคณะ</b>	55

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ความชันของกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงินจากการศึกษาชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10	18
ตารางที่ 3.2 ผลการศึกษาชนิดของตัวทำละลายกระจายตัวต่อค่าความชันของสมการเส้นตรง	19
ตารางที่ 3.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนของตัวทำละลายสกัดต่อตัวทำละลายกระจายตัวต่อค่าความชันของสมการเส้นตรงและปริมาตรที่สกัดได้	20
ตารางที่ 3.4 ผลการศึกษาปริมาตรของตัวทำละลายผสมไดคลอโรมีเทนต่อเมทานอลต่อค่าความชันของสมการเส้นตรงและปริมาตรที่สกัดได้	21
ตารางที่ 3.5 ผลการศึกษาเวลาในการสกัดต่อค่าความชันของสมการเส้นตรง	22
ตารางที่ 3.6 ผลการศึกษาน้ำหนักของเกลือต่อค่าความชันของสมการเส้นตรงและปริมาตรที่สกัดได้	23
ตารางที่ 3.7 สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสารเชิงซ้อนและสกัดสารเชิงซ้อนไอออนเงิน	24
ตารางที่ 3.8 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินจากการศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่ใช้สกัด	25
ตารางที่ 3.9 ค่าการดูดกลืนแสงของแบลงค์จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด	26
ตารางที่ 3.10 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินจากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด	26
ตารางที่ 3.11 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินลบแบลงค์จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด	27
ตารางที่ 3.12 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินจากการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด	28
ตารางที่ 3.13 ค่าการดูดกลืนแสงของแบลงค์จากการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด	29
ตารางที่ 3.14 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินลบแบลงค์จากการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด	29
ตารางที่ 3.15 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินจากการศึกษาปริมาตรของตัวทำละลายสกัด	30
ตารางที่ 3.16 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินจากการศึกษาน้ำหนักเนื้อปลาที่ใช้สกัด	31
ตารางที่ 3.17 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินจากการศึกษาวิธีการเตรียมเนื้อปลาก่อนการสกัด	32

	หน้า
ตารางที่ 3.18 $\lambda_{\max}$ (นาโนเมตร) ของอนุภาคนาโนของเงินที่มีการเติม PVP และ ไม่มีการเติม PVP	36
ตารางที่ 3.19 $\lambda_{\max}$ (นาโนเมตร) ของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อเติมสารละลาย ผสมที่ปริมาตร 20-60 มิลลิลิตร	37
ตารางที่ 3.20 $\lambda_{\max}$ (นาโนเมตร) ของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อใช้ความเข้มข้น ของสารละลาย PVP 0.0050 - 0.0200 โมลต่อลิตรที่พีเอชต่างๆ	38
ตารางที่ 3.21 $\lambda_{\max}$ (นาโนเมตร) ของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อใช้อัตราการหยด สารละลายผสม 0.5 - 2 วินาทีต่อหยด	40
ตารางที่ 3.22 ความเข้มข้นของไอออนเงินที่เกิดจากการสลายตัวของอนุภาคนาโน ของเงิน	43
ตารางที่ 4.1 สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสารเชิงซ้อนและการสกัดระดับจุลภาค ด้วยของเหลวแบบกระจายตัวในการวิเคราะห์ไอออนเงินใน ตัวอย่างน้ำ	46
ตารางที่ 4.2 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารเชิงซ้อนไอออนเงินในตัวอย่าง อาหารทะเลด้วยเทคนิคการสกัดด้วยอัลตราโซนิก	46
ตารางที่ 4.3 สรุปลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน	47
ตารางที่ 4.4 สภาวะที่อนุภาคนาโนของเงินสลายตัวเป็นไอออนเงิน	47



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างหลอดหยดที่มีโซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรส์ภายในหลอด โดย ก) หลอดหยดที่มีโซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรส์ และ ข) การปล่อยสารละลาย อินทรีย์ที่อยู่ในไมโครไซริงค์ผ่านหลอดหยดที่มีโซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรส์	10
รูปที่ 3.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของลิแกนด์อิสระ (dithizone) และสารเชิงซ้อน ไอออนเงินในช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร	15
รูปที่ 3.2 ผลการศึกษาพีเอชของสารละลายบัฟเฟอร์ต่อการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน	17
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงินจากการศึกษาชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์	18
รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงินจากการศึกษาชนิดของตัวทำละลายกระจายตัว	19
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงินจากการศึกษาอัตราส่วนตัวทำละลายที่ใช้สกัดต่อตัวทำละลายกระจายตัว	20
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงินจากการศึกษาปริมาตรรวมของตัวทำละลายที่ใช้สกัดและตัวทำละลายกระจายตัว	21
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงินจากการศึกษาเวลาในการสกัด	22
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงินจากการศึกษาน้ำหนักของเกลือโซเดียมคลอไรด์	23
รูปที่ 3.9 ผลของชนิดตัวทำละลายที่ใช้สกัดต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน	25
รูปที่ 3.10 ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน	27
รูปที่ 3.11 ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน ลบแบลงค์	28
รูปที่ 3.12 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน	29
รูปที่ 3.13 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดต่อค่าการดูดกลืนแสงสารเชิงซ้อนไอออนเงิน ลบแบลงค์	30

รูปที่ 3.14	ผลของปริมาตรของตัวทำละลายสกัดต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน	31
รูปที่ 3.15	ผลของน้ำหนักเนื้อปลาต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน	32
รูปที่ 3.16	ผลของวิธีการเตรียมเนื้อปลาก่อนการสกัดต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน	33
รูปที่ 3.17	อนุภาคนาโนของเงินที่ได้จากการสังเคราะห์	33
รูปที่ 3.18	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนของเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น 300-600 นาโนเมตร	34
รูปที่ 3.19	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ในช่วงความยาวคลื่น 300-600 นาโนเมตร	35
รูปที่ 3.20	สเปกตรัมของอนุภาคนาโนของเงินที่มีเติมสาร PVP และไม่มีเติมสาร PVP	36
รูปที่ 3.21	อนุภาคนาโนของเงินที่ได้จากการสังเคราะห์เมื่อตั้งทิ้งไว้ 30 นาที โดยที่ ก) เติมสาร PVP ข) ไม่มีเติมสาร PVP	36
รูปที่ 3.22	สเปกตรัมของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อเติมสารละลายผสมที่ปริมาตร 20-60 มิลลิลิตร	37
รูปที่ 3.23	สเปกตรัมของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลาย PVP 0.0050 - 0.0200 โมลต่อลิตร	39
รูปที่ 3.24	สเปกตรัมของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อใช้อัตราการหยดสารละลายผสม 0.5 - 2 วินาทีต่อหยด	40
รูปที่ 3.25	สเปกตรัมระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ของอนุภาคนาโนของเงินที่ 0-40 นาที	41
รูปที่ 3.26	สเปกตรัมของอนุภาคนาโนของเงินที่ไม่มีการเติมไดไทโชน อนุภาคนาโนของเงินที่มีการเติมไดไทโชน สารละลายไดไทโชนและสารประกอบเชิงซ้อนของ	42
รูปที่ 3.27	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนเงินที่เกิดขึ้นที่พีเอชต่างๆ	43
รูปที่ 3.28	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนเงินที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	44
รูปที่ 3.29	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนเงินที่เกิดขึ้นเมื่อโดนแสงที่สภาวะต่างๆ	45

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

$\lambda$	ความยาวคลื่น (หน่วย นาโนเมตร)
$\lambda_{\text{max}}$	ความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด
H <sub>2</sub> DZ	ไดไทโซน
SD	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
%RSD	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์
PVP	Polyvinylpyrrolidone

## บทที่ 1

### บทนำ

#### เนื้อหาของเรื่องที่เคยมีผู้ทำการวิจัยมาก่อน

Yang และคณะ (2016) ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่งน้ำโดยการสกัดด้วยเทคนิค cloud point extraction (CPE) และตรวจวัดด้วยเทคนิค inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) โดยอนุภาคนาโนของเงินจะแขวนลอยอยู่ในสารละลายที่มีสารลดแรงตึงผิว ปัจจัยที่มีต่อการสกัดได้แก่ค่าความเป็นกรดเบส อุณหภูมิ เวลาในการสกัด เวลาที่เกิดสมดุและปริมาณสารลดแรงตึงผิว (triton X-114) นอกจากนี้ยังสามารถแยกอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ได้โดยการเติมสาร  $\text{Na}_2\text{S}_3\text{O}_3$  ในการศึกษาชนิดจำกัดการตรวจวัดมีค่า 5 นาโนกรัมต่อลิตร

Hafida และคณะ (2016) ได้วิเคราะห์ไอออนเงินในตัวอย่งของเหลวด้วยเทคนิค differential pulse anodic stripping voltammetry โดยพัฒนาอิเล็กโทรดใหม่คือ modified carbon paste electrode (MCPE) ด้วยการปรับสภาพ carbon paste electrode ด้วยสาร 2-hydroxybenzaldehyde benzoylhydrazone (2-HBBH) ไอออนเงินจะเพิ่มความเข้มข้นโดยการเกิดสารเชิงซ้อนกับลิแกนด์ที่ยึดเกาะที่ผิวของอิเล็กโทรด ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมสามารถตรวจวัดไอออนเงินได้ในช่วง 0.001-100 ไมโครกรัมต่อลิตร ชนิดจำกัดการตรวจวัดและชนิดจำกัดการหาปริมาณมีค่า 1.1 และ 3.7 นาโนกรัมต่อลิตรตามลำดับ

Ramos และคณะ (2016) ได้ศึกษาการเคลื่อนย้ายของ Ag จากบรรจุภัณฑ์ โดยศึกษาในขวดบรรจุนมสำหรับทารกและกล่องบรรจุอาหารที่ใช้สารอนุภาคนาโนของเงินเพื่อป้องกันแบคทีเรีย โดยใช้สารละลายน้ำ, 3% acetic acid, 10% และ 90% ethanol เป็นตัวชะ ศึกษาอุณหภูมิในช่วง 20-70°C เวลาที่สัมผัสมากกว่า 10 วัน ผลการศึกษาพบการเคลื่อนย้ายของ Ag ในกล่องบรรจุอาหารมากกว่าขวดบรรจุนม 2-3 พันเท่า ในกล่องบรรจุอาหารจะมีปริมาณของเงินน้อยกว่าขวดบรรจุนม นอกจากนี้ยังพบว่าการเคลื่อนย้ายของ Ag จากบรรจุภัณฑ์สู่อาหารยังขึ้นกับปัจจัยต่างๆเช่น ชนิดของบรรจุภัณฑ์ ชนิดของสารละลายที่สัมผัสอาหาร และอุณหภูมิ โดยพบว่าที่ 3% acetic acid อุณหภูมิ 70°C เวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณของ Ag ที่พบเท่ากับ 62 และ 1887 นาโนกรัมต่อลิตร จากขวดบรรจุนมและกล่องบรรจุอาหาร ตามลำดับ

Cao และคณะ (2016) ได้สรุปความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคนาโนของเงินในบรรจุภัณฑ์ในการประเมินความปลอดภัยของอาหาร โดยพบว่าเมื่อได้รับสัมผัสอนุภาคนาโนของเงินทางการรับประทานจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำในการเกิดพิษทั้งการศึกษาแบบในเซลล์และภายนอกเซลล์ นอกจากนี้ยังพบว่าการสัมผัสอนุภาคนาโนของเงินจากบรรจุภัณฑ์ขึ้นกับองค์ประกอบของอาหารโดยเกิดการดูดซับอนุภาคเงินได้หลายกระบวนการ เช่น ดูดซับโดยสารอาหารที่อยู่ในอาหารนั้น และการดูดซับโดยกระบวนการ physico-chemical absorption และกระบวนการ oxidative stress ซึ่งกระบวนการดูดซับอนุภาคนาโนของเงินโดยอาหารจะมีผลต่อการเพิ่มและลดความเป็นพิษของเงินเมื่อเข้าสู่ร่างกาย จากข้อมูลที่ได้ศึกษาจะเป็นประโยชน์ในการประเมินความปลอดภัยของอาหารที่มีการปนเปื้อนอนุภาคนาโนของเงินได้

Celia และคณะ (2016) ได้ใช้เทคนิคการสกัด dispersive micro solid-phase extraction และการตรวจวัดด้วยเทคนิค capillary electrophoresis (CE) ในการวิเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน

ในตัวอย่างอาหาร ในการศึกษานี้ได้ใช้ sulfonated nanocellulose เป็นตัวดูดซับและเพิ่มความเข้มข้นอนุภาคนาโนของเงินที่มีขนาดในช่วง 10-60 นาโนเมตร ซึ่งทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวัดโดยมีขีดจำกัดการตรวจวัดที่ 20 ไมโครกรัมต่อลิตร และได้นำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่างน้ำผลไม้

Loeschner และคณะ (2015) ได้ศึกษาการวิเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่างเนื้อไก่ ด้วยเทคนิค asymmetric flow field-flow fractionation โดยมี inductively coupled plasma mass spectrometry เป็นเครื่องตรวจวัด และเตรียมตัวอย่างด้วยการย่อยสลายด้วยเอนไซม์เพื่อลดเมทริกซ์ที่รบกวนการวิเคราะห์ และได้ตรวจสอบวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นพบว่าสามารถยอมรับได้ตามมาตรฐาน

Artiaga และคณะ (2015) ได้ศึกษาการเคลื่อนย้ายของ Ag จากบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุอาหาร โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการหลุดออกของ Ag ได้แก่ ส่วนประกอบของอาหาร อุณหภูมิ เวลาที่สัมผัสอาหาร และขนาดของพื้นที่สัมผัส พบว่าอนุภาคนาโนของเงินสามารถเคลื่อนย้ายออกจากบรรจุภัณฑ์ในสถานะที่มีน้ำและสถานะเป็นกรด และปริมาณการเคลื่อนย้ายจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาการสัมผัสเพิ่มมากขึ้นและเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

Mohammad และคณะ (2014) ได้ศึกษาวิธีการสกัด การเพิ่มความเข้มข้น และการหาปริมาณของ Ag, Cd, Cu, Hg และ Pb ในตัวอย่างอาหาร โดยใช้การสกัดด้วยวิธี magnetic solid phase extraction โดยใช้ อนุภาคนาโนของ  $Fe_3O_4$  เคลือบด้วย 3-(trimethoxysilyl)-1-propanethiol และปรับสภาพด้วย ethylene glycol bis-mercaptoacetate เมื่อโลหะหนักถูกสกัดและเพิ่มความเข้มข้นแล้วจะตรวจวัดด้วยเทคนิค ICP-OES ยกเว้นปรอทที่ตรวจวัดด้วยเทคนิค CV-AAS งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดและการชะโลหะ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ขีดจำกัดการตรวจวัดมีค่า 0.07, 0.06, 0.09, 0.01 และ 0.08 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับโลหะ Ag, Cd, Cu, Hg และ Pb ตามลำดับ และได้นำเทคนิคนี้ไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะในตัวอย่างข้าว ปลา กระป๋องและใบชา

Emre และคณะ (2013) ได้หาปริมาณ Ag(I) ในตัวอย่างน้ำประปา น้ำแร่ น้ำทะเล หิน และครีม โดยใช้วิธีการสกัด solid phase extraction และตรวจวัดด้วยเทคนิค Flame atomic absorption spectrometry โดยใช้ 5-(p-dimethylaminobenzylidene) rhodamine เป็นรีเอเจนต์และใช้ Sepabeads SP207 เป็นตัวดูดซับเพื่อสกัดและเพิ่มความเข้มข้น Ag(I) ก่อนนำไปวิเคราะห์ โดยวิธีการนี้สามารถเพิ่มความเข้มข้นของ Ag(I) ได้ถึง 200 เท่า ขีดจำกัดการวิเคราะห์และขีดจำกัดการหาปริมาณมีค่า 0.13 และ 0.44 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

Joyce และคณะ (2011) ได้พัฒนาวิธีการใหม่ในการวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินในตัวอย่างน้ำด้วยการสกัดด้วยเทคนิค solid phase extraction ตรวจวัดด้วยเทคนิค flow injection-flame atomic absorption spectrometry โดยสาร termite ในการดูดซับและเพิ่มความเข้มข้น ศึกษาสภาวะที่มีผลต่อการวิเคราะห์ได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับ ชนิดและความเข้มข้นของบัฟเฟอร์ ความเป็นกรดเบสของตัวอย่าง และอัตราการไหลของตัวอย่าง ขีดจำกัดการตรวจวัดมีค่า 3.4 ไมโครกรัมต่อลิตร และสามารถเพิ่มความเข้มข้นได้ 21 เท่า และประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินในตัวอย่างน้ำจากอุตสาหกรรมสิ่งทอที่มีการใช้อนุภาคนาโนของเงินจากบริเวณ Santa Catarina ประเทศบราซิล

Radka และคณะ (2007) ได้วิเคราะห์ไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติ ด้วยเทคนิค HPLC ที่มีเครื่องตรวจวัด electrochemical detector (HPLC-ED) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมได้ค่าขีดการตรวจวัดเท่ากับ 20 มิลลิโมลต่อลิตร และได้อธิบายถึงผลของไอออนชนิดอื่นที่รบกวนการวิเคราะห์

Valderi และคณะ (2001) ได้วิเคราะห์ปริมาณ Ag, Te, U และ Au ในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างชีวภาพด้วยเทคนิค FI-ICP-MS และพัฒนาวิธีการเพิ่มความเข้มข้นในระบบออนไลน์โดยโลหะจะเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับ *O,O*-diethyl dithiophosphoric acid และไปยึดเกาะและเพิ่มความเข้มข้นในคอลัมน์ขนาดเล็กที่บรรจุด้วย C18 immobilized silica และชะออกด้วยเมทานอล ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มความเข้มข้นเช่น อัตราการไหลของตัวอย่าง ความเข้มข้นของลิแกนด์ ความเข้มข้นของกรดและความเข้มข้นของสารละลายตัวชะ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมได้ขีดจำกัดการตรวจวัดอยู่ในช่วง 0.05-2.24 พิโคกรัมต่อมิลลิลิตร

Pimpimon และ Apichat (2019) ได้ศึกษาการแยกอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินที่อยู่ในสารละลายโดยใช้อะมิโนโพรพิลซิลิกา (SiAP) เป็นตัวดูดซับที่เป็นของแข็งก่อนที่จะทำการวิเคราะห์หาปริมาณโดยวิธี inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) และการสกัดซิลเวอร์ทั้งสองชนิดจากสารละลายทวิภาคเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 5 นาที โดยพีเอชเท่ากับ 3 เป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดซิลเวอร์ทั้งสองชนิดโดยพฤติกรรมการดูดซับถูกแสดงโดยแบบจำลอง Langmuir ที่ 298 เคลวิน และความสามารถในการดูดซับสูงสุดของอะมิโนโพรพิลซิลิกาสำหรับ Ag (I) และ AgNPs คือ 52.91 และ 34.01 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ในการคายซับของไอออนเงินและอนุภาคนาโนของเงินจะใช้ไฮโอยูเรียเป็นตัวคายซับและวิธีการที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดปริมาณซิลเวอร์ทั้งสองชนิดภายในคร้วเรือนได้

นุจรินทร์ วะสุกัน และคณะ (2561) ได้ศึกษาการใช้ไดโตนเพื่อตรวจวิเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินในสารละลายที่เป็นของเหลว รวมทั้งการศึกษาความจำเพาะเจาะจงของอนุภาคนาโนของเงินเปรียบเทียบกับไอออนของโลหะชนิดอื่น ๆ ยกตัวอย่างไอออนของโลหะชนิดอื่น เช่น ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$  และ  $\text{Pb}^{2+}$ ) ที่ความเข้มข้น  $1.0 \times 10^{-5}$  โมลต่อลิตร จากผลการทดลองพบว่าเมื่อสารละลายไดโตนทำปฏิกิริยากับอนุภาคนาโนของเงินและโลหะไอออนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวเป็นสีส้ม ในกรณีสารประกอบเชิงซ้อนอนุภาคนาโนของเงินกับไดโตนเท่านั้น โดยมีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 477 นาโนเมตร และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้เท่ากับ 0.071 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นวิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการตรวจวิเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินในตัวอย่าง

