



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อการเกษตร

Development of Instrument to Measure Soil Moisture by Evaluating Electrical
Resistance for Agricultural Purpose

نامผู้วิจัย นายศักดิ์ชัย เล้าภากรณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์กอบเกียรติ ผ่องบุผิ, Ph.D.)

กรรมการ

(อาจารย์ธนะ บุญญศิริกุล, D.Eng.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุทธศักดิ์ สรลัมพ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์สุรัช ลิปิวัฒนาการ, M.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อการเกษตร

Development of Instrument to Measure Soil Moisture by Evaluating
Electrical Resistance for Agricultural Purpose

โดย

นายศักดิ์ชัย เล้าภากรณ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

พ.ศ. 2552

ศักดิ์ชัย เล้าภากรณ์ 2552: การพัฒนาเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อการเกษตร ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)
สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ปรธานกรรมการ
ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ, Ph.D. 82 หน้า

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาเพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าสำหรับการให้น้ำชลประทาน โดยสามารถติดตั้งต้นแบบเครื่องมือดังกล่าวนี้ได้ในพื้นที่เพาะปลูกพืชชนิดต่างๆ การวัดความชื้นในชั้นดินบริเวณเพาะปลูกพืช ซึ่งให้ผลการวัดเสมือนพฤติกรรมตามธรรมชาติของการดูดซึมน้ำทางรากของพืช เพื่อเป็นการกำหนดการให้น้ำชลประทานแก่พืช การพัฒนาเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง สำหรับผู้ที่ต้องการนำไปใช้งานด้านบริหารจัดการน้ำในภาคเกษตรกรรม

ต้นแบบเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้า ได้ออกแบบหัววัดความชื้นมีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตรส่วนปลายมีแท่งโลหะทำจากสแตนเลส 2 แท่ง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตรและมีระยะห่างระหว่างแท่งสแตนเลสเท่ากับ 1.4 เซนติเมตรเพื่อฝังลงไปดินบริเวณที่ต้องการทราบความชื้น หัวตรวจวัดจะทำการวัดความชื้นของดินออกมาในรูปของแรงดันไฟฟ้าจากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินจะทำให้ทราบผลความชื้นในดิน

ผลการศึกษาพบว่า การสอบเทียบเครื่องมือโดยการอ่านค่าแล้วแปรผลเทียบกับปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดลองมีช่วงแรงดันไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 4 โวลท์ มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ - 6.26 ค่า RMS Error เท่ากับ 0.27 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.969 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิและช่วงระยะเวลาของการเติมน้ำพบว่าอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้น (k) มีค่าเปลี่ยนแปลงตามระดับอุณหภูมิและช่วงฤดู ค่า k เท่ากับ 0.856 สำหรับดินในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนและ 0.916 สำหรับดินในช่วงฤดูฝน

Sakchai Laopakorn 2009; Development of Instrument to Measure Soil Moisture by Evaluating Electrical Resistance for Agricultural Purpose. Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Kobkiat Pongput, Ph.D. 82 pages.

This thesis is to study in order to design and develop the original model to measure moisture in soil by evaluating electrical resistance for irrigation water. It can be set up in any arable farm land to determine moisture in soil layer where crops to be planted. The outcomes to be like the nature behavior of plant root soaking up water. It is used to allocate the irrigation water requirement of crops. The development of this device is an alternative for those who are looking to manage water in agricultural section.

The original device has been designed the measuring probe head to be a cylindrical shape of 2 cm. diameter with its end part shaped as 2 rods made from stainless to size, 0.4 cm. diameter 6.0 cm. length and spacing in between equaled to 1.4 cm.. The measuring head has been buried underground in the area where moisture to be determined. Moisture to be assessed in the form of electrical voltage after which the results to be compared using the table showing relation between electrical voltage and percentage of moisture in soil to determine the amount of moisture in soil.

Consequently, the study has found that obtained values from the device compared to moisture acquired from the experiment had the voltage lied between 0.5 and 4.0 volts. The inaccuracies are -6.26 %, RMS error being 0.27 and coefficient of correlation (r) exists 0.969. Regarding the examined parameters in laboratory where temperature and time to fill up water are controllable, reduction ratio of moisture (k) varied as to the temperature and seasonal stipulation, ie. k equaled to 0.856 for soil in winter as well as summer and 0.916 for those in rainy season.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มาด้วยดีโดยตลอด ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ธนะ บุญญศิริกุล กรรมการวิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์ กรรมการวิชาการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรดา ดวงเดือน ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณนพดล คะเตปะนันทน์ และทีมงานส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิศวกรรม สำนักงานวิจัยและพัฒนา ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำเครื่องมือประกอบการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย ที่คอยช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำทุกท่าน ได้อำนวยความสะดวกตลอดมา

ขอขอบคุณ พี่ เพื่อน และน้องๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือให้กำลังใจ ชี้แนะและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้

ศักดิ์ชัย เล้าภากรณ์

พฤษภาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	25
อุปกรณ์	25
วิธีการ	28
ผลและวิจารณ์	44
ผล	44
วิจารณ์	55
สรุปและข้อเสนอแนะ	56
สรุป	56
ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	60
ภาคผนวก	63
ภาคผนวก ก แบบรายละเอียดเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้า	64
ภาคผนวก ข ภาพถ่ายเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าและการวัดความชื้นในดิน และการสอบเทียบเครื่องมือ	67
ภาคผนวก ค การหาค่าอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้น Recession Contant (k)	80
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	82

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนประกอบและคุณสมบัติบางอย่างของเนื้อดิน	6
2	ประเภทของเนื้อดิน ข้อดีและข้อเสียของเนื้อดินแต่ละกลุ่ม	8
3	ค่าความชื้นชลประทานและความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรของดินชนิดต่างๆ	11
4	ค่าแอสเดรตของ A_0 - A_3	34
5	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นดินกับปริมาณน้ำ	38
6	การทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของดินตามระยะเวลา	41
7	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและอุณหภูมิของดินหลังการเติมน้ำ	47
8	ผลการทดสอบหาค่าอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นในชั้นดิน ระยะเวลา 15 วัน	54

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สามเหลี่ยมมาตรฐานเพื่อการจำแนกประเภทเนื้อดิน	7
2	ระดับน้ำในดินและความชื้นของดินที่จุดต่างๆ	11
3	ส่วนประกอบเครื่องวัดความชื้นในดินของ อิทธิสุนทร	18
4	เครื่องมือวัดความชื้นในดินของ Weil	19
5	เครื่องมือวัดความชื้นในดินของ Stephen and Davis	20
6	แบบจำลองค่าดัชนีความชื้นในดินในขณะที่ไม่มีฝน	22
7	แบบจำลองค่าดัชนีความชื้นในดินในขณะที่มีฝนตก	23
8	กระถางใส่ตัวอย่างดิน	26
9	ท่อเจาะนำ	27
10	หัวตรวจวัดสำหรับวัดความชื้นในดิน	27
11	ตัวแปลงสัญญาณพร้อมส่วนแสดงผลและเก็บบันทึกข้อมูล	28
12	แผนผังวิธีการศึกษารูปแบบเครื่องมือวัดความชื้นในดิน	29
13	วงจรในการวัดค่าแรงดันที่คร่อม Probe	32
14	วงจรที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแหล่งจ่ายแปลงความต้านทานเป็นแรงดันไฟฟ้า	32
15	เครื่องมือวัดความชื้นในดิน	36
16	การหาค่า Soil Water Content	42
17	การหาค่า Normalized Water Content เพื่อหาค่า k	43
18	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นดินจากเตาอบกับค่าแรงดันไฟฟ้า	45
19	ผลการทดสอบการหาขนาดผลของเม็ดดิน	46
20	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในดินกับเวลาของดินตัวอย่างที่ 1	48
21	การ Normalized หาอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นในดินตัวอย่างที่ 1	48
22	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในดินกับเวลาของดินตัวอย่างที่ 2	48
23	การ Normalized หาอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นในดินตัวอย่างที่ 2	49
24	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในดินกับเวลาของดินตัวอย่างที่ 3	50
25	การ Normalized หาอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นในดิน ตัวอย่างที่ 3	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในดินกับเวลาของดินตัวอย่างที่ 4	51
27	การ Normalized หาค่าอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นในดินตัวอย่างที่ 4	51
28	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในดินกับเวลาของดินตัวอย่างที่ 5	52
29	การ Normalized หาค่าอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นในดินตัวอย่างที่ 5	52
30	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในดินกับเวลาของดินตัวอย่างที่ 6	53
31	การ Normalized หาค่าอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นในดินตัวอย่างที่ 6	53
ภาพผนวกที่		
ก1	หัตถ์ตรวจวัดความชื้นในดิน	65
ก2	ส่วนแปลงสัญญาณแสดงผลและเก็บบันทึกข้อมูล	66
ข1	รูปเครื่องมือวัดความชื้นในดินพร้อมเครื่องแสดงผลและบันทึกข้อมูล	68
ข2	กระถางใส่ดินตัวอย่างที่ตั้งกลางแดดและในร่ม	69
ข3	การเจาะนำในดินที่ความลึกต่างๆ	70
ข4	การวัดความชื้นในดินที่ระดับความลึกต่างๆ	72
ข5	ดินตัวอย่างสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัดความชื้นในดิน	74
ข6	การวัดความชื้นในดินทรายเพื่อสอบเทียบเครื่องมือ	75
ข7	การวัดความชื้นในดินทรายโดยเครื่องมืออ้างอิง	76
ข8	การวัดความชื้นในดินเหนียวโดยเครื่องมือที่สร้างขึ้นกับเครื่องมืออ้างอิง	77
ข9	การหาความชื้นในดินโดยน้ำหนักเพื่อสอบเทียบเครื่องมือ	78
ข10	การอบดินตัวอย่างเพื่อหาความชื้นโดยน้ำหนัก	79

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

API	=	ค่าดัชนีความชื้นของดินอันเนื่องมาจากฝน
API_t	=	ค่าดัชนีความชื้นของดินอันเนื่องมาจากฝนของวันที่พิจารณา
API_{t-1}	=	ค่าดัชนีความชื้นของดินอันเนื่องมาจากฝนของวันก่อนหน้า
Et	=	ปริมาณการคายระเหยน้ำของพืช
Et_{t-1}	=	ปริมาณการคายระเหยน้ำสูงสุดของวันก่อนหน้า
FC	=	ความชื้นชลประทานหรือความจุความชื้นในสนาม
k	=	ค่าอัตราส่วนลดของปริมาณน้ำในชั้นดิน
n	=	จำนวนตัวอย่างที่พิจารณา
P_t	=	ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในวันนั้น
PWP	=	ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉา
r	=	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
SWC	=	Soil Water Cont
WC	=	ปริมาณความชื้นในดิน
Wm_{t-1}	=	ค่าสูงสุดของปริมาณน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการคายระเหยน้ำ
$\overline{w_o}$	=	ปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยในห้องปฏิบัติการ
$\overline{w_c}$	=	ปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยจากเครื่องมือวัด
w_{oi}	=	ปริมาณความชื้นในดินในห้องปฏิบัติการ
w_{ci}	=	ปริมาณความชื้นในดินจากเครื่องมือวัด

การพัฒนาเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อการเกษตร

Development of Instrument to Measure Soil Moisture by Evaluating Electrical Resistance for Agricultural Purpose

คำนำ

เครื่องมือวัดความชื้นในดิน เป็นเครื่องมือวัดหาปริมาณความชื้นในดิน มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการกำหนดการให้น้ำชลประทานแก่พืช ในพื้นที่ที่น้ำหายากหรือคุณภาพของดินบริเวณนั้นไม่ดี การให้น้ำแก่พืชได้ทันเวลาตามที่พืชต้องการ จะเป็นการช่วยลดความเสียหายต่อผลผลิตของพืชอันเนื่องมาจากการขาดน้ำ การให้น้ำควรจะกำหนดเพื่อให้ได้ผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของน้ำที่ใช้สูงสุด นอกจากนั้นการกำหนดการส่งน้ำอาจจะต้องปรับเพื่อให้เข้ากับสภาพแวดล้อมอย่างอื่นอีก เช่น ปรับการส่งน้ำให้เข้ากับกำหนดการส่งน้ำจากโครงการชลประทาน เพื่อให้เข้ากับการทำงานอย่างอื่นในพื้นที่นั้นๆ ด้วย เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการให้น้ำให้มีน้อยที่สุด

การกำหนดการให้น้ำอาจพิจารณาได้จาก ลักษณะอาการของพืช คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับปริมาณความชื้นของดิน ซึ่งมีการวัดปริมาณความชื้นของดินโดยตรง การดูลักษณะ และความรู้สึกจากการสัมผัสเนื้อดิน ตลอดจนการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์วัดคุณสมบัติบางอย่างแล้วเทียบเป็นปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในขณะนั้น ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือ การหาว่าดินยังมีความชื้นเหลืออยู่เท่าใด โดยการคำนวณจากการใช้น้ำของพืช

ในหลายวิธีที่กล่าว มีอยู่วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันในงานชลประทาน คือการใช้เครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้า Electrical Resistance แต่เนื่องจากเครื่องมือชนิดนี้ที่มีขายในปัจจุบัน มีราคาแพงมาก บางรุ่นบางยี่ห้อ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ มีความซับซ้อนในการใช้งาน จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาและวิจัย เครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้า โดยใช้วัสดุที่มีอยู่ในประเทศ เป็นเครื่องมือที่ใช้งานง่าย ราคาถูก และมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นอีกทางเลือกแก่ผู้ใช้

วัตถุประสงค์

1. พัฒนาเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อการเกษตร ที่มีราคาถูก และสะดวกต่อการใช้งาน
2. สร้างเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อการเกษตรที่มีประสิทธิภาพสามารถนำไปใช้วัดความชื้นดินในสนามได้
3. สอบเทียบเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อการเกษตรที่ได้สร้างขึ้น
4. ศึกษาถึงปริมาณความชื้นในดินที่ระดับความลึกต่างๆ เมื่อระยะเวลาแปรเปลี่ยนไปจากเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการ
5. เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของอิทธิพลของ อุณหภูมิ และช่วงความถี่ของระยะเวลาการเติมน้ำลงในดินตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการให้น้ำชลประทานแก่พืช

ขอบเขตการศึกษา

ในการสร้างเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อการเกษตร เพื่อเป็นเครื่องมือที่มีความสะดวกในการใช้งาน โดยสามารถเก็บบันทึกผล และผลที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการวางแผนการให้น้ำชลประทานแก่พืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้กำหนดขอบเขตการศึกษาดังนี้

1. ศึกษารูปแบบและรวบรวมข้อมูลของเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้า
2. ออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้า
3. ทดสอบการวัดความชื้นและสอบเทียบเครื่องมือที่สร้างขึ้น

4. ศึกษาผลกระทบจากปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนไปที่ระดับความลึกของชั้นดินเท่ากับ 5 10 15 20 25 และ 30 เซนติเมตร เมื่อระยะเวลาในการเติมน้ำและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

5. ศึกษาค่าคงที่อัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นในดิน (k) เนื่องมาจากอุณหภูมิ และช่วงความถี่ของระยะเวลาที่ใช้ในการเติมน้ำในดินตัวอย่างที่มีผลต่อค่าดัชนีความชื้นในดิน อันเนื่องมาจากฝนตก (API)

การตรวจเอกสาร

น้ำในดิน

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย สำหรับพืชแล้ว น้ำมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับระบบชีวิตของพืชหลายประการ คือเป็นวัตถุดิบที่จำเป็นสำหรับการบวนการแสงสังเคราะห์ (Photosynthesis) ในการสร้างอาหารของพืชจำเป็นสำหรับการหล่อเลี้ยงเซลล์และช่วยให้เซลล์เต่งตึง ซึ่งทำให้ต้นไม้ทรงตัวและยืนต้นอยู่ได้เป็นตัวทำละลายธรรมชาติที่ดีที่สุดละลายอาหารแร่ธาตุให้อยู่ในรูปที่พืชจะนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้

ดังนั้น จะเห็นได้ว่า หากพืชขาดน้ำไปเสียแล้วก็ไม่อาจมีชีวิตอยู่ได้ และน้ำซึ่งพืชจะได้มาเพื่อการดำรงชีวิตนั้น ส่วนใหญ่ที่สุดจะได้อาจมาจากน้ำในดินแทบทั้งสิ้น ดังนั้นน้ำในดินจึงมีความสำคัญและจำเป็นต่อพืชอย่างมากถ้าภายในของช่องว่างทั้งหมดของดินมีน้ำเข้าไปแทนที่อากาศจนเต็ม ดินนั้นก็จะเป็นดินอิ่มตัวด้วยน้ำ หรือดินอิ่มน้ำ (Saturated Soil) และเป็นปริมาณน้ำสูงสุดที่ดินจะเก็บเอาไว้ได้

ความสำคัญของน้ำต่อพืช

สมบุญ (ม.ป.ป.) ความชื้นหรือน้ำในดินเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีพของพืช และพืชยังใช้ดินเป็นตัวกลางของการเจริญเติบโต โดยน้ำในดินจะละลายธาตุอาหารของพืชออกมาให้พืชดูดไปใช้ประโยชน์ ถ้าพืชขาดน้ำจะทำให้การเจริญเติบโตลดลง ผลผลิตของพืชจะต่ำลงด้วย ดังนั้นน้ำในดินจึงมีความสำคัญต่อพืชทั้งทางตรงและทางอ้อมดังต่อไปนี้

1. น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากของพืช เป็นองค์ประกอบในเซลล์พืชทุกเซลล์
2. น้ำเป็นตัวทำละลายแร่ธาตุต่างๆ ที่เป็นอาหารพืชในดิน เพื่อให้พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์
3. เป็นตัวกลางสำคัญในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากส่วนรากพืชลำเลียงเข้าสู่ส่วนลำต้น

4. นำทำให้เซลล์ของพืชเต่ง ช่วยรักษารูปร่างของพืช

5. เป็นตัวทำปฏิกิริยาในกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการย่อย(digestion) และกระบวนการแพร่จากที่ๆ มีน้ำมากไปสู่ที่ๆ มีน้ำน้อย(Osmosis) ก็อาศัยน้ำเป็นตัวกลางทั้งสิ้น

6. ช่วยควบคุมอุณหภูมิของต้นพืชและของดินให้คงที่ เนื่องจากน้ำมีค่าความร้อนแฝงและความร้อนจำเพาะสูง เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นพืชจะคายน้ำออกทางปากใบเป็นการระบายความร้อนออกไปพร้อมไอน้ำ น้ำในดินยังมีบทบาทสำคัญในการป้องกันสภาวะอุณหภูมิจัดของดินคือป้องกันไม่ให้อุณหภูมิดินสูงหรือต่ำเกินไป

คุณสมบัติของดินที่สัมพันธ์กับการใช้น้ำของพืช

สมบุรณ์ (ม.ป.ป.) เนื้อดิน เป็นคุณสมบัติของดินที่เกิดจากสมบัติโดยรวมของอนุภาคทราย (sand) ซิลต์ (silt) และดินเหนียว (clay) ซึ่งแสดงถึงความหยาบความละเอียดของดิน ถ้าดินมีปริมาณกลุ่มขนาดทรายมาก จัดเป็นดินประเภทเนื้อหยาบ (coarse texture class) แต่ถ้าดินมีปริมาณกลุ่มขนาดดินเหนียวมาก จะเป็นดินประเภทเนื้อละเอียด (fine texture class) และถ้าดินมีปริมาณกลุ่มขนาดดินเหนียวกับกลุ่มขนาดทรายในสัดส่วนที่ไม่แสดงสมบัติเด่นชัดไปทางทรายหรือดินเหนียวจะจัดเป็นประเภทเนื้อปานกลาง (medium texture class)

เนื้อดินมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการอุ้มน้ำ ดินที่มีความละเอียดจะอุ้มน้ำได้มากกว่าดินเนื้อหยาบหรือดินทราย แต่ดินเนื้อหยาบจะมีการระบายน้ำได้ดีกว่าดินเนื้อละเอียดหรือดินเหนียว

การจำแนกประเภทของเนื้อดิน

ในการจำแนกประเภทของเนื้อดินจะใช้พิจารณาจากปริมาณเปอร์เซ็นต์ของ ทราย ซิลต์ และดินเหนียว ที่มีอยู่ในดินนั้นๆ เป็นหลัก เนื้อดินโดยทั่วๆ ไปอาจแบ่งแบบคร่าวๆ ได้เป็น ดินทรายดินร่วน และดินเหนียว ซึ่งในดินแต่ละชนิดจะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นของทราย ซิลต์

และดินเหนียว ในสัดส่วนที่ต่างกัน รวมทั้งมีคุณสมบัติในด้านความยากง่ายในการไถพรวน การระบายน้ำ และปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกันด้วย ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบและคุณสมบัติบางอย่างของเนื้อดิน

ประเภท ของ เนื้อดิน	ส่วนประกอบอนุภาค (%)			คุณสมบัติ		
	ทราย	シルท์	ดินเหนียว	การไถพรวน	การระบายน้ำ	ความจุ ในการอุ้มน้ำ
ดินทราย	70-100	0-30	0-15	ง่ายมาก	ดีมาก	น้อย
ดินร่วน	0-80	0-100	0-40	ง่าย	ดี	ปานกลาง
ดินเหนียว	0-65	0-60	35-100	ยาก	เลว	มาก

ที่มา: สมบูรณ์ (ม.ป.ป.)

