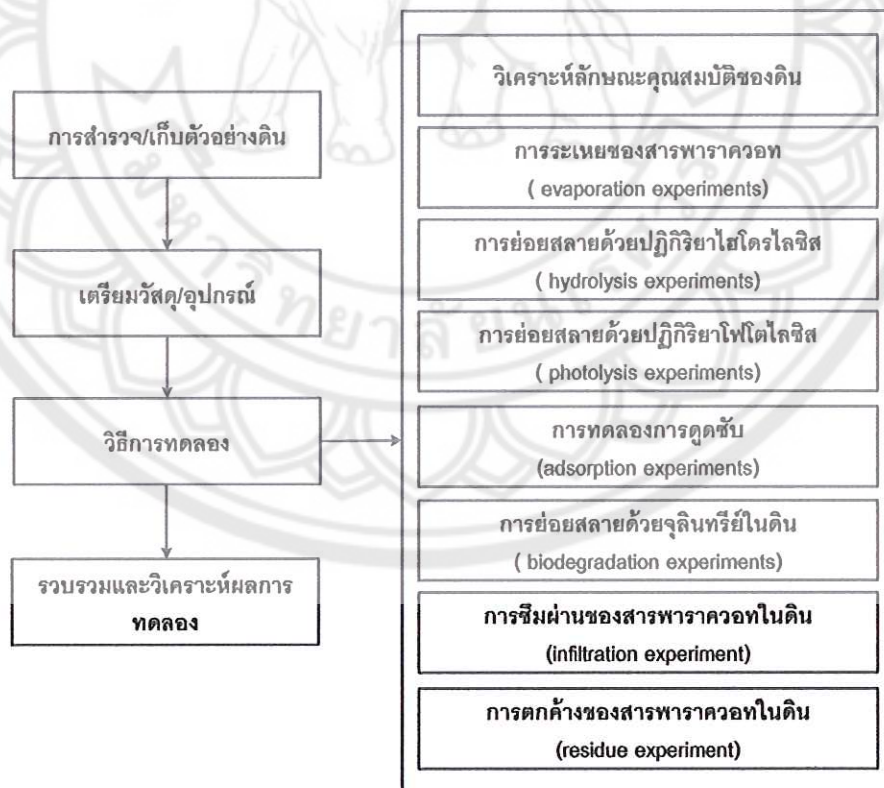


บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษากการเปลี่ยนแปลงรูปทางกายภาพ - เคมีของสารพาราควอทที่เกิดขึ้นในดินเพาะปลูกนี้ เริ่มต้นจากการเลือกชุดดินที่นำมาศึกษา โดยการสำรวจพื้นที่การปนเปื้อนสารพาราควอทในพื้นที่ เกษตรกรรม การทดลองประกอบไปด้วย การศึกษาอัตราการระเหยกลายเป็นไอของพาราควอท การศึกษากการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารพาราควอท การศึกษากการย่อยสลายด้วย ปฏิกิริยาโฟโตไลซิสของสารพาราควอท การศึกษาลักษณะการดูดซับของสารพาราควอทในดิน การศึกษากการย่อยสลายสารพาราควอทด้วยจุลินทรีย์ในดิน การศึกษากการซึมผ่านและการตกค้าง ของสารพาราควอทในดิน ซึ่งการทดลองดังกล่าวจะทำให้ทราบค่าความเข้มข้นของสารพาราควอท และลักษณะพฤติกรรมของสารพาราควอทในดินของแต่ละการทดลอง โดยขั้นตอนการดำเนินงาน วิจัยแสดงดังภาพ 17



ภาพ 17 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การสำรวจและการเก็บตัวอย่างดิน

1. สถานที่ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดิน

สถานที่ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินในงานวิจัยนี้เป็นพื้นที่ที่ใช้ในการทำเกษตรกรรมในจังหวัดน่านซึ่งทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 2 จุด ประกอบไปด้วย บ้านหนองรัง ตำบลท่านาว อำเภอกิ่งอำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน และบ้านท่านาว ตำบลท่านาว อำเภอกิ่งอำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน แสดง ดังภาพ 18 และภาพ 19



ภาพ 18 จุดเก็บตัวอย่างบ้านหนองรัง ตำบลท่านาว อำเภอกิ่งอำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน



ภาพ 19 จุดเก็บตัวอย่างบ้านท่าน้ำ ตำบลท่าน้ำ อำเภอกิ่งอำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน

2. การเก็บตัวอย่างดิน

สำหรับดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินที่อยู่บริเวณพื้นที่เกษตรกรรมของจังหวัดน่านโดยทำการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้สว่านเจาะดินโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ทางแผ่นพลาสติกใกล้ๆ กับบริเวณที่จะเจาะดิน

