

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของฝายสันคม รูปสี่เหลี่ยมคางหมู

วินัย ศรีอำพร

รองศาสตราจารย์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

จักรี ศิมกระโทก

ธนากร แสงวงศ์

ธวัชชัย รัตนประพันธ์

นักศึกษาปริญญาตรี

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนอการหาค่าสัมประสิทธิ์ของฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ที่มีขนาดของมุมที่ผนังด้านข้างต่างๆ กัน แผ่นฝายที่ใช้ในการทดลองสร้างขึ้นจากแผ่นทองเหลืองที่นำมาตัดให้มีช่องเปิดเป็นรูปฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีมุมด้านข้างตั้งแต่ประมาณ 5° ถึง 45° จำนวน 9 แผ่น แล้วนำไปติดตั้งกับรางน้ำและทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองคืออัตราการไหลผ่านฝายที่ระดับน้ำเหนือสันฝายต่างๆ กัน ซึ่งการวัดอัตราการไหลทำโดยการตวงปริมาตรและจับเวลา ผลจากการทดลองจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของฝายแต่ละขนาด และจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ คืออัตราการไหลกับระดับน้ำเหนือสันฝาย สัมประสิทธิ์ของฝายกับมุมของผนังด้านข้าง และสัมประสิทธิ์ของฝายกับระดับน้ำเหนือสันฝายพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของฝายและอัตราการไหลผ่านฝาย จะเพิ่มขึ้นตามขนาดของมุมของผนังด้านข้างของฝาย ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ของฝายจะลดลงเมื่อระดับน้ำเหนือสันฝายเพิ่มขึ้น

Determination of Trapezoidal Sharp-Crested Weir Coefficient

Winai Sri-Amporn

Associate Professor

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Chakri Kiemkratok

Thanakorn Saenwong

Tawatchai Ratanaprapan

Undergraduate Student

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering, Khon Kaen University

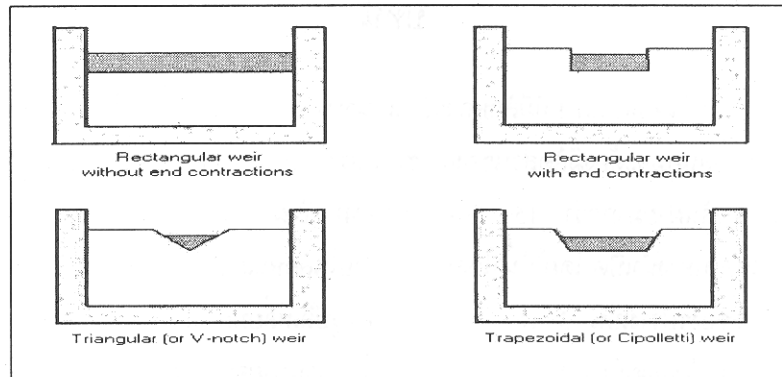
Abstract

The determination of various side slope angles trapezoidal sharp-crested weir coefficient is presented. Nine weir plates were made from braze plate with a trapezoidal shape cutting, at various side slope angles. The angles are ranging from about 5 to 45 degree. A weir plate was installed to a flume, and the experiment was carried out in a laboratory. The discharge through a weir plate, and the water level above weir crest (head), were measured. The discharge was determined by measuring volume of water per unit time. The results of this study provided the weir coefficients. Furthermore, the relationships between discharge and head, weir coefficient and side slope angle, and weir coefficient and head were also determined. It was found that, the weir coefficient and discharge are increased as the increasing of the side slope angle. Beside, the weir coefficient is decreased as increasing of head.

