

363.1792

๙231ก

๙3

การพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อม
เรื่องการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสี ในผัก
สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตของสถาบันราชภัฏ

บทคัดย่อ

ของ

สมเกียรติ แก้วจำรัสสุขสันติ

h 126230

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษาดุขบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตรศึกษา

มีนาคม 2544

25 เม.ย. 2544

สมเกียรติ แก้วจรัสสุสันติ. (2544). การพัฒนาทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสี ในผักสำหรับ หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ. ปรินญานิพนธ์ กศ.ด. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ , รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ , รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย.

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) หาสารย่อยสลายที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายผักตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี 2) ใช้สารย่อยสลายที่เหมาะสมเตรียมสารละลายผักตัวอย่างไปสร้างเป็นบทปฏิบัติการสำหรับนักศึกษา และ 3) ศึกษาผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และด้านเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ของนักศึกษาที่เรียนโดยใช้บทปฏิบัติการที่สร้างขึ้น

ผู้วิจัยได้แยกดำเนินการเป็น 3 ตอนคือ 1) ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ 2) นำผลที่ได้จากข้อ 1 มาสร้างเป็นบทปฏิบัติการพร้อมทั้งคู่มือการสอน 3) นำบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นไปทดลองสอนโดยใช้กลุ่มตัวอย่างคือนักศึกษาวิชาเอกเคมี ปี 3 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาเขตกรณ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี จำนวน 30 คน

ผลการวิจัยปรากฏดังนี้

1. สารย่อยสลายผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 35% โดยปริมาตร อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ใช้ในการย่อยสลายผักกาดเขียววางตุ้ง ผักบุ้ง และผักคะน้า เพื่อวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสี ตามลำดับ ได้ร้อยละการพบ 103.22 103.45 และ 100.92 ตามลำดับ

2. จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ นำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการ 3 บทปฏิบัติการ คือ ก) การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียววางตุ้ง โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี ข) การวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในผักบุ้ง โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี และ ค) การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในผักคะน้า โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

3. ผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาหลังการเรียนบทปฏิบัติการสูงกว่าก่อนเรียน

A DEVELOPMENT OF LABORATORIES MANUAL FOR ENVIRONMENT CHEMISTRY
LABORATORY ON ANALYSIS OF LEAD, MANGANESE AND ZINC CONTENT
IN VEGETABLES FOR THE RAJABHAT INSTITUTE'S
BACHELOR OF SCIENCE CURRICULUM

AN ABSTRACT
BY
SOMKIAT KAEWJUMRUSSUKSANTI

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Doctor of Education degree in Science Education
at Srinakharinwirot University

March 2001

Somkiat Kaewjumrussuksanti. (2001). ***A Development of Laboratories Manual for Environment Chemistry Laboratory on Analysis of Lead, Manganese and Zinc Content in Vegetables of the Rajabhat Institute's Bachelor of Science Curriculum.*** Dissertation, Ed.D (Science Education). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Assoc. Prof. Dr.Natthapong Charoenpit, Assoc. Prof. Dr. Prasert Sripairoj, Assoc. Prof. Dr.Somson Wongyounoi.

This experimental study was conducted under the following objectives: 1) to select appropriate digesting agents for the preparation of sample vegetables for heavy metals analysis by atomic absorption spectrophotometry, 2) to utilize the appropriate digesting agents in preparing laboratories manual for Environment Chemistry for students and 3) to study learning outcomes on integrated science process skills and scientific attitude earned by the students who studied the manual prepared.

The study was accomplished through the three stages : 1) conducting experiments in scientific laboratory, 2) preparing students' laboratory manual by utilizing findings found from the first stage and 3) conducting instructional experiments with thirty Rajabhat Petchburivitayalongkorn's third year students.

The findings were :

1. $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ 35% by V/V ratio 1:2 by volume is appropriate to digest Chinese cabbage on analysis of lead, water convolulus on analysis of manganese and Chinese kale on analysis of zinc. The analysis revealed %recovery of lead, manganese and zinc as 103.22, 103.45 and 100.92, respectively.

2. Three students' laboratories were prepared by utilizing findings from the scientific laboratories, namely; a) Determination of Lead Contents in Chinese Cabbage by Atomic Absorption Spectrophotometry, 2) Determination of Manganese Contents in Water Convolvulus by Atomic Absorption Spectrophotometry and 3) Determination of Zinc Contents in Chinese Kale by Atomic Absorption Spectrophotometry.

3. Students' learning outcomes on integrated science process skills and on scientific attitudes at the end of instructional experiment were higher than at the beginning.

การพัฒนาทปฏบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อม
เรื่องการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสี ในผัก
สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ

ปริญญานิพนธ์

ของ

สมเกียรติ แก้วจรัสสุขสันติ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษาดุขฎิบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา

มีนาคม 2544

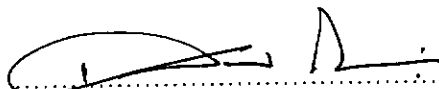
ลิขสิทธิ์เป็นของ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

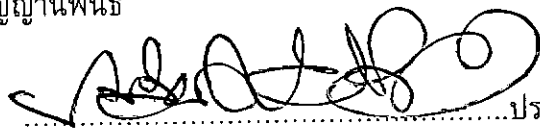
การพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อม
เรื่องการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสี ในผัก
สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตของสถาบันราชภัฏ

ของ
นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุขสันติ

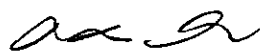
ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษาดุขบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตรศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

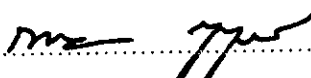
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)
วันที่ ๑ เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2544

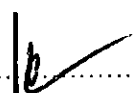
คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา ชูครุวงศ์)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(รองศาสตราจารย์ ดร.เรืองศรี วัฒนเสถ์)

ประกาศคุณูปการ

ในระหว่างการทำกรวิจัยเรื่องนี้ผู้วิจัยอยู่ในห้วงเวลาที่มีปัญหารุนแรงทางสุขภาพ อันเป็นอุปสรรคต่อการศึกษาค้นคว้าและทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์และทางการสอน ให้มีคุณภาพได้ แต่ด้วยการให้โอกาสและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ และรองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย กรรมการที่ปรึกษา งานวิจัยเรื่องนี้จึงสำเร็จได้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา ชูครุวงศ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.เรืองศรี วัฒนศักดิ์ ที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติมในการสอบปากเปล่าปริญญาโท

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ ตันทุลเวสส ดร.ผดุงชัย ภูพัฒน์ ดร.ชวลิต โพธิ์นคร ดร.เปรมจิตร บุญสาย ดร.ชาติรี เกิดธรรม อาจารย์วรากล จิตรทอง อาจารย์สมเจต นิลเนตร อาจารย์สุวัฒน์ คล่องดี อาจารย์ประดิษฐ์ เหล่าเนตร ที่กรุณาให้ คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการสถาบันวิจัยเคมี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลที่ให้ความ อนุเคราะห์ใช้เครื่องมือของสถาบันวิจัยเคมี ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการ สอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ขอขอบพระคุณอธิการ บดีสถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาเขตในพระบรมราชูปถัมภ์ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสวนดุสิต คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏ เพชรบูรณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการหาประสิทธิภาพเครื่องมือวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์อัจฉรา กุลวัฒน์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้าน การพิมพ์งาน ขอขอบพระคุณอาจารย์วิลาวัลย์ จำรูญโรจน์ ที่ให้คำปรึกษาและตรวจทาน ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณนักศึกษาโปรแกรมเคมีของสถาบันราชภัฏเพชรบุรี วิทยาเขตในพระบรมราชูปถัมภ์ สถาบันราชภัฏสวนดุสิต และสถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้ความร่วมมือในการเรียนการสอน

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ชาววิทยาศาสตร์ศึกษาตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำและเป็นกำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณพี่ ๆ ทุกคนในสกุล "แก้วจรัสสุขสันติ" ที่เป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยมา ตลอด คุณค่าและประโยชน์ใดที่พึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชา พระคุณต่อบิดา-มารดา ครู-อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สมเกียรติ แก้วจรัสสุขสันติ

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ.....	1
	ภูมิหลัง.....	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
	ความสำคัญของการวิจัย.....	3
	ขอบเขตของการวิจัย.....	4
	นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
	เอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	8
	เอกสารเกี่ยวกับผักตัวอย่าง.....	8
	เอกสารเกี่ยวกับโลหะหนัก.....	13
	เอกสารเกี่ยวกับหลักการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยวิธี อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี.....	19
	เอกสารเกี่ยวกับจุดประสงค์ของโปรแกรมวิชาเคมีและเนื้อหาของ วิชาเคมีสภาวะแวดล้อมหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ของสถาบันราชภัฏ.....	22
	เอกสารเกี่ยวกับหลักการสำคัญของการสอนวิทยาศาสตร์.....	23
	เอกสารเกี่ยวกับการสอนแบบปฏิบัติการทดลอง.....	25
	เอกสารเกี่ยวกับการวัดผลและการประเมินผลวิชาวิทยาศาสตร์.....	28
	เอกสารเกี่ยวกับการวัดผลและการประเมินผลการเรียนการสอน วิชาวิทยาศาสตร์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์.....	29
	เอกสารเกี่ยวกับการวัดผลและการประเมินผลการเรียนการสอน วิชาวิทยาศาสตร์ด้านเจตคติทางวิทยาศาสตร์.....	35
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40
	งานวิจัยที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในพืช โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี.....	40
	งานวิจัยที่เกี่ยวกับการเรียนการสอน.....	42
	สมมติฐานการวิจัย.....	53

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย	54
ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์	56
ตอนที่ 2 พัฒนารูปแบบปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม	
จากผลการทดลองในตอนี่ 1	70
ตอนที่ 3 นำแบบปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมที่พัฒนาขึ้น	
ไปทดลองสอน	73
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	81
ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์	81
ตอนที่ 2 การพัฒนารูปแบบปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม	
จากผลการทดลอง	114
ตอนที่ 3 การนำแบบปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมที่พัฒนาขึ้น	
ไปทดลองสอน	118
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	125
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	125
สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้า	125
วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า	126
การวิเคราะห์ข้อมูล	127
ผลการศึกษาค้นคว้า	127
อภิปรายผลการศึกษาค้นคว้า	131
ข้อเสนอแนะ	136
บรรณานุกรม	137
ภาคผนวก	147
ประวัติย่อผู้วิจัย	275

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 คุณค่าทางอาหารของผักบงในปริมาณ 100 กรัม.....	10
2 ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในอาหารที่ร่างกายสามารถรับได้ภายใน 1 วัน.....	14
3 ปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนอาหารบางชนิด	16
4 ปริมาณตะกั่วที่สะสมในเนื้อเยื่อต่างๆของคนไข้ที่เป็นโรคแพ้พิษตะกั่ว เปรียบเทียบกับคนปกติ.....	17
5 แสดงทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และคำถามที่นำไปสู่ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ.....	31
6 Condition ของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น AA-2380 ของบริษัท PERKIN-ELMER	58
7 การแบ่งช่วงเวลาในการเรียนการสอน.....	74
8 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธี AOAC เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	82
9 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของตะกั่วใน สารละลายผักกาดเขียววางตั้ง.....	83
10 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธี AOAC เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง.....	83
11 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของแมงกานีส ในสารละลายผักบง.....	84
12 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธี AOAC เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	85
13 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของสังกะสีใน สารละลายผักคะน้า.....	86
14 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตรเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	87

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
15	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของตะกั่วใน สารละลายผักกาดเขียวกวาดตั้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร.....	88
16	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง.....	88
17	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของตะกั่วใน สารละลายผักกาดเขียวกวาดตั้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร.....	89
18	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง.....	90
19	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของตะกั่วใน สารละลายผักกาดเขียวกวาดตั้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร	91
20	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง.....	91
21	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของตะกั่วใน สารละลายผักกาดเขียวกวาดตั้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร.....	93
22	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง.....	94
23	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของแมงกานีสใน สารละลายผักบุ้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร	95

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
24	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	95
25	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของแมงกานีสในสารละลายผักบุ้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร	96
26	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	97
27	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของแมงกานีสในสารละลายผักบุ้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร	98
28	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	98
29	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของแมงกานีสในสารละลายผักบุ้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร	100
30	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	101
31	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของสังกะสีในสารละลายผักคะน้าโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร	102

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
32 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐาน Standard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง.....	102
33 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของสังกะสีใน สารละลายผักคะน้าโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร	103
34 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง.....	104
35 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาด ของสังกะสีใน สารละลายผักคะน้าโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร	105
36 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง.....	105
37 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบและเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของสังกะสีใน สารละลายผักคะน้าโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร	106
38 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานในช่วง ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง.....	108
39 แสดงการหาความแม่นยำของการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในสารละลาย ผักกาดเขียววางตุ้ง.....	109
40 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานในช่วง ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง.....	110
41 แสดงการหาความแม่นยำของการวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีส ในสารละลายผักบุ้ง.....	111
42 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานในช่วง ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง.....	112
43 แสดงการหาความแม่นยำของการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี ในสารละลายผักคะน้า.....	113

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
44 ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติเคมีสภาวะแวดล้อม	115
45 ค่าเฉลี่ยและร้อยละของแบบทดสอบทั้ง 3 แบบ	118
46 แสดงค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จากการพิจารณาโดยผู้เชี่ยวชาญของแบบ ทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ.....	119
47 แสดงค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จากการพิจารณาโดยผู้เชี่ยวชาญของแบบ ทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์.....	120
48 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของการทำแบบทดสอบ วัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ก่อนเรียนและหลังเรียน (แยกเป็นรายด้าน)	122
49 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ การทำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ก่อนเรียนและหลังเรียน (โดยภาพรวม)	122
50 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของการทำแบบทดสอบ วัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียน (แยกเป็นรายด้าน)	123
51 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ การทำแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียน (โดยภาพรวม)	124
52 ปริมาณของธาตุโลหะบางตัวที่มีอยู่ในดิน พืช และน้ำธรรมชาติ	133
53 ปริมาณโลหะต่างๆในร่างกายเท่าที่จะทนได้โดยไม่เกิดอันตราย	133
54 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลายตะกั่วมาตรฐานโดยวิธี AOAC.....	245
55 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของตะกั่วในสารละลายผักกาดเขียววางตั้ง.....	246
56 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานโดยวิธี AOAC.....	247
57 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของแมงกานีส ในสารละลายผักนึ่ง.....	248
58 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลายสังกะสีมาตรฐานโดยวิธี AOAC.....	249

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
59 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของสังกะสี ในสารละลายฝักค่น้ำ.....	250
60 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย ตะกั่วมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	251
61 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของตะกั่วใน สารละลายฝักกาดเขียวกวางตุ้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร	252
62 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย ตะกั่วมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	253
63 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของตะกั่ว ในสารละลายฝักกาดเขียวกวางตุ้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร	254
64 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย ตะกั่วมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	255
65 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของตะกั่ว ในสารละลายฝักกาดเขียวกวางตุ้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร	256
66 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของ สารละลายตะกั่วมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ย จากการวัดทั้ง 3 ครั้ง.....	257
67 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของตะกั่ว ในสารละลายฝักกาดเขียวกวางตุ้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร	258
68 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย แมงกานีสมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	259

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
69 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของแอมกานีส ในสารละลายผักบุ้ง โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร.....	260
70 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย แอมกานีสมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	261
71 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของแอมกานีส ในสารละลายผักบุ้ง โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร.....	262
72 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย แอมกานีสมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	263
73 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของแอมกานีส ในสารละลายผักบุ้ง โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร.....	264
74 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย แอมกานีสมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	265
75 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของแอมกานีส ในสารละลายผักบุ้ง โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร.....	266
76 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย สังกะสีมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	267
77 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของสังกะสี ในสารละลายผักคะน้า โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร.....	268

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
78 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย สังกะสีมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	269
79 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของสังกะสี ในสารละลายผักคะน้า โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร.....	270
80 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย สังกะสีมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	271
81 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของสังกะสี ในสารละลายผักคะน้า โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร.....	272
82 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย สังกะสีมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง	273
83 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของสังกะสี ในสารละลายผักคะน้า โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร.....	274

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงระดับพลังงานของอะตอมโซเดียม ($_{11}\text{Na}^{23}$)($1S^2, 2S^2, 2p^6, 3S^1$)	20
2 แสดงการดูดกลืนและการเปล่งแสงของอะตอมในเปลวไฟ	21
3 แผนภาพแสดงการดำเนินการวิจัยในการพัฒนาบทปฏิบัติการ วิชาปฏิบัติการ เคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การหาปริมาณโลหะหนักในผักบางชนิด โดยวิธี AAS	55

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ปัจจุบันประชากรมนุษย์มีการขยายอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเกิดความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทั้งหมดเพื่อให้ผลผลิตมีปริมาณมากทันต่อการขยายจำนวนของประชากร (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540 : 205) ผลข้างเคียงจากผลิตผลทางเทคโนโลยีนี้เองที่เป็นแหล่งของปัญหาอันใหญ่หลวงมาสู่มนุษย์ นั่นคือ ภาวะสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ เช่น มลพิษของอากาศ มลพิษของน้ำ มลพิษของดิน พิษของสารเคมีพวกโลหะหนัก สิ่งเป็นพิษเหล่านี้ นอกจากจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์จากการได้รับสารนั้นโดยตรงแล้ว มนุษย์ยังอาจได้รับโดยทางอ้อมโดยผ่านการสะสมในห่วงโซ่อาหาร ปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม โดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์ในการนำวิทยาการใหม่ๆ มาพัฒนาประเทศให้เจริญก้าวหน้าเพื่อเพิ่มผลผลิต เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตและความเป็นอยู่ให้ดีขึ้น จึงเกิดการทำลายธรรมชาติจนทำให้เกิดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อม (วินัย วีระพัฒนานนท์, 2537 : 40) การป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมจะสำเร็จไปด้วยดีโดยประชาชนทุกคนจะต้องมีส่วนร่วมในการรับภาระร่วมกัน ทั้งนี้รวมถึงนักศึกษาที่ควรตระหนักถึงการมีส่วนร่วมรับผิดชอบในปัญหาเหล่านี้ด้วย โดยนักศึกษาได้ปฏิบัติจริงมีส่วนได้สัมผัสกับปัญหานั้น (เปรมจิตร บุญสาย, 2541 : 2)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าการศึกษาเกี่ยวกับภาวะสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อที่จะช่วยในการป้องกันและแก้ปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ คณะกรรมการร่างหลักสูตรของสถาบันราชภัฏได้กำหนดวิชาเคมีสภาวะแวดล้อมให้เป็นวิชาเลือกในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ซึ่งประกอบไปด้วย 2 รายวิชา คือ รายวิชาเคมีสภาวะแวดล้อม รหัส 4023708 เป็นภาคทฤษฎี และอีกรายวิชาหนึ่งคือรายวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม รหัส 4023709 เป็นภาคปฏิบัติ หลักสูตรการเรียนการสอนในระดับบัณฑิตนั้นจะต่างจากหลักสูตรในระดับมัธยมศึกษา คือ ถ้าเป็นระดับบัณฑิตนั้นในแต่ละรายวิชาจะมีการกำหนดหัวข้อสำคัญๆ มาให้ แล้วให้ผู้สอนขยายหัวข้อสำคัญๆ นั้นตามที่เห็นว่าเหมาะสม ดังเช่น วิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม รหัส 4023709 ได้กำหนดหัวข้อมาดังนี้ การวิเคราะห์หาค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี การวิเคราะห์หาไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถันในดิน การวิเคราะห์หาขี้เถ้าแอมलग โลหะหนักในพืช ในดิน ในน้ำ และในอากาศ ดังนั้น ถ้าได้มีการพัฒนาปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อมขึ้นน่าจะก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งต่อผู้สอนและผู้เรียน ผู้สอนจะได้ใช้เป็นแนวทางในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม เนื่องจากการเรียนการสอนวิชาเคมีนั้นจะมีทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ถ้าผู้เรียนได้

ปฏิบัติควบคู่กับภาคทฤษฎีจะทำให้ผู้เรียนเกิดผลสัมฤทธิ์ในการเรียนสูง (Al-Ruwashid : 1357A) การจัดการเรียนการสอนโดยเน้นปฏิบัติการทดลองจะทำให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เช่น วิธีการจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้ในการทดลอง การสังเกต การวัด การเก็บรวบรวมข้อมูล การสรุปผลข้อมูล และสิ่งสำคัญที่สุดคือการพัฒนาทักษะปฏิบัติการทดลองเพื่อให้เกิดความเข้าใจหลักการวิทยาศาสตร์มากขึ้น (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2536 : 1) นอกจากนี้ยังพบว่าการปฏิบัติการทดลองทางวิทยาศาสตร์เป็นการช่วยให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง ได้แก่ปัญหา ได้ค้นพบความรู้ทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเองมีเสรีภาพทางความคิด มีส่วนร่วมในการทดลองและแก้ปัญหาด้วยตัวเองมากที่สุด เป็นสิ่งสำคัญให้ผู้เรียนเข้าใจข้อเท็จจริง หลักการ มโนทัศน์ ทฤษฎี เกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ เข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (จำแลง เชื้อภักดี. 2538 : 38) ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะพัฒนาบทปฏิบัติการในวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผัก ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry, AAS) ขึ้น เพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่นยำ มีสภาพไวสูง ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาวิธีเตรียมสารละลายผักตัวอย่างที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน สะดวก ปลอดภัยและเหมาะสมกับการศึกษาในระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ อีกทั้งประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทดลอง เพื่อเป็นแนวทางสำหรับนำไปใช้สอนในวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมและเพื่อให้สอดคล้องกับเนื้อหาในรายวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมสำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ เมื่อผู้เรียนได้ทำบทปฏิบัติการนี้แล้วคาดว่าจะส่งผลให้ผู้เรียนเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และเกิดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ผู้เรียนจะสามารถเตรียมสารละลายผักตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรีได้ และนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน แนะนำให้ชุมชนของตนรู้เกี่ยวกับอันตรายของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในผักต่างๆ จากการศึกษาเอกสารรายงานการวิจัย เรื่อง การวิเคราะห์โลหะหนักในอาหารไทยของ ทวีศักดิ์ บุญยโชติมงคล และคณะ (2531 : 368-401) ซึ่งได้ทำการ วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผักชนิดต่างๆโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี พบว่าผักกาดเขียวกวาดงมีปริมาณตะกั่วในช่วง 0.52-1.82 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ผักบุ้งมีปริมาณแมงกานีสในช่วง 2.77 –85.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ผักคะน้ามีปริมาณสังกะสีในช่วง 3.93-21.20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยจะใช้ทั้งต้นของผักตัวอย่างมาหาปริมาณโลหะหนักดังกล่าว ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาโดยใช้สารย่อยสลาย (Digesting agent) ที่เป็นของผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 2:1 โดยปริมาตรมาทำการสลายผักตัวอย่างซึ่งใช้ผักกาดเขียว กวางตุ้ง ผักบุ้งและผักคะน้าเพื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสีตามลำดับด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

เพื่อหาอัตราส่วนผสมของกรดไนตริกเข้มข้นต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมมาสร้างเป็นบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แมงกานีสและสังกะสีในผักสำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาสารย่อยสลายที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายผักตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี
2. เพื่อใช้สารย่อยสลายที่เหมาะสมเตรียมสารละลายผักตัวอย่างไปสร้างเป็นบทปฏิบัติการ เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักต่างๆ สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต ของสถาบันราชภัฏ
3. เพื่อศึกษาผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ได้แก่ ทักษะการตั้งสมมติฐาน ทักษะการทดลอง ทักษะการตีความหมายและลงข้อสรุป ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ของนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต ของสถาบันราชภัฏโดยใช้บทปฏิบัติการที่สร้างขึ้น
4. เพื่อศึกษาผลการเรียนรู้ด้านเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ความละเอียดรอบคอบ ความพากเพียรพยายาม ความมีเหตุผล ความมีใจกว้าง ความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น ความซื่อสัตย์ และความอยากรู้อยากเห็นของนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏจากการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการที่สร้างขึ้น

ความสำคัญของการวิจัย

1. ได้ทราบถึงวิธีการเตรียมสารละลายผักตัวอย่างที่เหมาะสม เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี ที่สามารถใช้ในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม (4023709) สำหรับนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ
2. เป็นประโยชน์ต่ออาจารย์ผู้สอนวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมที่จะเลือกบทปฏิบัติการ เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในผักบางชนิดด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี ไปเป็นกิจกรรมการเรียนการสอนสำหรับนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ
3. เป็นการส่งเสริมการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่มีผู้เรียนเป็นสำคัญ มีส่วนร่วมในการทดลอง ทำให้ผู้เรียนได้ประสบการณ์ตรง

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) มีขอบเขตการดำเนินการ 3 ตอน

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

1. วิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสี ในผักกาดเขียววางตุ้ง ผักบุ้งและผักคะน้าตามลำดับ ตามวิธี AOAC โดยใช้ AAS

2. ศึกษาอัตราส่วนผสมของกรดไนตริกเข้มข้นต่อสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 2:1 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ใช้เป็นสารย่อยสลายผักกาดเขียววางตุ้ง ผักบุ้ง และผักคะน้า เพื่อวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสีตามลำดับ โดยใช้ AAS เพื่อคัดเลือกอัตราส่วนที่ให้ผลสอดคล้องกับวิธีของ AOAC

ตอนที่ 2 การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดเนื้อหาที่นำมาพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมและคู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม เฉพาะเรื่องนำสารย่อยสลายที่ได้จากการศึกษาในส่วนของ 1 มาใช้เตรียมสารละลายผักตัวอย่างในการสร้างบทปฏิบัติการ เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในผักสำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ ซึ่งประกอบไปด้วยบทปฏิบัติการ 3 บทปฏิบัติการ ดังนี้

บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียววางตุ้งด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในผักบุ้งด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในผักคะน้าด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

ตอนที่ 3 ขอบเขตการนำบทปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมที่พัฒนาขึ้น

ไปทดลองสอน

1. แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการทดลองสอน

แหล่งข้อมูลที่ใช้เป็นกลุ่มทดลองครั้งนี้ ได้แก่ นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี สถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาลัยการศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏ จังหวัดปทุมธานี ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2543 จำนวน 30 คน

2. ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองสอน

2.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่ การสอนโดยใช้บทปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมที่
ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

2.2.1 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

2.2.2 เจตคติทางวิทยาศาสตร์

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. บทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผัก หมายถึง บทปฏิบัติการที่นำความรู้เรื่องการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักมาสร้างเป็นบทปฏิบัติการทดลองวิทยาศาสตร์ ซึ่งในบทปฏิบัติการจะประกอบไปด้วยวัตถุประสงค์การเรียนรู้ หลักการทฤษฎี อุปกรณ์ เครื่องมือ สารเคมี วิธีการทดลอง การรายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายการทดลอง

2. การประเมินบทปฏิบัติการ หมายถึง การนำบทปฏิบัติการ เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักสำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏที่พัฒนาขึ้นมาประเมินก่อนนำไปใช้โดยใช้การประเมินแบบวิธีดัชนีความสอดคล้อง ซึ่งจะประเมินดัชนีความสอดคล้องด้านเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ(ใบความรู้) ด้านบทปฏิบัติการ เอกสารรายงานผลการทดลอง คำถามท้ายการทดลอง และคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการ

3. ผลการเรียนรู้ หมายถึง ผลการเรียนรู้ที่นักศึกษาได้รับหลังจากการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการนี้ ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาเฉพาะผลการเรียนด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและเจตคติทางวิทยาศาสตร์

4. ผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ หมายถึง ความสามารถในการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ในด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ 5 ด้าน ได้แก่ ทักษะการตั้งสมมติฐาน (Formulating Hypothesis), ทักษะการทดลอง (Experimenting), ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (Interpreting Data and Conclusion), ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร (Identifying and Controlling Variable) , ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ (Defining Operationally)

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการที่สร้างขึ้นโดยสาขาวิจัยและประเมินผล สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นเครื่องมือ

5. ผลการเรียนรู้ด้านเจตคติทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง พฤติกรรมเชิงลักษณะนิสัยของผู้เรียนตามคตินิยมของนักวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ความละเอียดรอบคอบ ความพากเพียร

พยายาม ความมีเหตุผล ความมีใจกว้าง ความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น ความซื่อสัตย์ และความอยากรู้อยากเห็น

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้แบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้นโดยสาขาวิจัยและประเมินผล สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นเครื่องมือ

6. นักศึกษา หมายถึง นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต โปรแกรมวิชาเคมี สถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาเขตกรรณิในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2543

7. สารย่อยสลาย หมายถึง สารที่ใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ในผักตัวอย่าง เพื่อเตรียมสารละลายผักสำหรับนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ปนอยู่ในผักตัวอย่าง

8. วิธี AOAC หมายถึง วิธีที่สมาคมนักเคมีนำมาใช้เตรียมสารละลายผักตัวอย่าง โดยใช้สารผสมระหว่างกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น + กรดไนตริกเข้มข้น + สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (1:1)

9. วิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ หมายถึง วิธีที่ผู้วิจัยใช้ในการเตรียมสารละลายผักตัวอย่างโดยใช้สารผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้น + สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 35% โดยปริมาตรในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 2:1 โดยปริมาตรต่อปริมาตร

10. ร้อยละการพบ (%Recovery) หมายถึง การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผักตัวอย่างโดยการนำปริมาณของโลหะในสารละลายมาตรฐานที่หาได้คูณด้วย 100 แล้วหารด้วยปริมาณโลหะในสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป

11. ร้อยละค่าผิดพลาด (%Error) หมายถึง ค่าผิดพลาดในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผักตัวอย่าง โดยการนำปริมาณของโลหะในสารละลายมาตรฐานที่หาได้ลบด้วยปริมาณของโลหะในสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป แล้วหารด้วยปริมาณโลหะของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไปทั้งหมดคูณด้วย 100

12. โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23.29 อยู่ในคาบที่ 4-7 ในตารางธาตุ บางที่จะเรียกโลหะปริมาณน้อย ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาโลหะหนัก 3 ธาตุ ได้แก่ ตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสี

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องการพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตเมตรี สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ของสถาบันราชภัฏ ในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

1. เอกสารเกี่ยวกับผักตัวอย่าง
 - 1.1 ผักกาดเขียวแกวสดึง
 - 1.2 ผักบุ้ง
 - 1.3 ผักคะน้า
2. เอกสารเกี่ยวกับโลหะหนัก
 - 2.1 ตะกั่ว (Pb)
 - 2.2 แมงกานีส (Mn)
 - 2.3 สังกะสี (Zn)
3. เอกสารเกี่ยวกับหลักการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry, AAS)
4. เอกสารเกี่ยวกับจุดประสงค์ของโปรแกรมวิชาเคมีและเนื้อหาของวิชาเคมีสภาวะแวดล้อม หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ของสถาบันราชภัฏ
5. เอกสารเกี่ยวกับหลักการสำคัญของการสอนวิทยาศาสตร์
6. เอกสารเกี่ยวกับการสอนแบบปฏิบัติการทดลอง
7. เอกสารเกี่ยวกับการวัดผลและการประเมินผลวิชาวิทยาศาสตร์
8. เอกสารเกี่ยวกับการวัดผลและการประเมินผลการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
9. เอกสารเกี่ยวกับการวัดและการประเมินผลผลการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ ด้านเจตคติทางวิทยาศาสตร์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในพืชโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอน
 - 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการเรียนการสอนโดยใช้กิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเจตคติทางวิทยาศาสตร์

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

1. เอกสารเกี่ยวกับผักตัวอย่าง

1.1 ผักกาดเขียวกวางตั้ง (Chinese Cabbage)

ผักกาดเขียวกวางตั้งเป็นพืชที่คนทุกภาครู้จักดีเพราะเป็นที่นิยมนำมาทำเป็นอาหารต่างๆ เช่น คนไทยภาคเหนือนิยมนำมาทำอาหารที่เรียกว่าผักกาดจ้อ คุณค่าทางโภชนาการของผักกาดเขียวกวางตั้ง ส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัมให้พลังงาน 8 กิโลแคลอรี ให้โปรตีน 19 กรัม ไขมัน 0.2 กรัม คาร์โบไฮเดรต 8.5 กรัม และให้เบต้า-แคโรทีน สูงถึง 225 ไมโครกรัม (เมฆ จันทรประยูร. 2541) ผักกาดเขียวกวางตั้งเป็นพืชอายุปีเดียว อายุการเก็บเกี่ยวสั้นเพียง 35-45 วัน เป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ปลูกได้ทุกฤดูกาล

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักกาดเขียวกวางตั้ง

ราก เป็นระบบรากแก้วอยู่ในระดับดิน ส่วนที่ใหญ่ที่สุดของรากแก้วประมาณ 1.20 เซนติเมตร มีรากแขนงแตกออกจากรากแก้วมาก โดยรากแขนงแผ่อยู่ตามบริเวณผิวดิน รากแก้วอาจมีขนาดใหญ่ขึ้นถ้าดินมีสภาพชื้นและเย็น

ลำต้น ตั้งตรง มีสีเขียว ขนาดโตเต็มที่รับประทานได้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.4-1.8 เซนติเมตร สูงประมาณ 43-54 เซนติเมตร ก่อนออกดอกลำต้นจะสั้น มีข้อถี่มากจนดูเหมือนกระดูกที่โคนต้น เมื่อออกดอกแล้ว ในระยะติดฝักต้นจะสูงขึ้นมากโดยเฉลี่ยประมาณ 85-114 เซนติเมตร

ใบ ใบเลี้ยงมี 2 ใบ มีสีเขียว ปลายใบตรงกลางจะเว้าเข้า ส่วนใบจริงจะแตกเป็นกระดูกที่บริเวณโคนต้นที่เป็นใบเดี่ยว ใบเรียบไม่ห่อหุ้มสีเขียว ใบอ่อนมีสีเขียวอ่อน ขอบใบเป็นรอยฟันเลื่อยเล็กน้อย ใบแก่ผิวใบเรียบหรือเป็นคลื่นเล็กน้อย ไม่มีขน ขอบใบเรียบหรืออาจมีรอยเว้าตื้นๆขนาดเล็ก โคนใบหยักเป็นคลื่นเล็กน้อย ปลายใบมน ก้านใบที่ติดกับลำต้นมีสีเขียวอ่อน เป็นร่องและเรียวกลมขึ้นไปหาแผ่นใบ ก้านใบหนาและสีเขียวอมเขียว สำหรับใบที่ช่อดอกจะมีก้านใบยาว 2-3 เซนติเมตร รูปใบเรียวแหลมไปทางฐานใบและปลายใบ ขอบใบเรียบ

ช่อดอกและดอก จะออกดอกเมื่ออายุประมาณ 55-75 วัน ช่อดอกยาว 55-75 เซนติเมตร ดอกตูมรวมกลุ่มอยู่บนยอดช่อดอก ดอกบานจากด้านล่างไปหาด้านบน ดอกที่บานแล้วมีก้านดอกยาวกว่าดอกตูม ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ ขนาดดอก 1-1.5 เซนติเมตร กลีบดอกชั้นนอกสีเขียวอ่อน 4 อัน ขนาดกลีบกว้าง 1.0-0.2 เซนติเมตร ยาว 0.7-0.8 เซนติเมตร กลีบชั้นในสีเหลืองสด 4 อันแยกเป็นกลีบๆขนาดกลีบกว้าง 0.5-0.6 เซนติเมตร ยาว 1.1-1.2

เซนติเมตร มีเกสรตัวผู้ 6 อัน อับเกสรสีเหลืองแก่ ก้านชูเกสรสีเหลือง รังไข่ยาว 0.5-0.6 เซนติเมตร ซึ่งอยู่เหนือกลีบดอกและเกสรตัวผู้ ก้านเกสรตัวเมียสีเขียวยาว 0.2-0.25 เซนติเมตร ยอดเกสรตัวเมียเป็นตุ่มสีเหลืองอ่อน ดอกบานในตอนเช้าประมาณเวลา 08.00 นาฬิกา

ผล มีลักษณะเป็นฝัก รูปร่างเรียวยาวแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนปลายไม่มีเมล็ดยาวประมาณ 0.9-1.5 เซนติเมตร และส่วนที่มีเมล็ดยาวประมาณ 3.0-4.1 เซนติเมตร กว้าง 0.3-0.5 เซนติเมตร ก้านผลยาว 1.3-2.5 เซนติเมตร ผลตั้งขึ้น เมื่อผลแก่จะแตกตามยาวจากโคนไปหาปลายผล เมื่ออ่อนมีสีเขียว ผลแก่มีสีน้ำตาล

เมล็ด ก่อนข้างกลมมีทั้งสีน้ำตาลแดงและสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ ผิวเมล็ดมีลายแบบร่างแห เห็นไม่ค่อยชัด น้ำหนัก 1,000 เมล็ดประมาณ 2.5 กรัม

พันธุ์ผักกาดเขียวกวาดตั้งที่นิยมปลูกกันมากคือผักกาดเขียวกวาดตั้งใบ ผักกาดเขียวกวาดตั้งสามารถขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิด แต่เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในสภาพดินร่วนปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ดี มีอินทรีย์วัตถุสูง ความเป็นกรดเป็นด่างของดินควรอยู่ระหว่าง 6.0-6.8 ชอบดินที่มีความชื้นสูงเพียงพอสม่ำเสมอ ได้รับแสงแดดเต็มที่ตลอดวัน อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20-25 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามในประเทศไทยสามารถปลูกผักกาดเขียวกวาดตั้งได้ตลอดปี

1.2 ผักบุ้ง (Water Convolvulus)

ผักบุ้งเป็นพืชในวงศ์ Convolvulaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomaea aquatica* Farsk (Herklots. 1972) มีชื่อสามัญหลายชื่อ เช่น Water Spinach, Water Convolvulus และ Swamp Cabbage ผักบุ้งมีถิ่นกำเนิดแถบเอเชียเขตร้อน และแอฟริกาเขตร้อน เป็นพืชหนึ่งฤดูเก็บเกี่ยวหรือสองฤดูเก็บเกี่ยวขึ้นปี มีความเป็นอยู่แบบพืชน้ำหรือกึ่งน้ำ เลื้อยไปตามพื้นดินหรือลอยตัวอยู่บนผิวน้ำตามแต่ละชนิด ผักบุ้งเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะวิตามินเอ นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุอื่นๆดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 คุณค่าทางอาหารของผักบุ้งในปริมาณ 100 กรัม

คุณค่าทางอาหาร	ปริมาณ
ความชื้น	89.7 เปอร์เซ็นต์
พลังงาน	30.0 แคลอรี
โปรตีน	3.9 กรัม
ไขมัน	0.6 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	4.4 กรัม
เส้นใย	1.4 กรัม
แคลเซียม	71.0 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	67.0 มิลลิกรัม
เหล็ก	3.2 มิลลิกรัม
โซเดียม	49.0 มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	485.0 มิลลิกรัม
วิตามินเอ	4825.0 มิลลิกรัม
ไทอามีน	0.09 มิลลิกรัม
ไรโบฟลาวิน	0.24 มิลลิกรัม
ไนอาซิน	1.3 มิลลิกรัม
กรดแอสคอร์บิก	49.0 มิลลิกรัม

ที่มา: Knott, J.E. and Deaman, J.R. (1967). *Vegetable Production in Southeast Asia*.
Philippines : U.P. College of Agriculture, Laguna.

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักบุ้ง

สุเทวี สุขปรากฏ (2522 : 23-26) ได้กล่าวถึงลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักบุ้งไว้ ดังนี้

ราก (Root) ผักบุ้งเป็นพืชที่มีระบบรากแก้ว มีรากแขนงแตกออกมาจากด้านข้างของรากแก้ว และยังมีรากฝอยแตกออกมาจากข้อด้านข้างบริเวณข้อที่มีอายุมาก เพื่อช่วยในการหาอาหาร

ลำต้น (Stem) มีข้อและปล้องเห็นได้ชัด บริเวณข้อจะมีตาอยู่ 2 ชนิด คือ ตาใบและตาดอก ตาใบอยู่ด้านนอกและตาดอกอยู่ด้านใน รากจะเกิดขึ้นที่ข้อทุกข้อที่สัมผัสพื้นดินและพื้นน้ำ ลำต้นมีตั้งแต่สีเขียวอมเหลืองจนถึงสีส้มอมเทา ลำต้นมียางสีขาว ในระยะแรกของการเจริญเติบโตลำต้นจะตั้งขึ้นก่อน และจะเลื้อยทอดยอดไปตามพื้นดินหรือพื้นน้ำในระยะต่อไป

ใบ (Leaf) ลักษณะเป็นใบเดี่ยว ขอบใบเรียบหรือเป็นคลื่น มีรูปร่างหลายลักษณะ เช่น รูปหอก (Lanceolate) รูปหัวใจ (Cordate) รูปคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Oblong) รูปสามเหลี่ยม (Deltoid) รูปกลม (Orbicular) การจัดเรียงของใบและตำแหน่งที่ตั้งของใบเป็นแบบสลับ ข้อหนึ่งมีใบเพียงใบเดียว ขนาดของใบใกล้เคียงกัน

ดอก (Flower) ลักษณะเป็นช่อดอก ดอกแต่ละดอกเป็นดอกแบบสมบูรณ์เพศ (Simple dichasium) มีกลีบเลี้ยง (Sepal) สีเขียว 5 กลีบ แยกออกจากกัน กลีบดอก (Petal) เชื่อมติดเป็นกรวยสีขาวถึงสีม่วงอ่อน การจัดเรียงตัวของกลีบดอก ขณะยังดุมจะบิดเวียนไปทางเดียวกัน ภายในดอกประกอบด้วยเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย

เกสรตัวผู้ (Stamen) มี 5 อัน 3 อันสั้น 2 อันยาว เรียงอยู่ในวงเดียวกัน เกสรตัวผู้ประกอบด้วยอับเรณู (Anther) และก้านเกสรตัวผู้ (Filament) โดยก้านเกสรตัวผู้ติดอยู่ที่ฐานของอับเรณูแบบอินเนต (Innate)

เกสรตัวเมีย (Pistil) เป็นแบบธรรมดา มีก้านชูเกสรไม่แตกแขนง ยอดเกสรตัวเมีย (Stigma) รวมกันแน่นคล้ายตะบอง รังไข่ (Ovary) อยู่ติดกับฐานรองดอก (Receptacle) ในระดับที่เหนือกว่าการติดของกลีบดอก และเกสรตัวผู้ สำหรับการติดของ Ovule เป็นแบบที่แกนกลางมี 4 ช่อง ในช่องหนึ่งมีหนึ่งเมล็ดถึงหลายเมล็ด

ผล เป็นผลเดี่ยว ไม่แตกเมื่อแห้ง ขนาดของผลใกล้เคียงกัน ผลแก่มีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลแก่

เมล็ด มีรูปร่างสามเหลี่ยมฐานมน โดยทั่วไปฝักบุงมีจำนวนเมล็ด 4 เมล็ดต่อ 1 ผล

ดุษณี ศรีรุ่งเรือง (2530) ได้ทำการศึกษาความผันแปรลักษณะพฤกษศาสตร์ของฝักบุงได้แบ่งฝักบุงออกเป็น 3 กลุ่ม โดยยึดหลักสีของลำต้นและสีของดอกเป็นเกณฑ์พิจารณาไว้ดังนี้

1. ฝักบุงจีน เป็นฝักบุงที่มีขนาดลำต้นอวบใหญ่ กรอบ ไม่แข็ง ลำต้นมีสีเขียวถึงเขียวอ่อน ให้ออกดอกและมีสีขาวขนาดใหญ่
2. ฝักบุงไทยแดง เป็นฝักบุงที่มีลำต้นขนาดเล็ก มีความเหนียวมาก ลำต้นเขียวปนน้ำตาลแดง ปลายยอดจะมีสีม่วงแดง ออกดอกสีม่วงเข้ม ดอกไม่ตก ขนาดเล็ก
3. ฝักบุงไทยเขียว เป็นฝักบุงที่มีลำต้นอวบใหญ่ กรอบแต่เหนียว ลำต้นสีเขียว ออกดอกสีม่วง ดอกตก และขนาดใหญ่มากกว่าฝักบุงไทยแดง

ในการตรวจสอบฝักบุงว่าชนิดใดเป็นฝักบุงไทยหรือฝักบุงจีน ยึดหลักว่าถ้าฝักบุงมีลำต้นสีแดงหรือม่วงแดงปรากฏขึ้นไม่ว่าตำแหน่งใดของลำต้นแสดงว่าเป็นฝักบุงไทย สำหรับฝักบุงจีนนั้นจะมีลำต้นเขียว สีเขียวอ่อน ถ้ามีสีน้ำตาลแดงปรากฏอยู่ แสดงว่าฝักบุงจีนนั้นมีการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างฝักบุงจีนกับฝักบุงไทย

การเจริญเติบโตของผักบุ้ง

แซทพาทตี (Satpathy. 1964) ได้ศึกษาพบว่า ผักบุ้งเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดีทั้งบนบกและในน้ำ สำหรับผักบุ้งที่ปลูกบนพื้นดินนั้น ดินที่เหมาะสมในการปลูกคือดินร่วนเหนียว และดินเหนียวที่มีอินทรีย์วัตถุสูง ยิ่งถ้ามีน้ำมาก ผักบุ้งจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าปริมาณน้ำไม่เพียงพอ การเจริญเติบโตจะหยุดชะงักลง ลำต้นจะแข็งกระด้าง นี้อตและติมอน (Knott and Deamon. 1967) ได้ศึกษาพบว่า เมล็ดผักบุ้งเมื่อได้รับความชื้นพอเหมาะจะงอกภายใน 48 ชั่วโมง ถ้าเป็นเมล็ดที่มีชีวิตและไม่มีสายพันธุ์อื่นเจือปนหลังงอกแล้ว 5-7 วันจะเห็นใบเลี้ยงของผักบุ้งมีลักษณะ 2 แฉกที่ปลาย การเจริญเติบโตจะรวดเร็วภายใน 2 สัปดาห์แรก ลำต้นจะตั้งตรงเมื่ออายุ 40-45 วัน จะเปลี่ยนการเจริญเติบโตออกไปทางยอด เลื้อยไปตามแนวราบอย่างรวดเร็ว

1.3 ผักคะน้า (Chinese Kale)

เมฆ จันทรประยูร (2541 : 47-57) ได้กล่าวถึงผักคะน้าพอสรุปได้ดังนี้ ผักคะน้าเป็นพืชในวงศ์ Cruciferae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Brassica Oleracea cv. Group Chinese Kale ผักคะน้ามีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปเอเชียและปลูกกันมากในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น จีน ไต้หวัน มาเลเซีย ผักคะน้าเข้ามาในเมืองไทยโดยชาวจีนที่เข้ามาประกอบอาชีพสวนผัก คะน้าเป็นผักสร้างกระดูกเหมือนใบยอ แต่เหนือกว่าใบยอตรงที่หาได้ง่ายกว่าและกินได้บ่อยกว่า ใบคะน้ามีแคลเซียมสูง ร่างกายสามารถดูดซึมแคลเซียมจากคะน้าได้ไม่น้อยกว่าแคลเซียมจากนม นอกจากแคลเซียมแล้วที่พบมากในใบเขียวจัดของคะน้าก็คือ เบต้า-แคโรทีน ซึ่งเป็นหนึ่งในสาร 500 ชนิดที่รวมอยู่ในหมู่ แคโรทีนอยด์ สารนี้เมื่อถ่ายโอนจากผักสู่ร่างกายมนุษย์จะกลายเป็นฐานในการแปรรูปสู่วิตามินเอ และได้มีการค้นพบกันมานานแล้วว่า การกินวิตามินเอให้เพียงพอจะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งที่กระเพาะอาหาร ลำไส้ ลำคอ ปอดและกระเพาะปัสสาวะได้อีกด้วย ผักคะน้าส่วนที่กินได้ 100 กรัมให้พลังงาน 24 กิโลแคลอรี ให้โปรตีน 2.7 กรัม ให้ไขมัน 0.5 กรัม ให้คาร์โบไฮเดรต 2.2 กรัม แต่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งตรงที่ให้แคลเซียมสูงถึง 245 มิลลิกรัม ให้วิตามินสูงถึง 141 มิลลิกรัม ให้เบต้า-แคโรทีนสูงถึง 186.92 ไมโครกรัมเทียบหน่วยเรตินัล

พันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยเป็นคะน้าดอกขาวทั้งสิ้น โดยสั่งเมล็ดจากต่างประเทศเข้ามาปลูกและปรับปรุงพันธุ์ ปัจจุบันจึงมีอยู่ถึง 3 พันธุ์ที่นิยมปลูกคือ

1. พันธุ์ใบกลม มีลักษณะใบกว้างใหญ่ ปล้องสั้น ปลายใบมนและผิวใบเป็นคลื่นเล็กน้อย ได้แก่ พันธุ์ฟางเบอร์ 1
2. พันธุ์ใบแหลม เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะใบแคบกว่าพันธุ์ใบกลม ปลายใบแหลม ขื่อห่าง ผิวใบเรียบ ได้แก่ พันธุ์ P.L.20

3. พันธุ์ยอดหรือก้าน มีลักษณะใบเหมือนกับคะน้าใบแหลมแต่น้อยกว่า ปล้องยาวกว่า ได้แก่ พันธุ์แม่โจ้ 1

พันธุ์แม่โจ้ 1 เป็นคะน้าพันธุ์ที่มีลักษณะตรงกับค่านิยมของผู้บริโภค ลำต้นเป็นลำต้นอวบ ส่วนกลางป่องใหญ่ ใบเรียบ ปลายใบแหลม ตั้งชี้ขึ้น ก้านใบบาง ช่วงข้อยาว มีน้ำหนัก ส่วนที่เป็นลำต้นและก้านมากกว่าใบ ให้ผลผลิตสูงทุกภาคตลอดปี อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 45-48 วัน ขนาดลำต้นสูงเฉลี่ย 33.40 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นส่วนใหญ่ที่สุดคือ 2 เซนติเมตร จำนวนใบต่อดันเฉลี่ย 9 ใบ น้ำหนักเฉลี่ยต่อดัน 143 กรัม อายุตั้งแต่ปลูกจนถึงออกดอกประมาณ 50-55 วัน ให้ผลผลิตประมาณ 1,500-2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ที่สำคัญที่สุดคือ เป็นพันธุ์ที่ต้านทานต่อโรคลำต้นแตก

การปลูกคะน้า นิยมหว่านเมล็ดลงบนแปลงปลูกโดยตรงมากกว่าการย้ายกล้า หว่านเมล็ดให้กระจายทั่วทั้งผืนแปลง ให้เมล็ดห่างกันประมาณ 2-3 เซนติเมตร ใช้ดินผสมหรือปุ๋ยคอกที่สลายตัวดีแล้วหว่านกลบเมล็ดให้หนาประมาณ 0.6-1.0 เซนติเมตร เพื่อเก็บรักษาความชื้นให้เมล็ดและป้องกันเมล็ดถูกน้ำกระแทกกระจาย คลุมด้วยฟางหรือหญ้าแห้งสะอาด บางๆรดน้ำให้ทั่วถึงและสม่ำเสมอ ต้นกล้าจะงอกภายใน 7 วัน เมื่อคะน้าอายุได้ประมาณ 20 วันหรือต้นสูงประมาณ 10 เซนติเมตร ให้เริ่มทำการถอนครั้งแรก โดยเลือกถอนต้นที่ไม่สมบูรณ์ออก ให้เหลือระยะห่างระหว่างต้นประมาณ 10 เซนติเมตร และเมื่อคะน้าอายุได้ราว 30 วัน จึงทำการถอนครั้งที่ 2 โดยให้เหลือระยะห่างระหว่างต้น 20 เซนติเมตร ต้นคะน้าที่ถอนแยกออกมาในครั้งที่สองนี้ นำมาทำเป็นอาหารรับประทานเป็นยอดผักได้ และการถอนแยกคะน้าแต่ละครั้งควรทำการกำจัดวัชพืชไปในตัวด้วย

2. เอกสารเกี่ยวกับโลหะหนัก

ไรลีย์ (Reilly, 1980) ได้กล่าวถึงโลหะหนักพอสรุปได้ดังนี้ โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-29 อยู่ในคาบที่ 4-7 ในตารางธาตุ เป็นสารประกอบที่สะสมในวงชีวิตโดยขบวนการทางชีวภาพ ถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหารทำให้เกิดพิษต่อร่างกาย โลหะเหล่านี้จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมโดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ ผักและผลไม้ จากนั้นจะเข้าสู่มนุษย์ ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้มีทั้งที่จำเป็นต่อร่างกายและไม่จำเป็นต่อร่างกาย ก่อให้เกิดพิษ โลหะหนักที่จำเป็นต่อร่างกายได้แก่ โครเมียม แมงกานีส เหล็ก โคบอลต์ ทองแดง สังกะสี โมลิบดีนัม ดีบุก นิกเกิล และวานาเดียม โลหะที่ไม่จำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่ รูบิเดียม อลูมิเนียม ดิเตเนียม โบรอน และเซอร์โคเนียม ส่วนโลหะหนักที่เป็นพิษต่อร่างกาย ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่วปรอท พลวง สารหนู แบเรียม และเบริลเลียม โลหะหนักที่เป็นพิษ อาจจะทำให้เกิดอันตรายทั้งพิษเฉียบพลันและเรื้อรัง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลาที่ได้รับสาร อย่างไรก็ตามโลหะหนักที่ไม่ก่อให้เกิดพิษและโลหะหนักที่จำเป็นต่อร่างกาย อาจจะทำให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายได้หากได้รับในปริมาณสูงเกินความต้องการ คณะ

กรรมการโครงการมาตรฐานอาหารโลก ได้กำหนดปริมาณสูงสุดของโลหะหนักที่ปนเปื้อนมา ในอาหารที่ร่างกายสามารถรับได้ใน 1 วันโดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย แสดงในตาราง 2

ตาราง 2 ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในอาหารที่ร่างกายสามารถรับได้ภายใน 1 วัน

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก	
	mg/Kg ของน้ำหนักร่างกายต่อวัน	mg/Kg ของน้ำหนักอาหารต่อวัน
As	0.05	3.57
Cd	$9.57 \times 10^{-4} - 1.19 \times 10^{-3}$	0.0684 - 0.0850
Cu	0.05	35.71
Hg	7.14×10^{-4}	0.051
Pb	7.14×10^{-3}	0.051
Zn	0.3 - 1.0	21.4286 - 71.4286

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2528). โลหะปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักงานฯ.

2.1 ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่ว เป็นโลหะหนักอยู่ในหมู่ IVA ของตารางธาตุ มีมวลอะตอม 204.21 มีสีเทาเงิน ลักษณะอ่อน จุดหลอมเหลว 327.4 °C จุดเดือด 1620 °C ความถ่วงจำเพาะ 11.35 เป็นตัวนำไฟฟ้าที่เลว คงทนต่อการสึกกร่อน ละลายในน้ำเย็นหรือน้ำร้อนได้เล็กน้อย ละลายได้ดีในกรดไนตริกและกรดกำมะถันที่ร้อน เป็นธาตุที่มีในธรรมชาติกระจายอยู่ทั่วไป ปรากฏบนเปลือกโลกเฉลี่ยประมาณ 10 - 15 ppm. (พิมล เรียนวัฒนา และชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2525 : 15) และจะปรากฏเป็นธาตุอิสระน้อยมาก พบในรูปแร่ที่สำคัญ ได้แก่ กัลเลนต์(Galence), เจรูไซต์(Gerusite) และ แอนเกลสไซต์(Anglessite) ในปัจจุบันตะกั่วเข้ามามีบทบาทในการดำเนินชีวิตอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะด้านอุตสาหกรรมอาจจะพบตะกั่วทั้งในอากาศ น้ำ ดิน สัตว์ และพืช ในเครื่องอุปโภคบริโภค ทำให้มนุษย์สัมผัสกับสารประกอบตะกั่วมากขึ้นในชีวิตประจำวัน อุตสาหกรรมที่ตะกั่วมีบทบาทมากได้แก่ การทำแบตเตอรี่รถยนต์ ผสมในน้ำมันเบนซินเป็นสารกันเครื่องยนต์กระตุก อุตสาหกรรมทำสี ยาปราบศัตรูพืช อุตสาหกรรมกระเบื้องเคลือบเซรามิค กระป๋องบรรจุอาหาร และอุตสาหกรรมตัวพิมพ์ เป็นต้น ตะกั่วเป็นธาตุที่ก่อให้เกิดพิษร้ายแรงทั้งต่อคน พืชและสัตว์ สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้หลายทาง จากการสูดดมเข้าทาง

ปอด จากการบริโภคผ่านทางหลอดอาหาร หรือแม่แต่ซึมผ่านทางผิวหนัง เมื่อตะกั่วที่ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิต โดยร้อยละ 95 ของตะกั่วจะเกาะอยู่กับเม็ดเลือดแดง ตะกั่วที่อยู่ในอวัยวะจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่คงตัวและส่วนที่ถ่ายเทได้ ส่วนที่ถ่ายเทได้จะอยู่ในกระแสโลหิตและในเนื้อเยื่อ ส่วนที่คงตัวอยู่ในกระดูกและฟัน ตะกั่วจะถูกถ่ายผ่านทางรกได้ ระดับตะกั่วในเลือดของทารกจะมีปริมาณเกือบเท่าของมารดา การขับถ่ายตะกั่วออกจากร่างกายส่วนใหญ่ร้อยละ 75 – 80 ทางปัสสาวะ มีบางส่วนเท่านั้นที่ถูกขับถ่ายทางน้ำนมมารดา ตะกั่วมีพิษต่อระบบโลหิตของร่างกาย เนื่องจากการยับยั้งการสร้างฮีโมโกลบินและลดอายุของเม็ดเลือดแดงให้สั้นลง ซึ่งอาจเป็นผลให้เกิดโรคโลหิตจางได้ นอกจากการได้รับตะกั่วจากการประกอบอาชีพแล้ว ยังได้รับตะกั่วโดยการหายใจ ซึ่งถูกดูดซึมผ่านปอดเข้าสู่ร่างกายได้มากกว่าการดูดซึมของตะกั่วที่ได้รับจากการบริโภคอาหาร ผู้ใหญ่ที่อาศัยในเขตเมืองได้รับจากอาหารและน้ำร้อยละ 10 ของปริมาณตะกั่วที่ได้รับจากทุกแหล่งต่อวัน (100-500 ไมโครกรัม/วัน) ร้อยละ 10 ของตะกั่วที่บริโภคเท่านั้นที่ถูกดูดซึม ในกรณีของเด็กส่วนใหญ่จะได้รับปริมาณตะกั่วต่ำกว่า แต่จะถูกดูดซึมได้ครึ่งหนึ่ง

อาการพิษของตะกั่วที่พบในผู้ใหญ่ คือ โลหิตจาง ปวดเกร็งกล้ามเนื้ออย่างแรง เบื่ออาหารและอ่อนเพลีย มีอาการอัมพาต โดยเฉพาะแขนและขา โดยอาการจะกำเริบอย่างช้าๆ ส่วนเด็กจะเกิดกับระบบสมอง คือ ทำให้สมองบวมและระบบอื่นๆผิดปกติ เช่น เลือด ไต และกระดูก

ในธรรมชาติจะมีตะกั่วปนเปื้อนในอาหารประมาณ 0.01 ส่วนในล้านส่วน ในน้ำ 0.005 ส่วนในล้านส่วน และในอากาศ 0.0005 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (สุวิทย์ อารีกุล. 2524 : 25-28) สำหรับตะกั่วที่ปนเปื้อนในอาหารนั้นอาจมาจากวัตถุดิบ สิ่งแวดล้อมหรือจากกระบวนการผลิตและแปรรูป ตัวอย่างปริมาณการปนเปื้อนของตะกั่วในอาหารต่างๆแสดงดังตาราง 3

ตาราง 3 ปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนอาหารบางชนิด

ชนิดของอาหาร	ปริมาณตะกั่ว (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	
	ค่าเฉลี่ย	พิสัย
ข้าว	0.17	<0.01 – 0.81
เนื้อสัตว์	0.17	<0.01 – 0.70
ผลไม้สด	0.12	<0.01 – 0.76
ผลไม้กระป๋อง	0.40	0.04 – 10.0
ผักสด	0.22	<0.01 – 1.50
ผักกระป๋อง	0.24	<0.01 – 1.50
นม	0.03	<0.01 – 0.08

ที่มา: Reilly. (1980). *Mental Contamination of Food*. London : Applied Science.

