

# 설치간격에 따른 상향수제 하상변동에 관한 실험연구

## Experimental Study on Bed Change Around Upward Vertical Groyne with Installed Spacing

여흥구\* / 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 하나로써 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 설치의 주변 경관을 저해하거나 시공에 따른 비용 부담을 가중시키기 충분하다. 치수적 목적이외에 경제적인 문제점을 해결하기 위해서는 실험을 통해 수제의 적절한 간격을 제시하는 것이 필요하다. 수제간격을 제시하기 위한 기초자료를 얻기 위해 본 연구에서는 기존 연직 및 하향군수제 하상변동실험과 동일한 조건으로 상향수제( $\theta=45^\circ$ )를 대상으로 수제간격에 대한 이동상 실험을 수행하여 수제주변 및 수제역 내에서 발생하는 하상변동특성을 검토하였으며, 기존자료와 비교 하였다.

실험결과 흐름집중 증가로 인해 국부세굴이 크게 발생하고 있으며 세굴폭은 수제길이의 3배 지점까지 영향을 미치고 있었으며, 퇴적고는 설치간격이 증가할수록 높게 형성되고 있었다. 연직 및 하향수제자료와 비교한 결과 상향수제는 수제끝단부에서 발생하는 국부적인 세굴에는 불리하나 수제역내 퇴적에는 유리한 것으로 나타났다.

**핵심용어:** 수제간격, 상향수제, 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 이용하는 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 진행 되고 있다.

군수제 주변에서의 흐름특성은 그림 1과 같이 수제선단부 흐름집중으로 인하 흐름분리흐름과

\* 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 수석연구원 E-mail : jinx9482@kict.re.kr

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

수제역내 재순환흐름의 발생이다. 흐름집중은 수제선단부의 와형성으로 인해 수제주변 세굴심을 가중시키는 주요흐름이며, 재순환 흐름은 수제역내 흐름을 완화시키는 흐름으로서 퇴적물을 이송시켜 수제역내 퇴적을 촉진하는 흐름이다.

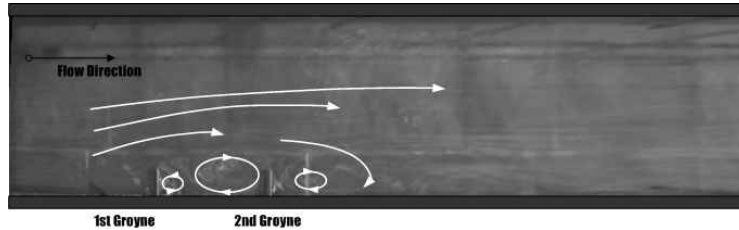


그림 1 군수제 주변 흐름특성개요도(자연공생하천구조물설계기술개발, 2010)

수제에 대한 하상변동 연구는 Martinez et al(2002)에 의해 수제의 설치각도, 투과율 그리고 L형 수제를 대상으로 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. HR Wallingford(1997)에서는 시공비용에 초점을 맞춘 적절한 수제간격은 6배 이하로 설치하여야 한다고 하였다. 그러나 제시된 수제간격은 흐름특성에 대해서 제시한 값으로서 하상변동을 고려는 이루어지지 않았으므로 이에 대한 검토가 필요할 것으로 생각된다. 따라서 본 실험에서는 상향수제( $\theta=45^\circ$ )를 대상으로 수제간격에 대한 이동상 실험을 수행하여 수제주변 및 수제역 내에서 발생하는 하상변동특성을 검토하고자 하였다.

## 2. 군수제 하상변동실험

수제 간격에 따른 하향수제 하상변동에 대한 실험은 그림 2와 같이 수로길이가 50 m, 폭 1.2 m, 높이 1.5 m의 직사각형 직선수로에서 수행하였다. 실험을 위해 제작된 모형수제는 연직형태로 제작되었으며 길이는 제방과의 연직길이를 개념을 도입한 투영길이로 정의하였다. 투영길이  $I'$  은 0.18 m 이며 수로폭대 수제길이비( $I'/B$ )는 0.15 이다.

