

การศึกษาพฤติกรรมการวิบัติของคันดินบริเวณรอยต่อโครงสร้างคอนกรีต  
โดยการจำลองทางกายภาพและการจำลองทางคณิตศาสตร์  
**Failure behavior between earthen dike and concrete control structure  
by using physical and numerical model**

ชลลดา ยวงใย<sup>1\*</sup>, ระพีพรรณ ทามูล<sup>1</sup> และ สนิท วงษา<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail : pook-ple@hotmail.com

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยประสบกับสภาวะการเกิดอุทกภัยที่รุนแรงบ่อยครั้ง โดยความเสียหายครอบคลุมทั้งด้านชีวิตและทรัพย์สิน ในงานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายของคันดินในบริเวณรอยต่อโครงสร้างคอนกรีต โดยแบบจำลองทางกายภาพและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ขั้นตอนการศึกษาแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การจำลองคันดินทางกายภาพและการจำลองคันดินทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแบบจำลองทางกายภาพที่ใช้ทำการทดสอบมีขนาดความกว้าง 5.20 m ยาว 10.70 m และสูง 1.20 m และพิจารณาการไหลแบบราบเรียบเท่านั้น ส่วนการจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรมทางชลศาสตร์ iRIC-Nay2D ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การไหลแบบ 2 มิติ โดยนำข้อมูลรูปตัดขวาง อัตราการไหลและข้อมูลคุณสมบัติของดินของแบบจำลองทางกายภาพคันดินป้อนเข้าในโปรแกรม ซึ่งใช้กริดเป็นจำนวน 181,244 กริด (ความยาว 12.00 m × ความกว้าง 5.17 m) ขนาดของกริด 0.060 × 0.057 m และคำนวณโดยเลือกใช้ระเบียบวิธีเชิงจำนวนผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite difference method: FDM) ตามแบบวิธี CIP (Cubic interpolation pseudoparticle)

ผลจากการวิจัยครั้งนี้ พบว่า การวิบัติของคันดินด้วยแบบจำลองทางกายภาพ เกิดจากการไหลซึมผ่านของน้ำ ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะด้านหลังคันดินบริเวณรอยต่อโครงสร้างคอนกรีตจนเกิดช่องขาดขยายใหญ่ขึ้น ทำให้ช่องทางการไหลของกระแสน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้คันดินไม่สามารถต้านทานกระแสน้ำที่ไหลผ่านและกัดเซาะได้ จนเกิดการพังทลายของคันดิน ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการจำลองด้วยโปรแกรมทางชลศาสตร์ iRIC-Nay2D พบว่า ลักษณะการวิบัติของคันดินมีความสอดคล้องและคล้ายคลึงกันกับแบบจำลองทางกายภาพ โดยการทดสอบแบบจำลองทางกายภาพพบว่าคันดินมีขนาดช่องขาดกว้าง 86.6 cm ในขณะที่ขบวนการจำลองโดยโปรแกรมแบบจำลองพบว่าคันดินมีขนาดช่องขาดกว้าง 84 cm

**คำสำคัญ :** การพังทลายของคันดินบริเวณรอยต่อโครงสร้าง, แบบจำลองทางกายภาพ, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, iRIC-Nays2D

## บทนำ

อุทกภัย เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากระดับน้ำในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำสูงมาก จนท่วมท้นล้นฝั่ง และคลื่น ใหญ่เข้าท่วมบ้านเรือน ด้วยความรุนแรงของกระแสน้ำ ส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนเป็นอย่างมาก ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยประสบกับภาวะการเกิดอุทกภัยที่รุนแรงบ่อยครั้ง โดยมูลค่าความเสียหาย จำนวนมหาศาลโดยความเสียหายครอบคลุมทั้งด้านชีวิตและทรัพย์สิน อาทิเช่น ราษฎรเดือดร้อนและเสียชีวิต อาคาร โรงแรม โรงเรียน พื้นที่การเกษตรได้รับความเสียหาย เป็นต้น

จากเหตุการณ์มหาอุทกภัย เมื่อปี พ.ศ.2554 ประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากพายุโซนร้อน ส่งผลให้เกิดฝนตกหนักเป็นระยะเวลานานและน้ำป่าไหลหลาก จนเกิดการเอ่อล้นเข้าท่วมพื้นที่ทั้งทางภาคการเกษตร อุตสาหกรรม เศรษฐกิจ และสังคมเกิดความเสียหายอย่างหนัก รวมถึงพื้นที่ อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี ที่ได้รับความเสียหายจากเหตุการณ์ดังกล่าว เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากกว่าปกติ ทำให้เขื่อนเกือบทุกเขื่อนมีการเก็บน้ำเกินความจุ 100% โดยเฉพาะเขื่อนเจ้าพระยาที่ไม่สามารถรับปริมาณน้ำได้ไหว จึงปล่อยน้ำไหลผ่านลงคลองระบายน้ำชัยนาท-ป่าสัก 2 ด้วยความเร็วและปริมาณที่มากเป็นเวลานานส่งผลให้ประตูระบายน้ำบางโฉมศรี ด้านแรงน้ำไม่ไหว เป็นเหตุให้น้ำกัดเซาะคอสะพานพังได้ ทำให้คันดินและประตูระบายน้ำบางโฉมศรีพังทลายลง ดังแสดงในรูปที่ 1 เมื่อวันที่ 13 กันยายน 2554 ส่งผลให้น้ำไหลเข้าพื้นที่ใกล้เคียงและกินบริเวณกว้าง สร้างความเดือดร้อนให้เกษตรกรและชาวบ้านอย่างหนัก บ้านเรือนและนาข้าวในจังหวัดสิงห์บุรีและลพบุรีต้องจมอยู่ใต้น้ำ น้ำท่วม



