

# 침식성 하안이 있는 망상 하천에서 식생의 영향

## VEGETATION EFFECTS ON BRAIDED RIVER WITH ERODIBLE BANKS

장창래\* / 김우구\*\*  
Jang, Chang-Lae / Kim, Woo-Gu

### 1. 서론

침식성 하안이 있는 하천에서 형상거동은 많은 인자들에 의해 영향을 받고 있다. 그 중에서 식생은 하천의 평면형상 변화에 영향을 미치고 있으며, 하천의 자정과정(self-purification)에 영향을 주고, 수면 그림자에 의해 수생식물의 성장을 제어하고, 어류 및 조류에 터전을 제공하고, 수생식물과 동물들의 서식처를 새로 제공하거나 발달시키는데 축진을 하고, 레크레이션 발달에 영향을 준다. 특히, 식생은 하천의 형상 발달에 매우 중요한 역할을 하며, 하천 및 생태 공학적 관점에서 그 영향을 보다 더 잘 이해하는 것이 매우 중요하다. 그러나, 식생하천의 거동은 매우 복잡하기 때문에 이를 연구하는 데는 많은 제약이 있다. 다양한 이론 및 실험적 조사가 하천의 역학적 과정을 설명하기 위하여 수행되어 왔다. 만약 하폭 대 수심의 비가 감소하면, 사행하천이 발달하기 쉽고, 하폭 대 수심의 비가 증가하면 망상하천이 발달하기 쉽다. 침식성 하상과 하안으로 구성된 초기 직선하천에서 망상하천으로 발달되어 가는 과정은 Ashmore(1982, 1991)의 실험으로 조사되었으며, 사주의 발달은 하천의 이동과 분열을 일으킨다고 주장하였다. Andrews(1984), Hey와 Thorne(1986), Huang과 Nanson(1997)은 현장 조사로부터 밀도가 높은 식생은 하천 수심과 흐름에 대한 저항을 증가시키고, 하천 폭의 증가를 억제시킨다고 설명하였으며, 하천의 발달과정은 식생 밀도, 형상, 연령, 건강상태 등에 의해 영향을 받는다고 하였다. log-jam의 형성은 간접적으로 침식에 대한 제방의 저항을 증가시킨다.

비록 식생이 하천의 형태를 조절하는데 영향을 미치지만, 많은 역할들이 물리적으로 밝혀지지 않았으며, 특히 식생하천을 연구하는데 현장 실측자료에 많이 의존하거나, 식생하천에서 흐름 및 부유사의 거동에 관한 연구는 인공 식생을 이용하여 연구를 해 왔다.

본 연구에서는 식생하천의 하상변동을 알아보기 위하여 자연식생(alfalfa)를 직접 실내 실험실 수로에 파종하여 실험을 수행하여, 침식성 하상 및 하안에 식생으로 덮여있는 망상하천과 덮여있지 않은 망상하천에 대한 하천 발달 과정을 수리학적 특성을 고려하여 조사하였다.

### 2. 실내실험 및 결과(Experimental procedures and results)

실내실험은 길이가 12 m이고, 하폭이 2 m인 수로에서 수행하였다. 수로는 평균 입경이 1.25 mm인

\* 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원(E-mail : cljang@kowaco.or.kr)

\*\* 한국수자원공사 수자원연구원 원장(E-mail : wgkim@kowaco.or.kr)

균일사로 된 모래를 채워 넣었으며, 초기하천은 하폭 바닥이 80 cm, 높이가 3 cm인 초기 하천을 만들고, 이곳에 3.5 l/s의 유량을 사용하였다. 실험은 3가지를 수행하였으며, 그 조건은 표 1과 같다.

식생하천을 만든 과정은 다음과 같다. 첫째, 위에서 만든 수로에 3.5 l/s로 64분 동안 물을 흘려 보내 망상하천을 만든다. 둘째, 만들어진 망상 하천에 알팔파 씨를 손으로 조심스럽게 무작위로 뿌린다. 이때 식생밀도는 미리 씨앗을 파종하기 전에 무게를 측정하여 이것으로 계산한다. 셋째, 씨앗이 파종된 하천에 0.4 l/s 물을 흘려 보내 저수로에서 알팔파가 자라지 못하도록한다. 이것은 실제 하천에서 저수로에 식생이 없는 것을 만들기 위한 것이다. 넷째, 파종된 알팔파가 하천에서 물에 지탱할 수 있을 만큼 자랄 때까지 기다린다. 본 실험에서는 14일정도의 생육기간을 두었다. 다섯째, 만들어진 식생하천에 다시 3.5 l/s의 물을 이용하여 식생실험을 수행한다.

