



แนวทางในการแก้ปัญหาดินบวมตัวที่ ส่งผลกระทบต่อองค์อาคาร

ศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพฤษกุล
อนุกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธา สภาวิศวกร

ทำความรู้จักดินบวมตัว

- ดินบวมตัวมักพบได้ในพื้นที่แห้งแล้ง หรือกึ่งแห้งแล้งที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งทำให้ดินมีคุณสมบัติเป็นสภาพพลาสติกมีค่าบวมตัวสูง และมีกำลังต่ำ
- ดินเหล่านี้จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลดิน เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลดินเพิ่มขึ้นจะเกิดการขยายตัวของปริมาตรและปริมาตรลด หรือหดต่ำลงเมื่อความชื้นหายไปจากมวลดิน
- การเปลี่ยนแปลงปริมาตรทำให้ดินเกิดการเคลื่อนตัว และอาจมีรอยแตกเกิดขึ้นเมื่อดินเกิดการบวมตัว และหดตัวสลับกัน ซึ่งจะเกิดขึ้นสูงเมื่อมีแร่ดินเหนียว โดยเฉพาะแร่มอนต์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite) เป็นองค์ประกอบหลัก

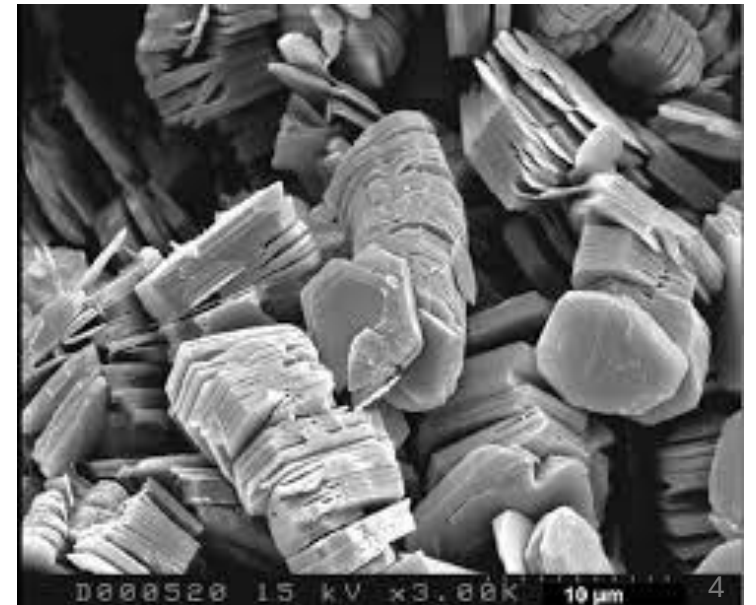
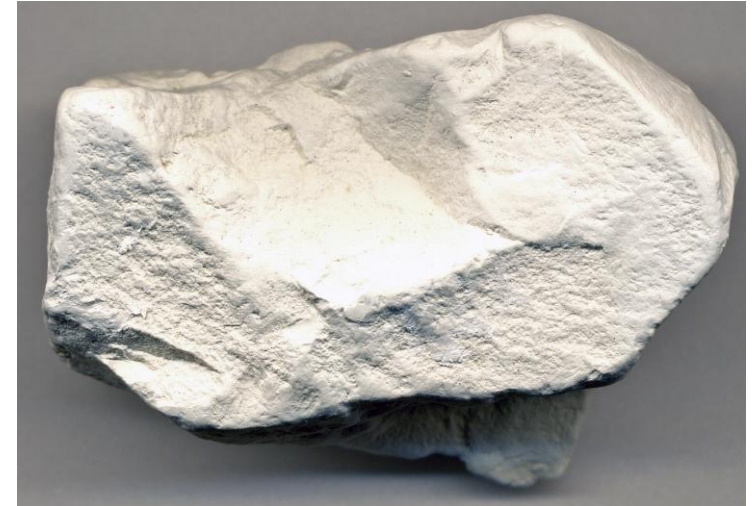
1. แร่ดินเหนียว

แร่ดินเหนียว (Clay Mineral) คือกลุ่มของโครงสร้างที่เกิดจากการผุกร่อนของ หินประกอบด้วย แร่เฟลสปาร์ (Feldspar) และไมก้า (Mica) แร่ดินเหนียวแบ่ง ออกเป็นสี่กลุ่มใหญ่ขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวและชนิดของไอออนที่เชื่อมต่อ ระหว่างชั้นมีดังนี้

- คาโอลิไนท์ (Kaolinite)
- อิลไลต์ (Illite)
- มอนต์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite)
- แลอะเวอร์มิคูไนท์ (Vermiculite)

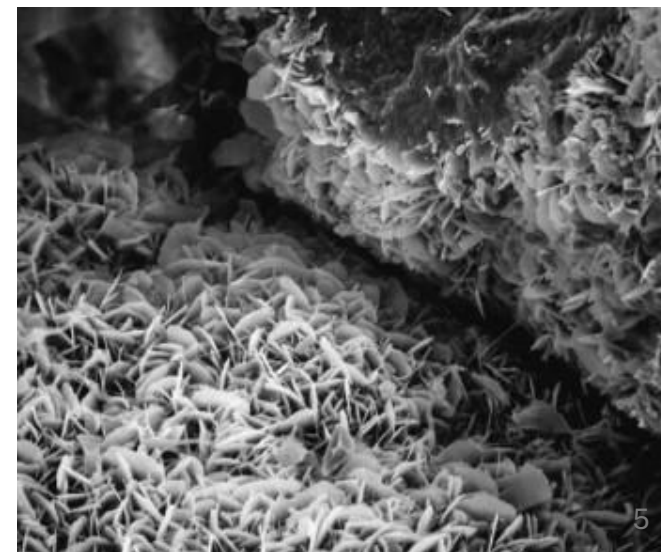
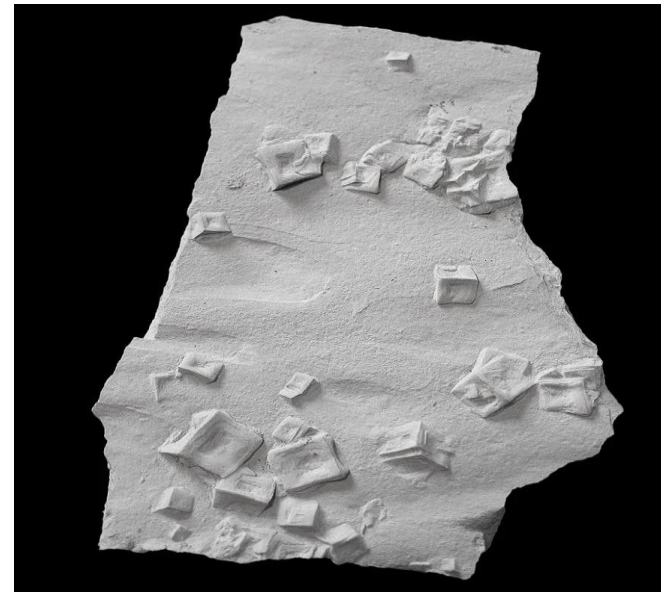
1.1 คาโอไลไนท์ (Kaolinite)

- โครงสร้างของคาโอไลไนท์ประกอบด้วยโครงสร้างสองชั้นที่มีพันธะแข็งแรงของแผ่นซิลิกา และยิปซัม
- ดินคาโอไลไนท์หนึ่งเม็ดอาจจะมีการเรียงตัวกันของชั้นทั้งสอง (ชั้นซิลิกา 1 ชั้น + ชั้นยิปซัม 1 ชั้น) มากกว่า 100 ชั้น
- แร่ชนิดนี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของดินที่กำเนิดอยู่กับที่ และการจับตัวของแต่ละชั้นแข็งแรงมาก ซึ่งน้ำไม่สามารถซึมเข้าไปแทรกได้ ทำให้ดินชนิดนี้มีความเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้น อีกทั้งค่ามุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle) ของดินชนิดนี้ค่อนข้างสูงกว่าดินชนิดอื่น



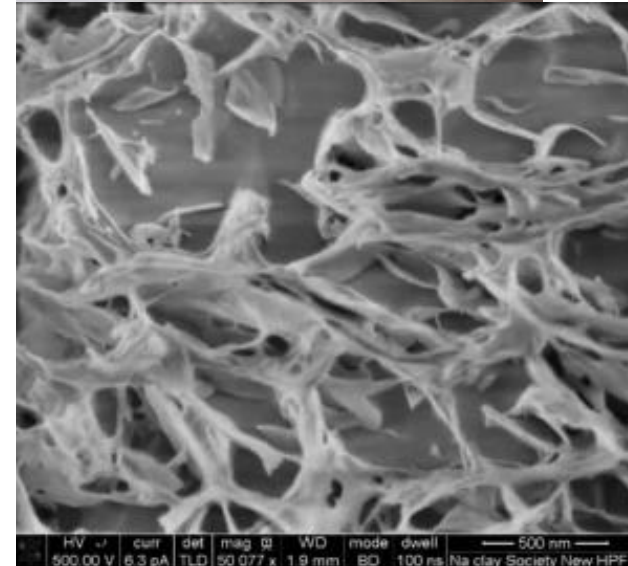
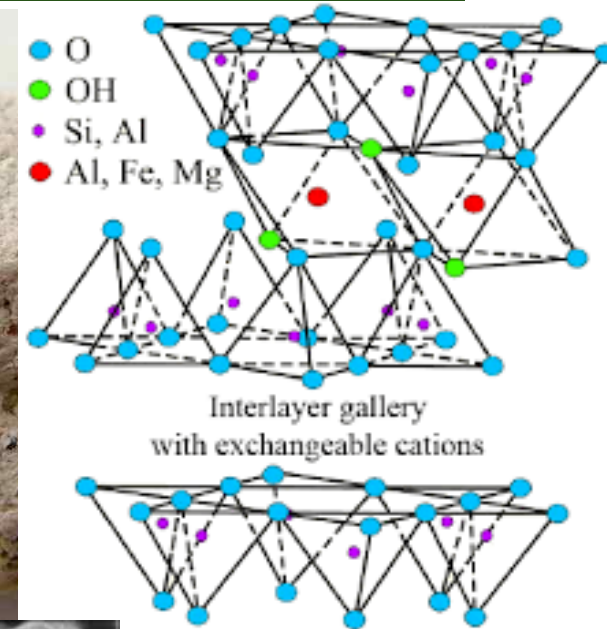
1.2 อีไลต์ (Illite)

- การผุกร่อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพของแร่ไมก้า (Mica) ใต้ทะเลเกิดกลุ่มของแร่ธาตุที่เรียกว่า “อีไลต์” แร่ธาตุนี้นพบมากในดินสมุทร (Marine Clay) เช่น ดินลอนดอน (London Clay)
- โครงสร้างของดินประเภทนี้ประกอบด้วยชั้นยิปไซท์ และมีอออนโปตัสเซียม (Potassium Ion, K^+) เชื่อมระหว่างชั้นซิลิกา ซึ่งอ่อนแอกว่าตัวเชื่อมของดินคาโอไลน์ที่ส่งผลให้ดินประเภทนี้มีขนาดเล็กกว่า



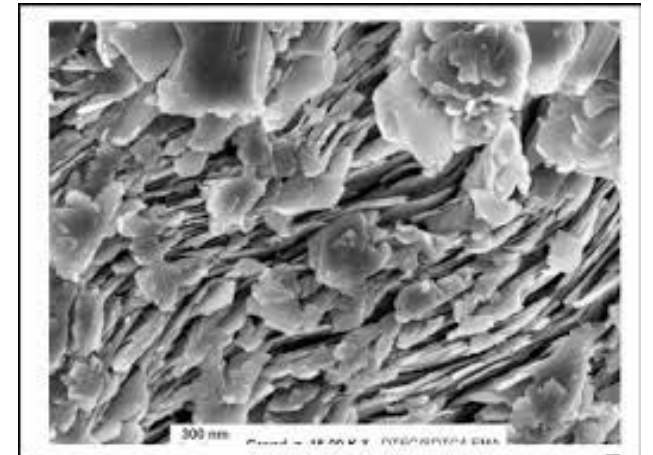
1.3 มอนต์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite)

- แร่ธาตุในกลุ่มนี้อาจเรียกได้อีกอย่างว่า “สเมคไทท์” (Smectites) แร่ชนิดนี้มักพบในดินเบนโทไนท์ (Bentonite) ดินเหนียว Fuller’s Earth และดินฝ้ายดำ (Black Cotton) มอนต์มอริลโลไนท์ ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของแร่อีไลต์
- แร่ชนิดนี้เกิดจากการจับตัวเรียงกันของชั้นซิลิกา 2 ชั้น กับชั้นยิปไซต์ 1 ชั้น อีออนที่เชื่อมต่อกันระหว่างชั้นซิลิกา และยิปไซต์มีความแข็งแรงต่ำ ดังนั้น โมเลกุลของน้ำจึงสามารถเข้าไปแทรกระหว่างแผ่นได้ง่าย และส่งผลให้เกิดการบวมตัว (Swelling) อย่างมากเมื่อถูกน้ำ และเกิดการหดตัว (Shrinkage) อย่างมากเมื่อดินอยู่ในสภาพแห้ง



1.4 เวอร์มิคูไลต์ (Vermiculite)

- แร่กลุ่มนี้ประกอบด้วยซากจากการผุกร่อนของแร่ไบโอไทต์ (Biotite) และคลอไรต์ (Chlorite)
- โครงสร้างของแร่เวอร์มิคูไลต์มีลักษณะคล้ายกับแร่มอนต์มอริลโลไนท์ ซึ่งมีไอออนประจุบวกโดยพันธะที่เชื่อมระหว่างชั้นซิลิกา และชั้นยิบไซต์ส่วนมากจะเป็นแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ร่วมกับบางส่วนของโมเลกุลน้ำ ระดับการหดตัวและขยายตัวของดินประเภทนี้จะคล้ายกับดินมอนต์มอริลโลไนท์ แต่มีความรุนแรงน้อยกว่า



2. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการบวมตัวของดิน

- การบวมตัวของแรมอนต์มอริลโลไนท์เกิดจาก 2 กลไกหลัก ได้แก่ การบวมตัวจากระดับความชื้นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากช่องว่างภายในโครงสร้างของอนุภาคดิน และการบวมตัวจากแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าของสารละลาย เมื่อน้ำซึมผ่าน
- การบดอัดมีผลอย่างมากเนื่องจากค่าการบวมตัว และความดันบวมตัวขึ้นอยู่กับ ปฏิสัมพันธ์ของช่องว่างระหว่างอนุภาคดินทั้งสองชั้นที่อยู่ติดกัน ดังนั้นในการบดอัดเมื่อหน่วยน้ำหนักแห้งสูงขึ้น (Dry Density) จะทำให้แรงในการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าระหว่างผิวของอนุภาคสูงขึ้น

2. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการบวมตัวของดิน

- เมื่อน้ำเข้าไปแทนที่ช่องว่างภายในเม็ดดินจนดินมีระดับอิ่มตัวสูงสุด (Saturated Clay) จะไม่เกิดปฏิสัมพันธ์ของโครงสร้างอนุภาคดินเหนียว ส่งผลให้ความเค้นประสิทธิผลลดลงและความดันบวมตัวจะสูง (Swelling Pressure)
- ในกรณีที่ดินเหนียวมีระดับอิ่มตัวสูงความเค้นประสิทธิผลจะเกิดจากแรงทางกายภาพ และเคมี จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับการบวมตัวของดินเหนียวแบ่งออกเป็น 3 ปัจจัยหลัก ดังนี้

2. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการบวมตัวของดิน

2.1 คุณสมบัติของดิน (Soil Properties)

- การกำเนิดของดินที่แตกต่างกันทำให้แร่ดินเหนียวมีคุณสมบัติที่ต่างกัน องค์ประกอบทางเคมีของน้ำหรือค่า pH จะมีอิทธิพลต่อแรงในการเปลี่ยนถ่ายระหว่างประจุไฟฟ้าในช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน การเรียงตัวของโครงสร้างภายในอนุภาคเม็ดดิน (Soil Structure และ Soil Fabric) แรงดูด (Soil Suction) สภาพพลาสติก (Plasticity) และหน่วยน้ำหนักแห้ง (Dry Unit Weight)

2.2 ปัจจัยทางสภาพแวดล้อม (Environmental)

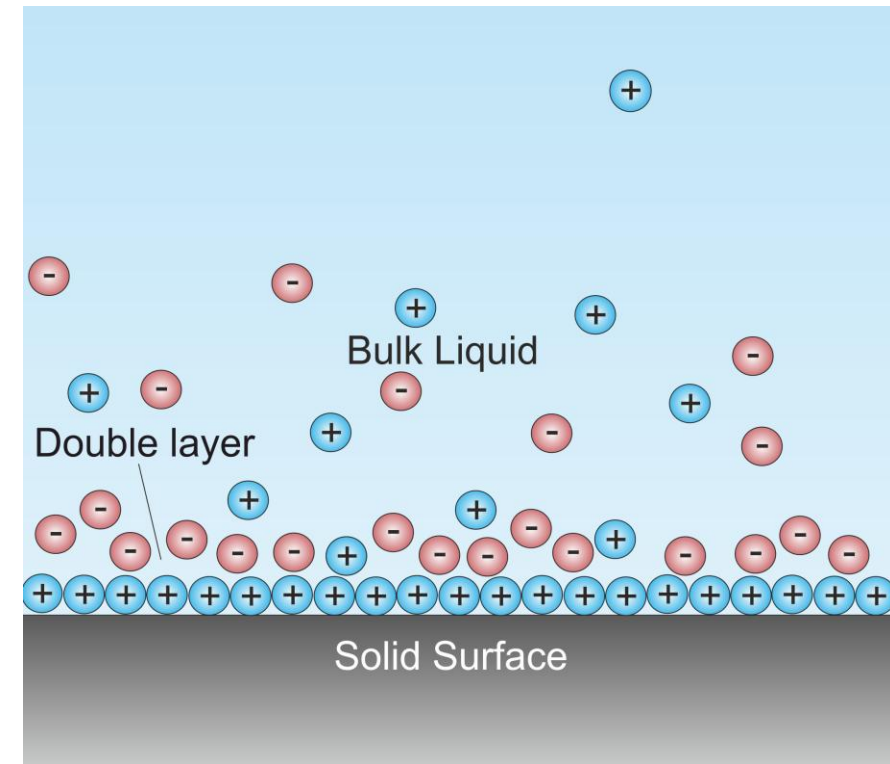
- สภาพแวดล้อมหรือพื้นที่เขตร้อนเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จะมีระดับอุณหภูมิที่ต่างกันมาก ซึ่งจะมีผลต่อปริมาณความชื้นเริ่มต้น (Initial Water Content) และการเปลี่ยนแปลงระดับความชื้น

2.3 สภาวะความเค้น (Stress Condition)

- เมื่อน้ำหนักกดทับที่เคยได้รับในอดีตลดลง หรือหายไปจะส่งผลต่อพฤติกรรมการบวมตัวของดิน เนื่องจากน้ำหนักกดทับน้อยกว่าความดันบวมตัว
- นักวิจัยได้ศึกษาผลกระทบความแตกต่างของน้ำแต่ละชนิดที่มีผลต่อพฤติกรรมบวมตัวของดินบวมตัว ในการทดสอบได้กำหนดให้ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีสภาพเริ่มต้นที่เท่ากัน โดยใช้ดินเบนโทไนท์ประเภทโซเดียมที่มีแรมอนต์มอริลโลไนท์เป็นองค์ประกอบ ประเภทของน้ำที่ใช้ในการทดสอบได้เก็บตัวอย่างจากทะเล ทะเลสาบ แม่น้ำ และภูเขา ซึ่งเป็นน้ำที่มีความเข้มข้นของโซเดียม แคลเซียม คลอไรด์ ซัลเฟต และแมกนีเซียม

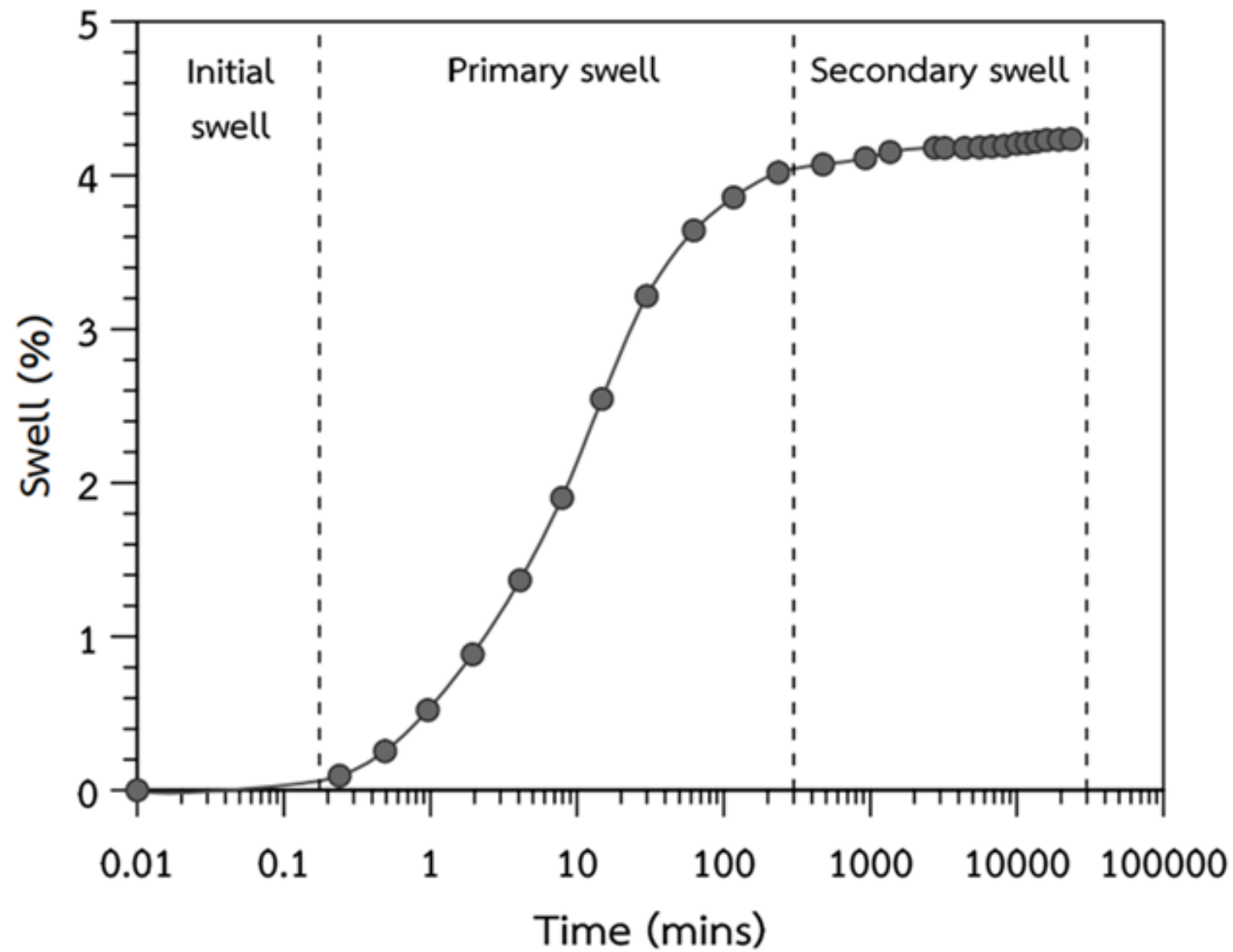
2.3 สภาวะความเค้น (Stress Condition)

- จากการทดสอบการบวมตัวในหนึ่งมิติ พบว่าค่าบวมตัว และความดันบวมตัวในน้ำที่มีความเข้มข้นของไอออนสูง (Electrolyte) สามารถลดการบวมตัวได้เนื่องจากความหนาของอนุภาคดินที่ติดกัน (Double Layer) ลดลง ซึ่งเกิดจากการละลายที่มีความเข้มข้นของเกลือเกิดการแทนที่ของประจุไฟฟ้าในอนุภาคดินบวมตัว
- เช่น การแทนที่ของแคลเซียม เมื่อปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะยับยั้งการซึมผ่านของน้ำในแต่ละชั้นในอนุภาคดิน ทำให้การบวมตัวลดลง เมื่อพิจารณาขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นพบว่าดินที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะลดลงส่งผลให้การบวมตัวลดลง

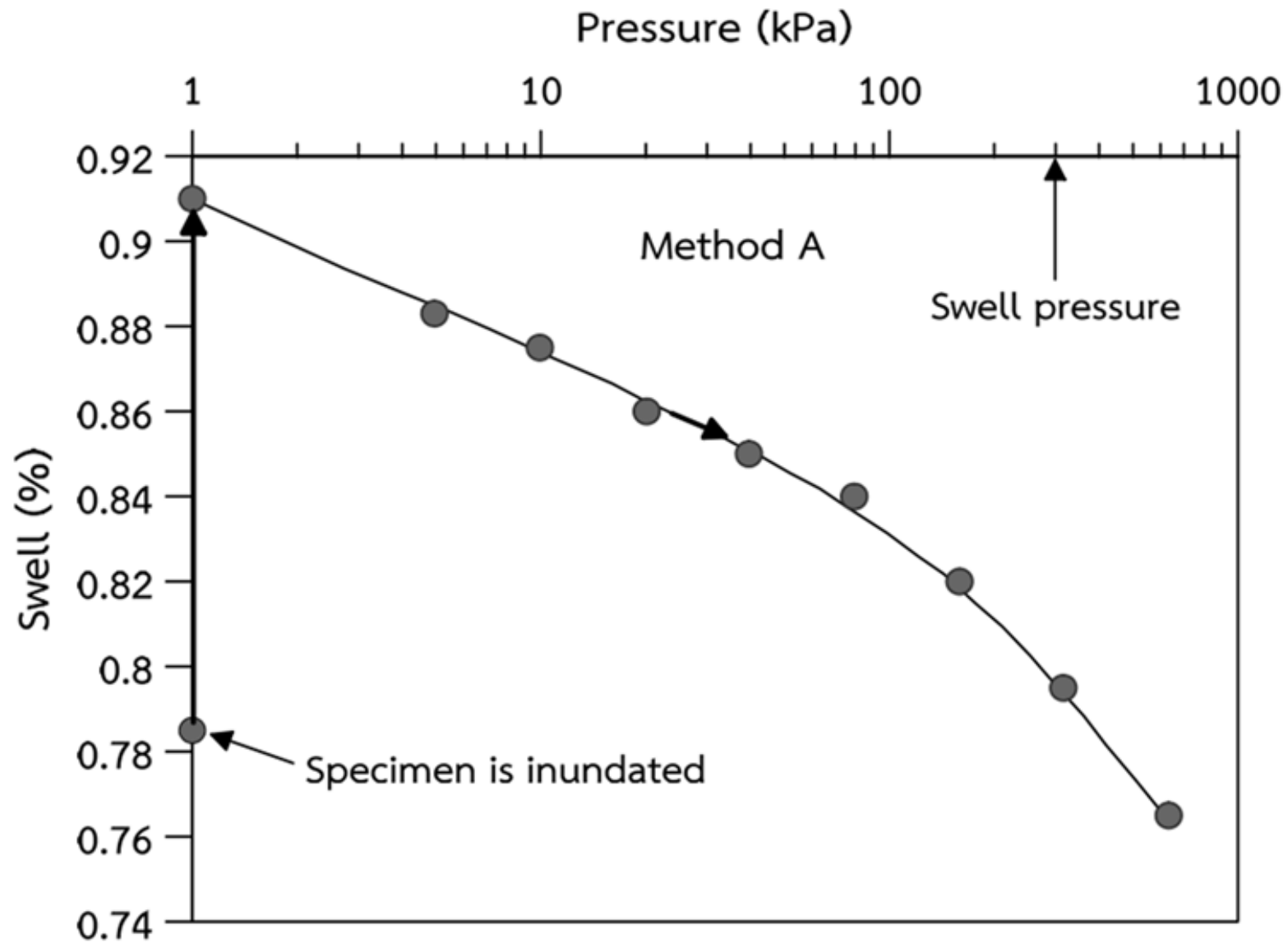


2.3 การจำแนกศักยภาพการบวมตัว

- นักวิจัยได้จำแนกศักยภาพการบวมตัวของดินบวมตัวโดยอ้างอิงจากการทดสอบการบวมตัวในหนึ่งมิติ ดินที่ใช้ทดสอบเป็นดินที่เตรียมตัวอย่างโดยการบดอัด ซึ่งมีใช้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นเหมาะสม
- จากการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน นำไปแช่น้ำภายใต้ความดันกดทับ 7 kPa และทำการวัดการบวมตัวอิสระ (free swell) ดังรูปที่ 2-1 รวมถึงความดันบวมตัว (swelling pressure) ดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-1 ผลการทดสอบการบวมตัวอิสระ



รูปที่ 2-2 ผลการทดสอบหาความดันบวมตัว

2.3 การจำแนกศักยภาพการบวมตัว

- ความดันบวมตัวหมายถึงความดันต่ำสุดที่ทำให้ดินบวมตัวไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ขนาดการบวมตัวและความดันบวมตัวขึ้นอยู่กับหลายตัวแปรด้วยกันได้แก่ ชนิดดิน แร่ดินเหนียวที่พบในดิน ความหนาแน่นเริ่มต้น อัตราส่วนช่องว่าง ความดันกดทับ ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ และการเปียก การแห้งของดิน
- ตารางที่ 2-1 และ 2-2 แสดงการจำแนกดินบวมตัวซึ่ง แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ต่ำ ปานกลาง สูง และสูงมาก ต่อมาได้มีผู้นำเสนอความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างศักยภาพการบวมตัวกับความดันบวมตัวของดินเหนียวบดอัดโดยพบว่าแปรผันเป็นตรง

ตารางที่ 2-1 การจำแนกดินบวมตัว

ระดับการบวมตัว	การจำแนกการบวมตัว	
	Holzและ Gibb's (1956)	Seed และคณะ (1962)
ต่ำ	0-10	0-1.5
ปานกลาง	10-20	1.5-5
สูง	20-35	5-25
สูงมาก	มากกว่า 35	มากกว่า 25

ตารางที่ 2-2 เงื่อนไขการจำแนกดินบวมตัว

ปริมาณคอลลอยด์ (%)	ดัชนีความเหนียว	ขีดจำกัดหดตัว	ระดับการขยายตัว	การขยายตัวที่เป็นไปได้ (%)
<15	<18	<18	ต่ำ	<10
12-23	15-18	10-20	ปานกลาง	10-20
20-31	25-41	20-30	สูง	20-30
>28	>35	>30	สูงมาก	>30

ที่มา : Holz และ Gibb's (1956)

