여수로 교각형상에 따른 방류능력 개선효과분석 : 수치 및 수리모형실험

Analysis on the Discharge Capacity Improvement of Spillway Pier Type by Numerical SImulation and Hydraulic Model

황종훈*/ 김동영/ 강경석***/ 이영식****/ 최용승*****

Hwang, Jong-Hoon/ Kim, Dong-Young / Kang, Kyung-Seok / Lee, Young-Sik/ Choi, Yong-Sung

요 지

여수로는 방류량 월류시 한계류 상태와 고유속의 사류상태가 복합적으로 일어나는 흐름형태를 가지고 있어 여수로의 방류능력에 대한 평가시 수치해석 및 수리모형 실험을 통해 검증하고 있다.

여수로의 방류능력은 여수로 월류부 전면부 바닥고, 월류부 상·하류 경사, 월류웨어고 뿐만 아니라 교대 및 교각의 형상에 의해 영향을 받는다. 또한 월류웨어부를 지나 사류의 흐름양상을 보이는 천이부의 형상 및 후면 교각의 연장에 따라서도 급경사수로부의 흐름이 급변하게 된다.

국내 대부분의 여수로는 전면부의 교각(Pier)형상이 구조적인 안정성을 이유로 직벽형 설계방법을 일반적으로 채택하고 있으며 국내 및 미개척국(USBR)의 설계기준 또한 여수로 교각과 교대부의 평면 형상만을 고려할 수 있도록 제시하고 있어 국내 대부분의 수리 구조물들이 획일적인 구조물 형상을 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 수치 및 수리모형 실험을 통해 국내 대댐에 설계되어 있는 직벽형태와 본 연구에서 제시하고 있는 켄틸러버형의 교각형상에 따른 여수로의 수리적 흐름양상 및 방류능력을 비교하여 그 효과를 검토하였다. 검토결과 켄틸러버형태의 교각이 설치된 여수로의 경우 직벽형에 비하여 전면부 수위상승 및 흐름교란이 적게 발생하였으며, 방류능력 또한 개선되는 결과를 나타내었고, 후면 교각의 연장이 길고 점차 축소될수록 급경사수로부의 흐름이 안정적인 것으로 나타났다.

핵심용어 : 여수로, 방류능력, 직벽형, 켄틸러버형 교각

1. 서론

여수로의 흐름은 유입부의 한계류 상태와 천이부의 사류 등 복합적인 양상을 가지고 있기 때문에 설계시 많은 어려움이 있으며 고유속의 흐름을 가지고 있기 때문에 구조적으로나 수리적으로 안전한 형태로 설계되어야 한다. 특히 유입부의 흐름은 고유속의 흐름에서 한계류와 천이부가 공존하는 구간이므로 여수로 전체적인 수리적 안정성 및 방류능력에 영향을 줄 수 있다. 따라서 이론적인 접근으로 이를 해석하는 것은 문제가 있다.

여수로의 유입부(접근수로부, 월류부, 천이부)는 접근수로의 바닥고, 월류부 상류 경사, 월류폭,

* 정회원・동부엔지니어링(주) 수자원부 대리・E-mail : hydro-h@dbeng.co.kr

** 정회원・동부엔지니어링(주) 수자원부 과장・E-mail : kdy7305@dbeng.co.kr

*** 정회원・동부엔지니어링(주) 수자원부 이사・E-mail : kskang@dbeng.co.kr

**** 정회원・동부엔지니어링(주) 수자원부 이사・E-mail : lys0505@dbeng.co.kr

***** 정회원・동부엔지니어링(주) 수자원부 전무・E-mail : cyses@dbeng.co.kr

교각의 형상등에 따라서 수리적 흐름 및 방류량이 상이하다. 국내 설계기준에서는 일반적으로 여수로의 월류량을 산정하는 방법으로 아래 식(1.1)과 식(1.2)와 같이 교각의 평면적인 형상에 따른 영향만을 고려하고 있다.

$$Q = C\ L_e\ H_e^{3/2} \quad \cdots\cdots (1.1)$$

여기서, Q : 유량, m^3/s, C : 유량계수, L_e : 웨어 마루의 유효길이(m)

$$L_e = L - 2(NK_p + K_a)H_e \quad \cdots\cdots (1.2)$$

여기서, L : 웨어 마루길이, N : 교각의 수

K_p : 교각 수축계수(사각형 두부 K_p = 0.02, 원형 두부 K_p = 0.01, 창모양 두부 K_p = 0.0)

K_a : 교대 수축계수(사각형 두부 K_a = 0.02, 원형 두부 K_a = 0.01, 창모양 두부 K_a = 0.0)

과거의 경우는 이론적인 설계의 한계를 보완하기 위해서 수리모형실험이 일반적으로 사용되어 왔으나, 점차 수치해석은 수리모형실험의 좋은 대안으로 대두되고 있다(김남일, 2003; 김대근 등, 2004; 김영한 등, 2003; Savage 등, 2001).

