การยกตัวของฐานแผ่เนื่องจากดินบวมตัว ในพื้นที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
Heaving of Spread Footing Due to Expansive Soil in Mae Moh District, Lampang

ธีรศักดิ์ ไชยชนะ[1], เศรษฐพงศ์ เศรษฐบุปผา[2*]

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่
**Corresponding author; E-mail address: sethapong.s@cmu.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอปัญหาการยกตัวของฐานรากของอาคารพักอาศัย 4 ชั้นในอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยพบรอยแตกร้าวทแยงที่ผนังใกล้หน้าต่างทุกชั้น รอยแยกที่หัวเสาและคาน รวมถึงเสาชั้นใต้ถุนที่เอนออกจากแนวดิ่ง บริเวณรอบอาคารมีแหล่งน้ำอยู่ในระยะ 20 เมตร และมีแอ่งน้ำขังถาวรทางทิศตะวันตก ซึ่งบ่งชี้ถึงสภาวะดินที่มีความชื้นสูง จากการศึกษาคุณสมบัติของดิน พบว่าดินใต้ฐานรากเป็นดินที่มีศักยภาพในการบวมตัวสูง โดยผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการระบุค่าแรงดันบวมตัวสูงสุดประมาณ 150 kN/m² และอัตราการพองตัวอิสระประมาณ 4.0% การวิเคราะห์ด้วยวิธีของ O'Neill and Poormoayed คาดการณ์ว่าฐานรากอาจเกิดการยกตัวประมาณ 55-65 mm ซึ่งเพียงพอที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง ผลการศึกษาพบว่าการใช้ฐานรากแผ่บนดินบวมตัวมีข้อจำกัดเนื่องจากการออกแบบให้มีน้ำหนักเพียงพอในการต้านการพองตัวของดินทำได้ยาก โดยเฉพาะที่ระดับความลึกมากขึ้นซึ่งความเค้นจากน้ำหนักอาคารจะลดลง แนวทางแก้ไขที่เหมาะสมอาจรวมถึงการใช้ฐานรากลึกเพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดิน หรือการปรับปรุงชั้นดินก่อนการก่อสร้างเพื่อลดศักยภาพในการบวมตัวของดิน

คำสำคัญ: ดินบวมตัว, แรงดันบวมตัว, การยกตัวของฐานราก

Abstract

This article presents the issue of foundation uplift in a four-story residential building in Mae Moh District, Lampang Province. The building exhibits diagonal cracks on walls near windows on all floors, separations at beam-column joints, and tilting of ground-floor columns. Surrounding the building, water sources are found within a 20-meter radius, and a permanently waterlogged area exists on the western side, indicating high soil moisture conditions. A soil investigation revealed that the subsoil beneath the foundation has a high swelling potential. Laboratory tests indicated a maximum swelling pressure of approximately 150 kN/m² and a free swell ratio of about 4.0%. Analysis using the O'Neill and Poormoayed method predicted a foundation heave of approximately 55–65 mm, which is significant enough to cause structural damage. The study found that using a shallow spread footing on expansive soil presents challenges, as designing a foundation with sufficient weight to counteract swelling pressure is difficult. This issue is particularly pronounced at greater depths, where stress from the building load diminishes. Suitable mitigation measures may include deep foundation systems to bypass the swelling zone or soil improvement techniques before construction to reduce the soil's swelling potential.

Keywords: Expansive soil, Swell pressure, footing heaving

1. คำนำ

ในพื้นที่อำเภอแม่เมาะจังหวัดลำปาง มีอาคารหลังหนึ่งเกิดปัญหาการยกและโครงสร้างเสียหายมากว่า 30 ปี ซึ่งจากการตรวจสอบกับผลการทดสอบดินในพื้นที่ใกล้เคียงพบว่าในพื้นที่มีชั้นดินบวมตัว ซึ่งอาจทำให้อาคารเกิดความเสียหายได้ โดยที่ตอนก่อสร้างความรู้เรื่องดินบวมตัวยังมีจำกัด และเจ้าของอาคารได้ยกเลิกการใช้งานอาคาร ประเด็นที่หน้าสนใจคือจะสามารถคาดการล่วงหน้าได้อย่างไรโดยคำนวณหาความสามารถในการยกตัวของอาคารเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายจากดินบวมตัวที่อาจเกิดขึ้นกับอาคารในพื้นที่ที่จะก่อสร้างเพิ่มเติมในอนาคตจึงได้จัดทำเป็นกรณีศึกษานี้ขึ้น

