

**การทดสอบค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านได้ในดินบวมตัวแม่เมาะ  
และการประมาณระยะเวลาที่น้ำไหลซึมจากแหล่งน้ำจนถึงอาคารที่เกิดความเสียหาย**  
**Testing for Hydraulic Conductivity of Mae Moh Expansive Soil  
and Estimation of Seepage Time from a Reservoir to a Damaged Building**

จุฬาลักษณ์ ทองแท่ง<sup>1</sup> และ เศรษฐพงษ์ เศรษฐบุปผา<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

<sup>\*</sup>Corresponding author; E-mail address: sethapongs@cmu.ac.th

**บทคัดย่อ**

ค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านได้ ( $k$ ) นับเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับดินบวมตัว เนื่องจากสามารถนำไปใช้คาดคะเนระยะเวลาที่อาจเกิดการยกตัวของผิวดินและอาคารที่ก่อสร้างบนดินบวมตัวจนเกิดความเสียหายได้ นอกจากนั้นแล้วยังสามารถนำไปใช้ในการออกแบบระยะห่างระหว่างหลุมเจาะสำหรับอัดฉีดสารที่จะใช้สำหรับลดศักยภาพในการพองตัวของดินอีกด้วย บทความนี้นำเสนอการทดสอบหาค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านได้ของดินบวมตัวจากพื้นที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม ผลการทดสอบพบว่าค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านได้ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการมีค่าเท่ากับ  $4.49E-08$  cm/s และผลที่ได้จากการทดสอบในภาคสนาม มีค่าเท่ากับ  $6.29E-05$  cm/s นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบแบบจำลองการไหลซึมของน้ำจากแหล่งน้ำไปยังอาคารหลังหนึ่งที่เกิดความเสียหายจากการพองตัวของดินบวมตัวได้ อาคาร ซึ่งพบว่าการทดสอบแบบจำลองดังกล่าวนี้ ให้ผลการประมาณระยะเวลาหลังจากการสร้างแหล่งน้ำจนกระทั่งเกิดความเสียหายขึ้นกับอาคารหลังดังกล่าวใกล้เคียงกับระยะเวลาที่เกิดขึ้นจริง

คำสำคัญ: ดินบวมตัว, การยอมให้น้ำซึมผ่านได้ของดิน, การไหลซึมของน้ำในดินบวมตัว

**Abstract**

The value of hydraulic conductivity ( $k$ ) is an important parameter for expansive soils. It can be used for estimating the heaving time of soil surfaces and buildings constructed on expansive soils. The value can also be used to design perimeters or distances between drilled holes for injection of some substances used for reducing the swell potential of the soils. This article presents results of hydraulic conductivity tested both in a laboratory and in situ on expansive soil in Mae Moh District, Lampang Province. The results showed that the laboratory value

was  $4.49E-08$  cm/s and the in-situ value was  $6.29E-05$  cm/s. In addition, a simulation of water seepage through expansive soil from a water reservoir to a damaged building sitting on expansive soil was conducted. The simulation demonstrated that the estimated time after the reservoir was built until the damage occurred to the building was close to the actual time.

Keywords: Expansive Soil, Hydraulic Conductivity, Seepage through Expansive Soil

**1. ที่มาและความสำคัญ**

ชั้นดินในพื้นที่ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ประกอบด้วยดินที่สามารถบวมตัวได้ (expansive soil) โดยชั้นดินในแต่ละพื้นที่นั้นมีความแตกต่างของชั้นดินที่สามารถพบดินบวมตัวตั้งแต่ที่ชั้นความลึกประมาณ 1 เมตรลงไปจนถึงประมาณ 10 เมตร ดินจำพวกนี้สร้างความเสียหายแก่สิ่งก่อสร้างในพื้นที่ไม่ว่าจะเป็นถนน อาคาร ตั้งแต่ขนาดเล็กจำพวกสำนักงานไปถึงอาคารขนาดใหญ่จำพวกอาคารโรงงาน โรงซ่อมซึ่งการออกแบบโครงสร้างไม่เหมาะสมสำหรับด้านทานการยกตัวจากการพองตัวของดินบวมตัวดังกล่าว

จากการทบทวนข้อมูลความเสียหายในอดีตนั้นพบว่าปัจจัยหลักเกิดจากดินได้รับปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากมีน้ำซึมเข้าไปจนทำให้ดินเกิดการพองตัวขึ้นและด้วยแรงดันจากการบวมตัวที่สูงเกินน้ำหนักที่กดทับจึงดันให้ฐานรากของอาคารเกิดความเสียหายขึ้นไม่ว่าจะเป็นการแตกร้าวบนแผ่นพื้น คานหรือเสาของอาคารซึ่งเป็นโครงสร้างหลักทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการใช้งานรวมถึงการยกตัวของทางเท้าโดยรอบอาคาร ตัวอย่างความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารหลังหนึ่งที่สร้างแล้วเสร็จเมื่อประมาณปี พ.ศ.2545 ซึ่งเกิดความเสียหายขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 ถึงปัจจุบันดังแสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2