2.3 การจำแนกศักยภาพการบวมตัว

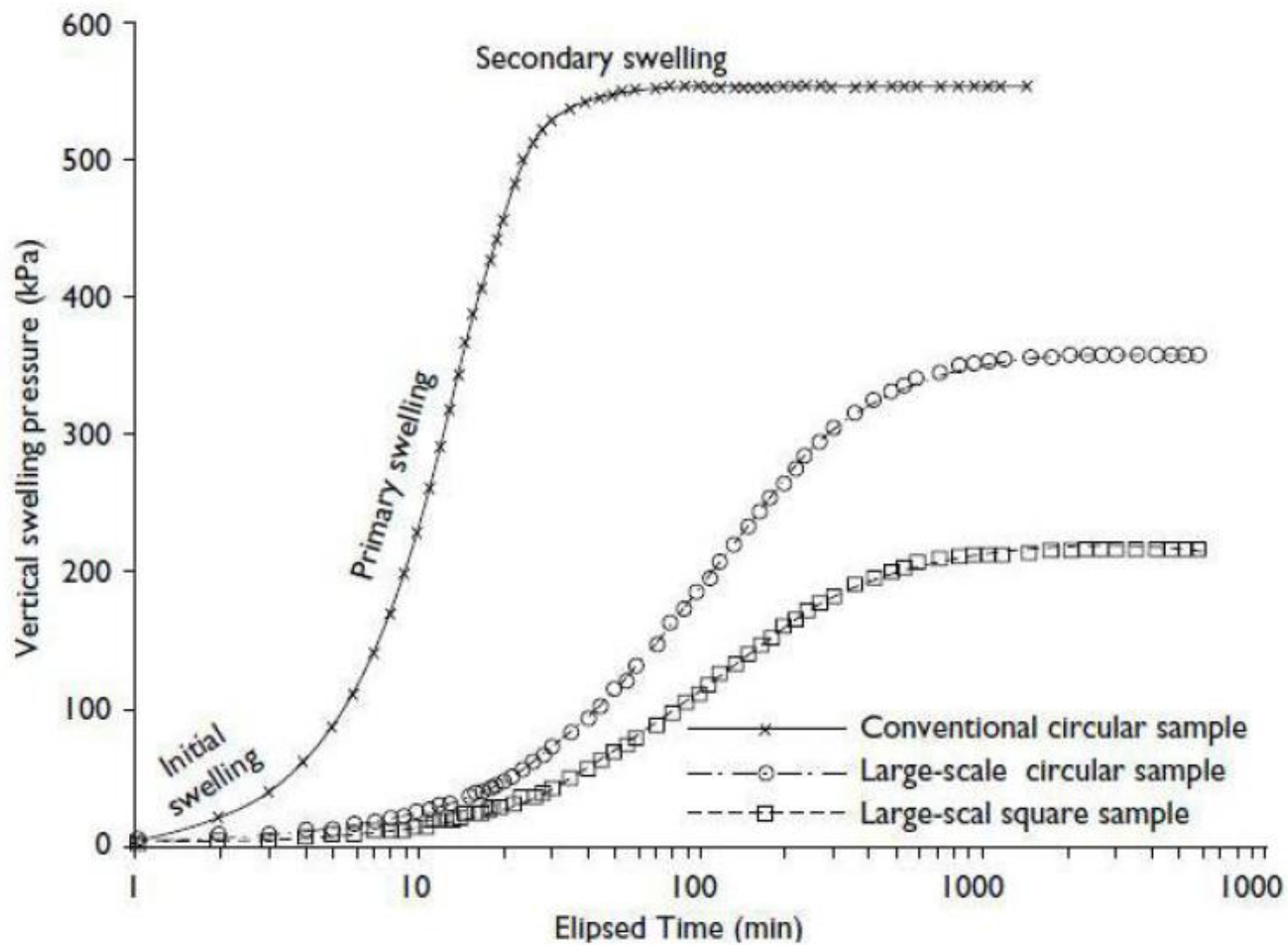
- การทดสอบอัดตัวคายนํ้าโดยทั่วไปมักจะทำให้โครงสร้างดินมีอัตราส่วนช่องว่างลดลง และทำให้แรงปฏิภักิริยาที่จุดสัมผัสระหว่างเม็ดดินเพิ่มขึ้น
- การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่เกิดจากการชะล้างการเกิดพันธะเชื่อมประสาน การผุกร่อน และการอัดตัวคายนํ้าสามารถเกิดได้อย่างรวดเร็วภายใต้อุณหภูมิที่สูง การลดลงของความเค้นที่เคยได้รับทำให้เม็ดดินเกิดการคืนตัวแบบยืดหยุ่น และเกิดการบวมตัวโดยตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น และอัตราส่วนช่องว่างควรเป็นตัวแทนของดินในพื้นที่ก่อนที่จะก่อสร้าง

2.3 การจำแนกศักยภาพการบวมตัว

- ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้ดินที่ถูกรบกวนโดยตัวอย่างดินควรถูกบดอัดให้ได้ความหนาแน่นตามที่ต้องการในสนาม แนวโน้มการบวมตัว และความดันบวมตัวของตัวอย่างดินสามารถหาได้จากสามวิธีที่ระบุไว้ในมาตรฐาน (ASTM D 4546)
- ความดันกดทับที่ให้แกตัวอย่างดินเหนียวอย่างน้อย 1 กิโลปาสกาล หลังจากตัวอย่างเกิดการยุบตัวในเบื้องต้นเนื่องจากความดันกดทับสมบูรณ์แล้ว ตัวอย่างจะถูกนำไปแช่น้ำในเซลล์สำหรับทดสอบการอัดตัวคายน้ำ และยอมให้มีการบวมตัวในแนวตั้งเท่านั้น

2.3 การจำแนกศักยภาพการบวมตัว

- จากงานวิจัยของ Azam (2003) ทดสอบพฤติกรรมการบวมตัวของดินเหนียวในพื้นที่ด้วยการทดสอบการบวมตัวในหนึ่งมิติขนาดใหญ่ (Large-scale Odometer) และได้แสดงค่าการบวมตัวในแนวตั้งเทียบกับเวลา
- รูปที่ 2-3 กราฟการบวมตัวเทียบกับเวลาสามารถพิจารณาแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การบวมตัวเริ่มต้น ส่วนที่สองคือ การบวมตัวเบื่องตัน และส่วนที่สามคือการบวมตัวระยะที่สอง
- การบวมตัวเริ่มต้นซึ่งเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเป็นการบวมตัวที่เกิดเนื่องจากโครงสร้างเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่ (Macrostructure) ส่วนการบวมตัวในเบื่องตัน และระยะที่สองเกิดจากโครงสร้างเม็ดดินที่มีขนาดเล็ก (Microstructure)



รูปที่ 2-3 พฤติกรรมการบวมตัวของดิน Al-qatif Clay (Azam, 2003)

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

- เพื่อความปลอดภัย และความคุ้มค่าในการออกแบบฐานรากที่รองรับด้วยดินเหนียว นักธรณีเทคนิคจะต้องทราบลักษณะเฉพาะของดิน เช่น การบวมตัว ความดันบวมตัว และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินบวมตัว เมื่อดินมีปริมาณความชื้นสูง และต่ำสลับกัน
- จากพฤติกรรมข้างต้นส่งผลต่อฐานรากของโครงสร้างที่ตั้งอยู่บนผิวดิน จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้งานโดยการปรับปรุงคุณภาพจะขึ้นอยู่กับสารผสมเพิ่ม การควบคุมความชื้น การแทนที่ด้วยวัสดุที่เหมาะสม การบดอัด การให้น้ำหนักก่อนก่อสร้าง และเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ เช่น การใช้แรงดันน้ำในการผสม หรือการใช้วิธีทางกล
- นอกจากจากปัจจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะต้องคำนึงถึงความลึกของชั้นดินบวมตัวด้วยซึ่งในการปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัวสามารถทำได้ในระดับตื้น และลึกโดยการปรับปรุงคุณภาพระดับตื้นจะมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

- ดินบวมตัวสามารถบรรเทาลงได้โดยการนำวิธีการปรับปรุงดินมาใช้ สารผสมเพิ่มที่นิยมนำมาใช้เพื่อปรับปรุงดินคือปูนซีเมนต์
- ประเทศไทยนิยมใช้ปูนซีเมนต์เป็นสารเพิ่มเสถียรภาพในโครงการทางเทคนิคธรณี เพราะเป็นวัสดุก่อสร้างที่หาได้ง่ายมีอยู่ทั่วไป เนื่องจากส่วนผสมที่สำคัญของปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ได้แก่ ปูนขาว ซิลิกา และอลูมินา
- เมื่อน้ำในช่องว่างของดินทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์หลักคือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (CAH) ซึ่งสองปฏิกิริยาแรกที่กล่าวถึงเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้นจากปูนซีเมนต์ อนุภาคของปูนซีเมนต์จะทำหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างอนุภาคดินทำให้ก้อนตัวและแข็งตัวจับกันเป็นก้อน ล้อมรอบอนุภาคดินที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งช่วยรักษาความชื้นในดินให้คงที่และทำให้ดินมีสภาพเป็นต่างมากขึ้น

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

- กำลังของสารประกอบซีเมนต์จากแร่ดินเหนียว และสัณฐานของวัสดุที่เกิดขึ้นที่บนผิวของอนุภาคดินเหนียวจะทำให้ซิลิกา และอลูมินาในดินมีสภาพเป็นกรดเจือจางลง
- ปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบ อลูมินา และซิลิกาจะทำให้เกิดการกระจายตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งทำให้เม็ดดินจับตัวจนแข็งเป็นก้อน ปฏิกิริยานี้เป็นที่รู้จักกันดีคือ ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Bergado และคณะ, 1996)

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

- ในการปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ และคุณสมบัติของดิน โดยทั่วไปแล้วดินที่มีอนุภาคเป็นเม็ดหยาบจะสามารถพัฒนา กำลังได้สูงกว่าดินที่มีอนุภาคเป็นเม็ดละเอียดเมื่อผสมปริมาณซีเมนต์ในอัตราส่วนที่เท่ากัน (Taki and Yang, 1991)
- คุณสมบัติการแข็งตัวของดินที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น วิธีการผสม การบดอัด ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีราคาแพงทำให้ค่าก่อสร้างโครงการสูงขึ้น นักวิจัยจึงได้ศึกษาความเหมาะสมของการนำวัสดุปอซโซลานราคาถูกมาทดแทนการใช้ OPC

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

- วัสดุปอซโซลานเป็นวัสดุที่ประกอบแร่ธาตุสำคัญคือ SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นพื้นฐาน เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเกิดจากการที่ซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำ จะก่อตัวเป็นวัสดุเชื่อมประสาน ทั้งที่วัสดุปอซโซลานเองมีสมบัติในการเชื่อมประสานในตัวเองเพียงเล็กน้อยหรือแทบไม่มีเลย
- ปัจจุบันจึงนิยมนำขยะจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ปรับเสถียรภาพแก้ดินเพิ่มมากขึ้น เช่น การศึกษาผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมเช่นตะกอนและเถ้าก้นเตา ซึ่งพบว่ามีประโยชน์เพราะเป็นวัสดุปอซโซลานิกที่นำมาใช้ปรับปรุงสมบัติของดินที่มีเนื้อละเอียดได้

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

- วัสดุที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาทดแทน OPC คือ เถ้าหนัก (Bottom ash) เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมเกิดจากระบวนการเผาไหม้ถ่านหินในโรงไฟฟ้า ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน เมื่อเถ้าหนักผสมกับดินที่มีปริมาณความชื้น Calcium Oxide (CaO) ที่มีอยู่ในเถ้าหนักจะดูดซับน้ำเกิดเป็น Hydrated lime (Ca(OH)₂) และผสมกับ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) และ อลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) จนเกิดสาร แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (CAH) ตามลำดับ ดังสมการ (2-1)-(2-4);



2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

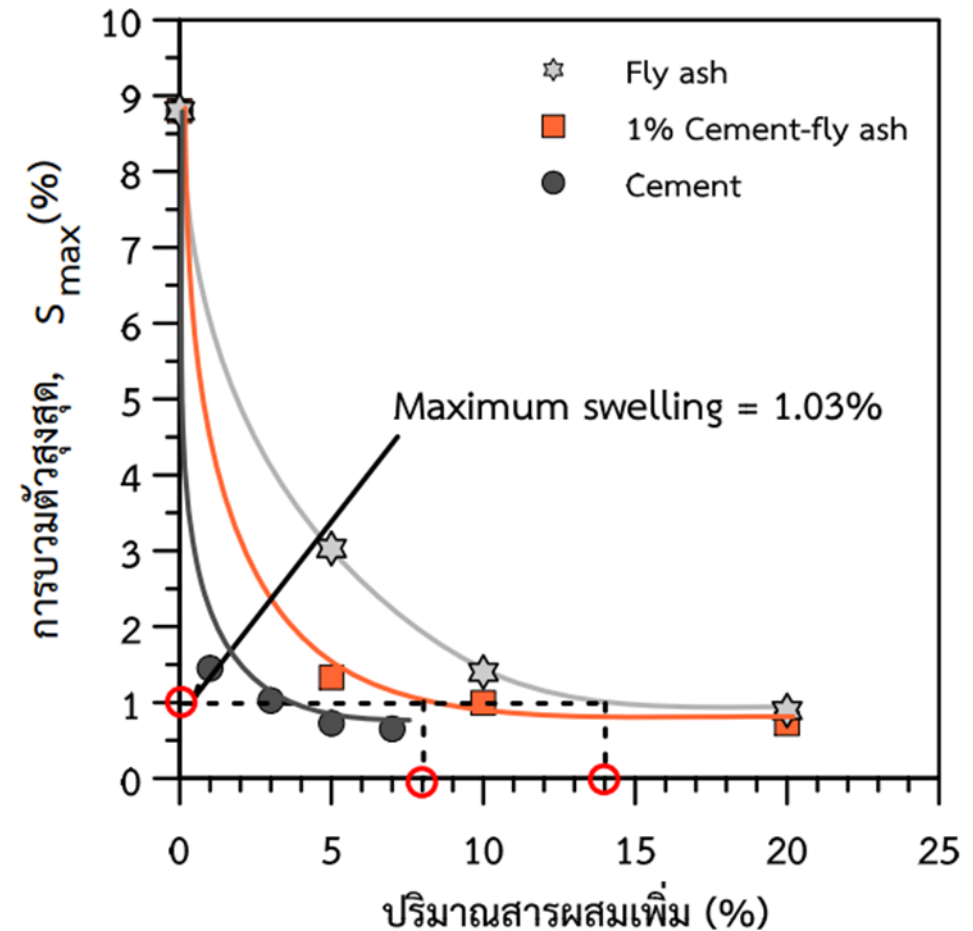
- จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการลดปริมาณแร่ธาตุมอนมอริลโลไนท์ลง ทำให้ศักยภาพการบวมตัวของดินลดลง (Mutaz และ Dafalla, 2014)
- ดินบวมตัวที่มีความหนามากจะมีปริมาณการบวมตัวที่สูง การใช้เถ้าหนักเป็นวัสดุ pozzolan เมื่อผสมกับดินบวมตัวจะทำให้กลายเป็นดินที่มีความเสถียร
- การเพิ่มความหนาของชั้นดินที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าหนัก เป็นการลดปริมาตรของดินบวมตัวในสนามส่งผลให้ศักยภาพการบวมตัวของดินลดลง

