

การศึกษาและจำลองทางกายภาพพฤติกรรมคันดินเหนียวกั้นน้ำ :

กรณีศึกษาประตูระบายน้ำบางโฉมศรี

Study and physical model of the earthen dike:

case study Bang Chom Sri Regulator

สาวิตรี ทับแจ่ม¹ สุภิดา สนธิรักษ์¹ สนิท วงษา¹ และทวีชัยกาพลินซ์²

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

E-mail :thap.sawitri@gmail.com, son.suphida@gmail.com

บทคัดย่อ

จากการเกิดปัญหาอุทกภัยน้ำท่วม พ.ศ.2554พบว่ามีพายุฝนเข้ามาในประเทศไทยอย่างต่อเนื่องทำให้น้ำท่วมต่อเนื่องเป็นเวลายาวนาน ส่งผลกระทบต่อพื้นที่บริเวณประตูระบายน้ำบางโฉมศรี อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี โดยคันดินบริเวณดังกล่าวไม่สามารถต้านทานการพัดพาและการไหลของน้ำจึงเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายต่อ ชุมชนบริเวณใกล้เคียงงานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อศึกษาทำการศึกษากำลองทางกายภาพของคันดินเหนียวกั้นน้ำบริเวณประตูระบายน้ำบางโฉมศรี ซึ่งการทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้ควบคุมอัตราการไหลสมำเสมอที่ 2.242 l/s ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก (One-G) โดยจำลองจากขนาดจริงในมาตราส่วน 1:13.7 ทางผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองกายภาพ ซึ่งมีขนาดความกว้าง 1.08 m ยาว 1.43 m และสูง 0.30 m ดินที่นำมาทำการทดสอบเป็นดินประเภท SW SC หรือดินเหนียวปนตะกอนโดยสามกรณีศึกษาจะพิจารณาจากลักษณะการพังของคันดินต้นแบบจริงประกอบไปด้วย กรณีที่หนึ่ง การไหลของน้ำข้ามสันคันดิน กรณีที่สอง การไหลของน้ำบริเวณช่องรอดด้านล่างของคันดิน และกรณีที่สาม การไหลของน้ำผ่านรอยต่อของคันดินกับโครงสร้างของประตูระบายน้ำ จากผลการศึกษาพบว่าลักษณะการพังของคันดินกรณีที่หนึ่งจะเกิดการกัดเซาะบริเวณด้านบนของสันคันดิน และเกิดการขยายตัวบริเวณสันคันดินทำให้คันดินขาดในที่สุดโดยมีปริมาณดินที่ถูกพัดพาเฉลี่ยร้อยละ 22.99 ส่วนกรณีที่สองจะมีลักษณะการพังแบบทันทีทันใดเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านของน้ำในดินที่ต่ำ จึงทำให้แรงดันน้ำในดินที่จะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่คันดินใกล้วิกฤติเมื่อน้ำไหลผ่านก็จะเกิดการกัดเซาะบริเวณช่องลอดและทำให้คันดินขาดในที่สุด โดยมีปริมาณดินที่ถูกพัดพาเฉลี่ยร้อยละ 18.67 และกรณีที่สามจะเกิดการกัดเซาะบริเวณรอยต่อระหว่างคันดินกับโครงสร้างของประตูระบายน้ำทำให้คันดินพังทลายโดยมี ปริมาณดินที่ถูกพัดพาเฉลี่ยร้อยละ 21.22 ดังนั้นระดับน้ำด้านหน้าและหลังคันดินช่วงทดสอบ และขนาดของช่องขาดจะเป็นตัวแปรที่สำคัญในการกำหนดอัตราการกัดเซาะของน้ำ

คำสำคัญ : การจำลองทางกายภาพ, คณิตศาสตร์, อัตราการกัดเซาะ, บางโมเมนต์

บทนำ

จากการเกิดปัญหาอุทกภัยน้ำท่วม พ.ศ. 2554 เมื่อพิจารณาจากพายุฝนในปีนี้ พบว่ามีพายุฝนเข้ามาในประเทศไทยอย่างต่อเนื่อง ทำให้ไม่สามารถระบายน้ำลงท้ายน้ำลงทะเลได้ทัน ส่งผลให้น้ำท่วมต่อเนื่องเป็นเวลานานบางพื้นที่ที่ท่วมนานมากกว่า 2-4 เดือน อุทกภัยครั้งนี้ถือว่าเป็นอุทกภัยร้ายแรงที่เกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา เขื่อนเจ้าพระยาจึงได้ทำการผันน้ำออก ทำให้ระดับน้ำในคลองระบายใหญ่ ชัยนาท-ป่าสัก 2 (คลองเชียงราก) มีระดับน้ำที่สูงขึ้น และมีระดับน้ำที่สูงกว่าความจุของประตูระบายน้ำบางโมเมนต์ที่ไม่สามารถรับและต้านทานการไหลของน้ำได้ จึงทำให้ระดับน้ำบริเวณคันคลองชัยนาท-อยุธยาสูงขึ้น และเป็นเหตุให้บริเวณคันน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาและบริเวณคอสะพานข้ามประตูระบายน้ำบางโมเมนต์เกิดช่องขาดและพัง ทำให้น้ำป่าเข้าท่วมพื้นที่ในเขตคลองชลประทานในจังหวัดสิงห์บุรี และจังหวัดอ่างทอง ทำให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่การเกษตรซึ่งมีบ้านเรือนและทุ่งนาที่ยังไม่ได้เก็บเกี่ยวจึงทำให้เกิดความเสียหายมากมายในด้านทรัพย์สินการประกอบอาชีพของเกษตรกรในพื้นที่ ส่งผลให้ชุมชนขาดรายได้ เศรษฐกิจตกต่ำ รวมทั้งสาธารณูปโภคจำนวนมากได้รับความเสียหายเป็นอย่างมาก

