

광정횡월류위어의 월류량 산정식 개발

Development of Discharge Formula for Broad Crested Side Weir

박 문 형* / 이 동 섭**

Park, Moonhyung / Rhee, Dong Sop

Abstract

In this study, the effects of upstream Froude number (Fr_1), weir height (h), weir length (L), weir width (W) and main channel width (B) on the discharge coefficient of broad crested side-weirs in a relatively wide rectangular open channel were investigated experimentally. Furthermore the relationship between discharge coefficients of sharp crested side weir and broad crested side weir was studied using the concept of De Marchi discharge coefficient. The effect of Fr_1 on the relationship between discharge coefficients of sharp crested side weir and broad crested side weir is decreased in wide open channel and the relative importance of other influential parameters like h/y_1 , L/B , and $W/(y_1-h)$ are increased. New estimated equations for the discharge coefficients of broad crested side weir are suggested from regression analysis with the experiment data sets.

Keywords : broad crested side weir, discharge coefficient, dimensional analysis

요 지

본 연구에서는 De Marchi 유량계수 개념을 이용하여 상대적으로 폭이 넓은 개수로에서 광정횡월류위어 유량계수에 대한 위어 상류단 프루드수 (Fr_1), 위어 높이 (h), 위어 길이 (L), 위어 폭 (W), 본류 폭 (B)의 영향 및 예연횡월류위어의 유량계수와 광정횡월류위어의 유량계수의 상관성을 실험적으로 확인하였다. 분석 결과 폭이 넓은 개수로 흐름 조건에서는 본류 흐름 조건의 영향이 약화되고 위어 자체의 기하학적 형상에 의한 영향이 강화되기 때문에 예연횡월류위어와 광정횡월류위어 유량계수의 상호 연관성이 상대적으로 약화되는 것으로 나타났으며, 차원해석을 통하여 Fr_1 , h/y_1 , L/B , $W/(y_1-h)$ 등 4개의 변수가 영향이 큰 것을 확인하였다. 그리고 실험 결과를 바탕으로 회귀분석을 통하여 새로운 광정횡월류위어 유량계수 산정식을 제안하였다.

핵심용어 : 광정횡월류위어, 유량계수, 차원해석

1. 서 론

일반적으로 위어는 흐름방향에 직각으로 설치되어 주

흐름을 조절하는 역할을 하는 구조물이다. 이에 비하여 횡월류위어는 하천을 포함한 수로의 측벽에 설치되어, 관개 및 배수용 수로의 수위 조절 시설로 많이 이용되고 있

* 교신저자, 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 수석연구원 (E-mail: moon@kict.re.kr)

Senior Researcher, River, Coastal and Harbor Research Division, Korea Institute of Construction Technology, 411-712, Korea.

** 한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 하천해안항만연구실 수석연구원

Senior Researcher, River, Coastal and Harbor Research Division, Korea Institute of Construction Technology, 411-712, Korea.

다. 특히, 최근 도시화로 인하여 하천 유역의 저류 능력이 감소함에 따라 도시유역 홍수저감 방안의 하나로 대두되고 있는 방수로 및 저류지의 유입부에는 횡월류위어가 설치된다. 이 경우 횡월류위어는 본류의 일정 유량을 저류지 및 방수로 등으로 전환시키므로, 홍수저감 시설물의 능력을 정확하게 평가하기 위해서는 횡월류위어의 월류량을 정확하게 계산할 수 있어야 한다. 그렇지만 횡월류위어 주변의 흐름은 복잡한 양상을 나타내기 때문에 해석하는데 한계가 있으며, 대부분의 연구가 유량계수에 대한 경험적 접근을 하는데 치중하여 왔다.

De Marchi (1934)는 횡월류위어 전반에 대한 비에너지와 유량계수가 상수라고 가정하여 본류의 수면형을 계산할 수 있는 이론적 방정식을 제시하였다. 현재까지 횡월류위어와 관련한 대부분의 연구는 De Marchi (1934)의 가정에 근거하고 있다.

