

รายงานวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาวิธีหาปริมาณ As, Cd, Pb, Ni, Cr, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn,
Na และ Zn ในดินโดยเทคนิคอินดักทีฟพลาสมาออปติคอลล
อิมิสชันสเปกโทรเมตรี

อนงค์ ศรีโสภา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

2546

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Pibulsongkram Rajabhat University

161345

รายงานวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาวิธีหาปริมาณ As, Cd, Pb, Ni, Cr, Co, Cu, Fe, K, Mg,
Mn, Na และ Zn ในดินโดยเทคนิคอินดักทีฟพลาสมา
ออฟติคอลอิมิตชันสเปกโทรเมตรี

อนงค์ ศรีโสภา

วท.ม.(เคมี)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

2546

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากโครงการพัฒนาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ในสถาบันราชภัฏ (โครงการ พวส.) สำนักงานสภาสถาบันราชภัฏ ภายใต้การสนับสนุนอย่างดียิ่งในด้านอุปกรณ์ และ เครื่องมือวิเคราะห์ภายในศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม ขอกราบขอบคุณ รศ.ดร.สายสุนีย์ เหลี้ยวเรืองรัตน์ ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ให้คำแนะนำในด้านเทคนิคการวิเคราะห์ ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ขอกราบขอบคุณผู้บริหาร อาจารย์และบุคลากรในสถาบันราชภัฏพิบูลสงครามทุกท่าน และ ทุกหน่วยงานที่มีส่วนช่วยสนับสนุนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

อนงค์ ศรีโสภา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

ธันวาคม 2546

ชื่อเรื่องงานวิจัย	การพัฒนาวิธีหาปริมาณ As, Cd, Pb, Ni, Cr, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na และ Zn ในดินโดยเทคนิคอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสมา ออฟติคอลลอิมิสชัน สเปกโทรเมตรี
ชื่อผู้วิจัย	อนงค์ ศรีโสภา
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สถาบัน	ราชภัฏพิบูลสงคราม
ปีการศึกษา	2546

บทคัดย่อ

ทำการพัฒนาวิธีหาปริมาณ As, Cd, Pb, Ni, Cr, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na และ Zn ที่รวดเร็ว มีความเที่ยงและความแม่นยำสูง ในตัวอย่างดิน โดยย่อยตัวอย่างด้วยกรดและใช้คลื่นไมโครเวฟ วัดปริมาณธาตุที่ศึกษาด้วยเทคนิคอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสมา ออฟติคอลลอิมิสชัน สเปกโทรเมตรี ซึ่งให้ร้อยละการกลับคืน 92-113% ความเที่ยงของความเข้มข้นอยู่ในช่วง 1.47-3.58% และได้ทำการศึกษาอิทธิพลของสารรบกวน Fe, K, Mg และ Na ที่มีต่อการหาปริมาณ Cd, Pb และ Ni เทคนิคที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุในตัวอย่างดินในชุมชนพื้นที่ จังหวัดพิษณุโลกได้ โดยใช้เวลาในการย่อยสารตัวอย่างด้วยไมโครเวฟ 20 นาที และใช้ปริมาณกรดน้อยลง จากการทดลองพบว่าตัวอย่างดินดังกล่าว มีธาตุที่เป็นพิษ ได้แก่ As, Cd, Pb, Ni, Cr, Co และ Na อยู่ในระดับที่ไม่เกินค่ามาตรฐาน และมีธาตุอาหาร ได้แก่ Cu, Fe, K, Mg, Mn และ Zn ส่วนมากอยู่ในระดับปกติ

Research Title	Method Development for the Determination of As, Cd, Pb, Ni, Cr, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na and Zn in Soils by ICP-OES
Name	Miss Anong Srisopa
Faculty	Science and Technology
Institute	Rajabhat Institute Pibulsongkram
Year	2003

ABSTRACT

A rapid, precise and accurate method for the determination of As, Cd, Pb, Ni, Cr, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na and Zn in soil samples using microwave-assisted acid digestion and analysis by inductively coupled plasma optical emission spectrometry was developed. Recoveries between 92-113% were achieved with standard deviations of 1.47-3.58%. The influence of Fe, K, Mg and Na on the determination of Cd, Pb and Ni was studied. The system was successfully applied to the determination of elements in soil samples of Punpee community, Phitsanulok province. Digestion time was decreased from many hours to 20 minutes, and the amount of acid required for digestion was reduced. According to the results, the amount of toxic elements (As, Cd, Pb, Ni, Cr, Co and Na) was below the concentration limits, and the majority of the nutrients (Cu, Fe, K, Mg, Mn และ Zn) were in the normal range.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 สมมติฐาน	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6 ระเบียบวิธีการวิจัย	3
1.7 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย	3
1.8 สถานที่ทำการวิจัย	4
1.9 นิยามศัพท์และความหมาย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 อินดักทีฟฟิลิ์ฟเพิลพลาสมาสเปกโทรสโกปี	5
2.1.1 ลักษณะของ ICP	6
2.1.2 องค์ประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง ICP	7
2.1.3 การบำรุงรักษาเครื่อง ICP สเปกโทรมิเตอร์	12
2.2 การเตรียมตัวอย่าง	13
2.3 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของดิน	18
2.3.1 ส่วนประกอบของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญของพืช	18

2.3.2	ธาตุอาหารในดิน	19
2.4	การวิเคราะห์ดิน	20
2.4.1	การเก็บตัวอย่าง	20
2.4.2	วิธีเก็บตัวอย่างดิน	21
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย		28
3.1	อุปกรณ์การทดลอง	28
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	28
3.3	สารเคมี	28
3.4	การเตรียมสารเคมี	29
3.5	การเตรียมสารละลายมาตรฐาน	29
3.6	การเตรียมตัวอย่าง	30
3.6.1	การย่อยด้วยวิธีให้ความร้อนบนเตาไฟฟ้า	30
3.6.2	การย่อยด้วยไมโครเวฟ	30
3.7	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP	31
3.8	การหาค่าความเที่ยงของการวิเคราะห์	32
3.9	การหาค่าความแม่นยำของการวิเคราะห์	32
3.10	อิทธิพลจากสารรบกวน	33
3.11	การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน	33
บทที่ 4 ผลการวิจัย		34
4.1	การสร้างกราฟมาตรฐาน	34
4.1.1	อาร์เซนิก (As)	34
4.1.2	แคดเมียม (Cd)	35
4.1.3	ตะกั่ว (Pb)	36
4.1.4	นิกเกิล (Ni)	37
4.1.5	โครเมียม (Cr)	38
4.1.6	โคบอลต์ (Co)	39

4.1.7	ทองแดง (Cu)	40
4.1.8	เหล็ก (Fe)	41
4.1.9	โพแทสเซียม (K)	42
4.1.10	แมกนีเซียม (Mg)	43
4.1.11	แมงกานีส (Mn)	44
4.1.12	โซเดียม (Na)	45
4.1.13	สังกะสี (Zn)	46
4.2	ความเที่ยงของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-OES	47
4.3	ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์	47
4.4	อิทธิพลจากสารรบกวน	48
4.5	การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน	50
4.5.1	อาร์เซนิก (As)	50
4.5.2	แคดเมียม (Cd)	51
4.5.3	ตะกั่ว (Pb)	51
4.5.4	นิกเกิล (Ni)	52
4.5.5	โครเมียม (Cr)	53
4.5.6	โคบอลต์ (Co)	53
4.5.7	ทองแดง (Cu)	54
4.5.8	เหล็ก (Fe)	55
4.5.9	โพแทสเซียม (K)	55
4.5.10	แมกนีเซียม (Mg)	56
4.5.11	แมงกานีส (Mn)	57
4.5.12	โซเดียม (Na)	57
4.5.13	สังกะสี (Zn)	58
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการวิจัย		59
5.1	การสร้างกราฟมาตรฐาน	59
5.2	ความเที่ยงของเทคนิค ICP-OES	59
5.3	ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-OES	60

5.4	อิทธิพลจากสารรบกวน	60
5.5	การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน	61
5.6	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเทคนิค ICP-OES และ AAS	63
5.7	การเตรียมตัวอย่างด้วยไมโครเวฟ	65
5.8	สรุปผลการวิจัย	66
5.9	ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารอ้างอิง		69
ภาคผนวก ก	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS	71
ภาคผนวก ข	เกณฑ์การยอมรับ %RSD และ %recovery	77
ภาคผนวก ค	Spectral line ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิค ICP-OES	78
ภาคผนวก ง	มาตรฐานคุณภาพดิน	79
ภาคผนวก จ	ระดับของธาตุอาหารพืช	81
ภาคผนวก ฉ	ภาพการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่าง	82
ภาคผนวก ช	แผนที่ชุมชนพื้นที่	85
ภาคผนวก ซ	การแบ่งเขตการเก็บตัวอย่างดิน	86
ประวัติผู้วิจัย		87

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานอาร์เซนิก	34
4.2 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม	35
4.3 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว	36
4.4 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐาน นิกเกิล	37
4.5 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานโครเมียม	38
4.6 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานโคบอลต์	39
4.7 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานทองแดง	40
4.8 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานเหล็ก	41
4.9 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม	42
4.10 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานแมงกานีส	43
4.11 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย	44
4.12 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานโซเดียม	45
4.13 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสี	46
4.14 ความเข้มแสงของ Cu, Fe, Mg และ Zn ที่ความเข้มข้น 5 mg/L	47
4.15 เปรียบเทียบร้อยละการกลับคืนของการเตรียมตัวอย่างโดยใช้เตาไฟฟ้า และไม่โครเวฟ	47
4.16 ร้อยละการกลับคืนของการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ด้วยเทคนิค ICP	48
4.17 ความเข้มแสงของ Cd, Pb และ Ni ในสภาวะที่มีสารรบกวนอยู่	49
4.18 ปริมาณอาร์เซนิกในตัวอย่างดิน	50
4.19 ปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างดิน	51
4.20 ปริมาณตะกั่วในตัวอย่างดิน	52
4.21 ปริมาณนิกเกิลในตัวอย่างดิน	52
4.22 ปริมาณโครเมียมในตัวอย่างดิน	53
4.23 ปริมาณโคบอลต์ในตัวอย่างดิน	54
4.24 ปริมาณทองแดงในตัวอย่างดิน	54
4.25 ปริมาณเหล็กในตัวอย่างดิน	55

4.26	ปริมาณโพแทสเซียมในตัวอย่างดิน	56
4.27	ปริมาณแมกนีเซียมในตัวอย่างดิน	56
4.28	ปริมาณแมงกานีสในตัวอย่างดิน	57
4.29	ปริมาณโซเดียมในตัวอย่างดิน	58
4.30	ปริมาณสังกะสีในตัวอย่างดิน	58
5.1	สมการเส้นตรงของการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ	60
5.2	การวิเคราะห์ธาตุอาหารในตัวอย่างดิน	61
5.3	การวิเคราะห์ธาตุโลหะหนักในตัวอย่างดิน	62
5.4	การประเมินระดับของธาตุอาหารและโลหะหนักในตัวอย่างดินของชุมชนพื้นที่	62
5.5	%RSD ของการหาปริมาณ Cu, Fe, Mg และ Zn ด้วยเทคนิค ICP-OES	63
5.6	ร้อยละการกลับคืนของการหาปริมาณ Cu, Fe, Mg และ Zn ด้วยเทคนิค ICP-OES และ AAS	64
5.7	ปริมาณ Cu, Fe, Mg และ Zn ในตัวอย่างดิน	64
5.8	ร้อยละการกลับคืนของการเตรียมตัวอย่างเพื่อหาปริมาณ Cu, Fe, Mg และ Zn	65
5.9	เปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่างโดยใช้เตาไฟฟ้าและไม่โครเวฟ	65

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพตัดขวางของ ICP discharge	6
2.2 แผนภาพองค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง ICP สเปกโทรมิเตอร์	7
2.3 concentric nebulizer	8
2.4 peristaltic pump ที่ใช้กับ ICP	9
2.5 ลักษณะของ spray chambers ที่ใช้ใน ICP	9
2.6 คบที่ใช้ใน ICP แบบหนึ่ง	10
2.7 คบที่เป็นชั้นเดียว	11
2.8 เตาไมโครเวฟ (ก), หลอดบรรจุสาร (ข) บริษัท Anton Parr	16
2.9 การเก็บตัวอย่างดินโดยชุดเจาะดินเป็นหลุมรูปตัววี	23
2.10 การเก็บตัวอย่างดินในหนึ่งแปลง	24
4.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายอาร์เซนิก	34
4.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายแคดเมียม	35
4.3 กราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่ว	36
4.4 กราฟมาตรฐานของสารละลายนิกเกิล	37
4.5 กราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม	38
4.6 กราฟมาตรฐานของสารละลายโคบอลต์	39
4.7 กราฟมาตรฐานของสารละลายทองแดง	40
4.8 กราฟมาตรฐานของสารละลายเหล็ก	41
4.9 กราฟมาตรฐานของสารละลายโพแทสเซียม	42
4.10 กราฟมาตรฐานของสารละลายแมกนีเซียม	43
4.11 กราฟมาตรฐานของสารละลายแมงกานีส	44
4.12 กราฟมาตรฐานของสารละลายโซเดียม	45
4.13 กราฟมาตรฐานของสารละลายสังกะสี	46
4.14 สเปกตรัมของ Cd	49
4.15 สเปกตรัมของ Pb	49
4.16 สเปกตรัมของ Ni	50

อักษรย่อ และ สัญลักษณ์

AAS	=	Atomic Absorption Spectrophotometry
°C	=	degree Celsius
g	=	gram
kg	=	kilogram
mg	=	milligram
µg	=	microgram
ICP	=	Inductively Couple Plasma
L	=	litter
mL	=	milliliter
µL	=	microliter
nm	=	nanometer
ppm	=	part per million
ppb	=	part per billion
ppt	=	part per thousand
w	=	watt

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ปัจจุบันประชากรไทยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางการเกษตรเป็นอาชีพหลัก รายได้ประชากรจึงขึ้นอยู่กับผลผลิตทางการเกษตร หากผลผลิตทางการเกษตรมีคุณภาพดีเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เกษตรกรก็จะมีรายได้เพิ่มขึ้นด้วย จึงทำให้มีการขยายพื้นที่ทำการเกษตรกันมากขึ้น แต่พื้นที่ที่ใช้ประกอบการมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากความเจริญด้านอุตสาหกรรมและการเพิ่มขึ้นของประชากร ดังนั้นทรัพยากรดินจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตและจำเป็นต้องปรับปรุงพัฒนาพื้นที่ที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพ และสามารถเพิ่มผลผลิตมากขึ้น ในปัจจุบันคุณภาพของดินได้เสื่อมถอยลงอย่างมาก เนื่องจากมีการทำลายผิวดิน ปล่องของเสียลงสู่ดิน การใช้สารฆ่าแมลง อีกทั้งสภาพแวดล้อมที่เป็นมลภาวะเป็นเหตุให้ดินเสื่อมคุณภาพ ซึ่งทำให้เกิดสารตกค้างในดิน เช่น สังกะสี แมงกานีส ทองแดง โครเมียม นิกเกิล ปรอท เป็นต้น

ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญของการตรวจวิเคราะห์คุณภาพของดินเพื่อเป็นข้อมูลในการทำการเกษตรกรรม และเพื่อเป็นการเฝ้าระวังถึงผลกระทบที่อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

ในปัจจุบันเทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่ว ๆ ไป ได้แก่ อะตอมมิก แอ็บซอร์พชัน สเปกโทรสโกปี (Atomic absorption spectroscopy หรือ AAS) โดยตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์ต้องผ่านการเตรียมตัวอย่างซึ่งอาจเตรียมแบบแห้ง (dry ashing) โดยการเผาตัวอย่างให้เป็นเถ้าหรือเตรียมแบบเปียก (wet digestion) โดยใช้กรดในการย่อยสลายตัวอย่างบนเตาไฟฟ้าแต่อย่างไรก็ตามเทคนิค AAS ยังคงไม่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลาย ๆ ธาตุเพราะจะใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ได้เพียงครั้งละหนึ่งธาตุเท่านั้น อีกทั้งขีดจำกัดการตรวจวัดยังไม่ต่ำพอจึงไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยมาก ๆ ในระดับส่วนในพันล้านส่วน (parts per billion หรือ ppb) บางธาตุได้ ส่วนการเตรียมตัวอย่างโดยการย่อยด้วยกรดบนเตาไฟฟ้านั้นมีข้อเสียหลายประการ เช่น ใช้ระยะเวลาานปริมาณกรดที่ต้องใช้มีปริมาณมาก เกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย งานวิจัยนี้จึงได้มุ่งพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักบางตัวในตัวอย่างดินจากชุมชนพื้นที่ จังหวัด

พิษณุโลก ให้มีความเที่ยงและความแม่นยำสูงและใช้เวลาในการวิเคราะห์ที่รวดเร็วขึ้น โดยใช้การเตรียมตัวอย่างด้วยเตาไมโครเวฟ เนื่องจากมีข้อดีหลายประการเช่น ช่วยประหยัดเวลาในการเตรียมตัวอย่างจากชั่วโมงเป็นนาที ประสิทธิภาพสูงเนื่องจากความดันไอที่เกิดขึ้นในหลอดบรรจุสารระบบปิด (closed vessel) จะทำให้จุดเดือดของกรดสูงขึ้น นอกจากนี้ยังไม่เกิดการสูญหายของธาตุที่สามารถระเหยได้มีผลทำให้ร้อยละการกลับคืนสูง ใช้ปริมาณกรดน้อย ไม่เกิดการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อม ไม่ทำให้เกิดการระเหยของไอกรดออกสู่อากาศในห้องปฏิบัติการและเพื่อให้การวิเคราะห์มีความรวดเร็วและแม่นยำมากยิ่งขึ้น เทคนิคอินดักทีฟพลาสมา-ออปติคอลลิวมิเนสเซนส์สเปกโทรเมตรี (Inductively coupled plasma-optical emission spectrometry หรือ ICP-OES) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณธาตุหลาย ๆ ธาตุพร้อม ๆ กันโดยให้ขีดจำกัดการตรวจวัดต่ำถึงระดับ ppb จึงถูกนำมาใช้ในการวิจัยนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนาวิธีวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักบางตัวโดยใช้เทคนิค ICP-OES
- 2) เพื่อนำวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้กับตัวอย่างดินในชุมชนพื้นที่ จังหวัดพิษณุโลก

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักบางตัวในตัวอย่างดินที่มีความเที่ยงและความแม่นยำสูงโดยใช้ระยะเวลาตรวจวิเคราะห์ที่รวดเร็ว
- 2) ได้ข้อมูลของคุณภาพดินในชุมชนพื้นที่
- 3) เกิดการพัฒนาการเรียนการสอนและการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม เช่น จะได้เรียนรู้เทคนิคการเก็บตัวอย่าง เตรียมตัวอย่าง เทคนิคการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่าง เป็นต้น

1.4 สมมติฐาน

วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักบางตัวในตัวอย่างดินที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความเที่ยงและความแม่นยำสูงและใช้ระยะเวลาในการตรวจวิเคราะห์ที่รวดเร็วกว่าวิธีมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) ธาตุอาหารและโลหะหนักที่ศึกษาได้แก่ As, Cd, Pb, Ni, Cr, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na และ Zn
- 2) ตัวอย่างดินที่นำมาวิเคราะห์เป็นตัวอย่างดินจากชุมชนพื้นที่ จังหวัดพิษณุโลก โดยได้แบ่งเขตการชักตัวอย่างออกเป็น 10 เขต และทำการชักตัวอย่างในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2545
- 3) ศึกษาการเตรียมตัวอย่างโดยการละลายด้วยกรดบนเตาไฟฟ้าเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ
- 4) วัดปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักด้วยเทคนิค ICP-OES

1.6 ระเบียบวิธีการวิจัย

- 1) ศึกษาและค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการหาปริมาณธาตุอาหารและโลหะในตัวอย่างดินรวมทั้งที่เกี่ยวข้องกับการเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง เทคนิค และวิธีการวิเคราะห์
- 2) เตรียมเครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี ให้สอดคล้องกับแผนงาน
- 3) ทำการทดลอง
 - 3.1) เก็บตัวอย่างดินจากชุมชนพื้นที่
 - 3.2) ศึกษาชนิดของกรดที่ใช้ในการละลายตัวอย่าง
 - 3.3) ศึกษาวิธีการย่อยตัวอย่างโดยใช้ความร้อนจากเตาไฟฟ้าและพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ
 - 3.4) ศึกษาเทคนิคที่ใช้วัดปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักที่เหมาะสม
 - 3.5) ศึกษาอิทธิพลของสารรบกวน
 - 3.6) ศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ได้แก่ ความเที่ยง และ ความแม่นยำ
 - 3.7) วิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักในตัวอย่างดินที่เตรียมไว้
- 4) ประมวลผลเข้าด้วยกันแล้วจัดทำรายงาน

1.7 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

มกราคม 2545 – ตุลาคม 2546

1.8 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการเคมี อคาศรวิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

ห้องปฏิบัติการเคมี ศูนย์วิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

1.9 นิยามศัพท์และความหมาย

1) เทคนิคอินดักทีฟลี คัพเพิลด์ พลาสมา-ออปติคอลล อิมิซชันสเปกโทรเมตรี (Inductively coupled plasma-optical emission spectrometry หรือ ICP-OES) หมายถึงเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ โดยการใช้พลาสมาเผาตัวอย่างให้แตกตัวเป็นอะตอมหรือไอออน ซึ่งจะปล่อยแสงสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นเฉพาะตัวออกมา แล้ววัดความเข้มของแสงและคำนวณเป็นความเข้มข้นของปริมาณธาตุในตัวอย่าง

2) ธาตุอาหารหมายถึงธาตุที่พืชต้องการนำไปใช้เพื่อการดำรงชีพ ได้แก่ Cu, Fe, K, Mg, Mn และ Zn

3) โลหะหนักหมายถึงถึงโลหะที่มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 และก่อให้เกิดมลพิษต่อดิน ได้แก่ As, Cd, Pb, Ni, Cr, Co และ Na

4) ความเที่ยง (precision) หมายถึง ผลการทดลองที่กระทำภายใต้สภาวะอันเดียวกัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยผลการทดลองนั้นอาจใกล้เคียงค่าจริงหรือไม่ก็ได้

5) ความแม่นยำ (accuracy) หมายถึง ความใกล้เคียงของผลการทดลองที่ได้กับค่าที่เป็นจริงหรือค่าที่ยอมรับกัน

6) ร้อยละการกลับคืน (percentage recovery) หมายถึง ปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้หลังจากได้มีการเติมสารที่ทราบปริมาณที่แน่นอนลงไปในตัวอย่าง โดยคำนวณออกมาเป็นค่าร้อยละ

7) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (relative standard deviation) หมายถึง ค่าที่ใช้สำหรับวัดการกระจายของข้อมูล แต่คิดในรูปการกระจายสัมพัทธ์ นิยมคำนวณออกมาในหน่วยร้อยละ

8) สารรบกวน (interference) หมายถึง สารที่มีอิทธิพลอาจเปลี่ยนแปลงหรือบดบังพฤติกรรมของสารที่จะวิเคราะห์ มีผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดค่า

9) ตัวอย่าง (sample) หมายถึง ตัวอย่างที่มีสารที่จะวิเคราะห์อยู่ ตัวอย่างในงานวิจัยนี้ได้แก่ ตัวอย่างดิน

10) สารที่ต้องการวิเคราะห์ (analyte) หมายถึง ส่วนประกอบของตัวอย่างที่ต้องการศึกษา โดยต้องการหาปริมาณหรือต้องการทราบว่าเป็นสารชนิดใด สารที่ต้องการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ได้แก่ As, Cd, Pb, Ni, Cr, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na และ Zn

