

การประเมินความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกอ้อย ที่มีเนื้อดินต่างกันโดยใช้โปรแกรม RETC

Evaluation of Available Soil Water Capacity in Different Textured Sugarcane Growing Soils Using RETC Program

บรรณพิชญ์ สัมฤทธิ์^{1,2,3} ณัฐพล จิตมัตย์^{1,4*} และ สุรเชษฐ์ อร่ามรักษ์¹
Bhannapitch Samrit^{1,2,3}, Natthapol Chittamart^{1,4*} and Surachet Aramrak¹

¹ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

²กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

²Soil Science Research Group, Agricultural Production Sciences Research and Development Division,
Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

³โครงการปริญญาเอกเฉลิมพระเกียรติทรงครองราชย์ 70 ปี สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

³Research Funding Agricultural Research Development Agency (Public Organization) "Chalermprakit Ph.D. 70 years reign Project"

⁴ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการวิจัยดินแห่งภูมิภาคเอเชีย กรมพัฒนาที่ดิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

⁴Center of Excellence for Soil Research in ASIA (CESRA), Land Development Department,
Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author: Email: fagmpc@ku.ac.th

(Received: 22 November 2022; Accepted: 12 May 2023)

Abstract: The assessment of available soil water capacity (θ_{AWC}) of tropical soils is often inconsistent with the appropriate determination of the field capacity (θ_{FC}) in different soil textures, which affects identifying critical water content and irrigation. This study aimed to compare the assessment method of θ_{FC} by hydraulic parameters from soil water retention curve (SWRC) to θ_{FC} at pF 2.0, a standard method used for laboratory pressure apparatus for evaluation of θ_{AWC} of different textural sugarcane growing soils in grouping to coarse, medium, fine, and gravelly textures, 3 locations of each textural type were collected at the depths of 0-Ap, Ap-60, and 60 - 100 centimeters. Particle size distribution, bulk density (ρ_b), and soil water content (θ_v) at pF levels 0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, and 4.2 were analyzed, then the θ_{FC} was estimated at maximum hydraulic capacity ($C_w(h)$) from SWRC obtained from experiment data with van Genuchten's model in RETC program. The results found that the predicted (θ_{FC} at $C_w(h)$) value was below pF 2.0, which was in the pF of 0.85 - 1.78. Therefore, this suggested that the assessments to θ_{FC} at $C_w(h)$ depend on textural types and can be applied in the laboratory to determine more accurate critical soil water content, intervals, and amount of irrigation for sugarcane.

Keywords: Field capacity, hydraulic capacity, available soil water capacity, soil water retention curve, RETC program, sugarcane growing soils

บทคัดย่อ: การประเมินความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (θ_{AWC}) ของดินเขตร้อน พบว่ามีความผันแปรและคลาดเคลื่อนจากการกำหนดจุดความจุความชื้นสนาม (θ_{FC}) ไม่เหมาะสมกับลักษณะเนื้อดิน ซึ่งมีผลต่อการประเมินความชื้นวิกฤตและการให้น้ำ การศึกษานี้เป็นการประเมินความจุความชื้นสนามของดินด้วยตัวแปรชลศาสตร์จากกราฟเส้นโค้งการยึดน้ำของดิน (SWRC) กับ θ_{FC} ที่ pF 2.0 ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ได้จากเครื่องอัดแรงดันให้กับน้ำในตัวอย่างดินภายในหม้อความดัน เพื่อใช้ประเมิน θ_{AWC} ในดินปลูกอ้อยที่มีลักษณะเนื้อดินและ SWRC แตกต่างกัน ในจังหวัดสระแก้ว ได้แก่ กลุ่มดินเนื้อหยาบ ปานกลาง ละเอียด และปนกรวด อย่างละ 3 บริเวณ ที่ช่วงความลึก ได้แก่ 0-Ap, Ap-60 และ 60 - 100 เซนติเมตร ทำการวิเคราะห์การกระจายอนุภาคดิน ความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) และความชื้นดินโดยปริมาตร (θ_v) ที่แรงดึงน้ำของดินที่ pF 0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.2 จากนั้นทำการประเมิน θ_{FC} จาก SWRC โดยประเมิน θ_{FC} ณ ความจุชลศาสตร์สูงสุด ($C_w(h)$) ที่คำนวณจากตัวแปรชลศาสตร์จากโมเดล van Genuchten ในโปรแกรม RETC พบว่าค่า θ_{FC} ณ $C_w(h)$ อยู่ต่ำกว่า pF 2.0 ซึ่งอยู่ในช่วง pF 0.85-1.78 ดังนั้น ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า θ_{FC} ณ $C_w(h)$ ขึ้นกับลักษณะเนื้อดิน และสามารถนำไปปรับใช้ในห้วงปฏิบัติการ เพื่อกำหนดค่าความชื้นวิกฤต ช่วงระยะเวลา และการให้น้ำสำหรับอ้อยได้แม่นยำขึ้น

คำสำคัญ: ความจุความชื้นสนาม, ความจุชลศาสตร์, ความจุความชื้นดินที่เป็นประโยชน์, เส้นกราฟโค้งการยึดน้ำของดิน (SWRC), โปรแกรม RETC, ดินปลูกอ้อย

คำนำ

การปลูกอ้อยแบบข้ามแล้งในช่วงฝนทิ้งช่วง (dry spell) ช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนมีนาคม ในจังหวัดสระแก้ว ซึ่งเป็นแหล่งปลูกที่สำคัญของประเทศไทย จำเป็นต้องมีการจัดการให้น้ำเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตอ้อย ซึ่งการกำหนดปริมาณและเวลาการให้น้ำแก่พืชทั่วไปต้องอาศัยความรู้และข้อมูลเกี่ยวกับความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน ที่ขึ้นกับความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (θ_{AWC}) ซึ่งถูกควบคุมด้วยลักษณะเนื้อดินและโครงสร้างดินเป็นสำคัญ จากการศึกษาสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ปลูกอ้อยดังกล่าว มีรายงานว่าสมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่สำคัญคือลักษณะเนื้อดิน โครงสร้างดิน และความหนาแน่นรวมของดิน มีความแปรปรวนค่อนข้างสูง (Tawornpruek *et al.*, 2015) ซึ่งส่งผลให้ค่า θ_{AWC} มีความผันแปรสูงเช่นกัน เป็นที่ทราบกันดีว่า θ_{AWC} สูงสุดในกลุ่มดินเนื้อปานกลาง รองลงมาเป็นกลุ่มดินเนื้อละเอียด และดินเนื้อหยาบตามลำดับ ซึ่งน้ำในดินถูกดูดซับไว้ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดินด้วยแรงดึงน้ำที่ระดับต่าง ๆ ที่ผันแปรตามระดับปริมาณความชื้นในดิน ระดับแรงดึงน้ำของดินเป็นค่าที่กำหนดความยากง่าย

