

다단배치된 부력식 자동수문의 홍수위조절 성능평가

Performance evaluation for flood water level control of a series of floating type movable weir

한일영*, 최홍식**, 이지행***, 나성민****

요 지

우리나라는 하상계수가 큰 하천의 특성 때문에 년 중 일정한 하천수위를 유지하기 어렵다. 더욱이 지류하천의 중·상류는 갈수기에는 건천화가 발생하곤 하며, 홍수기에는 빠른 유속으로 하류의 홍수위를 상승시키곤 한다. 따라서 지류하천 중·상류에는 수위조절 기능을 가지는 가동보를 설치하여 저류와 분배기능을 부여하고, 수재해 예방에 활용할 필요가 있다. 본 연구에서는 부력·승강식 가동보에 의한 수위자동조절 효과를 금강 지류인 치성천의 중·상류를 대상으로 수문학적 홍수추적 방법을 이용하여 분석하고, 성능구현을 위한 조건들을 검토하였다. 부력·승강식 가동보는 저류와 자동방류 기능으로 홍수기에는 하류의 홍수위 완화에 효과적이었으며, 다단으로 연속 배치할수록 효과는 향상되는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 지류하천의 중·상류, 부력·승강식 가동보, 수문학적 홍수추적, 홍수조절

1. 서론

우리나라는 지형학적, 수문학적 영향으로 하상계수가 큰 하천의 특성 때문에 년 중 일정한 하천수위를 유지하기 어렵고, 지류하천의 중·상류에서 이러한 현상은 더욱 악화되어, 갈수기에는 건천화가 빈번하게 발생하게 되며, 홍수기에는 빠른 유속으로 하류의 홍수위를 상승시키게 된다. 이와 같은 현상을 막기 위해서 고정보를 설치하여 활용하여 왔으나, 토사퇴적으로 인하여 건천화와 홍수위 상승을 더욱 가중시키는 문제가 커지면서, 점차 고정보는 철거되고 여울형 낙차공 혹은 수위조절이 가능한 가동보가 설치되고 있는 추세이다. 그러나 낙차공은 홍수위조절 기능은 미흡하며, 수동수문으로 구성된 가동보는 수문의 개폐시점과 개방도를 판단하여야 하는 불편함이 있다. 본 연구에서는 수문조작 없이 수위자동조절이 가능한 부력·승강식 가동보에 의한 지류하천의 홍수조절효과를 수문학적 홍수추적 기법으로 평가하고, 성능구현을 위한 조건들을 검토하였다.

2. 부력·승강식 가동보

2.1 가동보의 구성

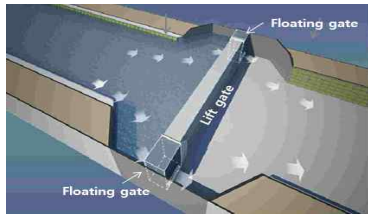
부력·승강식 가동보는 부력식 수문과 승강식 수문으로 구성된다 (그림 1 참조). 부력식 수문은 승강식 수문의 옆에 위치하여 수위자동조절을 담당한다. 부력식 수문 상단에 설치된 센서는 계획홍수위 발생 시 감지하여, 승강식 수문의 완전개방 신호를 제어장치에 전달하게 된다. 승강식 수문은 평시에 저수기능을 가지며, 필요 시 하단개방으로 인한 부유사와 소류사의 배출용으로 사용하며, 홍수 시에는 완전 승강하여 홍수 유출량이 원활히 소통되도록 한다.

* 정회원 · 삼화건설환경(주) 부사장 · E-mail : iyhan101@naver.com

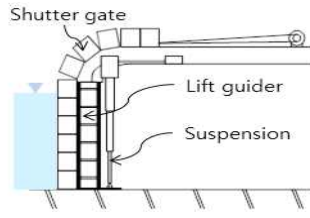
** 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학화 교수 · E-mail : hsiikchoi@sangji.ac.kr

