



กระบวนการจำแนกดินขยายตัว (Expansive Soil)

สยาม แกมขุนทด¹

บทนำ

ดินขยายตัวมักพบในพื้นที่แห้งแล้งหรือกึ่งแห้งแล้ง ดินเหล่านี้มีปริมาณมากเมื่ออยู่ในสภาพแห้งและเป็ยกซึ่ง เป็นสาเหตุทำให้ดินขยายตัวและทรุดตัวของพื้นดิน ตามมา อาจทำให้โครงสร้างอาคารเสียหายได้ อาคารหรือ สิ่งปลูกสร้างในพื้นที่ที่มีดินเหนียวประเภทมอนโทมริลโล ไลท์ซึ่งเป็นดินที่มีแนวโน้มการขยายตัวสูง (Chen, 1988) มักเกิดความเสียหายอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ปริมาณน้ำฝน ที่น้อยเกินไปเป็นอุปสรรคต่อการแปรสภาพของแร่มอนท์ โมริลโลไลท์ที่มีความไวตัวให้กลายเป็นแร่ดินเหนียวที่ เสถียรมากขึ้น เช่นแร่ดินเหนียวคาโอลิไนท์และอิลไลท์ นอกจากนี้ หากปริมาณน้ำไม่เพียงพอที่จะไปชะล้าง อนุภาคดินเหนียวให้เคลื่อนที่พอที่จะทำให้น้ำหนักกดทับ (Overburden Pressure) ควบคุมการขยายตัว

การขยายตัวของดินเหนียวประเภทนี้ เริ่มจากที่ดินมี ปริมาณน้ำต่ำกว่าปริมาณในสภาวะอิ่มตัว (Unsaturated soil) เมื่อดินที่ไม่อิ่มตัวนี้มีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น จะขยายตัว มีปริมาตรเพิ่มขึ้น (Gopal Ranjan และ Rao, 1991) หรือ กลับกัน ปัญหาในทางวิศวกรรมรัฐพีเกี่ยวกับดินประเภท นี้คือ การพิสูจน์เพื่อจำแนกประเภทของดินขยายตัว และประเมินขนาดการขยายตัว ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ เปลี่ยนแปลงไป (Subba Rao และ Satyadas, 1978)

ความดันบวมตัวและศักยภาพการบวมตัว

ความดันขยายตัวเป็นดัชนีที่มีประโยชน์อย่างมากใน การพิจารณาแนวโน้มการขยายตัวของดิน ความดันนี้เป็น แรงสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ที่นำมากดทับดินเอาไว้เพื่อ ป้องกันไม่ให้เกิดการขยายตัวซึ่งจะส่งผลให้ดินมี ปริมาตรเพิ่มขึ้น โดยความดันขยายตัวควรมีค่าสูงกว่า 20 กิโลปาสคาล แนวโน้มขยายตัวของดินเป็นผลจาก

การเปรียบเทียบขนาดการปูดของดินที่มีปริมาณน้ำ และสภาพการรับน้ำหนักเหมือนกัน ได้จากการทดสอบ ด้วยเครื่องอัดตัวคายน้ำ (Oedometer Test) เพื่อหา พารามิเตอร์สำหรับดินขยายตัวตามมาตรฐาน ASTM D 4546-90 ซึ่งเป็นมาตรฐานทดสอบสำหรับการขยายตัวใน มิติเดียวหรือเพื่อหาแนวโน้มการขยายตัวสำหรับดินที่มี ความเชื่อมั่น

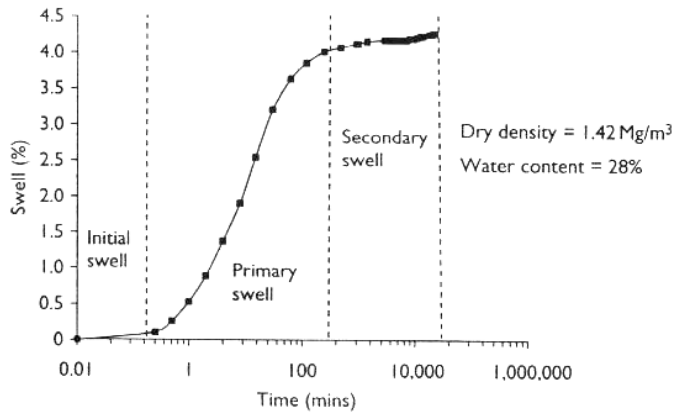
วิธีทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

