



การตรวจวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุในตัวอย่างดินจากพื้นที่ราบโดยเครื่อง
Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS)
Trace elements detection in soil samples from plain area using
inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS)

อภิญญา ขำไข¹ วรดา สโมสรสุข² วรณิ ศรีนุตตระกุล³ เอกดนัย ธิมาชัย⁴ และ เสกสรรค์ สโมสรสุข^{2*}

¹ ภาควิชานิติวิทยาศาสตร์ คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121

² ภาควิชาเทคนิคการแพทย์ คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121

³ กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) นครนายก 26120

⁴ กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานตำรวจแห่งชาติ กรุงเทพมหานคร 10330

Apinya Khamkhai¹, Worada Samosornsuk², Wannee Srinuttrakul³, Ekdanai Timachai⁴
and Seksun Samosornsuk^{2*}

¹ Department of Forensic Science, Faculty of Allied Health Science, Thammasat University,
Pathum Thani 12121

² Department of Medical Technology Faculty of Allied Health Science Thammasat University,
Pathum Thani 12121

³ Research and Development Division, Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization),
Nakhon Nayok, 26120

⁴ Police Forensic Science Center Royal Thai Police, Bangkok 10330

Received: 23 August 2019/ Revised: 2 December 2019/ Accepted: 11 December 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณธาตุในดิน เพื่อศึกษาลักษณะจำเพาะที่เป็นเอกลักษณ์ของดิน (soil fingerprinting) โดยใช้เทคนิค Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) จากตัวอย่างดินในพื้นที่ราบอำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี จำนวน 30 ตัวอย่าง และนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติ One Way ANOVA ด้วยโปรแกรม SPSS จากผลการศึกษาพบธาตุที่สามารถนำมาวิเคราะห์ผลได้ทั้งหมด 20 ธาตุ ได้แก่ ธาตุ ลิเทียม (Li), แมกนีเซียม (Mg), อะลูมิเนียม (Al), แคลเซียม (Ca), วาเนเนียม (V), โครเมียม (Cr), แมงกานีส (Mn), เหล็ก (Fe), โคบอลต์ (Co), ทองแดง (Cu), สังกะสี (Zn), สารหนู (As), ซีเซียม (Cs), แลนทานัม (La), ซีเรียม (Ce), เพอร์ซิโอไดเนียม (Pr), นีโอติเมียม (Nd), ซามาเรียม (Sm), กาโดลิเนียม (Gd) และตะกั่ว (Pb) โดยพบว่าธาตุที่มีปริมาณธาตุสูงมากกว่า 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ ธาตุ Mg, Al, Ca และ Fe กลุ่มที่มีปริมาณธาตุปานกลาง อยู่ระหว่าง 10-1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ ธาตุ Zn, Li, V, Cr, Pb, Nd, Ce, La, As, Cu และ Co กลุ่มที่มีปริมาณน้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ ธาตุ Sm, Gd, Pr และ Cs โดยปริมาณธาตุของ แต่ละตัวอย่าง



มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของชนิดและปริมาณธาตุ พบว่า ธาตุ Sm, Gd, Mg, Al, Cs, V, Cr, Mn, Co, As, Ca และ Cu มีปริมาณที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากจุดศูนย์กลางในรัศมีวงกลม 10 เมตร จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าเทคนิค ICP-MS สามารถนำไปตรวจชนิดและวัดปริมาณธาตุในดิน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการบอกแหล่งที่มาของดิน และกำหนดระยะอ้างอิงในการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่เกิดเหตุเพื่อใช้ประโยชน์ในทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

คำสำคัญ: เครื่อง Inductively coupled plasma-mass spectrometer (ICP-MS) ดิน วิเคราะห์ธาตุ เอกลักษณะของดิน

Abstract

This research focused on the identification of types and amounts of trace elements in soil (soil fingerprinting), using inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). Soil samples were collected from flat areas at 30 locations in Khlong Luang district of Pathum Thani province then digested them with concentrated Nitric acid using microwave digester in accordance with ASTM E2941 standard method. The data analysis was performed using SPSS One-Way ANOVA that eventually revealed the existence of 20 elements within including lithium (Li), magnesium (Mg), aluminum (Al), calcium (Ca), vanadium (V), chromium (Cr), manganese (Mg), iron (Fe), cobalt (Co), copper (Cu), zinc (Zn), arsenic (As), cesium (Cs), lanthanum (La), cerium (Ce), praseodymium (Pr), neodymium (Nd), samarium (Sm), gadolinium (Gd) and lead (Pb). The results obtained from this study indicates that amounts of elements of which greater than 1000 milligrams/kilogram are Mg, Al, Ca and Fe whilst those with moderate amount or less than 1000 milligrams/kilogram are Zn, Li, V, Cr, Pb, Nd, Ce, La, As, Cu and Co. Meanwhile the amount of Sm, Gd, Pr and Cs presented in the soil samples are apparently low; less than 10 milligrams/kilogram, and also revealed different amount of trace elements in each samples to be statistically significant, $p < 0.05$. The relationship between amounts of elements and the distances from the starting point were tested and provided that amounts of trace elements: Sm, Gd, Mg, Al, Cs, V, Cr, Mn, Co, As, Ca, Cu and Fe, detected in the soil samples are not significantly different ($p > 0.05$) at 10 meters distance. This research can be concluded that the ICP-MS can be used to identify unique characteristics of soil in the study area including different types and amounts of trace elements. Data obtained from this method can be utilized to identify sources of soil and in the process of collecting soil samples for future forensic investigation purpose.