2.2 ใช้เสียมหรือพลั่วตักดินด้านบนออกประมาณ 10 เซนติเมตร ซึ่งดินจะไม่มีเศษไม้ ใบไม้ หินปนอยู่

2.3 เจาะดินด้วยสว่านเจาะดิน โดยค่อยๆ หมุนสว่านลงไปเรื่อยๆ โดยไม่ต้องออกแรงมาก จากนั้นค่อยๆ ดึงสว่านเจาะดินที่เก็บตัวอย่างดินขึ้นมาที่ละน้อย

2.4 ระบุคุณลักษณะของสีดิน เนื้อดิน และลักษณะอื่นๆ

2.5 นำดินที่ได้มาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (ทำให้แห้ง) จนน้ำหนักดินไม่มีการเปลี่ยนแปลง

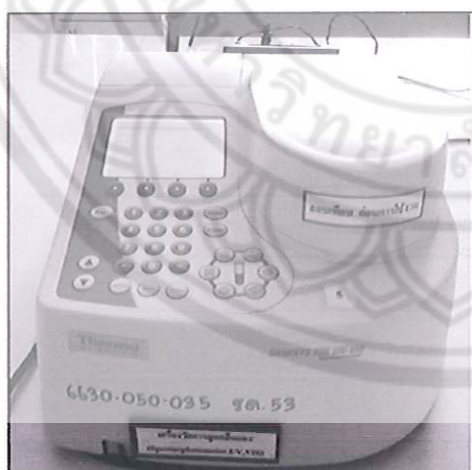
วัสดุ (Material)

1. สารพาราควอท (1,1-dimethyl-4,4-bipyridinium ion)
2. ดิน เป็นดินที่เก็บจากพื้นที่เกษตรกรรมในจังหวัดน่านซึ่งดินที่ใช้จะทำการหุดเจาะโดย
โดยใช้สว่านเจาะดิน
3. แบบจำลองสภาวะการปนเปื้อนของสารพาราควอทที่ใช้ในการทดลองทำจากแก้ว

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย

1. เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง เช่น กระจกตวง แท่งแก้วคนสาร ขวดรูปชมพู่ ปีกเกอร์
ขวดปรับปริมาตร เป็นต้น
2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
3. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
4. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง รุ่น Thermo Scientific GENESYS™ 10S UV-Visible
Spectrophotometer ดังภาพ 20 ก.
5. เครื่องอัลตราโซนิก (ultrasonic experiment) ดังภาพ 20 ข.
6. เครื่องหมุนเหวี่ยง แสดงดังภาพ 21

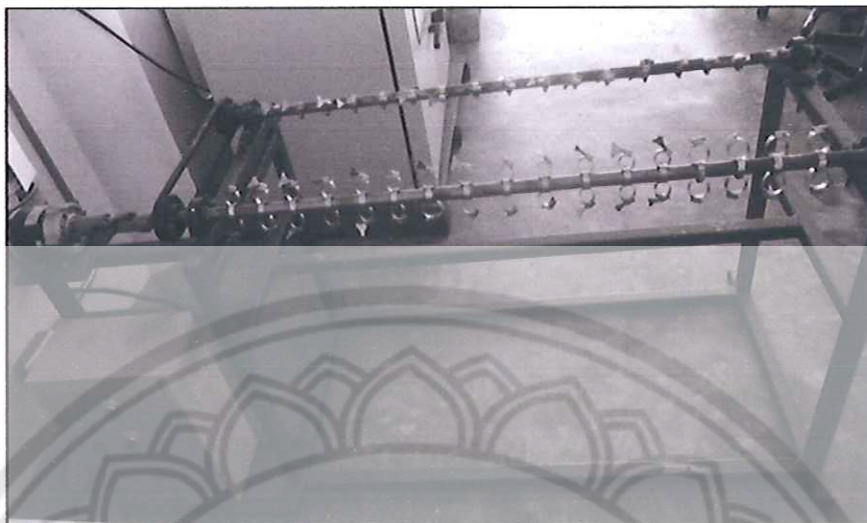


ก. เครื่องวัดค่าการดูดกลืน



ข. เครื่องอัลตราโซนิก

ภาพ 20 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์



ภาพ 21 ลักษณะเครื่องมือเหวี่ยง

วิธีการทดลอง (experiment)

1. การวิเคราะห์หาลักษณะคุณสมบัติของดิน

การวิเคราะห์หาลักษณะคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของดิน อินทรีย์วัตถุของดิน และการวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน

1.1 การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil pH) ในการวิเคราะห์หาความเป็นกรด-ด่างของดินจะทำการทดลองโดยนำวิธีการทดลองจากคู่มือปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมีกรมพัฒนาที่ดิน [38] โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1.1.1 การวัดพีเอชในน้ำที่อัตราส่วนดินต่ออัตราส่วนน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 8

1.1.2 ชั่งดิน 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์

1.1.3 เติมน้ำกลั่นประมาณ 80 มิลลิลิตร จากนั้นคนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วเป็นระยะๆ ในเวลา 30 นาที

1.1.4 ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ 30 นาที ดังภาพ 22 แล้วนำไปทำการวัดค่าพีเอชของดินในน้ำด้วยเครื่องวัดพีเอช จากนั้นบันทึกผลการทดลองและแปลผลความเป็นกรด-ด่างของดินในน้ำดังตาราง 3



ภาพ 22 การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil pH)

ตาราง 3 แสดงการแปลความหมายค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในน้ำ [38]

| ระดับ | ช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง |
|--------------------|-------------------------|
| กรดรุนแรงมากที่สุด | <3.5 |
| กรดรุนแรงมาก | 3.5-4.4 |
| กรดจัดมาก | 4.5-5.0 |
| กรดจัด | 5.1-5.5 |
| กรดปานกลาง | 5.6-6.0 |
| กรดเล็กน้อย | 6.1-6.5 |
| เป็นกลาง | 6.6-7.3 |
| ด่างอ่อน | 7.4-7.8 |
| ด่างปานกลาง | 7.9-8.4 |
| ด่างจัด | 8.5-9.0 |
| ด่างจัดมาก | >9.0 |

1.2 การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุของดิน (walkley black modified acid-dichromate digestion, FeSO_4 titration method) การวิเคราะห์หาค่าอินทรีย์วัตถุของดินจะทำการทดลองโดยนำวิธีการทดลองจากคู่มือปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี กรมพัฒนาที่ดิน [38] โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1.2.1 สารเคมี

- 1) สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 1.0 นอร์มอล
- 2) กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4)
- 3) สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น 0.5 นอร์มอล
- 4) สารละลายออร์โทไฟฟอสเฟตอินดิเคเตอร์

1.2.2 วิธีการทดลอง

- 1) ชั่งดิน 1 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) เติมสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 1.0 นอร์มอล ปริมาณ 10 มิลลิลิตร โดยใช้ dispenser
- 3) เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร โดยใช้ dispenser พยายามให้กรดไหลลงข้างๆ ขวดให้ชะล้างตัวอย่างลงไปอยู่ในขวดให้หมด เพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดดินเกาะติดอยู่ตามข้างขวด เขย่าเบาๆ ให้ตัวอย่างเข้ากันดีเป็นเวลาประมาณ 1 นาที
- 4) ตั้งทิ้งไว้จนสารละลายเย็นเท่าอุณหภูมิห้อง
- 5) เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
- 6) หยดอินดิเคเตอร์ออร์โทไฟฟอสเฟตอินดิเคเตอร์ 5 หยด
- 7) นำมาไตเตรทด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น 0.5 นอร์มอล ที่จุดยุติ ซึ่งสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นน้ำตาลแดง
- 8) ทำ blank โดยเริ่มทำตามตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 จนถึงขั้นตอนที่ 6

1.2.3 วิธีการคำนวณ

การคำนวณหาค่าปริมาณสารอินทรีย์วัตถุในดิน (organic matter, O.M.) สามารถคำนวณได้ 2 วิธีได้แก่ การหาร้อยละของสารอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon, O.C.) และการหาร้อยละของอินทรีย์วัตถุซึ่งสามารถคำนวณดังสมการ 10 ถึง 12

$$\text{ร้อยละอินทรีย์คาร์บอน} = [10 \times (B-S) \times 100 \times 3 \times 100 \times N] / (B \times 77 \times 1000 \times W) \quad (10)$$

$$\text{ร้อยละอินทรีย์วัตถุ} = [10 \times (B-S) \times 100 \times 100 \times 3 \times 100 \times N] / (B \times 77 \times 58 \times 1000 \times W) \quad (11)$$

หรือ $\text{ร้อยละอินทรีย์วัตถุ} = \text{ร้อยละอินทรีย์คาร์บอน} \times 1.724 \quad (12)$

โดยที่ B คือปริมาณเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรท Blank (มิลลิลิตร)

S คือปริมาณเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

W คือน้ำหนักดินที่ใช้ (กรัม)

N คือค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)

