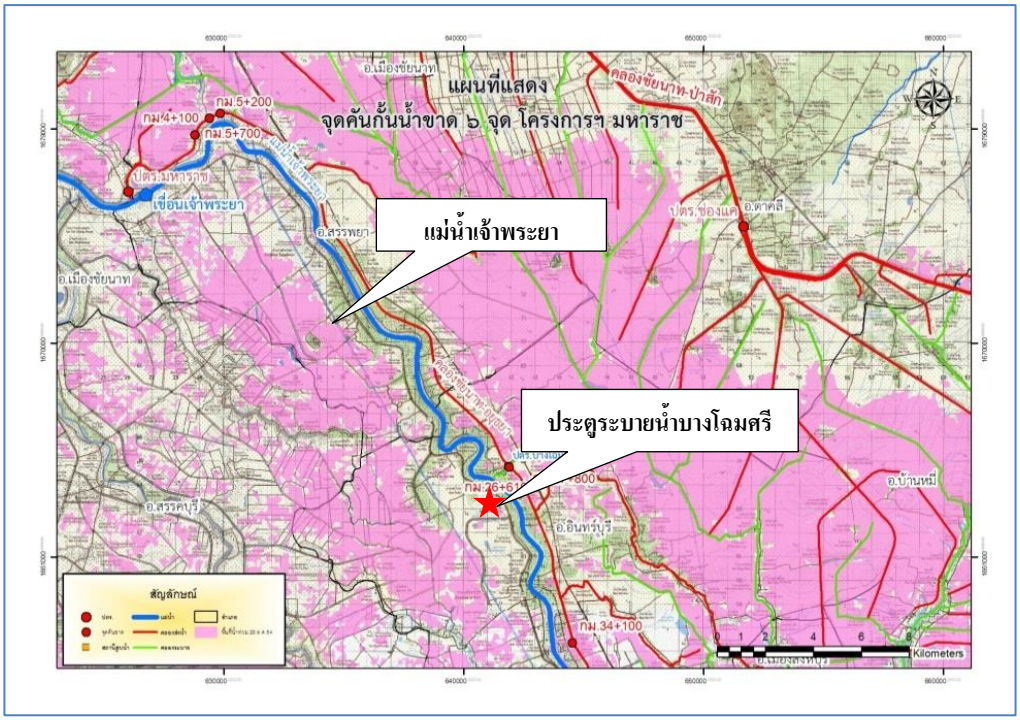
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

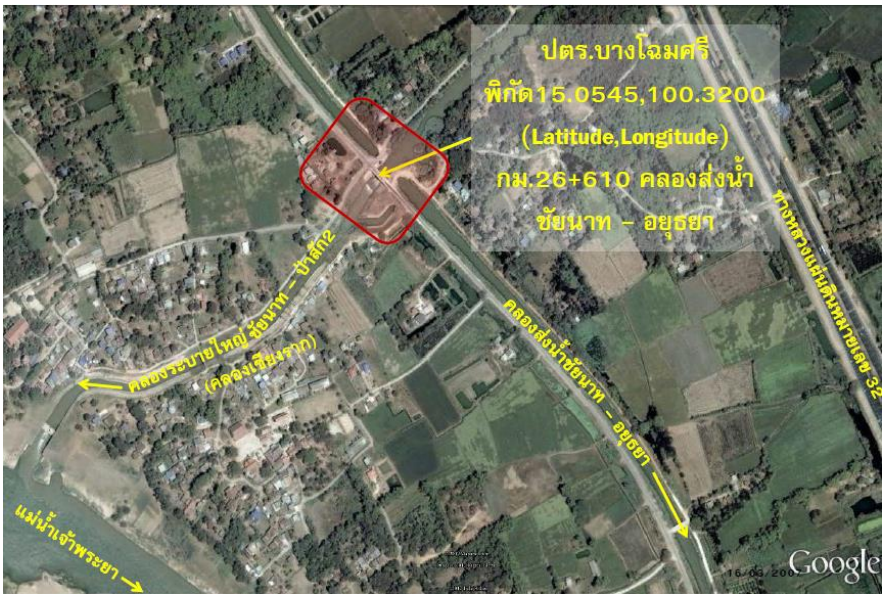
ในการศึกษาจำลองพฤติกรรมการพังทลายของคันดินบริเวณประตูระบายน้ำบางโฉมศรี ในบริเวณ ต.ชีน้ำร้าย อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี โดยการใช้โปรแกรมแบบจำลอง iRIC มีข้อมูลและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 ประตูระบายน้ำบางโฉมศรี [1]

ประตูระบายน้ำบางโฉมศรี ตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่ ต.ชีน้ำร้าย อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี เป็นประตูระบายน้ำปลายคลองระบายใหญ่ชัยนาท-ป่าสัก 2 และได้ทำการก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ.2506 โดยมีอัตราการระบายน้ำสูงสุด 120 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เพื่อใช้ประโยชน์ในการกักเก็บและระบายน้ำให้กับพื้นที่ในเขตชลประทาน ตลอดจนพื้นที่บางส่วนในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามหาราช ทางฝั่งตะวันตก (ฝั่งขวา) ของคลองส่งน้ำชัยนาท-อยุธยา ประมาณ 50,000 ไร่ และพื้นที่บางส่วนของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามโนรมย์ ทางฝั่งตะวันออก (ฝั่งซ้าย) ของคลองส่งน้ำชัยนาท-อยุธยา ประมาณ 80,000 ไร่ แสดงดังรูปที่ 2.1 ถึง 2.2



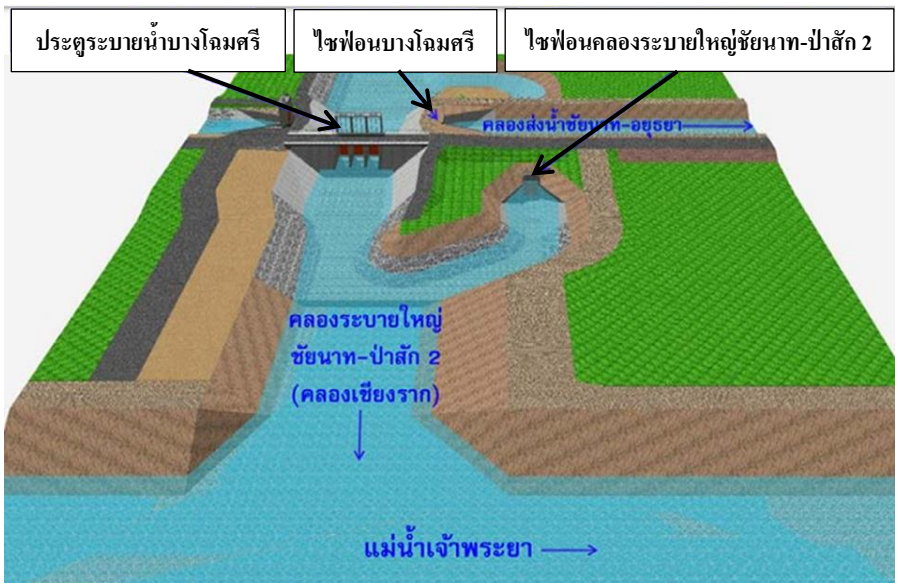
รูปที่ 2.1 เส้นทางการไหลของแม่น้ำเจ้าพระยาผ่านอำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี
ที่มา : กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2555)



รูปที่ 2.2 แผนที่บริเวณประตูระบายน้ำบางโฉมศรี
ที่มา : กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2555)

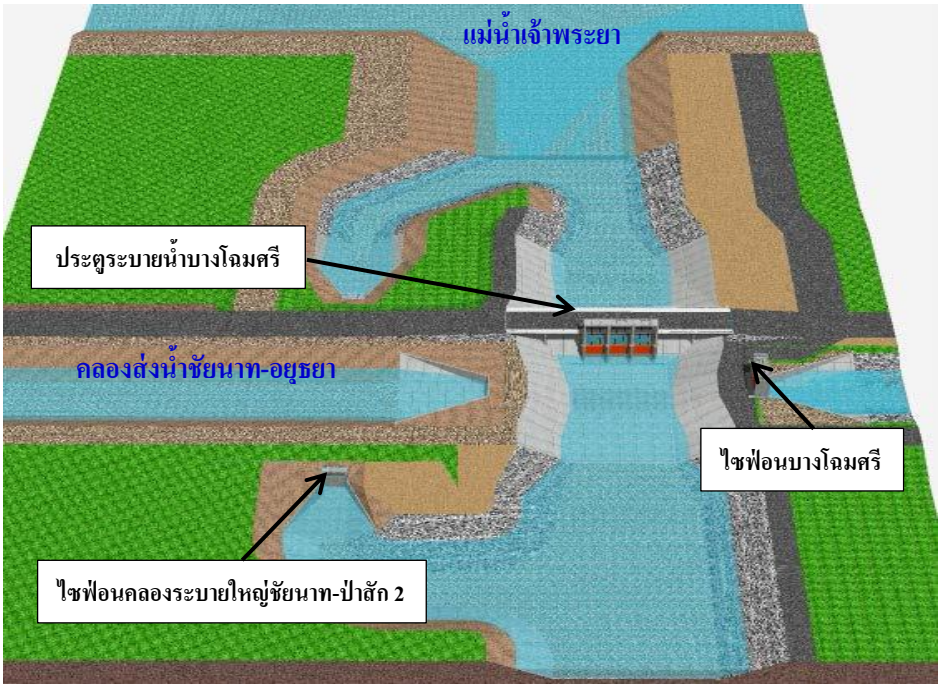
2.1.1 ข้อมูลระบบชลประทานบริเวณประตูระบายน้ำบางโฉมศรีก่อนเกิดอุทกภัย

ในบริเวณพื้นที่ประตูระบายน้ำบางโฉมศรี มีโครงสร้างทางชลศาสตร์ที่ช่วยในการบริหารจัดการน้ำ เพื่อช่วยในการกักเก็บและระบายน้ำให้กับพื้นที่ในเขตชลประทาน แสดงดังรูปที่ 2.3 ถึง 2.4 ซึ่งมีข้อมูลทางกายภาพดังนี้



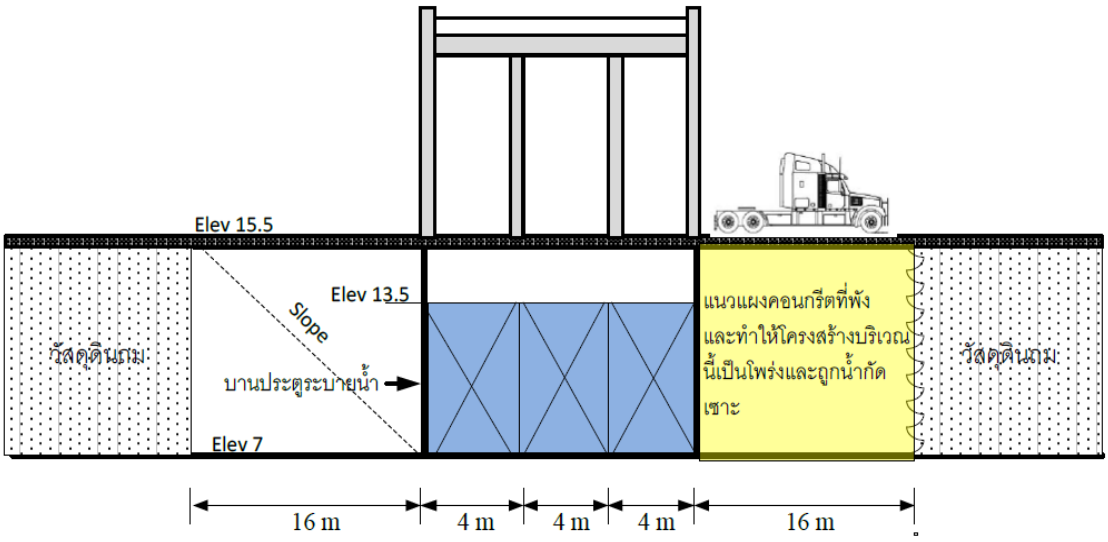
(ก) บริเวณท้ายน้ำของประตูระบายน้ำบางโฉมศรี

รูปที่ 2.3 ภาพจำลองมุมมองของประตูระบายน้ำบางโฉมศรีก่อนเกิดอุทกภัย
ที่มา : กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2555)



(ข) บริเวณเหนือของประตูระบายน้ำบางโฉมศรี

รูปที่ 2.3 ภาพจำลองมุมมองของประตูระบายน้ำบางโฉมศรีก่อนเกิดอุทกภัย (ต่อ)
ที่มา : กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2555)



