

강변저류지 설계시 유량계수에 따른 홍수조절효과 분석

Analysis of Flood Control Effects according to Discharge Coefficient Change in Designing Washlands

홍상진*, 김서준**, 윤병만***

SangJin Hong, Seojun Kim, Byungman Yoon

요 지

최근 이상홍수로 인한 피해를 예방할 뿐만 아니라 친환경적인 홍수방어대책으로 강변저류지 설치에 대한 요구가 증대되고 있다. 강변저류지는 하도에 집중된 홍수량의 일부를 하천변에 위치한 저류지로 배제시킴으로서 저류지 하류지역에 부담되는 홍수량을 저감시키기 위한 수리구조물이다. 그러므로 강변저류지의 설계에 있어서 홍수조절효과에 대한 정량적인 평가는 반드시 필요하다. 강변저류지의 홍수조절효과는 월류제의 위치, 폭, 높이와 본류 수위변화에 따라 변하는 월류량에 의해 결정된다. 하지만 월류량 산정을 위한 적절한 유량계수 선정 방법 및 범위에 대한 기준이 없기 때문에 강변저류지의 설계 및 치수능력 평가에 많은 어려움이 있다. 이에 강변저류지 월류제의 횡월류 유량계수 선정 방법 및 적정 범위를 결정하기 위한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 강변저류지 설계에 적용 가능한 횡월류 유량계산식들과 유량계수 산정식들을 조사하여 월류량 산정을 위한 기초 자료를 제시하였다. 또한 1차원 부정류 수치모의를 이용하여 실제 설계 사례를 기초로 유입부 제원과 본류 수위를 변화시키면서 횡월류위어의 유량계수와 월류량을 산정 및 비교 분석 하였다. 향후 본 연구 결과와 강변저류지의 부정류 수리실험 결과를 비교 분석하여 좀 더 정확한 강변저류지 홍수조절효과의 산정이 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 횡월류 유량계수, 강변저류지, 홍수조절효과

1. 서론

강변저류지는 하도의 홍수량의 일부(첨두 홍수량)를 일시적으로 저류시켜 강변저류지 하류 지역의 치수능력을 증대시키는 하천변 저류시설을 말한다. 강변저류지는 평수기에 생태 습지 및 친수 공간 등 다양한 토지활용이 가능하여 댐에 비해 환경적이라는 평가를 받고 있어 최근 강변저류지에 대한 관심이 높다. 그러나 강변저류지 치수능력에 대한 정량적평가가 아직 제시되지 못하고 있어 강변저류지의 실용화가 미흡한 실정이다.

강변저류지 홍수조절효과는 저류지 유입부 주변의 흐름 특성과 저류지의 설계 제원에 큰 영향을 받는다. 그러므로 이러한 설계 요소들을 결정하기 위한 명확한 방법론과 기준이 마련되어야 강변저류지 치수능력을 정량적으로 평가할 수 있고, 그 결과를 바탕으로 유역 종합치수계획 등에서 강변저류지를 홍수대응책으로 활용할 수 있으리라 판단된다.

특히, 자연 횡월류형 강변저류지의 경우 월류량 산정에 2개의 불확실 요소를 포함하게 되는데, 하나는 하천의 수위 예측이고 또 다른 하나는 횡월류 유량계수다. 그 중에서 본 논문은 횡월류 유량계수에 대한

* 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail: milopita@paran.com

** 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 박사과정 · E-mail: seojuny@paran.com

*** 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 교수 · E-mail: bmyoon@mju.ac.kr

연구로서 유량계수 산정과 산정된 유량계수의 적용에 대한 문제점들을 지적하고, 유량계수에 따른 홍수조절효과 차이를 분석하였다.

2. 연구 내용

2.1 기존 연구동향

강변저류지 월류량 산정 관련 연구

자연 월류형 강변저류지의 경우 횡월류 위어와 유사한 수리학적 흐름을 보이지만, 제한된 저류용량과 부정류 모의가 필요한 점등에서 근본적인 차이가 발생한다.

최근 국내에서 강변저류지의 홍수조절효과 분석에 대한 연구 결과가 다수 제시되고 있다. 연구 대부분은 횡월류 월류량에 보다는 강변저류지 직 상·하류 간의 침투 유량 또는 수위 차이를 비교 분석하는 연구 및 설계안이 주를 이루고 있다. 그 방법으로는 주로 HEC-RAS 부정류 모의를 통해 홍수조절효과를 분석하였는데, HEC-RAS에서는 유량계수로 상수값을 사용한다. 상수값 가용에 이견이 있을 수 있지만 본 연구에선 적용성 검토차원에서 HEC-RAS를 사용하였다

