

광정횡월류위어의 유량계수 산정

An Estimation of discharge Coefficient for Broad Crested Side Weir

윤영배* · 조홍제**

Yoon, Yeong Bae · Cho, Hong Je

Abstract

To install the side weirs in inlet of washland construction, it is necessary to calculate more accurately the discharges over side weir. In this study, the hydraulic experiments were performed in broad crested side weirs that installed trapezoidal channel and that considered more applicable to the actual river. Upstream Froude number in the main channel and weir height, length, width and slope of main channel were considered for estimation of discharge coefficient of broad crested side weir. Experimental results show that the discharge coefficient of broad crested side weir depend on , and . New estimated equation for the discharge coefficient are suggested through the multiple regression analysis and its applicability is confirmed by comparing estimated and measured discharges over side weirs.

Keywords : broad crested side weir, discharge coefficient, multiple regression analysis

요 지

횡월류위어를 친변저류지 등의 유입부에 설치하기 위해서는 정확한 월류량을 산정하는 것이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 실제 하천에 적용성이 높을 것으로 판단되는 사다리꼴 수로의 광정횡월류위어에 대한 수리실험을 실시하였고, 유량계수 산정을 위하여 상류 Froude수, 위어높이, 위어길이, 본류수로폭, 수로경사 등을 고려하였다. 분석결과 광정횡월류위어에서 h/y_w , L/y_w , Fr_1 의 중요도가 큰 것을 확인하였고, 다중회귀분석을 통해 유량계수식을 제시하였다. 또한 기존 연구자들의 실험자료와 본 실험의 연구자료를 비교하였으며, 측정된 월류량과 계산된 월류량을 비교하여 유량계수식의 적용성을 확인하였다.

핵심용어 : 광정횡월류위어, 유량계수, 다중회귀분석

1. 서 론

최근 우리나라에서는 지구온난화에 의한 기상이변, 도시화로 인한 불투수면적 증가, 제방 직강화 위주의 하천정비사업 등으로 인해 유출량이 크게 증가하여 홍수피해잠재능이 지속적으로 증가하고 있다. 때문에 홍수피해 경감을 위해 제방 증고, 하천개수 등의 구조적 대책에 의존하고 있으나, 수로 내에서 홍수를 관리하는 방법은 극한 홍수재해에 취약한 한계성을 지니고 있다(전경수 등, 2010). 따라서 최근에는 유역종합치수계획에 의해 홍수량을 유역 내에 분담시키고자 하는 노력을 수행하고 있으며(김덕길 등, 2008), 강우 유출수를 일시 저류하여 유출량을 조절하는 친변저류지를 건설하는 방안이 제시되고 있다.

저류지의 유입부에 설치되는 횡월류위어는 유량관리, 에너지소실, 유량전환, 수심규제, 홍수통제 등의 수단으로 많은 나라에서 사용되는 가장 전통적이고 단순한 수공구조물이다(남기영 등, 2010). 횡월류위어는 흐름방향에 수직으로 설치

된 일반적인 위어와 달리 흐름방향에 평행하게 설치되기 때문에 다양한 관점에서 연구가 수행되어야 하나, 횡월류위어에서 발생하는 복잡한 흐름특성 때문에 다른 수공구조물에 비해 연구가 미진한 상태이며, 지금까지의 주된 연구주제는 횡월류위어의 유량계수에 관한 경험식을 개발하는 것이었다.

De Marchi(1934)는 횡월류위어부에서 비에너지가 일정하다고 가정하여 월류량을 구하는 공식과 유량계수식을 제시하였다. De Marchi는 유량계수를 산정하기 위하여 횡월류위의 길이방향에 따라 위어의 유량계수가 변하지 않고 일정하다고 가정하였으며, 많은 연구자들이 이 연구결과를 바탕으로 횡월류위어의 흐름특성과 유량계수에 대한 다양한 연구를 수행하여 그 결과를 제시하였다. Subramanya와 Awasthy(1972)는 실험에 의해 유량계수가 결정될 수 있음을 주장하였고, 유량계수는 Froude수의 항으로 결정된다고 밝히고 상류와 사류에 대한 유량계수를 제안하였다. Randga Raju 등(1979)은 예연횡월류위어와 광정횡월류위어를 구분하여 유량계수를 제안하였으며, Hager(1987)와 Cheong(1991)은 횡월

*정회원 · 울산대학교 건설환경공학부 박사과정 (E-mail : hydro408@hanmail.net)
**정회원 · 교신저자 · 울산대학교 건설환경공학부 교수 (E-mail : hjcho@ulsan.ac.kr)

류위어 높이가 0인 경우의 유량계수식을 제안하였다. Singh 등(1994)과 Jalili와 Borghei(1996)는 횡월류위어 높이에 따른 유량계수식을 산정하였으며, Borghei 등(1999)는 유량계수 영향인자에 대한 민감도 분석을 실시하고 위어길이와 하도폭의 비를 고려한 유량계수산정식을 제시하였다.

국내 연구의 경우 박태선(2002)은 구형 수로내의 횡월류 흐름에 대한 2차원 천수방정식을 이용한 수치모의를 통해 흐름 특성을 분석하였고, 송재우 등(2007)은 횡월류위어의 형상에 따른 유량계수를 산정하였다. 김대근과 김용근(2007)은 3차원 수치모형인 FLOW-3D를 이용한 분석을 통해 Lee와 Holley(2002)의 실험결과와 비교하였으며, 광정횡월류위어에서의 흐름특성을 분석하였다. 이동섭과 김창완(2008)은 상대적으로 폭이 넓은 수로에서의 예연횡월류위어를 대상으로 실험하였고, 박문형과 이동섭(2010)은 직사각형수로의 직사각형 광정횡월류위어를 대상으로 실험하여 유량계수를 제시하였다.

