

หัวข้อเค้าโครงเรื่องของผลงาน

1. ชื่อผลงาน พัฒนาและตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินด้วยเครื่อง ICP-OES
Method Development and Method Validation for Exchangeable Bases Analysis in Soil with ICP-OES
2. รหัสโครงการวิจัย -
3. ระยะเวลาที่ดำเนินการ เริ่มต้น เดือนกันยายน พ.ศ. 2566
สิ้นสุด เดือนมกราคม พ.ศ. 2568
4. สถานที่ดำเนินการ ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยเคมีดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน
5. ความรู้ทางวิชาการหรือแนวคิดที่ใช้ในการดำเนินการ

5.1 ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (exchangeable bases)

แคตไอออนในดินสามารถ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ แคตไอออนที่มีคุณสมบัติเป็นกรด ได้แก่ ไฮโดรเจน (H^+), อะลูมิเนียม (Al^{3+}) และแคตไอออนที่เป็นเบส ได้แก่ แคลเซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) โพแทสเซียม (K^+) และโซเดียม (Na^+) (Brady and Weil, 2008) แคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม เมื่ออยู่ในสารละลายดินจะไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เหมือนกับอะลูมิเนียม และเหล็ก ดังนั้น จึงไม่ใช่แคตไอออนที่ก่อให้เกิดกรด อย่างไรก็ตามแคตไอออนเหล่านี้ก็ไม่ใช่เบสและไม่จำเป็นต้องก่อให้เกิดเบสในความหมายทางเคมี แต่แคตไอออนที่ไม่ใช่กรดมักจะถูกเรียกว่า "แคตไอออนเบส" เพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจและนำไปใช้ ความสัมพันธ์ระหว่างแคตไอออนที่เป็นกรดและแคตไอออนที่เป็นเบส สามารถสรุปได้ ดังนี้

$$\text{ร้อยละความอิ่มตัวของกรด (acid saturation)} = \frac{\text{ผลรวมของ } H^+ \text{ และ } Al^{3+} \text{ (cmol/kg)}}{CEC \text{ (cmol/kg)}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละความอิ่มตัวของเบส (base saturation)} = \frac{\text{ผลรวมของ } Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ \text{ และ } Na^+ \text{ (cmol/kg)}}{CEC \text{ (cmol/kg)}} \times 100$$

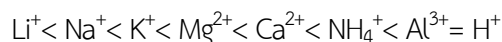
หรือ

$$\text{ร้อยละความอิ่มตัวของเบส} = 100 - \text{ร้อยละความอิ่มตัวของกรด}$$

ปัจจัยที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดิน มี 5 ปัจจัย (Brady and Weil, 2008) คือ

- (1) ขนาดของแคตไอออน ซึ่งขนาดของแคตไอออนในที่นี้หมายถึงรวมถึง กลุ่มโมเลกุลของน้ำ (water shell) ที่ห่อหุ้มแคตไอออนนั้นๆ หรือเรียกอีกอย่างว่า hydrated cation ซึ่งไอออนที่มีขนาดเล็กจะมีอำนาจในการไล่ที่สูงและดูดซับอยู่ที่ผิวของดินเหนียวได้ดีกว่าไอออนที่มีขนาดใหญ่ เมื่อมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากัน
- (2) เวเลนซ์อิเล็กตรอน แคตไอออนที่มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนสูง จะมีอำนาจในการไล่ที่สูง และดูดซับอยู่ที่ผิวของดินเหนียวได้แน่นกว่าแคตไอออนที่มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนต่ำ
- (3) ความเข้มข้นของแคตไอออนที่ใช้แทนที่ โดยปริมาณของแคตไอออนที่มากจะทำให้มีอำนาจในการไล่ที่แคตไอออนที่อยู่บนผิวดินเหนียวได้ง่ายขึ้น
- (4) ปริมาณการอิ่มตัวของแคตไอออน (degree of saturation) หากปริมาณแคตไอออนที่ดูดซับอยู่บนผิวดินเหนียวเหลือน้อยเท่าไร ความยากในการแทนที่แคตไอออนบนผิวดินเหนียวยิ่งยากขึ้นเท่านั้น

(5) ชนิดของแคตไอออน แคตไอออนบางชนิดบนผิวของดินเหนียว เช่น K^+ และ Al^{3+} จะถูกแทนที่ได้ง่ายเมื่ออยู่ร่วมกัน โดยสรุปการดูยึด และการแทนที่ของแคตไอออนสามารถเรียงจากน้อยไปมาก ดังนี้



ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีปริมาณมากน้อยต่างกันไปในดินแต่ละประเภท ในดินทางการเกษตรส่วนใหญ่ แคลเซียมจะพบในปริมาณที่มากกว่าแคตไอออนเบสอื่นๆ รวมกัน ยกเว้นในดินที่มีต้นกำเนิดมาจากแร่เซอร์เพนทีน (serpentine) หรือดินชั้นล่างที่เป็นกรด แมกนีเซียมอาจพบในปริมาณที่สูงกว่าแคลเซียม แคลเซียมนี้มีปริมาณต่ำเนื่องจากไม่มีแหล่งแร่ที่ปลดปล่อยแคลเซียมอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่แมกนีเซียมนั้นสามารถถูกปลดปล่อยได้จากแร่ดินเหนียวภายใต้สภาวะที่เป็นกรด โพแทสเซียมมักเป็นแคตไอออนเบสที่มีปริมาณมากเป็นอันดับสาม ปริมาณโพแทสเซียมในดินแตกต่างกันไปตามวัตถุดิบกำเนิดของดินและการจัดการทางการเกษตร ส่วนโซเดียมโดยทั่วไปจะพบในปริมาณที่ต่ำมาก ในดินนาทริก (natric soils) โซเดียมอาจพบในความเข้มข้นสูง แต่อย่างน้อยก็ต่ำกว่าแคลเซียม (Thomas, 1982) ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสามารถแบ่งเป็นระดับสูง-ต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

ระดับ	ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (cmol/kg)			
	Ca	Mg	Na	K
ต่ำมาก	<2.0	<0.3	<0.1	<0.2
ต่ำ	2.0-5.0	0.4-1.0	0.1-0.3	0.2-0.3
ปานกลาง	5.0-10	1.0-3.0	0.3-0.7	0.3-0.6
สูง	10-20	3.0-8.0	0.7-2.0	0.6-1.2
สูงมาก	>20	>8.0	>2.0	>1.2

ที่มา: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547)

5.2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (exchangeable bases)

การศึกษาเรื่องปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนั้นเริ่มต้นในช่วงต้นศตวรรษที่ 19 โดยมีการศึกษาปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ทั้งหมดด้วยวิธีการไทเทรต โดยไทเทรตกับตะกอนคาร์บอเนตหรือออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่สารละลายดินที่สกัดด้วย 1N NH_4OAc ที่เป็นกลาง (Bray and Willhite, 1929) ในภายหลังมีการศึกษาการแลกเปลี่ยนประจุของแอมโมเนียม และโพแทสเซียมในแร่เวอร์มิคูไลต์ ไบโอไทต์ และมอนต์มอริลโลไนต์ ใช้เทคนิคที่มีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน ด้วยกระบวนการการทำให้แอมโมเนียม (NH_4^+) โดยนำแร่ทั้ง 3 ชนิดไปสัมผัสกับสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (NH_4OAc) ที่เป็นกลาง อุณหภูมิประมาณ 70 - 80 องศาเซลเซียส (K) เป็นช่วงๆ จากนั้นชะด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตทจนกว่าแคตไอออนที่ถูกดูดซับไว้เดิมจะไม่ปรากฏในสารละลายที่กรองได้ ขั้นตอนถัดมาจะทำการล้างตัวอย่างแร่ด้วยเมทานอลเพื่อกำจัดสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตทส่วนเกิน สุดท้ายทำการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม โดยแบ่งตัวอย่างออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปวัดปริมาณแอมโมเนียมทั้งหมด (total NH_4^+) ที่ถูกดูดซับโดยแร่ อีกส่วนหนึ่งวัดปริมาณแอมโมเนียมที่สามารถถูกแทนที่ได้ (replaceable NH_4^+) โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 0.1 N ที่เดือด ปริมาณแอมโมเนียมที่ไม่สามารถถูกแทนที่ได้ (non-replaceable NH_4^+) ถือเป็นตัววัดความสามารถในการตรึงแอมโมเนียมของแร่ (Barshad, 1954) หลังจากนั้นมีการศึกษาปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเรื่อยมาจนช่วงใกล้ศตวรรษที่ 20 จึงได้เริ่มมีการกำหนดวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินขึ้น

ในปี 2022 องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]) ได้เผยแพร่วิธีดำเนินการมาตรฐานการวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกและปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินด้วย 1N NH_4OAc pH 7 (GLOSOLAN-SOP-17) ภายใต้การทำงานของเครือข่ายห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินโลก (Global Soil Laboratory Network, GLOSOLAN) ซึ่งมีขั้นตอนในการสกัดดินเพื่อหาปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเหมือนกับวิธีของ Sparks et al. (1996) ยกเว้นเวลาในการเขย่าที่ลดลงเหลือเพียง 15 นาที จะเห็นได้ว่าขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินส่วนใหญ่จะถูกพัฒนาโดยใช้การสกัดดินด้วย 1N NH_4OAc pH 7 (ตารางที่ 2)

5.3 เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (analytical method for exchangeable bases)