Keyword: Inductively coupled plasma-mass spectrometer (ICP-MS), Soil, Elemental analysis, fingerprint of soil



บทนำ

การตรวจหาชนิดและปริมาณของธาตุจากตัวอย่าง เช่น ตัวอย่างดิน ตัวอย่างอาหาร ตัวอย่างน้ำ ตัวอย่างพืช และอื่น ๆ สามารถใช้วิธีตรวจที่ต่าง ๆ เช่น Electron Probe Microanalyser (EPMA), Atomic Absorption Spectrometry (AAS), Accelerator Mass Spectrometry (AMS), Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) [1-4] ในการตรวจหาชนิดและปริมาณธาตุในดิน ยังสามารถบอกถึงความเป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละพื้นที่ได้ เนื่องจากดินแต่ละสถานที่จะมีสภาพและองค์ประกอบของดินที่มีความแตกต่างกัน คือ ดินในสถานที่หนึ่งจะมีความแตกต่างไปจากอีกสถานที่อื่น ๆ โดยอิทธิพลที่เกิดจากการกระทำทางธรณีและการกระทำของสิ่งมีชีวิต ทั้งมนุษย์ สัตว์ พืช และความแตกต่างของภูมิอากาศ ซึ่งการศึกษาความแตกต่างของชนิดและปริมาณธาตุของดินในงานวิจัยด้านนิติวิทยาศาสตร์ โดยใช้ดินเป็นวัตถุพยานในตรวจวิเคราะห์หาข้อเท็จจริง และเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างดินตัวอย่างที่เก็บจากผู้ต้องสงสัยและที่เกิดเหตุ โดยพบว่ามีการใช้ชนิดและปริมาณธาตุในดิน ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์อย่างแพร่หลาย เป็นที่ยอมรับในสากล มีความถูกต้อง แม่นยำ และมีลักษณะเฉพาะตัว จากรายงานการวิจัยของ Concheri [5] ที่ได้ตรวจวิเคราะห์ดินในพื้นที่เกิดเหตุ ในคดีอาชญากรรมที่เกิดขึ้นจริงในไร่ข้าวโพด และเก็บดินในรถที่ถูกยึดจากผู้ต้องสงสัย หลังการวิเคราะห์พบว่าชนิดและปริมาณของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของดินทั้งสองแหล่ง สามารถยืนยันได้ว่าเป็นดินจากที่เดียวกัน และงานวิจัยของ Lorlyn [6] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของธาตุในดินจากตัวอย่างที่มีระยะทางต่าง ๆ จากพื้นที่เกิดเหตุด้วยเทคนิค ICP-MS ผลการวิเคราะห์ พบว่าแต่ละตัวอย่างดินแต่ละพื้นที่มี

ชนิดและปริมาณของธาตุที่มีความจำเพาะ มีความแตกต่างกันในแต่ละกลุ่มพื้นที่ โดยคุณสมบัติที่ต่างกันนี้เกิดจากการใช้ประโยชน์ดินและที่ตั้งเชิงภูมิศาสตร์ที่ต่างกัน จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เทคนิค ICP-MS มีประสิทธิภาพสูงในการแยกความแตกต่างกันของธาตุองค์ประกอบในพื้นที่และภูมิศาสตร์ที่ต่างกันได้ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยต้องการศึกษาการตรวจหาชนิดและปริมาณของธาตุในดิน และศึกษาความสัมพันธ์ของชนิดและปริมาณธาตุในดินตัวอย่างที่เก็บในระยะต่างๆ บนพื้นที่ราบผืนเดียวกัน ภายในระยะรัศมีจากจุดศูนย์กลางไม่เกิน 100 เมตร

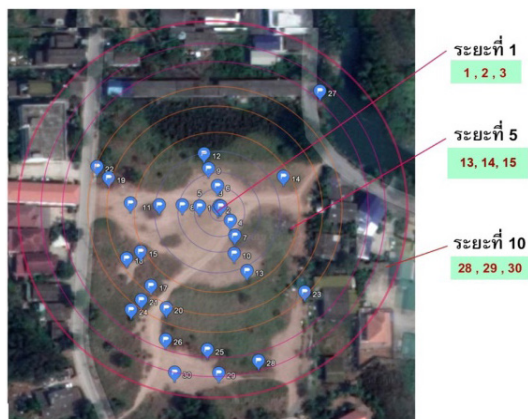
วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างดิน จำนวน 30 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 10 กรัม โดยเก็บจากระดับความลึก 15 เซนติเมตร ซึ่งแต่ละจุดจะเก็บพิกัดของพื้นที่ (GPS) (ภาพที่ 1) เก็บตัวอย่างดินตามระยะห่างจากจุดตั้งต้นในแนววงรัศมี ซึ่งระยะห่างแต่ละวงรัศมีเท่ากับ 10 เมตร (ภาพที่ 2) ตัวอย่างดินและสารอ้างอิงมาตรฐานดิน (Standard reference material, NCS ZN 73007) จะถูกนำไปคั่วให้ได้ขนาด 75 ไมโครเมตร และนำไปบดให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ [7, 8] ชนิดและปริมาณของธาตุในตัวอย่างดิน จะถูกสกัดออกมาโดยการผสมกับกรดไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ประเภท Special- purpose reagent และสกัดสารอ้างอิงมาตรฐานดิน (Standard reference material, NCS ZN 73007) [9, 10] เพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ของเครื่อง (ICP-MS)



