

รหัสโครงการ SUT1-102-38-12-04



รายงานการวิจัย

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะในดินชุดดินยโสธร
ในบริเวณจังหวัดนครราชสีมา

**Analysis of Metals Content in Yasothon Series Soil
in Nakhon Ratchasima Province**

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะในดินชุดดินยโสธร
ในบริเวณจังหวัดนครราชสีมา

**Analysis of Metals Content in Yasothon Series Soil
in Nakhon Ratchasima Province**

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตรีตาภรณ์ ชุศรี

สาขาวิชาเคมี

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจาก

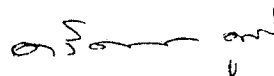
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2538

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กรกฎาคม 2546

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัย และขอขอบคุณ International Atomic Energy Agency (IAEA) ที่ให้ทุนไปฝึกอบรมทาง Nuclear Analytical Chemistry ณ Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) เมือง Taejeon สาธารณรัฐเกาหลี ในช่วงวันที่ 12 มกราคม - 13 เมษายน 2542 ทำให้มีโอกาสได้ใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ชนิดกระจายความยาวคลื่น ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินที่ได้นำไปวิเคราะห์ในการฝึกอบรมด้วย ขอขอบคุณ Dr. Joon Park Yoon นักวิจัยในกลุ่ม Nuclear Analytical Chemistry ของ KAERI ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือดังกล่าว และขอขอบคุณ Dr. Yong-Sam Chung ที่อำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ Fe, Ti และ Zr ด้วยเทคนิค Neutron Activation Analysis



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตรีตาภรณ์ ชูศรี)

หัวหน้าโครงการวิจัย

กรกฎาคม 2546

บทคัดย่อ

ในบรรดาดินที่มีสีแดงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือนั้น ดินในชุดดินยโสธรจัดว่าเป็นดินที่มีสีแดงเข้มมากที่สุด สีแดงของดินเกิดมาจากองค์ประกอบที่เป็นสารประกอบของเหล็ก และเนื่องจากเหล็กเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิด และเป็นโลหะที่มีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรม จึงสนใจที่จะศึกษาหาปริมาณของเหล็กในดินชุดนี้ เพราะดินชุดยโสธรมีแนวโน้มว่าจะเป็นแหล่งทรัพยากรของเหล็กที่มีราคาถูกได้ในโลกอนาคต นอกจากเหล็กแล้ว ในดินยังมีโลหะอื่นๆที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจอยู่ด้วย เช่นไทเทเนียม และเซอร์โคเนียม ในการวิจัยจึงได้เลือกใช้เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ชนิดกระจายความยาวคลื่น (WDXRF) ซึ่งจะวิเคราะห์โลหะหลายชนิดในดินได้พร้อมกัน ได้เก็บตัวอย่างจาก 3 พื้นที่ของจังหวัดนครราชสีมา คือ อำเภอจักราช อำเภอเมือง อำเภอพิมาย ที่ 3 ระดับความลึก คือ 25, 50, 100 ซม. รวมทั้งสิ้น 81 ตัวอย่าง ในการวิเคราะห์ได้เตรียมตัวอย่างโดยวิธีหลอมเหลวดินกับฟลักซ์ให้เป็น fused bead ผลการวิเคราะห์ซึ่งเป็นแบบ semiquantitative โดยการเปรียบเทียบกับสารอ้างอิงมาตรฐาน พบโลหะ 30 ชนิดในดินตัวอย่างจากอำเภอจักราช แต่ไม่ได้พบครบทุกชนิดในทุกตัวอย่าง โลหะที่พบอย่างน้อยในดินตัวอย่าง 50% ของตัวอย่างทั้งหมด มี 9 ชนิด คือ Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, Cu, Zr ความเข้มข้นของโลหะที่สนใจคือ Fe, Ti, Zr ในค่ามัธยฐานของค่าที่วิเคราะห์ได้ทั้งหมดทุกระดับความลึก คือ 1.798%, 0.421%, 0.070% ตามลำดับ พบโลหะ 25 ชนิดในดินตัวอย่างจากอำเภอเมือง และโลหะที่พบอย่างน้อยในดินตัวอย่าง 50% ของตัวอย่างทั้งหมด มี 10 ชนิด คือ Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, Cu, Zr, Hf ค่ามัธยฐานของปริมาณ Fe, Ti, Zr ที่วิเคราะห์ได้ คือ 2.133%, 0.484%, 0.080% ตามลำดับ และพบโลหะ 37 ชนิดในดินตัวอย่างจากอำเภอพิมาย แต่โลหะที่พบอย่างน้อยในดินตัวอย่าง 50% ของตัวอย่างทั้งหมดมีเพียง 5 ชนิด คือ Al, Si, Ti, Fe, Zr ค่ามัธยฐานของปริมาณ Fe, Ti, Zr ที่วิเคราะห์ได้ คือ 2.035%, 0.420%, 0.070% ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังได้วิเคราะห์ปริมาณ Fe, Ti, Zr โดยเทคนิค Neutron activation analysis (NAA) โดยผลที่ได้ส่วนใหญ่คล้อยจองกับผลที่วิเคราะห์ได้จากเทคนิค WDXRF

Abstract

Among the red soil in the Northeast of Thailand, Yasothon soil series has the most intense reddish color. Red color comes from the iron compounds component of the soil. Since iron is essential element to all living organisms and it has a lot of applications in industries, it is interesting to determine the iron content of this soil. Yasothon soil series might be the source of iron in the future. Besides iron, there are other economical important metals in soil such as titanium and zirconium. This research used the *wavelength dispersive x-ray fluorescence (WDXRF)* which is the multielemental analysis technique. Soil samples were collected from 3 districts in Nakhon Ratchasima Province: Chakkarat District, Muang District, Pimai District at 25, 50, 100 cm depth for 81 samples altogether. Soil samples were fused with fluxing agent to make fused bead samples. The results which were semiquantitative from comparing with the standard reference material were as follows: found 30 metals in Chakkarat District samples but not all metals presented in each sample. There were only 9 metals shown up in at least 50% of total samples : Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, Cu, Zr. The interested metals contents – Fe, Ti, Zr , as the median values of the contents from all of the results at all depths were 1.798%, 0.421%, 0.070% respectively. Found 25 metals from Muang District samples. There were 10 metals found in at least 50% of total samples : Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, Cu, Zr, Hf. The median values of Fe, Ti, Zr contents were 2.133%, 0.4847%, 0.080% respectively. Found 37 metals in Pimai District samples. There were only 5 metals found in at least 50% of total metals : Al, Si, Ti, Fe, Zr. The medians values of Fe, Ti, Zr contents were 2.035%, 0.420%, 0.070% respectively. Besides, the amount of Fe, Ti, Zr were also determined by neutron activation analysis (NAA). Most of the results were agreed with the results obtained from WDXRF technique.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
3. ขอบเขตของการวิจัย	4
4. ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
1. วัสดุและสารเคมี	5
2. อุปกรณ์	5
3. ขั้นตอนการวิจัย	6
3.1 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดินและการเก็บตัวอย่างดิน	6
3.2 ระบบการให้ชื่อตัวอย่างดิน	14
3.3 การเตรียมตัวอย่างดิน	15
3.4 สารอ้างอิงมาตรฐาน	19
3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยเทคนิค Wavelength Dispersion X-Ray Fluorescence (WDXRF)	19
3.6 การทำ Standard addition ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค WDXRF	21
3.7 การวิเคราะห์ Fe, Ti และ Zr ด้วยเทคนิค Neutron Activation Analysis (NAA)	22

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 3	ผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัย	
	1. สารอ้างอิงมาตรฐานที่เหมาะสม	25
	2. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยเทคนิค WDXRF	26
	3. ผลการทำ Standard addition ในเทคนิค WDXRF	32
	4. ผลการวิเคราะห์ Fe, Ti และ Zr ด้วยเทคนิค NAA	34
บทที่ 4	บทสรุป	
	1. สรุปผลการวิจัย	38
	2. ข้อเสนอแนะ	40
บรรณานุกรม		41
ภาคผนวก		
	1. ความเข้มข้นของ SRM 2709 ตาม Certificate	42
	2. ความเข้มข้นของ SRM 2704 ตาม Certificate	43
	3. ความเข้มข้นของ SRM 98b ตาม Certificate	44
	4. ความเข้มข้นของ SRM 600 ตาม Certificate	45
	5. ความเข้มข้นของ SRM 679 ตาม Certificate	46
	6. ความเข้มข้นของ SRM 688 ตาม Certificate	46
	7. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากจุดเก็บ A อำเภอจักราช แสดงในรูปของโลหะออกไซด์ ในหน่วยความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์	47
	8. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากจุดเก็บ A อำเภอจักราช แสดงในรูปของโลหะ ในหน่วยความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์	50
	9. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากจุดเก็บ B อำเภอเมือง แสดงในรูปของโลหะออกไซด์ ในหน่วยความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์	53
	10. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากจุดเก็บ B อำเภอเมือง แสดงในรูปของโลหะ ในหน่วยความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
11. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากจุดเก็บ C อำเภอพิมาย แสดงในรูปของ โลหะออกไซด์ ในหน่วยความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์	59
12. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากจุดเก็บ C อำเภอพิมาย แสดงในรูปของ โลหะ ในหน่วยความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์	65
ประวัติผู้วิจัย	71

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ผลการวิเคราะห์ SRM 2709 เทียบกับความเข้มข้นที่ระบุไว้ใน certificate	25
3.2 ช่วงความเข้มข้นของโลหะที่พบในตัวอย่างดิน 13 ตัวอย่าง จากตัวอย่างดิน 27 ตัวอย่าง จากอำเภอจตุรัส ที่ระดับความลึก 25, 50 และ 100 ซม. ในหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์	27
3.3 ช่วงความเข้มข้นของโลหะที่พบในตัวอย่างดิน 9 ตัวอย่าง จากตัวอย่างดิน 18 ตัวอย่าง จากอำเภอเมือง ที่ระดับความลึก 25, 50 และ 100 ซม. ในหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์	27
3.4 ช่วงความเข้มข้นของโลหะที่พบในตัวอย่างดิน 18 ตัวอย่าง จากตัวอย่างดิน 36 ตัวอย่าง จากอำเภอยางชุมน้อย ที่ระดับความลึก 25, 50 และ 100 ซม. ในหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์	28
3.5 เปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะในดินตัวอย่างจากพื้นที่ต่าง ๆ ที่ระดับความลึก 25 ซม. ในหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์	29
3.6 เปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะในดินตัวอย่างจากพื้นที่ต่าง ๆ ที่ระดับความลึก 50 ซม. ในหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์	29
3.7 เปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะในดินตัวอย่างจากพื้นที่ต่าง ๆ ที่ระดับความลึก 100 ซม. ในหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์	30
3.8 เปรียบเทียบปริมาณของธาตุที่วิเคราะห์ได้จากดินตัวอย่างกับปริมาณที่พบในดิน โดยทั่วไป และปริมาณที่พบในเปลือกโลก ในหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์	31
3.9 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณ Fe, Ti, Zr ด้วยเทคนิค WDXRF และ NAA	34

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	Index to Map Sheets of Nakhon Ratchasima Province แสดงบริเวณพื้นที่ที่มีดิน ในชุดดินยโสธร	7
2.2	แผนที่แสดงบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ A เขตอำเภอจักราช A1 : บ้านโสง, A2 : บ้านหนองยาง, A3 : บ้านหนองบัวโลก	9
2.3	แผนที่แสดงบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ B เขตอำเภอเมือง B1 : ในสวนสัตว์นครราชสีมา, B2 : หน้าสวนสัตว์นครราชสีมา B3 : บ้านภูเขาทอง กม. 3, B4 : บ้านภูเขาทอง กม. 5	10
2.4	แผนที่แสดงบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ B เขตอำเภอเมือง B5 : บ้านหนองปลิง, B6 : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทางออกประตู 3	11
2.5	แผนที่แสดงบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ C เขตอำเภอพิมาย C1 : บ้านนิคมสร้างตนเอง ซอย 3, C4 : บ้านนิคมสร้างตนเอง ซอย 2	12
2.6	แผนที่แสดงบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ C เขตอำเภอพิมาย C2 : บ้านนิคมสร้างตนเองสาย 2 ซอย 6, C3 : บ้านนิคมสร้างตนเองสาย 2 ซอย 5	13
2.7	แสดงลักษณะสีของดินในชุดดินยโสธรที่ระดับความลึก 25, 50 และ 100 ซม. ตามลำดับ	16
2.8	Platinum-Bis-crucible and mould	16
2.9	Fluxer-Bis, fusion machine	17
2.10	ลักษณะของ fused bead sample	17
2.11	Wavelength dispersive x-ray fluorescence spectrometer, Siemens SRS 300 ที่ห้องปฏิบัติการของ KAERI	18

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ผู้ที่เดินทางผ่านจังหวัดนครราชสีมา ถ้ามีความสังเกตสักเพียงเล็กน้อยจะเห็นว่ามีความหลากหลายแห่งเป็นพื้นที่ซึ่งดินมีสีแดงจนถึงสีแดงเข้ม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของดินที่มีออกไซด์ของเหล็กอยู่ในปริมาณสูงนั่นเอง ดินที่มีสีแดงนี้จัดอยู่ในชุดดินยโสธร (Yasothon Series) ตามระบบการจำแนกดินที่ใช้กันอยู่ทางปฐพีวิทยา (1)

แต่เดิมนั้น ประเทศไทยมีระบบการจำแนกดินที่ใช้เป็นระบบการจำแนกดินประจำชาติ โดยเป็นระบบที่มีพื้นฐานมาจากระบบการจำแนกดินของกระทรวงเกษตร สหรัฐอเมริกา ซึ่งพัฒนาขึ้นมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1938 ต่อมาได้มีการคิดแปลงแก้ไขระบบนี้ให้เหมาะสมกับการใช้จำแนกดินในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยนักวิทยาศาสตร์การดินขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ โดยมีการกำหนดกลุ่มดินหลักใหม่เพิ่มเติมขึ้นบ้าง และประเทศไทยได้รับเอาระบบนี้มาใช้เป็นระบบประจำชาติ ต่อมาในปี ค.ศ. 1975 กระทรวงเกษตรของประเทศสหรัฐอเมริกาได้จัดพิมพ์คู่มือในการจำแนกดินขึ้นมาใหม่ โดยเรียกระบบใหม่นี้ว่า อนุกรมวิธานดิน (Soil Taxonomy) เป็นระบบที่มีการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก ในประเทศไทยเองก็ได้มีการทดลองนำระบบอนุกรมวิธานดินนี้มาใช้ตั้งแต่ช่วงแรก ๆ ที่ยังมีการพัฒนาระบบอยู่ และได้เห็นว่ามีเหมาะสมที่จะใช้กับการจำแนกดินในประเทศไทย และปัจจุบันระบบอนุกรมวิธานดินเป็นระบบการจำแนกดินที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดในประเทศ

ในโครงสร้างของระบบอนุกรมวิธานดินนั้น แบ่งชั้นการจำแนกดินออกเป็น 6 ชั้นด้วยกันคือการจำแนกชั้นสูง แบ่งออกเป็น 4 ชั้นคือ

อันดับ (order)

อันดับย่อย (suborder)

กลุ่มดิน (great group)

กลุ่มดินย่อย (sub group)

การจำแนกชั้นต่ำ แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคือ

วงศ์ (family)

ชุดดิน (series)

ซึ่งถ้าใช้ระบบอนุกรมวิธานดินในการจำแนกดินแล้ว ชุดดินยโสธรจัดอยู่ในอันดับ Ultisols, อันดับย่อย Oxic Paleustults, กลุ่มดินหลัก Red Yellow Latosols และวงศ์ Fine-loamy-siliceous

ดินในกลุ่มดินหลัก Red Yellow Latosols นี้ จัดเป็นดินที่มีอายุมาก เกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำพา พบเป็นหย่อม ๆ ในบริเวณตะพักลำน้ำระดับสูง (high terrace) ในสภาพพื้นที่ที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงลอนชัน มีความลาดเทอยู่ระหว่าง 3 - 10% มีระดับความสูงของพื้นที่โดยเฉลี่ยประมาณ 200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล และเนื่องจากเป็นดินที่มีการชะล้างสูงและพัฒนามานาน สมบัติทางเคมีโดยทั่วไปของดินนี้จะค่อนข้างเลวถึงเลว คือดินจะมีปฏิกิริยาเป็นกรด มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity, CEC) ค่อนข้างต่ำถึงต่ำ มีธาตุประจุบวกที่เป็นเบสอยู่ในดินในปริมาณต่ำ มีฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อย มีอินทรีย์วัตถุในดินต่ำ จะมีสีแสดหรือสีเหลืองตลอดหน้าตัดของดิน ดินบนจะมีเนื้อหยาบ ดินล่างจะมีพวก sesquioxides อยู่ในปริมาณสูง จึงทำให้ดินมีสีแสด

ดินในชุดดินยโสธร มีสมบัติต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังจะเห็นได้จากข้อมูลในรายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มดิน (2) ซึ่งจัดทำโดยกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ซึ่งระบุว่าดินในชุดดินยโสธรนี้มีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับต่ำ โดยมีสมบัติทางเคมีดังนี้ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 5.90 meq/100 g soil, ค่าเปอร์เซ็นต์การอิ่มตัวด้วยเบส 63.50%, ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน 1.12%, ปริมาณฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 2.80% และ 38.50% ตามลำดับ สมบัติทางเคมีนี้ได้มาจากผลการวิเคราะห์ดินที่เป็นตัวแทนของชุดดินในกลุ่มดิน โดยพิจารณาเฉพาะดินบนหนาประมาณ 30 ซม. และประเมินโดยใช้วิธีการในคู่มือการวินิจฉัยคุณภาพของดินสำหรับประเทศไทยปี 1973 (3) นอกจากนี้ ดินในชุดดินยโสธรมีดินที่มีสภาพความเป็นกรดค่อนข้างสูง มี pH ต่ำอยู่ระหว่าง 4.5 - 5.0 ดังนั้น แร่ที่ละลายตัวง่ายจะไม่มีเหลืออยู่ในชั้นของดิน แต่ดินล่างจะมีการสะสมของเหล็กและอะลูมิเนียมอยู่มาก โดยอยู่ในรูปของ limonite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), goethite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) และ gibbsite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ดินส่วนมากจึงมีสีแสดถึงแสดเข้มตามที่ได้กล่าวมาแล้ว และสีของดินจะเข้มมากขึ้นตามระดับความลึก

ในปัจจุบัน ลักษณะการศึกษาดินในประเทศไทยมี 2 แนวทางใหญ่ ๆ คือ การศึกษาดินทางด้านวิศวกรรมและทางด้านวิทยาศาสตร์การเกษตร การศึกษาทางด้านวิศวกรรมนั้นเป็นการเน้นหนักในด้านสมบัติของดินที่จะนำมาใช้งานวิศวกรรม โดยเฉพาะทางด้านวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษาดินทางด้านเกษตรก็เป็นการศึกษาเพื่อให้รู้ลักษณะดินทางด้านวิทยาศาสตร์ธรรมชาติเพื่อนำมาจัดหมวดหมู่ในระดับต่าง ๆ และการศึกษาดินในด้านความสมบูรณ์ของดินกับพืช โดยเน้นหนักในทางความอุดมสมบูรณ์ของดินที่จะให้ธาตุอาหารต่าง ๆ แก่พืช

จากการที่ดินในชุดคินยโสธรมีสีแดงเนื่องจากการสะสมของเหล็กอยู่ในปริมาณสูง จึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาว่า เหล็กที่สะสมอยู่นั้นมีความเข้มข้นอยู่ในระดับใด เพราะเหล็กเป็นธาตุที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อระบบของชีวิตไม่ว่าสัตว์หรือพืช รวมไปถึงแบคทีเรียด้วยที่ต้องใช้เหล็กในการดำรงชีวิตที่เป็นปกติสุข ถ้าร่างกายของคนเราขาดเหล็ก จะเกิดความผิดปกติขึ้น (4, 5) เหล็กมีหน้าที่และบทบาทหลายอย่างในระบบของชีวิตมนุษย์ เหล็กในหมู่ฮีโมโกลบินโมเลกุลฮีโมโกลบินเป็นตัวจับออกซิเจน เหล็กเป็นส่วนประกอบสำคัญของเมททัลโลโปรตีนและเมททัลโลเอนไซม์ที่สำคัญอีกหลายชนิด เช่น hemerythrin, catechol dioxygenase, c-type cytochrome, ferredoxin และ transferrin เป็นต้น นอกจากนี้ เหล็กในรูปของโลหะก็เป็นวัสดุสำคัญในการก่อสร้างและอุตสาหกรรมต่าง ๆ การที่ดินในชุดคินยโสธรมีเหล็กอยู่ในปริมาณสูง จึงอาจเป็นแหล่งทรัพยากรที่สำคัญของเหล็กได้ในโลกอนาคต เมื่อแหล่งแร่ปกติของเหล็กถูกใช้ไปจนหมดสิ้นแล้ว เพราะดินเป็นทรัพยากรที่มีอยู่มากหาได้ง่ายและราคาถูก นอกจากเหล็กแล้ว ในดินยังมีโลหะอื่น ๆ ที่มีค่าทางเศรษฐกิจอยู่ด้วย การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะเหล่านี้จึงเป็นข้อมูลที่น่าสนใจเช่นกัน เพราะโลหะ เช่น ไทเทเนียม (Ti) และ เซอร์โคเนียม (Zr) เป็นโลหะที่มีค่าสูง และถึงแม้ว่าโลหะเหล่านี้อาจจะมีอยู่ในดินในระดับความเข้มข้นที่ไม่สูงนัก (6) แต่เทคโนโลยีเกี่ยวกับการสกัดแยกโลหะความเข้มข้นต่ำ ๆ ได้พัฒนาก้าวหน้าไปมาก การสกัดแยกโลหะที่มีค่าทางเศรษฐกิจเหล่านี้จากดิน อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการได้มาซึ่งโลหะที่มีคุณค่าสำหรับโลกในอนาคต

สำหรับเทคนิคที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะต่าง ๆ ในดินนั้น คือ เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ ซึ่งเป็นเทคนิคเฉพาะในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของสารตัวอย่าง และเป็นเทคนิคหนึ่งที่ยอมรับใช้กันมากในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของดิน (7, 8, 9) หลักการโดยสังเขปของเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์คือ การใช้รังสีเอกซ์จากแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ฉายไปยังสารตัวอย่าง ถ้ารังสีเอกซ์มีพลังงานที่เหมาะสม จะเกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนของธาตุองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง โดยอิเล็กตรอนวงชั้นในของธาตุจะหลุดออกไปเป็นโฟโตอิเล็กตรอน คือ เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกขึ้นนั่นเอง สภาวะดังกล่าวจะทำให้ธาตุไม่เสถียรและในช่วงเวลาสั้น ๆ อิเล็กตรอนจากวงชั้นนอกจะเข้ามาแทนที่อิเล็กตรอนวงในที่หลุดออกไป พร้อมทั้งปล่อยพลังงานส่วนเกินซึ่งมีค่าเฉพาะตัวของธาตุนั้น ๆ ออกมาในรูปของเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ ซึ่งจะมีค่าความยาวคลื่นและพลังงานเป็นค่าเฉพาะของธาตุแต่ละตัว เมื่อใช้ตัววัดที่เหมาะสมจะบอกได้ถึงชนิดและปริมาณของธาตุเหล่านั้น โดยถ้ามีสารมาตรฐานที่เหมาะสมคือมีจำนวนธาตุและปริมาณใกล้เคียงกับที่มีในสารตัวอย่างและอยู่ในเมทริกซ์ที่เหมือนกัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะเป็นแบบ quantitative แต่ในการวิเคราะห์ครั้งนี้จะให้ผลแบบ semiquantitative เท่านั้น เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์นี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF) และ Wavelength Dispersive