5.3.1 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) เป็นเครื่องมือที่ใช้เทคนิควิเคราะห์ทางเคมีสำหรับวัดความเข้มข้นของธาตุโลหะและกึ่งโลหะ โดยหลักการทำงานของเครื่อง AAS คือการทำให้ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์เปลี่ยนเป็นอะตอมอิสระ (อะตอมอิสระ) โดยใช้ความร้อนสูง จากนั้นทำการวัดการดูดกลืนแสงของอะตอมอิสระที่มีความยาวคลื่นเฉพาะ ซึ่งเป็นค่าที่เฉพาะเจาะจงสำหรับแต่ละธาตุ และค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่วัดได้จะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของธาตุนั้น การให้ความร้อนสามารถทำได้ 2 แบบ ได้แก่ การใช้เปลวไฟ (flame AAS) มักเป็นเชื้อเพลิงอะเซทิลีนและอากาศ เพื่อทำให้ตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมอิสระ หรือการใช้เตาไฟฟ้า (graphite furnace AAS) ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าผ่านแท่งกราไฟต์เพื่อให้ความร้อนกับตัวอย่างจนกลายเป็นอะตอม เทคนิคการวิเคราะห์ด้วย AAS สามารถใช้วิเคราะห์ธาตุได้มากถึง 65 ธาตุด้วยกัน (Ahluwalia V.K., 2023) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS ยังมีข้อจำกัดหลายประการ เครื่องมือนี้มีความจำเพาะสูง เนื่องจากอะตอมของแต่ละธาตุจะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะของธาตุนั้นๆ ดังนั้น จึงสามารถวิเคราะห์ได้เพียงครั้งละ 1 ธาตุ ต่อการดูดสารละลาย 1 ครั้ง นอกจากนี้ ยังใช้แหล่งให้กำเนิดแสงที่เป็นหลอดขั้วหลอดแคโทด (hollow cathode lamp) ซึ่งมีอายุการใช้งานจำกัด การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS มักเกิดการสอดแทรกทางเคมี เนื่องจากอุณหภูมิของเปลวไฟที่ใช้แก๊สอะเซทิลีน (acetylene) เป็นเชื้อเพลิงและใช้อากาศ (air) เป็นตัวออกซิแดนท์จะอยู่ในช่วง 2,300-2,500 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ธาตุหลายชนิดที่ไม่สามารถถูกกระตุ้นได้ไปรบกวนการวิเคราะห์ เกิดเป็นสารประกอบที่แตกตัวยากหรือเกิดค่าแบคกราวด์ (background) สูง (รัตนภรณ์ และคณะ, 2564) และหากมีแอนไอออน เช่น ซัลเฟต และฟอสเฟต อยู่มากเกินไป แอนไอออนเหล่านี้ จะรวมตัวกับสารประกอบของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์เกิดเป็นสารทนไฟ ทำให้การแตกตัวเป็นอะตอมอิสระลดลง ต้องทำการแก้ไขโดยนำสารละลายที่ต้องการวัดมาเจือจางด้วยสารละลายสตรอนเชียมคลอไรด์ (SrCl_2) ทุกครั้ง ซึ่งสตรอนเชียมจะไปจับกับตัวรบกวน ทำให้ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์เกิดเป็นอะตอมอิสระได้ในที่สุด

5.3.2 เครื่อง Flame Photometer

Flame Photometry หรือที่รู้จักกันในชื่อ Flame Emission Spectroscopy เป็นเทคนิคที่อาศัยการวัดการแผ่รังสีเมื่อนำโลหะเข้าสู่เปลวไฟ รังสีที่แผ่ออกมานี้เป็นลักษณะเฉพาะของโลหะแต่ละชนิด และความเข้มของรังสีที่ปล่อยออกมาสามารถบอกความเข้มข้นของโลหะที่ถูกพ่นเข้าไปในเปลวไฟได้ ซึ่งความเข้มของการแผ่รังสีขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของเปลวไฟ โดยหลักการทำงานของ Flame Photometry คือ เมื่อสารละลายถูกพ่นเข้าไปในเปลวไฟ ตัวทำละลายในตัวอย่งระเหยออก ทำให้เกิดสารตกค้าง และสารตกค้างนี้จะสลายตัวเป็นอะตอมที่เป็นกลางและ/หรืออนุมูลอิสระ อะตอมที่เป็นกลางถูกกระตุ้น (excited state)

ตารางที่ 2 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ดิน

การสกัดดิน	ปี ค.ศ.						
	1965 ^{1/}	1982 ^{2/}	1982 ^{2/}	1996 ^{3/}	1996 ^{3/}	1996 ^{3/}	2022 ^{4/}
รายการวิเคราะห์	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ Na ⁺ , K ⁺	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ Na ⁺ , K ⁺	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ Na ⁺ , K ⁺	Na ⁺ , K ⁺	Na ⁺ , K ⁺	Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ Na ⁺ , K ⁺
น้ำยาสกัด	1N NH ₄ OAc						
ปริมาณดิน (g)	10	10	5	5	10	5	5
ปริมาณน้ำยาสกัด (mL)	250	40	25	25	40	33	33
เทคนิคการสกัด	เขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน	เขย่าเบาๆ และทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง	เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 30 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที	เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 30 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที	เขย่าเบาๆ และทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง	เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 30 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที	เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 15 นาที นำไปปั่นเหวี่ยง
จำนวนครั้งในการสกัด (รอบ)	1	1	2	2	1	3	3
การกรอง	กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ด้วยกรวยกรองบุชเนอร์	กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 40 หรือ 42	เก็บสารละลายใส	เก็บสารละลายใส	กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 40 หรือ 42	เก็บสารละลายใส	กรองด้วยกระดาษกรองรูปทรงแปดเหลี่ยม
ปริมาตรสุดท้าย (mL)	100	100	50	50	100	100	100
ทดสอบแคลเซียม	√	×	×	×	×	×	×
เทคนิคการวิเคราะห์	ไตเตรท	AAS, Flame photometry, ICP	AAS, Flame photometry, ICP	AAS, Flame photometry, ICP	AAS, Flame photometry	AAS, Flame photometry, ICP	AAS, Flame photometry, ICP

ที่มา: Chapman (1965)^{1/}; Thomas (1982)^{2/}; Sparks *et al.* (1996)^{3/}; FAO (2022)^{4/}

ทำให้ไม่เสถียรและปล่อยรังสีออกมาจนกลับสู่สถานะพื้น (ground state) เครื่องจะวัดความยาวคลื่นและความเข้มของรังสีที่ปล่อยออกมา เครื่อง Flame photometer นั้นเหมาะสำหรับการวัดหาปริมาณของธาตุที่เปล่งแสงได้ดีในเปลวไฟ และเหมาะสำหรับการวิเคราะห์โลหะกลุ่ม alkali (เช่น Na, K, Li) และ alkaline earth metals (เช่น Ca, Mg) มีราคาถูกและใช้งานง่าย ทั้งนี้การใช้เปลวไฟที่เป็นแหล่งพลังงานภายนอกพบว่า มีปัญหาในการควบคุมอุณหภูมิของเปลวไฟให้คงที่อยู่ตลอดเวลา และส่งผลต่อการวัด โดยการวัดอาจถูกรบกวนจากธาตุอื่น (interference) ความแตกต่างหลักระหว่างเครื่อง Flame Photometer และ AAS คือ Flame Photometer วัดการปล่อยรังสีจากอะตอมที่ถูกกระตุ้น ในขณะที่ AAS วัดการดูดกลืนรังสีโดยอะตอมในสถานะพื้น (Ahluwalia V.K., 2023)

5.3.3 เครื่อง Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)

ICP-OES เป็นเทคนิคที่ใช้ในการทดสอบหาปริมาณแร่ธาตุในสภาพความดันบรรยากาศจากพลังงานที่ถ่ายเทมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่วิทยุ (Radio Frequency, RF) เมื่อสารละลายตัวอย่างเข้าสู่เครื่อง ICP-OES จะถูกทำให้เป็นละอองขนาดเล็ก โดยมีก๊าซอาร์กอนเป็นตัวพาละอองตัวอย่างเข้าสู่กึ่งกลางของพลาสมา (plasma) ที่เป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนสูง เมื่ออะตอมของธาตุได้รับพลังงานจะทำให้อะตอมเปลี่ยนจากสภาวะพื้น ไปอยู่ในสภาวะกระตุ้น ซึ่งเป็นสถานะที่ไม่เสถียร ดังนั้นอะตอมของธาตุจะคายพลังงานเพื่อกลับสู่สภาวะพื้น ซึ่งอะตอมของธาตุแต่ละชนิดจะคายพลังงานออกมาโดยการเปล่งแสง (emission) ที่มีชุดความยาวคลื่นเฉพาะตัว และตัวตรวจวัดก็จะสามารถวัดชนิดและปริมาณของธาตุเหล่านั้นได้ จุดเด่นของเครื่อง ICP-OES คือ การใช้พลาสมาเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง อยู่ในช่วง 6000-10,000 องศาเซลเซียส และอยู่ในบรรยากาศก๊าซเฉื่อย ส่งผลให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำให้ไอเล็กตรอนเปลี่ยนจากสภาวะพื้นสู่สภาวะถูกกระตุ้น (excitation) ซึ่งการทำให้ธาตุเป็นไอออน (ionization) ด้วยอุณหภูมิสูงนี้จะช่วยลดหรือขจัดสิ่งรบกวนต่างๆ ที่ทำให้เกิดการแทรกสอด (interfere) โดยช่วยลดการดูดกลืนแสงของธาตุชนิดเดียวกัน (self – absorption) ส่งผลให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุและความเข้มแสงมีความเป็นเส้นตรงในช่วงกว้าง นอกจากนี้เครื่อง ICP-OES ยังสามารถทดสอบแบบ Multi-element ซึ่งสามารถวัดปริมาณธาตุได้หลายชนิดพร้อมกันในการดูดสารละลายเพียงครั้งเดียว ส่งผลให้การวิเคราะห์มีความสะดวกและรวดเร็วขึ้น อีกทั้งก๊าซหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ก๊าซอาร์กอน ไนโตรเจน และออกซิเจน ซึ่งก๊าซอาร์กอนจัดเป็นก๊าซเฉื่อยมีโอกาสดึงเกิดการระเบิดต่ำ จึงมีความปลอดภัยสูง (แมน และอมร, 2534)

5.4 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี หมายถึง กระบวนการที่ใช้เพื่อกำหนดสมรรถนะ และข้อจำกัดของวิธีการวิเคราะห์ รวมถึงการระบุปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะเหล่านั้น และประเมินว่าปัจจัยดังกล่าวส่งผลกระทบมากน้อยเพียงใด (Food and Drug Administration [FDA], 2023) หน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านการกำหนดมาตรฐานการวิเคราะห์ได้ให้คำนิยามสำหรับการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีแตกต่างกัน AOAC International (2002) ได้ให้คำนิยามของการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีว่าเป็นกระบวนการที่ใช้เพื่อแสดงหรือยืนยันสมรรถนะของวิธีการวิเคราะห์ ซึ่งกำหนดโดยวัตถุประสงค์ของการใช้งาน การตรวจสอบความถูกต้องจะเกี่ยวข้องกับผู้ปฏิบัติงานเฉพาะรายห้องปฏิบัติการ และอุปกรณ์ที่ใช้วิธีการนั้น ๆ ในช่วงความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสม โดยทั่วไปแล้วการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีจะนำไปสู่การกำหนดรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความสำเร็จและความเหมาะสมในการใช้งาน อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี คือกระบวนการที่จำเป็นต้องดำเนินการก่อนการนำวิธีการไปใช้งานในห้องปฏิบัติการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่ได้รับการพัฒนาขึ้นหรือถูกเลือกมานั้น มีความเหมาะสม และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ได้อย่าง