ภาพที่ 1 พิกัดตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดินนำมาวิจัย N° 14.0613180 E° 100.5931730



ภาพที่ 2 ตำแหน่งของตัวอย่างดิน จำนวน 30 ตัวอย่าง ในพื้นที่ทำการวิจัยการระบุตำแหน่ง GPS

2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

นำดินตัวอย่างหนัก 0.05 กรัม ใส่ Vessel สำหรับการย่อยเติม HNO_3 ความเข้มข้น ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยระบบไมโครเวฟรุ่น Mars 6 (กำหนดโปรแกรม Fertilizer-AOAC 2006.30) อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

ความดัน 800 PSI Power 900-1050 W ดังตารางที่ 1 ใช้โปรแกรม Fertilizer-AOAC 2006.30 เป็นเวลา 55 นาที กรองตัวอย่างด้วย Syringe filter ขนาด 45 ไมโครเมตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นบริสุทธิ์ จากนั้นนำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง (ICP-MS) ที่สถานะเครื่อง ดังตารางที่ 2 [10]

ตารางที่ 1 สภาวะเครื่อง Microwave digestion

Status	ระยะเวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)	Power (W)
Start	0-5	< 111	0-300
Running	5-25	200	1200
Cooling	15	< 111	0

ตารางที่ 2 สถานะของเครื่อง ICP-MS

สถานะของเครื่อง ICP-MS	การกำหนดค่า
RF Power	1550 W
Sample Depth	10.0 mm
Carrier Gas	0.80 L/min
Nebulizer Pump	0.10 round/second
S/C Temp	2 °C



3. การคำนวณปริมาณธาตุในตัวอย่าง

ปริมาณธาตุที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS จะถูกนำไปคำนวณหาปริมาณธาตุจากตัวอย่าง

$$\text{สูตร (Sample - B-Mean) * DF / 1000}$$

Sample = ปริมาณธาตุของตัวอย่าง (ppb)

B-Mean = ปริมาณธาตุของ Blank (ppb)

DF = อัตราส่วนของการเจือจาง

$$\text{สูตร DF = (DFa * DFb)}$$

DFa = ปริมาณจริงหลังเจือจางในขวด

DFb = ปริมาณจริงหลังเจือจางหลอดทดลอง

4. การแปลผลด้วยสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณธาตุจากตัวอย่างดิน ที่เก็บ ณ ตำแหน่งต่างๆ ด้วย One-Way ANOVA โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 20

ผลการวิจัย

ตัวอย่างดินที่นำมาวิจัยมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย มีสีน้ำตาลอ่อน เมื่อเก็บตัวอย่างหน้าดินลึก 5 เซนติเมตรพบลักษณะเส้นสีเหลืองเหลืองคล้ายฟางข้าว (แร่จำไรโซต์) ซึ่งเป็นลักษณะเด่น

และจำเพาะที่พบได้ทางภาคกลางตอนใต้ โดยพบมากในจังหวัดปทุมธานี [11, 12]

1. การวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐานดิน

จากผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐานดินพบว่าปริมาณธาตุอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (%Error อยู่ในช่วง ± 20) มีจำนวน 20 ธาตุ ดังตารางที่ 3 ดังนั้นในการวิจัยในครั้งนี้ จะทำการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุในตัวอย่างดิน เฉพาะธาตุที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

ตารางที่ 3 ค่าวิเคราะห์ความแม่นยำวิธีการย่อยสารอ้างอิงมาตรฐานดิน

	Li	Mg	Al	Ca	V	Cr	Mn	Fe	Co	Cu
Mean $\pm$ SD	44.0 $\pm$ 1.4	4670 $\pm$ 349	80278 $\pm$ 7449	2326 $\pm$ 159	85 $\pm$ 3.6	54.67 $\pm$ 1.6	430.9 $\pm$ 26.6	39565 $\pm$ 3090	12.36 $\pm$ 0.9	28.72 $\pm$ 2.0
%RSD	3.2	7.5	9.3	6.9	4.2	2.8	6.2	7.8	7.2	7.1
NCS	51.0	5065.6	94469.8	2858.8	105.0	67.0	441.0	44267.5	13.6	32.0
Found-Cert	-7.0	-395.7	-14191.9	-532.4	-20.0	-12.3	-10.1	-4702.8	-1.2	-3.3
%Error-0.05g	-13.7	-7.8	-15.0	-18.6	-19.1	-18.4	-2.3	-10.6	-9.2	-10.2
	Zn	As	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Gd	Pb
Mean $\pm$ SD	82.81 $\pm$ 10.3	18.38 $\pm$ 1.3	11.53 $\pm$ 0.7	57.90 $\pm$ 4.6	122.7 $\pm$ 9.5	12.60 $\pm$ 1.0	46.90 $\pm$ 3.9	9.062 $\pm$ 0.7	7.928 $\pm$ 0.7	54.32 $\pm$ 4.4
%RSD	12.5	6.9	6.4	7.9	7.7	8.2	8.4	8.1	9.2	8.1
NCS	100.0	18.0	13.9	67.0	133.0	14.6	57.0	10.4	8.5	61.0
Found-Cert	-17.2	0.4	-2.4	-9.1	-10.3	-2.0	-10.1	-1.3	-0.6	-6.7
%Error-0.05g	-17.2	2.1	-17.0	-13.6	-7.8	-13.7	-17.7	-12.9	-6.7	-10.9



