

보 설치에 따른 광정횡월류위어의 월류량 개선 효과

The Effectiveness of Overflow Improvement of Broad-Crested Side Weirs according to Installing a Hydraulic Structure

강 호 선* / 조 홍 제**

Kang, Ho Seon / Cho, Hong Je

Abstract

In this study, the effectiveness of overflow improvement of weir was tested by conducting hydraulic experiments at the designated spot for installment of side weir under the condition of installment of hydraulic structures such as small reservoir in mainstream. The height of the reservoir was set up as a third of that of the weir, accordingly the rate of the height of the weir and the distance of the reservoir from the weir (B_h/L_b) were 0.05, 0.025, 0.0167 each. As a result, overflows per unit width increased by 8.1%, 5.4% and 3.9% respectively. A new discharge coefficient that adds B_h/L_b as parameter to the existing discharge coefficient of trapezoidal broad crested side weir was suggested and the application of the new formula of discharge coefficient by comparing measured overflow with calculated overflow was identified.

Keywords : Trapezoidal broad crested side weir, The rate of the height of the weir and the distance (B_h/L_b), Discharge coefficient, Overflow

요 지

본 연구에서는 광정횡월류위어 설치 예정지 하류쪽 본류 흐름내에 소규모 보를 설치하는 경우, 위어의 월류량 개선효과를 수리실험을 통해 확인하였다. 위어는 선행연구를 통해 월류량 소통능력이 가장 우수한 것으로 확인된 1:1 사다리꼴 형상의 광정횡월류위어를 사용하였다. 위어높이와 수로높이는 각각 0.06m와 0.2m이고, 예비실험을 통해 보의 높이를 광정횡월류 위어높이의 1/3인 0.02m로 결정하였다. 하류쪽에 설치되는 보가 위어로 부터 떨어지는 거리에 대한 보의 높이의 비(B_h/L_b)가 0.05, 0.025, 0.0167인 경우 월류량의 변화를 분석하였다. 보의 위치가 위어에 가까울수록 단위폭당 월류량이 많아졌으며, 각 8.1%, 5.4% 및 3.9% 증가하는 것으로 나타났다. 기존의 광정횡월류위어 유량계수식에 B_h/L_b 를 매개변수로 추가하여 새로운 유량계수식을 제시하였다. 또한 선행연구 및 기존 연구자들의 실험자료와 본 실험의 연구자료를 비교하였으며, 측정된 월류량과 계산된 월류량을 비교하여 새롭게 제안하는 유량계수식의 적용성을 확인하였다.

핵심용어 : 사다리꼴광정횡월류위어, 보의 높이에 대한 거리비(B_h/L_b), 유량계수, 단위폭당 월류량

1. 서 론

기상이변과 도시화로 인한 불투수면적 증가로 홍수피

해잠재능이 지속적으로 증가하고 있다. 제방증고나 하천 개수 등 수로 내에서 홍수를 관리하는 방법은 극한 홍수 재해에 취약한 한계성을 지니고 있어, 강변저류지를 건설

* 울산대학교 대학원 건설환경공학부 박사과정 (e-mail: kang1h1s1@mail.ulsan.ac.kr)
Dept. of Civil & Engineering, Ulsan University, Ulsan Nam-gu Mugeo-dong, Korea

** 교신저자, 울산대학교 공과대학 건설환경공학부 교수 (e-mail: hjcho@mail.ulsan.ac.kr, Tel: 82-52-259-2262)

Corresponding Author, Associate Pfor., Dept. of Civil & Engineering, Ulsan University, Ulsan Nam-gu Mugeo-dong, Korea

하는 방안이 제시되고 있다. 횡월류위어는 유량관리, 에너지소실, 유량전환, 수심규제, 홍수통제 등의 수단으로 사용되는 수공구조물이며, 초과홍수량 제어시에는 정확한 월류량 산정이 필요하다.

횡월류위어에 대한 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 위해 횡월류위어의 길이방향에 따라 위어의 유량계수가 일정하다고 가정하였다. Subramanya and Awasthy (1972)는 실험에 의해 유량계수가 결정될 수 있음을 주장하였고, 상류와 사류에 대한 유량계수식을 제안하였다. Randga Raju et al. (1979)은 예연횡월류위어와 광정횡월류위어를 구분하여 유량계수식을 제안하였으며, Hager (1987)와 Cheong (1991)의 횡월류위어 높이가 0인 경우의 유량계수식을 제안하였다. Singh et al. (1994)과 Jalili and Borghei (1996)는 횡월류위어 높이에 따른 유량계수식을 산정하였으며, Borghei et al. (1999)은 유량계수 영향인자에 대한 민감도 분석을 실시하고 위어길이와 하도폭의 비를 고려한 유량계수산정식을 제시하였다. Onitsuka et al. (2005)은 횡월류위어 높이가 0인 경우에 위어길이와 하도폭 비를 고려하여 유량계수식을 제시하였다. Song et al. (2007)은 횡월류위어의 형상에 따른 유량계수를 산정하였다. Kim and Kim, (2007)은 3차원 수치모형인 FLOW-3D를 이용한 분석을 통해 Lee and Holley (2002)의 실험결과와 비교하였으며, 광정횡월류위어에서의 흐름특성을 분석하였다. Park and Rhee (2010)는 직사각형수로의 직사각형 광정횡월류위어를 대상으로 실험하여 유량계수를 제시하였다.

하천에서의 본류의 흐름을 저류지로 유도하기 위한 횡월류위어는 사다리꼴의 광정횡월류위어의 형태가 일반적으로 사용될 것으로 판단된다. 그러나 이에 관한 연구는 Lee and Holley (2002)의 수리실험을 제외하면 찾아보기 힘든 실정이다. 또한 유역의 상류에 위치한 소하천의 경우, 본류의 흐름이 사류가 발생할 수 있으나 사류 흐름조건에서의 연구는 미진한 실정이다. Yoon and Cho (2011)는 사다리꼴 수로에서 사다리꼴 광정횡월류위어를 사용하여 상류 및 사류 흐름조건에서 상류의 Froude수, 위어높이, 위어길이, 본류 폭, 하도경사를 고려한 유량계수식을 제안하였으며, Cho and Kang (2011)은 광정횡월류위어의 형상을 고려한 유량계수식을 제안한 바 있다.