การแบ่งเนื้อดิน แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

1. กลุ่มดินทราย ได้แก่ ดินทราย ดินทรายร่วน
2. กลุ่มดินร่วน ได้แก่ ดินร่วนปนทราย ดินร่วน ดินร่วนปนตะกอน ดินตะกอน ดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทราย
3. กลุ่มดินเหนียว ได้แก่ ดินเหนียวปนตะกอน ดินเหนียวปนทราย

จากตารางสามเหลี่ยมมาตรฐาน สามารถจำแนกเนื้อดินออกได้ 12 ประเภท แบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ ดินเนื้อหยาบ ดินร่วน และดินเนื้อละเอียด ซึ่งแต่ละกลุ่มจะมีคุณสมบัติเฉพาะโดยสามารถแบ่งเป็นข้อดีและข้อเสียของดินแต่ละกลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประเภทของเนื้อดิน ข้อดีและข้อเสียของเนื้อดินแต่ละกลุ่ม

กลุ่มเนื้อดิน	ประเภทของเนื้อดิน	ข้อดีและข้อเสียของเนื้อดินแต่ละกลุ่ม	
		ข้อดี	ข้อเสีย
ดินเนื้อหยาบ	ดินทราย(Sand) ดินทรายร่วน(Loamy sand)	1. ไถพรวนง่าย	1. อุ้มน้ำและธาตุอาหารได้น้อย 2. ระบายน้ำได้เร็วเกินไป
ดินร่วน	ดินร่วนปนทราย (Sandy loam) ดินร่วน (Loam) ดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt loam) ทรายแป้ง (Silt) ดินร่วนเหนียวปนทราย(Sandy clay loam) ดินร่วนปนดินเหนียว(Clay loam)	1. ไถพรวนง่าย 2. อุ้มน้ำและธาตุอาหารได้มาก พอควร 3. ระบายน้ำและอากาศดีพอควร	1. ธาตุอาหารถูกชะล้างได้ง่าย 2. ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ
ดินเนื้อละเอียด	ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (Silty Clay) ดินเหนียวปนทราย (Sandy clay) ดินเหนียวปนทรายแป้ง(Silty clay) ดินเหนียว (Clay)	1. อุ้มน้ำและธาตุอาหารได้มาก 2. ความสมบูรณ์ของดินสูง	1. ระบายน้ำและอากาศไม่ดี 2. ไถพรวนยาก

ที่มา: สมบูรณ์ (ม.ป.ป.)

ประเภทของน้ำในดิน

สมบุรณ์ (ม.ป.ป.) กล่าวว่า การแบ่งชนิดของน้ำในดินตามความสามารถของดินที่ยึดน้ำไว้ได้ 3 ชนิดตามระดับของน้ำที่ถูกดินดูดยึดไว้ตั้งแต่ชั้นนอกเข้าไปถึงชั้นในที่ติดกับเม็ดดินดังนี้

1. น้ำอิสระ (Gravitational water หรือ Free water) น้ำที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะถูกแรงดึงดูดของโลกดึงดูดสู่ที่ที่ต่ำกว่าตลอดเวลา ประกอบกับน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่แรงยึดระหว่างน้ำที่ยังอยู่ตลอดเวลาของช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะน้อยกว่าในช่องว่างที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นถ้าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำและดินน้อยกว่าแรงดึงดูดของโลก น้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดินนั้นจะไหลลงสู่ที่ต่ำกว่า จึงเรียกน้ำในดินชนิดนี้ว่า น้ำอิสระ น้ำชนิดนี้ถ้าอยู่ในดินชั้นบนนานๆ จะเป็นอันตรายต่อพืชที่ปลูกเพราะจะทำให้รากพืชขาดออกซิเจนสำหรับหายใจ จึงต้องระบายออก และถ้ามีน้ำอิสระไหลเข้ามามากจะเป็นตัวการชะล้างธาตุอาหารพืชให้สูญเสียออกไปจากดิน

2. น้ำซับ (Capillary water) เป็นน้ำที่เกิดจากสภาพเมื่อฝนหยุดตกหรือหยุดให้น้ำแก่พืช น้ำอิสระได้ถูกระบายลงสู่ส่วนล่างของชั้นดินแล้ว ใช้เวลาประมาณ 24-48 ชั่วโมง น้ำที่อยู่ในช่องว่างของดินขณะนี้จะถูกอนุภาคดินดูดยึดไว้ด้วยแรงขนาดเท่ากับแรงดึงดูดของโลกพอดี แรงที่อนุภาคดินดูดยึดน้ำซับไว้มีค่าประมาณ $1/3$ บาร์ และเรียกความชื้นในขณะนี้ว่าความชื้นชลประทานหรือความจุความชื้นในสนาม (Field capacity)

3. น้ำเยื่อ (Hygroscopic water) เป็นน้ำที่เกาะติดกับอนุภาคของผิวดินและพบว่าเป็นชั้นที่บางมาก พืชไม่สามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ แรงดูดยึดของอนุภาคดินที่มีต่อน้ำมีค่าประมาณ 31 บาร์

สรุปได้ว่า น้ำในดินทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมานี้ น้ำที่มีความสำคัญกับการเพาะปลูกคือ น้ำซับ และน้ำอิสระ ส่วนน้ำเยื่อนั้นพืชใช้ประโยชน์ไม่ได้

ความชื้นในดิน

ในการดำเนินการทางการเกษตร จำเป็นต้องศึกษาข้อมูล เกี่ยวกับความชื้นในดิน เพื่อที่จะทราบสภาพความต้องการน้ำของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณพื้นที่เพาะปลูกที่อยู่ห่างไกลจากแหล่งน้ำ หรือได้รับน้ำไม่เพียงพอต่อการเพาะปลูก

Foth (1990) กล่าวว่า น้ำในดินอยู่ได้โดยมีอิทธิพลของแรง 2 ชนิด คือแรงดึงดูดหรือแรงโน้มถ่วงของโลก และแรงดึงดูดระหว่างอนุของน้ำ ถ้าน้ำจะระเหยออกจากดินสู่บรรยากาศได้จะต้องมีแรงดึงดูดที่มากกว่าแรงโน้มถ่วงของโลก จึงจะทำให้มีน้ำออกไปจากเม็ดดินได้ ทำให้ดินมีสภาพแห้งและปริมาณน้ำในดินจะลดลงด้วย

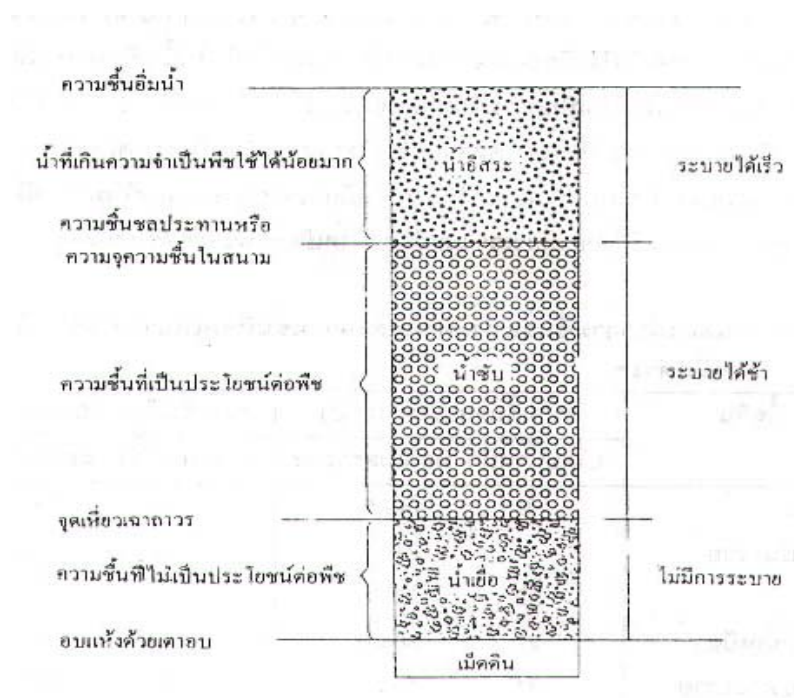
วิบูลย์ (2526) กล่าวว่า ความชื้นในดินหมายถึงน้ำในดินเท่านั้น ซึ่งแบ่งออกได้ 4 ประเภท ดังนี้

1. ความชื้นอิ่มน้ำ (Saturation) คือดินที่มีน้ำอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินเต็มไปหมด น้ำในช่องว่างจะเคลื่อนที่สู่เบื้องล่างด้วยแรงดึงดูดของโลกภายในระยะเวลาสั้น

2. ความชื้นชลประทานหรือความจุความชื้นในสนาม (Field Capacity) คือปริมาณน้ำในดินที่เหลือหลังจากที่น้ำอิสระถูกระบายออกจากช่องว่างหมดแล้ว หรือน้ำที่ดินสามารถดูดยึดไว้ได้จากแรงดึงดูดของโลกมีลักษณะเป็นเยื่ออยู่ในช่องว่าง (น้ำซบและน้ำเยื่อ) ซึ่งถือว่าเป็นความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูงสุด รากพืชสามารถดูดน้ำไปใช้และอยู่ในดินได้นาน โดยทั่วไปแรงดึงดูดความชื้นที่จุดความชื้นชลประทานมีค่าประมาณ $1/3$ บรรยากาศ และจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของเนื้อดิน เนื้อดินหยาบจะมีแรงดึงดูดความชื้นประมาณ $1/10$ บรรยากาศ เนื้อดินเหนียวหรือค่อนข้างเหนียวจะมีค่าแรงดึงดูดความชื้นประมาณ 0.6 บรรยากาศ

3. ความชื้นจุดเหี่ยวถาวร (Permanemt Wilting Point) คือปริมาณน้ำในดินที่พืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้เพียงพอกับการคายน้ำ ถ้าไม่ได้รับน้ำเพิ่ม พืชก็จะเริ่มเหี่ยวเฉาจนกระทั่งเหี่ยวถาวร

4. ความชื้นเมื่ออบแห้ง คือปริมาณน้ำในดินหลังจากถูกอบไว้ที่อุณหภูมิ 105 -110 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานกว่า 15 ชั่วโมง จนไม่มีน้ำระเหยออกจากเม็ดดิน ถือว่าดินในสภาพนี้มีค่าแรงดึงความชื้นไม่น้อยกว่า 10,000 บาร์ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ระดับน้ำในดินและความชื้นของดินที่จุดต่างๆ

ตารางที่ 3 ค่าความชื้นชลประทานและความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวรของดินชนิดต่างๆ

เนื้อดิน	ความชื้นชลประทาน (FC)		ความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร (PWP)	
	% โดยน้ำหนัก	มิลลิเมตร/เมตร	% โดยน้ำหนัก	มิลลิเมตร/เมตร
ดินทราย	9	149.5	4	66
ดินร่วนปนทราย	14	210	6	90
ดินร่วน	22	308	10	140
ดินร่วนปนเหนียว	27	364	13	175
ดินเหนียวปนทราย	31	403	15	195
ดินเหนียว	35	437	17	225

ที่มา: กลุ่มงานจักรกลการเกษตร (2538)

นริส และ สกุลรัตน์ (2551) กล่าวว่า จำนวนความชื้นที่ Field capacity ไม่อาจหาเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากว่าจะยังคงมีการเคลื่อนที่ของน้ำซึบอยู่ตลอดเวลา แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นไม่มากนัก ในทางปฏิบัติมักจะถือว่า ในดินที่มีการระบายน้ำได้ดี ปริมาณความชื้นหลังจากที่มีฝนตกหนักหรือหยุดการให้น้ำแล้ว 2-3 วัน เป็นความชื้นที่ Field capacity

สมบุญ (ม.ป.ป.) กล่าวว่า ระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรถือว่าเป็นพิกัดล่างสุด (Lower limit) ของความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยทั่วไปค่าที่นิยมใช้เพื่อประมาณค่าของจุดเหี่ยวเฉาถาวรคือที่แรงดึงความชื้นที่ 15 บรรยากาศ โดยนำพืชที่เหี่ยวเฉาไปไว้ในห้องที่มีอากาศเย็น และบรรยากาศรอบต้นพืชอ้อมตัวด้วยไอน้ำ มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 15 ชั่วโมง แล้วพืชนั้นไม่สดชื่นเหมือนเดิม

น้ำเป็นองค์ประกอบหลัก และเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช การที่ชั้นดินที่ปลูกพืชมีปริมาณน้ำมากหรือน้อยเกินไป ทำให้มีผลต่อความผิดปกติในการเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิตของพืช ดังนั้นการปลูกพืชจึงมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมปริมาณน้ำในชั้นดินที่เพาะปลูกแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับความต้องการน้ำของพืชชนิดนั้นๆ ซึ่งรวมถึงการปรับความชื้นในดิน หรือการจัดระบบชลประทานที่เหมาะสมอันจะต้องประกอบด้วยอุปกรณ์วัดความชื้นในดิน และระบบการจ่ายน้ำที่เหมาะสม

ความชื้นในดินเพื่อการเพาะปลูก

สมบุญ (ม.ป.ป.) กล่าวว่า น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะปลูกพืชทุกชนิด เพราะน้ำเป็นตัวกลางที่ละลายธาตุอาหารพืชให้พืชสามารถดูดไปใช้สร้างส่วนต่างๆ ของพืช ช่วยในการระบายความร้อนในเวลากลางวันโดยการคายน้ำและอื่นๆ ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นในดินไม่เพียงพอไปเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโต (Limiting factor) และจำกัดการให้ผลผลิตของพืชที่ปลูก โดยการควบคุมระดับความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินในบริเวณที่มีรากพืชให้อยู่ในช่วง 50-100 เปอร์เซ็นต์ของความจุความชื้นที่ประโยชน์ต่อพืชของดินในบริเวณที่มีรากพืชน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ของความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินนั้น ก็ควรจัดการทดน้ำให้แก่ดิน และถ้าระดับความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินในบริเวณรากพืชเกิน 100 เปอร์เซ็นต์ของความจุความชื้นของดินนั้น ก็ควรจัดการระบายน้ำบางส่วนออกจากดิน

ปริมาณน้ำที่จะต้องทดให้แก่ดินหรือระบายออกจากดินจะมีปริมาณเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ระดับความชื้นของดินในขณะนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับความจุความชื้นในสนามของดินนั้น
2. ความลึกของดินในบริเวณที่มีรากพืช สำหรับพืชล้มลุก (annual crop) โดยทั่วไปรากมีความลึกไม่เกิน 1.50 เมตร และสำหรับพืชยืนต้น (tree) ปกติเป็นพืชข้ามปี (perennial crop) ความลึกของรากอาจจะมากกว่า 5.00 เมตรขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืช
3. พืชที่ทั้งหมดที่ใช้ปลูกพืช
4. ค่าความจุความชื้นในสนามหรือความชื้นชลประทาน
5. ค่าความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร
6. ความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ยในชั้นดินที่มีรากพืช

การวัดความชื้นในดิน

สุวิทย์ (2540) กล่าวว่า การวัดความชื้นในดินเพื่อที่ต้องการทราบสภาพความต้องการน้ำของพืชจะต้องคำนึงถึงสภาพธรรมชาติของการสัมผัสน้ำในชั้นดินของรากพืชและการดูดซึมน้ำทางรากด้วย ดังนั้นจึงได้มีการคิดหาวิธีการวัดความชื้นในดินให้มีกระบวนการที่ใกล้เคียงกับธรรมชาติ ด้วยวิธีการวัดความต่างศักย์ของแรงดึงดูดระหว่างน้ำในดิน (soil-water potential) โดยใช้หลักการของกระบวนการดูดน้ำเข้ามาเก็บกักในดินและทำให้เกิดความชุ่มชื้น จะมีลักษณะคล้ายการทำงานของเครื่องสูบน้ำ แรงอัดน้ำเข้าไปตามท่อและแรงสูบน้ำจากแหล่งน้ำ จะหมายถึงแรงดึงดูดของน้ำในดิน น้ำในดินที่กักเก็บไว้ระหว่างช่องว่างในเนื้อดินจะถูกนำไปใช้ในการหล่อเลี้ยงต้นไม้เมื่อน้ำในชั้นดินสูญเสียออกไปความต่างศักย์ของแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคน้ำในดินก็จะเพิ่มขึ้นเป็นการบ่งชี้ความต้องการน้ำของพืชที่ปลูกในชั้นดินบริเวณนั้น

สมาน (2537) กล่าวว่า การวัดความชื้นในดิน สามารถที่จะแบ่งการวัดออกได้เป็น 2 วิธี ใหญ่ๆ คือ การวัดโดยตรง และการวัดโดยทางอ้อม

สมบุญ (ม.ป.ป.) กล่าวว่า การที่จะรู้ความชื้นในดินลดลงไปถึงจุดวิกฤตหรือยังนั้น จะต้องมีการตรวจวัดความชื้นดินในเขตรากพืชก่อน เพื่อประเมินว่าดินมีความชื้นอยู่เท่าใด มีวิธีการหาความชื้นในดินได้ 3 วิธี คือ

1. การวัดความชื้นในดินโดยตรงจากการชั่งและอบแห้ง
 2. การวัดความชื้นในดินโดยทางอ้อมโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์
 3. การวัดความชื้นในดินโดยคุณลักษณะและความรู้สึกสัมผัส
1. การวัดความชื้นในดินโดยตรงจากการชั่งและอบแห้ง

การตรวจวัดความชื้นของดินโดยการชั่งน้ำหนัก ทำได้โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกต่างๆ ในเขตรากพืชและจุดต่างๆ ในแปลงเพาะปลูก นำมาชั่งแล้วอบให้แห้งในเตาอบซึ่งมีอุณหภูมิ 105 – 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าดินนั้นแห้ง น้ำหนักของดินไม่ลดลงอีก จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักของดินแห้ง น้ำหนักที่หายไปของดินในการชั่งทั้งสองครั้งคือจำนวนความชื้นในดินขณะที่เก็บตัวอย่าง การวัดความชื้นของดินวิธีนี้เป็นการวัดโดยตรง

2. การวัดความชื้นในดินโดยทางอ้อมโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์

เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้หาค่าความชื้นในดินจะทำให้ทราบค่าความชื้นในดินทันทีที่วัดในสนาม มีอยู่หลายชนิด เช่น เครื่องเทนซิโอมิเตอร์ (Tensiometer) เครื่องวัดความชื้นด้วยไฟฟ้า (Electrical resistance instruments) เครื่องวัดความชื้นแบบวัดการแผ่กระจายของนิวตรอน (Neutron moisture meter) แต่ละชนิดมีรายละเอียด ดังนี้

2.1 เทนซิโอมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัด Moisture potential ของ Soil water สำหรับการใช้งานในการชลประทานจะฝังเทนซิโอมิเตอร์ลงในดินประมาณ 1/3 ของความลึกของชั้นรากพืช (ประมาณ 20 ซม. สำหรับพืชรากตื้น เช่น ผักต่างๆ) ถ้าค่าที่อ่านได้จากเทนซิโอมิเตอร์ถึงระดับที่จะต้องให้น้ำแก่พืช จะเริ่มให้น้ำแก่พืช โดยให้น้ำจนกระทั่งถึงระดับความชื้นชลประทาน สำหรับไม้ผลจะฝังเทนซิโอมิเตอร์ให้ลึกที่ระดับ 1/3 และ 2/3 ของระดับความลึกชั้นรากพืช เช่น ระบายรากพืช 90 ซม. จะฝังไว้ลึก 30 และ 60 ซม. ตามลำดับ ถ้าค่า moisture potential ที่อ่านได้จากเทนซิโอมิเตอร์ตัวบนถึงระดับที่จะต้องให้น้ำชลประทาน แต่ตัวล่างยังไม่ถึงระดับต้องให้น้ำ ก็จะให้น้ำชลประทานถึงจุดความชื้นชลประทานเฉพาะช่วงความลึก 0–30 ซม. เท่านั้น แต่ถ้า moisture potential ที่อ่านได้จากเทนซิโอมิเตอร์ ทั้งสองระดับถึงจุดต้องให้น้ำชลประทานก็จะให้น้ำตลอดช่วงความลึก 0–60 ซม. จนถึงความชื้นชลประทาน

2.2 ยิบซัมบล็อก (Gypsum block หรือ Moisture block) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดปริมาณความชื้นของดินในการชลประทาน ใช้ฝังลงในดินที่ระดับความลึกเช่นเดียวกับเทนซิโอมิเตอร์ ค่าที่อ่านได้จาก Gypsum block ในแต่ละระดับความลึกของดินนำไปเทียบกับ calibration curve จะทำให้ทราบค่าความชื้นของดินตรงจุดที่ฝัง gypsum block ไว้ในกราฟของ calibration curve จะครอบคลุมความชื้นของดินตั้งแต่ความจุความชื้นในสนามหรือความชื้นชลประทาน (field capacity) จุดเหี่ยวเฉาถาวรและที่จุด 50 % ของความชื้นที่เป็นประโยชน์ (available water) ดังนั้นถ้าวัดความชื้นด้วยยิบซัมบล็อกแล้วพบว่าความชื้นในดินต่ำกว่า 50 % ของความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ก็จะเริ่มให้น้ำแก่ดินจนกระทั่งดินมีความชื้นถึงระดับความชื้นชลประทานจะหยุดให้น้ำ