기존 연구는 대부분 상류 흐름조건에서 사각형 단면의 예연횡월류위어의 유량계수를 산출하는데 집중되어 있으나, 실험실이 아닌 하천에서의 본류의 흐름을 저류지로 유도하기 위한 횡월류위어는 사다리꼴의 광정횡월류위어의 형태가 일반적으로 사용될 것으로 판단된다. 그러나 이에 관한 연구는 Lee와 Holley(2002)의 수리실험을 제외하면 찾아보기 힘든 실정이다. 또한 유역의 상류에 위치한 소하천의 경우 본류의 Froude수가 1이 넘는 경우가 발생할 수 있으나 사류 흐름조건에서의 연구는 미진한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 사다리꼴 수로의 사다리꼴 광정횡월류위어를 사용하여 상류, 사류 흐름조건에서 수리실험을 실시한 후 그 측정결과를 이용하여 상류의 Froude수, 위어높이, 위어길이, 본류폭, 하도 경사를 고려한 유량계수식을 제안하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 횡월류위어 기본이론

횡월류위어 흐름의 개념도를 Fig. 1에 나타내었다. 여기서, B 는 본류하폭, L 은 위어폭, h 는 횡월류위어 높이, Q_1 은 본류유량, Q_w 는 횡월류량, y_1, y_2 는 각각 횡월류위어 상·하류단 수심, y 는 횡월류위어에서 측정된 수심이다.

하상경사와 단면이 일정한 수로에서 횡월류위어에서의 횡월류흐름에 대한 공간변화류방정식은 다음과 같다(Chow, 1959).

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f - \left(\frac{\alpha Q}{gA^2}\right)\left(\frac{dQ}{dx}\right)}{1 - \left(\alpha Q^2 \frac{B}{gA^3}\right)} \quad (1)$$

여기서, x 는 흐름방향거리, S_0 는 본류의 하상경사, S_f 는 본류

의 에너지경사, Q 는 본류의 유량, A 는 본류의 흐름 단면적, α 는 에너지 보정계수, g 는 중력가속도이다. 일반적으로 횡월류위어 구간은 수로연장에 비해 상대적으로 짧기 때문에 $S_0 - S_f = 0$, $\alpha = 1$ 로 가정할 수 있으며, 횡월류위어를 따라 변하지 않는 유량계수 C_M 을 가정하면 횡월류위어의 단위폭당 윗류량 q_w 와 총윗류량 Q_w 는 다음 식으로 구할 수 있다.

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

$$Q_w = Q_1 - Q_2 = \frac{2}{3}C_M\sqrt{2g} \int_0^L (y-h)^{3/2} dx \quad (3)$$

그리고 비에너지 공식으로부터 본류유량 Q 에 대한 다음 식을 구할 수 있다.

$$Q = By\sqrt{2g(E-y)} \quad (4)$$

여기서, E 는 비에너지이고, 식 (2)와 식 (4)를 식 (1)에 대입하여 적분한 후 정리하면 다음과 같이 된다(Subramanya와 Awasthy, 1972).

$$\frac{dy}{dx} = \frac{4C_M\sqrt{(E-y)(y-h)^3}}{3B(3y-2E)} \quad (5)$$

$$x = \frac{3B}{2C_M}\Phi + \text{const.} \quad (6)$$

여기서, Φ 는 De Marchi가 제안한 변화류함수(varied flow Function)이며 다음과 같다.

$$\Phi = \frac{2E-3h}{E-h} \sqrt{\frac{E-y}{y-h}} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\frac{E-y}{y-h}} \quad (7)$$

길이가 L 인 횡월류위어의 상류단과 하류단을 각각 1과 2라하면 횡월류위어 유량계수 C_M 은 다음과 같이 결정된다.

$$C_M = \frac{3B}{2L}(\Phi_2 - \Phi_1) \quad (8)$$

2.2 기존 횡월류위어 유량계수 산정공식

횡월류위어 유량계수 C_M 은 본류의 흐름조건과 횡월류위어의 기하학적 조건에 영향을 받으며, 차원해석을 통해 다음과 같이 나타낼 수 있다(EI-Khashab, 1975).

$$C_M = f(Fr_w, L, B, y_w, h, S_0) \quad (9)$$

$$C_M = f\left(Fr_w, \frac{L}{B}, \frac{L}{y_u}, \frac{h}{y_u}, S_0\right) \quad (10)$$

여기서, Fr_w 는 횡월류위어 상류부의 Froude수, y_u 는 횡월류위어 상류부의 수심이다. 과거 여러 연구자들은 실험을 통하여 식 (10)에 제시된 각 변수들을 계측하여 유량계수 산정식을 제시하였으며, Table 1에 나타내었다.

Table 1에서 볼 수 있는 바와 같이 초기의 대부분의 연구자들은 C_M 을 Fr_w 만의 함수로 나타내었고, Singh 등(1994)은 h/y_u 를 Fr_w 와 함께 고려하여 유량계수식을 제시하였다.