รูปที่ 1 อาคารที่เกิดการยกตัวของอาคาร

2. ลักษณะอาคารและความเสียหายที่พบ

อาคารหลังนี้เป็นอาคารพักอาศัย 4 ชั้น ใต้ถุนโล่ง ดังแสดงในรูปที่ 1 ถูกสร้างมาตั้งแต่ประมาณปี พ.ศ. 2530 โครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก อาคารหลังนี้วางตัวตามทิศตะวันออก – ตะวันตก ระยะห่างระหว่างเสาในแนวทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก 3.2 m ทิศเหนือ – ทิศใต้ 6.4 m โดยอาคารหลังนี้มีอาคารลักษณะเดียวกันรายล้อมทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก ส่วนทางด้านทิศเหนือเป็นพื้นที่สวนป่า และมีถังเก็บน้ำและหอสูงของระบบจัดส่งน้ำประปาอยู่ติดกับอาคารทางทิศเหนือค่อนไปทางตะวันตก เมื่อสำรวจรอบอาคาร ได้พบแหล่งน้ำดังแสดงในรูป 2 ซึ่งประกอบไปด้วย หอสูงระบบส่งน้ำประปาประมาณ 2 m (รูป ก.) บ่อเก็บน้ำใต้ดินซึ่งอยู่ห่างจากอาคารประมาณ 10 m (รูป ข.) และแอ่งน้ำซึ่งขังบนพื้นดินข้างอาคารตลอดเวลา (รูป ค.)

ก. ระบบส่งน้ำประปา ข. ถังเก็บน้ำใต้ดิน ค. แอ่งน้ำขังข้างอาคาร

รูปที่ 2 ระบบส่งน้ำประปาในบริเวณอาคารและแอ่งน้ำขังบนพื้นดิน

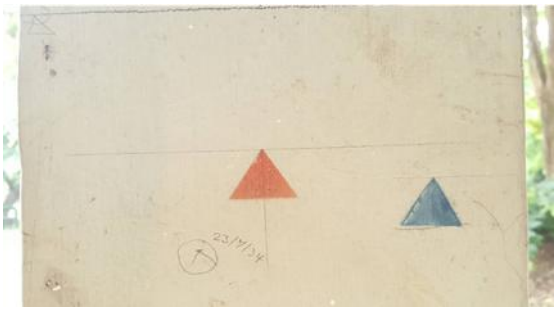
จากการสังเกตภายนอกพบความเสียหายของอาคาร ที่ชัดเจนได้แก่ (ก.) รอยแตกร้าวเฉียงเป็นมุมทแยงบนพนังอาคารข้างหน้าต่างทุกชั้น (ข.) รอยแยกที่หัวเสาและคาน และ (ค.) เสาในชั้นใต้ถุนเอนไม่อยู่ในแนวดิ่งหลังเกิดความเสียหาย ดังแสดงในรูป 3

ก. รอยแตกร้าวบนผนัง ข. รอยปริที่เสากับคาน ค. เสาเอนไปจากแนวดิ่ง

รูปที่ 3 ร่องรอยความเสียหายของอาคาร

3. ผลการสำรวจในอดีต

บนเสาของอาคารมีเครื่องหมายแสดงให้เห็นว่าน่าจะเป็นการตรวจสอบการยกตัวของอาคารในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2534 ดังรูปที่ 4 ปรากฏว่ามีเครื่องหมายเป็นรูปสามเหลี่ยมสีแดง สีน้ำเงิน และรอยดินสอและจากธรรมชาติของการสำรวจลูกศรสีแดงน่าจะเขียนขึ้นก่อน ต่อมาจึงเป็นลูกศรน้ำเงินและรอยดินสอ ซึ่งไม่สามารถค้นหาประวัติการสำรวจเจอแล้วจากการวัดระยะระหว่างรอยการสำรวจจะพบว่าอัตราการยกตัวของอาคารเป็นไปดังตารางที่ 1



รูปที่ 4 เครื่องหมายการตรวจสอบระดับที่ปรากฏ

ตารางที่ 1 ผลการวัดอัตราการยกตัวของอาคาร

เสาต้นที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Row A	ระยะศรสีแดง – ศรสีน้ำเงิน (mm.)	5.0	5.0	10.0	11.0	12.5	14.5	15.5	15.0	14.0	15.0	16.0	17.0	17.5
	ระยะศรสีแดง – รอยดินสอ (mm.)	-	26.0	30.0	38.0	42.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	-	50.0	-
Row B	ระยะศรสีแดง – ศรสีน้ำเงิน (mm.)	2.0	4.3	8.0	12.0	13.0	15.0	8.0	15.0	14.5	9.0	16.0	17.0	18.0
	ระยะศรสีแดง – รอยดินสอ (mm.)	-	27.0	37.0	38.0	42.0	45.0	48.0	48.0	48.0	45.0	45.0	50.0	50.0

