



คู่มือปฏิบัติงานวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน
(Manual of Soil Physical Analysis)

กระบวนการวิเคราะห์ดิน

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน

กรมพัฒนาที่ดิน

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

(มีนาคม 2567)

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
สารบัญตารางภาคผนวก	(6)
1 วัตถุประสงค์	1
2 ขอบเขต	1
3 คำจำกัดความ	2
4 หน้าที่ความรับผิดชอบ	4
5 Work Flow กระบวนการ	7
6 ขั้นตอนการปฏิบัติงานวิเคราะห์	9
6.1 ขนาดอนุภาคดิน (particle size analysis)	9
6.2 ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density)	27
6.3 ความหนาแน่นอนุภาคดิน (particle density)	33
6.4 ความพรุนรวมของดิน (total porosity)	39
6.5 ความชื้นในดิน (soil water content)	41
6.6 การนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated hydraulic conductivity)	47
6.7 ความชื้นของดินที่แรงดึงบรรยากาศ 1/3 และ 15 bar (soil water retention at 1/3 and 15 bar)	59
7 เอกสารอ้างอิง	72
8 แบบฟอร์มที่ใช้	75
9 เอกสารบันทึก	81
10 ระบบติดตามประเมินผล	82
11 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง	82
ภาคผนวก	83

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 1	การจำแนกกลุ่มขนาดของอนุภาคดิน (soil separate) ตามมาตรฐาน USDA และ ISSS	10
ตารางที่ 2	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิเพื่อการหา clay percentage โดยวิธี pipette ที่ระดับความลึก 5 cm	21
ตารางที่ 3	สเกลทั่วไปของค่าความหนาแน่นรวมของดิน	32
ตารางที่ 4	ค่าความพรุนรวมของดินและค่าความหนาแน่นรวมของดินทั่วไป	40
ตารางที่ 5	ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและการอุ้มน้ำของดินที่สภาวะต่าง ๆ (% ความชื้นโดยน้ำหนัก)	46
ตารางที่ 6	ชั้นสภาพน้ำขณะอิ่มตัวด้วยน้ำของดิน	58
ตารางที่ 7	การคำนวณความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้จากค่า FC และ PWP	71

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 1	ตัวอย่างดินที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 mm จำนวน 10.0 g ในบีกเกอร์ ขนาด 600 mL	15
ภาพที่ 2	แสดงตัวอย่างดินที่เติมน้ำกรอง 200 mL	16
ภาพที่ 3	แสดงการเติม H ₂ O ₂	17
ภาพที่ 4	แสดงตัวอย่างที่เติม H ₂ O ₂ และปิดกระจกนาฬิกาแล้ว	17
ภาพที่ 5	แสดงการปรับตั้งอุณหภูมิ hot plate	17
ภาพที่ 6	แสดงการนำตัวอย่างตั้งบน hot plate	18
ภาพที่ 7	แสดง beaker พลาสติกที่เตรียมไว้ถ่ายตัวอย่างดิน	19
ภาพที่ 8	แสดงการเติมสารละลาย calgon	19
ภาพที่ 9	แสดงตัวอย่างดินที่ปั่นด้วย high speed stirrer	19
ภาพที่ 10	แสดงการถ่ายตัวอย่างดินผ่านตะแกรงขนาด 300 mesh	20
ภาพที่ 11	แสดงการถ่ายอนุภาคทรายลงใน can	20
ภาพที่ 12	แสดงการนำชุดตะแกรงร่อนเข้าเครื่องเขย่า	22
ภาพที่ 13	แสดงการชั่งน้ำหนักอนุภาคทรายในแต่ละชั้น	22
ภาพที่ 14	ไดอะแกรมสามเหลี่ยมแรงประเภเหนือดินตามระบบของกระทรวงเกษตร สหรัฐอเมริกา	24
ภาพที่ 15	ตารางสามเหลี่ยมตามมาตรฐาน USDA	24
ภาพที่ 16	ภาพแสดงตัวอย่างที่เก็บด้วย core แบบไม่รบกวนโครงสร้าง	30
ภาพที่ 17	ภาพแสดงการเตรียมตัวอย่างดิน core ในห้องปฏิบัติการ เพื่อวิเคราะห์ ความหนาแน่นรวม	30
ภาพที่ 18	ภาพแสดงการทำความสะอาดและการชั่งน้ำหนักตัวอย่างดิน core เพื่อหาปริมาณความชื้นดิน (W _{sw})	30
ภาพที่ 19	vernier สำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและความสูงของ core ใช้ในการคำนวณปริมาตร core	31
ภาพที่ 20	การชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินใส่ใน volumetric flask ขนาด 50 mL	36
ภาพที่ 21	การต้มไล่อากาศออกจากตัวอย่างดินใน volumetric flask ขนาด 50 mL ด้วย water bath	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 22	การเตรียมตัวอย่างดิน core เพื่อวัดการนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (ก) แกะเทปที่ปิดผนึกตัวอย่างดิน core ออก และนำตัวอย่างดิน core ใส่กระป๋อง (ข) เปิดฝาตัวอย่างดิน core ออกที่ละด้าน (ค) ปาดหน้าตัวอย่างดิน core ให้เสมอขอบ ด้วยมีดปาดดิน (ง) ปิดเศษดินรอบ core ออกด้วยแปรงทาสี	54
ภาพที่ 23	ขั้นตอนการปิดผ้าขาวบางที่ตัวอย่างดิน core และการแช่ตัวอย่างดิน core ด้วยน้ำที่ไล่อากาศแล้ว	55
ภาพที่ 24	ภาพแสดงการต่อกระบอกโลหะเข้ากับ core เก็บตัวอย่างดิน และรัดด้วยวงยาง	55
ภาพที่ 25	การจัดอุปกรณ์วัดการนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวในห้องปฏิบัติการ	56
ภาพที่ 26	การอัดอากาศไล่ น้ำในขวดแก้วให้ไหลผ่านแท่งแก้วรูปตัวยูลงบน Core เก็บตัวอย่างดิน	56
ภาพที่ 27	การทำเครื่องหมายวัดระดับน้ำที่แถบกระดาษ และการวางกระดาษกรอง ป้องกันน้ำเซาะผิวดิน	57
ภาพที่ 28	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การนำน้ำของดินซึ่งทำความสะอาดแล้ว และเตรียม ชั่งหาน้ำหนักรวม	58
ภาพที่ 29	การเตรียม pressure plate ที่สวมลงในวงเหล็ก (ก) แช่น้ำกรอง (ข) และ plate ที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (ค) สำหรับวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของดิน ที่แรงดันบรรยากาศ 1/3 และ 15 bar	64
ภาพที่ 30	ขั้นตอนการใส่ตัวอย่างดินลงใน pressure plate สำหรับวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ของดินที่แรงดัน 1/3 และ 15 bar (ก) การเรียงวงแหวนยาง (ข) และ (ค) การตักดิน และการเรียงลำดับตัวอย่าง	65
ภาพที่ 31	การเติมน้ำลงบนที่ว่างนอกวงแหวนยางของ pressure plate ด้วยกระบอกฉีดน้ำ	65
ภาพที่ 32	การนำน้ำออกจาก pressure plate ก่อนการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของดิน ที่ระดับแรงดัน 1/3 และ 15 bar	66
ภาพที่ 33	การวาง pressure plate ที่เตรียมตัวอย่างดินไว้แล้วลงใน pressure chamber ก่อนการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของดินที่แรงดัน 1/3 และ 15 bar และการ ปิดฝาหม้อความดัน	66
ภาพที่ 34	เครื่องปั๊มลมแรงดันต่ำใช้กับ pressure chamber ที่แรงดัน 1/3 bar และเครื่องปั๊มลม แรงดันสูงใช้กับ pressure chamber ที่แรงดัน 15 bar	67
ภาพที่ 35	การระบายน้ำออกจากดินและ pressure plate ด้วยสายยางที่ต่อกับ pressure chamber	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 36	ภาพแสดง (ก) การปิดสายยางระบายน้ำจาก pressure chamber ด้วยคลิปหนีบ (ข) การเปิด-ปิดวาล์วเพื่อระบายอากาศออกจาก pressure chamber	68
ภาพที่ 37	การชั่งน้ำหนักดิน (น้ำหนักดิน + can) โดยนำดินออกจากวงแหวนยาง และชั่งด้วยเครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง	68
ภาพที่ 38	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงน้ำ ความเป็นประโยชน์ และความไม่เป็นประโยชน์ ของน้ำในดิน	70

สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวกที่		หน้า
ตารางผนวกที่ 1	อิทธิพลของค่าความหนาแน่นรวมต่อสภาพของดิน	84
ตารางผนวกที่ 2	ตัวอย่างการคำนวณผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดิน	84
ตารางผนวกที่ 3	ตัวอย่างการคำนวณผลวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม ความชื้นโดยน้ำหนัก และการนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ	85
ตารางผนวกที่ 4	ตัวอย่างการคำนวณผลวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคดิน	86
ตารางผนวกที่ 5	ตัวอย่างการคำนวณผลวิเคราะห์ความพรุนรวมของดิน	87
ตารางผนวกที่ 6	ตัวอย่างการคำนวณผลวิเคราะห์ความชื้นของดินที่แรงดึงบรรยากาศ 1/3 และ 15 bar	88

คู่มือปฏิบัติงานวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน กระบวนการวิเคราะห์ดิน

1. วัตถุประสงค์

1.1 เพื่อให้กรมพัฒนาที่ดินมีการจัดทำคู่มือการปฏิบัติงานที่ชัดเจน อย่างเป็นลายลักษณ์อักษร ที่แสดงถึงรายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติงานของกิจกรรม/กระบวนการต่างๆ ของหน่วยงาน และเป็นการสร้างมาตรฐานการปฏิบัติงาน ที่มุ่งไปสู่การบริหารคุณภาพทั่วทั้งองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ เกิดผลงานที่ได้มาตรฐานเป็นไปตามเป้าหมาย ได้ผลิตผลหรือการบริการที่มีคุณภาพ และบรรลุข้อกำหนดที่สำคัญของกระบวนการ

1.2 เพื่อให้สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน มีคู่มือปฏิบัติงานวิเคราะห์ดินทางกายภาพที่ได้รับการปรับปรุงให้เป็นปัจจุบัน เป็นคู่มือที่เป็นลายลักษณ์อักษรชัดเจน มีการแสดงรายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติงานของกิจกรรมกระบวนการวิเคราะห์ดินทางกายภาพที่เป็นมาตรฐาน สามารถใช้ในการให้บริการวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถใช้เป็นเอกสารอ้างอิงประกอบงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้

1.3 เพื่อเป็นหลักฐานที่แสดงให้เห็นถึงวิธีการทำงานอย่างชัดเจนเป็นรูปธรรม เพื่อใช้สำหรับการพัฒนาและเรียนรู้ของผู้เข้ามาปฏิบัติงานใหม่ รวมถึงการยกระดับการปฏิบัติงานไปสู่ความเป็นมืออาชีพ ตลอดจนใช้ประกอบการประเมินผลการปฏิบัติงานของบุคลากร

1.4 เพื่อใช้แสดงหรือเผยแพร่ให้กับบุคคลภายนอกหรือผู้รับบริการ ได้รับรู้ เข้าใจกระบวนการปฏิบัติงานและใช้ประโยชน์จากกระบวนการดังกล่าวเพื่อขอรับบริการที่ตรงกับความต้องการ

2. ขอบเขต

คู่มือการปฏิบัติงานนี้ครอบคลุมขั้นตอนการให้บริการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน ของสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ประกอบด้วยกระบวนการดังต่อไปนี้

2.1 กระบวนการรับตัวอย่างดินของกลุ่มมาตรฐานและพัฒนาระบบการวิเคราะห์ดิน และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินกลุ่มวิจัยกายภาพดิน

2.2 กระบวนการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

2.3 กระบวนการรวบรวมผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

2.4 กระบวนการตรวจสอบผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

2.5 กระบวนการส่งผลวิเคราะห์ให้กับผู้ขอรับบริการ

3. คำจำกัดความ

คำจำกัดความต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน ที่ระบุในคู่มือปฏิบัติงานวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน ตามนิยามของสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน และพจนานุกรมศัพท์ปฐพีศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสภา ปี 2562

- 3.1 สวด. หมายถึง สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน
- 3.2 สพข. หมายถึง สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต
- 3.3 สพด. หมายถึง สถานีพัฒนาที่ดิน
- 3.4 ผู้รับบริการ หมายถึง เกษตรกร นักวิชาการในกรมพัฒนาที่ดิน นักวิชาการหรือบุคลากรจากหน่วยงานราชการ สถาบันการศึกษา และบริษัทเอกชน

3.5 ดิน หมายถึง วัสดุตามธรรมชาติที่ปกคลุมผิวโลก เกิดจากการผุพังสลายตัวของหินและแร่ ผสมกับอินทรีย์วัตถุ ทำหน้าที่เป็นฐานสำหรับการเจริญเติบโตของพืช

3.6 สมบัติทางกายภาพของดิน (soil physical property) หมายถึง สมบัติที่เกี่ยวข้องกับลักษณะและสภาวะทางกายภาพของดิน จากอิทธิพลของแรง พลังงาน อุณหภูมิ ความชื้น แสง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รวมถึงสถานะ และพฤติกรรมของการเคลื่อนย้ายของมวลสารและพลังงานของดิน

3.7 เนื้อดิน (soil texture) หมายถึง ความหยาบ ความละเอียดของดิน ที่พิจารณาจากสัดส่วนสัมพัทธ์โดยน้ำหนักของกลุ่มขนาดอนุภาคดินที่มีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร แบ่งประเภทของเนื้อดิน ดังนี้

(1) ดินทราย (sand) หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคทรายมากกว่าร้อยละ 85 และปริมาณของอนุภาคทรายแป้งรวมกับ 1.5 เท่าของอนุภาคดินเหนียวน้อยกว่าร้อยละ 15 แบ่งออกเป็น

(1.1) ดินทรายหยาบ (coarse sand) หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคทรายหยาบมาก และทรายหยาบ รวมกันตั้งแต่ร้อยละ 25 ขึ้นไป และมีอนุภาคทรายขนาดอื่น ๆ ขนาดเดียวน้อยกว่าร้อยละ 50

(1.2) ดินทราย (sand) หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคทรายหยาบมาก ทรายหยาบ และทรายหยาบปานกลางรวมกันตั้งแต่ร้อยละ 25 ขึ้นไป และจะต้องมีอนุภาคทรายหยาบมาก และทรายหยาบ รวมกันน้อยกว่าร้อยละ 25 อนุภาคทรายละเอียดน้อยกว่าร้อยละ 50 และอนุภาคทรายละเอียดมากน้อยกว่าร้อยละ 50

(1.3) ดินทรายละเอียด (fine sand) หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคทรายละเอียด ตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป และจะต้องมีอนุภาคทรายหยาบมาก ทรายหยาบ และทรายหยาบปานกลาง รวมกันน้อยกว่าร้อยละ 25 และอนุภาคทรายละเอียดมากน้อยกว่าร้อยละ 50

(1.4) ดินทรายละเอียดมาก (very fine sand) หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคทรายละเอียดมากตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป

(2) ดินทรายปนดินร่วน (loamy sand) หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคทรายร้อยละ 70 - 91 และมีปริมาณอนุภาคทรายแป้งรวมกับ 1.5 เท่าของอนุภาคดินเหนียว ตั้งแต่ร้อยละ 15 ขึ้นไป และปริมาณอนุภาคทรายแป้งรวมกับ 2.0 เท่าของอนุภาคดินเหนียวน้อยกว่าร้อยละ 30

(3) ดินร่วนปนทราย (sandy loam) หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคดินเหนียวร้อยละ 7 - 20 มีอนุภาคทรายมากกว่าร้อยละ 52 และจะต้องมีปริมาณอนุภาคทรายแป้งรวมกับ 2 เท่าของอนุภาคดินเหนียว ตั้งแต่ร้อยละ 30 ขึ้นไป หรือมีอนุภาคดินเหนียวน้อยกว่าร้อยละ 7 จะต้องมีอนุภาคทรายแป้งน้อยกว่าร้อยละ 50 และอนุภาคทรายมากกว่าร้อยละ 43

(4) ดินร่วน (loam) หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคดินเหนียวร้อยละ 7 - 27 อนุภาคทรายแป้งร้อยละ 28 - 50 และอนุภาคทรายไม่เกินร้อยละ 52

(5) ดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam) หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคทรายแป้งตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป และอนุภาคดินเหนียวร้อยละ 12 - 27 หรือมีอนุภาคทรายแป้งร้อยละ 50 - 80 และจะต้องมีอนุภาคดินเหนียวน้อยกว่าร้อยละ 12

(6) ดินทรายแป้ง (silt) หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคทรายแป้งตั้งแต่ร้อยละ 80 ขึ้นไป และอนุภาคดินเหนียวน้อยกว่าร้อยละ 12

(7) ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคดินเหนียวร้อยละ 20 - 35 อนุภาคทรายแป้งน้อยกว่าร้อยละ 28 และอนุภาคทรายมากกว่าร้อยละ 45

(8) ดินร่วนเหนียว (clay loam) หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคดินเหนียวร้อยละ 27 - 40 และอนุภาคทรายร้อยละ 20 - 45

(9) ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam) หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคดินเหนียวร้อยละ 20 - 40 และอนุภาคทรายน้อยกว่าร้อยละ 20

(10) ดินเหนียวปนทราย (sandy clay) หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคดินเหนียวตั้งแต่ร้อยละ 35 ขึ้นไป และอนุภาคทรายตั้งแต่ร้อยละ 45 ขึ้นไป

(11) ดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay) หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคดินเหนียวตั้งแต่ร้อยละ 40 ขึ้นไป และอนุภาคทรายแป้งตั้งแต่ร้อยละ 40 ขึ้นไป

(12) ดินเหนียว (clay) หมายถึง ดินที่ประกอบด้วยอนุภาคดินเหนียวตั้งแต่ร้อยละ 40 ขึ้นไป อนุภาคทรายน้อยกว่าร้อยละ 45 และอนุภาคทรายแป้งน้อยกว่าร้อยละ 40

3.8 ความหนาแน่นรวมของดิน (soil bulk density) หมายถึง อัตราส่วนของน้ำหนักแห้งของดินที่ผ่านการอบที่ 105 °C กับปริมาตรรวมของดิน มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g cm^{-3}) หรือเมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Mg m^{-3})

3.9 ความหนาแน่นอนุภาค (particle density; grain density) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของอนุภาคดินแห้งกับปริมาตรของอนุภาคนั้น มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g cm^{-3}) หรือเมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Mg m^{-3})

3.10 ความพรุนรวมของดิน (soil porosity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของช่องกับปริมาตรรวมของดิน

3.11 ความชื้นดิน (soil moisture) หมายถึง น้ำที่ถูกดูดซับบนผิวอนุภาคดิน ซึ่งอยู่ชั่วคราวหรืออยู่ในสถานะไอน้ำในช่องระหว่างอนุภาคดิน น้ำเหล่านี้จะระเหยหมดไปเมื่ออบที่อุณหภูมิ 105 - 110 °C ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง (มีความหมายเหมือนกับ soil water)

3.12 การเก็บกักน้ำของดิน (soil moisture storage; soil water storage) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ดินกักเก็บไว้ในสถานะที่กำหนด เช่น ที่ความชื้นสนาม หน่วยของการเก็บกักน้ำในดินที่สะดวกต่อการใช้ คือ ปริมาตรของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ซึ่งมีมิติเป็นความสูงน้ำความลึกดินที่กำหนดให้

3.13 แรงดึงความชื้นดิน (soil moisture tension) หมายถึง แรงที่อนุภาคดินใช้ในการดูดยึดน้ำ

3.14 ปริมาณน้ำในดิน (soil water content) หมายถึง มวลของน้ำที่ถูกดูดซับอยู่ในช่องดิน ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ด้วยแรงน้อยกว่า 1,500 กิโลพาสคัล (kPa) มีหน่วยเป็นปริมาตรต่อน้ำหนักดินแห้ง

3.15 ลักษณะเฉพาะของความชื้นดิน (soil moisture characteristic; soil water characteristic) หมายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความชื้นของดินกับศักย์วัสดุพื้นของน้ำในดิน แสดงในรูปกราฟเส้นโค้งปรกติจะมี 2 เส้น คือ กราฟเส้นโค้งขณะดินแห้งลง และกราฟเส้นโค้งขณะดินขึ้นขึ้น ซึ่งจะไม่ทับซ้อนกันสนิท

3.16 เส้นโค้งดูดยึดความชื้น (moisture retention curve; water retention curve) หมายถึง กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความชื้นของดินกับศักย์วัสดุพื้น ได้จากการใช้แรงขนาดต่างๆ ที่ทำให้ดินแห้งดูดน้ำเข้าไปจนสู่จุดสมดุล

3.17 สภาพนำน้ำ (hydraulic conductivity) หมายถึง ความสามารถของดินในการให้น้ำไหลซึมผ่าน ขึ้นอยู่กับสภาพซึมได้ของดินซึ่งเป็นผลจากขนาดและความต่อเนื่องของช่อง และระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำของดิน

3.18 สภาพนำน้ำของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated hydraulic conductivity) หมายถึง ความสามารถของดินในการให้น้ำไหลซึมผ่านซึ่งมีค่าสูงสุดขณะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณน้ำในดินลดลงไปเรื่อย ๆ

3.19 ขนาดอนุภาค (particle size) หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลของอนุภาค มี 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดทราย ขนาดทรายแป้ง และขนาดดินเหนียว

3.20 ขนาดอนุภาคมากกว่า 2 มิลลิเมตร โดยปริมาตร (particle size > 2 mm by volume) หมายถึง อนุภาคดินที่มีขนาดมากกว่า 2 มิลลิเมตร หรือก้อนกรวดขนาดต่าง ๆ วิเคราะห์ปริมาตรโดยวิธีร่อนดินผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร นำดินที่ค้างบนตะแกรงมาแทนที่ในน้ำ ปริมาตรที่เพิ่มขึ้นเป็นปริมาตรของอนุภาคดินทั้งก้อน

4. หน้าที่ความรับผิดชอบ

บุคลากรภายใน สวด. ผู้เกี่ยวข้องในกระบวนการให้บริการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน

4.1 ผู้บริหารห้องปฏิบัติการ หมายถึง ผู้อำนวยการสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (ผอ.สวด.)
หน้าที่ความรับผิดชอบ

(1) เป็นผู้บริหารสูงสุดของระบบการบริหารงานภายใน สวด. รับผิดชอบการบริหารงานทั้งหมด ได้แก่ งานวิเคราะห์ งานวิจัย การถ่ายทอดเทคโนโลยี และการพัฒนาบุคลากร เพื่อให้ผู้ขอรับบริการ (ลูกค้า) ของ สวด. ได้ใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม และมีการใช้ประโยชน์ที่ดินในด้านต่าง ๆ ให้ได้ผลสูงสุดและยั่งยืน

(2) กำหนดนโยบาย วางแผน จัดระบบงาน อำนาจการ สั่งราชการ ควบคุม ตรวจสอบ ปรับปรุงแก้ไข ตัดสินปัญหา ประเมินผลงาน และให้คำปรึกษาหารือเกี่ยวกับงานกำหนดนโยบาย และแผนงานต่าง ๆ

(3) อนุมัติสั่งซื้อสินค้าและบริการ และอนุมัติงบประมาณในการฝึกอบรม หรือสนับสนุนการเสนอของบประมาณฝึกอบรมประจำปี

(4) ปกครอง บังคับบัญชาข้าราชการ ลูกจ้าง พนักงานราชการ และพนักงานจ้างเหมา

(5) แต่งตั้งและมอบหมายปฏิบัติงานแทนในตำแหน่งที่สำคัญกรณีไม่อยู่

4.2 ผู้อำนวยการกลุ่ม/ฝ่าย ห้องปฏิบัติการ สวด.

(1) ดูแลควบคุมการปฏิบัติงานทั้งหมดของห้องปฏิบัติการกลุ่ม/ฝ่าย ที่รับผิดชอบ

(2) บริหารจัดการห้องปฏิบัติการให้เป็นไปตามนโยบายของ สวด.