ซึ่งพบว่าอาจจะมีสาเหตุมาจากปัญหาที่พบจะเกิดจากการที่คันดินไม่สามารถต้านทานการพัดพาและการไหลของน้ำได้จึงเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายต่อชุมชนบริเวณใกล้เคียงและอาจมีสาเหตุมาจากปัญหาหลายๆด้านเช่น อัตราการไหลของน้ำมีความเร็วและมีปริมาณน้ำที่มากทำให้บริเวณประตูระบายน้ำไม่สามารถต้านทานแรงของน้ำได้ทำให้น้ำต้องดันออกด้านข้างซึ่งเป็นดินเหนียวการกักน้ำจึงกักน้ำไม่ได้ การสร้างแนวคันดินไม่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมทำให้เกิดการวิบัติและพังทลาย

จากสภาพปัญหาดังกล่าว ส่งผลให้การระบายน้ำผ่านประตูระบายน้ำต้องหยุดชะงักลง เพื่อมีการปรับปรุงซ่อมแซมเพื่อให้กลับมาใช้งานได้ตามปกติผู้วิจัยจึงได้ทำการจำลองทางกายภาพของคันดินกั้นน้ำบริเวณประตูระบายน้ำบางโมเมนต์ โดยย่อขนาดจากขนาดจริงของคันดินให้มีขนาดเล็กลงตามกฎของการย่อส่วนเพื่อให้สามารถสังเกตพฤติกรรมของคันดินกั้นน้ำในแต่ละช่วงได้อย่างละเอียดและรวดเร็ว จึงมีการวิเคราะห์มิติ (Dimensional Analysis) ซึ่งเป็นหลักการที่สำคัญในการกำหนดตัวแปรที่สำคัญและที่สอดคล้องกับพฤติกรรมของคันดิน ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะถูกนำมาพิจารณาเพื่อแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อเสถียรภาพคันดินกั้นน้ำ

ทฤษฎีพื้นฐาน

1. ลักษณะการพิบัติของเขื่อนดิน [1]

ลักษณะการพิบัติของเขื่อนดินมีความสำคัญในการวิเคราะห์แก้ไขปัญหา เพราะหากทราบสาเหตุที่แท้

จริงในการพิบัติ ก็สามารตั้งสมมติฐานเพื่อแก้ไขปรับปรุงปัญหาดังกล่าวได้ Andersen และคณะ (2001) จำแนกการพิบัติของเขื่อนดินเป็น 4 สาเหตุหลักคือ (1) น้ำล้นสันเขื่อน (Overtopping) เนื่องจากออกแบบทางชลศาสตร์ไม่เพียงพอ เช่น การออกแบบอาคารระบายน้ำล้นมีขนาดทางระบายน้ำกว้างไม่เพียงพอ หรืออาจเกิดมาจากภัยธรรมชาติ เช่น เกิดฝนตกหนัก เป็นต้น (2) การกัดเซาะภายนอก (External Erosion) เนื่องจากดินวัสดุทำตัวเขื่อนไม่ได้มาตรฐาน หรือเป็นเหตุการณ์ต่อเนื่องมาจากการที่น้ำล้นสันเขื่อนจนกัดเซาะเนื้อวัสดุจนทำให้เกิดการพิบัติ (3) การไหลซึม (Piping) ซึ่งเกิดจากน้ำเดินทางผ่านรอยแยกต่างๆภายในตัวเขื่อนหรือฐานรากของเขื่อน เกิดเป็นรูโพรงและขยายใหญ่ขึ้นจนทำให้เขื่อนพิบัติและ (4) เสถียรภาพความลาดชัน (Slope Stability) เนื่องมาจากการวิเคราะห์ไม่เพียงพอก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน หรือใช้ดินวัสดุไม่เหมาะสม เป็นต้น

จากลักษณะของการวิบัติที่กล่าวมาข้างต้น การวิบัติที่เกิดกับประตูน้ำบางโมเดลจะมีลักษณะเหมือนกรณีน้ำล้นสันเขื่อนและการไหลซึมผ่านของน้ำผ่านคันดินและน้ำไหลผ่านรอยต่อระหว่างคันดินกับโครงสร้างของประตูระบายน้ำ ซึ่งทั้งสามกรณีนี้จะถูกพิจารณาในการสร้างแบบจำลอง

2 ทฤษฎีการจำลองทางชลศาสตร์ [2]

การสร้างแบบจำลองทางชลศาสตร์มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการไหลของลำน้ำ และใช้ในการพิจารณาเบื้องต้นในการพิจารณาลักษณะโครงสร้างอาคารทางชลศาสตร์ที่จะเหมาะสมในการจัดการและบริหารน้ำ เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองดังกล่าวให้สอดคล้องกับพฤติกรรมและเงื่อนไขของต้นแบบของกรณีศึกษาโดยใช้หลักการกฎความคล้ายทางด้านชลศาสตร์ และข้อมูลทางชลศาสตร์จากสนาม กฎความคล้ายทางด้านชลศาสตร์ โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะคือ ความคล้ายทางด้านเรขาคณิต ความคล้ายทางด้านจลนศาสตร์ และความคล้ายทางด้านพลศาสตร์ ในการวิเคราะห์ความคล้ายคลึงของชลศาสตร์ของงานวิจัยนี้ได้ศึกษาในกรณีน้ำไหลล้นสันเขื่อน จะใช้ค่า Froude Number ดังสมการที่ (1) เพื่อให้พฤติกรรมการไหลของลำน้ำต้นแปร และลำน้ำในห้องปฏิบัติการมีลักษณะเหมือนกัน ดังนั้น ค่า Froude Number ของแบบจำลอง (F_{rm}) และของต้นแบบ (F_{rp}) ดังสมการที่ (2) และรายละเอียดของตัวแปร ที่ใช้ในการศึกษาของ Froude's Similarity (ตารางที่ 1)

$$F_{rp} = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (1)$$

$$F_{rm} = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (2)$$

เมื่อ F_{rp} คือ Froude Number ของแบบต้นแบบ, F_{rm} คือ Froude Number ของแบบจำลอง, L คือ มิติของความยาว (m), v คือ ความเร็วของการไหล (m/s) และ g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s²)

