ความสามารถในการไหลซึมผ่านของน้ำ ของเขื่อนคลองสียัด จังหวัด ฉะเชิงเทรา

Hydraulic Conductivity of KlongSiyad Dam Chachoengsao Province

พีรพงษ์ ธานินเมธากุลย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

ความสามารถในการไหลซึมผ่านของน้ำ ของเขื่อนคลองสียัด จังหวัด ฉะเชิงเทรา

Hydraulic Conductivity of KlongSiyad Dam Chachoengsao Province

พีรพงษ์ ธานินเมธากุลย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hydraulic Conductivity of KlongSiyad Dam Chachoengsao Province

PERAPONG THANINMAETHAKUL

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ ความสามารถในการไหลซึมผ่านของน้ำในวัสดุ Lime soil และ Filter ของเขื่อนคลองสียัด
Hydraulic Conductivity of KlongSiyad Dam Chachoengsao Province

นักศึกษา นาย พีรพงษ์ ธานินเมธากุลย์ รหัสประจำตัว 56010879
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อ.อุบะ ศิริแก้ว

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
อ.อุบะ ศิริแก้ว	
ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2560 เวลา 13.00-16.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธาชั้น 1 (ห้องประชุมใหญ่)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รศ.ดร. นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
31 พฤษภาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการไหลซึมผ่านของน้ำ ของเขื่อนคลองสียัด จังหวัด ฉะเชิงเทรา

นาย พีรพงษ์ ธานินเมธากุลย์ รหัสประจำตัว 56010879
อ.อุบะ ศิริแก้ว
ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

โครงการเขื่อนคลองสียัดเป็นเขื่อนดินถม มีความยาว 2,460 เมตร สูงประมาณ 27.50 เมตรสามารถกักเก็บปริมาณน้ำได้ถึง 420 ล้านลูกบาศก์เมตร ระดับน้ำสูงสุด +65.450 ม.รทก. ระดับน้ำต่ำสุด +51.500 ม.รทก. ตั้งอยู่บริเวณอำเภอท่าตะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา ห่างจากกรุงเทพฯ ประมาณ 250 กม. ได้มีการดำเนินการก่อสร้าง ตั้งแต่ใน ปี พ.ศ. 2539 แล้วเสร็จปี พ.ศ.2545 และข้อมูลการสำรวจออกแบบขั้นรายละเอียดซึ่งดำเนินการตั้งแต่ปีพ.ศ.2534-2537นั้นสูญหายไปบางส่วน ทำให้ขาดข้อมูลค่าการรั่วซึมของวัสดุดินถมlime-soil bedding บริเวณด้านหน้าเขื่อนคลองสียัด และวัสดุกรอง ทำให้ขาดข้อมูลในการนำมาคำนวณค่าการไหลซึมผ่านของน้ำ(Seepage) จากเขื่อนซึ่งมีน้ำไหลออกด้านท้ายน้ำของเขื่อนจึงมีความจำเป็นที่จะทดสอบค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดดิน lime-soil เป็นวัสดุหน้าเขื่อน และ วัสดุกรอง วิธีการศึกษาประกอบด้วยการแก้ไขข้อมูลที่มีอยู่และประเมินผลการตรวจสอบภาคสนามและห้องปฏิบัติการต่อไปโซนเขื่อนประกอบด้วยดินเหนียววัสดุที่เลือกและตัวกรอง วัสดุดินเหนียวที่บดอัดแบบ Lean Clay (CL) มีความหนาแน่นแห้ง 1.98-2.12 ตันต่อลูกบาศก์เมตรและมีความสามารถในการซึมผ่านได้ประมาณ 1x10^6 ซม. / วินาที ดัชนีความเป็นพลาสติกและขีดจำกัด ของของเหลวของแกนดินอยู่ในช่วง 15-25 และ 35-42% วัสดุที่เลือกสำหรับประเภทของโซนที่ใช้ในพื้นที่ลาดชันและความลาดชันของล่องที่จัดอยู่ในประเภท Clayey Sand (SC) และ Clayey Gravel (GC) และ Silty Gravel (GM) วัสดุเหล่านี้แสดงค่าความซึมผ่านและค่าความหนาแน่นแห้งที่ 4.0x10-5-10-5 ซม. / วินาทีและ 1.85-1.98 ตันต่อลูกบาศก์เมตร วัสดุกรอง เป็นเม็ดทรายชั้นดี (SW) ที่มีความสามารถในการซึมผ่านและความหนาแน่นแห้งในช่วง 5.0x10-3-4x10-4 ซม. / วินาทีและ 1.75-1.9 ตันต่อลูกบาศก์เมตร วัสดุที่ผ่านการทดสอบของดินเหนียวเป็นดินที่ไม่กระจายตัว

คำสำคัญ – คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน , ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ , ความหนาแน่นของดิน , ดินบริเวณเขื่อน,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hydraulic Conductivity of KlongSiyad Dam Chachoengsao Province

Mr. Perapong Thaninmaethakul Student ID: 56010879

Mrs. Uba Sirikaew

Academic Year 2016

Abstract

Khlong Siyad Dam dam project is a 2,460 meter long dam with a height of 27.50 meters and can contain up to 420 million cubic meters of water. The highest water level is +65.450 m. The lowest water level is +51.500 m. Locate on disctric Taertakeap Chachoengsao About 250 km from Bangkok has been under construction since 1996, completed in 2002, and detailed survey data from the year. 1991-1994 It was partially lost Lack of data on leaching of lime-soil bedding at the front of Khlong Si Dam and filter materials resulted in the lack of data to calculate the seepage flow from the embankment. Of the dam It is therefore necessary to test the water leakage rate through the gaps between the lime-soil soils as well as the embankment and filter materials. The study method consists of correcting existing data and evaluating field and room inspections. Continue The dam zone consists of clay selected materials and filters. The Clay Composite Material Clay (CL) has a dry density of 1.98-2.12 tons per cubic meter and has a permeability of approximately 1x10^6 cm/sec, plasticity index and liquid limit. The clay core is in the range of 15-25 and 35-42%. The material selected for the slope and slope types are Clayey Sand (SC) and Clayey Gravel (GC) and Silty. Gravel (GM), these materials show the permeability and density dry 4.0x10-5-10-5 cm/s and 1.85-1.98 tons/cubic-meter of fine sand grains (SW) with penetration and dry density in the range 5.0x10-3-4x10-4 cm/s and 1.75-1.9 ton/cubic meter The tested material of clay is non-dispersed soils.

Keywords— Soil Engineering Property, Permeability, Dry Density, Earth Dam,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ การให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์เอื้อเฟื้อต่อการศึกษาค้นคว้า และการทดลองจาก อาจารย์ อุบะ ศิริแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา ขอขอบคุณ คุณธีรเดช คุณมนิตย์ คุณสมบัติ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ รวมถึงการจัดหาอุปกรณ์และให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือทดสอบในห้องปฏิบัติการ

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณ มา ณ ที่นี้

นาย พีรพงษ์ ธานินเมธากุลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	บทคัดย่อภาษาไทย	I
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
	กิตติกรรมประกาศ	III
	สารบัญ	IV
	สารบัญตาราง	VI
	สารบัญรูป	VII
1	**บทนำ**	1
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
2	**ทบทวนวรรณกรรมรวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**	2
	2.1 อิทธิพลที่มีผลต่อ การไหลซึมผ่านของน้ำในดิน	2
	2.1.1 ช่องว่างระหว่างเม็ดดิน	2
	2.1.2 การกระจายตัวของเม็ดดิน	2
	2.1.3 รูปร่างและผิวของเม็ดดิน	2
	2.1.4 องค์ประกอบแร่ธาตุในมวลดิน	2
	2.1.5 อัตราส่วนช่องว่างของดิน	3
	2.1.6 ระดับความอิ่มตัว	3
	2.1.7 โครงสร้างมวลดิน	3
	2.1.8 คุณสมบัติของของเหลวในช่องว่าง	3
	2.2 Double ring infiltrometer	4
	2.2.1 สมการ Horton	5
	2.2.2 ตัวอย่างกราฟและการคำนวณโดยสมการ Horton	6
	2.3 วิธีทดสอบแบบระดับน้ำคงที่ (constant head)	7
	2.3.1 กฎการไหลของดาร์ซี่ (Darcy's Law)	7
	2.3.2 หลักการทดสอบแบบระดับน้ำคงที่ (constant head)	9
	2.3.3 วิธีการทดสอบแบบระดับน้ำคงที่ (constant head)	10
	2.4 วิธีทดสอบแบบระดับน้ำเปลี่ยนเปลี่ยนแปลง (Falling Head or Variable Head)	13
	2.4.1 หลักการทดสอบแบบระดับน้ำเปลี่ยนแปลง (Falling Head)	13
	2.4.2 อุปกรณ์ สำหรับการทดสอบแบบระดับน้ำเปลี่ยนแปลง	15
	2.4.3 วิธีการทดลองแบบระดับน้ำเปลี่ยนแปลง (Falling Head)	16
	2.4.4 การคำนวณผล	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.5 ปูนขาว	21
	2.5.1 การผลิตปูนขาว	21
	2.5.2 ประโยชน์ของปูนขาว	22
3	**วิธีการดำเนินงาน**	**23**
	3.1 แผนการทดลอง	23
	3.2 การทดสอบวัสดุ lime soil ในพื้นที่จริง ด้วยวิธี opened end test	24
	3.2.1 อุปกรณ์	24
	3.2.2 วิธีการทดสอบ	24
	3.3 ทดสอบการซึมผ่านของน้ำในดิน ของวัสดุ filter ด้วย วิธี Falling head	27
	3.3.1 วิธีการทดสอบ	27
	3.3.2 อุปกรณ์	27
4	**ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง**	**31**
	4.1 ผลการทดสอบวัสดุ lime soil ในพื้นที่จริง ด้วยวิธี opened end test	31
	4.2 ผลการทดสอบการซึมผ่านของน้ำในดิน ของวัสดุ filter วิธี Falling head	32
5	**สรุปและข้อเสนอแนะ**	**33**
	5.1 สรุปผล	33
	5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน	33
	5.3 การนำไปใช้ประโยชน์	33
	5.4 ข้อเสนอแนะ	34
	บรรณานุกรม	**35**
	ภาพผนวก ก รูปภาพที่เกี่ยวข้อง	**ผ1**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ตารางแสดงการจำแนกประเภทของดินตามการซึมผ่านได้ของน้ำ	15
4.1	แสดงผลการทดลอง opened end test	31
4.2	แสดงผลการทดลองโดยวิธี Falling Head	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
2.1 Double ring infiltrometer	4
2.2 การติดตั้งและวัดค่าความซึมของดิน	5
2.3 รูปแสดง hydraulic gradient ของการไหลของน้ำ	8
2.4 รายละเอียดของ cell เพื่อการทดสอบแบบ constant head	10
2.5 การใส่ตัวอย่างดินใน Constant head permeameter cell	11
2.6 การจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแบบ Constant Head (downward)	11
2.7 แสดงการทดลองการไหลซึมผ่าน Constant Head	12
2.8 ส่วนประกอบ *cell* สำหรับการทดสอบแบบ *Falling Head*	16
2.9 รูปแสดง *cell* บรรจุตัวอย่างดินสำหรับการทดสอบแบบ *Falling Head*	17
2.10 การจัดอุปกรณ์สำหรับการทดลองแบบ *Falling Head*	17
2.11 รูปแสดงการทดสอบการซึมผ่านแบบ *Falling Head*	18
4.1 รูป แสดงตัวแปรต่างๆในการคำนวณ *opened end test*	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