(3) ให้คำปรึกษาแนะนำด้านการปฏิบัติงาน การตรวจสอบและรายงานผลของกลุ่ม/ฝ่ายที่

รับผิดชอบ

(4) กำกับดูแลและควบคุมความลับและสิทธิของผู้ขอรับบริการ

(5) หลีกเลี่ยงกิจกรรมที่จะลดความเชื่อถือในความสามารถ ความเป็นกลาง การตัดสินใจ หรือ

ความซื่อตรงต่อวิชาชีพ

(6) จัดให้มีการจัดซื้อ/จัดจ้างสินค้าและใช้บริการสอบเทียบ

(7) เป็นผู้อนุมัติรายงานผลการทดสอบ

(8) ให้การสนับสนุน จัดหาทรัพยากรในการดำเนินการของห้องปฏิบัติการ

(9) เป็นผู้ตรวจติดตามคุณภาพภายใน

4.3 ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์

(1) ปฏิบัติงานวิเคราะห์/ทดสอบตัวอย่างดินที่ส่งเข้ามาขอรับบริการ

(2) จัดบันทึกผลวิเคราะห์ลงแบบบันทึกผล

(3) ปฏิบัติการตรวจสอบระหว่างการใช้งานเครื่องมือ มาตรฐานการวัดที่เกี่ยวข้อง

(4) ใช้และบำรุงรักษาเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการวิเคราะห์

(5) เผื่อระวัง ควบคุมสถานที่และสภาวะแวดล้อมของห้องปฏิบัติการ

(6) หลีกเลี่ยงกิจกรรมที่จะลดความเชื่อถือในความสามารถ ความเป็นกลาง การตัดสินใจ หรือ

ความซื่อตรงต่อวิชาชีพ

(7) ปฏิบัติงานอื่น ๆ ตามที่ได้รับมอบหมาย

4.4 พนักงานรับตัวอย่าง

(1) รับตัวอย่าง บันทึกข้อมูลจากแบบรายละเอียดตัวอย่าง และตรวจสอบความถูกต้อง

(2) รับผิดชอบในการตรวจทานข้อมูลที่อยู่ในขั้นตอนของการจัดการตัวอย่างและการทดสอบ

(3) แจ้งข้อมูลที่จำเป็นต่อการทดสอบตัวอย่างให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง

(4) ปฏิบัติงานอื่น ๆ ตามที่ได้รับมอบหมาย

4.5 พนักงานบันทึกข้อมูลคอมพิวเตอร์

(1) รับผิดชอบบันทึกข้อมูลการทดสอบในระบบคอมพิวเตอร์

(2) พิมพ์ใบส่งตัวอย่าง/รายงานผลวิเคราะห์

(3) สำรองข้อมูลผลวิเคราะห์ในระบบคอมพิวเตอร์

(4) ปฏิบัติงานอื่น ๆ ตามที่ได้รับมอบหมาย

4.6 พนักงานห้องปฏิบัติการ


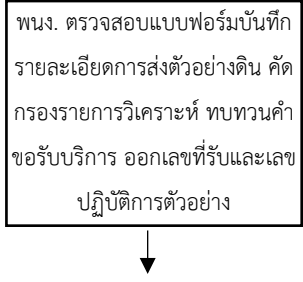
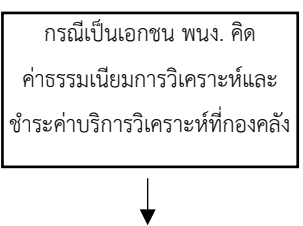
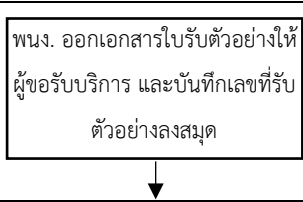
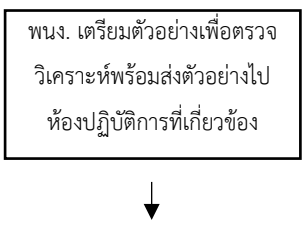
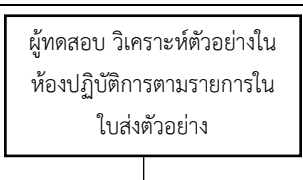

(1) รับผิดชอบทำความสะอาดบริเวณห้องปฏิบัติการ

(2) รับผิดชอบทำความสะอาดวัสดุวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

(3) ปฏิบัติงานอื่น ๆ ตามที่ได้รับมอบหมาย

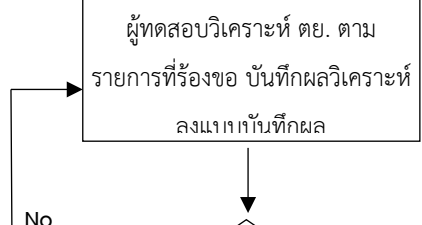
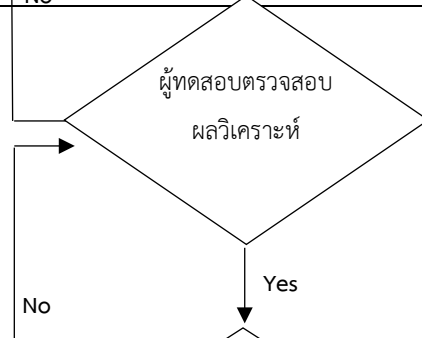
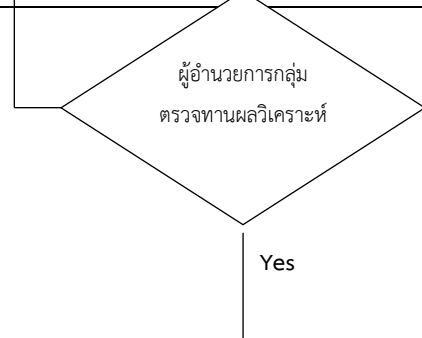
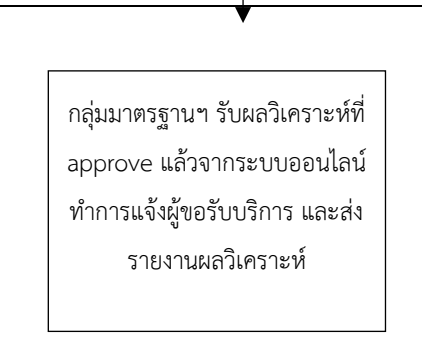
5. Work flow กระบวนการ

5.1 กระบวนการรับตัวอย่าง^{1/}, ^{2/} และกระบวนการให้บริการวิเคราะห์ดิน^{2/}

ลำดับ	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบฟอร์ม
1	 <p>พนักงานรับตัวอย่าง และสอบถาม วัตถุประสงค์การส่ง</p>	ผู้ขอรับบริการแจ้งความจำนงขอใช้บริการวิเคราะห์ทดสอบ และกรอกข้อมูลลงในแบบฟอร์ม พนักงานรับตัวอย่างและสอบถาม วัตถุประสงค์การส่งตัวอย่าง	กลุ่มมาตรฐานและ พัฒนาระบบการ วิเคราะห์ดิน สวด.	10 นาที	
2	 <p>พณ. ตรวจสอบแบบฟอร์มบันทึก รายละเอียดการส่งตัวอย่างดิน คัดกรองรายการวิเคราะห์ ทบทวนคำขอรับบริการ ออกเลขที่รับและเลขปฏิบัติการตัวอย่าง</p>	พนักงานรับตัวอย่างตรวจสอบ รายละเอียดข้อมูล ที่ ผู้ขอรับบริการแจ้ง : (1) คัดกรองรายการวิเคราะห์ (2) ทบทวนคำขอรับบริการ (3) ออกเลขที่รับและเลขปฏิบัติการตัวอย่าง	กลุ่มมาตรฐานและ พัฒนาระบบการ วิเคราะห์ดิน สวด.	10 นาที	รายละเอียดการส่งตัวอย่างดิน
3	 <p>กรณีเป็นเอกชน พณ. คิดค่าธรรมเนียมการวิเคราะห์และชำระค่าบริการวิเคราะห์ที่กองคลัง</p>	คำนวณค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ และชำระเงินที่กองคลังให้กับผู้ขอรับบริการ (กรณี ที่ ผู้ขอรับบริการเป็นเกษตรกร ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย)	- กลุ่มมาตรฐานและ พัฒนาระบบการ วิเคราะห์ดิน สวด. - กองคลัง	10 นาที	(1) รายละเอียดการส่งตัวอย่าง ดิน (2) ค่าธรรมเนียมวิเคราะห์ตัวอย่าง
4	 <p>พณ. ออกเอกสารใบรับตัวอย่างให้ผู้ขอรับบริการ และบันทึกเลขที่รับตัวอย่างลงสมุด</p>	พณ. ออกเอกสารใบรับตัวอย่างให้ผู้ขอรับบริการเพื่อเก็บเป็นหลักฐานในการติดต่อสอบถาม บันทึกเลขที่รับตัวอย่างลงสมุด	กลุ่มมาตรฐานและ พัฒนาระบบการ วิเคราะห์ดิน สวด.	5 นาที	(1) บันทึกลงสมุดรับตัวอย่าง (2) เอกสารใบรับตัวอย่าง
5	 <p>พณ. เตรียมตัวอย่างเพื่อตรวจวิเคราะห์พร้อมส่งตัวอย่างไปห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้อง</p>	(1) พณ. ห้องเตรียมตัวอย่างรับ ตย.ดิน พร้อมไปส่งตัวอย่าง เตรียม ตย.ดิน เบื้องต้น 4 วันสำหรับดินทราย หรือ 14 วันสำหรับดินเหนียวที่เปียกแฉะ (2) ส่ง ตย. ที่ผ่านการเตรียมเรียบร้อยไปยังห้องปฏิบัติการวิเคราะห์	กลุ่มมาตรฐานและ พัฒนาระบบการ วิเคราะห์ดิน สวด.	4 - 14 วัน	สมุดรับ-ส่งตัวอย่าง
6	 <p>ผู้ทดสอบ วิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการตามรายการในใบส่งตัวอย่าง</p>	ผู้ทดสอบวิเคราะห์ตัวอย่างดินด้วยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการตามรายการที่ระบุไว้ในใบส่งตัวอย่าง	กลุ่มวิจัยกายภาพ ดิน สวด.	30 วันทำการ	
7					

หมายเหตุ: ● ต่อหน้าถัดไป

5.1 (ต่อ)

ลำดับ	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบฟอร์ม
7		ผู้ทดสอบทำการวิเคราะห์ตามรายการที่แสดงในสมุดบันทึก บันทึกผลวิเคราะห์ในสมุดและในคอมพิวเตอร์	- กลุ่มวิจัย กายภาพดิน	ขึ้นกับ จำนวน รายการที่ขอ วิเคราะห์ ²⁴ (ไม่เกิน 45 วันทำการ)	แสดงใน ขั้นตอน ปฏิบัติงานแต่ ละรายการ วิเคราะห์
8		ผู้ทดสอบตรวจสอบผลวิเคราะห์ - ผ่าน: พิมพ์ผลวิเคราะห์ ส่ง ผอ.กลุ่มวิจัยกายภาพดิน - ไม่ผ่าน : แจ้งผู้ทดสอบตรวจทาน/แก้ไข/วิเคราะห์ซ้ำ	- กลุ่มวิจัย กายภาพดิน	1 – 2 วันทำการ (ขึ้นกับ จำนวน ตย. และรายการ วิเคราะห์)	
9		ผอ.กลุ่มวิจัยกายภาพดินตรวจทานผลวิเคราะห์ - ผ่าน: approve ในระบบส่งผลวิเคราะห์ออนไลน์ - ไม่ผ่าน : แจ้งผู้ทดสอบตรวจทาน/แก้ไข/วิเคราะห์ซ้ำ	- กลุ่มวิจัย กายภาพดิน	1 วันทำการ	
10		กลุ่มมาตรฐานฯ รับผลวิเคราะห์ที่ผ่านการ approve แล้วจาก ผอ.กลุ่มวิจัยกายภาพดิน - แจ้งผู้ขอรับบริการ - พิมพ์ผลวิเคราะห์จากระบบออนไลน์ให้กับผู้ขอรับบริการทั้งแบบส่งทางไปรษณีย์ แบบรับด้วยตนเอง และแบบไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ หรือโทรสาร	กลุ่มมาตรฐาน และพัฒนา ระบบการ วิเคราะห์ดิน สวด.	6 ชม.	

¹⁴กลุ่มมาตรฐานและพัฒนาระบบการวิเคราะห์ดิน²⁴ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินกลุ่มวิจัยกายภาพดิน,³⁴รายการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดิน: ขนาดอนุภาคดิน, ความหนาแน่นรวมของดิน, ความหนาแน่นอนุภาคดิน, ความพรุนรวมของดิน, ความชื้นในดิน, การนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ, ความชื้นของดินที่แรงดึงบรรยากาศ 1/3 และ 15 bar

6. ขั้นตอนการปฏิบัติงานวิเคราะห์

ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยกายภาพดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน ให้บริการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน ทั้งสิ้น 7 รายการ ได้แก่

- (1) ขนาดอนุภาคดิน (particle size analysis)
- (2) ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) แบบใช้กระบอกดิน
- (3) ความหนาแน่นอนุภาคดิน (particle density)
- (4) ความพรุนรวมของดิน (soil porosity)
- (5) ความชื้นในดิน (soil moisture)
- (6) การนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated hydraulic conductivity)
- (7) ความชื้นของดินที่แรงดึงบรรยากาศ 1/3 และ 15 bar

ทั้งนี้ ผังกระบวนการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน วิธีวิเคราะห์ การคำนวณ และการแปลผลวิเคราะห์ รวมทั้งตัวอย่างตารางการบันทึกผลวิเคราะห์ และตัวอย่างการคำนวณผลวิเคราะห์แต่ละรายการ แสดงได้ ดังนี้

6.1 ขนาดอนุภาคดิน (particle size analysis)

บทนำ

การวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคดิน หมายถึง การหาสัดส่วนโดยมวลของกลุ่มขนาดอนุภาคดินเหนียว (clay) กลุ่มขนาดอนุภาคทรายแป้ง (silt) และกลุ่มขนาดอนุภาคทราย (sand) ในดินที่มีขนาดไม่เกิน 2 mm ที่เรียกว่า fine earth ซึ่งการวิเคราะห์นี้จะเน้นเฉพาะส่วนที่เป็นอนินทรีย์สารขององค์ประกอบหลักของดิน ในการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคดินหรือบางครั้งก็เรียกว่าการหาลักษณะเนื้อดิน (soil texture) วิธีที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ได้แก่ pipette method และ hydrometer method สำหรับวิธีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินกลุ่มวิจัยกายภาพดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน คือวิธี pipette method (Kilmer and Alexander, 1949)

หลักการ

ลักษณะเนื้อดินจะเป็นประเภทใดขึ้นอยู่กับกลุ่มขนาดอนุภาคหลักในชั้นดินนั้น ซึ่งแบ่งได้กว้าง ๆ 3 กลุ่มขนาด คือ

1. กลุ่มดินเนื้อหยาบ (coarse textured soils) ดินที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ ดินทราย (sand) ดินทรายร่วน (loamy sand) และ ดินร่วนปนทราย (sandy loam)
2. กลุ่มดินเนื้อปานกลาง (medium textured soils) ดินที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ ดินร่วน (loam) ดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam) ดินทรายแป้ง (silt) และดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam)

3. กลุ่มดินเนื้อละเอียด (fine textured soils) ดินที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ ดินเหนียวปนทราย (sandy clay) ดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay) ดินเหนียว (clay) ดินร่วนเหนียว (clay loam) และดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam)

การจำแนกกลุ่มขนาดของอนุภาคดิน (soil separate) จะแบ่งกลุ่มขนาดของอนุภาคอนินทรีย์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2 mm โดยที่แต่ละกลุ่มจะมีขนาดอยู่ในช่วงพิกัดที่กำหนดให้ดังนี้


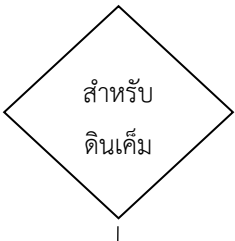


ตารางที่ 1 การจำแนกกลุ่มขนาดของอนุภาคดิน (soil separate) ตามมาตรฐาน USDA และ ISSS

ขนาดอนุภาค	เส้นผ่านศูนย์กลาง ^{1/} (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ^{2/} (mm)
very coarse sand (ทรายหยาบมาก)	2.00 – 1.00	-
coarse sand (ทรายหยาบ)	1.00 – 0.50	2.00 – 0.20
medium sand (ทรายปานกลาง)	0.50 – 0.25	-
fine sand (ทรายละเอียด)	0.25 – 0.10	0.20 – 0.02
very fine sand (ทรายละเอียดมาก)	0.10 – 0.05	-
silt (ทรายแป้ง)	0.05 – 0.002	0.02 – 0.002
clay (ดินเหนียว)	< 0.002	< 0.002


^{1/}แบ่งตามระบบของ United States Department of Agriculture System (USDA)

^{2/}แบ่งตามระบบ International Society of Soil Science System (ISSS)

ผังกระบวนการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดินโดยวิธีปิเปต (pipette method)

ลำดับที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบฟอร์ม	เอกสารอ้างอิง
1		ซั่งตัวอย่างดินแห้ง (air dried soil) ที่ผ่านตะแกรงร่อน (sieve) ขนาด 2 mm แล้ว 10 g ลงใน beaker จำนวน 2 ชุด	- ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์	3 ชม. 40 ตัวอย่าง	F_PHY01	Gee and Bauder (1986)
2		ตรวจสอบจากผลวิเคราะห์ค่า EC จากกลุ่มวิจัยเคมีดิน		30 นาที		
3		<ol style="list-style-type: none"> ซั่งตัวอย่างดินแห้ง (air dried soil) ที่ผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 2 mm แล้ว 10 g ลงใน centrifuge tube ขนาด 100 mL จำนวน 2 ชุด เติมสารละลาย NaOAc 50 mL อุ่นบน water bath อุณหภูมิ 70 °C นาน 30 นาที นำไป centrifuge เติมน้ำกลั่น 50 mL อุ่นบน water bath 30 นาที นำไป centrifuge เติมน้ำกลั่นอีกครั้ง 		8 ชม.		
4						

ผังกระบวนการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดินโดยวิธีปิเปต (pipette method) (ต่อ)

ลำดับ ที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับ ผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบ ฟอร์ม	เอกสาร อ้างอิง
4	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> กำจัดอินทรีย์วัตถุ โดยเติม H_2O_2 และตั้ง บน hot plate จนทำ ปฏิกิริยาหมด </div> <div style="text-align: center;">↓</div>	1. เติม H_2O_2 แล้วนำ beaker ไปตั้งบน hot plate ที่ อุณหภูมิประมาณ $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2. สังเกตว่า H_2O_2 ทำ ปฏิกิริยากับอินทรีย์วัตถุ หมดหรือไม่โดยดูจากพราย แก๊สและสีของดิน ถ้า อินทรีย์วัตถุไม่หมดสามารถ เติม H_2O_2 ลงไปได้อีก	- ผู้ทดสอบ/ผู้ วิเคราะห์	8 ชม.	F ₁ PHY01	Gee and Bauder (1986)
5	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> ทำให้ตัวอย่าง เกิดการแตกตัว โดย เติมสารละลาย Calgon 10 mL </div> <div style="text-align: center;">↓</div>	1. ถ่ายตัวอย่างดินลงใน beaker พลาสติก 2. เติมสารละลาย Calgon ตัวอย่างละ 10 mL แล้ว ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชม.		1 วัน		
6	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> แยกอนุภาคทราย ผ่าน กรวยกรองที่มีตะแกรง ขนาด 300 mesh นำ อนุภาคทรายที่แยกไป </div> <div style="text-align: center;">↓</div>	ถ่ายตัวอย่างลงใน cylinder ขนาด 1,000 mL ผ่าน กรวยกรองที่มีตะแกรง ขนาด 300 mesh อนุภาค ทรายแป้งและอนุภาคดิน เหนียวจะผ่านลงไป ใน cylinder ปรับปริมาตร 1,000 mL กวนตัวอย่าง ด้วย plunger และตั้งทิ้งไว้ ตามเวลาของ Stokes' law		4 ชม.		
7	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> แยกอนุภาคดินเหนียว โดยใช้ automatic pipette ดูตัวอย่าง อนุภาคดินเหนียวซึ่งอยู่ ในสภาพแขวนลอย 20 </div> <div style="text-align: center;">↓</div>	ใช้ automatic pipette ดูตัวอย่างอนุภาคดิน เหนียวซึ่งอยู่ในสภาพ แขวนลอย 20 mL ใส่ลงใน can ที่ทราบน้ำหนักแล้ว แล้วจึงนำไปเข้าตู้อบ		4 ชม.		
8						

ผังกระบวนการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดินโดยวิธีปิเปต (pipette method) (ต่อ)

ลำดับที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบฟอร์ม	เอกสารอ้างอิง
8		ดูจากใบส่งตัวอย่างว่าผู้ส่งตัวอย่างต้องการค่า sand fractions หรือไม่	- ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์	-	F-PHY01	Gee and Bauder (1986)
9		นำชุดตะแกรงร่อนเข้า เครื่องเขย่า (shaker) เพื่อแยกอนุภาคทรายขนาดต่างๆ ออกจากกัน		1 วัน 20 ตัวอย่าง		
10		1. คำนวณเปอร์เซ็นต์อนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว และจำแนก textural class 2. บันทึกผลลงคอมพิวเตอร์		3 ชม.		
11		- ตรวจสอบความถูกต้องของผลวิเคราะห์, อนุมัติออกผล, ส่งผลวิเคราะห์ให้ศูนย์บริการครบวงจร		- ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์ - ผอ.กลุ่มวิจัยกายภาพดิน approved		

หมายเหตุ: ● ต่อหน้าถัดไป

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ปีกเกอร์ (beaker) แก้วทนไฟขนาด 600 mL
2. ปีกเกอร์ (beaker) พลาสติกขนาด 500 mL
3. กระจกปิด (cover glass)
4. กระบอกลูกทวง (cylinder) ขนาด 1,000 mL
5. automatic pipette
6. เครื่องชั่งไฟฟ้าดิจิทัล ทศนิยม 3 ตำแหน่ง
7. เครื่องชั่งไฟฟ้าอนุบาลอก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
8. high speed stirrer
9. เครื่องเหวี่ยงตะกอน (centrifuge) พร้อมหลอดที่ใช้กับเครื่องขนาด 100 mL
10. water bath
11. แท่งแก้ว (stirring rod)
12. policeman
13. plunger
14. stainless can
15. ตะแกรงร่อน (sieve) ขนาด 300 mesh
16. เครื่องกรองน้ำ
17. เครื่องมือสำหรับปิเปต (pipette apparatus)
18. เตาปรับอุณหภูมิ (hot plate)
19. ตู้ดูดควัน (hood)
20. ตู้อบ (oven)
21. นาฬิกาจับเวลา
22. desiccators
23. เทอร์โมมิเตอร์
24. เครื่องเขย่าไฟฟ้า (shaker) พร้อมตะแกรงร่อน (sieve) ขนาด 1, 0.5, 0.25, และ 0.1 mm
25. อ่างน้ำร้อน (water bath) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้

สารเคมี

1. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เข้มข้น 50 %
2. สารละลายโซเดียมอะซิเตต (NaOAc) 1N pH 5.0 เตรียมดังนี้
 โซเดียมอะซิเตต (NaOAc) 82.0 g ลงใน volumetric flask ขนาด 1,000 mL เติมน้ำกลั่น 500 mL เติมกรดแอสติติก (glacial acetic acid) 25 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1,000 mL ปรับ pH ของสารละลายให้ได้ 5.0 ด้วยกรดแอสติติก

3. สารละลาย calgon เตรียมดังนี้

ชั่งโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (sodium hexametaphosphate) 35.7 g ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 mL เติมน้ำกลั่นประมาณ 500 mL คนให้ละลาย เติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรเป็น 1,000 mL

4. สารละลายโซเดียมซิเตรต 0.3M เตรียมดังนี้

ละลายโซเดียมซิเตรต (sodium citrate) 88.0 g ด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 L

5. สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต 1M เตรียมดังนี้

ละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) 84.0 g ด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 1 L

6. โซเดียมไดไธโอไนต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) ชนิดบริสุทธิ์อย่างผง

วิธีวิเคราะห์

ขั้นตอนที่ 1 การชั่งตัวอย่างดิน

ชั่งตัวอย่างดินแห้ง (air dried soil) ที่ผ่านตะแกรงร่อน (sieve) ขนาด 2 mm จำนวน 10.0 g ลงใน beaker ขนาด 600 mL ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ (ภาพที่ 1) โดยใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าความละเอียด 2 ตำแหน่ง



ภาพที่ 1 ตัวอย่างดินที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 mm จำนวน 10.0 g ในบีกเกอร์ขนาด 600 mL