รูปที่ 1 รอยแยกของแผ่นพื้นคอนกรีตภายในอาคาร (ถ่ายเมื่อ พ.ศ.2559)



รูปที่ 4 น้ำในคูระบายน้ำ



รูปที่ 2 การยกตัวของอิฐปูทางเท้ารอบอาคาร (ถ่ายเมื่อ พ.ศ.2559)

ในปี พ.ศ.2562 ได้มีการสำรวจหาแหล่งที่มาของความชื้นที่เพิ่มขึ้นในดินใต้อาคารหลังนี้ ในเบื้องต้นมีข้อสงสัยเกี่ยวกับระบบน้ำประปาและน้ำทิ้ง ซึ่งจากการตรวจสอบแล้วไม่พบว่ามีการรั่วซึมหรือมีการปล่อยน้ำทิ้งในตัวอาคารหรือบริเวณใกล้เคียงรอบอาคาร แต่กลับพบว่าตำแหน่งที่ตั้งของอาคารนั้นมีคูน้ำซึ่งอยู่ห่างไปประมาณ 25 เมตรจากอาคารหลังนี้ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตำแหน่งของคูน้ำเทียบกับอาคารที่เกิดความเสียหาย

คูน้ำนี้ถูกสร้างขึ้นประมาณปี พ.ศ.2547 เพื่อเป็นรางระบายน้ำเมื่อฝนตกแต่ในเวลาต่อมา (ก่อนอาคารเกิดปัญหา) ได้มีการสร้างกำแพงกันน้ำไว้สำหรับการปลูกพืชและเลี้ยงสัตว์น้ำดังรูปที่ 4 ทำให้มีน้ำในคูทั้งปี

คูน้ำมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปตัววีตัดด้วยคอนกรีตและมีการฝังท่อพีวีซีขนาดประมาณ 4 นิ้วฝังทุกระยะ 1 เมตรตลอดความยาวไว้ในผืนคอนกรีตเพื่อระบายความชื้นในดินลงมาในคูน้ำนี้ ซึ่งผลจากการปรับให้เป็นอ่างเก็บน้ำขึ้นมานั้นน่าจะกลายเป็นเส้นทางในการทำให้ให้น้ำในอ่างซึมออกไปหาดินอยู่ตลอดเวลาอย่างช้าๆ หากสังเกตพื้นถนนคอนกรีตซึ่งอยู่ระหว่างคูน้ำกับอาคาร จะเห็นว่าผิวถนนมีการนูนขึ้น ไม่ราบเรียบอย่างที่ควรจะเป็นตรงจุดที่ถูกครีในรูปที่ 5 พื้นผิวถนนที่นูนขึ้นนี้ต่อเนื่องเป็นทางไปยังอาคารที่เสียหาย



รูปที่ 5 ลักษณะผิวถนนคอนกรีตที่มีการนูนขึ้นมา (ถ่ายเมื่อ พ.ศ.2563)

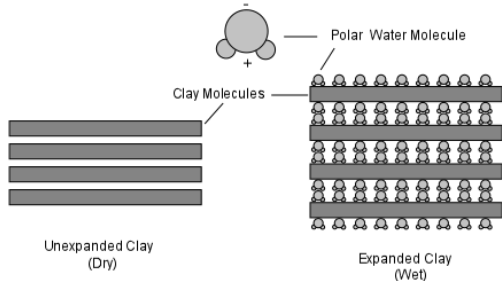
การพบความเสียหายดังกล่าวในช่วงต้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาเพื่อประมาณการระยะเวลาในการซึมของน้ำผ่านมวลดินที่ทำให้ดินได้รับความชื้นจนกระทั่งทำให้เกิดความเสียหายของอาคารหลังนี้

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ดินบวมตัว (Expansive soil)

ดินบวมตัวเป็นดินเหนียวที่มีขนาดเม็ดดินเล็กกว่า 2 ไมครอนลักษณะเป็นแผ่นบางโดยมีคุณสมบัติทางด้านประจุไฟฟ้าทางเคมีซึ่งจะมีปฏิกิริยาเคมีมากขึ้นเมื่อมีขนาดเล็กลงตามลำดับ ดินเหนียวมีองค์ประกอบเป็นแร่หลายชนิดส่วนใหญ่คือ แร่คาโอลิไนต์ (Kaolinite), อิลไลต์ (Illite) และมอนต์โมริลโลไนต์ (Montmorillonite) ซึ่งดินเหนียวที่ประกอบด้วยแร่มอนต์โมริลโลไนต์จะมีอนุภาคเล็กและบางที่สุด โครงสร้างของแร่มอนต์โมริลโลไนต์สามารถดึงดูดออนของน้ำได้ดีมีพื้นที่ผิวมาก ดังนั้นจึงสามารถ

