



การประเมินศักยภาพการบวมตัวของดินถมตัวเขื่อน
กรณีศึกษาเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์
Evaluation of swelling soil potential to Earthfill dam:
case study of Pasak Jolasid Dam

เมฆ เมฆขาว^{1,*} มนตรี จินากุลวิวัฒน์^{2,*} และสุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์^{3,*}

¹ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพฯ

² นักวิจัย หน่วยวิจัยความปลอดภัยเขื่อน

³ รองศาสตราจารย์ และหัวหน้าศูนย์วิจัยฯ

ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

การประเมินศักยภาพการบวมตัวของดินถมตัวเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ดำเนินการศึกษาตั้งแต่ช่วง กม.2+942 ถึง กม.4+860 ทั้งในส่วนที่เป็นแกนดินเหนียว (Clay core) เปลือกเขื่อน (Random Shell) และฐานราก จากผลการประเมินซึ่งประกอบด้วยผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและผลการทดสอบการบวมตัว พบว่าดินถมเขื่อนเป็นดินเหนียวที่มีความเหนียวสูง (CH) มีแร่ Illites และ Montmorillonites เป็นส่วนประกอบ ปริมาณเม็ดดินเหนียวขนาดน้อยกว่า 0.002 มม. อยู่ในช่วง 25-50% ค่าขีดจำกัดความเหลว (LL) อยู่ในช่วง 50-60% ค่าดัชนีความเหนียว (PI) อยู่ในช่วง 25-45% ค่า Liquidity index (LI) น้อยกว่าศูนย์ ปริมาณน้ำในมวลดินอยู่ที่ 15-30% และค่า Swelling Pressure อยู่ในช่วง 60-90 kPa จากผลการประเมินสามารถจำแนกระดับการบวมตัวของดินถมเขื่อนอยู่ที่ระดับปานกลางถึงระดับสูง ส่วนผลการทดสอบในฐานรากพบว่าเขื่อนไม่เป็นดินบวมตัว ทั้งนี้ผลการประเมินศักยภาพการบวมตัวดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการประเมินพฤติกรรมเขื่อนต่อไป

คำสำคัญ: ดินบวมตัว, เขื่อนดินถม, แรงดันการบวมตัว

Abstract

The evaluation of swelling soil potential between stations 2+942 to station 4+860 of Pasak Jolasid Dam was performed in clay core, random shell, foundation and pavement. The laboratory testing shows that the soil mineral are illites and montmorillonites with 25 - 50% of clay content. The water content is in the range of 15-30%. The liquid limit is 50 - 60% and plasticity index is about of 25 - 45% with liquidity index

1,* E-mail address: huggy_9@hotmail.com

2,* E-mail address: montrice65@hotmail.com

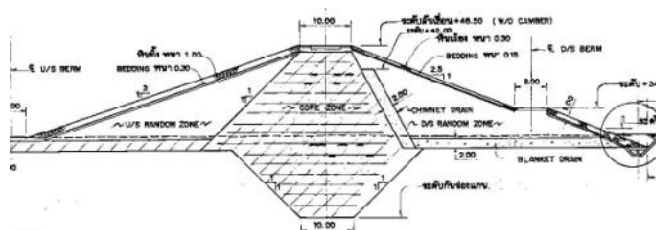
3,* E-mail address: soralump_s@yahoo.com

less than zero. The swelling pressure is approximately at 60 - 90 kPa. The degree of swelling soils of clay core and shell is moderate to high, while the foundation and pavement material is none swelling soil. This evaluation of swelling soil will use to evaluate the behaviors of the dam.

Keywords: Swelling Soil, Earthfill Dam, Swelling Pressure

1. บทนำ

เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ตั้งอยู่ที่ตำบลหนองบัว อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี และตำบลคำพราณ อำเภอวังม่วง จังหวัดสระบุรี เริ่มก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ.2537 และเปิดใช้เมื่อปี 30 กันยายน พ.ศ.2542 ลักษณะตัวเขื่อนออกแบบเป็นเขื่อนดินถมประเภทแบ่งโซน (Zoned-Earth Dam) มีความยาวทั้งหมด 4,860 เมตร ความสูง 31.5 เมตร ดังรูปที่ 1 ความจุอ่างเก็บน้ำเท่ากับ 785 ล้านลูกบาศก์เมตร ที่ระดับเก็บกักปกติ+ 42.0 ม.รทก. และ 960 ล้านลูกบาศก์เมตร ที่ระดับเก็บกักสูงสุด+ 43.0 ม.รทก.