ในตาราง 4 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นถึงปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อต่างๆของ
คนไข้ที่เป็นโรคแพ้พิษตะกั่วกับคนปกติ จะเห็นว่า ปริมาณตะกั่วในเนื้อเยื่อต่างๆของคนไข้
จะสูงกว่าคนปกติมาก

ตาราง 4 ปริมาณตะกั่วที่สะสมในเนื้อเยื่อต่างๆของคนไข้ที่เป็นโรคแพ้พิษตะกั่วเปรียบเทียบกับคนปกติ

เนื้อเยื่อ	ปริมาณตะกั่ว (มิลลิกรัม/น้ำหนักคน)	
	คนไข้ที่เป็นโรคแพ้พิษตะกั่ว	คนปกติ
cerebrum (white)	1.843	0.4 (เฉลี่ย)
cerebrum (grey)	0.666	0.4 (เฉลี่ย)
cerebellum	3.175	0.4 (เฉลี่ย)
caudate nucleus	1.177	0.4 (เฉลี่ย)
external capsule	2.975	0.4 (เฉลี่ย)
globus pallidum	7.427	0.4 (เฉลี่ย)
putamen	2.697	0.4 (เฉลี่ย)
ตับ	3.41	0.4 – 0.28
ไต	2.39	0.4 – 0.16
adrenal	3.14	0.4 – 0.16
ม้าม	1.95	0.4 – 0.16
กระดูกอ่อน	3.20	0.67 – 1.00
ไขกระดูกอ่อน	5.75	-
โลหิต	0.20	0.20

ที่มา: Berman. (1980). *Toxic Metals and Their Analysis*. London : Cambridge University.

2.2 แมงกานีส (Mn)

แมงกานีส เป็นโลหะชนิดหนึ่ง มีสีขาวคล้ายเงิน แข็งและเปราะ พบในธรรมชาติจะเกิดร่วมกับธาตุอื่นๆได้หลายรูป แร่แมงกานีสที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมอยู่ในรูปของออกไซด์และคาร์บอเนต ที่สำคัญอยู่ในรูปสารประกอบของสินแร่ต่างๆ เช่น ไพโรลูไซต์ พรอนไนท์ ออสแมนไนท์ โรโคโคไลไซม์ เป็นต้น ออนโนเดอร่า (Onodera. 1985) ได้ทำการศึกษาพบว่า แมงกานีสในแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติจะมีประมาณ 0.2 ppm. และอาจมีมากถึง 10 ppm. ในแหล่งน้ำบริเวณเหมืองแร่ ความเข้มข้นของ

แมงกานีสในแม่น้ำเจ้าพระยาอยู่ระหว่าง 0.097 – 1.178 ppm. โลหะแมงกานีสบริสุทธิ์ ถูกนำมาใช้ประโยชน์น้อยมาก เนื่องจากเปราะและทำปฏิกิริยากับน้ำได้ ดังนั้นจึงนำมาทำโลหะผสมกับเหล็ก เช่น เฟอร์โรแมงกานีส (Ferromanganese, (Mn 80% Fe 20%)) ซึ่งเป็นเหล็กกล้าทนต่อการกัดกร่อน การแพร่กระจายของแมงกานีสลงสู่แหล่งน้ำ เกิดจากการผุพังของเปลือกโลกโดยตามธรรมชาติ และการที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัตถุดิบกำเนิดและกิจกรรมการใช้ประโยชน์แมงกานีส พืชสามารถดูดซับแมงกานีสได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความเข้มข้นของแมงกานีส ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ อุณหภูมิและการทำงานของแบคทีเรีย แมงกานีสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช หากพืชได้รับในปริมาณเกินขีดจำกัดอาจเกิดพิษได้ โดยแมงกานีสจะทำให้สาหร่ายฮอร์โมนออกซิน (Auxin) (อารีย์ สุขประเสริฐ. 2520) ความเป็นพิษของแมงกานีสต่อคนและสัตว์ มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ในกรณีของคนอาจจะแพ้พิษแมงกานีสดังนี้คือ อาการแพ้อย่างเฉียบพลัน เกิดขึ้นเนื่องจากการหายใจเอาฝุ่นละอองแมงกานีสที่มีความเข้มข้นสูงๆเข้าไป ทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน คอแข็ง ไอ อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ ปวดกล้ามเนื้อ มีไข้ อาการจะปรากฏภายหลังจากการได้รับแมงกานีสเข้าไปหลายชั่วโมง และจะเป็นปกติภายใน 1 หรือ 2 วัน ส่วนอาการแพ้พิษเรื้อรังนั้นเกิดกับผู้ประกอบอาชีพในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการสัมผัสแมงกานีสโดยรับแมงกานีสเข้าสู่ร่างกายช้าๆเป็นเวลานาน อาการที่เกิดขึ้นมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลางและปอด ในกรณีที่มีผลต่อประสาท จะทำให้เกิดอาการเป็นไข้ ปวดศีรษะ เบื่ออาหาร กล้ามเนื้อเป็นตะคริว เกิดอาการกระตุกจนถึงเป็นอัมพาต นอกจากนั้นพิษจากแมงกานีสยังมีส่วนช่วยให้เกิดความผิดปกติของจิตประสาท เรียกว่า แมงกานีส ไซโคซิส (Manganese psychosis) คือ มีอารมณ์เปลี่ยนแปลงรวดเร็ว มีอาการทางสมอง เคลื่อนไหวตัวลำบาก มือเท้าสั่น กล้ามเนื้อแข็งเกร็ง เดินไวก่เคลื่อนตัวได้ยาก เป็นสาเหตุให้พูดไม่ชัด แคซเรตและดูล (Casarett and Doull. 1975) ได้รายงานว่ามีปริมาณสูงสุดที่ร่างกายรับแมงกานีสได้ประมาณ 140 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 50 กิโลกรัม

2.3 สังกะสี (Zn)

ไรลีย์ (Reilly. 1980) และเบอแมน (Berman. 1980) ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับสังกะสีดังนี้

โลหะสังกะสีถูกนำมาใช้ผสมโลหะต่างๆ เช่น ทองเหลือง ทองบรอนซ์ ใช้เคลือบเหล็กเพื่อช่วยป้องกันสนิม สารประกอบสังกะสีมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมยา สี และยาปราบศัตรูพืช นอกจากนี้ยังมีการใช้สารประกอบของสังกะสีเป็นสารเพิ่มออกเทน (Octane) ในน้ำมันเชื้อเพลิงแทนสารประกอบอินทรีย์ตะกั่วด้วย สังกะสีเป็นสารที่จำเป็นต่อร่างกายในการดำรงชีวิตของคน สัตว์และพืช เนื่องจากสารประกอบสังกะสีเป็นสารประกอบของเอนไซม์ต่างๆ เช่น แอลกอฮอล์ ดีไฮโดรจีเนส (Alcohol dehydrogenates) ซึ่งพบในยีสต์และในตับของคน อัลคาไลน์ ฟอสเฟต (Alkaline phosphate) พบใน *Escherichia coli* รก

และเม็ดเลือดขาวของคน สังกะสีเป็นธาตุที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของกระดูก นอกจากนั้นยังช่วยรักษาสสมดุลของโมเลกุลอินซูลินในเบต้าเซลล์ (β - cell) ของตับอ่อนอีกด้วย สังกะสีดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดที่ ลำไส้ส่วนดูโอดีนัม (Duodenum) และ เซลล์มิวโคซัล (Mucosal cell) สังกะสีเป็นตัวทรานสปอร์รินในกระแสเลือด สะสมที่ม้าม ไต และตับอ่อน ส่วนของร่างกายที่สะสมสังกะสีมากที่สุด ได้แก่ โพรสเทททกแลนด์ (Prostate gland) ตา ผมและเล็บ สังกะสีจะถูกขับออกจากร่างกายทางลำไส้ใหญ่ และถูกขับออกทางปัสสาวะน้อยมาก ถ้าตรวจพบสังกะสีในปัสสาวะมาก แสดงว่าเกิดความผิดปกติของร่างกาย มักจะเป็นอาการของโรคไตอักเสบ โรคตับแข็งและโรคโอฟีเรีย (Porphyrin) เนื่องจากสังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต คนจึงจำเป็นต้องรับสังกะสีในปริมาณที่พอเหมาะเพื่อให้ขบวนการต่างๆเกิดขึ้นอย่างปกติ มีการศึกษา คน นก และสุนัข ที่ได้รับสังกะสีในปริมาณที่ต่ำกว่าความต้องการ พบว่ามีการเจริญเติบโตต่ำกว่าปกติ เกิดแผลฟกช้ำที่แขน ขา และอวัยวะต่างๆทำงานผิดปกติ เช่น เกิดโรคคลื่นไส้ คนที่มีความต้านทานโรคต่ำจะทำให้บาดเจ็บแผลปูดยาก

อับดุลลาและคณะ (Abdulla and others. 1982) รายงานว่าหนูที่ได้รับ 4-nitroquinoline, N-oxide ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งจะเกิดมะเร็งอย่างรวดเร็ว ถ้าได้รับสารอาหารที่มีปริมาณสังกะสีต่ำ แต่ถ้าได้รับสังกะสีในปริมาณสูงจะเกิดมะเร็งช้าลง การเกิดพิษของสังกะสีมักเกิดร่วมกับโลหะชนิดอื่นๆ เช่น แคดเมียม ตะกั่ว พลวงและสารหนู สังกะสีจัดเป็นโลหะที่มีความเป็นพิษต่ำ พิษเฉียบพลันของสังกะสีจะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน เกิดการสีกกร่อนของเยื่อบุทางเดินอาหาร ตาอักเสบ เชื้อราขึ้น สูญเสียการควบคุมกล้ามเนื้อ เป็นตะคริว ไตไม่ทำงาน และโลหิตจาง ส่วนอาการพิษเรื้อรังของสังกะสียังไม่ปรากฏแน่ชัด โดยมากจะเกิดร่วมกับโลหะหนักชนิดอื่นๆ

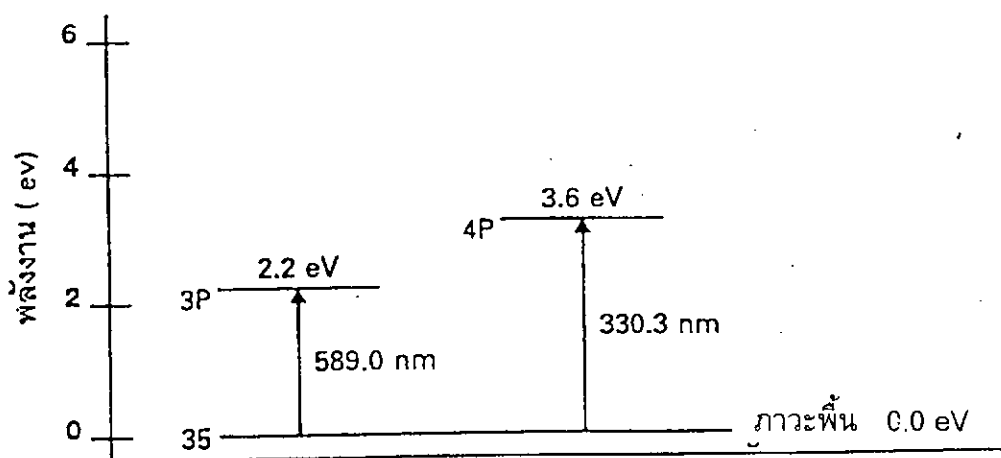
3. เอกสารเกี่ยวกับหลักการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry)

ประดิษฐ์ มีสุข และสัชนา เบญจกุล (2539 : 4) ได้กล่าวว่าเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry, AAS) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุในเชิงปริมาณวิเคราะห์ ซึ่งได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง เพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่นยำ มีสภาพไวสูง ความสามารถของเทคนิคนี้มีสูงมาก เพราะสามารถใช้วิเคราะห์ธาตุต่างๆได้ถึง 67 ธาตุในสารตัวอย่างเกือบทุกชนิด ตัวอย่างธาตุเหล่านี้ได้แก่ Cu, Zn, Sn, Bi, Fe, Co, Mn, Ni, Ag, Au, Pb, Ca, Sn, As, Ge, Se, Te, Su, Hg, Si, ฯลฯ

ปี ค.ศ. 1953 วอลช์ (Walsh) ได้สร้างความสนใจและแสดงให้เห็นถึงประโยชน์และข้อดีต่างๆของการใช้อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี เพื่อวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งในขณะนั้นเทคนิคที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์ทาง สเปกโทรสโคปี ได้แก่ เทคนิคคัลเลอร์เมตรี (Colorimetry) และเทคนิคทางอะตอมมิกอิมิซชัน สเปกโทรสโคปี (Atomic Emission Spectroscopy) และในปี ค.ศ. 1955 วอลช์ (Walsh) ได้พัฒนาเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชัน

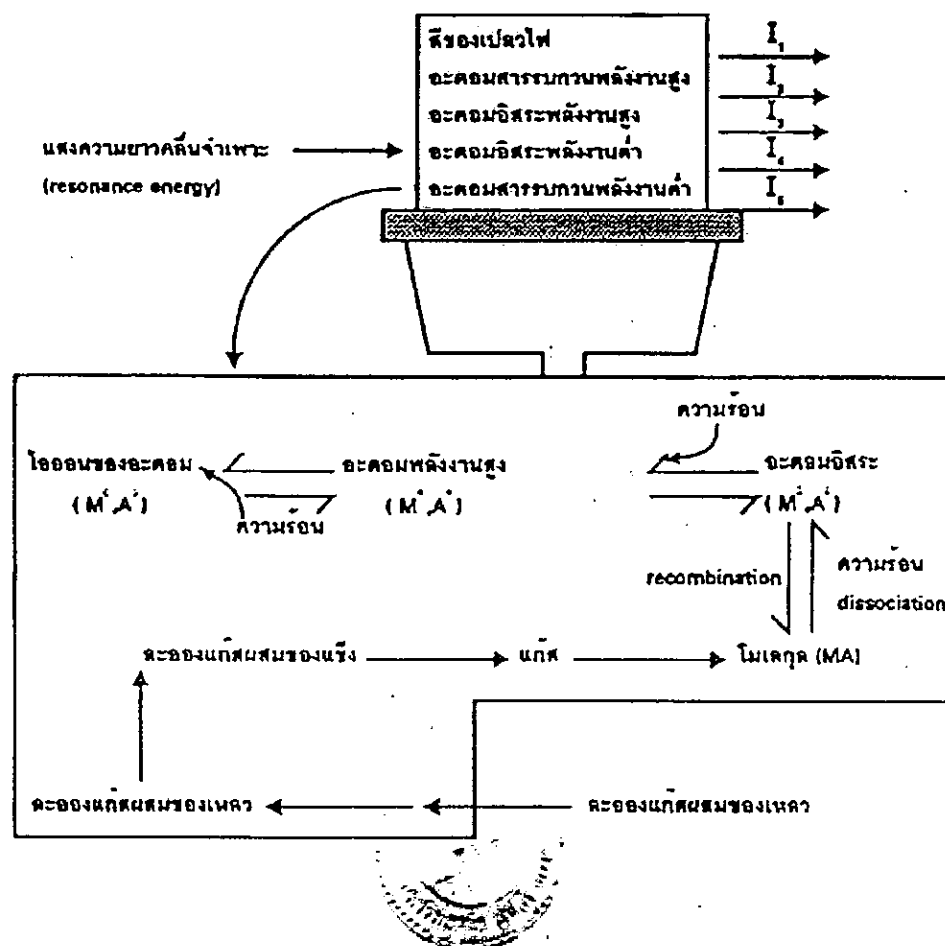
สเปกโทรโฟโตเมตรี ขึ้นมาใช้ในการวิเคราะห์ธาตุได้อย่างกว้างขวาง ช่วยให้วิเคราะห์รวดเร็วขึ้น และได้เปรียบกว่าการใช้วิธีอะตอมมิกอิมิสชัน ที่ต้องขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้

อะตอมมิกแอมบอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี เป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นอันหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับพลังงานแตกต่างกัน เช่น อะตอมของโซเดียมจะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 589 nm เพราะแสงที่มีความยาวคลื่นนี้เป็นแสงที่มีพลังงานพอดีที่จะทำให้อิเล็กตรอนของโซเดียมเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้น ดังแสดงในภาพประกอบ 1 ซึ่งจะเห็นว่าความยาวคลื่นเหล่านี้จัดเป็นเส้นสเปกโทรสโคปิก (SPECTROSCOPIC LINE) ของอะตอมมิกสเปกตรัม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด



ภาพประกอบ 1 แสดงระดับพลังงานของอะตอมโซเดียม ($_{11}\text{Na}^{23}$)($1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^1$)

ที่มา: ประดิษฐ์ มีสุข และสัชญา เบญจกุล. (2539). รายงานการวิจัยเรื่องการหาปริมาณสารหนูและโลหะหนักในตะกอนจากทะเลสาบสงขลาโดยวิธีอะตอมมิกแอมบอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี. สงขลา : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาคใต้.



ภาพประกอบ 2 แสดงการดูดกลืนและการเปล่งแสงของอะตอมในเปลวไฟ

ที่มา: ประดิษฐ์ มีสุข และสัชญา เบญจกุล. (2539). รายงานการวิจัยเรื่องการหาปริมาณสารหนูและโลหะหนักในตะกอนจากทะเลสาบสงขลาโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี. สงขลา : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาควิชาเคมี.

ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมอิสระได้นั้นต้องเกิดการดูดกลืนพลังงานเข้าไปซึ่งอาจอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟหรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัว (Dissociation) หรือเปลี่ยนให้เป็นไอ (Vaporization) หรืออาจแตกตัวเป็นอะตอม (Atomization) หรือทำให้อะตอมอยู่ในสถานะหรืออาจกลายเป็นไอออนก็ได้

จากภาพประกอบ 2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อสารตัวอย่างที่เป็นของเหลวถูกฉีดเข้าสู่เปลวไฟ ความร้อนจะทำให้ละอองของแก๊สผสมของเหลว (Gas - Liquid Aerosol) กลายเป็นละอองของแก๊สผสมของแข็ง (Solid - Gas Aerosol) แก๊สและโมเลกุลของสารตัวอย่าง ตามลำดับ

เมื่อโมเลกุลได้รับความร้อนที่เหมาะสมจะแตกตัวเป็นอะตอมอิสระ (M^0 , A^0) ซึ่งในตอนนี้อะตอมอิสระจะปล่อยพลังงานแสงจากแหล่งภายนอกที่ความยาวคลื่นจำเพาะสำหรับอะตอมนั้นๆ ผ่านกลุ่มอะตอมอิสระ พลังงานแสงนี้จะถูกดูดกลืนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอะตอมอิสระ ดังสมการ

$$A = \log I_0/I_t = knt$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
 k = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (Absorption Coefficient) ของอะตอมที่ความยาวคลื่นที่กำหนด
 n = จำนวนอะตอมอิสระที่มีพลังงานต่ำ (มล.)
 t = ความกว้างของเปลวไฟที่แสงผ่าน (ซม.)

ดังนั้นเมื่อวัดความเข้มของแสงที่เหลือจากการดูดกลืนโดยอะตอม จึงสามารถหาความเข้มข้นของธาตุได้โดยวิธีการของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในทางปฏิบัติอุณหภูมิของเปลวไฟที่สูงเกินไป ทำให้อะตอมอิสระบางส่วนกลายเป็นอะตอมพลังงานสูง (M^* และ A^*) และแตกตัวเป็นไอออน (M^+ และ A^-) ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ นอกจากนี้การผิดพลาดในการวิเคราะห์ยังมาจากแสงของเปลวไฟ แสงที่ปล่อยจากอะตอมของสารรบกวนแสงที่ปล่อยออกมาจากอะตอมอิสระพลังงานสูง ตลอดจนการดูดกลืนแสงจำเพาะโดยสารรบกวน ดังนั้นจึงต้องลดความผิดพลาดเหล่านี้โดยเทคนิคต่างๆ ตามความเหมาะสมต่อไป

4. เอกสารเกี่ยวกับจุดประสงค์ของโปรแกรมวิชาเคมีและเนื้อหาของวิชาเคมี สภาวะแวดล้อม หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต ของสถาบันราชภัฏ

บทบาทที่สำคัญประการหนึ่งของสถาบันราชภัฏตามเจตนารมณ์ของพระราชบัญญัติสถาบันราชภัฏ 2538 คือ เป็นสถาบันอุดมศึกษาเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น โดยบูรณาการทางด้านความรู้ การสอน การวิจัย และการบริการทางวิชาการให้สอดคล้องกลมกลืน และนำไปสู่ความเจริญของของท้องถิ่น ในอดีตการเรียนการสอนในสถาบันราชภัฏจะเน้นหนักทางด้านครูศาสตร์ ต่อมาได้มีการขยายการเรียนการสอนในด้านต่างๆ เพิ่มขึ้น เช่น เทคโนโลยีทางการเกษตร อุตสาหกรรม และวิทยาศาสตร์ เป็นต้น สำหรับทางด้านวิทยาศาสตร์นั้นได้เปิดให้มีการเรียนการสอนในโปรแกรมต่างๆ เช่น โปรแกรมวิชาเคมี วิชาฟิสิกส์ วิชาชีววิทยา ซึ่งแต่ละโปรแกรมจะมีจุดประสงค์และเนื้อหาเฉพาะของโปรแกรมนั้น สำหรับโปรแกรมวิชาเคมีของสถาบันราชภัฏนั้น มีรายละเอียดของจุดประสงค์และเนื้อหา ดังนี้

4.1 จุดประสงค์ของโปรแกรมวิชาเคมี

4.1.1 เพื่อผลิตบุคลากรให้มีความรู้ทางวิทยาศาสตร์สาขาเคมี สามารถประกอบอาชีพอิสระ ตลอดจนทำงานในห้องปฏิบัติการในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งของรัฐและเอกชน

4.1.2 เพื่อผลิตบุคลากรให้สามารถนำทรัพยากรในห้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ตลอดจนสามารถป้องกันและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมให้อยู่ในสภาพที่ดี

4.1.3 เพื่อผลิตบุคลากรให้มีความรู้พื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าในสาขาเคมีหรือสาขาที่เกี่ยวข้อง

4.1.4 เพื่อส่งเสริมเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ทำให้บัณฑิตมีโลกทัศน์กว้างไกล มีความคิดอย่างมีเหตุผล สามารถพัฒนาตนให้อยู่ในสังคมได้เป็นอย่างดี ตลอดจนเป็นกำลังในการพัฒนาประเทศชาติ

4.2 เนื้อหาของวิชาเคมีสภาวะแวดล้อม

เนื้อหาของวิชาเคมีสภาวะแวดล้อม หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต ของสถาบันราชภัฏจะแบ่งออกเป็น 2 รายวิชา ซึ่งแต่ละรายวิชาจะกำหนดหัวข้อมาให้ ส่วนรายละเอียดของเนื้อหาแต่ละหัวข้อนั้นให้ผู้สอนพิจารณาเองว่าจะใช้รายละเอียดมากน้อยเท่าไร โดยทั้ง 2 รายวิชานั้นมี ดังนี้

4.2.1 รายวิชาเคมีสภาวะแวดล้อม รหัส 4023708 เป็นภาคทฤษฎี จำนวน 3 หน่วยกิต 3(3-0) มีเนื้อหาเกี่ยวกับหัวข้อต่อไปนี้ มลพิษของน้ำ ดิน และอากาศ การสู่มตัวอย่างน้ำ ดิน การวิเคราะห์น้ำเสีย ดิน พืช ยาฆ่าแมลง โลหะหนักในดิน พืช น้ำ อากาศ

4.2.2 รายวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม รหัส 4023709 เป็นภาคปฏิบัติ จำนวน 1 หน่วยกิต 1(0-3) มีเนื้อหาเกี่ยวกับหัวข้อต่อไปนี้ การวิเคราะห์หาค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี การวิเคราะห์หาไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถันในดิน การวิเคราะห์ยาฆ่าแมลง โลหะหนักในพืช ในดิน ในน้ำ และในอากาศ

5. เอกสารเกี่ยวกับหลักการสำคัญของการสอนวิทยาศาสตร์

การสอนวิทยาศาสตร์ให้ได้ผลนั้นจะต้องมีวิธีการที่หลากหลาย ผู้สอนจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเรียนการสอนทั้งทางบวกและทางลบ หลักเบื้องต้นที่ควรปฏิบัติในการสอนวิทยาศาสตร์มีดังนี้ (เปรมจิตร์ บุญสาย. 2541 : 133-134)

5.1 วิทยาศาสตร์เป็นวิชาเกี่ยวกับการปฏิบัติและความจริงในชีวิตประจำวัน ครูควรให้ผู้เรียนได้ทำการทดลองและประสบการณ์ด้วยตนเองให้มากที่สุด

5.2 บทเรียนต่างๆ ควรเป็นจริงและมีคุณค่าแก่เด็ก

5.3 ครูควรยกตัวอย่างในสิ่งใกล้ตัวผู้เรียนหรือเรื่องธรรมดาที่เด็กได้รับอยู่เสมอ

5.4 การสอนไม่ควรเกิดขึ้นเฉพาะภายในห้องเรียน ครูควรพาผู้เรียนไปดูของจริงในโอกาสที่จะทำได้

5.5 ครูควรจะดำเนินการสอนเป็นพิเศษในบางเรื่องแก่ผู้เรียนที่มีความสนใจในวิชานั้นจริงๆ เพื่อเป็นการฝึกอาชีพให้แก่ผู้เรียน

5.6 ครูควรเห็นความสำคัญทางสังคมและส่วนตัวของแต่ละบุคคล เน้นหลักการต่างๆ เพื่อให้ผู้เรียนจะได้นำไปใช้ได้จริงๆ และเพื่ออยู่ในสังคมนั้นได้อย่างเหมาะสม

5.7 ประสิทธิภาพต่างๆในการสอน ครูควรเริ่มจากการสังเกต ร่วมการทดลอง การศึกษานอกสถานที่ ทำบันทึก อภิปราย วางโครงการ รวบรวม แยกแยะ ถ้ามีเวลาพอ

5.8 เนื้อหาวิชาต่างๆไม่ควรยึดถือเกินไป ควรจะระลึกว่าเนื้อหาเหล่านั้นมิใช่ความจริงคงที่เสมอไป อาจเปลี่ยนแปลงได้

5.9 ควรมีกิจกรรมบางอย่างซึ่งทำให้ผู้เรียนได้รับความก้าวหน้าของตนไปด้วย

5.10 หากครูได้ดำเนินการสอนวิชาต่างๆเป็นหน่วย แต่ละหน่วยควรมีความเกี่ยวข้องกันหรือมีการพึ่งพาประสิทธิภาพระหว่างหน่วยต่างๆได้

5.11 กระบวนการต่างๆครูอาจจัดให้อยู่ในรูปแก้ปัญหา ซึ่งเป็นธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

5.12 ลักษณะการเรียนรู้ควรเป็นการแสวงหา และใช้หลักเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ เพื่อเป็นการทดสอบความเข้าใจต่างๆ

5.13 การสอนควรเสนอในด้านความจริง อย่าอธิบายด้วยเรื่องลึกลับหรือความเชื่อที่ผิดพลาด

5.14 ควรใช้เวลาแก่กิจกรรมที่จะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจความหมายของคำต่างๆ เช่น พลังงาน ฯลฯ ทำให้ผู้เรียนเกิดความรู้สึก ความเข้าใจอย่างกว้างขวาง และความรู้เฉพาะเรื่องอย่างถ่องแท้

5.15 หน่วยทุกหน่วยที่ยกมากล่าวเป็นปัญหา ควรเกิดจากประสบการณ์หรือสิ่งแวดล้อมของผู้เรียน เวลาในการสอนหน่วยหนึ่ง ๆ ควรยืดหยุ่นได้ตามสภาพการณ์

5.16 ควรหาโอกาสแทรกการอภิปราย อธิบายเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ อาจมีการทดลองร่วมกัน ครูเป็นผู้สรุปพร้อมทั้งมีภาพประกอบง่ายๆ

5.17 ทักษะศึกษาเป็นเครื่องนำผู้เรียนไปสู่บทเรียนและช่วยแก้ปัญหาได้ดี และเพิ่มความเพลิดเพลินแก่ผู้เรียนด้วย ครูควรคำนึงถึงความเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน และมีการอภิปรายร่วมกัน ซึ่งเป็นเครื่องวัดว่าได้ผลเพียงไรด้วย

สรุป หลักการสำคัญของการสอนวิทยาศาสตร์นั้น ครูต้องถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญ ครูจะต้องกระตุ้นและส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาการเรียนรู้ รู้จักแสวงหาความรู้ รู้จักคิดอย่างมีเหตุผล ทำงานเป็นระบบ และสามารถที่จะเสนอผลงานของตนให้ผู้อื่นได้รู้ได้เข้าใจได้เป็นอย่างดี

6. เอกสารเกี่ยวกับการสอนแบบปฏิบัติการทดลอง

6.1 ความหมายของการสอนแบบปฏิบัติการทดลอง

นักการศึกษาได้ให้ความหมายของการสอนแบบปฏิบัติการทดลองไว้หลายท่าน ดังเช่น เปรมจิตร บุญสาย (2541 : 145) กล่าวว่า การสอนแบบปฏิบัติการทดลอง หมายถึง การสอนวิทยาศาสตร์โดยให้นักเรียนได้ค้นคว้าหาความรู้จากการทดลองด้วยตนเอง เพื่อมุ่งให้นักเรียนได้มีเสรีภาพทางความคิดและได้ฝึกฝนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งสอดคล้องกับบุญชม ศรีสะอาด (2528 : 278) ที่กล่าวว่า การสอนวิทยาศาสตร์แบบปฏิบัติการทดลอง เป็นการสอนที่ให้ผู้เรียนกระทำกิจกรรมการเรียนรู้ภายใต้การแนะนำช่วยเหลืออย่างใกล้ชิด โดยทำการทดลองปฏิบัติการใช้ทฤษฎีโดยผ่านการสังเกต การทดลองภายใต้สภาพที่ควบคุมไว้ ซึ่งการสอนแบบปฏิบัติการทดลองเป็นการฝึกให้ผู้เรียนมีโอกาสดำเนินปฏิบัติเพื่อพิสูจน์ทฤษฎีที่ได้ศึกษาแล้วในชั้นเรียน มีโอกาสใช้ หรือรู้จักเครื่องมือเครื่องใช้ในส่วนอาชีพนั่น ในการค้นคว้าวิจัย หรือค้นพบใหม่สำหรับผู้เรียน

สรุป การสอนแบบปฏิบัติการทดลอง หมายถึง การสอนโดยให้นักเรียนได้ลงปฏิบัติด้วยตนเอง ใช้เครื่องมือทดลองต่างๆด้วยตนเอง โดยครูทำหน้าที่เป็นพี่เลี้ยงให้คำปรึกษาและแนะนำ เมื่อนักเรียนได้ประสบการณ์ตรง จะทำให้เกิดผลสัมฤทธิ์ทางด้านต่างๆมากขึ้น และยังเป็นการพิสูจน์ทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับที่ได้ศึกษามา

6.2 จุดมุ่งหมายในการเรียนการสอนปฏิบัติการทดลอง

ฮอฟสตรินและลูเนตตา (Hofstrin and Lunetta. 1982 : 203) ได้กำหนดจุดมุ่งหมายของการเรียนการสอน ปฏิบัติการทดลอง ซึ่งสรุปได้ดังนี้

- 1) เพื่อปลูกฝังให้เกิดความสนใจ เจตคติ ความพึงพอใจ ความมีใจกว้าง และความอยากรู้อยากเห็นในวิชาวิทยาศาสตร์
- 2) เพื่อพัฒนาความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหา
- 3) เพื่อส่งเสริมความคิดแบบวิทยาศาสตร์และวิธีการทางวิทยาศาสตร์
- 4) เพื่อพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับมโนทัศน์และความสามารถทางสติปัญญา
- 5) เพื่อพัฒนาความสามารถทางปฏิบัติการ

6.3 หลักการสอนแบบปฏิบัติการทดลอง

เพื่อให้การเรียนการสอนแบบปฏิบัติการทดลองมีความราบรื่นเป็นไปตามความคาดหวัง ผู้สอนควรคำนึงถึงหลักบางประการดังนี้

- 1) อุปกรณ์ต่างๆต้องมีพร้อม และจัดไว้อย่างเป็นระเบียบ
- 2) หาวิธีการที่เหมาะสมให้ผู้เรียนได้ตื่นเต้น เ้าใจ ก่อให้เกิดความคิดทั้งก่อน ระหว่าง และหลังการฝึกปฏิบัติ

3) จัดการฝึกปฏิบัติให้เป็นไปตามลำดับขั้นของความสามารถของผู้เรียน เพื่อป้องกันความสับสนและเบื่อหน่าย และให้ผลที่ได้เป็นประโยชน์ต่อการฝึกปฏิบัติครั้งต่อไป

4) ผลการฝึกปฏิบัติควรเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียนและนำไปประยุกต์ใช้ในวิชาชีพได้

6.4 ขั้นตอนของการสอนแบบปฏิบัติการทดลอง

การสอนแบบปฏิบัติการทดลองมีกิจกรรมการเรียนการสอน ดังนี้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2536 : 25)

1) อภิปรายก่อนการทดลอง

2) การทดลอง

3) การอภิปรายหลังการทดลอง

ซึ่งในแต่ละขั้นตอนนั้นครูจะมีบทบาทดังนี้ (ประวิตร ชูศิลป์. 2524 : 6)

ตอนที่ 1 การอภิปรายก่อนการทดลอง (Pre-Lab discussion)

ครูต้องเตรียมคำถามต่างๆเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนอยากรู้ อยากเห็น คิดสงสัย หรือแนะแนวทางเพื่อให้นักเรียนได้สืบเสาะหาคำตอบต่อไปตลอดจนให้คำแนะนำต่างๆ

ตอนที่ 2 การให้นักเรียนปฏิบัติการทดลอง (Experimental period)

ครูจะต้องคอยดูแลหรือให้คำแนะนำต่างๆอย่างใกล้ชิด คอยกระตุ้นสนับสนุน และเป็นที่ปรึกษาอยู่ด้วย ไม่ปล่อยให้ให้นักเรียนปฏิบัติการทดลองตามลำพัง

ตอนที่ 3 การอภิปรายหลังการทดลอง (Post-Lab discussion)

ครูจะต้องเตรียมคำถามต่างๆเพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถใช้ข้อมูลหรือผลการทดลองที่รวบรวมได้สรุปเป็นกฎเกณฑ์ ทฤษฎี หรือหลักการต่างๆ รวมทั้งอภิปรายถึงข้อผิดพลาดของการทดลองที่อาจเป็นไปได้ด้วย

6.5 กิจกรรมปฏิบัติการทดลองวิทยาศาสตร์

1) สเปียร์และโซลแมน (Spear and Zollman. 1977 : 34-35) ได้กล่าวถึงการจัดกิจกรรมปฏิบัติการทดลองวิทยาศาสตร์ว่าอาจทำได้ 2 แบบ ดังนี้

1.1) การทดลองแบบสำเร็จรูป (Structured laboratory) เป็นรูปแบบเก่าแก่ ซึ่งในการทดลองแบบนี้จะมีคำสั่งและวิธีปฏิบัติการทดลองมาให้นักเรียนและเป็นการปฏิบัติการทดลองเพื่อพิสูจน์หลักการในบทเรียนที่ได้เรียนไปแล้ว

1.2) การทดลองแบบไม่กำหนดแนวทาง (Unstructured laboratory) เป็นรูปแบบที่อยู่บนพื้นฐานของการสืบสวน (Inquiry model) ซึ่งเน้นให้นักเรียนได้ค้นสืบ และสืบสวนในหลักการที่กำลังวิเคราะห์ วิจารณ์กันในห้องเรียน

นอกจากนี้ สเพียร์และโซลแมนยังได้เปรียบเทียบขั้นตอนในการทำการทดลองทั้งสองแบบไว้ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

การทดลองแบบสำเร็จรูป	การทดลองแบบไม่กำหนดแนวทาง
1. กำหนดปัญหาให้ก่อนพบกันในห้องเรียน	1. กำหนดปัญหาให้ก่อนพบกันในห้องเรียน
2. แนะนำหรือชี้แจงให้นักเรียนทราบถึงเครื่องมือที่จะใช้	2. แนะนำหรือชี้แจงให้นักเรียนทราบถึงเครื่องมือที่จะใช้
3. กำหนดวิธีปฏิบัติการทดลองเพื่อแก้ปัญหา	3. ชักถามนักเรียนเพื่อหาทางแก้ปัญหา
4. ให้นักเรียนตอบคำถามเกี่ยวกับข้อมูลที่ได้	4. ให้นักเรียนแสดงข้อสรุปจากข้อมูลที่ได้
5. ให้นักเรียนลงความเห็นจากข้อมูลและอธิบายให้เห็น	

2) สุวิมล เขี้ยวแก้ว (2527 : 85-87) ได้เสนอขั้นตอนการทำปฏิบัติการทดลองทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 2 รูปแบบไว้ดังนี้

2.1) ขั้นตอนของการทำปฏิบัติการแบบสำเร็จรูปหรือแบบกำหนดแนวทาง มีดังนี้

2.1.1) ครูเสนอแนะวิธีการรวบรวมข้อมูลหรือใช้วิธีการตามที่ระบุไว้ในแบบเรียน

2.1.2) นักเรียนลงมือปฏิบัติการเพื่อรวบรวมข้อมูลตามวิธีการที่ได้รับการเสนอแนะ

2.1.3) นักเรียนจัดทำตารางแสดงข้อมูลเขียนกราฟตามที่ระบุไว้ในบทปฏิบัติการ

2.1.4) นักเรียนตอบคำถามของครู โดยใช้ข้อมูลจากการทดลอง

2.1.5) นักเรียนและครูช่วยกันรวบรวมคำตอบเพื่อสรุปเป็นความคิดรวบยอดหรือเนื้อหาสิ่งที่ศึกษา

2.2) ขั้นตอนของการทำปฏิบัติการแบบไม่กำหนดแนวทาง มีดังนี้

2.2.1) ครูตั้งปัญหาให้หรืออาจจะให้นักเรียนเลือกปัญหาที่อยากศึกษา ซึ่งเป็นปัญหาที่นักเรียนไม่อาจคาดหมายผลการศึกษาได้ล่วงหน้า

2.2.2) นักเรียนช่วยกันนิยามปัญหาย่างชัดเจน

2.2.3) นักเรียนเสนอวิธีการทดลองโดยอาจจะใช้เวลาระยะหนึ่งในการค้นคว้าเพื่อวางแผนการทดลอง ซึ่งอาจจะกำหนดวิธีการค้นคว้าที่เป็นไปได้ประมาณ 2-3 วิธี

2.2.4) นักเรียนทำการทดลองโดยสามารถปรับระยะเวลาได้

2.2.5) นักเรียนสังเกต และสรุปผลการทดลองด้วยตนเอง ซึ่งผลการทดลองอาจจะมีคำตอบที่ถูกต้องได้มากกว่า 1 คำตอบ

2.2.6) การทดลองอาจก่อให้เกิดปัญหาในการแสวงหาคำตอบต่อไปนอกชั้นเรียน

2.2.7) นักเรียนปรึกษาเกี่ยวกับผลการทดลองกับเพื่อนๆซึ่งจะทำให้เกิดความภาคภูมิใจในผลงานของเขา

2.2.8) ครูอาจตั้งคำถามในตอนท้าย เพื่อให้ให้นักเรียนสรุปหลักเกณฑ์จากข้อมูลที่รวบรวมได้ และใช้หลักเกณฑ์เหล่านี้ทำนายผลการทดลองที่เกี่ยวข้อง

7. เอกสารเกี่ยวกับการวัดผลและการประเมินผลวิชาวิทยาศาสตร์

การวัดและการประเมินผลเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการเรียนการสอน ซึ่งทำให้ผู้เรียนและผู้สอนได้ทราบถึงผลการเรียนการสอน เป็นการให้ข้อมูลย้อนกลับว่าการเรียนการสอนได้ผลตรงตามวัตถุประสงค์หรือไม่ เพียงใด จะต้องปรับปรุงอย่างไร สถาบันการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2538 : 1) ได้กล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการวัดผลและการประเมินผลวิทยาศาสตร์ ดังนี้

การวัดผลเป็นการวัดความรู้ความสามารถหรือวัดผลของการเรียนการสอนโดยใช้วิธีการหรือเครื่องมือวัด ผลที่ได้จากการวัดจะนำไปใช้ในการประเมินผล

การประเมินผลเป็นการนำข้อมูลจากการวัดผลมาพิจารณาและลงข้อสรุปเพื่อ ตัดสินผลการเรียนเป็นรายบุคคล หรือเพื่อประเมินผลการเรียนการสอนโดยส่วนรวม ผลการประเมินอาจเป็นการตัดสินได้-ตก หรือเป็นระดับคะแนน หรือผ่าน-ไม่ผ่าน หรือได้ผลตรงตามจุดประสงค์-ไม่ตรงตามจุดประสงค์

ดังนั้นในการวางแผนการจัดการเรียนการสอนจึงจำเป็นต้องกระทำควบคู่กันไปกับการวัดผลและประเมินผล โดยต้องมีแผนดำเนินการอย่างต่อเนื่องแล้วนำผลการวัดและประเมินในแต่ละช่วงมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงและพัฒนาการเรียนการสอนอย่างสม่ำเสมอทั้งในส่วน of นักเรียนและครู การวัดและการประเมินผลประกอบด้วย การวัดเพื่อปรับปรุงการเรียนการสอน (Formative evaluation) และเพื่อตัดสินผลการเรียน (Summative evaluation)

การเรียนการสอนและการประเมินผลจะต้องสอดคล้องกับจุดประสงค์ของการเรียนการสอน ดังนั้นสิ่งสำคัญของการวัดผลและประเมินผลก็คือจะต้องศึกษาและทำความเข้าใจจุดประสงค์ของการเรียนการสอนให้ชัดเจน

สำหรับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์มีจุดประสงค์หลักที่จะมุ่งให้นักเรียนได้พัฒนาในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- 1) รู้หลักการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์
- 2) มีกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

- 3) คิดวิเคราะห์และแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- 4) สื่อความหมายและสามารถตัดสินใจเลือกใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้องเหมาะสม
- 5) นำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในชีวิตประจำวัน
- 6) มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์

จากจุดประสงค์ดังกล่าวเทียบได้กับที่เบนจามิน เอส บลูม (Benjamin S. Bloom) ได้เสนอว่าผลการเรียนรู้ของนักเรียนควรครอบคลุมใน 3 ด้าน ดังนี้

1) ด้านพุทธิพิสัย (Cognitive domain) หมายถึง พัฒนาการด้านสติปัญญาและความคิดซึ่งประกอบไปด้วย รู้หลักการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ มีกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ คิดวิเคราะห์และแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สื่อความหมายและสามารถตัดสินใจเลือกใช้อุปกรณ์ได้อย่างเหมาะสม

2) ด้านจิตพิสัย (Affective domain) หมายถึง พัฒนาทางด้านความนึกคิด ความสนใจ ค่านิยม ความซาบซึ้ง การปรับตัวและเจตคติต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยเจตคติทางวิทยาศาสตร์ เจตคติต่อวิทยาศาสตร์ รวมทั้งมีนิสัยทางวิทยาศาสตร์

3) ด้านทักษะพิสัย (Psychomotor domain) หมายถึง การพัฒนาทักษะที่เกี่ยวข้องกับการใช้วาระต่างๆ เช่น การเคลื่อนไหว การลงมือทำงาน การทำการทดลอง รวมทั้งทักษะในการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวกับการวางแผนและเลือกวิธีการในการทดลอง การลงมือปฏิบัติการทดลอง การใช้เครื่องมือต่างๆในการทดลอง

สรุป ในกระบวนการเรียนการสอน นักเรียนควรได้รับการพัฒนาทั้ง 3 ด้าน คือด้านพุทธิพิสัย จิตพิสัย และทักษะพิสัย ไปพร้อมๆกัน รวมทั้งจะต้องมีการวัดและประเมินผลให้สอดคล้องกับการพัฒนาทั้ง 3 ด้าน สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้มีการวัดและประเมินผลทางด้านจิตพิสัย และทักษะพิสัย เท่านั้น เพราะผู้ที่ได้รับการพัฒนาทางด้านจิตพิสัยและทางด้านทักษะพิสัยแล้ว จะสามารถนำผลการเรียนรู้นั้นไปใช้ในการพัฒนาตนเองทางด้านพุทธิพิสัยได้

8. เอกสารเกี่ยวกับการวัดผลและการประเมินผลการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science process skills) แบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ (เทียนชัย ภาณุสิทธิกร. 2535 : 10-11)

8.1 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐาน (Basic science process skills) เป็นทักษะอย่างง่ายที่นักเรียนสามารถเริ่มเรียนได้ตั้งแต่ระดับอนุบาล ได้แก่

8.1.1 ทักษะการสังเกต หมายถึง การใช้ประสาทสัมผัสอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน เช่น หู ตา จมูก ลิ้น กาย ในการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุและปรากฏการณ์ต่างๆตามธรรมชาติหรือในห้องทดลองโดยไม่ใส่ความคิดของผู้สังเกตลงไป

8.1.2 ทักษะการวัด หมายถึง การรู้จักใช้เครื่องมือที่เหมาะสมในการวัดหาปริมาณของสิ่งของต่างๆได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ โดยมีหน่วยกำกับ

8.1.3 ทักษะการคิดคำนวณ หมายถึง การบวก ลบ คูณ หาร และการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

8.1.4 ทักษะการจำแนกประเภท หมายถึง การแยกวัตถุสิ่งของต่างๆออกเป็นหมวดหมู่อย่างมีเกณฑ์ ซึ่งเกณฑ์นี้ต้องอาศัยความเหมือน ความแตกต่าง หรือความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุที่มีอยู่

8.1.5 ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล หมายถึง การอธิบายหรือตีความข้อมูลที่ได้จากการทดลองอย่างมีเหตุผล โดยอาศัยประสบการณ์เดิมมาช่วย

8.1.6 ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและสถานที่ หมายถึง การหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุกับเวลา หรือการหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุหนึ่งกับอีกวัตถุหนึ่ง

8.1.7 ทักษะการทำนาย หมายถึง การพยากรณ์คำตอบล่วงหน้าก่อนที่เหตุการณ์หรือการทดลองใดจะเกิดขึ้นโดยอาศัยหลักการ กฎ และทฤษฎีในเรื่องนั้นๆมาช่วย

8.1.8 ทักษะการสื่อความหมาย หมายถึง การใช้กราฟ แผนภาพ แผนที่สัญลักษณ์ ไต่อแกรม สมการคณิตศาสตร์ การสาริต และการเขียนบรรยายเพื่อเป็นสื่อให้ผู้อื่นเข้าใจความหมายของข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การวัด และการทดลอง

8.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ (Integrated science process skill) เป็นทักษะที่นำเอาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานที่มีอยู่มาบูรณาการเข้าด้วยกันเป็นทักษะที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ได้แก่

8.2.1 ทักษะการบ่งชี้ตัวแปร หมายถึง การชี้บ่งตัวแปรต้น ตัวแปรตามและตัวแปรที่ต้องการควบคุมในสมมติฐานหนึ่ง

8.2.2 ทักษะการตั้งสมมติฐาน หมายถึง การใช้ความรู้ความสามารถและความคิดเดิมเพื่อเดาคำตอบของปัญหาที่ต้องการจะทดสอบ

8.2.3 ทักษะการให้นิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปร หมายถึง การกำหนดความหมาย และขอบเขตของตัวแปรต่างๆ ที่อยู่ในสมมติฐานที่ต้องการทดสอบให้เข้าใจตรงกัน และสามารถสังเกตและวัดได้

8.2.4 ทักษะในการออกแบบและดำเนินการทดลอง หมายถึง ความสามารถในการวางแผนการทดลอง และควบคุมการทดลองได้อย่างเหมาะสม สามารถเลือกแบบแผนการทดลองที่ดีและสะดวกต่อการปฏิบัติและง่ายต่อการดำเนินการ

8.2.5 ทักษะการรวบรวมข้อมูลและตีความหมายข้อมูล หมายถึง การแปลความหมาย หรือบรรยายลักษณะของข้อมูลที่มีในรูปของกราฟ

แบบทดสอบที่ใช้วัดผลและประเมินผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
ชั้นบูรณาการนั้นมีหลายแบบ เช่น แบบปรนัย แบบอัตนัย เป็นต้น ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือก
ใช้แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการแบบปรนัย ที่สร้างขึ้นโดย
สาขาวิจัยและประเมินผลของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีลักษณะเป็น
แบบปรนัย 5 ตัวเลือก ในคำถามแต่ละข้อจะถามเพื่อวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้น
บูรณาการ 5 ทักษะ ซึ่งสรุปรายละเอียดเกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และคำถาม
ที่จะนำไปสู่ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ ดังตาราง 5

ตาราง 5 แสดงทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และคำถามที่นำไปสู่ทักษะกระบวนการทาง
วิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ความหมาย	ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะแล้ว	ตัวอย่างคำถามที่ทำให้ให้นักเรียนเกิดทักษะ
1. การตั้งสมมติฐาน	การตั้งสมมติฐาน หมายถึง การคิดหา คำตอบล่วงหน้าก่อนจะทำการทดลองโดยอาศัย การสังเกต ความรู้ ประสบการณ์เดิมเป็น พื้นฐาน คำตอบที่คิดหา ล่วงหน้านี้นับเป็นสิ่งที่ยังไม่ทราบหรือยังไม่เป็น หลักการ กฎ หรือทฤษฎีมาก่อน	หาคำตอบล่วงหน้าก่อน การทดลอง โดยอาศัย การสังเกต ความรู้และ ประสบการณ์เดิม	- การวิเคราะห์หา ปริมาณตะกั่วในสาร ละลายผักกาดเขียว กวางตุ้งที่เตรียมใหม่ๆ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงเลขทันที น่าจะ ได้ผลการวิเคราะห์ถูกต้องดีกว่าการหาปริมาณ ตะกั่วในสารละลายผัก กาดเขียวกวางตุ้งที่ เตรียมทิ้งไว้หลายวัน

ตาราง 5 (ต่อ)

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ความหมาย	ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะแล้ว	ตัวอย่างคำถามที่ทำให้ให้นักเรียนเกิดทักษะ
2. การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ หมายถึง การกำหนดความหมายและขอบเขตของคำต่างๆ (ที่อยู่ในสมมติฐานที่ต้องการทดลอง) ให้เข้าใจตรงกันและสามารถสังเกตหรือวัดได้	กำหนดความหมายและขอบเขตของคำหรือตัวแปรต่างๆให้สังเกตได้และวัดได้	- การวิเคราะห์เชิงปริมาณหมายความว่าอย่างไร
3. การกำหนดและควบคุมตัวแปร	การกำหนดตัวแปร หมายถึง การชี้บ่งตัวแปรต้น ตัวแปรตามและตัวแปรที่ต้องควบคุมในสมมติฐานหนึ่งๆ ตัวแปรต้น คือสิ่งที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดผลต่างๆหรือสิ่งที่เราต้องการทดลองดูว่าเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดผลเช่นนั้นจริงหรือไม่ ตัวแปรตาม คือสิ่งที่เป็นผลเนื่องมาจากตัวแปรต้น เมื่อตัวแปรต้นหรือสิ่งที่เป็นสาเหตุเปลี่ยนไป ตัวแปรตามหรือสิ่งที่เป็นผลจะเปลี่ยนตามไปด้วย ตัวแปรที่ต้องควบคุม คือสิ่งอื่น ๆ นอกเหนือจากตัวแปรต้นที่มีผลต่อการทดลองด้วย ซึ่งจะต้องควบคุมให้เหมือนกัน มิเช่นนั้นอาจทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน	ชี้บ่งและกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรที่ต้องควบคุมได้	ในการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานว่าส่วนต่างๆของผักคะน้า เช่น ใบ ลำต้น ราก มีปริมาณสังกะสีสะสมต่างกัน ในการทดลองนี้ - จะต้องจัดอะไรให้ต่างกัน (ถามใช้ชี้บ่งตัวแปรต้น) - จะต้องจัดอะไรให้เหมือนกันบ้าง (ถามใช้บ่งตัวแปรที่ต้องควบคุม) - เมื่อจัดสถานการณ์ดังนี้แล้วสิ่งที่จะต้องติดตามดูคืออะไร (ถามใช้ชี้บ่งตัวแปรตาม)

ตาราง 5 (ต่อ)

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ความหมาย	ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะแล้ว	ตัวอย่างคำถามที่ทำให้ให้นักเรียนเกิดทักษะ
4. การทดลอง	การทดลอง หมายถึง กระบวนการปฏิบัติการเพื่อหาคำตอบหรือตรวจสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ ในการทดลองจะประกอบด้วยกิจกรรมหลัก 3 ขั้นตอน คือ 1. การออกแบบการทดลอง หมายถึง การวางแผนการทดลองก่อนลงมือทดลองจริงเพื่อกำหนด 1.1 วิธีการทดลอง (ซึ่งเกี่ยวข้องกับการกำหนดและควบคุมตัวแปร) 1.2 อุปกรณ์และ/หรือสารเคมีที่จะต้องใช้ในการทดลอง 2. การปฏิบัติการทดลอง หมายถึง การลงมือปฏิบัติการทดลองจริงๆ 3. การบันทึกผลการทดลอง หมายถึง การจัดบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งอาจเป็นผลการสังเกต การวัด และอื่นๆ	1. ออกแบบการทดลองโดย 1.1 กำหนดวิธีการทดลองได้ถูกต้องและเหมาะสม โดยคำนึงถึงตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรที่ต้องควบคุมด้วย 1.2 ระบุอุปกรณ์และ/หรือสารเคมีที่จะต้องใช้ในการทดลองได้ 2. ปฏิบัติการทดลองและใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้องและเหมาะสม 3. บันทึกผลการทดลองได้คล่องแคล่วและถูกต้อง	จากสมมติฐานว่า แหล่งเพาะปลูกผักคะน้า มีผลต่อปริมาณการสะสมสังกะสีในลำต้นผักคะน้า - นักศึกษาคิดว่าจะมีวิธีทำการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานข้อนี้ได้หรือไม่ - การทดลองนี้จะต้องใช้ อุปกรณ์อะไรบ้างและปฏิบัติการทดลองอย่างไร (ถามให้นักศึกษาตอบ และให้นักศึกษาลงมือปฏิบัติการทดลอง)

ตาราง 5 (ต่อ)

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ความหมาย	ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะแล้ว	ตัวอย่างคำถามที่ทำให้นักเรียนเกิดทักษะ
5. การตีความหมายข้อมูล	การตีความหมายข้อมูลหมายถึง การแปลความหมายหรือการบรรยายลักษณะและสมบัติของข้อมูลที่มีอยู่ การตีความหมายข้อมูลในบางครั้ง อาจต้องใช้ทักษะอื่นๆ ด้วย เช่น ทักษะการคำนวณ เป็นต้น การลงข้อสรุปหมายถึง การสรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งหมด	1. แปลความหมายหรือบรรยายลักษณะและสมบัติของข้อมูลที่มีอยู่ได้	จากตารางแสดงความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วมาตรฐาน(ppm) กับค่าการดูดกลืนแสงเป็นดังนี้ : ความเข้มข้นของ Pb^{2+} (ppm) ค่าการดูดกลืนแสง 0.00 0.000 2.00 0.051 4.00 0.098 6.00 0.147 - ที่ความเข้มข้น 2.00 ppm ตะกั่วมีการดูดกลืนแสงเท่าไร - ที่ความเข้มข้นของตะกั่ว 2.00 และ 6.00 ppm ตะกั่วมีการดูดกลืนแสงต่างกันเท่าใด
		(การตีความหมายข้อมูลที่อาศัยทักษะการคำนวณ)	
		- บอกความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีอยู่	- จากข้อมูลในตารางเมื่อความเข้มข้นของตะกั่วสูงขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงจะเป็นอย่างไร

9. เอกสารเกี่ยวกับการวัดผลและการประเมินผลการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ด้านเจตคติทางวิทยาศาสตร์

9.1 ความสำคัญและความหมายของเจตคติทางวิทยาศาสตร์

เจตคติทางวิทยาศาสตร์มีความสำคัญต่อผู้เรียนมาก มีนักการศึกษาและนักวิทยาศาสตร์ศึกษาได้กล่าวถึงความสำคัญของเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ไว้ดังนี้

กูลด์ (Gauld. 1982 : 111-121) ได้กล่าวว่า เจตคติทางวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการดำรงชีพเป็นนักวิทยาศาสตร์ ซึ่งนักเรียนที่เรียนวิทยาศาสตร์ควรได้มีความรู้เกี่ยวกับพลังแรงขับที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการทำงาน ดังนั้น เจตคติทางวิทยาศาสตร์จึงควรพัฒนาให้เกิดขึ้นกับนักเรียนด้วยเหตุผล 2 ประการคือ 1. ในการเรียนวิทยาศาสตร์ นักเรียนจะต้องปฏิบัติกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ ในลักษณะที่คล้ายคลึงกับการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ เพื่อจะได้เกิดความเข้าใจในงานทางวิทยาศาสตร์ และลอกเลียนแบบการทำงานเยี่ยงนักวิทยาศาสตร์มาใช้ในชีวิตจริงด้วย 2. นอกจากการลอกเลียนแบบเจตคติทางวิทยาศาสตร์มาเป็นของตนเองซึ่งจะช่วยให้เกิดความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ และงานที่นักวิทยาศาสตร์ทำไว้แล้ว เจตคติทางวิทยาศาสตร์ก็ยังเป็นลักษณะของบุคคล ที่ทุกคนจะต้องมีและนำไปใช้ในการดำรงชีวิตด้วย

ลัดดาวัลย์ กัณหสุวรรณ (2521 : 27) กล่าวว่า เจตคติทางวิทยาศาสตร์ เป็นสิ่งที่ควรสร้างให้มีขึ้นในวัยเด็ก เพราะเจตคติทางวิทยาศาสตร์สามารถช่วยให้คนมีเหตุผล รู้จักวิธีแก้ปัญหา มีระเบียบวินัย และมีใจกว้าง

เจตคติทางวิทยาศาสตร์ เป็นจุดมุ่งหมายที่สำคัญอีกประการหนึ่งของหลักสูตรวิชาวิทยาศาสตร์ เพราะเจตคติทางวิทยาศาสตร์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ที่จะช่วยให้บุคคลเกิดการแสวงหาความรู้อย่างไม่มีที่สิ้นสุด และยังจะช่วยให้เข้าใจถึงหลักวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพื้นฐาน ที่ต้องใช้ในชีวิตประจำวัน เพื่อปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ (สุนันท์ สังข์อ่อง. 2523 : 339 ; ธีรวุฒิ พิทักษ์ชน. 2527 : 22) ดังนั้น เจตคติทางวิทยาศาสตร์ จึงแตกต่างจากเจตคติทั่วไป เพราะเจตคติทั่วไปเป็นความรู้สึกของบุคคลต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่ง แต่เจตคติทางวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการอย่างหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์หรือบุคคลได้กระทำเพื่อให้ได้ความรู้ ซึ่งมีผู้ให้ความหมายของเจตคติทางวิทยาศาสตร์ไว้หลายท่าน ดังนี้

กูลด์ (Gauld. 1982 : 109) ได้กล่าวไว้ว่า เจตคติทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง แรงจูงใจในการนำเอาความรู้ และทักษะในการใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในการปฏิบัติงานหรือความเต็มใจที่จะนำเอาวิธีการและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้

คณะอนุกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ ทบวงมหาวิทยาลัย (2525 : 4) กล่าวว่า เจตคติทางวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการอย่างหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์ได้กระทำเพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้ ผู้ที่มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์นั้นจะมีลักษณะชอบค้นคว้า

หาหลักความจริง รู้จักเหตุผล เป็นผู้มีใจกว้างขวาง ยอมรับผลงานหรือรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น ไม่รับด่วนตัดสินใจหรือลงข้อสรุปเร็วเกินไปและไม่มุ่งหมายกับการเชื่อถือโซ่กลางหรือสิ่งศักดิ์สิทธิ์ใดๆ

อุษา คำประกอบ (2530 : 45) ได้ให้ความหมายไว้ว่า เจตคติทางวิทยาศาสตร์เป็นความรู้สึก แนวโน้มการกระทำ หรือแนวทางการเลือกกระทำของบุคคล ที่เอื้อต่อการแสวงหาความรู้

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2538 : 1-3) ได้ให้ความหมายว่า เจตคติทางวิทยาศาสตร์เป็นความคิดเห็นหรือท่าทีที่แสดงต่อเนื้อหาวิชา และกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เกิดจากการใช้ความรู้และส่วนที่เกิดจากการใช้ความรู้สึก

จากความหมายของเจตคติทางวิทยาศาสตร์ที่ได้กล่าวมาแล้ว สรุปได้ว่า เจตคติทางวิทยาศาสตร์ เป็นแนวโน้มพฤติกรรมของบุคคลที่มีต่อสถานการณ์ต่างๆในชีวิตอย่างมีทิศทางของบุคคลตามครรลองพฤติกรรมเชิงอุดมคติของนักวิทยาศาสตร์