횡월류위어는 월류부의 폭에 따라 예연횡월류위어 (sharp crested side weir)와 광정횡월류위어 (broad crested side weir)로 구분할 수 있다. 지금까지 예연횡월류위어에 대해서는 많은 연구가 이루어져 왔다. 각 연구자들은 예연횡월류위어의 흐름 특성을 연구하기 위하여 De Marchi 가정을 채택하였으며, 이에 근거하여 직사각형 개수로에서의 예연횡월류위어 월류 흐름에 대한 다양한 유량계수 산정식을 제시하였다 (Subramanya and Awasthy, 1972; Ranga Raju et al., 1979; James and Mitri, 1982; Hager, 1987; Cheong, 1991; Singh et al., 1994; Jalili and Borghei, 1996; Borghei et al., 1999). 이동섭과 김창완 (2008)은 본 연구와 동일한 개수로 실험장치에서 본류의 하폭이 넓은 경우의 유량계수 산정 방법에 대하여 연구하였다.

예연횡월류위어와는 달리 광정횡월류위어에 대해서는 지금까지 연구가 제한적으로 이루어져왔으며, 광정횡월

류위어의 유량계수를 산정하는 경우 대체로 예연횡월류위어에 대하여 개발된 유량계수 산정식을 기초로하여 광정횡월류위어에서 새로 추가되는 제원 조건이 위어의 폭을 고려하여 유량계수를 산정토록 하고 있다. Honar and Keshavarzi (2009)는 광정위어의 월류부의 형상 변화에 따른 유량계수산정에 대하여 연구하였다.

기존의 연구는 대부분 관개 및 배수와 관련된 연구로서 본류의 폭이 좁은 경우에 대해서 이루어졌다. 그렇지만 전술한 바와 같이 하천내 홍수저감시설의 유입부에 설치되는 횡월류위어의 경우, 본류의 하폭이 상대적으로 넓어서 기존의 연구와 다른 양상을 나타낼 수도 있다. 본 연구에서는 본류의 폭이 2.0m인 비교적 폭이 넓은 개수로 실험장치에서 실험을 수행하여 기존에 제시된 유량산정식의 특성을 파악하였다. 이를 통하여 유량계수가 위어 상류단의 프루드수의 함수라는 기존의 연구의 한계를 규명하였으며, 이를 극복하기 위한 새로운 유량 산정식을 제시하였다.

2. 광정횡월류위어의 유량산정

일반적으로 횡월류위어의 수면형은 De Marchi (1934)가 제안한 다음과 같은 식으로 산정한다.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{4C_M}{3B} \frac{\sqrt{(E-y)(y-h)^3}}{3y-2E} \quad (1)$$

여기서 y 는 본류의 수심이며, x 는 횡월류위어 상류단으로부터의 종방향 거리, h 는 위어의 높이, B 는 본류의 폭, 그리고, E 는 본류의 비에너지이다 (Fig. 1참조). C_M 은 De Marchi 유량계수로서 본류의 흐름방향 x 에 대하여 독립이라고 가정하며 다음 식과 같다.