รูปที่ 1 หน้าที่ตัดเขื่อนทั่วไปเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ [1]

ส่วนความปลอดภัยเขื่อน สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน [2] สำรวจพบรอยแตกตามยาวบนสันเขื่อน ตั้งแต่ช่วง กม. 3+500 ถึง กม.4+860 และรอยแตกที่พบเกิดขึ้นทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2 ถึงแม้ว่าจะมีการซ่อมแซมชั้นทางแล้วก็ตาม แต่ในปี พ.ศ.

2557 จากการสำรวจด้วยสายตาที่ยังพบรอยแตกตามยาวเกิด (รูปที่ 3) สำหรับขนาดรอยแตกตามยาวที่พบมีความกว้างมีประมาณ 3-10 เซนติเมตร

มีการประเมินสาเหตุของการเกิดรอยแตกดังกล่าวอยู่หลายสาเหตุ ส่วนหนึ่ง คาดว่ามีสาเหตุมาจากคุณสมบัติของดินถมเขื่อน และไม่นำไปเป็นปัญหา เรื่องการเคลื่อนตัวของลาดชันเขื่อน



รูปที่ 2 รอยแตกตามยาวที่พบบนสันเขื่อนทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ [2]



รูปที่ 3 ลักษณะรอยแตกตามยาวหลังจากการซ่อมผิวทาง [3]

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาข้อแนะนำจากกรมทางหลวง [4] ถึงลักษณะดินฐานรากและชนิดของดินที่ไม่ควรนำมาใช้ก่อสร้างชั้นทาง เพราะอาจนำไปสู่ปัญหาการทรุดตัวและเกิดรอยแตกบนชั้นทางได้ในอนาคต พบว่ามีด้วยกันหลายประเภทดังนี้

1. ดินลมหอบ (Loess) หรือดินชนิดยุบตัวเมื่อถูกน้ำ (Collapsible Soils)
2. ดินบวมตัว (Expansive Soils)
3. ดินกระจายตัว (Dispersive Soils)
4. ดินมีสารอินทรีย์สูง (Organic Soils) ดินพรุ (Peats)
5. ดินเหนียวที่มีความไวตัว (Sensitive Clays)
6. หินดินดานและวัสดุที่เสื่อมคุณภาพได้ง่าย (Shale and degradable materials)
7. ดินบริเวณเชิงเขา (Colluvium Soils) ลานหินเชิงเขา (Talus)
8. ทรายซึ่งมีการเชื่อมประสาน (Cemented Sands)
9. ดินไม่อิ่มตัว (Unsaturated Soils)

ในการวิจัยเพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นได้พิจารณาความเป็นไปได้ในทุกกรณี แต่บทความนี้จะขอนำเสนอเฉพาะศักยภาพการบวมตัวของดิน

Puppala et al. [5] นิยามคุณสมบัติของดินบวมตัวไว้ คือ ดินที่มีความเป็นพลาสติก (CH) และมีค่าดัชนีความเหนียว (P.I.) สูง ดินเหล่านี้มีแร่ดินเหนียวชนิด Montmorillonite เป็นองค์ประกอบหลัก และนอกจากนี้ดินเหนียวแข็งชนิด Overconsolidated Soil มักเป็นดินที่สร้างปัญหาการบวมตัวและหดตัวมากกว่าดินประเภทอื่นๆ

Puppala et al. [5] ยังได้ระบุว่า ความเสียหายหรือรอยแตกบนชั้นผิวทางอันเนื่องมาจากการใช้ดินบวมตัวก่อสร้าง มักจะเห็นรอยแตกกระแหว่งหรือรอยแตกตามยาวในช่วงหน้าแล้ง และความลึกของรอยแตกเกิดได้ตั้งแต่ 1.0 ถึง 4.5 เมตร เนื่องจากที่ระดับความลึกดังกล่าวความชื้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้มาก (Active zone)

2. วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษาเพื่อประเมินระดับการบวมตัวของดินถมเขื่อนป่าสักฯ แบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบในสนามและในห้องปฏิบัติการ และการประเมินศักยภาพการบวมตัว ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

