

보 하류부 감세공 설치에 대한 세굴 변화 분석

강준구¹, 이창훈^{2*}, 김종태¹
¹한국건설기술연구원, ²자연과 기술

An Analysis of Scour Effect on Hydraulic Energy Dissipater Installation at Weir Downstream

Joon-Gu Kang¹, Chang-Hun Lee^{2*}, Jong-Tae Kim¹

¹Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

²Nature and Tech Inc

요 약 보 설계 시 세굴을 고려한 설계가 요구되지만 실험 시설의 한계와 제한된 실험 수행 기간 등으로 설계 기준 및 감세공의 효과 분석 연구는 부족하다. 따라서 본 연구에서는 보 하류부의 세굴 문제 개선을 위해 다방향 감세공의 세굴 감세 효과를 분석하였으며 세굴을 최소화하기 위한 설계 기준을 제시하였다. 수리모형실험은 낙동강 합천창녕보를 대상으로 실험을 수행하였으며 수평 축척 1/25, 연직 축척 1/25의 모형으로 제작하였다. 실험 장치는 수로와 유량 공급부로 구분하였으며 최대 2.0 m³/s의 유하가 가능하도록 수중펌프를 설치하였다. 실험 시 유입 유량은 1.3 m³/s, 상류수위는 0.36 m, 하류 수위는 0.24 m이며 감세공인 배플은 나무를 이용해 지름 0.05 m 원기둥형으로 제작하였다. 배플 설치 전과 설치 후 뿐만 아니라 배플의 길이 변화에 대한 정확한 세굴심 비교를 위해 3D 광대역 레이저 스캐너를 활용하였다. 실험결과 배플의 V형 배치 시, 배플 설치 전에 비해 흐름 감세로 인해 세굴심은 36%, 세굴 길이는 49% 감소 효과가 나타났다.

Abstract While the design of weirs requires a scour-considered strategy, research on the analysis of the effectiveness of hydraulic energy dissipaters and design criteria are scarce due to the limited experimental facilities and restraint in the experiment conduction period. The study analyzed the scour dissipation effect of multidirectional dissipaters to improve the scour problems of a weir downstream and suggests design criteria to minimize scour. A hydraulic model experiment was conducted for Nakdong River Hapcheon-Changnyeong Weir and a model in 1/25 of horizontal accumulation and 1/25 of vertical accumulation was produced. The experimental equipment was classified into channels and a flow rate supply and an underwater pump were installed to enable flow at a maximum of 2.0 m³/s. The experimental inflow was 1.3 m³/s, the upstream water level was 0.36 m, downstream water level was 0.24 m, and a cylinder wooden baffle, a dissipater, with a diameter of 0.05 m was made. A 3D scanner was also used for an accurate scour depth comparison for a length change of the baffle before and after installing the baffle. When the baffle was arranged in the shape of a V, the depth of scour decreased by 36% while the scour length decreased by 49% due to flow reduction compared to that before installing the baffle.

Keywords : Baffle, Dissipater, Hydraulic model experiment, Scour, 3D scanner

1. 서론

최근 보 구조물로 인한 세굴발생 등 보 운영에 따른

치수적인 안정성 문제가 제시되고 있어 구조물에 장기적으로 발생 가능한 위험요소를 고려한 설계기준이 필요하다. 그러나 국내 실험시설의 경우 규모적 한계와 제한된

본 논문은 한국건설기술연구원 주요사업(16중요-대3-친수3) 연구과제로 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Chang-Hun Lee(Nature and Tech Inc)

Tel: +82-54-843-1810 email: chlee@hi-nnt.com

Received October 24, 2016

Revised (1st November 9, 2016, 2nd November 22, 2016)

Accepted December 8, 2016

Published December 31, 2016

실험수행 기간으로 보의 크기, 사용목적 등을 고려한 설계 기준은 아직 미흡한 실정이다. 또한 국내의 경우, 보에 대한 설계기준은 대부분 국외 연구를 그대로 도입하였으며 보 하류의 하상안정성을 유지하기 위해서는 감세공, 보하류 세굴규모, 바닥보호공 등에 대한 다양한 연구가 필요하지만 세굴규모와 바닥보호공에 대한 연구만 일부 진행되었다.

