http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2011.44.12.955

韓國水資源學會論文集 第44卷第12號·2011年12月 pp. 955~965

광정횡월류위어의 기하학적 형상을 고려한 유량계수 산정

An Estimation of Discharge Coefficient Considering the Geometrical Shape of Broad Crested Side Weir

조 홍 제* / 강 호 선**

Cho, Hong Je / Kang, Ho Seon

Abstract

The flow characteristics of rectangular and 1:1 and 1:2 trapezoidal weirs were investigated through hydraulic experiments in order calculate the exact overflow discharge of the broad-crested side weir. The flow was found to be most stable in trapezoidal shapes with the lowest incline. The 1:1 and 1:2 trapezoidal weirs had 5.67% and 8.57% increases, respectively, compared to the rectangular weir in terms of overflow amount, which suggests that they are more effective in preventing flood. An integrated discharge coefficient equation taking into account the discharge coefficient equation and shapes was proposed through a multiple linear regression analysis with an addition of a new parameter for the side wear, L/L_H , to the conventional discharge coefficient equation. Also, the applicability of the newly proposed discharge coefficient equation was reviewed by comparing the measured and calculated overflow amounts based on the experimental data of preceding researches and existing researchers and the research data of this study.

Keywords : broad crested side weir, estimation of discharge coefficient, flow characteristics

요 지

본 연구에서는 광정횡월류위어의 정확한 월류량을 산정하기 위해 직사각형, 1:1 및 1:2 경사 사다리꼴 위어에 대한 형상별 흐름특성을 수리실험을 통해 확인하였다. 흐름은 사다리꼴 형상으로 사면경사가 작을수록 흐름이 안정적이었으며, 각 형상별 위어 월류량의 경우 직사각형 형상보다 1:1 및 1:2 사다리꼴 형상에서 각 567% 및 857% 가량 증가해 홍수배제 능력에서도 유리한 것으로 나타났다. 기존의 유량계수식에 횡월류위어 형상에 대한 매개변수 L/L_H 를 추가한 다중회귀분석 으로 각 형상별 유량계수식과 형상을 일반화 시킨 통합 유량계수식을 제시하였다. 또한 선행연구 및 기존 연구자들의 실험자료와 본 실험의 연구자료를 이용하여, 측정된 월류량과 계산된 월류량을 비교하여 새롭게 제안하는 유량계수식의 적용성을 확인하였다.

.....

핵심용어 : 광정 (廣頂) 횡월류위어, 유량계수, 흐름특성, 위어형상

1. 서 론

물이다. 본류의 수심이 횡월류위어의 높이 보다 높을 경우 위어를 통해 유량을 저류지로 배제하게 되며 에너지 소산, 수위의 안정, 일정유량의 취수 및 분배, 홍수소통 등의 목적

횡월류위어는 흐름방향에 평행하게 설치되는 수공구조

^{*}교신저자, 울산대학교 공과대학, 건설환경공학부 교수 (e-mail: hjcho@mail.ulsan.ac.kr)

Corresponding Author, Prof, Dept. of Civil and Environmental Engrg., University of Ulsan, Ulsan, Korea

^{**} 울산대학교 공과대학, 건설환경공학부 석사과정 (e-mail: kang1h1s1@nate.com)

Ms. D. Student, Dept of Civil and Environmental Engrg., University of Ulsan, Ulsan, Korea

으로 사용된다. (남기영 등, 2010) off-line 저류지에 횡월류 랑은 De-Marchi 공식이나 기존의 실험식들을 이용해 왔 으나, 적용된 조건들이 저류지의 유입부 특성과 맞지 않 아 정확한 산정은 어렵다. 기존의 연구는 주로 사각형단 면의 예연 (銳緣) 횡월류위어에 대해 실험실에서 이루어져 왔으나 실제 하천에서 본류의 흐름을 저류지로 유도하기 위해서는 사다리꼴 광정 (廣頂) 횡월류위어가 일반적으로 사용될 것으로 판단된다.

횡월류위어에 대한 월류량 산정식과 유량계수 산정식 은 De Marchhi (1934)가 처음 제시하였으며, 횡월류위어 의 길이 방향에 따라 위어의 유량계수가 일정하다고 가정 하였다. Subramanya and Awasthy (1972)는 Froude 수가 유량계수의 주된 변수임을 밝히고, 상류와 사류에 대한 유량 계수식을 제안하였다. Ranga et al. (1979)은 예연위어와 광 정위어를 구분하여 유량계수식을 제안하였고, Hager (1987), Cheong (1991) 및 Jilili and Borghei (1996)는 횡월류 높이 에 따른 유량계수식을 제안한 바 있다. 또한 Ali Uvumaz (1997)은 위어길이와 하도폭 비를 고려하고 상류와 사류 를 구분하여 유량계수식을 제안하였으며, Onitsuka et al. (2005)은 횡월류위어 높이가 0인 경우에 위어길이와 하도 폭비를 고려하여 유량계수식을 제시하였다. 그리고 Honar and Keshavarzi (2009)는 광정횡월류위어의 측벽의 형상 을 원형으로 하여 월류부 측벽형상 변화에 따른 유량계수 산정에 대하여 연구하였으나, 횡월류위어의 형상변화는 고려하지 않았다.