3. การทดสอบคุณสมบัติดิน

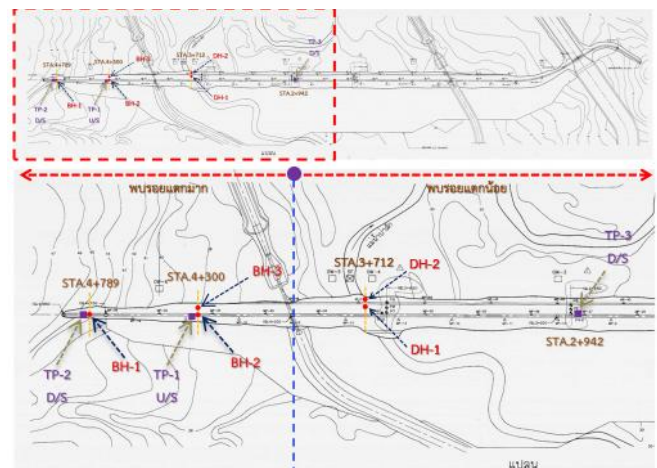
3.1 การเก็บตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินถมเขื่อนฯ ได้จากการขุดเปิดบ่อ (Test Pit) และการเจาะสำรวจ (Soil Boring) พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างดินทั้งแปลงสภาพและคงสภาพ

การขุด Test Pit เพื่อศึกษาคุณสมบัติของดินถมที่รองรับชั้นโครงสร้างทาง ประกอบด้วยตำแหน่งที่พบรอยแตกตามยาว 2 บ่อ ได้แก่ ที่ด้านเหนือน้ำของ กม.4+300 (TP-1) และด้านท้ายน้ำของ กม.4+789 (TP-2) ส่วนตำแหน่งที่ไม่พบรอยแตกตามยาวอีก 1 บ่อ ที่ กม.2+942 (TP-3) ดังแสดงรูปที่ 4

การเจาะสำรวจ เพื่อศึกษาคุณสมบัติดินถมเขื่อนและฐานราก ทำการเจาะสำรวจด้วยวิธี Wash boring จำนวน 3 หลุม ประกอบด้วย ดินถมแกนเขื่อน 2 หลุม ได้แก่ กม.4+789 (BH-1), กม. 4+300 (BH-2) และอีก 1 หลุมในดินถมเปลือกเขื่อน คือ กม.4+300 (BH-3) ดังแสดงในรูปที่ 4

นอกจากนี้ยังมีข้อมูลหลุมเจาะเดิมจากกรมชลประทาน [1] อีก 2 หลุม ณ กม.3+712 ได้แก่ DH-1 และ DH-2



รูปที่ 4 ตำแหน่งการเปิดบ่อทดสอบและเจาะสำรวจดิน

3.2 การทดสอบดินในสนามและในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบในสนามและในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน คุณสมบัติด้านการยุบตัว และคุณสมบัติด้านกำลัง

คุณสมบัติพื้นฐานแสดงในตารางที่ 1 ประกอบด้วย การจำแนกชนิดดิน การทดสอบการกระจายตัว การทดสอบ Atterberg's Limit การทดสอบปริมาณน้ำในมวลดิน และการทดสอบหน่วยน้ำหนักดิน ส่วนคุณสมบัติด้านการยุบตัว ประกอบด้วย การทดสอบ Collapsible Potential และการทดสอบ Swelling Potential นอกจากนี้มีการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลัง ได้แก่ การทดสอบ Direct Shear และ Triaxial Test

ตารางที่ 1 สรุปคุณสมบัติพื้นฐานของดินถมเขื่อนป่าสักฯ

ตำแหน่ง	ความลึก (ม.)	USCS	γ_s (t/m^3)	% w	% LL	% PL	% PI	% SL	% CC*
BH-1 (Core Zone)	1.5	CH	1.91	15.36	56.56	19.15	37.41	14.30	39.72
	3	CH	1.96	20.68	51.59	17.72	33.87	14.49	33.28
BH-2 (Core Zone)	1.5	CH	1.87	28.2	65.67	27.3	38.37	19.09	45.34
	3	CH	1.94	20.46	61.56	26.96	34.63	20.36	37.61
	5	CH	1.98	25.16	64.88	27.31	37.57	20.38	40.71
	7.5	CH	2.08	22.16	55.4	25.82	29.58	21.33	48.93
	9	CH	2.08	20.87	61.66	27.76	33.9	16.74	34.50
	11	CH	2.12	13.87	52.29	25.75	26.54	17.78	33.08
	13.5	CH	2.10	15.24	58.53	22.08	36.45	18.92	33.36
BH-3 (Shell Zone)	3.5	CH	1.87	29.14	63.36	18.44	44.92	14.08	29.88
	5.5	CH	1.97	18.05	50.57	18.79	31.78	13.35	40.49
TP-1	0.4	-	2.12	13.76	30.09	14.61	15.48	10.70	9.87
	0.6	-	2.11	25.26	46.60	24.49	22.11	13.23	37.61
TP-2	0.6	-	2.25	11.82	33.96	18.08	15.88	24.89	10.95
	1.5	CH	1.95	21.85	44.74	18.95	25.79	18.87	22.56
TP-3	0.2	-	2.11	10.43	-	-	-	-	-
	0.4	-	2.10	12.58	-	-	-	-	-
	0.6	-	2.13	11.96	-	-	-	-	-