국내 연구에 대한 조사 결과 보하류부 세굴보강 규모 산정에 관한 실험연구를 수행한 후 이를 통해 산정식을 제안하였으나 고정보 관련 연구에 제한되어 있다[1]. 한국건설기술연구원(KICT)은 보 하류부 도수영향에 대한 연구를 수행하였으나 도수하류부 난류강도에 따른 하상 재료 산정식 개선만을 제안하였다[2]. Yeon et al.은 하류 조건에 따라 보 상류의 흐름특성에 미치는 영향을 수리모형실험을 통하여 분석하였으며[3] Kim et al.은 낙차공 물받이부에서의 세굴현상과 사석보호공 설치 후 발생하는 침하량에 대한 수리모형실험을 수행하여 사석보호공의 무차원 침하량 산정식을 제안하였다[4]. 또한 Yeon은 수치모의를 통해 세굴현상을 해석하였으며 세굴 예측식을 제안하였다[5].

국외의 경우, 세굴보호 및 구조물 하류부 감세에 관한 기술은 다양하게 제시되고 있으나 기술에 대한 효과분석 및 검증은 부족하다. 국외의 보하류 세굴연구와 하상보호공에 대한 연구를 살펴보면, 물받이 하류부 세굴발달에 대한 연구를 통해 세굴심 평가 연구가 수행되었으며 [6] 구조물에 대한 해석을 통해 설계방안을 제시하기도 하였다[7]. Pilarczyk는 사석에 대하여 개발된 공식이 돌맹대, 콘크리트 블록 보호공 등에 대해서 실험 범위를 확대하여 연구하여 범용성 있는 관계식으로 개선하였으며 [8] 낙차공 하류 바닥보호공의 사석 입경 및 세굴에 대해 연구도 수행되었다[9]. 또한 낙차공 설계 시 하류 하상변동 여부 및 낙차 높이에 따른 낙차공 형식 제안, 낙차공의 형태 선택 시 하류부 조절 능력, 하상 저하 여부, 최대 낙차고(0.9 m)의 한계조건, 일반인의 접근성, 그리고 설계유량 범위 등의 조건 내에서 선택할 수 있도록 설계방법을 제안하기도 하였다[10].

그러나 기존 연구는 대부분 흐름특성 분석 및 에너지 감세를 위한 방법 및 효과가 주를 이루고 있으며 준 실험 규모 실험을 통한 감세공의 효과 분석 및 검증은 아직 부족하다. 따라서 본 연구에서는 보 하류에서 흐름제어(감세)를 검토하기 위해 “V”형 감세공을 설치하여 준 실험

규모 이동상 세굴 실험을 수행하였으며 3D 스캐너를 이용해 감세공 설치 전후에 대한 세굴심과 세굴길이에 대한 1차원적인 감세효과를 비교하였다.

2. 연구방법

2.1 모형수로 및 실험시설

본 연구에서는 보 하류부 세굴 특성을 분석하기 위하여 안동 하천실험센터의 대형수리모형실험장에서 수리모형실험을 실시하였다. 수리모형실험은 낙동강 합천창녕보를 대상으로 수행하였으며, 실험수로는 100 m × 50 m 직선수로 및 환경사 사면으로 구성되어 있다. 수리모형실험에 사용한 실험 장치는 수로와 유량공급부로 구분하였으며 최대 2.0 m³/s 유량의 유가가 가능하도록 수중펌프를 설치하였다. Fig. 1은 안동 하천실험센터의 대형수리모형실험장에서 수리모형실험을 위한 수로를 나타낸다.



Fig. 1. Experimental model(River Experiment Center)

2.2 수리모형실험 축척 및 제작

수리모형의 축척은 원형의 재현성, 실험실의 유량공급능력, 실험모형 제작 공간, 측정의 용이성 등을 종합적으로 검토해야 한다. 본 연구에서는 하천 내 설치되는 구조물이므로 구조물 주변의 난류영향 등 3차원적(X, Y, Z 방향) 흐름거동을 재현하기 위해서 정상모형을 적용하였다. 합천창녕보 수리모형의 축척은 실험공급유량 및 실험부지 조건이 허용하는 최대 규모로 결정되었다. 사용된 모형은 수평축척 1/25, 연직축척 1/25, 왜곡도 1을 갖는 정상모형으로 제작하였다.

실험대상구조물의 외부 형태는 금속재질인 스테인리스로 제작하고 내부에 이를 지탱할 수 있는 2중구조물로서 스테인리스 구조물을 삽입하여 외부 환경 조건에 견딜

수 있는 강한 재질의 실험대상구조물로 제작하였다. 또한 가동보의 수문은 상당한 수압에 견뎌야 하며 인력으로 개폐하기에는 중량물이므로 안전사고의 위험이 있어 자동개폐방식으로 제작하였으며 원격제어장치를 통해 개폐하는 장치를 추가하였다.

