

การวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุสังกะสีในตัวอย่างไม่น้ำผึ้งโดย
เทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรี

นุติเทพ ม่วงอ่อน

การศึกษาดิษระ เสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมี

เมษายน 2563

มหาวิทยาลัยพะเยา

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

คณะกรรมการสอบการศึกษานิพนธ์ อาจารย์ที่ปรึกษา และคณบดีคณะวิทยาศาสตร์
ได้พิจารณาการศึกษานิพนธ์ เรื่อง “การวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุสังกะสีในตัวอย่างน้ำผึ้ง
โดยเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชัน” เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ของมหาวิทยาลัยพะเยา

(ดร.ชัยวัฒน์ ลาพิน)

ประธานกรรมการ

(ดร.รัตติยา อินอุบล)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.วิไลวรรณ ภาคทอง)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชยันต์ บุญรัตน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

เมษายน 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.รัตติยา ณ อุบล ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำข้อคิดต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์เกี่ยวกับงานวิจัย รวมทั้งสนับสนุนงบประมาณในการทำการศึกษา และทำการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาดำเนินการศึกษา ทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชัยพัฒน์ ลาพิณี และอาจารย์ ดร.วิไลวรรณ ภาคทอง ที่ได้สละเวลาเป็นกรรมการสอบในครั้งนี้ ตลอดจนให้ความรู้ ข้อเสนอแนะและการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ทำให้รูปเล่มการศึกษาอิสระเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณะครูอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดจนข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในระหว่างการเรียนรู้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจตลอดระยะเวลาในการดำเนินการศึกษา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่อำนวยความสะดวก และให้ความรู้ในเรื่องอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ

อนึ่งผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่คณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาจนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ผู้ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนการศึกษาจนประสบผลสำเร็จมาโดยตลอด

ชื่อเรื่อง	การวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีในตัวอย่งน้ำผึ้งโดยเทคนิค เฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี
ผู้ศึกษาค้นคว้า	นายนุติเทพ ม่วงอ่อน
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.รัตติยา ณ อุบล
วิทยาศาสตร์บัณฑิต	สาขาเคมี
คำสำคัญ	สังกะสี, น้ำผึ้ง, เฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อศึกษาหาปริมาณสังกะสีในผลิตภัณฑ์น้ำผึ้ง โดยทำการสุ่มตัวอย่างน้ำผึ้ง 4 ตัวอย่างจาก อ.เชียงคำ อ.เชียงม่วน อ.แม่ใจ และ อ.ภูพานยาว ในจังหวัดพะเยา น้ำผึ้งตัวอย่างถูกนำมาเตรียมโดยวิธีการย่อยด้วยกรดรวมกับการให้ความร้อนโดยเตาไฟฟ้าชนิดให้ความร้อน (hotplate) ก่อนนำไปวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลโดยใช้เทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบ-ซอร์พชันสเปกโทรเมตรี (FAAS) ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทดลอง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมมีดังนี้ ค่าความยาวคลื่นแสงคือ 213.9 นาโนเมตร ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้กับหลอดฮอลโลแคโทดคือ 2.0 มิลลิแอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊ส อะเซทิลีนคือ 1.5 ลิตรต่อนาที และความกว้างของช่องแสงคือ 0.2 นาโนเมตร ตามลำดับ ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสังกะสีอยู่ในช่วง 0.00 – 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.996 ซีดจำกัดของการตรวจวัดและขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์คือ 0.078 และ 0.260 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าร้อยละการได้กลับคืนอยู่ในช่วง 90 – 100 % วิธีการนี้สามารถนำมาประยุกต์หาปริมาณโลหะอื่น ๆ ในน้ำผึ้งได้ เพราะเป็นวิธีที่ง่าย มีความถูกต้องและความแม่นยำสูง

Title	Determination of copper in soil samples by flame atomic absorption spectroscopy
Author	Mr. Nutitep Moung-on
Advisor	Dr. Rattiya Na Ubol
Bachelor of Science	Program in Chemistry
Keywords	Zinc, Honey, Flame Atomic Absorption Spectroscopy

ABSTRACT

This research aims to study the quantity of nickel in honey products. The four types of honey samples were collected from various districts in Phayao province such as Chiang-Kham, Chiang-Muan, Mae-Chai and Phu-Kam-Yaw. The samples were prepared using acid digestion with hot plate heating before their content was determined by flame atomic absorption spectrometry (FAAS). The optimum conditions for determining copper were also investigated. The condition obtained were 213.9 nm wavelength, 2.0 mA lamp current, 1.5 L/min⁻¹ flow rate of acetylene and 0.2 nm slit width, respectively. The linear relationship between absorbance and the concentration of copper was obtained over the range of 0.00 – 3.50 mg L⁻¹, with a correlation coefficient 0.996. The limit of detection and the limit of quantitation were 0.078 mg L⁻¹ and 0.260 mg L⁻¹, respectively. The recovery was found to be in the ranges of 90 – 100 %. The proposed method was successfully applied to the determination of other metals in honey samples with the advantages of simplicity, high accuracy and precision.

สารบัญ

หน้า

หน้าอนุมัติ.....	ก
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
บทคัดย่อ.....	ค
ABSTRACT.....	ง
สารบัญเรื่อง.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.5 ระยะเวลาที่ทำการทำวิจัย.....	3
1.6 สถานที่ทำการวิจัย.....	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.8 แนวทางในการนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์.....	3

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำผึ้ง

2.1.1 ความหมายของน้ำผึ้ง.....	4
2.1.2 วิธีการผลิตน้ำผึ้ง.....	4
2.1.3 คุณสมบัติของน้ำผึ้ง.....	5
2.1.4 ส่วนประกอบของน้ำผึ้ง.....	5

2.2 สังกะสี

2.2.1 คุณลักษณะเฉพาะ.....	7
2.2.2 ลักษณะทางเคมี.....	8
2.2.3 ประโยชน์ของสังกะสี.....	8
2.2.4 ความสำคัญต่อร่างกาย.....	9
2.2.5 ปริมาณสังกะสีที่แนะนำในความต้องการต่อวัน.....	9
2.2.6 พิษของสังกะสี.....	10

2.3 การวิเคราะห์โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรี (AAS)

2.3.1 หลักการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FAAS.....	11
2.3.2 เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS.....	11

2.4 องค์ประกอบ ของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

2.4.1 แหล่งกำเนิดแสง (light source).....	13
2.4.2 ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระ (The Atomization Process)...	15
2.4.3 โมโนโครมาเตอร์ (Monochromator).....	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.4 ดีเทคเตอร์ (detector).....	17
2.4.5 เครื่องประมวลผลและอ่านผล.....	17
2.5 การย่อยแบบเปียก (Wet digestion).....	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	22
3.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ.....	22
3.3 การเตรียมเครื่องแก้วและอุปกรณ์พลาสติก.....	23
3.4 ลักษณะของน้ำฝิ่งตัวอย่าง.....	23
3.5 การเตรียมสารละลาย.....	24
3.6 การเตรียมตัวอย่างน้ำฝิ่งห้รับการวิเคราะห์.....	24
3.7 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์เหล็กโดยเทคนิค FAAS	
3.7.1 การศึกษาค่าความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Wavelength).....	25
3.7.2 การศึกษาค่ากระแสไฟฟ้าให้กับหลอดฮอลโลแคโทด (Hollow cathode lamp current).....	25
3.7.3 การศึกษาผลของค่าความกว้างของช่องแสง (Slit width).....	25
3.7.4 การศึกษาอัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน (Flow rate of acetylene)	26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.8 การตรวจสอบสมรรถนะการวิเคราะห์ (Analytical performance)

3.8.1 การหาช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity)..... 26

3.8.2 การหาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) และ ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantization, LOQ)..... 26

3.8.3 การตรวจสอบความแม่นยำ (precisions)..... 27

3.9.4 การตรวจสอบความถูกต้อง (Accuracy)..... 27

3.10 การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีโดยใช้เครื่อง FAAS..... 28

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์โดยเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบ-ซอร์พชันสเปกโตรเมทรี

4.1.1 การศึกษาค่าความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 29

4.1.2 การศึกษาค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้กับหลอดฮอลโลแคโทดที่ใช้ในการวิเคราะห์ 30

4.1.3 การศึกษาค่าความกว้างของช่องแสงที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 32

4.1.4 การศึกษาอัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีนที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 34

4.2 การตรวจสอบสมรรถนะการวิเคราะห์ (Analytical performance)

4.2.1 การหาช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity)..... 36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) และ ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ).....	39
4.2.3 การศึกษาความแม่นยำ (Precision) ของการวิเคราะห์	40
4.2.4 การตรวจสอบความถูกต้อง (Accuracy).....	44
4.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีที่ตกค้างในตัวอย่างไม่พึง.....	45
บทที่ 5 สรุป	
5.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง.....	47
5.2 สรุปผลการตรวจสอบสมรรถนะในการวิเคราะห์ (Analytical performance).....	48
5.3 สรุปผลการวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงในตัวอย่างไม่.....	49
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	49
บรรณานุกรม.....	50
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	55
ภาคผนวก ข.....	75
ภาคผนวก ค.....	79

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ประวัติผู้วิจัย.....	82
----------------------	----

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1. ลักษณะของน้ำผึ้งตัวอย่าง.....	23
2. ค่าสภาพไวของการศึกษาหาความยาวคลื่นที่เหมาะสม.....	29
3. ค่าสภาพไวของการศึกษาหากระแสไฟฟ้าที่ให้กับหลอดฮอลโลแคโทดที่เหมาะสม....	31
4. ค่าสภาพไวของการศึกษาหาความกว้างของช่องแสงที่เหมาะสม.....	33
5. ค่าสภาพไวของการศึกษาหาอัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีนที่เหมาะสม.....	35
6. สภาวะของเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ในการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี.....	36
7. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีในช่วงความเป็นเส้นตรง.....	37
8. ค่าการดูดกลืนแสงของ Blank.....	39
9. ความแม่นยำ (Repeatability) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.10, 1.00 และ 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	41
10. ความแม่นยำ (Reproducibility) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.10, 1.00 และ 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	43
11. ร้อยละการได้กลับคืนของเครื่องมือ (% Recovery).....	45
12. ปริมาณสังกะสีที่พบในตัวอย่างน้ำผึ้ง.....	46
13. สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีในการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี.....	47
14. การตรวจสอบสมรรถนะในการวิเคราะห์ (Analytical performance).....	48
15. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่มีความยาวคลื่นแสง 213.9 นาโนเมตร.....	54

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
16. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความยาวคลื่นแสง 307.6 นาโนเมตร.....	55
17. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 2 มิลลิแอมแปร์.....	56
18. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 3 มิลลิแอมแปร์.....	57
19. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 มิลลิแอมแปร์.....	58
20. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 5 มิลลิแอมแปร์.....	59
21. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 6 มิลลิแอมแปร์.....	60
22. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 7 มิลลิแอมแปร์.....	61
23. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 8 มิลลิแอมแปร์.....	62
24. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 9 มิลลิแอมแปร์.....	63
25. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความกว้างของช่องแสง 0.2 นาโนเมตร.....	64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
26. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความกว้างของช่องแสง 0.5R นาโนเมตร.....	65
27. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความกว้างของช่องแสง 0.5 นาโนเมตร.....	66
28. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความกว้างของช่องแสง 1.0 นาโนเมตร.....	67
29. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่อัตราการไหลของแก๊ส อะเซทิลีน 1.5 ลิตรต่อนาที.....	68
30. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่อัตราการไหลของแก๊ส อะเซทิลีน 1.8 ลิตรต่อนาที.....	69
31. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่อัตราการไหลของแก๊ส อะเซทิลีน 2.0 ลิตรต่อนาที.....	70
32. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่อัตราการไหลของแก๊ส อะเซทิลีน 2.3 ลิตรต่อนาที.....	71
33. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่อัตราการไหลของแก๊ส อะเซทิลีน 2.5 ลิตรต่อนาที.....	72

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1. การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากสถานะพื้น (ground state) เป็นสถานะกระตุ้น (excited state).....	12
2. แผนภาพองค์ประกอบของเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer.....	13
3. หลอด Hollow cathode lamp (HCL).....	14
4. หลอด Electrodeless Discharge Lamps (EDL).....	15
5. การทำให้เกิดอะตอมอิสระของสังกะสีจากสารละลาย.....	16
6. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นแสง 213.9 และ 307.6 นาโนเมตร กับค่าสภาพไวของสารละลายมาตรฐานสังกะสี.....	30
7. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ให้กับหลอดฮอลโลแคโทดเท่ากับ 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0 และ 9.0 มิลลิแอมแปร์กับค่าสภาพไวของสารละลายมาตรฐานสังกะสี.....	32
8. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของช่องแสง 0.2, 0.5, 0.5R และ 1.0 นาโนเมตร กับค่าสภาพไวของสารละลายมาตรฐานสังกะสี.....	34
9. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีนที่ 1.5, 1.8, 2.0, 2.3 และ 2.5 ลิตรต่อนาที กับค่าสภาพไวของสารละลายมาตรฐานสังกะสี.....	35
10. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี (0.00 – 18.00 มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าการดูดกลืนแสง.....	38
11. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี (0.00 – 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าการดูดกลืนแสง.....	38
12. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแม่นยำของสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 0.10, 1.00 และ 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตรกับค่าการดูดกลืนแสง.....	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
13. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแม่นยำของสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 0.10, 1.00 และ 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตรกับค่าการดูดกลืนแสง.....	44
14. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 213.9 นาโนเมตร.....	55
15. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 307.6 นาโนเมตร.....	56
16. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่ค่ากระแสไฟฟ้า 2 มิลลิแอมแปร์.....	57
17. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่ค่ากระแสไฟฟ้า 3 มิลลิแอมแปร์.....	58
18. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 มิลลิแอมแปร์.....	59
19. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่ค่ากระแสไฟฟ้า 5 มิลลิแอมแปร์.....	60
20. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่ค่ากระแสไฟฟ้า 6 มิลลิแอมแปร์.....	61
21. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่ค่ากระแสไฟฟ้า 7 มิลลิแอมแปร์.....	62
22. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่ค่ากระแสไฟฟ้า 8 มิลลิแอมแปร์.....	63

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
23. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่ค่ากระแสไฟฟ้า 9 มิลลิแอมแปร์.....	64
24. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความกว้างของช่องแสง 0.2 นาโนเมตร.....	65
25. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความกว้างของช่องแสง 0.5R นาโนเมตร.....	66
26. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความกว้างของช่องแสง 0.5 นาโนเมตร.....	67
27. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความกว้างของช่องแสง 1.0 นาโนเมตร.....	68
28. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน 1.5 ลิตรต่อนาที.....	69
29. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน 1.8 ลิตรต่อนาที.....	70
30. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน 2.0 ลิตรต่อนาที.....	71
31. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน 2.3 ลิตรต่อนาที.....	72
32. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี กับค่าการดูดกลืนแสงที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน 2.5 ลิตรต่อนาที.....	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

น้ำผึ้งคือผลิตภัณฑ์ให้ความหวานที่เป็นที่นิยม เป็นน้ำผึ้งที่ได้มาตรฐาน คือมีน้ำอ้อยไม่เกินร้อยละ 20-21 โดยคุณภาพของน้ำผึ้งที่ได้มานั้นขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ หรือชนิดของเกสรดอกไม้ที่ผึ้งเก็บมาได้แก่ น้ำผึ้งจากดอกส้ม ดอกลำไย ดอกลิ้นจี่ และดอกไม้รวม โดยปกติน้ำผึ้งจะมี รส กลิ่น และสีที่แตกต่างกันออกไปตามแต่ละชนิดของพืชในพื้นที่ที่ผึ้งอาศัยอยู่ น้ำผึ้งประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 20 น้ำตาลชนิดต่าง ๆ เช่น กลูโคส ฟรักโทส และลิวโลส ประมาณร้อยละ 79 โดยมีปริมาณน้ำตาล ฟรักโทส มากกว่าน้ำตาล กลูโคส เล็กน้อยทำให้น้ำผึ้งไม่ตกผลึก และมีรสหวานมากกว่าน้ำตาลชนิดอื่น ๆ และยังมีกรดชนิดต่าง ๆ ในประมาณร้อยละ 0.5 ทำให้น้ำผึ้งมีรสเปรี้ยวเล็กน้อย โดยกรดที่พบมาก คือ กรดกลูโคนิก วิตามิน (ไรโบฟลาวิน ไนอะซิน) เอนไซม์ และแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส และสังกะสี ในประมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำผึ้งที่มีสีเข้ม จะมีปริมาณแร่ธาตุสูงกว่าน้ำผึ้งที่มีสีอ่อน ซึ่งจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบหลักของน้ำผึ้ง คือ น้ำตาล และเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายและนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย โดยน้ำผึ้ง 100 กรัม จะให้พลังงาน 303 แคลอรี^[1]

แร่ธาตุสังกะสี (Zinc)^[2] เป็นสารอาหารที่ไม่ให้พลังงาน แต่มีหน้าที่ในการควบคุมกระบวนการในการทำงานของร่างกายให้มีประสิทธิภาพ สามารถพบแร่ธาตุสังกะสีได้เกือบจะทุกเซลล์ของร่างกาย เพราะแร่ธาตุสังกะสีมีบทบาทสำคัญในการทำงานร่วมกับเอนไซม์ต่าง ๆ มากกว่า 300 ชนิด ดังนั้นปริมาณสังกะสีที่ควรได้รับต่ออาจแตกต่างกันตามแต่ละช่วงอายุ โดยธาตุเหล็กและช่วยสร้างเนื้อเยื่อใหม่ทำให้บาดแผลหายเร็ว แต่หากได้รับในปริมาณที่สูงเกินไปจะส่งผลเสียต่อร่างกายในระยะสั้นนั้นจะทำให้เกิดอาการที่รู้สึกได้คือ ท้องเสีย คลื่นไส้ อาเจียน เวียนศีรษะ เกร็งบริเวณ

กล้ามเนื้อท้อง และเกิดอาการผิดปกติในระบบทางเดินอาหารในระยะยาวนั้นจะส่งผลกระทบต่อ การเพิ่มขึ้นของระดับคลอเลสเทอรอลเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ และโรคที่เกี่ยวกับหลอดเลือด

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีในน้ำผึ้ง โดยใช้เทคนิคเพลม-อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมทรี เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคน้ำผึ้งในพื้นที่จังหวัดพะเยา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะสังกะสีในน้ำผึ้งด้วยเครื่องเทคนิคเพลมอะตอมมิกแอบซอร์พ-ชันสเปกโตรมิเตอร์
2. เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่เป็นพิษในน้ำผึ้งด้วยย่อยแบบเปียก
3. เพื่อเป็นข้อมูลเผยแพร่แก่ผู้บริโภค

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. ปริมาณแร่ธาตุสังกะสีที่สามารถวิเคราะห์ได้ในน้ำผึ้งแต่ละแห่งมีปริมาณที่แตกต่างกัน
2. ปริมาณแร่ธาตุที่สำคัญขึ้นอยู่กับน้ำผึ้งในแต่ละแหล่ง

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองของเครื่องเทคนิคเพลมอะตอมมิกแอบซอร์พ-ชันสเปกโตรมิเตอร์

1.4.1.1 การศึกษาค่าความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Wavelength)

1.4.1.2 การศึกษาค่ากระแสของไฟฟ้าที่ให้กับหลอดฮอลโลแคโทด (Hallow cathode lamp current)

1.4.1.3 การศึกษาผลของค่าความกว้างของช่องแสง (Slit width)

1.4.1.4 การศึกษาค่าอัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน

1.4.2 การตรวจสอบสมรรถนะวิเคราะห์ (Analytical performance)

1.4.2.1 การหาความเป็นเส้นตรง (Linearity)

1.4.2.2 การหาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Detection limit)

1.4.2.3 การตรวจสอบความแม่นยำของการวิเคราะห์ (Precision)

1.4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ (Accuracy)

1.4.4 การวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุสังกะสีในตัวอย่างไม่น้ำผึ้งจาก 4 อำเภอ ได้แก่ อ.เชียงคำ อ.เชียงม่วน อ.ภูพานยาว และอ.แม่ใจ ในจังหวัดพะเยาโดยเทคนิคเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบ-ซอร์พชันสเปกโตเมตรี

1.5 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

เดือนธันวาคม 2562 ถึง เดือนเมษายน 2563

1.6 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการเคมี SC 4311 และ SC3310 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ได้ทักษะการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ในระหว่างการทำกรวิจัย
2. ทำให้ทราบถึงแนวทางวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่เป็นพิษในน้ำผึ้ง
3. ทำให้ทราบถึงวิธีการเตรียมตัวอย่างน้ำผึ้งโดยวิธีการย่อยแบบเปียก
4. ทำให้สามารถนำข้อมูลและความรู้ที่ได้จากการศึกษาการวิจัยนี้มาเป็นแนวทางในการปรับปรุงและการพัฒนากระบวนการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุในน้ำผึ้งต่อไป

1.8 แนวทางการนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะสังกะสีในตัวอย่างไม่น้ำผึ้งโดยเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตเมตรี
2. การเตรียมตัวอย่างโดยเทคนิคการย่อยแบบเปียกมาใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในตัวอย่างน้ำผึ้งแหล่งอื่นและตัวอย่างชนิดอื่น ๆ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำผึ้ง^[3]

2.1.1 ความหมายของน้ำผึ้ง

น้ำผึ้ง เป็นผลผลิตของน้ำหวานจากดอกไม้ และจากแหล่งน้ำหวานอื่น ๆ ที่ผึ้งงานนำมาเก็บสะสมไว้ และผ่านขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางกายภาพบางประการ แล้วสะสมไว้ในรังผึ้ง

