

# 보 철거에 의한 하도 적응과정의 실험적 분석

## Laboratory experiment on the adjustment processes of channel by weir removal

김기정\*, 장창래\*\*

Gi Jung Kim, Chang-Lae Jang

### 요 지

중소하천에 기능을 상실한 하천 횡단 수리구조물이 많이 설치되어 있으며, 수리구조물 상류와 하류에 흐름 및 유사의 이송에 대한 연속성을 차단하고, 하천 교란의 원인이 되고 있다. 또한 사회적으로 수리구조물의 기능을 개선하거나 철거하여 하천복원의 필요성이 제기되고 있다. 따라서 본 연구에서는 실내실험을 통해 하천횡단 수리구조물에 의하여 형성된 상류의 지형이 하류에 미치는 영향을 분석하였다. 흐름이 하천횡단 수리구조물을 월류하면서 직하류에 세굴이 발생하고, 상류에서 델타를 형성하면서 퇴적되었다. 상류에서는 사주가 형성되었으며, 하류의 지형변화에 영향을 주었다. 하천횡단 수리구조물의 상류에 형성된 델타는 하류로 일정하게 이동하고 있으며, 델타가 구조물에 도달하기 바로 직전에서 수리구조물하류의 세굴이 가장 깊게 나타났다. 수리구조물 철거 후, 상류에 퇴적된 토사는 흐름에 의하여 급격하게 하류로 유실되었다. 천급점은 상류로 이동하며, 두부침식을 일으켰다. 일정한 시간이 지난 후에 상류에서 유입되는 유사에 의하여 침식은 감소되었다. 시간이 지나면서 하류에서 교호사주의 형상을 유지하며, 평형상태를 유지하였다.

**핵심용어 : 보 철거, 두부침식, 천급점, 실내실험**

### 1. 서론

중소하천에는 하도 안정화, 수자원 이용, 수면공간 활용 등을 위하여 하천을 횡단하는 수리구조물(보, 낙차공 등)을 설치하였다. 하지만 이로 인하여, 수리구조물 상류와 하류에 흐름 및 유사의 이송에 대한 연속성을 차단하고, 사주의 형성과 지형변화에 영향을 주고 있다. 오래된 보는 유사의 퇴적으로 인해 저류량이 감소하며 상류부에 내수 침수가 발생하고, 이러한 현상은 하천생태통로의 단절 및 수질악화 등의 문제를 야기한다. 최근 우리나라에서는 물리적, 생태적 교란에 대한 저감 및 하천복원 차원에서 보 철거에 대한 필요성이 대두되기 시작하며 몇몇 보들이 지자체에 의해 철거되고 있다. 기능을 상실한 보나 소규모 댐을 철거하였을 때, 댐의 상류에 퇴적된 유사의 급격한 침식과 퇴적작용으로 인하여 하상변동 문제를 발생시켜 하천의 물리적 및 생태적으로 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 하지만 우리나라에는 이에 대한 체계적인 연구나 가이드라인이 없는 상태로 보 철거가 이루어지고 있는 실정이다.

보 철거 및 두부침식에 관한 연구로는 Brush and Wolman(1960)은 비점착성 하상토로 구성된 하도에서 두부침식에 의한 천급점의 거동 특성을 실내실험을 통하여 정량적으로 파악하였으며, 단차가 없어질 때까지 이동이 지속적으로 발생하는 것을 확인하였다. Bhallamudi and Chaudhry(1991)는 1차원 하상변동 예측모형을 개발하여 Brush and Wolman(1960)의 실험결과를 재현하였다. Cantelli et al.(2004)은 댐 상류에서 퇴사된 델타에서 댐의 철거에 의하여 급격한 침식과 퇴적에

\* 정회원 · 한국교통대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : kimgjung@ut.ac.kr