มีประสิทธิภาพ ซึ่งการประเมินความเหมาะสมนี้จะพิจารณาจากค่าปริมาณที่แสดงคุณลักษณะเฉพาะของวิธี (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2566)

ตัวแปรที่ใช้สำหรับทดสอบสมรรถนะของการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีตามแนวทางของ Eurachem (2014) ได้แก่

- (1) ความจำเพาะเจาะจง (Specificity/selectivity): ความสามารถของวิธีวิเคราะห์ในการวัดสารที่สนใจ (Analyte) ได้อย่างถูกต้อง โดยไม่ถูกรบกวนจากสารอื่นที่อาจปะปนอยู่ในตัวอย่าง
- (2) ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit Of Detection, LOD): ปริมาณต่ำสุดของสารที่สามารถตรวจพบ
- (3) ขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (Limit Of Quantitation, LOQ): ปริมาณต่ำสุดของสารที่สามารถวัดค่าเชิงปริมาณได้อย่างแม่นยำ
- (4) ช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity): การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นหรือปริมาตรของสารที่วิธีทดสอบสามารถทำได้กับสัญญาณที่ตรวจวัดได้ที่เป็นเส้นตรง
- (5) ช่วงความเข้มข้นที่ใช้งานได้ (Working range): การหาช่วงของการใช้งานหรือช่วงของการวัด
- (6) ความแม่นยำ (Trueness): เป็นตัวแปรที่บ่งชี้ว่าผลการวิเคราะห์หามีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากน้อยเพียงใด โดยหาจากร้อยละการกลับคืนของการวิเคราะห์ (%Recovery)
- (7) ความเที่ยง (Precision): การหาความคาดเคลื่อนจากการทำซ้ำ โดยหาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ซึ่งสามารถทำการศึกษาได้หลายแบบ ดังนี้
 - Repeatability: ทำซ้ำภายใต้เงื่อนไขเดียวกันภายใต้ห้องปฏิบัติการเดียวกัน ผู้ทดสอบคนเดียวกัน เครื่องมือเดียวกัน ทดสอบภายในวันและสภาวะเดียวกัน
 - Intermediate precision: ทำซ้ำภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันภายใต้ห้องปฏิบัติการเดียวกัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยในการวิเคราะห์ เช่น ต่างเครื่องมือ ต่างผู้ทดสอบ ต่างวันและเวลา
 - Reproducibility: ทำซ้ำภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน ต่างห้องปฏิบัติการ
- (8) ความคงทนของวิธี (ruggedness): ความสามารถของวิธีการวิเคราะห์ที่จะให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องแม้มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในเงื่อนไขการทดลอง

5.5 สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

สถิติที่นำมาใช้ในการทดสอบความคงทนของวิธีเป็นของ Youden-Steiner testing โดยวางแผนการทดลอง 7 ตัวแปร 8 การทดลอง การทดลองละ 4 ซ้ำ (สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ, 2564) ซึ่งเป็นการออกแบบการทดลองแบบ fractional factorial design ที่ใช้ในกระบวนการทดสอบความทน (robustness) ของวิธีวิเคราะห์ทางเคมี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินว่า วิธีวิเคราะห์สามารถให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและแม่นยำได้หรือไม่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของปัจจัยในการทดลอง การเลือกปัจจัยที่ต้องการทดสอบในกระบวนการทดสอบความทนนั้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญและต้องใช้ดุลยพินิจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นตัวกำหนดว่าการทดสอบจะสามารถระบุจุดอ่อนของวิธีการวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ โดยมีหลักการเลือก ดังนี้

- (1) ปัจจัยที่มีโอกาสเปลี่ยนแปลงได้จริงในระหว่างการใช้งานประจำวัน เช่น อุณหภูมิ pH อัตราการไหล หรือองค์ประกอบของตัวทำละลาย ความเข้มข้นของสารเคมี และแหล่งที่มาของสารเคมี
- (2) ปัจจัยที่ทราบหรือคาดการณ์ว่าอาจมีผลกระทบต่อผลลัพธ์ อ้างอิงจากหลักการของการวิเคราะห์ หรือพิจารณาจากประสบการณ์ที่ผ่านมาในการพัฒนาวิธี (method development) หากมีปัจจัยใดที่พบว่ามีแนวโน้มเป็นพิษในระหว่างการพัฒนาวิธี ปัจจัยนั้นควรถูกนำมาทดสอบ

(3) ปัจจัยที่ระบุอยู่ในขั้นตอนการปฏิบัติงานมาตรฐาน (SOP) และมีความสำคัญ โดยปัจจัยที่ถูกระบุไว้อย่างชัดเจนและต้องมีการควบคุมอย่างเข้มงวด มักจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ควรนำมาทดสอบ อย่างไรก็ตามพารามิเตอร์ที่ไม่ได้ระบุชัดเจนใน SOP แต่สามารถแปรผันได้ เช่น อุณหภูมิห้อง ก็ควรได้รับการพิจารณา

(4) ปัจจัยที่เลือกมาทดสอบต้องไม่ซับซ้อนเกินไปที่จะควบคุมและวัดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงได้

(5) ไม่ควรทดสอบการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่รุนแรงเกินไป เพราะนั่นไม่ใช่จุดประสงค์ของการทดสอบความคงทนของวิธี ซึ่งเน้นที่การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

โดยสรุปแล้ว การเลือกปัจจัยสำหรับกระบวนการทดสอบความทน ต้องอาศัยการผสมผสานระหว่างความรู้ทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพของบุคลากรในห้องปฏิบัติการ และการประเมินความเสี่ยง เพื่อให้มั่นใจว่าพารามิเตอร์ที่เลือกนั้นมีความสำคัญและสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นได้จริงในกระบวนการวิเคราะห์

6. สรุปสาระและขั้นตอนการดำเนินการ

6.1 สรุปสาระ

6.1.1 หลักการและเหตุผล

ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน เป็นรายการทดสอบที่มีความสำคัญต่อการประเมินสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน ค่าที่วิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนั้นสามารถนำไปคำนวณหาอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (% base saturation) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) หากร้อยละความอิ่มตัวเบสมีค่าสูง จะบ่งชี้ว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์สูงและมีธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์มาก ปัจจุบันกลุ่มวิจัยเคมีดินวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินโดยใช้ 1N NH_4OAc pH 7 (in-house method) ซึ่งต้องทำการแช่ดินไว้ข้ามคืนก่อนนำไปวิเคราะห์ ซึ่งเมื่อไม่นานมานี้ GLOSOLAN ภายใต้ FAO ได้เผยแพร่วิธีดำเนินการมาตรฐานการวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกและปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินด้วย 1N NH_4OAc pH 7 (GLOSOLAN-SOP-17) ซึ่งผ่านการปรับวิธีให้เป็นมาตรฐานเดียวกันในระดับโลกจากห้องปฏิบัติการมากกว่า 78 แห่ง โดยขั้นตอนในการสกัดดินเพื่อหาปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนั้น สามารถทำได้โดยการเขย่าและนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วสูง จากนั้นนำสารละลายดินที่สกัดได้ไปวัดปริมาณ Ca, Mg, Na และ K ด้วยเครื่อง AAS, Flame photometer และ/หรือ ICP-OES (FAO, 2022) โดยไม่ต้องทำการแช่ดินไว้ข้ามคืน จะเห็นได้ว่าวิธีนี้สามารถลดเวลาการวิเคราะห์ลงได้

โดยทั่วไปการวัดปริมาณ Ca และ Mg ที่สกัดได้จะนำไปวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) และ Na และ K ที่สกัดได้จะนำไปวัดด้วยเครื่อง Flame photometer ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมและใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีราคาถูกและใช้งานง่าย อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS และ Flame photometer นั้น สามารถวัดได้ที่ละธาตุและมีช่วงการวัดเชิงเส้น (linear range) ที่ค่อนข้างแคบ รวมไปถึงการรบกวนจากธาตุอื่นๆ สูง ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดสำหรับการทำงานที่มีจำนวนตัวอย่างค่อนข้างเยอะ และทรัพยากรคนที่จำกัด ปัจจุบันจึงมีการนำเครื่อง ICP-OES มาใช้ในงานวิเคราะห์ทางเคมีดินเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสามารถวัดปริมาณธาตุได้หลายชนิดพร้อมกันในการดูดสารละลายเพียงครั้งเดียว มีช่วงการวัดเชิงเส้นที่กว้างครอบคลุมระดับความเข้มข้นต่ำ (ppb) ถึงสูง (ppm) จึงช่วยลดความจำเป็นในการเจือจางสารละลายตัวอย่าง ทั้งนี้การวิเคราะห์ด้วย ICP-OES มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงเนื่องจากต้องใช้แก๊สอาร์กอนบริสุทธิ์ในปริมาณมาก และต้องอาศัยผู้ใช้งานที่มีความชำนาญในการปฏิบัติงาน จึงควรมีการประเมินความคุ้มค่าก่อนนำไปใช้งาน

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี (method validation) คือ กระบวนการที่จำเป็นต้องดำเนินการก่อนการนำวิธีวิเคราะห์ไปใช้งานในห้องปฏิบัติการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่

