Rattanakosin Journal of Science and Technology: RJST
2021, Volume 3 Issue 1: 31-39
Research Article
Online ISSN: 2673-0553

คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของการไหลผ่านฝายสันคม

Hydraulic Properties of Thin plate weir

สันติ ไทยยืนวงษ์[1], สุธรรม โรจนเมฆา[2], พิทยา สุขจินดา[3] และ รณกร เทพวงษ์[4*]

[1, 2, 3, 4]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของการไหลผ่านฝายสันคม และเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านฝายแต่ละรูปแบบ การศึกษาดำเนินการในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์โดยทดลองกับฝาย 3 รูปแบบ คือ ฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ฝายรูปสามเหลี่ยม และฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ที่ความสูงของฝายจากพื้นท้องน้ำ 2 ระดับคือ 7 และ 10 เซนติเมตร การทดลองควบคุมให้การไหลเป็นแบบอิสระ ผลการศึกษาพบว่าความสูงของน้ำเหนือฝายมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นในทุกรูปแบบฝาย และที่อัตราการไหลเดียวกันฝายที่มีความสูงจากพื้นท้องน้ำมากกว่าจะมีความสูงของน้ำต่ำกว่า และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของฝายทั้ง 3 รูปแบบ พบว่าฝายที่มีความกว้างมากกว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลมากกว่าฝายที่มีความกว้างน้อยกว่า และฝายที่มีความสูงจากพื้นท้องน้ำมากกว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์สูงกว่า

คำสำคัญ : สัมประสิทธิ์การไหล ฝายสันคม ความลึกวิกฤต

* Corresponding author, e-mail: ronnakorn.t@rmutr.ac.th

Submission date: 15.02.2021/ Acceptance date: 20.04.2021/ Published date: 30.04.2021

Abstract

This research aim study the hydraulic properties of thin plate weir and compare the flow rate coefficient of each type of weirs. The study was carried out in a hydraulics laboratory by experimenting with 3 types of weirs such as rectangular, triangular and trapezoid weir. The height of the weir from the bed channel has two levels, 7 and 10 centimeters. The control experiment gave free flow. The results showed that the height of the water above weir was higher as flow rate increased in all weir patterns. At the same flow rate, weirs with greater bottom height have lower water heights. When considering flow coefficient of three types of weirs, it was found that larger weirs had higher flow coefficients than smaller weirs. Weirs with greater height from the bottom of the water have higher coefficients.

Keywords: Flow coefficient, Thin plate weir, Hydraulics test table

1. ที่มาและความสำคัญ

ฝายสันคมเป็นฝายที่มีลักษณะเป็นแผ่นระนาบมีสันฝายบางคล้ายมีด ซึ่งฝายสันคมจะใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอัตราการไหลในทางน้ำเปิด โดยให้น้ำไหลผ่านสันฝายในลักษณะอิสระ ฝายสันคมแบ่งตามลักษณะของรูปร่างเป็น 3 แบบคือ ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ฝายสันคมรูปสามเหลี่ยม และฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู โดยที่อัตราการไหลผ่านฝายสันคมจะเป็นฟังก์ชันของความสูงกับสันฝาย ความสูงของระดับน้ำ ความกว้างของฝาย และลักษณะรูปร่างของช่องเปิดที่ตัวฝาย