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

- Voottipruex และ Jamsawang (2014) ทำการศึกษาพฤติกรรมการบวมตัวของดินบวมตัว อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง โดยใช้สารผสมเพิ่ม 3 ชนิดได้แก่ ปูนซีเมนต์ล้วน ปูนซีเมนต์ 1% ผสมเถ้าลอย และ เถ้าลอยล้วน การปรับปรุงคุณภาพทำโดยใช้ดินบวมตัวผสมกับสารผสมเพิ่ม โดยผสมเป็นเนื้อเดียวกัน
- ดังนั้นการศึกษานี้เหมาะกับการนำดินบวมตัวที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วไปใช้ในงานดินถมเพื่อลดการบวมตัว จากการศึกษาพบว่า ดินบวมตัวแม่เมาะ มีร้อยละการบวมตัวเท่ากับ 8.8% ซึ่งถ้าใช้เกณฑ์การจำแนกของ Seed และคณะ (1962) พบว่า ดินบวมตัวแม่เมาะจัดอยู่ในเกณฑ์ที่บวมตัวสูง จึงส่งผลให้อาคารและถนนเกิดความเสียหายหลังจากปรับปรุงคุณภาพด้วยสารผสมเพิ่มพบว่า การบวมตัวลดลง

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

- โดยปริมาณปูนซีเมนต์ล้นที่เหมาะสมคือ 3% ดังรูปที่ 2-4 ซึ่งมีค่าการบวมตัวร้อยละ 1% จัดอยู่ในเกณฑ์การบวมตัวต่ำ ซึ่งเป็นผลที่น่าพอใจ

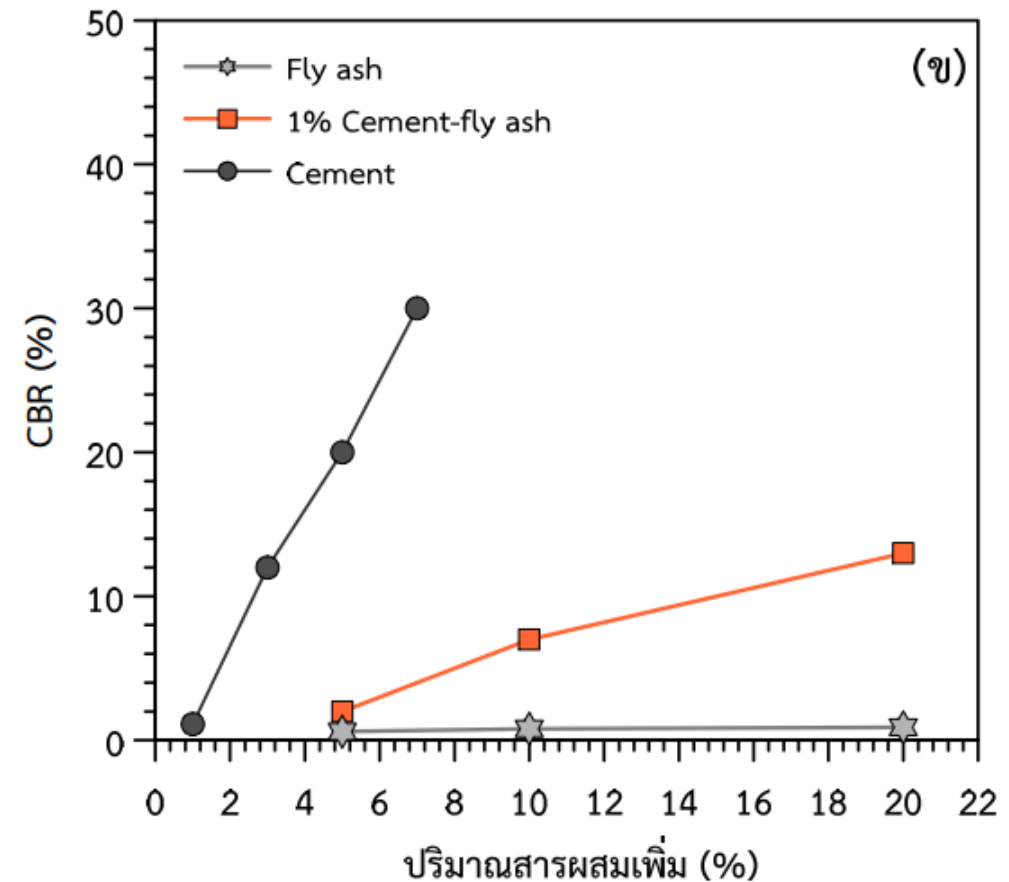
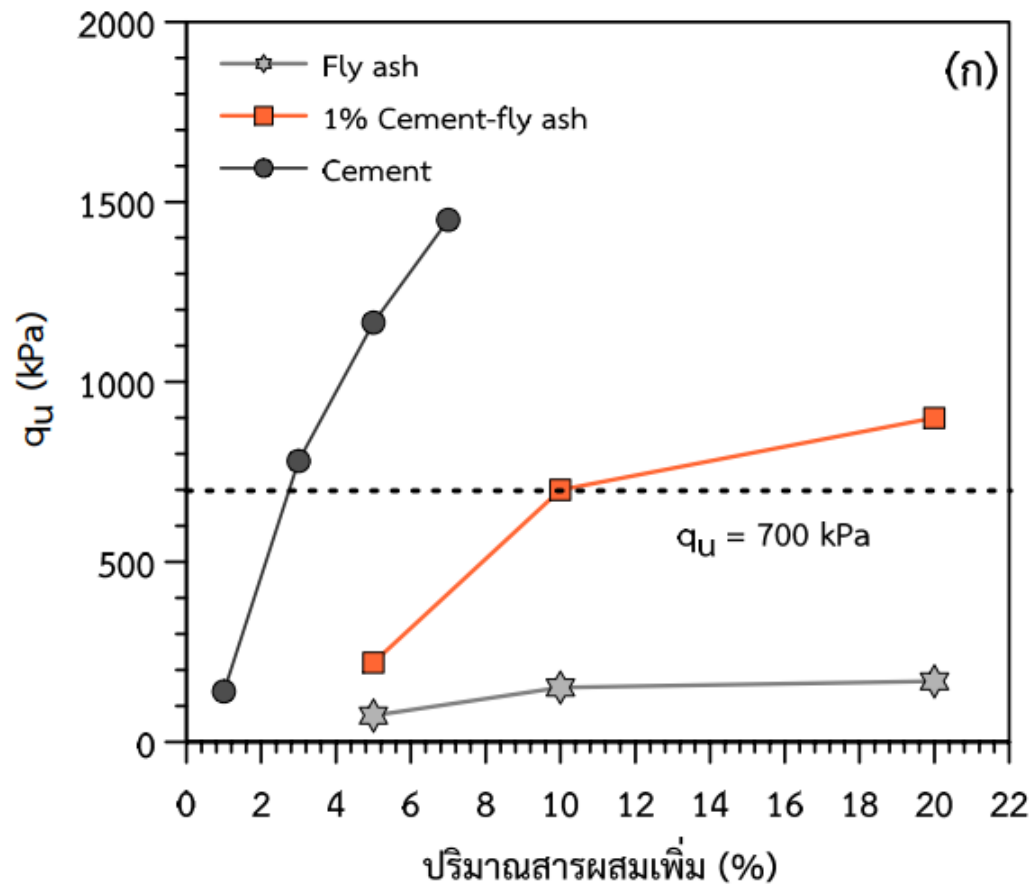


รูปที่ 2-4 การบวมตัวกับปริมาณสารผสมเพิ่ม

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

- อย่างไรก็ตาม เมื่อผสมปูนซีเมนต์ 1% กับเถ้าลอย 10% และ เถ้าลอยล้วน 14% สามารถทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ล้วน 3% ได้ เนื่องจากให้การบวมตัวที่เท่ากันคือ 1%
- การใช้เถ้าลอยล้วนสามารถลดการบวมตัวได้เพียงอย่างเดียวแต่กำลังอัดต่ำเกินกว่าค่าที่กำหนดโดยกรมทางหลวงดังรูปที่ 2-5

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

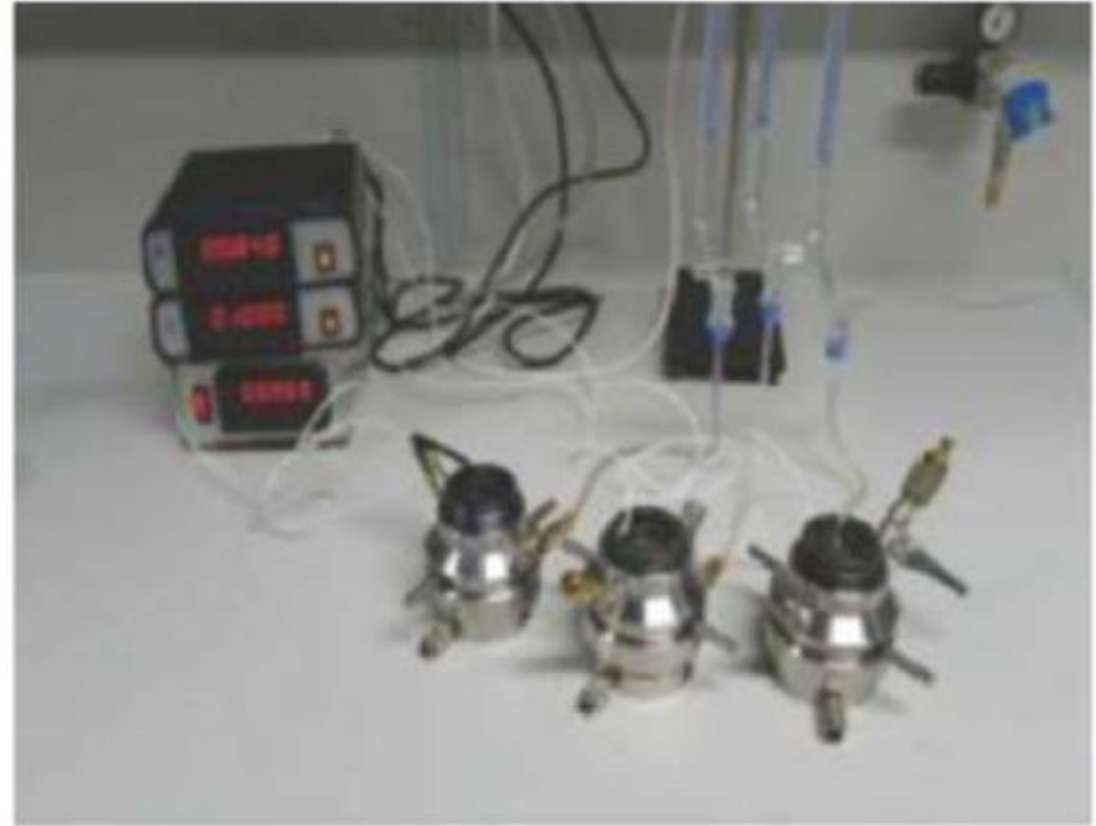
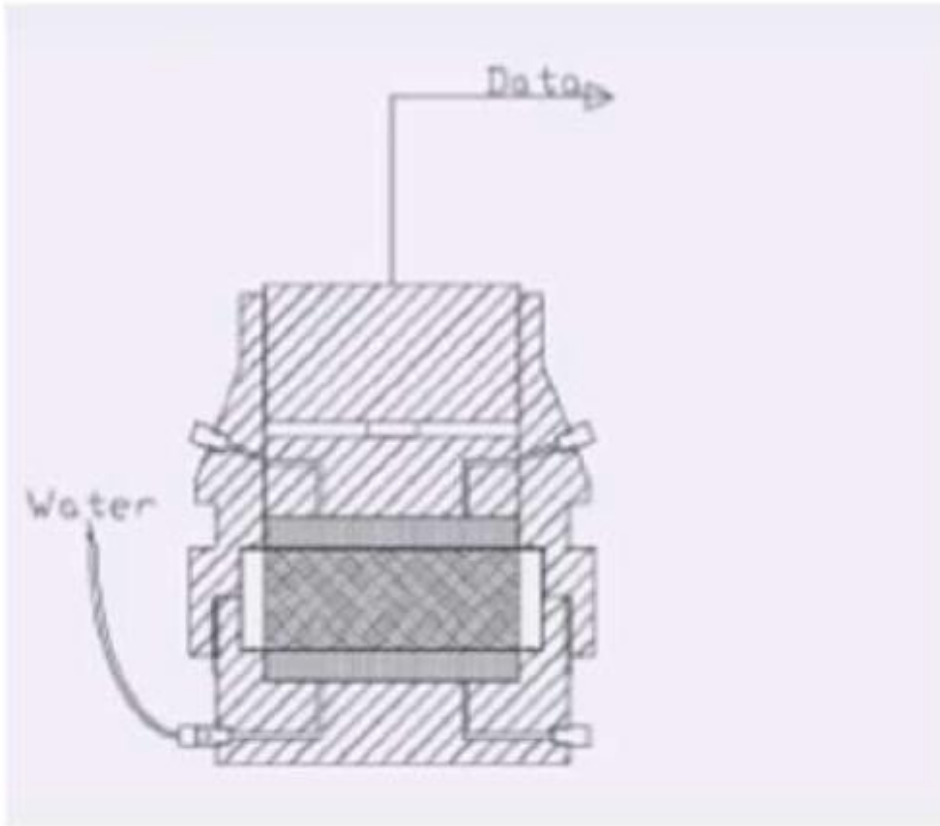


รูปที่ 2-5 (ก) กำลังอัดกับปริมาณสารผสมเพิ่ม (ข) ค่า CBR กับปริมาณสารผสมเพิ่ม

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

- Schanz และ Elsawy (2015) ปรับปรุงการบวมตัวของดินเบนโทไนท์ ด้วยปูนขาว โดยทดสอบการบวมตัวอิสระและทดสอบเพื่อหาความดันบวมตัว แต่ใช้หลักการต่างจาก ASTM นั่นคือใช้ Isochoric cell ดังรูปที่ 2-6
- หลักการของวิธีการนี้คือบังคับไม่ให้ดินเกิดการบวมตัวขึ้นหรือปริมาตรคงที่ตลอดการทดสอบซึ่งสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงในสนามมากกว่าหากต้องไม่ต้องการให้ดินบวมตัวโดยใช้ความดันกดทับไว้