보는 용수공급을 위해서 자주 사용되고 있는 하천 구조물로서 하천이나 수로의 수위를 조절하는데 이용되고 있

다. 큰 규모로는 4대강에 설치된 16개의 보와 한강에 기 설치된 신곡 및 잠실 수중보처럼 1km에 가까운 것이 있고, 작은 규모로는 1~2m의 소하천에 설치된 것이 있다. 본 연구에서는 기존의 보가 가지고 있는 수위조절기능인 수리학적 특성을 이용하되, 횡월류위어의 월류량을 개선시킬 수 있는 보완적 성격의 수리구조물로서 도입하였다. 즉 가동보는 하천 본류의 흐름에 있어서 홍수소통 저하나 저류기능에 의한 수질악화 등을 일으키지 않고, 수위상승에 따른 횡월류위어의 월류수심 증가를 유도할 수 있는 것으로 판단하였다. 이를 위해, 예비수리실험으로 위어높이에 대한 보의 높이를 결정한 후, 보의 높이(B_b)에 대한 위어로 부터 보가 떨어진 거리(L_b)의 비 3가지($B_b/L_b = 0.05, 0.025, 0.0167$)를 고려하여, 위어의 월류량에 미치는 영향을 분석하였다. 수로 내에 소규모 보를 설치하는 경우, 본류의 흐름이 안정된 상태에서 월류량이 증가되는 것을 확인할 수 있었고, 보가 설치된 광정횡월류위어의 유량계수식을 제안하였다. 제안된 유량계수식은 기존의 일반적인 예연 및 광정위어 등의 유량계수식과 비교하는 것은 다소 모순된 점이 있는 것으로 판단되지만, 기존의 유량계수식보다 적용성이 높은 것으로 확인되었다. 그리고 횡월류위어의 월류량을 개선시키기 위해 본류의 하도 내에 보를 설치하는 것은 새로운 시도이지만, 보가 가지고 있는 수질악화 및 퇴사가능성 등의 역기능으로 인해 실질적인 적용은 제한적일 것으로 판단된다.

2. 횡월류위어 기본이론

횡월류위어 흐름의 개념도를 Fig. 1에 나타내었다. 하상경사와 단면이 일정한 직사각형수로에서 직사각형 횡월류위어의 단위폭당 월류량 q_w 과 총 월류량 Q_w 는 다음 Eqs. (1) and (2)와 같다.

$$q_w = -\frac{dQ}{dx} = \frac{dQ_w}{dx} = \frac{2}{3} C_M \sqrt{2g} (y-h)^{3/2} \quad (1)$$

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

여기서, Q_1 , Q_2 는 횡월류 전·후 본류유량, C_M 은 유량계수, y 는 횡월류위어에서 측정할 수심, h 는 횡월류위어높이, L_q 은 직사각형 횡월류위어에서 위어길이, x 는 흐름방향거리, B_q 는 직사각형 수로에서 본류하폭, V_1 , V_2 는 횡월류 전·후 본류유속, V_w 는 횡월류위어 유속, g 는 중력가속도이다.

Lee and Holley (2002)는 사다리꼴 수로에 설치된 Fig. 2

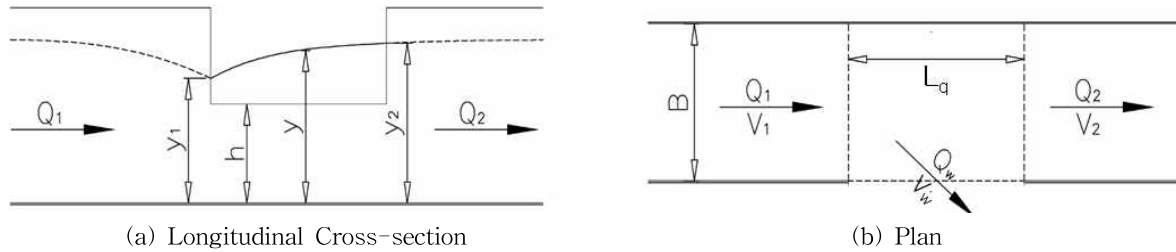


Fig. 1. Definition Sketch of Flow over Trapezoidal Broad-crested Side Weir

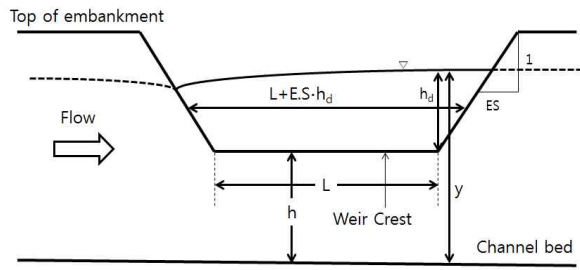


Fig. 2. Definition Sketch for Side-channel Weirs (Lee and Holley, 2002)

와 같은 사다리꼴 광정위어에 대한 월류량 산정식을 Eq. (3)과 같이 제안하였다.

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

여기서, C_e 는 전유량계수, C_s 는 잠수보정계수, L 은 사다리꼴 횡월류위어의 저면길이, ES 는 측면경사, h_d 는 횡월류위어의 하류부 본류하도의 중심수위이다. Yoon and Cho (2011)는 실제하천에 적용성이 높은 사다리꼴 수로에서 광정횡월류위어의 유량계수를 산정하기 위해, 상류 Froude 수, 위어높이 및 사다리꼴 횡월류위어의 저면길이, 본류 수로폭 및 경사 등을 고려하여 Eqs. (4) and (5)를 기본이론식으로 제안하였다.