ควรทดสอบหาปริมาณน้ำและอัตราส่วนช่องว่างของ ดินในสนามตามสภาพธรรมชาติก่อนที่จะก่อสร้าง หากจำเป็นต้องใช้ตัวอย่างดินแปรสภาพ ควรเตรียม ตัวอย่างดินบดอัดให้มีความหนาแน่นและปริมาณน้ำ เท่ากับสภาพในสนาม แนวโน้มการขยายตัวและความดัน ขยายตัวของตัวอย่างดินสามารถทดสอบได้ 3 วิธี ตาม มาตรฐาน ASTM D 4546-90 ดังนี้

วิธี A

ความดันกดทับตัวอย่างดินเหนียวต้องมีค่าน้อย 1 กิโลปาสคาล หลังจากตัวอย่างยุบตัวในเบื้องต้น เนื่องจากความดันกดทับโดยสมบูรณ์แล้ว ให้นำตัวอย่าง แซ่ในเซลล์สำหรับทดสอบการอัดตัวคายน้ำและยอมให้ มีการขยายตัวในแนวตั้งเท่านั้น โดยสามารถพิจารณาการ ขยายตัวเทียบกับเวลา 3 ส่วนคือ การขยายตัวเริ่มต้น การขยายตัวเบื้องต้น และส่วนที่สามคือ การขยายตัว ระยะเวลาที่สอง ใน (รูปที่ 1) การขยายตัวเริ่มต้น ซึ่งเกิดขึ้น เพียงเล็กน้อยเป็นการขยายตัวที่เกิด เนื่องจากการ ขยายตัวของโครงสร้างเม็ดดินขนาดใหญ่ (Macrostructure) ส่วนการขยายตัวในเบื้องต้นและระยะเวลาที่สองเกิดจากการ ขยายตัวของโครงสร้างเม็ดดินขนาดเล็ก (Microstructure) (Rao และคณะ, 2006)

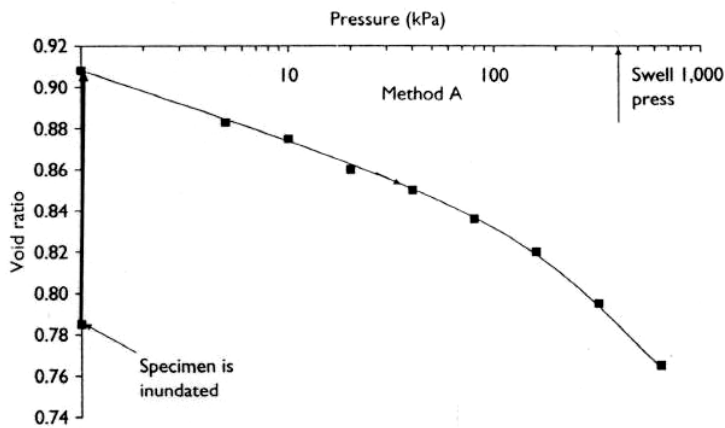
¹ อาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โทร. 0-2913-2500 ต่อ 3253 กด 114 E-mail : sayamk@kmutnb.ac.th



รูปที่ 1 พฤติกรรมการขยายตัว-เวลา ของดินบดอัดแน่น

ตัวอย่างจะถูกให้น้ำหนักอย่างเป็นขั้นตอนหลังจากขยายตัวเบื้องต้น โดยใช้อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักคงที่ (Constant rate of stress) การให้น้ำหนักจะกระทำอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งตัวอย่างดินที่ดูดซับน้ำเข้าไปจน

มีสัดส่วนระหว่างอัตราส่วนช่องว่างและความสูงเท่าเดิมอีกครั้ง ความดันภายนอกที่ใช้เพื่อให้ได้อัตราส่วนช่องว่างเมื่อเริ่มต้น (e_0) เท่าเดิมอีกครั้ง นิยามว่าเป็นความดันขยายตัวของตัวอย่างดิน (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 การประเมินแนวโน้มการขยายตัวและความดันการขยายตัวโดยวิธี A

แนวโน้มการขยายตัวที่ความดันกดทับสัมพันธ์กับอัตราส่วนช่องว่างเมื่อเริ่มต้น (e_0) หาได้จาก

$$\text{แนวโน้มการขยายตัว (\%)} = \frac{e_{se} - e_0}{1 + e_0} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ e_{se} เป็นอัตราส่วนช่องว่างหลังจากตัวอย่างดิน

ขยายภายใต้ความดันกดทับ และ e_0 เป็นอัตราส่วนช่องว่างเมื่อเริ่มต้นของตัวอย่างดินภายใต้ความดันกดทับ วิธีทดสอบนี้ใช้วัด (σ) ร้อยละการปูดขึ้นของตัวอย่างที่ความดันกดทับ และ (χ) ความดันขยายตัวของตัวอย่าง (รูปที่ 2)