*** 정회원 · 삼화건설환경(주) 과장 · E-mail : easyh89@sangji.ac.kr

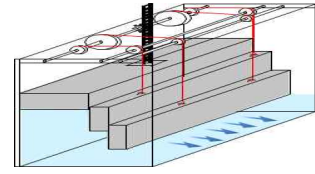
**** 비회원 · 삼화건설환경(주) 회장



a) 부력 승강식 가동보



b) 승강식 수문



b) 부력식 수문

그림 1. 부력 승강식 가동보의 구성

2.2 부력식 수문의 수위자동조절 개념

설정된 관리수심 y_m 에 도달하기 전까지는 부력의 크기 F_B 는 부력식 수문의 무게 W_g 보다 작은 상태이다 (그림 2a 참조). 관리수심에서는 부력의 크기 F_B 는 부력식 수문의 무게 W_g 와 같게 되며, 이때까지 수문은 개방되지 않는다 (그림 2b 참조). 이후 유량이 증가하면, 부력식 수문이 개방되면서 방류가 시작된다 (그림 2c 참조). 이때 수문개방도 y_g 는 관리수심 y_m 에서 증가된 수심 Δy 와 같다. 다시 유량이 감소하여 관리수심에 이르면 수문은 닫히게 되고, 방류는 중단되어 관리수위를 유지하게 된다 (그림 2b 참조).

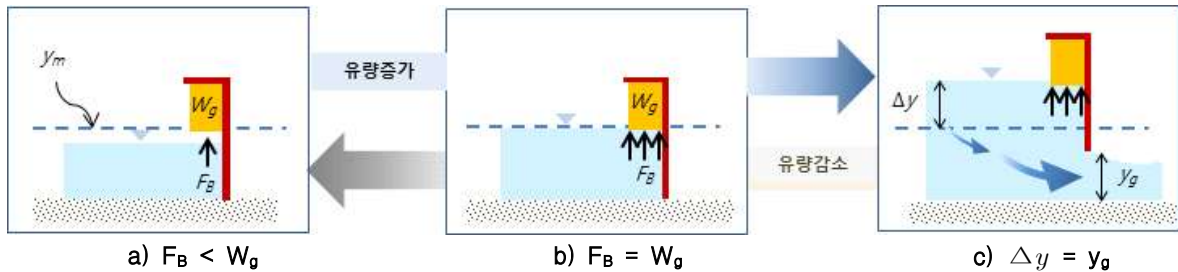


그림 2. 부력식 수문의 수위자동조절 개념도

3. 저류량과 유출량 산정

3.1 저류량 산정

저수지나 하도에서의 수심에 따른 저류량 관계는 수로형상에 따라 수심별 단면적을 구한 후, 구간거리를 곱하여 저류량을 구할 수 있다 (김경호, 1998).

3.2 유출량 산정

3.2.1 고정보 (사각웨어+여수로)

본 연구에서 고정보는 여수로와 사각웨어 복합구조로 구성되며(그림 3a, 3b 참조), 유출량 계산식은 각각 식 (1), 식 (2)와 같다 (Bruner, 2016).

$$O = C_d L H_e^{1.5} \quad (1)$$

$$O = C_d \frac{2}{3} 2g b H^{1.5} \quad (2)$$

여기서, O 는 유출량, C_d 는 유량계수, L 는 여수로의 길이, H_e 는 접근유속을 포함한 총 에너지 수두이다. 여수로의 C_d 는 접근유속을 무시할 경우 2.21이다.

사각웨어의 유량은 $C_d = 0.623 \left[1 + 0.26 \left(\frac{H}{H+H_d} \right)^2 \right]$ (Swamee, 1992) 이며, H_d 는 사각웨어의 마루 높이, b 는 사각웨어의 폭, H 는 사각웨어의 율류수심이다.

3.2.2 연직수문 (Sluice gate)

연직수문을 통과하는 유출량은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다 (Redi, 2009) (그림 3c 참조).

$$O = C_d b y_g \sqrt{2g y_1} \quad (3)$$

여기서 O 는 유출량, b 는 수문의 길이, y_g 는 수문개방도, g 는 중력가속도, y_1 은 상류수심, C_d 는 유량계수이며, $C_d = 0.5235 \left(\frac{y_g}{y_1} \right)^{-0.0742}$ (2010, 이경지)을 적용하면 수심과 수문개방도의 비율에 따른 유량계수를 구할 수 있다.