บทที่ 2

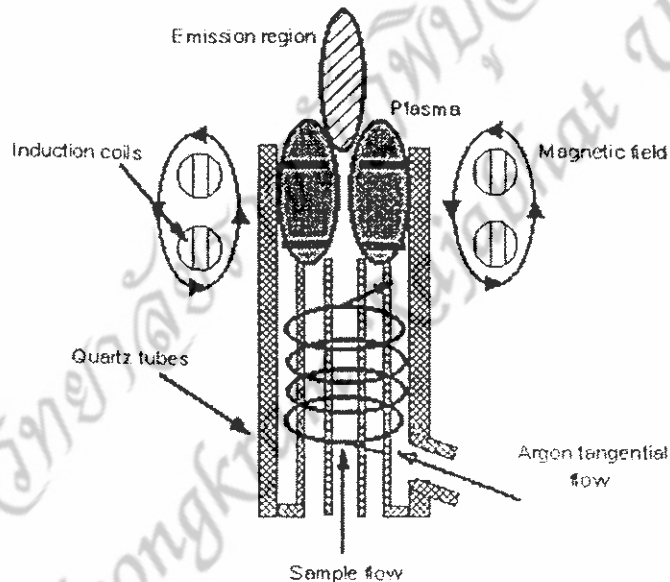
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันเทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่ว ๆ ไป ได้แก่ อะตอมมิก แอ็บซอร์พชัน สเปกโทรสโกปี (Atomic absorption spectroscopy หรือ AAS) โดยตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์ต้องผ่านการเตรียมตัวอย่างซึ่งอาจเตรียมแบบแห้ง (dry ashing) โดยการเผาตัวอย่างให้เป็นเถ้าหรือเตรียมแบบเปียก (wet digestion) โดยใช้กรดในการย่อยสลายตัวอย่างบนเตาไฟฟ้าแต่อย่างไรก็ตามเทคนิค AAS ยังคงไม่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลาย ๆ ธาตุเพราะจะใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ได้เพียงครั้งละหนึ่งธาตุเท่านั้น อีกทั้งขีดจำกัดการตรวจวัดยังไม่ต่ำพอจึงไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อย มาก ๆ ในระดับส่วนในพันล้านส่วน (parts per billion หรือ ppb) บางธาตุได้ ห้องปฏิบัติการบางแห่งจึงได้ใช้เทคนิคอินดักทีฟลี คัพเพิลด์ พลาสมา สเปกโทรเมตรีในการตรวจวัดปริมาณธาตุแทน ซึ่งจะใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้นกว่า เนื่องจากวิเคราะห์ธาตุหลาย ๆ ธาตุได้ทีเดียวพร้อมกัน และสามารถวิเคราะห์ธาตุในระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ ได้ดีกว่า AAS

2.1 อินดักทีฟลี คัพเพิลด์ พลาสมา สเปกโทรสโกปี¹⁻² (Inductively coupled plasma spectroscopy, ICPS)

เป็นเทคนิคที่ใช้ผลิตพลาสมาโดยไม่ต้องมีขั้วไฟฟ้า มีหลักการ คือ ปล่องแก๊สอาร์กอน ผ่านเข้าไปในคบ (Torch) ซึ่งประกอบด้วยหลอดที่ทำด้วยควอตซ์ (quartz tube) ซ้อนกัน 3 ชั้น ที่ปลายด้านบนจะมีท่อกลวงทำด้วยทองแดงพันรอบอยู่เรียกว่า "load coil" และ coil นี้ ต่อเข้ากับเครื่องส่งความถี่วิทยุ (radio frequency; RF generator) เมื่อให้ RF power (โดยทั่วไปจะเป็น 700-1,500 วัตต์ ปล่องเข้าไปใน load coil) จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสลับเคลื่อนที่ไปมาในหลอดทองแดง หรือเกิดการสั่น (oscillate) ด้วยอัตราเร็วเท่ากับความถี่ของเครื่องส่ง (RF generator) ในเครื่อง ICP ส่วนมากจะใช้ความถี่ 27 หรือ 40 เมกะเฮิร์ต (MHz) จากการผ่าน RF ไปในหลอดทองแดงทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นบริเวณปลายคบแล้ว ทำให้มีการเหนี่ยวนำให้มีกระแสไฟฟ้า (Eddy current) ไหลผ่านตัวนำ ทำให้ตัวนำมีความร้อน

เกิดขึ้นแก๊สอาร์กอนที่ผ่านเข้าไปในแนวตั้งจากเพื่อทำให้เกิดการหมุนไปรอบหลอด ควอร์ตนั้นจะ
 ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องจึงจำเป็นต้องทำให้เป็นตัวนำด้วยการทำให้เกิดการสปาร์ค หรือ
 ปลดปล่อยประจุไฟฟ้าเทสลา (Tesla discharge) ให้ผ่านแก๊สอาร์กอนเสียก่อน เพื่อทำให้แก๊ส
 อาร์กอนเกิดไอออไนซ์ได้อิเล็กตรอนเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กจะทำหน้าที่ช่วยเร่งทำให้อิเล็กตรอน
 เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นประกอบกับมีหลอดทองแดงทำหน้าที่เป็นขดลวด ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงาน
 เพิ่มขึ้น เรียกว่าการเกิด "inductive coupling" อิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงนี้จะชนกับอะตอม
 ของแก๊สอาร์กอนต่อไป ทำให้เกิดอิเล็กตรอนมากขึ้นไปอีก เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่กลายเป็น
 พลาสมา จึงเรียกว่า Inductive coupled plasma (ICP) การปลดปล่อยประจุจากพลาสมานี้จะให้
 ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 1,000 - 10,000 K และมีความเสถียรดีเมื่อใช้กำลังไฟ 1-2 kW
 ดังรูป 2.1



รูป 2.1 ภาพตัดขวางของ ICP discharge

2.1.1 ลักษณะของ ICP

ลักษณะเฉพาะที่นับว่าสำคัญมากของเครื่อง ICP นั้นอาจสรุปได้ดังนี้

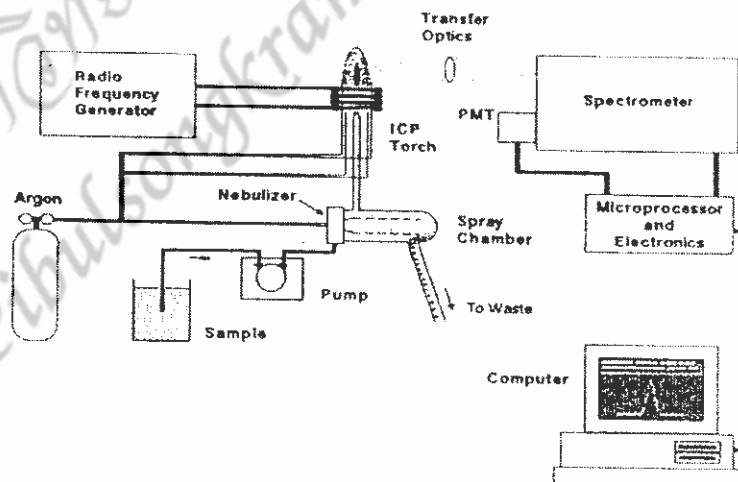
- 1) ให้อุณหภูมิสูงถึงประมาณ 10,000 K
- 2) สารตัวอย่างที่วิเคราะห์สามารถอยู่ในพลาสมาได้นานพอ โดยทั่วไปจะอยู่ได้นาน 2-3 นาที

- 3) matrix และ inter-element effect มีน้อย โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในบรรยากาศของแก๊สเฉื่อย ทำให้อะตอมอิสระที่เกิดขึ้นในพลาสมามี life time ยาวขึ้น
- 4) ในกรณีที่ใช้ Ar-ICP พบว่าให้ electron density สูง แม้จะใส่สารบางชนิดที่ไอออนไนส์ได้ง่ายเข้าไป ก็จะไม่ส่งผลต่อจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น ดังนั้นการแทรกสอดที่เกิดจากการไอออนไนส์จะจะมีผลกระทบน้อย
- 5) Molecular species มีโอกาสเกิดน้อย หรือไม่เกิดเลยเพราะอุณหภูมิสูงทำให้ลดการเกิดฟลูออเรสเซนส์ (fluorescence) และ self-absorption
- 6) แก๊สที่ใช้เป็นแก๊สเฉื่อยจึงลดอันตรายจากการระเบิดเกิดขึ้น
- 7) ไม่ต้องใช้ขั้วไฟฟ้าเลย

2.1.2 องค์ประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง ICP

องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง ICP สเปกโตรมิเตอร์ จะประกอบด้วย

- 1) nebulizer, spray chamber และแก๊สอาร์กอน
- 2) ICP torch
- 3) radio frequency generator
- 4) spectrometer
- 5) microprocessor และ computer

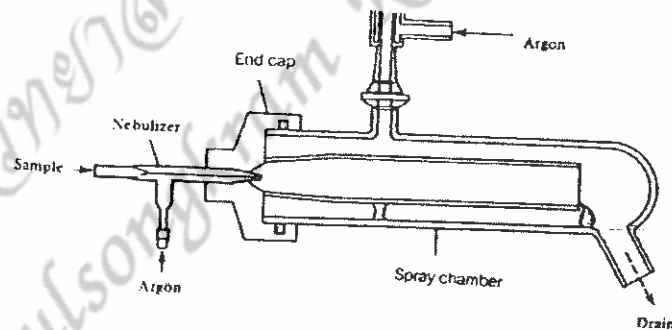


รูป 2.2 แผนภาพองค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง ICP สเปกโตรมิเตอร์

สารละลายที่จะนำมาวิเคราะห์จะถูกส่งเข้าเครื่อง ICP โดยสารละลายจะถูกเปลี่ยนให้เป็นละอองลอย (aerosol) โดยกระบวนการ nebulization แล้วสารละลายที่เป็นละอองนี้จะถูกพาเข้าพลาสมาของคป ICP ซึ่งจะทำให้ตัวอย่างแห้งกลายเป็นไอ กลายเป็นอะตอม หรือเกิดการกระตุ้น หรือไอออไนซ์ อะตอมหรือไอออนที่ถูกกระตุ้น (excited) นั้น จะเปล่งแสงซึ่งมีลักษณะเฉพาะออกมา แสงที่เกิดขึ้นนี้จะผ่านเข้าเครื่องสเปกโทรมิเตอร์เพื่อแยกเอาเฉพาะแสงที่ต้องการวัดที่ความยาวคลื่นที่ต้องการ แล้วให้แสงดังกล่าวตกกระทบบนดีเทคเตอร์ เพื่อวัดออกมาเป็นสัญญาณซึ่งสามารถเปลี่ยนไปเป็นความเข้มชั้นได้ ในการควบคุมแต่ละขั้นตอนตลอดจนข้อมูลที่ได้จะถูกพิมพ์หรือเก็บไว้ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

1) Nebulizer

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนสารละลายตัวอย่างให้เป็นละอองลอย เพื่อให้เข้าสู่พลาสมา กระบวนการนี้นับเป็นส่วนที่สำคัญมาก เพราะจะต้องให้ได้ผลที่แน่นอนและแม่นยำ การเปลี่ยนสารละลายตัวอย่างให้เป็นละอองลอยที่นิยมใช้กันใน ICP นั้น มีอยู่ 2 แบบเท่านั้น คือใช้ pneumatic force และ ultrasonic mechanical force ส่วนมากเครื่อง ICP ที่สร้างใช้ในปัจจุบันมักจะเป็น pneumatic type ซึ่งคล้ายกับ nebulizer ในเครื่อง AAS ดังตัวอย่างในรูป 2.3 โดยสามารถปรับอัตราการไหลของสารละลายได้

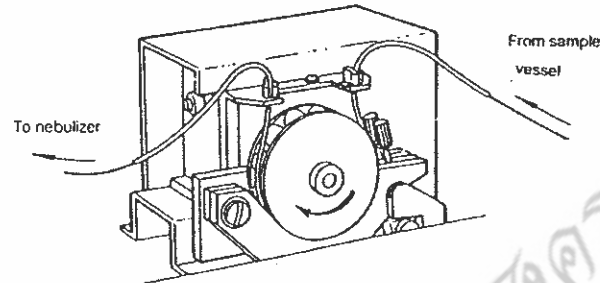


รูป 2.3 concentric nebulizer

2) ปั๊ม (Pump)

สำหรับ nebulizer บางประเภทอาจต้องใช้ปั๊มเพื่อปั๊มสารละลายไปสู่ nebulizer ได้แก่ Babington type รวมทั้งชนิด V-groove และ ultrasonic type สารละลายที่ถูกปั๊มไปยัง nebulizer จะใช้อัตราการไหลของสารละลายเท่าใดมักจะใช้คงที่ และไม่ขึ้นอยู่กับความหนืดหรือความตึงผิวของสารละลายแต่อย่างใด การควบคุมอัตราการไหลของสารละลายให้เหมาะสมนั้น

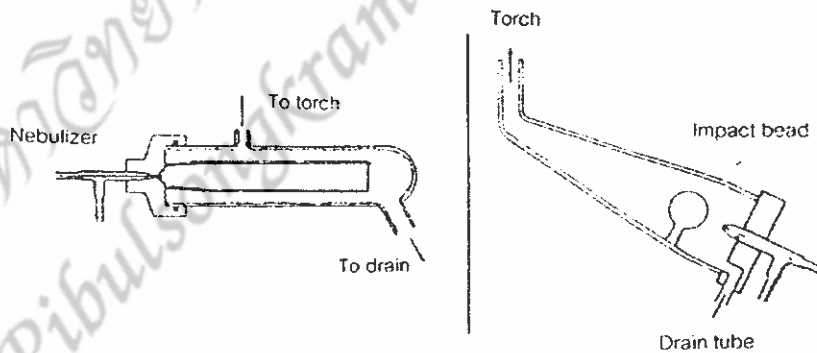
ขึ้นอยู่กับความเร็วที่ต้องการให้สารละลายเข้าไป nebulizer และ spray chamber โดยทั่วไปปั๊มที่ใช้กันเป็น peristaltic pump ดังแสดงในรูป 2.4



รูป 2.4 peristaltic pump ที่ใช้กับ ICP

3) Spray chambers

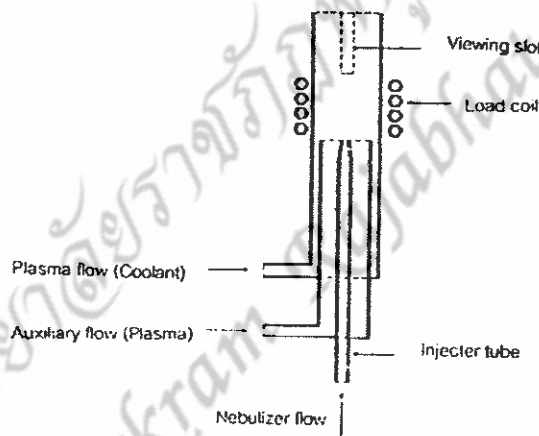
เมื่อสารละลายตัวอย่างถูกทำให้เป็นละอองด้วย nebulizer แล้วจึงจะเข้าสู่พลาสมา แต่เนื่องจากในบางครั้ง aerosol ก็ยังมีละอองของสารละลายเป็นเม็ดโต ไม่เหมาะที่จะเข้าไปสู่พลาสมา ดังนั้น spray chambers จึงติดตั้งให้อยู่ระหว่าง aerosol กับคอบพลาสมา ลักษณะทั่วไปของ spray chambers ที่ใช้กับ ICP ดังแสดงในรูป 2.5



รูป 2.5 ลักษณะของ spray chambers ที่ใช้ใน ICP

4) คบพลาสมา (plasma torchs)

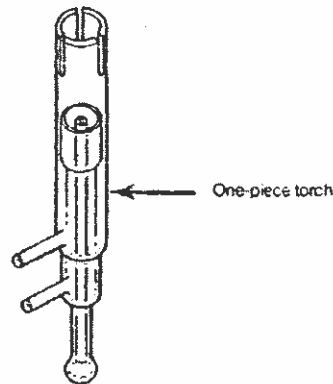
คบที่ใช้ในเครื่อง ICP ทุกวันนี้มี 3 ชั้น สำหรับให้แก๊สอาร์กอนและละอองลอยผ่าน ระยะระหว่างหลอดควอตซ์ 2 ชั้นนอกจะแคบเพื่อให้แก๊สอาร์กอนผ่านเข้าไปด้วยความเร็วสูง หลอดข้างนอกต้องการผ่านแก๊สอาร์กอนเข้าไปทางด้านข้างเพื่อให้ก๊าซหมุนจากด้านล่างสู่ด้านบน ซึ่งใช้สำหรับทำให้คบบเย็น เรียก coolant flow หรือ plasma flow สำหรับอาร์กอน ICP จะใช้แก๊สไหลด้วยอัตราเร็ว 7-15 L/min สำหรับชั้นกลางซึ่งอยู่ระหว่าง plasma flow และ sample flow นั้นเป็นการผ่านแก๊สอาร์กอนเข้าไป ช่วยทำให้พลาสมาแยกออกจากส่วนที่ aerosol จะผ่านเข้าไป จะช่วยทำให้ละอองของตัวอย่างเข้าไปในพลาสมาได้ง่ายขึ้น ตามปกติจะใช้อัตราการผ่านก๊าซประมาณ 1 L/min (พลาสมาคบบ้างบริษัทผู้ผลิตอาจใช้อัตราการไหลของแก๊สมากกว่านี้ หรืออาจไม่มีเลย) การไหลของแก๊สส่วนนี้เรียกว่า auxiliary flow ดังรูป 2.6



รูป 2.6 คบที่ใช้ใน ICP แบบหนึ่ง

สำหรับสารตัวอย่างที่เป็นละอองลอย (sample aerosol) จะถูกพาเข้าไปในพลาสมา ในท่อกลวง เรียกว่า injector ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก ๆ ความเร็วของก๊าซประมาณ 1 L/min เรียกว่า sample flow หรือ nebulizer flow

ICP torch ที่มีการออกแบบอย่างดีเยี่ยมเป็นคบบัซันเดียว ดังแสดงในรูป 2.7 ทำให้คบบชนิดนี้ง่ายต่อการใช้งานและมีความเสถียรดี ในปัจจุบันคบบที่ได้รับความนิยมมากจะเป็นชนิดที่ถอดออกได้เป็นชิ้นๆ (demountable) และเพื่อที่จะลดปริมาณการใช้ก๊าซอาร์กอนลงจึงได้มีการออกแบบให้คบบเล็กลงเป็น minitorch



รูป 2.7 คบที่เป็นชิ้นเดียว

5) เครื่องส่งความถี่วิทยุ (radio frequency generators)

เครื่องส่งความถี่วิทยุ (RF generator) เป็นอุปกรณ์ที่ให้กำลังและช่วยทำให้ plasma discharge เกิดขึ้นติดต่อกันตลอดเวลา กำลังที่ให้นี้มีค่าประมาณ 600-1,800 W โดยส่งผ่าน load coil ที่พันอยู่รอบคอบไปยังพลาสมาก๊าซ load coil จะทำหน้าที่เป็นสายอากาศเพื่อส่ง RF power ไปยังพลาสมา load coil นี้ทำด้วยท่อทองแดงเล็ก ๆ เมื่อใช้งานท่อทองแดงนี้จะต้องมีน้ำหรือก๊าซผ่านเพื่อทำให้เย็น เครื่องส่ง RF ที่ใช้ใน ICP ส่วนมากจะใช้ช่วงความถี่ 27-56 MHz แต่ในงานทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรมแล้วจะใช้ความถี่ค่อนข้างเฉพาะสำหรับเครื่อง ICP โดยทั่วไปจะใช้ที่ความถี่ 27.12 MHz แต่ปัจจุบันบริษัทที่ผลิตเครื่องมือวิทยาศาสตร์ได้ใช้ช่วงความถี่เป็น 40 MHz มากขึ้น เพราะที่ความถี่นี้จะทำให้ coupling efficiency ดีขึ้น ตลอดจนช่วยทำให้ background ลดลงด้วย ส่วนความถี่สูงกว่า 40 MHz ได้มีผู้ใช้เหมือนกันแต่ยังไม่ประสบความสำเร็จในเชิงการค้า

6) เครื่องสเปกโทรมิเตอร์ (spectrometer)

เครื่องสเปกโทรมิเตอร์ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ หลายส่วนด้วยกัน เช่น ช่องแสงเข้าและออก เกรตติง หรือเรียกว่าโมโนโครมาเตอร์ และดีเทคเตอร์ ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกันกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

sequential spectrometer ที่ใช้สำหรับอิมิสชันสเปกโตรเมตริ์นั้นมีด้วยกันหลายแบบ แบบที่เป็น fast-scan monochromator สามารถประหยัดเวลาในการวิเคราะห์และสิ้นเปลืองตัวอย่างน้อย fast monochromator สามารถตั้งโปรแกรมให้ scan ซ้ำ ๆ ได้หรือให้หยุดที่

ความยาวคลื่นที่สนใจก็ได้ สำหรับ multi-element determinations เครื่องสเปกโทรมิเตอร์สามารถ scan จากความยาวคลื่น 190-900 nm โดยใช้เวลาน้อยกว่า 3 วินาที

สำหรับการวิเคราะห์แบบ simultaneous multi-elements นั้นจะต้องเป็นเครื่องที่ใช้ polychromators และ photomultiplier detectors หรือสเปกโตรกราฟกับ array detectors

2.1.3 การบำรุงรักษาเครื่อง ICP สเปกโทรมิเตอร์

การวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง ICP สเปกโทรมิเตอร์ นั้นทำได้ง่าย และได้ผลการวิเคราะห์ถูกต้องดี ทั้งนี้ผู้ใช้เครื่องจะต้องให้ความสนใจในสิ่งที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์นอกเหนือจากรื่องการเตรียมสารตัวอย่าง การเลือก Hardware และตัวแปรต่าง ๆ ของการตั้งเครื่อง แต่ผู้ใช้จะต้องคอยดูแลบำรุงรักษาเครื่องให้อยู่ในสภาพดี และจะต้องคอยตรวจสอบการทำงานของเครื่องอยู่เสมอว่ายังใช้งานได้ถูกต้องดีหรือไม่

1) ระบบส่งสารละลายตัวอย่างและคป ICP

ถ้าระบบของการทำให้สารละลายตัวอย่างไปยังเปลวไฟที่คป ICP ทำงานไม่ดี จะทำให้ผลการวิเคราะห์ไม่ถูกต้องและไม่แม่นยำ ดังนั้นสิ่งใดก็ตามที่ทำให้สารละลายเดินทางไม่สะดวก สิ่งนั้นจะก่อให้เกิดความผิดพลาด สิ่งที่ต้องดูแลและรักษาให้อยู่ในสภาพที่ดีอยู่เสมอ คือความสะอาด ทั้งระบบส่งสารละลายและคป ICP จะต้องรักษาความสะอาด อย่าให้มีอะไรมาติดหรือขวางทางเดินของสารละลาย ทุกครั้งที่ทำการวิเคราะห์สารละลายตัวอย่างแล้ว ควรต้องผ่านหรือล้างด้วยน้ำ หรือ blank ให้สะอาดทุกครั้งก่อนปิดเครื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวิเคราะห์สารละลายตัวอย่างที่ซับซ้อนมาก ๆ (complex matrix) จะต้องล้างให้สะอาดจริง ๆ หรือบางครั้งอาจจะต้องถอดออกมาล้าง

2) peristaltic pump tube

ในกรณีที่เครื่องนั้นใช้ peristaltic pump ซึ่งมีท่อเล็ก ๆ เพื่อให้สารละลายไหลผ่าน ควรจะต้องตรวจสอบว่าท่อเล็ก ๆ นั้นหักแบนหรือเปลา ควรจะต้องเปลี่ยนใหม่หรือไม่ และควรเลือกใช้ท่อนี้ให้เหมาะสมกับสารละลายตัวอย่างด้วย

3) nebulizer

ทุกครั้งควรจะต้องตรวจให้แน่ใจว่า nebulizer ไม่มีการอุดตันหรือรั่วโดยทดลองให้พ่นน้ำ ดูอัตราการพ่นควรจะคงที่

4) ระบบน้ำทิ้ง (drain system)

สำหรับ nebulizer flow ควรจะต้องมีน้ำอยู่ที่ระดับกำหนดให้ เพื่อกัน back pressure ระบบน้ำทิ้งควรจะมีไหลออกไปได้สะดวก

5) คบ

ควรจะต้องตรวจสอบการรั่วไหลเสมอ เพราะคบอาจแตกรั่วได้ หรือเมื่อใช้ O-ring ต้องตรวจสอบการฉีกขาดด้วย เมื่อใช้สารละลายที่เป็นสารอินทรีย์ หรือสารละลายที่เกลือละลายอยู่มาก ๆ ต้องตรวจสอบการอุดตัน เนื่องจากมีคาร์บอนหรือเกลือเกาะอยู่ ถ้ามีควรถอดออกมาล้างให้สะอาด

6) RF generator ; RF load coil

ควรจะต้องตรวจสอบดูอยู่เสมอว่ารั่วไหลหรือไม่ เพราะใช้ไปนาน ๆ จะเกิดการกัดกร่อนให้เกิดมีรูรั่วได้ ส่วนประกอบของพลาสติก เช่น H.V. wire หรืออื่น ๆ ควรจะต้องได้ตรวจสอบดูเป็นครั้งคราว ถ้า RF generator มีพัดลมเป่าหรือระบายความร้อนควรจะต้องตรวจดูที่กรองอากาศไม่ให้อุดตันด้วย ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ ท่อที่ให้พลาสติกออกต้องทำงานดีมีจะนั้นจะทำให้อากาศในห้องเสียอาจจะเป็นอันตรายได้

7) สเปกโตรมิเตอร์

ควรจะต้องตรวจสอบดูเฉพาะ purge windows ให้สะอาดอยู่เสมอ ส่วนอื่น ๆ ไม่ควรจัดการอะไรทั้งสิ้น ถ้าจะเช็คควรให้วิศวกรประจำเครื่องเป็นผู้ดำเนินการ wavelength calibration ควรจะทำเป็นครั้งคราว

8) คอมพิวเตอร์

ควรจะให้ช่างมาดูแลเป็นครั้งคราวทั้ง hardware และ software programs

2.2 การเตรียมตัวอย่าง³⁻⁴

การเตรียมตัวอย่างให้อยู่ในรูปของสารละลายสามารถทำได้โดยใช้รีเอเจนต์ที่เหมาะสม หรือ อาจใช้ความร้อนช่วย เทคนิคการละลายตัวอย่างที่นิยมใช้แบ่งเป็น 4 วิธี ได้แก่