\*\* 정회원 · 한국교통대학교 토목공학과 부교수 · E-mail : cljang@ut.ac.kr

의하여 지형이 변화되어 가는 과정을 실내 실험을 통하여 파악하였다. 댐 철거 초기에는 단차가 형성된 델타의 상류에서 급격한 두부침식이 발생하며 천급점이 상류로 빠르게 이동하고, 하폭은 좁아지는 특성을 보이며, 하류에서는 짧은 시간에 많은 양의 유사가 상류에서 유입되어 하상경사가 완만해졌다. Jang(2012)은 Brush and Wolman(1960)이 시행한 실험결과와의 2차원 하상변동 수치모형의 모의검증을 하였고, 단차가 형성된 급경사 구간에서 흐름 특성, 두부 침식에 의한 천급점의 거동 및 하도의 변화과정을 분석하였다. 모의결과 두부침식은 초기에 빠르게 발생하지만, 시간이 증가하면서 하상경사가 완만해지고, 침식속도가 감소하였다.

본 연구에서는 실내실험을 통해 하천횡단 수리구조물에 의하여 형성된 상류의 지형이 하류에 미치는 영향과 델타의 이동형태를 확인하고, 수리구조물을 철거하였을 때 두부침식에 의한 천급점의 거동 및 하도의 변화과정을 분석하였다.

## 2. 수리실험 장치 및 실험조건

본 실험에서는 하천횡단 수리구조물에 의하여 형성된 상류의 지형이 하류에 미치는 영향을 파악하기위하여 실내실험을 수행하였다. 실험 수로는 하류의 수조에서 상류의 저류수조로 일정하게 유량을 공급하는 순환형 수로로서, 길이가 10 m, 폭이 0.6 m, 수로경사가 0.01인 가변형 경사수로를 이용하였다. 유입부에 국부 세굴을 방지하기 위해 고정상 수로를 목재로 제작 설치하였다(그림 1과 2).

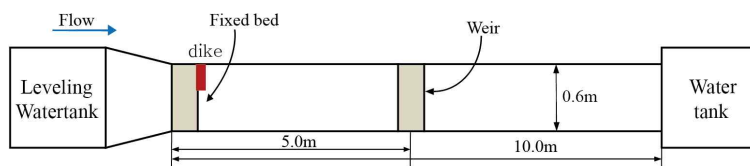


그림 1. 실험수로의 평면 모식도

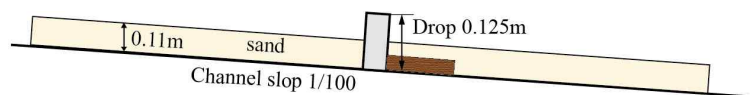


그림 2. 실험수로의 종단 모식도



그림 3. 실험수로

표 1. 실내실험 조건

| Case  | Discharge ( $m^3/s$ ) | Channel Width (m) | Length of spur dike (m) | Channel Slope | Diameter of sediment (mm) |
|-------|-----------------------|-------------------|-------------------------|---------------|---------------------------|
| Run-1 | 0.0045                | 0.6               | 0.30                    | 0.01          | 1.5                       |
| Run-2 | 0.0045                | 0.6               | 0.15                    | 0.01          | 1.5                       |
| Run-3 | 0.0045                | 0.6               | 0.00                    | 0.01          | 1.5                       |

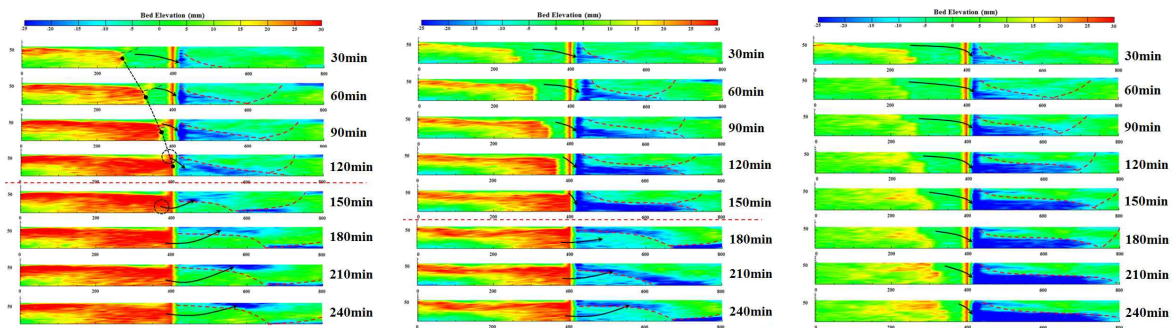
상류로부터 5.0 m의 위치에 높이 12.5 cm의 수리구조물을 설치하였으며, 평균 입경 1.5 mm의 균일사를 11 cm두께로 포설하여 보의 높이를 1.5 cm로 확보하였다. 또한, 낙차공 직하류부에 쇠석을 설치하여 월류된 흐름에 의해 하상이 심하게 세굴되는 것을 방지하였다.