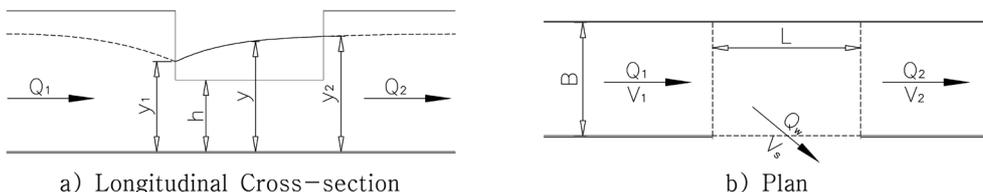


Fig. 1 Definition sketch of flow over rectangular side weir

Table 1. Proposed formulas for discharge coefficient

연구자	연도	유량계수 산정식	비고
Subramanya와 Awasthy	1972	$C_M = 0.864 \sqrt{\frac{1 - Er_u^2}{2 + Er_u^2}}$	$Fr_u < 0.8$
		$C_M = 0.36 \left\{ 1 - \frac{2}{9} Fr_u \right\}$	$Fr_u > 2$
Ranga Raju 등	1979	$C_M = 0.81 - 0.60 Fr_u$	예연위어
		$C_M = (0.81 - 0.6 Fr_u) \left(0.80 + 0.1 \frac{y_u - h}{L} \right)$	광정위어
Hager	1987	$C_M = 0.485 \sqrt{\frac{2 + Fr_u^2}{2 + 3 Fr_u^2}}$	$h=0$ 일 때
Cheong	1991	$C = 0.45 - 0.22 Fr_u^2$	$h=0$ 일 때
Swamee 등	1994	$C_M = 0.447 \left[\left(\frac{44.7h}{49h+y} \right)^{6.67} + \left(\frac{y-h}{y} \right)^{6.67} \right]^{-0.15}$	
Singh 등	1994	$C_M = 0.33 - 0.18 Fr_u + 0.49 \left(\frac{h}{y_u} \right)$	
Jalili 와 Borghei	1996	$C_M = 0.71 - 0.41 Fr_u - 0.22 \left(\frac{h}{y_u} \right)$	
Borghei 등	1999	$C_M = 0.7 - 0.48 Fr_u - 0.3 \frac{h}{y_u} + 0.06 \frac{L}{B}$	$0.1 < Fr_u < 0.9$

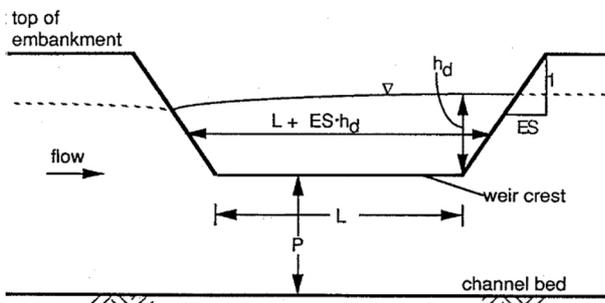


Fig. 2 Definition sketch for side-channel weirs (Lee and Holley, 2002)

Borghei 등(1999)은 Fr_u 와 h/y_u , L/B , S_0 등을 고려한 유량계 수식을 제시하였으나, 수로경사 S_0 의 영향이 적으므로 무시해 도 된다고 언급하였다.

Lee와 Holley(2002)는 사다리꼴 수로에 설치된 사다리꼴 광정횡일류위어에 대한 실험을 통해 다음과 같은 월류량 산 정식을 제안하였다(Fig. 2 참조).

$$Q_w = -C_e C_s \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} g [L + h_d ES] h_d^{3/2} \quad (11)$$

여기서, C_e 는 전유량계수(bulk discharge coefficient)이며, C_s 는 잠수보정계수(submergence correction factor), L 과 ES 는 각각 사다리꼴 횡일류위어의 저면폭과 측면경사이다. h_d 는 횡일류위어의 하류부 본류 하도의 중심 수위이며, 횡일류위어 마루가 기준이다.

3. 수리실험

3.1 실험장치

사다리꼴 단면의 수로에 대한 횡일류위어 실험을 위해 Fig. 3과 같은 길이 14.0 m, 폭 0.6 m, 높이 0.2 m, 사면 경사 1:1의 가변경사 개수로 실험장치를 이용하였다.

모형수로의 재질은 포맥스이며, HEC-RAS 모의결과와 비 교하여 조도계수가 약 0.014가 되도록 조도블럭을 설치하였 다. 횡일류위어는 흐름의 안정을 위하여 수로 상류단으로부터 6.5 m 하류에 설치하였으며, 횡일류위어의 높이는 0.06 m, 횡일류위어 마루부 이후 사면 경사는 1 : 2로 제작하였다. 고수조에는 유량을 조절하기 위한 예연위어가 설치되어 있 으며, 하류단에는 수심조절을 위한 수문이 설치되어 있다. 횡 일류위어의 횡일류량을 측정하기 위하여 횡일류된 유량이 유 도수로를 통하여 저수조로 유입되도록 하였고, 저수조에 예 연위어를 설치하였다.