ตารางที่ 1 แสดง Froude's Similarity

คุณสมบัติทั่วไป	อัตราส่วน
ความยาว	l/n
พื้นที่	l/n^2
เวลา	$l/n^{3/2}$
ความเร็ว	$l/n^{1/2}$
อัตราการไหล	$l/n^{5/2}$
ความดัน	l/n
สัมประสิทธิ์ความขรุขระ	$l/n^{1/3}$

3 ทฤษฎีการจำลองทางกายภาพของคันดิน [3], [4], [5],

การจำลองทางกายภาพของเขื่อนดิน จะใช้การวิเคราะห์มิติ (Dimensional Analysis) One-G Physical Modeling ความสัมพันธ์ระหว่างมิติของเขื่อนดิน ความเหนียวของดิน (C_u) และค่าตัวแปรความปลอดภัย (F) สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 3

$$\frac{C_u}{F\rho gh} = f\left(\theta, \frac{D}{H}\right) \quad (3)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน k ของน้ำในดินโดยพิจารณาจาก อัตราส่วนช่องว่าง e กับขนาดของเม็ดดิน μ และความหนืดของน้ำ ดังแสดงในสมการที่ 4 คือ

$$k = k \frac{\gamma_w}{\mu} = C_d^2 = \frac{\gamma_w}{\mu} \frac{e^3}{1+e} \quad (4)$$

นอกจากมิติและความหนาแน่นของคันดินที่ถูกจำลอง กำลังรับแรงเฉือนของคันดินแบบจำลองจะถูกกำหนดในทอมของสติเฟนส์โดยความแตกต่างระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของคันดินต้นแบบและแบบจำลองจะถูกกำหนดด้วยกฎการย่อส่วน ซึ่งในการวิจัยและการทดสอบนี้จะพิจารณาเพียง One-G Physical Modeling และใช้ในการเตรียมตัวอย่างเขื่อนดินเพื่อใช้ในการทดสอบโดยทั้งตัวแปรของมาตราส่วนและคุณสมบัติของคันดินต้นแบบด้วย

วิธีการดำเนินการ

วิธีการดำเนินงานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองทางกายภาพเพื่อศึกษาพฤติกรรมของคันดินเหนียวกั้นน้ำ ซึ่งศึกษาสองกรณี คือกรณีที่หนึ่งพิจารณาลักษณะการพังของคันดินเมื่อน้ำไหลผ่านข้ามคันดิน กรณีที่สองพิจารณาจากลักษณะของคันดินที่เกิดโพรง บริเวณในตัวเขื่อน ซึ่งรายละเอียดในการดำเนินงานวิจัยสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1. การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของดินที่นำมาทดสอบประกอบด้วย การกระจายขนาดของเม็ดดิน โดยวิธีตะแกรง ความถ่วงจำเพาะของดิน ซึ่ดจำกัดสถานะภาพของดิน การกระจายขนาดของดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์

ความต้านทานแรงเฉือนของดินโดยตรง และการยุบตัวของดิน

2. กำหนดอัตราส่วนของแบบจำลองโดยการวิเคราะห์มิติ (Dimensional Analysis) โดยในงานวิจัยได้กำหนดคุณสมบัติของแบบจำลองดังแสดงในตารางที่ 2 กับ 3 และกำหนดรูปแบบแบบจำลองดังรูปที่ 1

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของคันดินต้นแบบและแบบจำลองทางกายภาพกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2

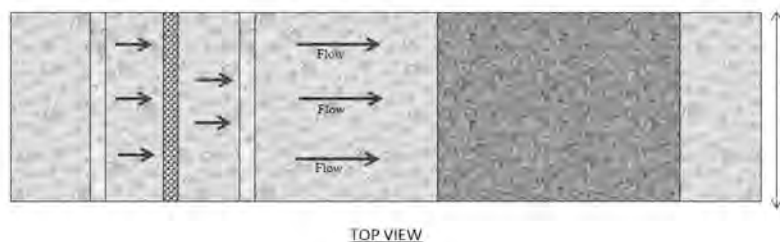
ปริมาณ	คุณสมบัติคันดินแบบ	คุณสมบัติคันแบบจำลอง
มาตราส่วน (1:n)	8.50	1:13.70
ความสูงของคันดิน, H (m)	4.10	0.30
ความหนาแน่นของคันดิน, γ (kN/m ³)	13.70	13.70
ความกว้างของคันดิน, L (m)	15.00	1.08

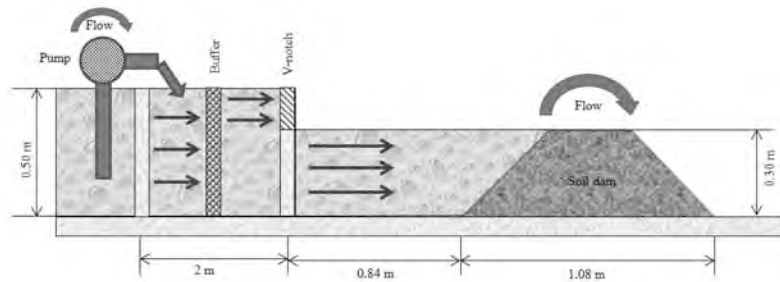
ตารางที่ 3 คุณสมบัติของประตูระบายน้ำต้นแบบบริเวณจุดต่อกับวัสดุดินถมสำหรับกรณีที่ 3

