รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จักรพงษ์ เจิมศิริ. 2546. วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

จินดารัตน์ ชื่นรุ่ง. 2547. การศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบจัดเรียงดินหลายชั้นเพื่อบำบัดน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฉลอง บัวผัน. 2538. น้ำบาดาล.จำนวน 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์ 113/13 ซอยวัดสุวรรณคีรี ถ.พระบรมราชชนนี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700 : โอเดียนสโตร์,

ดนัย จำปานิล. 2546. การวางแผนจัดสรรน้ำภายใต้การใช้น้ำร่วมในพื้นที่โครงการชลประทานชัณสูตร. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปณต ศิริพุทธิชัยกุล. 2545. การจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2544. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. จำนวน 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

พัฒนาที่ดิน ,กรม ,กองสำรวจและจำแนกดิน. 2538. การวินิจฉัยคุณภาพดินด้านปฐพีกลศาสตร์ตามกลุ่มชุดดินในประเทศไทย. เอกสารวิชาการลำดับที่ 380.

มณเฑียร กังศศิเทียม. 2541. กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม.พิมพ์ครั้งที่ 8. 65/16 ถ.ชัยพฤกษ์ เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170 : อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด,

วิษณุ คุณจักร. 2549. การประมาณอัตราการเติมน้ำของชั้นน้ำใต้ดินบริเวณตอนบนของพื้นที่ภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 11.

วีระพล แต้สมบัติ. 2533. หลักอุทกวิทยา. 648/61-61 ปากซอยจรัญสนิทวงศ์ 40 ถ.จรัญสนิทวงศ์ เขตบางพลัด กรุงเทพฯ 10700 : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์,

สุจริต คูณธนกุลวงศ์ และคณะ. 2547. ติดตามข้อมูลน้ำบาดาลสำหรับพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง และพัฒนาระบบเชื่อมโยงข้อมูลของแบบจำลองน้ำบาดาล. ชุดโครงการวิจัยด้านการจัดการทรัพยากรน้ำ. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

ภาษาอังกฤษ

Boeker E. and van Grondelle R. 1995. Environmental Physics. Printed in Chichester, English : John Wiley&Sons,

Brodsky L. and Kodesova R. 2006. Comparison of simulation results using HYDRUS-1D and model in CGMS for selected region GRID50 of the Czech Republic. Geophysical Research Abstracts 8.

Bruckler L. et. al. 2002. Testing an Infiltration Method for Estimating Soil Hydraulic Properties in the Laboratory. Soil Science Society of America Journal 66 : 384-395.

Brunone B. et. al. 2003. Numerical Simulations of One-Dimensional Infiltration into Layered Soils with the Richards Equation Using Different Estimates of the Interlayer Conductivity. Vadose Zone Journal 2 : 193-200.

Burckhard et. al. 2000. Macropores and water flow in soils. Water Resources Research 18 : 1311-1325.

Childs E.C. 1969. An Introduction to the Physical Basis of Soil Water Phenomena. Printed in New York : Wiley,

Chow V. T., Maidment D.R., and Mays L.W. 1988. APPLIED HYDROLOGY. Printed in Singapore : McGraw-Hill,

Chris S. et. Al. 2002. Infiltration on common rice soils within MIL. Murray Irrigation Limited and individual shareholders.

Cronican A.E. 2004. Hydraulic Conductivity Prediction for Sandy Soils. Ground Water.

Das B. M. 1999. Fundamentals of Geotechnical Engineering. Printed in United States of America : Brooks/Cole,

Flury M. et.al. 1999. Numerical Analysis of the Effect of the Lower Boundary Condition on Solute Transport in Lysimeters. Soil Science Society of America Journal 63 : 1493-1499.

Gachet P. et.al. 2003. Interfacial Behavior of Unsaturated Soil with Small-scale Models and Use of Image Processing Techniques. Geotechnical Testing Journal 26 (March 2003) : 1-10.

Haimerl G. and Zunic F. 2002. Infiltration Tests and Numerical Simulations to Evaluate the Efficiency of Infiltration in Arid Countries . Third International Conference on Water Resources and Environment Research 22nd – 25th July 2002 Dresden University of Technology : 121-125.

Hariprasad K.S. et. al. 2001. Modelling flow through unsaturated zones: Sensitivity to unsaturated soil properties. Sadhana 26, 6 : 517-528.

Hellel R. 1998. Environmental Soil Physics. Printed in New York : Academic Press,

Hillen D. 1980. Fundamentals of Soil Physics. Printed in New York : Academic Press,

Horn R. 1990. Aggregate Characterization as Compared to Soil Bulk Properties. Soil Till Research 17 : 265-289.

Huntzinger D.N. 2001. Mathematical Modeling of Wastewater Soil Absorbtion Systems. Masters of Engineering Department of Geology and Geological Engineering Colorado School of Mines Golden, Colorado.

Hwang H.C., Hita C.E. 2002. Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems. Printed in United States of America : Prentice-Hall, Inc.,

Jury W.A. et. al. 2003. A Conceptual Model of Unstable Flow in Unsaturated Soil during Redistribution. Vadose Zone Journal 2 (February 2003) : 61-67.

Kei N., Masahide I., Jiro C., and Kazuro M. 2003. Unsaturated water flow and solute transport in artificially distributed hydraulic conductivity field. Journal of Hydro science and Hydraulic Engineering 21, No.2 (November 2003) : 37-45.

Kodesova R. 2003. Determination of Hydraulic Properties of Unsaturated Soil via Inverse Modeling. Department of Soil Science and Geology, Czech University of Agriculture,Prague, Czech Republic.

Kohne J.M. and Mohanty B.P. 2005. Water flow processes in a soil column with a cylindrical macropore : Experiment and hierarchical modeling. Water Resources Research 41 : 1-17.

Lal A.M. 1998. Numerical Errors in Groundwater and Overland Flow Models. 3301 Gun Club Road West Palm Beach, FL 33406 : South Florida Water Management District,

Marco F. and Bruno B. 2002. Uncertainty analysis of transient unsaturated flow in bounded domain. Water Resources Research. 38, 2 : 1-6.

Masaru M., and Ben C. Y. Modeling of Conjunctive Two-Dimensional Surface Three-Dimensional Subsurface Flows. Journal of Hydraulic Engineering. (February 2002) : 184-200.

Military Soils Engineering,U.S. Army. 1997. Soil Formation and Characteristics. Field Manual : 5-410.

Morgan K. T. et. al. 1999. Field Calibration of a Capacitance Water Content Probe in Fine Sand Soils. Soil Science Society of American Journal 63 : 987-989.

Murray D. F., Ward G. W., and Delwyn G. F. Estimation of Hydraulic Properties of An Unsaturated Soil Using A Knowledge-Based System. Proceedings of Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media. Riverside, (October 1997) : 22-24.

Nelson W.L. and Baver L.D. 1940. Movement of through soils in relation to the nature of the pores. Soil Science Society of America Journal 5 :69-76.

Philippe G. et.al. 2003. Interfacial Behavior of Unsaturated Soil with Small-scale Models and Use of Image Processing Techniques. Geotechnical Testing Journal 26, 1 : 1-10.

Reilly T.E. 2001. System and Boundary Conceptualization in Ground-Water Flow Simulation. Applications of Hydraulics, U.S. Geological Survey.

Saxton K.E., Rawls W.J.. Romberger J.S. and Paperdick R.I. 2002. Esimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture. Agric. Res. Serv 6911.

Schmelling S. et.al. 2003. Evaluation of Vadose Zone and Source Modules for Multi-media, Multi-pathway, and Multi-receptor Risk Assessment Using Large-Soil-Column Experimental Data . The Air & Waste Management Association's 2003 RCRA National Meeting August 12-15, 2003, Washington, DC.

Simunek J., Andraski B.J. 2003. Variations in flow and transport in thick desert vadose zones in response to paleoclimatic forcing (0–90 kyr):Field measurements, modeling, and uncertainties. Water Resources Research 39, 7 : 3-1–3-6.

Simunek J., van Genuchten and Sejna M. 2005. The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media. Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, California.

Todd D. K. 1980. Groundwater Hydrology. Second Edition. Printed in Singapore : John Wiley & Sons,Inc.,

Tuller M. and Or D. 2002. Unsaturated Hydraulic Conductivity of Structured Porous Media: A Review of Liquid Configuration–Based Models. Vadose Zone Journal 1 : 14-37.

Wilhelm G.C. 1984. Measurement of Low Permeability Coefficients by Means of Electronic Instruments. 5th National conference "Management of uncontrolled hazardous waste sites" Washington, DC.

Vasconcellos C.A. 2001. Numerical Simulation of Unsaturated Flow in Porous Media Using A Mass-Conservative Model. COBEM 8 : 139-148.

Yiming L. and Shu-Tung C. 1995. Field Evaluation of aquifer recharge model. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. (Nov-Dec 1995) : 385-389.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดิน

1. คำนำ

การพัฒนาการคำนวณของแบบจำลองน้ำบาดาลได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ซึ่งสมการที่ใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาการคำนวณการไหลของน้ำผ่านตัวกลางพรุน การคำนวณหาค่าสัมประสิทธ์ความซึมน้ำของดิน (Hydraulic conductivity) ได้เริ่มมีการศึกษาโดยนักวิทยาศาสตรชาวฝรั่งเศสชื่อ Henry Darcy ในปี คศ.1803 – 1858 โดยในการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาตรของน้ำซึ่งไหลผ่านกระบอกทรายต่อหน่วยเวลาขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 4 อย่าง คือ พื้นที่หน้าตัดของทรงกระบอก ความสูงของทรงกระบอก ความสูงของน้ำที่อยู่เหนือทรงกระบอก และค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินซึ่งภายหลังถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการศึกษาหาค่าสัมประสิทธ์ความซึมน้ำของดินและวัสดุพรุนต่าง ๆ ซึ่ง Darcy ได้เสนอสมการที่ 1ก ดังนี้

$$Q=KA(\frac{\Delta h}{L}) \qquad (1ก)$$

เมื่อ Q = ปริมาตรของน้ำที่ไหลผ่านกระบอกทราย (ลบ.ซม.) ต่อหน่วยเวลา

K = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดิน หรือ Hydraulic conductivity (ซม./วินาที)

A = พื้นที่หน้าตัดของกระบอกทราย (ตร.ซม.)

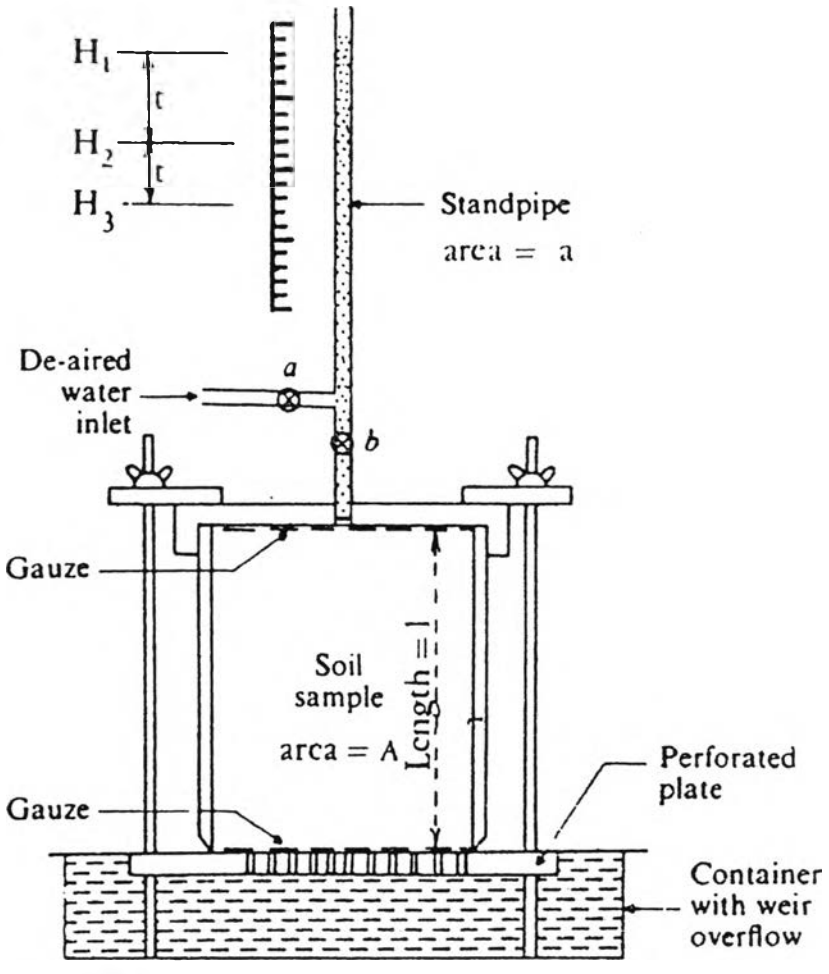
Δh = ผลต่างของระดับน้ำ (ซม.)

L = ความหนาของกระบอกทราย (ซม.)

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดินในห้องปฏิบัติการ สามารถทำได้ 2 วิธี คือ 1. แบบความดันคงที่ (Constant head)

2. แบบความดันน้ำเปลี่ยน (Variable head)

ในการทดสอบนี้ใช้วิธีการแบบความดันน้ำเปลี่ยนเพื่อความเหมาะสมกับชนิดของดินที่นำมาทดสอบ โดยชุดอุปกรณ์มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ ก-1 ซึ่งการหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดินใช้สมการที่ 2ก ในการคำนวณ ขั้นตอนการทดลองทำโดยปล่อยน้ำไหลผ่านตัวอย่างดิน ระดับน้ำในหลอดแก้วจะลดลงบันทึกค่าระดับน้ำ H1 และ H2 ในช่วงเวลา t นำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดินแต่ละชนิด



รูปที่ ก-1 Falling head permeameter

$$K_s = \frac{aL \ln(\frac{H_1}{H_2})}{At} \qquad (2ก)$$

Ks = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดิน (ซม./นาที)

a = พื้นที่หน้าตัดหลอด (ตร.ซม.)

A = พื้นที่หน้าตัดกระบอก (ตร.ซม.)

H = ระดับน้ำ (ซม.)

L = ความยาวกระบอก (ซม.)

2. **วัตถุประสงค์**

เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดินในตัวอย่างดินชนิดต่าง ๆ

3.**อุปกรณ์และวิธีการทดลอง**

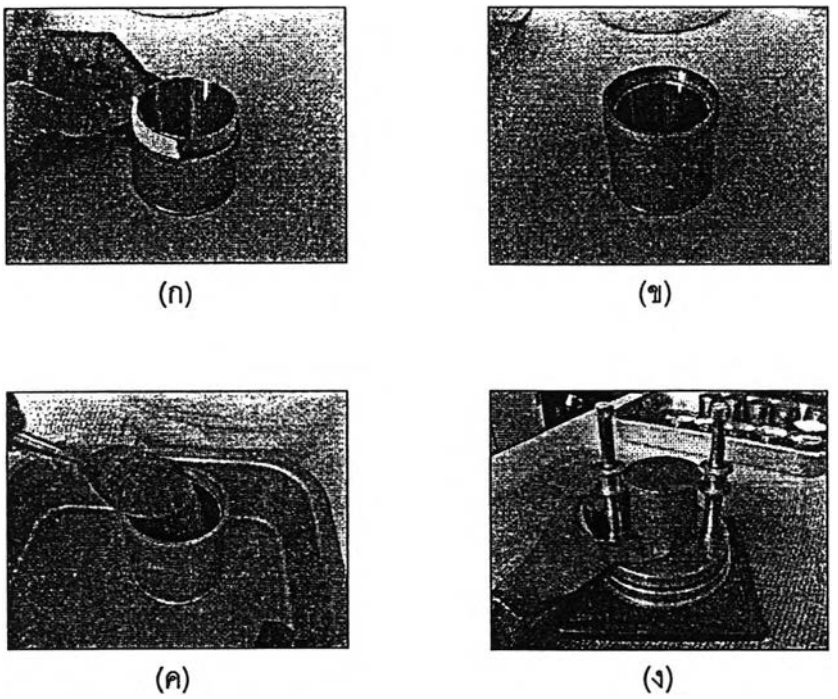
อุปกรณ์การทดลอง

1. ตัวอย่างดินชนิดต่าง ๆ ได้แก่ SW, SP, ML, MH, CL, CH
2. กระบอกใส่ตัวอย่างดิน
3. เครื่องอัดตัวอย่างดิน
4. น้ำกลั่น
5. ถาดใส่น้ำ
6. ชุดอุปกรณ์หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดิน

ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดินใช้วิธีการทดลองแบบความดันน้ำเปลี่ยน (Variable head) มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. นำตัวอย่างดินที่ทดสอบบรรจุลงในกระบอกสแตนเลสขนาด 100 ลบ.ซม. เตรียมตัวอย่างไว้ 4 ชุด โดยใช้เครื่องมือบรรจุดินเพื่อให้ดินมีการจัดเรียงตัวให้แน่น ซึ่งในการบรรจุต้องนำตัวอย่างดินใส่ลงในกระบอกเก็บตัวอย่างดิน และนำเข้าเครื่องบรรจุดิน แล้วยกขึ้นแล้วปล่อยให้กระแทกลงมาเป็นจำนวน 5 ครั้ง เมื่อนำกระบอกเก็บตัวอย่างดินออกมา ให้นำกระบอกมาเติมดินให้เต็มแล้วปาดผิวหน้าดินให้เรียบ



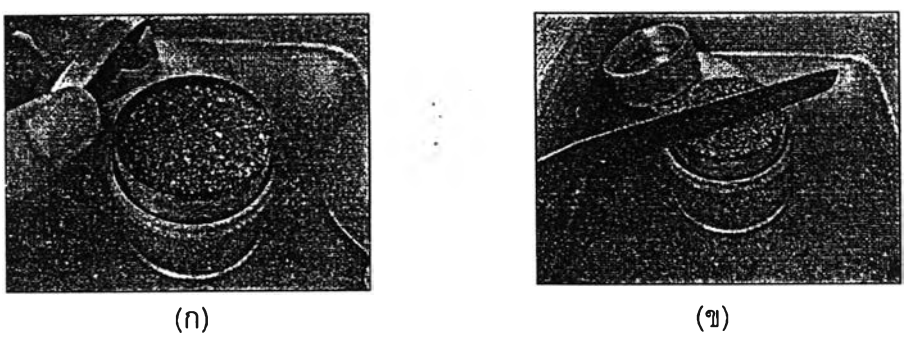
รูปที่ ก-2 การบรรจุตัวอย่างดินใส่เครื่องกระแทก

(ก-2ก) ใส่กระบอกเก็บตัวอย่างใส่เครื่องกระแทก โดยใส่กระดาษทิชชู เพื่อลดการกระแทกด้านข้าง

(ก-2ข) ใส่กระบอกต่อด้านบน

(ก-2ค) ใส่ตัวอย่างดินลงในกระบอก

(ก-2ง) ปิดฝากระบอกและใส่ลงเครื่องกระแทก



รูปที่ ก-3 การบรรจุดินหลังกระแทกด้วยเครื่องกระแทก

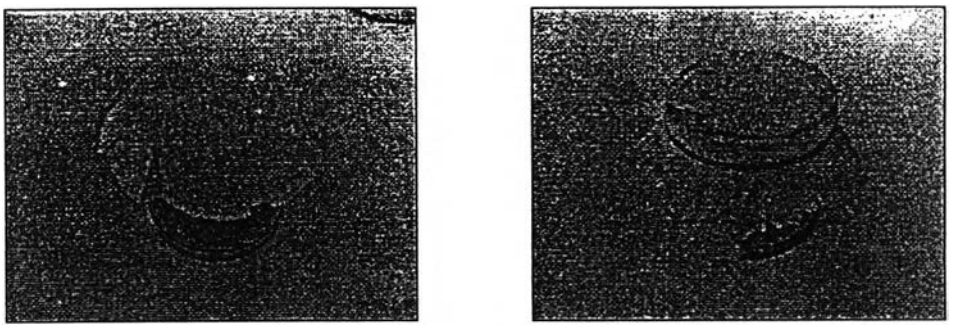
(ก-3ก) กระบอกดินหลักกระแทกจะมีดินไม่เต็มกระบอก

(ก-3ข) ใส่ดินให้เต็มกระบอกแล้วปาดด้วยที่ปาดดิน

2. การเตรียมกระบอกดินเพื่อทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำ ทำโดยการนำกระบอกใส่ตัวอย่างดินมาใส่กระดาษกรองที่ปลายด้านล่างของกระบอกสแตนเลส เพื่อให้น้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างดินสามารถซึมผ่านออกไปได้

3. นำกระบอกเก็บตัวอย่างดินไปแช่น้ำเพื่อให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated soil) โดยแช่น้ำไว้ประมาณ 48 ชั่วโมง

4. เมื่อตัวอย่างดินในกระบอกอิ่มตัวด้วยน้ำ ให้ย้ายกระบอกไปติดตั้งในชุดอุปกรณ์วัดอัตราการไหลซึมน้ำ (Falling Head Permeameter)

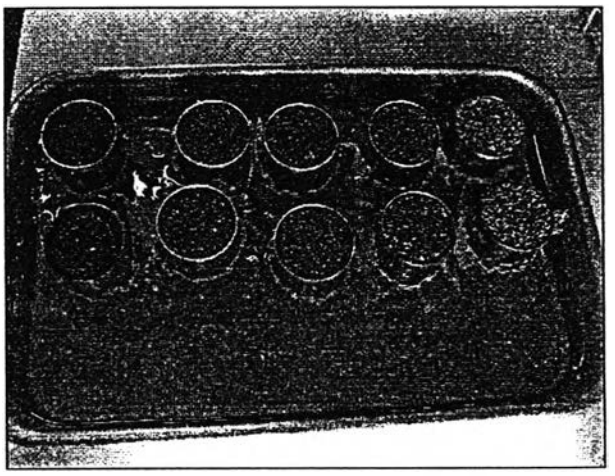


(ก) (ข)

รูปที่ ก-4 การใส่กระดาษกรองที่ด้านล่างของกระบอกสแตนเลส

(ก-4ก) ใส่กระดาษกรองที่ปลายด้านล่างกระบอก

(ก-4ข) ใส่ผ้าขาวบางและรัดปลายด้านล่าง



รูปที่ ก-5 นำตัวอย่างดินแช่น้ำเพื่อให้อิ่มตัวด้วยน้ำ

4. ผลการทดลอง

ตารางที่ ก-1 ค่า Hydraulic conductivity ของดินชนิดต่าง ๆ

Sample	Trial	Start		End		Secs.	h1	h2	Water	Viscosity	K
		Minute	Second	Minute	Second		cm	cm	temp c		mm/hr
SP1 TH39	1	0	0	0	4	4	17.6	10	29	0.8180	
	2	0	0	0	5	5	17.6	10	29	0.8180	
	3	0	0	0	5	5	17.6	10	29	0.8180	
	av	0	0	0	5	5	17.6	10	29	0.8180	466.67
SP2 TH47	1	0	0	0	4	4	17.6	10	26.5	0.8641	
	2	0	0	0	4	4	17.6	10	26.5	0.8641	
	3	0	0	0	4	4	17.6	10	26.5	0.8641	
	av	0	0	0	4	4	17.6	10	26.5	0.8641	575.13
SP3 N56	1	0	0	0	5	5	17.6	10	29	0.8180	
	2	0	0	0	4	4	17.6	10	29	0.8180	
	3	0	0	0	5	5	17.6	10	29	0.8180	
	av	0	0	0	5	5	17.6	10	29	0.8180	466.67
SP4 K36	1	0	0	0	3	3	17.6	10	26.5	0.8641	
	2	0	0	0	3	3	17.6	10	26.5	0.8641	
	3	0	0	0	3	3	17.6	10	26.5	0.8641	
	av	0	0	0	3	3	17.6	10	26.5	0.8641	766.84
MH1 N109	1	0	0	1	13	73	17.6	10	26.5	0.8641	
	2	0	0	1	20	80	17.6	10	26.5	0.8641	
	3	0	0	1	26	86	17.6	10	26.5	0.8641	
	av	0	0	1	20	80	17.6	10	26.5	0.8641	28.88
MH2 K67	1	0	0	0	59	59	17.6	10	28	0.8360	
	2	0	0	1	2	62	17.6	10	28	0.8360	
	3	0	0	1	10	70	17.6	10	28	0.8360	
	av	0	0	1	24	64	17.6	10	28	0.8360	34.96
MH3 N92	1	0	0	0	38	38	17.6	10	28	0.8360	
	2	0	0	0	51	51	17.6	10	28	0.8360	
	3	0	0	0	56	56	17.6	10	28	0.8360	
	av	0	0	0	48	48	17.6	10	28	0.8360	46.05
MH4 N64	1	0	0	0	26	26	17.6	10	26.5	0.8641	
	2	0	0	0	32	32	17.6	10	26.5	0.8641	
	3	0	0	0	36	36	17.6	10	26.5	0.8641	
	av	0	0	0	31	31	17.6	10	26.5	0.8641	73.42
SW1 B23	1	0	0	0	23	23	17.6	10	28	0.8360	
	2	0	0	0	26	26	17.6	10	28	0.8360	
	3	0	0	0	31	31	17.6	10	28	0.8360	
	av	0	0	0	27	27	17.6	10	28	0.8360	83.46

ตารางที่ ก-1 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำในดินชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

Sample	Trial	Start		End		Secs.	h1	h2	Water	Viscosity	K
		Minute	Second	Minute	Second		cm	cm	temp c		mm/hr
SW2 S20	1	0	0	0	36	36	17.6	10	28	0.8360	
	2	0	0	0	28	28	17.6	10	28	0.8360	
	3	0	0	0	31	31	17.6	10	28	0.8360	
	av	0	0	0	32	32	17.6	10	28	0.8360	70.29
SW3 JP34	1	0	0	0	42	42	17.6	10	26.5	0.8641	
	2	0	0	0	21	21	17.6	10	26.5	0.8641	
	3	0	0	0	31	31	17.6	10	26.5	0.8641	
	av	0	0	0	31	31	17.6	10	26.5	0.8641	73.42
SW4 S34	1	0	0	0	35	35	17.6	10	27	0.8545	
	2	0	0	0	25	25	17.6	10	27	0.8545	
	3	0	0	0	31	31	17.6	10	27	0.8545	
	av	0	0	0	30	30	17.6	10	27	0.8545	75.00
ML1 WS57	1	0	0	1	31	91	17.6	10	27	0.8545	
	2	0	0	1	41	101	17.6	10	27	0.8545	
	3	0	0	1	47	107	17.6	10	27	0.8545	
	av	0	0	1	40	100	17.6	10	27	0.8545	22.83
ML2 N158	1	0	0	0	56	56	17.6	10	28	0.8360	
	2	0	0	1	0	60	17.6	10	28	0.8360	
	3	0	0	1	11	71	17.6	10	28	0.8360	
	av	0	0	1	22	62	17.6	10	28	0.8360	35.71
ML3 N157	1	0	0	0	30	30	17.6	10	28	0.8360	
	2	0	0	0	35	35	17.6	10	28	0.8360	
	3	0	0	0	36	36	17.6	10	28	0.8360	
	av	0	0	0	34	34	17.6	10	28	0.8360	66.11
ML4 K14	1	0	0	0	22	22	17.6	10	26.5	0.8641	
	2	0	0	0	26	26	17.6	10	26.5	0.8641	
	3	0	0	0	28	28	17.6	10	26.5	0.8641	
	av	0	0	0	25	25	17.6	10	26.5	0.8641	90.81
ML5 B32	1	0	0	0	58	58	17.6	10	26	0.8737	
	2	0	0	0	57	57	17.6	10	26	0.8737	
	3	0	0	0	59	59	17.6	10	26	0.8737	
	av	0	0	0	58	58	17.6	10	26	0.8737	40.10
ML6 S34	1	0	0	0	43	43	17.6	10	26	0.8737	
	2	0	0	0	46	46	17.6	10	26	0.8737	
	3	0	0	0	46	46	17.6	10	26	0.8737	
	av	0	0	0	45	45	17.6	10	26	0.8737	51.69
ML7 K14	1	0	0	0	43	43	17.6	10	26	0.8737	
	2	0	0	0	44	44	17.6	10	26	0.8737	
	3	0	0	0	45	45	17.6	10	26	0.8737	
	av	0	0	0	44	44	17.6	10	26	0.8737	52.87

ตารางที่ ก-1 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำในดินชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

Sample	Trial	Start		End		Secs	h1	h2	Water	Viscosity	K
		Minute	Second	Minute	Second		cm	cm	temp c		mm/hr
CH1 B26	1	0	0	35	30	2130	17.6	1	26	0.8737	
	2	0	0	133	47	8027	17.6	2.35	26	0.8737	
	3	0	0	141	0	8460	17.6	1.45	26	0.8737	
	av	0	0	103	26	6206	17.6	1.6	26	0.8737	1.59
CL1 JP38	1	0	0	173	33	10413	17.6	1.15	26	0.8737	
	2	0	0	156	0	9360	17.6	0.55	26	0.8737	
	3	0	0	60	0	3600	17.6	0.35	26	0.8737	
	av	0	0	130	11	7791	17.6	0.68	26	0.8737	1.72
CL2 F11	1	0	0	12	9	729	15.1	10	26	0.8737	
	2	0	0	12	13	733	15.1	10	26	0.8737	
	3	0	0	17	15	1035	15.1	10	26	0.8737	
	av	0	0	14	12	832	15.1	10.00	26	0.8737	2.04
CL3 F8	1	0	0	11	9	669	15.1	10	26	0.8737	
	2	0	0	11	20	680	15.1	10	26	0.8737	
	3	0	0	11	24	684	15.1	10	26	0.8737	
	av	0	0	11	18	678	15.1	10.00	26	0.8737	2.50
CL5 B15	1	0	0	50	0	3000	17.6	10	26	0.8737	
	2	0	0	42	0	2520	17.6	8.5	26	0.8737	
	3	0	0	55	39	3339	17.6	10	26	0.8737	
	av	0	0	49	13	2953	17.6	9.50	26	0.8737	0.86
CH4 N85	1	0	0	133	26	8006	17.6	0.1	27	0.8545	2.60
	2	0	0								
	3	0	0								
	av	0	0								
CH2 TH42	1	0	0	85	11	5111	17.6	0.2	27	0.8545	3.53
	2	0	0								
	3	0	0								
	av	0	0								
CH5 F18	1	0	0	131	59	7919	17.6	0.1	27	0.8545	2.63
	2	0	0								
	3	0	0								
	av	0	0								
CH3 N32	1	0	0	110	59	6659	17.6	0.1	27	0.8545	3.12
	2	0	0								
	3	0	0								
	av	0	0								