ตาราง 4 แสดงแปลผลระดับอินทรีย์วัตถุในดิน [38]

| ระดับ | พิสัย (ร้อยละ) |
|-------------|----------------|
| ต่ำมาก | <0.5 |
| ต่ำ | 0.5-1.0 |
| ค่อนข้างต่ำ | 1.0-1.5 |
| ปานกลาง | 1.5-2.5 |
| ค่อนข้างสูง | 2.5-3.5 |
| สูง | 3.5-4.5 |
| สูงมาก | >4.5 |

1.3 การวิเคราะห์หาค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน (cation exchange capacity, CEC) โดยนำวิธีการทดลองมาจากคู่มือปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี กรมพัฒนาที่ดิน [38] โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1.3.1 สารเคมี

- 1) สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (NH_4OAc) 1 โมลาร์
- 2) สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 1 โมลาร์
- 3) สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 โมลาร์

- 4) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 10 % acidified
- 5) เอทิลแอลกอฮอล์ 95 %
- 6) สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) 3 %
- 7) สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม
- 8) สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1 %
- 9) สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ($AgNO_3$) 0.10 โมลาร์
- 10) สารละลายกรดเกลือหรือกรดไฮโดรริก (HCl) 0.1 โมลาร์
- 11) สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 โมลาร์
- 12) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40 %
- 13) โฟแตสเชื่อมไฮโดรเจนพะทาเลท

1.3.2 วิธีการทดลอง

- 1) ชั่งดิน 5 กรัม ใส่ในขวดชมพูขนาด 125 มิลลิลิตร และเติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตทพีเอช (pH 7) เข้มข้น 1 โมลาร์ 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดีทั้งไว้ค้างคืน
- 2) นำตัวอย่างที่เตรียมในข้อที่ 1) มากรองโดยใช้กรวยบุชเนอร์ต่อเข้ากับขวดกรองใช้กระดาษกรอง Whatman No. 5 จำนวน 1 แผ่น (หรือใช้ No. 42 จำนวน 1 แผ่นหรือ No. 1 จำนวน 2 แผ่นแทนกันได้) และล้างตัวอย่างดินด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตทพีเอช (pH 7) เข้มข้น 1 โมลาร์ ทีละน้อยหลายๆ ครั้งจนได้ปริมาตรเกือบ 100 มิลลิลิตร นำสารละลายที่กรองได้นี้ถ่ายใส่ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เก็บไว้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออนที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable cations) Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ และ K^+ ต่อไป
- 3) นำตัวอย่างดินในกรวยบุชเนอร์ที่ได้ในข้อ 2) มาล้างต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตทพีเอช (pH 7) เข้มข้น 1 โมลาร์ อีก 5 ครั้ง ครั้งละประมาณ 20 มิลลิลิตร
- 4) ล้างตัวอย่างดินต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์พีเอช (pH 7) เข้มข้น 1 โมลาร์ จำนวน 5 ครั้ง ครั้งละประมาณ 20 มิลลิลิตร
- 5) จากนั้นล้างตัวอย่างดินต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์พีเอช (pH 7) 0.25 โมลาร์ ในประมาณ 20 มิลลิลิตร จำนวน 1 ครั้ง
- 6) ล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ (95 %) อีก 5 - 6 ครั้ง ครั้งละประมาณ 20 มิลลิลิตร ทุกครั้งที่ล้างใช้กระบอกฉีดฉีดล้างตัวอย่างดินที่อาจติดค้างอยู่ที่ปากกรวยบุชเนอร์ให้ลงไปรวมอยู่ในกรวยให้หมดสารละลายที่ได้จากข้อ 3 ถึง ข้อ 6 เททิ้งไป (การล้างด้วยแอลกอฮอล์เพื่อ

ล้างแอมโมเนียมส่วนเกินที่ดินไม่ได้แลกเปลี่ยนออกให้หมด ซึ่งทดสอบได้จากปริมาณคลอไรด์ที่ไม่มีหลงเหลืออยู่ในดินโดยหยดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1 โมลาร์ 1-2 หยดลงในสารละลายที่รองรับมาจากกรวยบุชเนอร์โดยตรงยังไม่ได้หยดลงสู่ขวดกรอง ถ้ามีตะกอนสีขาวเกิดขึ้นแสดงว่ายังล้างแอมโมเนียมไม่หมด ต้องล้างตัวอย่างดินด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ (95 %) ต่อไปอีกแล้วทดสอบคลอไรด์ใหม่ดังที่กล่าวมาแล้วจนไม่มีตะกอนสีขาวนั้นแสดงว่า ล้างแอมโมเนียมหมดแล้ว)

7) เปลี่ยนขวดกรองใหม่สำหรับรองรับสารละลายใหม่ ล้างตัวอย่างดินที่ยังอยู่ในกรวยบุชเนอร์ในข้อ 6) ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (acidified) 10 % แต่ละครั้งที่ล้างให้ใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ให้ท่วมตัวอย่างดินจนกระทั่งได้สารละลายที่กรองได้ (leachate) ประมาณ 300 - 350 มิลลิลิตร