상류부에 수제를 설치하였으며, 수제의 길이를 0.3 m, 0.15 m, 수제를 설치하지 않은 경우로 변경하며 사주가 발생하는 형태를 제어하였다. 유량은  $0.0045 \text{ m}^3/\text{s}$ 로서 무차원소류력( $\tau^*$ ) 0.07으로 수로내에서 활발한 평면변화가 일어날 수 있도록 고려하였다(표 1).

### 3. 실험결과

#### 3.1 수리구조물 철거 전

본 연구에서는 수리구조물에 의해 형성된 상류의 지형이 하류에 미치는 영향을 분석하기 위하여 유량( $Q=0.0045 \text{ m}^3/\text{s}$ )을 고정시킨 후 하도의 평면변화 및 델타의 이동형태에 대하여 분석하였다. 그림 4는 시간변화에 따른 하도의 평면변화를 나타낸 그림이다. 시간이 증가함에 따라, 상류에서 교호사주가 발달하며, 하천횡단 수리구조물을 향하여 흐름방향으로 이동한다.



(a) Run-1 (수제 길이 0.30m) (b) Run-2 (수제 길이 0.15m) (c) Run-3 (수제 없음)

그림 4. 수제 길이별 평면변화 (보 철거 전)

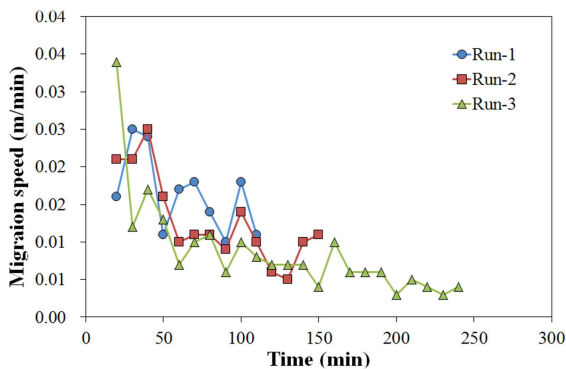


그림 5. 델타의 이동속도

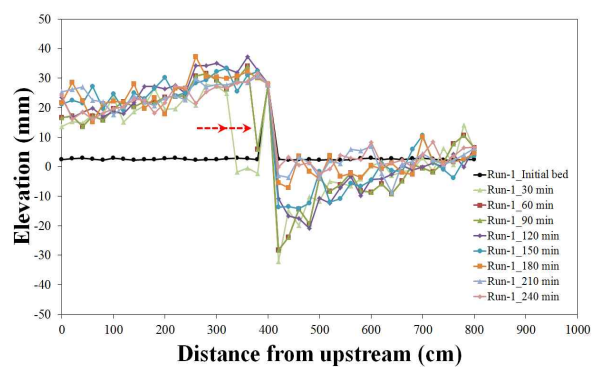


그림 6. 하도의 종방향 변화 (Run-1)

시간이 지나면서 상류에서 발달한 교호사주에 의하여 수리구조물 하류에서 그 형상이 일정하게 유지되나 Run-1의 경우 120 min 이후에 사주의 위상이 바뀌었으며, Run-2의 경우에는 150 min 이후에 사주의 위상이 바뀌었다. 이러한 현상은 상류에서 형성된 델타가 성장하여 수리구조물에 닿게 되면서 흐름의 구조가 바뀌어 발생한 현상으로 판단된다.