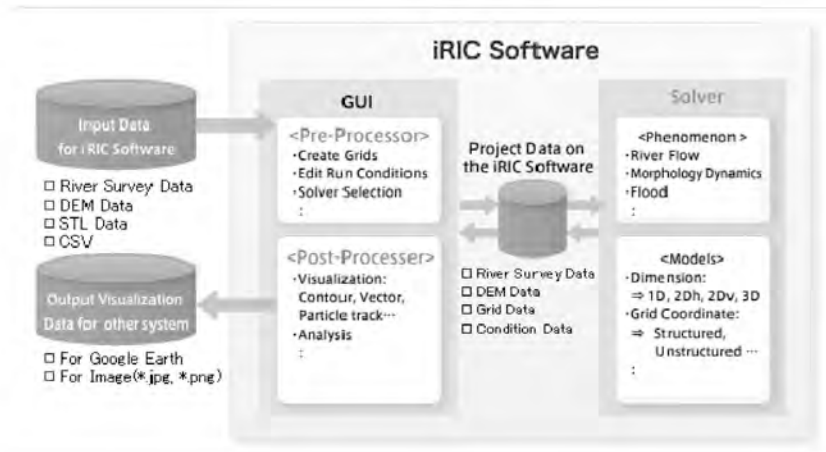
รูปที่ 1 ลักษณะการพังทลายของคันดิน ประตูระบายน้ำบางโฉมศรี  
เมื่อวันที่ 13 กันยายน 2554 (ที่มา: <http://www.posttoday.com>)

ด้วยเหตุผลข้างต้นทางผู้วิจัยจึงเห็นถึงความสำคัญในการศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการพังทลายของคันดินเหนียวบริเวณรอยต่อโครงสร้างคอนกรีต โดยการนำแบบจำลองทางกายภาพและแบบจำลองทางศาสตร์ iRIC ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิดสองมิติมาประยุกต์ใช้ในการจำลองสถานการณ์ เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการพังทลายของคันดินเหนียว ตลอดจนนำผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการพังทลายของคันดินเหนียวมาเปรียบเทียบกับลักษณะการพังทลายจริงของแบบจำลองทางกายภาพ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการป้องกันปัญหาการพังทลายของคันดินเหนียวที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

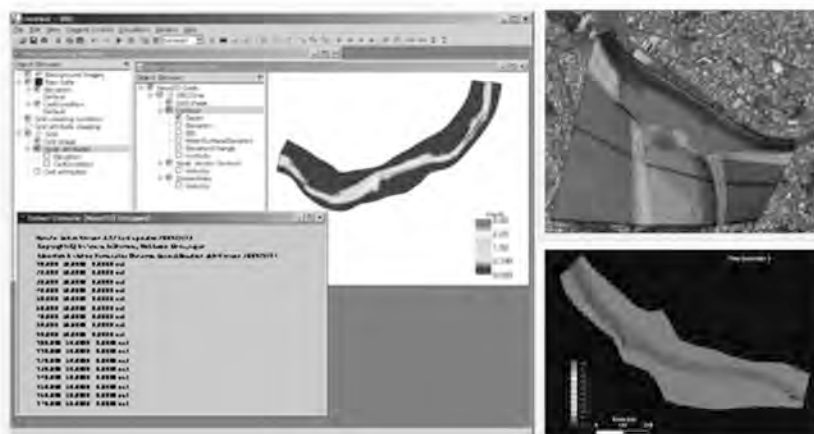
### โปรแกรมแบบจำลอง iRIC[1][3][8]

โปรแกรมแบบจำลอง iRIC เป็นโปรแกรม Freeware ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย The Foundation of Hokkaido River Disaster Prevention Research Center (RIC) แห่งประเทศญี่ปุ่น ซึ่งจะสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมพร้อมกับคู่มือการใช้งานได้ที่จากเว็บไซต์ <http://iric.org/en/introduction>

มีหลักการทำงานของโปรแกรมแบบจำลอง iRIC จะแบ่งเป็นส่วนการจัดเตรียมข้อมูลและประมวลผลกลาง ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถใช้งานได้ง่าย มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำสูง ส่วนการนำเสนอผลการคำนวณนั้นสามารถดึงข้อมูลผลเฉลยที่บันทึกเก็บไว้ในไฟล์มาแสดงเป็นภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวร่วมกับรูปภาพแผนที่หรือภาพถ่าย สามารถนำเข้าไปภาพพื้นหลังเพื่อนำเสนอและแสดงผลการคำนวณต่างๆ บนนั้นได้โดยใช้โปรแกรมที่จัดเตรียมไว้ให้ และสามารถนำไฟล์รูปภาพข้างต้นไปสร้างเป็นไฟล์ \*.kml เพื่อใช้แสดงบน Google Earth ได้ ทำให้สามารถมองเห็นเป็นภาพที่เข้าใจได้ง่ายขึ้น ซึ่งโครงสร้างของโปรแกรมแบบจำลอง iRIC มีลักษณะของระบบโครงสร้างที่ออกแบบไว้โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนด้วยกันดังนี้ คือ (1) Pre-processor (2) Post-processor และ (3) Solver (ดังรูปที่ 2-3)



รูปที่ 2 ระบบโครงสร้างการทำงานของโปรแกรมแบบจำลอง iRIC (ที่มา: <http://i-ric.org/en/introduction>)



รูปที่ 3 หน้าต่างของ Pre-processor และการ run โปรแกรม (ที่มา: <http://i-ric.org/en/introduction>)

## 1 สมการพื้นฐาน

สมการพื้นฐานที่นำมาใช้ในโปรแกรมแบบจำลอง iRIC จะประกอบด้วยสมการการไหลต่อเนื่อง และสมการโมเมนตัม ซึ่งในระบบพิกัดแบบฉากเขียนได้เป็น

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ v \frac{\partial(hu)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ v \frac{\partial(hu)}{\partial y} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ v \frac{\partial(hv)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ v \frac{\partial(hv)}{\partial y} \right] \quad (3)$$