รูปที่ 2.4 ภาพจำลองขนาดของประตูระบายน้ำบางโฉมศรีก่อนเกิดอุทกภัย
ที่มา : รายงานโครงงานการพัฒนาแบบจำลองทางกายภาพและแบบจำลองคณิตศาสตร์ (2555)

1. ข้อมูลทางกายภาพประตูระบายน้ำบางโฉมศรี

ขนาดบานระบายน้ำ	4.00 เมตร x 6.50 เมตร
เครื่องกว้าน	จำนวน 3 เครื่อง
ความยาวพื้นประตูระบายน้ำ	15.30 เมตร
ระดับธรณี	+7.00 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง
ระดับตอม่อ	+13.50 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง
ระดับพื้นโครงยก	+21.40 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง
อัตราการการระบายน้ำสูงสุด	120 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

2. ข้อมูลทางกายภาพสะพานข้ามประตูระบายน้ำ

ชนิดสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก	แบบ Slab Type มีทางเท้า
ความกว้างผิวจราจร	8.00 เมตร
ความกว้างช่องจราจร	10.00 เมตร
ความยาว	50.00 เมตร
ระดับพื้นสะพาน	+16.00 เมตร

3. ข้อมูลทางกายภาพไซฟ่อนบางโฉมศรี

ขนาดบาน	3.50 เมตร x 3.50 เมตร จำนวน 2 บาน
ความยาว	52.00 เมตร
ระดับหลังไซฟ่อน	+10.00 เมตร
ระดับธรณี	+4.48 เมตร
ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน	54.48 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
เครื่องกว้าน	จำนวน 2 เครื่อง

4. ข้อมูลทางกายภาพไซฟ่อนคลองระบายใหญ่ ชัยนาท-ป่าสัก 2 (ลอดคลองชัยนาท-อยุธยา)

ขนาดบาน	2.00 เมตร x 2.00 เมตร จำนวน 2 บาน
ความยาว	62.00 เมตร
ระดับหลังไซฟ่อน	+6.40 เมตร
ระดับธรณี	+4.00 เมตร
ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน	25.80 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
เครื่องกว้าน	จำนวน 2 เครื่อง

เมื่อวันที่ 13 กันยายน พ.ศ.2554 เขื่อนเจ้าพระยาระบายน้ำผ่าน 3,200 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ทำให้ปริมาณน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยามีระดับสูงจนส่งผลทำให้ระดับน้ำในคลองชัยนาท-อยุธยามีระดับเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งปริมาณน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และไหลผ่านเข้าสู่ประตูระบายน้ำบางโฉมศรี

จนเกิดการเอ่อล้นและคันดินในบริเวณช่วงรอยต่อกับประตูระบายน้ำถูกกัดเซาะอย่างรุนแรง จนพังทลายเป็นผลทำให้เกิดช่องขาดซึ่งมีความกว้างสูงสุด 84 เมตร แสดงดังรูปที่ 2.5 ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาไหล่บ่าเข้าท่วมพื้นที่ในเขตชลประทานบริเวณทุ่งเชียงราก ซึ่งเป็นพื้นที่บางส่วนของอำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี และในพื้นที่อำเภอเมือง อำเภอบ้านหมี่ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี แล้วไหลลงสู่แม่น้ำลพบุรี ซึ่งได้ไปบรรจบกับแม่น้ำป่าสักที่อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เป็นผลทำให้เกิดมีปริมาณน้ำจำนวนมากทะลักเข้าท่วมพื้นที่ ซึ่งจากรายงานของกรมชลประทานพบว่ามีปริมาณน้ำที่ไหลผ่านมีปริมาณสูงสุดถึง 480 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

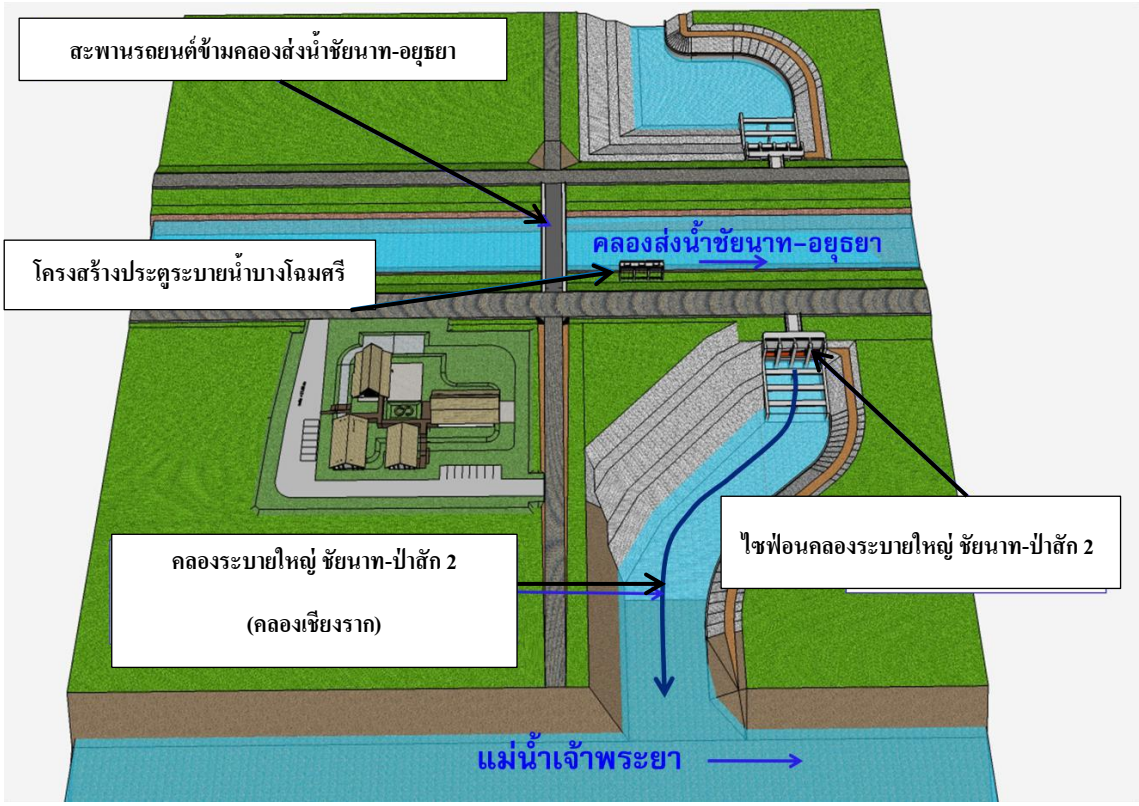
(ก) ช่องขาดบริเวณประตูระบายน้ำบางโฉมศรี
ที่มา : http://www.ilovetogo.com/BoardD

(ข) ความเสียหายบริเวณประตูระบายน้ำบางโฉมศรี
ที่มา : http://www.watthaklong.com/webboards

รูปที่ 2.5 ภาพความเสียหายของพื้นที่ของประตูระบายน้ำบางโฉมศรี

2.1.2 ข้อมูลระบบชลประทานบริเวณประตูระบายน้ำบางโฉมศรีหลังเกิดอุทกภัย

จากเหตุการณ์อุทกภัยที่ส่งผลทำให้คันดินในบริเวณคอสะพานข้ามประตูระบายน้ำบางโฉมศรีจนเกิดช่องขาดซึ่งมีความกว้างสูงสุด 84 เมตร ดังนั้นกรมชลประทาน จึงจัดตั้งโครงการเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำบริเวณประตูระบายน้ำบางโฉมศรี ตำบลชีน้ำร้าย อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี เพื่อปรับปรุงและซ่อมแซมโครงสร้างต่างๆในส่วนบริเวณโครงสร้างประตูระบายน้ำบางโฉมศรี แสดงดังรูปที่ 2.6 โดยมีข้อมูลทางกายภาพดังนี้



รูปที่ 2.6 ภาพจำลองพื้นที่ของประตูระบายน้ำบางโฉมศรีหลังเกิดอุทกภัย
ที่มา : กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2555)

1. ข้อมูลทางกายภาพไซฟ่อนคลองระบายใหญ่ ชัยนาท-ป่าสัก 2

ขนาดไซฟ่อนจำนวน 4 ช่อง	4.00 เมตร x 5.00 เมตร จำนวน 8 บาน
ความยาว	89.00 เมตร
ระดับธรณี	+2.70 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง
ระบายน้ำได้สูงสุด	160 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
เครื่องกว้าน ขนาด 15 ตัน	จำนวน 4 เครื่อง
เครื่องกว้าน ขนาด 25 ตัน	จำนวน 4 เครื่อง

2. ข้อมูลทางกายภาพสะพานรถยนต์ข้ามคลองชัยนาท-อยุธยา

ชนิดสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก	แบบ Slab Type มีทางเท้า
ความกว้างผิวจราจร	10.00 เมตร
ทางเท้าด้านละ	1.50 เมตร
ความยาว	40.00 เมตร
เสาเข็มฐานรากขนาด	0.40 เมตร x 0.40 เมตร
ช่วง Span 3 ช่วงละ	10 เมตร, 20 เมตรและ 10 เมตร

2.2 อุทกภัย

อุทกภัยเป็นภัยธรรมชาติที่ผลต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ซึ่งสาเหตุและลักษณะของการเกิดอุทกภัยมีผลต่อความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สินเป็นอย่างมาก

2.2.1 ความหมายและสาเหตุของการเกิดอุทกภัย

อุทกภัย หมายถึง ภัยและอันตรายที่เกิดจากสภาวะน้ำท่วมหรือน้ำท่วมฉับพลัน มีสาเหตุมาจากการเกิดฝนตกหนักหรือฝนตกต่อเนื่องเป็นเวลานาน เนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1. หย่อมความกดอากาศต่ำ
2. พายุหมุนเขตร้อน ได้แก่ พายุดีเปรสชั่น พายุโซนร้อนและพายุใต้ฝุ่น
3. ร่องมรสุมหรือร่องความกดอากาศต่ำ
4. ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้
5. ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ
6. เขื่อนพัง

2.2.2 ลักษณะของการเกิดอุทกภัย

ลักษณะของอุทกภัยมีความรุนแรงและรูปแบบแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศและสิ่งแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ โดยมีลักษณะดังนี้

1. น้ำป่าไหลหลาก หรือน้ำท่วมฉับพลัน มักจะเกิดขึ้นในที่ราบต่ำหรือที่ราบลุ่มบริเวณใกล้ภูเขาต้นน้ำ เกิดขึ้นเนื่องจากฝนตกหนักเหนือภูเขาต่อเนื่องเป็นเวลานาน ทำให้จำนวนน้ำสะสมมีปริมาณมากจนพื้นดินและต้นไม้ดูดซับไม่ไหว จึงไหลบ่าลงสู่ที่ราบต่ำเบื้องล่างอย่างรวดเร็ว มีอำนาจทำลายล้างรุนแรงระดับหนึ่ง ที่ทำให้บ้านเรือนพังทลายเสียหายและอาจทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้

2. น้ำท่วม หรือน้ำท่วมขัง เป็นลักษณะของอุทกภัยที่เกิดขึ้นจากปริมาณน้ำสะสมจำนวนมากที่ไหลบ่าในแนวระนาบจากที่สูงไปยังที่ต่ำเข้าท่วมอาคารบ้านเรือน เรือกสวน ไร่นา ได้รับความ

เสียหายหรือเป็นสภาพน้ำท่วมขัง ในเขตเมืองใหญ่ที่เกิดจากฝนตกหนักต่อเนื่องเป็นเวลานาน มีสาเหตุมาจากระบบการระบายน้ำไม่ดีพอ มีสิ่งก่อสร้างกีดขวางทางระบายน้ำ หรือเกิดน้ำทะเลหนุนสูงกรณีพื้นที่อยู่ใกล้ชายฝั่งทะเล

3. น้ำล้นตลิ่ง เกิดขึ้นจากปริมาณน้ำจำนวนมากที่เกิดจากฝนตกหนักอย่างต่อเนื่อง ไหลลงสู่ลำน้ำหรือแม่น้ำปริมาณมาก จนระบายลงสู่ลุ่มน้ำด้านล่างหรือออกสู่ปากน้ำไม่ทัน ทำให้เกิดสภาวะน้ำล้นตลิ่งเข้าท่วมเรือกสวน ไร่นา และบ้านเรือนตามสองฝั่งน้ำ จนได้รับความเสียหายถนนหรือสะพานอาจชำรุดทางคมนาคมถูกตัดขาดได้

2.2.3 ความเสียหายที่เกิดจากอุทกภัย

ความเสียหายที่เกิดจากอุทกภัย สามารถแบ่งความอันตรายและความเสียหายที่เกิดจากอุทกภัยได้ดังนี้