9.2 การวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์

ในหลักสูตรวิทยาศาสตร์ พุทธศักราช 2521 และ 2524 มีการกำหนดจุดประสงค์ที่ตรงกันข้อหนึ่งว่า เพื่อให้มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์ จากจุดประสงค์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าต้องมีการปลูกฝังเจตคติทางวิทยาศาสตร์ให้เกิดขึ้นในนักเรียน การที่จะทราบว่านักเรียนมีเจตคติทางวิทยาศาสตร์หรือไม่นั้นจำเป็นต้องมีการวัดผล แต่เจตคติเป็นลักษณะหนึ่งของคุณลักษณะด้านความรู้สึก ดังนั้นวิธีการตลอดจนเครื่องมือวัดจึงอาจแตกต่างจากการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหรือการวัดด้านอื่น

การวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์นั้นมีรูปแบบต่างๆหลายวิธี (เอนก เพียรอนุกุลบุตร. 2524 : 113) ได้แก่

1) การถามโดยตรง เป็นวิธีที่ง่ายและตรงที่สุด มีข้อเสียคือ ผู้ถามอาจไม่ได้คำตอบหรือผู้ตอบอาจบิดเบือนคำตอบเพราะเกิดความเกรงกลัวต่อการแสดงความคิดเห็น วิธีนี้ทำได้โดยการสร้างบรรยากาศให้ผู้ตอบรู้สึกเป็นอิสระ และให้ผู้ตอบแน่ใจว่าคำตอบของเขาเป็นความลับ

2) การสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนที่มีในขณะนั้น แต่มีผู้โต้แย้งว่าพฤติกรรมของคนไม่อาจแสดงถึงเจตคติได้

3) การสร้างแบบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์เป็นการสร้างข้อความที่เป็นข้อคิดเห็นต่อสิ่งเร้าที่ต้องการวัดเจตคติ มาตราวัดเจตคติที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการศึกษาและวิจัยมาตราหนึ่งคือมาตราวัดเจตคติของลิเคิร์ต (Likert) ผู้สร้างขึ้นมาคือ เรนีส ลิเคิร์ต (Rensis Likert) มาตรานี้ประกอบด้วยข้อความที่เป็นความรู้สึกเกี่ยวกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งหลายๆข้อความมีทั้ง

เทคโนโลยี ลักษณะเป็นคำถามแบบสร้างสถานการณ์แล้วให้ผู้ตอบเลือกคำตอบจากตัวเลือก 3 ตัวเลือก คำถามสถานการณ์นั้นจะใช้วัดคุณลักษณะของบุคคลในด้านต่าง ๆ 7 ด้าน ซึ่งในแต่ละสถานการณ์จะถามเกี่ยวกับเหตุการณ์ต่างๆในชีวิตประจำวัน แต่ละเหตุการณ์มีทางเลือก 3 ทาง ซึ่งทางเลือกแต่ละทางเลือกจะมีค่าน้ำหนักคะแนนต่างกันเป็น 1, 2 และ 3 คะแนน

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2538 : 1-3) ได้กำหนดพฤติกรรมที่แสดงถึงเจตคติทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 7 ด้าน ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีรายละเอียดดังนี้

1. ความละเอียดรอบคอบ

1.1 รวบรวมข้อมูลอย่างเพียงพอเสมอก่อนลงสรุปเรื่องต่างๆ

1.2 นำวิธีการหลายๆอย่างมาตรวจสอบปัญหา

1.3 ตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการสังเกตหรือการทดลองซ้ำ แม้ข้อมูลดังกล่าวจะสอดคล้องหรือตรงกับที่คาดคะเนแล้วก็ตาม

2. ความพากเพียรพยายาม

2.1 ดำเนินการแก้ปัญหาจนกว่าจะได้รับคำตอบ

2.2 ไม่ท้อถอยเมื่อมีอุปสรรคหรือล้มเหลวในการทำงาน

2.3 มีความอดทนแม้การดำเนินการแก้ปัญหาจะยุ่งยากและใช้เวลา

3. ความมีเหตุผล

3.1 แสวงหาสาเหตุของเหตุการณ์และหาความสัมพันธ์ของสาเหตุกับผลที่เกิดขึ้น

3.2 ตรวจสอบความถูกต้อง ความสมเหตุสมผลของแนวความคิดต่างๆกับแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้

3.3 แสวงหาหลักฐานจากการสังเกตหรือการทดลองเพื่อสนับสนุนหรือคัดค้านคำอธิบาย

3.4 ไม่เชื่อโศคลง คำทำนาย หรือสิ่งศักดิ์สิทธิ์ต่างๆที่ไม่สามารถอธิบายได้ตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์ได้ แต่จะพยายามอธิบายสิ่งต่างๆในแง่เหตุและผล

4. ความมีใจกว้าง

4.1 ยอมรับ พิจารณา และประเมินความคิดเห็นของผู้อื่นที่เสนอมาทั้งทางด้านสนับสนุนและคัดค้าน

4.2 เต็มใจที่จะเผยแพร่ความรู้ ความคิดเห็นของผู้อื่น

4.3 ตระหนักและยอมรับข้อจำกัดของความรู้ที่ค้นพบในปัจจุบัน

4.4 พร้อมที่จะเปลี่ยนแปลงความเชื่อ ความคิด และยอมรับเมื่อพบหลักฐานใหม่หรือข้อมูลที่มีเหตุผลถูกต้องมากกว่า

5. ความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น
 - 5.1 รู้จักที่จะขอและให้ความร่วมมือกับผู้อื่น
 - 5.2 รับผิดชอบต่อหน้าที่ของตนที่ได้รับมอบหมายจากกลุ่ม
 - 5.3 มีความรับผิดชอบในการกระทำของตน
6. ความซื่อสัตย์
 - 6.1 รายงานข้อมูลตามความเป็นจริง แม้ว่าสิ่งที่รายงานนั้นจะขัดกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ หรือสิ่งที่ผู้อื่นค้นพบ
 - 6.2 เปิดเผยเจ้าของผลงานที่ตนนำมาใช้ให้ผู้อื่นทราบ
 - 6.3 แสวงหาความรู้ ลงความเห็น หรือบันทึกข้อมูลต่าง ๆ โดยปราศจากอคติ หรือความรู้สึกส่วนตัวเข้ามาเกี่ยวข้อง
 - 6.4 ตีความหมายหรือเสนอผลการค้นพบตามความเป็นจริง โดยไม่ยอมอยู่ใต้อิทธิพลของสังคมเศรษฐกิจและการเมือง
7. ความอยากรู้อยากเห็น
 - 7.1 มีความใส่ใจและพอใจ ใครจะสืบเสาะแสวงหาความรู้ในสถานการณ์ และปัญหาใหม่ๆ อยู่เสมอ
 - 7.2 ชอบซักถาม ชอบอ่าน เพื่อให้ได้คำตอบที่เป็นความรู้ ซึ่งสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น
 - 7.3 มีความกระตือรือร้นที่จะสืบเสาะแสวงหาความรู้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในพืช โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในพืชโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี พบว่า ส่วนมากแล้วผู้วิจัยจะหาตัวย่อยสลาย (Oxidant) ที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายพืชตัวอย่างนั้นไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก โดยใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ธีระ เอ็งตระกูล (2526) ได้วิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในบุหรี่ปั่นบ้านบางชนิดในประเทศไทย โดยใช้สารย่อยสลายที่ผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้ $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2$ ในอัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 โดยปริมาตร $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4$ ในอัตราส่วน 2:1 และ 3:2 โดยปริมาตร $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{SO}_4$ ในอัตราส่วน 3:1:1 โดยปริมาตร $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4 : \text{H}_2\text{SO}_4$ ในอัตราส่วน 3:1:1 โดยปริมาตร เพื่อย่อยสลายสารตัวอย่างก่อนที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว และพบว่าสารย่อยสลาย ที่เหมาะสมคือ สารผสมระหว่าง $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2$ ในอัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร เพราะทำให้การย่อยสลายเป็นไปอย่างรวดเร็ว เมื่อได้สารย่อยสลายที่เหมาะสมแล้วก็นำไปย่อยบุหรี่ปั่นบ้าน ตัวอย่าง 9 ชนิด โดยทำการย่อย (Predigest) ก่อน เพื่อให้การย่อยสลายเป็นไปอย่างสมบูรณ์ โดยนำไปต้มบนเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6-8 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 50 ml แล้วนำไปวิเคราะห์โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี ที่ความยาวคลื่น 217.0 nm ใช้เปลวไฟชนิด Air-Acetylene ทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีเติมสารละลายมาตรฐาน (Standard addition) จากการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในบุหรี่ปั่นบ้านชนิดต่าง ๆ ดังนี้ ในส่วนที่ใช้เป็นวัสดุห่อบุหรี่ปั่นบ้าน ในองค์ประกอบยาสูบบุหรี่ปั่นบ้านและในบุหรี่ปั่นบ้านทั้งมวล พบว่าในส่วนที่ใช้เป็นวัสดุห่อบุหรี่ปั่นบ้าน องค์ประกอบยาสูบบุหรี่ปั่นบ้านและในบุหรี่ปั่นบ้านทั้งมวลอยู่ในช่วง 10.0 – 20.0 ไมโครกรัมต่อมวล, 20.0 – 30.0 ไมโครกรัมต่อมวล และ 30.0 – 45.0 ไมโครกรัมต่อมวล ตามลำดับ

กุลล หอมระรื่น (2527) ได้วิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แคดเมียมและสังกะสีในกัญชา โดยใช้ส่วนที่เป็นใบ ต้น และราก กัญชาตัวอย่างที่ใช้นั้นเป็นกัญชาที่ปลูกในจังหวัดเชียงใหม่ และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักดังกล่าวโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี โดยใช้สารย่อยสลายที่ผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้ $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2$ ในอัตราส่วน 1:2 และ 1:3 โดยปริมาตร และใช้ $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{SO}_4$ ในอัตราส่วน 3:1:1 โดยปริมาตร พบว่าสารที่เหมาะสมคือสารผสมของ $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2$ ในอัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร เมื่อได้สารย่อยสลายที่เหมาะสมก็นำไปใช้ย่อยกัญชาตัวอย่าง โดยเติมสารย่อยสลายลงในบีกเกอร์ที่มีกัญชาตัวอย่างที่อบแห้งและบดเป็นผง ย่อยไว้ 1 คืนแล้วนำไปย่อยสลายบนเตาความร้อน (Hot plate) อุณหภูมิ 75-85 องศาเซลเซียส จนเกือบแห้งแล้วเติมสาร Oxidant อีกทำแบบเดียวกันนี้จนได้สารละลาย

ใส่ทิ้งไว้ให้เป็น กรองและนำสารละลายมาปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 25 ml แล้วนำไปหาปริมาณ ตะกั่ว แคดเมียมและสังกะสี โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี ทำการวิเคราะห์โดยวิธีเติมสารละลายมาตรฐาน จากการวิเคราะห์พบว่าในใบ ต้นและราก มีปริมาณ ตะกั่ว 11.2, 5.0 และ 7.5 ไมโครกรัมต่อกรัม มีปริมาณแคดเมียมตามลำดับดังนี้ 1.0, 0.5 และ 0.7 ไมโครกรัมต่อกรัม และมีปริมาณสังกะสีตามลำดับดังนี้ 62.0, 29.0 และ 57.0 ไมโครกรัม ต่อกรัม

บุญกล้า พรหมบุรี (2529) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี ในข้าวสาร 20 ตัวอย่างในจังหวัดเชียงใหม่ โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี ในการย่อยสลายข้าวสารตัวอย่าง ได้ใช้สารย่อยสลายเป็นตัวย่อยข้าวสารดังนี้ $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4$ ในอัตราส่วน 3:2 โดยปริมาตร, $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2$ ในอัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4 : \text{H}_2\text{SO}_4$ (1:4) ในอัตราส่วน 2:3:5 โดยปริมาตร พบว่าสารเคมีที่เป็นสารย่อยสลายที่เหมาะสม คือ $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2$ ในอัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร และพบว่าปริมาณของแคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสีในข้าวสารตัวอย่างอยู่ในช่วง 0.04 – 0.11, 0.70 – 1.80 และ 16.50 – 20.50 ไมโครกรัม ต่อกรัมตามลำดับ

พรพิมล เชวงศักดิ์โสภาคย์ (2533) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิด คือ ตะกั่ว สังกะสี แคดเมียม ทองแดง และแมงกานีสในผักบุ้งที่ปลูกตามคูคลองในเขต กรุงเทพมหานคร 5 แห่ง ได้แก่คลองบางบัว คลองซอยรถไฟมักกะสัน คลองหน้าหมู่บ้านเปรมประชา คลองริมถนนวิภาวดีรังสิต กม.ที่ 27 และคูน้ำตามธรรมชาติ 1 แห่ง โดยเตรียมสารละลายตัวอย่างโดยวิธีของ ทศนี อัดตะนันท์ (2520) แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี พบว่าในผักบุ้งคลองบางบัวมีปริมาณ $\text{Mn} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cd}$ มีความเข้มข้นเท่ากับ 136.14, 53.06, 136.4, 12.89 และ 6.64 ไมโครกรัมต่อกรัมตามลำดับ คลองซอยรถไฟมักกะสันมีปริมาณ $\text{Mn} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cd}$ มีความเข้มข้นเท่ากับ 195.5, 52.11, 12.48, 9.97 และ 5.75 ไมโครกรัมต่อกรัมตามลำดับ คลองหมู่บ้านเปรมประชาพบว่า $\text{Mn} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cd}$ มีความเข้มข้นเท่ากับ 147.14, 50.14, 11.22, 11.11 และ 5.11 ไมโครกรัมต่อกรัมตามลำดับ คลองริมถนนวิภาวดีรังสิต กม.ที่ 27 พบ $\text{Mn} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cd}$ มีความเข้มข้น 191.25, 63.31, 13.33, 12.92 และ 5.00 ไมโครกรัมต่อกรัมตามลำดับ ส่วนคูน้ำตามธรรมชาติ พบ $\text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Pb}$ มีความเข้มข้น 192.83, 55.31, 12.81, 6.86 และ 5.30 ไมโครกรัมต่อกรัมตามลำดับ

รัชณี คงฉายฉาย และคณะ (2534) ได้ทำการวิจัยหาปริมาณทองแดง สังกะสี และเหล็กในผักและผลไม้ไทย โดยทำการเก็บตัวอย่างผักและผลไม้แต่ละชนิดจากตลาดในกรุงเทพฯ ทั้งหมด 10 แห่ง นำผักและผลไม้มาล้างน้ำสะอาดหลายๆครั้งแล้วเลือกเอาส่วนที่เสียออก หลังจากนั้นนำมาปอกเปลือกหรือหั่นเอาเฉพาะส่วนที่รับประทานได้นำมาบดให้ละเอียด ขจัดสารอินทรีย์ในตัวอย่างโดยวิธีการย่อยแบบเปียก (Wet Digestion) โดยใช้กรดไนตริก กรดซัลฟิวริก

และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ช่วยเร่งปฏิกิริยาการทำลายสารอินทรีย์ วิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี ทองแดง และเหล็กโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี จากการวิเคราะห์พบว่า ผักใบเขียว ผักที่ใช้เป็นเครื่องเทศและบางชนิดมีแร่เหล็กสูงที่สุด (1 – 4 มิลลิกรัม/100 กรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับผักชนิดอื่นๆ ผักต่างๆ เหล่านี้รวมทั้งเห็ด มะเขือพวง และสะเดามีแร่ธาตุ ทองแดงปริมาณสูงที่สุด (130-132 ไมโครกรัม/100 กรัม) ผักต่างๆ ดังกล่าวรวมทั้งหัวกระเทียม พบว่าเป็นแหล่งสารอาหารที่ดีมากสำหรับแร่ธาตุสังกะสีคืออยู่ในระดับ 300 – 1,025 ไมโครกรัม/100 กรัม โดยทั่วไปมีแร่ธาตุเหล็กในผลไม้ปริมาณต่ำและแตกต่างกันไม่มากคืออยู่ระหว่าง 0.2 – 0.5 มิลลิกรัม/100 กรัม แร่ธาตุสังกะสีและทองแดงพบอยู่ในระดับสูง 110 – 238 ไมโครกรัม/100 กรัม และ 65 – 128 ไมโครกรัม/100 กรัม ตามลำดับ ลิ้นจี่ กล้วยสุกและองุ่นเขียวเป็นแหล่งที่ดีของสังกะสี 60 – 200 ไมโครกรัม/100 กรัม และแร่ทองแดง 60 – 110 ไมโครกรัม/100 กรัม ในมะม่วงชนิดต่างๆ มะละกอสุก องุ่นเขียวและองุ่นแดงเป็นต้น

สรุปได้ว่าการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในพืชโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรีนั้นจะต้องเตรียมสารละลายผักก่อนโดยใช้สารถยอยสลายต่างๆ เป็นตัวละลายโลหะออกมาจากพืชนั้นๆ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวกับการเรียนการสอน

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอนโดยใช้กิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอนโดยใช้กิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทั้งงานวิจัยในประเทศและงานวิจัยในต่างประเทศ ผู้วิจัยได้คัดเลือกและนำมาเสนอดังต่อไปนี้

งานวิจัยในประเทศ

ยงยุทธ สายคง (2527 : 68) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้การจัดกิจกรรมแบบกำหนดแนวทางและไม่กำหนดแนวทาง กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนพลธวัชรพิทยาสรรพ์ อำเภอคำชะอี จังหวัดมุกดาหาร ปีการศึกษา 2526 ผลการทดลองพบว่านักเรียนกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไม่แตกต่างกัน

กมล ชูสมัย (2528 : 61-62) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้การทดลองแบบแนะแนวทางกับการทดลองแบบไม่แนะแนวทาง กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนชุมแสงชนูทิศ อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ ปีการศึกษา 2527 จำนวน 80 คน แบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 37 คน ได้รับการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้การทดลองแบบไม่แนะแนวทาง กลุ่มควบคุม 43 คน ได้รับการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้การทดลองแบบ

แนะแนวทาง ผลการทดลองพบว่า กลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์สูงกว่ากลุ่มควบคุม

บุษยาณี ปุชิตการ (2533) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการสอนโดยใช้แบบฝึกการตั้งสมมติฐาน และออกแบบการทดลองกับการสอนตามคู่มือครู พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้แบบฝึกหัดการตั้งสมมติฐานและออกแบบการทดลองกับนักเรียนที่ได้รับการสอนตามคู่มือครูไม่แตกต่างกัน แต่ทางด้านความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์แตกต่างกัน

กัญญา ทองมัน (2534 : 83-84) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่ได้รับการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ที่ทำการทดลองแบบไม่กำหนดทิศทาง และกำหนดทิศทางพบว่าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานและขั้นบูรณาการของทั้งสองกลุ่มแตกต่างกัน

วิโรจน์ เฉลยสุข (2541) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการสอนแบบปฏิบัติการทดลองกับการสอนแบบปกติ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โปรแกรมวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ปีการศึกษา 2540 ของโรงเรียนเรณูนครวิทยานุกูล จังหวัดนครพนม จำนวน 72 คน ได้มาโดยวิธีการสุ่มอย่างง่ายเป็นกลุ่มทดลอง 36 คน และกลุ่มควบคุม 36 คน กลุ่มควบคุมได้รับการสอนแบบปกติ กลุ่มทดลองได้รับการสอนแบบปฏิบัติการทดลอง ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุม

เปรมจิตร บุญสาย (2541) ได้พัฒนาหลักสูตรวิชาชีววิทยา ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง พื้นฐานทางเทคโนโลยีชีวภาพที่เน้นการปฏิบัติการทดลอง โดยใช้ประโยชน์จากสารเหลือทิ้ง โดยสร้างบทปฏิบัติการพื้นฐานทางเทคโนโลยีชีวภาพ ได้ 5 สาขา 20 บทปฏิบัติการ แยกเป็นสาขาเทคโนโลยีการหมัก 7 บทปฏิบัติการ สาขาเทคโนโลยีของเสีย 3 บทปฏิบัติการ สาขาเทคโนโลยีการสร้างแหล่งวัตถุดิบใหม่ 4 บทปฏิบัติการ สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม 4 บทปฏิบัติการ และสาขาวิศวกรรมเอ็นไซม์ 2 บทปฏิบัติการ นำบทปฏิบัติการทั้ง 20 บทปฏิบัติการไปทดลองสอนเป็นเวลา 1 ภาคเรียน โดยใช้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 90 คน ของโรงเรียนปราชญ์ราษฎรอำรุง จังหวัดปราจีนบุรี เป็นกลุ่มตัวอย่าง ผลปรากฏว่านักเรียนที่เรียนโดยใช้บทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นมีผลการเรียนด้านพุทธิพิสัย (ความรู้ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์) ด้านจิตพิสัย (เจตคติทางวิทยาศาสตร์ คุณลักษณะทั่วไป คุณลักษณะเพื่อพัฒนาอาชีพ คุณลักษณะเพื่อพัฒนาสังคมและคุณลักษณะเพื่อพัฒนาสุขภาพ) และด้านทักษะพิสัย (ทักษะปฏิบัติการทดลอง) ภายหลังการ

ทดลองสูงกว่าก่อนการทดลองสอน และนักเรียนกลุ่มทดลองมีผลการเรียนทุกด้านดังกล่าวสูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยใช้หลักสูตรเดิมของ สสวท.

จากการประมวลผลงานวิจัยภายในประเทศที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอนโดยใช้กิจกรรมปฏิบัติการทดลองวิทยาศาสตร์ดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ว่า ในการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ที่มีการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยเน้นให้เด็กคิด ทำและแก้ปัญหาด้วยตนเอง จะทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น ดังนั้นครูจึงควรใช้วิธีการจัดกิจกรรมปฏิบัติการทดลองโดยใช้วิธีที่เหมาะสม เน้นให้นักเรียนคิด ทำและแก้ปัญหาด้วยตนเอง ซึ่งจะก่อให้เกิดการพัฒนาทางด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนดีขึ้น และเป็นไปอย่างเต็มศักยภาพ

งานวิจัยในต่างประเทศ

โคลิบาส (Kolebas. 1972 : 4443-A) ได้ทำการศึกษาเจตคติของนักเรียนและครูวิทยาศาสตร์ที่มีต่อกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนมัธยมศึกษาของคูเวต ตัวอย่างประชากรประกอบด้วยนักเรียนโรงเรียนมัธยมศึกษาจำนวน 1,480 คน และครูที่สอนนักเรียนที่เป็นตัวอย่างประชากรจำนวน 51 คน จากผลการวิจัยพบว่า นักเรียนที่มีความเห็นว่ากิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งจำเป็น น่าสนใจ และเป็นประโยชน์ต่อการเรียนวิทยาศาสตร์อย่างไรก็ตาม นักเรียนยังไม่แน่ใจในความสามารถของตนเองในการที่จะทำการทดลอง นักเรียนหญิงแสดงความสนใจกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และมีความตั้งใจที่จะทำการทดลองมากกว่านักเรียนชาย นักเรียนที่อยู่ในเมืองและรอบๆเมืองคูเวตแสดงความสนใจในกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มากกว่านักเรียนที่อยู่นอกเมือง ครูวิทยาศาสตร์มีความรู้สึกเช่นเดียวกับนักเรียน คือมีความสนใจในกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มาก และมีความสามารถในการทำกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สูง ครูวิทยาศาสตร์และนักเรียนทั้งอยู่ในเมืองและรอบๆเมืองคูเวตมีเจตคติต่อกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในทางบวกสูงกว่าครูวิทยาศาสตร์และนักเรียนที่อยู่นอกเมือง

ไซแมนสกี และ แมททิวส์ (Shymansky and Matthews. 1974 : 16-68) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการสอน 2 วิธี คือ วิธีที่ครูเป็นผู้วางแผนกับวิธีที่นักเรียนเป็นผู้วางแผนที่มีต่อพฤติกรรมของนักเรียนที่มหาวิทยาลัยฟลอริดา โดยใช้กลุ่มตัวอย่างนักเรียนวิทยาศาสตร์เกรด 5 จำนวน 52 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ซึ่งสอนโดยครูคนเดียวกัน ใช้สื่อการสอนเหมือนกันทุกประการ แต่แตกต่างกันที่พฤติกรรมการสอนของครู โดยกลุ่มที่ครูใช้วิธีที่ครูวางแผนเป็นการสอนแบบทางตรง ส่วนกลุ่มที่ครูใช้วิธีที่นักเรียนเป็นคนวางแผน เน้นการสอนแบบทางอ้อมระหว่างครูทำการสอนทั้ง 2 กลุ่ม จะมีการสังเกตโดยตรง โดยใช้เครื่องมือสังเกตปฏิสัมพันธ์การเรียนการสอน SCAS ในช่วง 5 สัปดาห์แรก จากนั้นทำการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนโดยตรง โดยผู้สังเกต 9 คน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ในช่วงหลัง การสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนใช้นักเรียนเพียง 6 คน เป็นกลุ่มตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่านักเรียนทั้ง 2 กลุ่มมีพฤติกรรมที่

แตกต่างกัน โดยนักเรียนที่ได้รับการสอนด้วยวิธีแบบทางอ้อม มีความรู้เกี่ยวกับความสามารถของตนเองสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการสอนโดยวิธีแบบทางตรง นอกจากนี้ยังพบว่านักเรียนที่ได้รับการสอนแบบทางอ้อมมีทักษะในการค้นคว้าหาความรู้สูงกว่าอีกด้วย

เซอร์ลิน (Serlin. 1977 : 5729-A) ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการสอนปฏิบัติการทดลองวิทยาศาสตร์ 2 แบบ โดยแบบแรกนักเรียนจะได้รับคำแนะนำบอกรายละเอียดวิธีทำปฏิบัติการให้ทั้งหมด แบบที่สองครูจะสอนว่าจะแก้ปัญหาอย่างไรและช่วยออกแบบให้ด้วย ใช้ นักเรียนเข้าร่วมในการทดลอง 372 คน จำนวน 16 ห้องเรียน ครู 76 คน ระหว่างทำการสอนมีการสังเกตพฤติกรรมการสอนโดยการสังเกตบันทึกแบบระบบการศึกษาห้องเรียนวิทยาศาสตร์และการวิเคราะห์คำถามเพื่อทดสอบว่าครูที่สอนนักเรียนคนละวิธีนี้สอนภาคทฤษฎีเหมือนกัน การวัดผลใช้แบบประเมินความคิดวิเคราะห์ของฮัตสัน-เกาเซอร์ และแบบสอบกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ทดสอบตอนเริ่มเรียนและตอนสิ้นสุดภาคการศึกษา ผลการวิจัยพบว่าไม่มีความแตกต่างในด้านความคิดวิเคราะห์และความรู้เกี่ยวกับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนทั้ง 2 วิธีต่างกันนี้ นอกจากนี้ยังไม่ปรากฏความแตกต่างในด้านพฤติกรรมในห้องเรียนของนักเรียน จำนวนคำถามที่ใช้ถามและผลสัมฤทธิ์ทางเนื้อหาของนักเรียนอีกด้วย

ลาสกิน (Laskin. 1980 : 4412-A) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลทางการให้นักเรียนทำการทดลองได้ด้วยตนเอง กับการให้นักเรียนสังเกตดูการสาธิตการทดลองของครูที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ เจตคติต่อวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษา ตัวอย่างประชากรประกอบด้วยนักเรียนเกรด 10-12 จากโรงเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายในรัฐฟลอริดา จำนวน 92 คน ให้เรียนเนื้อหาวิชาและการทดลองที่เหมือนกันโดยครูคนเดียวกัน แต่ตอนทำการทดลองแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งให้ทำการทดลองแบบสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง อีกกลุ่มหนึ่งให้คอยสังเกตดูครูที่ทำการสาธิตการทดลอง จากผลการวิจัยพบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ของกลุ่มที่ทำการทดลองด้วยตนเองกับกลุ่มที่สังเกตดูครูสาธิตการทดลองไม่แตกต่างกัน

แมคมีน (McMeen. 1983 : 130A) ได้ทำการศึกษาบทบาทของการเรียนการสอนปฏิบัติการแบบสืบสวนในการช่วยให้เกิดพัฒนาการทางสติปัญญา ด้านความรู้ ความเข้าใจ ตัวอย่างประชากรเป็นนักศึกษาวิทยาลัยครูที่เรียนวิชาเคมีพื้นฐาน ประกอบด้วยกลุ่มควบคุมจำนวน 73 คน ให้เรียนเคมีโดยการสอนแบบเดิม คือการบรรยายและให้ทำปฏิบัติการแบบที่กำหนดวิธีปฏิบัติการมาให้และกลุ่มทดลองจำนวน 49 คน ให้เรียนเคมีโดยให้ทำปฏิบัติการสืบสวน เวลาที่ใช้ในการทดลอง 10 สัปดาห์ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดพัฒนาการทางสติปัญญา คือ แบบวัดการคิดเชิงเหตุผล โดยให้นักศึกษาทั้ง 2 กลุ่ม ทำแบบวัดนี้ก่อนและหลังการทดลอง จากการวิจัยพบว่าทั้ง 2 กลุ่มมีการพัฒนาการทางสติปัญญาด้านความรู้ ความเข้าใจเพิ่มขึ้นและกลุ่มทดลองมีพัฒนาการทางสติปัญญาด้านความรู้ความเข้าใจสูงกว่ากลุ่มควบคุม

สำหรับ อัลรูวาซิด (Al – Ruwashid. 1984 : 1357A) ได้ทำการศึกษาผลของการเรียนการสอนวิชาเคมีที่ใช้การบรรยายอย่างเดียว และที่ใช้การบรรยายกับการปฏิบัติการทดลอง ที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี เจตคติต่อวิทยาศาสตร์และเจตคติเชิงวิทยาศาสตร์ ของนักศึกษาในวิทยาลัยรียาร์ด ประเทศซาอุดีอาระเบีย ตัวอย่างประชากรประกอบด้วยนักศึกษาที่เรียนวิชาเคมี 041 จำนวน 128 คน แบ่งเป็นกลุ่มที่สอนโดยการบรรยายอย่างเดียว 62 คนและกลุ่มที่สอนโดยการบรรยายกับการปฏิบัติการ 66 คน เวลาที่ใช้ในการทดลอง 1 ภาคเรียน เครื่องมือที่ใช้คือแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี และแบบวัดเจตคติเชิงวิทยาศาสตร์ ให้นักศึกษาทั้ง 2 กลุ่มทำแบบทดสอบและแบบวัดก่อนและหลังการเรียน ผลการวิจัยพบว่า

1. การเรียนการสอนที่ใช้แบบการบรรยายกับการทำปฏิบัติการทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีของนักศึกษาเพิ่มขึ้นมากกว่าการเรียนการสอนแบบบรรยายอย่างเดียว
2. การเรียนการสอนแบบที่ใช้การบรรยายกับการทำปฏิบัติการ มีผลทำให้เจตคติเชิงวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาเพิ่มขึ้นมากกว่าการเรียนการสอนแบบที่ใช้การบรรยายอย่างเดียว
3. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี เจตคติเชิงวิทยาศาสตร์กับเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาแต่ละกลุ่ม มีความสัมพันธ์กัน

โอเคบูโกลา (Okebukola. 1985 : 221-231) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของนักเรียนในห้องปฏิบัติการทดลองวิทยาศาสตร์กับทักษะการทำปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ตัวอย่างประชากรเป็นนักเรียนระดับ 11 จำนวน 600 คน เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วยแบบสังเกตเกี่ยวกับพฤติกรรมของนักเรียน แบบสังเกตทักษะการทำปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และแบบวัดเจตคติต่อกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ปรับปรุงมาจากแบบวัดเจตคติต่อกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ของฮอฟสติน พบว่า พฤติกรรมของนักเรียนในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์กับทักษะการทำปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเจตคติต่อกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีความสัมพันธ์กันทางบวก

จากการประมวลผลงานวิจัยในต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอนโดยใช้กิจกรรมปฏิบัติการทดลองวิทยาศาสตร์ดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ว่า การเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์โดยใช้กิจกรรมปฏิบัติการทดลองมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในทางบวก และการจัดกิจกรรมปฏิบัติการทดลองในการเรียนการสอนต่างกันจะทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีทั้งแตกต่างกันและไม่แตกต่างกัน

2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

งานวิจัยเกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ทั้งงานวิจัยในประเทศและงานวิจัยในต่างประเทศ ผู้วิจัยได้คัดเลือกและนำมาเสนอดังต่อไปนี้

งานวิจัยในประเทศ

ผกามาศ วราสุสันติกุล (2524 : 47-48) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ ได้ทดลองกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โปรแกรมวิทยาศาสตร์ โรงเรียนรัฐบาลในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 342 คน ผลการวิจัยพบว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์

กิ่งฟ้า สินธุวงศ์ และคณะ (2525 : 1-119) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ระหว่างนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในเขตการศึกษา 9, 10, 11 กลุ่มตัวอย่างได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 2,401 คน ในโรงเรียน 14 โรง และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 2,646 คน ในโรงเรียน 14 โรง ในปีการศึกษา 2524 โดยมีจุดประสงค์ของการวิจัยเพื่อตอบคำถามต่อไปนี้

1. นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์แตกต่างกันหรือไม่

2. นักเรียนระดับมัธยมศึกษาที่มาจากโรงเรียนในเขตอำเภอเมืองจะทำคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้ดีกว่านักเรียนระดับเดียวกันที่มาจากโรงเรียนนอกเขตอำเภอเมืองหรือไม่

ผลการศึกษาวิจัยสรุปได้ดังนี้

1) นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ของทุกโรงเรียนทำคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ทั้งขั้นพื้นฐานและขั้นบูรณาการได้สูงกว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

2) นักเรียนทั้ง 2 ระดับชั้นจากโรงเรียนที่อยู่ในเขตอำเภอเมือง ทำคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้สูงกว่านักเรียนทั้ง 2 ระดับชั้นจากโรงเรียนที่อยู่นอกเขตอำเภอเมือง

3) ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการมีความยากมากกว่าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐาน

ปรีชา ธรฤทธิ์ (2529) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่เรียนจากการสอนแบบสาธิตที่เสริมด้วยแบบฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์กับการสอนตามคู่มือครูของ สสวท. พบว่านักเรียนที่ได้รับการสอนแบบสาธิตที่เสริมด้วยแบบฝึกทักษะกระบวนการ

ทางวิทยาศาสตร์กับการสอนตามคู่มือครูของ สสวท. มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์แตกต่างกัน

อภิรติ สุวีรานนท์ (2532) ได้ศึกษาผลการฝึกแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 พบว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการสอนโดยการฝึกแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์กับนักเรียนที่ได้รับการสอนตามคู่มือครู แตกต่างกัน

ยุทธนา สเลลลันท์ (2533 : 85-86) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้น ม.5 ที่มีเจตคติต่อวิชาฟิสิกส์เชิงนิมานเป็นกลาง และเชิงนิเสธ ที่เรียนด้วยการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้โดยบทเรียนเทพโทรทัศน์กับการสอนปกติตามคู่มือครู ผลปรากฏว่า นักเรียนที่เรียนด้วยการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้โดยบทเรียนเทพโทรทัศน์ประกอบการเรียนกับนักเรียนที่เรียนด้วยการสอนตามคู่มือครู สสวท. แตกต่างกัน นักเรียนที่มีเจตคติต่อวิชาฟิสิกส์เชิงนิมานกับเชิงนิเสธ มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์แตกต่างกัน ในกลุ่มที่เรียนโดยบทเรียนเทพโทรทัศน์ และในกลุ่มที่เรียนด้วยการสอนตามคู่มือครู นักเรียนที่มีเจตคติเชิงนิมานและเชิงนิเสธ มีผลสัมฤทธิ์แตกต่างกัน ผลอีกประเด็นหนึ่งก็คือ ผลสัมฤทธิ์ทางด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้โดยบทเรียนเทพโทรทัศน์ประกอบการเรียนกับนักเรียนที่เรียนด้วยการสอนตามคู่มือครูมีความแตกต่างกัน

ญานี ทองทับ (2536 : 134-135) ได้ทำการศึกษาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ในโรงเรียนสังกัดสำนักงานการศึกษากรุงเทพมหานคร ผลปรากฏว่า นักเรียนที่อยู่ในโรงเรียนขนาดใหญ่ ขนาดกลาง ขนาดเล็ก มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำ และนักเรียนที่อยู่ในโรงเรียนเขตเมือง และเขตชานเมือง ก็มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำทั้งสองเขต

เปรมวดี รักขวลี (2539) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และค่านิยมทางเทคโนโลยีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการสอนโดยใช้ชุดทักษะกระบวนการทางเทคโนโลยีกับการสอนตามคู่มือครู พบว่า ผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้ชุดฝึกทักษะกระบวนการทางเทคโนโลยีกับการสอนตามคู่มือครูแตกต่างกัน

จากการประมวลผลงานวิจัยภายในประเทศที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ว่า วิธีการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนมีผลต่อความสามารถด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งถ้ากิจกรรมการเรียนการสอนที่เน้นให้ผู้เรียนได้ปฏิบัติจริงแล้วจะทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น และยังมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วย

งานวิจัยในต่างประเทศ

บัตโซ (Butzow. 1974 : 85) ได้ทดลองสอนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในวิชาวิทยาศาสตร์ โดยทดลองสอนนักเรียนเกรด 8 จำนวน 92 คน สอนวิชาวิทยาศาสตร์ 5 บทแรก แล้วใช้แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ วัดทักษะของนักเรียนก่อนการทดลองและหลังการทดลอง พบว่าจะแนจากการสอบครั้งแรกและครั้งหลังแตกต่างกัน คือนักเรียนมีความสามารถในการสังเกต การเปรียบเทียบ การวัด การจัดจำพวก การวิเคราะห์-การสรุปอ้างอิง และการทดลองเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่านักเรียนที่มีระดับสติปัญญาดีจะมีคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ดีด้วย

วิตเดน (Widden. 1973 : 35-83A) ได้ศึกษาผลของหลักสูตรวิทยาศาสตร์ที่เน้นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ กลุ่มตัวอย่างเป็นครูจำนวน 26 คน และนักเรียนจำนวน 555 คน โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มทดลองเป็นนักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้หลักสูตรวิทยาศาสตร์ที่เน้นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (SAPA) และครูที่ได้รับการอบรมเกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ส่วนกลุ่มควบคุมเป็นนักเรียนที่ได้รับการสอนตามหลักสูตรเดิม โดยครูไม่ได้รับการอบรมเกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ พบว่า กลุ่มทดลองมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ดีกว่ากลุ่มควบคุมและครูที่ได้รับการอบรมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ดีขึ้น

วานเนค (Vanek. 1974 : 1522-A) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เจตคติต่อวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ โดยใช้วิธีสอน 2 แบบ คือแบบที่มีการทดลอง และแบบที่มีตำราเป็นศูนย์กลาง กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนเกรด 3 จำนวน 54 คน และเกรด 4 จำนวน 56 คน ผลการศึกษาพบว่าวิธีสอนไม่ทำให้ผลสัมฤทธิ์แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาตามเพศพบว่า นักเรียนหญิงมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ดีกว่านักเรียนชาย

ไรเลย์ (Riley. 1975 : 5152-A) ได้ศึกษาผลการฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์แก่นักเรียนฝึกหัดครู 2 วิธี โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มทดลอง ส่วนกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ 1 ได้รับการฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการจริง ๆ กลุ่มที่ 2 ได้รับการสอนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เฉพาะทฤษฎีเท่านั้น ไม่มีการปฏิบัติการ กลุ่มที่ 3 ได้รับการสอนโดยให้ทำกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ทั่วไป หลังจากนั้นให้ตอบแบบสอบถาม 4 ฉบับเพื่อศึกษาดัชนี 5 ชนิด คือ ความรู้เกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ความรู้ความเข้าใจในวิชาวิทยาศาสตร์ เจตคติต่อวิชาวิทยาศาสตร์ เจตคติต่อการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อการฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ผลปรากฏว่ากลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีความรู้เกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และมีความสามารถในการใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงกว่ากลุ่มที่ 3

ปี ค.ศ.1978 สตีเวน และโรนัลด์ (Stevens and Ronald. 1978 : 303-308) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความสนใจในวิชาวิทยาศาสตร์กับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยทดลองกับกลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนเกรด 7 จำนวน 345 คน เกรด 8 จำนวน 196 คน และเกรด 9 จำนวน 529 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (The test of science process) และแบบวัดความสนใจในวิชาวิทยาศาสตร์ (Science interest inventory) จากผลการทดสอบค่าความแตกต่างของคะแนนก่อนการสอนและหลังการสอนของแบบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และแบบวัดความสนใจวิชาวิทยาศาสตร์พบว่านักเรียนทั้ง 3 ระดับมีคะแนนจากการทดสอบ 2 ครั้ง แตกต่างกัน และพบว่านักเรียนที่มีความสนใจในวิชาวิทยาศาสตร์สูง จะมีคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงด้วย นั่นคือคะแนนความสนใจวิชาวิทยาศาสตร์มีความสัมพันธ์กับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

โทบิน และคาไพ (Tobin and Capie. 1982 : 113-122) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถทางด้านเหตุผล การควบคุมตำแหน่ง ความผูกพันทางวิชาการ และผลสัมฤทธิ์ทางทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ ผลปรากฏว่า นักเรียนจำนวน 2 ใน 9 ของกลุ่มตัวอย่างที่มีความสามารถทางด้านเหตุผล มีความสัมพันธ์กับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคงทนในการเรียนรู้

รอสส์ (Ross. 1988 : 193-204) ได้ศึกษาปฏิสัมพันธ์ในการวัดผลของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ โดยใช้แบบทดสอบที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับเพศ รอสส์ได้ตั้งสมมติฐานว่า ผู้ชายจะมีผลสัมฤทธิ์เกี่ยวกับเนื้อหาเพศชายได้ดีกว่าเพศหญิง และเพศหญิงก็จะมีผลสัมฤทธิ์สูงกว่าเพศชายในเนื้อหาที่เกี่ยวกับเพศหญิง ผลจากการศึกษาปรากฏว่าเพศชายและเพศหญิงไม่แตกต่างกันในผลสัมฤทธิ์ที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับเพศ

จากการประมวลผลงานวิจัยในต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ว่า ในการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ที่เน้นการฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยให้นักเรียนลงมือปฏิบัติจริงนั้นจะมีผลทำให้เกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้นกว่าการสอนที่ไม่เน้นให้ผู้เรียนได้รับการฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และพบว่าผู้ที่มีความสนใจทางวิทยาศาสตร์สูงจะมีความสามารถทางทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงด้วย

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเจตคติทางวิทยาศาสตร์

งานวิจัยที่เกี่ยวกับเจตคติทางวิทยาศาสตร์ทั้งงานวิจัยในประเทศและงานวิจัยในต่างประเทศ ผู้วิจัยได้คัดเลือกและนำมาเสนอดังต่อไปนี้

งานวิจัยในประเทศ

จรรยา สวัสดิ์ถาวร (2520 : 59-60) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในเขตการศึกษา 3 เปรียบเทียบระหว่างเพศ ศาสนา และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเจตคติทางวิทยาศาสตร์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 378 คน เป็นชาย 178 คน หญิง 200 คน ผลการวิจัยพบว่าเจตคติทางวิทยาศาสตร์มีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ (2524 : 98-105) ได้ศึกษาจริยธรรม และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ของนิสิตวิทยาศาสตร์ศึกษาผลทางด้านเจตคติทางวิทยาศาสตร์พบว่า นิสิตวิทยาศาสตร์ศึกษา จะมีเจตคติทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับสามัญ ยกเว้นเรื่องการมีขอบเขตในการตัดสินใจอยู่ในระดับไม่พึงปรารถนา และนิสิตวิทยาศาสตร์ศึกษามีเจตคติทางวิทยาศาสตร์สูงกว่าค่าปกติทั้ง 6 ประการ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์มีความสัมพันธ์กับจริยธรรมในระดับปานกลาง

เสียม วิไลวัฒน์ (2527 : 74) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 พบว่า เจตคติทางวิทยาศาสตร์มีความสัมพันธ์ทางบวกกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

อุษา คำประกอบ (2530 : 184) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผลของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่เรียนวิชาวิทยาศาสตร์ โดยใช้ชุดการเรียนด้วยตนเองกับการสอนตามคู่มือครู กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2530 ของโรงเรียนท่าตะโกวิทยาคม อำเภอท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์ จำนวน 82 คน กลุ่มทดลองสอนโดยใช้ชุดการเรียนด้วยตนเองกลุ่มควบคุมสอนตามคู่มือครู ผลการศึกษาพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนสองกลุ่มไม่แตกต่างกัน พัฒนาการของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ของทั้งสองกลุ่มสูงขึ้น เจตคติทางวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผลของนักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้ชุดการเรียนด้วยตนเองกับการสอนตามคู่มือครูไม่แตกต่างกัน และพัฒนาการของเจตคติทางวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผลของนักเรียนทั้งสองกลุ่มสูงขึ้น

จากการประมวลผลงานวิจัยภายในประเทศที่เกี่ยวข้องกับเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ว่า วิธีการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนมีผลต่อเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน และเจตคติทางวิทยาศาสตร์มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

งานวิจัยในต่างประเทศ

คาห์น (Kahn. 1962 : 115-127) ได้ทดลองวิธีสอนที่จะช่วยพัฒนาเจตคติทางวิทยาศาสตร์กับนักเรียนระดับเกรด 7 และ 8 โดยสอนวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีการนำเข้าสู่เหตุ

การณในปัจจุบัน (Current events approach) ให้นักเรียนกลุ่มทดลอง และสอนด้วยวิธีธรรมดา กับนักเรียนกลุ่มควบคุม ผลปรากฏว่าไม่แตกต่างกัน แต่กลุ่มทดลองมีความต้องการที่จะทดสอบสิ่งต่างๆมากกว่า รู้จักสังเกตรอบคอบมากขึ้นกว่าเดิม ไม่เชื่อโชคลาง และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ มีความคิดเห็นส่วนตัวมากขึ้น การสรุปสิ่งต่างๆต้องมีข้อมูลเพียงพอ

จอห์น (John. 1966 : 994-995A) ได้ศึกษาเปรียบเทียบเจตคติทางวิทยาศาสตร์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนโดยวิธีต่างกัน นักเรียนกลุ่มทดลองจะเรียนวิทยาศาสตร์โดยได้รับเอกสารคำแนะนำในวิธีการมองปัญหา แก้ปัญหาแต่ไม่มีการบรรยาย ไม่ใช้ตำราเรียน ไม่มีการกำหนดงานเป็นการบ้าน ส่วนนักเรียนกลุ่มควบคุมจะเรียนโดยวิธีบรรยาย การกำหนดงานมีการบ้าน มีการให้ทำปฏิบัติการบ้าง กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนเกรด 8 จำนวน 112 คน จัดกลุ่มโดยการจับคู่ตามเพศ คะแนนเฉลี่ย ความถนัดทางการเรียน ความสามารถในการอ่าน ผลการวิจัยกลุ่มทดลองมีเจตคติทางวิทยาศาสตร์ในด้านมีเหตุผลไม่เชื่อโชคลางสูงกว่ากลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองมีทักษะในการเรียน การแก้ปัญหา และการใช้ความคิดเชิงวิเคราะห์สูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่มีผลสัมฤทธิ์ทางด้านเนื้อหาต่ำกว่ากลุ่มควบคุม

ลูคัส (Lucas. 1982 : 805-809) ได้ศึกษาผลการอบรมในโปรแกรมการสอนอูดุเนียมวิทยาแก่นักเรียนวิทยาศาสตร์ที่ศูนย์วิทยาศาสตร์เฟิร์นแบงค์ (Fernbank Science Center) ในแอตแลนติกซิตี โดยการศึกษาตัวแปร 7 ตัวแปร ได้แก่ คะแนนความรอบรู้ทางวิชาการ ผลสัมฤทธิ์วิชาวิทยาศาสตร์ เจตคติทางวิทยาศาสตร์ เจตคติต่อศูนย์วิทยาศาสตร์เฟิร์นแบงค์ เจตคติต่อวิชาอูดุเนียมวิทยา ผลสัมฤทธิ์วิชาอูดุเนียมวิทยา เจตคติของครูต่อวิทยาศาสตร์ และการสอนวิทยาศาสตร์ วิธีการวิจัยใช้แบบกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง สอบก่อนเรียน และหลังเรียน (Pretest Posttest Control Group Design) กับครู 8 คน และนักเรียนเกรด 6 จำนวน 493 คน โดยครูจะเป็นผู้เลือกกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมเอง ผลการวิจัยพบว่าเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเพิ่มขึ้น รวมทั้งผลสัมฤทธิ์ในวิชาอูดุเนียมวิทยาด้วย นักเรียนที่มีความรู้ทางวิชาการสูงหรือมีผลสัมฤทธิ์ในวิชาวิทยาศาสตร์สูงจะมีเจตคติทางวิทยาศาสตร์สูงด้วย

บิลเลห์ และซาคาไรเดส (Billeh and Zarkhariades. 1975 : 157-161) ได้ศึกษาเปรียบเทียบเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ระหว่างนักเรียนระดับมัธยมศึกษา กับนักศึกษา มหาวิทยาลัย และครูวิทยาศาสตร์ ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างเจตคติทางวิทยาศาสตร์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษา ผู้วิจัยได้สร้างแบบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ตามวิธีของ เทอร์สโตน (Thurstone) โดยสร้างข้อความทั้งเชิงนิเสธและเชิงนิมาน จำนวน 36 ข้อ ไปทำการทดสอบ ผลปรากฏว่า นักเรียนระดับมัธยมศึกษา กับนักศึกษา มหาวิทยาลัย มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์แตกต่างกัน และเจตคติทางวิทยาศาสตร์มีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

แจคนิค (Jacknicke. 1975 : 3040-A) ได้ศึกษาผลที่เกิดจากการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับเกรด 12 แบ่ง

เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม สอนวิทยาศาสตร์แก่กลุ่มทดลองโดยใช้ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ ส่วนกลุ่มควบคุมใช้วิธีสอนแบบธรรมดา ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มทดลองมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ดีกว่ากลุ่มควบคุม แต่ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของกลุ่มควบคุมดีกว่ากลุ่มทดลอง

จากการประมวลผลงานวิจัยในต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ว่า วิธีการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนมีผลต่อเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน และเจตคติทางวิทยาศาสตร์มีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยถ้าผู้เรียนมีเจตคติทางวิทยาศาสตร์สูงจะส่งผลให้เกิดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงด้วย

สมมติฐานการวิจัย

1. องค์ประกอบด้านจุดประสงค์ กิจกรรมการเรียนการสอน เนื้อหา สื่อการเรียน การสอนและการประเมินผล ของบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักต่างๆ สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต ของสถาบันราชภัฏ แต่ละบทมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ 80/80

2. นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏที่เรียนวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมด้วยบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นมีผลการเรียนด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและเจตคติทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการหาอัตราส่วนของสารย่อยสลาย (Digesting agent) ที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายผักตัวอย่างเพื่อนำมาสร้างเป็นบทปฏิบัติการ เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักตัวอย่างโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี แล้วนำบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นไปทดลองใช้กับนักศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีของสถาบันราชภัฏ ผู้วิจัยได้แบ่งการดำเนินการเป็น 3 ขั้นตอนตามลำดับดังต่อไปนี้

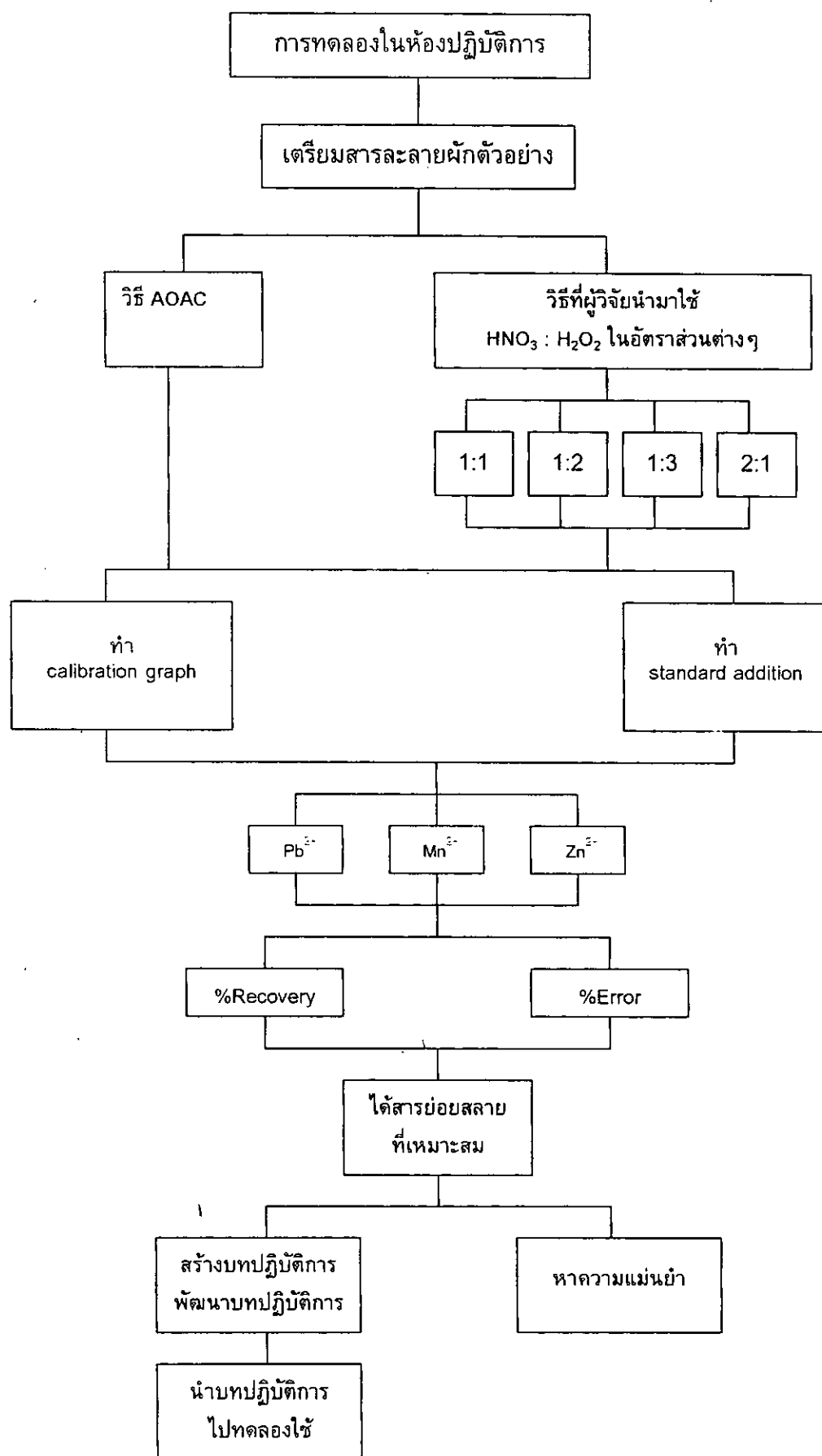
ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ตอนที่ 2 พัฒนบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมจากผลการทดลอง

ตอนที่ 3 นำบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมที่พัฒนาขึ้นไปทดลอง

สอน

ในแต่ละขั้นตอนมีกิจกรรมต่างๆแสดงได้ดังภาพประกอบ 3 ต่อไปนี้



ภาพประกอบ 3 แผนภาพแสดงการดำเนินการวิจัยในการพัฒนาบทปฏิบัติการ

วิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การหาปริมาณโลหะหนักในผักบางชนิด
โดยวิธี AAS

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ในขั้นตอนการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แมงกานีสและสังกะสี ในผักกาดเขียววางตั้ง ผักบุ้งและผักคะน้าตามลำดับ ซึ่งการเตรียมสารละลายผักตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักดังกล่าวจะใช้วิธีของ Association of Official Analytical Chemist (AOAC) ซึ่งใช้สารย่อยสลายเป็น HNO_3 เข้มข้น HClO_4 เข้มข้น HCl (1:1) กับวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ โดยใช้สารย่อยสลายผสม HNO_3 เข้มข้น + H_2O_2 35% ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 2:1 โดยปริมาตร ผู้วิจัยเลือกใช้สารย่อยสลายผสมดังกล่าวเนื่องจาก HNO_3 เป็นอันตรายน้อยกว่า HClO_4 ในขณะที่ทำการทดลอง ราคาไม่แพง ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี และช่วยลดความรุนแรงในการเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนั้น สารผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ ดังกล่าวจึงเหมาะสมที่จะใช้กับบทปฏิบัติการทดลองของนักศึกษาระดับนี้

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีในห้องปฏิบัติการดังนี้

เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1) เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ PERKIN-ELMER รุ่น 2380
- Hollow cathode lamps of Lead, Zinc and Manganese ของบริษัท Varian Techtron PTY Ltd., Australia.
- Hot Plate ของบริษัท Cenco Instrumenten MIJ. N.V. Breda The Netherlands
- เติชเคเตอร์
- ตู้อบ
- เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Precisa รุ่น 205 A Super balance series

2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- ขวดปริมาตร ขนาด 1,000 , 100 , 50 และ 20 ml.
- กรวยแก้ว
- ปิเปตพร้อมลูกยาง ขนาด 10 , 5 , 1 และ 0.5 ml.
- กระบอกตวง ขนาด 10 , 5 ml.
- ช้อนตักสาร
- แท่งแก้วสำหรับคน

- กระดาษกรอง Whatman NO.41 ชนิด Quantitative ของบริษัท W & R Balston Ltd., England
- ขวดรูปชมพู่ ขนาด 100 , 50 และ 25 ml.

3) สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- กรดไนตริกเข้มข้น 65%, Analar, E. Merck AG.
- สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 35% โดยปริมาตร/ปริมาตร, Analar, E. Merck AG.
- กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น, Analar, E. Merck AG.
- กรดเปอร์คลอริกเข้มข้น, Analar, E. Merck AG.
- สารละลายตะกั่วมาตรฐานเข้มข้น 1000 ppm Lead nitrate standard solution BDH laboratory reagents for atomic absorption spectroscopy 1 ml $\equiv$ 1.00 mg Pb BDH Chemicals Ltd., Poole England.
- สารละลายแมงกานีสมาตรฐานเข้มข้น 1000 ppm Manganous chloride standard solution BDH laboratory reagents for atomic absorption spectroscopy 1 ml $\equiv$ 1.00 mg Mn BDH Chemicals Ltd., Poole England.
- สารละลายสังกะสีมาตรฐานเข้มข้น 1000 ppm Zinc acetate standard solution BDH laboratory reagents for atomic absorption spectroscopy 1 ml $\equiv$ 1.00 mg Mn BDH Chemicals Ltd., Poole England.
- น้ำกลั่น

4) ผักตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

- ผักกาดเขียวหวานตั้ง
- ผักบุ้ง
- ผักคะน้า

ตาราง 6 Condition ของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น AA-2380 ของ บริษัท PERKIN-ELMER

Condition	Pb	Mn	Zn
Wavelength (nm)	217.0	279.5	213.9
Lamp current (mA)	10	20	10
Slit width (nm)	0.7	0.2	0.7
Flame	Air – C ₂ H ₂	Air – C ₂ H ₂	Air – C ₂ H ₂
Fuel (l/min)	20	20	20
Oxidant (l/min)	45	45	45
Burner (cm)	10	10	10

วิธีการทดลอง

วิธีการทดลอง ผู้วิจัยจะนำเสนอดังต่อไปนี้

1. เตรียมสารละลายผักกาดเขียววางตุ้ง ผักบุ้งและผักคะน้า โดยวิธี AOAC และวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้
2. ทำกราฟมาตรฐาน (Calibration graph)
ทำกราฟตะกั่วมาตรฐาน กราฟแมงกานีสมาตรฐาน และกราฟสังกะสีมาตรฐาน
3. เติมสารละลายมาตรฐาน (Standard addition)
4. หาค่าความแม่นยำ

ต่อไปนี้เป็น การนำเสนอรายละเอียดวิธีการทดลอง

ก. วิธี AOAC

- 1) การเตรียมสารละลายผักตัวอย่างโดยวิธี AOAC ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

- 1.1) ชั่งผักตัวอย่างที่บดเป็นผงและอบแห้งจนน้ำหนักคงที่แล้ว 1.0000 กรัม นำมาใส่ในบีกเกอร์
- 1.2) นำผักตัวอย่างจากข้อ 1.1 ที่อยู่ในบีกเกอร์มาเติมกรดไนตริกเข้มข้น 15 cm³ แล้วเติมกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น 5 cm³
- 1.3) เก็บสารในข้อ 1.2 นั้นไว้ 1 คืนเพื่อย่อยสลาย (Predigest)
- 1.4) นำสารจากข้อ 1.3 ไปต้มบนเตาความร้อน (Hot plate) ค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิจนสารละลายใส เติมน้ำกลั่นแล้วต้มต่อไปเพื่อไล่ควันขาวของกรดเปอร์คลอริก

1.5) นำสารจากข้อ 1.4 ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมกรดไฮโดรคลอริก (1:1) ลงไป 10 cm^3 กรองด้วยกระดาษกรองปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 100 cm^3

2) ทำกราฟมาตรฐาน (Calibration graph)

2.1) กราฟมาตรฐานของตะกั่ว ทำได้ดังนี้

เตรียมสารละลายตะกั่วมาตรฐานให้มีความเข้มข้นในช่วง 0.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 ppm. โดยปิเปตสารละลายตะกั่วมาตรฐานที่เตรียมไว้แล้ว 100 ppm. ใส่ในบีกเกอร์ 6 ใบ โดยบีกเกอร์ที่ 1 ไม่ต้องใส่สารละลายตะกั่วมาตรฐาน ใบที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ใส่สารละลายตะกั่วมาตรฐาน 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 cm^3 ตามลำดับ แล้วทำการย่อยสลายโดยวิธี AOAC ปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 100 cm^3 ในขวดปริมาตรขนาด 100 cm^3 ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วนำสารละลายตะกั่วมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) โดยวิธี AAS หาค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสง และทำกราฟมาตรฐานตะกั่ว พร้อมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) (r) และหาค่าความชัน (Slope) (a)

2.2) กราฟมาตรฐานของแมงกานีส

เตรียมสารละลายแมงกานีสมาตรฐานให้มีความเข้มข้นในช่วง 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.50 และ 3.00 ppm. โดยปิเปตสารละลายแมงกานีสมาตรฐานที่เตรียมไว้แล้ว 100 ppm. มาใส่ในบีกเกอร์ 6 ใบ โดยบีกเกอร์ที่ 1 ไม่ต้องใส่สารละลายแมงกานีสมาตรฐาน ใบที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ใส่ 0.50, 1.00, 1.50, 2.50 และ 3.00 cm^3 ตามลำดับ แล้วทำการย่อยสลายโดยวิธี AOAC ปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 100 cm^3 ในขวดปริมาตรขนาด 100 cm^3 ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วนำสารละลายแมงกานีสมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี หาค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสง และทำกราฟมาตรฐานแมงกานีส พร้อมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และหาค่าความชัน

2.3) กราฟมาตรฐานของสังกะสี

เตรียมสารละลายสังกะสีมาตรฐานให้มีความเข้มข้นในช่วง 0.00, 0.40, 0.60, 0.80, 1.20 และ 1.60 ppm. โดยปิเปตสารละลายสังกะสีมาตรฐานที่เตรียมไว้แล้ว 100 ppm. มาใส่ในบีกเกอร์ 6 ใบ โดยบีกเกอร์ที่ 1 ไม่ต้องใส่สารละลายแมงกานีสมาตรฐาน ใบที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ใส่ 0.40, 0.60, 0.80, 1.20 และ 1.60 cm^3 ตามลำดับ แล้วทำการย่อยสลายโดยวิธี AOAC ปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 100 cm^3 ในขวดปริมาตรขนาด 100 cm^3 ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วนำสารละลายสังกะสีมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี หาค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสง และทำกราฟมาตรฐานสังกะสี พร้อมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และหาค่าความชัน

3) เติมสารละลายมาตรฐาน (Standard addition)

3.1) วิธีการเติมสารละลายมาตรฐาน (Standard addition) ของตะกั่วในสารละลายผักกาดเขียวหวานตุ้ง

ซึ่งผักกาดเขียวหวานตุ้งที่บดละเอียดและอบจนมีน้ำหนักคงที่แล้ว 1.0000 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 cm³ ปิเปตสารละลายตะกั่วมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 ppm. ตามลำดับ แล้วทำการย่อยสลายโดยวิธี AOAC ปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 cm³ ในขวดปริมาตรขนาด 100 cm³ ทั้ง 6 ใบ แล้วนำสารละลายทั้ง 6 ขวดนี้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยวิธี AAS ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละความเข้มข้นที่เติม แล้วหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความชัน นำค่าความชันไปเปรียบเทียบกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานตะกั่วในหัวข้อ 2.1

3.2) วิธีการเติมสารละลายมาตรฐาน (Standard addition) ของแมงกานีสในสารละลายผักบุ้ง

ทำเช่นเดียวกับ Standard addition ของตะกั่ว ในสารละลายผักกาดเขียวหวานตุ้งในหัวข้อ 3.1 แต่เปลี่ยนชนิดของผักตัวอย่างจากผักกาดเขียวหวานตุ้งมาเป็นผักบุ้งและเปลี่ยนสารละลายตะกั่วมาตรฐานมาเป็นสารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.50 และ 3.00 ppm. ตามลำดับ แล้วหาค่าความชันเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานแมงกานีสในหัวข้อ 2.2

3.3) วิธีการเติมสารละลายมาตรฐาน (Standard addition) ของสังกะสีในสารละลายผักคะน้า

ทำเช่นเดียวกับ Standard addition ของตะกั่ว ในสารละลายผักกาดเขียวหวานตุ้งในหัวข้อ 3.1 แต่เปลี่ยนชนิดของผักตัวอย่างจากผักกาดเขียวหวานตุ้งมาเป็นผักคะน้าและเปลี่ยนสารละลายตะกั่วมาตรฐานมาเป็นสารละลายสังกะสีมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 0.40, 0.60, 0.80, 1.20 และ 1.60 ppm. ตามลำดับ แล้วหาค่าความชันเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานสังกะสีในหัวข้อ 2.3

ข. วิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้

1) การเตรียมสารละลายผักตัวอย่างโดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ทำตามขั้นตอนดังนี้

1.1) ซึ่งผักตัวอย่างที่บดเป็นผงละเอียดและอบแห้งจนมีน้ำหนักคงที่แล้ว 1.0000 กรัม ใส่ในบีกเกอร์

1.2) เติมสารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร 5 cm³ ปิดด้วยกระจกนาฬิกา แล้วเก็บสารนี้ไว้ 1 คืนเพื่อย่อยสลาย (Predigest)

1.3) นำสารจากข้อ 1.2 มาย่อยสลายบนเตาความร้อนที่อุณหภูมิ 75-85 °C จนสารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำย่อยสลายอีก ครึ่งละ 5 cm³ ย่อยต่อบนเตาความร้อนจนได้สารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็น

1.4) กรองสารละลายจากข้อ 1.3 ด้วยกระดาษกรอง ปรับปริมาตรสุดท้ายจนได้สารละลายกรด HNO₃ เข้มข้น 1%

1.5) ทำเหมือนข้อ 1.1 ถึงข้อ 1.4 แต่เปลี่ยนอัตราส่วน HNO₃+H₂O₂ จาก 1:1 โดยปริมาตรเป็น 1:2, 1:3 และ 2:1 โดยปริมาตรตามลำดับ

2) ทำกราฟมาตรฐาน (Calibration graph)

2.1) กราฟมาตรฐานของตะกั่ว

2.1.1) ใช้สารย่อยสลายผสม HNO₃+H₂O₂ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เตรียมสารละลายตะกั่วมาตรฐานให้มีความเข้มข้นในช่วง 0.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 ppm. โดยปิเปตสารละลายตะกั่วมาตรฐานที่เตรียมไว้แล้ว 100 ppm. มาใส่ในบีกเกอร์ 6 บีกเกอร์ โดยบีกเกอร์ที่ 1 ไม่ต้องใส่สารละลายตะกั่วมาตรฐาน ใบที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ใส่สารละลายตะกั่วมาตรฐาน 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 cm³ ตามลำดับ แล้วทำการย่อยสลายโดยใช้สารย่อยสลาย HNO₃ เข้มข้น +H₂O₂ 35% ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 100 cm³ ทั้ง 6 บีกเกอร์ในขวดปริมาตรขนาด 100 cm³ ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วนำสารละลายตะกั่วมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี หาค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสง และทำกราฟมาตรฐานตะกั่ว พร้อมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และหาค่าความชัน

2.1.2) ใช้สารย่อยสลายผสม HNO₃+H₂O₂ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.1.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม HNO₃ + H₂O₂ จาก 1:1 เป็น 1:2 โดยปริมาตร หาค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสงและทำกราฟมาตรฐานตะกั่ว พร้อมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และหาค่าความชัน

2.1.3) ใช้สารย่อยสลายผสม HNO₃+H₂O₂ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.1.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม HNO₃ + H₂O₂ จาก 1:1 เป็น 1:3 โดยปริมาตร หาค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสงและทำกราฟมาตรฐานตะกั่ว พร้อมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และหาค่าความชัน

2.1.4) ใช้สารย่อยสลายผสม HNO₃+H₂O₂ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.1.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม HNO₃ + H₂O₂ จาก 1:1 เป็น 2:1 โดยปริมาตร หาค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสงและทำกราฟมาตรฐานตะกั่ว พร้อมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และหาค่าความชัน

2.2) กราฟมาตรฐานของแมงกานีส

2.2.1) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เตรียมสารละลายแมงกานีสมาตรฐานให้มีความเข้มข้นในช่วง 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.50 และ 3.00 ppm. โดยปิเปตสารละลายแมงกานีสมาตรฐานที่เตรียมไว้แล้ว 100 ppm. มาใส่ในบีกเกอร์ 6 บีกเกอร์ โดยบีกเกอร์ที่ 1 ไม่ต้องใส่สารละลายตัวมาตรฐาน ใบที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ใส่สารละลายแมงกานีสมาตรฐาน 0.50, 1.00, 1.50, 2.50 และ 3.00 cm^3 ตามลำดับ แล้วทำการย่อยสลายโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 100 cm^3 ทั้ง 6 บีกเกอร์ในขวดปริมาตรขนาด 100 cm^3 ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วนำสารละลายแมงกานีสมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี หาค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสง และทำกราฟมาตรฐานแมงกานีส พร้อมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และหาค่าความชัน

2.2.2) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.2.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ จาก 1:1 เป็น 1:2 โดยปริมาตร หาค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสงและทำกราฟมาตรฐานแมงกานีส พร้อมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และหาค่าความชัน

2.2.3) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.2.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ จาก 1:1 เป็น 1:3 โดยปริมาตร หาค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสงและทำกราฟมาตรฐานแมงกานีส พร้อมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และหาค่าความชัน

2.2.4) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.2.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ จาก 1:1 เป็น 2:1 โดยปริมาตร หาค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสงและทำกราฟมาตรฐานแมงกานีส พร้อมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และหาค่าความชัน

2.3) กราฟมาตรฐานของสังกะสี

2.3.1) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เตรียมสารละลายสังกะสีมาตรฐานให้มีความเข้มข้นในช่วง 0.00, 0.40, 0.60, 0.80, 1.20 และ 1.60 ppm. โดยปิเปตสารละลายสังกะสีมาตรฐานที่เตรียมไว้แล้ว 100 ppm. มาใส่ในบีกเกอร์ 6 บีกเกอร์ โดยบีกเกอร์ที่ 1 ไม่ต้องใส่สารละลายตัวมาตรฐาน ใบที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ใส่สารละลายตัวมาตรฐาน 0.40, 0.60, 0.80, 1.20 และ 1.60 cm^3 ตามลำดับ แล้วทำการย่อยสลายโดยใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 100 cm^3 ทั้ง 6 บีกเกอร์ในขวดปริมาตรขนาด 100 cm^3 ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วนำสารละลายสังกะสีมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี หาค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสง และทำกราฟมาตรฐานสังกะสี พร้อมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และหาค่าความชัน

2.3.2) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.3.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ จาก 1:1 เป็น 1:2 โดยปริมาตร หาค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสงและทำกราฟมาตรฐานสังกะสี พร้อมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และหาค่าความชัน

2.3.3) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.3.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ จาก 1:1 เป็น 1:3 โดยปริมาตร หาค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสงและทำกราฟมาตรฐานสังกะสี พร้อมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และหาค่าความชัน

2.3.4) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.3.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ จาก 1:1 เป็น 2:1 โดยปริมาตร หาค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสงและทำกราฟมาตรฐานสังกะสี พร้อมคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และหาค่าความชัน

3) เติมสารละลายมาตรฐาน (Standard addition)

3.1) วิธีการเติมสารละลายมาตรฐาน (Standard addition) ของตะกั่วในสารละลายผักกาดเขียวกวางตั้ง

3.1.1) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ซึ่งผักกาดเขียวกวางตั้งที่บดละเอียดและอบจนมีน้ำหนักคงที่แล้วมา 1.0000 กรัม นำมาใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 cm^3 แล้วทำการย่อยสลายโดยใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 cm^3 ด้วยน้ำกลั่น ต่อจากนั้น ปิเปตสารละลายผักกาดเขียวกวางตั้งมาใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 cm^3 6 ใบ ใบละ 5 cm^3 แล้วเติมสารละลายตะกั่วมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 ppm. ตามลำดับ ปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 cm^3 แล้วนำแต่ละความเข้มข้นที่เติมไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยวิธี AAS ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละความเข้มข้นที่เติม เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับสารละลายตะกั่วมาตรฐานที่เติมลงไป แล้วหาค่าความชัน (a) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความชัน (a) ของกราฟมาตรฐานตะกั่วในหัวข้อ 2.1.1

3.1.2) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.1.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ จาก 1:1 เป็น 1:2 โดยปริมาตร แล้วหาค่าความชัน (a) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความชัน (a) ของกราฟมาตรฐานตะกั่วในหัวข้อ 2.1.2

3.1.3) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.1.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ จาก 1:1 เป็น

1:3 โดยปริมาตร แล้วหาค่าความชัน (a) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความชัน (a) ของกราฟมาตรฐานตะกั่วในหัวข้อ 2.1.3

3.1.4) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.1.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ จาก 1:1 เป็น 2:1 โดยปริมาตร แล้วหาค่าความชัน (a) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความชัน (a) ของกราฟมาตรฐานตะกั่วในหัวข้อ 2.1.4

3.2) วิธีการเติมสารละลายมาตรฐานของแมงกานีสในสารละลายฝักบัว

3.2.1) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับ Standard addition ของตะกั่ว ในสารละลายฝักบัวที่เขย่าวางตั้งในหัวข้อ 3.1.1 แต่เปลี่ยนชนิดของฝักบัวอย่างจากฝักบัวที่เขย่าวางตั้งมาเป็นฝักบัวและเปลี่ยนสารละลายตะกั่วมาตรฐานมาเป็นสารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.50 และ 3.00 ppm. ตามลำดับ แล้วหาค่าความชัน (a) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความชัน (a) ของกราฟมาตรฐานแมงกานีสในหัวข้อ 2.2.1

3.2.2) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.2.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ จาก 1:1 เป็น 1:2 โดยปริมาตร แล้วหาค่าความชัน (a) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน (a) ของกราฟมาตรฐานแมงกานีสในหัวข้อ 2.2.2

3.2.3) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.2.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ จาก 1:1 เป็น 1:3 โดยปริมาตร แล้วหาค่ามาตรฐาน (a) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน (a) ของกราฟมาตรฐานแมงกานีสในหัวข้อ 2.2.3

3.2.4) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.2.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ จาก 1:1 เป็น 2:1 โดยปริมาตร แล้วหาค่าความชัน (a) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความชัน (a) ของกราฟมาตรฐานแมงกานีสในหัวข้อ 2.2.4

3.3) วิธีการเติมสารละลายมาตรฐานของสังกะสีในสารละลายฝักคะน้ำ

3.3.1) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับ Standard addition ของตะกั่ว ในสารละลายฝักบัวที่เขย่าวางตั้งในหัวข้อ 3.1.1 แต่เปลี่ยนชนิดของฝักบัวอย่างจากฝักบัวที่เขย่าวางตั้งมาเป็นฝักคะน้ำและเปลี่ยนสารละลายตะกั่วมาตรฐานมาเป็นสารละลายสังกะสีมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 0.40, 0.60, 0.80, 1.20 และ 1.60 ppm. ตามลำดับ แล้วหาค่าความชัน (a) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความชัน (a) ของกราฟมาตรฐานสังกะสีในหัวข้อ 2.3.1

3.3.2) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ จาก 1:1 เป็น 1:2 โดยปริมาตร แล้วหาค่าความชัน (a) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความชัน (a) ของกราฟมาตรฐานสังกะสีในหัวข้อ 2.3.2

3.3.3) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ จาก 1:1 เป็น 1:3 โดยปริมาตร แล้วหาค่าความชัน (a) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความชัน (a) ของกราฟมาตรฐานสังกะสีในหัวข้อ 2.3.3

3.3.4) ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ จาก 1:1 เป็น 2:1 โดยปริมาตร แล้วหาค่าความชัน (a) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความชัน (a) ของกราฟมาตรฐานสังกะสีในหัวข้อ 2.3.4

4) การหาค่าความแม่นยำ (Precision)

นำสารละลายผักตัวอย่างที่ย่อยสลายด้วยสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วนที่ได้ร้อยละการพบ (%recovery) สูงสุดของการพบ Pb, Mn และ Zn ในผักกาดเขียววางตั้งผักบุ้ง และผักคะน้าตามลำดับ ไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายโลหะไอออนมาตรฐานแต่ละชนิด (Calibration graph) แล้วเปลี่ยนความเข้มข้นให้เป็น $\mu\text{g/g}$ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย (Mean, $\bar{X}$), ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.) และร้อยละค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%Relation standard deviation, %RSD) ทำการทดลอง 11 ครั้งสำหรับโลหะแต่ละชนิด

4.1) การหาความแม่นยำของการวิเคราะห์ตะกั่วในผักกาดเขียววางตั้ง

4.1.1) ทำกราฟมาตรฐานตะกั่วโดยให้ความเข้มข้นช่วง 0.00, 0.20, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00 และ 5.00 ppm. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วมาตรฐาน เตรียมซ้ำอีก 10 ครั้ง

4.1.2) เตรียมสารละลายผักกาดเขียววางตั้ง โดยชั่งผักกาดเขียววางตั้งมา 1.0000 กรัม ทำการย่อยสลายโดยวิธีของผู้วิจัย โดยใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วนที่เหมาะสม ปริมาตรเป็น 25 cm^3 นำไปหาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี นำค่าการดูดกลืนแสงไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานตะกั่วในหัวข้อ 4.1.1 เตรียมซ้ำอีก 10 ครั้ง

4.2) การหาความแม่นยำของการวิเคราะห์แอมงานีสในผักบุ้ง

4.2.1) ทำกราฟมาตรฐานแอมงานีสโดยให้ความเข้มข้นช่วง 0.00, 0.20, 0.40, 0.60, 1.00, 1.40 และ 2.00 ppm. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายแอมงานีสมาตรฐาน เตรียมซ้ำอีก 10 ครั้ง

4.2.2) เตรียมสารละลายผักบุ้ง โดยชั่งผักบุ้งมา 1.0000 กรัม ทำการย่อยสลายโดยวิธีของผู้วิจัย โดยใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วนที่เหมาะสม ปริมาตรเป็น 25 cm^3 นำไปหาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี นำค่าการดูดกลืนแสงไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานตะกั่วในหัวข้อ 4.2.1 เตรียมซ้ำอีก 10 ครั้ง

4.3) การหาความแม่นยำของการวิเคราะห์สังกะสีในผักคะน้า

4.3.1) ทำกราฟมาตรฐานสังกะสีโดยให้ความเข้มข้นช่วง 0.00, 0.20, 0.40, 0.60, 1.00, 1.40 และ 2.00 ppm. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีมาตรฐาน เตรียมซ้ำอีก 10 ครั้ง

4.3.2) เตรียมสารละลายผักคะน้า โดยชั่งผักคะน้ามา 1.0000 กรัม ทำการย่อยสลายโดยวิธีของผู้วิจัย โดยใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วนที่เหมาะสม ปริมาตรเป็น 25 cm^3 นำไปหาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี นำค่าการดูดกลืนแสงไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานสังกะสีในหัวข้อ 4.3.1 เตรียมซ้ำอีก 10 ครั้ง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เมื่อได้ข้อมูลจากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์แล้ว ผู้วิจัยนำมาคำนวณค่าสถิติต่าง ๆ ดังนี้

1. ความชัน (Slope) เพื่อดูว่าในการเตรียมสารละลายผักตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักนั้น มีการรบกวนจาก matrix effect หรือไม่ (พรพิมล ม่วงไทย. 2541 : 29)

การหาความชันของเส้นกราฟจะใช้วิธีกำลังสองที่น้อยที่สุด (The Method of Least Square Fit)

สมการเส้นตรง $y = ax + b$

a คือความชันของเส้นกราฟ

$$\text{โดย } a = \frac{\overline{XY} - \bar{X} \cdot \bar{Y}}{\overline{X^2} - (\bar{X})^2}$$

b คือจุดตัดแกน y

$$\text{โดย } b = \frac{\overline{X^2} \cdot \bar{Y} - \bar{X} \cdot \overline{XY}}{\overline{X^2} - (\bar{X})^2}$$

2. หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ของกราฟมาตรฐาน โดยใช้สูตรดังนี้ (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2538 : 145)

$$\text{สูตร} \quad r = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{\sqrt{\{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2\} \{n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2\}}}$$

เมื่อ r แทน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และตัวแปร Y
 $\sum X_i$ แทน ผลรวมของข้อมูลดิบของตัวแปร X
 $\sum Y_i$ แทน ผลรวมของข้อมูลดิบของตัวแปร Y
 $\sum X_i^2$ แทน ผลรวมกำลังสองของข้อมูลของตัวแปร X
 $\sum Y_i^2$ แทน ผลรวมกำลังสองของข้อมูลของตัวแปร Y
 $\sum X_i \sum Y_i$ แทน ผลรวมของผลคูณระหว่างข้อมูลดิบของตัวแปร X, ตัวแปร Y
 n แทน จำนวนครั้งข้อมูล

3. หาค่าเฉลี่ย (Mean) (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2538 : 137)

$$\text{สูตร} \quad \bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

$\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย
 $\sum X$ แทน ผลรวมของข้อมูลดิบ
 N แทน จำนวนข้อมูลดิบ

4. หาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2538 : 137)

$$\text{ใช้สูตร} \quad S.D. = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

S.D. แทน ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 X แทน ปริมาณโลหะที่หาได้จากสารตัวอย่างของการวัดแต่ละครั้ง
 $\bar{X}$ แทน ปริมาณโลหะเฉลี่ยที่หาได้ในสารตัวอย่าง
 N แทน จำนวนครั้งของการวัด (10 ครั้ง)

5. หาร้อยละการพบ (%Recovery)

$$\text{สูตร ร้อยละการพบ} = \frac{\text{ปริมาณโลหะในสารละลายมาตรฐานที่หาได้}}{\text{ปริมาณโลหะในสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป}} \times 100$$

6. หาร้อยละค่าผิดพลาด (%Error)

$$\text{สูตร ร้อยละค่าผิดพลาด} = \frac{\text{ปริมาณโลหะในสารละลายมาตรฐานที่หาได้} - \text{ปริมาณโลหะในสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป}}{\text{ปริมาณโลหะในสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป}} \times 100$$

7. หาร้อยละค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% Relative Standard Deviation, %RSD)

$$\text{ใช้สูตร} \quad \%RSD = \frac{S.D.}{\bar{X}} \times 100$$

%RSD แทน ร้อยละค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

S.D. แทน ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\bar{X}$ แทน ปริมาณเฉลี่ยของโลหะที่หาได้ในสารตัวอย่าง

8. หาความเข้มข้นของโลหะในผักตัวอย่าง

$$\text{ใช้สูตร} \quad \mu\text{g/g} = \frac{C \times V}{W}$$

C แทน ความเข้มข้นของโลหะที่เทียบได้จาก Calibration Curve

V แทน ปริมาตรทั้งหมดของสารละลายตัวอย่าง Cm^3

W แทน น้ำหนักของผักตัวอย่าง (g)

ตอนที่ 2 พัฒนารูปแบบปฏิบัติการวิชาชีพปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมจากผลการทดลองในตอนต้นที่ 1

จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในตอนต้นที่ 1 ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองโดยเลือกสารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วนที่เหมาะสม มาเป็นสารย่อยสลายในการพัฒนารูปแบบปฏิบัติการวิชาชีพปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วแมงกานีส และสังกะสี ในผักสำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ของสถาบันราชภัฏ ในการสร้างแบบปฏิบัติการวิชาชีพปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมได้จัดทำเป็นเอกสาร 2 ชุด คือ

- 1) แบบปฏิบัติการวิชาชีพปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม
- 2) คู่มือครูประกอบการสอนแบบปฏิบัติการวิชาชีพปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก)

ในการดังกล่าวผู้วิจัยได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

1) แบบปฏิบัติการวิชาชีพปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม

การพัฒนารูปแบบปฏิบัติการวิชาชีพปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมทำโดยนำผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง แล้วใช้ข้อมูลจากทั้ง 2 ส่วนนั้นมาสร้างเป็นแบบปฏิบัติการ 3 แบบปฏิบัติการ ดังนี้

- แบบปฏิบัติการที่ 1 เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียววางตุ้ง
โดยวิธีอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี
- แบบปฏิบัติการที่ 2 เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสในผักบุ้ง
โดยวิธีอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี
- แบบปฏิบัติการที่ 3 เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีในผักคะน้า
โดยวิธีอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

วิธีการพัฒนารูปแบบปฏิบัติการวิชาชีพปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม

จากการศึกษาเอกสารและผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ ผู้วิจัยได้นำมาพัฒนาเป็นแบบปฏิบัติการวิชาชีพปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม โดยแบบปฏิบัติการที่สร้างขึ้นมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

- ชื่อแบบปฏิบัติการ
- ใบบทความรู้ประกอบแบบปฏิบัติการ
- หลักการ
- จุดประสงค์
- อุปกรณ์และสารเคมี

- รายงานผลการทดลอง
- คำถามท้ายการทดลอง

ขั้นตอนการพัฒนาบทปฏิบัติการ ดังนี้

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งประกอบด้วยหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ จุดมุ่งหมายของหลักสูตร จุดประสงค์และขอบข่ายของหัวข้อของเนื้อหาวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม รวมทั้งศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาเหล่านั้นเพื่อใช้ข้อมูลเหล่านั้นมาประกอบในการกำหนดเนื้อหา วัตถุประสงค์ การวัดผล การประเมินผลของการสร้างบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสีในผัก สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต ของสถาบันราชภัฏ
2. วิเคราะห์จุดมุ่งหมายและกิจกรรมการเรียนการสอนวิชาที่เกี่ยวข้องจากเอกสารที่ค้นคว้าเพื่อนำมากำหนดจุดมุ่งหมาย และกิจกรรมของบทปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมที่พัฒนาขึ้น
3. กำหนดจุดประสงค์ของบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมแต่ละบทปฏิบัติการ
4. พัฒนามบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม 3 บทปฏิบัติการ โดยในแต่ละบทปฏิบัติการใช้เวลา 3 คาบ (3 x 60 นาที) บทปฏิบัติการ 3 บทปฏิบัติการมีดังนี้
 - บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียวทางดั่ง
โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี
 - บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสในผักบุ้ง
โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี
 - บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีในผักคะน้า
โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี
5. นำบทปฏิบัติการทั้ง 3 บทปฏิบัติการที่เขียนเสร็จเรียบร้อยแล้วเสนอต่อคณะกรรมการที่ปรึกษาปริญญาโท นำมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของคณะกรรมการฯ แล้วนำบทปฏิบัติการที่ได้ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 ท่าน ซึ่งประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีวิเคราะห์ ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม ผู้เชี่ยวชาญด้านบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิชาเคมี ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา และผู้เชี่ยวชาญด้านวัดผลประเมินผล (รายชื่อผู้เชี่ยวชาญแสดงไว้ในภาคผนวก ก) พิจารณาความเหมาะสมเกี่ยวกับเนื้อหา หลักการ จุดประสงค์ อุปกรณ์ วิธีการทดลอง โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินในแบบประเมินบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม ในข้อที่ 1 เอกสารประกอบบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม (ใบความรู้) ข้อที่ 2 บทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม และข้อที่ 3 เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง

ผลการประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม ทั้ง 3 ข้อ ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่าน เห็นด้วยกับบทปฏิบัติการที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นในระดับค่าดัชนี ความสอดคล้องสูงกว่า 0.5 ทั้ง 3 บทปฏิบัติการ (ดูรายละเอียดในตาราง 44) และมีข้อเสนอแนะ ให้ปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น โดยให้ตรวจสอบความถูกต้องและชัดเจนของภาษาที่ใช้ ในส่วนของเนื้อหาความรู้ให้ปรับปรุงให้ครอบคลุมและเหมาะสมกับระดับของนักศึกษา

ผู้วิจัยนำผลการประเมินบทปฏิบัติการของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่านมาปรับปรุงแก้ไขตาม คำแนะนำ แล้วนำบทปฏิบัติการที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองใช้เบื้องต้นกับนักศึกษาโปรแกรม เคมีของสถาบันราชภัฏสวนดุสิตจำนวน 5 กลุ่ม ๆ ละ 2 คนเพื่อหาข้อบกพร่องต่าง ๆ เช่น ถ้อยคำ ภาษา ความน่าสนใจ ความยากง่ายของการทดลอง ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการทดลอง นำผลที่ได้มาปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมก่อนนำไปทดลองกับกลุ่มทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของบทปฏิบัติการและเนื้อหาของ บทปฏิบัติการแต่ละบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ดัชนีความสอดคล้อง จากสูตร (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2538 : 117)

$$\text{สูตร} \quad \text{IOC} = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ	IOC	แทน	ดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของ บทปฏิบัติการและเนื้อหาของบทปฏิบัติการ
	$\sum R$	แทน	ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ
	N	แทน	จำนวนผู้เชี่ยวชาญทางเนื้อหาวิชา

ตอนที่ 3 นำบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมที่พัฒนาขึ้น
ไปทดลองสอน

นำบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมทั้ง 3 บทปฏิบัติการไปทดลอง
สอนกับนักศึกษา โดยใช้รูปแบบของการวิจัยแบบกลุ่มเดียวสอบก่อนและสอบหลัง (One Group
Pretest Posttest Design) (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2538 : 60) ซึ่งมีแบบแผนการทดลองดังนี้

สอบก่อน	ทดลอง	สอบหลัง
T1	X	T2

สัญลักษณ์ที่ใช้ในแบบแผนการทดลอง

- T1 แทน ทดสอบก่อนเรียนของกลุ่มทดลอง
- T2 แทน ทดสอบหลังเรียนของกลุ่มทดลอง
- X แทน การเรียนการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการ

การดำเนินการเพื่อให้ได้ข้อมูลต่างๆในช่วงการทดลองสอนมีลำดับขั้นตอนดังนี้

แหล่งข้อมูลและระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองสอน

ในการทดลองสอนได้นำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอนกับนักศึกษาวิชาเอก
เคมี ปี 3 โปรแกรมวิชาเคมี สถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาลัยสงครณีในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัด
ปทุมธานี ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2543 จำนวน 30 คน รวม 3 ครั้ง ครั้งละ 1 บทปฏิบัติการ
การ แต่ละบทปฏิบัติการใช้เวลา 3 คาบต่อเนื่อง (คาบละ 1 ชั่วโมง) รวมทั้งสิ้น 9 คาบ

การดำเนินการก่อนการทดลองสอน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการก่อนการทดลองสอนดังนี้

1. สร้างแผนการสอน แผนการสอนจะใช้ตามคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการ
วิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมที่พัฒนาขึ้นทั้ง 3 บทปฏิบัติการ โดยแบ่งช่วงเวลาในการเรียน
การสอนบทปฏิบัติการ ดังตาราง 7

ตาราง 7 การแบ่งช่วงเวลาในการเรียนการสอน

ครั้งที่	จำนวนคาบ	เนื้อหา	การประเมินผล
1	3	การวิเคราะห์หาปริมาณ ตะกั่วในผักกาดเขียว กวาดั่งโดยวิธีอะตอมมิก แอบซอร์พชันสเปกโทร โฟโตเมตรี	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
2	3	การวิเคราะห์หาปริมาณ แมงกานีสในผักบุ้งโดยวิธี อะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตเมตรี	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
3	3	การวิเคราะห์หาปริมาณ สังกะสีในผักคะน้าโดยวิธี อะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตเมตรี	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวัดการเรียนรู้ของนักศึกษา

ในการวัดผลการเรียนรู้ของนักศึกษาประกอบด้วยเครื่องมือในการประเมิน 2 แบบ ได้แก่ แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์

2.1 แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ผู้วิจัยได้ใช้แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจำนวน 30 ข้อ ซึ่งเป็นแบบปรนัย 5 ตัวเลือกที่สร้างขึ้นโดยสาขาวิจัยและประเมินผลการศึกษาของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นำข้อสอบนี้ไปให้ผู้เชี่ยวชาญ 7 ท่าน (แสดงรายชื่อและข้อมูลที่เกี่ยวข้องไว้ในภาคผนวก ข) ตรวจสอบลักษณะการใช้คำถาม ตัวเลือก ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด ความถูกต้องด้านภาษา และความเหมาะสมกับกลุ่มที่ทดลองใช้ ผลการพิจารณาได้ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC)ตั้งแต่ .60 ขึ้นไป (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ง)

2.1.1 นำแบบทดสอบไปทดลองใช้กับนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของสถาบันราชภัฏสวนดุสิต สถาบันเพชรบุรีวิทยาลัยในพระบรมราชูปถัมภ์ และสถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์ จำนวน 200 คน แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพของแบบทดสอบดังนี้

2.1.1.1 หาค่าความยากง่าย (Difficulty) หาได้จาก จำนวนผู้ที่ตอบถูกในแต่ละข้อ/จำนวนผู้เข้าสอบทั้งหมด ได้ค่าความยากง่ายแต่ละข้ออยู่ระหว่าง .20 - .80

2.1.1.2 หาค่าอำนาจจำแนก (Discrimination) โดยใช้วิธีหาค่าสหสัมพันธ์ของคะแนนรายข้อและคะแนนรวม (Item to total correlation) ได้ค่าอำนาจจำแนกเป็นบวกทุกข้อ

2.1.1.3 หาค่าความเชื่อมั่นโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Coefficient) ด้วยวิธีของครอนบาค ได้ค่าความเชื่อมั่น (α) = .82 (ดูภาคผนวก ข)

2.1.2 นำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการนี้ไปใช้กับกลุ่มทดลอง

2.2 แบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้ใช้แบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้นโดยสาขาวิจัยและประเมินผลทางการศึกษาของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 24 ข้อ ซึ่งเป็นแบบทดสอบแบบกำหนดสถานการณ์ให้เลือกตอบเกี่ยวกับเหตุการณ์ต่างๆในชีวิตประจำวัน ในแต่ละสถานการณ์มีทางเลือก 3 ทาง ซึ่งทางเลือกแต่ละทางจะมีค่าน้ำหนักคะแนนต่างกันเป็น 1, 2 และ 3 คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ กำหนดเวลาให้นักศึกษาตอบ 18 นาที นำแบบทดสอบนี้ไปให้ผู้เชี่ยวชาญ 7 ท่าน (ดูภาคผนวก ข) ตรวจสอบลักษณะการใช้คำถาม ตัวเลือก ความสอดคล้องของพฤติกรรมที่ต้องการวัด ความถูกต้องด้านภาษา และความเหมาะสมกับกลุ่มที่ทดลองใช้ ผลการพิจารณาได้ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ตั้งแต่ .60 ขึ้นไป

2.2.1 นำแบบทดสอบไปทดลองใช้กับนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของสถาบันราชภัฏสวนดุสิต สถาบันเพชรบุรีวิทยาลัยในพระบรมราชูปถัมภ์ และสถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์ จำนวน 200 คน แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพของแบบทดสอบดังนี้

2.2.1.1 หาค่าอำนาจจำแนก (Discrimination) โดยใช้วิธีหาค่าสหสัมพันธ์ของคะแนนรายข้อและคะแนนรวม (Item to total correlation) ได้ค่าอำนาจจำแนกเป็นบวกทุกข้อ

2.2.1.2 หาค่าความเชื่อมั่นโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Coefficient) ด้วยวิธีของครอนบาค ได้ค่าความเชื่อมั่น (α) = .67 (ดูภาคผนวก ข)

2.2.2 นำแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์นี้ไปใช้กับกลุ่มทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับแบบทดสอบ

1. สถิติพื้นฐาน

1.1 ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2538 : 137)

สูตร
$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

$\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยของข้อมูล
 $\sum X$ แทน ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
 N แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมด

1.2 หาคความแปรปรวน (S^2) (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2538 : 142)

สูตร
$$S^2 = \frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}$$

เมื่อ S^2 แทน ความแปรปรวนของคะแนน
 $\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
 N แทน จำนวนนักศึกษาในกลุ่มตัวอย่าง
 X แทน คะแนนแต่ละตัว

2. สถิติที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

2.1 หาค่าความยากง่าย (P) ของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

สูตร
$$P = \frac{R}{N}$$

เมื่อ P แทน ค่าความยากง่ายของคำถามแต่ละข้อ
 R แทน จำนวนผู้ตอบถูกในแต่ละข้อ
 N แทน จำนวนผู้เข้าสอบทั้งหมด

2.2 หาค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้วิธีหาค่าสหสัมพันธ์ของคะแนนรายข้อและคะแนนรวม (Item to total correlation) ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$r_{xy} = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

เมื่อ	r_{xy}	แทน	ค่าอำนาจจำแนก (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X กับตัว Y)
	N	แทน	จำนวนคนในกลุ่มตัวอย่าง
	$\sum X$	แทน	ผลรวมของคะแนนรายข้อ (Item) ของกลุ่มตัวอย่าง
	$\sum Y$	แทน	ผลรวมของคะแนนรวม (Total) ของทั้งกลุ่มตัวอย่าง
	$\sum XY$	แทน	ผลรวมของผลคูณของคะแนน X และคะแนน Y
	$\sum X^2$	แทน	ผลรวมของกำลังสองของคะแนน X
	$\sum Y^2$	แทน	ผลรวมของกำลังสองของคะแนน Y

2.3 หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ โดยวิธีหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (α -Coefficient) โดยใช้สูตรของครอนบัก (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2536 : 170-171)

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S^2} \right]$$

α	แทน	ค่าความเชื่อมั่น
$\sum S_i^2$	แทน	ผลรวมของความแปรปรวนของคะแนนแต่ละข้อ
S^2	แทน	ความแปรปรวนของคะแนนทั้งฉบับ
n	แทน	จำนวนข้อ

การวิเคราะห์ข้อมูลนี้กระทำโดยใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for Social Sciences)

การทดลองสอน

ในการทดลองสอน ผู้วิจัยได้ทำการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมทั้ง 3 บทปฏิบัติการ คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล โดยดำเนินการดังนี้

1. แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการทดลองสอน ใช้นักศึกษาปีที่ 3 โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาลัยสงครณในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นกลุ่มทดลองจำนวน 30 คน โดยแบ่งกลุ่มเพื่อปฏิบัติการทดลองกลุ่มละ 2 คนจำนวน 15 กลุ่ม

2. ดำเนินการสอน ใช้แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ทำการสอบก่อนเรียน (Pre-test) แล้วดำเนินการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการทั้ง 3 บทปฏิบัติการ โดยแต่ละบทปฏิบัติการจะใช้เวลา 3 คาบติดต่อกัน (คาบละ 60 นาที) เมื่อสิ้นสุดการเรียนการสอนตามกำหนด ทำการทดสอบหลังการเรียน (Post test) โดยใช้แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ฉบับเดียวกับที่ทดสอบก่อนเรียน

3. ตรวจสอบให้คะแนนแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์จากที่ได้ทดสอบก่อนการเรียน และหลังการเรียน โดยดำเนินการดังนี้

3.1 การตรวจสอบแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ตอบถูกให้ 1 คะแนน ตอบผิดหรือไม่ตอบหรือตอบเกินกว่า 1 ตัวเลือกให้ 0 คะแนน

3.2 การตรวจสอบแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ได้กล่าวไว้แล้วในขั้นตอนการก่อนการทดลองสอน หัวข้อ 2.2

4. ตรวจสอบให้คะแนนแบบฝึกหัดท้ายบทปฏิบัติการ โดยใช้เกณฑ์ดังนี้

คำตอบที่ถูกต้องและครอบคลุม ให้ข้อละ 10 คะแนน

คำตอบที่ถูกต้องแต่ไม่ครอบคลุม ให้ข้อละ 5 คะแนน

คำตอบที่ไม่ถูกต้องหรือไม่ตอบ ไม่ให้คะแนน

การวิเคราะห์ข้อมูลของผลการทดลองสอน

1. การวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นตามเกณฑ์ 80/80 จากสูตร E_1/E_2 (เสาวณี สิกขามันต์. 2528 : 294-295)

80 ตัวแรก หมายถึง คะแนนเฉลี่ยจากการตอบคำถามท้ายบทปฏิบัติการระหว่างเรียนของกลุ่มทดลองทั้งหมด เมื่อคิดเป็นร้อยละแล้วได้ 80 หรือสูงกว่า 80 คำนวนจากสูตร

$$E_1 = \frac{\frac{\sum X}{N}}{A} \times 100$$

เมื่อ	E_1	แทน	ประสิทธิภาพของการประเมินผลจากการตอบคำถามท้ายบทปฏิบัติการระหว่างเรียนคิดเป็นร้อยละ
	$\sum X$	แทน	คะแนนรวมของนักศึกษาจากการตอบคำถามท้ายบทปฏิบัติการระหว่างเรียน
	N	แทน	จำนวนนักศึกษา
	A	แทน	คะแนนเต็มของคำถามท้ายบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ระหว่างเรียน

80 ตัวหลัง หมายถึง คะแนนเฉลี่ยจากจากแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการกับแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของกลุ่มทดลองทั้งหมด เมื่อคิดเป็นร้อยละแล้วได้ 80 หรือสูงกว่า 80 คำนวนจากสูตร

$$E_2 = \frac{\frac{\sum Y}{N}}{B} \times 100$$

เมื่อ	E_2	แทน	ประสิทธิภาพของการประเมินผลจากคะแนนจากการทำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ระหว่างเรียนคิดเป็นร้อยละ
	$\sum Y$	แทน	คะแนนรวมของนักศึกษาจากการทำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์
	N	แทน	จำนวนนักศึกษา
	B	แทน	คะแนนเต็มของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์

2. การศึกษาพัฒนาการของผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ก่อนและหลังการใช้บทปฏิบัติการ โดยการหาค่า t - test (Dependent) จากสูตร (ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ. 2536 : 87)

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N \sum D^2 - (\sum D)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ	t	แทน	ค่าบนแกนนอนของการแจกแจงแบบที (t-distributions)
	D	แทน	ความแตกต่างของคะแนนแต่ละคู่
	$\sum D$	แทน	ผลรวมของความแตกต่างของคะแนนแต่ละคู่
	N	แทน	จำนวนคนในกลุ่มตัวอย่าง

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่องการพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ของสถาบันราชภัฏ ได้ดำเนินการวิจัยเป็น 3 ตอน ดังนี้

- ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
- ตอนที่ 2 พัฒนบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมจากผลการทดลอง
- ตอนที่ 3 นำบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

ผู้วิจัยขอเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 3 ขั้นตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์นั้นปรากฏผลดังนี้

1. การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียววางดั่ง ทำโดยนำผักกาดเขียววางดั่งไปย่อยสลายโดยวิธี AOAC และทำ standard addition ผลที่ได้แสดงในตาราง 8 และ 9

ตาราง 8 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธี AOAC เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ สารละลายตะกั่ว มาตรฐาน ppm	ค่าการดูดกลืนแสง	
	Standard solution	Standard addition
0.00	0.000	0.010
2.00	0.050	0.062
4.00	0.102	0.112
6.00	0.150	0.162
8.00	0.196	0.210
10.00	0.234	0.260

จากตาราง 8 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 ppm มีค่าเป็น 0.00, 0.050, 0.102, 0.150, 0.196 และ 0.234 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard addition ที่ความเข้มข้น 0.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 ppm มีค่าเป็น 0.010, 0.062, 0.112, 0.162, 0.210 และ 0.260 ตามลำดับ

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) มีค่าเท่ากับ 0.9984 แสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลายกับการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กันสูงมาก และค่าความชันของกราฟมาตรฐานของตะกั่วเท่ากับ 0.024 (การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความชันของกราฟแสดงไว้ในตาราง 54 ในภาคผนวก จ) ค่าความชันของกราฟโดยการทำ standard addition เท่ากับ 0.025 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานของตะกั่ว แสดงว่าการรบกวนจากสารอื่นมีค่าน้อยมาก (การคำนวณค่าความชันของ standard addition แสดงไว้ในตาราง 56 ในภาคผนวก จ)

ตาราง 9 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบ และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาด ของตะกั่วในสารละลาย
ผักกาดเขียววางตุ้ง

ความเข้มข้น Pb^{2+} ที่เติม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้น Pb^{2+} ที่พบ (X) (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การพบ	เปอร์เซ็นต์ ค่าผิดพลาด
	Standard addition (blank)	Standard addition	Standard addition (Abs-blk)			
0.00	0.01	0.010	0.000	0.167	ไม่นิยาม	ไม่นิยาม
2.00	0.01	0.062	0.052	2.000	100.00	0.00
4.00	0.01	0.112	0.102	4.083	102.08	-2.08
6.00	0.01	0.162	0.152	6.167	102.78	-2.78
8.00	0.01	0.210	0.200	8.167	102.08	-2.08
10.00	0.01	0.260	0.250	10.250	102.50	-2.50
เฉลี่ย					101.89	-1.89

จากตาราง 9 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของตะกั่วในสารละลายผักกาดเขียววางตุ้งโดยวิธี AOAC เท่ากับ 101.89 และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดเท่ากับ -1.89

2. การวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสในผักบุ้ง ทำโดยนำผักบุ้งไปย่อยสลายโดยวิธี AOAC วิธีดังกล่าวจะทำ standard addition ผลที่ได้แสดงในตาราง 10 และ 11

ตาราง 10 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานของ Standard addition
โดยวิธี AOAC เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ สารละลายแมงกานีส มาตรฐาน ppm	ค่าการดูดกลืนแสง	
	Standard solution	Standard addition
0.00	0.000	0.075
0.50	0.052	0.125
1.00	0.113	0.175
1.50	0.170	0.220
2.50	0.278	0.362
3.00	0.330	0.429

จากตาราง 10 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.50 และ 3.00 ppm มีค่าเป็น 0.000, 0.052, 0.113, 0.170, 0.278 และ 0.330 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard addition ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.50 และ 3.00 ppm มีค่าเป็น 0.075, 0.125, 0.175, 0.220, 0.362 และ 0.429 ตามลำดับ

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) มีค่าเท่ากับ 0.9996 แสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลายกับการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กันสูงมาก และค่าความชันของกราฟมาตรฐานของแมงกานีสเท่ากับ 0.109 (การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความชันของกราฟแสดงไว้ในตาราง 56 ในภาคผนวก จ) ค่าความชันของกราฟโดยการทำ standard addition เท่ากับ 0.118 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานของแมงกานีส แสดงว่าการรบกวนจากสารอื่นมีค่าน้อยมาก (การคำนวณค่าความชันของ standard addition แสดงไว้ในตาราง 57 ในภาคผนวก จ)

ตาราง 11 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบ และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของแมงกานีสในสารละลายผักบั้ง

ความเข้มข้น Mn^{2+} ที่เติม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้น Mn^{2+} ที่พบ (X) (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การพบ	เปอร์เซ็นต์ ค่าผิดพลาด
	Standard addition (blank)	Standard addition	Standard addition (Abs-blk)			
0.00	0.075	0.075	0.000	0.002	ไม่นิยม	ไม่นิยม
0.50	0.075	0.125	0.050	0.450	89.97	10.03
1.00	0.075	0.175	0.100	0.902	90.15	9.85
1.50	0.075	0.220	0.145	1.306	87.20	12.80
2.50	0.075	0.362	0.287	2.591	103.63	-3.63
3.00	0.075	0.410	0.335	3.024	100.81	-0.81
				เฉลี่ย	94.35	5.65

จากตาราง 11 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของแมงกานีสในสารละลายผักบั้งโดยวิธี AOAC เท่ากับ 94.35 และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดเท่ากับ 5.65

3. การวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีในผักคะน้า ทำโดยนำผักคะน้าไปย่อยสลายโดยวิธี AOAC วิธีดังกล่าวจะทำ standard addition ผลที่ได้แสดงในตาราง 12 และ 13

ตาราง 12 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธี AOAC เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ สารละลายสังกะสี มาตรฐาน ppm	ค่าการดูดกลืนแสง	
	Standard solution	Standard addition
0.00	0.000	0.350
0.40	0.180	0.500
0.60	0.230	0.575
0.80	0.320	0.650
1.20	0.457	0.800
1.60	0.627	0.950

จากตาราง 12 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 0.40, 0.60, 0.80, 1.20 และ 1.60 ppm มีค่าเป็น 0.000, 0.180, 0.230, 0.320, 0.457 และ 0.627 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard addition ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.40, 0.60, 0.80, 1.20 และ 1.60 ppm มีค่าเป็น 0.350, 0.500, 0.575, 0.650, 0.800 และ 0.950 ตามลำดับ

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) มีค่าเท่ากับ 0.9980 แสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลายกับการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กันสูงมาก ถ้าความชันของกราฟมาตรฐานของสังกะสีเท่ากับ 0.382 (การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความชันของกราฟแสดงไว้ในตาราง 58 ในภาคผนวก จ) ค่าความชันของกราฟโดยการทำ standard addition เท่ากับ 0.367 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานของสังกะสี แสดงว่าการรบกวนจากสารอื่นมีค่าน้อยมาก (การคำนวณค่าความชันของ standard addition แสดงไว้ในตาราง 59 ในภาคผนวก จ)

ตาราง 13 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบ และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาด ของสังกะสีในสารละลาย
ผักคะน้า

ความเข้มข้น Zn ²⁺ ที่เติม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้น Zn ²⁺ ที่พบ (X) (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การพบ	เปอร์เซ็นต์ ค่าผิดพลาด
	Standard addition (blank)	Standard addition	Standard addition (Abs-blk)			
0.00	0.350	0.350	0.000	0.021	ไม่นิยาม	ไม่นิยาม
0.40	0.350	0.500	0.150	0.370	92.52	7.48
0.60	0.350	0.570	0.220	0.553	92.09	7.91
0.80	0.350	0.650	0.300	0.761	95.13	7.87
1.20	0.350	0.800	0.450	1.152	96.00	4.00
1.60	0.350	0.950	0.600	1.543	96.43	3.57
				เฉลี่ย	94.43	3.57

จากตาราง 13 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของสังกะสีในสารละลายผักคะน้าโดยวิธี
AOAC เท่ากับ 94.43 และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดเท่ากับ 5.57

4. การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียววางตุ้ง นำผักกาดเขียววางตุ้งไป
ย่อยสลายโดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ ซึ่งผู้วิจัยใช้สารย่อยสลายผสม HNO₃ + H₂O₂ ในอัตราส่วน
1:1, 1:2, 1:3 และ 2:1 โดยปริมาตร วิธีดังกล่าวจะทำ standard addition ผลที่ได้ดังแสดงใน
ตาราง 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 และ 21

ตาราง 14 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ สารละลายตะกั่ว มาตรฐาน ppm	ค่าการดูดกลืนแสง	
	Standard solution	Standard addition
0.00	0.000	0.009
2.00	0.050	0.060
4.00	0.103	0.110
6.00	0.148	0.160
8.00	0.187	0.201
10.00	0.237	0.254

จากตาราง 14 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 ppm มีค่าเป็น 0.000, 0.050, 0.103, 0.148, 0.187 และ 0.237 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard addition ที่ความเข้มข้น 0.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 ppm มีค่าเป็น 0.009, 0.060, 0.110, 0.160, 0.201 และ 0.254 ตามลำดับ

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) มีค่าเท่ากับ 0.9988 แสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลายกับการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กันสูงมาก ค่าความชันของกราฟมาตรฐานของตะกั่วเท่ากับ 0.023 (การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความชันของกราฟแสดงไว้ในตาราง 61 ในภาคผนวก จ) ค่าความชันของกราฟโดยการทำ standard addition เท่ากับ 0.025 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานของตะกั่ว แสดงว่าการรบกวนจากสารอื่นมีค่าน้อยมาก (การคำนวณค่าความชันของ standard addition แสดงไว้ในตาราง 62 ในภาคผนวก จ)

ตาราง 15 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบ และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของตะกั่วในสารละลาย
 ผักกาดเขียวกวางตั้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร

ความเข้มข้น Pb^{2+} ที่เติม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้น Pb^{2+} ที่พบ (X) (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การพบ	เปอร์เซ็นต์ ค่าผิดพลาด
	Standard addition (blank)	Standard addition	Standard addition (Abs-blk)			
0.00	0.009	0.009	0.000	0.154	ไม่นิยม	ไม่นิยม
2.00	0.009	0.060	0.051	2.026	101.28	-1.28
4.00	0.009	0.110	0.101	4.162	104.06	-4.06
6.00	0.009	0.160	0.151	6.299	104.99	-4.99
8.00	0.009	0.201	0.192	8.051	100.64	-0.64
10.00	0.009	0.254	0.245	0.316	103.16	-3.16
				เฉลี่ย	102.83	-2.83

จากตาราง 15 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของตะกั่วในสารละลายผักกาดเขียวกวางตั้ง
 โดยวิธีของผู้วิจัยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เท่ากับ 102.83
 และ เปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดเท่ากับ -2.83

ตาราง 16 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานของ Standard addition
 โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร
 เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ สารละลายตะกั่ว มาตรฐาน ppm	ค่าการดูดกลืนแสง	
	Standard solution	Standard addition
0.00	0.000	0.012
2.00	0.049	0.063
4.00	0.102	0.113
6.00	0.149	0.163
8.00	0.196	0.213
10.00	0.240	0.263

จากตาราง 16 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 ppm มีค่าเป็น 0.000, 0.049, 0.102, 0.149, 0.196 และ 0.240 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard addition ที่ความเข้มข้น 0.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 ppm มีค่าเป็น 0.012, 0.063, 0.113, 0.163, 0.213 และ 0.263 ตามลำดับ

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) มีค่าเท่ากับ 0.9994 แสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลายกับการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กันสูงมาก ค่าความชันของกราฟมาตรฐานของตะกั่วเท่ากับ 0.024 (การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความชันของกราฟแสดงไว้ในตาราง 62 ในภาคผนวก จ) ค่าความชันของกราฟโดยการทำ standard addition เท่ากับ 0.025 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานของตะกั่ว แสดงว่าการรบกวนจากสารอื่นมีค่าน้อยมาก (การคำนวณค่าความชันของ standard addition แสดงไว้ในตาราง 63 ในภาคผนวก จ)

ตาราง 17 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบ และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของตะกั่วในสารละลาย
ผักกาดเขียววางตุ้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร

ความเข้มข้น Pb^{2+} ที่เติม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้น Pb^{2+} ที่พบ (X) (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การพบ	เปอร์เซ็นต์ ค่าผิดพลาด
	Standard addition (blank)	Standard addition	Standard addition (Abs-blk)			
0.00	0.012	0.012	0.000	0.083	ไม่นิยาม	ไม่นิยาม
2.00	0.012	0.063	0.051	2.042	102.08	-2.88
4.00	0.012	0.113	0.101	4.125	103.13	-3.13
6.00	0.012	0.163	0.151	6.208	103.47	-3.47
8.00	0.012	0.213	0.201	8.292	103.65	-3.65
10.00	0.012	0.263	0.251	10.375	103.75	-3.75
เฉลี่ย					103.22	-3.22

จากตาราง 17 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของตะกั่วในสารละลายผักกาดเขียววางตุ้งโดยวิธีของผู้วิจัย ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร เท่ากับ 103.22 และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดเท่ากับ -3.22

ตาราง 18 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ สารละลายตะกั่ว มาตรฐาน ppm	ค่าการดูดกลืนแสง	
	Standard solution	Standard addition
0.00	0.000	0.010
2.00	0.051	0.060
4.00	0.098	0.108
6.00	0.147	0.158
8.00	0.192	0.208
10.00	0.248	0.255

จากตาราง 18 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 ppm มีค่าเป็น 0.000, 0.051, 0.098, 0.147, 0.192 และ 0.248 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard addition ที่ความเข้มข้น 0.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 ppm มีค่าเป็น 0.010, 0.060, 0.108, 0.158, 0.208 และ 0.255 ตามลำดับ

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) มีค่าเท่ากับ 0.9999 แสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลายกับการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กันสูงมาก ค่าความชันของกราฟมาตรฐานของตะกั่วเท่ากับ 0.024 (การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความชันของกราฟแสดงไว้ในตาราง 64 ในภาคผนวก จ) ค่าความชันของกราฟโดยการทำ standard addition เท่ากับ 0.025 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานของตะกั่ว แสดงว่าการรบกวนจากสารอื่นมีค่าน้อยมาก (การคำนวณค่าความชันของ standard addition แสดงไว้ในตาราง 65 ในภาคผนวก จ)

ตาราง 19 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบ และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของตะกั่วในสารละลาย
ผักกาดเขียวกวาดึงโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร

ความเข้มข้น Pb^{2+} ที่เติม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้น Pb^{2+} ที่พบ (X) (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การพบ	เปอร์เซ็นต์ ค่าผิดพลาด
	Standard addition (blank)	Standard addition	Standard addition (Abs-blk)			
0.00	0.01	0.010	0.000	0.080	ไม่นิยาม	ไม่นิยาม
2.00	0.01	0.060	0.050	2.021	101.05	-1.05
4.00	0.01	0.108	0.098	4.038	100.95	-0.95
6.00	0.01	0.158	0.148	6.139	102.31	-2.31
8.00	0.01	0.208	0.198	8.239	102.99	-2.99
10.00	0.01	0.255	0.245	10.214	102.14	-2.14
				เฉลี่ย	101.89	-1.89

จากตาราง 19 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของตะกั่วในสารละลายผักกาดเขียวกวาดึง
โดยวิธีของผู้วิจัย ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร เท่ากับ 101.89
และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดเท่ากับ -1.89

ตาราง 20 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานของ Standard addition
โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร
เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ สารละลายตะกั่ว มาตรฐาน ppm	ค่าการดูดกลืนแสง	
	Standard solution	Standard addition
0.00	0.000	0.008
2.00	0.051	0.051
4.00	0.102	0.105
6.00	0.152	0.156
8.00	0.188	0.208
10.00	0.250	0.254

จากตาราง 20 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 ppm มีค่าเป็น 0.000, 0.051, 0.102, 0.152, 0.188 และ 0.250 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard addition ที่ความเข้มข้น 0.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 ppm มีค่าเป็น 0.008, 0.051, 0.105, 0.156, 0.208 และ 0.254 ตามลำดับ

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) มีค่าเท่ากับ 0.9974 แสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลายกับการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กันสูงมาก ค่าความชันของกราฟมาตรฐานของตะกั่วเท่ากับ 0.025 (การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความชันของกราฟแสดงไว้ในตาราง 66 ในภาคผนวก จ) ค่าความชันของกราฟโดยการทำ standard addition เท่ากับ 0.025 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานของตะกั่ว แสดงว่าการรบกวนจากสารอื่นมีค่าน้อยมาก (การคำนวณค่าความชันของ standard addition แสดงไว้ในตาราง 67 ในภาคผนวก จ)

ตาราง 21 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบ และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของตะกั่วในสารละลาย
ผักกาดเขียวกวางตั้งโดยใช้สารย่อยสลาย HNO₃ + H₂O₂ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร

ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่เติม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่พบ (X) (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การพบ	เปอร์เซ็นต์ ค่าผิดพลาด
	Standard addition (blank)	Standard addition	Standard addition (Abs-blk)			
0.00	0.008	0.008	0.000	0.066	ไม่นิยาม	ไม่นิยาม
2.00	0.008	0.051	0.043	1.697	84.84	15.16
4.00	0.008	0.105	0.097	3.910	97.75	2.25
6.00	0.008	0.156	0.148	6.000	100.00	0.00
8.00	0.008	0.208	0.200	8.131	101.64	-1.64
10.00	0.008	0.254	0.246	10.016	100.16	-0.16
				เฉลี่ย	96.88	3.12

จากตาราง 21 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของตะกั่วในสารละลายผักกาดเขียวกวางตั้ง
โดยวิธีของผู้วิจัย ใช้สารย่อยสลาย HNO₃ + H₂O₂ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร เท่ากับ 96.88
และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดเท่ากับ 3.12

5. การวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสในผักบุ้ง นำผักบุ้งไปย่อยสลายโดยวิธีที่ผู้วิจัย
นำมาใช้ ซึ่งผู้วิจัยใช้สารย่อยสลายผสม HNO₃ + H₂O₂ ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 2:1 โดย
ปริมาตร วิธีดังกล่าวจะทำ standard addition ผลที่ได้ดังแสดงในตาราง 22, 23, 24, 25, 26,
27, 28 และ 29

ตาราง 22 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานของStandard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ สารละลายแมงกานีส มาตรฐาน ppm	ค่าการดูดกลืนแสง	
	Standard solution	Standard addition
0.00	0.000	0.060
0.50	0.050	0.113
1.00	0.106	0.175
1.50	0.172	0.238
2.50	0.276	0.350
3.00	0.331	0.400

จากตาราง 22 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.50 และ 3.00 ppm มีค่าเป็น 0.000, 0.050, 0.106, 0.172, 0.276 และ 0.331 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard addition ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.50 และ 3.00 ppm มีค่าเป็น 0.060, 0.113, 0.175, 0.238, 0.350 และ 0.400 ตามลำดับ