ตั้งคูดน้ำได้เป็นปริมาณมาก ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นกับน้ำจะทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคของมอนต์โมริลโลไนต์ ดินจึงเกิดการพองตัวขึ้นเมื่อมีความชื้นในดินเพิ่มขึ้นทำให้กำลังของดินลดลงอย่างมากส่งผลให้ผิวหน้าของดินจะเกิดการยกตัวขึ้นในทางกลับกันหากดินเสียความชื้นจะเกิดการหดตัวโดยพฤติกรรมของดินเมื่อได้รับความชื้น (ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น) ของดินเหนียวประเภทนี้แสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การขยายตัว (Swelling) ของดินเหนียว[1]

## 2.2 การบ่งชี้ลักษณะของดินบวมตัว (Characterization of expansive soil)

Er Jithesh [2] ได้จำแนกประเภทของดินบวมตัวโดยใช้คุณสมบัติทางกายภาพคือค่าขีดจำกัดความเหลว (Liquid limit), ดัชนีการเป็นพลาสติก (Plastic index), ดัชนีของการบวมตัว (Swell index) จำแนกประเภทของดินบวมตัวได้ 4 ชนิดได้แก่ ดินที่มีการบวมตัวต่ำ ดินที่มีการบวมตัวปานกลาง ดินที่มีการบวมตัวสูงและดินที่มีการบวมตัวสูงมาก ดังตารางที่ 1

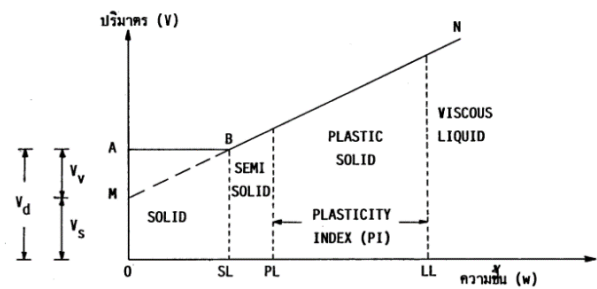
ตารางที่ 1 การจำแนกประเภทดินเหนียวบวมตัว

Swell index (%)	ความสามารถในการขยายตัว	LL (%)	PL (%)	SL (%)
<20	ต่ำ	0-50	0-35	>17
20-35	ปานกลาง	40-60	25-50	8-18
35-50	สูง	50-75	35-65	6-12
>50	สูงมาก	>60	>45	<10

### 2.2.1 การประเมินค่าพิคัตเตอร์เบอร์เกอร์ (Atterberg Limit test)

ค่าพิคัตเตอร์เบอร์เกอร์เป็นการทดสอบเพื่อประเมินค่าสถานะความคงตัว (Consistency) ของมวลดินเม็ดละเอียดที่สามารถเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของมวลดิน กล่าวคือเมื่อมวลดินมีความชื้นสูงมากจะมีสภาพเป็นโคลนเหลว (ของเหลวหนืด) สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะภายใต้ของมวลดินนั่นเอง หากความชื้นของมวลดินดังกล่าวลดลงมวลดินจะมีความแข็งแรงมากขึ้นความคงตัวของมวลดินนี้จะจัดอยู่ในสภาพของของแข็งเหนียว (Plastic solid) และหากความชื้นของมวลดินนั้นลดลงต่อไปมวลดินนั้นก็จะมีสภาพเป็นกึ่งของแข็ง (Semi-solid) กล่าวได้ว่าค่าความชื้นของมวลดิน ณ จุดที่มวลดินนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะความคงตัวจากสถานะหนึ่งไปสู่อีกสถานะหนึ่ง เรียกว่า ค่าพิคัตสถานะความคงตัว ซึ่งจะมีจุดเปลี่ยนของสถานะอยู่ด้วยกัน 3 จุด โดยค่าพิคัตของการ

เปลี่ยนแปลงสถานะเหล่านี้เรียกกันโดยทั่วไปว่า Atterberg Limit สามารถแสดงตามแผนภาพแสดงสถานะได้ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 สถานะความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความชื้นของมวลดิน[3]

### 2.2.2 การวัดดัชนีของการบวมตัว (Measurement of swell index)

index)