횡월류 위어 연구

① 횡월류 월류량 산정

일반적으로 본류로부터 횡월류 위어를 통하여 일부의 유량이 흘러나가는 경우, 위어에 의한 비에너지는 일정하다고 가정되거나 $S_f = S_0$ 로 가정된다. 이러한 가정으로 인해 유량이 감소하는 공간 점변류 운동방정식(1)은 횡월류 위어부에서 식 (2)로 변형된다.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f - (\alpha Q / g A^2)(dQ/dx)}{1 - \alpha Q^2 / g A^2 y} \quad - (1)$$

$$= \frac{Q y (-dQ/dx)}{g b^2 y^3 - Q^2} \quad - (2)$$

여기서 S_0 는 등류경사, S_f 는 마찰경사, 에너지 보정 계수 $\alpha=1$, Q 는 하천에 유하하는 유량, A 는 수리수심 y 와 하폭의 곱으로 통수단면이며, 수로는 흐름 방향으로 일정한 직사각형 수로이다.

식 (2)에서 $(-dQ/dx)$ 는 하천에서 감소되는 유량으로 횡월류되는 월류량이다. de Marchi는 일정한

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

유량계수 C_M 을 가정하여 다음 식(3)과 같은 해석해를 구하였다(Henderson, 1966).

여기서에서, C_M 은 De Marchi 유량계수라 불리우며, 이 유량계수에 대해 다음과 같은 식을 제안함.

$$C_M = \frac{3}{2} \frac{B}{L} (\Phi_2 - \Phi_1) \quad - (4)$$

$$\Phi = \frac{2E-3h}{E-h} \sqrt{\frac{E-y}{y-h}} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\frac{E-y}{y-h}} \quad - (5)$$

여기서 식(5)는 De Marchi에 의해 주어진 변화류 함수이다.

일반적으로 횡월류 위어의 월류량 Q_w 를 단면 상·하류의 유량차이로 표현한다면 C_M 을 이용하여 다음 식 (6)과 같이 월류량을 산정할 수 있다.

$$Q_w = Q_1 - Q_2 = \frac{2}{3} C_M \sqrt{2g} \int_0^L (y-h)^{1.5} dx \quad - (6)$$

② 횡월류 유량계수 산정식 연구

횡월류 유량계수 연구를 수행한 연구자들 대부분은 De Marchi 이론에 근거하여 실험을 통해 산정식을 개발 하였다. 실험은 보통 정류 조건에서 실험을 수행되었고 월류턱(h), 월류부 폭(L), 수로 폭(B), 수로경

사(S_o), 수심(y) 등을 이용하여 무차원 변수를 구하고 회귀분석을 통해 다음 산정식들을 제시하였다.

<표 1 기존 연구자 별 유량계수 산정식>

연구자	유량계수 산정식
Frazer (1972)	$0.55 - 0.115 Fr^2 - 0.017 \frac{E}{L}$
Subramanya & Awasthy (1972)	$0.864 \left(\frac{1 - Fr^2}{2 + Fr^2} \right)^{0.5}$
Ranga Raju (1979)	$0.81 - 0.60 Fr$
Hanger (1987)	$0.485 \sqrt{\frac{2 + Fr^2}{2 + 3Fr^3}}$
Cheong (1991)	$0.45 - 0.22 Fr^2$
singh (1994)	$0.33 - 0.18 Fr + 0.19 \left(\frac{h}{y} \right)$
Jalili&Borghei (1996)	$0.71 - 0.41 Fr - 0.22 \left(\frac{h}{y} \right)$
Borghei (1999)	$0.7 - 0.48 Fr - 0.3 \frac{h}{y} + 0.06 \frac{L}{B}$
Rhee 등 (2004)	$0.48 (F)^{-0.01} \left(\frac{h}{y} \right)^{0.32} \left(\frac{L}{B} \right)^{-0.30} \left(\frac{L}{y} \right)^{0.25}$
송재우 등 (2007)	$0.206 - 0.246 Fr + 0.711 \left(\frac{w}{y} \right) + 0.171 \left(\frac{L}{B} \right)$

2.2 HEC-RAS를 이용한 홍수조절효과 분석

가상하도 및 수치모의 조건

자연 율류식 강변저류지를 모의하기 위해 HEC-RAS를 활용한 수치모의를 수행하였다. 지형 구축을 위해 경사 0.002의 가상 하도를 구성하였다. 그 제원 및 개념도는 다음과 같다.