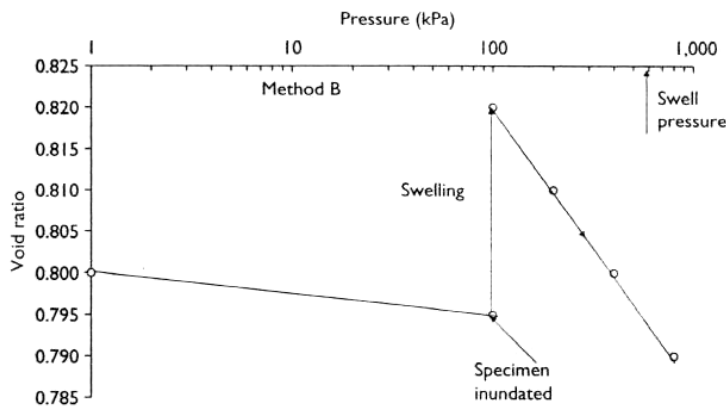
วิธี B

ความดันในแนวตั้ง (σ_{v0}) ที่กระทำต่อตัวอย่าง เทียบกับความดันกวดทับในพื้นที่ หรือเทียบกับน้ำหนักโครงสร้าง หลังจากดินยุบตัวภายใต้ความเค้นในแนวตั้ง σ_{v0} เสร็จสิ้นลง นำตัวอย่างแช่น้ำ แล้วบันทึกค่าการขยายตัวตามแกนจนกระทั่งการขยายตัวเบื่องตันสิ้นสุด หลังจากนั้นให้น้ำหนักแก่ตัวอย่างโดยลำดับจนถึงจุดที่ความดันในแนวตั้งทำให้ตัวอย่างมีอัตราส่วนช่องว่างเท่ากับสภาพก่อนที่ดินจะเริ่มดูดน้ำ (e_{v0} ดังรูปที่ 3) ความดันที่ทำให้อัตราส่วนช่องว่างของดินมีค่าเท่ากับ e_{v0} นิยามว่าเป็นความดันขยายตัวของตัวอย่าง การทดสอบนี้ใช้วัด ร้อยละการปูดขึ้นของตัวอย่าง สำหรับความดันในแนวตั้งซึ่งกำหนดให้มีค่า

โดยประมาณเท่ากับความดันกวดทับแนวตั้งในพื้นที่ และความดันขยายตัวของตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3 สมการที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแนวโน้มการขยายตัวที่ความเค้นแนวตั้ง σ_{v0} กับ e_{v0} ดังนี้

$$\text{แนวโน้มการขยายตัว (\%)} = \frac{e_{se} - e_{v0}}{1 + e_{v0}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ e_{se} เป็นอัตราส่วนช่องว่างภายหลังจากการขยายตัวภายใต้ความเค้นกวดทับ σ_{v0} และ e_{v0} เป็นอัตราส่วนช่องว่างเมื่อเริ่มต้น (ก่อนดูดน้ำ) ที่ความเค้นในแนวตั้ง σ_{v0}

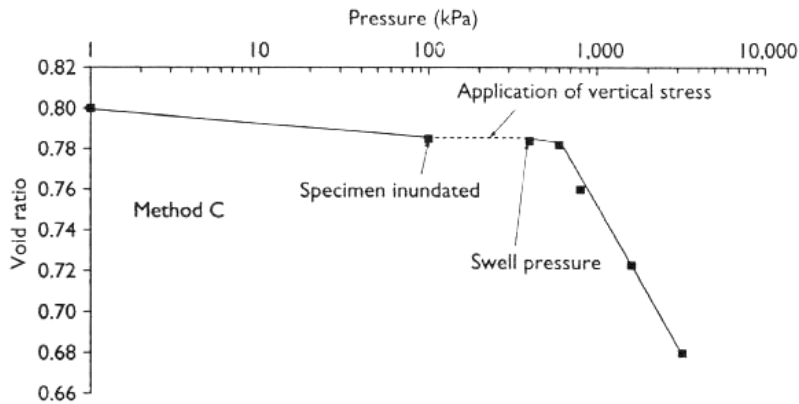


รูปที่ 3 แนวโน้มการขยายตัวและความดันการขยายตัวด้วยวิธี B

วิธี C

กำหนดความเค้นในแนวตั้ง (σ_1) เทียบกับความเค้นในพื้นที่ในแนวตั้งที่ประเมินได้ หรือความดันขยายตัวกระทำต่อตัวอย่าง หลังการยุบตัวในแนวแกนสิ้นสุดลง ภายใต้ความดันแนวตั้ง (σ_1) นำตัวอย่างแช่น้ำ โดยเพิ่มความเค้นในแนวตั้งให้สูงพอที่จะป้องกันไม่ให้ดินตัวอย่างขยายตัว ค่าการแปรผันของมาตรวัดขณะตัวอย่างแช่น้ำภายใต้ความเค้น σ_1 ควรอยู่ระหว่าง