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

$$C_M = \frac{3}{2} \frac{Q_w}{\sqrt{2g} [L + (y-h)ES](y-h)^{3/2}} \quad (5)$$

여기서, L 은 사다리꼴 횡월류위어의 저면길이, y 는 횡월류위어 하류부에서 본류수심, h 는 위어높이, ES 는 위어부 상·하류단 측면경사이며, C_M 은 유량계수로서 횡월류위어의 길이방향에 따라 변하지 않고 일정하다. 본 연구에서는 위어 하류쪽 본류 수로내에 소규모 보와 같은 수리구조물을 설치하여 월류수심 상승에 따른 위어의 월류량 증가를 분석하였고, Eqs. (4) and (5)를 기본이론식으로 하여 1:1 사다리꼴 광정횡월류위어의 유량계수를 산정하였다.

3. 실험조건 및 결과분석

3.1 수리실험 조건

기본적인 수리실험 장치는 Fig. 3과 같고, 길이 14.0m, 폭 0.6m, 높이 0.2m, 가변경사의 1:1 사다리꼴단면 개수로 실험장치를 이용하였으며, 선행연구결과를 통해 1:1 사다리꼴형상의 광정횡월류위어를 사용하였다.

측점의 위치는 Fig. 4와 같이 수로에 총 35개의 횡단면을 설정하였고, 횡월류위어가 설치되는 수로 중심부 4.4m 구간은 본류 흐름변화를 세밀하게 관찰하기 위해 0.2m의 조밀한 간격으로 구성하였다. 나머지 구간은 0.5m 간격으로 구성하여 수로 중심에서 수심과 유속을 측정하였으

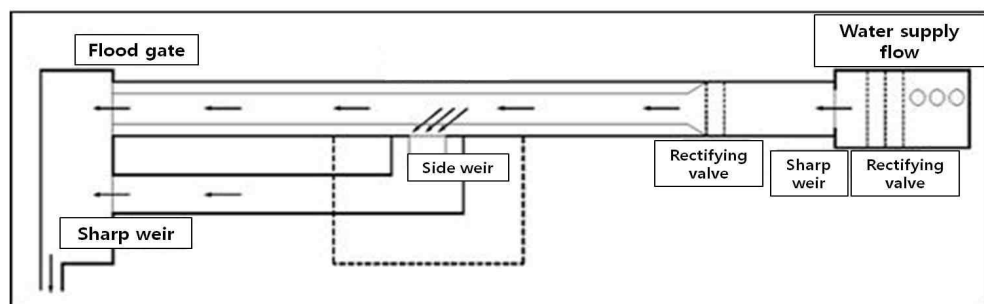


Fig. 3. Key Map of Hydraulic Modeling Experimental Equipment

며, 포인트게이지와 2차원 전자식유속계 VM 801-H를 이용하였다.

본류내 보의 설치위치에 따른 수로 및 위어의 흐름변화와 월류량변화를 확인하기 위해, 보의 높이(B_h)에 대한 위어로 부터 떨어진 보의 거리(L_b)의 비를 0.05, 0.025, 0.0167로 하였다. 보와 위어의 높이는 예비실험을 통해 각각 0.02m와 0.06m로 결정하였으며, 보의 위치는 Fig. 5와 같다.

각 조건별로 사용한 본류의 유량 조건은 0.020, 0.025, 0.030 m^3/sec 이다. 상류 프루드수 Fr_u 와 횡월류위어높이

및 상류수심비 h/y_u 를 고려하기 위해 수로경사를 0.1~0.9%까지 0.2% 간격으로 하여 5가지의 변화를 주었다. 사다리꼴 본류 수로의 저면폭(B) 0.2m에 대해 사다리꼴 횡월류위어의 저면길이(L)을 1.0, 0.6, 0.2m로 하여 L/B 가 5.0, 3.0, 1.0인 조건에 대해 실험하였다. 하류쪽 수문높이는 0, 0.02, 0.04, 0.06m로 조절하여 하류수위 조건을 변화시켰다. 따라서 본류내 보의 3가지 위치에 따른 각 조건별 180가지, 총 540가지에 대해 실험하였다. 횡월류량은 유도수로를 통해 저수조로 유입시킨 후 예연위어 및 수조를

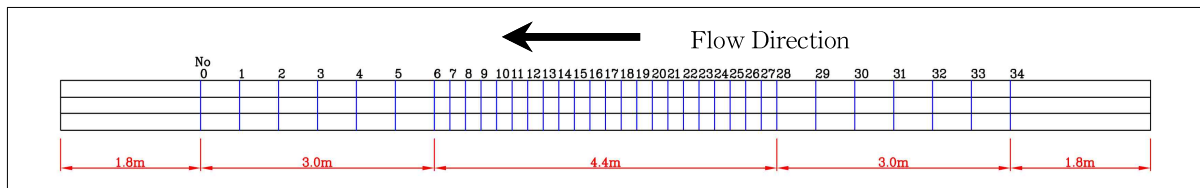
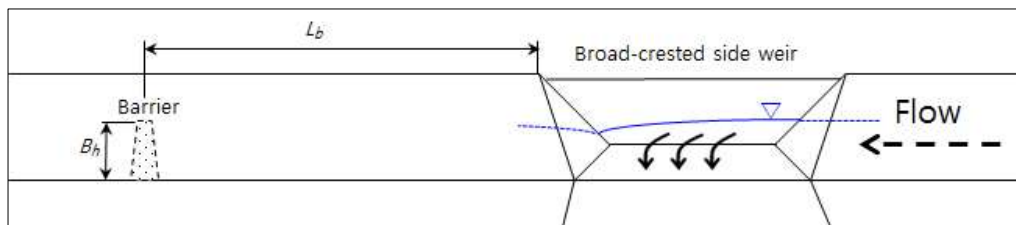
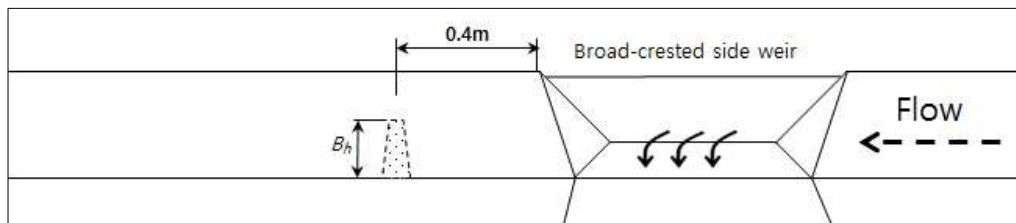


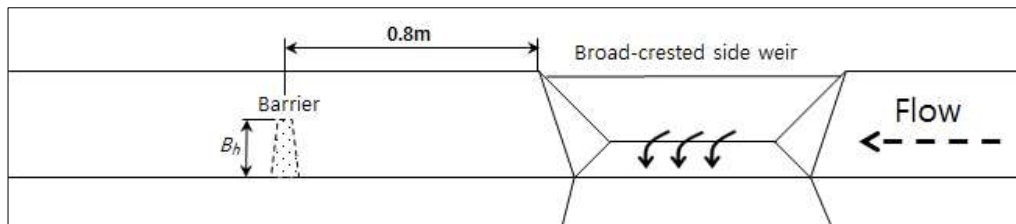
Fig. 4. Sketch of Experimental Setup (the location of the station)



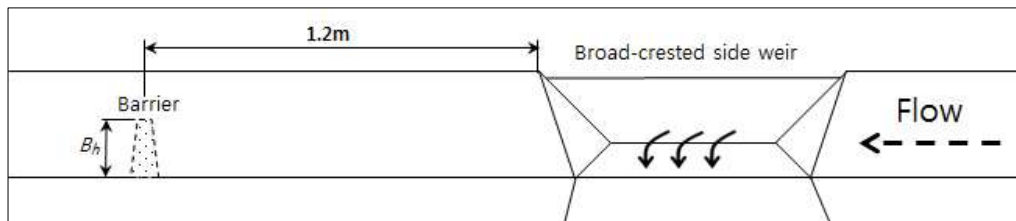
(a) B_h/L_b Broad-Crested side weir



(b) $B_h/L_b = 0.05$



(c) $B_h/L_b = 0.025$



(d) $B_h/L_b = 0.0167$

Fig. 5. The Positions of Barrier

이용하여 측정하였고, Table 1에 실험조건 및 방법을 나타내었다. 여기서, Q 는 공급유량, L 은 사다리꼴 횡월류위어의 저면길이, B 는 사다리꼴 본류수로의 저면 폭, S_0 는 수로경사, B_h 는 보의 높이, L_b 는 위어와 보가 떨어진 거리, y_{down} 은 본류 하류에 설치된 수문의 높이이다.

3.2 본류내 보의 설치에 따른 본류 및 위어의 흐름 특성 변화

본 연구의 주된 목적은 광정횡월류위어의 흐름조건을 개선하여 횡월류를 통한 월류량을 증가시키는 데 있다.

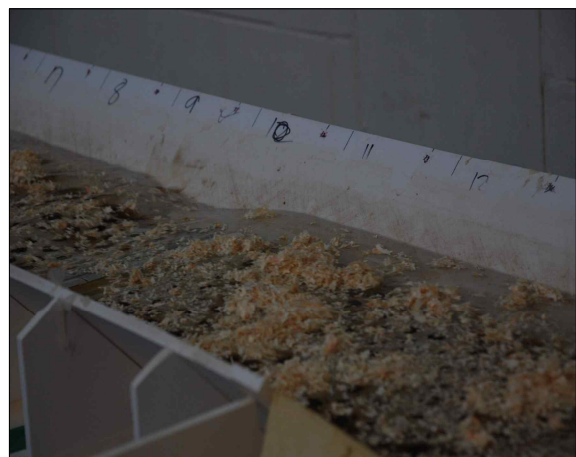
실제 하천이나 배수로 등에서 주변 여건이 여의치 못하여 필요한 크기로 위어를 설치하지 못할 수도 있고, 위어 규모에 비해 보다 많은 양의 물을 배제시켜야 할 경우도 있다. 이와 같은 경우, 위어 하류부에 보와 같은 소규모의 수리구조물을 병행해서 설치함으로써 흐름이 안정된 상태에서 수위증가를 유도하여 월류량 개선 효과를 기대할 수 있다. Fig. 5에 나타낸 바와 같이 수로내에 3가지 조건의 보를 설치하고, 각 180가지 총 540가지의 경우에 대해 흐름특성 및 변화를 측정하여 분석하였다. Fig. 6(a)는 수로내에 보가 설치된 상태를 나타낸다. Fig. 6(b)의 좌측은 보

Table 1. Range of Test Variables

Type	B_h/L_b	L/B	Q (m ³ /sec)	S_0 (%)	y_{down} (m)
Broad Crested Weir	0.05 0.025 0.0167	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)



(a) Barrier installed in channel



(b) Flow variations before and after installment of barrier

Fig. 6. Installation of Barrier and Flow Variations Before and after Installation of Barrier

를 설치하지 않았을 때 흐름상태이며, 위어 상·하류 구간 및 위어부에서의 흐름 변화가 없이 일정하였다. Fig. 6(b)의 우측은 보가 설치된 상태의 흐름변화를 나타내며, 보에 의해 위어부근의 수위가 상승하는 것을 확인할 수 있다.

보를 설치할 때 Table 1의 3가지 실험조건으로 흐름특성을 분석한 결과, 기존의 횡월류위어 흐름에서 나타나지 않았던 새로운 현상을 확인할 수 있었다. 즉 기존 횡월류위어의 흐름에서는 수로의 경사가 위어의 월류량 변화에 주요한 변수가 되지 못하였으나, 위어 하류부에 보를 설치하는 본 실험에서는 수로경사가 주요한 변수가 되는 것으로 나타났다.

Fig. 7(a)는 사다리꼴 횡월류위어의 저면길이(L)가 0.2m ($L/B=1.0$)일 때이며, 수로경사와 수로 내에 설치한 보의 상대적 위치(B_h/L_b)에 따른 단위폭당 유량(q_w)의 변화를 나타낸다. 수로 내에 설치한 보의 상대적 위치, 즉 보가 위어에 떨어진 거리에 관계없이 수로경사가 급할 때 보다 수로경사가 완만할 때 월류량이 개선되는 것으로 나타났다. 특히, 수로경사가 완만할 때($S=0.1, 0.3\%$), 보의 위치가 위어로부터 가까운 경우 월류량 개선 효과가 더 큰 것으로 나타났다.

Fig. 7(b)는 사다리꼴 횡월류위어의 저면길이(L)가 0.6m ($L/B=3.0$)일 때이며, 보 설치로 인해 단위폭당 월류량이 상대적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이 경우에도 수로경사가 완만할 때($S=0.1, 0.3\%$)가 수로 내에 설치한 보의 상대적 위치(B_h/L_b)가 가까울수록 월류량이 증가하는 것으로 나타났으며, 수로경사가 급해 질수록 월류량 증가 효과가 작게 나타났다.

Fig. 7(c)는 사다리꼴 횡월류위어의 저면길이(L)가 1.0m ($L/B=5.0$)일 때이며, 위어길이가 커서 보 설치에 따른 단위폭당 월류량 증가효과가 가장 작은 것으로 나타났다. 이는 본류 수로의 조건을 면밀히 고려하여 위어길이와 보의 크기를 결정해야 함을 의미한다.

Table 1과 Fig. 5에 나타난 3가지 위어길이와 보의 상대적 위치, 그리고 5가지 수로경사 등을 고려하여 실측된 위어의 월류량 개선효과를 나타낸 것이 Table 2와 같다. Table 2에 따르면, 보를 설치하는 경우 본류 수로의 저면폭에 대한 사다리꼴 횡월류위어의 저면길이의 비(L/B)가 1.0, 3.0, 5.0일 때 월류량 개선효과가 각각 8.9%, 5.9%, 2.9% 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 사다리꼴 횡월류위어의 저면길이가 작을수록 보설치 효과가 더 큰 것을

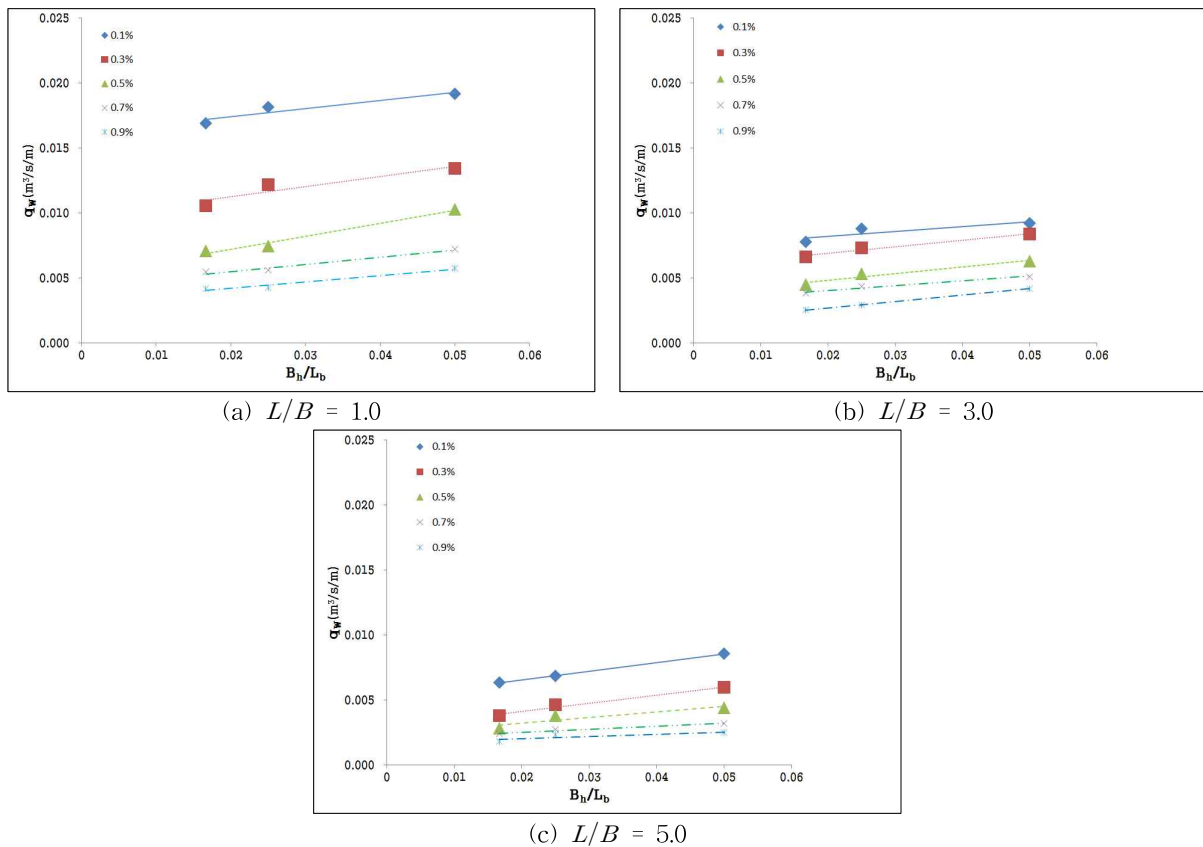


Fig. 7. Variations of Discharge Coefficient according to Position of Barrier and Channel Slope

Table 2. Rate of Increase of Overflow according to Length of Weir and Height of Barrier

L/B \ B_h/L_b	0.05	0.025	0.0167	average
1	11.3%	8.2%	7.1%	8.9%
3	9.5%	4.9%	3.4%	5.9%
5	3.4%	3%	1.1%	2.5%
average	8.1%	5.4%	3.9%	

의미한다. 또한 사다리꼴 횡월류위어의 저면길이에 관계 없이, 수로 내에 설치하는 보의 위어에 대한 상대적 위치 (B_h/L_b)가 가까울수록 월류량 개선효과가 8.1%, 5.4%, 3.9%로서 더 큰 것으로 나타났다.

3.3 실험결과 분석 및 유량계수 산정

횡월류위어 유량계수 C_M 은 본류의 흐름조건과 횡월류위어의 기하학적 조건에 영향을 받으며, 차원해석을 위해 다음과 같은 매개변수 Fr_w, L, B, y_u, h, S_0 로 나타낼 수 있다(EI-Khashab, 1975). 본 연구에서는 본류내 보의 높이 및 위치에 대한 매개변수를 나타내기 위해 B_h 및 L_b 를 추가하여 다음과 같이 나타내었다.

$$C_M = f(Fr_w, L, B, y_u, h, S_0, B_h, L_b) \quad (6)$$

$$C_M = f(Fr_w, \frac{L}{B}, \frac{L}{y_u}, \frac{h}{y_u}, S_0, \frac{B_h}{L_b}) \quad (7)$$

각 조건에 대한 차원해석 결과를 이용하여, C_M 은 Eq. (8)과 같은 다중선형회귀식으로 나타낼 수 있다.

$$C_M = a + bFr_w + c\frac{h}{y_u} + d\frac{L}{y_u} + e\frac{L}{B} + fS_0 + g\frac{B_h}{L_b} \quad (8)$$

여기서, a 는 절편의 추정치이며, b, c, d, e, f, g 는 회귀계수이다. Eq. (8)의 다중선형회귀식을 기본방정식으로 하여 유량계수를 산정하고 결정계수 R^2 을 통해 각 매개변수의 중요도를 확인하였다. 분석은 PASWStatistics 18 통계프로그램을 이용하여 결정계수와 잔차를 산정하였다. Eq. (7)의 각 매개변수에 대한 중요도와 Eq. (8)에 제시된 기본방정식의 계수를 최적화하기 위해, Table 3에 나타난 바와 같이 매개변수의 개수(V)에 따른 다중회귀분석을 하였다. Table 3은 매개변수 6개로 구성되는 총 63개 Case에 대한 다중회귀분석 결과의 일부이다. Table 3에 따르면, 매개변수가 1개일 때는 L/y_u 의 변수가 결정계수 $R^2 = 0.257$ 및 잔차 2.453으로 중요도가 가장 높고, 2개 일 때는 $f(h/y_u, L/y_u)$

조합이 결정계수 $R^2 = 0.689$ 및 잔차 1.027로서 두 개의 변수로 이루어지는 모든 수식 중에서 가장 최적화되는 것을 나타낸다. 그리고 매개변수가 5개일 때는 Table 3에 제시된 바와 같이, 각 조합별로 $B_h/L_b, S_0, L/B, L/y_u, h/y_u$ 및 Fr_w 등을 차례로 1개씩 제외시켜 분석한 결과이며, 두 번째 조합인 $f(Fr_w, h/y_u, L/y_u, L/B, B_h/L_b)$ 가 결정계수 $R^2 = 0.757$, 잔차 0.801로서 가장 최적화되는 것을 나타낸다. 각 매개변수의 중요도는 $L/y_u, h/y_u, Fr_w, L/B, B_h/L_b, S_0$ 의 순서로 나타났다.

기존의 연구성과들에 따르면 유량계수 C_M 산정시 6개의 매개변수 모두를 이용하는 것보다는 중요도가 높은 3~4개의 매개변수를 활용하고 있지만, 본 연구에서는 Table 3에 나타난 바와 같이 모든 매개변수의 조합이 가장 적절한 것으로 판단되었다. 따라서 본류 흐름조건의 다양한 변화에 대한 적용성을 위해 모든 매개변수를 이용한 유량계수식 C_M 을 산정하였다. 통합 유량계수식 C_M 에서 S_0 를 제외한 경우 R^2 가 0.757이고, S_0 를 포함한 경우 R^2 은 758로 큰 차이를 보이지 않았으나 S_0 가 포함된 것이 최적치이다. 실제 실험을 통해 확인한 바에 따르면, S_0 에 따라 본류 및 위어 흐름의 특성이 변화하였다. 그런데 Table 3의 각 매개변수의 조합에 따른 다중회귀분석 결과에 따르면, 매개변수 3개의 R^2 은 0.734, 잔차는 0.879이고, 매개변수 4개의 R^2 은 0.753, 잔차는 0.815이다. 그리고 매개변수 5개의 R^2 은 0.757, 잔차는 0.801이고 매개변수 6개의 R^2 은 0.758, 잔차는 0.798이다. 즉, 매개변수 3~4개와 매개변수 5~6개로 유도된 C_M 의 결정계수 R^2 의 차이는 0.024~0.005이고 잔차의 차이는 0.075~0.017에 불과하다. 이는 중요도가 높은 변수 3~4개의 조합으로 구성된 유량계수식 C_M 이 더 효과적일 것으로 판단될 수 있겠으나, Cho and Kang (2011)과 Yoon and Cho (2011) 등 기왕의 연구성과와 본 연구결과에 따르면 관련된 모든 매개변수의 조합으로 구성된 C_M 의 산정식이 적용성이 더 뛰어나고 개념적으로도 합리적인 것으로 확인되었다.

계산된 횡월류량과 측정된 횡월류량을 비교하여 채택

Table 3. Importance Weight Analysis of Parameter

V	Parameter	R ²	Residual
1	$f(h/y_u)$	0.245	2.494
	$f(L/y_u)$	0.257	2.453
2	$f(Fr_u, h/y_u)$	0.334	2.198
	$f(Fr_u, L/y_u)$	0.648	1.164
	$f(h/y_u, L/y_u)$	0.689	1.027
3	$f(Fr_u, h/y_u, L/y_u)$	0.734	0.879
	$f(Fr_u, h/y_u, L/B)$	0.698	0.997
	$f(Fr_u, L/y_u, L/B)$	0.670	1.091
	$f(h/y_u, L/y_u, L/B)$	0.711	0.953
4	$f(Fr_u, h/y_u, L/y_u, L/B)$	0.753	0.815
	$f(Fr_u, h/y_u, L/y_u, B_h/L_b)$	0.739	0.860
	$f(Fr_u, h/y_u, L/B, B_h/L_b)$	0.704	0.976
	$f(Fr_u, L/y_u, L/B, B_h/L_b)$	0.680	1.056
	$f(h/y_u, L/y_u, L/B, B_h/L_b)$	0.714	0.946
5	$f(Fr_u, h/y_u, L/y_u, L/B, S_0)$	0.754	0.812
	$f(Fr_u, h/y_u, L/y_u, L/B, B_h/L_b)$	0.757	0.801
	$f(Fr_u, h/y_u, L/y_u, S_0, B_h/L_b)$	0.741	0.854
	$f(Fr_u, h/y_u, L/B, S_0, B_h/L_b)$	0.707	0.967
	$f(Fr_u, L/y_u, L/B, S_0, B_h/L_b)$	0.694	1.011
	$f(h/y_u, L/y_u, L/B, S_0, B_h/L_b)$	0.741	0.854
6	$f(Fr_u, h/y_u, L/y_u, L/B, S_0, B_h/L_b)$	0.758	0.798

Table 4. Determination Coefficient of Multiple Regression Formula

	Multiple regression formula	R ²
Total	$C_M = 0.905 - 0.194Fr_u - 0.665 \frac{h}{y_u} + 0.040 \frac{L}{y_u} - 0.048 \frac{L}{B} + 0.433 \frac{B_h}{L_b}$	0.757
	$C_M = 0.952 - 0.247Fr_u - 0.712 \frac{h}{y_u} + 0.039 \frac{L}{y_u} - 0.047 \frac{L}{B} + 0.045S_0 + 0.430 \frac{B_h}{L_b}$	0.758

된 유량계수식의 적용성을 확인하였다. 본류내 보의 높이에 대한 위어로 부터 떨어진 거리비(B_h/L_b)를 포함한 유량계수식을 적용하여 계산된 횡월류량과 측정된 횡월류량을 비교한 그래프를 Fig. 8에 나타내었으며, 절대평균오차는 7.73%로 나타났다.

본 연구에서의 적용한계는 $Fr_u = 0.48 \sim 1.00$, $h/y_u = 0.45 \sim 0.83$, $L/y_u = 1.51 \sim 13.72$, $B_h/L_b = 0.0167 \sim 0.05$ 이다.

4. 본류내 보 설치를 고려한 광정횡월류위의 유량계수 적용성 검토

본 연구에서 진행된 실험을 통하여 얻어진 매개변수 값과 횡월류량을 계산하고, 기존의 연구자들이 제시한 유량계수식을 이용한 계산치와 비교해서 본 연구성과의 적용성을 검토하였다. 기존의 횡월류위에 대한 유량계수식을 Table 5에 나타내었으며, 그 계산치를 본 실험값과 비

교하여 절대평균오차와 함께 나타내었다.

Table 5에 나타낸 기존의 연구성과 중 사다리꼴 광정 횡월류위어의 유량계수를 산정한 Cho and Kang (2011) 과 Yoon and Cho (2011)의 실험조건과 결과가 유사하여 이에 대해 정밀 분석하였으며, Figs. 9 and 10과 같다. Fig. 9에 나타낸 Cho and Kang (2011)의 유량계수식의 적용한계는 $Fr_u = 0.41 \sim 0.99$, $h/y_u = 0.43 \sim 0.81$, $L/y_u = 1.42 \sim 13.32$, $L/L_H = 0.29 \sim 1.00$ 이다. 그리고 횡월류위어 형상에 대한 매개변수 L/L_H 가 포함되어 있으며, 본 연구에서 실험으로 측정된 값을 적용한 계산치와의 절대평균오차는 20.42%로 다소 높게 나타났다. 여기서 L_H 는 횡월류위어의 상단길이 이다. 반면에 Fig. 10에 나타낸 Yoon and Cho (2011)의 유량계수식의 적용한계는 $Fr_u = 0.48 \sim 1.33$, $h/y_u = 0.41 \sim 0.89$, $L/y_u = 1.40 \sim 14.68$ 이다. 본 연구의 실험치를 적용하여 분석한 계산치와의 절대평균오차는 16.73%로 나타났다. 이는 횡월류위어 형상계수 L/L_H 가 포함되지 않아 상대적으로 단순하지만, 오차가 크게 나타

나는 것은 상류 및 사류에 모두 적용가능 한 것에 기인하는 것으로 판단된다.

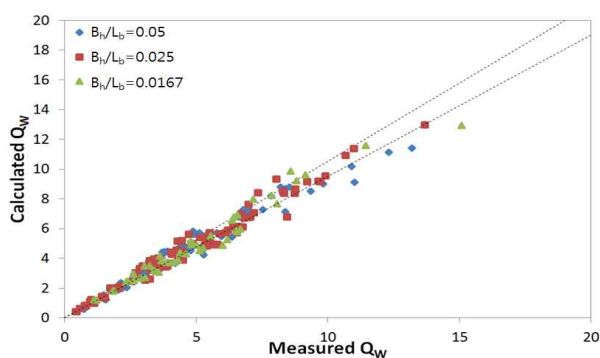


Fig. 8. Comparison Measured Q_w and Calculated Q_w according to Width of Side Overflow Weir

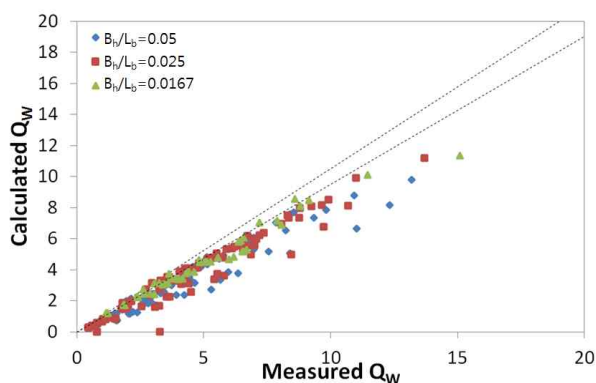


Fig. 9. Comparison Measured Q_w and Calculated Q_w Used to Integrated Flow Discharge Coefficient Equation (Cho, Hong Je & Kang, Ho Seon, 2011)

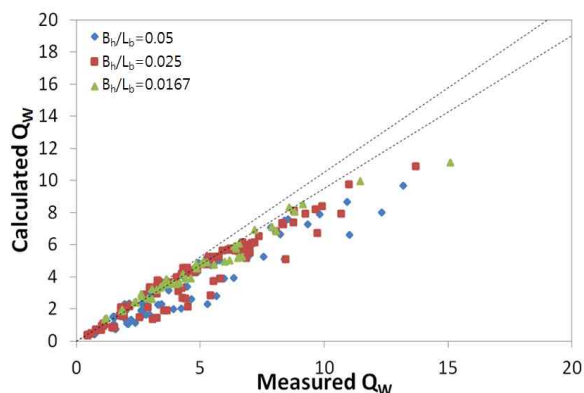


Fig. 10. Comparison Measured Q_w and Calculated Q_w Used to Integrated Flow Discharge Coefficient Equation (Yoon, Yeong Bae & Cho, Hong Je, 2011)

Table 5. Proposed Formulas for Discharge Coefficient

Proposer	Formulas for discharge coefficient	Range	MAPE
Cho, Hong Je & Kang, Ho Seon (2011)	$C_M = 0.741 - 0.692 \frac{h}{y_u} + 0.040 \frac{L}{y_u} - 0.290 \frac{L}{L_H} - 0.007 Fr_u$	$Fr_u = 0.41 - 0.99$ $h/y_u = 0.43 - 0.81$ $L/y_u = 1.42 - 13.32$ $L/L_H = 0.29 - 1.00$	20.42%
Yoon, Yeong Bae & Cho, Hong Je (2011)	$C_M = 0.375 + 0.110 Fr_u - 0.425 \frac{h}{y_u} + 0.031 \frac{L}{y_u}$	$Fr_u = 0.48 - 1.33$ $h/y_u = 0.41 - 0.89$ $L/y_u = 1.40 - 14.68$	16.37%
Park, Moonhyung & Rhee, Dong Sop (2010)	$C_M = 0.4923 - 0.1056 Fr_u - 0.0005 \frac{h}{y_u} + 0.0098 \frac{L}{B} + 0.0047 \frac{W}{(y-d)}$	$Fr_u = 0.06 - 0.54$	10.77%
Ranga Raju (1979)	$C_M = (0.81 - 0.6 Fr_u)(0.80 + 0.1 \frac{y_u - h}{L})$	Broad Crested Weir	37.2%

5. 결 론

본 연구에서는 분류 흐름내에 소규모 보와 같은 수리구조물을 설치하는 경우, 보 상류에 위치하는 사다리꼴 광정형월류 위어의 월류량 개선효과를 수리실험을 통해 확인하였다. 실험에 사용된 위어는 선행연구를 통해 월류량 소통능력이 가장 우수한 것으로 확인된 바 있는 1:1 사다리꼴 형상의 광정형월류위어이다. 위어와 실험수로의 높이는 각각 0.06 m와 0.2 m이고, 보의 높이에 대해 보가 위어로부터 떨어진 거리비는 0.05, 0.025, 0.0167이다. 다양한 수로경사 및 분류 흐름조건으로 실험을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 사다리꼴 광정형월류위어의 하류쪽 분류흐름 내에 보와 같은 소규모 수공구조물을 설치하는 경우, 위어의 월류량이 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 사다리꼴 광정형월류위어 하류에 보를 설치할 때, 분류 수로의 경사가 급할 때 보다 완만한 경우 그리고 보의 설치위치는 위어에 가까울수록 월류량 개선효과가 더 큰 것으로 나타났다.
- 3) 분류 수로의 저면폭에 대한 사다리꼴 월류위어의 저면길이의 비가 1.0, 3.0, 5.0일 때 월류량이 각각 8.9%, 5.9%, 2.5% 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 사다리꼴 월류위어의 저면길이가 작을수록 보 설치 효과가 더 큰 것을 의미한다. 또한 보가 위어에 대한 상대적 위치가 가까울수록 월류량이 8.1%, 5.4%, 3.9% 증가하는 것으로 나타났다.
- 4) 사다리꼴 광정형월류위어에 대한 보의 위치에 따른 매개변수 B_h/L_b 를 포함한 위어의 유량계수식을 제안하였다. 이는 월류량을 개선시키기 위한 새로운 시도이지만 보가 가지고 있는 수질악화 및 퇴사 등 역기능으로 인해 실질적인 적용은 제한적일 것으로 판단된다.
- 5) 실험 수로의 저면폭 변화에 따른 다양한 위어의 제원과 월류량변화 및 유량계수식의 산정 등 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

Borghai, 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 trapezoidal channel." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 117 No. 4, pp. 461-475.

Cho, H.Je., and Kang, H.S. (2011). "An Estimation of Discharge Coefficient Considering the Geometrical Shape of Broad Crested Side Weir." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 44, No. 12, pp. 955-965.

De March, G. (1934). "Essay on the performance of lateral weirs." *L'Energia Elettrica*, Vol. 11, No. 11, pp. 849-860.

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 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, pp. 132.

Kim, D.G., and Kim, Y.G. (2007). "Analysis of the Flow over Broad Crested Side Weir by Using Three-Dimensional Numerical Simulation." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 41, No. 5, pp. 483-489.

Lee, K.L., and Holey, E.R. (2002). Physical modeling for side-channel weirs. CRWR Online Report 02-2, Houston, TX, USA.

Onitsuka, K., Akiyama, J., Mataga, M., and Tsunematsu, T. (2005). Discharge coefficient of side-weir with zero height in subcritical open-channel flows. Abstracts of XXXI IAHR Congress, Seoul, Korea, pp. 2508-2516.

Park, M.H., and Rhee, D.S. (2010). "Development of Discharge Formula for Broad Crested Side Weir." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 43, No. 6, pp. 525-531.

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.

Song, J.W., Park, S.S., and Kim, J.H. (2007). "An Estima-

tion of Discharge Coefficients with the Variations of Side Weir Shape.” *Journal of Korea Water Resources Association, KWRA*, Vol. 40, No. 1, pp. 51-62.

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.

Yoon, Y.B., and Cho, H.J. (2011). “An Estimation of discharge Coefficient for Broad Crested Side Weir.”

Journal of the Korean Society of Civil Engineers, KSCE, Vol. 31, No. 1B, pp. 63-70.

paper number : 14-111
Received : 10 November 2014
Revised : 8 January 2015 / 11 May 2015
Accepted : 11 May 2015