

설치간격에 따른 연직수제 주변 하상변동에 관한 실험연구

Experimental Study on Bed Change Around Vertical Groyne with Installed Spacing

여홍구* / 강준구** / 김성중*** / 윤병모****

Hong Koo Yeo, Joon Gu Kang, Sung Jung Kim, Byeong Mo Yoon

요 지

하천 내 설치하는 수제는 제방보호 및 유로변경의 목적으로 하천내 시공되는 구조물 중의 하나로서 하천복원과정에 있어 필수불가결한 구조물 중의 하나로 인식되고 있다. 수제는 대개 하나 이상의 일련의 군집형태로 수로 자체의 특성을 고려하여 설치가 되고 있다. 그러나 이러한 수제의 무분별한 설치는 주변 경관을 저해하는 요소로 나타날 수 있을 뿐만 아니라 시공에 따른 비용에 적지 않은 부담을 야기 시키기 충분하다. 그러나 적절한 간격 조절을 통해 생태, 호안보호, 경관 등의 수제의 기능을 만족한다면 이보다 더 효율적인 것을 없을 것이다. 따라서 본 연구에서는 수제간격에 따른 하상변동 실험을 통해 효율적인 배치간격을 제시할 목적으로 수행되었다.

실험은 폭 1.2m, 길이 50m, 높이 1.5m 인 직선수로에서 수로폭의 15%길이를 갖는 연직수제를 2개를 대상으로 각각 수제길이의 2 ~ 8배의 간격 조절을 통해 하상변동실험을 수행 하였다. 실험 용입자는 중간입경(d_{50})이 0.15mm 인 모래를 사용하였으며 6시간 동안 통수하였다.

실험결과 유수에 의해 첫 번째 설치된 수제에서 지배적으로 많은 영향을 받게 되면서 후면부에 설치된 수제는 비교적 영향을 덜 받고 있었다. 그러나 그 영향권을 점차 벗어나게 되면서 수제간격이 4배 이상일 경우 후면부 수제에서도 세굴이 발생하고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 자료는 추후 수제설치에 따른 효율적인 배치 간격 결정에 중요한 자료로 이용될 수 있을 것이다. 그러나 수제들이 시공되는 대다수의 하천들은 어느 정도의 만곡도를 갖고 있기 때문에 이를 간과해서는 안될 것으로 판단된다.

핵심용어: 수제, 수제간격, 세굴

1. 서 론

최근 들어 국내 및 해외에서는 하천환경 및 생태서식처로서의 기능을 가지는 자연형 하천으로의 복원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 자연형 하천으로 복원하고자 하는 취지는 기존에 설치되어 있는 하천내·외의 수공 구조물들을 단순히 제거만을 통해 과거 하천으로 회귀 하고자 하는 목적은 아닐 것이다. 수공구조물은 점차 단순화 될 것이며 단순화된 구조물은 보다 자연적인 재료를 찾게 됨으로써 한층 가깝게 하천생태에 접근할 수 있을 것이다.

일반적으로 하천복원에서 떠올려지는 것 중의 하나는 수공구조물의 설치를 통해 이를 이용하

* 정회원 · 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 연구위원 E-mail : yeo917@kict.re.kr

** 정회원 · 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 수석연구원 E-mail : jgkang02@kict.re.kr

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 전임연구원 E-mail : jinx9482@kict.re.kr

**** 비회원 · 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 수석기술위원 E-mail : bmyoon@kict.re.kr

는 것이다. 많은 종류의 구조물에서 하천 내 설치되는 수제가 대표적인 예가 될 수 있을 것으로 생각한다. 수제(groyne)는 제방보호 및 유로변경의 목적으로 하천내에 시공되는 구조물로서 근래에는 경제성 및 환경성을 갖는 수제에 대한 연구들이 진행되고 있다. 근래 수제주변 하상변동에 대한 많은 연구들이 진행중에 있는데 Martinez et al(2002)은 수제의 설치각도와, 투과율 그리고 L형 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. Gisonni et al(2005)은 경사수제를 대상으로 1, 2, 4배 간격에 대한 이동상실험을 수행하여 첫 번째 수제에 대한 세굴방지공의 필요성에 대해 언급하였다. Mohsen(2008)은 L형 수제에 대해 4가지 설치간격과 3가지 하상재료 그리고 3가지 유량조건에 대한 이동상 실험을 수행하여 설치간격에 대한 최대세굴심과의 관계를 언급하였으나 비교적 수제의 설치간격이 1배에서 2.5배로 설치되어 수제설치간격에 대한 수제주변 하상변동에 대한 연구는 충분하지 못한 것으로 나타났다.