X-Ray Fluorescence (WDXRF) ซึ่งแตกต่างกันในกระบวนการวัดเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ที่เกิดขึ้นจากสารตัวอย่าง ในเครื่องมือประเภทแรกจะมีอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าพลังงานเป็นตัววัดชนิดสารกึ่งตัวนำ เช่น Si(Li) detector ส่วนเครื่องมือประเภทที่สอง จะใช้ analyzing crystal ซึ่งมีระนาบที่กำหนด เช่น LiF(100) เป็นตัวกระจายความยาวคลื่นของเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ที่เกิดขึ้น แล้วจึงใช้ตัววัดชนิด gas flow detector และ scintillation detector วัดค่าพลังงานของเอกซเรย์แต่ละความยาวคลื่นต่อไป (10)

สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ ได้ใช้เครื่องเอกซเรย์สเปกโทรมิเตอร์ชนิดกระจายความยาวคลื่น (WDXRF) ซึ่งเป็นของห้องปฏิบัติการทาง Nuclear Analytical Chemistry นอกจากนี้ ยังมีโอกาสได้วิเคราะห์ธาตุที่สนใจคือ เหล็ก ไทเทเนียม และเซอร์โคเนียม ด้วยเทคนิค Neutron Activation Analysis (NAA) อีกด้วย โดยใช้ HANARO nuclear reactor ของ Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) สาธารณรัฐเกาหลี สถานที่ที่ไปฝึกอบรมทางด้าน Nuclear Analytical Chemistry โดยการสนับสนุนของ International Atomic Energy Agency (IAEA) ในระหว่างเดือนมกราคม – เมษายน ค.ศ. 1999 ซึ่งได้นำตัวอย่างดินของชุดดินยโสธรไปวิเคราะห์ด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะในตัวอย่างดินที่เก็บมาจากแหล่งของชุดดินยโสธรในบริเวณจังหวัดนครราชสีมา โดยใช้เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์

3. ขอบเขตของการวิจัย

จะเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะในตัวอย่างดินจากแหล่งของชุดดินยโสธรในบริเวณจังหวัดนครราชสีมาเท่านั้น โดยใช้ WDXRF ในการวิเคราะห์แบบ semiquantitative และใช้เทคนิค NAA ในการวิเคราะห์ Fe, Zr และ Ti

4. ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ได้ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับปริมาณโลหะชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างดินที่เก็บมาจากแหล่งของชุดดินยโสธรในบริเวณจังหวัดนครราชสีมา เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจศึกษาในการสกัดแยกโลหะที่มีค่าออกมาใช้ประโยชน์ในอนาคต

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องการวิเคราะห์โลหะในดินจากชุดดินยโสธรในบริเวณจังหวัดนครราชสีมา ใช้สถานที่ปฏิบัติงานคือ ห้องปฏิบัติการดิน อาคารเครื่องมือ 5 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และห้องปฏิบัติการของกลุ่ม Nuclear Analytical Chemistry ของ Korea Atomic Energy Research Institute สาธารณรัฐเกาหลี โดยมีวัสดุสารเคมี อุปกรณ์หลักและขั้นตอนการวิจัยดังนี้

1. วัสดุและสารเคมี

$\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$	- Analysis grade - Corporation Scientific Claisse Inc, Canada
LiBr	- Analysis grade - Corporation Scientific Claisse Inc, Canada
Fe_3O_4	- Chemicals Pure - Yakuri Pure Chemicals Co. Ltd, Osaka, Japan
TiO_2	- Extra pure reagent - Yakuri Pure Chemicals Co. Ltd, Osaka, Japan

NIST Standard reference materials ดังต่อไปนี้

SRM 2709	San Joaquin Soil
SRM 2704	Buffalo River Sediment
SRM 600	Bauxite (Australian-Darling Range)
SRM 679	Brick Clay
SRM 688	Basalt Rock
SRM 98b	Plastic Clay

Platinum crucible (Bis-crucible) with mould, Corporation Scientific Claisse Inc, Canada

2. อุปกรณ์

- แผนที่ชุดดินบริเวณจังหวัดนครราชสีมา กรมพัฒนาที่ดิน ขนาดขยาย 1:100,000
- แผนที่บริเวณจังหวัดนครราชสีมา กรมแผนที่ทหารบก ขนาดขยาย 1:50,000

- อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน Hand Auger
- ที่บดดินและตะแกรงร่อน ขนาด 200 Mesh
- Fluxer-bis, fusion machine, Corporation Scientific Claisse Inc, Canada
- Wavelength dispersive x-ray fluorescence spectrometer ของ Siemens รุ่น SRS 300
- Analytical balance
- HANARO (High-flux Advanced Neutron Application Reactor)

Type	Open tank in pool
Max thermal power	30 MW
Coolant	Light water
Reflector	Heavy water
Fuel material	U ₃ Si in aluminium matrix, 19.75 w/o enrich
Absorber material	Hafnium
Secondary cooling	Cooling Tower
Reactor building	Confinement

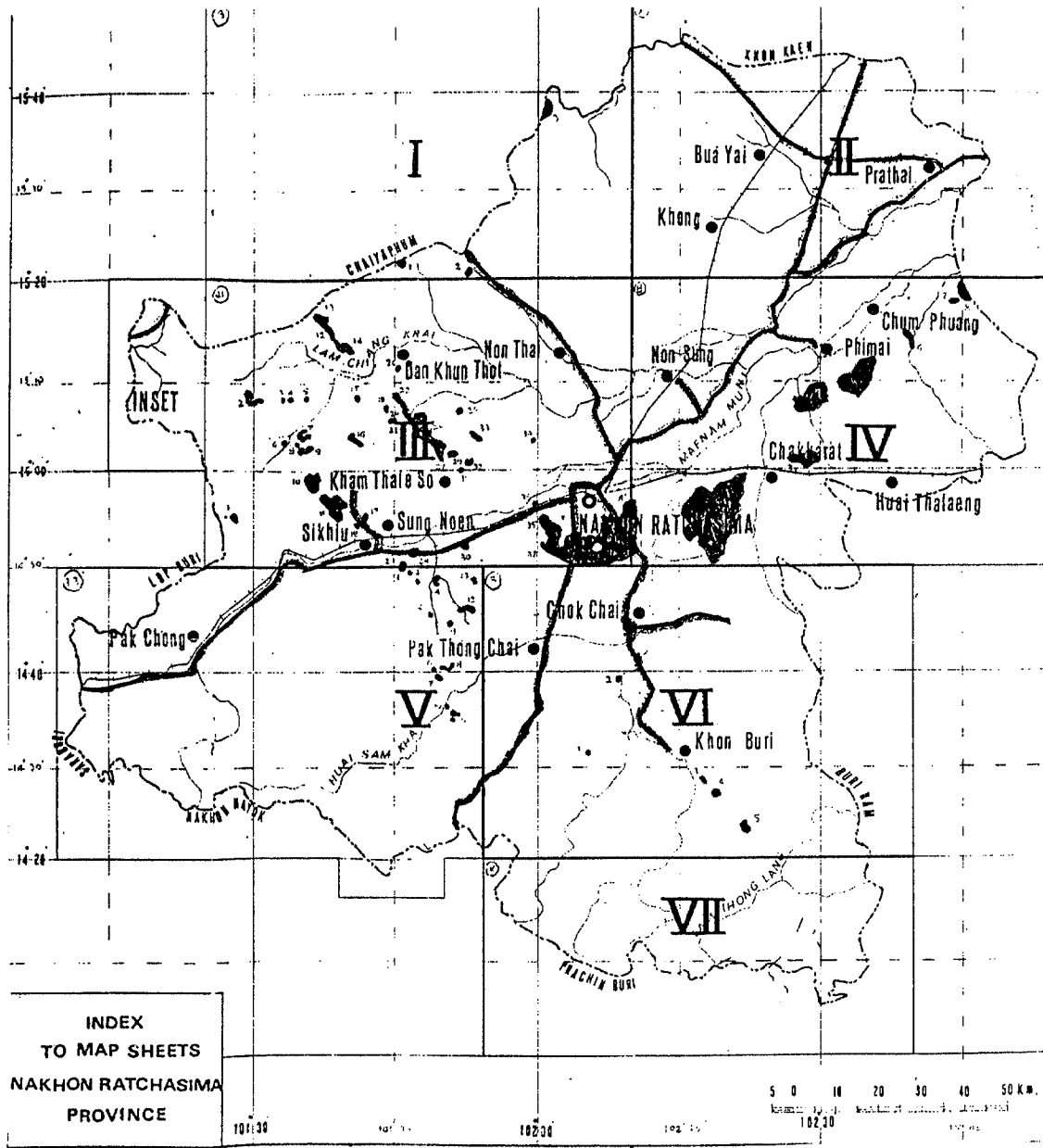
3. ขั้นตอนการวิจัย

3.1 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดินและการเก็บตัวอย่างดิน

ในการวางแผนเพื่อกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดินนั้น ในขั้นตอนแรกได้ใช้แผนที่ชุดดินจังหวัดนครราชสีมา ของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เพื่อศึกษาว่าบริเวณใดมีแหล่งดินของชุดดินยโสธรเป็นพื้นที่ที่กว้างมากพอที่จะทำให้เก็บตัวอย่างได้สะดวกและถูกต้อง เพราะในขณะที่เริ่มทำการวิจัยไม่มีอุปกรณ์ GMS ที่จะช่วยในการระบุพิกัดของจุดที่เก็บตัวอย่าง เมื่อกำหนดขอบเขตของบริเวณแหล่งดินของชุดดินยโสธรในบริเวณจังหวัดนครราชสีมาลงใน Index to Map Sheets ของจังหวัดนครราชสีมา (รูปที่ 2.1 ส่วนที่เป็นสี่เหลี่ยม) ได้กำหนดบริเวณเก็บตัวอย่างไว้ 3 พื้นที่ คือ พื้นที่ A อยู่ในเขตอำเภอจักราช พื้นที่ B อยู่ในเขตอำเภอเมือง และพื้นที่ C อยู่ในเขตอำเภอพิมาย

ในการออกไปเก็บตัวอย่างในพื้นที่ที่กำหนดนั้น จะใช้แผนที่แสดงชุดดินขนาดขยาย 1:100,000 ของพื้นที่ต่าง ๆ ดังนี้

พื้นที่ A	อยู่ในเขตอำเภอจักราช	ใช้แผนที่หมายเลข 5438 I
พื้นที่ B	อยู่ในเขตอำเภอเมือง	ใช้แผนที่หมายเลข 5438 IV
พื้นที่ C	อยู่ในเขตอำเภอพิมาย	ใช้แผนที่หมายเลข 5439 II และ 5539 III



รูปที่ 2.1 Index to Map Sheets of Nakhon Ratchasima Province
(ส่วนสี่ทึบคือบริเวณพื้นที่ที่มีดินชุดดินยโสธร)

โดยใช้แผนที่ทหารของกรมแผนที่ทหารบกช่วยในการเดินทางไปยังจุดเก็บต่างๆ ที่กำหนดดังนี้

พื้นที่ A เขตอำเภอจักราช เก็บตัวอย่างดิน 3 จุด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2

- จุดที่ 1 : A1 บ้านโสง
- จุดที่ 2 : A2 บ้านหนองยาง
- จุดที่ 3 : A3 บ้านหนองบัวโคก

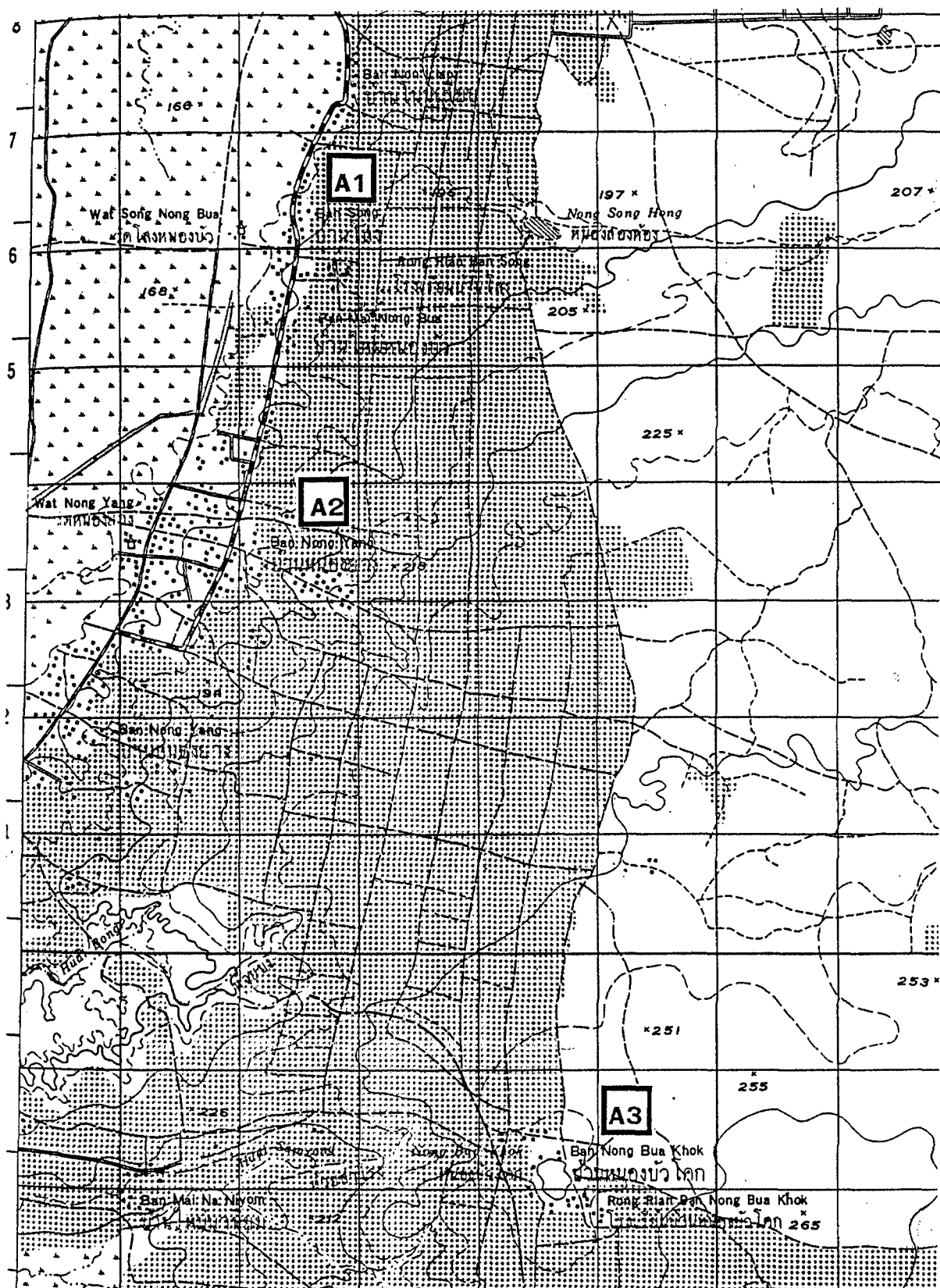
พื้นที่ B เขตอำเภอเมือง เก็บตัวอย่างดิน 6 จุด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4

- จุดที่ 1 : B1 ในสวนสัตว์นครราชสีมา
- จุดที่ 2 : B2 หน้าสวนสัตว์นครราชสีมา ใกล้ศูนย์ฝึกอบรมและวิจัยการเกษตร สถาบันราชภัฏนครราชสีมา
- จุดที่ 3 : B3 บ้านภูเขาทอง กม. 3
- จุดที่ 4 : B4 บ้านภูเขาทอง กม. 5
- จุดที่ 5 : B5 บ้านหนองปลิง
- จุดที่ 6 : B6 ในบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทางออกประตู 3

พื้นที่ C เขตอำเภอยี่มชัย เก็บตัวอย่างดิน 4 จุด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6

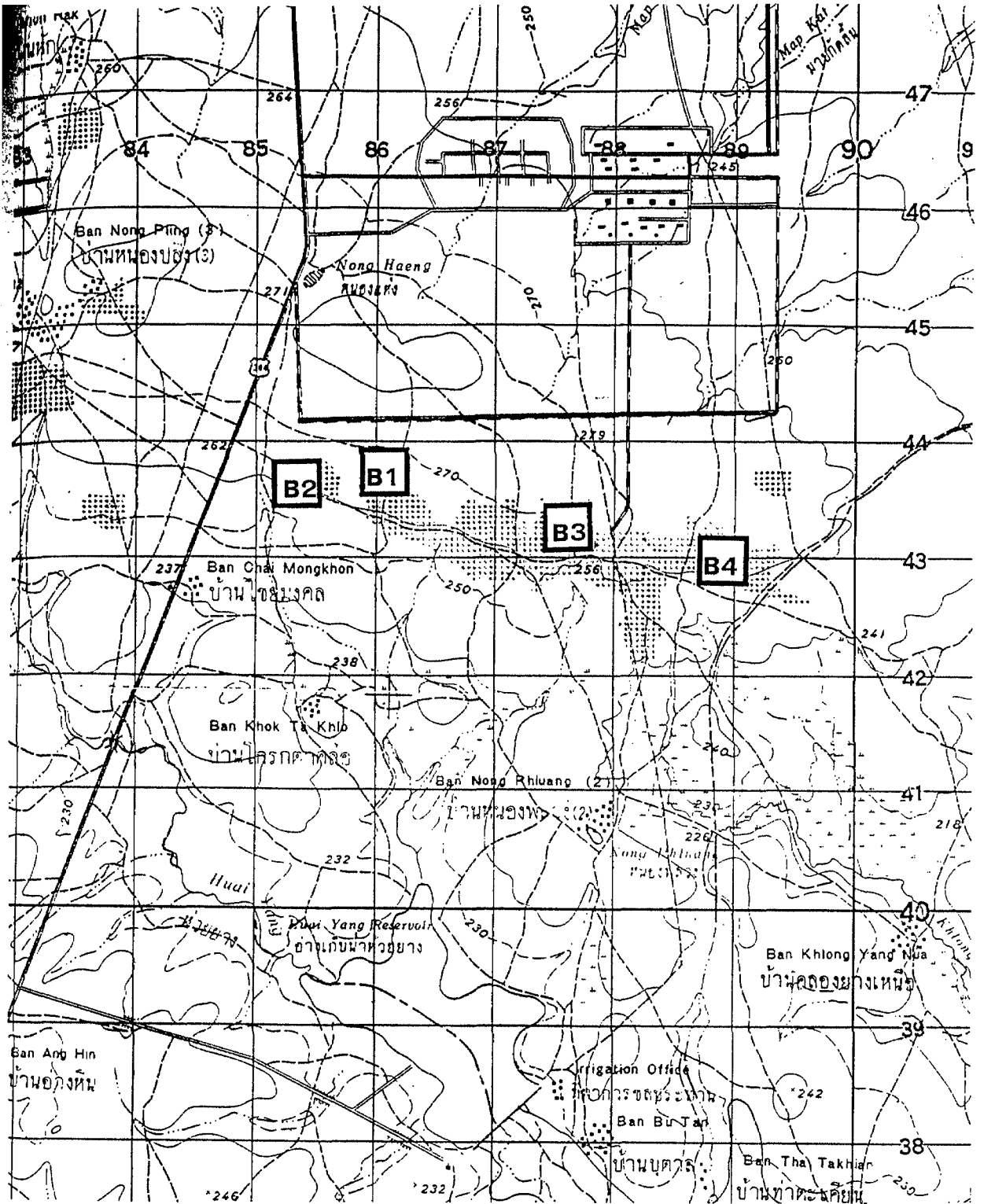
- จุดที่ 1 : C1 บ้านนิคมสร้างตนเอง ซอย 3
- จุดที่ 2 : C2 บ้านนิคมสร้างตนเองสาย 2 ซอย 6
- จุดที่ 3 : C3 บ้านนิคมสร้างตนเองสาย 2 ซอย 5
- จุดที่ 4 : C4 บ้านนิคมสร้างตนเอง ซอย 2

ทั้งนี้ ในการเก็บตัวอย่างดินนั้น จะเลือกพื้นที่ซึ่งถูกรบกวนด้วยกิจกรรมของมนุษย์ค่อนข้างน้อย และเก็บที่ระดับความลึก 3 ระดับ คือ ที่ 25 ซม. 50 ซม. และ 100 ซม. ในบางจุดมีการเก็บตัวอย่างมากกว่า 1 ตัวอย่าง ในบริเวณใกล้เคียงกัน ในการเก็บตัวอย่างจะใช้ hand auger เก็บตัวอย่างดินประมาณตัวอย่างละ 1 กิโลกรัม ใส่ในถุงพลาสติกที่เตรียมไว้

