

횡월류 위어의 유량계수에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Discharge Coefficient of Sideweir

여창건* · 김지호** · 이호열*** · 송재우****

Chang Geon Yeo, Ji Ho Kim, Ho Yul Lee, Jai Woo Song

요 지

횡월류 위어는 수로에서 일정한 월류량을 얻기 위해서 또는 홍수시 하천에서 하류의 유량을 감소시킬 목적으로 설치되는 off-line 저류지에서의 구조물이다. 이러한 횡월류 위어의 단면 설계 시 계획 월류량 산정을 위하여 일반적으로 De marchi 공식이 사용되며 De marchi 공식은 유량계수(C_M)와 월류수심의 함수이며, 유량계수는 여러 연구자들이 실험을 통하여 여러 가지 유량계수 공식으로 제시되었다. 하지만 기존의 제시된 유량계수식(C_M)들은 동일한 Froude수에 대한 유량계수(C_M)값이 큰 편차를 보인다. 이는 개개의 유량계수식들이 서로 다른 실험조건에 의한 자료들의 회귀분석으로 산정된 식들이기 때문이다.

본 연구에서는 수리모형실험을 통하여 횡월류 위어의 월류량에 영향을 미치는 유량계수를 산정하고, 기존의 유량계수 공식들과 비교 분석하여 적합한 유량계수식을 제안하였다.

실험은 폭 0.3m의 직선개수로에서 위어의 폭과 유량을 변화 시키며 실험을 반복 수행하였으며, 실험결과 유량계수는 Froude수에 반비례하는 경향을 나타냈다. 산정된 유량계수를 Borghei, Subramanya, Hager, Ranga Raju 공식들과 비교한 결과 Borghei 공식에 의한 계산치와 실험치가 7.5%의 오차를 보이며 가장 근사한 값을 보였다.

핵심용어 : 횡월류 위어, 유량계수, De Marchi 공식

1. 서론

일반적으로 위어는 유량측정과 에너지 소산, 수위의 안정, 홍수소통 등의 목적으로 사용되는 가장 전통적이며 단순한 수리구조물이다. 이러한 위어 중 흐름방향의 측면에 설치된 위어를 횡월류 위어(sideweir)라 하며, 횡월류 위어는 본류 수심이 월류부의 높이보다 높을 경우 위어를 통하여 유수를 월류시키는 구조물이다.

횡월류 위어는 관개배수를 위한 수로에서 일정한 월류량을 얻는 경우와 재해영향평가의 저감대책 중 off-line 방식 저류지에 의해서 홍수조절을 하는 경우, 또는 하수설비 등에서 다양하게 사용되고 있다.

횡월류 위어는 흐름 방향에 수직으로 설치된 일반적인 위어와 달리 흐름 방향에 평행하게 설치되기 때문에 월류량은 본류의 흐름상태, 위어의 길이와 위어에서 하상으로부터의 높이 등에 따라 달라진다. 횡월류 위어의 월류량은 De Marchi 공식이나 실험공식 등이 사용되고 있으나, 국내의 경우 이 식들은 그 근거가 명확히 규명되지 않은 상태 일 뿐만 아니라 기본 가정사항들을 무시한 채 사용하고 있으며, 특히 De Marchi 공식의 유량계수를 횡월류 위어의 특성을 무시한 채 고정된 값으로 사용하고 있어 이에 대한 검증이 필요한 실정이다. 국외의 경우 횡월류 위어에 대한 실험이 지속적으로 수행되었으나 국내의 경우 횡월류 위어에 대한 실험적인 연구는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 수리모형실험을 통하여 횡월류 위어의 월류량에 영향을 미치는 유량계수를 산정하고, 기존의 유량계수 공식들과 비교 분석하여 적합한 유량계수식을 제안하였다.

* 서울시정개발연구원 위축연구원 • E-mail : cgyeo@sdi.re.kr
** 서울대학 토목과 산업체 겸임교수 • E-mail : autocadplus@chol.com
*** 홍익대학교 토목공학과 석사과정 • E-mail : stemming1@hanmail.net
**** 홍익대학교 토목공학과 교수 • E-mail : jwsong@wow.hongik.ac.kr

2. 횡월류 위어의 유량계수

구형 수로에 설치된 구형예연 횡월류 위어의 흐름에 관한 최초의 이론적 연구를 한 De marchi는 단위폭당 횡월류량을 다음과 같이 표현하였다.