โครงการเขื่อนคลองสียัดเป็นเขื่อนดินถม มีความยาว 2,460 เมตร สูงประมาณ 27.50 เมตร สามารถกักเก็บปริมาณน้ำได้ถึง 420 ล้านลูกบาศก์เมตร ระดับน้ำสูงสุด +65.450 ม.รทก. ระดับน้ำต่ำสุด +51.500 ม.รทก. ตั้งอยู่บริเวณอำเภอท่าตะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา ได้มีการดำเนินการก่อสร้าง ตั้งแต่ไน ปี พ.ศ. 2539 แล้วเสร็จปี พ.ศ.2545 และข้อมูลการสำรวจออกแบบขั้นรายละเอียด ซึ่งดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ.2534-2537 นั้นสูญหายไปบางส่วน ทำให้ขาดข้อมูลค่าการรั่วซึมของวัสดุดินถม lime-soil bedding บริเวณด้านหน้าเขื่อนคลองสียัด และวัสดุกรอง chimney drain, blanket and finger drain ทำให้ขาดข้อมูลในการนำมาคำนวณค่าการไหลซึมผ่านของน้ำ(Seepage) จากเขื่อนซึ่งมีน้ำไหลออกด้านท้ายน้ำของเขื่อน จึงมีความจำเป็นที่จะทดสอบค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดดินlime-soil ของวัสดุหน้าเขื่อน และ filter

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (InfiltrationRate) ของวัสดุ lime-soil

1.2.2 เพื่อศึกษาทฤษฎีและภาคปฏิบัติการทดสอบค่าการรั่วซึมโดย วิธี open channel และ constant head

1.2.3 เพื่อนำข้อมูลจากการวิเคราะห์มาสรุปคุณสมบัติ อัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดดินชนิดต่างๆของเขื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรมรวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 อิทธิพลที่มีผลต่อ การไหลซึมผ่านของน้ำในดิน

2.1.1. ช่องว่างระหว่างเม็ดดิน

ในมวลดินจะประกอบด้วยช่องว่างเล็กๆ ซึ่งเรียงตัวขดเคี้ยวไปมาระหว่างเม็ดดิน เมื่อน้ำมีความดันหรือระดับต่างกัน 2 จุดในมวลดิน น้ำก็จะไหลผ่านช่องว่างเหล่านี้ ดังนั้นหากช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีขนาดเล็ก น้ำก็จะไหลซึมผ่านไปได้ยากกว่าดินที่มีช่องว่างขนาดใหญ่ ความสามารถที่ยอมให้น้ำผ่านมวลดินไปได้เรียกว่า “สัมประสิทธิ์ความซึมได้” หรือ “coefficient of permeability , k”ในดินพวกเม็ดละเอียด เช่น ตะกอนทรายหรือดินเหนียว น้ำจะไหลซึมผ่านไปได้ยาก ค่า k จะต่ำ เราเรียกดินประเภทนี้ว่า “impervious soil”

2.1.2 การกระจายตัวของเม็ดดิน

การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินจะมีผลต่อการซึมผ่านของน้ำในดิน โดยเฉพาะกับดินพวก granular soil เช่นพวกกรวด ทราย เม็ดดินที่มีขนาดเล็กเมื่อเรียงชิดติดกัน จะทำให้มีช่องว่างระหว่างเม็ดเล็กกว่าเม็ดดินขนาดใหญ่ ค่าความซึมได้ของน้ำจะสัมพันธ์กับขนาดเม็ดดิน ดังนี้

K = $(D_{10}{}^2) / 100$ ม./วินาที

เมื่อ D_{10} = ขนาดเม็ดดิน (มม.) ที่มีส่วนที่เล็กกว่าขนาดนี้เป็นจำนวน 10 % โดยน้ำหนัก

= ขนาดประสิทธิผล (effective grain size)

2.1.3 รูปร่างและผิวของเม็ดดิน

เม็ดดินที่มีลักษณะเรียวยาว หรือไม่ปกติ จะทำให้การไหลของน้ำในดินคดเคี้ยว วกวน กว่าดินที่ประกอบด้วยเม็ดดินที่มีลักษณะกลมมน และเม็ดดินที่มีลักษณะผิวขรุขระ หยาบ จะทำให้เกิดแรงเสียดทานต้านการไหลของน้ำมากกว่าเม็ดดินที่มีผิวเรียบ ลักษณะของดินทั้งสองจะทำให้การไหลของน้ำในดินยากขึ้น

2.1.4 องค์ประกอบแร่ธาตุในมวลดิน

ในดินพวกเม็ดละเอียด (fine-grained soils) เช่น ดินเหนียว ผลของแร่ธาตุองค์ประกอบในดินจะผลต่อการไหลซึมผ่าน ลักษณะของการยึดเกาะและเรียงตัวของแร่ธาตุต่างๆ จะไม่เหมือนกัน ทำให้ลักษณะช่องว่างในมวลดินต่างกัน แต่จะมีผลกระทบน้อยกับพวกกรวดและทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 อัตราส่วนช่องว่างของดิน

ดินที่มีอัตราส่วนช่องว่างมาก น้ำย่อมไหลสะดวกกว่าดินที่มีอัตราส่วนช่องว่างน้อย เช่นในทรายหลวมน้ำจะไหลผ่านได้ดีกว่าทรายที่อัดแน่น ค่าความซึมของน้ำจะสัมพันธ์กับอัตราส่วนช่องว่างของดิน ดังนี้

$$K = \frac{\rho_w g}{C\eta_w S^2} \cdot \frac{e^3}{1+e}$$

2.1.6 ระดับความอิ่มตัว

ในมวลดินที่ไม่อิ่มตัวจะมีฟองอากาศอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินซึ่งจะคอยกั้นการไหลของน้ำ ทำให้น้ำไหลซึมผ่านไม่สะดวก ถ้าระดับความอิ่มตัวของดินเพิ่มมากขึ้น ก็จะทำให้ความซึมน้ำของดินเพิ่มขึ้นด้วย

2.1.7 โครงสร้างมวลดิน

เนื่องจากธรรมชาติของดินจะไม่เป็นจะไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด *(non homogenous)* โดยปกติแล้วดินจะแบ่งเป็นชั้นๆ โดยส่วนใหญ่ดินในแต่ละชั้นจะมีลักษณะที่ต่างกัน นอกจากลักษ.ณะของดินที่แบ่งเป็นชั้นๆ แล้ว ลักษณะการเรียงตัวของช่องว่างในมวลดินก็มีผลต่อการไหลของน้ำ ดินที่มีช่องว่างการเรียงตัวเป็นระเยียบ เป็นแถวตามแนวทิศทางการไหลของน้ำ น้ำจะไหลได้สะดวกกว่าในช่องว่างของดินที่มีลักษณะการจัดเรียงตัวระเกะระกะ ไม่ต่อเนื่อง

2.1.8 คุณสมบัติของของเหลวในช่องว่าง

คุณสมบัติของของเหลวที่สำคัญและมีอิทธิพลต่อการไหลของของเหลว *(ในที่นี้คือน้ำ)* คือ ความหนืด *(viscosity)* ความหนืดของน้ำจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูง ความหนืดจะลดลง ทำให้น้ำไหลซึมผ่านมวลดินได้ง่ายขึ้น สำหรับการทดลองปกติจะใช้อุณหภูมิที่ *20°C* พิมพ์สมการที่นี่ดังนี้

$$k_{20} = k_t \cdot \frac{\mu_T}{\mu_{20}}$$

หรือ $$k_t = \cdot \frac{k_{20}}{(\frac{\mu_T}{\mu_{20}})}$$

เมื่อ k_t = ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดินที่อุณหภูมิ *T*

k_{20} = ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดินที่อุณหภูมิ *20 °C*

μ_T = ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ *T*

μ_{20} = ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ *20 °C*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Double ring infiltrometer

Double ring infiltrometer หมายถึง เครื่องวัดอัตราการซึมน้ำของดินแบบถังกลม

ภาพ 2.1 : Double ring infiltrometer

การทดสอบวิธีนี้อยู่ในมาตรฐาน ASTM 3385 วิธีการทดสอบจะใช้โลหะทรงกระบอกหนาไม่น้อยกว่า 0.008 นิ้ว ปากเปิดทั้ง 2 ด้าน จำนวน 2 กระบอก โดยกระบอกในมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ไม่น้อยกว่า 12 นิ้ว ยาว 12-14 นิ้ว และกระบอกนอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่ากระบอกในอย่างน้อย 8 นิ้ว ยาว 8 นิ้ว ตอกลงไปในดินบริเวณที่จะทดสอบ โดยกระบอกนอกให้ปลายล่างของกระบอกจมลึกลงในดินประมาณ 2 นิ้ว แล้วจึงตอกกระบอกในให้ลึกลงในดินประมาณ 4 นิ้ว ในการตอกกระบอกทั้งสองนี้ ต้องใช้ไม้กระดานหนาประมาณ 1 นิ้ว กว้างประมาณ 5-6 นิ้ว วางพาดที่ปากกระบอกแล้วจึงค่อยๆ ตอกให้กระบอกเข้าไปในดินที่ละน้อยๆ และใช้เครื่องวัดระดับ ตรวจสอบให้ปากกระบอกในอยู่ในแนวระดับเติมน้ำลงในกระบอกนอก ให้ระดับน้ำสูงกว่าผิวดินประมาณ 3 นิ้ว แล้วรีบเติมน้ำในกระบอกใน สูงประมาณ 3 นิ้วเท่ากัน แล้วเริ่มวัดระยะจากปากกระบอกในถึงระดับน้ำ แล้วเริ่มต้นจับเวลา คอยเติมน้ำให้กับกระบอกนอก ซึ่งจะลดลงเร็วกว่ากระบอกในเสมอ เพื่อรักษาระดับน้ำให้อยู่ในระดับเดียวกันกับกระบอกใน ทำการวัดระดับน้ำในกระบอกในเป็นระยะเมื่อครบ 1, 3, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120, นาที และทุกๆชั่วโมงต่อไป ระยะเวลาที่เหมาะสมในการวัดระดับน้ำแตกต่างกันตามอัตราการแทรกซึมของน้ำ โดยทั่วไปจะไม่ให้ซึมเกิน 1 นิ้ว ในแต่ละช่วงเวลาที่วัด เมื่อระดับน้ำในกระบอกในลดลงเหลือประมาณ 1 นิ้ว ให้เติมน้ำจนสูงประมาณ 3 นิ้วเท่าเดิม กระบอกโลหะสองกระบอกที่ใช้วัดอัตราการแทรกซึมของน้ำนี้เรียกว่า Double ring infiltrometer ดังแสดงในรูปด้านบน ค่าความสูงของน้ำที่แทรกซึมสะสมเข้าไปในดินเมื่อเวลาต่างๆนั้น สามารถนำมาหาความสัมพันธ์ กับช่วงเวลานับจากที่น้ำในกระบอกได้ไหลซึมลงในดินที่ทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก) การติดตั้งพร้อมการปรับระดับน้ำ

