

투과율과 설치각도에 대한 수제주변 세굴영역에 관한 실험 연구

An Experimental Study on Scour Area around Groynes with Permeability and Install Angle

여 홍 구* / 강 준 구** / 김 성 중*** / 노 영 신****

Yeo, Hong Koo / Kang, Joon Gu / Kim, Sung Jung / Rho, Young Sin

Abstract

There has been debated on the fact that a scour hole produced by the construction of a groyne has environmental benefits such as provision of diverse underwater habitats and shelter for fish in the event of flooding. Therefore researches are focusing on the scour field around the groyne area beyond the existing safety issues. The scour area on aquatic habitats would format many form on groyne conditions so that the analysis of scour area is strongly required.

This study conducted the experiments on permeability and installation angle of groyne and suggested the data for groyne selection in environmental point as analyzing scour area. The physical modeling was performed in different permeability (0%, 20%, 40%, 60%, 80%) and installation angle of groyne (60°, 90°, 120°). As the result of the study, scour area and scour depth at maximum scour condition was revealed for each case and suggested the differences according to experiment conditions.

keywords : groyne, permeability, installation angle, scour area, maximum scour depth

요 지

수제설치로 인해 발생하는 세굴공은 수중생물의 다양한 서식처 및 홍수 시 어류의 피난처 제공 등 환경 기능을 내포할 수 있다는 관점이 부각되고 있으며 이와 같은 요구를 충족하기 위해서는 기존의 안정성 문제에 대한 관점에서 벗어난 수제주변 세굴영역에 대한 연구가 필요하다. 생태서식처로의 세굴영역은 수제형태에 따라 다양한 형태가 생성될 수 있으므로 이에 대한 분석이 요구된다. 본 연구는 투과율과 설치각도를 변화한 실험을 통해 수제주변 세굴 규모를 파악하여 환경적인 측면의 수제선정의 자료를 제안하는데 목적이 있다. 실험에 적용된 투과율은 불투과(0% 투과)와 투과수제(20%, 40%, 60%, 80%)이며 설치각은 60°, 90°, 120° 이다. 실험결과, 각 실험조건에 따른 최대세굴 발생시의 세굴영역과 세굴심을 분석할 수 있었으며 수제조건에 대한 차이를 제시하였다.

핵심용어 : 수제, 투과율, 설치각도, 세굴영역, 최대세굴심

-
- * 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원
Senior Researcher, Dept. of Water Resources Research, Korea Institute of Construction Technology.
(e-mail: yeo917@kict.re.kr)
 - ** 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원
Senior Researcher, Dept. of Water Resources Research, Korea Institute of Construction Technology.
 - *** 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원
Researcher, Dept. of Water Resources Research, Korea Institute of Construction Technology.
 - **** 한국건설기술연구원 수자원연구부 박사후 과정
Post-Doc, Dept. of Water Resources Research, Korea Institute of Construction Technology.

1. 서 론

수제는 주로 호안 또는 하안 전면부에 설치하는 구조물로써 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 Fig. 1에서 보는 바와 같이 수제주변 와류 흐름으로 인해 발생하는 세굴현상을 기존의 안정성 문제에 대한 관점에서 벗어나 수제주변 세굴공이 수중 생태서식처를 개선하는데 이용될 수 있다고 제안하였고 Knight and Cooper(1991)는 “수제는 웅덩이와 같은 서식처를 제공하고 유지하며, 일반적으로 제방보호를 목적으로 하는 다른 형태의 구조물에 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.

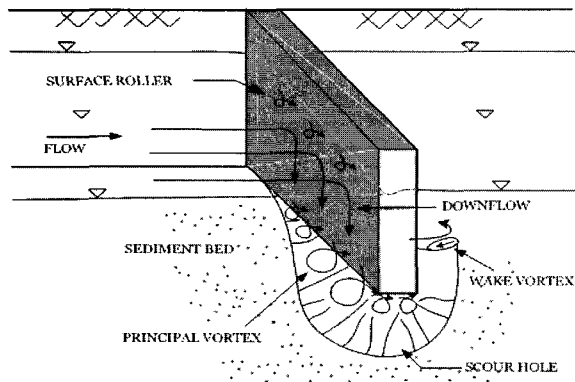


Fig. 1. The feature of scour around spur groyne

기존 수제세굴에 관한 연구를 살펴보면 Jansen(1979)과 Linder(1969)는 호안에 대한 수제의 설치각도에 대한 영향 검토를 통하여 수제의 설치각도에 따른 흐름 및 세굴깊이에 대해 연구를 수행하였고 수제 길이 및 설치간격이 더 지배적인 설계인자로 작용함을 규명하였다. Copeland(1983)는 만곡수로 수제 실험을 통하여 수제의 설치각도가 세굴 깊이와 수로제방 침식에 영향을 주며 수제의 각도가 하향에서 상향으로 진행될수록 수

로 제방침식에 대해 유리하다고 하였으나 현재 세굴 예측식의 만곡수로 적용에 대해 의문을 제기 하기도 하였다. Martinez et al.(2002)은 수제의 설치각도, 투과율 그리고 갈고리형 수제에 대해 실험을 수행하여 수제의 설치각도와 투과율이 세굴깊이에 큰 영향을 미친다고 하였으며, 특히 실험결과를 통해 투과율은 수제하류부 세굴과 퇴적을 50% 정도 줄일 수 있다고 하였다. 하지만 이상의 연구에서의 연구 목적은 최대세굴심 영향검토에 목적이 있으며 이로 인한 구조물 안정성에 의미를 부여한다. 최근 들어 Kuhnle et al.(2002)은 수중 생태계를 고려한 월류수제 설치각도 실험을 수행하여 수로제방 부근 침식가능성 측면에서 상향수제가 유리할 것이라고 하였다. Thompson(2002)은 동일한 형태의 크기가 다른 두 가지 수제에 대해 세굴실험을 수행하였으며, 실험결과 만곡수위 이상의 수위에서는 자연스럽게 깊고 커다란 웅덩이를 다양하게 발생시키는 큰 수제가 생태적 측면에서 유리하다고 하였다. 하지만 다양한 수제에 대한 수제영역에 대한 연구는 현재 미미한 상태이며 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