0.005 มิลลิเมตร ถึง 0.01 มิลลิเมตร ความดันในแนวตั้งที่กวดทับไม่ให้ตัวอย่างเปียกขยายตัวเพิ่มขึ้นนิยามว่าเป็นความดันขยายตัวของตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูกให้น้ำหนักกวดทับจนกว่าจะหยุดขยายตัว โดยน้ำหนักกวดทับที่เพิ่มขึ้นนี้ต้องมากพอที่จะแสดงให้เห็นความโค้งสูงสุดบนเส้นโค้งการอัดตัวคายน้ำ เพื่อที่จะหาความลาดชันของโค้งที่ตัวอย่างดินเริ่มเกิดการอัดตัว (Virgin compression curve รูปที่ 4)



รูปที่ 4 แนวโน้มการขยายตัวและความดันการขยายตัวด้วยวิธี C

การจำแนกความไวต่อการขยายตัว

จากค่าแนวโน้มการขยายตัวทดสอบด้วยเครื่องอัดตัวคายน้ Holtz และ Gibbs (1956) และ Seed และคณะ (1962) ได้จำแนกความไวตัวสัมพัทธ์ของดินขยายตัว เกณฑ์จำแนกของ Holtz และ Gibbs (1956) ขึ้นอยู่กับแนวโน้มการพิบัติของตัวอย่างคงสภาพที่แช่อยู่ในน้ำความดัน 1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (ประมาณ 7 กิโลปาสกาล) ส่วนเกณฑ์จำแนกของ Seed และคณะ (1962) ขึ้นอยู่กับแนวโน้มการขยายตัวของตัวอย่างแปลงสภาพที่บดอัดด้วยปริมาณน้ำที่เหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุด แบบมาตรฐาน แล้วแช่น้ำภายใต้ความดัน 1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ดังแสดงใน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การจำแนกดินขยายตัว

ดีกรีการขยายตัว	จำแนกร้อยละการขยายตัว (Holtz และ Gibbs;1956)	จำแนกร้อยละการขยายตัว (Seed และคณะ;1962)
ต่ำ	0-10	0-1.5
กลาง	10-20	1.5-5
สูง	20-35	5-25
สูงมาก	>35	>25

การประเมินแนวโน้มการขยายตัวทางอ้อม

นอกจากจะหาค่าแนวโน้มการขยายตัวโดยตรงด้วยเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้แล้ว ยังสามารถหาดีกรีความไวต่อการขยายตัวของดินเหนียวจากค่าดัชนีต่างๆ หรือผลทดสอบการขยายตัวอย่างอิสระด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขีดจำกัดแอดเตอร์เบริกและแนวโน้มการขยายตัวของดินเหนียวขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ดินเหนียวสามารถดูดซับไว้ได้ หากดินมีค่าดัชนีพลาสติกสูงขึ้นไปจะสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น ทำให้ดินมีแนวโน้มขยายตัวสูงขึ้น หากดินมีค่าขีดจำกัดการหดตัวต่ำ การขยายตัวของดินก็จะเริ่มต้นด้วยปริมาณน้ำเพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกัน ปริมาณสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอนเป็นส่วนประกอบสำคัญของดินที่ทำให้เกิดการบวมตัว ดังนั้นหากดินมีปริมาณสารแขวนลอยตามธรรมชาติอยู่มาก ย่อมแสดงว่าดินประเภทนั้นมีโอกาสขยายตัวได้มากเช่นเดียวกัน โดย The united States Bureau of Reclamation ได้ใช้สามพารามิเตอร์นี้เป็นเกณฑ์สำหรับจำแนกดินขยายตัวดังตารางที่ 2