หมายเหตุ – ไม่พบรอยดินสอบนเสา

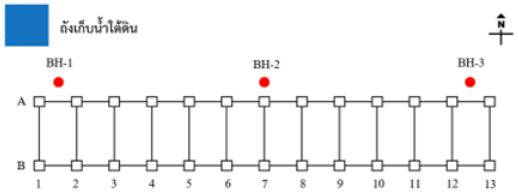
4. วัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการ

เป็นการศึกษาการคาดคะเนการยกตัวของดินใต้ฐานรากอาคารในกรณีที่เกิดดินบวมตัวโดยใช้หลักการตรวจพิสูจน์ (forensic study) ซึ่งมีวิธีการดำเนินการดังนี้

- เก็บตัวอย่างดินจากดินในสถานที่ๆเกิดปัญหา
- ทดสอบคุณสมบัติของดินเพื่อจำแนกศักยภาพในการบวมตัว
- ทดสอบแรงดันในการบวมตัว
- คำนวณการบวมตัวโดยเปรียบเทียบกับระยะการยกตัวที่เคยมีการสำรวจในอดีต

5. ผลการสำรวจตัวอย่างดินใต้ฐานรากอาคาร

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกผ่าซีกจำนวน 3 หลุม ที่บริเวณทิศตะวันออก กึ่งกลางและทิศตะวันตกของอาคาร ดังรูปที่ 5 โดยเก็บตัวอย่างดินได้ตั้งแต่ความลึก 0.00 -6.00 m พบชั้นดินเหนียวสีเหลืองเทา มีตะกอนปูนขาวปน เมื่อนำตัวอย่างจากการเจาะสำรวจมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งมีการทดสอบที่ประกอบด้วยการทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลดิน (Moisture content, %W) ASTM D 2216-98 การทดสอบค่าพิกัดสถานะความคงตัวของมวลดิน (Atterberg limits test) ASTM D 4318-17 ทดสอบหาขนาดคละของเม็ดดินโดยการร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis) ASTM C 136-06 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity test) ASTM D 854-23 ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 2



รูปที่ 5 ตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจชั้นดิน

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของตัวอย่างดิน

Properties	Bore hole		
	BH-1	BH-2	BH-3
Natural water content (%)	25.09	26.06	24.00
PL (%)	18.18	24.57	20.16
LL (%)	41.99	49.31	45.75
PI (%)	23.81	24.74	25.59
%pass #200 (%)	90.69	95.25	96.43
Gs. (kN/m^3)	26.50	26.60	27.90
Degree of Saturation (%)	44.69	47.12	42.96
Bulk density (kN/m^3)	20.40	21.02	20.54
Dry density (kN/m^3)	16.69	16.93	16.82
Soil Class.	CL	CL	CL

เมื่อผลการทดสอบ พิกัดพลาสติก มาจำแนกความสามารถในการบวมตัวของตัวอย่าง (Chen,1988) ได้ผลสรุปตามตารางที่ 3

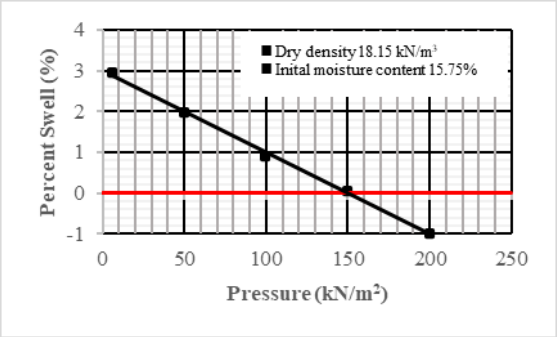
ตารางที่ 3 การจำแนกความสามารถของดินบวมตัวใต้ฐานรากโดยวิธีของ Chen (1988)

Bore hole	Plasticity index	Potential swell classification
BH-1	23.81	High
BH-2	24.74	High
BH-3	25.59	High

จะเห็นได้ว่าดินเหนียวใต้ฐานรากของทุกหลุมเจาะมีศักยภาพในการบวมตัวที่สูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการบวมตัวของดินใต้ฐานรากอาคาร