2.3 นิวตรอนโพรบ (Neutron probe หรือ Neutron moisture meter) เป็นเครื่องมือใช้วัดความชื้นได้แม่นยำถูกต้องมากกว่าเทนซิโอมิเตอร์และยิบซัมบล็อก แต่เครื่องมือมีราคาแพงกว่ามาก ประกอบกับเป็นสารรังสีการใช้งานต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ ส่วนประกอบของ Neutron moisture meter ได้แก่ Probe เป็นแท่งโลหะภายในมีสารรังสีที่สลายตัวให้นิวตรอนความเร็วสูง (Fast neutron source) และเครื่องตรวจวัดนิวตรอนความเร็วต่ำ (Slow Neutron Detector) ทั้งสองส่วนจะรวมอยู่ด้วยกัน จากเครื่องวัดนิวตรอนความเร็วต่ำจะมีสายไฟยาวต่อมายังจอแสดงผลการวัด วิธีการวัดจะใช้เครื่องเจาะลงไปดิน เช่น Auger หรือท่อเหล็กตอกลงไปในดินให้เป็นรูขนาดใหญ่กว่า Probe เล็กน้อย ความลึกขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้วัด

แล้วหย่อน Probe ลงไปในรูที่เจาะตามความลึกที่ต้องการ นิวตรอนความเร็วสูงจะออกจากแหล่งจ่ายกระจายไปทุกทิศทาง เมื่อไปกระทบกับความชื้นในดินที่มีไฮโดรเจนที่มีขนาดใกล้เคียงกันจะชนกัน นิวตรอนความเร็วสูงจะเสียพลังงานไปกลายเป็นนิวตรอนความเร็วต่ำแล้วกลับมาเข้าเครื่องวัดและแสดงผลทางจอหรือมิเตอร์ทำให้ทราบความชื้นในดินได้จาก Calibration Curve เช่นเดียวกับ ชิบซัมบลิ็อก

2.4 Neutron Moisture Meter เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมกับการวัดความชื้นของดินในสภาพธรรมชาติ สะดวกในการใช้ เหมาะสำหรับการใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดินตามระยะเวลาที่ต้องการศึกษา เช่น ในระหว่างฤดูเพาะปลูกพืชตลอดฤดู โดยไม่ต้องรบกวนหรือกระทบกระเทือนดินในบริเวณรากพืช อย่างไรก็ตามเนื่องจากรังสีนิวตรอนสามารถทำอันตรายแก่เซลล์ของคนและสัตว์ได้ ประกอบกับรังสีที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดของนิวตรอนความเร็วสูงยังปล่อยรังสีแกมมาที่มีอำนาจทะลุทะลวงสูงมากเป็นอันตรายต่อคนอย่างมาก

2.5 เครื่องวัดความชื้นแบบ Capacitance วิธีการวัดความชื้นจะทำได้ 2 แบบ คือการเจาะรูลงไปดินแล้วใช้ท่อจำพวก polycarbonate เสียบลงไปรูลึกตามความต้องการที่จะวัดความชื้นที่ระดับความลึกเท่าใด นำหัววัดความชื้นใส่ลงไปตามท่อเมื่อหัววัดลงไปถึงระดับที่ต้องการก็กดมิเตอร์อ่านค่าหลักการวัดหัววัดจะส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ 100 – 200 MHz คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะไปกระทบกับความชื้นแล้วสะท้อนกลับมายังเครื่องรับที่อยู่ในหัววัดเช่นเดียวกัน มิเตอร์จะแปลผลและแสดงปริมาณความชื้นออกมาในรูปความชื้นโดยปริมาตร และมีเครื่องวัดอีกแบบจะเป็นขั้ว Electrode ทำด้วย stainless มี 2 – 3 ขั้ว ใช้เสียบลงไปดินแล้ววัดความชื้น หรือฝังไว้ใต้ดินเพื่อวัดความชื้นในดินแบบต่อเนื่อง

3. การวัดความชื้นในดิน โดยคุณลักษณะและความรู้สึกสัมผัส

วิธีนี้เป็นวิธีตรวจวัดความชื้นของดินอย่างง่าย รวดเร็ว สามารถทำได้ด้วยตนเอง ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบ เกษตรและผู้ทำงานด้านนี้สามารถฝึกฝนให้ชำนาญได้ วิธีนี้กระทำโดยการเจาะดินด้วยสว่านเจาะดินหรือใช้พลั่วขุดดินในระดับความลึกต่างๆ ในเขตรากพืชและที่จุดต่างๆ ในพื้นที่ที่ต้องการทราบมาตรวจดูโดยใช้ความรู้สึกจากการสัมผัสด้วยมือจะทำให้ทราบความชื้นของดิน โดยประมาณว่ามีความชื้นในดินเหลือสำหรับพืชใด ถ้ามีความชำนาญกับลักษณะของดินที่ระดับความชื้นต่างๆ กันดีพอแล้ว ก็จะสามารถบอกได้ทันทีว่าดิน

ในขณะนั้นแห้งพอที่จะเริ่มให้น้ำได้หรือยัง อย่างไรก็ตามวิธีนี้เป็นเพียงการประมาณความชื้นของดินเท่านั้น แต่ก็สามารถกำหนดการให้น้ำแก่พืชได้ถูกต้องพอควร

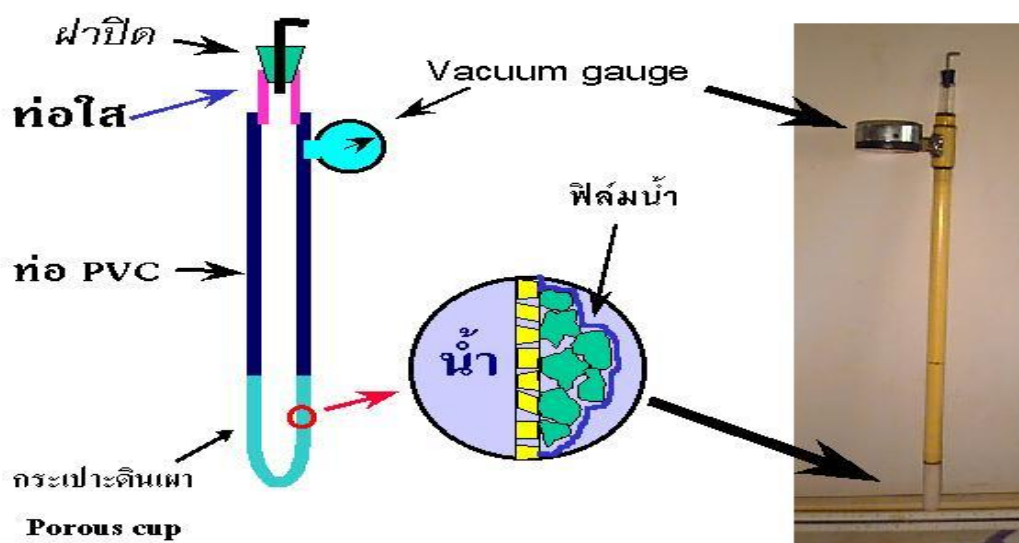
ดังนั้น สรุปได้ว่า การวัดความชื้นในดิน ควรจะเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพ ในการวัดความชื้นควรที่จะทำการวัดที่ระดับความลึกที่หลากหลายระดับ และครอบคลุมพื้นที่เพาะปลูก เพื่อที่จะได้มีข้อมูลเพียงพอที่จะทำการจัดสรรน้ำหรือวางแผนการใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

รูปแบบของเครื่องมือวัดความชื้นในดิน

สมาน (2537) กล่าวว่า เครื่องมือที่ใช้วัดความชื้นของดิน มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน ได้แก่ เครื่องวัดความตึงเครียดของน้ำในดิน เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้า ซึ่งจะเปลี่ยนค่าไปตามความชื้นที่มีอยู่ เครื่องมือวัดการแพร่กระจายของอนุภาคน้ำในดิน อย่างไรก็ตามยังไม่มีพบว่ามีเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความชื้นในดิน ที่มีความถูกต้องแม่นยำอย่างแท้จริง การที่จะเลือกว่าควรใช้เครื่องมือวัดความชื้นแบบไหนนั้นมียกประกอบหลายอย่างที่ต้องพิจารณา เช่น

1. ความเหมาะสมของเครื่องมือต่อการวัดปริมาณความชื้นที่ต้องการ
2. ระดับของความถูกต้องภายใต้สภาพการใช้งานจริงในสนาม
3. เครื่องมือวัดความชื้นจะต้องมีความมั่นคงแข็งแรง ไม่ยุ่งยากในการติดตั้ง
4. การใช้งานและการอ่านค่าต่างๆทำได้ง่าย
5. การบำรุงรักษาง่ายและมีราคาไม่แพง

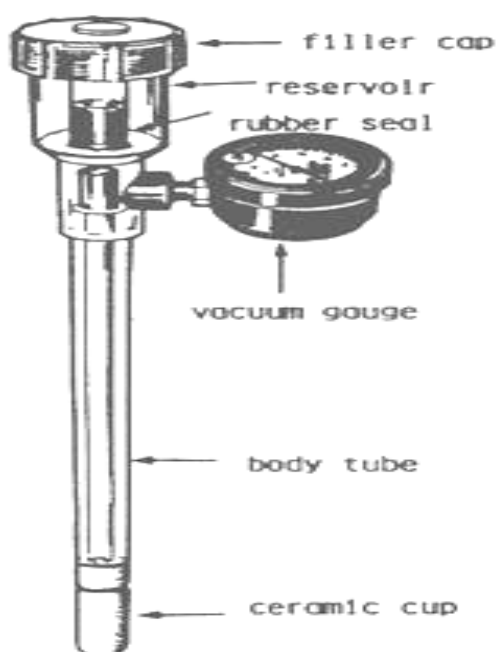
อิทธิสุนทร (2541) ได้ทำการศึกษาสร้างเครื่องวัดความชื้นในดินแบบ Tensiometer ตัวเครื่องทำจากท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกประมาณ 1.8 เซนติเมตรมีความยาวตั้งแต่ 30 ถึง 90 เซนติเมตรโดยพิจารณาตามความลึกของรากพืช ที่ปลายด้านล่างติดกระเปาะดินเผา ทำจากดินภายในประเทศ ด้านบนของท่อจากปลายลงมาประมาณ 3 เซนติเมตรเจาะรูติด Vacuum gauge ปลายบนปิดด้วยจุกยางสำหรับเติมน้ำ และไล่ฟองอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบเครื่องวัดความชื้นในดินของ อธิธิสุนทร

ที่มา: อธิธิสุนทร (2541)

Weil (1993) ทำการศึกษาสร้างเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบ Tensiometer โดยศึกษาเปรียบเทียบผลการวัดความชื้นในห้องทดลองและสนาม เครื่องมือประกอบด้วย ท่อกลวงทำจากเหล็กหล่อมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.5 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 1 นิ้ว มีความยาว 4 ขนาด ตั้งแต่ 15, 30, 60 และ 90 เซนติเมตร ด้านบนติดถ้วยมีฝาปิดเปิด สำหรับเติมน้ำ ได้ด้วยติด Vacuum gauge ปลายท่อด้านล่างติดกระเปาะเซรามิกพูน ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เครื่องมือวัดความชื้นในดินของ Weil

ที่มา: Weil (1993)

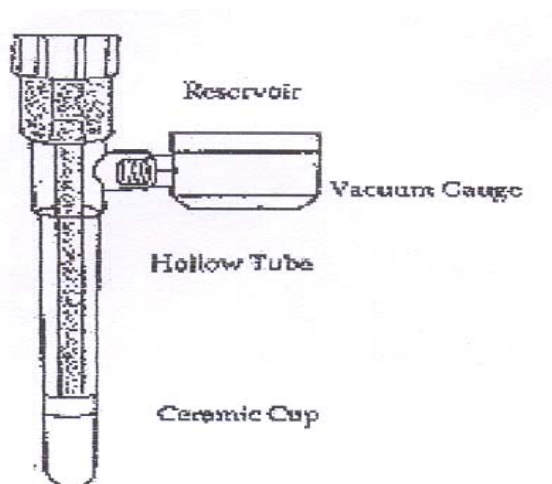
Smajstrla and Pitts (1996) ได้ทำการศึกษาสร้างเครื่องมือวัดความชื้นในดิน โดยมีการวัดค่าความชื้นกับดินและพืชหลายชนิด แล้วนำผลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ เพื่อใช้สำหรับการวางแผนการให้น้ำชลประทานแก่พืช จากผลการทดลองสรุปได้ว่า เครื่องมือวัดความชื้นในสนามจริงจะต้องคอยตรวจสอบอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพดีดังนี้

1. ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของ Vacuum gauge
2. ตรวจสอบกระเปาะพุนที่สามารถยอมให้น้ำเคลื่อนที่ระหว่างภายในและภายนอก
3. ตรวจสอบการรั่วซึมของอากาศ

Yuncong Li (2000) ทำการศึกษาวิจัยสร้างเครื่องมือวัดความชื้นในดิน เพื่อหาความเหมาะสมของเครื่องมือวัดความชื้นในดิน สำหรับการเพาะปลูกพืชผลไม้เขตร้อนชื้น เพื่อให้ได้ผลผลิตมากที่สุด จากผลการศึกษารูปได้ว่า เครื่องมือวัดความชื้นในดินควรมีความยาวประมาณ 12-18 นิ้ว เป็นความยาวที่เหมาะสม

Tokunaga (1997) ทำการสร้างเครื่องมือวัดความชื้นในห้องทดลอง โดยที่กระเปาะพรุนสำหรับวัดความชื้นในดินทำจากเศษหินแตกหักต่างๆ ไป แล้วฉาบผิวด้วยเศษแก้วเขาไฟ จากผลการทดสอบในห้องทดลอง ผลออกมาว่า สามารถวัดค่าความต่างศักย์ได้ใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดความชื้นกระเปาะพรุนเซรามิก

Stephen and Davis (2005) ได้ศึกษาวิจัยทำเครื่องมือวัดความชื้นในดิน มีส่วนประกอบท่อทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1 นิ้ว ส่วนปลายติดกระเปาะดินเผา ส่วนบนติด Vacuum Gauge และถ้วยสำหรับเติมน้ำ ใช้ในการหาความชื้นในดินในไร่ร้อน ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เครื่องมือวัดความชื้นในดินของ Stephen and Davis

ที่มา: Stephen and Davis (2003)

การวิเคราะห์ค่าความชื้นของดินอันเนื่องมาจากฝน (API)

Viesman *et al.* (1989) อธิบายว่าปริมาณความชื้นในดินจะมีความผันแปรไปในแต่ละจุดของพื้นที่ลุ่มน้ำจึงไม่นิยมเก็บวัดจากพื้นที่จริงแต่จะใช้ค่าดัชนีที่เรียกว่า Antecedent Precipitation Index (API) ซึ่งค่า API นี้จะมีความสัมพันธ์กับปัจจัยต่างๆ อาทิเช่น ปริมาณน้ำฝนปริมาณการระเหยน้ำ และปริมาณน้ำใต้ดิน

Mishra and Singh (2003) กล่าวว่าค่า API จะมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำท่า ยิ่งค่า API มีมากอัตราการไหลของน้ำท่าก็จะมีค่ามากขึ้นไปด้วย ซึ่งในทางปฏิบัตินิยมใช้การวิเคราะห์ความถดถอย หรือ Regression Analysis และวิธีการทางสถิติอื่นๆ หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า API กับอัตราการไหลของน้ำท่า

พงษ์ศักดิ์ และวารินทร์ (2550) กล่าวว่าดัชนีความชื้นของดินอันเนื่องมาจากฝน (Antecedent Precipitation Index หรือ API) นั้นเป็นการคำนวณปริมาณฝนที่ดูดซึมไปในดิน โดยการคำนวณค่าถดถอยของปริมาณฝนด้วยการทำให้ปริมาณฝนนั้นมีค่าน้อยลงไปในช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งตามปกติจะใช้ค่า 0.9 เป็นตัวคูณหาค่าถดถอยประจำปกติแล้วค่าดัชนีความชื้นของดินอันเนื่องมาจากฝนสามารถคำนวณได้จากค่าปริมาณฝนเฉลี่ยของหลายๆ สถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำหรือคำนวณค่าของแต่ละสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำก็ได้

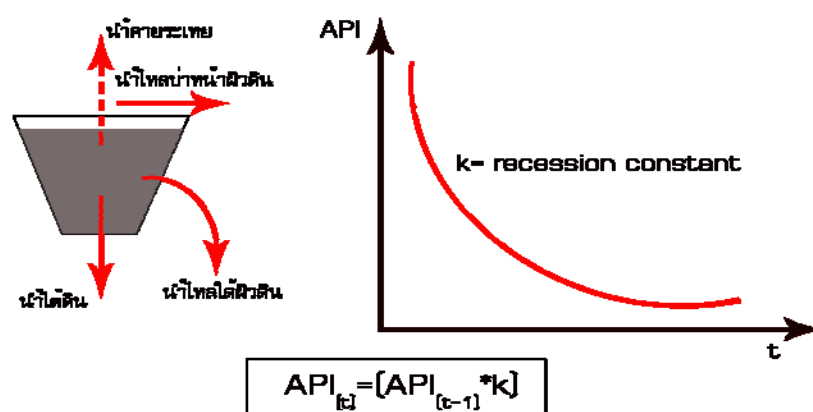
การคำนวณค่าดัชนีความชื้นของดินอันเนื่องมาจากฝน (API)

พงษ์ศักดิ์ และวารินทร์ (2550) ได้สร้างสมการคณิตศาสตร์ที่มีชื่อว่า Antecedent Precipitation Index Model หรือ API Model ขึ้นมาเพื่อเลียนแบบพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของน้ำในชั้นดินไว้หลายรูปแบบ โดยสมการดังกล่าวแบ่งรูปแบบการพิจารณาออกเป็น 2 เหตุการณ์

1. ในกรณีที่ไม่มีฝนตกซึ่งปริมาณน้ำในดินจะมีการลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ในลักษณะที่เป็นเส้นโค้งที่เลียนแบบพฤติกรรมการไหลของน้ำจากระอยรั้วของโอ่ง ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ด้วยสมการคณิตศาสตร์ที่มีรูปแบบ

$$API_t = API_{t-1} \times k \quad (1)$$

โดยที่ API_t คือค่า API ของวันที่ t (มิลลิเมตร) API_{t-1} คือ ค่า API ของวันก่อนหน้า หรือที่ $t-1$ (มิลลิเมตร) และ k คือ ค่าอัตราส่วนลดของปริมาณน้ำในชั้นดินตามช่วงระยะเวลา ต่างๆ ที่เป็นผลมาจากการระบายให้กับดินชั้นล่าง การไหลตามด้านข้างใต้ผิวดิน และการระคาย ระเหยน้ำ



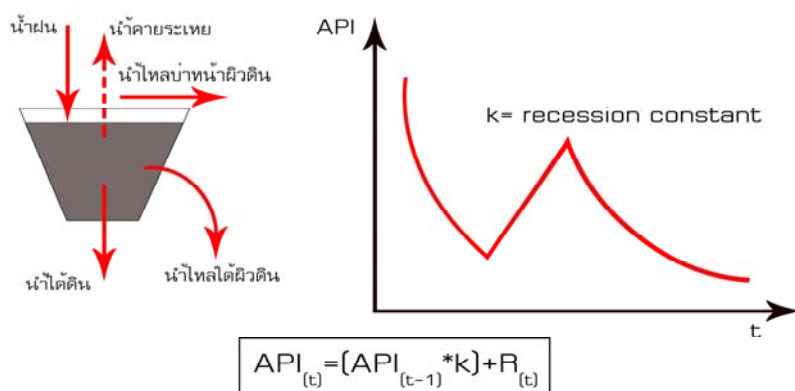
ภาพที่ 6 แบบจำลองค่าดัชนีความชื้นในดินในขณะที่ไม่ฝน

ที่มา: พงษ์ศักดิ์ และวารินทร์ (2550)

2. กรณีที่ฝนตกลงมา รูปลักษณะของแบบจำลองจะเปลี่ยนไปเป็น

$$API_t = [API_{t-1} \times k] + R_t \quad (2)$$

โดยที่ R_t คือ เป็นปริมาณน้ำฝนรายวันที่ตกลงมาในวันนั้น t (มิลลิเมตร)



ภาพที่ 7 แบบจำลองค่าดัชนีความชื้นในดินในขณะที่มีฝนตก

ที่มา: พงษ์ศักดิ์ และวารินทร์ (2550)