Fig. 2는 합천장녕보 모형 구조물로써 수리모형 구조물은 가동보, 고정보로 구성된다. 가동보는 폭이 1.6 m 인 승강식 수문 3개로 구성되어 있으며, 고정보는 폭 1.6 m인 2개의 구조물로 구성되어 있다. 감세공인 배플(baffle)은 나무를 이용해 지름 0.05 m 원기둥형으로 제작하였으며, 한국건설기술연구원의 배플 배치에 대한 수리실험에서 가장 감세효과가 좋은 “V”형 배치를 보 하류부 하상보호공에 설치하였다[11](Fig. 3).



Fig. 2. Structure for hydraulic model experiment



(a)



(b)

Fig. 3. Install of baffle and model of baffle (a) Install of baffle (b) Baffle model

2.3 수리모형실험 방법

가동보를 통과하여 보 하류방향으로 유하하는 흐름은 상류에서 흐름과는 다르게 강한 다방향 흐름과 교차과가 발생한다. 이러한 수리학적 거동에 대해 배플 설치 전과 설치 후 1차원적인 세굴심과 세굴길이를 비교하기 위하여 레이저 스캐너를 사용하였다(Fig. 4). 측정기기는 최대거리 400 m, 정확도 6 mm인 3D 광대역 레이저 스캐너(RIEGL LMS-Z390)로써 빛의 속도를 알고 발사된 레이저가 되돌아오는 시간을 알면 대상물의 거리를 구하였고, 발사된 레이저의 각은 매우 정밀하고 빠른 속도의 모터가 달린 거울을 이용하여 구하였다. 이렇게 하여 구해진 거리와 각을 이용하여 대상물의 직교 좌표(x,y,z)를 계산하는 방식이다. 레이저 스캐닝 체계를 이용하여 관측 대상물에 레이저를 발사하며 발사되는 레이저는 회전 거울에 의해 일정한 간격을 유지한 채 여러 개의 레이저가 계속 발사되어 전체 관측대상물을 포함하였다. 반사된 레이저를 탐지하여 Time-of-Flight 기법으로 레이저가 반사된 대상물 면과의 거리를 계산하고 회전거울의 각을 계산하여 레이저 스캐닝 체계를 중심으로 한 대상물 면과의 벡터를 구해내고 이를 계속 저장하였다. 레이저 스캐닝 체계는 1초에 800점 이상을 스캔할 수 있는 레이저를 발사하고 이를 탐지하여 대상물의 3차원 위치를 구하였다. 각각의 점들은 같은 관측 거리에 있을 때 동일한 정밀도를 가진다.

후처리 프로그램은 RIEGL의 RiSCAN PRO를 이용하여 필터링 및 정합을 수행하였다. 필터링으로는 대상물 이외에 주변의 지형, 시설물, 수목 등 많은 데이터들을 삭제하고 대상물만을 남겼다. 3D 스캐닝 데이터는 1회 스캔을 통해 대상물의 전체에 대한 완벽한 스캔 데이터를 얻을 수 없다. 따라서 스캐닝 위치를 적절하게 바꾸며 여러 번 반복하여 스캔을 실시하였다. 이렇게 취득한 개별 데이터를 하나의 좌표계로 정합하는 과정을 수행하였다.



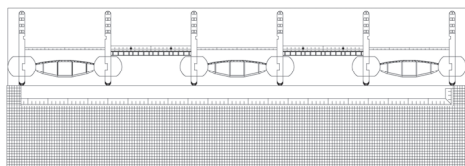
Fig. 4. Scour measurement using 3D scanner

2.4 실험조건

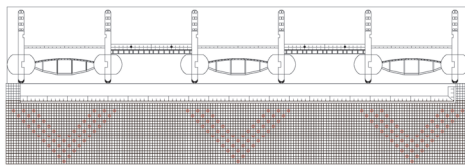
보 하류부 다방향 감세공의 세굴감세 효과를 분석하기 위해 유량조건 및 상·하류 수위조건을 설정하였다. 수문은 개수로 실험장 내에서 최대의 다방향 흐름과 교차과가 발생하도록 완전 개방한 조건이며 유입유량은 1.3 m³/s이다. 또한 상류수위와 하류수위는 각각 0.36 m, 0.24 m로 측정되었다(Table 1). 배플 배치로 인한 감세 효과 수리실험에서 도출된 “V”형 배치 대상으로 세굴 실험을 계획하였다[11]. Case A는 배플 설치 전이며 Case B~Case D는 각각 0.08 m, 0.12 m, 0.15 m(하류 수심의 33%, 50%, 63%)의 배플을 설치하였다. Fig. 5는 수리모형실험에서 배플 배치에 대한 유형을 나타낸 것이며, 총 4개의 실험케이스를 수행하였다.