* CC หมายถึง Clay Content

4 การประเมินศักยภาพการบวมตัวของดินถมเขื่อนฯ

4.1 การประเมินดินบวมตัวจากคุณสมบัติพื้นฐาน

จากลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน (รูปที่ 5) และสถานะของดินใน Plasticity Chart (รูปที่ 6) สามารถสรุปคุณสมบัติของดินถมเขื่อนช่วง กม. 4+000 ถึง กม.4+860 ได้คือ เป็นดินเหนียวสีเทาดำ (CH) ความแข็งของดินเป็นดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมาก ปริมาณเม็ดดินเหนียวค่อนข้างสูง มีโอกาสเกิดทรุดตัวได้ง่าย ค่า LL และ PI สูง นอกจากนี้มีแร่ประกอบดินเหนียวที่สำคัญ คือ Illites และ Montmorillonites ซึ่งคุณสมบัติข้างต้นดังกล่าวเป็นคุณสมบัติเฉพาะของดินที่มีศักยภาพในการบวมตัว (Swelling soil) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. จาก Plasticity Chart ดินถมเขื่อนมีค่า LL มากกว่า 50% และอยู่เหนือเส้น A-Line ดังนั้นแร่ประกอบในมวลดินจึงเป็นกลุ่มแร่ Illites และ Montmorillonites ซึ่งเป็นแร่ที่ให้เกิดดินบวมตัวในระดับปานกลางถึงสูง

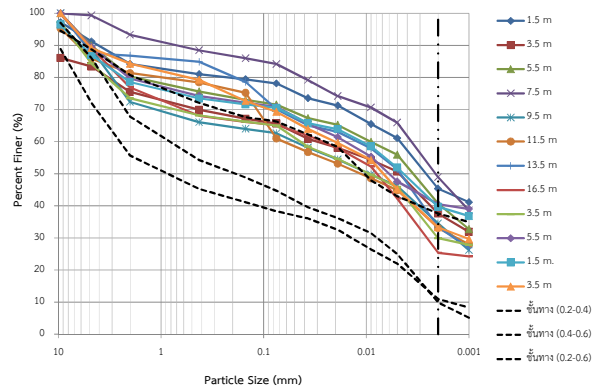
2. ค่า Plasticity Index ระหว่าง 25-45% เทียบเป็นดินบวมตัวในระดับปานกลาง และค่า Liquid Limit ระหว่าง 50-65% เทียบเป็นดินบวมตัวในระดับปานกลางถึงสูง ตามเกณฑ์ของ [6] และ [7] แสดงในตารางที่ 2

3. จากสมการที่ 1 สามารถประเมินระดับการบวมตัวจากค่า PI [8] และรูปที่ 7 แสดงผลว่าดินถมเขื่อนช่วง กม.4+000 ถึง กม.4+860 มีการบวมตัว

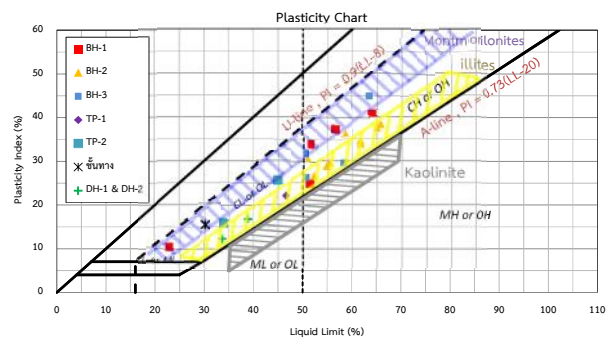
ในระดับสูง ในขณะที่บริเวณหน้าตัดลึกสุด กม.3+712 (DH-1 และ DH-2) มีระดับการบวมตัวต่ำ

$$\%Swell = 60(K)x(PI)^{2.44} \quad (1)$$

โดยที่ K = ค่าคงที่ 3.65×10^{-5}



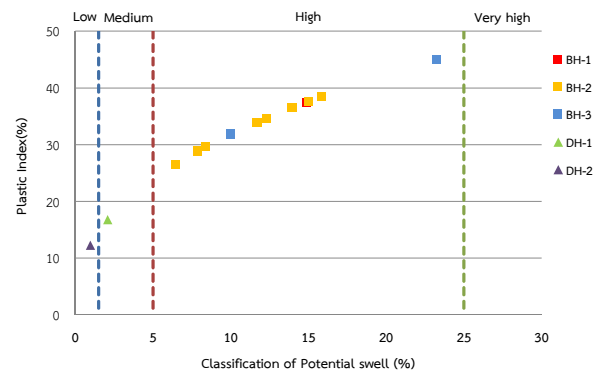
รูปที่ 5 การกระจายตัวของเม็ดดินตัวเขื่อนและชั้นทาง



รูปที่ 6 Plasticity chart ของดินถมเขื่อนป่าสักฯ

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Plasticity Index, Liquid Limit กับระดับการบวมตัวของดิน [6] และ [7]

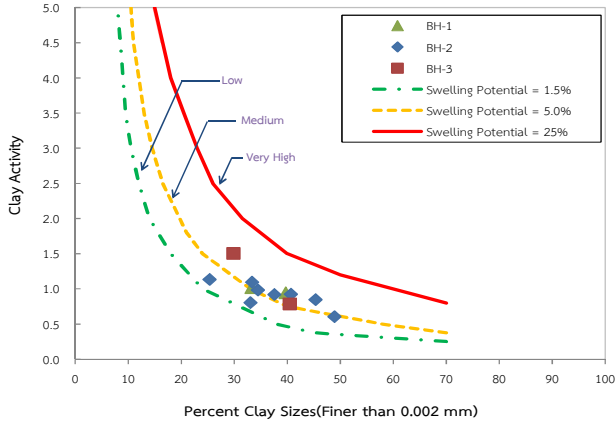
P.I. (%)	Swelling Potential	L.L. (%)	Probable Expansion (%)	Swelling Potential
< 30	Low	< 30	< 1	Low
30 – 60	Medium	30 – 60	1 – 5	Medium
60 – 95	High	60 – 95	3 – 10	High
> 95	Very high	> 95	> 10	Very high



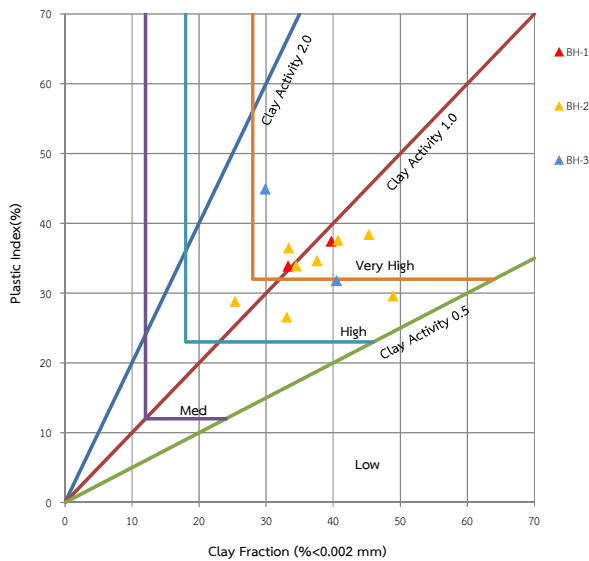
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า P.I. กับระดับการบวมตัว [8]

4. จากรูปที่ 8 ปริมาณเม็ดดินเหนียว (Clay Content) มีค่าระหว่าง 20-45% และค่า Clay Activity อยู่ระหว่าง 0.75-1.50 เทียบเป็นดินบวมตัวในระดับปานกลางถึงสูง [9]

5. รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Clay Content, PI และ Clay Activity กับระดับการบวมตัวของดิน [10] สามารถจัดระดับการบวมตัวของดินได้ในระดับสูงถึงสูงมาก