I 22644465

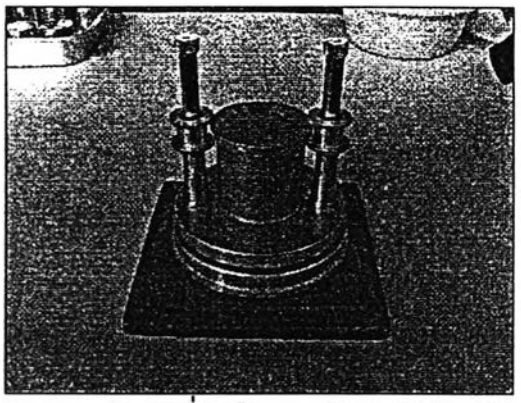
3. **สรุปผลการทดลอง**

จากผลการทดลองสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำโดยการหาค่าเฉลี่ยของตัวอย่างดินแต่ละชนิด ได้ดังตารางที่ ก-2 ดังนี้

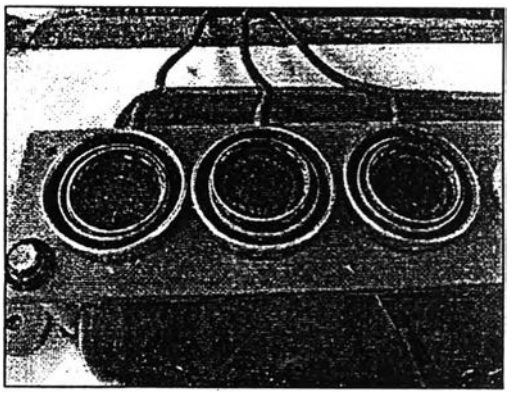
ตารางที่ ก-2 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำในดินอิ่มตัวชนิดต่าง ๆ

ชนิดดิน	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำ, K_s (เมตร/วัน)
SP	13.71
SW	1.87
MH	1.46
ML	1.16
CH	0.007
CL	0.006

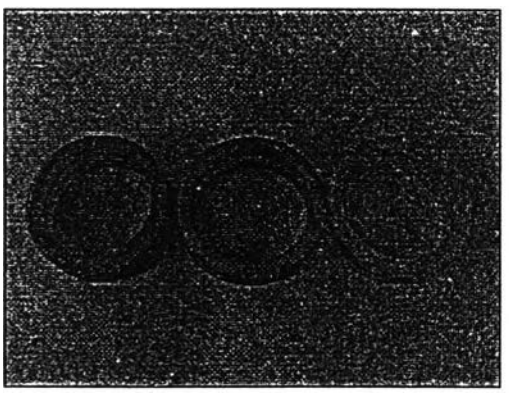
4. **รูปอุปกรณ์และการทดลอง**



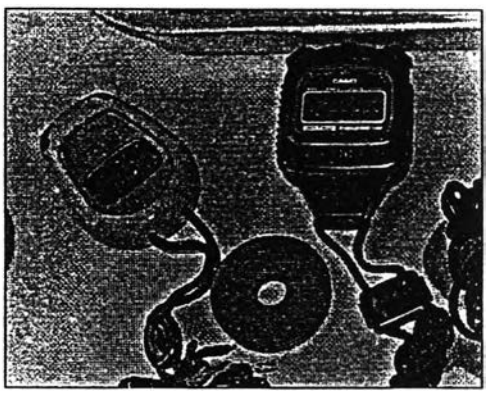
เครื่องมือบรรจุดิน



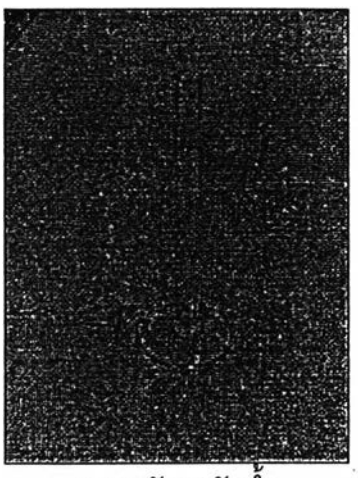
ฐานรองกระบอก



ยางครอบกระบอก



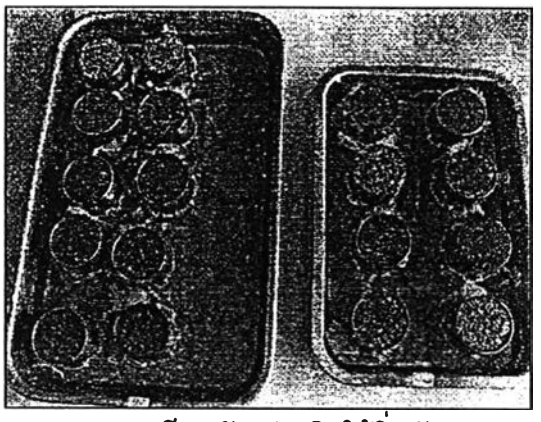
นาฬิกาจับเวลา



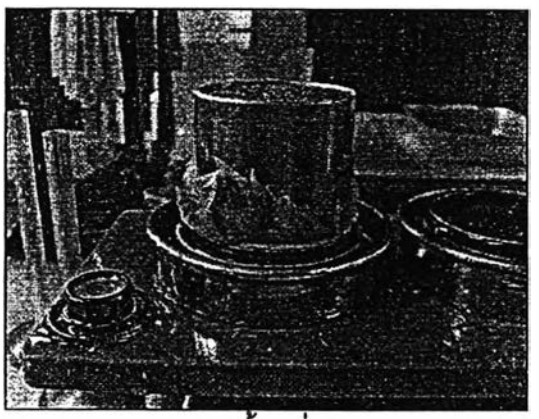
หลอดวัดระดับน้ำ

น้ำกลั่น

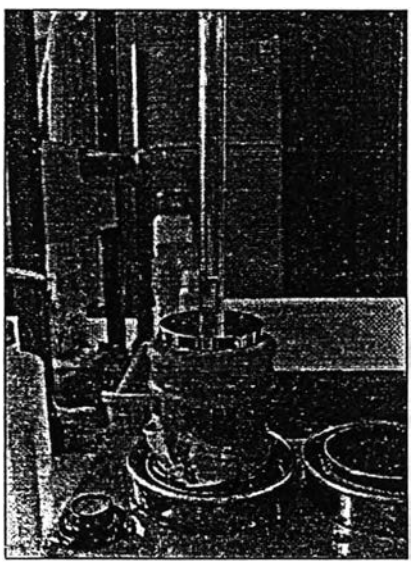
รูปที่ ก-6 อุปกรณ์การทดลอง



การเตรียมตัวอย่างดินให้อิ่มตัว



การติดตั้งเครื่องมือ



การทดลอง

รูปที่ ก-7 การทดลอง

5. เอกสารอ้างอิง

จักรพงษ์ เจิมศิริ. 2546. วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. กรมวิชาการเกษตร.

จินดารัตน์ ชื่นรุ่ง. 2547.การศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบจัดเรียงดินหลายชั้นเพื่อบำบัดน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาคผนวก ข

การหาค่ากราฟความสัมพันธ์ดิน-น้ำ

1. คำนำ

การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านชั้นดินหากดินมีสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated soil) ค่าที่ใช้ในการหาอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (Hydraulic conductivity) แต่หากดินมีสภาพไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำจะมีค่าไม่คงที่ซึ่งจากการศึกษาของ Richard (1981) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดิน (Water content) ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินนั้นจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงน้ำของดิน (Soil suction)

ค่ากราฟความสัมพันธ์ดิน-น้ำเป็นเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงน้ำของดินกับ ค่าปริมาณน้ำในดิน (Water content) ซึ่งแสดงถึงแรงดึงของน้ำในดินที่ความชื้นระดับต่าง ๆ กัน ซึ่งโดยปกติค่าแรงดึงน้ำจะแปรผกผันกับค่าความชื้นในดิน คือเมื่อดินมีความชื้นมากขึ้นค่าแรงดึงน้ำของดินจะมีค่าลดลง

2. วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นในดินกับค่าความดันในดินชนิดต่าง ๆ

3.อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์การทดลอง

1. ตัวอย่างดินชนิดต่าง ๆ ได้แก่ SW, SP, ML, MH, CL, CH
2. กระบอกใส่ตัวอย่างดิน
3. เครื่องอัดตัวอย่างดิน (Soil core compactor)
4. ตู้อบดิน
5. ถาดใส่น้ำ
6. ชุดเครื่องอัดความดัน Pressure plate และ Pressure membrane

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำตัวอย่างดินที่ทดสอบบรรจุลงในกระบอกสแตนเลสขนาด 100 ลบ.ซม. เตรียมตัวอย่างไว้ 2 ชุด โดยใช้เครื่องมือบรรจุดินเพื่อให้ดินมีการจัดเรียงตัวให้แน่น ซึ่งในการบรรจุต้องนำตัวอย่างดินใส่ลงในกระบอกเก็บตัวอย่างดิน และนำเข้าเครื่องบรรจุดิน

แล้วยกขึ้นแล้วปล่อยให้กระแทกลงมาเป็นจำนวน 5 ครั้ง เมื่อนำกระบอกเก็บตัวอย่างดินออกมา ให้นำกระบอกมาเติมดินให้เต็มแล้วปาดผิวหน้าดินให้เรียบ

2. นำตัวอย่างดินที่บรรจุใส่กระบอกเก็บตัวอย่างดินเรียบร้อยแล้ว หาน้ำหนักดินแห้ง โดยการนำไปเข้าตู้อบดิน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างดินที่อบแล้วมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักดินแห้ง เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความชื้นของดิน (Water content) ต่อไป
3. เมื่อชั่งน้ำหนักดินแห้งเรียบร้อยแล้วให้นำกระบอกเก็บตัวอย่างดินไปแช่น้ำเพื่อให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated soil) โดยแช่น้ำไว้ประมาณ 48 ชั่วโมง เมื่อสภาพดินมีความอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วให้นำดินที่อิ่มตัวไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ
4. นำกระบอกใส่ตัวอย่างดินเข้าเครื่องอัดความดัน (Pressure plate) โดยการทดลองใช้ค่าความดันที่ค่า pF 1, 2, 3 และเข้าเครื่อง Pressure membrane ที่ระดับ pF 4.2 ตามลำดับ เพื่อหาปริมาณน้ำ (%ปริมาตร) ที่ตัวอย่างดินแต่ละชนิดดูดยึดไว้ที่ค่าแรงดึงของน้ำต่าง ๆ แล้วนำไปคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ต่อไป โดยการทดลองทำในตัวอย่างดินชนิดละ 2 ชุด ยกเว้นดินประเภท CL และ CH ซึ่งเป็นดินเหนียวทำการทดลองตัวอย่างละ 1 ชุด

ตารางที่ ข-1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า pF และความดันน้ำ

pF	cm H_2O	bar
1.0	10	0.010
1.5	32	0.032
2.0	100	0.100
2.5	316	0.316
3.0	1,000	1.000
3.5	3,162	3.162
4.0	10,000	10.000
4.2	15,849	15.849

ค่า pF เป็นหน่วยวัดความดัน ที่คำนวณมาจากค่า log ของความดันของน้ำ การทดลองหาค่าความชื้นที่ค่าความดันแต่ละค่าทำโดยนำตัวอย่างดินเข้าเครื่องอัดความดัน แล้วตั้งค่าความดันที่เครื่องตามที่ต้องการทดลอง จากนั้นตรวจดูน้ำที่ไหลออกทางสายยางที่ใช้ระบายน้ำ เมื่อน้ำหยุดไหลออกจากสายยางแล้ว ให้นำตัวอย่างดินออกมาชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกเพื่อนำไปหาค่าความชื้นในดินต่อไป

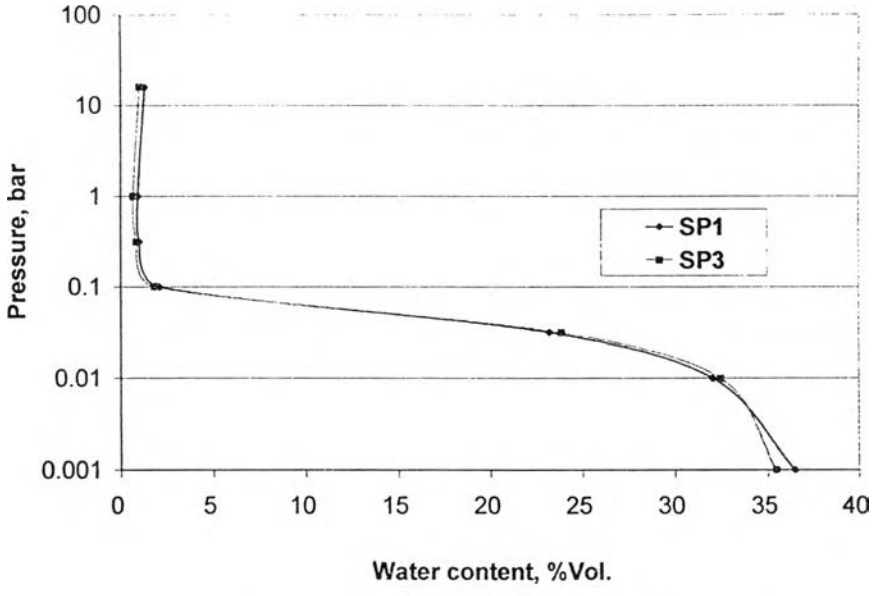
4. **ผลการทดลอง**

จากการนำตัวอย่างดินเข้าหม้ออัดความดันแล้วนำไปหาค่าปริมาณน้ำในดินได้ผลการทดลองดังตารางที่ ข-2

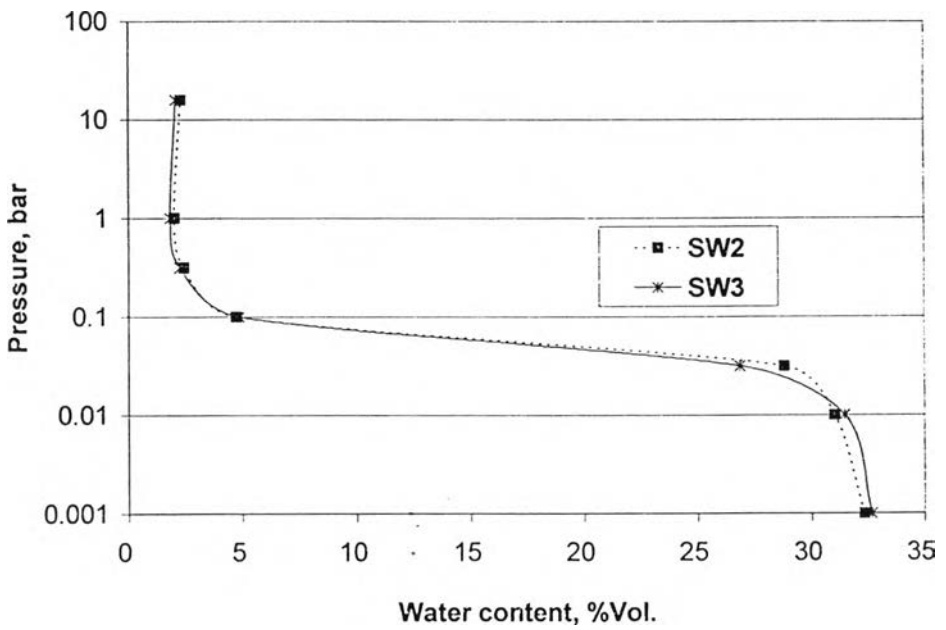
ตารางที่ ข-2 ค่าปริมาณน้ำในดินของดินชนิดต่าง ๆ ค่าค่าความดันระหว่าง pF 0 - 4.2

Sample	Bulk Density (g/cm3)	Water content (% Vol.)						
		pF						
		0	1	1.5	2	2.5	3	4.2
SP1	1.61	36.49	32.00	23.18	2.11	1.02	0.95	1.31
SP3	1.58	35.47	32.42	23.83	1.85	0.87	0.69	1.03
SW2	1.71	32.35	31.02	28.77	4.73	2.42	2.01	2.29
SW3	1.69	32.68	31.48	26.83	4.86	2.25	1.84	2.08
MH1	1.65	34.88	32.98	28.74	6.55	3.45	2.78	2.94
MH2	1.63	34.84	33.07	29.53	6.42	3.33	2.64	2.84
ML2	1.58	34.84	32.75	27.54	5.41	3.29	2.75	2.93
ML3	1.55	37.57	34.48	31.94	8.61	6.05	5.04	5.67
CH1	1.56	47.77	47.39	45.78	45.08	43.31	41.83	41.53
CL1	1.59	42.04	41.17	39.78	38.88	37.21	36.74	36.13

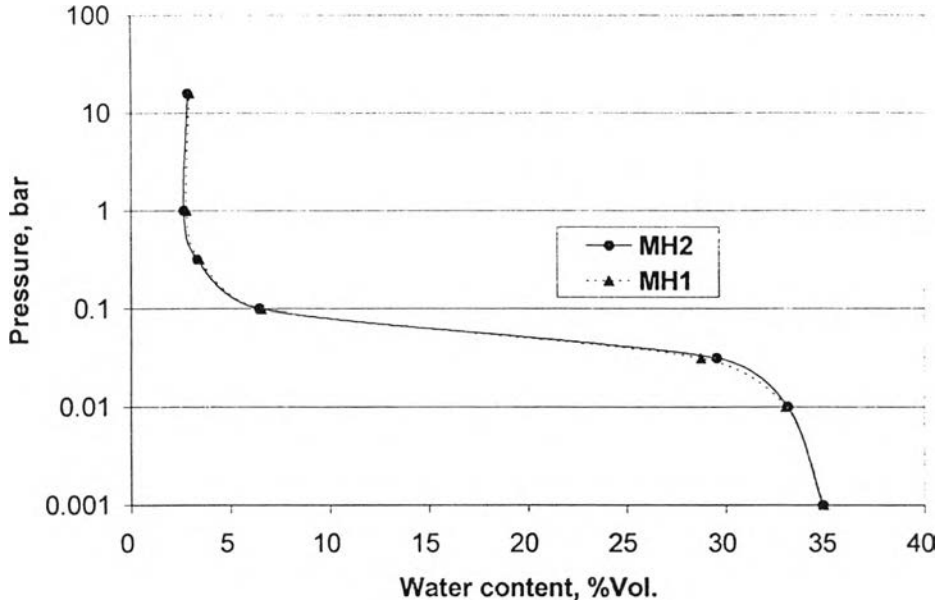
จากผลการทดลองสามารถนำมาเขียนเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาณน้ำในดิน หรือกราฟความสัมพันธ์ดิน-น้ำของดินชนิดต่าง ๆ ได้ดังแสดงในรูปที่ ข-1



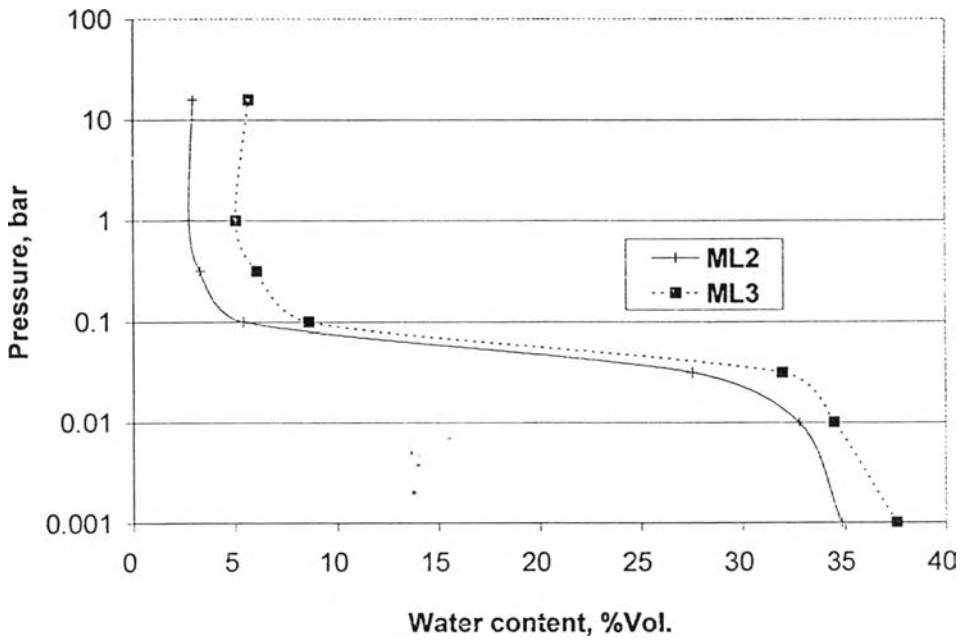
รูปที่ ข-1ก กราฟความสัมพันธ์ดิน-น้ำของดินชนิด SP



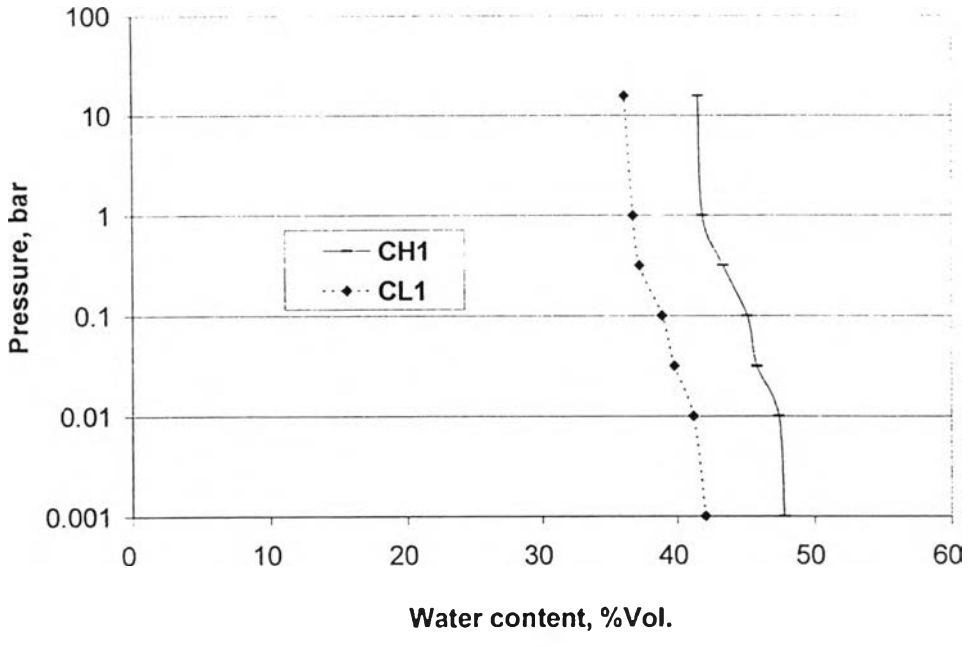
รูปที่ ข-1ข กราฟความสัมพันธ์ดิน-น้ำของดินชนิด SW



รูปที่ ข-1ค กราฟความสัมพันธ์ดิน-น้ำของดินชนิด MH



รูปที่ ข-1ง กราฟความสัมพันธ์ดิน-น้ำของดินชนิด ML



รูปที่ ข-1จ กราฟความสัมพันธ์ดิน-น้ำของดินชนิด CH และ CL

5. **สรุปผลการทดลอง**

จากผลการทดลองสามารถนำมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับค่าแรงดึงน้ำของดิน ได้มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์นี้และได้เสนอสมการเพื่ออธิบายความสัมพันธ์มากมายสมการของ van Genuchten เป็นสมการที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายดังแสดงในสมการที่ ข1

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \dfrac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha h|^n]^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \qquad \text{(ข1)}$$

α = ค่าคงที่

θr = Residual water content

θs = Saturated water content

h = Capillary pressure head

n = ค่าคงที่

m = 1-1/n, n>1

ซึ่งเมื่อผลการทดลองมาเทียบกับสมการเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในสมการพบว่าได้ค่าพารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ ข-3

ตารางที่ ข-3 ค่าพารามิเตอร์ในสมการของ van Genuchten

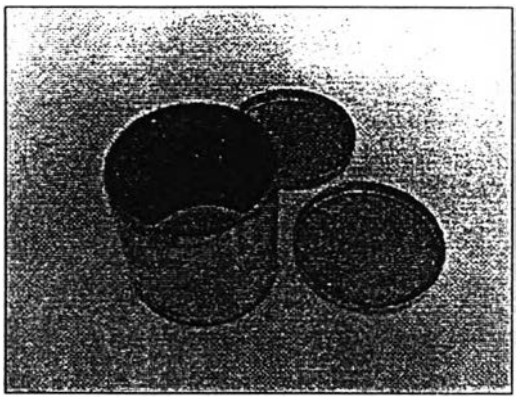
ชนิดตัวกลาง	ค่าพารามิเตอร์ที่หาได้จากการทดลอง				
	θr	θs	α	n	m
SP	0.82	35.98	0.055	1.83	0.45
SW	1.93	32.52	0.030	2.35	0.57
MH	2.71	34.86	0.030	2.50	0.60
ML	3.90	36.21	0.033	2.30	0.56
CH	41.53	47.77	0.025	1.75	0.43
CL	36.13	42.04	0.055	1.55	0.35

6. **ข้อเสนอแนะ**

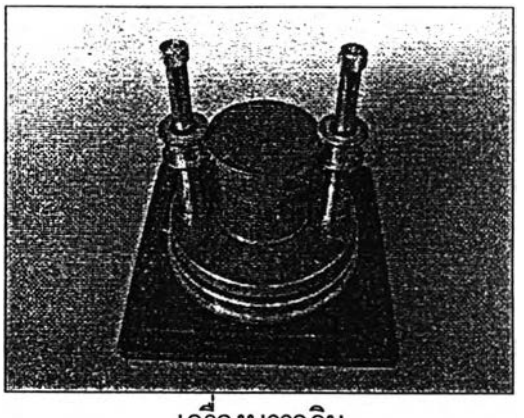
การทดลองในครั้งนี้ได้นำดินชนิดต่าง ๆ ซึ่งจำแนกตามระบบ Unified ได้ 6 ประเภท การเตรียมตัวอย่างดินสำหรับการทดลองทำโดย ตัวอย่างที่เป็นทราย นำมาจากทรายที่ใช้ในการก่อสร้างที่มีขนาดคละต่าง ๆ ในตัวอย่างที่เป็นดินตะกอน และดินเหนียวเก็บตัวอย่างดินมาจากพื้นที่ในภาคสนามแล้วมาจำแนกชนิดดิน โดยการเก็บตัวอย่างดินตะกอนทำการเก็บแบบรบกวนดิน (disturbed) ส่วนดินเหนียวทำการเก็บแบบไม่รบกวนดิน (undisturbed)

ในการเตรียมตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลองหากสามารถเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่สนามได้โดยตรงจะช่วยให้ได้ดินที่มีคุณสมบัติตรงตามสภาพที่แท้จริงตามธรรมชาติมากที่สุด โดยวิธีการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมและคือวิธีการเก็บตัวอย่างแบบไม่รบกวนดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวเนื่องจากลักษณะการจัดเรียงตัวของอนุภาคของเนื้อดินจะมีผลต่อการซึมผ่านของน้ำมาก ดังนั้นหากสามารถเก็บตัวอย่างดินทุกชนิดด้วยวิธีไม่รบกวนดินจะช่วยให้ผลการทดลองมีความถูกต้องใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติมากขึ้น

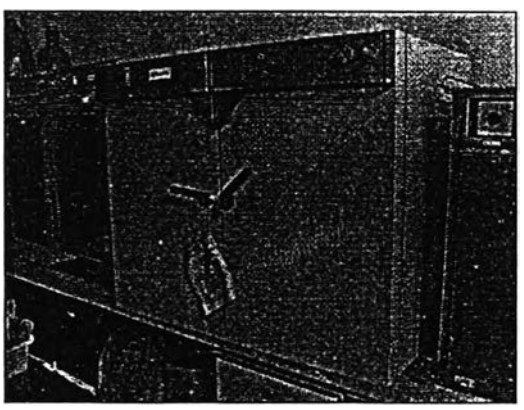
7. รูปอุปกรณ์การทดลอง



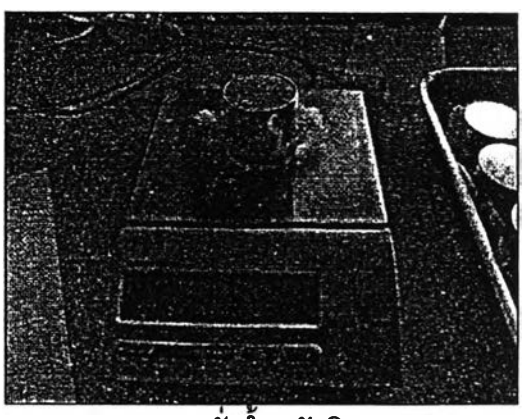
กระบอกเก็บตัวอย่างดิน



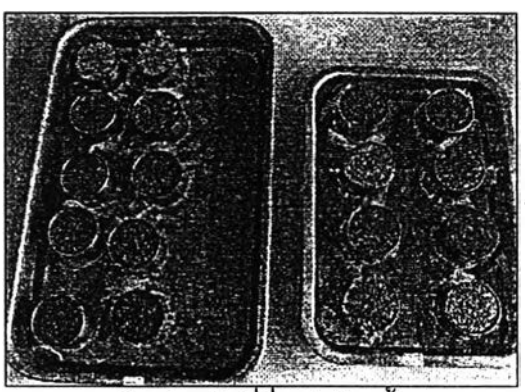
เครื่องบรรจุดิน



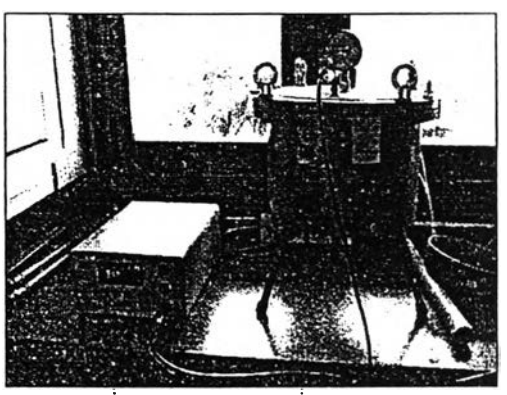
ตู้อบดิน



การชั่งน้ำหนักดิน



ตัวอย่างดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ



เครื่องอัดความดันที่ค่า pF 1-3

รูปที่ ข-2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ภาคผนวก ค

การเตรียมการทดลองในห้องปฏิบัติการ

การเตรียมการทดลองได้จัดเตรียมอุปกรณ์การทดลองต่าง ๆ เป็นขั้นตอนสำคัญในการศึกษาครั้งนี้ ในส่วนของเนื้อหาในภาคผนวกนี้กล่าวถึง การเตรียมตัวอย่างดิน การเตรียมอุปกรณ์วัดความชื้น การเตรียมอุปกรณ์ในการทดลอง การปรับเทียบอัตราการไหล และผลการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่างดิน

ในการทดลองได้กำหนดวิธีการจำแนกดินตามระบบ Unified การจำแนกประเภทของดินโดยวิธีนี้ เป็นที่นิยมแพร่หลายมากกว่าวิธีอื่น ๆ ซึ่งเป็นระบบที่นิยมใช้ในงานด้านวิศวกรรมทั่ว ๆ ไป โดยแบ่งดินออกเป็นกลุ่ม ใช้อักษรภาษาอังกฤษเป็นสัญลักษณ์แทนชื่อกลุ่มดิน แต่ละกลุ่มจะมีอักษรอย่างน้อย 2 ตัว ตัวแรกเป็นกลุ่มหลัก และตัวที่สองเป็นกลุ่มย่อยลงไป ซึ่งตัวอักษรแต่ละตัวมีความหมายของมันเอง ดังแสดงในตารางที่ ค-1 หลักการจำแนกประเภทของดินตามระบบ Unified นี้จัดแบ่งตามลักษณะขนาดของเม็ดดิน ตามลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน และตามคุณสมบัติความเหนียวของดิน หรือค่า Atterberg's Limits มีรายละเอียดจำแนกตามแสดงในตารางที่ ค-2

