하상재료와 경사에 따른 경사형낙차공 실험연구

Experimental Study on Bed Material and Slope in Sloping drop Structures

여홍구* / 강준구** / 김성중***/ 윤병모****

Hong Koo Yeo, Joon Gu Kang, Sung Joong Kim, Byung Mo Yoon

요 지

낙차공(drop structure)은 치수목적의 하천정비를 위한 주요 수공구조물이다. 하지만 국내외적으로 환경을 고려한 하천공법이 요구되면서 고낙차로 인해 발생하는 수중생물의 단절은 기존 낙차공의 큰 문제로 대두되었다. 이에 기존 고낙차를 이용한 낙차공 보다는 완만한 경사를 가지는 낙차공을 설치함으로써 기존 낙차공에 의해 단절되었던 어류의 이동통로로서의 역할과 주변 경관개선을 위해 설치하고 있는 구조물이 필요하였다. 본 연구는 위와 같은 필요성에서 시작되었으며 완경사 낙차공을 경사형 낙차공이라 정의하고 조건에 따른 흐름특성을 수리실험을 통해 분석하였다. 연구내용은 경사형 낙차공의 경사조건과 하상재료의 입경에 따라 발생하는 에너지 소산에 따른 효율과 구조물 하류부 도수현상에 대한 것으로 이를 통해 경사형 낙차공 조건에 따른 흐름특성을 파악하였다. 수리실험은 폭 0.6m, 길이 20.0m 인 가변경사수로에서 수행하였으며, 하상재료는 크기에 따라 2가지 입경(16mm, 25mm)의 재료를 선정하였고, 구조물 경사에 대해 각각 1V:2H, 1V:3H, 1V:4H, 1V:6H의 경사도를 가지는 모형을 제작하여 실험을 수행하였다. 유량조건 및 도수발생위치는 유입부 수위에 따라 단계별로 4가지 수위조건을 만족시키는 유량을 통수하였고, 하류부 수위를 조절하여 도수위치를 조절하여 유입부(1), 낙차공부(5), 사류부(1), 하류부(1)에 대하여 총 8개 지점을 선정하여 수위(y_n) 및 유속(V), 도수길이(Lr), 도수발생거리(Lj) 등을 측정하였다.

핵심용어: 경사형낙차공, 에너지소산

1. 서 론

우리나라 강우특성을 살펴볼 때 여름철 집중되는 강우에 대한 하천의 홍수조절은 매우 어려우며 해결해야할 주요 문제 중 하나이다. 특히 최근 발생하는 이상강우는 그에 대한 필요성을 가중시키고 있는 실정이다. 현재 대규모 하천구조물의 건설은 사회적, 환경적, 경제적 등 쟁점화 되는 경우가 많아 환경영향 평가 등의 각별한 검토가 필요한 것도 사실이다.

낙차공(drop structure)은 치수목적의 하천정비를 위한 주요 수공구조물이다. 하지만 국내외적으로 환경을 고려한 하천공법이 요구되면서 고낙차로 인해 발생하는 수중생물의 단절은 기존 낙차공의 큰 문제로 대두되었다. 이에 기존 고낙차를 이용한 낙차공 보다는 완만한 경사를 가지는 낙차공을 설치함으로써 기존 낙차공에 의해 단절되었던 어류의 이동통로로서의 역할과 주변 경관개선을

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 E-mail : yeo917@kict.re.kr
** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 E-mail : jgkang02@kict.re.kr
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 E-mail : jinx9482@kict.re.kr
**** 비회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임기술원 E-mail : bmyoon@kict.re.kr

위해 설치하고 있는 구조물이 필요하다. 본 연구는 위와 같은 필요성에서 시작되었으며 완경사 낙차공을 경사형 낙차공이라 정의하고 경사조건과 하상재료의 입경에 따라 발생하는 에너지 소산에 따른 효율과 구조물 하류부 도수현상에 대한 낙차공 조건에 따른 흐름특성을 수리실험을 통하여 분석하고자 한다.

Rice et al(1998)등은 경사진 수로위에 느슨하게 놓여진 사석실험을 통해 Manning 과 Darcy-Weibach의 조도계수와의 관계를 과거 Abt et al(1987)에 의해 수행되었던 평균입경이 26 ~ 157 mm이고 수로경사가 0.01 ~ 0.2의 범위를 가지는 실험데이터와 결합하여 새로운 식을 제안하였다. Pagliara et al(2006)은 경사블록을 이용하여 3가지 경사를 가지는 수로실험을 통해 입경에 따른 축척효과를 통해 이를 상대손실과 수심비의 항목으로 비교하였다.