ได้รับการพัฒนาขึ้นหรือถูกเลือกมานั้น มีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2566) การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีไม่เพียงแต่เป็นการยืนยันความสามารถของวิธีทดสอบแต่ยังเป็นข้อกำหนดพื้นฐานที่ปรากฏในมาตรฐานสากลหลายฉบับ เช่น ความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบเทียบ (ISO/IEC 17025) ความสามารถของห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ (ISO 15189:2022) ความสามารถของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีและชีวภาพ (Q2(R2)) กล่าวโดยสรุปคือ การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีมีบทบาทสำคัญในการประกันคุณภาพของข้อมูลและผลการทดสอบ ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการวิเคราะห์ดินทางเคมี เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญต่อการนำไปใช้ประโยชน์ด้านงานวิจัย และวางแผนการจัดการดินเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร

เพื่อพัฒนาวิธีวิเคราะห์ที่รวดเร็ว สามารถตอบสนองต่อการกิจเร่งด่วน และยังคงความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์ได้ การพัฒนาและตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินด้วยเครื่อง ICP-OES นั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยหวังว่าเมื่อดำเนินการเสร็จสิ้นแล้ว กลุ่มวิจัยเคมีดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน จะมีวิธีวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่รวดเร็ว ถูกต้อง และให้ผลวิเคราะห์ที่สามารถนำไปต่อยอดงานวิจัยด้านดิน และการวางแผนการใช้ทรัพยากรดินได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

6.1.2 วัตถุประสงค์

(1) ศึกษาความเหมาะสมของวิธีวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินด้วยเครื่อง ICP-OES

(2) เพื่อตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (GLOSOLAN-SOP-17) ตามมาตรฐานของ Eurachem guide 2017

6.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

6.2.1 พัฒนารูปแบบวิธีวิเคราะห์ปริมาณ Ca, Mg, Na และ K ที่แลกเปลี่ยนได้ในดินด้วยเครื่อง ICP-OES

ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง ICP-OES ในการวิเคราะห์ Ca, Mg, Na และ K

(1) เตรียมสารละลายมาตรฐาน Ca, Mg, Na และ K และนำไปวัดด้วยเครื่อง ICP-OES

(2) ทำการปรับสภาวะของเครื่อง ได้แก่ wavelength plasma view ใช้มุมมอง Radial ค่า plasma flow, auxiliary flow, nebulizer flow, RF-power, Pump flow และ Uptake

(3) สร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน กับสัญญาณของเครื่องมือ และเลือกสภาวะที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากค่า correlation coefficient (r) ที่สูงที่สุด

6.2.2 รวบรวมข้อมูลและคัดเลือกตัวอย่างดินเพื่อใช้ในการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ โดยการศึกษาความคงทนของวิธี (Ruggedness) จะตัวอย่างดินทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ที่มีปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินครอบคลุมระดับต่ำมาก ปานกลาง และสูงมาก (3 ระดับ) นำมาศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ ทั้งหมด 7 ตัวแปร ตัวแปรละ 4 ค่า รวม 336 ตัวอย่าง โดยจัดเป็นเนื้อดินร่วนปนทราย (SL) 3 ตัวอย่าง ดินเนื้อปนทรายแป้ง (SiC) 4 ตัวอย่าง และ ดินเหนียว (C) 5 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 3

รายการวิเคราะห์	ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (cmol/kg)			จำนวน	ปัจจัยที่ศึกษา	จำนวนซ้ำ	รวมทั้งหมด
	ต่ำมาก	ปานกลาง	สูงมาก				
Ca	<2.0	5.0-10	>20	3	7	4	84
Mg	<0.3	1.0-3.0	>8.0	3	7	4	84
Na	<0.1	0.3-0.7	>2.0	3	7	4	84
K	<0.2	0.3-0.6	>1.2	3	7	4	84

6.2.3 ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินด้วย 1N NH₄OAc pH 7

(1) ขีดจำกัดการตรวจพบ (Limit of Detection, LOD) และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ)

ศึกษาค่า LOD และ LOQ โดยการนำตัวอย่างดินที่มี Ca, Mg, Na และ K ในปริมาณน้อยมาวิเคราะห์ทั้งหมด 10 ซ้ำ นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) แล้วนำมาคำนวณ ดังนี้

$$\text{LOD} = 3\text{SD} \text{ และ } \text{LOQ} = 10\text{SD}$$

(2) ความเป็นเส้นตรง (Linearity)

ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของวิธีวิเคราะห์ปริมาณ Ca, Mg, Na และ K ด้วยเครื่อง ICP-OES โดยการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน (mixed standard) Ca, Mg, Na และ K ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0, 1, 5, 10, 50, 100, 150, 200 ถึง 300 mg/L จากนั้นนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณการตอบสนองกับความเข้มข้น (intensity) จากนั้นวิเคราะห์สมการเส้นตรง โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ควรเข้าใกล้ 1

(3) ช่วงความเข้มข้นที่ใช้งาน (Working range)

ศึกษาช่วงการใช้งานโดยกำหนดช่วงการใช้งานต่ำสุดเท่ากับค่า LOQ และช่วงการใช้งานสูงสุดเท่ากับค่าความเข้มข้นสูงสุดของความเป็นเส้นตรง (Linearity)

(4) ความแม่นยำ (Trueness)

ความแม่นยำศึกษาโดยการ spiked samples ลงในสารละลาย Blank ที่ 3 ระดับความเข้มข้น (ต่ำ กลาง สูง) คำนวณหาค่าเฉลี่ย (mean) และ %Recovery เทียบกับเกณฑ์การยอมรับของ (AOAC, 2016) ซึ่งระบุไว้ว่า ที่ระดับความเข้มข้น 0.1-10 mg/kg %Recovery ควรอยู่ในช่วง 80-110 % และที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/kg ควรอยู่ในช่วง 90-107 % และที่ระดับความเข้มข้น 1000 mg/kg ควรอยู่ในช่วง 95-105% โดย %Recovery สามารถคำนวณได้ดังสมการนี้

$$\% \text{ Recovery} = \frac{(C1-C2)}{C3} \times 100$$

เมื่อ C1 = ความเข้มข้นที่วัดได้จาก spiked sample
C2 = ความเข้มข้นที่วัดได้จาก unspiked sample
C3 = ความเข้มข้นของสารมาตรฐานเดิม

(5) ความเที่ยง (Precision)

ความเที่ยง (Precision) ศึกษาโดยการ spike sample ที่ 3 ระดับความเข้มข้น (ต่ำ กลาง สูง) โดยทำการศึกษาที่ 2 แบบ คือ ผู้ทดสอบคนเดียวกัน เครื่องมือเดียวกัน ทดสอบภายในวันและสภาวะเดียวกัน (Repeatability) และ ผู้ทดสอบคนเดียวกัน เครื่องมือเดียวกัน ทดสอบต่างวันและเวลา (Intermediate precision)

คำนวณหาค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เทียบกับเกณฑ์การยอมรับจาก (AOAC, 2016) ที่ระดับความเข้มข้น 1 mg/kg %RSD ควรน้อยกว่าหรือเท่ากับ 11 ที่ระดับความเข้มข้น 10 mg/kg %RSD น้อยกว่าหรือเท่ากับ 7.3 และที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/kg %RSD ควรน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5.3 โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) สามารถคำนวณได้ดังสมการนี้

$$\% \text{ RSD} = \frac{\text{SD}}{\text{Mean}} \times 100$$

เมื่อ SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Mean = ค่าเฉลี่ย

(6) ความคงทนของวิธี (Ruggedness)

ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมของวิธีวิเคราะห์ Ca, Mg, Na และ K ด้วยเครื่อง ICP-OES โดยการทดสอบ Ruggedness มี 7 ตัวแปร จำนวน 8 การทดลอง การทดลองละ 4 ซ้ำ ด้วยวิธี Youden-Steiner testing (สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ, 2564) รวมทั้งหมด 336 ตัวอย่าง รายละเอียดของตัวแปรที่ใช้ทดสอบแสดงดังตารางที่ 3 และแผนการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 โดยเลือกปัจจัยที่อาจมีผลต่อการวิเคราะห์ ดังนี้

- ปัจจัยที่ 1 (A/a) เปลี่ยนระยะเวลาการเขย่าดินจาก 15 เป็น 10 นาที เพื่อลดเวลาการทำงาน
- ปัจจัยที่ 2 (B/b) เปลี่ยนการเตรียมน้ำยาสกัด 1 N NH_4OAc pH 7 จากการเตรียมด้วยสารละลายกรดอะซิติกและสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เป็นการใส่สารแอมโมเนียมอะซิเตรทมาละลายในน้ำกลั่น แล้วจึงปรับ pH เพื่อลดระยะเวลาการทำงานและเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงาน
- ปัจจัยที่ 3 (C/c) ระยะเวลาการกรอง หากสามารถตั้งสารละลายที่สกัดได้ทิ้งไว้ได้ 5 นาที ผู้วิเคราะห์จะสามารถดำเนินการวิเคราะห์ได้เพียงลำพังโดยไม่ต้องการผู้ช่วย
- ปัจจัยที่ 4 (D/d) เนื่องจากใน GLOSOLAN SOP-17 ไม่ได้กำหนดเวลาที่ใช้ในการปั่นเหวี่ยงอย่างชัดเจน ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาตัวแปรนี้เพื่อกำหนดเป็นวิธีมาตรฐานของกลุ่มวิจัยเคมีดิน โดยศึกษาการปั่นเหวี่ยงที่ 10 นาที (อ้างอิงจาก Sparks et al. (1996)) และ 5 นาที เพื่อลดเวลาการทำงาน
- ปัจจัยที่ 5 (E/e) การกรอง โดยปกติจะกรองผ่านกรวยกรองพลาสติก แต่หากดินที่วิเคราะห์มีความละเอียดสูง จะทำให้ใช้เวลากรองนานขึ้น การใช้การกรองด้วยระบบกรองสุญญากาศจะช่วยลดระยะเวลาการกรองลงได้
- ปัจจัยที่ 6 (F/f) ระยะเวลาการก่อนการวิเคราะห์ เนื่องจากผู้วิเคราะห์อาจได้รับงานมอบหมายอื่น หรือต้องเดินทางไปทำงานที่ต่างจังหวัด ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ทันทีหลังจากทำการสกัดดิน
- ปัจจัยที่ 7 (G/g) เบอร์กระดาชกรอง โดยเปรียบเทียบระหว่างกระดาชกรองเบอร์ 42 (Sparks et al., 1996) กับเบอร์ 5 ซึ่งมีราคาถูกกว่า และวิธีวิเคราะห์ของ GLOSOLAN SOP-17 ไม่ได้กำหนดเบอร์ของกระดาชกรองไว้