ในการที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งค่าพิคคบนของความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชคือค่าความจุความชื้นสนาม (field capacity, θ_{FC}) ที่ระดับแรงดึงน้ำ pF 2.0 พืชดูดน้ำจากดินได้ง่ายสุด และยากเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดึงน้ำของดินเพิ่มขึ้น ขณะที่ความชื้นดินลดลงจนถึงระดับพิคกลางของความชื้นที่เป็นประโยชน์ คือจุดเหี่ยวถาวร (wilting point, θ_{WP}) ซึ่งมีระดับแรงดึงน้ำที่ pF 4.2 ช่วงความชื้นระหว่าง θ_{FC} และ θ_{WP} คือค่าความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์, θ_{AWC} หรือ $\theta_{AWC} = \theta_{FC} - \theta_{WP}$ (Yingjajaval and Sangkhasila, 1991) การศึกษาลักษณะเส้นกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (θ_v) และแรงดึงน้ำ (θ_h) ของดินที่ระดับต่าง ๆ หรือกราฟเส้นโค้งการยึดน้ำของดิน (soil water retention curve, SWRC หรือ soil water characteristic curve, SWCC) เป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการวางแผนการจัดการน้ำสำหรับพืช โดยการประเมินความชื้นวิกฤตเพื่อกำหนดเวลาและปริมาณการให้น้ำ ค่า θ_{FC} ที่ยอมรับจากผลการวัดในห้องปฏิบัติการทางฟิสิกส์ดินทั่วไปนิยมใช้กันตามประเภทเนื้อดินและลักษณะโครงสร้างดินที่แตกต่างกัน โดยมีระดับแรงดึงน้ำที่ผันแปรระหว่าง pF 1.8 - 2.5 โดยข้อมูลจากผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความจุความชื้นสนาม (field

capacity, FC) ตามคำจำกัดความที่กำหนดไว้เป็นพื้นฐานที่ยอมรับกันทั่วไป จากผลการศึกษาของ Yingjajaval and Sangkhasila (1991) สามารถอนุมานได้ว่าค่า θ_{FC} ที่ระดับ pF 2.0 ของกรมวิชาการเกษตร น่าจะอยู่ในช่วงพลังงานที่ใกล้เคียงและเหมาะสมกับดินเขตร้อน และจากการศึกษาของ Panawong (2021) พบว่า การหาค่า θ_{FC} ต้องหาค่าความจุชลศาสตร์สูงสุด $C_w(h)$ ที่มีค่าสูงสุด เพื่อประเมิน SWRC โดยใช้สมการ van Genuchten บนพื้นฐานของ Mualem (1976) และใช้โปรแกรม RETC ช่วยในการประเมินค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ (hydraulic parameters) ที่ไม่ทราบค่า และพบว่าค่า θ_{FC} ณ $C_w(h)$ สูงสุด มีค่ามากกว่าที่ความดัน 0.33 บาร์ (pF 2.5) ดังนั้น การศึกษานี้จำเป็นต้องเป็นการยืนยันการกล่าวไว้ในปี 1991 ข้างต้น ในทิศทางที่ว่าจุด θ_{FC} ควรมีความดันที่ต่ำกว่า 0.33 บาร์นั่นเอง ดังนั้นการใช้โปรแกรม RETC ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการประเมินค่าพารามิเตอร์ของสมการ van Genuchten (Alaboz *et al.*, 2021) น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีในการวิเคราะห์หาค่าพิกัดบน ในการศึกษาจึงเลือกทำการวิเคราะห์ θ_{FC} ที่ pF 2.0 เพื่อเป็นการยืนยันการกล่าวของ Yingjajaval and Sangkhasila (1991) อีกครั้งว่า θ_{FC} ควรตรงกับพลังงานในช่วงที่ต่ำกว่าค่าความดันนี้

การศึกษานี้ได้กำหนดค่า θ_{FC} ที่ระดับ $C_w(h)$ สูงสุดเป็นค่าที่เหมาะสม ทำการยืนยันเหมือนกับการศึกษาในปี ค.ศ. 2021 แต่เปลี่ยนจากระดับแรงดึงน้ำที่ pF 2.5 เป็น pF 2.0 โดยผลลัพธ์ที่ได้หากทราบค่า θ_{FC} ที่จุดที่ถูกต้องในแต่ละลักษณะเนื้อดินแล้ว สามารถนำมาปรับใช้ในห้องปฏิบัติการทางฟิสิกส์ดินได้ถูกต้อง และส่งผลให้ทราบค่า θ_{AWC} ถูกต้องแม่นยำด้วยการศึกษานี้เป็นการประเมิน θ_{FC} ของดินด้วยตัวแปรชลศาสตร์จากกราฟเส้นโค้งลักษณะความชื้นในดิน (SWRC) กับ θ_{FC} ที่วิธีมาตรฐานที่ใช้เป็นทฤษฎี เพื่อเป็นข้อมูล θ_{AWC} สำหรับวางแผนการให้น้ำ กำหนดช่วงความถี่ และปริมาณน้ำที่ให้แก่อ้อยและพืชชนิดอื่น ๆ ก่อนถึงจุดวิกฤตได้อย่างแม่นยำและถูกต้องมากขึ้นต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ศึกษาแผนที่ชุดดิน จังหวัดสระแก้ว ของกรมพัฒนาที่ดิน (scale 1 : 25,000) ปี ค.ศ. 2019 โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดิน ได้แก่ กลุ่มดินเนื้อหยาบปานกลาง ละเอียด และปนกรวด อย่างละ 3 บริเวณ โดยเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 3 ชั้นดิน ได้แก่ 0-Ap, Ap-60 และ 60 - 100 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการให้น้ำแก่อ้อยที่ปลูกในพื้นที่ดังกล่าวได้ ทำการเก็บตัวอย่างดินทั้งแบบรบกวน และไม่รบกวนโครงสร้างของดิน (disturbed and undisturbed soil samples) โดยใช้กระบอกลูกเก็บตัวอย่างดิน (soil core) และหลอดเจาะเก็บดินที่ใช้ในภาคสนามทั่วไป

2. ตัวอย่างดินแบบรบกวนโครงสร้างนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการประกอบไปด้วยการกระจายของอนุภาคดิน โดยวิธี pipette (Day, 1965) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาแจกแจงประเภทของเนื้อดิน (soil textural class) ตามระบบการจำแนกประเภทเนื้อดินที่นิยมใช้เป็นสากล (National Soil Survey Center, 1996) โดยใช้สามเหลี่ยมการแจกแจงเนื้อดินที่ดัดแปลงจาก Nemes and Rawls (2004) และชั้นของเนื้อดิน (soil textural classes) (Montanarella *et al.*, 1998) (Figure 1)

3. ตัวอย่างดินที่ไม่รบกวนโครงสร้าง นำมาวิเคราะห์ความชื้นดินโดยใช้เครื่องอัดแรงดันให้กับน้ำในดินภายในหม้อความดัน (soil moisture pressure plate apparatus, pressure cooker apparatus) (Gardner, 1965) ที่ระดับ pF 0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 4.2 จากนั้นคำนวณปริมาณความชื้นในดินของตัวอย่างโดยปริมาตร (θ_v) ($\text{cm}^3 \text{ water cm}^{-3} \text{ soil}$) ที่ความดันที่ใช้แต่ละระดับและคำนวณความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) โดยวิธีชั่งมวลดินที่อบแห้งสนิทจากตัวอย่างดินที่เก็บแบบไม่รบกวนโครงสร้างแล้วหารด้วยปริมาตรของกระบอกลูกที่ใช้เก็บตัวอย่างดินโดย core method (Blake and Hartge, 1986)

4. ทำการสร้างเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (θ_v) และแรงดึงน้ำ (θ_h) ของดินที่มีลักษณะเนื้อดินแตกต่างกัน โดยใช้โมเดล van Genuchten

(1980) ด้วยโปรแกรม RETC จำเป็นต้องมีการประเมินค่าตัวแปรทางชลศาสตร์ที่สำคัญที่ได้แก่ θ_r , θ_s , α , n และ m โดยข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างดิน คือปริมาณเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคขนาดทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay), ρ_b , θ_v ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มชนิดเนื้อดินของแต่ละระดับความลึกของดิน (Table 1 และ Table 2) เป็นข้อมูลที่ต้องบันทึกลงในโปรแกรม RETC (input data)

