

# 월류 수제 주변의 국부세굴특성에 관한 실험연구

## Experimental Study on Local Scour around Submerged Groyne

여홍구\*, 강준구\*\*, 노영신\*\*\*, 김성중\*\*\*\*

Yeo, Hong Koo / Kang, Joon Gu / Roh, Young SIn / Kim, Sung Jung

### Abstract

수제는 주로 호안 또는 하안 전면부에 설치하는 구조물으로써 기존의 수제 설치는 하안 및 제방의 보호, 유로제어 및 주운 등의 목적에 의해 이루어졌다. 최근 들어서는 수제하류부의 흐름분리로 인해 발생하는 재순환 영역(recirculation zone)과 국부세굴에 의해 발생하는 세굴공이 수중생물의 다양한 서식처 및 홍수 시 어류의 피난처로 활용될 수 있다는 점 등의 환경기능이 부각되면서 수제에 대한 설치목적이 다양화 되었다. 월류수제는 흐름이 수제 투과정도를 나타내는 투과율과 함께 다뤄지기는 기존의 실험연구에서는 수위가 수제의 머리부를 초과함에 따라 월류되는 흐름은 과도한 난류의 발생 등 투과수제에 비해 수제부근에 더 많은 영향을 미친다고 하였다. 이러한 과도한 난류의 발생은 수제를 월류하는 흐름은 상류에서는 가속되다가 수제 하류부로 흘러내리면서 다시 감속되어 교란되기 때문이다. 이러한 월류수제의 흐름특성은 수제 주변 국부세굴에 영향을 미친다. 특히 우리나라 하천은 홍수시 수위의 변화가 매우 크기 때문에 일반적인 불투과 수제라 하더라도 대부분의 수제가 월류수제처럼 거동한다. 따라서 수위가 증가함에 따라 월류가 발생하는 수제의 경우 비월류 구조물과는 세굴심의 변화가 다르게 발생할 수 있다.

본 연구에서는 월류수제 주변에서 발생하는 국부세굴이 수중생물의 다양한 서식처 및 피난처로 활용될 수 있다는 관점에서 세굴영역(세굴부피)과 세굴심의 관계에 대한 수리모형실험을 수행하고 분석하였다. 월류수제의 세굴실험은 축척의 영향을 최소화하기 위해 7 m(W) × 40 m(L) × 1.5 m(H) 규격의 대형 수로에서 수행하였으며 세굴변화에 미치는 시간축척의 영향을 파악하기 위해 70 ~ 90 시간 동안 실험을 수행하였다. 세굴의 측정은 투명한 아크릴로 제작된 수제 내부에 CC카메라를 수제 전·후면 및 측면에 설치하여 월류수제의 세굴 발생을 실시간으로 측정하며 동시에 수제의 각 면에 각각 3개의 압력센서를 설치하여 압력분포를 측정함으로써, 월류수제 주변의 압력변화에 따른 세굴심의 실시간 변화를 비교할 수 있도록 하였다.

**핵심용어 : 월류수제, 세굴, CC카메라**

### 1. 서 론

수제는 주로 호안 또는 하안 전면부에 설치하는 구조물으로써 기존의 수제 설치는 하안 및 제방의 보호, 유로제어 및 주운 등의 목적에 의해 이루어졌다. 최근 들어서는 수제하류부의 흐름분리로 인해 발생하는 재순환 영역(recirculation zone)과 국부세굴에 의해 발생하는 세굴공이 수중생물의 다양한 서식처 및 홍수 시 어류의 피난처로 활용될 수 있다는 점 등의 환경기능이 부각되면서 수제에 대한 설치목적이 다양화 되었다. Klingeman et al(1984)은 수제주변 와류 흐름으로 인해 발생하는 세굴현상을 기존의 안정성 문제에 대한 관점에서 벗어나 수제주변 세굴공이 수중 생태 서식처를 개선하는데 이용될 수 있다고 제안하였고 Knight and Cooper(1991)는 “수제는 웅덩이와 같은 서식처를 제공하고 유지하며, 일반적으로 제방보호를 목적으로 하는 다른 형태의 구조물

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원부 선임연구원 · E-mail : yeo917@kict.re.kr

\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원부 선임연구원 · E-mail : jgkang02@kict.re.kr

\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원부 박사후과정 · E-mail : rohys@kict.re.kr

\*\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원부 연구원 · E-mail : jinx9482@kict.re.kr

에 비해 생태서식처의 활용원으로 더 많은 이점이 있다”고 하였다. Shields et al(1995)은 교란된 하천에서 생태서식처에 주는 이점의 중요도는 세굴공과 관련이 있다고 제안하였다. 현재까지 진행되고 있는 대부분 세굴실험들의 주목적은 세굴심 측정을 통한 최대세굴심 예측식 개발에 중점이 되어 있으며 최근 들어 세굴영역에 대한 연구가 관심이 증대되고 있다. 본 연구에서는 월류수제 설치로 인해 발생하는 세굴공이 수중생물의 서식처를 제공할 수 있다는 관점에서 수행된 것으로, 국부세굴의 규모와 시간에 따른 변동 및 세굴심과의 관계를 분석하였다.