1) การใช้กรดอินทรีย์ในภาชนะเปิด

สำหรับสารอินทรีย์ มักใช้กรดอินทรีย์หรือกรดแร่เป็นรีเอเจนต์ในการย่อยสลาย หลังจากการให้ความร้อนจนถึงจุดเดือดของรีเอเจนต์นั้น ๆ ซึ่งวิธีนี้เรียกว่าการย่อยแบบเปียก (wet digestion) รีเอเจนต์ที่ใช้จะเปลี่ยนตัวอย่างอินทรีย์ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และ น้ำ ตัวอย่างกรดที่ใช้ได้แก่

1.1) กรดไฮโดรคลอริก(HCl)

กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น เป็นกรดที่ใช้ย่อยสลายตัวอย่างอนินทรีย์ได้ดีมาก แต่มีข้อจำกัดสำหรับสารประกอบอนินทรีย์คือการละลายไม่ได้ และเมื่อต้มกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 12 โมลาร์ จนถึงอุณหภูมิ 110°C กรดจะระเหยไปจนความเข้มข้นลดลงเหลือเพียง 6 โมลาร์

1.2) กรดไนตริก(HNO₃)

กรดไนตริกเข้มข้น เป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง ซึ่งใช้ละลายโลหะได้เกือบทุกชนิด ยกเว้น อะลูมิเนียมและโครเมียม เนื่องจากพื้นผิวมักเปลี่ยนเป็นออกไซด์ ถ้าโลหะผสมมี ดีบุก ทังสเตน หรือ พลวง ถูกนำมาละลายในกรดไนตริกที่ร้อน มันจะเปลี่ยนเป็นไฮดรอกไซด์ (hydrated oxide) ที่ละลายได้น้อย เช่น SnO₂·4H₂O เมื่อตกตะกอนจะสามารถแยกธาตุพวกนี้ได้ โดยการกรอง การวิเคราะห์โลหะปริมาณน้อยในตัวอย่างที่เป็นสารประกอบอนินทรีย์ สามารถใช้กรดไนตริกที่ร้อนเพียงอย่างเดียวหรือผสมกับกรดชนิดอื่น หรือ ตัวออกซิไดส์เช่น ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ หรือ โบรมีน

1.3) กรดซัลฟิวริก(H₂SO₄)

สารหรือวัตถุหลายชนิดจะถูกย่อยสลายในกรดซัลฟิวริกที่ร้อน เนื่องจากเป็นกรดที่มีจุดเดือดสูง (340°C) สารประกอบอนินทรีย์ส่วนใหญ่จะเกิดการเสียน้ำ (dehydrated) และ ถูกออกซิไดส์ กลายเป็น คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำที่อุณหภูมินี้

1.4) กรดเพอร์คลอริก(HClO₄)

กรดเพอร์คลอริกเข้มข้นที่ร้อนเป็นตัวออกซิไดส์ที่มีศักยภาพสูง สามารถย่อยสลายโลหะผสมของเหล็กและเหล็กกล้าไร้สนิมได้ ซึ่งกรดชนิดอื่นไม่สามารถย่อยสลายได้

กรดเพอร์คลอริกเมื่อสัมผัสกับสารอินทรีย์ หรือสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดส์ได้ง่าย อาจเกิดการระเบิดอย่างรุนแรง ดังนั้นจึงควรใช้กรดชนิดนี้ชนิดเจือจาง หรือใช้กรดที่เย็นและเข้มข้นใส่ลงในตัวอย่างก่อนแล้วจึงนำไปต้มโดยเพิ่มความร้อนทีละน้อยและให้ต้มภายในตู้ดูดควันปราศจากฝุ่นละอองและสารอินทรีย์ และต้องระวังอย่าให้สารละลายแห้งหรือเหลือน้อย เพราะอาจเกิดการระเบิดได้เนื่องจากในขณะที่สารละลายเหลือน้อยจะมีความเข้มข้นของกรดเพอร์คลอริกอยู่สูงมาก การลดการระเบิดอาจทำได้อีกวิธีหนึ่งคือใช้กรดเพอร์คลอริกผสมกับกรดไนตริก โดย ใส่กรดไนตริกลงในตัวอย่างก่อนแล้วนำไปให้ความร้อน เมื่อร้อนแล้วให้ตั้งทิ้งไว้ให้

เย็น แล้วจึงเติมกรดผสมระหว่างกรดเพอร์คลอริกกับกรดไนตริกลงไปในตัวอย่างอีกครั้งหนึ่ง กรดไนตริกที่ใส่ลงไปตอนแรกนั้นจะไปช่วยออกซิไดส์สารบางชนิดที่ถูกออกซิไดส์ได้ง่าย

1.5) ตัวออกซิไดส์ผสม

การใช้กรดผสมเช่นกรดกัดทอง ($\text{HCl}:\text{HNO}_3$ อัตราส่วน 3:1 โดยปริมาตร) หรือการเติมตัวออกซิไดส์ เช่น ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ หรือ โบรมีน ลงในกรดอินทรีย์หรือกรดแร่จะช่วยให้การย่อยทำได้เร็วขึ้น กรดผสมระหว่างไนตริก และ เพอร์คลอริก ช่วยให้การย่อยสลายทำได้เร็วขึ้นเช่นกัน แต่ต้องระวังมิให้กรดไนตริกกระเหยไปหมดก่อนการออกซิไดส์ตัวอย่างจะสมบูรณ์ เนื่องจากถ้าเหลือเฉพาะกรดเพอร์คลอริกอย่างเดียวอาจทำให้เกิดการระเบิดได้

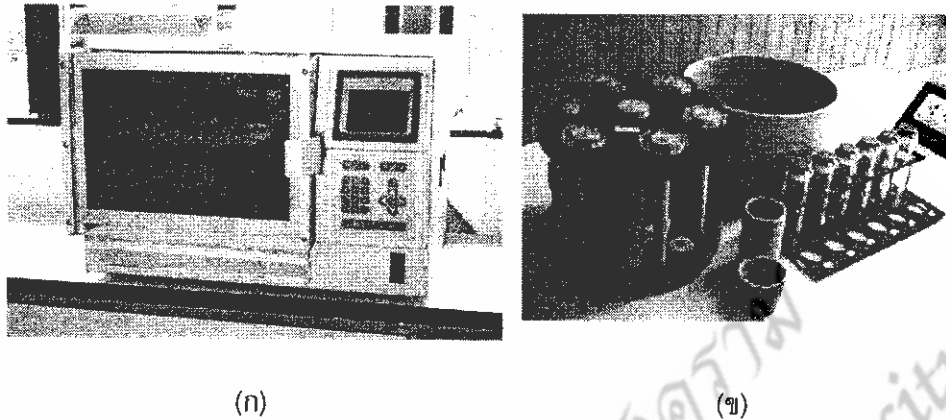
1.6) กรดไฮโดรฟลูออริกหรือกรดกัดแก้ว (HF)

โดยทั่วไปมักใช้ กรดไฮโดรฟลูออริกในการย่อยสลายหินซิลิเกตและแร่ เพื่อวิเคราะห์ธาตุอื่นนอกจากซิลิคอน ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นซิลิคอนเตตระฟลูออไรด์และบางครั้งอาจใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร่วมกับกรดชนิดอื่น เพื่อย่อยสลายเหล็กที่ละลายได้ยาก

กรดไฮโดรฟลูออริกเป็นกรดที่มีความเป็นพิษสูง การใช้กรดชนิดนี้ต้องทำในตู้ดูดควันที่ประสิทธิภาพดีเป็นพิเศษ ถ้ากรดชนิดนี้สัมผัสผิวหนังจะกัดผิวและทำให้มีอาการปวดมาก โดยคนที่สัมผัสกรดไฮโดรฟลูออริกนี้มักแสดงอาการหลังจาก 1 ชั่วโมงผ่านไป ถ้าถูกกรดไฮโดรฟลูออริกควรรล้างด้วยน้ำนาน ๆ หรืออาจใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะตกตะกอนกับฟลูออไรด์ไฮดรอกไซด์

2) การใช้คลื่นไมโครเวฟ

การใช้เตาไมโครเวฟในการย่อยสลายตัวอย่างทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และอนินทรีย์ เริ่มใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา มีทั้งทำในภาชนะเปิดและปิด แต่ปัจจุบันนิยมใช้ภาชนะปิดมากกว่า ดังรูป 2.8 เพราะจะได้ความดันสูง ซึ่งมีผลให้อุณหภูมิสูงไปด้วย นอกจากนั้นยังใช้รีเอเจนต์ปริมาณน้อยกว่าเนื่องจากไม่มีการระเหยของรีเอเจนต์ ทำให้ลดการปนเปื้อนของสารที่ติดมากับรีเอเจนต์ และยังช่วยลดการระเหยของสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์อีกด้วย การย่อยด้วยวิธีนี้ยังสามารถทำเป็นแบบอัตโนมัติได้ ซึ่งเป็นการลดขั้นตอนและเวลาในการเตรียมตัวอย่าง นอกจากนี้ยังสามารถย่อยในเวลาเดียวกันที่ละลาย ๆ ตัวอย่างได้อีกด้วย



รูป 2.8 เตาไมโครเวฟ (ก), หลอดบรรจุสาร (ข) บริษัท Anton Parr

ข้อดีของการย่อยโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเมื่อเทียบกับเปลวไฟหรือแท่นให้ความร้อนคือใช้เวลาน้อยกว่าและสามารถย่อยสลายได้เกือบทุกตัวอย่าง แม้แต่ตัวอย่างที่ย่อยสลายได้ยาก โดยใช้เวลา 5-10 นาที เนื่องจากการถ่ายโอนพลังงานไปยังโมเลกุลของสารละลายได้โดยตรง แต่การย่อยโดยวิธีใช้เปลวไฟหรือแท่นให้ความร้อน ความร้อนจะถูกถ่ายโอนให้กับภาชนะก่อนแล้วจึงไปถึงสารละลายตัวอย่างซึ่งใช้เวลานานหลายชั่วโมง และปกติวิธีนี้จะมีการคนตัวอย่าง ทำให้มีสารละลายส่วนน้อยเท่านั้นที่ยังคงมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของภาชนะ แต่พลังงานไมโครเวฟจะถูกถ่ายโอนให้โมเลกุลของสารละลายทั้งหมดเกือบพร้อมกัน ดังนั้นสารละลายจึงเดือดได้เร็วมาก

3) การเผาให้เป็นเถ้า

การเผาให้เป็นเถ้า (dry ashing) เป็นการย่อยแบบแห้งเหมาะสำหรับตัวอย่างอินทรีย์ ทำได้โดยเผาสารอินทรีย์ด้วยความร้อนที่สูงมาก ๆ สารประกอบอินทรีย์จะถูกออกซิไดส์ด้วยแก๊สออกซิเจน และแปรสภาพเป็นออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ เช่น คาร์บอน(C) จะเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ส่วนไฮโดรเจน (H) จะเปลี่ยนเป็นน้ำ แบ่งเป็น

3.1) การเผาด้วยเปลวไฟหรือเตาเผาที่อุณหภูมิ 500°C หรืออาจจะสูงกว่าโดยใช้ครุชชีเบลหรือขามระเหยบรรจุตัวอย่าง และควรทำตัวอย่างให้แห้งเสียก่อนแล้วจึงค่อยนำไปเผาต่อ คาร์บอนจะถูกออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการย่อยสลายตัวอย่าง

อินทรีย์ ในกรณีเผาด้วยเปลวไฟ เพื่อให้เกิดการออกซิไดซ์ที่สมบูรณ์มักใช้เปลวไฟสีแดง นำส่วนที่เหลือจากการเผาไปละลาย เหมาะสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ไม่ระเหย

3.2) การเผาโดยใช้หลอดเผา (combustion tube) ซึ่งวิธีนี้มีความคลาดเคลื่อนมากเหมาะสำหรับย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์เพื่อหาธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก สารตัวอย่างจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สเมื่อถูกเผาในบรรยากาศของออกซิเจน ถ้ามีเครื่องมือที่เหมาะสมเราสามารถจับแก๊สเหล่านี้และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณได้ วิธีนี้สามารถวิเคราะห์คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ออกซิเจน และ แอลโลเจนได้ภายในเวลา 15 นาที โดยตัวอย่างจะถูกเผาในบรรยากาศของฮีเลียมและออกซิเจน หลังจากแก๊สผสมผ่านเข้าไปเหนือตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งประกอบด้วยของผสมของเงินวานาเดตและเงินทังสแตน สารแอลโลเจนและซัลเฟอร์จะถูกแยกออกโดยเกลือของเงินเหล่านี้ และที่ปลายหลอดจะมีทองแดงที่ร้อนเพื่อแยกออกซิเจนและเปลี่ยนไนโตรเจนออกไซด์ให้เป็นไนโตรเจน

4) การใช้ฟลักซ์

ตัวอย่างจำพวก ซิลิเกต และออกไซด์ของธาตุบางชนิด หรือโลหะผสมของเหล็ก ซึ่งละลายได้น้อยในกรด จำเป็นต้องใช้เกลือเป็นตัวช่วยในการหลอมละลาย โดยให้นำฟลักซ์ 10 ส่วน ผสมกับตัวอย่าง 1 ส่วน ให้เข้ากันในถ้วยที่ทนความร้อนแล้วนำไปหลอมที่อุณหภูมิสูงประมาณ 300 – 1000°C โดยค่อย ๆ เพิ่มความร้อนอย่างช้า ๆ เพื่อไม่ให้เกิดการกระเด็นของสารออกจากถ้วย ระยะเวลาในการหลอม 2-3 นาที ถึง 1 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง ถ้าผลิตภัณฑ์ได้มีลักษณะเป็นของเหลวใส แสดงว่าเกิดการหลอมอย่างสมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะหลอมและละลายน้ำได้ (melt) ก่อนที่จะเย็นจนกลายเป็นของแข็งควรจะหมุนครุชชีเบลเพื่อให้ของเหลวกระจายตัว ซึ่งทำให้ละลายออกได้ง่าย

การใช้ฟลักซ์ควรเลือกให้เหมาะสมกับตัวอย่าง เช่น โซเดียมคาร์บอเนต ใช้กับตัวอย่างประเภทซิลิเกตและอะลูมินา ส่วนลิเทียมเมตาบอเรตเหมาะสำหรับตัวอย่างประเภทแร่และ เซรามิก เป็นต้น

ตัวอย่างของฟลักซ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ อาจแบ่งตามสมบัติได้ดังนี้

ฟลักซ์ที่เป็นด่าง(alkaline flux)ที่ใช้กันมากได้แก่ฟลักซ์คาร์บอเนต (Na_2CO_3 หรือ K_2CO_3 หรือทั้งสองสารผสมกัน) ใช้ย่อยแร่ซิลิเกตได้โดยง่าย นิยมทำในถ้วยแพลตินัม

ฟลักซ์ที่เป็นกรด (acidic flux) โดยมากนิยมใช้โพแทสเซียมไพโรซัลเฟตซึ่งสลายตัวให้ SO_3 และ K_2SO_4 ทั้งนี้ SO_3 จะทำปฏิกิริยากับโลหะออกไซด์ได้เกลือซัลเฟตที่ ละลายน้ำได้ดี การหลอมด้วยไพโรซัลเฟตควรทำในถ้วยซิลิกา หรือ อาจใช้ถ้วยกระเบื้องถ้วยทอง แพลตินัม และ ไครนดัม แต่อาจสึกกร่อนได้เล็กน้อย

ฟลักซ์ที่เป็นสารรีดิวซ์ เช่น Na_2CO_3 และ KCN หรือ KOH และ Al ใช้รีดิวซ์คาร์บอนหรือ ไอออนบวกต่าง ๆ วิธีนี้มักใช้กับโลหะที่มีความหนาแน่นสูง ใช้แยกและหาปริมาณโลหะมีตระกูล เช่น ทอง เงิน แพลตินัม การหลอมทำในถ้วยกระเบื้อง หรือ ควอตซ์

การใช้ฟลักซ์มีข้อเสียหลายประการ ได้แก่ เปลืองค่าใช้จ่ายเนื่องจากต้องใช้สารปริมาณมาก การหลอมต้องทำที่อุณหภูมิสูงอาจเกิดการสูญเสียสารตัวอย่างที่ระเหยได้ง่าย และอาจเกิดอันตรายกับผู้ทดลองที่ขาดความระมัดระวัง สารละลายที่ได้มีปริมาณเกลือค่อนข้างสูงอาจมีผลต่อการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป และฟลักซ์บางชนิดอาจทำให้สารจากถ้วยหลุดออกมาปะปนกับตัวอย่างได้

2.3 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของดิน ⁵⁻⁷

2.3.1 ส่วนประกอบของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญของพืช

ดินดีที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชนั้น จะต้องมีธาตุอาหารสมบูรณ์ และต้องมีอัตราส่วนที่เหมาะสม ดังนี้

อนินทรีย์วัตถุ หรือ แร่ธาตุ (mineral) หมายถึง แร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของ หิน และ แร่ธาตุต่าง ๆ โดยดินที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช จะต้องมีอัตราส่วนร้อยละ 45

อินทรีย์วัตถุ (organic matter) เกิดจากการเน่าเปื่อยของซากพืชซากสัตว์ที่ถมกันอยู่ในดิน จะต้องมีอยู่อัตราร้อยละ 5 ซึ่งถึงแม้จะน้อยแต่มีความสำคัญเพราะ อินทรีย์วัตถุเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดี คือ ดินจะโปร่ง ร่วนซุย ระบายน้ำและอากาศได้ดี และยังช่วยดูดซับน้ำและอาหารพืชได้ดีขึ้น

น้ำ (Water) ต้องมีอัตราส่วนร้อยละ 25 โดยน้ำในดินจะช่วยละลายธาตุอาหารในดินให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้น้ำยังเป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อในส่วนต่าง ๆ ของพืช ทำให้พืชทรงตัวอยู่ได้ และช่วยในการสังเคราะห์แสงของพืช

อากาศ (air) ต้องมีร้อยละ 25 อากาศในดิน ได้แก่ ไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ฯลฯ รากพืชใช้อากาศในการหายใจ และใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้อากาศยังช่วยในการหายใจของจุลินทรีย์ในดินอีกด้วย

2.3.2 ธาตุอาหารในดิน

ธาตุอาหารที่พืชต้องการมีประมาณ 16 ธาตุ เรียกว่าธาตุอาหารพืช (mineral nutrients) ซึ่งรากพืชสามารถดึงดูดไปใช้ได้หลายรูปแบบ เช่น สารประกอบ หรือ แก๊ส เช่น ธาตุคาร์บอน ธาตุออกซิเจน และธาตุไนโตรเจน และอยู่ในรูปของไอออนในสารละลายดิน เช่น ธาตุไนโตรเจน อยู่ในรูป NH_4^+ และธาตุโพแทสเซียมอยู่ในรูป K^+ เป็นต้น

การจำแนกกลุ่มธาตุอาหารพืชตามปริมาณความต้องการ และเป็นธาตุที่ได้จากดิน มี 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ มหาธาตุ และ จุลธาตุ

มหาธาตุ (macronutrient elements) เป็นกลุ่มที่พืชต้องการในปริมาณมากเมื่อเปรียบเทียบกับจุลธาตุ ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และธาตุอาหารรอง แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน รวม 6 ธาตุ มหาธาตุนี้สามารถแบ่งออกได้อีกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มธาตุอาหารหลัก เป็นกลุ่มธาตุอาหารที่พืชมีความต้องการในปริมาณมาก แต่ในสารละลายดินมักมีไม่เพียงพอ พืชจึงแสดงอาการขาดแคลนได้เสมอ ทั้งนี้อาจเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น ในดินมีธาตุอาหารหลักน้อย หรือ อาจมีมากแต่อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ไม่ได้ หรือ อยู่ในสภาวะที่ไม่สมดุลกัน จึงจำเป็นต้องใส่ชดเชยให้อยู่ในรูปของปุ๋ย ดังนั้นจึงเรียกดธาตุอาหารหลักนี้ว่า ธาตุปุ๋ย เช่น ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในดินจะมีปริมาณน้อยมากและบางส่วนอยู่ในรูปของสารประกอบที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ทันที ต้องมีการสลายตัวหรือเปลี่ยนรูปเสียก่อน ส่วนธาตุโพแทสเซียมในดินจัดว่ามีมากพอควร ยกเว้นในเนื้อดินหยาบ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของหินแร่ เช่น เฟลด์สปาร์ (Feldspar) และ ไมกา (Mica) จึงมีส่วนที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย โพแทสเซียมในดินที่เป็นประโยชน์จึงขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนรูป การสลายตัวปลดปล่อยไปเป็นโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

2) กลุ่มธาตุอาหารรอง ได้แก่ ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน กลุ่มธาตุอาหารรองนี้พืชต้องการปริมาณที่รองลงมา ปกติในดินมักมีเพียงพอแล้วไม่ค่อยพบการขาดแคลนมาก เนื่องจากในวัตถุต้นกำเนิดดินมีปริมาณที่มากพอ รวมทั้งเป็นผลพลอยได้ที่ได้จากสิ่งเจือปนติดมาจากการใส่ปุ๋ยเคมีด้วย เช่น แคลเซียมมักได้รับร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟต กำมะถันได้จากการ

สลายตัวของอินทรีย์วัตถุและปุ๋ยอื่น ๆ ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต และโพแทสเซียมซัลเฟต เป็นต้น

จุลธาตุ (micronutrient elements) หรือธาตุอาหารเสริม เป็นกลุ่มที่พืชต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของพืชเท่ากับธาตุอื่น ๆ ถ้าในดินอยู่ในสภาพปกติเหมาะสม จุลธาตุในดินจะมีปริมาณเพียงพอต่อพืชและมีอยู่ด้วยกัน 7 ธาตุ ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดินัม และคลอรีน มักจะพบว่าความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล่านี้จะมีมากน้อยในดินขึ้นกับสมบัติของดิน เช่น ระดับความเป็นกรด และต่าง เนื้อดิน การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศ หรือดินที่ปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานาน นอกจากนี้ในพืชบางชนิดต้องการจุลธาตุในปริมาณมาก เช่น หน่อไม้ฝรั่ง กะหล่ำปลี ต้องการธาตุโบรอนมากกว่าพืชชนิดอื่น ๆ

2.4 การวิเคราะห์ดิน⁸⁻⁹

2.4.1 การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์หรือการวิจัย เพื่อทราบถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ปริมาณทั้งหมดของธาตุอาหาร สมบัติทางเคมีของดินบางประการ เช่น ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน เกลือในดิน ปริมาณปูนที่ใช้แก้ความเป็นกรดของดินเป็นเรื่องสำคัญที่สุด ทั้งนี้เพราะผลของการวิเคราะห์ดินจะมีความถูกต้องเชื่อมั่นได้เพียงใด ขึ้นอยู่กับตัวอย่างดินที่เก็บมา ถ้าเก็บตัวอย่างดินไม่ ถูกต้องตามหลักวิชาการ คือไม่เป็นตัวแทนที่แท้จริงของดินในพื้นที่นั้น ถึงแม้ว่าจะทำการวิเคราะห์ละเอียดสักเพียงใดก็ตาม ผลการวิเคราะห์ที่ได้ออกมา ก็ไม่สามารถนำมาใช้ประเมินได้ถูกต้อง ทำให้เสียทั้งเวลาและสิ้นเปลืองสารเคมีซึ่งใช้ไปในการวิเคราะห์ โดยทั่วไปการที่จะเก็บตัวอย่างดินให้มีปริมาณและสมบัติทุกประการเหมือนกับดินทั้งหมดในบริเวณนั้น เป็นสิ่งที่เป็นไปไม่ได้ ทั้งนี้เพราะว่าดินมีสมบัติและปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่ไม่สม่ำเสมออยู่แล้ว ดังนั้นการเก็บตัวอย่างดินจึงต้องทำให้ถูกต้องหลักเกณฑ์ เพื่อว่าตัวอย่างดินที่เก็บมาวิเคราะห์นั้น จะเป็นตัวแทนที่ดีของดินส่วนใหญ่ในพื้นที่นั้น ๆ ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

การเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหาร ทั้งเพื่อการวิจัยและเพื่อประโยชน์ในการแนะนำการแก้ไขปรับปรุงบำรุงดินและการใช้ปุ๋ยนั้น ตัวเลขที่ได้จากการ

วิเคราะห์จะมีค่าถูกต้องเพื่อการประเมินความอุดมสมบูรณ์และปรับปรุง ควรคำนึงถึงความสำคัญต่างๆ ดังนี้