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

여기서, q 는 단위폭당 횡월류량, y 는 본류의 수심, w 는 하상으로부터 월류부까지의 높이, C_M 은 유량계수를 나타낸다. 유량계수 C_M 은 본류의 흐름상태(Fr)와 위어의 기하학적 특성인 본류와 위어 길이의 비(L/B), 위어 높이와 위어 상류부에서의 수심 비(w/y)등과 같은 변수의 함수로 알려져 있으며, 여러 연구자들은 실험을 통하여 위의 변수들이 포함된 유량계수식을 제안하였다.

기존의 연구자들에 의하여 제안된 유량계수를 Froude수에 대하여 도시하면 그림 1과 같다. 그림 1에서 보이듯이 동일한 Froude수에 대하여 연구자들이 제안한 유량계수 공식들은 상이한 유량계수 값을 보이고 있다. 이는 각각의 유량계수 공식들이 실험에 의해 얻어진 유량계수들을 회귀분석을 통하여 제시한 유량계수 공식이므로 연구자들이 제안한 식들의 실험조건이나 가정조건이 표 1에서 보인바와 같이 다르기 때문이다.

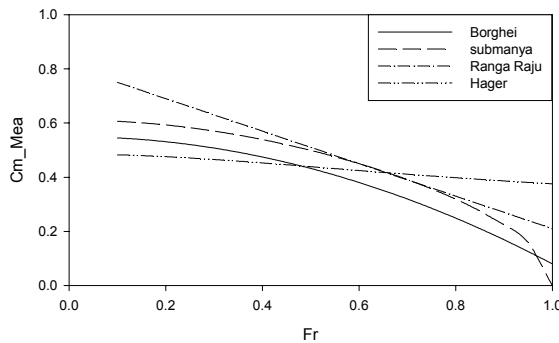


그림 1. 여러 연구자들이 제안한 Froude수에 대한 유량계수의 변화

표 1에서 Ranga Raju의 실험에서는 Froude 수의 범위가 0.1~0.5 인 실험결과에 대하여 산정된 식 이므로 Froude수가 높을 경우에는 공식의 신뢰도가 떨어진다. Subramanya의 실험에서는 L/B 가 4와 7.7이었고, Borghei의 실험에서는 L/B 의 범위가 0.6~2.5로, Ranga Raju의 경우는 0.5와 1.25로 서로 다른 실험 조건에서 산정된 공식이다.

표 1. 유량계수공식 제안자들의 실험 조건 및 공식

제안자	공식	유량 (ℓ/s)	실험수로 (m)	위어길이 (m)	위어높이 (m)	하상경사	Fr수
Subramanya Awasthy	$C_M = 0.864 \sqrt{\frac{1 - Fr^2}{2 + Fr^2}}$	130, 140	0.46×0.46@ 21.3	1.2, 2.3		-	0.02~0.85
Ranga Raju	$C_M = 0.81 - 0.60Fr$	31, 51	0.4(0.6)×0.5 @9.0	0.2, 0.5	0.05~0.25	-	0.1~0.5
Hager	$C_M = 0.485 \sqrt{\frac{2 + Fr^2}{2 + 3Fr^2}}$		0.3m(B)	1.0	0~0.2	0.5~2%	0.3~2
Borghei,	$C_M = 0.7 - 0.48Fr - 0.3 \frac{w}{y} + 0.06 \frac{L}{B}$	35-100	0.3×0.5 @12	0.2, 0.3, 0.45, 0.75	0.01, 0.1, 0.19	-0.5, 0, 0.5, 1.0%	0.1~0.9

3. 수리모형 실험

유량계수 산정실험을 위하여 수로폭 0.3m, 길이 20m의 가변경사 직선개수로에서 수행하였다. 실험에 사용된 횡월류 위어의 제원은 위어 높이 0.05m이며, 위어 길이를 수로폭의 0.5배에서 4배까지 변화시키며 실험을 수행하였고 Froude수 0.43 ~ 0.66의 범위에 대한 유량계수(C_M)를 산정하였다.