2. การวิเคราะห์ตัวอย่างดินหาปริมาณความเข้มข้นของธาตุด้วยเครื่อง ICP-MS

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน จำนวน 30 ตัวอย่าง มีปริมาณความเข้มข้นของธาตุทั้งหมด 20 ธาตุ ได้แก่ ลิเทียม (Li), แมกนีเซียม (Mg), อะลูมิเนียม (Al), แคลเซียม (Ca), วานาเดียม (V), โครเมียม (Cr), แมงกานีส (Mn), เหล็ก (Fe), โคบอลต์ (Co), ทองแดง (Cu), สังกะสี (Zn), สารหนู (As),

ซีเซียม (Cs), แลนทาเนียม (La), ซีเรียม (Ce), เพอร์ซิโอไดเมียม (Pr), นีโอไดเมียม (Nd), ซามาเรียม (Sm), กาโดลิเนียม (Gd) และตะกั่ว (Pb) โดยพบว่าธาตุ Mg, Al, Ca, Mn และ Fe มีปริมาณธาตุที่สูงมากกว่าธาตุอื่น โดยมีปริมาณธาตุ Al สูงที่สุด คือ 53,547 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ธาตุ Gd เฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 4.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ธาตุ 20 ธาตุ ในตัวอย่างดินด้วยเทคนิค ICP-MS ปริมาณธาตุเฉลี่ยจากจำนวน 30 ตัวอย่าง

	ปริมาณความเข้มข้นของธาตุจำนวน 20 ธาตุ									
	(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)									
	Cs	La	Ce	Pr	Li	V	Cr	Mn	Co	Cu
All Sample (N=30)										
Mean	7.63	37.6	74.9	7.58	51.0	59.4	49.1	420	11.1	23.8
Median	7.84	36.7	75	7.56	51.7	59.8	49.3	360	10.5	22.2
SD	1.05	4.86	9.48	1.01	6.45	10.2	7.28	0.19	3.49	5.23
% RSD	13.7	12.9	12.7	13.3	12.6	17.2	14.8	0.05	31.3	21.9
Minimum	4.76	29.5	50.6	5.19	33.1	33.7	28.1	119	7.38	18.1
Maximum	10.3	50.7	99	10.4	63.1	81.3	68.2	1170	26.6	53.1
	(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)									
	Nd	Sm	Gd	Pb	Zn	As	Ca	Fe	Mg	Al
All Sample (N=30)										
Mean	30.5	5.84	4.99	28.5	84.6	12.6	8,796	43,638	1,919	53,547
Median	30.4	5.79	4.83	26.7	64.0	12.7	8,558	41,966	2.07	54,070
SD	4.03	0.85	0.78	6.68	81.4	1.91	7,140	8,796	2,074	12,159
% RSD	13.2	14.6	15.7	23.5	96.1	15.2	81	20	108	23
Minimum	20.4	3.84	3.35	19	4.62	8.95	998	30,746	1.16	26,737
Maximum	41.8	7.77	6.67	46.6	449	17.2	40,045	66,154	5,270	84,109



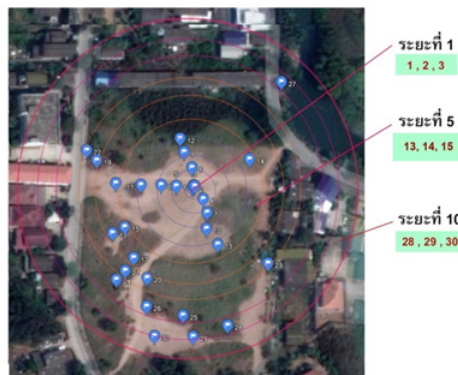
จากผลการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ธาตุที่มีปริมาณธาตุสูงมากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ Mg, Al, Ca และ Fe กลุ่มที่มีปริมาณธาตุปานกลาง อยู่ระหว่าง 10-1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ประกอบด้วยธาตุ Zn, Li, V, Cr, Pb, Nd, Ce, La, As, Cu และ Co กลุ่มที่มีปริมาณธาตุต่ำ โดยมีปริมาณน้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ประกอบด้วยธาตุ Sm, Gd, Pr และ Cs

3. การศึกษาความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างตำแหน่งตัวอย่างดินกับจุดศูนย์กลางต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของธาตุในตัวอย่างดิน