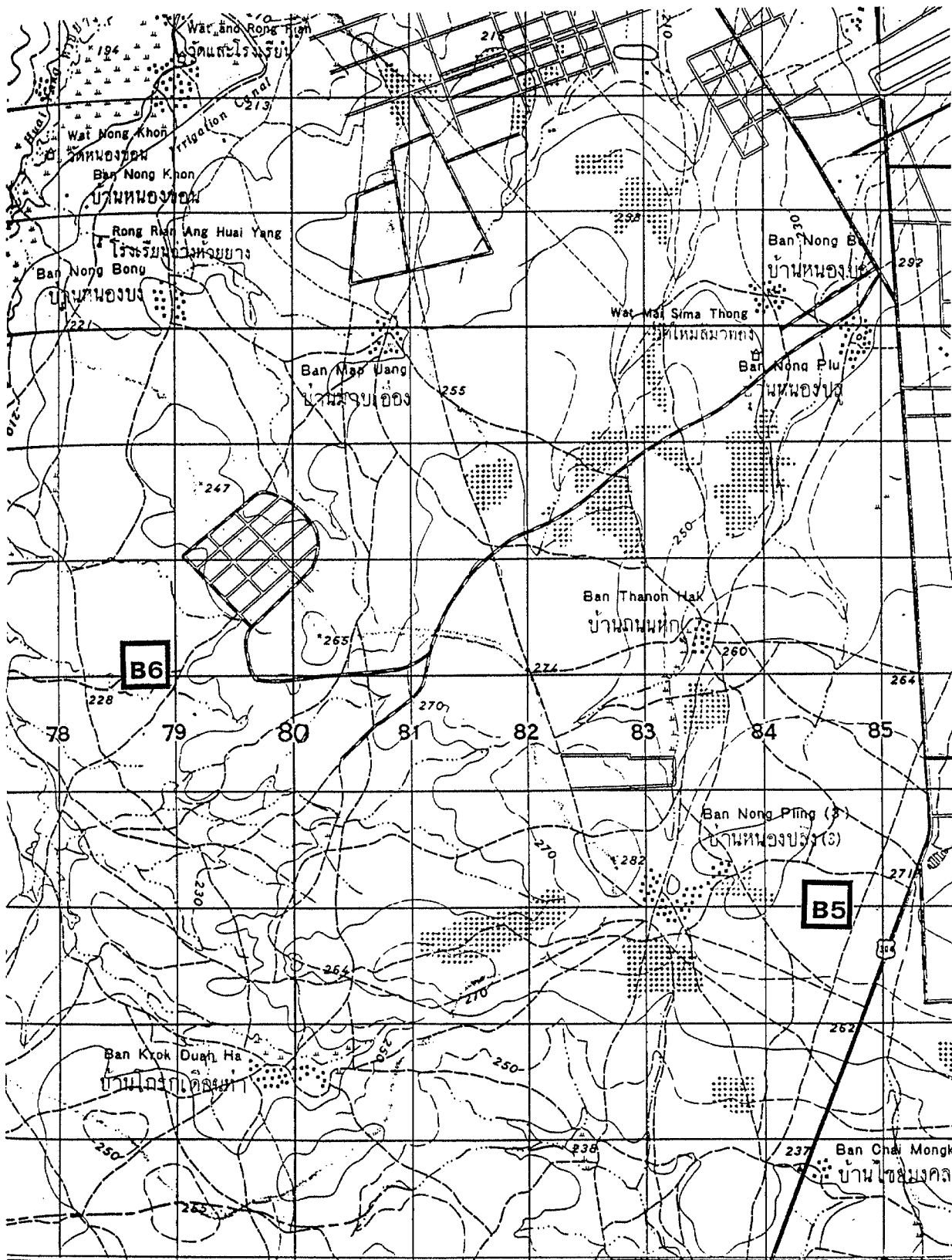


รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ A เขตอำเภอจักราช

A1 : บ้านโสม, A2 : บ้านหนองยาง, A3 : บ้านหนองบัวโคก

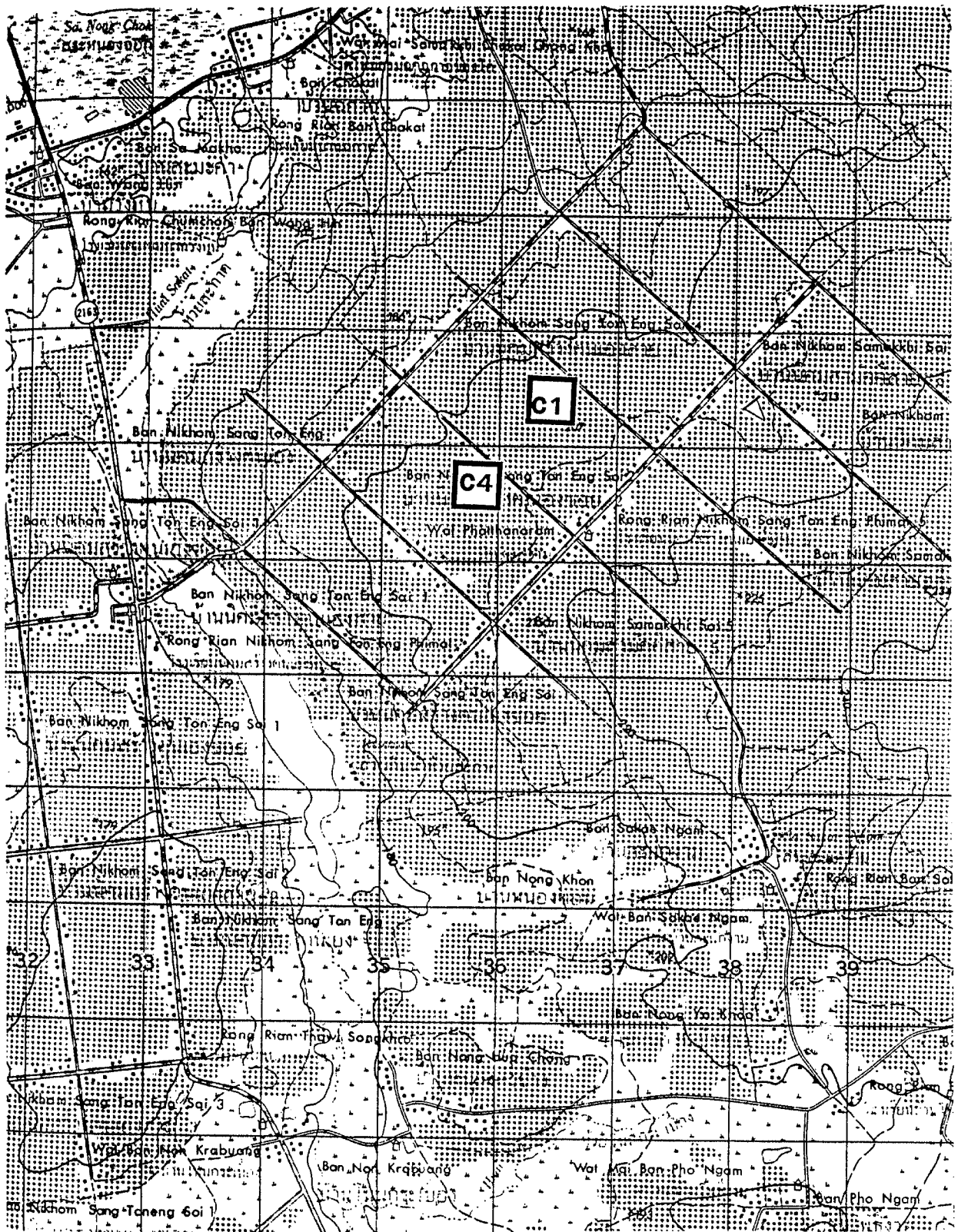


รูปที่ 2.3 แผนที่แสดงบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ B เขตอำเภอเมือง
B1 :ในสวนสัตว์นครราชสีมา, B2 : หน้าสวนสัตว์นครราชสีมา,
B3 : บ้านภูเขาทอง กม. 3, B4 : บ้านภูเขาทอง กม. 5



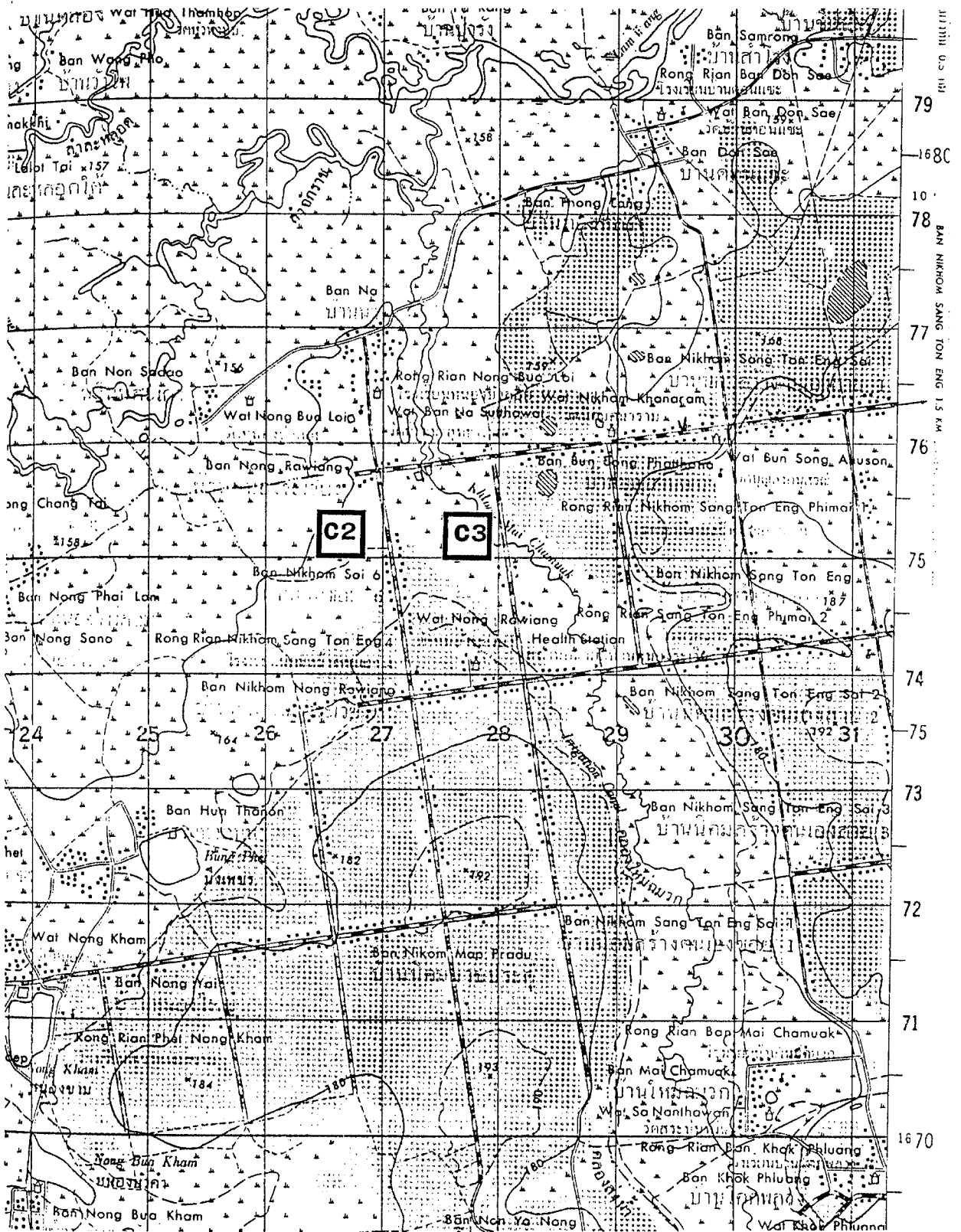
รูปที่ 2.4 แผนที่แสดงบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ B เขตอำเภอเมือง

B5 :บ้านหนองปลิง, B6 : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทางออกประตู 3



รูปที่ 2.5 แผนที่แสดงบริเวณเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ C เขตอำเภอพิมาย

C1 : บ้านนิตมสร้างตนเอง ซอย 3, C4 : บ้านนิตมสร้างตนเอง ซอย 2



รูปที่ 2.6 แผนที่แสดงบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ C เขตอำเภอพินาย

C2 : บ้านนิคมสร้างตนเองสาย 2 ซอย 6, C3 : บ้านนิคมสร้างตนเองสาย 2 ซอย 5

3.2 ระบบการให้ชื่อตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินที่เก็บมา จะมีระบบการให้ชื่อประกอบด้วยตัวอักษรและตัวเลข โดยมีความหมายดังนี้

ตัวอักษรตัวแรก : หมายถึงพื้นที่ที่เก็บตัวอย่าง ซึ่งมี 3 พื้นที่ ได้แก่ A, B, C
 ตัวเลขตัวแรกหลังตัวอักษร : จุดที่เก็บตัวอย่างในพื้นที่นั้น ๆ มีตั้งแต่ 1 – 6
 ตัวเลขตัวที่สองหลังตัวอักษร : แสดงระดับความลึกที่เก็บดินตัวอย่าง โดย 1 หมายถึงตัวอย่างที่เก็บที่ระดับความลึก 25 ซม. 2 และ 3 หมายถึงตัวอย่างที่เก็บที่ระดับความลึก 50 ซม. และ 100 ซม. ตามลำดับ

ตัวเลขตัวที่สามหลังตัวอักษร (ถ้ามี) : บอกถึงตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณใกล้เคียงกันในจุดเก็บเดียวกัน ตัวอย่างเช่น

A11-1 : เก็บจากพื้นที่ A ในจุดเก็บที่ 1 ที่ระดับความลึก 25 ซม. ตัวอย่างที่ 1
 A12-1 : เก็บจากพื้นที่ A ในจุดเก็บที่ 1 ที่ระดับความลึก 50 ซม. ตัวอย่างที่ 1
 A13-1 : เก็บจากพื้นที่ A ในจุดเก็บที่ 1 ที่ระดับความลึก 100 ซม. ตัวอย่างที่ 1
 A11-2 : เก็บจากพื้นที่ A ในจุดเก็บที่ 1 ที่ระดับความลึก 25 ซม. ตัวอย่างที่ 2
 A21-1 : เก็บจากพื้นที่ A ในจุดเก็บที่ 2 ที่ระดับความลึก 25 ซม. ตัวอย่างที่ 1
 A21-2 : เก็บจากพื้นที่ A ในจุดเก็บที่ 2 ที่ระดับความลึก 25 ซม. ตัวอย่างที่ 2
 B61 : เก็บจากพื้นที่ B ในจุดเก็บที่ 6 ที่ระดับความลึก 25 ซม.
 C23-1 : เก็บจากพื้นที่ C ในจุดเก็บที่ 2 ที่ระดับความลึก 100 ซม. ตัวอย่างที่ 1

รวมจำนวนตัวอย่างที่เก็บจากพื้นที่ A	27 ตัวอย่าง
B	18 ตัวอย่าง
C	36 ตัวอย่าง
รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด	81 ตัวอย่าง

สำหรับลักษณะสีโดยทั่วไปของดินในชุดดินยโสธรนั้น แสดงไว้ในรูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นสีของดิน ตัวอย่างเก็บจากพื้นที่ C จุดเก็บที่ 2 ตัวอย่างที่ 3 ที่ระดับความลึก 25 ซม. 50 ซม. และ 100 ซม. ตามลำดับ

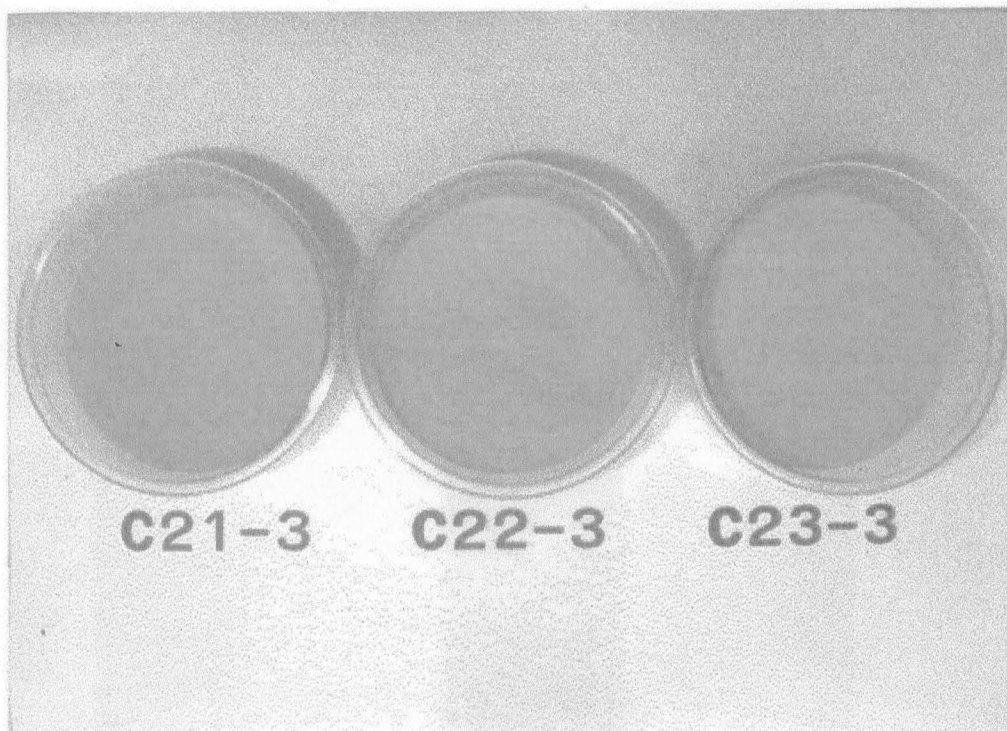
3.3 การเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินที่เก็บมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม นำไปบดด้วยเครื่องบด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 mesh แล้วจึงเก็บไว้ในภาชนะพลาสติก สำหรับวิธีการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์นั้น เตรียมได้ 3 ลักษณะ คือ วัตในลักษณะเป็น loose powder, pressed pellet และ fusion bead แต่การเตรียมตัวอย่างแบบสุดท้ายคือ fusion bead นั้นเป็นวิธีที่นิยมกันมากที่สุดในการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน เพราะจะลดปัญหาเกี่ยวกับ matrix ในส่วนของความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของดินส่วนใหญ่ไปได้ เพราะปัญหาเกี่ยวกับ matrix effect ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ เป็นปัญหาที่มีผลต่อการวิเคราะห์เชิงปริมาณค่อนข้างมาก จึงได้เลือกวิธีการทำ fusion bead ในการเตรียมตัวอย่าง โดยใช้ lithium tetraborate, $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, เป็น fluxing agent และเติม LiBr เป็น wetting agent เพื่อไม่ให้มีเม็ดตัวอย่างดินใน mould หลังจากการหลอมเหลวเสร็จแล้ว สำหรับอัตราส่วนระหว่างดินตัวอย่างกับ flux และ wetting agent มีดังนี้

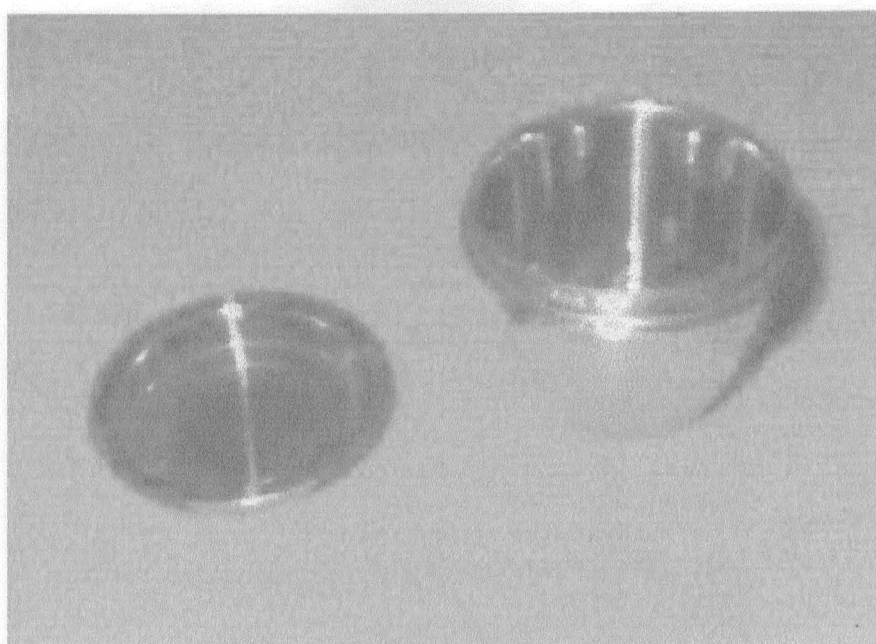
ดินตัวอย่าง	1.0000 กรัม
$\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$	7.0000 กรัม
LiBr	0.0280 กรัม

โดยซึ่งองค์ประกอบทุกส่วนให้ได้น้ำหนักใกล้เคียงกับที่กำหนดให้มากที่สุด นำส่วนผสมทั้งหมดใส่ใน Platinum-Bis-crucible (รูปที่ 2.8) ผสมให้เข้ากันดี แล้วจึงนำไปหลอมเหลวโดยใช้เครื่อง Fluxer-Bis (รูปที่ 2.9) ซึ่งจะถูกกำหนดให้ทำงานเป็นขั้นตอนที่อุณหภูมิและช่วงเวลาตามโปรแกรมควบคุมที่เลือกใช้ เมื่อการหลอมเหลวสิ้นสุดแล้วสารตัวอย่างจะถูกหลงใน platinum mould เมื่อเย็นตัวแล้วจะได้เม็ดสารตัวอย่างในลักษณะเป็น fused bead (รูปที่ 2.10) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และมีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์โดยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ แบบกระจายความยาวคลื่น (รูปที่ 2.11) ต่อไป

ส่วนการเตรียมตัวอย่างดินสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NAA นั้น จะใช้ดินตัวอย่างประมาณ 5 มิลลิกรัม (น้ำหนักแน่นอน) ในการวิเคราะห์ short life nuclide คือ Ti ($t_{1/2} = 5.8$ นาที) และใช้ดินตัวอย่างประมาณ 100 มิลลิกรัม (น้ำหนักแน่นอน) ในการวิเคราะห์ long life nuclide คือ Fe ($t_{1/2} = 44.6$ วัน) และ Zr ($t_{1/2} = 64$ วัน) (11) การชั่งน้ำหนักจะใช้เครื่องชั่งแบบละเอียด สามารถชั่งน้ำหนักสารได้ทศนิยมถึง 3 ตำแหน่งในหน่วยมิลลิกรัม ภาชนะที่ใช้บรรจุดินจะเป็นแคปซูลเล็ก ๆ ทำจาก high purity grade polyethylene ทั้งนี้ในการเตรียมตัวอย่างจะต้องใส่ถุงมือและใช้ปากคีบ ห้ามใช้มือเปล่าสัมผัสภาชนะที่จะต้องรับรังสีนิวตรอนโดยตรงโดยเด็ดขาด เมื่อชั่งดินตัวอย่างเสร็จแล้ว จะนำแคปซูลเล็ก ๆ นั้นบรรจุลงในแคปซูลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะบรรจุแคปซูลบรรจุดิน 5 มิลลิกรัมได้



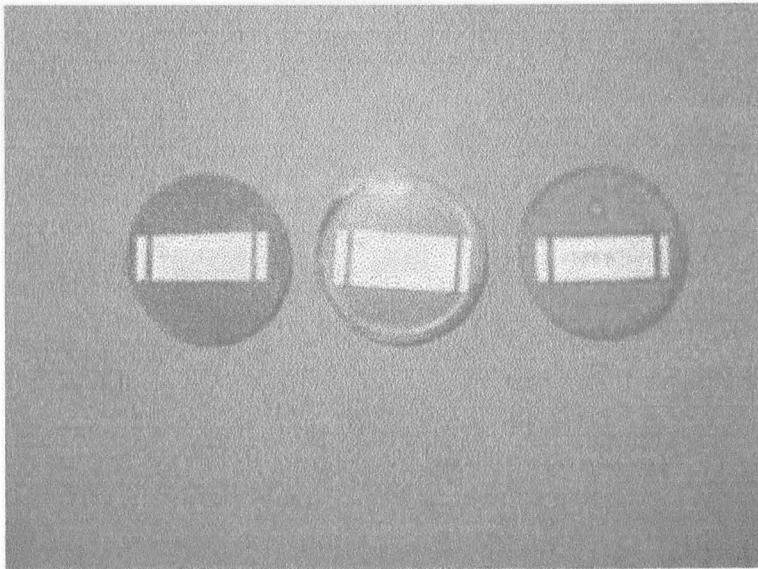
รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะสีของดินในชุดดินไฮดรที่ระดับความลึก 25, 50 และ 100 ซม. ตามลำดับ



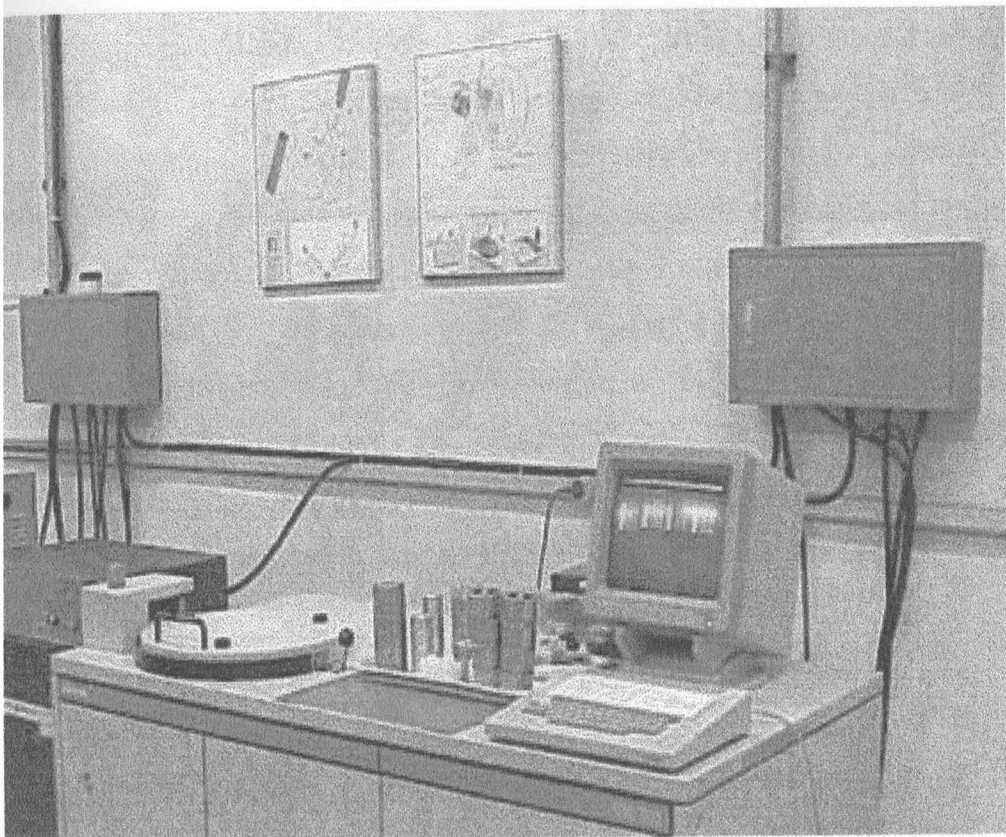
รูปที่ 2.8 Platinum-Bis-crucible and mould