2. 모형실험

2.1 실험장비 및 시설

경사형 낙차공의 실험은 폭 0.6m, 길이 20.0m의 제원을 가지는 가변경사수로에서 수행하였다(그림 1, 2). 실험에서 사용된 유속측정장비로는 경사부와 사류부 수심확보가 어렵다고 판단되어 1차원 유속계(VO1000, KENEK)를 사용하였으며, 수위측정장비로는 수위측정계(PH-355, KENEK)를 사용하여 측정하였다. 낙차공 모형은 그림 3 과 같이 높이 0.2m, 마루부 길이가 0.3m 이고, 각각 네 가지 경사(1V:2H, 1V:3H, 1V:4H, 1V:6H)를 가지는 모형을 목재로 제작하여 설치하였다. 경사형 낙차공모형에 사용된 피복재료로는 직경이 각각 16mm, 25mm의 크기를 가지는 유리구를 사용하였다.

그림 1. 실험수로전경

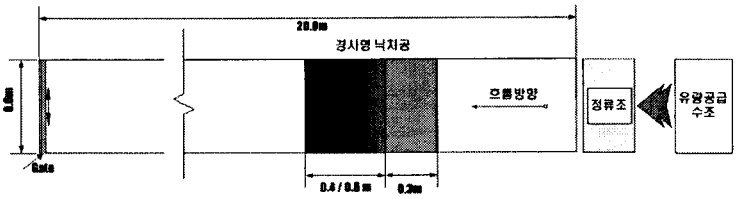

그림 2. 실험수로제원

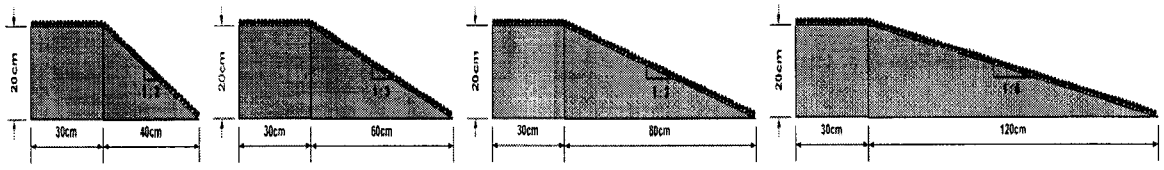

그림 3. 경사형 낙차공 모형 단면도(경사도 1V:2H, 1V:3H, 1V:4H, 1V:6H)

2.2 실험조건 및 방법

경사형 낙차공 실험은 Q=0.03977 ~ 0.00762 cms 의 범위내의 유량조건에서 수행하였다. 두 가지 균등한 입경의 하상재료와 경사조건(1V:2H ~ 6H)에 대하여 유입부 수위를 변화시키는 실험조건으로

총 32가지 경우에 대하여 실험을 수행하였다. 그림 4 는 경사형 낙차공을 월류하는 흐름특성을 나타내는 개요도이다. 유량조건 및 도수발생위치는 유입부 수위에 따라 단계별로 네가지 수위조건을 만족시키는 유량을 통수하였고, 하류부 게이트를 조절을 통하여 변화되는 도수위치에 따라 그림 5 와 같이 유입부(1), 낙차공부(5), 사류부(1), 하류부(1)에 대하여 총 8개 지점을 선정하여 수위(y) 및 유속(V), 도수길이(Lr), 도수발생거리(Lj) 등을 측정하였다.

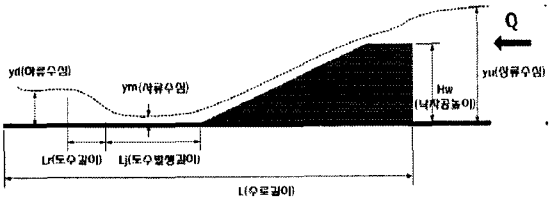

그림 4. 흐름특성개요도

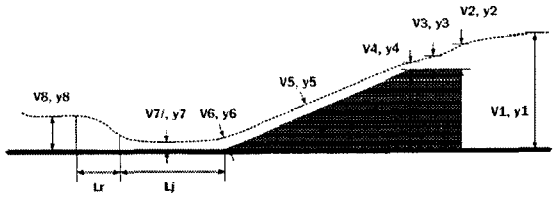

그림 5. 측정위치도

3. 실험결과

낙차공을 월류하여 흐르는 흐름은 경사의 연결점 부근에서 한계수심을 통과하게 되며 한계수심보다 작아진 흐름은 상류상태에서 사류흐름으로 전환된다. 이 때 발생하는 한계수심에서 그 에너지가 최소가 된다. 본 연구에서는 경사형 낙차공 조건인 경사, 경사부 조도(입자 크기), 웨어 끝단 및 경사부 끝단 등의 영향을 상하류 수위와 에너지수두를 이용하여 분석하였다. 거리에 따른 에너지수두($\frac{V^2}{2g}+y$)는 낙차공의 경사와 입경에 관계없이 경우 유량이 감소할수록 작아지는 경향을 보이고 있으나 낙차공의 끝단부에서 에너지감소의 차이가 발생하였다.