- 1) ตัวอย่างดินนั้นต้องเป็นตัวแทนที่แท้จริง ซึ่งมีปริมาณธาตุต่างๆ และคุณสมบัติเหมือนกับดินบริเวณนั้น
- 2) จากระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างดินจนถึงขณะที่เตรียมตัวอย่างดิน ต้องไม่มีปฏิกิริยาอันใดเกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้สมบัติดินเปลี่ยนไป เช่น ดินเปรี้ยวจัด หรือดินกรดจัด ถ้าดินที่เก็บมามีปริมาณสารไพไรท์ (FeS_2) อยู่ด้วย เมื่อสารไพไรท์ถูกอากาศจะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น กลายเป็นสารจาโรไซต์ (Jarosite) และกรดกำมะถัน ดังนั้น ถ้าดินเป็นดินเปรี้ยวจัด และมีชั้นเลนลึก ซึ่งมีธาตุกำมะถันสูง ถ้าจะเก็บดินชั้นนี้มาวิเคราะห์จำเป็นที่จะต้องเก็บวิธีพิเศษ
- 3) การแบ่งตัวอย่างดินที่จะใช้วิเคราะห์นั้น ต้องแน่ใจว่าจะมีปริมาณและคุณสมบัติเป็นตัวแทนของตัวอย่างเดิม

2.4.2 วิธีเก็บตัวอย่างดิน

วิธีเก็บตัวอย่างดินนั้นเป็นที่ทราบกันทั่วไปแล้วว่า จะต้องเก็บให้ถูกต้องเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่ต้องการทราบสมบัติและความอุดมสมบูรณ์ของดิน และมีความสำคัญเป็นอันดับแรกของการวิเคราะห์ดินดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นการเก็บตัวอย่างดินให้ได้ตัวอย่างดินที่ดี ควรคำนึงถึง

- 1) ช่วงเวลาที่เหมาะสม การเก็บตัวอย่างดินสามารถทำได้ตลอดปี แต่เวลาที่ เหมาะสมที่สุด คือ ตอนปลายฤดูปลูก หรือภายหลังจากเก็บเกี่ยวพืชผลไปแล้ว เพื่อที่จะทราบถึงสถานะการณ์ของดิน เช่น มีธาตุอาหารเหลืออยู่เท่าใด มีความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นหรือไม่ เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการแก้ไข ปรับปรุง บำรุงดิน และการให้น้ำแก่พืชในฤดูถัดไป
- 2) ความชื้นในดิน ไม่ควรเก็บตัวอย่างดินในขณะที่ดินยังเปียกมากหรือมีน้ำขังอยู่ เพราะยากที่จะคลุกเคล้าดินให้เข้ากันได้สนิท ความชื้นที่เหมาะสมแก่การเก็บตัวอย่างดิน อาจสังเกตได้คือ เอาดินที่จะเก็บนั้นขึ้นมาบีบและทำให้แน่น เมื่อแบมือออกดินจะไม่ติดมือ คงจับกันเป็นก้อน และเมื่อมือออกจะร่วน
- 3) สถานที่เก็บตัวอย่างดิน เป็นส่วนสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงโดยใช้การสังเกต โดยอย่าเก็บตัวอย่างดินในบริเวณที่เป็นบ้านเก่า หรือคอกสัตว์เก่า หรือบริเวณที่มีปุ๋ยตกค้างอยู่ จะทำให้ได้ตัวอย่างที่ไม่เป็นตัวแทนที่ดีของดินแปลงที่ต้องการวิเคราะห์

4) เครื่องมือที่ใช้เก็บตัวอย่างดิน

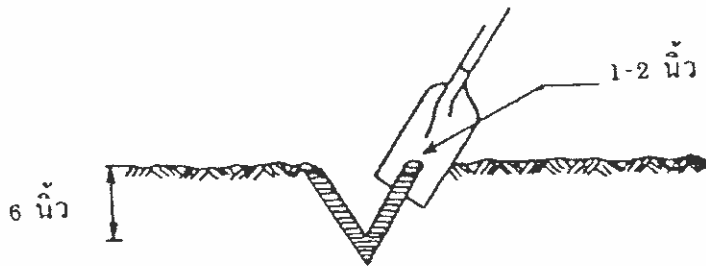
4.1) เครื่องมือสำหรับเจาะ ขุดตัวอย่าง อาจจะใช้เครื่องมือที่หาได้ทั่วไปตามบ้านเรือน เช่น พลั่ว จอบ เสียม หรือใช้เครื่องมือสำหรับเจาะเก็บตัวอย่างดินเฉพาะ เช่น สว่านเจาะ (soil auger) หลอดเจาะ (soil sampling tube) และกระบอกเจาะ (Core type auger) ทั้งนี้แล้วแต่ความเหมาะสมของสภาพดิน และวัตถุประสงค์ในการเก็บ

4.2) ภาชนะสำหรับเก็บรวบรวมตัวอย่างดินและบรรจุตัวอย่างดินได้แก่ ถังพลาสติก ผ้าพลาสติก ถุงพลาสติก ขวดพลาสติกหรือกล่องกระดาษ เครื่องมือที่ใช้เก็บตัวอย่างดินและบรรจุดินจะต้องสะอาด ไม่มีดิน ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ยากำจัดโรคพืช และวัชพืช หรือผงสกปรกอื่น ๆ ติดอยู่ แม้จะเข้าไปปะปนเพียงเล็กน้อยก็ตาม ทำให้ผลการวิเคราะห์ดินไม่ถูกต้อง

5) ขนาดของแปลงที่เก็บตัวอย่างดิน ขนาดของแปลงต่อดิน 1 ตัวอย่าง ไม่จำกัดแน่นอนแต่ไม่ควรเกิน 25 ไร่ ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ วิธีการเริ่มด้วยแบ่งบริเวณที่จะเก็บตัวอย่างออกเป็นอาณาเขตต่าง ๆ โดยแต่ละอาณาเขตควรมีคุณสมบัติและสิ่งแวดล้อมคล้ายคลึงกัน เช่น ชนิดของดิน สีของดินชั้นบน สภาพพื้นที่ลาดเท หรือราบเรียบ และประวัติการใช้ปุ๋ยหรือปุ๋ยชนิดของพืชที่ปลูกในบริเวณนั้น

6) วิธีเก็บตัวอย่างดิน การเก็บตัวอย่างดินนั้นมีจุดประสงค์ที่จะได้ตัวแทนของดินทั้งหมดในแปลงนั้น ดังนั้น การขุดเจาะ ความลึก และจำนวนหลุมที่เจาะหรือขุดนั้นจะต้องมีหลักเกณฑ์ที่แน่นอนเพื่อให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนที่ดี ควรจะทำดังนี้

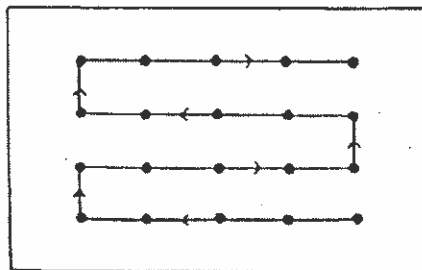
6.1) ต้องวางหญ้าหรือกวาดเศษพืชและใบไม้คลุมดินอยู่รอบข้างเสียก่อน แล้วใช้จอบ เสียม หรือพลั่ว ขุดหลุม เป็นรูปตัว V ลึกประมาณ 6 นิ้ว จากผิวดินแฉะด้านข้างของหลุมหนาประมาณ 0.5-1 นิ้ว จากปากหลุมขนานลงไปตามหน้าดินที่ขุดไว้ ลึกถึงก้นหลุมแล้ววัดขึ้น ดังรูปที่ 1.1 หน้าดินก็จะติดมาบน พลั่ว จอบ เสียม จากนั้นใช้มีดพับตัดดินบนพลั่ว จอบ หรือเสียมออกเสีย เอาไว้แต่ดินตรงกลางกว้างประมาณ 1-2 นิ้ว ทำดังนี้ทุก ๆ หลุม จะได้ตัวอย่างดินที่ดี แล้วเก็บใส่ไว้ในถังพลาสติก



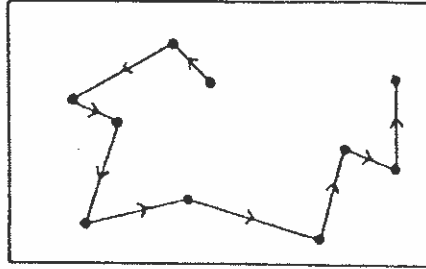
รูป 2.9 การเก็บตัวอย่างดินโดยขุดเจาะดินเป็นหลุมรูปตัววี¹⁰

6.2) ความลึกที่จะเจาะเอาตัวอย่างดินในหลุมหนึ่ง ๆ ไม่จำกัดแน่นอนขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะศึกษาและชนิดของพืชที่จะปลูก ถ้าเป็นดินที่ใช้ทำไร่ ทำนา เจาะลึกประมาณ 6 นิ้ว แต่ถ้าเก็บดินสำหรับปลูกพืชพวกหญ้าอาหารสัตว์ เก็บลึกเพียง 3 นิ้ว ก็พอเนื่องจากเป็นพืชที่ยังรากตื้น (บางสถานที่อาจจะเก็บลึกกว่า ถ้าต้องการทราบอิทธิพลของดินล่าง) ส่วนดินสำหรับปลูกไม้ผล หรือ ไม้ยืนต้นเก็บอีกระยะหนึ่งถึง 50 เซนติเมตร แต่ถ้าดินล่างเป็นดินมีปัญหา ก็อาจจะเจาะลึกถึง 1 เมตร ทั้งนี้เพราะไม้ผล และไม้ยืนต้นเป็นพืชที่ยังรากลึก

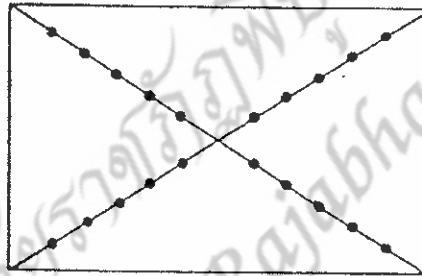
6.3) จำนวนหลุมที่จะเจาะในหนึ่งแปลง ตัวอย่างดินที่จะเป็นตัวแทนที่ดีของดินแปลงที่เก็บตัวอย่างนั้น ควรได้จากดินมากหลุม โดยปกติในแปลงขนาดเนื้อที่ 10-20 ไร่ ควรเจาะประมาณ 10-20 หลุม ในที่ต่าง ๆ กัน กระจายทั่วแปลง ดังรูปที่ 2.10



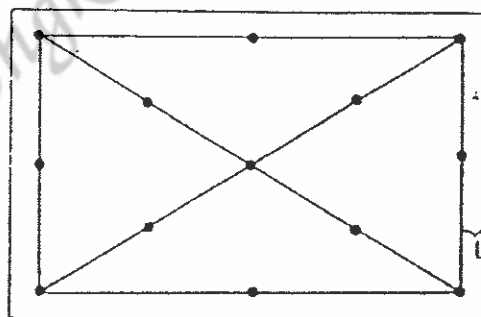
ก. เก็บโดยให้ระยะระหว่างจุดเก็บตัวอย่างเท่า ๆ กัน (equal interval)



ข. เก็บโดยการสุ่ม (random sampling) วิธีนี้นิยมใช้กันทั่วไป



ค. เก็บตามเส้นทะแยงมุมโดยเว้นระยะเท่า ๆ กัน (equal interval on diagonal lines) เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีลักษณะค่อนข้างยาว



30 เซนติเมตร

ง. เก็บตามเส้นทะแยงมุมและเส้นรอบข้าง เหมาะสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่

รูป 2.10 การเก็บตัวอย่างดินในหนึ่งแปลง¹⁰

7) เมื่อเก็บดินตามแบบข้อ 6) ได้ครบทุกหลุมใส่ถังพลาสติกหมดแล้ว คลุกให้เข้ากัน ถ้าเป็นก้อนโต ก็บีบให้เป็นก้อนเล็ก ๆ คลุกเคล้าให้ทั่วสม่ำเสมอ กองดินนั้นลงบนผ้าพลาสติก คลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้งหนึ่ง โดยการยกมุมผ้าพลาสติกขึ้นทีละมุม สลับกันหลาย ๆ ครั้ง แล้วทำกองดินให้เป็นรูปฝาชี แล้วทำเครื่องหมาย + บนยอดกองดิน แบ่งดินออกเป็นสี่ส่วน ชักออกส่วนหนึ่งเก็บไว้ในถุงพลาสติก หรือ กลัง เพื่อส่งห้องปฏิบัติการต่อไป

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นักวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาวิธีการหาปริมาณโลหะหนักหลายชนิด โดยใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างต่าง ๆ กันและใช้เทคนิคการวัดปริมาณหลายเทคนิค เช่น เทคนิคการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชัน ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง แต่ใช้ไม่ได้กับโลหะหลายชนิด เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในห้องปฏิบัติการทั่วไป เทคนิคโวลแทมเมตรีซึ่งมักเกิดปัญหาจากสารรบกวนที่มีในตัวอย่าง เทคนิคอินดักทีฟลีคัพเพิล พลาสมา อะตอมมิกอีมิสชันสเปกโทรโฟโตเมตรี เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่มีความนิยมเนื่องจากความรวดเร็วในการวิเคราะห์ ความถูกต้องแม่นยำของผลการวิเคราะห์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิเคราะห์ธาตุได้หลายชนิด

กอบกิจ พานอ่อง¹¹ ศึกษาปริมาณของแมงनीเซียม เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ในดินที่ปลูกกาแฟอราบิก้าจากไร่กาแฟของสถานีทดลองและฝึกอบรมเกษตรที่สูงชัน ช่างเขียน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชัน แบบไม่ทำลายตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณแมงनीเซียม เหล็ก และแมงกานีสทั้งหมด อยู่ในช่วง 20×10^5 - 3.14×10^5 , 1.5×10^4 - 1.9×10^4 และ 5.2×10^2 - 7.5×10^2 $\mu\text{g/g}$ และปริมาณของสังกะสีน้อยมากจนวัดค่าไม่ได้

วิจิตร รัตนพานี และคณะ¹² หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในดินจากพื้นที่การเกษตรอำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี ได้ทำการวิเคราะห์หาโลหะหนักบางชนิด ได้แก่ แคดเมียม โครเมียม ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ในดินตัวอย่าง โดยทำการย่อยดินขนาด 200 เมช (Mesh) ในปริมาณที่เหมาะสม ด้วยกรดไนตริกเข้มข้นกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (2:1 โดยปริมาตร) ให้ความร้อนที่ 80 °C จนกระทั่งได้สารละลายใส หลังจากการกรองสารละลายแล้วปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1 % และนำไปวิเคราะห์ ได้ปริมาณแคดเมียม, โครเมียม, ทองแดง, นิกเกิล, ตะกั่ว และสังกะสี อยู่ในช่วงน้อย

กว่า 5 – 10 ppb, 6 – 21 ppb, 0.50 – 0.85 ppm, น้อยกว่า 5 ppb, 5.20 – 9.20 ppm และ 1.52 – 5.75 ppm ตามลำดับ

Bettinelli และคณะ¹³ ได้ทำการหาปริมาณโลหะหนัก 8 ชนิด ได้แก่ Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb และ Zn ในตัวอย่างดินและตะกอนโดยเทคนิค ICP-OES พบว่าการย่อยด้วยไมโครเวฟและใช้ส่วนผสมของกรด HF-HCl-HNO₃ (1:3:1) จะทำให้การย่อยตัวอย่างดินและตะกอนสมบูรณ์ ทำการศึกษาประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์พบว่าปัจจัยหลักที่ทำให้ผลการทดลองมีค่าแปรปรวนเกิดจากการวัดด้วยเทคนิค ICP-OES มากกว่าเกิดจากการใช้ไมโครเวฟในการย่อยตัวอย่าง

Bettinelli และคณะ¹⁴ ศึกษาวิธีวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยในไลเคน ซึ่งสามารถบ่งบอกระดับมลพิษทางอากาศได้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากการใช้ไมโครเวฟในการย่อยตัวอย่างไลเคนด้วยกรด HNO₃, H₂O₂ และ HF เพื่อหาปริมาณธาตุโดยเทคนิค ICP-OES, GFAAS และ ICP-MS

Entwistle และ Abrahams¹⁵ ได้ทำการหาปริมาณธาตุ 32 ชนิดในตัวอย่างดินและตะกอนดินในพื้นที่ประวัติศาสตร์ ของสกอตแลนด์ โดยใช้เทคนิค ICP-MS ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ประมาณ 15 ตัวอย่าง ต่อ ชั่วโมง กรด HNO₃ + HClO₄ ถูกใช้สำหรับการเตรียมตัวอย่าง ธาตุบางชนิดที่มีปริมาณมากเช่น Ca, Mg และ K ไม่สามารถวิเคราะห์พร้อม ๆ กับธาตุที่มีปริมาณน้อยอื่น ๆ ได้ภายในครั้งเดียว ธาตุดังกล่าวจึงถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS และเทคนิค flame emission

Ghoneim และ คณะ¹⁶ ทำการวิเคราะห์หาปริมาณ Cd, Pb, Cu, Sb, Bi, Se, Zn, Mn, Ni, Co และ Fe โดยเทคนิค differential pulse stripping voltammetry โดยใช้ขั้วปรอทแบบแขวนตัว โดยให้ตัวอย่างอยู่ในสารละลาย 0.1 M HCl (pH=1) และ 2 M NaCl เทคนิคดังกล่าวให้ขีดจำกัดการตรวจวัดในช่วง 1.11×10^{-10} ถึง 1.05×10^{-9} M และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับตัวอย่างน้ำใต้ดินได้

Lambkin และ Alloway¹⁷ ได้ศึกษาอิทธิพลของ As ที่มีผลต่อการหาปริมาณของ Cd โดยเทคนิค ICP-OES โดยได้เปรียบเทียบผลการหาปริมาณ Cd ในระบบที่มีและไม่มี As เจือปนพบว่า As จะไม่ส่งผลกระทบต่อผลการหาปริมาณ Cd เมื่อใช้เทคนิค Flame-AAS แต่ As จะมีผลต่อการหาปริมาณของ Cd ในเทคนิค ICP-OES เมื่อปริมาณของ As มีค่ามากกว่า 50 µg/L และส่งผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์ในเทคนิค Graphite Furnace Flame-AAS เมื่อปริมาณของ As มีค่ามากกว่า 10 mg/L

Lastincova และคณะ¹⁸ ได้ทำการวิเคราะห์ Cu, Zn, Mo, Mn และ V ซึ่งมีปริมาณน้อย ในตัวอย่างดินโดยใช้เทคนิค ICP-AES และทำการย่อยตัวอย่างดินด้วยไมโครเวฟ และได้ศึกษา อิทธิพลของสารรบกวนต่าง ๆ ดังนี้ Al, Ca, Fe, Mg, Na และ K

Leblebici และ Volkan¹⁹ ได้หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมตัวอย่างน้ำตาลเพื่อ วิเคราะห์หาปริมาณ As, Cu, Fe และ Pb ด้วย AAS โดยใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างแบบแห้ง คือ เผาตัวอย่างกับ H_2SO_4 ได้ร้อยละการกลับคืน 87.6-95.8% และ เมื่อเผาตัวอย่างกับ $Mg(NO_3)_2$ ได้ร้อยละการกลับคืน 91.1-97.4%

Mason และคณะ²⁰ ได้พัฒนาระบบการย่อยตัวอย่างแบบ flow through microwave เพื่อหาปริมาณโลหะปริมาณน้อย ได้แก่ Cd, Cr, Mn, Ni และ Pb ในตัวอย่างดิน โดยสกัดด้วย กรดกัดทอง ได้ร้อยละการกลับคืน 95-105% ระบบดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้จำนวน 6 ตัวอย่างต่อ 1 ชั่วโมง

Sandroni และ Smith²¹ ได้หาปริมาณโลหะในโคลน ดิน และ ตะกอน โดยใช้การย่อย ตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ และวิเคราะห์ปริมาณโลหะด้วย ICP-AES โดยโลหะที่ทำการ วิเคราะห์ได้แก่ Mn, Ni, Zn, Pb, Cr, Cd, Cu, V, Mg, Ca, Fe และ Al ได้ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ใน การให้ความร้อน อัตราส่วนผสมของกรดชนิดต่าง ๆ ได้แก่ HF , HNO_3 และ HCl จากการศึกษา พบว่าการย่อยด้วยระบบไมโครเวฟโดยใช้เวลาย่อย 36 นาที จะให้ร้อยละการกลับคืนดีที่สุด กรด HNO_3 ปริมาณ 6 mL เป็นกรดที่เหมาะสมสำหรับย่อย LGC6136 sewage sludge และ LGC6138 coal carbonization site soil ส่วนกรด HNO_3 3 mL + HF 2 mL เหมาะสำหรับการย่อย PACS-1 marine sediment

Schramel และ คณะ²² ทำการหาปริมาณโลหะปริมาณน้อย ได้แก่ Co, Cu, Mn, Fe, Ti และ V ในตัวอย่างน้ำซึ่งเป็นสารอ้างอิงมาตรฐาน SLRS-3 และหาปริมาณ Mo ในสารอ้างอิง มาตรฐาน NASS-3 โดยใช้เทคนิค ICP-AES และเพิ่มความเข้มข้นของโลหะด้วยเทคนิค third phase preconcentration ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมทำให้ได้ขีดจำกัดการตรวจวัดอยู่ในช่วง 0.02 – 0.6 $\mu g/L$

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

- 1) ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)
- 2) ขวดพลาสติก (polyethylene bottle)
- 3) กระดาษกรอง (Whatman)
- 4) ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask)
- 5) กรวยกรอง (glass funnel)
- 6) ปิเปต (pipette)
- 7) ไมโครปิเปต (micropipette)
- 8) บีกเกอร์ (beaker)
- 9) กระบอกตวง (graduated cylinder)
- 10) บิวเรต (burette)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เครื่องอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสมา สเปกโทรมิเตอร์ (Inductively Couple Plasma, Spectrometer) JY 238 Ultrace Ultima, JY Jobin Yvon, Horiba
- 2) เครื่องเตรียมตัวอย่างระบบไมโครเวฟ (microwave sample preparation system, MULTIWAVE) พร้อมหลอดบรจจุสาร (vessel for microwave digestion) บริษัท Anton Parr
- 3) ตู้อบ (hot air oven) ULE 500 บริษัท Memmert GmbH
- 4) เครื่องชั่งละเอียด (analytical balance) AC 204 บริษัท Carbolite

3.3 สารเคมี

- 1) กรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) 65% w/v, analytical reagent grade บริษัท Merck
- 2) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl) 37% w/v, analytical reagent grade บริษัท Merck
- 3) โซเดียมบอโรไฮไดรไรด์ (NaBH_4) assay $\geq 96\%$ บริษัท Fluka

- 4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) assay > 99% บริษัท Merck
- 5) สารละลายมาตรฐานผสม (stock standard solution for ICP-OES) 100 mg/L, analytical reagent grade บริษัท Spex Certiprep

3.4 การเตรียมสารเคมี

- 1) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M (0.5 M NaOH)
ซึ่งโซเดียมไฮดรอกไซด์มา 5.0 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนจนสารละลายหมดแล้วถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน
- 2) สารละลายโซเดียมบอโรไฮไดรไรต์ เข้มข้น 1 % (1 % NaBH₄)
ซึ่งโซเดียมบอโรไฮไดรไรต์ 5 g ละลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M จนสารละลายหมดแล้วถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 mL ปรับปริมาตรด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M
- 3) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 M (6 M HCl)
ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นมา 250 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน
- 4) สารละลายกรดไนตริก เข้มข้น 1 % (1% HNO₃)
ปิเปตกรดไนตริกเข้มข้นมา 10 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

- 1) สารละลายมาตรฐาน As, Cd, Pb, Ni, Cr และ Co ที่ความเข้มข้น 0.05 , 0.25, 0.50 และ 1.00 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 100 mg/L ของ As, Cd, Pb, Ni, Cr และ Co ลงไป 25, 125, 250 และ 500 μ L ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร 50 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนถ่ายสารละลายที่ได้เก็บไว้ใน Polyethylene bottle ขนาด 60 mL
- 2) สารละลายมาตรฐาน Al, Cu, Fe, K, Mg, Na และ Zn ที่ความเข้มข้น 5.0, 10.0, 15.0 และ 20.0 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐาน 100 mg/L ของ Al, Cu, Fe, K, Mg, Na และ Zn ลงไป 2.50, 5.00, 7.50 และ 10.00 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร 50 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนถ่ายสารละลายที่ได้เก็บไว้ใน Polyethylene bottle ขนาด 60 mL

Method : PAAR002M

Ph	Power (W)	Time (mm:ss)	Power (W)	Fan
1	700	10:00	1000	0
2	1000	10:00	1000	0
3	0	15:00	0	3
4	0	0:00	0	0
5	0	0:00	0	0

Max.Temp.i. 260 °C

Roter : 6
 Type M : 30 bar
 Total Time : 0 : 35 : 00 h.