รูปที่ 2.9 Fluxer-Bis, fusion machine



รูปที่ 2.10 ลักษณะของ fused bead sample



รูปที่ 2.11 Wavelength dispersive x-ray fluorescence spectrometer, Siemens, SRS 300
ที่ห้องปฏิบัติการของ KAERI

ประมาณ 5 แคปซูล และบรรจุแคปซูลบรรจุดิน 100 มิลลิกรัมได้ประมาณ 2 แคปซูล นำแคปซูลนี้ใส่ลงใน rabbit ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่จะนำเอาแคปซูลบรรจุดินตัวอย่างจากห้องเตรียมตัวอย่างเข้าไปอบรังสีนิวตรอนใน HANARO โดย pneumatic transfer system

3.4 สารอ้างอิงมาตรฐาน

สารอ้างอิงมาตรฐาน หรือ Standard reference material (SRM) เป็นสารมาตรฐานที่จัดทำขึ้นโดยองค์กรและหน่วยงานที่มีหน้าที่กำกับดูแลเกี่ยวกับมาตรฐานในด้านต่าง ๆ เช่น สารอ้างอิงมาตรฐาน NIST (National Institute of Standards and Technology) ของสหรัฐอเมริกา สารอ้างอิงมาตรฐานแต่ละชนิดจะมี certificate ระบุความเข้มข้นที่แน่นอนขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในสารอ้างอิงมาตรฐานนั้น และความเข้มข้นขององค์ประกอบได้มาจากการวิเคราะห์ของผู้เชี่ยวชาญจากห้องปฏิบัติการหลาย ๆ แห่ง และด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หลายเทคนิค ก่อนที่จะนำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและระบุไว้ใน certificate ที่กำกับสารอ้างอิงมาตรฐานชนิดนั้น ๆ สารอ้างอิงมาตรฐานนี้จะมีราคาสูงมาก (12)

เพื่อเป็นการตรวจสอบผลการวิเคราะห์ของเครื่องมือ จึงได้นำสารอ้างอิงมาตรฐานชนิดต่าง ๆ ที่มีธาตุองค์ประกอบใกล้เคียงกับตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง WDXRF โดยการเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์ในลักษณะเป็น fused bead เช่นเดียวกับตัวอย่างดิน ทั้งนี้สารอ้างอิงมาตรฐานที่ใช้ทั้งหมดเป็นสารมาตรฐาน NIST ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการของ KAERI ได้แก่

SRM 2709	San Joaquin Soil
SRM 2704	Buffalo River Sediment
SRM 98b	Plastic Clay
SRM 600	Bauxite (Australian darling range)
SRM 679	Brick Clay
SRM 688	Basalt Rock

แล้วเลือกสารมาตรฐานที่ได้ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับที่ระบุไว้ใน certificate เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินต่อไป

3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยเทคนิค WDXRF

เทคนิคการวัดเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์แบบกระจายความยาวคลื่น สามารถใช้หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่างได้ตั้งแต่ธาตุโซเดียม ไปจนถึงธาตุยูเรเนียม แต่ในการวิเคราะห์แบบ quantitative นั้น จำเป็นจะต้องมีสารอ้างอิงมาตรฐานที่มีส่วนประกอบเหมือนหรือใกล้เคียงกับสารตัวอย่างจำนวนมากพอจึงจะกระทำได้ ในกรณีที่ไม่สามารถหาสารอ้างอิงมาตรฐานดังกล่าวได้ การ

วิเคราะห์อาจจะกระทำได้เพียงแบบ semiquantitative โดยการเลือกโปรแกรมการวิเคราะห์ของเครื่องมือชนิด Standardless Fundamental Parameter (SLFP) โดยที่ความถูกต้องของข้อมูลจะอยู่ในช่วง 10 - 20% ของค่าจริง ในขณะที่ถ้าเป็นการวิเคราะห์ที่ทำเป็นประจำ จนคุ้มกับการจัดหาสารอ้างอิงมาตรฐานมาใช้ด้วยจำนวนที่มากพอ ผลการวิเคราะห์จะมีความถูกต้องอยู่ในช่วง 5 - 10% ของค่าจริง

ในการวิเคราะห์จะมี interference อยู่ 3 ลักษณะคือ Spectral interferences, Environmental interferences และ Matrix interferences กรณีแรกคือ Spectral interferences นั้น เกิดขึ้นเมื่อ x-ray lines ของธาตุที่วิเคราะห์มีความยาวคลื่นใกล้เคียงกันมาก เช่นอาจจะมี x-ray line ใน K-series ของ S ซ้อนทับกับ x-ray line ใน L-series ของ Mo เกิดขึ้นได้ หรือในกรณีที่ธาตุมีเลขอะตอมใกล้เคียงกัน เช่น Al กับ Si หรือ K กับ Ca ก็อาจมี x-ray line ซึ่งมีพลังงานใกล้เคียงกันและซ้อนทับกันได้เช่นกัน แต่ถ้า detector ของเครื่องมือมี resolution สูง ปัญหาตรงนี้จะลดน้อยลง ส่วน Environmental interferences คือ การรบกวนเนื่องมาจากภาวะในการวัด ธาตุที่มีเลขอะตอมน้อย เช่น Na, Cl จะปล่อยเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ที่มีพลังงานต่ำออกมา และอากาศจะทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์ลดลง การวัดให้ได้ผลถูกต้องจะทำได้ยาก จึงต้องวัดภายใต้สภาพสุญญากาศ หรือภายใต้บรรยากาศของแก๊สฮีเลียม ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศ ซึ่งจะทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์ลดลงน้อยกว่าเมื่อวัดในอากาศ ส่วน interferences ที่มีปัญหามากที่สุดคือ Matrix interferences ซึ่งมาจากทั้งความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่าง และมาจาก interelement effect เพราะเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ที่เกิดขึ้น มิได้มาจากธาตุที่เราต้องการจะวัดเพียงตัวเดียวเท่านั้น ในขณะที่ฉายรังสีเอกซ์ไปยังสารตัวอย่าง ถ้าพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ใช้มีค่าสูง ธาตุทุกตัวในสารตัวอย่างจะให้ characteristic x-ray ออกมาเช่นกัน ซึ่งอาจทำให้เกิดผลในลักษณะที่เรียกว่า Absorption effect และ Enhancement effect ขึ้นได้ เมื่อธาตุอื่น ๆ ดูดกลืนหรือกระเจิงเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์จากธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ หรือธาตุหนึ่งธาตุใดอาจมี characteristic x-ray ที่มีพลังงานสูงมากพอที่จะไปกระตุ้นการเกิดเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ของอีกธาตุหนึ่ง ทำให้ความเข้มของเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ที่เกิดขึ้นมีค่ามากขึ้น สำหรับปัญหาจาก matrix effect นี้ อาจแก้ไขได้โดยวิธีการทางคณิตศาสตร์หลายวิธี แต่วิธีหนึ่งที่ใช้กันมากคือ Empirical Coefficient Method (8) ซึ่งมีหลักการสั้น ๆ ดังนี้

เมื่อสารตัวอย่างประกอบด้วยธาตุหลายชนิด overall matrix effect ของธาตุ j ที่มีต่อธาตุ i แสดงได้โดยค่าคงตัว a_{ij} ในสมการดังต่อไปนี้

$$w_i = R_i (\sum a_{ij} w_j)$$

เมื่อ	w_i = weight percent of element i
	w_j = weight percent of element j
	R_i = fluorescent intensity of element i
	a_{ij} = interelement coefficient

การวิเคราะห์ตัวอย่างดินในการวิจัยครั้งนี้ ได้เลือกวิธีการหลอมเหลวดินตัวอย่างกับ fluxing agent ให้ตัวอย่างดินอยู่ในลักษณะเป็น fused bead การเตรียมตัวอย่างวิธีนี้ อาจจะเสียเวลาและมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง และอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาแพง แต่การเตรียมทั้งตัวอย่างและสารอ้างอิงมาตรฐานลักษณะนี้ จะแก้ปัญหาคือความไม่แน่นอนของดินได้ นอกจากนี้ ยังช่วยลด interelement effect ได้อีกบางส่วน เนื่องจาก fluxing agent ที่ใช้คือ $Li_2B_4O_7$, ประกอบด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำ ๆ จึงดูดกลืนรังสีเอกซ์ได้ไม่มาก และการใช้ fluxing agent ในปริมาณมาก (7:1) ทำให้ matrix effect มีค่าคงที่ทั้งในสารอ้างอิงมาตรฐานและในดินตัวอย่าง

ในส่วนของการวิเคราะห์เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ที่เกิดขึ้นนั้น ได้ใช้ software SSQ 3000 (Siemens Semiquant 3000) ซึ่งเป็น precalibrated program สำหรับการวิเคราะห์แบบ standardless analysis ซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่ไม่เคยวิเคราะห์มาก่อน และมีสารอ้างอิงมาตรฐานที่เหมาะสมไม่เพียงพอ โดยต้องป้อนข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับสารตัวอย่าง เช่น น้ำหนัก วิธีเตรียมตัวอย่างว่าเป็นแบบ loose powder, pressed pellet หรือ fused bead น้ำหนักของ fluxing agent ที่ใช้ ขนาด ความหนาของ fused bead ที่ได้เป็นต้น ให้กับโปรแกรมด้วย

ถึงแม้ว่าการวิเคราะห์จะเป็นแบบ semiquantitative แต่สามารถตรวจสอบการวิเคราะห์ได้ว่าถูกต้องมากน้อยเพียงใด เช่น ใช้วิธีการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐานชนิดต่าง ๆ โดยเลือกชนิดที่มีธาตุองค์ประกอบคล้ายกับสารตัวอย่างให้มากที่สุด แล้วนำผลที่วิเคราะห์ได้เปรียบเทียบกับที่ระบุไว้ใน certificate โดยจะสามารถปรับเปลี่ยนค่า a_{ij} หรือ interelement coefficient ในโปรแกรมได้บ้างเล็กน้อย เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับค่าจริงให้มากที่สุด นอกจากนี้ การทำ standard addition ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยตรวจสอบผลการวิเคราะห์ได้เช่นเดียวกัน

3.6 การทำ Standard addition ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค WDXRF

เทคนิค standard addition นี้ ควรทำในกรณีที่ไม่รู้ matrix ที่แน่นอนของสารตัวอย่าง หรือใช้ในกรณีที่การวิเคราะห์ไม่ใช้งานประจำ เพื่อที่จะนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปใช้ในการจัดหาสารอ้างอิงมาตรฐาน หรือจัดทำสารมาตรฐานขึ้นมาใช้ในห้องปฏิบัติการ

หลักการของ standard addition ก็คือ จะเติม analyte ที่ทราบปริมาณลงในสารตัวอย่าง แล้วนำไปวัดเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ เปรียบเทียบกับสารตัวอย่างที่ไม่ได้เติม analyte ลงไป ทั้งนี้โดยการเตรียมตัวอย่างในการวัดในลักษณะเดียวกัน (8)

ในการวิจัยได้ทำ standard addition กับ SRM 2709 และ ตัวอย่างดินอีก 2 ตัวอย่าง โดยการเติม Fe และ Ti

Ti addition

	SRM 2709	A21-3	C43-3
ปริมาณสารที่ใช้ (g)	1.0000	1.0000	1.0000
Li ₂ B ₄ O ₇ (g)	7.0000	7.0000	7.0000
LiBr (g)	0.0280	0.0280	0.0280
TiO ₂ (g)	0.0053	0.0053	0.0104

Fe addition

	SRM 2709	A21-3	C43-3
ปริมาณสารที่ใช้ (g)	1.0000	1.0000	1.0000
Li ₂ B ₄ O ₇ (g)	7.0000	7.0000	7.0000
LiBr (g)	0.0280	0.0280	0.0280
Fe ₃ O ₄ (g)	0.0253	0.0246	0.0248

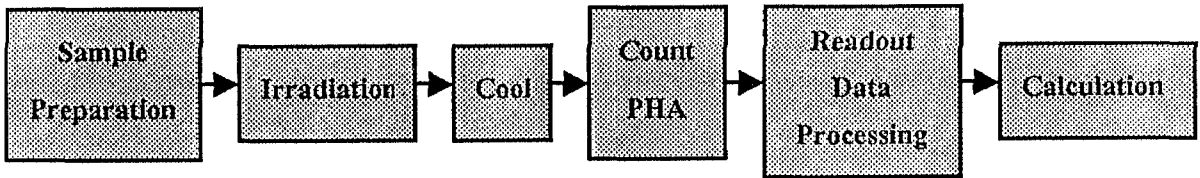
นำ fused bead ที่มีการเติม analyte และที่ไม่ได้เติม ไปวัดเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ โดยบันทึก line intensity ของ Fe และ Ti เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณของ Fe, Ti ที่มีอยู่ใน SRM 2709 และในตัวอย่างดิน A21-3, C43-3 เปรียบเทียบกับค่าที่ระบุไว้ใน certificate สำหรับ SRM 2709 และเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดค่าเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ตามปกติของตัวอย่าง A21-3, C43-3 ต่อไป

3.7 การวิเคราะห์หาปริมาณ Fe, Ti และ Zr ด้วยเทคนิค NAA

Neutron activation analysis (NAA) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารแบบ simultaneous multielement analysis แต่เนื่องจากช่วงเวลาที่มิโอกาสได้ใช้เทคนิคนี้ เป็นช่วงสุดท้ายของการฝึกอบรมที่ KAERI จึงไม่สามารถจะวิเคราะห์โลหะทุกชนิดที่มีอยู่ในดินตัวอย่างได้ จึงได้เลือกวิเคราะห์เพียงโลหะที่สนใจ ได้แก่ Fe, Ti และ Zr เท่านั้น

หลักการสั้น ๆ ของเทคนิค NAA มีดังนี้ นำสารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ไปอาบรังสีนิวตรอน ซึ่งได้มาจากปฏิกิริยา fission ใน nuclear reactor นิวตรอนที่ได้ จะมีพลังงานระดับต่าง ๆ กัน ซึ่งควบคุมได้ คือ ถ้าเป็น thermal neutron จะมีพลังงานโดยเฉลี่ย 0.025 eV, fast neutron จะมีพลังงานสูงถึง 14 MeV ส่วน epithermal neutron จะมีช่วงพลังงานระหว่าง 0.5 eV – 1 MeV นิวเคลียสของสารตัวอย่างจะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์กับนิวตรอนได้หลายลักษณะขึ้นกับพลังงานของนิวตรอนที่ใช้ แต่ในการวิเคราะห์แบบ NAA นี้ ส่วนใหญ่จะใช้ thermal neutron และปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดจะเป็นปฏิกิริยาแบบ (n, γ) คือปฏิกิริยาที่นิวเคลียสของสารตัวอย่างถูก bombard ด้วยนิวตรอน และจับนิวตรอนเอาไว้ (capture reaction) และปล่อยรังสีแกมมาออกมา เพราะเมื่อนิวเคลียสของสารตัวอย่างจับเอานิวตรอนเข้าไบนั้น จะเกิดเป็น radioactive nuclide ตัวใหม่ที่มีเลขอะตอมเท่าเดิม แต่เลขมวลเพิ่มขึ้น 1 หน่วย (นิวตรอนไม่มีประจุ และมีเลขมวลเป็น 1) จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้น ทำให้ nuclide ที่ได้อยู่ในสภาวะเร้า และจะปล่อยรังสีแกมมาออกมา ซึ่งจะตรวจวัดได้โดยใช้ตัววัดที่เหมาะสม ปกติจะใช้ gamma ray spectroscopy ในการวัด

จะเขียนแผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NAA ได้ดังนี้



หลังจากเตรียมตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว นำตัวอย่างไปอาบรังสีนิวตรอนใน nuclear reactor ตามเวลาที่กำหนด ขึ้นอยู่กับว่า nuclide ที่ได้เป็นชนิด long half life หรือ short half life แล้วจึงปล่อยให้ cool หรือให้กัมมันตภาพรังสีลดลงบ้าง เพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้วัด และเพื่อให้พวกที่มี short half life สลายตัวไปหมดในกรณีของการวัด nuclide ที่มี long half life เพื่อลด background ในการวัด หลังจากนั้นจะใช้ pulse height analyzer เป็นตัว count เพื่อนำผลไปคำนวณต่อไป

สำหรับการวิเคราะห์ Fe, Ti และ Zr ในตัวอย่างดินนั้น มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องดังนี้

neutron flux $17.00 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$

	Fe	Zr	Ti
nuclide ที่ใช้ในการวิเคราะห์	Fe-59	Zr-95	Ti-51
half life	44.6 day	64.0 day	5.8 min
irradiation time	120 min	120 min	120 sec
cooling time	16 day	16 day	20 min
counting time	2000 sec	2000 sec	300 sec

ในเทคนิค NAA จะวิเคราะห์ผลด้วย gamma ray spectrometry โดยจะจำแนกชนิดของธาตุได้จาก gamma ray energy ส่วน peak area ใน gamma ray spectrum จะบอกถึงปริมาณ nuclide ที่มีอยู่ได้ ซึ่งการคำนวณอาจทำได้โดยตรง หรือโดยการเปรียบเทียบกับสารอ้างอิงมาตรฐานที่มีธาตุที่สนใจเป็นองค์ประกอบและทราบปริมาณที่แน่นอน ซึ่งได้ใช้ SRM 2709 ตัวเดียวกับที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค WDXRF

บทที่ 3

ผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัย

ความสนใจในดินชุดดินยโสธร เริ่มมาจากดินที่มีสีแดงเข้มสวดย และเมื่อทราบว่าสีแดงของดินเกิดเนื่องมาจากมีเหล็กเป็นส่วนประกอบ จึงอยากทราบว่าเหล็กอยู่มากน้อยเพียงใด ที่จริงแล้วดินสีแดงในประเทศไทยมีอยู่หลายชุดดิน เช่น ชุดดินปากช่อง ชุดดินสีคิ้ว ชุดดินจัตุรัส และชุดดินยโสธร เป็นต้น แต่ดินในชุดดินยโสธรจะมีสีแดงเข้มมากที่สุด จึงได้เลือกที่จะศึกษาปริมาณของเหล็กในดินชุดนี้ แต่เทคนิคที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์คือเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ multielement ผลการวิเคราะห์ที่ได้จึงเป็นปริมาณโลหะอื่น ๆ ที่มีอยู่ในดินด้วย

1. ตารางอ้างอิงมาตรฐานที่เหมาะสม

เมื่อนำสารอ้างอิงมาตรฐานต่าง ๆ ที่มีส่วนประกอบใกล้เคียงกับตัวอย่างดินมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค WDXRF ในลักษณะเดียวกับตัวอย่างดิน เพื่อตรวจสอบว่าผลการวิเคราะห์ให้ผลที่น่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด และควรใช้สารอ้างอิงมาตรฐานตัวใดต่อไปในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินนั้น พบว่าผลการวิเคราะห์ SRM 2709 San Joaquin Soil ได้ผลใกล้เคียงกับที่ระบุไว้ใน certificate มากที่สุด หลังจากนั้น ได้ลองปรับเปลี่ยนค่า a_j หรือ interelement coefficient แล้วจึงวิเคราะห์ SRM 2709 ใหม่ ปรากฏว่าได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์ SRM 2709 เทียบกับความเข้มข้นที่ระบุไว้ใน certificate

Element	Certified Weight%	* Measured Weight %	Element	Certified Weight%	* Measured Weight %
Al	7.50	8.03	S	0.089	0.080
Ca	1.89	1.92	Ti	0.342	0.342
Fe	3.50	3.62	Ba	0.0968	0.0915
Mg	1.51	1.47	Mn	0.0538	0.0612
P	0.062	0.063	Sr	0.0231	0.0200
K	2.03	2.00	Zn	0.0106	0.011
Si	29.66	32.17	Zr	0.0160	0.0152
Na	1.16	1.17			

* เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัด 4 ครั้ง

ถึงแม้ว่าผลการวิเคราะห์โลหะองค์ประกอบของ SRM 2709 จะใกล้เคียงกับที่ระบุไว้ใน certificate แต่ก็มีได้หมายความว่า ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจะได้ผลดีในลักษณะเดียวกัน เพราะในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์นั้น matrix effect จาก interelement effect มีผลค่อนข้างมากในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ถึงแม้ SRM จะมีธาตุองค์ประกอบเหมือนกับดินตัวอย่าง แต่ถ้าปริมาณแตกต่างกันไปจากดินตัวอย่าง interelement effect ก็จะแตกต่างกัน ดังนั้น ผลการวิเคราะห์จึงเป็นเพียง semiquantitative เท่านั้น อย่างไรก็ตาม อยากรู้ก็ทำการทำ standard addition จะเป็นเทคนิคที่ใช้ยืนยันผลการวิเคราะห์ได้อีกขั้นหนึ่ง

2. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยเทคนิค WDXRF

หลังจากที่ปรับเปลี่ยนค่า a_{ij} ในโปรแกรมการวิเคราะห์โดยอ้างอิงกับผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ถูกต้องมากที่สุดแล้วจึงนำโปรแกรมการวิเคราะห์ที่ปรับเปลี่ยนแล้วมาใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินทั้ง 81 ตัวอย่าง ซึ่งผลการวิเคราะห์โดยละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก กล่าวคือ ภาคผนวกที่ 7, 9, 11 แสดงผลการวิเคราะห์โลหะในรูปของออกไซด์ของดินตัวอย่างจากพื้นที่ A, B และ C ตามลำดับ ส่วนภาคผนวกที่ 8, 10, 12 เป็นผลการวิเคราะห์โลหะในดินตัวอย่างจากพื้นที่ A, B และ C ในรูปของโลหะ