박문형과 이동섭 (2010)은 폭이 넓은 직사각형 수로에 서 기존의 유량계수식이 Froude 수에 지배를 받는 한계를 구명하여, 위어의 제원을 반영하는 무차원 변수를 고려한 유량계수식을 제안한 바 있으나 위어 자체의 형상은 고려 되지 않았다. 윤영배 (2011)는 실제하천 단면에 가까운 사 다리꼴 단면의 수로에서 사다리꼴 광정횡월류위어에 대 한 유량계수식을 상류와 사류로 구분하여 제시하였으며, 광정횡월류위어의 기하학적 형상에 따라 본류 및 횡월류 위어의 월류량이 큰 영향을 받을 것으로 예상한 바 있다. 본 연구에서는 일반적인 하천단면과 유사한 사다리꼴

수로에서 광정횡월류위어의 형상을 직사각형, 1:1 경사 및 1:2 경사의 사다리꼴을 선정하여, 횡월류위어의 형상 이 본류 및 월류부 흐름에 미치는 영향을 분석하였다. 실 험결과를 통해 광정횡월류위어 기하학적 형상이 고려된 유량계수식을 제안하였으며, 기존의 광정횡월류위어 유 량계수식과 비교분석하였다.

2. 횡월류위어 기본이론

횡월류위어 흐름에 대한 기본이론식은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 직사각형 횡월류위어에 대한 하상경사와 단면 이 일정한 수로에 대한 유량공식인 Eq. (1)과 같다.

$$Q_w = Q_1 - Q_2 = \frac{2}{3} C_M \sqrt{2g} \int_0^L (y-h)^{3/2} dx \qquad (1)$$

여기서, Q_w 는 횡월류량, Q_1 , Q_2 는 횡월류 전·후 본류유 량, C_M 은 유량계수, y는 횡월류위어에서 측정한수심, h는 횡월류위어 높이, L은 위어폭, x는 흐름방향거리, B는 본류하폭, g는 중력가속도이다 (Chow, 1959).

Lee and Holley (2002)는 사다리꼴 수로에 설치된 사다 리꼴 광정위어에 대한 월류량 산정식을 Eq. (2)와 같이 제 안하였다.

$$Q_w = -C_e C_s \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}g} \left[L + (y-h)ES \right] (y-h)^{3/2}$$
(2)

여기서, C_e 는 전유량계수이고, C_s 는 잠수보정계수이다. L은 사다리꼴 횡월류위어의 저면폭이고, ES는 측면경사 이다. h_d 는 횡월류위어의 하류부 본류하도의 중심수위이 고, 횡월류위어 마루가 기준이다. 윤영배와 조홍제 (2011) 는 실제하천에 적용성이 높은 사다리꼴 수로의 광정횡월



Fig. 1. Show the Key Map of Rectangular Side Weir



류위어의 유량계수를 산정하기 위해 위어 흐름의 주요 변수 들인 상류 *Froude* 수, 위어 높이 및 길이, 본류 수로폭 및 경사 등을 고려하였고, Fig. 2와 같은 사다리꼴 횡월류위 어에 대해 Eqs. (1) and (2)를 기초로 한 Eqs. (3) and (4)를 기본이론식으로 제안하였다.

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

$$C_M = \frac{3}{2} \frac{Q_w}{\sqrt{2g} \left[L + (y-h)ES\right](y-h)^{3/2}} \tag{4}$$

여기서, L은 위어길이, y는 위어부 평균수심, h는 위어높 이, ES는 위어부 상·하류단 측벽의 길이이며, C_M은 유량 계수로서 횡월류위어의 길이방향에 따라 변하지 않고 일 정하다. 본 연구에서는 Eqs. (3) and (4)를 기본이론식으 로 하여 광정횡월류위어의 기하학적 형상을 고려한 유량 계수를 산정하였다. Fig. 2. Key Map of Flow over Traperzoidal Side Weir

3. 실험조건 및 결과분석

3.1 수리실험 조건

기본적인 수리실험 장치는 Fig. 3과 같고, 길이 14.0 m, 폭 0.6 m, 높이 0.2 m, 가변경사의 1:1 사다리꼴 단면 개 수로 실험장치를 이용하였다.