3.7 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP

Parameter of the method

Analysis mode: Normal
Rinsing time: Fixed (0 s)
Rinsing pump speed: Normal
Transfer time: 0 s
Stabilisation time: 0 s
Transfer pump speed: Normal
Delay of synchronization: 0 s
Stop of pump during replacement: No

Plasma parameter

Power:	1000	Watt
Normal speed of pump:	20	รอบ ต่อ นาที
Plasma gas flowrate:	PL1	(12 L/min)
Sheath gas flowrate:	G1	(0.2 L/min)
Auxiliary flowrate:	0.0	L/min
Sheath gas stability time:	1.0	s
Nebulisation flowrate:	0.5	L/min
Nebulisation pressure:	3.0	bar
Use argon humidificator:	NO	

3.8 การหาค่าความเที่ยงของการวิเคราะห์

ทำการวัดค่าความเข้มข้นของธาตุซ้ำ 7 ครั้งเป็นอย่างน้อยแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณร้อยละของการเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.9 การหาค่าความแม่นยำของการวิเคราะห์

ทำได้โดยหาค่าร้อยละการกลับคืนโดยเติมสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนลงไปในตัวอย่างก่อนทำการย่อย ตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้ได้เติมสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 100 ppm ของ As, Cd, Pb, Ni, Cr และ Co ลงไป 0, 125, 250 และ 500 μL และเติมสารละลายมาตรฐาน 100 ppm ของ Al, Cu, Fe, K, Mg, Na และ Zn ลงไป 0, 5.00, 7.50 และ 10.00 mL แล้วทำการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับวิธีการเตรียมตัวอย่างข้อ 3.5 จะได้สารละลายที่มี As, Cd, Pb, Ni, Cr และ Co เข้มข้น 0.00, 0.25, 0.50 และ 1.00 mg/L และ Al, Cu, Fe, K, Mg, Na และ Zn ที่มีความเข้มข้น 0.00, 10.00, 15.00, 20.00 mg/L ถ่ายสารละลายที่ได้เก็บไว้ใน Polyethylene bottle ขนาด 60 mL แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง ICP

$$\text{ร้อยละการคืนกลับ} = 100 \times \frac{(a - b)}{c}$$

- เมื่อ
- a คือ ปริมาณสารที่ตรวจพบในตัวอย่างที่ได้เติมสารละลายมาตรฐาน
 - b คือ ปริมาณสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง
 - c คือ ปริมาณสารละลายมาตรฐานที่เติมลงในตัวอย่าง

3.10 อิทธิพลจากสารรบกวน

ศึกษาอิทธิพลของธาตุที่มักพบว่ามีปริมาณมากในตัวอย่างดิน ได้แก่ Fe, K, Mg และ Na ซึ่งอาจรบกวนการวิเคราะห์ธาตุที่มีปริมาณน้อย ได้แก่ Cd, Pb และ Ni ในย่านความยาวคลื่นที่เลือกใช้ โดยเตรียม Cd, Pb และ Ni เข้มข้น 1 mg/L ในสารละลายที่มี Fe, K, Mg และ Na อย่างละ 150 mg/L แล้วศึกษาสเปกตรัมและค่าความเข้มแสงของ Cd, Pb และ Ni

3.11 การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บจากชุมชนพันปีโดยใช้การเตรียมตัวอย่างด้วยไมโครเวฟ ตามขั้นตอน 3.6.2 และสภาวะของเครื่อง ICP ตามข้อ 3.7

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ทำการศึกษาสภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ธาตุอาหารและโลหะหนักในตัวอย่างดิน ด้วยเทคนิค ICP-OES โดยทำการหาวิธีการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมและหาความใช้ได้ของวิธีทดสอบดังนี้

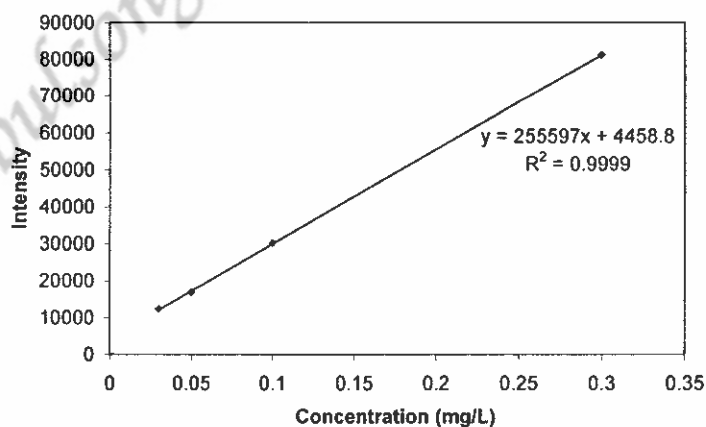
4.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

4.1.1 อาร์เซนิก (As)

ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานอาร์เซนิกที่ความยาวคลื่น 193.695 nm แสดงดังตาราง 4.1 และรูป 4.1

ตาราง 4.1 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานอาร์เซนิก

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอาร์เซนิก (mg/L)	ความเข้มแสง (Intensity)
0.03	12365.54
0.05	16824.74
0.10	30213.23
0.30	81117.86



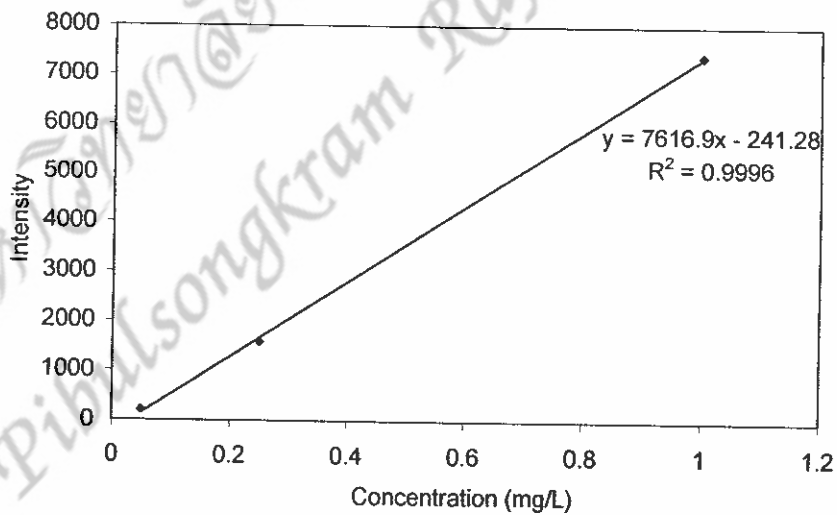
รูป 4.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายอาร์เซนิก

4.1.2 แคดเมียม (Cd)

ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่มีความยาวคลื่น 228.802 nm แสดงดังตาราง 4.2 และรูป 4.2

ตาราง 4.2 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม (mg/L)	ความเข้มแสง (Intensity)
0.05	204.73
0.25	1580.39
1.00	7392.96



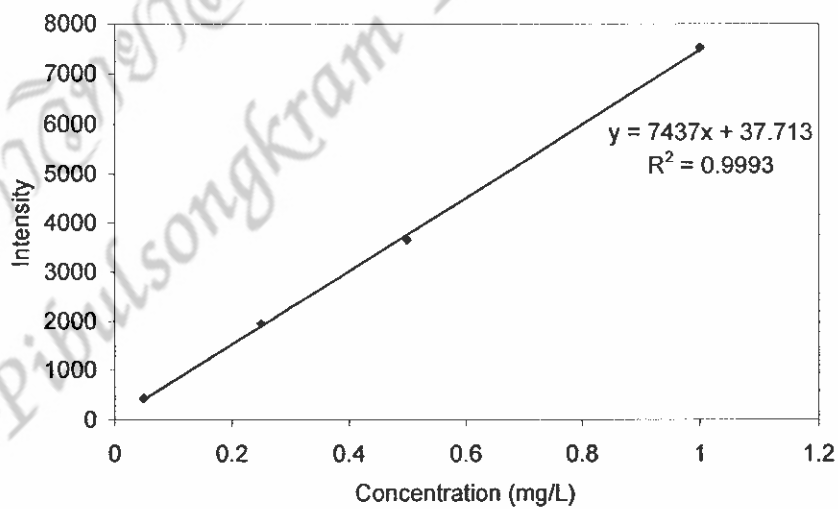
รูป 4.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายแคดเมียม

4.1.3 ตะกั่ว (Pb)

ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความยาวคลื่น 220.353 nm แสดงดังตาราง 4.3 และรูป 4.3

ตาราง 4.3 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (mg/L)	ความเข้มแสง (Intensity)
0.05	428.91
0.25	1949.81
0.50	3640.22
1.00	7518.58



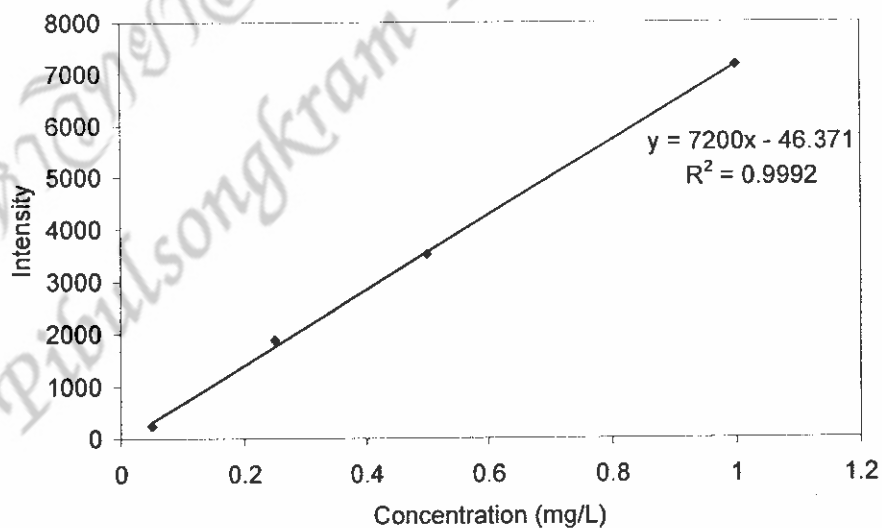
รูป 4.3 กราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่ว

4.1.4 นิกเกิล (Ni)

ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานนิกเกิลที่ความยาวคลื่น 231.604 nm แสดงดังตาราง 4.4 และรูป 4.4

ตาราง 4.4 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานนิกเกิล

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานนิกเกิล (mg/L)	ความเข้มแสง (Intensity)
0.05	241.47
0.25	1873.24
0.50	3511.36
1.00	7148.53



รูป 4.4 กราฟมาตรฐานของสารละลายนิกเกิล

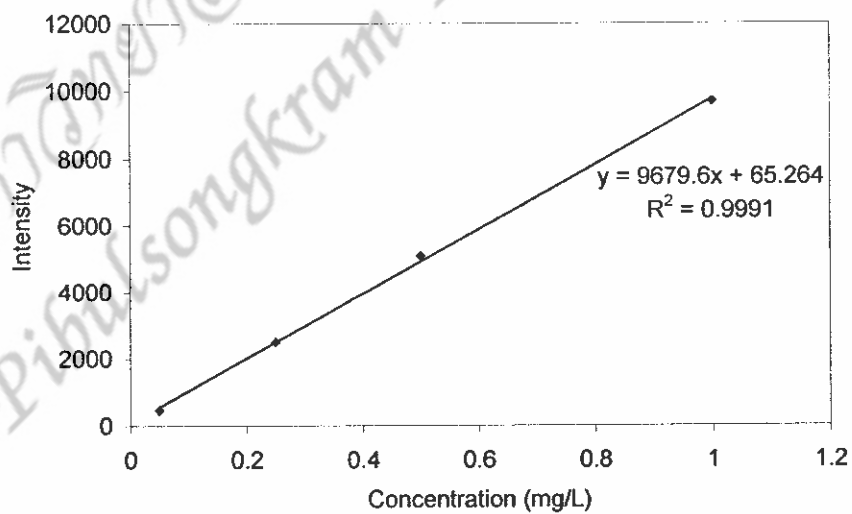
มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Pibulsongkram Rajabhat University

4.1.5 โครเมียม (Cr)

ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานโครเมียมที่ความยาวคลื่น 283.563 nm แสดงดังตาราง 4.5 และรูป 4.5

ตาราง 4.5 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานโครเมียม

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโครเมียม (mg/L)	ความเข้มแสง (Intensity)
0.05	458.92
0.25	2487.26
0.50	5073.58
1.00	9664.66



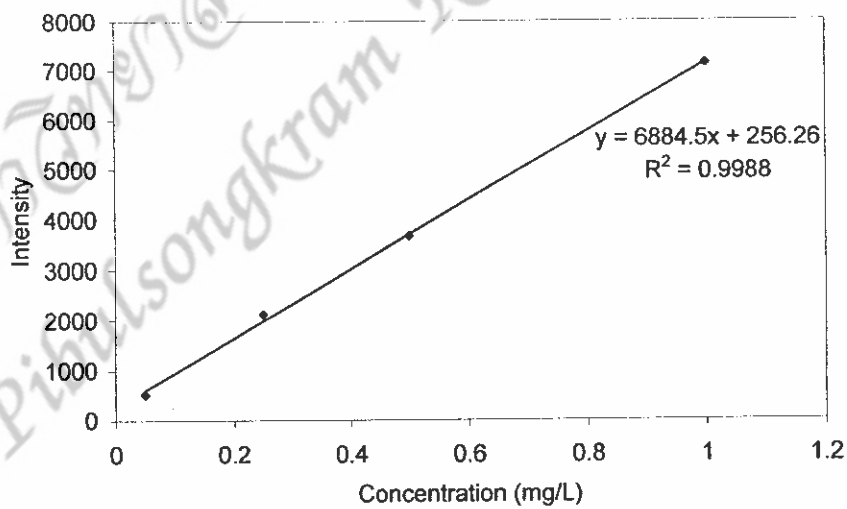
รูป 4.5 กราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม

4.1.6 โคบอลต์ (Co)

ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานโคบอลต์ที่มีความยาวคลื่น 237.862 nm แสดงดังตาราง 4.6 และรูป 4.6

ตาราง 4.6 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานโคบอลต์

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโคบอลต์ (mg/L)	ความเข้มแสง (Intensity)
0.05	512.35
0.25	2114.21
0.50	3660.77
1.00	7129.87



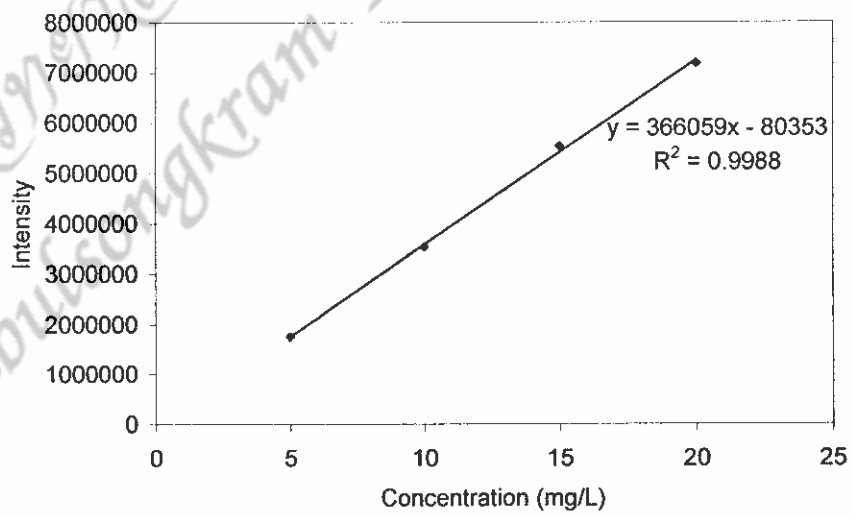
รูป 4.6 กราฟมาตรฐานของสารละลายโคบอลต์

4.1.7 ทองแดง (Cu)

ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานทองแดงที่ความยาวคลื่น 324.754 nm แสดงดังตาราง 4.7 และรูป 4.7

ตาราง 4.7 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานทองแดง

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานทองแดง (mg/L)	ความเข้มแสง (Intensity)
5.00	1744752.85
10.00	3529842.25
15.00	5526881.66
20.00	7180053.25



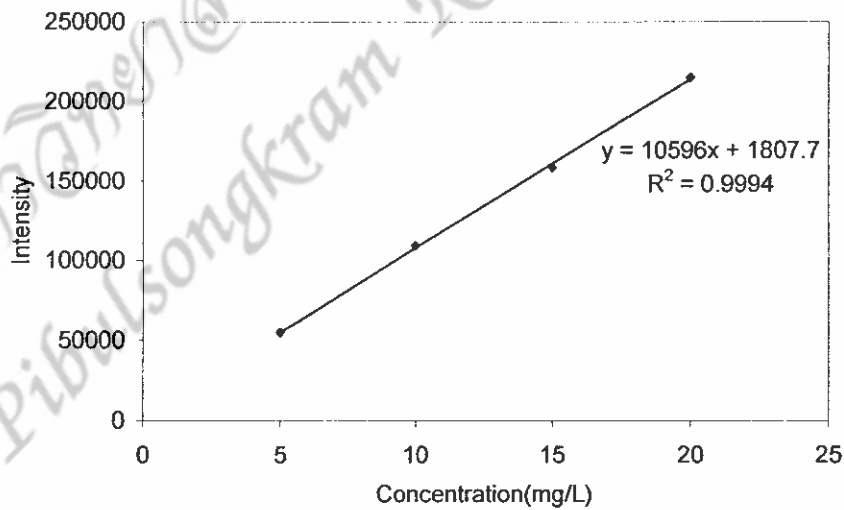
รูป 4.7 กราฟมาตรฐานของสารละลายทองแดง

4.1.8 เหล็ก (Fe)

ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานเหล็กที่ความยาวคลื่น 259.940 nm แสดงดังตาราง 4.8 และรูป 4.8

ตาราง 4.8 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานเหล็ก

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (mg/L)	ความเข้มแสง (Intensity)
5.00	54733.68
10.00	108969.29
15.00	158483.32
20.00	214821.24



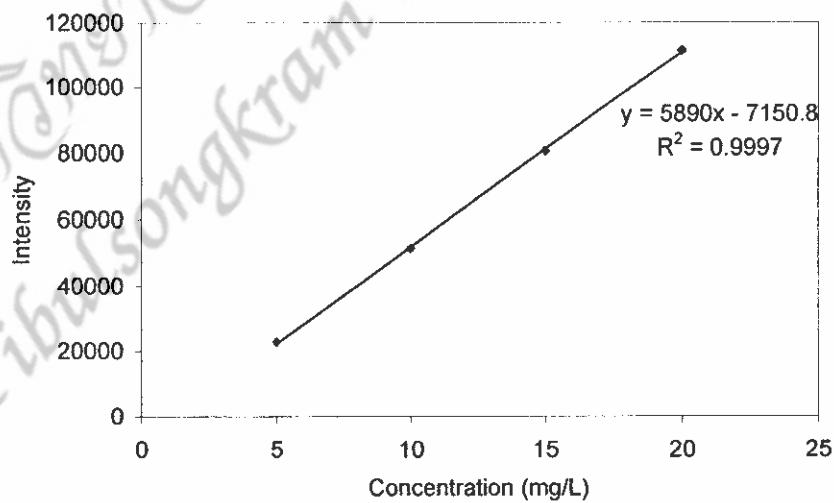
รูป 4.8 กราฟมาตรฐานของสารละลายเหล็ก

4.1.9 โฟแทสเซียม (K)

ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานโฟแทสเซียมที่ความยาวคลื่น 766.490 nm แสดงดังตาราง 4.9 และรูป 4.9

ตาราง 4.9 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานโฟแทสเซียม

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโฟแทสเซียม (mg/L)	ความเข้มแสง (Intensity)
5.00	22815.84
10.00	51279.86
15.00	80587.27
20.00	111213.22



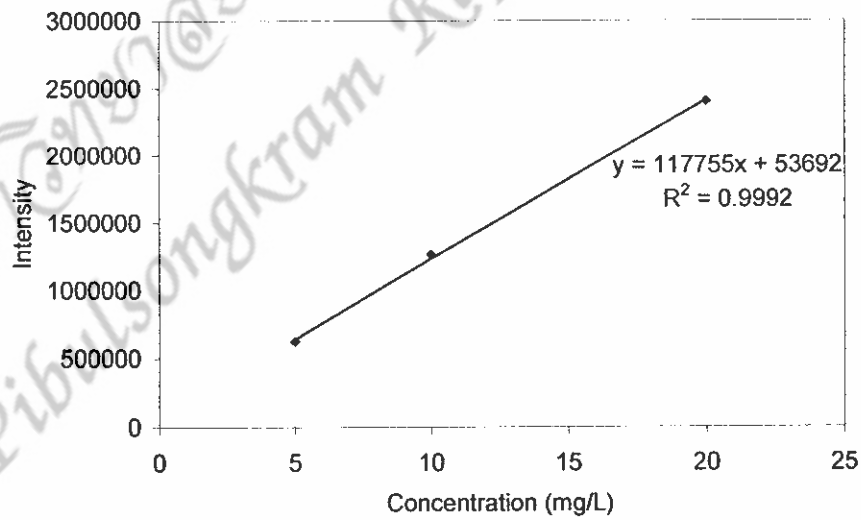
รูป 4.9 กราฟมาตรฐานของสารละลายโฟแทสเซียม

4.1.10 แมกนีเซียม (Mg)

ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียมที่มีความยาวคลื่น 279.553 nm แสดงดังตาราง 4.10 และรูป 4.10

ตาราง 4.10 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม (mg/L)	ความเข้มแสง (Intensity)
5.00	623795.12
10.00	1259241.9
20.00	2399448.8



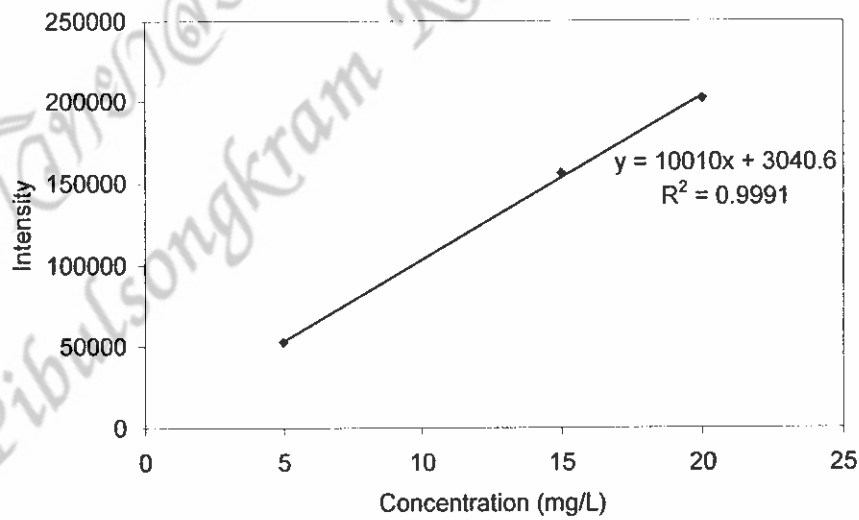
รูป 4.10 กราฟมาตรฐานของสารละลายแมกนีเซียม

4.1.11 แมงกานีส (Mn)

ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานแมงกานีส ที่ความยาวคลื่น 257.610 nm แสดงดังตาราง 4.11 และรูป 4.11

ตาราง 4.11 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานแมงกานีส

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแมงกานีส (mg/L)	ความเข้มแสง (Intensity)
5.00	52199.11
15.00	155855.41
20.00	201454.48



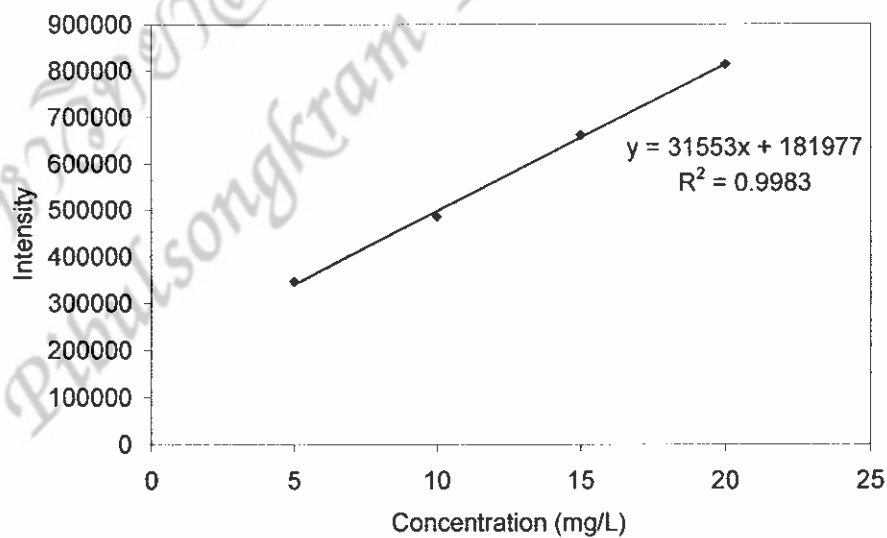
รูป 4.11 กราฟมาตรฐานของสารละลายแมงกานีส

4.1.12 โซเดียม (Na)

ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานโซเดียมที่ความยาวคลื่น 588.995 nm แสดงดังตาราง 4.12 และรูป 4.12

ตาราง 4.12 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานโซเดียม

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียม (mg/L)	ความเข้มแสง (Intensity)
5.00	346131.83
10.00	485527.36
15.00	660065.84
20.00	813836.33