ข) การวัดค่าความซึมน้ำของดินโดยใช้ Double ring

ภาพ 2.2 : รูปแสดงการติดตั้งและวัดค่าความซึมของดิน

2.2.1 สมการ Horton (1940)

$$f_t = f_c + (f_o - f_c)\, e^{-kt}$$

เมื่อ

f_t เป็นอัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินที่เวลา t

f_o เป็นอัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินสูงสุด

f_c เป็นอัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินคงที่

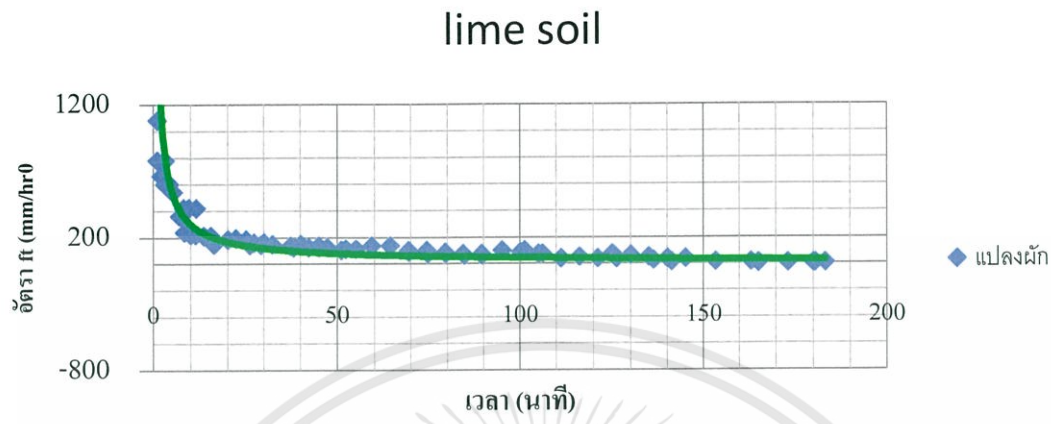
e คือ naperian base

k คือ ค่าคงที่

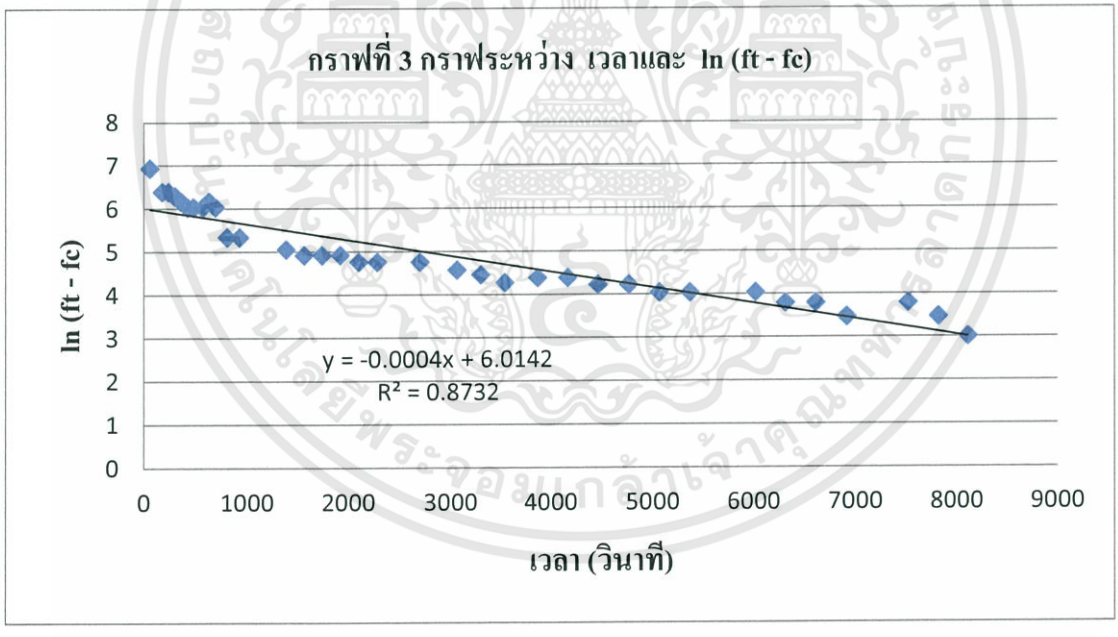
t คือเวลานับจากเริ่มเติมน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและเวลา ของ lime-soil ทั้ง 3 ครั้ง



2.2.2 ตัวอย่างการคำนวณ



คำนวณหาอัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินด้วยสมการ Horton (1940)

$$f_t = f_c + (f_o - f_c)\, e^{-kt}$$

$$ft = 4 + (960 - 4)\, e^{-0.0004t}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วิธีทดสอบแบบระดับน้ำคงที่(constant head)

นิยมใช้กับดินชนิดที่ยอมให้น้ำซึมผ่านสูง เช่น กรวดหรือทราย แต่เราสามารถทดสอบกับตัวอย่างดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้น้อย เช่น ดินเหนียวหรือดินบดอัด ได้ด้วยวิธี constant head แบบอัดความดันคงที่ (Pressurized Constant head) โดยทำการอัดความดันน้ำให้กับตัวอย่างเพื่อให้น้ำสามารถซึมผ่านดินได้มากขึ้น และทำการวัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่านได้นำไปคำนวณค่า Coefficient of Permeability

2.3.1 กฎการไหลของดาร์ซี่ (Darcy's Law)

$$\frac{Q}{t} \propto i$$

หรือ $v \propto i$

หรือ $v = ki$

$$v = \frac{Q}{At}$$

จะได้ $Q = Akit$

เพราะฉะนั้น $k = \frac{Q}{Ait}$

เมื่อ k = สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำ cm/sec

V = ความเร็วของน้ำไหลผ่านตัวอย่างดิน cm/sec

$= \frac{\Delta h}{L}$

Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านช่วงเวลา t cm^3

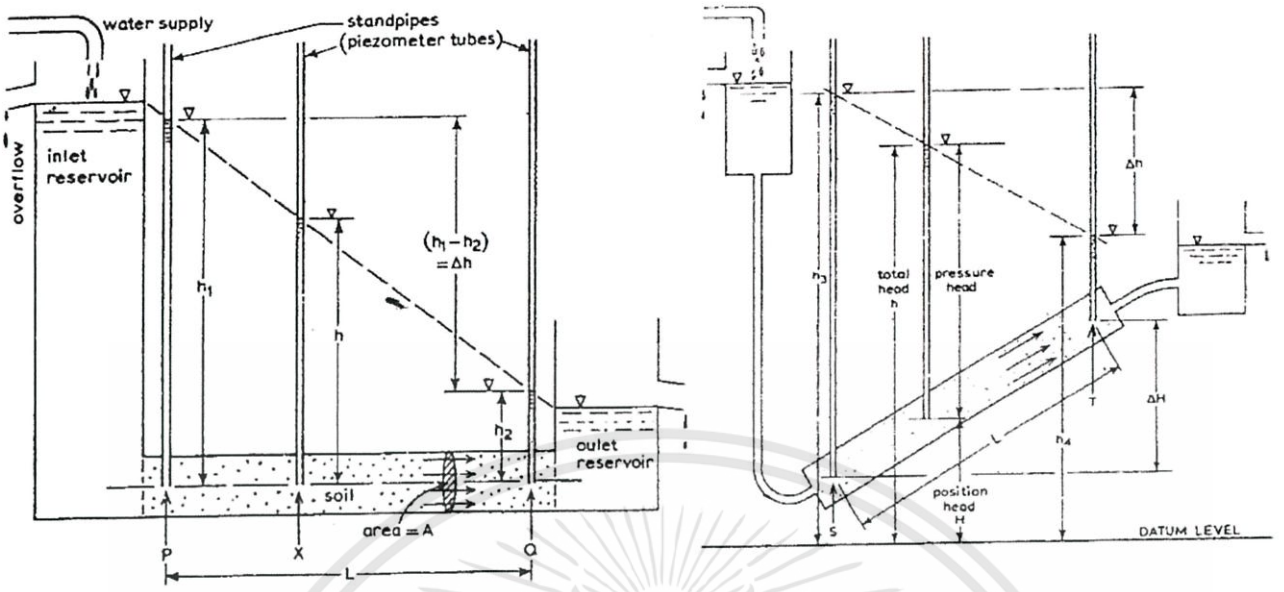
q = $\frac{Q}{t}$

= อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวอย่างดิน cm^3/sec

t = เวลาที่ใช้วัดปริมารน้ำ sec

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินที่น้ำไหลผ่าน cm^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป(ก.) รูป (ข.)

ภาพ 2.3 : รูปแสดง hydraulic gradient ของการไหลของน้ำ

จากรูป (ก.) จะได้ ความชันของชลศาสตร์ เท่ากับ

$$i = \frac{h_1-h_2}{L} = \frac{\Delta h}{L}$$

และจากรูป (ข.) จะได้

$$i = \frac{h_3-h_4}{L} = \frac{\Delta h}{L}$$

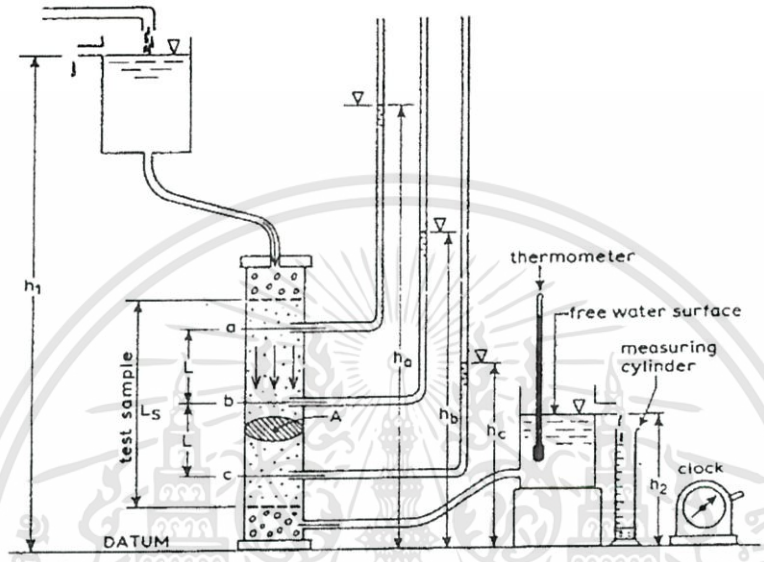
จากรูป (ก.) และ (ข.) สังเกตว่าระดับน้ำ $h_1 h_2 h_3$และh_4จะไม่เท่าระดับน้ำที่ Reservoir เนื่องจากการสูญเสีย Head Loss ในท่อเข้าและท่อออกตามรูป และระยะทาง L ในรูป (ข.) จะเป็นระยะทางในแนวเอียงตามทิศทางการไหลของน้ำ

ความเร็วที่ได้ (Discharge velocity) เป็นความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างดิน ที่มีพื้นที่หน้าตัดของการไหลเท่ากับ พื้นที่หน้าตัดเต็มของตัวอย่าง แต่ไม่ใช่ความเร็วช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (seepage velocity , V_s) ซึ่งความเร็วของน้ำในช่องระหว่างเม็ดดิน จะสูงกว่าเนื่องจากมีพื้นที่หน้าตัดของการไหลน้อยกว่า แต่เราจะไม่วิเคราะห์หาในการทดลองนี้

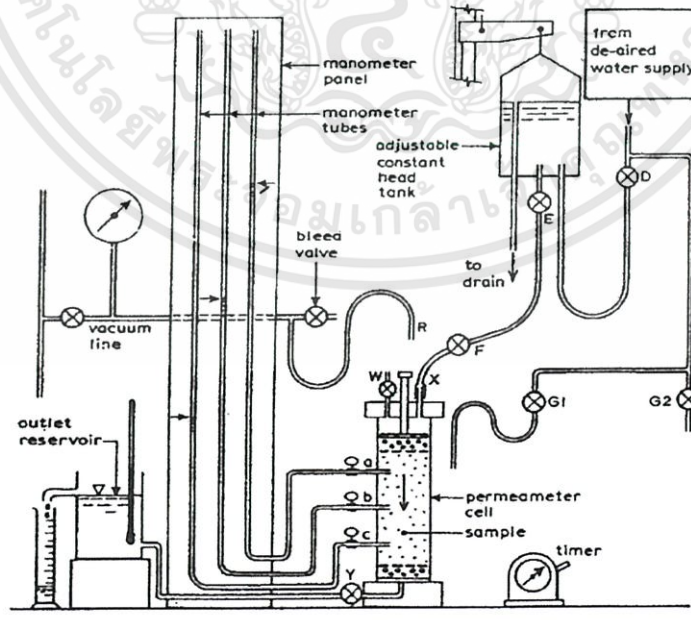
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 หลักการทดสอบแบบระดับน้ำคงที่ (constant head)

โดยปล่อยน้ำที่มีระดับสูงกว่าให้ไหลผ่าน Permeability Cell ที่บรรจุตัวอย่างดินไว้ ในที่นี้คือทราย โดยให้ระดับน้ำที่ปล่อยมีระดับคงที่ โดยจะจัดชุดทดลองให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างดินแบบไหลผล (รูป ก.) หรือ แบบไหลขึ้นก็ได้ (รูป ข.)