8) นำสารละลายที่กรองได้ใส่ในขวดกลั่นล้างขวดกรองด้วยน้ำกลั่นและเทน้ำที่ล้างรวมลงไปขวดกลั่น

9) นำขวดกลั่นไปกลั่น โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (40 %) ลงไปในขวดกลั่นให้ปริมาตรมากเกินพอ (ประมาณ 30 มิลลิลิตร) โดยมีสารละลายกรดบอริก (3 %) ประมาณ 30 มิลลิลิตร ใส่ในขวดชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร มาคอยรองรับสารละลายที่กลั่นออกมาได้และในสารละลายกรดบอริกนี้ ใส่อินดิเคเตอร์ผสมประมาณ 5 หยดใช้เวลากลั่นประมาณ 40 - 45 นาทีหรือจนกลั่นได้สารละลายประมาณ 250 - 275 มิลลิลิตร

10) นำสารละลายที่ได้มาจากกลั่นในขวดชมพู่ที่รองรับไปไตเตรทกับสารละลายกรดเกลือ 0.1 นอร์มอล จุดยุติคือ สีของอินดิเคเตอร์ในสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดงบันทึกปริมาตรของกรดเกลือที่ใช้ไตเตรทแล้วนำมาคำนวณค่า CEC

11) นำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10 % ที่ใช้ล้างดินมากลั่นเป็น blank โดยทำเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

1.3.3 วิธีการคำนวณ

สำหรับการคำนวณค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินดัง

สมการ 13

$$\text{CEC (เซนติโมลต่อกิโลกรัม)} = [(T-B) \times N \times 100 \times (AD/OD) / \text{Sample wt. (กรัม)}] \quad (13)$$

| | | |
|--------|---------|--|
| โดยที่ | T | คือปริมาตรกรดเกลือที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่างดิน |
| | B | คือปริมาตรกรดเกลือที่ใช้ไตเตรทกับ Blank |
| | N | คือความเข้มข้นของกรดเกลือมีหน่วยเป็นนอร์มอล (normality) |
| | AD / OD | คืออัตราส่วนน้ำหนักดินกับดินอบแห้ง (airdried / oven - dried ratio) |

1.3.4 คำแนะนำ

ในการล้างดินแต่ละครั้งให้ค่อยๆ ล้างและสังเกตน้ำยาที่ผ่านกรวยอย่าให้ผ่านออกเร็วมาก โดยการควบคุมเปิดระบบสุญญากาศให้น้ำยาค่อยๆ หยดก่อนจะล้างดินครั้งต่อไปต้องรอให้น้ำยาในการล้างครั้งแรกไหลผ่านหมดไปก่อนและขณะล้างดินด้วยเอทิลแอลกอฮอล์อย่าทิ้งให้ตัวอย่างดินแห้งเพราะถ้าดินแห้งในการล้างครั้งต่อไปตัวอย่างดินอาจจะร่วงลงไปอยู่ในขวดกรองที่รองรับได้

ตาราง 5 แสดงแปรผลระดับปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก [38]

| C.E.C. (เซนติโมลต่อกิโลกรัม) | ระดับ |
|------------------------------|---------|
| <5 | ต่ำมาก |
| 5-15 | ต่ำ |
| 15-25 | ปานกลาง |
| 25-40 | สูง |
| >40 | สูงมาก |

2. การระเหยกลายเป็นไอของสารพาราควอท (evaporation experiment)

การทดลองการระเหยกลายเป็นไอของพาราควอทโดยประยุกต์จากงานวิจัยที่ผ่านมา [39] ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารพาราควอทที่สามารถระเหยสู่อากาศที่เวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

2.1 สารเคมี

2.1.1 สารพาราควอท

2.1.2 น้ำปราศจากไอออน

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 เตรียมสารพาราควอทที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ใส่ลงในเบีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตรที่ห่อหุ้มด้วยกระดาษฟอยล์เพื่อป้องกันแสง ดังภาพ 24

2.2.2 นำสารพาราควอทจากข้อ 1) มากรนด้วยเครื่องกวนตลอดเวลาและตั้งไว้ในห้องที่ไม่มีแสง จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ที่เวลา 2, 4, 8, 16, 24 และ 48 ชั่วโมง

2.2.3 ทำการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร



ภาพ 23 ขั้นตอนการทดลองการระเหยกลายเป็นไอของสารพาราควอท



ภาพ 24 การทดลองการระเหยกลายเป็นไอของสารพาราควอท

3. การย่อยสลายสารพาราควอทด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis experiment)