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุในดินที่ระยะห่างต่าง ๆ ของวงรัศมีจากจุดศูนย์กลางพบว่า ภายใน

ระยะรัศมี 10 เมตร มีปริมาณของธาตุ Sm, Gd, Mg, Al, Cs, V และ Cr ที่ไม่แตกต่างกัน ภายในระยะ 20 เมตร ปริมาณของธาตุ Mn กับ Co ไม่แตกต่างกัน ในระยะ 50 เมตร ปริมาณธาตุ As ไม่แตกต่างกัน ที่ระยะ 60 เมตร ปริมาณธาตุ Cu และ Ca ไม่แตกต่างกัน และในทุกตัวอย่างดินมีปริมาณธาตุ Fe ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5) นอกจากนี้ยังพบว่าในแต่ละระยะห่างของวงรัศมีจากจุดศูนย์กลาง จะมีชนิดและปริมาณธาตุ จำนวน 12 ธาตุ ที่เป็นลักษณะเฉพาะที่สามารถใช้บอกพิกัดตำแหน่งของดินในพื้นที่วิจัยและกำหนดขอบเขตการเก็บพยานวัตถุที่เป็นดิน ได้แก่ ธาตุ Sm, Gd, Mg, Al, Cr, V, Cs, Mn, Co, As, Cu และ Ca ซึ่งลักษณะดังกล่าวที่เป็นลักษณะจำเพาะของดิน สามารถนำไปใช้ในการตรวจพิสูจน์เบื้องต้น ว่าเป็นดินที่มาจากแหล่งเดียวกันหรือไม่

ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของธาตุ 20 ธาตุ ต่อระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง



ระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง	ธาตุ (p value > 0.05)
รัศมีจากจุดศูนย์กลาง 0 เมตร -10 เมตร (วงสีน้ำเงิน)	Sm Gd Mg Al Cr V Cs Mn Co As Cu และ Ca
รัศมีจากจุดศูนย์กลาง 0 เมตร -20 เมตร (วงสีแดง)	Mn Co
รัศมีจากจุดศูนย์กลาง 0 เมตร -50 เมตร (วงสีเขียว)	As
รัศมีจากจุดศูนย์กลาง 0 เมตร -60 เมตร (วงสีม่วง)	Cu Ca
รัศมีจากจุดศูนย์กลาง 0 เมตร -90 เมตร (วงสีเหลือง)	Fe
ยกเว้น ธาตุ Li, Zn, La, Ce, Pr, Nd และ Pb มีค่า p value < 0.05 ในทุกระยะจากจุดศูนย์กลาง	

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษาเอกลักษณ์ของดินในพื้นที่ทำการวิจัยเขตอำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยวิเคราะห์ชนิดของธาตุในตัวอย่างดิน จำนวน 30 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิค ICP-MS พบธาตุจำนวน 20 ธาตุ ได้แก่ ธาตุ ลิเทียม (Li), แมกนีเซียม (Mg), อะลูมิเนียม (Al), แคลเซียม (Ca), วาเนเนียม (V), โครเมียม (Cr), แมงกานีส (Mn), เหล็ก (Fe), โคบอลต์ (Co), ทองแดง (Cu), สังกะสี (Zn), สารหนู (As), ซีเซียม (Cs), แลนทานัม (La), ซีเรียม (Ce), เพอร์ซิโอไดเนียม (Pr), นีโอไดเมียม (Nd), ซามาเรียม (Sm), กาโดลิเนียม (Gd) และตะกั่ว (Pb) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ธาตุออกมาได้ถึง 20 ธาตุ จากการวิเคราะห์เพียงครั้งเดียว ทั้งยังวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีความซับซ้อนทางเคมี ให้ผลเชิงคุณภาพและปริมาณของธาตุโลหะและอโลหะในระดับความเข้มข้นต่ำมากที่สุดถึง 10-15 กรัม (เฟมโตกรัม) สามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว และมีความไวสูง ใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยมากเพียง 0.05 กรัม เช่นเดียวกับงานวิจัยของธิติพัฒน์ [13] ได้กล่าวว่า เทคนิค ICP-MS สามารถที่วิเคราะห์ให้ผลได้หลายธาตุในเวลาเดียวกันและมีความรวดเร็วในการวิเคราะห์กว่าเครื่อง AAS ที่จะวิเคราะห์ได้เพียงทีละธาตุ นอกจากนี้ ICP-MS สามารถควบคุมสิ่งรบกวนอื่น ๆ ได้ดี นอกจากนี้เครื่อง ICP-MS ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานเภสัชวิเคราะห์ ด้านสิ่งแวดล้อม สิ่งตกค้างในอาหารพิษวิทยาและนิติวิทยาศาสตร์ อีกทั้งเทคนิค ICP-MS ยังเป็นเทคนิคที่ใช้ตัวอย่างที่มีอย่างจำกัด เหมาะกับงานที่มีตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาณที่น้อยเช่น เลือด ดินที่ติดอยู่ในรองเท้า เสื้อผ้าในรถ หรือ ฝุ่น เขม่าที่ติดกับวัตถุพยาน หรือในตัวอย่างเลือดของมนุษย์ด้วยเทคนิค ICP-MS โดยใช้ตัวอย่างน้อยมากระดับไมโครกรัมต่อลิตร และสามารถลดการใช้ตัวอย่างเลือด แต่ยังคงให้ผลการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง [14]