เนื่องจากการคำนวณอัตราการไหลของฝายมีสมการคำนวณที่ต่างกันตามรูปร่าง และต้องคำนึงถึงอิทธิพลของอุปสรรคด้านข้าง แรงเสียดทาน และความลึกของฝาย ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดที่จะทดสอบหาคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของการไหลผ่านฝายสันคมแบบอิสระเพื่อใช้เป็นต้นแบบสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือทดสอบการไหลผ่านฝายสันคมแบบอิสระที่มีความสูงจากระดับท้องน้ำถึงจุดควบคุม (Control Point) 7 cm และ 10 cm กับแผ่นฝาย 3 รูปแบบแบ่งเป็นแผ่นฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 5 cm แผ่นฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 3 cm แผ่นฝายรูปสามเหลี่ยม 60° และแผ่นฝายรูปสามเหลี่ยม 90° และแผ่นฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูขนาดมุม 60° เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลที่เกิดขึ้น โดยทำการทดสอบกับโต๊ะทดสอบชลศาสตร์ ในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของการไหลผ่านฝายสันคมรูปแบบต่างๆ แบบอิสระเพื่อใช้เป็นต้นแบบสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปราโมทย์ ไม้กลัด [2] ฝายเป็นอาคารที่สร้างขึ้นสำหรับทดน้ำในลำน้ำที่ไหลมาในปริมาณต่างๆ กันให้มีระดับสูงจนสามารถส่งน้ำเข้าคลองส่งน้ำที่ขุดออกสองฝั่งลำน้ำด้านหน้าฝายลัดเลาะไปตามสภาพภูมิประเทศให้กับพื้นที่เพาะปลูกที่อยู่ด้านท้าย

ปราโมท พลพณะนาวี [1] ฝายสันคม (Sharp crested weir or Thin plate weir) เป็นฝายที่มีสันคมลักษณะการไหลเป็นแบบไหลตกอิสระโดยเกิด Critical depth ที่ตำแหน่งสันฝาย ลักษณะของฝายสันคมพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างความสูงของน้ำที่ไหลผ่านสันฝายกับความหนาของสนฝาย ซึ่งต้องไม่น้อยกว่า 15

ฝายสันคมที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ มี 3 รูปแบบคือ สี่เหลี่ยมผืนผ้า สามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยมคางหมู ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งพิจารณาการไหลแบบตกอิสระ โดยมีสมการคำนวณปริมาณน้ำผ่านฝาย (วินัย ศรีอัมพร และคณะ, 2545) ดังนี้

- สมการคำนวณปริมาณน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กรณีการไหลแบบอิสระเมื่อระดับน้ำด้านท้ายอยู่ต่ำกว่าสันฝาย

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3}\sqrt{2g} \cdot B \cdot H^{3/2} \quad (1)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านฝาย, (m^3/s)

C_d = สัมประสิทธิการไหล

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก = 9.81 m/s^2

B = ความยาวของสันฝาย (m)

H = ความลึกของน้ำที่ไหลขามสันฝาย (m)

- สมการคำนวณปริมาณน้ำผ่านฝายรูปสามเหลี่ยม กรณีการไหลแบบอิสระเมื่อระดับน้ำด้านท้ายอยู่ต่ำกว่าสันฝาย ซึ่ง James Thomson (1859) ได้เสนอรูปแบบฝายสันคมแบบสามเหลี่ยมที่สามารถลด ข้อจำกัดหรือปัญหาการใช้ฝายสันคมสี่เหลี่ยมผืนผ้าลงได้ ในกรณีที่วัดปริมาณน้ำเมื่ออัตราการไหลน้อยๆ หรือ Head ต่ำ

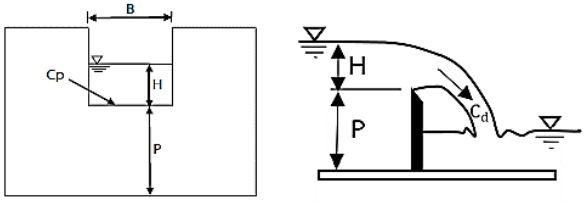
$$Q = C_d \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot \tan\frac{\theta}{2} \cdot h_e^{5/2} \quad (2)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านฝาย Free Flow, (m^3/s)