Pablo, Eric และ Mohammad (2017) ได้ศึกษาการตรวจวัดอนุภาคนาโนของเงินในน้ำธรรมชาติด้วยเทคนิค UV-Visible spectroscopy เมื่อมีการปรับขนาดของคิวเวตที่ใช้โดยเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ง่ายสามารถตรวจวัดอนุภาคนาโนของเงินได้จากกราฟวิเคราะห์พบว่าค่าขีดจำกัดการตรวจวัดของอนุภาคนาโนโดยใช้คิวเวตที่มีความยาวมากกว่า 10 เซนติเมตร ร่วมกับเทคนิค UV-Visible spectroscopy มีค่าอยู่ในช่วง 0.1-10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าขีดจำกัดการตรวจวัดนี้มีค่าต่ำพอที่จะตรวจวัดอนุภาคนาโนของเงินในธรรมชาติ และจากการทดลองพบว่าการใช้คิวเวตที่มีความยาวถึง 200 เซนติเมตร นั้นเป็นความยาวที่ยอดเยี่ยมสำหรับการตรวจวัดและการหาปริมาณของอนุภาคนาโนของเงินที่ความเข้มข้นในหน่วยไมโครกรัมต่อลิตรในตัวอย่างตามธรรมชาติที่มีเมทริกซ์ที่ซับซ้อน เช่น น้ำทะเล

Saadat, Nahid และ Arash (2015) ได้ศึกษาการหาปริมาณซิลเวอร์ปริมาณน้อยโดยใช้การสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจายโดยเทคนิค Flame atomic absorption spectroscopy วิธีนี้ใช้วิธีการแยกซิลเวอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงและทำการเพิ่มความเข้มข้นของไอออนเงินโดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ 2-เมอร์แคปโตเบนซิมิดาโซล และสกัดโดยกระบวนการสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจายโดยใช้คาร์บอนเตตระคลอไรด์เป็นตัวสกัดและอะซีโตนเป็นตัวทำละลายกระจาย เมื่อทำการสกัดจะเกิดเป็นสารละลายขุ่น (Cloudy solution) ทำให้เกิดการแยกชั้นเป็นชั้นของสารละลายและชั้นตัวทำละลาย โดยจะดูดไอออนเงินที่ละลายอยู่ในชั้นตัวทำละลายไปวิเคราะห์ต่อโดยเทคนิค Flame atomic absorption spectroscopy วิธีนี้ให้ช่วงความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 1–100 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร และค่าขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.41 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร วิธีการที่นำเสนอถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณซิลเวอร์ปริมาณน้อยในตัวอย่างน้ำและน้ำเสียที่มาจากการประมวลผลฟิล์มรังสีวิทยาและตัวอย่างแร่

Fabiana, Marco และ Zezzi (2012) ได้ศึกษาวิธีการหาปริมาณซิลเวอร์โดยไม่มีขั้นตอนการเพิ่มความเข้มข้นโดยใช้ Thermo spray flame atomic absorption spectrometer โดยได้ศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้ ชนิดของสารเคลื่อนที่และอัตราการไหล ปริมาตรของตัวอย่าง สภาพของเปลวไฟ (อัตราการไหลของอะเซทิลีนและอากาศ) อัตราการไหลของน้ำในตัวพ่นละออง ท่อโลหะและประเภทและความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ใช้เจือจาง และมีค่าขีดจำกัดการตรวจวัดและการหาปริมาณเท่ากับ 0.15 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.50 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ระหว่าง 0.50 ไมโครกรัมต่อลิตร ถึง 40 ไมโครกรัมต่อลิตร และความแม่นยำของวิธีการนั้นได้รับการยืนยันจากการวิเคราะห์วัสดุอ้างอิงสองชนิดที่ได้รับการรับรองคือ: MA-A-2 (เนื้อปลาชนิดเดียวกัน) และ SRM 1643e (ธาตุปริมาณน้อยในน้ำ)

Jamshid และ Ghasem (2003) ได้ศึกษาการใช้ไดโอรโชนมาเป็นสารจับโลหะในการสกัดแบบจุดขุ่น (Cloud point extraction) เป็นครั้งแรกและใช้สำหรับการเพิ่มความเข้มข้นของโลหะซิลเวอร์แบบจำเพาะเจาะจงในตัวอย่างที่มีปริมาณน้อย โดยการวิเคราะห์ในขั้นตอนแรกสารละลายจะถูกทำให้เป็นกรดด้วยกรดซัลฟิวริก (pH <1) และเติมไทรทอนเอกซ์-114 เป็นสารลดแรงตึงผิว หลังจากแยกเฟสตามการแยกตามจุดขุ่นของสารละลายผสมส่วนเฟสที่มีสารลดแรงตึงผิวสูงจะถูกเจือจางด้วยเตตระไฮโดรฟูเรน (THF) และชั้นสารละลายที่มีสารที่สนใจปนอยู่ในปริมาณต่ำจะถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Flame atomic absorption spectroscopy หลังจากการหาสภาวะที่เหมาะสมของการเกิดสารเชิงซ้อนและสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดแล้วจะได้ค่าการเพิ่มความเข้มข้นอยู่ที่ 43 เท่า สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างเพียง 10 มิลลิลิตร มีช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์อยู่ที่ 3–200 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร และมีค่าขีดจำกัดการตรวจวัดคือ 0.56 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร โดยวิธีการที่นำเสนอถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะเงินในตัวอย่างน้ำได้

### ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เงิน (Silver, Ag) ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากสมบัติการต้านแบคทีเรีย เช่นการใช้สารประกอบเงินในการกรองน้ำในสระว่ายน้ำหรือกระบวนการผลิตน้ำดื่ม ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร ยา และเครื่องดื่ม นอกจากนี้เงินยังใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมภาพถ่าย และอุตสาหกรรมสิ่งทอ อีกทั้งในปัจจุบันจากความเจริญก้าวหน้าทางนาโนเทคโนโลยีจึงมีการใช้อนุภาคนาโนในผลิตภัณฑ์ในชีวิตประจำวันมากขึ้น เช่น การใช้อนุภาคนาโนของ

เงินในผลิตภัณฑ์ซักผ้า ในบรรจุภัณฑ์ต่างๆเพื่อวัตถุประสงค์ในการลดการเจริญของแบคทีเรีย 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 การปนเปื้อนสารพิษในอาหารทะเลจะทำให้เกิดปัญหาการส่งออกของไทยจากการกีดกันทางการค้าอันก่อให้เกิดผลกระทบต่อรายได้และการพัฒนาเศรษฐกิจของไทยได้

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

### วัตถุประสงค์โครงการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจวัดอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหาร
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน

### ขอบเขตโครงการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหาร ด้วยวิธีการสกัดแบบจุลภาค (microextraction)
2. ศึกษาวิธีการวัดปริมาณอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ที่มีสภาพไวระดับไมโครกรัม
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน เช่น ความเป็นกรด-เบส อุณหภูมิ การถูกแสง เป็นต้น

### วิธีดำเนินการวิจัยโดยสรุป

1. พัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างและเพิ่มความเข้มข้นอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพสกัดอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ด้วยเทคนิค microextraction โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสกัด



- ได้แก่ สารเคมีที่ใช้ในการสารเชิงซ้อนกับอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ความเป็นกรดเบสของสารละลาย ปริมาตรและชนิดสารละลายที่ใช้ในการสกัด ปริมาตรและชนิดสารละลายช่วยกระจาย อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด เวลาที่ใช้ในการสกัด ปริมาตรและน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ และการเติมเกลือบางชนิดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด เป็นต้น
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) จากตัวอย่างอาหาร ด้วยวิธี ultrasonic extraction โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสกัด ได้แก่ ปริมาตรและชนิดของสารที่ใช้ในการสกัด ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด เป็นต้น
  3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ความเป็นกรดเบส อุณหภูมิ ระยะเวลาและการถูกแสง เป็นต้น

### แนวทางความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย

การปลดปล่อยน้ำทิ้งที่มีอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินจากอุตสาหกรรมและการใช้งานในชีวิตประจำวัน ทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ปนเปื้อนและสะสมในอาหารจนทำให้เกิดปัญหาความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ได้ นอกจากนี้ประเทศไทยโดยเฉพาะภาคตะวันออกเป็นแหล่งผลิตอาหารทะเลที่สำคัญ อย่างไรก็ตามพื้นที่ภาคตะวันออกยังเป็นพื้นที่ที่มีการพัฒนาทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว มีนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เช่นนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด นิคมอุตสาหกรรมและท่าเรือแหลมฉบัง นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมโรงแรมและมีชุมชนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น ทำให้ปัญหาการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนและไอออนเงินจากอุตสาหกรรมและจากชุมชนสู่แหล่งผลิตอาหารทะเลเช่น กระชังปลา ฟาร์มเลี้ยงกุ้งและฟาร์มเลี้ยงหอย ที่มีอยู่ทั่วไปบริเวณชายทะเลภาคตะวันออก จากปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของอาหารในเรื่องความปลอดภัยของอาหาร (Food Safety) ซึ่งสามารถเกิดปัญหาของสุขภาพมนุษย์ที่บริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนสารพิษ และยังมีผลต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยได้เนื่องจากการส่งออกผลิตภัณฑ์ที่มีการปนเปื้อนจะทำให้เกิดปัญหาการกีดกันทางการค้าได้

ในงานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในผลิตภัณฑ์อาหารทะเล โดยศึกษาในอาหารทะเล เช่น ปลา กุ้ง ปูและหอย ที่มีแหล่งเพาะเลี้ยงบริเวณภาคตะวันออกของประเทศไทย เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการสัมผัสกับแหล่งน้ำที่มาจากอุตสาหกรรมและน้ำทิ้งจากชุมชนเป็นปริมาณมาก โดยปริมาณการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินในอาหารทะเลเพื่อป้องกันระดับความเป็นพิษของอาหาร สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดการปัญหาความเป็นพิษที่มีต่อสุขภาพมนุษย์ได้ นอกจากนี้ได้ศึกษาแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนและไอออนเงิน โดยหาปริมาณการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินจากน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากชุมชน และน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ที่เกี่ยวข้องกับแหล่งเพาะเลี้ยงอาหารทะเล เพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณการปนเปื้อนในอาหารกับแหล่งที่มาของการปนเปื้อน โดยศึกษาเปรียบเทียบตัวอย่างที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เขตชุมชนหนาแน่น (ตำบลอ่างศิลา ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี) พื้นที่ใกล้เขตอุตสาหกรรม (มาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง และแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี) และพื้นที่ห่างไกลเขตชุมชนหนาแน่นและเขตอุตสาหกรรม (อำเภอท่าใหม่ จังหวัด

จันทบุรี) เพื่อหาวิธีการป้องกันและเป็นแนวทางการบริหารจัดการและการแก้ปัญหาการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนเงินและไอออนเงินที่มีต่อสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยของอาหารต่อไปได้

อย่างไรก็ตามปริมาณของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินที่ปนเปื้อนในตัวอย่างอาหารและตัวอย่างน้ำในสิ่งแวดล้อมมีอยู่ในระดับต่ำ (ระดับไมโครกรัมต่อลิตร) จึงต้องมีการพัฒนาวิธีการหาปริมาณอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินดังกล่าว โดยจากรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาปริมาณอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินจะใช้เทคนิค atomic spectrometry เช่น flame atomic absorption, inductively coupled plasma mass spectrometry ในการวิเคราะห์ ไอออนเงินในตัวอย่างและใช้เทคนิคในการเตรียมตัวอย่างเพื่อสกัดและเพิ่มความเข้มข้นก่อนการวิเคราะห์ โดยในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเทคนิคการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินด้วยวิธีการสกัดแบบจุลภาค (microextraction) เช่นเทคนิค dispersive liquid liquid microextraction ซึ่งเป็นเทคนิคที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องใช้สารเคมีปริมาณน้อยในระดับไมโครลิตร และสามารถเพิ่มความเข้มข้นของตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ (50-500 เท่า) และนำไปตรวจวัดด้วยเทคนิค Graphite furnace atomic absorption spectrometry เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีสภาพไวสูงและใช้ตัวอย่างปริมาณน้อย เหมาะสำหรับการวิเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินระดับไมโครกรัมต่อลิตรในตัวอย่างได้

จากผลการศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงินในตัวอย่างอาหารทะเล น้ำทะเล น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมและน้ำทิ้งจากชุมชนจะเป็นข้อมูลสำคัญในการบ่งบอกและประเมินความปลอดภัยของอาหาร และสามารถใช้เป็นแนวทางในการป้องกันความพิชต่อสุขภาพมนุษย์จากการบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อน และจากการศึกษาแหล่งที่มาของการปนเปื้อนสามารถนำไปใช้ในการหาแนวทางป้องกันและแก้ไขการปนเปื้อนจากชุมชน อุตสาหกรรมสู่สิ่งแวดล้อมและอาหารและเผยแพร่ต่อชุมชนและเกษตรกรที่เกี่ยวข้องกับการเพาะเลี้ยงอาหารทะเล

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการตรวจวัดอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหารที่มีประสิทธิภาพ
2. ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินเพื่อใช้ประเมินความเสถียรของอนุภาคนาโนของเงินในสิ่งแวดล้อม

## บทที่ 2

### การดำเนินการวิจัย

#### 2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

##### เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น UH5300 บริษัท Hitachi, Japan
- 2) เครื่องชั่งแบบละเอียด รุ่น AG204 บริษัท METTLER TOLEDO, Switzerland
- 3) เครื่องชั่งแบบหยาบ รุ่น PL 1502-S บริษัท METTLER TOLEDO, Switzerland
- 4) เครื่องพีเอชมิเตอร์ รุ่น S220 บริษัท METTLER TOLEDO, Switzerland
- 5) เครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง รุ่น Centrifuge 5810 บริษัท Eppendorf, Germany
- 6) เครื่องอัลตราโซนิก บริษัท Isolab, USA
- 7) เครื่องทำน้ำปราศจากไอออน บริษัท Baransted, U.S.A
- 8) ชุดกรองตัวอย่าง บริษัท NALGENE
- 9) กระดาษกรองไนลอน (Nylon Membrane Filters) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร และขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน บริษัท GE Healthcare Life Science, Germany
- 10) เซลล์ใส่ตัวอย่างสำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสง ขนาด 500 ไมโครลิตร ความกว้าง 1 เซนติเมตร บริษัท Hellma Analytics, Switzerland
- 11) ไมโครปิเปต ขนาด 20, 300, 1000 ไมโครลิตร และ 5 มิลลิลิตร บริษัท Thermo Scientific, Finland
- 12) ไมโครไซริงค์ ขนาด 500 ไมโครลิตร บริษัท Agilent, Australia
- 13) ขวดวัดปริมาตร ขนาด 10, 25, 50, 100, 250 และ 1000 มิลลิลิตร
- 14) ขวดแก้วใส่ตัวอย่างพร้อมฝา ขนาด 2, 15 และ 30 มิลลิลิตร

##### สารเคมี

- 1) ซิลเวอร์ไนเตรต: Silver nitrate ( $\text{AgNO}_3$ , Mw=169.87 g/mol , AR Grade บริษัท POCh S.A, Australia )
- 2) ไดไทโชน: Dithizone ( $\text{C}_{13}\text{H}_{12}\text{N}_4\text{S}$ , Mw=256.32 g/mol, AR Grade บริษัท Ajax Chemicals, Australia )
- 3) 8-ควิโนลีนอล: 8-Quinolinol ( $\text{C}_9\text{H}_7\text{NO}$ , Mw= 145.16 g/mol) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Tokyo Chemical Industry, Japan
- 4) โซเดียมโบโรไฮไดรด์: Sodium borohydride ( $\text{NaBH}_4$  , Mw=37.83 g/mol, AR Grade บริษัท Sigma-aldrich Chemistry, Germany)
- 5) โพลีไวนิลไพร์โรลิโดน: Polyvinylpyrrolidone (เป็นพอลิเมอร์ ( $\text{C}_6\text{H}_9\text{NO}$ )<sub>n</sub> , Mw=100000 g/mol, เป็นมอนอเมอร์ ( $\text{C}_6\text{H}_9\text{NO}$ )<sub>n</sub> , Mw=111.00 g/mol , AR Grade บริษัท Sigma-aldrich Chemistry, Germany)
- 6) 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 )

- 7) โซเดียมไฮดรอกไซด์: Sodium hydroxide (NaOH, Mw=40.00 g/mol , AR Grade บริษัท Ajax Chemicals, Australia )
- 8) โซเดียมไบคาร์บอเนต: Sodium bicarbonate (NaHCO<sub>3</sub>, Mw=84.007 g/mol , AR Grade บริษัท Ajax Chemicals, Australia )
- 9) แอมโมเนียมคลอไรด์: Ammonium chloride (NH<sub>4</sub>Cl, Mw=53.49 g/mol , AR Grade บริษัท Asia Pacific Specialty Chemicals Limited, Australia )
- 10) แอมโมเนีย : Ammonia (NH<sub>3</sub>, Mw=17.03 g/mol , AR Grade บริษัท Panrec, Spain)
- 11) โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต: Potassium dihydrogen phosphate (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, Mw=136.09 g/mol , AR Grade บริษัท VWR Prolabo Chemicals , Belgium )
- 12) ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตโตะเดคะไฮเดรต : Disodium hydrogen phosphate (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·12H<sub>2</sub>O , Mw=358.14 g/mol , AR Grade บริษัท VWR Prolabo Chemicals, Belgium )
- 13) ไดคลอโรมีเทน: Dichloromethane (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> , Mw=94.93 g/mol , AR Grade บริษัท VWR Prolabo Chemicals, France )
- 14) เมทานอล: Methanol (CH<sub>3</sub>OH , Mw=32.04 g/mol , AR Grade บริษัท VWR Prolabo Chemicals, France )
- 15) อะซิโตไนไตรล์: Acetonitrile (CH<sub>3</sub>CN , Mw=41.05 g/mol , AR Grade บริษัท QReC, New Zealand)
- 16) อะซีโตน : Acetone (CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub> , Mw=58.08 g/mol , AR Grade บริษัท VWR internation, France )
- 17) โซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรรัส : Sodium sulfate anhydrous (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> , Mw=142.04 g/mol , AR Grade บริษัท Fisherchemical, Belgium )
- 18) โซเดียมคลอไรด์ : Sodium chloride (NaCl , Mw=58.44 g/mol , AR Grade บริษัท VWR Prolabo Chemicals, Belgium )

## 2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.2.1 การศึกษาวิธีการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นของไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างน้ำ ด้วยวิธีการสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจาย (dispersive liquid liquid microextraction)

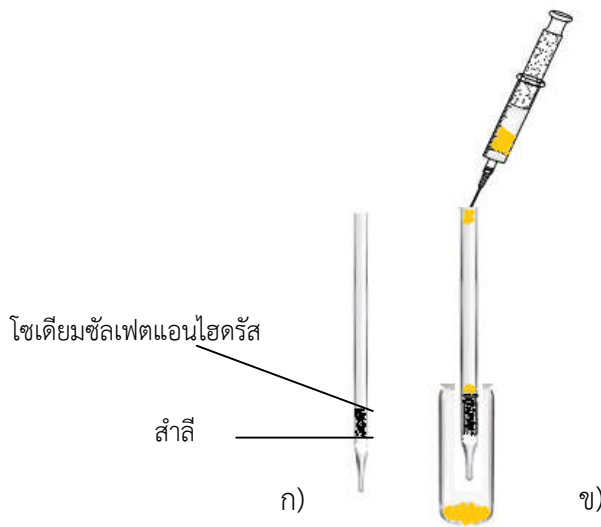
#### 2.2.1.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการเกิดสารเชิงซ้อนไอออนเงิน

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสารเชิงซ้อนไอออนเงินได้แก่ การหาความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด พีเอชและชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์

การหาความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด ( $\lambda_{max}$ )

- 1) เตรียมสารเชิงซ้อนไอออนเงินและไดไทโชนในสารละลายบัฟเฟอร์บอเรต พีเอช 10
- 2) ปิเปตสารเชิงซ้อนในข้อ 1) มา 20.00 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ประมาณ 3.0 กรัมปิดฝาและเขย่าเป็นเวลา 30 วินาทีเพื่อให้เกิดสารเชิงซ้อนอย่างสมบูรณ์ จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 20 นาที

- 3) ปิเปตสารละลายผสมไดคลอโรมีเทนต่อเอทานอล (1:2 %v/v) ปริมาตร 5.00 มิลลิลิตร ลงไปในข้อ 2) เพื่อสกัดสารเชิงซ้อนไอออนเงิน เขย่าเป็นเวลา 120 วินาที
- 4) นำสารละลายที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงที่ 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
- 5) ใช้ไมโครไซริงค์ดูดสารละลายอินทรีย์ลงในหลอดหยดที่มีโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส ประมาณ 500 มิลลิกรัม ใส่ในขวดแก้ว ขนาด 2 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 2.1 เพื่อกำจัดน้ำที่ตกค้าง
- 6) สารละลายแบลงค์ทดลองเช่นเดียวกันแต่ไม่เติมสารละลายมาตรฐานไอออนเงิน เพื่อหาค่าการดูดกลืนแสงของไดโทโซน
- 7) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร



**รูปที่ 2.1** ตัวอย่างหลอดหยดที่มีโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสภายในหลอด โดย ก) หลอดหยดที่มีโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส และ ข) การปล่อยสารละลายอินทรีย์ที่อยู่ในไมโครไซริงค์ผ่านหลอดหยดที่มีโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส

### การศึกษา pH ที่เหมาะสมในการเกิดสารเชิงซ้อน

เตรียมสารเชิงซ้อนไอออนเงินและไดโทโซนในสารละลายบัฟเฟอร์ pH ต่างๆ ในช่วง pH 6-10 โดย pH 6 และ 7 ใช้สารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต pH 8 -10 ใช้สารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนียแอมโมเนียมคลอไรด์ นำสารเชิงซ้อนที่ได้ไปสกัดตามข้อ 2)-ข้อ6) ในการศึกษาค่าความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด หลังจากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 468 และ 608 นาโนเมตร

### การศึกษาชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษา pH ที่เหมาะสม แต่เปลี่ยนชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์เป็นสารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนียแอมโมเนียมคลอไรด์ สารละลายบัฟเฟอร์ไบคาร์บอเนต และสารละลายบัฟเฟอร์บอเรต ตามลำดับ

### 2.2.1.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารเชิงซ้อนของไอออนเงินด้วยเทคนิคการสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจาย

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารเชิงซ้อนของไอออนเงินด้วยเทคนิคการสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจาย ซึ่งมีไดคลอโรโรมีเทนเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัด สกัดสารเชิงซ้อนไอออนเงินตามวิธีการสกัดในการศึกษาค่าความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด และนำสารละลายที่สกัดได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 468 และ 608 นาโนเมตร โดยสภาวะที่ทำการศึกษามีดังนี้

#### ชนิดของตัวทำละลายกระจายตัว

ตัวทำละลายกระจายตัวที่ศึกษา ได้แก่ เอทานอล เมทานอล อะซิโตน และ อะซิโตนไไตรล์

#### อัตราส่วนของตัวทำละลายที่ใช้สกัดต่อตัวทำละลายกระจายตัว

ทำการศึกษาอัตราส่วนของตัวทำละลายที่ใช้สกัด (ไดคลอโรโรมีเทน) ต่อตัวทำละลายกระจายตัว (เมทานอล) อัตราส่วนที่ศึกษา ได้แก่ 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 (%v/v)

#### ปริมาตรของสารละลายผสมตัวทำละลายที่ใช้สกัดต่อตัวทำละลายกระจายตัว

ปริมาตรของสารละลายผสมไดคลอโรโรมีเทนต่อเมทานอล ได้แก่ 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร

#### เวลาในการสกัด

เวลาในการสกัดที่ศึกษา ได้แก่ 60, 120, 180 และ 300 วินาที

#### น้ำหนักของเกลือโซเดียมคลอไรด์

น้ำหนักของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ศึกษา ได้แก่ 0, 1 และ 3 กรัม

### 2.2.2 การศึกษาวิธีการสกัดไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหารทะเล ด้วยวิธีการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิก (ultrasonic extraction)

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมการสกัดไอออนเงินในตัวอย่างเนื้อปลาโดยเทคนิคการสกัดด้วยอัลตราโซนิก มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1) ชั่งเนื้อปลาที่รูน้มน้ำหนักแน่นอนมา 2 กรัม ใส่ขวดแก้ว ขนาด 30 มิลลิลิตร
- 2) ปิเปิดน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 5.00 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วที่มีเนื้อปลาคั้นให้เนื้อปลากระจายตัว
- 3) ปิเปิดสารละลายมาตรฐานไอออนเงินความเข้มข้น 1.00 กรัมต่อลิตร ลงในข้อ 2) ปริมาตร 15 ไมโครลิตร เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของไอออนเงิน เท่ากับ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วปิเปิดน้ำปราศจากไอออนเพิ่มอีก 10.00 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้ปริมาตร 15.00 มิลลิลิตร
- 4) ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปสกัดโดยอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที อุณหภูมิ 25 °C
- 5) นำไปหมุนเหวี่ยงที่ 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
- 6) ตูดส่วนใสมา ปริมาตร 5.00 มิลลิลิตร ลงอีกขวดแก้วหนึ่ง ขนาด 15 มิลลิตร ปิเปิดสารละลาย 8-ควิโนลีนอล 0.01 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5 ไมโครลิตร และปิเปิดสารละลาย บัฟเฟอร์พีเอช 6 เข้มข้น 1.00 โมลต่อลิตร ปริมาตร 250 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที แล้วเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ 1.5 กรัม จากนั้นเขย่าเป็นเวลา 30 วินาที ให้เกลือละลาย

- 7) สกัดสารเชิงซ้อนในข้อ 6) โดยปิเปตเฮกเซนปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ลงในสารละลายข้อ 6) จากนั้นปิดฝา และเขย่าเป็นเวลา 2 นาที
- 8) นำสารละลายไปหมุนเหวี่ยงที่ 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
- 9) ใช้ไมโครไซริงค์ดูดตัวทำละลายอินทรีย์ (ชั้นบน) จากนั้นปล่อยลงในหลอดหยดที่มีโซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรส์ประมาณ 0.20 กรัม เก็บสารละลายที่ผ่านหลอดหยดในขวดแก้ว ขนาด 2 มิลลิลิตร
- 10) เตรียมสารละลายแบลนค์ ทำการทดลองซ้ำ 1-9 โดยใช้ น้ำปราศจากไอออนแทนสารละลายมาตรฐานไอออนเงิน
- 11) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 305 นาโนเมตร

สำหรับสถานะที่ศึกษา ได้แก่ ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้สกัด เวลาที่ใช้ในการสกัด อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด ปริมาตรของตัวทำละลายสกัด น้ำหนักเนื้อปลาที่ใช้สกัด และวิธีการเตรียมเนื้อปลาก่อนการสกัด ดังนี้

#### **ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้สกัด**

ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้สกัดสาร ได้แก่ เฮกเซน และไดคลอโรมีเทน

#### **เวลาที่ใช้ในการสกัด**

เวลาที่ใช้ในการสกัดที่ศึกษา อยู่ในช่วง 10 - 60 นาที

#### **อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด**

อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดที่ศึกษา อยู่ในช่วง 15- 45 °C

#### **ปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้สกัด**

ปริมาตรของน้ำปราศจากไอออนที่ศึกษา คือ 15.00 20.00 มิลลิลิตร และ 25.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ

#### **น้ำหนักเนื้อปลาที่ใช้สกัด**

น้ำหนักเนื้อปลาที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ 2.0 กรัม และ 5.0 กรัม

#### **วิธีการเตรียมเนื้อปลาก่อนการสกัด**

วิธีการเตรียมเนื้อปลาก่อนการสกัดที่ศึกษา ได้แก่ เนื้อปลาแบบเปียกและแบบแห้ง ตามลำดับ

## **2.2.3 การศึกษาสถานะที่มีผลต่อการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน**

### **2.2.3.1 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน**

การสังเคราะห์อ้างอิงจากงานวิจัยของ Kandarp (Kandarp, 2013) และการศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน ได้แก่ การศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการสังเคราะห์ ผลของการเติมสารช่วยเพิ่มความเสถียร (PVP) จำนวนโมลของสารละลาย  $\text{AgNO}_3$  ความเข้มข้นของสาร PVP อัตราการหยดสารละลายผสมและระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์

### วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน

- 1) ตวง 0.0020 โมลต่อลิตร  $\text{NaBH}_4$  ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) หยด 0.0010 โมลต่อลิตร  $\text{AgNO}_3$  ปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยมีอัตราการหยด 1 วินาทีต่อหยด และกวนตลอดเวลา
- 3) นำสารละลายที่ได้ไปทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 300-600 นาโนเมตร

### การศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินโดยเปรียบเทียบการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

### การศึกษาผลของการเติมสาร PVP

ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินโดยเปรียบเทียบการสังเคราะห์ที่มีการเติมสาร PVP และไม่มีการเติมสาร PVP

### การศึกษาผลของจำนวนโมลของสารละลาย $\text{AgNO}_3$

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินที่มีการเติมสาร PVP แต่เปลี่ยนปริมาตรของสารละลายผสมที่เติมเป็น 20, 25, 30, 35, 40 และ 60 มิลลิลิตร

### การศึกษาผลของความเข้มข้นของสาร PVP

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินที่มีการเติมสาร PVP แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสาร PVP เป็น 0.0050, 0.0100, 0.0150 และ 0.0200 โมลต่อลิตร

### การศึกษาผลของอัตราการหยดสารละลายผสม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินที่มีการเติมสาร PVP แต่เปลี่ยนอัตราการหยดสารละลายผสมเป็น 0.5, 1, 1.5 และ 2 วินาทีต่อหยด

### การศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินที่มีการเติมสาร PVP แต่เมื่อหยดสารละลายผสมจนหมดให้ทำการกวนสารละลายผสมต่อเป็นเวลา 0-40 นาที

### 2.2.3.2 การศึกษาสภาวะที่อนุภาคนาโนของเงินสลายตัวเป็นไอออนเงิน

การหาปริมาณไอออนเงินที่เกิดจากการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรตและการศึกษาสภาวะการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินเป็นไอออนเงินโดยสภาวะที่ศึกษา ได้แก่ ความเป็นกรดเบสต่างๆ อุณหภูมิห้อง และการโดนแสง

### การศึกษาการวิเคราะห์ไอออนเงินที่เกิดจากการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน

- 1) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนของเงินปริมาตร 500 ไมโครลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร
- 2) ปิเปตสารละลายไดไทโชนในเอทานอล ความเข้มข้น  $1 \times 10^{-3}$  โมลต่อลิตร ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ลงในสารละลายข้อ 1) เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายไดไทโชน  $1 \times 10^{-5}$  โมลต่อลิตร



- 3) ปรับปริมาณจนถึงขีดวัดปริมาตรด้วยสารละลายฟิเอชที่เตรียมจากกรดไนตริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ฟิเอชเท่ากับ 10 โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Jamshid และ Ghasem (Jamshid และ Ghasem, 2003)
- 4) ปิเปตสารละลายที่ได้ใส่ขวด vial ปริมาตร 20 มิลลิลิตร สกัดด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน ปริมาตร 5 มิลลิลิตร
- 5) เซนติฟิวจ์ที่ความเร็ว 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
- 6) ดูดสารละลายชั้นไดคลอโรมีเทนวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 300-700 นาโนเมตร
- 7) เปรียบเทียบปริมาณไอออนเงินกับกราฟมาตรฐาน

#### **การศึกษาความเสถียรของอนุภาคนาโนของเงินที่ความเป็นกรดเบสต่างๆ**

เปรียบเทียบปริมาณไอออนเงินที่เกิดจากการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินภายใต้สภาวะกรดเบสต่างๆ โดยศึกษาที่ฟิเอช 4 6 8 และ 10

#### **การศึกษาความเสถียรของอนุภาคนาโนของเงินที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส**

เปรียบเทียบปริมาณไอออนเงินที่เกิดจากการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินภายใต้อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

#### **การศึกษาความเสถียรของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อโดนแสงที่สภาวะต่างๆ**

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส แต่ทำการแบ่งสารละลายเป็น 3 ชุด โดยชุดที่ 1 ห่อฟอลด์ไม่ให้โดนแสงที่อุณหภูมิห้อง ชุดที่ 2 วางในห้องปฏิบัติการ และชุดที่ 3 ตากแดดที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส

### บทที่ 3

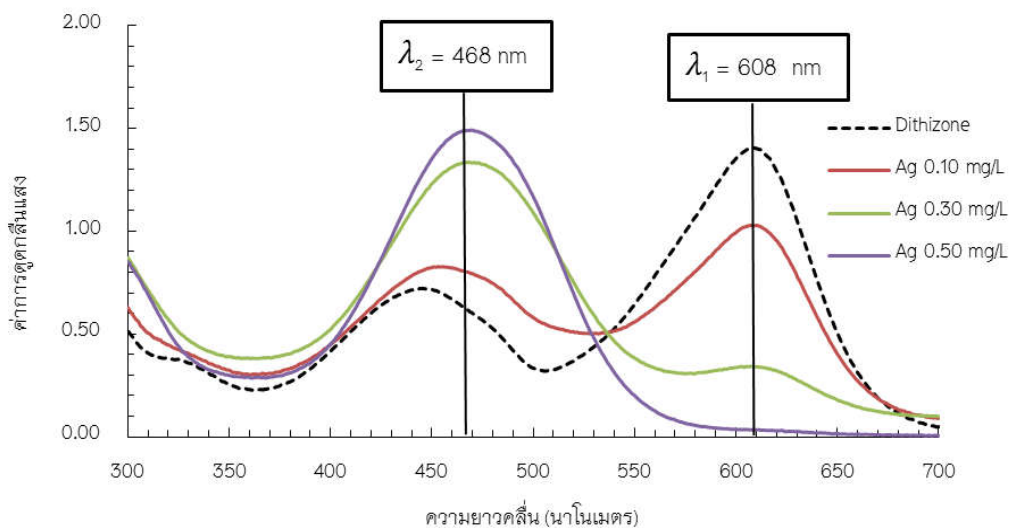
#### ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

#### 3.1 การศึกษาวิธีการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นของไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างน้ำ ด้วยวิธีการสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจาย (dispersive liquid liquid microextraction)

##### 3.1.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการเกิดสารเชิงซ้อนไอออนเงิน

##### การศึกษาความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน

การศึกษาความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารเชิงซ้อนไอออนเงินโดยใช้สารละลายมาตรฐานไอออนเงินเข้มข้น 0.10, 0.30 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลายไดไทโชนเข้มข้น  $5 \times 10^{-6}$  โมลต่อลิตร นำสารละลายของสารเชิงซ้อนไอออนเงินที่ได้จากการสกัดไปวัดค่าดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินและไดไทโชนอิสระแสดงดังรูปที่ 3.1 และเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของลิแกนด์อิสระ (dithizone) พบว่า dithizone อิสระมีความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด 2 ความยาวคลื่นคือ 468 และ 608 นาโนเมตร และเมื่อเติมไอออนเงินความเข้มข้นต่างๆลงไป พบว่าที่ความยาวคลื่น 608 นาโนเมตร ให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลง แต่ที่ความยาวคลื่น 468 นาโนเมตร ให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารเชิงซ้อนไอออนเงินคือ 468 นาโนเมตร อย่างไรก็ตามที่ความยาวคลื่น 468 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เป็นค่าการดูดกลืนแสงของทั้งสารเชิงซ้อนไอออนเงิน และ ลิแกนด์อิสระที่เหลืออยู่ ดังนั้นในการหาค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินอย่างเดียวยังไม่ถูกต้อง ต้องมีการคำนวณข้อมูลตามสูตร (1) เพื่อให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินที่ปรับแก้แล้ว (corrected absorbance)



รูปที่ 3.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของลิแกนด์อิสระ (dithizone) และสารเชิงซ้อนไอออนเงินในช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร

$$Abs_{cpx,corrected} = Abs_{(cpx,\lambda_2)} - (Abs_{(cpx,\lambda_1)} \times \frac{Abs_{(L,\lambda_2)}}{Abs_{(L,\lambda_1)}}) \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ  $Abs_{cpx,corrected}$  = ค่าการดูดกลืนแสงที่ปรับแก้แล้ว

$\lambda_1$  = ความยาวคลื่นของแบลจค์ที่ 608 นาโนเมตร

$\lambda_2$  = ความยาวคลื่นของสารเชิงซ้อนที่ 468 นาโนเมตร

$Abs_{(cpx,\lambda_1)}$  = ค่าการดูดกลืนแสงที่ 608 นาโนเมตร ของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน

$Abs_{(cpx,\lambda_2)}$  = ค่าการดูดกลืนแสงที่ 468 นาโนเมตร ของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน

$Abs_{(L,\lambda_1)}$  = ค่าการดูดกลืนแสงที่ 608 นาโนเมตร ของลิแกนด์อิสระ

$Abs_{(L,\lambda_2)}$  = ค่าการดูดกลืนแสงที่ 468 นาโนเมตร ของลิแกนด์อิสระ

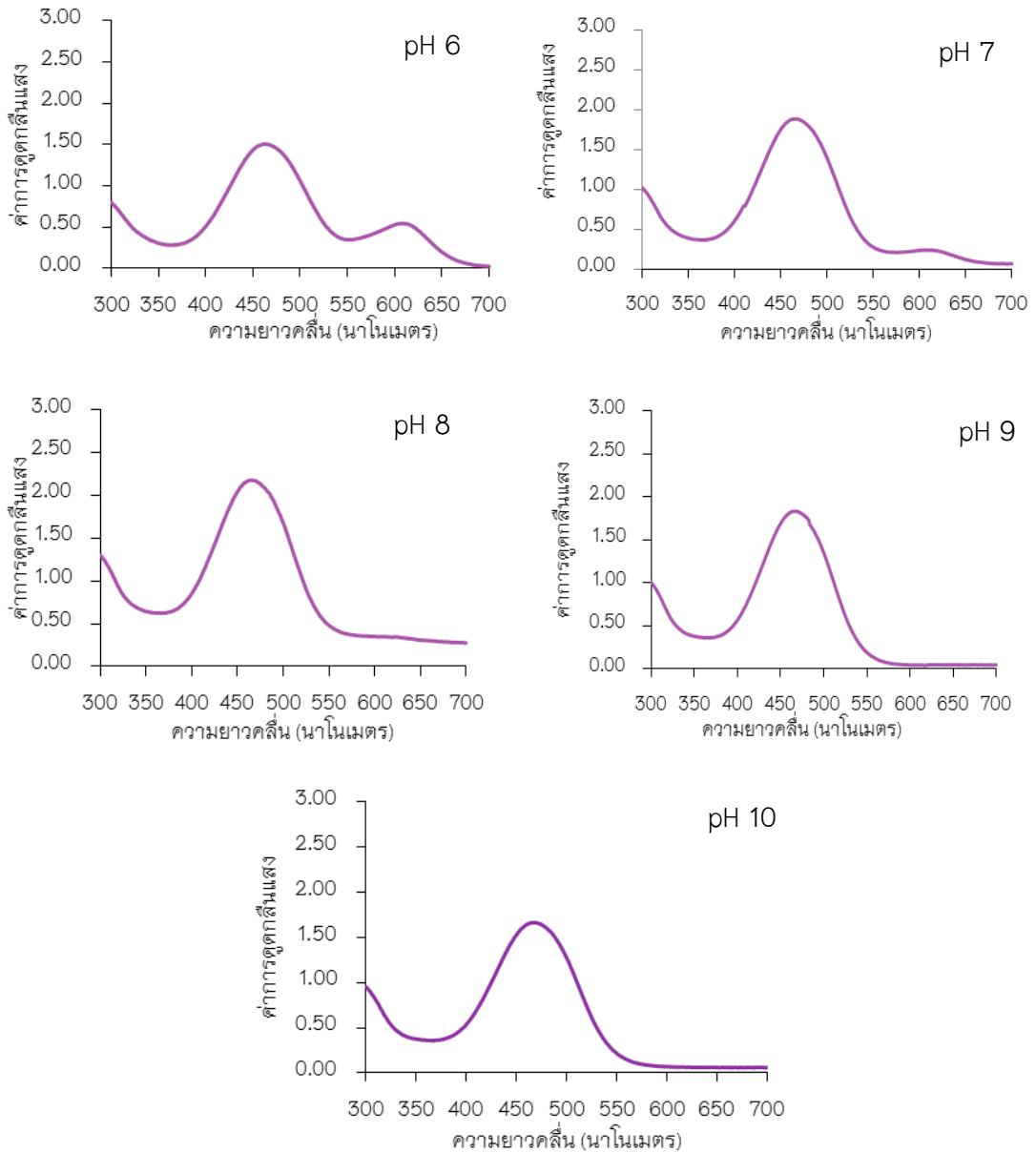
$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนของ } \frac{Abs_{(L,\lambda_2)}}{Abs_{(L,\lambda_1)}} &= \frac{0.3903}{0.6870} \\ &= 0.5681 \quad (\text{อัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสงของลิแกนด์อิสระ}) \end{aligned}$$

### ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสม

การเกิดสารเชิงซ้อนของไอออนเงินกับไดไทโซน ( $H_2Dz$ ) แสดงดังปฏิกิริยา



ซึ่งค่าความเป็นกรดเบสมีผลต่อการแตกตัวของลิแกนด์และการเกิดสารเชิงซ้อน ถ้าสารละลายอยู่ในช่วงความเป็นเบสจะช่วยให้ลิแกนด์เกิดการแตกตัวได้มากและเกิดสารเชิงซ้อนได้ดี แต่ถ้าสารละลายอยู่ในช่วงความเป็นกรด ทำให้ลิแกนด์แตกตัวได้ยากส่งผลต่อการเกิดสารเชิงซ้อนได้ไม่ดีเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการเกิดสารเชิงซ้อน ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษา พีเอชในช่วง 6 – 10 ซึ่งผลการศึกษาพบว่าที่พีเอช 6, 7 และ 8 มีปริมาณของลิแกนด์อิสระคงเหลืออยู่มากซึ่งสังเกตได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่ 608 นาโนเมตร แต่ที่พีเอช 9 และ 10 ปริมาณของลิแกนด์อิสระคงเหลืออยู่น้อยมาก ซึ่งแสดงว่าสารเชิงซ้อนเกิดได้ดี ดังนั้นจึงเลือกพีเอช 10 เป็นพีเอชที่เหมาะสมในการสกัดสารเชิงซ้อน

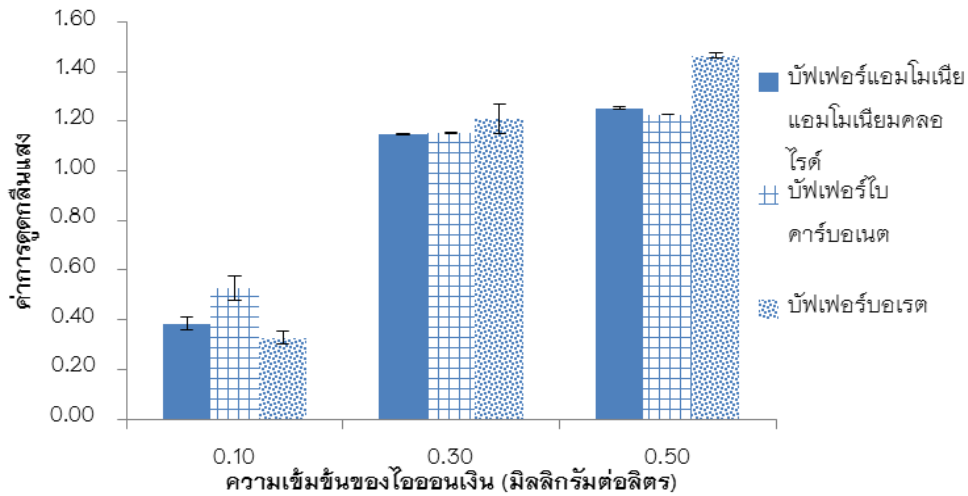


รูปที่ 3.2 ผลการศึกษาพีเอชของสารละลายบัฟเฟอร์ต่อการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน ไอออนเงิน

### ผลการศึกษาชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10

จากการศึกษาพีเอชที่เหมาะสม พบว่าพีเอช 10 เป็นพีเอชที่เหมาะสมในการเกิดสารเชิงซ้อน ไอออนเงิน แต่เนื่องด้วยสารละลายบัฟเฟอร์แต่ละพีเอชมีความสามารถในการควบคุมพีเอชได้แตกต่างกัน และสารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนียแอมโมเนียมคลอไรด์มีกลิ่นฉุน ในจากวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษา ชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 ชนิดอื่น โดยสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 ที่ศึกษา ได้แก่ สารละลายบัฟเฟอร์โบคาร์บอเนต และสารละลายบัฟเฟอร์บอเรต ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินที่ได้ เมื่อใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่พีเอช 10 ชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.3 นำค่าการดูดกลืนแสงมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงิน เมื่อ

พิจารณาความชันจากกราฟ(ตารางที่ 3.1) พบว่าสารละลายบัฟเฟอร์บอเร็ตมีค่าความชันที่สูงที่สุด เนื่องจากความชันบอกถึงสภาพไวของการวิเคราะห์ ดังนั้นสารละลายบัฟเฟอร์บอเร็ต เป็นสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 ที่เหมาะสมในการเกิดสารเชิงซ้อนไอออนเงิน



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงินจากการศึกษาชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์

ตารางที่ 3.1 ความชันของกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงินจากการศึกษาชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10

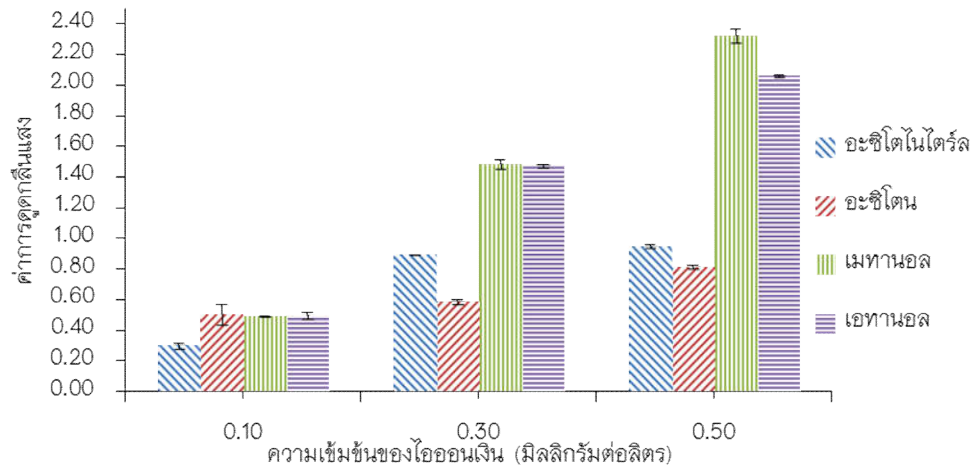
สารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 10	ความชัน	สมการเส้นตรง
แอมโมเนียแอมโมเนียมคลอไรด์	2.1717	$y = 2.1717x + 0.2768$
ไบคาร์บอเนต	1.7500	$y = 1.7500x + 0.4457$
บอเร็ต	2.8474	$y = 2.8474x + 0.1468$

### 3.1.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารเชิงซ้อนของไอออนเงินด้วยเทคนิคการสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจายตัว

#### ผลการศึกษาชนิดของตัวทำละลายกระจายตัว

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาชนิดของตัวทำละลายกระจายตัว โดยใช้ไดคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัด เนื่องจากตัวทำละลายสกัดที่ดี ต้องมีค่าการละลายน้ำต่ำและมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำจะทำให้การแยกตัวออกจากชั้นน้ำได้ง่ายหลังการเซนติฟิวส์ และละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี (อภิญา นวคุณ, 2557) โดยได้ทำการศึกษาชนิดของตัวทำละลายกระจายตัว ได้แก่ เอทานอล เมทานอล อะซีโตน และ อะซีโตนไนไตรล์ ซึ่งตัวทำละลายกระจายตัวจะต้องละลายได้ดีทั้งในสารละลายตัวอย่างและในตัวทำละลายที่ใช้สกัด (อภิญา นวคุณ, 2557) จากรูปที่ 3.4 พบว่าที่ความเข้มข้นของไอออนเงิน 0.10 และ 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร เอทานอลและเมทานอลให้ค่าการ

ดูดกลืนแสงสูงและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ที่ความเข้มข้นไอออนเงิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เอทานอลมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงและเมทานอลมีค่าการดูดกลืนแสงที่สูงขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากความชันของกราฟดังตารางที่ 3.2 เมทานอลมีความชันมากกว่าตัวทำละลายกระจายตัวชนิดอื่นๆ ดังนั้นเมทานอลจึงเป็นตัวทำละลายกระจายตัวที่เหมาะสมในการสกัดสารเชิงซ้อนไอออนเงินเนื่องจากให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดทุกความเข้มข้นของไอออนเงินที่ศึกษา



**รูปที่ 3.4** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงินจากการศึกษาชนิดของตัวทำละลายกระจายตัว

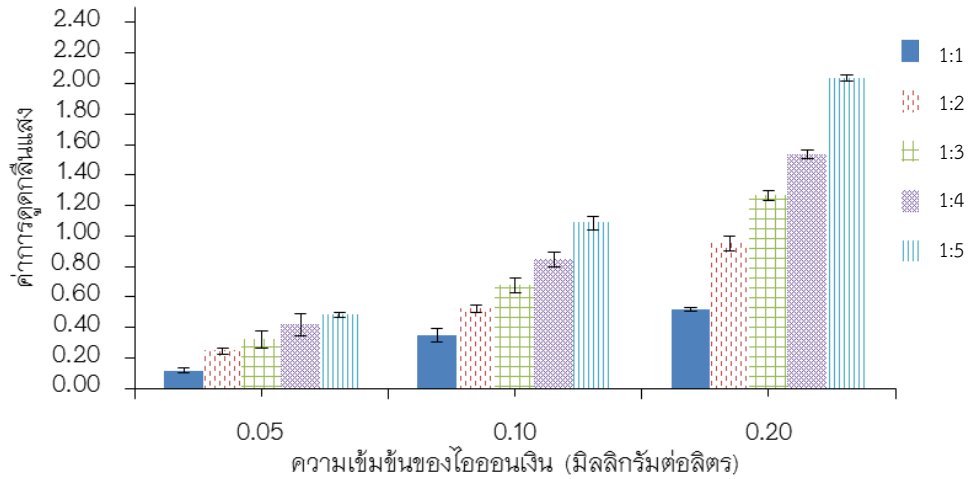
**ตารางที่ 3.2** ผลการศึกษาชนิดของตัวทำละลายกระจายตัวต่อค่าความชันของสมการเส้นตรง

ชนิดของตัวทำละลายกระจายตัว	ความชัน	สมการเส้นตรง
อะซิโตนไไตรล์	1.6251	$y = 1.6251x + 0.224$
อะซิโตน	0.7805	$y = 0.7805x + 0.398$
เมทานอล	4.5769	$y = 4.5769x + 0.0573$
เอทานอล	3.9079	$y = 3.9079x + 0.1698$

#### ผลการศึกษาอัตราส่วนของตัวทำละลายที่ใช้สกัดต่อตัวทำละลายกระจายตัว

การศึกษาอัตราส่วนของตัวทำละลายที่ใช้สกัดต่อตัวทำละลายกระจายตัว ที่มีไดคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัดและเมทานอลเป็นตัวทำละลายกระจายตัว โดยอัตราส่วนที่ทำการศึกษได้แก่ 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 (v/v) ค่าการดูดกลืนแสงดังรูปที่ 3.5 เมื่อสร้างกราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงินได้ความชันดังตารางที่ 3.3 ซึ่งพบว่าที่อัตราส่วน 1:4 และ 1:5 (v/v) มีค่าความชันที่สูงและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ที่

อัตราส่วน 1:5 (v/v) ได้ปริมาตรสารละลายที่สกัดได้น้อย ทำให้ยากต่อการนำสารละลายไปวิเคราะห์ต่อและทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์สูง ดังนั้นในการศึกษานี้เลือกอัตราส่วน 1:4 (v/v) เป็นอัตราส่วนของตัวทำละลายสกัดต่อตัวทำละลายกระจายตัวที่เหมาะสมในการสกัดไอออนเงิน



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงินจากการศึกษาอัตราส่วนตัวทำละลายที่ใช้สกัดต่อตัวทำละลายกระจายตัว

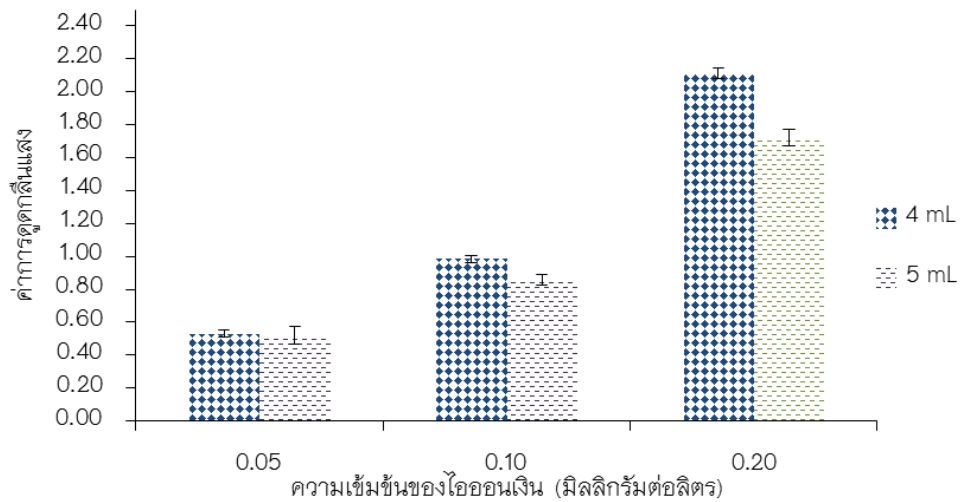
ตารางที่ 3.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนของตัวทำละลายสกัดต่อตัวทำละลายกระจายตัวต่อค่าความชันของสมการเส้นตรงและปริมาตรที่สกัดได้

อัตราส่วน ไดคลอโรมีเทนต่อเมทานอล (v/v)	ความชัน	สมการเส้นตรง	ปริมาตรที่สกัดได้ (ไมโครลิตร)
1:1	2.5563	$y = 2.5563x + 0.0307$	1863±19
1:2	4.6322	$y = 4.6322x + 0.0337$	1092±29
1:3	6.2337	$y = 6.2337x + 0.0268$	709±30
1:4	7.3524	$y = 7.3524x + 0.0770$	528±5
1:5	10.2190	$y = 10.219x + 0.0089$	377±15

#### ผลการศึกษาปริมาตรรวมของตัวทำละลายที่ใช้สกัดและตัวทำละลายกระจายตัว

ปริมาตรรวมของตัวทำละลายที่ใช้สกัดและตัวทำละลายกระจายตัวมีผลอย่างมากต่อการสกัดสารเชิงซ้อน ถ้าปริมาตรรวมมากจะทำให้ปริมาตรของตัวทำละลายที่ได้จากสกัดมากขึ้นด้วย จึงทำการศึกษาปริมาตรรวมของไดคลอโรมีเทนต่อเมทานอล ได้แก่ 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ผลการศึกษาพบว่าที่ปริมาตรรวม 3 มิลลิลิตร ปริมาตรที่สกัดได้น้อยกว่าปริมาตรที่เครื่องมือสามารถวัดได้ นั่นคือ

350 ไมโครลิตร ดังนั้นจึงไม่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงของปริมาตรรวม 3 มิลลิลิตรได้ และจากค่าการดูดกลืนแสงดังรูปที่ 3.6 พบว่าที่ปริมาตรรวม 4 มิลลิลิตร ให้ค่าการดูดกลืนแสงและความชัน (ดังตารางที่ 3.4) มากกว่าที่ปริมาตรรวม 5 มิลลิลิตร แต่ที่ปริมาตรรวม 4 มิลลิลิตรมีปริมาตรที่สกัดได้ใกล้เคียงกับปริมาตรที่เครื่องมือสามารถวัดได้ซึ่งเป็นปริมาตรที่น้อย ดังนั้นจึงเลือกปริมาตรรวม 5 มิลลิลิตรที่มีปริมาตรที่สกัดได้ 577 ไมโครลิตร สำหรับศึกษาปัจจัยต่อไป ซึ่งการศึกษาปัจจัยต่อไปอาจทำให้ปริมาตรที่สกัดได้น้อยลงด้วย



**รูปที่ 3.6** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงินจากการศึกษาปริมาตรรวมของตัวทำละลายที่ใช้สกัดและตัวทำละลายกระจายตัว

**ตารางที่ 3.4** ผลการศึกษาปริมาตรของตัวทำละลายผสมไตรโคลโรมีเทนต่อเมทานอลต่อค่าความชันของสมการเส้นตรงและปริมาตรที่สกัดได้

ปริมาตรของตัวทำละลายผสม (มิลลิลิตร)	ความชัน	สมการเส้นตรง	ปริมาตรที่สกัดได้ (ไมโครลิตร)
3*	-	-	281±4
4	10.645	$y = 10.645x - 0.0331$	408±2
5	8.0974	$y = 8.0974x + 0.0889$	577±3

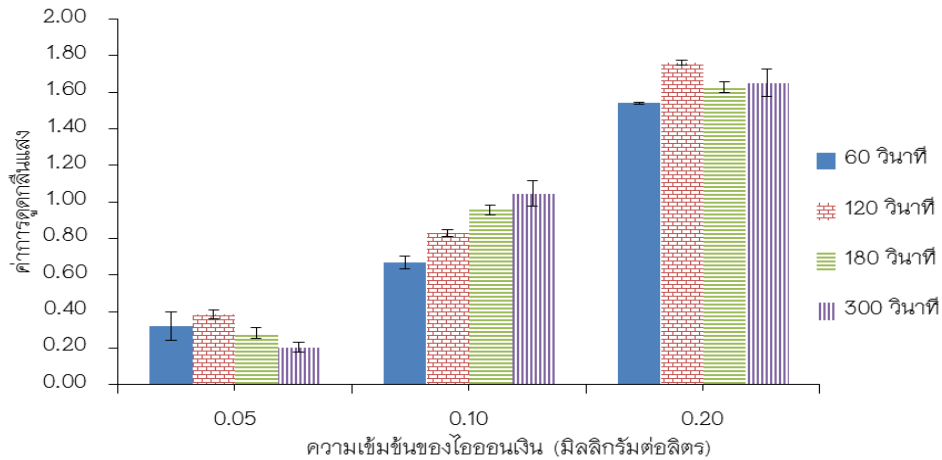
\*ปริมาตรที่สกัดได้ไม่สามารถนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ได้

### ผลการศึกษาเวลาในการสกัด

เวลาในการสกัดเป็นการเพิ่มกระบวนการถ่ายเทมวล ระหว่างสารที่ต้องการวิเคราะห์จากเฟสน้ำสู่เฟสตัวทำละลายอินทรีย์ (Rivas et al., 2009) จึงทำการศึกษาเวลาในการสกัด ได้แก่ 60, 120, 180 และ 300 วินาที ได้ค่าการดูดกลืนแสงดังรูปที่ 3.7 ซึ่งพบว่าเวลาในการสกัดมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสง เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มมากขึ้นค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่ที่เวลาหลังจาก 120 วินาที ค่าการดูดกลืนแสงลดลง เนื่องจากยิ่งเวลาในการสกัดมากขึ้นชั้นไตรโคลโรมีเทนกับสารเชิงซ้อนเกิดการแยกชั้นได้ยากขึ้น และเมื่อพิจารณาจากความชันของกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความ



เข้มข้นไอออนเงิน แสดงดังตารางที่ 3.5 พบว่า ความเข้มข้นที่เวลาในการสกัด 120 วินาที มีค่าความเข้มข้นสูงสุด ดังนั้นเวลาที่ 120 วินาที จึงเป็นเวลาในการสกัดสารเชิงซ้อนที่เหมาะสม



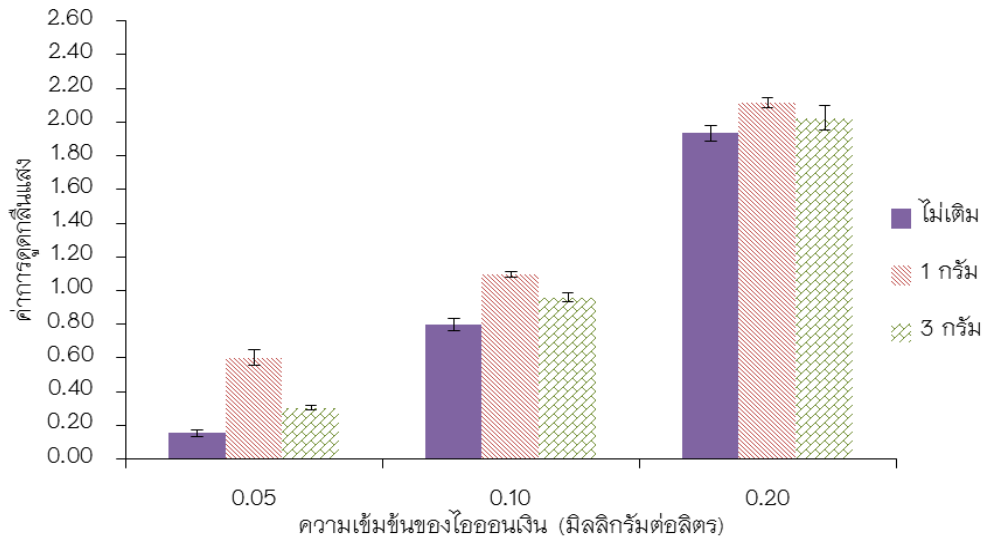
**รูปที่ 3.7** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนเงินจากการศึกษาเวลาในการสกัด

**ตารางที่ 3.5** ผลการศึกษาเวลาในการสกัดต่อค่าความชันของสมการเส้นตรง

เวลาในการสกัด (วินาที)	ความชัน	สมการเส้นตรง
60	8.2167	$y = 8.2167x - 0.1154$
120	9.2008	$y = 9.2008x - 0.0805$
180	8.6395	$y = 8.6395x - 0.0512$
300	9.1214	$y = 9.1214x - 0.0952$