ขั้นตอนที่ 2 การล้างเกลือ

1) สารละลาย NaOAc ใช้เพื่อล้างคาร์บอเนตที่เป็นสารเชื่อม การทดสอบตัวอย่างดินว่ามีคาร์บอเนตหรือไม่ ทำได้โดยการหยดสารละลาย 1M HCl เล็กน้อยลงบนตัวอย่างดิน ดินที่มีคาร์บอเนตเป็นสารเชื่อมจะเกิดฟองฟูบริเวณที่หยดสารละลาย (Flury, 2009)

2) ชั่งตัวอย่างดินแห้ง (air dried soil) ที่ผ่านตะแกรงร่อน (sieve) ขนาด 2 mm จำนวน 10.0 g ลงใน centrifuge tube ขนาด 100 mL ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ

- 3) เติมสารละลาย 1N NaOAc pH 5 จำนวน 50 mL
- 4) อุ้มนบน water bath อุณหภูมิ 70 °C นาน 30 นาที
- 5) นำตัวอย่างไปใช้คสมคูลด้วยเครื่องชั่งแบบ mechanical balance แล้วนำเข้าเครื่อง centrifuge
- 6) เทน้ำใสด้านบนทิ้ง
- 7) เติมน้ำกลั่น 50 mL อุ้มนบน water bath อุณหภูมิ 70 °C นาน 30 นาที
- 8) centrifuge อีกครั้ง แล้วเทน้ำใสด้านบนทิ้งไป
- 9) ถ่ายตัวอย่างลงใน beaker ขนาด 600 mL เพื่อทำในขั้นตอนต่อไป

หมายเหตุ:

- ขั้นตอนที่ 2 นี้ ใช้ในกรณีที่ตัวอย่างดินเป็นดิน Calcareous หรือ Saline (Calcareous or Saline Soils) ถ้าตัวอย่างดินเป็นดินทั่วไปให้ข้ามไปทำขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 การกำจัดอินทรีย์วัตถุ

1) นำตัวอย่างดิน 10.0 g ใน beaker ขนาด 600 mL (ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ) มาเติมน้ำกรองประมาณ 200 mL (ภาพที่ 2) แล้วค่อย ๆ เติม H_2O_2 ประมาณ 5 mL ลงไป (ภาพที่ 3) โดยดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากจะเกิดปฏิกิริยารุนแรง ทำให้ตัวอย่างดินล้นออกนอก beaker ได้ ดังนั้นจึงต้องเติม H_2O_2 ทีละน้อยอย่างระมัดระวัง ถ้าเกิดปฏิกิริยารุนแรงสามารถลดปฏิกิริยาดังกล่าว โดยการนำ beaker ไปแช่ในอ่างน้ำเย็น หรือให้เติมน้ำกลั่นลงไปเล็กน้อยเพื่อลดปฏิกิริยา

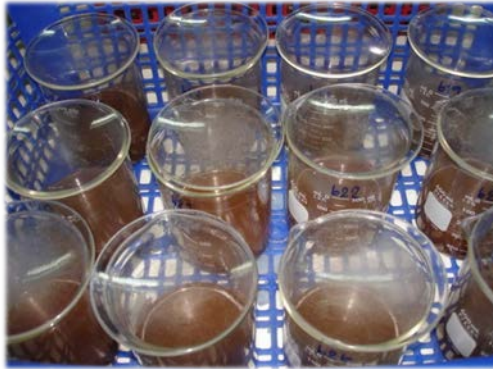


ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างดินที่เติมน้ำกรอง 200 mL



ภาพที่ 3 แสดงการเติม H_2O_2

2) ปิดปีกเกอร์ด้วยกระดาษฟิวส์ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างที่เติม H_2O_2 และปิดกระดาษฟิวส์แล้ว

3) นำ beaker ไปตั้งบน hot plate ที่อุณหภูมิประมาณ 250 – 400 °C (ภาพที่ 5 และ 6)



ภาพที่ 5 แสดงการปรับตั้งอุณหภูมิ hot plate



ภาพที่ 6 แสดงการนำตัวอย่างตั้งบน hot plate

4) สังเกตว่า H_2O_2 ทำปฏิกิริยากับอินทรีย์วัตถุหมดหรือไม่โดยดูจากฟองแก๊สและสีของดิน ถ้าอินทรีย์วัตถุไม่หมดสามารถเติม H_2O_2 ลงไปได้อีก จนไม่ปรากฏปฏิกิริยาขึ้นอีก

5) อุ่น beaker ไว้บน Hot Plate ที่อุณหภูมิ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ต่อไปอีกประมาณ 1-2 ชั่วโมงเพื่อไล่ H_2O_2 ที่มากเกินไป แต่ระวังอย่าให้ตัวอย่างดินแห้ง

6) นำ beaker ชุดที่หนึ่งไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 24 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ แล้วนำออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และนำไปชั่งน้ำหนักดินรวมเพื่อใช้ในการคำนวณ สำหรับ Beaker ชุดที่ 2 นำไปดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

หมายเหตุ:

- กรณีที่ดินมีเหล็กออกไซด์อิสระเคลือบ (ตัวอย่างดินสีแดงหรือดินสีเหลือง) ถ้าต้องการกำจัดเหล็กออกไซด์ทำโดยนำดินจาก beaker ชุดที่ 2 (ดิน 10.0 g) ถ่ายลงในหลอดเหวี่ยงตะกอน (ตัวอย่างละ 2 หลอด) เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตต 40 mL สารละลายโซเดียมโบคาร์บอเนต 5 mL นำไปอุ่นบน water bath ที่อุณหภูมิ $75 - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ไม่เกิน $80\text{ }^{\circ}\text{C}$) เติมโซเดียมไดไฮโอไนต์ผงลงไป 1.0 g หมั่นคน อุ่นต่อไปอีก 15 นาที นำไปเซนตริฟิวจ์ เหน้ใสส่วนบนทิ้ง ถ้าดินยังคงมีสีแดงให้ทำซ้ำ

- เมื่อกำจัดเหล็กออกไซด์หมดแล้ว ทำขั้นตอนที่ 4 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 การทำให้ตัวอย่างดินเกิดการแตกตัว

1) ถ่ายตัวอย่างดินจาก beaker ชุดที่ 2 ลงใน beaker พลาสติกที่เตรียมไว้โดยเขียน lab number ให้เหมือนกันกับ beaker ชุดที่ 2 (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 แสดง beaker พลาสติกที่เตรียมไว้ถ่ายตัวอย่างดิน

2) เติมสารละลาย calgon ตัวอย่างละ 10 mL (ไม่ต้องคนตัวอย่าง) (ภาพที่ 8) เพื่อช่วยให้อนุภาคดินกระจายอย่างอิสระ แล้วทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 8 แสดงการเติมสารละลาย calgon

ขั้นตอนที่ 5 การแยกอนุภาคทราย

1) ถ่ายตัวอย่างลงในถ้วย stainless แล้วปั่นด้วย high speed stirrer ประมาณ 3-5 นาที (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 แสดงตัวอย่างดินที่ปั่นด้วย high speed stirrer

2) ถ่ายตัวอย่างลงใน cylinder ขนาด 1,000 mL ผ่านกรวยกรองที่มีตะแกรงขนาด 300 mesh (ภาพที่ 10) อนุภาคทรายแป้งและอนุภาคดินเหนียวจะผ่านลงไป ใน cylinder ล้างต่อไปด้วยน้ำกรองจนอนุภาคทรายแป้งและอนุภาคดินเหนียวออกจากอนุภาคทรายจนหมดแล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 mL



ภาพที่ 10 แสดงการถ่ายตัวอย่างดินผ่านตะแกรงขนาด 300 mesh

3) ถ่ายอนุภาคทรายที่แยกได้ลงใน can ที่ทราบน้ำหนักแล้ว (ภาพที่ 11) จากนั้นนำ can ไปอบที่อุณหภูมิ 105°C . นาน 24 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่แล้วชั่งน้ำหนัก



ภาพที่ 11 แสดงการถ่ายอนุภาคทรายลงใน can

ขั้นตอนที่ 6 การแยกอนุภาคดินเหนียว

1) ตัวอย่างที่อยู่ใน cylinder จะมีเฉพาะอนุภาคทรายแป้งและอนุภาคดินเหนียว กวนตัวอย่างให้ทั่วด้วย plunger โดยจับเวลาเมื่อเริ่มกวน การตกตะกอนจะขึ้นกับเวลาและอุณหภูมิ ที่ความลึกคงที่ (ตาม Stokes' law) ดังนั้นจึงต้องตั้งทิ้งไว้ตามตารางที่ 1

2) เมื่อถึงเวลาที่กำหนด ใช้ automatic pipette ดูดตัวอย่างอนุภาคดินเหนียวซึ่งอยู่ในสภาพแขวนลอย 20 mL ใส่ลงใน can ที่ทราบน้ำหนักแล้ว จากนั้นนำ can เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 24 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ แล้วจึงชั่งหาน้ำหนักอนุภาคดินเหนียว

หมายเหตุ:

- ในการวิเคราะห์ทุกครั้งจะต้องเตรียมตัวอย่าง blank เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณต่อไป

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิเพื่อการทำ clay percentage โดยวิธี pipette ที่ระดับความลึก 5 cm

อุณหภูมิ	ชั่วโมง	นาทื	วินาที
23.0	3	52	-
23.5	3	50	-
24.0	3	47	5
24.5	3	35	-
25.0	3	32	5
25.5	3	30	-
26.0	3	27	-
26.5	3	25	-
27.0	3	20	-
27.5	3	15	-
28.0	3	10	-
28.5	3	7	5
29.0	3	5	-
29.5	3	2	5
30.0	3	-	-
30.5	2	57	5
31.0	2	55	-

ขั้นตอนที่ 7 การแยก sand fractions

- 1) ถ่ายตัวอย่างอนุภาคทรายทั้งหมดลงบนชั้นบนสุดของชุดตะแกรงร่อน
- 2) นำชุดตะแกรงร่อนเข้าเครื่องเขย่า (shaker) เพื่อแยกอนุภาคทรายขนาดต่างๆ ออกจากกัน โดยตั้งเวลาที่ 10 นาที และความแรงที่ 60 (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 แสดงการนำชุดตะแกรงร่อนเข้าเครื่องเขย่า

- 3) ชั่งน้ำหนักและจดบันทึกน้ำหนักอนุภาคทรายในแต่ละชั้นตะแกรงร่อน เพื่อใช้ในการคำนวณ (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 แสดงการชั่งน้ำหนักอนุภาคทรายในแต่ละชั้น

การคำนวณ

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคทราย

สมมติ น้ำหนักตัวอย่างดินที่อบ (หลังจากกำจัดสาร calcareous และ saline, เหล็กออกไซด์อิสระ, อินทรีย์วัตถุ)	=	a	g
ซึ่งน้ำหนักอนุภาคทรายที่ผ่านการอบแห้งได้	=	b	g
จะมีอนุภาคทราย	=	$\frac{100 b}{a}$	%

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคดินเหนียว

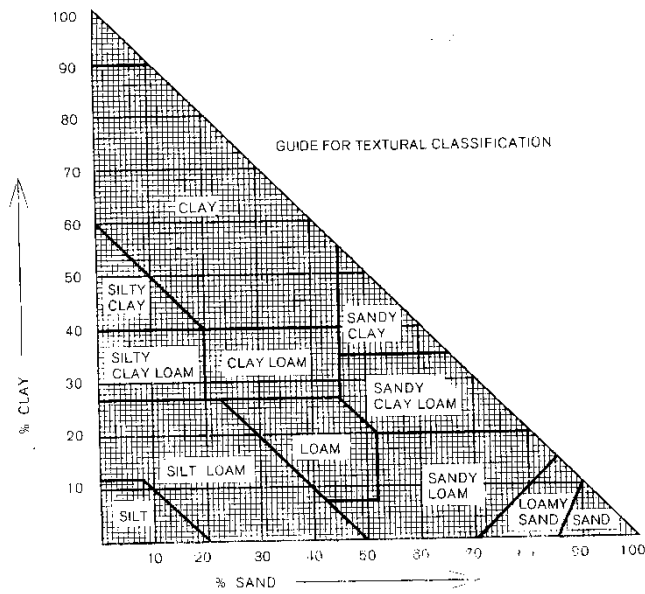
สมมติ pipette clay ขึ้นมาได้	=	20	mL
ถ้าซึ่ง clay ได้ (หลังอบแห้งที่ 105 °C)	=	c	g
นั่นคือ สารแขวนลอยดิน 20 mL มี clay หนัก	=	c	g
สารแขวนลอย 1000 mL มี clay หนัก	=	$\frac{1000c}{20}$	g
ดังนั้น ดิน a g มี clay หนัก	=	$\frac{1000c}{20}$	g
นั่นคือ ดิน 100 g มี clay หนัก	=	$\frac{100}{a} \times \frac{1000c}{20}$	g
	=	$\frac{5 \times 1000c}{a}$	g
ดังนั้น ดินมี % clay	=	$\frac{5000c}{a}$	g

หมายเหตุ: น้ำหนัก clay ต้องลบด้วยปริมาณ calgon ออกก่อนคำนวณ

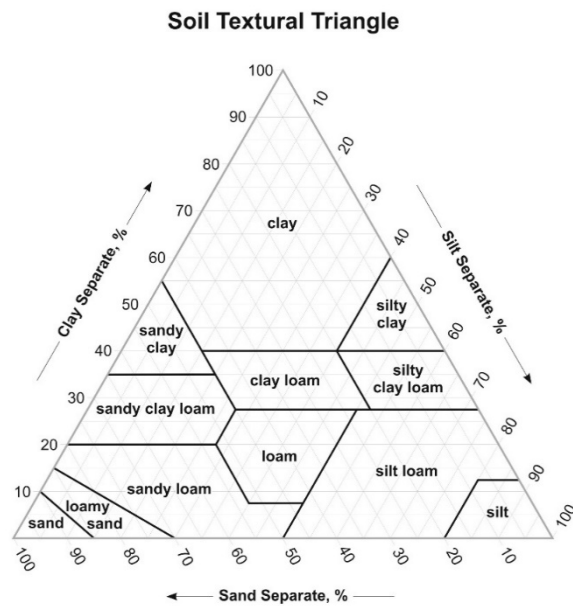
คำนวณเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคทรายแป้ง

$$\% \text{ silt} = 100 - (\% \text{ sand} + \% \text{ clay})$$

เมื่อทราบเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคดินเหนียว อนุภาคทรายแป้งและอนุภาคทรายแล้ว ก็สามารถแยก textural class ได้โดยอ่านค่าจากไดอะแกรมสามเหลี่ยมแจกแจงประเภทเนื้อดินตามระบบของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (ภาพที่ 14) หรืออ่านค่าจากไดอะแกรมสามเหลี่ยมมาตรฐาน USDA (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 14 ไตอะแกรมสามเหลี่ยมแจกประเภทเนื้อดินตามระบบของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา



ภาพที่ 15 ตารางสามเหลี่ยมตามมาตรฐาน USDA

การแปลผลวิเคราะห์

การแปลผลข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ได้เพื่อประเมินประเภทของเนื้อดิน ทำได้เมื่อทราบสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของทราย (sand) และดินเหนียว (clay) ดังตัวอย่าง สมมุติว่าตัวอย่างดินชนิดหนึ่งมีทราย 40% และดินเหนียว 22% พบว่ามีประเภทของเนื้อดินเป็นดินร่วน (loam) แต่ละด้านของไตอะแกรมสามเหลี่ยมจะเป็นกลุ่มประเภทเนื้อดินที่แสดงลักษณะเด่นของแต่ละกลุ่มขนาดอนุภาค เช่น ทางด้านซ้ายเป็นประเภทดินเหนียว ทางด้านล่างเป็นประเภทดินทราย และด้านขวาเป็นประเภทดินทรายแป้ง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าประเภทเนื้อดิน

เหนียวกินขอบเขตของพื้นที่มากที่สุดบนไดอะแกรมสามเหลี่ยม ดินซึ่งมีสัดส่วนของอนุภาคดินเหนียวเกิน 40% ถือว่ามีเนื้อดินหลักเป็นประเภทดินเหนียว (clayey soils) ในขณะที่เนื้อดินหลักของประเภททรายแป้ง (silty soils) และประเภททราย (sandy soils) จะต้องมีสัดส่วนของกลุ่มอนุภาคทรายแป้ง และอนุภาคทรายเกิน 80% และ 90% ขึ้นไปตามลำดับ ทั้งนี้เพราะอนุภาคดินเหนียวมีอิทธิพลต่อสมบัติของดินสูงกว่าอนุภาคทรายแป้ง และอนุภาคทรายตามลำดับ กลุ่มเนื้อดินหลักอีกประเภทหนึ่ง คือ เนื้อดินร่วน (loam) กลุ่มนี้สมบัติของดินได้รับอิทธิพลของกลุ่มอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ในระดับใกล้เคียงกัน เนื้อดินที่มีชื่อดินร่วน (loam) ในไดอะแกรม พบว่า จะประกอบด้วยกลุ่มอนุภาคขนาดทราย และทรายแป้งใกล้เคียงกัน โดยมีกลุ่มอนุภาคดินเหนียวเป็นสัดส่วนที่ต่ำกว่า 2 กลุ่มข้างต้น ซึ่งแสดงได้ว่ากลุ่มอนุภาคดินเหนียวมีอิทธิพลสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ในการกำหนดสมบัติของดิน

ประเภทเนื้อดินอื่น ๆ จะแบ่งย่อยออกไปจากกลุ่มเนื้อดินหลัก 4 กลุ่มข้างต้น ตัวอย่าง เช่น ดินเหนียวปนทราย (sandy clay) คือ ดินเหนียว (clay) ซึ่งมีอนุภาคทรายปะปนอยู่มากพอที่จะทำให้ดินแสดงสมบัติของทรายออกมาได้บ้าง เช่น สากระคายมือเมื่อสัมผัส การระบายน้ำและอากาศดีกว่าดินเหนียวเป็นต้น

การใช้งานดินเชิงปฏิบัติสำหรับเพาะปลูกโดยทั่วไปไม่จำเป็นต้องทราบเนื้อดินที่แน่นอน เกษตรกรอาจจำแนกประเภทเนื้อดินออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1. กลุ่มดินเนื้อละเอียด (fine textured soils) ซึ่งประกอบด้วย 5 ประเภทคือ
 - 1.1. ดินเหนียว (clay)
 - 1.2. ดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay)
 - 1.3. ดินเหนียวปนทราย (sandy clay)
 - 1.4. ดินร่วนเหนียว (clay loam)
 - 1.5. ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silt clay loam)
2. กลุ่มดินเนื้อปานกลาง (medium textured soils) ประกอบด้วยดิน 4 ประเภทคือ
 - 2.1. ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam)
 - 2.2. ดินร่วน (loam)
 - 2.3. ดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam)
 - 2.4. ดินทรายแป้ง (silt)
3. กลุ่มดินเนื้อหยาบ (coarse textured soils) ประกอบด้วยดิน 3 ประเภทคือ
 - 3.1. ดินทราย (sand)
 - 3.2. ดินทรายนดินร่วน (loamy sand)
 - 3.3. ดินร่วนปนทราย (sandy loam)

ดินที่มีเนื้อประเภทต่าง ๆ ภายในกลุ่มดินใหญ่เหล่านี้ มีหลักการปฏิบัติด้านการเกษตรใกล้เคียงกัน อาทิเช่น การไถพรวน การชลประทาน และการใส่ปุ๋ย เป็นต้น การรู้จักชนิดของเนื้อดิน จะทำให้ทราบสมบัติเบื้องต้นของดินเช่นการอุ้มน้ำ การดูดซับธาตุอาหารต่าง ๆ โดยทั่วไปกลุ่มขนาดดินร่วน เป็นกลุ่มเนื้อดินที่มีปัญหาในการจัดการดินน้อยกว่ากลุ่มขนาดดินทรายและกลุ่มขนาดดินเหนียว กลุ่มดินเนื้อหยาบจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้น้อย แต่กลุ่มดินเหนียวจะมีปัญหาในด้านการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศในดินเช่นกัน ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกดิน ปริมาณและขนาดอนุภาคต่าง ๆ จะถูกนำมาใช้ศึกษาชั้นดินวินิจฉัย (diagnostic horizon) ได้แก่ Argillic, Cambic, Kandic และ Oxic และยังใช้ในการจำแนกดินระดับวงศ์ (Family)

6.2 ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density)

บทนำ

ความหนาแน่นรวมของดิน หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลของดินขณะที่มวลแห้งสนิทต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรรวมของดิน (ปริมาตรของอนุภาคดินและช่องว่างในดิน) ค่านี้จะแตกต่างจาก “ความหนาแน่นของอนุภาค” (particle density) ซึ่งหมายถึงสัดส่วนระหว่างมวลของดินขณะดินแห้งสนิทต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของส่วนที่เป็นของแข็งของดิน ค่าความหนาแน่นของอนุภาคจึงสูงกว่าค่าความหนาแน่นรวมเสมอ ค่าความหนาแน่นรวมมีหน่วยเป็นน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร ที่ใช้โดยทั่ว ๆ ไปคือ g cm^{-3} วิธีหาความหนาแน่นรวมของดินมีหลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันคือ clod method และ core method ปกติค่าความหนาแน่นจาก clod method จะสูงกว่า core method เนื่องจากปริมาตรของดินไม่ได้รวมถึงปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดินกับวงแหวน วิธีที่นำมาใช้ในห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยกายภาพดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน คือ วิธี core method

ดินในที่ต่าง ๆ จะมีค่าความหนาแน่นรวมแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เนื้อดิน โครงสร้างของดิน และการเขตกรรม เป็นต้น โดยทั่ว ๆ ไปค่าความหนาแน่นรวมของดินบนที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ดินร่วนปนเหนียว และดินร่วนปนทรายแข็ง มีค่าอยู่ในช่วง $1.20 - 1.80 \text{ g cm}^{-3}$ ส่วนใหญ่ค่าความหนาแน่นรวมของดินจะเพิ่มขึ้นตามความลึกเนื่องจากมีอินทรีย์วัตถุน้อยกว่าดินบน ดินล่างต้องรับน้ำหนักของดินที่อยู่ข้างบนหรือเครื่องมือเขตกรรม การเหยียบย่ำของคนหรือสัตว์

ผังกระบวนการวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density)

โดยวิธี core method

ลำดับที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบฟอร์ม	เอกสารอ้างอิง
1		<ol style="list-style-type: none"> นำตัวอย่างที่เก็บด้วย core มาแกะเทปพันออก และเปิดฝาทั้งสองด้าน ปาดหน้าดินทั้งสองด้านของ core ให้เรียบเสมอขอบ core ด้วยมีดปาดดิน ใช้แปรงปัดเศษดินที่ติดบริเวณรอบๆ core ออกให้หมด 	ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์	3 ชม 45 ต.ย.	F-PHY-5.11-04	พิมพ์พันธ์ (2526); สุนทร (2536); Blake and Hartge (1986); Culley (1993)
2		<ol style="list-style-type: none"> นำ core ที่บรรจุตัวอย่างดินใส่ลงใน can แล้วนำไปชั่ง ($W_{sw}+W_a$) เพื่อหาความชื้นในดิน (เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง) 		30 นาที 45 ต.ย.		
3		<ol style="list-style-type: none"> นำตัวอย่างดินที่ชั่งแล้ว เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105-110 °c เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ นำตัวอย่างดินออกจากตู้อบทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปชั่ง (W_s+W_a) เคาะดินออกจาก core ที่ล้างกระบอกและภาชนะให้สะอาด แล้วอบในตู้อบให้แห้ง ชั่งน้ำหนักของ core และ can (W_a) วัดเส้นผ่านศูนย์กลาง (\varnothing) และ ความสูง (h) ของ core 		4 วัน 45 ต.ย.		
4						

ผังกระบวนการวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) (ต่อ)

ลำดับที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบฟอร์ม	เอกสารอ้างอิง
4		1. คำนวณหาความหนาแน่นรวมของดินจากสูตร $\rho_b = \frac{(W_s + W_a) - W_a}{V_s}$ 2. บันทึกผลลงคอมพิวเตอร์	- ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์	2 ชม 45 ต.ย.	2. F-PHY-5.10-01 1. F-PHY-5.11-04	พิมพ์พันธ์ (2526); สุนทร (2536); Blake (1965); Culley (1993)
5		1. ตรวจสอบความถูกต้องของผลวิเคราะห์และอนุมัติออกผล	- ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์ - ผอ.กลุ่มวิจัยกายภาพดิน	30 นาที	F-PHY-5.10-01	
6		1. ส่งผลวิเคราะห์ให้ศูนย์บริการครบวงจร	approved	30 นาที		