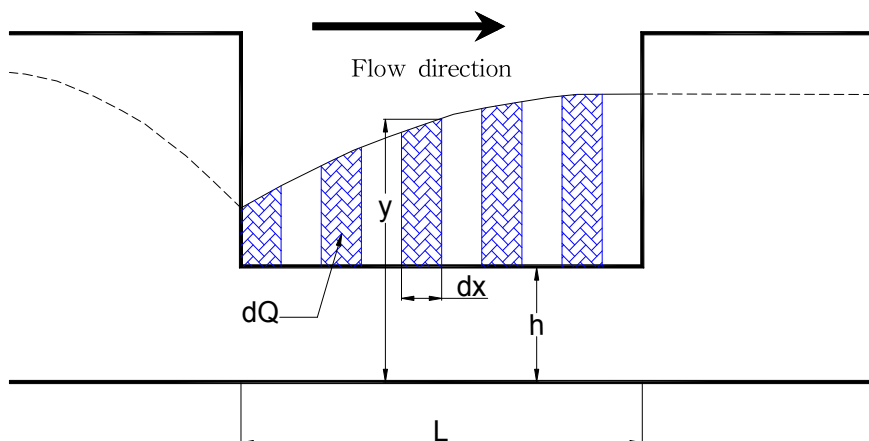


Fig. 1. Definition Sketch of Side Weir

$$C_M = \frac{3}{2} \frac{B}{L} (\Phi_2 - \Phi_1) \quad (2)$$

여기서 L 은 위어의 길이, 아래첨자 1, 2는 각각 횡류류 위어의 상류단과 하류단을 의미하고, Φ 는 De Marchi가 제안한 변화류 함수 (varied flow function)로 다음과 같다.

$$\Phi = \frac{2E-3h}{E-h} \sqrt{\frac{E-y}{y-h}} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\frac{E-y}{y-h}} \quad (3)$$

일반적인 위어의 월류량 산정식에 De Marchi 유량계수 개념을 적용한 다음과 같은 식을 이용하여 횡류류량을 산정한다.

$$q_w = -\frac{dQ}{dx} = \frac{dQ_w}{dx} = \frac{2}{3} C_M \sqrt{2g} (y-h)^{1.5} \quad (4)$$

여기서 q_w 와 단위폭당 월류량이고, g 는 중력가속도이다. De Marchi (1934)가 제안한 이후, 대부분의 횡류류 위어 유량계수 산정식들은 이러한 De Marchi의 이론적 접근과 가정에 기초하고 있다.

광정횡류류 위어의 유량계수를 산정하는 경우 대체로 예연횡류류 위어에 대하여 개발된 유량계수 산정식을 기초로 하여 광정횡류류 위어에서 새로 추가되는 제원 조건인 위어의 폭을 고려하여 유량계수를 산정토록 하고 있다.

May et al. (2003)에 의하면 광정횡류류 위어 유량계수 C_{MB} 는 유사한 제원의 예연횡류류 위어 유량계수 C_{MS} 보다 대체로 작다 ($C_{MB}/C_{MS} < 1$). 따라서 기존 연구자들은 이러한 유량계수의 특성으로 인하여 광정횡류류 위어 유량계수는 예연횡류류 위어 유량계수와 일정한 관계가 있다고 생각하였으며, 광정위어의 폭을 고려하여 다음과 같은 형태의 유량계수 산정식을 가정하였다.

$$\frac{C_{MB}}{C_{MS}} = f\left(\frac{W}{y-h}\right) \quad (5)$$

여기서 W 는 위어의 폭이다. Eq. (5)와 같은 형태를 기초로 하여 Ranga Raju et al. (1979)은 다음과 같은 산정

식을 제시하였다.

$$C_{MB} = (0.81 - 0.61 Fr_1) \left(0.80 + 0.1 \frac{y_1 - h}{W} \right) \quad (6)$$

May et al. (2003) 역시 그들이 제시한 예연횡류류 위어 유량계수 산정식을 이용하여 다음과 같은 유량계수 산정식을 제시하였는데, Ranga Raju et al. (1979)과는 달리 위어 하류단에서의 분류 수심을 고려하였다.

$$C_{MB} = \left(1.0 - 0.064 \frac{W}{y_2 - h} \right) \left[0.650 - 0.149 \left(\frac{y_2 - h}{h} \right) \left\{ \left(\frac{L}{y_2 - h} \right) \left(\frac{y_2}{h} \right) \right\} \right] \quad (7)$$