수제의 길이가 가장 긴 Run-1에서 사주의 이동속도가 가장 빠르며, 수제가 없는 경우인 Run-3에서 사주의 이동속도가 가장 느리다. 그 이유는 사주가 길어짐에 따라, 흐름이 집중되어 사주의 이동속도가 빠르게 나타나기 때문이다. 그림 5는 실험수로의 종단면을 나타낸 그래프이다. 상류에

서 생성된 델타가 시간이 지남에 따라 하류로 일정하게 이동하고 있으며, 구조물에 도달하기 직전에 수리구조물 하류에서 세굴이 가장 깊게 나타난다(그림 6). 또한, 델타가 수리구조물을 통과하는 순간인 120 min 이후의 평면변화에서 수리구조물 직하류에 세굴되던 하상이 퇴적되기 시작하는데, 이는 상류에 형성되었던 델타가 보에 닿으면서 포화상태가 되어 율류된 유사가 퇴적되었기 때문이다.

### 3.2 수리구조물 철거 후

보 철거 후의 하도의 평면변화와 두부침식에 의한 천급점의 거동변화를 확인하기 위하여 수리구조물 상류에 델타가 닿았을 때, 수리구조물을 철거하였다. 그림 7은 시간변화에 따른 하도의 평면변화를 나타낸 그림이다. 초기에 수리구조물 상류에 퇴적된 토사는 델타를 형성하고 있으며, 보 철거 후에 하류로 유출된다. 델타는 흐름에 의하여 급격하게 하류로 유실되고, 이에 따라 천급점은 상류로 이동하며, 두부침식을 일으킨다(그림 8).

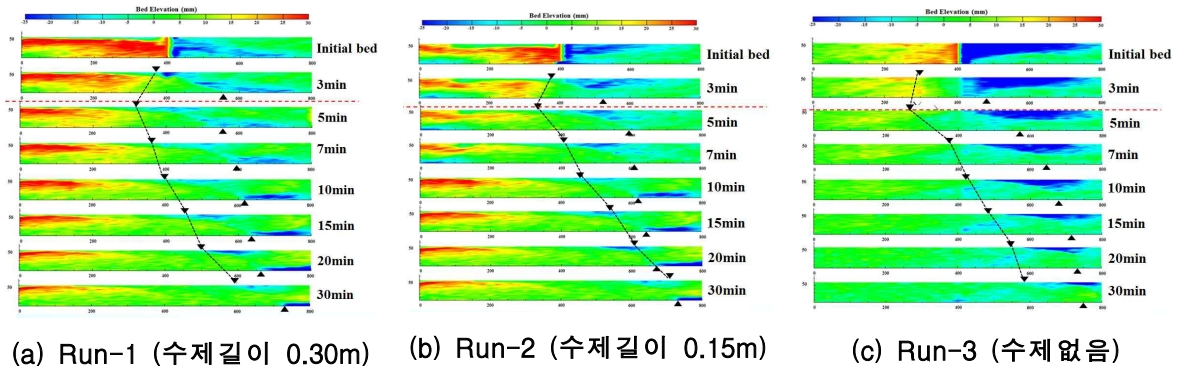


그림 7. 수제길이별 평면변화 (보 철거 후)