<표 2 가상 하도 제원 및 수치모의 조건>

하도 길이	하도 경사	율류턱 높이[h]	유입부 폭[L]	하폭[B]	첨두 유량
2.6 km	0.002	6.5m	150m	150m	3500CMS

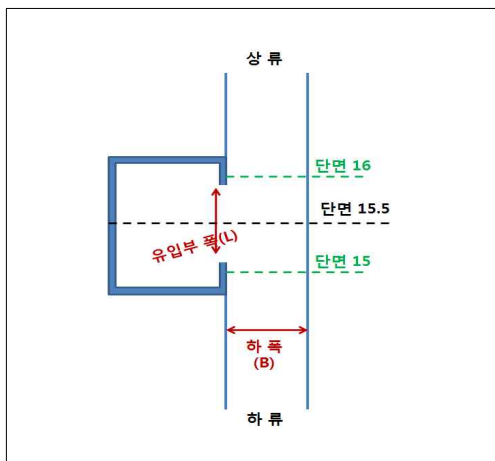


그림 1 평면도

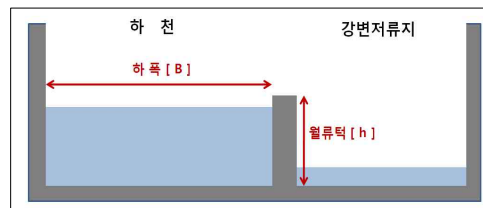


그림 2 단면 15.5의 단면도

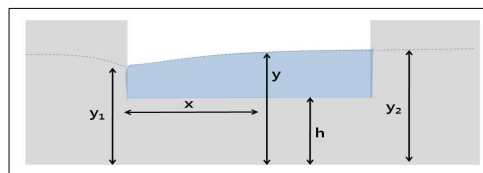


그림 3 저류지 유입부

유량계수 산정

전술된 유량계수 산정식 중 변수가 푸르두 수만으로 이루어진, Subramanya & Awasthy, Ranga Raju 등, Hager, Cheong 의 산정식을 이용하여 실제 하천에서 산출 가능한 범위를 계산하였다. 다른 연구자들

의 산정식의 경우 월류류 위어의 월류턱 높이와 하천 수심의 비를 포함하는데, 강변저류지 설치 목적과 설계자의 의도에 따라 월류턱 높이가 다양하므로 발생 가능한 유량계수 범위를 구할 수 없었다.

<표 3 산정식 별 유량계수 산출>

연구자	Froud number				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Subramanya & Awasthy	0.606	0.593	0.570	0.539	0.499
Ranga Raju	0.750	0.690	0.630	0.570	0.510
Hager	0.486	0.487	0.486	0.481	0.472
Cheong	0.448	0.441	0.430	0.414	0.395

유량계수에 따른 홍수조절효과 비교 1 [free overfall]

강변저류지 월류턱은 5.0 m 부터 8.0 m까지 수행하였으며, 결과를 비교하여 그 중 월류턱 6.5 m, 푸르 두 수 0.3 에서 유량계수를 산정하여 산정식별 홍수조절효과를 비교 검토하였다. 이때 저류용량은 무한이 넓은 공간을 가정하여 완전 월류를 재현하였다.

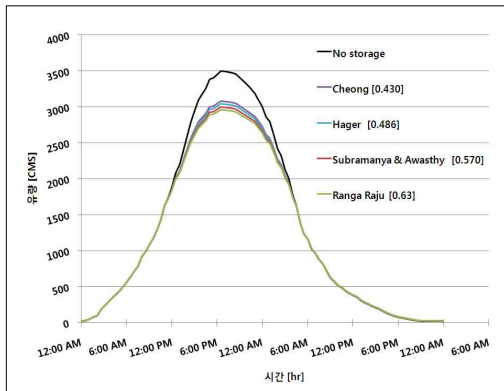


그림 4 산정식 별 홍수조절효과

<표 4 홍수조절효과 비교>

연구자	유량 계수	직하류 침투홍수량 [CMS]	홍수조절 효과
Cheong	0.430	3082.45	11.2%
Hager	0.486	3046.86	12.2%
Subramanya & Awasthy	0.570	2997.96	14.3%
Ranga Raju	0.63	2965.10	15.2%

$$* \text{홍수조절효과} = \frac{\text{저류지 직하류단면의 침투유량}}{\text{저류지 없을 때의 침투유량}} \times 100$$

유량계수에 따른 홍수조절효과 비교 2

저류지 깊이 당 저류용량 1,500,000 m³, 월류턱 높이 7.0 m의 저류지를 구축하였다. 이때 유량계수는 Froude number 0.2에서 Cheong과 Ranga Raju의 산정식을 이용하여 유량계수 0.43과 0.63을 산출하였다.