สำหรับวิธีการที่ใช้ในการทดลองหาอัตราการย่อยสลายของสารพาราควอทด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำที่เวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 สารเคมี

3.1.1 สารพาราควอท

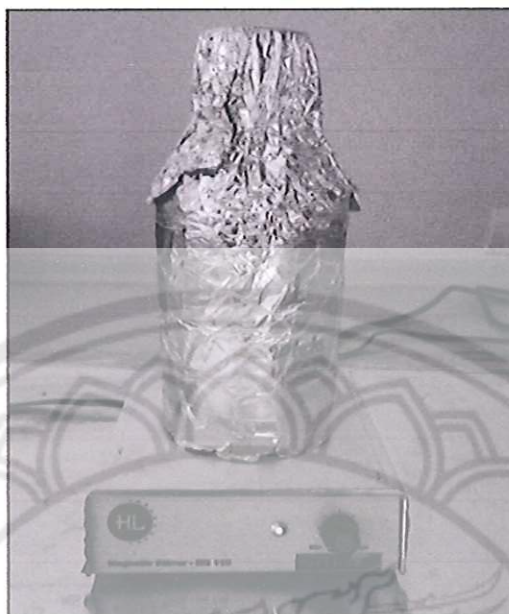
3.1.2 น้ำปราศจากไอออน

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 เตรียมสารพาราควอทที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ใส่ขวดแก้วขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิทและห่อหุ้มด้วยกระดาษฟอยล์เพื่อป้องกันแสง ดังภาพ 25

3.2.2 นำสารพาราควอทจากข้อ 1) มากวนด้วยเครื่องกวนตลอดเวลาและตั้งไว้ในห้องที่ไม่มีแสง จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ที่เวลา 2, 4, 8, 16, 24 และ 48 ชั่วโมง

3.2.3 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของสารพาราควอทในน้ำด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร



ภาพ 25 การทดลองการย่อยสลายสารพาราควอตด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

4. การย่อยสลายของสารพาราควอตด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิส (photolysis experiment)
 การทดลองการย่อยสลายของสารพาราควอตด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิส เพื่อหาค่า
 ความเข้มข้นของสารพาราควอตในน้ำที่เวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง)
 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 สารเคมี

4.1.1 สารพาราควอต

4.1.2 น้ำปราศจากไอออน

4.2 วิธีการทดลอง

4.2.1 เตรียมสารพาราควอตที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วย
 น้ำปราศจากไอออนปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ใส่ขวดแก้วขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิท

4.2.2 นำสารพาราควอตในข้อ 1) มาฉายแสงด้วยหลอดไฟที่มีพลังงานใกล้เคียง
 กับแสงอาทิตย์ และขณะตั้งทิ้งไว้ต้องทำการกวนด้วยเครื่องกวนตลอดเวลา

4.2.3 เก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ที่เวลา 2, 4, 8, 16, 24 และ 48 ชั่วโมง

4.2.4 เก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารพาราควอตในน้ำด้วย
 เครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร

5 การทดลองการดูดซับของสารพาราควอทในดิน (adsorption experiment) โดยทำการทดลองในรูปแบบกะ (batch experiment) ประยุกต์วิธีการทดลองมาจากงานวิจัยที่ผ่านมา [40] เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารพาราควอทที่ถูกดูดซับ (S) ในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และความเข้มข้นของสารพาราควอทที่ละลายอยู่ (C_e) ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร ดังสมการที่ 14

$$S = K_d C_e \quad (14)$$

โดยที่ K_d คือค่า distribution coefficient, S คือค่าความเข้มข้นของพาราควอทที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ C_e คือค่าความเข้มข้นของสารพาราควอทที่ละลายอยู่ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ทำการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ เพื่อหาค่า first order rate constant, β ของสารพาราควอทซึ่งหาได้จากสมการที่ 15 และหาค่าอายุครึ่งชีวิตของพาราควอทที่อยู่ในดินจากสมการที่ 16

$$C(t) = C_0 e^{-\beta t} \quad (15)$$

โดยที่ β คือค่า first order rate constant, $C(t)$ คือความเข้มข้นของสารพาราควอทที่เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร) และ C_0 คือความเข้มข้นของสารพาราควอทเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$$t_{1/2} = \ln 2 / \beta \quad (16)$$

ซึ่งจะทำให้ทราบถึงรูปแบบการดูดซับพาราควอทในดิน รวมทั้งอายุครึ่งชีวิตของสารพาราควอทที่เหลืออยู่ในดินแต่ละชุดดินในพื้นที่ปนเปื้อนพาราควอท โดยมีวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