실험을 통하여 산정된 유량계수는 그림 2와 같으며, 기존 모든 공식들과 마찬가지로 횡월류 위어의 상류(上流)에서의 Froude수가 증가 할수록 유량계수(C_M)값은 감소하는 경향을 보여주고 있으나, 기존 재해영향 평가에서는 De marchi의 유량계수 값을 0.623으로 고정하여 사용하기 때문에 본류 수로에서 Froude수가 높은 경우 계획 월류량이 과대 산정되어 횡월류 위어 설계시 오류를 범할 수 있다.

따라서 횡월류 위어의 유량계수는 고정된 값을 사용하면 안되며, 제안된 유량계수공식과 같이 Froude수에 대하여 변화하는 값을 사용하여야 하고 기존 공식의 사용시에도 공식이 만들어진 실험조건이나 가정사항 등을 충분히 고려하여야 할 것이다.

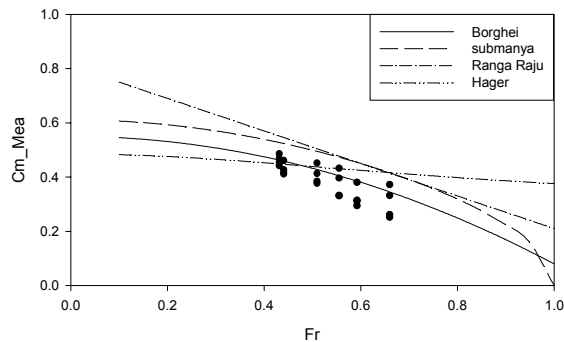


그림 2. Froude수에 따른 유량계수

금회 실험을 통하여 관측된 유량계수와 기존 유량계수 공식들의 상관관계를 알아보기 위하여 Borghei, subramanya, Hager, Ranga Raju가 제안한 유량계수 공식을 이용하여 유량계수와 월류량을 산정하였다. 각각의 공식에 의해 산정된 유량계수와 월류량을 실험에 의한 값과 비교하였다.(그림 3., 그림 4.)

관측 월류량과 계산월류량을 비교한 결과(그림 3.) (b) Subramanya와 (d)Ranga Raju의 공식들은 다소 과대 산정되는 경향을 나타내며, (a) Borghei의 공식이 비교적 잘 맞는 것으로 판단되었다. (c)의 Hager 공식은 그림 2.에서 보인 바와 같이 Froude 수가 증가함에 따라 유량계수(C_M)의 변화량이 작아서 높은 Froude수에 대하여 월류량이 과대 산정되는 경향을 보이고 있으나, (a)의 Borghei 공식은 높은 Froude수에 대하여도 관측 월류량과 비교적 일치하는 경향을 보이고 있다.

관측 월류량과 계산 월류량과의 오차를 절대평균오차를 사용하여 비교하여 보면 표 2.에서 나타낸 바와 같이 Borghei의 공식이 7.5%의 오차를 보이며 가장 작은 오차를 보이고 있으므로 Borghei의 유량계수공식을 사용한 계산월류량이 비교적 정확하다고 판단된다. 절대평균오차 공식은 식(2)와 같다.

$$\text{절대평균오차MAPE}(\%) = \frac{1}{n} \sum \frac{|Q_{mea} - Q_{cal}|}{Q_{mea}} \times 100 \quad (2)$$

여기서 Q_{mea} 는 관측월류량, Q_{cal} 은 계산월류량이다.

그림 4.는 관측 유량계수와 계산유량계수를 비교한 그림이다. (b), (c), (d)의 공식들은 Froude수만을 변수로 한 공식으로 여러 가지 변수($w/y, L/B$)를 사용한 (a)의 Borghei공식에 비하여 관측 유량계수와 차이를 보이고 있다. 특히 (c)의 Hager공식의 경우 Froude수에 대한 유량계수의 변화가 작아서 관측 유량계수와 비교적 큰 차이를 보이고 있다.