1. น้ำท่วมอาคารบ้านเรือน สิ่งก่อสร้างและสาธารณสถาน ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจอย่างมาก บ้านเรือนหรืออาคารสิ่งก่อสร้างที่ไม่แข็งแรงจะถูกกระแสน้ำที่ไหลเชี่ยวพังทลายได้ คน สัตว์ และพาหนะ อาจได้รับอันตรายถึงชีวิตจากการจมน้ำตาย

2. เส้นทางคมนาคมและการขนส่งอาจจะถูกตัดเป็นช่วง ๆ โดยความแรงของกระแสน้ำส่งผลทำให้ถนนและสะพานอาจจะถูกกระแสน้ำพัดให้พังทลายได้ แสดงดังรูปที่ 2.7 สินค้าพัสดุอยู่ระหว่างการขนส่งจะได้รับความเสียหายมาก

รูปที่ 2.7 ความเสียหายของสะพานจากการเกิดอุทกภัย

ที่มา : http://www2.thairath.co.th

3. ระบบสาธารณูปโภคจะได้รับความเสียหายอาทิ เช่น โทรศัพท์ โทรเลข ไฟฟ้าและประปาเป็นต้น

4. พื้นที่การเกษตรและการปศุสัตว์จะได้รับความเสียหาย เช่น พืชผล ไร่นา ทุกประการที่กำลังผลิดอกออกผลอาจถูกน้ำท่วมตายได้ ตลอดจนผลผลิตที่เก็บกักตุนหรือมีไว้เพื่อทำพันธุ์จะได้รับความเสียหาย ความเสียหายทางอ้อมจะส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจโดยทั่วไป เกิดโรคระบาด สุขภาพจิตเสื่อม และสูญเสียความปลอดภัย เป็นต้น

รูปที่ 2.8 ความเสียหายที่เกิดจากอุทกภัย
ที่มา : http://www.siamintelligence.com

2.3 การพิบัติของเขื่อน [16]

2.3.1 สถิติการพิบัติของเขื่อน

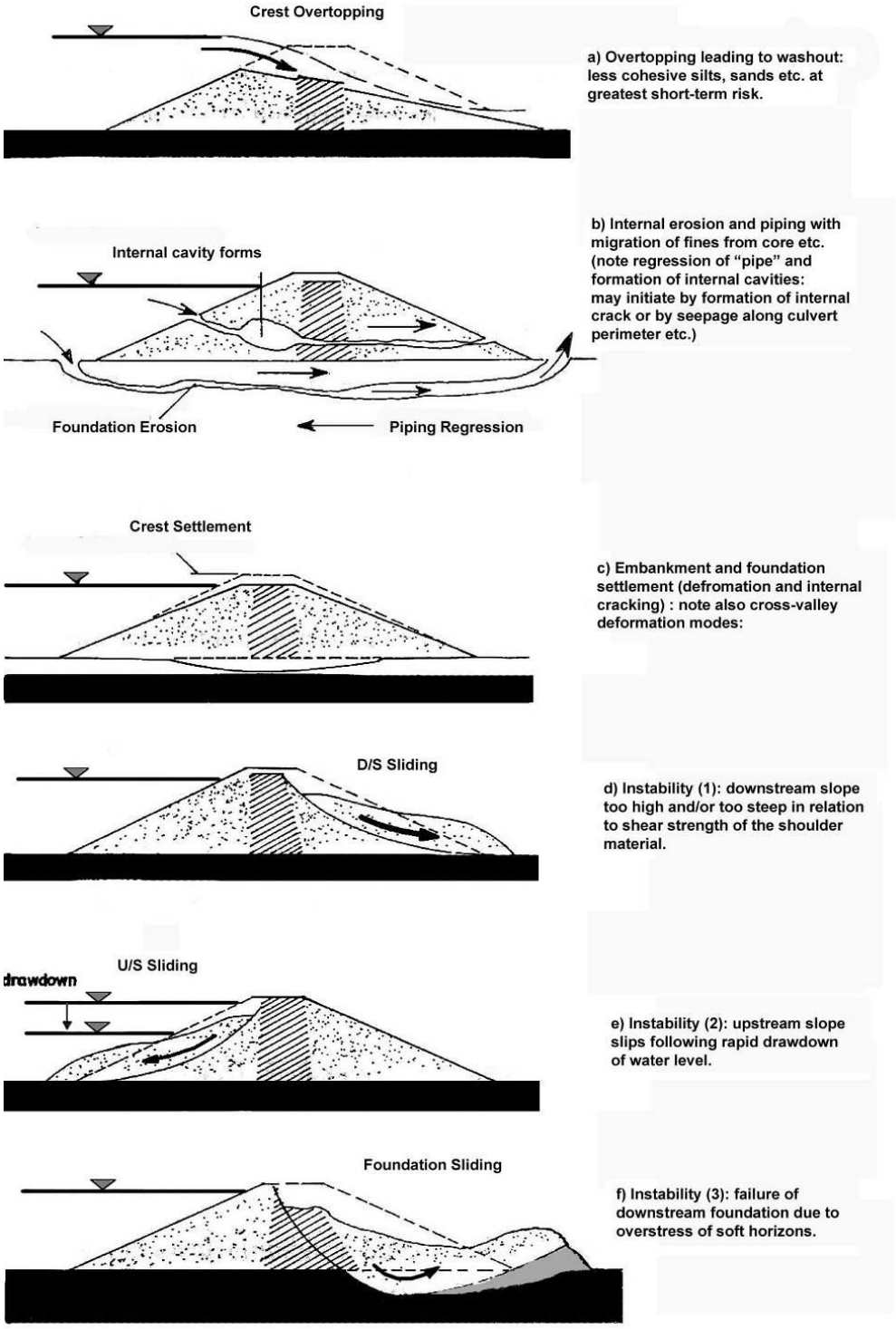
ความเสียหายหรือการพิบัติในงานเขื่อน อาจแบ่งเป็น 2 ระดับของความรุนแรงคือ

1. การพิบัติที่รุนแรง หมายถึง การพิบัติเกิดขึ้นฉับพลัน มีความรุนแรงมากและทำความเสียหายอย่างกว้างขวาง การพิบัติในกรณีนี้มักมีสาเหตุมาจากน้ำล้นสันเขื่อน การกัดเซาะภายในตัวเขื่อนและฐานราก การเคลื่อนพังของลาดเขื่อน การเกิด Liquefaction จากแผ่นดินไหว เป็นต้น

2. ความเสียหายที่แก้ไขได้ หมายถึง ความเสียหายที่มีปรากฏการณ์หรือข้อบ่งชี้ให้เห็นล่วงหน้า เมื่อสามารถตรวจพบตั้งแต่ระยะแรกก็จะเป็นความเสียหาย

2.3.2 ลักษณะการพิบัติของเขื่อน

อนุกรรมาธิการเขื่อนใหญ่ของสหรัฐอเมริกา (USCOLD) ได้สรุปการพิบัติของเขื่อนไว้ 6 ลักษณะ ด้วยกันซึ่งสามารถเกิดจากสาเหตุที่แตกต่างกัน โดยแสดงดังรูปที่ 2.9



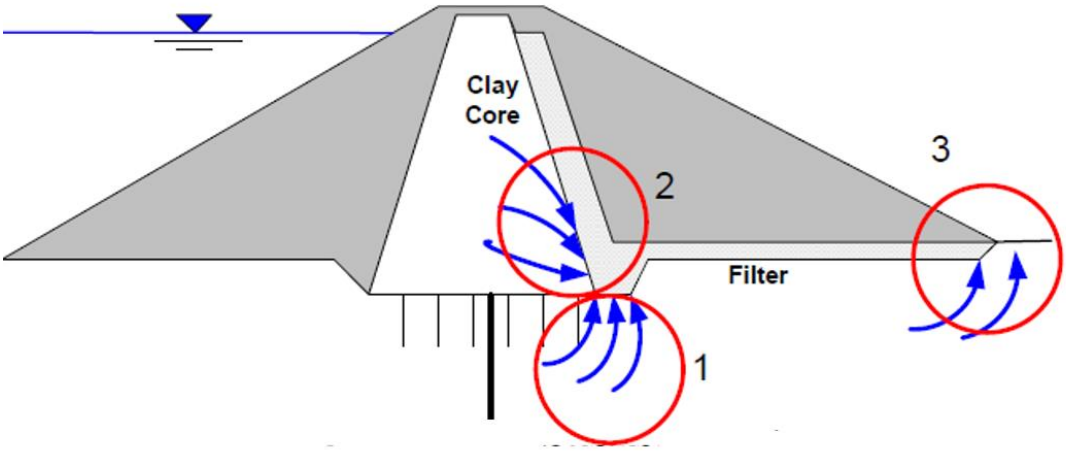
รูปที่ 2.9 การพิบัติของเขื่อน 6 ลักษณะ ตามข้อสรุปของ USCOLD

ที่มา : USCOLD

จากหลักฐานทางสถิติของการพิบัติที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่าเขื่อนจะมีปัญหารั่วซึมเป็นตัวการสำคัญ แต่ก็มีการพังของสาเหตุรองๆ ลงมา ซึ่งในหลายกรณีจะเป็นสาเหตุเสริมเกี่ยวข้องกัน ซึ่งบางครั้งก็ยากที่จะวินิจฉัยลงไปให้แน่ชัดว่าเกิดจากสาเหตุใด สาเหตุสำคัญ ๆ มีดังต่อไปนี้

2.3.2.1 การรั่วซึมของฐานรากและตัวเขื่อน

เมื่อสร้างเขื่อนขึ้นกักน้ำย่อมทำให้เกิดความต่างระดับของน้ำในอ่าง และท้ายน้ำเป็นธรรมดาของน้ำที่จะพยายามหาทางซึมจากระดับสูงไปต่ำ โดยผ่านทั้งตัวเขื่อนและฐานรากดังนั้นในการออกแบบวิศวกรจะพยายามลดการรั่วซึมนี้ให้น้อยที่สุด โดยการบดอัดดินเหนียวเป็นแกนเขื่อนหรืออัดฉีดน้ำปูนในฐานราก แต่น้ำก็จะพยายามหาช่องทางที่จะซึมผ่านง่ายที่สุดโดยหากมีความเร็วหรือแรงดันมากพอก็จะกัดเซาะพาเอาเม็ดดินไหลตามไปพร้อมๆ กันด้วย การกัดเซาะที่เกิดขึ้นภายในตัวเขื่อนดังกล่าวไม่สามารถตรวจพบได้โดยง่าย จึงอาจจะเกิดการกัดเซาะต่อเนื่องจนเป็นสาเหตุให้เขื่อนพังได้ในที่สุด ตำแหน่งสำคัญในตัวเขื่อนที่เกิดการกัดเซาะได้โดยง่าย แสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การรั่วซึมของฐานรากและตัวเขื่อน
ที่มา : วรากร ไม้เรียง (2542)

บริเวณที่ 1 รอยต่อของฐานราก แกนดินเหนียว และ Filter น้ำจากฐานรากที่ไหลผ่านแนวน้ำปูนจะไหลเข้าสู่ Filter โดยเร็ว

บริเวณที่ 2 รอยต่อของแกนดินเหนียว และ Filter ด้านท้ายน้ำ โดยน้ำที่ซึมผ่านแกนจะไหลเข้าสู่ Filter

บริเวณที่ 3 ฐานรากด้านท้ายน้ำ โดยน้ำที่ซึมจากฐานรากจะไหลขึ้นสู่ผิวดินอาจเกิดการลอยตัวของเม็ดดิน (Boiling) ได้

ในบริเวณที่ 1 และ 2 ถ้ามีการออกแบบ Filter ที่ดีพอ การกัดเซาะก็จะไม่เกิดขึ้นส่วนกรณีที่เกิดในบริเวณที่ 3 อาจต้องทำ Relief Well หรือ Toe Drain ที่จะทำให้การระบายน้ำออกจากฐานรากได้โดยไม่ให้เกิดการกัดเซาะ นอกจากสาเหตุที่เกี่ยวกับการออกแบบดังกล่าวแล้วการรั่วซึมสามารถเกิดได้จากคุณภาพการบดอัดที่ไม่ได้มาตรฐานและการเลือกวัสดุถมตัวเขื่อนที่เป็นดินกระจายตัวเข้ามาใช้บดอัด (Dispersive Soil) ตัวอย่างของการพิบัติในกรณีนี้ได้แก่เขื่อนTeton ที่รัฐไอดาโฮ สหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ.1976 ซึ่งให้คนเสียชีวิต 14 คน และทำให้มีการกระตุ้นทำให้เกิดการออกกฎหมายด้านความปลอดภัยเขื่อนเพิ่มเติม ในกรณีของประเทศไทยได้แก่เขื่อนมูลบนที่มีการรั่วซึมผ่านฐานราก ในปี พ.ศ. 2533 แต่ได้มีการแก้ไขได้ทันเวลาโดยไม่มีผู้ใดเป็นอันตรายและต่อมาได้มีการซ่อมแซมแก้ไขให้ใช้งานได้ตามปกติ แสดงดังรูปที่ 2.11