표 1 실험 조건

Run	Bed slope (%)	vegetation density (stems/cm <sup>2</sup> )
1	1.5	0.0
2	1.5	0.7
3	1.5	1.1

식생하천의 실내실험에서는 하천 식생을 알팔파의 씨를 파종하였다. 그 결과 식생 하천의 제방 침식은 식생이 없는 하천보다 적었으며, 하상은 보다 깊게 세굴되었다. 그림 1과 2에서 보여주는 것처럼 식생의 밀도가 증가하면 수심이 증가하고, 하폭의 증가율이 감소하며, 무차원 소류력이 증가하는 경향을 보였다. 또한 흐름에 대한 저항이 증가하고, 하류에서는 log-jam 효과를 보였다. 제방의 강도는 식생의 뿌리가 토사입자를 감고 있으므로, 상호 결합 효과에 의해 증가되는 것을 볼 수가 있다.

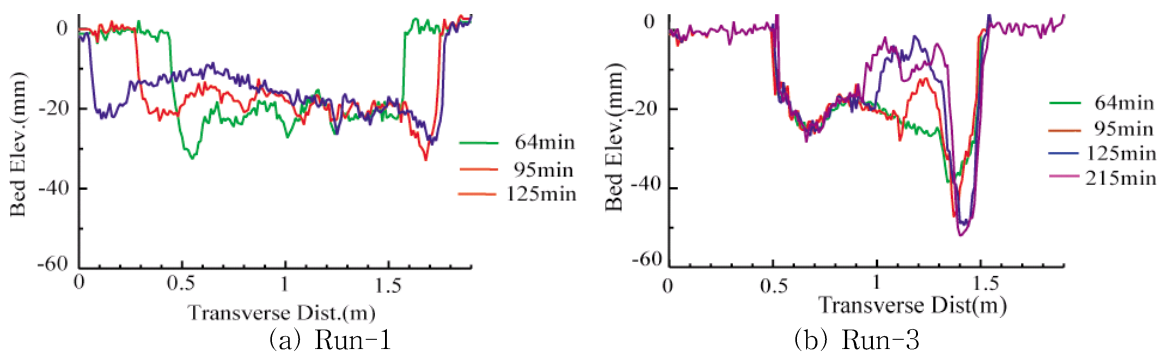


그림 1. 상류단에서 6m 지점에서 시간에 따른 하폭의 변화

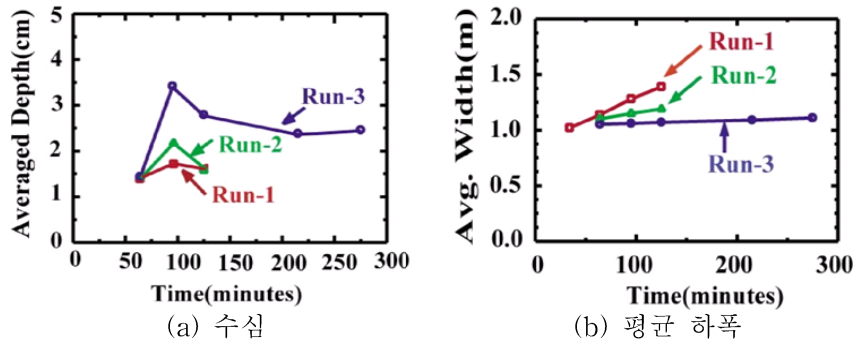


그림 2. 식생의 밀도에 따른 수리특성의 비교

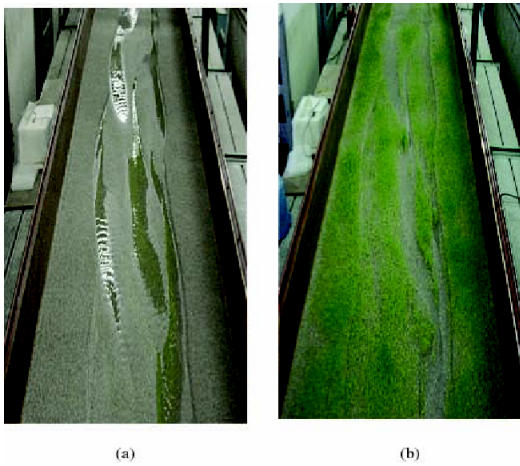


그림 3. (a) Run-2와 Run-3을 위해 식생하천을 위해 재현된 망상하천; (b) 알팔파 씨를 파종한 후의 10일 뒤의 식재된 하천. 흐름은 위에서 아래로 흐른다.

하상변동 과정을 보면, 그림 4에서 보여준 것과 같이, 망상하천의 최심선은 사행도가 낮은 수로에서 시간이 증가할수록 사행도가 큰 하천으로 변동되는 것을 볼 수 있다. 식생의 밀도를 증가할 경우 그림 5에서 보여주는 것과 같이, 망상하천의 최심선은 시간이 증가하면 할수록 사행도가 크기 증가하며, 하천이 두 개로 갈라지는 현상을 볼 수 있었다. 이것은 식생의 밀도가 증가함에 따라 log-jam 효과에 의해 흐름 방향이 크게 변동되어 하천에 갈라진다.