รูป (ก.)



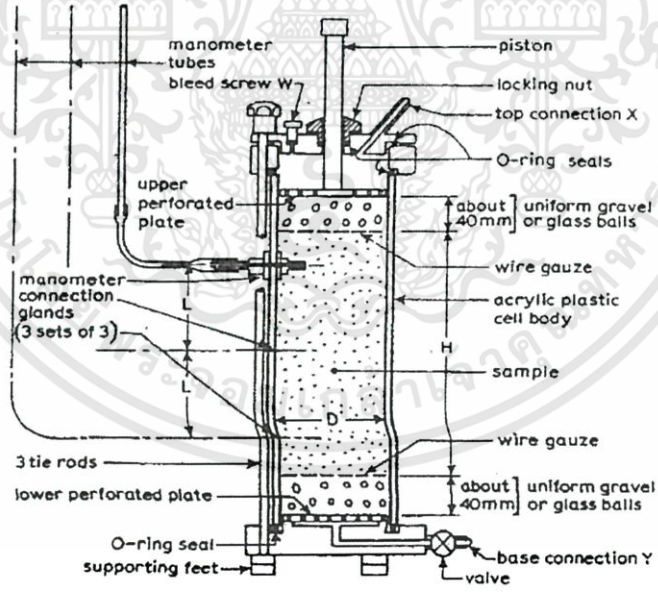
รูป (ข.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 วิธีการทดลอง

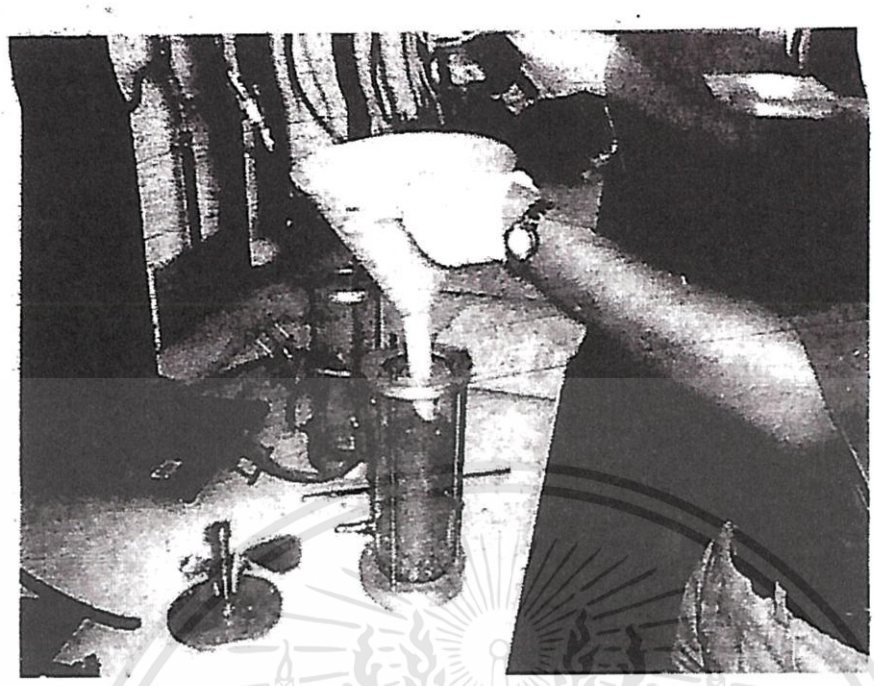
วิธีทดลองแบบ constant head

1. เตรียมตัวอย่างดินเพื่อบรรจุในแบบ (permeability cell)
2. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของ cell และระยะระหว่างหลอดมาโนมิเตอร์ที่ต่อเข้า cell
3. ใส่วัสดุกรอง (filter material) อาจเป็นกรวดเม็ดสม่ำเสมอ ให้หนาประมาณ 40 ม.ม. ปรับผิวได้ระดับแล้ววางแผ่นตะแกรง (wire gauze cell) ลงบนผิวบนของกรวด และหากดินตัวอย่างสามารถรอดผ่านตะแกรงได้มากกว่า 80 % ให้วางแผ่นหินพรุน (porous stone) ทับบนแผ่นตะแกรงอีกชั้นหนึ่ง
4. ชั่งน้ำหนักดินทั้งหมด บรรจุดินลงใน cell โดยค่อยๆทำการบรรจุโดยการใช้กรวย เมื่อดินใน cell สูงพอสมควรให้ใช้เหล็กกระทุ้งเป็นชั้นๆให้ได้ความหนาแน่นใกล้กับสภาพจริงในสนาม วัดความสูงของดินตัวอย่างใน cell ชั่งน้ำหนักดินที่เหลือ นำตัวอย่างดินที่เหลือบางส่วนไปหา % water content
5. ใส่แผ่นตะแกรงและวัสดุกรองเหมือนด้านล่างของ cell โดยให้ความหนาของวัสดุประมาณ 40 ม.ม.

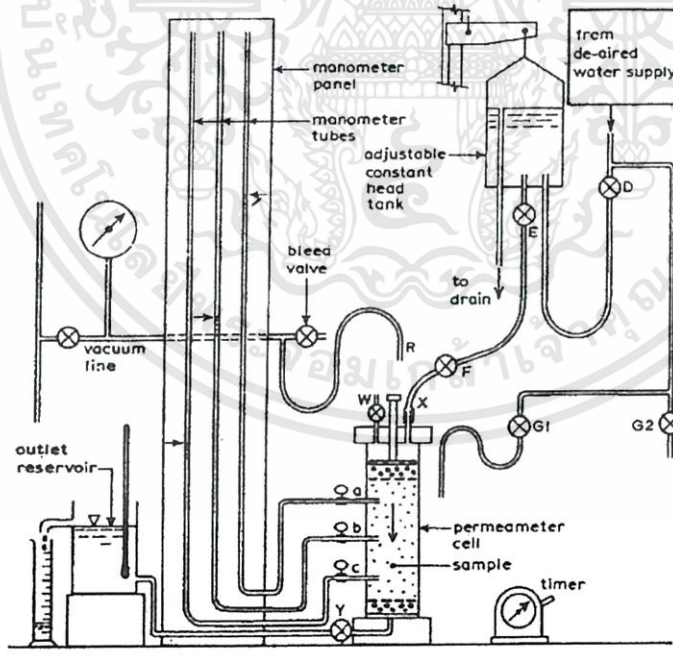


ภาพ 2.4 : รูปแสดงรายละเอียดของ cell เพื่อการทดสอบแบบ constant head

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



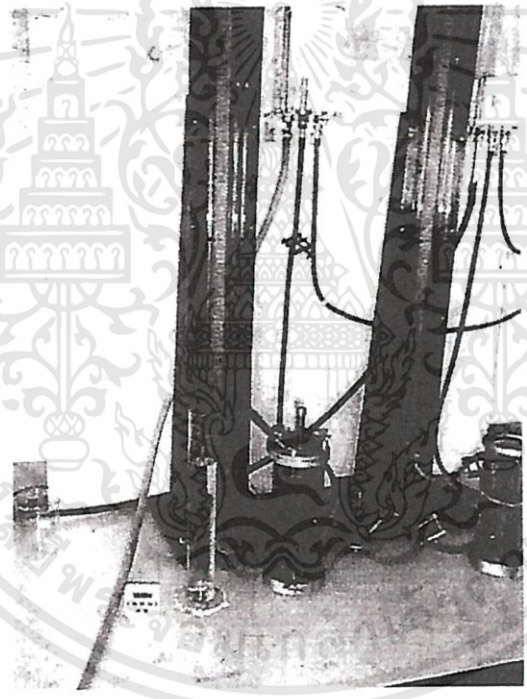
ภาพ 2.5 : รูปแสดงการใส่ตัวอย่างดินใน Constant head permeameter cell



ภาพ 2.6 : รูป การจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแบบ Constant Head (downward)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

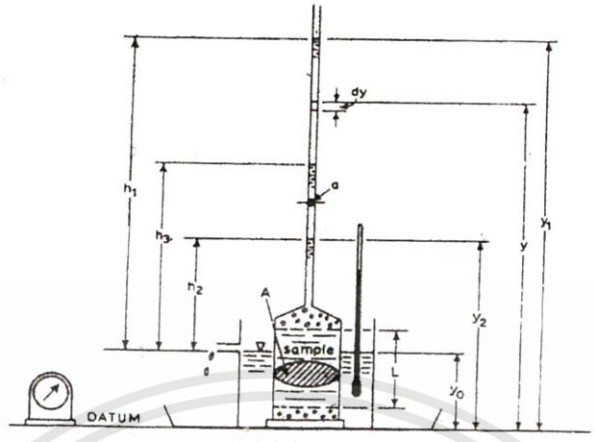
6. เริ่มทำการทดลองโดยเปิดวาล์ว F และ E ในรูปที่ ข. ด้านบนไหลน้ำไหลผ่านตัวอย่าง ควบคุมอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวอย่างดินด้วยการควบคุมวาล์ว Y ดูค่าระดับน้ำในมอโนมิเตอร์สังเกตจนกระทั้งระดับน้ำไม่เปลี่ยนแปลง
7. เริ่มการทดลองโดยจับเวลา เอากระบอกตวงน้ำที่ล้นออกจากภาชนะ เมื่อได้ปริมาณมากพอแล้ว เอากระบวกตวงออก อ่านปริมาตรน้ำ(Q) ที่เวลาผ่านไป(t) อ่านค่าระดับน้ำในหลอดทั้งสาม และวัดอุณหภูมิของน้ำที่ภาชนะรอง (outlet reservoir)
8. ทำการทดลองซ้ำข้อ 7. และ 8. ประมาณ 2-3 ครั้ง โดยเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำด้วยการปรับวาล์ว



ภาพ 2.7 : รูป แสดงการทดลองการไหลซึมผ่าน Constant Head

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วิธีทดสอบแบบระดับน้ำเปลี่ยนเปลี่ยนแปลง (Falling Head or Variable Head)



2.4.1 หลักการทดสอบ แบบ falling head

โดยการปล่อยน้ำจากระดับ h1 ให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างดินที่ยอมให้น้ำไหลผ่านได้ต่ำ ระดับน้ำในหลอดจะต่ำลงเรื่อยๆ และเพื่อให้เหมาะสมลักษณะของตัวอย่างที่จะทดสอบ หลอดน้ำในแผงทดสอบจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างๆ กันให้เลือก เนื่องจากดินแต่ละชนิดจะยอมให้น้ำไหลซึมผ่านได้ในอัตราที่ต่างกัน

จากรูป เราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดินได้ดังนี้

จากรูปจะได้ dQ+-ady (เป็นลบเนื่องจากระกับน้ำ y ลดต่ำลง)