### ผลการศึกษาน้ำหนักของเกลือโซเดียมคลอไรด์

การเติมเกลือจะช่วยเพิ่มปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้สกัดที่แยกได้หลังจากเซนติฟิวส์และมีผลต่อความแรงไอออนของสารเชิงซ้อนด้วย จากรูปที่ 3.8 พบว่าที่น้ำหนักของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 1 กรัมให้ค่าการดูดกลืนแสงที่สูงสุด แต่ปริมาตรของไดคลอโรมีเทนที่ได้ ดังตารางที่ 3.6 มีปริมาณน้อย ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ได้ และที่น้ำหนักของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3 กรัม มีค่าการดูดกลืนแสงที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับน้ำหนักของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 1 กรัม อีกทั้งปริมาตรของไดคลอโรมีเทนที่สกัดได้มีปริมาณที่มาก ในงานวิจัยนี้จึงเลือกน้ำหนักของเกลือ 3 กรัม จึงเป็นน้ำหนักที่เหมาะสมในการสกัดสารเชิงซ้อนไอออนเงิน



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอโอดีนเงินจากการศึกษา  
น้ำหนักของเกลือโซเดียมคลอไรด์

ตารางที่ 3.6 ผลการศึกษาน้ำหนักของเกลือต่อค่าความชันของสมการเส้นตรงและปริมาตรที่  
สกัดได้

น้ำหนักเกลือ โซเดียมคลอไรด์(กรัม)	ความชัน	สมการเส้นตรง	ปริมาตรที่สกัดได้ (ไมโครลิตร)
0 (ไม่เติม)	11.80	$y = 11.799x - 0.4148$	$485 \pm 4$
1	10.10	$y = 10.101x + 0.0923$	$491 \pm 21$
3	11.35	$y = 11.345x - 0.2266$	$588 \pm 2$

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสารเชิงซ้อนไอโอดีนเงินและการสกัดสารเชิงซ้อนไอโอดีนเงินในตัวอย่างน้ำด้วยเทคนิค DLLME ได้สภาวะที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสารเชิงซ้อนและสกัดสารเชิงซ้อนไอออนเงิน

สภาวะที่ศึกษา	ช่วงที่ศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม
ความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	300-700 นาโนเมตร	468 นาโนเมตร
พีเอช	พีเอช 6, 7, 8, 9 และ 10	พีเอช 10
ชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์	บัฟเฟอร์บอเนต บัฟเฟอร์ไบคาร์บอเนต บัฟเฟอร์ แอมโมเนียแอมโมเนียมคลอไรด์	บัฟเฟอร์บอเนต
ชนิดของตัวทำละลายกระจายตัว	เมทานอล เอทานอล อะซีโตน และ อะซิโตนไไตรล์	เมทานอล
อัตราส่วนของไดคลอโรมีเทนต่อเมทานอล	1:1, 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5 (v/v)	1:4 (v/v)
ปริมาตรรวมของไดคลอโรมีเทนกับเมทานอล	3, 4 และ 5 มิลลิลิตร	5 มิลลิลิตร
เวลาในการสกัด	60, 120, 180 และ 300 วินาที	120 วินาที
น้ำหนักของเกลือ	0, 1 และ 3 กรัม	3 กรัม

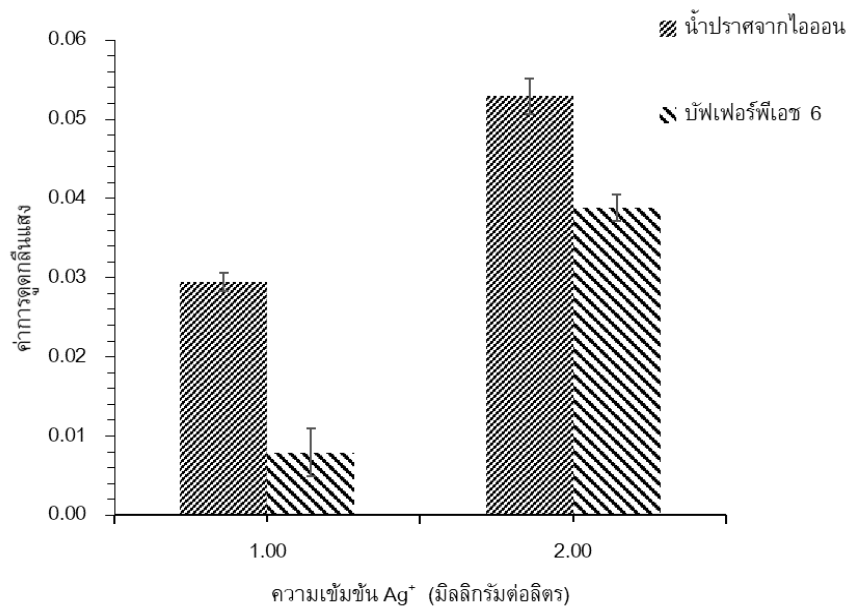
### 3.2 การศึกษาวิธีการสกัดไอออนเงิน (I) ในตัวอย่างอาหารทะเล ด้วยวิธีการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิค (ultrasonic extraction)

#### ผลการศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่ใช้สกัด

ในการสกัดไอออนเงินในตัวอย่างอาหารทะเลโดยเทคนิคการสกัดด้วยอัลตราโซนิคในการศึกษานี้ได้ใช้ตัวอย่างเนื้อปลาที่ซื้อจากร้านที่รับรองว่าปราศจากการปนเปื้อนไอออนเงิน โดยศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่ใช้สกัด ได้แก่ น้ำปราศจากไอออน และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 6 เข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร ผลการศึกษาได้ค่าการดูดกลืนแสงดังแสดงในตารางที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 พบว่าเมื่อใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัดได้ค่าการดูดกลืนแสงดีกว่า ให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า และสารละลายที่ได้หลังการสกัดด้วยอัลตราโซนิคมีความใสมากกว่าเมื่อสกัดด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 6 เข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร ดังนั้นจึงเลือกน้ำปราศจากไอออนเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัด นอกจากนี้พบว่าที่สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 6 เข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่สูง

**ตารางที่ 3.8** ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินจากการศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่ใช้สกัด

ความเข้มข้น $\text{Ag}^+$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้สกัด	ค่าการดูดกลืนแสง		
		เฉลี่ย	SD	%RSD
1.00	น้ำปราศจากไอออน	0.0295	0.0011	3.86
	สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6 เข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร	0.0079	0.0030	37.65
2.00	น้ำปราศจากไอออน	0.0529	0.0023	4.29
	สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6 เข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร	0.0388	0.0016	4.19



**รูปที่ 3.9** ผลของชนิดตัวทำละลายที่ใช้สกัดต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน ( $n=3$ )

#### ผลการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด

จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ 10, 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ พบค่าการดูดกลืนแสงของแบลงค์แสดงดังตารางที่ 3.9 และรูปที่ 3.10 และค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินแสดงดังตารางที่ 3.10 และรูปที่ 3.10 ซึ่งพบว่าเมื่อเวลาการสกัดเพิ่มขึ้นสารละลายแบลงค์มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้น เนื่องจากในการสกัดด้วยอัลตราโซนิกจะไม่ได้มีเฉพาะไอออนเงินที่ถูกสกัดแต่จะมีโปรตีน ไขมัน และคอลลาเจน ที่อยู่ในเนื้อปลาถูกสกัดออกมาด้วยในตัวทำละลายที่ใช้สกัด และสามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 305 นาโนเมตรได้เช่นเดียวกับไอออนเงิน เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินมาลบกับค่าการดูดกลืนแสงของแบลงค์ ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.11 และรูปที่ 3.11ซึ่งพบว่าเวลาในการสกัดที่ 10 นาที ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่สูงที่สุดแต่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์มีค่าที่สูงเท่ากับ 37.77 และ 3.70% สำหรับเมื่อใช้สารเชิงซ้อนไอออนเงินความเข้มข้น 1.00 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จึงเลือกพิจารณาที่เวลา 15 นาที ให้ค่า

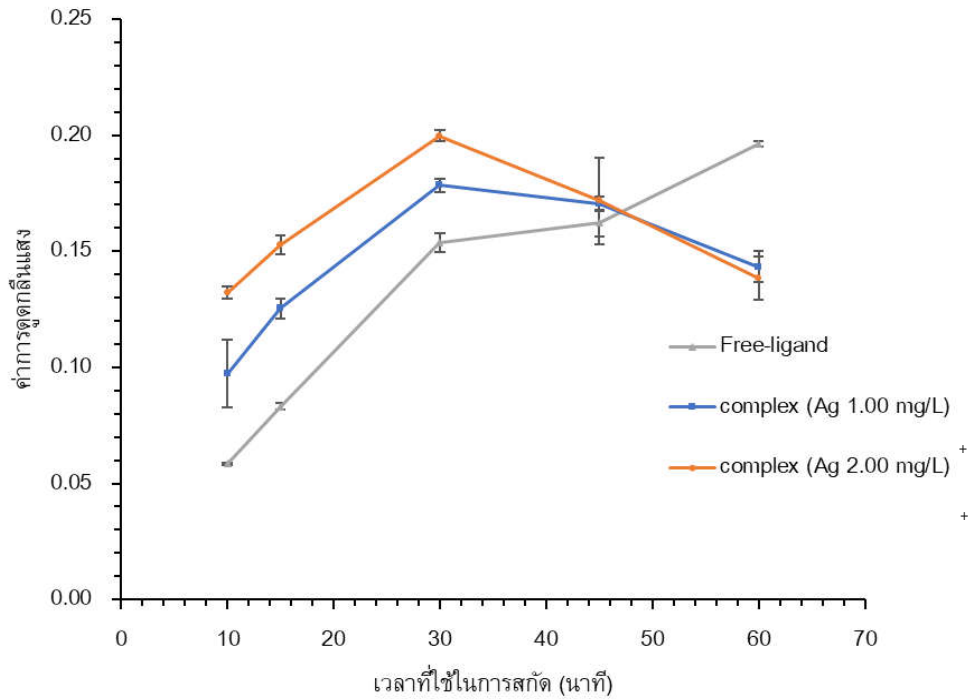
การดูดกลืนแสงสูงรองลงมาและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์มีค่า 7.99 และ 5.83% ดังนั้นจึงเลือกเวลาที่ใช้ในการสกัดที่ 15 นาทีเป็นสภาวะเหมาะสมในการศึกษา

**ตารางที่ 3.9** ค่าการดูดกลืนแสงของแบลงค์จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด

เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง		
	เฉลี่ย	SD	%RSD
10	0.0584	0.0006	0.94
15	0.0832	0.0015	1.77
30	0.1536	0.0039	2.56
45	0.1622	0.0056	3.48
60	0.1962	0.0011	0.54

**ตารางที่ 3.10** ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินจากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด

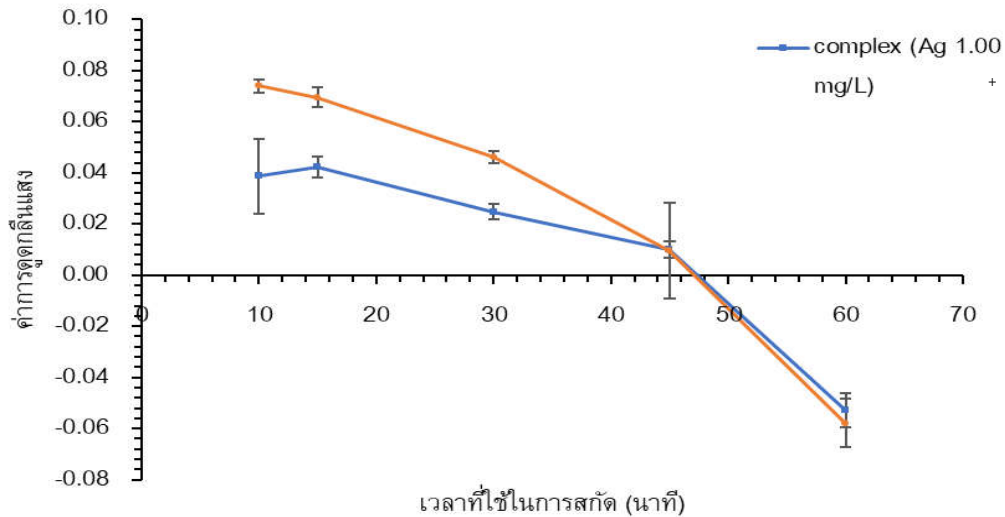
ความเข้มข้น $Ag^+$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง		
		เฉลี่ย	SD	%RSD
1.00	10	0.0972	0.0146	15.06
	15	0.1254	0.0042	3.36
	30	0.1784	0.0029	1.62
	45	0.1706	0.0032	1.85
	60	0.1435	0.0066	4.57
2.00	10	0.1324	0.0027	2.07
	15	0.1528	0.0041	2.66
	30	0.1998	0.0022	1.12
	45	0.1718	0.0186	10.83
	60	0.1384	0.0095	6.88



รูปที่ 3.10 ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน

ตารางที่ 3.11 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินลบแบบลงค์จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด (n=3)

ความเข้มข้น $Ag^+$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง		
		เฉลี่ย	SD	%RSD
1.00	10	0.0387	0.0146	37.77
	15	0.0422	0.0042	7.99
	30	0.0248	0.0029	11.67
	45	0.0099	0.0032	31.71
	60	-0.0528	0.0066	-12.43
2.00	10	0.0739	0.0027	3.70
	15	0.0696	0.0041	5.83
	30	0.0462	0.0022	4.83
	45	0.0096	0.0186	193.71
	60	-0.0578	0.0095	-16.49



รูปที่ 3.11 ผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินลบแบบลงค์

#### ผลการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด

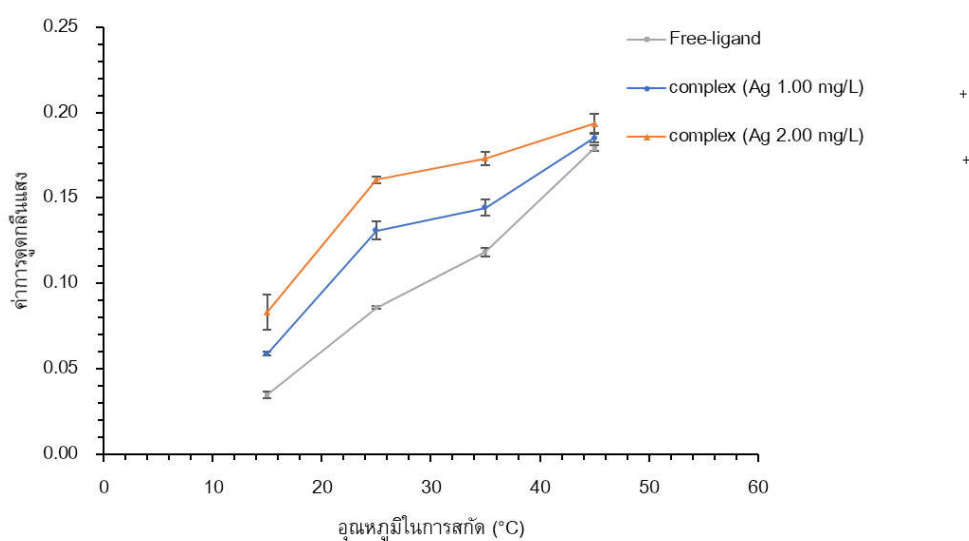
จากการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ 15, 25, 35 และ 45 °C ตามลำดับ ได้ค่าการดูดกลืนแสงดังแสดงในตารางที่ 3.12 และรูปที่ 3.12 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดมากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดเพิ่มขึ้นและได้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้น (Prapaporn, 2016) จากผลการศึกษาพบว่าสารละลายแบบลงค์มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นดังแสดงในตารางที่ 3.13 และรูปที่ 3.12 เนื่องจากในการสกัดด้วยอัลตราโซนิก จะไม่ได้มีเฉพาะไอออนเงินที่ถูกสกัดแต่จะมีเมตริกซ์ถูกสกัดออกมาจากเนื้อปลาด้วย และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการสกัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบบลงค์จะเพิ่มขึ้นมากและค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากเมื่อนำมาลบกันให้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.14 และรูป 3.13 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนจะลดลงและที่อุณหภูมิการสกัดที่ 25 °C ให้ ค่าการดูดกลืนแสงที่สูงสุดในความเข้มข้นของไอออนเงินทั้ง 2 ความเข้มข้น ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด 25 °C เป็นสภาวะเหมาะสมในการศึกษา

ตารางที่ 3.12 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินจากการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด

ความเข้มข้น $Ag^+$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	อุณหภูมิในการสกัด (°C)	ค่าการดูดกลืนแสง		
		เฉลี่ย	SD	%RSD
1.00	15	0.0587	0.0013	2.14
	25	0.1308	0.0053	4.03
	35	0.1443	0.0047	3.24
	45	0.1853	0.0029	1.54
2.00	15	0.0831	0.0105	12.57
	25	0.1606	0.0019	1.17
	35	0.1732	0.0039	2.25
	45	0.1934	0.0059	3.05

ตารางที่ 3.13 ค่าการดูดกลืนแสงของแบลนด์จากการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด

อุณหภูมิในการสกัด (°C)	ค่าการดูดกลืนแสง		
	เฉลี่ย	SD	%RSD
15	0.0346	0.0022	6.21
25	0.0858	0.0009	1.02
35	0.1182	0.0024	2.06
45	0.1792	0.0016	0.87

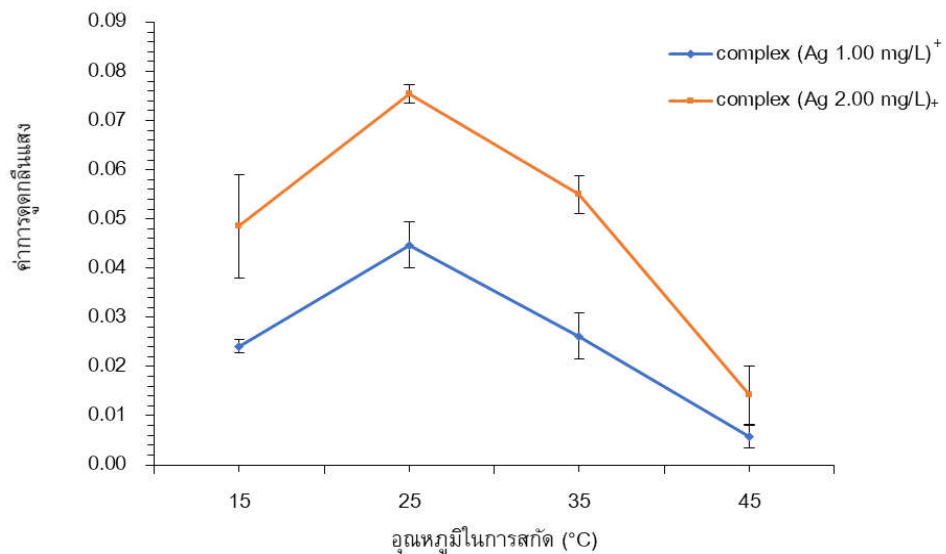


รูปที่ 3.12 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน

ตารางที่ 3.14 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินลบแบลนด์จากการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด

ความเข้มข้น Ag <sup>+</sup> (มิลลิกรัมต่อลิตร)	อุณหภูมิในการสกัด (°C)	ค่าการดูดกลืนแสง		
		เฉลี่ย	SD	%RSD
1.00	15	0.0241	0.0013	5.21
	25	0.0447	0.0047	10.45
	35	0.0261	0.0047	17.89
	45	0.0058	0.0023	39.93
2.00	15	0.0485	0.0105	21.54
	25	0.0754	0.0018	2.45
	35	0.0550	0.0039	7.09
	45	0.0142	0.0059	41.53





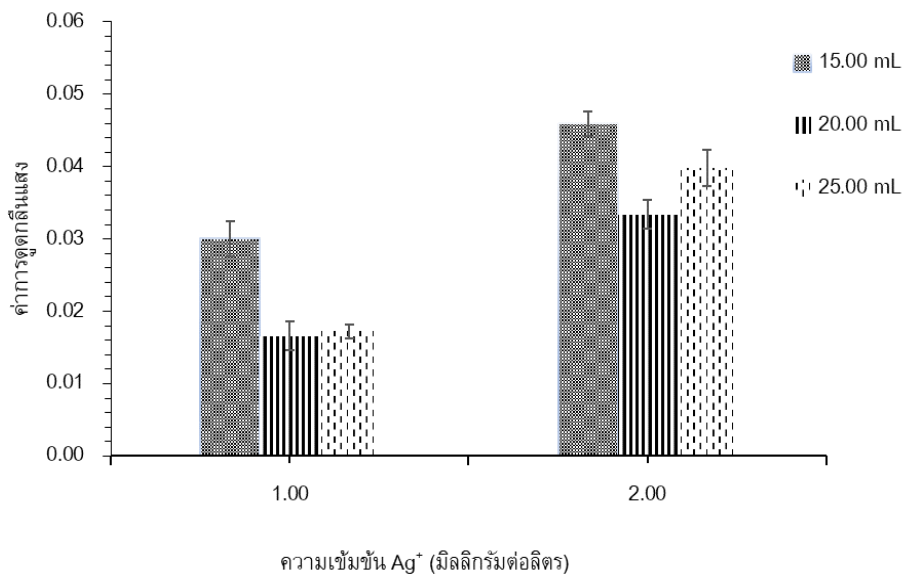
รูปที่ 3.13 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดต่อค่าการดูดกลืนแสงสารเชิงซ้อนไอออนเงิน  
ลบแบลนด์

#### ผลการศึกษาปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้สกัด

จากการศึกษาปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้สกัด ได้แก่ 15 20 และ 25 มิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อสกัดด้วยอัลตราโซนิกแล้วทำการดูสารละลายเฉพาะส่วนใสออกมาไม่ให้มีเนื้อปลาปน เนื่องจากเนื้อปลาที่ปนออกมาจะทำให้สารละลายมีฟองเป็นจำนวนมากจนไม่สามารถสกัดด้วยเฮกเซนได้ ปริมาตรสารละลายส่วนใสที่สามารถดูดออกมาได้มีปริมาตรเท่ากับ 7 15 และ 18 มิลลิลิตร เมื่อสกัดด้วยตัวทำละลายปริมาตร 15 20 และ 25 มิลลิลิตร ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.15 และรูปที่ 3.14 พบว่าที่ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้สกัด 15 มิลลิลิตร ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ดีที่สุด แต่เมื่อดูสารละลายเฉพาะส่วนใสจะมีเนื้อปลาปนขึ้นมา จึงเลือกที่ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้สกัด 25 มิลลิลิตร ซึ่งให้ค่าการดูดกลืนแสงที่รองลงมาแต่สามารถดูสารละลายส่วนใสออกมาได้ง่าย เป็นสภาวะที่เหมาะสม

ตารางที่ 3.15 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินจากการศึกษาปริมาตรของตัว  
ทำละลายสกัด

ความเข้มข้น Ag <sup>+</sup> (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาตรตัวทำ ละลาย ที่ใช้สกัด (มิลลิลิตร)	ปริมาตรที่ดูดได้ (มิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง		
			เฉลี่ย	SD	%RSD
1.00	15.00	7.00	0.0301	0.0024	8.04
	20.00	15.00	0.0166	0.0020	12.07
	25.00	18.00	0.0172	0.0009	5.39
2.00	15.00	7.00	0.0459	0.0017	3.70
	20.00	15.00	0.0334	0.0020	5.99
	25.00	18.00	0.0398	0.0025	6.27



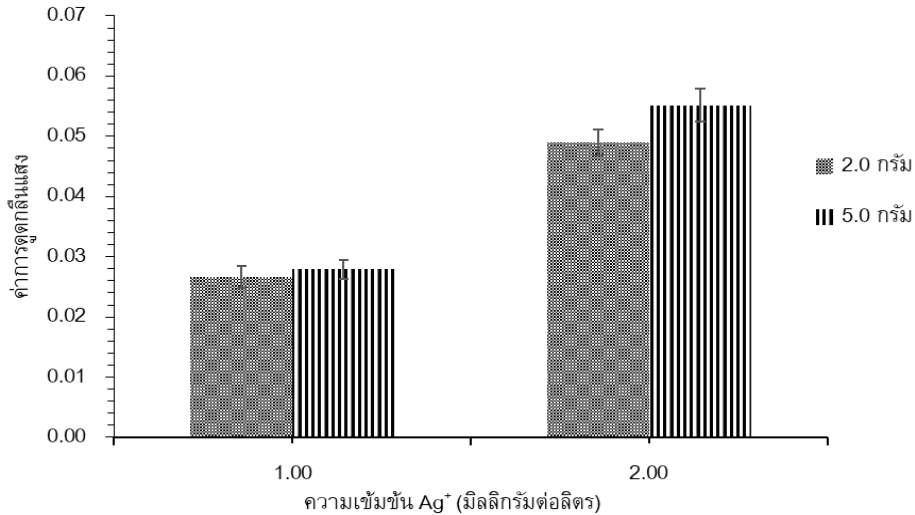
รูปที่ 3.14 ผลของปริมาตรของตัวทำละลายสกัดต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน

#### ผลการศึกษาน้ำหนักเนื้อปลาที่ใช้สกัด

จากการศึกษาน้ำหนักเนื้อปลา ได้แก่ น้ำหนัก 2.0 กรัม และน้ำหนัก 5.0 กรัม ตามลำดับ โดยเมื่อนำน้ำหนักของตัวอย่างมากขึ้นจะทำให้ได้ความเข้มข้นของไอออนเงินเพิ่มขึ้น โดยผลการศึกษแสดงดังตารางที่ 3.16 และรูปที่ 3.15 พบว่าเนื้อปลา 2.0 และ 5.0 กรัม ให้ค่าการดูดกลืนแสงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% แต่เมื่อใช้เนื้อปลา 5.0 กรัม ทำให้มีส่วนของเนื้อปลาที่มากขึ้นจนเป็นอุปสรรคในการดูดตัวทำละลายไปทำการวิเคราะห์ต่อไป ดังนั้นจึงเลือกน้ำหนักเนื้อปลา 2.0 กรัม เป็นสถานะที่เหมาะสมในการศึกษา

ตารางที่ 3.16 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินจากการศึกษาน้ำหนักเนื้อปลาที่ใช้สกัด

ความเข้มข้น Ag <sup>+</sup> (มิลลิกรัมต่อลิตร)	น้ำหนักเนื้อปลา (กรัม)	ปริมาตรตัวทำ ละลายที่ใช้สกัด (มิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง		
			เฉลี่ย	SD	%RSD
1.00	2.0	25.00	0.0266	0.0019	7.00
	5.0	25.00	0.0279	0.0018	5.69
2.00	2.0	25.00	0.0489	0.0022	4.40
	5.0	25.00	0.0552	0.0028	5.03



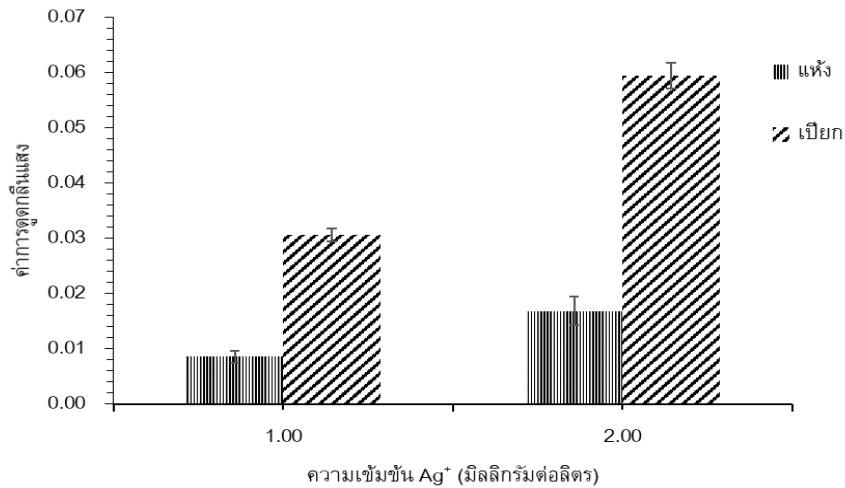
รูปที่ 3.15 ผลของน้ำหนักเนื้อปลาคือค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน

### ผลการศึกษาวิธีการเตรียมเนื้อปลาก่อนการสกัด

จากการศึกษาวิธีการเตรียมเนื้อปลาก่อนการสกัด คือ แบบเปียก และแบบแห้ง โดยเนื้อปลาเปียก ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเนื้อปลาอยู่ 85.67% ในการศึกษาใช้น้ำหนักแห้ง 0.3 กรัม ซึ่งน้ำหนักเท่ากับน้ำหนักเปียก 2.0 กรัม จากการศึกษา พบว่าเนื้อปลาแบบแห้งเมื่อนำมาละลายในตัวทำละลายที่ใช้สกัดเนื้อปลาจะดูดตัวทำละลายแล้วมีความบวมตัวขึ้นมาก ส่งผลให้สารละลายไอออนเงินที่ต้องการวิเคราะห์เข้าไปอยู่ในชั้นของเนื้อปลาและชั้นของตัวทำละลายที่ใช้สกัดได้อย่างไม่สมดุลเมื่อทำการสกัดด้วยอัลตราโซนิคจากการใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาการสกัดด้วยเนื้อปลาแบบเปียกมาใช้สกัดเนื้อปลาแบบแห้ง และเนื้อปลาแบบแห้งหลังจากสกัดด้วยอัลตราโซนิคแล้วทำการหมุนเหวี่ยง พบว่าเนื้อปลาไม่ตกลงอยู่ชั้นล่างของขวดแต่ลอยกระจายตัวอยู่บนชั้นตัวทำละลายที่ใช้สกัดทำให้ดูดส่วนใสของตัวทำละลายได้ยากมาก ผลการศึกษาในตารางที่ 3.17 และรูปที่ 3.16 พบว่าเนื้อปลาแบบเปียกให้ค่าการดูดกลืนแสง และให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์ดีกว่าเมื่อใช้เนื้อปลาแบบแห้ง เนื่องจากสภาวะที่เหมาะสมที่ทำการศึกษาเป็นการสกัดด้วยเนื้อปลาแบบเปียก ซึ่งไม่สามารถใช้สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดด้วยเนื้อปลาแบบเปียกที่ศึกษานำมาใช้ในการสกัดเนื้อปลาแบบแห้งได้ ดังนั้นเนื้อปลาแบบเปียกเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการศึกษา

ตารางที่ 3.17 ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงินจากการศึกษาวิธีการเตรียมเนื้อปลาก่อนการสกัด

ความเข้มข้น Ag <sup>+</sup> (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ชนิดของเนื้อปลา	น้ำหนักเนื้อปลา (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง		
			เฉลี่ย	SD	%RSD
1.00	แห้ง	0.3	0.0086	0.0011	12.48
	เปียก	2.0	0.0306	0.0012	3.85
2.00	แห้ง	0.3	0.0168	0.0026	15.72
	เปียก	2.0	0.0594	0.0024	3.96



รูปที่ 3.16 ผลของวิธีการเตรียมเนื้อปลาก่อนการสกัดต่อค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนไอออนเงิน

### 3.3 การศึกษาสภาวะที่มีผลต่อการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน

#### 3.3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน

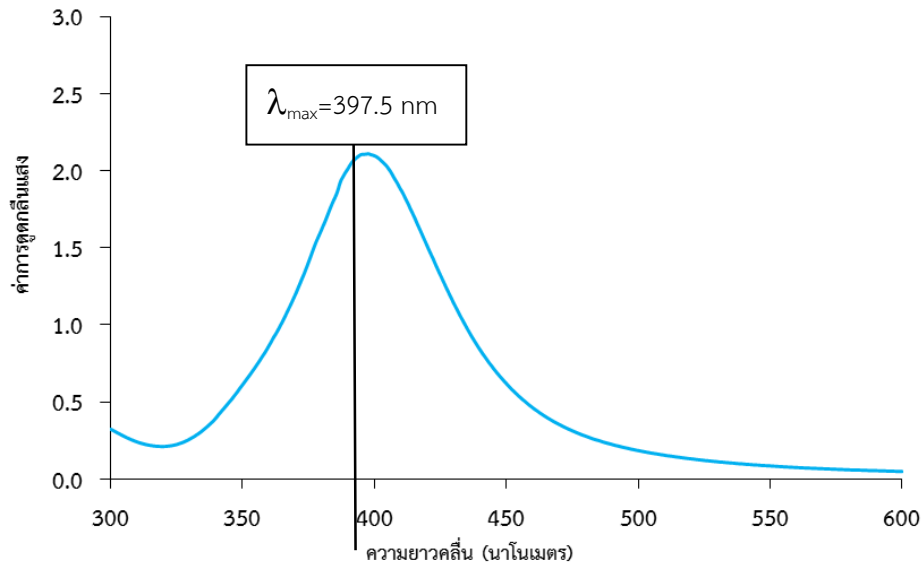
##### การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน โดยนำสารละลาย  $NaBH_4$  เข้มข้น 0.0020 โมลต่อลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลาย  $AgNO_3$  เข้มข้น 0.0010 โมลต่อลิตร เมื่อทำการหยดสารละลาย  $AgNO_3$  จะพบว่าสารละลายเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีเหลืองดัง รูปที่ 3.17 แสดงให้เห็นว่าไอออนเงินถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นอนุภาคนาโนของเงิน จากนั้นนำสารละลายอนุภาคนาโนของเงินที่สังเคราะห์ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-600 นาโนเมตร จากการทดลองพบว่าสารละลายของอนุภาคนาโนของเงินที่สังเคราะห์มีค่าดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 397.5 นาโนเมตร แสดงดังรูปที่ 3.18 โดยค่าความยาวคลื่นที่มีค่าดูดกลืนแสงสูงสุดสามารถใช้เป็นตัวทำนายขนาดของอนุภาคนาโนของเงินได้ โดยเมื่อค่าความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นจะบ่งบอกว่าขนาดของอนุภาคนาโนของเงินที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากอนุภาคนาโนของเงินมีสมบัติ surface plasmon resonance (ฐานข้อมูลความปลอดภัยวัสดุนาโน, 2557 โดยพบว่าขนาดของอนุภาคนาโนของเงินจะส่งผลต่อคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืน โดยถ้าอนุภาคนาโนของเงินที่มีขนาดเล็กจะส่งผลให้ช่วงความยาวคลื่นของสเปกตรัมของแสงที่ถูกดูดกลืนจะสั้นลง



รูปที่ 3.17 อนุภาคนาโนของเงินที่ได้จากการสังเคราะห์

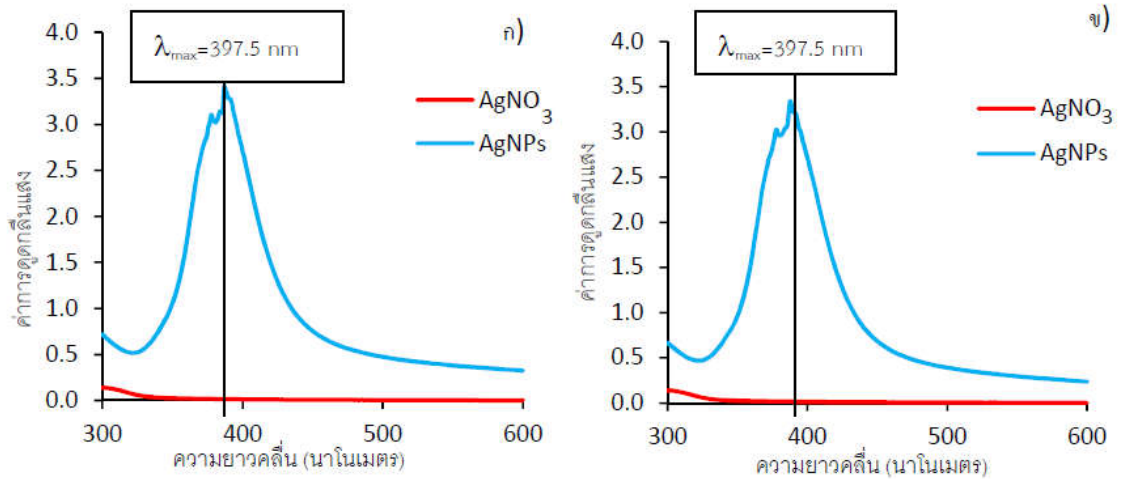
(สภาวะการสังเคราะห์ที่ใช้ : อัตราการหยดสารละลายผสมที่ 1 วินาทีต่อหยดที่อุณหภูมิห้อง)



รูปที่ 3.18 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนของเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น 300-600 นาโนเมตร (สภาวะการสังเคราะห์ใช้ อัตราการหยดสารละลายผสมที่ 1 วินาทีต่อหยด ที่อุณหภูมิห้อง)

#### การศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน

การศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน โดยนำสารละลาย  $\text{NaBH}_4$  เข้มข้น 0.0020 โมลต่อลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลาย  $\text{AgNO}_3$  เข้มข้น 0.0010 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นำสารละลายอนุภาคนาโนของเงินที่สังเคราะห์ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-600 นาโนเมตร พบว่าค่าความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากันคือ 397.5 นาโนเมตร แสดงดังรูปที่ 3.19 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการสังเคราะห์ไม่ส่งผลถึงขนาดของอนุภาคนาโนของเงินที่สังเคราะห์ได้ เนื่องจากสารละลาย  $\text{NaBH}_4$  มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสูง ทำให้  $\text{AgNO}_3$  ถูกรีดิวซ์เป็นอนุภาคนาโนของเงินอย่างรวดเร็ว ทำให้ขนาดของอนุภาคนาโนของเงินที่สังเคราะห์ได้มีขนาดที่ใกล้เคียงกันจึงทำให้ค่าความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดมีค่าเท่ากัน



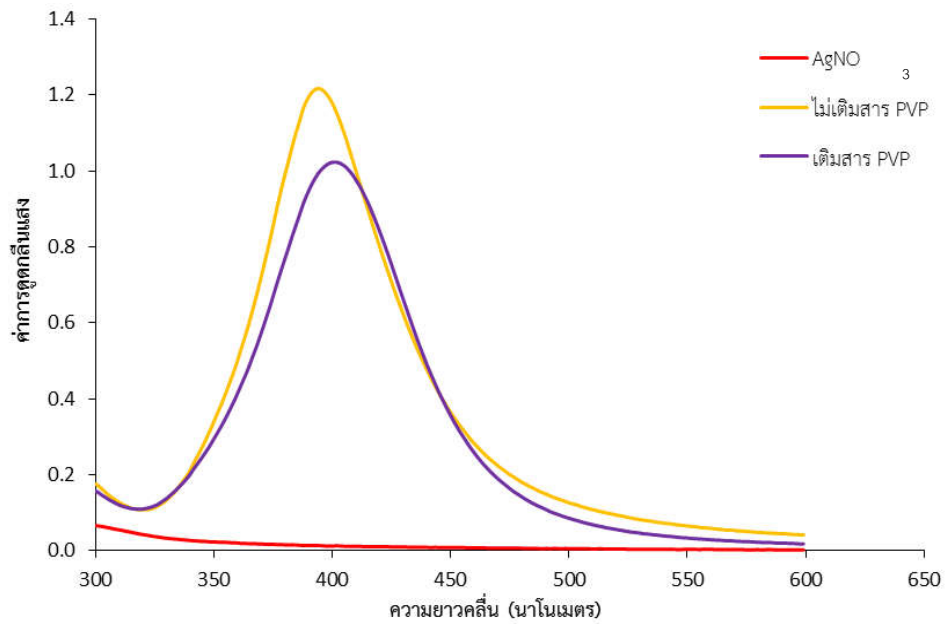
รูปที่ 3.19 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อทำการสังเคราะห์ที่ อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-600 นาโนเมตร ก) อุณหภูมิห้อง ข) อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