1.1 การหาขนาดเม็ดดิน

การหาขนาดของเม็ดดินสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1.1.1 วิธีร่อนตะแกรง

วิธีนี้เหมาะสำหรับดินพวกเม็ดหยาบ เช่น กรวด ทราย เป็นต้น ทำได้โดยการนำดินที่ต้องการหาขนาดใส่ลงไปในตะแกรงมาตรฐาน แล้วเขย่า ตะแกรงที่ใช้ร่อนมีหลายขนาด จัดเป็นชั้น ๆ ให้ขนาดใหญ่ที่สุดอยู่ข้างบนและขนาดเล็กที่สุดอยู่ข้างล่าง ขนาดเล็กที่สุดเป็นตะแกรงเบอร์ 200 ซึ่งมีขนาดรูตะแกรงเท่ากับ 0.075 มม. เมื่อร่อนและนำมาชั่งแล้วก็จะคำนวณหาส่วนที่ค้างหรือผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ เป็นเปอร์เซ็นต์กับน้ำหนักทั้งหมดได้ดังต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรง} = \frac{\text{น้ำหนักของดินในแต่ละตะแกรง}}{\text{น้ำหนักของดินทั้งหมด}} \times 100$$

เปอร์เซ็นต์ค้างสะสม = ผลบวกสะสมของเปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงที่ใหญ่กว่า

เปอร์เซ็นของดินที่ผ่านตะแกรง (%Passing) = 100 – เปอร์เซ็นต์ค้างสะสม

1.1.2 วิธีตกตะกอน

วิธีนี้เหมาะสำหรับดินพวกเม็ดละเอียด ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 0.075 มม. ลงไป ทำได้โดยนำดินที่ต้องการหาขนาดมาละลายน้ำแล้วใส่ลงไปในหลอดแก้ว ให้เม็ดดินกระจัดกระจายแขวนลอยอยู่ในน้ำ แล้วใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดอัตราการตกตะกอน หรือ คือวัดความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินที่ละลายแขวนลอยอยู่ในน้ำที่ความลึก h ในช่วงเวลาต่าง ๆ โดยอาศัยกฎของสโตค (Stoke's Law) ที่ว่า ความเร็วของการตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเม็ดดิน ความหนาแน่นของของเหลว ความหนืดของของเหลวและขนาดของเม็ดดิน กล่าวคือ ดินเม็ดใหญ่จะตกตะกอน (จม) เร็วกว่าดินเม็ดเล็ก ดังนั้นเมื่อทราบความเร็วของการตกตะกอนก็สามารถคำนวณหาขนาดของตะกอนได้

1.2 การกระจายตัวของเม็ดดิน

เมื่อนำผลการทดสอบเพื่อหาขนาดของเม็ดดิน ทั้งดินพวกเม็ดหยาบที่ได้จากวิธีร่อนด้วยตะแกรง และดินพวกเม็ดละเอียดที่ได้จากวิธีตกตะกอน มาเขียนเส้นความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเม็ดดินกับจำนวนเปอร์เซ็นต์ของดินที่มีขนาดเล็กกว่าโดยน้ำหนัก ในกระดาษ Semi-log ก็จะได้เส้นกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน ดังแสดงในรูปที่ ค-1 และ ค-2

1.3 การเก็บตัวอย่างดิน

ดินทราย ได้แก่ SP และ SW ใช้ทรายที่คัดแยกขนาด (ทรายก่อสร้าง) มาผสมกัน

ดินตะกอน ได้แก่ MH และ ML เก็บตัวอย่างดินแบบรบกวนเนื้อดินที่บริเวณ ต.ยางช้าย อ.โพธิ์ทอง จ.อ่างทอง

ดินเหนียว ได้แก่ CH และ CL เก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนเนื้อดินที่บริเวณ ต.สาวร้องไห้ อ.วิเศษชัยชาญ จ.อ่างทอง

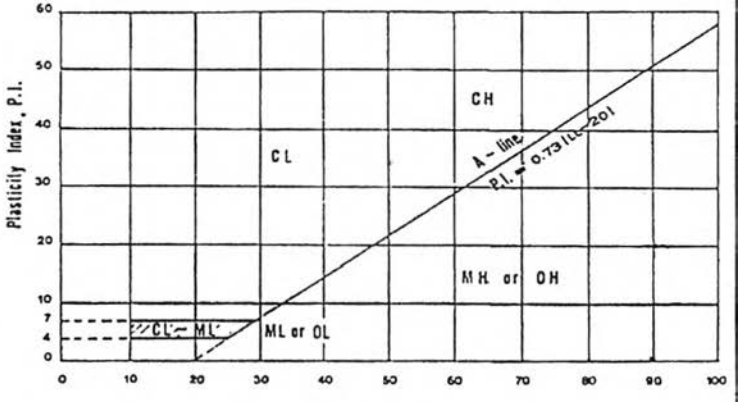
ตารางที่ ค-1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการจำแนกประเภทของดินโดยระบบ Unified

สัญลักษณ์	ลักษณะดิน	ย่อมาจาก
G	กรวด	Gravel
S	ทราย	Sand
M	ตะกอนทราย	Mo = Silt
C	ดินเหนียว	Clay
O	สารอินทรีย์	Organic
Pt	สารอินทรีย์สูง	Peat
W	มีขนาดคละกันดี	Well graded
P	มีขนาดคละกันไม่ดี	Poorly graded
L	Liquid limit น้อยกว่า 50 %	Low Liquid Limit
H	Liquid limit มากกว่า 50 %	High Liquid Limit

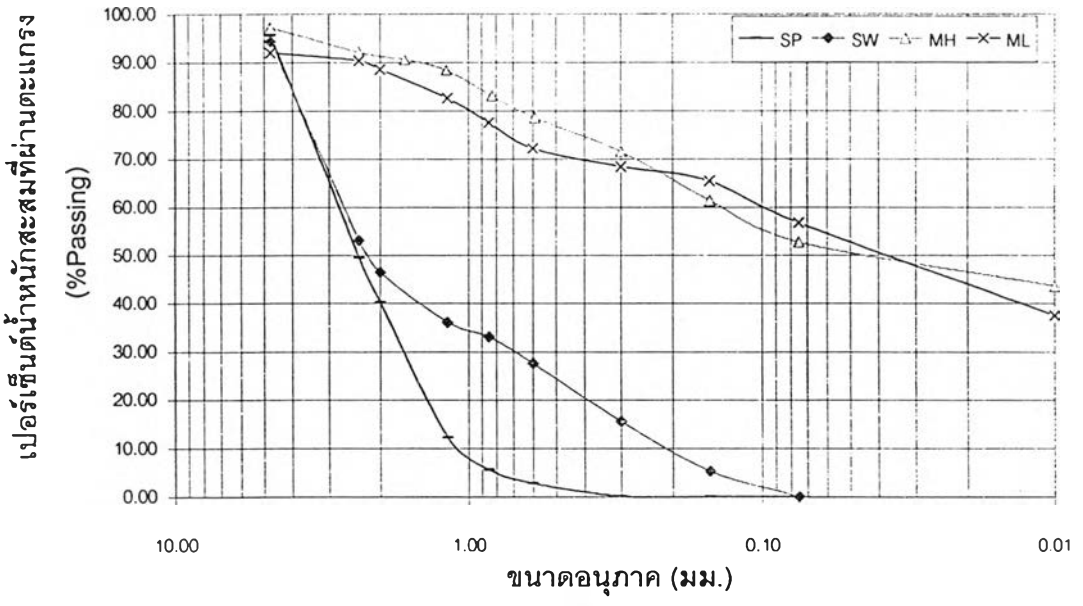
ตารางที่ ค-2 รายละเอียดการจำแนกประเภทของดินโดยระบบ Unified

การจำแนกประเภทหลัก			สัญญลักษณ์กลุ่ม	ชื่อกลุ่มหิน	เกณฑ์การจำแนกประเภท		
ดินหยาบเม็ดหยาบ ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 %	กรวด ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของส่วนที่เป็นเม็ดหยาบ	กรวดสะอาด (มีเม็ดละเอียดบนอยู่บ้างหรือไม่มีเลย)	GW	กรวดมีขนาดคละกันดี กรวดผสมทราย มีเม็ดละเอียดบนบ้างหรือไม่มีเลย	การจำแนกประเภทโดยอาศัยเบอร์ร่อนที่ต้องมากเม็ดละเอียด ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่า 5 % : GW, GP, SW, SP ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 12 % : GM, GC, SM, SC ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ระหว่าง 5-12 % : ตามเกี่ยวกับ ใช้สัญลักษณ์ 2 คู่ (4 ตัว)	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ มากกว่า 4 $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ อยู่ระหว่าง 1-3	
			GP	กรวดมีขนาดคละกันไม่ดี กรวดผสมทราย มีเม็ดละเอียดบนบ้างหรือไม่มีเลย	ไม่เข้าเกณฑ์ประเภท GW		
		กรวดมีเม็ดละเอียดบน	GM	กรวดมีตะกอนทรายบน กรวด-ทราย-ตะกอนทรายผสมกัน	Atterberg limits อยู่ใต้เส้น "A" หรือ P.I. น้อยกว่า 4	Atterberg limits อยู่บน Hatched ของ ถ้าจำตามเกี่ยวกัน ใช้สัญลักษณ์ 2 คู่	
			GC	กรวดมีดินเหนียวบน กรวด-ทราย-ดินเหนียวผสมกัน	Atterberg limits อยู่เหนือเส้น "A" และ P.I. มากกว่า 7		
	ทราย ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าครึ่งหนึ่งของส่วนที่เป็นเม็ดหยาบ	ทรายสะอาด (มีเม็ดละเอียดบนอยู่บ้างหรือไม่มีเลย)	SW	ทรายมีขนาดคละกันดี ทรายปนกรวด มีเม็ดละเอียดบนบ้างหรือไม่มีเลย	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ มากกว่า 6 $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ อยู่ระหว่าง 1-3		
			SP	ทรายมีขนาดคละกันไม่ดี ทรายปนกรวด มีเม็ดละเอียดบนบ้างหรือไม่มีเลย	ไม่เข้าเกณฑ์ประเภท SW		
		ทรายมีเม็ดละเอียดบน	SM	ทรายมีตะกอนทรายบน ทราย-ตะกอนทรายผสมกัน	Atterberg limits อยู่ใต้เส้น "A" หรือ P.I น้อยกว่า 4	Atterberg limits อยู่บน Hatched ของ ถ้าจำตามเกี่ยวกัน ใช้สัญลักษณ์ 2 คู่	
			SC	ทรายมีดินเหนียวบน ทราย-ดินเหนียวผสมกัน	Atterberg limits อยู่เหนือเส้น "A" และ P.I. มากกว่า 7		

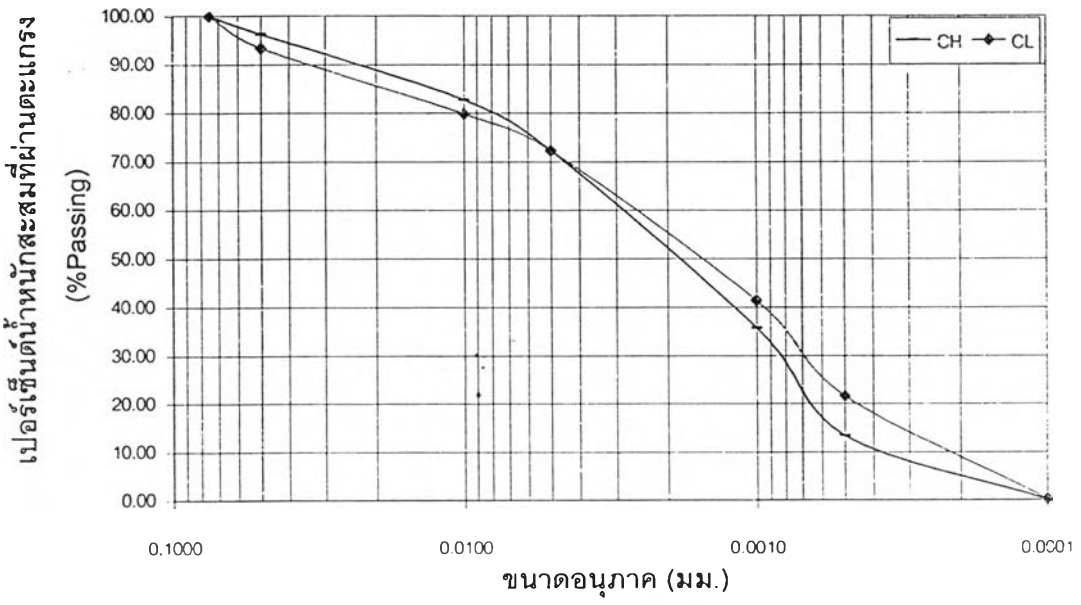
ตารางที่ ค-2 รายละเอียดการจำแนกประเภทของดินโดยระบบ Unified (ต่อ)

การจำแนกประเภทหลัก		สัญลักษณ์กลุ่ม	ชื่อกลุ่มดิน	เกณฑ์การจำแนกประเภท
ดินหยาบเม็ดละเอียด น้ำหนักที่ร่อนผ่านเบอร์ 200 มากกว่า 50 %	ทรายและดินทรายที่มีความเหนียวปน L.L. น้อยกว่าหรือเท่ากับ 50	ML	ทรายอินทรีย์และทรายละเอียดมาก ดินฝุ่น ทรายละเอียดปนทรายหรือดินเหนียวมีความเหนียวเล็กน้อย	
		CL	ดินเหนียวอินทรีย์มีความเหนียวต่ำถึงปานกลาง ดินเหนียวปนกรวด ดินเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนทรายปนทรายดินเหนียวล้วน	
		OL	ทรายอินทรีย์และดินเหนียว ปนทรายอินทรีย์ มีความเหนียวต่ำ	
	ทรายและดินทรายที่มีความเหนียวปน L.L. มากกว่า 50	MH	ทรายอินทรีย์ ทรายละเอียดหรือทรายปนทรายแป้งหรือดินเบา ทรายที่มีคหุ่น	
		CH	ดินเหนียวอินทรีย์มีความเหนียวสูง ดินเหนียวมีความหนืดสูง	
		OH	ดินเหนียวอินทรีย์ มีความเหนียวปานกลางถึงสูง ทรายอินทรีย์	
ดินหวกสารอินทรีย์สูง		PT	พีท รากพืชและดินอินทรีย์สูงอื่นๆ	แยกได้จากยาก สี กลิ่น การสัมผัสและลักษณะเนื้อ

แผนภูมิความเหนียว



รูปที่ ค-1 การกระจายขนาดคละของตัวอย่างดินทรายและดินตะกอน



รูปที่ ค-2 การกระจายขนาดคละของตัวอย่างดินเหนียว

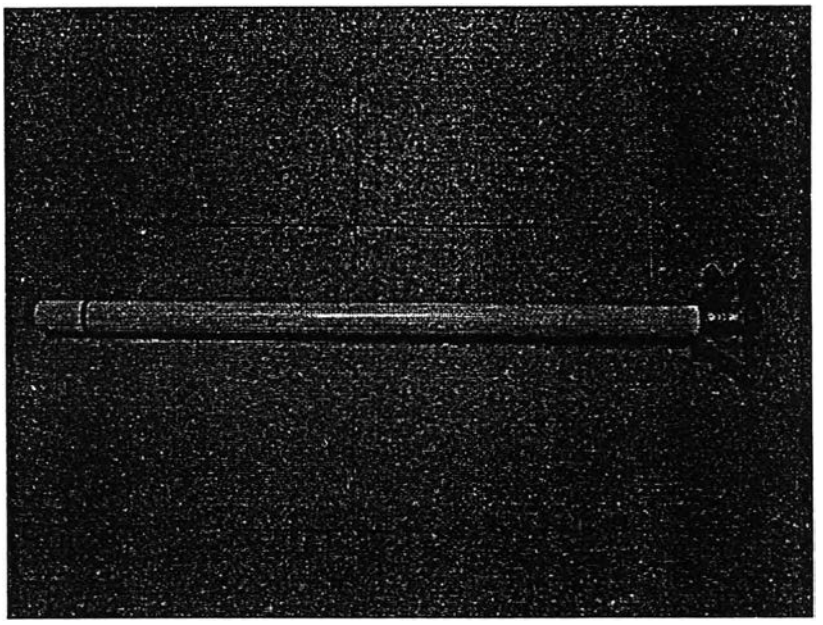
2. การเตรียมอุปกรณ์วัดความชื้น

ในการทดลองครั้งนี้ใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์รุ่น EasyAG ผลิตโดยบริษัท Sentek เป็นอุปกรณ์วัดความชื้นมีค่าออกมาเป็นปริมาณน้ำในดิน (%โดยปริมาตร) โดยใช้ระบบการวัดแบบ TDR (Time domain reflectometer) โดยในชุดอุปกรณ์วัดความชื้นจะมีลักษณะเป็นก้านยาว 50 ซม. ภายในก้านจะมีเซ็นเซอร์วัดความชื้นอยู่ 4 ตำแหน่ง คือ ที่ตำแหน่ง 10 ซม. 20 ซม. 30 ซม. และ 50 ซม. จากหัวของชุดอุปกรณ์วัดความชื้น โดยชุดอุปกรณ์วัดความชื้นนี้ต้องใช้ควบคู่กับกล่องบันทึกข้อมูล (Data logger) รุ่น CR200 ผลิตโดยบริษัท Campbell scientific, Inc. ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลได้ตลอดเวลา (Real time) สัญญาณที่ส่งจากเซ็นเซอร์เป็นสัญญาณ SDI-12 ซึ่งข้อมูลจะถูกบันทึกไว้ในกล่องบันทึกข้อมูล ซึ่งในการอ่านค่าข้อมูลจากกล่องบันทึกข้อมูล ได้ใช้โปรแกรม PC200W ในการอ่านค่า และแสดงผลในคอมพิวเตอร์

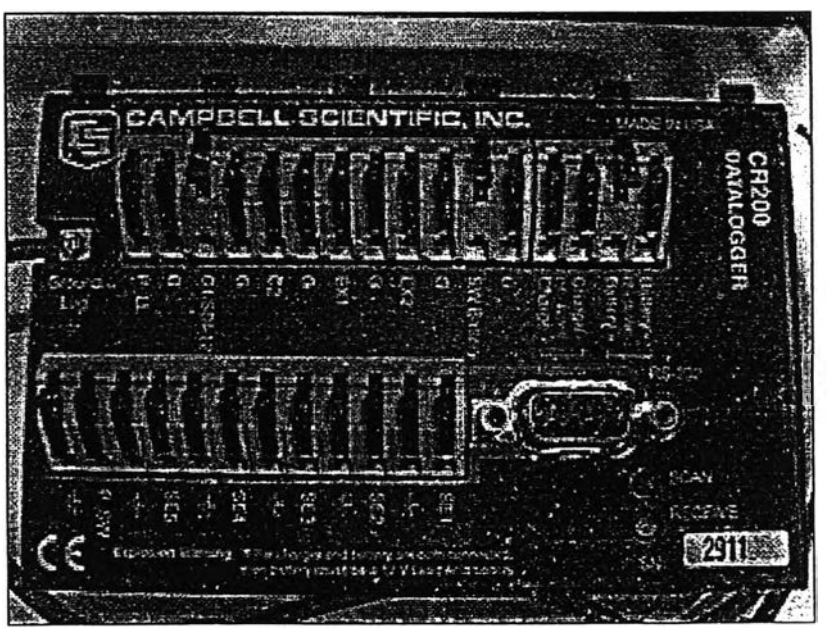
2.1 การปรับเทียบอุปกรณ์วัดความชื้น

ในการปรับเทียบได้วัดค่าปริมาณน้ำในดินจากการนำไปวัดตัวอย่างดินจำนวน 10 ตัวอย่าง แล้วนำมาคำนวณหาค่าปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจริง นำมาเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ เพื่อนำมาหาค่าปรับเทียบต่อไป

วิธีในการปรับเทียบคือ บรรจุตัวอย่างดินลงในถังและอ่านค่าปริมาณน้ำในดินจากเซ็นเซอร์ ซึ่งจัดเก็บข้อมูลโดยใช้กล่องบันทึกข้อมูล และอ่านค่าที่บันทึกโดยโปรแกรม PC200W จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างดินภายในถังสแตนเลสมาชั่งน้ำหนักดินเปียก และนำไปอบเพื่อหาน้ำหนักดินแห้ง เพื่อนำมาคำนวณหาค่าปริมาณน้ำในดิน นำค่าที่หาได้จากการอบตัวอย่างดินมาปรับเทียบกับค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์



รูปที่ ค-3 เซ็นเซอร์วัดความชื้น



รูปที่ ค-4 กล่องบันทึกข้อมูล

ตารางที่ ค-1 การปรับเทียบเซ็นเซอร์วัดความชื้นที่ระดับความลึก 10 ซม.

ครั้งที่	น้ำหนักดินเปียก (กรัม)	ปริมาตรดินเปียก (ลบ.ซม.)	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ปริมาตรดินแห้ง (ลบ.ซม.)	ค่าที่วัดได้จริง (%ปริมาตร)	ค่าที่อ่านได้ (%ปริมาตร)	mean error
1	256	100.79	216	85.04	0.185	0.153	1.210
2	248	97.64	211	83.07	0.175	0.121	1.449
3	251	98.82	195	76.77	0.287	0.214	1.342
4	249	98.03	194	76.38	0.284	0.214	1.325
5	234	92.13	198	77.95	0.182	0.129	1.409
6	215	84.65	178	70.08	0.208	0.155	1.341
7	249	98.03	212	83.46	0.175	0.134	1.302
8	254	100.00	216	85.04	0.176	0.135	1.303
9	245	96.46	202	79.53	0.213	0.172	1.238
10	244	96.06	200	78.74	0.220	0.168	1.310

ตารางที่ ค-2 การปรับเทียบเซ็นเซอร์วัดความชื้นที่ระดับความลึก 20 ซม.

ครั้งที่	น้ำหนักดินเปียก (กรัม)	ปริมาตรดินเปียก (ลบ.ซม.)	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ปริมาตรดินแห้ง (ลบ.ซม.)	ค่าที่วัดได้จริง (%ปริมาตร)	ค่าที่อ่านได้ (%ปริมาตร)	mean error
1	244	96.06	206	81.10	0.184	0.1358	1.358
2	235	92.52	197	77.56	0.193	0.121	1.594
3	247	97.24	195	76.77	0.267	0.2084	1.280
4	261	102.76	213	83.86	0.225	0.1784	1.263
5	259	101.97	206	81.10	0.257	0.129	1.994
6	251	98.82	214	84.25	0.173	0.125	1.383
7	254	100.00	207	81.50	0.227	0.134	1.694
8	254	100.00	216	85.04	0.176	0.133	1.323
9	248	97.64	202	79.53	0.228	0.172	1.324
10	253	99.61	200	78.74	0.265	0.168	1.577

ตารางที่ ค-3 การปรับเทียบเซ็นเซอร์วัดความชื้นที่ระดับความลึก 30 ซม.

ครั้งที่	น้ำหนักดินเปียก (กรัม)	ปริมาตรดินเปียก (ลบ.ซม.)	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ปริมาตรดินแห้ง (ลบ.ซม.)	ค่าที่วัดได้จริง (%ปริมาตร)	ค่าที่อ่านได้ (%ปริมาตร)	mean error
1	247	97.24	203	79.92	0.217	0.211	1.027
2	253	99.61	211	83.07	0.199	0.19	1.048
3	242	95.28	201	79.13	0.204	0.197	1.035
4	251	98.82	209	82.28	0.201	0.195	1.031
5	248	97.64	203	79.92	0.222	0.22	1.008
6	247	97.24	208	81.89	0.188	0.178	1.053
7	251	98.82	207	81.50	0.213	0.211	1.007
8	256	100.79	213	83.86	0.202	0.191	1.057
9	253	99.61	211	83.07	0.199	0.19	1.048
10	257	101.18	214	84.25	0.201	0.198	1.015

ตารางที่ ค-4 การปรับเทียบเซ็นเซอร์วัดความชื้นที่ระดับความลึก 50 ซม.

ครั้งที่	น้ำหนักดินเปียก (กรัม)	ปริมาตรดินเปียก (ลบ.ซม.)	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ปริมาตรดินแห้ง (ลบ.ซม.)	ค่าที่วัดได้จริง (%ปริมาตร)	ค่าที่อ่านได้ (%ปริมาตร)	mean error
1	247	97.24	204	80.31	0.211	0.116	1.817
2	265	104.33	212	83.46	0.250	0.127	1.969
3	215	84.65	178	70.08	0.208	0.127	1.637
4	246	96.85	203	79.92	0.212	0.124	1.708
5	256	100.79	214	84.25	0.196	0.116	1.692
6	245	96.46	210	82.68	0.167	0.117	1.425
7	265	104.33	224	88.19	0.183	0.114	1.606
8	245	96.46	204	80.31	0.201	0.135	1.489
9	248	97.64	203	79.92	0.222	0.1432	1.548
10	251	98.82	194	76.38	0.294	0.176	1.669

ตารางที่ ค-5 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณการปรับเทียบของเซ็นเซอร์ที่ระดับต่าง ๆ

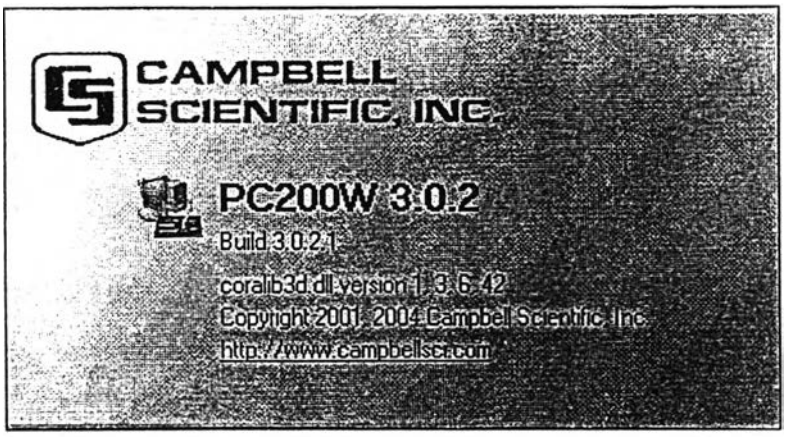
หัวเซ็นเซอร์วัดความชื้น	ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณปรับเทียบ
ที่ระดับความลึก 10 ซม.	1.323
ที่ระดับความลึก 20 ซม.	1.489
ที่ระดับความลึก 30 ซม.	1.033
ที่ระดับความลึก 50 ซม.	6.557

จากการทดลองได้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณที่ใช้ในการปรับแก้ค่าต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ ค-5 โดยนำไปใช้เป็นตัวคูณกับค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์

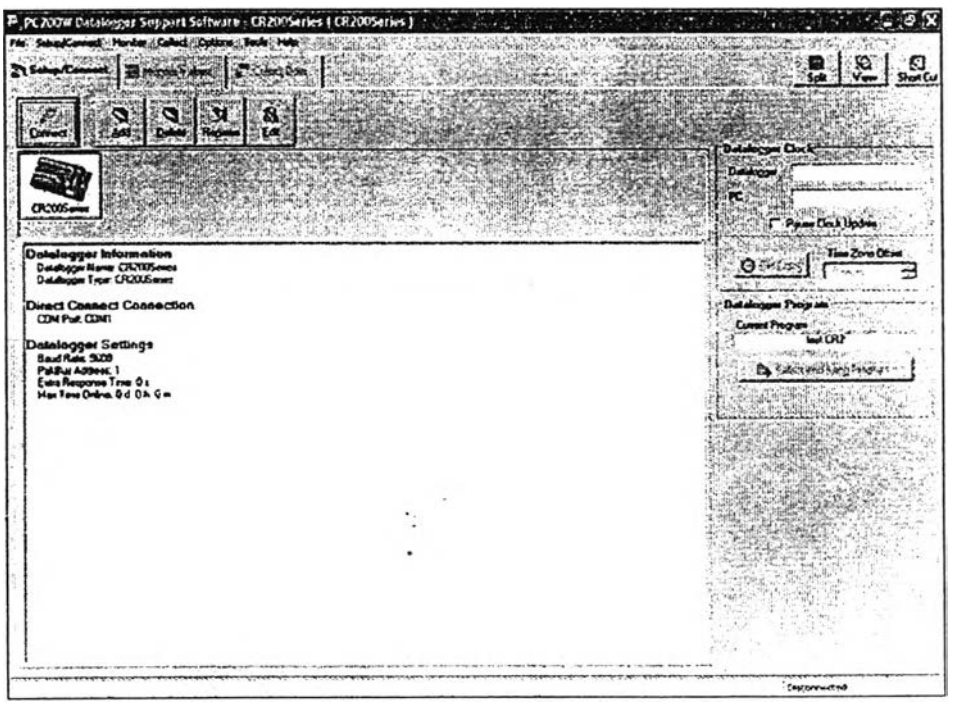
2.2 การใช้โปรแกรม PC200W

โปรแกรม PC200W เป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดยบริษัท Campbell scientific, Inc. เพื่อใช้เป็นโปรแกรมในการอ่านค่าจากกล่องบันทึกข้อมูลรุ่น CR200 โดยโปรแกรมนี้เป็นเวอร์ชั่น 3.0.2.1 การใช้โปรแกรมเริ่มโดยการติดตั้งโปรแกรมลงในคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถดาวโหลดโปรแกรมได้ที่เวปไซน์ www.Campbellsci.com หลังจากติดตั้งโปรแกรมแล้ว สามารถเข้าสู่หน้าจอหลักของโปรแกรมโดยดับเบิ้ลคลิ้กที่ไอคอน PC200W หรือเข้าทางเมนูโปรแกรมก็ได้