จาก Darcy's Law

$$dQ=Akidt=\frac{Ak(y-y0)}{L}dt$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $$-adj=\frac{Ak(y-y0)}{L}dt$$

หรือ $$-\frac{1}{(y-Y0)}dy=\frac{kA}{aL}dt$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทิเกรตจาก y1 ถึง y2 และจาก t1 ถึง t2

$$-\int_{y1}^{y2}\frac{dy}{y-y0}=\int_{t1}^{t2}\frac{Ka}{aL}dt$$

$$-\ln(y-y0)=\frac{kA}{aL}t$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $$ln(\frac{y1-y0}{y2-y1})=\frac{kA}{aL}(t2-t1)$$

แทนค่า *y1-y0* ด้วย *h1* และ *y2-y0* ด้วย *h2*

จะได้ $$k=\frac{aL}{A(t2-t1)}\,ln(\frac{h1}{h2})$$ _____*(1)*

หรือ $$k=\frac{2.303aL}{A\,\Delta t}\,log(\frac{h1}{h2})$$

ในการทดลองเมื่อระดับน้ำลดลงคือ *h1,h3* และ *h2* โดยให้ช่วงเวลาที่ระดับน้ำลดลงจาก *h1* มา *h3* เท่ากันกับช่วงเวลาที่ระดับน้ำลดลงจาก *h3* มายัง *h2* จากสมการที่ *(1)* ค่า *k, a, A, L* และ *t* คงที่

เพราะฉะนั้นจะได้ $$ln(\frac{h1}{h3}) = ln(\frac{h3}{h2})$$

$$\frac{h1}{h3} = \frac{h3}{h2}$$

$$H3 = \sqrt{h1h2}$$ _____(2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ *(2)* จะใช้ในการสอบเทียบ *(calibration)* หลอดแก้ว *(standpipes)* ที่ใช้ปล่อยน้ำ หรืออาจใช้ในการตรวจสอบว่าค่า *h* ที่ได้จากระดับน้ำทั้ง *3* ค่าในการทดสอบ เป็นไปตามสมการนี้หรือไม่ เพื่อให้แน่ใจว่าสภาพการไหลซึมของน้ำเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

จากที่กล่าวมาไว้แล้วข้างต้นว่าฟองอากาศจะมีผลต่อการไหลซึมของน้ำในมวลดิน ดังนั้นในการทดลองน้ำที่เราใช้ในการปล่อยให้ไหลผ่านตัวอย่างดินต้องถูกไล่ฟองอากาศเสียก่อน *(De-Air-Water)* และตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลองจะต้องถูกไล่อากาศและทำให้อิ่มตัวก่อนการทดสอบด้วยเหตุผลเดียวกัน *(ปกติแล้วในน้ำใต้ดินจะมีฟองอากาศกระจายอยู่น้อยมาก)* ในการทดสอบแบบ *Constant Head* กับตัวอย่างดินพวกทรายที่ไม่มีดินละเอียดปนอาจใช้น้ำธรรมดาก็ได้ และหากต้องการทราบค่าความซึมผ่านของน้ำให้ใกล้เคียงกับสภาพจริงในสนามมากที่สุด น้ำที่ปล่อยให้ไหลผ่านตัวอย่างดินก็ควรเป็นน้ำจากสภาพในสนามด้วยแต่จะไม่สะดวกในการทดสอบเพราะน้ำในสนามอาจมีสารแขวนลอย หรือแบคทีเรียอยู่ซึ่งจะไม่เหมาะสมกับอุปกรณ์ทดสอบในห้องปฏิบัติการ

น้ำที่เราจะไล่อากาศเพื่อใช้ในการทดสอบอาจเป็นน้ำประปาธรรมดา น้ำกลั่น น้ำที่ผ่านการไล่ประจุไฟฟ้า(เนื่องจากประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกันระหว่างอนุภาคน้ำกับผิวเม็ดดินจะทำให้น้ำไหลช้าลงได้) หรือน้ำจากสนามก็ได้

ตาราง 2.1 : ตารางแสดงการจำแนกประเภทของดินตามการซึมผ่านได้ของน้ำ

Degree of permeability	Range of coefficient of permeability ,k(m/s)
High	$>10^{-3}$
Medium	$10^{-3} - 10^{-5}$
Low	$10^{-5} - 10^{-7}$
Very low	$10^{-7} - 10^{-9}$
Practically	$< 10^{-9}$

อุปกรณ์

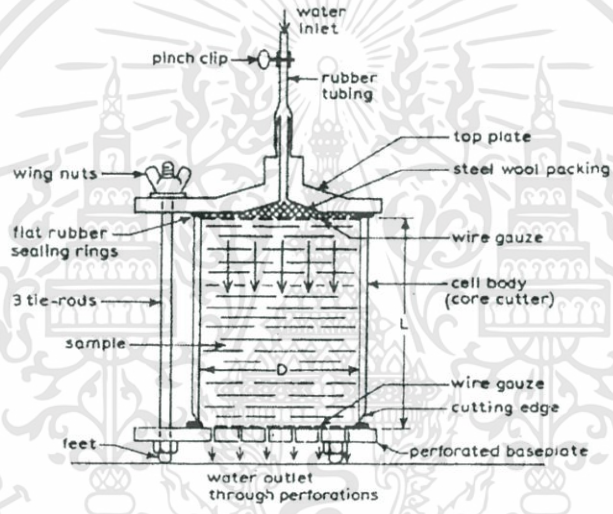
1. แผงชุดอุปกรณ์การทดสอบการไหลซึมผ่านของน้ำ
2. *Permeability cell*
3. กรวย
4. นาฬิกาจับเวลา
5. ตาชั่ง
6. ปั๊มสุญญากาศ *(vacuum pump)*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองแบบ *Falling head*

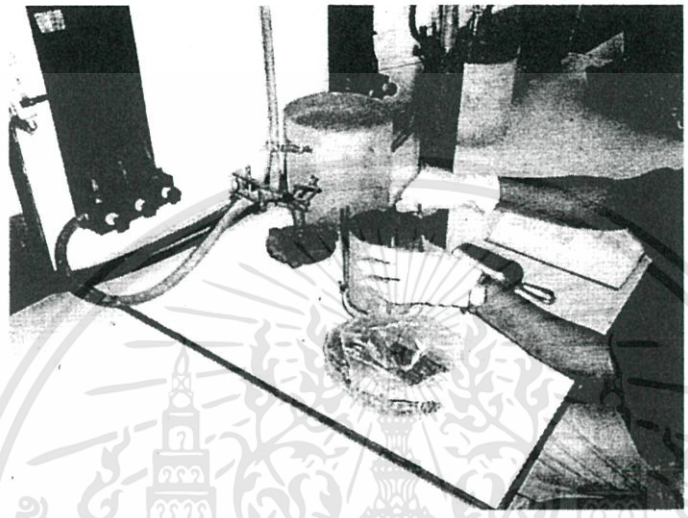
1. เตรียมตัวอย่างดินใน *cell* ให้มากพอที่จะบรรจุลงในแบบ *(permeability cell)* โดยทำการบดอัดประมาณ *3-5* ชั้น ให้ได้ความหนาแน่นใกล้เคียงกับสภาพตามธรรมชาติ และรองแผ่นตระแกรง*(wire gauze)* ที่ด้านบนและด้านล่างของดิน ก่อนการใส่ดินลงใน *cell* ให้ชั่งน้ำหนักดินทั้งหมดก่อน หากต้องการทดสอบดินโดยใช้ตัวอย่างดินในสนาม ทำได้โดยการกดใส่ดินลงใน *cell* ให้ชั่งน้ำหนักของดินทั้งหมดก่อน หากต้องการทดสอบดินโดยใช้ตัวอย่างดินในสนาม ทำได้โดยการกด *cell* ลงไปบนดินนั้นโดยให้ขอบที่แหลมคว่ำลงบนดิน และประกอบกับชุด *cell* ดั้งเดิม ตัวอย่างดินที่ได้จะเป็น *undisturbed sample*



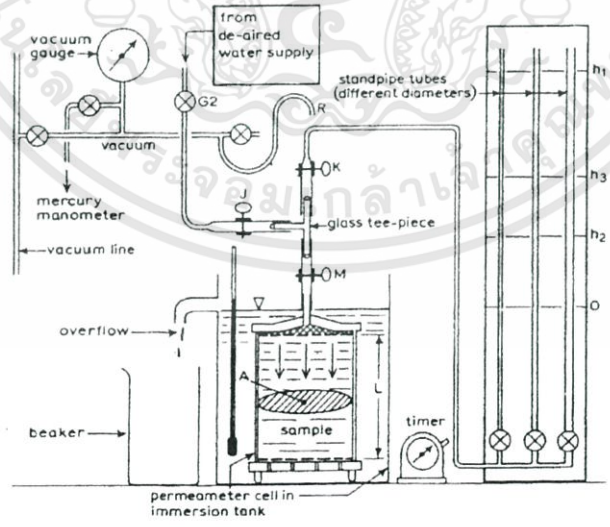
ภาพ 2.8 : รูป แสดงส่วนประกอบ *cell* สำหรับการทดสอบแบบ *Falling Head*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัดขนาดความสูงของตัวอย่างดินใน *cell* จากผิวบนถึงผิวล่างตัวอย่างดิน วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง *cell* ชั่งน้ำหนักของดินที่เหลือ และนำตัวอย่างของดินที่เหลือบางส่วนไปหา *%water content* เลือกขนาดหลอด *standpipe* ให้เหมาะสมกับความชืมน้ำของตัวอย่างดินที่จะทำการทดลอง ดินที่มีความชืมน้ำมากกว่าให้ใช้หลอดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า จากนั้นตรวจสอบค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ *standpipe* ที่ใช้

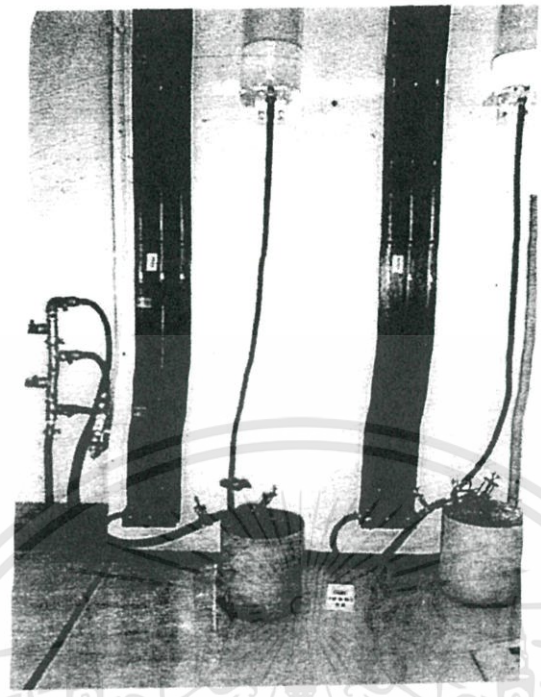


ภาพ 2.9 : รูป แสดง *cell* บรรจุตัวอย่างดินสำหรับการทดสอบแบบ *Falling Head*



ภาพ 2.10 : รูป แสดงการจัดอุปกรณ์สำหรับการทดลองแบบ *Falling Head*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพ 2.11 : รูป แสดงการทดสอบการซึมผ่านแบบ *Falling Head*

3. การไล่อากาศและทำให้ตัวอย่างอิ่มตัว

   3.1 นำตัวอย่างดินใน *cell* ไปแช่ภาชนะบรรจุน้ำ ดังรูป เปิดวาล์ว *M* และ *K* ให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างดิน สำหรับดินที่มีความซึมน้ำต่ำ จะต้องแช่ตัวอย่างไว้ *24* ชั่วโมง หรือมากกว่า