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในตัวอย่างดินจำนวน 30 ตัวอย่าง พบว่าค่าเฉลี่ยของธาตุ Al, Fe, Ca, Mg, Mn มีปริมาณที่สูงกว่าธาตุอื่น ๆ โดยปริมาณของธาตุ Al มากที่สุด และธาตุ Fe, Ca, Mg และ Mn มีปริมาณน้อยลงตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องแหล่งข้อมูลการเรียนรู้ทางออนไลน์ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [15] เรื่องธาตุ ในปี

2551 ระบุว่าองค์ประกอบของดินบนเปลือกโลกประกอบด้วยธาตุคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก พบธาตุ Al, Fe และ Ca เท่ากับร้อยละ 8.1, 5.0 และ 3.6 ตามลำดับ เนื่องจากธาตุดังกล่าวเป็นธาตุที่สามารถพบได้ทั่วไปในดิน และเป็นธาตุองค์ประกอบที่สำคัญบนเปลือกโลก รวมทั้งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alina Kabata-Pendias [16] และ Lorlyn และคณะ [6]

จากผลการวิจัยชนิดและค่าเฉลี่ยของปริมาณของธาตุในดินจากภูมิภาคที่ต่างกัน โดยนำมาเปรียบเทียบกันพบว่า มีธาตุบางชนิดที่มีความจำเพาะ เช่น ในพื้นที่ภาคใต้ จังหวัดภูเก็ตพบธาตุดีบุก (Sn) ซึ่งไม่พบธาตุดังกล่าวจากตัวอย่างดินจากงานวิจัยนี้ [17] และจากงานวิจัยอื่น ๆ ซึ่งศึกษาเปรียบเทียบชนิดและปริมาณธาตุในตัวอย่างดินของผู้วิจัย พบว่ามีปริมาณธาตุต่ำกว่าตัวอย่างดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [18] โดยมีปริมาณธาตุ Fe, Al, Cr, Mn และ As (66:108, 84:194, 86:586, 1170:2400, 17:68) ตามลำดับ แต่ปริมาณธาตุ Ca ในตัวอย่างดินของผู้วิจัยพบว่ามีปริมาณธาตุสูงกว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (40:4) จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุจากตัวอย่างดินของผู้วิจัยต่อชนิดและปริมาณธาตุในตัวอย่างดินภาคเหนือ [19] พบว่ามีธาตุ Cu ในงานวิจัยนี้สูงกว่าตัวอย่างดินในภาคเหนือ (53:15) นอกจากนี้จากการวิจัยยังพบปริมาณของ Li ในพื้นที่วิจัยมีปริมาณที่สูงกว่าดินทั่วไปในพื้นที่อื่น ๆ เช่น ดินทั่วไปบนผิวโลก [20] และดินในเมือง Mississippi USA [5] แสดงให้เห็นว่าชนิดและปริมาณธาตุจะแตกต่างกันไป เนื่องจากกิจกรรมที่กระทำต่อดินบริเวณนั้น เช่น การใช้ที่ดิน ที่ตั้งเชิงภูมิศาสตร์ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ พืชที่เกิดขึ้น และวัตถุดิบกำเนิดของดิน ดังนั้นลักษณะจำเพาะของดินและธรณีวิทยาแต่ละแห่งจึงอาจเหมือนหรือต่างไปขึ้นอยู่กับอิทธิพลของปัจจัย ซึ่งจะมีความมากน้อยแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณ ซึ่งส่งผลให้ดินมีลักษณะเด่นเฉพาะตัว และเมื่อปัจจัยเปลี่ยนไปดินจะมีลักษณะหรือสมบัติต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปด้วย [20, 21] โดยสามารถใช้ชนิดและปริมาณของธาตุเหล่านี้ระบุถึงที่มาของดิน เนื่องจากมีธาตุบางธาตุที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของดิน ทั้งนี้ปริมาณธาตุโลหะหนักที่พบในตัวอย่างดินในปริมาณที่สูงอาจเนื่องจากตำแหน่งของพื้นที่ตัวอย่างอยู่ในลักษณะแอ่ง และมีการ



ข้อข้อของรถยนต์และรถจักรยานยนต์สัญจรผ่านจุดบริเวณที่เก็บตัวอย่างดิน ซึ่งพบว่ามีปริมาณที่ใกล้เคียงและให้ผลลัพธ์สอดคล้องกันกับงานวิจัยที่ทำการเก็บตัวอย่างใกล้กับถนน [22, 23] และยังพบธาตุ Pb ซึ่งอาจเกิดจากป่นเบรคจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ [11]