생태공간으로의 세굴은 세굴심에 대한 분석보다는 부피에 대한 분석이 이루어져야 하므로 구조물형태 및 조건에 따라 변화되는 세굴형상에 대한 연구는 매우 중요하다 판단된다. 특히 세굴의 부피형상은 세굴이 진행부터 되는 과정에서부터 최대세굴이 발생할 때까지 비슷한 형상을 가지고 있는 것이 일반적이므로 최대세굴시의 세굴 부피형상은 세굴진행에 따른 세굴규모 분석에 중요한 자료이다. 본 연구에서는 수제설치로 인해 발생하는 세굴공이 수중생물의 서식처를 제공할 수 있다는 관점에서 출발된 것으로, 불투과, 투과 및 설치각도 등 수제조건을 변화하여 세굴형상 및 규모 분석을 위한 수리모형실험을 수행하였다. 이를 통해 수제조건에 따른 최대세굴시 생태공간 규모를 파악하는 것과 차후 세굴규모 분석을 위한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다. 실험조건은 투과율변화과 설치각에 대한 것으로, 불투과수제와 투과수제(20%, 40%, 60%, 80%)에 대해 비교하였으며 설치각은 상향수제(60°), 직각수제(90°)와 하향수제(120°)로 구분하여 수행하였다.

2. 모형실험

2.1 실험장비 및 시설

유속장의 측정을 위한 계측기로는 ADV를 사용하였으며 샘플링 회수는 25Hz이다. 하상측정은 이동상 표고 측정기인 사면측정기(WH-501; WHT-40, Kenek Co.)를 사용하였다. 실험시설은 0.012~0.4 m³/s를 공급할

수 있는 1.2 m 위어를 유량공급 장치로 설치하였으며, 실험수로의 규모는 폭 2.0 m, 길이 18.0 m, 그리고 높이 0.65 m 이다. 투과수제는 아크릴을 사용하여 제작하였고 설치각 영향을 고려하기 위한 불투과 수제는 콘크리트로 제작하였다. 투과수제는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 원통형 막대를 수제의 단면적과 통수단면적을 고려한 투과율에 따라 간격을 조절하여 설치하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 투과율에 따른 단일수제 국부세굴 실험

투과율에 따른 단일수제 이동상 수리 모형실험의 실험 조건 및 실험 안은 Table 1에 정리하였다. 모형실험에 사용된 수제는 길이가 0.40 m, 높이가 0.50 m 그리고 두께가 0.02 m 인 아크릴 원통형 봉으로 제작하였으며, 투과율 적용은 불투과(0%), 20%, 40%, 60%, 80%의 5가지 경우로 나누어 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 모형사는 체 눈금 0.074 mm의 200번 체를 통과한

아주 잔 모래를 사용하여 0.20 m 깊이로 포설 하였으며, 통수시간은 더 이상의 하상변화가 발생하지 않는 평형상태에 도달되었다고 판단된 시점까지 진행하였다. Fig. 4는 수제 실험이 진행되는 과정을 도시한 그림이며 하상측정은 사면측정기를 이용하여 상/하류 수제 주변 세굴영역 1.30 m 지점에 대해 완전 배수 후 대상영역에 대하여 0.05 m × 0.05 m 등 간격으로 하상을 측정하였다.

2.2.2 설치각에 따른 수제 국부세굴 실험

설치각에 따른 수제 이동상 수리 모형실험의 실험 조건 및 실험 안은 Table 2에 정리하였다. 설치각도에 따른 수제 실험에 사용된 수제는 길이가 0.30 m, 높이 0.40 m 그리고 두께가 0.05 m 로 수제 제작에 사용된 재료는 콘크리트이다. 설치간격은 수제길이의 2배(0.60 m) 간격이며 설치각은 흐름방향에 대해 설치각도 60°, 90°, 120°를 적용하였다. 모형사 및 통수시간은 단일수제

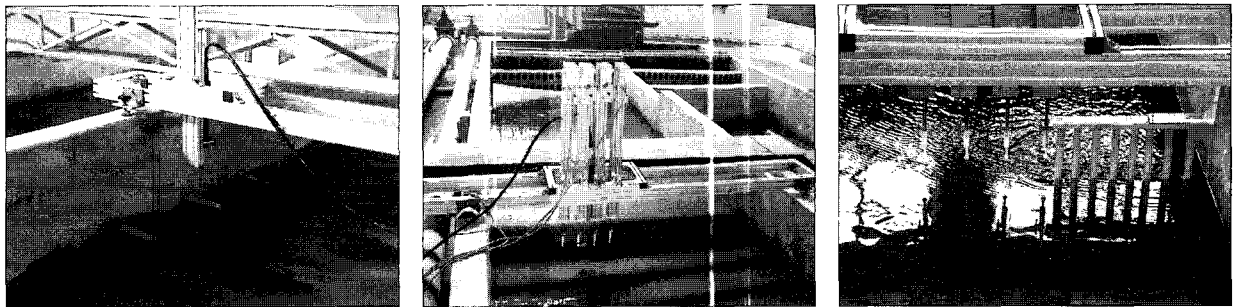


Fig. 2. Experimental setting of ADV, surface measuring system and groyne

Table 1. Experimental conditions of permeable groyne

Groyne Type	Condition	Groyne Length(<i>l</i>) m	Permeability(%)
permeable Groyne	$Q = 0.075 \text{ CMS}$ $H = 0.15 \text{ m}$ $U = 0.25 \text{ m/s}$ $Fr = 0.21$	0.4(Vertical Length)	0
			20
			40
			60
			80