รูป 4.12 กราฟมาตรฐานของสารละลายโซเดียม

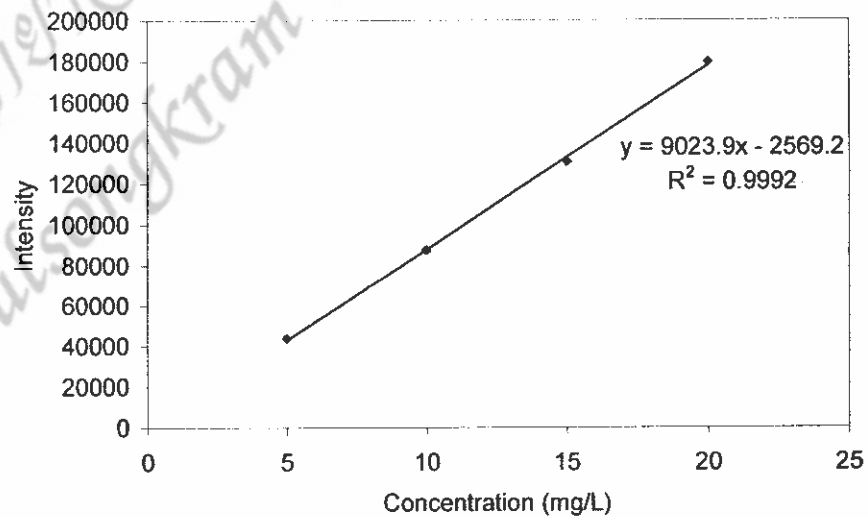
มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Pibulsongkram Rajabhat University

4.1.13 สังกะสี (Zn)

ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสี ที่ความยาวคลื่น 213.856 nm แสดงดังตาราง 4.13 และรูป 4.13

ตาราง 4.13 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสี

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี (mg/L)	ความเข้มแสง (Intensity)
5.00	43478.66
10.00	87382.75
15.00	130578.43
20.00	179478.48



รูป 4.13 กราฟมาตรฐานของสารละลายสังกะสี

4.2 ความเที่ยงของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-OES

ทำการวัดค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารบางตัวซ้ำ 10 ครั้ง เพื่อหาร้อยละของค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ซึ่งสามารถบ่งบอกความเที่ยงของเครื่องมือที่ใช้ได้

ตาราง 4.14 ความเข้มข้นของ Cu, Fe, Mg และ Zn ที่ความเข้มข้น 5 mg/L

ครั้งที่	ความเข้มข้น			
	Cu	Fe	Mg	Zn
1	1652737.050	58451.601	62885.620	42773.202
2	1693961.391	56670.681	65892.994	43715.262
3	1684020.612	55969.544	63715.612	44424.953
4	1671935.851	54571.604	66836.342	43546.301
5	1643660.192	53540.478	68918.184	42658.745
6	1634541.771	51977.363	64107.523	43847.231
7	1703212.541	54725.122	63322.458	42650.099
8	1660547.114	55639.877	64005.990	44566.201
%RSD	1.47	3.58	3.20	1.76

4.3 ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์

ทำการทดสอบความแม่นยำในเทอมของร้อยละการกลับคืนของวิธีการเตรียมตัวอย่างโดยละลายด้วยกรด HNO_3 และให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้าและการใช้พลังงานไมโครเวฟ ได้ผลดังตาราง 4.15

ตาราง 4.15 เปรียบเทียบร้อยละการกลับคืนของการเตรียมตัวอย่างโดยใช้เตาไฟฟ้าและไมโครเวฟ

ธาตุอาหาร	ร้อยละการกลับคืน (%)	
	การให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้า	การใช้พลังงานไมโครเวฟ
Cu	86	105
Fe	83	112
Mg	82	105
Zn	80	112

การหาค่าร้อยละการกลับคืนของการย่อยตัวอย่างด้วยไมโครเวฟและวิเคราะห์หาปริมาณธาตุด้วยเทคนิค ICP ทำโดยเติมสารละลายมาตรฐานที่ทราบปริมาณที่แน่นอนลงไปในตัวอย่งดิน แล้วนำตัวอย่างดินดังกล่าวไปย่อยตามวิธีการเตรียมตัวอย่าง วัดปริมาณของสารละลายมาตรฐานที่ได้กลับคืนมาด้วยเครื่อง ICP จากตาราง 4.16 พบว่าค่าร้อยละการกลับคืนของการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ อยู่ในช่วง 92 - 113 %

ตาราง 4.16 ร้อยละการกลับคืนของการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ด้วยเทคนิค ICP

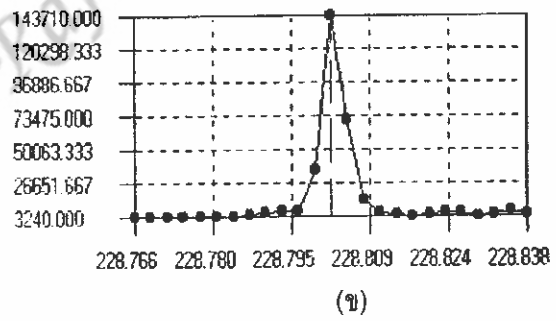
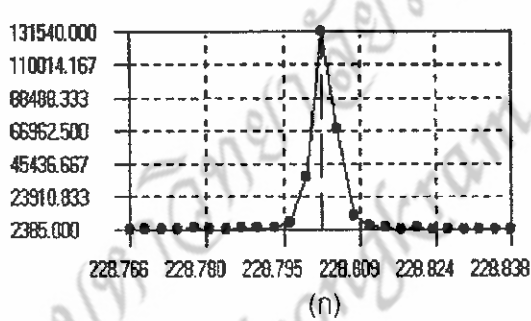
ธาตุ	ร้อยละการคืนกลับ (%)
As	95
Cd	106
Pb	92
Ni	108
Cr	112
Co	113
Cu	105
Fe	112
K	113
Mg	105
Mn	108
Na	113
Zn	112

4.4 อิทธิพลจากสารรบกวน

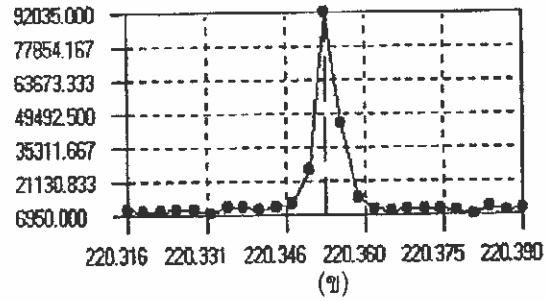
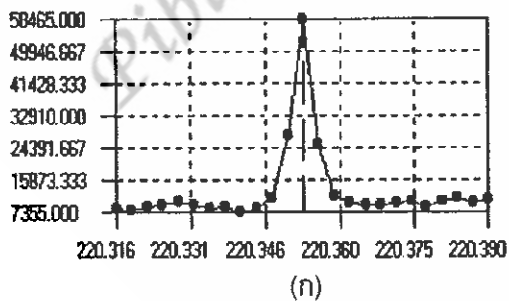
ทำการศึกษาอิทธิพลของธาตุที่มักพบว่ามีปริมาณมากในตัวอย่งดินได้แก่ Fe, K, Mg และ Na ซึ่งอาจรบกวนการวิเคราะห์ธาตุที่มีปริมาณน้อยได้แก่ Cd, Pb และ Ni ในย่านความยาวคลื่นที่เลือกใช้ จากการทดลองในตาราง 4.17 พบว่าความเข้มข้นของ Cd, Pb และ Ni 1 mg/L ในสารละลายที่มี Fe, K, Mg และ Na อย่างละ 150 mg/L จะมีความผิดพลาดโดยทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ แต่ไม่มีผลต่อความยาวคลื่นที่เลือกใช้

ตาราง 4.17 ความเข้มแสงของ Cd, Pb และ Ni ในสภาวะที่มีสารรบกวนอยู่

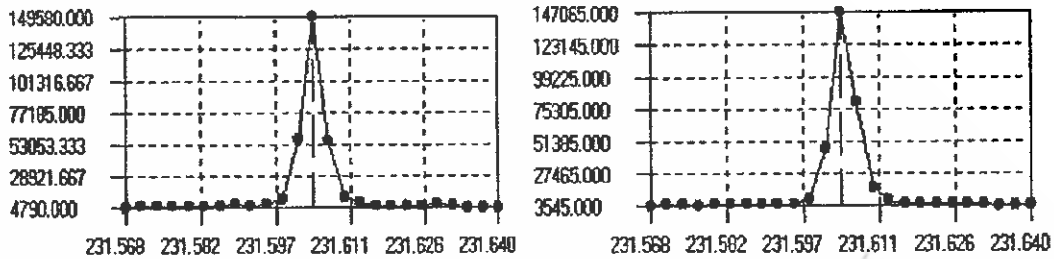
สารรบกวน	ความเข้มแสง		
	Cd 1 mg/L ที่ 228.802 nm	Pb 1 mg/L ที่ 220.353 nm	Ni 1 mg/L ที่ 231.604 nm
Fe 0 mg/L	125393.919	60278.026	145378.932
150 mg/L	126916.627	70330.378	155000.032
% ความผิดพลาดสัมพัทธ์	+1.21%	+16.68%	+6.62%
K 0 mg/L	125393.919	60278.026	145378.932
150 mg/L	137519.855	51046.695	142806.134
% ความผิดพลาดสัมพัทธ์	+9.67%	-15.31%	-1.77%
Mg 0 mg/L	125393.919	60278.026	145378.932
150 mg/L	136035.918	70100.314	151632.568
% ความผิดพลาดสัมพัทธ์	+8.49%	+16.29%	+4.30%
Na 0 mg/L	125393.919	60278.026	145378.932
150 mg/L	138850.988	71624.679	150358.000
% ความผิดพลาดสัมพัทธ์	+10.73%	+18.82%	+3.42%



รูป 4.14 สเปกตรัมของ Cd (น) Cd 1 mg/L (ข) Cd 1 mg/L+ Fe, K, Mg และ Na 150 mg/L



รูป 4.15 สเปกตรัมของ Pb (น) Pb 1 mg/L (ข) Pb 1 mg/L+ Fe, K, Mg และ Na 150 mg/L



รูป 4.16 สเปกตรัมของ Ni (ก) Ni 1 mg/L (ข) Ni 1 mg/L+ Fe, K, Mg และ Na 150 mg/L

4.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่าง ๆ ในดิน โดยทำการย่อยตัวอย่างดินให้เป็นสารละลายด้วย HNO_3 ทำการย่อยโดยใช้ระบบไมโครเวฟเป็นเวลา 35 นาที และวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่าง ๆ ด้วยเครื่อง ICP รายละเอียดการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ แสดงในหัวข้อ 4.5.1 – 4.5.13

4.5.1 อาร์เซนิก (As)

อาร์เซนิก หรือ สารหนู เป็นโลหะหนักที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติจึงได้ร่างประกาศมาตรฐานคุณภาพดินไว้ โดยดินที่สามารถใช้เป็นประโยชน์เพื่อที่อยู่อาศัยและเกษตรกรรม ต้องมีสารหนู ไม่เกิน 0.39 mg/kg จากการทดลองได้วัดปริมาณสารหนูในตัวอย่างดินเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่มีความยาวคลื่น 193.695 nm ผลการทดลองดัง

ตาราง 4.18 ปริมาณอาร์เซนิกในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	As (mg/kg)
S1	ไม่พบ
S2	ไม่พบ
S3	ไม่พบ
S4	ไม่พบ
S5	ไม่พบ
S6	ไม่พบ
S7	ไม่พบ
S8	ไม่พบ
S9	ไม่พบ
S10	ไม่พบ

4.5.2 แคดเมียม (Cd)

แคดเมียมเป็นโลหะหนัก ตามร่างประกาศมาตรฐานคุณภาพดิน ได้กำหนดให้ดินที่สามารถใช้เป็นประโยชน์เพื่อที่อยู่อาศัยและเกษตรกรรม มีแคดเมียมได้ ไม่เกิน 37 mg/kg จากการทดลองได้วัดปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างดินเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 228.802 nm ผลการทดลองดังตาราง 4.19 พบแคดเมียมในตัวอย่างดินทั้งหมดไม่เกินค่ามาตรฐาน

ตาราง 4.19 ปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	Cd (mg/kg)
S1	17.94
S2	16.36
S3	16.68
S4	16.48
S5	ไม่พบ
S6	0.10
S7	0.25
S8	0.06
S9	0.02
S10	0.01

4.5.3 ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่วเป็นโลหะหนัก ตามร่างประกาศมาตรฐานคุณภาพดิน ได้กำหนดให้ดินที่สามารถใช้เป็นประโยชน์เพื่อที่อยู่อาศัยและเกษตรกรรม มีตะกั่วได้ ไม่เกิน 400 mg/kg จากการทดลองได้วัดปริมาณตะกั่วในตัวอย่างดินเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 220.353 nm จากผลการทดลองในตาราง 4.20 พบว่าตัวอย่างดินทั้งหมดมีปริมาณตะกั่วไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 4.20 ปริมาณตะกั่วในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	Pb (mg/kg)
S1	17.09
S2	26.66
S3	16.95
S4	16.31
S5	8.64
S6	6.98
S7	6.42
S8	6.16
S9	12.19
S10	8.01

4.5.4 นิกเกิล (Ni)

นิกเกิลเป็นโลหะหนัก ตามร่างประกาศมาตรฐานคุณภาพดิน ได้กำหนดให้ดินที่สามารถใช้เป็นประโยชน์เพื่อที่อยู่อาศัยและเกษตรกรรม มีนิกเกิลได้ ไม่เกิน 1,600 mg/kg จากการทดลองได้วัดปริมาณนิกเกิลในตัวอย่างดินเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่มีความยาวคลื่น 231.604 nm ผลการทดลองดังตาราง 4.21 พบว่าตัวอย่างดินทั้งหมดมีปริมาณนิกเกิลไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีได้

ตาราง 4.21 ปริมาณนิกเกิลในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	Ni (mg/kg)
S1	43.38
S2	39.0
S3	34.05
S4	19.52
S5	2.14
S6	15.30
S7	20.52
S8	15.36
S9	9.05
S10	10.27

4.5.5 โครเมียม (Cr)

โครเมียมเป็นโลหะหนัก ตามร่างประกาศมาตรฐานคุณภาพดิน ได้กำหนดให้ดินที่สามารถใช้เป็นประโยชน์เพื่อที่อยู่อาศัยและเกษตรกรรม มีโครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (hexavalent chromium) ได้ ไม่เกิน 30 mg/kg จากการทดลองได้วัดปริมาณโครเมียมชนิด เฮกซะวาเลนต์ ในตัวอย่างดินเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่มีความยาวคลื่น 283.563 nm ผลการทดลองดังตาราง 4.22 พบว่าปริมาณโครเมียมโดยเฉลี่ยในตัวอย่างดินมีค่าไม่เกินมาตรฐาน

ตาราง 4.22 ปริมาณโครเมียมในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	Cr (mg/kg)
S1	66.90
S2	27.24
S3	31.50
S4	5.61
S5	16.58
S6	16.31
S7	39.08
S8	20.38
S9	21.29
S10	30.00

4.5.6 โคบอลต์ (Co)

โคบอลต์ เป็นโลหะหนักที่พบมากในอุตสาหกรรมการทำอัลลอยด์ กิจกรรมเกี่ยวกับยา และ เวชภัณฑ์ แม้โคบอลต์ยังไม่ถูกระบุว่าเป็นสารก่อมะเร็ง แต่อาจเป็นสารก่อกลายพันธุ์ จากการวิเคราะห์หาปริมาณโคบอลต์ในดินโดยวิเคราะห์เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน พบว่าปริมาณโคบอลต์ที่ตรวจพบยังอยู่ในระดับที่น้อยมาก ผลการวิเคราะห์แสดงดังตาราง 4.23

ตาราง 4.23 ปริมาณโคบอลต์ในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	Co (mg/kg)
S1	10.73
S2	11.06
S3	11.18
S4	5.50
S5	2.22
S6	16.66
S7	6.49
S8	3.68
S9	3.11
S10	3.83

4.5.7 ทองแดง (Cu)

ทองแดงจัดเป็นธาตุอาหารเสริมของพืช และในดินควรมีปริมาณทองแดงมากกว่า 0.2 ppm หรือ mg/kg จึงถือว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ทองแดงยังเป็นโลหะหนัก ตามร่างประกาศมาตรฐานคุณภาพดิน ได้กำหนดให้ดินที่สามารถใช้เป็นประโยชน์เพื่อที่อยู่อาศัยและเกษตรกรรม มีทองแดงได้ ไม่เกิน 3,900 mg/kg จากการทดลองได้วัดปริมาณทองแดงในตัวอย่างดินเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่มีความยาวคลื่น 324.754 nm ผลการทดลองดังตาราง 4.24 พบว่าตัวอย่างดินทั้งหมดมีปริมาณทองแดงอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช และมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีได้ จึงไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

ตาราง 4.24 ปริมาณทองแดงในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	Cu (mg/kg)
S1	138.72
S2	96.88
S3	90.94
S4	65.80
S5	7.24
S6	29.88
S7	46.47
S8	38.36
S9	3.93
S10	11.91

4.5.8 เหล็ก (Fe)

เหล็กจัดเป็นธาตุอาหารเสริมของพืช และในดินควรมีปริมาณเหล็กมากกว่า 4.5 ppm หรือ mg/kg จึงถือว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช จากการทดลองได้วัดปริมาณเหล็กในตัวอย่างดินเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่มีความยาวคลื่น 259.940 nm ผลการทดลองดังตาราง 4.25 แสดงให้เห็นว่าดินที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมดมีปริมาณเหล็กเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช

ตาราง 4.25 ปริมาณเหล็กในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	Fe (mg/kg)
S1	25883.33
S2	34482.66
S3	30959.44
S4	18701.22
S5	8615.27
S6	20068.15
S7	19606.33
S8	12069.66
S9	13172.50
S10	15339.72

4.5.9 โพแทสเซียม (K)

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการปริมาณมาก โดยดินที่จัดว่ามีความอุดมสมบูรณ์สูง ควรมีปริมาณโพแทสเซียมมากกว่า 90 mg/kg จากการทดลองได้วัดปริมาณโพแทสเซียมในตัวอย่างดินเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่มีความยาวคลื่น 766.490 nm ผลการทดลองดังตาราง 4.26 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างดินที่เก็บจากชุมชนพันปี มีระดับความอุดมสมบูรณ์สูง

ตาราง 4.26 ปริมาณโพแทสเซียมในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	K (mg/kg)
S1	10402.22
S2	6081.66
S3	8608.33
S4	6275.66
S5	2423.88
S6	4848.44
S7	4478.88
S8	5102.77
S9	2644.16
S10	3365.22

4.5.10 แมกนีเซียม (Mg)

แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารรองของพืช ที่พืชต้องการรองจากธาตุอาหารหลัก โดยปริมาณแมกนีเซียมในดินทั่วไป ควรมีปริมาณมากกว่า 250 mg/kg จากการทดลองได้วัดปริมาณแมกนีเซียมในตัวอย่างดินเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่มีความยาวคลื่น 279.553 nm ผลการทดลองดังตาราง 4.27 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างดินที่เก็บจากชุมชนพันปี มีปริมาณแมกนีเซียมอยู่ในระดับปกติ

ตาราง 4.27 ปริมาณแมกนีเซียมในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	Mg (mg/kg)
S1	4883.88
S2	4412.22
S3	6623.33
S4	2934.72
S5	1676.70
S6	2547.22
S7	6302.38
S8	2559.38
S9	2600.22
S10	3594.16

4.5.11 แมงกานีส (Mn)

แมงกานีสเป็นธาตุอาหารเสริมของพืช ที่ควรมีปริมาณมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จึงถือว่าเพียงพอต่อความต้องการของพืช นอกจากนี้แมงกานีสยังจัดเป็นโลหะหนักที่ต้องมีไม่เกิน 1,800 mg/kg จากการทดลองได้วัดปริมาณแมงกานีสในตัวอย่างดินเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่มีความยาวคลื่น 257.610 nm ผลการทดลองตามตาราง 4.28 แสดงว่าปริมาณแมงกานีสอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

ตาราง 4.28 ปริมาณแมงกานีสในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	Mn (mg/kg)
S1	651.11
S2	882.22
S3	1183.33
S4	484.44
S5	253.05
S6	478.33
S7	639.44
S8	121.66
S9	265.85
S10	336.94

4.5.12 โซเดียม (Na)

โซเดียมจัดเป็นธาตุอาหารที่เป็นพิษต่อพืช ถ้ามีมากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อพืช อาจทำให้เกิดดินเค็ม พืชจะไม่เจริญเติบโต ให้ผลผลิตลดลง และถ้าเค็มมาก พืชอาจถึงตายได้ โดยความเค็ม มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชสองประการคือ ความดันออสโมติก และ ความเป็นพิษของโซเดียม ซึ่งความดันออสโมติกนั้นเมื่อเกิดขึ้นแล้วพืชจะใช้ประโยชน์น้ำได้ลดลง และความเป็นพิษของโซเดียมนั้นจะทำให้การดูดกินของโพแทสเซียมลดลง ปกติแล้วโซเดียมในดินจะมีน้อยกว่า 2 % จากการทดลองได้วัดปริมาณโซเดียมในตัวอย่างดินเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่มีความยาวคลื่น 588.995 nm ตาราง 4.29 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมในตัวอย่างดินพบว่าตัวอย่างดินที่วิเคราะห์มีปริมาณโซเดียมอยู่ในระดับ 0.027 – 0.471 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปกติ

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 4.29 ปริมาณโซเดียมในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	Na (mg/kg)
S1	862.22
S2	1263.88
S3	882.77
S4	467.77
S5	569.72
S6	523.33
S7	688.05
S8	551.11
S9	273.61
S10	385.27

4.5.13 สังกะสี (Zn)

สังกะสีเป็นธาตุอาหารเสริม ในดินส่วนใหญ่มีสังกะสีระหว่าง 10-300 ppm โดยสังกะสีปริมาณมากกว่า 1 ppm จัดว่าพอเพียงต่อความต้องการของพืช นอกจากนี้สังกะสียังเป็นโลหะหนัก ซึ่งต้องมีไม่เกิน 23,000 ppm หรือ mg/kg จากการทดลองได้วัดปริมาณสังกะสีในตัวอย่างดินเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 213.856 nm ผลการทดลองตามตาราง 4.30 พบว่าตัวอย่างดินที่นำมาวิเคราะห์มีปริมาณพอเพียงกับความต้องการของพืช และมีปริมาณในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

ตาราง 4.30 ปริมาณสังกะสีในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	Zn (mg/kg)
S1	216.11
S2	159.72
S3	110.66
S4	127.77
S5	17.41
S6	47.02
S7	65.97
S8	55.55
S9	42.97
S10	42.86

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ได้ทำการหาปริมาณ As, Cd, Pb, Ni, Cr, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na และ Zn โดยพัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างโดยละลายด้วยกรด HNO_3 และย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์โดยใช้ไมโครเวฟซึ่งให้ผลดีกว่าการย่อยบนเตาไฟฟ้าซึ่งเป็นวิธีดั้งเดิม และทำการวัดปริมาณธาตุด้วยเทคนิค ICP-OES เปรียบเทียบการเทคนิค AAS จากผลการศึกษพบว่า การเตรียมตัวอย่างด้วยไมโครเวฟและหาปริมาณด้วยเทคนิค ICP-OES สามารถวิเคราะห์ธาตุ As, Cd, Pb, Ni, Cr, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na และ Zn ได้ทีเดียวพร้อมกันโดยให้ความเที่ยงและความแม่นยำสูง ตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาได้แก่ การสร้างกราฟมาตรฐาน การศึกษาความเที่ยงและความแม่นยำ ทั้งของเทคนิค ICP-OES และ AAS เทคนิคการเตรียมตัวอย่างโดยใช้เตาไฟฟ้า เปรียบเทียบกับการใช้ไมโครเวฟ ผลการหาปริมาณธาตุต่าง ๆ และการเปรียบเทียบข้อมูลในเชิงสถิติของเทคนิค ICP-OES และ AAS ได้ถูกอภิปรายและสรุปเป็นหัวข้อ ๆ ดังต่อไปนี้

5.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นต่าง ๆ ของ As, Cd, Pb, Ni, Cr, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na และ Zn และวัดความเข้มแสงพร้อมกัน ได้สมการเส้นตรงดังตาราง 5.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตาราง มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นว่าความเข้มแสงและความเข้มข้นในช่วงที่ศึกษา มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของสารที่คำนวณจากกราฟดังกล่าวมีความถูกต้อง

5.2 ความเที่ยงของเทคนิค ICP-OES

ความเที่ยงของเทคนิค ICP-OES ในการตรวจวัดความเข้มแสงของ Cu, Fe, Mg และ Zn เข้มข้น 5 mg/L สามารถหาได้จาก %RSD ซึ่งเป็นค่าที่ใช้วัดการกระจายของข้อมูลที่ทำซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง จากการทดลองพบว่าเทคนิค ICP-OES ให้ %RSD อยู่ในช่วง 1.47 – 3.58% เปรียบเทียบกับตารางในภาคผนวก ข จะพบว่า %RSD ดังกล่าวมีค่าน้อยกว่า 10% แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายน้อยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตาราง 5.1 สมการเส้นตรงของการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ

ธาตุ	สมการเส้นตรง	ค่า R ²	ความยาวคลื่นที่ใช้ (nm)
As	$y = 255597x + 4458.8$	0.9999	193.695
Cd	$y = 7616.9x - 241.28$	0.9996	228.802
Pb	$y = 7437x + 37.713$	0.9993	220.353
Ni	$y = 7200x - 46.371$	0.9992	231.604
Cr	$y = 9679.6x + 65.264$	0.9991	283.563
Co	$y = 6884.5x + 256.26$	0.9988	237.862
Cu	$y = 366059x - 80353$	0.9988	324.754
Fe	$y = 10596x + 1807.7$	0.9994	259.940
K	$y = 5890x - 7150.8$	0.9997	766.490
Mg	$y = 117755x + 53692$	0.9992	279.553
Mn	$y = 10010x + 3040.6$	0.9991	257.610
Na	$y = 31553x + 181977$	0.9983	588.995
Zn	$y = 9023.9x - 2569.2$	0.9992	213.856

5.3 ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-OES

ร้อยละการกลับคืนเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้แสดงถึงความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์ จากการทดลองเมื่อทำการเติมสารละลายมาตรฐานที่ทราบปริมาณแน่นอนลงในตัวอย่างดิน และ นำตัวอย่างไปละลายด้วยกรดและย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยไมโครเวฟ พบว่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 92 - 113% จากตารางในภาคผนวก ข สรุปได้ว่าค่าร้อยละการกลับคืนที่ได้จากการทดลองสำหรับสารที่มีความเข้มข้นมากกว่า 1 mg/kg ส่วนมากอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.4 อิทธิพลจากสารรบกวน

อิทธิพลจากสารรบกวนที่สำคัญได้แก่ การรบกวนการหาปริมาณ Cd โดยเกิด spectral interference จาก As และ Fe การแก้ปัญหาที่เกิดจาก spectral overlap ทำได้โดยการเลือก spectral line ที่ไม่ซ้อนทับกับสารรบกวน spectral line สำหรับหาปริมาณ Cd โดยเทคนิค ICP-OES ได้แก่ 226.502 nm ซึ่งมีลักษณะ broad-spectrum และถูกรบกวนได้ง่ายจาก Fe ส่วน 214.438 nm มีลักษณะเป็น broad spectrum เช่นกันและถูกรบกวนได้จาก Al ส่วน 228.802 เป็น line ที่ซ้อนทับกับ line ของ As (228.812) ซึ่งจะทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดซึ่งมีสาเหตุจาก spectral interference ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ spectral

line ที่ 193.696 สำหรับหาปริมาณ As และ เล็ก 228.802 สำหรับหาปริมาณ Cd และจากการศึกษาวิจัยของ Lambkin¹⁷ พบว่า As จะไม่รบกวนการวิเคราะห์ เมื่อ อัตราส่วนความเข้มข้นของ Cd/As มากกว่า 0.5 ส่วนในกรณีที่ปริมาณของ Cd มีน้อยและ As มีมากจนก่อให้เกิดการรบกวน สามารถแก้ปัญหาได้โดยวัดปริมาณ Cd โดยเทคนิค FAAS

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง¹³ พบว่า การหาปริมาณของ Pb โดยใช้ spectral line 261.418 จะถูกรบกวนโดย Fe และ Al ในขณะที่ line 220.353 ไม่ปรากฏว่าถูกรบกวนแต่อย่างใดในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ line ที่ 220.353 (spectral lines ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่าง ๆ โดยเทคนิค ICP-OES แสดงดังภาคผนวก ค)

และเพื่อเป็นการยืนยันอิทธิพลจากสารรบกวนดังกล่าวจึงได้ทำการศึกษาค่าความเข้มข้นของธาตุที่มักพบว่ามีปริมาณน้อยได้แก่ Cd, Pb และ Ni เข้มข้น 1 mg/L (166.66 mg/kg) ในระบบที่มี Fe, K, Mg และ Na อย่างละ 150 mg/L (25,000 mg/kg) จากสเปกตรัมของ Cd, Pb และ Ni พบว่า Fe, K, Mg และ Na ไม่มีผลต่อความยาวคลื่นที่เลือกใช้ในการตรวจวิเคราะห์ และความเข้มข้นที่ได้เปลี่ยนไปทั้งในทางเพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งเป็นการกระจายที่ปกติ

5.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

สำหรับการเก็บตัวอย่างดินได้แบ่งเขตการเก็บตัวอย่างในชุมชนพันปีออกเป็น 10 เขต (ดูภาคผนวก ช-ซ) นำตัวอย่างดินที่สุ่มเก็บได้ในแต่ละเขตมาวิเคราะห์ หาปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนัก ตามวิธีที่ได้ศึกษามา ได้ผลสรุปดังตาราง 5.2 - 5.3

ตาราง 5.2 การวิเคราะห์ธาตุอาหารในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	ปริมาณธาตุอาหาร (mg/kg)					
	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Zn
S1	138.72	25883.33	10402.22	4883.88	651.11	216.11
S2	96.88	34482.66	6081.66	4412.22	882.22	159.72
S3	90.94	30959.44	8608.33	6623.33	1183.33	110.66
S4	65.80	18701.22	6275.66	2934.72	484.44	127.77
S5	7.24	8615.27	2423.88	1676.70	253.05	17.41
S6	29.88	20068.15	4848.44	2547.22	478.33	47.02
S7	46.47	19606.33	4478.88	6302.38	639.44	65.97
S8	38.36	12069.66	5102.77	2559.38	121.66	55.55
S9	3.93	13172.50	2644.16	2600.22	265.85	42.97
S10	11.91	15339.72	3365.22	3594.16	336.94	42.86

ตาราง 5.3 การวิเคราะห์ธาตุโลหะหนักในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg)						
	As	Cd	Pb	Ni	Cr	Co	Na
S1	ไม่พบ	17.94	17.09	43.38	66.90	10.73	862.22
S2	ไม่พบ	16.36	26.66	39.0	27.24	11.06	1263.88
S3	ไม่พบ	16.68	16.95	34.05	31.50	11.18	882.77
S4	ไม่พบ	16.48	16.31	19.52	5.61	5.50	467.77
S5	ไม่พบ	ไม่พบ	8.64	2.14	16.58	2.22	569.72
S6	ไม่พบ	0.10	6.98	15.30	16.31	16.66	523.33
S7	ไม่พบ	0.25	6.42	20.52	39.08	6.49	688.05
S8	ไม่พบ	0.06	6.16	15.36	20.38	3.68	551.11
S9	ไม่พบ	0.02	12.19	9.05	21.29	3.11	273.61
S10	ไม่พบ	0.01	8.01	10.27	30.00	3.83	385.27

ตาราง 5.4 การประเมินระดับของธาตุอาหารและโลหะหนักในตัวอย่างดินของชุมชนพื้นที่

ธาตุ	ปริมาณที่ตรวจพบ (mg/kg)	ผลการประเมิน
Cu	3.93 – 138.72	เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชและไม่เกินมาตรฐานที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม
Fe	8615.27 – 34482.66	เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช
K	2423.88 – 10402.22	ดินมีความอุดมสมบูรณ์
Mg	1676.70 – 6623.33	เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช
Mn	121.66 – 1183.33	เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชและไม่เกินมาตรฐานที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม
Zn	17.41 – 216.11	เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชและไม่เกินมาตรฐานที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม
As	ไม่พบ	ไม่เกินมาตรฐาน
Cd	ไม่พบ – 17.94	ไม่เกินมาตรฐาน
Pb	6.16 – 26.66	ไม่เกินมาตรฐาน
Ni	2.14 – 43.38	ไม่เกินมาตรฐาน
Cr	5.61 – 66.90	บางพื้นที่เกินมาตรฐาน
Co	2.22 – 16.66	ไม่เกินมาตรฐาน
Na	273.61 – 1263.88	อยู่ในเกณฑ์ปกติและไม่ทำให้เกิดดินเค็ม

จากการสังเกตลักษณะดินทางกายภาพพบว่า ดินบริเวณชุมชนพันปีมีเนื้อดินเป็นพวกดินร่วนปนทรายแป้ง สีดินเป็นสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนแดง เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินพวกตะกอนลำนํ้า ในดินล่างลึก ๆ อาจมีจุดประสีเทาและสีน้ำตาล ซึ่งอาจเกิดจากแร่บางชนิด เช่น แร่ไมก้า ดินมีการระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักบางชนิดพบว่าดินในชุมชนพันปีมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติโดยเฉลี่ยปานกลาง ดินไม่จัดอยู่ในกลุ่มดินเค็ม พบโลหะหนักบ้างแต่ไม่เกินมาตรฐานยกเว้น Cr ซึ่งพบว่ามีค่าเกินมาตรฐานเล็กน้อยในบางพื้นที่ ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบอาจเกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมี อย่างไรก็ตามดินในบริเวณชุมชนพันปียังเหมาะสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยและทำเกษตรกรรม ได้แก่การปลูกพืชไร่ต่าง ๆ เช่น ข้าวโพด อ้อย และถั่วต่าง ๆ บางแห่งใช้ปลูกไม้ผลได้ดีบริเวณใกล้ลำน้ำ

5.6 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเทคนิค ICP-OES และ AAS

เพื่อเป็นการยืนยันความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการพัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างและหาปริมาณโดยเทคนิค ICP-OES จึงได้เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับเทคนิค AAS ซึ่งเป็นเทคนิคที่มาตรฐานใช้สำหรับหาปริมาณธาตุต่าง ๆ ได้หลายชนิด รายละเอียดดังภาคผนวก ก

จากการเปรียบเทียบความเที่ยงในเทอมของ %RSD พบว่าทั้ง ICP-OES และ AAS เป็นเทคนิคที่มีความเที่ยงสูงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เพราะมีการกระจายของข้อมูลต่ำ ร้อยละการกลับคืนของเทคนิค AAS อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้มากกว่าเทคนิค ICP-OES เนื่องจากเทคนิค AAS เป็นเทคนิคที่ใช้หาปริมาณธาตุได้ครั้งละ 1 ธาตุ อิทธิพลจากสารรบกวนจึงเกิดได้น้อยกว่าเทคนิค ICP-OES ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้หาปริมาณธาตุได้ครั้งละ 13 ธาตุพร้อมกัน ค่า %RSD และ ร้อยละการกลับคืนของเทคนิค ICP-OES เปรียบเทียบกับเทคนิค AAS แสดงดังตาราง 5.5 – 5.6 ปริมาณ Cu, Fe, Mg และ Zn ในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ได้จากทั้งสองเทคนิคแสดงดังตาราง 5.7

ตาราง 5.5 %RSD ของการหาปริมาณ Cu, Fe, Mg และ Zn ด้วยเทคนิค ICP-OES

ธาตุ	%RSD	
	เทคนิค ICP-OES	เทคนิค AAS
Cu	1.47	8.28
Fe	3.58	1.39
Mg	3.20	2.23
Zn	1.76	5.17

ตาราง 5.6 ร้อยละการกลับคืนของการหาปริมาณ Cu, Fe, Mg และ Zn ด้วยเทคนิค ICP-OES และ AAS

ธาตุ	ร้อยละการกลับคืน	
	เทคนิค ICP-OES	เทคนิค AAS
Cu	105	86
Fe	112	85
Mg	105	93
Zn	112	93

ตาราง 5.7 ปริมาณ Cu, Fe, Mg และ Zn ในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้จากเทคนิค AAS (mg/kg)				ปริมาณที่วิเคราะห์ได้จากเทคนิค ICP-OES (mg/kg)			
	Cu	Fe	Mg	Zn	Cu	Fe	Mg	Zn
1	47.17	7264.40	1378.32	111.63	82.8	7272.5	1401.2	222.4
2	6.33	6700.52	1370.35	40.46	14.7	7191.6	1429.8	223.6
3	7.78	7187.70	1418.19	79.36	20.0	7410.2	1408.5	214.3
4	12.07	7202.56	1382.71	59.65	19.8	7600.6	1451.7	223.1
5	20.43	7334.22	1407.71	47.17	22.2	7350.8	1412.8	223.4
6	21.02	6690.87	1355.55	42.11	27.8	6354.5	1593.6	223.5
7	44.92	6921.57	1562.56	67.24	78.6	7260.8	1345.0	221.1
8	21.80	7274.44	1528.67	109.81	40.1	7548.7	1165.1	221.3
9	19.94	7118.06	1545.45	93.60	41.3	7208.3	1400.0	218.0
10	123.79	7196.60	1461.09	84.23	274.1	7385.8	1404.1	199.0

ได้ทดสอบความแตกต่างในทางสถิติของผลการวิเคราะห์ธาตุบางชนิด ได้แก่ Cu, Fe, Mg และ Zn ด้วยเทคนิค ICP-OES และ AAS โดยใช้การทดสอบแบบที (Student t-test) รายละเอียดดังภาคผนวก ก พบว่าผลการหาปริมาณ Cu, Fe และ Mg โดยเทคนิค ICP-OES ให้ผลไม่ต่างจากเทคนิค AAS แต่ผลการหาปริมาณ Zn ระหว่างสองเทคนิคมีความแตกต่างกันอาจเป็นเพราะเกิดการรบกวนจาก K ในเทคนิค ICP-OES ทำให้ปริมาณ Zn ที่ได้จากเทคนิค ICP-OES มีค่ามากกว่าความเป็นจริง¹⁸

5.7 การเตรียมตัวอย่างโดยใช้ไมโครเวฟ

ได้พัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างในการหาปริมาณธาตุต่าง ๆ ในตัวอย่างดิน โดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ แทนการใช้ความร้อนจากเตาไฟฟ้าซึ่งเป็นวิธีดั้งเดิม ผลการเปรียบเทียบค่าร้อยละการกลับคืนของการย่อยตัวอย่างดินโดยใช้เตาไฟฟ้าและการใช้ไมโครเวฟ ของธาตุ Cu, Fe, Mg และ Zn พบว่าค่าร้อยละการกลับคืนของการย่อยตัวอย่างโดยใช้ไมโครเวฟและการใช้เตาไฟฟ้าทั้งคู่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังตาราง 5.8 แต่การใช้ไมโครเวฟสามารถลดขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง จาก 8 ชั่วโมง เหลือเพียง 1 ชั่วโมง 40 นาที (เวลาในการย่อยสลายตัวอย่างเพียง 20 นาที เวลาในการทำให้อุณหภูมิเย็นลง 15 นาที) รายละเอียดตามตาราง 5.9

ตาราง 5.8 ร้อยละการกลับคืนของการเตรียมตัวอย่างเพื่อหาปริมาณ Cu, Fe, Mg และ Zn

ธาตุ	ร้อยละการกลับคืน	
	การให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้า	การใช้ไมโครเวฟ
Cu	86	105
Fe	83	112
Mg	82	105
Zn	80	112

ตาราง 5.9 เปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่างโดยใช้เตาไฟฟ้าและไมโครเวฟ

พารามิเตอร์	การให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้า	การใช้ไมโครเวฟ
Equipment/Sample preparation time (min)	20	20
Extraction time (min)	360	20
Cool down time (min)	30	15
Sample clean up time (min)	20	20
Equipment clean up time (min)	20	20
Total time (min)	480	100
Amount of solvent used (mL)	30	5

ในการเตรียมตัวอย่าง 1 ตัวอย่างโดยให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้า จะใช้กรด HNO₃ เข้มข้น ปริมาณ 30 mL (ตาราง 5.9) ในงานวิจัยนี้มีตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ 10 จุด จุดละ 3 ตัวอย่าง ดังนั้นปริมาณกรดที่ต้องใช้ทั้งหมดเท่ากับ 900 mL แต่เทคนิคการเตรียมตัวอย่างด้วยไมโครเวฟจะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Pibulsongkram Rajabhat University

ใช้ปริมาณกรดทั้งหมดเพียง 150 mL ซึ่งจะช่วยประหยัดปริมาณในการใช้กรดได้ถึง 750 mL อีกทั้งยังมีความปลอดภัยต่อผู้ทดลองมากกว่า

โปรแกรมการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ ด้านล่างแสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างจะถูกย่อยสลายที่เฟสแรก 700 W เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงเพิ่มพลังงานเป็น 1000 W ที่เฟส 2 และย่อยต่ออีก 10 นาที และเฟสสุดท้ายเป็นระบบ cooling พัดลมในเครื่องจะทำงาน เป็นเวลา 15 นาที

Ph	Power (W)	Time (mm:ss)	Power (W)	Fan
1	700	10:00	1000	0
2	1000	10:00	1000	0
3	0	15:00	0	3

สาเหตุที่ไม่สามารถให้พลังงานสูงสุดที่ 1000 W ในเฟสแรกเพราะอาจทำให้สารบางตัวสูญหาย และจะทำให้ได้ร้อยละการกลับคืนต่ำ เวลาที่ใช้ในการย่อยเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการวิเคราะห์ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า เวลาในการย่อยด้วยพลังงานสูงสุด 1000 W ที่นานกว่า 15 นาที จะส่งผลให้ธาตุบางตัวเกิดการสูญหายได้เช่น Cd²⁺

กรดที่ใช้ในการย่อยตัวอย่างดินส่วนมากนิยมใช้กรดกัดทอง (HNO₃+HCl) และในบางกรณีเช่นการวิเคราะห์ Al หรือหากต้องการย่อยตัวอย่างที่ประกอบด้วย silicate จะใช้กรด HF ผสมอยู่ด้วย แต่ในงานวิจัยนี้ได้ใช้กรด HNO₃ เพียงชนิดเดียวซึ่งจากการศึกษาพบว่าสามารถย่อยตัวอย่างดินที่มีลักษณะเป็นเลน โคลน (sludge) ได้ดี อีกทั้งยังประหยัดค่าใช้จ่าย และปลอดภัยกว่า เนื่องจากกรด HF เป็นกรดที่มีอันตรายสูงและทำให้เกิดการสึกกร่อนของภาชนะเครื่องแก้ว และอุปกรณ์ภายในตัวเครื่อง ICP-OES ที่ทำจาก quartz ได้ สำหรับการใส่กรด HCl มีข้อจำกัดบางประการ คือ เมื่อใช้กรด HCl ในการย่อยตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณ Mg ปริมาณ Mg ที่ได้จะลดลงอย่างมาก เนื่องจาก Mg ในตัวอย่างเกิดเป็น MgCl₂ ในระหว่างการย่อยและจะสูญหายไปก่อนทำการวิเคราะห์²¹

5.8 สรุปผลการวิจัย

วิธีการหาปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักอื่นได้แก่ As, Cd, Pb, Ni, Cr, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na และ Zn โดยเทคนิค ICP-OES ได้ถูกพัฒนาในส่วนของขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างให้มีความน่าเชื่อถือ รวดเร็ว ประหยัดและยังลดปริมาณการใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย เมื่อ

เปรียบเทียบกับเครื่องเตรียมตัวอย่างโดยใช้เตาไฟฟ้าซึ่งเป็นแบบดั้งเดิม นอกจากนี้เทคนิค ICP-OES ที่เลือกใช้ยังให้ค่าที่ยอมรับได้และลดเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ หรือ ตัวอย่างปริมาณมาก ๆ ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิค AAS และจากการเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือของผลการทดลองที่ได้ พบว่า ผลการทดลองส่วนใหญ่ที่ได้จากทั้งสองเทคนิคไม่ต่างกัน มีบางกรณีเช่นผลการวิเคราะห์ Fe และ Zn ที่ได้จากเทคนิค AAS ให้ค่าที่ต่ำกว่าเนื่องจากเทคนิค AAS เป็นเทคนิคที่มีความจำเพาะมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามเทคนิค ICP-OES มีข้อได้เปรียบในส่วนที่สามารถวิเคราะห์ธาตุได้พร้อมกันที่ละหลายธาตุ ทำให้ประหยัดเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวนมากได้

5.9 ข้อเสนอนแนะ

1) การยืนยันความน่าเชื่อถือของข้อมูลนอกจากจะใช้การเปรียบเทียบเทคนิคและวิธีการวิเคราะห์ที่ต่างกัน อีกวิธีหนึ่งที่ได้รับค่านิยมคือใช้ สารมาตรฐานที่ทราบปริมาณองค์ประกอบที่แน่นอน (certified reference materials, CRMs หรือ standard reference materials, SRMs) ซึ่งสามารถหาได้จากผู้ผลิตต่าง ๆ ได้แก่ NIST, BCR หรือ IAEA โดยในการวิเคราะห์ดินที่มีลักษณะเป็นทรายแป้งเช่นนี้ CRM ที่ควรใช้ได้แก่ BCR-142R (light sandy soil) และ BCR-143 (over fertilized soil) เป็นต้น

2) การวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง ICP มีความสะดวก เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ธาตุได้หลาย ๆ ธาตุ พร้อม ๆ กัน แต่เนื่องจากบางธาตุ ให้ความเข้มแสงที่ความยาวคลื่นใกล้เคียงกัน จึงควรระมัดระวังในการเลือกความยาวคลื่นที่จะใช้ โดยต้องแน่ใจว่าความยาวคลื่นที่เลือกใช้ไม่ทำให้สเปกตรัมของธาตุซ้อนทับกัน

3) สารรบกวนชนิด non-spectral interference ที่สำคัญได้แก่ total dissolved solid (TDS) โดยจะรบกวนการแตกตัวของสารที่ต้องการวิเคราะห์ในพลาสมา โดยเฉพาะเมื่อ TDS มีปริมาณมากกว่า 0.1-0.2% นอกจากนี้ ตัวอย่างที่มีปริมาณ TDS สูงยังจะทำให้สภาพไอของเครื่องมีลดลงเนื่องจากเกิดการสะสมของแข็งที่อุปกณ์ภายใน ได้แก่ plasma torch และ nebulizer ดังนั้นในกรณีที่ตัวอย่างมี TDS มาก ควรทำการเจือจางสารละลายตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์

4) ในกรณีที่เกิด spectral interference จากสารรบกวนในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ โดยเทคนิค ICP-OES อาจแก้ไขโดยวัดปริมาณธาตุดังกล่าวโดยเทคนิค AAS

5) ในห้องปฏิบัติการที่ไม่มีเตาไมโครเวฟเพื่อใช้ในการเตรียมตัวอย่าง อาจทดลองใช้คลื่นอัลตราโซนิก เนื่องจากคลื่นดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์โลหะบางชนิดได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Pibulsongkram Rajabhat University

เอกสารอ้างอิง

1. แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ, สำนักพิมพ์ชวนพิมพ์, 2534
2. Skoog,D.A.,Leary,J.J.,Principles of Instrumental Analysis,(4th ed.),Saunders College Publishing,1992.
3. Christian,G.D.,Analytical Chemistry,(6th ed.),United States of America:John Wiley & Sons,Inc,2004.
4. วนิตา ชูลิกาวิทย์, นิระนารถ แจ่มทอง และ ดวงกมล เขาวาน์ศรีหมุด,การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้วิเคราะห์ทางเคมี, วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, 159,14-16,2545
5. คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, ปฐพีวิทยาเบื้องต้น, ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530
6. ถวิล คุชทกุล, ดินและปุ๋ยเพื่อการเพาะปลูก, ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2529
7. Manahan, S.E.,Environmental Chemistry,(7th ed.),Lewis publishers,2000.
8. พจนีย์ มอญเจริญ และชูจิตต์ สงวนทรัพย์ากร, วิธีวิเคราะห์ดินทางเคมี, กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2544
9. เฉิบ เขียววรรณ, การสำรวจดิน, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542
10. คณะอนุกรรมการแก้ไขปัญหาการวิเคราะห์สารเป็นพิษ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมเรื่องสารเป็นพิษ, คู่มือการเก็บและรักษาตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์โลหะหนัก, งานสารพิษ, กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2530

11. กอบกิจ พานอ่อง, การศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินที่ปลูกกาแฟอราบิก้าจากไร้กาแฟของสถานีทดลองและฝึกอบรมเกษตรที่สูงชัน ช่างเขียน, การค้นคว้าแบบอิสระเชิงวิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2535
12. วิจิตร รัตนพานี, เสาวนีย์ รัตนพานี, พลยุทธ สุขสมิต และ สายสุนีย์ เหลี้ยวเรืองรัตน์, ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในดินจากพื้นที่ทำการเกษตร อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่, 2537
13. Bettinelli, M., Beone, G.M., Spezia, S., and Baffi, C., *Anal. Chim. Acta*, 424, 289-296, 2000.
14. Bettinelli, M., Perotti, M., Spezia, S., Baffi, C., Beone, G.M., Alberici, F., Bergonzi, S., Bettinelli, C., Cantarini, P., and Mascetti, L., *Microchemical Journal*, 73, 131-152, 2002.
15. Entwistle, J.A., and Abrahams, P.W., *Journal of Archaeological Science*, 24, 407-416, 1997.
16. Ghoneim, M.M., Hassanein, A.M., Hammam, E., and Beltagi, A.M., *Fresenius J Anal Chem*, 367, 378-383, 2000.
17. Lambkin, D.C., and Alloway, B.J., *The Science of the Total Environment*, 256, 77-81, 2000.
18. Lastincova, J., Vanovcan, J., Oktavec, D. and Kaderova, E., *Chem. Papers*, 53(5), 288-294, 1999.
19. Leblebici, J., and Volkan, M., *J. Agric. Food Chem.*, 46, 173-177, 1998.
20. Mason, C.J., Coe, G., Edwards, M., and Riby, P., *Analyst*, 125, 1875-1883, 2000.
21. Sandroni, V. and Smith, C.M.M., *Anal. Chim. Acta*, 468, 335, 2002.
22. Schramel, P., Wang, H.Z., Grill, P., and Kettrup, A., *Fresenius J Anal Chem* 356, 52-56, 1996.

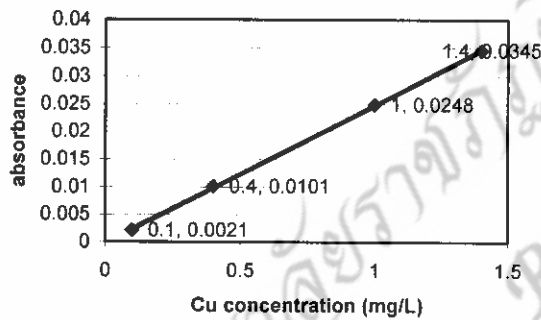
ภาคผนวก ก

เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS

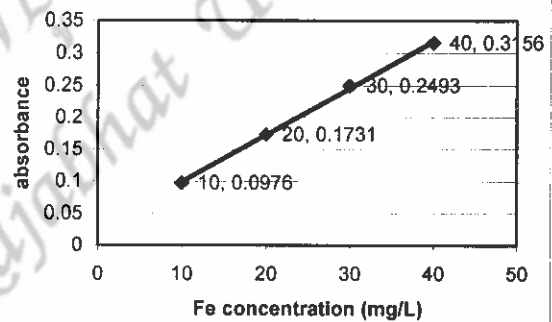
ทำการเปรียบเทียบเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุอาหารและโลหะหนักบางตัวได้แก่ Cu, Fe, Mg และ Zn ระหว่างเทคนิค ICP-OES และ เทคนิค AAS กราฟมาตรฐานและผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS แสดงดังข้อมูลต่อไปนี้

1. การสร้างกราฟมาตรฐาน

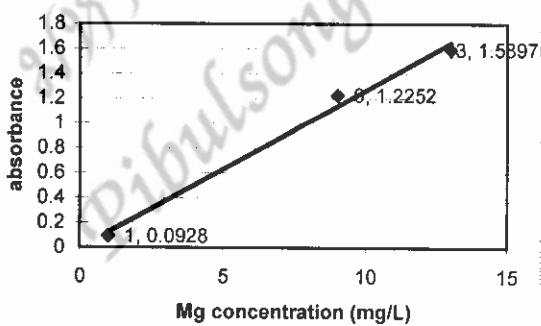
ค่าการดูดกลืนแสงและกราฟมาตรฐานที่ได้จากเครื่อง AAS แสดงดังรูปด้านล่าง



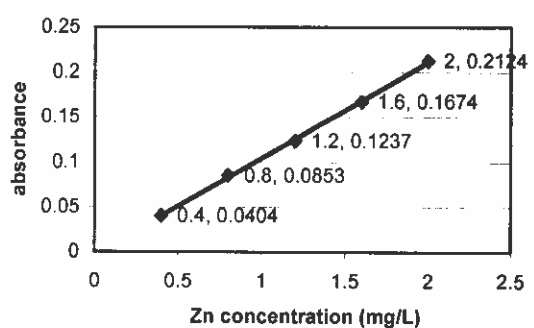
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูป 1 กราฟมาตรฐานของสารละลาย Cu (ก), Fe (ข), Mg (ค) และ Zn (ง)

2. ความเที่ยงของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS

ความเที่ยงของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS สามารถหาได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ในการทดลองนี้ได้วัดค่าการดูดกลืนแสงของ Cu, Fe, Mg และ Zn ในตัวอย่างดินซ้ำ 10 ครั้ง

ตาราง 1 ค่าการดูดกลืนแสงของ Cu, Fe, Mg และ Zn

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง			
	Cu	Fe	Mg	Zn
1	0.0051	0.8787	1.6929	0.0923
2	0.0052	0.8767	1.7980	0.0874
3	0.0050	0.8756	1.7083	0.0883
4	0.0057	0.8689	1.7210	0.0903
5	0.0050	0.8697	1.7909	0.0907
6	0.0059	0.8473	1.7385	0.0965
7	0.0058	0.8522	1.6952	0.0976
8	0.0061	0.8527	1.7261	0.1010
9	0.0063	0.8532	1.7324	0.1003
10	0.0056	0.8550	1.7976	0.0952
%RSD	8.28	1.39	2.23	5.17

3. ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS

ได้ทดสอบความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS โดยการเติมสารละลายมาตรฐานลงในตัวอย่างดินทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วเตรียมตัวอย่างโดยการย่อยด้วยไมโครเวฟแล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS คำนวณร้อยละการกลับคืนดังตารางที่ 2

ตาราง 2 ร้อยละการกลับคืนของวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยเทคนิค AAS

ธาตุ	ปริมาณที่เติม (mg/L)	ปริมาณที่ตรวจพบ (mg/L)	ร้อยละการคืนกลับ (%)	ร้อยละการคืนกลับเฉลี่ย (%)
Cu	0.00+ตัวอย่าง	0.13	-	86
	0.50+ตัวอย่าง	0.56	87	
	1.50+ตัวอย่าง	1.40	85	
	4.50+ตัวอย่าง	4.09	88	
	7.50+ตัวอย่าง	6.57	86	
Mg	0.00+ตัวอย่าง	14.32	-	85
	0.50+ตัวอย่าง	14.73	82	
	1.50+ตัวอย่าง	15.60	85	
	4.50+ตัวอย่าง	17.98	81	
	7.50+ตัวอย่าง	21.18	91	
Fe	0.00+ตัวอย่าง	56.29	-	93
	0.50+ตัวอย่าง	58.87	94	
	1.50+ตัวอย่าง	59.71	87	
	4.50+ตัวอย่าง	62.66	94	
	7.50+ตัวอย่าง	65.57	96	
Zn	0.00+ตัวอย่าง	0.66	-	93
	0.50+ตัวอย่าง	1.13	93	
	1.50+ตัวอย่าง	2.06	93	
	4.50+ตัวอย่าง	4.90	94	
	7.50+ตัวอย่าง	7.58	92	

4. การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหาร ในตัวอย่างดิน

ทำการวิเคราะห์ธาตุอาหารบางตัวในตัวอย่างดินได้แก่ Cu, Fe, Mg และ Zn เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับเทคนิค ICP-OES

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี @ รจ.นครราชสีมา
Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 3 ปริมาณ Cu, Fe, Mg และ Zn ในตัวอย่างดิน

ตัวอย่าง	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้จากเทคนิค AAS (mg/kg)			
	Cu	Fe	Mg	Zn
1	47.17	7264.40	1378.32	111.63
2	6.33	6700.52	1370.35	40.46
3	7.78	7187.70	1418.19	79.36
4	12.07	7202.56	1382.71	59.65
5	20.43	7334.22	1407.71	47.17
6	21.02	6690.87	1355.55	42.11
7	44.92	6921.57	1562.56	67.24
8	21.80	7274.44	1528.67	109.81
9	19.94	7118.06	1545.45	93.60
10	123.79	7196.60	1461.09	84.23

5. ผลการเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ

ได้ทดสอบความแตกต่างในทางสถิติของผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP-OES และ AAS โดยใช้การทดสอบแบบที (Student t-test)

$$t = \frac{\bar{D}_i \sqrt{N}}{S_d}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D}_i)^2}{N-1}}$$

เมื่อ D_i เป็นค่าของผลการวิเคราะห์ที่ต่างกันระหว่างสองวิธี (คิดเครื่องหมายบวก ลบ)

\bar{D}_i เป็นค่าเฉลี่ยของผลรวม D_i (คิดเครื่องหมายบวก ลบ)

N จำนวนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

การทดสอบแบบนี้ใช้กับตัวอย่างหลายตัวอย่าง โดยทำการวิเคราะห์สองวิธีควบคู่กันไป แล้วนำผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีมาหาความแตกต่างกันทางสถิติ ตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 4

ตาราง 4 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณทางสถิติของผลการวิเคราะห์ปริมาณ Cu

ตัวอย่าง	ICP-OES (mg/kg)	AAS (mg/kg)	D_i	$D_i - \bar{D}_i$	$(D_i - \bar{D}_i)^2$
1	82.8	47.17	35.6	6.0	36.2
2	14.7	6.33	8.4	-21.2	451.4
3	20	7.78	12.2	-17.4	302.6
4	19.8	12.07	7.7	-21.9	479.0
5	22.2	20.43	1.8	-27.8	775.3
6	27.8	21.02	6.8	-22.8	521.4
7	78.6	44.92	33.7	4.1	16.5
8	40.1	21.8	18.3	-11.3	128.0
9	41.3	19.94	21.4	-8.3	68.1
10	274.1	123.79	150.3	120.7	14567.3
			$\bar{D}_i = 29.6$		$\Sigma = 17345.8$

วิธีทำ

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D}_i)^2}{N-1}} = 43.90$$

$$t = \frac{\bar{D}_i \sqrt{N}}{S_d} = 2.13$$

ค่า t จากตาราง 6 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับระดับชั้นความเสรี 9 เท่ากับ 2.26 ดังนั้น ค่า t ที่คำนวณได้จึงมีค่าน้อยกว่า สรุปว่าผลการวิเคราะห์หาปริมาณ Cu โดยเทคนิค ICP-OES และ AAS ให้ผลไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า t สำหรับผลการวิเคราะห์ Fe, Mg และ Zn แสดงดังตาราง 5

ตาราง 5 ค่า t ของผลการวิเคราะห์ Cu, Fe, Mg และ Zn ด้วยเทคนิค ICP-OES และ AAS

ธาตุอาหาร	ค่า t จากการคำนวณ
Cu	2.13
Fe	2.25
Mg	-0.75
Zn	15.52

ตาราง 6 ค่า t ที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ

ระดับขั้นความเสรี (degrees of freedom)	ระดับความเชื่อมั่น (confidence level)				
	80%	90%	95%	99%	99.9%
1	3.08	6.31	12.7	63.7	637
2	1.89	2.92	4.30	9.92	31.6
3	1.64	2.35	3.18	5.84	12.9
4	1.53	2.13	2.78	4.60	8.60
5	1.48	2.02	2.57	4.03	6.86
6	1.44	1.94	2.45	3.71	5.96
7	1.42	1.90	2.36	3.50	5.40
8	1.40	1.86	2.31	3.36	5.04
9	1.38	1.83	2.26	3.25	4.78
10	1.37	1.81	2.23	3.17	4.59
11	1.36	1.80	2.20	3.11	4.44
12	1.36	1.78	2.18	3.06	4.32
13	1.35	1.77	2.16	3.01	4.22
14	1.34	1.76	2.14	2.98	4.14
∞	1.29	1.64	1.96	2.58	3.29

ที่มา(Skoog, West & Holler, 1997, p.50)

ภาคผนวก ข

เกณฑ์การยอมรับ %RSD และ %recovery

เกณฑ์การยอมรับ %RSD

ความเข้มข้น	%RSD (repeatability)	%RSD (reproducibility)
$\leq 1 \mu\text{g/kg}$	35	53
$> 1 \mu\text{g/kg} \leq 0.01 \text{ mg/kg}$	30	45
$> 0.01 \text{ mg/kg} \leq 0.1 \text{ mg/kg}$	20	32
$> 0.1 \text{ mg/kg} \leq 1 \text{ mg/kg}$	15	23
$> 1 \text{ mg/kg}$	10	16

เกณฑ์การยอมรับ %recovery

ความเข้มข้น	%recovery
$\leq 1 \mu\text{g/kg}$	50-120
$> 1 \mu\text{g/kg} \leq 0.01 \text{ mg/kg}$	60-120
$> 0.01 \text{ mg/kg} \leq 0.1 \text{ mg/kg}$	70-120
$> 0.1 \text{ mg/kg} \leq 1 \text{ mg/kg}$	70-110
$> 1 \text{ mg/kg}$	70-110

ภาคผนวก ค

Spectral line ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิค ICP-OES

Elements	Spectral lines						
Cu	213.598	219.958	224.700	324.754	327.396		
Fe	234.349	238.204	239.562	259.940			
K	310.179	310.205	766.491				
Mg	202.582	279.079	279.553	280.270	285.213		
Mn	257.610	259.373	260.569	279.482	294.920		
Zn	202.548	206.191	213.856				
As	193.696	197.197	228.812				
Cd	214.438	226.502	228.802				
Pb	220.353	248.892	261.418	283.306	405.783		
Ni	216.556	221.647	231.604	232.003	341.476	351.505	352.454
Cr	205.560	206.149	267.716	357.896			
Co	228.616	230.786	231.160	238.892			

ภาคผนวก ง

มาตรฐานคุณภาพดิน

มาตรฐานคุณภาพดินประเภทที่ 1 (ดินที่สามารถใช้เป็นประโยชน์เพื่อที่อยู่อาศัยและเกษตรกรรม)

1. สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds)

- 1) เบนซีน (Benzene) ต้องไม่เกิน 0.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 2) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride) ต้องไม่เกิน 0.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 3) 1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane) ต้องไม่เกิน 0.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 4) 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน (1,1-Dichloroethylene) ต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 5) ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (cis-1,2-Dichloroethylene) ต้องไม่เกิน 43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 6) ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (trans-1,2-Dichloroethylene) ต้องไม่เกิน 63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 7) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) ต้องไม่เกิน 8.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 8) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) ต้องไม่เกิน 230 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 9) สไตรีน (Styrene) ต้องไม่เกิน 1,700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 10) เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene) ต้องไม่เกิน 5.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 11) โทลูอีน (Toluene) ต้องไม่เกิน 520 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 12) ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) ต้องไม่เกิน 2.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 13) 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane) ต้องไม่เกิน 630 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 14) 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane) ต้องไม่เกิน 0.84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 15) ไซลีนทั้งหมด (Total Xylene) ต้องไม่เกิน 210 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2. โลหะหนัก (Heavy Metals)

- 1) สารหนู (Arsenic) ต้องไม่เกิน 0.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 2) แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and compounds) ต้องไม่เกิน 37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 3) โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium) ต้องไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 4) ทองแดงและสารประกอบทองแดง (Copper and compounds) ต้องไม่เกิน 3,900 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 5) ตะกั่ว (Lead) ต้องไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Pibulsongkram Rajabhat University

- 6) แมงกานีสและสารประกอบแมงกานีส (Manganese and compounds) ต้องไม่เกิน 1,800 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 7) ปรอทและสารประกอบปรอท (Mercury and compounds) ต้องไม่เกิน 23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 8) นิกเกิลในรูปของเกลือที่ละลายน้ำได้ (Nickel, soluble salts) ต้องไม่เกิน 1,600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 9) ซีลีเนียม (Selenium) ต้องไม่เกิน 390 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 10) สังกะสี (Zinc) ต้องไม่เกิน 23,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

3. สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (Pesticides)

- 1) อะตราซีน (Atracine) ต้องไม่เกิน 2.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 2) คลอเดน (Chlodane) ต้องไม่เกิน 1.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 3) 2,4-ดี (2,4-D) ต้องไม่เกิน 690 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 4) ดีดีที (DDT) ต้องไม่เกิน 1.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 5) ดิลดริน (Dieldrin) ต้องไม่เกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 6) เฮปตาคลอร์ (Heptachlor) ต้องไม่เกิน 0.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 7) เฮปตาคลอร์อีพอกไซด์ (Heptachlor Epoxide) ต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 8) ลินเดน (Lindane) ต้องไม่เกิน 0.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 9) เพนตะคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol) ต้องไม่เกิน 3.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

4. สารพิษอื่น ๆ

- 1) เบนโซ (เอ) ไพรีน (Benzo (a) pyrene) ต้องไม่เกิน 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 2) ไซยาไนด์และสารประกอบไซยาไนด์ (Cyanide and compounds) ต้องไม่เกิน 11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 3) พีซีบี (PCBs) ต้องไม่เกิน 0.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- 4) ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride) ต้องไม่เกิน 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ร่างประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2546 [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา

<http://www.ptit.org/data/ts/regulation/sep02/attached-169-item-14.pdf> (15 สิงหาคม 2546)

ภาคผนวก จ
ระดับของธาตุอาหารพืช

ระดับของธาตุอาหารพืชที่จะแสดงอาการ

ธาตุอาหารพืช	ระดับของธาตุอาหารพืชที่จะแสดงอาการ (ppm)		
	ขาด	พอเพียงเล็กน้อย	ไม่แสดงอาการขาด (พอเพียง)
Fe	< 2.5	2.5 – 4.5	> 4.5
Mn	< 1.0	-	> 1.0
Cu	< 0.2	-	> 0.2
Zn	< 0.5	0.5 – 1.0	> 1.0

เกษมศรี ชับซ้อน, คู่มือวิเคราะห์ดิน พืช บัญและน้ำ, ศูนย์ฝึกอบรมวิศวกรรมเกษตร กรมอาชีวศึกษา
กระทรวงศึกษาธิการ, 2529

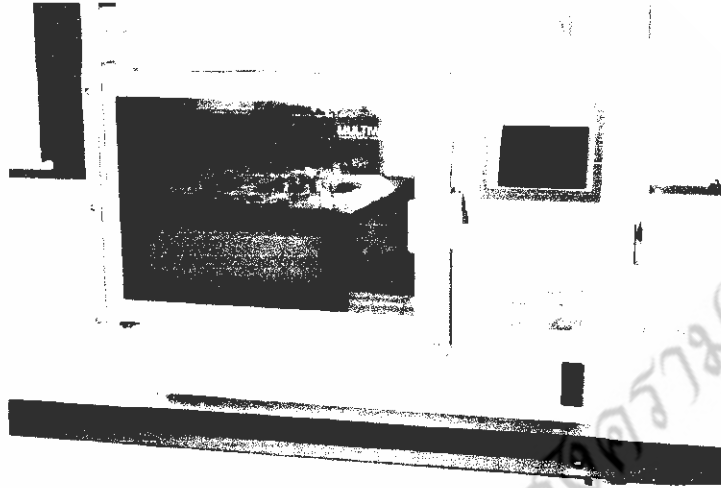
ภาคผนวก จ
ภาพการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่าง



เส้นทางเข้าชุมชนพันปี



การเก็บตัวอย่างดินในชุมชนพันปี



เครื่องไมโครเวฟที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง



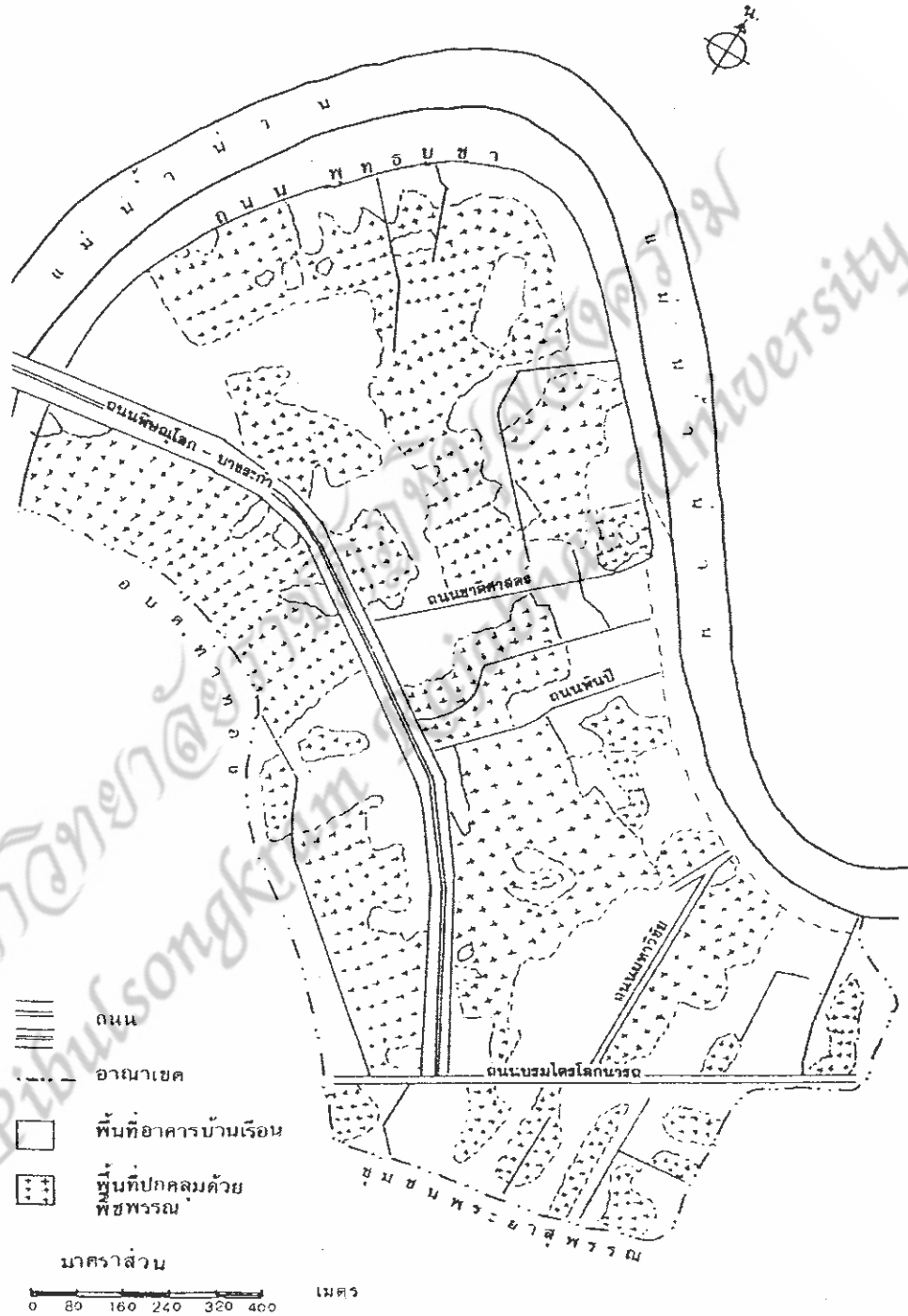
เครื่อง ICP-OES ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ



พลาสมาที่เกิดขึ้นในเครื่อง ICP-OES

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Pibulsongkram Rajabhat University

ภาคผนวก ช
แผนที่ชุมชนพื้นปี



มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Pibulsongkram Rajabhat University

ภาคผนวก ช
การแบ่งเขตการเก็บตัวอย่างดิน



ประวัติผู้วิจัย

นางสาวอนงค์ ศรีโสภา

ตำแหน่ง อาจารย์ ระดับ 7

วุฒิ วท.ม. (เคมี) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

วิทยานิพนธ์ การหาปริมาณเมทธิลพาราไธออนตกค้างในผักด้วยระบบโฟลอินเจคชัน
อะนาไลซิส, พ.ศ.2542

งานวิจัย

- 1) การหาปริมาณสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสตกค้างในผัก ผลไม้ และ
ดอกไม้ จังหวัดพิษณุโลก โดยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (ได้รับทุน
สนับสนุนจากโครงการ พวส. สถาบันราชภัฏ)
- 2) การศึกษาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในเส้นผมด้วยเทคนิค
การอบนิวตรอนและเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชัน (ได้รับทุนสนับสนุนจาก
โครงการ พวส. สถาบันราชภัฏ)
- 3) การศึกษาสภาพแวดล้อมทางกายภาพและทางเคมีในชุมชนพื้นที่ (ได้รับทุน
สนับสนุนจากโครงการ พวส. สถาบันราชภัฏ)

การอบรม/ประชุม

2542

เสนอโปสเตอร์ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25 ณ จ.พิษณุโลก เรื่อง A
*Novel Flow Injection Spectrophotometric Determination
of Methyl Parathion Using a Hydroxylaminolytic
Procedure*

2542

เสนอโปสเตอร์ในการประชุมนานาชาติ The 4th Princess
Chulabhorn International Science Congress เรื่อง
*Determination of Methyl Parathion Residues in Plant
Materials and Commercial Formulations by Flow Injection
Analysis*

- 2542-2545 **อบรมเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี เช่น HPLC, ICP, XRF, AAS และ IR ณ สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม และ กรมวิทยาศาสตร์บริการ**
- 2545 **อบรมหลักสูตร Science Research ณ University of Technology, Sydney และ University of Newcastle ประเทศออสเตรเลีย (2 เดือน)**
- 2546 **เสนอโปสเตอร์ในการประชุมนานาชาติ 9th International Conference on Flow Analysis ประเทศออสเตรเลีย เรื่อง Determination of Methyl Parathion Residues in Plant Materials and Commercial Formulations by Flow Injection Analysis**

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University