ตารางที่ 3 ตัวแปรของการทดสอบภายใต้สภาวะมาตรฐานและสภาวะที่เปลี่ยนแปลง

ตัวแปร	สัญลักษณ์ตัวแปร	สภาวะ	ปกติ (A-G)	เปลี่ยนแปลง (a-g)
A	A/a	ระยะเวลาการเขย่าดิน	15	10
B	B/b	การเตรียมน้ำยาสกัด	ของเหลว	ของแข็ง
C	C/c	ระยะเวลาการกรอง	กรองทันที	ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที
D	D/d	เวลาในการปั่นเหวี่ยง	10 นาที	5 นาที
E	E/e	วิธีการกรอง	กรวยกรองพลาสติก	กรองด้วยระบบสุญญากาศ
F	F/f	ระยะเวลาการก่อนวิเคราะห์	1 วัน	7 วัน
G	G/g	เบอร์กระดาชกรอง	เบอร์ 42	เบอร์ 5

ตารางที่ 4 แผนการทดลอง

การทดลอง		แผนการทดลอง						ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์
1	A	B	C	D	E	F	G	Y1
2	A	B	c	D	e	f	g	Y2
3	A	b	C	d	E	f	g	Y3
4	A	b	c	d	e	F	G	Y4
5	a	B	C	d	E	F	g	Y5
6	a	B	c	d	e	f	G	Y6
7	a	b	C	D	E	f	G	Y7
8	a	b	c	D	e	F	g	Y8

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ (A-G) หมายถึงการทดลองในสภาวะปกติ (ตามวิธีมาตรฐาน)

ตัวอักษรพิมพ์เล็ก (a-g) หมายถึงการทดลองที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของวิธีวิเคราะห์

จากนั้นคำนวณค่าผลกระทบของตัวแปร (E) ของแต่ละตัวแปร 7 ตัวแปร จาก 8 การทดลอง โดยใช้หลักการการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (difference of means) ซึ่งเป็นการคำนวณความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของผลตอบสนอง (response) ที่ได้จากระดับที่เปลี่ยนแปลง (ตัวอักษรพิมพ์เล็ก (a-g)) และระดับปกติของปัจจัยนั้น ๆ (ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ (A-G)) ดังนี้

$$EA = (Y1 + Y2 + Y3 + Y4)/4 - (Y5 + Y6 + Y7 + Y8)/4$$

$$EB = (Y1 + Y2 + Y5 + Y6)/4 - (Y3 + Y4 + Y7 + Y8)/4$$

$$EC = (Y1 + Y3 + Y5 + Y7)/4 - (Y2 + Y4 + Y6 + Y8)/4$$

$$ED = (Y1 + Y2 + Y7 + Y8)/4 - (Y3 + Y4 + Y5 + Y6)/4$$

$$EE = (Y1 + Y3 + Y6 + Y8)/4 - (Y2 + Y4 + Y5 + Y7)/4$$

$$EF = (Y1 + Y4 + Y5 + Y8)/4 - (Y2 + Y3 + Y6 + Y7)/4$$

$$EG = (Y1 + Y4 + Y6 + Y7)/4 - (Y2 + Y3 + Y5 + Y8)/4$$

โดยค่า E ที่คำนวณได้จะแสดงถึงขนาดและทิศทางของผลกระทบที่ตัวแปร A มีต่อผลวิเคราะห์ เช่น ปัจจัย A ถ้า EA คำนวณที่ได้มีค่าเป็นบวก ($E > 0$) แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงตัวแปร A ทำให้ค่าผลวิเคราะห์เพิ่มขึ้น หาก EA มีค่าเป็นลบ ($E < 0$) แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงตัวแปร A ทำให้ค่าผลวิเคราะห์ลดลง และถ้า EA มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ($E \approx 0$) แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงตัวแปร A ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อผลการวิเคราะห์ ซึ่งการคำนวณนี้จะช่วยให้ระบุได้ว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลกระทบต่อความเสถียรของวิธีวิเคราะห์ และควรได้รับการควบคุมอย่างเข้มงวดระหว่างปฏิบัติงาน

ในการประเมินการผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมของการทดสอบนั้น อาศัยการเปรียบเทียบระหว่างค่าผลกระทบของตัวแปร (E) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ของผลลัพธ์ทั้งหมด ค่า S จะเป็นตัวแทนของความผันแปรแบบสุ่มหรือ "ความคลาดเคลื่อน" (error) ที่เกิดขึ้นในการทดลอง (David, 2009) โดยใช้เกณฑ์ประเมิน ดังนี้

$|E| > S$ แสดงว่า ปัจจัยนั้นมีผลกระทบที่มีนัยสำคัญ (significant effect) ต่อผลวิเคราะห์ ซึ่งหมายความว่าปัจจัยนั้นๆ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ควรได้รับการควบคุมอย่างเข้มงวด

$|E| < S$ แสดงว่าปัจจัยนี้ไม่มีผลกระทบที่มีนัยสำคัญ (insignificant effect) การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในปัจจัยนี้ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในผลลัพธ์ที่แตกต่างไปจากความผันแปรแบบสุ่ม ซึ่งหมายความว่าปัจจัยนี้อาจไม่จำเป็นต้องควบคุมอย่างเข้มงวด โดย S คำนวณ ได้ดังนี้

$$S = \sqrt{\left(\frac{2}{7}\right) \times \Sigma(E^2)}$$

6.2.4 วิเคราะห์ต้นทุน-ประสิทธิผล (Cost-Effectiveness Analysis; CEA)

การประเมินความคุ้มค่าด้วยวิธี CEA สามารถทำได้โดยประเมินจากต้นทุนต่อหน่วยผลลัพธ์ (Cost-Effectiveness Ratio; CER) โดยคิดจากต้นทุนรวมทั้งหมดของการวิเคราะห์เทียบกับผลลัพธ์ที่ได้ (จำนวนตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้ต่อปี)

$$CER = \frac{\text{ต้นทุนรวมของการวิเคราะห์}}{\text{จำนวนตัวอย่างต่อปี}}$$

หาก CER มีค่าน้อยแสดงว่า คุ้มค่ามาก (ใช้ต้นทุนน้อยต่อผลลัพธ์ 1 หน่วย)

การคำนวณต้นทุน สามารถคิดได้จากค่าเสื่อมราคาเครื่องมือ/ปี รวมกับอุปกรณ์ วัสดุ และสารเคมีที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ต่อ 1 ตัวอย่าง โดยค่าเสื่อมราคาเครื่องมือใช้วิธีการคำนวณค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง (Straight Line Method) ตามแนวทางการคำนวณค่าเสื่อมราคาของกรมสรรพากร (2563) วิธีการคำนวณแบบเส้นตรงเป็นการคำนวณที่จะทำให้ค่าเสื่อมราคาในแต่ละปีนั้นเท่า ๆ กันตามเส้นตรง ยกเว้นปีแรกกับปีสุดท้ายที่จะไม่เต็มปี โดยการกำหนดอายุเครื่องมือและมูลค่าคงเหลืออ้างอิงตามหลักเกณฑ์การคำนวณค่าเสื่อมราคาสินทรัพย์ถาวรสำหรับหน่วยงานภาครัฐ (กรมบัญชีกลาง, 2557) คำนวณได้ดังนี้

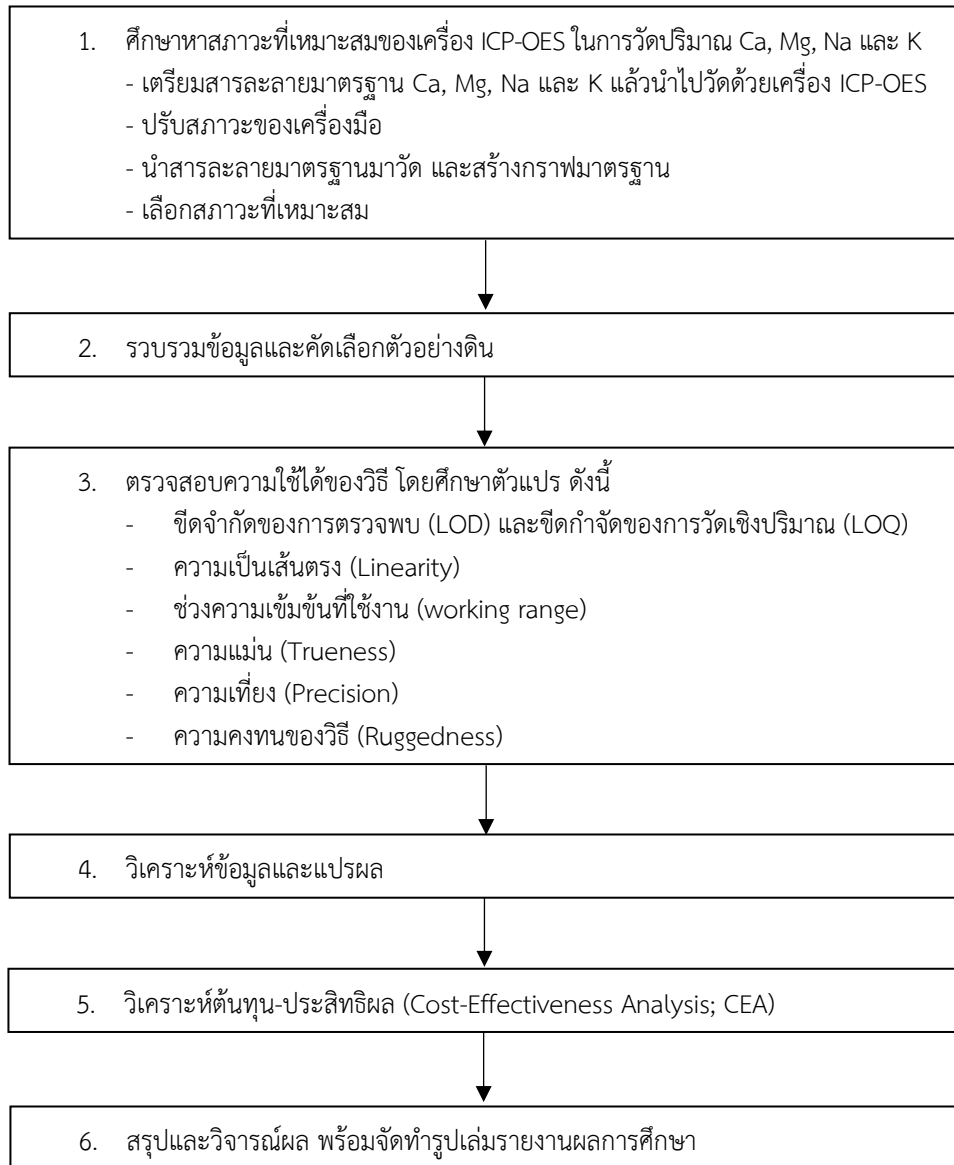
$$\text{ค่าเสื่อมราคา} = \frac{(\text{ราคาทุน} - \text{มูลค่าคงเหลือ})}{\text{อายุการใช้งาน}}$$