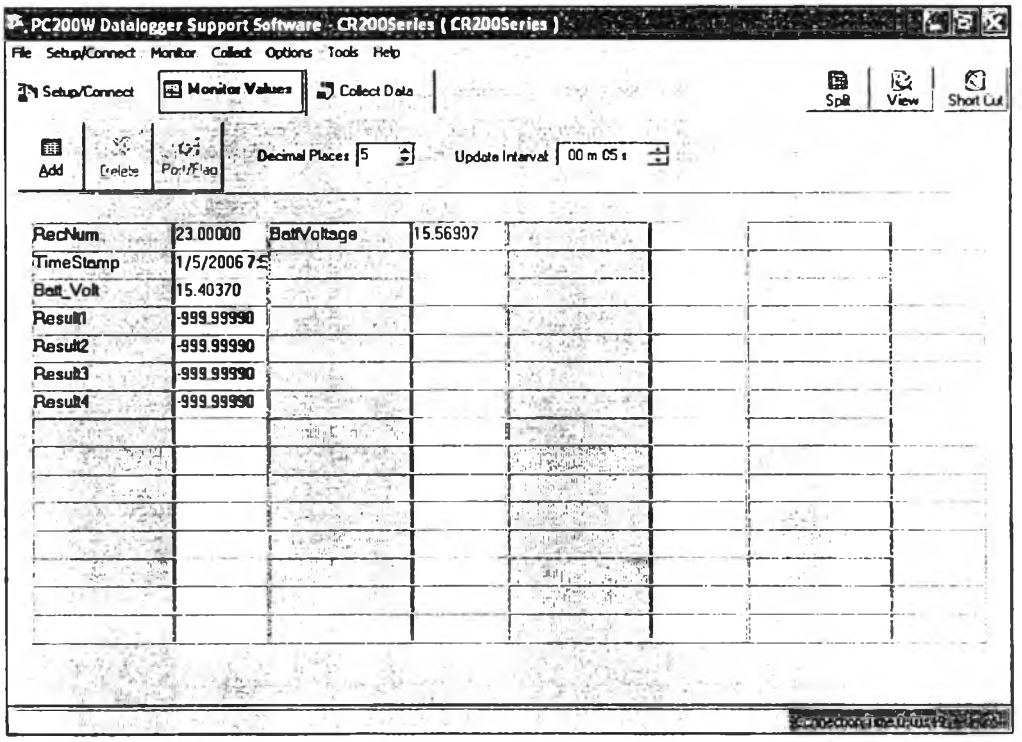
รูปที่ ค-5 แสดงการเข้าสู่โปรแกรม PC200W และรูปที่ ค-6 แสดงหน้าจอหลักหลังจากเข้าสู่โปรแกรมแล้ว กดปุ่ม connect เพื่อเชื่อมต่อกับกล่องบันทึกข้อมูล โดยสามารถสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของข้อมูลได้ในหน้าจอ Monitor Values (แสดงในรูปที่ ค-7) ข้อมูลที่แสดงออกมาจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา โดยหากต้องการบันทึกข้อมูลค่าใดให้เลือกไปที่หน้าจอ Collect data สามารถกำหนดการบันทึกข้อมูลให้บันทึกทับข้อมูลเดิม หรือเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่องก็ได้ (รูปที่ ค-8) ซึ่งข้อมูลสามารถที่จะพิมพ์ออกมาเป็นแผ่นเอกสารหรือบันทึกเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .dat ได้ ทั้งนี้โปรแกรมยังสามารถแสดงผลการเปลี่ยนแปลงข้อมูลความชื้นโดยแสดงในรูปของกราฟ ดังแสดงในรูปที่ ค-10 โดยการกดปุ่ม View ที่อยู่มุมด้านบนขวา ของหน้าจอหลัก



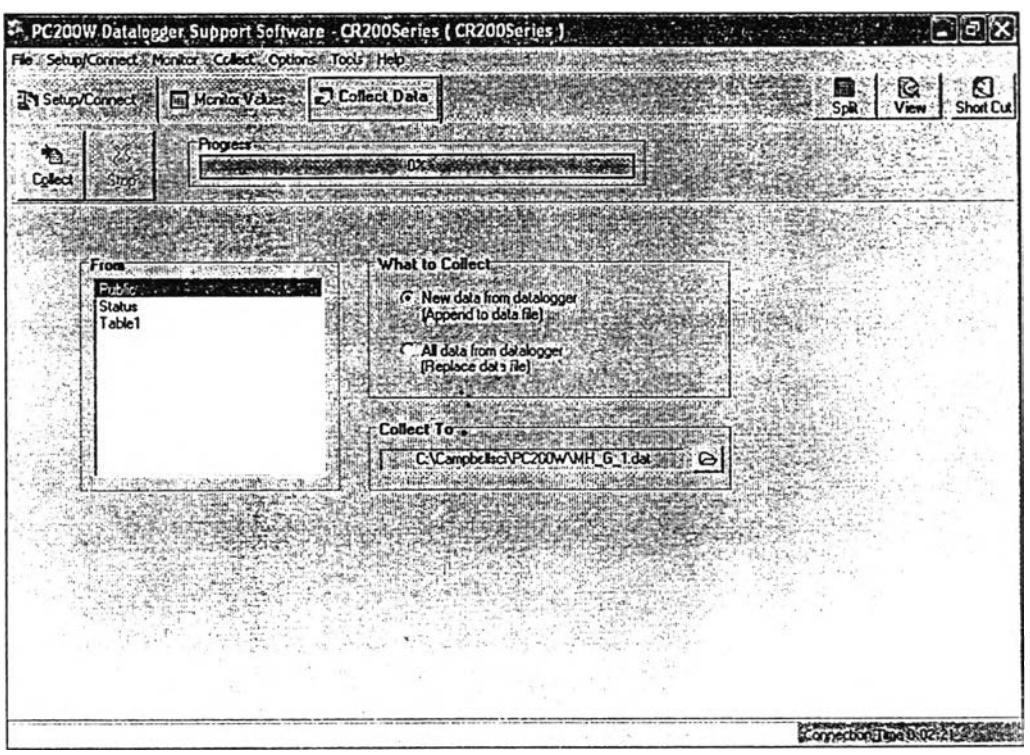
รูปที่ ค-5 โปรแกรม PC200W



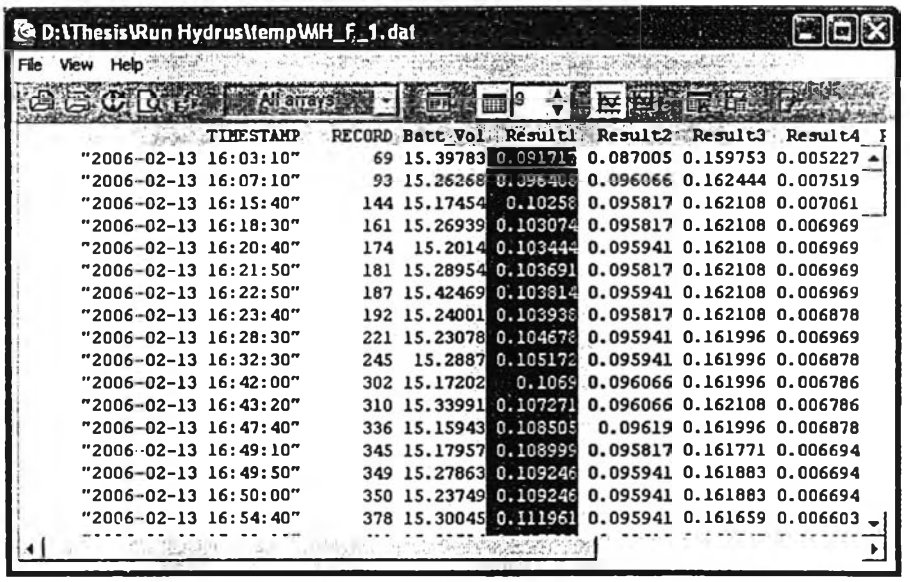
รูปที่ ค-6 หน้าจอหลักของโปรแกรม PC200W



รูปที่ ค-7 หน้าจอแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินตามเวลา

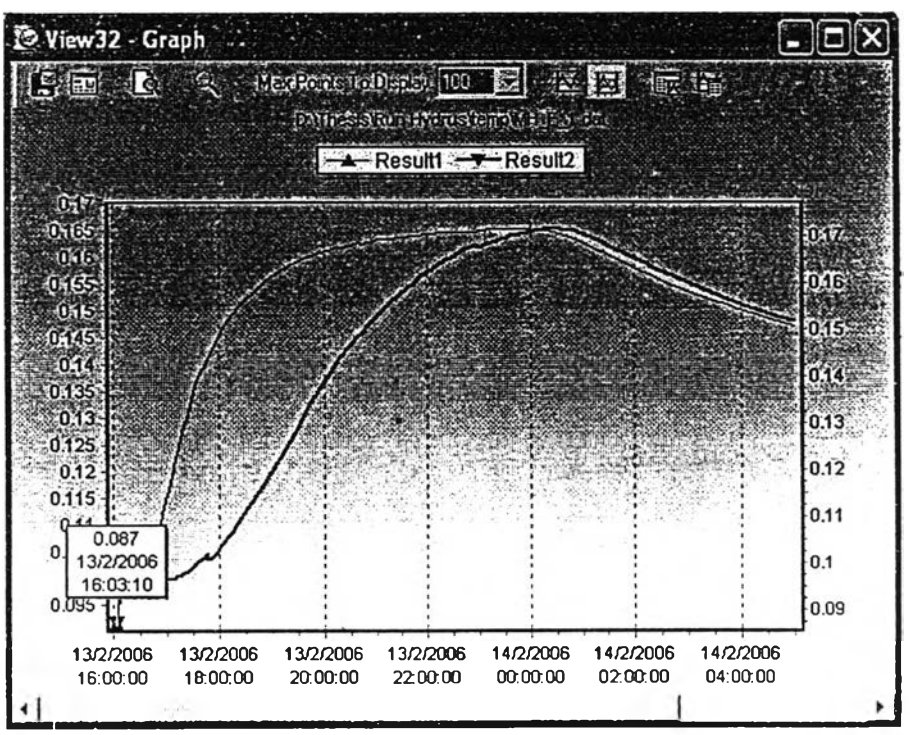


รูปที่ ค-8 หน้าจอในการจัดเก็บข้อมูลจากเครื่องบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์



	TIMESTAMP	RECORD	Batt_Vol	Result1	Result2	Result3	Result4
"2006-02-13	16:03:10"	69	15.39783	0.091716	0.087005	0.159753	0.005227
"2006-02-13	16:07:10"	93	15.26268	0.096408	0.096066	0.162444	0.007519
"2006-02-13	16:15:40"	144	15.17454	0.10258	0.095817	0.162108	0.007061
"2006-02-13	16:18:30"	161	15.26939	0.103074	0.095817	0.162108	0.006969
"2006-02-13	16:20:40"	174	15.2014	0.103444	0.095941	0.162108	0.006969
"2006-02-13	16:21:50"	181	15.28954	0.103691	0.095817	0.162108	0.006969
"2006-02-13	16:22:50"	187	15.42469	0.103814	0.095941	0.162108	0.006969
"2006-02-13	16:23:40"	192	15.24001	0.103938	0.095817	0.162108	0.006878
"2006-02-13	16:28:30"	221	15.23078	0.104678	0.095941	0.161996	0.006969
"2006-02-13	16:32:30"	245	15.2887	0.105172	0.095941	0.161996	0.006878
"2006-02-13	16:42:00"	302	15.17202	0.1069	0.096066	0.161996	0.006786
"2006-02-13	16:43:20"	310	15.33991	0.107271	0.096066	0.162108	0.006786
"2006-02-13	16:47:40"	336	15.15943	0.108505	0.09619	0.161996	0.006878
"2006-02-13	16:49:10"	345	15.17957	0.108999	0.095817	0.161771	0.006694
"2006-02-13	16:49:50"	349	15.27863	0.109246	0.095941	0.161883	0.006694
"2006-02-13	16:50:00"	350	15.23749	0.109246	0.095941	0.161883	0.006694
"2006-02-13	16:54:40"	378	15.30045	0.111961	0.095941	0.161659	0.006603

รูปที่ ค-9 หน้าจอแสดงข้อมูลที่บันทึก



รูปที่ ค-10 หน้าจอแสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟ

3. **การเตรียมชุดอุปกรณ์การทดลอง**

การเตรียมชุดอุปกรณ์การทดลองเพื่อใช้สำหรับการทดลองในห้องทดลองในการทดลอง 3 รูปแบบ คือ การเติมน้ำแบบอัตราคงที่ การเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่ การเติมน้ำแบบอัตราคงที่และมีระดับน้ำใต้ดิน

ในการออกแบบชุดอุปกรณ์ในการทดลอง ได้คำนึงถึงค่าความสามารถในการซึมของดินชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง และขนาดของเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดปริมาณน้ำในดิน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

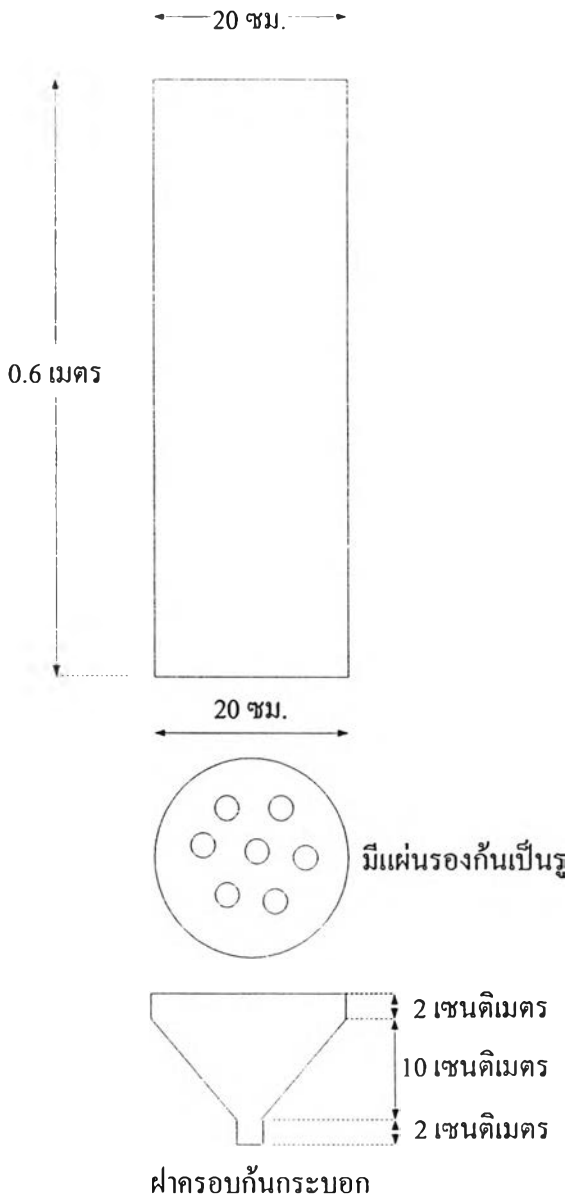
3.1 เครื่องสูบน้ำแรงดันสูง 1.5 เมตร และถังใส่น้ำจุ 10 ลิตร ทำหน้าที่เป็นแหล่งน้ำต้นทุนในการทำการทดลอง

3.2 ถังสูง 1.2 เมตร จากระดับพื้นดิน เป็นถังซึ่งใช้กำหนดระดับน้ำที่ปล่อยลงมาด้านล่างให้มีระดับน้ำคงที่ เพื่อที่จะได้ให้พลังงานของน้ำที่ปล่อยลงมามีค่าสม่ำเสมอ

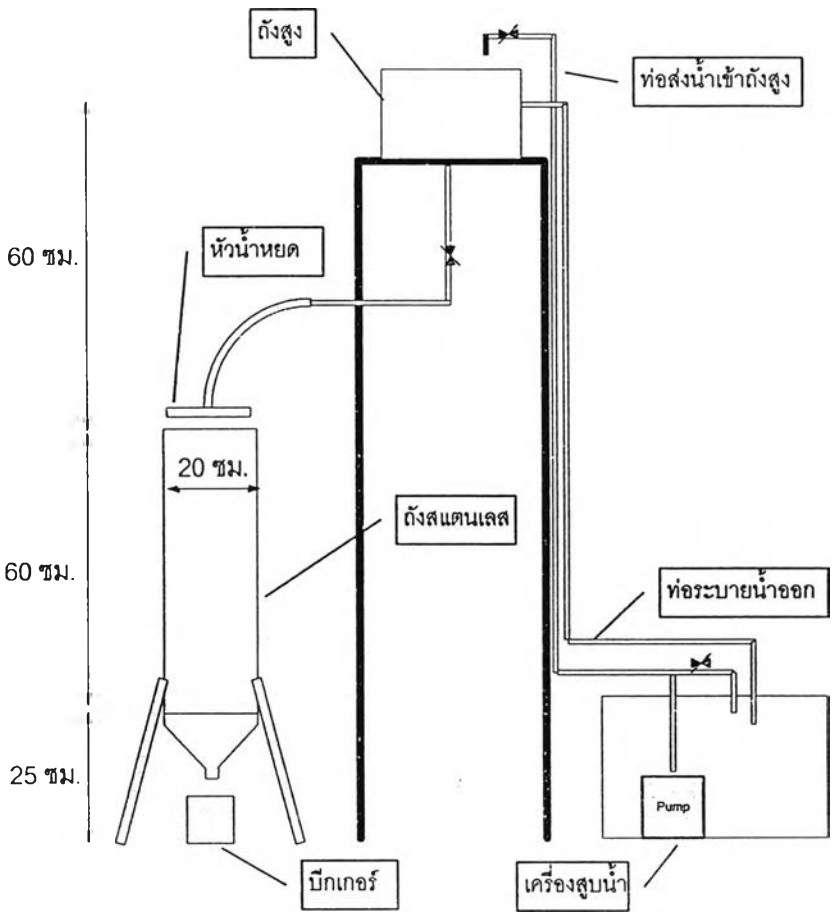
3.3 ที่ปล่อยน้ำหยด เป็นการจำลองสภาพการตกของฝนโดยมีการปรับให้หัวน้ำหยดมีการกระจายตัวทั่วพื้นที่หน้าตัดของถังสแตนเลสใส่ดิน

3.4 ถังสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร โดยการกำหนดขนาด กำหนดมาจากคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของวัสดุที่นำมาใช้ในการทดลอง สามารถให้น้ำไหลซึมผ่านด้านในถัง หรือไหลล้นออกบริเวณด้านข้างถังได้

3.5 ถังรับน้ำหรือบีกเกอร์ ทำหน้าที่รับน้ำที่ไหลผ่านลงมาจากถังสแตนเลส และวัดปริมาณน้ำที่ไหลออกมา



รูปที่ ค-11 ชุดถังสแตนเลส



รูปที่ ค-12 ชุดอุปกรณ์การทดลอง

4. การปรับเทียบอัตราการไหล

4.1 วิธีการปรับเทียบหัวน้ำหยด

วิธีการปรับเทียบหัวน้ำหยดใช้วิธีการวัดปริมาณน้ำที่ปล่อยออกมาจากหัวน้ำหยดแล้วจับเวลาที่ใช้ในการไหล จำนวน 5 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

4.2 ผลการปรับเทียบหัวน้ำหยด

ในการปรับเทียบหัวน้ำหยดได้ใช้สัญลักษณ์ในการทำการทดลองต่าง ๆ โดยสัญลักษณ์มีความหมายดังนี้

อักษรตัวแรก ได้แก่ F หมายถึง การเติมน้ำแบบอัตราคงที่

C หมายถึง การเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่

G หมายถึง การเติมน้ำแบบมีระดับน้ำใต้ดิน

ส่วนอักษร 2 ตัวหลังเครื่องหมาย " _ " หมายถึง ชนิดของดิน โดยที่

S หมายถึง ทราย

M หมายถึง ดินร่วน

C หมายถึง ดินเหนียว

P หมายถึง มีขนาดคละไม่ดี (Poor grade)

W หมายถึง มีขนาดคละดี (Well grade)

H หมายถึง มีค่าความเป็นพลาสติกสูง

L หมายถึง มีค่าความเป็นพลาสติกต่ำ

ตารางที่ ค-6 การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลองการเติมน้ำแบบอัตราคงที่

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง F_SP

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	1100	52.00	1269.23	0.978	14.08
2	1160	55.00	1265.45	0.975	14.04
3	1150	55.00	1254.55	0.967	13.92
4	1100	55.00	1200.00	0.925	13.32
5	1100	55.00	1200.00	0.925	13.32

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง F_SW

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	1100	400	165.00	0.127	1.83
2	1100	400	165.00	0.127	1.83
3	1150	400	172.50	0.133	1.91
4	1100	400	165.00	0.127	1.83
5	1150	400	172.50	0.133	1.91

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง F_MH

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	1150	500.00	138.00	0.106	1.53
2	1100	500.00	132.00	0.102	1.46
3	1100	500.00	132.00	0.102	1.46
4	1050	500.00	126.00	0.097	1.40
5	1100	500.00	132.00	0.102	1.46

ตารางที่ ค-6 การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลองการเติมน้ำแบบอัตราคงที่(ต่อ)

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง F_ML

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	1100	625.00	105.60	0.081	1.17
2	1160	650.00	107.08	0.083	1.19
3	1150	650.00	106.15	0.082	1.18
4	1100	630.00	104.76	0.081	1.16
5	1100	650.00	101.54	0.078	1.13

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง F_CH

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	50	5500.00	0.55	0.000	0.0061
2	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
3	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
4	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
5	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง F_CL

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
2	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
3	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
4	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
5	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067

ตารางที่ ค-7 การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลองการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง C_SP

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	1100	52.00	1269.23	0.978	14.08
2	1160	55.00	1265.45	0.975	14.04
3	1150	55.00	1254.55	0.967	13.92
4	1100	55.00	1200.00	0.925	13.32
5	1100	55.00	1200.00	0.925	13.32

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง C_SW

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	1100	400	165.00	0.127	1.83
2	1100	400	165.00	0.127	1.83
3	1150	400	172.50	0.133	1.91
4	1100	400	165.00	0.127	1.83
5	1150	400	172.50	0.133	1.91

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง C_MH

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	1150	500.00	138.00	0.106	1.53
2	1100	500.00	132.00	0.102	1.46
3	1100	500.00	132.00	0.102	1.46
4	1050	500.00	126.00	0.097	1.40
5	1100	500.00	132.00	0.102	1.46

ตารางที่ ค-7 การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลองการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่(ต่อ)

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง C_ML

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	1100	625.00	105.60	0.081	1.17
2	1160	650.00	107.08	0.083	1.19
3	1150	650.00	106.15	0.082	1.18
4	1100	630.00	104.76	0.081	1.16
5	1100	650.00	101.54	0.078	1.13

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง C_CH

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	45	5000.00	0.54	0.000	0.006
2	45	5000.00	0.54	0.000	0.006
3	45	5000.00	0.54	0.000	0.006
4	45	5000.00	0.54	0.000	0.006
5	45	5000.00	0.54	0.000	0.006

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง C_CL

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
2	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
3	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
4	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
5	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067

ตารางที่ ค-8 การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลองการเติมน้ำแบบอัตราคงที่และมีระดับน้ำใต้ดิน

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง G_SP

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	1100	52.00	1269.23	0.978	14.08
2	1160	55.00	1265.45	0.975	14.04
3	1150	55.00	1254.55	0.967	13.92
4	1100	55.00	1200.00	0.925	13.32
5	1100	55.00	1200.00	0.925	13.32

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง G_SW

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	1100	400	165.00	0.127	1.83
2	1100	400	165.00	0.127	1.83
3	1150	400	172.50	0.133	1.91
4	1100	400	165.00	0.127	1.83
5	1150	400	172.50	0.133	1.91

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง G_MH

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	1150	500.00	138.00	0.106	1.53
2	1100	500.00	132.00	0.102	1.46
3	1100	500.00	132.00	0.102	1.46
4	1050	500.00	126.00	0.097	1.40
5	1100	500.00	132.00	0.102	1.46

ตารางที่ ค-8 การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลองการเติมน้ำแบบอัตราคงที่และมีระดับน้ำใต้ดิน(ต่อ)

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง G_ML

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	1100	625.00	105.60	0.081	1.17
2	1160	650.00	107.08	0.083	1.19
3	1150	650.00	106.15	0.082	1.18
4	1100	630.00	104.76	0.081	1.16
5	1100	650.00	101.54	0.078	1.13

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง G_CH

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
2	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
3	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
4	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
5	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067

การปรับเทียบหัวน้ำหยดในการทดลอง G_CL

ครั้งที่	ปริมาณ(ลบ.ซม.)	เวลา(วินาที)	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหล (ซม./นาที)	อัตราการไหล (เมตร/วัน)
1	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
2	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
3	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
4	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067
5	50	5000.00	0.60	0.000	0.0067

5. ผลการทดลอง

ผลการทดลองจากแบบจำลองกายภาพ ซึ่งวัดโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้น ซึ่งได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

ตารางที่ ค-9 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบอัตราคงที่

เวลา	ปริมาณน้ำในดินSP (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
0.1	0.0050	0.0080	0.0050	0.0020
2.1	0.1045	0.0120	0.0050	0.0020
6.3	0.3100	0.2000	0.1600	0.0100
7.8	0.3420	0.2000	0.1924	0.1870
9.4	0.3420	0.1830	0.1600	0.2100
10.3	0.3420	0.2000	0.1600	0.2100
12.0	0.3420	0.2000	0.1600	0.2100
15.0	0.3420	0.2000	0.1600	0.2100

เวลา	ปริมาณน้ำในดินSW (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
0.1	0.0200	0.0180	0.0180	0.0190
2.1	0.3210	0.0810	0.0180	0.0190
4.0	0.3210	0.1020	0.0180	0.0190
6.3	0.3240	0.1500	0.0840	0.0190
7.0	0.3260	0.2700	0.2500	0.0190
8.0	0.3260	0.2700	0.2500	0.2040
12.0	0.3260	0.2700	0.2500	0.2200
15.0	0.3260	0.2700	0.2500	0.2200

เวลา	ปริมาณน้ำในดินMH (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
1.0	0.0310	0.0310	0.0330	0.0340
1.0	0.0310	0.0310	0.0330	0.0340
2.1	0.0310	0.0310	0.0330	0.0340
3.1	0.0310	0.0310	0.0330	0.0340
5.0	0.0674	0.0310	0.0330	0.0340
6.3	0.2219	0.0310	0.0330	0.0340
6.4	0.2307	0.0310	0.0330	0.0340
7.0	0.2616	0.0310	0.0330	0.0340
7.1	0.2634	0.0310	0.0330	0.0340
8.9	0.2861	0.0310	0.0330	0.0340
9.4	0.3044	0.0310	0.0330	0.0340
10.5	0.3093	0.0310	0.0330	0.0340
12.9	0.3180	0.0310	0.0330	0.0340
17.0	0.3231	0.0310	0.0330	0.0340
18.2	0.3277	0.0380	0.0330	0.0340
19.6	0.3340	0.0772	0.0330	0.0340
20.8	0.3350	0.1648	0.0330	0.0340
22.0	0.3350	0.2305	0.0330	0.0340
22.2	0.3350	0.2606	0.0330	0.0340
23.6	0.3350	0.2800	0.0330	0.0340
24.8	0.3350	0.2825	0.0330	0.0340
26.0	0.3350	0.2962	0.0330	0.0340
26.2	0.3350	0.3047	0.0330	0.0340
26.4	0.3350	0.3107	0.0330	0.0340

เวลา	ปริมาณน้ำในดินMH (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
36.7	0.3350	0.3302	0.1259	0.0340
37.0	0.3350	0.3312	0.1775	0.0340
39.6	0.3350	0.3322	0.2141	0.0340
41.4	0.3350	0.3324	0.2208	0.0340
44.0	0.3350	0.3339	0.2672	0.0340
44.2	0.3350	0.3348	0.2852	0.0340
46.3	0.3350	0.3359	0.3017	0.0340
49.1	0.3350	0.3360	0.3030	0.0340
49.4	0.3350	0.3365	0.3108	0.0340
50.7	0.3350	0.3372	0.3187	0.0340
51.7	0.3350	0.3372	0.3192	0.0340
53.3	0.3350	0.3372	0.3216	0.0340
55.1	0.3350	0.3372	0.3233	0.0340
56.6	0.3350	0.3372	0.3257	0.0340
58.4	0.3350	0.3372	0.3278	0.0340
60.0	0.3350	0.3372	0.3292	0.0340
60.3	0.3350	0.3372	0.3307	0.0340
62.6	0.3350	0.3372	0.3318	0.0340
65.2	0.3350	0.3372	0.3320	0.0340
67.0	0.3350	0.3372	0.3332	0.0340
67.2	0.3350	0.3372	0.3343	0.0340
68.8	0.3350	0.3372	0.3350	0.0340
70.6	0.3350	0.3372	0.3351	0.0340
72.6	0.3350	0.3372	0.3356	0.0340

ตารางที่ ค-9 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบอัตราคงที่(ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดินMH (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
87.7	0.3350	0.3372	0.3369	0.2938
89.3	0.3350	0.3372	0.3369	0.2938
91.0	0.3350	0.3372	0.3369	0.3013
92.7	0.3350	0.3372	0.3369	0.3067
94.7	0.3350	0.3372	0.3369	0.3112
96.5	0.3350	0.3372	0.3369	0.3152
99.4	0.3350	0.3372	0.3369	0.3185
100.0	0.3350	0.3372	0.3369	0.3214
101.0	0.3350	0.3372	0.3369	0.3223
102.2	0.3350	0.3372	0.3369	0.3238
103.8	0.3350	0.3372	0.3369	0.3285
105.8	0.3350	0.3372	0.3369	0.3297
108.7	0.3350	0.3372	0.3369	0.3297
112.5	0.3350	0.3372	0.3369	0.3297
116.2	0.3350	0.3372	0.3369	0.3297
120.0	0.3350	0.3372	0.3369	0.3297
126.0	0.3350	0.3372	0.3369	0.3297
134.0	0.3350	0.3372	0.3369	0.3297
142.0	0.3350	0.3372	0.3369	0.3297
150.0	0.3350	0.3372	0.3369	0.3297

ตารางที่ ค-9 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบอัตราคงที่(ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดินML (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
1.0	0.0310	0.0310	0.0320	0.0320
1.0	0.0310	0.0310	0.0320	0.0320
2.1	0.0310	0.0310	0.0320	0.0320
3.1	0.0310	0.0310	0.0320	0.0320
5.0	0.0674	0.0310	0.0320	0.0320
6.3	0.1038	0.0310	0.0320	0.0320
7.1	0.2219	0.0310	0.0320	0.0320
8.9	0.2634	0.0310	0.0320	0.0320
9.4	0.2861	0.0310	0.0320	0.0320
10.5	0.3044	0.0310	0.0320	0.0320
12.9	0.3193	0.0310	0.0320	0.0320
17.0	0.3274	0.0310	0.0320	0.0320
18.2	0.3295	0.0310	0.0320	0.0320
19.6	0.3318	0.0310	0.0320	0.0320
20.8	0.3340	0.0380	0.0320	0.0320
22.0	0.3350	0.0772	0.0320	0.0320
22.2	0.3350	0.1648	0.0320	0.0320
23.6	0.3360	0.1648	0.0320	0.0320
24.8	0.3359	0.1648	0.0320	0.0320
26.0	0.3365	0.2305	0.0320	0.0320
26.2	0.3365	0.2606	0.0320	0.0320
26.4	0.3365	0.2800	0.0320	0.0320
27.3	0.3365	0.2825	0.0320	0.0320
28.6	0.3365	0.2962	0.0320	0.0320
29.6	0.3365	0.3047	0.0320	0.0320
30.8	0.3365	0.3107	0.0320	0.0320
31.8	0.3365	0.3116	0.0320	0.0320
33.4	0.3365	0.3148	0.0320	0.0320
34.7	0.3365	0.3164	0.0320	0.0320
35.7	0.3365	0.3200	0.0320	0.0320
36.7	0.3365	0.3224	0.0320	0.0320
37.0	0.3365	0.3250	0.0320	0.0320
39.6	0.3365	0.3269	0.0360	0.0320
41.4	0.3365	0.3288	0.0548	0.0320
44.0	0.3365	0.3302	0.1259	0.0320
44.2	0.3365	0.3312	0.1775	0.0320
46.3	0.3365	0.3322	0.2141	0.0320
49.1	0.3365	0.3324	0.2505	0.0320
49.4	0.3365	0.3339	0.2672	0.0320
50.7	0.3365	0.3348	0.2852	0.0320
51.7	0.3365	0.3359	0.3017	0.0320
53.3	0.3365	0.3360	0.3090	0.0320
55.1	0.3365	0.3365	0.3108	0.0320
56.6	0.3365	0.3372	0.3187	0.0320