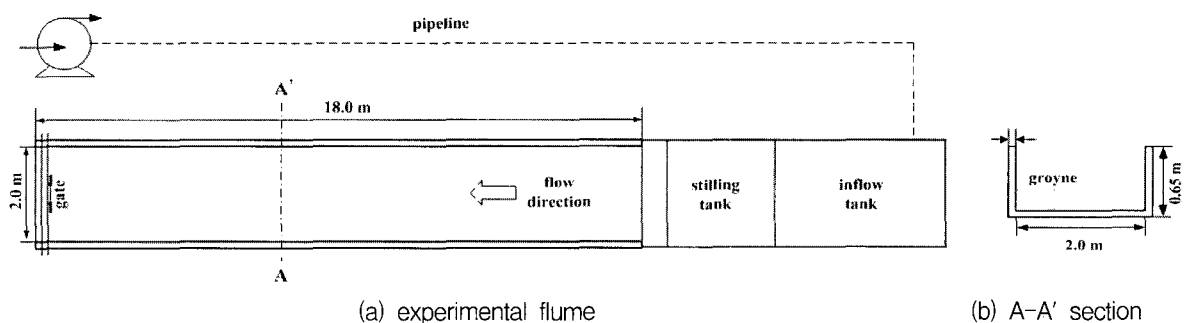


Fig. 3. The dimension of experimental flume

Table 2. Experimental conditions of impermeable groyne

Groyne Type	Condition	Groyne Length(<i>l</i>) m	Installed Angle(θ) °
Impermeable Groyne	Q = 0.075 CMS H = 0.15 m U = 0.25 m/s Fr = 0.21	0.26(Vertical Length)	60
		0.30(Vertical Length)	90
		0.26(Vertical Length)	120

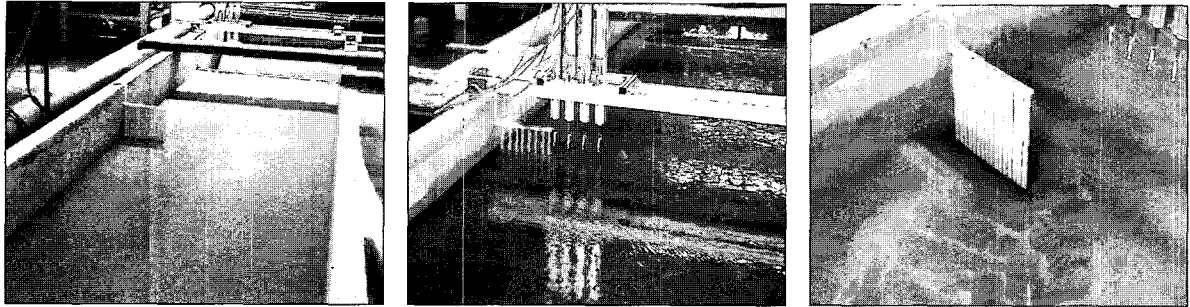


Fig. 4. Experiments for scour around permeable groyne

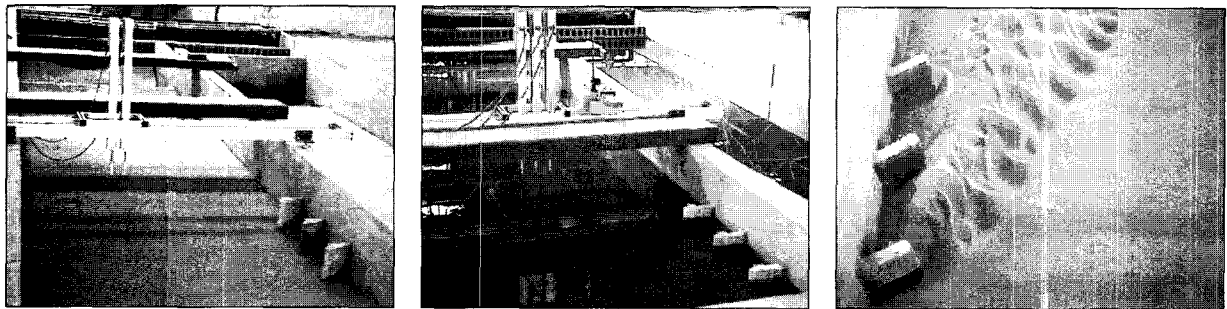


Fig. 5. Experiments for scour around angled groynes

실험과 동일한 조건을 적용하였다. 하상측정은 사면 측정기를 이용하여 상/하류 수제 주변 세굴영역 1.85 m 지점에 대해 완전 배수 후 대상영역에 대하여 0.05 m × 0.05 m 등 간격으로 하상을 측정하였다.

3. 실험 결과

본 연구의 유사조건은 Clear Water Scour 실험으로 상류에서의 유사유입 및 하상변화는 없으며 단지 수제 설치로 인한 국부세굴과 수로 하상변동만을 측정하였다. Fig. 6은 세굴영역 측정을 위해 본 연구에서 정의한 세굴영역의 평면 개요도로서 SL-a는 하안에서 부터의 세굴폭(수제상류부), SL-b는 수제역에서의 세굴발생위치(하안에서의 거리), SL-c는 수제상류부 세굴거리 및 SL-d는 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 퇴적고로 정의하였다.

3.1 투과율에 따른 세굴영역 실험

실험은 정적세굴(Clear Water Scour)조건에서 수행되었으나 수제설치로 인해 수제역을 제외한 수로부에서는 유속이 증가되어 사면현상이 발생하였는데 세굴영역은 사면부분을 제외한 세굴에 대해 분석하였다.