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

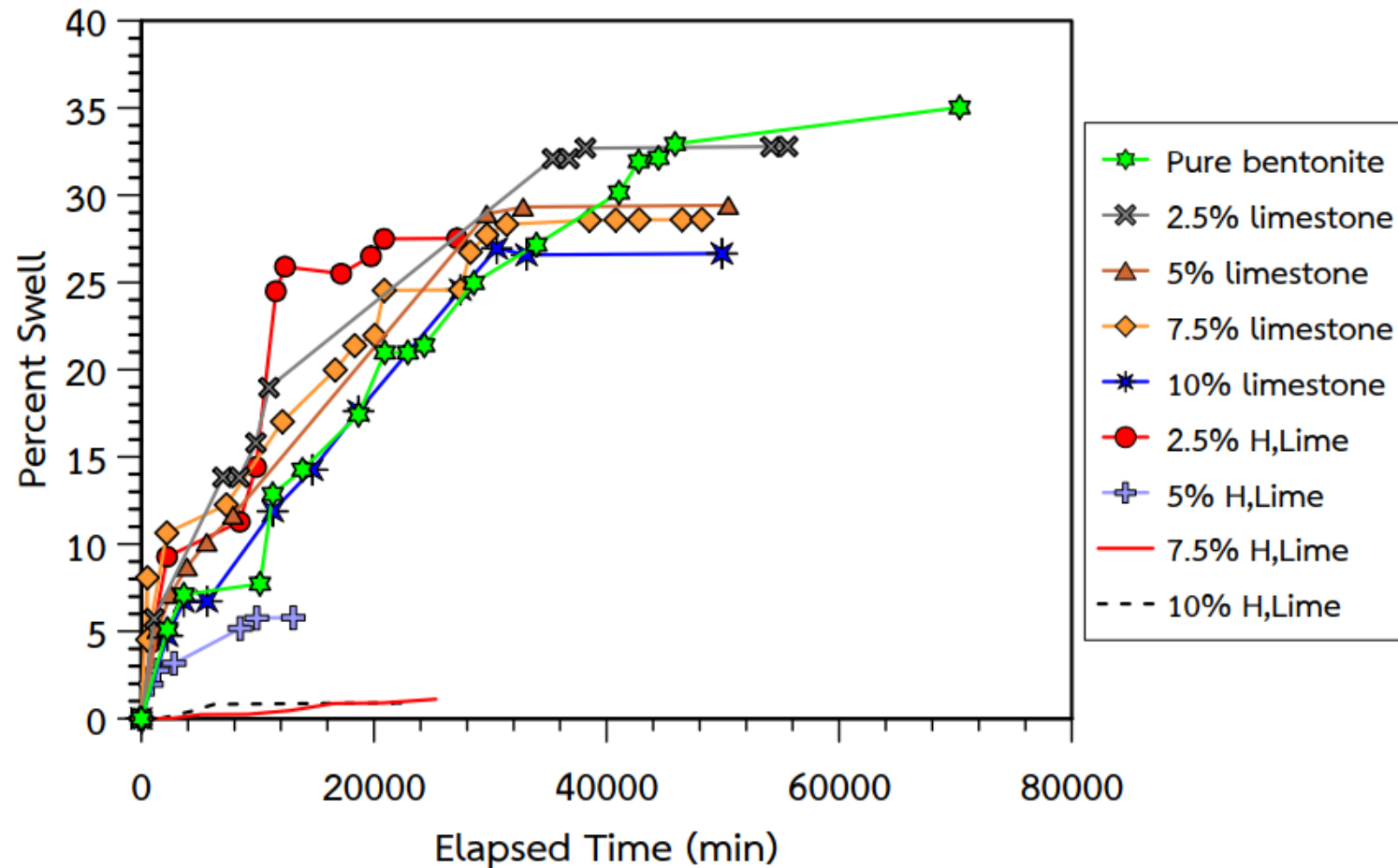


รูปที่ 2-6 Isochoric cell (Schanz และ Elsayy, 2015)

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

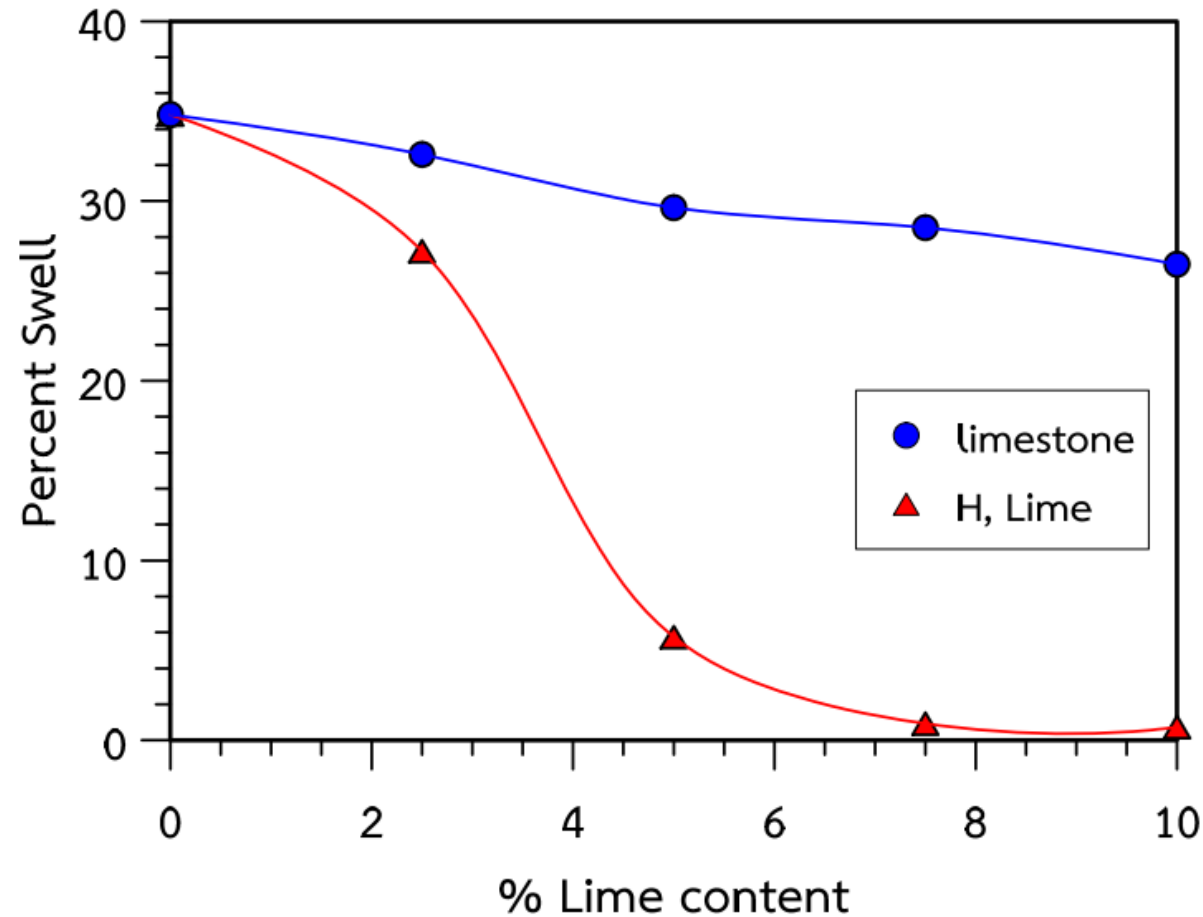
- ผลการทดสอบการบวมตัวอิสระกับเวลาแสดงในรูปที่ 2-7
- ส่วนการบวมตัวสูงสุดกับปริมาณปูนขาวแสดงในรูปที่ 2-8 ซึ่งสรุปได้ว่าการบวมตัวลดลงตามปริมาณปูนขาวที่เพิ่มขึ้น

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว



รูปที่ 2-7 การบวมตัวของดินเบนโทไนท์ผสมปูนขาวกับเวลา (Schanz และ Elsawy, 2015)

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

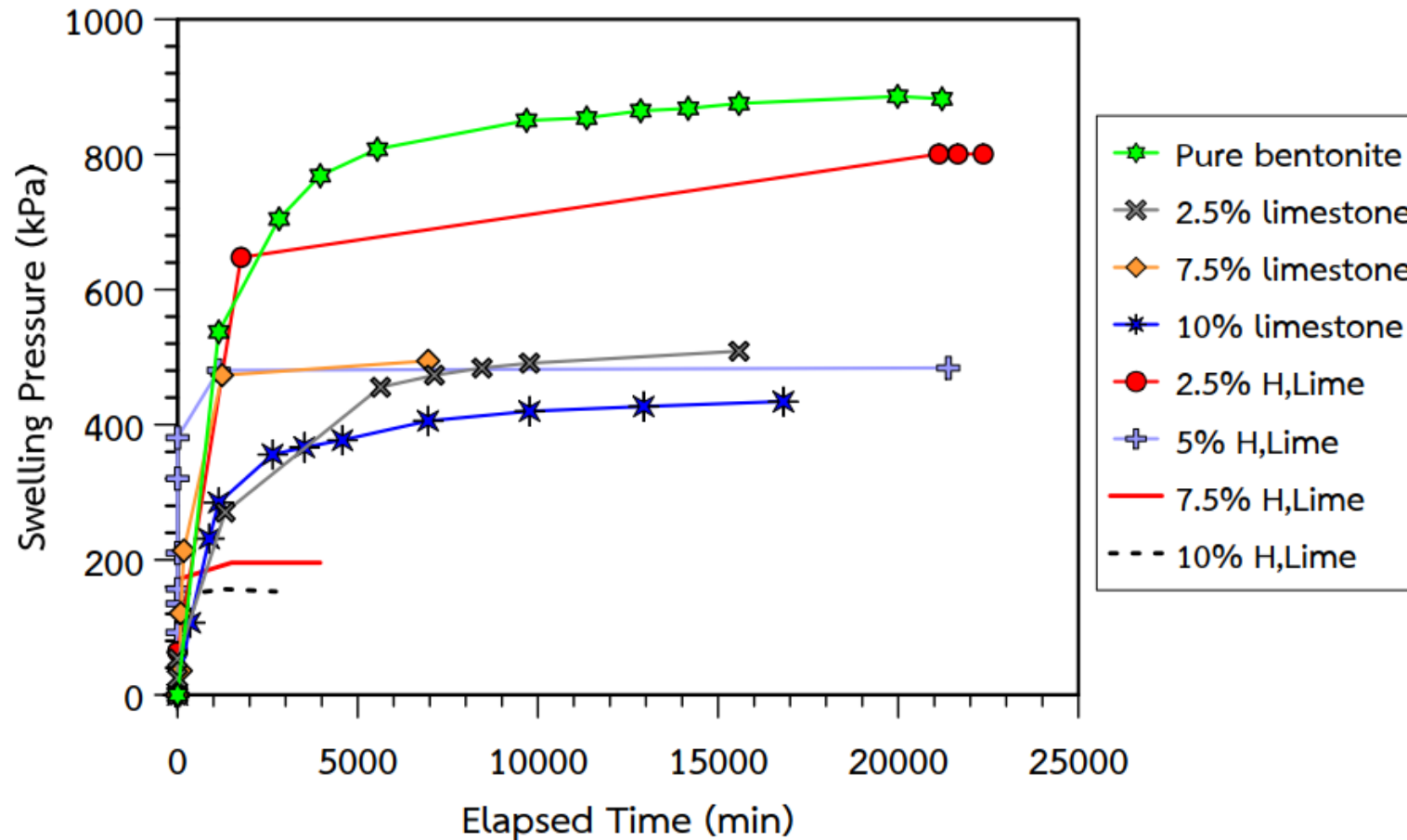


รูปที่ 2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างการบวมตัวสูงสุดของดินเบนโทไนท์ผสมปูนขาวกับปริมาณปูนขาว
(Schanz และ Elsaywy, 2015)

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

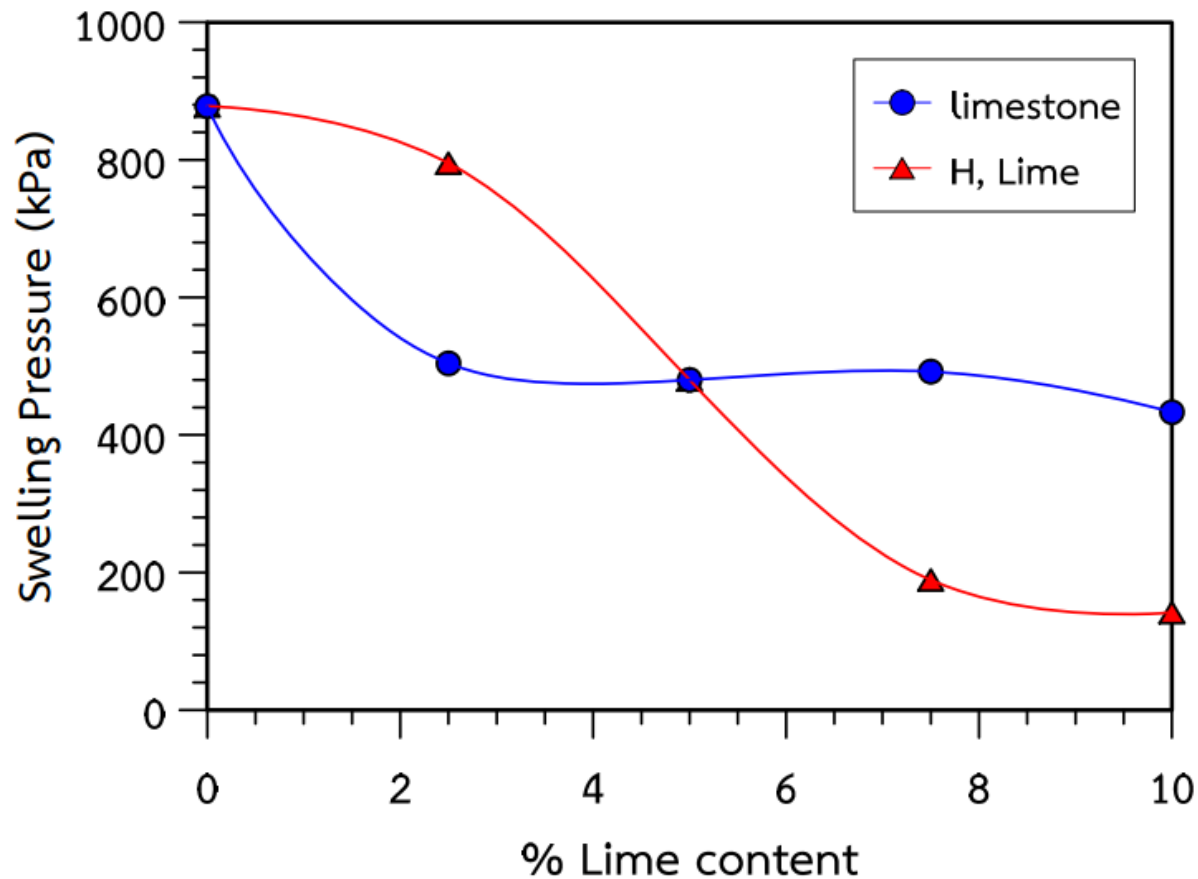
- ส่วนความดันบวมตัวกับเวลาและความดันบวมตัวสูงสุดกับปริมาณปูนขาวแสดงในรูปที่ 2-9 และ 2-10 ตามลำดับ โดยพบว่า ความดันบวมตัวลดลงตามปริมาณปูนขาวเช่นกัน

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว



รูปที่ 2-9 ความดันบวมตัวกับเวลาของดินเบนโทไนท์ผสมปูนขาว (Schanz และ Elsayy, 2015)

2.4 การปรับปรุงคุณภาพดินบวมตัว

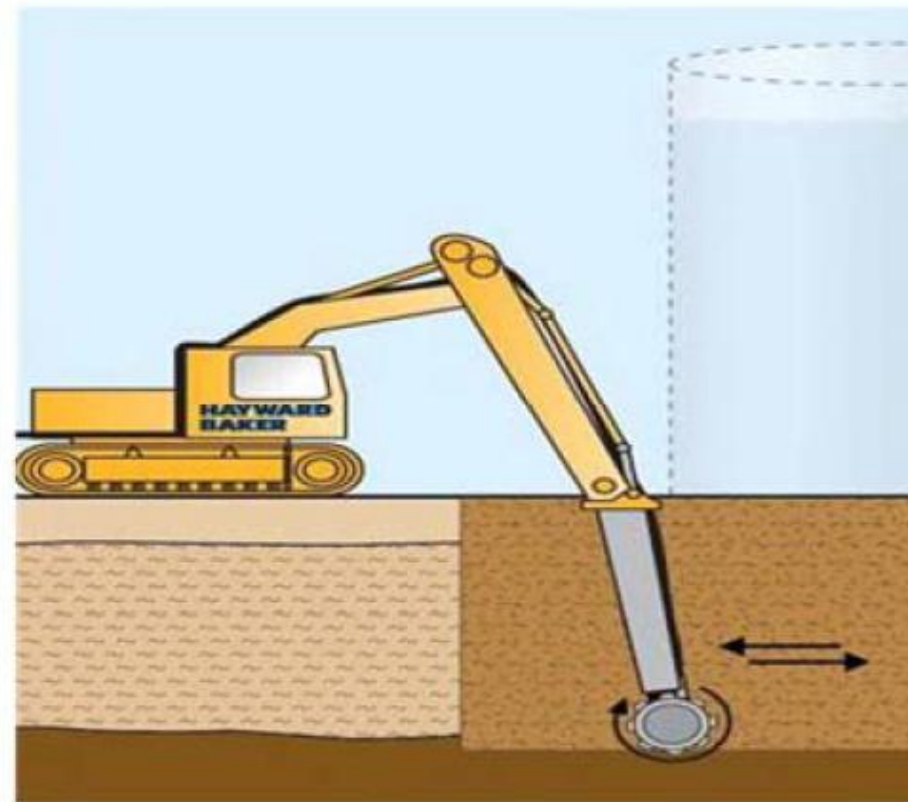


รูปที่ 2-10 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันบวมตัวสูงสุดกับปริมาณปูนขาว
(Schanz และ Elsawy, 2015)