บทนำ

ฝายสันคมเป็นฝายที่มีลักษณะเป็นแผ่นระนาบซึ่งมีสันฝายบางคล้ายคมมีด โดยมีข้อกำหนดว่าฝายสันคมจะต้องมีสัดส่วนของเฮดชลศาสตร์ (hydraulic head) เหนือสันฝายต่อความหนาของสันฝายมากกว่า 15 (French.1994) ซึ่งฝายสันคมจะใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอัตราการไหลในทางน้ำเปิด โดยให้น้ำไหลผ่านสันฝายในลักษณะ Free flow ฝายสันคมแบ่งออกตามลักษณะของรูปร่างเป็น 3 แบบคือ ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปสามเหลี่ยม และรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยที่อัตราการไหลผ่านฝายจะเป็นฟังก์ชันของความสูงของสันฝาย ความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝาย ความลึกของน้ำในลำน้ำ และลักษณะรูปร่างของช่องเปิดที่ตัวฝาย (Munson. 1998) โดยมีสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (Discharge coefficient, C_d) หรือในบางกรณีก็อาจจะรวมค่าที่ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในสมการเข้าไปกับสัมประสิทธิ์อัตราการไหลแล้วเรียกรวมกันว่า สัมประสิทธิ์ของฝาย (Weir coefficient, C_w) ซึ่งเป็นค่าที่จะบอกให้ทราบว่าอัตราการไหลที่แท้จริงนั้นแตกต่างจากอัตราการไหลทางทฤษฎีมากน้อยเพียงใด โดยที่ความแตกต่างดังกล่าวนี้เกิดขึ้นเนื่องมาจากความเสียหายของการไหลข้ามสันฝาย และเนื่องจากระดับน้ำที่ไหลเข้าสู่ตัวฝายต่ำกว่าระดับน้ำปกติในทางน้ำเปิดเพราะมีเฮดความเร็ว (velocity head) ในขณะที่ไหลเข้าสู่ตัวฝาย ตลอดจนเนื่องจากการที่เส้นการไหล (streamlines) ของน้ำในขณะที่ผ่านสันฝายไม่ตั้งฉากกับแผ่นฝาย (Mays. 2001) เป็นต้น ทั้งนี้ค่า C_d หรือ C_w ส่วนใหญ่จะสามารถหาค่าได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ หรือจากการเปรียบเทียบกับค่าอัตราการไหลโดยวิธีอื่นๆ ในสนาม

บทความนี้จะนำเสนอการหาค่า C_w ของฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีมุมด้านข้างผนังของฝายต่างๆ กันเพื่อให้เป็นประโยชน์ในเชิงวิชาการ โดยได้ดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 1 ลักษณะของฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยมคางหมู
สมการการไหลผ่านฝายสันคม

สมการการไหลผ่านฝายสันคมในที่นี้จะกล่าวถึง สมการการไหลผ่านฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปสามเหลี่ยม และรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ตามลำดับดังนี้

สมการการไหลผ่านฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

อัตราการไหลผ่านฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สามารถเขียนได้ในรูปของ

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

โดยที่ Q = อัตราการไหลผ่านฝายสันคม $[L^3 T^{-1}]$, C_d = สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของฝาย, g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s^2), B = ความกว้างของสันฝาย $[L]$, และ H = ความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝาย $[L]$ ทั้งนี้ C_d ของฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีค่าประมาณ 0.62 และสามารถจะเขียนสมการทั่วไปของการไหลข้ามฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้ ดังนี้

$$Q = C_w B H^{3/2} \quad (2)$$

โดยที่ C_w คือสัมประสิทธิ์ของฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีค่าประมาณ 1.84 ในหน่วยระบบ SI และมีค่าประมาณ 3.33 ในหน่วยระบบอังกฤษ (Mays. 2001)

สมการการไหลผ่านฝายสันคมรูปสามเหลี่ยม

สมการอัตราการไหลผ่านฝายสันคมรูปสามเหลี่ยม อยู่ในรูปของ

$$Q = C_d \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) H^{5/2} \quad (3)$$

โดยที่ θ คือมุมยอดของฝายรูปสามเหลี่ยม ส่วนตัวแปรอื่นๆ จะเหมือนกับกรณีของฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และสามารถจะเขียนสมการทั่วไปของการไหลข้ามฝายสันคมรูปสามเหลี่ยมได้ ดังนี้

$$Q = C_w H^{5/2} \quad (4)$$

โดยที่ C_w คือสัมประสิทธิ์ของฝายสันคมรูปสามเหลี่ยม ซึ่งในกรณีของฝายสันคมรูปสามเหลี่ยม ที่มีมุมยอดเท่ากับ 90° จะมีค่า C_w ประมาณ 1.38 ในหน่วยระบบ SI และมีค่าประมาณ 2.50 ในหน่วยระบบอังกฤษ (Mays, 2001)