ปริมาณ	คุณสมบัติต้นแบบ	คุณสมบัติแบบจำลอง 1:28.3
ความสูงของประตูระดับน้ำ, H1	8.50 m	0.30 m
ความสูงระดับน้ำสูงสุด, Hw	8.50 m	0.30 m
ความหนาแน่นของดินถม, γ	13.70 kN/m ³	13.70 kN/m ³
ความกว้างของประตูระบายน้ำ, b	4.00 m	0.14 m
ความสูงของประตูระบายน้ำ, e	6.50 m	0.23 m
ความกว้างของแผงคอนกรีต, c	16.00 m	0.57 m
ความกว้างของวัสดุดินถม, c1	16.00 m	0.57 m
ความกว้างของสันประตูระบายน้ำ, s	5.00 m	0.18 m
ความยาวของช่องน้ำทั้งหมดที่ ต้องการ (3b+c+c1)	44.00 m	1.56 m

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของการไหลของน้ำเมื่อพิจารณาค่า Froude Number

ปริมาณ	ต้นแบบ	แบบจำลอง	แบบจำลอง
มาตราส่วน (1:n)		1:13.70	1:28.30
ความเร็ว	1.50 m/s	0.40 m/s	0.30 m/s
อัตราการไหล	120.00 m ³ /s	0.17 m ³ /s	0.02 m ³ /s
ความดัน	40.22 kN/m ²	2.93 kN/m ²	2.93 kN/m ²
ชนิดของท้องคลอง	ดินเหนียว	ดินเรียบ	ดินเรียบ





SIDE VIEW

รูปที่ 1 รูปด้านบนและด้านข้างของแปลงทดสอบ

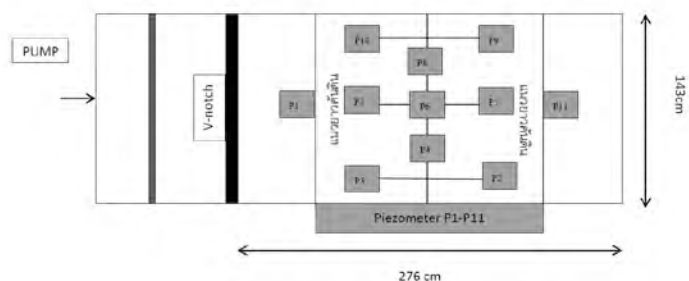
3. สร้างแปลงทดสอบเพื่อใช้ในการทดสอบดังรูปที่ 2
4. การ Calibration สำหรับ ค่าระดับความสูงของน้ำในแปลงทดสอบ กับระดับน้ำใน Piezometer

(รูปที่ 3)

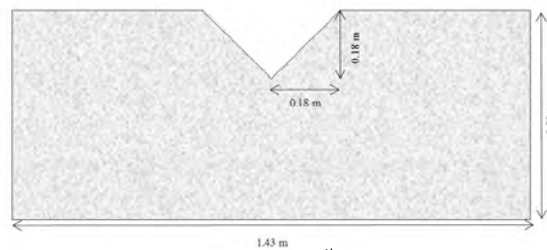
5. ทำการ Calibration สำหรับ V-notch เพื่อกำหนดอัตราการไหล กับความสูงของระดับน้ำด้านหน้า V-notch กำหนดตำแหน่งการติดตั้งแสดงในรูปที่ 4
6. เตรียมคันดินโดยการบดอัดในแบบหล่อ โดยจะต้องควบคุมความหนาแน่นของดินตัวอย่างตามที่ระบุไว้ในข้างต้น และติดตั้งตำแหน่งตัวการวัดการเคลื่อนที่ (Dial gauge) ของทั้งสามกรณีที่ทำกรทดสอบ ดังรูปที่ 5 ถึง 7
7. ทดสอบการไหลของน้ำผ่านคันดินทั้งสามกรณี และทดสอบ
8. วัดและบันทึกระยะเวลาการเคลื่อนตัว และระดับน้ำใน Piezometer พร้อมจับเวลา และบันทึกภาพจนกระทั่งคันดินพัง
9. วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา



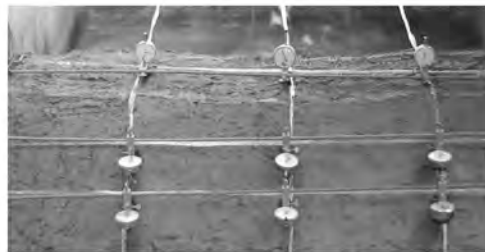
รูปที่ 2 แปลงทดสอบที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3 ตำแหน่งตัววัดระดับน้ำ (Piezometer)



รูปที่ 4 ตำแหน่งการติดตั้ง V-notch



รูปที่ 5 ตัวอย่างคันดินที่ทำการบดอัดของกรณีที่ 1



รูปที่ 6 ตัวอย่างคันดินที่ทำการบดอัดของกรณีที่ 2



รูปที่ 7 ตัวอย่างคันดินที่ทำการบดอัดของกรณีที่ 3

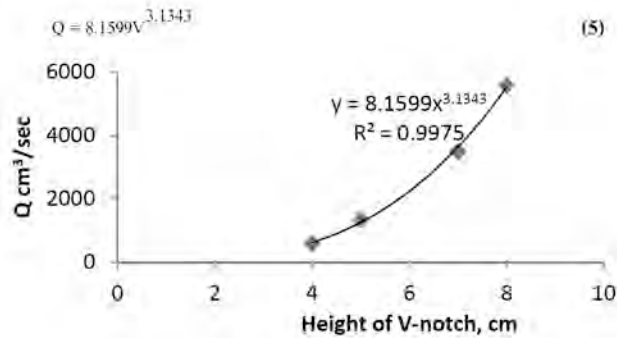
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของดิน จากผลการทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดิน ทดสอบโดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงและไฮโดรมิเตอร์ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4 ซึ่งดินเหนียวตัวอย่างที่ 1 และ 2 เป็นดินเหนียวบริเวณคันคลองเชียงราก ประจวบฯ น้ำบางโคมศรี โดยที่ดินตัวอย่างที่ 1 เป็นดินบริเวณด้านหน้าซ้ายของประจวบฯ น้ำบางโคมศรี ตามแนวคลองเชียงราก ดินตัวอย่างที่ แหล่งที่ 2 เป็นดินบริเวณด้านข้างของประจวบฯ น้ำบางโคมศรี ตามแนวคลองชันนาท-อยุธยาและดินตัวอย่างที่ 3 เป็นดินที่ใช้สำหรับการนำทำการทดสอบแบบจำลองทางกายภาพ โดยลักษณะของดินทั้งสามแหล่งมีคุณสมบัติและขนาดคละใกล้เคียงกัน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ดินทั้ง 3 แหล่งเป็นดินชนิด SW-SC คือดินเหนียวปนตะกอนทราย