โดยที่กำหนดให้  $h$  เป็นความลึก,  $u, v$  เป็นความเร็วเฉลี่ยในแนวตั้ง,  $\tau_{x,y}$  เป็น ความเค้นเฉือนในแนวแกน  $x$  กับ  $y$ ,  $\rho$  เป็น ความหนาแน่น ของน้ำ,  $H$  เป็น ค่าเสาระดับ ( $H = z_b + h$ ),  $z_b$  เป็น ระดับของท้องน้ำ,  $v$  เป็น ความหนืดจลน์,  $t$  เป็น เวลา และ  $x, y$  เป็นแนวแกนของระบบพิกัดแบบฉากตามทิศทางกรไหลกับทิศทางตั้งฉากตามลำดับ พจน์ของความเค้นเฉือน และความหนืดจลน์สามารถคำนวณได้จาก

$$\tau_x = \rho C_d u \sqrt{u^2 + v^2}, \tau_y = \rho C_d v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4a,b)$$

$$v = \frac{k}{6} u_* h \quad (5)$$

โดยที่  $C_d$  เป็น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, เป็น ค่าคงที่ของ Karman (มีค่าเท่ากับ 0.4) และ  $u_*$  เป็น ความเร็วเฉือน ซึ่งสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของ

$$u_* = C_d \sqrt{u^2 + v^2} \quad (6)$$

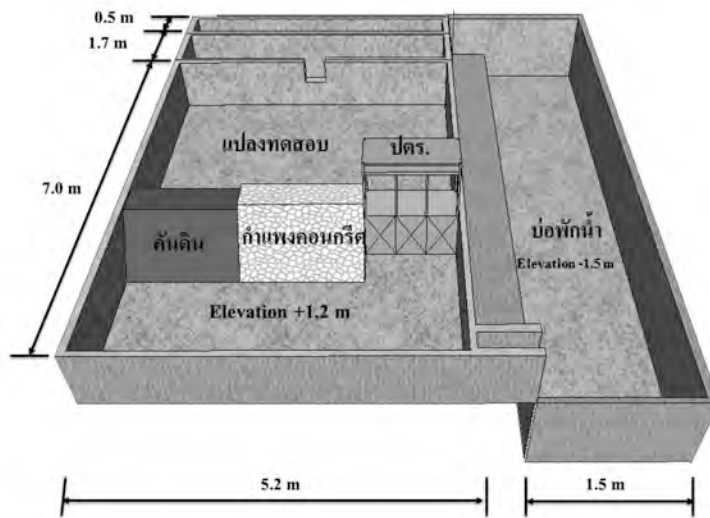
## 2 การประยุกต์ใช้โปรแกรมแบบจำลอง iRIC

ในการประยุกต์ใช้โปรแกรมแบบจำลอง iRIC เริ่มจากการเตรียมข้อมูลขนาดและค่าระดับความสูงของแบบจำลองทางกายภาพ เพื่อใช้ในการตีกริดลงในโปรแกรมแบบจำลอง iRIC ซึ่งใช้กริดเป็นจำนวน 181, 244 กริด (ความยาว 12.00 m × ความกว้าง 5.17 m) ขนาดของกริด 0.060 × 0.057 m จากนั้นป้อนข้อมูลค่าระดับความสูงของแบบจำลองทางกายภาพลงในกริดและตั้งค่าต่างๆ เช่น ค่าอัตราการไหล ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้อัตราการไหลที่ 0.0414 m<sup>3</sup>/s หรือ 4.14 l/s ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning) เท่ากับ 0.018 และขนาดของเวลา (Time step) กำหนดให้เป็น 0.01 s. ทั้งนี้วิธีที่ใช้ในการคำนวณได้เลือกใช้ระเบียบวิธีเชิงจำนวนผลต่างสืบเนื่อง (Finite difference method: FDM) ตามแบบวิธี CIP (Cubic interpolation pseudoparticle) และเลือกใช้วิธีการคำนวณการไหลแบบปั่นป่วน เป็น Zero Equation Model

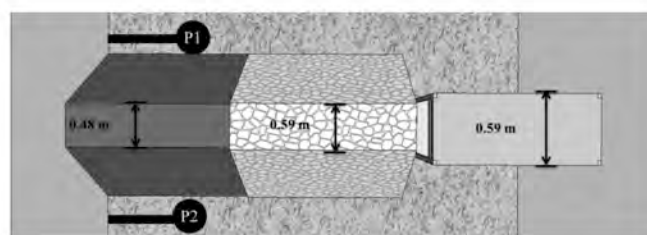


**แบบจำลองทางกายภาพ[6]**

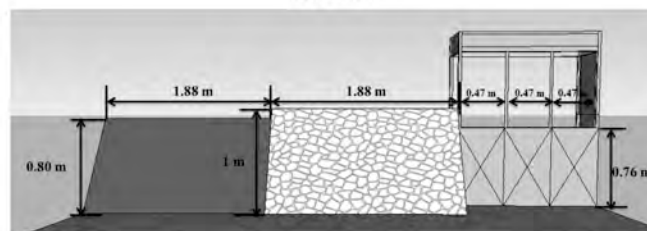
การศึกษาการวิบัติของคันดินบริเวณรอยต่อโครงสร้างคอนกรีตโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางกายภาพสำหรับงานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองคันดินโดยสามารถแสดงรูปแบบและรายละเอียดของแบบจำลองได้ดังรูปที่ 5-6 ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาบริเวณที่เกิดรอยแยกบริเวณระหว่างคันดินกับโครงสร้างคอนกรีต โดยวัสดุดินถมด้านข้างจะเป็นดินธรรมชาติ ซึ่งดินได้นำมาทดสอบเป็นดินประเภท SW-SC หรือ ดินเหนียวปนตะกอนทราย โดยบดอัดที่ความหนาแน่น 14.7 kPa เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องการจำลองการไหลของน้ำ ดังนั้นการทดสอบจะพิจารณาเพียงการเพิ่มระดับน้ำอย่างช้าๆ และจะมีระดับน้ำสูงสุดที่บริเวณคันดินด้านบนเท่านั้น