3. 실험 및 분석 방법

실험은 Fig. 2와 같은 횡류류 위어 실험 수로에서 이루어졌다. 실험에 사용한 수로의 길이, 높이, 그리고 폭은 각각 20 m, 1.2 m, 2.0 m이다. 수로의 옆면과 바닥은 모두 철판을 이용하여 제작되었으며, 수로의 중간부에 목재합판을 이용하여 횡류류 위어를 설치하였다. 유량계수를 산정하기 위하여 실험을 통하여 월류량과 수위를 측정하였다. 분류 유량과 횡류류 위어 월류량은 KS 규격을 따라 제작된 유량 공급 장치와 월류량 측정 위어를 수로의 상류단과 보조수로 하류단에 설치하여 측정하였고, 수위 측정 구간의 길이는 횡류류 위어의 제원에 따라 횡류류 위어 수로 시점으로부터 4.5 m 떨어진 지점에 설치한 후 실험 조건에 따라 0.5~2.0 m 길이의 측정 구간에 대하여 초음파 수위계 (정밀도 0.1 mm)를 이용하여 수위를 측정하였다. 실험 조건은 Table 1에 정리하였다.

각각의 실험 조건에 대하여 분류의 증양을 따라 일정한 간격으로 15 또는 25개 지점의 수위를 측정하였으며, 측정된 수위 자료는 다음과 같이 횡류류 위어 구간에서의 평균 수심을 계산하기 위하여 사용되었다.

$$\overline{y-h} = \left[\frac{1}{L} \sum_1^{m-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} - h \right)^{3/2} dx \right]^{2/3} \quad (8)$$

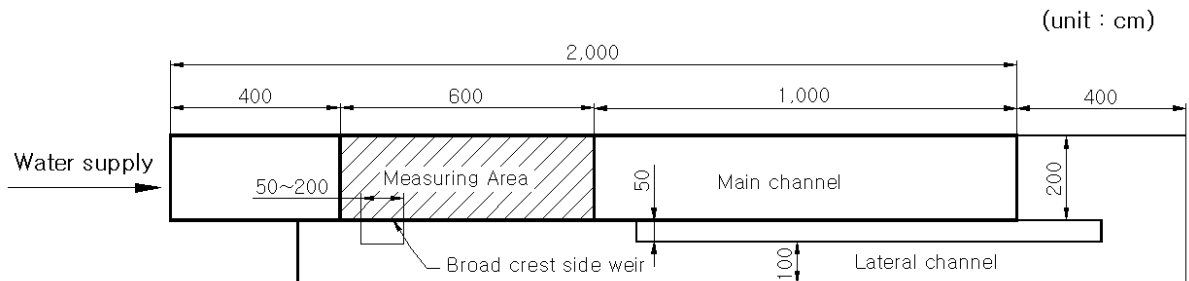


Fig. 2. Schematic Diagram of Experimental Flume

Table 1. Experimental Conditions

Variable	Value
Discharge, Q_1 (m ³ /s)	0.10~0.30
Channel slope, S_0	0.005
Froude Number at upstream, Fr_1	0.06~0.54
Side weir height, h (m)	0.15, 0.20, 0.25
Side weir length, L (m)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0
Side weir width, W (m)	0.6, 1.2
Channel width, B (m)	2.0

여기서 m 은 횡렬류위어 구간에서 일정한 간격으로 측정된 분류 수위의 개수를 의미하며, dx 는 측정된 수위 y_i 와 y_{i+1} 사이의 간격이다 (Fig. 1).

본 연구에서는 Eq. (8)에 기초하여 다음과 같이 실험에서 측정된 자료로부터 광정횡렬류위어의 유량계수를 산정하였다.

$$Q_w = \sum_1^{m-1} (q_w)_i = \frac{2}{3} C_M \sqrt{2g} \sum_1^{m-1} \left(\left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} - h \right)^{3/2} dx \right) \quad (9)$$