สำหรับอัตราการลดลงของปริมาณความชื้นในดิน (k) ที่เป็นผลมาจากการระบายน้ำให้กับดินชั้นล่าง การไหลใต้ผิวดินและการระคายระเหยน้ำ จะมีมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่คงอยู่ในดินเอง กล่าวคือ ถ้าดินมีน้ำอยู่มาก หรือ API มีค่าสูงอัตราการลดลงจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าดินมีน้ำอยู่น้อย หรือ API มีค่าต่ำอัตราการลดลงจะค่อยเป็นค่อยไปเมื่อนำค่า k และค่า API มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กันจะพบว่ามีความสัมพันธ์กับรูปของ Exponential Function ที่อธิบายด้วยสมการคณิตศาสตร์ที่มีรูปแบบดังแสดงในสมการ

$$k = a \times e^{-b + API} \quad (3)$$

โดยที่ e คือ ค่า Naparian Log มีค่าเท่ากับ 2.718 และ a , b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเส้นโค้งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า k กับค่า API

การประยุกต์ใช้อัตราส่วนลดของน้ำฝนแทนค่า k ในแบบจำลอง API

Linsley *et al.* (1982) พบว่ามีปริมาณความชื้นในดินที่เกิดขึ้นจากการสะสมของฝนที่ตกลงมาในแต่ละครั้งโดยปกติจะมีค่าลดลงตามช่วงระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นหลังจากฝนหยุดตกเมื่อจะคิดหาค่า API ในลักษณะวันต่อวันแล้วรูปแบบของสมการจะเป็น

$$API_t = API_{t-1} \times k_{t-1} \quad (4)$$

โดยที่ k คือ ค่าคงที่ ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.85 ถึง 0.98

ค่าดัชนีความชื้นที่มีอยู่ก่อนในดินของวันใดๆ (API_t) จะมีค่าเท่ากับดัชนีความชื้นในดินของวันก่อนหน้า (API_{t-1}) คูณด้วยค่า k ของวันก่อนหน้า $k_{(t-1)}$ โดยที่ค่า k จะเป็นฟังก์ชันกับปริมาณการคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration)

ในกรณีที่วันดังกล่าวมีฝนตกลงมาค่าดัชนีความชื้นที่อยู่ก่อนในดินจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาด้วยทำให้รูปแบบของสมการที่ 4 เปลี่ยนแปลงไปเป็น

$$API_t = [API_{t-1} \times k_{t-1}] + P_t \quad (5)$$

โดยที่ API_t คือ ค่า API ของวันที่ t (มิลลิเมตร) API_{t-1} คือ ค่า API ของวันก่อนหน้า หรือที่ $t-1$ (มิลลิเมตร) P_t คือ ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในวันนั้น (มิลลิเมตร) และ k_{t-1} คือ ค่า Recession Constant (k) ของวันก่อนหน้า หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$K_{t-1} = EXP \times \left(\frac{Et_{t-1}}{Wm_{t-1}} \right) \quad (6)$$

โดยที่ Et_{t-1} คือ ค่าการคายระเหยน้ำสูงสุดของวันที่ $t-1$ (มิลลิเมตร) และ Wm_{t-1} คือ ค่าสูงสุดของปริมาณน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการคายระเหยน้ำของวันที่ $t-1$ (มิลลิเมตร) (Bothale et al., 2003)

อุปกรณ์และวิธีการ

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้พื้นที่ของห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย รายละเอียดของอุปกรณ์ และวิธีการทดลองประกอบด้วย

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ใส่ตัวอย่างดิน
2. ท่อเจาะน้ำ
3. หัวตรวจวัดความชื้นในดิน
4. ตัวแปลงสัญญาณพร้อมส่วนแสดงผลและเก็บบันทึกข้อมูล
5. ตู้อบดิน
6. เครื่องชั่งน้ำหนักดิน
7. ตลับเมตร
8. กล้องถ่ายรูป
9. เครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องพิมพ์

อุปกรณ์ใส่ดินตัวอย่าง

กระถางใส่ตัวอย่างดิน รูปทรงกระบอก ทำด้วยดินเผา มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.30 เมตร มีความสูง 0.35 เมตร ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กระถางใส่ตัวอย่างดิน

ท่อ เจาะนำ

ท่อ P.V.C. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.18 เมตร ยาวประมาณ 1.20 เมตร และท่อเหล็ก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.22 เมตร ยาวประมาณ 1.20 เมตร สำหรับเจาะนำลงในชั้นดินที่ระดับความลึกต่างๆ ก่อนส่งหัวตรวจวัดลงในดิน ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ท่อเจาะน้ำ

หัวตรวจวัดสำหรับวัดความชื้น

หัวตรวจวัดสำหรับวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้า ภายในเป็นแท่งสแตนเลสสำหรับวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า มีสายไฟต่อเชื่อมกับตัวแปลงสัญญาณและต่อไปยังเครื่องแสดงผล ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 หัวตรวจวัดความชื้นในดิน

ตัวแปลงสัญญาณพร้อมส่วนแสดงผลและเก็บบันทึกข้อมูล

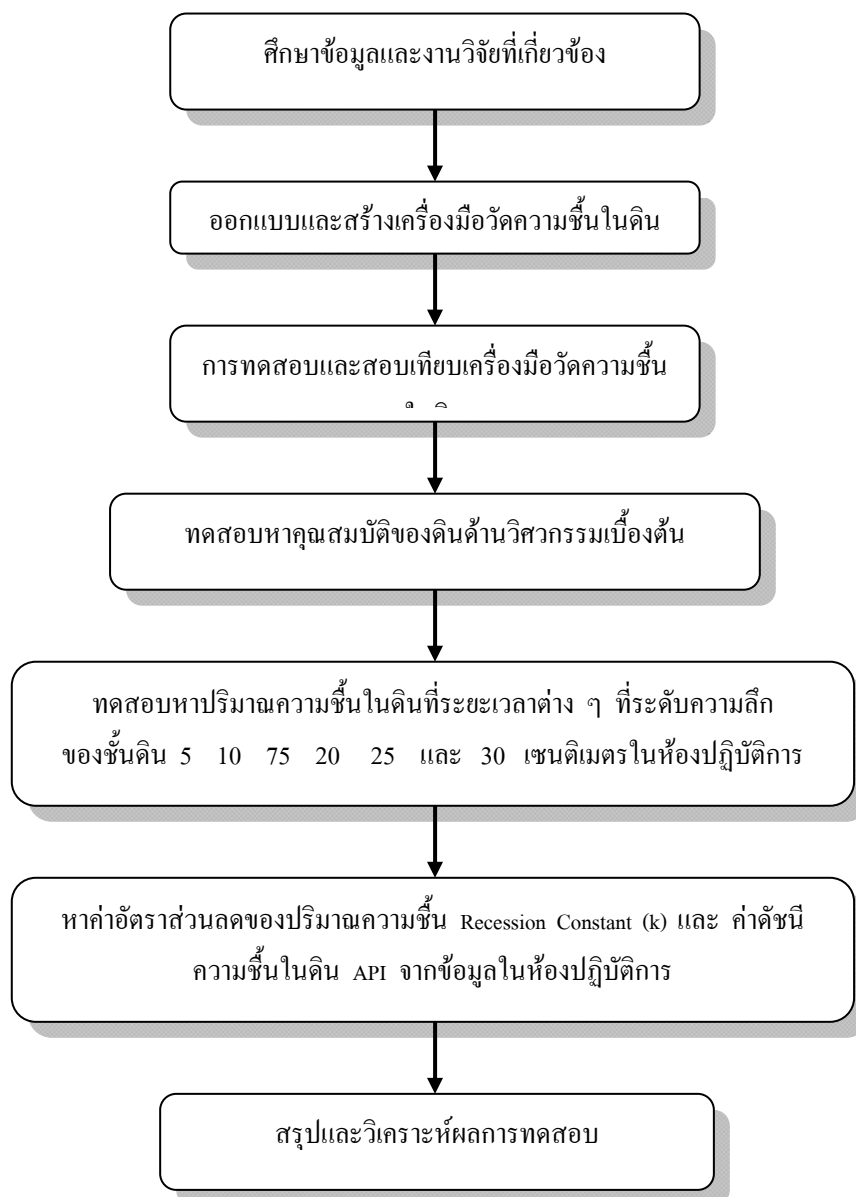
ตัวแปลงสัญญาณ พร้อมส่วนแสดงผลและจัดเก็บข้อมูลจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวที่รับค่าแรงดันที่วัดจากรีดหัวตรวจวัด (probe) และจะทำการนำข้อมูลนี้ไปแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า ในขณะเดียวกันก็จะส่งสัญญาณที่แปลงแล้วไปเป็นข้อมูลป้อนให้กับจอ LCD เพื่อแสดงผลเป็นตัวเลข แล้วนำไปเปรียบเทียบกับ Calibration Curve ผลออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินอีกที ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ตัวแปลงสัญญาณ พร้อมส่วนแสดงผลและจัดเก็บบันทึกข้อมูล

วิธีการ

การศึกษารูปแบบของเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้า ประกอบด้วยการศึกษา 5 ขั้นตอน คือ การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดความชื้นในดิน การสอบเทียบเครื่องมือวัดความชื้นในดิน การหาคุณสมบัติของดินด้านวิศวกรรมเบื้องต้น การทดลองวัดหาปริมาณความชื้นในดินที่ระยะเวลาและความลึกต่างๆและหาค่าอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นกับค่าดัชนีความชื้นในดินในห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แผนผังวิธีการศึกษาเครื่องมือวัดความชื้นในดิน

1. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

จากที่ได้ทำการศึกษาข้อมูลการสร้างเครื่องมือวัดความชื้นในดินและเครื่องเก็บข้อมูลต่างๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องมือวัดความชื้นในดิน ชนิดวัดความต้านทานไฟฟ้าของน้ำในดิน โดยมีหลักการ คือ น้ำในดินจะเป็นน้ำที่ไม่บริสุทธิ์ ซึ่งจะมีไอออนต่างๆ ที่สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ ดังนั้นในดินที่มีความชื้นในดินมากจะสามารถนำไฟฟ้าได้ดี หรืออาจกล่าวได้ว่ามีค่าความนำไฟฟ้าสูง แต่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำ และในทางตรงกันข้ามกับดินที่มีความชื้นในดินน้อยจะมีค่าความนำไฟฟ้าต่ำ แต่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูง ดังนั้นจึงได้นำหลักการนี้มาสร้างเครื่องทดลองหาความชื้นในดินโดยใช้ตัวนำไฟฟ้าแบบโลหะ 2 เข็มในการวัด ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เข็มสแตนเลส เป็นตัววัดค่าความต้านทานไฟฟ้า โดยเครื่องมือนี้มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ส่วนหัวตรวจวัดความชื้น ส่วนของตัวแปลงสัญญาณพร้อมส่วนแสดงผล โดยหัวตรวจวัดทำหน้าที่ตรวจวัดความชื้นในดินแล้วส่งข้อมูลไปยังตัวแปลงสัญญาณ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของเครื่องมือและเก็บข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัด ตลอดจนประมวลผลและแสดงผลทางหน้าจอ LCD บนกล่องแสดงผลและจัดเก็บข้อมูล

2. การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าและเครื่องแสดงผลพร้อมเก็บบันทึกข้อมูล

การออกแบบเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าและเครื่องเก็บบันทึกข้อมูลได้อาศัยข้อมูลขนาดสัดส่วนของเครื่องมือวัดความชื้นในดิน โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

2.1 ส่วนแรกเป็นหัวตรวจวัดความชื้น(Probe) มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างดังนี้

2.1.1 ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.2 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร จำนวน 1 ท่อน

2.1.2 แท่งสแตนเลส (Electrode) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร จำนวน 2 แท่ง

2.1.3 แผ่นพลาสติกใสหนา 0.5 เซนติเมตร ตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.2 เซนติเมตร

2.1.4 สายไฟขนาดเล็ก ยาว 50 เซนติเมตร จำนวน 2 เส้น

2.1.5 ตัวความต้านทาน ขนาด 18 โอห์ม จำนวน 1 ตัว

2.2 ขั้นตอนการสร้างหัวตรวจวัด (Probe) มีดังต่อไปนี้

2.2.1 การเลือกใช้แบบและขนาดแท่ง (Electrode)

แท่ง Electrode เลือกใช้เป็นสแตนเลส ลักษณะรูปร่างคล้ายเข็มเย็บผ้าปลายแหลม สำหรับปักลงในดินส่วนปลายด้านเป็นเกลียวขันสกรูได้สำหรับขันยึดกับแผ่นพลาสติกและสายไฟฟ้าส่งสัญญาณ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร จำนวน 2 แท่ง

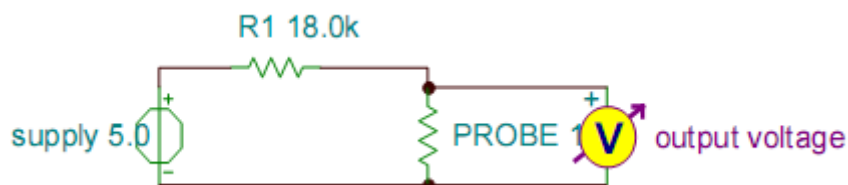
2.2.2 ส่วนตัวของหัวตรวจวัด เลือกใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นฉนวนไฟฟ้า

2.2.3 การประกอบหัวตรวจวัด (Probe)

นำแผ่นพลาสติกหนา 0.5 เซนติเมตร เจาะรูจำนวน 2 รู เพื่อใส่แท่งอิเล็กโทรดสแตนเลส ขันสกรูยึด แล้วต่อกับสายไฟเข้ากับ แท่งอิเล็กโทรด หลังจากนั้นประกอบแผ่นพลาสติกเข้ากับท่อ PVC ที่ปลายด้านหนึ่งด้วยกาว Epoxy โดยให้สายไฟร้อยเข้าไปสู่ปลายอีกข้างหนึ่งซึ่งมีฝาครอบเจาะรูจำนวน 1 รูที่ฝา เพื่อให้สายไฟลอดผ่าน แล้วประกอบฝาครอบเข้ากับท่อ PVC ที่ปลายอีกด้านหนึ่ง หลังจากนั้นทำการต่อตัวต้านทานที่สายสีแดง (กระแสบวก) แล้วทำการต่อขั้วต่อสายไฟตามสี (สีแดง ขั้วบวก และสีดำ ขั้วลบ)

2.2.4 การต่อวงจรเพื่อวัดค่าแรงดันที่คร่อม Probe

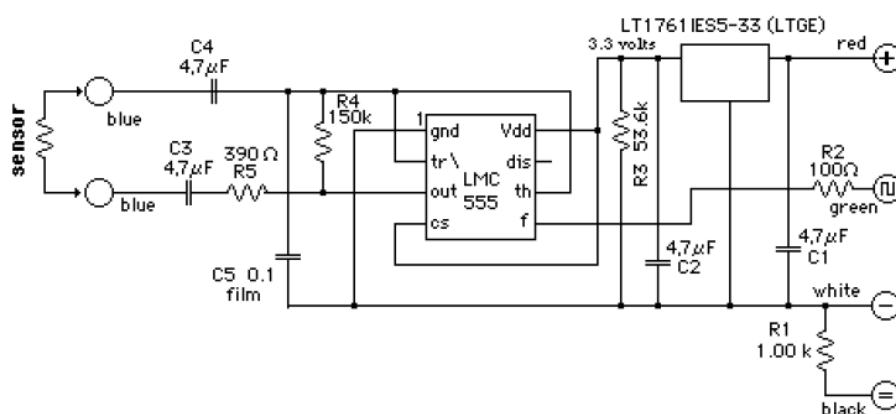
โดยการนำสายสัญญาณไฟฟ้าจากหัวตรวจวัดต่อเข้ากับตัวป้อนกระแสไฟ
ขนาด 5 โวลต์ มีรายละเอียดดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 การต่อวงจรในการวัดค่าแรงดันที่คร่อม Probe

2.3 ตัวแปลงสัญญาณพร้อมการแสดงผล

2.3.1 ส่วนตัวแปลงสัญญาณเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่มี
ความสามารถในการใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ ในส่วนของ
ตัวแปลงสัญญาณ มีการทำงานโดย หลังจากป้อนไฟฟ้ากระแสตรงเข้าในวงจรผ่านหัวตรวจวัด และ
หัวตรวจวัดจะวัดปริมาณความชื้นในดินเป็นค่าความต้านทานทางไฟฟ้าแล้วแปลงเป็นความถี่
ในการส่งข้อมูลในรูปของแรงดันไฟฟ้า โดยมีการต่อวงจรดังรูปที่แสดงต่อไปนี้



ภาพที่ 14 วงจรที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแหล่งจ่ายวัดความต้านทานไฟฟ้าแปลงเป็นแรงดัน

2.3.2 ส่วนของการแสดงผลและเก็บข้อมูล (Data Logger)

มีหน้าที่เก็บข้อมูล ประมวลผล ตลอดจนแสดงผลบนจอ LCD ให้เห็นได้ทันที ส่วนแสดงผลและเก็บข้อมูลประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักๆ 2 ส่วน คือ Main board และ CPU ชิ้นส่วนทั้งหมดรวมกันเรียกว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสามารถในการใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้

ในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 มาใช้แต่ใช้งานในโหมด Microprocessor ซึ่งทำให้สามารถขยาย Input และ Output ได้มากขึ้นเพื่อรองรับการแสดงผลออกทางจอ LCD และส่งสัญญาณแบบ RS 232 และยังสามารถได้ออกแบบให้ใช้หน่วยความจำภายนอกได้ด้วย เนื่องจากหน่วยความจำภายในของตัว CPU เองมีไม่เพียงพอต่อการประมวลผลและจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากหัวตรวจวัด หน่วยความจำที่ใช้จัดเก็บข้อมูลเรียกว่า EPROM ซึ่งสามารถเก็บข้อมูล และลบข้อมูลได้โดยใช้สัญญาณทางไฟฟ้า

2.3.3 การทำงานของ Main Board

Main Board จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 8031 ในการควบคุมการทำงานร่วมกับไอซีเบอร์ต่างๆ ในการเริ่มการทำงาน 8031 จะทำการอ่านโปรแกรมซึ่งได้ถูกบันทึกไว้ใน ROM (27256) ซึ่งจะสามารถอ้างหน่วยความจำโปรแกรมได้ถึง 32 กิโลไบต์ เนื่องจากแอสเซสเบส A_0-A_7 และ คาต้าบัส D_0-D_7 จะใช้พอร์ตศูนย์ในการรับหรือส่งสัญญาณ ฉะนั้น จะต้องถูกทำงานมัลติเพล็กซ์สัญญาณแบบไทม์มัลติเพล็กซ์ เพื่อที่จะสามารถแยกสัญญาณระหว่างแอสเซสและคาต้า โดยสัญญาณแอสเซสจะถูกส่งออกมาก่อนแล้วจะถูกเก็บค่าไว้ใน 74LS373

โดยจะมีสัญญาณ ALE(Address latch enabled) ส่งตามออกมาด้วยเพื่อสั่งให้ 74LS373 ทำการแลตช์ค่าไว้ จากนั้นพอร์ตศูนย์ก็จะสามารถทำหน้าที่เป็นคาต้าบัสได้ ซึ่งการทำงานจะทำงานร่วมกับสัญญาณ PSEN เมื่อต้องการอ่านโปรแกรมหรือว่าสัญญาณ READ และ WRITE เมื่อต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำ RAM ในการจัดการกับหน่วยความจำข้อมูลนั้น จะแบ่งเป็นช่วงดังนี้คือ ช่วง 0000h-E000h จัดไว้สำหรับการเก็บข้อมูล และช่วง E000h-FFFFh จัดไว้สำหรับพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต ในการอ่านและเขียนเวลาใน Real Time

Clock นั้น ค่าของเวลาต่างๆ จะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ต่างๆ โดยค่าแอสเครสของ Real Time Clock นั้นจะทำการเข้ารหัสสัญญาณแอสเครส $A_{12}-A_{15}, A_0-A_4$ โดยค่าของแอสเครสที่ตรงกับตำแหน่งของ Real Time Clock นั้นคือ F01Xh โดยค่าแอสเครส A_0-A_3 จะมีค่าเป็นไปตาม รีจิสเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการอ่าน ซึ่งค่าของ A_0-A_3 จะมีค่าเป็นไปตามตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4 ค่าแอสเครสของ A_0-A_3 ที่ต้องการอ่าน

Address Input	Address Input				Register Name	Data				Count Value	Description
	A_3	A_2	A_1	A_0		D_3	D_2	D_1	D_0		
0	0	0	0	0	S_1	S_2	S_4	S_2	S_1	0 to 9	1-Second digit register
1	0	0	0	1	S_{10}	-	S_{40}	S_{20}	S_{10}	0 to 5	10-Second digit register
2	0	0	1	0	MI_1	MI_5	MI_4	MI_2	MI_1	0 to 9	1-minute digit register
3	0	0	1	1	MI_{10}	-	MI_{40}	MI_{20}	MI_{10}	0 to 5	10-minute digit register
4	0	1	0	0	H_1	h_5	h_4	h_2	h_1	0 to 9	1-hour digit register
5	0	1	0	1	H_{10}	-	PW AM	h_{20}	h_{10}	0 to 2 or 0 to 1	PW/AM 10-hour digit register
6	0	1	1	0	D_1	d_8	d_4	d_2	d_1	0 to 9	1-day digit register
7	0	1	1	1	D_{10}	-	-	d_{20}	d_{10}	0 to 3	10-day digit register
8	1	0	0	0	MO_1	mo_5	mo_4	mo_2	mo_1	0 to 9	1-month digit register
9	1	0	0	1	MO_{10}	-	-	-	MO_{10}	0 to 1	10-month digit register
A	1	0	1	0	Y_1	y_5	y_4	y_2	y_1	0 to 9	1-year digit register
B	1	0	1	1	Y_{10}	y_{80}	y_{40}	y_{20}	y_{10}	0 to 9	10-year digit register
C	1	1	0	0	W	-	w_4	w_2	w_1	0 to 6	Week register
D	1	1	0	1	C_0	30 Sec. ADJ	IRD FLAG	BUSY	HOLD	-	Control Register D
E	1	1	1	0	C_1	t_1	t_0	ITRPT/ STAND	MASK	-	Control Register E
F	1	1	1	1	C_F	TEST	24/12	STOP	REST	-	Control Register F