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในตัวอย่างดินพบว่าค่าเฉลี่ยของธาตุ Al, Fe, Ca, และ Mn มีปริมาณที่สูงกว่าธาตุอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบธาตุ Fe ในทุกตัวอย่างดินและมีปริมาณของธาตุที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และจากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของชนิดและปริมาณของธาตุจากตัวอย่างและระยะวงรอบรัศมีที่มีระยะห่างต่างๆจากจุดศูนย์กลางพบว่า ธาตุที่สามารถใช้บอกพิกัดตำแหน่งของดินในพื้นที่วิจัยในแต่ละระยะ เช่น ระยะ 10 เมตร จากจุดศูนย์กลาง ได้แก่ ธาตุ Sm, Gd, Mg, Al, Cs, V และ Cr ส่วนในระยะ 20 เมตร ได้แก่ ธาตุ Mn และ Co เป็นต้น แสดงให้เห็นว่าชนิดและปริมาณของธาตุบางชนิดสามารถใช้บอกความเป็นเอกลักษณ์จำเพาะของดินในแต่ละพื้นที่ได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเทคนิค ICP-MS สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจหาชนิดและปริมาณของธาตุในดิน อีกทั้งสามารถใช้บ่งบอกลักษณะจำเพาะที่เป็นเอกลักษณ์ของดิน ว่าเป็นดินที่มาจากแหล่งเดียวกันหรือไม่ เช่น ดินที่ติดอยู่ในร่องเท้า ดินตรงตำแหน่งที่พบผู้เสียชีวิต หรือดินที่เปื้อนบนพยานวัตถุ ทั้งนี้การเก็บตัวอย่างหรือการเก็บพยานวัตถุที่เป็นดินนั้น ยังไม่มีการกำหนดระยะหรือรูปแบบที่เป็นข้อปฏิบัติไว้ชัดเจน โดยผู้เก็บจะต้องใช้วิธีการฉวยและประสปรกณในการเก็บตัวอย่างดิน ซึ่งสภาวะแวดล้อมและความแตกต่างของพื้นที่อาจส่งผลต่อการวิเคราะห์ดินตัวอย่าง อาจเป็นเหตุที่ทำให้ลดความเชื่อมั่นของวัตถุพยานในชั้นศาลได้

การแบ่งกลุ่มของใหม่ตามกราฟ Radar plot เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วในการจัดกลุ่ม เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุทั้ง 6 ธาตุ คือ ธาตุ Mg, Mn, Ca, Co, Zn และ Pb เนื่องจากธาตุดังกล่าวมีความแปรปรวนของปริมาณธาตุในตัวอย่างสูง กล่าวคือมี $>23\%RSD$ (Relative Standard Deviation) จากผลการทดลองแสดงถึงจำเพาะของดิน คือ รูปแบบกราฟที่เหมือนและแตกต่างกันมีลักษณะของกราฟ

เฉพาะตัวในแต่ละตำแหน่ง โดยแสดงภาพกราฟที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน สามารถแบ่งกลุ่มของดินได้ ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ได้แก่ ตำแหน่งที่ 1, 2, 4, 5, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 และ 30 กลุ่มที่ 2 ได้แก่ ตำแหน่งที่ 6, 7, 16, 18 และ 20 กลุ่มที่ 3 ได้แก่ ตำแหน่งที่ 3, 10, 17 และ 19 และสามารถใช้รูปแบบกราฟ Radar plot ในการตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบตัวอย่างดินในที่เกิดเหตุและตัวอย่างผู้ต้องสงสัย เพื่อที่จะใช้ระบุและบ่งชี้เบื้องต้นได้มาจากแหล่งกำเนิดที่เดียวกัน

เทคนิค (ICP-MS สามารถตรวจหาชนิดของธาตุจากตัวอย่างดินในพื้นที่ราบได้จำนวนมากในการวิเคราะห์ครั้งเดียวกัน โดยใช้ตัวอย่างดินที่มีปริมาณน้อยได้รวมทั้งสิ้น 20 ธาตุ ได้แก่ ธาตุ ลิเทียม (Li), แมกนีเซียม (Mg), อะลูมิเนียม (Al), แคลเซียม (Ca), วาเนเนียม (V), โครเมียม (Cr), แมงกานีส (Mn), เหล็ก (Fe), โคบอลต์ (Co), ทองแดง (Cu), สังกะสี (Zn), สารหนู (As), ซีเซียม (Cs), แลนทานัม (La), ซีเรียม (Ce), เพอร์ซิโอไดเนียม (Pr), นีโอไดเมียม (Nd), ซามาเรียม (Sm), กาโดลิเนียม (Gd) และ ตะกั่ว (Pb) นอกจากนี้ยังสามารถตรวจวัดปริมาณของธาตุที่มีปริมาณน้อยได้ และยังพบว่าเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของชนิดและปริมาณธาตุบางธาตุ ได้แก่ ธาตุ Sm, Gd, Mg, Al, Cs, V, Cr, Mn, Co, As, Ca และ Cu มีปริมาณที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากจุดศูนย์กลางในรัศมีวงกลม 10 เมตร ในพื้นที่ตัวอย่าง จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าเทคนิค ICP-MS สามารถนำไปตรวจชนิดและวัดปริมาณธาตุในดิน และอาจสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการบอกแหล่งที่มาของดิน และกำหนดระยะอ้างอิงในการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่เกิดเหตุเพื่อใช้ประโยชน์ในทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ภายใต้ “ทุนวิจัยทั่วไป” ตามสัญญาเลขที่ ทน 38 /2561