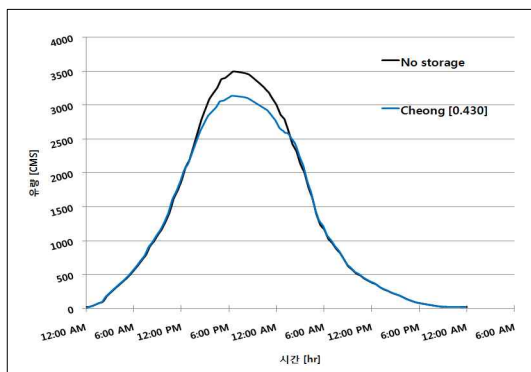


그림 5 Cheong 유량계수 0.43

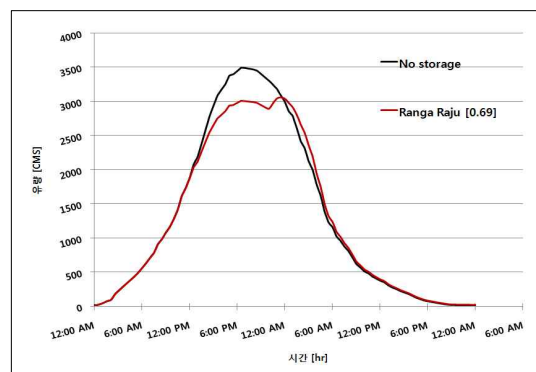


그림 6 Ranga Raju 유량계수 0.69

그림 5)의 경우 저류지 설치 전·후 침투 유량차이가 435.29 CMS이며, 그림 6)의 경우 저류지 설치 전·후 침투 유량차이가 356.13 CMS가 났다. 동일 흐름 조건에서 구한 유량계수가 서로 상이한 값을 나타

남에 따라 홍수조절효과는 약 80 CMS 차이를 보였고, 그림 6)의 경우처럼 잠긴 위어가 발생하는 것도 확인 할 수 있었다.

3. 연구 결과

강변저류지 홍수조절효과 분석은 부정류 수치모의를 수행하여 검토한다. 이 때 시간에 따라 흐름 특성이 변하므로, 표 3)에서처럼 횡월류의 유량계수 또한 변하게 되는데, 현재 HEC-RAS를 이용한 강변저류지 홍수조절효과 분석은 하나의 유량계수를 이용하고 있다. 가령, 그림 6)처럼 잠긴 위어가 발생한다면 분명 유량계수 값도 달라져야 한다. 그러나 HEC-RAS는 이러한 점을 고려할 수 가없다.

특히, 현재 실무에서는 설계에 대한 홍수조절효과 평가시 가장 저류용량을 최대한 활용할수 있는 안을 찾기 위한 방법으로, 잠긴 위어가 발생되지 않는 범위에서 최대의 홍수조절효과를 낼 수 있는 월류턱 높이, 저류 용량 등 설계 제원을 결정하고 있다. 즉, 잠긴 위어 발생 여부를 설계의 기준으로 사용하고있는 셈이다. 그런데 이러한 기준은 그림 5)와 그림 6)의 경우를 보면 어떤 산정식을 사용하느냐에 따라 잠긴 위어 발생 여부가 바뀌므로 명확한 기준이 될 수는 없다.

본 연구 결과 완전 월류시 유량 계수만의 홍수조절효과 차이가 크게 발생하지 않았다. 우선, 민감도가 높은 요소는 아니라고 판단 할 수 있다. 홍수시 하천의 Froud number가 크게 변하지 않는 것을 의미한다. 다른 하나는 이번 연구에서 활용한 유량계수 산정식에는 월류턱, 하폭, 월류부 길이 등 보다 신뢰도 높은 유량계수 산정식을 적용하지 못한데 있다. 무차원 수로 표현되는 전술된 변수들을 포함할 경우 유량 계수의 범위를 구할 수 없었기 때문이며, HEC-RAS 만을 이용한 연구에는 한계가 있었다.

그러므로 수리모형실험을 통해 보다 다양한 산정식에 대해서 그 적용 범위를 제시 할수 있는 연구가 필요하다고 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업(08기술 혁신 F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 송재우, 박성식, 김지호 (2007) “횡월류위어의 형상에 따른 유량계수 추정” 한국수자원학회논문집 제40호 제 1권 pp 51- 61
- 이두한 김창완 (2005) “횡월류 예연위어 월류량 산정 기법” 도시홍수재해관리기술연구 사업단 연구 보고서 FFC05-13
- 이두한 김창완 (2008) “폭이 넓은 개수로에서의 예연 횡월류위어 유량계수 산정” 대한토목학회 논문집 제28호 제5 B권 pp 449 - 458
- Borghai, S.M., Jalili, M.R., and ghodsian, M. (1999). " Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow." J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol.125, No. 10, pp. 1501-1056
- Cheong, H.F. (1991). "Discharge coefficient of lateral diversion from trapezoidal channel." J. Irrig. and Drain. Engrg ASCE, Vol 117, No 4. PP. 461-475
- Chow, V.T. (1959). Open channel hydraulics, McGraw-Hill, New York.
- Henderson,F.M.(1966). Open channel flow, Macmiiian Publishing Co., Inc., New York
- Singh, R., Manivannan, D., and Satyanarayana, T. (1994). "Discharge coefficient of rectangular side weirs." J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, Vol. 122, n. 2, pp132.