2.3.4 สัญญาณทางไฟฟ้า

สัญญาณทางไฟฟ้าใช้แบบมาตรฐาน RS-232 กำหนดคุณลักษณะของสัญญาณทางไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมต่ออนุกรมโดยตรง มีเพียง 2 ลักษณะคือ space แสดงถึง binary 0 หรือแรงดันไฟฟ้าบวก และ Mark แสดงถึง binary 1 หรือแรงดันไฟฟ้าลบ บนสายข้อมูล (เช่น สาย 2 และสาย 3) แรงดันไฟฟ้าบวกแสดงถึงค่า logic 0 และแรงดันไฟฟ้าลบแสดงค่า logic 1 บนสาย Handshaking (เช่น DTR และ DSR) แรงดันไฟฟ้าบวกแสดงว่าส่งข้อมูลได้ ส่วนแรงดันไฟฟ้าลบหมายถึงหยุดส่งข้อมูล แรงดันไฟฟ้าบวกสถานะ space อยู่ระหว่าง +5 ถึง +15 โวลต์ สำหรับ output และระหว่าง +3 ถึง +15 โวลต์ สำหรับ input ความแตกต่างมีไว้เพื่อกรณีแรงดันไฟฟ้าสูญหายเนื่องจากความยาวของสายสัญญาณ ในทำนองเดียวกัน แรงดันไฟฟ้าลบสถานะ MARK กำหนดระหว่าง -5 ถึง -15 โวลต์ สำหรับ output และ -3 ถึง -15 โวลต์สำหรับ input

สังเกตว่า ถ้าสายสัญญาณยาวเกินไป ระดับแรงดันไฟฟ้าจะตกลงเกินขอบเขตที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ ความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีผลกับคุณภาพของสัญญาณ โดยทำให้การเปลี่ยนแปลงจากแรงดันไฟฟ้าบวกเป็นไฟลบไม่ชัดเจน RS-232 ไม่ได้มุ่งหวังให้นำไปใช้สำหรับระยะทางไกลๆ และโดยทั่วไป 50 ฟุตเป็นระยะทางที่ไกลที่สุดในการใช้สายสัญญาณปกติที่อัตราการส่งข้อมูลปกติ ถ้าอุปกรณ์อยู่ห่างกันมากอาจจำเป็นต้องใช้โมเด็มหรืออุปกรณ์อื่น

2.3.5 การทำงานของ RS-232

ส่วนการอินเทอร์เฟซทางลอจิกของพอร์ต RS-232 ออกแบบให้การสื่อสารมีความยาวไม่เกิน 50 ฟุต ที่ความเร็ว 20,000 บิตต่อวินาที(สามารถใช้งานที่ความยาวสายสื่อสารมากกว่านี้ หรือที่ความเร็วสูงกว่านี้ หรือทั้งสองอย่าง แต่ตามมาตรฐานแล้วกำหนดไว้ที่ความยาว 50 ฟุต) การสื่อสารจะติดต่อโดยผ่านสายไฟ 25 เส้นซึ่งแยกหน้าที่แตกต่างกันออกไป พอร์ต RS-232 สามารถรองรับการสื่อสารได้ทั้งแบบ ชิงโครนัส และแบบอะซิงโครนัส หากใช้ในการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสแล้วเส้นควบคุมบางเส้นใน 25 เส้นนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ ตามที่กล่าวไว้แล้ว โดยจะเทียบให้ระดับแรงดัน +3 โวลต์หรือมากกว่าเป็นสถานะทำและระดับแรงดัน -3 ถึง +3 โวลต์จะไม่เทียบเป็นระดับใดทั้งสิ้น

4.1.1.2 จ่ายกระแสไฟขนาด 5 โวลต์ ให้วงจร ทำการวัดค่าแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างเข็มในแต่ละตัวอย่าง จำนวน 10 ครั้ง นำค่าแรงดันทั้งหมดที่วัดได้มาบันทึกเปรียบเทียบบหาค่าเฉลี่ย

4.1.1.3 ทำการวัดความชื้นในดิน โดยนำดินตัวอย่างไปอบแห้ง (ความชื้นศูนย์เปอร์เซ็นต์) แล้วนำหัวตรวจวัดทั้งหมดมาวัดบันทึกค่าแรงดันทั้งหมดไว้

4.1.1.4 เพิ่มความชื้นในดินตัวอย่างให้มีความชื้นที่ 5, 10, 15, 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ นำหัวตรวจวัดเพื่อหาค่าแรงดันของหัวตรวจวัดที่ระดับความชื้นต่างๆ พร้อมบันทึกไว้

4.1.1.5 นำค่าแรงดันไฟฟ้าทั้งหมดมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น ประกอบในการพิจารณาระยะห่างของแท่ง electrode

4.2 การสอบเทียบเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้า เพื่อต้องการเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้ากับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นดินโดยน้ำหนัก มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

4.2.1 นำดินตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบใส่ลงในภาชนะขนาด 30x30 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตรหนักประมาณ 6 กิโลกรัม นำไปเข้าเตาอบ เพื่อไล่ความชื้นที่มีอยู่ในดินออกให้หมด ที่อุณหภูมิ 105 – 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำดินออกจากเตาอบมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาปริมาณความชื้นที่หายไป แล้วนำเครื่องมือที่สร้างขึ้นเสียบลงในดินวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า โดยทำการวัดให้ทั่วดินที่อยู่ในภาชนะอย่างน้อย 5 จุด จดบันทึกค่าความต้านทานไว้

4.2.2 ตักดินใส่ภาชนะหนัก 3 กิโลกรัม ใส่น้ำลงในดินเป็นการให้ความชื้น โดยคือนำน้ำหนักน้ำเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักดินแห้ง (การเพิ่มความชื้นตามสัดส่วนของดินดังตาราง)

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นดินกับปริมาณน้ำ (ดิน 3 กิโลกรัม)

%ความชื้น	ปริมาณน้ำ (กก.)
0	0
3	0.09
5	0.15
7	0.21
10	0.3
15	0.45
17	0.51
20	0.6
25	0.75

4.3 ทำการวัดความชื้นดินด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้น ทุกๆ ความชื้นที่เปลี่ยนไปพร้อมเก็บตัวอย่างดินนำเข้าเตาอบ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการอบตามข้อที่ 1. เพื่อหาปริมาณความชื้นจากการอบแห้งตามความชื้นที่เปลี่ยนไป

4.4 นำผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือ และค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากการอบมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นดินจากเตาอบกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือเพื่อสร้างเป็น Calibration Curve

4.5 เกณฑ์ในการตัดสินใจคัดเลือกผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดความชื้นในดิน (fitting criteria) ในการศึกษาครั้งนี้การสอบเทียบแบบจำลองจะเปรียบเทียบผลที่คำนวณได้จากแบบจำลองและผลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้วิธีการพิจารณาค่าทางสถิติเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจคัดเลือกผลการปรับเทียบข้อมูลได้แก่

4.5.1 ค่าความแตกต่างของปริมาณความชื้นในดินจากเครื่องมือวัดโดยพิจารณาเปอร์เซ็นต์แตกต่างระหว่างปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยจากเครื่องมือวัดและปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยในห้องปฏิบัติการดังแสดงในสมการที่ 7 ดังนี้

$$\text{จาก } \bar{w}_o = \frac{\sum_{i=1}^n w_{oi}}{n} \quad (7)$$

$$\text{และ } \bar{w}_c = \frac{\sum_{i=1}^n w_{ci}}{n} \quad (8)$$

$$\% \text{ แตกต่าง} = \frac{(\bar{w}_o - \bar{w}_c)}{\bar{w}_o} \times 100 \quad (9)$$

โดยที่ $\bar{w}_o$ คือ ปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยในห้องปฏิบัติการ

$\bar{w}_c$ คือ ปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยจากเครื่องมือวัด

w_{oi} คือ ปริมาณความชื้นในดินในห้องปฏิบัติการ

w_{ci} คือ ปริมาณความชื้นในดินจากเครื่องมือวัด

n คือ จำนวนตัวอย่างที่พิจารณา

4.5.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยจากเครื่องมือวัดและปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยในห้องปฏิบัติการดังแสดงในสมการที่ 10

$$\text{จาก } r = \frac{\sum_{i=1}^n (w_{oi} - \bar{w}_o) \times (w_{ci} - \bar{w}_c)}{\left[\sum_{i=1}^n (w_{oi} - \bar{w}_o)^2 \times (w_{ci} - \bar{w}_c)^2 \right]^{0.5}} \quad (10)$$

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าอยู่ระหว่าง $-1 < r < 1$ ซึ่งหากค่า r มีค่าเข้าใกล้กับ 1 แสดงว่า ปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยจากเครื่องมือวัดและปริมาณความชื้นในดินเฉลี่ยในห้องปฏิบัติการ มีความสัมพันธ์กันแบบปฏิภาคตรง แต่หากค่า r มีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่า มีความสัมพันธ์กันแบบปฏิภาคผกผัน

5. การทดสอบหาคุณสมบัติของดินด้านวิศวกรรมเบื้องต้น

ทดสอบคุณสมบัติของดินทางกายภาพและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมเบื้องต้น ตัวอย่างดินที่นำไปใช้ในการทดสอบเป็นดินบริเวณอำเภอบางปลาหม้อ จังหวัดสุพรรณบุรี นำตัวอย่างดินไปทดสอบเพื่อศึกษาสมบัติของดินด้านกายภาพได้แก่

- 5.1 การทดสอบหาค่าความชื้นในมวลดิน (Natural Moisture Content)
- 5.2 การทดสอบหาขนาดเม็ดดินด้วยวิธี Sieve Analysis
- 5.3 การทดสอบหาขนาดเม็ดดินด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis)
- 5.4 การทดสอบการจำแนกประเภทดิน (USCS)

6. การทดสอบหาปริมาณความชื้นในดินที่ระยะเวลาต่างๆ ที่ระดับความลึกที่แตกต่างกันของชั้นดิน 5 10 15 20 25 และ 30 เซนติเมตรในห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องหาปริมาณความชื้นในดินที่สร้างขึ้นกับ กราฟ Calibration Curve ซึ่งได้ผ่านการสอบเทียบแล้วโดยเป็นดินประเภทและแหล่งเดียวกันและคุณลักษณะทางกายภาพของดินที่ใกล้เคียงกัน

วิธีการทดสอบหาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของดินภายหลังการเติมน้ำจำนวน ตัวอย่างที่ทำการทดสอบ 6 ตัวอย่าง ดังนี้

การทดสอบกระทำโดยนำดินตัวอย่างไปใส่ลงในกระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติ เมตร สูง 35 เซนติเมตร ให้มีความหนาของชั้นดินประมาณ 30 เซนติเมตร หลังจากนั้นเติมน้ำลงบนผิวหน้าของตัวอย่างดินในกระถางจนท่วมถึงไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายหลังครบกำหนดเวลาแล้ว นำกระถางไปตั้งกลางแจ้งที่มีแสงแดดส่องจำนวน 3 กระถาง(กระถางที่ 1-3) อีก 3 กระถาง (กระถางที่ 4-6) นำไปตั้งกลางแจ้งในที่ร่มไม่มีแสงแดดส่องมีลมพัดอากาศถ่ายเทสะดวก โดยควบคุมให้เหมือนกันทุกกระถางวันละ 8 ชั่วโมง มีการวัดปริมาณความชื้นทุกวัน มีการเติมน้ำลงในกระถางในวันที่ 3 สำหรับกระถางที่ 1 และ 4 เติมน้ำลงในกระถางในวันที่ 5 สำหรับกระถางที่ 2 และ 5 เติมน้ำลงในกระถางในวันที่ 7 สำหรับกระถางที่ 3 และ 6 ทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 15 วัน

การศึกษาหาค่าปริมาณความชื้นของดินที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ จะศึกษาโดยใช้เครื่องมือวัดความชื้นในดินที่สร้างขึ้นวัดความชื้นตัวอย่างดินในแต่ละกระถางตลอดความลึก เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าปริมาณความชื้นที่คงอยู่ในดินภายหลังการเติมน้ำเมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด ที่ความลึก 5 10 15 20 25 และ 30 เซนติเมตร ทุกวันเป็นเวลาทั้งหมด 15 วัน

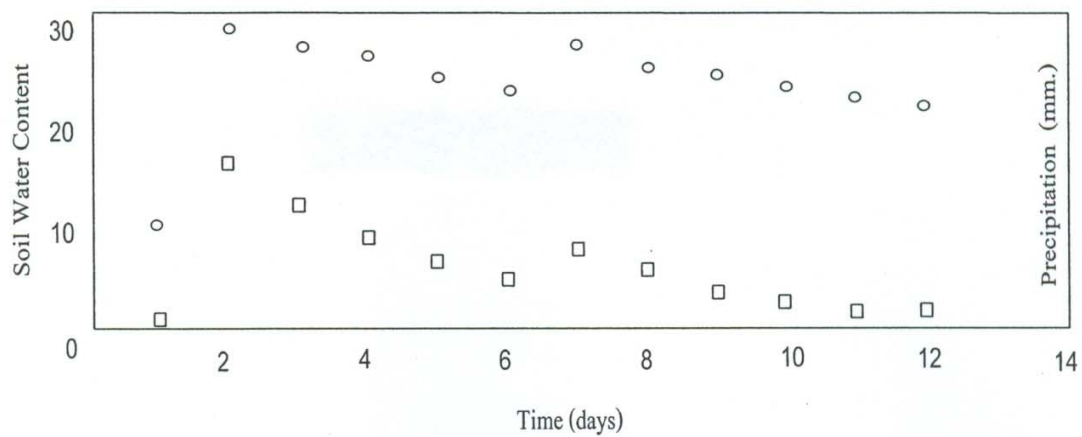
ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของดินตามระยะเวลา

กระถางตัวอย่างดิน	วันที่เติมน้ำ ; (วัน)		
1*	1	3	9
2*	1	5	12
3*	1	7	
4**	1	3	9
5**	1	5	12
6**	1	7	

หมายเหตุ * ตั้งกลางแจ้งมีแสงแดดส่องวันละ 8 ชั่วโมง

** ตั้งในที่ร่มไม่มีแสงแดด วันละ 8 ชั่วโมง

7. การหาค่าอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้น RecessionConstant (k)



ภาพที่ 16 การหาค่า Soil Water Content

ที่มา: Bothale *et al.* (2003)

โดยปริมาณความชื้นที่คืนเก็บสะสมไว้ก่อนหน้านี้

$$SWC_1 = SWC_{t-1} \times k \quad (11)$$

การหาค่า SWC หลังจากผ่านไปเป็นเวลา 2 วัน

$$SWC_1 = SWC_{t-2} \times k \times k \quad (12)$$

ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในธรรมชาติ

$$SWC_1 = SWC_{t=0} \times k^t \quad (13)$$

หรือ

$$API_1 = API_{t=0} \times k^t \quad (14)$$

นำค่า Soil Water Content มาเขียนเป็นกราฟ Logarithmic และแปลงเป็นเส้นตรง เพื่อนำสมการมาหาค่า Recession Constant (k)

$$SWC^t = SWC_{t=0} \times k^t$$

$$SWC = b \times k^t$$

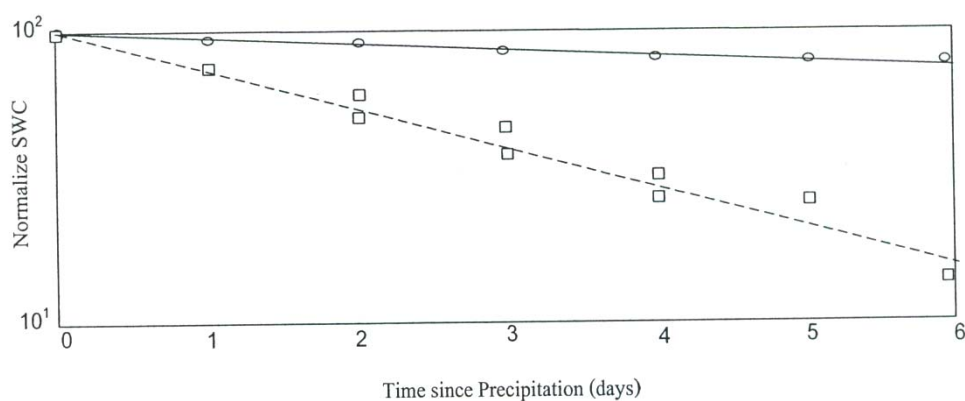
$$\log_{10}(SWC) = \log_{10}(b \times k^t)$$

$$\log_{10}(SWC) = \log_{10}(b) + [\log_{10}(k) \times t]$$

$$\log_{10}(SWC) = \log_{10}(\text{zero intercept})$$

$$+ [\log_{10}(\text{recession constant}) \times \text{time}]$$

$$Y = b + (m \times x)$$



ภาพที่ 17 การหาค่า Normalized Soil Water Content เพื่อหาค่า k

ที่มา: Bothale *et al.* (2003)

จากภาพที่ 16 ค่า Recession Constant (k) สามารถหาได้จากความชันของความสัมพันธ์ระหว่างค่า Normalized SWC กับ Time since Precipitation ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\log_{10} k = -\frac{\Delta y}{\Delta x}; k = 10^{-\frac{\Delta y}{\Delta x}} \quad (15)$$

ค่า Recession Factor คือค่าที่ถูกปรับแก้ไขให้ถูกต้องตามมาตรฐานจะขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ ภูมิศาสตร์และสภาพภูมิอากาศนั้นๆ ด้วยค่า API อาจจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นบริเวณ ไกล่ผิวดิน

ผลและวิจารณ์

ผล

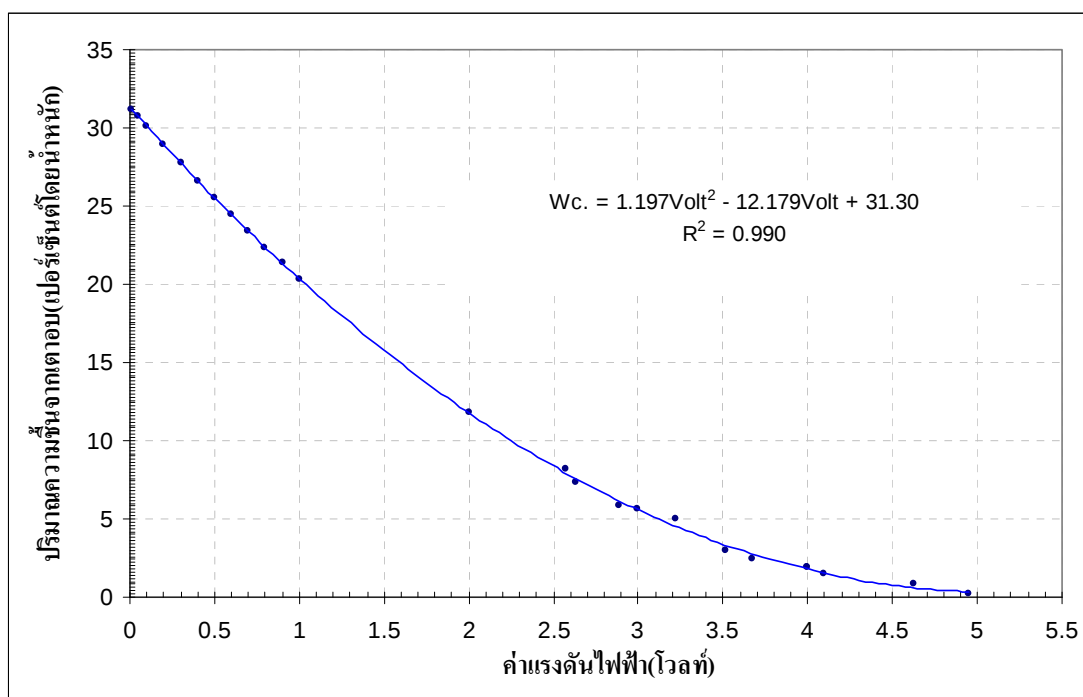
การทดลองเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อการเกษตร มีหัวตรวจวัดความชื้นลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ส่วนปลายเป็นแท่งโลหะทำจากสแตนเลส จำนวน 2 แท่งมีความยาว 6 เซนติเมตร สำหรับฝังลงในดินเพื่อวัดความชื้น

1. การทดสอบเครื่องมือ

ผลการทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมระหว่างแท่ง electrode หลังจากป้อนกระแสไฟฟ้าขนาด 5 โวลต์ แล้วพบว่า หัวตรวจวัด (Probe) ใช้แท่ง electrode ที่ทำจากสแตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างแท่ง electrode เท่ากับ 1.4 เซนติเมตร