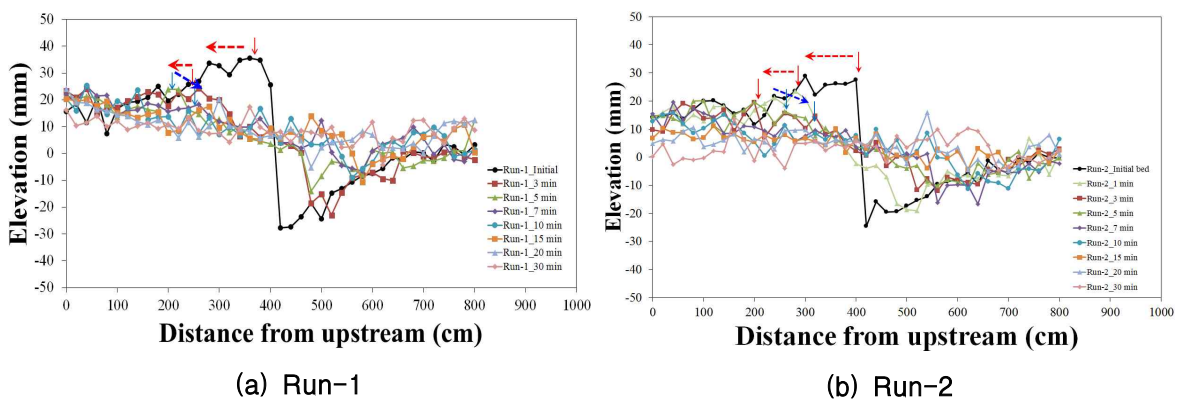


그림 8. 보 철거를 고려한 하도의 종방향 변화

5분 후부터 델타는 점차 교호사주의 형상을 유지하며 하류로 이동하고, 델타가 침식되면서 수리구조물 하류에서 침식되었던 구간은 공급된 유사에 의하여 점차 퇴적이 진행되었다. 또한, 수리구조물 철거로 인하여 급격한 단차를 보였던 구간인 4 m구간에서 하상침식이 전파되고 상류에

서 유실된 토사에 의해 하류에서 하상고가 상승하면서, 하상경사가 완만하게 진행되어 가고 있다.

## 5. 결과

본 연구에서는 실내실험을 통해 하천횡단 수리구조물에 의하여 형성된 상류의 지형이 하류에 미치는 영향과 델타의 이동형태를 확인하고, 수리구조물을 철거하였을 때 두부침식에 의한 천급점의 거동 및 하도의 변화과정을 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 수리구조물 철거 전에 상류에서 발달한 교호사주에 의하여 수리구조물 하류에서 그 형상이 일정하게 유지되나 시간이 지난후에 사주의 위상이 바뀌었으며, 이러한 현상은 상류에서 형성된 델타가 성장하여 수리구조물에 닿게 되면서 흐름의 구조가 바뀌어 발생한 현상으로 판단된다.
- 2) 상류에서 생성된 델타가 시간이 지남에 따라 하류로 일정하게 이동하고 있으며, 구조물에 도달하기 직전에 수리구조물 하류에서 세굴이 가장 깊게 나타난다. 또한, 델타가 수리구조물을 통과한 후의 평면변화에서 수리구조물 직하류에 세굴되던 하상이 퇴적되기 시작하는데, 이는 상류에 형성되었던 델타가 보에 닿으면서 포화상태가 되어 월류된 유사가 퇴적되었기 때문이다.
- 3) 보 철거 후에 델타는 흐름에 의하여 급격하게 하류로 유실되고, 이에 따라 천급점은 상류로 이동하며, 두부침식을 일으킨다. 시간이 지나면서 델타는 점차 교호사주의 형상을 유지하며 하류로 이동하고, 델타가 침식되면서 수리구조물 하류에서 침식되었던 구간은 공급된 유사에 의하여 점차 되메우기가 진행되었다.
- 4) 수리구조물 철거로 인하여 급격한 단차가 있는 구간에서 하상침식이 전파되고 상류에서 유실된 토사에 의해 하류에서 하상고가 상승하면서, 하상경사가 완만하게 진행되어 가고 있다.

본 연구에서는 실내실험을 통해 하천횡단 수리구조물 철거 전후의 하도 변화과정을 분석하였으나, 향후에는 수치모형을 적용하여 실내실험결과를 비교해보고, 수리구조물 철거 전후의 상하류 흐름에 대한 특성이 연구되어야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원 (12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

1. 장창래(2012), 2차원 수치모형을 이용한 비점착성 하도의 두부침식에 의한 천급점 이동 특성 분석, 한국방재학회 논문집, 제12권 제6호, pp. 259-265
2. Bhallamudi, S.M. and Chaudhry, M.H. (1991) Numerical modeling of aggradation and degradation in alluvial channels. *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, Vol. 117, No. 9, pp. 1145-1164.
3. Brush, L. and Wolman, M. (1960) Knickpoint behavior in noncohesive material: a laboratory study. *Bulletin of the Geological Society of America*, Vol. 71, pp. 59-71
4. Cantelli, A., Paola, C., and Parker, G. (2004) Experiments on upstream-migrating erosional narrowing and widening of an incisional channel caused by dam removal. *Water Resources Research*, Vol. 40, W03304, doi:10.1029/2003WR002940