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) มีค่าเท่ากับ 0.9993 แสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลายกับการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กันสูงมาก ค่าความชันของกราฟมาตรฐานของแมงกานีสเท่ากับ 0.111 (การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความชันของกราฟแสดงไว้ในตาราง 68 ในภาคผนวก ฉ) ค่าความชันของกราฟโดยการทำ standard addition เท่ากับ 0.114 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานของแมงกานีส แสดงว่าการรบกวนจากสารอื่นมีค่าน้อยมาก (การคำนวณค่าความชันของ standard addition แสดงไว้ในตาราง 69 ในภาคผนวก ฉ)

ตาราง 23 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบ และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของแมงกานีสในสารละลาย
ผักบุ้ง โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร

ความเข้มข้น Mn^{2+} ที่เติม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้น Mn^{2+} ที่พบ (X) (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การพบ	เปอร์เซ็นต์ ค่าผิดพลาด
	Standard addition (blank)	Standard addition	Standard addition (Abs-blk)			
0.00	0.062	0.062	0.000	0.018	ไม่นิยาม	ไม่นิยาม
0.50	0.062	0.113	0.051	0.476	95.15	4.85
1.00	0.062	0.175	0.113	1.032	103.23	-3.23
1.50	0.062	0.238	0.176	1.598	106.52	-6.52
2.50	0.062	0.350	0.288	2.603	104.13	-4.13
3.00	0.062	0.400	0.338	3.052	101.73	-1.73
				เฉลี่ย	102.15	-10.76

จากตาราง 23 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของแมงกานีสในสารละลายผักบุ้งโดยวิธีของ
ผู้วิจัย ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เท่ากับ 102.15 และ
เปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดเท่ากับ -10.76

ตาราง 24 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานของ Standard addition
โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร
เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ สารละลายแมงกานีส มาตรฐาน ppm	ค่าการดูดกลืนแสง	
	Standard solution	Standard addition
0.00	0.000	0.070
0.50	0.052	0.125
1.00	0.113	0.185
1.50	0.169	0.240
2.50	0.280	0.365
3.00	0.330	0.420

จากตาราง 24 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.50 และ 3.00 ppm มีค่าเป็น 0.000, 0.052, 0.113, 0.169, 0.280 และ 0.330 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard addition ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.50 และ 3.00 ppm มีค่าเป็น 0.070, 0.125, 0.185, 0.240, 0.365 และ 0.420 ตามลำดับ

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) มีค่าเท่ากับ 0.9996 แสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลายกับการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กันสูงมาก ค่าความชันของกราฟมาตรฐานของแมงกานีสเท่ากับ 0.110 (การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความชันของกราฟแสดงไว้ในตาราง 70 ในภาคผนวก จ) ค่าความชันของกราฟโดยการทำ standard addition เท่ากับ 0.116 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานของแมงกานีส แสดงว่าการรบกวนจากสารอื่นมีค่าน้อยมาก (การคำนวณค่าความชันของ standard addition แสดงไว้ในตาราง 71 ในภาคผนวก จ)

ตาราง 25 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบ และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของแมงกานีสในสารละลายผักบุ้ง โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร

ความเข้มข้น Mn^{2+} ที่เติม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้น Mn^{2+} ที่พบ (X) (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การพบ	เปอร์เซ็นต์ ค่าผิดพลาด
	Standard addition (blank)	Standard addition	Standard addition (Abs-blk)			
0.00	0.070	0.070	0.000	0.000	ไม่นิยาม	ไม่นิยาม
0.50	0.070	0.125	0.055	0.497	99.33	0.67
1.00	0.070	0.185	0.115	1.038	103.82	-3.82
1.50	0.070	0.240	0.170	1.535	102.30	-2.30
2.50	0.070	0.365	0.295	2.663	106.51	-6.51
3.00	0.070	0.420	0.350	3.159	105.30	-5.30
				เฉลี่ย	103.45	-3.45

จากตาราง 25 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของแมงกานีสในสารละลายผักบุ้งโดยวิธีของผู้วิจัย ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตรเท่ากับ 103.45 และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดเท่ากับ -3.45

ตาราง 26 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ สารละลายแมงกานีส มาตรฐาน ppm	ค่าการดูดกลืนแสง	
	Standard solution	Standard addition
0.00	0.000	0.070
0.50	0.054	0.120
1.00	0.107	0.175
1.50	0.169	0.235
2.50	0.274	0.342
3.00	0.330	0.400

จากตาราง 26 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.50 และ 3.00 ppm มีค่าเป็น 0.000, 0.054, 0.107, 0.169, 0.274 และ 0.330 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard addition ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.50 และ 3.00 ppm มีค่าเป็น 0.070, 0.120, 0.175, 0.235, 0.342 และ 0.400 ตามลำดับ

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) มีค่าเท่ากับ 0.9996 แสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลายกับการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กันสูงมาก ค่าความชันของกราฟมาตรฐานของแมงกานีสเท่ากับ 0.110 (การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความชันของกราฟแสดงไว้ในตาราง 72 ในภาคผนวก ณ) ค่าความชันของกราฟโดยการทำ standard addition เท่ากับ 0.110 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานของแมงกานีส แสดงว่าการรบกวนจากสารอื่นมีค่าน้อยมาก (การคำนวณค่าความชันของ standard addition แสดงไว้ในตาราง 73 ในภาคผนวก จ)

ตาราง 27 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบ และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของแมงกานีสในสารละลายผักนึ่ง โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร

ความเข้มข้น Mn^{2+} ที่เติม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้น Mn^{2+} ที่พบ (X) (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การพบ	เปอร์เซ็นต์ ค่าผิดพลาด
	Standard addition (blank)	Standard addition	Standard addition (Abs-blk)			
0.00	0.070	0.070	0.000	0.005	ไม่นิยาม	ไม่นิยาม
0.50	0.070	0.120	0.050	0.458	91.65	8.35
1.00	0.070	0.175	0.105	0.957	95.74	4.26
1.50	0.070	0.235	0.165	1.502	100.12	-0.12
2.50	0.070	0.342	0.272	2.473	98.91	1.09
3.00	0.070	0.400	0.330	2.999	99.97	0.03
				เฉลี่ย	97.28	2.72

จากตาราง 27 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของแมงกานีสในสารละลายผักนึ่งโดยวิธีของผู้วิจัย ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตรเท่ากับ 97.28 และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดเท่ากับ 2.72

ตาราง 28 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานของ Standard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ สารละลายแมงกานีส มาตรฐาน ppm	ค่าการดูดกลืนแสง	
	Standard solution	Standard addition
0.00	0.000	0.062
0.50	0.054	0.118
1.00	0.107	0.158
1.50	0.168	0.200
2.50	0.274	0.345
3.00	0.329	0.400

จากตาราง 28 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.50 และ 3.00 ppm มีค่าเป็น 0.000, 0.054, 0.107, 0.168, 0.274 และ 0.329 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard addition ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.50 และ 3.00 ppm มีค่าเป็น 0.062, 0.118, 0.158, 0.200, 0.345 และ 0.400 ตามลำดับ

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) มีค่าเท่ากับ 0.9998 แสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลายกับการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กันสูงมาก ค่าความชันของกราฟมาตรฐานของแมงกานีสเท่ากับ 0.108 (การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความชันของกราฟแสดงไว้ในตาราง 74 ในภาคผนวก จ) ค่าความชันของกราฟโดยการทำ standard addition เท่ากับ 0.123 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานของแมงกานีส แสดงว่าการรบกวนจากสารอื่นมีค่าน้อยมาก (การคำนวณค่าความชันของ standard addition แสดงไว้ในตาราง 75 ในภาคผนวก จ)

ตาราง 29 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบ และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของแมงกานีสในสารละลาย
ผักบุ้ง โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร

ความเข้มข้น Mn^{2+} ที่เติม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้น Mn^{2+} ที่พบ (X) (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การพบ	เปอร์เซ็นต์ ค่าผิดพลาด
	Standard addition (blank)	Standard addition	Standard addition (Abs-blk)			
0.00	0.062	0.062	0.000	0.004	ไม่นิยาม	ไม่นิยาม
0.50	0.062	0.118	0.056	0.513	102.64	-2.64
1.00	0.062	0.158	0.096	0.877	87.72	12.28
1.50	0.062	0.230	0.168	1.532	102.15	-2.15
2.50	0.062	0.345	0.283	2.579	103.15	-3.15
3.00	0.062	0.400	0.338	3.079	102.64	-2.64
				เฉลี่ย	99.66	0.34

จากตาราง 29 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของแมงกานีสในสารละลายผักบุ้งโดยวิธี ของผู้
วิจัย ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร เท่ากับ 99.66 และเปอร์
เซ็นต์ค่าผิดพลาดเท่ากับ 0.34

6. การวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีในผักคะน้า นำผักคะน้าไปย่อยสลายโดยวิธีที่ผู้
วิจัยนำมาใช้ ซึ่งผู้วิจัยใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 2:1
โดยปริมาตร วิธีดังกล่าวจะทำ standard addition ผลที่ได้ดังแสดงในตาราง 30, 31, 32, 33,
34, 35, 36 และ 37

ตาราง 30 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานของStandard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ สารละลายสังกะสี มาตรฐาน ppm	ค่าการดูดกลืนแสง	
	Standard solution	Standard addition
0.00	0.000	0.400
0.40	0.155	0.560
0.60	0.232	0.620
0.80	0.302	0.700
1.20	0.435	0.850
1.60	0.601	1.000

จากตาราง 30 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 0.40, 0.60, 0.80, 1.20 และ 1.60 ppm มีค่าเป็น 0.000, 0.155, 0.232, 0.302, 0.435 และ 0.601 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard addition ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.40, 0.60, 0.80, 1.20 และ 1.60 ppm มีค่าเป็น 0.400, 0.560, 0.620, 0.700, 0.850 และ 1.000 ตามลำดับ

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) มีค่าเท่ากับ 0.9990 แสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลายกับการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กันสูงมาก ค่าความชันของกราฟมาตรฐานของสังกะสีเท่ากับ 0.371 (การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความชันของกราฟแสดงไว้ในตาราง 76 ในภาคผนวก ฉ) ค่าความชันของกราฟโดยการทำ standard addition เท่ากับ 0.367 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานของแมงกานีส แสดงว่าการรบกวนจากสารอื่นมีค่าน้อยมาก (การคำนวณค่าความชันของ standard addition แสดงไว้ในตาราง 77 ในภาคผนวก ฉ)

ตาราง 31 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบ และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของสังกะสีในสารละลาย
ผักคะน้า โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร

ความเข้มข้น Zn^{2+} ที่เติม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้น Zn^{2+} ที่พบ (X) (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การพบ	เปอร์เซ็นต์ ค่าผิดพลาด
	Standard addition (blank)	Standard addition	Standard addition (Abs-blk)			
0.00	0.400	0.400	0.000	0.011	ไม่นิยม	ไม่นิยม
0.40	0.400	0.560	0.160	0.422	105.49	-5.49
0.60	0.400	0.620	0.220	0.584	97.38	2.62
0.80	0.400	0.700	0.300	0.801	100.08	-0.06
1.20	0.400	0.850	0.450	1.206	100.53	-0.53
1.60	0.400	1.000	0.600	1.612	100.76	-0.76
				เฉลี่ย	100.85	-0.85

จากตาราง 31 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของสังกะสีในสารละลายผักคะน้าโดยวิธีของ
ผู้วิจัย ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตรเท่ากับ 100.85 และ
เปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดเท่ากับ -0.85

ตาราง 32 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานของStandard addition
โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร
เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ สารละลายสังกะสี มาตรฐาน ppm	ค่าการดูดกลืนแสง	
	Standard solution	Standard addition
0.00	0.000	0.400
0.40	0.180	0.500
0.60	0.231	0.650
0.80	0.319	0.730
1.20	0.480	0.860
1.60	0.628	1.050

จากตาราง 32 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 0.40, 0.60, 0.80, 1.20 และ 1.60 ppm มีค่าเป็น 0.000, 0.180, 0.231, 0.319, 0.480 และ 0.628 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard addition ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.40, 0.60, 0.80, 1.20 และ 1.60 ppm มีค่าเป็น 0.400, 0.500, 0.650, 0.730, 0.860 และ 1.050 ตามลำดับ

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) มีค่าเท่ากับ 0.9996 แสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลายกับการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กันสูงมาก ค่าความชันของกราฟมาตรฐานของสังกะสีเท่ากับ 0.393 (การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความชันของกราฟแสดงไว้ในตาราง 78 ในภาคผนวก จ) ค่าความชันของกราฟโดยการทำ standard addition เท่ากับ 0.404 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานของแมงกานีส แสดงว่าการรบกวนจากสารอื่นมีค่าน้อยมาก (การคำนวณค่าความชันของ standard addition แสดงไว้ในตาราง 79 ในภาคผนวก จ)

ตาราง 33 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบ และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของสังกะสีในสารละลายผักคะน้า โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร

ความเข้มข้น Zn^{2+} ที่เติม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้น Zn^{2+} ที่พบ (X) (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การพบ	เปอร์เซ็นต์ ค่าผิดพลาด
	Standard addition (blank)	Standard addition	Standard addition (Abs-blk)			
0.00	0.400	0.400	0.000	0.001	ไม่นิยาม	ไม่นิยาม
0.40	0.400	0.550	0.150	0.379	94.82	5.18
0.60	0.400	0.650	0.250	0.633	105.44	-5.44
0.80	0.400	0.730	0.330	0.835	104.41	-4.41
1.20	0.400	0.860	0.460	1.165	97.06	2.94
1.60	0.400	1.050	0.650	1.646	102.88	-2.88
				เฉลี่ย	100.92	-0.92

จากตาราง 33 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของสังกะสีในสารละลายผักคะน้าโดยวิธีของผู้วิจัย ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตรเท่ากับ 100.92 และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดเท่ากับ -0.92

ตาราง 34 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานของStandard addition โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ สารละลายสังกะสี มาตรฐาน ppm	ค่าการดูดกลืนแสง	
	Standard solution	Standard addition
0.00	0.000	0.340
0.40	0.174	0.475
0.60	0.230	0.556
0.80	0.320	0.625
1.20	0.458	0.775
1.60	0.599	0.925

จากตาราง 34 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 0.40, 0.60, 0.80, 1.20 และ 1.60 ppm มีค่าเป็น 0.000, 0.174, 0.230, 0.320, 0.458 และ 0.599 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard addition ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.40, 0.60, 0.80, 1.20 และ 1.60 ppm มีค่าเป็น 0.340, 0.475, 0.556, 0.625, 0.775 และ 0.925 ตามลำดับ

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) มีค่าเท่ากับ 0.9991 แสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลายกับการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กันสูงมาก ค่าความชันของกราฟมาตรฐานของสังกะสีเท่ากับ 0.371 (การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความชันของกราฟแสดงไว้ในตาราง 80 ในภาคผนวก จ) ค่าความชันของกราฟโดยการทำ standard addition เท่ากับ 0.363 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานของแมงกานีส แสดงว่าการรบกวนจากสารอื่นมีค่าน้อยมาก (การคำนวณค่าความชันของ standard addition แสดงไว้ในตาราง 81 ในภาคผนวก จ)

ตาราง 35 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบ และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของสังกะสีในสารละลาย
ผักคะน้า โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร

ความเข้มข้น Zn^{2+} ที่เติม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้น Zn^{2+} ที่พบ (X) (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การพบ	เปอร์เซ็นต์ ค่าผิดพลาด
	Standard addition (blank)	Standard addition	Standard addition (Abs-blk)			
0.00	0.340	0.340	0.000	0.027	ไม่นิยาม	ไม่นิยาม
0.40	0.340	0.475	0.135	0.337	84.21	15.79
0.60	0.340	0.550	0.210	0.539	89.82	10.18
0.80	0.340	0.625	0.285	0.741	92.63	7.37
1.20	0.340	0.775	0.435	1.145	95.44	4.56
1.60	0.340	0.925	0.585	1.549	96.84	3.16
				เฉลี่ย	91.79	8.21

จากตาราง 35 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของสังกะสีในสารละลายผักคะน้าโดยวิธีของ
ผู้วิจัย ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตรเท่ากับ 91.79 เปอร์เซ็นต์ค่า
ผิดพลาดเท่ากับ 8.21

ตาราง 36 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานของStandard addition
โดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร
เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ สารละลายสังกะสี มาตรฐาน ppm	ค่าการดูดกลืนแสง	
	Standard solution	Standard addition
0.00	0.000	0.400
0.40	0.133	0.550
0.60	0.242	0.620
0.80	0.310	0.700
1.20	0.485	0.860
1.60	0.648	1.050

จากตาราง 36 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 0.40, 0.60, 0.80, 1.20 และ 1.60 ppm มีค่าเป็น 0.000, 0.133, 0.242, 0.310, 0.485 และ 0.648 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard addition ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.40, 0.60, 0.80, 1.20 และ 1.60 ppm มีค่าเป็น 0.400, 0.550, 0.620, 0.700, 0.860 และ 1.050 ตามลำดับ

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) มีค่าเท่ากับ 0.9990 แสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลายกับการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กันสูงมาก ค่าความชันของกราฟมาตรฐานของสังกะสีเท่ากับ 0.412 (การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความชันของกราฟแสดงไว้ในตาราง 82 ในภาคผนวก จ) ค่าความชันของกราฟโดยการทำ standard addition เท่ากับ 0.397 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชันของกราฟมาตรฐานของแมงกานีส แสดงว่าการรบกวนจากสารอื่นมีค่าน้อยมาก (การคำนวณค่าความชันของ standard addition แสดงไว้ในตาราง 83 ในภาคผนวก จ)

ตาราง 37 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การพบ และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดของสังกะสีในสารละลายผักคะน้า โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร

ความเข้มข้น Zn^{2+} ที่เติม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ความเข้มข้น Zn^{2+} ที่พบ (X) (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การพบ	เปอร์เซ็นต์ ค่าผิดพลาด
	Standard addition (blank)	Standard addition	Standard addition (Abs-blk)			
0.00	0.400	0.400	0.000	0.024	ไม่นิยาม	ไม่นิยาม
0.40	0.400	0.550	0.150	0.389	97.32	2.68
0.60	0.400	0.620	0.220	0.560	93.27	6.73
0.80	0.400	0.700	0.300	0.754	94.28	5.72
1.20	0.400	0.860	0.460	1.144	95.30	4.70
1.60	0.400	1.050	0.650	1.606	100.36	-0.36
เฉลี่ย					96.11	3.89

จากตาราง 37 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของสังกะสีในสารละลายผักคะน้าโดยวิธีของผู้วิจัย ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตรเท่ากับ 96.11 และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาด เท่ากับ 3.89

จากผลการทดลอง จะเห็นว่าในการย่อยสลายผักกาดเขียววางตั้งเพื่อวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วโดยใช้การเตรียมสารละลายผักกาดเขียววางตั้งโดยวิธี AOAC ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบ 101.89 เมื่อใช้การเตรียมสารละลายผักกาดเขียววางตั้งโดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 2:1 โดยปริมาตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบ 102.83, 103.22, 101.89 และ 96.88 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วน 1:2 ไปใช้เป็นสารย่อยสลายเพื่อเตรียมสารละลายผักกาดเขียววางตั้งในบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อมที่พัฒนาขึ้น เพราะอัตราส่วนนี้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของตะกั่วในสารละลายผักกาดเขียววางตั้งสูงสุดและสูงกว่าวิธี AOAC ด้วย

ในการเตรียมสารละลายผักนึ่งเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสโดยวิธี AOAC ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบ 94.35 เมื่อใช้วิธีของผู้วิจัย โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 2:1 โดยปริมาตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของแมงกานีส 102.15, 103.45, 97.28 และ 99.66 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วน 1:2 ไปใช้เป็นสารย่อยสลายเพื่อเตรียมสารละลายผักนึ่งในบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อมที่พัฒนาขึ้น เพราะได้ค่าร้อยละการพบสูงสุด

ในการเตรียมสารละลายผักคะน้าเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีโดยวิธี AOAC ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบ 94.43 เมื่อใช้วิธีของผู้วิจัย โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 2:1 โดยปริมาตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบของสังกะสี 100.85, 100.92, 91.79 และ 96.11 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วน 1:2 ไปใช้เป็นสารย่อยสลายเพื่อเตรียมสารละลายผักคะน้าในบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อมที่พัฒนาขึ้น เพราะได้ค่าร้อยละการพบสูงสุด

7. การหาค่าความแม่นยำ (Precision)

7.1 การหาค่าความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในสารละลายผักกาดเขียววางตั้ง ทำดังนี้

7.1.1 ทำกราฟมาตรฐานตะกั่วโดยใช้สารละลายตะกั่วมาตรฐานมีความเข้มข้น 0.00, 0.20, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00 และ 5.00 ppm แล้วไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี ได้ผลตามตาราง 38

7.1.2 หาปริมาณของตะกั่วที่พบในผักกาดเขียววางตั้งเป็น $\mu\text{g/g}$ แล้วหาค่า S.D. และค่า %RSD ได้ผลตามตาราง 39

ตาราง 38 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานในช่วงความเข้มข้นต่างๆเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ Pb^{2+} (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.00	0.000
0.20	0.005
1.00	0.030
2.00	0.057
3.00	0.080
4.00	0.106
5.00	0.137

จากตาราง 38 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตะกั่วมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.00, 0.20, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00 และ 5.00 ppm มีค่าเท่ากับ 0.000, 0.005, 0.030, 0.057, 0.080, 0.106 และ 0.137 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์หาตะกั่วในสารละลายผักกาดเขียววางตุ้ง ตัวอย่างได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.012 ซึ่งเทียบได้กับความเข้มข้น 0.60 ppm

ตาราง 39 แสดงการหาความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในสารละลายผักกาดเขียว
กวาดตุ้ง

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของ Pb จากกราฟ (ppm)	ปริมาณ Pb ($\mu\text{g/g}$) (X)	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	(X- $\bar{X}$)	(X- $\bar{X}$) ²	S.D.	%RSD
1	0.010	0.325	8.125		0.255	0.065		
2	0.010	0.325	8.125		0.255	0.065		
3	0.010	0.325	8.125		0.255	0.065		
4	0.009	0.288	7.200		-0.67	0.449		
5	0.010	0.325	8.125		0.255	0.065		
6	0.009	0.288	7.200	7.87	-0.67	0.449	0.432	5.489
7	0.010	0.325	8.125		0.255	0.065		
8	0.010	0.325	8.125		0.255	0.065		
9	0.010	0.325	8.125		0.255	0.065		
10	0.009	0.288	7.200		-0.67	0.449		
11	0.010	0.325	8.125		0.255	0.065		
Σ					0.03	1.867		

จากตาราง 39 เตรียมสารละลายผักกาดเขียวกวาดตุ้งทั้งหมด 11 ครั้งๆละ 1.0000 กรัม ย่อยสลายด้วยสารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ปรับปริมาตรเป็น 25 cm^3 คำนวณหาปริมาณตะกั่ว ค่า S.D. และ ค่า %RSD โดยใช้สูตรการคำนวณที่แสดงไว้ในบทที่ 3 ได้ค่าเฉลี่ยของตะกั่วในสารละลายผักกาดเขียวกวาดตุ้งเท่ากับ 7.870 $\mu\text{g/g}$ ค่า S.D. เท่ากับ 0.432 และค่า %RSD เท่ากับ 5.489

7.2 การหาความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในสารละลายผักบุ้ง

7.2.1 ทำกราฟมาตรฐานตะกั่วโดยใช้สารละลายแมงกานีสมาตรฐานมีความเข้มข้น 0.00, 0.20, 0.40, 0.60, 1.00, 1.40 และ 2.00 ppm แล้วไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี ได้ผลตามตาราง 40

7.2.2 หาปริมาณของแมงกานีสที่พบในผักบุ้งเป็น $\mu\text{g/g}$ แล้วหาค่า S.D. และค่า %RSD ได้ผลตามตาราง 41

ตาราง 40 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานในช่วงความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ Mn^{2+} (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.00	0.000
0.20	0.023
0.40	0.043
0.60	0.065
1.00	0.114
1.40	0.160
2.00	0.223

จากตาราง 40 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแมงกานีสมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.00, 0.20, 0.40, 0.60, 1.00, 1.40 และ 2.00 ppm มีค่าเท่ากับ 0.000, 0.023, 0.043, 0.065, 0.114, 0.160 และ 0.223 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์หาแมงกานีสในสารละลายผักบุ้งตัวอย่างได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.075 ซึ่งเทียบได้กับความเข้มข้น 0.60 ppm

ตาราง 41 แสดงการหาความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในสารละลายผักบุ้ง

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของ Mn จากกราฟ (ppm)	ปริมาณ Mn ($\mu\text{g/g}$) (X)	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	(X- $\bar{X}$)	(X- $\bar{X}$) ²	S.D.	%RSD
1	0.056	0.491	12.275		-0.695	0.483		
2	0.060	0.527	13.175		0.205	0.042		
3	0.056	0.491	12.275		-0.695	0.483		
4	0.060	0.527	13.175		0.205	0.042		
5	0.060	0.527	13.175		0.205	0.042		
6	0.058	0.509	12.726	12.97	-0.244	0.060	0.366	3.327
7	0.060	0.527	13.175		0.205	0.042		
8	0.060	0.527	13.175		0.205	0.042		
9	0.060	0.527	13.175		0.205	0.042		
10	0.060	0.527	13.175		0.205	0.042		
11	0.060	0.527	13.175		0.205	0.042		
Σ					0.006	1.362		

จากตาราง 41 เตรียมสารละลายผักบุ้งทั้งหมด 11 ครั้งๆละ 1.0000 กรัม ย่อยสลายด้วยสารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ปรับปริมาตรเป็น 25 cm^3 คำนวณหาปริมาณแมงกานีส ค่า S.D. และ ค่า %RSD โดยใช้สูตรการคำนวณที่แสดงไว้ในบทที่ 3 ได้ค่าเฉลี่ยของแมงกานีสในสารละลายผักบุ้ง เท่ากับ $12.97 \mu\text{g/g}$ ค่า S.D. เท่ากับ 0.366 และค่า %RSD เท่ากับ 3.327

7.3 การหาความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในสารละลายผักคะน้า

7.3.1 กราฟมาตรฐานตะกั่วโดยใช้สารละลายตะกั่วมาตรฐานมีความเข้มข้น 0.00, 0.20, 0.40, 0.60, 1.00, 1.40 และ 2.00 ppm แล้วไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยวิธี AAS ได้ผลตามตาราง 42

7.3.2 หาปริมาณของสังกะสีที่พบในผักคะน้าเป็น $\mu\text{g/g}$ แล้วหาค่า S.D. และค่า %RSD ได้ผลตามตาราง 43

ตาราง 42 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานในช่วงความเข้มข้นต่างๆ เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง

ความเข้มข้นของ Zn^{2+} (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.00	0.000
0.20	0.061
0.40	0.151
0.60	0.224
1.00	0.377
1.40	0.519
2.00	0.720

จากตาราง 42 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสังกะสีมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.00, 0.20, 0.40, 0.60, 1.00, 1.40 และ 2.00 ppm มีค่าเท่ากับ 0.000, 0.061, 0.151, 0.224, 0.377, 0.519 และ 0.720 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์หาสังกะสีในสารละลายผักคะน้าตัวอย่างได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.40 ซึ่งเทียบได้กับความเข้มข้น 1.00 ppm

ตาราง 43 แสดงการหาความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในสารละลายผักคะน้า

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของ Zn จากกราฟ (ppm)	ปริมาณ Zn ($\mu\text{g/g}$) (X)	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	$(X-\bar{X})$	$(X-\bar{X})^2$	S.D.	%RSD
1	0.325	0.816	20.40		-0.095	0.009		
2	0.320	0.800	20.00		-0.495	0.245		
3	0.325	0.816	20.40		-0.095	0.009		
4	0.325	0.816	20.40		-0.095	0.009		
5	0.352	0.816	20.40		-0.095	0.009		
6	0.340	0.860	21.50	20.495	1.005	1.010	0.373	1.820
7	0.330	0.830	20.75		0.255	0.065		
8	0.325	0.816	20.40		-0.095	0.009		
9	0.325	0.816	20.40		-0.095	0.009		
10	0.325	0.816	20.40		-0.095	0.009		
11	0.325	0.816	20.40		-0.095	0.009		
Σ					0.005	1.392		

จากตาราง 43 เตรียมสารละลายผักคะน้าทั้งหมด 11 ครั้งๆละ 1.0000 กรัม ย่อยสลายด้วยสารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ปรับปริมาตรเป็น 25 cm^3 คำนวณหาปริมาณสังกะสี ค่า S.D. และ ค่า %RSD โดยใช้สูตรการคำนวณที่แสดงไว้ในบทที่ 3 ได้ค่าเฉลี่ยของสังกะสีในสารละลายผักคะน้า เท่ากับ $20.495 \mu\text{g/g}$ ค่า S.D. เท่ากับ 0.373 และ ค่า %RSD เท่ากับ 1.820

ตอนที่ 2 การพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมจากผลการทดลอง

จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ได้จากตอนที่ 1 นำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการจำนวน 3 บทปฏิบัติการ โดยมีขั้นตอนในการพัฒนาดังนี้

1. ศึกษาเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยวิธี AAS เพื่อนำมาเขียนให้สอดคล้องกับเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้)
2. นำผลที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการมาเขียนให้สอดคล้องกับบทปฏิบัติการซึ่งประกอบด้วยวัตถุประสงค์ หลักการ/ทฤษฎี อุปกรณ์/เครื่องมือ และสารเคมี วิธีการทดลอง
3. นำวิธีการทดลองมาเขียนให้สอดคล้องกับรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง

บทปฏิบัติการจำนวน 3 บทปฏิบัติการ มีดังนี้

บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่องการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียวกวาดุ้ง โดยวิธีอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

ในบทปฏิบัติการนี้ผักตัวอย่างได้แก่ ผักกาดเขียวกวาดุ้ง นำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการ โดยทำเป็นขั้นตอนดังนี้

- เตรียมสารละลายผักกาดเขียวกวาดุ้งด้วยสารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ ในอัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร
- เตรียมสารละลายตะกั่วมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี แล้วทำกราฟมาตรฐานตะกั่ว
- การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในสารละลายผักกาดเขียวกวาดุ้งตัวอย่างโดยนำค่าการดูดกลืนแสงไปเทียบกับกราฟมาตรฐานตะกั่ว

บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่องการวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในผักบุ้งโดยวิธีอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

ในบทปฏิบัติการนี้ผักตัวอย่างได้แก่ ผักบุ้ง นำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการ โดยทำเป็นขั้นตอนดังนี้

- เตรียมสารละลายผักบุ้งด้วยสารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ ในอัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร
- เตรียมสารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี แล้วทำกราฟมาตรฐานแมงกานีส
- การวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในสารละลายผักบุ้งตัวอย่างโดยนำค่าการดูดกลืนแสงไปเทียบกับกราฟมาตรฐานแมงกานีส

บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่องการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในผักคะน้าโดยวิธีอะตอมมิก แอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

ในบทปฏิบัติการนี้ผักตัวอย่างได้แก่ ผักคะน้า นำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการ โดยทำเป็นขั้นตอนดังนี้

- เตรียมสารละลายผักคะน้าด้วยสารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ ในอัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร
- เตรียมสารละลายสังกะสีมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี แล้วทำกราฟมาตรฐานสังกะสี
- การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในสารละลายผักคะน้าตัวอย่างโดยนำค่าการดูดกลืนแสงไปเทียบกับกราฟมาตรฐานสังกะสี

ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการทั้ง 3 บทปฏิบัติการไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเคมีและวิทยาศาสตร์ศึกษา 7 ท่านประเมินโดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง (IOC) แล้วนำผลการประเมินมาวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 ท่าน ที่มีต่อบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมี สภาวะแวดล้อม ประเมินโดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้ แสดงได้ดังตาราง 44

ตาราง 44 ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมี สภาวะแวดล้อม

องค์ประกอบที่เสนอ	ค่า IOC ของบทปฏิบัติการที่		
	1	2	3
1. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ(ใบความรู้)			
1.1 เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	0.71	0.71	0.71
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่อง	1.00	1.00	1.00
1.3 เนื้อหาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลอง	1.00	1.00	1.00
1.4 การใช้ภาษา			
1.4.1 ไม่กำกวม	0.71	0.71	0.86
1.4.2 เข้าใจง่าย	0.86	0.71	0.86

ตาราง 44 (ต่อ)

องค์ประกอบที่เสนอ	ค่า IOC ของบทปฏิบัติการที่		
	1	2	3
2. บทปฏิบัติการ			
2.1 วัตถุประสงค์			
2.1.1 มีความชัดเจน	1.00	1.00	1.00
2.1.2 ประเมินผลได้	1.00	1.00	1.00
2.2 หลักการ/ทฤษฎี			
2.2.1 มีความชัดเจน	0.71	0.86	0.86
2.2.2 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการ	0.86	0.86	0.86
2.2.3 เหมาะสมกับระดับของนักศึกษา	0.71	0.86	0.86
2.2.4 ความสั้นยาวของทฤษฎี/หลักการ เหมาะสม	0.71	0.71	0.71
2.3 อุปกรณ์เครื่องมือ สารเคมี			
2.3.1 เหมาะสมกับระดับนักศึกษา	1.00	1.00	1.00
2.3.2 ครอบคลุมกับการทดลอง	1.00	1.00	1.00
2.3.3 เหมาะสมกับเรื่องที่ทำการทดลอง	1.00	1.00	1.00
2.4 วิธีการทดลอง			
2.4.1 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้	0.71	0.71	0.71
2.4.2 มีความยากง่ายพอเหมาะ	1.00	1.00	1.00
2.4.3 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด	1.00	1.00	1.00
2.4.4 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม	1.00	1.00	1.00
2.4.5 ส่งเสริมให้นักศึกษามีทักษะปฏิบัติการทดลอง	1.00	1.00	1.00
2.4.6 นักศึกษาแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการทดลอง	1.00	1.00	1.00

ตาราง 44 (ต่อ)

องค์ประกอบที่เสนอ	ค่า IOC ของบทปฏิบัติการที่		
	1	2	3
3. รายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง			
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม	0.71	0.86	0.86
3.2 คำถามท้ายการทดลอง			
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง	1.00	1.00	1.00
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	1.00	1.00	1.00
3.2.3 คำถามส่งเสริมด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	1.00	1.00	1.00
3.2.4 คำถามส่งเสริมการคิดแก้ปัญหา	1.00	1.00	1.00
3.2.5 ความสั้นยาวของคำถามเหมาะสม	1.00	0.86	0.86
4. คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการ			
4.1 วัตถุประสงค์ชัดเจน	1.00	1.00	1.00
4.2 สารเคมีและอุปกรณ์เหมาะสม	1.00	1.00	1.00
4.3 ข้อเสนอแนะในการเตรียมล่วงหน้าเหมาะสม	1.00	1.00	1.00
4.4 ข้อเสนอแนะในการอภิปรายก่อนการทดลองเหมาะสม	1.00	1.00	1.00
4.5 อภิปรายหลังการทดลองเหมาะสม	1.00	1.00	1.00
4.6 การใช้ภาษา			
4.6.1 มีความยากง่ายพอเหมาะ	0.86	0.86	0.86
4.6.2 ไม่วกวน	0.86	0.86	0.86
4.7 แนวคำตอบท้ายการทดลองชัดเจน	0.86	1.00	1.00
4.8 คู่มือครูประกอบการสอนมีประโยชน์	1.00	1.00	1.00

จากตาราง 44 สรุปความเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมี สภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี จำนวน 3 บทปฏิบัติการ ประเมินโดยใช้ดัชนีความสอดคล้อง ความคิดเห็นเฉลี่ยของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อบทปฏิบัติการ (ใบความรู้) บทปฏิบัติการ รายงานผล

คำถามท้ายการทดลอง และคู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ พบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้องสูงกว่า 0.5 ทั้ง 3 บทปฏิบัติการ และคู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการ แสดงว่าบทปฏิบัติการและคู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพ สามารถนำไปใช้ประกอบการสอนได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้เป็นอย่างดี

ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

จากผลการวิเคราะห์ผู้เชี่ยวชาญด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น มีค่าดัชนีความสอดคล้องสูงกว่า 0.5 ทั้ง 3 บทปฏิบัติการ ผู้วิจัยจึงได้นำบทปฏิบัติการและคู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นนี้ไปทดลองสอนกับนักศึกษา เพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 80/80 ซึ่งได้เสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังตาราง 45

ตาราง 45 ค่าเฉลี่ยและร้อยละของแบบทดสอบทั้ง 3 แบบ

แบบทดสอบ	คะแนน เต็ม	สัญลักษณ์	ค่าสถิติ	ร้อยละ	เฉลี่ย
1. คำถามท้ายบทปฏิบัติการ	30	$\bar{X}$ S.D.	26.33 1.56	87.76	87.76
2. แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ	30	$\bar{X}$ S.D.	24.80 1.13	82.67	86.73
3. แบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์	72	$\bar{X}$ S.D.	65.37 1.83	90.79	

จากตาราง 45 ค่าร้อยละของคะแนนจากการตอบคำถามบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมต่อแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการกับแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ คือ 87.76 / 86.73 ซึ่งแสดงว่า บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานของการศึกษาค้นคว้าข้อ 1 ที่กำหนดไว้

ส่วนในการทดสอบสมมติฐานของการศึกษาค้นคว้าข้อ 2 ที่กำหนดไว้ว่านักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ของสถาบันราชภัฏ ที่เรียนวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมที่พัฒนาขึ้นมีผลการเรียนด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและเจตคติทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น ผู้วิจัยได้ใช้แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและเจตคติทางวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้นโดยสาขาวิจัยและประเมินผล สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยา

ตาราง 47 (ต่อ)

ทักษะด้าน	ข้อ	ผู้เชี่ยวชาญ							IOC
		1	2	3	4	5	6	7	
3. ความมีเหตุผล									
	3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	12	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86
	19	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4. ความมีใจกว้าง									
	4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.86
	13	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	24	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5. ความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น									
	8	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86
	23	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	22	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6. ความซื่อสัตย์									
	6	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.86
	14	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86
	16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	21	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
7. ความอยากรู้อยากเห็น									
	7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ภาพรวม (เฉลี่ย)									0.84

จากตาราง 47 ได้ค่า IOC เฉลี่ย 0.84 แสดงว่า แบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์นี้มีความสอดคล้องสูง และสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการทดสอบได้

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้เชี่ยวชาญเห็นด้วยกับแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ มีค่าดัชนีความสอดคล้อง

คลังสูง ผู้วิจัยจึงได้นำแบบทดสอบทั้ง 2 นี้ไปเป็นเครื่องมือวัดผลการเรียนรู้เพื่อศึกษาผลการใช้บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นนี้มีผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการและเจตคติทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น ดังตาราง 48, 49, 50 และ 51

ตาราง 48 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของการทำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการก่อนเรียนและหลังเรียน (แยกเป็นรายด้าน)

แบบทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ	จำนวน N	ก่อนเรียน $\bar{X}$ S.D.	หลังเรียน $\bar{X}$ S.D.	t	p
1. ด้านตั้งสมมติฐาน (4 คะแนน)	30	2.37 .49	3.40 .56	10.179	.000
2. ด้านการทดลอง (5 คะแนน)	30	2.97 .41	4.10 .61	9.109	.000
3. ด้านการตีความหมายและ ลงข้อสรุป (11 คะแนน)	30	6.30 .70	8.90 .71	13.310	.000
4. ด้านการกำหนดและควบคุม ตัวแปร (7 คะแนน)	30	5.27 .78	5.87 .73	3.844	.001
5. ด้านการกำหนดนิยามเชิง ปฏิบัติการ (3 คะแนน)	30	2.03 .32	2.77 .43	8.930	.000

จากตาราง 48 ผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของการทำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการก่อนเรียนและหลังเรียน (แยกเป็นรายด้าน) มีความแตกต่างกัน และผลการทดสอบหลังเรียนมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าการทดสอบก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าบทปฏิบัติการมีประสิทธิภาพ

ตาราง 49 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการก่อนเรียนและหลังเรียน (โดยภาพรวม)

การทดสอบ	N	$\bar{X}$	S.D.	t	p
ก่อนเรียน	30	18.93	1.17	29.912	.000
หลังเรียน	30	24.80	1.13		

จากตาราง 49 ผลการสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ สรุปได้ว่า ผลการทดสอบคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนบทปฏิบัติการมีความแตกต่างกัน และผลการทดสอบหลังเรียนมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าการทดสอบก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าบทปฏิบัติการมีประสิทธิภาพ

ตาราง 50 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของการทำแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียน (แยกเป็นรายด้าน)

แบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์	จำนวน N	ก่อนเรียน $\bar{X}$ S.D.	หลังเรียน $\bar{X}$ S.D.	t	p
1. ด้านความละเอียดรอบคอบ (9 คะแนน)	30	7.87 .43	8.43 .50	6.158	.000
2. ด้านความพากเพียรพยายาม (9 คะแนน)	30	8.30 .53	8.77 .43	5.037	.000
3. ด้านความมีเหตุผล (12 คะแนน)	30	10.30 .60	10.87 .43	5.461	.000
4. ด้านความมีใจกว้าง (12 คะแนน)	30	10.17 .83	10.70 .70	4.646	.000
5. ด้านความสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่น (9 คะแนน)	30	7.97 .49	8.47 .51	5.385	.000
6. ด้านความซื่อสัตย์ (12 คะแนน)	30	8.50 .94	9.60 .93	6.528	.000
7. ด้านความอยากรู้อยากเห็น (9 คะแนน)	30	8.07 .74	8.60 .62	4.646	.000

จากตาราง 50 ผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของการทำแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียน (แยกเป็นรายด้าน) มีความแตกต่างกัน และผลการทดสอบหลังเรียนมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าการทดสอบก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าบทปฏิบัติการมีประสิทธิภาพ

ตาราง 51 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการ
ทำแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียน (โดยภาพรวม)

การทดสอบ	N	$\bar{X}$	S.D.	t	p
ก่อนเรียน	30	61.10	2.35	12.593	.000
หลังเรียน	30	65.37	1.83		

จากตาราง 51 ผลการสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ สรุปได้ว่า ผลการทดสอบ
คะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนบพบปฏิบัติการมีความแตกต่างกัน และผลการทดสอบหลัง
เรียนมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าการทดสอบก่อนเรียน แสดงว่าบพบปฏิบัติการมีประสิทธิภาพ

จากตาราง 48, 49, 50 และ 51 แสดงว่าบพบปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นทำให้ผลการเรียน
ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและเจตคติทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น ตาม
สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้าข้อ 2 ที่กำหนดไว้

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสีในผัก สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ของสถาบันราชภัฏ โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นการวิจัยเชิงทดลองทางวิทยาศาสตร์เพื่อนำมาสร้างบทปฏิบัติการสำหรับนักศึกษาแล้วนำไปทดลองใช้กับนักศึกษาซึ่งเป็นการวิจัยเชิงทดลองทางศึกษาศาสตร์ การวิจัยดังกล่าวมีสาระสำคัญและผลการศึกษาค้นคว้าได้ดังนี้

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อหาสารย่อยสลายที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายผักตัวอย่างสำหรับนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี
2. เพื่อใช้สารย่อยสลายที่เหมาะสมเตรียมสารละลายผักตัวอย่างไปสร้างเป็นบทปฏิบัติการ เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักต่างๆ สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ของสถาบันราชภัฏ
3. เพื่อศึกษาผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ได้แก่ ทักษะการตั้งสมมติฐาน ทักษะการทดลอง ทักษะการตีความหมายและลงข้อสรุป ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ของนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ของสถาบันราชภัฏโดยใช้บทปฏิบัติการที่สร้างขึ้น
4. เพื่อศึกษาผลการเรียนรู้ด้านเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ความละเอียดรอบคอบ ความพากเพียรพยายาม ความมีเหตุผล ความมีใจกว้าง ความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น ความซื่อสัตย์ และความอยากรู้อยากเห็นของนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ของสถาบันราชภัฏจากการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการที่สร้างขึ้น

สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้า

1. องค์ประกอบด้านจุดประสงค์ กิจกรรมการเรียนการสอน เนื้อหา สื่อการเรียน การสอนและการประเมินผล ของบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมเรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักต่างๆ สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ของสถาบันราชภัฏ แต่ละบทมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ 80/80

2. นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏที่เรียนวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมด้วยบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นมีผลการเรียนด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและเจตคติทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น

วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มี 3 ขั้นตอน

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ในขั้นตอนนี้กระทำโดยใช้อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมีในห้องปฏิบัติการตามขั้นตอนการทดลองที่ได้ศึกษาค้นคว้า เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แมงกานีสและสังกะสี ในผักกาดเขียววางตุ้ง ผักบุ้งและผักคะน้าตามลำดับ ซึ่งการเตรียมสารละลายผักตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักดังกล่าวได้ใช้วิธีของ AOAC กับวิธีของผู้วิจัยซึ่งใช้สารย่อยสลายผสม HNO_3 เข้มข้น + H_2O_2 35% โดยปริมาตรในอัตราส่วน $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2 = 1:1, 1:2, 1:3$ และ 2:1 โดยปริมาตร

ตอนที่ 2 พัฒนบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อมจากผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ในขั้นตอนนี้กระทำโดยนำผลการทดลองในห้องปฏิบัติการมาเขียนเป็นบทปฏิบัติการสำหรับนักศึกษา จำนวน 3 บทปฏิบัติการ โดยใช้เนื้อหาในวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม รหัส 4023709 เฉพาะหัวข้อ การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในพืชเพื่อให้นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต ของสถาบันราชภัฏใช้ในการเรียนวิชา ปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในพืช

บทปฏิบัติทั้ง 3 บทปฏิบัติมีดังนี้

บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียววางตุ้ง

โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสในผักบุ้ง

โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีในผักคะน้า

โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

ตอนที่ 3 นำบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอนกับกลุ่มทดลอง

ในขั้นตอนนี้กระทำโดยนำบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อมที่พัฒนาขึ้นทั้ง 3 บทปฏิบัติการไปทดลองสอนกับนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต ของสถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาลัยการณในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี โปรแกรมเคมี ชั้นปีที่ 3 โดยทำ

ชั้นปีที่ 3 โดยทำการเปรียบเทียบผลการเรียนด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการและเจตคติทางวิทยาศาสตร์ก่อนการสอนกับหลังการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลมี 3 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คำนวณค่าร้อยละการพบและร้อยละค่าผิดพลาด

ตอนที่ 2 พัฒนบทปฏิบัติการจากผลการทดลอง คำนวณค่าสถิติพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่า IOC ของบทปฏิบัติการ

ตอนที่ 3 นำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน โดยทดสอบก่อนและหลังใช้บทปฏิบัติการแล้วนำผลการสอบด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการและแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องมาหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น รวมทั้งเปรียบเทียบผลการเรียนของนักศึกษา ก่อนและหลังการใช้บทปฏิบัติการ

ผลการศึกษาค้นคว้า

ผลการศึกษาค้นคว้าแต่ละตอน สรุปได้ดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

1. การเตรียมสารละลายผักตัวอย่างโดยวิธี AOAC

1.1 เตรียมสารละลายผักกาดเขียวกวาดตั้งเพื่อวิเคราะห์หาร้อยละการพบตะกั่ว และร้อยละค่าผิดพลาด จากการทดลองได้ค่าร้อยละการพบตะกั่ว = 101.89 และ ร้อยละค่าผิดพลาด = -1.89

1.2 เตรียมสารละลายผักบุ้งเพื่อวิเคราะห์หาร้อยละการพบแมงกานีสและร้อยละค่าผิดพลาด จากการทดลองได้ค่าร้อยละการพบแมงกานีส = 94.35 และ ร้อยละค่าผิดพลาด = 5.65

1.3 เตรียมสารละลายผักคะน้าเพื่อวิเคราะห์หาร้อยละการพบสังกะสีและร้อยละค่าผิดพลาด จากการทดลองได้ค่าร้อยละการพบสังกะสี = 94.43 และ ร้อยละค่าผิดพลาด = 5.57

2. การเตรียมสารละลายผักตัวอย่างโดยวิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 2:1 โดยปริมาตร

2.1 เตรียมสารละลายผักกาดเขียวกวาดตั้งเพื่อวิเคราะห์หาร้อยละการพบตะกั่ว และร้อยละค่าผิดพลาด โดยทำตามขั้นตอนดังนี้

2.1.1 ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ได้ร้อยละการพบตะกั่วเท่ากับ 102.83 และร้อยละค่าผิดพลาดเท่ากับ -2.83

2.1.2 ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ได้ร้อยละการพบตะกั่วเท่ากับ 103.22 และร้อยละค่าผิดพลาดเท่ากับ -3.27

2.1.3 ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร ได้ร้อยละการพบตะกั่วเท่ากับ 101.89 และร้อยละค่าผิดพลาดเท่ากับ -1.89

2.1.4 ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ได้ร้อยละการพบตะกั่วเท่ากับ 96.88 และร้อยละค่าผิดพลาดเท่ากับ -3.12

จะเห็นว่าในการย่อยสลายผักกาดเขียวทางตั้งเพื่อวิเคราะห์หาร้อยละการพบตะกั่วโดยใช้การย่อยสลายแบบ AOAC ได้ร้อยละการพบตะกั่วเท่ากับ 101.89 เมื่อใช้วิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 2:1 โดยปริมาตร ได้ร้อยละการพบตะกั่วตามลำดับดังนี้ 102.83, 103.22, 101.89 และ 96.88 ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วน 1:2 ไปใช้เป็นสารย่อยสลายในบทปฏิบัติการเคมีที่พัฒนาขึ้นเพราะได้ร้อยละการพบตะกั่วสูงสุด และสูงกว่าวิธี AOAC ด้วย

2.2 การเตรียมสารละลายผักบุงเพื่อวิเคราะห์หาร้อยละการพบแมงกานีสและร้อยละค่าผิดพลาด โดยทำตามขั้นตอนดังนี้

2.2.1 ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ได้ร้อยละการพบแมงกานีสเท่ากับ 102.15 และร้อยละค่าผิดพลาดเท่ากับ -10.76

2.2.2 ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ได้ร้อยละการพบแมงกานีสเท่ากับ 103.45 และร้อยละค่าผิดพลาดเท่ากับ -3.45

2.2.3 ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร ได้ร้อยละการพบแมงกานีสเท่ากับ 97.28 และร้อยละค่าผิดพลาดเท่ากับ -2.72

2.2.4 ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ได้ร้อยละการพบแมงกานีสเท่ากับ 99.66 และร้อยละค่าผิดพลาดเท่ากับ 0.34

จะเห็นว่าในการย่อยสลายผักบุงเพื่อวิเคราะห์หาร้อยละการพบแมงกานีสโดยใช้การย่อยสลายแบบ AOAC ได้ร้อยละการพบแมงกานีสเท่ากับ 94.35 เมื่อใช้วิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้ โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 2:1 โดยปริมาตร ได้ร้อยละการพบแมงกานีสตามลำดับดังนี้ 102.15, 103.45, 97.28 และ 99.66 ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วน 1:2 ไปใช้เป็นสารย่อยสลายในบทปฏิบัติการเคมีที่พัฒนาขึ้นเพราะได้ ร้อยละการพบแมงกานีสสูงสุด และสูงกว่าวิธี AOAC ด้วย

2.3 การเตรียมสารละลายผักคะน้าเพื่อวิเคราะห์หาร้อยละการพบสังกะสีและร้อยละค่าผิดพลาด โดยทำตามขั้นตอนดังนี้

2.3.1 ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ได้ร้อยละการพบสังกะสีเท่ากับ 100.85 และร้อยละค่าผิดพลาดเท่ากับ -0.85

2.3.2 ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ได้ร้อยละการพบสังกะสีเท่ากับ 100.92 และร้อยละค่าผิดพลาดเท่ากับ -0.92

2.3.3 ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร ได้ร้อยละการพบสังกะสีเท่ากับ 91.75 และร้อยละค่าผิดพลาดเท่ากับ 8.21

2.3.4 ใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ได้ร้อยละการพบสังกะสีเท่ากับ 96.11 และร้อยละค่าผิดพลาดเท่ากับ 3.89

จะเห็นว่าในการย่อยสลายผักคะน้าเพื่อวิเคราะห์หาร้อยละการพบสังกะสีโดยใช้การย่อยสลายแบบ AOAC ได้ร้อยละการพบสังกะสีเท่ากับ 94.43 เมื่อใช้วิธีที่ผู้วิจัยนำมาใช้โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 2:1 โดยปริมาตร ได้ %recovery ตามลำดับดังนี้ 100.85, 100.92, 91.79 และ 96.11 ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วน 1:2 ไปใช้เป็นสารย่อยสลายในบทปฏิบัติการเคมีที่พัฒนาขึ้นเพราะได้ร้อยละการพบสังกะสีสูงสุดและสูงกว่าวิธี AOAC ด้วย

3. การหาความแม่นยำ

นำสารละลายผักตัวอย่างที่ย่อยสลายด้วยสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม ไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายโลหะไอออนมาตรฐานแต่ละชนิด หาค่าความเข้มข้นของสารละลายโลหะไอออน หาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และหาร้อยละค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

3.1 การหาความแม่นยำของการวิเคราะห์ตะกั่วในผักกาดเขียววางตุ้ง ได้ปริมาณตะกั่ว 7.87 $\mu\text{g/g}$ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.432 และร้อยละค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 5.489

3.2 การหาความแม่นยำของการวิเคราะห์แมงกานีสในผักบุ้ง ได้ปริมาณแมงกานีส 12.97 $\mu\text{g/g}$ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.366 และร้อยละค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 3.327

3.3 การหาความแม่นยำของการวิเคราะห์สังกะสีในผักคะน้า ได้ปริมาณสังกะสี 20.495 $\mu\text{g/g}$ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.373 และร้อยละค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 1.820

จะเห็นว่าการวิเคราะห์โลหะในผักตัวอย่างมีความแม่นยำสูง โดยดูจากค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานและร้อยละค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ การวิเคราะห์ตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสี มีร้อยละค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 5.489, 3.327 และ 1.820 ตามลำดับ

ตอนที่ 2 การพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม

ผู้วิจัยได้นำผลการวิจัยที่ได้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์พัฒนาเป็นบทปฏิบัติการวิชา ปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักต่าง ๆ สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ของสถาบันราชภัฏ จำนวน 3 บทปฏิบัติการดังนี้

บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียวหวานดั่ง

โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสในผักบุ้ง

โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีในผักคะน้า

โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

ในแต่ละบทปฏิบัติการประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้)

ส่วนที่ 2 บทปฏิบัติการ ประกอบด้วย

- 1) วัตถุประสงค์
- 2) หลักการ/ทฤษฎี
- 3) อุปกรณ์/เครื่องมือ
- 4) สารเคมี
- 5) วิธีการทดลอง

ส่วนที่ 3 รายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง

ผู้วิจัยนำบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมทั้ง 3 บทปฏิบัติการไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเคมีและวิทยาศาสตร์ศึกษาจำนวน 7 ท่านประเมินโดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อส่วนต่างๆของบทปฏิบัติการได้ค่า IOC สูงกว่า 0.5 จึงสรุปได้ว่า บทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมทั้ง 3 บทปฏิบัติการมีประสิทธิภาพ สามารถนำไปใช้ประกอบการสอนได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้เป็นอย่างดี

ตอนที่ 3 นำบทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการนำบทปฏิบัติการ วิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมทั้ง 3 บทปฏิบัติการไปทดลองสอนเพื่อหาประสิทธิภาพ ปรากฏว่า บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ คือ 87.76/86.73 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 และเมื่อนักศึกษาได้เรียนวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมทั้ง 3 บทปฏิบัติการแล้วมีผลการเรียนด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและเจตคติทางวิทยาศาสตร์สูงกว่า

ก่อนการเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อมทั้ง 3 บทปฏิบัติการ ซึ่งเป็นไปตาม สมมติฐานที่ตั้งไว้

อภิปรายผลการศึกษาค้นคว้า

ผู้วิจัยขอเสนอการอภิปรายเป็น 3 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

จากการทดลองวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสี ในผักกาดเขียวหวานตั้ง ผักบุ้ง และผักคะน้าตามลำดับ โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี สามารถ อธิบายผลได้ดังนี้

1.1 การย่อยสลายผักตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสีในผักกาดเขียวหวานตั้ง ผักบุ้ง และผักคะน้าตามลำดับ โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี ต้องทำการย่อย สลายผักตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดก่อนทำการทดลอง ทั้งนี้เพื่อเพิ่ม Sensitivity ทำให้สะดวกต่อการนำ ไปวิเคราะห์ เช่น สามารถทำให้เจือจางได้ง่าย ปรับสภาวะของการทดลองให้เหมาะสมได้ง่าย การย่อยสลายที่ผู้วิจัยใช้เป็นการย่อยสลายวิธี Wet digestion ดังนั้นจะต้องใช้สารย่อยสลาย (Oxidant) ย่อยสลายผักตัวอย่าง การย่อยสลายผักตัวอย่างจะทำการ Predigest ทั้งไว้ 1 คืน เพราะจะช่วยให้สารอินทรีย์บางส่วนถูกย่อยสลาย ทำให้ลดความรุนแรงของปฏิกิริยาระหว่างสาร อินทรีย์กับสารย่อยสลาย การย่อยสลายใช้ความร้อนช่วยและจะต้องใช้ความร้อนที่อยู่ในช่วง อุณหภูมิที่เหมาะสม ในที่นี้ใช้ช่วงอุณหภูมิ 75-80 °C

1.2 การเลือกสารเคมีที่เป็นสารย่อยสลายที่เหมาะสมในการย่อยสลายผักตัวอย่าง

การย่อยสลายผักตัวอย่างก่อนวิเคราะห์โลหะไอออนต่างๆโดยวิธี AAS ผู้วิจัยใช้ สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ ในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3, และ 2:1 โดยปริมาตร แล้วเลือก อัตราส่วนที่สามารถทำลายสารอินทรีย์ในผักตัวอย่างได้อย่างสมบูรณ์ที่สุดโดยดูค่าร้อยละการ พบโลหะไอออนที่เติมลงไปในการตัวอย่าง การที่ใช้สารย่อยผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ เป็นสารย่อยสลาย ผักตัวอย่างเพราะว่าทั้ง HNO_3 และ H_2O_2 เป็นสารที่เมื่อให้ความร้อนขณะทำการย่อยสลายเมื่อ สลายตัวจะให้ก๊าซที่ระเหยง่าย โอกาสที่ HNO_3 และ H_2O_2 จะตกค้างในสารละลายตัวอย่างจะมี น้อยมาก นอกจากนี้ H_2O_2 จะช่วยในการย่อยสลายโดยที่ไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูง จากการทดลอง ใช้สารผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ ในอัตราส่วนต่างๆโดยปริมาตร พบว่า อัตราส่วน $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2 = 1:2$ โดยปริมาตร เป็นอัตราส่วนที่ใช้สารย่อยสลายที่เหมาะสมสำหรับย่อยสลายผักกาดเขียวหวานตั้ง ผักบุ้ง และผักคะน้า เมื่อวิเคราะห์หาตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสีตามลำดับ เพราะเป็นอัตรา ส่วนที่ทำให้ค่าร้อยละการพบสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการค้นคว้าแบบอิสระเชิงวิทยา นิพนธ์ของกุลศ หอมระรื่น (2527) ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีใน

กัญชาโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี นอกจากนี้ เรณูมาศ จันทนะ (2530) ก็ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว โปรท แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และแมงกานีสในผักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี พบว่าอัตราส่วนของ $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2 = 1:2$ โดยปริมาตรเป็นอัตราส่วนที่ทำให้ร้อยละการพบสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ เช่นเดียวกับการค้นพบของธีระ เอ็งตระกูล (2526) และบุญกล้า พรหมบุรี (2529)

1.3 การหาความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสีในผักกาดเขียวกวางตุ้ง ผักบุ้ง และผักคะน้าตามลำดับโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

ความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ที่ได้จากค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และร้อยละค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%R.S.D.) โดยคำนวณจากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำกัน 11 ครั้ง ได้ผลดังนี้

การวิเคราะห์ตะกั่วในผักกาดเขียวกวางตุ้งได้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.432 และร้อยละค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ = 5.489 แมงกานีสในผักบุ้งได้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.366 และร้อยละค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ = 3.327 และสังกะสีในผักคะน้าได้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.373 และร้อยละค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ = 1.820 จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสี ในผักกาดเขียวกวางตุ้ง ผักบุ้ง และผักคะน้าตามลำดับมีความแม่นยำสูง โดยดูจากค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานและร้อยละค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์โดยวิธีนี้เหมาะสมที่จะใช้หาปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสีในผักตัวอย่าง

1.4 การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสี ในผักกาดเขียวกวางตุ้ง ผักบุ้ง และผักคะน้าตามลำดับโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

ใช้ผักตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวมาทำการย่อยด้วยสาร $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วนผสม 1:2 โดยปริมาตร โดยซึ่งผักตัวอย่างที่แห้งและละเอียดมาอย่างละ 1.00 กรัมย่อยสลายผักตัวอย่างแต่ละชนิดจนได้สารละลายใส นำสารละลายผักกาดเขียวกวางตุ้ง ผักบุ้ง และผักคะน้าไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสี โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรีที่ความยาวคลื่น 217.0, 279.5 และ 213.9 นาโนเมตรตามลำดับ ได้ปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียวกวางตุ้ง 7.87 $\mu\text{g/g}$ ปริมาณแมงกานีสในผักบุ้ง 12.97 $\mu\text{g/g}$ และปริมาณสังกะสีในผักคะน้า 20.495 $\mu\text{g/g}$ ซึ่งปริมาณตะกั่วอยู่ในระดับมากกว่าปกติที่พบในพืช สังกะสีมีปริมาณอยู่ในระดับปกติที่พบในพืช ดังตาราง 52 และยังอยู่ในระดับต่ำกว่าที่ร่างกายจะทนได้ดังตาราง 53

ตาราง 52 ปริมาณของธาตุโลหะบางตัวที่มีอยู่ในดิน พืช และน้ำธรรมชาติ

ชนิดโลหะ	ดิน ($\mu\text{g/g}$)	พืช ($\mu\text{g/g}$)	น้ำธรรมชาติ ($\mu\text{g/g}$)
ตะกั่ว	2-20	0.05-3	2-20
สังกะสี	1-40	15-100	5-500
แมงกานีส*	-	-	-

ที่มา: Casarett, L.J. and Doull, J. (1975). *The Basic Science of Poison*. New York : Macmillan.