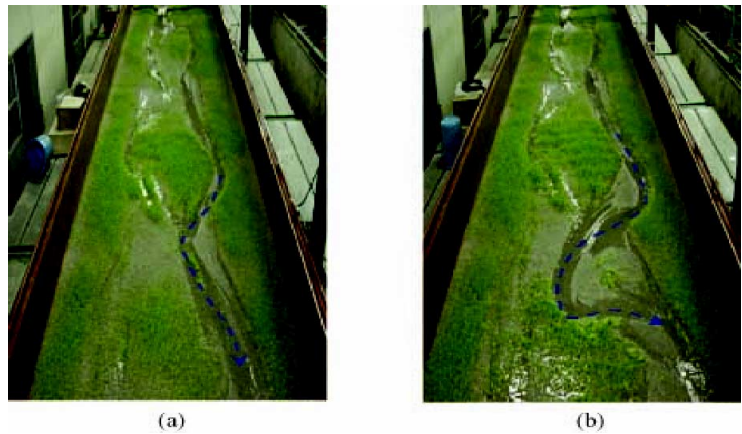


그림 4. Run-2에 대한 시간적 변화: (a) 95분 후의 결과; (b) 125분 후의 결과. 화살표는 최심선을 나타내며, 수로에서 물의 흐름방향은 위에서 아래다.

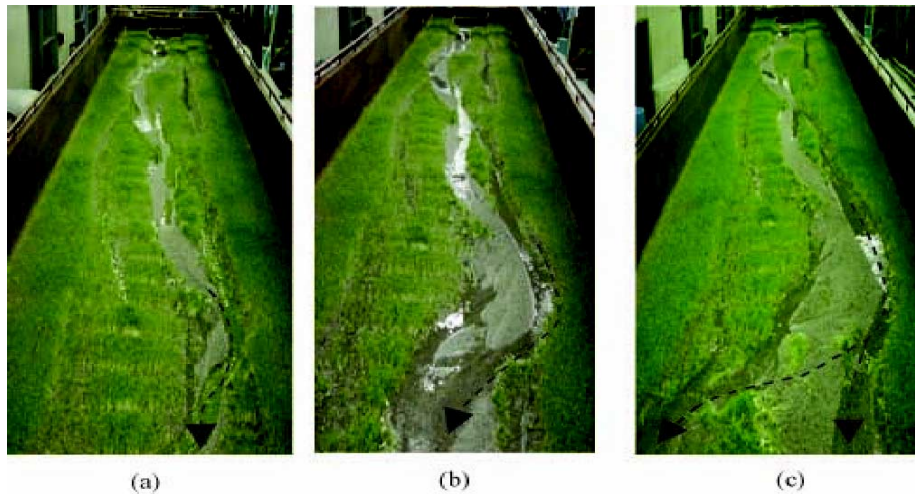


그림 5. Run-3에 대한 시간적 변화: (a) 125분 후의 결과; (b) 215분 후의 결과; (c) 275분 후의 결과. 화살표는 최심선을 나타내며, 흐름은 위에서 아래다.

### 3. 결론

식생하천의 하상변동을 알아보기 위하여 기존에 인공식생을 사용하는 대신에, 본 연구에서는 자연식생(alfalfa)을 직접 실내 실험실 수로에 파종하여 실험을 수행하여, 침식성 하상 및 하안에 식생으로 덮혀 있는 망상하천과 식생이 없는 망상하천에 대한 하천 발달 과정을 수리학적 특성을 고려하여 조사하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 하안침식은 식생이 없는 하천보다 식생이 있는 하천이 적었다.
2. 식생의 밀도가 증가하면서, 수심이 증가하고, 하폭의 증가율이 감소하였다.
3. 식생의 밀도가 증가하면서, log-jam 효과에 의해, 흐름의 방향이 크게 변동되어 하천이 갈라졌다.

#### 참 고 문 헌

1. Ashmore, P.E. 1982. "Laboratory modeling of gravel braided stream morphology." *Earth Surf. Proc. Landforms*, 7, 201-225.
2. Ashmore, P.E. 1991. "How do gravel-bed rivers braid?" *Can. J. Sci.*, 28, 36-341.
3. Andrews, E. D. 1984, "Bed-material entrainment and hydraulic geometry of gravel-bed rivers in Colorado." *Geol. Soc. Am. Bull.*, 95, 371-378.
4. Hey, R.D. and Thorne, C.R. 1986. "Stable channels with mobile gravel bed." *J. of Hyd. Eng.* 112(8), 671-689.
5. Huang, H.Q., and Nanson, G. C. 1997. "Vegetation and channel variation : A case study of four small streams in southeastern Australia." *Geomorphology*, 18, 237-249