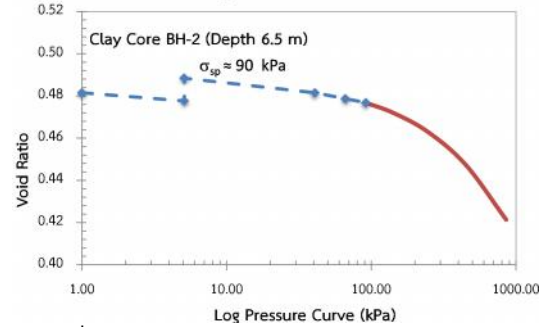
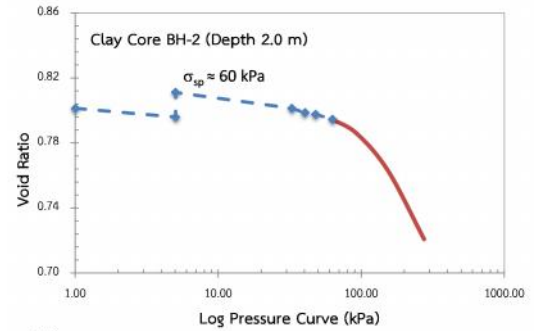
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Clay Content และ Clay Activity กับระดับการบวมตัวของดิน (ดัดแปลงจาก [9])



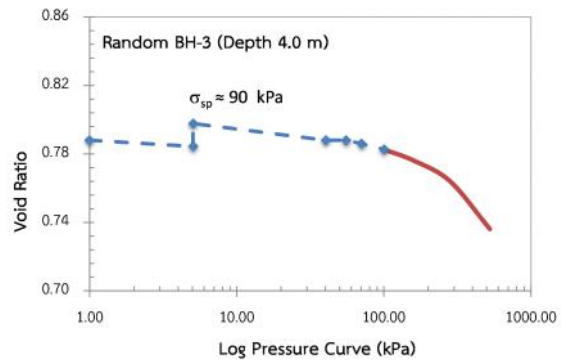
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Clay Content, PI และ Clay Activity กับระดับการบวมตัวของดิน (ดัดแปลงจาก [10])

4.2 การประเมินดินบวมตัวจากการทดสอบ Swelling Soil

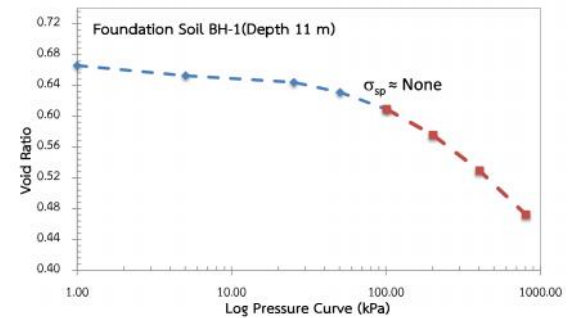
เพื่อยืนยันระดับการบวมตัวของดินถมเขื่อน ดังนั้นจึงได้ตรวจสอบจากการทดสอบ Swelling Potential โดยทดสอบวิธี Consolidation-Method B (ASTM D 4659-96) [11] การทดสอบดำเนินการทั้งดินถมแกนกลางดินเหนียว วัสดุเปลือก ชั้นทาง และฐานราก ดังแสดงผลการทดสอบในรูปที่ 10 ถึง รูปที่ 13 จากผลการทดสอบพบว่า ดินถมเขื่อนทั้งแกนดินเหนียวและเปลือกเขื่อน มีพฤติกรรมการบวมตัว และมีแรงดันการบวม (Swelling pressure) ระหว่าง 60-90 kPa ส่วนในชั้นทางและฐานรากเขื่อน ไม่พบพฤติกรรมการบวมตัว



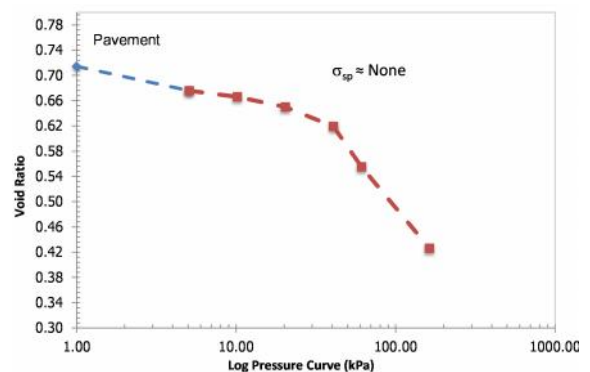
รูปที่ 10 ผลการทดสอบการบวมตัวของดินถมแกนดินเหนียว