3.2 실험조건 및 방법

광정횡일류위어의 유량계수를 산정하기 위하여 사다리꼴 횡일류위어를 사용하였다. 횡일류위어는 위어마루높이(h)를 0.06 m로, 측면경사를 1:1로 고정시키고, 위어폭(L)은 0.2, 0.4, 0.6, 1.0 m로 변화시켜 실험하였다. 실험에서 사용한 본류의 유량조건은 20~35 l/sec였으며, Fr_u 와 h/y_u 를 변화시 키기 위해 하상경사를 0.1~1.5%로 변화시켰다. 이때 실험조 건은 h/y_u 는 0.41~0.89, Fr_u 는 0.48~1.33이고, 상류부 수심

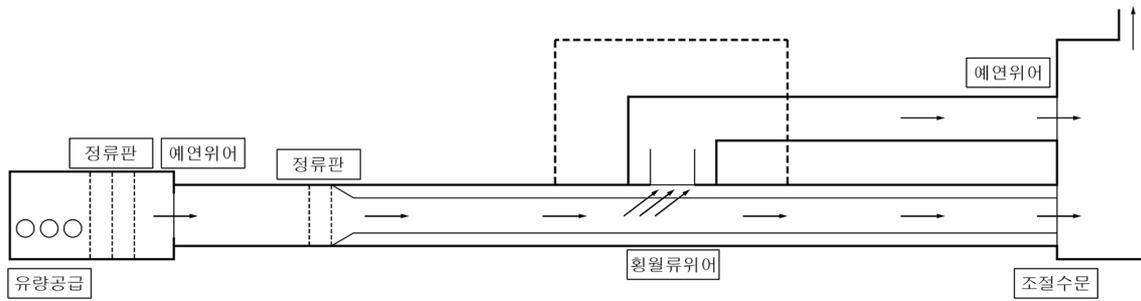


Fig. 3 Sketch of experimental setup

Table 2. Range of test variables

위어형태	위어형상	Q (l/sec)	L/B	S_0 (%)	h/y_u	Fr_u
광정	사다리꼴	20~35	5.0, 3.0 2.0, 1.0	0.1~1.5	0.41~0.89	0.48~1.33

과 Froude수는 횡월류위어로부터 2.5 m 떨어진 단면의 자료를 이용하여 계산하였으며, 실험조건을 요약하여 Table 2에 나타내었다.

수위 및 유속측정 구간은 횡월류위어 상하류단으로부터 각각 3.7 m 떨어진 지점까지로 0.2 m 간격으로 측정하였으며, 횡월류위어부는 0.05 m간격으로 수심을 추가 측정하였다. 이때 수심측정은 포인트게이지를 이용하였으며, 유속은 2차원 전자식유속계(KENEK, VM801-H)를 이용하여 측정하였다.

본 연구에서는 식 (3)과 식 (11)을 기초로하여 다음의 식으로 횡월류위어의 유량계수를 산정하였다.

$$Q_w = \frac{2}{3} C_M \sqrt{2g} [L + (y-h)ES] (y-h)^{3/2} \quad (12)$$

$$C_M = \frac{3}{2} \frac{Q_w}{\sqrt{2g} [L + (y-h)ES] (y-h)^{3/2}} \quad (13)$$

여기서, C_M 은 횡월류위어의 길이방향에 따라 변하지 않고 일정하다.

4. 실험결과 분석

전체 실험결과 중 유량의 35 l/sec, 경사가 0.5% 실험결과를 Table 3에 나타내었다.

4.1 일정비에너지의 가정

앞서 언급한 바와 같이 본 연구는 De Marchi의 유량계수 산정이론을 근거로 하였으므로, 횡월류위어부에서 비에너지가 일정하다는 가정을 수용하였다. 따라서 본 연구의 실험결과에 대해 일정에너지 가정을 검토하였다. Fig. 4는 횡월류위어의 상하류단에서 측정된 본류의 수심과 유속을 이용하여 계산한 비에너지의 차를 보여주고 있으며, E_1 과 E_2 는 각

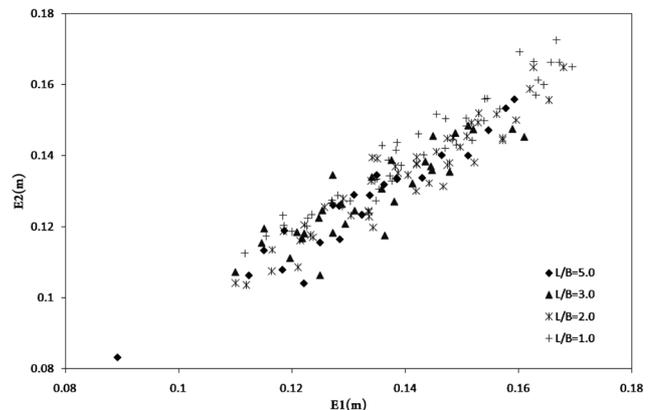


Fig. 4 Specific energy at two ends of side weir

각 횡월류위어 상류단과 하류단의 본류에서의 비에너지이다. 본 연구의 실험조건에서 평균 비에너지차는 L/B 가 5.0, 3.0, 2.0, 1.0일 때 각각 4.6%, 4.4%, 4.5%, 2.2%로 나타나 5%이하였다. El-Khashab과 Smith(1976)는 흐름조건이 상류인 경우 평균 비에너지차를 5%로 예측하였고, Ranga Raju 등(1979)은 평균 2%의 값을 추정하였으며, Borghei 등(1999)의 연구에서는 평균 비에너지차가 3.7%로 나타났다. 따라서 상류와 하류를 모두 실험한 본 연구에서도 일정비에너지의 가정이 타당한 것으로 판단되었다.

4.2 실험자료 비교검토

식 (13)을 이용하여 계산한 유량계수 C_M 과 과거 많은 연구자들이 중요변수로 고려한 상류 Froude수 Fr_u 의 상관관계를 확인하기 위하여 Fig. 5에 그 관계를 도식하였다. 그림에서 나타나듯이 본 연구에서 계산된 C_M 과 Fr_u 사이에서는 전체 연구결과를 놓고 보았을 경우에는 특별한 경향성이 없는 것으로 보인다. 그러나 L/B 에 따라 구분하여 살펴보면, L/B

Table 3. Results of hydraulic experiment

Q	S_0	L/B	V_u	y_u	Fr_u	h/y_u	Q_w	C_m
3.5	0.5	1.0	0.890	0.113	0.848	0.542	0.002	0.269
		2.0	0.749	0.113	0.712	0.546	0.004	0.283
		3.0	0.957	0.112	0.913	0.542	0.006	0.356
		5.0	0.868	0.114	0.820	0.535	0.009	0.601

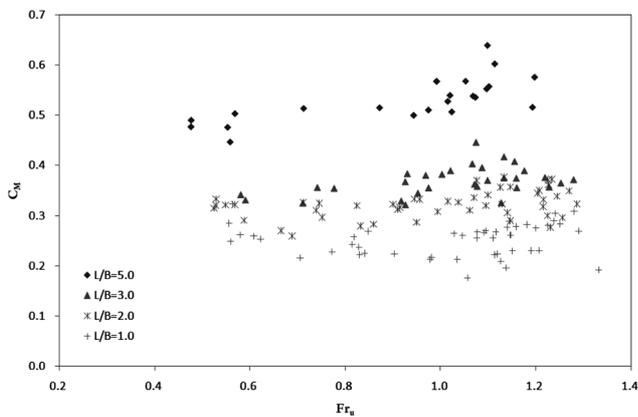


Fig. 5 Variation of C_M with Fr_u

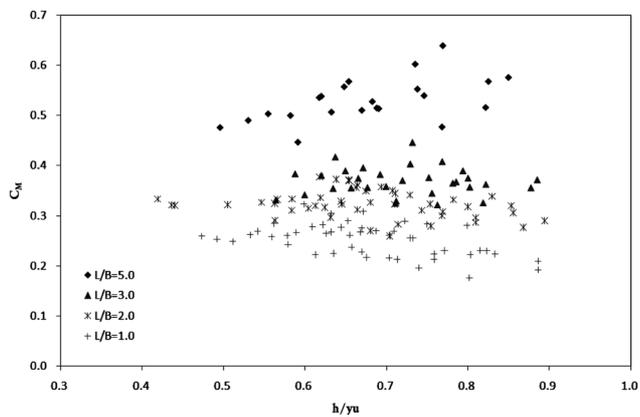
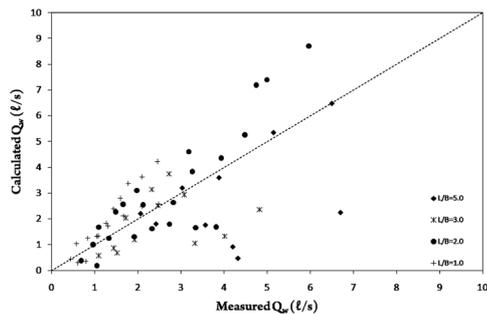
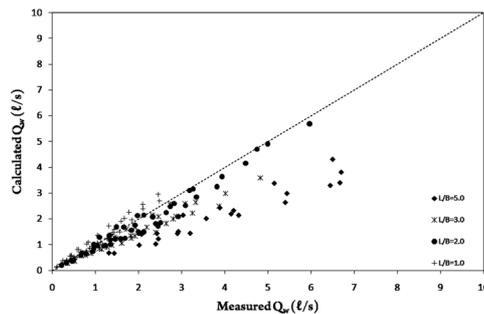


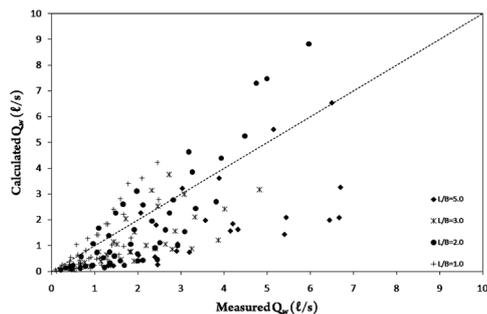
Fig. 6 Variation of C_M with h/y_u



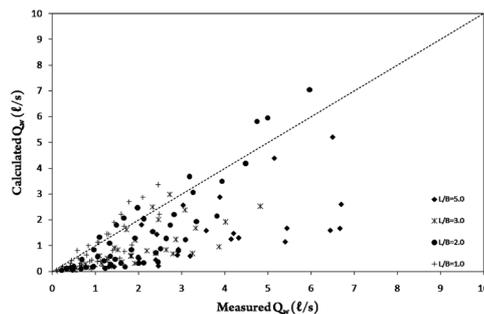
a) Subramanya and Awasthy ($Fr_u < 0.8$)(1972)



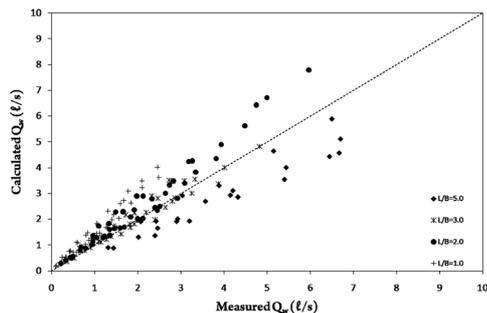
b) Subramanya and Awasthy ($Fr_u > 2.0$)(1972)



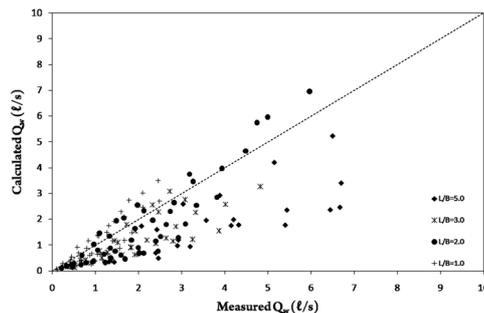
c) Ranga Raju (Sharp crested weir)(1979)



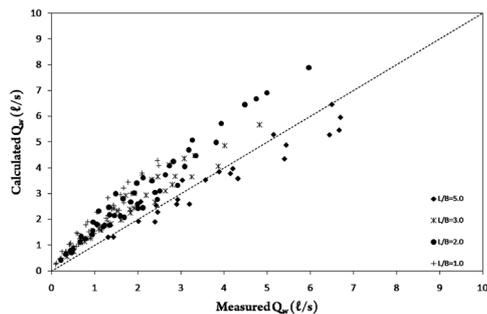
d) Ranga Raju (Broad crested weir)(1979)



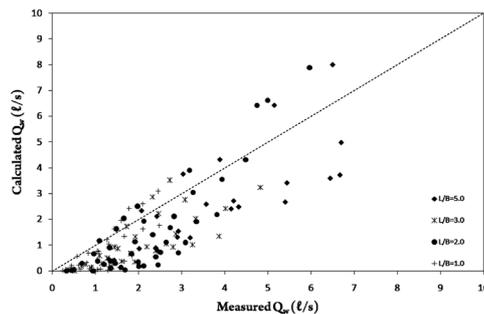
e) Hager(1987)



f) Cheong(1991)



g) Singh et al.(1994)



e) Borghei et al.(1999)

Fig. 7 Comparison of measured and calculated discharge using different C_M formulas

Table 3. Determination coefficient of multiple regression formula

	회귀식	R ²	V	회귀식	R ²
2	$C_M = f(h/y_w, L/y_w)$	0.903	4	$C_M = f(Fr_w, h/y_w, L/y_w, L/B)$	0.939
3	$C_M = f(Fr_w, h/y_w, L/y_w)$	0.938		$C_M = f(Fr_w, h/y_w, L/y_w, S_0)$	0.940
	$C_M = f(h/y_w, L/y_w, L/B)$	0.903		$C_M = f(Fr_w, h/y_w, L/B, S_0)$	0.929
	$C_M = f(h/y_w, L/y_w, S_0)$	0.935		$C_M = f(Fr_w, L/y_w, L/B, S_0)$	0.902
5	$C_M = f(Fr_w, h/y_w, L/y_w, L/B, S_0)$	0.941		$C_M = f(h/y_w, L/y_w, L/B, S_0)$	0.936

가 클 경우 Fr_w 가 증가할수록 C_M 이 증가하는 경향을 보이고 L/B 가 작아지면서 Fr_w 가 증가할수록 C_M 이 감소하는 경향을 보인다. 이는 과거 많은 연구자들의 Fr_w 가 증가할수록 C_M 이 감소한다는 결과와는 다른 경향성을 나타내는데, 본 연구에서는 과거의 다른 연구와는 달리 Fr_w 를 상류와 사류를 포함하는 넓은 범위를 잡았기 때문에 나타나는 경향일수도 있지만, 특정 Fr_w 범위에서도 C_M 이 감소하는 경향은 나타나지 않으므로, 이는 직사각형 수로의 예연위어와는 다른 사다리꼴 수로의 광정위어의 특징으로 판단된다.

과거 연구자들이 Fr_w 다음으로 많이 고려한 h/y_w 와 C_M 과의 관계를 Fig. 6에 도시하였다. 그림에서 보논바와 같이 그 경향성이 C_M 과 Fr_w 의 관계와 상당히 유사하며, L/B 의 변화에 따른 경향성이 조금더 확실하게 나타난다. Singh 등(1994)의 연구결과에서는 h/y_w 가 증가함에 따라 C_M 도 증가하는 것으로 나타났고, Jalili와 Borghei(1996), Borghei(1999)의 연구결과에서는 h/y_w 가 증가함에 따라 C_M 이 감소하는 것으로 나타났으므로, h/y_w 와 C_M 과의 관계는 각 실험에서 사용한 Fr_w 나 횡류위어의 기하학적 형상에 의해 다르게 나타나는 것으로 판단되며, 또한 L/B 의 변화에 따라 증가하고 감소하는 경향을 보이는 것은 광정횡류위어의 특징으로 판단된다.

Fig. 7은 실험을 통해 측정된 횡류량과 각 연구자들에 의해 제안된 유량계수식에 의한 계산횡류량을 비교하여 나타내고 있다. 그림에서 보논바와 같이 측정횡류량과 계산횡류량은 큰 편차를 나타내고 있으며, 최저 21.7%, 최고 61.59%의 편차를 보였다. 이러한 편차는 일반적으로 각 연구자들이 적용한 실험조건에 본 연구의 실험조건과 상이하기 때문이지만, 가장 큰 원인은 예연위어와 광정위어의 차이 때문인 것으로 판단된다. 또한 Ranga Raju(1979)의 광정위어 결과와도 52.7%의 편차를 보이는데, 이는 Ranga Raju(1979)의 유량계수 제안식이 Fr_w 와 $(y_w-w)/L$ 의 함수로 구성되어 주요 매개변수를 잘못 선택한 때문으로 판단된다.

4.3 유량계수 산정식 추정

2.2절 식 (10)에서 제시한 차원해석 결과를 이용하여 각각을 독립변수로 두면 다음과 같은 다중선형회귀식으로 나타낼 수 있다.

$$C_M = a + bFr_w + c\frac{h}{y_w} + d\frac{L}{y_w} + e\frac{L}{B} + fS_0 \quad (14)$$

여기서, a 는 절편의 추정치이며, b, c, d, e, f 는 회귀계수이다. 본 연구에서는 위식을 기본방정식으로하여 각 매개변수의

중요도를 확인하기 위하여 각각의 매개변수들을 조합한 35개의 case에 대하여 다중회귀분석을 시행하였으며, Table 3에 일부 결과를 수록하였다(여기서, V 는 변수의 개수, R^2 은 결정계수).

분석결과, 5개의 변수를 모두 포함했을 경우 결정계수가 가장 높게 나타났으나, 4개의 변수를 포함한 결과와 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 실질적으로 변수가 추가되더라도 중요한 변수로서 역할을 못한다는 것을 의미하므로, 중요한 역할을 하는 변수와 그렇지 않은 변수를 구분할 필요가 있다.

가장 중요한 역할을 하는 변수가 빠진다면 결정계수가 작아진다고 판단할 수 있으므로, 변수가 4개인 결과를 바탕으로 중요한 변수를 순서대로 나열하면 $h/y_w, L/y_w, Fr_w, S_0, L/B$ 이다. 변수가 3개인 결과와 비교하여도 가장 중요한 $h/y_w, L/y_w$ 를 기본으로 둔 나머지 변수 조합의 결과도 같은 결과를 보이고 있다. 그리고 $h/y_w, L/y_w, Fr_w$ 의 조합만으로도 결정계수가 0.938로 나타나 5개 변수를 모두 조합한 결과인 0.941과 큰 차이를 보이지 않으므로 $S_0, L/B$ 는 기여도가 미미한 것으로 판단할 수 있다.

따라서 최적회귀방정식은 $C_M = a + bFr_w + c(h/y_w) + d(L/y_w)$ 의 형태가 적합할 것으로 보이며, 다중회귀분석에 의하여 결정된 최적회귀방정식은 다음과 같다.

$$C_M = 0.375 + 0.110Fr_w - 0.425\frac{h}{y_w} + 0.031\frac{L}{y_w} \quad (15)$$

그리고 중요도가 가장 높은 $h/y_w, L/y_w$ 의 조합만으로도 결정계수가 0.903으로 나타나 적용성이 있을 것으로 판단되며, Fr_w 를 계산하지 않고도 유량계수를 산정할 수 있으므로 적용의 간편성을 고려하여 다음과 같은 간단식을 함께 제안한다.

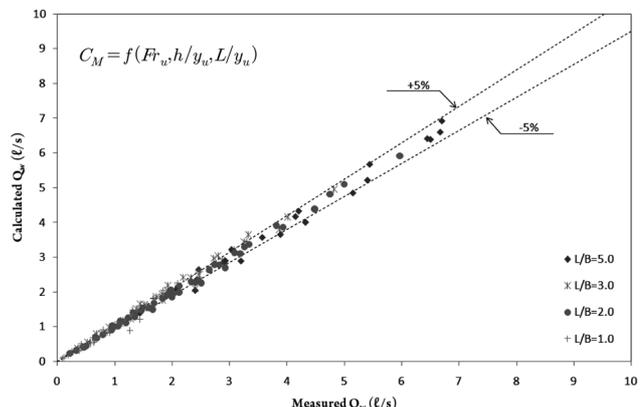


Fig. 8 Comparison of measured and calculated discharge using Eq.15

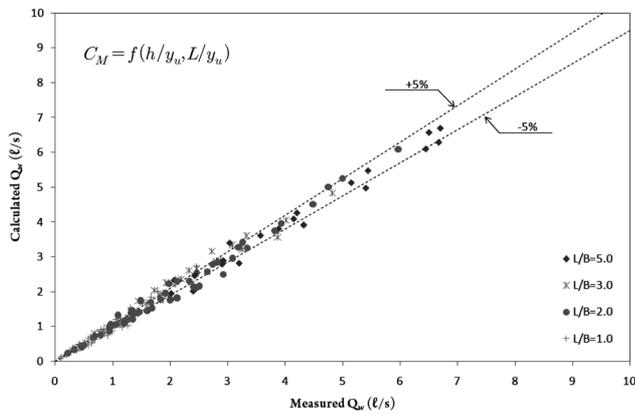


Fig. 9 Comparison of measured and calculated discharge using Eq.16

$$C_M = 0.376 - 0.287 \frac{h}{y_u} + 0.030 \frac{L}{y_u} \quad (16)$$

Fig. 8과 Fig. 9는 채택된 유량계수산정식 식 (15)와 간단식으로 제안한 식 (16)을 이용하여 계산한 횡월류량과 측정된 횡월류량을 비교하여 나타내고 있으며, 그림에서 나타나듯이 계산된 월류량과 측정된 월류량은 비교적 잘 부합하는 것으로 볼 수 있으며, 횡월류량의 평균오차는 각각 5.5%와 7.4%였다.

따라서 본 연구에서 제시한 식 (15)는 상류, 사류를 포함하는 흐름조건에서의 광정횡월류위에 대하여 De Marchi 유량계수 C_M 의 산정식으로 적용될 수 있을 것으로 판단되며, 본 연구에서의 적용 한계는 $Fr_{iu}=0.48\sim 1.33$, $h/y_u=0.41\sim 0.89$, $L/y_u=1.40\sim 14.68$ 이다.

5. 결 론

본 연구에서는 사다리꼴 개수로에 광정횡월류위를 설치하고 분류의 흐름조건, 횡월류위의 기하학적 형상변화에 대한 수리실험을 수행하였다. 측정된 실험자료를 바탕으로 과거 연구자들의 연구결과와 비교 분석하고 광정횡월류위에 대한 유량계수 산정식을 제안하였고, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. De Marchi의 일정비에너지가정을 검토하기 위하여 횡월류위의 상하류단 사이의 분류 비에너지차를 검토한 결과, L/B 가 5.0, 3.0, 2.0, 1.0일 때 각각 4.6%, 4.4%, 4.5%, 2.2%로 모두 5% 이하로 나타나 상류와 사류를 모두 실험한 본 연구에서도 일정비에너지 가정은 타당한 것으로 나타났다.
2. Fr_{iu} 와 h/y_u 의 변화에 대한 C_M 의 변화를 분석한 결과, 전체 실험결과는 특별한 경향성이 없는 것으로 나타났으며 L/B 에 따라 구분하여 살펴보면 L/B 가 클 경우에는 Fr_{iu} 가 증가할수록 C_M 이 증가하는 경향을 보이고, L/B 가 작아지면 Fr_{iu} 가 증가할수록 C_M 은 감소하는 경향을 보였다. 이는 예연횡월류위와 비교되는 광정횡월류위의 특징으로 판단된다.
3. 본 연구의 실험을 통해 측정된 횡월류량과 각 연구자들에 의해 제안된 유량계수식에 의한 계산월류량을 비교한 결과 21.7~61.6%의 편차를 보였으며, 이는 과거 연구자들이

대부분 사각형 수로의 예연횡월류위에 대한 연구를 수행하였고, 본 연구는 사다리꼴 수로의 광정횡월류위에 대한 연구를 수행한 때문으로 판단된다.

4. 다중선형회귀식을 기본식으로하여 각 변수들의 중요도를 확인하기 위하여 35개 case에 대하여 다중회귀분석을 실시하여 y/h_u , L/y_u , Fr_{iu} , S_0 , L/B 의 순으로 중요도가 높음을 확인하였고, 중요도가 낮은 변수를 제외한 h/y_u , L/y_u , Fr_{iu} 의 함수로 횡월류위의 유량계수식을 채택하였으며, h/y_u , L/y_u 의 함수로 간단식을 제안하였다.

본 연구에서는 제한된 실내 실험수로에서 수행된 연구결과이기 때문에 이 연구결과를 실제에 적용하기 위해서는 향후 다양한 조건의 실험과 하천현장에서의 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- 김덕길, 경민수, 김상단, 김형수(2008) 천변저류지 조성에 따른 수리·수문분석, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, Vol. 41, No. 5, pp. 483-489.
- 김대근, 김용근(2007) 3차원 수치모의를 이용한 광정횡월류위의 흐름특성 해석, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, Vol. 40, No. 3, pp. 277-286.
- 남기영, 한건연, 박홍석, 김극수, 최승용(2010) 3차원 수치모형에 의한 횡월류위의 수리학적 평가, **환경영향평가**, 한국환경영향평가학회, Vol. 19, No. 2, pp. 153-168.
- 박문형, 이동섭(2010) 광정횡월류위의 월류량 산정식 개발, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, Vol. 43, No. 6, pp. 525-531.
- 박태선(2002) 구형수로내 횡월류 흐름의 특성, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, Vol. 35, No. 3, pp. 251-259.
- 송재우, 박성식, 김지호(2007) 횡월류위의 형상에 따른 유량계수 추정, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, Vol. 40, No. 1, pp. 51-62.
- 이동섭, 김창완(2008) 폭이 넓은 개수로에서의 예연횡월류위 유량계수 산정, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제28권 제5B호, pp. 449-458.
- 전경수, 김진수, 김원, 윤병만(2010) 횡월류형 강변저류지를 포함하는 하천수계에 대한 수리학적 계산모형, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, Vol. 43, No. 2 pp. 139-151.
- Borghesi, 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 hydraulic division*, ASCE, Vol. 117, No. 4. pp. 461-475.
- Chow, V.T. (1959) Open channel hydraulics, *McGraw-Hill*, New York.
- De March, G. (1934) Essay on the performance of lateral weirs. *L'Energia Elettrica*, Italy, Vol. 11, No. 11, pp. 849-860.
- El-Khashab, A. and Smith, K.V.H. (1976) Ekperimental investigation of flow over side weirs. *Journal of the hydraulic division*, ASCE, Vol. 102, No. 9, pp. 1255-1268.
- Hager, W.H. (1987) Lateral outflow over side weirs. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 113, No. 4. pp. 491-504.
- Jalili, M.R. and Borghesi, 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. pp. 132.
- Lee, K.L. and Holley, E.R. (2002) Physical modeling for side-channel weirs. *CRWR Online Report 02-2*, Houston, TX, USA.
- Randga Raju, K.G., Prasad, B., and Gupta, S.K. (1979) Side weir in

rectangular side weirs. *Journal of the hydraulic 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.

Subramaya, 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.

(접수일: 2010.11.8/심사일: 2010.11.22/심사완료일: 2010.11.22)