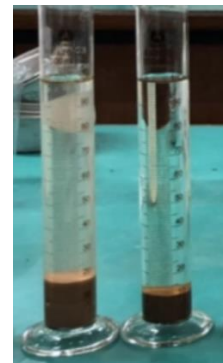
การทดสอบการวัดดัชนีการบวมตัวเป็นการทดสอบเพื่อช่วยในการระบุศักยภาพในการขยายตัวของดินเหนียวในเบื้องต้น การทดสอบการวัดดัชนีการบวมตัวดังกล่าวเป็นการทดสอบโดยอนุमानเพื่อแสดงถึงศักยภาพของความสามารถในการขยายตัวของดินโดยไม่ได้คำนึงถึงความหนาแน่นของดิน, ปริมาณความชื้นเริ่มต้น, ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นและปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่1

$$Swell\ index = \frac{V_d - V_k}{V_k} \times 100\% \quad (1)$$

โดย

$V_d$  คือ ปริมาตรของดินตัวอย่างที่อ่านจากกระบอกเติมน้ำกลั่น

$V_k$  คือ ปริมาตรของดินตัวอย่างที่อ่านจากกระบอกเติมน้ำมันน้ำกัก



รูปที่ 8 การวัดดัชนีการบวมตัวของดิน (ความสามารถในการขยายตัว)

### 2.3 การซึมผ่านของน้ำผ่านมวลดิน (Seepage through soil mass)

โดยทั่วไปมวลดินประกอบด้วยเม็ดดิน ช่องว่างระหว่างเม็ดดินจึงถือว่าเป็นวัสดุโปร่งพรุน เมื่อน้ำอยู่ในมวลดินน้ำจะถูกเก็บไว้ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน หากมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในมวลดินจากจุดที่มีพลังงานสูงไปยังจุดที่มีพลังงานต่ำกว่า น้ำจะไหลไปในช่องว่างระหว่างเม็ดดินซึ่งต่อเนื่องกันโดยตลอดภายในของมวลดินนั้น กล่าวได้ว่าช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ต่อเนื่องกันทำหน้าที่เป็นช่องทางการไหลของน้ำ น้ำจะไหลผ่านได้ช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับความสามารถซึ่งได้จากค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำ Coefficient of

permeability (k) หรือเรียกว่าค่า Hydraulic Conductivity (k) โดยค่า k ดังกล่าวนี้มีหน่วยเป็นความเร็วและกล่าวได้ว่ามวลดินใดที่มีค่า k สูงหมายถึงน้ำสามารถไหลผ่านได้ง่ายเช่น ทราย กรวด ในทางกลับกันหากมวลดินใดที่มีค่า k ต่ำหมายถึงน้ำไหลผ่านได้ยากหรือเกือบไม่ได้เลยเช่น ดินเหนียวอัดแน่น เป็นต้นอาจกล่าวได้ว่าการที่มวลดินจะมีค่า k สูงหรือต่ำนั้นขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง การเรียงตัวของเม็ดดินหรือรอยหินแตกดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์การไหลซึมของดินชนิดต่างๆ Hydraulic Conductivity (k) [4]

ดินชนิดต่างๆ	Hydraulic Conductivity K (m/day)
Gravelly	10-50
Medium sand	1-5
Sandy loam, fine sand	1-3
Loam, Clay loam	0.5-2
Very fine sandy loam	0.2-0.5
Clay loam, clay	0.002-0.2
Dense clay	<0.002

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ในการไหลของน้ำผ่านมวลดิน (k) นั้นมีความแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและคุณสมบัติของดินดังที่กล่าวในข้างต้น โดยการทดสอบหา (k) นั้นมีหลากหลายวิธีเพื่อให้เหมาะสมกับชนิดและคุณสมบัติของดินซึ่งหาได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการทดสอบในสนามดังนี้

### 2.3.1 วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำในห้องปฏิบัติการ

(The Hydraulic conductivity laboratory method, k)

Henri Darcy [3] ได้ทำการศึกษาการไหลของน้ำระหว่างจุด 2 จุดที่มีพลังงานรวมต่างกันโดยใช้ช่องทางการไหลของน้ำที่สั้นที่สุดผ่านเม็ดดินที่อิ่มตัว (Saturated granular soil) พบว่าปริมาตรน้ำที่ไหลผ่านมวลดินในหนึ่งหน่วยเวลาจะแปรผันโดยตรงกับพื้นที่หน้าตัดของมวลดินที่น้ำไหลผ่านและความแตกต่างของพลังงานรวมระหว่างจุด 2 จุดในมวลดินที่พิจารณานั้นจะแปรผกผันกับระยะทางระหว่างจุด 2 จุดนั้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำ (Coefficient of permeability หรือ hydraulic conductivity, k) เป็นค่าคงที่ซึ่งแสดงเป็นสมการความสัมพันธ์ได้จากสมการที่ 2

$$q = k \left( \frac{\Delta h}{L} \right) A \quad (2)$$

และความเร็วในการไหลของน้ำผ่านมวลดินที่อิ่มตัวหาได้จากสมการที่ 3

$$v = ki \quad (3)$$

โดย

$q$  คือ ปริมาตรน้ำที่ไหลผ่านมวลดินในหนึ่งหน่วยเวลา

$k$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำ (Coefficient of permeability หรือ hydraulic conductivity) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของมวลดินนั้น