เอกสารอ้างอิง

1. Saracoglu S, Soylak M, Cabuk D, Topalak Z, Karagozlu Y. Determination of some trace elements in food and soil samples by atomic absorption spectrometry after coprecipitation with holmium hydroxide. J AOAC Int. 2012;95(3):892-6.
2. Elsheikh MAA, Mahmoud MHH, Momen AA. Determination of selected toxic trace elements in agricultural soil and wells water samples by ICP-OES. Orient J Chem. 2017;33(5):doi: <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/330514>
3. Batanova VG, Sobolev AV, Magnin V. Trace element analysis by EPMA in geosciences: detection limit, precision and accuracy. IOP Conf Ser: Mater Sci Eng 2018;304:1-18.
4. Nebiker PW, Suter M, Synal HA, Vetterli D. Accelerator SIMS for trace element detection. Nucl Instrum Methods Phys Res (section B: beam interactions with materials and atoms) 1994;85:770-4.
5. Concheri G, Bertoldi D, Polone E, Otto S, Larcher R, Squartini A. Chemical elemental distribution and soil DNA fingerprints provide the critical evidence in murder case investigation. Plos one 2011;6(6): e20222.
6. Lorlyn RKB, Godfrey M, Cizdziel JV. Elemental fingerprinting of soils using ICP-MS and multivariate statistics: a study for and by forensic chemistry majors. Forensic Sci Int 2013;233(1-3):37-44.
7. ASTM International. Materials standard practices for extraction of elements from ores and related metallurgical materials by acid digestion. ASTM E2941-14; 2014.
8. Mars 6 Operation Manual. คู่มือวิธีใช้โปรแกรม Fertilizer-AOAC 2006. North Carolina: CEM Corporation Matthews; 2012.
9. CEM Corporation. คู่มือเครื่อง Microwave รุ่น Mars 6 และขั้นตอนการใช้งาน. North Carolina: CEM Corporation Matthews; 2019.
10. Agilent Technologies Incorporated. คู่มือการใช้งานเครื่อง ICP-MS รุ่น Agilent 8800 Triple Quadrupole ICP-MS., 2015
11. กรมพัฒนาที่ดิน. คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญกลุ่มชุดดิน. สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 2 ต.ค. 2561]. เข้าถึงได้จาก: http://www.ldd.go.th/thaisoils_museum/INDEX.HTM
12. Cheajesadagul P, Arnaudguilhem C, Shiowatana J, Siripinyanond A, Szpunar J. Discrimination of geographical origin of rice based on multi-element fingerprinting by high resolution inductively coupled plasma mass spectrometry. Food Chem 2013;141(4):3504-9.
13. จิตพัฒน์ หิรัญคำ. การวิเคราะห์ความเข้มข้นและจัดกลุ่มโลหะหนักจากฝุ่นในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา; 2556.
14. De Blas BI, Sanz CR, Lopez RN, Tormo DC, Apraiz GD. Optimization of the trace element determination by ICP-MS in human blood serum. J Trace Elem Med Biol 2007;21Suppl1:14-7.
15. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. ธาตุ (Element). [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 11 ต.ค. 2561]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.lesa.biz/earth/lithosphere>



16. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 3rd ed. New York: CRC Press; 2001.
17. ธงชัย สุธีรศักดิ์. การปนเปื้อนของโลหะหนัก Al As Cu Cr Mn Ni Pb Sn Zn และ Fe ในดินตะกอนท้องน้ำคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 2551;(4):765-79.
18. Zarcinas BA, Pongsakul P, McLaughlin MJ, Cozens G. Heavy metals in soils and crops in Southeast Asia. 2. Thailand. Environ Geochem Health 2004;26(4):359-71.
19. ธันวดี ศรีธำวิรัตน์, กาญจนา ธนพคุณ. การปนเปื้อนโลหะหนักในดินอุทยานแห่งชาติภูหินร่องกล้า. ใน: เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 17 วันที่ 21 กรกฎาคม 2560. ศูนย์วัฒนธรรมภาคเหนือตอนล่าง วังจันทน์ริเวอร์วิว มหาวิทยาลัย ราชภัฏพิบูลสงคราม. จังหวัดพิษณุโลก; 2560. หน้า 2727.
20. อภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ. ธรณีฐานวิทยา. กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์ ไทยวัฒนาพานิช จำกัด; 2530.
21. Stephens CG. Climate as a factor of soil formation through the quaternary. Soil Sci 1965;99(1):9-14.
22. ณัฐนันท์ ไกรเลิศตันชัย, ดาวจรัส เกตุโรจน์, วรชาติ วิศว์พัฒน์. ชนิดและความเข้มข้นของโลหะหนักในดินบริเวณริมถนนของประเทศไทย. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 55 วันที่ 31 มกราคม 2560 ถึงวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2560. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ; 2560. หน้า 9-16.
23. Wisawapipat W, Kheoruenromne I, Suddhiprakarn A, Gilkes RJ. Trace elements in Thai oxisols on limestone in relation to rainfall. Procedia Soc Behav Sci 2012;40:673-80.