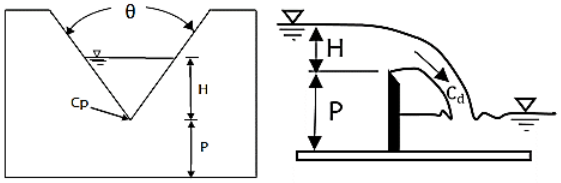
g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก = 9.81 (m/s^2)

h_e = ความลึกประสิทธิผลของระดับน้ำที่ไหลผ่านฝาย, (m)

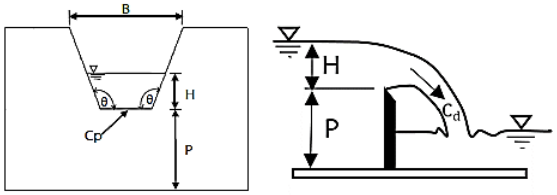
C_e = ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลขึ้นกับค่ามุม θ ของฝาย



ก. ฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า



ข. ฝายรูปสามเหลี่ยม



ค. ฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

ภาพที่ 1 ลักษณะฝายแบบต่างๆ

- สมการคำนวณปริมาณน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู กรณีการไหลแบบอิสระเมื่อระดับน้ำด้านท้ายอยู่ต่ำกว่าสันฝาย Cipoletti (1886) ได้ปรับปรุงฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบีบข้าง เพื่อให้การไหลมีการบีบตัวด้านข้างลดลง โดยปรับให้มีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่ด้านข้างมีความลาดเอียง แนวตั้งต่อแนวราบเท่ากับ 4:1

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3}\sqrt{2g}\left[b + \frac{4}{5}h.\tan\frac{\theta}{2}\right]h^{3/2} \qquad (3)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผานฝาย, (m^3/s)

C_d = ค่าสัมประสิทธิของการไหล

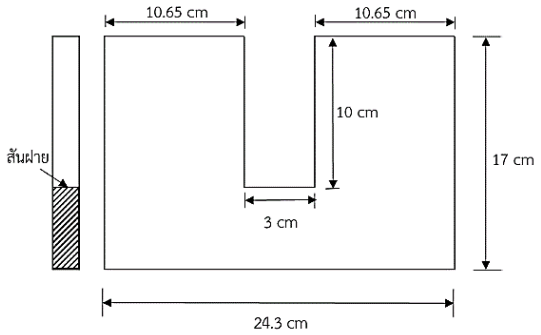
g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก = 9.81 m/s^2

b = ความกว้างของสันฝาย, (m)

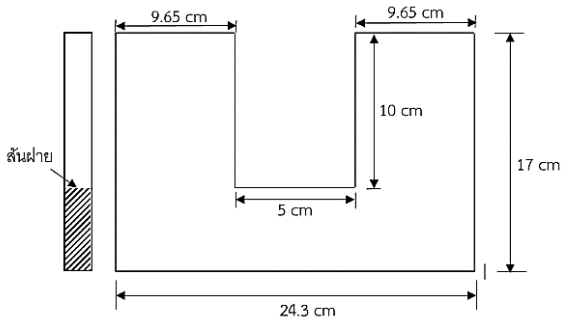
h = ความลึกของน้ำที่ไหลผ่านฝาย, (m)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

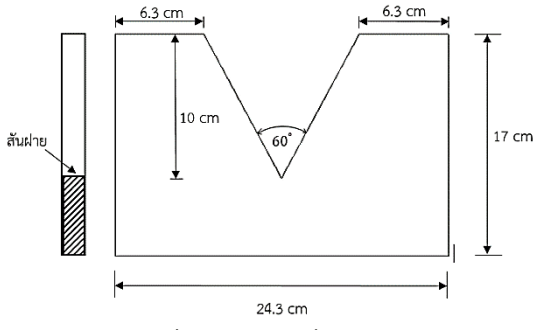
1.) ออกแบบแผ่นฝายทดสอบการไหลแบบอิสระ ที่มีความสูงจากระดับท้องน้ำถึงจุดควบคุม 7 cm จะมีด้วยกันทั้งหมด 5 แบบ โดยสร้างจากแผ่นอะคริลิคใสหนา 3 mm ดังแสดงในภาพที่ 2