สำหรับการแปลงค่าความดันในหน่วย pF ($\log_{10}$ matric potential in cm H₂O) เป็นเฮดของความดัน

(pressure head (cm)) เพื่อใช้ในโปรแกรม RETC โดยที่ pF 0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 4.2 เท่ากับ 1, 10, 31.62, 100, 316.23, 1000 และ 15849 ตามลำดับ หลังจากนั้นตรวจสอบ pF 2.0 ว่าตรงกับหน่วยความดันเท่ากับกี่บาร์ (bar) โดยแปลงหน่วยเฮดความดันให้เป็นหน่วยเมตร แล้วแปลงกลับ (convert) ไปเป็นบาร์ ผลลัพธ์ที่ได้คือ 0, 0.01, 0.031, 0.098 (0.1), 0.310 (1/3 $\cong$ 0.33), 0.98 และ 15.5 บาร์ ตามลำดับ ซึ่งในขั้นตอนนี้สามารถสรุปได้ว่าที่ pF 2.0 คือความดันที่ 0.1 บาร์ และ pF 2.5 คือความดันที่ 1/3 หรือ 0.33 บาร์

Table 1. Particle size distribution and bulk density of the studied sugarcane growing soil

Depth (cm)	Average values for the RETC program			
	Particle size distribution ¹ (%)			ρ_b (g cm ⁻³)
	Sand	Silt	Clay	
Coarse to medium texture ² ; SL, SCL, LS; (n=3)				
0-Ap	70	15	15	1.59
Ap-60	65	14	21	1.70
60-100	71	14	15	1.66
Medium to fine texture; CL, (SG)L, (G)SCL, (SG)CL, (G)CL, (G)CL, (VG)SL; (n=3)				
0-Ap	30	40	30	1.40
Ap-60	32	38	30	1.57
60-100	41	28	31	1.71
Fine to very fine texture; C, (SG)C, (G)C (n=3)				
0-Ap	19	31	50	1.31
Ap-60	17	29	54	1.37
60-100	29	21	50	1.46
Gravelly (medium textured); (VG)CL, (VG)SCL, (VG)SL, (EG)SL, (EG)SCL; (n=3)				
0-Ap	59	17	24	1.59
Ap-60	62	18	20	1.65
60-100	60	16	24	1.83

¹ USDA textural classes (National Soil Survey Center, 1996): S, sand; LS, loamy sand; SL, sandy loam; SCL, sandy clay loam; SC, sandy clay; L, loam; CL, clay loam; C, clay; SiL, silt loam; SCL, silty clay loam; SiC, silty clay; Si, silt and G, gravel >35% SG = slightly gravelly, < 15 %vol; G = gravelly; 15 - 35 %vol; VG = very gravelly, 35 - 60 %vol; EG = extremely gravelly, > 60 %vol.

²FAO Soil Map of Europe (Montanarella *et al.*, 1998; Nemes and Rawls, 2004); FAO textural classes: C, coarse; M, medium; MF, medium fine; F, fine; V, very fine

Table 2. Average soil water content at different suction head varied from pF 0 to pF 4.2 within a different soil depth intervals

Code	Depth (cm)	Soil water content (cm ³ (water) cm ⁻³ (soil))						
		pF 0	pF 1.0	pF 1.5	pF 2.0	pF 2.5	pF 3.0	pF 4.2
CTM (SR6, SR9, SR10)	Ave.(0-Ap)	0.355	0.333	0.310	0.268	0.228	0.197	0.190
	Ave.(Ap-60)	0.338	0.325	0.311	0.284	0.247	0.210	0.182
	Ave.(60-100)	0.351	0.329	0.308	0.247	0.224	0.193	0.190
MTF (SR1, SR3, SR5)	Ave.(0-Ap)	0.509	0.473	0.440	0.399	0.383	0.355	0.351
	Ave.(Ap-60)	0.448	0.404	0.380	0.357	0.342	0.319	0.306
	Ave.(60-100)	0.460	0.421	0.405	0.389	0.372	0.356	0.356
FTVF (SR2, SR4, SR7)	Ave.(0-Ap)	0.574	0.500	0.458	0.416	0.392	0.364	0.360
	Ave.(Ap-60)	0.545	0.480	0.457	0.425	0.412	0.392	0.382
	Ave.(60-100)	0.558	0.522	0.495	0.466	0.449	0.434	0.434
G(M) (SR8, SR11, SR12)	Ave.(0-Ap)	0.384	0.351	0.321	0.265	0.246	0.224	0.220
	Ave.(Ap-60)	0.337	0.278	0.258	0.237	0.220	0.200	0.186
	Ave.(60-100)	0.351	0.265	0.245	0.229	0.217	0.204	0.205

5. นำค่าตัวแปรทางชลศาสตร์ (Hydraulic parameters) ต่าง ๆ จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม RETC (Table 3) มาคำนวณความชื้นของดิน (θ_h) โดยแทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ทางชลศาสตร์ดังกล่าวที่แสดงไว้ดังสมการที่ 1 ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยอาศัยโมเดลของ Mualem (1976) และ van Genuchten (1980) เป็นพื้นฐานในการคำนวณ ซึ่งดินอยู่ในฟังก์ชันของเฮดความดัน และทำการหาอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง ทำให้ทราบค่าความจุชลศาสตร์ ($C_w(h)$) ตามสมการที่ได้จากการทดลอง (Empirical Equation) ของ van Genuchten (1980) รูปฟังก์ชันไฮเปอร์โบลา ดังสมการที่ 2 ใช้คาดการณ์ SWRC (van Genuchten 1980, Panawong, 2021)

$$\theta(h) = \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha h|^n]^{1/m}} \quad (1)$$

$$C(h) = \frac{\alpha^n [\theta_s - \theta_r] m n (-h)^{n-1}}{[1 + (-\alpha h)]^{m+1} + \theta_r} \quad (2)$$

โดยที่ θ_h = ความชื้นของดินที่ระดับแรงดึงน้ำ h (cm³ cm⁻³), θ_r = ความชื้นที่ตกค้างในดิน (cm³ cm⁻³), θ_s = ความชื้นอิ่มตัวของดิน (cm³ cm⁻³), h = เฮดแรงดึงน้ำของดิน (soil water suction head, cm), α , n , m คือค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดรูปร่างของเส้นกราฟ โดย $m = 1 - (1/n)$ (Mualem, 1976) จากนั้นสร้างเส้นกราฟ SWRC แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงน้ำของดิน (h) ที่มีหน่วยเป็นค่า pF ($pF = \log_{10} h$) ระดับต่าง ๆ กับค่าความชื้นของดิน $\theta(h)$ ที่แรงดึงน้ำ (h) ระดับต่าง ๆ ที่คำนวณได้จากการแทนค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดโดยตรงในห้องปฏิบัติการ (observed data) และค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการประเมินด้วยโปรแกรม RETC (predicted data) ตามสมการที่ (1)

6. ประเมินค่าความจุชลศาสตร์ (hydraulic capacity, $C_w(h)$) โดยทำการคำนวณค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดินเทียบกับการเปลี่ยนแปลงแรงดึงน้ำของดิน ($d\theta/dh$) เพื่อแสดงระดับแรงดึงน้ำที่สามารถปลดปล่อยน้ำสูงสุดซึ่งกำหนดให้เป็นค่าความจุชลศาสตร์ $C_w(h)$ โดยนำ

Table 3. Hydraulic parameters from SWRC predicted by van Genuchten's model using RETC program version 6.02