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของมวลดินที่น้ำไหลผ่านในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำ

$i$  คือ hydraulic gradient ของการไหลของน้ำผ่านมวลดินหาได้จากสมการที่ 4

$$i = \left( \frac{\Delta h}{L} \right) \quad (4)$$

$\Delta h$  คือ ค่าความแตกต่างของพลังงานรวมที่ทำให้เกิดการไหลของน้ำระหว่างจุด 2 จุด

$L$  คือ ระยะทางที่น้ำไหลผ่านมวลดินซึ่งเป็นระยะทางระหว่างจุด 2 จุดที่ทำการวัดค่า  $\Delta h$

$v$  คือ ความเร็วในการไหลของน้ำผ่านมวลดิน

จากสมการที่ 2 สามารถเขียนความสัมพันธ์ใหม่ได้ดังสมการที่ 5

$$q = kiA \quad (5)$$

สำหรับการทดสอบเพื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำในห้องปฏิบัติการโดยตรงใช้ Permeameter นั้นตัวอย่างดินหรือมวลดินที่ทำการทดสอบต้องอยู่ในสภาพอิ่มตัว (fully saturated) การไหลของน้ำผ่านมวลดินอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady flow) มีวิธีการทดสอบได้ 2 วิธี คือ

#### 1. วิธี Constant head method

Constant head method ทำการทดสอบโดยปล่อยให้ น้ำไหลผ่านมวลดินภายใต้ค่า total head difference คงที่ค่าหนึ่งแล้ววัดปริมาตรน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างดินในการทดสอบตามระยะเวลาที่กำหนดเป็นวิธีที่เหมาะสมกับดินที่มีค่า k สูงถึงปานกลางน้ำเช่นพวก กรวด ทรายใช้ระยะเวลาในการทดสอบไม่มาก สามารถนำข้อมูลมาคำนวณหาค่า k ได้จากสมการของ Darcy ตามสมการที่ 6 ดังนี้

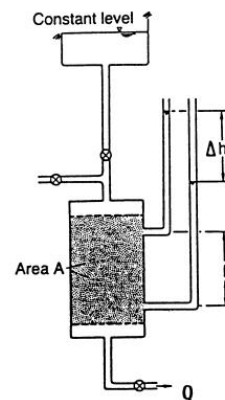
$$k = \frac{Q}{At} \left( \frac{L}{\Delta h} \right) \quad (6)$$

โดย

$Q$  คือ ปริมาตรน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างดินบนพื้นที่  $A$  ระหว่างจุด 2 จุด ในระยะเวลา  $t$

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของมวลดินที่น้ำไหลผ่านในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำ

$\Delta h$  คือ ค่าความแตกต่างของพลังงานรวมที่ทำให้เกิดการไหลของน้ำระหว่างจุด 2 จุด



รูปที่ 9 วิธีการทดสอบแบบ Constant head ตามวิธีของ Darcy[3]



2. วิธี Falling head method

Falling head method เป็นวิธีที่เหมาะสมกับดินที่มีค่า k ปานกลางถึงค่อนข้างต่ำ เช่น ทรายละเอียด ดินเหนียว ซึ่งน้ำไหลผ่านมวลดินได้ช้า หากทดสอบด้วยวิธี constant head ใช้ระยะเวลาในการทดสอบนาน จึงปรับการทดสอบโดยปล่อยให้ น้ำไหลผ่านมวลดินที่บรรจุใน burette ซึ่งมี scale ระบุปริมาตร เพื่อให้สามารถคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดภายใน (a) เมื่อทำการทดลองระดับน้ำใน burette อยู่ที่ระดับ h1 ปล่อยให้ น้ำไหลผ่านแล้วจับเวลาที่ระดับน้ำใน burette ลดลงมาจากระดับ h1 มาถึงระดับ h2 จะเห็นว่า total head difference ที่ทำให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างดินจะเปลี่ยนไปตลอดเวลาที่ทำการทดสอบจาก h1 มาเป็น h2 หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหา ค่า k จากสมการที่ 7

$$k = 2.3 \frac{aL}{At} \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \quad (7)$$

โดย

a คือ พื้นที่หน้าตัดภายในของ burette

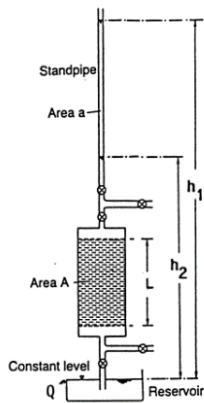
L คือ ความยาวของตัวอย่างดินหรือระยะทางที่น้ำไหลผ่านมวลดินภายใต้การทดลอง

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำ

t คือ ระยะเวลาที่น้ำใน burette ลดลงจากระดับ h1 มาถึงระดับ h2

h<sub>1</sub> คือ ค่าความแตกต่างของพลังงานรวมที่ทำให้ น้ำไหลผ่านตัวอย่างดินเมื่อเริ่มจับเวลาทดสอบ

h<sub>2</sub> คือ ค่าความแตกต่างของพลังงานรวมที่ทำให้ น้ำไหลผ่านตัวอย่างดินเมื่อสิ้นสุดการทดสอบที่เวลา t

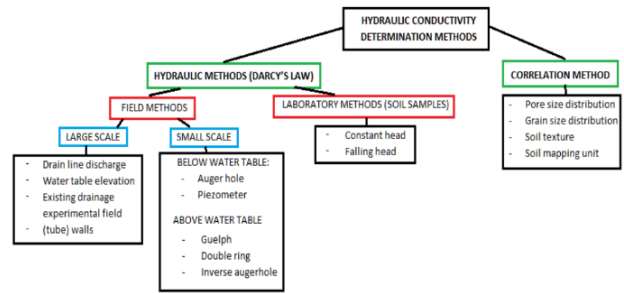


รูปที่ 10 วิธีการทดสอบแบบ Falling head ตามวิธีของ Darcy [3]

2.3.2 วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำในสนาม

(Hydraulic conductivity field method, k)

วิธีการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำในสนามนั้นสามารถหาได้อย่างง่ายดายในหลุมทดสอบขนาดเล็กที่ทำได้รวดเร็วแต่อาจจะมี ความคลาดเคลื่อนของค่า k ที่ทำได้ในทางกลับหากเป็นการทดสอบขนาดใหญ่ซึ่งกำหนดขอบเขตของการทดสอบนั้นได้จะลดอัตราการคลาดเคลื่อนของค่า k ที่ทำได้แม้จะใช้เวลานานและค่าใช้จ่ายสูงสามารถสรุปวิธีการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 11

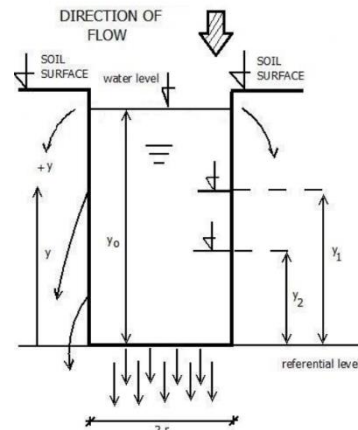


รูปที่ 11 วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านมวลดิน [4]

แผนผังจากรูปที่ 11 สามารถแสดงตัวอย่างวิธีการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ในสนามอย่างง่ายที่สามารถทำได้โดยการทดสอบนั้นจะเป็นการทดสอบเหนือระดับน้ำใต้ดิน (above water table) เช่น

1. วิธี Inversed Auger-hole method

Inversed Auger-hole method จะทำการทดสอบโดยเจาะหลุมทดสอบลงในดินเหนือระดับน้ำใต้ดินจากนั้นเติมน้ำลงไปหลุมทดสอบแล้ววัดอัตราการลดระดับของน้ำในหลุม จากอัตราการลดระดับและรูปร่างของหลุมทดสอบดังแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 12



รูปที่ 12 รูปตัดของวิธีการทดสอบ Inversed Auger-hole [4]

และคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ได้ดังสมการที่ 8

$$k = \left(\frac{r}{L}\right) (t_2 - t_1)^{-1} \left(\ln \frac{y_1 + \frac{r}{2}}{y_2 + \frac{r}{2}}\right) \quad (8)$$

โดย

r คือ รัศมีของหลุมเจาะทดสอบที่ทำการทดสอบ

t<sub>1</sub> คือ ระยะเวลาที่น้ำลดลงถึงระดับ y<sub>1</sub>

t<sub>2</sub> คือ ระยะเวลาที่น้ำลดลงถึงระดับ y<sub>2</sub>

y<sub>1</sub> คือ ค่าระดับความสูงของน้ำที่เวลา t<sub>1</sub>

y<sub>2</sub> คือ ค่าระดับความสูงของน้ำที่เวลา t<sub>2</sub>

2. วิธี Double ring infiltrometer method

Double ring infiltrometer method ทำการทดสอบการวัดการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดินโดยใช้วงแหวนคู่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 30 เซนติเมตรและ 60 เซนติเมตรตามลำดับ โดยวางวงแหวนขนาดเล็กไว้บนผิวดินแล้วกดลงในดินประมาณ 5-10 เซนติเมตรและวางวง

แหวนขนาดใหญ่ไว้ข้างนอกเพื่อวัดอัตราการซึมของน้ำให้น้ำซึมผ่านผิวดิน  
ลงไปด้านล่างไม่ให้เกิดการซึมออกด้านข้างดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 ทดลองวัดการซึมผ่านของน้ำผ่านผิวดินโดยวิธี Double ring

การทดลองจะทำการบันทึกที่ระดับน้ำและเวลาในวงแหวนด้าน  
ในจะให้น้ำซึมผ่านผิวดินโดยเติมน้ำในวงแหวนด้านในจนกระทั่งระดับน้ำใน  
วงแหวนด้านในและวงแหวนด้านนอกคงที่ในที่นี้กล่าวได้ว่าอัตราการซึม  
ผ่านของน้ำจะคงที่ได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 9 สมการที่ 10  
และสมการที่ 11

$$i(t) = St^{\frac{1}{2}} + At \quad (9)$$

$$v(t) = (1/2)St^{-\frac{1}{2}} + A \quad (10)$$

และ

$$Y = P1(x^{1/2}) + P2(X) \quad (11)$$

โดย

$i(t), Y$  คือ ค่าการซึมสะสม

$v(t)$  คือ ความเข้มข้นของการซึม

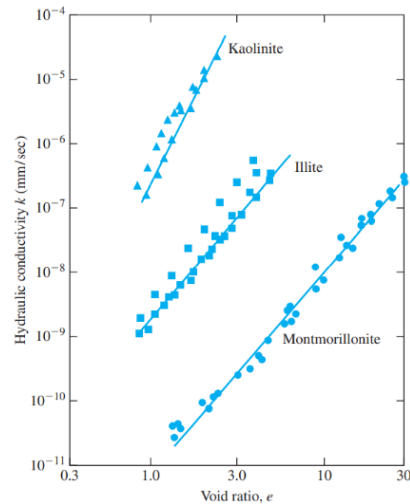
$S, P1$  คือ ตัวแปรของการดูดซับ

$A, P2$  คือค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมหรือค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่  
ของน้ำ ( $k$ )

$X$  คือ เวลา

2.3.3 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำและ  
ดินเหนียว (Relationships for hydraulic conductivity,  $k$  – Cohesive  
Soils)

ความแปรปรวนจากทฤษฎีและการทดลองซึ่งมีปัจจัยหลาย  
ประการไม่ว่าจะเป็นการเบี่ยงเบนจากกฎของ Darcy ความไม่เท่ากันของ  
ช่องว่างภายในมวลดิน การหาค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำในดิน  
เหนียวนั้น Mersi and Olson[5] ได้นำเสนอสมการเส้นตรงแสดงความ  
สัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของค่า  $k$  และลอการิทึมของค่า  $e$  (อัตราส่วน  
ปริมาตรช่องว่างในมวลดิน (void ratio)) ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำ  
กับอัตราส่วนปริมาตรช่องว่างในมวลดิน[5]

### 3. วิธีการดำเนินการวิจัย (Methodology)

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1.1 ประเมินหาคูณสมบัติดินบวมตัวในเบื้องต้นโดยใช้  
คุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ค่าขีดจำกัดความเหลว (Liquid limit), ดัชนี  
การเป็นพลาสติก (Plastic index), ดัชนีของการบวมตัว (Swell index)



รูปที่ 15 ตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบดัชนีการบวมตัว

3.1.2 หาค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำในห้องปฏิบัติการ  
โดยวิธี falling head



รูปที่ 16 ตัวอย่างอุปกรณ์ในการทดสอบหาค่า  $k$  โดยวิธี falling head

3.1.3 หาค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำในสนามโดยวิธี

Inverse auger-hole



รูปที่ 17 ทดลองวัดการซึมผ่านของน้ำโดยวิธี Inversed Auger-hole

3.2 ขอบเขตงานวิจัย

3.2.1 ดินที่ใช้ในการศึกษาเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำ (k) จะเป็นดินที่นำมาจากพื้นที่ในบริเวณของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

3.2.2 พื้นที่ในการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำ (k) ในสนามนั้นจะทำการทดสอบในบริเวณพื้นที่ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

4. ผลการทดสอบ

4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของดินที่นำมาทดสอบ

ตารางที่ 3 คุณสมบัติพื้นฐานของดินที่นำมาทดสอบ

Soil properties	Test value
Liquid limit (%)	61.24
Plastic limit (%)	15.37
Plastic index (%)	45.87
Swell index (%)	50-75

ตัวอย่างดินที่นำมาใช้ในการทดสอบมีลักษณะเป็นดินเหนียวสีเหลืองประเภท CH จำแนกความสามารถในการขยายตัวเบื้องต้นตามคุณสมบัติในตารางที่ 1 พบว่ามวลดินมีความสามารถในการขยายตัวสูง