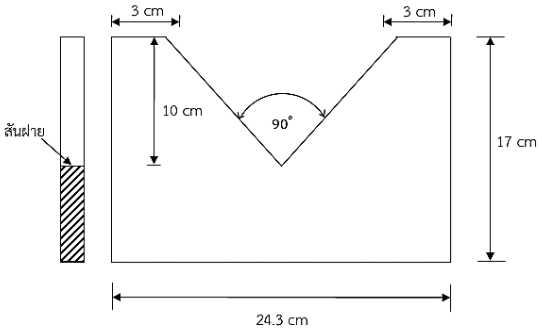
ก. ฝายรูปสี่เหลี่ยมขนาดความกว้างฝาย 3 cm



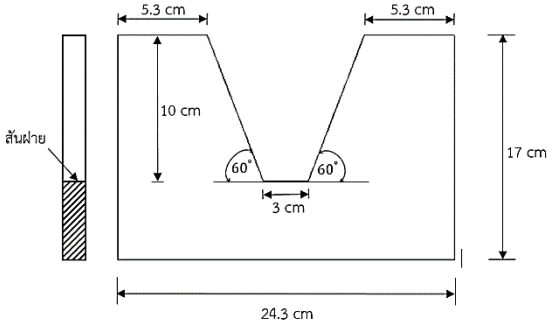
ข. ฝายรูปสี่เหลี่ยมขนาดความกว้างฝาย 5 cm



ค. ฝายรูปสามเหลี่ยมขนาด 60°



ง. แผ่นฝายรูปสามเหลี่ยมขนาด 90°



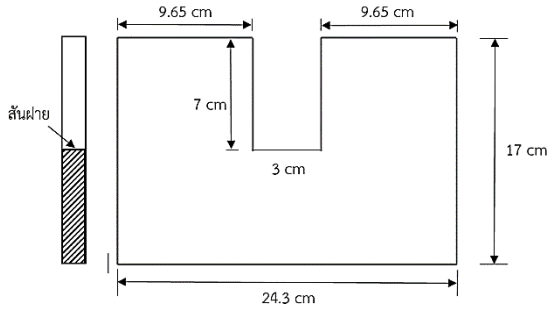
จ. ฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

ภาพที่ 2 ฝายทดสอบการไหลความสูงจากระดับท้องน้ำถึงจุดควบคุม 7 cm

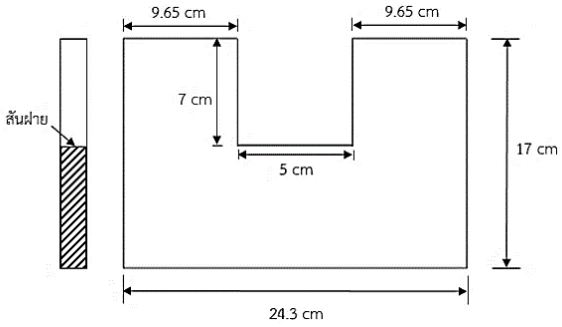
2.) ออกแบบแผ่นฝายทดสอบการไหลแบบอิสระ ที่มีความสูงจากระดับท้องน้ำถึงจุดควบคุม 10 cm จากแผ่นอะคริลิคใสหนา 3 mm ดังแสดงในภาพที่ 3

3.) ติดตั้งฝายน้ำล้นรูปแบบต่างๆเข้ากับชุดโต๊ะทดสอบทางชลศาสตร์ ทำการทดสอบและเก็บข้อมูลลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝาย (ภาพที่ 4)