2.1.2 วิธีการผลิตน้ำผึ้ง

เมื่อผึ้งงานเก็บน้ำหวานจากดอกไม้ลงสู่กระเพาะน้ำหวาน จะมีเอนไซม์จากต่อมน้ำลายขับออกมาเปลี่ยนหรือเมตาบอลิซึมน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโทสให้เป็นน้ำตาลแปรรูป (Invert Sugar) คือ น้ำตาลสปีกูลอส เดกซ์โทรส และมอลโทส นอกจากนั้นยังมีน้ำตาลอื่น ๆ อีก แต่มีจำนวนน้อยมาก ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นตั้งแต่ผึ้งเริ่มบินกลับรัง ในขณะที่ผึ้งกระพือปีกจะเกิดพลังงานความร้อนช่วยเร่งการทำงานของเอนไซม์ ตลอดจนช่วยเผาผลาญลดความชื้นในน้ำหวานให้กลายเป็นน้ำผึ้งเร็วขึ้น เมื่อผึ้งงานกลับถึงรัง จะคายน้ำหวานแปรรูปนี้ให้กับผึ้งงานประจำรัง ซึ่งจะรับกันด้วยปากต่อกัน น้ำหวานแปรรูปนี้ยังไม่เป็นน้ำผึ้งที่สมบูรณ์ เพราะยังมีความชื้นหรือน้ำในน้ำหวานจำนวนมากถึง 30-40% ต่อมาผึ้งงานประจำรัง จะนำน้ำหวานนี้ไปเก็บในหลอดรวงน้ำผึ้ง ตอนเย็นผึ้งกลับรังกันเป็นส่วนใหญ่จะช่วยกันกระพือปีก ช่วยให้มีการระเหยของน้ำหวานอีก จนได้น้ำผึ้งที่สมบูรณ์ คือ มีน้ำเหลืออยู่เพียง 20-25% เท่านั้น หลังจากนั้นผึ้งงานจะใช้ไขปิดหลอดรวงที่เก็บน้ำผึ้งไว้เพื่อให้พลังงานในชีวิตประจำวัน และยามขาดแคลนอาหารต่อไปเมื่อผึ้งงานสร้างฝาขี้ผึ้งปิดฝาหลอดรวงแล้ว แสดงว่าน้ำผึ้งเข้มข้นได้ที่แล้ว ผู้เลี้ยงจะนำรวงผึ้งมาปาดฝารวงด้วยมีดปาดฝา แล้วจึงนำรวงผึ้งนั้นเข้าเครื่องสกัดหมุน ให้น้ำผึ้งไหลออกจากรวงโดยแรงเหวี่ยง จะได้น้ำผึ้ง

ที่สะอาด แต่อาจมีเศษไขผึ้ง หรือชิ้นส่วนต่าง ๆ ติดมา จึงต้องกรองด้วยผ้ากรอง แล้วเก็บไว้ในถังสูง ที่มีฝาปิดมิดชิดป้องกันมดและฝุ่นละอองตกลงไปในถัง การบรรจุน้ำผึ้งจากถังลงสู่ขวดจะไขก็อกให้น้ำผึ้งจากกันถังลงสู่ขวดบรรจุทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้มีฟองอากาศติดปนเข้ามา

2.1.3 คุณสมบัติของน้ำผึ้ง

2.1.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

ที่อุณหภูมิ 20 °C มีความถ่วงจำเพาะ 1.4225

น้ำผึ้ง 3,785 มิลลิลิตร (1 แกลลอน)หนัก 5,375 กรัม

น้ำผึ้ง 0.453 กิโลกรัม (1 ปอนด์) มีปริมาตร 318.9 มิลลิลิตร

2.1.3.2 พลังงานคิดเป็นแคลอรี

น้ำผึ้ง 0.453 กิโลกรัม (1 ปอนด์) ให้พลังงาน 1,380 แคลอรี

น้ำผึ้ง 100 กรัม ให้พลังงาน 303 แคลอรี

2.1.4 ส่วนประกอบของน้ำผึ้ง

1. ปริมาณความชื้น น้ำผึ้งที่ดีควรมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 21 เพื่อให้มีรสชาติที่เข้มข้น สามารถเก็บไว้ได้นานโดยจะเปลี่ยนแปลงสภาพเพียงเล็กน้อย และป้องกันไม่ให้น้ำผึ้งเสียคุณค่าจากการหมัก

2. น้ำตาลของน้ำผึ้ง น้ำผึ้งเป็นแหล่งของสารอาหารคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ เพราะถ้าหักปริมาณน้ำหรือความชื้นออกเสียแล้ว ร้อยละ 95-99 ที่เหลือจะเป็นน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ชนิดที่สำคัญคือ น้ำตาลสปีกูลอส (ฟรุคโทส) และเดกซ์โทรส (กลูโคส) ที่ผึ้งย่อยสลายจากน้ำตาลซูโครสในน้ำหวาน น้ำตาลทั้งสองชนิดซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ที่ร่างกายสามารถดูดซึมไปสร้างพลังงานได้ทันที และทำให้น้ำผึ้งมีคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ อีกหลายอย่าง เช่น ดูดความชื้นจากบรรยากาศได้น้ำผึ้งที่ดีควรมีน้ำตาลทั้งสองชนิดไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 นอกจากน้ำตาลสปีกูลอสยังมีความหวานมากกว่าน้ำตาลทราย 1.6 เท่า ขณะที่ร่างกายดูดซึมได้ช้า จึงสามารถใช้เป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลทั่วไปได้ สำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนักในระดับที่ไม่เคร่งครัดนัก น้ำผึ้งที่ได้

จากน้ำหวานดอกไม้อาจมีน้ำตาลลิวโลสมากกว่าน้ำตาลเดกซ์โทรส นอกจากนี้น้ำตาลทั้งสองชนิดแล้ว น้ำผึ้งยังประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส มอลโทส แล็กโทส และน้ำตาลอื่น ๆ รวม 17 ชนิด

3. กรดในน้ำผึ้ง เนื่องจากน้ำผึ้งมีรสหวานจัด รสเปรี้ยวของสภาพความเป็นกรดจึงถูกปิดบังเอาไว้ กรดในน้ำผึ้งมีหลายชนิด เช่น กรดฟอร์มิก อะซีติก มิวทาร์ค ซิตริก มาลิก และซักซินิก กรดที่สำคัญที่สุดในน้ำผึ้งคือ กรดกลูโคนิก ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเดกซ์โทรส ในน้ำผึ้งยังมีกรดอะมิโนถึง 16 ชนิด และยังมีกรดอินทรีย์ คือ กรดฟอสฟอริก และกรดเกลือ (ไฮโดรคอสลริก) อีกด้วย

4. แร่ธาตุในน้ำผึ้ง ปริมาณต่ำ (ส่วนของแร่ธาตุต่าง ๆ) ในน้ำผึ้งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.17% ของน้ำหนักน้ำผึ้ง แร่ธาตุที่พบในน้ำผึ้ง ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม โซเดียม สังกะสี เหล็ก แมงกานีส และ ทองแดง ปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำผึ้งแม้จะมีไม่มากนัก แต่ก็อยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม การเติมน้ำผึ้งลงไปแทนน้ำตาลในอาหารชนิดต่าง ๆ ก็เป็นการเพิ่มปริมาณแร่ธาตุที่จำเป็นแก่ร่างกาย และยังเป็น การเพิ่มคุณค่าทางอาหารอย่างอื่นอีกด้วย

5. เอนไซม์ในน้ำผึ้ง เอนไซม์ คือสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต มีหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในเซลล์นั้น ๆ เอนไซม์สำคัญที่สุดที่พบในน้ำผึ้ง คือ “อินเวอร์เทส” ซึ่งมีหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลซูโครสในน้ำหวานของดอกไม้ให้เป็นน้ำตาลแปรสภาพ คือ น้ำตาลเดกซ์โทรสและลิวโลส ในน้ำผึ้งมีเอนไซม์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งคือ “ไดแอสเทส” (หรืออัมเลส) เอนไซม์ชนิดอื่น ๆ ในน้ำผึ้งมี เอนไซม์คาตาเลส และฟอสฟาเทส และในรายงานล่าสุดพบว่าในน้ำผึ้งมีเอนไซม์อีกชนิดหนึ่งคือ กลูโคออกซิเดส เป็นเอนไซม์จากฟาริงเกลสเกลนด์ของผึ้ง ทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นกรดกลูโคนิก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือ “อินฮิบิท” ที่ทำหน้าที่ยับยั้งและทำลายเชื้อโรคได้

6. วิตามินในน้ำผึ้ง ในน้ำผึ้งมีวิตามินอยู่หลายชนิด ได้แก่ ไทอามีน (บี1) ไรโบฟลาวิน (บี2) กรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) ไพริดอกซิน (บี6) กรดแพนโทนิค กรดนิโคตินิก หรือที่เรียกรวมกลุ่มว่า วิตามินบีคอมเพล็กซ์ ปริมาณวิตามินในน้ำผึ้งแต่ละชนิดแตกต่างกันตามที่มาของน้ำผึ้ง เดกซ์ทรินในน้ำผึ้ง เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลของกลูโคสต่อกันเป็นโซ่ยาว เป็นส่วนที่ทำให้ น้ำผึ้ง ชุ่มคอและเคลือบผิว

7. สารแขวนลอยในน้ำผึ้ง สารแขวนลอย หมายถึง โมเลกุลขนาดใหญ่ที่เกิดจากการรวมกลุ่มกันของโมเลกุลขนาดเล็ก และกระจายตัวอยู่ในของเหลวนั้น ๆ โมเลกุลของสารแขวนลอยจะไม่ตกตะกอน สารแขวนลอยส่วนใหญ่ในน้ำผึ้งจะเป็นเกสรดอกไม้ ทั้งที่ไม่ถูกน้ำย่อยย่อย และที่ถูกน้ำย่อยย่อยแล้วบางส่วน และพบว่ามีโปรตีน 4-7 ชนิด ในปริมาณที่แตกต่างกัน ปริมาณโปรตีนในน้ำผึ้งจะมีอยู่ประมาณ 0.1-0.6%

8. อินฮิบิท หรือ คุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อโรคของน้ำผึ้ง สารอินฮิบิทมีผลต่อต้านเชื้อโรคเพราะมีการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปฏิกิริยาเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นกลูโคสในแลคโตน โดยเอนไซม์กลูโคออกซิเดส จึงมีการนำน้ำผึ้งมาใช้ในการรักษาบาดแผลสด ไฟไหม้ น้ำร้อนลวก แผลติดเชื้อ สารกระตุ้นปฏิกิริยาทางชีวภาพอื่น ๆ ในน้ำผึ้ง วิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำผึ้งนับว่าเป็นส่วนหนึ่งของสารที่กระตุ้นปฏิกิริยาทางชีวภาพด้วย แต่ในน้ำผึ้งยังมีอีกหลายอย่างที่วิทยาศาสตร์ปัจจุบันไม่สามารถค้นพบได้ มีการทดลองหลายอย่างที่พิสูจน์ว่าน้ำผึ้งมีส่วนในการกระตุ้นปฏิกิริยาทางชีวภาพ เช่น ช่วยการสร้างรากของกิ่งไม้ ช่วยในการเจริญเติบโตของยีสต์ ช่วยเร่งน้ำย่อย ช่วยให้เจริญอาหาร และช่วยในการเจริญเติบโตตามภาวะปกติ หรือยามเจ็บป่วย

2.2 สังกะสี^[4]

สังกะสี (Zn) เป็นโลหะธาตุสีเงิน มันวาว ที่นิยมนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมมากมาย สำหรับเป็นโลหะโครงสร้างหรือโลหะผสมกับโลหะอื่นสำหรับประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ นอกจากนั้นสังกะสียังเป็นแร่ธาตุหนึ่งที่สามารถพบได้ในร่างกายมนุษย์ และสัตว์ เนื่องจากจัดเป็นแร่ที่ร่างกายต้องการชนิดหนึ่ง

2.2.1 คุณสมบัติเฉพาะ

- เลขอะตอม : 30
- น้ำหนักอะตอม (กรัม/โมล) : 65.39
- โครงสร้างผลึก : hexagonal close-packed
- จุดเดือด (°C) : 907

- จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$) : 419.5
- ความหนาแน่น ที่ 25°C (กรัม/ลบ.ซม.) : 7.133
- ความร้อนจำเพาะ ที่ 25°C (แคลอรี/กรัม) : 0.0925
- ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (แคลอรี/กรัม) : 24.4
- ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (แคลอรี/กรัม) : 419.5
- การจัดระดับอิเล็กตรอน : $[\text{Ar}] 4s^2 3d^{10}$
- ออกซิเดชัน : +2
- ปฏิกิริยารีดอกซ์ของ Zn^{2+} : $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Zn}(\text{s})$
- ค่าความต่างศักย์, E° (volts) : -0.763
- รัศมีไอออน Zn^{2+} (nm) : 0.074
- รัศมีอะตอม Zn (nm) : 0.133

2.2.2 ลักษณะทางเคมี

สังกะสีเป็นโลหะที่ไวต่อปฏิกิริยาเคมี จึงไม่พบแร่สังกะสีอิสระในธรรมชาติเนื่องจากสังกะสีจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับแร่ธาตุอื่นที่เสถียรเลขออกซิเดชันสังกะสีที่เป็นสารประกอบที่เสถียรที่สุด คือ สารประกอบสังกะสี ที่มีประจุ +2 แร่สังกะสีบริสุทธิ์จะมีลักษณะขาววาว คล้ายเงิน แต่จะขุ่นมัวเมื่อถูกอากาศ เพราะเกิดออกไซด์ที่ผิว (ZnO) ที่มีลักษณะเป็นชั้นบาง ๆ เคลือบพื้นผิว ซึ่งมีข้อดีที่ช่วยป้องกันไม่ให้เนื้อโลหะข้างในถูกออกซิไดส์ต่อ คุณสมบัติของสังกะสีนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านการชุบผิวเหล็กด้วยสังกะสีเพื่อป้องกันสนิม

2.2.3 ประโยชน์ของสังกะสี

สังกะสีเป็นโลหะในหมู่เดียวกับปรอท มีลักษณะสีเงิน มันวาว หลอม และขึ้นรูปได้ง่าย มีความทนต่อการเกิดสนิม มีความแข็ง แต่เปราะง่าย ไม่สามารถดัดโค้งงอตามรูปที่ต้องการได้ เนื่องจากเปราะ และมีจุดหลอมเหลวต่ำเมื่อเทียบกับโลหะอื่น เช่นทอง ที่ดัดโค้งงอได้ดีกว่า

1. เป็นโลหะสำคัญที่ใช้เป็นโลหะผสมกับโลหะชนิดอื่นเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติโลหะต่าง

2. เป็นโลหะที่ใช้เคลือบโลหะอื่นๆสำหรับป้องกันการเกิดสนิม
3. ใช้ผลิตทองเหลือง (สังกะสีผสมทองแดง)
4. ใช้ผลิตสังกะสีผงหลังคา
5. ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) มีลักษณะสีขาวใช้เป็นส่วนผสมผลิตสีเคลือบ สีทา และใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์
6. ซิงค์คาร์บอเนต (ZnCO₃) ใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมยา เช่น ยาทาแก้อาการคันตามผิวหนัง
7. ซิงค์ซัลเฟต (ZnSO₃) ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ
8. ซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) ใช้เป็นสีขาวในอุตสาหกรรมยาง ใช้เคลือบเป็นฉากร่องแสงในหลอดฟลูออเรสเซนต์ของโทรทัศน์ และใช้เป็นส่วนผสมของสีพรายน้ำ
9. ซิงค์ไฮดรอกไซด์ (Zn(OH)₂) ใช้ในอุตสาหกรรมยาง
10. ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl₂) ใช้เป็นสารป้องกันเชื้อราในอุตสาหกรรมกระดาษ และไม้อัด
11. ซิงค์ไพริดีนไทโอน (zinc pyridinethione) ใช้เป็นส่วนผสมในน้ำยาหรือแชมพูสระผม ป้องกันรังแค

2.2.4 ความสำคัญต่อร่างกาย

สังกะสีถือเป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่จำเป็นต่อร่างกาย และต้องได้รับเป็นประจำ เนื่องจากเป็นแร่ธาตุที่มีบทบาทสำคัญหลายประการต่อร่างกาย ได้แก่

1. ช่วยกระตุ้นการสร้าง และการซ่อมแซมหนังกำพืด
2. ช่วยกระตุ้นการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล
3. ช่วยในกระบวนการสร้างเอนไซม์ ระบบภูมิคุ้มกัน การสร้างสารพันธุกรรม และการซ่อมแซมบาดแผล

2.2.5 ปริมาณสังกะสีที่แนะนำในความต้องการต่อวัน

1. ช่วง 0-6เดือน ชาย และหญิง 2 มิลลิกรัม/วัน

2. ช่วง 7-12 เดือน ชาย และ หญิง 3 มิลลิกรัม/วัน
3. ช่วง 1-3 ปี ชาย และ หญิง 3 มิลลิกรัม/วัน
4. ช่วง 4-8 ปี ชาย และ หญิง 5 มิลลิกรัม/วัน
5. ช่วง 9-13 ปี ชาย และ หญิง 8 มิลลิกรัม/วัน
6. ช่วง 14-18 ปี ชาย 11 มิลลิกรัม/วัน และ หญิง 9 มิลลิกรัม/วัน
7. ช่วง 19 ปี ขึ้นไป ชาย 11 มิลลิกรัม/วัน และ หญิง 8 มิลลิกรัม/วัน

2.2.6 พิษของสังกะสี

2.2.6.1 การได้รับสังกะสีจากภาวะมลพิษ

สังกะสีที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมมักเกิดจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมที่บำบัดไม่หมดหรือการผลิตภัณฑ์ที่มีสังกะสีเป็นส่วนประกอบ มลพิษที่ปนเปื้อนสังกะสีมักอยู่ในรูปของฝุ่นหรือไอสารที่ลอยในอากาศ ซึ่งมีโอกาสสัมผัส และได้รับสารได้ง่าย โดยเฉพาะคนงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ฝุ่นหรือไอของซิงค์ออกไซด์สามารถทำให้เกิดความระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ส่วนการสัมผัสทางผิวหนังเป็นเวลานานจะทำให้เกิดผิวหนังอักเสบอย่างรุนแรง ที่เรียกว่า โรคออกไซด์พ็อกซ์ (oxide pox) อาการเมื่อได้รับฝุ่นหรือไอของสังกะสีในปริมาณมากจากการสูดดมจะเกิดอาการระคายเคืองน้ำ ไอ หลอดลมอักเสบ ปอดบวม เหนื่อยล้าง่าย อ่อนแรง มีอาการปวดกล้ามเนื้อ คลื่นไส้ มีไข้ มีอาการหนาวสั่น และผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งมักเกิดภายใน 4-12 ชั่วโมง หลังการสัมผัส อาการเหล่านี้จะหายเป็นปกติภายใน 1-2 เรียกชื่อโรคนี้ว่า โรคไข้วันจันทร์ (Monday fever) หรือโรคไข้พิษโลหะ (metal fume fever)

2.2.6.2 การปนเปื้อนจากอาหารและน้ำดื่ม

สารประกอบซิงค์ออกไซด์มักปะปนในแหล่งน้ำหรืออาหารได้ง่าย โดยเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ใกล้แหล่งแร่สังกะสี เมื่อร่างกายได้รับสาร และสะสมเป็นเวลานานจะก่อให้เกิดความผิดปกติ และพบอาการเลือดออกในระบบทางเดินอาหาร ตามประกาศที่ออกโดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ได้กำหนดให้มีสังกะสีปนเปื้อนในแหล่งน้ำไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร การเกิดพิษในระบบทางเดินอาหารจากการกินสังกะสีเข้าไปจะเกิดกัด

กร่อนบริเวณทางเดินอาหารส่วนต้น ได้แก่ หลอดอาหาร และกระเพาะอาหาร ทำให้มีอาการ อักเสบ ปวดท้องอย่างรุนแรง และอาจทำให้ทางเดินอาหารตีบตันได้

2.2.6.3. ผลกระทบต่ออาหารเสริมสังกะสี

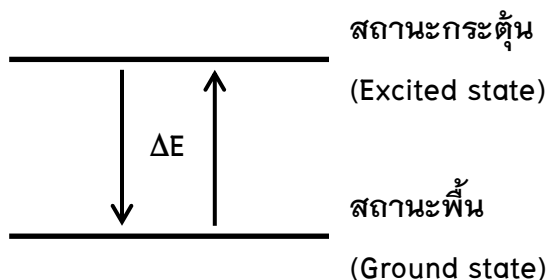
ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสังกะสี ทั้งในรูปแบบของอาหารเสริมสังกะสีชนิดเม็ด และ ชนิดน้ำ หากผู้บริโภครับประทานในจำนวนมากที่เกินความต้องการของร่างกายมักทำให้เกิดอาการ เหมือนการได้รับซิงค์ออกไซด์ในข้อที่ 2 ที่กล่าวมา

2.3 การวิเคราะห์โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรี

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำดื่มโดยการใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่งเพราะเป็นเทคนิคที่สะดวก รวดเร็ว มีความเที่ยง แม่นยำ และมีสภาพไวสูง สามารถวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่มีปริมาณ น้อยได้ ประกอบกับค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ไม่สูงมากนัก ดังนั้นห้องปฏิบัติการวิเคราะห์โดยทั่วไป มักนิยมใช้เทคนิคนี้กันมาก สามารถใช้วิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้มากถึง 67 ธาตุทำให้การใช้งาน เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.1 หลักการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการ วิเคราะห์ธาตุ (metal element) ที่อยู่ในตัวอย่างทดสอบ ด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy ซึ่งเป็นกระบวนการที่อะตอมอิสระ (free atom) ของธาตุ ดูดกลืน (absorb) แสงที่มีความยาวคลื่นระดับหนึ่งโดยเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับธาตุแต่ละธาตุเนื่องจากธาตุแต่ละ ชนิดมีระดับของพลังงานแตกต่างกันจึงมีการดูดกลืนพลังงาน ได้แตกต่างกันพลังงานที่พอดี กับคุณสมบัติเฉพาะของธาตุจะทำให้อิเล็กตรอนของธาตุนั้น ๆ เปลี่ยนสถานะจากสถานะ พื้น (ground state) ไปเป็นสถานะกระตุ้น (excited state)^[6]