$$= \frac{2}{3} C_M L \sqrt{2g} (y-h)^{3/2}$$

$$C_M = \frac{3}{2} \frac{Q_w}{L \sqrt{2g} (y-h)^{3/2}} \quad (10)$$

4. 실험결과 및 분석

실험자료를 이용하여 광정횡렬류위어의 유량계수를 Eq. (10)을 이용하여 산정하였다. 기존의 연구에서 유량계수를 결정하는 중요한 변수로 상류단 프루드수 (Fr_1)를 고려하여 왔으므로, 상류단 프루드수의 영향을 검토하여 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 광정횡렬류위어의 유량계수와 상류단 프루드수 사이에 특별한 상관성이 없는 것을 확인할 수 있다. 이동섭과 김창완 (2008)은 예언횡렬류위어에 대한 실험결과에서 분류 수로의 폭이 커질수록 횡렬류위어의 월류량에 대한 분류 흐름의 영향이 상대적으로 감소하며, 상류단 프루드수 이외에 다른 무차원 변수 h/y_1 , L/B , L/y_1 등이 유량계수에 영향을 미친다고 밝힌 바 있다. 본 연구는 이동섭과 김창완 (2008)의 연구와 동일한 수로에서 이루어 졌으므로 여기서는 이들의 연구결과를 따라 광정횡렬류위어의 유량계수를 결정하고자 한다.

Fig. 4는 위어 폭과 월류수심에 따른 광정횡렬류위어와 예언횡렬류위어의 유량계수비를 나타낸 것이다. 예언횡렬류위어의 유량계수 자료는 이동섭과 김창완 (2008)의 연구결과를 이용하였다. 그림에서 C_{MB}/C_{MS} 와 $(y_1 - h)/W$

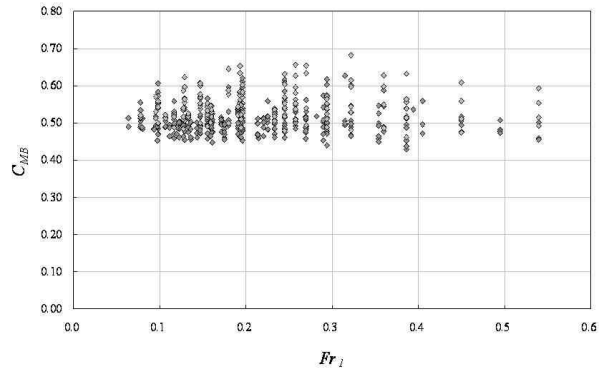


Fig. 3. Effect of Upstream Froude Number (Fr_1) on Discharge Coefficient

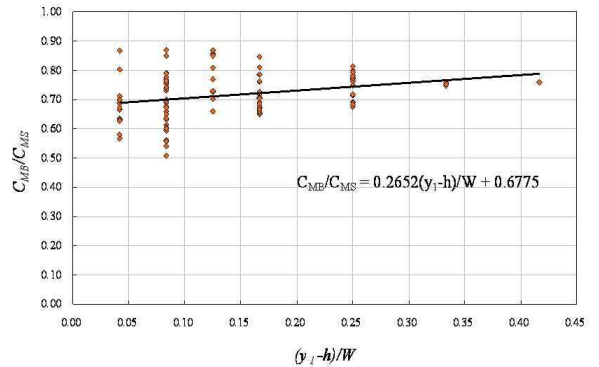


Fig. 4. Variation of C_{MB}/C_{MS} for Weir Width and Overflow Depth

의 상관성이 매우 약한 것으로 나타났다. 이는 본 연구와 같이 폭이 넓은 실험 수로를 이용할 경우, 예언횡렬류위어 유량계수와 광정횡렬류위어의 유량계수 상관성이 기존의 다른 연구자의 결과처럼 절대적으로 뚜렷하게 나타나지 않을 수도 있다는 것을 의미하는 것으로 생각된다. 예측 유량을 계산하여 실험에서 측정된 유량과 비교하기 위하여 Fig. 4의 결과를 기초로 하여 다음과 같은 식을 고려하였다.

$$C_{MB} = \left[0.2652 \left(\frac{y_1 - h}{W} \right) + 0.6775 \right] \cdot [0.4657 + 0.4511(h/y_1) - 0.6477(L/B) + 0.0751(L/y_1)] \quad (11)$$

Eq. (11)을 이용하여 계산한 유량과 측정 유량을 비교한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 대략 월류량이 0.06 m³/s보다 커지는 경우 Eq. (11)에 의하여 예측된 유량이 실제 측정 유량에 비하여 낮게 예측하는 것을 볼 수 있다. 계산 결과 평균 오차는 11.6%였으며, 최대 오차는 37.1%에 달했다. 따라서 앞에서도 언급하였듯이 본 연구와 같은 실험 조건 하에서는 예연홍월류위어 유량계수와 광정홍월류위어 유량계수의 상관성이 매우 낮다는 것을 의미하는 것으로 보이며, 예연홍월류위어와 광정홍월류위어 각각에 대하여 독립적으로 접근하는 것이 필요한 것으로 판단된다. 또한 그림에서 볼 수 있는 것처럼 실제 월류량이 증가할수록 월류량의 변동성, 즉 유량계수의 변동성이 커지는 것으로 보이며, 예연홍월류위어에서와 마찬가지로 이를 설명할 수 있는 적절한 무차원 설명변수의 개발이 필요한 것으로 보인다. 따라서 Eq. (11)과 같은 기존 예연홍월류위어 유량계수 산정식에 기초한 형태로 광정홍월류위어 유량계수 산정식을 제시하는 것은 다소 무리가 있을 것으로 판단된다.

이러한 결과로부터, 광정홍월류위어의 식을 별도로 개발할 필요가 있음을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 다음과 같은 무차원 설명변수로 구성된 식을 가정하여 선형 회귀분석을 시도하였다.

$$C_M = f \left(Fr_1, \frac{h}{y_1}, \frac{L}{B}, \frac{L}{y_1}, \frac{y_1 - h}{W} \right) \quad (12)$$

최적회귀방정식을 선택하기 위하여 모든 가능한 회귀(all possible regressions) 분석 방법을 사용하였고, 그 결과를 Table 2에 수록하였다(여기서, p 는 회귀분석에 사

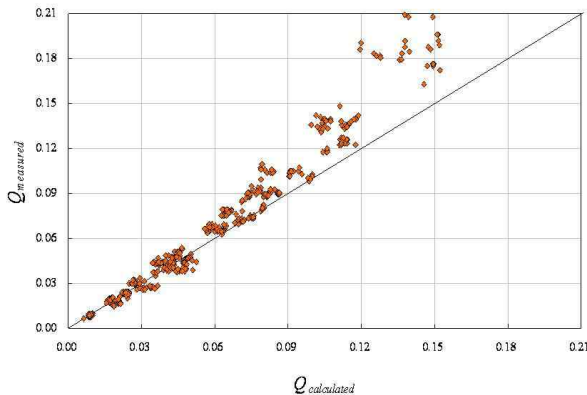


Fig. 5. Observed Discharge Coefficient versus Calculated Discharge Coefficient by Eq. (11)

용된 설명 변수의 개수, R_p^2 은 결정계수). 상관분석 결과 유량계수 C_M 과 $(y_1 - h)/W$ 사이에 가장 큰 상관관계가 있는 것으로 나타났다. Table 2에서 알 수 있듯이, 설명변수가 하나일 경우에는 $(y_1 - h)/W$, h/y_1 의 순서대로 상관관계가 매우 높은 것을 알 수 있으며, 예연홍월류위어의 경우와 마찬가지로 상류단 프루드수의 영향은 매우 미약한 것으로 나타났다. 하지만 대부분의 경우 결정계수로 나타나는 설명력은 최대 46.5% 미만으로 나타났으며, 폭이 넓은 수로에서 광정위어 홍월류위어 유량계수 특성은 예연홍월류위어에서 보다 기존 이론에서 일반적으로 예견되는 특성이 더 제대로 나타나지 않는 것으로 보인다. 하지만 유량계수에서의 편차가 실제 월류량 비교 시에서도 나타나는지 확인을 하기 위하여 먼저 설명변수의 수와 결정계수를 비교하여 최적 회귀식으로 아래 식을 선택하였다.

Table 2. Coefficients of Determination for Regression Analysis

p	regression equation	R_p^2 (%)
1	$\hat{C}_M = f(Fr_1)$	0.234
	$\hat{C}_M = f(h/y_1)$	22.260
	$\hat{C}_M = f(W/(y_1 - h))$	40.297
2	$\hat{C}_M = f(Fr_1, h/y_1)$	23.798
	$\hat{C}_M = f(Fr_1, W/(y_1 - h))$	45.007
	$\hat{C}_M = f(h/y_1, L/B)$	22.294
	$\hat{C}_M = f(h/y_1, L/y_1)$	22.266
	$\hat{C}_M = f(h/y_1, W/(y_1 - h))$	40.301
	$\hat{C}_M = f(L/B, W/(y_1 - h))$	40.419
3	$\hat{C}_M = f(L/y_1, W/(y_1 - h))$	40.508
	$\hat{C}_M = f(Fr_1, h/y_1, L/B)$	23.890
	$\hat{C}_M = f(Fr_1, h/y_1, L/y_1)$	23.896
	$\hat{C}_M = f(Fr_1, h/y_1, W/(y_1 - h))$	45.025
	$\hat{C}_M = f(Fr_1, L/B, W/(y_1 - h))$	45.397
	$\hat{C}_M = f(Fr_1, L/y_1, W/(y_1 - h))$	45.052
	$\hat{C}_M = f(h/y_1, L/B, L/y_1)$	22.641
4	$\hat{C}_M = f(h/y_1, L/B, W/(y_1 - h))$	40.443
	$\hat{C}_M = f(h/y_1, L/y_1, W/(y_1 - h))$	40.510
	$\hat{C}_M = f(L/B, L/y_1, W/(y_1 - h))$	44.515
	$\hat{C}_M = f(Fr_1, h/y_1, L/B, L/y_1)$	23.897
5	$\hat{C}_M = f(Fr_1, h/y_1, L/B, W/(y_1 - h))$	45.397
	$\hat{C}_M = f(Fr_1, L/B, L/y_1, W/(y_1 - h))$	46.519
	$\hat{C}_M = f(h/y_1, L/B, L/y_1, W/(y_1 - h))$	44.515
5	$\hat{C}_M = f(Fr_1, h/y_1, L/B, L/y_1, W/(y_1 - h))$	46.521

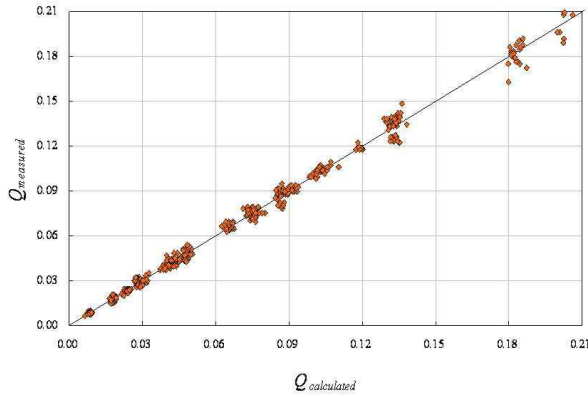


Fig. 6. Observed Discharge Coefficient versus Calculated Discharge Coefficient by Eq. (13)

$$C_M = 0.4923 - 0.1056 Fr_1 - 0.0005 h/y_1 + 0.0098 L/B + 0.0047 W/(y_1 - h) \quad (13)$$

Eq. (13)을 이용하여 산정된 유량과 측정된 유량을 비교하여 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 5와는 달리 예측 유량과 실제 측정 유량을 비교하였을 때 Eq. (11)보다 적합한 결과를 보여주는 것을 알 수 있다. 몇몇 측정치에서 다소의 큰 오차가 보이지만 대체로 측정 유량과 예측 유량이 유사한 값을 나타내는 것을 알 수 있으며, 계산 결과 평균 오차는 4.40%인 것으로 나타났다. 따라서 기존 연구자들처럼 예연홍월류위의 유량계수 식에 적극적으로 광정홍월류위 유량계수를 연결시키는 것에 비해서는 각 실험 결과를 기반으로 유량계수 식을 개발하는 것이 더 합리적이라는 것을 보여주는 결과로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 상대적으로 폭이 넓은 직사각형 개수로에 광정홍월류위어를 설치하고 홍월류위 유량계수에 대한 주요 무차원 변수의 영향을 확인하기 위하여 수리 실험을 수행하였다. 측정된 실험 자료를 바탕으로 기존 연구자들의 연구결과와 비교 분석하였다. 검토 결과 폭이 넓은 개수로 흐름 조건에서는 분류 흐름 조건의 영향이 약화되고 위어 자체의 기하학적 형상에 의한 영향이 강화되기 때문에, 그 형태적 특성이 매우 다른 예연홍월류위어와 광정홍월류위어의 유량계수는 상호 연관성이 상대적으로 약화되는 것으로 나타났다.

분석결과를 바탕으로 광정홍월류위 유량계수 산정식을 제안하였다. 본 연구에서 제안된 식에서는 분류의 흐름 특성을 나타내는 상류단 프루드수 이외에 위어의 제원을 반영하는 h/y_1 , L/B , $W/(y_1 - h)$ 의 무차원 변수를 추가하였다. 제안된 식으로 계산된 결과는 실험자료와 잘 일치하는 것으로 나타나 적용성을 확인할 수 있었다. 그

러나 실험자료를 이용한 회귀분석을 통하여 산정식을 제안하였으므로, 적용범위에는 한계가 있을 것으로 보인다. 향후 지속적인 연구를 통하여 적용범위를 확대할 필요가 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설기술혁신사업 (03산학연C01-01)의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

- 이동섭, 김창완 (2008). “폭이 넓은 개수로에서의 예연홍월류위 유량계수 산정.” **대한토목학회논문집**, 제28권, 제5B호, pp. 449-458.
- Borghai, S.M., Jalili, M.R., and Ghodsini, M. (1999). “Discharge coefficient for Shape-crested side weir in subcritical flow.” *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 125, No. 10, pp. 1051-1056.
- Cheong, H.F. (1991). “Discharge coefficient of lateral diversion from trapezoidal channel.” *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 4, pp. 461-475.
- De Marchi, G. (1934). *Saggio di teoria de funzionamento degli stramazzi laterali. L'Energia Electricia 11* (in Italian).
- Hager, W.H. (1987). “Lateral outflow over side weirs.” *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 113, No. 4, pp. 491-688.
- Honar, T., and Keshavarzi, A. (2009). “Effect of rounded-edge entrance on discharge coefficient of side weir in rectangular channels.” *The Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, Vol. 58, No. 4, pp. 482-491.
- Jalili, M.R., and Borghai, S.M. (1996). “Discussion of ‘Discharge coefficient of rectangular side weir,’ by Singh, D. Manivannan and T. Satyanarayana.” *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 2, p. 132.
- James, W., and Mitri, H. (1982). “Modeling side-weir diversion structures for stormwater management.” *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 9, pp. 197-205.
- May, R.W.P., Bromwich, B.C., Gasowski, Y., and

Rickard, C.E. (2003). *Hydraulic Design of Side Weirs*. Thomas Telford, London, UK.

Ranga Raju, K.G., Prasad, B., and Gupta, S.K. (1979). "Side weir in rectangular channel." *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 105, No. 5, pp. 547-554.

Singh, R., Manivannan, D., and Satyanarayana, T., (1994). "Discharge coefficient of rectangular side

weirs." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, Vol. 120, No. 4, pp. 814-819.

Subramanya, K., and Awasthy, S.C. (1972). "Spatially varied flow over side-weirs." *Journal of the Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 98, No. 1, pp. 1-10.

논문번호: 10-027	접수: 2010.04.08
수정일자: 2010.04.14	심사완료: 2010.04.14