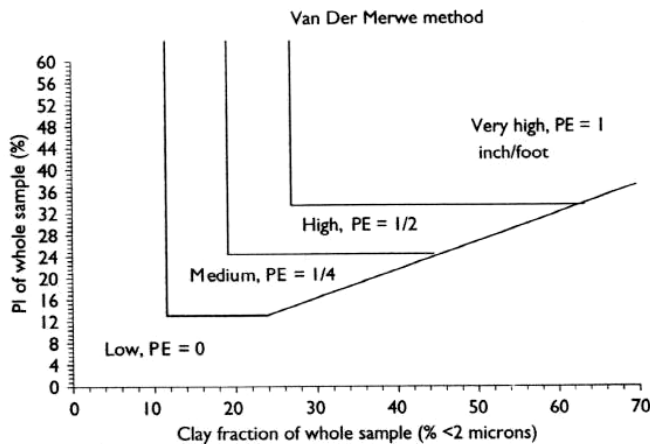
ตารางที่ 2 การกำหนดเกณฑ์สำหรับดินขยายตัว

ปริมาณสาร แขวนลอย (ร้อยละ)	ดัชนีพลาสติก (PI, ร้อยละ)	ขีดจำกัดหดตัว (SL, ร้อยละ)	ดิกิริขยายตัว	โอกาสการขยายตัว (ร้อยละการเปลี่ยนแปลงปริมาตรทั้งหมด)
<15	<18	<10	ต่ำ	<10
13-23	15-28	10-20	ปานกลาง	10-20
20-31	25-41	20-30	สูง	20-30
>28	>35	>30	สูงมาก	>30

ในทำนองเดียวกัน Van Der Merwe (Van Der Merwe, 1964) ได้สร้างความสัมพันธ์จากการทดลอง (Empirical Relationship) ระหว่างดิกิริการขยายตัวของดิน ดัชนีพลาสติก สัดส่วนดินเหนียว และความดันกดทับ โดยสามารถหาการปูดขึ้นของผิวดินได้จากสมการ

$$\Delta H = \sum_{D=1}^{D=n} F \times PE \quad (3)$$

เมื่อ ΔH = การปูดขึ้นทั้งหมด (นิ้ว), D = ความลึกของชั้นดินที่เพิ่มขึ้น 1 ฟุตที่ระดับลึกที่สุด, F = แฟคเตอร์คูณลดสำหรับความดันกดทับ และ $F = 10^{D/20}$, PE = แนวโน้มการขยายตัวเป็นนิ้ว/ฟุตของความลึก โดยสามารถสมมติค่า PE ให้มีค่าเท่ากับ 0 1/4 1/2 และ 1 นิ้ว/ฟุต สำหรับแนวโน้มการขยายตัวในระดับต่ำ ปานกลาง สูง และสูงมากตามลำดับ (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 การจำแนกความไวต่อการขยายตัวของดินโดยวิธีของ Van Der Merwe

นอกจากใช้ค่าดัชนีต่างๆ แล้ว แนวโน้มการขยายตัวของดินยังสามารถประเมินได้โดยอ้อมจากการทดสอบการขยายตัวอย่างอิสระด้วยวิธีที่แตกต่างกัน (Different Free Swell, DFS ตามมาตรฐาน IS 2720 Part 40-1977 การหาดัชนีการบวมตัวของดิน) ซึ่งใช้ตัวอย่างดินอบแห้งร้อนผ่านตะแกรงขนาด 425 ไมครอนหนัก 10 กรัมสองตัวอย่าง ตัวอย่างหนึ่งนำไปใส่ในกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตรที่บรรจุน้ำมันก๊าด (kerosene)

ซึ่งเป็นของเหลวที่ไม่มีประจุ อีกตัวอย่างหนึ่งใส่กระบอกตวงขนาดเดียวกันบรรจุน้ำกลั่นอยู่ภายใน กวนตัวอย่างทั้งสองแล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วบันทึกปริมาตรของดินตัวอย่าง โดยสามารถหาค่า Different Free Swell (DFS) ได้จากสมการ

$$DFS = \frac{\text{ปริมาตรของดินในน้ำ} - \text{ปริมาตรของดินในน้ำมันก๊าด}}{\text{ปริมาตรของดินในน้ำมันก๊าด}} \times 100\% \quad (4)$$

ตีกริความไวต่อการขยายตัวและความเสียหายที่เป็นไปได้ต่ออาคารที่มีน้ำหนักเบา อาจประเมินได้โดยใช้ตารางที่ 3 ในพื้นที่ซึ่งดินมีค่า DFS สูงถึงสูงมาก อาจไม่เหมาะสมที่จะใช้ฐานรากแผ่

ตารางที่ 3 ตีกริความไวต่อการขยายตัวและการขยายตัวอิสระ

ตีกริการขยายตัว	Different Free Swell, DFS (ร้อยละ)
ต่ำ	<20
ปานกลาง	20-35
สูง	35-50
สูงมาก	>50

ตารางที่ 4 ทำนายแนวโน้มการขยายตัวซึ่งขึ้นอยู่กับค่าดัชนีต่าง ๆ สำหรับตัวอย่างดินตัวอย่างชนิดหนึ่งโดยใช้เกณฑ์ของ Holtz และ Gibbs (1956) เพื่อประเมินแนวโน้มการบวมตัวโดยตรง ตารางที่ 5 แสดงแนวโน้มการขยายตัวของดินตัวอย่างบดอัดที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำ โดยใช้วิธี A ตามมาตรฐาน ASTM ร้อยละการขยายตัวที่ทำนายได้จากค่าดัชนีต่าง ๆ (ตารางที่ 4) มีค่าเกินกว่าแนวโน้มการขยายตัวที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องอัดตัวคายน้ำของดินตัวอย่าง (ดินหมายเลข 3 ตารางที่ 5) เช่น ปริมาณน้ำที่ซึบดูดอัดสูงเพิ่มจากร้อยละ 28 ถึง ร้อยละ 33 ที่ความหนาแน่นแห้ง 1.35 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถลดแนวโน้มการขยายตัวของดินหมายเลข 3 จาก ร้อยละ 10 เหลือเพียงร้อยละ 5 การแปรเปลี่ยนของสภาพดินเมื่อเริ่มต้นไม่ส่งผลต่อการทำนายแนวโน้มการขยายตัวของดินทางอ้อมโดยใช้ค่าดัชนีต่าง ๆ

ตารางที่ 4 การประเมินแนวโน้มการขยายตัวของดินตัวอย่างโดยใช้ค่าดัชนีต่าง ๆ

ดินตัวอย่างที่	ปริมาณดินเหนียว	ดัชนีพลาสติค	ดัชนีหดตัว	การบวมตัวที่เป็นไปได้ (ร้อยละ)
	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	
1	61	46	10	>30
2	59	71	8	>30
3	55	61	10	>30

แหล่งข้อมูล: Holtz และ Gibbs (1956)

ตารางที่ 5 แนวโน้มการบวมตัวของดินตัวอย่างจากผลทดสอบด้วยเครื่องอัดตัวคายน้ำ

ดินตัวอย่างที่	ความหนาแน่นแห้ง (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	แนวโน้มการบวมตัว (ร้อยละ)
1	1.34	32	5.2
2	1.37	30	4
3	1.35	33	5
3	1.35	28	10
3	1.42	28	11
3	1.42	23	16

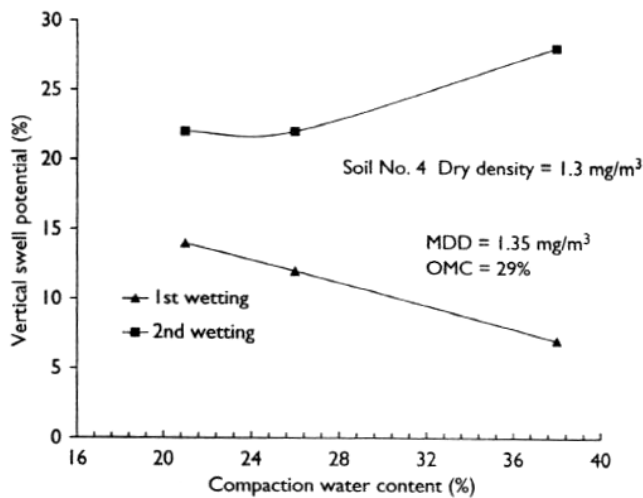
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแนวโน้มการขยายตัวและความดันขยายตัว

แนวโน้มการขยายตัวและความดันขยายตัวขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิดและปริมาณแร่ดินเหนียวที่มีอยู่ในดิน ความหนาแน่นแห้งเมื่อเริ่มต้น อัตราส่วนช่องว่าง และปริมาณน้ำในดินตัวอย่าง ธรรมชาติของของเหลวในโพรงดิน ชนิดของอ็อกซิดอนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ ความดันกดทับ และผลกระทบจากสภาพแห้งและเปียก (Yong และ Warkentin, 1975, Subba Rao และ Satyadas, 1987; Chen, 1988; Nelson และ Miller, 1992; Day, 1994, Al-Homoud และคณะ, 1995; Subba Rao และคณะ 2000) แนวโน้มการขยายตัวและความดันขยายตัวเพิ่มขึ้นตามปริมาณดินเหนียวและความหนาแน่นแห้ง ลดลงตามปริมาณน้ำในดินที่เพิ่มขึ้น ความดันกดทับ ความเข้มข้นของเกลือในช่องโพรง และวาเลนซ์ของอ็อกซิดอนบวกที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (Holtz และ Gibbs, 1956; Seed และคณะ, 1962; Mitchell, 1976; Chen, 1988) มีผู้เสนอแนะว่าควรบดอัดดินเหนียวโดยใช้ปริมาณน้ำให้สูงเกินค่า OMC เพื่อควบคุมแนวโน้มการขยายตัว (Gromko, 1974)