ผลการวิเคราะห์พบว่ามีโลหะ 30 ชนิดในดินตัวอย่างจากพื้นที่ของอำเภอจักราช (พื้นที่ A) 25 ชนิดในดินตัวอย่างจากอำเภอเมือง (พื้นที่ B) และ 37 ชนิดในดินตัวอย่างจากพื้นที่อำเภอพิมาย (พื้นที่ C) แต่มิได้พบโลหะครบทุกชนิดในดินตัวอย่างทุกตัวอย่าง ตารางที่ 3.2 – ตารางที่ 3.4 จะแสดงช่วงความเข้มข้นของโลหะที่พบในตัวอย่างดินจำนวนอย่างน้อย 50% ของตัวอย่างทั้งหมด โดยเปรียบเทียบที่ระดับความลึก 25, 50 และ 100 ซม. ตามลำดับ คำว่าตัวอย่างทั้งหมด หมายถึงจำนวนดินตัวอย่างทั้งหมดที่เก็บในพื้นที่ที่กำหนดโดยรวมทุกระดับความลึก กล่าวคือ พื้นที่ A จะมีจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 27 ตัวอย่างจากจุดเก็บ 9 จุด ส่วนพื้นที่ B และพื้นที่ C มีจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 18 ตัวอย่างจากจุดเก็บ 6 จุด และ 36 ตัวอย่างจากจุดเก็บ 12 จุด ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 จะแสดงช่วงความเข้มข้นของโลหะที่พบในตัวอย่างดินอย่างน้อย 13 ตัวอย่าง (รวมทุกระดับความลึก) จากตัวอย่างดิน 27 ตัวอย่างในพื้นที่อำเภอจักราช โดยตัวเลขในวงเล็บหลังช่วงความเข้มข้นจะแสดงถึงจำนวนตัวอย่างดินที่พบโลหะ ตัวอย่างเช่น โลหะ Al จะพบในตัวอย่างดิน 22 ตัวอย่าง โดยเป็นดินที่ระดับความลึก 25 ซม. 5 ตัวอย่าง ที่ระดับความลึก 50 ซม. 8 ตัวอย่าง และที่ระดับความลึก 100 ซม. 9 ตัวอย่าง เป็นต้น

ตารางที่ 3.2 ช่วงความเข้มข้นของโลหะที่พบในตัวอย่างดินอย่างน้อย 13 ตัวอย่าง จากตัวอย่างดิน 27 ตัวอย่าง จากอำเภอจักราช ที่ระดับความลึก 25, 50 และ 100 ซม. ในหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

โลหะ	ระดับความลึก (ซม.)		
	25	50	100
Al	0 – 6.510 (5)	2.345 – 8.310 (8)	2.742 – 7.622 (9)
Si	38.42 – 45.67 (8)	36.13 – 45.43 (9)	36.69 – 42.81 (9)
P	0 – 0.0407 (2)	0 – 0.0375 (4)	0 – 0.0637 (7)
K	0 – 0.1054 (3)	0 – 0.1694 (4)	0 – 0.2997 (5)
Ca	0.0482 – 0.1615 (8)	0 – 0.1258 (8)	0 – 0.1072 (8)
Ti	0.2416 – 0.5713 (8)	0.2698 – 0.6355 (9)	0.3135 – 0.6355 (9)
Fe	0.4784 – 2.196 (8)	0.6344 – 2.763 (9)	1.063 – 2.665 (9)
Cu	0 – 0.0156 (4)	0 – 0.0178 (2)	0 – 0.0166 (6)
Zr	0.0558 – 0.0940 (8)	0.0536 – 0.1014 (9)	0.0509 – 0.0851 (9)

ตารางที่ 3.3 ช่วงความเข้มข้นของโลหะที่พบในตัวอย่างดินอย่างน้อย 9 ตัวอย่าง จากตัวอย่างดิน 18 ตัวอย่าง จากอำเภอเมือง ที่ระดับความลึก 25, 50 และ 100 ซม. ในหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

โลหะ	ระดับความลึก (ซม.)		
	25	50	100
Al	0 – 6.193 (5)	4.272 – 7.887 (6)	3.901 – 7.569 (6)
Si	38.51 – 42.72 (6)	36.50 – 40.43 (6)	36.92 – 41.32 (6)
P	0.0207 – 0.0312 (6)	0 – 0.0312 (4)	0.0188 – 0.0258 (5)
K	0.1461 – 0.2416 (6)	0 – 0.1901 (4)	0.1303 – 0.1909 (6)
Ca	0 – 0.0590 (5)	0 – 0.0482 (3)	0.0375 – 0.0922 (6)
Ti	0.3339 – 0.5995 (6)	0.3393 – 0.5306 (6)	0.3591 – 0.5384 (6)
Fe	1.252 – 3.553 (6)	1.700 – 2.993 (6)	1.637 – 2.990 (6)
Cu	0 – 0.0227 (4)	0 – 0.0280 (4)	0 – 0.0199 (4)
Zr	0.0686 – 0.0844 (6)	0.0612 – 0.0933 (6)	0.0674 – 0.1140 (6)
Hf	0 – 0.0682 (3)	0 – 0.0600 (3)	0 – 0.0701 (2)

ตารางที่ 3.3 แสดงชนิดและความเข้มข้นของโลหะที่พบในดินตัวอย่างอย่างน้อย 9 ตัวอย่าง จากตัวอย่างดิน 18 ตัวอย่างในพื้นที่อำเภอเมือง และตารางที่ 3.4 แสดงชนิดและความเข้มข้นของโลหะที่พบในตัวอย่างดินอย่างน้อย 18 ตัวอย่างจากตัวอย่างดิน 36 ตัวอย่างจากพื้นที่อำเภอพิมาย โดยตัวเลขในวงเล็บหลังช่วงความเข้มข้นแสดงจำนวนตัวอย่างดินที่พบโลหะชนิดนั้น ๆ เช่นกัน

ส่วนโลหะชนิดอื่น ๆ ที่พบในดินตัวอย่างบางตัวอย่างเท่านั้น สามารถวิเคราะห์ได้จากภาคผนวกที่ 7 ในรูปของโลหะออกไซด์และภาคผนวกที่ 8 ในรูปของโลหะ ตามลำดับ

ตารางที่ 3.4 ช่วงความเข้มข้นของโลหะที่พบในตัวอย่างดินอย่างน้อย 18 ตัวอย่าง จากตัวอย่างดิน 36 ตัวอย่าง จากอำเภอพิมาย ที่ระดับความลึก 25, 50 และ 100 ซม. ในหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

โลหะ	ระดับความลึก (ซม.)		
	25	50	100
Al	0 – 4.462 (4)	0 – 5.769 (7)	0 – 6.299 (8)
Si	40.38 – 45.38 (12)	37.95 – 44.96 (12)	38.75 – 44.40 (12)
Ti	0.3261 – 0.4616 (12)	0.3813 – 0.4658 (12)	0.3813 – 0.5659 (12)
Fe	0.9792 – 2.413 (12)	1.581 – 2.763 (12)	1.658 – 3.700 (12)
Zr	0.0668 – 0.0814 (12)	0.0662 – 0.0763 (12)	0.0632 – 0.0859 (12)

จากตารางที่ 3.2 – ตารางที่ 3.4 จะเห็นว่าปริมาณโลหะที่พบที่ระดับความลึกต่าง ๆ กัน ในดินตัวอย่างจากพื้นที่เดียวกัน ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ Al และ Fe มีแนวโน้มว่าจะมีปริมาณมากขึ้นเมื่ออยู่ลึกลงไป ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวค่อนข้างจะเป็นจริงในดินตัวอย่างจากทุกพื้นที่ และถ้าจะเปรียบเทียบปริมาณโลหะที่พบในดินตัวอย่างในพื้นที่ต่างกันในระดับความลึกเดียวกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.5 – ตารางที่ 3.7 นั้น จะพบว่าปริมาณโลหะต่าง ๆ ที่พบจะมีใกล้เคียงกัน ยกเว้นตัวอย่างดินจากอำเภอพิมาย ซึ่งจะมี Al น้อยกว่าตัวอย่างดินจากพื้นที่ออกเอนจกราชและอำเภอเมืองเล็กน้อยทุกระดับความลึก

บทที่ 3

ผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัย

ความสนใจในดินชุดดินยโสธร เริ่มมาจากดินที่มีสีแดงเข้มสวย และเมื่อทราบว่ามีสีแดงของดินเกิดเนื่องมาจากมีเหล็กเป็นส่วนประกอบ จึงอยากทราบว่าเหล็กอยู่มากน้อยเพียงใด ที่จริงแล้วดินสีแดงในประเทศไทยมีอยู่หลายชุดดิน เช่น ชุดดินปากช่อง ชุดดินสีคิ้ว ชุดดินจตุรัส และชุดดินยโสธร เป็นต้น แต่ดินในชุดดินยโสธรจะมีสีแดงเข้มมากที่สุด จึงได้เลือกที่จะศึกษาปริมาณของเหล็กในดินชุดนี้ แต่เทคนิคที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์คือเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ multielement ผลการวิเคราะห์ที่ได้จึงเป็นปริมาณโลหะอื่น ๆ ที่มีอยู่ในดินด้วย

1. สารอ้างอิงมาตรฐานที่เหมาะสม

เมื่อนำสารอ้างอิงมาตรฐานต่าง ๆ ที่มีส่วนประกอบใกล้เคียงกับตัวอย่างดินมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค WDXRF ในลักษณะเดียวกับตัวอย่างดิน เพื่อตรวจสอบว่าผลการวิเคราะห์ให้ผลที่น่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด และควรใช้สารอ้างอิงมาตรฐานตัวใดต่อไปในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินนั้น พบว่าผลการวิเคราะห์ SRM 2709 San Joaquin Soil ได้ผลใกล้เคียงกับที่ระบุไว้ใน certificate มากที่สุด หลังจากนั้น ได้ลองปรับเปลี่ยนค่า a_{ij} หรือ interelement coefficient แล้วจึงวิเคราะห์ SRM 2709 ใหม่ ปรากฏว่าได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์ SRM 2709 เทียบกับความเข้มข้นที่ระบุไว้ใน certificate

Element	Certified Weight %	* Measured Weight %	Element	Certified Weight %	* Measured Weight %
Al	7.50	8.03	S	0.089	0.080
Ca	1.89	1.92	Ti	0.342	0.342
Fe	3.50	3.62	Ba	0.0968	0.0915
Mg	1.51	1.47	Mn	0.0538	0.0612
P	0.062	0.063	Sr	0.0231	0.0200
K	2.03	2.00	Zn	0.0106	0.011
Si	29.66	32.17	Zr	0.0160	0.0152
Na	1.16	1.17			

* เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัด 4 ครั้ง

ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะในดินตัวอย่างจากพื้นที่ต่าง ๆ ที่ระดับความลึก 25 ซม. ในหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

โลหะ	อำเภอจักราช (A)	อำเภอเมือง (B)	อำเภอยะนิง (C)
Al	0 – 6.510	0 – 6.193	0 – 4.462
Si	38.42 – 45.67	38.51 – 42.72	40.38 – 45.38
P	0 – 0.0407	0.0207 – 0.0312	-
K	0 – 0.1054	0.1461 – 0.2416	-
Ca	0.0482 – 0.1615	0 – 0.0590	-
Ti	0.2416 – 0.5713	0.3339 – 0.5995	0.3261 – 0.4616
Fe	0.4784 – 2.196	1.252 – 3.553	0.9792 – 2.413
Cu	0 – 0.0156	0 – 0.0227	-
Zr	0.0558 – 0.0940	0.0686 – 0.0844	0.0668 – 0.0814
Hf	-	0 – 0.0682	-

ตารางที่ 3.6 เปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะในดินตัวอย่างจากพื้นที่ต่าง ๆ ที่ระดับความลึก 50 ซม. ในหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

โลหะ	อำเภอจักราช (A)	อำเภอเมือง (B)	อำเภอยะนิง (C)
Al	2.345 – 8.310	4.272 – 7.887	0 – 5.769
Si	36.13 – 45.43	36.50 – 40.43	37.95 – 44.96
P	0 – 0.0375	0 – 0.0312	-
K	0 – 0.1694	0 – 0.1901	-
Ca	0 – 0.1258	0 – 0.0482	-
Ti	0.2698 – 0.6355	0.3393 – 0.5306	0.3813 – 0.4658
Fe	0.6344 – 2.763	1.700 – 2.993	1.581 – 2.763
Cu	0 – 0.0178	0 – 0.0280	-
Zr	0.0536 – 0.1014	0.0612 – 0.0933	0.0662 – 0.0763
Hf	-	0 – 0.0600	-

ตารางที่ 3.7 เปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะในดินตัวอย่างจากพื้นที่ต่าง ๆ ที่ระดับความลึก 100 ซม. ในหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

โลหะ	อำเภอจักราช (A)	อำเภอเมือง (B)	อำเภอยางชุมน้อย (C)
Al	2.742 – 7.622	3.901 – 7.569	0 – 6.299
Si	36.69 – 42.81	36.92 – 41.32	38.75 – 44.40
P	0 – 0.0637	0.0188 – 0.0258	-
K	0 – 0.2997	0.1303 – 0.1909	-
Ca	0 – 0.1072	0.0375 – 0.0922	-
Ti	0.3135 – 0.6355	0.3591 – 0.5384	0.3813 – 0.5659
Fe	1.063 – 2.665	1.637 – 2.990	1.658 – 3.700
Cu	0 – 0.0166	0 – 0.0199	-
Zr	0.0509 – 0.0851	0.0674 – 0.1140	0.0632 – 0.0859
Hf	-	0 – 0.0701	-

เมื่อมองในภาพรวม ผลการวิเคราะห์โลหะหรือธาตุองค์ประกอบในดินชุดดินยโสธรจะสะท้อนส่วนประกอบของดินโดยทั่วไป กล่าวคือโลหะองค์ประกอบของดินจะเป็นสัดส่วนกับโลหะองค์ประกอบของเปลือกโลก เพราะดินก็ได้มาจากการผุพังของเปลือกโลกนั่นเอง ถ้าพิจารณาตามตารางที่ 3.8 ซึ่งเป็นข้อมูลบางส่วนของธาตุองค์ประกอบในดิน เปรียบเทียบกับธาตุองค์ประกอบของเปลือกโลก จะเห็นว่าในเปลือกโลกมีปริมาณ $Si > Al > Fe \sim Ca > K > Ti > P > Zr > Cu$ ซึ่งสอดคล้องกับค่ามัธยฐานของปริมาณโลหะที่พบในดิน ทั้งนี้ ค่ามัธยฐานดังกล่าวได้มาจากค่าเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ดินจากทั่วโลก (6)

ในตารางที่ 3.8 ได้แสดงค่ามัธยฐานของปริมาณโลหะที่ได้จากการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากพื้นที่ต่าง ๆ โดยไม่พิจารณาระดับความลึก แต่นำผลการวิเคราะห์ที่ได้ทั้งหมดมาเรียงลำดับเพื่อหาค่ามัธยฐาน เพื่อเปรียบเทียบกับดินโดยทั่วไปและเปรียบเทียบกับองค์ประกอบของเปลือกโลก ซึ่งจะเห็นว่าผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยให้แนวโน้มบางส่วนตรงกับดินโดยทั่วไป คือ $Si > Al > Fe > Ti > K > Zr > Ca > P > Cu$ และพบว่า P และ K ในชุดดินยโสธรมีปริมาณต่ำกว่าดินโดยทั่วไป เพราะดินในชุดดินยโสธรเป็นดินที่มีการชะล้างสูงและพัฒนามานานตามที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ธาตุประจวบทุกที่เป็นเบส คือ Ca ก็มีค่าต่ำเช่นกัน กรรณิการ์และคณะ (13) ได้ศึกษาดินแดงในประเทศไทย 21 ชุดดิน พบว่าในดินแดงมีปริมาณ P อยู่ในช่วง 0.0001 – 0.007% และมีปริมาณ K อยู่ใน

ช่วง 0.0004 – 0.03% โดยไม่ได้ระบุว่าเป็นซุดคินโคบียง ซึ่งก็มีค่าน้อยกว่าคินโคบียงโดยทั่วไปเช่นกัน ส่วนโลหะตัวอื่น ๆ นั้น พบว่าคินซุดคินโคบียงมีปริมาณ Al น้อยกว่าคินโคบียงเล็กน้อย แต่ Si กลับมากกว่าเล็กน้อย Ti, Fe ก็น้อยกว่าเช่นกัน ซึ่งปริมาณเหล็กที่มีอยู่ในดินนั้นจะมากหรือน้อย นอกจากจะขึ้นกับชนิดและวัตถุต้นกำเนิดแล้ว ยังขึ้นกับปัจจัยอื่น ๆ อีกด้วย โดยเฉพาะสภาพภูมิอากาศ (14) ส่วนปริมาณ Cu, Zr จะมากกว่าคินโคบียง โดยที่ สำหรับปริมาณโลหะที่อยู่ในความสนใจ คือ Fe, Ti และ Zr นั้น กล่าวได้ว่าในคินซุดคินโคบียงมีปริมาณ Fe อยู่ในปริมาณที่เรียกว่าเป็น major component (ส่วนประกอบที่เป็น major component คือส่วนประกอบที่มีปริมาณอยู่ในช่วง 1 – 100%) ส่วน Ti และ Zr มีอยู่ในระดับ minor component (ส่วนประกอบที่เป็น minor component คือส่วนประกอบที่มีปริมาณอยู่ในช่วง 0.01 – 1%) (15) ซึ่งถ้าต้องการจะสกัดโลหะทั้ง 3 ตัวนี้ออกมาน่าจะอยู่ในวิสัยที่กระทำได้

ตารางที่ 3.8 เปรียบเทียบปริมาณของธาตุที่วิเคราะห์ได้จากคินตัวอย่างกับปริมาณที่พบในดินโดยทั่วไป และปริมาณที่พบในเปลือกโลก ในหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

ธาตุ	ปริมาณในดินตัวอย่าง			ปริมาณในดินโดยทั่วไป		ปริมาณในเปลือกโลก (ค่าเฉลี่ย) (6)
	ค่ามัธยฐาน			(6)		
	พื้นที่ A	พื้นที่ B	พื้นที่ C	ค่ามัธยฐาน	ช่วงความเข้มข้น	
Al	5.981	5.981	5.023	7.1	1.0 – 30.0	8.2
Si	40.10	39.31	40.71	33.0	25.0 – 41.0	27.7
P	0.0302	0.0234	-	0.08	0.0035 – 0.53	0.10
K	0.1279	0.1719	-	1.4	0.0080 – 3.7	2.1
Ca	0.0667	0.0494	-	1.5	0.07 – 50.0	4.1
Ti	0.4209	0.4835	0.4197	0.50	0.05 – 2.5	0.56
Fe	1.798	2.133	2.035	4.0	0.2 – 55.0	4.1
Cu	0.0143	0.0167	-	0.0030	0.0002 – 0.025	0.0050
Zr	0.0704	0.0804	0.0702	0.04	0.006 – 0.2	0.019

3. ผลการทำ standard addition ในเทคนิค WDXRF

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการทำ standard addition จะเป็นวิธีการตรวจสอบผลการวิเคราะห์ว่าถูกต้องหรือไม่ได้ ในงานวิจัยได้ทำ standard addition โทหะ 2 ชนิด คือ Ti และ Fe กับสารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 2709 และดินตัวอย่าง 2 ตัวอย่าง คือ A21-3 และ C43-3 ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้

ผลการทำ standard addition SRM 2709

เติม TiO_2 0.0053 g → มี Ti	3.18 mg
Ti line intensity เมื่อไม่มีการเติม Ti	2.44
Ti line intensity เมื่อมีการเติม Ti	4.88
ปริมาณ Ti ที่คำนวณได้จากวิธีนี้	0.318%
ปริมาณ Ti ที่วัดได้โดยเทคนิค WDXRF	0.342%
ปริมาณ Ti ที่ระบุไว้ใน certificate	0.342%
เติม Fe_3O_4 0.0253 g → มี Fe	18.31 mg
Fe line intensity เมื่อไม่มีการเติม Fe	31.828
Fe line intensity เมื่อมีการเติม Fe	46.779
ปริมาณ Fe ที่คำนวณได้จากวิธีนี้	3.90%
ปริมาณ Fe ที่วัดได้โดยเทคนิค WDXRF	3.62%
ปริมาณ Fe ที่ระบุไว้ใน certificate	3.50%

ผลการทำ standard addition ตัวอย่างดิน A21-3

เติม TiO_2 0.0053 g → มี Ti	3.18 mg
Ti line intensity เมื่อไม่มีการเติม Ti	2.7463
Ti line intensity เมื่อมีการเติม Ti	5.3520
ปริมาณ Ti ที่คำนวณได้จากวิธีนี้	0.335%
ปริมาณ Ti ที่วัดได้โดยเทคนิค WDXRF	0.373%
เติม Fe_3O_4 0.0246 g → มี Fe	17.80 mg
Fe line intensity เมื่อไม่มีการเติม Fe	10.996
Fe line intensity เมื่อมีการเติม Fe	26.349
ปริมาณ Fe ที่คำนวณได้จากวิธีนี้	1.28%
ปริมาณ Fe ที่วัดได้โดยเทคนิค WDXRF	1.20%

ผลการทำ standard addition ตัวอย่างดิน C43-3

เติม TiO_2 0.0104 g → มี Ti	6.23 mg
Ti line intensity เมื่อไม่มีการเติม Ti	3.7483
Ti line intensity เมื่อมีการเติม Ti	8.5744
ปริมาณ Ti ที่คำนวณได้จากวิธีนี้	0.484%
ปริมาณ Ti ที่วัดได้โดยเทคนิค WDXRF	0.468%
เติม Fe_3O_4 0.0248 g → มี Fe	17.95 mg
Fe line intensity เมื่อไม่มีการเติม Fe	27.823
Fe line intensity เมื่อมีการเติม Fe	42.921
ปริมาณ Fe ที่คำนวณได้จากวิธีนี้	3.31%
ปริมาณ Fe ที่วัดได้โดยเทคนิค WDXRF	2.89%

การนำสารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 2709 มาทำ standard addition เพื่อคำนวณหาปริมาณโลหะที่สนใจเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นที่ระบุไว้ใน certificate จะเป็นการทดสอบได้อีกแบบหนึ่งว่า ผลการวิเคราะห์ถูกต้องมากน้อยเพียงใด จากผลการเติม Ti และ Fe ลงใน SRM 2709 แล้วคำนวณปริมาณ Ti และ Fe ที่มีอยู่ใน SRM 2709 พบว่าปริมาณ Ti ที่หาได้แตกต่างกันน้อยกว่า 10% ในขณะที่ปริมาณความแตกต่างของ Fe มากกว่านั้น แต่ก็ยังน้อยกว่า 15% การทำ standard addition กับดินตัวอย่าง 2 ตัวอย่าง ก็ได้ผลในทำนองเดียวกัน ทั้งนี้ ในกรณีของดินตัวอย่างเป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่หาได้จากการทำ standard addition กับค่าที่หาได้จากการวัดเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ตามปกติ การที่ปริมาณ Ti ได้ใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณ Fe แตกต่างกันมากกว่านั้นเป็นเพราะมีการเติม Fe ลงไปในปริมาณที่ไม่เหมาะสม คือมากเกินไป ซึ่งมีผลมากต่อ interelement effect แต่เนื่องจากว่า หลังจากการทำ standard addition นี้แล้ว อุปกรณ์ Fluxer-Bis เกิดชำรุด ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองใหม่เพื่อให้ได้ค่าที่ดีกว่านี้ได้ อย่างไรก็ตาม จากการที่การวิเคราะห์ที่ทำนี้เป็นแบบ semiquantitative ซึ่งจะให้ผลถูกต้องในช่วง 10–20% อยู่แล้ว ผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ น่าจะมีความถูกต้องยอมรับได้ในระดับหนึ่ง