4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำในห้องปฏิบัติการ

(Hydraulic conductivity laboratory method, k) โดยวิธี falling head

ผลการทดสอบที่ได้จากห้องปฏิบัติการมีค่าเท่ากับ 4.49E-08 cm/s

ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่า Hydraulic Conductivity, k ในทิศการไหลตั้งฉากกับชั้นดิน

ครั้งที่	Standpipe Readings		ระยะน้ำลดลงใน standpipe, t		อุณหภูมิน้ำ T (Degree C)	ปริมาตรน้ำที่ไหล ผ่านการทดลอง (cc)	kT (cm/s)	Viscosity Ratio	K20 (cm/s)	k20เฉลี่ย (cm/s)
	h1 (cm)	h2 (cm)	นาที	วินาที						
1	95.5	95.0	128	16	23.4	0.104	4.34E-08	9.23E-01	4.00E-08	4.49E-08
2	95.0	94.5	110	57	23.2	0.104	5.04E-08	9.27E-01	4.67E-08	
3	94.5	94.0	108	54	23.1	0.104	5.16E-08	9.29E-01	4.80E-08	

4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำในสนาม (The Hydraulic conductivity field, k) โดยวิธี Inverse auger-hole

ผลการทดสอบจากสนามซึ่งทำการบันทึกเวลาและระดับน้ำที่ลดลงตามระยะเวลา  $t_1, t_2$  และ  $y_1, y_2$  คำนวณตามสมการที่ 8 ในข้างต้นมีค่าเท่ากับ 6.29 E-05 cm/s

จากผลการทดสอบในข้อที่ 4.2 และข้อที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านมวลดิน (Hydraulic conductivity ,k) นั้นมีค่าต่างกัน แต่ยังคงอยู่ในช่วงค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านมวลดินของดินเหนียว

4.4 การประมาณระยะเวลาน้ำไหลซึมจากแหล่งน้ำจนถึงอาคารที่เสียหาย

จากค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำที่ได้จากการทดสอบในสนาม (Hydraulic conductivity ,k) มีค่าเท่ากับ 6.29E-05 cm/s นำมาคำนวณหาความเร็วไหลของน้ำที่ผ่านมวลดินตามสมการที่ 3 มีค่าเท่ากับ 5.03E-06 cm/s จะได้ระยะเวลาประมาณ 15 ปี 8 เดือน ที่น้ำไหลผ่านมวลดินไปยังอาคารในระยะทาง 25 เมตร พบว่าใช้เวลามากกว่าระยะเวลาของความเสียหายที่เกิดขึ้นจริง โดยระยะเวลาความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงใช้ระยะเวลาประมาณ 3-4 ปีหลังจากที่บ่อน้ำถูกสร้างขึ้น

5. สรุปผล

จากผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านมวลดิน (Hydraulic conductivity ,k) ที่ได้จากห้องปฏิบัติการและค่าที่ได้จากในสนามอย่างง่ายมีนั้นมีค่าแตกต่างกันพอสมควรแต่ยังอยู่ช่วงค่าสัมประสิทธิ์ของดินเหนียว เมื่อนำค่าที่ได้จากสนามดังกล่าวไปคำนวณหาระยะเวลาที่น้ำซึมไปยังอาคารพบว่าระยะเวลาในการซึมถึงอาคารนั้นมากเกินกว่าระยะเวลาที่อาคารเริ่มมีความเสียหายเกิดขึ้นอาจเป็นเพราะน้ำไม่ได้เคลื่อนที่ผ่านไปยังชั้นดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวทั้งหมดและค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านมวลดิน (Hydraulic conductivity ,k) ที่ได้จากสนามนั้นเป็นบริเวณพื้นที่อื่นของโรงไฟฟ้าแม่เมาะไม่ใช่บริเวณอาคารที่เกิดความเสียหายในข้างต้น

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่ให้การสนับสนุนทุน  
สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Mitchell, J.K. (1993). Fundamentals of Soil Behaviour (2nd Edition). Hoboken, New York, USA
- [2] Er Jithesh. Determine Free Swell Index of soil. Retrieved June,01,2022 from <https://www.engineeringcivil.com/determine-free-swell-index-of-soil.html>
- [3] สุริยะ ทองมณี. (ม.ป.ป.). Engineering Soil Tests: Volume 1. เอกสารประกอบการสอนภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: ม.ป.พ.
- [4] Jakub Stibinger (2014) . Examples of Determining the Hydraulic Conductivity of Soils.Theory and Applications of Selected Basic Method., Usti nad Labem, Czech Republic
- [5] Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering (8th edition), Cengage Learning, Boston, MA, USA.