낙차공하류의 수위는 도수 후 수위와 함께 도수영향 및 설계조건의 주요 인자이다. 경사면을 타고 내려오는 사류흐름은 등류흐름으로 흐르는 하류흐름과 연결되는 부근에서 흐름상태가 전환된다. 이 때 도수가 발생하게 되고 상당한 에너지 손실이 발생하게 된다. 그림 6 은 경사조건에 따른 유입부 수위(y_u)와 사류부 수위(y_m)에 대해 낙차공의 높이(H_w)로 평균화 되어진 그림으로서, 낙차공 높이에 대한 유입부의 수두가 증가할수록 상대적으로 사류부 수두 또한 증가하는 경향을 보이고 있다. 포설입경에 따라서는 비교적 큰 입경인 25 mm 유리구로 포설되어 있는 경사형 낙차공은 경사가 완만해 질수록 사류부 수두가 낮아지고 있었으나, 이에 반해 작은 입경인 16 mm 유리구로 포설되어 있는 경사형 낙차공은 경사가 낮아질수록 사류부 수두가 증가 하고 있었다. 한계수심비(y_c/H_w)에 대한 경사형 낙차공의 끝단부에서의 상대손실은 다음식에 따른다.

$$\Delta Er=\frac{\Delta E}{E_0}=1-\frac{ycos\alpha+y_c^3}{1.5y_c+H_w} \qquad \text{(Chanson, 1994)}$$

여기서, α는 경사각, y는 등류수심, y_c는 한계수심 그리고 H_w는 낙차공 높이이다.

그림 7 은 한계수심비에 대한 상대손실의 분석결과로서 경사형 낙차공 높이에 대한 한계수심비가 증가할수록 상대손실은 감소하고 있으며, 입경차에 대한 에너지 소산의 차이는 수심비가 증가할수록 상대적으로 입경이 큰 D25의 감소폭이 D16 보다는 적다는 것을 알 수 있다. 그림 8 은 경사에 대하여 비교한 그림으로서 경사가 급해질수록 상대손실은 서서히 증가하고 있음을 알 수 있다.