4. ผลการวิเคราะห์ Fe, Ti และ Zr ด้วยเทคนิค NAA

ผลการวิเคราะห์โลหะที่สนใจเป็นพิเศษ ได้แก่ Fe, Ti และ Zr โดยเทคนิค NAA เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค WDXRF แสดงไว้ในตารางที่ 3.9 ผลส่วนใหญ่มีความคล่องจองกัน แต่ผลของบางตัวอย่างก็ไม่ตรงกันนัก ปัญหาอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NAA คือความไม่เป็นเนื้อเดียวกันอย่างแท้จริงของตัวอย่าง ในการวิเคราะห์ nuclide ที่มีอายุสั้น คือ Fe-59 กับ Zr-95 จะใช้ดินตัวอย่างเพียง 5 มิลลิกรัมเท่านั้น และ Ti-51 ใช้ดินตัวอย่าง 100 มิลลิกรัม ซึ่งตามปกติจะต้องมีการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของดินด้วย โดยการวิเคราะห์ดินตัวอย่างหลาย ๆ ส่วนของแต่ละตัวอย่าง แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้ว่าใกล้เคียงกันหรือไม่ แต่ในการทดลองมีโอกาสทดสอบเพียงตัวอย่างเดียว ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกัน และได้อนุมานว่าดินตัวอย่างอื่น ๆ จะมีความเป็นเนื้อเดียวกันด้วย ซึ่งอาจจะไม่ถูกต้องนัก นอกจากปัญหาเกี่ยวกับความไม่เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว neutron flux และ sample geometry ก็มีผลต่อการวิเคราะห์เช่นกัน สำหรับผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างด้วยเทคนิค NAA นี้ อาจเป็นเพียงข้อมูลประกอบอีกส่วนหนึ่งเท่านั้น

ตารางที่ 3.9 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณ Fe, Ti, Zr ด้วยเทคนิค WDXRF และ NAA

ตัวอย่าง	%Fe		%Zr		%Ti	
	NAA	WDXRF	NAA	WDXRF	NAA	WDXRF
A11-1	-	-	-	-	-	-
A12-1	0.2851	0.8323	0.0115	0.0536	0.2143	0.2854
A13-1	0.6813	1.063	0.0411	0.0509	0.3456	0.3135
A11-2	0.4484	0.4784	0.0481	0.0588	0.2414	0.2416
A12-2	0.5134	0.6344	0.0239	0.0622	0.3545	0.2698
A13-2	1.3920	1.378	0.0451	0.0524	0.4499	0.3603
A11-3	0.6654	0.7484	0.0782	0.0617	0.0252	0.2812
A12-3	1.0380	1.098	0.0572	0.0593	0.3675	0.3621
A13-3	1.1630	1.161	0.0721	0.0577	0.4478	0.3459
A21-1	0.7262	0.7973	0.1208	0.0940	0.3184	0.3051
A22-1	0.6496	1.133	0.0668	0.1014	0.4428	0.3411
A23-1	1.6130	1.798	0.0775	0.0851	0.3744	0.4065

ตารางที่ 3.9 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณ Fe, Ti, Zr ด้วยเทคนิค WDXRF และ NAA (ต่อ)

ตัวอย่าง	%Fe		%Zr		%Ti	
	NAA	WDXRF	NAA	WDXRF	NAA	WDXRF
A21-2	2.1600	2.196	0.0694	0.0692	0.5522	0.4364
A22-2	2.0930	2.119	0.1129	0.0770	0.3597	0.4352
A23-2	1.2470	2.119	0.0131	0.0763	0.4903	0.4448
A21-3	0.9904	1.196	0.0572	0.0777	0.3401	0.3729
A22-3	1.7520	2.301	0.0684	0.0717	0.5214	0.5132
A23-3	2.4090	2.567	0.0913	0.0704	0.6824	0.5503
A31-1	2.0169	2.133	0.0665	0.0671	0.5148	0.5713
A32-1	2.5380	2.763	0.0893	0.0674	0.4630	0.6295
A33-1	2.2110	2.553	0.0572	0.0708	0.1009	0.5773
A31-2	1.5880	1.630	0.0649	0.0730	0.5852	0.4844
A32-2	2.4320	2.630	0.0857	0.0675	0.4770	0.6355
A33-2	2.2380	2.483	0.0977	0.0748	0.6204	0.6355
A31-3	2.0290	2.161	0.0768	0.0748	0.6287	0.5312
A32-3	2.5550	2.749	0.0269	0.0785	0.4604	0.6235
A33-3	2.4630	2.665	0.1148	0.0844	0.5328	0.6355
B11	2.7750	3.553	0.0913	0.0740	0.6260	0.5995
B12	2.5630	2.861	0.0704	0.0612	0.4122	0.5024
B13	2.6330	2.990	0.0239	0.0859	0.4413	0.5384
B21	2.3110	2.455	0.0155	0.0686	0.3779	0.4826
B22	2.2880	2.462	0.0249	0.0748	0.5466	0.4844
B23	2.4600	2.630	0.0300	0.0674	0.4477	0.5036
B31	1.9120	1.986	0.0997	0.0844	0.3160	0.3897
B32	1.7360	1.735	0.1046	0.0933	0.3584	0.3693
B33	1.6620	1.637	0.1477	0.1140	0.4285	0.3831

ตารางที่ 3.9 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณ Fe, Ti, Zr ด้วยเทคนิค WDXRF และ NAA (ต่อ)

ตัวอย่าง	%Fe		%Zr		%Ti	
	NAA	WDXRF	NAA	WDXRF	NAA	WDXRF
B41	1.9950	1.923	0.0813	0.0800	0.4495	0.4023
B42	0.8967	2.993	0.0381	0.0874	0.4387	0.4976
B43	2.4920	2.742	0.0704	0.0933	0.3777	0.4940
B51	1.2320	1.252	0.0999	0.0748	0.4593	0.4640
B52	1.4670	1.700	0.0209	0.0676	0.7096	0.5306
B53	1.0000	1.763	0.0453	0.0700	0.4468	0.5342
B61	1.9440	2.133	0.0690	0.0807	0.7823	0.3339
B62	1.7070	1.916	0.0730	0.0837	0.2728	0.3393
B63	1.7570	1.986	0.0369	0.0829	0.4027	0.3591
C11-1	1.3840	1.497	0.0884	0.0730	0.3611	0.3669
C12-1	2.0930	2.196	0.0809	0.0680	0.3184	0.4304
C13-1	2.0810	2.182	0.0821	0.0658	0.4202	0.4065
C11-2	1.4930	1.700	0.0446	0.0683	0.2772	0.3861
C12-2	2.0870	2.322	0.0812	0.0720	0.4273	0.4113
C13-2	1.9780	2.140	0.0870	0.0678	0.3118	0.3950
C11-3	1.8640	1.937	0.0788	0.0671	0.3584	0.3861
C12-3	2.4480	2.623	0.0604	0.0718	0.3343	0.4616
C13-3	0.7912	3.133	0.0680	0.0859	0.4000	0.5515
C21-1	0.1377	0.9931	0.0751	0.0785	0.3015	0.3519
C22-1	1.6680	1.763	0.0632	0.0694	0.4125	0.4400
C23-1	1.6910	1.825	0.0549	0.0695	0.3434	0.4173
C21-2	1.7600	2.070	0.0212	0.0777	0.4076	0.4364
C22-2	1.6030	1.860	0.0053	0.0763	0.3412	0.4310
C23-2	1.6510	1.658	0.0458	0.0737	0.3231	0.4017

ตารางที่ 3.9 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณ Fe, Ti, Zr ด้วยเทคนิค WDXRF และ NAA (ต่อ)

ตัวอย่าง	%Fe		%Zr		%Ti	
	NAA	WDXRF	NAA	WDXRF	NAA	WDXRF
C21-3	2.1090	1.441	0.0473	0.0731	0.5487	0.3711
C22-3	1.2709	2.210	0.0550	0.0677	0.3687	0.4226
C23-3	2.0590	2.672	0.0511	0.0748	0.3483	0.5144
C31-1	1.2970	1.350	0.0806	0.0770	0.3067	0.3531
C32-1	2.4770	2.469	0.0659	0.0703	0.3704	0.4334
C33-1	2.7560	3.700	0.0585	0.0777	0.3822	0.5659
C31-2	8.5940	0.9792	0.0895	0.0814	0.2763	0.3261
C32-2	2.1710	2.399	0.0559	0.0664	0.3941	0.4658
C33-2	1.8870	1.972	0.0623	0.0837	0.4030	0.4226
C31-3	1.3160	1.427	0.0689	0.0702	0.2941	0.3777
C32-3	1.4990	1.581	0.0567	0.0691	0.3057	0.3939
C33-3	1.7910	1.965	0.0981	0.0725	0.3368	0.4286
C41-1	2.0230	2.413	0.0159	0.0668	0.5391	0.4388
C42-1	2.0450	2.392	0.0307	0.0699	0.3239	0.4370
C43-1	1.9890	2.000	0.0633	0.0632	0.3424	0.3813
C41-2	1.4220	1.637	0.0529	0.0720	0.2888	0.3783
C42-2	2.2540	2.763	0.0079	0.0677	0.3472	0.4646
C43-2	2.3540	2.350	0.0237	0.0638	0.3411	0.4220
C41-3	1.4310	1.490	0.0682	0.0777	0.3174	0.3417
C42-3	2.0740	2.203	0.0224	0.0662	0.2399	0.4125
C43-3	2.6230	2.889	0.0335	0.0648	0.4015	0.4682
SRM 2709	3.4090	3.62	0.1830	0.0152	0.3847	0.352

หมายเหตุ มีความผิดพลาดในการเตรียมตัวอย่าง A11-1 ทำให้ข้อมูลไม่ถูกต้อง และไม่ได้รายงานไว้ในตาราง

บทที่ 4

บทสรุป

1. สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากดินในหลายพื้นที่ของจังหวัดนครราชสีมาที่มีสีแดงเข้มสะดูดตา ทำให้สนใจที่จะศึกษาว่าในดินแดงนั้นมีโลหะอะไรเป็นองค์ประกอบอยู่บ้าง โดยเฉพาะเหล็กซึ่งเป็นตัวที่ทำให้ดินมีสีแดง ถึงแม้ว่าชุดดินที่มีสีแดงจะมีอยู่หลายชุดดิน แต่ดินในชุดดินยโสธรจะมีสีแดงเข้มมากที่สุด จึงได้เลือกดินชุดยโสธรเป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ และในช่วงเดือนมกราคม - มีนาคม ค.ศ. 1999 ได้ทุนจาก IAEA ไปฝึกอบรมทางด้าน Analytical Nuclear Chemistry ที่ KAERI สาธารณรัฐเกาหลี จึงได้นำตัวอย่างดิน 81 ตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค WDXRF ทั้งนี้ได้เตรียมตัวอย่างแบบ Fused bead โดยใช้ $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ เป็น fluxing agent โดยวิเคราะห์ดินตัวอย่างเปรียบเทียบกับสารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 2709 San Joaquin Soil ของ NIST

ตัวอย่างดินที่เก็บมานั้น เก็บมาจากบริเวณที่มีดินในชุดดินยโสธร 3 พื้นที่ คือ พื้นที่ A อำเภอจักราช จาก 3 จุดเก็บคือ บ้านโสง บ้านหนองยางและบ้านหนองบัวโคก พื้นที่ B อำเภอเมือง จาก 6 จุดเก็บคือ ในสวนสัตว์นครราชสีมา หน้าสวนสัตว์นครราชสีมา บ้านภูเขาทอง 2 จุด บ้านหนองปลิง และบริเวณทางออกประตู 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พื้นที่ C อำเภอพิมาย จาก 4 จุดเก็บบริเวณบ้านนิคมสร้างตนเอง โดยเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 25, 50 และ 100 ซม.

ผลการวิเคราะห์โลหะองค์ประกอบของดินโดยเทคนิค WDXRF มีดังนี้ ดินตัวอย่างจากพื้นที่ A มีโลหะ 30 ชนิด คือ Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Zr, Nb, Mo, Re, Pr, Nd, Sm, Eu, Ho, Yb, Hf, Pb, Bi, Th แต่โลหะที่พบในตัวอย่างดินอย่างน้อย 50% ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด หรือพบในตัวอย่างดินอย่างน้อย 13 ตัวอย่างจาก 27 ตัวอย่าง มีเพียง 9 ชนิด คือ Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, Cu, Zr แต่โลหะที่จะให้ความสนใจมากที่สุดคือเหล็ก ซึ่งเป็นตัวทำให้ดินมีสีแดงตามที่ได้กล่าวมาแล้ว โลหะอีก 2 ชนิดที่จะให้ความสนใจเป็นพิเศษ คือ Ti และ Zr เพราะนอกจากจะเป็นโลหะที่พบในตัวอย่างดินทุกตัวอย่างเช่นเดียวกับเหล็กแล้ว ยังเป็นโลหะที่มีค่าทางเศรษฐกิจอีกด้วย ในพื้นที่ A พบว่าที่ระดับความลึก 25, 50, 100 ซม. มีเหล็กอยู่ 0.4784 - 2.196%, 0.6344 - 2.763%, 1.063 - 2.665% ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่จะมีเหล็กมากขึ้นเล็กน้อยตามระดับความลึก ส่วน Ti ที่ระดับความลึก 25, 50, 100 ซม. มีดังนี้ 0.2416 - 0.5713%, 0.2698 - 0.6355%, 0.3135 - 0.6355% และ Zr ที่ระดับความลึกเดียวกันมีปริมาณ 0.0558 - 0.0940%, 0.0536 - 0.1014% และ 0.0509 - 0.0851% ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณ Ti และ Zr ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ค่อนข้างจะคงที่

ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากพื้นที่ B พบว่ามีโลหะ 25 ชนิด คือ Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Ga, Zr, Nb, Mo, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Hf, Pb, Th และที่พบอย่างน้อยในดินตัวอย่างจำนวน 50% ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด หรือพบในตัวอย่างดินอย่างน้อย 9 ตัวอย่างจาก 18 ตัวอย่าง มี 10 ชนิด คือ Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, Cu, Zr, Hf และที่ระดับความลึก 25, 50, 100 ซม. มีปริมาณของโลหะที่สนใจดังนี้ Fe : 1.252 – 3.553%, 1.700 – 2.993%, 1.637 – 2.990%, Ti : 0.3339 – 0.5995%, 0.3393 – 0.5306%, 0.3591 – 0.5384%, Zr : 0.0686 – 0.0844%, 0.0612 – 0.0933%, 0.0674 – 0.1140% สำหรับตัวอย่างดินจากพื้นที่ B นี้ปริมาณโลหะที่พบไม่ขึ้นกับระดับความลึก

ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากพื้นที่ C พบโลหะ 37 ชนิด คือ Na, Al, Si, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Te, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Sb, Re, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Tb, Ho, Er, Yb, Lu, Hf, Pb, Bi, Th แต่ที่พบในตัวอย่างดินอย่างน้อย 50% ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด หรือพบในตัวอย่างดิน 18 ตัวอย่างจาก 36 ตัวอย่างมี 5 ชนิด คือ Al, Si, Ti, Fe, Zr ปริมาณของ Fe, Ti และ Zr ที่ระดับความลึก 25, 50, 100 ซม. มีดังนี้ Fe : 0.9792 – 2.413%, 1.581 – 2.763%, 1.658 – 3.700%, Ti : 0.3261 – 0.4616%, 0.3813 – 0.4658%, 0.3813 – 0.5659%, Zr : 0.0668 – 0.0814%, 0.0662 – 0.0763%, 0.0632 – 0.0859% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเหล็กจะมีปริมาณมากขึ้นตามความลึก แต่ปริมาณของ Ti, Zr ไม่ขึ้นกับระดับความลึกของดิน เหมือนกับตัวอย่างดินจากพื้นที่ A

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะจากพื้นที่ต่าง ๆ จะพบว่าไม่แตกต่างกันมากนัก และปริมาณโลหะที่พบในดินเมื่อมองในภาพรวมจะสะท้อนปริมาณโลหะที่พบในเปลือกโลก ทั้งนี้ก็เพราะดินเกิดจากการผุพังของเปลือกโลก อย่างไรก็ตาม ดินในดินชุดยโสธรมีปริมาณ Fe โดยเฉลี่ยน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของ Fe ที่มีอยู่ในดินโดยทั่วไป ส่วน Ti มีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ Zr ในดินชุดดินยโสธร มีค่ามากกว่าที่พบในดินโดยทั่วไป และโดยเฉลี่ยแล้ว พื้นที่ A มีปริมาณ Fe 1.798%, Ti 0.4209%, Zr 0.0704% พื้นที่ B มีปริมาณ Fe 2.133%, Ti 0.4835%, Zr 0.0804% พื้นที่ C มีปริมาณ Fe 2.035%, Ti 0.4197%, Zr 0.0702% สรุปได้ว่าดินในชุดดินยโสธรมี Fe ในระดับเป็นองค์ประกอบหลัก (major component) และมี Ti, Zr ในระดับเป็นองค์ประกอบรอง (minor component)

นอกจากการใช้เทคนิค WDXRF ในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะในตัวอย่างดินแล้ว ยังมีโอกาสได้ลองใช้เทคนิค NAA ในการวิเคราะห์ปริมาณ Fe, Ti, Zr ในดินตัวอย่างด้วย ซึ่งผลการทดลองส่วนใหญ่คล้อยจองกับผลที่ได้จากเทคนิค WDXRF

2. ข้อเสนอแนะ

ตามที่พบว่าดินในชุดดินยโสธรมี Fe อยู่ในระดับเป็นองค์ประกอบหลัก และมี Ti, Zr อยู่ในระดับเป็นองค์ประกอบรอง นั่นคือมีอยู่มากพอที่จะหาวิธีที่เหมาะสมสกัดโลหะเหล่านี้ออกมาได้ โดยเฉพาะ Ti และ Zr ซึ่งเป็นโลหะที่มีคุณค่ามาก สามารถนำไปประยุกต์ในงานด้านต่าง ๆ ได้มากมาย ดังจะยกตัวอย่างในกรณีของ Ti ดังนี้

- Application of titanium dioxide photocatalysis to create self-cleaning building materials.
- Application of Ti orthopedic implants.
- Application of Titanium-clad steel plates in bridge piers of the Trans-Tokyo Bay Highway.
- Application of Titanium alloys in military platforms.
- Application of Ti alloys in bike parts, dental implants, automobile parts.
- Application of Ti in brewing and food industry equipment.

และในกรณีของ Zr ก็นำมาประยุกต์ในด้านต่าง ๆ ได้เช่นกัน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

- Application of ZrO_2 analyzers for trace oxygen measurements.
- Application of ZrO_2 as part of catalyst systems, as a carrier or a support.
- Application of Zirconium based products in adhesives, antiperspirants, printing inks, oil industry, paint, pigment coating, metal treatment, water proofing, flame proofing.
- Application of ZrO_2 in technical ceramics.

ที่ยกตัวอย่างมายังเป็นตัวอย่างเพียงส่วนน้อยเท่านั้นสำหรับการประยุกต์ Ti และ Zr ดังนั้นถ้าสามารถหาวิธีสกัดเอาโลหะทั้งสองออกมาจากดินได้ จะมีประโยชน์มากเพราะดินเป็นทรัพยากรที่มีอยู่ค่อนข้างจะไม่จำกัด ถ้าทำได้จะเป็นจุดเริ่มต้นของการนำเอา Ti และ Zr มาใช้ประโยชน์

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

1. เอิบ เขียวรัตน์ (2533) ดินของประเทศไทย : ลักษณะ การแจกกระจายและการใช้ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน เล่ม 2, ดินบนที่ดอน (2541), กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
3. คู่มือการวินิจฉัยคุณภาพดินสำหรับประเทศไทยปี 1973, กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
4. Ivano Bertini, Harry B. Gray, Stephen J. Lippard, Joan Selverstone Valentine (1994) **Bioinorganic Chemistry**, University Science Books, California, USA.
5. J. Rose ed., (1983), **Trace Elements in Health ; A review of current issues**, Butterworth, London.
6. Donal L. Sparks (1995), **Environmental Soil Chemistry**, Academic Press, USA.
7. Ron Jenkins, R.W. Gould, Dale Gedcke (1995), **Quantitative x-ray Spectrometry**, Second Edition, Marcel Dekker, Inc, USA.
8. Clive Whiston (1991), **X-ray Methods ; Analytical Chemistry by Open Learning**, John Wiley & Sons, Singapore.
9. C. Vandecasteele, C.B. Block (1993), **Modern Methods for Trace Element Determination**, John Wiley & Sons, England.
10. Gary D. Christian, James E. O' Reilly (1986) **Instrumental Analysis**, Second Edition, Allyn and Bacon, Inc. USA.
11. Gerhart Friedlander, Joseph W. Kennedy, Edward S. Macias, Julian Malcolm Miller (1981) **Nuclear and Radiochemistry**, third edition, John Wiley & Sons, USA.
12. D. Barcelo ed., (1996) **Environmental Analysis ; Techniques, applications and quality assurance**, Elsevier, The Netherlands.
13. กรรณิการ์ อยู่ทองและคณะ [Http://www.ddd.go.th/ab-sw27-42/chem/abs1-24.html](http://www.ddd.go.th/ab-sw27-42/chem/abs1-24.html)
14. กรรณิการ์ อยู่ทองและคณะ [Http://www.ddd.go.th/ab-sw27-42/chem/abs1-56.html](http://www.ddd.go.th/ab-sw27-42/chem/abs1-56.html)
15. Judith F. Rubinson, Kenneth A. Pubinson (1998). **Contemporary Chemical Analysis**, International edition, Prentice-Hall, Inc, USA.