รูปที่ 5 แสดงรูปแบบและขนาดของแบบจำลองทางกายภาพ



TOP VIEW



SIDE VIEW

รูปที่ 6 แสดงรูปด้านบนและด้านข้างของแปลงทดสอบคันดิน

### 1 การเปรียบเทียบความสูงของระดับน้ำใน Piezometer กับบ่อทดสอบ

การจำลองครั้งนี้ได้ทำการติดตั้งสายยางสอดไว้ในท่อเพื่อตรวจสอบระดับในบ่อขณะทำการทดลอง โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะติดตั้งตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 6 (TOP VIEW) ดังนั้นจึงได้ทำการเปรียบเทียบค่าความสูงของระดับน้ำใน Piezometer กับบ่อทดสอบ ซึ่งได้ความสัมพันธ์ของค่าระดับความสูงของน้ำใน Piezometer และระดับน้ำในบ่อทดสอบ ดังแสดงในสมการ (7) และ (8) และได้ค่าระดับความสูงดังในตารางที่ 7

$$H = 1.0017P1 - 10.633 \quad (7)$$

$$H = 1.0095P2 - 7.7218 \quad (8)$$

เมื่อ  $H$  คือระดับน้ำที่ต่ำที่สุดในบ่อทดสอบ (cm) และ  $P$  คือระดับน้ำใน Piezometer (cm) โดยจะเริ่มวัดได้เมื่อระดับน้ำในบ่อสูงมากกว่า 4 (cm)

ตารางที่ 7 ค่าระดับความสูงของน้ำใน Piezometer และระดับน้ำในบ่อทดสอบ

ระดับน้ำในบ่อ (cm)	15	30	45	60	75	90	105	120
P 1 (cm)	4.5	19	33	51	61	79.5	94.5	109.5
P 2 (cm)	8	22	36	53.5	65.5	83.5	97.5	112

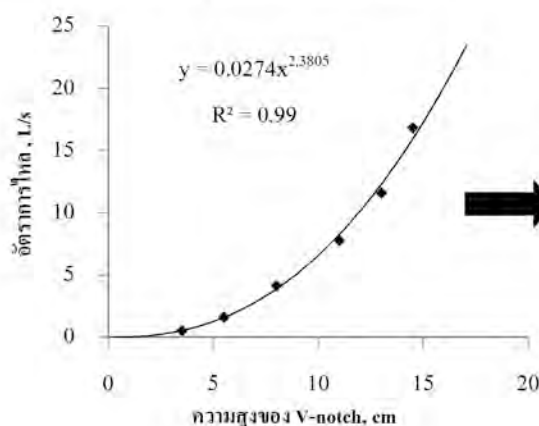
### 2 ผลการเปรียบเทียบความสูง V-notch และอัตราการไหล

การกำหนดอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในแปลงทดสอบ ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่เรียกว่า V-Notch Sharp-Crested Weir และทำการเปรียบเทียบ โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ( $Q$ ) และระดับความสูงของน้ำที่ V-notch ( $H$ ) ดังรูปที่ 7 จากรูปดังกล่าวสามารถกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล และระดับความสูงของน้ำที่ V-notch ได้ดังสมการที่ (9) คือ

$$Q = 0.0027H^{2.3805} \quad (9)$$

เมื่อ  $Q$  = อัตราการไหล (l/s)

$H$  = ความสูงของ V-notch (cm)



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ( $Q$ ) และระดับความสูงของน้ำที่ V-notch ( $H$ )

### ผลการวิเคราะห์

#### 1 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการวิบัติของคันดินโดยแบบจำลองทางกายภาพ

จากการศึกษาพฤติกรรมการวิบัติของคันดินเหนียวบริเวณรอยต่อระหว่างโครงสร้างคอนกรีต พบว่าเมื่อทำการทดสอบโดยการปล่อยน้ำที่อัตราการไหลสม่ำเสมอที่ 4.14 l/s (V-notch = 8 cm) คันดินบริเวณดังกล่าวมีการทรุดตัวในแนวตั้งและเกิดช่องแตกขนาดเล็กตรงรอยต่อโครงสร้างประตูระบายน้ำ ทำให้มีปริมาณน้ำไหลซึมออกทางช่องแตกเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 8 (ระยะที่ 1-2) กระแสน้ำที่ไหลผ่านได้เกิดการพัดพาและชะล้างหน้าดินออกไป ช่องแตกได้ขยายกว้างออกไป ดังแสดงในรูปที่ 8 (ระยะที่ 3) เป็นเหตุให้กระแสน้ำไหลแรงขึ้น เนื่องจากเกิดช่องทางไหลเพิ่ม ส่งผลให้คันดินขาดเสถียรภาพและไม่สามารถต้านการไหลของน้ำได้ จึงเกิดการพังทลายบริเวณรอยต่อโครงสร้างคอนกรีต และช่องขาดของคันดินได้ขยายใหญ่ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 8 (ระยะที่ 4)



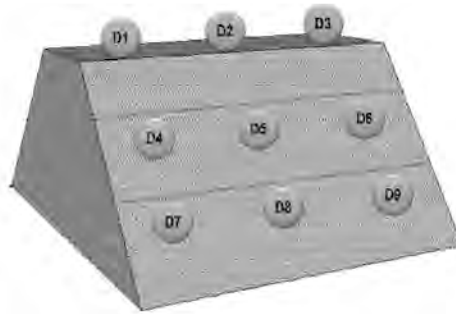
**รูปที่ 8** ลักษณะการวิบัติของคันดิน

ลักษณะการวิบัติของคันดิน จากรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่า คันดินเกิดช่องขาดและมีการกัดเซาะแผ่ขยายออกจากรอยต่อโครงสร้างคอนกรีตเรื่อยๆ เมื่อช่องขาดขยายใหญ่ขึ้น ช่องทางการไหลของน้ำก็จะเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับคันดินที่ประตูระบายน้ำบางโฉมศรีที่เกิดช่องขาดขยายออกไปถึง 84 m เมื่อเหตุการณ์อุทกภัยในปี พ.ศ. 2554

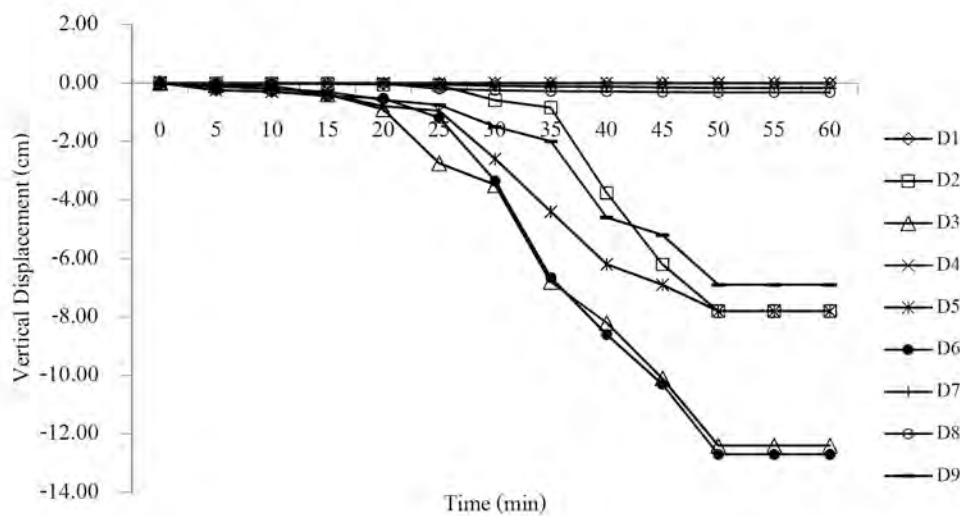


**รูปที่ 9** ลักษณะการเกิดช่องขาดของคันดิน

ทั้งนี้ ในการทดสอบได้ทำการติดตั้ง Dial gauge ทั้งหมด 9 ตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 10 เพื่อวัดการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของคันดิน จากรูปที่ 10 ได้แสดงความสัมพันธ์ของการเคลื่อนตัวในแนวตั้งระหว่างคันดินกับระยะเวลาเมื่อน้ำเริ่มไหลผ่านคันดิน จะเห็นได้ว่า ช่วงเวลา 20 นาทีที่น้ำไหลผ่าน คันดินเริ่มการทรุดตัวลงเล็กน้อย และเมื่อช่วงเวลาที่ 30 นาที คันดินเกิดการวิบัติจนเกิดช่องขาด โดยเกิดตรงตำแหน่ง D2, D3, D5, D6 และ D9 ดังรูปที่ 11

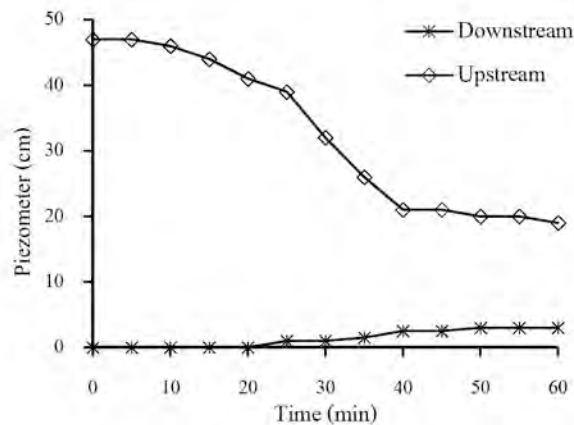


รูปที่ 10 ลักษณะตำแหน่งการติดตั้ง Dial gauge ทั้งหมด 9 ตัว



รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์การเคลื่อนตัวในแนวดิ่งระหว่างคันดินกับระยะเวลาเมื่อน้ำเริ่มไหลส้นคันดิน

เมื่อพิจารณาระดับน้ำบริเวณด้านหน้าและด้านหลังคันดิน เมื่อน้ำไหลส้นคันดิน จากรูปที่ 12 แสดงให้เห็นว่า เมื่อคันดินเกิดการทรุดตัวระดับน้ำด้านหน้าคันดินจะลดลง และระดับน้ำด้านหลังคันดินเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

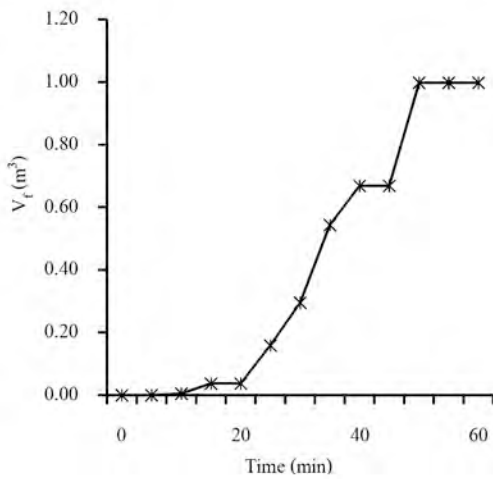


รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำบริเวณด้านหน้าคันดินและด้านหลังคันดินเมื่อน้ำไหลส้นคันดิน

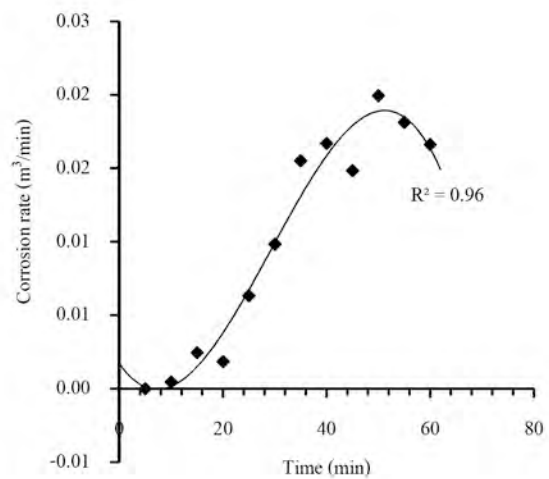
การไหลผ่านของกระแสน้ำได้กัดเซาะและพัดพาหน้าดินของคันดิน ทำให้คันดินเกิดช่องขาด เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 13 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรดินที่ถูกกัดเซาะเทียบกับระยะเวลาที่น้ำไหลผ่านคันดิน จะเห็นได้ว่า ในช่วงเวลา 30 นาที กระแสน้ำได้เริ่มกัดเซาะคันดินและพัดพาหน้าดินของคันดิน ทำให้เกิดช่องขาดขยายใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาผ่านไป และจากความสัมพันธ์ดังกล่าว เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดเซาะเทียบกับระยะเวลา (รูปที่ 14) โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ (10) คือ

$$C = -0.00000004t^3 + 0.000004t^2 - 0.0005t + 0.0017 \quad (10)$$

เมื่อ  $C$  = อัตราการกัดเซาะ ( $m^3$ )  
 $t$  = ระยะเวลาการไหลผ่านของน้ำ (min)



รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรดินที่ถูกกัดเซาะกับระยะเวลา

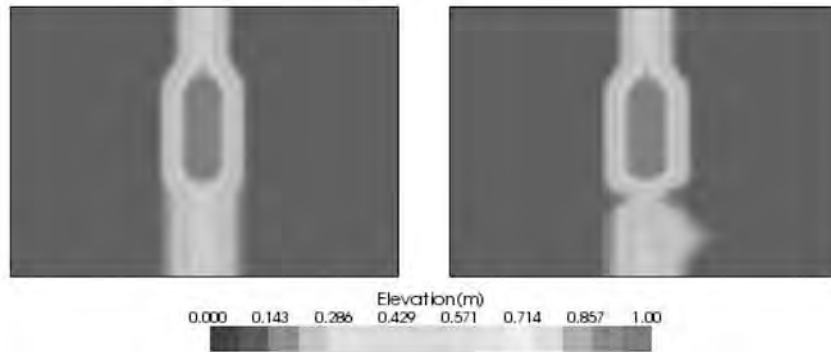


รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดเซาะเทียบกับระยะเวลา

ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการวิบัติของคันดินโดยโปรแกรมแบบจำลอง iRIC



(ก) ก่อนคันดินเหนียวพังทลาย T= 0 min      (ข) หลังคันดินเหนียวพังทลาย T= 85 min  
**รูปที่ 16** เปรียบเทียบช่วงเวลาก่อนและหลังการพังทลายของคันดินจากแบบจำลองทางกายภาพ



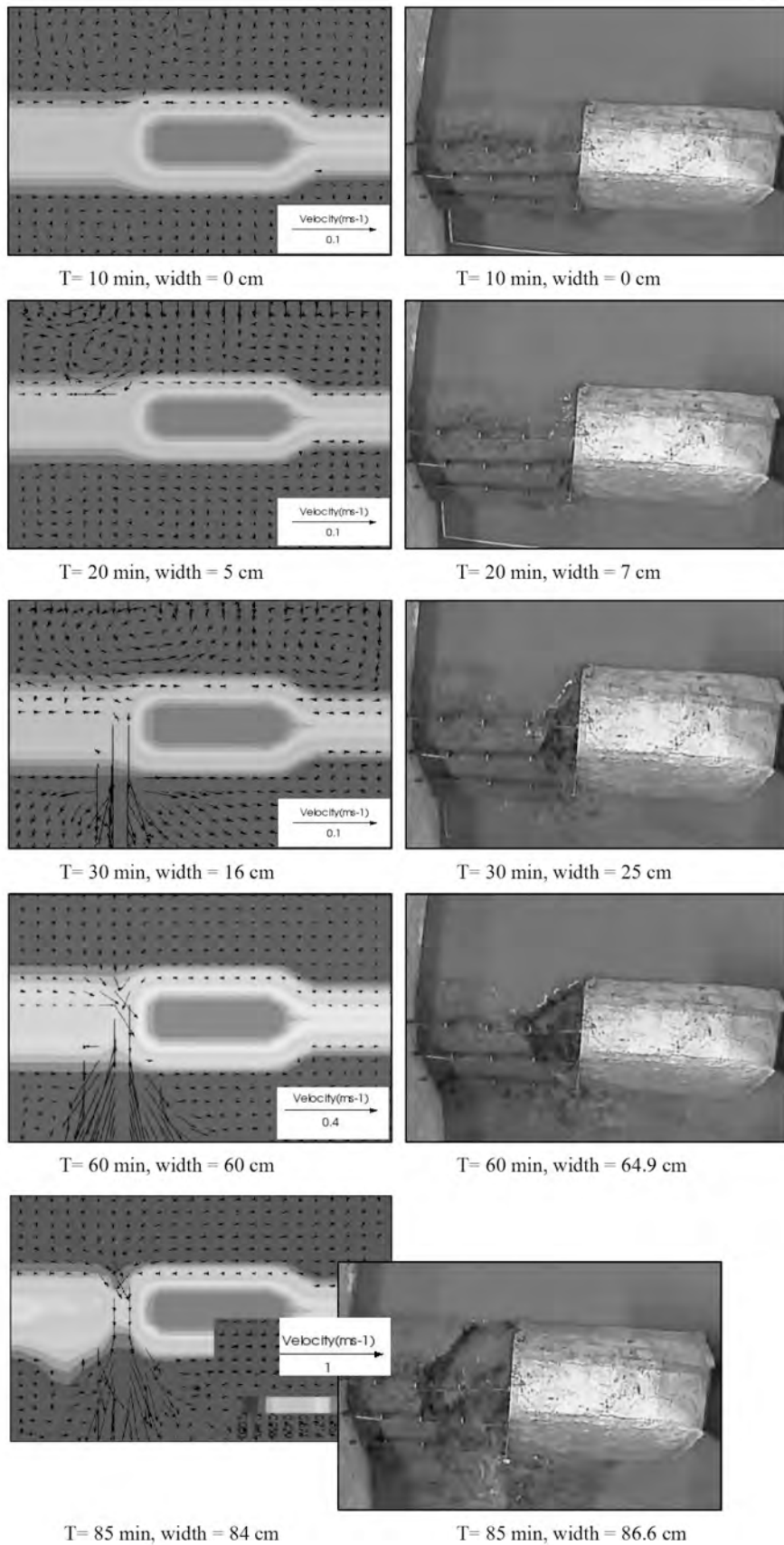
(ก) ก่อนคันดินเหนียวพังทลาย T= 0 min

(ข) หลังคันดินเหนียวพังทลาย T= 85 min

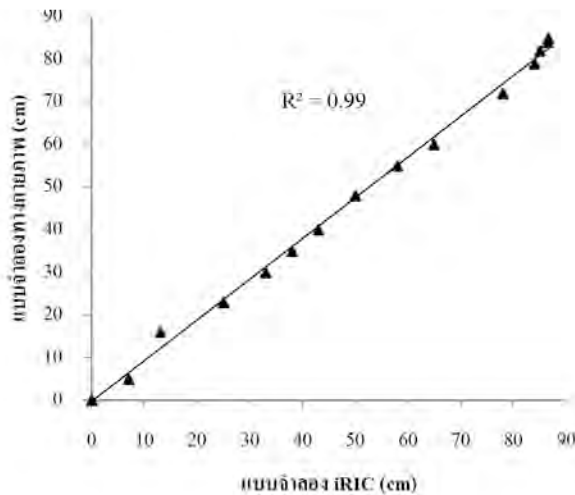
**รูปที่ 17** เปรียบเทียบช่วงเวลาก่อนและหลังการพังทลายของคันดินเหนียวด้วยโปรแกรมแบบจำลอง iRIC

ในการประยุกต์ใช้โปรแกรมแบบจำลอง iRIC เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะการพังทลายของคันดินบริเวณรอยต่อโครงสร้างคอนกรีต ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้จำลองพฤติกรรมทางชลศาสตร์ของคันดินเหนียว โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบจำลองทางกายภาพและนำข้อมูลมาป้อนเข้าในโปรแกรมแบบจำลอง ซึ่งจากผลการจำลองพฤติกรรมทางชลศาสตร์ของคันดินด้วยโปรแกรมแบบจำลอง iRIC พบว่า ในช่วงเวลาที่ 85 min คันดินเหนียวบริเวณรอยต่อโครงสร้างคอนกรีตถูกกัดเซาะด้วยกระแสน้ำและพังทลายลง ซึ่งมีความกว้างของคันดินเหนียวเมื่อถูกกัดเซาะมีขนาด 86.6 cm โดยพิจารณาได้จากรูปที่ 16-17 เปรียบเทียบช่วงเวลาก่อนและหลังการพังทลายของคันดินจากแบบจำลองทางกายภาพและโปรแกรมแบบจำลอง iRIC ซึ่งพฤติกรรมการพังทลายของคันดินเหนียว เริ่มจากช่วงเวลาที่ 10 min ทิศทางการไหลของน้ำเข้าใกล้คันดินเหนียวและโครงสร้างคอนกรีต ที่ค่าระดับความสูง 0.40 m และในช่วงเวลาที่ 20 min ทิศทางการไหลของน้ำได้ผ่านคันดินเหนียวบริเวณรอยต่อโครงสร้างคอนกรีต ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นจนเกิดการเอ่อล้นเข้าท่วมในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว ส่งผลทำให้คันดินถูกกัดเซาะเป็นบริเวณกว้างถึง 5 cm และขยายพื้นที่ความกว้างจากการกัดเซาะ 23 cm ในช่วงเวลา 30 min ซึ่งความกว้างสูงสุดของการกัดเซาะ จะอยู่ที่ 84 cm ในช่วงเวลาที่ 85 min ผลจากกระแสน้ำที่กัดเซาะคันดินจนพังทลาย กระแสน้ำที่ไหลผ่านเป็นผลทำให้เกิดการพัดพาหน้าดินจนเกิดการทับถมของดินในบริเวณใกล้เคียง

จากผลการวิเคราะห์พฤติกรรมทางชลศาสตร์ของคันดินด้วยโปรแกรมแบบจำลอง iRIC เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางกายภาพของคันดินเหนียวบริเวณรอยต่อโครงสร้างคอนกรีต พบว่าลักษณะการพังทลายของคันดินของทั้ง 2 แบบจำลอง มีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก จากรูปที่ 17 ผลการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางกายภาพและโปรแกรมแบบจำลอง iRIC จะพบว่าในช่วงเวลาที่ 10 min มีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นตามช่วงเวลา จนเอ่อล้นเข้าท่วมคันดิน ในช่วงเวลาที่ 20 min กระแสน้ำที่ไหลผ่านได้กัดเซาะคันดินในบริเวณรอยต่อโครงสร้างคอนกรีตทำให้เกิดช่องขาดที่มีขนาด 7 cm และความกว้างได้ขยายใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ จนถึงช่วงเวลาที่ 85 min ความกว้างของกัดเซาะได้ขยายใหญ่มีขนาดสูงสุดถึง 84 cm



รูปที่ 18 เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางกายภาพและโปรแกรมแบบจำลอง iRIC



**รูปที่ 19** ความสัมพันธ์ของขนาดความกว้างของช่องขาดคันดินระหว่างแบบจำลองทางกายภาพ และโปรแกรมแบบจำลอง iRIC

จากการจำลองพฤติกรรมการพังทลายของคันดินเหนียวทั้ง 2 แบบจำลอง เมื่อนำผลการเปรียบเทียบความกว้างของช่องกัดเซาะระหว่างแบบจำลองทางกายภาพและโปรแกรมแบบจำลอง iRIC จากรูปที่ 19 พบว่าความสัมพันธ์ของขนาดความกว้างของช่องขาดของคันดินทั้ง 2 แบบจำลองมีความสอดคล้องและคล้ายคลึงกันมาก โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวมีค่า  $R^2$  เข้าใกล้ 1 ดังนั้นการจำลองพฤติกรรมทางชลศาสตร์ของโปรแกรมแบบจำลอง iRIC-Nays2D จึงมีความแม่นยำสูง

### บทสรุป

จากผลการศึกษาการพังทลายของคันดินเหนียวบริเวณรอยต่อโครงสร้างคอนกรีต โดยการประยุกต์ใช้โดยการจำลองทางกายภาพและการจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่อัตราการไหล 4.14 l/s สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ลักษณะการวิบัติของคันดินบริเวณรอยต่อโครงสร้างคอนกรีตของแบบจำลองทางกายภาพเกิดจากการไหลซึมผ่านของน้ำ ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะด้านหลังคันดินบริเวณรอยต่อโครงสร้างคอนกรีตจนเกิดช่องขาดขยายใหญ่ขึ้น ทำให้ช่องทางการไหลของกระแสน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้คันดินไม่สามารถต้านทานกระแสน้ำที่ไหลผ่านและกัดเซาะได้ จนเกิดการพังทลายของคันดิน
2. เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการจำลองด้วยโปรแกรมทางชลศาสตร์ iRIC-Nays2D พบว่า ลักษณะการวิบัติของคันดินมีความสอดคล้องและคล้ายคลึงกันกับแบบจำลองทางกายภาพ โดยการทดสอบแบบจำลองทางกายภาพพบว่าคันดินมีขนาดช่องขาดกว้าง 86.6 cm ในขณะที่เดียวกันการจำลองโดยโปรแกรมแบบจำลองพบว่าคันดินมีขนาดช่องขาดกว้าง 84 cm



ดังนั้นการศึกษาการพังทลายของคันดินบริเวณรอยต่อโครงสร้างคอนกรีตด้วยแบบจำลองทางกายภาพ และโปรแกรมแบบจำลอง iRIC จึงมีความสอดคล้องและคล้ายคลึงกัน ซึ่งเปรียบเทียบได้จากความกว้างของช่องกัดเซาะของทั้ง 2 แบบจำลอง ที่มีค่าความกว้างเพิ่มสูงขึ้น ตามระยะเวลาของกระแสที่ไหลผ่าน ทั้งนี้เมื่อเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวควรรีบอุดรูที่น้ำไหลเข้าด้วยวัสดุที่หาได้ก่อน เช่น ถูทราย แผ่นพลาสติก โดยสังเกตจากบริเวณเกิดน้ำวน จากนั้นเติมวัสดุที่บริเวณทางออกของน้ำด้วยทรายหรือกรวดที่ระบายน้ำได้ดีแต่น้ำหนักมาก พร้อมทั้งลดระดับน้ำในอ่างต่อจนถึงระดับที่ปลอดภัย อาจดำเนินการร่วมกับการอัดฉีดน้ำปูน เมื่อการไหลมีอัตราการลดลง และดำเนินการซ่อมแซมในขณะที่ระดับน้ำอยู่ที่ระดับปลอดภัย

### กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนตามโครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยผ่าน สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน) และขอขอบคุณหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน ที่ให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษาโดยตลอดการศึกษาในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

iRIC Project (Changing River Science). <http://i-ric.org/en/>

Pongpan Kanjanakaroon, Sanit wongsa and Chaiwat Ekkawatpanit. (2013). Simulation of levee breach erosion due to overflow by iRIC. The 2nd EIT International Conference on Water Resources Engineering. Le Méridien Chiang Rai Resort, Thailand. 5-6 September 2013. Page. 128.

กนกวรรณ แทนนอก และสนธิ วงษา. (2556). การประยุกต์ใช้โปรแกรม iRIC เพื่อศึกษาพื้นที่น้ำท่วมจากมหาอุทกภัย ปี 2554 : กรณีศึกษาลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง. การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม. วันที่ 6-7 ธันวาคม 2556. หน้า 113.

ชลลดา ขวงใย และ สนธิ วงษา. (2557). การประยุกต์ใช้โปรแกรมแบบจำลอง iRIC กรณีศึกษาการพังทลายของคันดินเหนียวบริเวณรอยต่อโครงสร้างประตูระบายน้ำบางโฉมศรี. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19. โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด จ. ขอนแก่น. วันที่ 14-16 พฤษภาคม 2557, หน้า 291.

พีไลวรรณ ศรีสงคราม และสนธิ วงษา. (2556). การประยุกต์ใช้โปรแกรม iRIC เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางชลศาสตร์ของคันดินพังทลาย. การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม. วันที่ 6-7 ธันวาคม 2556. หน้า 117.

พีไลวรรณ ศรีสงคราม และสนธิ วงษา. (2557). การศึกษาพฤติกรรมทางชลศาสตร์การพังทลายของคันดิน โดยใช้ Nays2D. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19. โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด จ. ขอนแก่น. วันที่ 14-16 พฤษภาคม 2557, หน้า 293.

ระพีพรรณ ทามูล และสนธิ วงษา. (2557). การจำลองกายภาพของคันดินบริเวณรอยต่อโครงสร้างประตูระบายน้ำ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19. โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด จ. ขอนแก่น. วันที่ 14-16 พฤษภาคม 2557, หน้า 283.

ณัฐพงษ์ เถาว์ลัย และสนธิ วงษา. (2556). การเปรียบเทียบเสถียรภาพของคันดินบางโฉมศรีกับดินเหนียวกรุงเทพ โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. การประชุมวิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติ ครั้งที่ 5. โรงแรมเลอเมอร์เดียน เชียงราย รีสอร์ท. วันที่ 5 – 6 กันยายน 2556. หน้า 96.

ณัฐพงษ์ เถาว์ลัย และสนธิ วงษา. (2557). การจำลองทางกายภาพของคันดินช่วงน้ำท่วม การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19. โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด จ. ขอนแก่น. วันที่ 14-16 พฤษภาคม 2557, หน้า 284.

สนธิ วงษา และยาสุยูกิ ชิมิซึ. (2555). การประยุกต์ใช้โปรแกรม Nays2D Flood ในการจำลองสถานการณ์น้ำท่วมใหญ่ภาคกลางของประเทศไทยปี 2554. งานประชุมวิชาการ 7th THAICID NATIONAL SYMPOSIUM. โรงแรมริชมอนด์ ถนนรัตนธิเบศร์ จ.นนทบุรี. วันที่ 19 มิถุนายน 2555.