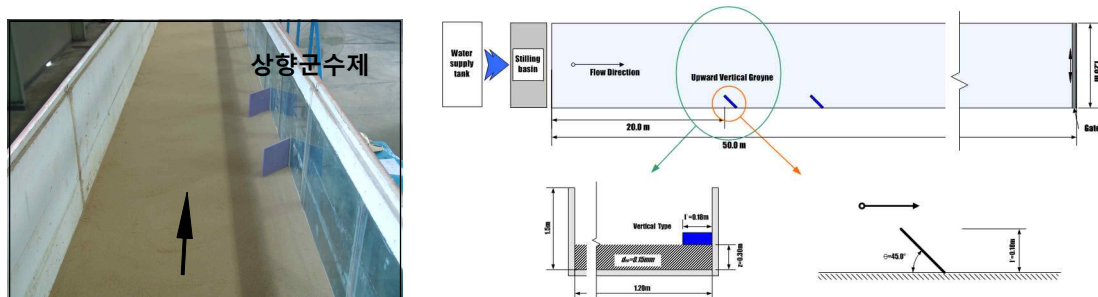


그림 2 실험수로 및 수제제원

표 1은 본 연구의 실험조건으로서 2개의 수제로 하여금 각각 수제길이의 2 ~ 8배의 간격 조절을 통해 하상변동실험을 수행 하였다. 수제의 설치간격을 2 ~ 8배로 결정한 이유는 수제역내 재순

환 흐름이 발생하는 시점이 2배의 간격으로 설치된 이후부터이며 수제역내 최대역유속이 발생하는 간격이 8배 이기 때문이다(다기능 하천설계기준 실험검증사업, 2004). 본 연구에서는 연직수제를 이용하여 입자이동 한계유속비( $V_a/V_c$  - critical velocity rate of bed material)가 1 에 가까운 조건에 대한 수제국부세굴실험을 수행하였다.

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 0.5 m, 하류단으로 3.0 m 구간에 대해 횡방향으로 0.05 m 간격으로 종방향으로 0.1 m 간격으로 측정하였다.

**표 1 실험조건**

수제형태	실험조건	수제간격	CASE
연직수제	설치각도( $\theta$ )=45° 수심(d)=0.15 m 유입부유속( $U_{app}$ )=0.25 m/s 통수시간=6 hr 수제길이=0.18 m( $l'/B=0.15$ )	2	UVG15V25-2X
		3	UVG15V25-3X
		4	UVG15V25-4X
		5	UVG15V25-5X
		6	UVG15V25-6X
		7	UVG15V25-7X
		8	UVG15V25-8X

### 3. 실험분석 및 결과

실험분석은 상향수제 설치간격에 대한 수제주변 하상변화에 대하여 국부세굴의 깊이를 중심으로 수제역의 퇴적 및 세굴에 대하여 분석하였다. 최대세굴심은 주로 전면부 수제에서 발생하고 있었으며 최대퇴적고는 후면부 수제 하류단에서 관측되었다. 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 미만일 경우 전면부수제(앞수제)에 의해 발생하는 주흐름으로 인해 후면부 수제(뒷수제)는 주흐름의 영향을 받지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 수제간격이 4배 이상으로 설치되었을 경우 후면부 수제 주변에서 독립적인 세굴이 발달된다. 그림 3, 4는 수제간격이 2 ~ 8배 일 때 실험사진 및 측정자료를 토대로 작성된 등고선도를 세굴영역과 퇴적영역으로 구분하여 표현하였는데 이를 통하여 세굴영역의 변화를 확인할 수 있다.

그림 5는 수제간격에 대한 최대세굴심을 나타낸 그림으로서 최대세굴심은 전면부 수제 끝단에서 주로 발생하고 있으며 14.2 cm ~ 17.1 cm 범위로 발생하고 있었다. 전면부 수제에서의 최대세굴심은 동일한 실험조건하에서 수제의 간격에 대한 영향을 파악하고자 하였기 때문에 세굴심의 변화는 크게 발생하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 후면부 수제에서의 최대세굴심의 변화는 수제간격에 따라 변화가 발생하는데 그 범위는 1.5 cm ~ 11.0 cm로 나타났다. 수제의 간격이 4배 미만으로 설치되었을 때 전면부 수제에서 발생하는 세굴의 영향이 후면부 수제 설치지점에 연장되어 나타나는 것이 확인 되었으며 그 범위는 1.5 cm ~ 4.7 cm 로 나타났다. 독립적인 세굴이 발생하는 4배 간격 이상에는 3.7 cm ~ 11.0 cm의 범위에서 최대세굴심이 관측되었는데 수제간격이 증가할수록 후면부수제 끝단에서 발생하는 최대세굴심은 점차 증가하고 있었다.

설치간격에 따른 퇴적양상은 2배 이하일 경우 수제역내 정체수역발생으로 인해 퇴적은 발생하지 않았다. 그러나 수제간격이 3배 이상으로 증가하게 되면 수제역내 와가 형성되고 전면부 수제에서 세굴로 인한 유사의 공급이 발생하여 수제역내 퇴적현상이 발생하게 되는데 본 실험조건에서 발생한 퇴적고의 범위는 3.8 cm ~ 10.6 cm 로 수제의 간격이 증가할수록 퇴적역의 크기 및

퇴적고가 증가하는 경향을 나타내고 있었다. 그림 6은 설치간격에 대한 수제역내 퇴적고를 직각수제 실험결과와 비교한 그림으로서 수제의 설치각에 따른 퇴적고는 연직 및 하향수제에 비해 수제역내 퇴적이 높게 발생하고 있었다. 이러한 결과로 볼 때 수제내 퇴적을 유도하기 위해서는 상향수제가 유리한 것으로 판단된다.