ตารางที่ 4 คุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของดินตัวอย่างแหล่งที่ 1, 2 และดินที่ใช้จำลอง

คุณสมบัติดินเชิงวิศวกรรม	ดินแหล่งที่ 1	ดินแหล่งที่ 2	ดินทดสอบ
ค่าความถ่วงจำเพาะ, G_s	2.68	2.71	2.85
Liquid Limit, LL%	43.00	45.00	54.10
Plastic Limit, PL%	21.00	20.53	24.53
Plastic Index, PI%	22.80	24.17	29.57
C_c	20.77	21.43	31.25
C_u	2.57	2.15	2.45
Soil Type	SW-SC	SW-SC	SW-SC

การกำหนดอัตราการไหลของบ่อน้ำที่ใช้ทดสอบจะได้จากการอ่านค่าความสูงของ V-notch โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8 และสมการที่ 5 คือ

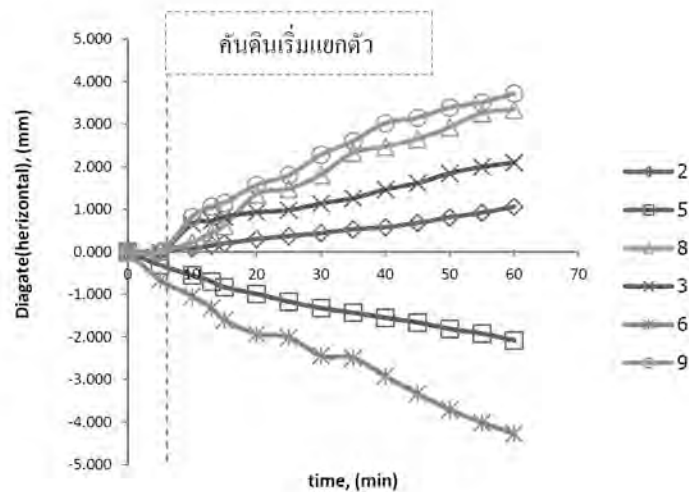


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) และระดับความสูงของน้ำที่ V-notch (V)

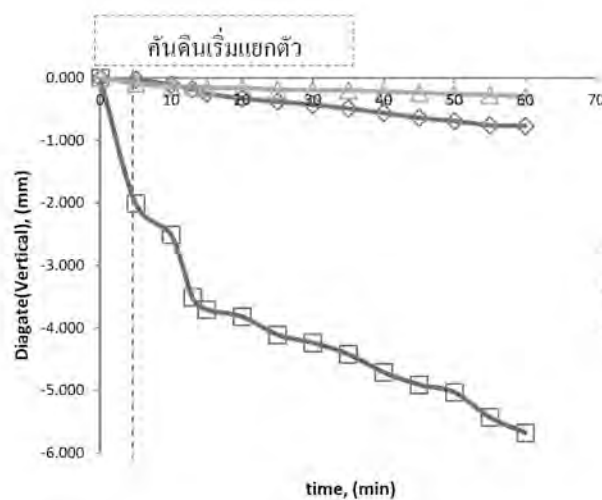
2. ผลการวิเคราะห์การทดสอบการไหลของน้ำผ่านคันดิน

จากการจำลองพฤติกรรมการวิบัติของคันดินเหนียว โดยการสร้างแบบจำลองทางกายภาพบนพื้นฐานหลักการย่อส่วน One-G ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้มาตราส่วน 1 :13.7 สำหรับการสร้างแบบจำลอง ในกรณีที่ 1 เมื่อเริ่มทำการทดสอบได้ปล่อยน้ำที่อัตราการไหล 2.242 l/s (V-notch = 6 cm) จนถึงสันคันดินและทำการเข้าน้ำทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการปล่อยน้ำที่อัตราการไหลเท่าเดิม ทำให้น้ำเริ่มเอ่อและล้นไหลผ่านสันคันดินจากรูปที่ 9 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของคันดินบริเวณสันคันดินเมื่อน้ำล้นสันคันดิน โดยรูปที่ 9 (ก) เป็นผลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเคลื่อนที่ที่วัดได้ในแนวนอนรูปที่ 9 (ข) เป็นผลการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเคลื่อนที่ที่วัดได้ในแนวตั้งแสดงให้เห็นว่า คันดินเริ่มมีการแยกตัวที่บริเวณสันคันดินหรือที่ตำแหน่ง D4 D5 และ D6 ในช่วงระยะเวลาไม่ถึง 10 นาที เมื่อน้ำไหลล้นบริเวณสันคันดิน เมื่อระยะเวลาการไหลของน้ำผ่านไปคันดินมีแนวโน้มการเคลื่อนตัวไปในทางเดียวกันโดยมีการทรุดตัวลงเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาในการไหลผ่านของน้ำเพิ่มมากขึ้น โดยที่ตำแหน่ง D4D5 และ D6 ของคันดินมีการเคลื่อนตัวและเกิดการทรุดตัวมากที่สุด ในกรณีที่ 2 เมื่อเริ่มทำการทดสอบได้ปล่อยน้ำที่อัตราการไหล 2.242 l/s (V-notch = 6 cm) อย่างสม่ำเสมอเมื่อน้ำไหลผ่านเข้า

มาในโพรงของคันดินจากรูปที่ 13 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของคันดินบริเวณสันคันดินเมื่อน้ำไหลผ่านโพรงในคันดิน โดยรูปที่ 10 (ก) เป็นผลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเคลื่อนที่ที่วัดได้ในแนวนอน รูปที่ 10 (ข) เป็นผลการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเคลื่อนที่ที่วัดได้ในแนวตั้ง แสดงให้เห็นว่าคันดินเริ่มมีการแยกตัวที่บริเวณสันคันดิน หรือที่ตำแหน่ง D4 D5 และ D6 ในช่วงระยะเวลาไม่ถึง 5 นาที เมื่อน้ำไหล เมื่อระยะเวลาการไหลของน้ำผ่านไปคันดินมีแนวโน้มการเคลื่อนตัวไปในทางเดียวกันโดยมีการทรุดตัวลงเรื่อยๆ อย่างรวดเร็ว เมื่อระยะเวลาในการไหลผ่านของน้ำเพิ่มมากขึ้น โดยที่ตำแหน่ง D4 D5 และ D6 ของคันดินมีการเคลื่อนตัวและเกิดการทรุดตัวมากที่สุดกรณีนี้ 3 เมื่อเริ่มทำการทดสอบได้ปล่อยน้ำที่อัตราการไหล 2.242 l/s (V-notch = 6 cm) อย่างสม่ำเสมอเมื่อน้ำไหลผ่านรอยต่อระหว่างคันดินกับประตูลอยน้ำ จากรูปที่ 13 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของคันดินระหว่างคันดินกับโครงสร้างประตูลอยน้ำเมื่อน้ำไหลผ่านรอยต่อ



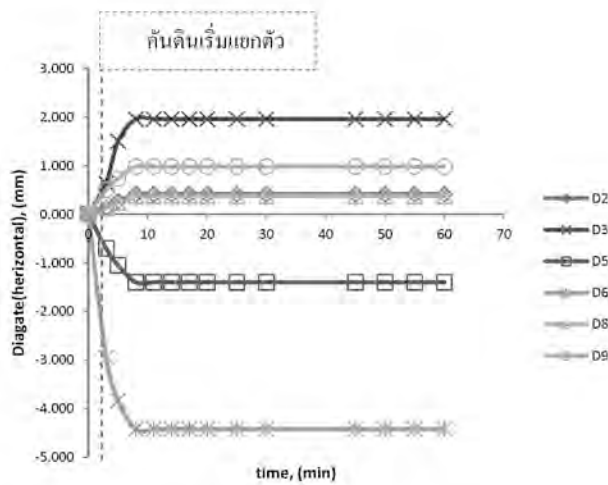
(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเคลื่อนที่ที่วัดได้ในแนวนอน



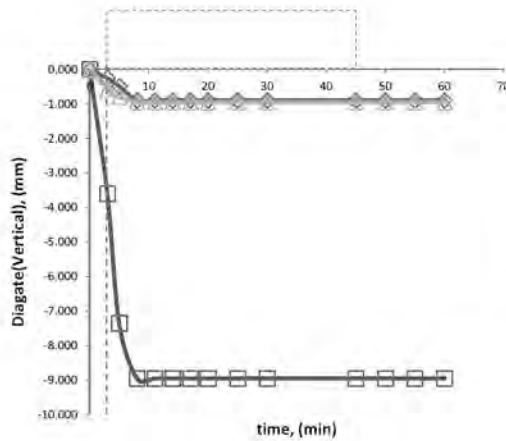
(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเคลื่อนที่ที่วัดได้ในแนวตั้ง

รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของคันดินบริเวณสันคันดินเมื่อน้ำไหลผ่านสันคันดินกรณีนี้ 1

โดยรูปที่ 11 (ก) เป็นผลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเคลื่อนที่ที่วัดได้ในแนวนอน รูปที่ 11 (ข) เป็นผลการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเคลื่อนที่ที่วัดได้ในแนวตั้ง แสดงให้เห็นว่า คันดินเริ่มมีการแยกตัวที่บริเวณสันคันดิน หรือที่ตำแหน่ง D4 D5 และ D6 ในช่วงระยะเวลาไม่ถึง 5 นาที เมื่อน้ำไหลเมื่อระยะเวลาการไหลของน้ำผ่านไป คันดินมีแนวโน้มการเคลื่อนตัวไปในทางเดียวกันโดยมีการทรุดตัวลงเรื่อยๆอย่างรวดเร็ว เมื่อระยะเวลาในการไหลผ่านของน้ำเพิ่มมากขึ้น โดยที่ตำแหน่ง D4 D5 และ D6 ของคันดินมีการเคลื่อนตัวและเกิดการทรุดตัวมากที่สุด

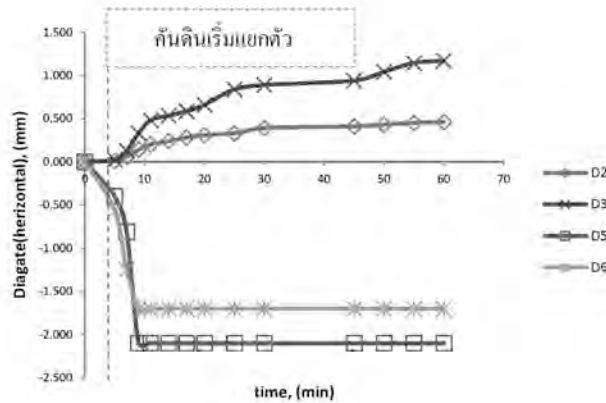


(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเคลื่อนที่ที่วัดได้ในแนวนอน

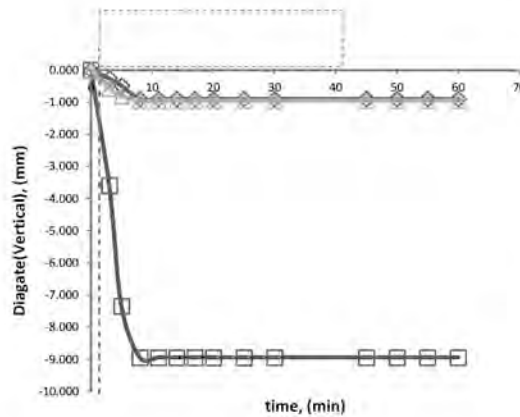


(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเคลื่อนที่ที่วัดได้ในแนวตั้ง

รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของคันดินบริเวณสันคันดินเมื่อน้ำไหลผ่านสันคันดินกรณีที่ 2



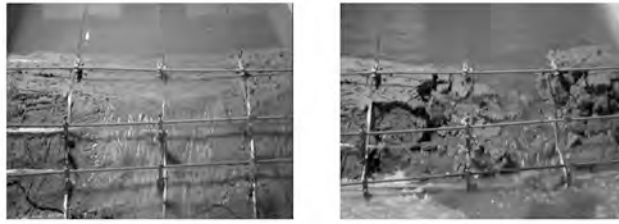
(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเคลื่อนที่ที่วัดได้ในแนวนอน



(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าการเคลื่อนที่ที่วัดได้ในแนวดิ่ง

รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของคันดินบริเวณสันคันดินเมื่อน้ำไหลผ่านสันคันดินกรณีที่ 3

เมื่อน้ำไหลผ่านสันคันดิน จะทำให้เกิดแรงเฉือนพืดพาบริเวณสันคันดิน และเกิดการกัดเซาะบริเวณสันคันดินด้านหลัง เมื่อระยะเวลาของอัตราการไหลเพิ่มขึ้นและมีช่องทางการไหลของกระแสน้ำเพิ่ม ส่งผลให้เกิดช่องแตกบนสันคันดินด้านหลัง และขยายใหญ่ขึ้น จนทำให้บริเวณลาดเอียงของคันดินเกิดการทรุดตัวลงเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 12(ก)และ 12 (ข) แสดงลักษณะการวิบัติของคันดิน โดยเกิดขึ้นบริเวณตรงกลางของคันดิน ดังแสดงในรูปที่ 13 (ก) และ 13 (ข) เมื่อน้ำไหลผ่านโพรงในคันดินทำให้เกิดการพัดพาบริเวณที่เป็นโพรงจากนั้นจึงเกิดการกัดเซาะ เริ่มตั้งแต่บริเวณที่เป็นโพรงเมื่อระยะเวลาของอัตราการไหลเพิ่มขึ้นและมีช่องทางการกัดเซาะขยายเพิ่มขึ้นทำให้คันดินเกิดการทรุดตัวลงดังแสดงในรูปที่ 14 แสดงลักษณะการวิบัติของคันดิน โดยเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างคันดินกับโครงสร้างประตูระบายน้ำ ซึ่งการทดสอบขอ กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เกิดการวิบัติที่ D4 D5 และ D6 โดยเกิดขึ้นบริเวณตรงกลางของคันดิน และกรณีที่ 3 เกิดการวิบัติที่ D4 D5 และ D6 ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างคันดินกับโครงสร้างประตูระบายน้ำ ดังแสดงตำแหน่งจากรูปที่ 15



(ก) ค้นดินเกิดการทรุดตัวลง (ข) แสดงลักษณะการวิบัติของค้นดิน
รูปที่ 12 ลักษณะการวิบัติของค้นดินโดยเกิดขึ้นบริเวณตรงกลางของค้นค้นของกรณีที่ 1

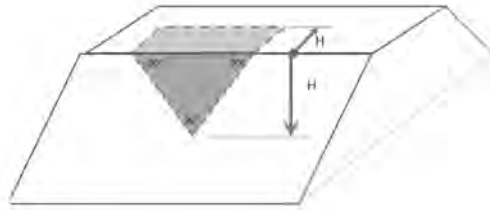


(ก) ค้นดินเกิดการทรุดตัวลง (ข) แสดงลักษณะการวิบัติของค้นดิน
รูปที่ 13 ลักษณะการวิบัติของค้นดินโดยเกิดขึ้นบริเวณตรงกลางของค้นค้นของกรณีที่ 2



รูปที่ 14 การเคลื่อนตัวของค้นดินระหว่างค้นดินกับโครงสร้างประตุน้ำเมื่อน้ำไหลผ่านรอยต่อของกรณีที่ 3

ลักษณะการวิบัติของค้นดิน มีลักษณะเริ่มจากการเกิดช่องแตกขนาดเล็กและขยายใหญ่ขึ้น เนื่องจากการกัดเซาะของกระแสน้ำ จากรูปที่ 16 ถึง 18 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรดินที่ถูกพัดพาเทียบกับระยะเวลาของทั้งสองค้นดินที่ทำการทดสอบ โดยจากสมการ เมื่อ H คือขนาดความยาวของช่องว่างที่แตกบริเวณค้นดิน ดังรูปที่ 19 จากความสัมพันธ์ดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า เมื่อระยะเวลาการไหลผ่านของน้ำเพิ่มขึ้น ปริมาตรของดินถูกพัดพาด้วยกระแสน้ำมากขึ้น โดยการทดสอบทั้ง 3 กรณี มีปริมาตรของดินที่ถูกพัดพาดังแสดงในรูปที่ 16 ถึง 18



รูปที่ 19 แสดงขนาดความยาวการวัดของคันดิน

จากความสัมพันธ์ข้างต้น ได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทรุดตัวของคันดิน (Corrosion rate) กับระยะเวลาที่กระแสน้ำไหลผ่านดังรูปที่ 6 ถึง 14 จากสมการ โดยมีค่าการทดสอบของ 3 กรณีดังนี้

$$C = 0.0235t^3 - 2.447t^2 + 65.73t, \quad R^2 = 0.614 \quad (6)$$

$$C = 0.0277t^3 - 2.9108t^2 + 79.368t, \quad R^2 = 0.58 \quad (7)$$

$$C = 0.0299t^3 - 3.1428t^2 + 87.303t - 133.12, \quad R^2 = 0.577 \quad (8)$$

$$C = 0.0118t^3 - 1.6443t^2 + 63.628t - 270.06, \quad R^2 = 0.545 \quad (9)$$

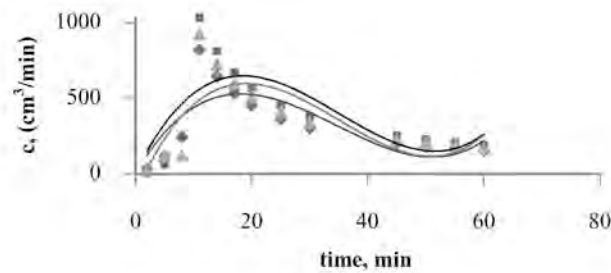
$$C = 0.0027t^3 - 0.672t^2 + 35.618t - 131.61, \quad R^2 = 0.539 \quad (10)$$

$$C = 0.0263t^3 - 3.0185t^2 + 95.743t - 318.2, \quad R^2 = 0.610 \quad (11)$$

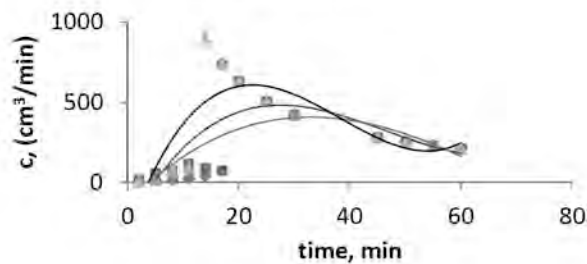
$$C = 0.0353t^3 - 3.616t^2 + 95.402t, \quad R^2 = 0.747 \quad (12)$$

$$C = 0.0224t^3 - 2.5211t^2 + 76.243t - 97.807, \quad R^2 = 0.805 \quad (13)$$

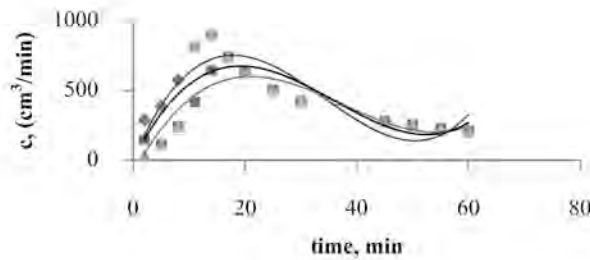
$$C = 0.0265t^3 - 2.8534t^2 + 80.135t, \quad R^2 = 0.688 \quad (14)$$



(ก) กรณีที่ 1



(ข) กรณีที่ 2



(ก) กรณีที่ 3

รูปที่ 20 แสดงความสัมพันธ์อัตราการชะล้างของหน้าดินเทียบกับระยะเวลา

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของดินทั้งสามแหล่งจากบริเวณประตูระบายน้ำบางโฉมศรี เป็นดินชนิด SW-SC หรือ ดินเหนียวปนตะกอนทราย ส่วนมาตราส่วนที่ใช้ในการจำลองมิติของคันดินเท่ากับ 1:13.70 และใช้อัตราการไหลสม่ำเสมอที่ 2.242 l/sec ซึ่งมีการศึกษาพฤติกรรมการวิบัติของคันดินเหนียวกรณีน้ำไหลผ่านคันดิน และกรณีน้ำไหลผ่านโพรงในคันดินสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ลักษณะการวิบัติการคันดินในกรณีที่ 1 จะมีลักษณะการพังด้านหลังคันดินบริเวณสันคันดินก่อน โดยเกิดช่องแตกขนาดเล็กและขยายใหญ่ขึ้น เมื่อกระแสน้ำไหลผ่านเป็นระยะเวลานาน จนกระทั่งเกิดการทรุดตัว ส่งผลให้ลาดคันดินด้านหลังพังทลายลง ลักษณะการวิบัติการคันดินในกรณีที่ 2 จะมีลักษณะการพังจากการเกิดการกัดเซาะบริเวณโพรงของคันดินจากนั้นจึงทำให้คันดินเกิดการทรุดตัวลักษณะการวิบัติการคันดินในกรณีที่ 3 เกิดการพังบริเวณรอยต่อระหว่างคันดินกับโครงสร้างประตูระบายน้ำเมื่อเกิดการกัดเซาะทำให้คันดินเกิดการพังทลาย

2. เมื่อกระแสน้ำไหลผ่านเป็นระยะเวลานาน ได้กัดเซาะและพัดพาหน้าดินออกไป ซึ่งปริมาตรของดินที่ถูกพัดพาสามารถคิดเฉลี่ยของกรณีที่ 1 เป็นร้อยละ 22.99 กรณีที่ 2 เป็นร้อยละ 18.67 และกรณีที่ 3 เป็นร้อยละ 21.22

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และขอขอบคุณหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน และอื่นๆ ที่ให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษาโดยตลอดการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

D. S. Bowles, L. R. Anderson, S. S. Chauhan, “Approaches to the Common Cause Adjustment in Event Trees Used in Dam Safety Risk Analysis”, USA, 2001.

Braja M. Das, “Advanced Soil Mechanics”, Hemisphere Publishing Corporation, USA, 1983.

Muir Wood (2004) Geotechnical Modelling (Applied Geotechnics), CRC Press.

Taylor, DW (1948) Fundamental of soil mechanics, John Wiley, New York.

กัญญา อินทร์เกลี้ยง, “ การศึกษาแบบจำลองชลศาสตร์ประจําประตูระบายน้ำคลองลัดโพธิ์โครงการปรับปรุง คลองลัดโพธิ์
จังหวัดสมุทรปราการกรณีศึกษาแนวทางการควบคุมประตูระบายน้ำคลองลัดโพธิ์”, กรมชลประทาน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, พ.ศ. 2547