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน ML(%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
65.2	0.3365	0.3372	0.3278	0.0320
67.0	0.3365	0.3372	0.3292	0.0320
67.2	0.3365	0.3372	0.3307	0.0320
68.8	0.3365	0.3372	0.3318	0.0320
70.6	0.3365	0.3372	0.3320	0.0320
72.6	0.3365	0.3372	0.3332	0.0320
74.7	0.3365	0.3372	0.3343	0.0320
76.7	0.3365	0.3372	0.3350	0.0320
78.7	0.3365	0.3372	0.3351	0.0320
80.7	0.3365	0.3372	0.3356	0.0370
81.0	0.3365	0.3372	0.3361	0.0667
82.7	0.3365	0.3372	0.3365	0.1558
84.4	0.3365	0.3372	0.3369	0.2143
86.1	0.3365	0.3372	0.3369	0.2478
87.7	0.3365	0.3372	0.3369	0.2697
89.3	0.3365	0.3372	0.3369	0.2745
91.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.2847
92.7	0.3365	0.3372	0.3369	0.2938
94.7	0.3365	0.3372	0.3369	0.2938
96.5	0.3365	0.3372	0.3369	0.3013
99.4	0.3365	0.3372	0.3369	0.3067
100.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.3112
101.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.3152
102.2	0.3365	0.3372	0.3369	0.3185
103.8	0.3365	0.3372	0.3369	0.3223
105.8	0.3365	0.3372	0.3369	0.3238
108.7	0.3365	0.3372	0.3369	0.3285
112.5	0.3365	0.3372	0.3369	0.3297
116.2	0.3365	0.3372	0.3369	0.3309
120.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.3318
126.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.3342
134.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.3367
142.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.3367
150.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.3367
157.2	0.3365	0.3372	0.3369	0.3367
164.8	0.3365	0.3372	0.3369	0.3367
172.4	0.3365	0.3372	0.3369	0.3367

ตารางที่ ค-9 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบอัตราคงที่(ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดินCH (%ปริมาตร)				เวลา	ปริมาณน้ำในดิน CL(%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.		10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
1.0	0.3301	0.3301	0.3301	0.3301	1.3	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129
3.0	0.3301	0.3301	0.3301	0.3301	3.0	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129
3.2	0.3301	0.3301	0.3301	0.3301	3.2	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129
5.5	0.3301	0.3301	0.3301	0.3301	5.5	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129
5.8	0.3311	0.3301	0.3301	0.3301	5.8	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129
6.2	0.3322	0.3301	0.3301	0.3301	6.2	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129
6.6	0.3343	0.3301	0.3301	0.3301	6.6	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129
7.0	0.3366	0.3301	0.3301	0.3301	7.0	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129
9.3	0.3388	0.3301	0.3301	0.3301	9.3	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129
10.0	0.3453	0.3301	0.3301	0.3301	10.0	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129
10.5	0.3462	0.3301	0.3301	0.3301	10.5	0.3128	0.3124	0.3124	0.3129
14.6	0.3468	0.3301	0.3301	0.3301	11.0	0.3201	0.3124	0.3124	0.3129
15.1	0.3488	0.3301	0.3301	0.3301	14.6	0.3251	0.3124	0.3124	0.3129
20.0	0.3489	0.3301	0.3301	0.3301	15.1	0.3302	0.3124	0.3124	0.3129
20.8	0.3495	0.3301	0.3301	0.3301	20.0	0.3343	0.3124	0.3124	0.3129
21.7	0.3496	0.3328	0.3301	0.3301	20.8	0.3366	0.3124	0.3124	0.3129
29.7	0.3497	0.3348	0.3301	0.3301	21.7	0.3388	0.3124	0.3124	0.3129
33.7	0.3499	0.3369	0.3301	0.3301	29.7	0.3453	0.3124	0.3124	0.3129
36.2	0.3500	0.3467	0.3301	0.3301	30.5	0.3462	0.3124	0.3124	0.3129
41.4	0.3500	0.3481	0.3301	0.3301	31.3	0.3468	0.3124	0.3124	0.3129
43.6	0.3500	0.3486	0.3301	0.3301	32.1	0.3472	0.3124	0.3124	0.3129
51.2	0.3500	0.3492	0.3343	0.3301	32.9	0.3488	0.3124	0.3124	0.3129
62.5	0.3500	0.3494	0.3428	0.3301	33.7	0.3499	0.3124	0.3124	0.3129
63.6	0.3500	0.3497	0.3456	0.3301	34.6	0.3514	0.3124	0.3124	0.3129
66.4	0.3500	0.3499	0.3478	0.3301	35.4	0.3598	0.3142	0.3124	0.3129
77.6	0.3500	0.3499	0.3488	0.3301	36.2	0.3602	0.3174	0.3124	0.3129
79.0	0.3500	0.3500	0.3491	0.3301	41.4	0.3639	0.3206	0.3124	0.3129
81.8	0.3500	0.3500	0.3497	0.3301	42.5	0.3651	0.3238	0.3124	0.3129
87.5	0.3500	0.3500	0.3497	0.3301	43.6	0.3663	0.3270	0.3124	0.3129
97.2	0.3500	0.3500	0.3498	0.3301	51.2	0.3685	0.3302	0.3124	0.3129
108.4	0.3500	0.3500	0.3499	0.3301	62.5	0.3712	0.3374	0.3124	0.3129
122.4	0.3500	0.3500	0.3500	0.3301	63.6	0.3712	0.3396	0.3124	0.3129
130.0	0.3500	0.3500	0.3500	0.3302	65.0	0.3712	0.3419	0.3124	0.3129
138.3	0.3500	0.3500	0.3500	0.3393	77.6	0.3712	0.3467	0.3124	0.3129
142.1	0.3500	0.3500	0.3500	0.3440	79.0	0.3712	0.3481	0.3124	0.3129
147.0	0.3500	0.3500	0.3500	0.3448	80.4	0.3712	0.3501	0.3124	0.3129
153.7	0.3500	0.3500	0.3500	0.3473	81.8	0.3712	0.3534	0.3124	0.3129
159.0	0.3500	0.3500	0.3500	0.3476	87.5	0.3712	0.3567	0.3136	0.3129
163.0	0.3500	0.3500	0.3500	0.3485	88.8	0.3712	0.3600	0.3139	0.3129
170.0	0.3500	0.3500	0.3500	0.3487	97.2	0.3712	0.3633	0.3203	0.3129
175.0	0.3500	0.3500	0.3500	0.3489	98.6	0.3712	0.3666	0.3221	0.3129
178.0	0.3500	0.3500	0.3500	0.3492	100.0	0.3712	0.3667	0.3239	0.3129
180.0	0.3500	0.3500	0.3500	0.3495	101.4	0.3712	0.3669	0.3258	0.3129
185.0	0.3500	0.3500	0.3500	0.3498	102.8	0.3712	0.3669	0.3276	0.3129

ตารางที่ ค-9 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบอัตราคงที่(ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดินCL (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
142.1	0.3712	0.3710	0.3543	0.3129
147.0	0.3712	0.3710	0.3562	0.3129
153.7	0.3712	0.3710	0.3610	0.3129
161.4	0.3712	0.3710	0.3656	0.3129
171.0	0.3712	0.3710	0.3687	0.3129
180.7	0.3712	0.3710	0.3688	0.3129
181.6	0.3712	0.3710	0.3690	0.3129
188.0	0.3712	0.3710	0.3697	0.3129
194.4	0.3712	0.3710	0.3697	0.3129
200.8	0.3712	0.3710	0.3698	0.3129
207.1	0.3712	0.3710	0.3698	0.3129
213.5	0.3712	0.3710	0.3698	0.3129
219.9	0.3712	0.3710	0.3698	0.3129
226.3	0.3712	0.3710	0.3699	0.3135
232.6	0.3712	0.3710	0.3699	0.3142
239.0	0.3712	0.3710	0.3699	0.3174
245.4	0.3712	0.3710	0.3699	0.3206
251.8	0.3712	0.3710	0.3700	0.3238
258.1	0.3712	0.3710	0.3700	0.3270
264.5	0.3712	0.3710	0.3700	0.3302
270.9	0.3712	0.3710	0.3700	0.3334
277.3	0.3712	0.3710	0.3700	0.3366
283.6	0.3712	0.3710	0.3700	0.3401
290.0	0.3712	0.3710	0.3700	0.3447
296.4	0.3712	0.3710	0.3700	0.3471
302.8	0.3712	0.3710	0.3700	0.3501
309.1	0.3712	0.3710	0.3700	0.3534
315.5	0.3712	0.3710	0.3700	0.3567
321.9	0.3712	0.3710	0.3700	0.3600
328.2	0.3712	0.3710	0.3700	0.3633
334.6	0.3712	0.3710	0.3700	0.3666
341.0	0.3712	0.3710	0.3700	0.3677
347.4	0.3712	0.3710	0.3700	0.3682
353.7	0.3712	0.3710	0.3700	0.3688
360.1	0.3712	0.3710	0.3700	0.3688
366.5	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
372.9	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
379.2	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
385.6	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
392.0	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
398.4	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
404.7	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
411.1	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
417.5	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695

ตารางที่ ค-10 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่

เวลา	ปริมาณน้ำในดินSP (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
0.1	0.0080	0.0080	0.0050	0.0020
2.1	0.3460	0.2513	0.0800	0.0020
6.3	0.3400	0.3012	0.2500	0.1000
7.8	0.3400	0.3200	0.3200	0.2100
9.4	0.3400	0.3500	0.3500	0.3200
10.3	0.3400	0.3500	0.3500	0.3500

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน SW(%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
0.1	0.0200	0.0180	0.0180	0.0190
2.1	0.3212	0.1563	0.0180	0.0190
4.0	0.3212	0.1020	0.0180	0.0190
6.3	0.3400	0.3358	0.2784	0.0190
7.0	0.3400	0.3358	0.3218	0.1700
8.0	0.3400	0.3400	0.3218	0.2200
12.0	0.3400	0.3400	0.3300	0.3000
15.0	0.3336	0.3400	0.3400	0.3400

เวลา	ปริมาณน้ำในดินMH (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
1.9	0.0280	0.0280	0.0280	0.0280
2.0	0.0280	0.0280	0.0280	0.0280
2.3	0.0280	0.0280	0.0280	0.0280
4.9	0.0280	0.0280	0.0280	0.0280
5.0	0.0280	0.0280	0.0280	0.0280
5.1	0.0280	0.0280	0.0280	0.0280
7.0	0.0281	0.0280	0.0280	0.0280
7.5	0.0286	0.0280	0.0280	0.0280
7.6	0.0298	0.0280	0.0280	0.0280
7.7	0.0321	0.0280	0.0280	0.0280
7.8	0.0356	0.0280	0.0280	0.0280
7.9	0.0409	0.0280	0.0280	0.0280
8.1	0.0572	0.0280	0.0280	0.0280
8.2	0.0682	0.0280	0.0281	0.0280
8.3	0.0805	0.0280	0.0286	0.0280
8.4	0.0984	0.0280	0.0298	0.0280
8.5	0.1356	0.0280	0.0321	0.0280
8.6	0.1542	0.0280	0.0356	0.0280
8.8	0.1717	0.0280	0.0280	0.0280
9.1	0.2006	0.0280	0.0280	0.0280
9.7	0.2138	0.0280	0.0280	0.0280
9.9	0.2246	0.0280	0.0280	0.0280
10.0	0.2430	0.0280	0.0280	0.0280
10.6	0.2576	0.0280	0.0280	0.0280
11.4	0.2686	0.0281	0.0280	0.0280
11.5	0.2735	0.0286	0.0280	0.0280
11.7	0.2854	0.0298	0.0280	0.0280
12.1	0.2915	0.0321	0.0280	0.0280
13.5	0.2943	0.0356	0.0280	0.0280
13.7	0.3036	0.0409	0.0280	0.0280
13.8	0.3052	0.0572	0.0280	0.0280
14.0	0.3069	0.0682	0.0280	0.0280

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน MH(%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
15.3	0.3290	0.2430	0.0280	0.0280
16.7	0.3314	0.2576	0.0280	0.0280
16.9	0.3314	0.2686	0.0281	0.0280
17.1	0.3314	0.2735	0.0286	0.0280
17.7	0.3314	0.2854	0.0298	0.0280
17.9	0.3314	0.2915	0.0321	0.0280
18.1	0.3314	0.2943	0.0356	0.0280
19.8	0.3314	0.3036	0.0409	0.0280
20.0	0.3314	0.3052	0.0572	0.0280
20.2	0.3314	0.3069	0.0682	0.0280
20.4	0.3314	0.3100	0.0805	0.0280
20.6	0.3314	0.3122	0.0984	0.0280
21.8	0.3314	0.3146	0.1356	0.0280
22.0	0.3314	0.3170	0.1542	0.0280
23.8	0.3314	0.3194	0.1717	0.0280
25.0	0.3314	0.3218	0.2006	0.0280
25.2	0.3314	0.3242	0.2138	0.0280
29.6	0.3314	0.3266	0.2246	0.0280
31.8	0.3314	0.3290	0.2430	0.0280
32.6	0.3314	0.3314	0.2576	0.0280
37.0	0.3314	0.3314	0.2686	0.0280
40.1	0.3314	0.3314	0.2735	0.0280
44.7	0.3314	0.3314	0.2854	0.0280
45.0	0.3314	0.3314	0.2915	0.0280
52.2	0.3314	0.3314	0.3100	0.0280
56.9	0.3314	0.3314	0.3194	0.0280
59.2	0.3314	0.3314	0.3266	0.0281
61.0	0.3314	0.3314	0.3290	0.0286
63.6	0.3314	0.3314	0.3314	0.0298
69.0	0.3314	0.3314	0.3338	0.0409
71.1	0.3314	0.3314	0.3338	0.0572
71.4	0.3314	0.3314	0.3338	0.0682

ตารางที่ ค-10 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่(ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดินMH (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
77.8	0.3314	0.3314	0.3338	0.1542
78.1	0.3314	0.3314	0.3338	0.1717
78.3	0.3314	0.3314	0.3338	0.2006
81.2	0.3314	0.3314	0.3338	0.2138
88.4	0.3314	0.3314	0.3338	0.2686
90.4	0.3314	0.3314	0.3338	0.2735
100.0	0.3314	0.3314	0.3338	0.2854
102.9	0.3314	0.3314	0.3338	0.2915
106.3	0.3314	0.3314	0.3338	0.2943
110.9	0.3314	0.3314	0.3338	0.3036
115.4	0.3314	0.3314	0.3338	0.3052
120.0	0.3314	0.3314	0.3338	0.3069
124.6	0.3314	0.3314	0.3338	0.3100
129.1	0.3314	0.3314	0.3338	0.3122
133.7	0.3314	0.3314	0.3338	0.3146
138.3	0.3314	0.3314	0.3338	0.3170
142.9	0.3314	0.3314	0.3338	0.3194
147.4	0.3314	0.3314	0.3338	0.3218
152.0	0.3314	0.3314	0.3338	0.3241
156.6	0.3314	0.3314	0.3338	0.3265
161.1	0.3314	0.3314	0.3338	0.3288
165.7	0.3314	0.3314	0.3338	0.3312
170.3	0.3314	0.3314	0.3338	0.3312

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน ML(%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
1.9	0.0280	0.0280	0.0298	0.0300
2.0	0.0280	0.0280	0.0321	0.0300
2.3	0.0280	0.0280	0.0356	0.0300
4.9	0.0280	0.0280	0.0280	0.0300
5.0	0.0280	0.0280	0.0280	0.0300
5.1	0.0280	0.0280	0.0280	0.0300
7.0	0.0281	0.0280	0.0280	0.0300
7.5	0.0286	0.0280	0.0280	0.0300
7.6	0.0298	0.0280	0.0280	0.0300
7.7	0.0321	0.0280	0.0280	0.0300
7.8	0.0356	0.0280	0.0280	0.0300
7.9	0.0409	0.0280	0.0280	0.0300
8.1	0.0572	0.0280	0.0280	0.0300
8.2	0.0682	0.0280	0.0280	0.0300
8.3	0.0805	0.0280	0.0280	0.0300
8.4	0.0984	0.0280	0.0280	0.0300
8.5	0.1356	0.0280	0.0280	0.0300
8.6	0.1542	0.0280	0.0280	0.0300
8.8	0.1717	0.0280	0.0280	0.0300
9.1	0.2006	0.0280	0.0280	0.0300
9.7	0.2138	0.0280	0.0280	0.0300
9.9	0.2246	0.0280	0.0281	0.0300
10.0	0.2430	0.0280	0.0286	0.0300
10.6	0.2576	0.0280	0.0298	0.0300
11.4	0.2686	0.0280	0.0321	0.0300
12.1	0.2915	0.0280	0.0280	0.0300
13.5	0.2943	0.0280	0.0280	0.0300
13.7	0.3036	0.0280	0.0280	0.0300
13.8	0.3052	0.0280	0.0280	0.0300
14.0	0.3069	0.0280	0.0280	0.0300
14.1	0.3100	0.0280	0.0280	0.0300
14.3	0.3122	0.0280	0.0280	0.0300
16.9	0.3162	0.0356	0.0280	0.0300
18.1	0.3162	0.0805	0.0280	0.0300
19.8	0.3162	0.0984	0.0280	0.0300
20.0	0.3162	0.1356	0.0280	0.0300
20.2	0.3162	0.1542	0.0280	0.0300
20.4	0.3162	0.1717	0.0281	0.0300
20.6	0.3162	0.2006	0.0286	0.0300
21.8	0.3162	0.2138	0.0298	0.0300
22.0	0.3162	0.2246	0.0321	0.0300
23.8	0.3162	0.2430	0.0356	0.0300
25.0	0.3162	0.2576	0.0409	0.0300
25.2	0.3162	0.2686	0.0572	0.0300

ตารางที่ ค-10 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่(ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน ML (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
40.1	0.3162	0.3036	0.1542	0.0300
52.2	0.3162	0.3194	0.2686	0.0300
52.5	0.3162	0.3218	0.2735	0.0300
52.8	0.3162	0.3242	0.2854	0.0300
53.0	0.3162	0.3162	0.2915	0.0300
56.9	0.3162	0.3162	0.2943	0.0300
57.1	0.3162	0.3162	0.3036	0.0300
57.9	0.3162	0.3162	0.3052	0.0300
59.2	0.3162	0.3162	0.3069	0.0300
61.0	0.3162	0.3162	0.3100	0.0300
63.6	0.3162	0.3162	0.3122	0.0300
68.0	0.3162	0.3162	0.3146	0.0321
68.8	0.3162	0.3162	0.3170	0.0356
69.0	0.3162	0.3162	0.3194	0.0409
71.1	0.3162	0.3162	0.3218	0.0572
71.4	0.3162	0.3162	0.3242	0.0682
72.6	0.3162	0.3162	0.3162	0.0805
75.5	0.3162	0.3162	0.3162	0.0984
75.7	0.3162	0.3162	0.3162	0.1356
77.8	0.3162	0.3162	0.3162	0.1542
78.1	0.3162	0.3162	0.3162	0.1717
78.3	0.3162	0.3162	0.3162	0.2006
81.2	0.3162	0.3161	0.3162	0.2138
81.4	0.3162	0.3160	0.3162	0.2246
81.7	0.3162	0.3162	0.3162	0.2430
81.9	0.3162	0.3162	0.3162	0.2576
88.4	0.3162	0.3162	0.3162	0.2686
90.4	0.3162	0.3162	0.3162	0.2735
100.0	0.3162	0.3162	0.3162	0.2854
102.9	0.3162	0.3162	0.3162	0.2915
106.3	0.3162	0.3162	0.3162	0.2943
110.9	0.3162	0.3162	0.3162	0.3036
115.4	0.3162	0.3162	0.3162	0.3052
120.0	0.3162	0.3162	0.3162	0.3069
124.6	0.3162	0.3162	0.3161	0.3100
129.1	0.3162	0.3162	0.3160	0.3122
133.7	0.3162	0.3162	0.3162	0.3146
138.3	0.3162	0.3162	0.3162	0.3170
142.9	0.3162	0.3162	0.3162	0.3162
147.4	0.3162	0.3162	0.3162	0.3162
152.0	0.3162	0.3162	0.3162	0.3162
156.5	0.3162	0.3162	0.3162	0.3162
161.1	0.3162	0.3162	0.3162	0.3162
165.7	0.3162	0.3162	0.3162	0.3162

ตารางที่ ค-10 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่(ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน ML (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
40.1	0.3162	0.3036	0.1542	0.0300
52.2	0.3162	0.3194	0.2686	0.0300
52.5	0.3162	0.3218	0.2735	0.0300
52.8	0.3162	0.3242	0.2854	0.0300
53.0	0.3162	0.3162	0.2915	0.0300
56.9	0.3162	0.3162	0.2943	0.0300
57.1	0.3162	0.3162	0.3036	0.0300
57.9	0.3162	0.3162	0.3052	0.0300
59.2	0.3162	0.3162	0.3069	0.0300
61.0	0.3162	0.3162	0.3100	0.0300
63.6	0.3162	0.3162	0.3122	0.0300
68.0	0.3162	0.3162	0.3146	0.0321
68.8	0.3162	0.3162	0.3170	0.0356
69.0	0.3162	0.3162	0.3194	0.0409
71.1	0.3162	0.3162	0.3218	0.0572
71.4	0.3162	0.3162	0.3242	0.0682
72.6	0.3162	0.3162	0.3162	0.0805
75.5	0.3162	0.3162	0.3162	0.0984
75.7	0.3162	0.3162	0.3162	0.1356
77.8	0.3162	0.3162	0.3162	0.1542
78.1	0.3162	0.3162	0.3162	0.1717
78.3	0.3162	0.3162	0.3162	0.2006
81.2	0.3162	0.3161	0.3162	0.2138
81.4	0.3162	0.3160	0.3162	0.2246
81.7	0.3162	0.3162	0.3162	0.2430
81.9	0.3162	0.3162	0.3162	0.2576
88.4	0.3162	0.3162	0.3162	0.2686
90.4	0.3162	0.3162	0.3162	0.2735
100.0	0.3162	0.3162	0.3162	0.2854
102.9	0.3162	0.3162	0.3162	0.2915
106.3	0.3162	0.3162	0.3162	0.2943
110.9	0.3162	0.3162	0.3162	0.3036
115.4	0.3162	0.3162	0.3162	0.3052
120.0	0.3162	0.3162	0.3162	0.3069
124.6	0.3162	0.3162	0.3161	0.3100
129.1	0.3162	0.3162	0.3160	0.3122
133.7	0.3162	0.3162	0.3162	0.3146
138.3	0.3162	0.3162	0.3162	0.3170
142.9	0.3162	0.3162	0.3162	0.3162
147.4	0.3162	0.3162	0.3162	0.3162
152.0	0.3162	0.3162	0.3162	0.3162
156.6	0.3162	0.3162	0.3162	0.3162
161.1	0.3162	0.3162	0.3162	0.3162
165.7	0.3162	0.3162	0.3162	0.3162

ตารางที่ ค-10 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่(ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดินCH (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
1.3	0.3301	0.3301	0.3301	0.3301
3.0	0.3301	0.3301	0.3301	0.3301
3.2	0.3301	0.3301	0.3301	0.3301
5.5	0.3311	0.3301	0.3301	0.3301
5.8	0.3322	0.3301	0.3301	0.3301
6.2	0.3343	0.3301	0.3301	0.3301
6.6	0.3366	0.3301	0.3301	0.3301
7.0	0.3388	0.3301	0.3301	0.3301
9.3	0.3453	0.3301	0.3301	0.3301
10.0	0.3462	0.3301	0.3301	0.3301
10.5	0.3468	0.3301	0.3301	0.3301
11.0	0.3472	0.3301	0.3301	0.3301
14.6	0.3488	0.3301	0.3301	0.3301
15.1	0.3489	0.3301	0.3301	0.3301
20.0	0.3495	0.3328	0.3301	0.3301
20.8	0.3496	0.3348	0.3301	0.3301
21.7	0.3497	0.3369	0.3301	0.3301
29.7	0.3499	0.3467	0.3301	0.3301
30.5	0.3499	0.3471	0.3301	0.3301
31.3	0.3499	0.3474	0.3301	0.3301
32.1	0.3499	0.3477	0.3301	0.3301
32.9	0.3499	0.3479	0.3301	0.3301
33.7	0.3500	0.3481	0.3301	0.3301
34.6	0.3500	0.3483	0.3301	0.3301
35.4	0.3500	0.3485	0.3301	0.3301
36.2	0.3500	0.3486	0.3301	0.3301
41.4	0.3500	0.3492	0.3343	0.3301
42.5	0.3500	0.3493	0.3362	0.3301
43.6	0.3500	0.3494	0.3381	0.3301
51.2	0.3500	0.3497	0.3456	0.3301
62.5	0.3500	0.3499	0.3487	0.3301
63.6	0.3500	0.3499	0.3488	0.3301
65.0	0.3500	0.3500	0.3490	0.3301
66.4	0.3500	0.3500	0.3491	0.3301
67.8	0.3500	0.3500	0.3492	0.3301
76.2	0.3500	0.3500	0.3496	0.3301
77.6	0.3500	0.3500	0.3497	0.3301
79.0	0.3500	0.3500	0.3497	0.3301
80.4	0.3500	0.3500	0.3498	0.3301
81.8	0.3500	0.3500	0.3498	0.3301
87.5	0.3500	0.3500	0.3498	0.3302
88.8	0.3500	0.3500	0.3498	0.3305
97.2	0.3500	0.3500	0.3499	0.3393
98.6	0.3500	0.3500	0.3499	0.3407

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน CH(%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
122.4	0.3500	0.3500	0.3500	0.3473
130.0	0.3500	0.3500	0.3500	0.3476
138.3	0.3500	0.3500	0.3500	0.3485
142.1	0.3500	0.3500	0.3500	0.3487
147.0	0.3500	0.3500	0.3500	0.3489
153.7	0.3500	0.3500	0.3500	0.3492
161.4	0.3500	0.3500	0.3500	0.3495
171.0	0.3500	0.3500	0.3500	0.3498
185.5	0.3500	0.3500	0.3500	0.3500
200.0	0.3500	0.3500	0.3500	0.3500

ตารางที่ ค-10 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่(ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดินCL (%ปริมาตร)				เวลา	ปริมาณน้ำในดิน CL(%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.		10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
1.3	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129	142.1	0.3712	0.3710	0.3543	0.3129
3.0	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129	147.0	0.3712	0.3710	0.3562	0.3129
3.2	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129	153.7	0.3712	0.3710	0.3581	0.3129
5.5	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129	161.4	0.3712	0.3710	0.3656	0.3129
5.8	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129	171.0	0.3712	0.3710	0.3687	0.3129
6.2	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129	180.7	0.3712	0.3710	0.3688	0.3129
6.6	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129	181.6	0.3712	0.3710	0.3690	0.3129
7.0	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129	188.0	0.3712	0.3710	0.3697	0.3129
9.3	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129	194.4	0.3712	0.3710	0.3697	0.3129
10.0	0.3124	0.3124	0.3124	0.3129	200.8	0.3712	0.3710	0.3698	0.3129
10.5	0.3128	0.3124	0.3124	0.3129	207.1	0.3712	0.3710	0.3698	0.3129
11.0	0.3301	0.3124	0.3124	0.3129	213.5	0.3712	0.3710	0.3698	0.3129
14.6	0.3311	0.3124	0.3124	0.3129	219.9	0.3712	0.3710	0.3698	0.3191
15.1	0.3322	0.3124	0.3124	0.3129	226.3	0.3712	0.3710	0.3699	0.3203
20.0	0.3343	0.3124	0.3124	0.3129	232.6	0.3712	0.3710	0.3699	0.3142
20.8	0.3366	0.3124	0.3124	0.3129	239.0	0.3712	0.3710	0.3699	0.3174
21.7	0.3388	0.3124	0.3124	0.3129	245.4	0.3712	0.3710	0.3700	0.3206
29.7	0.3453	0.3124	0.3124	0.3129	251.8	0.3712	0.3710	0.3700	0.3238
30.5	0.3462	0.3124	0.3124	0.3129	258.1	0.3712	0.3710	0.3700	0.3270
31.3	0.3468	0.3124	0.3124	0.3129	264.5	0.3712	0.3710	0.3700	0.3302
32.1	0.3472	0.3124	0.3124	0.3129	270.9	0.3712	0.3710	0.3700	0.3334
32.9	0.3488	0.3124	0.3124	0.3129	277.3	0.3712	0.3710	0.3700	0.3366
33.7	0.3499	0.3124	0.3124	0.3129	283.6	0.3712	0.3710	0.3700	0.3369
34.6	0.3499	0.3124	0.3124	0.3129	290.0	0.3712	0.3710	0.3700	0.3467
35.4	0.3499	0.3142	0.3124	0.3129	296.4	0.3712	0.3710	0.3700	0.3471
36.2	0.3590	0.3174	0.3124	0.3129	302.8	0.3712	0.3710	0.3700	0.3501
41.4	0.3639	0.3206	0.3124	0.3129	309.1	0.3712	0.3710	0.3700	0.3534
42.5	0.3651	0.3238	0.3124	0.3129	315.5	0.3712	0.3710	0.3700	0.3567
43.6	0.3663	0.3270	0.3124	0.3129	321.9	0.3712	0.3710	0.3700	0.3600
51.2	0.3675	0.3302	0.3124	0.3129	328.2	0.3712	0.3710	0.3700	0.3633
62.5	0.3712	0.3334	0.3124	0.3129	334.6	0.3712	0.3710	0.3700	0.3666
63.6	0.3712	0.3366	0.3124	0.3129	341.0	0.3712	0.3710	0.3700	0.3667
65.0	0.3712	0.3369	0.3124	0.3129	347.4	0.3712	0.3710	0.3700	0.3669
77.6	0.3712	0.3467	0.3124	0.3129	353.7	0.3712	0.3710	0.3700	0.3669
79.0	0.3712	0.3471	0.3124	0.3129	360.1	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
80.4	0.3712	0.3501	0.3124	0.3129	366.5	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
81.8	0.3712	0.3534	0.3124	0.3129	372.9	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
87.5	0.3712	0.3567	0.3166	0.3129	379.2	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
88.8	0.3712	0.3600	0.3184	0.3129	385.6	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
97.2	0.3712	0.3633	0.3203	0.3129	392.0	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
98.6	0.3712	0.3666	0.3221	0.3129	398.4	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
100.0	0.3712	0.3667	0.3239	0.3129	404.7	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
101.4	0.3712	0.3669	0.3258	0.3129	411.1	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695
102.8	0.3712	0.3669	0.3276	0.3129	417.5	0.3712	0.3710	0.3700	0.3695