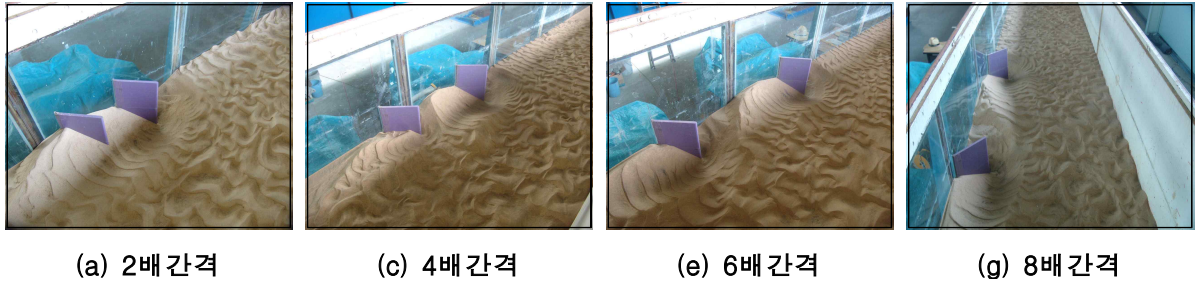


그림 3 수제 설치간격에 따른 수제 주변 세굴실험사진

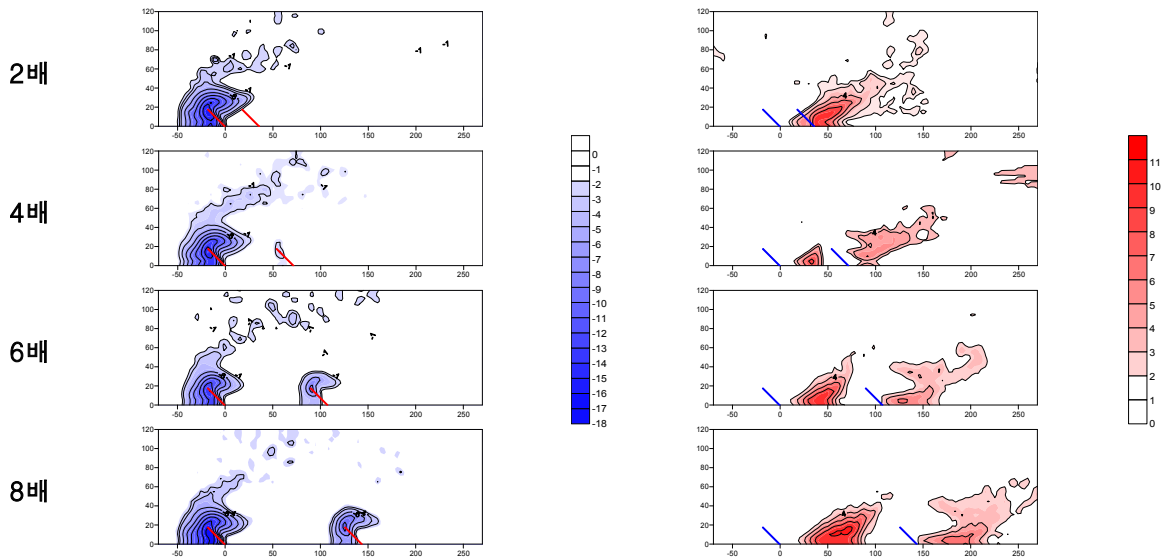


그림 4 수제 설치간격에 따른 하향수제 주변 세굴 및 퇴적(2배~8배)

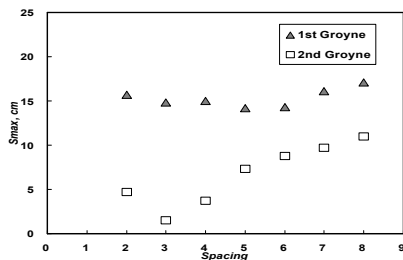


그림 5 수제설치간격에 따른 최대세굴심

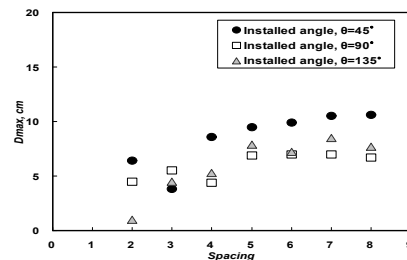


그림 6 수제설치간격에 따른 최대퇴적고

그림 7, 8은 설치각에 따른 전면부 및 후면부수제에서 발생하는 세굴심을 비교한 그림으로서 전면부수제의 경우 상향수제와 연직수제의 최대세굴심의 차이는 발생하지 않는다. 그러나 하향수제의 경우 세굴심이 낮게 측정되는 것을 알 수 있다. 이는 단면축소로 인해 발생하는 수제 끝단부에서의 흐름집중을 하향수제와 같이 주흐름방향으로 흐름을 유도시킬 경우 세굴의 규모를 완화시킬 수 있다는 것을 의미한다. 후면부수제에서는 설치간격이 증가할수록 세굴심이 증가하는 경향을 보이고 있는데 수제간격이 4배 이상일 경우 상향수제에서 비교적 낮게 측정되었다. 이는 수제

끝단에서의 흐름분리각과 연관지을 수 있는데 흐름분리각이 커질수록 후면부수제에 대한 영향이 감소한다. 그러나 흐름분리각이 커진다는 의미는 흐름집중의 크기가 증가한다는 것을 의미하며 이는 국부세굴에 영향을 미치는 주요 인자이므로 이를 염두할 필요가 있다.

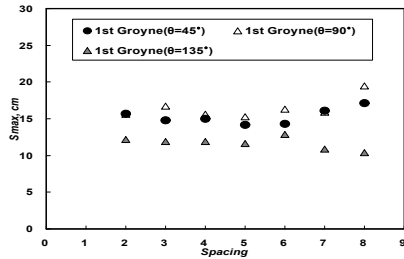


그림 7 설치각에 따른 비교(1st groyne)

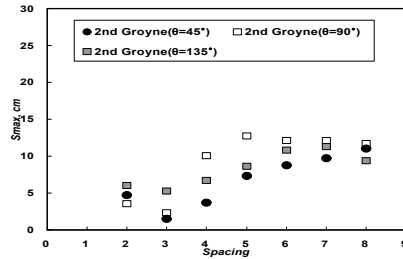


그림 8 설치각에 따른 비교(2nd groyne)

#### 4. 결론

본 연구에서는 하향으로 설치된 직각형태의 수제를 대상으로 수제길이의 2 ~ 8 배의 설치간격 조절을 통해 하상변동실험을 수행 하였다. 실험분석은 상향수제 설치간격에 대한 세굴심 및 퇴적고에 대해 분석하였으며 기존 연직 및 하향수제 실험결과와 비교하였다.

수제의 간격이 4배 미만으로 설치되었을 때 전면부 수제에서 발생하는 세굴의 영향이 후면부 수제 설치지점에 연장되어 나타나는 것이 확인 되었다. 수제역내 퇴적은 수제간격이 4배 이상으로 증가하게 되면 수제역내 퇴적이 발생하고 있었으며 그 크기는 설치간격이 증가할수록 서서히 증가하고 있었는데 이는 수제간격이 증가하면서 수제역내 발생하는 와형성으로 인해 유사공급이 발생하기 때문이다. 국부세굴로 인한 하상 및 구조물의 안정성을 고려할 때 적절한 수제의 간격은 4 배 이상을 권장하며, 세굴심 및 퇴적고의 변화양상을 비교하였을시 수제간격이 6배 이상 이격되었을 때 변화폭이 그리 크지 않다는 점에서 적절한 수제간격은 4~6배를 추천한다.

연직 및 하향수제 하상변동실험 자료와 비교한 결과 세굴의 규모는 연직>상향>하향수제의 순서로 나타났으며, 퇴적의 규모는 상향>하향>직각의 순서로 나타났다. 결론적으로 하향수제의 경우 주흐름방향으로 유도된 흐름은 수제끝단부에서 세굴심을 감소시킬수 있으며 유리하며, 상향수제의 경우 퇴적을 유도할 경우 유리하다.

#### 참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원(2004). 다기능 하천설계기준 실험검증사업.
2. 여홍구 외. (2010). “설치간격에 따른 연직수제 주변 하상변동에 관한 실험연구.” 2010년 한국수자원학회 학술발표회논문집, pp. 1745-1749.
3. 여홍구 외. (2011). “설치간격에 따른 하향수제 주변 하상변동에 관한 실험연구.” 2011년 한국수자원학회 학술발표회논문집, pp. 343.
4. Corrado Gissoni, Willi H. Hager, Jens Unger. (2005). Spur in River Engineering-A Preliminary Study, 31st IAHR Congress, Seoul, Korea, pp 430-431.
5. HR Wallingford(1997). *Guidelines on the geometry of groynes for river training*. HR Wallingford, Report SR493, October.
6. Martinez, E., Ettema, R., Lachhab, A. (2002). Scour Experiments on Dike Angle, Porosity, and Hook for a Thin Dike, 1st ICSF-1, pp. 364-372.
7. 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.