Table 1. Conditions of hydraulic model experiment

Case	Discharge (m ³ /s)	Upstream water level (m)	Downstream water level (m)	Height of baffle (m)
A	1.3	0.36 m	0.24 m	X
B				0.08
C				0.12
D				0.15



(a) Case A



(b) Case B ~ Case D

Fig. 5. Before and after installation of baffle (a) Before installation (b) After installation

3. 실험결과 및 분석

3.1 감세공 배치에 대한 흐름특성 분석

Case A는 배플 미설치 조건의 수리모형실험으로써 보 상류부의 흐름이 가동보로 집중되면서 강한 흐름이 발생하였다. 흐름의 세기는 상류 정체구간의 영향으로

인해 중앙, 우안, 좌안 가동보 순으로 강한 흐름이 발생하였다. 또한 유출 흐름이 빠르기 때문에 좌안, 중앙, 우안으로 와류가 발생하였으며, 특히 좌안 가동보의 강한 흐름과 고정보 하류 넓은 범위의 정체구간으로 크고 강한 와류가 발생하였다(Fig. 6(a)). Case B ~ Case D는 배플 설치로 인해 Case A의 배플 미설치보다 도수길이 단축되면서 감세 흐름이 발생하였다. 또한 다소 약한 유출 흐름으로 배플 미설치인 Case A보다 와류가 약하게 발생하였다.



(a) Case A



(b) Case B



(c) Case C



(d) Case D

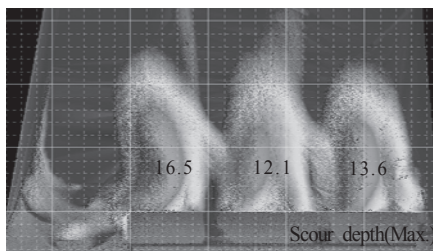
Fig. 6. Flow pattern on CASE (a) Case A (b) Case B (c) Case C (d) Case D

3.2 감세공 배치에 대한 세굴감세 효과 분석

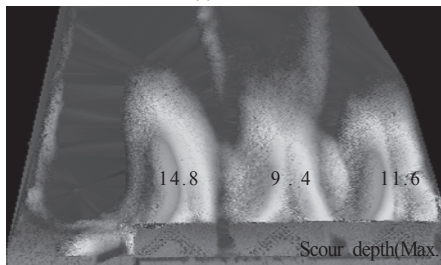
감세공의 “V형” 배치에 따른 실험 결과 배플 설치 전에 비해 배플 설치 후 최대 세굴심과 최대 길이는 감소하는 것으로 나타났다. Table 2는 3D 스캐너를 이용한 배플 설치 전후의 측정 결과를 나타내는 표로써 원형의 값을 나타낸 것이다. 최대 세굴심과 최대 세굴길이를 비교하기 위해 좌·우측 정체구간 와류의 영향이 적은 중앙 가동보로 비교하였다. 비교결과, 감세공 설치 후인 Case D는 Case A보다 최대 세굴심 약 36%, 최대 세굴길이 약 49% 감소 효과가 있었다. 특히 배플 높이에 따라 효과도 높아지는 것으로 나타났다(Fig. 7). 하지만 Case D는 Case C보다 우안 정체구간 와류의 영향으로 세굴심이 증가하는 현상이 발생하였다. Fig. 8은 배플 설치 전인 Case A와 배플 설치 후의 Case D의 실험결과를 보여 준다.