표 2. 공식별 월류량 과 유량계수의 MAPE(%) 비교

MAPE(%)	Borghei	subramanya	Hager	Ranga Rju
월류량	7.5	31.2	22.1	33.4
유량계수	7.1	30.7	22.2	32.9

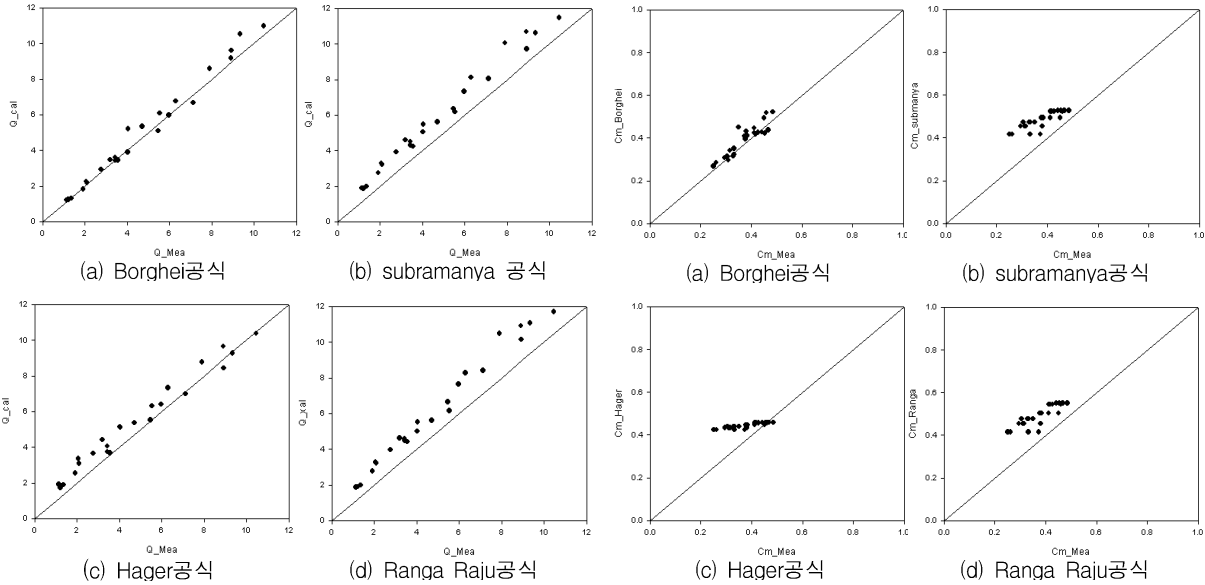


그림 3. 관측월류량과 계산월류량 비교

그림 4. 관측유량계수와 계산유량계수 비교

4. 결론

본 연구에서는 수리모형실험을 통하여 횡월류 위어의 월류량에 영향을 미치는 유량계수를 산정하고, 기존의 유량계수 공식들과 비교 분석하였다. 횡월류 위어공식의 유량계수(C_M)를 분석한 결과 유량계수는 Froude수에 따라 변화하나 국내에서 사용하는 유량계수는 고정값(0.623)을 사용하므로 Froude수가 큰 흐름에서의 계획월류량 산정시 과다 산정하여 횡월류 위어 단면 설계에 오류를 범할 수 있다고 판단된다.

기존의 제시된 유량계수식(C_M)들은 개개의 유량계수식들이 서로 다른 실험조건에 의한 자료들의 회귀분석으로 산정된 식들로 동일한 Froude수에 대한 유량계수(C_M)값이 큰 편차를 보이므로 공식의 사용 시 공식이 만들어진 실험조건이나 가정사항 등을 충분히 고려하여야 할 것이다.

실험을 통한 관측월류량과 Borghei, subramanya, Hager, Ranga Raju의 유량계수 공식을 사용하여 산정한 계산월류량을 비교한 결과 Borghei가 제시하는 유량계수(C_M)가 실험치와 가장 근접한 값을 보였으며, 다양한 인자를 고려한 Borghei의 유량계수 공식의 사용이 타당하다고 판단되며, 추후 더 많은 실험을 통하여 유량계수식의 검증과 분석을 통한 더욱 정밀한 유량계수식의 산정이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. 박태선,(2002), 구형 수로내 횡월류 흐름의 특성. 한국수자원학회논문집, 제35권 제3호 pp. 251-259.
2. Borghei, S. M., Jalili, M. R., Ghodsian, M.,(2000). Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow. Journal of hydraulic engineering, Vol. 125, No. 10: 1051-1056.
3. Hager W. I.,(1987). Lateral outflow over side weirs. Journal of hydraulic engineering, Vol. 113, No. 4: 491-504.