โดย อายุการใช้งาน (สูงสุด) เท่ากับ 15 ปี
มูลค่าคงเหลือ เท่ากับ 1

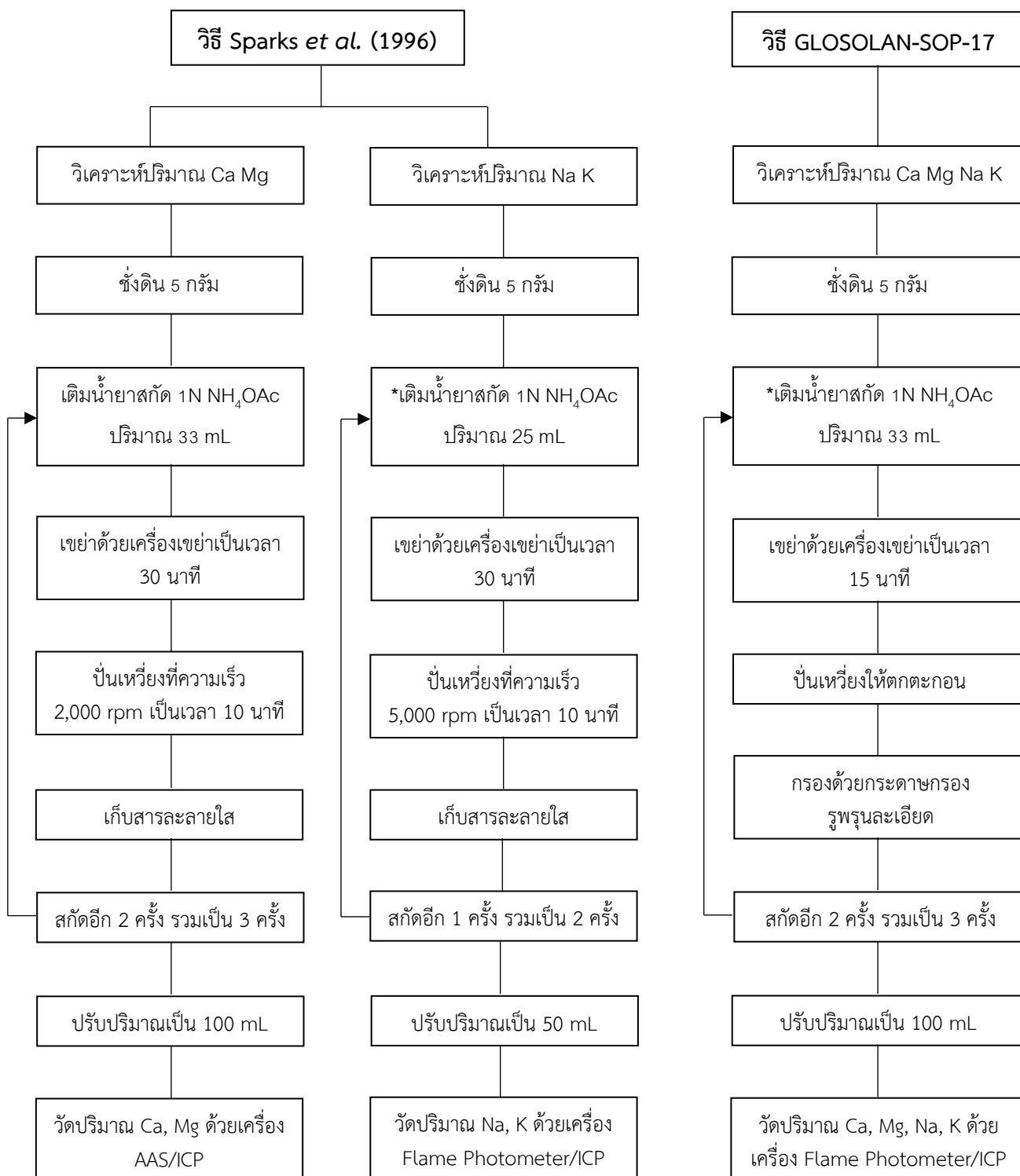
6.2.5 สรุปผลการศึกษา

รวบรวมข้อมูลทั้งหมดนำมาสรุปผลการศึกษา และจัดทำรูปแบบรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ขั้นตอนการดำเนินงานการพัฒนาและตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้
ในดินด้วยเครื่อง ICP-OES



ขั้นตอนวิธีวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเปรียบเทียบระหว่าง
วิธี Sparks *et al.* (1996) กับวิธี GLOSOLAN-SOP-17



7. ผู้ร่วมดำเนินการ (ถ้ามี)

7.1 นางสาวจุฑามาศ ไกรเพิ่ม ตำแหน่ง ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยเคมีดิน มีหน้าที่ตรวจสอบข้อมูลผลการดำเนินงาน ปฏิบัติงานร้อยละ 10

7.2 นางสาวคชามาส ต่ายหัวดง ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ มีหน้าที่ตรวจทานข้อมูลด้านสถิติที่ใช้ในการทดลอง ปฏิบัติงานร้อยละ 10

8. ส่วนของงานที่ผู้เสนอเป็นผู้ปฏิบัติ (ระบุรายละเอียดของผลงานพร้อมทั้งสัดส่วนของผลงาน)

นางสาวทิพานันท์ อุปนิสากร มีหน้าที่วางแผนการวิจัย วิเคราะห์ ทดสอบ บันทึกรวบรวมข้อมูลต่างๆ วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการวิจัย และจัดทำรายงาน รับผิดชอบงาน ร้อยละ 80

9. ผลสำเร็จของงาน (เชิงปริมาณ/คุณภาพ)

9.1 ผลสำเร็จของงานเชิงปริมาณ:

9.1.1 เอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงานมาตรฐาน (SOP) ของวิธีวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินด้วยเครื่อง ICP-OES 1 ฉบับ

9.1.2 รายงานการพัฒนาและตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินด้วยเครื่อง ICP-OES 1 ฉบับ

9.1.3 ผลสำเร็จของงานเชิงคุณภาพ:

9.1.4 สามารถนำวิธีวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินด้วยเครื่อง ICP-OES ไปใช้งานได้เหมาะสม

10. การนำไปใช้ประโยชน์

10.1 สามารถนำวิธีวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินด้วยเครื่อง ICP-OES มาใช้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ รวดเร็ว และปลอดภัยตามมาตรฐานสากล ให้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือและสอบกลับได้

10.2 สามารถเข้าร่วมโปรแกรมทดสอบความชำนาญในรายการวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ภายใต้ GLOSOLAN ได้

10.3 สามารถใช้รายงานการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพื่อประกอบการยื่นขอการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2017 ได้ในอนาคต

11. ความยุ่งยากในการดำเนินการ/ปัญหา/อุปสรรค

11.1 ในขั้นตอนการบั่นเหวี่ยงหลังจากเติมสารละลายน้ำยาสกัด 1 N NH_4OAc pH 7 นั้นสามารถทำการบั่นเหวี่ยงได้รอบละ 16 ตัวอย่าง และใช้เวลารอบละ 10 นาที ดังนั้นเมื่อตัวอย่างมีปริมาณมากจะทำให้การวิเคราะห์มีความล่าช้าได้

11.2 การเขย่าเพื่อสกัดดินด้วยสารละลายต้องทำการเขย่าแบบแนวตั้ง แต่เครื่องเขย่าในห้องปฏิบัติการจะเป็นเครื่องเขย่าแนวระนาบ ผู้วิจัยจึงต้องใช้หลอดพลาสติกพร้อมฝาปิดแบบก้นมน และตรวจสอบให้แน่ใจว่าฝาปิดสนิทก่อนเริ่มทำการเขย่า พร้อมทั้งตรวจเช็คระหว่างการเขย่า เพื่อป้องกันการหกของสารละลาย

12. ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการที่ยังไม่ครอบคลุมเนื้อดินทุกประเภท (เนื้อดินละเอียด ปานกลาง หยาบ) ดังนั้นควรมีการศึกษาตัวอย่างที่เนื้อดินมีความหลากหลาย และครอบคลุมทุกชุดดิน เพื่อยืนยันว่าวิธีวิเคราะห์ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินด้วยเครื่อง ICP-OES (GLOSOLAN-SOP-17) นั้นสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ได้จริงสำหรับดินในประเทศไทย

ขอรับรองว่าผลงานดังกล่าวข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ.....

(นางสาวทิพานันท์ อุปนิสากร)

ผู้เสนอผลงาน

วันที่ ๒๑ / ๙.ค. / ๒๕๖๔

ขอรับรองว่าสัดส่วนหรือลักษณะงานในการดำเนินการของผู้เสนอข้างต้นถูกต้องตรงกับความจริงทุกประการ

ลงชื่อ.....

(นางสาวจุฑามาศ ไกรเพิ่ม)

ผู้ร่วมดำเนินการ

วันที่ ๒๑ / ๙.ค. / ๒๕๖๔

ลงชื่อ.....

(นางสาวคชาภา ต่ายหัดง)

ผู้ร่วมดำเนินการ

วันที่ ๒๑ / ๙.ค. / ๒๕๖๔

ได้ตรวจสอบแล้วขอรับรองว่าผลงานดังกล่าวข้างต้นถูกต้องตรงความเป็นจริงทุกประการ

ลงชื่อ.....

(นางสาวจุฑามาศ ไกรเพิ่ม)

ตำแหน่ง ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยเคมีดิน

วันที่ ๒๑ / ๙.ค. / ๒๕๖๔

ลงชื่อ.....