Code	θ_s , (cm ³ cm ⁻³)	θ_r , (cm ³ cm ⁻³)	α , (cm ⁻¹)	n	m
CTM 0-Ap	0.371	0.051	0.031	1.419	0.295
CTM Ap-60	0.347	0.053	0.031	1.267	0.211
CTM 60-100	0.351	0.048	0.034	1.377	0.274
MTF 0-Ap	0.432	0.079	0.010	1.485	0.327
MTF Ap-60	0.389	0.073	0.012	1.404	0.288
MTF 60-100	0.354	0.064	0.020	1.249	0.200
FTVF 0-Ap	0.496	0.100	0.017	1.327	0.247
FTVF Ap-60	0.483	0.099	0.017	1.297	0.229
FTVF 60-100	0.448	0.094	0.019	1.272	0.214
G(M) 0-Ap	0.381	0.061	0.024	1.314	0.239
G(M) Ap-60	0.359	0.053	0.028	1.304	0.233
G(M) 60-100	0.315	0.050	0.035	1.186	0.157

θ_r : residual water content (cm³ cm⁻³), θ_s : saturated water content (cm³ cm⁻³), α (cm⁻¹), n and m are shape parameters

ค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์จากโปรแกรม RETC มาแทนค่าตัวแปรตามสมการ 3 (Mualem, 1970; van Genuchten, 1980, Panawong, 2021) ดังนี้

$$C_w(h) = \frac{\alpha^n [\theta_s - \theta_r] m n (-h)^{n-1}}{[1 + (\alpha h)]^{m+1}} \quad (3)$$

โดยที่ ความหมายตัวแปรต่าง ๆ ได้แสดงดังสมการที่ 1 และ 2 ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้โปรแกรม RETC เวอร์ชัน 6.02 เป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่าย สามารถใช้ประเมินตัวแปรทางชลศาสตร์จากข้อมูลจริงโดยใช้ลักษณะความชื้นดิน (soil water retention) และฟังก์ชันตัวแปรทางชลศาสตร์ของดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำที่ใช้อธิบายปริมาณการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านในช่วงโซนที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำของดิน โปรแกรมนี้ใช้พารามิเตอร์ของโมเดล Brooks and Corey (1964), van Genuchten. (1980), lognormal distribution model ของ Kosugi (1996) และ dual-permeability model ของ Durner (1994) (van Genuchten *et al.*, 1991)

7. ทำการประเมินความคลาดเคลื่อนของผลการประเมิน (assessment of the predictions) โดยเปรียบเทียบกับค่า θ_{FC} ที่ได้จากการวัดในห้องปฏิบัติการ กับ θ_{FC} ที่จุด $C_w(h)$ ที่คำนวณด้วยตัวแปรชลศาสตร์จากโมเดล van Genuchten ในโปรแกรม RETC โดยใช้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error; RMSE) (Table 2) ว่ามีผลความคลาดเคลื่อนอย่างไรต่อ θ_{FC} และ θ_{AWC} โดยใช้ θ_{WP} ที่จุด pF 4.2 ที่ได้จากการวัดในห้องปฏิบัติการเหมือนกันตามสมการที่ 4 (Alaboz *et al.*, 2021)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Z_i - Z)^2}{n}} \quad (4)$$

โดยที่ Z_i คือ ค่าที่ได้จากการประเมินจาก van Genuchten Model จากโปรแกรม RETC (predicted data), Z คือ ค่าที่ได้จากการทดลองที่ pF 2.0 (observed data) และ n คือ จำนวนของการทดลอง

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. การกระจายของอนุภาคดิน การจำแนกประเภทเนื้อดิน และความหนาแน่นรวมของดิน

สมบัติทางฟิสิกส์ที่สำคัญใน Table 1 คือ การแจกกระจายของอนุภาคดิน ได้แก่ %sand %silt และ %clay ดินที่ทำการศึกษาย่อยใน 3 ชั้นเนื้อดิน และดินปนกรวด (Figure 1) ได้แก่ 1. กลุ่มดินเนื้อหยาบ (coarse; C) ถึงปานกลาง (medium; M) (CTM1_SR6, CTM2_SR9, CTM3_SR10) มีเนื้อดินเป็นร่วนปนทราย ร่วนเหนียวปนทราย และทรายปนร่วน 2. กลุ่มดินเนื้อปานกลาง ถึงละเอียด (fine; F) (MTF1_SR1, MTF2_SR3, MTF3_SR5) มีเนื้อดินเป็นร่วนปนทราย ร่วนเหนียวปนทราย และร่วนเหนียว บางชั้นดินมีกรวดปนในปริมาณเล็กน้อย 3. กลุ่มดินเนื้อละเอียดถึง

ละเอียดมาก (very fine; VF) (FTVF_SR8, FTVF_SR11, FTVF_SR12) มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว และบางชั้นดินมีกรวดปนอยู่บ้าง และ 4. ดินปนกรวด (gravel) (G1_SR8, G2_SR11, G3_SR12) ซึ่งมีกรวดมากถึง 35 - 75 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อยู่ในกลุ่มดินเนื้อปานกลาง มีเนื้อดินเป็นร่วนเหนียว ร่วนเหนียวปนทราย และร่วนทราย ความหนาแน่นรวมของดิน (ρ_b) อยู่ในระดับค่อนข้างสูงถึงสูง (1.36 - 1.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยเฉพาะดินกรวดที่มีชิ้นส่วนของหินมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยทั่วไปดินบนมีความหนาแน่นรวมต่ำกว่าเนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าซึ่งเป็นลักษณะของดินเขตร้อนโดยทั่วไป และมีการเคลื่อนย้ายอนุภาคนาโนดินเหนียวสู่ดินล่างซึ่งอนุภาคจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ในที่ว่างต่างๆ ในดิน ทำให้ดินแน่นทึบขึ้น

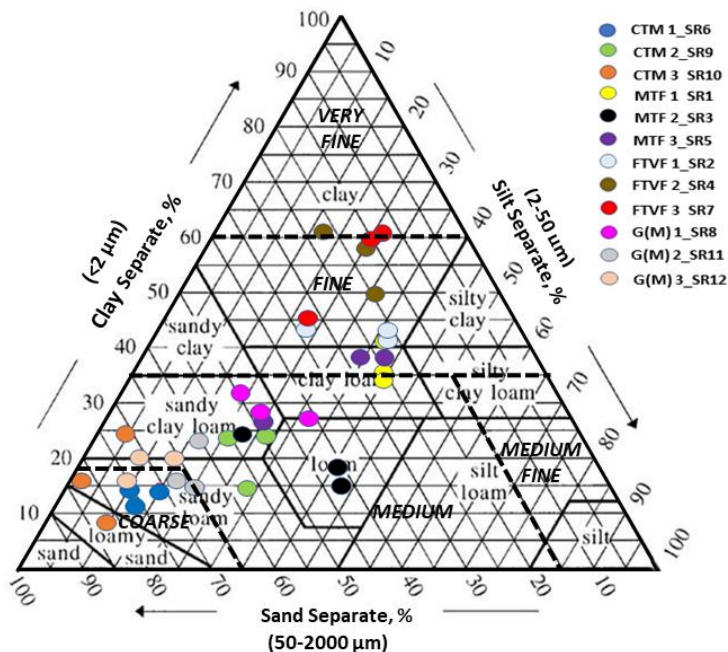


Figure 1. A triangular grid (modified from Nemes and Rawls, 2004), Textural classification systems of the study according to USDA (National Soil Survey Center, 1996), USDA classes: sand; loamy sand, sandy loam, sandy clay loam, sandy clay, loam, clay loam, clay, silt loam, silty clay loam, silty clay, silt and G, gravel >35% and as defined by the FAO Soil Map of Europe (Montanarella *et al.*, 1998; Nemes and Rawls, 2004); FAO classes: C, coarse; M, medium; MF, medium fine; F, fine; V, very fine

2. เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (θ_v) และแรงดึงน้ำ (θ_h) ของดิน (soil water retention curve, SWRC)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดโดยตรงในห้องปฏิบัติการ (observed data) ใน Table 2 และค่า θ_h ที่ได้จากการสมการที่ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากโมเดล van Genuchten (predicted data) สามารถสร้างเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (θ_v) และแรงดึงน้ำ (θ_h) ของดิน ที่ชื่อกราฟเส้นโค้งการยึดน้ำของดิน (soil water retention curve, SWRC) (Figure 2) โดยแบ่งส่วนต่าง ๆ ของกราฟเป็น 3 ช่วง ตามที่ Radcliffe and Simunek (2010) และ Panawong (2021) ได้รายงานไว้ คือ (1) air-entry คือความชื้นดินตั้งแต่จุดอิ่มตัวด้วยน้ำ (pF 0) จนถึงจุดรั่วอากาศ (pF 2.0) (2) capillary คือค่าความชื้นดินที่อาศัยแรงดึงจากช่องขนาดเล็กในดิน ซึ่งเป็นที่บรรจุน้ำที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช (3) adsorption คือค่าความชื้นดินที่ถูกดูดยึดด้วยแรงที่สูงมาก

ผลลัพธ์ที่ได้จากพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด สำหรับโมเดล van Genuchten ดังแสดงใน Table 3 ซึ่งจัดว่าเป็น best fitting ระหว่าง fitting curve จากโปรแกรม RETC และค่าที่ได้จากการวัดโดยตรง (observed) จากลักษณะของ SWRC สำหรับเนื้อดินทุกประเภท (Figure 2) พบว่า เมื่อแรงดึงของดินเพิ่มขึ้น ความชื้นดินลดลง เนื่องจากน้ำถูกดูดซับไว้ในช่องว่างขนาดเล็กเพิ่มขึ้น และแรงดูดซับจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดช่องว่างที่มีน้ำอยู่ โดยมีลักษณะกราฟเป็นแบบซิกมอยด์ (sigmoidal curve) คล้ายรูปตัวเอส (S) แต่ละลักษณะดินมีการกระจายตัวทั้งแบบไม่เกาะกลุ่ม และเกาะกลุ่ม ลักษณะของ SWRC สำหรับเนื้อดินประเภทต่าง ๆ มีความชันที่มีลักษณะคล้ายกันในทุกช่วง ยกเว้นกลุ่มดินเหนียวปานกลาง (CTM) ที่มีความชันสูงกว่ากลุ่มดินอื่น ในช่วง air-entry และ capillary มีแนวโน้มโดยรวมความชื้นต่ำสุดในทุกช่วง โดยเฉพาะชั้นดินบน (0-Ap) การมีความชื้นที่สูงส่งผลต่อสัดส่วนความชื้นดินลดลงอย่างรวดเร็ว

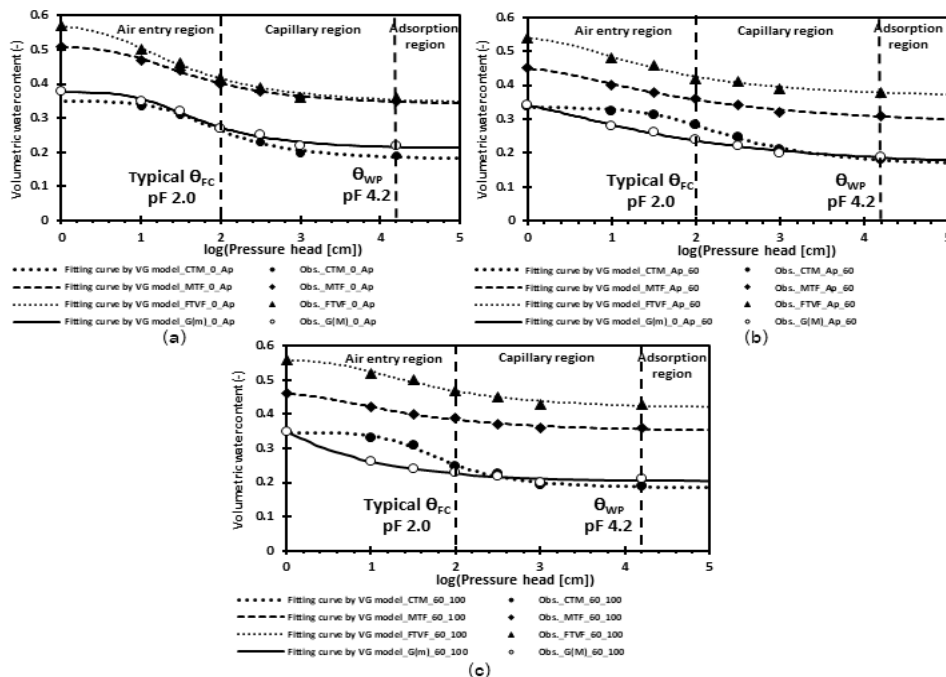


Figure 2. Prediction of the soil water retention curve (SWRC) for different soil depth interval, (a) 0 - Ap cm, (b) Ap-60 cm and (c) 60 - 100 cm, of the studied soils using the van Genuchten model by RETC program version 6.02 and Microsoft Excel

เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นเริ่มตั้งแต่ช่วง air-entry จะเห็นว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดินสูงสุดในทุกช่วงในกลุ่มดินเนื้อละเอียดถึงละเอียดมาก (FTVF) รองลงมา เป็นเนื้อปานกลางถึงละเอียด (MTF) ส่วนดินเนื้อหยาบถึงปานกลาง (CTM) กับดินกรวดที่มีเนื้อปานกลาง (G(M)) มีปริมาณน้ำใกล้เคียงกันทั้ง 3 ชั้นดิน แต่ดินกรวดมีปริมาณน้ำที่ต่ำกว่าและมีความชื้นน้อยมากแทบจะเป็นเส้นตรง เนื่องจากปริมาณกรวดที่สูง โดยเฉพาะในชั้นดินล่างที่มีกรวดถึง 37 - 75 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร (Table 1) ซึ่งส่งผลต่อการเก็บความชื้นในดิน ส่วนช่วง adsorption ปริมาณน้ำจะลดลงจนคงที่จนขนานกับแกน x เป็นจุดที่เลย θ_{wp} ที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หากดินขาดน้ำเป็นเวลานานทำให้ห้อยไม่สามารถดูดใช้น้ำและตายได้

3. ความจุศาสตร์ (hydraulic capacity; $C_w(h)$) และผลการประเมินค่าความจุความชื้นสนาม (Field capacity, FC)

ผลการประเมินค่าความจุศาสตร์ ($C_w(h)$) ที่แรงดึงน้ำระดับต่าง ๆ ที่ได้จากสมการที่ 3 นำมาสร้างกราฟ (Figure 3) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงน้ำ ($\log_{10}(h)$) ที่ระดับต่าง ๆ ที่สมดุลกับระดับความชื้นดินเดียวกันกับ $\theta(h)$ จากสมการที่ 1 แล้วพิจารณาค่าสูงสุด ($C_w(h)$) คือค่าความสูงของเส้นกราฟที่จุดสูงสุด (peak height) (Figure 3) ซึ่งตรงกับค่า $\theta(h)$ ของสมการ 1 ที่เท่าไร นั่นคือ θ_{FC} ที่ $C_w(h)$ มีค่าสูงสุด ซึ่งเป็นจุด θ_{FC} ที่ได้จากโมเดล ซึ่งมีผลดังนี้ CTM_0-Ap, CTM_Ap-60, CTM_60-100, MTF_0-Ap, MTF_Ap-60, MTF_60-100, FTVF_0-Ap, FTVF_