이에 본 연구에서는 연직수제를 대상으로 기존 연구에 비해 보다 광범위한 수제의 설치간격(수제길이의 2배에서 8배)에 대한 이동상실험을 수행하여 세굴 및 퇴적경향을 파악하여 보았다.

2. 수제모형실험

수제 간격에 따른 연직수제 하상변동에 대한 실험은 수로길이가 50 m, 폭 1.2 m, 높이 1.5 m의 직사각형 직선수로에서 수행하였다(그림 1). 실험을 위해 제작된 모형수제는 직각수제의 형태로 제작되었으며 길이는 0.18 m로 수로폭대 수제길이비(L/B)는 0.15 이다. 2 개의 수제로 하여금 각각 수제길이의 2 ~ 8배의 간격 조절을 통해 하상변동실험을 수행 하였다. 수제의 설치간격을 2 ~ 8배로 결정한 이유는 수제역내 재순환 흐름이 발생하는 시점이 2배의 간격으로 설치된 이후부터이며 수제역내 최대역유속이 발생하는 간격이 8배 이기 때문이다(다기능 하천설계기준 실험검증사업, 2004). 단일수제를 설치하였을 때 수제의 재순환길이는 수제길이의 12배 근처에서 발생하나 후면부에 설치된 수제의 길이를 고려하였을시 재순환 흐름이 수제간격이 8배 일 때 후면부 수제의 끝단에 걸치게 되고 이는 곧 재순환흐름으로 유입되기 때문에 9배 이상의 간격으로 수제를 설치하는 것은 무의미 하다고 생각되어 설치간격을 8배까지로 결정하였다. 본 연구에서는 연직수제를 이용하여 입자이동 한계유속비(V_a/V_c - critical velocity rate of bed material)가 1 에 가까운 조건에 대한 수제국부세굴실험을 수행하였다.

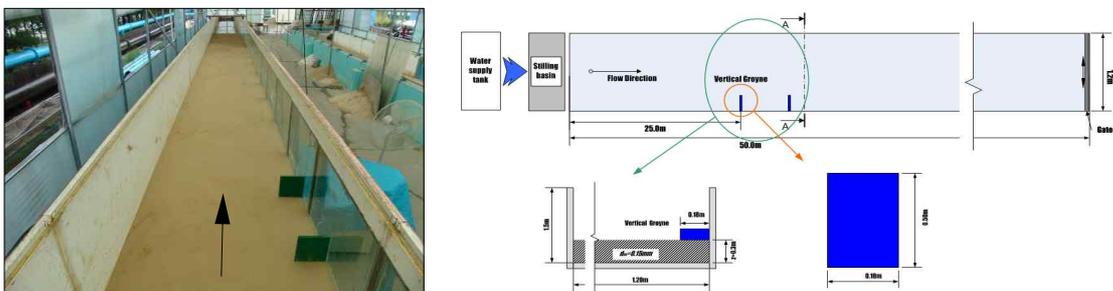


그림 1 실험수로제원

실험용입자는 중간입경(d_{50})이 0.15 mm 인 모래를 사용하였으며 6시간 동안 통수하였다. 실험이 진행되는 동안 3대의 사면측정기를 이용하여 최대세굴심이 발생할 것으로 예상되는 지점에 실시간으로 하상변동을 측정하였고 하상측정은 수제설치 지점으로부터 상류단으로 1.0 m, 하류단으로 3.7 m 구간에 대해 횡방향으로 0.05 m 간격으로 종방향으로 0.1 m 간격으로 측정하였다.