본 연구에서는 유입부의 흐름개선 및 방류능력 향상을 위하여 국내에서 일반적으로 설계되고 있는 직벽형의 교각부 형상과 켄틸레버형에 대한 흐름거동 및 월류부 후면의 교각의 연장과 형상에 따른 급경사수로부의 흐름 양상을 수치 및 수리모형 실험을 통하여 상호 비교·검증토록 하였다.

2. 연구방법

2.1 적용사례

본 연구와 같은 사례는 국내의 대댐의 사례는 없는 것으로 조사되었으나, 국외의 경우는 이란과 일본에 적용된 사례가 있다. 그림 1은 이란에서 건설 중인 SHAHRYAR 댐의 수리모형 실험결과를 보여주는 것으로서 교대부 형상을 직벽형과 켄틸레버형으로 구분하여 각각의 수리적 거동 및 방류능력을 검증하였다. 수리모형실험 결과 편류 및 와류의 발생이 현저히 감소하며, 방류능력 또한 개선되는 것으로 모의 되었다.

(a) 직벽형 교대 (b) 캔틸레버형 교대 (c) 방류능력 비교

※ Initial geometry : 직벽형태의 접근수로 측벽(일반적인 교대부형상)
※ Alternative A, B : 국제수리학회 켄틸레버형 형상(A : 51° 경사, B : 60° 경사)

그림 1. 이란 SHAHRYAR 댐 수리모형실험

그림 2는 일본의 적용사례로서 금회연구와 유사한 교각의 형상으로 설계되었으며 수리적인 장점뿐만 아니라 경관에 주안점을 두었다.

상기 적용사례 검토결과 교각의 형상개선을 통해서 수리적 흐름 및 방류능력은 개선뿐만 아니라 경관상 친수공간으로서의 장점을 충분히 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 2. 일본 사례

2.1 수치해석 및 수리모형 실험

수치해석 및 수리모형 실험을 통한 교각형상에 따른 영향 검토하기 위해 연구 적용대상은 치수능력증대사업의 일환으로 계획중인 안동댐 비상여수로를 대상으로 하였다.
표 1은 금회적용한 수치 및 수리모형실험의 범위 및 적용모형, 축적등을 나타낸 것이다.

표1. 수치해석 및 수리모형

수리모형실험	3차원 수치모형
· 검토범위 : 댐 저수지~비상여수로~조정지댐(3.8km) · 관성력, 중력이 흐름지배➡Froude 상사 적용 · 모형축척 : 1/70➡본댐 설계시 수리모형 축척과 유사 (USBR 제시 대댐기준범위 1/30 ~ 1/100 만족) · 모형규모 : 52m×50m	· FLOW-3D (구조물모델링은 CAD와 SolidEdge) · 수위조건 : 저수지수위, 와야천 합류부 수위 · 유량조건 : 여수로 빈도별 방류량 · 벽면경계 : 무활(no slip)조건-상당조도(Chow)
(a) 수리모형실험	(b) 수치모형해석

3. 연구결과

수치해석 및 수리모형 실험 결과를 재현하기 위하여 그림 3과 같이 동일한 규모와 평면형상도 동일한 상태에서 월류부의 전면부와 후면부의 교각의 형상과 연장만 상이하도록 검토조건을 설정하여 비교하였다.

그림 4 ~ 그림 5는 수치 및 수리모형실험의 모의결과로 이란의 SHAHRYAR댐 수리모형 실험결과와 유사하게 켄틸레버형 교각이 직벽형 교각에 비해 편류 발생 및 전면부 수위상승이 작아 흐름교란이 적은 것으로 모의 되었으며, 방류능력은 표 3의 결과와 같이 약 44m^3/s 방류능력이 증대되는 것으로 나타났다.

또한 후면 교각의 연장을 천이부까지 확대 계획한 금회의 연구제시안이 급경사수로에 안정적으로 유하하는 것으로 모의되었다.