5.1 สารเคมี

5.1.1 แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)

5.1.2 สารพาราควอท

5.1.3 น้ำปราศจากไอออน

5.2 วิธีการทดลอง

5.2.1 เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์

5.2.2 เตรียมสารพาราควอทเข้มข้น 2,000, 4,000, 6,000, 8,000 และ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเตรียมจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลาร์

5.2.3 เตรียมดินและสารละลายโดยเตรียมในอัตราส่วนดินต่อสารละลายเท่ากับ 1 ต่อ 25 โดยชั่งดิน 0.5 กรัม ใส่ในขวดแก้วสีชา เติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ลงไปปริมาตร 11.25 มิลลิลิตร (ร้อยละ 90 ของสารละลายที่ต้องเติมทั้งหมด) เหยียงทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาเติมสารพาราควอทที่เตรียมไว้ในข้อที่ 5.2 ปริมาตร 1.25 มิลลิลิตร ดังนั้นปริมาตรของสารละลายที่เติมจะเท่ากับ 12.5 มิลลิลิตร และมีความเข้มข้นของสารพาราควอท 200, 400, 600, 800, และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

5.2.4 นำตัวอย่างมาทำการเหยียงด้วยเครื่องหมุน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และเก็บตัวอย่างที่เวลา 2, 4, 6, 8, 10, 30, และ 60 นาที

5.2.5 เมื่อนำตัวอย่างไปเหยียงครบเวลาที่กำหนด ให้ทำการแยกดินออกจากน้ำ โดยการกรองและนำน้ำที่ได้จากการกรองไปวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารพาราควอทด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร

5.2.6 คำนวณความเข้มข้นสารพาราควอทที่ถูกดูดซับโดยใช้สมการที่ 17

$$C_{ab} = C_0 - C_s \quad (17)$$

โดยที่ C_{ab} คือความเข้มข้นพาราควอทที่ถูกดูดซับ, C_0 คือความเข้มข้นของพาราควอทเริ่มต้น และ C_s คือความเข้มข้นของพาราควอทที่สกัดได้จากตัวอย่าง

6. การย่อยสลายสารพาราควอทด้วยจุลินทรีย์ในดิน (biodegradation experiment)

การทดลองการย่อยสลายสารพาราควอทด้วยจุลินทรีย์ในดิน ทำการทดลองในรูปแบบกะ (batch experiment) เพื่อหาจำนวนจุลินทรีย์และหาค่าความเข้มข้นของพาราควอทที่สกัดได้จากตัวอย่าง โดยนำวิธีการจากงานวิจัยที่ผ่านมา [39] มาประยุกต์ใช้โดยมีขั้นตอนดังนี้

6.1 สารเคมี

6.1.1 สารโซเดียมไนไตรต์ (NaNO_2)

6.1.2 สารพาราควอท

6.1.3 น้ำปราศจากไอออน

6.2 วิธีการทดลอง

6.2.1 ชั่งดิน 15 กรัม จากนั้นนำดินมาใส่ลงในขวดแก้วที่มีฝาปิดจำนวน 2 ขวด

6.2.2 นำตัวอย่างดินมาด้วยเติมสารพาราควอทเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.15 มิลลิลิตร จากนั้นเปิดฝาขวดแก้วทิ้งไว้ 12 ชั่วโมงเพื่อให้สารพาราควอทระเหย (ป้องกันการระเบิดเนื่องจากการย่อยของจุลินทรีย์)

6.2.3 ทำการแบ่งตัวอย่างดินออกเป็น 2 ขวด โดยนำตัวอย่างขวดที่ 1 นำมาเติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 6.75 มิลลิลิตร และตัวอย่างอีก 1 ขวด มาเติมน้ำปราศจากไอออนที่มีผสมโซเดียมเฮไซเตร์ ปริมาตร 6.75 มิลลิลิตร จากนั้นเปิดฝาขวดให้สนิท และตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสในสภาวะที่ไร้แสง

6.2.4 ทำการเก็บตัวอย่างดิน 15 กรัม เพื่อวิเคราะห์หาสารพาราควอทที่ถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในดิน ที่เวลา 10, 20, 30, 60, 90 และ 120 นาที

6.2.5 การสกัดตัวอย่างดินโดยประยุกต์จากวิธีการ ultrasonic extraction ตามวิธีขององค์การปกป้องสิ่งแวดล้อมของประเทศอเมริกา (EPA) [41]

6.2.6 ทำการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของสารพาราควอทด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร

7. การจำลองสภาวะการปนเปื้อนสารพาราควอทในดิน (simulation experiment)