(ก.) เขื่อน Teton ประเทศสหรัฐอเมริกา
ที่มา : Seed et al.(1975)

(ข) เขื่อนมูลบน

รูปที่ 2.11 การพิบัติที่เกิดจากการรั่วซึมของเขื่อน

นอกจากนี้ยังพบว่าพฤติกรรมการรั่วซึมของฐานรากและตัวเขื่อนจะมีพฤติกรรมการเกิดรอยแยกซึ่งนำไปสู่การเกิด Piping โดยสามารถสรุปกลไกได้เป็น 3 พฤติกรรมที่ต่อเนื่องกันได้แก่

ก. การเกิดรอยแตกรอยแยก จากสาเหตุที่ได้กล่าวมาและทำให้น้ำเริ่มไหลซึมผ่านจุดอ่อนดังกล่าวอยู่ภายใต้ความดันหรือความเร็วที่มาก

ข. การพัดพาขยายรอยแตก อันเนื่องจากปัจจัยหน่วยแรงเฉือนจากการไหลของน้ำและปัจจัยความสามารถของดินในการต้านทานแรงเฉือนจากน้ำ โดยดินจะมีค่ากำลังรับแรงเฉือนวิกฤติ ซึ่งหากแรงเฉือนจากน้ำไหลเกินค่าดังกล่าวดินจะเริ่มถูกพัดพาและการขยายตัวของรอยแตกจะเกิดขึ้น แรงเฉือนวิกฤติสามารถพิจารณาเป็นค่าความเร็ววิกฤติได้เช่นเดียวกัน โดยหากความเร็วของการไหลซึงเกินค่าวิกฤติการพัดพาและขยายแตกจะเกิดขึ้น

ค. การเกิด Piping เมื่อรอยแตกเกิดการขยายตัวน้ำจะพาวัสดุตัวเขื่อนไหลซึมจากด้านเหนือน้ำไปทางด้านท้ายน้ำได้ง่ายขึ้น หากไม่มีวัสดุกรองทำหน้าที่กรองเม็ดดินไม่ให้ไหลออกที่จุดปลายการไหล เขื่อนจะเริ่มสูญเสียวัสดุฐานรากโดยเกิดรูโพรงกัดเซาะย้อนจากด้านท้ายน้ำไปทางด้านเหนือน้ำ เมื่อรูโพรงต่อเชื่อมระหว่างเหนือน้ำและท้ายน้ำจะส่งผลทำให้เกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว หากรูโพรงมีขนาดใหญ่ถึงจุดหนึ่งดินของผนังด้านบนของรูโพรงจะยุบตัวลงทำให้เกิดการ Breach ของเขื่อน

2.3.2.2 การเกิดการน้ำล้นสันเขื่อน

การพิบัติจากน้ำล้นสันเขื่อน เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดการพิบัติในอันดับต้นๆ แสดงดังรูปที่ 2.12 ซึ่งจะแสดงสถิติการพิบัติเนื่องจากน้ำล้นสันเขื่อน สำหรับสาเหตุอาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุดังสรุปได้ดังนี้ คือ

ก. การคาดการณ์ทางอุทกวิทยาไม่เหมาะสม โดยอาจคาดการณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำต่ำเกินไปขณะออกแบบ หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอุทกวิมทยา การคาดการณ์ปริมาณที่ไหลเข้าอ่างน้ำจะต้องพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ของการสร้างเขื่อน เช่น เพื่อการยกระดับ ป้องกันน้ำท่วม หรือผลิตกระแสไฟฟ้าค่า Return Period ของปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่ใช้ในการออกแบบจะต้องสัมพันธ์กับตำแหน่งการก่อสร้างเขื่อนและขนาดความสูงเขื่อน

ข. การเปิดปิดบานระบายน้ำล้นไม่ถูกต้อง เนื่องจากการบริหารจัดการน้ำผลิตน้ำผิดพลาดโดยไม่ได้รักษาระดับน้ำในเดือนต่างๆ ตามที่ผู้ออกแบบได้กำหนดตามโค้งกฎการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้ Rule curve อาจจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพอุทกวิทยาและวัตถุประสงค์การใช้งานอ่างเก็บน้ำที่เปลี่ยนไปตามเวลา

ค. การถล่มของดินรอบอ่างเก็บน้ำลงในอ่างทำให้เกิดคลื่นใหญ่ข้ามสันเขื่อน โดยดินถล่มอาจเกิดจากฝนตกหนักหรือแผ่นดินไหว ทั้งนี้ในปัจจุบันการสำรวจสภาพธรณีวิทยารอบขอบอ่างเก็บน้ำเพื่อประเมินโอกาสเกิดดินหรือหินถล่มถือเป็นมาตรฐานที่ต้องปฏิบัติในการ ก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ

ง. การออกแบบ Freeboard ไม่เหมาะสม โดยอาจประมาณระยะเผื่อต่างๆน้อยเกินไป ระยะเพื่อดังกล่าวประกอบด้วยระยะเผื่อเนื่องจากความสูงของคลื่นเนื่องจากลมหรือจากแผ่นดินไหว และความสูงเผื่อเนื่องจากความผิดพลาดจากการเปิดปิดระบาย

จ. การชำรุดของโครงสร้างบานระบายน้ำ ทำให้บานระบายติดขัด หรือไม่สามารถเปิดบานระบายได้เนื่องจากระบบควบคุมมีปัญหา เหตุการณ์ดั้งกล่าวล้วนแต่ทำให้ไม่สามารถระบายน้ำได้เต็มประสิทธิภาพ ดั้งนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบการเปิด-ปิดอยู่เสมอ

ฉ. การปิดกั้นบานระบายน้ำเนื่องจากเศษวัสดุ อันเนื่องมาจากไม่มีตาข่ายดักสวะหรือเกิดการถล่มของกำแพงกันดินหรือลาดชันในร่องทางระบายน้ำล้น เศษวัสดุอันได้แก่กิ่งไม้หรือขอนไม้อาจทำให้บานระบายเสียหาย โดยช่วงการเก็บน้ำครั้งแรกของอ่างเก็บน้ำจำเป็นต้องระวังเป็นพิเศษ รวมถึงช่วงที่มีฝนตกหนักอันอาจก่อให้เกิดดินถล่มพาต้นไม้และเศษไม้ลงในอ่างเก็บน้ำ แสดงรูปที่ 2.13

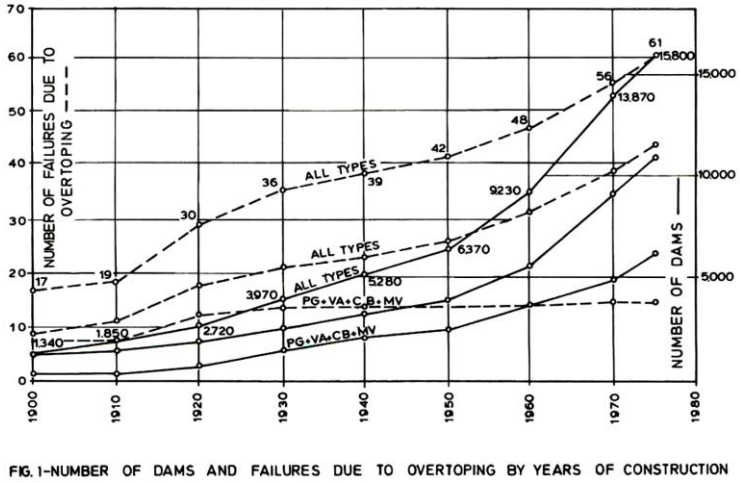
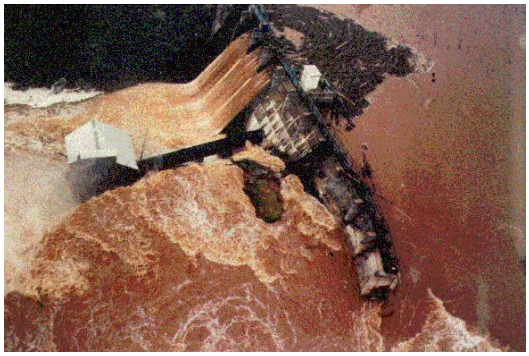


FIG. 1-NUMBER OF DAMS AND FAILURES DUE TO OVERTOPING BY YEARS OF CONSTRUCTION

รูปที่ 2.12 สถิติการพิบัติเนื่องจากน้ำล้นสันเขื่อน

ที่มา : USCOLD



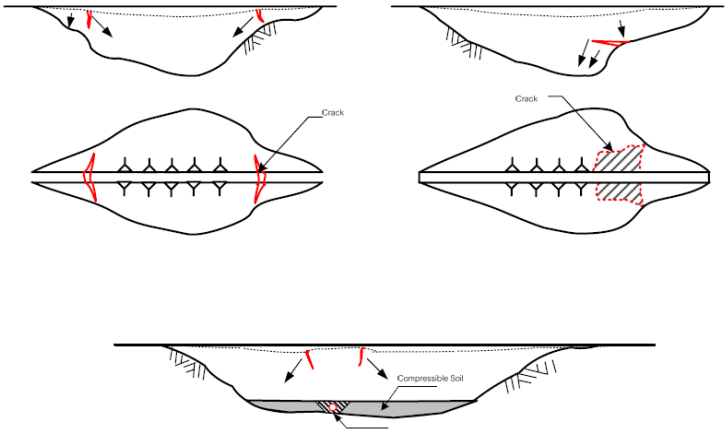
รูปที่ 2.13 เขื่อน Port Wing ประเทศสหรัฐอเมริกา

ที่มา : www.ferc.gov/eventcalander

2.3.2.3 การทรุดตัวต่างกันทำให้เกิดรอยแยกในตัวเขื่อน

เขื่อนและฐานรากประกอบด้วยวัสดุก่อสร้างที่เป็นดิน กรวด ทราย หิน หรือคอนกรีต วางอยู่บนฐานรากที่เป็นดินหรือหินตามธรรมชาติ เมื่อมีแรงหรือน้ำหนักมากดทับหรือได้รับแรงจากแผ่นดินไหว ย่อมจะมีการเคลื่อนตัวโดยเฉพาะอย่างยิ่งการทรุดตัวในแนวดิ่ง ถ้าการทรุดตัวเกิดขึ้นสม่ำเสมอก็ไม่ค่อยมีอันตราย แต่ถ้าเกิดขึ้นต่างกันก็มักจะมีผลทำให้เกิดรอยแตกแยกขึ้นได้ทั้งผิวนอกของตัวเขื่อนซึ่งสามารถเห็นได้ หรือภายในตัวเขื่อนซึ่งยากต่อการตรวจพบแล้วยังอาจเป็นสาเหตุสืบเนื่องก่อให้เกิดการรั่วซึมของตัวเขื่อนได้ ลักษณะการทรุดตัวและแตกแยกในตัวเขื่อน อาจเกิดขึ้นได้ดังนี้

ก. การแตกตามขวาง (Transverse crack) เกิดจากลักษณะช่องเขาเป็นขั้นตะพัก (Terrace) โดยมีความลาดไม่สม่ำเสมอหรือความหนาของชั้นดินฐานรากไม่สม่ำเสมอ แสดงดังรูปที่ 2.14 หรือการก่อสร้างที่มีการทิ้งค้างไว้แล้วมาก่อสร้างต่อภายหลัง อาจทำให้เกิดรอยแตกขวางกับแนวสันเขื่อน แสดงดังรูปที่ 2.15 ซึ่งมีอันตรายสูงในการที่จะเกิดการรั่วของน้ำผ่านตัวเขื่อน

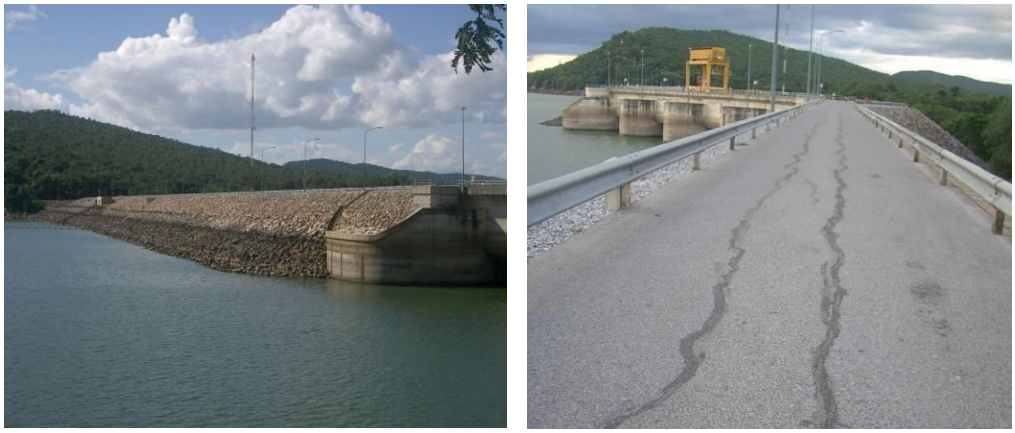


รูปที่ 2.14 รอยแตกตามขวางแนวสันเขื่อน

รูปที่ 2.15 การแตกของดินแกนเขื่อนเนื่องจากการทิ้งค้างให้เกิดการระเหยของน้ำ

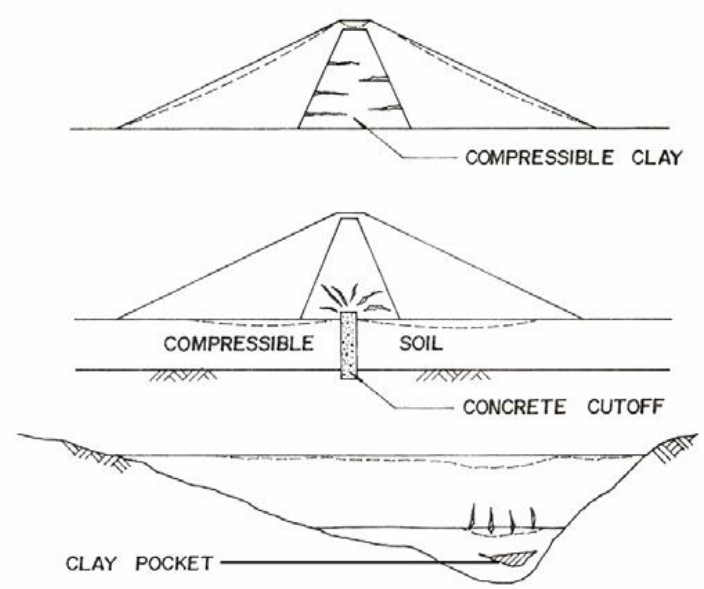
ข. การแตกตามแนวขนาน ส่วนมากจะเกิดจากการทรุดตัวของตัวเขื่อนไม่เท่ากัน ก่อให้เกิดรอยแตกตามแนวขนานกับแกนเขื่อน แสดงดังรูปที่ 2.16 อาจเพราะมีอิทธิพลของสิ่งต่างๆเช่น วัสดุต่างชนิดในส่วนต่างๆของตัวเขื่อน ความลึกของร่องแกนที่ทำให้ความสูงของเขื่อนต่างกัน การเพิ่มความสูงของสันเขื่อนโดยการบดอัดเพิ่มเช่น ในกรณีของเขื่อนอุบลรัตน์ แสดงดังรูปที่ 2.17 หรือจากการสูญเสียความชื้นในส่วนต่างๆของเขื่อน เป็นต้น

รูปที่ 2.16 รอยแตกขนานแนวสันเขื่อน



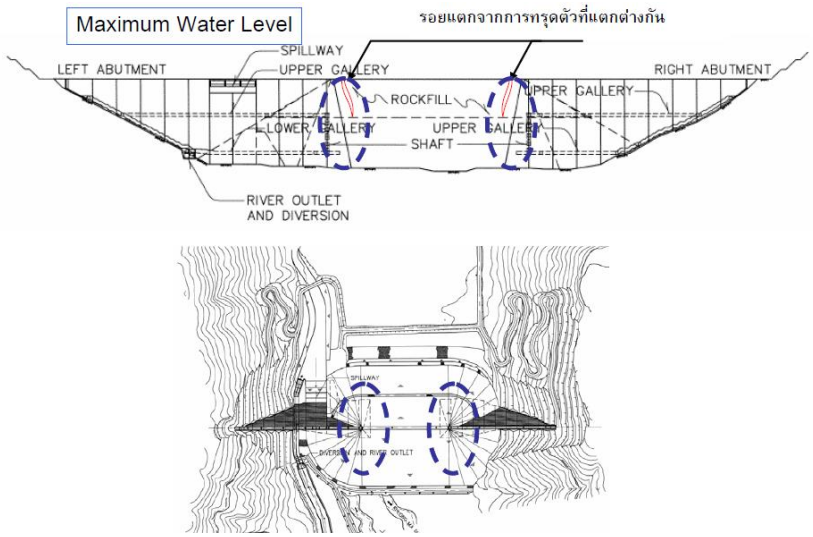
รูปที่ 2.17 การแตกตามยาวของเขื่อนอุบลรัตน์เนื่องจากการเสริมสันเขื่อน

ค. การแตกภายในตัวเขื่อน เกิดจากการทรุดตัวต่างกันของวัสดุก่อสร้างสองชนิด เช่น แกนดินเหนียว ซึ่งทรุดตัวมากกว่าส่วนหินภายนอก หรือส่วนที่เป็นคอนกรีตกับส่วนที่เป็นดินเป็นต้น การแตกจะเกิดในลักษณะ Tension crack เป็นส่วนมาก และมีอันตรายสูงสุด เพราะไม่สามารถตรวจพบจากภายนอกได้ซึ่งอาจเกิดการพิบัติอย่างทันทีทันใด แสดงดังรูปที่ 2.18 ถึง 2.19 นอกจากจะมีการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวในเขื่อน แสดงดังรูปที่ 2.20 แสดงลักษณะการเกิดรอยแยกจากแรงดึงที่เกิดจากการทรุดตัวแตกต่างกันระหว่างรอยต่อของชนิดเขื่อนที่ต่างกันในกรณีนี้เป็นแนวโน้มการทรุดตัวแตกต่างกันระหว่างเขื่อน RCC และเขื่อนหินถมแกนดินเหนียวของเขื่อนคลองมะเดื่อ



รูปที่ 2.18 รอยแตกภายในตัวเขื่อน

รูปที่ 2.19 การพิบัติเนื่องจากการแตกภายในตัวเขื่อน

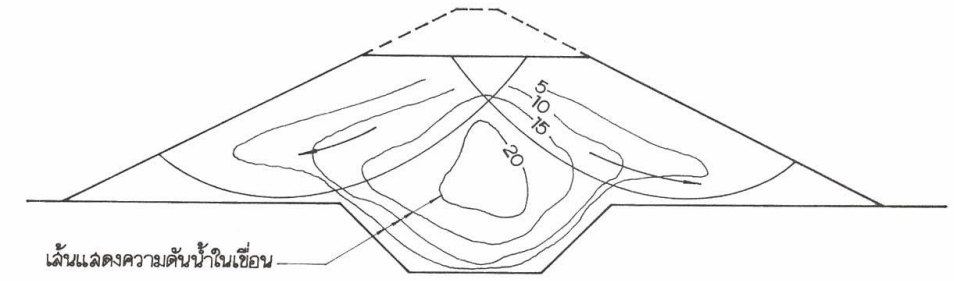


รูปที่ 2.20 การทรุดตัวแตกต่างกันระหว่างรอยต่อของเขื่อน RCC และเขื่อนหินถมแกนดินเหนียวของเขื่อนคลองมะเดื่อ
ที่มา : สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ (2550)

2.3.2.4 การเคลื่อนพังของลาดเขื่อนและฐานราก

การพิบัติลักษณะนี้มักจะเกิดขึ้นอย่างฉับพลัน โดยมีการบอกเหตุล่วงหน้าน้อยมากและมักเกิดร่วมกับการเปลี่ยนแปลงความดันน้ำภายในตัวเขื่อนหรือฐานรากช่วงวิกฤตที่อาจเกิดการพิบัติ คือ

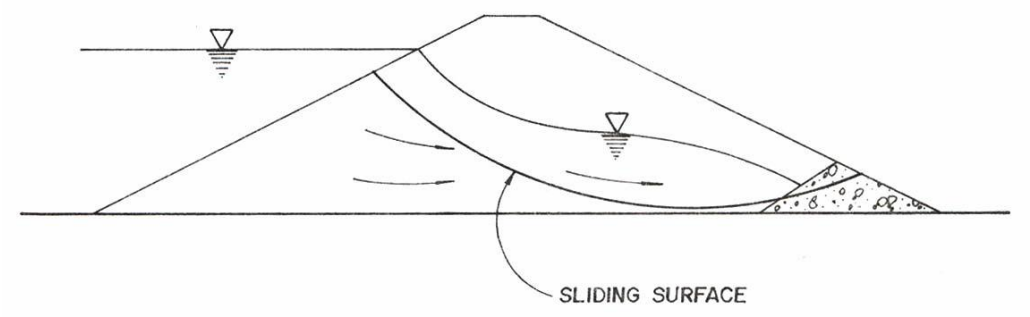
ก. ระหว่างหรือหลังการก่อสร้าง ในระหว่างการบดอัดตัวเขื่อนจะทำให้เพิ่มความดันน้ำขึ้นในตัวเขื่อน ยิ่งเขื่อนสูงขึ้นความดันน้ำก็จะยิ่งมากทำให้ความแข็งแรงของดินลดลงจนอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินที่ถมตัวเขื่อนขึ้นได้ แสดงดังรูปที่ 2.21 ซึ่งจะสามารถเกิดได้ทั้งทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ กรณีนี้ดังเช่นการพิบัติของเขื่อน Calaveras ปี ค.ศ.1918 ที่เกิดการพิบัติระหว่างการก่อสร้าง แสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.21 การเคลื่อนพังของเขื่อนในระหว่างการก่อสร้าง
ที่มา : วรากร ไม้เรียง (2542)

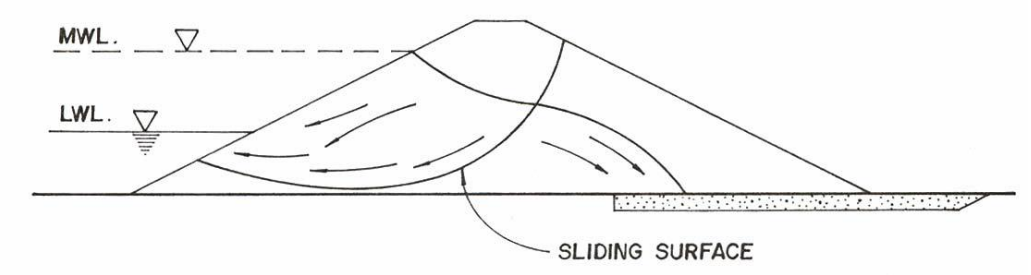
รูปที่ 2.22 การพิบัติแบบเลื่อนไถลของเขื่อน Calaveras ระหว่างการก่อสร้าง
ที่มา : California Department of Safety of Dams

ข. ระหว่างเก็บกักน้ำ ในระหว่างการเก็บกักน้ำจะมีการไหลของน้ำซึมผ่านตัวเขื่อนจากด้านเหนือน้ำไปท้ายน้ำ ความดันน้ำในตัวเขื่อนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นโอกาสที่จะเกิดการเคลื่อนพังทางด้านท้ายน้ำจะมีมาก แสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การเคลื่อนพังของเขื่อนในระหว่างเก็บกักน้ำ
ที่มา : วรากร ไม้เรียง (2542)

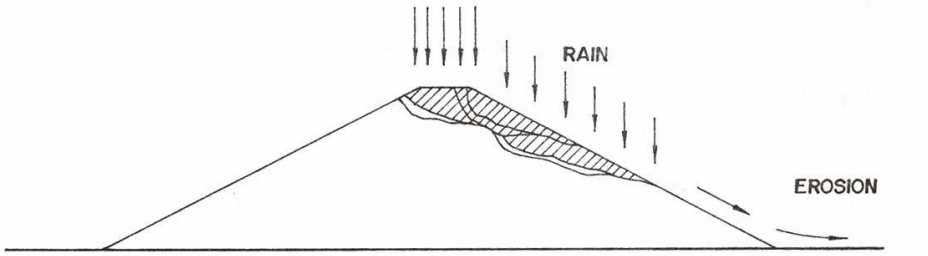
ค. ระหว่างการลดระดับของน้ำในอ่างอย่างรวดเร็ว เมื่อระดับน้ำในอ่างลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการนำน้ำไปใช้ในอัตราสูง หรือระบายทิ้งเพื่อซ่อมแซมแก้ไข หรือเหตุผลอื่นใดก็ตาม ทิศทางการไหลซึมของน้ำในตัวเขื่อนจะย้อนกลับมาทางด้านเหนือน้ำ ก่อให้เกิดการเคลื่อนพังทางด้านเหนือน้ำได้ แสดงดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 การเคลื่อนพังในระหว่างการลดระดับน้ำ
ที่มา : สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ (ดัดแปลงจาก วรากร ไม้เรียง (2542))

2.3.2.5 การพิบัติจากการกัดเซาะ

การพิบัติของเขื่อนยังอาจเกิดจากการกัดเซาะของคลื่น ที่พัดเข้ากระทบลาดเขื่อนเหนือน้ำส่วนการกัดเซาะจากน้ำฝนปกติจะป้องกันได้จากการปลูกหญ้า หรือทำหินเรียงคลุมไว้ แต่ถ้าดินมีลักษณะกระจายตัวในน้ำได้ง่าย ก็จะเกิดการกัดเซาะบนลาดเขื่อนได้มากจนเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายได้ ดังที่เกิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยได้ แสดงดังรูปที่ 2.25 และ 2.26



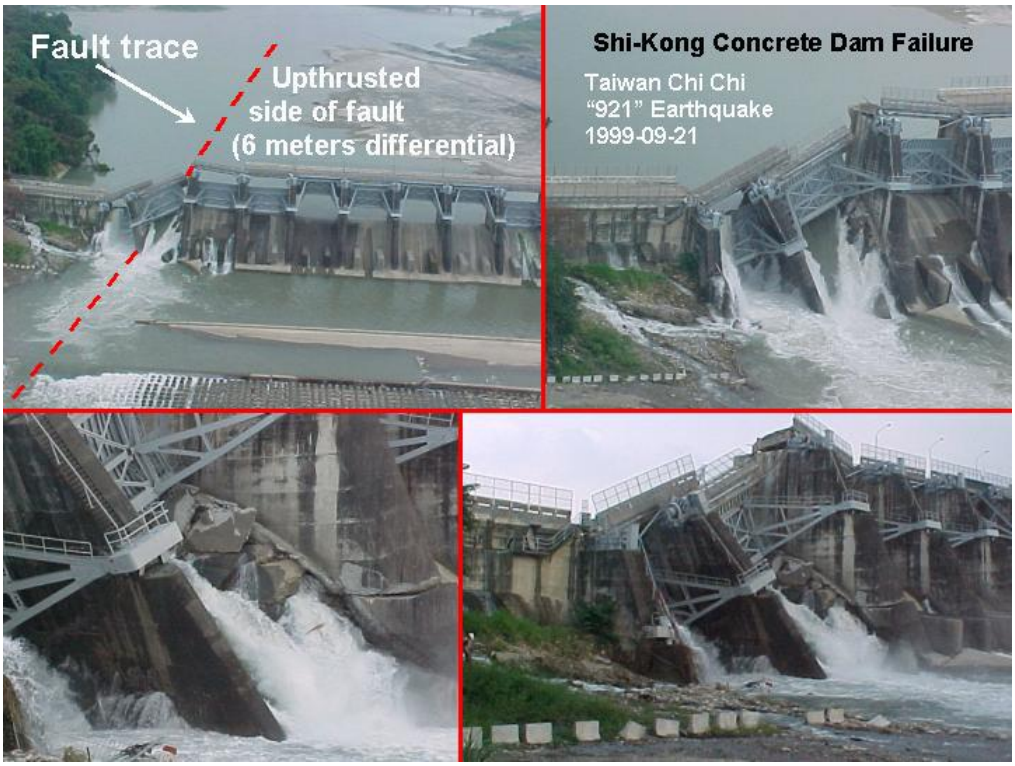
รูปที่ 2.25 การพิบัติจากการกัดเซาะ
ที่มา : วรากร ไม้เรียง (2542)

รูปที่ 2.26 การกัดเซาะตัวเขื่อน

2.3.2.6 การพิบัติหรือเสียหายเนื่องจากแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหวส่งผลต่อความมั่นคงของเขื่อนเนื่องจากสามารถก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนทั้งในแนวดิ่งและแนวราบ ทำให้เกิดแรงกระทำเพิ่มขึ้นในวัสดุตัวเขื่อน นอกจากนั้นยังอาจส่งผลต่อเขื่อนเนื่องจากการเคลื่อนตัวของแนวรอยเลื่อนใกล้บริเวณเขื่อน SHI-KONG แสดงดังรูปที่ 2.27 ซึ่งได้สรุปพฤติกรรมความเสียหายที่อาจนำไปสู่การพิบัติของเขื่อนได้ดังต่อไปนี้

1. การเคลื่อนตัวของแนวรอยเลื่อนในแนวดิ่งใกล้ตัวเขื่อน
2. การเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนใต้ฐานเขื่อน
3. การเกิดคลื่นน้ำภายในอ่างเก็บน้ำ เนื่องจากความสั่นสะเทือน
4. การเกิดแผ่นดินถล่มรอบอ่างเก็บน้ำจากแรงแผ่นดินไหวทำให้เกิดน้ำข้ามสันเขื่อน
5. เกิดการพิบัติของอาคารบังคับน้ำ ทำให้ไม่สามารถระบายน้ำได้
6. การไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อนตามรอยแตกในแนวขวางกับสันเขื่อน
7. การยุบตัวของสันเขื่อนในแนวดิ่งเนื่องมาจากแรงสั่นสะเทือน ทำให้เกิดรอยแตกตามแนวแกนเขื่อน
8. การสูญเสียกำลังของดินตัวเขื่อนหรือฐานรากเนื่องจากการเกิด Liquefaction ทำให้เกิดการเลื่อนไถลหรือยุบตัวของเขื่อน



รูปที่ 2.27 ความเสียหายของเขื่อน SHI-KONG ประเทศไต้หวัน

ที่มา : R.S.OLSEN (1999)

2.4 ข้อมูลลักษณะของคันดิน

คันดิน เป็นโครงสร้างตามธรรมชาติเรียกว่า สันดินริมน้ำหรือคันดินธรรมชาติที่เกิดขึ้นเพราะแม่น้ำหรือลำธาร พัดพาตะกอนมาตกทับถมริมฝั่งในฤดูน้ำหลาก เมื่อน้ำลดตะกอนที่ตกทับถมก็เป็นคันดินตามขนานไปตามริมฝั่งลำน้ำ หรือโครงสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้นมันจะถมดิน (Earthen Embankment) โดยสร้างเป็นคันดินยาวไปตามแนวตลิ่งของแม่น้ำ มีการออกแบบและก่อสร้างทางวิศวกรรมในการควบคุมหรือการเบี่ยงแนวทางการไหลของน้ำ หรือเป็นแนวคันกั้นน้ำ โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการป้องกันน้ำท่วมชั่วคราวเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำจากแม่น้ำไหลบ่าท่วมพื้นที่ใกล้เคียง โดยจะแสดงตัวอย่างของคันดินดังรูปที่ 2.28

รูปที่ 2.28 บริเวณด้านข้างของคันดินที่แม่น้ำซาคราเมนโต ในประเทศสหรัฐอเมริกา
ที่มา : http://th.wikipedia.org/wiki/

2.4.1 คันดินเทียม

คันดินเทียมสร้างขึ้นเพื่อป้องกันไม่ให้ปริมาณน้ำท่วมเข้าไปในเขตพื้นที่อยู่อาศัย อีกทั้งยังสามารถช่วยควบคุมทิศทางการไหลของกระแสน้ำได้ แต่อาจจะผลทำให้แระแสน้ำจะไหลผ่านที่อัตราความเร็วเพิ่มสูงขึ้น คันดินเทียมมักจะพบได้ในบริเวณตามแนวชายหาด ในส่วนที่สันทรายยังอ่อนตัว อีกทั้งยังสามารถพบได้ตามแนวเส้นทางน้ำที่มีไว้สำหรับป้องกันน้ำท่วมหรือพบได้ตามแนวทะเลสาบรวมถึงที่ราบลุ่ม นอกจากนี้การสร้างคันดินยังมีจุดประสงค์ในด้านการป้องกันอุทกภัยหรือการคาดเดาบริเวณพื้นที่อาจเกิดอุทกภัยซึ่งคันดินประเภทนี้จะพบในลักษณะของกำแพงดินที่เป็นหินแห้งและแข็ง คันดินอาจมีลักษณะที่เป็นกำแพงดินถาวร หรือสิ่งก่อสร้างที่ทำขึ้นเพื่อการป้องกัน

ภาวะน้ำท่วมอย่างฉุกเฉิน นอกจากนี้คันดินอาจเกิดขึ้นจากกระบวนการทางธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากการท่วมของน้ำในแม่น้ำเข้ามาในพื้นที่ลุ่มซึ่งกระแสน้ำได้พัดพาตะกอนมาสะสมตัวในบริเวณด้านข้างทั้งสองฝั่งของเส้นทางน้ำ โดยตะกอนที่ถูกพัดพามาจะมีขนาดเล็กเช่น พวกตะกอนทรายแป้ง มาตกสะสมตัวเป็นชั้นๆ และในบริเวณชายหาดก็สามารถเกิดคันดินขึ้นได้ โดยจะเกิดเชื่อมต่อกันหลายคันดิน เนื่องจากกระบวนการทางทะเล เราเรียกว่า สันทราย คันดินจะประกอบไปด้วยหินและตะกอนตกสะสมตัวตามแนวราบเป็นชั้นๆ และอาจถูกปกคลุมด้วยพืชพรรณ โดยแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.29

รูปที่ 2.29 คันดินป้องกันน้ำท่วมที่แม่น้ำมิสซิสซิปปี ในรัฐหลุยส์เซียนา
ที่มา : http://th.wikipedia.org/wiki/

2.4.2 คันดินธรรมชาติ

คันดิน หรือตลิ่ง โดยปกติจะถูกสร้างจากมนุษย์ แต่สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติได้ เนื่องจากแม่น้ำได้พาตะกอนต่างๆ มาด้วยความแรงและความเร็วของกระแสน้ำ เมื่อเกิดน้ำท่วมเข้ามาในพื้นที่ลุ่มน้ำจะแผ่ตัวเป็นบริเวณกว้าง และค่อยๆไหลแผ่ออกไป จึงสามารถพาตะกอนไปสะสมตัว เวลาผ่านไป ที่ลุ่มบริเวณนั้นจะเกิดการพอกตัวขึ้นเรื่อยๆ บนพื้นที่ที่เป็นที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึงท้ายที่สุดจะเกิดเป็นเนินดินขึ้นมา เรียกว่า คันดินธรรมชาติ โดยจะแสดงดังรูปที่ 2.30 ซึ่งลักษณะคันดินที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของสามเหลี่ยมปากแม่น้ำมิสซิสซิปปี้ ในรัฐหลุยส์เซียนา

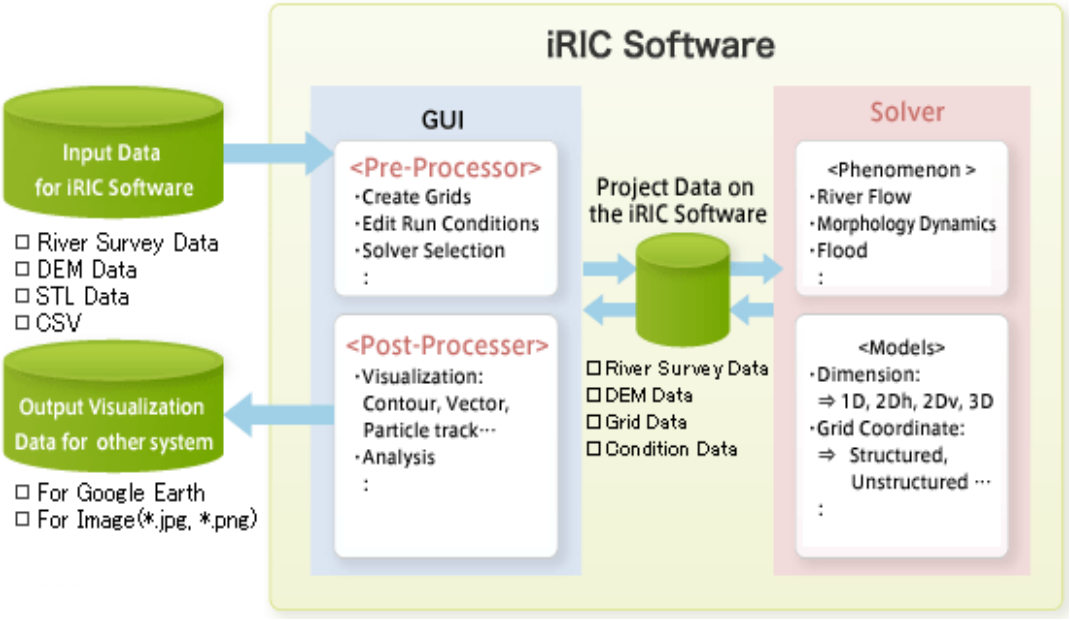
รูปที่ 2.30 คันดินของสามเหลี่ยมปากแม่น้ำมิสซิสซิปปี้ ในรัฐหลุยส์เซียนา
ที่มา : http://elearning.stkc.go.th/

2.5 โปรแกรมแบบจำลองทางชลศาสตร์ iRIC [4] [6] [9] [10]

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

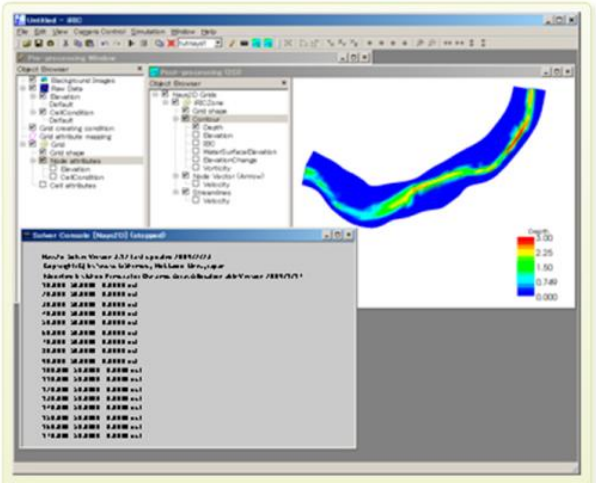
2.5.1 ระบบโครงสร้างของโปรแกรมแบบจำลอง iRIC

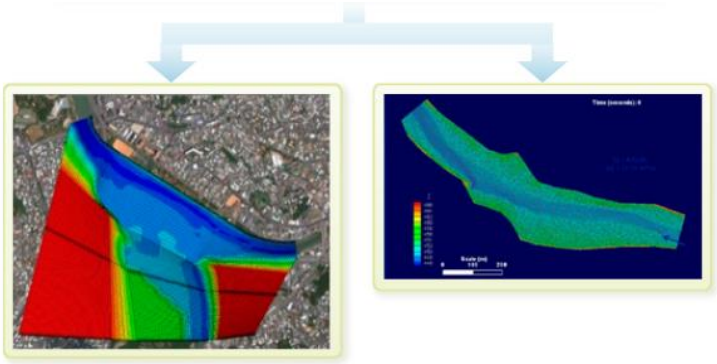
หลักการทำงานของโปรแกรมแบบจำลอง iRIC จะแบ่งออกเป็นส่วนการจัดเตรียมข้อมูลและประมวลผลกลาง ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถใช้งานได้ง่าย มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำสูง ตลอดจนสามารถดึงข้อมูลผลเฉลยที่บันทึกเก็บไว้ในไฟล์ มาแสดงเป็นภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวร่วมกับรูปภาพ แผนที่หรือภาพถ่าย เพื่อนำไปใช้ในการเสนอและแสดงผลการคำนวณต่างๆ บนนั้นได้โดยใช้โปรแกรมที่จัดเตรียมไว้ให้และสามารถนำไฟล์รูปภาพข้างต้นไปสร้างเป็นไฟล์ *.kml เพื่อใช้แสดงบน Google Earth ได้ ทำให้สามารถมองเห็นเป็นภาพที่เข้าใจได้ง่ายขึ้นซึ่งโครงสร้างของโปรแกรมแบบจำลอง iRIC มีลักษณะของระบบโครงสร้างที่ออกแบบไว้โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนด้วยกันดังนี้ คือ (1) Pre-processor (2) Post-processor และ (3) Solver แสดงดังรูปที่ 2.31 ถึง 2.32



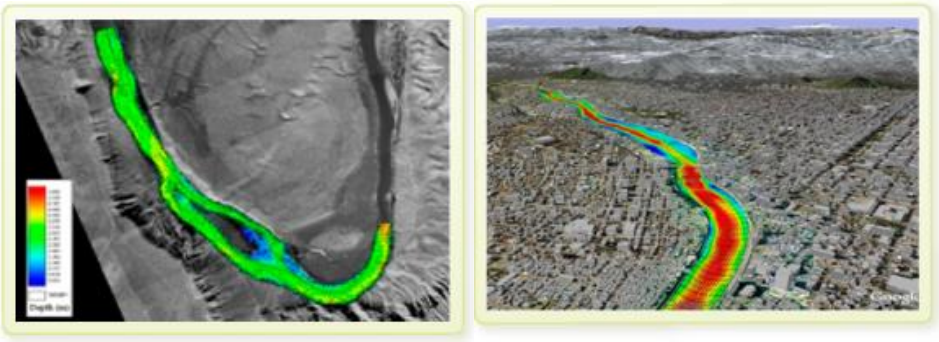
รูปที่ 2.31 ผังจำลองระบบโครงสร้างการทำงานของโปรแกรมแบบจำลอง iRIC

ที่มา : http://iric.org/





(ก) หน้าต่างของ Pre-processor และแสดงผลการคำนวณ



(ข) หน้าต่างของ Post-processor และแสดงผลการคำนวณบน Google Earth

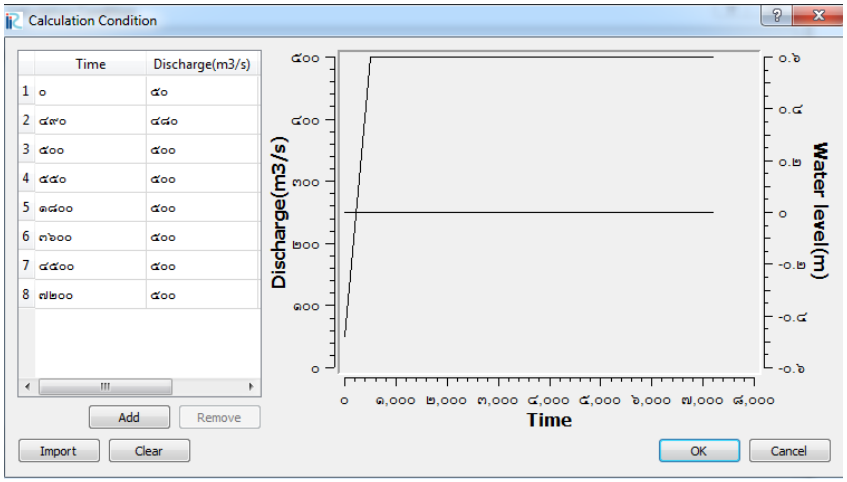
รูปที่ 2.32 หน้าต่างของ Pre-processor และ Post-processor พร้อมประมวลผลโดย Solver
ที่มา : http://iric.org/

2.5.2 การประยุกต์ใช้โปรแกรมแบบจำลอง iRIC

เมื่อทำการดาวน์โหลดโปรแกรมแบบจำลอง iRIC และทำการติดตั้งเรียบร้อยจะพบว่าในโปรแกรมจะมี Solver อยู่หลายตัวซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้ Nays 2D โดยขั้นตอนการเตรียมข้อมูล ต้องทำการเตรียมข้อมูลดังต่อไปนี้

ก. ข้อมูลตำแหน่งพิกัดและรูปตัดขวางซึ่งได้จากการสำรวจเก็บข้อมูลจากภาคสนาม

ข. ข้อมูลของการไหล เช่น ความลึก และอัตราการไหล เป็นต้น ข้อมูลของการไหลจะประกอบด้วยอนุกรมเวลาของอัตราการไหลกับระดับน้ำด้านท้ายน้ำ เพื่อใช้เป็นค่าขอบเขตด้านบนกับด้านล่างของแบบจำลอง แสดงดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 ตัวอย่างข้อมูลอนุกรมของการเวลากับอัตราการไหล

ค. ข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องน้ำข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และกำหนดเลือกคำนวณสภาพเริ่มต้นกับวิธีการคำนวณ เป็นต้น

ง. ขนาดช่วงเวลา (Time step: Δt) และกำหนดเลือกคำนวณสภาพเริ่มต้นกับวิธีการคำนวณผลลัพธ์และการนำเสนอผลการคำนวณ เมื่อทำการ run โปรแกรมเพื่อประมวลผลโดย Solver

2.6 ทฤษฎีสมการพื้นฐาน [5] [17]

2.6.1 สมการการไหลของน้ำ

สมการพื้นฐานที่ถูกนำมาใช้ในโปรแกรมแบบจำลอง iRIC จะประกอบด้วยสมการการไหลต่อเนื่องและสมการโมเมนตัม ซึ่งในระบบพิกัดแบบฉาก โดยสามารถเขียนได้เป็นดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial (hu)}{\partial x}+\frac{\partial (hv)}{\partial y}=0 \tag{2.1}$$

$$\frac{\partial (hu)}{\partial t}+\frac{\partial (hu^2)}{\partial x}+\frac{\partial (huv)}{\partial y}=-gh\frac{\partial H}{\partial x}-\frac{\tau_x}{\rho}+\frac{\partial}{\partial x}\left[\nu\frac{\partial (hu)}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\nu\frac{\partial (hu)}{\partial y}\right] \tag{2.2}$$

$$\frac{\partial (hv)}{\partial t}+\frac{\partial (huv)}{\partial x}+\frac{\partial (hv^2)}{\partial y}=-gh\frac{\partial H}{\partial x}-\frac{\tau_x}{\rho}+\frac{\partial}{\partial x}\left[\nu\frac{\partial (hv)}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\nu\frac{\partial (hv)}{\partial y}\right] \tag{2.3}$$

โดยที่ h คือ ความลึกของน้ำ

u, v คือ ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในแนวดิ่ง

$\tau_{x,y}$ คือ ความเค้นเฉือนในแนวแกน x กับ y

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ

H คือ ค่าเสาระดับ $(H = z_b + h)$

Z_b คือ ระดับของท้องน้ำ

ν คือ ความหนืดจลน์

t คือ เวลา

x, y คือ แนวแกนของระบบพิกัดแบบฉากตามทิศทางการไหลกับทิศทางตั้งฉาก

พจน์ของความเค้นเฉือน τ_x, τ_y และความหนืดจลน์สามารถคำนวณได้จาก

$$\tau_x = \rho C_d u\sqrt{u^2+v^2}\ ,\ \tau_y = \rho C_d v\sqrt{u^2+v^2} \tag{2.4}$$

$$\nu = \frac{k}{6}u_* h \tag{2.5}$$

โดยที่ C_d คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

k คือ ค่าคงที่ของ Karman (มีค่าเท่ากับ 0.4)

u_* คือ ความเร็วเฉือน ซึ่งสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของ

$$u_* = C_d\sqrt{u^2+v^2} \tag{2.6}$$

2.6.2 การวิเคราะห์การสอบเทียบแบบจำลอง

จากผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง เมื่อพิจารณาหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆและได้ค่าที่เหมาะสมจากการสอบเทียบแบบจำลองระว่างผลลัพธ์กับข้อมูลที่ตรวจวัดจริงของระดับน้ำต่ออัตราการไหล โดยใช้หลักการทางสถิติมาเป็นเครื่องช่วยตัดสินใจ เพื่อที่จะได้อ้างอิงผลการจำลองและคัดเลือกพารามิเตอร์ได้ง่ายขึ้น ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือก ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Coefficient of Determination (R^2) ค่าประสิทธิภาพ Nash and Sutcliffe (ε) และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง Root Mean Square Error $(RMSE)$ สำหรับพิจารณาความเหมาะสมของการสอบเทียบดังสมการที่ (2.7) ,(2.8) และ(2.9)

1. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2)

$$R^2 = \frac{N\sum_{i=1}^{n} O_i M_i - \sum_{i=1}^{n}(O_i)\sum_{i=1}^{n}(M_i)}{\sqrt{\left[N\sum_{i=1}^{n} O_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n}(O_i)\right)^2\right]\left[N\sum_{i=1}^{n} M_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n}(M_i)\right)^2\right]}} \quad (2.7)$$

โดยที่ R^2 คือ ค่า Coefficient of Determination

O_i คือ ข้อมูลจริงที่ได้ค่าระดับคราบน้ำจากการสำรวจภาคสนาม i =1, 2, 3…n

M_i คือ ข้อมูลจริงที่ได้ค่าระดับคราบน้ำจากแบบจำลอง i =1, 2, 3…n

N คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจริงที่ได้จากแบบจำลอง

โดยที่ค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงข้อมูลที่มีความถูกต้องสมบูรณ์และสัมพันธ์กับข้อมูลที่ตรวจวัดจริง ถ้าค่าความคาดเคลื่อนนี้มีค่ามากกว่า 0.6 ในทางอุทกวิทยาจากสถาบันพัฒนาการชลประทานถือว่ายอมรับได้

2. ค่าประสิทธิภาพ Nash and Sutcliffe (ε)

$$\varepsilon = 1 - \frac{\sum_{1}^{n}(O_i - M_i)^2}{\sum_{1}^{n}(O_i - O_{avg})^2} \quad (2.8)$$

โดยที่ ε คือ ค่า Nash and Sutcliffe

O_i คือ ข้อมูลจริงที่ได้ค่าระดับคราบน้ำจากการสำรวจภาคสนาม

M_i คือ ข้อมูลจริงที่ได้ค่าระดับคราบน้ำจากแบบจำลอง

O_{avg} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจริงที่ได้จากการสำรวจระดับน้ำในพื้นที่ภาคสนาม

โดยที่ค่า ε มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงข้อมูลที่ถูกต้องสมบูรณ์และสัมพันธ์กับข้อมูลที่ตรวจวัดจริง แต่ถ้าค่า ε มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงข้อมูลที่ไม่มีความถูกต้องและไม่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ตรวจวัดจริง

3. ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (*RMSE*)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(O_i - M_i)^2}{n}} \tag{2.9}$$

โดยที่ $RMSE$ คือ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

O_i คือ ข้อมูลจริงที่ได้ค่าระดับคราบน้ำจากการสำรวจภาคสนาม

M_i คือ ข้อมูลจริงที่ได้ค่าระดับคราบน้ำจากแบบจำลอง

n คือ จำนวนข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง

โดยที่เมื่อค่า $RMSE$ มีค่าเข้าใกล้ 0 จะแสดงถึงความแม่นยำและความถูกต้องสัมพันธ์กับข้อมูลที่ตรวจวัดจริง

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สนิท วงษา และยาสุยูกิ ชิมิซึ [9] ได้ทำการประยุกต์ใช้โปรแกรม Nays2D Flood เพื่อศึกษาพฤติกรรมด้านชลศาสตร์ของน้ำหลากของเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่ภาคกลางปี 2554 ซึ่งโปรแกรม Freeware นี้ได้พัฒนาโดย The Foundation of Hokkaido River Disaster Prevention Research Center (RIC) แห่งประเทศญี่ปุ่น เป็นโปรแกรมที่สามารถใช้งานง่าย มีประสิทธิภาพ และความแม่นยำสูง ได้แสดงผลการจำลองสถานการณ์น้ำท่วมใหญ่ภาคกลางของประเทศไทยปี 2554 เพื่อทดสอบความสามารถของโปรแกรม พบว่าโปรแกรม Nays2D Flood สามารถลอกเลียนพฤติกรรมด้านชลศาสตร์ของน้ำหลากได้ผลเป็นอย่างดีตามที่คาดการณ์ไว้ ซึ่งจะได้นำไปประยุกต์ใช้เพื่อประเมินผลกระทบเมื่อมีการสร้างคันกั้นน้ำและทางระบายน้ำหลากในช่วงเกิดน้ำหลากและนำเสนอแนะแนวทางการไขปัญหาต่อไป

กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2555)[1] ได้ทำการศึกษาและจัดตั้งโครงการเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำบริเวณประตูระบายน้ำบางโฉมศรี จ.สิงห์บุรี ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการป้องกันเหตุอุทกภัยที่เคยเกิดขึ้นในปี พ.ศ.2554 และเพื่อใช้ในการจัดการน้ำเพื่อการชลประทานในบริเวณพื้นที่ประตูระบายน้ำบางโฉมศรี ซึ่งได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอุทกวิทยาอาทิเช่น ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ข้อมูลปริมาณน้ำท่าในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาและปริมาณน้ำที่ไหลผ่านคลองชัยนาท – อยุธยา ข้อมูลของพื้นที่บริเวณประตูระบายน้ำบางโฉมศรีเป็นต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการก่อสร้างและปรับปรุงโครงสร้างทางชลประทานที่รับได้รับความเสียหายจากการเกิดอุทกภัย ซึ่งอยู่ในภายใต้โครงการจัดการโครงการเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำบริเวณประตูระบายน้ำบางโฉมศรี จ.สิงห์บุรี

พงศ์พันธุ์ กาญจนการุณ และคณะ [5] ได้ทำการจำลองการพังทลายของคันดินใกล้บริเวณประตูระบายน้ำกรณีน้ำไหลล้นคันดิน เพื่อจำลองเหตุการณ์พังทลายของคันดินบริเวณติดกับประตูระบายน้ำ โดยเลือกกรณีศึกษาจากเหตุการณ์พังทลายของคันดินบริเวณประตูระบายน้ำบางโฉมศรี อันเนื่องมาจากมหาอุทกภัยปี พ.ศ.2554 ซึ่งได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ iRIC เพื่อใช้ในการจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นและทำการปรับเทียบผลการคำนวณด้วยความกว้าง การไหลล้นคันดิน ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ iRIC ให้ผลจำลองความกว้างของการไหลล้นได้สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง

ชลลดา ยวงใย และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการพังทลายของคันดินเหนียวบริเวณรอยต่อโครงสร้างประตูระบายน้ำบางโฉมศรี เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการพังทลายของคันดินเหนียวบริเวณรอยต่อโครงสร้างประตูระบายน้ำบางโฉมศรี โดยนำโปรแกรมแบบจำลอง iRIC มาประยุกต์ใช้ในวิเคราะห์ผลพฤติกรรมทางชลศาสตร์ ซึ่งได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลรูปตัดขวางของแบบจำลองทางกายภาพ ตลอดจนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าในโปรแกรมแบบจำลอง โดยใช้กริดจำนวน 3,519 กริด (ความยาว = 7 เมตร , ความกว้าง = 5.17 เมตร) ขนาดของกริด 0.10 x.0.10 ตารางเมตร ที่อัตราการไหล 0.00414 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตลอดจนแสดงผลพฤติกรรมทางชลศาสตร์ในรูปแบบ 2 มิติ ซึ่งจากผลพบว่าคันดินเหนียวในบริเวณรอยต่อโครงสร้างประตูระบายน้ำบางโฉมศรีที่วิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมแบบจำลอง iRIC เกิดการพังทลายเนื่องจากปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้นจนเกิดการเอ่อล้นเข้าท่วมคันดินเหนียว เป็นผลทำให้คันดินเหนียวในบริเวณรอยต่อโครงสร้างประตูระบายน้ำบางโฉมศรีถูกกัดเซาะด้วยกระแสน้ำและเกิดการพังทลาย ซึ่งความกว้างของคันดินเหนียวที่ถูกกัดเซาะสูงสุดจะอยู่ในช่วงเวลาที่ 85 นาที ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางกายภาพพบว่ามีความสอดคล้องและคล้ายคลึงกันจริง

กนกวรรณ และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาด้านชลศาสตร์และการเคลื่อนตัวของน้ำหลากหลังการก่อสร้างคันกั้นน้ำเพื่อใช้ป้องกันน้ำท่วม บริเวณเขตนิคมอุตสาหกรรมในจังหวัดอยุธยาและจังหวัดปทุมธานี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจาการการก่อสร้างคันกั้นน้ำ ซึ่งได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลรูปตัดขวาง ระดับดินในรูปแบบ SRTM DEM ข้อมูลอัตราการไหลของน้ำและข้อมูลการก่อสร้างกำแพงกั้นน้ำ เพื่อเป็นข้อมูลป้อนเข้าและการปรับแก้แบบจำลองตลอดจนได้แสดงผลด้านชลศาสตร์และการเคลื่อนตัวของน้ำหลากในรูปแบบ 2 มิติ ซึ่งผลจากการพบว่าเมื่อนำผลจากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับภาพดาวเทียม GISTDA เพื่อปรับแก้แบบจำลองพบว่าบริเวณพื้นที่รับน้ำท่วมและระดับความลึกที่ใกล้เคียงกัน อีกทั้งในงานวิจัยนี้ยังได้ทำการประยุกต์ใช้ศึกษากรณีอัตราการไหลที่เกิดขึ้นจริงในช่วงสิงหาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2554 ที่ทำการปรับแก้ใส่คันกั้นน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วม พบว่าหลังจากที่ปรับแก้แล้วสามารถลดพื้นที่ประสบ

อุทกภัยภายในเขตนิคมอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี ซึ่งในการศึกษานี้ได้มีการนำเสนอแนวทางในการแก้ไขผลกระทบที่อาจขึ้นในอนาคตไว้ด้วย

ระพีพรรณ ทามูล และคณะ [7] ได้ศึกษาลักษณะการวิบัติของคันดินเหนียวบริเวณรอยต่อโครงสร้างประตูระบายน้ำบางโฉมศรี โดยการสร้างแปลงแบบจำลองกายภาพที่มีขนาดความกว้าง 5.20 เมตร ความยาว 10.70 เมตร และความสูง 1.20 เมตร โดยขั้นตอนการจำลองทางกายภาพประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือการจำลองการไหลของน้ำ และการจำลองคันดินซึ่งการไหลของน้ำจะพิจารณา การไหลแบบราบเรียบเท่านั้น จากการจำลองพบว่าลักษณะการวิบัติของคันดิน เกิดจากการไหลซึมผ่านของน้ำ ส่งผลทำให้เกิดการกัดเซาะด้านหลังคันดินบริเวณรอยต่อโครงสร้างประตูระบายน้ำบางโฉมศรี จนเกิดช่องขาดขนาดใหญ่ โดยมีขนาดความกว้าง 0.86 เมตร ทำให้ช่องทางการไหลของกระแสน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการกัดเซาะและการพัดพาหน้ำดินของคันดิน

ณัฏฐพงษ์ เถาวัลย์ และคณะ [3] ได้ศึกษาพฤติกรรมการวิบัติของคันดินช่วงน้ำท่วมโดยการใช้แบบจำลองทางกายภาพ โดยขั้นตอนการจำลองทางกายภาพประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ คือการจำลองการไหลของน้ำและการจำลองคันดินซึ่งการไหลของน้ำจะพิจารณาการไหลแบบราบเรียบ ที่อัตราการไหลสม่ำเสมอที่ 0.0414 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าการวิบัติของคันดินกรณีน้ำไหลล้นคันดิน พบว่าเมื่อน้ำไหลล้นคันดินทำให้เกิดแรงเฉือนพัดพาบริเวณสันคันดิน และเกิดการกัดเซาะบริเวณสันคันดินด้านหลัง โดยเกิดช่องแตกขนาดเล็กและใหญ่ เมื่อกระแสน้ำไหลผ่านเป็นระยะเวลานานได้กัดเซาะและพัดพาหน้ำดินออกไปจนทำให้บริเวณลาดเอียงของคันดินเกิดการทรุดตัวลง

สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ และคณะ [16] ได้ทำโครงการอบรมความปลอดภัยเขื่อนในสภาวะปกติและสภาวะอันตราย โดยได้กล่าวถึงการพิบัติของเขื่อนส่งผลกระทบต่อความเสียหายในด้านต่างๆเป็นอย่างสูงทั้งระยะสั้นและระยะยาว วิศวกรเขื่อนได้อาศัยบทเรียนจากการพิบัติในอดีต มาทำการปรับปรุงการสำรวจออกแบบก่อสร้างและบำรุงรักษา เพื่อให้เขื่อนมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น บทความนี้มุ่งเน้นถึงสถิติการพิบัติรวมไปถึงสาเหตุและลักษณะการพิบัติของเขื่อนเพื่อประโยชน์ในการสร้างเขื่อนให้มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น รวมทั้งเพื่อการบำรุงรักษาเขื่อนอย่างถูกต้อง

ทวีศักดิ์ วังไพศาล และคณะ [17] ได้ทำการศึกษาหาความแม่นยำของการพยากรณ์ระดับน้ำหลากโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยพิจารณาถึงการกำหนดจำนวนหน่วยในชั้นซ่อนและการกำหนดข้อมูลนำเข้าที่ให้ค่าการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำ โดยใช้กระบวนการเรียนรู้ด้วยวิธี Levenberg–Marquardt (LM) และวิธี Bayesian Regularization (BR)

เป้าหมายการศึกษาคือระดับน้ำหลากที่สถานีวัดระดับน้ำ M.7 ในแม่น้ำมูล จังหวัดอุบลราชธานี ทำการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า 3 วัน ผลการศึกษาพบว่า ผลโดยรวมที่ทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำ ได้แก่ (1) จำนวนหน่วยในชั้นซ่อนที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 0.5 เท่าของจำนวนหน่วยในชั้นนำข้อมูลเข้า (2) กระบวนการเรียนรู้ด้วยวิธี LM ให้ผลที่ดีกว่าวิธี BR และ (3) การพยากรณ์ระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำที่ทำให้ได้ผลการจำลองที่แม่นยำ ควรมีข้อมูลนำเข้าที่เป็นระดับน้ำของสถานีทางด้านเหนือน้ำของสถานีวัดระดับน้ำที่ต้องการพยากรณ์ที่อยู่ในแม่น้ำสายหลักที่ใกล้ที่สุด และข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำที่ต้องการพยากรณ์