## 2. 모형실험

유속장의 측정을 위한 계측기로는 ADV를 사용하였으며 샘플링 회수는 25Hz이다. 하상측정은 이동상 표고 측정기인 사면측정기(WH-501; WHT-40, Kenek Co.)를 사용하였다. 실험시설은 0.012 ~ 0.8 m<sup>3</sup>/s를 공급할 수 있는 위어를 유량공급 장치로 설치하였으며, 실험수로의 규모는 폭 7.0 m, 길이 40.0 m, 그리고 높이 1.5 m 이다. 월류수제는 아크릴로 제작하여 CCD를 이용한 촬영이 가능하도록 하였다. Fig. 1은 실험수로 제원과 수로를 나타낸 것이다.

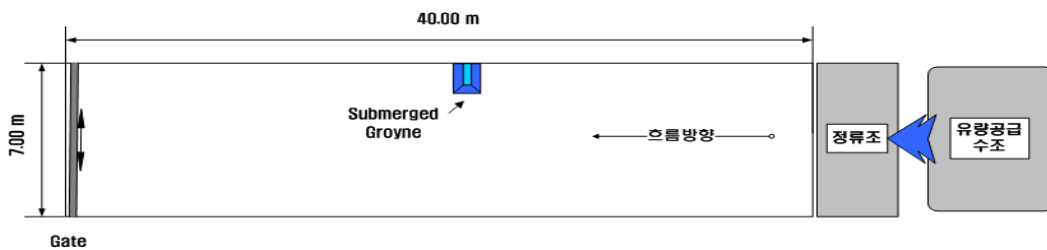


Fig. 1 실험수로 제원



Fig. 2 외부 실험수로 전경

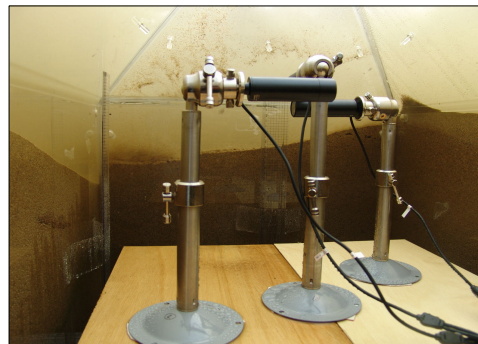


Fig. 3 수제내부에 설치된 카메라

Table 1. Experimental conditions

수제종류	유량	수위/유속	Case
월류수제	Q = 0.585 CMS	H = 0.28m, U = 0.32 m/s	Ugr28-032
	Q = 0.364 CMS	H = 0.28m, U = 0.21 m/s	Ugr28-021
	Q = 0.480 CMS	H = 0.30m, U = 0.25 m/s	Ugr30-025
	Q = 0.449 CMS	H = 0.30m, U = 0.23 m/s	Ugr30-023

## 3. 실험결과 및 분석

Fig. 8은 세굴영역 측정을 위해 본 연구에서 정의한 세굴영역의 평면 개요도로서 SL-a는 하안

에서부터의 세굴폭(수제상류부), SL-b는 수제역에서의 세굴발생위치(하안에서의 거리), SL-c는 수제상류부 세굴거리 및 SL-d 는 수제하류부 세굴 발생 거리이다. 본 실험에서는 하상이 평형상태에 도달할 때까지 진행하였으며 이때 세굴이 가장 크게 발생한 부분의 값을 최대 세굴심이라 하였고 퇴적이 가장 크게 나타난 값을 최대 퇴적으로 정의하였다. Fig. 4 ~ Fig. 7은 지형변동에 대해 나타낸 것이다.