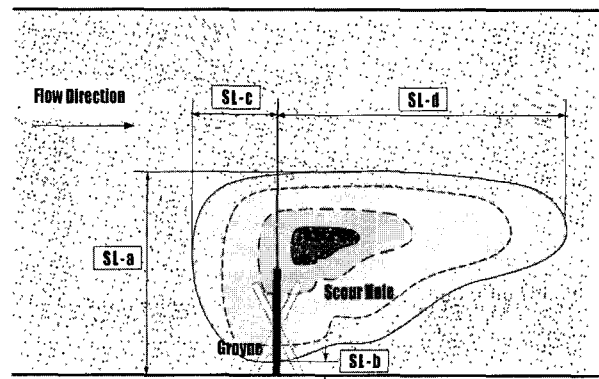


Fig. 6. Definition of Scour area (Kuhnle et al., 2002)

불투과수제의 경우 수제선단에서 발생하는 하강류와 wake vortex에 의해 선단부 주변에서 세굴이 가장 크게 발생하고 수제선단에서 흐름 분리선을 따라 수로 중앙으로 세굴영역이 진행됨이 뚜렷하게 나타나고 있다. 퇴적층은 수제선단 와류영향이 감소된 수제하류에서 재순환영역에서 경계면을 따라 발달되는 것으로 관측되었다. 투과수제의 경우도 하강류와 wake vortex로 인한 수제선단부에서 최대세굴심이 발생되지만 투과율에 따라 세굴영역의 형상은 차이를 나타내는 것으로 관측되었다. 또한 투과율이 커질수록 수로중앙으로 발생하는 세굴의 각이 점차적으로 감소하는 것으로 관측되었는데 이와 같은 현상은 투과율이 증가함에 따라 수제선단의 흐름분리 각이 감소하기 때문으로 판단된다(강준구 등, 2005). 투과수제의 퇴적층의 발달은 불투과 수제와 차

이가 있는데 수제 뒷부분에서 일직선으로 형성되고 수제 하류부 재순환영역의 경계에서도 발생하지만 투과율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 투과율 80%의 투과수제에서는 수제간격의 증가로 인해 원형말뚝 주변의 말발굽형 와류가 충분히 발달하여 원형교각의 국부세굴과 동일한 형태를 나타냈다. Figs. 7~11은 불투과수제 및 투과수제(투과율 20% ~ 80%)에 대한 하상변화를 나타낸 것이다. 두개의 등고선도는 각각 세굴심과 퇴적고를 별도로 나타낸 것이다.

세굴영역의 규모는 불투과 수제가 투과 수제에 비해 월등히 크게 측정되었고 투과수제는 투과율에 대해 변화가 적었으나 투과율이 증가함에 따라 전반적으로 감소하는 것으로 나타났다. Table 3은 수리모형실험에서 측정된 세굴영역을 수제길이에 무차원하여 나타낸 것이

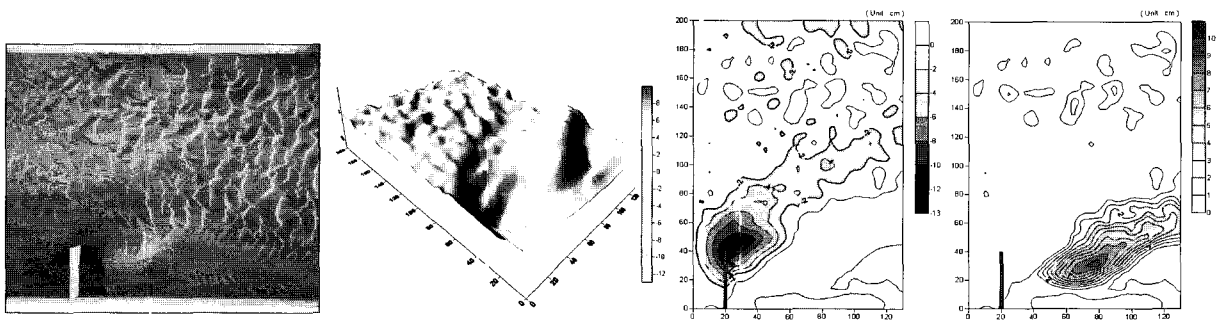


Fig. 7. The bed change of groyne(impermeable groyne)

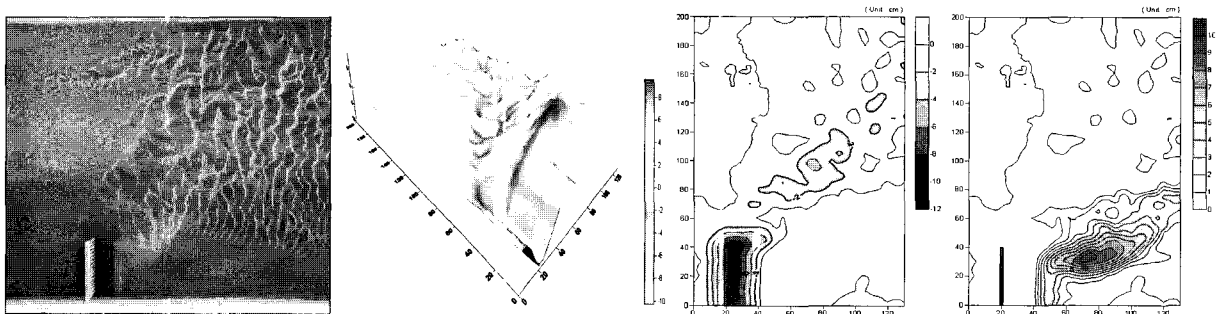


Fig. 8. The bed change of groyne(20 % permeable groyne)

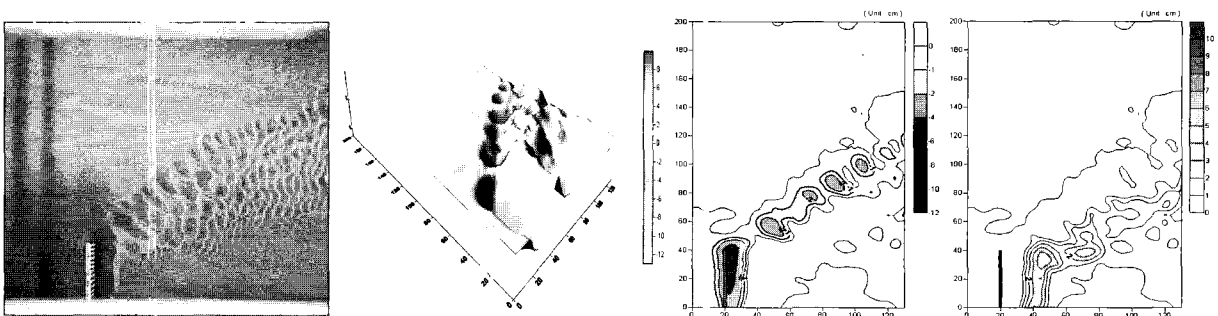


Fig. 9. The bed change of groyne(40 % permeable groyne)