Table 2. Experimental result on the CASE A to Case D

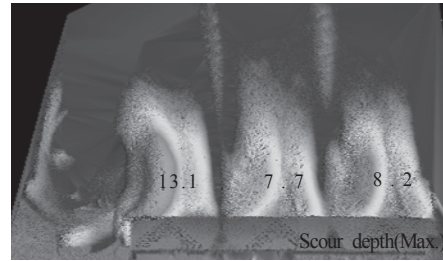
Case	Type of baffle (height)	Scour depth(Max.) (m)			Scour length(Max.) (m)		
		Left	Center	Right	Left	Center	Right
Case A	X	16.50	12.10	13.60	122.10	114.50	109.50
Case B	V type (0.08 m)	14.80	9.40	11.60	101.40	74.70	82.50
Case C	V type (0.12 m)	13.10	7.70	8.20	93.10	66.70	75.20
Case D	V type (0.15 m)	12.50	7.70	10.10	95.20	58.00	60.00



(a) Case A



(b) Case B



(c) Case C



(d) Case D

Fig. 7. Result of 3D scan (a) Case A (b) Case B (c) Case C (d) Case D



(a) Case A



(b) Case D

Fig. 8. Result of experiment (a) Case A (b) Case D

4. 결론

본 연구는 보 하류부 세굴 문제 개선을 위해 설치한 “V형” 배플의 효과를 분석하는 것이 목적으로써 3D 스캐너를 이용해 배플 설치 전과 후의 세굴심을 정량적으로 비교하였다. 실험 결과, 배플 설치 전(Case A)에 비해

배플 설치 후(Case B ~ Case D) 최대 세굴심과 최대 길이가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 배플 높이에 대한 세굴 정도에 대해 분석한 결과 배플 높이가 증가할수록 세굴심이 감소하는 경향을 보였지만, Case D는 Case C보다 우안 정체구간 와류의 영향으로 세굴심이 증가하는 현상이 발생하였다.

최대 세굴심과 최대 세굴길이를 비교하기 위해 좌·우안 정체구간 와류의 영향이 적은 중앙 가동보로 비교한 결과, Case D는 Case A보다 최대 세굴심 약 36%, 최대 세굴길이 약 49% 감소 효과가 나타났다. 이는 향후 보 설계 시 배플 설치 및 규모에 대한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] National Construction Research Institute, *Experimental Study on the Hydraulic Characteristics of River-bed Maintenance Structure*, pp. 2-21, Ministry of Construction & Transportation, 1996.
- [2] Korea Institute of Construction Technology, *The Multi-function River Design Criteria*, pp. 12-16, KICT, 2005.
- [3] H. G. Yeo, J. G. Kang, S. H. Cheong, B. M. Yoon, "Experimental Study on Establishment of Downstream Critical Depth in Round-Crested Weir", *Proceeding of the KWRA*, pp. 1-5, 2005.
- [4] C. S. Kim, J. G. Kang, H. K. Yeo, W. K. Yeo, "An Experimental Study for the Empirical Equation to Quantify the Subsidence of Riprap Scour Protection at Downstream of Vertical Drop Structures" *Journal of Korea Water Resources Association*, vol. 43, no. 5, pp. 433 - 443, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2010.43.5.433>
- [5] C. G. Yeo, "The Prediction of Scouring in the Downstream of Inclined and Stepped Weirs", p. 4-6, Hongik University, 2011.
- [6] D. Bijan, "Scour Development Downstream of a Spillway", *Journal of Hydraulic Research*, vol. 41, no. 4, pp. 417-426, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00221680309499986>
- [7] W. C. Little, "Model Study of Low Drop Grade Control Structures", *Journal of the Hydraulics Division*, vol. 108, pp. 1132-1146, 1982.
- [8] K. W. Pilarczyk, "Stability Criteria for Revetments", *Proceedings of the National Conference on Hydraulic Engineering*, pp. 1340, 1990.
- [9] S. R. Abt, and T. L. Johnson, "Riprap Design for Over topping Flow", *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 117, no. 8, pp. 959-972, 1991.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1991\)117:8\(959\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1991)117:8(959))
- [10] Urban Drainage and Flood Control District, "Drainage Criteria Manual", p. 251, Denver, Colorado, 2008.

- [11] Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, *Development of Multi-baffle Energy Dissipator for Scour Protection at Weir Downstream*, 2014.

강 준 구(Joon-Gu Kang)

[정회원]



- 2002년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학박사)
- 2003년 9월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

수리학, 토목공학

이 창 훈(Chang-Hun Lee)

[정회원]



- 2010년 2월 : 상지대학교 토목공학과 (수공학석사)
- 2010년 3월 ~ 2010년 7월 : 상지대학교부설 방재연구소 전임연구원
- 2010년 8월 ~ 2015년 7월 : 한국건설기술연구원 석사후연구원
- 2015년 8월 ~ 현재 : 주식회사 자연과 기술 선임연구원

<관심분야>

하천수리학, 수리모형실험

김 종 태(Jong-Tae Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 안동대학교 지구환경과학과 (이학박사)
- 2016년 11월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구원

<관심분야>

하천수리학, 수리실험