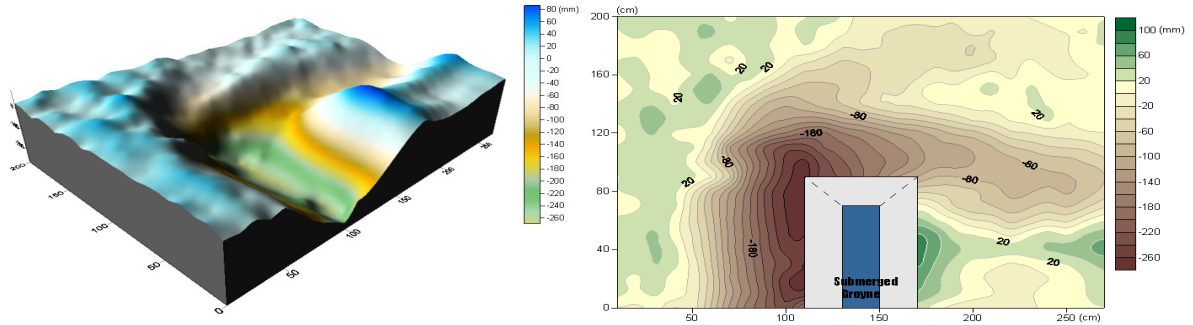


Fig. 4 월류에 따른 하상변동(3D, 세굴, 퇴적-Ugr28-032)



Fig. 5 월류에 따른 하상변동(Ugr28-032)

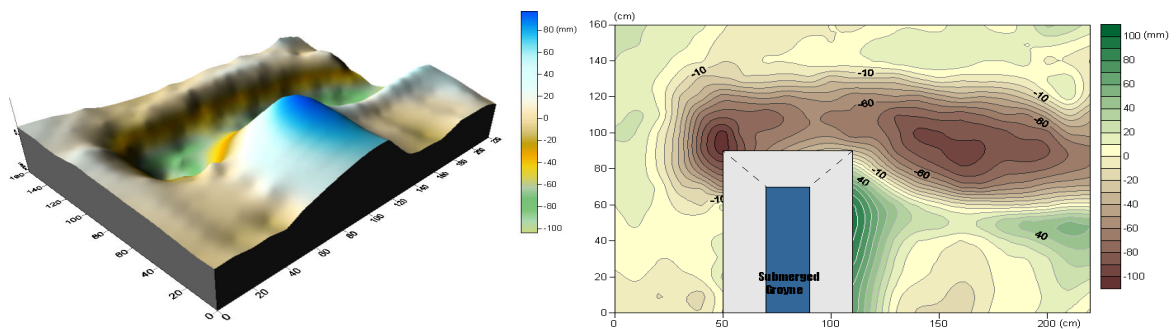


Fig. 6 월류에 따른 하상변동(3D, 세굴, 퇴적-Ugr30-023)



Fig. 7 월류에 따른 하상변동(Ugr30-023)

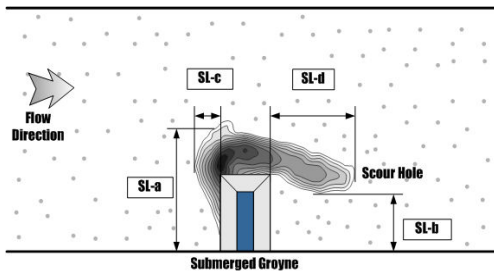


Fig. 8 세굴영역 개요도

Table 2. 월류수제 주변 국부세굴영역

Case	SL-a / ℓ	SL-b / ℓ	SL-c / ℓ	SL-d / ℓ
Ugr28-032	1.44	0.5	0.78	1.78
Ugr28-021	1.5	0.44	0.33	1.5
Ugr30-025	1.44	0.50	0.51	1.33
Ugr30-023	1.33	0.61	0.39	1.56

세굴의 영향을 파악하기 위해서는 시간에 따른 세굴부피 변화에 대한 영향을 파악하는 것이 중요하다. 하지만 세굴현상은 시간에 따라 급격히 변화하기 때문에 측정을 통한 해석은 매우 어렵다. 원형교각의 경우 세굴형상이 비교적 단순하여 원통 및 원뿔형상을 가정한 해석이 이용되기도 하였으나 월류수제의 경우 단순한 형상을 가정하기는 어렵다. 이에 Kuhnle 등(1999)은 실험연구를 통해 시간에 대한 세굴 부피를 측정하여 식 (1)를 제안하였다.

$$\frac{V_i}{V_{\max}} = 1.002 \left( \frac{t_i}{t_{\max}} \right)^{0.579} \quad (1)$$

본 연구에서는 시간에 따른 세굴심을 측정하여 시간변화에 따른 세굴심의 변화를 분석하였다. Fig. 9는 세굴비(세굴심/최대세굴심)와 시간비(세굴시간/최대세굴심 발생시간)에 대해 나타낸 것이다. 세굴의 규모를 분석하기 위해 식 (1)을 통해 계산된 시간에 대한 부피의 변화와 세굴심과의 관계를 분석하였다. 수중생태서식처 공간으로의 세굴은 세굴부피와 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 세굴심이라는 깊이의 개념으로 단순접근은 오류를 발생시킬 수 있다. 세굴부피와 세굴심비교에서, 세굴심이 최대세굴심에 70%에 도달했을 때 세굴부피는 최대세굴부피에 20% 이내임을 알 수 있었다. 이는 세굴의 진행이 느린 지역에서의 수제는 생태서식처로의 기능이 저감될 수 있음을 보여준다 할 수 있다. 특히 세굴심에 대해 제안된 공식이 최대세굴심과 일반적인 설계시 빈도 홍수량을 적용한다고 하면, 생태서식처로의 세굴은 세굴심이 아닌 세굴부피의 변화를 통한 설계가 이루어져야 할 것이다. Fig. 10은 세굴비와 세굴부피비에 대해 나타낸 것이다. Table 3은 실험자료를 회귀식으로 나타낸 것이다.