หมายเหตุ: ● ต่อน้ำถัดไป

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบ (oven)
2. เครื่องชั่ง (balance)
3. vernier caliper
4. กระจกเก็บตัวอย่างดิน (core)
5. มีปาดดิน (spatula)

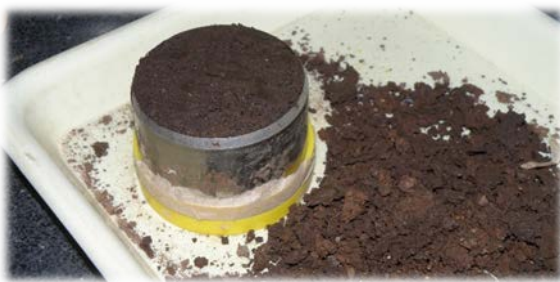
วิธีวิเคราะห์

1. ลักษณะตัวอย่างดินที่เก็บแบบไม่ถูกรบกวนโครงสร้าง (undisturbed sample) โดยใช้กระบอกลโลหะ (core) เจาะลงไปดินตามความลึกที่ต้องการ แล้วปาดหน้าดินทั้งสองด้านของกระบอกลให้เรียบพอดีกับปากกระบอกล และปิดปลายกระบอกลทั้ง 2 ด้านด้วยฝาพลาสติก และพันด้วยเทปพันสายไฟหรือกระดาษขาว (ภาพที่ 16)



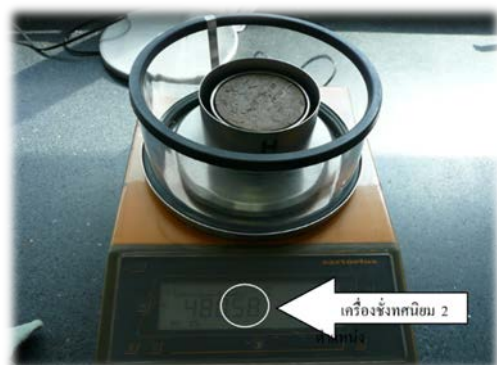
ภาพที่ 16 ภาพแสดงตัวอย่างที่เก็บด้วย core แบบไม่รบกวนโครงสร้าง

2. แกะเทปพันสายไฟออกและเปิดฝาด้านบน จากนั้นปาดหน้าดินให้เสมอกับขอบของกระบอกลูกเก็บ ตัวอย่างดินทั้งสองด้าน โดยใช้มีดปาดดิน (ภาพที่ 17)



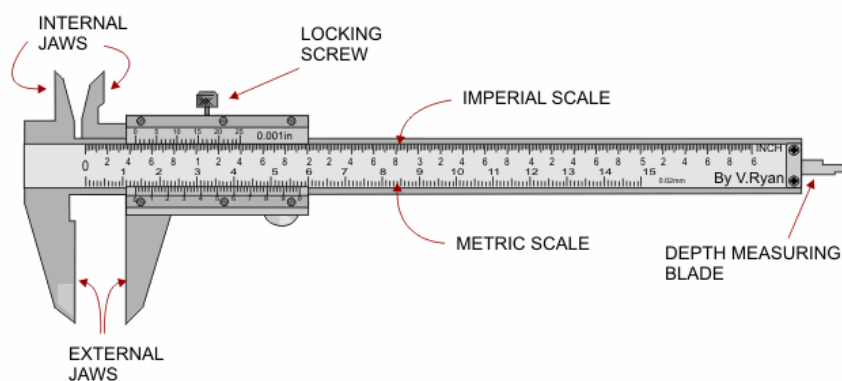
ภาพที่ 17 ภาพแสดงการเตรียมตัวอย่างดิน core ในห้องปฏิบัติการ เพื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม

3. เมื่อปาดหน้าดินเสมอกับขอบกระบอกลูกเก็บตัวอย่างแล้ว ให้ใช้แปรงทาสีปิดเศษดินที่ติดบริเวณ รอบ ๆ กระบอกลูกเก็บตัวอย่างดินออกให้หมด และนำกระบอกลบบรรจุในภาชนะสำหรับนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักของกระบอกลูกที่มีดินบรรจุอยู่ในภาชนะอลูมิเนียม ($W_{sw} + W_a$) การชั่งน้ำหนักในขั้นนี้เพื่อประโยชน์ในการหาความชื้นของดิน โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 ภาพแสดงการทำความสะอาดและการชั่งน้ำหนักตัวอย่างดิน core เพื่อหาปริมาณความชื้นดิน (W_{sw})

4. นำภาชนะอลูมิเนียมที่บรรจุตัวอย่างดิน core วางเรียงในถาดอลูมิเนียมและนำเข้าตู้อบซึ่งมีอุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ จากนั้นปล่อยให้ภาชนะอลูมิเนียมและตัวอย่างดิน core เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง และชั่งน้ำหนักดินอบแห้ง
5. ล้าง core และภาชนะอลูมิเนียมให้สะอาด อบให้แห้งในตู้อบ จากนั้นชั่งน้ำหนักของ core และภาชนะอลูมิเนียม (W_a)
6. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ($2r$) และความสูง (h) ของ core โดยใช้ vernier caliper (ภาพที่ 19) แล้วคำนวณหาปริมาตรภายในของ core (V_s) โดยใช้สมการ $= \pi r^2 h$



ภาพที่ 19 vernier สำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและความสูงของ core ใช้ในการคำนวณปริมาตร core

7. คำนวณหาความหนาแน่นรวมของดิน จากสูตร

$$\rho_b = \frac{(w_s + w_a) - w_a}{V_s}$$

การแปลผลวิเคราะห์

ค่าวิกฤตความหนาแน่นรวมของดินที่มีผลต่อการชอนไชของรากพืชนั้น มีค่าโดยประมาณดังนี้

ดินทรายและดินร่วน	< 1.6 – 1.8 g cm ⁻³
ดินทรายแป้ง	< 1.4 – 1.6 g cm ⁻³
ดินเหนียว	ผันแปรมาก แต่ถ้ามีค่า ≥ 1.3 g cm ⁻³ จะทำให้ช่องว่างของอากาศในดินลดลง

ในการจำแนกดินตามระบบอนุกรมวิธานดิน ค่าความหนาแน่นดินจะถูกนำมาใช้ในการวินิจฉัยคุณสมบัติของดินที่มีแก๊สไฮโดรเจนไฟ นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นรวมของดินยังใช้ในการตรวจสอบการเกิดชั้นดาน โดยเฉพาะพวก Fragipan ใช้ประเมินระดับการสลายตัวและการเปลี่ยนแปลงของชั้นวัตถุต้นกำเนิดดิน ใช้ประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินระหว่างการกำเนิดดิน ซึ่งการตีความหมายจะใช้การเปรียบเทียบ การเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นในแต่ละชั้นดิน นอกจากนี้ยังใช้คำนวณมวลของดินที่ต้องเคลื่อนย้ายในการขุดพื้นที่ทำบ่อหรือถมพื้นที่ หรือคำนวณมวลของชั้นไทรพรอน และที่ใช้กันมากคือ ใช้คำนวณแปลงค่าปริมาณน้ำเชิงมวลเป็นปริมาณน้ำเชิงปริมาตร ซึ่งใช้ในการคิดปริมาณน้ำเพื่อการชลประทาน สำหรับระดับค่าความหนาแน่นรวมทั่วไปของดินแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สเกลทั่วไปของค่าความหนาแน่นรวมของดิน

ความหนาแน่นรวมของดิน (g cm^{-3})	ระดับ
< 1.0	Very low
1.0 – 1.3	Low
1.3 – 1.6	Moderate
1.6 – 1.9	High
> 1.9	Very high

ที่มา: Hazelton and Murphy (2007)



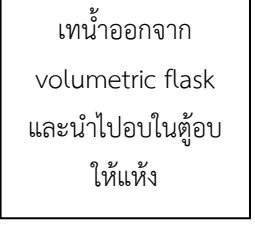

6.3 ความหนาแน่นอนุภาคดิน (particle density)

บทนำ

การวัดความหนาแน่นของวัตถุเป็นการวัดน้ำหนักของวัตถุต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร การวัดน้ำหนักของดินนั้นสามารถวัดได้โดยตรงโดยการชั่ง แต่การวัดปริมาตรของอนุภาคดินนั้นยากที่จะทำได้โดยตรง วิธีที่สะดวกและนิยมก็คือการแทนที่วัตถุในของเหลว (liquid displacement method) แล้ววัดปริมาตรของเหลวที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นของเหลวที่ใช้จึงควรแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างที่มีอยู่ในดินได้เต็มทุกช่องและไล่อากาศออกได้หมด นอกจากนี้ความหนาแน่นของของเหลวนั้นควรคงที่แม้จะถูกดูดซับอยู่บนผิวของอนุภาคดิน

โดยที่ประมาณร้อยละ 95 ของมวลของอนุภาคดินประกอบด้วยแร่ต้นกำเนิด เช่น ควอร์ต เฟลสปาร์ ไมกา และสารประกอบซิลิกา เป็นต้น ซึ่งแร่เหล่านี้มีความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.60 – 2.90 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g cm^{-3}) หรือ เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Mg m^{-3}) เพราะฉะนั้น ดินโดยทั่วไปจึงมีความหนาแน่นอนุภาคอยู่ในช่วงนี้ด้วย และนิยมใช้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นอนุภาค 2.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g cm^{-3}) ในการคำนวณต่าง ๆ ความหนาแน่นอนุภาคดินคิดจากก้อนดินโดยตรง ขนาดและการจัดเรียงโครงสร้างของอนุภาคดิน จึงไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่นอนุภาค แต่ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งมีความหนาแน่นอนุภาคต่ำกว่าก้อนแร่ คือมีค่าประมาณ 0.8 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Mg m^{-3}) มีผลทำให้ความหนาแน่นอนุภาคต่ำลง ดังนั้น ดินอินทรีย์จึงมีความหนาแน่นอนุภาคน้อยกว่าดินอนินทรีย์มาก

ผังกระบวนการวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคดิน (particle density)
โดยวิธีแทนที่วัตถุในของเหลว (liquid displacement method)

ลำดับ ที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับ ผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบ ฟอร์ม	เอกสาร อ้างอิง
1	 <p>ชั่งน้ำหนัก volumetric flask</p>	<ol style="list-style-type: none"> ชั่งน้ำหนัก volumetric flask ขนาด 50 mL ที่แห้งและสะอาด บันทึกน้ำหนักไว้ (W_a) โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง 	<ul style="list-style-type: none"> - ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์ - พนักงานห้องปฏิบัติการ 	1 วัน 70 ตัวอย่าง	F_PHY07	Blake and Hartge (1986); การณีการ์ (2537); สุนทร (2536)
2	 <p>เติมน้ำกรอง ลงใน volumetric flask ต้มไล่อากาศ ระหว่างต้ม</p>	<ol style="list-style-type: none"> ค่อยๆ เติมน้ำกรองซึ่งไล่อากาศออกแล้ว โดยการเติมน้ำกรองประมาณ 1,800 mL ในบีกเกอร์ขนาด 2,000 mL ที่ตั้งบน hot plate ต้มนาน 1 ชั่วโมงหรือจนกว่าฟองอากาศในน้ำจะหมดและปล่อยให้ เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง) ใน volumetric flask จนถึงขีดบนคอขวดซึ่งได้ปริมาตร 50 mL เช็ดภายนอก volumetric flask ให้แห้งด้วยผ้าสะอาดหรือกระดาษทิชชูแล้วชั่งน้ำหนัก (W_w) 				
3	 <p>เทน้ำออกจาก volumetric flask และนำไปอบในตู้อบ ให้แห้ง</p>	เทน้ำกรองใน volumetric flask ลงในบีกเกอร์ขนาด 2,000 mL volumetric flask เตรียมไว้สำหรับการต้มดินต่อไปในขั้นตอนที่ 5 และนำไปอบให้แห้งในตู้อบใช้เวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมง		1 วัน 70 ตัวอย่าง		
4						

หมายเหตุ: ● ต่อน้ำที่ถัดไป

ผังกระบวนการวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคดิน (particle density) (ต่อ)

ลำดับที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบฟอร์ม	เอกสารอ้างอิง
4	ชั่งน้ำหนักดิน 10 g ลงใน volumetric flask	ชั่งตัวอย่างดิน (dry soil) 10 g ใส่ลงใน volumetric flask โดยใช้กรวยขนาดเล็ก แล้วบันทึกน้ำหนักดินที่เป็น air dry weight ไว้ (W_s)	- ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์ - พนักงานห้องปฏิบัติการ	1/2 วัน 70 ตัวอย่าง	F-PHY07	Blake and Hartge (1986); การณีการ (2537); สุนทร (2536)
5	↓ เติมน้ำกรองใน volumetric flask จนได้ปริมาตร 50 mL แล้วชั่ง น้ำหนัก	1. นำ volumetric flask ที่มีดิน 10 g เติมน้ำกรองที่ผ่านการต้มให้เดือดและปล่อยให้เย็นแล้วประมาณ 15 mL 2. นำไปต้มบน hot plate เพื่อไล่อากาศที่ละลายอยู่ในน้ำกรองและติดอยู่กับอนุภาคดิน (entrapped air) ระวังอย่าให้เดือดจนล้น ต้มจนพองอากาศหมดซึ่งใช้เวลาประมาณ 3-4 วัน ระหว่างต้มควรเขย่า volumetric flask เบาๆ เป็นครั้งคราวเพื่อไม่ให้พองล้น		3 – 4 วัน 70 ตัวอย่าง		
6	↓ เติมน้ำกรอง ลงใน volumetric flask ต้มไล่อากาศ ระหว่างต้ม	1. ตั้ง volumetric flask ที่ต้มแล้วไว้จนเย็นเท่ากับอุณหภูมิห้อง 2. ค่อยๆเติมน้ำกรองซึ่งไล่อากาศออกแล้ว (โดยการต้มและปล่อยให้เย็นลง) ใน volumetric flask 3. เช็ดภายนอกให้แห้งด้วยผ้าสะอาดหรือกระดาษทิชชูแล้วชั่งน้ำหนัก (W_{sw})		1 วัน 70 ตัวอย่าง		
7	↓ คำนวณผล	1.คำนวณผลหาความหนาแน่นอนุภาคดิน 2.บันทึกผลลงโปรแกรมผลวิเคราะห์ดิน		1/2 ชม.		
8	↓ ส่งผลวิเคราะห์	- ตรวจสอบความถูกต้องของผลวิเคราะห์, อนุมัติออกผล, ส่งผลวิเคราะห์ให้ศูนย์บริการครบวงจร	- ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์ - ผอ.กลุ่มวิจัยกายภาพดิน approved	1/2 ชม.	F-PHY-5.10-01	

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. volumetric flask 50 mL
2. hot plate และ ถาดใส่น้ำ หรือ water bath
3. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนัก volumetric flask ขนาด 50 mL ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง และบันทึกน้ำหนักไว้ (W_a)
2. เติมน้ำกรองซึ่งไล่อากาศออกแล้ว (โดยการต้มน้ำกรองปริมาณ 1,800 mL ในบีกเกอร์ขนาด 2,000 mL ที่ตั้งบน hot plate ต้มนาน 1 ชั่วโมงหรือจนกว่าฟองอากาศจะหมด จากนั้นปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟิวส์ และปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง) ใน volumetric flask จนได้ปริมาตร 50 mL (เตรียม volumetric flask เท่ากับจำนวนตัวอย่างดิน) เช็ดภายนอก volumetric flask ให้แห้งด้วยผ้าสะอาดหรือกระดาษทิชชู แล้วชั่งน้ำหนัก (W_w)
3. เมื่อชั่งน้ำหนัก volumetric flask ที่บรรจุน้ำ 50 mL ครบตามจำนวนตัวอย่างแล้ว เทน้ำกรองใน volumetric flask ออกแล้วใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 2,000 mL (นำไปใช้สำหรับขั้นตอนที่ 5) และนำ volumetric flask ไปอบให้แห้งในตู้อบใช้เวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 °C
4. ถ่ายตัวอย่างดินผึ่งแห้ง (air dry) นาน 10 g ลงใน volumetric flask โดยใช้กรวยขนาดเล็ก บันทึกน้ำหนักดินที่เป็น air dry weight ไว้ (W_s) (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินใส่ใน volumetric flask ขนาด 50 mL

5. นำ volumetric flask ในขั้นตอนที่ 4 เติมน้ำกรองที่ผ่านการต้มไล่อากาศแล้ว (จากขั้นตอนที่ 3) ปริมาณ 15 mL และนำ volumetric flask บรรจุลงถาดทรงสูง (จำนวน 35 ใบต่อถาด) ที่เติมน้ำไว้แล้ว นำถาดวางบน hot plate เพื่อต้มไล่อากาศที่ละลายอยู่ในน้ำกรองและติดอยู่กับอนุภาคดิน (entrapped air) ระวังอย่าให้น้ำใน flask เดือดจนล้นและต้มให้ฟองอากาศหมด ประมาณ 3-4 วัน (ควรเติมน้ำในถาดอย่าง

สม่ำเสมอไม่ควรปล่อยให้ปริมาณน้ำเหลือน้อยหรือแห้ง) ระหว่างต้มควรเขย่า volumetric flask เบาๆ เป็นครั้งคราว เพื่อป้องกันไม่ให้ฟองล้นและเป็นการช่วยไล่ฟองอากาศ (ภาพที่ 21)



ภาพที่ 21 การต้มไล่ฟองอากาศออกจากตัวอย่างดินใน volumetric flask ขนาด 50 mL ด้วย water bath

6. นำ volumetric flask ที่ต้มไล่ฟองอากาศในน้ำกรองและอุณหภูมิคงที่จนหมดแล้ว มาพักไว้จนเย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมน้ำกรองจนได้ปริมาณ 50 mL (สังเกตจากขีดที่คอขวดของ volumetric flask) เช็ดภายนอก flask ให้แห้งด้วยผ้าสะอาดหรือกระดาษทิชชูแล้วชั่งน้ำหนัก (W_{sw}) และคำนวณผลการทดลอง

การคำนวณ

คำนวณหา particle density ได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\rho_s = \frac{\rho_w (w_s)}{(w_w - w_a) - (w_{sw} - w_s - w_a)}$$

หมายเหตุ:

- 1) อุณหภูมิในขั้นตอนที่ 2 และ 6 ควรเท่ากัน
- 2) ถ้าอุณหภูมิในขั้นตอนที่ 2 และ 6 ไม่เท่ากัน และ W_s เป็นน้ำหนักของ air dry soil, ρ_s หาได้จาก

$$\rho_s = \frac{100 (w_s) / (100 + w)}{(w_w - w_a) / \rho_{w2} - (w_{sw} - w_s - w_a) / \rho_{w1}}$$

โดยที่ w = เปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่างดินโดยน้ำหนัก

ρ_{w1} และ ρ_{w2} = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิในขั้นตอนที่ 2 และ 6 ตามลำดับ

การแปลผลวิเคราะห์

การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นอนุภาคดิน เน้นไปที่อนุภาคดินต่าง ๆ ไม่ได้เน้นปริมาตรรวมของอนุภาคดินและช่องว่างในดิน ความหนาแน่นอนุภาคดินต่างจากความหนาแน่นรวมของดิน เพราะความหนาแน่นรวมของดินประกอบไปด้วยปริมาตรของแข็งทั้งหมดในดิน (แร่และอินทรีย์วัตถุ) กับช่องว่างของน้ำและอากาศในดิน แต่ความหนาแน่นอนุภาคดินเกิดจากอิทธิพลขององค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของแร่ต่าง ๆ ในดิน

ข้อมูลความหนาแน่นอนุภาคดิน ใช้เพื่อสร้างความเข้าใจสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของดิน ตัวอย่างเช่น ความหนาแน่นอนุภาคดินสามารถแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินและปริมาณอนุภาคแร่ต่าง ๆ ในดิน สามารถอนุมานองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของแร่ต่าง ๆ ในตัวอย่างดิน โดยนำค่าความหนาแน่นอนุภาคดินมาเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของแร่ในดินที่ทราบข้อมูล เช่น ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ ไมกา และแมกนีไทต์ เป็นต้น และความหนาแน่นอนุภาคดินเป็นค่าที่ใช้ร่วมกับค่าความหนาแน่นรวมของดิน ในการคำนวณค่าความพรุนรวมของดิน

โดยทั่วไป ดินมีค่าความหนาแน่นอนุภาคอยู่ในช่วง 2.60 – 2.90 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g cm^{-3}) และการคำนวณนิยมใช้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นอนุภาค 2.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g cm^{-3}) อย่างไรก็ตาม ดินสามารถมีค่าความหนาแน่นอนุภาคสูงได้ถึง 3.0 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g cm^{-3}) ถ้าดินนั้น ๆ มีองค์ประกอบที่มีความหนาแน่นสูงมาก ๆ

6.4 ความพรุนรวมของดิน (total porosity)

บทนำ

ความพรุนรวม (total porosity, ϕ) หมายถึง สัดส่วนของปริมาตรของส่วนที่เป็นช่องว่างต่อปริมาตรทั้งหมดของดิน สัดส่วนช่อง (void ratio, e) หมายถึง สัดส่วนของปริมาตรของส่วนที่เป็นช่องว่างต่อส่วนที่เป็นอนุภาคดิน ทั้งสองค่านี้ไม่นิยมวัดกันโดยตรง แต่คำนวณจากค่าของความหนาแน่นรวมของดินและความหนาแน่นอนุภาคดิน ส่วนมวลของดินหนึ่งไร่ชั้นไถพรวน (rai furrow slice, RFS) หมายถึง มวลของดินหนึ่งในบริเวณพื้นที่ 1 ไร่ และเป็นชั้นลึกเท่ากับส่วนที่ได้รับการรบกวนจากเครื่องมือเกษตรกรรมที่สุด โดยทั่วไปหมายถึง ชั้นดินลึก 15 cm จากผิวดิน หรือดินชั้นไถพรวน ค่านี้เป็นค่าที่คำนวณจากค่าความหนาแน่นรวมของดิน เพราะการชั่งมวลของดินปริมาณมาก ๆ ทำไม่ได้ในแง่การปฏิบัติ

ผังกระบวนการวิเคราะห์ความพรุนรวมของดิน (total porosity)

ลำดับที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบฟอร์ม	เอกสารอ้างอิง
1		นำผลวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน มาใช้ในการคำนวณความพรุนรวมของดิน	- ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์	5 วัน 45 ตัวอย่าง	F-PHY-5.11-05	Danielson and Sutherland (1986); MacCarty et al. (2016); จักรพงษ์ (2546)
2		นำผลวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของอนุภาคดินมาใช้ในการคำนวณความพรุนรวมของดิน		1-2 วัน 70 ตัวอย่าง		
3		คำนวณผลวิเคราะห์ความพรุนรวมของดินจากสมการ $\phi (\%) = \left[1 - \left(\frac{\rho_b}{\rho_s} \right) \right] \times 100$		1 วัน		
4		- ตรวจสอบความถูกต้องของผลวิเคราะห์, อนุมัติออกผล, ส่งผลวิเคราะห์ให้ศูนย์บริการครบวงจร	- ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์ - ผอ.กลุ่มวิจัย กายภาพดิน approved	1/2 ชม.		

การคำนวณ

ค่าความพรุนรวมของดิน (ϕ) คำนวณได้จากสมการ

$$\phi (\%) = \left[1 - \left(\frac{\rho_b}{\rho_s} \right) \right] \times 100$$

ค่ามวลของดินหนึ่งไร่ชั้นไถพรวน (RFS) คำนวณได้จากสมการ

$$\text{มวลดิน} = \text{ความหนาแน่นรวม} \times \text{ปริมาตร}$$

$$RFS = \rho_b \times A \times h_f$$

- เมื่อ ρ_b = ความหนาแน่นรวมของดิน (g cm^{-3})
 ρ_s = ความหนาแน่นอนุภาคดิน (g cm^{-3})
 A = พื้นที่ 1 ไร่ = $1,600 \text{ m}^2$
 h_f = ความลึกชั้นไถพรวน (m)

การแปลผลวิเคราะห์

ขนาดของช่องว่างในดินขึ้นอยู่กับขนาดและการจัดเรียงตัวของอนุภาคดิน เมื่อดินแห้ง ช่องว่างส่วนใหญ่ในดินจะบรรจุด้วยอากาศ และเมื่อดินชื้นช่องว่างในดินจะบรรจุด้วยทั้งน้ำและอากาศ ถ้าอนุภาคดินจัดเรียงตัวใกล้กันจะทำให้ดินมีความพรุนน้อย แต่ถ้าดินมีการเกาะตัวเป็นเม็ดดินได้ดี ส่วนใหญ่จะพบในดินที่มีเนื้อปานกลาง (medium textured soil) และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง จะทำให้ดินมีความพรุนหรือมีช่องว่างต่อหน่วยปริมาตรสูงด้วย อินทรีย์วัตถุในดินจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการสร้างตัวของเม็ดดิน ซึ่งมีผลทำให้ความพรุนในดินสูงขึ้น Hazelton and Murphy (2007) สรุปค่าความพรุนและค่าความหนาแน่นรวมของดินทั่วไปโดยพบว่าดินทำการเกษตรทั่วไปจะมีค่าความพรุนรวม 47% และมีค่าความหนาแน่นรวม 1.4 g cm^{-3} ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าความพรุนรวมของดินและค่าความหนาแน่นรวมของดินทั่วไป

	ความพรุนรวมของดิน (%)	ความหนาแน่นรวมของดิน (g cm^{-3})
หิน (assuming all quartz)	0	2.65
ดินเหนียวโซดิก (sodic clay)	25	2.0
Dense pan	32	1.8
คันดิน (wall of a farm dam)	36	1.7
ดินทำการเกษตร (agricultural soil)	47	1.4

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hazelton and Murphy (2007)

6.5 ความชื้นในดิน (soil water content)

บทนำ

ในทางปฐพีวิทยากระบวนการผุพังและกระบวนการเกิดชั้นดิน การเจริญเติบโตของพืช การจัดการดิน รวมทั้งการใช้ที่ดินในด้านอื่นนอกเหนือจากการเกษตรส่วนใหญ่ ล้วนแล้วแต่มิมีน้ำเข้าไปเกี่ยวข้องเป็นปัจจัยสำคัญ ในด้านการเกษตรน้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อผลผลิตของพืชเป็นอย่างมาก ดังนั้นการตรวจวัดปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดิน จะสามารถกำหนดปริมาณน้ำให้แก่ดินได้ เพื่อเป็นหลักประกันว่าพืชจะได้รับน้ำอย่างเพียงพอ และเป็นการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

หลักการ

การดูดยึดน้ำของดินทำให้น้ำที่แทรกซึมลงในดินยังคงค้างอยู่ตามช่อง หรือเคลือบเป็นฟิล์มรอบอนุภาคดิน และคงอยู่นานพอที่จะตรวจวัดจำนวนได้ การวัดจำนวนของน้ำในดินนิยมวัดเป็นระดับความชื้น (water content) ซึ่งหมายถึงสัดส่วนระหว่างปริมาณของน้ำกับปริมาณของดินที่น้ำนั้นบรรจุอยู่ ซึ่งอาจแสดงได้หลายรูปแบบ ดังนี้

1. ระดับความชื้นโดยมวล (mass water content)

ระดับความชื้นโดยมวล หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลของน้ำกับมวลของดินแห้ง ซึ่งบรรจุน้ำอยู่ แสดงได้ดังสมการ

$$\theta_m = \frac{m_w}{m_s} \quad (1)$$

โดยที่ θ_m = ระดับความชื้นโดยมวล

m_w = มวลของน้ำในดิน

m_s = มวลของดินแห้งสนิทที่ผ่านการอบแห้งในเตาที่อุณหภูมิ 105 – 110 °C จนมีมวลคงที่

2. ระดับความชื้นโดยปริมาตร (volume water content)

ระดับความชื้นโดยปริมาตร หมายถึง สัดส่วนระหว่างปริมาตรของน้ำในดินกับปริมาตรรวมของดิน ปริมาตรรวม (bulk volume) ในที่นี้ หมายถึง ผลรวมของปริมาตรของแข็ง (solid volume) และปริมาตรช่อง (pore volume) ระดับความชื้นโดยปริมาตรแสดงได้ตามสมการ

$$\theta_v = \frac{V_w}{V_s} \quad (2)$$

โดยที่ θ_v = คือ ระดับความชื้นโดยปริมาตร

V_w = คือ ปริมาตรของน้ำในดิน และ V_s คือ ปริมาตรรวมของดิน

θ_v และ θ_m มีความสัมพันธ์กันตามสมการ

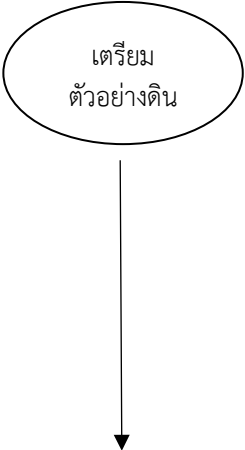
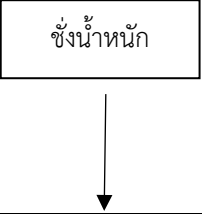

$$\theta_v = \frac{\rho_b \theta_m}{\rho_w} \quad (3)$$

โดยที่ ρ_b = ความหนาแน่นรวม (bulk density) ของดิน

ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ (1.0 g cm^{-3} หรือ Mg m^{-3})

ระดับความชื้นโดยปริมาตรมีที่ใช้มากกว่าระดับความชื้นโดยมวล โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาการไหลของน้ำในดิน แต่ขั้นตอนการประเมินระดับความชื้นโดยปริมาตรมีความยุ่งยากกว่า ดังนั้น จึงมักประเมินระดับความชื้นโดยปริมาตรจากสมการ (3) เมื่อทราบระดับความชื้นโดยมวล และความหนาแน่นรวมของดิน ณ จุดนั้น

ผังกระบวนการวิเคราะห์ความชื้นในดิน (soil water content)
โดยวิธีวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (gravimetric method)

ลำดับที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบฟอร์ม	เอกสารอ้างอิง
1		<ol style="list-style-type: none"> นำตัวอย่างที่เก็บด้วยกระบอก (core) มาแกะ เทปพันออก และเปิดฝาทั้งสองด้าน ปาดหน้าดินทั้งสองด้านของกระบอกให้เรียบ เสมอขอบกระบอกด้วยมีดปาดดิน ใช้แปรงปัดเศษดินที่ติดบริเวณรอบๆ กระบอกออกให้หมด 	- ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์	3 ชม. 45 ตัวอย่าง	F-PHY-5.11-04	Gardner (1986); MacCarty et al. (2016)
2		<ol style="list-style-type: none"> นำกระบอกที่บรรจุตัวอย่างดินใส่ลงในภาชนะ (can) แล้วนำไปชั่ง ($W_{sw}+W_a$) เพื่อหาความชื้นในดิน (เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง) 		30 นาที 45 ตัวอย่าง		
3						

ผังกระบวนการวิเคราะห์ความชื้นในดิน (soil water content) (ต่อ)

ลำดับ ที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับ ผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบ ฟอร์ม	เอกสาร อ้างอิง
3		<ol style="list-style-type: none"> นำตัวอย่างดินที่ซั้งแล้ว เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105- 110 °c เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้ น้ำหนักคงที่ นำตัวอย่างดินออกจาก ตู้อบ ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิ ลดลงใกล้เคียง อุณหภูมิห้อง แล้วจึง นำไปซั้ง (Ws+Wa) เคาะดินออกจาก กระบอกทั้ง ล้าง กระบอกและภาชนะให้ สะอาด แล้วอบในตู้อบ ให้แห้ง ชั่งน้ำหนักของกระบอก และภาชนะ (Wa) 	- ผู้ทดสอบ/ผู้ วิเคราะห์	4 วัน 45 ตัวอย่าง	F-PHY-5.11-04	Gardner (1986); McCartney et al. (2016)
4		<ol style="list-style-type: none"> คำนวณหาความชื้นใน ดินโดยมวล จากสูตร $\theta_m = \frac{(W_{sw} + W_a) - (W_s + w_a)}{(w_s + w_a) - W_a}$ บันทึกผลลงคอมพิวเตอร์ 		2 ชม. 45 ตัวอย่าง		
5		<ol style="list-style-type: none"> ตรวจสอบความถูกต้อง ของผลวิเคราะห์และ อนุมัติออกผล 	- ผู้ทดสอบ/ผู้ วิเคราะห์ - ผอ.กลุ่มวิจัย กายภาพดิน	30 นาที	F-PHY-5.10-01	
6		<ol style="list-style-type: none"> ส่งผลวิเคราะห์ให้ ศูนย์บริการครบวงจร 	approved	30 นาที		

หมายเหตุ: ● ต่อหน้าถัดไป

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ครอบเก็บตัวอย่างดิน (can) สำหรับการหาความชื้นโดยน้ำหนัก หรือครอบบอกโลหะเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนโครงสร้าง (soil core sample) สำหรับการหาความชื้นโดยปริมาตร
2. จอบ เสียม พลั่ว
3. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
4. ตู้อบ
5. desiccator

วิธีวิเคราะห์ความชื้นของดินโดยมวล (gravimetric method) (θ_m)

1. การเก็บตัวอย่างดินสำหรับหาความชื้น มี 2 วิธี ดังนี้
 - 1.1 เก็บแบบรบกวนโครงสร้าง โดยใช้ส่วน จอบ เสียม หรือ พลั่ว เก็บใส่ภาชนะโลหะที่ปิดสนิท (Can) และพันด้วยเทปพันสายไฟหรือเทปกาว เพื่อป้องกันความชื้นรั่วไหล
 - 1.2 เก็บแบบไม่รบกวนโครงสร้าง โดยใช้ core เก็บตัวอย่างดิน ปิดฝาพลาสติกทั้งสองด้านและพันด้วยเทปพันสายไฟหรือเทปกาว
2. การชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินเพื่อหาความชื้น
 - 2.1 เมื่อเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวนโครงสร้าง ให้แกะเทปพันฝา can ออก นำตัวอย่างดินใส่ลงในครอบสำหรับหาความชื้น (moisture can) และชั่งน้ำหนักดินเพื่อหาความชื้น (gravimetric water content, W)
 - 2.2 เมื่อเก็บตัวอย่างแบบไม่รบกวนโครงสร้าง ให้แกะเทปพันฝาพลาสติกออกทั้งสองด้าน และใส่ครอบบอกโลหะที่บรรจุดินลงในครอบ และชั่งน้ำหนักดินเพื่อหาความชื้น (W)

** น้ำหนักที่ชั่งได้ (ข้อ 2.1 และ 2.2) คือ น้ำหนักของดิน + น้ำหนักน้ำ + น้ำหนักครอบ เทากับ ($W_{sw} + W_a$)
 - 2.3 นำตัวอย่างดินที่บรรจุในครอบ (ตัวอย่างดินที่เก็บด้วย can หรือ core) วางเรียงในถาดนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 – 110 °C เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้น้ำหนักดินที่คงที่ (สำหรับตัวอย่างดินที่มีปริมาณมาก) เมื่อนำดินเข้าตู้อบควรเปิดฝา can หรือ core เพื่อให้ไอน้ำระเหยจากดินได้สะดวก น้ำหนักที่ชั่งได้คือ น้ำหนักดินแห้ง + น้ำหนักครอบ ($W_s + W_a$)
 - 2.4 ทำความสะอาด can หรือ core แล้วชั่งน้ำหนัก (W_a)

การคำนวณ

1. การคำนวณความชื้นของดินโดยมวล (mass water content, θ_m) จากสมการ

$$\theta_m = \frac{(W_{sw}+W_a)-(W_s+W_a)}{(W_s+W_a)-W_a}$$

2. การคำนวณความชื้นของดินโดยปริมาตร (volumetric water content, θ_v)

การเก็บตัวอย่างดิน, การชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักของน้ำ และการวัดขนาดของกระบอกโลหะ สำหรับเก็บตัวอย่างดินเพื่อคำนวณปริมาตรของดิน (V_s) ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 1, 2, 3 แล้วคำนวณหาความชื้นของดินโดยปริมาตรได้ดังนี้

$$\theta_v = \frac{(W_{sw}+W_a)-(W_s+W_a)}{\rho_w V_s}$$

โดยที่ ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ (g cm^{-3})

การแปลผลวิเคราะห์

เมื่อระดับความชื้นของดินชนิดต่าง ๆ เท่ากัน ความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินต่อพืชไม่จำเป็นจะต้องเท่ากันด้วย เพราะดินต่างชนิดกัน จะมีขนาด การกระจาย และความต่อเนื่องของช่องว่างในดินที่แตกต่างกัน ทำให้แรงดึงน้ำในดินต่างกันด้วย ดังนั้น ที่ความจุความชื้นสนาม ซึ่งเป็นความจุน้ำที่มากที่สุดที่ดินจะเก็บกักไว้ได้ และที่จุดเหี่ยวถาวร ซึ่งเป็นความจุน้ำที่น้อยที่สุดที่พืชจะนำไปใช้ได้ของดินแต่ละชนิดจึงมีค่าไม่เท่ากัน โดยทั่วไปดินเนื้อละเอียดจะมีความจุน้ำได้มากกว่าดินที่มีเนื้อหยาบกว่า แต่ความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ไม่จำเป็นต้องมากกว่า ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและการอุ้มน้ำของดินที่สภาวะต่างๆ (% ความชื้นโดยน้ำหนัก)

เนื้อดิน	ค่าคงที่ความชื้น			AWCA	ดินอุ้มน้ำด้วยน้ำ
	Air Dried	PWP	FC		
หยาบ	1 – 2	3 – 6	6 – 16	3 – 10	21 – 31
ปานกลาง	2 – 5	12 – 15	27 – 35	15 – 20	31 – 47
ละเอียด	5 – 10	24 – 34	38 – 53	14 – 19	38 – 9

PWP = permanent wilting point, FC = field capacity, AWCA = available water capacity (calculated by FC – PWP)

6.6 การนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated hydraulic conductivity)

บทนำ

การที่น้ำจะเคลื่อนที่ผ่านดินซึ่งเปรียบเสมือนวัตถุพรุนได้นั้นจะต้องมีแรงมากระทำ ซึ่งแรงเหล่านี้ก็มีอยู่มากมาย เช่น เกรเดียนท์ของแรงดัน (pressure gradient) หรือแรงดึงดูดของโลก (gravitational) หรือแรงดูดยึด (adsorption) เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วแรงที่มากระทำเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในดินชั้นนั้นเรียกว่าแรงขับเคลื่อน (driving force)

หลักการ

จากที่ทราบกันดีแล้วว่าปริมาณการไหล (discharge rate, Q) นั่นคือ ปริมาตรของน้ำที่เคลื่อนที่ (volume flowing, V) ต่อหน่วยเวลา (time, t) ซึ่งจะเป็นสัดส่วนโดยตรง (directly proportional) กับพื้นที่หน้าตัดของการไหล (cross section area, A) และความต่างระดับของน้ำระหว่างจุดสองจุดที่เกิดการไหล (hydraulic head drop, ΔH) และเป็นสัดส่วนกลับ (inversely proportional) กับระยะทาง (length, L) ซึ่งถ้าเขียนเป็นสมการก็จะได้เป็น

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{A \Delta H}{L} \quad (1)$$

จากสมการพบว่าความต่างระดับต่อหน่วยระยะทาง ($\Delta H/L$) ก็คือ เกรเดียนท์ของพลังงานของน้ำ (hydraulic gradient) นั่นเอง ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นแรงขับเคลื่อนของการไหลของน้ำในดิน

จากสมการที่ 1 ถ้าให้ q เป็น flux density (specific discharge rate) ก็จะได้เป็น

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{V}{A t} \propto \frac{\Delta H}{L} \quad (2)$$

จากสมการที่ 2 ถ้าหากเราต้องการเปลี่ยนเครื่องหมายสัดส่วนให้เป็นเครื่องหมายเท่ากับจะต้องใช้ตัวคงที่เข้ามา ดังนั้นสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$q = K \frac{\Delta H}{L} \quad (3)$$

ซึ่งค่าคงที่ (K) ในสมการที่ 3 ก็คือค่าการนำน้ำของดิน (hydraulic conductivity) นั่นเองและกฎนี้เรารู้จักกันในนามของกฎของดาร์ซี (Darcy's Law) และจากสมการนี้ทำให้เราสามารถคำนวณหาค่าการนำน้ำของดินได้

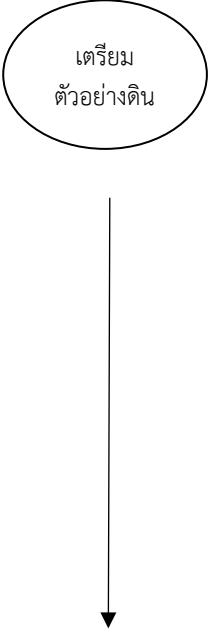

เนื่องจากในสภาพธรรมชาติแล้วดินจะมีน้ำอยู่ 2 สถานะคือ สถานะที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated condition) ซึ่งหมายถึงช่องว่างในดินทุกส่วนจะมีน้ำอยู่เต็ม และอีกสถานะหนึ่งคือสถานะที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated condition) หมายถึงช่องว่างในดินมีน้ำอยู่เพียงบางส่วนเท่านั้น ดังนั้น การเคลื่อนที่ของน้ำในดินจึงมีอยู่ 2 สถานะเช่นเดียวกัน เมื่อเป็นเช่นนี้ค่าการนำน้ำของดินจึงมีอยู่ 2 ค่า เช่นกัน คือการนำน้ำในสภาพอิ่มตัว (saturated hydraulic conductivity) และการนำน้ำของดินในสภาพที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated hydraulic conductivity) ในที่นี้จะเป็นการวัดค่าการนำน้ำในสภาพอิ่มตัวของดินโดยการเก็บตัวอย่างดินมาวัดในห้องปฏิบัติการ

การวัดค่าการนำน้ำของดินในห้องปฏิบัติการนั้นที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 วิธี คือ


1) วิธีรักษาระดับน้ำให้คงที่ (constant-head method) วิธีนี้เป็นการปล่อยให้ให้น้ำซึมผ่านตัวอย่างดิน โดยการรักษาระดับของน้ำเหนือตัวอย่างดินให้คงที่อยู่ตลอดเวลา แล้วจึงวัดปริมาณของน้ำที่ซึมผ่านตัวอย่างดินไปในระยะเวลาหนึ่งๆ วิธีนี้มักนิยมใช้กับดินที่มีค่าการนำน้ำค่อนข้างสูง สำหรับการทดลองการวัดการนำน้ำของดินในห้องปฏิบัติการ นิยมใช้วิธีรักษาระดับน้ำให้คงที่ ซึ่งเป็นวิธีที่กระทำได้ง่ายและสามารถดัดแปลงใช้กับเครื่องมือหรือวัสดุที่หาได้ง่าย (ถนนม 2528)

2) วิธีให้ระดับน้ำลดลง (falling-head method) เป็นวิธีที่ปล่อยให้ให้น้ำเหนือตัวอย่างดินซึมผ่านตัวอย่างดินไปแล้วจึงวัดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเหนือผิวดินในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ วิธีนี้มักนิยมใช้กับดินที่มีค่าการนำน้ำค่อนข้างต่ำ

ผังกระบวนการวิเคราะห์การนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ
(saturated hydraulic conductivity)

ลำดับ ที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับ ผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบ ฟอร์ม	เอกสาร อ้างอิง
1		<ol style="list-style-type: none"> นำตัวอย่างที่เก็บด้วยกระบอก (core) มาแกะเทปพันออก และเปิดฝักที่ละด้าน โดยเปิดด้านคมก่อน ปาดหน้าดินด้านที่คมให้เรียบ เสมอขอบกระบอกด้วยมีด ปาดดิน ใช้ผ้าขาวบางหุ้มกระบอกด้าน คมและใช้หนังยางรัดให้แน่น ปาดหน้าดินอีกด้านหนึ่งให้ เรียบเช่นกัน ใช้แปรงปัดเศษดินที่ติด บริเวณรอบๆ กระบอกออกให้ หมด นำกระบอกที่บรรจุตัวอย่าง ดินใส่ภาชนะ (can) แล้วนำไป ชั่ง ($W_{sw} + W_a$) เพื่อหาความ ชื้นในดิน (เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง) 	- ผู้ทดสอบ/ผู้ วิเคราะห์	1 - 2 วัน 16 ตัวอย่าง	F-PHY-5.11-04	Reynolds (1993); MacCarty et al. (2016)
1 (ต่อ)						

ผังกระบวนการวิเคราะห์การนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (ต่อ)

ลำดับ ที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับ ผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบ ฟอร์ม	เอกสาร อ้างอิง
1 (ต่อ)	↓	7. นำตัวอย่างดินไปทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยแช่ด้านที่หุ้มผ้าให้จมอยู่ในน้ำ ระดับน้ำสูงประมาณ $\frac{3}{4}$ ของกระบอก สังเกตน้ำเอ่อเต็ม หากเป็นดินทรายแช่ประมาณ 12-15 ชม. ดินเหนียวประมาณ 24-30 ชม.	- ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์	1 - 2 วัน 16 ตัวอย่าง	F-PHY-5:11-04	Reynolds (1993); MacCarty et al. (2016)
2	↓ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">เตรียมเครื่องมือ</div>	1. ติดตั้ง Buchner funnel กับคีมยึด 2. นำขวดแก้วบรรจุน้ำวางไว้สูงกว่า bucher funnel 3. ปิดปากขวดด้วยจุกยางที่มีหลอดแก้วตรงและหลอดแก้วรูปตัวยู 4. เตรียมปีกเกอร์รองรับน้ำ พร้อมกระบอกตวง		30 นาที 16 ตัวอย่าง		
3	↓ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">วัดการนำน้ำของดิน</div>	1. ต่อกระบอกเปล่าเข้ากับกระบอกตัวอย่างดินโดยใช้ยางจักรยานรัดติดกันไม่ให้รั่วออกมาตามรอยต่อ 2. นำตัวอย่างดินมาวางบน bucher funnel 3. ใช้กระดาษกรองวางบนตัวอย่างดิน 4. จัดปลายหลอดแก้วรูปตัวยูให้อยู่เหนือผิวกระดาษกรองเล็กน้อย 5. ใช้กระบอกพลาสติกเปล่าบีบเป่าลมเข้าขวดเพื่อไล่น้ำออกจากขวดลงบนตัวอย่างดิน		4 - 5 ชม 16 ตัวอย่าง		
3 (ต่อ)	↓ 					

ผังกระบวนการวิเคราะห์การนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (ต่อ)

ลำดับ ที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับ ผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบ ฟอร์ม	เอกสาร อ้างอิง
3 (ต่อ)	↓	<p>6. สังเกตระดับผิวน้ำในกระบอกด้านบน โดยใช้แถบกระดาษวัดระดับ (Lw) หากคกที่เริ่มจับเวลา และใช้บีกเกอร์รองรับน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างลงมา (ประมาณ 30 นาที สำหรับน้ำที่ไหลเร็ว หรือ 1 ชม. สำหรับน้ำที่ไหลช้า)</p> <p>7. นำน้ำที่รองรับได้ตวงด้วยกระบอกตวง (Q)</p> <p>8. ถอดกระบอกเปล่าออกแล้วนำตัวอย่างดินไปชั่งน้ำหนักดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (W_{0max})</p>			F-PHY-5.11-04	Reynolds (1993), McCartney et al. (2016)
4	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">อบตัวอย่างดิน</div> <div style="text-align: center;">↓</div>	<ol style="list-style-type: none"> 1. แกะยางรัดกระบอกออกแยกเก็บไว้ 2. นำตัวอย่างดินที่ชั่งแล้ว เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105-110 °c เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ 3. นำตัวอย่างดินออกจากตู้อบทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปชั่ง (W_s+W_a) 4. เคาะดินออกจากกระบอกทั้งล้างกระบอก ภาชนะ อลูมิเนียม (can) และชักผ้าขาวบางให้สะอาด แล้วอบในตู้อบให้แห้ง 5. เมื่ออุปกรณ์ (ในข้อ 4.) แห้งนำออกจากตู้อบทิ้งไว้ในอุณหภูมิลดลง แล้วนำไปชั่งพร้อมหนัวยางที่แยกไว้ (W_a) 	- ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์	2 - 4 วัน ขึ้นกับประเภทเนื้อดิน		
5	●					

ผังกระบวนการวิเคราะห์การนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (ต่อ)

ลำดับ ที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับ ผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบ ฟอร์ม	เอกสาร อ้างอิง
5		1. คำนวณหาค่าการนำน้ำ ของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ จากสูตร $K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot t \cdot H}$ เมื่อ $H = (L + L_w)$, $A = \pi r^2$ 2. บันทึกผลลง คอมพิวเตอร์	- ผู้ทดสอบ/ผู้ วิเคราะห์	2 ชม. 16 ตัวอย่าง	1.F-PHY-5.11-04 2.F-PHY-5.10-01	Reynolds (1993); MacCarty et al. (2016)
6		1. ตรวจสอบความถูกต้อง ของผลวิเคราะห์และ อนุมัติออกผล	- ผู้ทดสอบ/ผู้ วิเคราะห์ - ผอ.กลุ่มวิจัย กายภาพดิน approved	30 นาที	F-PHY-5.10-01	
7		1. ส่งผลวิเคราะห์ให้ ศูนย์บริการครบวงจร		30 นาที		

หมายเหตุ: ● ต่อหน้าถัดไป

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตัวอย่างดิน core (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง core, $\phi \approx 7.25$ cm, ความสูง core, $h \approx 4.00$ cm) โดยที่ดินยังคงค้างอยู่ในกระบอกเก็บดิน (core)
2. กระบอกเก็บตัวอย่างดินเปล่า (core) ใช้เป็นตัวต่อกับตัวอย่างดิน core จากข้อ 1 ซึ่งมีขนาดเดียวกัน
3. แถบยาง ใช้รัดตรงรอยต่อของกระบอกดิน (core) ที่ได้จากข้อ 1 และ 2 อาจใช้ยางในของรถจักรยานยนต์มาตัดให้ได้ขนาดกว้างประมาณ 3 cm
4. ผ้าขาวบาง ขนาดใหญ่กว่ากระบอกเก็บตัวอย่างดินเล็กน้อย
5. ไม้บรรทัด และกระบอกตวง
6. กรวยกรองและปิเกตอร์
7. กระดาษซับหรือกระดาษกรอง
8. นาฬิกาจับเวลา
9. buchner funnel
10. ขวดสำหรับวัดการนำน้ำในสภาพอิ่มตัวโดยวิธีรักษาให้ระดับน้ำคงที่แบบง่าย ๆ มีหลอดแก้ว 2 หลอดยึดด้วยจุกยางปิดปากขวด หลอดหนึ่งเป็นหลอดแก้วตรง ปลายบนต่อกับสายยาง อีกหลอดหนึ่งเป็นหลอดแก้วรูปตัวยู ให้ปลายหลอดแก้วทั้งสองในขวดอยู่ลึกเกือบถึงก้นขวด

วิธีการทดลอง

1. เก็บตัวอย่างดินแบบไม่ถูกรบกวนโครงสร้างด้วย core เก็บตัวอย่างดิน
2. แกะเทปที่ปิดผนึกตัวอย่างดิน core ออก และนำตัวอย่างดิน core ใส่กระป๋อง (can) ที่เตรียมไว้ (ภาพที่ 22ก)
3. เปิดฝาที่ปิดออกที่ละด้านพร้อมทั้งปาดหน้าดินให้เสมอกับขอบของ core เก็บตัวอย่างดิน โดยใช้มีดปาดดิน (ภาพที่ 22ข,ค) เมื่อปาดดินเสมอกับขอบ core เก็บตัวอย่างดินแล้ว ให้ใช้แปรงทาสีปิดเศษดินที่ติดบริเวณรอบ ๆ core เก็บตัวอย่างดินออกให้หมด (ภาพที่ 22ง)



ภาพที่ 22 การเตรียมตัวอย่างดิน core เพื่อวัดการนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (ก) แกะเทปที่ปิดผนึกตัวอย่างดิน core ออก และนำตัวอย่างดิน core ใส่กระป๋อง (ข) เปิดฝาดตัวอย่างดิน core ออกที่ละด้าน (ค) ปาดหน้าตัวอย่างดิน core ให้เสมอกับขอบด้วยมีดปาดดิน (ง) ปิดเศษดินรอบ core ออกด้วยแปรงทาสี

4. ใช้ผ้าขาวบางปิดด้านบนของตัวอย่างดิน และใช้ยางรัดให้แน่น จากนั้นพลิกตัวอย่างดิน core กลับด้าน และใช้มีดปาดหน้าดินอีกด้านให้เรียบเสมอกับขอบของ core ใช้แปรงทำความสะอาดอีกครั้ง จากนั้นแช่ตัวอย่างดิน core ด้วยน้ำที่ใส่อากาศออกแล้ว โดยรินน้ำลงในภาชนะที่ใส่ตัวอย่างดิน core ให้น้ำค่อย ๆ ซึมจากด้านล่างของดินจนอิ่มตัวด้วยน้ำ สังเกตได้จากผิวดินด้านบนชุ่มเปียกด้วยน้ำ (ภาพที่ 23)

หมายเหตุ:

- ในกรณีที่ต้องการหาความชื้นในดิน เมื่อปิดตัวอย่างดิน core ด้วยผ้าขาวบางแล้ว นำไปชั่งก่อนที่จะทำขั้นตอนต่อไป จะได้น้ำหนักดินเปียก



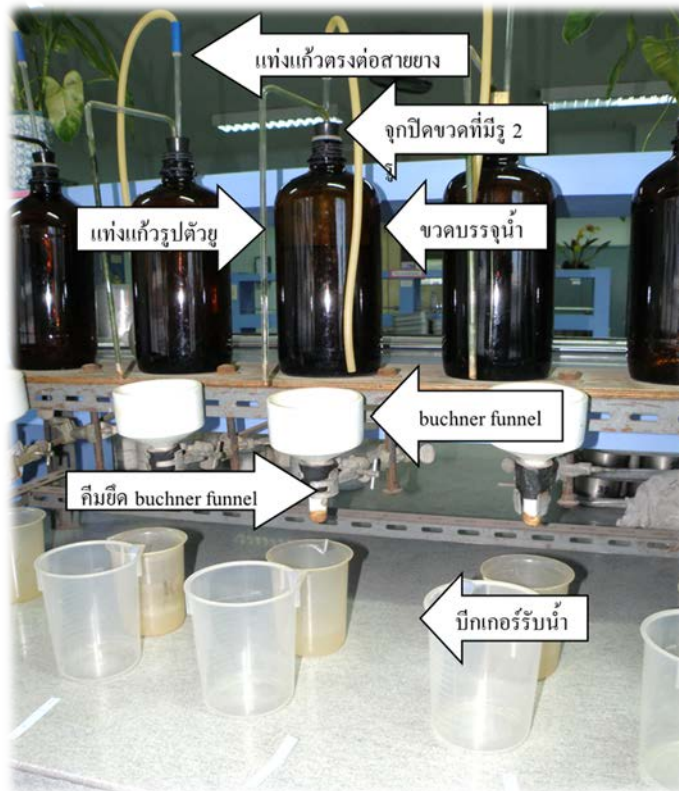
ภาพที่ 23 ขั้นตอนการปิดผ้าขาวบางที่ตัวอย่างดิน core และการแช่ตัวอย่างดิน core ด้วยน้ำที่ไล่อากาศแล้ว

5. ต่อกระบอกลโลหะเปล่าอีกอันเข้ากับ core เก็บตัวอย่างดินด้านบน รััดด้วยแถบวงยาง (ภาพที่ 24)



ภาพที่ 24 ภาพแสดงการต่อกระบอกลโลหะเข้ากับ core เก็บตัวอย่างดิน และรััดด้วยวงยาง

6. ติดตั้ง buchner funnel กับคีมยึด พร้อมทั้งจัดอุปกรณ์ขวดบรรจุน้ำพร้อมจุกยางปิดปากขวดแก้ว ที่มีรู 2 รู เพื่อไว้ใส่แท่งแก้วทรงตรงไว้อัดอากาศเข้าไปในขวด และแท่งแก้วทรงรูปตัวยูเพื่อเป็นทางให้น้ำในขวดไหลออกลงสู่ตัวอย่างดินด้านล่าง (ภาพที่ 25) จากนั้นเติมน้ำให้ขวดแก้วจนเกือบเต็ม และปิดจุกยางที่มีแท่งแก้วและแท่งแก้วรูปตัวยูติดตั้งอยู่ให้แน่น



ภาพที่ 25 การจัดอุปกรณ์วัดการนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวในห้องปฏิบัติการ

7. ใช้กระบอกฉีดน้ำซึ่งไม่มีน้ำในกระบอก บีบเป่าลมเพื่ออัดอากาศเข้าหลอดยางผ่านแท่งแก้วตรงใส่น้ำในขวดให้ไหลออกผ่านแท่งแก้วรูปตัวยูลงบน core เก็บตัวอย่างดิน (ภาพที่ 26)

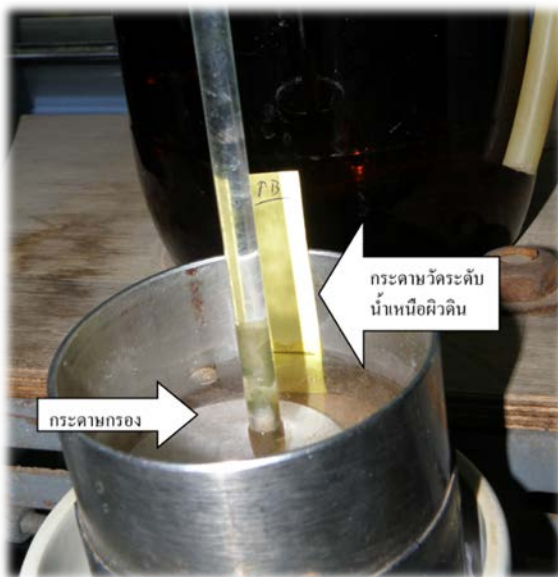


ภาพที่ 26 การอัดอากาศไล่น้ำในขวดแก้วให้ไหลผ่านแท่งแก้วรูปตัวยูลงบน Core เก็บตัวอย่างดิน

8. ปล่อยน้ำจากขวดแก้ว ให้ไหลผ่านแท่งแก้วลงบนตัวอย่างดินที่มีกระดาษกรองรองรับ เพื่อป้องกันน้ำเซาะผิวดิน และติดแถบกระดาษวัดระดับน้ำที่ข้างกระบอกเปล่าเหนือตัวอย่างดิน และนำปิ๊กเกอร์พลาสติกมารองรับน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดิน (ไม่เก็บน้ำชั้นตอนนี้) รอให้น้ำไหลผ่านจนระดับน้ำคงที่แล้ว ใช้ดินสอทำเครื่องหมายระดับน้ำไว้ที่แถบกระดาษ พร้อมทั้งจับเวลา และเปลี่ยนปิ๊กเกอร์รองรับน้ำใหม่ (เก็บน้ำชั้นตอนนี้ไว้วัดปริมาตร) (ภาพที่ 27)

หมายเหตุ:

- ดินที่มีอัตราการไหลผ่านของน้ำเร็วให้จับเวลา 30 นาที ดินที่มีอัตราการไหลผ่านของน้ำช้าให้จับเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นการจับเวลาจะต้องดูอัตราการไหลของน้ำลงสู่ปิ๊กเกอร์ ถ้าไหลเร็วมากก็ให้จับเวลาน้อยๆ เช่น 5 นาที หรือ 10 นาที เป็นต้น
- น้ำที่ไหลผ่านดินลงสู่ปิ๊กเกอร์ ต้องระวังอย่าให้น้ำเต็มหากใกล้จะเต็มต้องเปลี่ยนปิ๊กเกอร์



ภาพที่ 27 การทำเครื่องหมายวัดระดับน้ำที่แถบกระดาษ และการวางกระดาษกรองป้องกันน้ำเซาะผิวดิน

9. เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้นำน้ำที่อยู่ในปิ๊กเกอร์มาตวงปริมาตรด้วยกระบอกตวง (cylinder) ขนาด 1,000 mL จดบันทึกปริมาตรน้ำที่ได้
10. กรณีที่ต้องการหาความหนาแน่นรวมด้วย ให้นำตัวอย่างดินไปอบที่ 105 °C 24 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาชั่งหาน้ำหนักจะได้น้ำหนักดินอบแห้ง
11. เมื่อเสร็จการทดลอง ให้นำ core เก็บตัวอย่างดิน ผ้าขาวบาง หนึ่งยาง และกระป๋องใส่ตัวอย่าง (can) ล้างทำความสะอาดและอบให้แห้ง นำมาชั่งหาน้ำหนักรวมของอุปกรณ์ (ภาพที่ 28) พร้อมทั้งวัดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของ core เก็บตัวอย่างดิน นำค่าที่วัดได้ไปคำนวณ



ภาพที่ 28 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การนำน้ำของดินซึ่งทำความสะอาดแล้ว และเตรียมชั่งน้ำหนักรวม

การคำนวณ

ค่าการนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (K) คำนวณได้จากสมการ

$$K = \frac{QL}{A t \Delta H}$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน/กระบอกเก็บตัวอย่างดิน (cm²) = πr^2

t = ระยะเวลาที่รองรับน้ำไว้ (ชั่วโมง)

Q = ปริมาณน้ำที่รองรับไว้ (cm³)

L = ความสูงของตัวอย่างดิน (cm)

H = ความสูงของตัวอย่างดิน+ความสูงของระดับน้ำเหนือดินที่คงที่ (cm)

การแปลผลวิเคราะห์

นำค่าการนำน้ำที่คำนวณได้ไปจัดชั้นของการนำน้ำ ดังแสดงในตาราง 6

ตารางที่ 6 ชั้นสภาพนำน้ำขณะอิ่มตัวด้วยน้ำของดิน

Class		Hydraulic Conductivity (cm hr ⁻¹)
very slow	(VS)	< 0.125
slow	(S)	0.125 – 0.5
moderately slow	(MS)	0.5 – 2.0
moderate	(M)	2.0 – 6.25
moderately rapid	(MR)	6.25 – 12.5
rapid	(R)	12.5 – 25.0
very rapid	(VR)	> 25.0

ที่มา: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2548), O'Neal (1952)

6.7 ความชื้นของดินที่แรงดึงบรรยากาศ 1/3 และ 15 bar (soil water retention at 1/3 and 15 bar)

บทนำ



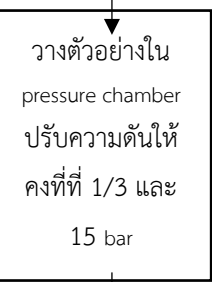

น้ำในดินอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ น้ำที่อยู่ภายใต้อำนาจการดูดยึดของอนุภาคดินกับน้ำที่ไม่ได้อยู่ภายใต้อำนาจการดูดยึดของอนุภาคดิน ถ้าพิจารณาในแง่ของความชื้นหรือน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแล้ว น้ำที่ถูกดูดยึดอยู่ในดินโดยเฉพาะที่อยู่ในส่วนที่เรียกว่าน้ำซึบจะมีความสำคัญกว่าน้ำประเภทอื่น ๆ เนื่องจากน้ำซึบจะถูกดูดยึดไว้ภายนอก รวมถึงที่บรรจุอยู่ในช่องว่างที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ของดิน แรงดูดยึดไม่สูงพืชสามารถดูดเอาไปใช้ได้ ดังนั้นแรงดูดยึดน้ำของดินจึงเป็นสิ่งควบคุมความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

หลักการ

ในการวิเคราะห์การดูดยึดน้ำของอนุภาคดินโดยทั่ว ๆ ไป จะใช้แรงดึงที่ 1/3 บรรยากาศ (33 kPa) และ 15 บรรยากาศ (1,500 kPa) ค่าการดูดยึดน้ำที่แรงดึง 1/3 บรรยากาศ แทนค่าระดับความชื้นในดินที่มีความจุความชื้นสนาม (field capacity, FC) หรือ ซีดจำกัดบน (upper limit) ส่วนค่าการดูดยึดน้ำที่ใช้แรงดึง 15 บรรยากาศ แทนค่าระดับความชื้นที่พืชเหี่ยวอย่างถาวร (permanent wilting point, PWP) หรือซีดจำกัดล่าง (lower limit) โดยปกติค่าเหล่านี้แสดงหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ผลต่างของระดับความชื้นที่ความจุในสนาม กับระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร จะเป็นปริมาณความชื้นสูงสุดที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available water capacity, AWC)

การวิเคราะห์ความชื้นในดินจะทำให้ทราบว่า ปริมาณน้ำในดินขณะทำการเก็บตัวอย่างดินนั้นมีเพียงพอที่พืชนำไปใช้ประโยชน์หรือไม่ โดยปกติถือว่าปริมาณน้ำในดินควรอยู่ในช่วง 50-100 เปอร์เซ็นต์ ของความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินนั้น ๆ ตลอดฤดูเติบโตของพืช ดังนั้นค่าความชื้นของดินจึงมีความสำคัญต่อการคำนวณหาปริมาณน้ำที่จะต้องทดให้แก่ดินหรือระบายออกจากดิน ด้านการจำแนกดิน ปริมาณความชื้นในดินและปริมาณน้ำที่ดินดูดยึดไว้ด้วยแรง 15 บรรยากาศหรือมากกว่า จะใช้ในการแบ่งชั้นความชื้นของดิน (soil moisture regime)

ผังกระบวนการวิเคราะห์ความชื้นของดินที่แรงดึงบรรยากาศ 1/3 และ 15 bar
(soil water retention at 1/3 and 15 bar) ตัวอย่างดินที่รบกวนโครงสร้าง

ลำดับที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบฟอร์ม	เอกสารอ้างอิง
1		<ol style="list-style-type: none"> 1. สวม pressure plate ลงในวงเหล็ก เพื่อให้ขอบยางรอบๆ plate ตั้งขึ้น 2. เทน้ำกรองลงบน plate ไม่ให้เกินความสูงของขอบยาง 3. ทิ้งไว้ 1 คืน หรือไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง เพื่อให้ plate อิ่มตัวด้วยน้ำ 	- ผู้ทดสอบ/ ผู้วิเคราะห์	1/2 วัน 48 ต.ย.	F-PHY-5.11-02	Klute and Dirksen (1986); MacCarty et al. (2016)
2		<ol style="list-style-type: none"> 1. เมื่อ plate อิ่มตัวแล้ว เทน้ำที่แช่ plate ทิ้ง 2. วางวงแหวนยางลงบน pressure plate ตักดินผึ่งแห้ง (air dry) ที่ผ่านการอบและร่อนผ่านตะแกรง 2 mm แล้วด้วยช้อน ใส่ลงในวงแหวนให้เต็ม 3. เติมน้ำลงบน pressure plate ที่อยู่รอบนอกวงแหวนยางให้อยู่ในระดับปริ่มน้ำ และคอยเติมน้ำเมื่อระดับน้ำลดลง ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน หรือมากกว่าเพื่อให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (แล้วแต่ชนิดของเนื้อดิน) 		1 วัน 48 ต.ย.		
3		<ol style="list-style-type: none"> 1. เมื่อตัวอย่างดินอิ่มตัวแล้ว ดูดน้ำที่แช่ตัวอย่างดินออก ให้เหลือน้ำไว้เพียงบางส่วน 2. วางลงใน pressure chamber ปิดฝา และปรับความดันให้คงที่ที่ 1/3 และ 15 bar โดยสังเกต gauge meter 3. รองรับน้ำที่ระบายออกจากสายน้ำที่ด้านนอกหม้อความดัน 		4-7 วัน 48 ต.ย.		
3 (ต่อ)						

ผังกระบวนการวิเคราะห์ความชื้นของดินที่แรงดึงบรรยากาศ 1/3 และ 15 bar (ต่อ)

ลำดับ ที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับ ผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบ ฟอร์ม	เอกสาร อ้างอิง
3 (ต่อ)	↓	4. ควบคุมแรงดันให้คงที่อยู่ที่ ตลอด (ทุก ๆ 1 ชั่วโมง) จน น้ำอยู่ในสภาวะสมดุลย์ คือ น้ำหยุดไหล	- ผู้ทดสอบ/ผู้ วิเคราะห์	4-7 วัน 48 ต.ย.	F-PHY-5.11-02	Klute and Dirksen (1986); MaCarty et al. (2016)
4	↓	1. เตรียม ภาชนะรองรับ (can) ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 5 cm สูง 3 cm จำนวนเท่ากับตัวอย่างดิน 2. ชั่งน้ำหนัก can เปล่า ด้วย เครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง บนตีก ผลในสมุด		1 วัน 48 ต.ย.		
5	↓	1. เมื่อ pressure chamber อยู่ในสภาวะสมดุลย์ คือ น้ำ หยุดไหลออกจากสายน้ำทิ้ง 2. ปิดสายยางระบายน้ำออก ด้วยที่หนีบ ปิดวาล์วลมเข้า (air input) ไม่ให้อากาศเข้า ไปใน chamber เปิดวาล์ว ลมออก (air output) ปล่อยให้อากาศใน chamber ที่มีความดันสูง กว่าระบายออกจนมีความ ดันอากาศเท่ากับภายนอก จึงเปิดฝา pressure chamber 3. นำตัวอย่างดินออกจากวง ยาง ใส่ใน can ที่ชั่งน้ำหนัก เตรียมไว้ 4. นำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่อง ชั่ง 3 ตำแหน่ง บนตีกผลใน สมุด		1 วัน 48 ต.ย.		
6	↓					

ผังกระบวนการวิเคราะห์ความชื้นของดินที่แรงดึงบรรยากาศ 1/3 และ 15 bar (ต่อ)

ลำดับ ที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียด	ผู้รับ ผิดชอบ	ระยะเวลา	แบบ ฟอร์ม	เอกสาร อ้างอิง
6	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> อบตัวอย่างดิน ที่อุณหภูมิ 105- 110 °C </div>	นำตัวอย่างดินในชั้นตอนที่ 5 ไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 °C เป็นเวลาต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง หรือ 3 วันทำการ (วันละ 8 ชั่วโมง)	- ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์	3 วัน 48 ต.ย.	F-PHY-5.11-02	Kulte and Dirksen (1986); MaCarty et al. (2016)
7	<div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> ชั่งน้ำหนัก ตัวอย่างดินที่ อบแห้งแล้ว </div>	<ol style="list-style-type: none"> นำตัวอย่างดินออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccator) ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง บันทึกผลในสมุด 		1/2 วัน 48 ต.ย.		
8	<div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> คำนวณผล </div>	คำนวณผลหา % ความชื้นโดยน้ำหนัก		1/2 วัน 48 ต.ย.		
9	<div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; text-align: center;"> ส่งผลวิเคราะห์ </div>	- ตรวจสอบความถูกต้องของผลวิเคราะห์, อนุมัติออกผล, ส่งผลวิเคราะห์ให้ศูนย์บริการครบวงจร	- ผู้ทดสอบ/ผู้วิเคราะห์ - ผอ.กลุ่มวิจัยกายภาพดิน approved	1/2 ชม.	F-PHY-5.10-01	

หมายเหตุ: ● ต่อน้ำถัดไป

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Pressure plate apparatus ประกอบด้วย
 - 1.1 ชุดหม้ออัดความดันที่แรงดันขนาดต่าง ๆ (pressure chamber)
 - 1.2 แผ่นวัสดุพอร์นที่รับความดันขนาดต่าง ๆ (pressure plate)
 - 1.3 ชุดหน้าปัดตรวจวัดความดันขนาดต่าง ๆ (gauge meter)
 - 1.4 วาล์วปรับระดับความดันต่าง ๆ
 - 1.6 เครื่องปั๊มลมแรงดันต่ำขนาด 0 - 1 bar และแรงดันสูงขนาด 1 - 15 bar
 - 1.7 สายลมต่อพ่วงระหว่างอุปกรณ์-เครื่องปั๊มลม
2. วงแหวนยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm และหนา 1 cm
3. กระจกเก็บตัวอย่างดิน (core) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm สูง 3 cm โดยประมาณ พร้อมฝาปิดทั้ง 2 ด้าน
 4. กระจก (can) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm สูง 3 cm โดยประมาณ พร้อมฝาปิด
 5. กระจก (can) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm สูง 3 cm โดยประมาณ
 6. ช้อนตักตัวอย่างดิน
 7. ตู้อบ (oven)
 8. โถดูดความชื้น (desiccator)
 9. เครื่องชั่ง (balance) 2 ตำแหน่ง และ 3 ตำแหน่ง
 10. เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์
 11. กระจก
 12. ค้อนยาง
 13. specular หรือมีดปาดดิน
 14. ปากกาเคมี
 15. ภาตพลาสติก, ภาตอะลูมิเนียม
 16. เกียงแฉะดิน
 17. กระจกฉีบน้ำ