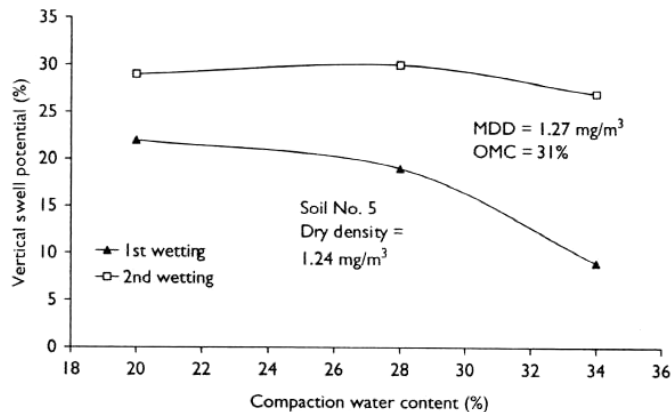
อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ดินเหนียวในพื้นที่แห้งแล้ง และกึ่งแห้งแล้งจะถูกกระทำด้วยวงจรแห้งเปียกในสนาม จากข้อมูลของ Day (1994) Al-Homoud และคณะ (1995) และ Subba Rao และคณะ (1995) แสดงให้เห็นว่าวงจรแห้งและเปียกมีอิทธิพลต่อแนวโน้มการขยายตัวของดินมากกว่าปริมาณน้ำในดินเมื่อเริ่มต้นและอัตราส่วนช่องว่าง รูปที่ 6 และ 7 แสดงผลกระทบของวงจรแห้งที่มีต่อแนวโน้มการขยายตัวของดินตัวอย่าง ตารางที่ 6 แสดงค่าดัชนี

ต่างๆ ของดินตัวอย่างที่ 4 และ 5 รูปที่ 6 แสดงแนวโน้มการขยายตัวในแนวตั้งโดยเป็นฟังก์ชันของปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัดดินตัวอย่างที่ 4 ให้ความหนาแน่นแห้ง 1.3 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการขยายตัวในแนวตั้งเป็นฟังก์ชันของปริมาณน้ำที่ซึบดูดสำหรับดินตัวอย่างที่ 5 ให้ความหนาแน่นแห้ง 1.24 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดินตัวอย่างที่บดอัดดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7 ถูกกดทับด้วย

ความดัน 6.25 กิโลปาสคาล จากทั้งสองรูปที่ความหนาแน่นแห้งที่กำหนดให้เมื่อเริ่มนำไปแช่น้ำ ดินตัวอย่างที่แห้งกว่าจะแสดงแนวโน้มขยายตัวที่สูงกว่า หลังจากขยายตัวสูงสุดจากการเปียกครั้งแรก ตัวอย่างที่บดอัดถูกอบให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ 45^oc ในเครื่องมือทดสอบอัดตัวคายน้ำ จากนั้นตัวอย่างที่แห้งสนิทในเครื่องมือทดสอบการอัดตัวคายน้ำจะถูกแช่น้ำ



รูปที่ 6 ผลกระทบจากวงจรเปียกรอบหนึ่งต่อแนวโน้มการขยายตัวของดินตัวอย่างที่ 4



รูปที่ 7 ผลกระทบจากวงจรเปียกรอบหนึ่งต่อแนวโน้มการขยายตัวของดินตัวอย่างที่ 5



**ตารางที่ 6 ตัวอย่างดินตัวอย่างซึ่งทดสอบด้วย
เครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำ**

ดินตัวอย่างที่	4	5
ขีดจำกัดเหลว (ร้อยละ)	75	103
ดัชนีพลาสติค (ร้อยละ)	44	51
การกระจายขนาด (ร้อยละ)		
ทราย	15	0
ตะกอนทราย	30	34
ดินเหนียว	55	66
คุณสมบัติการบดอัดแบบมาตรฐาน		
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด	1.35	1.27
(MDD) มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร		
ปริมาณความชื้นสูงสุด	29	31
(OMC,%)		