   3.2 นำปลายสายยาง *R* จากปั้มดูดอากาศ*(Vacuum Pump)* ต่อเข้าแก้ว *3* ทางที่ปลาย *k* จากนั้นทำการบีบคลิ๊บ *j* จากนั้นเปิดเครื่องปั้มให้ดูดอากาศโดยตั้งที่อัตราต่ำๆ โดยปรับที่ *vacuum line* และ *air bleed valves* จนกระทั่งน้ำเพิ่มสูงกว่าคลิ๊บ *M* แสดงว่าตัวอย่างดินอิ่มตัวแล้ว

4. นำปลาย *R* ออกแล้วใส่ ปลาย *K* เข้าไปแทน จากนั้นปิดคลิ๊บ *M* แล้วเปิด คลิ๊บ *j* ให้น้ำไหลเข้าสู่หลอด *standpipe* ให้ระดับน้ำสูงถึงระดับ *h1* ขีดระดับนี้ไว้ที่ *standpipe* จากนั้นประมาณค่าระดับน้ำที่จะอ่านครั้งสุดท้าย *h2* ขีดระดับ *h2* ไว้ที่ *standpipe* คำนวณ *h3* = $\sqrt{h1 * h2}$ แล้วขีดระดับ *h3* ไว้ที่ *standpipe* เช่นกัน

5. นำลูกโป่งคลุมรัดที่ปลายของหลอด *standslope* เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ จากนั้นเปิดคลิ๊บ *M* และเริ่มจับเวลา สังเกตระดับน้ำที่ลดลงใน *standpipe* เวลาที่น้ำลดจากระดับ *h1* ถึง *h3* และจากระดับ *h3* ถึง *h2* ควรมีค่าใกล้เคียงกันหรือควรต่างกันไม่เกิน *2-3* % พร้อมบันทึกอุณหภูมิน้ำในภาชนะรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณผล

1. ความหนาแน่นเปียกของดิน *(wet density)* ¥t = $\frac{\text{น้ำหนักดินเปียก}}{\text{ปริมาตร } mold} = \frac{m}{v}$, $g/cm^3 (t/m^3)$

2. ความหนาแน่นแห้งของดิน *(Dry density)* , ¥a = $\frac{Ws}{V} = \frac{W}{V(1+W)}$, g/cm^3

เมื่อ *W* = น้ำหนักดินเปียก *(wet weigh)* ใน *cell* , *g*

Ws = น้ำหนักดินแห้ง *(dry weigh)* ใน *cell* , *g*

V = ปริมาตรของตัวอย่างดินใน *cell* , cm^3

W = ความชื้นของดิน *(water content)* , *%/100*

3. อัตราส่วนระหว่างมวลดิน *(void ratio)* , *e*

$$e = \frac{Gs * \text{pw}}{pa} = 1$$

เมื่อ *Gs* = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

Pd = ความหนาแน่นของดินแห้ง *(Dry density)* , g/cm^3

Pw = ความหนาแน่นของน้ำ , g/cm^3

4. สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำ *(k)* จากการทดสอบ *Constant Head* (ที่อุณหภูมิทดสอบ)

$$Kt = \frac{Q}{Ait} = \frac{QL}{AT\Delta h}$$

,cm/sec

เมื่อ *Q* = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านในช่วงเวลา *t* cm^3

T = เวลาที่วัดที่ใช้วัดปริมาณน้ำ *Q* *,cm/sec*

A = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดินที่น้ำไหลผ่าน cm^2

L = ระยะในแนวดิ่งระหว่าง *manometer* ที่ต่อเข้า *cell* *,cm*

Δh = ผลต่างของระดับน้ำใน *manometer* *,cm*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำ *(K)* จากการทดสอบแบบ *Constant Head* (ที่อุณหภูมิทดสอบ)

$$Kt = \frac{2.303aL}{A\,\Delta t} \log \frac{h1}{h2} \quad ,cm/sec$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินที่น้ำไหลผ่าน cm^2

a = พื้นที่หน้าตัดของ *standpipe* cm^2

L = ความยาวของตัวอย่างดินใน *cell* ,cm

$H1$ = ระดับน้ำใน *standpipe* ขณะเริ่มทดลอง ,cm

$H2$ = ระดับน้ำใน *standpipe* หลังจากเสร็จการทดลอง ,cm

Δt = เวลาที่ระดับน้ำลดจากระดับ *h1* ถึง *h2* sec

6. สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำ*(k)* จากการทดสอบที่อุณหภูมิมาตรฐาน *20* องศาเซลเซียส

$$K20 = Kt \frac{\mu t}{\mu 20}$$

เมื่อ Kt = ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดินที่อุณหภูมิ *T* องศาเซลเซียส

$K20$ = ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดินที่อุณหภูมิ *20* องศาเซลเซียส

μt = ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ *T* องศาเซลเซียส

$\mu 20$ = ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ *T20* องศาเซลเซียส

ค่า μ ดูค่า $\frac{\mu t}{\mu 20}$ จากตาราง *8.1*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ปูนขาว (แคลเซียมออกไซด์)

ปูนขาว (lime) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเผาหินปูนจนเหลือ CaO หรือ แคลเซียมออกไซด์ มีลักษณะเป็นก้อนหรือผงสีขาว เมื่อละลายน้ำจะให้สภาพเป็นด่าง นิยมใช้มากในภาคอุตสาหกรรมและการเกษตร

การผลิตปูนขาว

ปูนขาวสามารถผลิตได้จากกระบวนการเผาหินปูนที่อุณหภูมิมากกว่า 1000 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออก)CO2) จนได้เป็นผลิตภัณฑ์ปูนขาวของแคลเซียมออกไซด์)CaO)

ปูนขาวสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. Quick lime

เป็นชนิดของปูนขาวที่ผลิตได้จากการเผาหินปูน โดยไม่ได้ผ่านการทำปฏิกิริยากับน้ำ ประกอบด้วยแร่ธาตุหลัก คือ Ca และ Mg โดยมีสัดส่วนของ CaO มากกว่า MgO แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

- High Calcium Quick lime เป็นปูนขาวที่มีส่วนประกอบเฉพาะ CaO
- Dolomitic Quick lime เป็นปูนขาวที่ส่วนประกอบของ CaO และ MgO โดยมีส่วนของ CaO มากกว่า

กระบวนการผลิตปูนขาวชนิด Quick lime ได้จากการเผาหินปูน ดังสมการ

21K Cal + CaCO3 = CaO + CO2

CaMg(CO3)2 = MgO + CaCO3 + CO2

1. Hydrated lime

   เป็นชนิดของปูนขาวที่ผลิตได้จากการทำปฏิกิริยาของปูนขาวชนิด Quicklime กับน้ำ แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

   - Hydrated high calcium lime เป็นปูนขาวที่มีส่วนประกอบเฉพาะ Ca(OH)2
   - Monohydrated dolomitic lime เป็นปูนขาวที่ส่วนประกอบของ Ca(OH)2 และ MgO โดยมีส่วนของ Ca(OH)2 มากกว่า
   - Dihydrated dolomitic lime เป็นปูนขาวที่ส่วนประกอบของ Ca(OH)2 และ Mg(OH)2 โดยมีส่วนของ Ca(OH)2 มากกว่า Mg(OH)2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ปูนขาวทางการเกษตร

1. การปรับปรุงดิน

ปูนขาวในทางเกษตรมีใช้มากในด้านการปรับปรุงดิน อาทิ หน้าดินเหนียว ดินเป็นกรด ดินมีเชื้อโรค เป็นต้น ซึ่งมักใช้ในแปลงนา แปลงผัก สวนผลไม้ เพื่อปรับปรุงให้ดินมีคุณภาพเหมาะแก่การเพาะปลูก ซึ่งปูนขาวสามารถปรับปรุงดินได้ ดังนี้

2. การแลกเปลี่ยนประจุ

เมื่อนำปูนขาวผสมกับดินประจุที่เกิดจากปูนขาวจะเข้าแทนที่ประจุของแร่ธาตุต่างๆในดินทำให้แร่ธาตุถูกปลดปล่อยออกมาจากดิน ซึ่งจำทำให้พืชสามารถดูดซึมนำมาใช้ประโยชน์ได้ง่าย ประจุของแร่ธาตุที่พบในดิน ได้แก่ Al3+,Mg2+,K+,H+,Na+,Li+(SO4)2-,(PO4)3-,(NO3)- เป็นต้น

3. ดินร่วนซุย

เมื่อมีการแลกเปลี่ยนประจุของไอออนต่างๆจะทำให้ดินสามารถแยกเป็นเม็ดหรือแบ่งเป็นก้อนได้ง่าย แทนที่จะเป็นเนื้อละเอียดเกาะกันแน่น

4. ปรับสภาพความเป็นกรดด่าง

การใส่ปูนขาวในดินจะช่วยปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่าง กรดสูงจะถูกทำให้ความเป็นกรดลดลงจากสภาพความเป็นด่างของปูนขาว OH- ที่แตกตัวในดิน เช่น

$Ca(OH)_2 = 2Ca^+ + 2(OH^-)$

ดังนั้น จึงมักใช้ปูนขาวหว่านโรยปรับสภาพดินที่เป็นกรด เช่น บ่อเลี้ยงกุ้ง บ่อเลี้ยงปลา

5. การฆ่าเชื้อโรค

เนื่องจากสภาพความเป็นด่างของปูนขาวจะมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆในดินได้ ทั้งนี้ ควรใช้ในขณะดินแห้งหรือมีน้ำน้อยเพื่อสภาพความเป็นด่างเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ร่วมด้วยกับการฆ่าเชื้อจากแสงแดด

6. การปรับสภาพน้ำ

การปรับสภาพน้ำในทางเกษตรมักใช้ปรับสภาพน้ำตามบ่อเก็บน้ำ แหล่งน้ำขัง รวมถึงระบบบำบัดน้ำเสียในการเกษตร โดยเฉพาะแหล่งน้ำที่มีลักษณะเป็นกรดจากภาวะการเน่าเสียของสารอินทรีย์หรือแหล่งน้ำที่มีกรดกำมะถันมาก ซึ่งการใช้ปูนขาวจะช่วยลดความเป็นกรดของน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

ในส่วนของวิธีการดำเนินงานนี้ จะกล่าวถึงแผนการปฏิบัติตลอดการทดลอง ตลอดจนการกำหนดพารามิเตอร์ของตัวแปรต่างๆอย่างคร่าวๆและจะอธิบายอย่างละเอียดในส่วนต่อไป

3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเกี่ยวกับการหาค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดดิน lime-soil ซึ่งเป็นวัสดุหน้าเขื่อน และ วัสดุกรอง filter โดยดำเนินงานในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้อง ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และบริเวณเขื่อนคลองสียัด จ.ฉะเชิงเทรา

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลในอดีตที่เกี่ยวข้อง
2. ติดต่อสอบถามผู้เชี่ยวชาญ เพื่อเตรียมและติดตั้งอุปกรณ์ ให้มีความพร้อม
3. ทดลองโดย วิธี opened end test เพื่อหาค่าการรั่วซึมของน้ำ ที่บริเวณ lime-soilหน้าเขื่อน
4. สุ่มเก็บตัวอย่าง filter มาทดลอง โดยวิธี Falling Head ในห้องปฏิบัติ
5. คำนวณหาค่าการรั่วซึมของน้ำเปรียบเทียบระหว่างการทดลองทั้ง 2 บริเวณ
6. สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.ทดสอบวัสดุ lime soil ในพื้นที่จริง ด้วยวิธี opened end test