표 1 실험조건

수제 형태	실험조건	수제 간격	CASE
연직수제	수심(d)=0.15 m 유입부유속(U_{app})=0.25 m/s 통수시간=6 hr 수제길이=0.18 m(l/B=0.15)	2	SM15V25-2X
		3	SM15V25-3X
		4	SM15V25-4X
		5	SM15V25-5X
		6	SM15V25-6X
		7	SM15V25-7X
		8	SM15V25-8X

3. 실험분석 및 결과

실험분석은 연직수제 설치간격에 대해 세굴영역과 세굴심에 대해 분석하였으며, 또한 실시간으로 측정된 세굴자료에 대해 분석을 수행하였다. 일반적으로 2 개 이상의 수제가 설치될 경우 유수에 의해 첫 번째 설치된 수제에서 지배적으로 많은 영향을 받게 되면서 후면부에 설치된 수제는 비교적 영향을 덜 받게 된다. 실험을 통해 수제간격이 4 배 이하일 경우 전면부수제(앞수제)에 의해 발생하는 주흐름으로 인해 후면부 수제(뒷수제)는 주흐름의 영향을 받지 못하는 것으로 나타났다. 그림 2, 3은 수제간격이 2 ~ 5배 일 때 실험사진 및 측정자료를 토대로 작성된 등고선도를 세굴영역과 퇴적영역으로 구분하여 표현하였는데 이를 통하여 세굴영역의 변화를 확인할 수 있다.



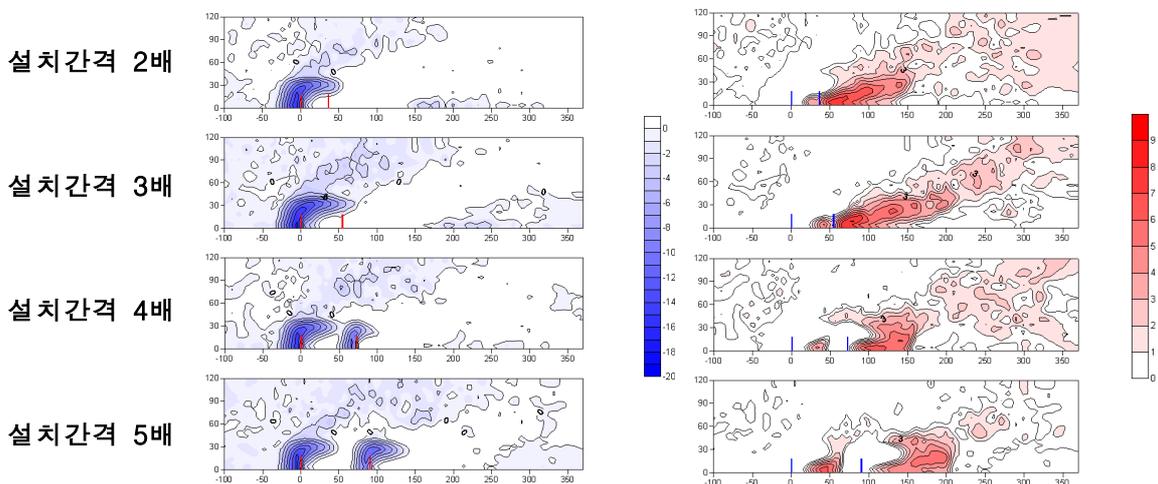
설치간격 2배

설치간격 3배

설치간격 4배

설치간격 5배

그림 2 수제 설치간격에 따른 수제 주변 세굴실험사진



설치간격 2배

설치간격 3배

설치간격 4배

설치간격 5배

그림 3 수제 설치간격에 따른 수제 주변 세굴 및 퇴적

그림 4는 수제간격에 대한 최대세굴심을 나타낸 그림으로서 최대세굴심은 첫 번째 수제 끝단에서 주로 발생하고 있으며 15.3 cm ~ 19.5 cm 범위로 발생하고 있었다. 그러나 최대세굴심은 일반적으로 15 cm 내외로 측정되었는데 이는 실험조건 및 수제의 길이가 동일하기 때문에 발생하는 것으로 보여진다. 두 번째 수제에서 최대세굴심의 변화는 3.6cm ~ 12.8 cm로 나타났다. 2 ~ 3배 간격으로 설치되었을 때 첫 번째 수제의 영향권 내에 위치하기 때문에 세굴이 비교적 적게 발생하였으며 독립적인 세굴이 발생하는 4배 간격 이상에는 10.1 ~ 12.2 cm의 세굴이 발생하였다. 이는 대략 첫 번째 수제에서 발생하는 세굴에 비해 2 ~ 3배 간격의 군수제에서는 0.1 ~ 0.2 배의 세굴이 발생하고 있었고 0.6 ~ 0.8 배 정도로 나타나고 있었다. 그림 5는 최대퇴적고에 대한 그림으로서 첫 번째 수제에서 받은 재순환영역의 흐름에 의해 수제간격이 3배 이하인 경우 퇴적이 발생하는 지점은 2번째 수제 하류단에서 발생하고 있었으며, 수제간격이 4배 이상일 경우 최대퇴적고는 6.7 cm ~ 8.6 cm 범위로 관측되었으며 수제 간격이 4배 이상일 경우 최대퇴적고는 7 cm 내외로 관측되었다. 수제간격이 증가할수록 수제역내 퇴적이 발생하는 영역은 증가하고 있었다.