2.5 การปรับปรุงคุณภาพแบบต้น

- เป็นการปรับปรุงคุณภาพมวลดินทั้งหมดเป็นวิธีที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพดินแทนการกำจัดดินที่ไม่ดี ซึ่งใช้กับชั้นดินที่อยู่ในระดับต้น
- การปรับปรุงคุณภาพจะใช้เทคนิคการเสริมแรงให้กับชั้นดิน โดยดินทั้งหมดจะถูกผสมเข้ากับสารผสมเพิ่มที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ เช่น ปูนซีเมนต์ หรือสารเคมีอื่นๆ ซึ่งทำให้เกิดการยึดเกาะ และส่งผลให้บริเวณชั้นดินที่ได้รับการปรับปรุงจับตัวแข็งเป็นบล็อก
- ในการก่อสร้างในสถานที่จริงอุปกรณ์ และเครื่องจักรที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพมวลดินทั้งหมดจะใช้เครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับการขุดเปิด และเครื่องผสม โดยเครื่องผสมจะถูกติดตั้งเข้ากับเครื่องจักรที่ใช้ในการขุดเปิด และหมุนเคลื่อนตัวในแนวตั้งและแนวตั้งดังรูปที่ 2-11

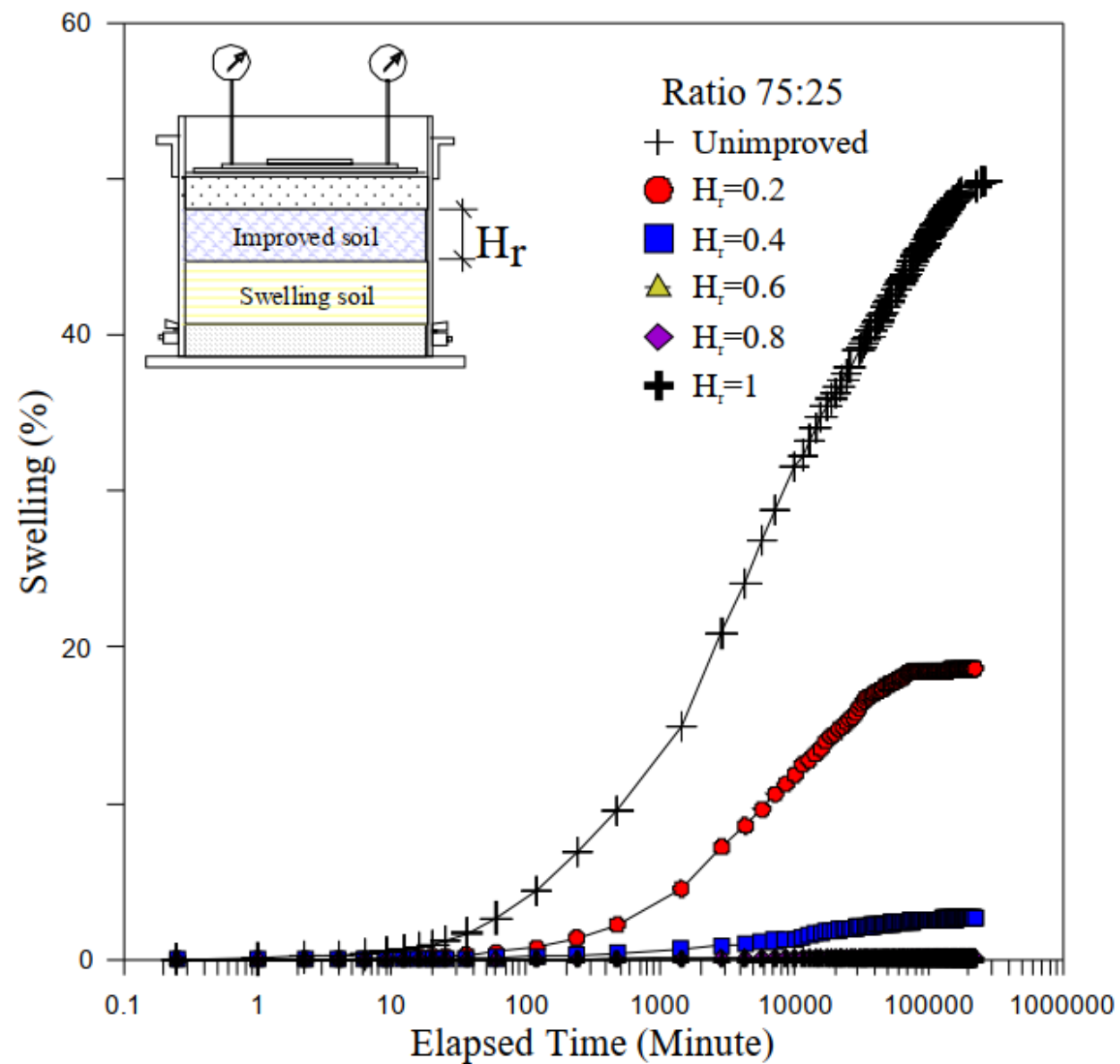
2.5 การปรับปรุงคุณภาพแบบต้น



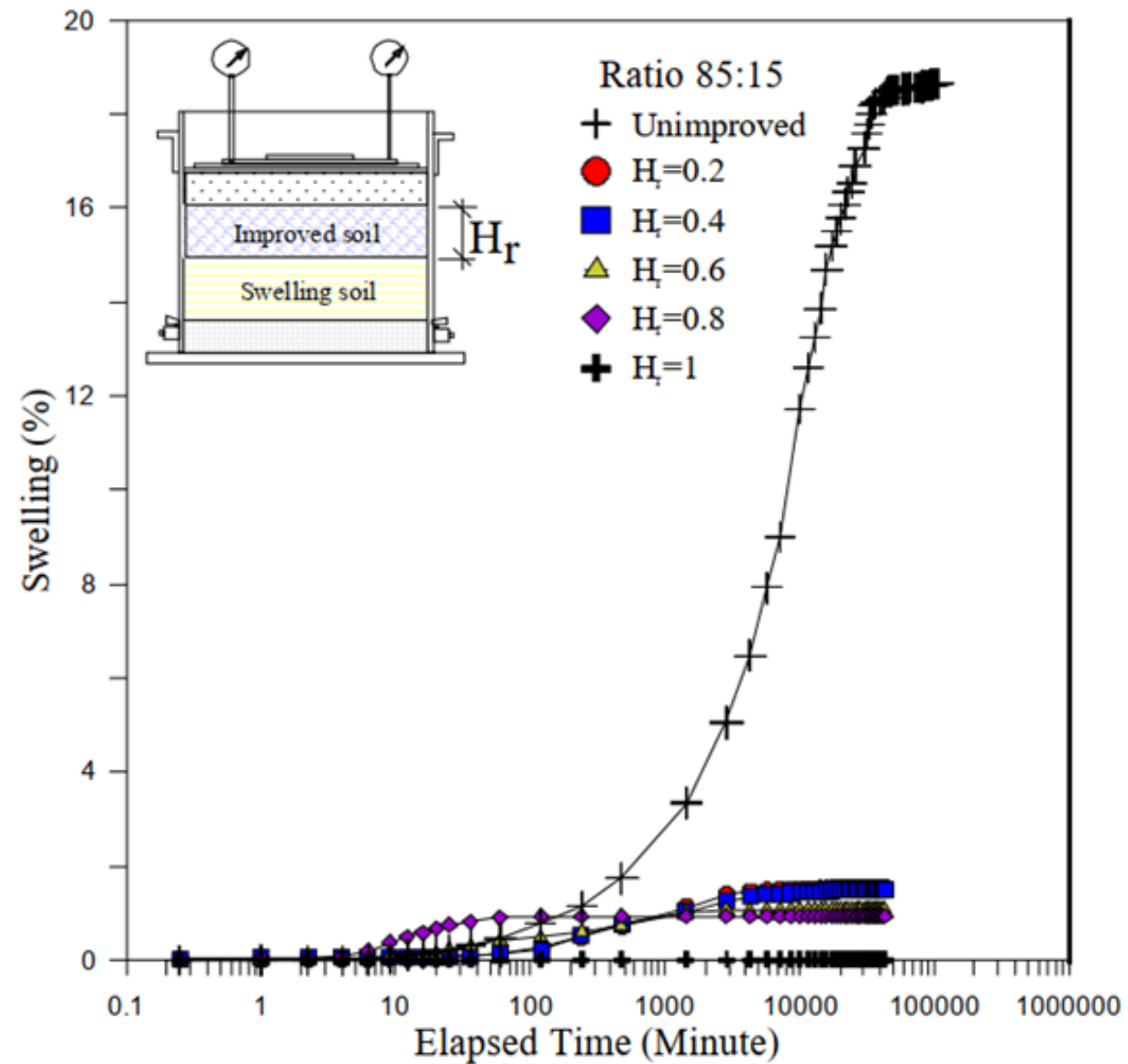
รูปที่ 2-11 การปรับปรุงคุณภาพแบบต้น (Hayward Baker Inc., 2015)

2.5 การปรับปรุงคุณภาพแบบต้น

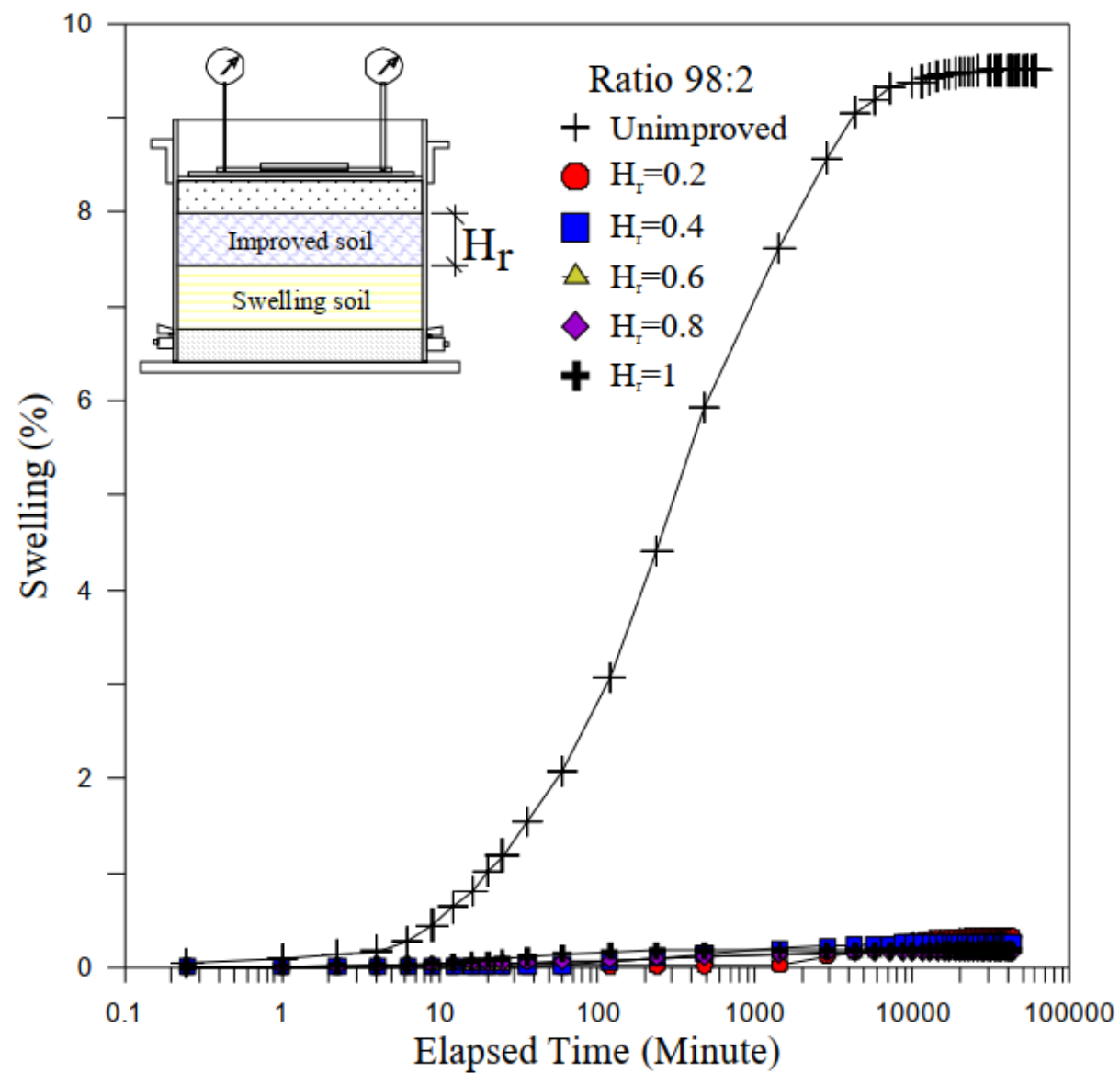
- ญัฐพงศ์ (2559) ทำการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพของดินบวมตัวแบบต้น โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความหนาของชั้นดินบวมตัวที่ปรับปรุงคุณภาพ โดยมีอัตราส่วนความหนาเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนความหนาที่ปรับปรุงคุณภาพ (Hr) ต่อพฤติกรรมการบวมตัวของดินขยายตัวที่ระดับขยายตัวสูงมาก ขยายตัวปานกลาง และขยายตัวต่ำ
- จากรูปที่ 2-12 ถึง 2-14 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณการบวมตัวของดินขยายตัวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีผสมแบบต้นกับเวลาในมาตราส่วนลอการิทึม พบว่ากราฟยังคงมีรูปร่างคล้ายกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากมีชั้นดินขยายตัวที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพและเมื่ออัตราส่วนความหนาของชั้นดินที่ปรับปรุงคุณภาพสูงขึ้น กราฟจะมีรูปร่างคล้ายเส้นตรง ซึ่งเกิดจากการพฤติกรรมการบวมตัวที่มีปริมาณการบวมตัวที่ต่ำ



รูปที่ 2-12 ดินขยายตัวสูงมากปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีผสมแบบตื้น (ณัฐพงศ์, 2559)



รูปที่ 2-13 ดินขยายตัวปานกลางปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีผสมแบบตื้น (ณัฐพงศ์, 2559)