รูปที่ 11 ผลการทดสอบการบวมตัวของดินถมเปลือกเขื่อน



รูปที่ 12 ผลการทดสอบการบวมตัวของฐานรากเขื่อน



รูปที่ 13 ผลการทดสอบการบวมตัวของชั้นทาง

4.3 การประเมินดินบวมตัวจากการทดสอบ Collapsible Potential

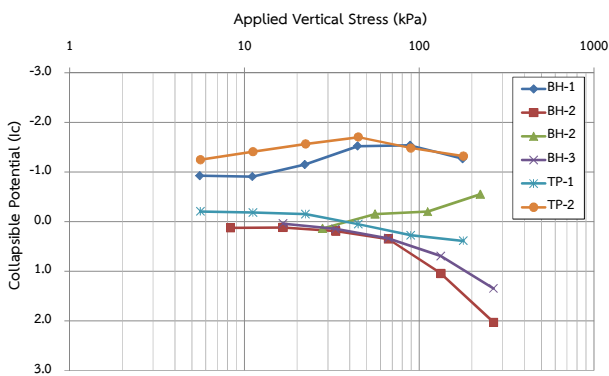
การทดสอบ Collapsible Potential Test เพื่อตรวจสอบพฤติกรรม การยุบตัวเมื่อเปียกน้ำ (Collapse on wetting behavior) ในสภาวะที่ดิน ถมเชื่อมรับน้ำหนักกดทับเพิ่มขึ้น ใช้วิธี Double Oedometer ตาม มาตรฐาน ASTM D 5333 [12] ผลการทดสอบสามารถนำมาคำนวณหาค่า Collapsible Potential (I_c) ได้ดังแสดงในสมการที่ 2

$$I_c = \left[\left(\frac{d_f - d_0}{h_0} \right)_{sat} - \left(\frac{d_i - d_0}{d_0} \right)_{unsat} \right] \times 100 \quad (2)$$

- เมื่อ I_c คือ Collapsible Potential (%)
- $\left(\frac{d_f - d_0}{h_0} \right)_{sat}$ คือ Strain at the appropriate stress level after wetting (Saturated)
- $\left(\frac{d_i - d_0}{h_0} \right)_{unsat}$ คือ Strain at the appropriate stress level before wetting (Unsaturated)
- d_f, d_i, d_0, h_0 คือ Dial reading, before, after, at seating stress and initial specimen height

ค่า Collapsible Potential (I_c) ตามระดับของหน่วยแรงในดินถมเชื่อม ป่าสักฯ แสดงดังรูปที่ 14 พบว่าดินถมเชื่อมมีการทรุดตัวในระดับปกติ ไม่มี พฤติกรรมของการยุบตัวเมื่อถูกแช่น้ำหรือเมื่อมีน้ำหนักกดทับไว้ ตาม มาตรฐานตาม ASTM D5333-03 ระบุหาค่า I_c น้อยกว่า 2.1 จะไม่เป็นดิน ที่ยุบตัวเมื่อเปียกน้ำ

ผลการทดสอบการยุบในบางตำแหน่ง โดยเฉพาะที่ กม.4+789 ของบ่อ TP-2 และหลุม BH-1 ดินกลับแสดงพฤติกรรมการบวมตัว เนื่องจากค่า Collapsible Potential (I_c) มีค่าติดลบ หมายความว่าเมื่อดินในสภาวะแห้ง ถูกแช่น้ำ แทนที่จะเกิดยุบตัวแต่ดินกลับบวมตัวขึ้น ผลทดสอบนี้สอดคล้อง กับผลการสรุปว่าดินถมเชื่อมเป็นดินบวมตัวตามที่กล่าวมาในหัวข้อข้างต้น



รูปที่ 14 ผลการคำนวณค่า Collapsible Potential (I_c) ตามระดับหน่วยแรงของ ดินถมเชื่อมป่าสักฯ

4.4 สรุประดับการบวมตัว

ผลการประเมินศักยภาพการบวมตัวของดินถมเชื่อมป่าสักฯ ทั้งจากการ เปรียบเทียบคุณสมบัติพื้นฐานกับเกณฑ์ของงานวิจัยในอดีต และผลการ ทดสอบ Swelling Pressure สามารถสรุปได้ว่าดินถมตัวเชื่อมป่าสักฯ ตั้งแต่ ช่วง กม.4+000 ถึง กม.4+860 เป็นดินบวมตัว สำหรับค่าแรงดันการบวมตัว

ของดินถมตัวเชื่อมอยู่ระหว่าง 60-90 kPa และมีระดับของการบวมตัวอยู่ใน ระดับปานกลางถึงสูง (Medium to High) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับการบวมตัวของดินถมเชื่อมป่าสักฯ จากผลการทดสอบคุณสมบัติ พื้นฐานและ Swelling Potential เทียบกับงานวิจัยต่างๆ