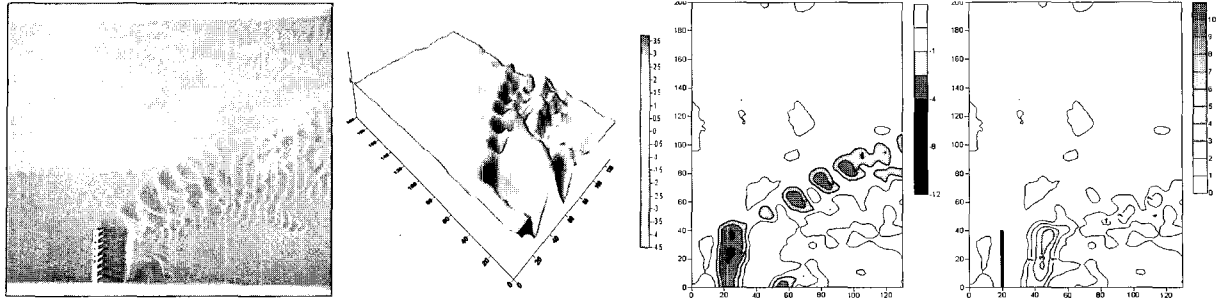


Fig. 10. The bed change of groyne(60 % permeable groyne)

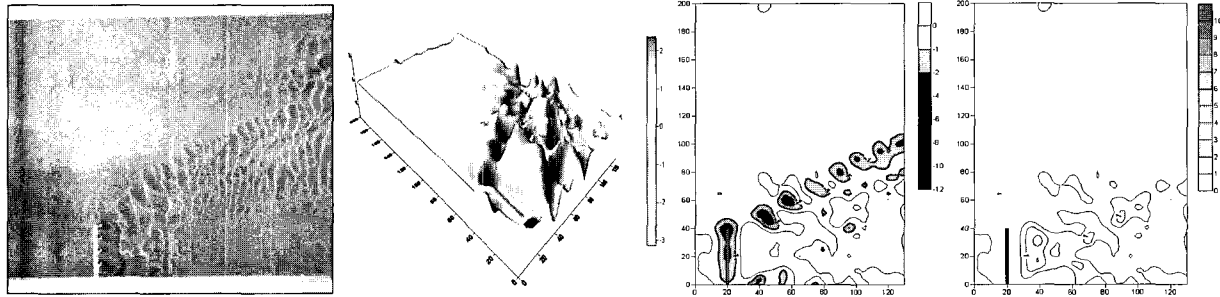


Fig. 11. The bed change of groyne(80 % permeable groyne)

Table 3. The results of scour area for a permeability of groyne

Permeability(%)	SL-a / ℓ	SL-b / ℓ	SL-c / ℓ	SL-d / ℓ
0	3.14	0.64	0.48	2.50
20	1.38	-	0.29	0.72
40	1.18	-	0.14	0.30
60	1.19	-	0.13	0.34
80	1.18	-	0.18	0.15

며, Fig. 12는 투과율에 따른 세굴영역 SL-a, SL-b, SL-c와 SL-d의 크기를 비교한 것이다. 세굴영역은 불투과 수제에서 가장 크게 측정되었는데, 수제길이 ℓ 로 무차원한 값으로써, 세굴폭(SL-a)은 3.14, 수제역 세굴위치(SL-b) 0.64, 수제상류로의 세굴길이(SL-c) 0.48 및 수제하류로의 세굴길이(SL-d) 2.50로 측정되었다. 세굴폭(SL-a)은 불투과 수제와 비교시 20% 투과수제의 경우 0.44 배이며 40% 이상 투과율에서는 약 0.88 배로 측정되었다. 수제역 하안부터의 세굴위치는 불투과 수제의 경우 수제길이 0.64 배 지점에서 시작되었으나 투과수제의 경우 하안부에서도 세굴이 발생하였다. 수제상류로의 세굴길이(SL-c)는 불투과 수제와 비교시 20% 투과수제의 경우 0.60 배이며 40% 이상 투과율에서는 약 0.29 배로 측정되었다. 수제하류로의 세굴길이(SL-d)는 불투과 수제와 비교시 20% 투과수제의 경우 0.29 배이며 40% 이상 투과율에서는 약 0.12~0.2 배로 측정되었다.

이와 같은 결과는 수제조건에 따른 외류형태와 규모

가 원인으로 특히 수제 선단에서의 wake vortex가 주요 원인이 된다. wake vortex는 흐름을 방해하는 수제의 면적이 주요 변수로 투과율에 따라 차이가 있으며 흐름의 방해면적이 최대인 불투과 수제에서 와의 영역이 최대가 된다. 따라서 (SL-a), (SL-c)와 (SL-d)의 영역은 투과율이 커질수록 감소하는 경향을 나타낸다. (SL-b)는 수제 직하류에 제방으로의 거리로써 불투과 수제의 경우 wake vortex영역이 제방까지 미치지 못하지만 투과수제(원형말뚝형태)의 경우 제방부근 말뚝에서 발생하는 wake vortex의 영향으로 제방부근의 세굴이 발생하게 된다.