#### การศึกษาผลของการเติมสาร PVP

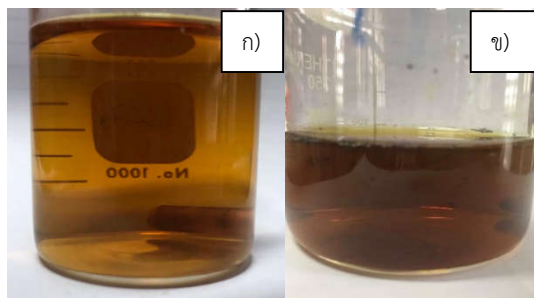
การศึกษาผลของการเติมสาร PVP โดยใช้สารละลายผสมของ  $\text{AgNO}_3$  เข้มข้น 0.0010 โมลต่อลิตร และสารละลาย PVP เข้มข้น 0.0200 โมลต่อลิตร ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลาย  $\text{NaBH}_4$  นำสารละลายอนุภาคนาโนของเงินที่สังเคราะห์ได้วัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-600 นาโนเมตร เทียบกับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินที่ไม่มีการเติมสาร PVP จากการทดลองในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินเมื่อมีการผสมสารละลาย PVP เข้มข้น 0.0200 โมลต่อลิตร ลงในสารละลาย  $\text{AgNO}_3$  เข้มข้น 0.0010 โมลต่อลิตร พบว่าค่าความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้มีค่ามากกว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินที่ไม่มีการเติมสารละลาย PVP แสดงดังรูปที่ 3.20 และตารางที่ 3.18 แสดงให้เห็นว่าสารละลาย PVP สามารถช่วยให้อนุภาคนาโนของเงินที่สังเคราะห์ขึ้นมีความเสถียร เนื่องจากอนุภาคนาโนของเงินที่เกิดขึ้นจะดูดซับบนพื้นผิวของสาร PVP ทำให้ไม่เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากเมื่อทิ้งสารละลายที่ไม่มีการเติมสารละลาย PVP ไว้เป็นเวลา 30 นาที พบว่าอนุภาคนาโนของเงินเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของอนุภาคนาโนของเงินจากสีเหลืองเป็นสีเทา แสดงดังรูปที่ 3.21 เนื่องจากอนุภาคนาโนของเงินเกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนของเงินที่จากการสังเคราะห์โดยไม่มีการเติมสาร PVP มีความเสถียรน้อยกว่าอนุภาคนาโนของเงินที่จากการสังเคราะห์โดยมีการเติมสาร PVP นอกจากนี้ยังพบว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินที่ไม่มีการเติมสารละลาย PVP มีค่าดูดกลืนแสงที่สูงกว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินที่มีการเติมสารละลาย PVP เนื่องจากขนาดของอนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์แบบไม่เติมสาร PVP มีขนาดของอนุภาคที่เล็กกว่าส่งผลให้ความเข้มของการดูดกลืนแสง (intensity of absorption) มีค่าสูงกว่าการสังเคราะห์ที่มีการเติมสาร PVP จึงทำให้ค่าดูดกลืนแสงมีค่าสูงกว่า แต่ในงานวิจัยนี้ต้องการขนาดของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และมีความเสถียร ดังนั้นเราจึงเลือกเติมสารละลาย PVP เพื่อใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน

ตารางที่ 3.18  $\lambda_{\max}$  (นาโนเมตร) ของอนุภาคนาโนของเงินที่มีการเติม PVP และไม่มีการเติม PVP

การทดลอง	$\lambda_{\max}$ (นาโนเมตร)
ไม่เติมสาร PVP	394
เติมสาร PVP	401



รูปที่ 3.20 สเปกตรัมของอนุภาคนาโนของเงินที่มีเติมสาร PVP และไม่เติมสาร PVP



รูปที่ 3.21 อนุภาคนาโนของเงินที่ได้จากการสังเคราะห์เมื่อตั้งทิ้งไว้ 30 นาที โดยที่  
ก) เติมสาร PVP ข) ไม่มีเติมสาร PVP

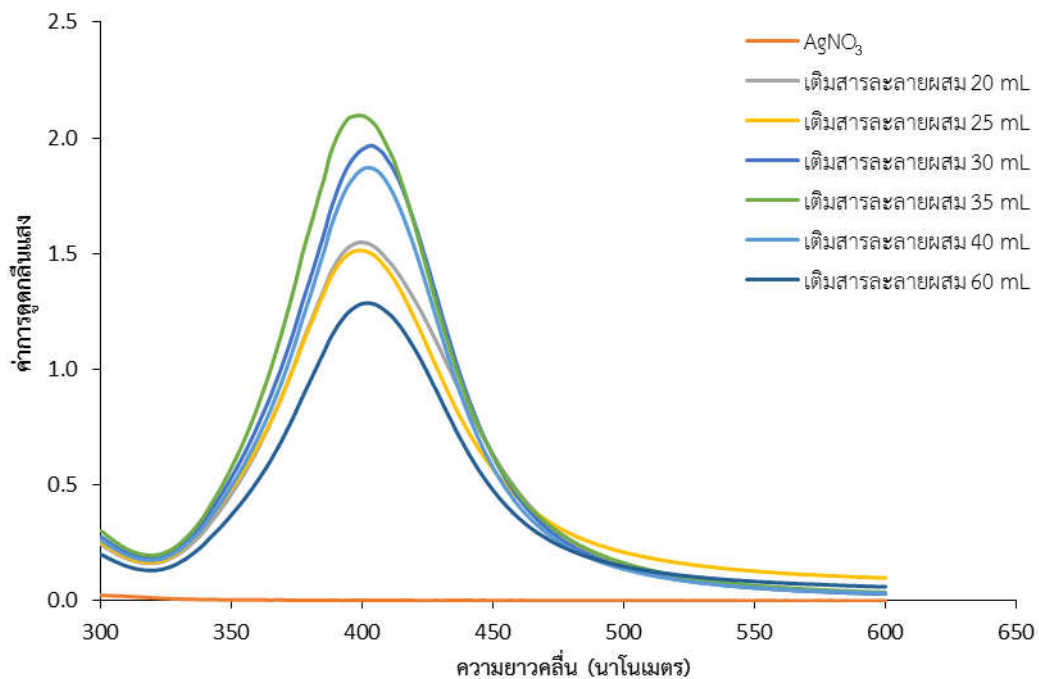
#### การศึกษาผลของจำนวนโมลของสารละลาย $\text{AgNO}_3$

การศึกษาจำนวนโมลของสารละลาย  $\text{AgNO}_3$  ที่มีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน โดยใช้สารละลายผสมของ  $\text{AgNO}_3$  เข้มข้น 0.0010 โมลต่อลิตร และสารละลาย PVP เข้มข้น 0.0200 โมลต่อลิตร โดยศึกษาที่ปริมาตร 20, 25, 30, 35, 40 และ 60 มิลลิลิตร โดยจำนวนโมลของ  $\text{AgNO}_3$  มีค่าเท่ากับ 0.020, 0.025, 0.030, 0.035, 0.040 และ 0.060 มิลลิโมล ตามลำดับ มาทำปฏิกิริยากับ

สารละลาย  $\text{NaBH}_4$  นำสารละลายอนุภาคนาโนของเงินที่สังเคราะห์ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-600 นาโนเมตร พบว่าเมื่อใช้จำนวนโมลของ  $\text{AgNO}_3$  เท่ากับ 0.030 มิลลิโมล แสดงให้เห็นว่าจำนวนโมลของไอออนเงินที่เข้าทำปฏิกิริยากับสารละลาย  $\text{NaBH}_4$  มีค่าเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่าความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 3.22 และตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.19  $\lambda_{\text{max}}$  (นาโนเมตร) ของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อเติมสารละลายผสมที่ ปริมาตร 20-60 มิลลิลิตร

มิลลิโมลของ $\text{NaBH}_4$	ปริมาตรของ สารละลายผสม (มิลลิลิตร)	มิลลิโมลของ $\text{AgNO}_3$	$\lambda_{\text{max}}$ (นาโนเมตร)
0.060	20	0.020	401
0.060	25	0.025	399
0.060	30	0.030	403
0.060	35	0.035	399
0.060	40	0.040	402
0.060	60	0.060	402



รูปที่ 3.22 สเปกตรัมของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อเติมสารละลายผสมที่ปริมาตร 20-60 มิลลิลิตร

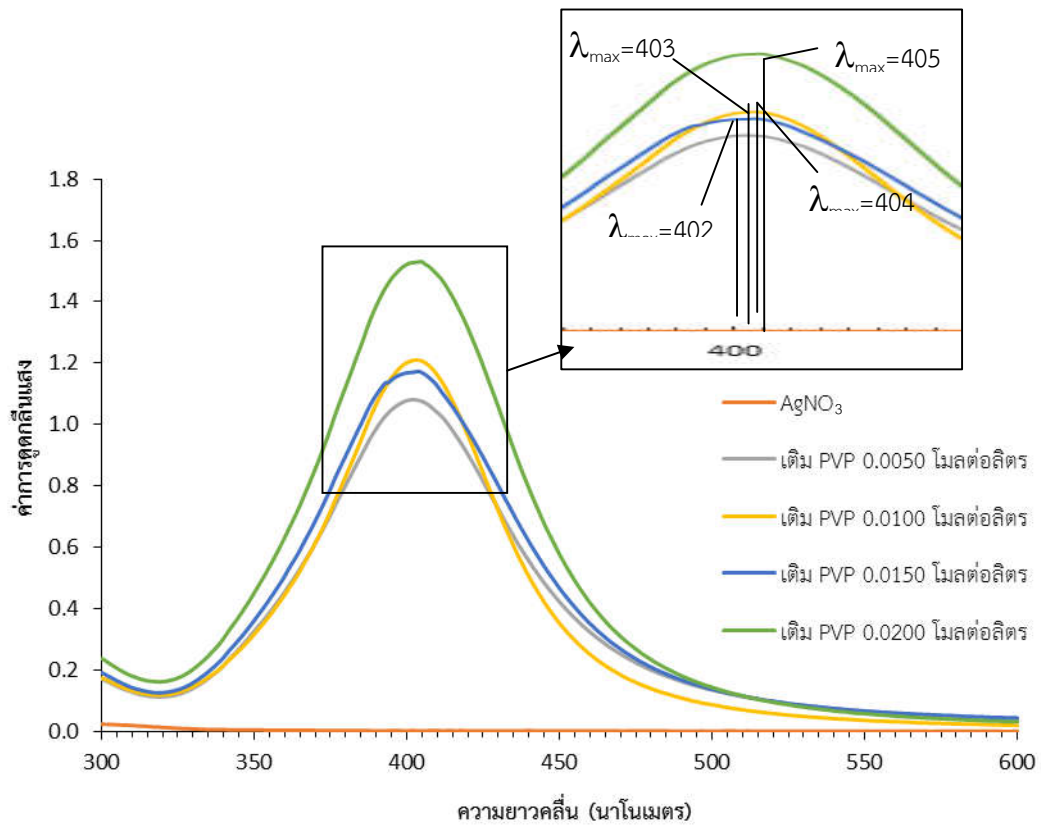


### การศึกษาผลของความเข้มข้นของสาร PVP

การศึกษาความเข้มข้นของสาร PVP โดยใช้สารละลายผสมของ  $\text{AgNO}_3$  เข้มข้น 0.0010 โมลต่อลิตร และสารละลาย PVP เข้มข้น 0.0050, 0.0100, 0.0150 และ 0.0200 โมลต่อลิตร ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลาย  $\text{NaBH}_4$  นำสารละลายอนุภาคนาโนของเงินที่สังเคราะห์ได้วัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-600 นาโนเมตร จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของสาร PVP ไม่มีผลต่อการสังเคราะห์เนื่องจากค่าความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 3.20 และรูปที่ 3.23 แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลาย PVP 0.0200 โมลต่อลิตร พบว่าให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุดแสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของสาร PVP เพิ่มขึ้นความเสถียรของอนุภาคนาโนของเงินที่สังเคราะห์ได้มีความเสถียรเพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นที่ผิวของสาร PVP เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีพื้นที่ผิวที่อนุภาคนาโนของเงินจะสามารถดูดซับได้เพิ่มขึ้นจึงทำให้ไม่เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนเป็นอนุภาคขนาดใหญ่เนื่องจากอนุภาคนาโนของเงินที่มีขนาดใหญ่จะมีค่าความเข้มของการดูดกลืนแสงลดลง แต่จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของสาร PVP เพิ่มมากขึ้นค่าความเข้มของการดูดกลืนแสงและค่าความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามลำดับ แต่ในงานวิจัยนี้เลือกทำการทดลองที่ความเข้มข้นของสาร PVP ที่ 0.0200 โมลต่อลิตร เป็นความเข้มข้นสูงสุดเนื่องจากสาร PVP ที่ใช้ในการทดลองเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจึงทำให้ละลายน้ำได้น้อย ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของสารละลาย PVP ที่ 0.0200 โมลต่อลิตร เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน

ตารางที่ 3.20  $\lambda_{\text{max}}$  (นาโนเมตร) ของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลาย PVP 0.0050 - 0.0200 โมลต่อลิตร

ความเข้มข้นของ PVP (โมลต่อลิตร)	$\lambda_{\text{max}}$ (นาโนเมตร)
0.0050	402
0.0100	403
0.0150	404
0.0200	405



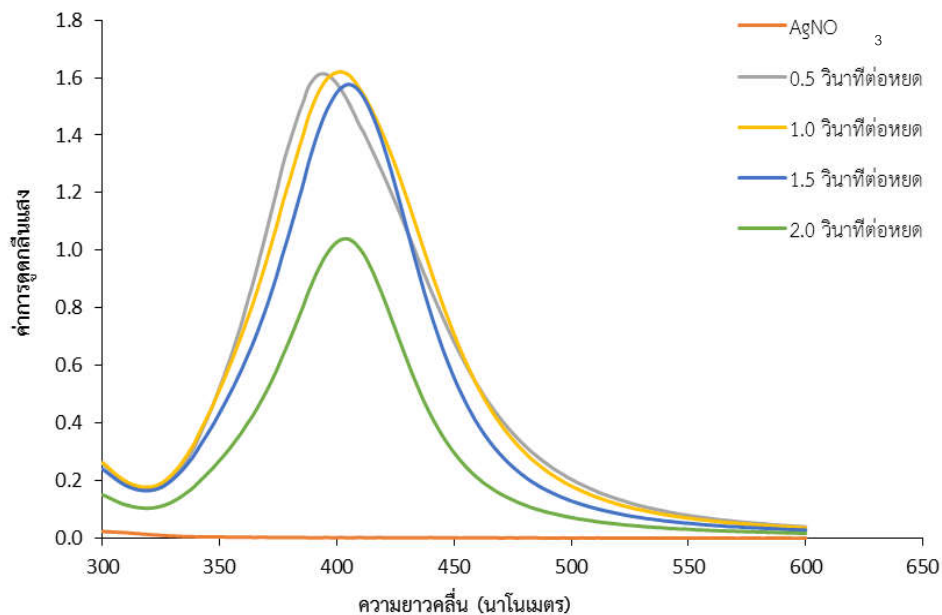
รูปที่ 3.23 สเปกตรัมของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลาย PVP 0.0050 - 0.0200 โมลต่อลิตร

#### การศึกษาผลของอัตราการหยุดของสารละลายผสม

การศึกษาอัตราการหยุดโดยใช้สารละลายผสมของ  $\text{AgNO}_3$  เข้มข้น 0.0010 โมลต่อลิตร และสารละลาย PVP เข้มข้น 0.0200 โมลต่อลิตร ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลาย  $\text{NaBH}_4$  โดยมีอัตราการหยุดของสารละลายผสม 0.5, 1, 1.5 และ 2 วินาทีที่ต่อหยุด นำสารละลายอนุภาคนาโนของเงินที่สังเคราะห์ที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-600 นาโนเมตร โดยพบว่าเมื่ออัตราการหยุดเพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มปริมาณไอออนเงินที่ทำปฏิกิริยากับ  $\text{NaBH}_4$  ดังนั้นอัตราการหยุดที่เหมาะสมจะเป็นการควบคุมปริมาณของไอออนเงินที่เข้าทำปฏิกิริยากับ  $\text{NaBH}_4$  จึงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นไปอย่างเหมาะสม จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้อัตราการหยุดสารละลายผสมเป็น 1.5 วินาทีที่ต่อหยุด ให้ค่าความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกอัตราการหยุดสารละลายผสมเป็น 1.5 วินาทีที่ต่อหยุด เป็นอัตราการหยุดสารละลายผสมที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน แสดงดังรูปที่ 3.24 และตารางที่ 3.21

ตารางที่ 3.21  $\lambda_{\max}$  (นาโนเมตร) ของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อใช้อัตราการหยดสารละลายผสม 0.5 - 2 วินาทีต่อหยด

อัตราการหยดสารละลายผสม (วินาทีต่อหยด)	$\lambda_{\max}$ (นาโนเมตร)
0.5	394
1.0	402
1.5	405
2.0	404

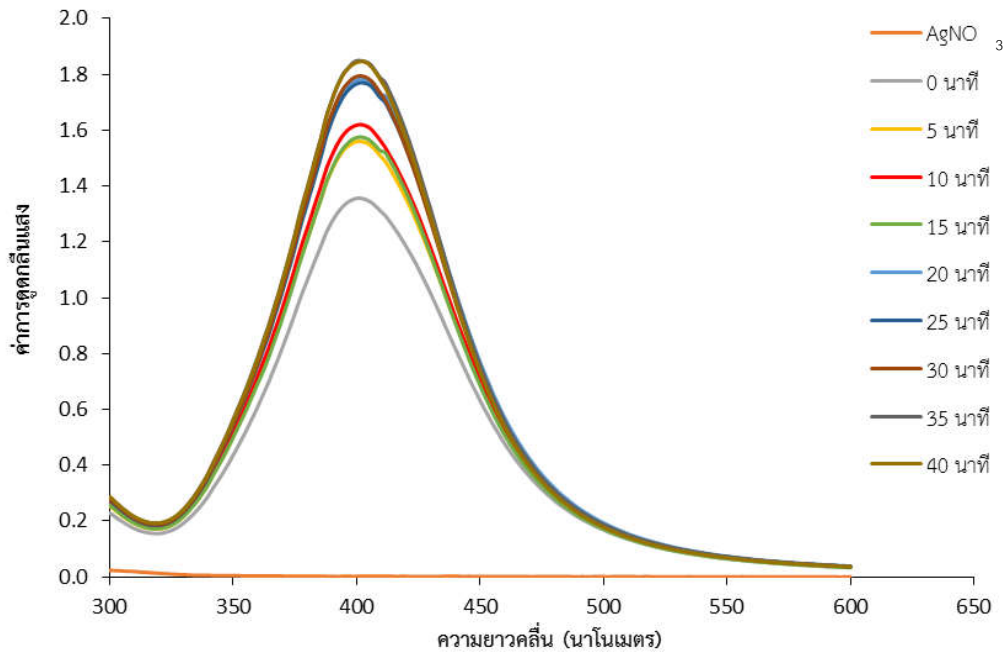


รูปที่ 3.24 สเปกตรัมของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อใช้อัตราการหยดสารละลายผสม 0.5 - 2 วินาทีต่อหยด

#### การศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์

การศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์โดยใช้สารละลายผสมของ  $\text{AgNO}_3$  เข้มข้น 0.0010 โมลต่อลิตร และสารละลาย PVP เข้มข้น 0.0200 โมลต่อลิตร ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลาย  $\text{NaBH}_4$  โดยมีอัตราการหยดของสารละลายผสม 1.5 วินาทีต่อหยด ทำการกวนหลังจากหยดสารละลายผสมเสร็จเป็นเวลา 5-40 นาที นำสารละลายอนุภาคนาโนของเงินที่สังเคราะห์ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-600 นาโนเมตร โดยในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินพบว่าเมื่อเติมสารละลายผสมจนครบปริมาตรแต่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นยังเกิดไม่สมบูรณ์เนื่องจากมี  $\text{AgNO}_3$  และ  $\text{NaBH}_4$  หลงเหลือจากการทำปฏิกิริยา ดังนั้นเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์จึงทำการกวนสารละลายต่อหลังจากทำการเติมสารละลายผสมจนครบปริมาตร และจากการทดลองพบว่าเมื่อใช้เวลาในการกวนหลังจากหยดสารละลายผสมหมดเป็นเวลา 20 นาที ให้ค่า

ดูดกลืนแสงสูงสุดและหลังจาก 20 นาทีพบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มีค่าคงที่ ดังนั้นจึงเลือกเวลาในการกวนหลังจากหยุดสารละลายผสมที่เวลา 20 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน แสดงดังรูปที่ 3.25

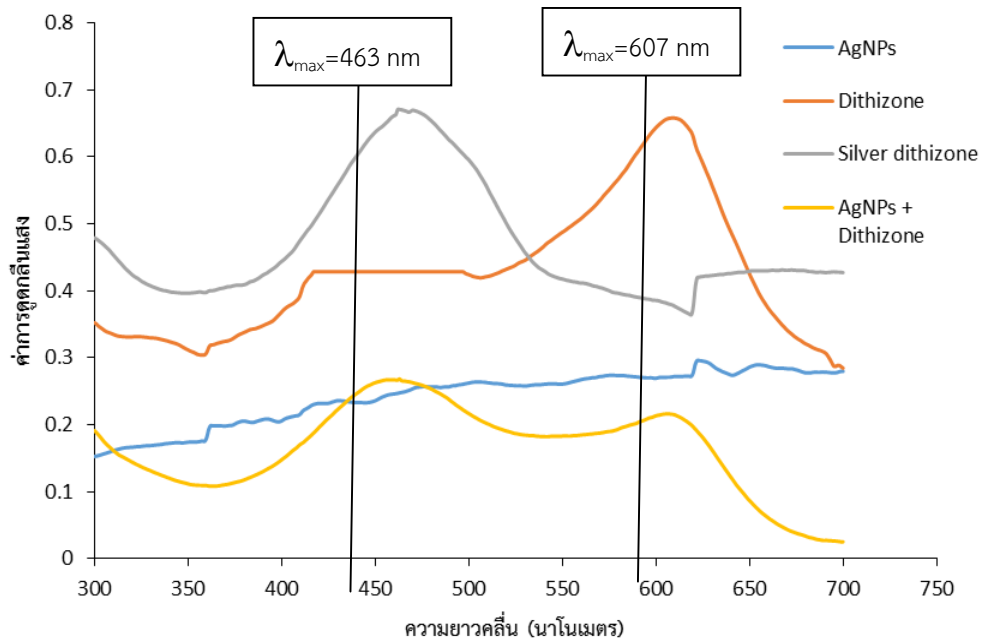


รูปที่ 3.25 สเปกตรัมระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ของอนุภาคนาโนของเงินที่ 0-40 นาที