3.2.1 อุปกรณ์

1. ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 cm
2. ถ้วยตวงขนาด 100 ml
3. จอบขุดเปิดพื้นที่
4. ถังเติมน้ำ
5. นาฬิกาจับเวลา

3.2.2 วิธีการทดลอง

1. เลือกพื้นที่ในการทดสอบ ควรห่างจากบริเวณน้ำไม่เกิน 20 เมตร

2. ใช้จอบขุดเปิดพื้นที่

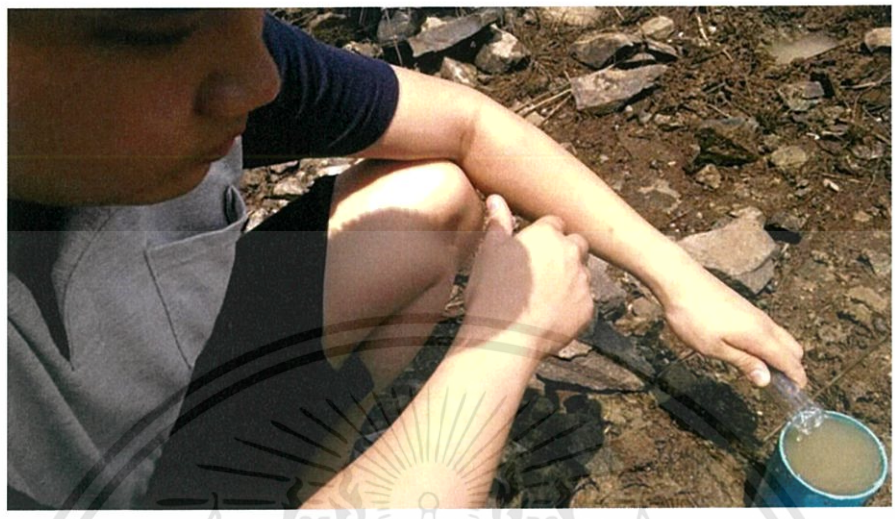
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำท่อกดลงไปในดิน ลึกประมาณ 10 cm

4. เติมน้ำให้เต็มท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เทน้ำจากกระบอกตวง 100 ml ให้น้ำปริ่มปากท่อ ตลอดเวลา พร้อมเริ่มจับเวลาจนน้ำหมด



6. ทำซ้ำอีก 4 สถานี พร้อมวิเคราะห์ โดยสมการ K=Q/(5.5*R*H)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ทดสอบการซึมผ่านของน้ำในดิน ของวัสดุ filter ในห้องปฏิบัติการด้วย วิธี Falling head

3.2.1 อุปการณ์

1. แผงชุดอุปกรณ์ทดสอบการไหลของน้ำ
2. Permeability Cell
3. นาฬิกาจับเวลา

3.2.2 วิธีการทดลอง

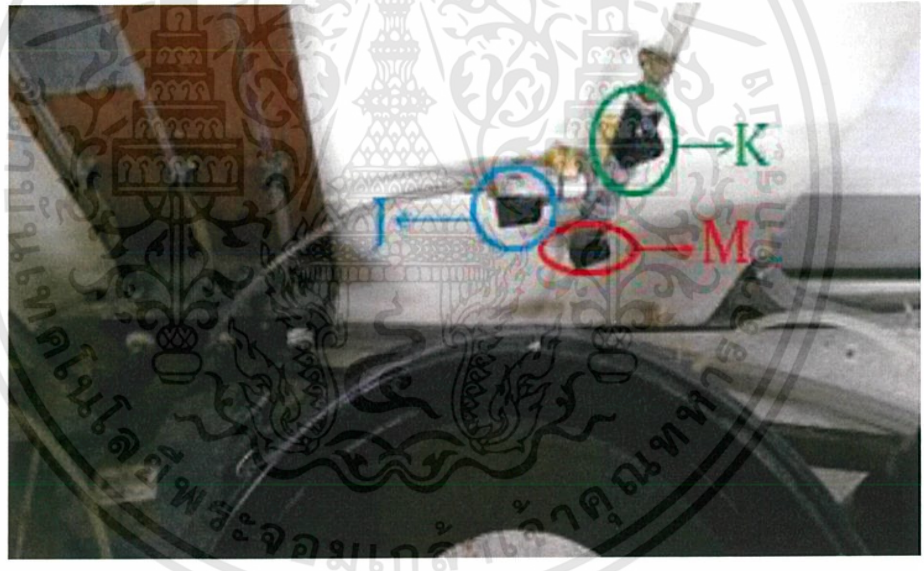
1. เก็บตัวอย่างดินจากสนาม

2. บดอัดดินลงใน Permeability Cell บดอัดประมาณ 3-5 ชั้น ให้ความหนาแน่นใกล้เคียงกับความหนาแน่นตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

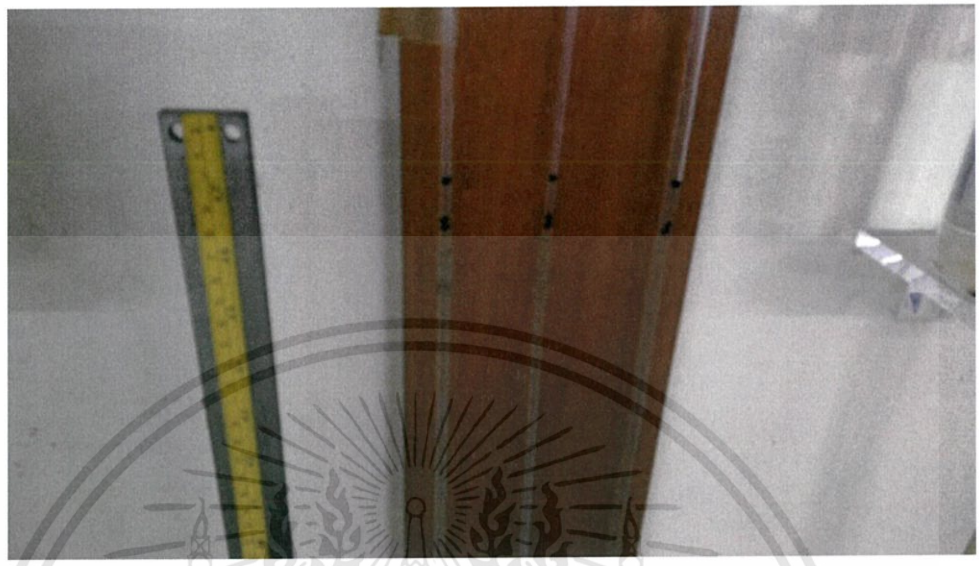
3. เติมน้ำให้ท่วมตัวอย่าง cell ต่อ cell กับปลายหลอด standpipe

4. ปิดปลาย M แล้วเปิด ปลาย J เพื่อให้น้ำไหลเข้าสู่หลอด standpipe



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

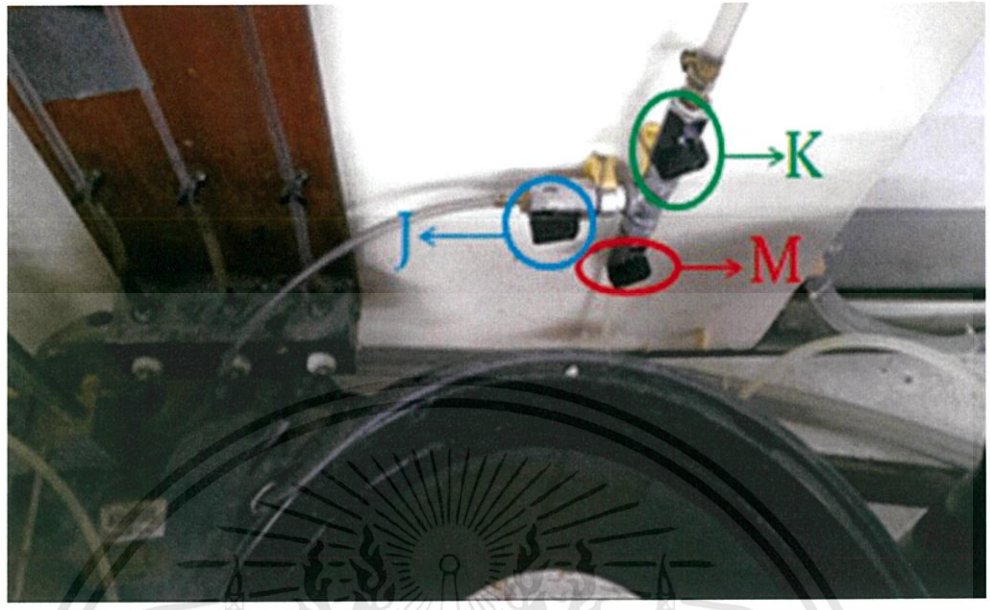
5. เมื่อให้ระดับน้ำสูงถึงระดับ H1 ขีดเส้นไว้ที่ standpipe จากนั้นประมาณค่าระดับน้ำที่จะอ่านครั้งสุดท้าย เป็น H2 ขีดเส้นไว้ แล้วคำนวณค่า H3 จาก H3 = $\sqrt{H1 * H2}$ แล้วขีดระดับ H3 ไว้ที่ standpipe เช่นกัน



6. ใช้ดินน้ำมันปิดที่ปลายหลอด เพื่อป้องกันการระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เปิดปลาย M แล้วจับเวลา สังเกตระดับน้ำที่ลดลงใน standpipe จากระดับ H1 ถึง H3 และจากระดับ H3 ถึง H2 ควรจะมีค่าใกล้เคียงกัน



8. ทำซ้ำกับอีก 4 ตัวอย่าง

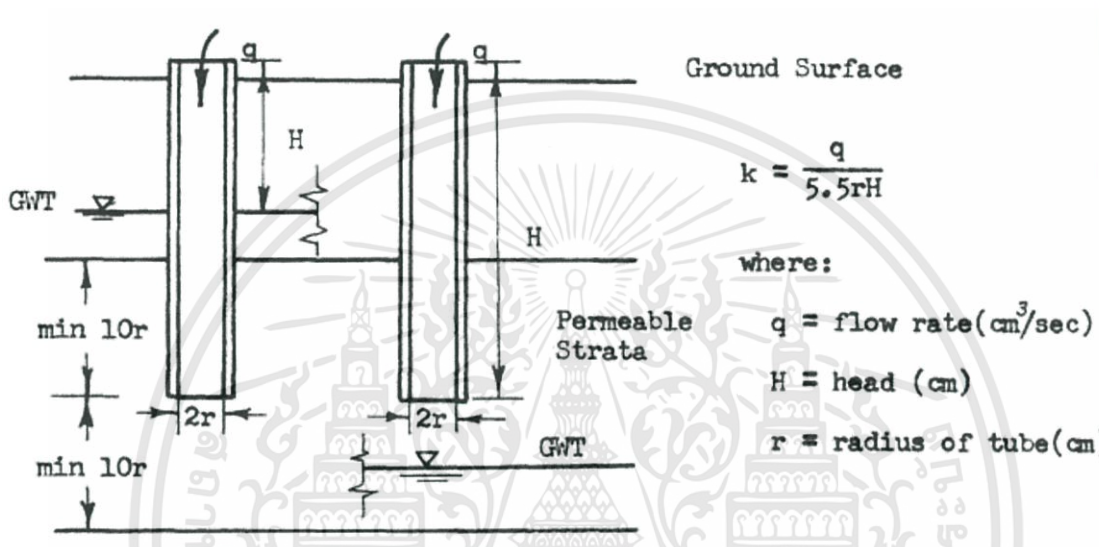
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลอง ซึ่งผู้วิจัยได้กล่าวถึงขั้นตอนวิธีการทดลองไว้แล้วในบทที่ 3 และนำผลการทดลองมาคำนวณเพื่อแปรผลและวิเคราะห์ได้ดังนี้