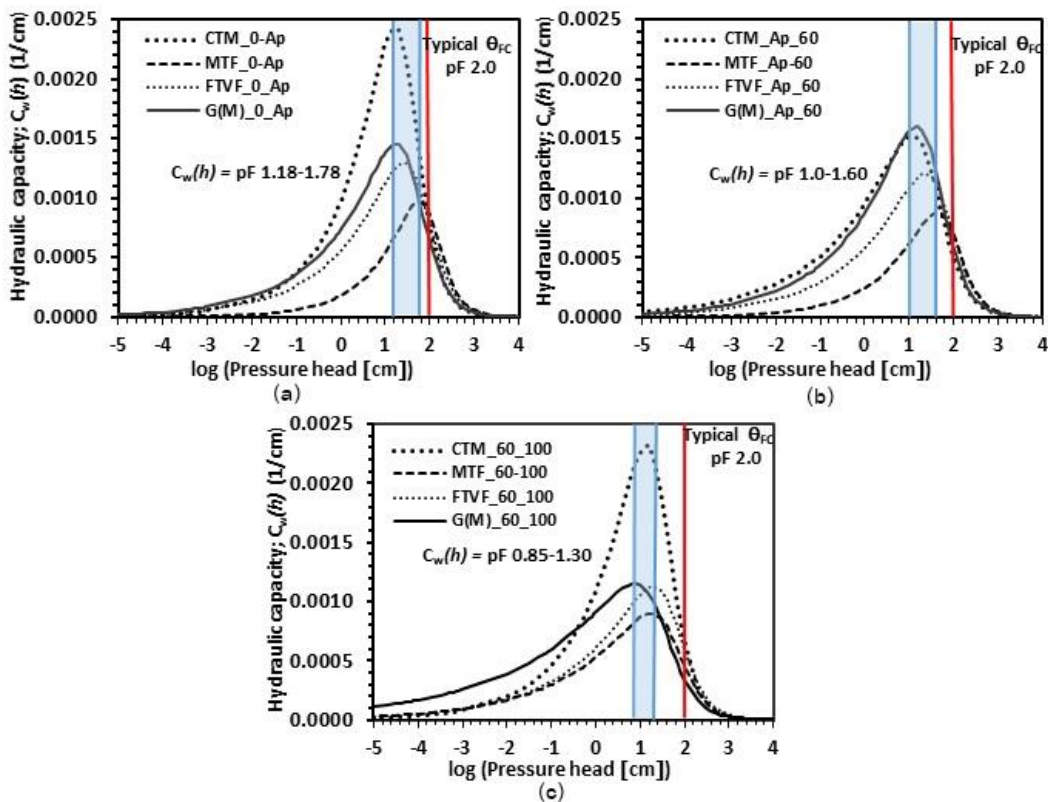


Figure 3. Prediction of maximum hydraulic capacity ($C_w(h)$) at peak height (equation 3) with aqua $\theta(h)$ (equation 1) using the van Genuchten's model by the RETC Program version 6.02 and Microsoft excel., (a) 0-Ap cm, (b) Ap-60 cm and (c) 60-100 cm of soil depth in different of soil types

Ap-60, FTVF_60-100, G(M)_0-Ap, G(M)_Ap-60 และ G(M)_60 - 100 มีค่า θ_{FC} ณ ความจุชลศาสตร์สูงสุด $C_w(h)$ คือ 0.345, 0.334, 0.325, 0.391, 0.363, 0.339, 0.465, 0.464, 0.430, 0.357, 0.339 และ 0.308 cm^3 (water) cm^{-3} (soil) ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง (observed) ดังแสดงใน Table 4 และ Table 5 และอยู่ในช่วงต่ำกว่า pF 2.0 คืออยู่ในช่วง pF 0.85 - 1.78 (Figure 3) จากผลการศึกษานี้อนุมานได้ว่าหากมีการประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ในห้วงปฏิบัติการจุด θ_{FC} ควรอยู่ที่ความดันที่ต่ำกว่า pF 2.0 หากไม่พิจารณา θ_{FC} ณ $C_w(h)$ ดังสมการที่ 1 และ 3 และผลที่ได้สอดคล้องครอบคลุมกับ Yingjajaval and Sangkhasila (1991) ซึ่งสามารถนำมาปรับใช้ในห้วงปฏิบัติการได้

4. การประเมินผลการใช้โมเดล van Genuchten ในโปรแกรม RETC

จากการศึกษาพบว่า θ_{FC} ณ ความจุชลศาสตร์สูงสุด ($C_w(h)$) ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดค่า θ_{FC} ที่ประเมินได้จากโมเดล van Genuchten ใน RETC (predicted θ_{FC})

ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่ค่าดังกล่าวสูงกว่าค่า θ_{FC} ที่ pF 2.0 ที่วัดได้จากตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการซึ่งใช้อ้างอิงกันทั่วไปในงานวิจัยทางด้านปฐพีวิทยา อย่างไรก็ตามค่า θ_{FC} ที่ได้จากโมเดล ของเนื้อดินบางประเภทในบางชั้นดินพบว่า มีค่าที่น้อยกว่าอยู่บ้าง คือในชั้นความลึก 0-Ap และ 60 - 100 เซนติเมตร ของกลุ่มดินเนื้อปานกลางถึงละเอียด และ 60 - 100 เซนติเมตร ของกลุ่มดินเนื้อละเอียดถึงละเอียดมาก (Table 4) ผลการศึกษาส่วนใหญ่สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Panawong (2021) ที่ทำการศึกษเกี่ยวกับคุณภาพเชิงฟิสิกส์ของดินลูกรังที่ได้รับอิทธิพลจากป่าเต็งรังและการเพาะปลูกพืชเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของ θ_{AWC} ที่ได้จากทั้งสองวิธี หากใช้ θ_{AWC} จาก θ_{FC} ทั้งหมดเพื่อวัตถุประสงค์ในการชลประทาน θ_{AWC} ที่ความคลาดเคลื่อนจากโมเดลที่ใช้ทำการศึกษาค่าความเป็นจริงที่จุด θ_{FC} ณ $C_w(h)$ และส่งผลให้ θ_{AWC} มีความคลาดเคลื่อนจากค่าความเป็นจริงอยู่ประมาณ ± 6.29 เปอร์เซ็นต์ (Table 5) ซึ่งส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนต่อ θ_{AWC} ในระดับความลึก 100 เซนติเมตร (Table 6) อย่างเห็นได้ชัดเจน

Table 4. Determination of available water capacity (θ_{AWC}) using $\theta_{FC} = \theta_h$ at pF 2.0 and θ_h at $C_w(h)$ (Equa.3) from the predicted SWRC and wilting point (θ_{WP}) at pF 4.2 from observed data

Soil texture classes	θ_{FC} (cm^3 (water) cm^{-3} (soil))		θ_{WP} (cm^3 (water) cm^{-3} (soil)) (pF 4.2)	θ_{AWC} (cm^3 (water) cm^{-3} (soil))	
	(At pF 2.0)	(θ_h at $C_w(h)$)		(pF 2.0-4.2)	(θ_h at $C_w(h)$ - pF 4.2)
CTM 0-Ap	0.268	0.345	0.190	0.078	0.154
CTM Ap-60	0.284	0.334	0.182	0.101	0.152
CTM 60-100	0.247	0.325	0.190	0.056	0.134
MTF 0-Ap	0.399	0.391	0.351	0.048	0.039
MTF Ap-60	0.357	0.363	0.306	0.051	0.057
MTF 60-100	0.389	0.339	0.356	0.033	-0.017
FTVF 0-Ap	0.416	0.465	0.360	0.056	0.105
FTVF Ap-60	0.425	0.464	0.382	0.042	0.047
FTVF 60-100	0.466	0.430	0.434	0.032	-0.004
G(M) 0-Ap	0.265	0.357	0.220	0.045	0.137
G(M) Ap-60	0.237	0.339	0.186	0.051	0.153
G(M) 60-100	0.229	0.308	0.205	0.024	0.103