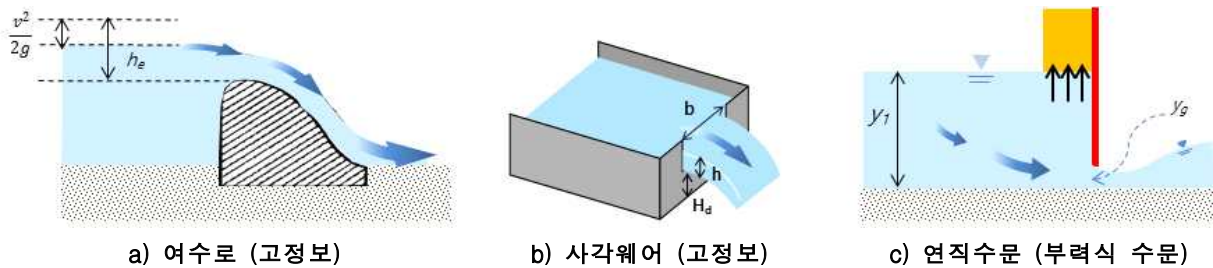


그림 3. 유출량 산정을 위한 여수로, 사각웨어, 부력식 수문의 개념도

4. 홍수추적

4.1 연구대상 지역 및 추적구간

연구대상 유역은 충청남도 청양군 일원에 위치한 금강 지류인 치성천의 중 상류인 대박지구이다. 대박지구가 포함된 청양군의 최근 10년간 평균 홍수피해 금액은 46억원으로 조사되었으며, 2004년 집중호우로 인한 피해가 가장 큰 것으로 나타났다. 홍수추적 구간은 통미보 (No.41) 구간부터 상류방향의 서정보(No.49+14), 상평보 (No.57+10)의 총 2.5 km 구간이며, 유역면적은 8.8 km², 하천 폭은 28.9 ~ 44.0 m 이다.

4.2 홍수위조절 성능평가 방법

- 1) 대상유역의 홍수량을 산정하고, 추적시간 간격 Δt 를 결정하여 유입수문곡선을 구한다.
- 2) 연속방정식과 수위-저류량과 수위-유출량 관계식을 이용하여 미지변수인 추적시간별 저류량과 수위를 구하고 유출량과 수위에 대한 수문곡선을 작성한다.
 - Weir가 설치되어 있는 구간은 저류지시법을 사용한다.
 - Weir가 설치되어 있지 않은 구간은 Muskingum 하도추적방법을 사용한다.
- 3) 유출수문곡선으로부터 유입 첨두유출량과 마지막 구간의 첨두유출량의 저감정도와 지체시간을 비교하여 고정보와 부력식 자동수문의 1개소 배치 및 3개소 배치 경우의 홍수위 조절성능을 평가한다.

4.3 유입수문곡선

유입수문곡선은 SCS 합성단위유량도와 1시간 지속기간의 10분 구간별 유효우량을 산정하여 홍수량을 구하고, 추적시간 간격을 5분으로 하여 작성하였다. 유효우량은 50년 빈도의 확률강우강도식 (충청남도, 2008)으로 부터 강우강도와 강우량 분포를 구한 후에 수문학적 유출계수를 적용한 유역의 손실량을 계산하여 구하였다.

4.4 유출수문곡선

4.4.1 고정보 (현재)

통미보 구간 (No.49+14 ~ No.41)에서 하류로의 유출량은 184.5 m³/s로서, 유입 첨두홍수량 대비 불과 4.8 m³/s 감소하여 2.5%의 저감율을 보였으며, 지체시간은 5분 이내이고, 홍수위 수심은 1.8 m 증가하는 것으로 계산되어 홍수조절 효과는 전혀 없었으며, 홍수위를 상승시키는 것으로 나타났다 (그림 4a 참조).

4.4.2 자연하도 (고정보 철거)

구간 최하류로의 유출량은 182.3 m³/s로서, 유입 첨두홍수량 대비 7.0 m³/s 감소하여 3.7%의 저감율을 보였으며, 지체시간은 5분 이내이고, 홍수위 수심은 0.83 m 증가하는 것으로 계산되었다. 홍수위 상승은 약간 감소되었으나, 첨두 유출량은 유입 첨두홍수량과 큰 차이가 없는 것으로 계산되었다 (그림 4b 참조).