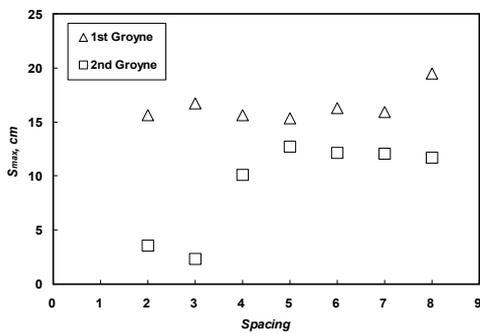


그림 4 수제설치간격에 따른 최대세굴심

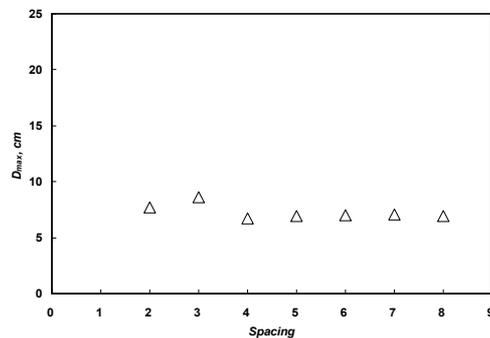
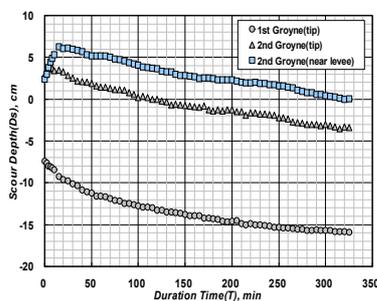
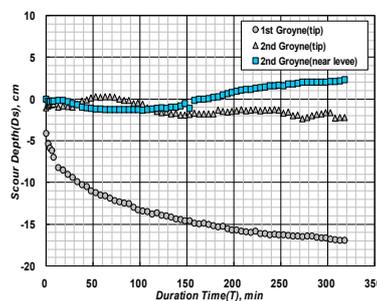


그림 5 수제설치간격에 따른 최대퇴적고

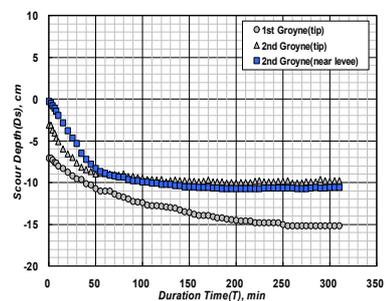
실시간 하상측정은 3 대의 사면측정기를 이용하여 시간에 따라 최대세굴이 발생할 것으로 예측되는 지점에 설치하여 세굴심을 측정하였다. 측정지점은 첫 번째 수제 끝단, 두 번째 수제 끝단 및 두 번째 수제와 제방의 접합부에 설치하여 관측하였다. 그림 6은 수제간격비에 따른 실시간 세굴자료를 나타낸 그림으로서 수제간격이 3배 이하일 때 두 번째 수제에서는 첫 번째 수제 흐름의 영향권 내에 위치해 있어 약한 세굴 또는 퇴적이 발생하고 있음을 알 수 있다. 수제 간격이 4배 이상이 되면 설치된 2 개의 수제에서 독립적인 세굴이 발생하게 되는데 첫 번째 수제에서 발생하는 세굴심의 대략 0.6 배로 나타나는 것을 알 수 있었다. 두 번째 수제 제방접합부에서 세굴은 설치간격이 4배 이상이 되면 10cm 내외로 유지되는 것을 알 수 있다.