Table 3. 실험자료를 통한 회귀식

Case	Fitting Eqn	R <sup>2</sup>
세굴심비와 시간비	$\frac{d_s}{d_{max}} = 0.1273 \ln(t/t_{max}) + 0.9789$	0.9757
세굴부피비와 세굴심비	$\frac{V}{V_{max}} = 0.0126 e^{4.437(d_s/d_{max})}$	

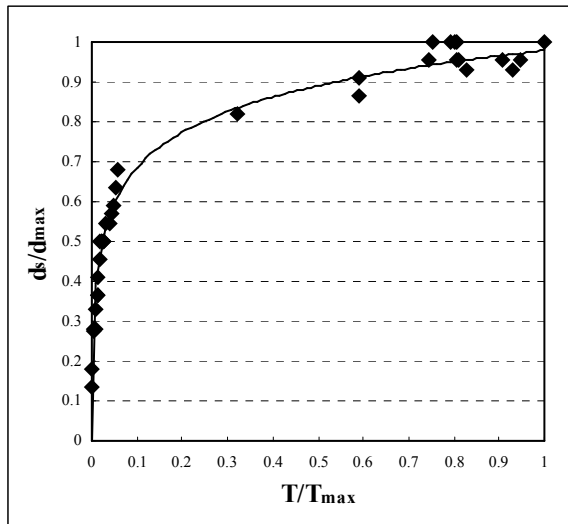


Fig. 9 시간에 따른 세굴심변화

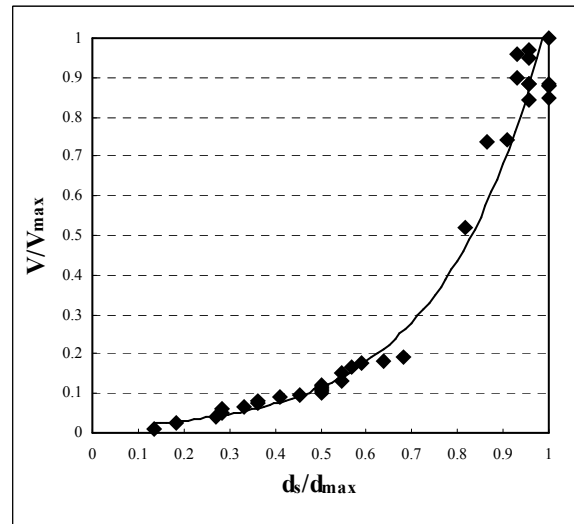


Fig. 10 세굴비와 세굴부피비

#### 4. 결론

본 연구에서는 월류수체의 세굴을 평가함에 있어, 수중생태 서식처로의 기능이 목적이라면 세굴 심에 대한 평가보다는 세굴부피에 대한 평가가 이루어져야할 것이다. 실험결과 세굴부피는 세굴심이 최대세굴심의 70%에 도달하더라도 최대세굴부피의 20% 이내인 것으로 측정되었다. 이는 세굴이 느리게 진행되는 곳에서 월류수체 세굴을 통한 생태서식처 제공에 문제가 있을 것으로 판단된다. 본 연구는 Kuhnle(1999)에 의해 제안된 방법을 이용하여 세굴부피를 계산한 것으로 차후 실시간 하상변동량 측정을 통한 보완이 필요할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- Klingeman, P. C., Kehe, S. M., and Owusu, Y. A. (1984). *Streambank Erosion Protection and Channel Scour Manipulation using Rockfill Dikes and Gabions*. Report No. WRRI-98, Water Resources Research Institute, Oregon State Univ., Corvallis, Ore.
- Knight, S. S., and Cooper, C. M. (1991). "Effects of Bank Protection on Stream Fishes." *Proc., 5th Federal Interagency Sedimentation Conf., Vol. 13, Subcommittee on Sedimentation of the Interagency Advisory Committee on Water Data*, Las Vegas, Nev. pp. 34-39.
- Kuhnle, R. A., Alonso, C. V., and Shields, F. D., Jr. (1999). "Geometry of Scour Holes Associated with 90° Spur Dikes." *J. Hydraulic Eng.*, 125(9), pp. 972-978.