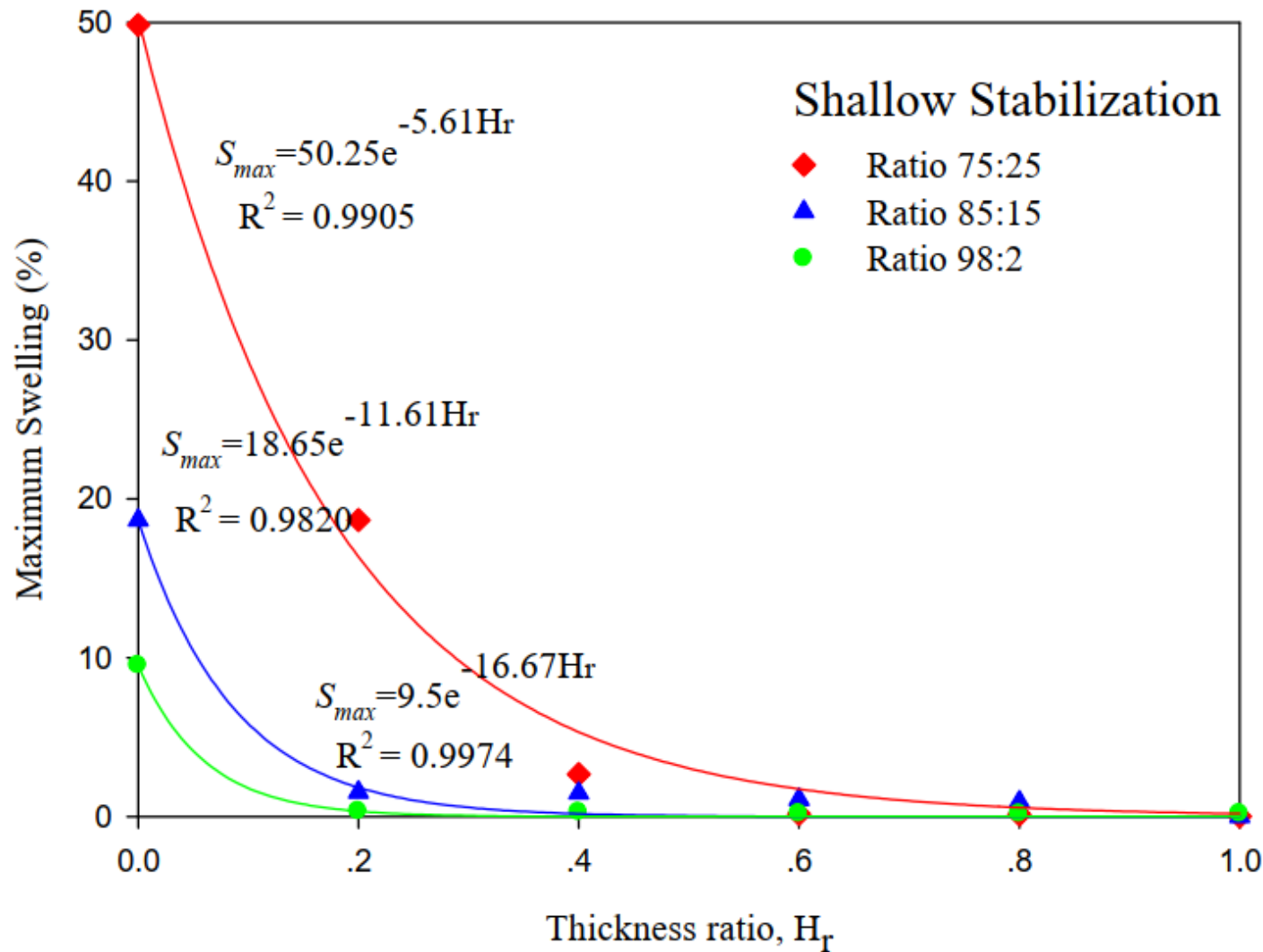
รูปที่ 2-14 ดินขยายตัวต่ำปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีผสมแบบตื้น (ณัฐพงศ์, 2559)

2.5 การปรับปรุงคุณภาพแบบต้น

- เมื่อพิจารณาปริมาณการบวมตัวของดินขยายตัวที่ปรับปรุงด้วยวิธีผสมแบบต้น พบว่าปริมาณการบวมตัวของดินขยายตัวมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนความหนาของชั้นดินที่ปรับปรุงคุณภาพสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณการบวมตัวสูงสุดของดินขยายตัวจะขึ้นอยู่กับปริมาณของดินเบนโทไนท์
- เมื่อปริมาตรของดินขยายตัวลดลงตลอดพื้นที่หน้าตัด ส่งผลให้ปริมาณการบวมตัวสูงสุดลดต่ำลง ซึ่งปริมาณการบวมตัวของดินขยายตัวสูงมากหลังปรับปรุงคุณภาพมีค่าเท่ากับ 18.66, 2.68, 0.16, 0.13 และ 0.0023%
- ดินขยายตัวปานกลางหลังปรับปรุงคุณภาพมีค่าเท่ากับ 1.54, 1.48, 1.08, 0.93 และ 0.0021% และดินขยายตัวต่ำหลังปรับปรุงคุณภาพมีค่าเท่ากับ 0.32, 0.26, 0.18, 0.16 และ 0.17% ตามลำดับโดยอัตราการบวมตัวของดินที่ปรับปรุงคุณภาพแบบต้นมีอัตราการบวมตัวที่ต่ำกว่าดินที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ

2.5 การปรับปรุงคุณภาพแบบต้น

- เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพแบบต้นเป็นการปรับปรุงตลอดพื้นที่หน้าตัดด้วยซีเมนต์ ส่งผลให้ดินมีคุณสมบัติคล้ายกับการปรับปรุงคุณภาพที่ได้ทำการปรับปรุงในห้องปฏิบัติการ ทำให้มีคุณสมบัติที่บ่มน้ำสูงกว่าดินที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ
- ทำให้การเคลื่อนตัวของน้ำเกิดขึ้นได้ช้าลง เมื่อพิจารณาเวลาในช่วงทุติยภูมิของดินขยายตัวแต่ละระดับการบวมตัวที่มีปริมาณการบวมตัวเริ่มคงที่ พบว่าเมื่ออัตราส่วนความหนาของชั้นดินที่ปรับปรุงคุณภาพสูงขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการบวมตัวของดินจนมีปริมาณบวมตัวเริ่มคงที่ลดน้อยลง
- โดยที่ดินขยายตัวสูงมากหลังปรับปรุงคุณภาพใช้เวลาเท่ากับ 60, 30, 10, 2 และ 1 วัน ดินขยายตัวปานกลางหลังปรับปรุงคุณภาพใช้เวลาเท่ากับ 6, 4, 2, 1 และ 0.4 วัน และดินขยายตัวต่ำใช้เวลาเท่ากับ 6 2 6 4 และ 0.3 วัน โดยพบว่าการใช้อัตราส่วนความหนาเท่ากับ 0.2 สามารถลดการบวมได้มากกว่า 50% ของการบวมตัวสูงสุดดังรูปที่ 2-15



รูปที่ 2-15 อัตราส่วนความหนาในการปรับปรุงคุณภาพต่อการบวมตัวของดินขยายตัวที่ระดับสูงมาก
ปานกลาง และต่ำ (ณัฐพงศ์, 2559)

ดินบวมตัว

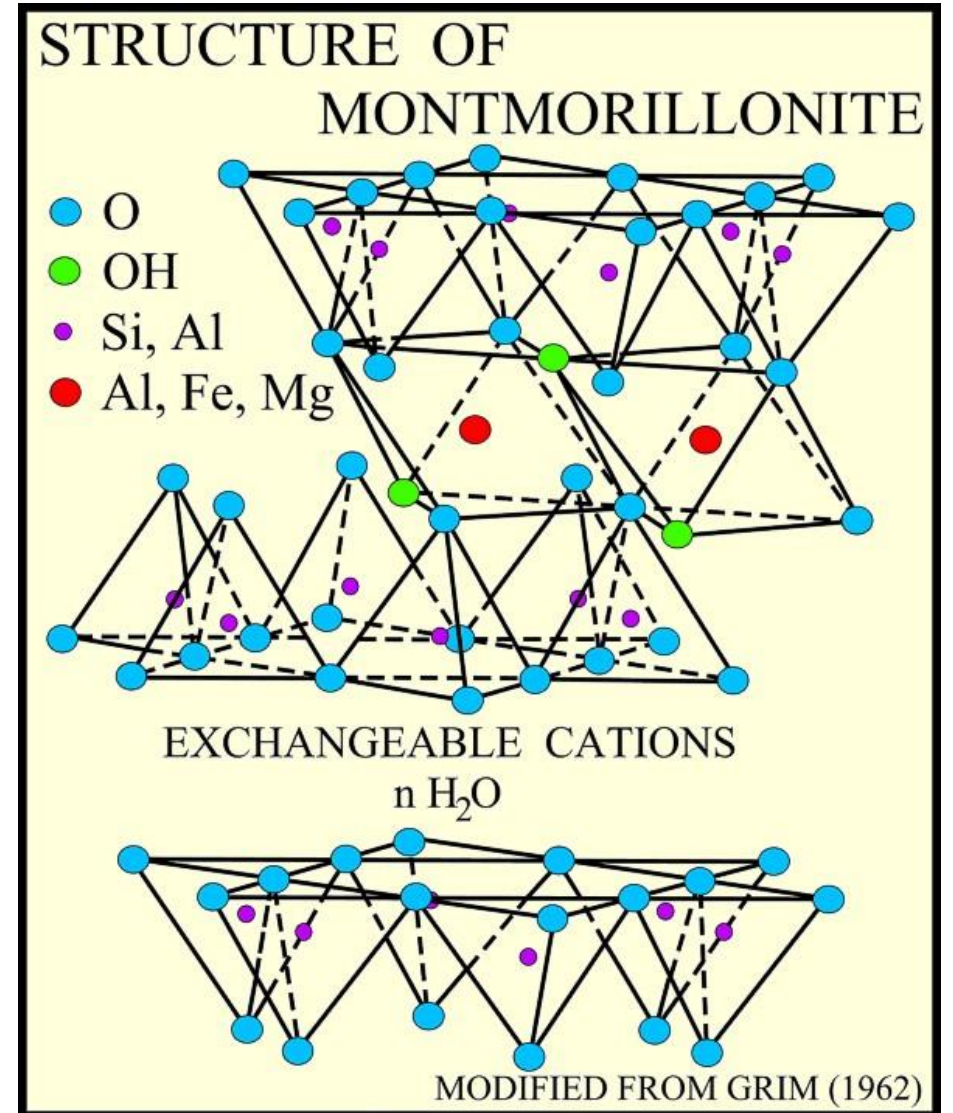
- ดินบวมตัว (Expansive Soil) คือ “ดินที่ปริมาตรเปลี่ยนแปลงได้มาก” เมื่อความชื้นเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะ พอง/ยุบตัวเมื่อเปียก และ หดตัวเมื่อแห้ง
- การเปลี่ยนแปลงปริมาตรนี้มักเกิดซ้ำ ๆ แต่ “รุนแรง” อาจทำให้โครงสร้างเสียหายได้ถ้าเกิดแบบไม่สม่ำเสมอ



ดินบวมตัวเกิดจากอะไร

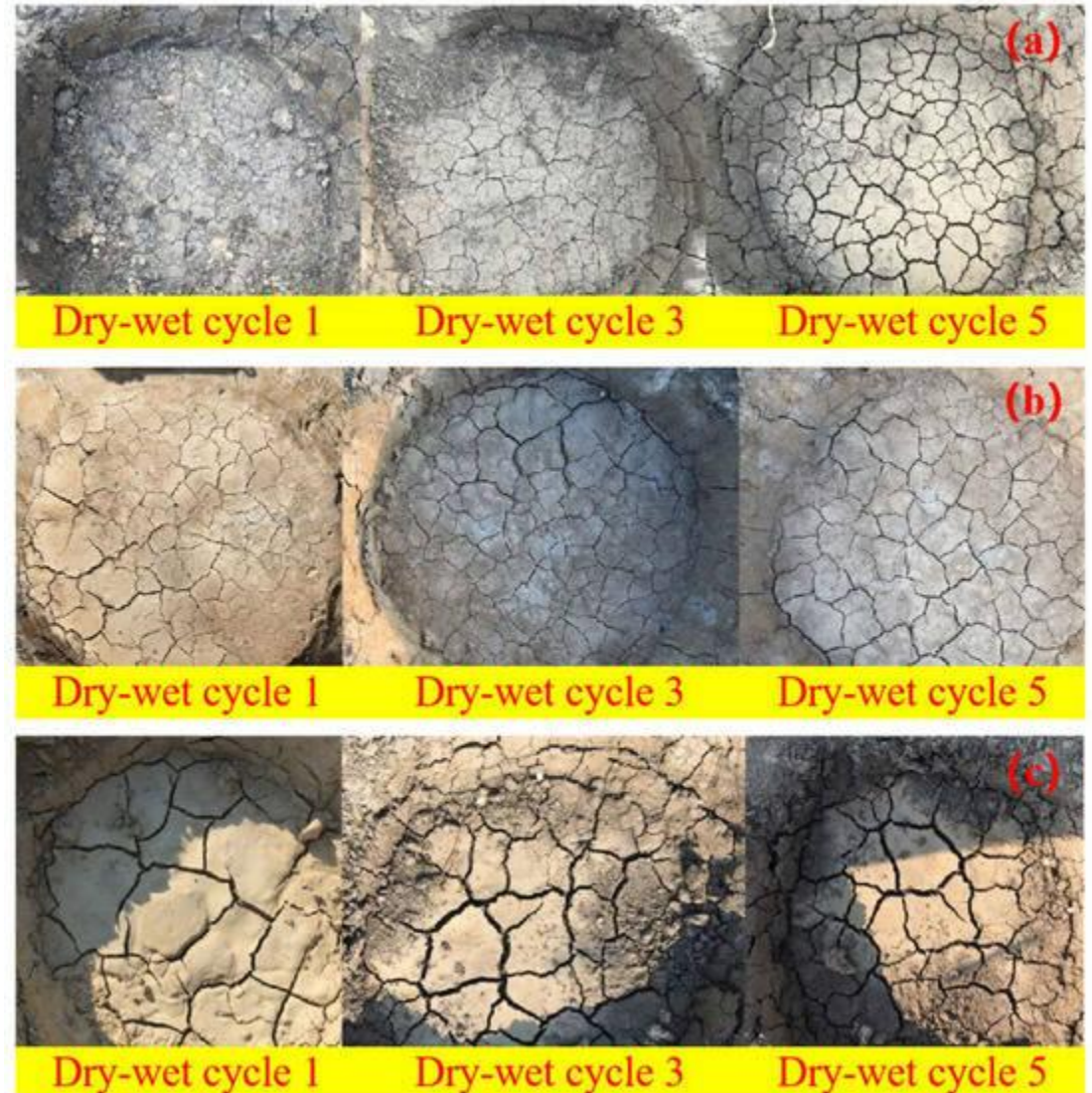
1) สาเหตุหลักเกิดจากการมีแร่ดินเหนียวชนิดบวมตัว

ดินที่มีแร่กลุ่ม Smectite/Montmorillonite สูง จะดูดน้ำเข้าไป “คั่นชั้นแร่” ทำให้พองตัวมาก ดินเหนียวบางชนิดพองตัวน้อยกว่า (เช่น kaolinite) จึงไม่รุนแรงเท่า