ตาราง 53 ปริมาณโลหะต่างๆในร่างกายเท่าที่จะทนได้โดยไม่เกิดอันตราย

ชนิดโลหะ	ระดับที่ร่างกายจะทนได้ (mg/70 kg)
ตะกั่ว	120
สังกะสี	23,000
แมงกานีส	20

ที่มา: Casarett, L.J. and Doull, J. (1975). *The Basic Science of Poison*. New York : Macmillan.

ตอนที่ 2 การพัฒนาบทปฏิบัติการจากผลการทดลองที่ได้จากตอนที่ 1

ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองที่ได้จากตอนที่ 1 มาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการ 3 บทปฏิบัติการ ในแต่ละบทปฏิบัติการประกอบไปด้วย 3 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้) ส่วนที่ 2 เป็นบทปฏิบัติการซึ่งประกอบด้วยวัตถุประสงค์ ทฤษฎี/หลักการ อุปกรณ์/เครื่องมือ สารเคมี และวิธีการทดลอง ส่วนที่ 3 เป็นการรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง นำบทปฏิบัติการทั้ง 3 บทปฏิบัติการไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเคมีและวิทยาศาสตร์ศึกษาจำนวน 7 ท่านประเมินโดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏว่า แต่ละส่วนของบทปฏิบัติการมีความสอดคล้องกันในระดับมาก ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ เนื่องมาจากเหตุผลดังต่อไปนี้

* แมงกานีส ไม่ได้รายงานไว้

ประการแรก บทปฏิบัติการเรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี ที่พัฒนาขึ้นทั้ง 3 บทปฏิบัติการได้พัฒนามาจากพื้นฐานการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งคำนึงถึงความเหมาะสมในการทดลอง สารเคมี ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ความเหมาะสมกับระดับชั้นที่ใช้ในการเรียนการสอน นอกจากนี้ผักตัวอย่างที่ใช้นั้นมีความเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของคนเรามาก ดังนั้นหากได้รู้ในผักเหล่านั้นมีปริมาณโลหะหนักมากน้อยเพียงใดก็จะหาทางหลีกเลี่ยงหรือป้องกันการได้รับโลหะหนักที่มากเกินไป

ประการที่สอง บทปฏิบัติการนี้เป็นบทปฏิบัติการที่นักศึกษาได้ทำการทดลองด้วยตนเอง ซึ่งการทดลองถือว่าเป็นหัวใจของการเรียนวิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้ เพราะจะเป็นแกนนำไปสู่การฝึกผู้เรียนในแง่ทักษะกระบวนการต่างๆทางวิทยาศาสตร์ (ทบทวนมหาวิทยาลัย. 2525 : 116) การที่นักศึกษาได้ทำการทดลองด้วยตนเองทำให้นักศึกษาได้ฝึกทักษะปฏิบัติและใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอรอุมาละมุล (2541 : 123) ที่ได้พัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก ที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ซึ่งผลการวิจัยพบว่า คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมีค่าสูง

ประการที่สาม ในแต่ละส่วนของบทปฏิบัติการจะส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการเรียนรู้ของผู้เรียนดังนี้ ส่วนที่เป็นเอกสารประกอบบทปฏิบัติการจะช่วยให้ผู้เรียนมีความรู้ในรายละเอียดของเรื่องที่ทำทดลอง สำหรับส่วนที่ 2 นั้นจะช่วยผู้เรียนใช้เป็นแนวทางในการทดลองซึ่งการทดลองเป็นการทดสอบหรือยืนยันข้อเท็จจริง ส่งผลทำให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาที่ถูกต้อง นอกจากนี้ยังเป็นส่งเสริมสมรรถภาพความคิดของผู้เรียน การสอนวิทยาศาสตร์แบบทดลองเป็นการสอนเพื่อจัดประสบการณ์ในการทดลองให้กับผู้เรียน โดยมีวัตถุประสงค์ให้ผู้เรียนรู้จักคิด ค้นคว้า และทำงานตามขั้นตอนของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (สมสุข ธีระพิจิตร. 2526 : 23-24) การให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ด้วยการปฏิบัติการทดลองเป็นการสร้างความเชื่อมั่น และความภาคภูมิใจให้กับผู้เรียนที่จะค้นคว้าหาความรู้ด้วยการทดลองให้เห็นจริงด้วยตนเองมากขึ้น ส่วนที่ 3 ของบทปฏิบัติการเป็นการรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง การใช้คำถามช่วยให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนการสอน การถามช่วยให้มีการค้นคว้าหาความรู้ใหม่ๆเพิ่มเติม เป็นการปลูกนิสัยรักการค้นคว้าซึ่งสอดคล้องกับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน (จันทร์เพ็ญ เชื้อพานิช. 2536 : 310) จากผลที่กล่าวมาทั้ง 3 ส่วนของบทปฏิบัติการนั้นสรุปได้ว่า การสอนโดยใช้บทปฏิบัติการเป็นการช่วยให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ ได้พบและได้แก้ปัญหา ค้นพบความรู้ทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง (วราภรณ์ ชัยโอภาส. 2515 : 51) ผู้เรียนที่ได้ลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองจะเป็นการเรียนรู้ที่ผ่านประสาทสัมผัสหลายๆด้าน

โดยตรง ซึ่งทำให้ผู้เรียนสามารถค้นพบหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้ด้วยตนเอง ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริงและจดจำได้นาน (ภพ เลหาไพบูลย์. 2537 : 140)

จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้บทปฏิบัติการวิชาปฏิบัติการเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี แต่ละส่วนมีความสอดคล้องกันในระดับมาก สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอนเพื่อหาประสิทธิภาพปรากฏว่า บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้คือ $87.76 / 86.73$ ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ในข้อที่ 1 และบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นทำให้ผู้เรียนมีผลการเรียนด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการด้านต่าง ๆ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ด้านต่าง ๆ สูงขึ้น ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานในข้อที่ 2 เนื่องจากเหตุผลดังนี้

ประการแรก ผู้เรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นได้ใช้อุปกรณ์การทดลองอย่างถูกต้องเหมาะสม ทำให้การทดลองดำเนินไปด้วยดีและรวดเร็ว และนอกจากนี้ยังทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะและมีใจรักวิทยาศาสตร์ ใครที่จะเรียนรู้ให้รู้ยิ่งขึ้นไปอีก (ปรีชา อมาตยกุล. 2528 : 38) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของคลาก (Klag. 1990: 1989-A) ได้ศึกษาผลของการฝึกการใช้วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่มีผลต่อเจตคติและความชำนาญในการทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์ไปใช้ประโยชน์ พบว่า ครูฝึกสอนที่ได้รับการสอนโดยฝึกใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวิทยาศาสตร์มีความชำนาญในการทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่จะนำไปใช้ประโยชน์นั้นเพิ่มมากขึ้นและมีคุณภาพในการปฏิบัติในห้องเรียนสูง

ประการที่สอง ผู้เรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น ได้ฝึกทักษะการทดลอง ซึ่งทำให้ผู้เรียนได้ฝึกคิดและปฏิบัติการทดลองบันทึกผลการทดลองและสรุปผลการทดลองจากการที่นักเรียนได้ดำเนินการปฏิบัติการทดลองเองทั้งหมดในบทปฏิบัติการ ทำให้ผู้เรียนได้รับทั้งเนื้อหาที่เป็นความรู้และทักษะปฏิบัติการทดลอง อันก่อให้เกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงขึ้นตามมาด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเกเบิลและรับบ้า (Gable and Rubba. 1977 : 503-511) ได้ศึกษาพบว่า นักศึกษาครูที่ได้รับการฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการเพิ่มเติมจะมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงกว่านักศึกษาครูที่ไม่ได้รับการฝึกเพิ่มเติม

ประการที่สาม ผู้เรียนที่เรียนโดยใช้บทปฏิบัติการนั้นจะมีความกระตือรือร้นต่อการเรียนเพราะได้ลงมือทำเองได้พบสิ่งใหม่ที่เกิดขึ้นได้รู้จักแก้ปัญหาเฉพาะหน้า ด้วยเหตุนี้ผู้เรียนจึงมีโอกาสพัฒนาส่วนของความคิด ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้มากขึ้น และก่อให้เกิดเจตคติทางวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น

จากเหตุผลดังกล่าวทำให้คณะนักวิชาการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์มีค่าสูงและส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ 80/80

ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

1.1 ในการย่อยสลายผักกาดเขียววางตั้งเพื่อวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว ย่อยสลาย ผักบุ้งเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีส และย่อยสลายผักคะน้าเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี ควรใช้สารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ ในอัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตรเพราะจะได้ %recovery ของโลหะต่างๆสูงสุด

1.2 ก่อนให้นักศึกษาปฏิบัติการทดลอง ผู้สอนควรมีการทบทวนความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยวิธี AAS การใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัย

2.1 ควรทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในสัตว์ น้ำ อากาศ และในดิน โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรีเพื่อที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2.2 บทปฏิบัติการทั้ง 3 บทปฏิบัติการนี้ ใช้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาปฏิบัติการเคมี สภาวะแวดล้อม เฉพาะการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในพืชเท่านั้น ดังนั้น ในหัวข้ออื่นผู้สอนควรให้ผู้เรียนได้ปฏิบัติจนครบทุกเรื่อง

2.3 การวัดผลการเรียนรู้ในที่นี้ผู้วิจัยได้ใช้แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการและแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น ดังนั้นผู้สอนควรวัดการเรียนรู้ด้านอื่นๆอีก เช่น วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เจตคติต่อวิชาวิทยาศาสตร์ เป็นต้น

2.4 คำถามท้ายการทดลองนั้น ผู้สอนควรสร้างขึ้นมามาก ถ้ามารู้ให้หลากหลายตามความเหมาะสม

2.5 ในการวิเคราะห์โลหะหนักจากผักตัวอย่างนั้นอาจใช้ผักอื่นๆที่มีในท้องถิ่นให้หลากหลาย ผักชนิดเดียวกันอาจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักเปรียบเทียบกันในส่วนที่เป็นลำต้น ใบ ดอก หรือผักที่ปลูกบริเวณใกล้โรงงานอุตสาหกรรมเปรียบเทียบกับผักที่ปลูกนอกเขตอุตสาหกรรม

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กมล ชูสมัย. (2528). การศึกษาผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้การทดลองแบบแนะแนวทางกับการทดลองแบบไม่แนะแนวทาง. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา).
กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- กัญญา ทองมัน. (2534). การศึกษาผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่ได้รับการสอนแบบไม่กำหนดแนวทางและแบบกำหนดแนวทาง. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- กิ่งฟ้า สินธุวงศ์ และคณะ. (2525). รายงานการวิจัยเรื่องทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษา. ขอนแก่น : คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- กุศล หอมระรื่น. (2527). การหาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีในกัญชา โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี (AAS). วิทยานิพนธ์ วท.ม. (การสอนเคมี).
เชียงใหม่ : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ถ่ายเอกสาร.
- คณะอนุกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์. (2525). ชุดเสริมประสบการณ์สำหรับครูวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ : ทบวงมหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- จันทร์เพ็ญ เชื้อพานิช. (2536). ประมวลบทความหลักสูตร : สารร่วมสมัย. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จรรยา สวัสดิ์ถาวร. (2520). ความสัมพันธ์ระหว่างเจตคติทางวิทยาศาสตร์กับผลสัมฤทธิ์ของการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. วิทยานิพนธ์ ค.ม. (มัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- จำแลง เชื้อภักดี. (2538, มกราคม-มิถุนายน). "การจัดการเรียนการสอนที่ช่วยให้เกิดโครงงานวิทยาศาสตร์," ครูวิทยาศาสตร์. 3(1) : 23.
- ใจทิพย์ เชื้อรัตนพงษ์. (2539). การพัฒนาหลักสูตร : หลักการและแนวปฏิบัติ. กรุงเทพฯ : อลีนเพรส.
- โชติ เพชรชิน. (2526, กันยายน-ธันวาคม). "แบบทดสอบสถานการณ์," การวัดผลการศึกษา. 2 : 7-16.
- ญาณิ ทองทับ. (2536). การศึกษากระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ในโรงเรียนสังกัดกรุงเทพมหานคร. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

- ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์. (2524). รายงานการวิจัยเรื่องจริยธรรมและเจตคติทางวิทยาศาสตร์
ของนิสิตวิทยาศาสตร์ศึกษา. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พิษณุโลก.
- ดัชนี ศรีรุ่งเรือง. (2530). การศึกษาความผันแปรของลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักบุ้ง 25
จังหวัด. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ : คณะวิทยา
ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- ทพวงมหาวิทยาลัย. (2525). ชุดการเรียนการสอนสำหรับครูวิทยาศาสตร์ เล่ม 1. กรุงเทพฯ :
ทพวงฯ.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์. (2520). แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. กรุงเทพฯ :
ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทวีศักดิ์ บุญโชติมงคล และคณะ. (2531, ตุลาคม-ธันวาคม). "โลหะหนักในอาหารไทย,"
โภชนาสาร. 22(4) : 383-384.
- เทียนชัย ภาณุสิทธิกร. (2535, กันยายน). "ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นประสบ
การณ์ที่สำคัญต่อการเรียนรู้," วิทยาศาสตร์. 5(ฉบับพิเศษ) : 10-11.
- ธีระ เอ่งตระกูล. (2526). การวิเคราะห์ตะกั่วในบุหรี่ปั่นบ้านบางชนิดในประเทศไทย โดยวิธี
อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (การสอนเคมี).
เชียงใหม่ : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ถ่ายเอกสาร.
- ธีรภูมิ พัทธ์ษณ. (2527). การศึกษาวิธีการและปัญหาเกี่ยวกับการวัดผลและประเมินผลวิชา
วิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นของครูวิทยาศาสตร์โรงเรียนรัฐบาลสังกัดกรม
สามัญศึกษาในเขตการศึกษา 9 ปีการศึกษา 2526. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม.
(การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
ถ่ายเอกสาร
- บุญกล้า พรหมบุรี. (2529). การวิเคราะห์หาปริมาณ แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสีในข้าวสาร
โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (การสอน
เคมี). เชียงใหม่ : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ถ่ายเอกสาร.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2528). พัฒนาหลักสูตรและการสอน. มหาสารคาม : คณะศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม.
- บุษยาณี ปุชิตการ. (2533). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการ
การแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการสอนโดย
ใช้แบบฝึกการตั้งสมมติฐานและออกแบบการทดลองกับการสอนตามคู่มือครู.
ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

- ประดิษฐ์ มีสุข และสัญญา เบญจกุล. (2539). การหาปริมาณสารหนูและโลหะหนักในผลิตภัณฑ์จากทะเลสาบสงขลา โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี. สงขลา : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาคใต้.
- ประวิตร ชูศิลป์. (2524). หลักการประเมินผลวิชาวิทยาศาสตร์แผนใหม่. กรุงเทพฯ : หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู.
- ปรีชา ธรฤทธิ์. (2529). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่เรียนจากการสอนแบบสาธิตที่เสริมด้วยแบบฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์กับการสอนตามคู่มือครูของ สสวท. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ปรีชา อมาตยกุล. (2528, มีนาคม). "สอนวิทยาศาสตร์ด้วยการสร้างบรรยากาศทางวิทยาศาสตร์," สุวีริยาสาส์น. 38 : 5-10.
- เปรมจิตร บุญสาย. (2541). การพัฒนาหลักสูตรวิชาชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่องพื้นฐานทางเทคโนโลยีชีวภาพที่เน้นการปฏิบัติการทดลองโดยใช้ประโยชน์จากสารเหลือทิ้ง. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ด. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร. ถ่ายเอกสาร.
- เปรมวดี รักขวลี. (2539). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และค่านิยมทางเทคโนโลยีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการสอนโดยใช้ชุดฝึกกระบวนการทางเทคโนโลยีกับการสอนตามคู่มือครู. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร. ถ่ายเอกสาร.
- ผกามาศ วราสุสันติกุล. (2524). ความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนตามการประเมินของครู. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร. ถ่ายเอกสาร.
- พรพิมล เชวงศักดิ์โสภาคย์. (2533). การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักบุ้งบริเวณคูคลองกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- พรพิมล ม่วงไทย. (2541). คู่มือปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

- พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2538). *วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์*. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- พิมล เรียนวัฒนา และชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. (2525). *เคมีสิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- ภพ เลหาไพบุลย์. (2537). *แนวการสอนวิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.
- เมฆ จันทรประยูร. (2541, ตุลาคม). "ฝึกสวนครัว," *ไทยทรรศน์*. 10 : 119-126.
- ยงยุทธ สายคง. (2527). *การศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์และความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยวิธีการจัดกิจกรรมแบบกำหนดแนวทางและแบบไม่กำหนดแนวทาง*. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร. ถ่ายเอกสาร.
- ยุทธนา สเลลานนท์. (2533). *การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่มีเจตคติต่อวิชาฟิสิกส์เชิงนิมาน เป็นกลาง และเชิงนิเสธที่เรียนด้วยการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้โดยบทเรียนเทปโทรทัศน์ประกอบการเรียน กับการสอนตามคู่มือครู*. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- รัชนี คงกาญจนา และคณะ. (2534, กรกฎาคม-ธันวาคม). "การศึกษาปริมาณทองแดง สังกะสี และเหล็กในผักและผลไม้ไทย," *โภชนาการสาร*. 25(3).
- เรณูมาศ จันทนะ. (2530). *การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วปรอท แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และแมงกานีสในผักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (การสอนเคมี). เชียงใหม่ : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ถ่ายเอกสาร.
- ลัดดาวัลย์ กันหสุวรรณ. (2521, กรกฎาคม). "การพัฒนาการสอนวิทยาศาสตร์กับการพัฒนาของเด็กประถมศึกษา," *วิทยาศาสตร์*. 32 : 27.
- ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. (2536). *เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.
- วราภรณ์ ชัยโอภาส. (2515). *การสังเกตและการวิเคราะห์กระบวนการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์แบบสืบสวนสอบสวนและการสร้างหุ่นการสอน*. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ : วิทยาลัยวิชาการศึกษา ประสานมิตร. ถ่ายเอกสาร.

- วิชัย ดิสสระ. (2533). *การพัฒนาหลักสูตรและการสอน*. กรุงเทพฯ : คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- วินัย วีระพัฒนานนท์. (2537). *สิ่งแวดล้อมและการพัฒนา*. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิริย์ ศวิตชาติ. (2534). *เคมีสภาวะแวดล้อม*. (เอกสารประกอบการสอนวิชาเคมี 479). กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- วิโรจน์ เฉลยสุข. (2541). *การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการสอนแบบปฏิบัติการทดลองกับการสอนปกติ*. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร. ถ่ายเอกสาร.
- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. (2540). *ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เสงี่ยม วิไลวัฒน์. (2527). *การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติทางวิทยาศาสตร์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3*. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2538). "การวัดและการประเมินผลวิชาวิทยาศาสตร์," ใน *เอกสารประกอบการประชุมปฏิบัติการเพื่อเตรียมวิทยากรแกนนำ*. กรุงเทพฯ : กระทรวงศึกษาธิการ สถาบันฯ.
- _____. (2536). *แนวการประเมินผลวิชาวิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ : กระทรวงศึกษาธิการ สถาบันฯ.
- สมสุข ธีระพิจิตร. (2526). "การสอนวิทยาศาสตร์แบบสืบสวนสอบสวนและแบบค้นพบ," ใน *การสอนวิทยาศาสตร์หน่วยที่ 8-15*. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- สุเทวี สุขประการ. (2522). "ผักนึ่ง," *พืชสวน*. 13(4) : 23-26.
- สุนันท์ สังข์อ่อง. (2523, เมษายน) "เจตคติทางวิทยาศาสตร์," *วิทยาศาสตร์*. 34 : 337-345.
- สุภาพ รมณีย์พิกุล. (2539). *เคมีวิเคราะห์*. (เอกสารประกอบการสอนวิชาเคมีวิเคราะห์). พิษณุโลก : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม.
- สุวิทย์ อารีกุล. (2524, มิถุนายน-กันยายน). "พืชของตะกั่ว," *สุขภาพ*. 9(5) : 25-28.
- สุวิมล เขียวแก้ว. (2527). *การสอนวิทยาศาสตร์ทั่วไป*. ปัตตานี : ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2528). *โลหะปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์อาหาร*. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักงานฯ.

- เสาวณี ลิกขาบัณฑิต. (2528). "การเรียนการสอนรายบุคคลแก้ปัญหาการศึกษาอย่างไร," ใน
รวมบทความเทคโนโลยีทางการศึกษา. กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีทางการศึกษา
กรมการศึกษานอกโรงเรียน.
- อรอุมา ละมุน. (2541). การพัฒนาทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุ
ธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมสำหรับ
นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา).
กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- เอนก เพ็ชรอนุกุลบุตร. (2524). การวัดผลและการประเมินผล. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวัดผล
มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- อภิรดี สุวีรานนท์. (2532). การศึกษาผลการฝึกการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ที่มีผลสัมฤทธิ์
ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่
3. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- อารีย์ สุขประเสริฐ. (2520). พิษจากโลหะและวัตถุเจือปนในอาหาร. กรุงเทพฯ : คณะเภสัช
ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุษา คำประกอบ. (2530). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติทางวิทยา
ศาสตร์ด้านความมีเหตุผลของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่เรียนวิชาวิทยาศาสตร์
โดยใช้ชุดการเรียนด้วยตนเองกับการสอนตามคู่มือครู. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม.
(วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
ถ่ายเอกสาร
- Abdulla, M., A.B. and others. (1982). "Elements and Cancer," *Chem. Abstr.* 96(9) :
491.
- Al-Ruwashid, M.S. (1984, November). "The Effects of Lecture Only and Lecture –
Laboratory Approach on Riyadh Junior College, Saudi Arabia Chemistry
Students' Achievement and Attitudes," *Dissertation Abstracts International*.
45 : 1357 A.
- American Association for the Advancement of Science. (1970). *Science A Process
Approach*. New York : Commentary for Teacher AAAS. Xerox.
- Anastasi, A. (1968). *Psychological Testing*. London : Macmillan.
- AOAC. (1984). *Official Methods of Analysis*. Virginia : Association of Official Analytical
Chemists. Inc. 1141p.

- Berman, E. (1980). *Toxic Metals and Their Analysis*. London : Cambridge University Press.
- Billeh, V.Y. and Zarkhariades, G.A. (1975, April-June). "The Development and Application of a Scale for Measuring Scientific Attitude," *Science Education*. 59(2) : 155-156.
- Butzow, D. (1974). *The Teaching of Science : A Self Directed Planning Guide*. New York : Haper & Row.
- Casarett, L.J. and Doull, J. (1975). *The Basic Science of Poison*. New York : Macmillan.
- Fan, C.T. (1952). *Item Analysis Table*. Princeton, New Jersey : Education Testing Service.
- Gable, D.L. and Rubba, P.A. (1977, October-December). "The Effect of Early Teaching and Training on Physic's Achievement, Attitude Towards Science and Science Teaching and Process Skills Proficiency," *Science Education*. 61 : 503-511.
- Gauld, C.F. (1982, January). "The Scientific Attitude and Science Education : A Critical Reappraisal," *Science Education*. 66 : 109-121.
- Herklots, G.A.C. (1972). *Vegetables in Southeast Asia*. Hongkong : South China Morning Post.
- Hofstrin, A. and Lunetta, V.N. (1982, February). "The Roles of the Laboratory in Science Teaching : Neglected Aspect of Research," *Review of Education Research*. 52 : 201-221.
- Jacknicke, K.G. (1975, November). "A Comparison of Teacher and Student Outcomes of Science-A Process Approach and an Alternative Program in School Grade Two Classroom," *Dissertation Abstracts*. 36 : 3040-A.
- John, K.W. (1966, October). "A Comparison of Two Methods of Teaching Eight Grade General Science : Traditional and Structured Problem Solving," *Dissertation Abstracts International*. 27(4) : 994-995A.
- Kahn, P. (1962, March). "An Experimental Study to Determine the Effects of a Selected Procedure for Teaching the Scientific Attitudes to Seventh and Eight Grade Boys Through the Use of Current Events in Science," *Science Education*. 46 : 115-127.

- Klag, W. P. (1990, December). "Effect of Science Materials and Equipment Instruction on Preservice Elementary Teachers' Attitude, Knowledge and Use of Science Equipment," *Dissertation Abstracts International*. 51(6) : 1989-A.
- Knott, J.E. and Deaman, J.R. (1967). *Vegetable Production in Southeast Asia*. Laguna (Philippines) : College of Agriculture, University of the Philippines.
- Kolebas, P. (1972, February). "The Effects on the Intelligence, Reading, Mathematics and Interest in Science - A Process Approach Since First Entering School," *Dissertation Abstracts International*. 32 : 443-A.
- Laskin, S.B. (1980, January). "The Effects of a Decision-Making Program on the Career Maturity of High School Students," *Dissertation Abstracts International*. 40 : 4412-A.
- Lucus, K.B. and Dooley, J.H. (1982, September). "Student Teachers' Attitudes toward Science and Science Teaching," *Research in Science Teaching*. 19(9) : 805-809.
- Mc. Meen, J.L.W. (1983, July). "The Roles of the Chemistry Inquiry Oriented Laboratory Approach in Facilltating Cognitive Growth and Development," *Dissertation Abstracts International*. 44 : 130 A.
- Okebukola, P.A. (1985, July). "Cooperative Learning and Students' Attitudes toward Laboratory Works," *School Science and Mathematics*. 86(7) : 582-589.
- Onodera, S. (1985). *A Case Study on Water Quality Evaluation of Lower Chao Phraya River and Klong (Canals) Along the River*. Bangkok : National Environment Board.
- Reilly, C. (1980). *Mental Contamination of Food*. London : Applied Science.
- Riley, J.P. (1975, February). "The Effects of Science Process Training on Preservice Elementary Teacher's Process Skills Abilities, Understanding of Science, Attitudes Towards Science and Science Teaching," *Dissertation Abstracts International*. 35 : 5153A.
- Ross, J.A. (1988). "Sex-Test Interactions in the Measurement of an Integrated Process Skill," *Research in Science and Technological Education*. 6 : 196-204.
- Satpathy, B. (1964). "A New Addition to Our Greens," *Indian Farming*. 14(8) : 12-16.

- Serlin, C.R. (1977, March). "The Effects of Discovery Laboratory on the Science Process, Problem-Solving and Creative Thinking Ability of Undergraduates," *Dissertation Abstracts International*. 37 : 5729-5730A.
- Shymansky, J.A. and Matthews, C. (1974, February). "A Comparative Laboratory Study of the Effects of Two Teaching Patterns on Certain Aspects of Behavior of Students in Fifth Grade Science," *Research in Science Teaching*. 11 : 157-160.
- Spear, J. and Zollman, D. (1977, January). "The Influences of Structure Versus Unstructured Laboratory on Students' Understanding the Process of Science," *Research in Science Teaching*. 14 : 34-35.
- Stevens, T.J. and Ronald, A.A. (1978, July-September). "Interest Scores as Predictors of Science Process Performance for Junior High Students," *Science Education*. 62 : 303-308.
- Tobin, K.G. and Capie, W. (1982, February). "Relationships between Formal Reasoning Ability, Locus of Control, Academic Engagement and Integrated Process Skills Achievement," *Research in Science Teaching*. 19 : 113-121.
- Vanek, F.A.P. (1974, September). "A Comparative Study of Selected Science Teaching Materials (EES) and a Textbook Approach on Classifying," *Abstract International*. 35 : 1522-A.
- Widden, M.F. (1973, January). "A Product Evaluation of Science-A Process Approach," *Dissertation Abstracts*. 32 : 3582A.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการทำวิจัย



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๒๔ พฤศจิกายน 2542

เรื่อง ขอความร่วมมือเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยเคมี สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติ

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบทดสอบ

เนื่องด้วย นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุสันติ นิสิตปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาระบบปฏิบัติการวิชาเคมี สภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วแบบกานิสและสังกะสีในผัก สำหรับหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ" โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้ นิสิตมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย โดยขออนุญาตใช้เครื่องอะตอมมิคแอนาไลเซอร์แบบโครมาโตเมตรีที่ห้องวิเคราะห์ 3 สถาบันวิจัยเคมี เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในสารละลายผักตัวอย่าง ในระหว่างเดือนธันวาคม 2542

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุสันติ ได้เก็บข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 258-4119, 664-1000 ต่อ 5644, 5646

โทรสาร. 258-4119



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

30 พฤศจิกายน 2542

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนนวมินทราชูทิศบึงนาราง

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบทดสอบ

เนื่องด้วย นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุขสันติ นิสิตปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาทบทปฏิบัติการวิชาเคมี สภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วแมงกานีสและสังกะสีในผัก สำหรับหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ" โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญกิจย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์สมเจต นิลเนตร เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุขสันติ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 258-4119, 664-1000 ต่อ 5644, 5646

โทรสาร. 258-4119

ที่ ทม 1007/ ๖416



151

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

30 พฤศจิกายน 2542

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนสิงห์บุรี

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบทดสอบ

เนื่องด้วย นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุขสันติ นิสิตปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาทบทปฏิบัติการวิชาเคมี สภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วแมงกานีสและสังกะสีในผัก สำหรับหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ" โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์สุวัฒน์ คล่องมี เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุขสันติ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิสาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 258-4119, 664-1000 ต่อ 5644, 5646

โทรสาร. 258-4119



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๒๐ พฤศจิกายน 2542

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนจุฬารัตน์ราชวิทยาลัย

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบทดสอบ

เนื่องด้วย นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุขสันติ นิสิตปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาทบทวนปฏิบัติการวิชาเคมี สภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วแมงกานีสและสังกะสีในผัก สำหรับหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ" โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์ประดิษฐ์ เหล่าเนตร เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุขสันติ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 258-4119, 664-1000 ต่อ 5644, 5646

โทรสาร. 258-4119



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๖ พฤศจิกายน 2542

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน อธิการบดีสถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาเขตฯ ในพระบรมราชูปถัมภ์

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบทดสอบ

เนื่องด้วย นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุขสันติ นิสิตปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาทฤษฎีการจัดการวิชาเคมี สภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วแมงกานีสและสังกะสีในผัก สำหรับหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ" โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ดร.เปรมจิต บุญสาย และ ดร.ชาติรี เกียรติธรรม เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุขสันติ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 258-4119, 664-1000 ต่อ 5644, 5646

โทรสาร. 258-4119



บันทึกข้อความ

154

ส่วนราชการ.....บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 5644, 5646
ที่.....ทม 1007/ ๕๔๔.....วันที่ ๕ ธันวาคม 2542
เรื่อง.....ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ.....
เรื่อง.....

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

เนื่องด้วย นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุขลันติ นิสิตปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาศักยภาพบุคลากรวิชาชีพ สภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและกadmium และสังกะสีในผัก สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ" โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรพงษ์ เจริญพิทย รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ ตันกุลเวสส์ และ อาจารย์วราดล จัทรทอง เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชิญชวนให้ นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุขลันติ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



ที่ ทม 1007/ 5446

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๙ ธันวาคม 2542

เรื่อง: ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณบดีคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบทดสอบ

เนื่องด้วย นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุสันติ นิสิตปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการหาปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาศักยภาพบุคลากรวิชาชีพ การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและสังกะสีในผัก สำหรับหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ" โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสร วังน้อย เป็นคณะกรรมการควบคุมการหาปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ดร.ผดุงชัย ภู่วรรณ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุสันติ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 258-4119, 664-1000 ต่อ 5644, 5646

โทรสาร. 258-4119



ที่ ทม 1007/ 5141

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

11 ธันวาคม 2542

เรื่อง ขอความร่วมมือเพื่อการวิจัย

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบทดสอบ

เนื่องด้วย นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุสันติ นิสิตปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาทบปฏิบัติการวิชาเคมีสถานะแวลลุ่ม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วแบบกานีสและสังกะสีในผัก สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ" โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่้อย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้ นิสิตมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาเครื่องมือการวิจัย โดยขออนุญาตใช้ห้องปฏิบัติการเคมี และเครื่องมืออะตอมมิกแอปซอร์พชันสเปกตรัม (AAS) พร้อมทั้งนักศึกษาโปรแกรมวิชาเคมี ชั้นปีที่ 3 - 4 จำนวน 40 คน เป็นกลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบการพัฒนาทบปฏิบัติการวิชาเคมีสถานะแวลลุ่ม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วแบบกานีสและสังกะสีในผักสำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ ในระหว่างเดือนธันวาคม 2542 - กุมภาพันธ์ 2543

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุสันติ ได้เก็บข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 258-4119, 664-1000 ต่อ 5644, 5646

โทรสาร. 258-4119

ที่ ทบ 1007/ 5199



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๑๖ ธันวาคม 2542

เรื่อง ขอความร่วมมือเพื่อการวิจัย

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสวนดุสิต

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบทดสอบ

เนื่องด้วย นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุขสันติ นิสิตปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมี สภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วแ่งกานีสและสังกะสีในผัก สำหรับหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ" โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญทิพย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้ นิสิตมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนา เครื่องมือการวิจัย โดยขออนุญาตใช้ห้องปฏิบัติการเคมี และเครื่องมืออะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกตรัม (AAS) พร้อมทั้งนักศึกษาโปรแกรมวิชาเคมี ชั้นปีที่ 3 - 4 จำนวน 40 คน เป็นกลุ่ม ตัวอย่างทำแบบทดสอบการพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อม เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แ่งกานีสและสังกะสีในผักสำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ ในระหว่างเดือนธันวาคม 2542 - กุมภาพันธ์ 2543

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุขสันติ ได้เก็บข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณ เป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 258-4119, 664-1000 ต่อ 5644, 5646

โทรสาร. 258-4119



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

11 มิถุนายน 2543

เรื่อง ขอให้แบบทดสอบเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เนื่องด้วย นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุสันติ นิสิตระดับปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง "การพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อมเรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสีในผักสำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ" โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในกรณีนี้ นิสิตมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาเครื่องมือการวิจัย โดยขออนุญาตใช้แบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของสาขาวิจัยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อนำแบบทดสอบไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 สายวิทยาศาสตร์ และนักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุสันติ ได้ใช้แบบทดสอบเพื่อการวิจัย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร: 258-4119, 664-1000 ต่อ 5644, 5664

โทรสาร: 258-4119



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๒๔ มิถุนายน 2543

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน เลขาธิการคณะกรรมการการประถมศึกษาแห่งชาติ

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบทดสอบ

เนื่องด้วย นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุสันติ นิสิตระดับปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง "การพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อมเรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสีในผักสำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตของสถาบันราชภัฏ" โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์ ดร.ชาลิต โพธิ์นคร เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุสันติ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 258-4119, 664-1000 ต่อ 5644, 5664

โทรสาร. 258-4119

ที่ ทม 1012/ 02164



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

3 กรกฎาคม 2543

เรื่อง ขอใช้แบบทดสอบ

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เนื่องด้วย นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุสันติ นิสิตระดับปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง "การพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีสภาวะแวดล้อมเรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสีในผักสำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตของสถาบันราชภัฏ" โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ นิสิตมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาเครื่องมือการวิจัย โดยขออนุญาตใช้แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของสาขาวิจัย ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อนำแบบทดสอบไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 สาขาวิทยาศาสตร์ และนักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ นายสมเกียรติ แก้วจรัสสุสันติ ได้ใช้แบบทดสอบดังกล่าว ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 258-4119, 664-1000 ต่อ 5644, 5664

โทรสาร. 258-4119

ภาคผนวก ข

**แบบประเมินแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ
และแบบประเมินแบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์**

แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ใช้วัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย 5 ทักษะ ดังนี้

- 1. ทักษะการตั้งสมมติฐาน (Formulating Hypothesis) หมายถึง การคิดหาคำตอบล่วงหน้าก่อนที่จะทำการทดลองโดยอาศัยการสังเกต ความรู้ และประสบการณ์เดิมเป็นพื้นฐาน คำตอบที่คิดหาล่วงหน้านี้อย่างไม่ทราบหรือยังไม่เป็นหลักการ กฎ หรือทฤษฎีมาก่อน
- 2. ทักษะการทดลอง (Experimenting) หมายถึง กระบวนการปฏิบัติการเพื่อหาคำตอบหรือทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้
- 3. ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (Interpreting Data and Conclusion)
การตีความหมายข้อมูล หมายถึง การแปลความหมายหรือการบรรยายลักษณะและคุณสมบัติของข้อมูลที่มีอยู่เดิม
การลงข้อสรุป หมายถึง การสรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งหมด
- 4. ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร (Identifying and Controlling Variable) หมายถึง การชี้บ่งตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ที่ต้องควบคุมในสมมติฐานหนึ่ง ๆ
- 5. ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ (Defining Operationally) หมายถึง การกำหนดความหมายและขอบเขตของคำต่าง ๆ (ที่อยู่ในสมมติฐานที่ต้องการทดลอง) ให้เข้าใจตรงกันและสามารถสังเกตและวัดได้

แบบทดสอบฉบับนี้เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 5 ตัวเลือก มีข้อสอบวัดทักษะต่าง ๆ คือ การตั้งสมมติฐาน การทดลอง การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป การกำหนดและควบคุมตัวแปร และการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ จำนวน 4,5,11,7 และ 3 ข้อ ตามลำดับ รวมจำนวน ข้อสอบทั้งฉบับ 30 ข้อ และใช้เวลาในการทำแบบทดสอบ 60 นาที

ข้อสอบทั้ง 30 ข้อ แยกวัดทักษะ ดังนี้

ข้อ	วัดทักษะด้าน
1,2,3,25 10,18,19,20,21 11,13,14,15,16,17,22,23, 24,26,27 4,5,6,7,8,9,12 28,29,30	การตั้งสมมติฐาน การทดลอง การตีความหมายและการลงข้อสรุป การกำหนดและควบคุมตัวแปร การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ

เกณฑ์การใช้คะแนนของแบบทดสอบนี้

ในแต่ละข้อจะมีคำถาม แล้วมีตัวเลือก 5 ตัวเลือก ตอบถูกให้ 1 คะแนน ถ้าตอบผิดให้ 0 คะแนน

ข้อที่	ตัวเลือกที่ถูกต้อง	ข้อที่	ตัวเลือกที่ถูกต้อง
1	5	16	1
2	4	17	1
3	3	18	3
4	1	19	1
5	2	20	2
6	2	21	4
7	3	22	2
8	2	23	1
9	2	24	3
10	1	25	3
11	2	26	4
12	2	27	3
13	4	28	2
14	5	29	1
15	1	30	3

คำชี้แจงเกี่ยวกับการตอบแบบประเมิน

แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ มีทั้งหมด 30 ข้อ สร้างโดยสาขาวิจัยและประเมินผลของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ลักษณะเป็นแบบปรนัย มีตัวเลือก 5 ตัวเลือก ในคำถามแต่ละข้อ คำถามจะถามเพื่อวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ 5 ทักษะ ข้อใดวัดทักษะใดนั้น ดูได้จากเอกสารรายละเอียดที่แนบมา

ให้ท่านพิจารณาว่าแต่ละข้อนั้นสอดคล้องกับคุณลักษณะที่กำหนดไว้หรือไม่ ให้ท่านพิจารณาคะแนนดังนี้

- +1 ถ้าท่านแน่ใจว่าสอดคล้อง
- 0 ถ้าท่านไม่แน่ใจว่าสอดคล้อง
- 1 ถ้าท่านแน่ใจว่าไม่สอดคล้อง

แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง

แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

ทักษะด้าน	ข้อ	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
		+1	0	-1	
1. การตั้งสมมติฐาน	1				
	2				
	3				
	25				
2. การทดลอง	10				
	18				
	19				
	20				
	21				
3. การตีความหมายและการ ลงข้อสรุป	11				
	13				
	14				
	15				
	16				
	17				
	22				
	23				
	24				
	26				
	27				

ทักษะด้าน	ข้อ	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
		+1	0	-1	
4. การกำหนดและควบคุม ตัวแปร	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	12				
5. การกำหนดนิยามเชิง ปฏิบัติการ	28				
	29				
	30				

แบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยยึดลักษณะของบุคคลที่มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์ตามแนวทางของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งวัดคุณลักษณะของบุคคลในด้านต่าง ๆ รวม 7 ด้าน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ความละเอียดรอบคอบ
 - 1.1 รวบรวมข้อมูลอย่างเพียงพอเสมอก่อนลงสรุปเรื่องต่างๆ
 - 1.2 นำวิธีการหลายๆ อย่างมาตรวจสอบปัญหา
 - 1.3 ตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการสังเกต หรือการทดลองซ้ำ แม้ข้อมูลดังกล่าวจะสอดคล้องหรือตรงกับที่คาดคะเนแล้วก็ตาม
2. ความพากเพียรพยายาม
 - 2.1 ดำเนินการแก้ปัญหาจนกว่าจะได้รับคำตอบ
 - 2.2 ไม่ท้อถอยเมื่อมีอุปสรรคหรือล้มเหลวในการทำงาน
 - 2.3 มีความอดทนแม้การดำเนินการแก้ปัญหาจะยุ่งยากและใช้เวลา
3. ความมีเหตุผล
 - 3.1 แสวงหาสาเหตุของเหตุการณ์ และหาความสัมพันธ์ของสาเหตุกับผลที่เกิดขึ้น
 - 3.2 ตรวจสอบความถูกต้อง ความสมเหตุสมผลของแนวความคิดต่างๆ กับแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้
 - 3.3 เสาะแสวงหาหลักฐานจากการสังเกตหรือการทดลอง เพื่อสนับสนุนหรือคัดค้านคำอธิบาย
 - 3.4 ไม่เชื่อโชคลาง คำทำนาย หรือสิ่งศักดิ์สิทธิ์ต่างๆ ที่ไม่สามารถอธิบายได้ตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์ได้ แต่จะพยายามอธิบายสิ่งต่างๆ ในแง่เหตุและผล
4. ความมีใจกว้าง
 - 4.1 ยอมรับ พิจารณา และประเมินความคิดเห็นของผู้อื่นที่เสนอมาทั้งทางด้านสนับสนุนและคัดค้าน
 - 4.2 เต็มใจที่จะเผยแพร่ความรู้ ความคิดเห็นของผู้อื่น
 - 4.3 ตระหนักและยอมรับข้อจำกัดของความรู้ที่ค้นพบในปัจจุบัน
 - 4.4 พร้อมที่จะเปลี่ยนแปลงความเชื่อ ความคิด และยอมรับเมื่อพบหลักฐานใหม่หรือข้อมูลที่มีเหตุผลถูกต้องมากกว่า

5. ความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น
 - 5.1 รู้จักที่จะขอและให้ความร่วมมือกับผู้อื่น
 - 5.2 รับรู้บทบาทและทำตามหน้าที่ของตนที่ได้รับมอบหมายจากกลุ่ม
 - 5.3 มีความรับผิดชอบในการกระทำของตน
6. ความซื่อสัตย์
 - 6.1 รายงานข้อมูลตามความเป็นจริง แม้ว่าสิ่งที่รายงานนั้นจะขัดกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ หรือสิ่งที่ผู้อื่นค้นพบ
 - 6.2 เปิดเผยเจ้าของผลงานที่ตนนำมาใช้ให้ผู้อื่นทราบ
 - 6.3 แสวงหาความรู้ ลงความเห็น หรือบันทึกข้อมูลต่างๆ โดยปราศจากอคติหรือความรู้สึกส่วนตัวเข้ามาเกี่ยวข้อง
 - 6.4 ตีความหมายหรือเสนอผลการค้นพบตามความเป็นจริง โดยไม่ยอมอยู่ใต้อิทธิพลของสังคม เศรษฐกิจและการเมือง
7. ความอยากรู้อยากเห็น
 - 7.1 มีความใส่ใจและพอใจ ใครจะสืบเสาะแสวงหาความรู้ในสถานการณ์ และปัญหาใหม่ๆ อยู่เสมอ
 - 7.2 ชอบซักถาม ชอบอ่าน เพื่อให้ได้คำตอบที่เป็นความรู้ ซึ่งสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น
 - 7.3 มีความกระตือรือร้นที่จะสืบเสาะแสวงหาความรู้

แบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ฉบับนี้เป็นแบบปรนัย ชนิด 3 ตัวเลือก มีข้อสอบวัดคุณลักษณะของบุคคลในด้านต่างๆ รวม 7 ด้าน ดังนี้ คือ ความละเอียดรอบคอบ ความพากเพียรพยายาม ความมีเหตุผล ความมีใจกว้าง ความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น ความ ซื่อสัตย์ และความอยากรู้อยากเห็น จำนวน 3, 3, 4, 4, 3, 4 และ 3 ข้อ ตามลำดับ รวมจำนวนข้อสอบทั้งฉบับ 24 ข้อ และใช้เวลาในการทำแบบทดสอบ 18 นาที

ข้อสอบทั้ง 24 ข้อ แยกวัดคุณลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

ข้อ	วัดคุณลักษณะ
1 8 17	1. <u>ความละเอียดรอบคอบ</u> 1.1 รวบรวมข้อมูลอย่างเพียงพอเสมอก่อนลงสรุปเรื่องต่าง ๆ 1.2 นำวิธีการหลาย ๆ อย่างมาตรวจสอบปัญหา 1.3 ตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการสังเกตหรือการทดลองซ้ำแม้ข้อมูลดังกล่าวจะสอดคล้องหรือตรงกับที่คาดคะเนแล้วก็ตาม
2 11 18	2. <u>ความพากเพียรพยายาม</u> 2.1 ดำเนินการแก้ปัญหาจนกว่าจะได้รับคำตอบ 2.2 ไม่ท้อถอยเมื่อมีอุปสรรคหรือล้มเหลวในการทำงาน 2.3 มีความอดทนแม้การดำเนินการแก้ปัญหาจะยุ่งยากและใช้เวลา
3 12 19 10	3. <u>ความมีเหตุผล</u> 3.1 แสวงหาสาเหตุของเหตุการณ์ และหาความสัมพันธ์ของสาเหตุกับผลที่เกิดขึ้น 3.2 ตรวจสอบความถูกต้อง ความสมเหตุสมผลของแนวความคิดต่าง ๆ กับแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้ 3.3 เสาะแสวงหาหลักฐานจากการสังเกตหรือการทดลองเพื่อสนับสนุนหรือคัดค้านคำอธิบาย 3.4 ไม่เชื่อโชคลางคำทำนายหรือสิ่งศักดิ์สิทธิ์ต่าง ๆ ที่ไม่สามารถอธิบายได้ตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์ได้ แต่จะพยายามอธิบายสิ่งต่าง ๆ ในแง่เหตุและผล
4 13 20 24	4. <u>ความมีใจกว้าง</u> 4.1 ยอมรับ พิจารณา และประเมินความคิดเห็นของผู้อื่นที่เสนอมาทั้งทางด้านสนับสนุนและคัดค้าน 4.2 เต็มใจที่จะเผยแพร่ความรู้ ความคิดเห็นของผู้อื่น 4.3 ตระหนักและยอมรับข้อจำกัดของความรู้ที่ค้นพบในปัจจุบัน 4.4 พร้อมที่จะเปลี่ยนแปลงความเชื่อ ความคิด และยอมรับเมื่อพบหลักฐานใหม่ หรือข้อมูลที่มีเหตุผลถูกต้องมากกว่า

ข้อ	วัดคุณลักษณะ
5 23 22	5. <u>ความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น</u> 5.1 รู้จักที่จะขอและให้ความร่วมมือกับผู้อื่น 5.2 รับผิดชอบต่อหน้าที่ของตนที่ได้รับมอบหมายจากกลุ่ม 5.3 มีความรับผิดชอบในการกระทำของตน
6 14 16 21	6. <u>ความซื่อสัตย์</u> 6.1 รายงานข้อมูลตามความเป็นจริง แม้ว่าสิ่งที่รายงานนั้นจะขัดกับ สมมติฐานที่ตั้งไว้หรือสิ่งที่ผู้อื่นค้นพบ 6.2 เปิดเผยเจ้าของผลงานที่ตนนำมาใช้ให้ผู้อื่นทราบ 6.3 แสวงหาความรู้ ลงความเห็น หรือบันทึกข้อมูลต่าง ๆ โดยปราศจาก อคติหรือความรู้สึกส่วนตัวเข้ามาเกี่ยวข้อง 6.4 ตีความหมาย หรือเสนอผลการค้นพบตามความเป็นจริง โดยไม่ยอมอยู่ ใต้อิทธิพลของสังคม เศรษฐกิจ และการเมือง
7 15 9	7. <u>ความอยากรู้อยากเห็น</u> 7.1 มีความใส่ใจและพอใจใคร่จะสืบเสาะแสวงหาความรู้ในสถานการณ์ และปัญหาใหม่ ๆ อยู่เสมอ 7.2 ชอบซักถาม ชอบอ่าน เพื่อให้ได้คำตอบที่เป็นความรู้ซึ่งสมบูรณ์แบบ ยิ่งขึ้น 7.3 มีความกระตือรือร้นที่จะสืบเสาะแสวงหาความรู้

คำชี้แจงเกี่ยวกับการตอบแบบประเมิน

แบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์

แบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ มีทั้งหมด 24 ข้อ สร้างโดยสาขาวิจัยและประเมินผลของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ลักษณะเป็นคำถามแบบสร้างสถานการณ์ แล้วให้ผู้ตอบเลือกคำตอบจากตัวเลือก 3 ตัวเลือก คำถามสถานการณ์นั้นจะใช้วัดคุณลักษณะของบุคคลในด้านต่าง ๆ รวม 7 ด้าน ดังรายละเอียดที่แนบมา

ให้ท่านพิจารณาว่าแต่ละข้อนั้นสอดคล้องกับคุณลักษณะที่กำหนดไว้หรือไม่ ให้ท่านพิจารณาคะแนนดังนี้

- +1 ถ้าท่านแน่ใจว่าสอดคล้อง
- 0 ถ้าท่านไม่แน่ใจว่าสอดคล้อง
- 1 ถ้าท่านแน่ใจว่าไม่สอดคล้อง

เกณฑ์การให้คะแนนของแบบทดสอบนี้

แบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ฉบับนี้ ประกอบด้วยข้อคำถาม 24 ข้อ แต่ละข้อเป็นข้อความที่มีลักษณะเป็นแบบสถานการณ์ให้เลือกเกี่ยวกับเหตุการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน ในแต่ละเหตุการณ์มีทางเลือก 3 ทาง ซึ่งทางเลือกแต่ละทางจะมีค่าน้ำหนักคะแนนต่างกันเป็น 1, 2 และ 3 คะแนน ตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ ดังนี้

ข้อ	คำตอบตัวเลือกที่	คะแนน
1	1	1
	2	2
	3	3
2	1	1
	2	3
	3	2
3	1	2
	2	3
	3	1
4	1	3
	2	2
	3	1
5	1	1
	2	3
	3	2
6	1	1
	2	3
	3	2
7	1	3
	2	2
	3	1
8	1	1
	2	2
	3	3

ข้อ	คำตอบตัวเลือกที่	คะแนน
9	1	2
	2	1
	3	3
10	1	1
	2	2
	3	3
11	1	1
	2	2
	3	3
12	1	1
	2	2
	3	3
13	1	1
	2	2
	3	3
14	1	3
	2	2
	3	1
15	1	2
	2	1
	3	3
16	1	3
	2	2
	3	1
17	1	1
	2	2
	3	3

ข้อ	คำตอบตัวเลือกที่	คะแนน
18	1	1
	2	2
	3	3
19	1	3
	2	2
	3	1
20	1	1
	2	2
	3	3
21	1	2
	2	1
	3	3
22	1	1
	2	2
	3	3
23	1	1
	2	2
	3	3
24	1	1
	2	2
	3	3

แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง
แบบทดสอบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์

เจตคติทางวิทยาศาสตร์	ข้อ	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
		+1	0	-1	
1. <u>ความละเอียดรอบคอบ</u>					
1.1	1				
1.2	8				
1.3	17				
2. <u>ความพากเพียรพยายาม</u>					
2.1	2				
2.2	11				
2.3	18				
3. <u>ความมีเหตุผล</u>					
3.1	3				
3.2	12				
3.3	19				
3.4	10				
4. <u>ความมีใจกว้าง</u>					
4.1	4				
4.2	13				
4.3	20				
4.4	24				
5. <u>ความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น</u>					
5.1	8				
5.2	23				
5.3	22				

เจตคติทางวิทยาศาสตร์	ข้อ	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
		+1	0	-1	
6. <u>ความซื่อสัตย์</u>					
6.1	6				
6.2	14				
6.3	16				
6.4	21				
7. <u>ความอยากรู้อยากเห็น</u>					
7.1	7				
7.2	15				
7.3	9				

ภาคผนวก ค

บทปฏิบัติการ คู่มือครู และแบบประเมินบทปฏิบัติการต่างๆ

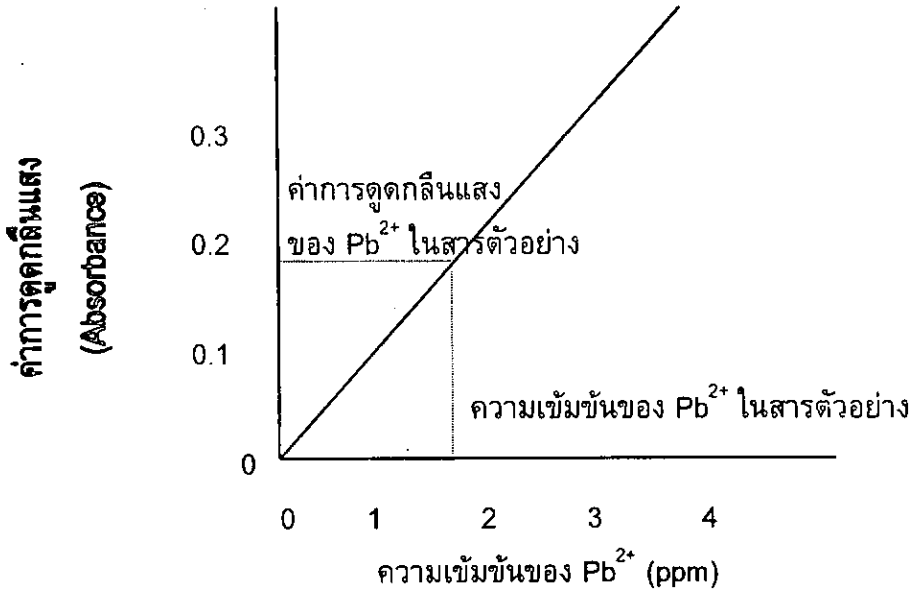
ใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการที่ 1
เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียวกวาดง
โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

สาระสำคัญ

ในการวิเคราะห์สารโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic absorption spectrophotometry, AAS) นั้น สารละลายตัวอย่างจะถูกส่งเข้าไปในเปลวไฟอุณหภูมิสูง ความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้ตัวทำละลายระเหยและเกิดการสลายพันธะเคมีแล้วปลดปล่อยอะตอมของโลหะให้เป็นอิสระ อะตอมของธาตุเหล่านี้จะถูกดูดกลืนแสงจากหลอดฮอลโลว์คาโทด (Hollow cathode lamp) ที่มีความยาวคลื่นเฉพาะสำหรับธาตุนั้น อะตอมอิสระเมื่อถูกดูดกลืนแสง เวเลนซ์อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นไปอยู่ที่สภาวะกระตุ้น (Excited state) ซึ่งจะทำให้ความเข้มของแสงลดลง ซึ่งความเข้มของแสงที่ลดลงจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของธาตุในสารละลาย

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณตะกั่ว ในผักกาดเขียวกวาดงตัวอย่างโดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี โดยใช้สารย่อยสลาย (Digesting agent) ผสมระหว่างกรดไนตริก เข้มข้นกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร เพราะการใช้สารย่อยสลายชนิดนี้ได้มีการทดลองมาแล้วว่าสามารถทำลายสารอินทรีย์ในตัวอย่างได้ดี โดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การพบ (Percentage recovery) ซึ่งมันจะให้ค่านี้สูงกว่าอัตราส่วนอื่นๆ และยังใช้ปริมาณของสารย่อยสลายนี้น้อยอีกด้วย นอกจากนี้กรดไนตริก เข้มข้นและสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นสารที่เมื่อให้ความร้อนขณะทำการย่อยสลายสลายตัวให้ก๊าซที่ระเหยง่าย ดังนั้นโอกาสที่สารทั้งสองนี้จะตกค้างอยู่ในสารละลายตัวอย่างมีน้อยมาก และทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบมีค่าสูง การสังเกตได้ว่ากรดไนตริกในสารละลายตัวอย่างมีอยู่หรือไม่ ดูจากก๊าซสีน้ำตาลแดงที่เกิดขึ้นเมื่อให้ความร้อน ถ้ายังมีอยู่จะปรากฏเป็นก๊าซสีน้ำตาลแดงของไนโตรเจนไดออกไซด์ นอกจากนี้การใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ผสมลงไปในนั้นจะช่วยให้การย่อยสลายโดยที่ไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงมากนัก อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ ช่วง 75-85°C ถ้าสูงมากเกินไปจะทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระเหยเร็ว เพื่อย่อยสลายผักกาดเขียวกวาดง อยู่ในรูปสารละลาย แล้วนำสารละลายนี้ไปวัดค่าแอบซอร์พแมนซ์ (A) หรือค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากนั้นจึงนำค่าแอบซอร์พแมนซ์ของตะกั่วที่วัดได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานตะกั่ว ก็จะได้ค่าความเข้มข้นของตะกั่วในผักกาดเขียวกวาดง ซึ่งเรียกการหาปริมาณวิเคราะห์วิธีนี้ว่าวิธีการเทียบกราฟ (Calibration method) ซึ่งวิธีนี้ใช้ในกรณีสารตัวอย่าง ไม่ค่อยมีสิ่งรบกวนและสารตัวอย่างเจือจาง การหาปริมาณวิเคราะห์โดยวิธีการเทียบกราฟ ทำได้ดังนี้ เตรียมสารละลายตะกั่วมาตรฐาน

ความเข้มข้นต่างๆ กัน (4-5 ความเข้มข้น) ปรับสัญญาณที่ได้จากเบลนค์ (blank) ให้เป็นศูนย์ แล้วจึงวัดค่าแอมบอร์ฟแบนซ์ของสารละลายมาตรฐานนั้น นำผลของค่าแอมบอร์ฟแบนซ์ของความเข้มข้นต่างๆ มาเขียนกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานนั้น จะได้ Calibration curve ลักษณะ curve เป็นดังรูป แล้วนำค่า A ของสารตัวอย่างมาเทียบหาความเข้มข้นและคำนวณหาปริมาณ Pb ในผักกาดเขียววางดังต่อไปนี้จะได้ค่าความเข้มข้นของตะกั่วในผักกาดเขียววางดังตามต้องการ



สิ่งสำคัญจะต้องไม่ลืมว่า Calibration curve ที่ได้ใช้เฉพาะการวิเคราะห์แต่ละครั้งเท่านั้น เมื่อจะ วิเคราะห์ใหม่จะต้องทำใหม่ ทั้งนี้เพราะ parameters ต่างๆ ที่ใช้อาจเปลี่ยนแปลงได้

บทปฏิบัติการที่ 1

เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียววางตุ้ง โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมสารละลายผักกาดเขียววางตุ้งตัวอย่าง โดยใช้สารย่อยสลาย ผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร
2. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในสารละลายผักกาดเขียววางตุ้งตัวอย่าง โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

หลักการ

ตะกั่วเป็นโลหะหนัก มีมวลอะตอม 207.21 มีสีเทาเงิน ลักษณะอ่อน จุดหลอมเหลว 327.4°C ความถ่วงจำเพาะ 11.35 ละลายในน้ำเย็นหรือน้ำร้อนได้เล็กน้อย ละลายได้ดีในกรดไนตริกและกรดกำมะถันที่ร้อน อาจพบตะกั่วในอากาศ น้ำ ดิน สัตว์และพืช การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในพืชผักตัวอย่าง นิยมใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี เพราะวิเคราะห์ได้รวดเร็วและค่อนข้างแม่นยำ ซึ่งเทคนิคดังกล่าวนี้ ทำโดยเตรียมสารละลายผักตัวอย่างด้วยสารย่อยสลายที่เหมาะสม แล้วนำสารละลายผักตัวอย่างนี้ไปวัดความสามารถในการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ที่ความยาวคลื่น 217.0 นาโนเมตร เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานตะกั่วที่ลงกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วมาตรฐาน จะทำให้สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายผักตัวอย่างได้

เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้

เครื่องมืออุปกรณ์

1. บีกเกอร์
2. ปีเปต
3. ขวดปริมาตร
4. กรวยกรอง
5. แห้งแก้วสำหรับคนสาร
6. ขวดน้ำกลั่น

7. กระดาษกรอง
8. Hot plate
9. เครื่องชั่งวิเคราะห์ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
10. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
11. เดซิเคเตอร์

สารเคมี

1. สารละลายตะกั่วมาตรฐานเข้มข้น 100 ppm.
2. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30% โดยปริมาตร
3. กรดไนตริกเข้มข้น
4. น้ำกลั่น
5. ผักกาดเขียวกวางตั้งตัวอย่างอบแห้งบดละเอียด

วิธีการทดลอง

ก. เตรียมกราฟมาตรฐานตะกั่ว

1. ปิเปตสารละลายตะกั่วมาตรฐานเข้มข้น 100 ppm. มา 0, 0.2, 1, 2, 3, 4 และ 5 cm³ ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 100 cm³ 7 ใบ แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 cm³ จะได้สารละลายตะกั่วมาตรฐานเข้มข้น 0 (สารละลายแบลนด์), 0.2, 1, 2, 3, 4 และ 5 ppm ตามลำดับ
2. นำสารละลายจากข้อ 1 ทั้ง 7 ใบ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS ที่ความคลื่น 217.0 นาโนเมตร
3. นำค่าการดูดกลืนแสงไปลงกราฟกับค่าความเข้มข้นของตะกั่วต่างๆ กัน จะได้กราฟมาตรฐานของตะกั่ว

ข. เตรียมสารละลายผักกาดเขียวกวางตั้งตัวอย่าง

1. ชั่งผักกาดเขียวกวางตั้งตัวอย่างมา 1.0000 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 cm³
2. เตรียมสารย่อยสลายผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร ทำโดยใส่กรดไนตริกเข้มข้น 25 cm³ ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 cm³ แล้วใส่สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 cm³ ผสมลงไป ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน
3. ปิเปตสารย่อยสลายจากข้อ 2 ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีผักกาดเขียวกวางตั้ง 1.0000 กรัม จากข้อ 1 5 cm³ แล้วนำไปย่อยสลายบน Hot plate อุณหภูมิประมาณ 75-85°C จนเกือบแห้ง ทำในตู้ควัน

4. แล้วเติมสารย่อยสลายลงไปอีกครั้งละ 5 cm^3 ขณะเติมควรลดอุณหภูมิให้ต่ำลง ย่อยสลายบน Hot plate ต่อ จนได้สารละลายใส ปล่อยให้เย็น แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง ปริมาตรสุดท้ายเป็น 25 cm^3 ด้วยน้ำกลั่นในขวดปริมาตร

5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS ที่ความยาวคลื่น 217.0 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของตะกั่ว ข้อ 3 (ก) (ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง) คำนวณหาปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียวทางดั่งตัวอย่างหน่วย ppm และคำนวณหาปริมาณตะกั่วในหน่วย mg/kg

รายงานการทดลองบทปฏิบัติการที่ 1
เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียววางตั้ง
โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

วัน/เดือน/ปี.....กลุ่มที่.....