ระดับน้ำใต้ดินได้ทำการวัด จำนวน 3 ครั้งพบว่า ครั้งที่ 1 วัดเมื่อวันที่ 24 ธันวาคม 2562 มีระดับอยู่ที่ -3.16 m ครั้งที่ 2 วัดเมื่อวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2563 มีระดับอยู่ที่ -1.35 m ครั้งที่ 3 วัดเมื่อวันที่ 1 เมษายน 2563 มีระดับอยู่ที่ -1.95 m จะเห็นได้ว่าระดับน้ำใต้ดินที่ วัดทั้ง 3 ครั้งซึ่งวัดในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน จะมีระดับไม่ต่ำกว่า -5.00 m แสดงให้เห็นว่าระดับที่มีผลต่อการบวมตัวมีผลแค่ ระดับใต้ฐานรากถึง -5.00 m เท่านั้น

การทดสอบหาศักยภาพและแรงดันในการพองตัว (Swell potential and swell pressure test) เป็นการทดสอบเพื่อประเมินว่าดินที่ระดับความลึกต่างๆ ภายใต้น้ำหนักกดทับด้านบน (Overburden pressure) มีความสามารถในการบวมตัวหรือไม่ ตามมาตรฐาน ASTM D 4546-96 Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils พบว่าดินมีแรงดันในการบวมตัว 152 kN/m2 และมีการพองตัวอย่างอิสระประมาณไม่เกินร้อยละ 3.0 ดังปรากฏในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แรงดันจากการบวมตัวของตัวอย่างดิน

6. การประเมินการยกตัวของอาคาร

จากคู่มือการออกแบบฐานรากอาคารของกองทัพบกสหรัฐอเมริกา Department of the Army (1983) ได้ให้คำแนะนำสำหรับการออกแบบฐานรากบนดินบวมตัวไว้ว่า กำลังจากฐานรากต้องไม่น้อยกว่ากำลังในการบวมตัวของดิน แต่ต้องไม่มากกว่ากำลังในการรับน้ำหนักบรรทุก

การยกตัวของผิวดินเกิดขึ้นเนื่องจากชั้นดินบวมตัวใต้ฐานรากได้รับปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดินเกิดการขยายปริมาตรและเกิดแรงดันในการบวมตัว โดยจะเป็นแรงดันบวมตัวในแนวดิ่งของชั้นดิน (Heaving) วิธีนี้เป็นหลักการประเมินการบวมตัวของชั้นดินที่มีน้ำหนักบรรทุกกดทับ เช่น แรงที่กดทับบนฐานแผ่ โดยการบวมตัวเป็นการที่ดินได้รับความชื้นที่เพิ่มขึ้น โดยจะต้องเอาชนะน้ำหนักบรรทุกที่กดทับดินที่บวมตัวนั้นอยู่ โดยวิธีประเมินการยกตัวของฐานรากภายใต้น้ำหนักบรรทุกนั้นได้มีบุคคลที่ได้เสนอแนวทางในการประเมินการยกตัวของฐานรากภายใต้น้ำหนักบรรทุกเพื่อหาระยะการยกตัว (ΔH) โดยอ้างอิงตามวิธีการ 3 วิธีได้แก่ Odometer based method, Empirical based method, และ Suction base method ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การประเมินการยกตัวของดินที่เสนอโดย บุคคลต่างๆ

วิธีการ	สมการ	ตัวแปร	เสนอโดย
Odometer based method	$\Delta H = C_s \frac{H}{1+e_0} log \frac{p_f}{p'_s}$	Swelling layer (H) Swelling index (C_s) Initial void ratio (e_0) Final stress state (P_f) Corrected swelling pressure (P'_s) Correction parameter (k) Suction modulus ratio (C_w) Chang in water content (Δw) Shrinkage ratio (f) Shrink-swell modulus (E_w) Initial matric suction $(\tau_{m_i^0})$ Final matric suction $(\tau_{m_f^0})$ Percent swell (S_w)	Brinaud, Zhang, and Moon (2003)
Empirical based method	$\Delta H = C_s \frac{H}{1+e_0} \log \frac{kp_f}{10^{\frac{C_s}{C_w}\Delta w}}$		Dhowian (1990)
Suction base method	$\Delta H = HC_w \Delta w$		Fredlund, Rahardjo, and Fredlund (2012)
Suction base method	$\Delta H = \sum_{i=1}^{n} (\frac{H_i f_i \Delta w_i}{E_{wi}})$		Lu and Vanapalli (2012)
Suction base method	$\Delta H = H \frac{C_s}{1+e_0} \log (\frac{\tau_{m_i^0}}{\tau_{m_f^0}})$		Snethen (1980)