Table 5. Root mean square error (RMSE) between predicted and observed θ_{FC} and θ_{AWC}

Horizon	Field capacity (θ_{FC}) (cm ³ water cm ⁻³ soil)				Available water capacity (θ_{AWC}) (cm ³ water cm ⁻³ soil)			
	Predicted θ_{FC} (A)	Observed θ_{FC} (B)	A-B	(A-B) ²	Predicted θ_{AWC} (A)	Observed θ_{AWC} (B)	A-B	(A-B) ²
CTM 0-Ap	0.345	0.268	0.077	0.0059	0.1549	0.078	0.0770	0.0059
CTM Ap-60	0.334	0.284	0.050	0.0025	0.1518	0.102	0.0500	0.0025
CTM 60-100	0.325	0.247	0.078	0.0061	0.1345	0.057	0.0780	0.0061
MTF 0-Ap	0.391	0.399	-0.008	0.0001	0.0397	0.048	-0.0080	0.0001
MTF Ap-60	0.363	0.357	0.006	0.0000	0.0575	0.052	0.0060	0.0000
MTF 60-100	0.339	0.389	-0.050	0.0025	-0.0168	0.033	-0.0500	0.0025
FTVF 0-Ap	0.465	0.416	0.049	0.0024	0.1049	0.056	0.0490	0.0024
FTVF Ap-60	0.464	0.425	0.039	0.0015	0.0818	0.043	0.0390	0.0015
FTVF 60-100	0.430	0.466	-0.036	0.0013	-0.0040	0.032	-0.0360	0.0013
G(M) 0-Ap	0.357	0.265	0.092	0.0085	0.1369	0.045	0.0920	0.0085
G(M) Ap-60	0.339	0.237	0.102	0.0104	0.1526	0.051	0.1020	0.0104
G(M) 60-100	0.308	0.229	0.079	0.0062	0.1028	0.024	0.0790	0.0062
N = 12 $\Sigma(Zi-Z)^2 = 0474$, $\Sigma(Zi-Z)^2/N = 0.00395$, %RMSE = 6.29					$\Sigma(Zi-Z)^2 = 0474$, $\Sigma(Zi-Z)^2/N = 0.00395$, %RMSE = 6.29			

Table 6. Amount of available water capacity (mm) at a depth of 100 centimeters

Horizon	Average depth of horizon (cm)				Predicted θ_{AWC} (mm) ¹			Observed θ_{AWC} (mm)		
					θ_{FC}	θ_{FC}	θ_{AWC}	θ_{FC}	θ_{FC}	θ_{AWC}
		θ_{WP} (cm ³ cm ⁻³)	θ_{WP} (mm)		(cm ³)	(mm)	(mm)	(cm ³ cm ⁻³)	(mm)	(mm)
CTM 0-Ap	23	0.190	44	0.345	80	36		0.268	63	18
CTM Ap-60	37	0.182	67	0.334	124	56		0.284	105	38
CTM 60-100	40	0.190	76	0.325	130	54		0.247	99	23
Total θ_{AWC} are intervals at a length of 1 m of soil water							146	78		
MTF 0-Ap	27	0.351	94	0.391	104	11		0.399	106	13
MTF Ap-60	33	0.306	101	0.363	120	19		0.357	118	17
MTF 60-100	40	0.356	142	0.339	136	-7		0.389	156	13
Total θ_{AWC} are intervals at a length of 1 m of soil water							30	43		
FTVF 0-Ap	30	0.360	108	0.465	140	32		0.416	125	17
FTVF Ap-60	30	0.382	115	0.464	139	25		0.425	128	13
FTVF 60-100	40	0.434	174	0.430	172	-2		0.466	186	13
Total θ_{AWC} are intervals at a length of 1 m of soil water							54	42		
G(M) 0-Ap	28	0.220	62	0.357	101	39		0.265	75	13
G(M) Ap-60	32	0.186	60	0.339	109	49		0.237	76	16
G(M) 60-100	40	0.205	82	0.308	123	41		0.229	92	10
Total θ_{AWC} are intervals at a length of 1 m of soil water depth.							129	38		

¹The predicted volumetric water content for each soil depth (mm). The θ_{AWC} in cm³ cm⁻³ units was calculated by multiplying the thickness of the soil horizon (mm) by the amounts of θ_{AWC} . The summation of θ_{AWC} from each soil horizon is the total θ_{AWC} within 1 m of soil water depth

5. การประเมินปริมาณความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ในดิน (total available water capacity, TAWC) ในช่วงความลึกต่าง ๆ ของดินเพื่อการวางแผนชลประทานในการปลูกอ้อย

เป็นที่ทราบกันดีว่าพืชสามารถใช้น้ำที่ติดกักเก็บเอาไว้ได้ ในช่วงความลึกเกินกว่าความลึกของรากพืชได้ค่อนข้างดีโดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งที่มีน้ำไม่เพียงพอตามความต้องการของพืช เราจึงจำเป็นต้องทราบ θ_{FC} ที่แน่นอนและถูกต้อง เพื่อนำมาคำนวณ θ_{AWC} ($\theta_{AWC} = \theta_{FC} - \theta_{wp}$) ได้อย่างแม่นยำ ซึ่งเป็นกุญแจที่สำคัญจากผลการศึกษาใน Table 6 พบว่า θ_{AWC} ที่คำนวณได้ในหน่วยความสูงของน้ำในหน่วยมิลลิเมตร (มม.) ที่ระดับความลึก 100 เซนติเมตร ที่ได้จากจุด ณ ความจุชลศาสตร์สูงสุด ($C_w(h)$) มีค่ามากกว่าที่ได้จากจุด θ_{FC} ที่ pF 2.0 คือ 1.9, 0.7, 1.3 และ 3.4 เท่า โดยเฉพาะในดินปนกรวดที่มีเนื้อดินปานกลาง

สำหรับอ้อย Allen *et al.* (1998) รายงานว่าเมื่อระดับความชื้นดินที่ลดลงมากกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ของ θ_{AWC} หรือความชื้นในดินลดลงเหลือประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ ของ θ_{AWC} ที่ระดับความลึกของราก 100 เซนติเมตร อ้อยแสดงอาการขาดน้ำ ซึ่งถือว่าเป็นจุดวิกฤตของการขาดน้ำในอ้อย ซึ่งเรียกว่าค่า p ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับพืชและชนิดของดิน ความชื้นที่ลดลงนั้นเกิดจากปริมาณการใช้น้ำของพืช ซึ่งแต่ละชนิดพืชมีปริมาณการใช้น้ำที่ต่างกันออกไป Paisanchaoen *et al.* (2012) พบว่า ความต้องการน้ำของอ้อย (พันธุ์ขอนแก่น 3) อ้อยปลูก ที่อายุ 0 - 30, 31 - 170, 171 - 295 และ 296 - 330 วัน มี ET_c 1.1, 4.4, 10.2 และ 6.4 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ส่วนอ้อยต่อที่อายุ 0 - 45, 46 - 120, 121 - 225, 226 - 330 และ 331 - 360 วัน มี ET_c 3.4, 2.6, 5.8, 12.5 และ 3.3 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งค่า ET_c แต่ละวันนี้สามารถใช้ทำประเมินช่วงความถี่ของการให้น้ำแก่อ้อยได้จาก Table 6 แสดงให้เห็นว่าการใช้ θ_{AWC} ที่ค่า ($C_w(h)$) สูงสุดมีค่าสูงกว่า θ_{AWC} ที่ pF 2.0 และจากการศึกษาของ Allen *et al.* (1998) อนุมานได้ว่าหากใช้ค่า θ_{AWC} ที่ค่า ($C_w(h)$) นี้ในการวางแผนการให้น้ำ นอกจากทราบปริมาณน้ำที่มีแนวโน้มเหมาะสมกับประเภทของเนื้อดินแล้ว ยังทำให้