4.4.3 부력식 자동수문 1개소 배치

하류 유출량은 147.7 m³/s로서, 유입 첨두홍수량 대비 41.6 m³/s 감소하여 22%의 저감율을 보였으며, 지체시간은 15분이고, 홍수위 수심은 2.4 m 증가하는 것으로 계산되어, 홍수조절 효과는 고정보와 자연하도 대비 양호하게 나타났다 (그림 4c 참조).

4.4.4 부력식 자동수문 3개소 연속배치

하류 유출량은 126.8 m³/s로서, 유입 첨두홍수량 대비 62.5 m³/s 감소하여 33%의 저감율을 보이며, 지체시간은 25분이다. 홍수위 수심은 2.11 m 증가하였으나, 전 구간에서 제방 여유고 범위를 만족하여, 연속 3단배치의 홍수조절 효과가 가장 양호한 것으로 나타났다 (그림 4d 참조).

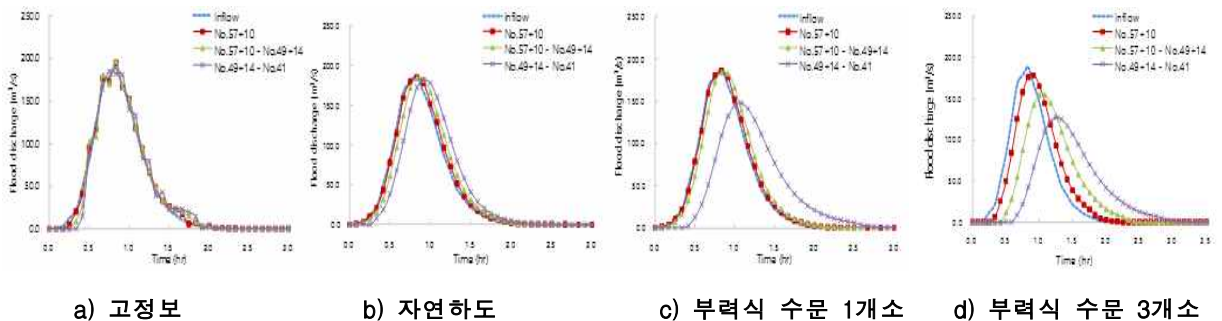


그림. 4. 유입 및 유출수문곡선

5. 수위조절 성능구현을 위한 조건

부력·식 자동수문은 유량이 증가하면 저류량이 증가할뿐 아니라, 유량과 연동한 수문 개방으로 유출량도 증가함을 확인하였다. 다단배치 시에는 연속적인 구간 저류로 인하여 홍수조절 효과가 배가됨을 알 수 있었다. 본 연구 대상구간에서 수위자동조절 성능을 구현하기 위한 부력식 강제수문의 수리학적 제원은 지지대와의 마찰하중을 무시할 경우, 관리수심을 0.3 m으로 설정 시, 길이는 최대 6.0 m/개소, 두께는 7.5 mm, 무게는 3.6 kg가 됨을 알 수 있었다.

6. 결론

부력식 자동수문은 홍수기 침투유출량의 저감과 지체시간이 고정보 대비 크게 나타났으며, 다단으로 배치할수록 효과는 배가되어, 하류구간의 홍수위 완화에 더욱 효과적인 것으로 평가되었다. 이러한 효과는 하단배출형 수문의 저류영역이 월류형보다 크고, 유량과 연동된 자동방류 특성에 따라 저류와 분배가 이루어지는데 기인하는 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비 지원 (과제번호15AWMP-C104709-01)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 김경호 (1998), 수리학, pp. 65-67, pp. 432-434, pp. 444-445, pp. 495 보성각.
2. 선우중호 (1983), 수문학, pp. 163, pp.147-149, pp. 188-192, pp. 280-284. 동명사
3. 이경지 (2010), 연직수문에서 개방도와 상·하류 수심에 따른 유량계수에 관한 연구, 석사학위논문, 연세대학교.
4. Bruner, G.W. (2016), *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual*, CPD-69, US Army Corps of Engineers, Hydraulic Engineering Center, pp. 8.12-13.
5. Swamee, P.K. (1992), Sluice-gate discharge equations, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 118(1), pp. 56-60.
6. Redi, S. (2009), Flow under a sluice gate, Water Resources Engineering Laboratory, Dept. of Civil Construction and Environmental Engineering, The University of Alabama.
7. 충청남도 (2008), 치성천 기본계획보고서, No. 4, pp. 3-78.