Odometer based method	$\Delta H = \sum_{i=1}^{n}(H_i \times \frac{S_{w(i)}}{100})$		O'Neill and Poormoayed (1980)

โดยในการประเมินศักยภาพในการบวมตัวของดินเหนียวบวมตัวแม่เมาะนี้ จะใช้วิธี โอโดมิเตอร์ (Odometer based method) ของ O'Neill and Poormoayed (1980) เนื่องจากวิธีของ Brinaud, Zhang, and Moon (2003) นั้นต้องการใช้ตัวแปรอัตราส่วนช่องว่างเริ่มต้น (Initial void ratio; e_0) ซึ่งมีความซับซ้อนการการทดสอบ วิธีการประมาณจากการทดสอบ (Empirical based method) และ วิธีการคำนวณจากการดูดน้ำ (Suction base method) ของดินนั้นไม่สามารถใช้ได้เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์สำหรับทำการทดสอบการดูดน้ำของตัวอย่างดิน (Suction) ดังนั้นวิธีการคำนวณที่เหมาะสมคือวิธีของ O'Neill and Poormoayed (1980)

การประเมินการยกตัวของ O'Neill and Poormoayed (1980)

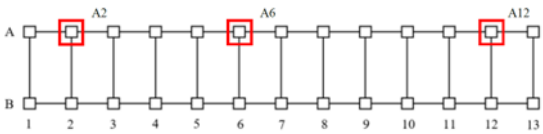
$$\Delta H = \sum_{i=1}^{n}[H_i \cdot \frac{S_{w(i)}}{100}] \quad (1)$$

โดยที่ ΔH คือระดับการยกตัวของฐานรากที่เกิดจากการบวมตัวของดินใต้ฐานราก

H_i คือความหนาของดินชั้นที่ i

$S_{w(i)}$ คือร้อยละการพองตัวของดิน (Percent swell) ที่เป็นไปได้ภายใต้ความเค้นรวมจากฐานรากและน้ำหนักดินที่กดทับที่ระดับกึ่งกลางชั้นดินที่ i ซึ่งค่าร้อยละการพองตัวของดินนี้ได้จากการทดสอบแรงดันจากการพองตัวของตัวอย่างดินชั้นที่ i

ชั้นดินพองตัวที่มีผลกับฐานรากอยู่ที่ -1.5 m ถึง -5.0 m ซึ่งเป็นระดับที่มีความชื้นที่เพิ่มขึ้นความเค้นจากฐานรากประมาณ 300 kN/m^2 หน่วยน้ำหนักดินตามผลการเจาะสำรวจ ฐานรากขนาด 2 x 2 m การกระจายความเค้นใต้ฐานรากเป็น 2V : 1H คิดในตำแหน่ง A2, A6 และ A12 ตามผังอาคาร ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผังอาคารและตำแหน่งฐานรากที่คำนวณ

ผลการประมาณการยกตัวของฐานรากและเสาต้นที่ตำแหน่ง A2, A6 และ A12 (ตามผังอาคารในรูปที่ 7) แสดงในตารางที่ 1โดยในการคำนวณนั้น ความเค้นในแนวดิ่งที่กึ่งกลางชั้นดินต่างๆ (Stress) ได้จากผลรวมของความเค้นประสิทธิผล (σ_o') จากน้ำหนักดินที่อยู่เหนือระดับกึ่งกลางชั้นดินนั้นขึ้น กับความเค้นจากฐานราก ($\Delta\sigma$) ที่ระดับเดียวกันนั้น สามารถคำนวณความเค้นจากฐานรากอาคารได้จากน้ำหนักบรรทุกรวมที่ถูกถ่ายลงดินผ่านฐานรากอาคารโดยประมาณคือ 300 kN/m^2 (30 ตัน) โดยฐานรากมีขนาด 2.0 m x 2.0 m และประมาณให้การกระจายความเค้นในดินใต้ฐานรากมีการกระจายในรูปแบบ 2V:1H สำหรับการพองตัว (Swell) เท่ากับร้อยละของการพองตัว (Swell %) คูณความหนาของชั้นนั้น (H_i) โดยแบ่งความหนาของชั้นเท่ากับ 0.025 m ตามแบบจำลองในรูปที่ 8

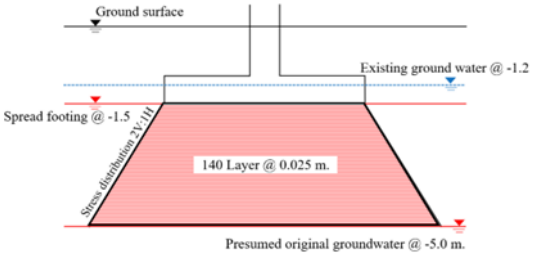
ตัวอย่างการคำนวณ ที่ฐานราก A6 ชั้นความลึก -2.000 ถึง -2.025

H_i = 0.025 m

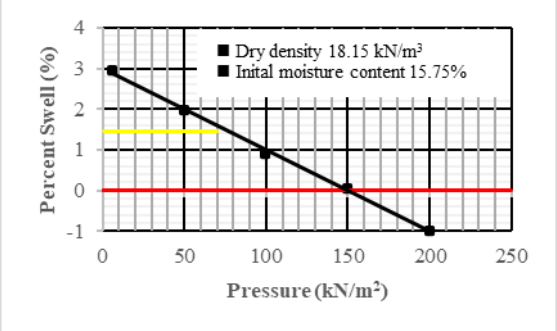
แรงดันประสิทธิผลจากการกดทับของดินด้านบน (Effective Overburden Pressure) σ_{eff} = 36.84 kN/m^2

แรงดันจากฐานรากตามอัตราส่วน 2:1 = 33.33 kN/m^2

แรงดันบวมตัว = 70.17 kN/m^2 นำค่าที่ได้ไปอ่านจากกราฟในรูปที่ 6 จะได้ $S_{w(i)}$ = 1.6% ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 8 แบบจำลองสำหรับประมาณการการยกตัวของฐานราก



รูปที่ 9 การอ่านค่าร้อยละการพองตัวของดิน (Percent swell) ที่ เป็นไปได้ภายใต้ความเค้นรวมจากฐานรากและน้ำหนักดินที่กดทับโดยใช้สมการที่ 1

$$H = 0.025 \times \frac{1.6}{100} = 0.40 \text{ mm}$$

เมื่อคำนวณทุกชั้น ตั้งแต่ -1.5 ถึง -5.0 จะได้ผลรวมของการพองตัวดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณการยกตัวของฐานรากโดยวิธีของ O'Neill and Poormoayed

ฐานราก	ชนิดของดินใต้ฐานราก	ผลการวัดในสนาม (mm)	ผลการคำนวณ (mm)
A2	ดินเหนียวสีเหลืองเทา (CL)	26.0	63.60
A6	ดินเหนียวสีเหลืองเทา (CL)	45.0	56.97
A12	ดินเหนียวสีเหลืองเทา (CL)	50.0	59.68

จากผลการคำนวณในตารางที่ 4-3 นั้น จะเห็นว่าได้ในฐานราก A1 สูงกว่าที่คำนวณไว้แต่ ฐานราก A6 และ A12 ใกล้เคียงกับผลการคำนวณ ที่ฐานราก A2 นั้นผลจากการคำนวณสูงกว่าค่าที่วัดได้ ซึ่งสามารถเป็นไปได้ด้วยเหตุผลดังนี้

1. เนื่องจากฐานราก A2 นั้นอยู่ใกล้กับแหล่งที่มาของความชื้น ดังจะเห็นได้ว่าบริเวณมุมเสา A2 นั้นมีแอ่งน้ำขังดังที่เห็นในรูปที่ 1 (ค.) ทำให้บริเวณนี้เป็นจุดตั้งต้นของความเสียหาย โดยที่เสาน่าจะเกิดการยกตัวขึ้นมาก่อนแล้วระดับหนึ่ง เมื่ออาคารเริ่มเกิดความเสียหาย จึงได้เริ่มทำการสำรวจ

เครื่องหมายต่างๆ บนเสาดังที่ได้กล่าวมานั้น จึงน่าจะถูกทำขึ้นมาหลังจากอาคารเกิดการบวมตัวขึ้นแล้ว

2. ตัวอย่างในการทดสอบแรงดันจากการบวมตัวของดินนี้มาจากหลุมเจาะซึ่งอยู่ห่างจากฐานราก A2 ประมาณ 5 m ซึ่งไม่ใช่ดินใต้ฐานรากจริง จำเป็นต้องใช้ตัวอย่างดินที่บดอัดขึ้นมาใหม่ (Remolded samples) จึงอาจจะได้ตัวอย่างดินที่มีความหนาแน่นและความชื้นตั้งต้นแตกต่างไปจากสภาพของดินจริงในสนามก่อนเกิดการบวมตัว โดยปกตินั้น หากความหนาแน่นของดินสูงมาก ก็จะทำให้แรงดันและระดับการบวมตัวของดินสูงขึ้นไปด้วย

7. บทสรุปจากกรณีศึกษา

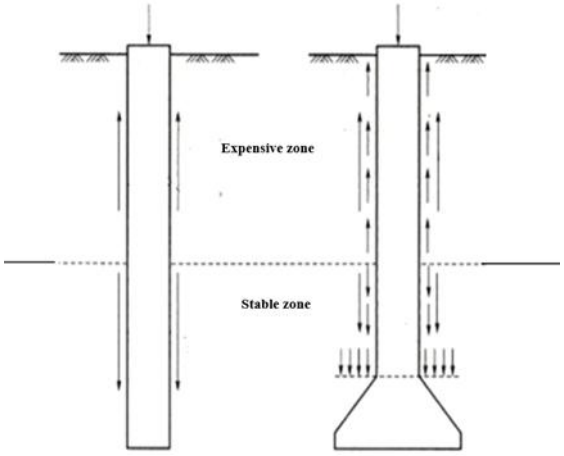
ในการประเมินการยกตัวของฐานรากชนิดฐานแผ่บนดินเหนียวบวมตัวแม่เมาะ มีการยกตัวของฐานรากจากการวัดการยกตัวที่อาคาร ฟ-107 ที่เสาต้น A2 A6 และ A12 มีค่าเท่ากับ 26 mm, 45 mm, และ 50 mm ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณการยกตัวของฐานรากตามวิธีการของ O'Neill and Poormoayed (1980)

ปรากฏว่าผลการคำนวณในเสาต้นที่ A2 A6 และ A12 เท่ากับ 63.60 mm, 56.97 mm, และ 59.68 mm ตามลำดับจึงเห็นว่าการคำนวณการยกตัวของฐานราก สามารถใช้ในการประมาณการยกตัวของฐานรากเนื่องจากดินบวมตัวในพื้นที่ของ กฟผ.แม่เมาะได้ซึ่งการยกตัวถึง 60 mm นี้สามารถสร้างปัญหาให้กับอาคารได้ จึงควรทำการเจาะสำรวจและวิเคราะห์ก่อนการก่อสร้างมีการโดยเก็บตัวอย่างดินมาทำการทดสอบการบวมตัวของดินเนื่องจากแรงดันปริมาณต่างๆ เมื่อคำนวณปริมาณการยกตัวได้แล้ว วิศวกรควรตรวจสอบผลกระทบที่เกิดขึ้นกับอาคาร และหาวิธีการหลีกเลี่ยงและป้องกันอาคารเสียหายต่อไป โดยหากเลือกใช้ฐานรากตื้นอาจต้องใช้โครงสร้างพิเศษพิเศษที่จะไม่เกิดความเสียหายเมื่อดินบวมตัว และต้องคำนึงถึง การควบคุมการบวมตัวของดิน และการออกแบบขนาดฐานแผให้ความเค้นจากน้ำหนักบรรทุกมากกว่าแรงดันในการพองตัว (swelling pressure; σ_{sw}) ของดิน แต่ไม่เกินกำลังแบกทานน้ำหนักบรรทุกของดิน (bearing capacity: q_u) เป็นไปดังความสัมพันธ์นี้ (Kalantari, 2012)

$$\sigma_{sw} < \frac{P}{A_f} < q_a$$

เมื่อ σ_{sw} = แรงดันในการพองตัวของดิน
P = น้ำหนักบรรทุกจากฐานแผ่
A_f = ขนาดพื้นที่ของฐานแผ่
q_a = กำลังแบกทานที่ยอมให้เกิดขึ้นในชั้นดินใต้ฐานแผ่

หรือหลีกเลี่ยงชั้นดินบวมตัวใต้ฐานรากโดยการใช้เสาเข็มเพื่อหลีกเลี่ยงชั้นดินบวมตัว แต่ต้องไม่ลืมคำนึงถึงแรงถอนที่อาจเกิดขึ้นจากดินบวมตัวชั้นบนดังรูปที่ 10 (Muryphy, 2010)



รูปที่ 10 ฐานรากเสาเข็มในดินบวมตัว

8. ข้อเสนอแนะ

การประเมินว่าดินมีความสามารถในการพองตัวเพื่อดำเนินการคำนวณหาการยกตัวของอาคารมีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

1. เก็บตัวอย่างดินแบบไม่ถูกรบกวน ซึ่งอาจทำได้ยากเนื่องจากดินเดิมแข็งมาก หากบดอัดขึ้นรูปใหม่สำหรับทดสอบต้องควบคุมความหนาแน่นแห้งและความชื้นแต่ก็ยังอาจทำให้ผลแตกต่างได้

2. ทดสอบแรงดันในการพองตัวและร้อยละการพองตัวด้วยวิธี One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils ตามมาตรฐาน ASTM D 4546-96 เพื่อหาร้อยละของการพองตัวภายใต้ความดันต่างๆดังรูปที่ 6

3. คำนวณด้วยวิธีของ O'Neill and Poormoayed (1980) โดยแบ่งชั้นดินตามความหนาของ Odometer แล้วคำนวณการพองตัวของชั้นดินที่ถูกแบ่งนั้น แล้วคำนวณการพองตัวสะสม

4. นำการพองตัวที่คำนวณได้ไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อลดความเสียหายจากการพองตัวของอาคารนั้นต่อไป

9. เอกสารอ้างอิง

[1] Adana K, Jay X. W. & William B. P. (2017), A Study of the swell-shrink behavior of expansive Moreland clay, International Journal of Geotechnical Engineering, 13:3, 205-217

[2] Al-Hattamleh, O. H. (2008). "Heave problem in spread footing in Jordanian expansive soil." Proceedings of the Sixth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering and Symposium in Honor of Professor James K. Mitchell, Arlington, VA, August 11-16, 2008

[3] Briaud, J. L., Zhang X., and Moon S.. (2003), Shrink Test-Water Content Method for Shrink and Swell Predictions, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 129, No. 7*

[4] Chen, F.H. (1988) Foundations on Expansive Soils. 2nd Edition, Elsevier Science Publications, New York.

[5} Das, B.M. (2016), Principles of Foundation Engineering (8th edition), Cengage Learning, Boston, MA, USA.

[6] Department of the Army (1983), Foundations in Expansive Soils, Technical Manual, Headquarters, Department of the Army, Washington, DC, USA.

[7] Dhowian, A. W. (1990), Field Performance of Expansive Shale Formation. *Journal of King Abdulaziz University: Engineer,* Sciences, Vol.2: 165-182

[8] Fattah, M.Y., and Salman, F.A. (2006), The Active Zone for Heave of Expansive Soils, Proceedings of the 4th Jordanian Civil Engineering Conference, 28-30 March 2006, Amman-Jordan.

[9] Fredlund D. G., Rahardjo H, & Fredlund M.D. (2012), *Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice,* New York: Wiley.

[10] Kalantari B. (2012), Foundations on Expansive Soils: A Review, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 4(18): 3231-3237

[11] Lucian, C. (2011), Geotechnology to Determine the Depth of Active Zone in Expansive Soils in Kibaha, Tanzania, Global Journal of Pure and Applied Sciences Vol.17, No.2, 2011: 189-195.

[12] Murphy, V.N.S., 2010. Soil Mechanics and Foundation engineering. CBS Publishers and Distributors Pvt. Ltd., New Delhi, PP: 924-940

[13] O'Neill, M.W., and Poormoayed, N. (1980), Methodology for Foundations on Expansive Clays, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.106, No. GT12, pp. 1345-1367.

[14] Sethabouppha S. (2020), Development of a Design Guideline for Building Foundations and Pavements to Reduce Damages from Expansive Soil in EGAT's Mae Moh Area, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Thailand

[15] Snethen D. R. (1980), Characterization of Expansive Soils Using Soil Suction Data, *Proc., 4th International Conference on Expansive Soils, ASCE. 54-75*

[16] Thongthang J., & Sethabouppha, S. (2022). Testing for Hydraulic Conductivity of Mae Moh Expansive Soil and Estimation of Seepage Time from a Reservoir to a Damaged Building. The 27th National Convention on Civil Engineering, 27, GTE49–1.Retrieved from https://conference .thaince.org/index.php/ncce27/article/view/1423

[17] Vanapalli S. K. & Lu, L., (2012), A State-of-the Art Review of 1-D Heave Prediction Methods for Expansive Soils, *International Journal of Geotechnical Engineering 6(1):15-41*

[18] Weimin Y., Yawei Z., Bao C., Xiuhan Z. & Qiang X. (2010), Shear strength of an unsaturated weakly expansive soil, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering Vol.2(2):155-161