Expansion Potential	Very Low	Low	Medium	High	Very High
1. % Clay (< 2 mm)	0-10	10-15	15-25	25-35	35-100
2. Clay Activity Index	0.5	0.5-0.75	0.75	0.75-1.25	> 1.25
3. Mineral composition	Kaolinites		Illites	Montmorillonites	
4. Liquid Limit		< 30	30-60	60-95	> 95
5. Plasticity Index	0-10	10-15	15-25	25-35	> 35
6. Expansion Index	0-20	21-50	51-90	91-130	> 130

5. บทสรุป

1. ผลการประเมินศักยภาพการบวมตัวของดินถมเชื่อมป่าสักฯ ทั้งจาก การเปรียบเทียบคุณสมบัติพื้นฐานกับงานวิจัยในอดีต และการทดสอบการ ยุบตัวโดยวิธี Swelling Potential และ Collapsible Potential พบว่าดิน ถมเชื่อมในช่วง กม.4+000 ถึง กม.4+860 มีระดับการบวมตัวอยู่ที่ระดับ ปานกลางถึงระดับสูง ทั้งนี้ไม่พบพฤติกรรมการบวมตัวในชั้นโครงสร้างทาง และฐานรากเชื่อม
2. การประเมินว่าการบวมตัวดังกล่าวมีผลต่อรอยแตกบนถนนสันเชื่อม หรือไม่นั้น จำเป็นต้องวิเคราะห์ในด้านอื่นๆ ประกอบต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ หน่วยวิจัยความปลอดภัยเชื่อม ศูนย์วิจัยและพัฒนา วิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และส่วนความ ปลอดภัยเชื่อม สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน ภายใต้โครงการวิเคราะห์และออกแบบซ่อมแซมเชื่อมป่าสักชลสิทธิ์ จังหวัด ลพบุรี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักออกแบบวิศวกรรม และสถาปัตยกรรม กรมชลประทาน, “การศึกษาความมั่นคงของเขื่อนดิน กรณีมีระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเกิน กว่าระดับน้ำสูงสุด(ร.น.ส.) กรณีศึกษา: เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ จ.ลพบุรี”, ตุลาคม พ.ศ.2542
- [2] ส่วนความปลอดภัยเชื่อม สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรม ชลประทาน, “รายงานวิเคราะห์ความปลอดภัยเชื่อม การตรวจสอบภาพ เชื่อมด้วยสายตาและประเมินสภาพเชื่อมโดยวิธีดัชนีสภาพ เขื่อนป่า สักชลสิทธิ์ อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี”, 30 กรกฎาคม - 2 สิงหาคม พ.ศ.2556 และ 5-9 ตุลาคม พ.ศ.2556.
- [3] หน่วยวิจัยความปลอดภัยเชื่อม ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพี และฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, “รายงานฉบับสมบูรณ์: โครงการ วิเคราะห์และออกแบบซ่อมแซมเชื่อมป่าสักชลสิทธิ์ จังหวัดลพบุรี” พฤศจิกายน พ.ศ. 2557.

- [4] สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง, “ร่างคู่มือ การแปลผลคุณสมบัติของดินและหินที่ใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรมงานทาง” พ.ศ.2552, หน้าที่ 7-1 ถึง 7-65.
- [5] A.J. Puppala, T. Wejrungsikul, V. Puljan and T. Manosuthikij. “Shrinkage induced pressure measurements in unsaturated expansive clays”, PROCEEDINGS OF THE 5TH ASIA PACIFIC CONFERENCE ON UNSATURATED SOILS, PATTAYA, THAILAND, 14-16 NOVEMBER 2011, pp.93-102.
- [6] F.H. Chen. Foundation on expansive soils. American Elsevier Science Public., New York, 1988.
- [7] F.H. Chen. “The use of piers to prevent the uplifting of lightly loaded structures founded on expansive soil”, Proc. Int. Eng. Conf. Expansive Soils. Texas A & M Press, pp.152-171.
- [8] M. Carter and S.P. Bentley. “Correlation of soil properties”, Pentech Press, London. 1991.
- [9] H.B. Seed, R.J. Woodward and R. Lundgren. “Predicting of swelling potential for compacted clays” Journal of Soils Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 88, No.3, pp.53-87, 1962.
- [10] R. G. McKeen. “A model for predicting expansive soil behavior”, Proceedings of the 7th International Conference on Expansive Soils, Dallas, 1992, Vol. 1, p. 1.
- [11] ASTM Standard D 5333. “Measurement of Collapse Potential of Soils” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, www.astm.org.
- [12] ASTM Standard D 4659-96, "ONE DIMENSIONAL SWELL TEST, METHOD B" ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, www.astm.org.