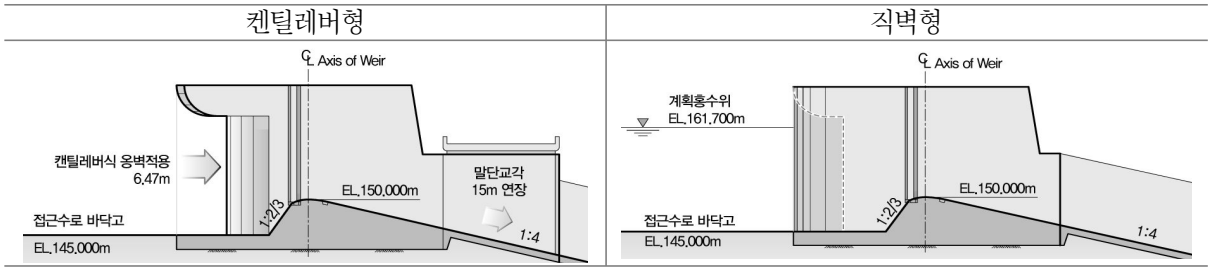

그림 3. 켄틸레버형과 직벽형의 종단형상

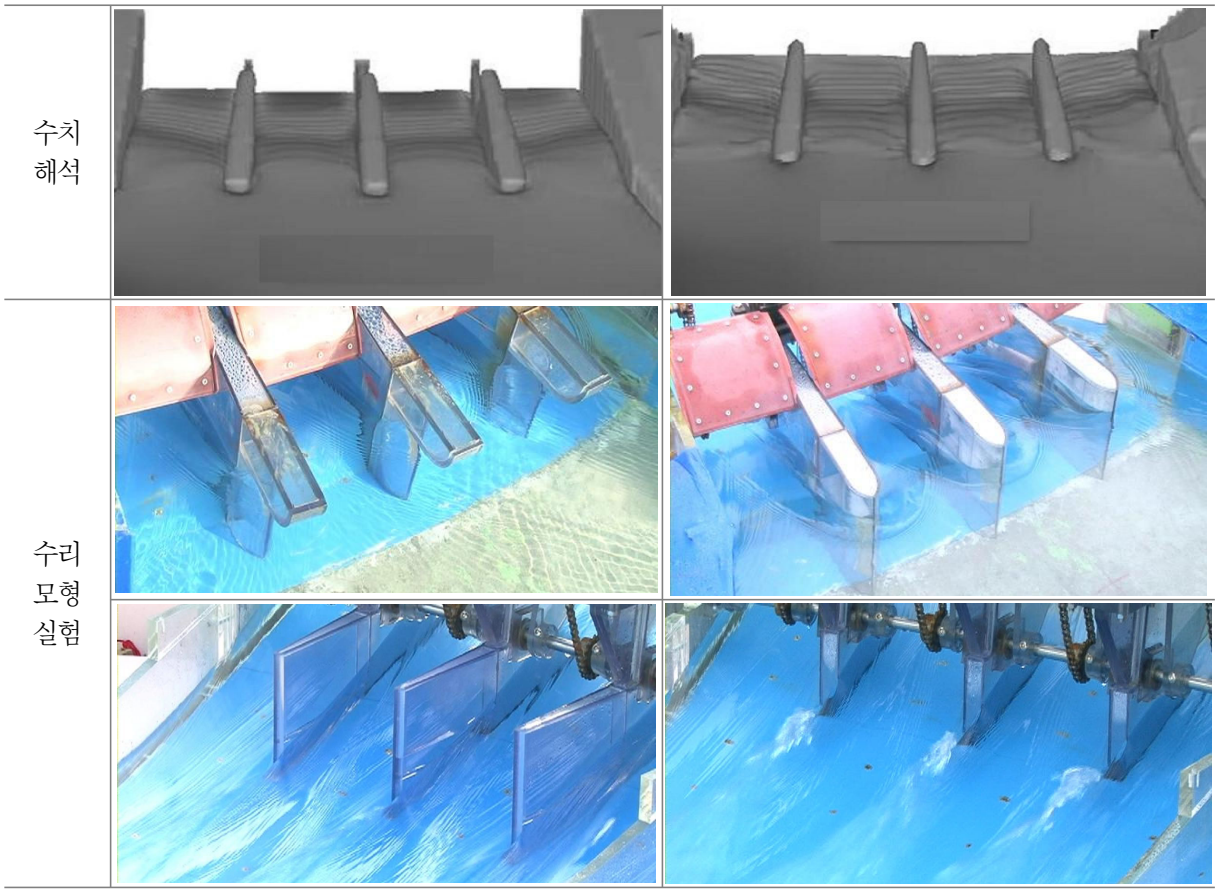

그림 4. 수치해석 및 수리모형실험 결과

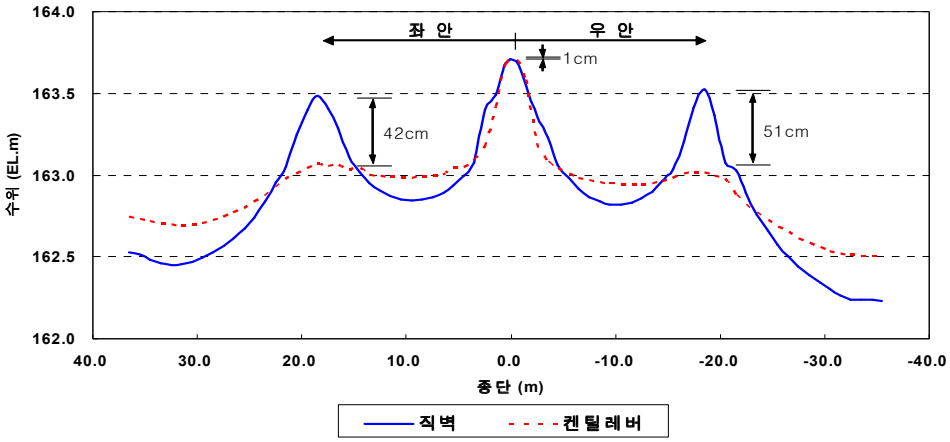

그림 5. 수치해석 및 수리모형실험 결과

표2. 여수로 수문별 방류량

저수지 수위 / 교각형상	EL. 163.9m				
	수문 1	수문 2	수문 3	수문 4	계
직 벽	1,489	1,464	1,466	1,489	5,908
켄틸레버	1,494	1,474	1,486	1,498	5,952

4. 결론

본 연구에서는 여수로의 수리흐름 및 방류능력 개선을 위해 여수로의 교각형상에 따른 수치해석 및 수리모형실험을 실시하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 여수로 전면부의 교각형상을 켄틸레버형으로 계획할 경우 직벽형에 비하여 교각간의 편류와 와류가 미미하게 발생하였으며, 전면부의 수위 상승과 흐름개선의 효과가 우수하여 방류능력 또한 향상되는 것으로 모의되었다.
2) 월류부 후면부의 교각을 천이부까지 연장할 경우 안정적인 상태로 급경사수로부를 유하하는 것으로 나타났다.

향후 고유속의 흐름을 갖는 여수로 설계시 수치해석 및 수리모형 실험의 상호보완·검증의 과정 뿐만아니라 획일화된 수리구조물의 형상개선을 통하여 수리구조적 안정성, 경제성, 경관성 등 종합적인 측면에서 조화를 이룰 수 있는 수리구조물의 새로운 패러다임을 제시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 김대근, 이재형, 서일원 (2004). “교각이 설치된 월류형 여수로에서의 흐름에 대한 수치모의.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제5호, pp. 363-373.
2. 동부건설 (2007). 안동댐 비상여수로 건설공사 수문·수치모형실험 보고서.
3. Causon, D.M., Mingham, C.G. and Ingram, D.M.(1999), "Advanced in calculation method for supercritical flow in spillway channels." *Journal of Hydraulic Engineering,* Vol. 125, NO. 10 pp. 1039-1050.
4. Ven Te Chow. (1986). *Open-channel Hydraulics*, McGraw-Hill book Company.
   Novak, P. Moffat, A.I.B. Nalluri C. and Narayanan R. (2001). *Hydraulic Structures*. Spon Press Taylor and & Francis Group, London and Newyork. pp. 198-205.
5. Roger Reinauer and Will H. Hager(1998), "Supercritical flow in chute contraction." *Journal of hydraulic Engineering*, Vol 124, No. 1, pp.55-64.
6. Remi Martinerie, Jean-Louis Boillart, Anton Schleiss, Atefeh Parvaresh Rizi and Alexandre Wohnlich(2007), "Experimental Study of The Gated Spillway of The Shahryar Dam in Iran" *IAHR.*