การประเมินน้ำที่ให้แก่พืชเพิ่มมากขึ้น โดยใช้เวลาการให้น้ำแต่ละครั้งนานขึ้น แต่จำนวนความถี่ของการให้น้ำลดน้อยลง มีผลทำให้ประหยัดเวลาและแรงงานในการจัดการน้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูก อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการทดลองการให้น้ำแก่อ้อยในแต่ละลักษณะเนื้อดิน โดยเปรียบเทียบปริมาณการให้น้ำและช่วงระหว่าง θ_{AWC} ณ $C_w(h)$ กับค่า θ_{AWC} ที่ pF 2.0 ในสภาพเนื้อดินที่ต่างกัน โดยอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศ โดยวิเคราะห์หาปริมาณความต้องการน้ำของอ้อยแต่ละช่วง (crop evapotranspiration; ET_c) (Allen *et al.*, 1998) ได้จากสมการ $ET_c = K_c \times ET_o$ โดยที่ K_c คือค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช, ET_o การใช้น้ำอ้างอิงของพืช โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ และข้อมูลเชิงพื้นที่ในการศึกษา

สรุป

การศึกษานี้บ่งชี้ให้เห็นว่า θ_{FC} และค่า θ_{AWC} ณ $C_w(h)$ ที่ประเมินได้โดยใช้โปรแกรม RETC ที่อาศัยข้อมูลการกระจายของอนุภาคดิน, p_b และ θ_v เป็นหลักในการวิเคราะห์ตัวแปรชลศาสตร์ต่าง ๆ ด้วยโมเดล van Genuchten ที่ได้มีค่าสูงกว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยตรงจากห้องปฏิบัติการของกลุ่มเนื้อดินเกือบทุกประเภท ยกเว้นกลุ่มดินเนื้อปานกลางและดินเนื้อละเอียดบางชั้นดินที่มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการวัดโดยตรง ซึ่งการประเมินด้วยโมเดลมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่วัดได้โดยตรงในห้องปฏิบัติการโดยวิธีมาตรฐาน อยู่ประมาณ ± 6.29 เปอร์เซ็นต์ โดยกลุ่มเนื้อดินทั้ง 4 ลักษณะดิน มีค่า θ_{FC} ณ $C_w(h)$ อยู่ในช่วง pF 0.85 - 1.78 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการประเมิน θ_{AWC} จากค่า θ_{FC} ณ $C_w(h)$ มีความจำเพาะเหมาะสมกับลักษณะเนื้อดินบางประเภท และเป็นแนวทางในการประเมิน θ_{AWC} เพื่อการกำหนดปริมาณ ความถี่ และระยะเวลาในการให้น้ำของอ้อยและพืชชนิดอื่น อย่างไรก็ตามควรต้องทำการศึกษาทดสอบในสภาพแปลงทดลองเกี่ยวกับเรื่องความสัมพันธ์ระหว่าง ดิน น้ำ พืช ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) และขอขอบคุณคุณอนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์ ผู้อำนวยการกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา ดร.ศุภกาญจน์ ล้วนมณี ผู้เชี่ยวชาญด้านดินและปุ๋ย กรมวิชาการเกษตร ที่มอบความสะดวกในเรื่องของเครื่องมือ และสถานที่ในการศึกษา และขอบคุณคุณชัยณรงค์ สุขหรั่ง คุณเอี่ยมสำอางค์ โพธิ์สุวรรณ คุณปรานิน วิเศษแก้ว คุณไวยยาณี มั่นธรรมกุล สำหรับการเตรียมตัวอย่างและร่วมวิเคราะห์คุณประไพ พิศ ศรีมาวงษ์ คุณธัญพร ปนวงษ์ และ ดร.ณัฐพร ประคองเก็บ สำหรับการช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- Alaboz, P., S. Demir, O. Dengiz and İ. Öz. 2021. Effect of biogas waste applications on soil moisture characteristic curve and assessment of the predictive accuracy of the van Genuchten model. *Eurasian Journal of Soil Science* 10(2): 142-149.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome. 300 p.
- Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density. pp 363-375. *In*: A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed. American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin.
- Brooks, R.H., and A.T. Corey. 1964. "Hydraulic properties of porous media". *Hydrology Paper No. 3*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado. 37 p
- Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. pp.545-567. *In*: C.A. Black, D.D. Evaris, L.E. Ensminger, J.L. White and F.E. Clark (eds.). *Methods of Soil Analysis: Part 1: Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling*. American Society of Agronomy. Inc, Madison, Wisconsin.
- Durner, W. 1994. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. *Water Resources Research* 30(2): 211-223.
- Gardner, W.H. 1965. Water content. pp. 82-127. *In*: C.A. Black, D.D. Evaris, L.E. Ensminger, J.L. White and F.E. Clark (eds.). *Methods of Soil Analysis: Part 1: Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling*. American Society of Agronomy. Inc, Madison, Wisconsin.
- Kosugi, K. 1996. Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties. *Water Resources Research* 32(9): 2697-2703.
- Montanarella, L., F. Kaser and B. Hansen. 1998. European soil databases as a tool for EU risk assessment and decision making. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 17(5): 257-263.
- Mualem, Y. 1976. *A Catalogue of the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*. Technion Israel Institute of Technology, Technion Research and Development Foundation, Haifa. 100 p.
- National Soil Survey Center. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska. 693 p.

- Nemes, A. and W.J. Rawls. 2004. Soil texture and particle-size distribution as input to estimate soil hydraulic properties. *Developments in Soil Science* 30: 47-70.
- Paisancharoen, K., T. Sansayawichai, S. Luanmanee, S. Thippayarugs, K. Chusorn, J. Chuenrung and C. Pakdeethai. 2012. Water requirement and Kc values of Khon Kaen 3 sugarcane variety. *Khon Kaen Agriculture Journal* 40(Suppl. 3): 103-114. (in Thai)
- Panawong, T. 2021. Physical quality and fertility of lateritic soils as influenced by dry dipterocarp forest and crop cultivation. M.S. Thesis. Kasetsart University, Bangkok. 86 p.(in Thai)
- Radcliffe, D.E. and J. Simunek. 2010. *Soil Physics with Hydrus: Modeling and Applications*. CRC Press, Boca Ration.
- Tawornpruek, S., P. Pinjai, N. Chittamart, T. Darunsonthaya, R. Charoensri, R. Lertphayakkharatsri, S. Wattana, K. Homyamyen, D. Waicharean and B. Rosopha. 2015. Development of soil quality and productivity index for sugarcane production in the eastern region of Thailand. Research report. Thailand Science Research and Innovation, Bangkok. 96 p. (in Thai)
- van Genuchten, M.T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44(5): 892-898.
- van Genuchten, M.T., F.J. Leij and S.R. Yates. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. Oklahoma: EPA/600/2-91/065. U.S Environmental Protection Agency, ADA, Oklahoma. 85 p.
- Yingjajaval, S. and K. Sangkhasila. 1991. The upper limit of available water for Kamphaeng Saen soil series. *Agriculture and Natural Resources* 25: 177-190. (in Thai)
-