측점의 위치는 Fig. 4와 같이 수로에 총 35개의 횡단면 을 설정하였고, 횡월류위어가 설치되는 수로 중심부 4.4 m 구간에서 본류 흐름변화를 세밀하게 관찰하기 위해 0.2 m의 조밀한 간격으로 구성하였다. 나머지 구간은 0.5 m 간격으로 구성하여 수로 중심에서 수심과 유속을 측정하 였으며, 포인트게이지와 2차원 전자식유속계 VM 801-H 를 이용하였다.

광정횡월류위어에 대한 형상을 고려하기 위해 직사각 형, 1:1경사 및 1:2경사의 월류위어에 대한 실험을 하였 으며, 기본형상은 Fig. 5에 나타내었다.

각 형상마다 사용한 본류의 유량 조건은 0.020 m³/sec, 0.025 m³/sec, 0.030 m³/sec이고, 상류 프루드수 *Fr*_u와 횡



Fig. 3. Key Map of Hydraulic Modeling Experimental Equipment



Fig. 4. Sketch of Experimental Setup the Location of the Station





(b) 1:1 Trapezoidal





Fig. 5. Geometrical Shape of Broad Crested Side Weir

월류위어 높이 및 상류수심비 h/y_u 를 고려하기 위해 하 상경사를 0.1~0.9%까지 0.2% 간격으로 5가지 경우로 하 였다. 또한 위어의 길이를 1.0 m, 0.6 m, 0.2 m로 하여 L/B 가 5.0, 3.0, 1.0인 조건에서 시험 하였으며, 하류 수문 높이 0, 0.02 m, 0.04 m, 0.06 m로 조절하여 하류수위 조건을 변 화시켰다. 따라서 위어의 각 형상별로 180개의 Case에 대 해 실험, 3가지 형상에 대해 총 540개의 Case에 대해 실험 하였다. 횡월류량은 유도수로를 통해 저수조로 유입시킨 후 예연위어 및 수조를 이용하여 측정하였고, 실험조건 및 방법은 요약하여 Table 1에 나타내었다. 여기서, Q는 공 급유량, L은 횡월류위어폭, B는 저수로폭, S₀는 수로경 사, ydown 은 본류하류에 설치된 수문의 높이이다.

3.2 횡월류위어 형상에 따른 본류 흐름특성변화

본 연구의 주된 과제는 광정횡월류위어의 기하학적 형 상변화에 따른 월류량의 변화를 추정하는 것이나, 실험과 정 중에 위어 하류단과 본류흐름의 변화를 추가적으로 파 악 할 수 있었다. Fig. 6은 직사각형과 1:2 사면의 사다리 꼴 형상 위어에서 톱밥을 사용하여 흐름변화를 관찰하였 다. 먼저 1:2 사다리꼴 형상 위어에서 흐름은 위어 상·하 류 구간에서 균등하게 월류가 되고, 하류부에서도 본류와 월류부의 흐름이 자연스러운 반면에 직사각형 위어의 경 우 월류가 하류부서 많이 이루어지고 있으며, 위어 하류 부에 수직된 면과 부딪치면서 와류가 발생하여 본류의 흐 름이 불안정해는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 선정한 3가지 형태의 광정횡월류위어에 대해 동일한 흐름조건에서 흐름특성을 분석한 결과, 직사 각형 형상의 위어에서는 횡월류위어 하단부의 본류 흐름 이 위어의 수직된 면과 부딪치면서 와류가 발생하여 본류 의 흐름이 불안정해지는 것을 확인할 수 있었다. 반면에 사다리꼴 형상의 위어에서는 위어 경사도에 관계없이 본 류 흐름과 위어를 월류하는 흐름이 자연스럽게 분류되면 서 본류의 흐름이 안정되는 것으로 나타났다. 또한 위어 경사도가 완만해 질수록 본류의 흐름이 더 안정적인 것으 로 나타났다.

월류량에 있어서는 형상별로 동일한 조건일 경우 1:2 사다리꼴 형상일 경우 월류량이 직사각형 형상보다 8.57%, 1:1 사다리꼴 형상일 경우 월류량이 직사각형 형상보다 5.67% 가량 많은 것으로 나타나 유량분배 능력에서 사다 리꼴 형상의 위어가 직사각형 형상의 횡월류위어보다 유 리한 것으로 분석되었다. 이러한 현상은 실제 저류지의 유입부에 횡월류위어를 설치할 경우, 직사각형 형상의 횡 월류위어를 설치하는 것 보다는 사다리꼴 형상의 횡월류 위어를 설치하면 월류효과도 높이고 본류의 흐름도 안정 되게 하여 효과적으로 저류지를 운영할 수 있음을 의미한 다. 위어 형상에 따른 위어 하류부와 본류 흐름변화는 Fig. 6과 같다.