Table 4는 투과율에 대한 최대세굴심을 나타낸 것으로 수제길이와 불투과수제의 최대세굴심(S_{max})로 무차원화 하여 비교하였다. Fig. 13은 투과율 변화에 따라 발생하는 최대 세굴심을 수제길이를 무차원화 하여 비교한 것으로 최대세굴심은 투과율 증가에 대해 선형적으로 감소하는 것으로 나타났다. Fig. 14는 투과율에 대한 본 연구의 결과를 기존 연구자료와 비교하여 나타낸

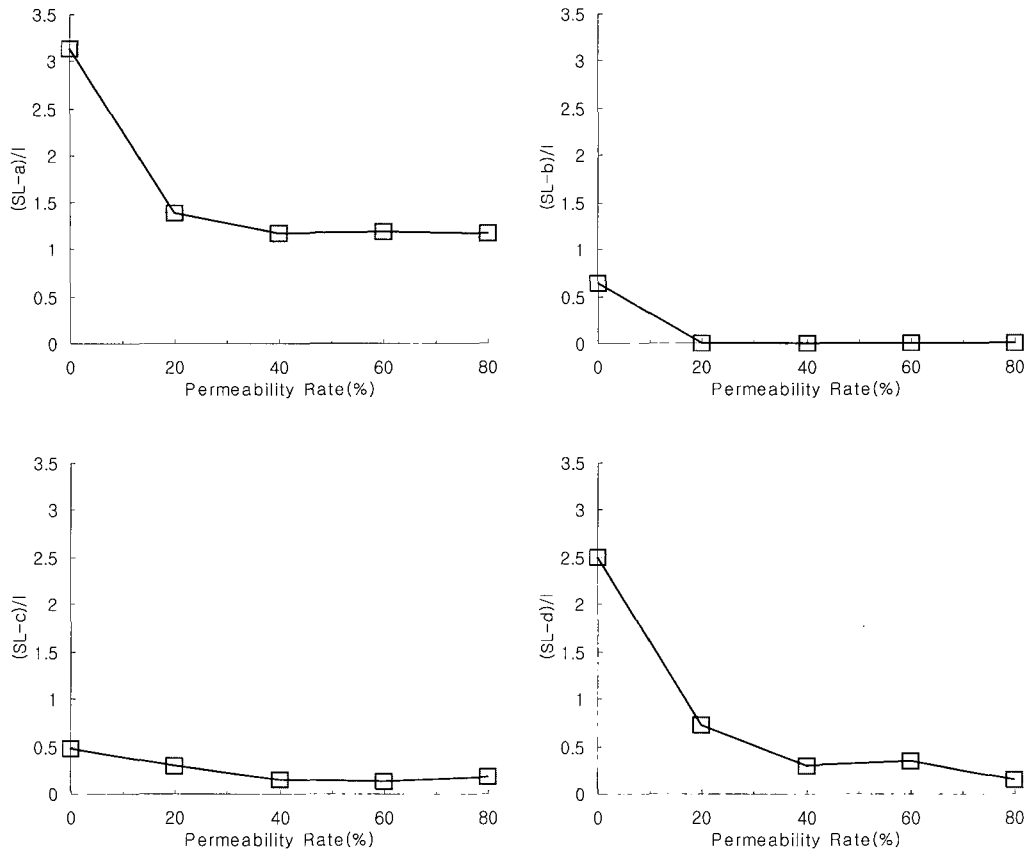


Fig. 12. The comparison of scour area for permeability of groyne

Table 4. Maximum scour depth and sedimentation

Permeability(%)	Scour .		
	Max Scour(cm)	S_{max} / e	S_{max} / S_{max0}
0	12.95	0.32	1
20	10.55	0.26	0.81
40	6.45	0.16	0.50
60	4.6	0.12	0.36
80	3.4	0.09	0.26

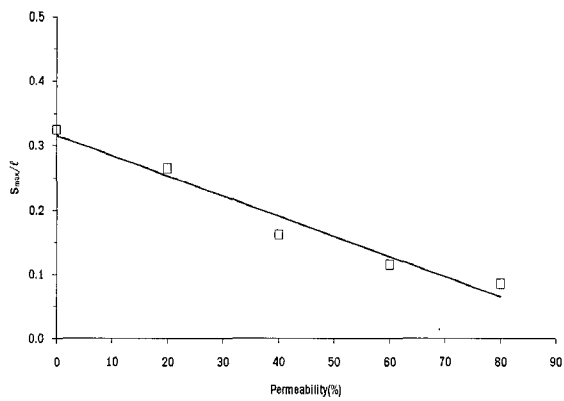


Fig. 13. Maximum scour depth with permeability

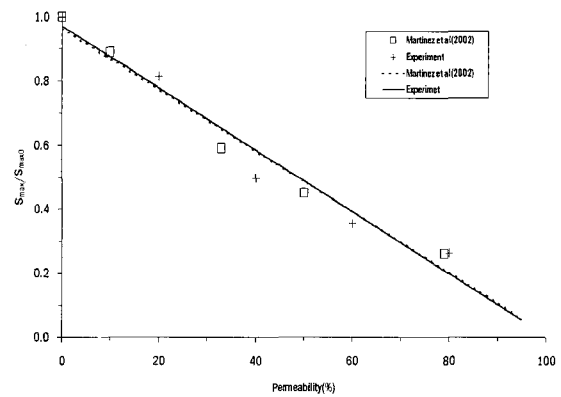


Fig. 14. Comparison of maximum scour depth for permeability with a previous researches(Martinez et al., 2002)

것으로 동일한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 최대세굴심비(S_{max}/S_{max0})은 투과율 증가에 따라 감소되는데 불투과수제에 비해 80% 투과수제에서 약 0.26 배 낮게 분석 되었다. 최대세굴심이 발생하는 위치는 불투과 수제와 투과수제가 동일하게 수제 선단에서 발생하였다. 그러나 불투과수제는 수제선단에 국부세굴이 집중된 반면 투과수제는 수제주변에서 유사한 값의 국부세굴이 발생하고 있다.

3.2 설치각도에 따른 군수제 실험

불투과 군수제 실험에서 세굴은 주로 상류 수제 전단부에서 발생하였으며 하류 수제에서 세굴은 하향수제 (120°) 선단부에서 약하게 발생하는 세굴을 제외 하고는 상류수제(60°) 및 직각수제(90°)에서는 전혀 영향을

받지 않았다. 수제역 내에서는 퇴적은 첫 번째 수제역에서 발생하며 두 번째 수제역에서는 발생 폭이 극히 적었다. Figs. 15~17은 설치각도에 대한 실험결과를 실제형상과 세굴, 퇴적에 대해 등고선도로 표현하였다.

설치각도에 따른 측정된 세굴영역을 수제길이로 무차원화 하여 Table 5에 정리하였다. 세굴영역 SL-a, SL-d는 직각수제에서 수제길이의 2.86 배, 1.39 배로 가장 크게 측정되었다. SL-b는 하향수제에서 수제길이의 0.65 배로 가장 크게 나타났다. 이는 하안보호 측면에서 수제설치각도는 하향수제가 효과적일 것이라고 판단된다. 직각수제와 상향수제는 각각 0.58 배, 0.55 배로 차이는 미미한 편이다. SL-c는 설치각도가 증가할수록 (수제방향 상향에서 하향) 작게 나타났으며 상향수제에 비해 하향수제가 대략 0.58 배 정도 짧게 측정되었다.

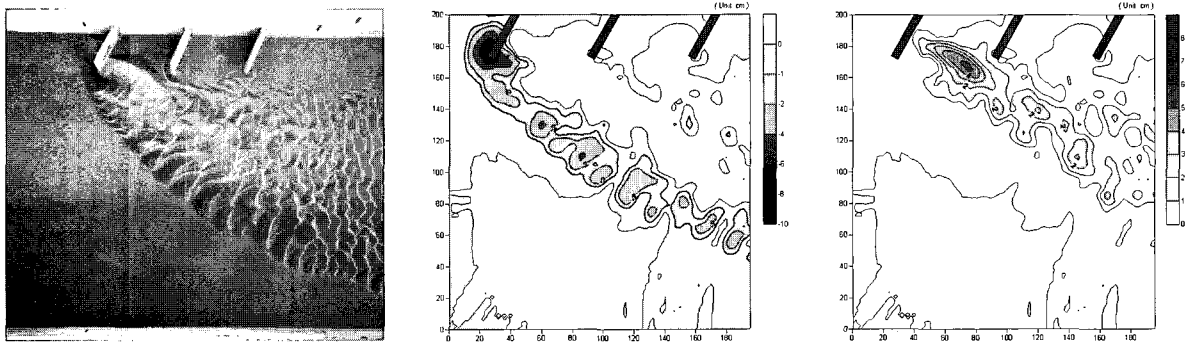


Fig. 15. The bed change of 60° angled groynes

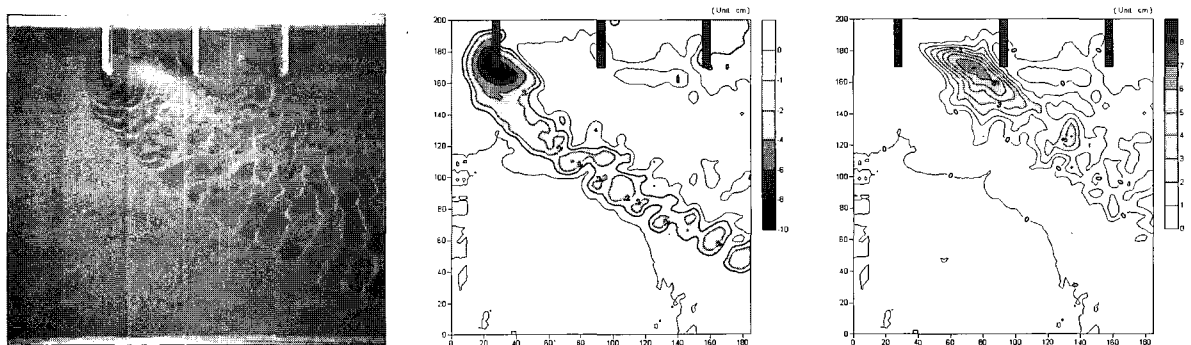


Fig. 16. The bed change of 90° angled groynes

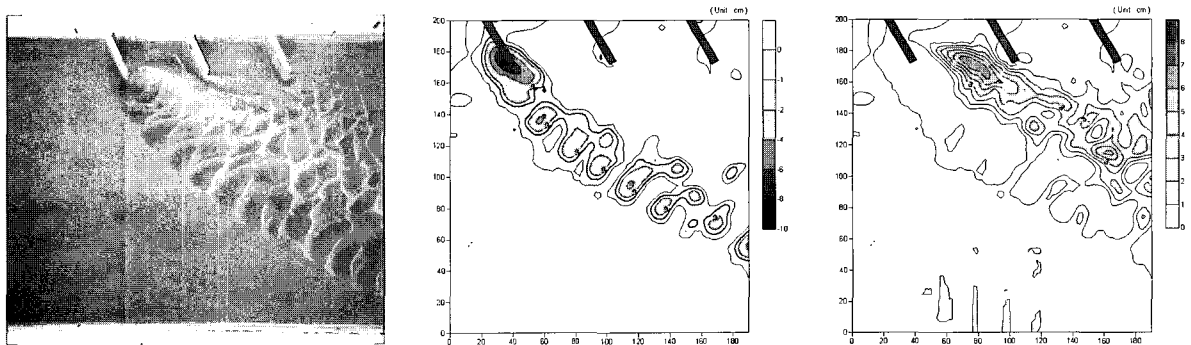


Fig. 17. The bed change of 120° angled groynes

Table 5. The results of scour area for install angel of groyne

Installed Angle(°)	SL-a / ℓ	SL-b / ℓ	SL- c / ℓ	SL-d / ℓ
60	1.96	0.58	0.72	0.33
90	2.86	0.55	0.68	1.39
120	2.11	0.65	0.42	1.10

Table 6. The maximum scour depth and sedimentation for install angel of groyne

Installed Angle(°)	Scour		
	Max Scour(cm)	S_{max} / ℓ	S_{max} / S_{max0}
60	8.15	0.27	0.84
90	9.75	0.33	1.00
120	8.65	0.29	0.89

Table 6은 설치각도에 대한 최대세굴심과 수제길이와 직각 수제의 최대세굴심(S_{max90})에 대한 무차원 값을 나타냈으며 Fig. 18은 최대세굴심에 대해 기존 연구자료와 본 실험 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 최대세굴심은 직각수제(90°)에서 최대값이 측정되었고 이 값을 변곡점으로 하여 설치간격에 대해 대칭되게 감소하는 것으로 나타났다. 설치각 60°와 120°의 수제의 최대세굴심은 직각수제에 대해 각각 0.84, 0.89배가 발생하였다.