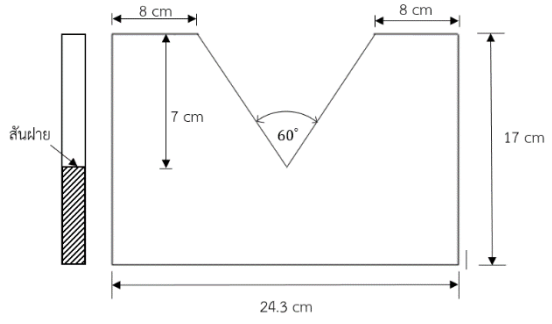
4.) วิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าลักษณะการไหลกับค่าอัตราการไหลและวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลตามสมการที่ 1 ถึง 3



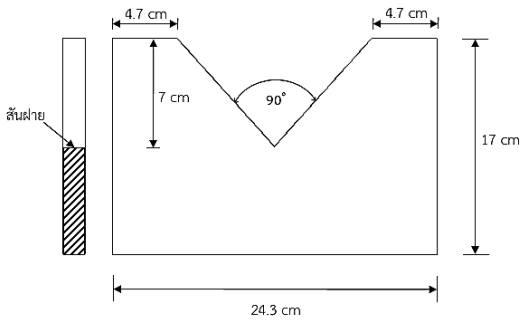
ก. ฝายรูปสี่เหลี่ยมขนาดความกว้างฝาย 3 cm



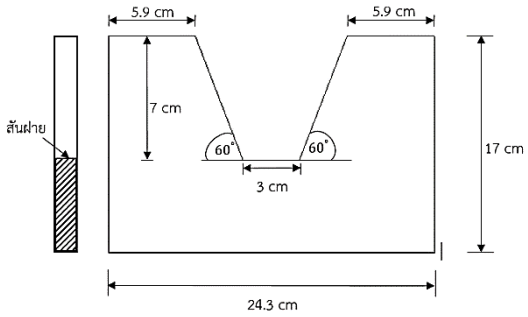
ข. ฝายรูปสี่เหลี่ยมขนาดความกว้างฝาย 5 cm



ค. ฝายรูปสามเหลี่ยมขนาด 60°



ง. แผ่นฝายรูปสามเหลี่ยมขนาด 90°



จ. ฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

ภาพที่ 3 ฝายทดสอบการไหลความสูงจากระดับท้องน้ำถึงจุดควบคุม 10 cm

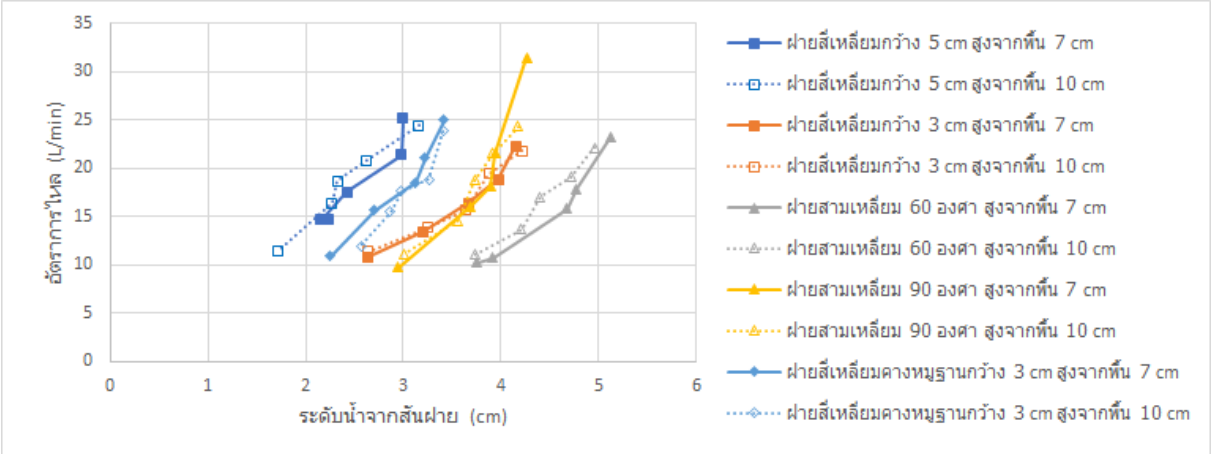
ภาพที่ 4 การติดตั้งฝายลารทดสอบการวัดการไหลผ่านฝาย

5. ผลและวิจารณ์

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำเหนือสันฝายกับอัตราการไหล

จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ สามารถพล๊อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำเหนือสันฝายกับอัตราการไหล ดังภาพที่ 5 พบว่าอัตราการไหลเพิ่มขึ้นตามระดับน้ำเหนือสันฝายโดยอัตราการเพิ่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับน้ำ ที่อัตราการไหลเดียวกัน ความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝายมีค่าต่างกัน โดยฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 5 เซนติเมตร มีระดับต่ำสุด ต่อมาเป็นฝายสี่เหลี่ยมคางหมูมีระดับสูงขึ้น ในลำดับถัดมาเป็นฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 3 เซนติเมตร และฝายรูปสามเหลี่ยมขนาด 90° ซึ่งมีระดับน้ำใกล้เคียงกัน สุดท้ายเป็นฝายรูปสามเหลี่ยมขนาด 60° มีระดับน้ำสูงสุด

เมื่อพิจารณาระดับความสูงของฝาย พิจารณาที่อัตราการไหลเท่ากันพบว่าฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 5 เซนติเมตร และฝายรูปสามเหลี่ยมขนาด 60° ฝายที่สูงจากพื้น 7 เซนติเมตร มีระดับน้ำเหนือสันฝายสูงกว่าฝายที่สูงจากพื้น 10 เซนติเมตร สำหรับฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 3 เซนติเมตร และฝายรูปสามเหลี่ยมขนาด 90° ที่ความสูงเหนือพื้น 7 เซนติเมตร และ 10 เซนติเมตร ระดับน้ำเหนือสันฝายใกล้เคียงกัน ส่วนฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูระดับน้ำเหนือสันฝายที่สูงจากพื้น 7 เซนติเมตรมีแนวโน้มต่ำกว่าที่สูงจากพื้น 10 เซนติเมตร



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำเหนือสันฝายกับอัตราการไหลของฝายรูแบบต่างๆ

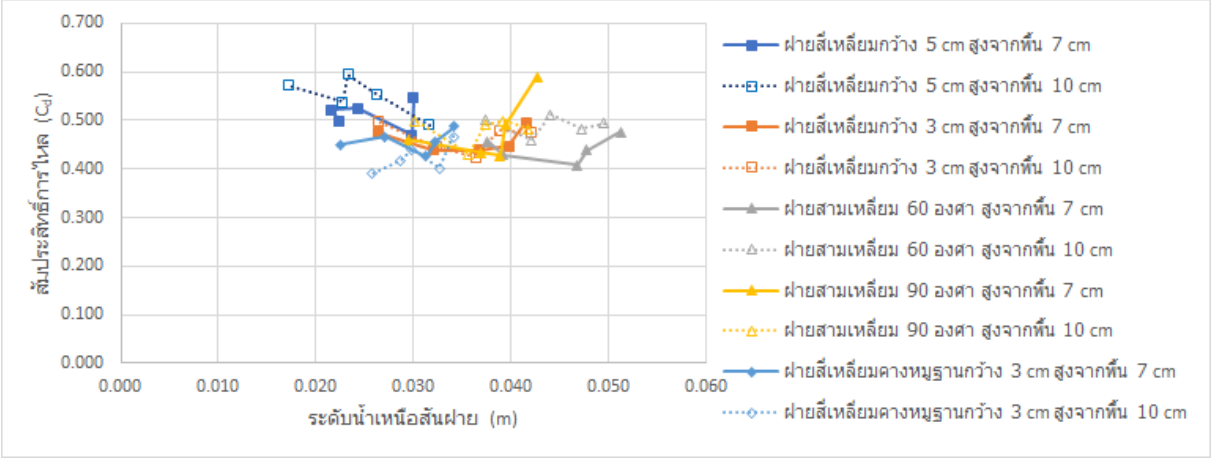
5.2 สัมประสิทธิ์การไหล

พิจารณาสัมประสิทธิ์การไหลตามระดับน้ำเหนือสันฝาย และอัตราการไหลของฝายหน้าตัดต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 6 และ 7 ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาตามระดับน้ำเหนือสันฝาย (ภาพที่ 6) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกมีระดับน้ำต่ำได้แก่ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 5 เซนติเมตร และฝายสี่เหลี่ยมคางหมู กลุ่มที่สองมีระดับน้ำปานกลาง ได้แก่ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 3 เซนติเมตร และฝายสามเหลี่ยมขนาด 90° และกลุ่มสุดท้ายมีระดับน้ำสูงสุด ได้แก่ฝายสามเหลี่ยมขนาด 60°

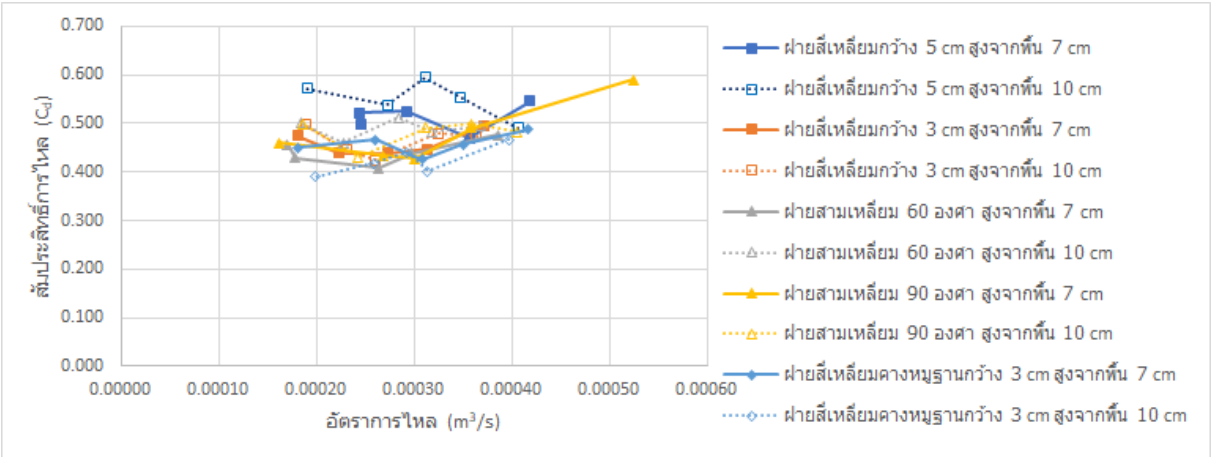
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันตามค่าอัตราการไหล (ภาพที่ 7) พบว่าค่าสัมประสิทธิการไหลมีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน โดยฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีค่ามากที่สุดและต่างจากฝายแบบอื่นๆ อย่างชัดเจน สำหรับค่าสัมประสิทธิการไหลเฉลี่ยของฝายแต่ละแบบแสดงในตารางที่ 1

พฤติกรรมการไหล และค่าสัมประสิทธิ์การไหลที่วิเคราะห์จากการทดสอบมีค่าแตกต่างกันในฝายแต่ละแบบและที่ความสูงของฝายจากพื้นที่แตกต่างกัน ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 5 เซนติเมตร และฝายสี่เหลี่ยมคางหมู เป็นฝายที่มีพื้นที่หน้าตัดมากที่สุด พื้นที่หน้าตัดจึงมีขนาดใกล้เคียงกับทางน้ำเดิมมากที่สุด สัมประสิทธิ์การไหลจึงมีค่าสูงกว่า ฝายแบบที่เหลือ ขนาดความกว้างของฝายก็ผลต่อระดับน้ำเหนือสันฝายและค่าสัมประสิทธิ์การไหล เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 3 เซนติเมตร กับฝายสามเหลี่ยมขนาด 90° (ภาพที่ 5) พบว่าที่อัตราการไหลต่ำ ระดับน้ำเหนือสันฝายของฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะต่ำกว่าฝายสามเหลี่ยม แต่จะสูงกว่าเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับความกว้างของผิวน้ำเหนือสันฝายที่เพิ่มมากขึ้นตามระดับน้ำของฝายสามเหลี่ยม

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านฝายรูปแบบต่างๆ เปรียบเทียบที่ความสูงของฝายจากพื้นต่างกัน (ภาพที่ 6 และ 7) จะพบว่าฝายที่สูงจากพื้นมากกว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลมากกว่า ยกเว้นในฝายสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลกลับกัน แต่มีแนวโน้มเหมือนฝายรูปแบบอื่นเมื่อระดับน้ำเหนือสันฝายสูงขึ้น หรือมีอัตราการไหลเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลตามระดับน้ำเหนือสันฝายรูปแบบต่างๆ



ภาพที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลตามอัตราการไหลผ่านฝายรูปแบบต่างๆ

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของฝายสันคม

หน้าตัดฝาย	ความสูงจากพื้น 7 cm			ความสูงจากพื้น 10 cm		
	Q_{avg} (m^3/s)	H_{avg} (m)	C_d	Q_{avg} (m^3/s)	H_{avg} (m)	C_d
สี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 5 cm	0.00031	0.0256	0.512	0.00031	0.0259	0.550
สี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 3 cm	0.00027	0.0353	0.459	0.00027	0.0354	0.464
รูปสามเหลี่ยม 60°	0.00026	0.0445	0.442	0.00026	0.0442	0.490
รูปสามเหลี่ยม 90°	0.00032	0.0375	0.480	0.00030	0.0373	0.480
สี่เหลี่ยมคางหมู 60°	0.00030	0.0295	0.457	0.00030	0.0295	0.423

6. สรุปผล

การทดสอบการไหลผ่านฝายสันคมรูปแบบต่างๆ ได้แก่ฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 5 เซนติเมตร และ 3 เซนติเมตร ฝายรูปสามเหลี่ยมขนาด 60° และ 90° ฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูสันกว้าง 3 เซนติเมตร มุมเยง 60° กับแนวราบ โดยทำการติดตั้ง 2 ลักษณะตามความสูงของฝายจากพื้นทางน้ำ คือที่ 7 และ 10 เซนติเมตร ผลการศึกษาพบว่าที่อัตราการไหลเดียวกันฝายที่มีหน้าตัดการไหลใหญ่กว่าจะมีความสูงของน้ำเหนือสันฝายต่ำกว่า สำหรับฝายที่ผนังเป็นมุมเอียงพื้นที่หน้าตัดการไหลมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระดับน้ำสูงขึ้น

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การไหล ฝายที่มีความกว้างมากกว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์สูงกว่า เนื่องจากมีขนาดหน้าตัดการไหลใกล้เคียงกับทางน้ำเข้ามากที่สุด นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากความสูงของฝายจากพื้นท้องน้ำจะพบว่าฝายที่มีระดับสูงกว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลมากกว่า

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ได้สนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณนายไชยภัทร สุวรรณนิมิตร นางสาวกัญญาลักษณ์ ล้อมกลาง และนางสาวโชติกา เพ็งหนองหิน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ปราโมท พลพณะนาวี, หลักการคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทาน, การจัดการความรู้ตามแผนการจัดการความรู้เพื่อสนับสนุนประเด็นยุทธศาสตร์กรมชลประทานประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554, สำนักชลประทานที่ 8, 2554

[2] ปราโมทย์ ไม้กลัด, คู่มืองานเขื่อนดินขนาดเล็กและฝาย, สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน, นนทบุรี, 2524