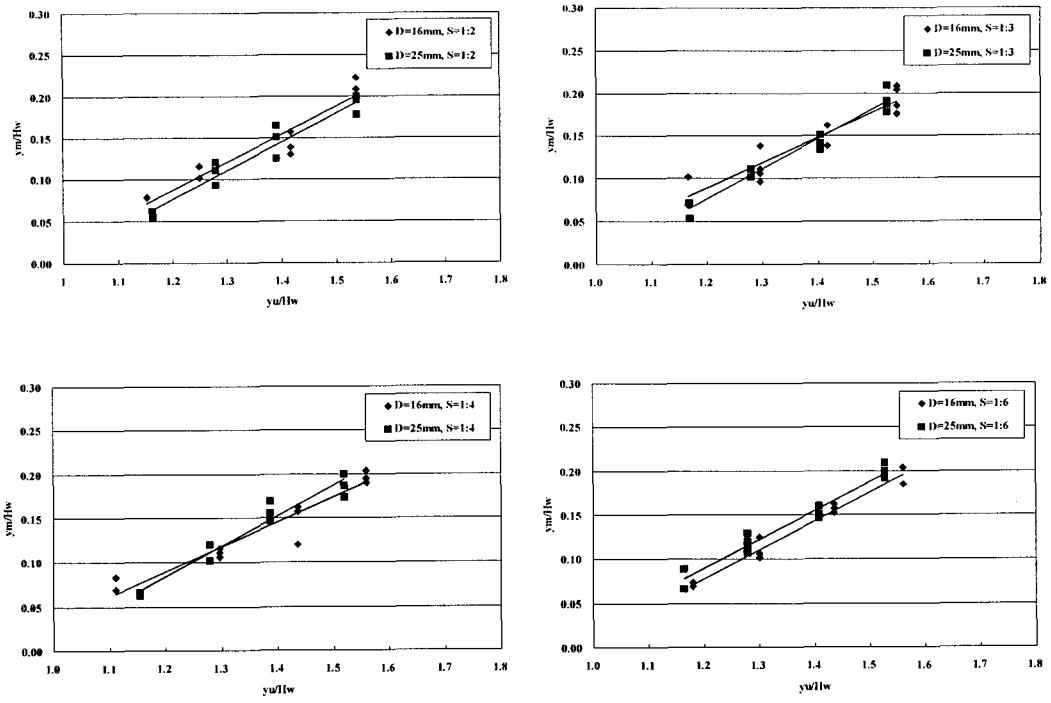

그림 6. 경사에 따른 낙차공높이에 대한 상/하류 수위변동

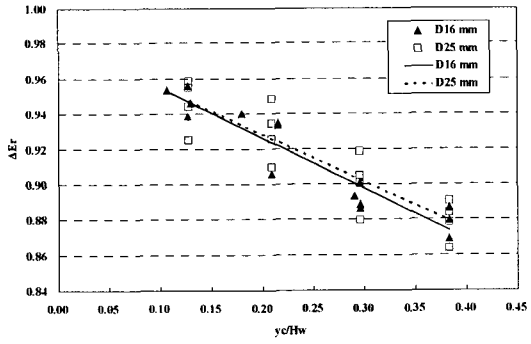

그림 7. 한계수심비에 대한 상대손실과의 관계

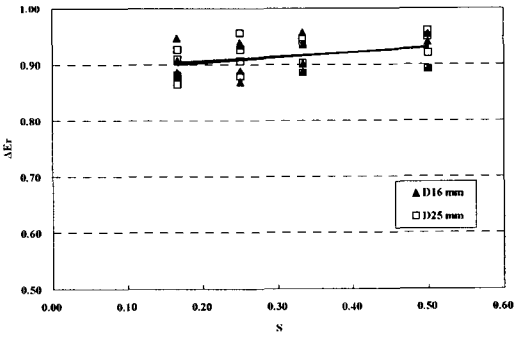

그림 8. 경사에 따른 상대손실

4. 결 론

본 연구에서는 문헌조사를 통한 기존 연구 동향 및 설계기준을 파악하고 경사형 낙차공 흐름특성에 대한 수리실험을 2가지 사석입경(16mm, 25mm)과 4가지 경사(1V:2H, 1V:3H, 1V:4H, 1V:6H)에 대하여 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 경사형 낙차공 조건인 경사(S), 입자 크기(D), 수위(y), 낙차공 높이(H_w), 웨어 끝단 및 경사부 끝단 등의 영향을 상하류 수위와 에너지 소산을 통해 비교하였다. 거리에 따른 에너지수두는 낙차공의 경사와 입경에 관계없이 경우 유량이 감소할수록 작아지는 경향을 보이고 있으나 낙차공의 끝단부에서 에너지감소의 차이가 발생하였다. 도수의 효율은 Froude 수와 바닥입경이 증가할수록 효율이 증가되고 있었다.

상류부(유입부) 수두(yu/Hw)와 낙차공 하류부(사류부) 수두(y_m/H_w)를 입경에 따라 비교한 결과 구조물 높이에 대한 상류부 수두가 커질수록 상대적으로 사류부 수두 또한 증가하는 경향을 보이고 있다. 그러나 비교적 큰 입경인 D25 mm 사석으로 포설되어 있는 경사형 낙차공은 경사가 완만해질수록 사류부 수두가 낮아지고 있었으나, 이에 반해 작은 입경인 D16 mm 사석으로 포설된 경사형 낙차공은 경사가 낮아질수록 사류부 수두가 증가 하였다. 구조물 높이(H_w)에 따른 도수 전/후의 수위차($y_d - y_m$)와 도수발생길이(L_j)는 각각의 경사와 입경에 상관없이 도수발생길이가 증가할수록 수위차가 작아지는 경향을 보이고 있었다.

구조물 높이에 대한 한계수심비(y_c/H_w)에 대한 경사형 낙차공의 끝단부에서의 상대손실(ΔEr)은 한계수심비가 증가할수록 감소하고 있음을 알 수 있었으며, 경사가 증가할수록 상대손실은 서서히 증가하는 경향을 보여 주었다.

향후 연구되어야 할 항목으로는 도수로 인한 에너지손실 항목과 경사면을 흘러내리는 흐름에 대한 것으로서, 복합적인 입경을 가지는 사석을 이용하여 조도값 및 마찰손실값을 통해 효율적인 경사형 낙차공의 설계 기준값을 마련해야 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

Chanson, H. (1994). "*Hydraulic Design of Stepped cascades, channels, weirs and spillways.*", Pergamon, Oxford, U.K.

Pagliara, S., and Chiavaccini, P. (2006). "*Energy Dissipation on Block Ramps.*" Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 132(1), 41-48.

Pagliara, S., and Chiavaccini, P. (2006). "*Flow Resistance of Rock Chutes with Protruding Boulders.*" Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 132(6), 545-552.

Rice, C. E., Kadavy, K. C., and Robinson, K. M. (1998). "*Roughness of loose rock riprap on Steep Slopes.*" Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 124(2), 179-185.