### 3.3.2 การศึกษาสภาวะที่อนุภาคนาโนของเงินสลายตัวเป็นไอออนเงิน

#### การศึกษาการวิเคราะห์ไอออนเงินที่เกิดจากการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน

ทำการศึกษากาวิเคราะห์ไอออนเงินที่เกิดจากการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน โดยนำสารละลายอนุภาคนาโนของเงินมาทำปฏิกิริยากับไดไทโชนในสารละลายที่พีเอชเท่ากับ 10 ทำการสกัดสารละลายด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน จากนั้นนำสารละลายชั้นไดคลอโรมีเทนที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 300-700 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดกับสารประกอบเชิงซ้อนของซิลเวอร์ไดไทโชน สารละลายไดไทโชนและอนุภาคนาโนของเงินที่ไม่เติมไดไทโชน จากการทดลองพบว่าความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของอนุภาคนาโนของเงินที่มีการเติมไดไทโชนมีค่าเท่ากับสารประกอบเชิงซ้อนของซิลเวอร์ไดไทโชน แสดงให้เห็นว่าวิธีนี้สามารถตรวจวัดไอออนเงินที่เกิดจากการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินได้ และความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของซิลเวอร์ไดไทโชนมีค่าเท่ากับ 463 นาโนเมตร แสดงดังรูปที่ 3.26 และในการหาปริมาณไอออนเงินที่เกิดจากการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินโดยหาความเข้มข้นของไอออนเงินเทียบกับกราฟมาตรฐาน โดยมีสมการเส้นตรงคือ  $y=87423x + 0.1914$  และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.9975



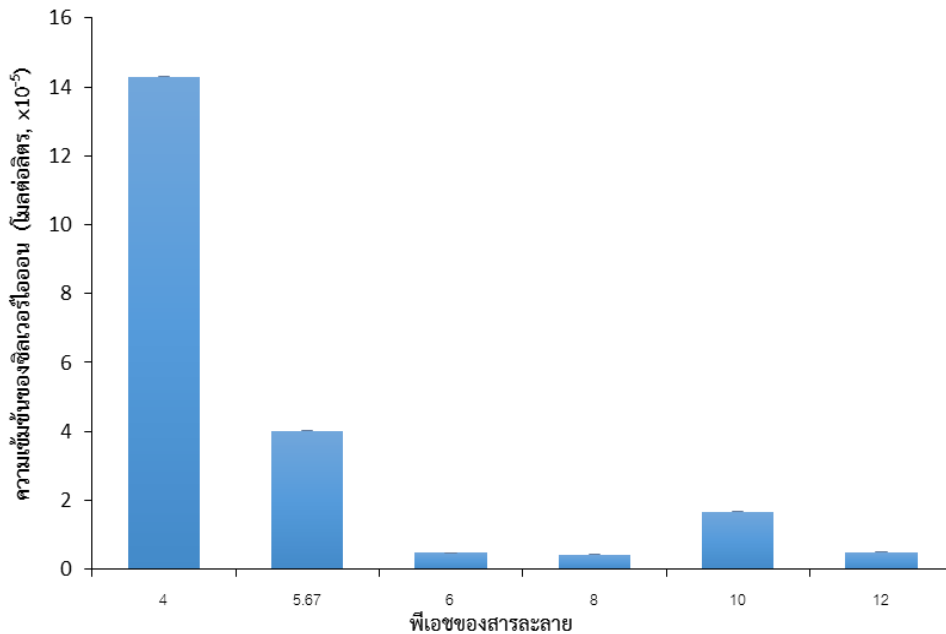
รูปที่ 3.26 สเปกตรัมของอนุภาคนาโนของเงินที่ไม่มีการเติมไดไทโโซน อนุภาคนาโนของเงินที่มีการเติมไดไทโโซน สารละลายไดไทโโซนและสารประกอบเชิงซ้อนของซิลเวอร์ไดไทโโซน

#### การศึกษาการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินที่ความเป็นกรดเบสต่างๆ

การศึกษาการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินที่พีเอชต่างๆ โดยนำสารละลายอนุภาคนาโนของเงินทำปฏิกิริยากับไดไทโโซนในสารละลายที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 4, น้ำกลั่น (5.67), 6, 8, 10 และ 12 จากการทดลองพบว่าที่พีเอชเท่ากับ 4 อนุภาคนาโนของเงินเกิดการสลายตัวมากที่สุด แสดงดังตารางที่ 3.22 และรูปที่ 3.27 เนื่องจากเมื่อสารละลายมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนของเงินกับสารละลายกรด ทำให้อนุภาคนาโนของเงินสลายตัวเป็นไอออนเงินได้มากและโมเลกุลของตัวทำละลายมาห่อหุ้มไอออนเงินที่เกิดขึ้น ทำให้อนุภาคนาโนของเงินเกิดการสลายตัวเป็นไอออนเงินได้มาก โดยในงานวิจัยนี้เลือกทำการทดลองที่ค่าพีเอช 4-12 เนื่องจากตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5-8 โดยอ้างอิงจากกรมควบคุมมลพิษ (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2547) และจากการทดลองพบว่าที่พีเอชเท่ากับ 4 สามารถตรวจวัดปริมาณไอออนเงินที่เกิดจากการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินได้สูงที่สุดโดยมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ  $1.43 \times 10^{-4}$  โมลต่อลิตร

ตารางที่ 3.22 ความเข้มข้นของไอออนเงินที่เกิดจากการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน  
ที่พีเอชต่างๆ

pH	ความเข้มข้น $Ag^+$ ที่เกิดจากการสลาย ตัวของอนุภาคนาโนของเงิน (โมลต่อลิตร)			Mean	SD	%RSD
	1	2	3			
pH 4	$1.40 \times 10^{-4}$	$1.58 \times 10^{-4}$	$1.31 \times 10^{-4}$	$1.43 \times 10^{-4}$	$1.35 \times 10^{-5}$	9.41
น้ำกลั่น (5.67)	$3.61 \times 10^{-5}$	$4.13 \times 10^{-5}$	$4.32 \times 10^{-5}$	$4.02 \times 10^{-5}$	$3.69 \times 10^{-6}$	9.18
pH 6	$4.75 \times 10^{-6}$	$4.48 \times 10^{-6}$	$4.86 \times 10^{-6}$	$4.70 \times 10^{-6}$	$1.94 \times 10^{-7}$	4.12
pH 8	$3.48 \times 10^{-6}$	$4.66 \times 10^{-6}$	$4.33 \times 10^{-6}$	$4.16 \times 10^{-6}$	$6.09 \times 10^{-7}$	14.65
pH 10	$1.34 \times 10^{-5}$	$1.85 \times 10^{-5}$	$1.80 \times 10^{-5}$	$1.66 \times 10^{-5}$	$2.83 \times 10^{-6}$	17.04
pH 12	$2.75 \times 10^{-6}$	$5.34 \times 10^{-6}$	$6.96 \times 10^{-6}$	$5.02 \times 10^{-6}$	$2.12 \times 10^{-6}$	42.33

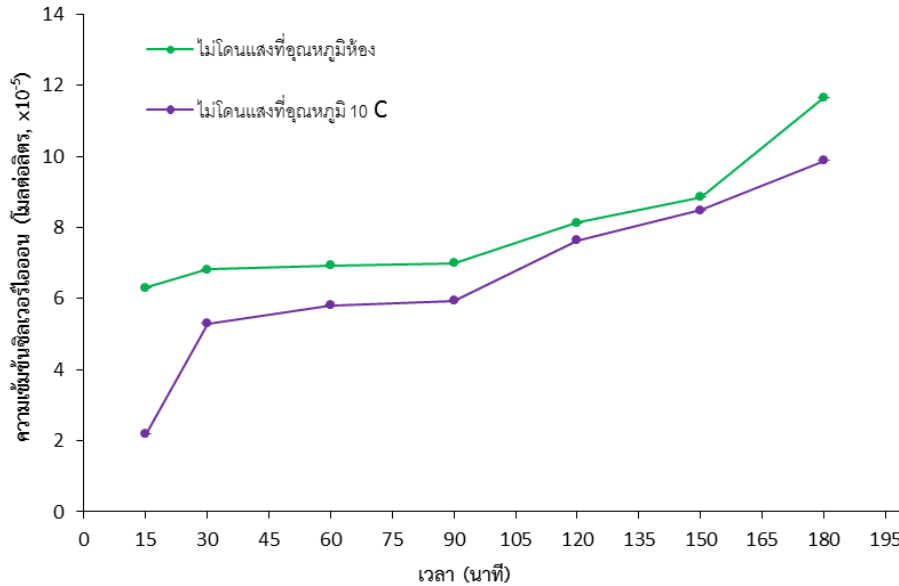


รูปที่ 3.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนเงินที่เกิดขึ้นที่พีเอชต่างๆ

#### การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน

โดยเปรียบเทียบการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดยนำสารละลายอนุภาคนาโนของเงินเก็บที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดยไม่ให้โดนแสง เป็นเวลา 180 นาที เมื่อครบเวลานำมาทำปฏิกิริยากับไดโตนโซนในสารละลายที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 5.67 ทำการสกัดสารละลายด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน นำสารละลายชั้นไดคลอโรมีเทนวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 463 และ 607 นาโนเมตร จากการทดลองพบว่าเมื่อเก็บอนุภาคนาโนของเงินที่อุณหภูมิห้องพบว่าอนุภาคนาโนของเงินสลายตัวเป็นไอออนเงินได้มากกว่าการเก็บอนุภาคนาโนของเงินที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 3.28 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมิมีผลต่อการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้อนุภาคนาโนของเงินเกิดการเคลื่อนที่ชนกันและพลังงานของอนุภาคนาโนของเงินแต่ละอนุภาคเพิ่มสูงขึ้นทำให้ความเสถียรของ

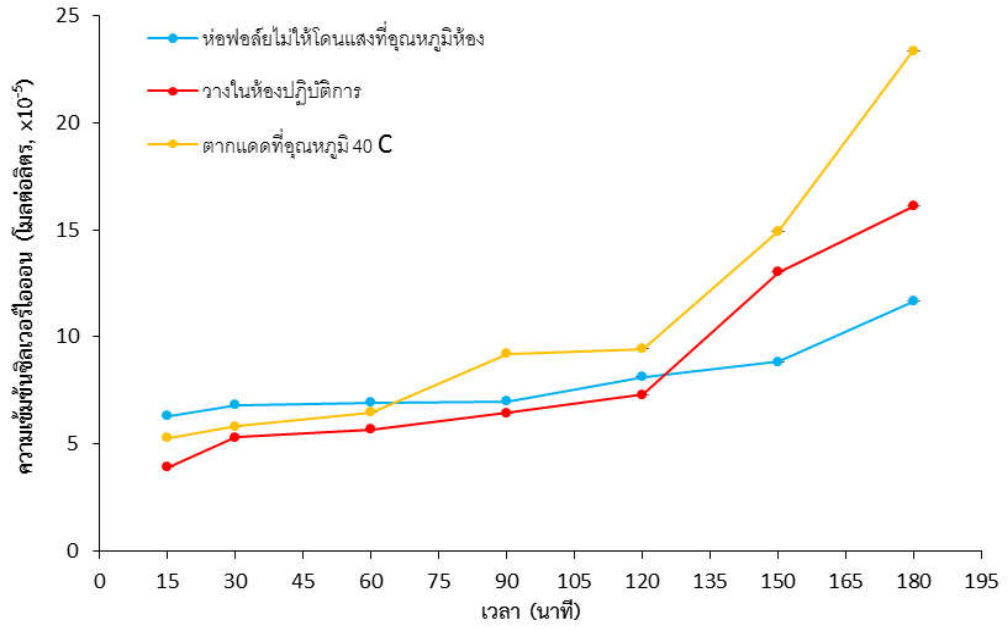
อนุภาคนาโนของเงินลดลงและเมื่ออนุภาคนาโนของเงินได้รับพลังงานจากอุณหภูมิจที่เพิ่มขึ้นทำให้อิเล็กตรอนในออร์บิทัลชั้นนอกสุดของ ซิลเวอร์ซึ่งอยู่ในสถานะพื้นจะกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ ดังนั้นอนุภาคนาโนของเงินจึงปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของอิเล็กตรอนทำให้อนุภาคซิลเวอร์เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอน อนุภาคนาโนของเงินจะเปลี่ยนรูปจากอนุภาคนาโนของเงินกลายเป็นไอออนเงิน



รูปที่ 3.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนเงินที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

### การศึกษาการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อโดนแสงที่สภาวะต่างๆ

โดยศึกษาการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินเมื่อเก็บไว้ในที่โดนแสงที่สภาวะต่างๆ โดยนำสารละลายอนุภาคนาโนของเงินเก็บไว้ให้โดนแสงในสภาวะที่แตกต่างกัน โดย ชุดที่ 1 ห่อฟอลซ์ไม่ให้โดนแสงที่อุณหภูมิห้อง ชุดที่ 2 วางในห้องปฏิบัติการ และชุดที่ 3 ตากแดดที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที เมื่อครบเวลานำมาทำปฏิกิริยากับไดโตนโซนในสารละลายที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 5.67 ทำการสกัดสารละลายด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน นำสารละลายชั้นไดคลอโรมีเทนวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 463 และ 607 นาโนเมตร จากการทดลองพบว่าเมื่ออนุภาคนาโนของเงินโดนแสงแดดที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส ทำให้อนุภาคนาโนของเงินสลายตัวเป็นไอออนเงินได้มากที่สุด และเมื่อเวลาผ่านไป 120 นาที พบว่าอนุภาคนาโนที่โดนแสงเกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็ว และพบว่าการตากแดดทำให้อนุภาคนาโนของเงินเกิดการสลายตัวมากที่สุด เนื่องจากในแสงแดดมีรังสียูวีที่มีพลังงานสูงโดยพลังงานเหล่านี้จะถูกดูดซับโดยอนุภาคนาโนของเงินและทำให้อนุภาคนาโนของเงินอยู่ในสภาวะกระตุ้นทำให้อนุภาคนาโนของเงินไม่เสถียรและเกิดการปลดปล่อยพลังงานในรูปของอิเล็กตรอนออกมา และการวางไว้ให้โดนแสงในห้องปฏิบัติการปกติอนุภาคนาโนของเงินเกิดการสลายตัวมากกว่าการเก็บอนุภาคนาโนของเงินไม่ให้โดนแสง แสดงดังรูปที่ 3.29 แสดงให้เห็นว่าแสงมีผลทำให้อนุภาคนาโนของเงินมีการสลายตัวเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 3.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนเงินที่เกิดขึ้นเมื่อโดนแสงที่สภาวะต่างๆ



## บทที่ 4

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ไอออนเงินด้วยการสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจายโดยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมทรี ได้สภาวะที่เหมาะสมดังตารางที่ 4.1 และการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไอออนเงินในตัวอย่างอาหารทะเลด้วยวิธีการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิก ได้สภาวะที่เหมาะสมดังตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.1** 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 4.2** สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารเชิงซ้อนไอออนเงินในตัวอย่างอาหารทะเลด้วยเทคนิคการสกัดด้วยอัลตราโซนิก

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

การศึกษาการสังเคราะห์และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินได้สภาวะที่เหมาะสมดังตารางที่ 4.3 และผลการศึกษาสภาวะที่มีผลต่อการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินได้ผลการศึกษาสรุปดังตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.3** สรุปสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน

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

**ตารางที่ 4.4** สภาวะที่อนุภาคนาโนของเงินสลายตัวเป็นไอออนเงิน

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

### ข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ไอออนเงินในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างอาหารทะเล โดยใช้วิธีการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นไอออนเงินเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินที่มีปริมาณน้อยในตัวอย่างได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นและวิเคราะห์ปริมาณไอออนเงินโดยเทคนิค UV-visible spectrometry ซึ่งเป็นวิธีการง่ายและมีราคาถูก และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ไอออนเงินในตัวอย่างน้ำทางสิ่งแวดล้อมและในอาหารทะเลได้จริง นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่มีผลต่อการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงิน เพื่อใช้ในการทำนายการปนเปื้อนของไอออนเงินในสิ่งแวดล้อมและอาหารทะเลที่เกิดจากการสลายตัวของอนุภาคนาโนของเงินเพื่อใช้ในการป้องกันการปนเปื้อนของไอออนเงินต่อไป

สำหรับในงานวิจัยขั้นต่อไป (ปีที่ 2 ของโครงการวิจัย) จะดำเนินการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยปีที่ 1 และนำไปวิเคราะห์การปนเปื้อนของไอออนเงินในตัวอย่างน้ำและอาหารทะเล เพื่อใช้ในการทำนายแหล่งการปนเปื้อนและการเฝ้าระวังการปนเปื้อนของไอออนเงินในอาหารทะเล เพื่อยกระดับความปลอดภัยของอาหารทะเลต่อไป

## ผลผลิต (Output)

ผลงานตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ Pure and Applied Chemistry International Conference 2019 (PACCON 2019)

Apinya Navakhun and Antika Natongtam (2019) Determination of silver (I) in seafood samples by ultrasonic extraction method. In *Proceeding of Pure and Applied Chemistry International Conference 2019*. Bangkok, Thailand.

สถานะได้รับการตอบรับแล้วและรอการตีพิมพ์

## รายงานสรุปการเงิน

เลขที่โครงการระบบบริหารงานวิจัย 256101A1080013 สัญญาเลขที่ 11/2561  
โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)  
ประจำปีงบประมาณ พ. ศ. 2561  
มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อโครงการ การหาปริมาณการปนเปื้อนของอนุภาคนาโนของเงินและไอออนเงิน (I)  
ในผลิตภัณฑ์อาหาร

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

หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน ดร. อภิญา นวคุณ

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2560 ถึงวันที่ 30 มิถุนายน 2562

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี 6 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2561 .

### รายรับ

#### จำนวนเงินที่ได้รับ

งวดที่ 1 (50%)	325,000.00 บาท	เมื่อวันที่	15 พฤศจิกายน 2560
งวดที่ 2 (40%)	260,000.00 บาท	เมื่อวันที่	24 กรกฎาคม 2561
งวดที่ 3 (10%)	65,000.00 บาท	เมื่อวันที่	
รวม	650,000.00 บาท		

### รายจ่าย

รายการ	งบประมาณที่ตั้งไว้	งบประมาณที่ใช้จริง	จำนวนเงินคงเหลือ
ค่าตอบแทนผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัย	170,000	170,000	0.00
ค่าใช้สอย	57,000.00	57,000.00	0.00
ค่าวัสดุ	358,000.00	358,000.00	0.00
ค่าธรรมเนียมอุดหนุนสถาบัน	65,000.00	65,000.00	0.00
รวม	650,000.00	650,000.00	0.00

( )

ดร. อภิญา นวคุณ  
หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

## 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
- 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 Martínez, 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 ferriox. *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)-1-propanethiol coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles, *Food Chemistry*, 151, 300-305.
- 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.
- 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 มณีรัตน์โชติ, มะยูโซ๊ะ กูโน, สุจิตรา ศรีสังข์, (2561). การวิเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินปริมาณต่ำที่รวดเร็วในตัวกลางที่เป็นของเหลวโดยใช้สารเทียบสีที่มีความจำเพาะ, 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/emedial/nano/Page/Unit2-5.html>
- วีรพล ปฐุวาทานนท์, (2557). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนาโนซิลเวอร์จากธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ผ้าเช็ดทำความสะอาด, มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- ศิริพร จันทศิริ. (2547). *เคมีวิเคราะห์(การวิเคราะห์เชิงปริมาณ)*(พิมพ์ครั้งที่ 1), สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, (2553). เรื่องมุมมองกลับของนาโนซิลเวอร์, 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 สุวรรณบุรณ์, (2550). อิทธิพลของโพลีไวนิลไพโรลิโดนต่อการควบคุมขนาดอนุภาคซึ่งค่ออกไซด์ในระดับนาโนเมตร, ฐานข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานภาครัฐด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อภิญา นวคุณ. (2557). วิธีการเตรียมตัวอย่างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการสกัดระดับจุลภาค, วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 20, 227-235.
- เอี่ยมพร เอี่ยมแพร และคณะ, (2557). ประสิทธิภาพของพอลิยูรีเทนผสมนาโนซิลเวอร์ในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบฉวยโอกาส, วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับพิเศษ, มหาวิทยาลัยบูรพา.