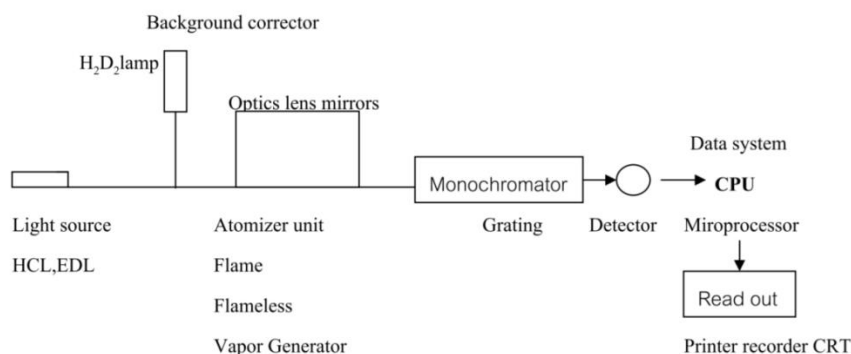


ภาพ 1 การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากสถานะพื้น (ground state) เป็นสถานะกระตุ้น (excited state)

2.3.2 เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรี

1. ใช้ Flame Atomization Technique เทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็น อะตอมด้วยเปลวไฟ (flame) ที่เหมาะสม
2. ใช้ Flameless Technique หรือ Non-flame Atomization Technique เทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างสลายตัวเป็นอะตอมได้ด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (graphite furnace หรือ electrothermal atomizer) โดยสามารถโปรแกรมให้อุณหภูมิของการให้ความร้อนมีค่าต่างกันและใช้เวลาต่างกันได้
3. ใช้ Hydride Generation Technique เนื่องจากมีธาตุบางชนิดจะเปลี่ยนให้เป็นอะตอมโดยตรงด้วยเทคนิคที่ 1 และ 2 ไม่ได้จึงจำเป็นต้องใช้วิธีที่ให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนเพื่อ ป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจนของธาตุเหล่านี้ ดังนั้น จึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านี้กลายเป็นไอได้ง่าย ที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์ให้เป็นไฮไดรด์ แล้วให้ไฮไดรด์นั้นผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจน ความร้อนจากเปลวไฟไฮโดรเจนทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระได้ เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ สารหนู ซีลีเนียม เทลลูเรียม เจอร์เมเนียม บิสมัท และ พลวง
4. ใช้ Cold Vapor Generation Technique สำหรับเทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ธาตุ บางชนิดที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นไอได้ง่าย ซึ่งได้แก่การวิเคราะห์ปรอทที่มีปริมาณน้อยโดยเฉพาะ

เพื่อความเข้าใจถึงขั้นตอนของเทคนิคการวิเคราะห์ทางอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรี ตลอดทั้งหน้าที่ของส่วนต่าง ๆ ของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยจะอธิบายพอสังเขป ดังภาพ 2



ภาพ 2 แผนภาพองค์ประกอบของเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

(ที่มา : <http://www2.diw.go.th/Research/เอกสารเผยแพร่/เครื่องAAS.pdf>)

2.4 องค์ประกอบ ของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

องค์ประกอบที่สำคัญต่าง ๆ ของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์มี 5 ส่วนด้วยกัน คือ

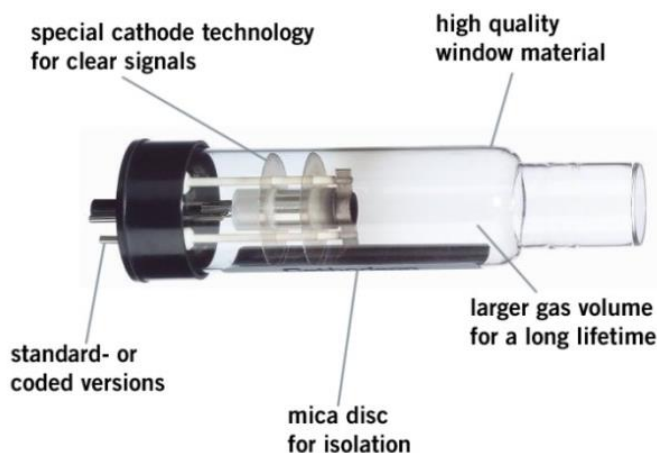
2.4.1 แหล่งกำเนิดแสง (light source)

โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงใช้เป็น hollow cathode lamps (HCL) และ electrodeless discharge lamps (EDL) ซึ่งมีใช้เฉพาะบางธาตุเท่านั้น ทั้งสองชนิดนี้มีคุณสมบัติ และลักษณะเฉพาะแตกต่างกัน ดังนี้

2.4.1.1 Hollow cathode lamp (HCL)

ลักษณะของ HCL ประกอบด้วยขั้วแคโทด ซึ่งเป็นโลหะทำเป็นรูปทรงกระบอกกลวงหรือ รูปถ้วยฉาบด้วยโลหะหรือเป็นผงโลหะที่ต้องการให้ถูกกระตุ้น เพื่อให้ได้สเปกตรัมที่มี resonance lines ส่วนขั้วแอโนด anode ทำด้วยโลหะนิกเกิล หรือ ทังสแตน หรือซีโดเนียมเป็นแท่งเล็ก ๆ ภายในหลอดแก้วบรรจุด้วยแก๊สนีออน หรืออาร์กอนที่ความดันประมาณ 4-10 ทอร์ หรือ

window อาจเป็นแก้วโพเร็กซ์หรือควอร์ต ถ้าสเปกตรัมอยู่ในช่วงยูวี window ต้องทำด้วยควอร์ตหรือซิลิกา ถ้าสเปกตรัมอยู่ในช่วงวิลิเบลก็อาจใช้แก้วโพเร็กซ์หรือควอร์ต ในการใช้หลอด HCL window จะต้องสะอาดและต้องใช้กระแสไฟฟ้าที่อยู่ในช่วง 3-30 มิลลิแอมแปร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุเมื่อใช้กระแสไฟฟ้ามาก ๆ จะทำให้อายุของหลอดสั้น แต่ได้แสงมีความเข้มสูงเป็นการเพิ่ม S/N ratio

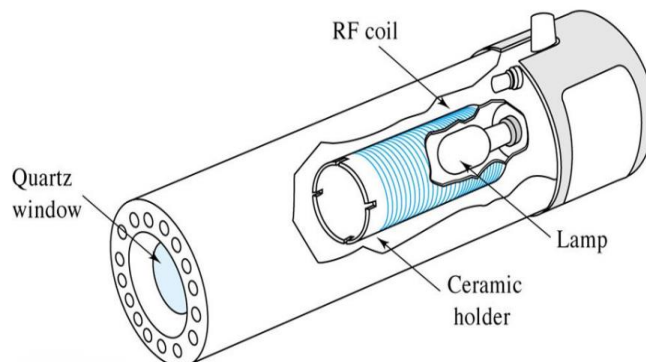


ภาพ 3 หลอด Hollow cathode lamp (HCL)

(ที่มา : https://www.heraeus.com/en/hng/home_hng/home_noblelight.html)

2.4.1.2 Electrodeless Discharge Lamps (EDL)

เป็น light source ในการหาปริมาณของธาตุบางธาตุ ได้แก่ บิสมัท แคดเมียม พรอท สารหนู ฟอสฟอรัส ตะกั่ว พลวง ซีลีเนียม เทลลูเรียม แทลเลียม และ สังกะสี โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลอดนี้ได้รับการแนะนำให้ใช้หาปริมาณของ สารหนู ซีลีเนียม และ พรอท เพราะให้สภาพไว (sensitivity) ที่ดีกว่า นอกจากนี้ EDL ยังให้ความเข้มของแสงสูงกว่า ซึ่งทำให้เพิ่มขีดจำกัดของการตรวจหาได้ดีอีกด้วย



ภาพ 4 หลอด Electrodeless Discharge Lamps (EDL)

(ที่มา : M.S.H. Akash, K. Reham, 2019)

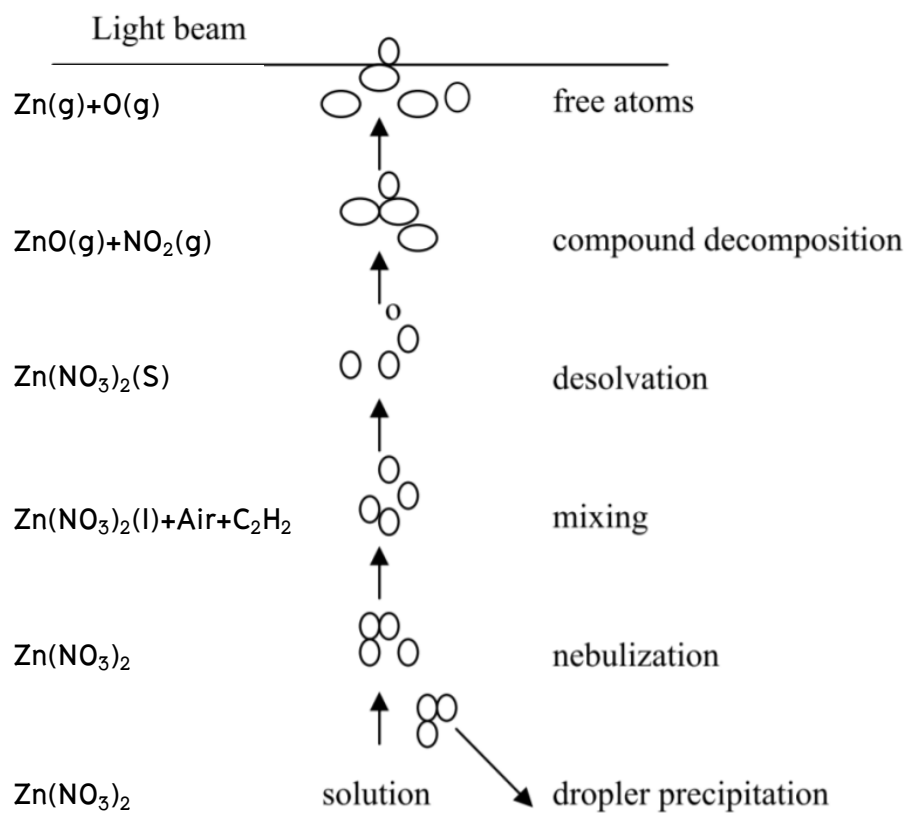
2.4.2 ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระ (The Atomization Process หรือ Atomizer)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรีนั้นจะประสบความสำเร็จมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณของอะตอมอิสระของธาตุที่ทำให้เกิดขึ้น เพราะอะตอมอิสระเป็นตัวดูดกลืนแสงที่จะทำการวัดโดยเลือกใช้ความยาวคลื่นของแสงที่เหมาะสมผ่านเข้าไป ดังนั้น ความสำคัญจึงขึ้นอยู่กับทำให้ธาตุที่มีอยู่ในสารละลายตัวอย่างนั้นแตกตัวเป็นอะตอมอิสระที่สถานะพื้นได้มาก วิธีที่นิยมใช้กันคือ กระบวนการทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมอิสระด้วยเปลวไฟ (Flame Atomization) กระบวนการนี้สารตัวอย่างจะต้องเป็นสารละลายที่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีสารแขวนลอยอยู่ ตัวทำละลายจะเป็นน้ำหรือสารอินทรีย์ก็ได้ กระบวนการ atomization มี 5 ขั้นตอน คือ

1. Nebulization เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองเล็ก ๆ (Mist) ด้วยเครื่องที่เรียกว่า Nebulizer
2. Droplet precipitation เป็นกระบวนการที่ละอองเล็ก ๆ ของสารละลายรวมกันเป็นหยด สารละลายไม่สารสามารถจะลอยอยู่ในอากาศได้ จึงตกลงมาแล้วออกไปทางท่อน้ำทิ้ง (Drain)
3. Mixing เป็นกระบวนการที่ละอองเล็ก ๆ ของสารละลายเกิดผสมกับแก๊สเชื้อเพลิง (Fuel) และออกซิแดนซ์ใน Spray chamber ของ Nebulizer

4. Desolvation เป็นกระบวนการที่ตัวทำละลายที่อยู่บนละอองเล็กนั้นถูกกำจัดไปทำให้เกิดเป็นอนุภาคขนาดเล็กของสารประกอบ กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นตอนล่างของเปลวไฟ

5. Compound decomposition เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ โดยที่พลังงานความร้อนจากเปลวไฟจะไปทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นออกไซด์ เป็นโมเลกุลและเป็นอะตอมอิสระ บางครั้งอาจเกิดการกระตุ้นหรือเกิดการไอออไนเซชันต่อไปได้ ดังภาพ 5



ภาพ 5 การทำให้เกิดอะตอมอิสระของสังกะสีจากสารละลาย

2.4.3 โมโนโครมาเตอร์ (Monochromator)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แยกแสงที่มีความยาวคลื่นที่ต้องการเพียงคลื่นเดียวออกจากแสงที่มีหลายความยาวคลื่นโดยมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ

1. ช่องแสงที่ให้แสงผ่านเข้าออก (Entrance and exit slit)

ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดให้แสงเฉพาะจากแหล่งกำเนิดแสงเข้าไปในโมโนโครมาเตอร์และจะให้แสงที่มีความยาวคลื่นที่ต้องการเท่านั้นผ่านออกไปจาก Mono character

2. เครื่องกระจายแสง (Dispersive element)

มีหน้าที่ทำให้แสงกระจายแสงเฉพาะจากแหล่งกำเนิดแสงเข้าไปในโมโนโครมาเตอร์และจะให้แสงที่มีความยาวคลื่นที่ต้องการเท่านั้นผ่านออกไปจากโมโนโครมาเตอร์

3. เลนส์หรือกระจก

สำหรับทำหน้าที่รวมแสง โมโนโครมาเตอร์จะถูกติดตั้งให้อยู่ในตำแหน่งที่ปิดเบี่ยงน้อยที่สุด แต่ให้มีการส่งผ่านแสงจะมีมากที่สุดเมื่อใช้เลนส์และกระจกจำนวนน้อยที่สุด

2.4.4 ดีเทคเตอร์ (detector)

ทำหน้าที่วัดความเข้มแสงที่ผ่านออกจากโมโนโครมาเตอร์ ปัจจุบันนิยมใช้หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ ซึ่งเป็นหลอดสุญญากาศภายในบรรจุด้วยโปโรไซด์และแอดโนด หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์จะเปลี่ยนแปลงให้กลายเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสงที่ตกกระทบแคโทดในหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์

2.4.5 เครื่องประมวลผลและอ่านผล

ทำหน้าที่รับสัญญาณจากเครื่อง detector แล้วนำเข้ากระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ทำการแปลความหมาย ประมวลผล และแสดงออกมาผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์^[7]

2.5 การย่อยแบบเปียก (Wet digestion)

สำหรับสารอนินทรีย์ มักใช้กรดอนินทรีย์หรือกรดแร่เป็นรีเอเจนต์ในการย่อยสลายหลังจากการให้ความร้อนจนถึงจุดเดือดของรีเอเจนต์นั้น ๆ ซึ่งวิธีนี้เรียกว่าการย่อยแบบเปียก (Wet digestion) ที่ใช้จะเปลี่ยนตัวอย่างอนินทรีย์ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำสมบัติของกรดที่เกี่ยวข้องในการละลายมีดังนี้

กรดไนตริก (HNO_3)

กรดไนตริกเข้มข้นนิยมใช้ละลายโลหะได้เกือบทุกชนิดยกเว้น อะลูมิเนียม โครเมียม ดีบุก ทังสแตน และ พลวง ทั้งนี้เพราะ อะลูมิเนียม และ โครเมียม จะเกิดการรวมตัวเป็นแผ่นออกไซด์ส่วน ดีบุก ทังสแตน และ พลวง จะเกิดเป็นสารประกอบกรดที่ละลายยาก โดยสามารถใช้กรดไนตริก เข้มข้นอย่างเดี่ยวหรืออาจจะผสมกับ กรดไฮโดรคลอริก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กรดซัลฟิวริก กรดเปอร์คลอริก และ กรดฟอสฟอริก

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

N. Sarker และคณะ (2558)^[8] การศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการเพื่อตรวจสอบปริมาณโลหะหนัก และพารามิเตอร์ทางเคมีกายภาพ (ค่าความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า เถ้า ความชื้น และปริมาณ น้ำตาล) ตัวอย่างน้ำผึ้งทั้งหมดมาจากบังคลาเทศ โดยตัวอย่างน้ำผึ้งจะเป็นตัวอย่างที่ผลิตจาก ดอกไม้สามชนิดที่แตกต่างกันคือ khalsi (*Aegiceras corniculatum*), mustard (*Brassica juncea*) และ litchi (*Litchi chinensis*) เพื่อหาโลหะหนักในน้ำผึ้งโดยใช้วิธีการออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูงและ วิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี ค่าความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า เถ้า ความชื้น และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำผึ้งที่ทำการศึกษาคือ 3.6, 0.51 mS/cm, 0.18% 18.83% และ 68.30% ตามลำดับ โดยแร่ธาตุเหล็กมีปริมาณมากที่สุดในบรรดาโลหะหนักที่สำรวจ ทั้งหมดตั้งแต่ 13.51 ถึง 15.44 mg/kg ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ แมกนีเซียม และ สังกะสี ใน ตัวอย่างน้ำผึ้งที่ตรวจพบมีค่าเท่ากับ 0.28 mg/kg และ 2.99 mg/kg ตามลำดับ แคดเมียม อยู่ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด พบตะกั่วในตัวอย่างน้ำผึ้งบางชนิดแต่มีปริมาณอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และยังตรวจพบโครเมียมในทุกตัวอย่างแต่มีปริมาณอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด แสดงให้เห็นว่าน้ำผึ้ง ตัวอย่างมีคุณภาพดีและมีค่าที่ยอมรับได้

S.k. Altun และคณะ (2560)^[9] ได้ทำการศึกษาส่วนแร่ธาตุในน้ำผึ้งซึ่งอาจปนเปื้อนมาจาก องค์ประกอบในพืชและดินบริเวณใกล้เคียงที่มีการเก็บน้ำผึ้ง การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ตรวจสอบแร่ธาตุในน้ำผึ้ง 13 ชนิด ได้แก่ โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม เหล็ก สังกะสี แคดเมียม

ทองแดง แมงกานีส ตะกั่ว นิกเกิล โครเมียม อลูมิเนียม และ ซีลีเนียม ในตัวอย่างน้ำฝิ่งจากดอกไม้ชนิดเดียว (unifloral) และ ดอกไม้หลายชนิด (multifloral) จากภาคใต้และตะวันออกของตุรกี ทำการสำรวจตัวอย่างน้ำฝิ่ง 71 ตัวอย่างจากต้นกำเนิดสมุนไพร 7 ชนิดซึ่งเก็บมาจากภาคใต้และตะวันออกของตุรกีได้ทำการสำรวจปริมาณแร่ธาตุในช่วงปี 2558–2559 วิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุโดยวิธี Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP–MS) แร่ธาตุที่มีมากที่สุดคือ โพแทสเซียม โซเดียม และ แคลเซียม อยู่ในช่วง 1.18–268, 0.57–13.1 และ 0.77–4.5 ppm ตามลำดับ สังกะสี และ ทองแดง เป็นธาตุที่พบมากที่สุดมีปริมาณอยู่ในช่วง <1–237 และ <1–929 ppb และพบปริมาณโลหะหนัก เหล็ก แมงกานีส อลูมิเนียม และ ซีลีเนียมอยู่ที่ <1–7254.62, <1–274, <1–960, <1–65.9 ppb ตามลำดับ ในขณะที่ ตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล และ โครเมียม เป็นโลหะหนักที่มีปริมาณต่ำที่สุดในตัวอย่างน้ำฝิ่งที่ทำการสำรวจโดยมีปริมาณต่ำกว่า 1 ppb โดยปริมาณโลหะหนักของ สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล และ โครเมียม ที่มีปริมาณแตกต่างกันจากชนิดของดอกไม้ และ ความแตกต่างทางภูมิศาสตร์ของตัวอย่างน้ำฝิ่ง

M.F. Lanjwani และคณะ (2562)^[10] ทำการศึกษาตัวอย่างน้ำฝิ่ง 15 ตัวอย่างที่ถูกเก็บจากพื้นที่ที่แตกต่างกันในเมืองสินธุ 8 ตัวอย่างถูกเก็บจากน้ำฝิ่งท้องถิ่นและตัวอย่าง 7 ตัวอย่างถูกซื้อจากร้านค้าท้องถิ่นไฮเดอราบัดซินห์ วิเคราะห์แร่ธาตุ 13 ชนิด ได้แก่ โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม แคลเซียม แมงกานีส เหล็ก แคดเมียม นิกเกิล ทองแดง ตะกั่ว โครเมียม สังกะสี และ โคบอลต์ โดยปริมาณของโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างน้ำฝิ่งพบได้ในช่วงตั้งแต่ 225–439, 31.30–73.80, 77.5–200, 46.1–98.10, 31.3–73.80, 2.98–16.20, 0.01–00.38, 0.06–0.33, 0.08–0.33, 0.01–0.14, 0.012–0.10, 1.11–4.1 และ 0.01–0.23 mg/kg ตามลำดับ พบว่ามีปริมาณของโลหะโพแทสเซียมสูงที่สุดและโลหะโครเมียมมีปริมาณต่ำที่สุด