ตารางที่ ค-11 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบมีระดับน้ำใต้ดิน

เวลา	ปริมาณน้ำในดินSP (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
0.1	0.0030	0.0030	0.0040	0.0060
2.1	0.1150	0.0158	0.0050	0.3412
5.0	0.2100	0.0236	0.0050	0.3412
6.3	0.2254	0.0314	0.0487	0.3412
7.8	0.2254	0.0314	0.0487	0.3413
9.4	0.2254	0.0302	0.0492	0.3414
10.3	0.2254	0.0314	0.0487	0.3414

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน SW(%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
0.1	0.0200	0.0180	0.0180	0.0190
2.1	0.1100	0.0810	0.0570	0.3020
4.0	0.1500	0.1020	0.0670	0.3320
6.3	0.1800	0.1020	0.1170	0.3320
7.0	0.2626	0.1020	0.1170	0.3320
8.0	0.3126	0.1020	0.1170	0.3320
12.0	0.3124	0.1020	0.1170	0.3320
15.0	0.3126	0.1020	0.1170	0.3320

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน MH (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
1.0	0.0310	0.0310	0.0330	0.0280
1.0	0.0310	0.0310	0.0330	0.0280
2.1	0.0310	0.0310	0.0330	0.0280
3.1	0.0310	0.0310	0.0330	0.0282
5.0	0.0674	0.0310	0.0330	0.0821
6.3	0.2219	0.0310	0.0330	0.0917
6.4	0.2307	0.0310	0.0330	0.1013
7.0	0.2616	0.0310	0.0330	0.1305
7.1	0.2634	0.0310	0.0330	0.2095
8.9	0.2861	0.0310	0.0330	0.2572
9.4	0.3044	0.0310	0.0330	0.2635
10.5	0.3093	0.0310	0.0330	0.2666
12.9	0.3180	0.0310	0.0330	0.2951
17.0	0.3282	0.0310	0.0330	0.3102
18.2	0.3308	0.0380	0.0330	0.3141
19.6	0.3340	0.0772	0.0330	0.3128
20.8	0.3350	0.1648	0.0330	0.3136
22.0	0.3359	0.2305	0.0330	0.3103
22.2	0.3365	0.2606	0.0330	0.3107
23.6	0.3365	0.2800	0.0330	0.3111
24.8	0.3365	0.2825	0.0330	0.3115
26.0	0.3365	0.2962	0.0330	0.3143
26.2	0.3365	0.3047	0.0330	0.3146
26.4	0.3365	0.3107	0.0330	0.3149
27.3	0.3365	0.3116	0.0330	0.3169
28.6	0.3365	0.3125	0.0330	0.3171
29.6	0.3365	0.3164	0.0330	0.3174
30.8	0.3365	0.3200	0.0330	0.3176
31.8	0.3365	0.3224	0.0330	0.3178
33.4	0.3365	0.3250	0.0330	0.3180
34.7	0.3365	0.3269	0.0330	0.3182
35.7	0.3365	0.3288	0.0543	0.3184

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน MH(%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
41.4	0.3365	0.3324	0.2672	0.3206
44.0	0.3365	0.3339	0.3017	0.3208
44.2	0.3365	0.3348	0.3030	0.3209
46.3	0.3365	0.3359	0.3108	0.3211
49.1	0.3365	0.3360	0.3187	0.3212
49.4	0.3365	0.3365	0.3192	0.3214
50.7	0.3365	0.3372	0.3216	0.3215
51.7	0.3365	0.3372	0.3233	0.3217
53.3	0.3365	0.3372	0.3257	0.3218
55.1	0.3365	0.3372	0.3278	0.3220
56.6	0.3365	0.3372	0.3292	0.3232
58.4	0.3365	0.3372	0.3307	0.3233
60.0	0.3365	0.3372	0.3318	0.3234
60.3	0.3365	0.3372	0.3320	0.3235
62.6	0.3365	0.3372	0.3332	0.3237
65.2	0.3365	0.3372	0.3343	0.3238
67.0	0.3365	0.3372	0.3350	0.3240
67.2	0.3365	0.3372	0.3351	0.3241
68.8	0.3365	0.3372	0.3356	0.3243
70.6	0.3365	0.3372	0.3361	0.3244
72.6	0.3365	0.3372	0.3365	0.3245
74.7	0.3365	0.3372	0.3369	0.3247
76.7	0.3365	0.3372	0.3369	0.3248
78.7	0.3365	0.3372	0.3369	0.3249
80.7	0.3365	0.3372	0.3369	0.3251
81.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.3252
82.7	0.3365	0.3372	0.3369	0.3253
84.4	0.3365	0.3372	0.3369	0.3254
86.1	0.3365	0.3372	0.3369	0.3256
87.7	0.3365	0.3372	0.3369	0.3257
89.3	0.3365	0.3372	0.3369	0.3258
91.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.3259

ตารางที่ ค-11 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบมีระดับน้ำใต้ดิน(ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน MH (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
99.4	0.3365	0.3372	0.3369	0.3264
100.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.3265
101.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.3266
102.2	0.3365	0.3372	0.3369	0.3267
103.8	0.3365	0.3372	0.3369	0.3268
105.8	0.3365	0.3372	0.3369	0.3269
108.7	0.3365	0.3372	0.3369	0.3270
112.5	0.3365	0.3372	0.3369	0.3270
116.2	0.3365	0.3372	0.3369	0.3271
120.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.3272
126.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.3273
134.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.3273
142.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.3274
150.0	0.3365	0.3372	0.3369	0.3275

ตารางที่ ค-11 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบมีระดับน้ำใต้ดิน(ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน ML (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
1.0	0.0310	0.0310	0.0320	0.0400
1.0	0.0310	0.0310	0.0320	0.0400
2.1	0.0310	0.0310	0.0320	0.0401
3.1	0.0310	0.0310	0.0320	0.0571
5.0	0.0310	0.0310	0.0320	0.0623
6.3	0.0310	0.0310	0.0320	0.0685
7.1	0.0674	0.0310	0.0320	0.0751
8.9	0.1038	0.0310	0.0320	0.0969
9.4	0.2219	0.0310	0.0320	0.1491
10.5	0.2634	0.0310	0.0320	0.1737
12.9	0.2861	0.0310	0.0320	0.2235
17.0	0.3044	0.0310	0.0320	0.2403
18.2	0.3193	0.0310	0.0320	0.2568
19.6	0.3274	0.0310	0.0320	0.2626
22.2	0.3295	0.0310	0.0320	0.2717
23.6	0.3318	0.0310	0.0320	0.2876
24.8	0.3350	0.0310	0.0320	0.2915
26.0	0.3360	0.0310	0.0320	0.3027
26.2	0.3359	0.0310	0.0320	0.3090
26.4	0.3360	0.1648	0.0320	0.3094
27.3	0.3360	0.1648	0.0320	0.3121
28.6	0.3360	0.2305	0.0320	0.3124
29.6	0.3360	0.2606	0.0320	0.3127
30.8	0.3360	0.2800	0.0320	0.3153
31.8	0.3360	0.2825	0.0320	0.3155
33.4	0.3360	0.2962	0.0320	0.3158
34.7	0.3360	0.3047	0.0320	0.3160
37.0	0.3360	0.3107	0.0320	0.3182
39.6	0.3360	0.3116	0.0320	0.3184
41.4	0.3360	0.3148	0.0548	0.3186
44.0	0.3360	0.3164	0.1259	0.3188
44.2	0.3360	0.3250	0.1775	0.3190
46.3	0.3360	0.3269	0.2141	0.3211
49.1	0.3360	0.3288	0.2505	0.3212
49.4	0.3360	0.3302	0.2672	0.3214
50.7	0.3360	0.3312	0.2852	0.3215
51.7	0.3360	0.3322	0.3017	0.3217
53.3	0.3360	0.3324	0.3090	0.3230
55.1	0.3360	0.3339	0.3108	0.3231
56.6	0.3360	0.3348	0.3187	0.3232
58.4	0.3360	0.3359	0.3192	0.3233
60.0	0.3360	0.3360	0.3216	0.3234
60.3	0.3360	0.3365	0.3233	0.3243
62.6	0.3360	0.3365	0.3257	0.3244

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน ML(%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
70.6	0.3360	0.3365	0.3320	0.3256
72.6	0.3360	0.3365	0.3332	0.3257
74.7	0.3360	0.3365	0.3343	0.3258
76.7	0.3360	0.3365	0.3350	0.3259
78.7	0.3360	0.3365	0.3351	0.3259
80.7	0.3360	0.3365	0.3356	0.3260
81.0	0.3360	0.3365	0.3356	0.3267
82.7	0.3360	0.3365	0.3356	0.3268
84.4	0.3360	0.3365	0.3356	0.3268
89.3	0.3360	0.3365	0.3356	0.3269
91.0	0.3360	0.3365	0.3356	0.3274
92.7	0.3360	0.3365	0.3356	0.3274
94.7	0.3360	0.3365	0.3356	0.3275
96.5	0.3360	0.3365	0.3356	0.3276
99.4	0.3360	0.3365	0.3356	0.3276
100.0	0.3360	0.3365	0.3356	0.3277
101.0	0.3360	0.3365	0.3356	0.3278
102.2	0.3360	0.3365	0.3356	0.3278
103.8	0.3360	0.3365	0.3356	0.3279
105.8	0.3360	0.3365	0.3356	0.3280
108.7	0.3360	0.3365	0.3356	0.3280
112.5	0.3360	0.3365	0.3356	0.3281
116.2	0.3360	0.3365	0.3356	0.3282
120.0	0.3360	0.3365	0.3356	0.3283
126.0	0.3360	0.3365	0.3356	0.3284
134.0	0.3360	0.3365	0.3356	0.3284
142.0	0.3360	0.3365	0.3356	0.3284
150.0	0.3360	0.3365	0.3356	0.3284
157.2	0.3360	0.3365	0.3356	0.3284
164.8	0.3360	0.3365	0.3356	0.3284
172.4	0.3360	0.3365	0.3356	0.3284

ตารางที่ ค-11 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบมีระดับน้ำใต้ดิน(ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดินCH (%ปริมาตร)				เวลา	ปริมาณน้ำในดิน CL(%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.		10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
1.0	0.3311	0.3301	0.3301	0.3328	1.3	0.3024	0.3024	0.3024	0.3001
3.0	0.3311	0.3301	0.3301	0.3328	3.0	0.3024	0.3024	0.3024	0.3001
3.2	0.3311	0.3301	0.3301	0.3328	3.2	0.3024	0.3024	0.3024	0.3001
5.5	0.3311	0.3301	0.3301	0.3328	5.5	0.3024	0.3024	0.3024	0.3001
5.8	0.3311	0.3301	0.3301	0.3328	5.8	0.3024	0.3024	0.3024	0.3001
6.2	0.3311	0.3301	0.3301	0.3328	6.2	0.3024	0.3024	0.3024	0.3001
6.6	0.3311	0.3301	0.3301	0.3352	6.6	0.3024	0.3024	0.3024	0.3002
7.0	0.3311	0.3301	0.3301	0.3355	7.0	0.3024	0.3024	0.3024	0.3002
9.3	0.3322	0.3301	0.3301	0.3404	9.3	0.3024	0.3024	0.3024	0.3004
10.0	0.3343	0.3301	0.3301	0.3418	10.0	0.3024	0.3024	0.3024	0.3007
10.5	0.3366	0.3301	0.3301	0.3430	10.5	0.3028	0.3024	0.3024	0.3013
14.6	0.3388	0.3301	0.3301	0.3441	11.0	0.3102	0.3024	0.3024	0.3020
15.1	0.3453	0.3301	0.3301	0.3450	14.6	0.3211	0.3024	0.3024	0.3030
20.0	0.3462	0.3301	0.3301	0.3458	15.1	0.3222	0.3024	0.3024	0.3107
20.8	0.3481	0.3301	0.3301	0.3465	20.0	0.3288	0.3024	0.3024	0.3153
21.7	0.3488	0.3328	0.3301	0.3472	20.8	0.3353	0.3024	0.3024	0.3159
29.7	0.3494	0.3358	0.3301	0.3478	21.7	0.3362	0.3024	0.3024	0.3162
33.7	0.3495	0.3421	0.3301	0.3495	29.7	0.3452	0.3024	0.3024	0.3231
36.2	0.3496	0.3467	0.3301	0.3499	30.5	0.3475	0.3024	0.3024	0.3247
41.4	0.3499	0.3481	0.3301	0.3502	31.3	0.3490	0.3024	0.3024	0.3263
43.6	0.3505	0.3486	0.3343	0.3506	32.1	0.3539	0.3024	0.3024	0.3279
51.2	0.3510	0.3492	0.3428	0.3508	32.9	0.3551	0.3024	0.3024	0.3311
62.5	0.3510	0.3494	0.3456	0.3511	33.7	0.3563	0.3024	0.3024	0.3327
63.6	0.3510	0.3497	0.3478	0.3513	34.6	0.3575	0.3024	0.3024	0.3343
66.4	0.3510	0.3499	0.3488	0.3515	35.4	0.3587	0.3024	0.3024	0.3391
77.6	0.3510	0.3499	0.3491	0.3517	36.2	0.3593	0.3024	0.3024	0.3419
79.0	0.3510	0.3520	0.3497	0.3518	41.4	0.3612	0.3024	0.3024	0.3535
81.8	0.3510	0.3510	0.3497	0.3520	42.5	0.3612	0.3024	0.3024	0.3551
87.5	0.3510	0.3520	0.3498	0.3521	43.6	0.3612	0.3042	0.3024	0.3584
97.2	0.3510	0.3520	0.3498	0.3522	51.2	0.3612	0.3074	0.3024	0.3596
102.8	0.3510	0.3520	0.3499	0.3523	62.5	0.3612	0.3106	0.3024	0.3599
108.4	0.3510	0.3520	0.3510	0.3524	63.6	0.3612	0.3138	0.3024	0.3615
122.4	0.3510	0.3520	0.3510	0.3525	65.0	0.3612	0.3170	0.3024	0.3615
130.0	0.3510	0.3520	0.3510	0.3526	77.6	0.3612	0.3365	0.3024	0.3615
138.3	0.3510	0.3520	0.3510	0.3527	79.0	0.3612	0.3367	0.3024	0.3615
142.1	0.3510	0.3520	0.3510	0.3528	80.4	0.3612	0.3371	0.3024	0.3615
147.0	0.3510	0.3520	0.3510	0.3529	81.8	0.3612	0.3401	0.3024	0.3615
153.7	0.3510	0.3520	0.3510	0.3529	87.5	0.3612	0.3500	0.3066	0.3615
159.0	0.3510	0.3520	0.3510	0.3530	88.8	0.3612	0.3533	0.3084	0.3615
163.0	0.3510	0.3520	0.3510	0.3531	97.2	0.3612	0.3566	0.3121	0.3615
170.0	0.3510	0.3520	0.3510	0.3531	98.6	0.3612	0.3567	0.3194	0.3615
175.0	0.3510	0.3520	0.3510	0.3532	100.0	0.3612	0.3569	0.3212	0.3615
178.0	0.3510	0.3520	0.3510	0.3532	101.4	0.3612	0.3569	0.3231	0.3615
180.0	0.3510	0.3520	0.3510	0.3533	102.8	0.3612	0.3595	0.3249	0.3615

ภาคผนวก ง

ข้อมูลความชื้นและระดับน้ำใต้ดินวัดจริงในพื้นที่ภาคสนาม

1.บทนำ

ในการศึกษาการการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นไม่อิ่มตัวได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้น และข้อมูลระดับน้ำในพื้นที่ภาคสนาม เพื่อที่จะนำข้อมูลจากภาคสนามนำไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการทดลองต่อไป

2. วัตถุประสงค์

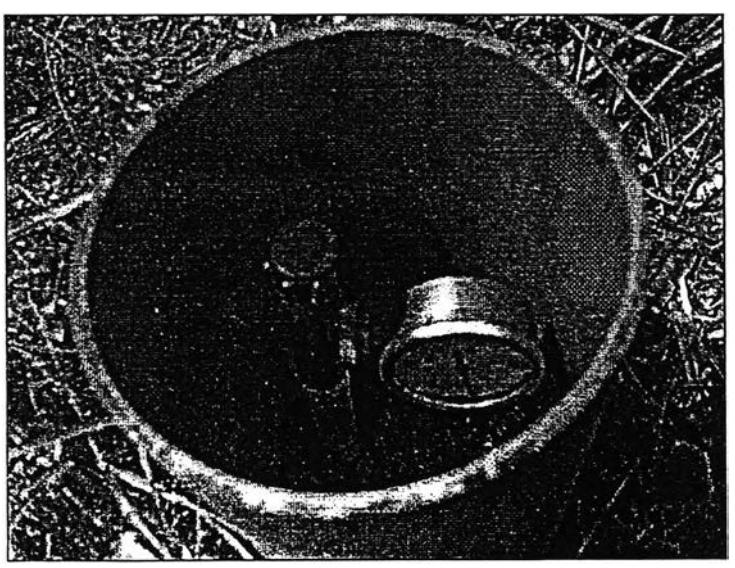
2.1. เก็บรวบรวมข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ระดับความลึก 60 เซนติเมตร และ 120 เซนติเมตร จากระดับผิวดิน

2.2 เก็บรวบรวมข้อมูลระดับน้ำ ข้อมูลน้ำฝน และข้อมูลการระเหย

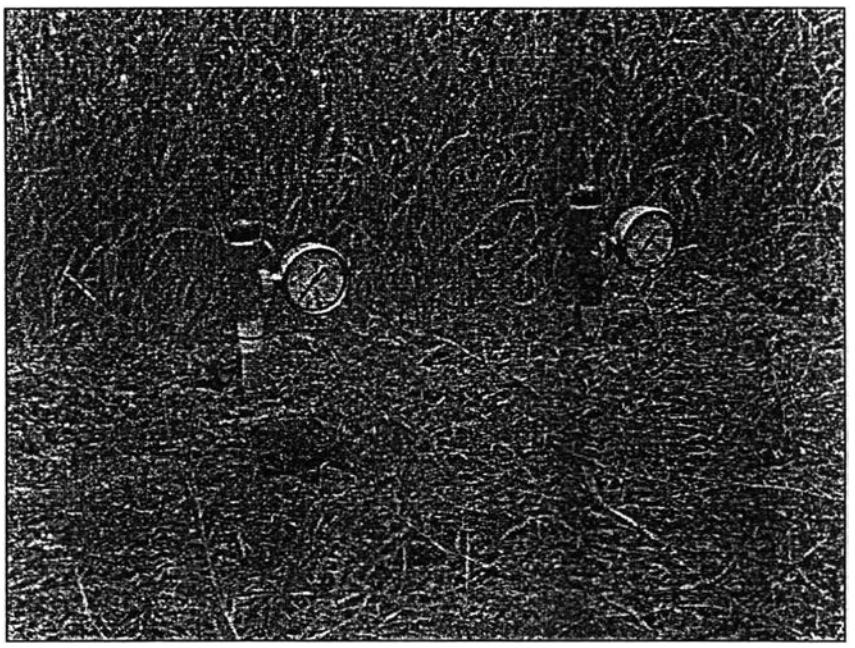
3.การติดตามข้อมูล

การติดตามการเปลี่ยนแปลงความชื้นในแปลงนา ทำการติดตามข้อมูลโดยการฝังเครื่องวัดความชื้น (Tensiometer) ไว้ในแปลงนา ทำการวัดความความชื้นทุกวันจันทร์ของแต่ละสัปดาห์

การฝังเครื่องมือวัดความชื้นบริเวณแปลงนาได้ทำการฝังไว้ที่ 2 ระดับความลึก คือ ที่ระยะ 60 เซนติเมตร และ 120 เซนติเมตร จากระดับพื้นดิน



รูปที่ ง-1 เครื่องมือวัดความชื้น (Tensiometer)



รูปที่ ง-2 เครื่องวัดความชื้นที่ติดตั้งบริเวณแปลงนา

การทำงานของเครื่องมือวัดความชื้นในดินจะฝังกระเปาะเซรามิกให้อยู่ในดินตรงจุดที่ต้องการวัด เติมน้ำให้เต็มแล้วปิดฝาให้แน่น ดินรอบๆ บริเวณกระเปาะพรุนซึ่งแห้งกว่าจะดูดน้ำออกไปและทำให้เกิดสุญญากาศขึ้นในท่อพลาสติก ซึ่งวัดได้จากหน้าปัดความดัน ถ้าดินรอบๆ กระเปาะพรุนแห้งมากก็จะเกิดสุญญากาศมาก ในทางตรงข้าม หลังฝนตกหรือให้ดินมีความชื้นเพิ่มขึ้น แรงดึงความชื้นก็จะลดลง น้ำจะถูกดูดกลับเข้ามาและค่าที่อ่านได้จากหน้าปัดความดันก็จะลดลง

ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดความชื้นวัดเป็นค่าความดัน มีหน่วยเป็นบาร์และมีค่าติดลบ ซึ่งหมายถึงปริมาณค่าความชื้นในดินที่มีค่าลดลง หากค่าความดันที่อ่านได้มีค่าติดลบมาก หมายถึงปริมาณน้ำในดินมีปริมาณเหลืออยู่น้อย สเกลหน้าปัดของเครื่องมือวัดความชื้นในดินจะบอกความชื้นของดินจาก 0 ถึง -1 บาร์ หรือ -100 เซนติบาร์ ถ้าเกจความดันอ่านได้ 0 บาร์ ก็แสดงว่าดินนั้นค่อนข้างอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated)

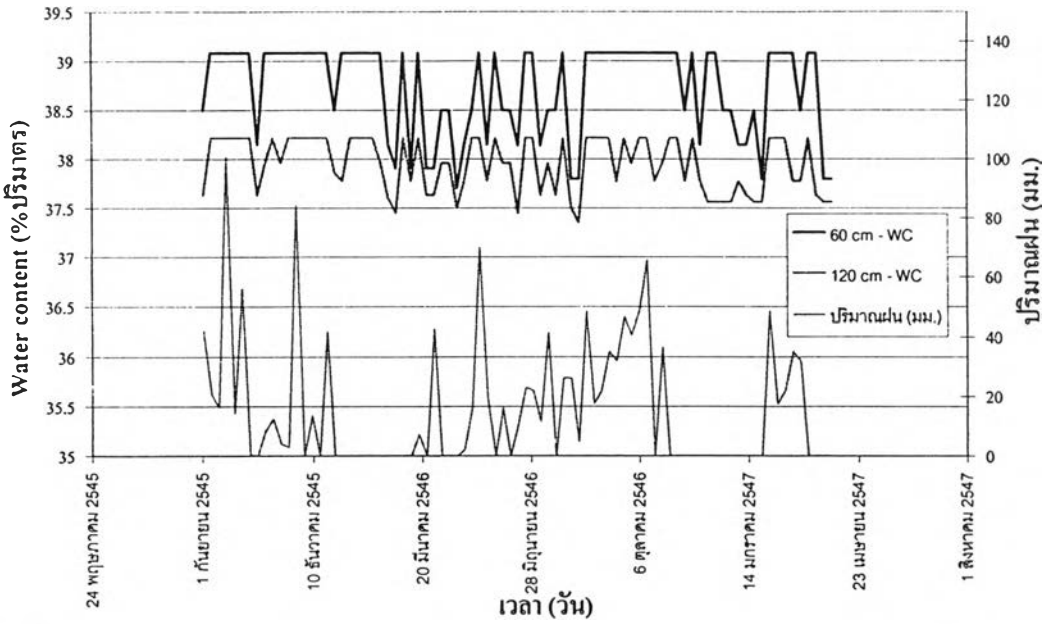
การติดตั้งเครื่องมือวัดความชื้นและวัดระดับน้ำใต้ดินในบ่อน้ำตื้นทำการสำรวจที่พิกัด 1608449 N และ 631210 E โดยมีที่อยู่ หมู่ 4 ต.สาวร้องไห้ อ.วิเศษชัยชาญ จ.อ่างทอง

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลค่าความชื้นหมู่ 4 ต.สาวร้องไห้ อ.วิเศษชัยชาญ จ.อ่างทอง

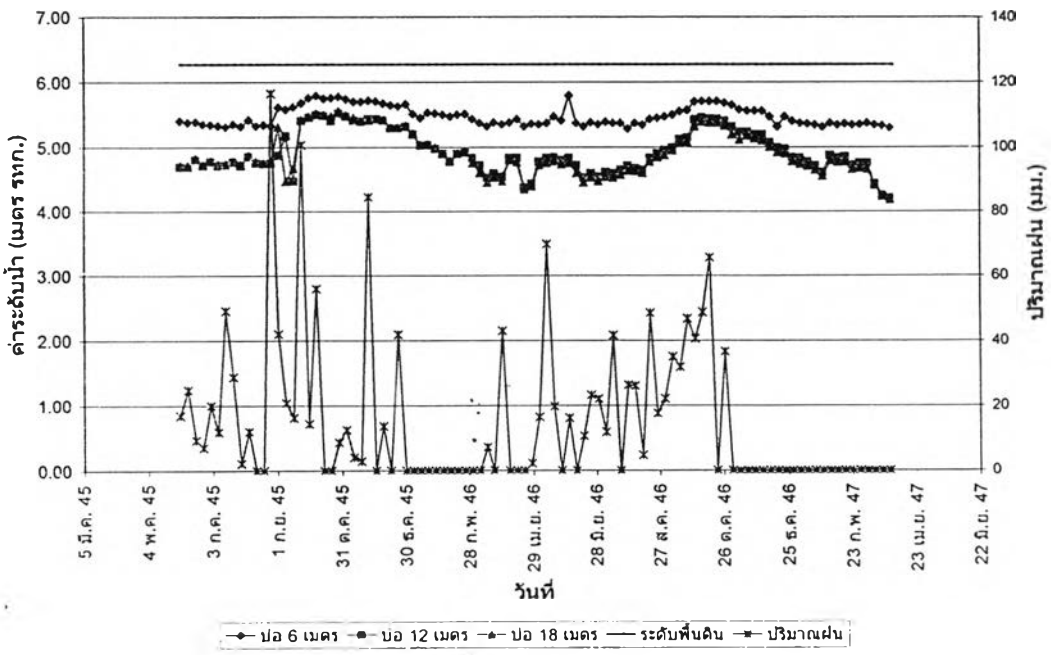
วัน เดือน ปี	Water content (%ปริมาตร)		ปริมาณฝน (มม.)	ระดับน้ำ(ม.รทก.)
	60 cm	120 cm		
2 กันยายน 2545	38.50	37.63	42.1	5.61
9 กันยายน 2545	39.08	38.22	20.8	5.58
16 กันยายน 2545	39.08	38.22	16.3	5.62
23 กันยายน 2545	39.08	38.22	100.7	5.68
30 กันยายน 2545	39.08	38.22	14.4	5.76
7 ตุลาคม 2545	39.08	38.22	56.0	5.79
14 ตุลาคม 2545	39.08	38.22	0.0	5.75
21 ตุลาคม 2545	38.15	37.63	0.0	5.76
28 ตุลาคม 2545	39.08	37.96	8.6	5.78
4 พฤศจิกายน 2545	39.08	38.22	12.5	5.74
11 พฤศจิกายน 2545	39.08	37.96	4.0	5.70
18 พฤศจิกายน 2545	39.08	38.22	2.9	5.70
25 พฤศจิกายน 2545	39.08	38.22	84.4	5.72
2 ธันวาคม 2545	39.08	38.22	0.0	5.71
9 ธันวาคม 2545	39.08	38.22	13.7	5.67
16 ธันวาคม 2545	39.08	38.22	0.0	5.65
23 ธันวาคม 2545	39.08	38.22	41.9	5.63
30 ธันวาคม 2545	38.50	37.86	0.0	5.66
6 มกราคม 2546	39.08	37.78	0.0	5.51
13 มกราคม 2546	39.08	38.22	0.0	5.45
20 มกราคม 2546	39.08	38.22	0.0	5.53
27 มกราคม 2546	39.08	38.22	0.0	5.52
3 กุมภาพันธ์ 2546	39.08	38.22	0.0	5.50
10 กุมภาพันธ์ 2546	39.08	37.96	0.0	5.47
17 กุมภาพันธ์ 2546	38.15	37.60	0.0	5.50

วัน เดือน ปี	Water content (%ปริมาตร)		ปริมาณฝน (มม.)	ระดับน้ำ(ม.รทก.)
	60 cm	120 cm		
24 กุมภาพันธ์ 2546	37.91	37.45	0.0	5.51
3 มีนาคม 2546	39.08	38.22	0.0	5.43
10 มีนาคม 2546	37.91	37.78	0.0	5.37
17 มีนาคม 2546	39.08	38.22	7.2	5.32
24 มีนาคม 2546	37.91	37.63	0.0	5.38
31 มีนาคม 2546	37.91	37.63	43.0	5.35
7 เมษายน 2546	38.50	37.96	0.0	5.38
14 เมษายน 2546	38.50	37.96	0.0	5.43
21 เมษายน 2546	37.70	37.50	0.0	5.32
28 เมษายน 2546	38.15	37.78	2.1	5.36
5 พฤษภาคม 2546	38.50	38.22	16.4	5.35
12 พฤษภาคม 2546	39.08	38.22	69.9	5.37
19 พฤษภาคม 2546	38.15	37.78	19.8	5.47
26 พฤษภาคม 2546	39.08	38.22	0.0	5.41
2 มิถุนายน 2546	38.50	37.96	16.2	5.79
9 มิถุนายน 2546	38.50	37.96	0.0	5.37
16 มิถุนายน 2546	38.14	37.45	10.6	5.32
23 มิถุนายน 2546	39.08	38.22	23.2	5.38
30 มิถุนายน 2546	39.08	38.22	22.1	5.35
7 กรกฎาคม 2546	38.14	37.63	11.8	5.39
14 กรกฎาคม 2546	38.50	37.96	41.6	5.37
21 กรกฎาคม 2546	38.50	37.63	0.0	5.37
28 กรกฎาคม 2546	39.08	38.22	26.3	5.28
4 สิงหาคม 2546	37.80	37.50	26.1	5.37
11 สิงหาคม 2546	37.80	37.35	4.7	5.34
18 สิงหาคม 2546	39.08	38.22	48.5	5.43
25 สิงหาคม 2546	39.08	38.22	17.6	5.45
1 กันยายน 2546	39.08	38.22	22.1	5.47