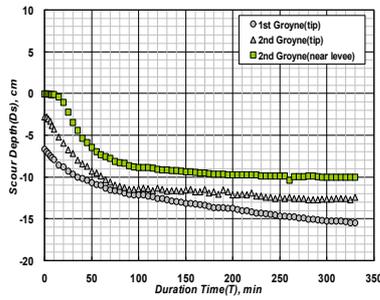
설치간격 2배



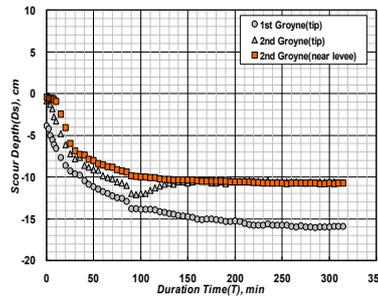
설치간격 3배



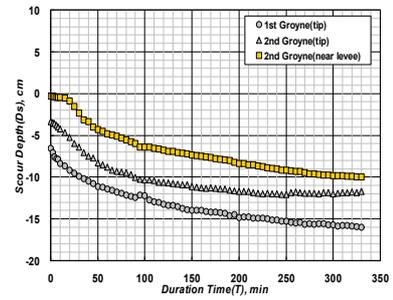
설치간격 4배



설치간격 5배



설치간격 6배



설치간격 7배

그림 6 시간에 따른 하상변동

4. 결론

본 연구에서는 연직수제를 대상으로 수제길이의 2 ~ 8 배의 설치간격 조절을 통해 하상변동 실험을 수행 하였다. 실험분석은 연직수제 설치간격에 대해 세굴영역과 세굴심에 대해 분석하였으며, 3대의 사면측정기를 이용하여 시간에 따라 최대세굴이 발생할 것으로 예측되는 지점에 설치하여 실시간 세굴심을 측정하였다.

실험을 통해 수제간격이 4 배 이하일 경우 전면부수제(앞수제)에 의해 발생하는 주흐름으로 인해 후면부 수제(뒷수제)는 주흐름의 영향을 받지 못하는 것으로 나타났다. 최대세굴심은 일반적으로 15 cm 내외로 측정되었는데 이는 실험조건 및 수제의 길이가 동일하기 때문에 발생하는 것으로 보여진다. 두 번째 수제에서 최대세굴심의 변화는 대략 첫 번째 수제에서 발생하는 세굴에 비해 2 ~ 3배 간격의 균수제에서는 0.1 ~ 0.2배의 세굴이 발생하고 있었고 0.6 ~ 0.8배 정도로 나타나고 있었다. 수제간격이 증가할수록 수제역내 퇴적이 발생하는 영역은 증가하고 있었다. 첫 번째 수제에서 받은 재순환영역의 흐름에 의해 수제간격이 3배 이하인 경우 퇴적이 발생하는 지점은 2번째 수제 하류단에서 발생하고 있었다. 이러한 결과로 볼 때 동일한 길이의 균수제 설치시 독립적인 세굴이 발생하는 간격인 4배를 기준으로 설치목적에 따른 선택을 하여야 할 것으로 판단된다. 단지 첫 번째 수제에서 발생하는 세굴에 대한 대책(보호공)은 필요할 것으로 사료된다.

이러한 결과는 수제설계시 유용한 자료로 이용할 수 있을 것으로 생각되며 만곡부에 설치되는 수제에 대한 추가연구가 이루어진다면 효율적인 수제배치간격을 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원(2004). 다기능 하천설계기준 실험검증사업.
2. Corrado Gisonni, Willi H. Hager, Jens Unger. (2005). Spur in River Engineering-A Preliminary Study, 31st IAHR Congress, Seoul, Korea, pp 430-431.
3. Martinez, E., Ettema, R., Lachhab, A. (2002). Scour Experiments on Dike Angle, Porosity, and Hook for a Thin Dike, 1st ICSF-1, p. 364-372.
4. Mohsen, B., Ramin, F., Ahmad, D. A., Mirkhalegh, Z. A. (2008). Experimental Investigation of Local Scouring Around a Series of L-Head Groynes, 8th ICHE, Nagoya, Japan, pp. 383-384.