A.S. Alqarni และคณะ (2555)^[11] ได้ทำการศึกษา สี ถ้ำ การนำไฟฟ้า และ วิเคราะห์ปริมาณของแร่ธาตุ 14 ชนิด จากน้ำฝิ่ง 23 สายพันธุ์จากซาอุดีอาระเบียและอีกหกประเทศ ปริมาณของแร่ธาตุที่วิเคราะห์ได้มีดังนี้ โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม เหล็ก ไอโอดีน แมงกานีส สังกะสี ลิเทียม โคบอลต์ และ นิกเกิล พบว่ามีปริมาณของแร่ธาตุเท่ากับ 298.60–

491.40, 80.70–199.30, 60.75–99.95, 21.10–33.29, 15.69–26.93, 67.18–98.13, 12.61–94.68, 4.15–6.04, 3.44–5.72, 1.15–4.26, 1.00–1.32 และ 0.15–0.67 ppm โดยปริมาณของโลหะหนัก ตะกั่ว และ แคดเมียม พบว่าเป็น 0.06–0.23 และ 0.00–0.16 ตามลำดับ ค่าขององค์ประกอบที่ผ่านการทดสอบ ได้แก่ สี กลิ่น และการนำไฟฟ้า แตกต่างกันไปตามแหล่งที่มาของน้ำดื่ม โดยตัวอย่างน้ำดื่มอะคาเซียมีสีที่เข้ม และค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่าตัวอย่างจากซาอูดิอารเบีย และปริมาณโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภคของมนุษย์

H. Yölmaz และคณะ (2541)^[12] การวิเคราะห์หาโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และ โคบอลต์ ในน้ำดื่ม 30 ตัวอย่าง จากพื้นที่ในเขตของอานาโตเลียทางตะวันออกเฉียงใต้ของตุรกี ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมทรี จากการทดลองพบปริมาณโลหะหนักของ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และ โคบอลต์ เท่ากับ 118, 296, 51, 33, 1.8, 6.6, 1.0, 2.7 และ 1.0 mg/kg ตามลำดับ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาปริมาณ น้ำตาล น้ำตาลซูโครส 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เพอร์ฟิวราลดีไฮด์ เอมีไซม์ กรดอิสระ แลคโตน ความเป็นกรด-ด่าง เกลือ โพรตีน และ ความชื้น ตัวอย่างน้ำดื่มในอานาโตเลียทางตะวันออกเฉียงใต้พบว่ามีปริมาณเกลือต่ำและมีแร่ธาตุสูง

V. Nanda และคณะ (2556)^[13] ทำการศึกษาผลกระทบของดอกไม้ที่ฝังใช้น้ำดื่มต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและปริมาณโลหะของ โพแทสเซียม โซเดียม สังกะสี เหล็ก แคลเซียม และ ทองแดง ในน้ำดื่มที่ผลิตจากดอกไม้ 6 ชนิด ได้แก่ *Trifolium alexandrinum* L. (berseem clover) *Brassica campestris* (mustard), *Helianthus annuus* (sun flower), *Eucalyptus lanceolatus*, *Citrus flower* และ *Multi flower* เป็นตัวอย่างในเชิงพาณิชย์ องค์ประกอบทางเคมีและฟิสิกส์จะวิเคราะห์ตามวิธี AOAC (in: K. Helrich (Ed.), *Official Method of Analysis*, 15th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, VA, USA, 1990) โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมทรี ในตัวอย่างน้ำดื่มแต่ละแหล่งที่มาที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในส่วนของคุณสมบัติแร่ธาตุแต่ปริมาณความชื้นและความเป็นกรดรวมพบ ($P < 0.01$) และความถ่วงจำเพาะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) ปริมาณโลหะโซเดียม

โพแทสเซียม แคลเซียม เหล็ก ทองแดง และ สังกะสีมี ค่าอยู่ระหว่าง 163.3–304.31, 489.52–932.56, 32.6–84.63, 8.86–13.25, 1.74–2.9, 2.5–16.77 mg/kg ตามลำดับ ในตัวอย่างน้ำผึ้ง ไตรโพลีเลียมมีความชื้นสูงสุดและความถ่วงจำเพาะต่ำที่สุด แต่กรดทั้งหมดและกรดอิสระมีค่าสูงสุดในตัวอย่างน้ำผึ้งจากดอกส้ม

บทที่ 3

การดำเนินงานและการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. กรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) 65% (AR grade) RCL Labscan Limited ประเทศไทย
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 30% (AR grade) Merck ประเทศเยอรมัน
3. สารละลายมาตรฐานซิงค์ 1000 mg/L Merck ประเทศเยอรมัน

3.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (FAAS) รุ่น SpectrAA 240FS Varian ประเทศออสเตรเลีย
2. เครื่องผลิตน้ำปราศจากไอออน S.G. Water ประเทศสวีตเซอร์แลนด์
3. หลอดหยดโกลแคโทดของสังกะสี (Zn)
4. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 1000 และ 2000 มิลลิลิตร
5. ไมโครปิเปตขนาด 100 – 1000 ไมโครลิตร Thermo scientific
6. ปิเปตแบบปริมาตร (Volumetric pipette) ขนาด 1 มิลลิลิตร
7. ปิเปตแบบใช้ดวง (Graduated pipette) ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
8. ขวดโพลีเอทิลีน (PE) ขนาด 120 มิลลิลิตร
9. บีกเกอร์ ขนาด 50, 100 และ 250 มิลลิลิตร
10. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง Toledo รุ่น AB 204-S Mettler Toledo สหรัฐอเมริกา
11. กรวยกรอง
12. หลอดหยด
13. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1

14. กระจกตวง ขนาด 10 มิลลิลิตร
15. เตาให้ความร้อน รุ่น C-MAG HS7 IKA ประเทศเยอรมัน



3.3 การเตรียมเครื่องแก้วและอุปกรณ์พลาสติก

ล้างเครื่องแก้วและพลาสติกให้สะอาด จากนั้นนำไปแช่ด้วยกรดไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้น 10% เป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อกำจัดไอออนของโลหะที่ผิวภายในของเครื่องแก้วและอุปกรณ์พลาสติก จากนั้นนำไปล้างออกด้วยน้ำปราศจากไอออนและผึ่งให้แห้ง


3.4 ลักษณะของน้ำผึ้งตัวอย่าง

ลักษณะของดนิตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง ที่ได้จาก 4 อำเภอในจังหวัดพะเยา ผลดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ตัวอย่างน้ำผึ้งจากจังหวัดพะเยา

ตัวอย่าง	ลักษณะทางกายภาพ	ภาพประกอบ
อำเภอเชียงคำ (S ₁)	ของเหลวขุ่น หนืด สีน้ำตาล มีกลิ่นหอม	
อำเภอเชียงม่วน (S ₂)	ของเหลวขุ่น หนืด สีน้ำตาล มีกลิ่นหอม	
อำเภอภูกามยาว (S ₃)	ของเหลวขุ่น หนืด สีน้ำตาลเหลือง มีกลิ่นหอม	

ตาราง 1 ตัวอย่างน้ำผึ้งจากจังหวัดพะเยา (ต่อ)

ตัวอย่าง	ลักษณะทางกายภาพ	ภาพประกอบ
อำเภอกำแพงใจ (S ₄)	ของเหลวขุ่น หนืด สีน้ำตาล มีกลิ่นหอม	

3.5 การเตรียมสารละลาย

3.5.1 การเตรียมสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 1 % ตวงกรดไนตริก 65% (v/v) ปริมาตร 15.40 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ปรับด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.5.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปิเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 5.00 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100.00 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริกความเข้มข้น 1%

3.6 การเตรียมตัวอย่างน้ำผึ้งห้บการวิเคราะห์

ทำการย่อยตัวอย่างน้ำผึ้งด้วยวิธีย่อยแบบเปียก โดยชั่งตัวอย่างน้ำผึ้ง 1.0000 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ลงในปีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมกรดไนตริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร และเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนบนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนด เพิ่มอุณหภูมิเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 ± 5 องศาเซลเซียส จนมีปริมาตรเหลือประมาณ 10 มิลลิลิตร ยกออกจากเตาให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมกรดไนตริกความเข้มข้น 1% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในปีกเกอร์ ถ่ายเทลงตัวอย่างลงในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริกความเข้มข้น 1% แล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 1 นำตัวอย่างน้ำผึ้งที่ได้ไปวิเคราะห์โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (FAAS)

3.7 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์เหล็กโดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรี

3.7.1 การศึกษาค่าความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Wavelength)

ปิเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100.00 มิลลิลิตร ให้ได้ความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริกความเข้มข้น 1% แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 213.90 และ 307.60 นาโนเมตร

3.7.2 การศึกษาค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้กับหลอดฮอลโลแคโทด (Hollow cathode lamp current)

ปิเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100.00 มิลลิลิตร ให้ได้ความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริกความเข้มข้น 1% แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 213.90 นาโนเมตรที่ค่ากระแสไฟฟ้า 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0 และ 9.0 มิลลิแอมแปร์ ตามลำดับ

3.7.3 การศึกษาผลของค่าความกว้างของช่องแสง (Slit width)

ปิเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100.00 มิลลิลิตร ให้ได้ความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริกความเข้มข้น 1% แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 213.90 นาโนเมตร ค่ากระแสไฟฟ้า 2.0 มิลลิแอมแปร์ และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความกว้างของช่องแสง 0.1, 0.2, 0.5, 0.5R และ 1.0 นาโนเมตร ตามลำดับ

3.7.4 การศึกษาอัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน (Flow rate of acetylene)

ปิเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100.00 มิลลิลิตร ให้ได้ความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 และ 0.50 มิลลิกรัม

ต่อลิตร ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริกความเข้มข้น 1% แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 213.90 นาโนเมตรค่ากระแสไฟฟ้า 2.0 มิลลิแอมแปร์ ความกว้างของช่องแสง 0.2 นาโนเมตร และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 ลิตรต่ออนาที ตามลำดับ

3.8 การตรวจสอบสมรรถนะการวิเคราะห์ (Analytical performance)

3.8.1 การหาช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity)

ปิเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในขวด วัดปริมาตรขนาด 100.00 มิลลิลิตร ให้ได้ความเข้มข้น 0.10, 0.2, 0.30, 0.60, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00, 3.50, 4.00, 4.50, 5.00, 7.00, 9.00, 12.00, 15.00 และ 18.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริกความเข้มข้น 1% แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 213.90 นาโนเมตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังตาราง 6

3.8.2 การหาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) และ ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantization, LOQ)

ทำได้โดยการเตรียม Blank โดยนำกรดไนตริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร และเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 5 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนบนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนด เพิ่มอุณหภูมิเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 ± 5 องศาเซลเซียสจนมีปริมาตรเหลือประมาณ 10 มิลลิลิตร ยกออกจากเตาให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมกรดไนตริกความเข้มข้น 1% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ถ่ายเทลงตัวอย่างลงในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริกความเข้มข้น 1% แล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังตาราง 6 วัดซ้ำจำนวน 15 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ)

3.8.3 การตรวจสอบความแม่นยำ (precisions)

3.8.3.1 ความแม่นยำในการวัดซ้ำ (Repeatability)

ปีเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100.00 มิลลิลิตร ให้ได้ความเข้มข้น 0.10, 1.00 และ 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร (ความเข้มข้นละ 1 ขวด) ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริกความเข้มข้น 1% แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังตาราง 6 วัดซ้ำจำนวน 15 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)

3.8.3.2 ความแม่นยำในการทำซ้ำ (Reproducibility)

ปีเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100.00 มิลลิลิตร ให้ได้ความเข้มข้น 0.10, 1.00 และ 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร (ความเข้มข้นละ 11 ขวด) ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริกความเข้มข้น 1% แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังตาราง 6 วัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)

3.9.4 การตรวจสอบความถูกต้อง (Accuracy)

3.9.4.1 การหาร้อยละการได้กลับคืนของกระบวนการวิเคราะห์ (%Recovery)

เติมสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในตัวอย่างน้ำฝิ่งก่อนนำไปย่อยด้วยวิธีย่อยแบบเปียก (ข้อ 3.8) แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังตาราง 6 วัดซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาค่าร้อยละการได้กลับคืน

3.10 การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

ในการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีในสารละลายตัวอย่างทำได้โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นสร้างกราฟ

มาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี ซึ่งเมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ผ่านการย่อยด้วยวิธีย่อยแบบเปียกมาเปรียบเทียบกับสมการที่ได้จากกราฟของสารละลายมาตรฐานก็จะสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของสังกะสีในตัวอย่างน้ำผึ้งที่ได้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

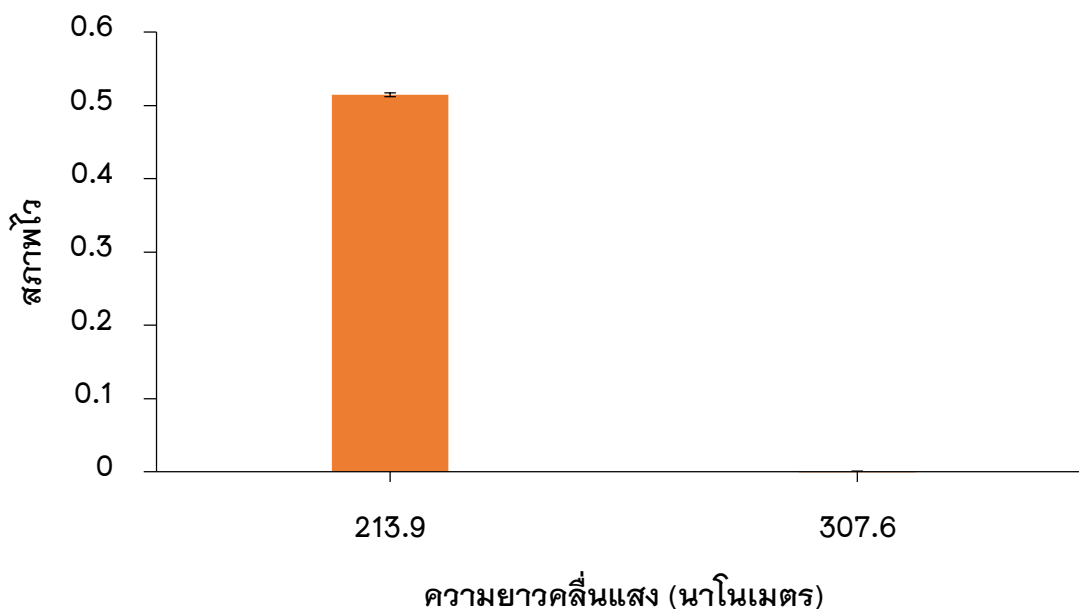
4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์โดยเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอฟซอร์ชันสเปกโตรเมทรี

4.1.1 การศึกษาค่าความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการวิเคราะห์

การหาความยาวคลื่น (Wavelength) ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สังกะสี โดยทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานสังกะสีให้มีความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 213.9 และ 307.6 นาโนเมตร ด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอฟซอร์ชันสเปกโตรมิเตอร์เพื่อศึกษาหาค่าการดูดกลืนแสงที่สูงที่สุด จากผลการศึกษาพบว่าที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร มีสภาพไวสูงที่สุดและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9982 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ดังนั้นที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร จึงมีความเหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุสังกะสี ดังแสดงในตาราง 2 และภาพ 12

ตาราง 2 ค่าสภาพไวของการศึกษาหาความยาวคลื่นที่เหมาะสม

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	สภาพไว	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
213.9	0.5146	0.9982
307.6	-0.0002	0.0088



ภาพ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นแสง 213.9 และ 307.6 นาโนเมตร กับค่าสภาพไวของสารละลายมาตรฐานสังกะสี

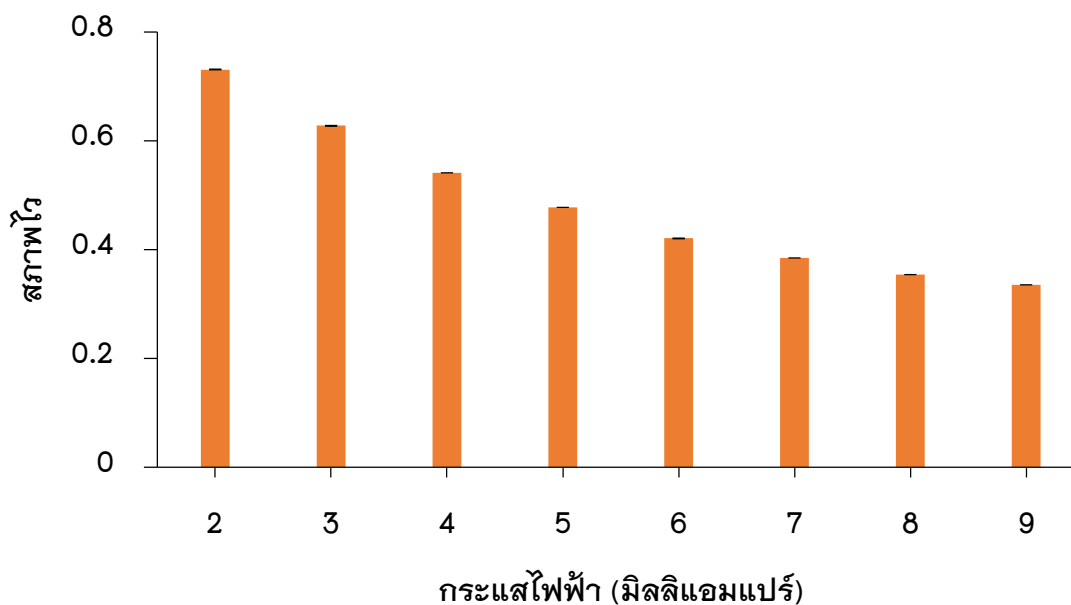
4.1.2 การศึกษาค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้กับหลอดฮอลโลแคโทดที่ใช้ในการวิเคราะห์

หลอดไฟกำเนิดแสงที่ดีควรปล่อยคลื่นแสงจำเพาะที่มีความเข้มออกมาอย่างสม่ำเสมอ จากการศึกษาค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้กับหลอดฮอลโลแคโทด (Hollow cathode lamp current) โดยทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่มีความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดค่าความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 324.8 นาโนเมตร โดยใช้กระแสไฟฟ้าที่ให้กับหลอดฮอลโลแคโทด เท่ากับ 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0 และ 9.0 มิลลิแอมแปร์ ผลการศึกษาพบว่าที่ค่ากระแสไฟฟ้า 1.0 มิลลิแอมแปร์ ไม่สามารถตรวจวัดได้ เมื่อเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จาก 2.0 – 9.0 มิลลิแอมแปร์ พบว่ามีสภาพไวลดน้อยลง อาจเกิดจากแรงเคลื่อนที่ทางไฟฟ้ามีมากเกินไปทำให้อะตอมที่อยู่ในหลอดฮอลโลแคโทดถูกกระตุ้นและเปล่งแสงออกมาไม่ตรงตามสเปกตรัมที่เหมาะสมของธาตุที่จะวิเคราะห์ และจากผลการทดลอง พบว่าค่ากระแสไฟฟ้า 2.0 มิลลิแอมแปร์ เหมาะสมที่สุดเพราะมีค่าสภาพไวมากที่สุดและมีค่า

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9995 จึงเลือกใช้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้กับหลอดฮอลโลแคโทดเท่ากับ 2.0 มิลลิแอมแปร์ผลการศึกษาดังแสดงในตาราง 3 และภาพ 4

ตาราง 3 ค่าสภาพไวของการศึกษาหากระแสไฟฟ้าที่ให้กับหลอดฮอลโลแคโทดที่เหมาะสม

กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	สภาพไว	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
2	0.7313	0.9995
3	0.6281	0.9994
4	0.5416	0.9992
5	0.4783	0.999
6	0.4210	0.9984
7	0.3852	0.9988
8	0.3543	0.9991
9	0.3354	0.9992



ภาพ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ให้กับหลอดฮอลโลแคโทดเท่ากับ 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0 และ 9.0 มิลลิแอมแปร์ กับค่าสภาพโวลของ สารละลายมาตรฐานสังกะสี

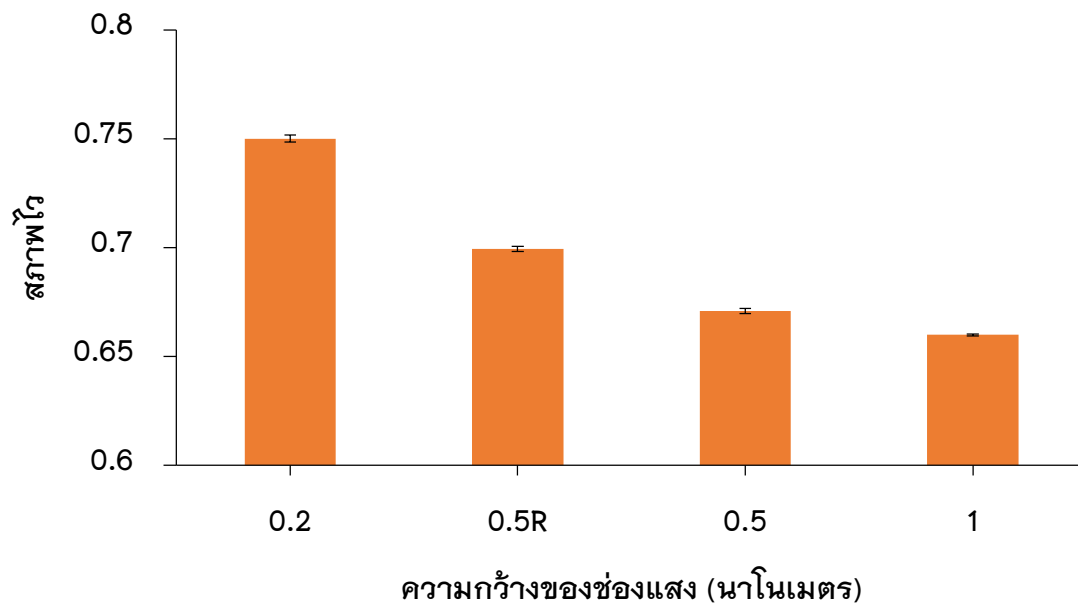
4.1.3 การศึกษาความกว้างของช่องแสงที่ใช้ในการวิเคราะห์