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1 ส่วนประกอบของ SRM 2709 ตาม Certificate

Element	Concentration Weight %	Element	Concentration µg/g
Aluminium	7.5 ± 0.06	Antimony	7.9 ± 0.6
Calcium	1.89 ± 0.05	Arsenic	17.7 ± 0.8
Iron	3.50 ± 0.11	Barium	968 ± 40
Magnesium	1.51 ± 0.05	Cadmium	0.38 ± 0.01
Phosphorus	0.062 ± 0.005	Chromium	130 ± 4
Potassium	2.03 ± 0.06	Cobalt	13.4 ± 0.7
Silicon	29.66 ± 0.23	Copper	34.6 ± 0.7
Sodium	1.16 ± 0.03	Lead	18.9 ± 0.5
Sulfur	0.089 ± 0.002	Manganese	538 ± 17
Titanium	0.342 ± 0.024	Mercury	1.40 ± 0.08
		Nickel	88 ± 5
		Selenium	1.57 ± 0.08
		Silver	0.41 ± 0.03
		Strontium	231 ± 2
		Thallium	0.74 ± 0.05
		Vanadium	112 ± 5
		Zinc	106 ± 3

ภาคผนวกที่ 2 ส่วนประกอบของ SRM 2704 ตาม Certificate

Element	Concentration Weight %	Element	Concentration µg/g
Aluminium	6.11 ± 0.16	Antimony	3.79 ± 0.15
Calcium	2.60 ± 0.03	Arsenic	23.4 ± 0.8
Carbon	3.348 ± 0.016	Barium	414 ± 12
Iron	4.11 ± 0.10	Cadmium	3.45 ± 0.22
Magnesium	1.20 ± 0.02	Chromium	135 ± 5
Phosphorus	0.0998 ± 0.0028	Cobalt	14.0 ± 0.6
Potassium	2.00 ± 0.04	Copper	98.6 ± 5.0
Silicon	29.08 ± 0.13	Lead	161 ± 17
Sodium	0.547 ± 0.014	Lithium	47.5 ± 4.1
Sulfer	0.397 ± 0.004	Manganese	555 ± 19
Titanium	0.457 ± 0.018	Mercury	1.47 ± 0.07
		Nickel	44.1 ± 3.0
		Selenium	1.12 ± 0.05
		Thallium	1.06 ± 0.07
		Uranium	3.13 ± 0.13
		Vanadium	95 ± 4
		Zinc	438 ± 12

ภาคผนวกที่ 3 ส่วนประกอบของ SRM 98b ตาม Certificate

Element	Concentration Weight %
Aluminium	14.30 ± 0.20
Calcium	0.0759 ± 0.0035
Chromium	0.0119 ± 0.0005
Iron	1.18 ± 0.01
Lithium	0.0215 ± 0.0003
Magnesium	0.358 ± 0.012
Manganese	0.0116 ± 0.0005
Potassium	2.81 ± 0.07
Silicon	26.65 ± 0.16
Sodium	0.1496 ± 0.0066
Strontium	0.0189 ± 0.0008
Titanium	0.809 ± 0.012

ภาคผนวกที่ 4 ส่วนประกอบของ SRM 600 ตาม Certificate

Element	Concentration Weight %
Aluminium	21.17
Calcium	0.16
Chromium	0.02
Iron	11.89
Magnesium	0.03
Manganese	0.01
Phosphorous	0.01
Potassium	0.19
Silicon	9.49
Sodium	0.02
Sulfur	0.06
Titanium	0.79
Zirconium	0.04
Zinc	0.002

ภาคผนวกที่ 5 ส่วนประกอบของ SRM 679 ตาม Certificate

Element	Concentration Weight %	Element	Concentration µg/g
Aluminium	11.01	Chromium	109.7
Barium	0.0432	Lithium	71.7
Calcium	0.1628	Strontium	73.4
Iron	9.05		
Magnesium	0.7552		
Phosphorous	0.075		
Potassium	2.433		
Silicon	24.34		
Sodium	0.1304		
Titanium	0.577		

ภาคผนวกที่ 6 ส่วนประกอบของ SRM 688 ตาม Certificate

Element	Concentration Weight %	Element	Concentration µg/g
Aluminium	9.19 ± 0.05	Chromium	332 ± 9
Iron	724 ± 0.03	Lead	3.3 ± 0.2
Manganese	0.129 ± 0.002	Rubidium	1.91 ± 0.01
Phosphorous	0.111 ± 0.002	Strontium	169.2 ± 0.7
Potassium	0.155 ± 0.007	Thorium	0.33 ± 0.02
Silicon	22.62 ± 0.05		
Sodium	1.60 ± 0.02		
Titanium	0.70 ± 0.006		

ภาคผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ A แสดงในรูปของโลหะออกไซด์ ในหน่วยความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์

ตัวอย่าง	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	V ₂ O ₅	MnO	Fe ₂ O ₃
A11-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A12-1	-	-	4.43	93.2	0.105	-	0.0922	0.476	-	0.0640	1.19
A13-1	0.647	-	5.18	91.2	0.0907	-	0.0802	0.523	-	-	1.52
A11-2	-	-	2.38	95.9	-	-	0.0907	0.403	-	-	0.684
A12-2	-	-	2.85	94.6	-	0.204	0.0439	0.450	-	-	0.907
A13-2	0.538	-	7.09	88.9	0.103	0.361	0.0632	0.601	-	-	1.97
A11-3	-	-	-	97.7	-	0.127	0.102	0.469	-	-	1.07
A12-3	-	-	-	97.2	-	0.167	0.0867	0.604	-	-	1.57
A13-3	-	-	6.28	90.6	0.110	0.163	-	0.577	-	-	1.66
A21-1	-	-	-	97.1	-	0.114	0.0674	0.509	-	-	1.14
A22-1	-	-	4.99	92.0	0.142	0.154	0.0772	0.569	-	-	1.62
A23-1	-	-	7.17	88.7	0.179	0.198	0.0573	0.678	-	-	2.57
A21-2	0.830	0.278	11.3	83.1	0.115	-	0.123	0.728	-	-	3.14
A22-2	0.951	0.266	10.6	83.9	-	-	0.0911	0.726	-	0.0631	3.03
A23-2	-	0.233	11.0	84.3	0.0984	0.199	0.0945	0.742	-	-	3.03
A21-3	-	-	-	97.0	-	0.116	0.226	0.622	-	-	1.71
A22-3	-	-	12.8	82.6	-	-	-	0.856	-	-	3.29
A23-3	-	-	14.1	80.1	-	-	0.0755	0.918	0.381	-	3.67
A31-1	-	-	12.3	82.2	0.155	-	0.125	0.953	-	0.0875	3.05
A32-1	0.783	-	15.1	77.3	0.143	-	0.0970	1.05	-	0.0431	3.95
A33-1	-	-	14.2	79.7	0.109	0.130	0.0639	0.963	-	-	3.65
A31-2	-	-	9.92	85.8	0.113	-	0.0989	0.808	-	-	2.33
A32-2	-	-	15.0	79.4	0.121	0.121	0.129	1.06	-	-	3.76
A33-2	0.584	-	12.7	81.4	-	-	0.0980	1.06	-	-	3.55
A31-3	-	-	11.4	83.9	-	-	0.205	0.886	-	0.114	3.09
A32-3	-	-	15.7	77.7	-	-	0.176	1.04	-	-	3.93
A33-3	0.558	-	14.4	78.5	0.243	-	0.150	1.06	-	0.140	3.81

หมายเหตุ มีความผิดพลาดในการเตรียมตัวอย่าง A11-1 ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่ถูกต้องและไม่ได้รายงานไว้ในตาราง

ภาคผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ A (ต่อ)

ตัวอย่าง	NiO	CuO	ZnO	Ga ₂ O ₃	As ₂ O ₃	ZrO ₂	Nb ₂ O ₅	MoO ₃	ReO ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃
A11-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A12-1	-	0.0155	-	-	-	0.0724	-	-	-	-	-
A13-1	-	0.0185	-	-	-	0.0688	-	-	-	-	-
A11-2	-	0.0138	-	-	0.0359	0.0794	-	-	-	-	-
A12-2	-	-	-	-	-	0.0840	-	0.0211	-	-	0.572
A13-2	-	0.0185	-	-	-	0.0708	-	-	-	-	-
A11-3	0.0204	-	-	-	-	0.0834	-	0.0209	-	-	-
A12-3	-	-	-	-	0.0406	0.0801	-	-	-	-	-
A13-3	-	0.0183	-	-	-	0.0779	-	-	-	-	-
A21-1	-	-	-	-	-	0.127	-	-	-	0.702	-
A22-1	-	-	-	-	-	0.137	-	0.0200	-	-	-
A23-1	-	0.0175	-	-	-	0.115	-	-	-	-	-
A21-2	-	-	-	-	-	0.0935	-	-	-	-	-
A22-2	0.0213	-	-	0.0100	-	0.104	-	-	-	-	-
A23-2	-	0.0182	-	-	-	0.103	0.0101	-	-	-	-
A21-3	-	0.0160	-	-	-	0.105	-	-	-	-	-
A22-3	0.0487	-	-	-	-	0.0968	-	-	0.0834	-	-
A23-3	-	0.0208	-	-	-	0.0951	-	-	-	-	-
A31-1	-	0.0195	-	-	-	0.0907	-	-	-	0.720	-
A32-1	-	-	-	-	-	0.0910	0.0109	-	-	0.761	-
A33-1	-	-	-	-	-	0.0957	-	-	-	0.711	-
A31-2	-	0.0134	-	-	-	0.0986	-	-	-	-	0.505
A32-2	-	0.0223	-	0.0108	-	0.0912	-	-	-	-	-
A33-2	-	-	-	-	-	0.101	-	-	-	-	-
A31-3	-	-	0.0132	-	-	0.101	-	0.0223	0.025	-	-
A32-3	-	-	-	-	-	0.106	-	-	-	-	0.888
A33-3	-	-	-	-	-	0.114	-	-	-	-	0.867

หมายเหตุ มีความผิดพลาดในการเตรียมตัวอย่าง A11-1 ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่ถูกต้องและไม่ได้รายงานไว้ในตาราง

ภาคผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ A (ต่อ) ...

ตัวอย่าง	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	HfO ₂	PbO ₂	Bi ₂ O ₃	ThO ₂	%LOI
A11-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A12-1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.84
A13-1	-	-	-	-	-	0.0204	-	-	0.83
A11-2	-	-	-	-	-	-	-	-	1.33
A12-2	-	-	-	-	-	-	-	-	1.70
A13-2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.97
A11-3	-	-	-	-	0.0520	-	-	0.0121	0.87
A12-3	-	-	-	-	-	0.0184	-	-	1.02
A13-3	-	-	-	-	-	-	-	0.0119	0.97
A21-1	-	-	-	-	-	-	-	0.0128	0.76
A22-1	-	-	-	-	0.0834	-	-	-	0.93
A23-1	-	-	-	-	0.0700	-	0.0133	-	1.63
A21-2	-	-	-	-	-	0.0186	-	0.0140	1.94
A22-2	-	-	-	-	-	0.0175	-	-	1.91
A23-2	-	-	-	-	-	-	-	-	1.89
A21-3	-	-	-	-	0.0556	-	-	-	1.05
A22-3	-	-	-	-	-	0.0168	-	-	1.42
A23-3	-	0.134	-	-	-	0.0179	-	-	1.81
A31-1	-	-	-	-	-	-	-	-	2.02
A32-1	0.323	-	-	-	-	0.0214	-	-	3.12
A33-1	-	-	-	-	-	0.0159	-	-	1.63
A31-2	-	-	-	-	-	0.0172	-	-	1.23
A32-2	-	-	-	-	0.0543	0.0208	-	-	1.73
A33-2	-	-	-	-	0.103	-	-	-	2.27
A31-3	-	-	-	-	-	-	-	-	1.83
A32-3	-	-	0.144	0.0967	-	-	-	-	1.48
A33-3	-	-	-	-	-	0.0162	-	-	1.68

หมายเหตุ มีความผิดพลาดในการเตรียมตัวอย่าง A11-1 ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่ถูกต้องและไม่ได้อ้างอิงไว้ในตาราง

ภาคผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ A แสดงในรูปของโลหะ ในหน่วยความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์

ตัวอย่าง	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	V	Mn	Fe
A11-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A12-1	-	-	2.345	43.56	0.0275	-	0.0659	0.2854	-	0.0496	0.8323
A13-1	0.4800	-	2.742	42.81	0.0238	-	0.0573	0.3135	-	-	1.063
A11-2	-	-	1.260	44.82	-	-	0.0648	0.2416	-	-	0.4784
A12-2	-	-	5.296	44.22	-	0.1694	0.0314	0.2698	-	-	0.6344
A13-2	0.3991	-	3.753	41.55	0.0270	0.2997	0.0452	0.3603	-	-	1.378
A11-3	-	-	-	45.67	-	0.1054	0.0729	0.2812	-	-	0.7484
A12-3	-	-	-	45.43	-	0.1386	0.0620	0.3621	-	-	1.098
A13-3	-	-	3.324	42.35	0.0289	0.1353	-	0.3459	-	-	1.161
A21-1	-	-	-	45.38	-	0.0946	0.0482	0.3051	-	-	0.7973
A22-1	-	-	2.641	43.00	0.0372	0.1279	0.0552	0.3411	-	-	0.133
A23-1	-	-	3.795	41.46	0.0470	0.1644	0.0410	0.4065	-	-	1.798
A21-2	0.6158	0.1677	5.981	38.84	0.0302	-	0.0879	0.4364	-	-	2.196
A22-2	0.7055	0.1604	5.611	39.21	-	-	0.0651	0.4352	-	0.0489	2.119
A23-2	-	0.1405	5.822	39.40	0.0258	0.1652	0.0675	0.4448	-	-	2.119
A21-3	-	-	-	45.34	-	0.0963	0.1615	0.3729	-	-	1.196
A22-3	-	-	6.775	38.61	-	-	-	0.5132	-	-	2.301
A23-3	-	-	7.463	37.44	-	-	0.0540	0.5503	0.2134	-	2.567
A31-1	-	-	6.510	38.42	0.0407	-	0.0893	0.5713	-	0.0678	2.133
A32-1	0.5809	-	7.992	36.13	0.0375	-	0.0693	0.6295	-	0.0334	2.763
A33-1	-	-	7.516	37.25	0.0286	0.1079	0.0457	0.5773	-	-	2.553
A31-2	-	-	5.251	40.10	-	-	0.0707	0.4844	-	-	1.630
A32-2	-	-	7.940	37.011	0.0317	0.1005	0.0922	0.6355	-	-	2.630
A33-2	0.4333	-	6.722	38.05	-	-	0.0700	0.6355	-	-	2.483
A31-3	-	-	6.034	39.21	-	-	0.1465	0.5312	-	0.0883	2.161
A32-3	-	-	8.310	36.32	-	-	0.1258	0.6235	-	-	2.749
A33-3	0.4140	-	7.622	36.69	0.0637	-	0.1072	0.6355	-	0.1084	2.665

หมายเหตุ : มีความผิดพลาดในการเตรียมตัวอย่าง A11-1 ทำให้ข้อมูลไม่ถูกต้องและไม่ได้รายงานไว้ในตาราง

ภาคผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ A (ต่อ)

ตัวอย่าง	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Zr	Nb	Mo	Re	Pr	Nd
A11-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A12-1	-	0.0124	-	-	-	0.0536	-	-	-	-	-
A13-1	-	0.0148	-	-	-	0.0509	-	-	-	-	-
A11-2	-	0.0110	-	-	0.0272	0.0588	-	-	-	-	-
A12-2	-	-	-	-	-	0.0622	-	0.0141	-	-	0.4904
A13-2	-	0.0148	-	-	-	0.0524	-	-	-	-	-
A11-3	0.0160	-	-	-	-	0.0617	-	0.0139	-	-	-
A12-3	-	-	-	-	0.0308	0.0593	-	-	-	-	-
A13-3	-	0.0146	-	-	-	0.0577	-	-	-	-	-
A21-1	-	-	-	-	-	0.0940	-	-	-	0.599	-
A22-1	-	-	-	-	-	0.1014	-	0.0133	-	-	-
A23-1	-	0.0140	-	-	-	0.0851	-	-	-	-	-
A21-2	-	-	-	-	-	0.0692	-	-	-	-	-
A22-2	0.0167	-	-	0.0075	-	0.0770	-	-	-	-	-
A23-2	-	0.0145	-	-	-	0.0763	0.0076	-	-	-	-
A21-3	-	0.0128	-	-	-	0.0777	-	-	-	-	-
A22-3	0.0383	-	-	-	-	0.0717	-	-	0.0712	-	-
A23-3	-	0.0166	-	-	-	0.0704	-	-	-	-	-
A31-1	-	0.0156	-	-	-	0.0671	-	-	-	0.6152	-
A32-1	-	-	-	-	-	0.0674	0.0076	-	-	0.6503	-
A33-1	-	-	-	-	-	0.0708	-	-	-	0.6075	-
A31-2	-	0.0107	-	-	-	0.0730	-	-	-	-	0.4330
A32-2	-	0.0178	-	0.0080	-	0.0675	-	-	-	-	-
A33-2	-	-	-	-	-	0.0748	-	-	-	-	-
A31-3	-	-	0.0106	-	-	0.0748	-	0.0149	0.0704	-	-
A32-3	-	-	-	-	-	0.0785	-	-	-	-	0.7614
A33-3	-	-	-	-	-	0.0844	-	-	-	-	0.7434

หมายเหตุ : มีความผิดพลาดในการเตรียมตัวอย่าง A11-1 ทำให้ข้อมูลไม่ถูกต้องและไม่ได้รายงานไว้ในตาราง

ภาคผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ A (ต่อ)

ตัวอย่าง	Sm	Eu	Ho	Yb	Hf	Pb	Bi	Th	%LOI
A11-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A12-1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.84
A13-1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.83
A11-2	-	-	-	-	-	-	-	-	1.33
A12-2	-	-	-	-	-	-	-	-	1.70
A13-2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.97
A11-3	-	-	-	-	0.0441	-	-	0.016	0.87
A12-3	-	-	-	-	-	0.0159	-	-	1.02
A13-3	-	-	-	-	-	-	-	0.0105	0.97
A21-1	-	-	-	-	-	-	-	0.1053	0.76
A22-1	-	-	-	-	0.0707	-	-	-	0.93
A23-1	-	-	-	-	0.0594	-	0.0119	-	1.63
A21-2	-	-	-	-	-	0.0161	-	0.0123	1.94
A22-2	-	-	-	-	-	0.0152	-	-	1.91
A23-2	-	-	-	-	-	-	-	-	1.89
A21-3	-	-	-	-	0.0471	-	-	-	1.05
A22-3	-	-	-	-	-	0.0146	-	-	1.42
A23-3	-	0.1157	-	-	-	0.0155	-	-	1.81
A31-1	-	-	-	-	-	-	-	-	2.02
A32-1	0.2786	-	-	-	-	0.0185	-	-	3.12
A33-1	-	-	-	-	-	0.0138	-	-	1.63
A31-2	-	-	-	-	-	0.0149	-	-	1.23
A32-2	-	-	-	-	0.0460	0.0180	-	-	1.73
A33-2	-	-	-	-	0.0873	-	-	-	2.27
A31-3	-	-	-	-	-	-	-	-	1.83
A32-3	-	-	0.1258	0.0849	-	-	-	-	1.48
A33-3	-	-	-	-	-	0.0140	-	-	1.68

หมายเหตุ : มีความผิดพลาดในการเตรียมตัวอย่าง A11-1 ทำให้ข้อมูลไม่ถูกต้องและไม่ได้รายงานไว้ในตาราง

ภาคผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ B แสดงในรูปของโลหะออกไซด์
ในหน่วยความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์

ตัวอย่าง	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃
B11	-	-	-	91.4	0.100	0.248	0.0672	1.00	-	-	5.08
B12	0.518	-	14.0	79.8	0.119	-	0.0577	0.838	-	0.0498	4.09
B13	-	-	14.3	79.0	0.0984	0.213	0.0564	0.898	-	-	4.28
B21	0.697	-	11.7	82.4	0.104	0.194	0.0708	0.805	-	0.0429	3.51
B22	-	-	12.1	82.6	-	-	-	0.808	-	0.0369	3.52
B23	-	-	12.3	82.4	0.0928	0.207	0.0743	0.840	-	0.0519	3.76
B31	-	-	9.25	86.4	0.0977	0.176	0.0758	0.650	-	-	2.84
B32	1.22	-	8.07	86.1	0.0893	0.229	0.0674	0.616	-	0.0199	2.48
B33	-	-	7.37	88.4	0.0830	0.157	0.6856	0.639	0.0810	-	2.34
B41	-	-	10.9	84.5	0.119	0.198	-	0.671	-	-	2.75
B42	0.609	-	14.9	78.1	0.0871	0.229	0.0555	0.830	-	-	4.28
B43	-	-	13.2	80.7	0.0715	0.218	0.0524	0.824	0.0901	-	3.92
B51	0.829	-	8.46	87.2	0.0817	0.195	0.0825	0.774	-	0.0369	1.79
B52	-	-	12.0	84.1	0.0709	0.148	-	0.885	-	-	2.43
B53	0.748	-	12.1	82.6	0.0927	0.181	0.0562	0.891	0.140	-	2.52
B61	0.791	0.465	10.6	83.5	0.0789	0.291	0.0731	0.557	-	-	3.05
B62	-	0.364	9.24	86.5	-	0.221	-	0.566	-	-	2.74
B63	-	0.358	9.83	85.7	-	0.230	0.133	0.599	-	-	2.84

ภาคผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ B (ต่อ)

ตัวอย่าง	NiO	CuO	Ga ₂ O ₃	ZrO ₂	Nb ₂ O ₅	MoO ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃
B11	-	0.0284	-	0.0999	0.0115	-	1.37	-	-	-	0.180
B12	0.0226	0.0222	-	0.0827	0.0107	-	-	-	-	-	-
B13	-	-	0.0134	0.116	-	-	-	0.703	-	-	-
B21	-	0.0207	-	0.0927	-	-	-	-	-	-	-
B22	0.0188	-	-	0.101	-	-	-	-	-	-	-
B23	0.0230	0.0249	-	0.0910	-	-	-	-	-	-	-
B31	-	-	-	0.114	-	-	-	-	-	-	-
B32	-	-	0.0118	0.126	-	-	0.420	-	-	-	-
B33	-	0.0161	-	0.154	-	-	-	-	0.373	-	-
B41	-	0.0210	-	0.108	-	-	-	-	-	-	-
B42	0.0262	0.0351	-	0.118	0.0129	0.0129	-	0.431	-	-	-
B43	-	-	-	0.126	-	-	-	-	0.581	-	-
B51	0.0194	0.0164	-	0.101	-	0.0200	-	-	-	-	-
B52	0.0166	0.0187	-	0.0913	-	-	-	-	-	-	-
B53	-	0.0170	-	0.0946	-	-	-	-	-	0.188	-
B61	0.0185	-	-	0.109	-	-	-	-	-	-	-
B62	0.0185	0.0241	-	0.113	-	-	-	-	-	-	-
B63	-	0.0201	-	0.112	-	-	-	-	-	-	-

ภาคผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ B (ต่อ)

ตัวอย่าง	HfO ₂	PbO ₂	ThO ₂	%LOI
B11	-	-	-	1.62
B12	-	-	-	2.87
B13	0.0704	-	-	3.60
B21	0.0609	0.0166	-	2.52
B22	0.0444	0.0166	-	1.59
B23	-	0.0178	-	1.51
B31	0.0804	0.0163	-	1.64
B32	0.0708	-	-	1.34
B33	0.0827	-	-	1.51
B41	0.0517	-	-	1.39
B42	-	-	-	1.63
B43	-	0.0236	0.0199	2.41
B51	-	-	-	1.43
B52	0.0512	0.0194	-	2.62
B53	-	-	-	1.85
B61	0.0573	-	0.0157	1.80
B62	-	-	-	1.62
B63	-	0.0165	-	1.80

ภาคผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ B แสดงในรูปของโลหะ
ในหน่วยความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์

ตัวอย่าง	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe
B11	-	-	-	42.72	0.0262	0.2059	0.0180	0.5995	-	-	3.553
B12	0.0843	-	7.410	37.30	0.0312	-	0.0412	0.5024	-	0.0386	2.861
B13	-	-	7.569	36.92	0.0258	0.1768	0.0403	0.5384	-	-	2.99
B21	0.5171	-	6.193	38.51	0.0273	0.1611	0.0506	0.4826	-	0.0332	2.445
B22	-	-	6.405	38.60	-	-	-	0.4844	-	0.0286	2.462
B23	-	-	6.510	38.51	0.0243	0.1719	0.0531	0.5036	-	0.0400	2.630
B31	-	-	4.896	40.38	0.0256	0.1461	0.0542	0.3897	-	-	1.986
B32	0.9051	-	4.272	40.24	0.0234	0.1901	0.0482	0.3693	-	0.0154	1.735
B33	-	-	3.901	41.32	0.0218	0.1303	0.0612	0.3831	0.0554	-	1.637
B41	-	-	5.769	39.50	0.0312	0.1644	-	0.4023	-	-	1.923
B42	0.4518	-	7.887	36.50	0.0228	0.1901	0.0397	0.4976	-	-	2.993
B43	-	-	6.987	37.72	0.0188	0.1810	0.0375	0.4940	0.0616	-	2.742
B51	0.6150	-	4.478	40.76	0.0214	0.1619	0.0590	0.4640	-	0.0286	1.252
B52	-	-	6.352	39.31	0.0186	0.1229	-	0.5306	-	-	1.700
B53	0.5549	-	6.405	38.61	0.0243	0.1503	0.0402	0.5342	0.0958	-	1.763
B61	0.5868	0.2804	5.611	39.03	0.0207	0.2416	0.0522	0.3339	-	-	2.133
B62	-	0.2195	4.891	40.43	-	0.1835	-	0.3393	-	-	1.916
B63	-	0.2159	5.203	40.06	-	0.1909	0.0922	0.3591	-	-	1.986

ภาคผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ B (ต่อ)

ตัวอย่าง	Ni	Cu	Ga	Zr	Nb	Mo	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
B11	-	0.0227	-	0.0740	0.0080	-	1.170	-	-	-	0.1555
B12	0.0178	0.0177	-	0.0612	0.0075	-	-	-	-	-	-
B13	-	-	0.0100	0.0859	-	-	-	0.6007	-	-	-
B21	-	0.0165	-	0.0686	-	-	-	-	-	-	-
B22	0.0148	-	-	0.0748	-	-	-	-	-	-	-
B23	0.0181	0.0199	-	0.0674	-	-	-	-	-	-	-
B31	-	-	-	0.0844	-	-	-	-	-	-	-
B32	-	-	0.0088	0.0953	-	-	0.3586	-	-	-	-
B33	-	0.0129	-	0.1140	-	-	-	-	0.3198	-	-
B41	-	0.0168	-	0.0800	-	-	-	-	-	-	-
B42	0.0206	0.0280	-	0.0874	0.0090	-	-	0.3683	-	-	-
B43	-	-	-	0.0933	-	-	-	-	0.4981	-	-
B51	0.0152	0.0131	-	0.0748	-	0.0133	-	-	-	-	-
B52	0.0130	0.0149	-	0.0676	-	-	-	-	-	-	-
B53	-	0.0136	-	0.0700	-	-	-	-	-	0.1621	-
B61	0.0145	-	-	0.0807	-	-	-	-	-	-	-
B62	0.0145	0.0193	-	0.0837	-	-	-	-	-	-	-
B63	-	0.0161	-	0.0829	-	-	-	-	-	-	-

ภาคผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ B (ต่อ)

ตัวอย่าง	Hf	Pb	Th	%LOI
B11	-	-	-	1.62
B12	-	-	-	2.87
B13	0.0597	-	-	3.60
B21	0.0516	0.0144	-	2.52
B22	0.0377	0.0144	-	1.59
B23	-	0.0154	-	1.51
B31	0.0682	0.0141	-	1.65
B32	0.0600	-	-	1.34
B33	0.0701	-	-	1.51
B41	0.0438	-	-	1.39
B42	-	-	-	1.63
B43	-	0.0204	0.0175	2.41
B51	-	-	-	1.43
B52	0.0434	0.0168	-	2.62
B53	-	-	-	1.85
B61	0.0486	-	0.0138	1.80
B62	-	-	-	1.62
B63	-	0.0143	-	1.80

ภาคผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ C แสดงในรูปของโลหะออกไซด์
ในหน่วยความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์

ตัวอย่าง	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO
C11-1	-	-	95.3	-	0.117	0.180	0.612	-	-	0.0375	2.14	-
C12-1	-	9.36	85.2	-	0.130	0.126	0.718	-	-	-	3.14	-
C13-1	0.830	9.76	84.8	-	-	0.0701	0.678	-	-	0.0232	3.12	-
C11-2	0.771	-	94.4	-	0.201	-	0.644	-	-	-	2.43	-
C12-2	-	9.76	82.7	-	0.189	0.129	0.686	-	-	-	3.32	-
C13-2	-	9.21	86.5	-	-	-	0.659	-	-	0.0809	3.06	-
C11-3	-	8.43	86.4	-	0.139	0.104	0.644	-	-	0.176	2.77	-
C12-3	0.502	10.9	81.3	-	-	-	0.770	-	-	-	3.75	0.0740
C13-3	-	-	90.6	-	-	0.195	0.920	-	-	-	4.48	-
C21-1	-	5.22	88.3	-	-	-	0.587	-	-	0.158	1.42	-
C22-1	-	9.30	86.1	-	-	0.126	0.734	-	-	0.0933	2.52	-
C23-1	-	9.27	87.0	-	0.163	-	0.696	-	-	-	2.61	-
C21-2	0.968	-	93.0	-	-	-	0.728	-	-	-	2.96	-
C22-2	-	-	96.2	-	-	-	0.719	-	-	0.140	2.66	-
C23-2	-	7.55	89.1	-	-	-	0.670	-	-	0.0957	2.37	-
C21-3	-	-	97.1	-	-	-	0.619	-	-	-	2.06	-
C22-3	-	11.8	81.9	-	-	-	0.705	-	-	0.203	3.16	-
C23-3	-	-	95.0	-	-	-	0.858	-	-	-	3.82	-
C31-1	-	5.22	92.1	-	-	-	0.589	-	-	-	1.93	-
C32-1	0.553	13.2	81.2	-	-	-	0.728	-	0.297	-	3.53	-
C33-1	-	-	93.3	-	-	-	0.944	-	-	-	5.29	-
C31-2	-	-	95.8	-	-	0.187	0.544	-	-	-	1.40	-
C32-2	-	9.58	85.8	-	-	0.125	0.777	-	-	-	3.43	-
C33-2	-	11.1	83.6	-	-	-	0.705	-	-	-	2.82	-
C31-3	-	7.81	87.1	-	-	-	0.630	0.812	-	-	2.04	-
C32-3	-	9.62	86.7	-	-	-	0.657	-	-	0.105	2.26	-
C33-3	0.749	9.77	84.6	-	-	-	0.715	-	-	0.166	2.81	-

ตัวอย่าง	NiO	CuO	ZnO	TeO ₂	Y ₂ O ₃	ZrO ₂	Nb ₂ O ₅	MoO ₃	SnO ₂	Sb ₂ O ₃	ReO ₂
C21-3	-	-	-	-	-	0.0987	-	-	-	-	-
C22-3	0.0696	0.0307	-	-	-	0.0915	-	-	-	-	-
C23-3	-	-	-	-	-	0.101	-	-	-	-	-
C31-1	-	-	-	-	-	0.104	-	-	-	-	-
C32-1	0.0675	-	-	-	-	0.0950	-	-	-	-	-
C33-1	0.0708	-	-	-	-	0.105	-	-	-	-	-
C31-2	0.0585	-	-	-	-	0.110	-	0.0212	-	-	-
C32-2	-	-	-	-	-	0.0902	-	-	-	-	-
C33-2	-	-	-	-	-	0.113	-	-	-	-	-
C31-3	0.0706	-	-	-	-	0.0948	-	-	-	-	-
C32-3	0.0733	-	-	-	-	0.0933	-	-	-	-	-
C33-3	-	-	-	-	-	0.0980	-	-	-	-	-
C41-1	-	-	-	-	-	0.0902	-	-	-	-	-
C42-1	-	-	0.0247	1.42	-	0.0944	0.0104	-	-	1.62	-
C43-1	-	-	-	-	-	0.0854	-	-	-	-	-
C41-2	-	-	-	-	-	0.0973	-	0.0201	-	-	-
C42-2	-	-	-	-	-	0.0914	-	-	-	-	-
C43-2	0.0603	-	-	-	-	0.0862	-	-	-	-	-
C41-3	0.0619	-	0.0170	-	-	0.105	-	-	-	-	-
C42-3	0.0584	-	-	-	-	0.0894	-	-	-	-	-
C43-3	-	-	-	-	-	0.0875	-	-	-	-	-

ภาคผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ C (ต่อ)

ตัวอย่าง	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Tb ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃
C11-1	0.593	0.376	0.311	-	-	-	-	-	-	-
C12-1	0.476	0.343	-	-	-	-	-	-	-	-
C13-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C11-2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.136	0.0595
C12-2	-	-	1.27	-	0.646	-	-	-	-	-
C13-2	-	-	-	-	-	-	0.179	-	0.114	-
C11-3	-	-	0.660	-	-	0.408	-	-	-	-
C12-3	-	1.61	-	-	-	-	-	-	-	-
C13-3	2.26	-	-	0.793	0.556	-	-	-	-	-
C21-1	-	1.38	-	0.608	-	-	-	-	-	-
C22-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C23-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C21-2	-	1.90	-	-	-	-	-	-	-	0.0933
C22-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C23-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C21-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C22-3	-	1.57	-	-	-	-	-	-	-	-
C23-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C31-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C32-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C33-1	-	0.107	-	-	-	-	-	-	-	-
C31-2	-	0.0835	-	-	-	-	0.183	-	0.119	-
C32-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C33-2	-	0.0885	-	-	-	-	-	-	-	-
C31-3	-	-	-	-	-	-	0.202	-	-	-
C32-3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.143	-
C33-3	-	-	0.845	-	-	-	-	-	-	-

ตัวอย่าง	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Tb ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃
C41-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C42-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0980
C43-1	-	-	-	-	-	-	-	0.212	-	-
C41-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C42-2	-	-	-	-	-	-	0.196	-	-	-
C43-2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.138	-
C41-3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.119	0.0706
C42-3	-	-	-	-	-	-	0.163	-	-	-
C43-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0660

ภาคผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ C (ต่อ)

ตัวอย่าง	HfO ₂	PbO ₂	Bi ₂ O ₃	ThO ₂	%LOI
C11-1	-	0.0195	-	-	2.04
C12-1	0.0544	0.0167	-	-	1.58
C13-1	0.0603	-	-	0.0123	2.48
C11-2	0.130	-	-	-	1.08
C12-2	-	0.0182	-	-	1.53
C13-2	-	-	-	-	1.27
C11-3	-	-	-	-	1.51
C12-3	-	-	-	-	1.41
C13-3	-	-	-	-	1.49
C21-1	-	-	-	-	1.26
C22-1	-	-	-	0.0130	1.58
C23-1	-	-	-	-	1.65
C21-2	-	-	-	-	1.36
C22-2	-	-	-	-	1.47
C23-2	-	-	-	-	1.17

ตัวอย่าง	HfO ₂	PbO ₂	Bi ₂ O ₃	ThO ₂	%LOI
C21-3	-	0.0154	-	0.0145	1.43
C22-3	-	-	-	-	1.48
C23-3	-	0.0171	-	0.0138	1.92
C31-1	-	-	-	-	1.06
C32-1	-	0.0212	-	-	1.74
C33-1	-	0.0230	-	-	1.55
C31-2	0.185	0.0153	0.0153	0.0132	1.86
C32-2	-	-	-	-	1.32
C33-2	-	-	-	-	1.65
C31-3	-	-	-	-	1.30
C32-3	-	0.0151	-	0.140	1.65
C33-3	-	-	-	-	1.45
C41-1	-	0.0182	-	-	1.98
C42-1	-	0.0184	-	-	1.36
C43-1	-	0.0178	-	-	1.50
C41-2	-	-	-	-	1.20
C42-2	-	0.0201	-	-	1.38
C43-2	-	-	-	-	1.49
C41-3	-	-	-	0.0144	1.27
C42-3	-	0.0204	-	-	1.45
C43-3	-	-	-	-	1.42

ภาคผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ C แสดงในรูปของโลหะ
ในหน่วยความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์

ตัวอย่าง	Na	Al	Si	P	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe
C11-1	-	-	44.54	0.0265	0.0971	0.1286	0.3669	-	-	0.0290	1.497
C12-1	-	4.954	39.82	0.0275	0.1079	0.0901	0.4304	-	-	-	2.196
C13-1	0.6158	5.166	39.64	0.0250	-	0.0501	0.4065	-	-	0.0180	2.182
C11-2	0.5720	-	44.12	-	0.1669	-	0.3861	-	-	-	1.700
C12-2	-	5.118	38.65	-	0.1569	0.0922	0.4113	-	-	-	2.322
C13-2	-	4.875	40.43	-	-	-	0.3950	-	-	0.0627	2.140
C11-3	-	4.462	40.38	-	0.1154	0.0743	0.3861	-	-	0.1363	1.937
C12-3	0.3724	5.769	38.00	-	-	-	0.4616	-	-	-	2.623
C13-3	-	-	42.35	-	-	0.1394	0.5515	-	-	-	3.133
C21-1	-	2.763	41.27	-	-	-	0.3519	-	-	0.1224	0.9931
C22-1	-	4.923	40.24	-	-	0.0901	0.4400	-	-	0.0723	1.763
C23-1	-	4.907	40.66	-	0.1353	-	0.4173	-	-	-	1.825
C21-2	0.7182	-	43.47	-	-	-	0.4364	-	-	-	2.070
C22-2	-	-	44.96	-	-	-	0.4310	-	-	0.1084	1.860
C23-2	-	3.996	41.65	-	-	-	0.4017	-	-	0.0741	1.658
C21-3	-	-	45.38	-	-	-	0.3711	-	-	-	1.441
C22-3	-	6.246	38.28	-	-	-	0.4226	-	-	-	2.210
C23-3	-	-	44.40	-	-	-	0.5144	-	-	0.1573	2.672
C31-1	-	-	43.05	-	-	-	0.3531	-	-	-	1.350
C32-1	0.403	-	37.95	-	-	-	0.4334	-	0.2032	-	2.469
C33-1	-	-	43.61	-	-	-	0.5659	-	-	-	3.700
C31-2	-	-	44.78	0.1587	-	0.1336	0.3261	-	-	-	0.9792
C32-2	-	-	40.10	-	-	0.0893	0.4658	-	-	-	2.399
C33-2	-	-	39.07	-	-	-	0.4226	-	-	-	1.972

ตัวอย่าง	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO
C41-1	0.895	-	94.5	-	-	-	0.732	-	-	0.137	3.45	-
C42-1	-	-	92.1	-	-	0.150	0.729	-	-	-	3.42	0.0773
C43-1	-	8.43	87.6	-	-	-	0.636	-	-	-	2.86	-
C41-2	-	-	96.5	-	0.241	-	0.631	-	-	-	2.34	-
C42-2	-	-	94.9	-	-	-	0.775	-	-	-	3.95	-
C43-2	0.559	11.1	83.8	-	-	-	0.0704	-	-	-	3.36	-
C41-3	-	7.34	89.2	-	-	0.152	0.570	-	-	-	2.13	-
C42-3	-	9.69	86.0	-	-	-	0.688	-	-	-	3.15	-
C43-3	-	11.9	82.9	-	-	-	0.781	-	-	-	4.13	-

ภาคผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ C (ต่อ)

ตัวอย่าง	NiO	CuO	ZnO	TeO ₃	Y ₂ O ₃	ZrO ₂	Nb ₂ O ₅	MoO ₃	SnO ₂	Sb ₂ O ₃	ReO ₂
C11-1	0.0196	-	-	-	-	0.0986	-	-	-	-	-
C12-1	-	0.0159	-	-	-	0.0918	-	-	-	-	-
C13-1	0.0181	0.0203	-	-	-	0.0889	-	-	-	-	-
C11-2	0.0587	-	-	0.821	-	0.0923	-	-	-	-	-
C12-2	0.0602	0.0297	-	-	-	0.0972	-	-	1.04	-	-
C13-2	-	-	-	-	-	0.0916	-	-	-	-	-
C11-3	-	-	-	-	-	0.0907	-	-	-	-	-
C12-3	0.0510	-	-	-	0.0150	0.0970	-	-	-	-	-
C13-3	-	-	-	-	-	0.116	-	-	-	-	-
C21-1	-	-	-	0.706	-	0.106	-	-	-	0.953	-
C22-1	-	-	-	-	-	0.0938	-	0.0210	-	0.907	-
C23-1	-	-	-	-	-	0.0939	-	-	-	-	-
C21-2	-	-	-	-	-	0.105	-	-	-	-	-
C22-2	-	-	-	-	-	0.103	0.0101	-	-	-	-
C23-2	-	-	-	-	-	0.0995	-	-	-	-	-

ตัวอย่าง	Na	Al	Si	P	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe
C31-3	-	4.134	40.71	-	-	-	0.3777	0.4549	-	-	1.427
C32-3	-	5.092	40.52	-	-	-	0.3939	-	-	0.0813	1.581
C33-3	0.5557	5.171	39.54	-	-	-	0.4286	-	-	0.1286	1.965
C41-1	0.6640	-	44.17	-	-	-	0.4388	-	-	0.1061	2.413
C42-1	-	-	43.05	-	-	0.1072	0.4370	-	-	-	2.392
C43-1	-	4.462	40.94	-	-	-	0.3813	-	-	-	2.000
C41-2	-	-	45.10	-	0.2000	-	0.3783	-	-	-	1.637
C42-2	-	-	44.36	-	-	-	0.4646	-	-	-	2.763
C43-2	0.4147	5.875	39.17	-	-	-	0.4220	-	-	-	2.350
C41-3	-	3.885	41.69	-	-	0.1086	0.3417	-	-	-	1.490
C42-3	-	5.129	40.20	-	-	-	0.4125	-	-	-	2.203
C43-3	-	6.299	38.75	-	-	-	0.4682	-	-	-	2.889

ภาคผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ C (ต่อ)

ตัวอย่าง	Co	Ni	Cu	Zn	Te	Y	Zr	Nb	Mo	Sn	Sb
C11-1	-	0.0154	-	-	-	-	0.0730	-	-	-	-
C12-1	-	-	0.0127	-	-	-	0.0680	-	-	-	-
C13-1	-	0.0142	0.0162	-	-	-	0.0658	-	-	-	-
C11-2	-	0.0461	-	-	0.5966	-	0.0683	-	-	-	-
C12-2	-	0.0473	0.0237	-	-	-	0.0720	-	-	0.8192	-
C13-2	-	-	-	-	-	-	0.0678	-	-	-	-
C11-3	-	-	-	-	-	-	0.0671	-	-	-	-
C12-3	0.0582	0.0401	-	-	-	0.0118	0.0718	-	-	-	-
C13-3	-	-	-	-	-	-	0.0859	-	-	-	-

ตัวอย่าง	Co	Ni	Cu	Zn	Te	Y	Zr	Nb	Mo	Sn	Sb
C21-1	-	-	-	-	0.5131	-	0.0785	-	-	-	0.7960
C22-1	-	-	-	-	-	-	0.0694	-	0.0140	-	0.7576
C23-1	-	-	-	-	-	-	0.0695	-	-	-	-
C21-2	-	-	-	-	-	-	0.0777	-	-	-	-
C22-2	-	-	-	-	-	-	0.0763	0.0071	-	-	-
C23-2	-	-	-	-	-	-	0.0737	-	-	-	-
C21-3	-	-	-	-	-	-	0.0731	-	-	-	-
C22-3	-	0.0547	0.0245	-	-	-	0.0677	-	-	-	-
C23-3	-	-	-	-	-	-	0.0748	-	-	-	-
C31-1	-	-	-	-	-	-	0.0770	-	-	-	-
C32-1	-	0.0530	-	-	-	-	0.0703	-	-	-	-
C33-1	-	0.0556	-	-	-	-	0.0777	-	-	-	-
C31-2	-	0.0460	-	-	-	-	0.0814	-	0.0141	-	-
C32-2	-	-	-	-	-	-	0.0664	-	-	-	-
C33-2	-	-	-	-	-	-	0.0837	-	-	-	-
C31-3	-	0.0555	-	-	-	-	0.0702	-	-	-	-
C32-3	-	0.0576	-	-	-	-	0.0691	-	-	-	-
C33-3	-	-	-	-	-	-	0.0725	-	-	-	-
C41-1	-	-	-	-	-	-	0.0668	-	-	-	-
C42-1	0.0608	-	-	0.0198	1.032	-	0.0699	0.0073	-	-	0.353
C43-1	-	-	-	-	-	-	0.0632	-	-	-	-
C41-2	-	-	-	-	-	-	0.0720	-	0.0134	-	-
C42-2	-	-	-	-	-	-	0.0677	-	-	-	-
C43-2	-	0.0474	-	-	-	-	0.0638	-	-	-	-
C41-3	-	0.0486	-	0.0137	-	-	0.0777	-	-	-	-
C42-3	-	0.0459	-	-	-	-	0.0662	-	-	-	-
C43-3	-	-	-	-	-	-	0.0648	-	-	-	-

ตัวอย่าง	Re	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Tb	Ho	Er	Yb	Lu
C31-3	-	-	-	-	-	-	-	0.1763	-	-	-
C32-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1256	-
C33-3	-	-	-	0.7245	-	-	-	-	-	-	-
C41-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C42-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0862
C43-1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1854	-	-
C41-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C42-2	-	-	-	-	-	-	-	0.1711	-	-	-
C43-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1212	-
C41-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1045	0.0621
C42-3	-	-	-	-	-	-	-	0.1423	-	-	-
C43-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0580

ภาคผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากจุดเก็บ C (ต่อ)

ตัวอย่าง	Hf	Pb	Bi	Th	%LOI
C11-1	-	0.0169	-	-	2.04
C12-1	0.0461	0.0145	-	-	1.58
C13-1	0.0511	-	-	0.0108	2.48
C11-2	0.1102	-	-	-	1.08
C12-2	-	0.0158	-	-	1.53
C13-2	-	-	-	-	1.27
C11-3	-	-	-	-	1.51
C12-3	-	-	-	-	1.41
C13-3	-	-	-	-	1.49

ตัวอย่าง	Hf	Pb	Bi	Th	%LOI
C21-1	-	-	-	-	1.26
C22-1	-	-	-	0.0114	1.58
C23-1	-	-	-	-	1.65
C21-2	-	-	-	-	1.36
C22-2	-	-	-	-	1.47
C23-2	-	-	-	-	1.17
C21-3	-	0.0133	-	0.0127	1.43
C22-3	-	-	-	-	1.48
C23-3	-	0.0148	-	0.0121	1.92
C31-1	-	-	-	-	1.06
C32-1	-	0.0184	-	-	1.74
C33-1	-	0.0199	-	-	1.55
C31-2	0.1569	0.0133	-	0.0116	1.86
C32-2	-	-	0.0137	-	1.32
C33-2	-	-	-	-	1.65
C31-3	-	-	-	-	1.30
C32-3	-	0.0131	-	0.0123	1.65
C33-3	-	-	-	-	1.45
C41-1	-	0.0154	-	-	1.98
C42-1	-	0.0159	-	-	1.36
C43-1	-	0.0154	-	-	1.50
C41-2	-	-	-	-	1.20
C42-2	-	0.0174	-	-	1.38
C43-2	-	-	-	-	1.49
C41-3	-	-	-	0.0127	1.27
C42-3	-	0.0177	-	-	1.45
C43-3	-	-	-	-	1.43

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ ดร.ตรีตาภรณ์ ชุศรี

ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาเคมี
 สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ที่อยู่ สาขาวิชาเคมี สำนักวิชาวิทยาศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
 โทรศัพท์ 0-4422-4318
 โทรสาร 0-4422-4185
 E-mail tritapor@ccs.sut.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปี พ.ศ.	คุณวุฒิ	สถานศึกษา
2513	วท.บ. (เคมี)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2516	วท.ม. (เคมีวิเคราะห์)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2524	Ph.D. (Chemistry)	Pennsylvania State University, USA.
2526	Certificate, Far Eastern Laser School	Korea Advanced Institute of Science and Technology, South Korea
2531	Postdoctorate fellow	Pennsylvania State University, USA.

ประสบการณ์การทำงาน

2516 – 2532	อาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2533 – 2536	หัวหน้าภาควิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2536 – 2543	หัวหน้าสาขาวิชาเคมี สาขาวิชาเคมี สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2541 – 2542	รองคณบดี สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2544 – ปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี สำนักวิชาวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

งานวิจัยที่ทำอยู่ในปัจจุบัน

1. การวิเคราะห์โลหะในดินที่ชาวบ้านในจังหวัดศรีสะเกษนำมารับประทานด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ (หัวหน้าโครงการ)
2. การแยก การศึกษา และการดัดแปรแร่มอนต์โมริลโลไนท์ในดินเหนียวจากจังหวัดนครราชสีมา (หัวหน้าโครงการ)
3. การวิเคราะห์คราบเขม่าป็นโดยการใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ (หัวหน้าโครงการ)