2. การสอบเทียบเครื่องมือ

ผลการทดลองวัดความชื้นเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือและค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากเตาอบในห้องปฏิบัติการมีความสัมพันธ์สามารถสร้างเป็น Calibration curve ได้ดังแสดงในภาพที่ 18



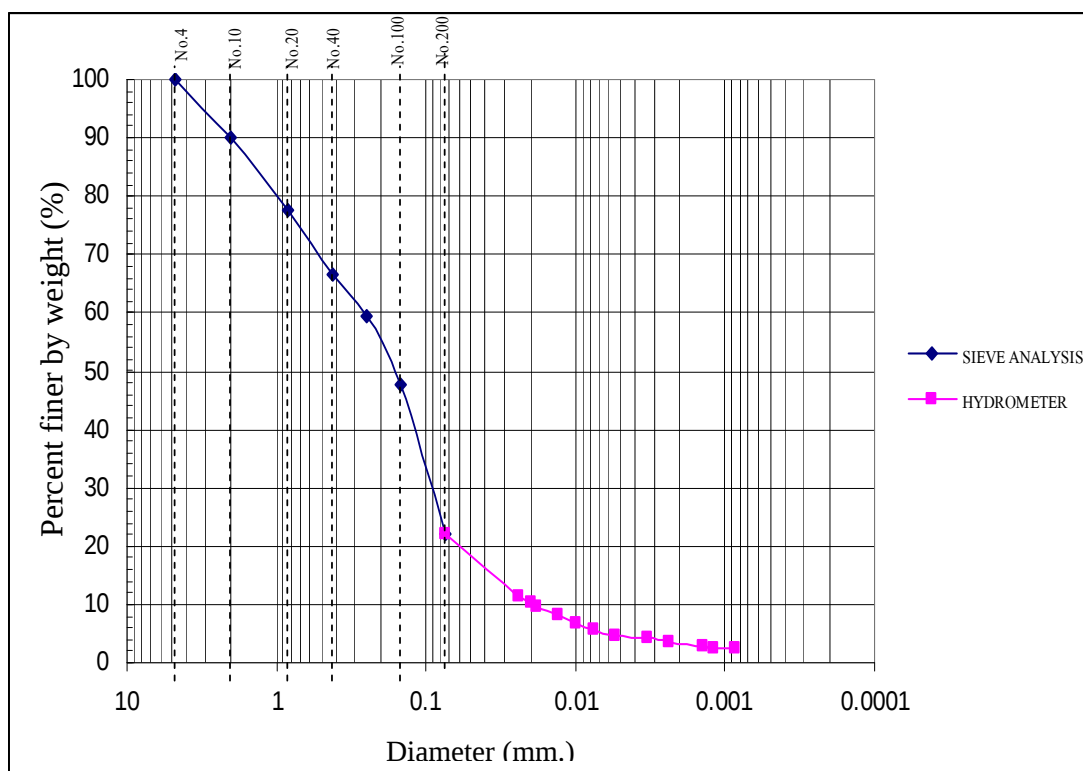
ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นดินจากเตาอบกับค่าแรงดันไฟฟ้า

จากการสอบเทียบเครื่องมือโดยการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากเครื่องมือวัดกับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากเตาอบในห้องปฏิบัติการพบว่า เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -6.26 เปอร์เซ็นต์ ค่า RMS Error เท่ากับ 0.27 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.969

3. ผลการทดสอบหาคุณสมบัติของดินด้านวิศวกรรมเบื้องต้น

จากการศึกษาได้นำตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบเป็นดินบริเวณอำเภอบางปลา จังหวัดสุพรรณบุรี นำตัวอย่างดินไปทดสอบเพื่อศึกษาสมบัติของดินด้านกายภาพ พบว่า

3.1 ผลการทดสอบหาขนาดผลของเม็ดดิน พบว่าขนาดของเม็ดดินเป็นดินที่มีขนาดผลกันดี (Well graded soil) เนื้อดินมีขนาดต่างๆ คละกันอย่างค่อนข้างเหมาะสมตั้งแต่ขนาดใหญ่ไปจนถึงขนาดเล็กพิจารณาจากเส้นกราฟค่อนข้างราบเรียบสม่ำเสมอ โดย C_u มีค่าเท่ากับ 12.5 ค่า C_c มีค่าเท่ากับ 1.62 ดังแสดงตามภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ผลการทดสอบการหาขนาดผลของเม็ดดิน

3.2 ผลการทดสอบการจำแนกประเภทดิน (Soil Classification) พบว่าดินตัวอย่างที่นำมาทดสอบจัดเป็นดินประเภท ML เป็นดินทรายร่วนมีความเหนียวเล็กน้อย ลักษณะของดินชนิดนี้เมื่อมีความชื้นมากจะมีสภาพเป็นของเหลว

4. ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของดินภายหลังการเติมน้ำ

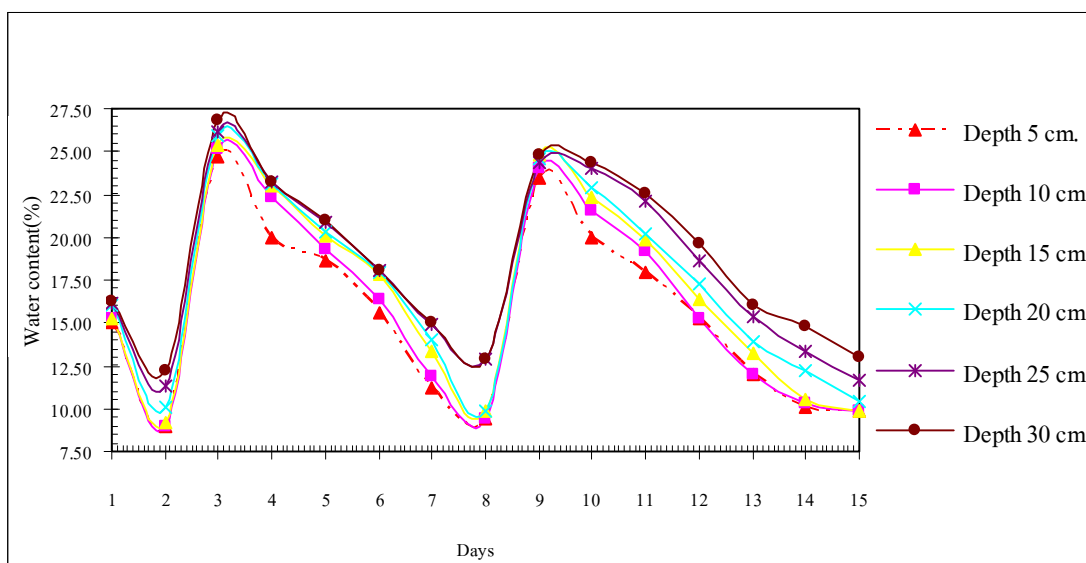
การทดสอบตัวอย่างดินในกระถาง จำนวน 6 ตัวอย่าง ใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 15 วัน โดยกระถางที่ 1 ถึง 3 นำไปตั้งกลางแจ้งแดด กระถางที่ 4 ถึง 6 ตั้งในที่ร่มไม่มีแสงแดด กระถางมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สูง 35 เซนติเมตร ใส่ตัวอย่างดินสูง 30 เซนติเมตร แล้วเติมน้ำลงในกระถางดินตัวอย่างจนท่วมถึงไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เจาะรูที่ก้นกระถางเพื่อระบายน้ำออกจากกระถาง แล้วทำการวัดหาปริมาณความชื้นในดินที่ระดับความลึก 5 10 15 20 25 และ 30 เซนติเมตร ตามช่วงระยะเวลาต่างๆ ที่เป็นผลจากการระบายน้ำให้กับดินชั้นล่าง และการคายระเหยของน้ำ ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและอุณหภูมิ ของดินหลังการเติมน้ำ

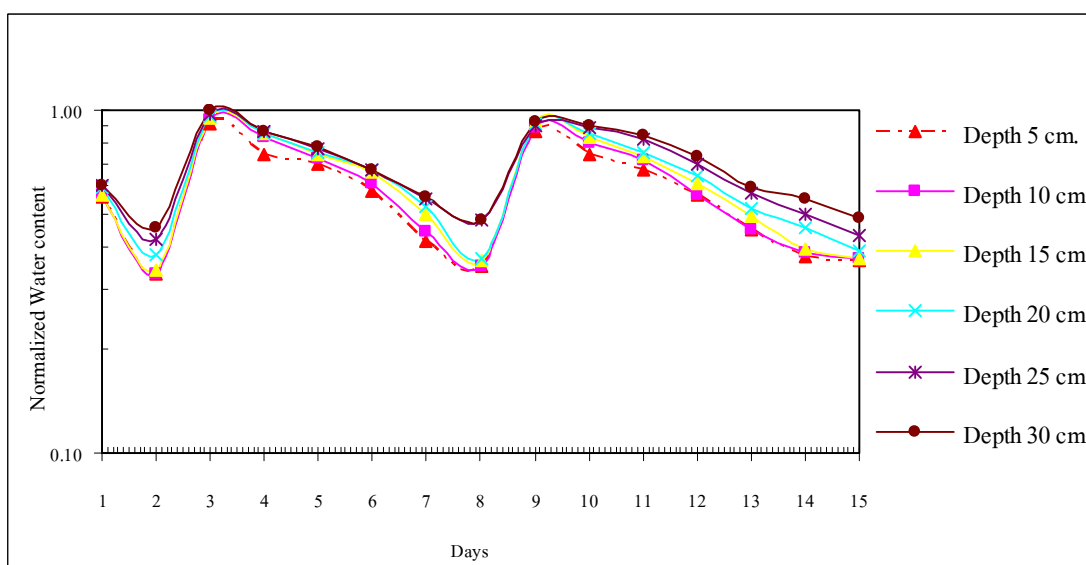
ตัวอย่างดิน	ประเภทการทดลอง		
	เติมน้ำ 24 ชม.	กลางแสงแดด	ในร่ม
1	✓	✓	
2	✓	✓	
3	✓	✓	
4	✓		✓
5	✓		✓
6	✓		✓

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิ และช่วงความถี่ของระยะเวลาในการเติมน้ำ ซึ่งจะมีผลต่อค่าอัตราส่วนลด Recession Constant ของปริมาณความชื้นในชั้นดิน

จากผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของดินภายหลังจากการเติมน้ำที่ใช้ในการทดลองจะแสดงผลการทดลองอยู่ในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Water content กับค่า Days และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Normalize water content กับค่า Days เพื่อหาค่าอัตราส่วนลด Recession Constant ของปริมาณความชื้นในชั้นดินนั้นๆ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 20 ถึง 31 และตารางที่ 8

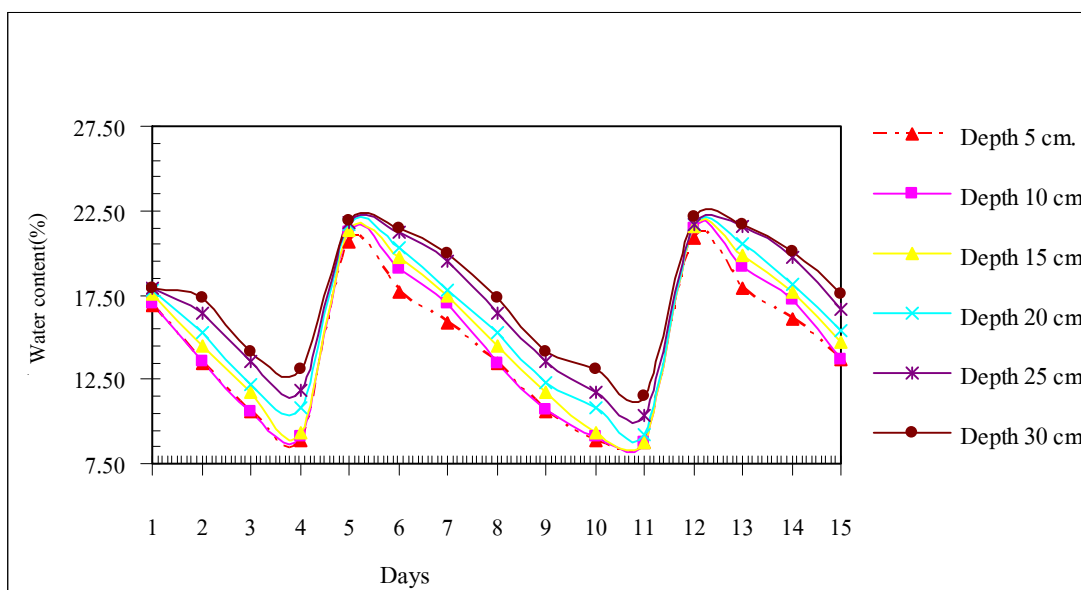


ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในดินกับเวลาของดินตัวอย่างที่ 1

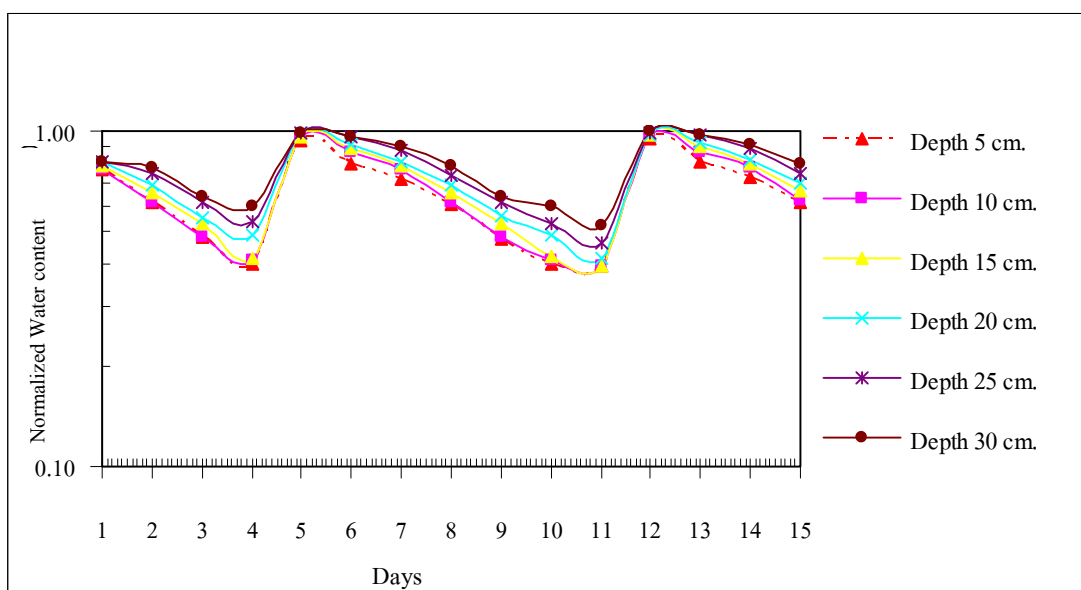


ภาพที่ 21 การ Normalized หาค่าอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นในดินตัวอย่างที่ 1

จากภาพที่ 20 และ 21 คือตัวอย่างที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบปริมาณน้ำในดินกับเวลา ของดินตัวอย่างที่ตั้งอยู่กลางแจ้งมีแสงแดดส่อง โดยมีช่วงของการเติมน้ำในวันที่ 1 3 และ 9 ตามลำดับ ค่า k ของดินตัวอย่างที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.841

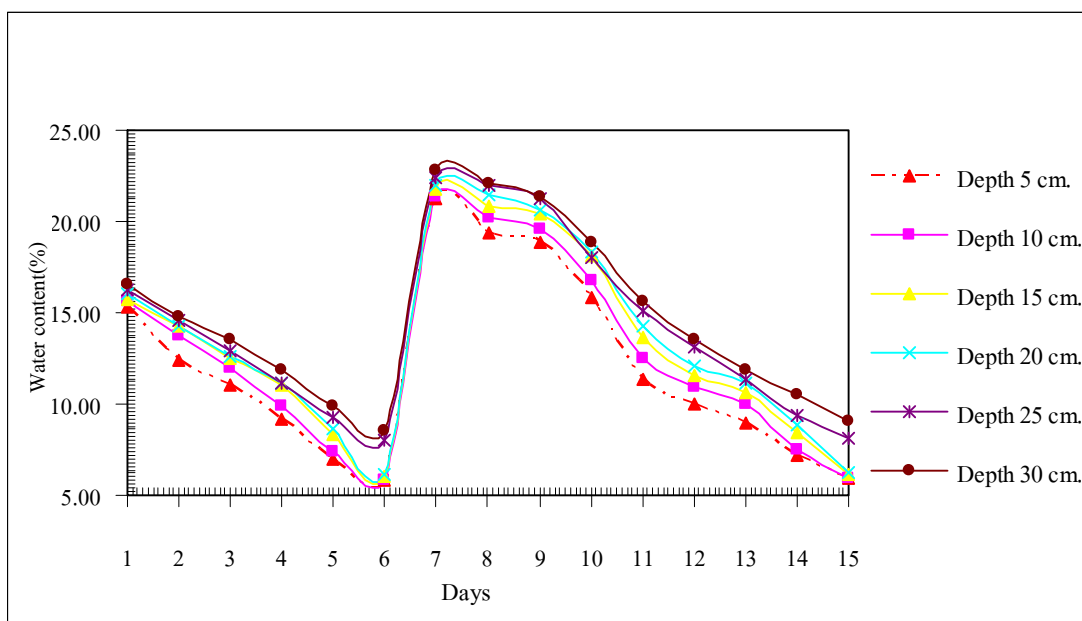


ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในดินกับเวลาของดินตัวอย่างที่ 2

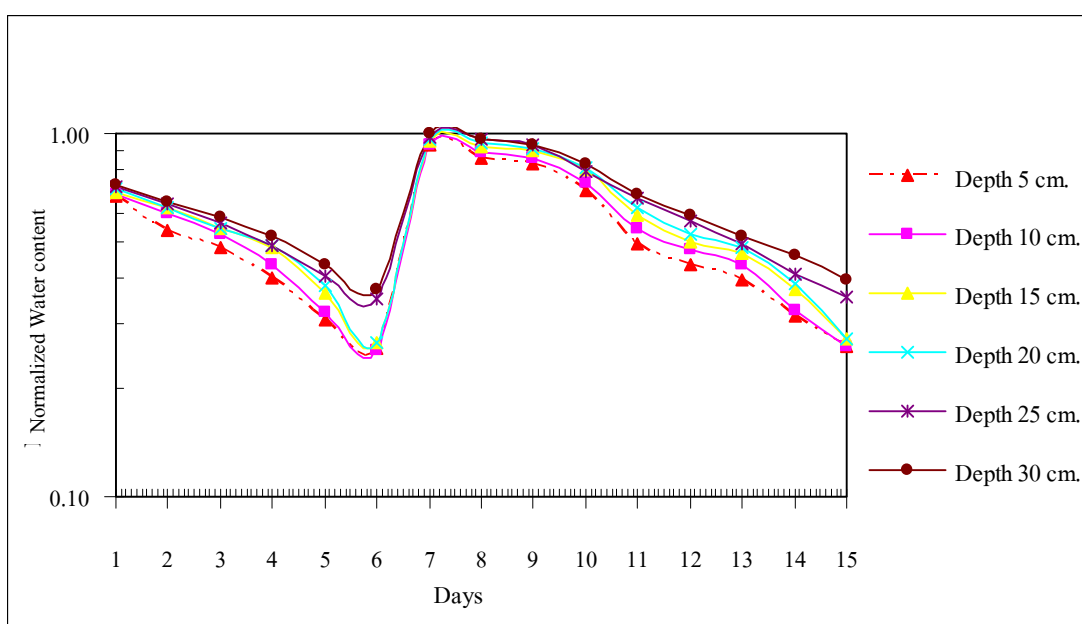


ภาพที่ 23 การ Normalized หาค่าอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นในดินตัวอย่างที่ 2

จากภาพที่ 22 และ 23 คือตัวอย่างที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบปริมาณน้ำในดินกับเวลา ของดินตัวอย่างที่ตั้งอยู่กลางแจ้งมีแสงแดดส่อง โดยมีช่วงของการเติมน้ำในวันที่ 1 5 และ 12 ตามลำดับ ค่า k ของดินตัวอย่างที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.871