ดินบวมตัวเกิดจากอะไร

- 2) วัฏจักรความชื้น: เปียก-แห้งซ้ำ ๆ
- ฤดูฝน: น้ำซึมเข้าดิน ทำให้ดินพอง/ยกตัว
- ฤดูแล้ง: ดินสูญเสียน้ำ ทำให้ ดินหด และเกิดรอยแตกกระแหง ยิ่งมีการสลับเปียก-แห้งบ่อย ยิ่งเสี่ยงต่อการเคลื่อนตัวสะสม



ดินบวมตัวเกิดจากอะไร

3) สภาพแวดล้อมและกิจกรรมที่ทำให้ “ความชื้นไม่สม่ำเสมอ”

- น้ำรั่วจากท่อประปา/ท่อระบายน้ำ (ขึ้นเฉพาะจุด)
- การระบายน้ำผิวดินไม่ดี น้ำขังข้างอาคาร
- ต้นไม้ใหญ่ดูดน้ำ ทำให้ดินแห้งและหดตัวโก่งแนวราก
- การถมดิน/ปรับระดับ ทำให้การซึมน้ำเปลี่ยน
- ดินถูกอัดแน่นมาก + เป็นดินเหนียวบวมตัว อาจเกิดแรงบวม (swelling pressure) สูง

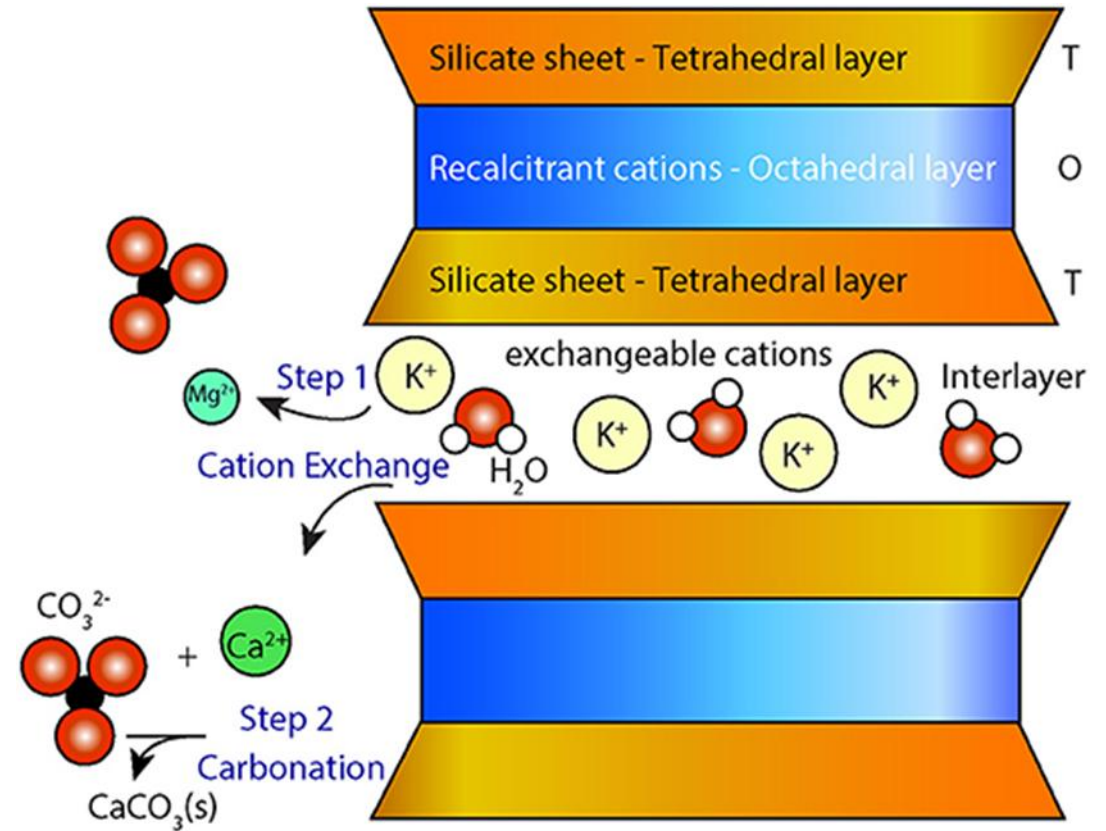


ดินบวมตัวเกิดจากอะไร

4) คุณสมบัติดินที่สัมพันธ์กับความเสถียร

โดยทั่วไปดินที่ Plasticity สูง (LL, PI สูง), Activity สูง, เปอร์เซ็นต์ดินเหนียวสูง, และมี smectite มาก จะมี “ศักยภาพบวมตัว”

สูง



ส่งผลต่อโครงสร้างอย่างไรบ้าง

ประเด็นสำคัญคือ การเคลื่อนตัวแบบไม่เท่ากัน (Differential movement) เพราะอาคารไม่ได้ถูกยก/ทรุดเท่ากันทั้งหลัง

ผลกระทบที่พบบ่อย

- พื้นและแผ่นพื้นบนดิน (slab-on-grade) ยก/แอ่น/แตกร้าว รอยร้าวพื้นกระเบื้อง ปูนแตก พื้นโก่ง ประตูฝืด
- ฐานรากตื้น (เช่น ฐานแผ่/คานคอดิน) เกิดการยกตัวหรือทรุดสลับกัน ทำให้คาน/เสาเกิดรอยร้าวเฉียง ผนังแตกร้าว โดยเฉพาะบริเวณมุมช่องเปิด (ประตู-หน้าต่าง)



ส่งผลต่อโครงสร้างอย่างไรบ้าง

3. ผนังและงานสถาปัตยกรรมเสียหายก่อนโครงสร้างหลัก

- ผนังอิฐฉาบปูนแตกร้าว วงกบเปื้อยว กระจกแตกร้าว รอยต่อระหว่างอาคารกับทางเดิน/เฉลียงแยกตัว



ส่งผลต่อโครงสร้างอย่างไรบ้าง

4. งานทาง/ทางเท้า/ลานจอดรถเป็นคลื่น ผิวทางยกเป็นช่วง ๆ หรือแตกร้าวเป็นบล็อกตามการหดตัว
5. ท่อใต้ดินเสียหาย ท่อแตก/ร้าวจากแรงดันดินหรือการโก่งตัวของพื้นดิน ยิ่งทำให้ดินชั้นเฉพาะจุดและปัญหาหนักขึ้นเป็นวงจรร



ข้อสังเกตว่าอาจเป็นดินบวมตัว

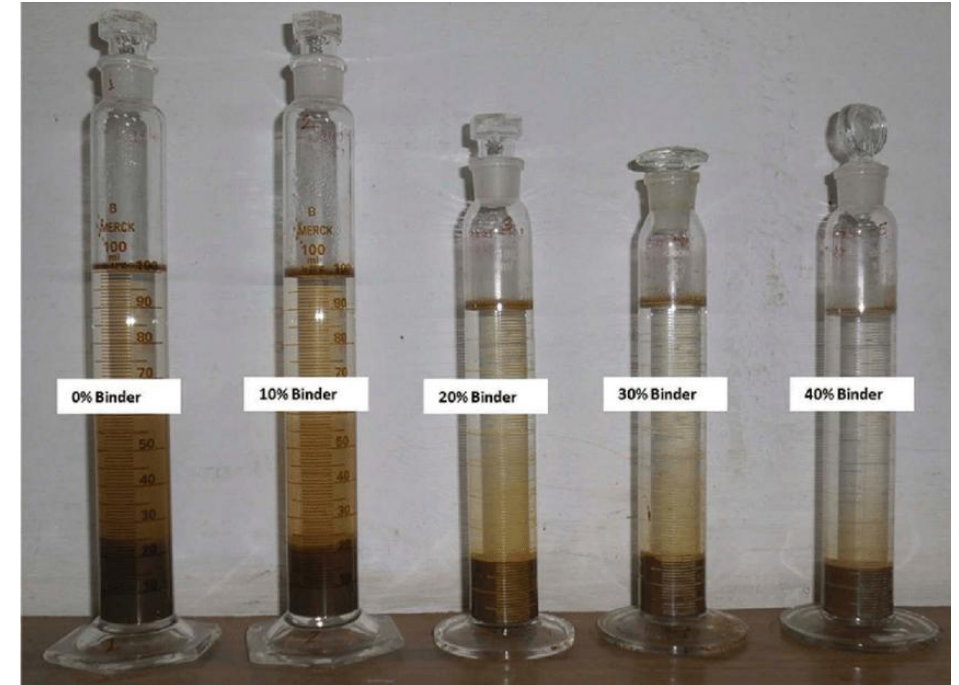
- ดินแตกกระแหงเป็นร่องลึกช่วงหน้าแล้ง
- รอยร้าวผนัง/พื้น ดันตัวขึ้นและยุบตัวลงตามฤดูกาล
- พื้นยกเป็นสันใกล้จุดน้ำรั่วหรือแนวรางน้ำ
- ประตู่/หน้าต่างฝืดมากในบางฤดู

1) ตรวจสอบให้ช้ดก่อนว่า “บวมตัว” จริง และรุนแรงแค่ไหน งานสำรวจ/ทดสอบที่ช่วยพิสูจน์



ควรทำอย่างไรบ้าง

- เก็บตัวอย่างดินทำ Atterberg limits (LL, PL, PI) เพื่อประเมินแนวโน้มบวม
- ทดสอบ Free swell / Swell pressure / Oedometer swell test
- ดู ระดับน้ำใต้ดิน-การระบายน้ำ-จุดรั่วซึม รอบอาคาร
- สำรวจความเสียหาย: รอยร้าวเฉียง/ร้าวบันได, พื้นยกตัว, การทรุด/ยกตัวต่างระดับ (Differential movement)
- ถ้ายังไม่รู้กลไกแน่ชัด (บวม/ทรุด/ดินอ่อน/คอนกรีตหดตัว) การแก้แบบเดาสุ่มมักเสียเงินและไม่จบ



แนวทางการแก้ไข

ต้องแก้ไขที่ต้นเหตุคือการควบคุมความชื้น

- เป้าหมายคือให้ความชื้นใต้ฐานราก “นิ่งที่สุด”
- ระบายน้ำออกจากอาคาร (พื้นดิน/ทางเท้าเอียงออก) ลดน้ำขังชิดฐาน
- ทำ รางน้ำฝน-ท่อระบายน้ำ ให้น้ำลงท่อไกลจากตัวอาคาร
- ซ่อม ท่อน้ำ/ท่อสุขาภิบาลรั่วซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ดินบวมเฉพาะจุด
- ถ้าพื้นที่อุ้มน้ำหรือมีน้ำซึม ให้ติดตั้ง subdrain รอบอาคาร
- ควบคุมภูมิทัศน์ เช่น หลีกเลี้ยง ต้นไม้ใหญ่ใกล้ฐานราก เพราะเป็นสาเหตุทำให้ดินแห้ง และหดตัว



แนวทางการแก้ไข

3) แนวทางแก้ “ชั้นดิน” (ปรับปรุง/เปลี่ยนวัสดุ)

- เหมาะเมื่อบวมรุนแรง หรือควบคุมความชื้นทำได้จำกัด
- ขุดเปลี่ยนดิน (Remove & Replace)
- ก) ขุดดินบวมออกตามความลึกที่มี active zone แล้วถมด้วยวัสดุที่บวมต่ำ (ทรายหยาบ/ลูกรัง/วัสดุคัดเกรด) อัดแน่น
- ทำคู่กับระบบระบายน้ำจะได้ผลมาก
- ข้อดี: ค่อนข้างได้ผลดี
- ข้อเสีย: งานเยอะ/พื้นที่จำกัดทำยาก

แนวทางการแก้ไข

ข) ปรับปรุงดินด้วยปูนขาว/ซีเมนต์ (Chemical Stabilization)

- Lime stabilization ใช้บ่อกับดินเหนียวพลาสติกสูง ลด PI ลดการบวม เพิ่มกำลัง
- ต้องทดสอบ mix design และควบคุมงานสนามจริง (ความชื้น-การคลุก-การบ่ม)
- ข้อดี: ลดการบวมตัวได้ดีโดยไม่ต้องขุดลึกมาก
- ข้อเสีย: ต้องใช้แรงงานฝีมือ ต้องควบคุมคุณภาพ

ค) Pre-wetting / Moisture conditioning + Surcharge (กรณีงานใหม่)

- ทำให้ดินบวมตัวจนถึงที่สุด จากนั้นนำน้ำหนักมากดทับ/ปรับสภาพ แล้วค่อยก่อสร้าง
- ใช้เวลานานและต้องคุมการทรุดตัว/การระบายน้ำ

แนวทางการแก้ไข

4) แนวทางก่อสร้าง ฐานราก/โครงสร้าง ให้สามารถต้านทานแรงยกตัว หรือหลีกเลี่ยงชั้นดินบวม โดยพิจารณาตามประเภทอาคารและความรุนแรง

ก) เลี่ยงชั้นดินบวมด้วยฐานรากลึก

- เสาเข็ม/ไมโครไพล์/เจาะเข็ม (piers) ลงชั้นดินที่เสถียรกว่า
- ทำ คานคอดิน/คานค้ำ (grade beam) ให้แข็งแรง ลดการโก่งจากการยกตัวไม่เท่ากัน มักเป็นทางเลือกหลักสำหรับ “อาคารที่เสียหายมาก” หรือพื้นที่ควบคุมความชื้นไม่ได้

ข) ก่อสร้างฐานรากแผ่/พื้นบนดินแบบ ให้รองรับการเคลื่อนตัวได้

- ก่อสร้าง Stiffened raft/mat foundation (แผ่นพื้นหนา+คานเสริม) เพื่อ “เฉลี่ย” การยกตัว
- ก่อสร้างพื้นบนดินโดยใช้ void form/compressible layer ใต้คาน/พื้นบางส่วนให้มีช่องยุบได้เมื่อดินบวม ลดแรงดันดันพื้น
- ใช้รอยต่อ/รายละเอียดที่ยอมให้ขยับได้ (ข้อต่อท่อแบบ flexible, joint รอบผนัง)

แนวทางการแก้ไข

5) กรณี “อาคารมีปัญหาแล้ว” (ซ่อม+หยุดสาเหตุ+เสริมฐานราก)

ลำดับที่เหมาะสม:

1. หยุดสาเหตุความชื้น (ท่อรั่ว/น้ำขัง/ต้นไม้)
2. วัด/ติดตามการเคลื่อนตัว (ระดับพื้น/รอยร้าว) ช่วงหนึ่ง
3. ถ้ายังเคลื่อนต่อหรือเสียหายมาก: ให้ดำเนินการดังนี้
 - Underpinning ด้วยไมโครไพล์/เสาเข็มเสริม + คานรับ
 - ยกปรับระดับเฉพาะจุด (ต้องทำโดยผู้เชี่ยวชาญ)
4. ซ่อมรอยร้าว/งานสถาปัตยกรรม “หลังจาก” การเคลื่อนตัวนิ่งลงแล้ว



โยธานำรู้กับลุงพานิช

4.15K subscribers

SUBSCRIBED



HOME

VIDEOS

PLAYLISTS

COMMUNITY

CHANNELS

ABOUT



Uploads



PLAY ALL



โยธานำรู้ EP 53 จบโยธาจาก
มหาวิทยาลัยมหิดล

811 views • 2 days ago



โยธานำรู้ EP 52 วิศวกรโยธา
จาก ม.รังสิต

516 views • 1 week ago



โยธานำรู้ EP 51 การบริหาร
จัดการน้ำภาคกลางตอนล่าง

401 views • 2 weeks ago



โยธานำรู้ EP 50 ภาษาอังกฤษ
สำหรับวิศวกร (โยธา)

851 views • 3 weeks ago



โยธานำรู้ EP 49 เชื้อนแตก?

780 views • 4 weeks ago