ชื่อผู้ทดลอง

- 1.
- 2.

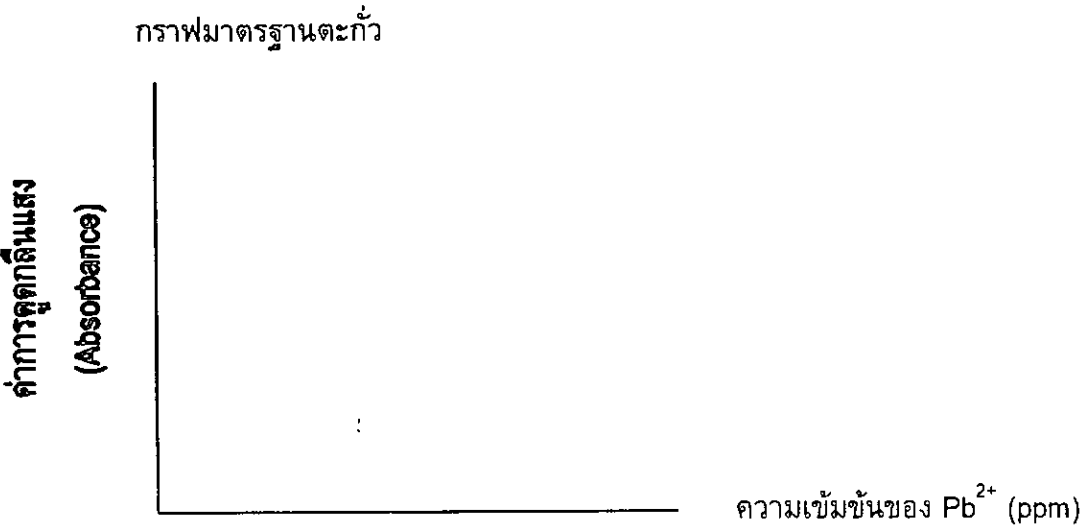
วัตถุประสงค์

.....
.....
.....
.....

ผลการทดลอง

ก. การเตรียมกราฟมาตรฐานตะกั่ว

ความเข้มข้นของ Pb ²⁺ (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
0.0	
0.2	
1.0	
2.0	
3.0	
4.0	
5.0	



ข. การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียววางตั้งตัวอย่าง

น้ำหนักผักกาดเขียววางตั้งตัวอย่าง (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง
ครั้งที่ 1.....	
ครั้งที่ 2.....	
ครั้งที่ 3.....	

ความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm) เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงไปเทียบกับกราฟแคลิเบรท

ครั้งที่	ความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm)	ปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียววางตั้ง (mg/kg)
1		
2		
3		
ค่าเฉลี่ย		

ความเข้มข้นของตะกั่วในผักกาดเขียววางตั้งตัวอย่าง.....ppm
น้ำหนักของตะกั่วในผักกาดเขียววางตั้งตัวอย่าง.....mg/kg

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. เพราะเหตุใดในการเตรียมสารละลายผักกาดเขียววางตั้งตัวอย่าง จะเลือกใช้สารย่อยสลายที่เป็นสารผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตรเป็นตัวทำละลาย เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียววางตั้งตัวอย่าง

ตอบ

.....

.....

.....

2. จงเขียนแผนภาพการดำเนินการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียววางตั้งตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

.....

.....

.....

.....

.....

3. เมื่อนำสารละลายมาตรฐาน X มาเตรียมให้มีความเข้มข้นต่างๆ เพื่อนำไปสร้างกราฟมาตรฐานพบว่าความเข้มข้น 1 ppm วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ (A) ได้ = 0.26, 2.00 ppm ได้ $A = 0.44$, 3.00 ppm ได้ $A = 0.54$, 4.00 ppm ได้ $A = 0.61$ ถ้าสารละลายมาตรฐาน X วัดค่า A ได้ 0.50 โดยทำการทดลองในภาวะเดียวกัน จงหาความเข้มข้นของ X
-
-
-
-
-
-

เอกสารอ้างอิง

- นวลศรี นิวัติชัยวงศ์. (2535). อะตอมมิกแอบซอร์พชันและอิมิชันสเปกโทรสโกปี.
 กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
 พรพิมล ม่วงไทย. (2541). คู่มือปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี
 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- R.A. Burns. (1995). *Fundamental of Chemistry in the Laboratory*. 2nd ed.
 New Jersey : Printice Hall.
- D.A. Skoog and D.M. West. (1990). *Principle of Instrumental Analysis*. 2nd ed.,
 Philadelphia : Saunders College.

คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่ 1
เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียววางตุ้ง
โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

วัตถุประสงค์การเรียนรู้

- 1. เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่าง
โดยใช้ Oxidant ผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นกับสารละลายไฮโดรเจน
เปอร์ออกไซด์ 30% ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร
- 2. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียววางตุ้ง โดยโดยเทคนิค
อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

เวลาที่ใช้อภิปรายก่อนการทดลอง	10 นาที
ทดลอง	150 นาที
อภิปรายหลังการทดลอง	20 นาที
รวม	180 นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>สารเคมี</u>	
สารละลาย	20 cm ³
สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น	25 cm ³
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30%	50 cm ³
น้ำกลั่น	100 cm ³
ผักกาดเขียววางตุ้งบดละเอียดแห้ง	1.0000 g

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
อุปกรณ์	
บีกเกอร์ขนาด 100 cm^3	8 ใบ
แท่งแก้วคนสาร	2 แท่ง
ปิเปตขนาด 0.1, 0.5, 5 cm^3	อย่างละ 1 อัน
กรวยกรอง	3 อัน
กระดาษกรอง	2 แผ่น
ขวดน้ำกลั่น	1 ขวด
ขวดปริมาตรขนาด 100 cm^3	7 ขวด

การเตรียมก่อนล่วงหน้า

- เตรียมสารละลายตะกั่วมาตรฐาน 100 ppm โดยปิเปตสารละลายตะกั่วมาตรฐานเข้มข้น 1000 ppm มา 100 cm^3 ใส่ในขวดปริมาตรขนาด $1,000\text{ cm}^3$ แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนครบปริมาตร
- เตรียมผักกาดเขียววางตั้ง โดยนำผักกาดเขียววางตั้งไปผึ่งแดด เมื่อแห้งนำไปอบแห้งด้วยตู้อบ แล้วนำมาบดเป็นผงละเอียด นำไปอบในตู้อบจนได้น้ำหนักคงที่ เก็บไว้ในเดซิเคเตอร์เพื่อวิเคราะห์ (1,2 ครูเตรียมให้ไว้ล่วงหน้า)

อภิปรายก่อนการทดลอง

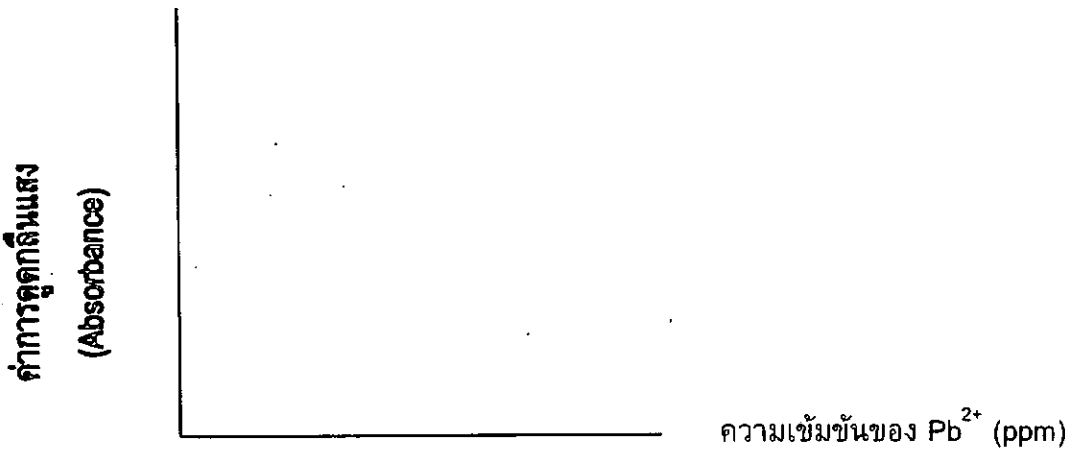
- ครูแนะนำให้นักศึกษาเตรียมสารละลายตะกั่วมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ตามวิธีการทดลอง เพื่อนำไปสร้างกราฟมาตรฐาน
- การเติมสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ 30% อัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร บีกเกอร์ที่อยู่บน Hot Plate ควรลดอุณหภูมิให้ต่ำลง
- ครูอธิบายหลักการของเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

ผลการทดลอง

ก. การเตรียมกราฟมาตรฐานตะกั่ว

ความเข้มข้นของ Pb^{2+} (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
0.00	
0.20	
1.00	
2.00	
3.00	
4.00	
5.00	

กราฟมาตรฐานตะกั่ว



ข. การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียววางตุ้งตัวอย่าง

น้ำหนักผักกาดเขียววางตุ้ง ตัวอย่าง (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง
ครั้งที่ 1.....	
ครั้งที่ 2.....	
ครั้งที่ 3.....	

ความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm) เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงไปเทียบกับกราฟแคลิเบรท

ครั้งที่	ความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm)	ปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียว กวาดต้ง (mg/kg)
1		
2		
3		
ค่าเฉลี่ย		

ความเข้มข้นของตะกั่วในผักกาดเขียวกวาดต้งตัวอย่าง.....ppm

น้ำหนักของตะกั่วในผักกาดเขียวกวาดต้งตัวอย่าง.....mg/kg

อภิปรายหลังการทดลอง

ครูและนักศึกษาร่วมกันอภิปราย เพื่อให้ได้ข้อสรุปดังนี้

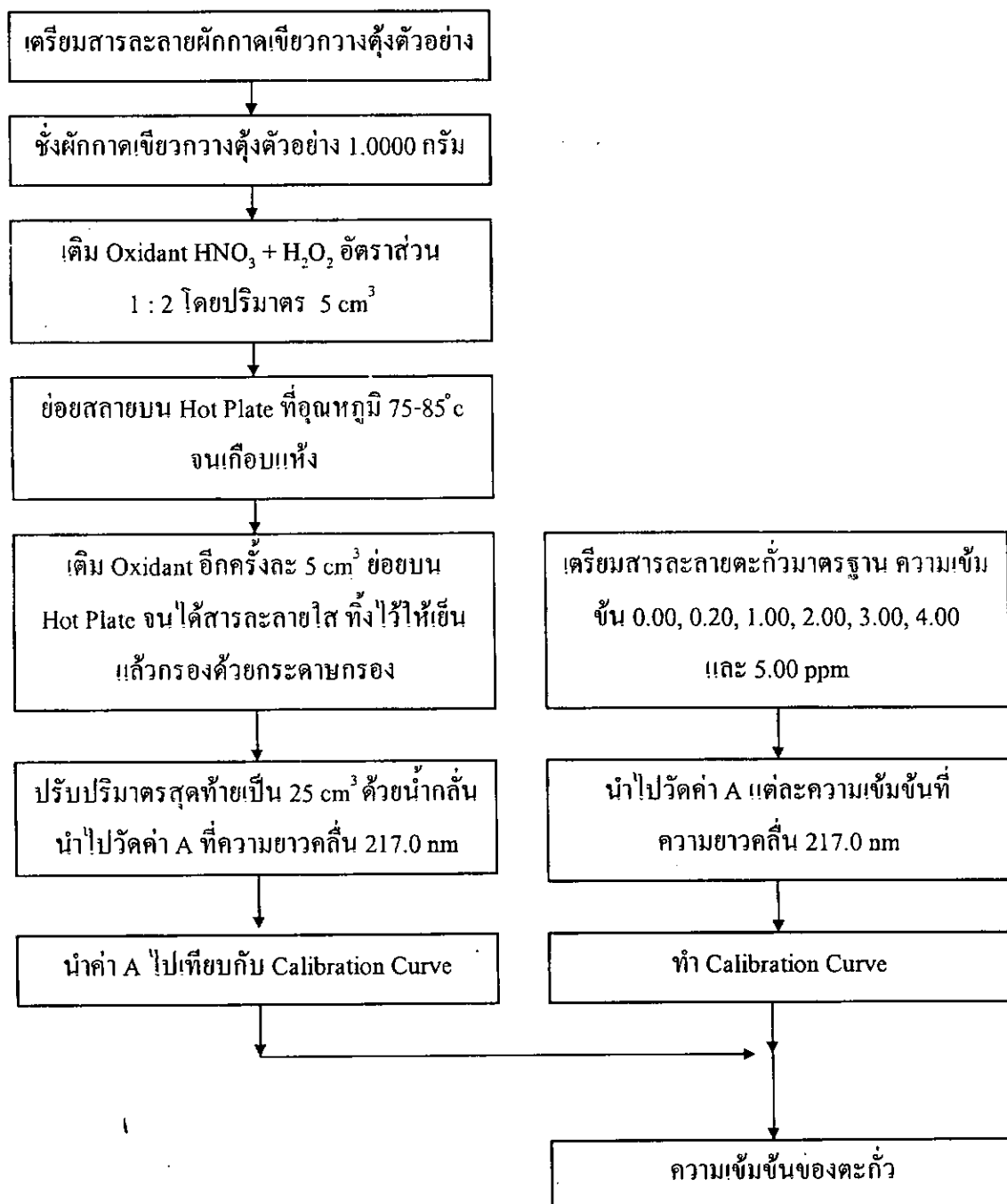
จากการทดลองเราสามารถที่จะหาปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียวกวาดต้งได้โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี และสารย่อยสลายที่เหมาะสมในการย่อยสลายผักกาดเขียวกวาดต้งได้ดีคือ $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ 30% ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร

แนวคำตอบคำถามท้ายการทดลอง

1. เพราะเหตุใดในการเตรียมสารละลายผักกาดเขียวกวาดต้ง จะเลือกใช้สารย่อยสลายที่เป็นสารละลายผสมระหว่างสารละลายกรดไนตริกเข้มข้นกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตรเป็นตัวทำละลาย เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว

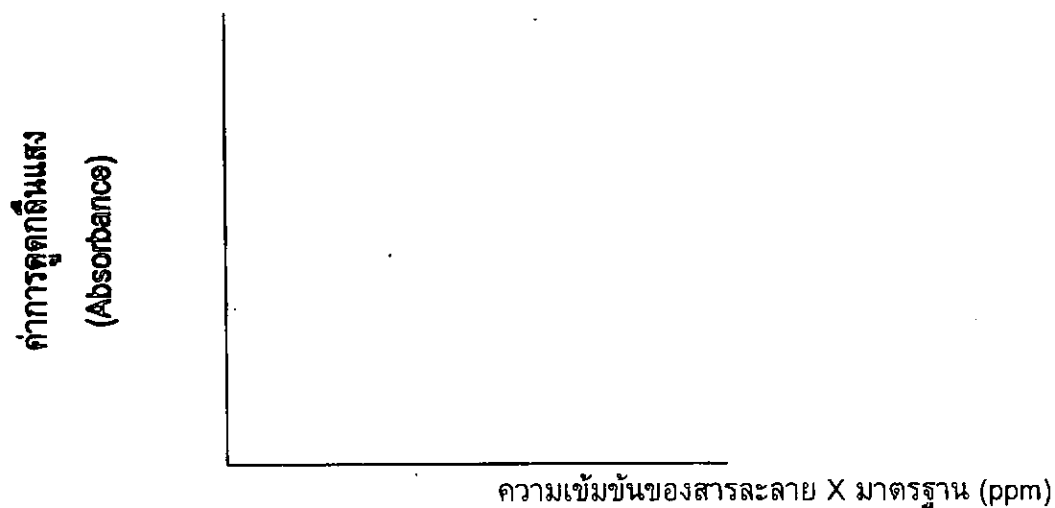
ตอบ เพราะการใช้สารย่อยสลายชนิดนี้ จะสามารถทำลายสารอินทรีย์ในสารตัวอย่างได้ดี เพราะให้ค่า percentage recovery สูง และสารย่อยสลายนี้ยังใช้ในปริมาณน้อยก็สามารถย่อยสารตัวอย่างได้สมบูรณ์ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ประหยัดสาร นอกจากนี้กรดไนตริกกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ยังระเหยง่าย ทำให้โอกาสที่สารทั้งสองจะตกค้างมีน้อย มีผลทำให้ค่า Percentage recovery สูงขึ้น

2. จงเขียนแผนภาพการดำเนินการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียววางตุ้ง โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี



3. เมื่อนำสารละลายมาตรฐาน X มาเตรียมให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อนำไปสร้างกราฟมาตรฐานพบว่าความเข้มข้น 1.00 ppm วัดค่าการดูดกลืนแสง (A) ได้ = 0.26, 2.00 ppm ได้ A = 0.44 , 3.00 ppm ได้ A = 0.54 และ 4.00 ppm ได้ A = 0.61 ถ้าสารละลายมาตรฐาน X วัดค่า A ได้ 0.50 โดยทำการทดลองในภาวะเดียวกัน จงหาความเข้มข้นของ X

ตอบ



คำชี้แจงเกี่ยวกับการตอบแบบประเมิน

บทปฏิบัติการเรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสีในผัก ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้)

ส่วนที่ 2 บทปฏิบัติการ ซึ่งประกอบด้วย

- วัตถุประสงค์
- หลักการ/ทฤษฎี
- อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี
- วิธีทดลอง

ส่วนที่ 3 เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง

โปรดประเมินโดยใช้แบบประเมินความสอดคล้อง โดยประเมินความสอดคล้องด้านต่าง ๆ ดังนี้

- ความสอดคล้องด้านเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ
- ความสอดคล้องด้านบทปฏิบัติการ
- ความสอดคล้องด้านเอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง

ให้ท่านพิจารณาว่าแต่ละด้านที่กำหนดให้ มีความสอดคล้องหรือไม่ ให้ท่านพิจารณาให้คะแนนดังนี้

- +1 ถ้าท่านแน่ใจว่าสอดคล้อง
- 0 ถ้าท่านไม่แน่ใจว่าสอดคล้อง
- 1 ถ้าท่านแน่ใจว่าไม่สอดคล้อง

แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง
บทปฏิบัติการที่ 1
เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในผักกาดเขียวทางตั้ง
โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

รายการ	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
	+1	0	-1	
1. ด้านเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้)				
1.1 เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด				
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน				
1.3 เนื้อหาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลอง				
1.4 การใช้ภาษา				
1.4.1 ไม่วกวน				
1.4.2 เข้าใจง่าย				
2. ด้านบทปฏิบัติการ				
2.1 วัตถุประสงค์				
2.1.1 มีความชัดเจน				
2.1.2 ประเมินผลได้				
2.2 หลักการทฤษฎี				
2.2.1 มีความชัดเจน				
2.2.2 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการ				
2.2.3 เหมาะสมกับระดับของนักศึกษา				
2.2.4 ความสั้นยาวของทฤษฎี/หลักการเหมาะสม				
2.3 อุปกรณ์ เครื่องมือ สารเคมี				
2.3.1 เหมาะสมกับระดับนักศึกษา				
2.3.2 ครอบคลุมกับการทดลอง				
2.3.3 เหมาะสมกับเรื่องที่ทำทดลอง				

รายการ	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
	+1	0	-1	
2.4 วิธีการทดลอง				
2.4.1 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้				
2.4.2 มีความยากง่ายพอเหมาะ				
2.4.3 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด				
2.4.4 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม				
2.4.5 ส่งเสริมให้นักศึกษามีทักษะปฏิบัติ				
การทดลอง				
2.4.6 นักศึกษาแต่ละคนมีส่วนร่วมใน				
กิจกรรมการทดลอง				
3. เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้าย				
การทดลอง				
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม				
3.2 คำถามท้ายการทดลอง				
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง				
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับวัตถุประสงค์				
3.2.3 คำถามส่งเสริมด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์				
3.2.4 คำถามส่งเสริมการคิดแก้ปัญหา				
3.2.5 ความสั้นยาวของคำถามเหมาะสม				

ใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการที่ 2

เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในผักนึ่ง

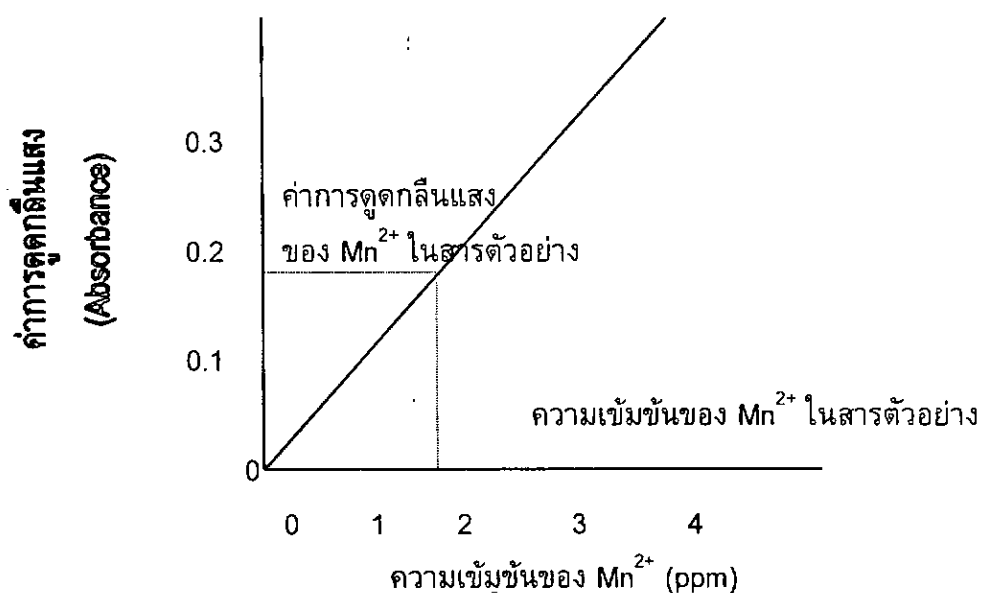
โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

สาระสำคัญ

ในการวิเคราะห์สารโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic absorption spectrophotometry, AAS) นั้น สารละลายตัวอย่างจะถูกส่งเข้าไปในเปลวไฟอุณหภูมิสูง ความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้ตัวทำละลายระเหยและเกิดการสลายพันธะเคมีแล้วปลดปล่อยอะตอมของโลหะให้เป็นอิสระ อะตอมของธาตุเหล่านี้จะถูกดูดกลืนแสงจากหลอดฮอลโลว์คาโทด (Hollow cathode lamp) ที่มีความยาวคลื่นเฉพาะสำหรับธาตุนั้น อะตอมอิสระเมื่อถูกดูดกลืนแสง เวเลนซ์อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นไปอยู่ที่สภาวะกระตุ้น (Excited state) ซึ่งจะทำให้ความเข้มของแสงลดลง ซึ่งความเข้มของแสงที่จะลดลงจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของธาตุในสารละลาย

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณแมงกานีส ในผักนึ่งตัวอย่าง โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี โดยใช้สารย่อยสลาย (Digesting agent) ผสมระหว่างกรดไนตริก เข้มข้นกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร เพราะการใช้สารย่อยสลายชนิดนี้ได้มีการทดลองมาแล้วว่าสามารถทำลายสารอินทรีย์ในตัวอย่างได้ดี โดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การพบ (Percentage recovery) ซึ่งจะให้ค่านี้สูงกว่าอัตราส่วนอื่นๆ และยังใช้ปริมาณของสารย่อยสลายนี้น้อยอีกด้วย นอกจากนี้กรดไนตริกเข้มข้นและสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นสารที่เมื่อให้ความร้อนขณะทำการย่อยสลาย สลายตัวให้ก๊าซที่ระเหยง่าย ดังนั้นโอกาสที่สารทั้งสองนี้จะตกค้างอยู่ในสารละลายตัวอย่างน้อยมาก และทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบมีค่าสูง การสังเกตได้ว่ากรดไนตริกในสารละลายตัวอย่างมีอยู่หรือไม่ ดูจากก๊าซสีน้ำตาลแดงที่เกิดขึ้นเมื่อให้ความร้อน ถ้ายังมีอยู่จะปรากฏเป็นก๊าซสีน้ำตาลแดงของไนโตรเจนไดออกไซด์ นอกจากนี้การใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ผสมลงไปในนั้นจะช่วยให้การย่อยสลายโดยที่ไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงมากนัก อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ ช่วง 75-85°C ถ้าสูงมากเกินไปจะทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระเหยเร็ว เพื่อย่อยสลายผักนึ่ง อยู่ในรูปสารละลาย แล้วนำสารละลายนี้ไปวัดค่าแอบซอร์พแบนซ์ (A) หรือค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากนั้นจึงนำค่าแอบซอร์พแบนซ์ของแมงกานีสที่วัดได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานแมงกานีส ก็จะได้ค่าความเข้มข้นของแมงกานีสในผักนึ่ง ซึ่งเรียกการหาปริมาณวิเคราะห์วิธีนี้ว่าวิธีการเทียบกราฟ (Calibration method) ซึ่งวิธีนี้ใช้ในกรณีสารตัวอย่าง ไม่ค่อยมีสิ่งรบกวนและสารตัวอย่างเจือจาง การหาปริมาณวิเคราะห์โดยวิธีการเทียบกราฟทำได้โดยเตรียมสารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆ กัน (4-5

ความเข้มข้น) ปรับสัญญาณที่ได้จากแบลงค์ (blank) ให้เป็นศูนย์ แล้วจึงวัดค่าแอมพลิจูดของสารละลายมาตรฐานนั้น นำผลของค่าแอมพลิจูดของสารละลายมาตรฐานค่าความเข้มข้นต่าง ๆ มาเขียนกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานนั้น จะได้ Calibration curve ลักษณะ curve เป็นดังรูป แล้วนำค่า A ของสารตัวอย่างมาเทียบหาความเข้มข้นและคำนวณหาปริมาณ Mn ในผักบึงต่อไป ก็จะได้ค่าความเข้มข้นของแมงกานีสในผักบึงตามต้องการ



สิ่งสำคัญจะต้องไม่ลืมว่า Calibration curve ที่ได้ใช้ได้เฉพาะการวิเคราะห์แต่ละครั้งเท่านั้น เมื่อจะ วิเคราะห์ใหม่จะต้องทำใหม่ ทั้งนี้เพราะ parameters ต่างๆ ที่ใช้อาจเปลี่ยนแปลงได้

บทปฏิบัติการที่ 2

เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในผักบุ้ง

โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมสารละลายผักบุ้งตัวอย่าง โดยใช้สารย่อยสลายผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร
2. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในสารละลายผักบุ้งตัวอย่าง โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

หลักการ

แมงกานีส เป็นโลหะหนัก มีสีชาวลำเงิน แข็งและเปราะ พืชสามารถดูดซับแมงกานีสได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความเข้มข้นของแมงกานีส ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ อุณหภูมิและการทำงานของแบคทีเรีย การวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในพืชผักตัวอย่าง นิยมใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี เพราะวิเคราะห์ได้รวดเร็วและค่อนข้างแม่นยำ ซึ่งเทคนิคดังกล่าวนี้ทำโดยเตรียมสารละลายผักตัวอย่างด้วยสารย่อยสลายที่เหมาะสม แล้วนำสารละลายผักตัวอย่างนี้ไปวัดความสามารถในการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ที่ความยาวคลื่น 279.5 นาโนเมตร เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานแมงกานีสที่ลงกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของสารละลายแมงกานีสมาตรฐาน จะทำให้สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของแมงกานีสในสารละลายผักตัวอย่างได้

เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้

เครื่องมืออุปกรณ์

1. บีกเกอร์
2. ปิเปต
3. ขวดปริมาตร
4. กรวยกรอง
5. แท่งแก้วสำหรับคนสาร
6. ขวดน้ำกลั่น

7. กระดาษกรอง
8. Hot plate
9. เครื่องชั่งวิเคราะห์ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
10. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
11. เติชเคเตอร์

สารเคมี

1. สารละลายแมงกานีสมาตรฐาน 100 ppm.
2. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30% โดยปริมาตร
3. กรดไนตริกเข้มข้น
4. น้ำกลั่น
5. ผักบุ้งตัวอย่างอบแห้งบดละเอียด

วิธีการทดลอง

ก. เตรียมกราฟมาตรฐานแมงกานีส

1. ปิเปตสารละลายแมงกานีสมาตรฐานเข้มข้น 100 ppm. มา 0, 0.2, 0.40, 0.60, 1.00, 1.40 และ 2.00 cm³ ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 100 cm³ 7 ใบ แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 cm³ จะได้สารละลายแมงกานีสเข้มข้น 0 (สารละลายแบลงค์), 0.20, 0.40, 0.60, 1.00, 1.40 และ 2.00 ppm ตามลำดับ
2. นำสารละลายจากข้อ 1 ทั้ง 7 ใบ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS ที่ความคลื่น 279.5 นาโนเมตร
3. นำค่าการดูดกลืนแสงไปลงกราฟกับค่าความเข้มข้นของแมงกานีสต่าง ๆ กัน จะได้กราฟมาตรฐานของแมงกานีส

ข. เตรียมสารละลายผักบุ้งตัวอย่าง

1. ชั่งผักบุ้งตัวอย่างมา 1.0000 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 cm³
2. เตรียมสารย่อยสลายผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% โดยปริมาตร ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร ทำโดยใส่กรดไนตริกเข้มข้น 25 cm³ ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 cm³ แล้วใส่สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% 50 cm³ ผสมลงไป ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน
3. ปิเปตสารย่อยสลายผสม จากข้อ 2 ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีผักบุ้ง 1.0000 กรัม จากข้อ 1 5 cm³ แล้วนำไปย่อยสลายบน Hot plate อุณหภูมิประมาณ 75-85°C จนเกือบแห้ง ทำในตู้ควัน

4. แล้วเติมสารย่อยสลายลงไปอีกครั้งละ 5 cm^3 ขณะเติมควรลดอุณหภูมิให้ต่ำลงย่อยสลายบน Hot plate ต่อ จนได้สารละลายใส ปล่อยให้เย็น แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง ปริมาตรสุดท้ายเป็น 25 cm^3 ด้วยน้ำกลั่น

5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS ที่ความยาวคลื่น 279.5 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของแมงกานีส ข้อ 3 (ก) (ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง) คำนวณหาปริมาณแมงกานีสในผักบึงตัวอย่างหน่วย ppm และคำนวณหาปริมาณแมงกานีสในหน่วย mg/kg

รายงานการทดลองบทปฏิบัติการที่ 2
เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในผักนึ่ง
โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

วัน/เดือน/ปี.....กลุ่มที่.....

ชื่อผู้ทดลอง

1.
2.

วัตถุประสงค์

.....

.....

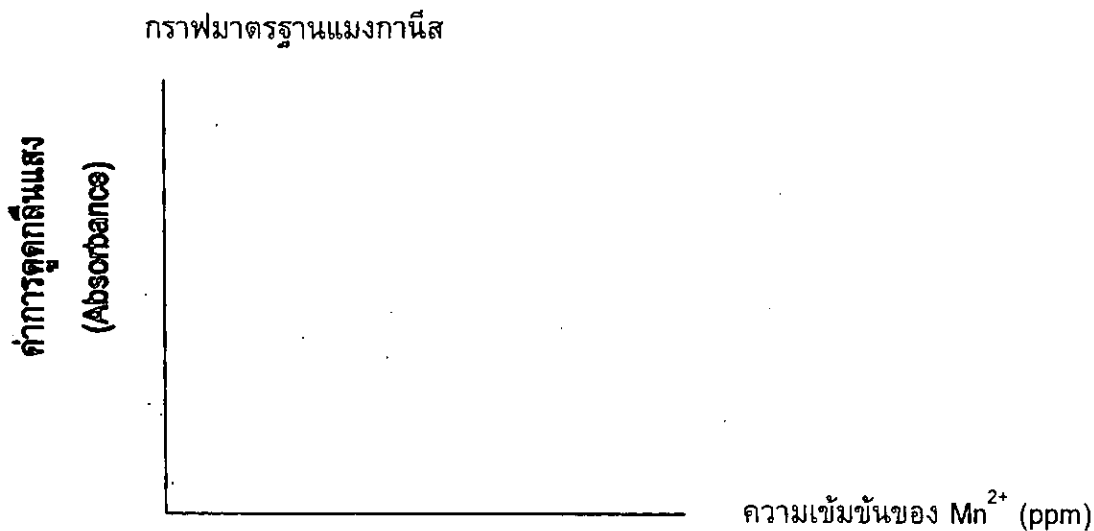
.....

.....

ผลการทดลอง

ก. การเตรียมกราฟมาตรฐานแมงกานีส

ความเข้มข้นของ Mn^{2+} (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
0.0	
0.20	
0.40	
0.60	
1.00	
1.40	
2.00	



ข. การวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในผักบุ้งตัวอย่าง

น้ำหนักผักบุ้งตัวอย่าง (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง
ครั้งที่ 1.....	
ครั้งที่ 2.....	
ครั้งที่ 3.....	

ความเข้มข้นของแมงกานีส (ppm) เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงไปเทียบกับ
กราฟแคลิเบรท

ครั้งที่	ความเข้มข้นของแมงกานีส (ppm)	ปริมาณแมงกานีส ในผักบุ้ง (mg/kg)
1		
2		
3		
ค่าเฉลี่ย		

ความเข้มข้นของแมงกานีสในผักบุ้งตัวอย่าง.....ppm
น้ำหนักของแมงกานีสในผักบุ้งตัวอย่าง.....mg/kg

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. นักศึกษาคิดว่าผักบุ้งที่ปลูกในบริเวณต่างกันจะมีการสะสมแมงกานีสต่างกันเพราะเหตุใด

ตอบ.....

.....

.....

.....

ข. ส่วนต่างๆของผักบุ้งที่ปลูกในบริเวณต่างกันจะมีการสะสมแมงกานีสต่างกันหรือไม่

จะรู้ได้อย่างไร

ตอบ.....

.....

.....

.....

2. จงเขียนแผนภาพการดำเนินการวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในผักบุ้งตัวอย่าง

โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในสารละลายผักตัวอย่างโดยวิธี AAS มีข้อดีอย่างไรบ้าง

ตอบ.....
.....
.....
.....

ข. การเตรียมสารละลายผักบดตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสโดยวิธี AAS นั้น จะต้องระมัดระวังเรื่องใดบ้างเพื่อที่จะทำให้ผลการวิเคราะห์น่าเชื่อถือและถูกต้องมากที่สุด

ตอบ.....
.....
.....
.....

เอกสารอ้างอิง

นวลศรี นิวัติชัยวงศ์. (2535). *อะตอมมิกแอบซอร์พชันและอิมิชชันสเปกโทรสโกปี*.

กรุงเทพฯ : ภาควิชาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรพิมล ม่วงไทย. (2541). *คู่มือปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์*. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

R.A. Burns. (1995). *Fundamental of Chemistry in the Laboratory*. 2nd ed. New Jersey :
Printice Hall.

D.A. Skoog and D.M. West. (1990). *Principles of Instrumental Analysis*. 2nd ed.
Philadelphia : Saunders College.

คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่ 2
เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในผักบุ้ง
โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

วัตถุประสงค์การเรียนรู้

- 1. เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างโดยใช้สารย่อยสลายผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร
- 2. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในผักบุ้ง โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

เวลาที่ใช้อภิปรายก่อนการทดลอง	10 นาที
ทดลอง	150 นาที
อภิปรายหลังการทดลอง	20 นาที
รวม	180 นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
สารเคมี	
สารละลาย	20 cm ³
สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น	25 cm ³
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30%	50 cm ³
น้ำกลั่น	100 cm ³
ผักบุ้งบดละเอียดแห้ง	1.0000 g

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
อุปกรณ์	
บีกเกอร์ขนาด 100 cm ³	8 ใบ
แท่งแก้วคนสาร	2 แท่ง
ปิเปตขนาด 0.1, 1.0, 5 cm ³	อย่างละ 1 อัน
กรวยกรอง	3 อัน
กระดาษกรอง	2 แผ่น
ขวดน้ำกลั่น	1 ขวด
ขวดปริมาตรขนาด 100 cm ³	7 ขวด
เดซิเคเตอร์	1

การเตรียมก่อนล่วงหน้า

1. เตรียมสารละลายแมงกานีสมาตรฐาน 100 ppm โดยปิเปตสารละลายแมงกานีสมาตรฐาน เข้มข้น 1000 ppm มา 100 cm³ ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 1,000 cm³ แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนครบปริมาตร นำไปอบในตู้อบจนได้น้ำหนักคงที่ เก็บไว้ในเดซิเคเตอร์เพื่อวิเคราะห์ (1,2 ครูเตรียมไว้ให้ล่วงหน้า)

2. เตรียมผักบุ้ง โดยนำผักบุ้งไปล้างแดด เมื่อแห้งนำไป อบแห้งด้วยตู้อบ แล้วนำมาบดเป็นผงละเอียด

อภิปรายก่อนการทดลอง

1. ครูแนะนำให้นักศึกษาเตรียมสารละลายแมงกานีสมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ตามวิธีการทดลอง เพื่อนำไปสร้างกราฟมาตรฐานแมงกานีส

2. การเติมสารย่อยสลายผสม HNO₃ + H₂O₂ 30% อัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร บีกเกอร์ที่อยู่บน Hot Plate ควรลดอุณหภูมิให้ต่ำลง

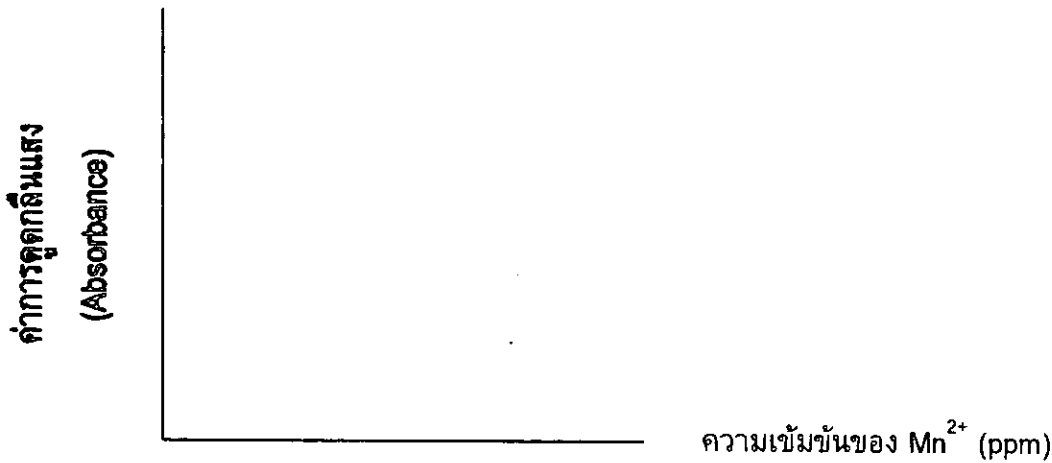
3. ครูอธิบายหลักการของเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

ผลการทดลอง

ก. การเตรียมกราฟมาตรฐานแมงกานีส

ความเข้มข้นของ Mn^{2+} (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
0.00	
0.20	
0.40	
0.60	
1.00	
1.40	
2.00	

กราฟมาตรฐานแมงกานีส



ข. การวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในผักบึงตัวอย่าง

น้ำหนักผักบึง ตัวอย่าง (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง
ครั้งที่ 1.....	
ครั้งที่ 2.....	
ครั้งที่ 3.....	

ความเข้มข้นของแมงกานีส (ppm) เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงไปเทียบกับกราฟ

มาตรฐาน

ครั้งที่	ความเข้มข้นของแมงกานีส (ppm)	ปริมาณแมงกานีส ในผักบุ้ง (mg/kg)
1		
2		
3		
ค่าเฉลี่ย		

ความเข้มข้นของแมงกานีสในผักบุ้งตัวอย่าง.....ppm

น้ำหนักของแมงกานีสในผักบุ้งตัวอย่าง.....mg/kg

อภิปรายหลังการทดลอง

ครูและนักศึกษาร่วมกันอภิปราย เพื่อให้ได้ข้อสรุปดังนี้

จากการทดลองเราสามารถที่จะหาปริมาณแมงกานีสในผักบุ้งได้โดยเทคนิค อะตอมมิก แอปซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี และสารย่อยสลายที่เหมาะสมในการย่อยสลายผักบุ้งได้ดีคือ $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ 30% ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร

แนวคำตอบคำถามท้ายการทดลอง

1. จงตอบคำถามต่อไปนี้

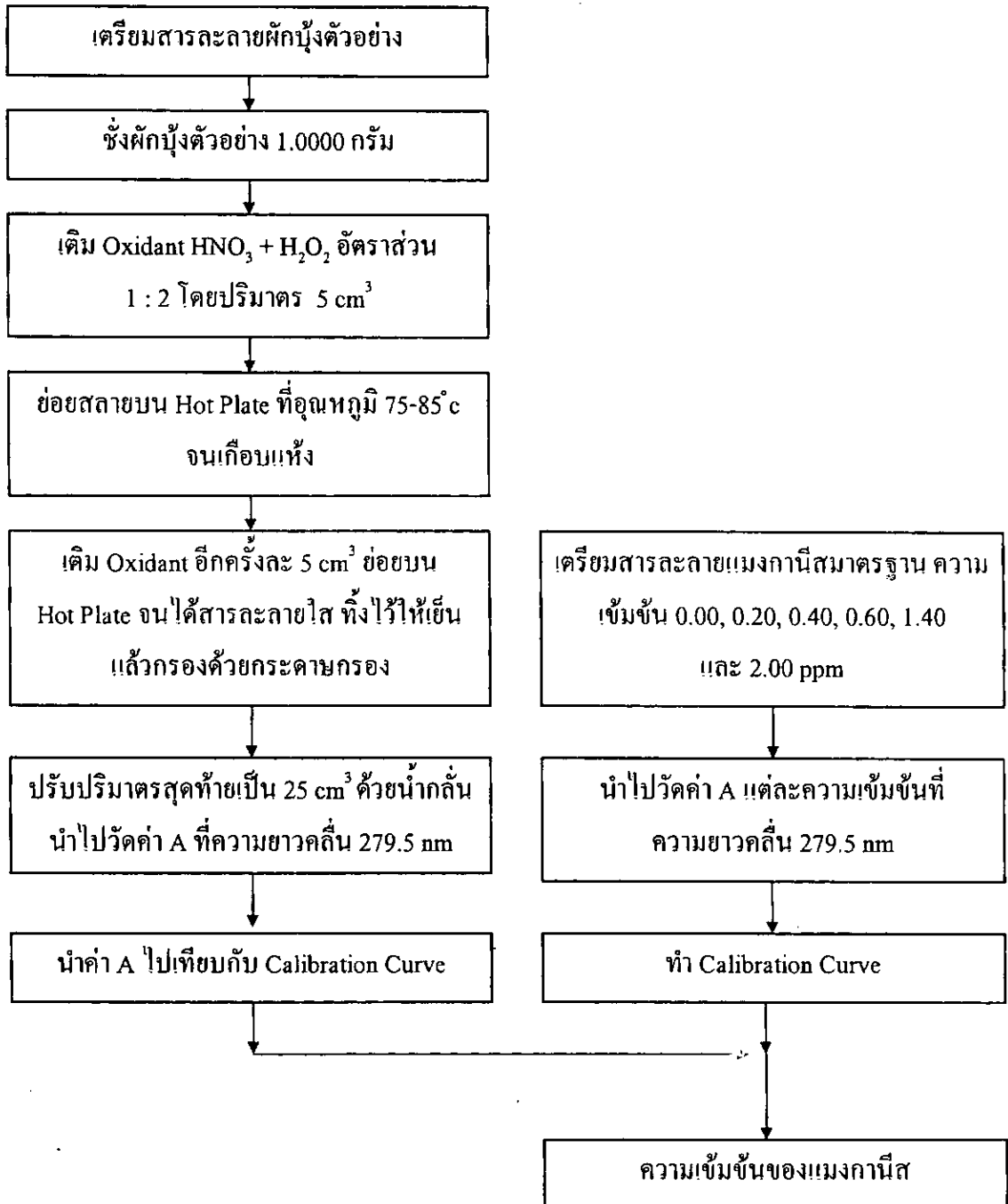
ก. ผักบุ้งที่ปลูกในบริเวณต่างกันจะมีการสะสมแมงกานีสต่างกันเพราะเหตุใด

ตอบ เพราะบริเวณต่างกันั้นมึปริมาณแมงกานีสสะสมในดิน น้ำ และอากาศต่างกัน ดังนั้น ผักบุ้งที่ปลูกในบริเวณที่มีแมงกานีสมากโอกาสที่แมงกานีสจะไปสะสมย่อมมีมากกว่าบริเวณที่มีแมงกานีสน้อย

ข. ส่วนต่างๆของผักบุ้ง เช่น ต้น ใบ ดอก จะมีการสะสมของแมงกานีสต่างกันหรือไม่ จะรู้ได้อย่างไร

ตอบ นำแต่ละส่วนของผักบุ้ง เช่น ต้น ใบ ดอก มาอบแห้งแล้วบดเป็นผงละเอียด นำมาย่อยสลายด้วยสารย่อยสลาย แล้วนำสารละลายไปวิเคราะห์แมงกานีสโดยวิธี AAS แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

2. จงเขียนแผนภาพการดำเนินการวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในผักบุ้ง โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี



3. จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยวิธี AAS มีข้อดีอย่างไร

ตอบ การวิเคราะห์โลหะหนักในสารละลายผักตัวอย่างโดยวิธี AAS มีความแม่นยำสูง วิเคราะห์ได้รวดเร็วและวิธีการไม่ซับซ้อนมาก

ข. การเตรียมสารละลายผักบดตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสโดยวิธี AAS นั้น จะต้องระมัดระวังเรื่องใดบ้าง เพื่อที่จะทำให้ผลการวิเคราะห์น่าเชื่อถือและถูกต้องมากที่สุด

ตอบ จะต้องระมัดระวังเรื่องความสะอาดของอุปกรณ์การทดลอง ปริมาณสารที่ใช้ต้องถูกต้องตามที่กำหนด ตลอดจนขั้นตอนและเงื่อนไขในการทดลองต่างๆต้องเน้นไปตามกำหนด

แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง
บทปฏิบัติการที่ 2
เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในผักบุ้ง
โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

รายการ	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
	+1	0	-1	
1. ด้านเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้)				
1.1 เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด				
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน				
1.3 เนื้อหาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลอง				
1.4 การใช้ภาษา				
1.4.1 ไม่วกวน				
1.4.2 เข้าใจง่าย				
2. ด้านบทปฏิบัติการ				
2.1 วัตถุประสงค์				
2.1.1 มีความชัดเจน				
2.1.2 ประเมินผลได้				
2.2 หลักการทฤษฎี				
2.2.1 มีความชัดเจน				
2.2.2 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการ				
2.2.3 เหมาะสมกับระดับของนักศึกษา				
2.2.4 ความสั้นยาวของทฤษฎี/หลักการเหมาะสม				
2.3 อุปกรณ์ เครื่องมือ สารเคมี				
2.3.1 เหมาะสมกับระดับนักศึกษา				
2.3.2 ครอบคลุมกับการทดลอง				
2.3.3 เหมาะสมกับเรื่องที่ทำการทดลอง				

รายการ	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
	+1	0	-1	
2.4 วิธีการทดลอง				
2.4.1 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้				
2.4.2 มีความยากง่ายพอเหมาะ				
2.4.3 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด				
2.4.4 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม				
2.4.5 ส่งเสริมให้นักศึกษามีทักษะปฏิบัติ การทดลอง				
2.4.6 นักศึกษาแต่ละคนมีส่วนร่วมใน กิจกรรมการทดลอง				
3. เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้าย การทดลอง				
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม				
3.2 คำถามท้ายการทดลอง				
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง				
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับวัตถุประสงค์				
3.2.3 คำถามส่งเสริมด้านทักษะกระบวนการ ทางวิทยาศาสตร์				
3.2.4 คำถามส่งเสริมการคิดแก้ปัญหา				
3.2.5 ความสั้นยาวของคำถามเหมาะสม				

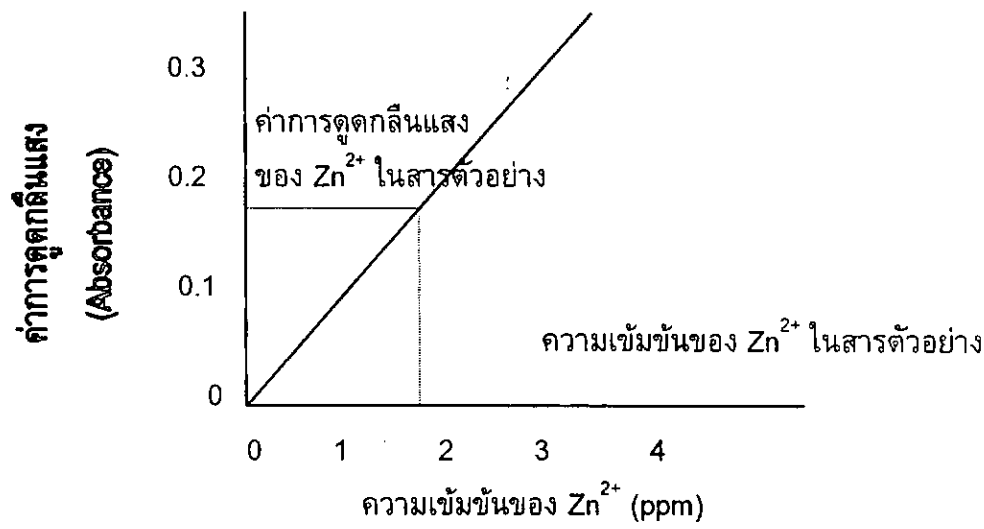
ใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในผักคะน้า โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

สาระสำคัญ

ในการวิเคราะห์สารโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic absorption spectrophotometry, AAS) นั้น สารละลายตัวอย่างจะถูกส่งเข้าไปในเปลวไฟอุณหภูมิสูง ความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้ตัวทำละลายระเหยและเกิดการสลายพันธะเคมีแล้วปลดปล่อยอะตอมของโลหะให้เป็นอิสระ อะตอมของธาตุเหล่านี้จะถูกดูดกลืนแสงจากหลอดฮอลโลว์คาโทด (Hollow cathode lamp) ที่มีความยาวคลื่นเฉพาะสำหรับธาตุนั้น อะตอมอิสระเมื่อถูกดูดกลืนแสง เวเลนซ์อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นไปอยู่ที่สภาวะกระตุ้น (Excited state) ซึ่งจะทำให้ความเข้มของแสงลดลง ซึ่งความเข้มของแสงที่จะลดลงจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของธาตุในสารละลาย

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณสังกะสี ในผักคะน้าตัวอย่าง โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี โดยใช้สารย่อยสลาย (Digesting agent) ผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร เพราะการใช้ย่อยสลายชนิดนี้ได้มีการทดลองมาแล้วว่าสามารถทำลายสารอินทรีย์ในตัวอย่างได้ดี โดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การพบ (Percentage recovery) ซึ่งมันจะให้ค่าที่สูงกว่าอัตราส่วนอื่นๆ และยังใช้ปริมาณของสารย่อยสลายนี้น้อยอีกด้วย นอกจากนี้กรดไนตริกเข้มข้นและสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นสารที่เมื่อให้ความร้อนขณะทำการย่อยสลาย สลายตัวให้ก๊าซที่ระเหยง่าย ดังนั้นโอกาสที่สารทั้งสองนี้จะตกค้างอยู่ในสารละลายตัวอย่างมีน้อยมาก และทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การพบมีค่าสูง การสังเกตได้ว่ากรดไนตริกในสารละลายตัวอย่างมีอยู่หรือไม่ ดูจากก๊าซสีน้ำตาลแดงที่เกิดขึ้นเมื่อให้ความร้อน ถ้ายังมีอยู่จะปรากฏเป็นก๊าซสีน้ำตาลแดงของไนโตรเจนไดออกไซด์ นอกจากนี้การใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ผสมลงไปนั้นจะช่วยให้การย่อยสลายโดยที่ไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงมากนัก อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ ช่วง 75-85°C ถ้าสูงมากเกินไปจะทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระเหยเร็ว เพื่อย่อยสลายผักคะน้า อยู่ในรูปสารละลาย แล้วนำสารละลายนี้ไปวัดค่าแอบซอร์พแบนซ์ (A) หรือค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากนั้นจึงนำค่าแอบซอร์พแบนซ์ของสังกะสีที่วัดได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานสังกะสี ก็จะได้ค่าความเข้มข้นของสังกะสีในผักคะน้า ซึ่งเรียกการหาปริมาณวิเคราะห์วิธีนี้ว่าวิธีเทียบกราฟ (Calibration method) ซึ่งวิธีนี้ใช้ในกรณีสารตัวอย่าง ไม่ค่อยมีสิ่งรบกวนและสารตัวอย่างเจือจาง การหาปริมาณวิเคราะห์โดยวิธีเทียบกราฟ ทำโดยเตรียมสารละลายสังกะสีมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆ กัน (4-5 ความเข้มข้น)

ปรับสัญญาณที่ได้จากแบลงค์ (blank) ให้เป็นศูนย์ แล้วจึงวัดค่าแอมซอร์ปแทนซ์ของสารละลายมาตรฐานนั้น นำผลของค่าแอมซอร์ปแทนซ์ของสารละลายมาตรฐานค่าความเข้มข้นต่างๆ มาเขียนกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานนั้น จะได้ Calibration curve ลักษณะ curve เป็นดังรูป แล้วนำค่า A ของสารตัวอย่างมาเทียบหาความเข้มข้นและคำนวณหาปริมาณ Zn ในผักคะน้าต่อไป ก็จะได้ค่าความเข้มข้นของสังกะสีในผักคะน้าตามต้องการ



สิ่งสำคัญจะต้องไม่ลืมว่า Calibration curve ที่ได้ใช้ได้เฉพาะการวิเคราะห์แต่ละครั้งเท่านั้น เมื่อจะวิเคราะห์ใหม่จะต้องทำใหม่ ทั้งนี้เพราะ parameters ต่างๆ ที่ใช้อาจเปลี่ยนแปลงได้

บทปฏิบัติการที่ 3

เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในผักคะน้า

โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมสารละลายผักคะน้าตัวอย่าง โดยใช้สารย่อยสลายผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร
2. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในสารละลายผักคะน้าตัวอย่าง โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

หลักการ

สังกะสี เป็นสารที่จำเป็นต่อร่างกายในการดำรงชีวิตของคน สัตว์ และพืช สังกะสีจัดเป็นโลหะที่มีความเป็นพิษต่ำ โดยมากจะเกิดร่วมกับโลหะหนักชนิดอื่น ๆ การวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีในพืชผักตัวอย่าง นิยมใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี เพราะวิเคราะห์ได้รวดเร็วและค่อนข้างแม่นยำ ซึ่งเทคนิคดังกล่าวนี้ทำโดยเตรียมสารละลายผักตัวอย่างด้วยสารย่อยสลายที่เหมาะสม แล้วนำสารละลายผักตัวอย่างนี้ไปวัดความสามารถในการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐาน สังกะสีที่ลงกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีมาตรฐาน จะทำให้สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของสังกะสีในสารละลายผักตัวอย่างได้

เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้

เครื่องมืออุปกรณ์

1. บีกเกอร์
2. ปีเปต
3. ขวดปริมาตร
4. กรวยกรอง
5. แท่งแก้วสำหรับคนสาร
6. ขวดน้ำกลั่น
7. กระดาษกรอง
8. Hot plate

9. เครื่องชั่งวิเคราะห์ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
10. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
11. เดซิเคเตอร์

สารเคมี

1. สารละลายสังกะสีมาตรฐานเข้มข้น 100 ppm.
2. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30% โดยปริมาตร
3. กรดไนตริกเข้มข้น
4. น้ำกลั่น
5. ผักคะน้าตัวอย่างอบแห้งบดละเอียด

วิธีการทดลอง

ก. เตรียมกราฟมาตรฐานสังกะสี

1. ปิเปตสารละลายสังกะสีมาตรฐานเข้มข้น 100 ppm. มา 0, 0.20, 0.40, 0.60, 1.00, 1.40 และ 2.00 cm³ ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 100 cm³ 7 ใบ แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 cm³ จะได้สารละลายสังกะสีเข้มข้น 0 (สารละลายแบลนด์), 0.20, 0.40, 0.60, 1.00, 1.40 และ 2.00 ppm ตามลำดับ

2. นำสารละลายจากข้อ 1 ทั้ง 7 ใบ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS ที่ความคลื่น 213.9 นาโนเมตร

3. นำค่าการดูดกลืนแสงไปลงกราฟกับค่าความเข้มข้นของสังกะสีต่าง ๆ กัน จะได้กราฟมาตรฐานของสังกะสี

ข. เตรียมสารละลายผักคะน้าตัวอย่าง

1. ชั่งผักคะน้าตัวอย่างมา 1.0000 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 cm³

2. เตรียมสารย่อยสลายผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร ทำโดยใส่กรดไนตริกเข้มข้น 25 cm³ ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 cm³ แล้วใส่สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 cm³ ผสมลงไป ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน

3. ปิเปตสารย่อยสลายผสม จากข้อ 2 ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีผักคะน้า 1.0000 กรัม จากข้อ 1 5 cm³ แล้วนำไปย่อยสลายบน Hot plate อุณหภูมิประมาณ 75-85°C จนเกือบแห้งทำในตู้ควัน

4. แล้วเติมสารย่อยสลายลงไปอีกครั้งละ 5 cm³ ขณะเติมควรลดอุณหภูมิให้ต่ำลง ย่อยสลายบน Hot plate ต่อ จนได้สารละลายใส ปล่อยให้เย็น แล้วกรองด้วยกระดาษกรองปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 25 cm³ ด้วยน้ำกลั่น

5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS ที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสังกะสี ข้อ 3 (ก) (ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง) คำนวณหาปริมาณสังกะสีในผักคะน้าตัวอย่างหน่วย ppm และคำนวณหาปริมาณสังกะสีในหน่วย mg/kg

รายงานการทดลองบทปฏิบัติการที่ 3
เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในผักคะน้า
โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

วัน/เดือน/ปี.....กลุ่มที่.....

ชื่อผู้ทดลอง

1.
2.

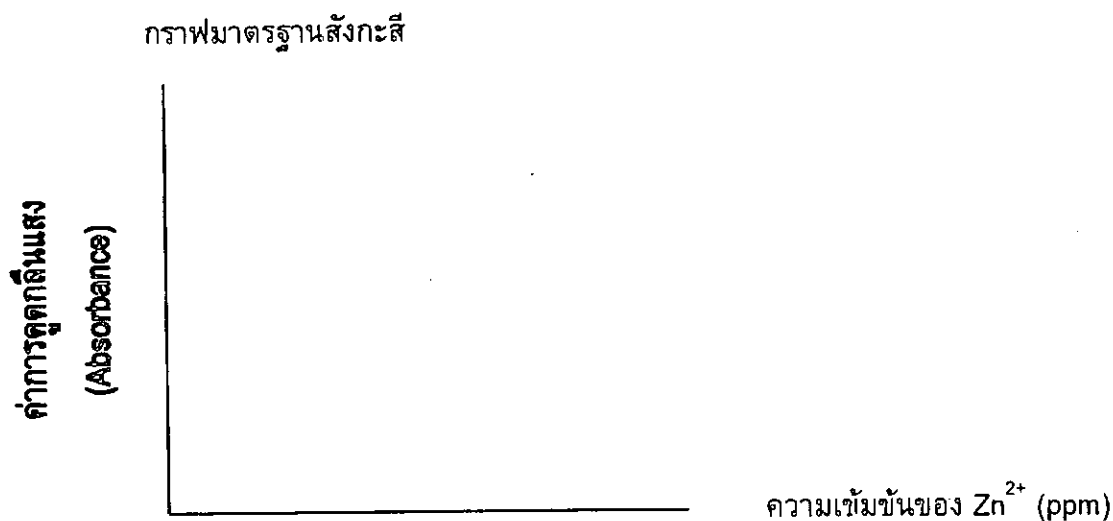
วัตถุประสงค์

.....
.....
.....
.....

ผลการทดลอง

ก. การเตรียมกราฟมาตรฐานสังกะสี

ความเข้มข้นของ Zn^{2+} (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
0.00	
0.20	
0.40	
0.60	
1.00	
1.40	
2.00	



ข. การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในผักคะน้าตัวอย่าง

น้ำหนักผักคะน้าตัวอย่าง (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง
ครั้งที่ 1.....	
ครั้งที่ 2.....	
ครั้งที่ 3.....	

ความเข้มข้นของสังกะสี (ppm) เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงไปเทียบกับ

กราฟแคลิเบรท

ครั้งที่	ความเข้มข้นของสังกะสี (ppm)	ปริมาณสังกะสี ในผักคะน้า (mg/kg)
1		
2		
3		
ค่าเฉลี่ย		

ความเข้มข้นของสังกะสีในผักคะน้าตัวอย่าง.....ppm

น้ำหนักของสังกะสีในผักคะน้าตัวอย่าง.....mg/kg

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. ชั่งผักคะน้าที่แห้งและบดละเอียดมา 1.0000 กรัม ทำการย่อยสลายด้วยสารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 25 cm^3 นำสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีโดยวิธี AAS พบว่ามีสังกะสีเข้มข้น 1 ppm จงคำนวณหาปริมาณสังกะสีเป็น mg/Kg (เมื่อความหนาแน่นของสารละลายเป็น 1 g/cm^3)

ตอบ.....

.....

.....

.....

2. จงเขียนแผนภาพการดำเนินการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในผักคะน้าตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

.....

.....

.....

.....

.....

3. จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. ในการนำสารละลายผักคะน้าไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี ทำไมจึงต้องใช้ความยาวคลื่น 217.0 นาโนเมตร

ตอบ.....

.....

.....

.....

ข. จากการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในผักคะน้าตัวอย่างที่ปลูกในบริเวณ A พบว่ามีปริมาณสังกะสีเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด แต่ในบริเวณ B พบว่ามีปริมาณสังกะสีน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด นักศึกษาคิดว่าสาเหตุที่ผักคะน้าที่ปลูกในบริเวณ A และบริเวณ B มีปริมาณสังกะสีต่างกันเป็นเพราะเหตุใด

ตอบ.....

.....

.....

.....

เอกสารอ้างอิง

- นวลศรี นวัตกรรมค์. (2535). *อะตอมมิกแอบซอร์พชันและอิมิชชันสเปกโทรสโกปี*.
 กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรพิมล ม่วงไทย. (2541). *คู่มือปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์*. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี
 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- R.A. Burns. (1995). *Fundamental of Chemistry in the Laboratory*. 2nd ed. New Jersey :
 Printice Hall.
- D.A. Skoog and D.M. West (1990). *Principles of Instrumental Analysis*. 2nd ed.
 Philadelphia : Saunders College.

คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่ 3
เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในผักคะน้า
โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

วัตถุประสงค์การเรียนรู้

- 1. เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่าง
โดยใช้สารย่อยสลายผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นกับสารละลายไฮโดรเจน
เปอร์ออกไซด์ 30% ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร
- 2. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในผักคะน้า โดยโดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชัน
สเปกโทรโฟโตเมตรี

เวลาที่ใช้อภิปรายก่อนการทดลอง	10 นาที
ทดลอง	150 นาที
อภิปรายหลังการทดลอง	20 นาที
รวม	180 นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
สารเคมี	
สารละลาย	20 cm ³
สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น	25 cm ³
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30%	50 cm ³
น้ำกลั่น	100 cm ³
ผักคะน้าบดละเอียดแห้ง	1.0000 g

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
อุปกรณ์	
บีกเกอร์ขนาด 100 cm ³	8 ใบ
แท่งแก้วคนสาร	2 แท่ง
ปิเปตขนาด 0.1, 1.0, 5 cm ³	อย่างละ 1 อัน
กรวยกรอง	3 อัน
กระดาษกรอง	2 แผ่น
ขวดน้ำกลั่น	1 ขวด
ขวดปริมาตรขนาด 100 cm ³	7 ขวด
เดซิเคเตอร์	1 ใบ

การเตรียมก่อนล่วงหน้า

- เตรียมสารละลายสังกะสีมาตรฐาน 100 ppm โดยปิเปตสารละลายสังกะสีมาตรฐานเข้มข้น 1000 ppm มา 100 cm³ ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 1,000 cm³ แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนครบปริมาตร
- เตรียมผักคะน้า โดยนำผักคะน้าไปผึ่งแดด เมื่อแห้งนำไป อบแห้งด้วยตู้อบ แล้วนำมาบดเป็นผงละเอียด นำไปอบในตู้อบจนได้น้ำหนักคงที่ เก็บไว้ในเดซิเคเตอร์เพื่อวิเคราะห์ (1,2 ครูเตรียมไว้ให้ล่วงหน้า)

อภิปรายก่อนการทดลอง

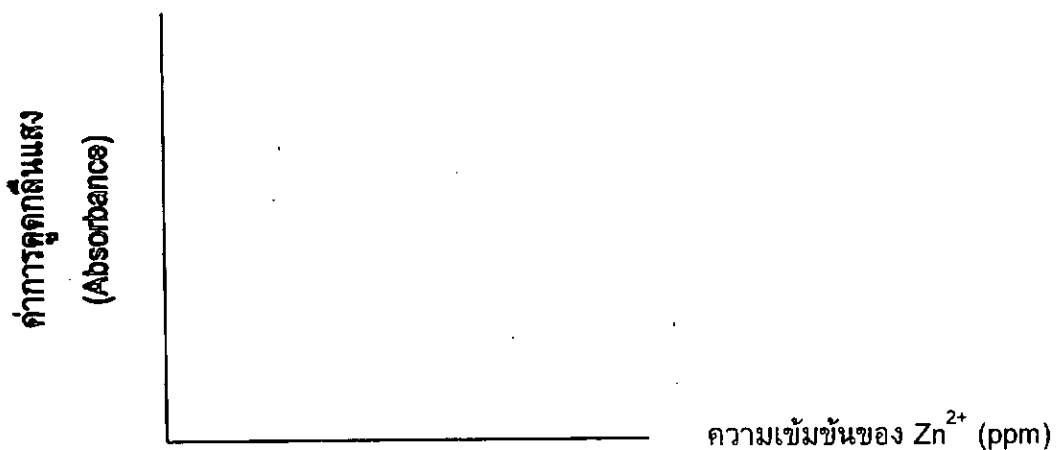
- ครูแนะนำให้ให้นักศึกษาเตรียมสารละลายสังกะสีมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ ตามวิธีการทดลอง เพื่อนำไปสร้างกราฟมาตรฐาน
- การเติมสารย่อยสลายผสม $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ 30% อัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตรในบีกเกอร์ที่อยู่บน Hot Plate ควรลดอุณหภูมิให้ต่ำลง
- ครูอธิบายหลักการของเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

ผลการทดลอง

ก. การเตรียมกราฟมาตรฐานสังกะสี

ความเข้มข้นของ Zn^{2+} (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
0.00	
0.20	
0.40	
0.60	
1.00	
1.40	
2.00	

กราฟมาตรฐานสังกะสี



ข. การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในผักคะน้าตัวอย่าง

น้ำหนักผักคะน้า ตัวอย่าง (กรัม)	ค่าการดูดกลืนแสง
ครั้งที่ 1.....	
ครั้งที่ 2.....	
ครั้งที่ 3.....	

ความเข้มข้นของสังกะสี (ppm) เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงไปเทียบกับกราฟแคลิเบรท

ครั้งที่	ความเข้มข้นของสังกะสี (ppm)	ปริมาณสังกะสี ในผักคะน้า (mg/kg)
1		
2		
3		
ค่าเฉลี่ย		

ความเข้มข้นของสังกะสีในผักคะน้าตัวอย่าง.....ppm
น้ำหนักของสังกะสีในผักคะน้าตัวอย่าง.....mg/kg

อภิปรายหลังการทดลอง

ครูและนักศึกษาร่วมกันอภิปราย เพื่อให้ได้ข้อสรุปดังนี้
จากการทดลองเราสามารถที่จะหาปริมาณสังกะสีในผักคะน้าได้โดยเทคนิค อะตอมมิก แอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี และ Oxidant ที่เหมาะสมในการย่อยสลายผักคะน้าได้ดีคือ $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ 30% ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร

แนวคำตอบคำถามท้ายการทดลอง

1. ชั่งผักคะน้าที่แห้งและบดละเอียดมา 1.0000 กรัม ทำการย่อยสลายด้วยสารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 25 cm³ นำสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีโดยวิธี AAS พบว่ามีสังกะสีเข้มข้น 1 ppm จงคำนวณหาปริมาณสังกะสีเป็น mg/Kg (เมื่อความหนาแน่นของสารละลายเป็น 1 g/cm³)

ตอบ ในสารละลายผักคะน้าตัวอย่าง 25 cm³ ตรวจพบ Zn เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของสังกะสี มีความเข้มข้น = 1 ppm

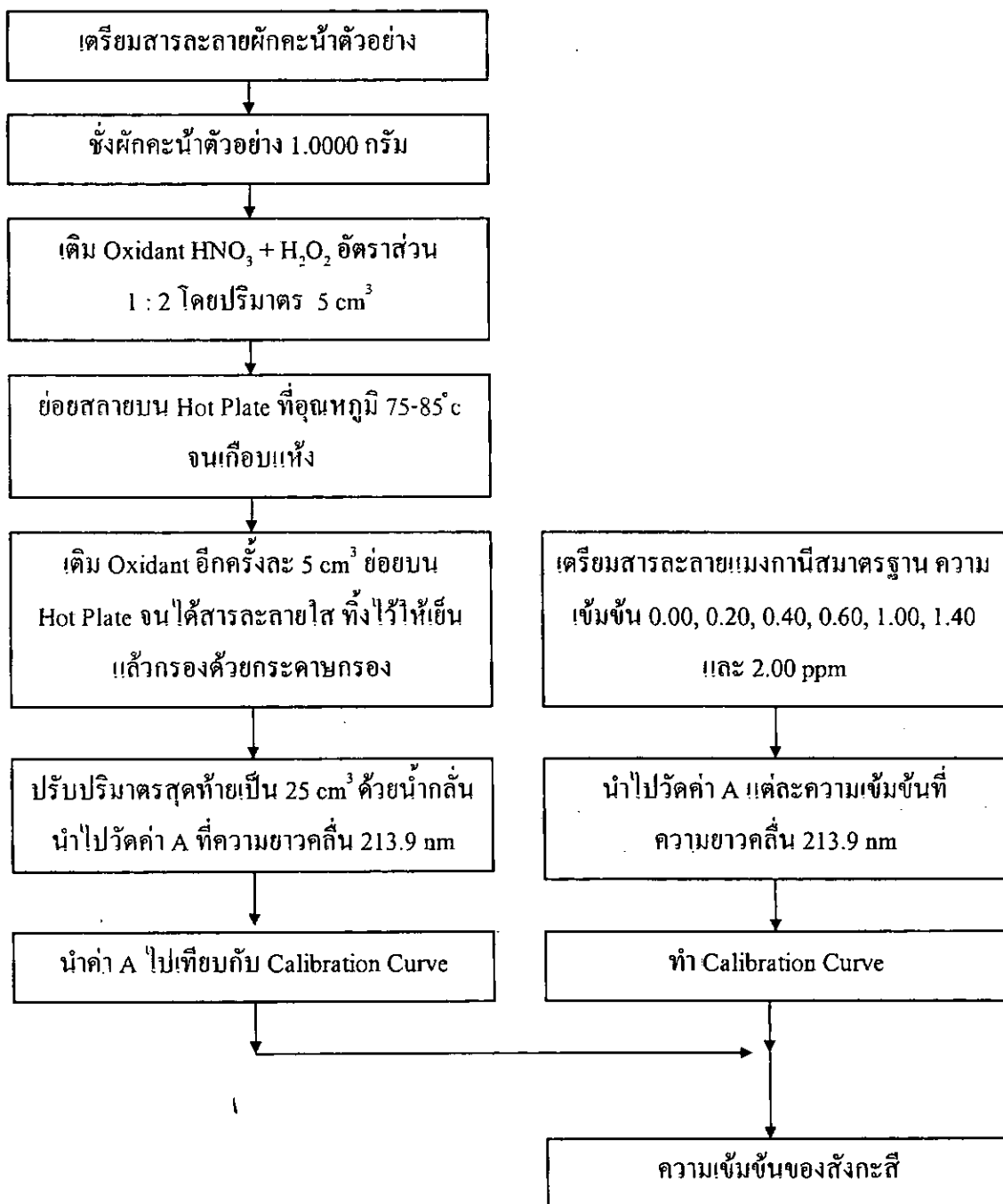
$$\text{ppm} = \text{mg/Kg} = \mu\text{g/cm}^3 \text{ (เมื่อความหนาแน่น} = 1 \text{ g/cm}^3 \text{)}$$

$$\text{ในสารละลาย 25 cm}^3 \text{ มี Zn} = 25 \mu\text{g}$$

$$\text{สารละลาย 25 cm}^3 \text{ มาจากผักคะน้าตัวอย่าง 1.0000 กรัม}$$

ผักคะน้าตัวอย่าง 1 กรัม มี Zn = 25 μg
ผักคะน้าตัวอย่าง 1 Kg มี Zn = 25 mg
∴ ในผักตัวอย่างมี Zn = 25 ppm
= 25 mg/Kg

2. จงเขียนแผนภาพการดำเนินการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในผักคะน้า โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี



3. จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. ในการนำสารละลายผักคะน้าไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี ทำไมจึงต้องใช้ความยาวคลื่น 217.0 นาโนเมตร

ตอบ เพราะความยาวคลื่น 217.0 นาโนเมตร เป็นช่วงความยาวคลื่นที่ Zn มีการดูดกลืนแสงได้มากที่สุด

ข. จากการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในผักคะน้าตัวอย่างที่ปลูกในบริเวณ A พบว่ามีปริมาณสังกะสีเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด แต่ในบริเวณ B พบว่ามีปริมาณสังกะสีน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด นักศึกษาคิดว่าสาเหตุที่ผักคะน้าที่ปลูกในบริเวณ A และบริเวณ B มีปริมาณสังกะสีต่างกันเป็นเพราะเหตุใด

ตอบ เพราะบริเวณ A และ B มีปริมาณ Zn ต่างกัน บริเวณ A มีปริมาณ Zn มาก จึงถูกดูดซึมเข้าไปสะสมในผักคะน้ามากกว่าบริเวณ B

แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง
บทปฏิบัติการที่ 3
เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในผักคะน้า
โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี

รายการ	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
	+1	0	-1	
1. ด้านเอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้)				
1.1 เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด				
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน				
1.3 เนื้อหาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลอง				
1.4 การใช้ภาษา				
1.4.1 ไม่วกวน				
1.4.2 เข้าใจง่าย				
2. ด้านบทปฏิบัติการ				
2.1 วัตถุประสงค์				
2.1.1 มีความชัดเจน				
2.1.2 ประเมินผลได้				
2.2 หลักการทฤษฎี				
2.2.1 มีความชัดเจน				
2.2.2 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการ				
2.2.3 เหมาะสมกับระดับของนักศึกษา				
2.2.4 ความสั้นยาวของทฤษฎี/หลักการเหมาะสม				
2.3 อุปกรณ์ เครื่องมือ สารเคมี				
2.3.1 เหมาะสมกับระดับนักศึกษา				
2.3.2 ครอบคลุมกับการทดลอง				
2.3.3 เหมาะสมกับเรื่องที่ทำทดลอง				

รายการ	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
	+1	0	-1	
2.4 วิธีการทดลอง				
2.4.1 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้				
2.4.2 มีความยากง่ายพอเหมาะ				
2.4.3 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด				
2.4.4 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม				
2.4.5 ส่งเสริมให้นักศึกษามีทักษะปฏิบัติการทดลอง				
2.4.6 นักศึกษาแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการทดลอง				
3. เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง				
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม				
3.2 คำถามท้ายการทดลอง				
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง				
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับวัตถุประสงค์				
3.2.3 คำถามส่งเสริมด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์				
3.2.4 คำถามส่งเสริมการคิดแก้ปัญหา				
3.2.5 ความสั้นยาวของคำถามเหมาะสม				

ภาคผนวก ง

- คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน
- คะแนนเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการของกลุ่มทดลอง
ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน (คะแนนเต็ม 30)

คนที่	คะแนน		ผลต่างของคะแนน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	
1	16	24	8
2	19	25	6
3	18	23	5
4	20	25	5
5	17	23	6
6	19	24	5
7	20	25	5
8	18	26	8
9	19	24	5
10	20	26	6
11	19	26	7
12	20	27	7
13	18	24	8
14	19	23	4
15	18	25	7
16	17	24	7
17	19	25	6
18	20	24	4
19	21	27	6
20	20	26	6
21	19	24	5
22	19	26	4
23	18	24	6
24	20	26	6
25	21	26	5
26	19	24	5
27	18	24	6
28	19	25	6
29	20	24	4
30	18	25	7

คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการของกลุ่มทดลอง
ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน (แยกเป็นรายด้าน)

คนที่	วัดทักษะด้าน																รวมคะแนนทั้งหมด 30 คะแนน		
	การตั้งสมมติฐาน (4 คะแนน)				การทดลอง (5 คะแนน)				การตีความหมายและ ลงข้อสรุป (11 คะแนน)				การกำหนดและควบคุม ตัวแปร (7 คะแนน)				การกำหนดนิยามเชิง ปฏิบัติการ (3 คะแนน)		
	ก่อน เรียน	หลัง เรียน	ผล ต่าง		ก่อน เรียน	หลัง เรียน	ผล ต่าง		ก่อน เรียน	หลัง เรียน	ผล ต่าง		ก่อน เรียน	หลัง เรียน	ผล ต่าง		ก่อน เรียน	หลัง เรียน	ผล ต่าง
1	2	3	1		2	4	2		6	9	3		5	6	1		1	2	1
2	2	3	1		3	4	1		7	10	3		5	6	1		2	2	0
3	2	2	0		3	4	1		6	9	3		5	6	1		2	2	0
4	2	3	1		3	5	2		8	9	1		5	6	1		2	2	0
5	2	3	1		3	4	1		6	10	4		4	5	1		2	2	0
6	2	3	1		3	4	1		6	8	2		6	6	0		2	3	1
7	2	4	2		3	5	2		7	9	2		6	6	0		2	3	1
8	2	4	2		3	5	2		7	9	2		4	5	1		2	3	1
9	3	3	0		3	4	1		6	9	3		5	6	1		2	2	0
10	3	4	1		4	5	1		6	8	2		5	6	1		2	3	1
11	2	4	2		3	5	2		6	8	2		6	6	0		2	3	1
12	3	4	1		3	5	2		6	9	3		6	6	0		2	3	1
13	2	4	2		3	4	1		6	9	3		4	6	2		3	3	0
14	3	3	0		3	4	1		6	8	2		5	6	1		2	3	1

คนที่	วัดพิษณุคาม															รวมคะแนนทั้งหมด 30 คะแนน		
	การตั้งสมมติฐาน (4 คะแนน)			การทดลอง (5 คะแนน)			การตีความหมายและ ลงข้อสรุป (11 คะแนน)			การกำหนดและควบคุม ตัวแปร (7 คะแนน)			การกำหนดนิยามเชิง ปฏิบัติการ (3 คะแนน)					
ก่อน เรียน	หลัง เรียน	ผล ต่าง	ก่อน เรียน	หลัง เรียน	ผล ต่าง	ก่อน เรียน	หลัง เรียน	ผล ต่าง	ก่อน เรียน	หลัง เรียน	ผล ต่าง	ก่อน เรียน	หลัง เรียน	ผล ต่าง	ก่อน เรียน	หลัง เรียน	ผล ต่าง	
15	2	3	1	3	4	1	6	10	4	5	5	0	2	3	1	18	25	7
16	2	3	1	3	3	0	5	10	5	5	5	0	2	3	1	17	24	7
17	3	4	1	3	3	0	5	9	4	6	6	0	2	3	1	19	25	6
18	3	3	0	3	3	0	5	9	4	6	6	0	3	3	0	20	24	4
19	3	4	1	3	5	2	6	10	4	7	5	2	2	3	1	21	27	6
20	3	4	1	3	4	1	7	9	2	5	6	1	2	3	1	20	26	6
21	3	4	1	3	4	1	7	9	2	4	4	0	2	3	1	19	24	5
22	2	3	1	4	4	0	7	9	2	4	7	3	2	3	1	19	26	7
23	2	4	1	3	3	0	6	10	4	5	5	0	2	2	0	18	24	6
24	3	4	1	3	4	1	6	9	3	6	6	0	2	3	1	20	26	6
25	3	4	1	3	4	1	7	8	1	6	7	1*	2	3	1	21	26	5
26	2	3	1	3	4	1	7	9	2	5	5	0	2	3	1	19	24	5
27	2	3	1	3	4	1	6	8	2	5	6	1	2	3	1	18	24	6
28	2	3	1	2	4	2	7	8	1	6	7	1	2	3	1	19	25	6
29	2	3	1	3	4	1	7	8	1	6	7	1	2	3	1	20	24	4
30	2	3	1	2	4	2	6	8	2	6	7	1	2	3	1	18	25	7

คะแนนเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของกลุ่มทดลอง
ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน (คะแนนเต็ม 70)

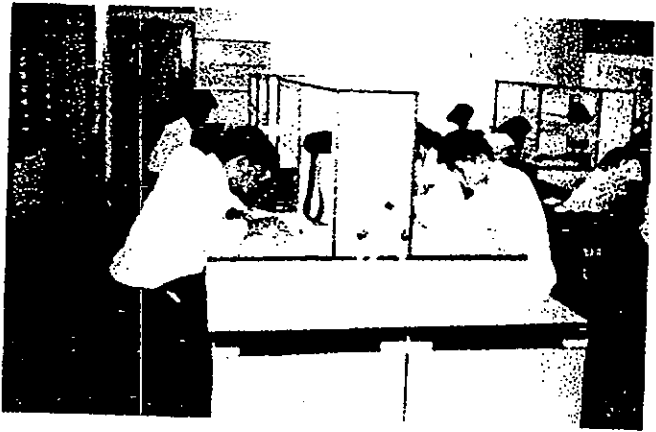
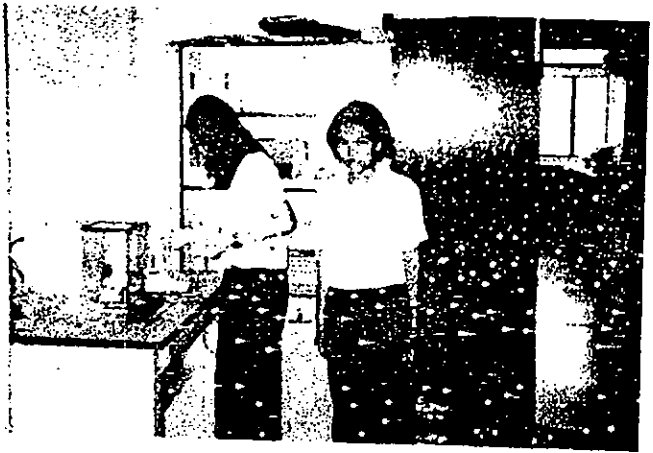
คนที่	คะแนน		ผลต่างของคะแนน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	
1	53	61	8
2	65	66	1
3	64	67	3
4	65	68	3
5	60	67	7
6	62	65	3
7	62	64	2
8	60	66	6
9	60	67	7
10	61	66	5
11	58	66	8
12	62	67	5
13	64	66	25
14	60	63	3
15	62	68	6
16	58	62	4
17	62	67	5
18	62	64	2
19	61	65	4
20	62	66	4
21	60	63	3
22	60	65	5
23	63	67	4
24	60	62	2
25	61	65	4
26	62	64	2
27	59	65	6
28	62	67	5
29	60	65	5
30	63	67	4

คะแนนเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของกลุ่มทดลอง
ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน (แยกเป็นรายด้าน)

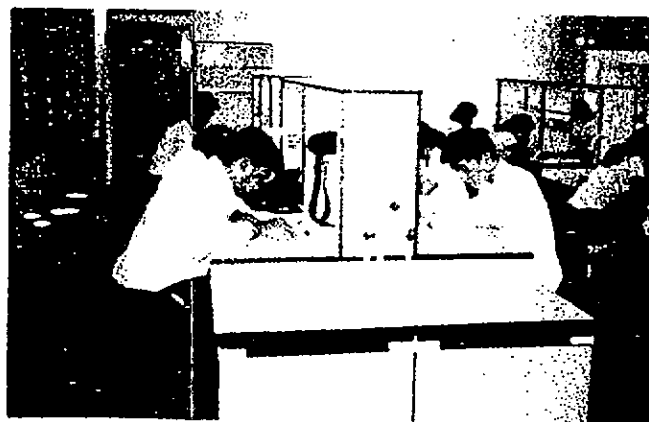
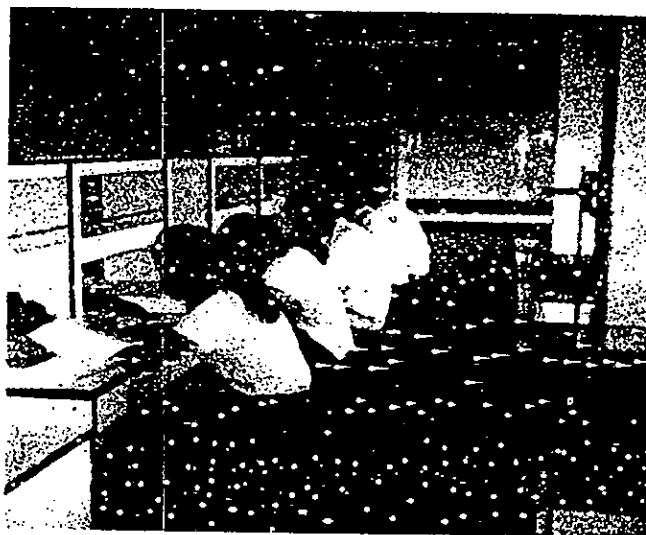
คนที่	วัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ด้าน																								รวมคะแนน ทั้งหมด (72 คะแนน)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	ความละเอียดรอบคอบ (9 คะแนน)						ความพากเพียรพยายาม (9 คะแนน)						ความมีเหตุผล (12 คะแนน)						ความมีใจกว้าง (12 คะแนน)									ความสามารถ ทำงานร่วมกับ ผู้อื่น (9 คะแนน)						ความซื่อสัตย์ (12 คะแนน)						ความอยากรู้อยากเห็น (9 คะแนน)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง				ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
1	7	8	1	8	9	1	9	11	2	8	9	1	7	8	1	8	9	1	6	7	1	53	61	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											</

คนที่	วัดเจตคตวิหารวิทยาศาสตร์ด้าน																								รวมคะแนนทั้งหมด (72 คะแนน)						
	ความละเอียดรอบคอบ (9 คะแนน)				ความพากเพียรพยายาม (9 คะแนน)				ความมีเหตุผล (12 คะแนน)				ความมีใจกว้าง (12 คะแนน)				ความสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่น (9 คะแนน)				ความซื่อสัตย์ (12 คะแนน)							ความอยากรู้อยากเห็น (9 คะแนน)			
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง	ผล	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง	ผล	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง	ผล	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง	ผล	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง	ผล	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง	ผล	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ผลต่าง	ผล			
15	8	9	1		9	9	0		11	11	0		10	11	1		8	9	1		8	10	2		8	9	1		62	68	6
16	8	9	1		9	9	0		10	11	1		9	10	1		7	8	1		8	8	0		7	7	0		58	62	4
17	8	9	1		8	9	1		10	11	1		11	11	0		8	9	1		8	9	1		9	9	0		62	67	5
18	8	9	1		8	8	0		11	11	0		11	11	0		8	8	0		8	9	1		8	8	0		62	64	2
19	7	8	1		8	9	1		10	10	0		10	11	1		8	8	0		10	10	0		8	9	1		61	65	4
20	7	8	1		8	8	0		10	11	1		11	11	0		8	9	1		10	10	0		8	9	1		62	66	4
21	7	8	1		8	9	1		10	11	1		10	10	0		8	8	0		8	9	1		9	9	0		60	63	3
22	7	8	1		8	9	1		10	11	1		10	11	1		8	8	0		9	10	1		8	8	0		60	65	5
23	8	9	1		8	9	1		10	11	1		10	11	1		9	9	0		10	10	0		8	8	0		63	67	4
24	8	9	1		9	9	0		11	11	0		9	9	0		8	8	0		7	8	1		8	8	0		60	62	2
25	8	8	0		9	9	0		10	11	1		10	11	1		8	8	0		9	10	1		7	8	1		61	65	4
26	8	9	1		8	9	1		10	10	0		11	11	0		8	8	0		9	9	0		8	8	0		62	64	2
27	8	9	1		9	9	0		11	12	1		9	9	0		7	8	1		8	9	1		7	9	2		59	65	6
28	8	8	0		8	9	1		10	11	1		11	12	1		8	9	1		8	9	1		9	9	0		62	67	5
29	8	9	1		8	9	1		10	11	1		11	11	0		8	9	1		7	8	1		8	8	0		60	65	5
30	8	9	1		8	9	1		11	11	0		10	11	1		8	8	0		9	10	1		9	9	0		63	67	4

ภาคผนวก จ
รูปภาพการลงมือทำบทปฏิบัติการของนักศึกษา







ภาคผนวก จ

ตารางแสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a)

ตาราง 54 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย
ตะกั่วมาตรฐานโดยวิธี AOAC

ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง		X^2		Y^2		XY	
X		Y							
0.00		0.000		0.00		0.000		0.000	
2.00		0.050		4.00		0.003		0.100	
4.00		0.102		16.00		0.010		0.408	
6.00		0.150		36.00		0.023		0.900	
8.00		0.196		64.00		0.038		1.568	
10.00		0.234		100.00		0.055		2.340	
ΣX	30.00	ΣY	0.732	ΣX^2	220.00	ΣY^2	0.129	ΣXY	5.316
$\bar{X}$	5.00	$\bar{Y}$	0.122	$\bar{X}^2$	36.667	$\bar{Y}^2$	0.021	$\bar{X}\bar{Y}$	0.886
$(\bar{X})^2$	25.00								

$a = 0.024$

$b = 0.004$

ดังนั้น $Y = 0.024X + 0.004$

$r_{xy} = 0.9984$

ตาราง 55 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของตะกั่วในสารละลาย
ผักกาดเขียวกวาดึง

	ค่าความเข้มข้น X	ค่าการดูดกลืนแสง Y	X^2	Y^2	XY
	0.00	0.010	0.00	0.001	0.000
	2.00	0.062	4.00	0.004	0.124
	4.00	0.112	16.00	0.013	0.448
	6.00	0.162	36.00	0.027	0.972
	8.00	0.210	64.00	0.045	1.680
	10.00	0.260	100.00	0.068	2.600
ΣX	30.00	ΣY 0.816	ΣX^2 220.00	ΣY^2 0.158	ΣXY 5.824
$\bar{X}$	5.00	$\bar{Y}$ 0.136	$\bar{X}^2$ 36.67	$\bar{Y}^2$ 0.027	$\bar{X}\bar{Y}$ 0.971
$(\bar{X})^2$	25.00				

$$a = 0.025$$

ตาราง 56 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย
แมงกานีสมาตรฐานโดยวิธี AOAC

	ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง						
	X		Y		X^2		Y^2		XY
	0.00		0.000		0.00		0.000		0.000
	0.50		0.052		0.25		0.003		0.026
	1.00		0.113		1.00		0.013		0.113
	1.50		0.170		2.25		0.029		0.255
	2.50		0.278		6.25		0.077		0.695
	3.00		0.330		9.00		0.109		0.990
ΣX	8.50	ΣY	0.943	ΣX^2	18.75	ΣY^2	0.231	ΣXY	2.079
$\bar{X}$	1.42	$\bar{Y}$	0.158	$\bar{X}^2$	3.13	$\bar{Y}^2$	0.038	$\bar{X}\bar{Y}$	0.347
$(\bar{X})^2$	2.01								

$a = 0.109$

$b = 0.002$

ดังนั้น $Y = 0.109X + 0.006$

$r_{xy} = 0.9996$

ตาราง 57 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของแมงกานีสในสารละลาย ผักบุ้ง

	ค่าความเข้มข้น X		ค่าการดูดกลืนแสง Y		X^2		Y^2		XY
	0.00		0.075		0.00		0.006		0.000
	0.50		0.125		0.25		0.016		0.063
	1.00		0.175		1.00		0.031		0.175
	1.50		0.220		2.25		0.049		0.330
	2.50		0.362		6.25		0.131		0.905
	3.00		0.429		9.00		0.184		1.287
ΣX	8.50	ΣY	1.386	ΣX^2	18.75	ΣY^2	0.601	ΣXY	2.760
$\bar{X}$	1.42	$\bar{Y}$	0.231	$\bar{X}^2$	3.13	$\bar{Y}^2$	0.101	$\bar{X}\bar{Y}$	0.460
$(\bar{X})^2$	2.01								

$$a = 0.118$$

ตาราง 58 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย
สังกะสีมาตรฐานโดยวิธี AOAC

	ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง						
	X		Y		X^2		Y^2		XY
	0.00		0.000		0.00		0.000		0.000
	0.40		0.180		0.16		0.032		0.072
	0.60		0.230		0.36		0.053		0.138
	0.80		0.320		0.64		0.102		0.256
	1.20		0.457		1.44		0.209		0.549
	1.60		0.627		2.56		0.393		1.004
ΣX	4.60	ΣY	1.814	ΣX^2	5.16	ΣY^2	0.790	ΣXY	2.019
$\bar{X}$	0.77	$\bar{Y}$	0.303	$\bar{X}^2$	0.86	$\bar{Y}^2$	0.132	$\bar{X}\bar{Y}$	0.337
$(\bar{X})^2$	0.59								

$a = 0.382$

$b = 0.004$

ดังนั้น $Y = 0.382X + 0.004$

$r_{xy} = 0.9980$

ตาราง 59 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของสังกะสีในสารละลายผัก
คะน้า

	ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง						
	X		Y		X^2		Y^2		XY
	0.00		0.350		0.00		0.123		0.000
	0.40		0.500		0.16		0.250		0.200
	0.60		0.575		0.36		0.331		0.345
	0.80		0.650		0.64		0.423		0.520
	1.20		0.800		1.44		0.640		0.960
	1.60		0.950		2.56		0.903		1.520
ΣX	4.60	ΣY	3.825	ΣX^2	5.16	ΣY^2	2.670	ΣXY	3.54
$\bar{X}$	0.77	$\bar{Y}$	0.638	$\bar{X}^2$	0.86	$\bar{Y}^2$	0.445	$\bar{X}\bar{Y}$	0.591
$(\bar{X})^2$	0.59								

$a = 0.367$

ตาราง 60 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย
ตะกั่วมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดย
ปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง		X^2		Y^2		XY	
X		Y							
0.00		0.000		0.00		0.000		0.000	
2.00		0.050		4.00		0.003		0.100	
4.00		0.103		16.00		0.011		0.412	
6.00		0.148		36.00		0.022		0.888	
8.00		0.187		64.00		0.035		1.496	
10.00		0.237		100.00		0.056		2.370	
ΣX	30.00	ΣY	0.732	ΣX^2	220.00	ΣY^2	0.126	ΣXY	5.266
$\bar{X}$	5.00	$\bar{Y}$	0.122	$\bar{X}^2$	36.67	$\bar{Y}^2$	0.021	$\bar{X}\bar{Y}$	0.878
$(\bar{X})^2$	25.00								

$a = 0.023$

$b = 0.008$

ดังนั้น $Y = 0.023X - 0.008$

$r_{xy} = 0.9988$

ตาราง 61 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของตะกั่วในสารละลาย
 ผักกาดเขียววางตั้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร

ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง		X^2		Y^2		XY	
X		Y							
0.00		0.009		0.00		0.000		0.000	
2.00		0.060		4.00		0.004		0.120	
4.00		0.110		16.00		0.013		0.440	
6.00		0.160		36.00		0.026		0.960	
8.00		0.201		64.00		0.041		1.608	
10.00		0.254		100.00		0.065		2.610	
ΣX	30.00	ΣY	0.794	ΣX^2	220.00	ΣY^2	0.149	ΣXY	5.738
$\bar{X}$	5.00	$\bar{Y}$	0.133	$\bar{X}^2$	36.67	$\bar{Y}^2$	0.025	$\bar{X}\bar{Y}$	0.957
$(\bar{X})^2$	25.00								

$a = 0.025$

ตาราง 62 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย
ตะกั่วมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดย
ปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

	ค่าความเข้มข้น X	ค่าการดูดกลืนแสง Y	X^2	Y^2	XY
	0.00	0.000	0.00	0.000	0.000
	2.00	0.049	4.00	0.003	0.098
	4.00	0.102	16.00	0.011	0.408
	6.00	0.149	36.00	0.023	0.894
	8.00	0.196	64.00	0.039	1.568
	10.00	0.240	100.00	0.058	2.400
ΣX	30.00	ΣY 0.736	ΣX^2 220.00	ΣY^2 0.134	ΣXY 5.368
$\bar{X}$	5.00	$\bar{Y}$ 0.123	$\bar{X}^2$ 36.67	$\bar{Y}^2$ 0.023	$\bar{XY}$ 0.895
$(\bar{X})^2$	25.00				

$$a = 0.024$$

$$b = 0.003$$

$$\text{ดังนั้น } Y = 0.024X + 0.003$$

$$r_{xy} = 0.9994$$

ตาราง 63 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของตะกั่วในสารละลาย
ผักกาดเขียววางตั้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร

ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง		X^2		Y^2		XY	
X		Y							
0.00		0.022		0.00		0.001		0.000	
2.00		0.073		4.00		0.006		0.146	
4.00		0.123		16.00		0.016		0.492	
6.00		0.172		36.00		0.030		1.032	
8.00		0.221		64.00		0.049		1.768	
10.00		0.272		100.00		0.074		2.720	
ΣX	30.00	ΣY	0.883	ΣX^2	220.00	ΣY^2	0.176	ΣXY	6.158
$\bar{X}$	5.00	$\bar{Y}$	0.148	$\bar{X}^2$	36.67	$\bar{Y}^2$	0.030	$\bar{X}\bar{Y}$	1.027
$(\bar{X})^2$	25.00								

$a = 0.025$

ตาราง 64 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย
ตะกั่วมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดย
ปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

	ค่าความเข้มข้น X	ค่าการดูดกลืนแสง Y	X^2	Y^2	XY
	0.00	0.000	0.00	0.000	0.000
	2.00	0.051	4.00	0.003	0.102
	4.00	0.098	16.00	0.010	0.392
	6.00	0.147	36.00	0.022	0.882
	8.00	0.192	64.00	0.037	1.536
	10.00	0.240	100.00	0.058	2.400
ΣX	30.00	ΣY 0.728	ΣX^2 220.00	ΣY^2 0.128	ΣXY 5.312
$\bar{X}$	5.00	$\bar{Y}$ 0.122	$\bar{X}^2$ 36.67	$\bar{Y}^2$ 0.021	$\bar{XY}$ 0.886
$(\bar{X})^2$	25.00				

$a = 0.024$

$b = 0.004$

ดังนั้น $Y = 0.024X + 0.004$

$r_{xy} = 0.9999$

ตาราง 65 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของตะกั่วในสารละลาย
 ผักกาดเขียววางตั้งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร

	ค่าความเข้มข้น X	ค่าการดูดกลืนแสง Y	X^2	Y^2	XY
	0.00	0.010	0.00	0.001	0.000
	2.00	0.060	4.00	0.004	0.120
	4.00	0.108	16.00	0.012	0.432
	6.00	0.158	36.00	0.025	0.948
	8.00	0.208	64.00	0.044	1.664
	10.00	0.255	100.00	0.065	2.550
ΣX	30.00	ΣY 0.799	ΣX^2 220.00	ΣY^2 0.150	ΣXY 5.714
$\bar{X}$	5.00	$\bar{Y}$ 0.134	$\bar{X}^2$ 36.67	$\bar{Y}^2$ 0.025	$\bar{X}\bar{Y}$ 0.953
$(\bar{X})^2$	25.00				

$$a = 0.025$$

ตาราง 66 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย
ตะกั่วมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดย
ปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง		X^2		Y^2		XY	
X		Y							
0.00		0.000		0.00		0.000		0.000	
2.00		0.051		4.00		0.003		0.102	
4.00		0.102		16.00		0.010		0.408	
6.00		0.152		36.00		0.023		0.912	
8.00		0.188		64.00		0.035		1.504	
10.00		0.250		100.00		0.063		2.500	
ΣX	30.00	ΣY	0.743	ΣX^2	220.00	ΣY^2	0.134	ΣXY	5.426
$\bar{X}$	5.00	$\bar{Y}$	0.124	$\bar{X}^2$	36.67	$\bar{Y}^2$	0.022	$\bar{XY}$	0.905
$(\bar{X})^2$	25.00								

$a = 0.025$

$b = 0.002$

ดังนั้น $Y = 0.025X + 0.002$

$r_{xy} = 0.9974$

ตาราง 67 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของตะกั่วในสารละลาย
ผักกาดเขียววางดั่งโดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร

ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง		X^2		Y^2		XY	
X		Y							
0.00		0.008		0.00		0.000		0.000	
2.00		0.051		4.00		0.003		0.102	
4.00		0.105		16.00		0.011		0.420	
6.00		0.156		36.00		0.025		0.936	
8.00		0.208		64.00		0.044		1.664	
10.00		0.254		100.00		0.065		2.540	
ΣX	30.00	ΣY	0.782	ΣX^2	220.00	ΣY^2	0.148	ΣXY	5.662
$\bar{X}$	5.00	$\bar{Y}$	0.131	$\bar{X}^2$	36.67	$\bar{Y}^2$	0.025	$\bar{X}\bar{Y}$	0.944
$(\bar{X})^2$	25.00								

$a = 0.025$

ตาราง 68 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย
 แมงกานีสมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดย
 ปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

	ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง						
	X		Y		X^2		Y^2		XY
	0.00		0.000		0.00		0.000		0.000
	0.50		0.050		0.25		0.003		0.025
	1.00		0.106		1.00		0.011		0.106
	1.50		0.172		2.25		0.030		0.258
	2.50		0.276		6.25		0.076		0.690
	3.00		0.331		9.00		0.110		0.993
ΣX	8.50	ΣY	0.935	ΣX^2	18.75	ΣY^2	0.229	ΣXY	2.072
$\bar{X}$	1.42	$\bar{Y}$	0.156	$\bar{X}^2$	3.13	$\bar{Y}^2$	0.038	$\bar{XY}$	0.346
$(\bar{X})^2$	2.01								

$$a = 0.111$$

$$b = -0.003$$

$$\text{ดังนั้น } Y = 0.111X - 0.003$$

$$r_{xy} = 0.9993$$

ตาราง 69 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของแมงกานีสในสารละลาย
ผักบุ้ง โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร

	ค่าความเข้มข้น X	ค่าการดูดกลืนแสง Y	X^2	Y^2	XY
	0.00	0.060	0.00	0.004	0.000
	0.50	0.113	0.25	0.013	0.057
	1.00	0.175	1.00	0.031	0.175
	1.50	0.238	2.25	0.057	0.357
	2.50	0.350	6.25	0.123	0.875
	3.00	0.400	9.00	0.160	1.200
ΣX	8.50	ΣY 1.336	ΣX^2 18.75	ΣY^2 0.388	ΣXY 2.664
$\bar{X}$	1.42	$\bar{Y}$ 0.236	$\bar{X}^2$ 3.13	$\bar{Y}^2$ 0.065	$\bar{X}\bar{Y}$ 0.444
$(\bar{X})^2$	2.01				

$$a = 0.111$$

ตาราง 70 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย
 แอมโมเนียมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดย
 ปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

	ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง						
	X		Y		X^2		Y^2		XY
	0.00		0.000		0.00		0.000		0.000
	0.50		0.052		0.25		0.003		0.026
	1.00		0.113		1.00		0.013		0.113
	1.50		0.169		2.25		0.029		0.254
	2.50		0.280		6.25		0.078		0.700
	3.00		0.330		9.00		0.109		0.990
ΣX	8.50	ΣY	0.944	ΣX^2	18.75	ΣY^2	0.231	ΣXY	2.083
$\bar{X}$	1.42	$\bar{Y}$	0.158	$\bar{X}^2$	3.13	$\bar{Y}^2$	0.039	$\bar{XY}$	0.348
$(\bar{X})^2$	2.01								

$$a = 0.110$$

$$b = 0.000$$

$$\text{ดังนั้น } Y = 0.110X$$

$$r_{xy} = 0.9996$$

ตาราง 71 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของแมงกานีสในสารละลาย
ผักบุ้ง โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร

	ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง		X^2		Y^2		XY
	X		Y						
	0.00		0.070		0.00		0.005		0.000
	0.50		0.125		0.25		0.016		0.063
	1.00		0.185		1.00		0.035		0.185
	1.50		0.240		2.25		0.058		0.360
	2.50		0.365		6.25		0.134		0.913
	3.00		0.420		9.00		0.177		1.260
ΣX	8.50	ΣY	1.405	ΣX^2	18.75	ΣY^2	0.425	ΣXY	2.781
$\bar{X}$	1.42	$\bar{Y}$	0.235	$\bar{X}^2$	3.13	$\bar{Y}^2$	0.071	$\bar{X}\bar{Y}$	0.464
$(\bar{X})^2$	2.01								

$a = 0.116$

ตาราง 72 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย
แมงกานีสมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดย
ปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

	ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง						
	X		Y		X^2		Y^2		XY
	0.00		0.000		0.00		0.000		0.000
	0.50		0.054		0.25		0.003		0.027
	1.00		0.107		1.00		0.011		0.107
	1.50		0.169		2.25		0.029		0.254
	2.50		0.274		6.25		0.075		0.685
	3.00		0.330		9.00		0.109		0.990
ΣX	8.50	ΣY	0.934	ΣX^2	18.75	ΣY^2	0.227	ΣXY	2.063
$\bar{X}$	1.42	$\bar{Y}$	0.156	$\bar{X}^2$	3.13	$\bar{Y}^2$	0.038	$\bar{XY}$	0.344
$(\bar{X})^2$	2.01								

$a = 0.110$

$b = 0.000$

ดังนั้น $Y = 0.110X$

$r_{xy} = 0.9997$

ตาราง 73 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของแมงกานีสในสารละลาย
ผักนึ่ง โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร

	ค่าความเข้มข้น X	ค่าการดูดกลืนแสง Y	X^2	Y^2	XY
	0.00	0.070	0.00	0.005	0.000
	0.50	0.120	0.25	0.015	0.060
	1.00	0.175	1.00	0.031	0.175
	1.50	0.235	2.25	0.056	0.353
	2.50	0.342	6.25	0.117	0.855
	3.00	0.400	9.00	0.160	1.200
ΣX	8.50	ΣY 1.342	ΣX^2 18.75	ΣY^2 0.384	ΣXY 2.643
$\bar{X}$	1.42	$\bar{Y}$ 0.224	$\bar{X}^2$ 3.13	$\bar{Y}^2$ 0.064	$\bar{X}\bar{Y}$ 0.441
$(\bar{X})^2$	2.01				

$$a = 0.110$$

ตาราง 74 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย
 แมงกานีสมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดย
 ปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

	ค่าความเข้มข้น X		ค่าการดูดกลืนแสง Y		X^2		Y^2		XY
	0.00		0.000		0.00		0.000		0.000
	0.50		0.054		0.25		0.003		0.027
	1.00		0.107		1.00		0.011		0.107
	1.50		0.168		2.25		0.028		0.252
	2.50		0.274		6.25		0.075		0.685
	3.00		0.329		9.00		0.108		0.987
ΣX	8.50	ΣY	0.932	ΣX^2	18.75	ΣY^2	0.226	ΣXY	2.058
$\bar{X}$	1.42	$\bar{Y}$	0.156	$\bar{X}^2$	3.13	$\bar{Y}^2$	0.038	$\bar{XY}$	0.343
$(\bar{X})^2$	2.01								

$$a = 0.108$$

$$b = 0.002$$

$$\text{ดังนั้น } Y = 0.108X + 0.002$$

$$r_{xy} = 0.9998$$

ตาราง 75 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของแมงกานีสในสารละลาย
ผักบุ้ง โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร

	ค่าความเข้มข้น X		ค่าการดูดกลืนแสง Y		X^2		Y^2		XY
	0.00		0.062		0.00		0.004		0.000
	0.50		0.118		0.25		0.014		0.059
	1.00		0.158		1.00		0.025		0.158
	1.50		0.200		2.25		0.040		0.300
	2.50		0.345		6.25		0.119		0.863
	3.00		0.400		9.00		0.160		1.200
ΣX	8.50	ΣY	1.283	ΣX^2	18.75	ΣY^2	0.362	ΣXY	2.580
$\bar{X}$	1.42	$\bar{Y}$	0.214	$\bar{X}^2$	3.13	$\bar{Y}^2$	0.061	$\bar{XY}$	0.430
$(\bar{X})^2$	2.01								

$$a = 0.113$$

ตาราง 76 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย
สังกะสีมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดย
ปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง		X^2	Y^2	XY			
X	Y								
0.00	0.000			0.00	0.000	0.000			
0.40	0.155			0.16	0.024	0.062			
0.60	0.232			0.36	0.054	0.140			
0.80	0.302			0.64	0.091	0.242			
1.20	0.435			1.44	0.189	0.522			
1.60	0.601			2.56	0.361	0.962			
ΣX	4.60	ΣY	1.725	ΣX^2	5.16	ΣY^2	0.719	ΣXY	1.928
$\bar{X}$	0.77	$\bar{Y}$	0.288	$\bar{X}^2$	0.86	$\bar{Y}^2$	0.120	$\bar{XY}$	0.322
$(\bar{X})^2$	0.59								

$a = 0.371$

$b = 0.000$

ดังนั้น $Y = 0.371X$

$r_{xy} = 0.9990$

ตาราง 77 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของสังกะสีในสารละลายผัก
 กระดาษ โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร

	ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง						
	X		Y		X^2		Y^2		XY
	0.00		0.400		0.00		0.160		0.000
	0.40		0.560		0.16		0.314		0.224
	0.60		0.620		0.36		0.385		0.372
	0.80		0.700		0.64		0.490		0.560
	1.20		0.850		1.44		0.723		1.020
	1.60		1.000		2.56		1.000		1.600
ΣX	4.60	ΣY	4.130	ΣX^2	5.16	ΣY^2	3.072	ΣXY	3.776
$\bar{X}$	0.77	$\bar{Y}$	0.689	$\bar{X}^2$	0.86	$\bar{Y}^2$	0.512	$\bar{X}\bar{Y}$	0.630
$(\bar{X})^2$	0.59								

$$a = 0.367$$

ตาราง 78 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย
สังกะสีมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดย
ปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

	ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง						
	X		Y		X^2		Y^2		XY
	0.00		0.000		0.00		0.000		0.000
	0.40		0.160		0.16		0.026		0.064
	0.60		0.231		0.36		0.053		0.139
	0.80		0.319		0.64		0.102		0.256
	1.20		0.480		1.44		0.230		0.576
	1.60		0.628		2.56		0.394		1.005
ΣX	4.60	ΣY	1.818	ΣX^2	5.16	ΣY^2	0.806	ΣXY	2.040
$\bar{X}$	0.77	$\bar{Y}$	0.303	$\bar{X}^2$	0.86	$\bar{Y}^2$	0.134	$\bar{XY}$	0.340
$(\bar{X})^2$	0.59								

$a = 0.393$

$b = 0.004$

ดังนั้น $Y = 0.393X + 0.004$

$r_{xy} = 0.9996$

ตาราง 79 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของสังกะสีในสารละลายผัก
คะน้า โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร

	ค่าความเข้มข้น X	ค่าการดูดกลืนแสง Y	X^2	Y^2	XY
	0.00	0.400	0.00	0.160	0.000
	0.40	0.500	0.16	0.250	0.200
	0.60	0.650	0.36	0.423	0.390
	0.80	0.730	0.64	0.533	0.584
	1.20	0.860	1.44	0.740	1.032
	1.60	1.050	2.56	1.103	1.680
ΣX	4.60	ΣY 4.190	ΣX^2 5.16	ΣY^2 3.209	ΣXY 3.886
$\bar{X}$	0.77	$\bar{Y}$ 0.699	$\bar{X}^2$ 0.86	$\bar{Y}^2$ 0.535	$\bar{XY}$ 0.648
$(\bar{X})^2$	0.59				

$$a = 0.404$$

ตาราง 80 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย
 สังกะสีมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดย
 ปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

	ค่าความเข้มข้น X		ค่าการดูดกลืนแสง Y		X^2		Y^2		XY
	0.00		0.000		0.00		0.000		0.000
	0.40		0.174		0.16		0.030		0.070
	0.60		0.230		0.36		0.053		0.138
	0.80		0.320		0.64		0.102		0.256
	1.20		0.458		1.44		0.210		0.550
	1.60		0.599		2.56		0.359		0.959
ΣX	4.60	ΣY	1.781	ΣX^2	5.16	ΣY^2	0.754	ΣXY	1.973
$\bar{X}$	0.77	$\bar{Y}$	0.297	$\bar{X}^2$	0.86	$\bar{Y}^2$	0.126	$\bar{X}\bar{Y}$	0.329
$(\bar{X})^2$	0.59								

$$a = 0.371$$

$$b = 0.008$$

$$\text{ดังนั้น } Y = 0.371X + 0.008$$

$$r_{xy} = 0.9991$$

ตาราง 81 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของสังกะสีในสารละลายผัก
คะน้า โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร

	ค่าความเข้มข้น X	ค่าการดูดกลืนแสง Y	X^2	Y^2	XY
	0.00	0.340	0.00	0.116	0.000
	0.40	0.475	0.16	0.226	0.190
	0.60	0.556	0.36	0.310	0.334
	0.80	0.625	0.64	0.391	0.500
	1.20	0.775	1.44	0.601	0.930
	1.60	0.925	2.56	0.856	1.480
ΣX	4.60	ΣY 3.696	ΣX^2 5.16	ΣY^2 2.500	ΣXY 3.434
$\bar{X}$	0.77	$\bar{Y}$ 0.616	$\bar{X}^2$ 0.86	$\bar{Y}^2$ 0.417	$\bar{XY}$ 0.573
$(\bar{X})^2$	0.59				

$$a = 0.363$$

ตาราง 82 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{xy}) และค่าความชัน (a) ของสารละลาย
สังกะสีมาตรฐานโดยวิธีของผู้วิจัยที่ใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดย
ปริมาตร เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

	ค่าความเข้มข้น		ค่าการดูดกลืนแสง						
	X		Y		X^2		Y^2		XY
	0.00		0.000		0.00		0.000		0.000
	0.40		0.133		0.16		0.018		0.054
	0.60		0.242		0.36		0.059		0.146
	0.80		0.310		0.64		0.096		0.248
	1.20		0.485		1.44		0.235		0.582
	1.60		0.648		2.56		0.420		1.037
ΣX	4.60	ΣY	1.818	ΣX^2	5.16	ΣY^2	0.827	ΣXY	2.067
$\bar{X}$	0.77	$\bar{Y}$	0.303	$\bar{X}^2$	0.86	$\bar{Y}^2$	0.138	$\bar{XY}$	0.345
$(\bar{X})^2$	0.59								

$a = 0.412$

$b = -0.019$

ดังนั้น $Y = 0.412X - 0.019$

$r_{xy} = 0.9990$

ตาราง 83 แสดงการหาค่าความชัน (a) ของ Standard addition ของสังกะสีในสารละลายผัก
คะน้า โดยใช้สารย่อยสลาย $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร

	ค่าความเข้มข้น X	ค่าการดูดกลืนแสง Y	X^2	Y^2	XY
	0.00	0.400	0.00	0.160	0.000
	0.40	0.550	0.16	0.303	0.220
	0.60	0.620	0.36	0.385	0.372
	0.80	0.700	0.64	0.490	0.560
	1.20	0.860	1.44	0.740	1.032
	1.60	1.050	2.56	1.103	1.680
ΣX	4.60	ΣY 4.180	ΣX^2 5.16	ΣY^2 3.181	ΣXY 3.864
$\bar{X}$	0.77	$\bar{Y}$ 0.697	$\bar{X}^2$ 0.86	$\bar{Y}^2$ 0.531	$\bar{XY}$ 0.644
$(\bar{X})^2$	0.59				

$$a = 0.397$$

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล นายสมเกียรติ แก้วจำรัสสุขสันติ
 วันเดือนปีเกิด 30 เมษายน 2500
 สถานที่เกิด อำเภอพยุหะคีรี จังหวัดนครสวรรค์
 สถานที่อยู่ปัจจุบัน 282/85 ถนนสรรพาวุธ ซอยกุศลศิลป์ แขวงบางนา
 เขตบางนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10260
 ตำแหน่งหน้าที่การงานในปัจจุบัน อาจารย์ 2 ระดับ 7
 สถานที่ทำงานปัจจุบัน โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย ถนนพระราม6 แขวงสามเสนใน
 เขตพญาไท จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10400
 ประวัติการศึกษา
 พ.ศ.2519 ประกาศนียบัตรวิชาการศึกษาระดับต้น
 วิทยาลัยครูนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์
 พ.ศ.2523 การศึกษามัธยมศึกษา (เคมี)
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
 พ.ศ.2527 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การสอนเคมี)
 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 พ.ศ.2544 การศึกษาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ศึกษา)
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร