

횡월류예연위어 유량계수에 관한 실험 비교 연구

Experimental and Comparative Analysis about Discharge Coefficient of Sharp-crested Side Weir

이동섭*, 김창완**, 이동기***

Dong Sop Rhee, Chang Wan Kim, Dong Kee Lee

요 지

횡월류위어는 홍수 피해 경감을 위해 계획되는 방수로나 저류지의 유입부에 주로 사용된다. 따라서 이러한 횡월류위어를 통해 방수로나 저류지로 월류되는 월류량을 정확히 예측하는 것은 이러한 시설의 홍수 피해 경감 능력을 예측하는데 있어 매우 중요하다.

횡월류위어를 통해 흐르는 흐름은 매우 복잡하기 때문에 일반적으로 이러한 흐름을 분석하는 것은 매우 어렵다. 따라서 대부분의 횡월류위어 유량계수 공식은 De Marchi의 해석해와 다양한 실험 자료에 근거하여 제시되고 있다. 따라서 지금까지 횡월류위어 유량계수에 대하여 많은 공식이 제안되어 왔지만, 대부분의 공식이 유사한 형태를 가지고 있으며, 횡월류위어의 상류에서의 프루드수(Fr_1)를 제일 중요한 설계 인자로 고려하고 있다. 그러나 최근 횡월류위어에 대한 연구가 점차 발전됨에 따라 횡월류위어 상류에서의 프루드수 외에도 위어 높이와 횡월류위어 상류 수심의 비(h/y), 그리고 횡월류위어의 길이와 본류 폭의 비(L/B) 등이 고려되고 있다. 그 중에서 L/B 의 효과는 점차 중요하게 고려되고 있다. 그러나 대부분의 연구자들이 사용한 실험 장비들은 상대적으로 높은 L/B 조건을 가지는데 반하여, 현재 국내에서 계획되고 있는 천변저류지 등에 설계된 횡월류위어의 설계 범위는 대체로 $1/10 \sim 1/200$ 이므로 기존 연구자들의 실험 범위와 매우 다르다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 상대적으로 폭이 넓은 실험 수로를 이용하여 횡월류예연위어의 유량 계수에 대한 실험을 수행하였다. 지금까지의 실험 결과에 의하면 동일한 실험 조건에 대해서 기존 연구자들에 의해서 제안된 공식으로 계산한 유량계수 보다 측정된 자료를 이용하여 계산한 유량계수의 값이 상대적으로 더 큰 것으로 나타났다.

핵심용어 : 횡월류위어, 유량계수

1. 서론

급격한 도시화로 인하여 기존 하천 유역의 저류 능력이 감소함에 따라 외국에서는 방수로 및 저류지를 이용한 홍수 재해 관리 방안이 이미 오래전부터 활용되어 왔다. 방수로와 저류지는 도시화로 인하여 홍수시 유출량이 증가함에 따라 점차 늘어나는 기존 하도의 부담을 감소시키기 위하여 구조적 홍수 재해 관리 방안으로 이용되는 대표적인 대책으로 방수로 및 저류지에서는 유입부의 설계가 매우 중요하다. 이러한 유입부의 설계의 기초를 이루는 것이 횡월류위어 설계 기술이며, 이러한 시설의 홍수 피해 경감 능력을 예측하는데 있어 매우 중요하다.

실제 설계는 다양한 형태의 횡월류위어를 대상으로 이루어지지만, 본 연구에서는 그 중에서도 횡월류예연위어(sharp-crested side weir)에 대하여 기존 유량계수 공식을 검토하고 기존 연구자들이 이용하였던 실험 수로에 비하여 상대적으로 작은 횡월류위어 길이(L)와 본류 폭(B) 비(L/B)를 가지는 실험 수로를 이용하여 횡월류예연위어 관한 실험을 수행한 후 기존 연구자들의 연구결과와 비교 분석하였다.

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : dsrhee@kict.re.kr
** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원·E-mail : cwkim@kict.re.kr
*** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : ldk9523@kict.re.kr

2. 기존 횡월류예연위어 유량 공식 검토

횡월류위어의 유량계수에 관한 연구는 De Marchi의 연구에서부터 시작하는데(Henderson, 1966), De Marchi는 $S_0 - S_f = 0$, $\alpha = 1$ 즉 $E_1 = E_2 = E$ 로 가정한 후 횡월류위어의 월류량에 대하여 다음과 같이 표현하였다.

$$q = -\left(\frac{dQ}{dx}\right) = \left(\frac{dQ_w}{dx}\right) = \frac{2}{3} C_M \sqrt{2g} (y-h)^{1.5} \quad (1)$$

여기에서, C_M 은 De Marchi 유량 계수라 하며, De Marchi는 다음과 같은 유량계수 식을 제안하였으며,

$$C_M = \frac{3}{2} \frac{B}{L} (\phi_2 - \phi_1), \quad \phi = \frac{2E-3h}{E-h} \sqrt{\frac{E-y}{y-h}} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\frac{E-y}{y-h}} \quad (2)$$

횡월류위어 상하류단(지점 1과 2)의 흐름 조건과 위어 및 본류 수로의 제원으로로부터 차원 해석을 통해 횡월류위어의 유량계수는 다음과 같이 표현된다(그림 1 참조).

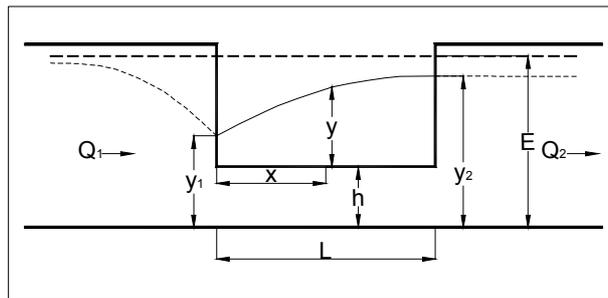


그림 1. 횡월류위어의 주요 설계 인자

표 1. 기존 횡월류예연위어 유량계수 공식

기존 연구자	연도	유량계수식
Subramanya와 Awasthy	1972	$0.864 \left(\frac{1 - F_1^2}{2 + F_1^2} \right)^{0.5}$
Ranga Raju 등	1979	$0.81 - 0.60F_1$
Hager	1987	$0.485 \sqrt{\frac{2 + F_1^2}{2 + 3F_1^3}}$
Cheong	1991	$0.45 - 0.22F_1^2$
Swamee 등	1994	$0.447 \left[\left(\frac{44.7h}{49h + y} \right)^{6.67} + \left(\frac{y-h}{y} \right)^{6.67} \right]^{-0.15}$
Singh 등	1994	$0.33 - 0.18F_1 + 0.49 \left(\frac{h}{y_1} \right)$
Jalili와 Borghei	1996	$0.71 - 0.41F_1 - 0.22 \left(\frac{h}{y_1} \right)$
Borghei	1999	$0.7 - 0.48F_1 - 0.3 \frac{h}{y_1} + 0.06 \frac{L}{B}$

$$C_M = f\left(F_1, \frac{h}{y_1}, \frac{L}{y_1}, \frac{L}{B}, S_0\right) \quad (3)$$

여기에서, B 는 본류의 폭이며, S_0 는 수로의 경사이다. 이 후 대부분의 연구자들은 De Marchi의 이론에 근거하여 실험을 수행한 후 식(3)에 표현된 무차원 변수를 이용하여 직사각형 횡월류예연위어(rectangular sharp-edged side wier)에 대하여 표 1과 같은 유량계수 산정식을 제시하였다.

3. 실험 시설 및 실험 조건

본 실험은 길이 20 m, 높이 1.2 m, 폭 2.0 m의 수로에서 수행하였다. 그림 2에서와 같이 횡월류위어를 수로 시점으로부터 4.5 m 떨어진 지점에 설치한 후 실험 조건에 따라 1.5 ~ 2.0 m 길이의 측정 구간에 대하여 수위와 유속을 측정하였다. 월류량은 보조수로의 끝 쪽에 2.5 m 길이의 유량측정용 삼각위어 박스를 설치하여 측정하였으며, 측정된 월류량은 본수로의 하류에서 3점법으로 측정된 유량(Q_2)과 공급 유량(Q_1)을 상호 검증하여 그 정확도를 확인하였다.

횡월류위어의 유량계수를 결정하기 위해서 총 75가지 실험 조건에 대하여 실험을 수행하였다. 주요 실험 변수는 유입량 Q_1 , 위어 상류 수심 y_1 , 위어 길이 L , 위어 높이 h 로 하여 실험 조건을 변화 시켰으며, L/B 에 대한 실험 범위를 최대한 확보하기 위하여 본류 폭(B)은 금회 실험 수행 중 변화 시키지 않았다.

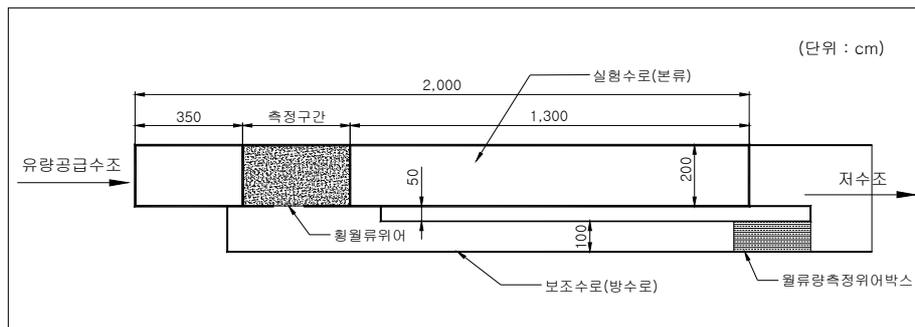


그림 2. 실험 수로 제원

4. 실험 결과 및 분석

Henderson(1966)은 De Marchi의 유량 계수를 설명하면서, 유량 계수 계산 시 위어 위치에서 측정된 수위나 위어에 가장 근접한 위치의 수위를 이용하여 계산하도록 하였으나, 기존 유량 계수 공식들은 대부분 수로 중앙에서의 수위를 이용하여 유량 계수를 계산하였다(Sabramanya and Awathy, 1972; Ranga Raju et al., 1979). 비교를 위해서 실험 결과를 수로 중앙에서 측정된 수위와 위어부에서 측정된 수위, 이 두 가지의 수위를 이용하여 유량 계수를 각각 계산한 후 그래프에 같이 나타내었다(그림 3).

그림을 살펴보면 일부 실험 조건에 대하여 위어부에서 측정된 수위를 기준으로 계산한 유량 계수가 중앙부에서 측정된 수위를 기준으로 계산한 유량 계수에 비해 상대적으로 작은 것을 알 수 있다. 일반적으로 실험을 통해 산정된 유량계수는 위어부 수위를 기준으로 계산한 결과가 상대적으로 더 큰 것으로 기대되며, 본 실험에서도 대체로 이러한 경향이 나타나고 있다. 하지만 실험 조건에 따라 위어부에서 수위 변화는 그 형태가 일정하지 않으며 위어부의 상하단에서 발생하는 위어부의 상하단에서 발생하는 수축(contraction) 효과에 의한 영향을 받는 것으로 생각된다. 따라서 대부분의 기존 연구자들은 상대적으로 위어에서 떨어진 수로 중앙부 수위를 기준으로 유량 계수를 계산한 것으로 보이며 본 연구에서도 수로 중앙부 수위를 이용하여 계산한 유량계수를 기준으로 기존 결과와 비교 하였다.

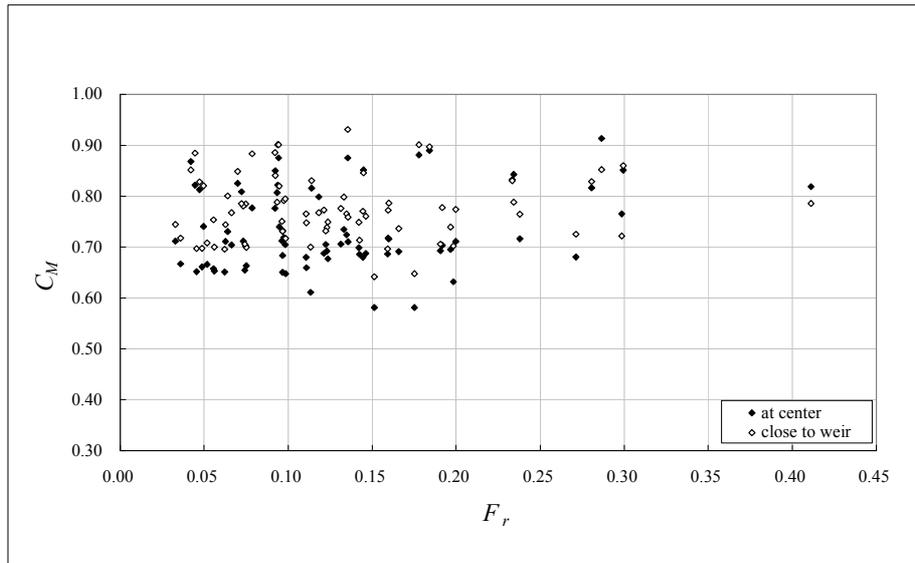


그림 3. 측정 위치에 따른 유량 계수 산정 결과

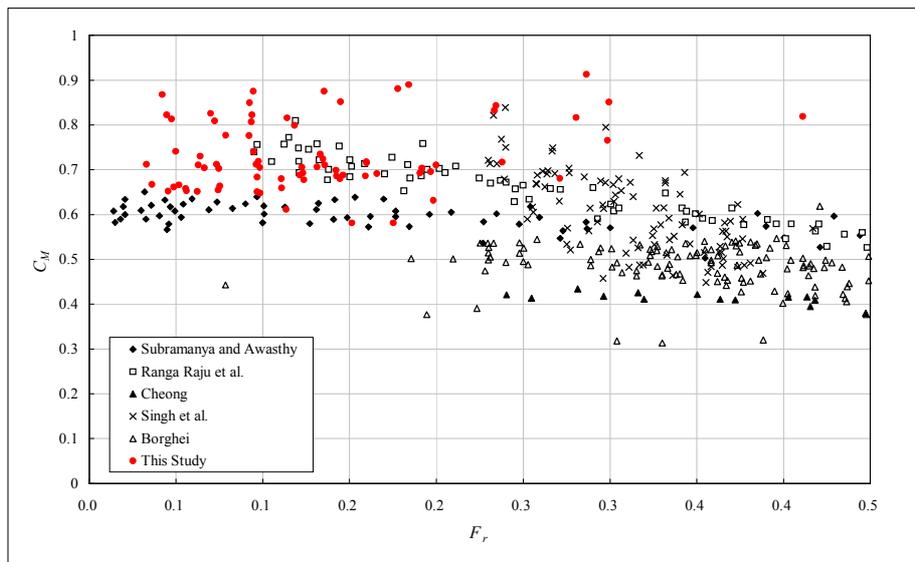


그림 4. 기존 연구 결과와 본 실험 자료와의 비교

상대적으로 작은 L/B 수치를 가지는 본 실험 자료의 특성을 확인하기 위하여 Subramanya와 Awasthy, Ranga Raju 등, Cheong, Singh 등 그리고 Borghei의 실험 자료를 비교하여 그림 4에 나타내었다. 비교 결과 각 연구자들에 의한 실험 결과 역시 상당한 편차가 존재한다는 사실을 알 수 있었으며, 기존에 제시된 유량계수 산정식이 분석한 실험 자료의 특성에 크게 영향을 받는다는 사실을 알 수 있다.

비교 결과 기존 자료에 비하여 본 실험에서 산정된 유량계수들이 비슷한 프루드수에 대하여 더 크게 나오는 것을 알 수 있다. 이것은 본 연구에서 의도한 것처럼 상대적으로 작은 L/B 수치를 가지는, 즉, 상대적으로 분류 수로의 폭이 넓은 실험 조건에 대해서는 유량 계수가 상대적으로 크게 고려되어야 한다는 것을 나타내는 것으로 판단할 수 있다. 하지만 현재 수행한 실험의 조건이 비교적 제한적이므로 이에 대해서는 보다 넓은 범위의 프루드수에 대하여 실험 조건을 확장하여 실험을 수행하여야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 방수로 및 저류지 유입부 설계를 위해서 필요한 횡월류위어 중 횡월류예연위어에 대하여 실험을 수행한 후 실험을 통해 산정된 유량계수를 기존 연구자의 실험 결과와 비교 분석하였다. 기존 연구자들의 실험 결과에 비하여 동일한 프루드수에 대하여 상대적으로 큰 유량 계수를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 위어길이에 비해서 상대적으로 폭이 넓은 수로는 유량 계수가 상대적으로 크다는 것을 반증한다고 생각할 수 있다. 하지만 현재는 실험 범위가 $Fr < 0.5$ 이내로 제한되므로 일반적인 경향을 확인하기 위해서는 보다 넓은 실험 범위에 대하여 실험을 수행한 후 확인하여야 할 것으로 판단된다. 또한 기존 연구 결과를 확인한 결과 실험 결과 간 상당한 편차가 존재하므로 각 실험 결과에 의해서 산정된 유량계수 산정식을 선별적으로 이용하기 보다는 실험 결과를 수집·통합하여 새로운 산정식을 도출하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 이는 이후 계속하여 이루어지는 실험 결과를 보완하여 더 정밀한 연구가 이루어지면 가능할 것으로 판단된다.

감 사 의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2005년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C01)에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

1. Borghei, S.M., Jalili, M.R., and Ghodsian, M. (1999). "Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow." *J. of Hydraulic Engineering*, Vol. 125, No. 10, pp 1051-1056.
2. Cheong, H. (1991). "Discharge coefficient of lateral diversion from trapezoidal channel." *J. of Hydraulic Engineering*, Vol. 117, No. 4, pp 461-475.
3. Hager, W.H. (1987). "Lateral outflow over side weirs." *J. of Hydraulic Engineering*, Vol. 133, No. 4, pp. 491-504.
4. Henderson, F.M. (1966). *Open channel flow*. Macmillan Publishing Co., New York, USA.
5. Jalili, M.R. and Borghei, S.M. (1996). "Discussion of 'Discharge coefficient of rectangular side weirs,' by R. Singh, D. Manivannan and T. Satyanarayana." *J. of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 122, No. 2, pp 132.
6. Ranga Raju, K.G., Prasad, B., and Gupta, S.K. (1979). "Side weir in rectangular channel." *J. of the Hydraulics Division*, Vol. 105, No. HY5. pp. 547-554.
7. Singh, R., Manivannan, D., and Satyanarayana, T. (1993). "Discharge coefficient of rectangular side weirs." *J. of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 120, No. 4, pp 814-819.
8. Subramanya, K. and Awasthy, S.C. (1972). "Spatially varied flow over side-weirs." *J. of the Hydraulics Division*, Vol. 98, No. HY1, pp. 1-10.
9. Swamee, P.K., Pathak, S.K., Moahn, M., Agrawal, S.K., and Ali, M.S. (1994). "Subcritical flow over rectangular side weir." *J. of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 120, No. 1, pp 212-217.