วัน เดือน ปี	Water content (%ปริมาตร)		ปริมาณฝน (มม.)	ระดับน้ำ(ม.รทก.)
	60 cm	120 cm		
8 กันยายน 2546	39.08	38.22	35.1	5.50
15 กันยายน 2546	39.08	37.77	31.9	5.55
22 กันยายน 2546	39.08	38.22	46.7	5.57
29 กันยายน 2546	39.08	37.96	40.6	5.70
6 ตุลาคม 2546	39.08	38.22	48.8	5.71
13 ตุลาคม 2546	39.08	38.22	65.7	5.71
20 ตุลาคม 2546	39.08	37.78	0.0	5.71
27 ตุลาคม 2546	39.08	37.96	36.7	5.68
3 พฤศจิกายน 2546	39.08	38.22	0.0	5.65
10 พฤศจิกายน 2546	39.08	38.22	0.0	5.58
17 พฤศจิกายน 2546	38.50	37.78	0.0	5.56
24 พฤศจิกายน 2546	39.08	38.22	0.0	5.56
1 ธันวาคม 2546	38.15	37.78	0.0	5.56
8 ธันวาคม 2546	39.08	37.56	0.0	5.47
15 ธันวาคม 2546	39.08	37.56	0.0	5.32
22 ธันวาคม 2546	38.50	37.56	0.0	5.47
29 ธันวาคม 2546	38.50	37.56	0.0	5.40
5 มกราคม 2547	38.15	37.78	0.0	5.37
12 มกราคม 2547	38.15	37.63	0.0	5.36
19 มกราคม 2547	38.50	37.56	0.0	5.34
26 มกราคม 2547	37.80	37.56	0.0	5.31
2 กุมภาพันธ์ 2547	39.08	38.22	48.5	5.37
9 กุมภาพันธ์ 2547	39.08	38.22	17.6	5.34
16 กุมภาพันธ์ 2547	39.08	38.22	22.1	5.36
23 กุมภาพันธ์ 2547	39.08	37.78	35.1	5.34
1 มีนาคม 2547	38.50	37.78	31.9	5.35
8 มีนาคม 2547	39.08	38.22	0.0	5.37
15 มีนาคม 2547	39.08	37.63	0.0	5.34



รูปที่ ง-3 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน หมู่ 4 ต.สาวร้องไห้ อ.วิเศษชัยชาญ จ.อ่างทอง



รูปที่ ง-3 การแกว่งตัวของระดับน้ำและปริมาณฝนบริเวณ หมู่ 4 ต.สาวร้องไห้ อ.วิเศษชัยชาญ จ.อ่างทอง

4. สรุปผลการศึกษา

ผลการสำรวจติดตามรวบรวมข้อมูลความชื้นและระดับน้ำ ตั้งแต่วันที่ 2 กันยายน 2545 ถึงวันที่ 15 มีนาคม 2547 ได้ทำการเก็บบันทึกข้อมูลความชื้นในดิน และค่าระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์ ทุกวันจันทร์ของสัปดาห์ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ ง-1 ค่าความชื้นของดินหมู่ 4 ต.สาวร้องไห้ อ.วิเศษชัยชาญ จ.อ่างทอง

ค่าความชื้น (บาร์)	ความลึก 60 ซม.	ความลึก 120 ซม.
ค่าสูงสุด	0.140	0.160
ค่าต่ำสุด	0.000	0.000
ค่าเฉลี่ย	0.025	0.033
ลักษณะดิน	Clay	Clay

ตารางที่ ง-2 ค่าระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์

บ่อสังเกตการณ์	ค่าระดับน้ำช่วงฤดูฝน (เมตร รทก.)			ค่าระดับน้ำช่วงฤดูแล้ง (เมตร รทก.)		
	6 เมตร	12 เมตร	18 เมตร	6 เมตร	12 เมตร	18 เมตร
ค่าสูงสุด	5.71	5.45	5.39	5.37	4.87	4.79
ค่าต่ำสุด	5.28	4.59	4.52	5.30	4.20	4.18
ค่าเฉลี่ย	5.51	4.99	4.93	5.34	4.66	4.60

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น พบว่าความชื้นที่ระดับความลึก 60 ซม. จะมีค่าความชื้นสูงกว่าที่ระดับ 120 ซม. ส่วนลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำจะเห็นได้ชัดว่าระดับน้ำจะมีการแกว่งตัวโดยมีระดับน้ำสูงขึ้นในช่วงฤดูฝน และมีค่าลดต่ำลงในช่วงฤดูแล้ง

ภาคผนวก จ

คู่มือและตัวอย่างการใช้ HYDRUS-1D

HYDRUS-1D เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาโดย U.S. Department of Agriculture เป็นแบบจำลองสำหรับจำลองสภาพการไหลของน้ำและสารละลายในทิศทาง 1 มิติ ในตัวกลางที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยแบบจำลองสามารถจำลองสภาพลักษณะการเติมน้ำได้หลายรูปแบบ และสามารถเปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดคุณสมบัติของดิน ลักษณะของชั้นดิน เงื่อนไขเริ่มต้น เงื่อนไขขอบเขต สภาพการเพาะปลูกบริเวณผิวดิน

โปรแกรม HYDRUS-1D ใช้สมการของ Richard ในการอธิบายการไหลของน้ำในชั้นอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวโดยมีการเพิ่มพจน์ของการดึงน้ำออกจากดินในสมการ

$$\frac{\delta\theta}{\delta t} = \frac{\delta[K\frac{\delta h}{x} + \cos\alpha]}{\delta x} - S \qquad (จ1)$$

เมื่อ θ เป็น ปริมาณน้ำในดิน [L^3/L^3]

t เป็น เวลา [t]

x เป็นระยะทางในแนวดิ่งมีค่าเป็นบวกในทิศทางขึ้น [L]

h ค่าความดันของน้ำ [L]

α เป็นมุมระหว่างทิศทางการไหลกับแนวดิ่ง

S เป็นพจน์การดึงน้ำออกจากดิน [$L^3/(L^2t)$]

K เป็นค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดิน [L/t]

พจน์การดึงน้ำออกจากดิน, S กำหนดโดย Feddes (อ้างอิงใน Simunek, 2005) มีความสัมพันธ์กับแรงดึงน้ำของดิน

$$S(h) = \alpha(h)Sp \qquad (จ2)$$

เมื่อ $\alpha(h)$ เป็นค่าแรงดึงน้ำของดิน ($0 \leq \alpha \geq 1$) ในเทอมไร้หน่วย

Sp อัตราการการดึงน้ำ [1/t]

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \dfrac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha h|^n]^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \qquad \text{(จ3)}$$

α = ค่าคงที่

θr = Residual water content, $L^3 L^{-3}$

θs = Saturated water content, $L^3 L^{-3}$

h = Capillary pressure head, L

n = ค่าคงที่

m = 1-1/n , n>1

Unsaturated hydraulic conductivity :

$$\frac{K(\theta)}{K_{sat}} = \left(\frac{\theta - \theta_r}{\phi - \theta_r}\right)^{1/2} \left[1 - \left(1 - \left(\frac{\theta - \theta_r}{\phi - \theta_r}\right)^{1/m}\right)^m\right] \qquad \text{(จ4)}$$

$K(\theta)$ = Relative hydraulic conductivity, $L T^{-3}$

K_{sat} = Saturated hydraulic conductivity, $L T^{-3}$

ϕ = Porosity

ผลลัพธ์ของ HYDRUS-1D มีค่าเป็นค่าแรงดึงของน้ำ และปริมาณน้ำในดินสามารถอ่านค่าได้ตามเวลาและตามจุดสังเกตการณ์ที่กำหนดในแบบจำลอง ซึ่งสามารถแสดงออกมาในรูปของกราฟ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ ค่าอัตราการไหลและการดึงน้ำของรากพืชในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้อีกด้วย

HYDRUS-1D เป็นแบบจำลองที่นำมาใช้ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย โดยสามารถดาวโหลดโปรแกรมได้ที่เวปไซด์ของ USDA ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เวอร์ชั่น 3.0 ซึ่งพัฒนาโดยภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม University of California Riverside

1. **วิธีการใช้โปรแกรม** HYDRUS-1D

เมื่อทำการติดตั้งโปรแกรม HYDRUS-1D ลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วสามารถเปิดโปรแกรมได้ทางไอคอน หรือเข้าทางเมนูโปรแกรมเลือก HYDRUS-1D โดยเมื่อเปิดโปรแกรมจะเข้าสู่เมนูหลัก

1. เลือกสร้างโครงการใหม่โดยให้กรอกชื่อ รายละเอียดของงาน และตำแหน่งที่ต้องการบันทึกข้อมูลของงาน ดังแสดงในรูปที่ จ-1

2. รูปที่ จ-2 แสดงหน้าจอหลักของ HYDRUS-1D โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ หมายเลข 2 ที่อยู่ทางด้านซ้าย เป็นส่วนของข้อมูลก่อนการคำนวณ (Pre-processing) ส่วนหมายเลข 3 ที่อยู่ทางด้านขวา เป็นส่วนของผลของการคำนวณ (Post-processing)

3. ก่อนการคำนวณต้องกรอกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้เรียบร้อย โดยวิธีการกรอกค่าพารามิเตอร์สามารถเลือกได้โดยทางเมนูและดับเบิ้ลคลิกที่ชื่อของหัวข้อบนหน้าจอข้อมูลก่อนการคำนวณ รูปที่ จ-3 แสดงกระบวนการหลักในการจำลองสภาพ

4. รูปที่ จ-4 แสดงการเลือกหน่วยของระยะความยาวที่ใช้ในการคำนวณ โดยสามารถกำหนดจำนวนชนิดของดิน จำนวนชั้นดิน และความหนาของชั้นดินได้

5. รูปที่ จ-5 แสดงการกำหนดหน่วยของเวลา จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณ (Time step) และข้อมูลของช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

6. รูปที่ จ-6 แสดงข้อมูลของการแสดงผล โดยสามารถกำหนดรูปแบบของการแสดงผลที่ต้องการ และกำหนดเวลาที่ต้องการให้แสดงผลการคำนวณได้

7. โปรแกรมสามารถกำหนดและควบคุมรอบการคำนวณดังแสดงในรูปที่ จ-7

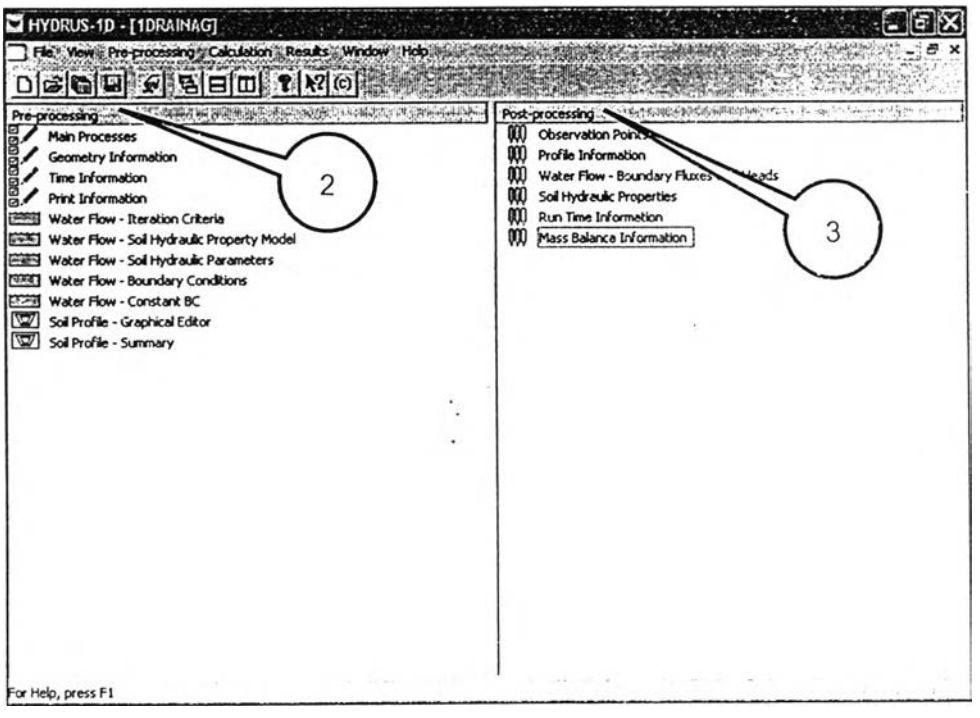
8. รูปที่ จ-8 แสดงการเลือกแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน ซึ่งในการศึกษานี้เลือกใช้แบบจำลองของ van Genuchten and Mualem ในการคำนวณ

9. การใส่ค่าพารามิเตอร์ของการไหลสามารถใส่ได้โดยกรอกตัวเลขลงในช่องว่าง ดังแสดงในรูปที่ จ-9 ซึ่งค่าพารามิเตอร์กรอกขึ้นอยู่กับแบบจำลองที่เลือกใช้

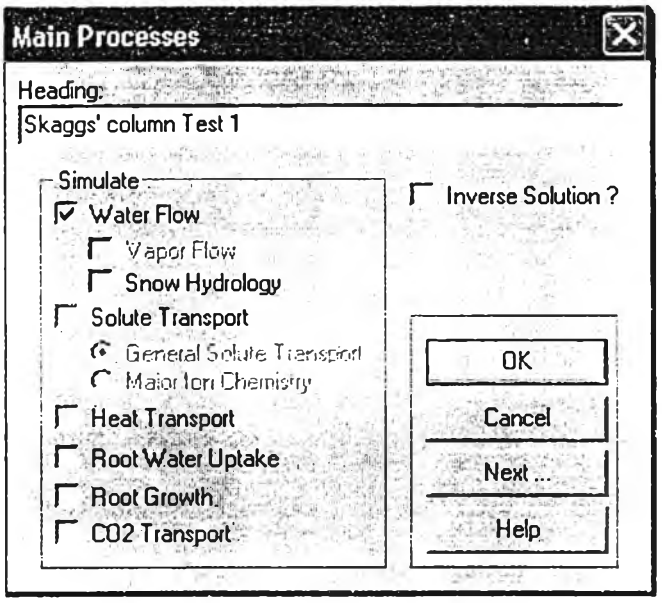
10. เมื่อทำการกรอกพารามิเตอร์จนครบแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการกำหนดขอบเขตเงื่อนไขในการไหล เนื่องจากโปรแกรม HYDRUS-1D เป็นการคำนวณการไหลใน 1 มิติ ดังนั้นเงื่อนไขขอบเขตที่ต้องกำหนดคือ เงื่อนไขขอบเขตบนและเงื่อนไขขอบเขตล่าง ดังแสดงในรูปที่ จ-10 และกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นซึ่งเลือกได้ว่าต้องการกำหนดเป็นค่าความดัน หรือปริมาณน้ำในดิน

เมื่อการกำหนดเงื่อนไขและกรอกข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณเรียบร้อย การเริ่มการคำนวณทำได้โดยเลือกเมนู Calculation และเลือก Execute HYDRUS โปรแกรมจะเริ่มทำการคำนวณ

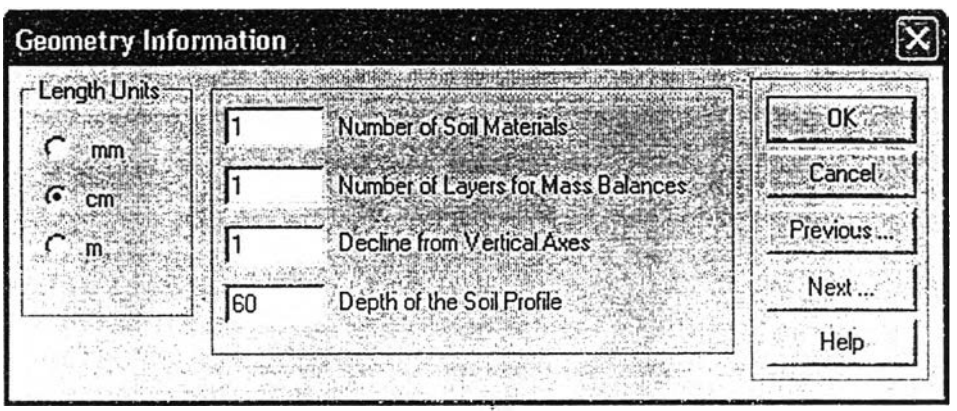
รูปที่ จ-1 การสร้างโครงการใหม่



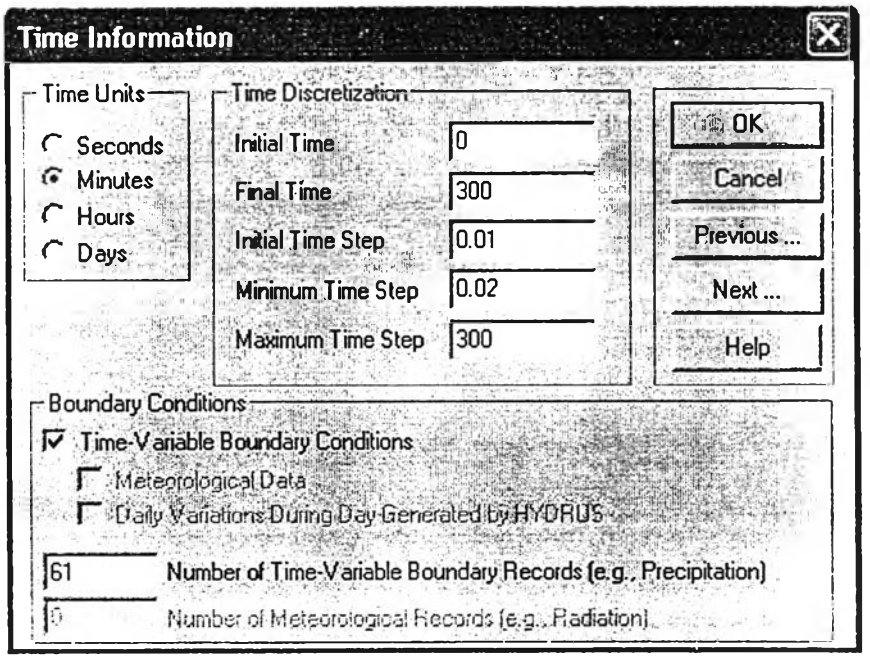
รูปที่ จ-2 หน้าจอหลักของโปรแกรม HYDRUS-1D



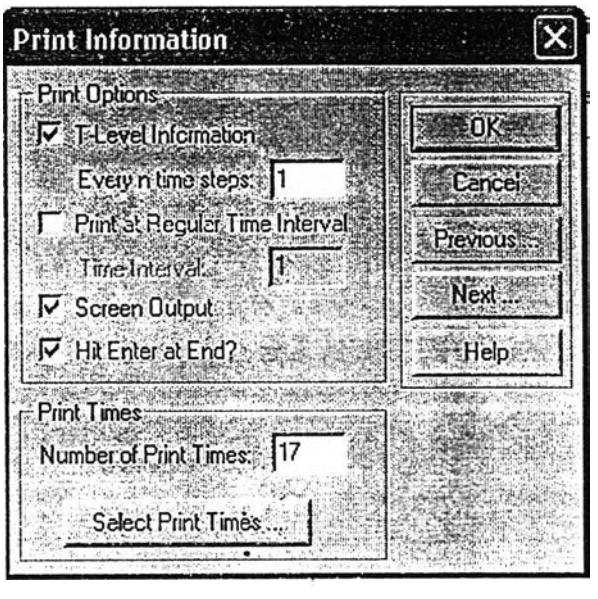
รูปที่ จ-3 การเลือกลักษณะการจำลอง



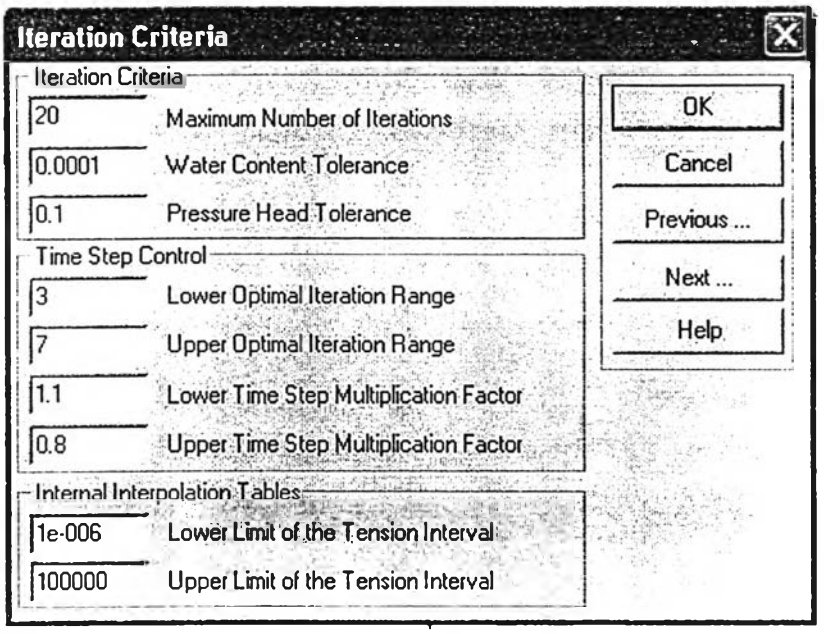
รูปที่ จ-4 การเลือกหน่วยความยาว



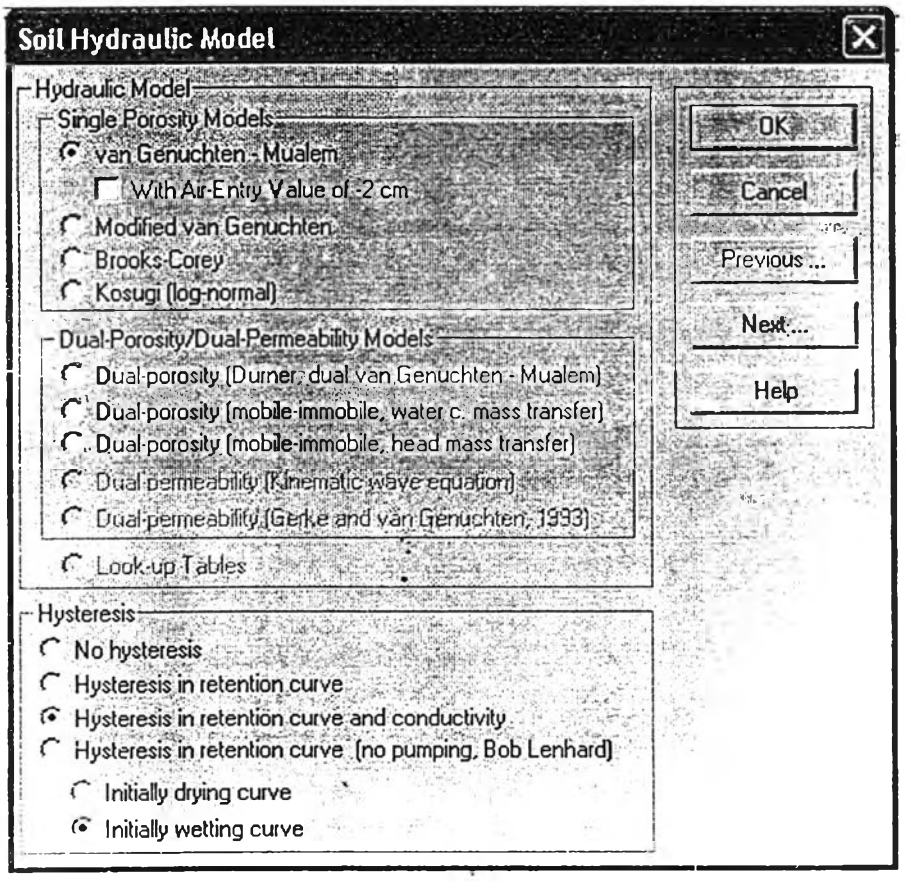
รูปที่ จ-5 การกำหนดข้อมูลเวลา



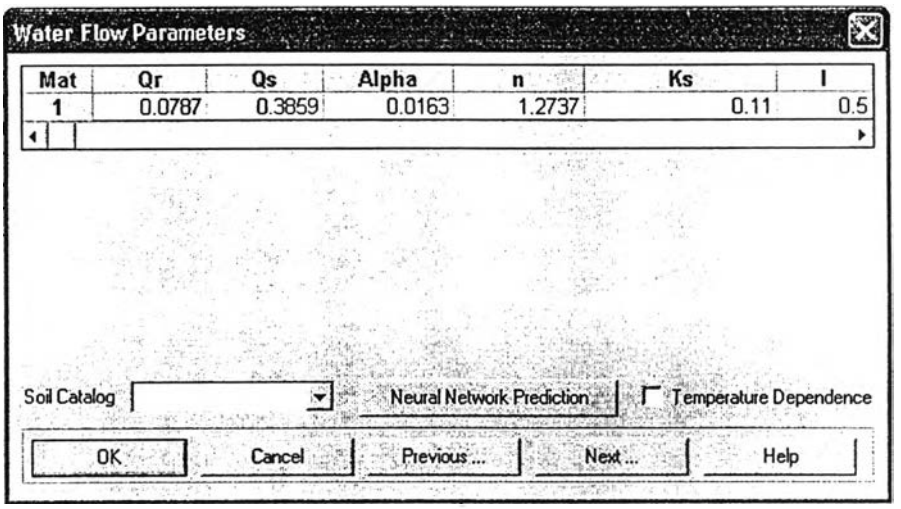
รูปที่ จ-6 การกำหนดข้อมูลการแสดงผล



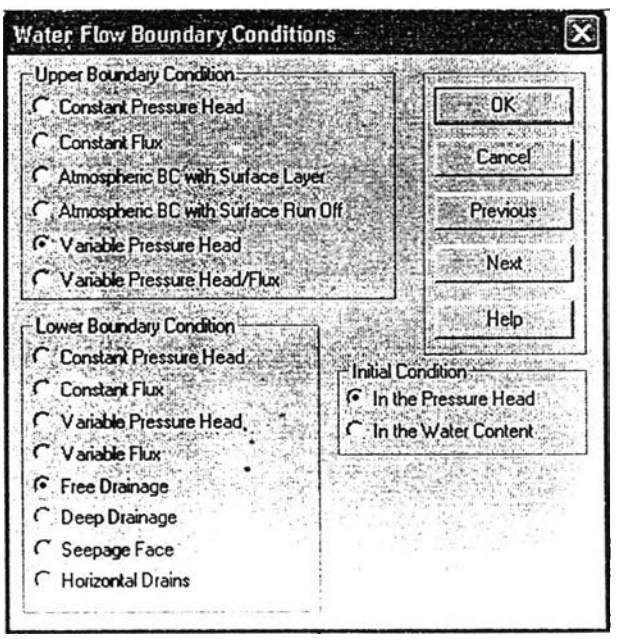
รูปที่ จ-7 การกำหนดค่าช่วงเวลา



รูปที่ จ-8 แบบจำลองคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน



รูปที่ จ-9 การกำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง



รูปที่ จ-10 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

11. ในส่วนของผลการคำนวณซึ่งแสดงไว้ในด้านขวามือของหน้าจอหลัก โดยสามารถดูผลต่าง ๆ ที่ได้จากการจำลองสภาพการไหล ซึ่งสามารถแสดงข้อมูลได้ในรูปของกราฟเส้น (ดังแสดงในรูปที่ จ-11

12. รูปที่ จ-12 แสดงหน้าตัดตามความลึกกับค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ต่าง ๆ เช่น ปริมาณน้ำในดิน (Water content) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำ (Hydraulic conductivity) ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ (Water flux) เป็นต้น

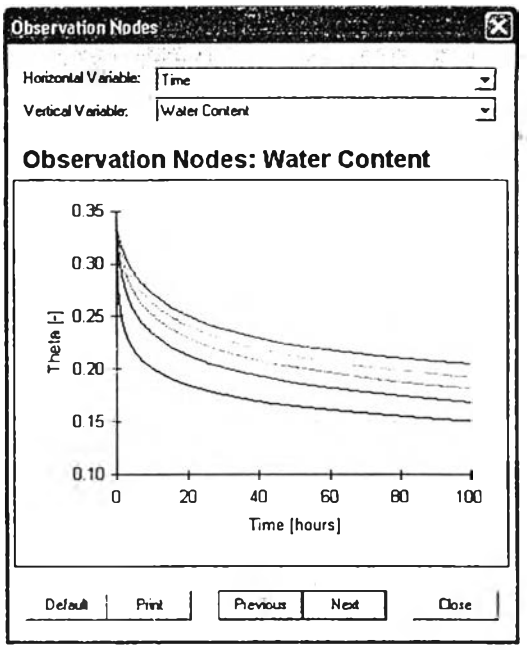
13. รูปที่ จ-13 แสดงการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ บริเวณขอบเขต เช่น อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่ขอบเขตล่าง ปริมาณน้ำสะสมที่ขอบเขตบน เป็นต้น

14. รูปที่ จ-14 แสดงคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน ซึ่งเป็นผลลัพธ์มาจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณ

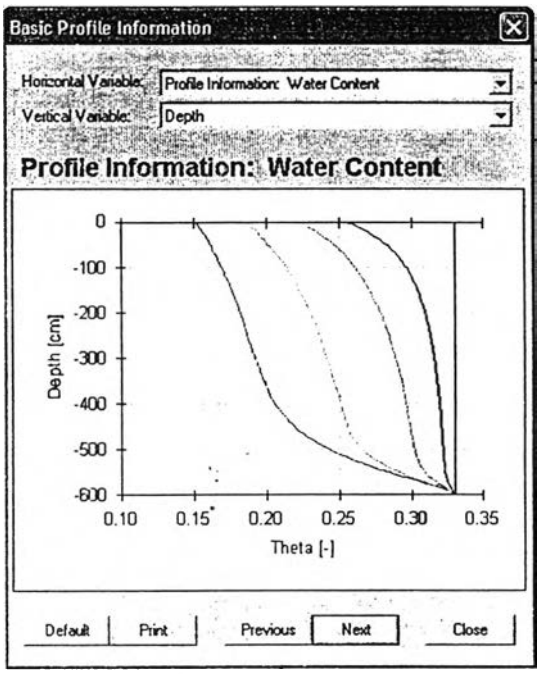
15. รูปที่ จ-15 แสดงข้อมูลของช่วงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลการคำนวณ ซึ่งสามารถใช้ในการตรวจสอบความเสถียรของการคำนวณได้

16. รูปที่ จ-16 แสดงสมดุลของน้ำในการไหลผ่านที่จุดสังเกตการณ์ต่าง ๆ

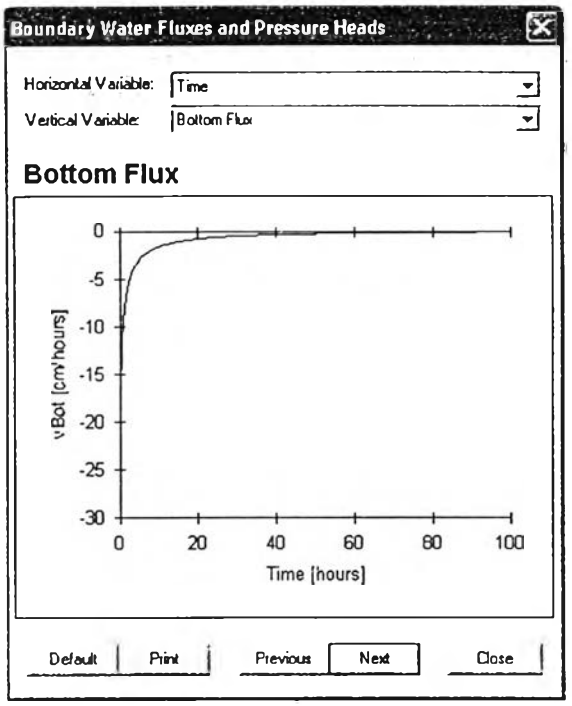
ผลของการคำนวณนอกจากแสดงออกมาในรูปของกราฟแล้ว ยังสามารถอ่านค่าผลการคำนวณได้เป็นตัวอักษร โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจัดเก็บอยู่ในรูปของไฟล์ที่มีนามสกุล .OUT ซึ่งสามารถใช้โปรแกรม Microsoft excel ในการเปิดและนำไปวิเคราะห์ต่อไปได้