การศึกษาความกว้างของช่องแสงที่เหมาะสมที่ใช้ในการวิเคราะห์สังกะสีเนื่องจาก ช่องแสงเป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งที่แสดงถึงคุณภาพและการทำงานของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ เป็นส่วนที่ปล่อยให้แสงผ่านไปยังสารที่จะวิเคราะห์และยังเป็นส่วนที่ช่วยตัดแสงที่รบกวนการวิเคราะห์ออกเพื่อให้การวิเคราะห์ได้ผลถูกต้องที่สุด โดยทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานสังกะสีให้มีความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ละความเข้มข้นวัด 3 ซ้ำ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร ใช้ความกว้างของช่องแสง 0.2, 0.5R, 0.5 และ 1.0 นาโนเมตร ตามลำดับ ผลของการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มความกว้างของช่องแสงจาก 0.5R, 0.5 และ 1.0 นาโนเมตร สภาพโวลมีค่าลดลง เป็นผลมาจากช่องแสงที่กว้างขึ้นทำให้ความยาวคลื่นแสงข้างเคียงเข้ามารบกวนได้ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาความสูงของช่องแสงที่

0.5 และ 0.5R (R หมายถึง ความกว้างของช่องแสงเท่าเดิมแต่ลดความสูงของช่องแสงลง) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความสูงของช่องแสงมีผลต่อการวิเคราะห์ที่เล็กน้อย ดังแสดงในตาราง 7 และภาพ 14 ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกความกว้างของช่องแสง 0.2 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์เนื่องจากการใช้ช่องแสงที่แคบลงจะช่วยลดการรบกวนจากความยาวคลื่นแสงข้างเคียงอื่นๆ ได้ อีกทั้งสภาพไวมีค่ามากที่สุดและมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9995

ตาราง 4 ค่าสภาพไวของการศึกษาหาความกว้างของช่องแสงที่เหมาะสม

ความกว้างของช่องแสง (นาโนเมตร)	สภาพไว	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
0.2	0.7502	0.9994
0.5R	0.6995	0.9996
0.5	0.671	0.9994
1.0	0.66	0.9993



ภาพ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของช่องแสง 0.2, 0.5, 0.5R และ 1.0 นาโนเมตร กับค่าสภาพไวของสารละลายมาตรฐานสังกะสี

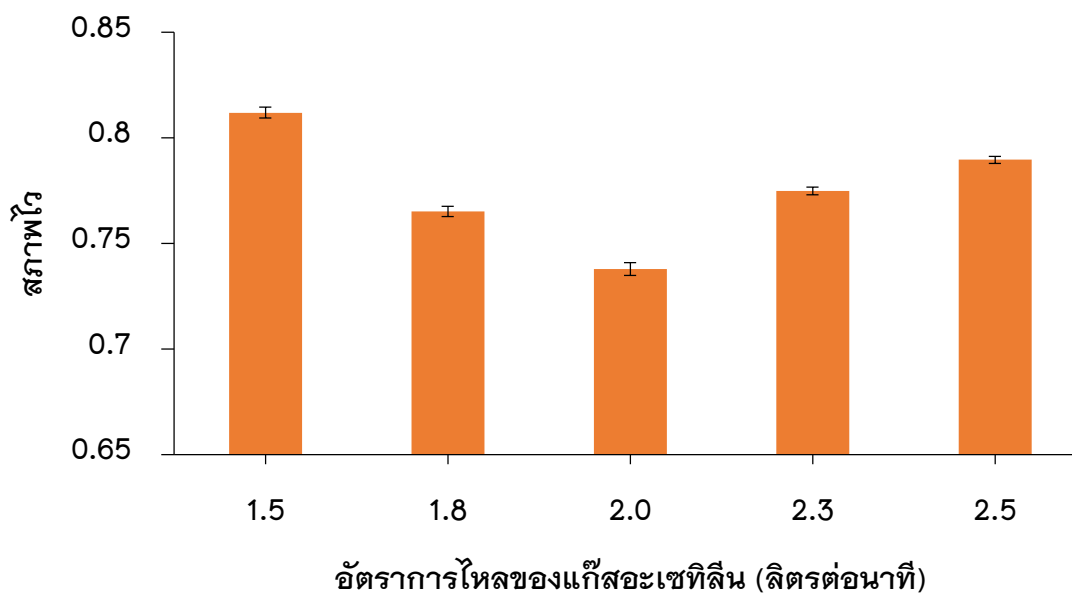
4.1.4 การศึกษาอัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีนที่ใช้ในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอสซอร์ปชันสเปกโตรมิเตอร์ต้องอาศัยแก๊สที่ทำให้เกิดเปลวไฟที่เหมาะสม ในการเผาไหม้ธาตุแต่ละชนิดเกิดเป็นอะตอมอิสระ ซึ่งใช้แก๊สอะเซทิลีนในการวิเคราะห์ เพราะให้อุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้ธาตุเกิดเป็นอะตอมอิสระในการศึกษาครั้งนี้ได้ ทำการศึกษาหาอัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีนที่ 1.5, 1.8, 2.0, 2.3 และ 2.5 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดค่าความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ วัดที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีนจาก 1.5 ลิตรต่อนาที สภาพไวมีค่าสูงสุด แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สจาก 1.5 เป็น 1.8, 2.0, 2.3 และ 2.5 ลิตรต่อนาที สภาพไวมีค่าลดลงส่งผลให้ระดับความสูงของเปลวไฟสูงขึ้นซึ่งอะตอมอิสระที่เกิดขึ้นจึงอยู่สูงกว่าบริเวณที่แสงส่อง นอกจากนี้ปริมาณอัตราการไหลของแก๊สน้อยยังส่งผลให้ระดับความสูงของเปลวไฟต่ำลง

อะตอมอิสระที่เกิดขึ้นจึงอยู่ต่ำกว่าบริเวณที่แสงส่องผ่าน ดังแสดงในตาราง 5 และ ภาพ 9 การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกอัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีนเท่ากับ 1.5 ลิตรต่อนาที

ตาราง 5 ค่าสภาพไวของการศึกษาหาอัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีนที่เหมาะสม

อัตราการไหลของแก๊ส อะเซทิลีน (ลิตรต่อนาที)	สภาพไว	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
1.5	0.812	0.9993
1.8	0.7652	0.9998
2.0	0.7379	0.9995
2.3	0.7749	0.9994
2.5	0.7896	0.9999



ภาพ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีนที่ 1.5, 1.8, 2.0, 2.3 และ 2.5 ลิตรต่อนาที กับค่าสภาพไวของสารละลายมาตรฐานสังกะสี

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (FAAS) ในการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี พบว่าสภาวะที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 สภาวะของเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ในการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี

สภาวะของเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พ- ชันสเปกโทรมิเตอร์ (FAAS)	สภาวะที่เหมาะสม
ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	213.9
กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	2.0
ความกว้างของช่องแสง (นาโนเมตร)	0.2
อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน (ลิตรต่อนาที)	1.5
อัตราการไหลของอากาศ (ลิตรต่อนาที)	13.5
ชนิดของเปลวไฟ	อากาศ แก๊สอะเซทิลีน

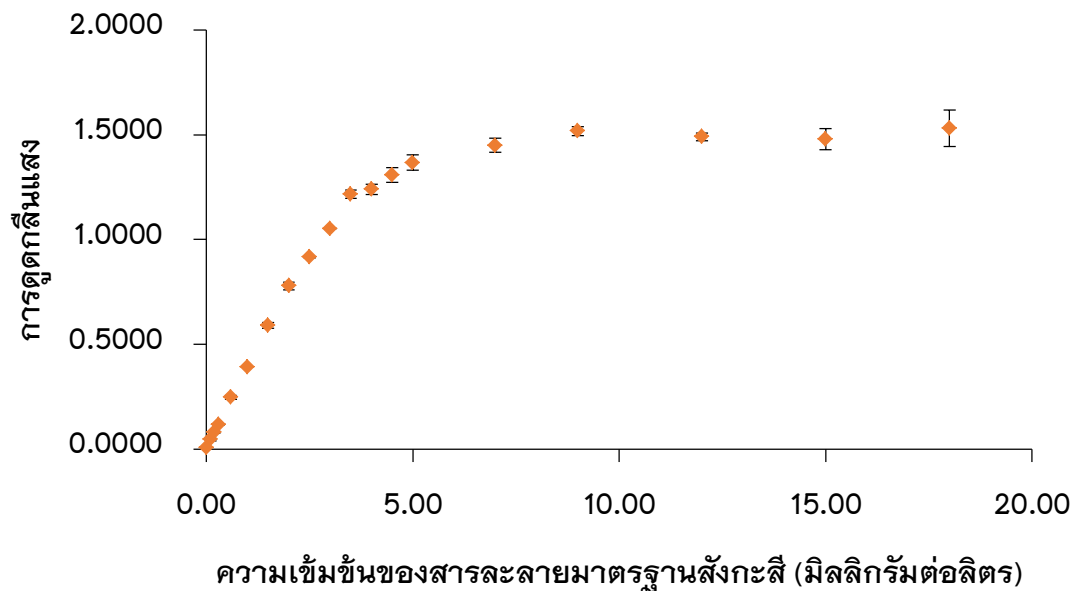
4.2 การตรวจสอบสมรรถนะการวิเคราะห์ (Analytical performance)

4.2.1 การหาช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity)

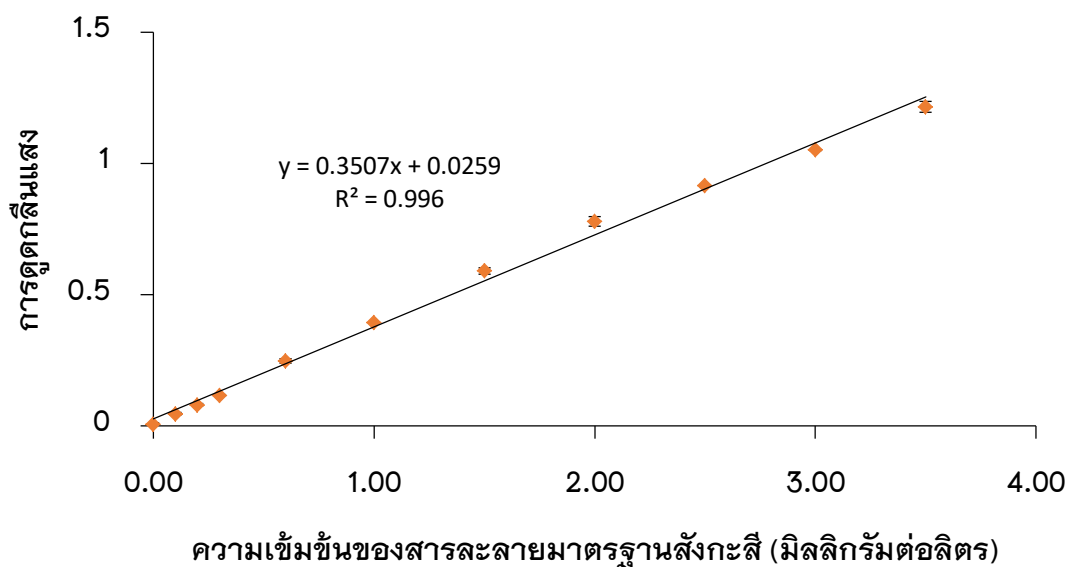
จากการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงโดยใช้สารละลายมาตรฐานสังกะสีที่มีความเข้มข้น 0.10, 0.2, 0.30, 0.60, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50, 3.00, 3.50, 4.00, 4.50, 5.00, 7.00, 9.00, 12.00, 15.00 และ 18.00 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดค่าความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ เมื่อพิจารณาค่าความเป็นเส้นตรงพบว่า ในช่วงความเข้มข้น 0.00 – 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีช่วงความเป็นเส้นตรงมากที่สุด และกราฟเริ่มโค้ง ตั้งแต่ที่ความเข้มข้นมากกว่า 4.00 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นต้นไป ดังแสดงในตาราง 7 และภาพ 7 ใน การศึกษาครั้งนี้จึงได้สร้างกราฟมาตรฐานสังกะสีที่มีความเข้มข้น 0.00 – 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ทำให้กราฟมาตรฐานเป็นเส้นตรง ($y = 0.3507x$) และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.996 ดังแสดงภาพ 8 เพื่อใช้คำนวณความเข้มข้นของสังกะสีต่อไป

ตาราง 7 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีในช่วงความเป็นเส้นตรง

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง ± S.D.
0.00	0.0058 ± 0.00599
0.10	0.0456 ± 0.00594
0.20	0.0798 ± 0.00517
0.30	0.1161 ± 0.00190
0.60	0.2470 ± 0.00864
1.00	0.3926 ± 0.00078
1.50	0.5902 ± 0.01296
2.00	0.7784 ± 0.01805
2.50	0.9160 ± 0.00409
3.00	1.0520 ± 0.00217
3.50	1.2169 ± 0.02047
4.00	1.2405 ± 0.02446
4.50	1.3083 ± 0.03561
5.00	1.3671 ± 0.03729
7.00	1.4502 ± 0.03445
9.00	1.5179 ± 0.02018
12.00	1.4908 ± 0.01808
15.00	1.4803 ± 0.05072
18.00	1.5315 ± 0.08695



ภาพ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี (0.00 – 18.00 มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าการดูดกลืนแสง



ภาพ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี (0.00 – 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าการดูดกลืนแสง

4.2.2 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) และ ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ)

จากการหาค่า LOD และ LOQ ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสภาพไวของการวิเคราะห์ที่ทำได้โดยเตรียม Blank (ข้อ 3.8.2) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังตารางที่ 6 แล้ววัดซ้ำจำนวน 15 ครั้ง พบว่ามีค่า LOD เท่ากับ 0.078 มิลลิกรัมต่อลิตร (หาได้จาก $LOD = (\bar{X} + 3SD) / \text{Slope}$) และ LOQ มีค่าเท่ากับ 0.260 มิลลิกรัมต่อลิตร (หาได้จาก $LOQ = (\bar{X} + 10SD) / \text{Slope}$) ดังแสดงในตาราง 8

ตาราง 8 ค่าการดูดกลืนแสงของ Blank

จำนวน (ครั้ง)	ค่าการดูดกลืนแสง
1	0.0082
2	0.0127
3	0.0115
4	0.0083
5	0.0218
6	0.0186
7	0.0096
8	0.0249
9	0.0226
10	0.0097
11	0.0051
12	0.0099
13	0.0161
14	0.0103

ตาราง 8 ค่าการดูดกลืนแสงของ Blank (ต่อ)

จำนวน (ครั้ง)	ค่าการดูดกลืนแสง
15	0.0145
ค่าเฉลี่ย	0.0136
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0060
ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD)	0.078
ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ)	0.260

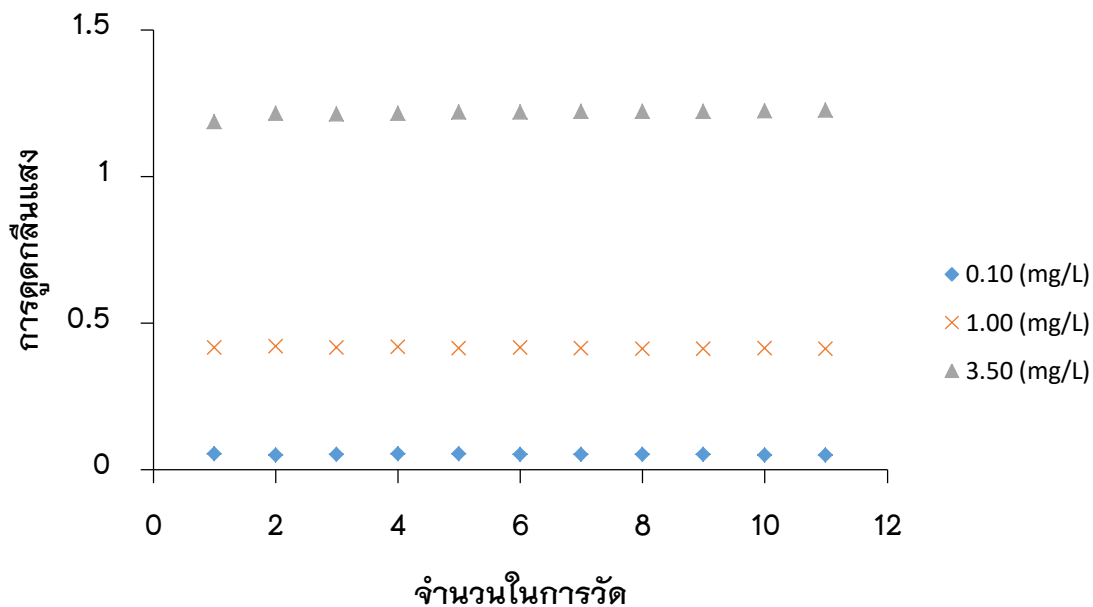
4.2.3 การศึกษาความแม่นยำ (Precision) ของการวิเคราะห์

4.2.3.1 ความแม่นยำในการวัดซ้ำ (Repeatability)

จากการตรวจสอบความแม่นยำ (Precision) ของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ศึกษาจาก Repeatability โดยนำสารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 0.10, 1.00 และ 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร (ความเข้มข้นละ 1 ขวด) ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 213.90 นาโนเมตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังตารางที่ 6 วัดซ้ำจำนวน 15 ครั้ง ดังแสดงในตาราง 9 ภาพที่ 11 พบว่ามีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ อยู่ในช่วง 0.68 – 3.10 จึงถือว่าการวิเคราะห์มีความแม่นยำสูง เนื่องจากอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ AOAC 2016 (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 15%)

ตาราง 9 ความแม่นยำ (Repeatability) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย
มาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.10, 1.00 และ 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร (ต่อ)

ขวดที่	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสี \pm SD		
	0.10 (mg/L)	1.00 (mg/L)	3.50 (mg/L)
1	0.0544	0.4159	1.1861
2	0.0490	0.4208	1.2163
3	0.0522	0.4155	1.2122
4	0.0531	0.4194	1.2155
5	0.0529	0.4141	1.2199
6	0.0513	0.4156	1.2195
7	0.0513	0.4143	1.2222
8	0.0509	0.4121	1.2216
9	0.0512	0.4130	1.2230
10	0.0501	0.4131	1.2246
11	0.0497	0.4123	1.2262
Average	0.0515	0.4151	1.2170
SD	0.0016	0.0028	0.0111
%RSD	3.10	0.68	0.91



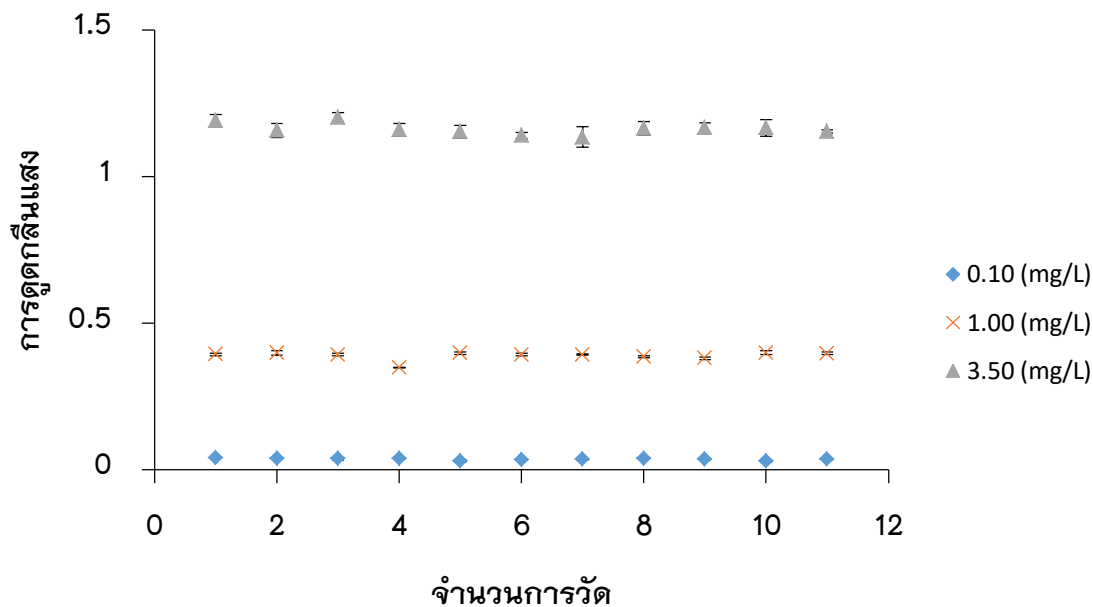
ภาพ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 0.10, 1.00 และ 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตรกับค่าการดูดกลืนแสง

4.2.3.2 ความแม่นยำในการทำซ้ำ (Reproducibility)

จากการตรวจสอบความแม่นยำของการวิเคราะห์ คีตาจาก Reproducibility โดยใช้สารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 0.50, 1.00 และ 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นละ 11 ขวด จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 213.90 นาโนเมตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังตารางที่ 6 วัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ดังตาราง 10 และภาพ 12 พบว่ามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ อยู่ในช่วง 0.68 – 3.32 จึงถือว่าการวิเคราะห์ มีความแม่นยำสูง เนื่องจากอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ AOAC 2016 (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 11%)

ตาราง 10 ความแม่นยำ (Reproducibility) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย
มาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.10, 1.00 และ 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ขวดที่	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสี \pm SD		
	(มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	0.10 (mg/L)	1.00 (mg/L)	3.50 (mg/L)
1	0.0415 \pm 0.0025	0.3938 \pm 0.0040	1.1915 \pm 0.0217
2	0.0387 \pm 0.0036	0.3988 \pm 0.0073	1.1584 \pm 0.0241
3	0.0377 \pm 0.0038	0.3932 \pm 0.0037	1.2027 \pm 0.0156
4	0.0376 \pm 0.0009	0.3486 \pm 0.0010	1.1602 \pm 0.0218
5	0.0308 \pm 0.0044	0.3983 \pm 0.0042	1.1537 \pm 0.0219
6	0.0342 \pm 0.0012	0.3933 \pm 0.0038	1.1406 \pm 0.0113
7	0.0355 \pm 0.0019	0.3932 \pm 0.0022	1.1357 \pm 0.0343
8	0.0380 \pm 0.0014	0.3863 \pm 0.0029	1.1648 \pm 0.0231
9	0.0358 \pm 0.0016	0.3805 \pm 0.0047	1.1675 \pm 0.0161
10	0.0307 \pm 0.0031	0.3999 \pm 0.0071	1.1672 \pm 0.0282
11	0.0354 \pm 0.0014	0.3974 \pm 0.0040	1.1540 \pm 0.0057
ค่าเฉลี่ย	0.0360	0.3894	1.1633
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.0012	0.0019	0.0079
ร้อยละส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)	3.32	0.48	0.68



ภาพ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 0.10, 1.00 และ 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตรกับค่าการดูดกลืนแสง

4.2.4 การตรวจสอบความถูกต้อง (Accuracy)

4.2.4.1 การหาค่าร้อยละการได้กลับคืนของกระบวนการวิเคราะห์

จากการศึกษาหาค่าร้อยละการได้กลับคืน (%Recovery) ของกระบวนการวิเคราะห์โดยเติมสารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในปิกเกอร์ตัวอย่างน้ำผึ้ง แล้วนำไปย่อยโดยใช้วิธีย่อยแบบเปียก จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 213.90 นาโนเมตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังตารางที่ 6 วัดซ้ำความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ พบว่าค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 89.76 – 100.68 % จึงถือว่าการวิเคราะห์มีความถูกต้อง เนื่องจากอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ AOAC 2016 (80 – 110 %) ดังแสดงในตาราง 11

ตาราง 11 ร้อยละการได้กลับคืนของเครื่องมือ (% Recovery)

ความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน สังกะสีที่เติม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง \pm ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความเข้มข้นของ ทองแดง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละการได้กลับคืน ของเครื่องมือ
S ₁	0.0015 \pm 0.00045	0.00	-
S ₁ + 1.00	0.2417 \pm 0.00706	0.96	96
S ₂	0.0011 \pm 0.00035	0.00	-
S ₂ + 1.00	0.2403 \pm 0.00698	0.96	96
S ₃	0.0071 \pm 0.00495	0.00	-
S ₃ + 1.00	0.2518 \pm 0.00613	1.01	100
S ₄	0.0138 \pm 0.00155	0.00	-
S ₄ + 1.00	0.2267 \pm 0.00437	0.90	90

4.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีที่ตกค้างในตัวอย่างน้ำผิ่

การวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีที่ตกค้างในตัวอย่างน้ำผิ่ 4 อำเภอได้แก่ อ.เชียงคำ อ.เชียงม่วน อ.ภูพานยาว และอ.แม่ใจ ในจังหวัดพะเยา จากนั้นทำการย่อยตัวอย่างน้ำผิ่โดยใช้วิธีย่อยแบบเปียก พบว่าตรวจไม่พบสังกะสีในตัวอย่างน้ำผิ่ทั้ง 4 ตัวอย่าง ดังแสดงในตาราง 12

ตาราง 12 ปริมาณสังกะสีที่พบในตัวอย่างน้ำผิ้ว

ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสง \pm ส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความเข้มข้นของ ทองแดง (มิลลิกรัมต่อลิตร)
S ₁	0.0015 \pm 0.00045	0.00
S ₂	0.0011 \pm 0.00035	0.00
S ₃	0.0071 \pm 0.00495	0.00
S ₄	0.0138 \pm 0.00155	0.00

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่าง ๆ ของเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (FAAS) ซึ่งทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ ความยาวคลื่น ค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้กับหลอดฮอลโลแคโทด ความกว้างของช่องแสง และอัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี ดังแสดงในตาราง 13

ตาราง 13 สภาวะที่เหมาะสมของเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีในการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี

สภาวะของเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์	สภาวะที่เหมาะสม
ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	213.9
กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	2.0
ความกว้างของช่องแสง (นาโนเมตร)	0.2
อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน (ลิตรต่อนาที)	1.5
อัตราการไหลของอากาศ (ลิตรต่อนาที)	13.5
ชนิดของเปลวไฟ	อากาศ แก๊สอะเซทิลีน

5.2 สรุปผลการตรวจสอบสมรรถนะในการวิเคราะห์ (Analytical performance)

จากการตรวจสอบสมรรถนะในการวิเคราะห์ (Analytical performance) ได้ทำการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง โดยใช้สารละลายมาตรฐานสังกะสีในช่วงความเข้มข้น 0.00 – 18.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 0.00 – 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.996) จากการตรวจสอบมีค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 0.078 มิลลิกรัมต่อลิตร ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) เท่ากับ 0.260 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการหาความแม่นยำ (Precision) ของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Repeatability) โดยใช้สารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 0.10, 1.00 และ 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 0.68 – 3.10 % และค่าความแม่นยำ (Precision) ของการวิเคราะห์ (Reproducibility) โดยใช้สารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.10, 1.00 และ 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) อยู่ในช่วง 0.48 – 3.32 % และหาค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของการวิเคราะห์โดยใช้สารละลายมาตรฐานสังกะสี 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีร้อยละการได้กลับคืนของกระบวนการวิเคราะห์ที่อยู่ในช่วง 89 – 100 % ดังผลที่แสดงในตาราง 14

ตาราง 14 การตรวจสอบสมรรถนะในการวิเคราะห์ (Analytical performance)

การตรวจสอบสมรรถนะในการวิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์
ความเป็นเส้นตรง (Linearity) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	00.00 – 3.50
ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์หลัก (LOD) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.078
ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.260
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD), Repeatability	0.68 – 3.10
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD), Reproducibility	0.48 – 3.32
ร้อยละการได้กลับคืนของกระบวนการวิเคราะห์ (%Recovery)	89 – 100%

5.3 สรุปผลการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีในตัวอย่างไม่น้ำผึ้ง

เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีในตัวอย่างไม่น้ำผึ้ง 4 อย่างได้แก่ อ.เชียงคำ อ.เชียงม่วน อ.ภูทอก และอ.แม่ใจ ในจังหวัดพะเยาที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างโดยการย่อยด้วยวิธีย่อยแบบเปียก พบว่าไม่พบปริมาณสังกะสีในตัวอย่างไม่น้ำผึ้งทั้ง 4 ตัวอย่าง

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ควรตรวจสอบสภาพเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ก่อนการวิเคราะห์ทุกครั้งควรทำความสะอาดหัวพ่นไฟ และตรวจสอบตำแหน่งของแสงให้ตรงตำแหน่งทุกครั้งที่ทำการก่อนการวิเคราะห์

5.4.2 อาจใช้วิธีย่อยตัวอย่างดินวิธีอื่น ๆ เช่น Microwave digestion และ UV-digestion มาเปรียบเทียบ เพื่อตรวจสอบหาวิธีที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

5.4.3 ในการย่อยตัวอย่างดินด้วยวิธีย่อยแบบเปียก ผู้ทำการทดลองควรแต่งกายให้ถูกต้องตามข้อตกลงของการปฏิบัติการเพื่อความปลอดภัย เนื่องจากขั้นตอนการย่อยค่อนข้างอันตราย

5.4.4 ควรล้างเครื่องแก้วและพลาสติกให้สะอาดจากนั้นนำไปแช่ด้วยกรดไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้น 10% เป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อกำจัดไอออนของโลหะที่ผิวภายในของเครื่องแก้วและ อุปกรณ์พลาสติกออกจนหมด

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- [1] ภกญ.ดร.สุภาภรณ์ ปิติพร. (2552). **น้ำผึ้งเพื่อสุขภาพและความงาม**. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2563, จาก <https://www.doctor.or.th/article/detail/6413>
- [2] M. Lawler. (2019). **Zinc 101: Uses, Dosage, Foods, Supplements, Risks, and More**. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2563, จาก <https://www.everydayhealth.com/diet-nutrition/zinc/#bestcapsules>
- [3] เกี่ยวกับน้ำผึ้ง. **บริษัท ไทยลานนาฟาร์มผึ้ง จำกัด**. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2563, จาก <http://www.thailanna.co.th/index.php?lay=show&ac=article&id=197826>
- [4] **สังกะสี (Zn) ประโยชน์ และพิษสังกะสี**. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2563, จาก <https://www.siamchemi.com/สังกะสี/?fbclid=IwAR1mrkOuDuoOm5dOoJVYr8SQgiOjWjgSJ>
- [5] ชันญชิตา สายชุมดี. (ม.ป.ป.). การวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้เครื่อง AAS. **สำนักวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงาน**. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2563, จาก <http://www2.diw.go.th/Research/เอกสารเผยแพร่/เครื่องAAS.pdf>
- [6] **หลักการทำงานเครื่องเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์**. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2563, จาก http://science.skru.ac.th/ShowToolCame.php?id_skruru=SKRU0987654321

- [8] จิตติรัตน์ จารุวาระกุล. (2548). หลักการและการแก้ปัญหาเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์. **สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่**. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2563, จาก <http://www.dpim.go.th/purchase/article?catid=134&articleid=238>
- [7] AOAC INTERNATIONAL. (2016). Guidelines for Standard Method Performance Requirements.
- [9] N. Sarker. (2558). Heavy Metal Contents and Physical Parameters of Aegiceras corniculatum, Brassica juncea and Litchi chinensis Honeys from Bangladesh. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, 2015(4), 1–7.
- [10] S.K. Altun. (2560). Analyses of Mineral Content and Heavy Metal of Honey Samples from South and East Region of Turkey by Using ICP–MS. **International Journal of Analytical Chemistry**, 2017(5), 1–6
- [11] M.F. Lanjwani and F.A. Channa. (2562). Minerals content in different types of local and branded honey in Sindh, Pakistan. **Heliyon**, 2019(7), 1–7
- [12] A.S. Alqarni, A.A. Owayss, A.A. Mahmoud and M.A. Hannana. (2555). Mineral content and physical properties of local and imported honeys in Saudi Arabia. **Journal of Saudi Chemical Society**, 2014(18), 618–625
- [13] H. Yilmaza and Ö. Yavuz b. (2542). Content of some trace metals in honey from south–eastern Anatolia. **Food Chemistry**, 1999(65), 475–476

- [14] V. Nandaa, B.C. Sarkar, H.K. Sharma and A.S. Bawa. (2546). Physico-chemical properties and estimation of mineral content in honey produced from different plants in Northern India. **Journal of Food Composition and Analysis**, 2003(16), 613–619

ภาคผนวก

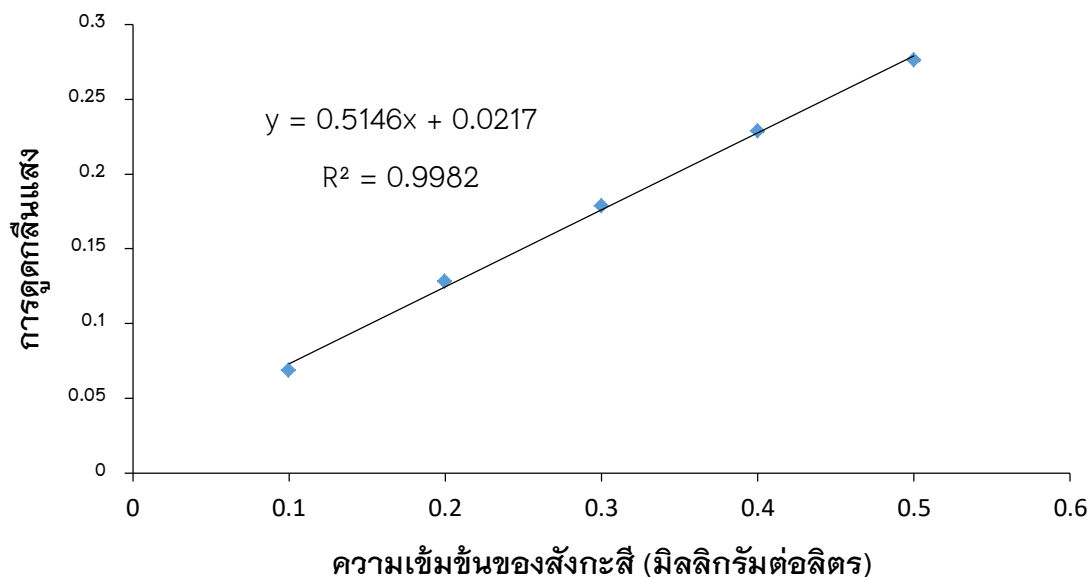
ภาคผนวก ก

ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี

1. ผลของความยาวคลื่นที่เหมาะสม

ตาราง 15 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความยาวคลื่นแสง 213.9 นาโนเมตร

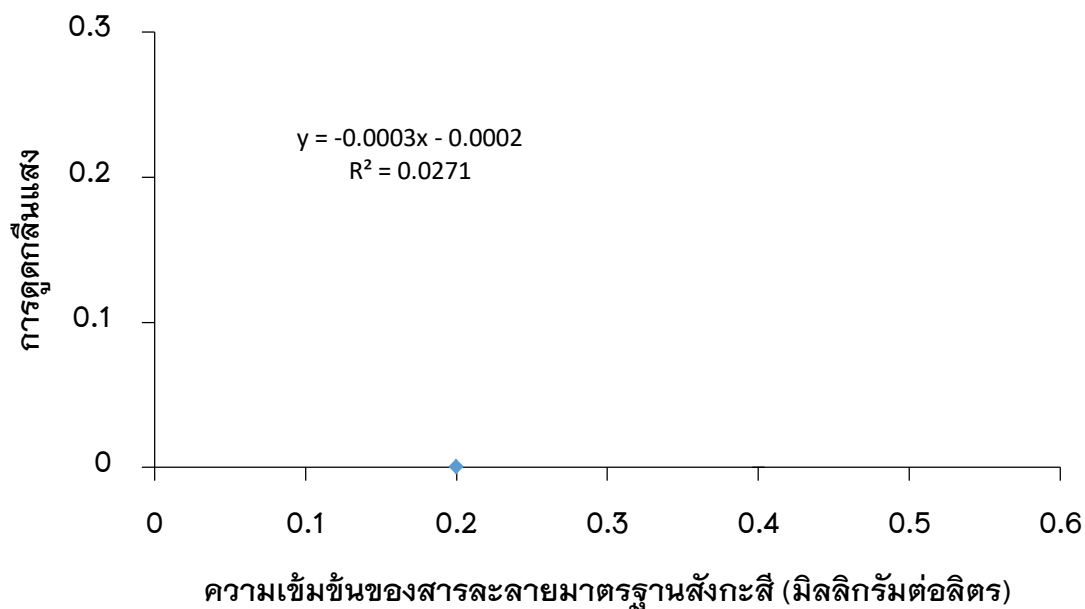
ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0688	0.0001
0.20	0.1283	0.0002
0.30	0.1786	0.0003
0.40	0.2285	0.0003
0.50	0.2760	0.0004



ภาพ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 213.9 นาโนเมตร

ตาราง 16 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความยาวคลื่นแสง 307.6 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	-0.0004	0.0002
0.20	0.0002	0.0001
0.30	-0.0005	0.0002
0.40	-0.0001	0.0001
0.50	-0.0004	0.0001

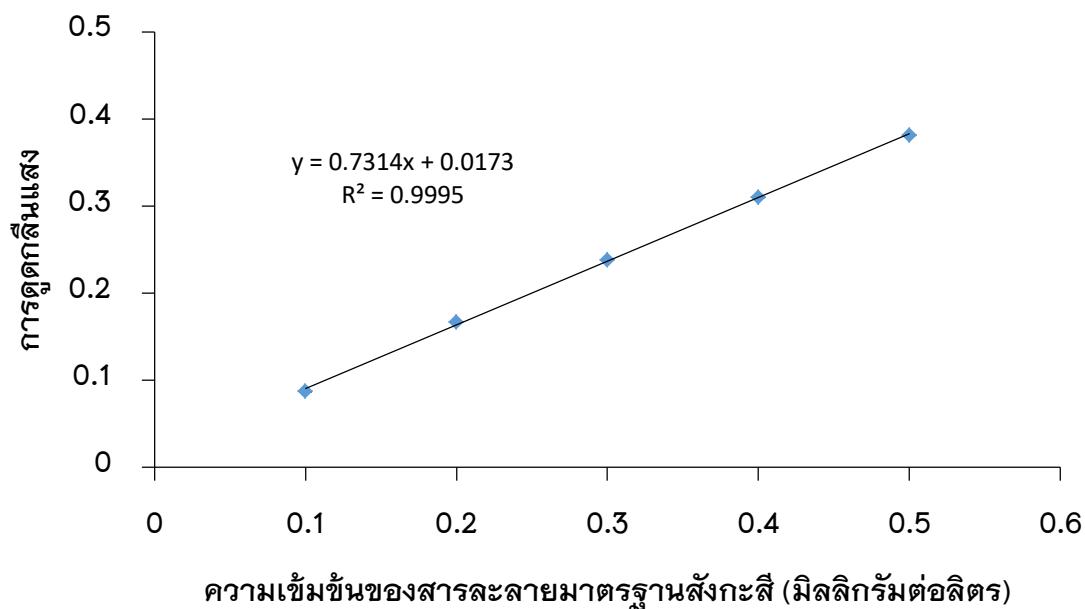


ภาพ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 307.6 นาโนเมตร

2. การศึกษากระแสไฟฟ้าที่ให้กับหลอดฮอลโลแคโทด

ตาราง 17 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 2 มิลลิแอมแปร์

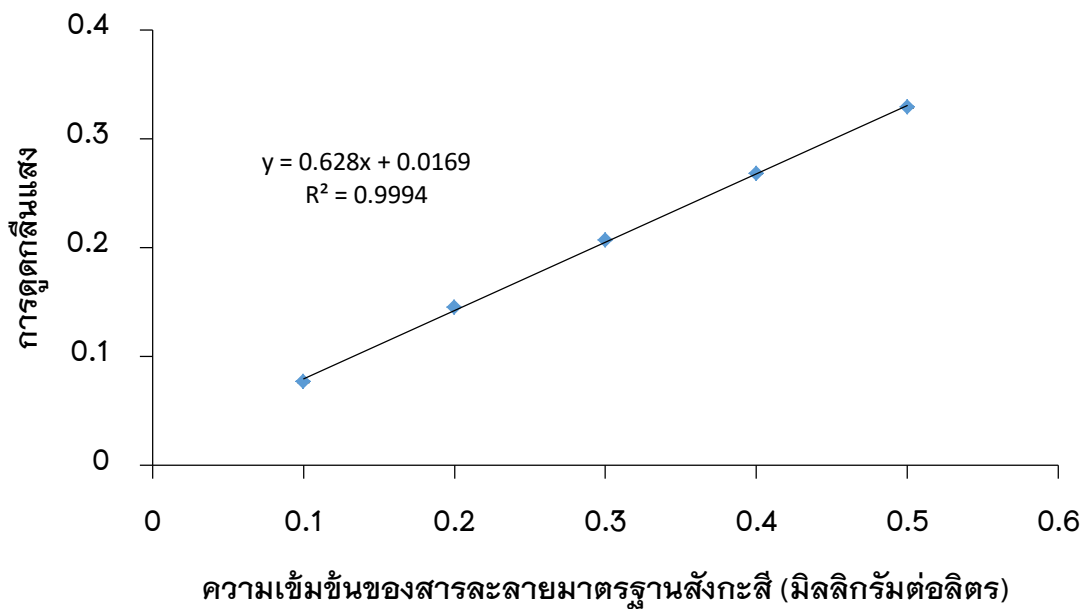
ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0871	0.0005
0.20	0.1670	0.0003
0.30	0.2384	0.0008
0.40	0.3098	0.0003
0.50	0.3814	0.0006



ภาพ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ค่ากระแสไฟฟ้า 2 มิลลิแอมแปร์

ตาราง 18 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 3 มิลลิแอมแปร์

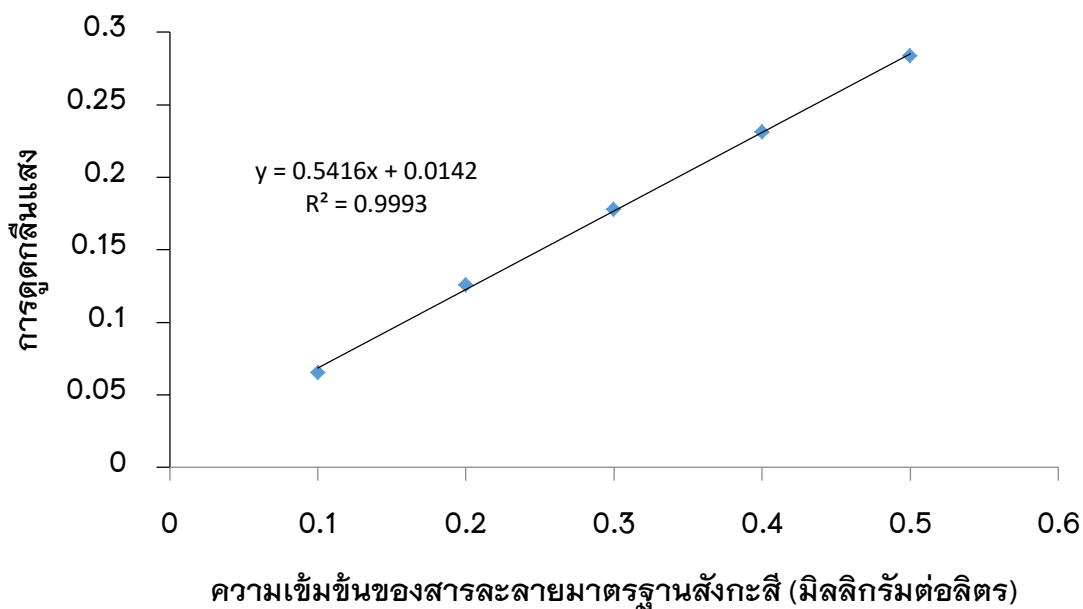
ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0767	0.0004
0.20	0.1454	0.0004
0.30	0.2071	0.0005
0.40	0.2678	0.0003
0.50	0.3295	0.0009



ภาพ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ค่ากระแสไฟฟ้า 3 มิลลิแอมแปร์

ตาราง 19 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 มิลลิแอมแปร์

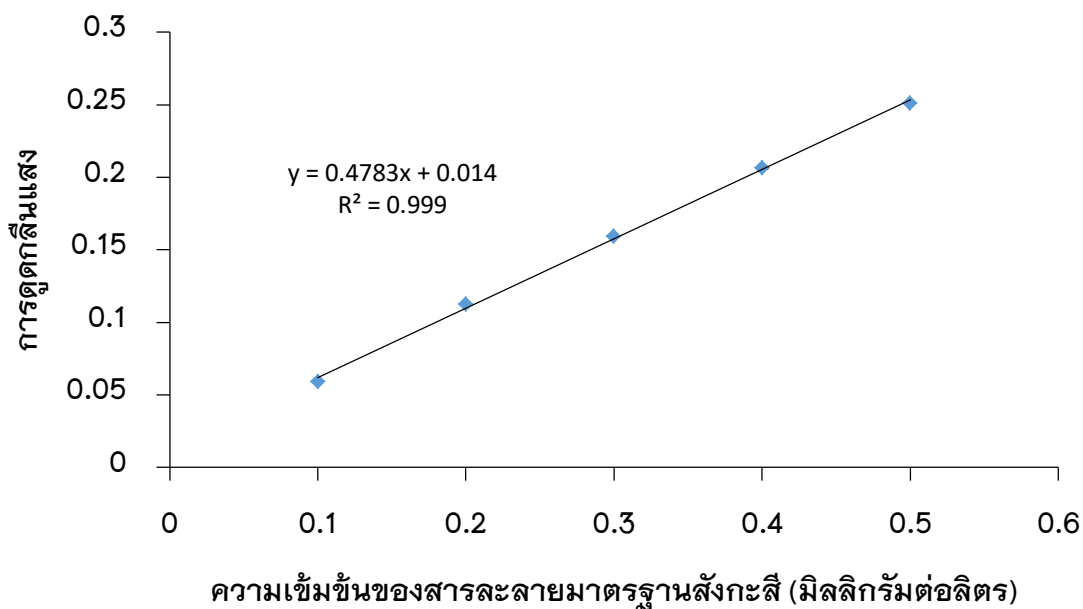
ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0654	0.0004
0.20	0.1256	0.0001
0.30	0.1778	0.0005
0.40	0.2310	0.0004
0.50	0.2835	0.0003



ภาพ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 มิลลิแอมแปร์

ตาราง 20 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 5 มิลลิแอมแปร์

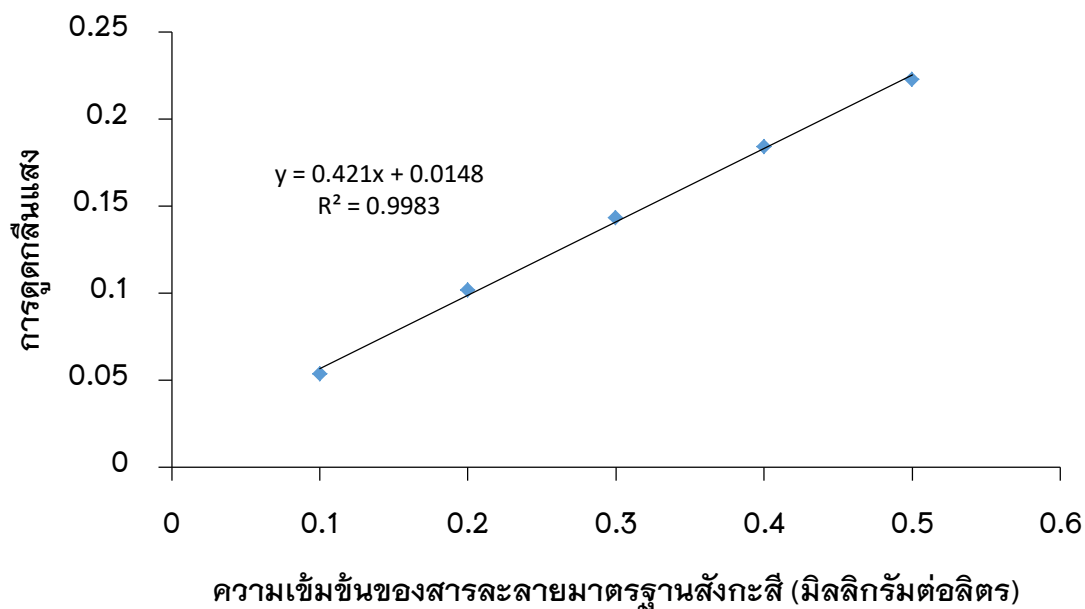
ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0589	0.0001
0.20	0.1122	0.0001
0.30	0.1592	0.0002
0.40	0.2063	0.0004
0.50	0.2510	0.0001



ภาพ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ค่ากระแสไฟฟ้า 5 มิลลิแอมแปร์

ตาราง 21 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 6 มิลลิแอมแปร์

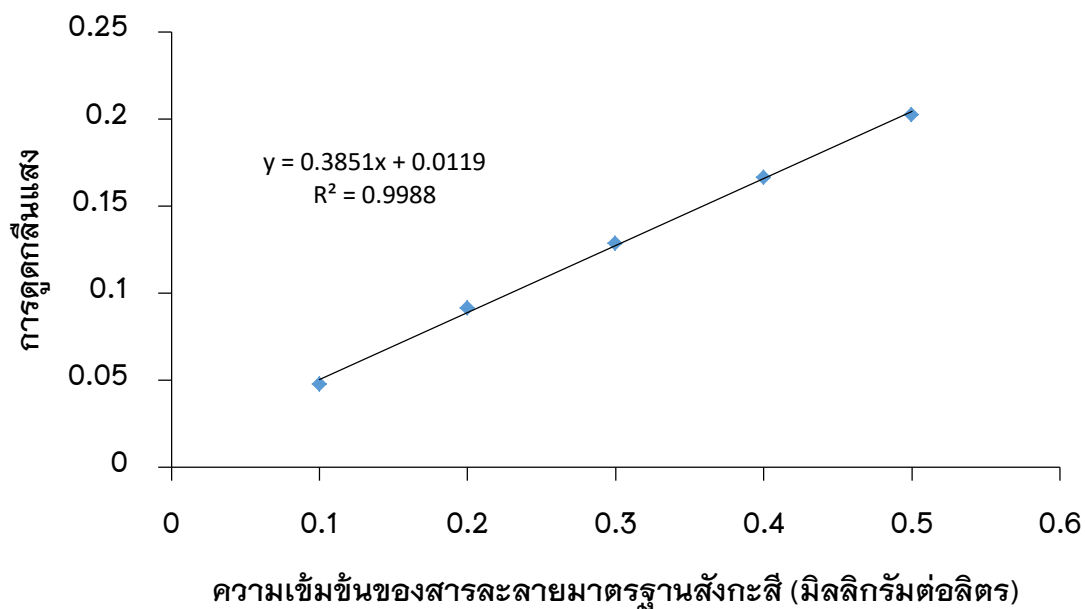
ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0536	0.0001
0.20	0.1016	0.0001
0.30	0.1432	0.0003
0.40	0.1842	0.0001
0.50	0.2228	0.0001



ภาพ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ค่ากระแสไฟฟ้า 6 มิลลิแอมแปร์

ตาราง 22 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 7 มิลลิแอมแปร์

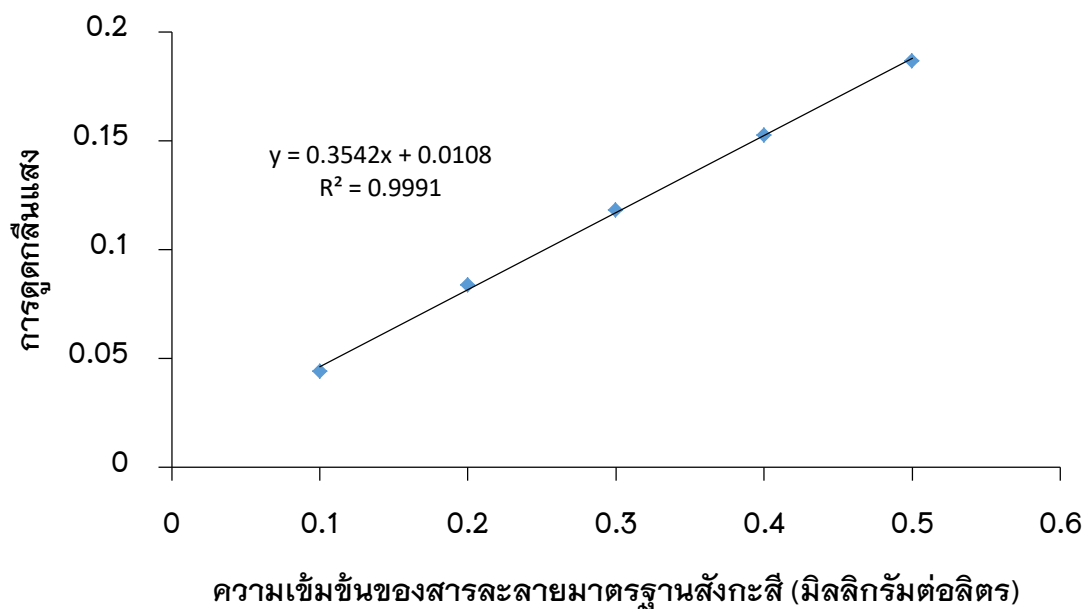
ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0477	0.0001
0.20	0.0913	0.0003
0.30	0.1287	0.0002
0.40	0.1666	0.0003
0.50	0.2026	0.0002



ภาพ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ค่ากระแสไฟฟ้า 7 มิลลิแอมแปร์

ตาราง 23 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 8 มิลลิแอมแปร์

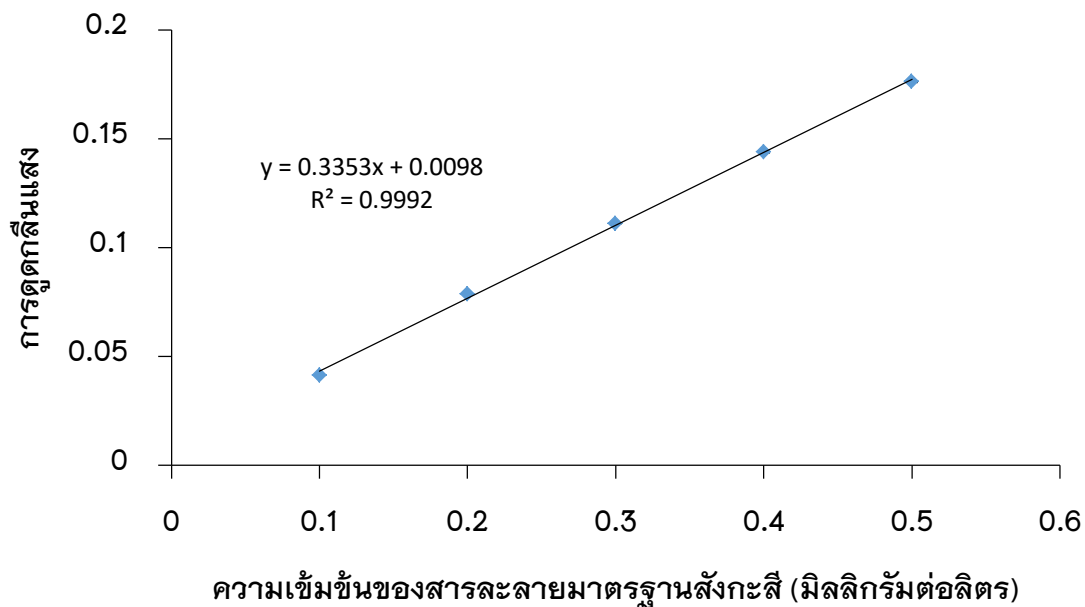
ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0441	0.0001
0.20	0.0837	0.0002
0.30	0.1181	0.0002
0.40	0.1527	0.0001
0.50	0.1867	0.0003



ภาพ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ค่ากระแสไฟฟ้า 8 มิลลิแอมแปร์

ตาราง 24 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 9 มิลลิแอมแปร์

ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0414	0.0001
0.20	0.0787	0.0001
0.30	0.1112	0.0002
0.40	0.1440	0.0003
0.50	0.1764	0.0004

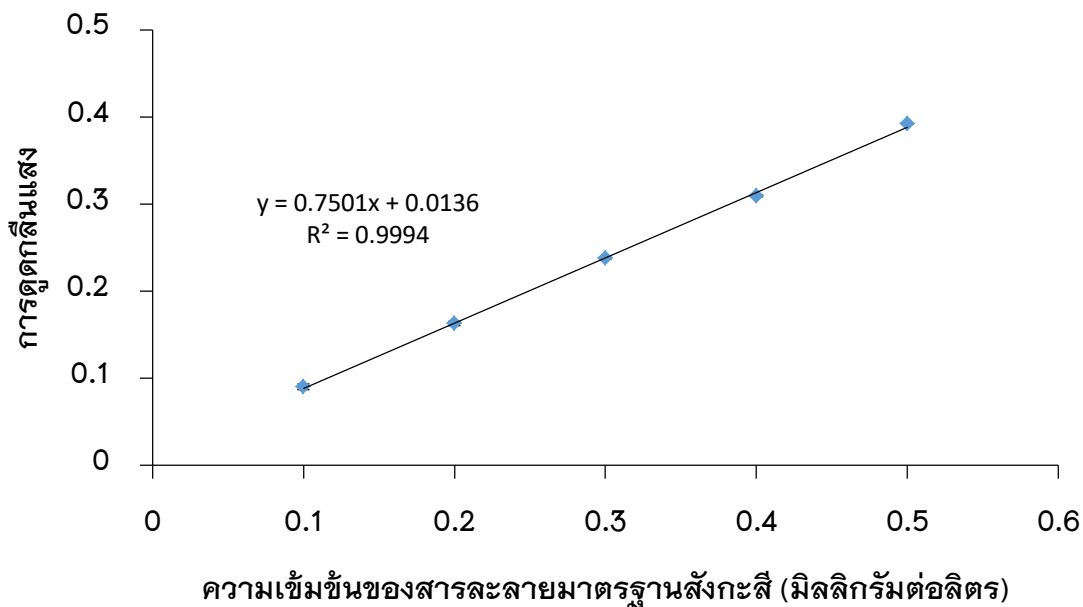


ภาพ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ค่ากระแสไฟฟ้า 9 มิลลิแอมแปร์

3. ผลจากการศึกษาความกว้างของช่องแสงที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตาราง 25 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความกว้างของช่องแสง 0.2 นาโนเมตร

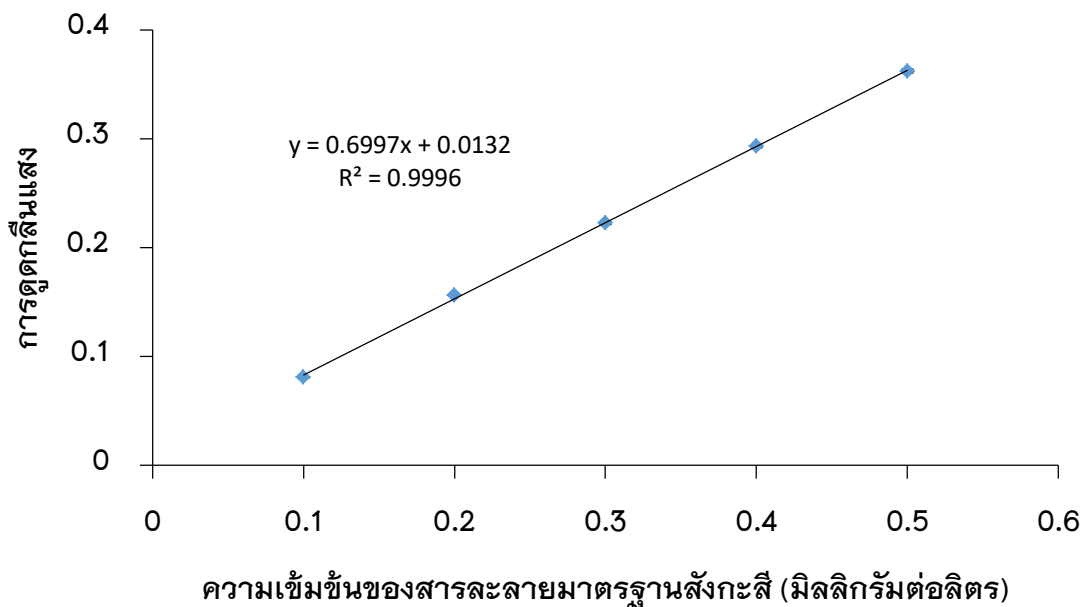
ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0904	0.0033
0.20	0.1630	0.0027
0.30	0.2380	0.0009
0.40	0.3097	0.0012
0.50	0.3921	0.0002



ภาพ 24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความกว้างของช่องแสง 0.2 นาโนเมตร

ตาราง 26 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความกว้างของช่องแสง 0.5R นาโนเมตร

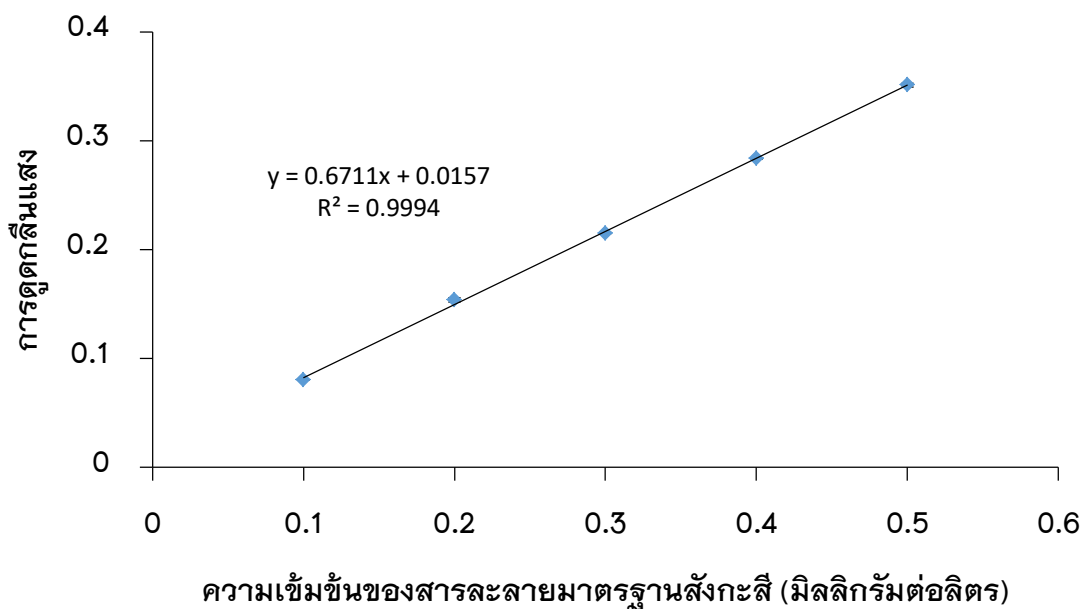
ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0808	0.0004
0.20	0.1566	0.0008
0.30	0.2227	0.0012
0.40	0.2931	0.0011
0.50	0.3624	0.0018



ภาพ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความกว้างของช่องแสง 0.5R นาโนเมตร

ตาราง 27 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความกว้างของช่องแสง 0.5 นาโนเมตร

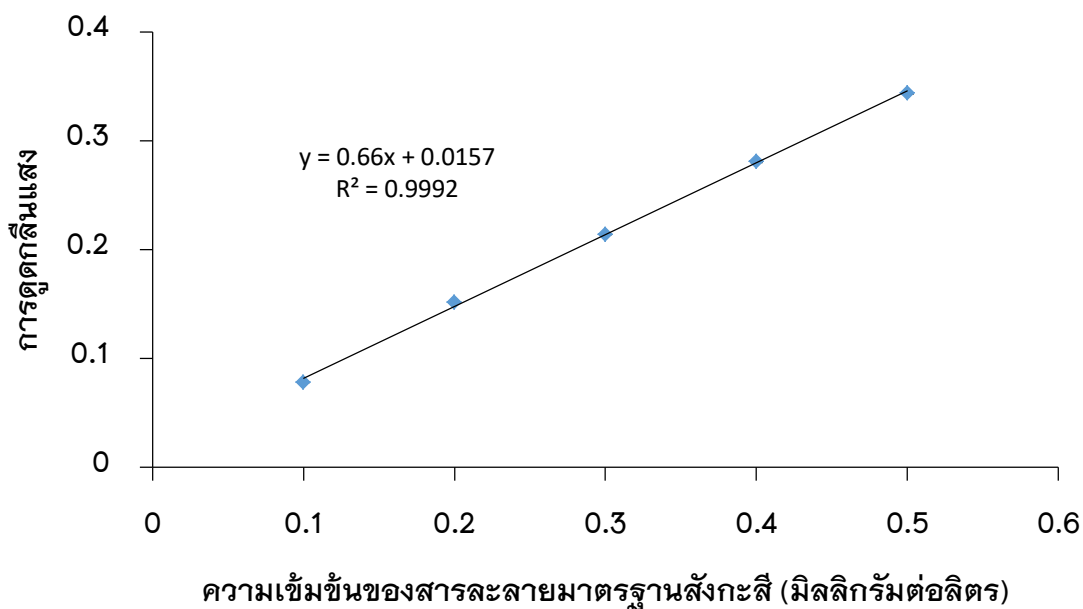
ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0805	0.0005
0.20	0.1542	0.0020
0.30	0.2153	0.0005
0.40	0.2837	0.0004
0.50	0.3513	0.0020



ภาพ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความกว้างของช่องแสง 0.5 นาโนเมตร

ตาราง 28 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความกว้างของช่องแสง 1.0 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0783	0.0004
0.20	0.1518	0.0002
0.30	0.2140	0.0004
0.40	0.2808	0.0005
0.50	0.3438	0.0006

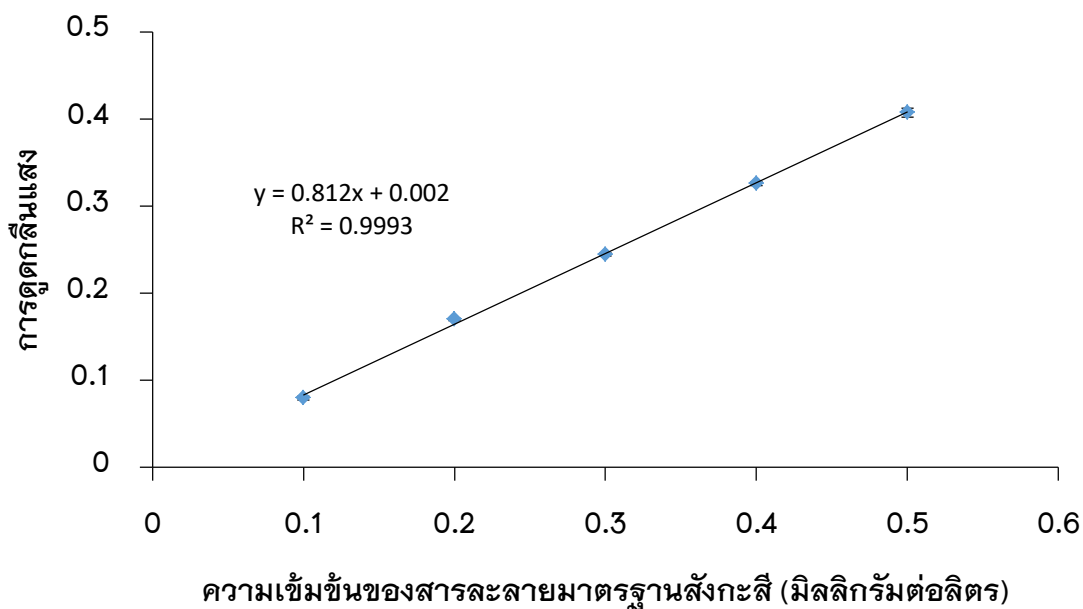


ภาพ 27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความกว้างของช่องแสง 1.0 นาโนเมตร

4. การศึกษาอัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีนที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตาราง 29 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน 1.5 ลิตรต่อนาที

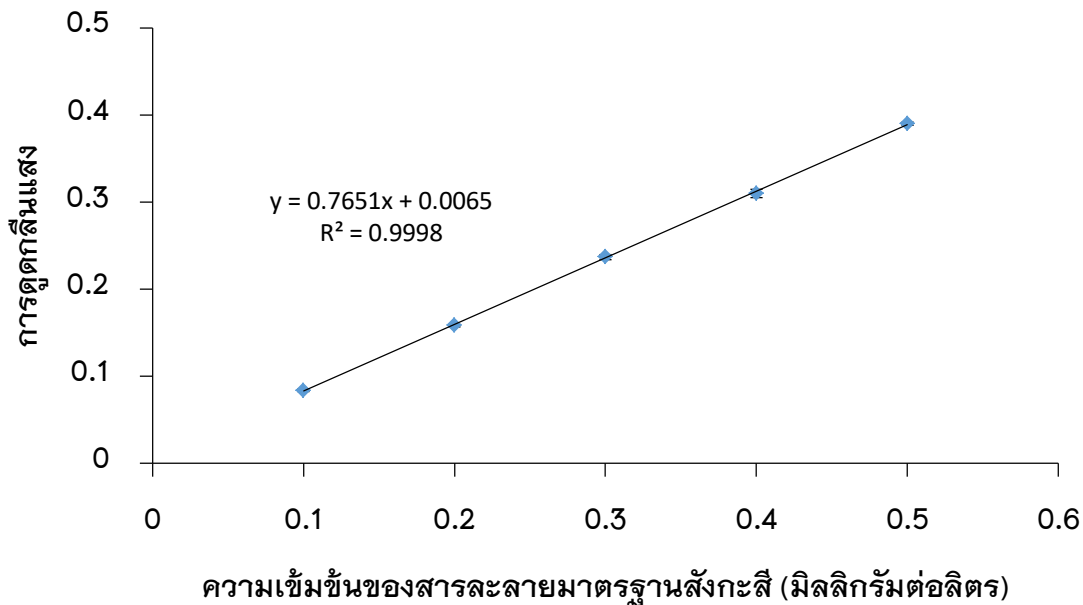
ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0797	0.0025
0.20	0.1701	0.0014
0.30	0.2447	0.0020
0.40	0.3259	0.0021
0.50	0.4078	0.0052



ภาพ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน 1.5 ลิตรต่อนาที

ตาราง 30 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน 1.8 ลิตรต่อนาที

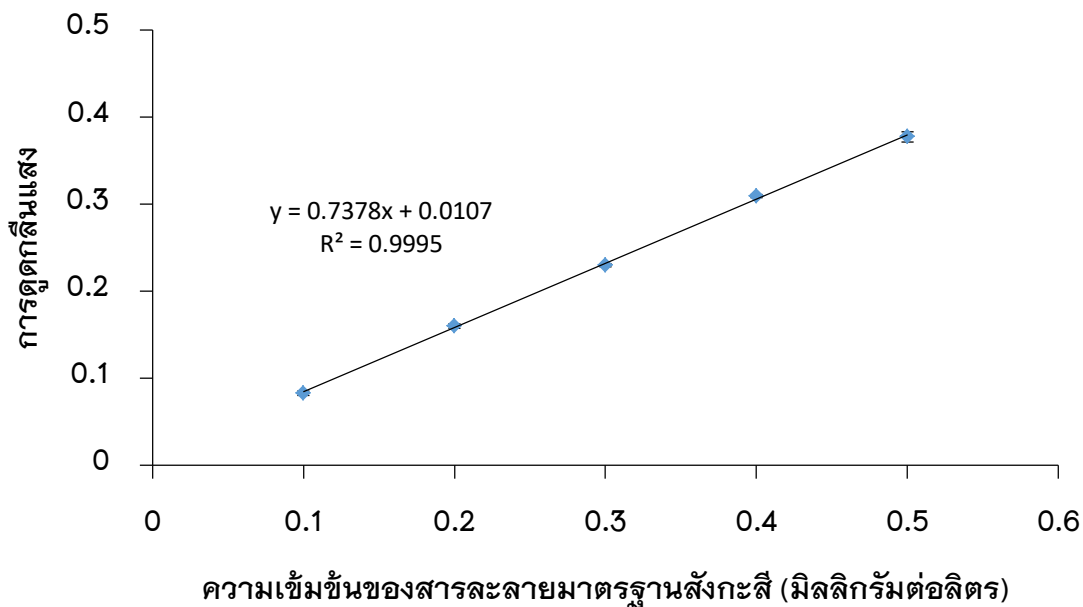
ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0838	0.0015
0.20	0.1584	0.0014
0.30	0.2372	0.0029
0.40	0.3101	0.0047
0.50	0.3905	0.0019



ภาพ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน 1.8 ลิตรต่อนาที

ตาราง 31 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน 2.0 ลิตรต่อนาที

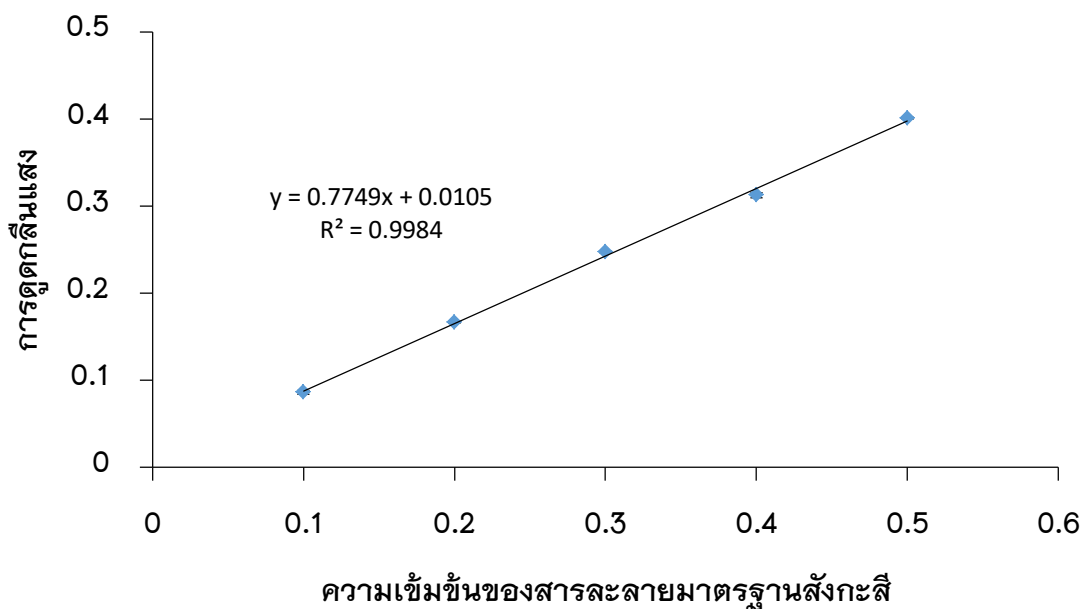
ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0831	0.0027
0.20	0.1603	0.0025
0.30	0.2299	0.0018
0.40	0.3095	0.0019
0.50	0.3774	0.0056



ภาพ 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน 2.0 ลิตรต่อนาที

ตาราง 32 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน 2.3 ลิตรต่อนาที

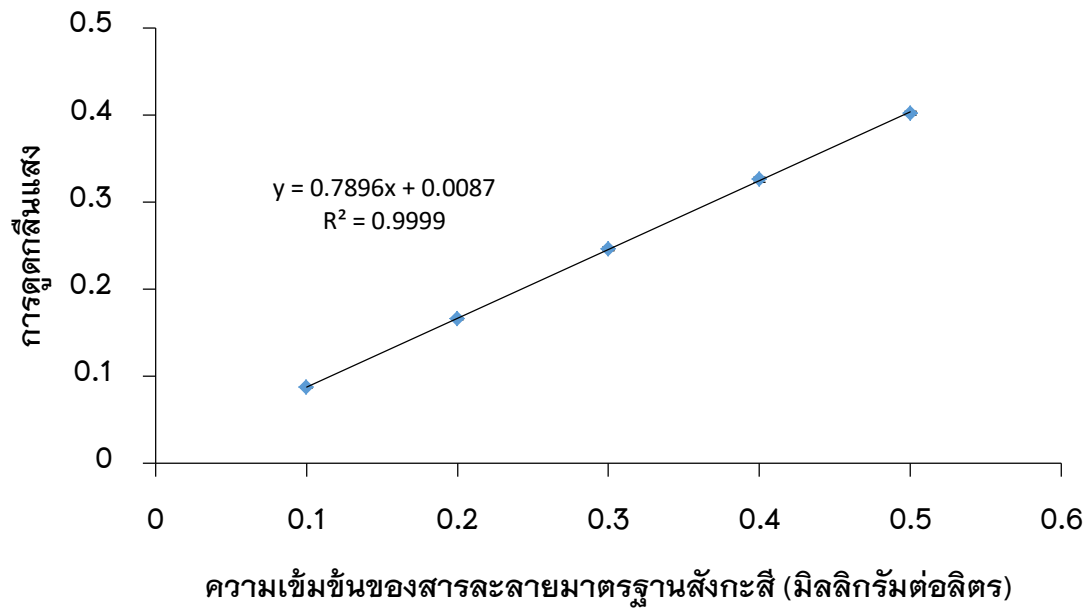
ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0866	0.0022
0.20	0.1668	0.0012
0.30	0.2476	0.0014
0.40	0.3127	0.0030
0.50	0.4011	0.0010



ภาพ 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน 2.3 ลิตรต่อนาที

ตาราง 33 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน 2.5 ลิตรต่อนาที

ความเข้มข้นของสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (n=3)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.10	0.0874	0.0009
0.20	0.1660	0.0010
0.30	0.2465	0.0020
0.40	0.3260	0.0027
0.50	0.4022	0.0021



ภาพ 32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีกับค่าการดูดกลืนแสงที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทิลีน 2.5 ลิตรต่อนาที

ภาคผนวก ข

การคำนวณ

1. การเตรียมสารละลาย

สูตรที่ใช้ $C_1V_1 = C_2V_2$

โดย C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายก่อนเจือจาง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V_1 = ปริมาตรของสารละลายก่อนเจือจาง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_2 = ความเข้มข้นของสารละลายหลังเจือจาง (มิลลิลิตร)

V_2 = ปริมาตรสารละลายหลังเจือจาง (มิลลิลิตร)

ตัวอย่าง เตรียมกรดไนตริกความเข้มข้น 1% จากกรดไนตริกความเข้มข้น 65% (v/v)

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$65\% (V_1) = (1\%) (1000 \text{ ml})$$

$$V_1 = \frac{(1\%) (1000 \text{ ml})}{65\%}$$

$$65\%$$

$$V_1 = 15.40 \text{ ml}$$

ตัวอย่าง เตรียมสารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร จากสารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$1000 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร } (V_1) = (5.00 \text{ ml}) (50 \text{ มิลลิลิตร})$$

$$V_1 = \frac{(5.00 \text{ mg/L}) (50.00 \text{ ml})}{1000.00 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 0.25 \text{ ml หรือ } 250 \text{ }\mu\text{L}$$

2. การคำนวณหาร้อยละการได้กลับคืน (%Recovery)

สูตรที่ใช้

$$\% \text{Recovery} = \left[\frac{(C_1 \times C_2)}{C_3} \right] \times 100$$

โดย C_1 = ความเข้มข้นของตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานสังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_2 = ความเข้มข้นของตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_3 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่เติมลงไป (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ตัวอย่าง ความเข้มข้นของตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานสังกะสีคือ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของตัวอย่างคือ 0 มิลลิกรัมต่อลิตรและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่เติมลงไปคือ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

$$\begin{aligned} \% \text{Recovery} &= \left[\frac{(C_1 \times C_2)}{C_3} \right] \times 100 \\ &= \left[\frac{(0.96 \text{ mg/L} - 0 \text{ mg/L})}{1.00 \text{ mg/L}} \right] \times 100 \end{aligned}$$

$$\% \text{Recovery} = 96 \%$$

3. การคำนวณขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด

3.1 Limit of Detection (LOD)

$$\text{สูตรที่ใช้} \quad \text{LOD} = \frac{\bar{X} + 3SD}{\text{Slope}}$$

โดย \bar{X} = ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของ Blank

SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Slope = ความชันของกราฟมาตรฐาน

ตัวอย่าง ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของ Blank คือ 0.0136 ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานคือ 0.0060 และ สมการเส้นตรงคือ $y = 0.2291x$

$$\begin{aligned} \text{LOD} &= \frac{\bar{X} + 3SD}{\text{Slope}} \\ &= \frac{0.0136 + 3(0.0060)}{0.2291} \\ &= 0.078 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

3.2 Limit of Quantitation (LOQ)

$$\text{สูตรที่ใช้} \quad \text{LOQ} = \frac{\bar{X} + 10SD}{\text{Slope}}$$

โดย \bar{X} = ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของ Blank

SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Slope = ความชันของกราฟมาตรฐาน

ตัวอย่าง ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของ Blank คือ 0.0136 ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานคือ 0.0060 และ สมการเส้นตรงคือ $y = 0.2291x$

$$\begin{aligned} \text{LOQ} &= \frac{\bar{X} + 10\text{SD}}{\text{Slope}} \\ &= \frac{0.0136 + 10(0.0060)}{0.2291} \\ &= 0.260 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

4. การคำนวณหาความเข้มข้นของสังกะสีในตัวอย่างน้ำฝิ่ง

หาได้จากสมการ Calibration curve $y = mx + c$

โดย y = ค่าดูดกลืนแสงเฉลี่ยของตัวอย่างน้ำฝิ่ง – ค่าดูดกลืนแสงของ Blank

m = ค่าความชัน

c = จุดตัดบนแกน y

x = ความเข้มข้นที่เราต้องการทราบ

ตัวอย่าง ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากตัวอย่างน้ำฝิ่งคือ 0.0156 โดยมีค่าดูดกลืนแสงของ Blank คือ 0.0140 และมีสมการเส้นตรงคือ $y = 0.2291X + 0.0211$

$$\begin{aligned} y &= 0.2291X + 0.0211 \\ 0.0156 - 0.0140 &= 0.2291X + 0.0211 \\ 0.0016 &= 0.2291X + 0.0211 \\ X &= \frac{0.0016 - 0.0211}{0.2291} \\ X &= 0 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ค

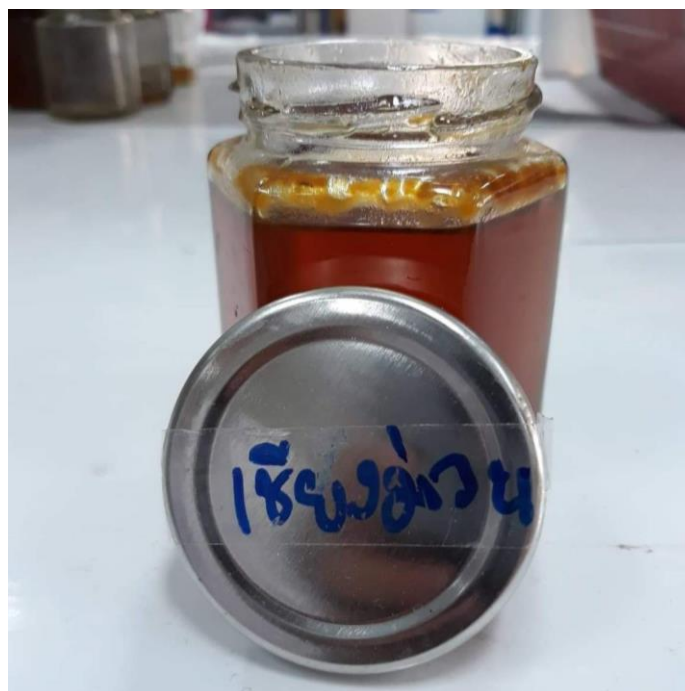
ภาพประกอบการศึกษาวิจัย



ภาพ 32 เครื่องเฟลมอะตอมมิกแอฟซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (FAAS), รุ่น SpectrAA 240FS, Varian, Australia



ภาพ 33 ตัวอย่างน้ำผึ้งอำเภอลำปาง



ภาพ 33 ตัวอย่างน้ำผึ้งอำเภอเชียงใหม่



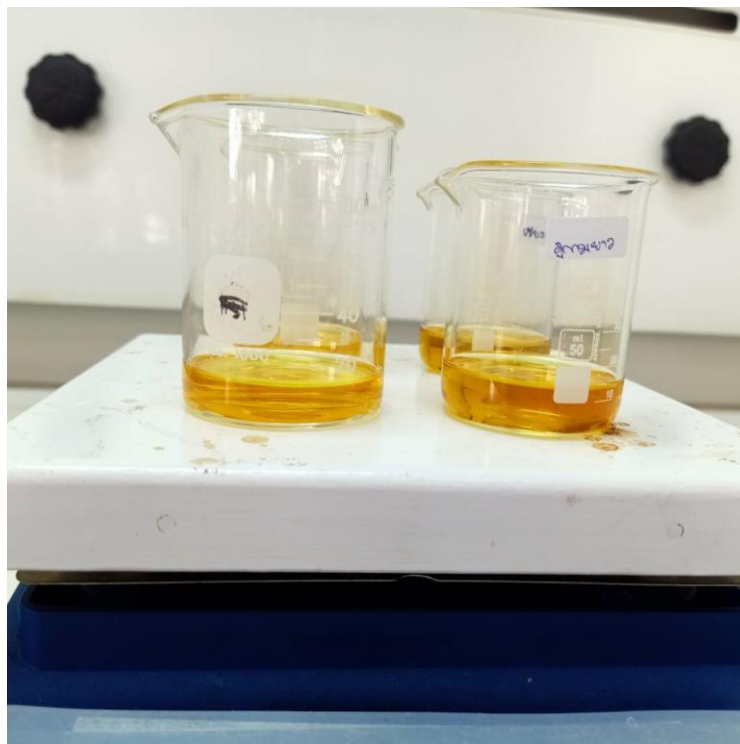
ภาพ 34 ตัวอย่างน้ำผึ้งอำเภภูเก็ต



ภาพ 35 ตัวอย่างน้ำผึ้งอำเภอมะนัง



ภาพ 36 การกรองสารละลายมาตรฐานสังกะสีก่อนการวิเคราะห์



ภาพ 37 ขั้นตอนการย่อยแบบเปียก

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ-สกุล	นายนุติเทพ ม่วงอ่อน
วัน-เดือน-ปีเกิด	21 มกราคม 2541
ที่อยู่ปัจจุบัน	80/4 หมู่ 23 ตำบลขามใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี 34000
หมายเลขโทรศัพท์	0863546268
Email	Nutitap14242@gmail.com
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2556	ระดับการศึกษาตอนต้น โรงเรียนเชียงฮัสสัมชัญ อำเภอเมือง จังหวัด อุบลราชธานี
พ.ศ. 2559	ระดับการศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนารีนุกูล อำเภอเมือง จังหวัด อุบลราชธานี
พ.ศ. 2562	ระดับปริญญาตรี สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา