

## การวิเคราะห์ความเสียหายของอาคารโรงงานเนื่องจากดินบวมตัวใน อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง

### ANALYSIS OF A WORKSHOP BUILDING DAMAGED BY EXPANSIVE SOIL IN MAE MOH, LAMPANG PROVINCE

จุฬาลักษณ์ ทองแท่ง, เศรษฐพงษ์ เศรษฐบุปผา\*

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, จังหวัดเชียงใหม่, ประเทศไทย

\*Corresponding author address: sethapong.s@cmu.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ความเสียหายของอาคารโรงงานหลังหนึ่งใน อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง พบว่าอาคารเกิดรอยร้าวตามผนังและพื้นไปทั่วทั้งอาคาร ที่สำคัญที่สุดคือโครงคานชนิดเคลื่อนที่ได้ภายในอาคารนี้ไม่สามารถวิ่งไปตามคานที่รองรับได้เนื่องจากคานมีการโก่งตัวมากเกินไป จากการรวบรวมข้อมูลความเสียหายในเบื้องต้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 ถึง พ.ศ. 2563 พบว่าคานดังกล่าวมีค่าระดับที่ต่างกันมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังพบรอยแตกขวางบนเสาเข็มต้นหนึ่งซึ่งเป็นลักษณะของการวิบัติจากแรงดึง จากการเก็บตัวอย่างดินไปทดสอบหาค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในห้องปฏิบัติการ พบว่าดินที่อยู่ภายใต้อาคารหลังดังกล่าวมีแร่มอนต์มอริลโลไนต์ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ดินมีความสามารถในการพองตัวและหดตัวได้หากมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในดิน จากการทดสอบการพองตัวอย่างอิสระและการทดสอบความดันจากการพองตัว พบว่าดินมีศักยภาพในการพองตัวได้สูงมาก จึงสามารถสรุปได้ว่าความเสียหายของอาคารหลังนี้เกิดจากการออกแบบอาคารและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมกับคุณสมบัติของดินใต้อาคาร ซึ่งมีด้วยกันสามประเด็นหลัก ได้แก่ 1) ชั้นดินใต้อาคารเป็นดินบวมตัวที่มีศักยภาพในการพองตัวสูงพอที่จะดันอาคารให้เกิดการยกตัวได้และอาคารได้รับการออกแบบก่อสร้างให้พื้นชั้นล่างของอาคารวางอยู่บนดินโดยตรง ไม่มีการเว้นช่องว่างใต้พื้นไว้เพื่อการพองตัวของดิน 2) เสาเข็มที่รองรับเสาของอาคารมีความยาวไม่เพียงพอที่จะต้านทานแรงดันจากการพองตัวของดิน และ 3) มีการก่อสร้างแหล่งเก็บน้ำใกล้กับอาคาร ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุของความชื้นในดินที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้จากการทดสอบแรงดันในการบวมตัวของตัวอย่างดินที่เก็บมาแบบคงสภาพยังพบว่าดินที่อยู่ภายใต้อาคารหลังดังกล่าวยังสามารถพองตัวได้อีก

**คำสำคัญ:** ฐานรากอาคาร, การทรุดตัวของฐานราก, การยกตัวของฐานราก, ดินบวมตัว

#### Abstract

This article presents an analysis of a damaged workshop building in Mae Moh District, Lampang Province. Cracks appeared on walls and ground slabs all over the building. The most significant problem with this building was a traveling crane could not move along its supporting runway beams due to their excessive buckling. The investigation from 2002-2020 revealed the increase in differential uplift of runway beams. An excavation beside a pile cap revealed a pile with tensile crack. Soil samples were taken from boreholes around the building. An XRD examination on the soil samples found some Montmorillonite which was an important component causing the swelling or extraction of the soil when its moisture content changed. The soil was identified as clay with high potential of swelling from free swell test and swell pressure test. Eventually, the conclusion of the analysis was that the damages of this building were caused by three major issues: 1) the building was designed to be seated directly on the high swelling-potential expansive soil layers without any space for the soil to swell freely, 2) the length of the supporting piles was not enough to resist the uplift force induced by the heaving soil, and 3) a small reservoir built near the building was the possible source of the moisture migrated in to the expansive soil. In addition, the result from swell pressure test hints that the soil underneath the building still keep on swelling.

**Keywords:** Foundation, Foundation Settlement, Foundation Heaving, Expansive Soil

#### บทนำ

ในพื้นที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปางมีอาคารหลังหนึ่งเกิดปัญหาจากการยกตัวที่ไม่เท่ากันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมาตลอดระยะเวลาประมาณ 15 ปีที่ผ่านมา ซึ่งพอจะทราบถึงสาเหตุได้จาก

การสำรวจว่าใต้อาคารเป็นชั้นดินที่บวมตัวได้ (expansive soil) ความเสียหายที่สามารถเห็นได้ชัดเจนบนตัวอาคารได้แก่ รอยแตกร้าวตามแนวผนัง พื้น ตลอดจนคานและเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก เนื่องจากอาคารหลังนี้ยังมีปัญหาดังกล่าวต่อเนื่องอยู่โดยยังไม่มีแนวโน้มว่าจะหยุด จึงได้ดำเนินการสำรวจ ทดสอบ และวิเคราะห์

หาค่าอธิบายต้นเหตุของความเสียหายเพื่อหามาตรการแก้ไขต่อไป รวมทั้งเพื่อจัดทำเป็นบทเรียนสำหรับการออกแบบและก่อสร้างอาคารบนดินบวมตัวในพื้นที่อำเภอแม่เมาะต่อไปในอนาคตด้วย

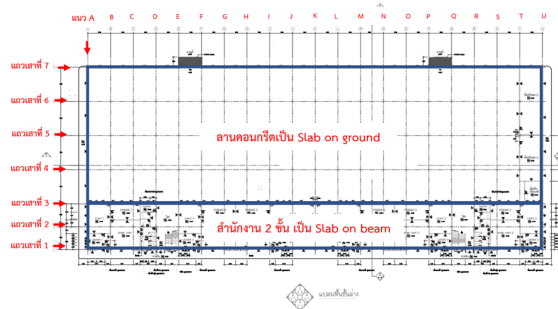
### 1. ลักษณะของอาคารและความเสียหายที่พบ

อาคารโรงงานหลังนี้เป็นอาคารโรงงานที่ใช้ในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรของโรงไฟฟ้า ตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เจ้าของอาคารคือการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (โรงไฟฟ้าแม่เมาะ) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 อาคารโรงงานที่เกิดปัญหา

โรงงานหลังนี้มีโครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กส่วนหนึ่งเป็นสำนักงานมี 2 ชั้น และอีกส่วนหนึ่งเป็นโรงซ่อมบำรุง มีพื้นเป็นลานคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 2 โครงสร้างหลังคาทำหมดทำจากเหล็กมุงหลังคาด้วยเหล็กดัดลอน ผนังก่ออิฐฉาบปูน พื้นอาคารส่วนที่เป็นลานซ่อมบำรุงนั้น เป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กวางบนดิน และส่วนที่เป็นสำนักงานเป็นพื้นสำเร็จรูปคอนกรีตอัดแรงแบบกลวง วางบนคานและเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเสาทุกต้นตั้งอยู่บนฐานรากวางบนกลุ่มเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก 4 ต้น แต่ละต้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร โดยเสาเข็มมีความยาว 5 เมตร



รูปที่ 2 ผนังภายในของอาคารโรงงาน

ประมาณปี พ.ศ.2549-2550 อาคารเริ่มพบปัญหาเมื่อไม่สามารถทำการติดตั้งเครื่องจักรสำหรับยกอุปกรณ์ (เครน) บนคานที่วางบนหัวเสาในแถวที่ 3 และแถวที่ 7 ตามผังอาคารในรูปที่ 2 ได้ จึงได้ทำการตรวจสอบค่าระดับหัวเสาในแถวที่ 3 พบว่าเกิดการยกตัวในช่วงแนว H-O (บริเวณช่วงกลางของอาคาร) โดยค่าระดับที่เกิดการยกตัวดังกล่าวมากถึง 82 มิลลิเมตร (พ.ศ.2550) เมื่อเทียบกับเสาต้นที่อยู่ทางขวามือสุดในแถว U ค่านี้เกินกว่าค่าที่ยอมรับได้

สำหรับการติดตั้งเครนคือ 15 มิลลิเมตร จึงได้มีการแก้ไขปัญหด้วยการติดตั้งเครนไว้ 2 เครื่องให้เคลื่อนที่อยู่คนละฝั่งของจุดที่คานเกิดการโก่งตัวสูงสุด หลังจากนั้นก็ได้มีการสำรวจค่าระดับที่หัวเสาเกิดการยกตัวดังกล่าวตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 จนถึงปี พ.ศ. 2563 พบว่ามีค่าต่างกันมากระหว่างหัวเสาที่ยกตัวสูงสุดเทียบกับหัวเสาที่ยกตัวน้อยที่สุด ถึงเกือบ 20 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ค่าระดับหัวเสาในแถวที่ 3 (ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2563)

จากการสำรวจความเสียหายอื่นๆ ที่พบในส่วนที่เป็นสำนักงานของอาคารหลังนี้ (จากแถวเสาที่ 1-3) ซึ่งมีมีการก่อสร้างผนังก่ออิฐฉาบปูนเป็นห้องต่างๆ อยู่บนระบบโครงสร้างพื้นที่วางบนคาน (slab on beam) และมีเสารองรับที่วางอยู่บนฐานรากที่เป็นเสาเข็ม ก็พบว่าพื้นเกิดการเอียงและผนังอาคารเกิดรอยแตกร้าวทั่วไปดังรูปที่ 4 ซึ่งแสดงว่าระบบโครงสร้างของอาคารเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับ ซึ่งก็คือการยกตัวที่ไม่เท่ากัน นอกจากนั้นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กในส่วนที่วางบนดิน (slab on ground) ได้เกิดรอยแยกและมีการยกตัวขึ้น ดังรูปที่ 5 สำหรับภายนอกอาคารพบการยกตัวของอิฐที่ใช้ปูทางเดินรอบอาคารดังรูปที่ 6



รูปที่ 4 รอยร้าวของผนังภายในอาคารโรงงาน



รูปที่ 5 รอยแยกของแผ่นพื้นคอนกรีตภายในอาคารโรงงาน



รูปที่ 6 การยกตัวของอิฐปูทางเท้ารอบอาคารโรงงาน

## 2. ผลการสำรวจและวิเคราะห์ที่ได้ดำเนินการมาในอดีต

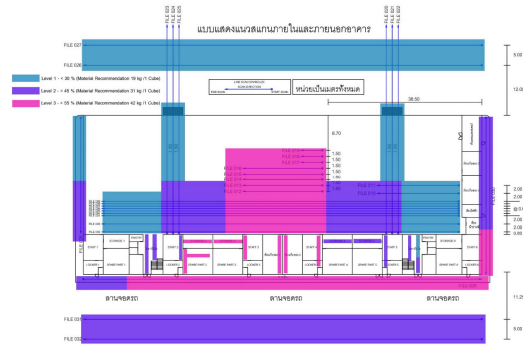
ก่อนปี พ.ศ.2562 ได้มีการสำรวจชั้นดินเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้น โดยการเจาะสำรวจดินหลายหลุมรอบๆ อาคารและได้เก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบคุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการพบว่าเป็นดินเหนียวประเภท CH และ CL เป็นส่วนใหญ่มีค่าขีดจำกัดเหลว (LL) อยู่ระหว่าง 40-90 และค่าดัชนีความเหนียว (PI) อยู่ระหว่าง 20-60 นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบแร่ของดินเหนียวในตัวอย่างดินอีกด้วย ซึ่งมีข้อสรุปว่าตัวอย่างดินจากหลุมเหล่านั้นน่าจะเป็นดินบวมตัวเนื่องจากขีดจำกัดเหลวมีค่าค่อนข้างสูงและตัวอย่างดินบางส่วนยังมีแร่มอนต์โมริลโลไนต์ (Montmorillonite) เป็นส่วนประกอบ

นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบสภาพดินด้วยเครื่องแบบทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยระบบ Ground Penetrating Radar (GRP) ทำการสแกนเป็นแถบๆ ดังภาพที่ 7 โดยใช้ความถี่ในการตรวจสอบที่ 900 MHz ระดับความลึกของคลื่นในการตรวจสอบที่ 7.00 เมตร (+/- 10%) มีการแบ่งสภาพดินตามความทวมของมวลดินออกเป็น 3 ระดับ ตามมาตรฐาน Key Chart 16 bit color standard FHWA – Federal Highway Administrator ซึ่งจากภาพที่ 7 สามารถแบ่งพื้นที่ออกตามความทวมของมวลดินได้เป็น 3 ระดับคือ

ระดับที่ 1 แสดงด้วยสีฟ้า พื้นที่นี้ดินข้างใต้มีการหลวมตัวในระดับต่ำ (ดินมีความหนาแน่นค่อนข้างสูง) และมีปริมาณความชื้นในดินค่อนข้างต่ำ และลักษณะของคลื่นจากการสแกนจะแสดงเนื้อดิน (grain) ที่ละเอียดมาก

ระดับที่ 2 แสดงด้วยสีม่วง ดินข้างใต้อาคารมีการหลวมตัวในระดับปานกลาง (ความหนาแน่นปานกลาง) และมีปริมาณความชื้นในดินปานกลาง และลักษณะของคลื่นจากการสแกนจะแสดงเนื้อดิน (grain) ที่ละเอียดปานกลาง

ระดับที่ 3 แสดงด้วยสีชมพู ซึ่งดินใต้อาคารมีการหลวมตัวในระดับสูง (ความหนาแน่นต่ำ) มีปริมาณความชื้นในดินค่อนข้างสูง และลักษณะของคลื่นจากการสแกนแสดงให้เห็นเนื้อดิน (grain) ที่ค่อนข้างหยาบ



รูปที่ 7 ผลการสำรวจสภาพดินด้วยระบบ Ground Penetrating Radar (GRP)

จากผลการทดสอบด้วย GRP นี้ทำให้ทราบว่าสภาพดินที่อยู่ในระดับ 3 ซึ่งพบมากที่สุดบริเวณกลางอาคาร สอดคล้องกับความเสียหายที่ตรวจพบและการสำรวจคาร์บอเนตที่กล่าวมาในข้างต้น

ผลจากการสำรวจและวิเคราะห์ที่ผ่านมาดังกล่าวทำให้สามารถสรุปได้เพียงว่า ความเสียหายที่เกิดขึ้นน่าจะมีสาเหตุจากดินบวมตัวที่อยู่ใต้อาคารเกิดการพองตัวขึ้นเท่านั้น แต่ประเด็นที่สำคัญยิ่งกว่านั้นคือ ดินใต้อาคารยังเกิดการพองตัวขึ้นต่อไปได้หรือไม่ การยกตัวของอาคารจะยังเกิดขึ้นได้อีกมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เพื่อจะได้หาแนวทางและวางแผนดำเนินการซ่อมแซมแก้ไขต่อไป

## 3. วัตถุประสงค์และกระบวนการศึกษาวิจัย

ด้วยเหตุที่ต้องการประเมินการยกตัวของอาคารที่อาจจะเกิดขึ้นต่อไปหลังจาก พ.ศ.2562 จึงได้มีการกำหนดกิจกรรมหลักในการดำเนินการดังต่อไปนี้

1) การเก็บตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวนด้วยกระบอกเหล็กผนังบาง และการทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการเพื่อจำแนกประเภทของดิน

2) การทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการเพื่อประเมินศักยภาพในการพองตัวของดินบวมตัว

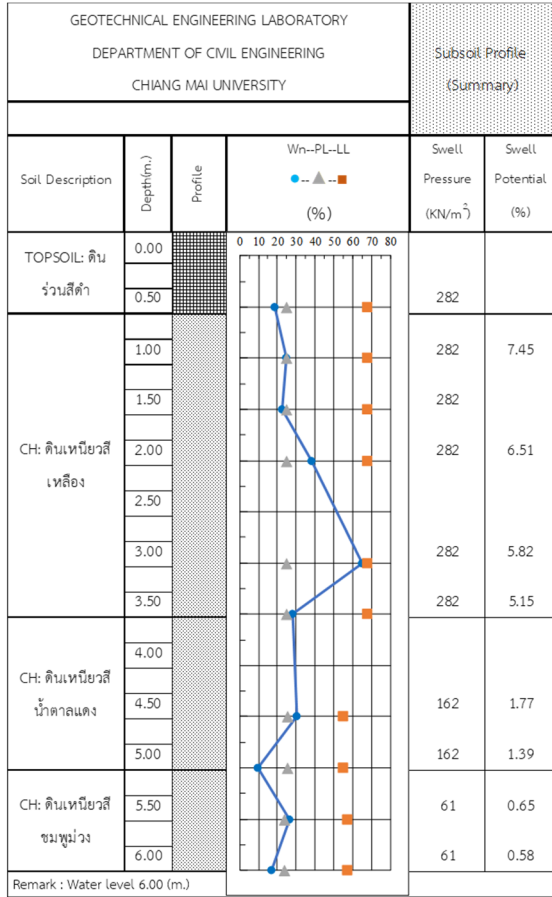
3) การประเมินการยกตัวของอาคารจากผลการทดสอบศักยภาพในการพองตัวของดิน

ทั้งนี้ รายละเอียดและผลการดำเนินการของทั้ง 3 กิจกรรมปรากฏอยู่ในหัวข้อต่อไป

## 4. ผลการสำรวจและจำแนกประเภทของดิน

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินคงสภาพ (undisturbed sample) จำนวน 1 หลุม ที่กลางทางเดินรอบอาคารด้านนอกของส่วนที่เป็นสำนักงานในรูปที่ 6 หลุมสำรวจนี้อยู่บริเวณกลางอาคารที่มีการยกตัวของหัวเสามากที่สุด โดยมีการเก็บตัวอย่างดินได้ตั้งแต่ความลึก 0.00-6.00 เมตรเท่านั้น เนื่องจากที่ระดับตั้งแต่ 6.00 เมตรเป็นต้นไป ดินแข็งมากจนไม่สามารถตอกกระบอกเหล็กผนังบางลงไปได้ ในเบื้องต้นได้นำตัวอย่างดินมาทดสอบหาคุณสมบัติ

ทางด้านกายภาพในท้องปฏิบัติการเพื่อจำแนกประเภทของดินและแบ่งชั้นดินต่างๆ ตามผลการจำแนกดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ชั้นดินและคุณสมบัติต่างๆ จากหลุมเจาะสำรวจข้างอาคาร

จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าตั้งแต่ผิวดินลงไปจนถึงความลึก 6.00 เมตรนั้น ประกอบด้วยชั้นดินจำนวน 4 ชั้น โดยชั้นบนสุดเป็นดินร่วนสีค้ำ มีความหนาประมาณ 0.50 เมตร เป็นชั้นหน้าดินที่ไม่มีศักยภาพในการพองตัว สำหรับดินอีก 3 ชั้นตั้งแต่ความลึกประมาณ 0.50 เมตรจากผิวดินลงไปนั้น ล้วนแต่เป็นดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกสูง (CH) ซึ่งเป็นดินบวมตัว (รายละเอียดของผลการทดสอบการพองตัวของดินใน 2 คอลัมน์ขวามือจะปรากฏในหัวข้อที่ 5) และชั้นดินมีสีที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชั้น

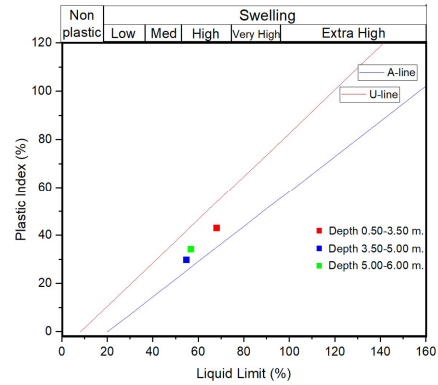
สิ่งที่น่าสังเกตในรูปที่ 8 คือ ตั้งแต่ระดับความลึกประมาณ 1.50 เมตรลงไปจนถึง 3.50 เมตร มีความชื้นในดินค่อนข้างสูงกว่าที่ความลึกช่วงอื่นๆ โดยเฉพาะที่ระดับประมาณ -3.00 เมตรนั้น มีความชื้นเกือบจะถึงขีดที่กักเหลว (PL) ชั้นดินที่เกิดการพองตัวน่าจะลึกถึงระดับ -4.50 เมตร

## 5. ผลการทดสอบดินบวมตัว

หลังจากได้มีการจำแนกประเภทของดินตามที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อ 4 แล้ว จึงได้มีการตรวจสอบการเป็นดินบวมตัวและทดสอบศักยภาพในการพองตัวของดินดังต่อไปนี้

### 5.1 การบ่งชี้ว่าเป็นดินบวมตัว

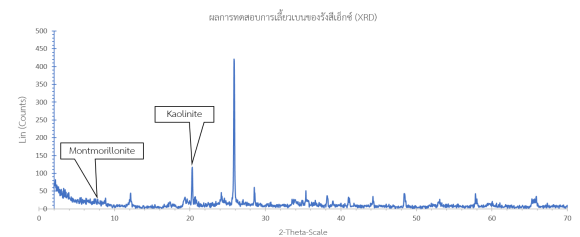
ในการตรวจสอบว่าเป็นดินบวมตัวหรือไม่นั้น ได้ใช้แผนภาพสำหรับตรวจสอบศักยภาพในการพองตัวของดิน (Das, 2016) ซึ่งใช้ค่าดัชนีความชื้นเหลวหรือพิกัดต่อเตอร์เบอร์กที่ทดสอบได้เป็นตัวบ่งชี้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดินบวมตัวกับศักยภาพในการบวมตัว [1]

จะเห็นได้จากรูปที่ 9 ว่า ดินเหนียวสีเหลืองนั้นมีความสามารถในการพองตัวที่สูง (high) ส่วนดินเหนียวสีน้ำตาลแดงและดินเหนียวสีม่วงชมพูมีศักยภาพในการพองตัวปานกลาง (medium)

นอกจากนั้น ยังได้นำตัวอย่างดินไปทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เพื่อตรวจสอบแร่สำคัญในดิน พบว่าในตัวอย่างดินมีแร่มอนต์โมริลโลไนต์ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้ดินพองตัวได้ ดังตัวอย่างของผลการทดสอบที่แสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ตัวอย่างผลการทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) จากห้องปฏิบัติการธรณีวิทยา

จากผลการทดสอบดังกล่าวทำให้สามารถสรุปได้ว่า ได้อาคารมีดินบวมตัวอยู่ที่ระดับความลึกตั้งแต่ประมาณ 0.50 เมตรจากผิวดินลงไปจนถึงความลึก 6.00 เมตรเป็นอย่างน้อย

### 5.2 ความดันในการพองตัว (swell pressure)

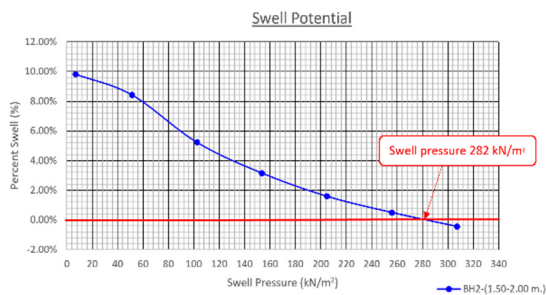
ความดันในการพองตัวของดินบวมตัวในการศึกษาวิจัยนี้วัดได้จากการทดสอบแบบการรักษาให้ดินมีปริมาตรคงที่ตลอดเวลา (constant volume test) ตาม ASTM D4546-14 [2] กล่าวคือในการทดสอบจะเพิ่มความดันที่กดตัวอย่างดินขึ้นเรื่อยๆ เพื่อให้ความหนาของตัวอย่างดินคงที่จนกระทั่งไม่ต้องเพิ่มความดันอีกต่อไป



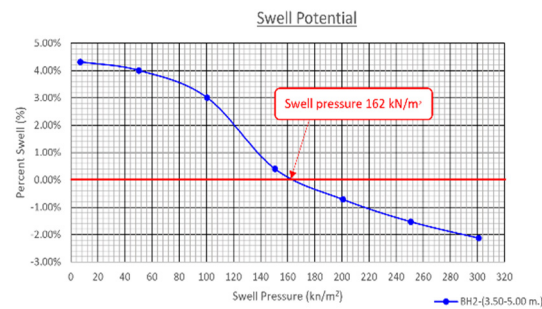
ผลจากการทดสอบพบว่าดินเหนียวสีเหลืองมีความดันในการพองตัวสูงถึง 282 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ในขณะที่ดินเหนียวสีน้ำตาลแดงและดินเหนียวสีชมพูม่วงมีความดันในการพองตัว 162 และ 61 กิโลนิวตันต่อตารางตามลำดับ ซึ่งค่าเหล่านี้ได้แสดงไว้ประกอบข้อมูลชั้นดินในรูปที่ 8

### 5.3 ศักยภาพในการพองตัว (swell potential)

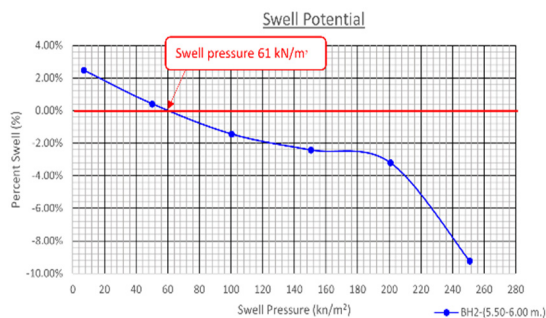
การวัดศักยภาพในการพองตัวสำหรับงานวิจัยโครงการนี้เป็นการวัดว่า ภายใต้ความเค้นปริมาณต่างๆ นั้น ตัวอย่างดินจะสามารถพองตัวได้ร้อยละเท่าไร ทำการทดสอบโดยการให้ความดันบนตัวอย่างดินด้วยปริมาณต่างๆ แล้วปล่อยให้ดินพองตัวจนสิ้นสุด แล้วประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่เกิดขึ้น ซึ่งผลการทดสอบกับดินพองตัวทั้ง 3 ชั้นปรากฏในรูปที่ 11, 12 และ 13 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 11 ร้อยละในการพองตัวของดินเหนียวสีเหลืองภายใต้ความเค้นต่างๆ



รูปที่ 12 ร้อยละในการพองตัวของดินเหนียวสีน้ำตาลแดงภายใต้ความเค้นต่างๆ



รูปที่ 13 ร้อยละในการพองตัวของดินเหนียวสีชมพูม่วงภายใต้ความเค้นต่างๆ

ผลที่ได้จะถูกนำไปประเมินศักยภาพในการพองตัวของชั้นดินโดยการคำนวณความเค้นประสิทธิผลจากน้ำหนักที่กดทับดินที่ความลึกต่างๆ นำมาอ่านค่าที่ได้ในกราฟของชนิดดิน ซึ่งศักยภาพในการพองตัวที่ความลึกต่างๆ ได้ถูกแสดงไว้ในช่องขวามือสุดของรูปที่ 8 ผลการทดสอบศักยภาพในการพองตัวนี้ถูกนำไปประมาณการยกตัวของผิวดิน ดังจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

## 6. การประเมินการยกตัวของอาคารเนื่องจากดินบวมตัว

การยกตัวของอาคารก็คือการยกตัวของผิวดินภายใต้ความเค้นจากน้ำหนักของอาคารที่กดทับอยู่บนดินบวมตัวนั้น โดยธรรมชาติ นั้น ภายใต้ความดันที่กดทับอยู่ ดินบวมตัวจะค่อยๆ พองตัวขึ้นเมื่อมีความชื้นในดินเพิ่มขึ้นจนถึงขีดจำกัดหนึ่ง ซึ่งในการประมาณค่าการพองตัวนั้น มีผู้เสนอแนววิธีคำนวณที่น่าสนใจด้วยกัน 2 วิธี ได้แก่

### 6.1 วิธีของ O'Neill และ Poormoayed [3]

วิธีนี้ได้มีการเสนอไว้ตั้งแต่ ค.ศ.1980 เป็นการคำนวณการยกตัวของผิวดิน (surface heave) โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\Delta S = \sum_{i=1}^n [S_{w(1)}(\%)](H_i)(0.01) \quad (1)$$

โดยที่

$S_{w(1)}(\%)$  = เปอร์เซนต์การบวมตัวของชั้น i ภายใต้น้ำหนักกดทับ

$\sigma'_0 + \sigma'_s$  ดังรูปที่ 9

$H_i$  = ความหนาของดินชั้น i

6.2 วิธีคำนวณการยกตัวของผิวดิน (free field heave) ซึ่งเสนอโดย Nelson และ Miller [4] ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\rho = \sum_i \left[ \frac{C_p Z_i}{(1+e_0)_i} \log \left( \frac{\sigma'_i}{\sigma'_s} \right) \right] \quad (2)$$

โดยที่

$\rho$  = การยกตัวอิสระ (free field heave)

$\sigma'_f$  = ความเค้นประสิทธิผลที่ระยะสุดท้าย (final effective stress state)

$\sigma'_s$  = แรงดันการพองตัวที่ได้จากการทดสอบ constant volume test

$e_0$  = อัตราส่วนภายในช่องว่างเริ่มต้นของดิน (initial void ratio)

$Z_i$  = ความหนาของชั้นดิน (layer thickness)

$C_p$  = ดัชนีการยกตัวของดิน (heave index) หาได้จากสมการที่ 3

$$C_p = \frac{\Delta e_s}{\log \left( \frac{\sigma'_s}{\sigma'_i} \right)} \quad (3)$$

โดยที่

$\Delta e_s$  = อัตราส่วนของช่องว่างที่เพิ่มขึ้นขณะที่ดินพองตัว

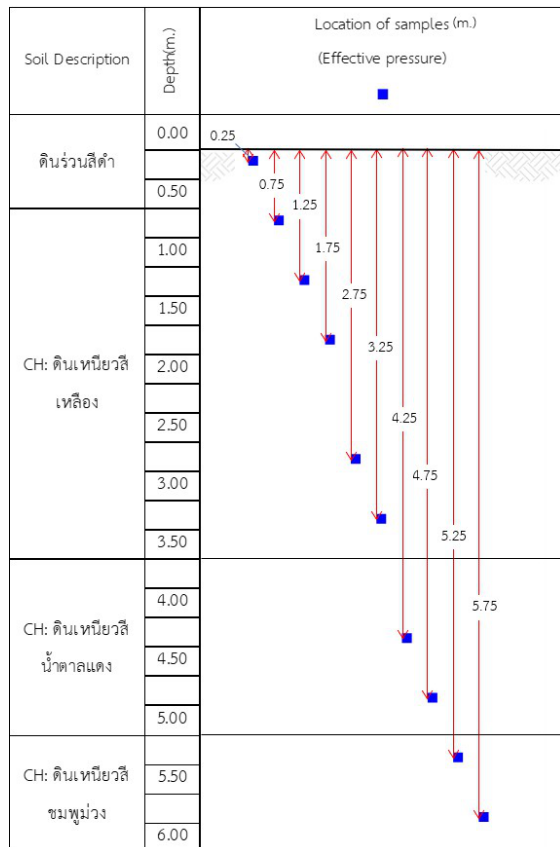
$\sigma'_s$  = แรงดันที่ได้จากการทดสอบ constant volume

$\sigma'_i$  = น้ำหนักกดทับ (overburden pressure)

ทั้งสองวิธีแบ่งชั้นดินออกเป็นชั้นย่อยๆ จำนวน  $n$  ชั้น แล้วคำนวณการพองตัวของชั้น  $i$  จากตัวแปรต่างๆ ตามที่ต้องการที่ชั้น  $i$  นั้นๆ ตามคำอธิบายข้างต้น

ในการคำนวณการยกตัวของอาคารหลังนี้ ได้พิจารณาว่า ชั้นดินที่อาจเกิดการพองตัวขึ้นได้นั้น ได้แก่ชั้นดินบวมตัวที่ความลึก -0.50 เมตร จนถึงความลึก -6.00 เมตรเท่านั้น เนื่องจากมีสมมติฐานว่าดินบวมตัวที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน (พบที่ความลึกประมาณ -6.00 เมตร) นั้นจะไม่เกิดการพองตัวเนื่องจากปริมาณความชื้นคงที่ และอีกประการหนึ่งคือ จากผลการวิเคราะห์ศักยภาพในการพองตัวตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 8 นั้น ดินบวมตัวที่ความลึกเกือบถึงระดับ -6.00 เมตรนั้น เกือบจะหมดศักยภาพในการพองตัว

สำหรับการแบ่งชั้นดินและจุดกึ่งกลางชั้นดินย่อยหนา 0.50 เมตรที่คำนวณความเค้นนั้น แสดงในรูปที่ 14 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 14 ความเค้นกดทับประสิทธิผล (effective overburden pressure) ที่กึ่งกลางชั้นดินย่อยสำหรับการคำนวณ

ผลการประมาณการยกของดินในตารางที่ 1 นั้นแสดงการเปรียบเทียบผลการประมาณการยกตัวของผิวดินซึ่งเป็นค่าเดียวกับการยกตัวของอาคารโดยใช้ทั้งวิธีของ O'Neill และ Poormoayed ซึ่งได้การยกตัวสูงสุดที่ยังเกิดต่อไปได้อีก 0.1846 เมตร หากเปรียบเทียบกับวิธีของ Nelson และ Miller ที่คำนวณได้การยกตัวที่ยังเกิดขึ้นต่อไปได้อีก 0.2263 เมตร จะเห็นได้ว่าแตกต่างกันพอสมควร หากนำมาเฉลี่ยกันก็อาจจะได้ค่าการยกตัวที่ยังเกิดขึ้นได้

อีก 0.20 เมตรโดยประมาณ และอาจถือได้ว่าทั้งสองวิธีมีความคลาดเคลื่อนได้บ้าง

### 7. แหล่งที่มาของความชื้น

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดนอกจากชนิดของดินที่ได้ทำให้เกิดปัญหาขึ้นกับอาคารหลังนี้ก็คือความชื้นที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการสำรวจหาแหล่งที่มาของความชื้นที่เพิ่มขึ้นในดินใต้อาคารหลังนี้ ในขั้นแรกได้มีข้อสงสัยเกี่ยวกับระบบน้ำประปาและน้ำทิ้ง ซึ่งจากการตรวจสอบแล้ว ไม่พบว่ามีการรั่วซึมหรือมีการปล่อยน้ำทิ้งในตัวอาคารหรือบริเวณใกล้ๆ รอบอาคาร

อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการสำรวจพื้นที่รอบๆ ก็พบว่ามีความชื้นอยู่ห่างประมาณ 25 เมตรจากอาคารหลังนี้ไปทางทิศเหนือดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ตำแหน่งของคูน้ำเทียบกับอาคารที่เกิดความเสียหาย

เดิมที่คูน้ำนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นรางระบายน้ำเมื่อฝนตก แต่ในเวลาต่อมา (ก่อนอาคารเกิดปัญหา) ได้มีการสร้างกำแพงกันน้ำไว้สำหรับการปลูกพืชผักและเลี้ยงสัตว์น้ำดังรูปที่ 16 ทำให้มีน้ำในคูน้ำอยู่ทั้งปี



รูปที่ 16 น้ำในคูระบายน้ำ

คูน้ำนี้มีหน้าตัดเป็นรูปตัว V ตัดด้วยคอนกรีต และมีการฝังท่อพีวีซีไว้ในผิวดินคอนกรีตเป็นระยะเพื่อระบายความชื้นในดินลงมากในคูน้ำนี้ ซึ่งผลจากการปรับให้เป็นอ่างเก็บน้ำขึ้นมา นั้น น่าจะ

กลายเป็นเส้นทางในการทำให้น้ำในอ่างซึมออกไปหาดินอยู่ตลอดเวลาอย่างช้าๆ หากสังเกตพื้นถนนคอนกรีตซึ่งอยู่ระหว่างคูน้ำกับอาคาร จะเห็นว่าผิวถนนมีการบวมขึ้น ไม่ราบเรียบอย่างที่ควรจะเป็นตรงจุดที่ลูกศรชี้ในรูปที่ 17 พื้นผิวถนนที่บวมขึ้นนี้ต่อเนื่องเป็นทางไปยังอาคารที่เสียหาย



รูปที่ 17 ลักษณะผิวถนนคอนกรีตที่มีการบวมขึ้นมา

เมื่อสำรวจอย่างละเอียดตรงจุดที่ลูกศรชี้ในรูปที่ 17 จะเห็นรอยแตกกระจายอยู่ทั่วไป พื้นถนนและโรงจอดรถตรงบริเวณนี้เกิดการบวมขึ้นอย่างชัดเจน และที่สำคัญคือถนนที่จุดนี้ตรงกับกลางอาคารที่เสียหายมากที่สุด ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า ความชื้นที่เพิ่มขึ้นในชั้นดินบวมตัวของอาคารนั้นมาจากอ่างน้ำในคูน้ำนั่นเอง



รูปที่ 18 รอยแตกบนถนนระหว่างคูน้ำกับอาคารที่เสียหาย

ตารางที่ 1 ผลการประมาณการยกตัวของดินตามวิธีของ O'Neill และ Poormoayed เปรียบเทียบกับวิธีของ Nelson และ Miller

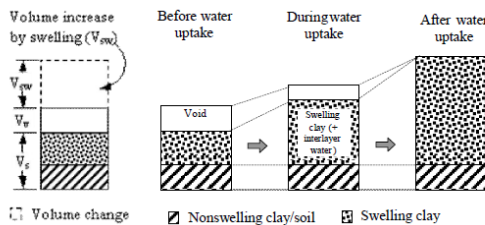
Summary of Field and Laboratory Tests

No	Sample		As Received Conditions			Laboratory Tests				O'Neill และ Poormoayed, 1980		Nelson และ Miller, 1992	
	Type	Depth (m.)	Water Content (%)	Bulk Density (kN/m <sup>3</sup> )	Effective Pressure (kN/m <sup>2</sup> )	Swell Pressure (kN/m <sup>2</sup> )	Net Swell Pressure (kN/m <sup>2</sup> )	Swell Potential (%)	$H_i$ (m.)	$\Delta S$ (m.)	$C_p$	$e_0$	$\rho$ (m.)
1	US1	0.00-0.50	18.70	17.23	47.23	282	234.77	-	0.50	-	0.1847	0.6110	-
2	US2	0.50-1.00	25.08	17.23	55.84	282	226.16	7.45	0.50	0.0373	0.1847	0.6110	0.0348
3	US3	1.00-1.50	22.51	18.85	64.86	282	217.14	-	0.50	-	0.1847	0.6110	-
4	US4	1.50-2.00	38.35	18.85	74.29	282	207.71	6.51	0.50	0.0326	0.1847	0.6110	0.0256
5	US5	2.00-3.00	65.23	19.10	88.55	282	193.45	5.82	1.00	0.0582	0.1847	0.6110	0.0389
6	US6	3.00-3.50	27.90	19.25	102.92	282	179.08	5.15	0.50	0.0258	0.1847	0.6110	0.0138
7	US7	3.50-4.50	30.46	21.02	118.24	162	43.76	1.77	1.00	0.0177	0.2328	0.5770	0.0637
8	US8	4.50-5.00	9.94	19.04	133.51	162	28.49	1.39	0.50	0.0070	0.2328	0.5770	0.0495
9	US9	5.00-5.50	26.32	20.39	143.37	61	-82.37	0.65	0.50	0.0033	0.0790	0.4640	-
10	US10	5.50-6.00	16.94	21.00	153.71	61	-92.71	0.58	0.50	0.0029	0.0790	0.4640	-
									Sum	0.1846	Sum	0.2263	

## 8. บทสรุปและข้อเสนอแนะจากผลการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาทำให้สามารถวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่ทำให้อาคารเกิดความเสียหายได้ดังต่อไปนี้

1. ชั้นดินใต้อาคารเป็นดินบวมตัวที่มีศักยภาพในการพองตัวสูง โดยเฉพาะชั้นดินที่มีความลึก 3.5 เมตรแรก
2. มีแหล่งน้ำคืออ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้น เป็นต้นทางของความชื้นในดินที่เพิ่มขึ้นอย่างไม่ไกลนักจากอาคาร
3. แรงดันจากการพองตัวของดินสามารถดันพื้นคอนกรีตชนิด slab on ground ให้เกิดการยกตัวได้
4. ชั้นดินบวมตัวใต้อาคารหลังนี้ยังสามารถพองตัวได้ต่อไปอีก โดยอาจยกเสาอาคารขึ้นได้จากปัจจุบันถึง 20 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่า ยังอยู่ในกระบวนการพองตัวตามลักษณะการพองตัวของดินบวมตัวที่ Muntohar และ Hashim [5] ได้แสดงในรูปที่ 19



รูปที่ 19 สภาพการบวมตัวของดินบวมตัวเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น [5]

5. ชั้นดินที่เกิดการพองตัวน่าจะลึกถึงระดับ -4.50 เมตร ในขณะที่เสาเข็มมีความยาวเพียง 5.00 เมตรจึงเป็นเหตุให้แทบจะไม่มีส่วนของเสาเข็มที่ฝังอยู่ในชั้นดินที่ไม่พองตัวเลย ถึงแม้ว่าเสาเข็มจะยาวกว่านี้ อาคารก็ยังคงอาจมีความเสียหายได้ เนื่องจากมีการสร้าง slab on beam บนผิวดินโดยตรง ทำให้เกิดพื้นที่ในการรับแรงยกตัวที่กว้างใหญ่มาก

จะเห็นว่าลานพื้นคอนกรีตซึ่งถูกออกแบบเป็นพื้นวางบนดิน (slab on ground) นั้นตามหลักการออกแบบและก่อสร้างอาคารบนดินบวมตัว ควรจะต้องปรับปรุงหรือป้องกันไม่ให้ชั้นดินข้างใต้เกิดการบวมตัวได้ก่อนการก่อสร้างโดยวิธีปรับปรุงหรือป้องกันมีอยู่หลายแนวทาง อาทิ การรื้อดินบวมตัวออกแล้วแทนที่ด้วยวัสดุที่ไม่บวมตัว การปรับปรุงดินด้วยการผสมวัสดุหรือสารบางอย่างลงในดินเพื่อทำให้ดินไม่เกิดการบวมตัวขึ้นได้ในภายหลัง เป็นต้น ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นการรื้อดินบวมตัวออกหรือการผสมด้วยวัสดุบางอย่างดังกล่าว จะต้องดำเนินการลงไปจนสุดความลึกที่คาดว่าดินจะเกิดการบวมตัวขึ้นได้

สำหรับระดับหัวเสาและวางคอนกรีตที่เกิดการยกตัวขึ้นนั้น เสาถูกตั้งอยู่บนฐานรากที่มีเสาเข็มรองรับซึ่งหลักการออกแบบเสาเข็มนั้นปลายเสาเข็มต้องอยู่ลึกกว่าระดับความลึกที่คาดว่าดินจะเกิดการบวมตัวได้และมีความยาวที่พื้นระดับดังกล่าวลงไปมากพอที่จะให้เกิดแรงฝืดเพื่อต้านแรงยกตัวที่เกิดจากดินข้างบนบวมตัวขึ้นได้

เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบอาคารประเภทโรงงานที่มีลักษณะเช่นนี้บนชั้นดินบวมตัว จึงมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. การสำรวจชั้นดินในขั้นตอนการออกแบบอาคารนั้น จะต้องตรวจสอบดูว่าชั้นดินเป็นดินบวมตัวหรือไม่ สามารถทำได้โดยการพิจารณาผลการทดสอบพิคค็อตเตอร์เบิร์ตโดยใช้กราฟในรูปที่ 9 หากเป็นดินบวมตัว ก็ควรจะต้องทดสอบแรงดันจากการบวมตัวเพื่อหาศักยภาพในการพองตัวของชั้นดินที่มีความลึกต่างๆ จะได้ทราบว่าชั้นดินที่จะเกิดการพองตัวได้นั้น มีความลึกเพียงใด
2. พื้นคอนกรีตวางบนดิน (slab on ground) ชั้นดินข้างใต้ต้องได้รับการปรับปรุงคุณภาพให้หมดศักยภาพในการบวมตัวก่อนการก่อสร้างความลึกของชั้นดินที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพคือความลึกที่น้ำหนักกดทับ (overburden pressure) มากกว่าหรือเท่ากับแรงดันจากการพองตัวของดิน (swell pressure) เป็นอย่างน้อย
3. พื้นคอนกรีตบนคาน (slab on beam) ต้องก่อสร้างให้ลอยสูงจากผิวให้พ้นระยะการยกตัวของผิวดิน (surface heave) ที่จะเกิดจากชั้นตามศักยภาพในการพองตัวของชั้นดินทั้งหมด
4. ความยาวของเสาเข็มในฐานรากควรเป็นเสาเข็มที่มีความยาวมากพอที่จะต้านการยกตัวได้โดยเสาเข็มจะต้องหยั่งลึกเกินชั้นดินที่เกิดการบวมตัวด้วยระยะที่จะให้แรงฝืดเพียงพอสำหรับต้านการยกตัวของชั้นดิน

## 9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่ให้การสนับสนุนทุนสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้

## 10. อ้างอิง

- [1] Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering (8th edition), Cengage Learning, Boston, MA, USA.
- [2] American Standard for Testing of Materials, ASTM D4546-14 Standard Test Methods for One-Dimensional Swell of Collapse of Soils.
- [3] O'Neill, M. W., and Poormoayed, N. (1980). "Methodology for Foundations on Expansive Clays," Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 106, No. GT12, pp. 1345-1367.
- [4] Nelson, J.D., and Miller, D.J. (1992), Expansive Soils. Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering, John Wiley and Sons, New York.
- [5] Muntohar, A.S., and Hashim, R. (2005), A NEW FORMULA FOR RATE OF SWELLING OF EXPANSIVE CLAY SOILS, Jurnal Ilmiah Semesta Teknika, 120 Vol. 8 No. 2, 2005, pp. 113 - 125.