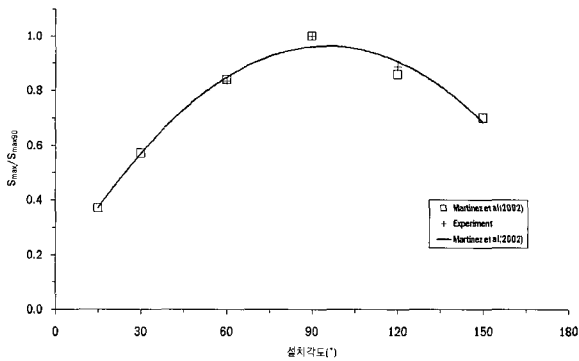


Fig. 18. Comparison of maximum scour depth for install angle with a previous researches (Martinez et al., 2002)

4. 결 론

본 연구는 국부세굴이 생태공간으로의 활용할 수 있다는 관점에서 시작되었으며, 생태공간으로의 활용성을 파악하기 위해서는 세굴진행에 따른 세굴규모를 판단하는 것이 중요하다. 본 연구에서의 세굴영역은 최대세굴이 발생되었을 때의 형상으로, 세굴형상은 최대세굴시의 형상과 세굴이 진행될 때의 형상이 비슷하기 때문에

수제종류에 따라 세굴형상(부피형상)은 세굴진행(시간적 변화)에 따른 부피계산에 기초적인 중요한 자료가 될 수 있다.

수제세굴의 주요원인은 구조물 형상으로 인한 와류형상과 밀접한 관계가 있으며 이는 본 실험결과에서 잘 나타나고 있다. 불투과 수제(0% 투과)의 경우 강한 wake vortex의 발생으로 중앙수로 방향으로 세굴이 형성되었으며 투과수제의 경우 원형말뚝 구조물에서의 vortex 형태로 구조물 주변에서 주로 세굴이 발생되었다. 이는 최대세굴시의 세굴부피의 형태가 달라지는 주요 원인이 되며 세굴영역에서도 차이가 발생하였다. 실험결과, 불투과 수제와 투과수제의 세굴영역(폭, 상·하류길이)은 큰 차이를 보이나 투과수제의 투과율에 대해서는 변화가 적게 관측됨에서 확인된다. 최대세굴심은 투과율 증가에 대해 선형적으로 감소하는 것으로 측정되었다. 불투과수제에 대한 투과수제의 최대세굴심 감소는 기존 연구와 동일한 결과를 나타냈으며 투과율이 80 %일 경우 최대세굴심비(S_{max}/S_{max0})는 0.26으로 측정되었다.

수제 설치각 실험은 불투과 수제에서 수행된 것으로 동일한 wake vortex 구조가 형성되었으며 이로 인해 세굴규모의 차이는 있으나 수로 중앙부로 일정한 각을 이루면서 세굴이 발달함을 알 수 있다. 설치각에 따른 최대세굴심은 직각수제(90°)에서 최대가 발생하였고 하향수제, 상향수제에 대해 대칭적으로 감소하는 것으로 측정되었다. 기존자료와의 비교를 통한 최대세굴심은 일치된 결과가 나타났다.

수제조건에 따른 세굴영역은 생태서식처로의 효율성을 파악 및 적절한 수제형태 선정의 주요한 자료를 제시할 것이며 최대세굴시의 세굴부피 형태는 시간에 따른 부피변화에 중요한 자료가 될 것이다.

참 고 문 헌

- 강준구, 여홍구, 김성중 (2005). "단일 횡수제 조건에 따른 선단부 유속과 재순환 영역에 대한 실험연구." *한국수자원학회논문집*, 한국수자원학회, 제38권, 제2호, pp. 143-153.
- Copeland, R. R. (1983). "Bank Protection Techniques Using Spur Dikes", *Miscellaneous paper HL83-1*, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station.
- Jansen, P. (1979). *Principles of River Engineering*, Pitman, London, England.
- 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. WRR-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.*, Subcommittee on Sedimentation of the Interagency Advisory Committee on Water Data, Las Vegas, Vol. 13, pp. 34-39.
- Kuhnle, R. A., Alonso, C. V., and Shields, F. D., Jr. (2002). "Local Scour Associated with Angled Spur Dikes." *J. Hydraulic Eng.*, Vol. 128, No. 12, pp. 1087-1093.
- Linder, C. P. (1969). *Channel Improvement and Stabilization Measures. State of Knowledge of Channel Stabilization in Major Alluvial Rivers*, Technical Report No. 7, G. B. Fenwick, ed., USACE Committee on Channel Stabilization.
- Martinez, E., Ettema, R., and Lachhab, A. (2002). "Scour Experiments on Dike Angle, Porosity, and Hook for a Thin Dike." ICSF-1, pp. 364-372.
- Shields, F. D. Jr., Cooper, C. M., and Knight, S. S. (1995). "Experiment in Stream Restoration." *J. of Hydraulic Eng.*, Vol. 121, No. 6, pp. 494-502.
- Thompson, D. M. (2002). "Channel-bed scour with high versus low deflectors." *J. Hydraulic Eng.*, Vol. 128, No. 6, pp. 640-643.

(논문번호:05-146/접수:2005.11.15/심사완료:2006.06.15)