สำหรับการจำลองการปนเปื้อนของสารพาราควอทในดิน เป็นการศึกษาการจำลองการปนเปื้อนของสารพาราควอทในดิน โดยใช้ดินที่แตกต่างกันจำนวน 2 ชนิดจากพื้นที่เกษตรกรรมในจังหวัดน่าน ทำการปรับขนาดให้มีความเหมาะสมโดยย่อลักษณะทางกายภาพให้มีอัตราส่วน 1:5 โดยอ้างอิงจากแบบจำลองจากงานวิจัยที่ผ่านมา [42] โดยดินที่นำมาใช้แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

ดินชนิดที่ 1 เป็นดินเหนียว จากบ้านหนองรัง ที่มีความลึกของระดับชั้นเป็นดินเหนียวเท่ากับ 2 เมตร โดยจะมีความสูงของดินในคอลัมน์ที่ใช้ในการจำลองสภาวะการปนเปื้อนเท่ากับ 40 เซนติเมตร

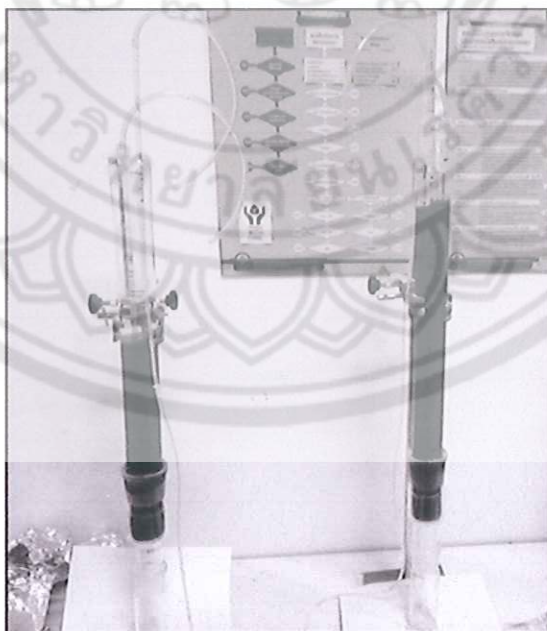
และดินชนิดที่ 2 เป็นดินร่วนปนทราย จากบ้านท่านาว ที่มีความลึกของระดับชั้นเป็นดินร่วนปนทรายเท่ากับ 1.18 เมตร โดยจะมีความสูงของดินในคอลัมน์ที่ใช้ในการจำลองสภาวะการปนเปื้อนเท่ากับ 23.6 เซนติเมตร

เมื่อนำดินลงไปในคอลัมน์แล้วทำการเติมสารพาราควอทลงไปทิ้งไว้ดังภาพ 26 จากนั้นเติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เพื่อใช้ในการจำลองปริมาณน้ำฝน โดยปล่อยให้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไหลลงในคอลัมน์ที่ความเร็วเท่ากับ 18 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา

48 ชั่วโมง จากนั้นที่เวลา 2, 4, 8, 16, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านชั้นดิน จากด้านล่างของคอลัมน์ เพื่อศึกษาการซึม (infiltration) ของสารพาราควอทในดิน และเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกทุกๆ 10 เซนติเมตรในคอลัมน์เพื่อหาการตกค้าง (residue) ของสารพาราควอทในดิน และซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาการจำลองนี้จะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของสารพาราควอทที่ปนเปื้อนอยู่ในดินและกลไกที่เกิดขึ้นที่ทำให้สารพาราควอทในดินที่มีปริมาณลดลง สำหรับวิธีการทำศึกษาการซึมและการตกค้างของพาราควอทในดินแสดงดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

7.1 การซึมของสารพาราควอทในดิน ทำการทดลองโดยการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านชั้นดินจากด้านล่างของคอลัมน์ เมื่อเวลาผ่านไป 2, 4, 8, 16, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง มาวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารพาราควอทด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร

7.2 การตกค้างของสารพาราควอทในดิน ทำการทดลองโดยนำดินในคอลัมน์ที่ระดับความลึกทุกๆ 10 เซนติเมตรในดินเหนียว และที่ระดับความลึกทุกๆ 5 เซนติเมตรในดินร่วนปนทราย ออกมาทำการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของสารพาราควอทในดิน โดยประยุกต์ใช้วิธีการสกัดสารพาราควอทในดินโดยวิธีการ ultrasonic extraction ตามวิธีขององค์การปกป้องสิ่งแวดล้อมของอเมริกา (EPA) [41] เพื่อให้ได้ค่าการตกค้างของพาราควอทในดิน



ภาพ 26 ลักษณะคอลัมน์ในการจำลองการปนเปื้อนสารพาราควอทในดิน