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน หรือเปลี่ยนแปลงสภาพ (disturbed soil): ตัวอย่างดินที่เก็บแบบรบกวนโครงสร้างดิน และผ่านการผึ่งแห้ง บด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm แล้วจึงนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของดินที่ระดับแรงดัน 1/3 และ 15 บรรยากาศ (bar)
2. การเตรียมแผ่นวัสดุพอร์นสำหรับวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของดินที่แรงดันบรรยากาศ 1/3 และ 15 bar
 - สวมแผ่นวัสดุพอร์น (pressure plate) ลงในวงเหล็ก เพื่อให้ขอบยางรอบๆ แผ่นวัสดุพอร์น (plate) ตั้งขึ้น (ภาพที่ 29ก)



ภาพที่ 29 การเตรียม pressure plate ที่สวมลงในวงเหล็ก (ก) เชน้ำกรอง (ข) และ plate ที่อิมตัวด้วยน้ำ (ค) สำหรับวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของดิน ที่แรงดันบรรยากาศ 1/3 และ 15 bar

- เทน้ำกรองลงบน plate ไม่ให้เกินความสูงของขอบยาง ทิ้งไว้ 1 คืน หรือไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง เพื่อให้รูพรุนของ plate อิมตัวด้วยน้ำ ระหว่างนี้ให้คอยเติมน้ำลงบน plate เพิ่มเติม ถ้าระดับน้ำบน plate ลดลงจนเกือบแห้ง (ภาพที่ 29ข)

- เมื่อ plate อิมตัวด้วยน้ำแล้ว เทน้ำใน plate ทิ้งให้หมด (ภาพที่ 29ค)

3. ขั้นตอนการใส่ตัวอย่างดินลงในแผ่นวัสดุพรุนสำหรับวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของดินที่แรงดันบรรยากาศต่าง ๆ

- วางวงแหวนยางลงบน pressure plate (ภาพที่ 30ก)

- ใช้ช้อนตักดินผึ่งแห้ง (air dry) ที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรง 2 mm ใส่ลงในวงแหวนให้เต็ม โดยเรียงตัวอย่างเริ่มจากตำแหน่งทางด้านซ้ายมือของท่อต่อสายยางไปตามเข็มนาฬิกา (ภาพที่ 30ข)

- การใส่ตัวอย่างดิน 1 ตัวอย่าง ต่อ 1 วงแหวนยาง จนครบทุกวงแหวน ประมาณ 16 ตัวอย่าง ต่อ 1 plate และใส่ตัวอย่างดินอ้างอิงอีก 1 ตัวอย่าง ในวงแหวนยางที่อยู่ตรงกลางของ plate ด้วย (ภาพที่ 30ค)



ภาพที่ 30 ขั้นตอนการใส่ตัวอย่างดินลงใน pressure plate สำหรับวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของดินที่แรงดัน 1/3 และ 15 bar (ก) การเรียงวงแหวนยาง (ข) และ (ค) การตัดดินและการเรียงลำดับตัวอย่าง

4. การเติมน้ำลงบนที่ว่างนอกวงแหวนยางของ pressure plate ด้วยกระบอกฉีดยา ให้อยู่ในระดับ ปริ่มน้ำ และคอยเติมน้ำเมื่อระดับน้ำบน plate ลดลง ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน สำหรับดินเนื้อหยาบ และมากกว่า 1 คืน ถ้าเป็นดินเนื้อละเอียด สังเกตตัวอย่างดินอิมตัวด้วยน้ำ จากผิวหน้าดินเปียกชุ่มด้วยน้ำ (ภาพที่ 31)



ภาพที่ 31 การเติมน้ำลงบนที่ว่างนอกวงแหวนยางของ pressure plate ด้วยกระบอกฉีดยา

5. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของดิน

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของดินที่แรงดันบรรยากาศ 1/3 bar จะต้องใช้ pressure plate ขนาด 3 bar และ pressure chamber ขนาด 1 bar หรือ 5 bar และการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของดินที่แรงดันบรรยากาศ 15 bar ต้องใช้ pressure plate ขนาด 15 bar และ pressure chamber ขนาด 15 bar

(5.1) เมื่อตัวอย่างดินอิมตัวด้วยน้ำแล้ว ใช้กระบอกสูบน้ำส่วนเกินออกให้เหลือน้ำไว้เพียงบางส่วน (ภาพที่ 32)



ภาพที่ 32 การนำน้ำออกจาก pressure plate ก่อนการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของดินที่ระดับแรงดัน 1/3 และ 15 bar

(5.2) วาง pressure plate ที่เตรียมตัวอย่างดินไว้แล้วลงใน pressure chamber ปิดฝา pressure chamber โดยใช้ประแจช่วยบิดน็อตของหม้อความดัน บิดให้รู้สึกตึงมือ (ภาพที่ 33)



ภาพที่ 33 การวาง pressure plate ที่เตรียมตัวอย่างดินไว้แล้วลงใน pressure chamber ก่อนการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของดินที่แรงดัน 1/3 และ 15 bar และการปิดฝาหม้อความดัน

เปิดเครื่องปั๊มลมให้อากาศที่มีแรงดันเข้าไปใน pressure chamber (ภาพที่ 34) ค่อย ๆ ปรับวาล์วความดันเพิ่มจนได้ระดับแรงดันคงที่ 1/3 bar สำหรับปั๊มความดันต่ำ และ 15 bar สำหรับปั๊มความดันสูง



ภาพที่ 34 เครื่องปั๊มลมแรงดันต่ำใช้กับ pressure chamber ที่แรงดัน 1/3 bar และเครื่องปั๊มลมแรงดันสูงใช้กับ pressure chamber ที่แรงดัน 15 bar

ความดันของ pressure chamber สังเกตจากหน้าปัดดิจิตอล หรือสังเกตจาก gauge meter โดยปรับให้ความดันคงที่ ที่ระดับ 1/3 และ 15 bar

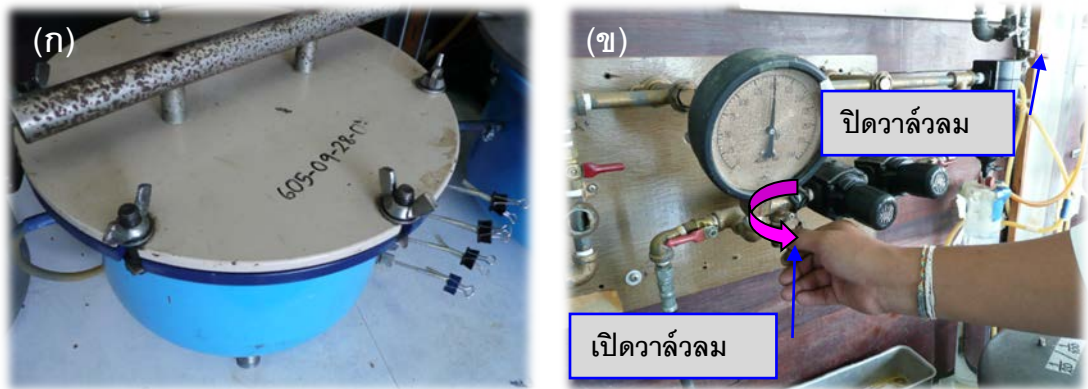
(5.3) รongรับน้ำที่ระบายออกจากดินและ pressure plate ด้วยสายยางซึ่งต่อออกนอก pressure chamber ด้านข้าง จนน้ำอยู่ในสภาวะสมดุลคือน้ำหยุดไหล (ควรเฝ้าที่รongรับได้ทั้ง หลังสิ้นสุดการทดลอง หรือเต็มภาชนะ) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 4 - 7 วัน แล้วแต่ชนิดของดิน (ภาพที่ 35)



ภาพที่ 35 การระบายน้ำออกจากดินและ pressure plate ด้วยสายยางที่ต่อกับ pressure chamber

ให้เตรียมกระป๋อง (can) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm สูง 3 cm จำนวนเท่ากับตัวอย่างดิน แล้วชั่งน้ำหนัก can เปล่า ด้วยเครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง บนที่กผลในสมดุล (can ที่เตรียมนี้ใช้สำหรับใส่ตัวอย่างดิน disturbed หลังอบ)

(5.4) เมื่อ pressure chamber อยู่ในสภาวะสมดุล คือ น้ำหยุดไหลแล้ว ปิดสายยางระบายน้ำออกโดยใช้คลิปหนีบ (ภาพที่ 36ก) ปิดวาล์วลมเข้า (air input) ไม่ให้อากาศเข้าไปใน chamber เปิดวาล์วลมออก (air output) ปล่อยให้อากาศใน chamber ที่มีความดันสูงกว่าระบายออกจนมีความดันอากาศเท่ากับภายนอก (ภาพที่ 36ข)



ภาพที่ 36 ภาพแสดง (ก) การปิดสายยางระบายน้ำจาก pressure chamber ด้วยคลิปหนีบ (ข) การเปิด-ปิดวาล์วเพื่อระบายอากาศออกจาก pressure chamber

เปิดฝา pressure chamber แล้วนำตัวอย่างดิน คือ ดิน + can ไปชั่งน้ำหนักหาปริมาณความชื้น ด้วยเครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง (ภาพที่ 37) และบันทึกผลในสมุด



ภาพที่ 37 การชั่งน้ำหนักดิน (น้ำหนักดิน + Can) โดยนำดินออกจากวงแหวนยาง และชั่งด้วยเครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง

(5.5) นำตัวอย่างดิน คือ ดิน + can วางเรียงใส่ภาชนะอลูมิเนียม นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 - 110 °C ในตู้อบ เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้น้ำหนักดินที่คงที่ (ต้องเปิดฝา Can ก่อนนำเข้าตู้อบ)

(5.6) นำตัวอย่างดินออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccator) นำไปชั่งน้ำหนักดินอบแห้ง ด้วยเครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง

การคำนวณ

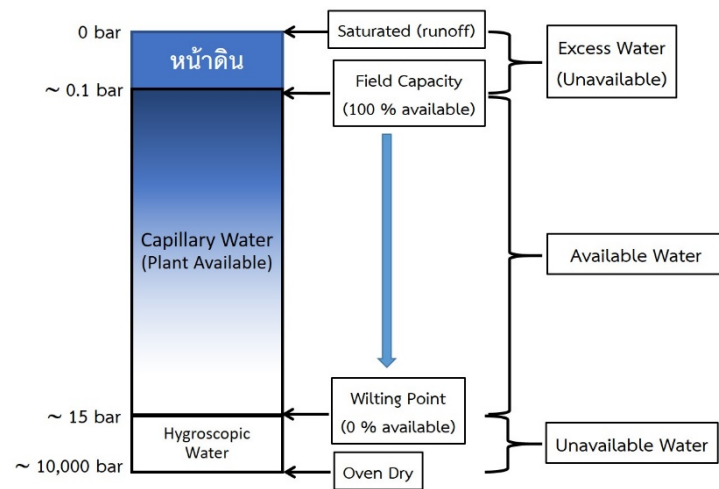
การคำนวณปริมาณความชื้นโดยน้ำหนัก หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

$$\% \text{ ความชื้นโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{น.น.ดินที่อยู่ในสภาพสมดุลภายใต้แรงดันค่าใดค่าหนึ่ง} - \text{น.น.ดินอบแห้ง} \times 100}{\text{น.น. ดินอบแห้ง}}$$

นอกจากการวัดความชื้นดินที่แรงดึงบรรยากาศต่าง ๆ ด้วยหม้ออัดแรงดันที่ควบคุมความดันด้วย gauge meter และเครื่องบีบลม ดังที่กล่าวมาแล้ว การวัดความชื้นของดินที่แรงดึงบรรยากาศต่าง ๆ ด้วยหม้ออัดแรงดันที่ควบคุมความดันด้วยเครื่องควบคุมความดันอัตโนมัติ (automatic pressure controller) ก็ทำได้และเป็นที่ยอมรับ เพราะสามารถควบคุมแรงดันในหม้ออัดความดันให้คงที่ได้มากขึ้น ค่าความชื้นที่วัดได้จะแสดงเป็นค่าความชื้นที่ pF ต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณเป็น % ความชื้นดินโดยปริมาตรได้

การแปลผลวิเคราะห์

การประเมินการให้น้ำแก่ดิน โดยทั่วไปการให้น้ำแก่ดินควรให้ในระดับความจุความชื้นสนาม (FC) หรือความชื้นชลประทาน เมื่อความชื้นในดินลดลงการพิจารณาการให้น้ำในครั้งต่อไปจะพิจารณาจากปริมาณความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ ซึ่งความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้นี้คือความชื้นในดินที่ยอมให้ลดลงประมาณ 40 – 60 %FC ส่วนความชื้นในดินที่เหลือหลังจากนี้ (ความชื้นหลังจากที่พืชดูดความชื้นที่ยอมให้ดูดไปใช้ได้จนหมดแล้ว) คือความชื้นที่จุดวิกฤต เป็นความชื้นที่พืชไม่สามารถดูดน้ำไปใช้ได้อีก ถึงแม้ว่าความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชคือความชื้นระหว่างความชื้นที่ FC หรือความชื้นชลประทานกับความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (PWP) แต่พืชไม่สามารถใช้ความชื้นที่ดินอุ้มไว้ได้นี้ทั้งหมด เพราะเมื่อระดับความชื้นในดินถูกพืชใช้จนเหลือน้อยมากจนใกล้ถึงจุด PWP พืชจะได้รับความเสียหาย เพราะความชื้นในช่วงนี้จะถูกดินดูดยึดเอาไว้มากจนรากพืชไม่สามารถดูดเอามาใช้ได้ คำอธิบายดังกล่าวนี้จะแสดงให้เห็นให้เข้าใจง่ายขึ้นจากภาพที่ 38 จากหลักการที่ยอมให้ความชื้นในดินลดลงประมาณ 40 – 60 %FC นี้้นำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบการให้น้ำต่อไป (ดิเรกและคณะ, 2545)



ภาพที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงน้ำ ความเป็นประโยชน์ และความไม่เป็นประโยชน์ของน้ำในดิน (McCarty et al., 2016)

ดิเรก และคณะ (2545) อธิบายการคำนวณความชื้นที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยใช้ค่า FC และ PWP ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมักจะวัดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือเป็น ความลึกของน้ำต่อความลึกของดิน เช่น ดินร่วนปนทรายมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ 1.20 มิลลิเมตรต่อความลึก ของดิน 1 เซนติเมตร เป็นต้น (ช่องที่ 6 ของตารางที่ 7) เช่น ปลุกพืชมี่รากลึก 1.00 เมตร ดินจะอุ้มน้ำไว้ให้พืช ใช้ได้ทั้งหมด เท่ากับ $1 \times 120 = 120$ มิลลิเมตร นั่นคือ ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (เป็นความสูง) 120 มิลลิเมตรต่อเนื้อดินที่ปลุกสูง 1 เมตร เป็นต้น

ตารางที่ 7 การคำนวณความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้จากค่า FC และ PWP

เนื้อดิน	ความหนาแน่น รวมของดิน (ρ_b ; g cm ⁻³)	FC (%by wt)	PWP (%by wt)	ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้		
				AWC (%by wt)	AWC (%by vol)	AWC (mm cm ⁻¹)
	(1)	(2)	(3)	(4) = (2) - (3)	(5) = (4) x (1)	(6) = [(5) x D ^{1/4}]/100
ดินทราย (S)	1.65 ^{2/} (1.55 - 1.80) ^{3/}	9 (6 - 12)	4 (2 - 6)	5 (4 - 6)	8 (6 - 10)	0.8 (0.6 - 1.0)
ดินร่วนปน ทราย (SL)	1.50 (1.40 - 1.60)	14 (10 - 18)	6 (4 - 8)	8 (6 - 10)	12 (9 - 15)	1.2 (0.9 - 1.5)
ดินร่วน (L)	1.40 (1.35 - 1.50)	22 (18 - 26)	10 (8 - 12)	12 (10 - 14)	17 (14 - 20)	1.7 (1.4 - 2.0)
ดินร่วนปน ดินเหนียว (CL)	1.35 (1.30 - 1.40)	27 (23 - 31)	13 (11 - 15)	14 (12 - 16)	19 (16 - 22)	1.9 (1.6 - 2.2)
ดินเหนียว ปนตะกอน ทราย	1.30 (1.25 - 1.35)	31 (27 - 35)	15 (13 - 17)	16 (14 - 18)	21 (18 - 23)	2.1 (1.8 - 2.3)
ดินเหนียว (C)	1.25 (1.20 - 1.30)	35 (31 - 39)	17 (15 - 19)	18 (16 - 20)	23 (20 - 35)	2.3 (2.0 - 3.5)

ที่มา: ดัดแปลงจาก ดิเรก และคณะ (2545)

^{1/}D คือ ความลึกของรากพืช การคำนวณนี้ใช้ 10 เซนติเมตร

^{2/} คือ ค่าเฉลี่ยของช่วงค่าที่วิเคราะห์ได้แต่ละรายการวิเคราะห์ เช่น ρ_b คือ 1.65

^{3/} คือ ช่วงค่าที่วิเคราะห์ได้แต่ละรายการวิเคราะห์ เช่น ρ_b คือ 1.55 - 1.80

7. เอกสารอ้างอิง

- กรรมธิการ อยู่ทอง. 2537. **การวิเคราะห์ดินเพื่อการจำแนกดินตามระบบอนุกรมวิธานดิน**. น. 1-13
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 547 น.
texture
- จักรพงษ์ เจริญศิริ. 2546. **วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน**. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 72 น. MR
- ดิเรก ทองอร่าม, วิทยา ตั้งก่อสกุล, นาวิ จิระชีวี, และ อธิติสุนทร นันทกิจ. 2545. **การออกแบบและเทคโนโลยีการให้น้ำแก่พืช ฉบับปรับปรุงใหม่ (พิมพ์ครั้งที่ 2)**. วารสารเคหการเกษตร. 470 หน้า.
- ถนอม คลอดเพ็ง. 2528. **วิธีการของปฐพีฟิสิกส์วิเคราะห์**. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 205 น.
- พิมพ์พันธ์ เจริญสวัสดิพงษ์. 2526. **เอกสารประกอบการสอนวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ทางดิน**. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 59 น.
- สุนทรีย์ ยิ่งชัชวาล. 2536. **บทปฏิบัติการปฐพีวิทยามูลฐาน**. พิมพ์ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 113 หน้า.
- สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. 2562. **พจนานุกรมศัพท์ปฐพีศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสภา**. บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.
- สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการที่ดิน. 2548. **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า, เล่มที่ 1**. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน.
- Blake G.R. and Hartge K.H. 1986. Bulk Density. *In* A. Klute.et. al. (eds.). **Methods of Soil Analysis, Part 1**. Physical and Mineralogical Methods Second Edition. In the series Agronomy. American Society of Agronomy Monograph. No.9. Madison, Wisconsin. U.S.A. pp.363-375.
- _____. 1986. Particle Density. *In* A. Klute.et. al. (eds.). **Methods of Soil Analysis, Part 1**. Physical and Mineralogical Methods Second Edition. In the series Agronomy. American Society of Agronomy Monograph. No.9. Madison, Wisconsin. U.S.A. pp.635-660.

- Culley, J.L.B. 1993. Density and Compressibility. *In* M. R. Carter. Ed., **Soil Sampling and Methods of Analysis, Part 3**. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. pp 529-539.
- Danielson R.E. and Sutherland P.L. 1986. **Methods of Soil Analysis, Part 1**. Physical and Mineralogical Methods Second Edition. No. 9. Part 1 in the series Agronomy. U.S.A. pp.443-460.
- Flury, M. 2009. Particle Size Analysis with Hydrometer. *In* **Soil Physics Laboratory Manual**. Department of Crop and Soil Sciences. Washington State University. Pullman, WA. pp.11-16.
- Gardner, W. H. 1986. Water Content. *In* A. Klute. et. al. (eds.). **Method of Soil Analysis, Part 1**. American Society of Agronomy Monograph. No. 9. Madison, Wisconsin. U.S.A. pp.493-544.
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size Analysis. *In* A. Klute. et. al. (eds.). **Method of Soil Analysis, Part 1**. American Society of Agronomy Monograph. No. 9. Madison, Wisconsin. U.S.A. pp.383-411. texture
- Hazelton, P. and B. Murphy. 2007. **Interpreting Soil Test Results: What Do All The Numbers Mean?** 2nd ed. NSW Department of Natural Resources, CSIRO: Australia.
- Klute, A. and C. Dirksen. 1986. Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory Methods. *In* A. Klute. et. al. (eds.). **Method of Soil Analysis, Part 1**. American Society of Agronomy Monograph. No. 9. Madison, Wisconsin. U.S.A. pp.687-734. Ksat
- Klute, A. and C. Dirksen. 1986. Water Retention: Laboratory Method. *In* A. Klute. et. al. (eds.). **Method of Soil Analysis, Part 1**. American Society of Agronomy Monograph. No. 9. Madison, Wisconsin. U.S.A. pp.635-662.
- Lal, R., and M. K. Shukla. 2004. **Principles of Soil Physics**. Marcel, Dekker, Inc., Madison, New York, Basel. pp. 16.
- MaCarty, L.B., L.R. Hubbard, and Jr. V. Quisenberry. 2016. **Applied soil physical properties, drainage, and irrigation strategies**. Springer International Publishing Switzerland. DOI 10.1007/978-3-319-24226-2.

- Reynolds, W.D. 1993. Hydraulic Conductivity: Laboratory Measurement. *In* M. R. Carter. Ed., **Soil Sampling and Methods of Analysis, Part 3**. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. pp 589-598.
- Reynolds, W.D. 1993. Particle Size Distribution. *In* M. R. Carter. Ed., **Soil Sampling and Methods of Analysis, Part 3**. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. pp 499-511.
- Topp, G. C. 1993 Soil Water Content. *In* M. R. Carter. Ed., **Soil Sampling and Methods of Analysis, Part 3**. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. pp 541-557.
- Topp, G.C. and Y.T. Galganov, B.C. Ball, and M.R. Carter. 1993. Soil Water Desorption Curves. *In* M. R. Carter. Ed., **Soil Sampling and Methods of Analysis, Part 3**. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. pp 569-579.

8. แบบฟอร์มที่ใช้

8.1 แบบฟอร์มกลุ่มวิจัยกายภาพดิน

แบบฟอร์มที่ใช้สำหรับการบันทึกผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดิน กลุ่มวิจัยกายภาพดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน เป็นแบบฟอร์มที่จัดทำขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Excel จำแนกตามรายการวิเคราะห์ กำหนดใช้แบบฟอร์มโดยกลุ่มวิจัยกายภาพดิน ดังนี้

- (1) แบบฟอร์มสำหรับการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดิน (particle size analysis)
- (2) แบบฟอร์มสำหรับการวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ความชื้นในดิน (soil water content) และการนำน้ำของดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (hydraulic conductivity of saturated soil) การวิเคราะห์ 3 รายการนี้มีกระบวนการวิเคราะห์ที่สามารถคำนวณต่อเนื่องกันได้ โดยใช้แบบฟอร์มเดียวกัน
- (3) แบบฟอร์มสำหรับการวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคดิน (particle density)
- (4) แบบฟอร์มสำหรับการวิเคราะห์ความพรุนรวมของดิน (total porosity)
- (5) แบบฟอร์มสำหรับการวิเคราะห์ความชื้นของดินที่แรงดึงบรรยากาศ 1/3 และ 15 bar (soil water retention at 1/3 and 15 bar)

ทั้งนี้ แบบฟอร์มนี้ยังใช้ในการคำนวณผลวิเคราะห์แต่ละรายการวิเคราะห์ และบันทึกผลวิเคราะห์ในรูปแบบดิจิทัล โดยแบ่งเก็บข้อมูลผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดินเป็นรายปี เจ้าหน้าที่กลุ่มวิจัยกายภาพดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน สามารถสืบค้นผลวิเคราะห์ได้ภายหลังหากผู้ขอรับบริการร้องขอ โดยผู้ขอรับบริการต้องแสดงเลขปฏิบัติการทุกครั้งที่มาขอรับบริการสืบค้นข้อมูล

8.2 แบบฟอร์มกลุ่มมาตรฐานและพัฒนาระบบการวิเคราะห์ดิน

แบบฟอร์มที่ใช้สำหรับการขอรับบริการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน จัดเตรียมโดยกลุ่มมาตรฐานและพัฒนาระบบการวิเคราะห์ดิน ดังนี้

- (1) แบบฟอร์ม "บันทึกรายละเอียดการส่งตัวอย่าง"
- (2) แบบฟอร์ม "ทบทวนค่าขอรับบริการ"
- (3) แบบฟอร์ม "ใบรับตัวอย่าง"

แบบฟอร์ม "บันทึกรายละเอียดการส่งตัวอย่าง" และ แบบฟอร์ม "ทบทวนคำขอรับบริการ"

หน้า...../.....



สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน

2003/61 ถ.พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทร 02-561-4179 โทรสาร 02-561-4179
อีเมล : osd_9@ldd.go.th

สำหรับเจ้าหน้าที่

เลขรับที่.....จำนวน.....ตัวอย่าง
เลขปฏิบัติการ.....
วันที่รับตัวอย่าง.....

บันทึกรายละเอียดการส่งตัวอย่าง

ชนิดตัวอย่าง ปุ๋ยอินทรีย์ ดิน สิ่งปรับปรุงดิน น้ำ พีช Q (เฉพาะเจ้าหน้าที่Q)
การจัดการตัวอย่าง เตรียมตัวอย่างแล้ว ไม่ได้เตรียมตัวอย่าง

แหล่งที่มาของการนำส่งตัวอย่าง เกษตรกร เอกชน กอง/สำนัก/สพข. ส่วนราชการอื่นๆ
งานวิจัย/โครงการ

นำผลไปใช้ด้าน การฟื้นฟูและปรับปรุงดิน ทำแผนการใช้ที่ดิน งานวิจัย โครงการพระราชดำริ อื่นๆ
รายการวิเคราะห์/วิธีวิเคราะห์ทดสอบ

คู่มือทดสอบ ตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025

ดำเนินการวิเคราะห์โดย

- กลุ่มวิเคราะห์วิจัย พีช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน
 กลุ่มวิจัยแร่และจุลสัณฐานดิน
 กลุ่มวิจัยสิ่งแวดล้อมดิน
 กลุ่มวิจัยเคมีดิน
 กลุ่มวิจัยกายภาพดิน
 กลุ่มวิทยบริการ

คู่มือวิเคราะห์ตัวอย่างของ สวต.

รายละเอียดเกี่ยวกับตัวอย่างที่ส่งวิเคราะห์

ชื่อผู้นำส่งตัวอย่าง..... ส่งทางไปรษณีย์

ชื่อเจ้าของตัวอย่าง..... เบอร์โทรศัพท์.....

พื้นที่เก็บตัวอย่างเลขที่..... หมู่..... ตำบล/แขวง..... อำเภอ/เขต..... จังหวัด.....

พืชที่ปลูก.....

ปัญหา/อุปสรรคในการเพาะปลูก (ถ้ามี).....

การขอรับตัวอย่าง รับคืน (ภายใน 45 วันทำการหลังรายงานผล) ไม่รับ

ชื่อและที่อยู่สำหรับระบุในใบรายงานผลวิเคราะห์

ชื่อ..... เบอร์โทรศัพท์.....

ที่อยู่.....

การรับผลวิเคราะห์ รับด้วยตัวเอง ไปรษณีย์ E-mail..... Fax.....

ข้อมูลเพิ่มเติม กรณีวิเคราะห์ทดสอบตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025

Uncertainty : เหตุผลที่ขอ.....

(คัดค่าธรรมเนียมจากค่าทดสอบ)

หมายเหตุ ห้องปฏิบัติการมีนโยบายไม่ระบุความเป็นไปตามข้อกำหนด

ผู้ส่งตัวอย่าง.....
(.....)

สำหรับเจ้าหน้าที่ (ทบทวนคำขอรับบริการ)

1. สภาพตัวอย่าง ปกติ ไม่ปกติ.....
2. จำนวนตัวอย่าง ครบตามใบส่ง ไม่ครบตามใบส่ง.....
3. สรุปความพร้อมรับงานบริการ พร้อมรับงาน ไม่พร้อมรับงาน.....

ผู้รับตัวอย่าง..... ผู้อำนวยการกลุ่ม/ผู้แทน.....
(.....) (.....)
...../...../.....

9. เอกสารบันทึก

9.1 การจัดเก็บ

ชื่อเอกสาร	สถานที่จัดเก็บ	ผู้รับผิดชอบ	การจัดเก็บ	ระยะเวลาที่เก็บ
1. สมุดบันทึกข้อมูลตัวอย่างเข้า/ออก	กลุ่มวิจัย กายภาพดิน	นักวิทยาศาสตร์, เจ้าหน้าที่คอมพิวเตอร์	บันทึกลงสมุดโดย เรียงลำดับปีงบประมาณ	5 ปี
2. แฟ้มใบส่งตัวอย่าง	กลุ่มวิจัย กายภาพดิน	นักวิทยาศาสตร์, เจ้าหน้าที่คอมพิวเตอร์	บันทึกลงสมุดโดย เรียงลำดับปีงบประมาณ	5 ปี
3. แฟ้มผลวิเคราะห์ดิน ทางกายภาพ	กลุ่มวิจัย กายภาพดิน	นักวิทยาศาสตร์, เจ้าหน้าที่คอมพิวเตอร์	บันทึกลงสมุดโดย เรียงลำดับปีงบประมาณ	5 ปี
4. แฟ้มรายงาน ประจำเดือน	กลุ่มวิจัย กายภาพดิน	นักวิทยาศาสตร์, เจ้าหน้าที่คอมพิวเตอร์	บันทึกลงสมุดโดย เรียงลำดับปีงบประมาณ	5 ปี
5. แฟ้มครุภัณฑ์กายภาพ ดิน	กลุ่มวิจัย กายภาพดิน	นักวิทยาศาสตร์, เจ้าหน้าที่คอมพิวเตอร์	บันทึกลงสมุดโดย เรียงลำดับปีงบประมาณ	5 ปี
6. แฟ้มงานถ่ายทอด เทคโนโลยี	กลุ่มวิจัย กายภาพดิน	นักวิทยาศาสตร์, เจ้าหน้าที่คอมพิวเตอร์	บันทึกลงสมุดโดย เรียงลำดับปีงบประมาณ	5 ปี
7. บันทึกข้อมูลผล วิเคราะห์	กลุ่มวิจัย กายภาพดิน	นักวิทยาศาสตร์, เจ้าหน้าที่คอมพิวเตอร์ ผู้รับผิดชอบแต่ละ รายการวิเคราะห์	บันทึกด้วยโปรแกรม Excel จัดเก็บเป็น ไฟล์เตอร์ปีงบประมาณ	10 ปี
7.1 ขนาดอนุภาคดิน				
7.2 ความหนาแน่นรวม ของดิน				
7.3 ความหนาแน่น อนุภาคดิน				
7.4 ความพรุนรวมของดิน				
7.5 ความชื้นในดิน				
7.6 การนำน้ำของดินที่ อิ่มตัวด้วยน้ำ				

9.2 ผู้มีสิทธิ์เข้าถึงเอกสาร

เอกสารลำดับที่ 1 – 7 ผู้มีสิทธิ์เข้าถึง ผอ.กลุ่มวิจัยกายภาพดิน นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่คอมพิวเตอร์ที่รับผิดชอบแต่ละรายการวิเคราะห์

10. ระบบติดตามประเมินผล

10.1 ชื่อตัวชี้วัด - ความถูกต้องของข้อมูล

10.1.1 เกณฑ์ (ค่าเป้าหมาย) - ความถูกต้องของข้อมูลมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80

ตัวชี้วัด	ค่าเป้าหมายที่วัดความสำเร็จของการดำเนินงาน (ร้อยละ)				
	ระดับ 1	ระดับ 2	ระดับ 3	ระดับ 4	ระดับ 5
ความถูกต้องของข้อมูล	65-70	71-75	76-80	81-85	> 85

10.1.2 กลวิธี - เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการวิเคราะห์ดิน ต้องแทรกตัวอย่างอ้างอิงในกระบวนการวิเคราะห์ที่เป็นรายการวิเคราะห์ (Parameter) แบบรบกวนโครงสร้างดิน (disturbed soil) เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง โดยนำผลวิเคราะห์ตัวอย่างอ้างอิงมาจัดทำกราฟควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์

10.2 ชื่อตัวชี้วัด - ความรวดเร็วของการวิเคราะห์ตัวอย่าง

10.2.1 เกณฑ์ (ค่าเป้าหมาย) – จำนวนตัวอย่างซึ่งดำเนินการให้เสร็จภายใน 45 วันทำการ นับแต่วันที่แจ้งให้ผู้ยื่นคำขอทราบ เว้นแต่การวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างดินด้านแร่และจุลสัณฐานดิน ตามคำร้องขอกำหนดให้แล้วเสร็จภายใน 85 วันทำการ มีมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 76

ตัวชี้วัด	ค่าเป้าหมายที่วัดความสำเร็จของการดำเนินงาน (ร้อยละ)				
	ระดับ 1	ระดับ 2	ระดับ 3	ระดับ 4	ระดับ 5
ความรวดเร็วของการวิเคราะห์ตัวอย่าง	65-70	71-75	76-80	81-85	> 85

10.2.2 กลวิธี - เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการวิเคราะห์ดิน น้ำ ฟืช ต้องจัดทำแผนระยะเวลาการวิเคราะห์ตัวอย่างจนถึงขั้นตอนรายงานผลข้อมูลแล้วเสร็จ

11. กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

11.1 พระราชบัญญัติพัฒนาที่ดิน พ.ศ.2551

11.2 กฎกระทรวง กำหนดกฎเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไข และอัตราค่าใช้จ่าย ในการวิเคราะห์ตรวจสอบตัวอย่างดินเป็นการเฉพาะราย พ.ศ.2555

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 อิทธิพลของค่าความหนาแน่นรวมต่อสภาพของดิน

Bulk Density (g cm ⁻³)	Sandy Soils	Loams	Clay Soils
< 1.0	-	Satisfactory	Satisfactory
1.0 – 1.2	-	Satisfactory	Satisfactory
1.2 – 1.4	Very open	Satisfactory	Some too compact
1.4 – 1.6	Satisfactory	Some too compact	Very compact
1.6 – 1.8	Mostly too compact	Very compact	Highly compact
> 1.8	Very compact	Extremely compact	Excessively compact

ที่มา: Handreck and Black (1984); Hunt and Gilkes (1992)

ตารางผนวกที่ 2 ตัวอย่างการคำนวณผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดิน

Soil Physical Analysis														วันที่เริ่ม	
Texture Distribution														วันที่เสร็จ	
เลขรับที่	0	ผู้ส่งตัวอย่าง	0	สถานที่เก็บตัวอย่างดิน	เขตรับรองกลาง กทม.	วันที่	17 มี.ค. 65								
Run No.	Lab No.	Sender Code	Soil Series	Horizon	Depth (cm.)	wt. of dry soil	wt. of can (g)				Sand %	Silt %	Clay %	Texture	Remark
							+ clay (for clay)	+ sand (for sand)							
1	6300273	19-24179-001				9.57	37.109	37.035	91.915	88.571	34.9	31.1	34.0	CL	
2	6300274	19-24179-002				9.65	46.409	46.315	89.924	88.003	19.9	36.1	44.0	C	
3	6300275	19-24179-003				9.70	36.682	36.616	89.547	86.639	30.0	40.6	29.4	CL	
4	6300276	19-24179-004				9.48	45.887	45.818	88.737	86.528	23.3	45.1	31.6	CL	
5	6300277	19-24179-005				9.57	52.988	52.913	89.549	87.001	26.6	38.9	34.5	CL	
6	6300278	19-24179-006				9.58	42.953	42.862	90.222	88.481	18.2	39.0	42.8	C	
7	6300279	19-24180-001				9.52	42.752	42.662	90.046	89.145	9.5	48.0	42.5	SiC	
8	6300280	19-24180-002				9.47	46.230	46.135	73.195	71.989	12.7	41.9	45.4	SiC	
9	6300281	19-24180-003				9.46	49.878	49.792	87.062	85.456	17.0	42.3	40.7	SiC	
10	6300282	19-24180-004				9.58	36.380	36.282	109.548	108.105	15.1	38.4	46.5	C	

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคทราย

น้ำหนักดินอบแห้งทั้งหมด (a กรัม) น้ำหนักอนุภาคทรายที่ผ่านการอบแห้ง (b กรัม)

จะมีอนุภาคทราย (%) เท่ากับ $(b \times 100) / a$

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคดินเหนียว

น้ำหนักดินอบแห้งทั้งหมด a กรัม มีน้ำหนักอนุภาคดินเหนียว C กรัม ในสารแขวนลอยดิน 20 มล.

ถ้าสารแขวนลอยทั้งหมด 1,000 มล. มี clay เท่ากับ $(C \times 1000) / 20$ ซึ่งเท่ากับ clay ในดินอบแห้งทั้งหมด a กรัม

เมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ ดินทั้งหมด a กรัม จะมี clay เท่ากับ $(100/a) \times (C \times 1000) / 20$ หรือเท่ากับ $5000C/a$

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคทรายแป้ง

เปอร์เซ็นต์อนุภาคทรายแป้ง = $100 - (\text{เปอร์เซ็นต์อนุภาคทราย} + \text{เปอร์เซ็นต์อนุภาคดินเหนียว})$

สามารถแยกประเภทเนื้อดิน โดยอ่านค่าสัดส่วน sand silt และ clay จากตารางสามเหลี่ยมมาตรฐาน

ตารางผนวกที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณผลวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม ความชื้นโดยน้ำหนัก และการนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ

ส่วนวิจัยกายภาพดิน																	วันที่เริ่ม			
การนำน้ำ ความหนาแน่นรวม ความชื้นโดยน้ำหนัก และความชื้นอิ่มตัวด้วยน้ำของดิน																	วันที่เสร็จ			
เลขรับที่		ผู้ส่งตัวอย่าง		สถานที่เก็บตัวอย่าง													วันที่			
Run no	Lab No.	Sender Code	Soil Series	Depth cm	Can No.	Wt. of Can & Core, Wa (g)			t hr	Q ml	Lw cm	φ cm	Ls(h) cm	Db g cm ⁻³	θm % by wt.	θmax	Ksat cm h ⁻¹	Ksat Class	Remark	
						Wsw+Wa	θmax.soil	Ws+Wa												
1	62032960	Kpg-PA62-82_R1	-	0-20	159	491.39	521.22	475.96	234.93	1.000	230	2.5	7.24	4.01	1.46	6.40	18.78	3.44	M	
2	62032961	Kpg-PA62-82_R2	-	-	160	470.14	500.12	454.92	225.65	1.000	210	2.5	7.21	4.01	1.40	6.64	19.71	3.17	M	
3	62032962	Kpg-PA62-82_R1	-	20-30	113	493.30	542.25	485.31	225.36	1.000	65	2.4	7.24	3.94	1.60	3.07	21.90	0.98	MS	
4	62032963	Kpg-PA62-82_R2	-	-	114	491.84	543.97	485.70	225.09	1.000	65	2.5	7.21	3.96	1.61	2.36	22.36	0.98	MS	
5	62032964	Kpg-PA62-82_R1	-	30-45	115	479.19	531.53	472.90	220.36	1.000	180	2.4	7.24	4.03	1.52	2.49	23.22	2.74	M	
6	62032965	Kpg-PA62-82_R2	-	-	116	494.26	546.95	486.13	231.45	1.000	165	2.5	7.23	4.05	1.53	3.19	23.88	2.48	M	
7	62032966	Kpg-PA62-82_R1	-	45-60	117	507.90	561.42	499.10	240.11	1.000	215	2.2	7.20	4.00	1.59	3.40	24.06	3.41	M	
8	62032967	Kpg-PA62-82_R2	-	-	118	481.16	535.26	474.76	235.80	1.000	220	2.5	7.21	4.00	1.46	2.68	25.32	3.31	M	
9	62032968	Ly-col-PA62-83_R1	-	0-25	119	474.44	539.53	471.30	254.87	0.500	325	2.5	7.21	3.97	1.33	1.45	31.53	9.76	MR	
10	62032969	Ly-col-PA62-83_R2	-	-	120	432.28	500.02	430.89	202.39	0.500	375	2.5	7.36	3.97	1.35	0.61	30.25	10.81	MR	

การคำนวณความหนาแน่นรวม (ρ_b)

$$\text{ความหนาแน่นรวมของดิน, } \rho_b = \frac{(w_s + w_a) - w_a}{V_s} \text{ g/cm}^3$$

ตัวอย่างดินที่วิเคราะห์หาค่า W_s+W_a = 477.34 g, W_a = 223.04 g, V_s = (22/7)x(7.22/2)²x4.04 cm

$$\text{ความหนาแน่นรวมของดิน, } \rho_b = \frac{(477.34 - 223.04)}{(22/7)x(7.22/2)^2x4.04} = 1.54 \text{ g/cm}^3$$

การคำนวณหาความชื้นของดินโดยน้ำหนัก (θ_m)

$$\text{ความชื้นของดินโดยน้ำหนัก, } \theta_m = \frac{(W_{sw} + W_a) - (W_s + w_a)}{(w_s + w_a) - W_a} \times 100$$

ตัวอย่างดินที่วิเคราะห์หาค่า W_{sw}+W_a = 307.59 g, W_s+W_a = 293.48 g, W_a = 152.24

$$\text{แทนค่าในสูตร } \theta_m = \frac{307.59 - 293.48}{293.48 - 152.24} \times 100 = 9.99 \text{ \%wt}$$

การคำนวณค่าการนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (K_{sat})

$$\text{การนำน้ำของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ, } K_{sat} = \frac{Q \times L_s}{A \times H} \text{ cm/hr}$$

ตัวอย่างดินที่วิเคราะห์หาค่า Q = 230 ml, L_s = 4.01 cm, A = π(7.24/2)², t = 1 hr., H = 4.01+2.5 cm

$$\text{แทนค่าในสูตร, } K_{sat} = \frac{(230 \times 4.01)}{\frac{22}{7} \times \left(\frac{7.24}{2}\right)^2 \times 1 \times (4.01 + 2.5)} = 3.44 \text{ cm/h จัดอยู่ในclass Moderate (M)}$$

ตารางผนวกที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณผลวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคดิน

ส่วนวิจัยกายภาพดิน											
ความหนาแน่นอนุภาคของดิน											
ผู้ส่งตัวอย่าง		0		วันที่		0 มกราคม 2443		เลขรับที่		0	
สถานที่เก็บตัวอย่าง		0									
Run No.	Lab No.	Sendor Code	Soil Series	Horizon	Depth (cm)	Wa g	Ws g	Wsw g	Ww g	Ds g cm ⁻³	Remark
1				-	0-15	39.36	49.36	95.14	88.96	2.62	
2				-	0-15	35.27	45.27	91.03	84.96	2.54	
3				-	0-15	35.07	45.07	90.75	84.61	2.59	
4				-	0-15	39.58	49.58	95.34	89.26	2.55	
5				-	0-15	40.01	50.01	95.88	89.63	2.67	
6				-	0-15	39.99	49.99	95.72	89.54	2.62	
7				-	0-15	41.05	51.05	96.82	90.67	2.60	
8				-	0-15	35.24	45.24	91.22	85.00	2.65	
9				-	0-15	37.09	47.09	92.98	86.78	2.63	
10				-	0-15	35.26	45.26	91.02	84.92	2.56	

การคำนวณความหนาแน่นอนุภาค (ρ_s)

$$\text{ความหนาแน่นอนุภาค, } \rho_s = \frac{(W_s - W_a)}{((W_s - W_a) - (W_{sw} - W_w))}$$

ตัวอย่างดินที่วิเคราะห์หามีค่า $W_a = 39.36$, $W_s = 49.36$, $W_{sw} = 95.14$, $W_w = 88.96$

$$\text{แทนค่าในสูตร, } \rho_s = \frac{(49.36 - 39.36)}{((49.36 - 39.36) - (95.14 - 88.96))} = 2.62 \text{ g/cm}^3$$

ตารางผนวกที่ 5 ตัวอย่างการคำนวณผลวิเคราะห์ความพรุนรวมของดิน

ส่วนวิจัยกายภาพดิน											
ความพรุนของดิน											
ผู้ส่งตัวอย่าง		0			วันที่		0 มกราคม 2443		เลขรับที่		0
สถานที่เก็บตัวอย่าง		0									
Run No.	Lab No.	Sendor Code	Soil Series	Horizon	Depth (cm)	Ds g cm ⁻³	Db g cm ⁻³	ความพรุน %	Remark		
1	59028607					2.54	1.11	56.17			
2	59028608					2.62	1.29	50.76			
3	59028609					2.59	1.18	54.43			
4	59028610					2.56	1.26	50.78			
5	59028611					2.56	1.32	48.53			
6	59028612					2.59	1.38	46.64			
7	59028613					2.69	1.15	57.38			
8	59028614					2.58	1.22	52.97			
9	59028615					2.60	1.23	52.77			
10	59028616					2.56	1.17	54.40			

การคำนวณผลหา % ความพรุนรวมของดิน (Porosity)

$$\text{ความพรุนรวมของดิน} = 1 - \left(\frac{Db}{Ds}\right) \times 100$$

ตัวอย่างดินที่วิเคราะห์มีค่า Ds = 2.54, Db = 1.11

$$\text{แทนค่าในสูตร ความพรุนรวมของดิน} = 1 - (1.11/2.54) \times 100 = 56.17\%$$

ตารางผนวกที่ 6 ตัวอย่างการคำนวณผลวิเคราะห์ความชื้นของดินที่แรงดึงบรรยากาศ 1/3 และ 15 bar

Soil Physical Analysis

วันที่เริ่ม 1/26/2020

Moisture Retention (1/3 bar)

วันที่เสร็จ 2/5/2020

ผู้ส่งตัวอย่าง 0 วันที่ 2 มีนาคม 2563 เลขรับที่ 63-0109 (85)
สถานที่เก็บตัวอย่าง นนทบุรี

Run no.	Lab. no.	Sender Code	Horizon	Depth (cm)	Wt. of can			% M.R.	Remark
					+ W.soil	+D.soil			
1	6300424	62_B072	3	60-90	103.220	97.858	70.626	19.69	
2	6300425	62_B073	1	0-30	97.509	92.155	69.272	23.40	
3	6300426	62_B074	2	30-60	93.228	87.139	60.655	22.99	
4	6300427	62_B073	3	60-90	96.721	90.468	63.887	23.52	
5	6300428	62_B074	1	0-30	95.569	91.983	62.929	12.34	
6	6300429	62_B074	2	30-60	97.082	92.666	63.415	15.10	
7	6300430	62_B074	3	60-90	89.210	84.378	56.677	17.44	
8	6300431	62_B075	1	0-30	96.366	94.464	69.325	7.57	
9	6300432	62_B075	2	30-60	95.392	91.729	63.676	13.06	
10	6300433	62_B075	3	60-90	88.109	83.648	55.578	15.89	

Soil Physical Analysis

วันที่เริ่ม 1/26/2020

Moisture Retention (15 bar)

วันที่เสร็จ 2/5/2020

ผู้ส่งตัวอย่าง 0 วันที่ 2 มีนาคม 2563 เลขรับที่ 63-0109 (85)
สถานที่เก็บตัวอย่าง นนทบุรี

Run no.	Lab. no.	Sender Code	Horizon	Depth (cm)	Wt. of can			% M.R.	Remark
					+ W.soil	+D.soil			
1	6300424	62_B072	3	60-90	51.242	48.662	23.125	10.10	
2	6300425	62_B073	1	0-30	46.721	44.602	23.223	9.91	
3	6300426	62_B074	2	30-60	51.788	48.939	23.321	11.12	
4	6300427	62_B073	3	60-90	48.943	46.178	23.171	12.02	
5	6300428	62_B074	1	0-30	49.133	48.449	23.192	2.71	
6	6300429	62_B074	2	30-60	51.111	49.718	23.236	5.26	
7	6300430	62_B074	3	60-90	48.805	47.187	23.247	6.76	
8	6300431	62_B075	1	0-30	48.552	47.996	23.088	2.23	
9	6300432	62_B075	2	30-60	50.920	49.670	23.038	4.69	
10	6300433	62_B075	3	60-90	49.524	48.008	22.937	6.05	

การคำนวณความชื้นโดยน้ำหนัก %

$$\text{ความชื้นโดยน้ำหนักที่ } 1/3 \text{ bar, \%} = \frac{(W.\text{soil} - D.\text{soil})}{D.\text{soil} - \text{wt. of can}} \times 100$$

ตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ห้มีค่า W.soil = 103.22 , D.soil = 97.858 , Wt. of can = 70.626

$$\text{แทนค่าในสูตร ความชื้นโดยน้ำหนัก, \%} = \frac{103.22 - 97.858}{97.858 - 70.626} \times 100 = 19.69 \%$$

ความชื้นโดยน้ำหนักที่ 15 bar, %

ตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ห้มีค่า W.soil = 51.242 , D.soil = 48.662 , Wt. of can = 23.125

$$\text{แทนค่าในสูตร ความชื้นโดยน้ำหนัก, \%} = \frac{51.242 - 48.662}{48.662 - 23.125} \times 100 = 10.10 \%$$