3.3 횡월류위어 형상에 따른 유량계수식 추정

횡월류위어 유량계수 C_M 은 본류의 흐름조건과 횡월류 위어의 기하학적 조건에 영향을 받으며, 차원해석을 통해 다음과 같은 매개변수 Fr_u , L, B, y_u , h, S_0 로 나타낼 수 있다 (EI-Khashab, 1976). 본 연구에서는 횡월류위어에 형상을 나타내기 위해 매개변수 L_H 를 추가하여 다음과 같이 나타내었다.

Туре	Geometrical Shape	L/B	$Q(\mathrm{m}^3/\mathrm{sec})$	$S_{0}~(\%)$	y_{down} (m)
Broad Crested Weir	Rectangular 1:1 Trapezoidal 1:2 Trapezoidal	1.0, 3.0, 5.0	0.020~0.030 (at a 0.005 interval)	0.1~0.9 (at a 0.2 interval)	0~0.06 (at a 0.02 interval)

Table 1. Range of Test Variables





(a) Rectangular



(b) 1:2 Trapezoidal

Fig. 6. Flow Characteristics of Side Weir by Geometrical Shape

$$C_M = f(Fr_u, L, B, y_u, h, S_0, L_H)$$
(5)

$$C_M = f\left(Fr_u, \frac{L}{B}, \frac{L}{y_u}, \frac{h}{y_u}, S_0, \frac{L}{L_H}\right) \tag{6}$$

여기서, Fr_u 는 상류부의 Froude 수, L은 위어마루길이, B는 본류수로폭, y_u 는 횡월류위어 상류부의 수심, h는 위 어높이, S_0 는 본류경사, L_H 는 위어부상단길이 이다. 각 조 건의 차원해석 결과를 이용하여 이를 독립변수로 두면, Eq. (5)과 같은 다중선형회귀식으로 나타낼 수 있다.

$$C_{M} = a + bFr_{u} + c\frac{h}{y_{u}} + d\frac{L}{y_{u}} + e\frac{L}{B} + fS_{0} + g\frac{L}{L_{H}}$$
(7)

여기서, a는 절편의 추정치이며, b, c, d, e, f, g는 회귀계 수이다. 본 연구에서는 위 다중선형회귀식을 기본방정식 으로하여 유량계수를 산정하였고, 결정계수를 통해 각 매 개변수의 중요도를 확인하였다. 분석은 통계프로그램인 PASWStatistics 18을 이용하여 결정계수와 잔차를 산정 하였고, 분석내용에 주요한 부분을 Table 2에 나타내었다 (여기서, V는 변수의 개수, R²은 결정계수). 6개의 변수 중 각각의 변수들을 제거했을 때 결정계수가 높게 나온 식을 기준으로 제외한 매개변수의 기여도를 판단할 수 있 다. 이와 같은 방법으로 중요도가 높은 순서로 나열하면 h/y_u , L/y_u , L/L_H , Fr_u , S_0 , L/B으로 나타났으며, 선행 된 연구에서 고려하지 않은 변수 L/L_H 를 제외하면 동일 한 결과를 보여주고 있다.

기존의 연구성과들에 따르면 유량계수 C_M산정시 6개 의 매개변수 모두를 이용하는 것보다는 중요도가 높은 3~4개의 매개변수를 활용하고 있고, 이는 실제 적용시에 도 효과적이다. 매개변수 조합에 따른 결정계수 C_M의 상 관성을 검토한 결과, 통합유량계수식에서 h/y_u , L/y_u , L/L_H만 고려한 경우 결정계수 0.857이고, Fr_u를 추가한 경우에도 0.857로 동일하게 나타났으며, Fru와 So를 추가 한 경우는 0.855, 그리고, Fr_u, L/B, S₀를 모두 고려한 경 우가 0.862로서 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 광정횡 월류위어의 형상을 고려한 유량계수 산정시에는 h/y_{u} , L/y_u , L/L_H 가 주요변수이고, Fr_u , S_0 , L/B의 매개변수 는 중요도가 낮은 것으로 판단된다. 이는 광정횡월류위어 의 흐름특성이 기하학적 형상에 좌우 될수 있음을 의미하 며, 본 연구과제의 중요성이나 의의가 있음을 나타낸다. 하지만 Fr.,는 흐름의 특성을 나타내는 변수이고, 기존의 대부분 결정계수 산정식에는 Fr, 가 주요변수로 포함되어 있어 이에 대한 추가 분석이 필요한 것으로 판단된다. 윤

	Parameter	R^2	Residual
-	$f(h/y_u, L/y_u)$	0.849	0.652
	$f(h/y_u, S_0)$	0.026	4.191
	$f(h/y_u, L/L_H)$	0.059	4.052
T	$f(L/y_u, S_0)$	0.795	0.882
	$f(L/y_u, L/L_H)$	0.674	1.405
	$f(L/L_{H},S_0)$	0.067	4.015
	$f(h/y_u, L/y_u, S_0)$	0.849	0.652
2	$f(h/y_u, L/y_u, L/L_H)$	0.857	0.616
	$f(L/L_{H},S_{0},L/B)$	0.820	0.774
	$f(h/y_u, L/y_u, Fr_u, S_0)$	0.853	0.633
2	$f(h/y_u, L/y_u, L/L_H, Fr_u)$	0.857	0.615
ა	$f(h/y_u, L/y_u, L/L_H, L/B)$	0.858	0.612
	$f(L/y_u, L/L_{I\!\!P}S_0, L/B)$	0.823	0.760
	$f(h/y_u, L/y_u, Fr_u, S_0, L/B)$	0.855	0.626
	$f(h/y_u, L/y_u, L/L_H \operatorname{Fr}_u, L/B)$	0.858	0.611
4	$f(h/y_u, L/y_u, L/L_H, Fr_u, S_0)$	0.861	0.600
	$f(h/y_u, L/L_H, Fr_u, S_0, L/B)$	0.829	0.735
	$f(L/y_u, L/L_H Fr_u, S_0, L/B)$	0.837	0.701
	$f(h/y_u,L/y_u,L/L_H,S_0,L/B)$	0.858	0.612
5	$f(h/y_u, L/y_u, L/L_H \operatorname{Fr}_u, S_0, L/B)$	0.862	0.593

Table 2. Importance Weight Analysis of Parameter

영배와 조홍제 (2011)의 연구성과에서도 S_0 와 L/B는 결 정계수 산정에 대한 기여도가 미미한 것으로 확인된 바 있다. 따라서 본 연구에서 다중회귀분석을 통해 제시될 유 량계수산정식은 다음과 같은 $C_M = a + b \frac{h}{y_u} + c \frac{L}{y_u} + d \frac{L}{L_H}$ 이 나, $C_M = a + b \frac{h}{y_u} + c \frac{L}{y_u} + d \frac{L}{L_H} + eFr_u$ 의 형태로 나타낼 수 있다. 직사각형위어에서는 횡월류위어의 형상을 나타내 는 L/L_H 의 매개변수가 1이 되므로 Fr_u 의 매개변수가 포 함된 $C_M = a + bFr_u + c \frac{h}{y_u} + d \frac{L}{y_u}$ 의 형태가 될 것이다. 실험 을 통해 실측된 각 횡월류위어 형상별 유량계수식과 통 합된 유량계수식을 결정계수 R^2 과 함께 Table 3에 나타 내었다.

채택된 유량계수식의 적용성을 확인하기 위해 계산된 횡월류량과 측정된 횡월류량을 비교하였다. Fig. 7은 횡 월류위어 형상별 유량계수식을 적용하여 계산된 횡월류 량을 비교한 것으로, 절대평균오차는 직사각형 위어에서 7.30%, 1:1경사 사다리꼴 위어에서 7.84%, 1:2경사 사다 리꼴형상 위어에서 7.93%로 나타났으며, 전체적으로는 8.61%의 절대평균오차를 가지는 것으로 나타났다. 매개 변수에 Fr_u 가 들어간 경우 1:1 및 1:2 사면의 사다리꼴 형상 위어에서 각각 7.82%, 8.00%로 나타나 큰 차이가 없 는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 8은 통합된 유량계수식을



Fig. 7. Comparison Measured Q_w and Calculated Q_w according to Width of Side Overflow Weir (Each geometrical shape discharge coefficient equation)

통해 계산된 횡월류량을 비교한 그래프로서 절대평균오 차가 8.61%로 나타나, 횡월류위어 형상에 따른 통합된 유 량계수식도 정확성에서 큰 차이가 없어 통합된 유량계수식 의 적용성이 확인되었으며, 매개변수 Fr_u 가 들어간 유량 계수식을 적용할 경우 8.66%의 절대평균오차를 보였다. 일반적으로 횡월류위어의 월류량은 각 형상별로 제시된 유량계수식을 사용하는 것이 정확한 횡월류량을 산정하는 데 유리할 것으로 판단되지만, 횡월류위어 형상의 종류나

Geometrical Shape	Multiple linear regression formula	R^2
Rectangular	$C_{\!M} = 0.473 + 0.059 Fr_u - 0.513 \frac{h}{y_u} + 0.027 \frac{L}{y_u}$	0.902
1:1 Trapezoidal	$C_{\!M} = 0.743 - 0.703 \frac{h}{y_u} + 0.040 \frac{L}{y_u} - 0.290 \frac{L}{L_{\!H}}$	0.835
	$C_{\!M} = 0.741 - 0.692 \frac{h}{y_u} + 0.040 \frac{L}{y_u} - 0.290 \frac{L}{L_{\!H}} - 0.007 Fr_u$	0.835
1:2 Trapezoidal	$C_{\!M} = 0.588 - 0.537 \frac{h}{y_u} + 0.041 \frac{L}{y_u} - 0.227 \frac{L}{L_{\!H}}$	0.879
	$C_{\!M} = 0.593 - 0.574 \frac{h}{y_u} + 0.041 \frac{L}{y_u} - 0.229 \frac{L}{L_{\!H}} + 0.027 Fr_u$	0.880
Integrate	$C_{\!M} = 0.530 - 0.494 \frac{h}{y_u} + 0.030 \frac{L}{y_u} - 0.045 \frac{L}{L_H}$	0.857
	$C_{\!M} = 0.531 - 0.511 \frac{h}{y_u} + 0.030 \frac{L}{y_u} - 0.044 \frac{L}{L_H} + 0.013 Fr_u$	0.857

Table 3. Ditermination Coefficient of Multiple Regression Formula



Fig. 8. Comparison Measured Q_w and Calculated Q_w according to Width of Side Overflow Weir (Integrated discharge coefficient equation)

수리적 특성치인 Fr_u 에 무관한 하나의 유량계수식을 사용 하는 것은 간편하고 정확성도 높아 보다 효과적이다. Table 3에 제시된 바와 같이 Fr_u 가 포함된 식과 포함되지 않은 식 등 각 형상별 두 가지의 유량계수식에 의해 계산된 횡 월류량 값과 측정된 횡월류량 값을 비교한 결과 잘 부합하 는 것을 확인하였으며, 본 연구에서 제시한 횡월류위어 형 상에 따른 유량계수식 및 통합된 유량계수식은 광정횡월류 위어의 유량계수 C_M 의 산정식으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서의 적용한계는 $Fr_u = 0.41 \sim 0.99$, $h/y_u = 0.43 \sim 0.81$, $L/y_u = 1.42 \sim 13.32$, $L/L_H = 0.29$ ~ 1.00 이다.

4. 결과분석 및 비교검토

본 연구에서 진행된 실험을 통하여 얻어진 매개변수 값



Fig. 9. Comparison measured Q_w and calculated Q_w used to subcritical flow discharge coefficient equation (Yoon, Yeong Bae & Cho, Hong je, 2011)

과 횡월류량을 계산하고, 기존의 연구자들이 제시한 유량 계수식을 이용한 계산치와 비교해서 본 연구성과의 적용 성을 검토하였다. 실험을 통해 제시되었던 기존의 횡월류 위어에 대한 유량계수식을 Table 4에 나타내었으며, 본 연구성과에 적용가능한 유량계수식과 그 계산치를 본 실 험값을 비교하여 절대평균오차를 함께 나타내었다. 기존 의 각 유량계수식은 실험조건과 횡월류자체의 특성치가 다르므로, 본 연구에서 실험한 조건에 대해 각 유량계수 제안식의 적용범위내의 실험값만 적용하여 계산된 유량 계수를 이용하여 횡월류량을 산정하였으며, 측정된 횡월 류량과 비교하여 나타내었다. Table 4에 나타낸 기존의 연구 성과 중 가장최근에 사다리꼴 광정횡월류위어의 유 량계수를 산정한 윤영배와 조홍제 (2011)와 박문형과 이 동섭 (2010)의 실험조건과 결과가 유사하므로 이에 대해 정밀 분석하였다.

Proposer	Formulas for discharge coefficient	Range	MAPE
Yoon, Yeong Bae &	$C_{\!M} = 0.396 + 0.071 Fr_u - 0.447 \frac{h}{y_u} + 0.031 \frac{L}{y_u}$	$Fr_u = 0.48 - 0.99$ $h/y_u = 0.42 - 0.81$ $L/y_u = 1.58 - 12.80$	9.08%
Cho, Hong je (2011)	$C_{\!M} = 0.375 + 0.110 Fr_u - 0.425 \frac{h}{y_u} + 0.031 \frac{L}{y_u}$	$Fr_u = 0.48 - 1.33$ $h/y_u = 0.41 - 0.89$ $L/y_u = 1.40 - 14.68$	10.37%
Park, Moonhyung & Rhee, Dong Sop (2010)	$C_{\!M} = 0.4923 - 0.1056 Fr_u - 0.0005 \frac{h}{y_u} + 0.0098 \frac{L}{B} + 0.0047 \frac{W}{(y-d)}$	$Fr_u = 0.06 \sim 0.54$	22.81%
Subramanya & Awasthy (1972)	$C_{\!M} = 0.864 \sqrt{rac{1 - F r_u^2}{2 + F r_u^2}}$	$F_u < 0.8$	34.31%
Yu-tech (1972)	$C_{\!M} = 0.6225 - 0.222 F r_u$		36.39%
Ranga et al. (1979)	$C_{\!M} = (0.81 - 0.6 F r_u)(0.80 + 0.1 \frac{y_u - h}{L})$	Broad Crested Weir	29.27%
Hager (1987)	$C_{M} = 0.485 \sqrt{\frac{2 + Fr_{u}^{2}}{2 + 3Fr_{u}^{2}}}$	h = 0	29.27%
Cheong (1991)	$C_{M} = 0.45 - 0.22 F r_{u}^{2}$	h = 0	24.90%
Singh et al. (1994)	$C_{\!M} = 0.33 - 0.18 F r_u + 0.49 \! \left(\frac{h}{y_u} \right)$		39.85%
Jalili & Borghei (1996)	$C_{\!M} = 0.71 - 0.41 Fr_u - 0.22 \! \left(\frac{h}{y_u} \right)$		30.85%
Ali Uyumaz (1997)	$\begin{split} C_M &= \frac{3}{2} (0.21 + 0.094 \sqrt{1.75 \frac{L}{B} - 1} \) \\ &+ (0.02 - 0.08 \sqrt{1.68 \frac{L}{B} - 1} \) \sqrt{1 - Fr_u} \end{split}$	Subcritical flow	41.16%
Borghei (1999)	$C_{\!M} = 0.7 - 0.48 F r_u - 0.3 \frac{h}{y_u} + 0.06 \frac{L}{B}$	Subcritical flow	27.66%
Onitsuka et al. (2005)	$C_{M} = \left(-1.33 \frac{L}{B} + 0.3\right) Fr_{u} + 0.84 \frac{L}{B} + 0.19$	h = 0	41.31%

Table 4. Proposed Formulas for Discharge Coefficient



Fig. 10. Comparison measured Q_w and calculated Q_w used to integrated flow discharge coefficient equation (Yoon, Yeong Bae & Cho, Hong je, 2011)

윤영배와 조홍제 (2011)가 실험한 조건은 $Fr_u = 0.41 \sim 1.04$, $h/y_u = 0.43 \sim 0.81$, $L/y_u = 1.41 \sim 13.32$ 이며, 제 시된 적용한계에서 실험한 측정값을 제시된 유량계수식 에 적용하여 분석하였다. Fig. 9에서 상류조건에서 제시



Fig. 11. Comparison measured Q_w and calculated Q_w (Park, Moonhyung & Rhee, Dong Sop, 2010)

된 유량계수식을 적용하여 계산된 횡월류량과 측정된 횡 월류량을 비교하였으며, 그 결과 절대평균오차는 9.08% 로 나타났다. Fig. 10에서 상류와 사류를 포함하는 전체 조건에서 제시된 유량계수식을 적용하여 계산된 횡월류 량과 측정된 횡월류량을 비교하였고, 그 결과는 10.37%



Fig. 12. Comparison of Measured and Calculated Discharge Using Different $C_{\!_M}$ Formulas

의 절대평균오차를 보이고 있다. 절대평균오차가 다소 높게 나타나는 것은 본 연구에서 횡월류위어의 기하학적 형상에 대한 조건이 추가되어 있기 때문으로 판단되며, 횡월류위어의 형상에 대한 변수 L/L_H 가 유량계수식에 포함될 경우 보다 더 정확한 횡월류량을 산정할 수 있음 을 의미한다. 박문형과 이동섭 (2010)이 실험한 조건은 $Fr_u = 0.06 \sim 0.54$ 이며, 위에서 제시된 적용한계에 범위 에 대한 실험 측정값을 제시된 유량계수식에 적용하여 분 석하였다. Fig. 11에서 제시된 유량계수식을 적용하여 계 산된 횡월류량과 측정된 횡월류량을 비교하였으며, 그 결 과 절대평균오차는 22.81%로 나타났다. 이는 동일한 광정 횡월류위어에 대한 실험이었으나, 실험조건과 적용한계 등 조건상의 차이 때문인 것으로 판단된다.

그리고 Fig. 12는 과거 연구자들이 실험을 통하여 제시 하였던 유량계수식 중 본 연구와 비교 가능한 유량계수식 과 본 실험값을 비교하여 나타내었으며, 각 연구자들에 의해 제시된 식에 적용하여 계산된 횡월류량 값은 24.90 ~41.16%의 편차를 보이고 있으며, 이러한 원인은 예연위 어와 광정위어의 차이 때문인 것으로 판단된다. 한편 Ranga et al. (1979)의 광정위어식에 적용한 결과는 다른 유량계수식에 비해 편차가 작은 것으로 나타났지만, 제안 된 유량계수식의 매개변수가 Fr_u 와 $(y_u - h)/L$ 만의 함수 로 구성되어, 주요 매개변수 상의 차이로 인해 29.27%의 편차가 생긴 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 사다리꼴 개수로에 설치한 직사각형, 1: 1 및 1:2 경사의 사다리꼴 광정횡월류위어를 설치하고 수로경사 등 다양한 본류의 흐름조건에 따른 광정 횡월류 위어의 기하학적 형상변화에 대한 수리실험을 실시하였 다. 측정된 실험성과를 선행연구나 기존의 연구성과와 비 교분석하였으며, 광정횡월류위어의 기하학적 형상변화에 따른 흐름특성의 중요성을 확인할 수 있었고 이 특성치가 포함된 유량계수식을 산정하였다. 본 연구결과를 요약하 면 다음과 같다.

- 광정횡월류위어의 경사가 완만할수록 위어 하류부
 의 흐름과 본류의 흐름이 안정되고, 각 형상별 위어 월류량의 경우 직사각형 형상 보다 1:1 사다리꼴
 형상에서 5.67%, 1:2 사다리꼴 형상에서 8.57%가
 량 증가해 홍수배제능력에서도 유리한 것으로 나타 났다.
- 2) 횡월류위어의 유량계수식 산정에 있어서 광정횡월

류위어의 기하학적 형상을 고려한 형상매개변수 L/L_H 의 중요성이 핵심 흐름특성인자인 Fr_u 보다 큰 것으로 나타나 본 연구주제의 적절성을 확인할 수 있었고, 형상을 고려한 광정횡월류위어의 유량계수 식이 기존의 유량계수식보다 정확하게 횡월류량을 산정할 수 있는 것으로 나타났다. 광정횡월류위의 형상을 고려한 유량계수 산정시에는 h/y_u , L/y_u , L/L_H 가 주요변수이고, Fr_u , S_0 , L/B의 매개변수는 중요도가 낮은 것으로 판단된다.

3) 각 형상별로 흐름특성 인자인 Fr_u를 포함한 식과 포 함하지 않은 식 등 두 가지에 대해 가장 적절한 유 량계수식을 제시하였고, 적용상의 간편성을 고려하 여 광정횡월류위어의 형상을 일반화시킨 통합된 유 량계수식을 제안하였다.

감사의 글

본 연구는 2011년 울산대학교 교내 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 남기영, 한건연, 박홍성, 김극수, 최승용 (2010). "3차원 수 치모형에 의한 횡월류위어의 수리학적 평가." **환경영향** 평가, 제19권, 제2호, pp. 153-168.
- 박문형, 이동섭 (2010). "광정횡월류위어의 월류량 산정식 개발." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제43 호, 제6호, pp. 525-531.
- 윤영배(2011). 사다리꼴 광정횡월류위어의 유량계수 산 정, 박사학위논문, 울산대학교.
- 윤영배, 조홍제 (2011). "광정횡월류위어의 유량계수 산 정." 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제31권, 제1B 호, pp. 63-70.
- Ali Uyumaz(1997). "Side weir in U-shaped channels." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 7, pp. 639–646
- Borghei, S.M., Jalili, M.R., and Ghodsian, M. (1999). "Discharge coefficient for sharp-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 traperzoidal channel." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 4, pp.

461-475.

- De March, G. (1934). "Essay on the performance of lateral weirs." *L'Energia Elettrica*, Vol. 11, No. 11, pp. 849–860.
- El-Khashab, A., and Smith, K.V.H. (1976). "Experimental investigation of flow over side weirs." *Journal of Hydraulic Engineering*, 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 Borghei, 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.
- Honar, T., and Keshavarzi, A. (2009). "Effect of roundededge entrance on discharge coefficient of side weir in rectangular channels." *Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, Vol. 58, No. 4, pp. 482–491.

- Lee, K.L., and Holley, E.R. (2002). "Physical modeling for side–Channel weirs. CRWR Online Report 02–2, Houston, TX, USA.
- Ranga Raju, K.G., Prasad, B., and Gupta, S.K. (1979). "Side weir in rectangular channel." *Journal of 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.
- Subramaya, K., and Awasthy, S.C. (1972). "Spatially varied flow over side-weirs." *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 98, No. 1, pp. 1–10.
- Yu-Tech, L. (1972) Discussion of "Spatially varied flow over side weirs", by Subramanya, K., and Awasthy, S.C. *Journal of the Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 98, No. HY11, pp. 2046–2048

논문번호: 11-102	접수: 2011.09.02
수정일자: 2011.10.10/10.26	심사완료: 2011.10.26