สมการการไหลผ่านฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเป็นฝายสันคมที่คล้ายกับรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแต่มีผนังด้านข้างป้านออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สมการการไหลผ่านฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเปรียบเสมือนผลรวมของสมการการไหลผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กับฝายรูปสามเหลี่ยม จึงได้สมการเป็น (Bos, 1976)

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

โดยที่ θ คือ มุมของผนังด้านข้างของฝายที่กระทำกับแนวดิ่ง ส่วนตัวแปรอื่นๆ จะเหมือนกับกรณีข้างต้น ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมูทุกๆ ไปที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลในทางน้ำเปิดจะมี ความลาดของผนังข้างเท่ากับ 4 : 1 (แนวดิ่ง : แนวราบ) ซึ่งเรียกว่าฝาย Cipolletti โดยมีข้อกำหนดว่า จะใช้ได้ในกรณีที่ความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝายต่ำสุดเท่ากับ 5 ซม. และมีค่าสูงสุดไม่เกิน 1.5 เท่าของความยาวสันฝาย สมการการไหลผ่านฝาย Cipolletti อยู่ในรูปของ

$$Q = C_w B H^{3/2} \quad (6)$$

โดยมีคำอธิบายตัวแปรเช่นเดียวกับการนิยามของฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่ง C_w ของฝายสันคม Cipolletti มีค่าเท่ากับ 1.86 ในหน่วยระบบ SI และเท่ากับ 3.37 ในหน่วยระบบอังกฤษ ดังนั้น ในการศึกษานี้จะทำการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมูในกรณีที่มีมุมด้านข้างแตกต่างจากฝาย Cipolletti โดยจะจัดให้อยู่ในรูปของสมการที่คล้ายกัน

รายละเอียดของการทดลอง

รายละเอียดของการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมูสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) การสร้างแผ่นฝาย โดยการนำแผ่นทองเหลืองที่มีความหนา 0.25 ซม. ขนาดกว้าง 23.70 ซม. และสูง 18.50 ซม. มาตัดและตกแต่งให้มีช่องเปิดเป็นรูปฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมูจำนวน 9 แผ่น ที่มีขนาดของมุมด้านข้าง (เป็นมุมที่ผนังข้างของฝายกระทำกับแนวดิ่ง, θ) แตกต่างกัน คือ 5.09° 9.37° 14.63° 19.10° 24.93° 29.48° 34.51° 40.41° และ 44.72° ทั้งนี้ เหตุที่มุมด้านข้างของฝายไม่เป็นตัวเลขลงตัวเนื่องมาจากการตัดและตกแต่งช่องเปิดของแผ่นฝาย โดยที่ฝายแต่ละแผ่นจะมีความกว้างและความสูงของสันฝายคงที่เท่ากับ 3 ซม. และ 8.30 ซม. ตามลำดับ และช่องเปิดของฝายจะมีความสมมาตรตามแกนในแนวดิ่งตรงกลางของแผ่นฝาย
- 2) ในการวัดอัตราการไหล กระทำโดยการตวงปริมาตร 20 ลิตร แล้วจับเวลา ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้ถังน้ำขนาดใหญ่ที่มีขีดบอกขนาดความจุต่างๆ กัน มารองรับน้ำที่ไหลผ่านฝาย และสามารถระบายกลับคืนลงสู่ถังพักน้ำได้ โดยที่ในการจับเวลาจะทำซ้ำ 2 ครั้ง
- 3) ในการวัดระดับน้ำ ทำได้โดยใช้ Hook gage ซึ่งติดตั้งอยู่กับรางน้ำ
- 4) การทดลองเริ่มต้นจากการติดตั้งแผ่นฝายเข้ากับรางน้ำ แล้วเปิดวาล์วให้น้ำไหลเข้าสู่รางน้ำจนกระทั่งระดับน้ำอยู่ที่ระดับสันฝายพอดีพร้อมทั้งอ่านค่าระดับน้ำจาก Hook gage ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นระดับของสันฝาย
- 5) ปรับวาล์วจนกระทั่งน้ำไหลข้ามสันฝายในลักษณะ Free flow ซึ่งถือว่าเป็นอัตราการไหลต่ำสุดของฝายขนาดนั้นๆ แล้วอ่านค่าระดับน้ำพร้อมกับวัดอัตราการไหล

- 6) ปรับค่าระดับ Hook gage ให้สูงขึ้นครึ่งละ 2 มม. แล้วปรับวาล์วให้ระดับน้ำอยู่ที่ปลายของ Hook gage และวัดอัตราการไหล
- 7) ทำการทดลองตามข้อ 6) ต่อไปจนกระทั่งถึงค่าอัตราการไหลสูงสุดของฝ่ายขนาดนั้นๆ
- 8) ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 5) ถึง 7) จำนวน 5 รอบ สำหรับฝ่ายแต่ละขนาดเพื่อความน่าเชื่อถือของข้อมูล
- 9) ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4) ถึง 8) จนครบทุกขนาดของแผ่นฝ่าย

การวิเคราะห์ผล

จากการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาระดับน้ำเหนือสันฝ่าย (H) และอัตราการไหลผ่านฝ่าย (Q) แล้วนำข้อมูลทั้ง 5 ชุดของฝ่ายแต่ละขนาดไปหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ และหาค่าสัมประสิทธิ์ของฝ่าย ดังนี้

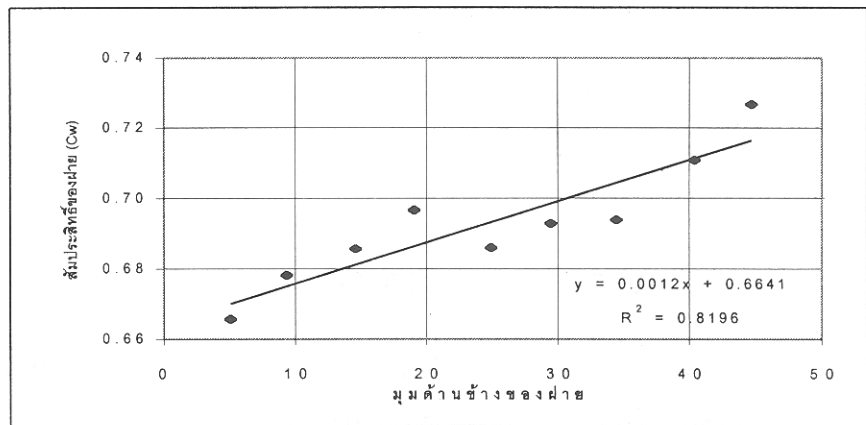
- 1) การหาความสัมพันธ์ระหว่าง Q กับ H โดยการนำ Q กับ H ไปพล็อตรวมกันในกราฟสเกลล็อกจะได้กราฟเส้นตรงและมีสมการความสัมพันธ์ดังแสดงในตารางข้างล่าง ซึ่งจะพบว่าค่า R^2 ใกล้เคียง 1.0 มาก แสดงว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ดี ทั้งนี้ Q มีหน่วยเป็น ลบ.ซม / วินาที และ H มีหน่วยเป็น ซม.

มุมด้านข้างของฝ่าย (องศา)	ความสัมพันธ์ระหว่าง Q กับ H	R^2
5.09	$Q = 75.163H^{1.4072}$	0.9952
9.37	$Q = 78.922H^{1.4305}$	0.9957
14.63	$Q = 83.153H^{1.4478}$	0.9917
19.10	$Q = 86.571H^{1.4744}$	0.9937
24.93	$Q = 89.572H^{1.4896}$	0.9947
29.48	$Q = 94.204H^{1.5015}$	0.9931
34.51	$Q = 97.215H^{1.5175}$	0.9947
40.41	$Q = 100.530H^{1.5711}$	0.9949
44.72	$Q = 105.050H^{1.6061}$	0.9949

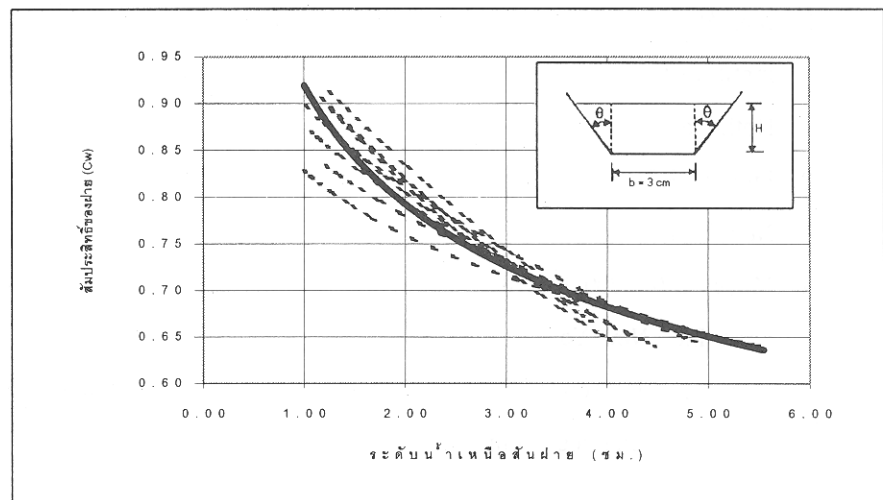
2) การหาค่าสัมประสิทธิ์ของฝาย โดยการพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลจริงที่วัดได้ กับอัตราการไหลตามทฤษฎี แล้วจะได้รับความลาดชันของเส้นกราฟเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของฝายแต่ละขนาด ดังแสดงในตารางข้างล่าง

มุมด้านข้างของฝาย (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์ของฝาย (C_w)
5.09	0.6657
9.37	0.6782
14.63	0.6857
19.10	0.6967
24.93	0.6860
29.48	0.6929
34.51	0.6939
40.41	0.7108
44.72	0.7267

- 3) การหาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ของฝาย กับมุมด้านข้างของฝาย โดยการนำค่าทั้งสองของฝายแต่ละขนาดไปเขียนกราฟ จะได้ความสัมพันธ์ในรูปของสมการดังนี้ $C_w = 0.0012\theta + 0.6641$ โดยมีค่า $R^2 = 0.8196$ ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์ของฝายจะเพิ่มขึ้นเมื่อมุมด้านข้างของฝายเพิ่มขึ้นในลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ทั้งนี้ ค่า R^2 ไม่สูงมากนักแสดงว่าความสัมพันธ์ไม่ดีเท่าที่ควร
- 4) การหาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ของฝาย (C_w) กับระดับน้ำเหนือสันฝาย (H) โดยการนำค่าทั้งสองของฝายแต่ละขนาดไปพล็อตกราฟจะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นโค้งดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งแสดงว่าเมื่อ H เพิ่มขึ้น C_w จะลดลงในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรง โดยมีเส้นทึบเป็นเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์ ทั้งนี้พิสัยของ H ที่ทำการทดลองอยู่ระหว่าง 1–6 ซม.



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ของฝายกับมุมด้านข้างของฝาย



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ของฝาย กับระดับน้ำเหนือสันฝาย

สรุป

จากผลของการทดลองช่วยให้ทราบค่าสัมประสิทธิ์ของฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ที่มีมุมด้านข้างของฝายต่างกัน และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของฝายและอัตราการไหลผ่านฝาย จะเพิ่มขึ้นตามขนาดของมุมของผนังด้านข้างของฝาย ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ของฝายจะลดลง เมื่อระดับน้ำเหนือสันฝายเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวถือว่าเป็นประโยชน์ในเชิงวิชาการที่

เกี่ยวข้องในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตาม การทดลองครั้งนี้ดำเนินการในรางน้ำขนาดเล็กทำให้ผลลัพธ์ของระดับน้ำเหนือสันฝายไม่กว้างนัก ดังนั้น จึงควรมีการทดลองเพิ่มเติมในรางน้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้นให้ผลลัพธ์ของขนาดฝายและระดับน้ำเหนือสันฝายที่กว้างขึ้น เพื่อความแม่นยำของผลการทดลอง

เอกสารอ้างอิงและบรรณานุกรม

1. จักรี คีมกระโทก ธนากร แสนวนค์ และธวัชชัย รัตนประพันธ์ (2544). "การหาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู" รายงานโครงการหมายเลข CE01-2 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มกราคม.
2. Bos, M.G. (1976), "Discharge Measurement Structures", International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI, Wageningen Netherlands.
3. French, R.H. (1994), "Open-Channel Hydraulics", McGraw-Hill, Inc, New York.
4. Mays, L.W. (2001), "Water Resources Engineering", John Wiley & Sons, Inc., New York.
5. Munson, B.R., Young, D.F., and Okiishi, T.H. (1998), "Fundamentals of Fluid Mechanics", John Wiley & Sons, Inc., New York.