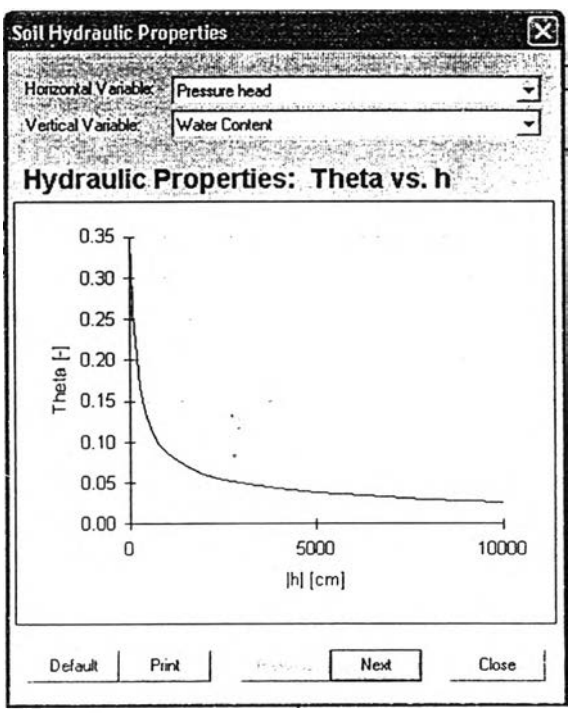
รูปที่ จ-11 การเปลี่ยนแปลงที่จุดสังเกตการณ์



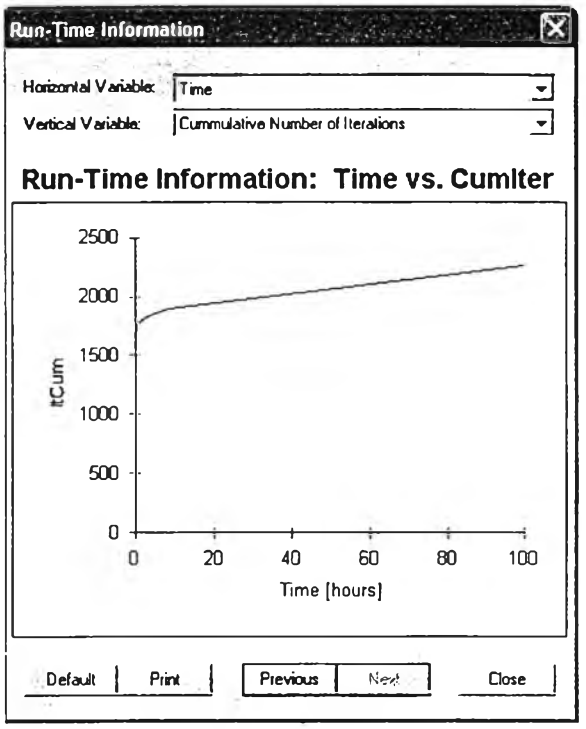
รูปที่ จ-12 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้น



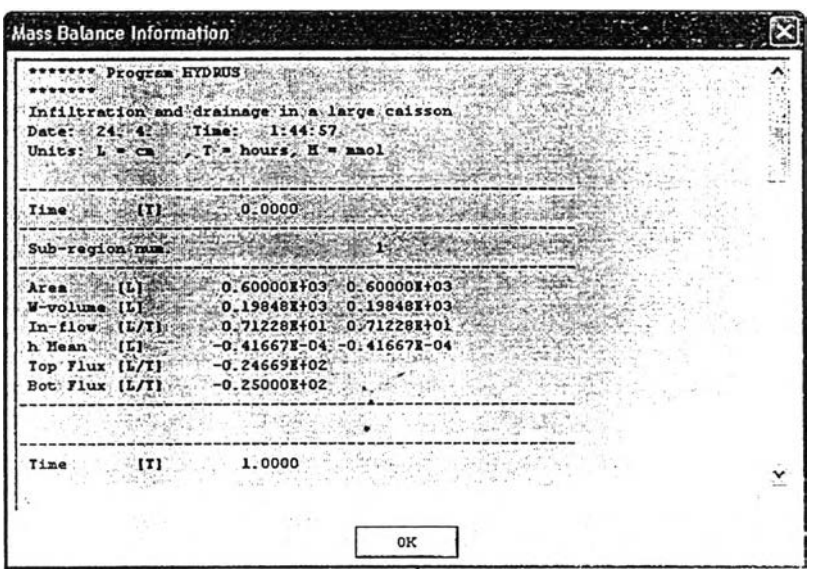
รูปที่ จ-13 การเปลี่ยนแปลงที่ขอบเขต



รูปที่ จ-14 คุณสมบัติทางชลศาสตร์



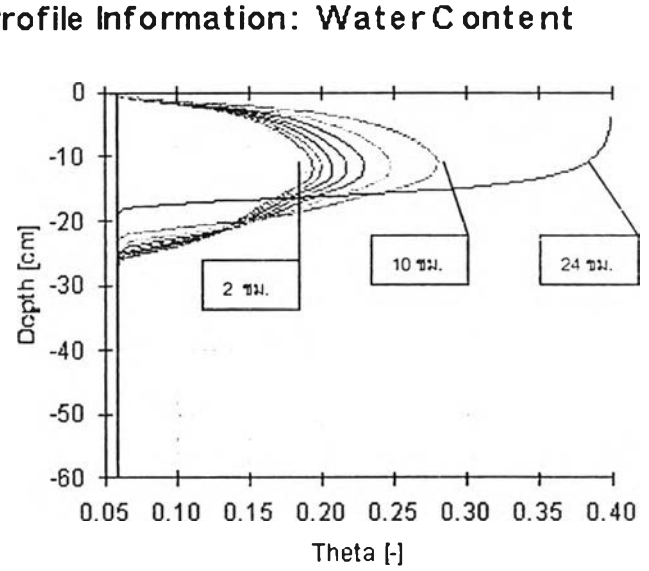
รูปที่ จ-15 ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการประมวลผล



รูปที่ จ-16 ข้อมูลสมดุลน้ำ

2. **ตัวอย่างการใช้โปรแกรม** HYDRUS-1D

จากข้อมูลภาคสนามซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในดิน ได้เลือกช่วงของข้อมูลภาคสนามในวันที่ 27 ตุลาคม 2546 ซึ่งมีฝนตกลงมาปริมาณ 36.7 มิลลิเมตร ในดินเหนียวชนิด CL เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดิน โดยการคำนวณกำหนดช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งผลการจำลองสภาพการไหลได้ดังรูปที่ จ-17



รูปที่ จ-17 ผลการจำลองสภาพการไหล

3. **ตัวอย่างผลการจำลองการไหลโดยโปรแกรม** HYDRUS-1D

ตัวอย่างผลการจำลองสภาพการไหลในชั้นไม่อิ่มตัวโดยโปรแกรม HYDRUS-1D ในดินชนิดต่าง ๆ มีผลดังแสดงในตารางที่ จ-1 ดังนี้

ตารางที่ จ-1 ผลการคำนวณการเติมน้ำแบบอัตราคงที่

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน SP(%ปริมาตร)				เวลา	ปริมาณน้ำในดิน SP (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.		10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
0.1	0.030	0.030	0.030	0.030	1.9	0.043	0.030	0.030	0.251
0.2	0.030	0.030	0.030	0.030	1.9	0.046	0.030	0.030	0.255
0.3	0.030	0.030	0.030	0.030	2.0	0.049	0.030	0.030	0.259
0.4	0.030	0.030	0.030	0.030	2.0	0.052	0.030	0.030	0.263
0.5	0.030	0.030	0.030	0.030	2.1	0.056	0.030	0.030	0.267
0.6	0.030	0.030	0.030	0.030	2.1	0.060	0.030	0.030	0.270
0.7	0.030	0.030	0.030	0.030	2.2	0.063	0.030	0.030	0.273
0.8	0.030	0.030	0.030	0.030	2.2	0.066	0.030	0.030	0.276
0.9	0.030	0.030	0.030	0.030	2.3	0.070	0.030	0.030	0.278
1.0	0.030	0.030	0.030	0.031	2.3	0.073	0.030	0.030	0.281
1.0	0.030	0.030	0.030	0.032	2.4	0.076	0.030	0.030	0.283
1.0	0.030	0.030	0.030	0.035	2.4	0.079	0.030	0.030	0.285
1.1	0.030	0.030	0.030	0.040	2.5	0.082	0.030	0.030	0.287
1.1	0.030	0.030	0.030	0.048	2.6	0.085	0.030	0.030	0.289
1.1	0.030	0.030	0.030	0.058	2.6	0.088	0.030	0.030	0.291
1.2	0.030	0.030	0.030	0.070	2.7	0.090	0.030	0.030	0.292
1.2	0.030	0.030	0.030	0.082	2.7	0.093	0.030	0.030	0.294
1.2	0.030	0.030	0.030	0.096	2.8	0.095	0.030	0.030	0.296
1.3	0.030	0.030	0.030	0.108	2.9	0.098	0.030	0.030	0.298
1.3	0.030	0.030	0.030	0.121	2.9	0.101	0.030	0.030	0.299
1.3	0.030	0.030	0.030	0.133	3.0	0.104	0.030	0.030	0.301
1.4	0.030	0.030	0.030	0.148	3.1	0.106	0.030	0.030	0.302
1.4	0.030	0.030	0.030	0.162	3.1	0.108	0.030	0.030	0.304
1.4	0.030	0.030	0.030	0.174	3.2	0.111	0.030	0.030	0.305
1.5	0.031	0.030	0.030	0.185	3.3	0.113	0.030	0.030	0.306
1.5	0.031	0.030	0.030	0.196	3.3	0.114	0.030	0.030	0.307
1.6	0.031	0.030	0.030	0.205	3.4	0.116	0.030	0.030	0.308
1.6	0.032	0.030	0.030	0.213	3.5	0.118	0.030	0.030	0.309
1.6	0.033	0.030	0.030	0.220	3.6	0.119	0.030	0.030	0.310
1.7	0.034	0.030	0.030	0.227	3.6	0.121	0.030	0.030	0.311
1.7	0.035	0.030	0.030	0.232	3.7	0.122	0.030	0.030	0.312
1.8	0.037	0.030	0.030	0.238	3.8	0.124	0.030	0.030	0.313
1.8	0.039	0.030	0.030	0.243	3.9	0.125	0.030	0.030	0.314
1.8	0.041	0.030	0.030	0.247	3.9	0.127	0.030	0.030	0.315

ตารางที่ จ-1 ผลการคำนวณการเติมน้ำแบบอัตราคงที่ (ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดินSP (%ปริมาตร)				เวลา	ปริมาณน้ำในดิน SP(%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.		10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
4.0	0.128	0.030	0.030	0.315	11.2	0.142	0.030	0.030	0.336
4.1	0.129	0.030	0.030	0.316	11.5	0.142	0.030	0.030	0.336
4.2	0.130	0.030	0.030	0.317	11.7	0.142	0.030	0.030	0.336
4.3	0.131	0.030	0.030	0.318	12.0	0.142	0.030	0.030	0.337
4.4	0.132	0.030	0.030	0.319	12.3	0.141	0.030	0.030	0.337
4.6	0.134	0.030	0.030	0.320	12.5	0.141	0.030	0.030	0.337
4.7	0.135	0.030	0.030	0.320	12.8	0.141	0.030	0.030	0.337
4.8	0.136	0.030	0.030	0.321	13.0	0.141	0.030	0.030	0.337
4.9	0.136	0.030	0.030	0.322	13.3	0.140	0.030	0.030	0.338
5.0	0.137	0.030	0.030	0.322	13.5	0.140	0.030	0.030	0.338
5.1	0.138	0.030	0.030	0.323	13.8	0.140	0.030	0.030	0.338
5.2	0.138	0.030	0.030	0.324	14.0	0.139	0.030	0.030	0.338
5.4	0.139	0.030	0.030	0.324	14.3	0.139	0.030	0.030	0.338
5.5	0.139	0.030	0.030	0.325	14.5	0.139	0.030	0.030	0.338
5.6	0.140	0.030	0.030	0.325	14.8	0.139	0.030	0.030	0.338
5.7	0.140	0.030	0.030	0.326	15.0	0.138	0.030	0.030	0.338
5.8	0.141	0.030	0.030	0.326	15.3	0.138	0.030	0.030	0.339
5.9	0.141	0.030	0.030	0.327	15.7	0.137	0.030	0.030	0.339
6.1	0.141	0.030	0.030	0.327	16.0	0.137	0.030	0.030	0.339
6.2	0.142	0.030	0.030	0.327	16.3	0.136	0.030	0.030	0.339
6.3	0.142	0.030	0.030	0.328	16.7	0.136	0.030	0.030	0.339
6.4	0.143	0.030	0.030	0.328	17.0	0.135	0.030	0.030	0.339
6.6	0.143	0.030	0.030	0.329	17.3	0.135	0.030	0.030	0.339
6.7	0.143	0.030	0.030	0.329	17.7	0.135	0.030	0.030	0.340
6.9	0.144	0.030	0.030	0.329	18.0	0.134	0.030	0.030	0.340
7.0	0.144	0.030	0.030	0.330	18.3	0.134	0.030	0.030	0.340
7.1	0.144	0.030	0.030	0.330	18.7	0.133	0.030	0.030	0.340
7.3	0.144	0.030	0.030	0.331	19.0	0.133	0.030	0.030	0.340
7.4	0.144	0.030	0.030	0.331	19.3	0.132	0.030	0.030	0.340
7.6	0.144	0.030	0.030	0.331	19.7	0.132	0.030	0.030	0.340
7.7	0.144	0.030	0.030	0.331	20.0	0.132	0.030	0.030	0.340
7.9	0.144	0.030	0.030	0.332	20.4	0.131	0.030	0.030	0.340
8.0	0.144	0.030	0.030	0.332	20.9	0.131	0.030	0.030	0.340
8.2	0.144	0.030	0.030	0.332	21.3	0.130	0.030	0.030	0.341
8.4	0.144	0.030	0.030	0.333	21.7	0.130	0.030	0.030	0.341
8.6	0.144	0.030	0.030	0.333	22.2	0.129	0.030	0.030	0.341
8.8	0.144	0.030	0.030	0.333	22.6	0.129	0.030	0.031	0.341
9.0	0.144	0.030	0.030	0.334	23.1	0.129	0.030	0.033	0.341
9.2	0.144	0.030	0.030	0.334	23.5	0.128	0.030	0.036	0.341
9.4	0.144	0.030	0.030	0.334	23.9	0.128	0.030	0.041	0.341
9.6	0.144	0.030	0.030	0.334	24.4	0.127	0.030	0.047	0.341
9.8	0.144	0.030	0.030	0.335	24.8	0.127	0.030	0.054	0.341
10.0	0.143	0.030	0.030	0.335	25.4	0.126	0.030	0.064	0.341
10.2	0.143	0.030	0.030	0.335	26.0	0.126	0.030	0.074	0.341

ตารางที่ จ-1 ผลการคำนวณการเติมน้ำแบบอัตราคงที่ (ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดินSW (%ปริมาตร)				เวลา	ปริมาณน้ำในดิน SW(%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.		10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
50.0	0.109	0.030	0.079	0.319	36.1	0.114	0.030	0.030	0.317
49.3	0.109	0.030	0.072	0.319	18.8	0.114	0.030	0.030	0.310
48.6	0.110	0.030	0.064	0.319	36.7	0.114	0.030	0.030	0.317
47.9	0.110	0.030	0.056	0.319	37.2	0.113	0.030	0.030	0.317
47.2	0.110	0.030	0.049	0.319	18.4	0.113	0.030	0.030	0.310
46.5	0.110	0.030	0.042	0.319	37.8	0.113	0.030	0.030	0.317
45.8	0.110	0.030	0.037	0.319	18.1	0.113	0.030	0.030	0.309
45.1	0.111	0.030	0.033	0.318	38.3	0.113	0.030	0.030	0.318
44.4	0.111	0.030	0.031	0.318	17.7	0.113	0.030	0.030	0.309
43.7	0.111	0.030	0.030	0.318	38.9	0.113	0.030	0.030	0.318
41.5	0.112	0.030	0.030	0.318	39.4	0.113	0.030	0.030	0.318
42.2	0.112	0.030	0.030	0.318	17.4	0.112	0.030	0.030	0.309
42.9	0.111	0.030	0.030	0.318	40.0	0.112	0.030	0.030	0.318
24.1	0.116	0.030	0.030	0.313	17.1	0.112	0.030	0.030	0.308
24.5	0.116	0.030	0.030	0.314	40.7	0.112	0.030	0.030	0.318
25.0	0.116	0.030	0.030	0.314	16.8	0.112	0.030	0.030	0.308
25.4	0.116	0.030	0.030	0.314	16.4	0.111	0.030	0.030	0.308
25.9	0.116	0.030	0.030	0.314	16.1	0.111	0.030	0.030	0.307
26.3	0.116	0.030	0.030	0.314	15.8	0.111	0.030	0.030	0.307
26.8	0.116	0.030	0.030	0.315	15.5	0.110	0.030	0.030	0.306
23.2	0.116	0.030	0.030	0.313	15.3	0.110	0.030	0.030	0.306
23.6	0.116	0.030	0.030	0.313	15.0	0.109	0.030	0.030	0.306
27.3	0.116	0.030	0.030	0.315	14.7	0.109	0.030	0.030	0.305
27.7	0.116	0.030	0.030	0.315	14.5	0.108	0.030	0.030	0.305
28.2	0.116	0.030	0.030	0.315	14.2	0.107	0.030	0.030	0.304
22.7	0.116	0.030	0.030	0.313	14.0	0.106	0.030	0.030	0.304
28.6	0.116	0.030	0.030	0.315	13.7	0.105	0.030	0.030	0.304
29.1	0.116	0.030	0.030	0.315	13.5	0.104	0.030	0.030	0.303
29.5	0.116	0.030	0.030	0.316	13.2	0.103	0.030	0.030	0.303
22.3	0.116	0.030	0.030	0.313	12.9	0.102	0.030	0.030	0.302
30.0	0.116	0.030	0.030	0.316	12.7	0.101	0.030	0.030	0.301
21.8	0.116	0.030	0.030	0.312	12.4	0.100	0.030	0.030	0.301
30.6	0.116	0.030	0.030	0.316	12.2	0.099	0.030	0.030	0.300
21.3	0.116	0.030	0.030	0.312	11.9	0.098	0.030	0.030	0.299
31.1	0.116	0.030	0.030	0.316	11.6	0.096	0.030	0.030	0.299
31.7	0.116	0.030	0.030	0.316	11.4	0.094	0.030	0.030	0.298
20.9	0.115	0.030	0.030	0.312	11.2	0.093	0.030	0.030	0.297
32.2	0.115	0.030	0.030	0.316	11.0	0.092	0.030	0.030	0.296
32.8	0.115	0.030	0.030	0.317	10.8	0.090	0.030	0.030	0.295
20.4	0.115	0.030	0.030	0.311	10.6	0.089	0.030	0.030	0.295
33.3	0.115	0.030	0.030	0.317	10.4	0.087	0.030	0.030	0.294
20.0	0.115	0.030	0.030	0.311	10.2	0.086	0.030	0.030	0.293
33.9	0.115	0.030	0.030	0.317	10.0	0.084	0.030	0.030	0.292
34.4	0.115	0.030	0.030	0.317	9.8	0.082	0.030	0.030	0.292

ตารางที่ จ-1 ผลการคำนวณการเติมน้ำแบบอัตราคงที่ (ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน SW (%ปริมาตร)				เวลา	ปริมาณน้ำในดิน SW(%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.		10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
8.8	0.071	0.030	0.030	0.286	0.3	0.030	0.030	0.030	0.030
8.6	0.069	0.030	0.030	0.285	0.3	0.030	0.030	0.030	0.030
8.4	0.066	0.030	0.030	0.283	0.3	0.030	0.030	0.030	0.030
8.2	0.063	0.030	0.030	0.282	0.3	0.030	0.030	0.030	0.030
8.0	0.060	0.030	0.030	0.280	0.3	0.030	0.030	0.030	0.030
7.8	0.057	0.030	0.030	0.278	0.3	0.030	0.030	0.030	0.030
7.6	0.054	0.030	0.030	0.276	0.4	0.030	0.030	0.030	0.030
7.4	0.051	0.030	0.030	0.274	0.4	0.030	0.030	0.030	0.030
7.2	0.049	0.030	0.030	0.272	0.4	0.030	0.030	0.030	0.030
7.0	0.046	0.030	0.030	0.269	0.4	0.030	0.030	0.030	0.030
6.8	0.043	0.030	0.030	0.267	0.4	0.030	0.030	0.030	0.030
6.7	0.041	0.030	0.030	0.265	0.5	0.030	0.030	0.030	0.030
6.5	0.039	0.030	0.030	0.263	0.5	0.030	0.030	0.030	0.030
6.4	0.037	0.030	0.030	0.260	0.5	0.030	0.030	0.030	0.030
6.2	0.036	0.030	0.030	0.257	0.5	0.030	0.030	0.030	0.030
6.1	0.034	0.030	0.030	0.254	0.5	0.030	0.030	0.030	0.030
5.9	0.033	0.030	0.030	0.250	0.6	0.030	0.030	0.030	0.030
5.8	0.032	0.030	0.030	0.247	0.6	0.030	0.030	0.030	0.030
5.6	0.031	0.030	0.030	0.243	0.6	0.030	0.030	0.030	0.030
5.5	0.031	0.030	0.030	0.238	0.6	0.030	0.030	0.030	0.030
5.3	0.031	0.030	0.030	0.233	0.7	0.030	0.030	0.030	0.030
5.2	0.030	0.030	0.030	0.227	0.7	0.030	0.030	0.030	0.030
5.0	0.030	0.030	0.030	0.221	0.7	0.030	0.030	0.030	0.030
4.1	0.030	0.030	0.030	0.155	0.7	0.030	0.030	0.030	0.030
4.2	0.030	0.030	0.030	0.167	0.8	0.030	0.030	0.030	0.030
4.3	0.030	0.030	0.030	0.178	0.8	0.030	0.030	0.030	0.030
4.4	0.030	0.030	0.030	0.187	0.8	0.030	0.030	0.030	0.030
4.5	0.030	0.030	0.030	0.196	0.8	0.030	0.030	0.030	0.030
4.6	0.030	0.030	0.030	0.203	0.9	0.030	0.030	0.030	0.030
4.8	0.030	0.030	0.030	0.209	0.9	0.030	0.030	0.030	0.030
4.9	0.030	0.030	0.030	0.216	0.9	0.030	0.030	0.030	0.030
0.0	0.030	0.030	0.030	0.030	1.0	0.030	0.030	0.030	0.030
0.0	0.030	0.030	0.030	0.030	1.0	0.030	0.030	0.030	0.030
0.0	0.030	0.030	0.030	0.030	1.0	0.030	0.030	0.030	0.030
0.1	0.030	0.030	0.030	0.030	1.1	0.030	0.030	0.030	0.030
0.1	0.030	0.030	0.030	0.030	1.1	0.030	0.030	0.030	0.030
0.1	0.030	0.030	0.030	0.030	1.1	0.030	0.030	0.030	0.030
0.1	0.030	0.030	0.030	0.030	1.2	0.030	0.030	0.030	0.030
0.1	0.030	0.030	0.030	0.030	1.2	0.030	0.030	0.030	0.030
0.1	0.030	0.030	0.030	0.030	1.2	0.030	0.030	0.030	0.030
0.1	0.030	0.030	0.030	0.030	1.3	0.030	0.030	0.030	0.030
0.2	0.030	0.030	0.030	0.030	1.3	0.030	0.030	0.030	0.030
0.2	0.030	0.030	0.030	0.030	1.3	0.030	0.030	0.030	0.030
0.2	0.030	0.030	0.030	0.030	1.4	0.030	0.030	0.030	0.030

ตารางที่ จ-1 ผลการคำนวณการเติมน้ำแบบอัตราคงที่ (ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน SW (%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
1.7	0.030	0.030	0.030	0.030
1.7	0.030	0.030	0.030	0.030
1.8	0.030	0.030	0.030	0.030
1.8	0.030	0.030	0.030	0.030
1.9	0.030	0.030	0.030	0.030
1.9	0.030	0.030	0.030	0.030
2.0	0.030	0.030	0.030	0.030
2.0	0.030	0.030	0.030	0.030
2.1	0.030	0.030	0.030	0.030
2.1	0.030	0.030	0.030	0.030
2.2	0.030	0.030	0.030	0.030
2.3	0.030	0.030	0.030	0.030
2.3	0.030	0.030	0.030	0.030
2.4	0.030	0.030	0.030	0.030
2.5	0.030	0.030	0.030	0.030
2.6	0.030	0.030	0.030	0.030
2.6	0.030	0.030	0.030	0.030
2.7	0.030	0.030	0.030	0.030
2.8	0.030	0.030	0.030	0.030
2.8	0.030	0.030	0.030	0.030
2.9	0.030	0.030	0.030	0.031
3.0	0.030	0.030	0.030	0.033
3.1	0.030	0.030	0.030	0.037
3.2	0.030	0.030	0.030	0.044
3.3	0.030	0.030	0.030	0.053
3.4	0.030	0.030	0.030	0.064
3.4	0.030	0.030	0.030	0.075
3.5	0.030	0.030	0.030	0.088
3.6	0.030	0.030	0.030	0.100
3.7	0.030	0.030	0.030	0.112
3.8	0.030	0.030	0.030	0.128
3.9	0.030	0.030	0.030	0.143

ตารางที่ จ-1 ผลการคำนวณการเติมน้ำแบบอัตราคงที่ (ต่อ)

เวลา	ปริมาณน้ำในดิน MH(%ปริมาตร)				เวลา	ปริมาณน้ำในดิน MH(%ปริมาตร)			
	10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.		10 ซม.	20 ซม.	30 ซม.	50 ซม.
0.0	0.028	0.028	0.028	0.028	1.2	0.028	0.028	0.028	0.028
0.0	0.028	0.028	0.028	0.028	1.3	0.028	0.028	0.028	0.028
0.0	0.028	0.028	0.028	0.028	1.3	0.028	0.028	0.028	0.028
0.1	0.028	0.028	0.028	0.028	1.4	0.028	0.028	0.028	0.028
0.1	0.028	0.028	0.028	0.028	1.4	0.028	0.028	0.028	0.028
0.1	0.028	0.028	0.028	0.028	1.5	0.028	0.028	0.028	0.028
0.1	0.028	0.028	0.028	0.028	1.5	0.028	0.028	0.028	0.028
0.1	0.028	0.028	0.028	0.028	1.6	0.028	0.028	0.028	0.028
0.1	0.028	0.028	0.028	0.028	1.6	0.028	0.028	0.028	0.028
0.1	0.028	0.028	0.028	0.028	1.7	0.028	0.028	0.028	0.028
0.2	0.028	0.028	0.028	0.028	1.8	0.028	0.028	0.028	0.028
0.2	0.028	0.028	0.028	0.028	1.9	0.028	0.028	0.028	0.028
0.2	0.028	0.028	0.028	0.028	1.9	0.028	0.028	0.028	0.028
0.2	0.028	0.028	0.028	0.028	2.0	0.028	0.028	0.028	0.028
0.2	0.028	0.028	0.028	0.028	2.1	0.028	0.028	0.028	0.028
0.2	0.028	0.028	0.028	0.028	2.1	0.028	0.028	0.028	0.028
0.2	0.028	0.028	0.028	0.028	2.2	0.028	0.028	0.028	0.028
0.3	0.028	0.028	0.028	0.028	2.3	0.028	0.028	0.028	0.028
0.3	0.028	0.028	0.028	0.028	2.3	0.028	0.028	0.028	0.028
0.3	0.028	0.028	0.028	0.028	2.4	0.028	0.028	0.028	0.028
0.3	0.028	0.028	0.028	0.028	2.5	0.028	0.028	0.028	0.028
0.3	0.028	0.028	0.028	0.028	2.6	0.028	0.028	0.028	0.028
0.4	0.028	0.028	0.028	0.028	2.6	0.028	0.028	0.028	0.028
0.4	0.028	0.028	0.028	0.028	2.7	0.028	0.028	0.028	0.028
0.4	0.028	0.028	0.028	0.028	2.8	0.028	0.028	0.028	0.028
0.4	0.028	0.028	0.028	0.028	2.8	0.028	0.028	0.028	0.028
0.4	0.028	0.028	0.028	0.028	2.9	0.028	0.028	0.028	0.028
0.5	0.028	0.028	0.028	0.028	3.0	0.028	0.028	0.028	0.028
0.5	0.028	0.028	0.028	0.028	3.0	0.028	0.028	0.028	0.028
0.5	0.028	0.028	0.028	0.028	3.1	0.028	0.028	0.028	0.028
0.6	0.028	0.028	0.028	0.028	3.2	0.028	0.028	0.028	0.028
0.6	0.028	0.028	0.028	0.028	3.3	0.028	0.028	0.028	0.028
0.6	0.028	0.028	0.028	0.028	3.4	0.028	0.028	0.028	0.028
0.7	0.028	0.028	0.028	0.028	3.5	0.028	0.028	0.028	0.028
0.7	0.028	0.028	0.028	0.028	3.6	0.028	0.028	0.028	0.028
0.7	0.028	0.028	0.028	0.028	3.7	0.028	0.028	0.028	0.028
0.8	0.028	0.028	0.028	0.028	3.8	0.028	0.028	0.028	0.028
0.8	0.028	0.028	0.028	0.028	3.9	0.028	0.028	0.028	0.028
0.8	0.028	0.028	0.028	0.028	3.9	0.028	0.028	0.028	0.028
0.9	0.028	0.028	0.028	0.028	4.0	0.028	0.028	0.028	0.028
0.9	0.028	0.028	0.028	0.028	4.1	0.028	0.028	0.028	0.028
1.0	0.028	0.028	0.028	0.028	4.2	0.028	0.028	0.028	0.028
1.0	0.028	0.028	0.028	0.028	4.3	0.028	0.028	0.028	0.028
1.0	0.028	0.028	0.028	0.028	4.4	0.029	0.028	0.028	0.028

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นายวิษณุ คุณจักร

วันที่เกิด 25 สิงหาคม พ.ศ.2524

สถานที่เกิด จังหวัดชลบุรี

การศึกษา พ.ศ.2541-2544 ศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.)
ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ.2545-2548 ศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.ม.)
ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทำงาน ผู้ช่วยวิจัยโครงการติดตามข้อมูลน้ำบาดาลสำหรับพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง และพัฒนาระบบเชื่อมโยงข้อมูลของแบบจำลองน้ำบาดาล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย