

การประเมินพฤติกรรมการบวมตัวของดิน และการแก้ปัญหาด้วยซีเมนต์และเถ้าลอย

ณพล อยู่บรรพต^{1*} พิทยา แจ่มสว่าง¹ พานิช วุฒิพิฤกษ์² และ สันชัย อินทพิชัย²

บทคัดย่อ

บทความวิจัยเรื่องนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการบวมตัวของดินบวมตัวและดินบวมตัวที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์ เถ้าลอยและซีเมนต์ผสมเถ้าลอย จากผลทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดิน จำแนกดินได้เป็นประเภทดินเหนียวที่มีสภาพพลาสติกสูง (CH) เนื่องจากดินตัวอย่างมีปริมาณมวลละเอียดในปริมาณมาก มวลหยาบมีปริมาณต่ำ ค่าขีดจำกัดความเหลว และดัชนีความเหนียวสูง จึงได้รับการจำแนกเป็นดินที่มีการขยายตัวอยู่ในระดับสูงมาก จากการศึกษาพบว่า การบวมตัวของดินสามารถบรรเทา

ลงได้ด้วยการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการใช้วัสดุที่มีอยู่ในพื้นที่ เช่น ซีเมนต์หรือเถ้าลอย ซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 3 ของน้ำหนักดินแห้ง สามารถลดการบวมตัวของดินลงได้ถึง 8.5 เท่า และหากคำนึงถึงความประหยัด ซีเมนต์ร้อยละ 1 ผสมเถ้าลอยร้อยละ 8 หรือเถ้าลอยล้วนร้อยละ 14 สามารถลดการบวมตัวลงได้เช่นเดียวกับซีเมนต์ร้อยละ 3

คำสำคัญ: ดินบวมตัว ดัชนีการขยายตัว การอัดตัวคายน้ำ ดัชนีความเหนียว

¹ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2555-2000 ต่อ 8620-26 อีเมล: naphol_yoo@hotmail.com



Assessment of Swelling Behaviors of Expansive Soils and Stabilization with Cement and Fly Ash

Naphol Yoobanpot^{1*} Pitthaya Jamsawang¹ Panich Voottipruex² and Sunchai Inthapichai²

Abstract

This paper studies swelling behavior of swelling and stabilized soil. The swelling soil was stabilized by cement, fly ash and cement-fly ash. The soil is classified as high plasticity (CH). Owing to high percentage of fine particles and high liquid limit and plasticity index, this type of soil was identified as high degree of expansion. It was found that the swelling soil can be improved by using locally available materials such as cement and fly ash. In

this study 3 % cement by weight of dry soil was used and the swelling potential can be reduced to 8.5 times unstabilized soil. For cost effectiveness, only 1% cement with 8% of fly ash or 14% of fly ash alone can also be considered to improve the swelling behavior of the soil that the swelling of the stabilized soil was the same as that improved by 3% cement.

Keywords: Swelling Soil, Degree of Expansion, Consolidation, Plasticity Index

¹ Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

² Associate Professor, Department of Teacher Training in Civil Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

* Corresponding Author, Tel. 0-2555-2000 Ext.8620-26, E-mail: naphol_yoo@hotmail.com

1. บทนำ

ในอดีตปัญหาดินบวมตัวอาจไม่ค่อยได้รับความสนใจมากนัก เพราะหากพบดินที่มีลักษณะดังกล่าวอาจแก้ปัญหาโดยการย้ายสถานที่ก่อสร้างหรือหาวัสดุที่มีคุณภาพดีกว่ามาทดแทน แต่ในปัจจุบัน ประชากรเพิ่มมากขึ้น พื้นที่ในการก่อสร้างมีจำกัดและวัสดุที่มีคุณภาพลดลง ทำให้ไม่สามารถหลีกเลี่ยงดินที่มีคุณภาพต่ำลงได้ อีกต่อไป วิศวกรเทคนิคธรณีต่างยอมรับกันว่าดินบวมตัวอาจสร้างความเสียหายแก่โครงสร้างที่อยู่เบื้องบนได้ เพราะหากดินที่รองรับอาคารจัดเป็นดินประเภทที่มีขยายตัวเชิงปริมาตรสูง เมื่อได้รับความชื้นเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณความชื้นลดลง ดินประเภทนี้จะหดตัวเชิงปริมาตรในอัตราที่สูงเช่นเดียวกัน ทำให้อาคารเกิดสภาพแตกร้าวเสียหาย ซึ่งหากไม่ได้รับการแก้ไขอย่างถูกวิธีอาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานของอาคาร และระบบโครงสร้างของอาคาร การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมและทางกายภาพของดินบวมตัวโดยศึกษาค่าการบวมตัวและความดันบวมตัวของดินที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพและดินที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารผสมเพิ่มคือซีเมนต์ เถ้าลอย และเถ้าลอยผสมซีเมนต์ เพื่อหาปริมาณสารผสมเพิ่มที่เหมาะสมเพื่อลดปัญหาการบวมตัวของดินและเปรียบเทียบความสามารถในการลดการบวมตัวของดินบวมตัวเมื่อปรับปรุงคุณภาพด้วยสารผสมเพิ่ม ดินที่ใช้ศึกษาได้จากบริเวณโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง นำมาทดสอบอัดตัวคายน้ำตามมาตรฐาน ASTM D4546-96

2. ธรรมชาติและการจำแนกดินบวมตัว

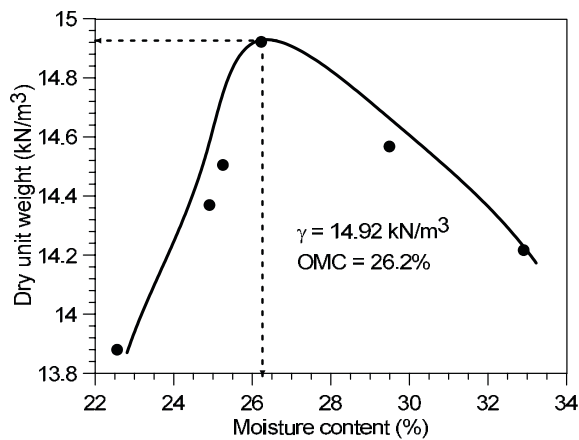
Al-Rawas และคณะ [1] ศึกษาส่วนประกอบแร่วิทยาของดินบวมตัวจากแหล่งต่างๆ โดยใช้เทคนิคการเอ็กซเรย์พบว่าดินบวมตัวมักมีแร่สแมคไทท์หรือมอนโทโมริลโลไนท์เป็นองค์ประกอบสำคัญ ดินบวมตัวส่วนใหญ่มักพบในดินแดนแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง เนื่องจากดินประเภทนี้มีแร่มอนโทโมริลโลไนท์อยู่ในปริมาณมากทำให้ดินมีศักยภาพการบวมตัวและหดตัว [2] สำหรับการที่ดินจะบวมตัวขึ้นมาได้นั้น ในเบื้องต้นดินจะอยู่ในสภาพไม่อิ่มตัว แต่เมื่อดินดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นจะเกิดการบวมตัว ในทางกลับกันหากดิน

สูญเสียน้ำจะหด [3]-[5] ได้จำแนกความไวตัวสัมพัทธ์ของดินขยายตัว เกณฑ์การจำแนกของ Holtz และ Gibbs [4] ขึ้นอยู่กับแนวโน้มการบีบตัวของตัวอย่างคงสภาพที่แช่อยู่ในน้ำภายใต้ความดัน 1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ส่วนเกณฑ์การจำแนกของ Seed และคณะ [5] ขึ้นอยู่กับแนวโน้มการขยายตัวของตัวอย่างแปลงสภาพที่บดอัดที่ปริมาณน้ำเหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุด แล้วนำไปแช่น้ำภายใต้ความดัน 1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แนวโน้มการขยายตัวและความดันขยายตัวขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดและจำนวนแร่ดินเหนียวที่มีอยู่ในดิน ความหนาแน่นแห้งเริ่มต้น อัตราส่วนช่องว่าง ความดันกดทับ และปริมาณน้ำในดิน ตัวอย่าง ธรรมชาติของของเหลวในโพรงดิน ชนิดของอิมมบวกที่แลกเปลี่ยนได้ ความดันกดทับ และผลกระทบจากสภาพแห้งและเปียก [2], [3], [6]-[8]

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ดินบวมตัวที่นำมาใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ นำมาจากบริเวณรอบอาคาร กบร.ม.2-พ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จังหวัดลำปาง ดินบวมตัวก่อนได้รับการปรับปรุงคุณภาพได้นำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งแสดงในตารางที่ 1 สามารถจำแนกดินได้เป็นประเภท CH เนื่องจากดินตัวอย่างมีปริมาณมวลละเอียดปริมาณมาก มวลหยาบมีปริมาณต่ำ ค่าดัชนีจำกัดความเหลว และดัชนีความเหนียวสูง ทำให้สามารถจำแนกวิธีการขยายตัวอยู่ในระดับสูงมาก ตามงานวิจัยของ Holtz และ Gibbs [4] ดังแสดงในตารางที่ 2 หลังจากนั้นตัวอย่างดินบวมตัวได้ถูกนำมาทดสอบการอัดตัวคายน้ำตามมาตรฐาน ASTM D4546-96 เพื่อศึกษาการบวมตัว โดยควบคุมหน่วยน้ำหนักแห้งและปริมาณความชื้นเหมาะสมที่ได้จากผลการทดสอบการอัดดินด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM D698

ดินบวมตัวมีหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด 14.92 kN/m^3 และปริมาณน้ำเหมาะสม 26.2% ดังรูปที่ 1 สำหรับดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพจะใช้หลักการเดียวกับตัวอย่างดินบวมตัว โดยสารผสมเพิ่มที่ใช้เป็นวัสดุที่หาง่ายและมีอยู่ในพื้นที่ คือซีเมนต์ เถ้าลอยและซีเมนต์ผสม



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งกับปริมาณความชื้นของดินบวมตัว

แก้ล้อย อัตราส่วนผสมของซีเมนต์ที่ใช้ในการวิจัยเท่ากับ 1% 3% 5% และ 7% อัตราส่วนผสมของแก้ล้อย เท่ากับ

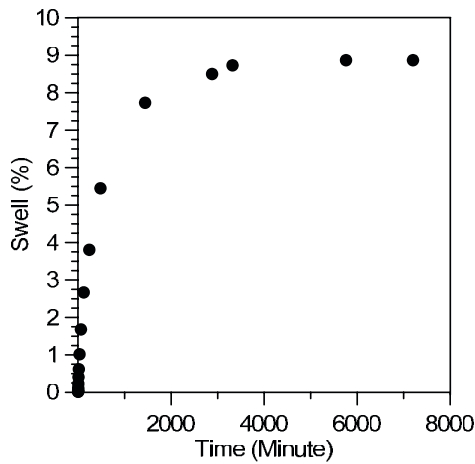
5% 10% และ 20% และอัตราส่วนผสมของซีเมนต์ผสมแก้ล้อย โดยใช้ปริมาณซีเมนต์คงที่ 1% และอัตราส่วนผสมของแก้ล้อย เท่ากับ 5% 10% และ 20%

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของดินตัวอย่าง

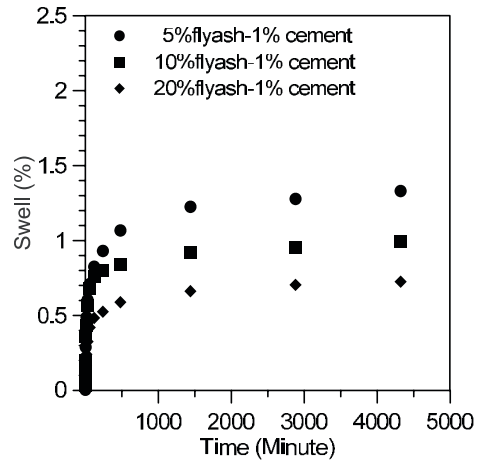
Property	Value
Gravel (80 - 4.75 mm), %	3.2
Sand (4.75 - 0.075 mm), %	5.6
Silt & Clay, %	91.2
Classification	CH
Specific gravity	2.66
Liquid Limit, %	72
Plastic Limit, %	32
Plastic Index, %	40

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของดินบวมตัว

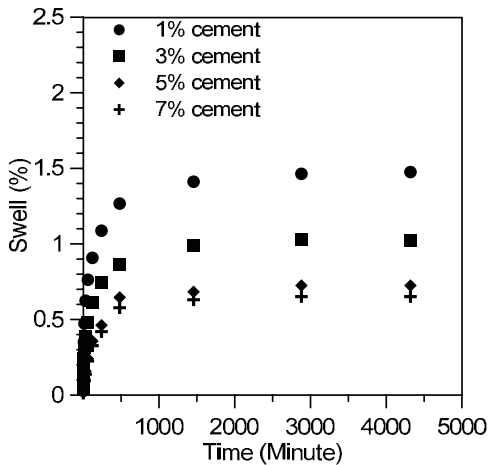
Soil Type	Plasticity index (PI) (%)	Maximum swell (%)	Rate of secondary swelling	Swell pressure (kPa)	Swell ratio
Unimproved swelling soil	40.0	8.80	0.01224	160	
Improved swelling soil					
1% cement	27.7	1.45	0.00176	200	6.1
3% cement	26.2	1.03	0.00142	140	8.5
5% cement	22.5	0.73	0.00076	90	12.1
7% cement	16.2	0.65	0.00071	80	13.5
1% cement-5% flyash	26.6	1.33	0.00299	130	6.6
1% cement-10% flyash	23.5	0.99	0.00209	100	8.9
1% cement-20% flyash	21.8	0.73	0.00120	80	12.1
5% flyash	28.5	3.03	0.00649	160	2.9
10% flyash	26.0	1.40	0.00245	80	6.3
20% flyash	24.5	0.89	0.00239	40	9.9



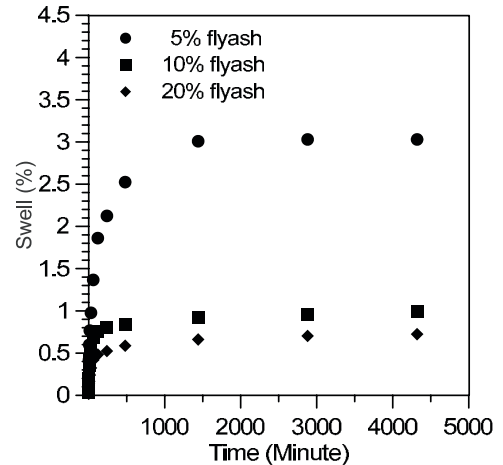
(ก) ดินบวมตัวก่อนปรับปรุงคุณภาพ



(ค) ดินบวมตัวผสมซีเมนต์ร้อยละ 1 กับเถ้าลอย



(ข) ดินบวมตัวผสมซีเมนต์



(ง) ดินบวมตัวผสมเถ้าลอย

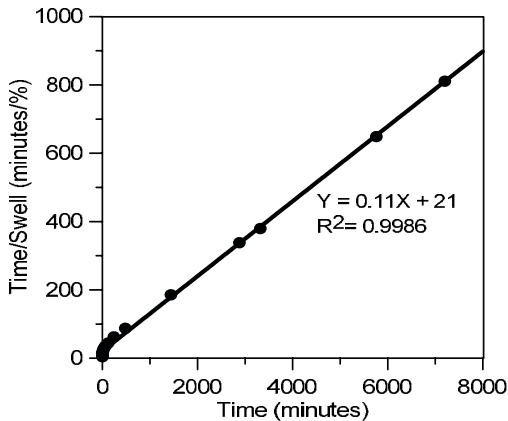
รูปที่ 2 กราฟร้อยละการบวมตัวกับเวลาของดินบวมตัวก่อนการปรับปรุงคุณภาพและปรับปรุงคุณภาพ

4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์

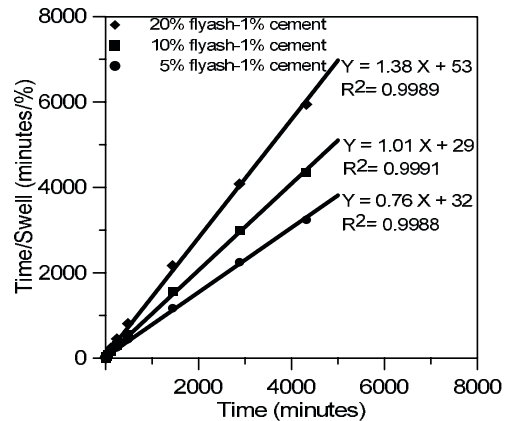
4.1 การบวมตัวอย่างอิสระ

รูปที่ 2 (a) ถึง 2 (d) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาบวมตัวอย่างอิสระการบวมตัวของดินเดิมและดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ล้วน ปูนซีเมนต์ร้อยละ 1 กับเถ้าลอยที่ปริมาณต่างๆ และเถ้าลอยล้วน “ร้อยละการบวมตัว” หมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณการบวมตัวต่อความหนาของตัวอย่างดินเริ่มต้น ซึ่งพบว่าในช่วงต้นของระยะเวลาภายหลังการเตรียมตัวอย่าง ดินตัวอย่างมีอัตราการบวมตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากนั้นลดลงจนมีค่าระดับ

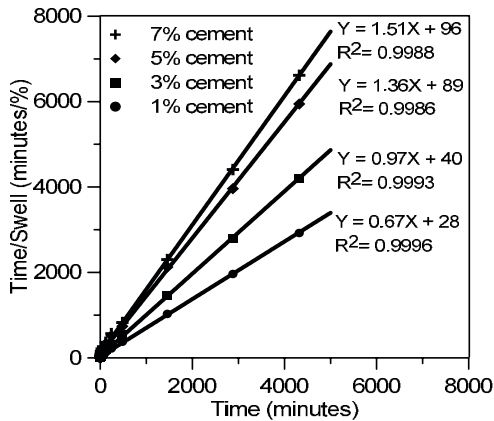
คงที่ สำหรับตัวอย่างดินบวมตัวที่ไม่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพ อัตราการบวมตัวเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 4000 นาที ในขณะที่ดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 3 แบบ เริ่มมีอัตราการบวมตัวคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1500 นาที แสดงว่าดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพจะมีค่าดัชนีความเหนียวลดลง ดังแสดงในตารางที่ 2 ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการบวมตัวเริ่มมีค่าที่ลดลง [9] ลักษณะของกราฟจากรูปที่ 2 (ก) ถึง 2 (ง) คล้ายกับกราฟไฮเปอร์โบลา ดังนั้นจึงสามารถพล็อตให้อยู่ในความสัมพันธ์ของเวลาต่อการบวมตัวกับเวลา ดังรูปที่ 3 (ก)



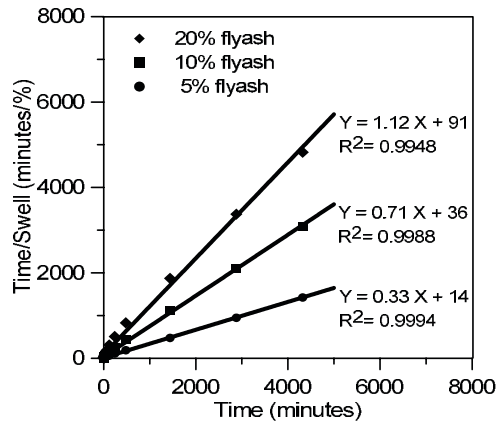
(ก) ดินบวมตัวก่อนปรับปรุงคุณภาพ



(ค) ดินบวมตัวผสมซีเมนต์ร้อยละ 1 กับเถ้าลอย

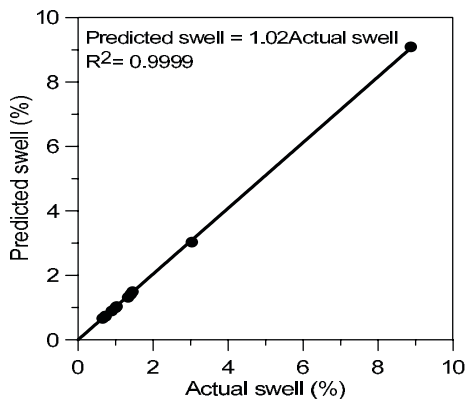


(ข) ดินบวมตัวผสมซีเมนต์



(ง) ดินบวมตัวผสมเถ้าลอยล้วน

รูปที่ 3 อัตราส่วนของเวลาต่อการบวมตัวกับเวลาของดินบวมตัวก่อนการปรับปรุงคุณภาพและปรับปรุงคุณภาพ



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบการบวมตัว

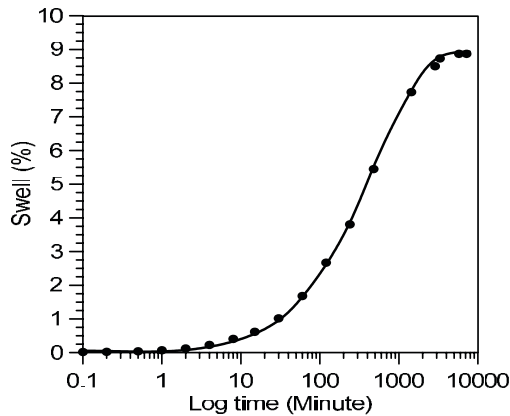
ถึง 3 (ง) ซึ่งแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง โดยแสดงเป็นสมการไฮเปอร์โบล่าได้ดังนี้

$$\frac{t}{s} = a + bt \quad (1)$$

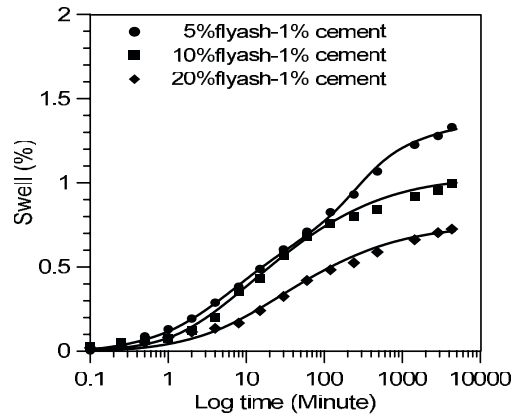
เมื่อ t คือเวลา

S คือร้อยละการบวมตัว

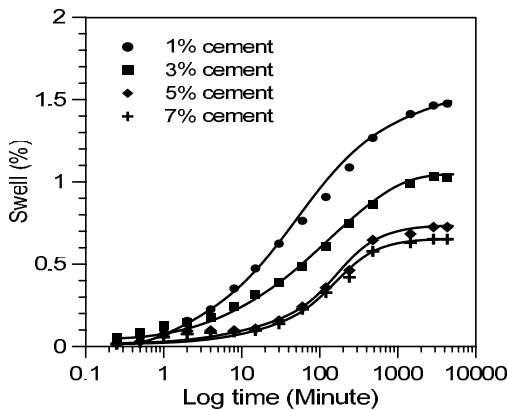
a และ b คือระยะตัดแกนแนวตั้งและความลาดของเส้นตรงตามลำดับ โดยที่ค่า $1/b$ คือค่าการบวมตัวสูงสุด ซึ่งสามารถทำการทำนายค่าการบวมตัวสูงสุดที่ได้จากการทดลองโดยอาศัยความสัมพันธ์นี้ [10]-[12]



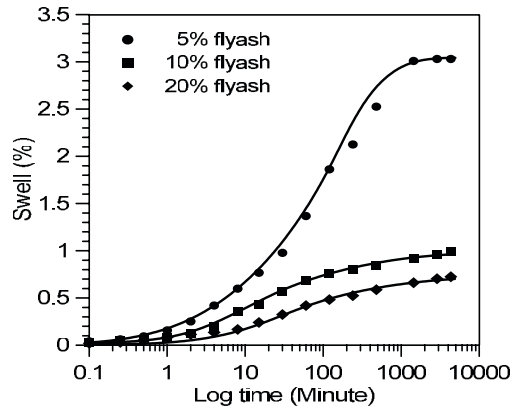
(ก) ดินบวมตัวก่อนปรับปรุงคุณภาพ



(ค) ดินบวมตัวผสมซีเมนต์ร้อยละ 1 กับเถ้าลอย



(ข) ดินบวมตัวผสมซีเมนต์



(ง) ดินบวมตัวผสมเถ้าลอยล้วน

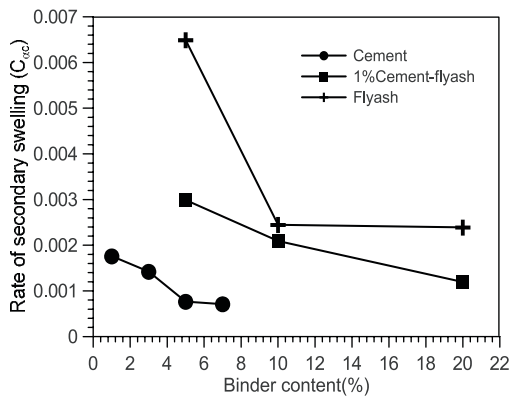
รูปที่ 5 การบวมตัวกับเวลาในมาตราส่วนลอการิทึมของตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 4 แสดงค่าการบวมตัวที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายโดยใช้ค่า $1/b$ พบว่าร้อยละการบวมตัวที่ได้จากการทำนายมีค่าเท่ากับ 1.02 เท่าของค่าที่ได้จากการทดลอง รูปที่ 5 แสดงร้อยละการบวมตัวกับเวลาในมาตราส่วนลอการิทึมโดย กราฟสามารถแบ่งได้เป็นสามช่วง ได้แก่ช่วงเริ่มต้น ช่วงหุติยภูมิและช่วงปรุณภูมิ ซึ่งคล้ายกับผลการทดสอบการอัดตัวระบายน้ำแบบปกติ การบวมตัวในช่วงหุติยภูมิมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงกับเวลา ในมาตราส่วนลอการิทึมซึ่งคล้ายกับอัตราการทรุดตัวในช่วงปรุณภูมิ [13] และเรียกว่าอัตราการบวมตัวในช่วงหุติยภูมิ นิยามของอัตราการบวมตัวในช่วงหุติยภูมิเป็นตามสมการที่ 2

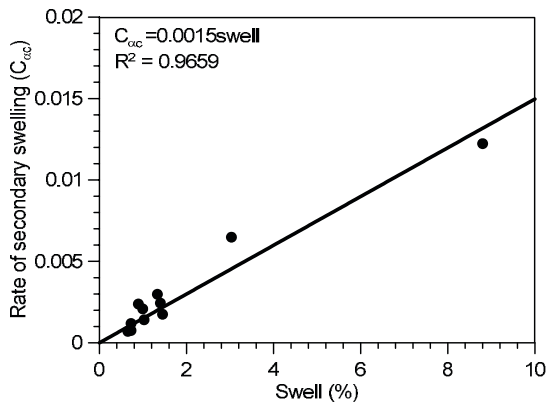
$$C_{as} = \frac{\Delta e}{\log \frac{t_2}{t_1}} \quad (2)$$

เมื่อ Δe คืออัตราช่องว่างที่เปลี่ยนไป ในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2

ตารางที่ 2 แสดงอัตราการบวมตัวช่วงหุติยภูมิ ซึ่งดินบวมตัวก่อนปรับปรุงคุณภาพมีค่าการบวมตัวหุติยภูมิเท่ากับ 0.01224 ค่าการบวมตัวช่วงหุติยภูมิของดินที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ล้วน ปูนซีเมนต์ร้อยละ 1 กับเถ้าลอย และเถ้าลอยล้วน แสดงในรูปที่ 6 ดินที่ผสมซีเมนต์ล้วนมีค่าอัตราการบวมตัวช่วงหุติยภูมิลดลงตามปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นถึงว่าตัวอย่างมีค่าดัชนีความ

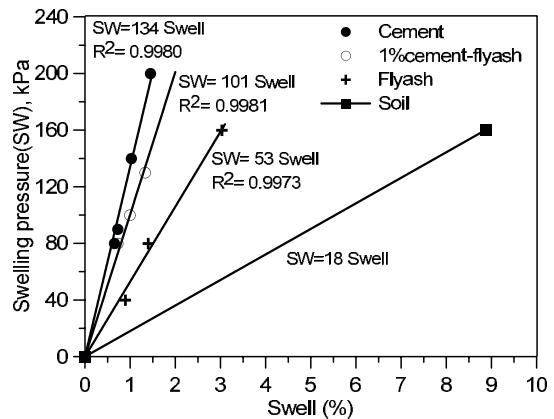


รูปที่ 6 อัตราการบวมตัวช่วงทุติยภูมิกับปริมาณสารผสมเพิ่ม



รูปที่ 7 อัตราการบวมตัวช่วงทุติยภูมิกับการบวมตัว

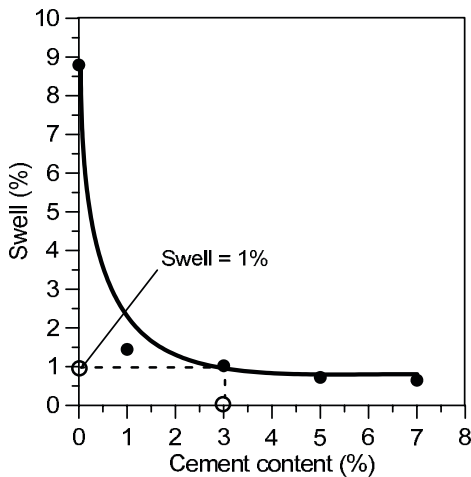
เหนียวลดลงโดยเมื่อปริมาณซีเมนต์มากกว่าร้อยละ 5 ค่าอัตราการบวมตัวช่วงทุติยภูมิเริ่มลดลงเล็กน้อย ตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 1 กับเถ้าลอย มีค่าการบวมลดลงตามปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น จาก 0.00299 ถึง 0.00120 โดยที่ปริมาณเถ้าลอยร้อยละ 20 ให้ค่าอัตราการบวมตัวใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ผสมซีเมนต์ ร้อยละ 3 สำหรับตัวอย่างดินบวมตัวปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าลอยล้วนมีแนวโน้มอัตราการบวมตัวลดลงอย่างรวดเร็วที่ปริมาณเถ้าลอยร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 10 และมีค่าคงที่เมื่อใช้ปริมาณเถ้าลอยมากกว่าร้อยละ 10 โดยมีค่าต่ำสุด 0.00239 ซึ่งให้ค่าสูงกว่า ตัวอย่างดินที่ผสมซีเมนต์ล้วนในทุกสัดส่วนผสม ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบวมตัว



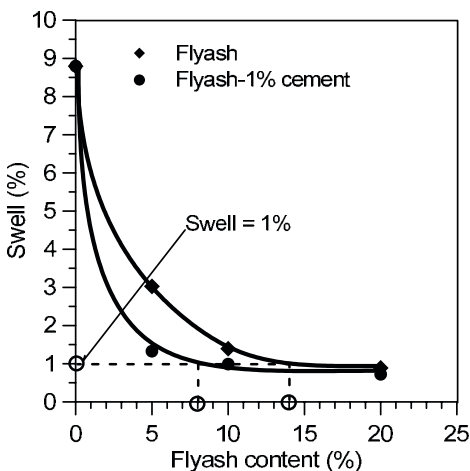
รูปที่ 8 ความดันบวมตัวกับร้อยละการบวมตัว

ช่วงทุติยภูมิกับการบวมตัวของดินก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ แสดงในรูปที่ 7 มีแนวโน้มเป็นสมการเส้นตรงซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.0015 เท่า ของการบวมตัวค่าความดันดินบวมตัวซึ่งแสดงค่าเป็นตัวเลขดังตารางที่ 2 พบว่าความดันบวมตัวมีค่าสูงขึ้นตามการบวมตัวที่เพิ่มขึ้น โดยแสดงเป็นเส้นแนวโน้มได้ดังรูปที่ 8 สำหรับดินก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพโดยพบว่ามีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ความลาดชันของเส้นแนวโน้มสำหรับ ดินบวมตัวผสมซีเมนต์มีความชันมากที่สุด ตามด้วย ดินบวมตัวผสมซีเมนต์ร้อยละ 1 กับเถ้าลอย ดินบวมตัวผสมเถ้าลอยล้วนและดินบวมตัว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการบวมตัวเท่ากันตัวอย่างดินที่มีความแข็งมากที่สุดคือตัวอย่างดินผสมซีเมนต์ล้วน ต้องการความดันที่มากกว่าตัวอย่างดินที่มีความแข็งรองลงมา

ความสัมพันธ์ระหว่างการบวมตัวสูงสุดกับปริมาณสารผสมเพิ่มชนิดต่างๆ แสดงในรูปที่ 9 และ 10 เมื่อพิจารณาตัวอย่างดินบวมตัวที่ผสมซีเมนต์ล้วน พบว่าค่าการบวมตัวลดลงอย่างรวดเร็วตามปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นจนเมื่อปริมาณซีเมนต์มากกว่าร้อยละ 3 การลดลงของการบวมตัวเริ่มช้าลง แสดงให้เห็นว่าที่ปริมาณซีเมนต์ ร้อยละ 3 เป็นปริมาณซีเมนต์ล้วนที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว โดยให้อัตราส่วนการปรับปรุงคุณภาพ (Swell Ratio) ซึ่งนิยามให้เป็นอัตราส่วนการบวมตัวของดินก่อน



รูปที่ 9 การบวมตัวกับปริมาณซีเมนต์



รูปที่ 10 การบวมตัวกับปริมาณเถ้าลอย

และหลังการปรับปรุงคุณภาพดังตารางที่ 2 ดินผสมซีเมนต์ร้อยละ 3 มีค่าการบวมตัว ร้อยละ 1 มี Swell Ratio เท่ากับ 8.5 ดังนั้นเพื่อประหยัดปริมาณซีเมนต์ จึงได้ลดปริมาณซีเมนต์ลงเหลือ ร้อยละ 1 แล้วนำไปผสมกับเถ้าลอย และ เถ้าลอยล้วน ซึ่งได้ผลการทดสอบการบวมตัว ดังรูปที่ 10 พบว่าเมื่อพิจารณาการบวมตัวร้อยละ 1 เท่ากันกับดินบวมตัวผสมซีเมนต์ ตัวอย่างดินที่ผสมซีเมนต์ที่ร้อยละ 1 กับเถ้าลอย และเถ้าลอยล้วน ต้องการใช้ปริมาณเถ้าลอย ร้อยละ 8 และ 14 ตามลำดับ

5. สรุป

การวิจัยเรื่องนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการบวมตัวของดินตัวอย่างมาจากบริเวณโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ผลการทดสอบการบวมตัวของดินบวมตัว ดินบวมตัวที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ เถ้าลอยและซีเมนต์ผสมเถ้าลอยแสดงในบทความนี้ อัตราส่วนผสมของซีเมนต์ในการศึกษา เท่ากับ 1% 3% 5% และ 7% อัตราส่วนผสมของเถ้าลอย เท่ากับ 5% 10% และ 20% อัตราส่วนผสมของซีเมนต์ผสมเถ้าลอยใช้ซีเมนต์ในปริมาณคงที่ 1% และอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยเท่ากับ 5% 10% และ 20% ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

5.1 การบวมตัวและความดันบวมตัว

ตัวอย่างดินบวมตัวที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพทั้งสามแบบใช้ระยะเวลาการบวมตัวคงที่ น้อยกว่าตัวอย่างดินบวมตัวที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ แสดงให้เห็นถึงว่าดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพมีค่าดัชนีความเหนียวลดลง ร้อยละการบวมตัวที่ได้จากการทำนายมีค่าเท่ากับ 1.02 เท่า ของค่าที่ได้จากการทดลอง อัตราการบวมตัวช่วงหุติยภูมิกับการบวมตัวของดินก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ มีแนวโน้มเป็นสมการเส้นตรงซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0015 เท่าของการบวมตัว ความดันบวมตัวแปรผันตรงกับค่าการบวมตัว ดินที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์มีค่าความลาดชันสูงที่สุดและดินบวมตัวที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพมีความลาดชันต่ำที่สุด เมื่อการบวมตัวเท่ากัน ดินที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์มีค่าความดันบวมตัวสูงที่สุด

5.2 ปริมาณซีเมนต์เถ้าลอยและเถ้าลอยผสมซีเมนต์ที่เหมาะสม

การผสมปริมาณซีเมนต์ ร้อยละ 3 เป็นปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัวโดยให้อัตราส่วนการปรับปรุงคุณภาพ 8.5 เท่า ซึ่งเทียบเท่ากับตัวอย่างดินที่ผสมซีเมนต์ร้อยละ 1 และเถ้าลอย และเถ้าลอยล้วน ที่ใช้ปริมาณเถ้าลอย ร้อยละ 8 และ 14 ตามลำดับ

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาผู้สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณสำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] A.A. Al-Rawas and L.K.R. Woodrow, "The distribution of expansive soils in Oman," in *Proceedings of the 7th International Conference on Expansive Soils, Dallas, USA, 3-5 August, 1992*, vol.1, pp.432-437.
- [2] F.H. Chen, *Foundations on Expansive Soils*, New York: Elsevier, 1988.
- [3] R.W. Day, "Swell-shrink behavior of compacted clay," *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE 120, pp. 618-623, 1994.
- [4] W.G. Holtz and H.J. Gibbs, "Engineering properties of expansive clays," *Transactions of the American Society of Civil Engineerings* 121, pp. 641-663, 1956.
- [5] M.B. Seed, R.J. Woodward, and R. Lundgren, "Prediction of swelling potential of compacted soils," *Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, ASCE 85, pp.86-128, 1962.
- [6] J.D. Nelson and D.J. Miller, *Expansive Soils - Problems and Practices in Foundation and Pavement Engineering*, New York: John Wiley and Sons, 1992, pp.259.
- [7] Al-Homoud, A.S.Basma, Husein Malkavi, and M.A. Al-Bashabshah, "Cyclic swelling behavior of clays," *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE 121, pp.582-585, 1995.
- [8] K.S. Subba Rao, S.M. Rao, and S. Gangadhara, "Swelling behavior of desiccated clay," *ASTM Geotechnical Testing Journal* 23, pp.193-198, 2000.
- [9] A. Sridharan and Y. Gurtug, "Swelling behavior of compacted fine-grained soils," *Engineering geology*, vol.72, pp. 9-18, 2004.
- [10] V. Dakshinamurthy, "A new method to predict swelling using hyperbola equation," *Geotechnical Engineering, Journal of South East Asian Society of Soil Engineering* 9, pp.29-38, 1978.
- [11] N.S. Rao and K. Kodandarmaswamy, "The prediction of settlements and heave in clays," *Canadian Geotechnical Journal*, vol.17, pp. 623-632, 1981.
- [12] A. Sridharan, A. Sreepada Rao, and P.V. Rivapullaiah, "Swelling pressure of clays," *Geotechnical Testing Journal*, ASTM 9(1), pp. 24-33, 1986.
- [13] T.W. Lambe and R.V. Whitman, *Soil Mechanics*, New Delhi: Wiley, 1979, pp.553.