4.1 ผลการทดสอบวัสดุ lime soil ในพื้นที่จริง ด้วยวิธี opened end test

จากการคำนวณโดยใช้สูตร ดังรูป



ภาพ 4.1 : รูป แสดงตัวแปรต่างๆในการคำนวณ *opened end test*

ตาราง 4.1 : แสดงผลการทดลอง opened end test

	รัศมี(cm)	ความสูง(cm)	ปริมาณน้ำ(ml)	เวลา(s)	พื้นที่(cm^2)	ความเร็ว (cm/s)	อัตราการไหล (cm^3/s)	K (m/s)
	4	60	100	33	50.265472	3.03030303	152.3196121	0.000115394
	4	60	100	26	50.265472	3.846153846	193.3287385	0.000146
	4	60	100	125	50.265472	0.8	40.2123776	0.00003046
	4	60	100	35	50.265472	2.857142857	143.6156343	0.0001088
	4	60	100	25	50.265472	4	201.061888	0.00015232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบการซึมผ่านของน้ำในดิน ของวัสดุ filter ในห้องปฏิบัติการด้วย วิธี Falling Head

ตาราง 4.2 : แสดงผลการทดลองโดยวิธี Falling Head

NO.	h1(cm)	h2(cm)	TIME (SEC)	VELOCITY	FLOW RATE	TEMPERATURE(°C)	K (m/sec)
	120	115	29	0.17241379	13.80689655	30	0.00515856
	120	115	313	0.01597444	1.279233227	30	0.00047795
	120	115	70	0.07142857	5.72	30	0.00213712
	120	115	32	0.15625	12.5125	30	0.00467495
	120	115	180	0.02777778	2.224444444	30	0.00083110

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการทดลองการหาค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดดิน lime-soil ซึ่งเป็นวัสดุหน้าเขื่อน และ วัสดุกรอง filter ได้ผลดังตาราง

Soil Type	K from Opened End (cm/sec)	K from Falling Head (cm/sec)
Silty Sand (SM)	$1.0x10^{-4}$ to $2.0x10^{-4}$	$2.1x10^{-3}$ to $5.1x10^{-3}$
Sandy Silt (ML)	$3.0x10^{-5}$	$5.0x10^{-5}$ to $8.3x10^{-5}$

ตาราง 5.1 : แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบ ค่าการรั่วซึม จากวิธี Opened end และ วิธี Falling Head

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

1) การเก็บตัวอย่างวัสดุกรอง filter มาทำการทดลอง falling head เป็นการเลือกเก็บแบบสุ่ม การทดลองจึงมีผลที่คาดเคลื่อนได้ เนื่องจากส่วนผสมของดินในแต่ละบริเวณแตกต่างกัน

2) ในการทดลอง falling head อาจมีความคลาดเคลื่อนของการทดลอง เนื่องจากมีฟองอากาศอยู่ภายในหลอดทดลอง เนื่องจากไม่ได้ใช้เครื่องดูดอากาศ ก่อนทำการทดลอง

3) การเลือกบริเวณที่จะทำการทดลองด้วยวิธี opened end test เป็นการเลือกแบบซุ่ม อาจมีความคลาดเคลื่อนในการทดลองได้ เพราะพื้นที่ในแต่ละบริเวณมีส่วนผสมของดินแตกต่างกัน อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนได้

4) การทดลองวิธี opened end test ทดลองด้วยระบบเปิดจึงอาจมีความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้ เพราะพื้นที่ในแต่ละวันก็มีอุณหภูมิโดยรอบแตกต่างกัน อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนได้

5.3 การนำไปใช้ประโยชน์

1) สามารถนำค่าการรั่วซึมไปคำนวณ หาค่าอัตราการไหลซึมผ่านของน้ำ(seepage) ของเขื่อน ซึ่งปัจจุบันยังมีน้ำไหลซึมออกจากทางด้านซ้ายของเขื่อน

2) สามารถเพิ่มปริมาณการเก็บน้ำของเขื่อน เมื่อรู้จุดที่มีค่าการรั่วซึมที่สูง อาจเปลี่ยนวัสดุในบริเวณนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ข้อเสนอแนะ

1) ในการทดลอง falling head test ควรใช้ปั๊มดูดอากาศ ไล่อากาศในท่อออกให้หมดก่อนทำการทดลอง เพื่อป้องกันการเกิดความคลาดเคลื่อน

2) เนื่องจากการทดลองนี้มีการทดลองโดยใช้ตัวอย่างบางจุด แทนพื้นที่ทั้งหมด ทำให้ค่าการรั่วซึมที่ได้ยังไม่ครอบคลุมบริเวณเขื่อนมากนัก ควรเก็บตัวอย่าง และทดลองในสถานีที่มากและครอบคลุมยิ่งขึ้น

3) สำหรับการทดลอง opened end test เนื่องจากเป็นการทดลองในสนามเพียงแค่วันเดียว ค่าการรั่วซึมที่ได้จึงอาจไม่สัมพันธ์กับวันอื่น เนื่องจากในแต่ระดับมีระดับน้ำ และอุณหภูมิของวันต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] College irrigation Nonthaburi , (2554) The relationship of soil and water testing station with water management technologies. Available at: www.thaithesis.org/detail.php?id=28628

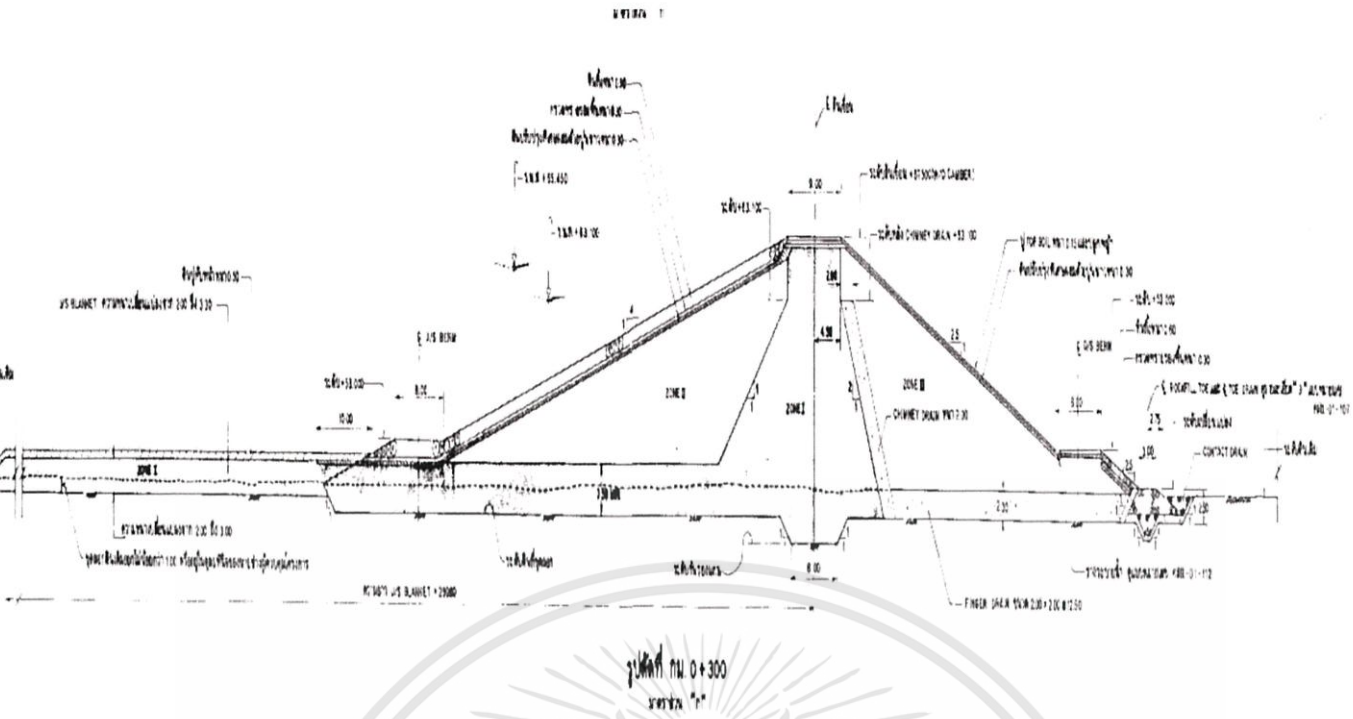
[2] Chanin and team , (2540) study dynamics of soil quality in the Kong Krabane bay. Available at: www.research.rmutt.ac.th/wp-content/uploads/2011/06/07-08_2547.pdf

[3] Miss Peerapornratana Chaichana, (2537) Study the effects of land use types. Performance of water through the soil surface around Watershed Research Station Available at: irre.ku.ac.th/project/pdf/255706.pdf

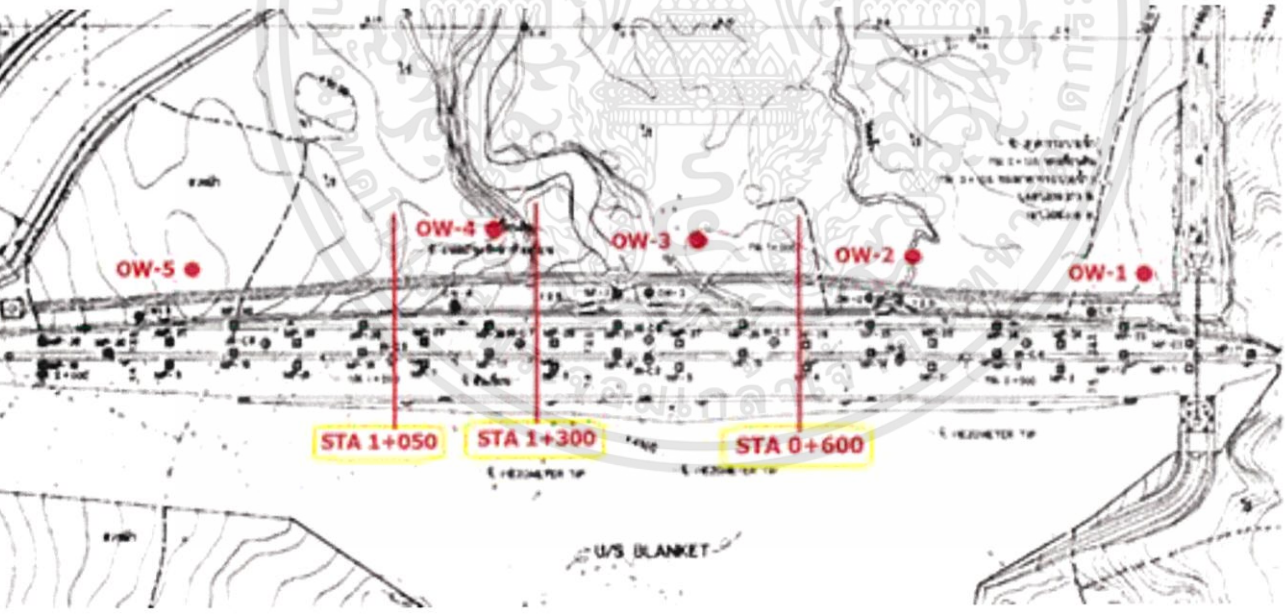
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวก ก
รูปภาพที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ภาพ side view เขื่อนคลองสียัด



รูปที่ ก.2 ภาพ ตำแหน่ง piezometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.3 รูป เขื่อนคลองสียัดบริเวณด้านข้าง

รูปที่ ข.3 ภาพบริเวณหน้าเขื่อง คลองสียัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้