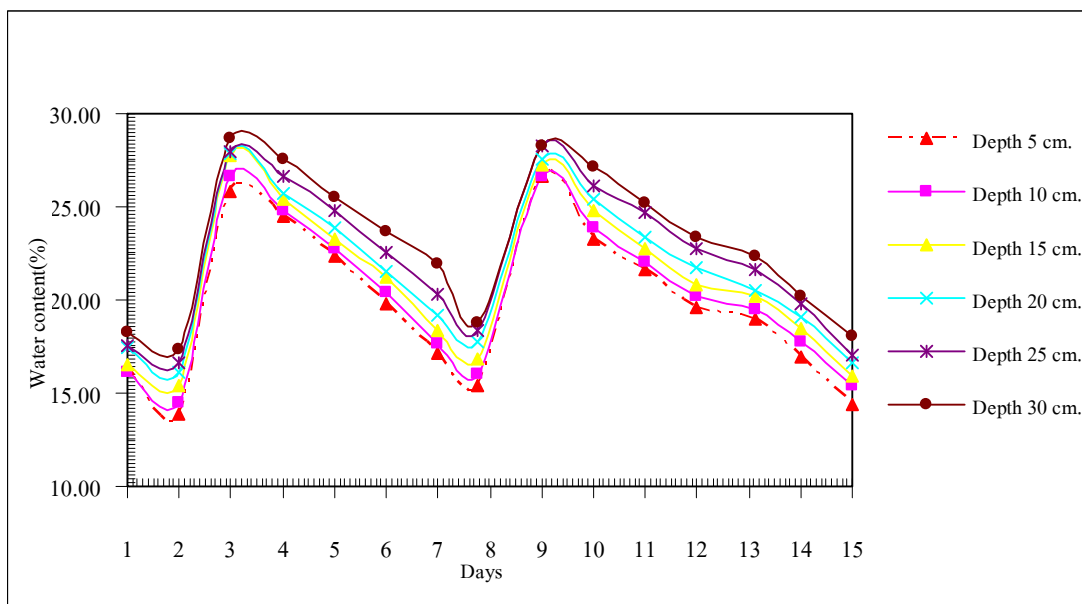


ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในดินกับเวลาของดินตัวอย่างที่ 3

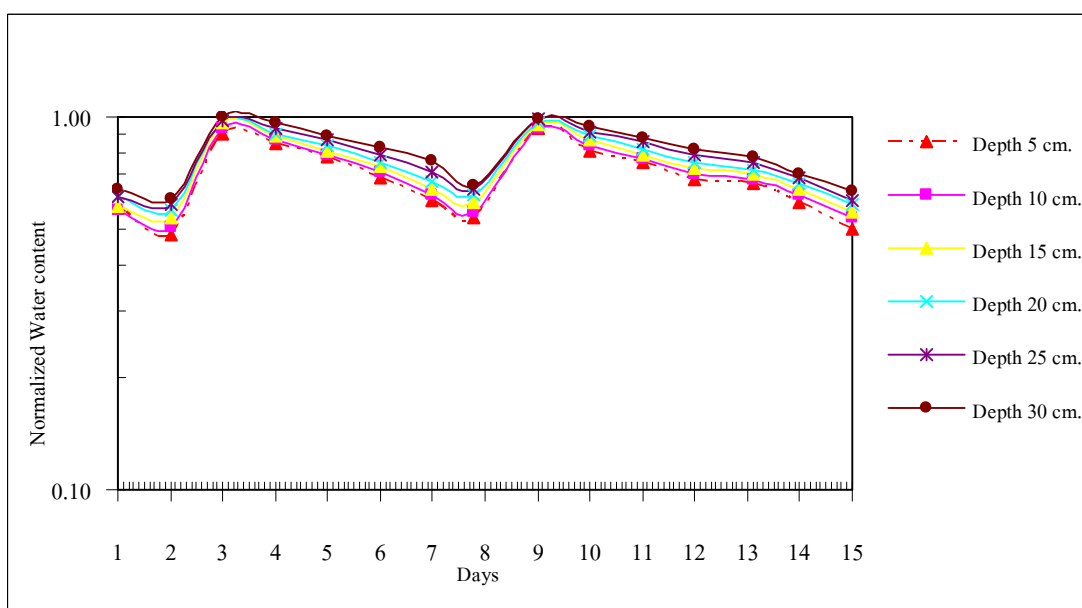


ภาพที่ 25 การ Normalized หาค่าอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นในดินตัวอย่างที่ 3

จากภาพที่ 24 และ 25 คือตัวอย่างที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบปริมาณน้ำในดินกับเวลา ของดินตัวอย่างที่ตั้งอยู่กลางแจ้งมีแสงแดดส่อง โดยมีช่วงของการเติมน้ำในวันที่ 1 และ 7 ตามลำดับ ค่า k ของดินตัวอย่างที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.857

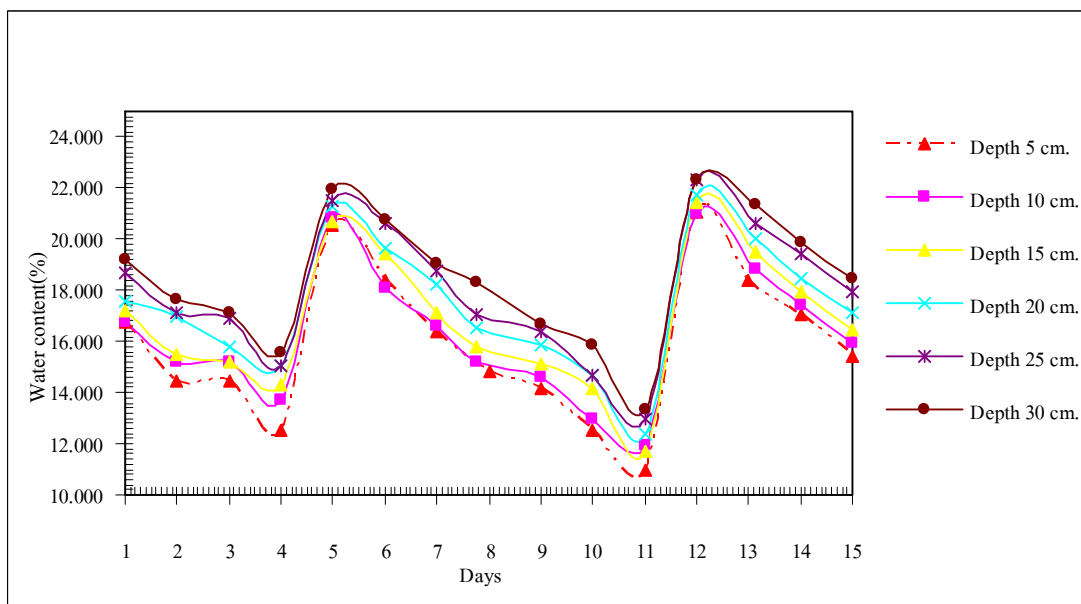


ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในดินกับเวลาของดินตัวอย่างที่ 4

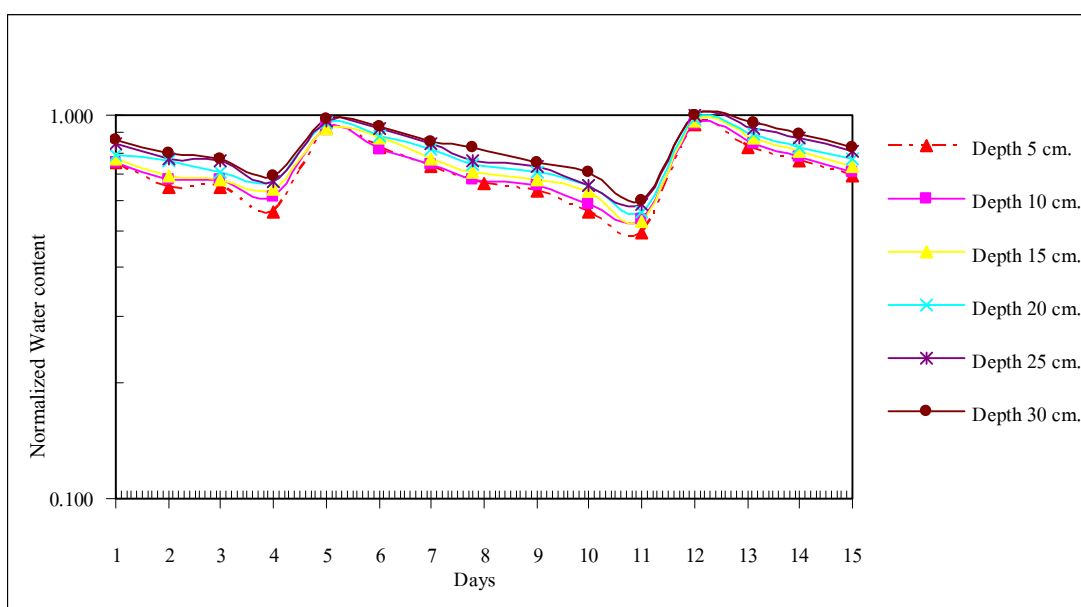


ภาพที่ 27 การ Normalized หาอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นในดินตัวอย่างที่ 4

จากภาพที่ 26 และ 27 คือตัวอย่างที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบปริมาณน้ำในดินกับเวลา ของดินตัวอย่างที่ตั้งอยู่ในร่มไม่มีแสงแดดส่องโดยมีช่วงของการเติมน้ำในวันที่ 1 3 และ 9 ตามลำดับ ค่า k ของดินตัวอย่างที่ 4 มีค่าเท่ากับ 0.914

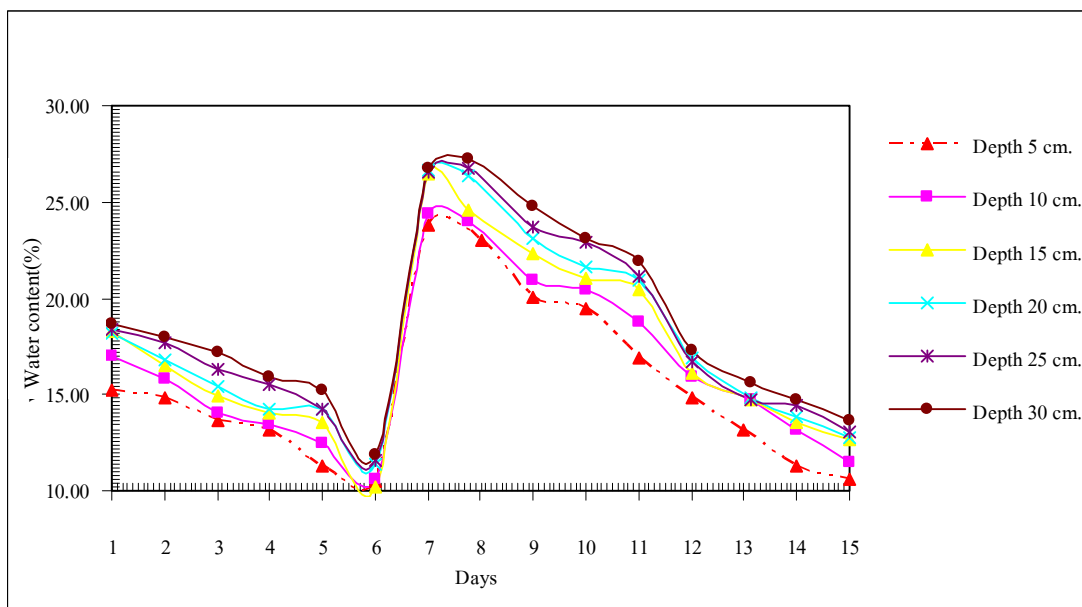


ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในดินกับเวลาของดินตัวอย่างที่ 5

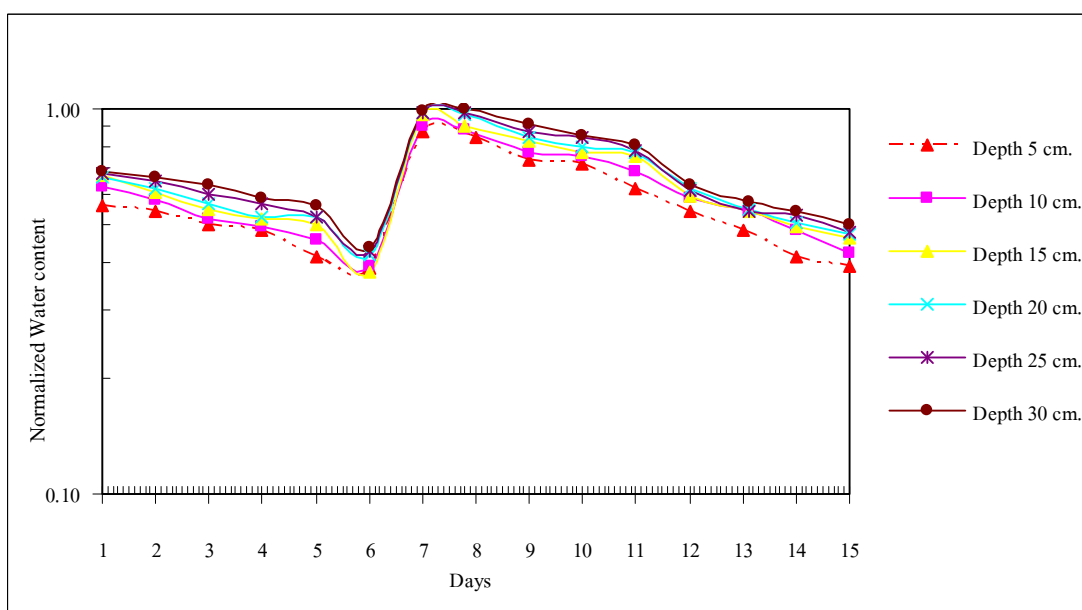


ภาพที่ 29 การ Normalized หออัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นในดินตัวอย่างที่ 5

จากภาพที่ 28 และ 29 คือตัวอย่างที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบปริมาณน้ำในดินกับเวลา ของดินตัวอย่างที่ตั้งอยู่กลางแจ้งมีแสงแดดส่อง โดยมีช่วงของการเติมน้ำในวันที่ 1 5 และ 12 ตามลำดับ ค่า k ของดินตัวอย่างที่ 5 มีค่าเท่ากับ 0.920



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในดินกับเวลาของดินตัวอย่างที่ 6



ภาพที่ 31 การ Normalized หออัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นในดินตัวอย่างที่ 6

จากภาพที่ 30 และ 31 คือตัวอย่างที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบปริมาณน้ำในดินกับเวลา ของดินตัวอย่างที่ตั้งอยู่กลางแจ้งมีแสงแดดส่อง โดยมีช่วงของการเติมน้ำในวันที่ 1 และ 9 ตามลำดับ ค่า k ของดินตัวอย่างที่ 6 มีค่าเท่ากับ 0.913

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบหาค่าอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นในชั้นดินระยะเวลา 15 วัน

ตัวอย่างดิน	Recession Constant, (k)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)*
1	0.841	40.25
2	0.871	40.32
3	0.857	40.50
4	0.914	28.70
5	0.920	29.52
6	0.913	29.85

* อุณหภูมิในอากาศ

จากการเปรียบเทียบเพื่อศึกษาหาแนวโน้มของการลดลงของความชื้นของกราฟในระยะสั้นๆ ระหว่างตัวอย่างที่ 1 กับตัวอย่างที่ 4 ในช่วงเวลาของการเติมน้ำที่เหมือนกันค่าความลาดชันของกราฟตัวอย่างที่ 1 มีค่าความลาดชันมากกว่าตัวอย่างที่ 4 ซึ่งความลาดชันของกราฟ แปรผกผันกับค่า (Recession Constant, k) โดยตัวอย่างที่ 1 เป็นการทดลองโดยนำกระถางตั้งอยู่กลางแจ้ง อุณหภูมิ สูงสุด 40.25 องศาเซลเซียส พบว่าค่า k มีค่าเท่ากับ 0.841 ซึ่งน้อยกว่าตัวอย่างที่ 4 เป็นการทดลองโดยนำกระถางตั้งอยู่ในร่ม อุณหภูมิ สูงสุด 28.72 องศาเซลเซียส พบว่าค่า k มีค่าเท่ากับ 0.914 จะเห็นได้ว่าค่า k มากเข้าใกล้ 1 จะทำให้ ผลของการลดลงของปริมาณน้ำในดินจะลดลงอย่างช้าๆ

จากการเปรียบเทียบเพื่อศึกษาหาแนวโน้มของการลดลงของความชื้นของกราฟในระยะสั้นๆ ระหว่างตัวอย่างที่ 2 กับตัวอย่างที่ 5 ในช่วงเวลาของการเติมน้ำที่เหมือนกันค่าความลาดชันของกราฟตัวอย่างที่ 2 มีค่าความลาดชันมากกว่าตัวอย่างที่ 5 ซึ่งความลาดชันของกราฟ แปรผกผันกับค่า (Recession Constant, k) โดยตัวอย่างที่ 2 เป็นการทดลองโดยนำกระถางตั้งอยู่กลางแจ้ง อุณหภูมิ สูงสุด 40.32 องศาเซลเซียส พบว่าค่า k มีค่าเท่ากับ 0.871 ซึ่งน้อยกว่าตัวอย่างที่ 5 เป็นการทดลองโดยนำกระถางตั้งอยู่ในร่ม อุณหภูมิ สูงสุด 29.52 องศาเซลเซียส พบว่าค่า k มีค่าเท่ากับ

0.920 จะเห็นได้ว่าค่า k มากเข้าใกล้ 1 จะทำให้ ผลของการลดลงของปริมาณน้ำในดินจะลดลงอย่างช้าๆ

จากการเปรียบเทียบเพื่อศึกษาหาค่าแนวโน้มของการลดลงของความชื้นของกราฟในระยะสั้นๆ ระหว่างตัวอย่างที่ 3 กับตัวอย่างที่ 6 ในช่วงเวลาของการเติมน้ำที่เหมือนกันค่าความลาดชันของกราฟตัวอย่างที่ 3 มีค่าความลาดชันมากกว่าตัวอย่างที่ 6 ซึ่งความลาดชันของกราฟ แปรผกผันกับค่า (Recession Constant, k) โดยตัวอย่างที่ 3 เป็นการทดลองโดยนำกระถางตั้งอยู่กลางแจ้ง อุณหภูมิ สูงสุด 40.50 องศาเซลเซียส พบว่าค่า k มีค่าเท่ากับ 0.857 ซึ่งน้อยกว่าตัวอย่างที่ 6 เป็นการทดลองโดยนำกระถางตั้งอยู่ในร่ม อุณหภูมิ สูงสุด 29.85 องศาเซลเซียส พบว่าค่า k มีค่าเท่ากับ 0.913 จะเห็นได้ว่าค่า k มากเข้าใกล้ 1 จะทำให้ ผลของการลดลงของปริมาณน้ำในดินจะลดลงอย่างช้าๆ

วิจารณ์

1. การสอบเทียบเครื่องมือโดยการอ่านค่าแล้วแปรผลออกมาเทียบกับปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดลองพบว่าช่วงของแรงดันไฟฟ้า ระหว่าง 0.5 ถึง 4 Volt เป็นช่วงที่เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในเกณฑ์ที่ดีที่สุด

2. เครื่องมือวัดปริมาณความชื้นในดินที่สร้างขึ้นนี้จากการสอบเทียบมีความคลาดเคลื่อน - 6.26 เปอร์เซ็นต์ ค่า RMS Error เท่ากับ 0.27 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.969 จัดได้ว่าเป็นเครื่องมือที่มีขนาดกะทัดรัดสามารถนำไปประยุกต์เป็นเครื่องมือวัดปริมาณความชื้นในดินเพื่อการวางแผนการให้น้ำแก่พืชได้อย่างเหมาะสมและสะดวกต่อการใช้งาน

3. เครื่องวัดปริมาณความชื้นในดินที่สร้างขึ้นนี้เป็นเครื่องมือที่วัดความชื้นในดินโดยอาศัยแรงดันไฟฟ้าซึ่งผู้ใช้ต้องนำมาแปรความหมายจาก Calibration Curve ซึ่งหากการอ่านค่าใกล้ขีดจำกัดของเครื่องมือจะทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก

4. อิทธิพลของแสงแดดมีผลต่อค่า Recession constant (k) มาก จะเห็นได้จากการทดลองตั้งกระถางที่เติมน้ำไว้กลางแจ้งส่งผลให้ค่า k มีค่าต่ำซึ่งส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับค่า API ของวันถัดไปก็จะลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพัฒนาเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อการเกษตรที่มีความสะดวกต่อการใช้งาน สามารถนำไปใช้วัดความชื้นในพื้นที่เพาะพืชได้มีราคาถูก และใช้เป็นเครื่องมือสำหรับศึกษาพฤติกรรมการลดลงของอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้นในชั้นดิน ภายหลังจากการเติมน้ำ ตามช่วงระยะเวลาต่างๆที่เพิ่มขึ้น โดยทดลองในห้องปฏิบัติการ ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ และเพิ่มอุณหภูมิโดยการนำตัวอย่างตุ้งกลางแดดและกำหนดช่วงความถี่ของระยะเวลาในการเติมน้ำ สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. สรุปด้านราคาและความสะดวกต่อการใช้งาน

เครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อการเกษตรที่พัฒนาขึ้นเครื่องเป็นต้นแบบเทียบกับเครื่องมือที่มีคุณสมบัติมีลักษณะการทำงานและวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องมือที่คล้ายกันจากประเทศผู้ผลิตในแถบเอเชียพบว่ามีราคาถูกกว่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้ามมีการผลิตเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์คาดว่าราคาจะถูกลงมาอีก เครื่องมือวัดความชื้นที่พัฒนาขึ้นมีความสะดวกในการใช้งาน หลังติดตั้งเครื่องมือวัดความชื้นลงในดินที่ต้องการทราบความชื้นแล้ว สามารถให้เครื่องมือทำการวัดความชื้นและจัดเก็บผลไว้ในหน่วยจัดเก็บได้เลย และสามารถเรียกออกมาดูได้ตลอดเวลาทางจอแสดงผล มีช่วงระยะเวลาการวัดความชื้นตั้งแต่ วินาที จนถึงเวลาเป็นวัน

2. สรุปตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบ

ดินตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบนำมาจากแหล่งเดียวคือ จากอำเภอบางปลาหม้อ จังหวัดสุพรรณบุรี จากการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางการหาขนาดคละของเม็ดดิน มีค่า C_u เท่ากับ 12.5 ค่า C_c เท่ากับ 1.62 ดินตัวอย่างที่ทดสอบจัดเป็นดินประเภท ML เป็นดินทรายร่วนที่มีความเหนียวเล็กน้อย

3. สรุปการสอบเทียบเครื่องมือ

ผลการทดลองวัดความชื้นเพื่อการสอบเทียบเครื่องมือ โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนักจากอบดินในเตาอบ พบว่าช่วงแรงดันไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 4.0 โวลต์ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง เท่ากับ ร้อยละ -6.26 ค่า RMS Error เท่ากับ 0.27 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R เท่ากับ 0.969

4. สรุปการทดลองหาปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงที่ระดับความลึกของชั้นดิน

การทดลองหาค่าปริมาณความชื้นที่ระดับความลึกต่างๆ เทียบกับระยะเวลาในการทดสอบที่มีการเติมน้ำในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 มีการเพิ่มอุณหภูมิโดยการนำตัวอย่างไปตากแดด และตัวอย่างที่ 4 ถึง 6 ไม่มีการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 มีการระเหยของน้ำจากผิวดินบริเวณหน้าดินมาก ทำให้การซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นที่ลึกลงไปดินนั้นมีค่าน้อยลง น้ำบางส่วนถูกใช้ในกระบวนการระเหยของน้ำผิวดินและระดับความลึกของดินชั้นใกล้ผิวดินที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร ค่า water content จะมีค่าน้อยกว่าที่ระดับความลึก 10 15 20 25 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ เพราะว่าปริมาณน้ำจากผิวดินบริเวณนั้นเกิดกระบวนการคายระเหย การกลั่นตัวของไอน้ำ และการไหลซึมของน้ำที่มีปริมาณสูงกว่าบริเวณของดินที่มีระดับความลึก 10 15 20 25 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ และจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นและเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำที่เติมซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการเพิ่มปริมาณน้ำในดิน เมื่อดินที่มีความชื้นเดิมน้อยมากอัตราการไหลซึมลงดินจะสูงมาก แต่เมื่อดินอิ่มตัวแล้วอัตราการไหลซึมก็จะลดลง โดยน้ำที่ไหลซึมลงดินนี้จะไปเพิ่มระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำในชั้นดินที่ระดับลึกลงไปด้วย

5. สรุปการทดลองหาพฤติกรรมของช่วงความถี่ของระยะเวลาการเติมน้ำในตัวอย่างดิน

จากการทดลองพบว่าช่วงความถี่ของการเติมน้ำในตัวอย่างดินมีผลต่ออัตราส่วนลด Recession Constant ซึ่งค่าความชันของกราฟจะมีค่าแปรผกผันกับค่า k นั่นคือ กราฟที่มีค่าความชันของกราฟมาก ค่า k ที่ได้จะมีค่าน้อย เมื่อช่วงความถี่จากการเติมน้ำน้อยคืออยู่ในช่วงแคบๆ จะได้ค่า k อยู่ในช่วง 0.841 ถึง 0.857 และกราฟที่มีความชันของกราฟน้อย ค่า k ที่ได้จะมีค่ามาก เมื่อช่วงความถี่จากการเติมน้ำมาก คืออยู่ในช่วงกว้างๆ จะได้ค่า k อยู่ในช่วง 0.913 ถึง 0.920 นั่นเป็นเพราะว่าในช่วงที่มีความถี่ในการเติมน้ำบ่อยๆดินจะมีการอุ้มน้ำไว้ในดินมากขึ้นจนเกิดการระบาย

และระเหยไม่ทันเมื่อเวลาผ่านไปในช่วงเวลาแคบๆ จะมีความชุ่มน้ำมากอัตราการไหลซึมได้ของน้ำในดินจะมีค่าน้อยลง ดังนั้นความชันของกราฟจึงต่ำ ซึ่งต่างกับช่วงที่มีความถี่ในการเติมน้ำกว้างๆ ค่าอัตราการซึมได้ของน้ำในดินจะมีค่ามาก ดังนั้นความชันของกราฟจึงสูงซึ่งค่า k จะมีค่าน้อย

6. การทดลองหาพฤติกรรมของอุณหภูมิที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณความชื้นในตัวอย่างดิน

จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการลดลงของอัตราส่วนลด Recession Constant ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวมีผลต่อการระเหยของน้ำในชั้นดิน ค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลทำให้ค่า k มีค่าต่ำกว่าค่า k ของตัวอย่างดินที่ไม่มีการเพิ่มอุณหภูมิ (อยู่ในร่ม) ให้กับตัวอย่างดินโดยการทดลองกับตัวอย่างดินที่ 4 ถึง 6 เป็นตัวอย่างที่ตั้งอยู่ในร่มไม่มีแสงแดดส่องจะมีค่า k มากกว่ากระถางดินตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ตั้งอยู่กลางแจ้งแดดเพื่อเป็นการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งค่าอุณหภูมิของตัวอย่างดินที่ตั้งอยู่ในร่มมีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของตัวอย่างดินที่ตั้งอยู่กลางแจ้งแดด มีอุณหภูมิเฉลี่ย 40.36 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการได้ค่า k ที่สามารถนำไปใช้งานได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.841 ถึง 0.871 ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ค่า k เท่ากับ 0.856 เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับดินในสภาพช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน และ 0.916 สำหรับดินในสภาพช่วงฤดูฝนเพื่อใช้วิเคราะห์หาค่า API เพื่อนำไปประเมินการวางแผนการให้น้ำแก่พืชล่วงหน้าอย่างคร่าวๆ ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองครั้งนี้เป็นแค่แนวทางจากการทดลองเท่านั้นซึ่งค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ถ้าจะนำไปใช้จริงจะต้องพิจารณาถึงผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมรอบข้างต่างๆ ด้วย ซึ่งค่า k นี้เป็นแค่การทดลองในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยการพัฒนาเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อการเกษตรสำหรับเป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนการให้น้ำแก่พืช พบว่าเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อการเกษตรนี้ มีความสะดวกในการวัดความชื้น แสดงข้อมูลพร้อมจัดเก็บและค้นหาได้ง่าย แต่อย่างไรก็ดียังมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้าเพื่อการเกษตรนี้ ใช้พื้นฐานความรู้วิชาทางไฟฟ้าและวิชาอุทกวิทยามากพอสมควรดังนั้นผู้ที่ใช้เครื่องมือนี้จึงควรมีพื้นฐานความเข้าใจในทฤษฎีทางไฟฟ้าและทฤษฎีทางอุทกวิทยาอยู่ในระดับหนึ่ง จึงจะสามารถใช้เครื่องมือนี้ได้ดี

2. จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ค่าที่ได้ครั้งนี้เป็นแค่แนวทางจากการทดลองเท่านั้น ดินตัวอย่างที่นำมาทดลองมีประเภทเดียว ยังไม่ครอบคลุมดินอีกหลายประเภท ซึ่งจะต้องมีการศึกษาพัฒนาให้เครื่องมือสามารถวัดความชื้นในดินได้ทุกๆ ประเภทต่อไปในอนาคต

3. ในส่วนของสัญญาณทางไฟฟ้า ที่ส่งจากหัวตรวจวัดไปยังเครื่องแปลงสัญญาณพร้อมแสดงผล การวิจัยครั้งนี้ ไม่ได้มุ่งหวังให้นำไปใช้สำหรับงานที่ระยะไกลมากๆ สายสัญญาณไฟที่ยาวมากจะทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าตกลงเกินขอบเขตที่ยอมรับได้ ถ้านำไปใช้วัดในพื้นที่จริง อุปกรณ์อยู่ห่างกันมากอาจจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เสริม จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนนี้ด้วย

4. ส่วนของหัวตรวจวัดทำจากท่อพลาสติก ซึ่งเหมาะสมกับสภาพของการทดลองเท่านั้น ซึ่งหากมีการนำไปพัฒนาเพื่อใช้ในการวัดความชื้นในดินเพื่อการวางแผนการให้น้ำแก่พืชจริง ควรเปลี่ยนเป็นวัสดุอื่น เช่น อลูมิเนียม เพื่อให้มีความแข็งแรงและเหมาะสมกับการใช้งาน

5. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการแสดงผล เครื่องมือสามารถแสดงผลออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้เลย (ไม่ต้องนำผลไปเปรียบเทียบกับ Calibration curve)

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

นริศ หนูจันทร์ และ สกุรัตน์ สุภรัตนพันธ์. 2551. ผลการให้น้ำแบบต่างๆที่มีต่อความชื้นในดิน และสมบัติทางเคมีบางประการของดินในชุดดินห้วยแกลงที่ปลูกดาวเรือง. สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5, ขอนแก่น.

พงษ์ศักดิ์ วิทวัสสุติกุล และ วารินท์ จิระสุขทวีกุล. 2548. การหาค่าดัชนีความชื้นอันเนื่องมาจากฝน (API) เพื่อการเตือนอุทกภัยและดินถล่ม. สถานีวิจัยลุ่มน้ำห้วยหินลาด เอกสารเผยแพร่ที่ 3.

_____. 2550. แบบจำลองเพื่อการเตือนภัยน้ำป่าไหลหลากและแผ่นดินถล่ม. สถานีวิจัยต้นน้ำชายฝั่งตะวันออก กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. บันทึกวิจัยเล่มที่ 90

วิบูลย์ บุญขจรโรกุล. 2526. หลักการชลประทาน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมบุรณ์ มั่นความดี. ม.ป.ป. ความสัมพันธ์ระหว่าง ดิน น้ำ พืช: กลุ่มงานดินวิทยาศาสตร์, ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์, สำนักวิจัยและพัฒนา, กรุงเทพฯ.

สมาน ปราการรัตน์. 2537. สมดุลน้ำในดิน. กรมอุตุนิยมิวิทยา, กรุงเทพฯ.

สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, มณฑกานติ วัชรากัย และ เฉโซ ทองอร่าม. 2540. การวัดความชื้นในดิน. วารสารศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 6,2 (ช.ค. 2540): 110-124 .

อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2541. เครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบ Tensiometer SOIL-MOISTURE TENSIMETER. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

Anne. 2005. Agriculture, Food and Rural Affairs. **Monitoring Soil Moisture**. Available Source: <http://www.Omafra.gov.on.ca/English/crops/hort/news/hortmatt/2005/14hrt05>. February 2, 2007.

- Bothale, R.V., D. Dulta and J.R.Sharma. 2003. **Antecedent Precipitation Index- A Dval Approach Between Soil Moisture and Nomalized Input to GIS Based Locust Control and Surveillance.** Available Source: <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1994/ts3/ts3006.shtml>, January6, 2008.
- Burland, J.B. and A.M. RIDLEY. 1966. **Twelfth Southeast Asian Geotechnical Conference**, 6-10 May, Kuala Lumpur.
- Foth, H.D. 1990. **Fundamentals of Soil Science.** 8th ed. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Haise, H.H. and R.M. Hagen. 1967. Soil plant and evapolative measurement as criteria for scheduling irrigation. pp. 577-606. In R.M. Hagan, et al eds. **Irrigation of agricultural lands.** American Society, Agron.,Madison, Wisconsin.
- Linsley, R.K., M.A.Kohler and J.L.H.Paulhus. 1982. **Hydrology for Engineers.** n.p. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Pitts, D.J.,T.A. Obreza, D. Parker and A.G. Smajatrila. 1996. A vacuum chamber for testing tensiometers. **Technical paper presented at the Florida Section ASAE annual meeting**, May, 1996. Cocoa Beach, Florida.
- Smajstrla,A.G., D.S. Harrison and F.X. Duran. 1984. **Tensiometers for soil moisture measurement and irrigation scheduling.** Ext. Circ. 487. Fla. Coop. Ext. Svc., Univ. Of Fla., Gainesville.
- Stephen and Davis. 2003. **Drought Tip 92-38 is a publication series developed as a cooperative effort by the organization.** Department of Land, Air and Water Resources, University of California, California.

Teare, I. D. and M.M. Peet. 1983. **Crop- water relations**. Wiley, New York.

Tokunaga T.K. 1997. A tensiometer for measuring hydraulic potentials on surfaces of porous rock, **Water Resour.Res.** 33(6): 1509-1514.

Viessman, W.Jr., G.L. Lewis and J.W. Knapp. 1989. **Introduction to Hydrology**. Singapore. Harper & Row Publishers.

Weil, R.R. 1993. **Laboratory Manual for Introductory Soils**. 6th ed. Kendall/Hunt Publishing Company, New York.

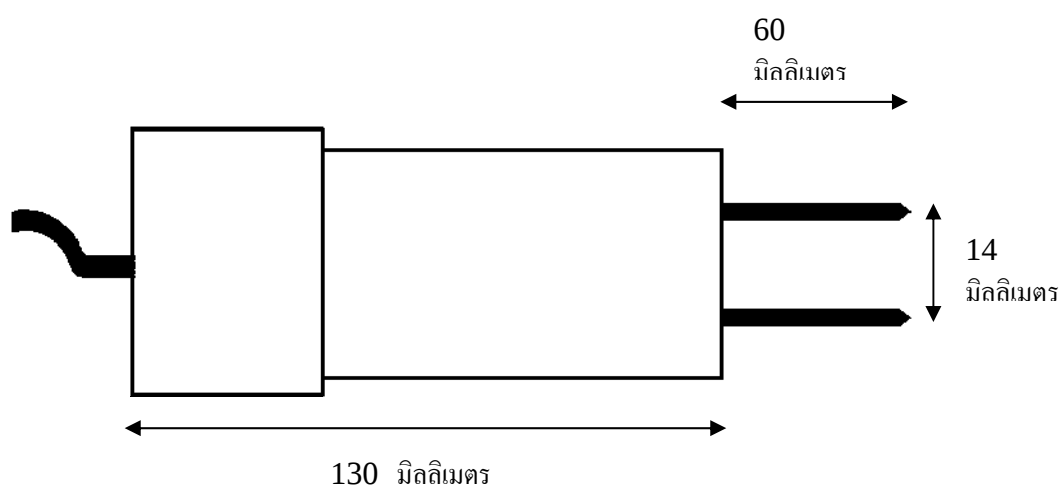
Yong, R. N. and B. P. Warkdntin. 1975. **Developments in geotechnical engineering**. Elsevier, New York.

ภาคผนวก

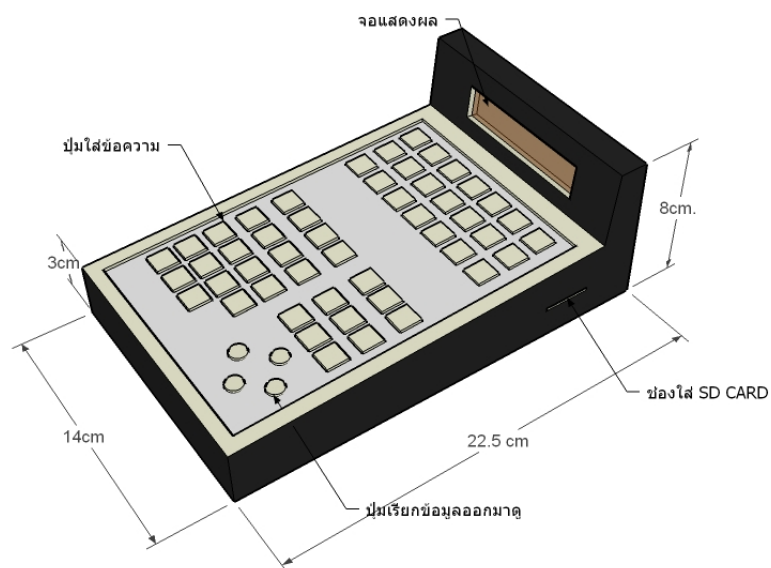
ภาคผนวก ก

แบบรายละเอียด

เครื่องมือวัดความชื้นในดินและเครื่องเก็บบันทึกข้อมูล



ภาพผนวกที่ ก1 แบบหัวตรวจวัดความชื้นในดิน



ภาพผนวกที่ ก2 แบบเครื่องเก็บบันทึกข้อมูล (Data Logger)

ภาคผนวก ข

ภาพถ่ายเครื่องมือวัดความชื้นในดินและเครื่องเก็บบันทึกข้อมูล
และการสอบเทียบเครื่องมือ



ภาพผนวกที่ ข1 เครื่องมือวัดความชื้นในดินและเครื่องบันทึกข้อมูล



ภาพผนวกที่ ข2 กระถางดินตัวอย่างที่ตั้งกลางแจ้งและตั้งในร่ม



ภาพผนวกที่ ข3 การเจาะนำในดินที่ความลึกต่างๆ



ภาพผนวกที่ ข3 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ ข4 การวัดความชื้นในดินที่ระดับความลึกต่างๆ



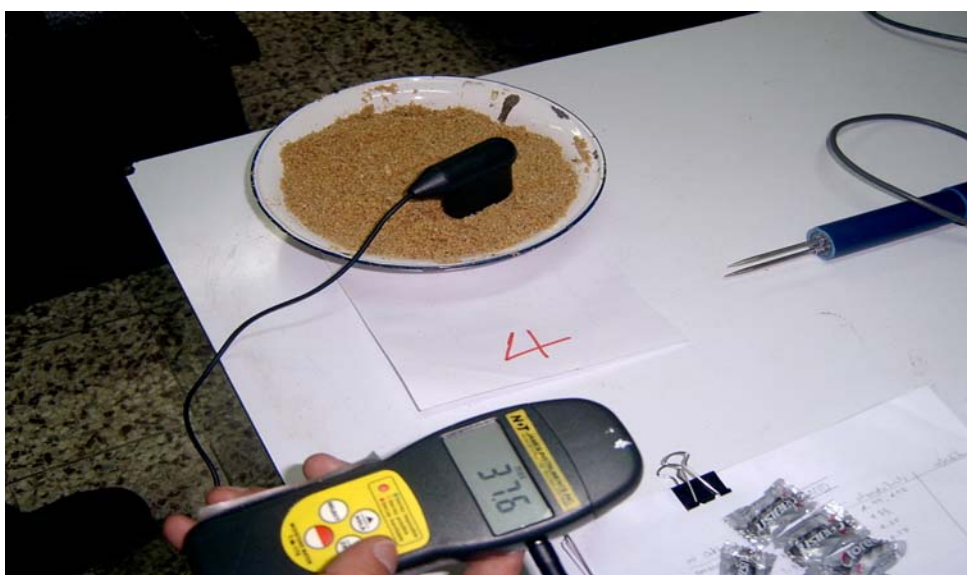
ภาพผนวกที่ ข4 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ ข5 ดินตัวอย่างสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัดความชื้นในดิน



ภาพผนวกที่ ข6 การวัดความชื้นในดินทรายเพื่อสอบเทียบเครื่องมือ



ภาพผนวกที่ ข7 การวัดความชื้นในดินทรายโดยเครื่องมืออ้างอิง



ภาพผนวกที่ ข8 การวัดความชื้นในดินเหนียวโดยเครื่องมือที่สร้างขึ้นกับเครื่องมืออ้างอิง



ภาพผนวกที่ ข9 การหาความชื้นในดินโดยน้ำหนักเพื่อสอบเทียบเครื่องมือ



ภาพผนวกที่ ข10 การอบดินตัวอย่างเพื่อหาความชื้นโดยน้ำหนัก

ภาคผนวก ค

การหาค่าอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้น Recession Constant (k)

การหาค่าอัตราส่วนลดของปริมาณความชื้น **Recession Constant (k)**

ปริมาณความชื้นในดิน (Soil Water Content) จากการทดลองในห้องปฏิบัติการที่ได้จากเครื่องมือวัดความชื้นในดิน นำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในดินกับเวลา เนื่องจากมีการเพิ่มความชื้นลงในดินและมีการให้ความชื้นลดลงอันเนื่องมาจากการระเหยการซึมลงสู่ดินชั้นล่าง ทำให้กราฟไม่เป็นเส้นตรงไม่สามารถหาค่าความชื้นได้ จึงต้องแปลงกราฟให้เป็นเส้นตรง โดยนำค่า Soil Water Content มาเขียนเป็นกราฟ Logarithmic แปลงให้เป็นเส้นตรงเพื่อนำสมการมาหาค่าความชื้นหรือค่า k ดังแสดงในรูปสมการต่อไปนี้

$$SWC^t = SWC_{t=0} \times k^t$$

$$SWC = b \times k^t$$

$$\log_{10}(SWC) = \log_{10}(b \times k^t)$$

$$\log_{10}(SWC) = \log_{10}(b) + [\log_{10}(k) \times t]$$

$$\log_{10}(SWC) = \log_{10}(\text{zero intercept}) + [\log_{10}(\text{recession constant}) \times \text{time}]$$

เขียนในรูปสมการความชันทางคณิตศาสตร์

$$Y = b + (m \times x)$$

โดยที่ Y คือค่า Soil Water Content , b คือค่า คงที่ , m คือค่า ความชัน(Slope) หรือค่า (Recession Constant) k , x คือ เวลา (t)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นายศักดิ์ชัย เล้าภากรณ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2506
สถานที่เกิด	อำเภอสามง่าม จังหวัดพิจิตร
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ระดับ 7
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย