

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการระบายตะกอนท้องน้ำของฝายสันมน ฝายหยัก และ ฝายคีย์เปียโน

Comparison of Bedload Drainage Efficiency of Ogee Weir, Labyrinth Weir and Piano Key Weir

พงศ์พันธุ์ กาญจนการุณ^{1,*}, สุรัชย์ อำนวยพรเลิศ¹, พลศิษฐ์ ศรีโพธิ์¹, ภาณุพงศ์ นิโลบล¹ และ รุ่งทิพย์ เหลือหลาย¹
¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ทรายขาว พาน เชียงราย 57120

Pongpan Kanjanakaroon^{1,*}, Surachai Amnuaypornlert¹, Pollasit Siphon¹, Panupong Nilobol¹ and Rungthip Lueail¹
¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai, Sai Khao, Phan, Chiang Rai, 57120, Thailand

*Corresponding Author E-mail: pongpank@gmail.com

Received: Nov 08, 2022; Revised: Dec 22, 2022; Accepted: Jan 27, 2023

บทคัดย่อ

การตกตะกอนทับถมบริเวณฝายด้านเหนือน้ำเกิดกับฝายส่วนใหญ่ที่มีลักษณะตั้งฉากกับทิศทางการไหล หนึ่งในแนวทางการลดปัญหาดังกล่าวคือการออกแบบรูปแบบฝายเพื่อให้ตะกอนสามารถระบายออกไปได้ง่ายภายใต้แรงกระทำของน้ำที่ไหลผ่านฝาย บทความนี้นำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายตะกอนของฝายสันมน ฝายหยัก และฝายคีย์เปียโน แบบจำลองกายภาพถูกใช้ในการจำลองการไหลของตะกอนผ่านฝายในกรณีที่มีและไม่มีประตูระบายตะกอน ความเหมาะสมในการใช้งานฝายขึ้นอยู่กับลักษณะการทับถมของตะกอน รูปแบบการระบายตะกอนท้องน้ำ และอัตราส่วนปริมาตรการระบายตะกอนท้องน้ำ ผลการศึกษาพบว่า ฝายที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการระบายตะกอนท้องน้ำกรณีไม่มีและไม่มีประตูระบายตะกอนคือฝายคีย์เปียโนและฝายหยัก ตามลำดับ รูปร่างของฝายคีย์เปียโนทำให้ตะกอนถูกพัดพาออกไปได้ง่ายด้วยแรงกระทำจากน้ำ ในขณะที่ฝายหยักจะสะสมตะกอนไว้ได้มากภายในตัวฝายทำให้ระบายตะกอนออกมาเมื่อเปิดบานระบาย การใช้งานฝายคีย์เปียโนเหมาะสมกับแม่น้ำที่ไม่มีประตูระบายตะกอน แต่สำหรับแม่น้ำที่สามารถติดตั้งประตูระบายตะกอนได้ควรเลือกใช้ฝายหยักเป็นหลัก

คำสำคัญ: การเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ, ฝาย, การตกตะกอนทับถม, แบบจำลองกายภาพ

Abstract

The problem of sedimentation in upstream weirs occurs in most weirs that perpendicularly sited on flow direction. One of the solutions to reduce this problem is to design the weir in such a way that the sediment can easily flow away under the force of the water flowing over the weir. In this paper, a comparison of bedload drainage efficiency of Ogee weir, Labyrinth weir, and Piano Key weir is presented. The physical model was used to simulate bedload transport through the weir with and without sediment discharge gate. The suitability of using a weir depends on the sediment deposition characteristics of the bedload at the upstream weir, the typical of sediment discharge through the weir, and the volumetric ratio of the bedload discharge. The results of this study show that the Labyrinth weir and the Piano Key weir have the best efficiency in discharging sediment through a weir with and without a sediment

discharge gate respectively. The shape of the Piano Key weir allows the sediment to be easily flushed out by the force of the water. While the Labyrinth weir accumulate a lot of sediment inside the weir, the sediment can be discharge when the sediment discharge gate is opened. The Piano Key weir is suitable for rivers where no sediment discharge gate is installed. In rivers where a sediment discharge gate can be installed, the Labyrinth weir should mainly used.

Keywords: Sediment transport, Weir, Sediment deposition, Physical model

1. บทนำ

ลักษณะภูมิประเทศทางภาคเหนือของประเทศไทย ประกอบด้วยภูเขาสูงชันสลับซับซ้อนเป็นจำนวนมาก อีกทั้งมีปริมาณการตกของฝนค่อนข้างสูง ซึ่งทำให้แม่น้ำส่วนใหญ่ในทางเหนือของประเทศไทยเกิดจากการไหลสะสมรวมกันของฝนจากภูเขา ในกระบวนการไหลรวมตัวของน้ำผิวดินจะพัดพาตะกอนลงมายังแม่น้ำเป็นจำนวนมากทำให้เกิดการทับถมของตะกอนในลำน้ำง่าย โดยเฉพาะบริเวณลำน้ำที่มีการสร้างฝายขวางกั้นลำน้ำไว้ จะมีตะกอนตกทับถมเป็นจำนวนมาก [1] นอกจากนี้ หนึ่งในปัจจัยที่ทำให้ตะกอนเกิดการทับถมบริเวณหน้าฝายคือลักษณะของตัวฝายที่นิยมใช้งานไม่เหมาะสมกับการระบายตะกอน โดยในปัจจุบันฝายที่นิยมก่อสร้างมีลักษณะเป็นฝายที่ตั้งตรง [2] เช่น ฝายสันมน ฝายสันคมประเภทต่างๆ ฝายเกเบียน ฯลฯ ซึ่งฝายเหล่านี้มีโครงสร้างที่ตั้งตรงด้านการไหลของน้ำ ส่งผลให้บริเวณด้านล่างของฐานฝายมีความเร็วการไหลที่ต่ำและเสี่ยงต่อการตกตะกอนได้ง่าย ถึงแม้ว่าฝายบางแห่งจะมีประตูระบายก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาการตกทับถมของตะกอนหน้าฝายได้ [3],[4] ในเวลาต่อมาประเทศไทยเริ่มนำฝายหยักมาใช้ในลำน้ำในภาคเหนือ เช่น ฝายท่าขมพู จังหวัดลำพูน ซึ่งฝายหยักมีลักษณะเป็นแนวยาวและกว้าง สามารถระบายน้ำได้ในปริมาณมากโดยที่ไม่ทำให้ระดับน้ำเหนือฝายสูงจนการเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมสองฝั่งของคดิ่ง อีกทั้งลักษณะของฝายจะรวมตะกอนให้อยู่ในทางน้ำที่แคบและมีประตูระบายอยู่บริเวณส่วนยอดของฝายหยักซึ่งจะทำให้สามารถระบายตะกอนออกได้ดี แต่เมื่อมีการใช้งานเป็นระยะเวลานานพบว่าบริเวณประตูระบายเกิดการชำรุดได้ง่ายโดยมีลักษณะการชำรุดแบบบานประตูหลุดออกจากร่องควบคุมการขึ้นลงในแนวดิ่ง อีกทั้งฝายดังกล่าวยังต้องการผู้ควบคุมการเปิดปิดบานระบายทำให้ไม่สามารถใช้งานกับลำน้ำขนาดเล็กได้ แต่ทั้งนี้ Herbst et al. [3] และ สุรพล ชุณหะวัต

[5] ได้ศึกษาประสิทธิภาพการระบายตะกอนผ่านฝายหยักเมื่อมีการปรับปรุงรูปร่างของฝาย พบว่าฝายที่มีการปรับปรุงรูปร่างให้มีความลาดชันเพิ่มสูงขึ้นไปยังด้านท้ายฝายจะทำให้สามารถระบายตะกอนออกไปโดยไม่ต้องใช้ประตูระบายน้ำ ลักษณะรูปร่างของฝายหยักที่ปรับปรุงนี้มีความใกล้เคียงกับฝายคีย์เปียโน (Piano Key Weir) ซึ่งเป็นฝายที่ยังไม่มีใช้งานในประเทศไทย โดยส่วนใหญ่จะถูกใช้สำหรับระบายน้ำผ่านทางระบายน้ำล้นซึ่งไม่จำเป็นต้องพิจารณาในเรื่องของตะกอนที่ตกหน้าฝาย อย่างไรก็ตาม ฝายคีย์เปียโนได้เริ่มมีการนำไปใช้เป็นโครงสร้างควบคุมในแม่น้ำ ตัวอย่างเช่น ฝาย Van Phong ที่เวียดนาม เพื่อแก้ปัญหาเรื่องต่างๆ เช่น เศษวัสดุขวางทางน้ำ การควบคุมระดับน้ำเหนือฝายไม่ให้สูงจนเกินไปในช่วงน้ำท่วม การกัดเซาะด้านท้ายฝาย เป็นต้น โดยผลการวิจัยของ Nosedá et al. [6] และ Ribi et al. [7] ยังบ่งชี้ว่าฝายคีย์เปียโนสามารถระบายตะกอนที่ตกทับถมหน้าฝายออกไปได้เป็นอย่างดี แต่ทั้งนี้ยังไม่มีการศึกษาประสิทธิภาพที่ชัดเจนในการระบายตะกอนของฝายคีย์เปียโนเมื่อเทียบกับฝายหยักและฝายสันมนในกรณีฝายทั้งสองมีและไม่มีบานประตูระบาย ซึ่งทำให้ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนถึงความเหมาะสมในการใช้งานในแม่น้ำได้เมื่อเทียบกับฝายที่มีในปัจจุบันของประเทศไทย

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการระบายตะกอนทรายของฝายทั้ง 3 ชนิด ประกอบด้วยฝายสันมน ฝายหยัก และฝายคีย์เปียโน โดยพิจารณาลักษณะในการระบายตะกอนผ่านฝาย ปริมาณตะกอนที่ไหลผ่านฝาย และความเหมาะสมต่อการใช้งานในแม่น้ำกรณีที่มีและไม่มีประตูระบายตะกอน ผลที่ได้จะสามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ฝายที่ช่วยลดปัญหาการตกตะกอนทับถมในแม่น้ำและเป็นแนวคิดในการพัฒนารูปแบบฝายที่ดีขึ้นในอนาคตได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

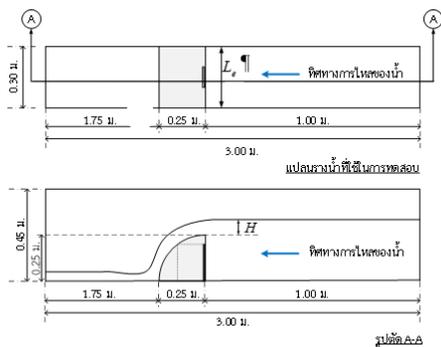
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วย ทฤษฎีการออกแบบและการไหลของฝาย 3 ชนิด และทฤษฎีจำลองการไหลของตะกอน มีรายละเอียดดังนี้

2.1. ฝายสันมน (Ogee Weir)

ปราโมท พลพณะนวิ [2] ได้ให้คำอธิบายเกี่ยวกับฝายสันมน (Ogee Weir) ว่าเป็นฝายที่พัฒนาโดยอาศัยหลักการพื้นฐานทางชลศาสตร์ของฝายสันคมและปรับเปลี่ยนรูปร่างของฝายด้านท้ายให้เป็นรูปร่างโค้งคล้ายตัว S เพื่อให้การไหลผ่านฝายเป็นแบบ Free Over Flow ที่สมบูรณ์แบบที่สุด โดยในการศึกษานี้จะเลือกใช้ฝายสันมนรูปร่าง Vertical upstream face ซึ่งเป็นรูปร่างของฝายสันมนที่นิยมใช้กันมากในลำน้ำภาคเหนือ การคำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านฝายสันมนแบบไม่มีบานระบายควบคุม แสดงได้ดังสมการที่ (1) คือ

$$Q = C_{ogee} L_e H^{3/2} \tag{1}$$

- เมื่อ Q คือ อัตราการไหลผ่านฝาย, (ม.³/วินาที)
- L_e คือ ความยาวประสิทธิผลของสันฝาย, (ม.)
- H คือ ความลึกของน้ำเหนือสันฝายด้านเหนือน้ำแสดงการวัดได้ดังรูปที่ 1, (ม.)
- C_{ogee} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านฝายสันมน



รูปที่ 1 ค่าต่างๆ ของอัตราการไหลของฝายสันมน

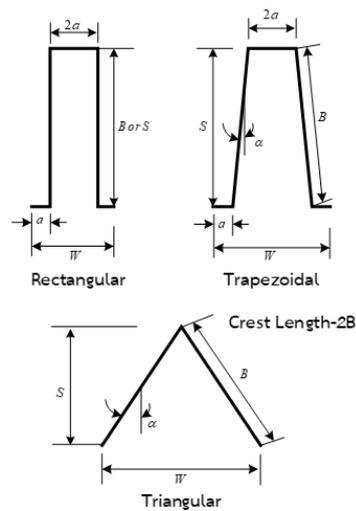
2.2. ฝายหยัก (Labyrinth Weir)

ฝายหยักเป็นส่วนหนึ่งของฝายสันยาว (Long Crested Weir) ถูกออกแบบมาเพื่อที่จะระบายน้ำจำนวนมากออกไป ในขณะที่ระดับน้ำด้านเหนือฝายไม่เพิ่มสูงมากจนเกินไป เมื่อเทียบกับฝายแบบอื่นๆ ฝายหยักมีองค์ประกอบที่สำคัญ

หลายอย่างในการออกแบบรูปทรงของฝายที่ให้น้ำในปริมาณที่ต้องการไหลผ่านไปได้ เช่น อัตราส่วนความสูงของน้ำเหนือฝายกับความสูงของตัวฝาย รูปร่างของฝายต่อความยาวสันฝาย เป็นต้น และถ้าหากต้องการที่จะระบายน้ำในปริมาณมากต้องกำหนดให้ขนาดความยาวของสันฝายยาวกว่าความกว้างของลำน้ำ ซึ่งมีการแบ่งรูปร่างการออกแบบฝายหยักเป็น 3 กลุ่มย่อย คือ ฝายหยักทรงสี่เหลี่ยม (Rectangular), ฝายทรงหยักสามเหลี่ยม (Triangular) และ ฝายหยักทรงสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal) แสดงได้ดังรูปที่ 2 ทั้งนี้สมการที่ (2) การไหลผ่านฝายหยัก คือ

$$Q = \frac{2}{3} C_{dl} L_e \sqrt{2g} H^{1.5} \tag{2}$$

เมื่อ C_{dl} คือ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายหยัก



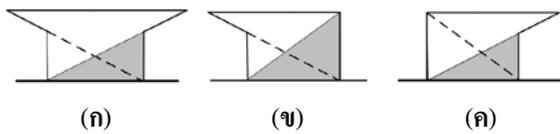
รูปที่ 2 ชนิดของฝายหยัก

2.3. ฝายคีย์เปียโน (Piano Key Weir)

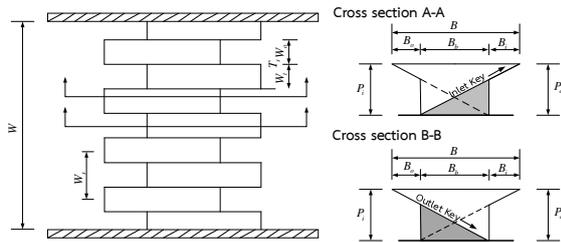
ฝายคีย์เปียโน (Piano Key Weir; PWK) เป็นโครงสร้างทางชลศาสตร์ที่ใช้สำหรับระบายน้ำหลากหลายเงื่อนไขหรือประยุกต์ใช้กับทางน้ำได้ [8] ฝายคีย์เปียโนเป็นผลผลิตที่ได้จากการพัฒนาฝายหยักอย่างต่อเนื่อง ในปี ค.ศ.1998 เริ่มมีการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับรูปร่างของฝายในประเทศฝรั่งเศส และจากนั้นมีการปรับปรุงโดย Blanc and Lempérière [9] และ Lempérière and Ouamane [10] ฝายคีย์เปียโนตัวแรกถูกสร้างขึ้นที่เขื่อน Goulours ประเทศฝรั่งเศสในปี ค.ศ.2006 โดย

Electricité de France [11] จากนั้นจึงมีการนำไปใช้อย่างหลากหลายในเขื่อนต่างๆ และในลำน้ำ

โดยทั่วไป ฝ่ายคีย์เปียโนสามารถจำแนกได้เป็น 3 ชนิด ตามรูปทรงของฝ่ายคีย์แสดงในรูปที่ 3 ประกอบด้วย PKW type A, B และ C ซึ่ง PKW ชนิด A จะมีส่วนยื่นออกมาทั้งด้านเหนือน้ำและท้าย ในขณะที่ชนิด B มีส่วนยื่นออกมาด้านเหนือน้ำเท่านั้นและชนิด C มีส่วนยื่นออกมาด้านท้ายน้ำเท่านั้น รูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงตัวแปรรูปร่างของฝ่ายคีย์เปียโนชนิด A ทั้งนี้รูปแบบดังกล่าวยังสามารถประยุกต์ใช้กับชนิด B และ C ได้อีกด้วย



รูปที่ 3 ชนิดของฝ่ายคีย์เปียโน (a) PKW Type A (b) PKW Type B (c) PKW Type C



รูปที่ 4 ตัวแปรรูปร่างของฝ่าย PKWs

Pralong et al. [12] ได้นำเสนอสมการไหลผ่านฝ่ายคีย์เปียโน แสดงได้ดังสมการที่ (3)

$$Q = \frac{2}{3} C_{PKWs} L_e \sqrt{2gH}^{1.5} \quad (3)$$

เมื่อ C_{PKWs} คือ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านฝ่ายคีย์เปียโน

2.4. การจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ของตะกอน

ในการวิจัยนี้เลือกใช้แบบจำลองกายภาพของฝ่ายซึ่งมีการย่ออัตราส่วนด้วยหลักการของแบบจำลองและความคล้ายคลึงทางพลศาสตร์ ทั้งนี้ หากมีการเลือกใช้ตะกอนทรายของจริงจะส่งผลกระทบต่อลักษณะการเคลื่อนที่เนื่องจากในขณะที่ค่าของอัตราการไหลและความเร็วในแบบจำลอง

กายภาพเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราส่วนกายภาพที่ลดลงไป แต่ความถ่วงจำเพาะของตะกอนทรายไม่เปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้การจำลองการเคลื่อนที่โดยใช้ตะกอนทรายจึงมีผลการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าความเป็นจริง

โดยทั่วไป การเคลื่อนที่ของตะกอนบริเวณท้องน้ำจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อความเร็วของกระแส น้ำมากจนทำให้เกิดแรงเฉือนที่กระทำต่อบริเวณผิวของท้องน้ำมากกว่าแรงเฉือนที่ท้องน้ำสามารถรับได้ ตะกอนบริเวณท้องน้ำจะถูกกัดเซาะด้วยแรงของน้ำและเกิดการเคลื่อนที่หลุดออกไป พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของตะกอนจะสัมพันธ์กับปัจจัย 3 อย่างได้แก่

- 1) ธรรมชาติของของไหล เช่น ความหนืดและความหนาแน่นของไหล
- 2) ธรรมชาติของวัตถุที่ไม่มีความเชื่อมั่น เช่น หน่วยน้ำหนักทางกายภาพ Effective Diameter (ในการวิจัยนี้เลือก D_{50})
- 3) ธรรมชาติของการไหลแบบสม่ำเสมอ เช่น ความลาดชันพลังงานของการไหลหรือความลาดชันของท้องน้ำ ค่าความลึกของน้ำตามแนวตั้ง

จากปัจจัยทั้งสามตัวสามารถเลือกตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์มิติได้คือ ความหนาแน่นของของไหลและของตะกอน (ρ และ ρ_s) ความหนืดของของไหล (μ) ขนาดประสิทธิผล (D_{50}) ความเร็วเฉือนที่ท้องน้ำ (V_*) ความลึกทางน้ำในแนวตั้ง (h) และหน่วยน้ำหนักของตะกอน (γ_s) และเมื่อใช้ ρ , V_* และ γ_s เป็นตัวแปรซ้ำ จะวิเคราะห์ได้ว่า

$$\begin{aligned} \Pi &= \phi\{X_1, X_2, X_3, X_4\} \\ &= \phi\left\{\frac{V_* D_{50}}{\nu}, \frac{\rho V_*^2}{\gamma_s D_{50}}, \frac{h}{D_{50}}, \frac{\rho_s}{\rho}\right\} \end{aligned} \quad (4)$$

ในการจำลองจะต้องพิจารณาการจำลองภายใต้เงื่อนไขอัตราส่วนตัวเลขของ X_1, X_2, X_3, X_4 ของแบบจำลองและของจริงเท่ากัน นั่นคือ

$$\lambda_{X_1} = \lambda_{X_2} = \lambda_{X_3} = \lambda_{X_4} = 1 \quad (5)$$

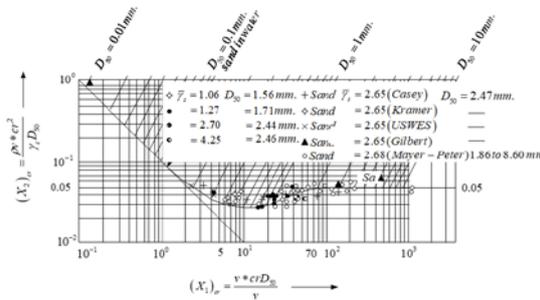
เมื่อแทนค่าตัวแปรในสมการ (4) เข้าไปในสมการที่ (5) จะได้เป็น

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{V_*} \lambda_{D_{50}} &= \lambda_V \\ \lambda_{V_*} \lambda_{\gamma_S}^{-1} \lambda_{D_{50}}^{-1} &= \lambda_\rho^{-1} \\ \lambda_h \lambda_{D_{50}}^{-1} &= 1 \\ \lambda_{\rho_S} &= \lambda_\rho \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

อย่างไรก็ตาม สำหรับการจำลองการไหลโดยที่ของไหลเป็นน้ำ ความแตกต่างความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิแตกต่างกันมีน้อยมากส่งผลให้อัตราส่วนที่เกี่ยวข้องกับความหนืดมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งทำให้วิเคราะห์สมการที่ (6) ได้ดังสมการที่ (7)

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{V_*} &= \lambda_{D_{50}}^{-1} \\ \lambda_{V_*} &= \sqrt{\lambda_{D_{50}} \lambda_{\gamma_S}} \\ \lambda_h &= \lambda_{D_{50}} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ค่าความเร็วเหนือที่ท้องน้ำวิกฤติสามารถหาได้จากแผนภาพของ Shield [13] (ดังแสดงในรูปที่ 5) ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดประสิทธิภาพของตะกอนเป็นหลัก ค่าของอัตราส่วน λ_{γ_S} ที่หาได้จะถูกนำไปบวกด้วย 1 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่เทียบเท่ากับความถ่วงจำเพาะของน้ำ จากนั้นจะนำไปเทียบกับวัสดุทดแทนตะกอนจากตารางที่ 1



รูปที่ 5 แผนภาพของ Shield

ตารางที่ 1 วัสดุใช้จำลองแทนตะกอน [14]

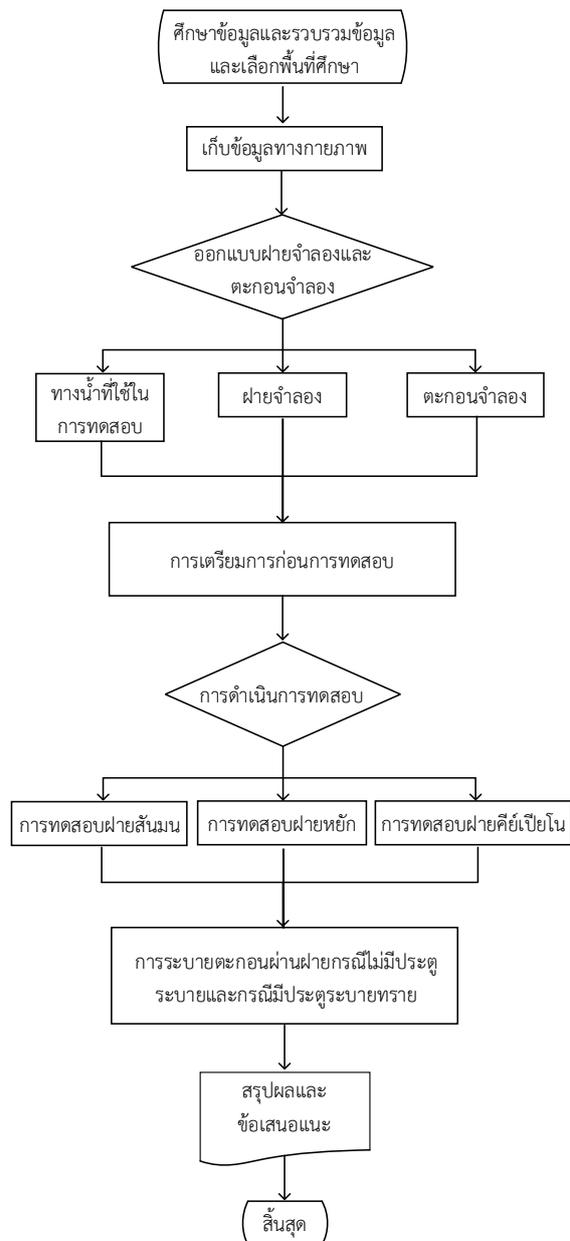
Material	γ_s/γ
Anthracite	1.40-1.70
Bakelite	1.35-2.05
Coal	1.20-1.50
Lignite	1.10-1.40
Nylon	1.14
Perspex	1.19
Polystyrene	1.03-1.05
P.V.C.	1.35-1.38
Silicon	2.40

3. วิธีดำเนินการวิจัย

กรอบแนวความคิดการดำเนินงานได้ดังรูปที่ 6 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1. ศึกษารวบรวมข้อมูลและเลือกพื้นที่ศึกษา

ศึกษาและรวบรวมข้อมูลของฝายที่จะนำมาใช้ในการจำลอง โดยเลือกฝายที่ประสบปัญหาของตะกอนตกทับถม โดยตัวแทนของฝายสันมนจะเลือกใช้ฝายดินดำในแม่น้ำลาว จังหวัดเชียงราย รูปที่ 7 แสดงลักษณะของฝายดินดำ



รูปที่ 6 กรอบแนวคิดของการศึกษา

และตำแหน่งของประตูระบาย ซึ่งจากการลงข้อมูลสัมภาษณ์ในพื้นที่พบว่า ฝ่ายดังกล่าวมีการตกทับถมของตะกอนเป็นอย่างมาก ต้องทำการขุดลอกทุก 2-3 ปี สำหรับฝ่ายห้วยจะเลือกใช้ฝ่ายท่าชมพู่ จังหวัดลำพูน ซึ่งเป็นฝ่ายห้วยเพียงแห่งเดียวที่มีการก่อสร้างอยู่ในภาคเหนือของประเทศไทย **รูปที่ 8** แสดงลักษณะของฝ่ายท่าชมพู่ สำหรับฝ่ายศิโยนจะเลือกใช้รูปแบบฝ่ายชนิด C เนื่องจากไม่มีส่วนยื่นออกมาด้านเหนือน้ำ ซึ่งจะกระทบต่อการไหลของตะกอน การออกแบบสันลัดส่วนของฝ่ายศิโยนจะใช้ตามคำแนะนำของ Pralong et al. [12]



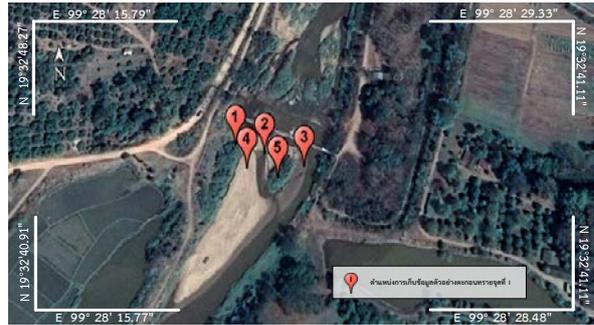
รูปที่ 7 ฝ่ายดินดำ แม่น้ำลาว จังหวัดเชียงราย



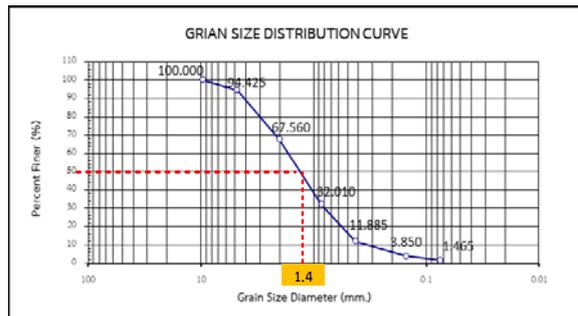
รูปที่ 8 ฝ่ายท่าชมพู่ จังหวัดลำพูน

3.2. เก็บข้อมูลทางกายภาพ

ข้อมูลกายภาพที่ต้องทำการสำรวจประกอบด้วยรูปสันฐานของฝ่ายสันมนและฝ่ายห้วยตามหัวข้อ 3.1 และตัวอย่างตะกอนท้องน้ำที่ตกทับถมอยู่บริเวณหน้าฝ่ายดินดำ (ฝ่ายสันมน) โดยเลือกใช้ตะกอนดังกล่าวในการศึกษา **รูปที่ 9** แสดงตำแหน่งการเก็บตะกอนท้องน้ำหน้าฝ่ายดินดำ โดยมีตัวอย่างการวิเคราะห์ขนาดผลของตะกอนแสดงได้ดัง**รูปที่ 10** และผลการวิเคราะห์ขนาดประสิทธิภาพของตะกอนทั้งหมดแสดงได้ดัง**ตารางที่ 2** ซึ่งตะกอนทั้งหมดมีความถ่วงจำเพาะ 2.65



รูปที่ 9 ตำแหน่งการเก็บตะกอนท้องน้ำบริเวณฝ่ายดินดำ



รูปที่ 10 การวิเคราะห์ขนาดผลของตะกอนตำแหน่งที่ 2

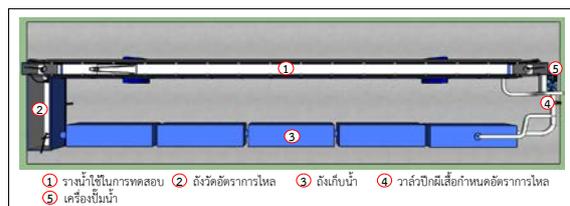
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ขนาดประสิทธิภาพของตะกอน

ตำแหน่งตะกอนทราย	1	2	3	4	5
D_{50} (มม.)	2.1	1.4	1.7	1.7	1.4

3.3. ออกแบบฝ่ายจำลองและตะกอนจำลอง

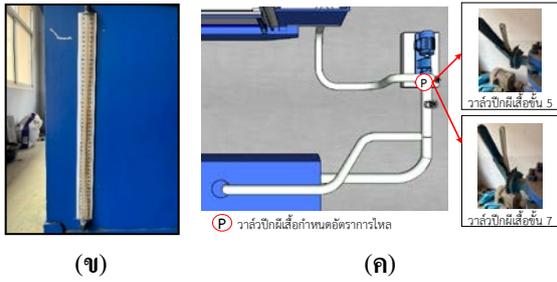
1) ทางน้ำที่ใช้ทดสอบ

การทดสอบจัดทำขึ้นในทางน้ำแบบหมุนเวียนแสดงได้ดัง**รูปที่ 11** โดยน้ำจะถูกสูบด้วยปั๊ม (ตำแหน่งที่ 4) ออกจากถังเก็บน้ำ (ตำแหน่งที่ 3) เข้าสู่ทางน้ำทดสอบ (ตำแหน่งที่ 1) ฝ่ายจะถูกติดตั้งในรางน้ำทดสอบบริเวณท้ายน้ำ น้ำที่ผ่านฝ่ายจะเข้าสู่ถังวัดอัตราการไหล (ตำแหน่งที่ 2) อัตราการไหลในทางน้ำทดสอบจะควบคุมโดยวาล์วปีกผีเสื้อ (ตำแหน่งที่ 5) น้ำที่ออกจากถังวัดปริมาตรจะไหลเข้าสู่ถังเก็บน้ำหมุนเวียนไปใช้ต่อ



1) รางน้ำที่ใช้ในการทดสอบ 2) ถังวัดอัตราการไหล 3) ถังเก็บน้ำ 4) วาล์วปีกผีเสื้อกำหนดอัตราการไหล 5) เครื่องปั๊มน้ำ

(ก)



รูปที่ 11 ทางน้ำที่ใช้ทดสอบ (ก) ทางน้ำทดสอบ (ข) สายยางวัดปริมาตรน้ำ (ค) วาล์วปีกผีเสื้อ

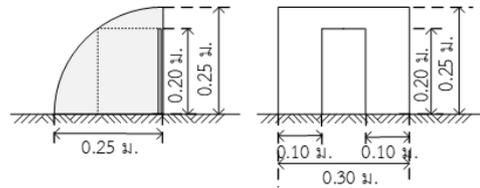
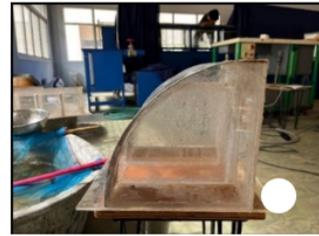
2) ฝ่ายจำลอง

ในการจำลองทางกายภาพ หากสามารถจำลองในแบบจำลองที่มีขนาดใหญ่ได้จะทำให้ได้ผลใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น แต่ขีดจำกัดของทางน้ำทดสอบและเครื่องจักรที่มีทำให้กำหนดอัตราส่วนในการจำลองได้ที่ 1:10 โดยรูปที่ 12-14 แสดงตัวอย่างฝ่ายสันมน ฝ่ายหัก และฝ่ายคี่เปียโนที่ใช้ในการทดสอบตามลำดับ การออกแบบความกว้างของตัวฝ่ายจะให้เท่ากับรางน้ำชลศาสตร์ซึ่งเท่ากับ 0.3 ม. และกำหนดให้ฝ่ายมีความสูงเท่ากันซึ่งเท่ากับ 0.25 ม. แต่ความยาวของตัวฝ่ายจะมีขนาดความยาวไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับค่าความยาวมาตรฐานของตัวฝ่ายที่ใช้โดยแบ่งได้ดังนี้

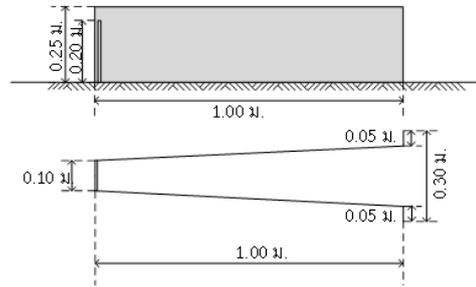
ฝ่ายสันมนทำจากแผ่นอะคริลิกที่มีความหนา เท่ากับ 0.005 ม. และกำหนดให้มีขนาดกว้าง 0.30 ม. และสูง 0.25 ม. มีบานระบายตะกอนอยู่ที่กลางฝ่ายโดยมีส่วนบานประตูระบายกว้าง 0.10 ม. และความสูงของบานประตูเท่ากับ 0.20 ม.

ฝ่ายหักทำจากแผ่นอะคริลิกที่มีความหนา เท่ากับ 0.005 ม. มีความกว้าง 0.30 ม. ความยาว 1.00 ม. และสูง 0.25 ม. ส่วนบานประตูระบายบริเวณกึ่งกลางด้านท้ายของยอดหักกว้าง 0.10 ม. และสูงของบานประตูเท่ากับ 0.20 ม.

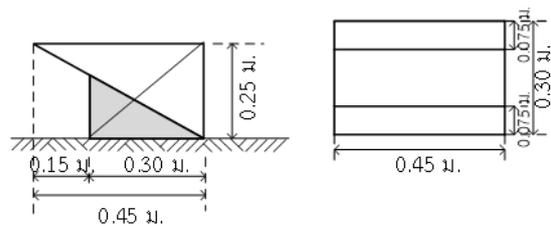
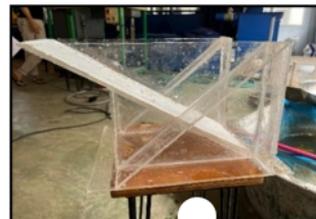
ฝ่ายคี่เปียโนใช้รูปแบบ C ในการศึกษา โดยกำหนดความสูงของฝ่ายไว้ที่ 0.25 ม. และทำการแปลงสัดส่วนที่เหลือด้วยอัตราส่วนการออกแบบฝ่ายที่แนะนำโดย Pralong et al. [12] ทั้งนี้ฝ่ายคี่เปียโนจะไม่มีประตูระบายทราย



รูปที่ 12 แบบจำลองฝ่ายสันมน



รูปที่ 13 แบบจำลองฝ่ายหัก



รูปที่ 14 แบบจำลองฝ่ายคี่เปียโน

3) ตะกอนจำลอง

ในการคำนวณขนาดของตะกอนจำลองที่ใช้ทดสอบ จะต้องทำการหาความกว้างของผิวน้ำ อัตราการไหล ความลึกของน้ำ ความลาดชันทางน้ำ และพื้นที่หน้าตัดลำน้ำที่สภาวะการไหลมากที่สุด เพื่อมาใช้ในการวิเคราะห์ ขนาดประสิทธิภาพที่จะเปลี่ยนจากตำแหน่งตะกอนทรายที่ตำแหน่ง 2-5 เป็นหลักเนื่องจากเป็นตะกอนทรายที่ตกอยู่ในทางน้ำ โดยมีค่า D_{50} เฉลี่ยที่ 1.55 มม. นำค่าดังกล่าวไปหาค่า $(X_1)_{cr}$ จากแผนภาพ Shield จากนั้นนำไปคำนวณหา λ_{V_s} , λ_h , $\lambda_{D_{50}}$ และ λ_{V_s} โดยในการศึกษาได้ค่า $\lambda_{D_{50}} = 2.28\lambda_{V_s} = 0.084$ ซึ่งทำให้ได้ $D_{50} = 3.42$ มม. และ \bar{y}_s/γ ของตะกอนจำลองเท่ากับ 1.223 ซึ่งทำให้เลือกวัสดุจำลองเป็นแร่ลิกไนต์ (Lignite)

3.4. การเตรียมการก่อนการทดสอบ

ก่อนดำเนินการทดสอบจะต้องทำการสอบเทียบอัตราการไหลผ่านฝายกับระดับน้ำ ติดตั้งระบบวัดอัตราการไหลที่บริเวณท้ายน้ำ ติดตั้งเครื่องบันทึกวิดีโอ โดยตำแหน่งของเครื่องบันทึกวิดีโอและภาพของฝายแต่ละชนิดจะอยู่ในหัวข้อถัดไป ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านฝายที่ได้จากการสอบเทียบคือ ฝายสันมน $C_{ogee} = 1.12$, $L_e = 30$ ซม. ฝายหยัก $C_{dL} = 0.31$, $L_e = 220$ ซม. ฝายคีย์เปียโน $C_{PKWS} = 0.41$, $L_e = 120$ ซม.

3.5. การดำเนินการทดสอบ

1) การทดสอบผ่านฝายสันมน

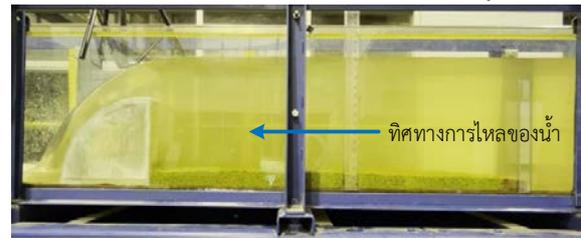
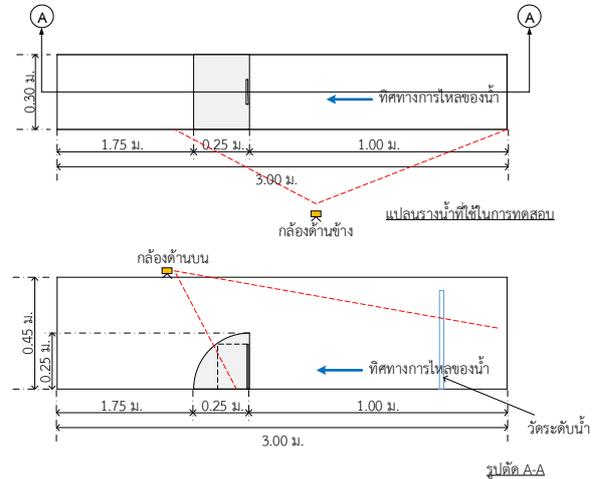
1.1) ดำเนินการติดตั้งฝายสันมนลงในทางน้ำทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 15

1.2) ใส่ตะกอนทรายจำลองลงไปทางน้ำด้านเหนือฝาย โดยจะทำการทดสอบการทับถมตะกอนทรายเริ่มต้นที่ 4 ซม. (20% ของความสูงบานประตู) ความยาวการทับถมตามทางน้ำ 1.00 ม.

1.3) เริ่มทำการเปิดน้ำด้วยอัตราการไหลต่ำที่ไม่ทำให้ตะกอนเกิดการเคลื่อนตัวเปลี่ยนรูป รอกจนกระทั่งระดับน้ำเริ่มล้นฝายคงที่จึงเปลี่ยนเป็นอัตราการไหลที่ต้องการ การบันทึกวิดีโอจะเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนนี้

1.4) ทำการทดสอบการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายจำลองที่ระดับการเปิดบานระบาย 0% อ่านค่าระดับน้ำด้าน

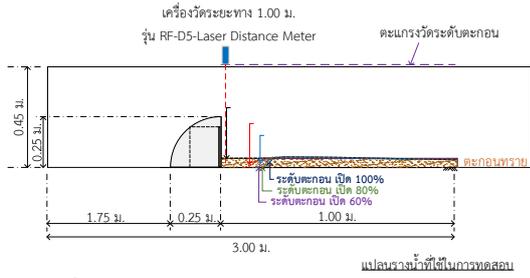
เหนือฝายเพื่อหาอัตราการไหลผ่านฝาย ดังรูปที่ 15 และหาอัตราการไหลรวมจากสายยางวัดปริมาตร การทดสอบจะเสร็จสิ้นเมื่อตะกอนท้องน้ำหยุดการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ออกไปจนหมด



รูปที่ 15 การติดตั้งฝายสันมน

1.5) เมื่อการทดสอบเสร็จสิ้นจะทำการระบายน้ำออกจากทางน้ำทดสอบ โดยไม่ให้ตะกอนทรายเกิดการเคลื่อนที่ จากนั้นทำการวัดตำแหน่งและระดับตะกอนทรายที่ค้างในรางน้ำ โดยใช้เครื่องวัดระยะทางแบบเลเซอร์ Leica DISTO รุ่น RF-D5 รูปที่ 16 แสดงการวัดระดับของตะกอนทรายที่ค้างอยู่ในทางน้ำทดสอบ

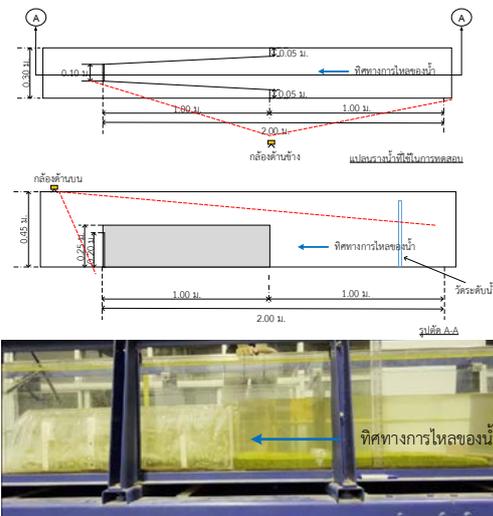
1.6) ทำการทดสอบซ้ำโดยปรับระดับการเปิดบานประตูเป็น 20%, 40%, 80% และ 100% ของความสูงบานประตู บันทึกปริมาตรและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตะกอนทรายของการปรับเปลี่ยน จากนั้นเพิ่มระดับการทับถมของตะกอนทรายเป็น 8 ซม. 12 ซม. และ 16 ซม. และทำการทดสอบเช่นเดิม บันทึกปริมาตรและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตะกอนทราย



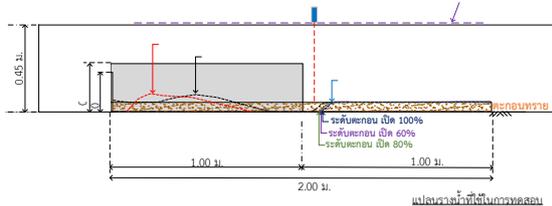
รูปที่ 16 การวัดตะกอนทรายในทางน้ำของฝายสันมน

2) การทดสอบฝายหยัก

การทดสอบฝายหยักจะดำเนินการเช่นเดียวกับฝายสันมน โดยลักษณะการติดตั้งฝายหยักลงในทางน้ำทดสอบ แสดงได้ดังรูปที่ 17 และการวัดตะกอนทรายในทางน้ำหลังเสร็จสิ้นการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 18



รูปที่ 17 การติดตั้งฝายหยัก

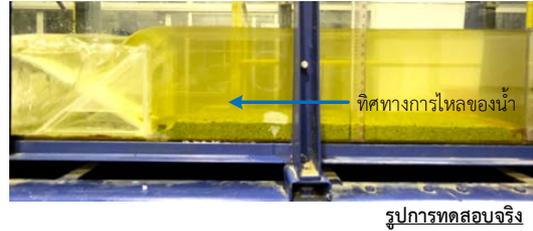
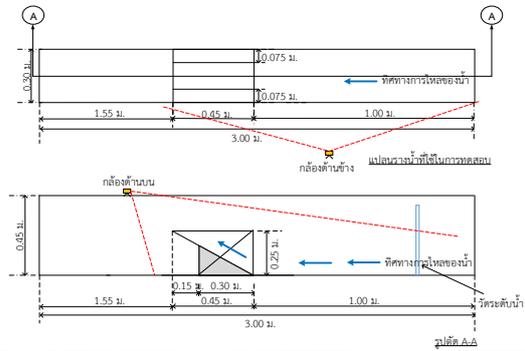


รูปที่ 18 การวัดตะกอนทรายในทางน้ำของฝายหยัก

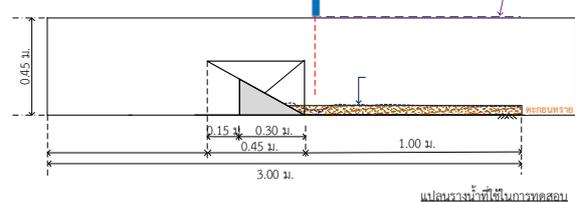
3) การทดสอบฝายคีย์เปียโน

การทดสอบฝายคีย์เปียโนจะดำเนินการเช่นเดียวกับฝายสันมนแต่จะไม่มีทดสอบในส่วนของการเปิดบานประตูระบายน้ำ ลักษณะการติดตั้งฝายคีย์เปียโนลงในทาง

น้ำทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 19 และการวัดตะกอนทรายในทางน้ำหลังเสร็จสิ้นการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 20



รูปที่ 19 การติดตั้งฝายคีย์เปียโน



รูปที่ 20 การวัดตะกอนทรายในทางน้ำของฝายคีย์เปียโน

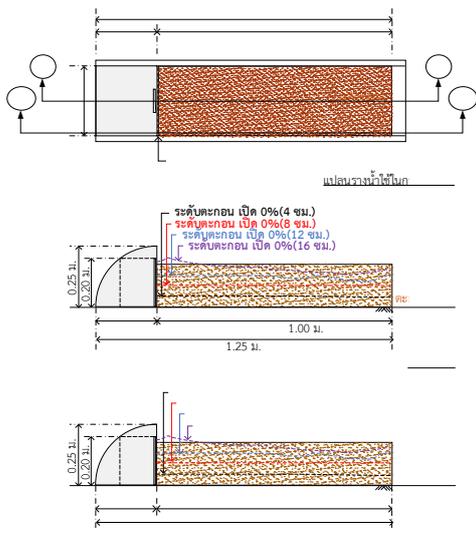
4. ผลการวิจัย

4.1.การระบายตะกอนผ่านฝายกรณีไม่มีประตูระบาย

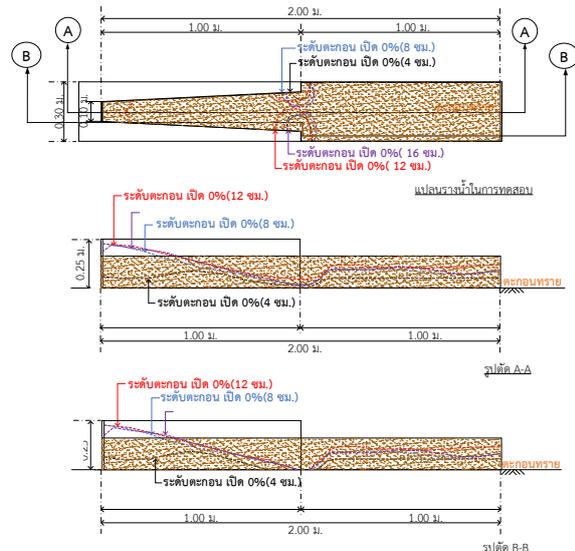
ในกรณีที่ไม่มีประตูระบาย (การเปิดบานประตู 0%) การเปลี่ยนแปลงของหน้าตัดตามยาวของตะกอนทรายที่ตกทับถมในทางน้ำที่ระดับต่างๆ ของฝายสันมน ฝายหยัก และฝายคีย์เปียโนแสดงได้ดังรูปที่ 21 โดยจะเห็นว่าเมื่อไม่มีการเปิดประตูระบายทราย ตะกอนทรายจะถูกพัดพาไปตกตะกอนอยู่หน้าฝาย สำหรับฝายสันมนการพัดพาไปตกตะกอนหน้าฝายเกิดขึ้นได้ช้าและมีปริมาณที่ตกทับถมน้อยกว่าฝายหยักและฝายคีย์เปียโน สำหรับฝายหยัก ตะกอนทรายด้านหน้าฝายหยักจะถูกพัดพาไปทับถมสูงภายในฝายหยักจนเกือบถึงระดับสันฝายเนื่องจากภายในฝายหยักมีการบีบทางน้ำให้แคบลงส่งผลให้ความเร็วการ

ไหลเพิ่มสูงขึ้นพัดพาตะกอนเข้าไปในฝ่ายหยักจนเมื่อน้ำไหลปะทะกับฝ่ายที่มีลักษณะตั้งตรงจึงทำให้ตะกอนเกิดการทับถมซ้อนทับกันขึ้น ผลการทับถมของทรายในฝ่ายหยักทำให้เกิดรูปทรงคล้ายกับฝายคีย์เปียโน สำหรับการทับถมของตะกอนทรายภายในฝายคีย์เปียโนจะมีน้อยมากเมื่อเทียบกับระดับทับถมเดิม ตะกอนทรายหน้าฝายคีย์เปียโนสามารถระบายออกไปตามทางลาดของฝายออกสู่ทางด้านซ้ายน้ำได้ เมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์การ

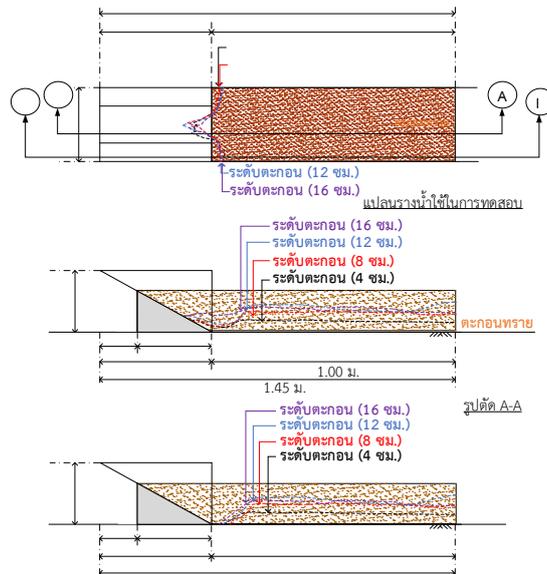
ระบายตะกอนทรายเทียบกับปริมาณทรายที่ถูกทับถมภายใต้อัตราการไหลสูงสุดเดียวกันแล้วพบว่า พบว่า ฝ่ายคีย์เปียโนสามารถระบายตะกอนทรายออกได้มากที่สุดที่ 55% เมื่อมีการทับถม 80% ของความสูงบานประตู ในขณะที่ฝ่ายหยักและฝายสันนระบายได้เพียง 12% และ 3% ตามลำดับ ที่ความสูงการทับถมตะกอนเดียวกันกับฝายคีย์เปียโน



(ก)



(ข)

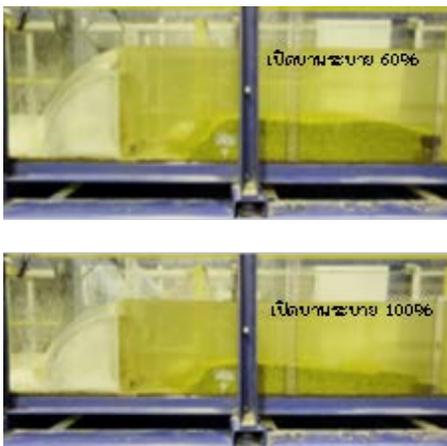
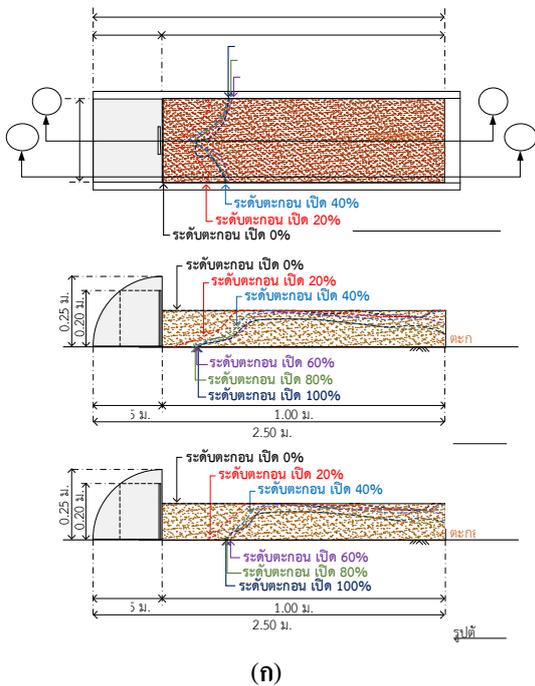


(ค)

รูปที่ 21 หน้าตัดตามยาวการทับถมของตะกอนทรายในทางน้ำกรณีไม่มีประตูระบาย (ก) ฝ่ายสันน (ข) ฝ่ายหยัก (ค) ฝ่ายคีย์เปียโน

4.2. การระบายตะกอนผ่านฝายกรณีมีประตูละบาย

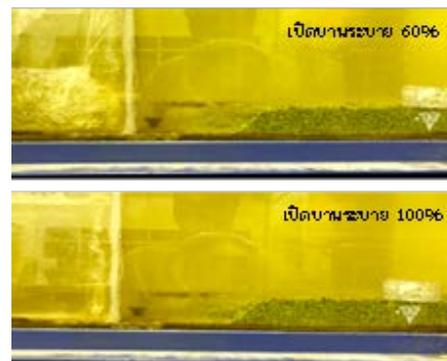
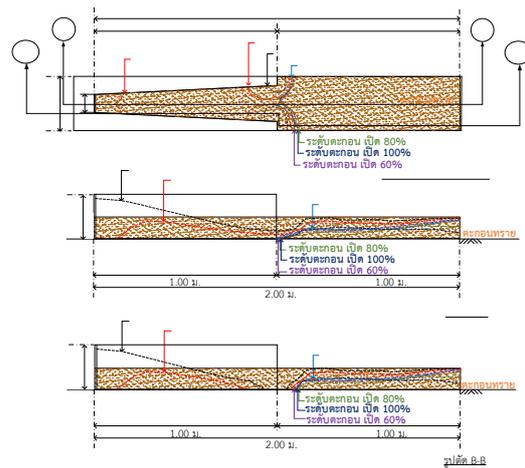
ผลการทดสอบการระบายตะกอนทรายกรณีเปิดประตูระบายที่ระดับต่างกัน พบว่า ฝายหยักมีประสิทธิภาพในการระบายตะกอนทรายมากกว่าฝายสันมน รูปที่ 22-23 แสดงหน้าตัดตามยาวของตะกอนทรายที่ทับถมในทางน้ำของการเปิดบานประตูที่ระดับต่างๆ ของฝายทั้งสามชนิด และลักษณะตะกอนทรายที่ตกค้างอยู่หน้าฝายที่ระดับการทับถม 12 ซม. ซึ่งสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของฝายสันมนและฝายหยักได้ดังนี้



(ข)

รูปที่ 22 การทับถมของตะกอนฝายสันมนที่ความลึกการทับถมของตะกอน 12 ซม. (ก) หน้าตัดตามยาว (ข) ลักษณะตะกอนทับถมหน้าฝาย

การระบายตะกอนทรายผ่านฝายสันมนตั้งแต่ระดับการทับถมของตะกอนหนา 4 ถึง 16 ซม. จะสังเกตเห็นว่า ระดับการทับถมของตะกอนที่สูงจะถูกพัดพาและเคลื่อนที่ได้ไว กว่าระดับการทับถมตะกอนที่ต่ำ ตะกอนทรายบริเวณด้านเหนือน้ำจะถูกกัดเซาะเป็นแอ่งแล้วไหลมาทับถมบริเวณหน้าฝาย เมื่อเปิดบานระบายพบว่าตะกอนด้านหน้าฝายช่วงแรกจะถูกกัดเซาะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับระดับตะกอน การกัดเซาะช่วงแรกเป็นรูปครึ่งวงกลมจากนั้นเมื่อกัดเซาะมาถึงริมขอบทางน้ำจะเปลี่ยนเป็นกัดเซาะแบบรูปตัววี เนื่องจากความเร็วของการกัดเซาะตรงริมขอบทั้งสองด้าน ขัดขวางการไหลบริเวณตรงกลางทำให้ความเร็วการไหลกึ่งกลางทางน้ำน้อยลง ระดับการทับถมของตะกอนตั้งแต่ 8 ถึง 16 ซม. จะถูกพัดพาออกไปจนเหลือระดับความสูงของตะกอนประมาณ 4 ซม.



(ข)

รูปที่ 23 การทับถมของตะกอนฝายหยักที่ความลึกการทับถมของตะกอน 12 ซม. (ก) หน้าตัดตามยาว (ข) ลักษณะตะกอนทับถมหน้าฝาย

การทดสอบฝายหยักตั้งแต่ระดับการทับถมของตะกอนหนา 4 ถึง 16 ซม. พบว่า เมื่อยังไม่เปิดบานประตูระบายตะกอนที่อยู่ในทางน้ำจะถูกพัดเข้ามาทับถมภายในตัวฝายหยัก โดยตะกอนหน้าฝายในทางน้ำจะถูกกัดเซาะเป็นรูปทรงตัววี ส่วนตะกอนที่อยู่ในฝายหยักจะถูกพัดพาไปทับถมบริเวณหน้าบานประตูเป็นลักษณะสามเหลี่ยมลาดเอียง มีระดับของการทับถมสูงสุดที่บานประตู จากนั้นผิวหน้าของตะกอนจะเคลื่อนที่ไหลผ่านสันฝายไป และเมื่อทำการเปิดบานประตูแล้ว ตะกอนที่ตกทับถมอยู่ที่หน้าบานประตูจะถูกกัดเซาะออกไปซึ่งถ้าเปิดประตูตั้งแต่ที่ระดับความสูง 40% ของความสูงบานระบายขึ้นไป ตะกอนที่อยู่ในตัวฝายหยักจะถูกพัดพาออกไปทั้งหมด ในขณะที่ตะกอนบริเวณหน้าฝายหยักจะถูกกัดเซาะคล้ายคลึงกับฝายสันมน

ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงเปอร์เซ็นต์ปริมาตรตะกอนทรายที่ระบายออกไปได้ต่อปริมาตรเดิมของฝายทั้งสามชนิดที่ระดับการทับถมต่างกัน โดยพิจารณาที่ระดับการไหลผ่านบานประตูระบายสูงสุด (เปิดบานประตู 100%) สำหรับการระบายตะกอนทรายที่อัตราการไหลอื่นๆ สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณการระบายของฝาย 3 ชนิด

ระดับการทับถม % ความสูง (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ปริมาตรตะกอนที่ระบาย ออก		
	ฝายสันมน	ฝายหยัก	ฝายคีย์เปียโน
20(4 ซม.)	21	68.1	6
40 (8 ซม.)	34.4	84.8	6
60 (12 ซม.)	55.7	86.2	25
80 (16 ซม.)	63.8	84.6	55

จากตารางที่ 3 พบว่าเมื่อมีการใช้งานประตูระบายตะกอนทราย ฝายหยักจะมีอัตราการระบายตะกอนออกมามากที่สุดตามด้วยฝายสันมนและฝายคีย์เปียโนตามลำดับ นอกจากนี้ ฝายหยักยังมีศักยภาพในการระบายตะกอนที่ระดับการทับถมน้อยอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตาม สิ่งที่น่าเป็นห่วงสำหรับการใช้งานฝายหยักคือ เมื่อไม่มีการเปิดประตู

ระบาย ตะกอนทรายจะไปทับถมด้านหน้าประตูระบายสูงซึ่งจะเกือบเท่ากับความสูงของสันฝายทำให้เสี่ยงต่อการชำรุดของประตูระบายอย่างสูง

4.3.วิจารณ์ผลการทดลองและการนำไปใช้งาน

จากผลการทดลองการใช้งานฝายทั้งกรณีมีและไม่มีประตูระบายพบว่า การทับถมของตะกอนทรายด้านหน้าฝายเมื่อไม่มีประตูระบายของฝายทั้งสามชนิดจะเกิดขึ้นที่บริเวณหน้าฝายเป็นหลัก และการเปลี่ยนแปลงตะกอนที่ทับถมในฝายหยักจะเกิดขึ้นมากและเร็วกว่าฝายสันมนและฝายคีย์เปียโน การทับถมของตะกอนหน้าฝายสันมนของการทดลองนี้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้นกับฝายสันมนบริเวณฝายดินดำ จังหวัดเชียงราย ดังแสดงในรูปที่ 24 การทับถมของตะกอนหน้าฝายหยักสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Herbst et al. [3] เป็นอย่างดี ซึ่งการทับถมของฝายสันมนและฝายหยักบ่งชี้ว่ารูปร่างของการทับถมตะกอนทรายทำให้รูปทรงของพื้นผิวทรายที่ทับถมคล้ายกับรูปทรงของฝายคีย์เปียโน คือ มีระดับการทับถมลาดเอียงไปทางด้านหน้าฝาย ประกอบกับเมื่อพิจารณาอัตราส่วนปริมาตรตะกอนทรายที่ระบายออกไปเมื่อไม่มีประตูระบาย ฝายคีย์เปียโนสามารถระบายตะกอนทรายออกได้มากที่สุด ดังนั้น ในลำน้ำขนาดเล็กที่ไม่มีการติดตั้งประตูระบายตะกอน ควรใช้งานฝายรูปแบบคีย์เปียโนจะดีที่สุดเพราะนอกจากจะสามารถระบายตะกอนออกได้ด้วยลักษณะของฝายแล้ว ยังลดระดับความสูงของน้ำที่ไหลผ่านฝายด้วย แต่สำหรับการติดตั้งฝายที่สามารถมีประตูระบายตะกอนได้ ควรใช้งานฝายหยักเนื่องจากมีศักยภาพในการระบายตะกอนทรายได้สูงสุดและระบายได้ดีแม้แต่ในระดับการทับถมที่ต่ำ



รูปที่ 24 การทับถมของตะกอนหน้าฝายดินดำ

5. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการระบายตะกอนทรายของฝายสันมน ฝายหยัก และฝายคีย์เปียโน การศึกษาเลือกใช้แบบจำลองกายภาพมาตราส่วน 1:10 โดยใช้ฝายดินค้ำและฝายทาบขมพูเป็นต้นแบบในการจัดทำฝายสันมนและฝายหยัก สำหรับฝายคีย์เปียโนจะออกแบบโดยกำหนดระดับความสูงให้เท่ากับฝายทั้งสอง ตะกอนทรายจำลองที่ใช้ในการศึกษาคือตะกอนจากแร่ลิกไนต์โดยมีขนาดประสิทธิผล (D_{50}) ที่ 3.42 มม. การศึกษาความเหมาะสมในการใช้งานแบ่งเป็นกรณีมีและไม่มีประตูละบายทรายติดตั้งในฝาย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าในฝายที่ไม่มีประตูละบายทราย การระบายตะกอนของฝายคีย์เปียโนจะดีที่สุด สำหรับฝายหยักจะเริ่มระบายได้เมื่อตะกอนทรายทับถมหน้าฝายจนมีรูปร่างเหมือนฝายคีย์เปียโน ในขณะที่ฝายสันมนไม่สามารถระบายตะกอนออกไปได้เลย สำหรับผลการศึกษาระบบการระบายตะกอนทรายเมื่อมีประตูละบายติดตั้งในฝายแสดงให้เห็นว่าฝายหยักมีศักยภาพในการระบายตะกอนทรายสูงสุดและยังสามารถระบายได้ดีแม้ในช่วงการทับถมของตะกอนต่ำ ในขณะที่ฝายสันมนและฝายคีย์เปียโนสามารถระบายได้น้อยกว่าตามลำดับ ผลการศึกษายังชี้ว่า ในลำน้ำที่ไม่สามารถติดตั้งประตูละบายทรายในฝายได้ ควรใช้งานฝายคีย์เปียโนเป็นหลัก แต่สำหรับลำน้ำที่สามารถติดตั้งประตูละบายทรายในฝายได้ ควรเลือกใช้ฝายหยัก แต่ทั้งนี้ควรมีผู้ดูแลการควบคุมประตูละบายเนื่องจากตะกอนที่ทับถมในฝายหยักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและทับถมสูงบริเวณหน้าประตูละบายอันทำให้เสี่ยงต่อการชำรุดของประตูละบายได้

6. ข้อเสนอแนะ

- 1) ในการศึกษาครั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการทดสอบโดยใช้รางน้ำขนาด 30 ซม. ในการทดสอบซึ่งมีขนาดค่อนข้างเล็กจึงทำการจำลองได้เพียง 1 วงรอบฝาย หากเพิ่มความกว้างของรางน้ำจะทำให้สามารถวิเคราะห์ผลการระบายตะกอนของการจัดวางฝายเต็มรูปแบบในทางน้ำได้
- 2) ควรมีการศึกษาฝายประเภทอื่นๆ เพิ่มเติมในประเด็นการระบายตะกอนทรายเมื่อไม่มีประตูละบาย เช่น crump

weir ซึ่งมีลักษณะความลาดชันใกล้เคียงกับฝายคีย์เปียโน หรือฝายขางซึ่งสามารถปรับระดับฝายได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Plangoen, S. Tiaotoi and S. Mueangthong, "Effects of land use and climate change on erosion of the Upper Yom Basin," *Chulachomklat Royal Military Academy Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 65–78, 2015.
- [2] P. Phalaphananawi, "The Principles for calculating the discharge of water through irrigation regulator," Royal Irrigation Department, Bangkok, Thailand, 2011. [Online]. Available: <http://water.rid.go.th/waterm/template/manager/FProjectMAC/O&MQA/65/a/9/9.4.pdf>
- [3] J. Herbst, M. Gebhardt, J. Merkel, F. Belzner, and C. Thorenz, "Sediment transport over labyrinth weirs," in *Proc. 7th International Symposium on Hydraulic Structure*, Aachen, Germany, May 15–18, 2018, doi: 10.15142/T3XP91.
- [4] C. Sindelar, J. Schobesberger and H. Habersack, "Effects of weir height and reservoir widening on sediment continuity at run-of-river hydropower plants in gravel bed rivers," *Geomorphology*, vol. 291, pp. 106–115, 2017, doi: /10.1016/j.geomorph. .2016.07.007
- [5] *Hydraulics design of Labyrinth weir*, S. Choonhawatt, Accessed: Oct. 23, 2022. [Online]. Available: https://engfanatic.tumcivil.com/tumcivil_1/content/upload/File/KromYotha/Labyrinth.pdf.
- [6] M. Nosedá, I. Stojnic, M. Pfister and A. J. Schleiss, "Upstream erosion and sediment passage at piano key weirs," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 145, no. 8, 2019, doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001616
- [7] J. M. Ribí, B. Spahni, D. Dorthe and M. Pfister, "Piano Key Weir as overflow on sedimentation basin of wastewater treatment plant," in *Proc. 3rd International Workshop on Labyrinth and Piano Key*

- Weirs (PKW 2017)*, Qui Nhon, Vietnam, Feb. 22–24, 2017, pp. 175–184, doi: 10.1201/9781315169064-25.
- [8] F. L. Bremer and M. Oertel “Numerical uncertainty of piano key weir discharge coefficient estimations by means of 3D CFD modelling-a preliminary study,” in *Proc. 7th International Symposium on Hydraulic Structure*, Aachen, Germany, May 15–18, 2018, doi: 10.15142/T39W7R.
- [9] P. Blanc and F. Lempérière, “Labyrinth spillways have a promising future,” *International Journal on Hydropower and Dams*, vol. 8, no. 4, pp. 129–131, 2001.
- [10] F. Lempérière and A. Ouamane, “The piano key weir: a new cost-effective solution for spillways,” *Hydropower & Dams*, vol. 10, no. 5, pp. 144–149, 2003.
- [11] F. Laugier, “Design and construction of the first Piano Key Weir (PKW) spillway at the Goulours dam,” *Hydropower & Dams*, vol. 13, no. 5, pp. 94–101, 2007.
- [12] J. Pralong, J. Vermeulen, B. Blancher, F. Laugier, S. Erpicum, O. Machiels, M. Pirotton, J. L. Boillat, M. L. Ribeiro and A. Schleiss, “A naming convention for the Piano Key weirs geometrical parameters,” in *Proc. 1st International Workshop on Labyrinth and Piano Key Weirs (PKW 2011)*, Liege, Belgium, Feb. 9–11, 2011.
- [13] A. Shields, “Application of similarity principles and turbulence research to bed-load movement,” The Prussian Research Institute for Hydraulic Engineering, Berlin, Germany, Rep. 1338, 1936.
- [14] M. S. Yalin, “Similarity in Sediment Transport,” in *Theory of Hydraulic Models*, 1st ed., London, Britain: Red Globe Press, 1971, ch. 6, sec. 6.5, pp. 145-186.