ผลที่เกิดขึ้นแสดงแนวโน้มที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนจากผลของการแช่น้ำครั้งแรก รูปที่ 6 แสดงดินตัวอย่างที่ 4 ซึ่งบดอัดด้านเปียกของ OMC ขยายตัวสูงกว่าตัวอย่างดินที่บดอัดด้านแห้งของ OMC ในการแช่น้ำครั้งที่สอง จากผลการทดสอบของดินตัวอย่างที่ 5 แสดงแนวโน้มในทำนองเดียวกันดังรูปที่ 7 จากรูปที่ 6 และ 7 แสดงให้เห็นว่า แม้ว่าแนวโน้มการขยายตัวในแนวตั้งสามารถควบคุมได้ด้วยการบดอัดตัวอย่างดินด้านเปียกของ OMC ในวงรอบของการแห้งรอบหนึ่ง ตัวอย่างที่บดอัดด้านเปียกของ OMC จะขยายตัวมากกว่าตัวอย่างที่บดอัดด้านแห้งของ OMC เมื่อนำตัวอย่างไปแช่น้ำรอบที่สอง

สรุป

แนวโน้มการขยายตัวเชิงปริมาตรของดินเมื่อสัมผัสกับน้ำ หาได้จากค่าพารามิเตอร์แนวโน้มการขยายตัวและความดันขยายตัว ซึ่งสามารถหาได้โดยตรงในห้องปฏิบัติการ จากการทดสอบด้วยเครื่องอัดตัวคายน้ำแบบต่างๆ สามวิธี และสามารถประเมินแนวโน้มการขยายตัวโดยทางอ้อมจากคุณสมบัติ หรือผลทดสอบการขยายตัวอย่างอิสระด้วยวิธีต่างๆ การขยายตัวที่ประเมินได้จากดัชนีของดินจะให้ค่าแนวโน้มการขยายตัวของดินที่สูงเกินจริง แต่แนวโน้มการขยายตัวที่ประเมินได้จากดัชนีนี้ไม่มีนัยต่อคุณสมบัติกายภาพ

พื้นฐานของดิน เช่น ความหนาแน่นแห้งและปริมาณน้ำที่จะมีนัยต่อแนวโน้มการขยายตัวของดิน นอกจากนี้คุณสมบัติของดิน ความดันภายนอก และสภาวะเปียกแห้งของดินยังส่งผลกระทบต่อแนวโน้มการขยายตัวและพารามิเตอร์ความดันขยายตัว จึงจำเป็นต้องจำลองสภาพในห้องปฏิบัติการให้ใกล้เคียงกับในสนามมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Al-Homoud, A.S., Basma, Husein Malkavi, and Al-Bashabshah, M.A. (1995). Cycle swelling behavior of clay. *Journal of Geotechnical Engineering*. ASCE 121, 582-585
- [2] Chen, F.H. (1988). *Foundations on Expansive Soils*, Elsevier, New York.
- [3] Day, R.W. (1994). Swell-shrink behavior of compacted clay. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE 120, 618-623
- [4] Gopal Ranjan and Rao, A.S.R. (1991). *Basic and Applied Soil Mechanics*, Wiley Eastern, New Delhi
- [5] Gromko, G.J. (1974). Review of expansive soils. *Journal Geotechnical Division*, ASCE 100, 667-687.
- [6] Holtz, W.G. and Gibbs, H.J. (1956). *Engineering properties of expansive clays*. *Transactions of the American Society of Civil Engineerings* 121, 641-663.
- [7] Michell, J.K. (1976). *Fundamentals of Soil Behavior*, John Wiley, New York.
- [8] Nelson, J.D. and Miller, D.J. (1992). *Expansive Soils Problems and Practices in Foundation and Pavement Engineering*, John Wiley, New York.
- [9] Rao, S.M., Thyagaraj, T., and Thomas, H.R. (2006). Swelling of compacted clay under osmotic gradients, *Geotechnique*



- [10] Seed, M.B., Woodward, R.J., AND Lundgren, R.(1962). Prediction of swelling potential of compacted soils. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE* 85, 86-128.
- [11] Subba Rao,K.S. and Satyadas, G.C. (1987). Swelling potentials with cycles of swelling and partial shrinkage. *Proceedings 6th International Conference on Expansive Soils, vol.1, New Delhi, 137-142.*
- [12] Subba Rao, K.S., Rao,S.M., and Gangadhara,S.(2000). Swelling behavior of desiccated clay. *ASTM Geotechnical Testing Journal* 23, 193-198.
- [13] Van Der Merwe, H. (1964). The prediction of heave from plasticity index and the percentage clay fraction of soils. *The Civil Engineering, South African Institute of Civil Engineers* 6, 103-107.
- [14] Yong, R.N. and Warkentin, B.P. (1975). *Soil Properties and Behaviour*, Elsevier, New York.