(นางปิ่นเพชร ดีล้อม)

ผู้อำนวยการสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน

วันที่ ๒๑ / ๙.ค. / ๒๕๖๔

ข้อเสนอแนวทางการพัฒนาหรือปรับปรุงงาน

ของนางสาวทิพานันท์ อุปนิสากร

เพื่อประกอบการแต่งตั้งให้ดำรง ตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ ตำแหน่งเลขที่ 1412

กลุ่มวิจัยเคมีดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน

1. เรื่อง แนวทางการจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการทางเคมี
(Guidelines for Chemical Laboratory Waste Management)

2. หลักการและเหตุผล

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (สวต.) มีภารกิจหลักในการวิเคราะห์ดิน น้ำ พืช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน ให้กับนักวิชาการ นักวิจัย ทั้งภายในและภายนอกกรมพัฒนาที่ดิน รวมถึงสถาบันการศึกษา และเกษตรกร กระบวนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมักเกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติทั้งเป็นประโยชน์และเป็นอันตราย ผู้ปฏิบัติงานจึงเสี่ยงต่อการสัมผัสสารเคมีโดยตรง ตลอดจนได้รับผลกระทบทางอ้อมจากสภาพแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนจากสารเคมีเหล่านี้ สวต. ให้ความสำคัญอย่างยิ่งกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ ในปี 2566 จึงได้กำหนดนโยบายและขับเคลื่อนด้านความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการอย่างจริงจัง ด้วยการขอรับรองมาตรฐานความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการผ่านการตรวจประเมินแบบ Peer evaluation ตามมาตรฐาน ESPReL Checklist เพื่อสร้างความมั่นใจเรื่องความปลอดภัยแก่บุคลากร หนึ่งในองค์ประกอบหลักของการตรวจประเมินมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ คือ ระบบการจัดการของเสีย (องค์ประกอบที่ 3) และในการขับเคลื่อนงานด้านมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการด้านการจัดการของเสียนั้น ควรกำหนดหน้าที่และจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการจัดการของเสียของ สวต. เพื่อเป็นแนวปฏิบัติร่วมกัน กำหนดการตรวจติดตาม ประเมินผล และรายงานผลการดำเนินการด้านการจัดการของเสียให้เป็นไปตามแนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยตามมาตรฐาน ESPReL พร้อมทั้งให้คำแนะนำปรึกษาหรืออบรมให้ความรู้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องด้านการจัดการสารเคมีของเสียในห้องปฏิบัติการทางเคมีแก่ห้องปฏิบัติการส่วนกลางและส่วนภูมิภาค ซึ่งปัจจุบันการปฏิบัติงานด้านการจัดการของเสียยังไม่เป็นไปในแนวทางเดียวกัน สวต. จึงมีแนวคิดในการจัดทำแนวทางการจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการทางเคมีให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานให้ครอบคลุมการจัดการของเสีย การจัดเก็บของเสีย การลดการเกิดของเสีย รวมถึงการบำบัดและกำจัดของเสียจากห้องปฏิบัติการ เพื่อให้สามารถประเมินสถานภาพการจัดการของเสียอันตรายภายในห้องปฏิบัติการ และดูแลจัดการของเสียจากห้องปฏิบัติการได้อย่างถูกวิธี ยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

3. บทวิเคราะห์/แนวความคิด/ข้อเสนอ และข้อจำกัดที่อาจเกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

3.1 วัตถุประสงค์

3.1.1 เพื่อกำหนดแนวทางการปฏิบัติงานสำหรับการจัดการของเสียที่เกิดจากกิจกรรมในห้องปฏิบัติการทางเคมีให้เป็นไปอย่างเหมาะสม มีประสิทธิภาพ และปลอดภัย

3.1.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบการจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการทางเคมีสู่การเป็นต้นแบบให้กับห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินทางเคมีในส่วนภูมิภาค (สพข. 1-12)

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.2 แต่งตั้งคณะทำงานด้านระบบการจัดการของเสีย แต่งตั้งผู้รับผิดชอบเป็นผู้ดูแลระบบฯ หลักของ สวด. และเจ้าหน้าที่ที่ดูแลด้านการจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการแต่ละกลุ่ม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการของเสียที่เกิดขึ้น

3.2.3 ศึกษากระบวนการจัดการของเสียที่กำหนดไว้ในแนวปฏิบัติ ESPReL Checklist องค์ประกอบที่ 3 เพื่อรวบรวมข้อมูลด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบการจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินทางเคมี

3.2.4 จัดทำระบบบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและปริมาณของเสีย การรายงานปริมาณของเสีย และ ข้อมูลการกำจัดของเสีย (clearance) ของสำนักฯ โดยให้เป็นระบบบันทึกข้อมูลที่ใช้ทำงานง่ายและเข้าถึงได้สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดจะช่วยให้สามารถบันทึกข้อมูลที่เป็นได้อย่างครบถ้วน และเชื่อมโยงข้อมูลเหล่านี้เข้าด้วยกัน ทำให้การบริหารจัดการของเสียอันตรายมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3.2.5 จัดทำเอกสารขั้นตอนการดำเนินงานของ สวด. โดยมีรายละเอียด ดังนี้

(1) จัดทำระบบจำแนกประเภทของของเสียอ้างอิงเกณฑ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรมวิทยาศาสตร์บริการ หรือจากบริษัทรับกำจัดของเสีย ไม่ว่าจะใช้ระบบแบบใดก็ตาม ของเสียที่รอการกำจัดควรมีการติดฉลากให้ชัดเจน ดังภาพที่ 1

ส่วนที่ 1 สำหรับติดด้านบนภาชนะใส่ของเสีย		ฉลากของเสีย	
สัญลักษณ์ความเป็นอันตราย		ประเภทของเสีย.....	
		ชื่อห้องปฏิบัติการ/ชื่อเจ้าของ.....	
		สถานที่.....	
		เบอร์โทรติดต่อ.....	
ผู้รับผิดชอบ/เบอร์โทร:	ส่วนประกอบของเสีย		
รหัสฉลาก/รหัสภาชนะ	ปริมาณของเสีย		
	วันที่เริ่มบรรจุของเสีย		
	วันที่หยุดการบรรจุของเสีย		

ภาพที่ 1 แสดงป้ายฉลากของเสีย

(2) กำหนดแนวปฏิบัติในการรวบรวมและจัดเก็บของเสีย โดยจำแนกของเสีย และจัดเก็บในภาชนะบรรจุของเสียที่เหมาะสมให้ถูกต้องตามเกณฑ์ที่เลือกไว้ในข้อ (1) ตรวจสอบสภาพภาชนะบรรจุของเสีย เช่น รอยร้าว หรือแตกร้าวอย่างสม่ำเสมอ ต้องติดฉลากบนภาชนะทุกชนิดที่บรรจุของเสียทุกถัง ตรวจสอบสภาพของฉลากบนภาชนะของเสียอย่างสม่ำเสมอโดยข้อความบนฉลากต้องมีความชัดเจน ไม่จาง ไม่เลือน หากใช้ขวดสารเคมีเก่าบรรจุของเสีย ต้องลอกฉลากเดิมออกก่อนและติดฉลากใหม่ที่มีข้อมูลครบถ้วน ห้ามบรรจุของเสียเกินกว่า 80% ของความจุของภาชนะ หรือปริมาณของเสียต้องอยู่ต่ำกว่าปากภาชนะอย่างน้อย 1 นิ้ว มีการกำหนดพื้นที่/บริเวณจัดเก็บของเสียอย่างชัดเจน โดยจัดเก็บ/จัดวางของเสียที่เข้ากันไม่ได้โดยอิงตาม

เกณฑ์การเข้ากันไม่ได้ของสารเคมี (chemical incompatibility) สามารถใช้เกณฑ์เดียวกับการจัดเก็บสารเคมีที่เข้ากันไม่ได้ และมีภาชนะรองรับ (secondary container) บรรจุของเสียที่เหมาะสม โดยมีข้อห้ามดังนี้

- ห้ามวางภาชนะบรรจุของเสียใกล้ท่อระบายน้ำใต้หรือในอ่างน้ำ หากจำเป็น ต้องมีภาชนะรองรับ
- ห้ามวางภาชนะบรรจุของเสียใกล้บริเวณอุปกรณ์ฉุกเฉิน เช่น ฝักบัวฉุกเฉิน
- ห้ามวางภาชนะบรรจุของเสียกีดขวางทางเข้า-ออก
- ห้ามวางภาชนะบรรจุของเสียใกล้แหล่งกำเนิดความร้อน แหล่งกำเนิดไฟ และเปลวไฟ
- ห้ามเก็บของเสียประเภทไวไฟไว้ในห้องปฏิบัติการมากกว่า 50 ลิตร หากจำเป็น

ต้องเก็บไว้ในตู้สำหรับเก็บสารไวไฟโดยเฉพาะ

- ห้ามเก็บของเสียไว้ในตู้วันอย่างถาวร
- กำหนดระยะเวลาในการจัดเก็บของเสียในห้องปฏิบัติการ หากเป็นของเสียพร้อมส่งกำจัด (ปริมาตร 80% ของภาชนะ) ไม่ควรเก็บไว้นานกว่า 90 วัน ในกรณีที่ของเสียไม่เต็มภาชนะ (ปริมาตรน้อยกว่า 80% ของภาชนะ) ไม่ควรเก็บของเสียไว้นานกว่า 1 ปี

(3) การบำบัดและกำจัดของเสีย ห้องปฏิบัติการควรมีกระบวนการจัดการเบื้องต้นก่อนทิ้งหรือส่งกำจัด ได้แก่

- การบำบัดของเสียก่อนทิ้ง หมายถึง ห้องปฏิบัติการควรมีการบำบัดของเสียที่มีความเป็นอันตรายน้อยที่สามารถกำจัดได้เองก่อนทิ้งลงสู่ระบบสุขาภิบาลสาธารณะ เช่น การสะเทินของเสียกรดและเบสให้เป็นกลางก่อนทิ้งลงท่อน้ำสุขาภิบาล เป็นต้น

- การบำบัดของเสียก่อนส่งกำจัด หมายถึง ห้องปฏิบัติการควรมีการบำบัดของเสียอันตรายที่ไม่สามารถกำจัดได้เองเบื้องต้นก่อนส่งบริษัทหรือหน่วยงานที่รับกำจัด เพื่อลดความเป็นอันตรายระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง

- การลดปริมาณก่อนทิ้ง หมายถึง ห้องปฏิบัติการควรมีแนวทางจัดการที่ต้นทางก่อนเกิดของเสีย เพื่อลดปริมาณของเสียปลายทาง หรือทำให้เกิดของเสียอันตรายปลายทางน้อยที่สุด เช่น การใช้สารเคมีตั้งต้นที่ไม่อันตรายทดแทนสารเคมีอันตราย และ/หรือการลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ทำปฏิกิริยา

- การลดปริมาณก่อนส่งกำจัด หมายถึง ห้องปฏิบัติการควรมีแนวทางในการลดปริมาณของเสียอันตรายที่ไม่สามารถกำจัดได้เองก่อนส่งบริษัทรับกำจัด เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัด เช่น การทำให้ของเสียที่มีโลหะหนักในปริมาณน้อยๆ เข้มข้นขึ้น เช่น การทำให้ตัวทำละลายระเหยหรือตกตะกอน เพื่อแยกส่วนที่เป็นโลหะหนักออกมาจากสารละลายก่อนส่งกำจัดในสภาพสารละลายเข้มข้นหรือตะกอนของโลหะหนัก เป็นต้น

- การ Reuse, Recovery, Recycle ของเสียที่เกิดขึ้น

(4) กำหนดแผนการตรวจติดตามประเมินและรายงานผลการดำเนินการด้านต่างๆ ของการจัดการของเสีย โดยห้องปฏิบัติการควรมีการติดตามตรวจสอบฯ อย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้สามารถมองเห็นภาพรวมเกี่ยวกับการจัดการของเสีย การเตรียมงบประมาณสำหรับการกำจัด และการจัดเตรียมสถานที่จัดเก็บของเสียที่เหมาะสม

(5) ห้องปฏิบัติการภายใต้ สวท. ดำเนินการตามแนวปฏิบัติ ดังนี้

- การแยกประเภทของเสีย โดยดำเนินการตามการจำแนกประเภทของเสียตามขั้นตอนการดำเนินงาน เรื่อง การจัดการของเสียของสำนักฯ

- การเก็บและรวบรวมของเสียที่เป็นของเหลว หากเป็นของเสียที่ไม่เป็นอันตราย สามารถทิ้งลงท่อน้ำทิ้งได้เลยโดยไม่ต้องเก็บ หากเป็นของเสียที่ไม่เป็นอันตรายที่ต้องมีการบำบัดก่อนทิ้ง ให้เก็บรวบรวมไว้ตามประเภทและทำการบำบัดตามคำแนะนำในขั้นตอนการดำเนินงาน เรื่อง การจัดการของเสีย ก่อนทิ้งลงท่อ

ระบายน้ำ และหากเป็นของเสียอันตรายให้เก็บแยกประเภทในภาชนะที่เหมาะสม โดยบรรจุของเสียไม่เกิน 80% ของปริมาตรภาชนะที่ใช้จัดเก็บ

- ปิดฝาภาชนะให้สนิททุกครั้งหลังการถ่ายเท เพื่อป้องกันการระเหยของสารเคมีและเพื่อความปลอดภัย

- จัดบันทึกปริมาณลงในแบบฟอร์มบันทึกปริมาณของเสียประเภทของเหลวทุกครั้งที่ทำ การทดสอบ

- ติดป้ายแสดงฉลากของเสียบนภาชนะจัดเก็บให้เห็นชัดเจน โดยระบุประเภทของเสียใน รูปแบบรหัส เลขห้องปฏิบัติการที่ก่อให้เกิดของเสียตามแผนผังห้องปฏิบัติการ และหมายเลขขวด โดยรหัส ฉลากของเสีย ประกอบด้วยตัวเลข 3 ชุด เรียงลำดับ เช่น W0103001

A	B	C
---	---	---

โดยที่ A หมายถึง รหัสของเสียของห้องปฏิบัติการ

B หมายถึง เลขห้องปฏิบัติการที่ก่อให้เกิดของเสีย

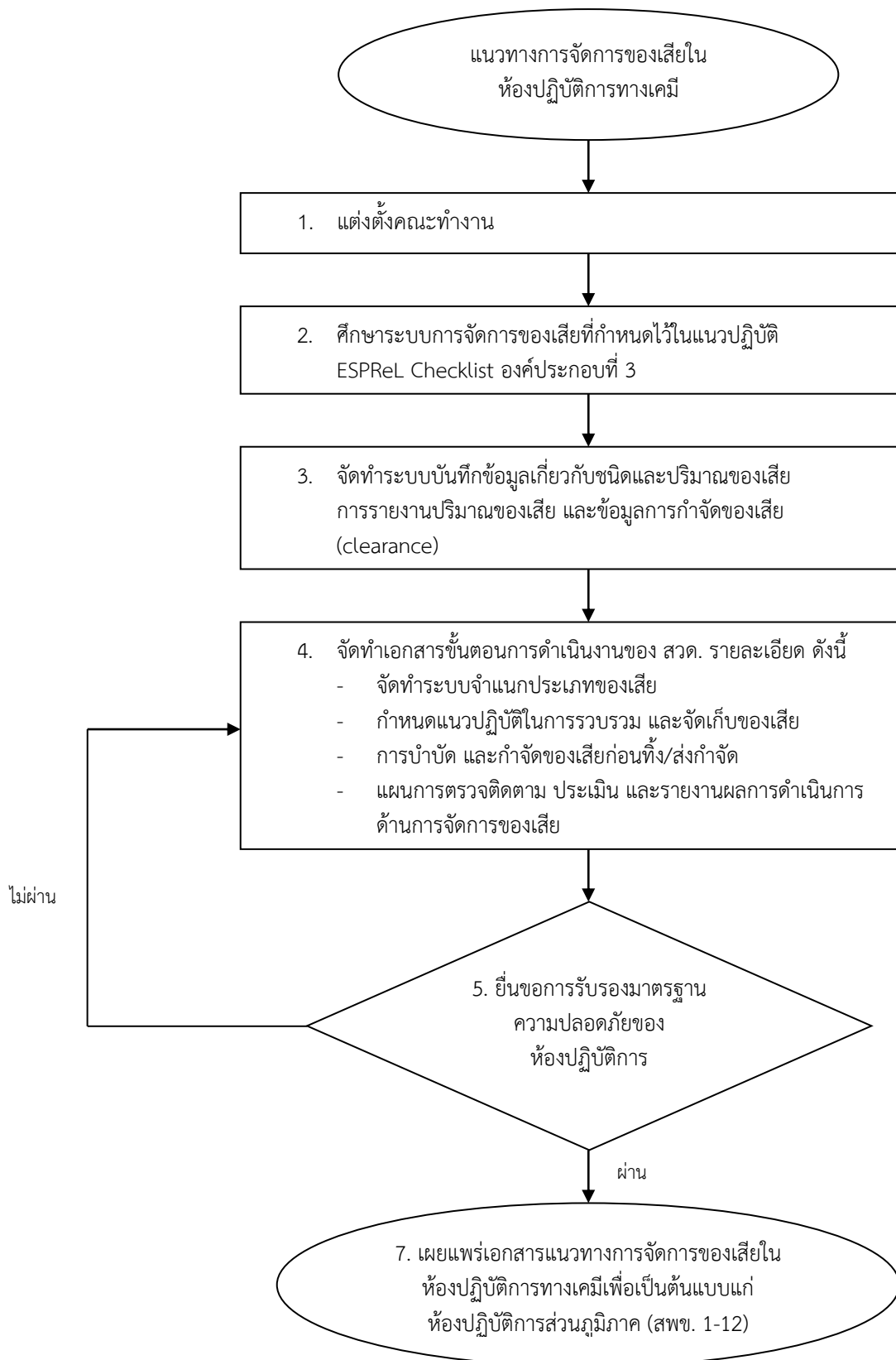
C หมายถึง หมายเลขขวด แทนด้วยตัวเลข 3 หลัก

- การเก็บและรวบรวมของเสียที่เป็นของแข็ง โดยแยกเก็บลงในถังที่จัดเตรียมไว้ บันทึก ข้อมูลของเสียตามแบบฟอร์มบันทึกปริมาณของเสียประเภทของแข็งทุกครั้ง

- การรายงานข้อมูลของเสียและการส่งกำจัด ให้บันทึก และรายงานข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้น ในแต่ละเดือนตามแบบฟอร์มรายงานข้อมูลของเสียประจำเดือน นำส่งให้ผู้ดูแลระบบฯ หลักของ สวด.

- ผู้ดูแลระบบฯ หลัก/คณะทำงานด้านระบบการจัดการของเสียของ สวด. แจ้งกำหนดส่ง ของเสียจากห้องปฏิบัติการเพื่อส่งไปกำจัดยังหน่วยงานภายนอก เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานประจำกลุ่มกรอกข้อมูล ตามแบบฟอร์มรายงานข้อมูลของเสียเพื่อการรวบรวมส่งไปกำจัด เพื่อสรุปปริมาณของเสียทั้งหมดและส่งให้ ผู้แทนของ สวด. ดำเนินการต่อไป

แผนผังการดำเนินงาน



4. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 แนวทางการจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการทางเคมีของ สวท. ที่สอดคล้องตามแนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

4.2 แนวทางการจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการทางเคมีที่สามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบการจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการในส่วนภูมิภาค (สพข. 1-12)

4.3 ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการมีแนวทางในการดำเนินงานด้านการจัดการของเสียที่ช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน และลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

5. ตัวชี้วัดความสำเร็จ

5.1 เชิงปริมาณ: เอกสารขั้นตอนการดำเนินงานของระบบการจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการ 1 ฉบับ

5.2 เชิงคุณภาพ: ได้รับการรับรองมาตรฐานความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการจากการตรวจประเมินแบบ Peer evaluation ตามมาตรฐาน ESPReL Checklist โดยมีผลคะแนนรวมทั้ง 7 องค์ประกอบ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 และในองค์ประกอบที่ 3 (ระบบการจัดการของเสีย) ได้คะแนนไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

ลงชื่อ.....

(นางสาวทิพานันท์ อุปนิสกร)

ผู้ขอประเมิน

วันที่ 21 / 5.ค. / 2568