

흐름변화에 의한 식생대에서 퇴적 및 하도변화의 실험적 분석

Experiments on the channel changes and sedimentation on vegetated patch by flow variations

장창래*, 황효**

Chang-Lea Jang, Hyo Hwang

요 지

하도 식생은 흐름 및 유사의 거동에 영향을 미치며, 하도의 지형변화를 일으킨다. 또한 하천에서 생태계 서식처 형성을 하는데 영향을 주며 하천경관을 향상시킨다. 그러나 홍수시에 흐름의 저항을 증가시키고 수위를 상승하여 하천범람을 일으킨다. 따라서 홍수에 안전하고 하천 경관을 유지하면서 하천환경과 조화를 이루는 하도 식생관리 기술이 요구되고 있다. 본 연구에서는 실내실험을 통하여 유량의 변화에 따른 식생대에서 퇴적과정과 하도의 변화 과정을 분석하였다. 실내실험은 길이가 10 m이고, 수로 폭이 0.6 m인 가변형 경사수로에서 수행하였다. 식생패치는 폭이 0.28 m, 길이 1.0 m로 2.0m 간격으로 교대로 3개 설치하였다. 식생패치는 지름이 5 mm이고, 길이는 0.25 cm인 아크릴봉을 이용하여 제작되었으며, 식생 밀도는 $1.76 m^{-1}$ 이었다. 흐름은 식생이 없는 주수로에 집중되었고, 식생대와 주수로 사이에 와류가 형성되면서 하상이 세굴되었다. 식생대에서는 흐름이 감소되면서 유사가 퇴적되었다. 식생대를 따라 교호사주가 형성되었으며, 사행이 형성되었다. 유량이 증가하면서 식생대에서 퇴적 면적은 증가하였다.

핵심용어 : 하도식생, 식생밀도, 식생패치, 교호사주

1. 서론

하도 식생은 흐름 및 유사의 거동에 영향을 미치며, 하도의 지형변화를 일으킨다. 또한 하천에서 생태계 서식처 형성을 하는데 영향을 주며 하천경관을 향상시킨다. 그러나 홍수시에 흐름의 저항을 증가시키고 수위를 상승하여 하천범람을 일으킨다. 따라서 홍수에 안전하고 하천 경관을 유지하면서 하천환경과 조화를 이루는 하도 식생관리 기술이 요구되고 있다. 식생에 의한 하도의 지형변화는 매우 복잡하며, 지형학적인 형태와 생태학적 기능은 지형 변화 과정의 수준에 따라 서로 밀접하게 연결되어 있다 (Kondolf and Wolman, 1993; Camporeale et al., 2013). 하천을 관리하거나 계획하기 위해서는 하천의 변화와 상호 작용 과정을 파악하는 것이 중요하므로, 인공 식생이나 혹은 실재 식생을 이용한 하도의 지형변화를 연구하거나 첨단 모니터링 기술과 정교한 수치모형을 적용하여 서식환경과 하도 변화를 연구하는 등 다양한 시도가 있다. Tsujimoto (1999)는 인공식생을 이용한 실내실험과 2차원 수치모의를 통하여 식생대와 주수로 사이에서 에너지 교환이 발생하고 흐름이 변화되며 식생대에서 유사가 퇴적되고 주수로에서 흐름이 집중되어 하상에 세굴 되고 하상토가 분급되는 과정을 파악하였다. 또한 Lopez and Garcia (2001)는 실내실험을 통하여 식생대에서 난류흐름의 거동과 부유사의 퇴적과정을 파악하였다. Nepf and Vivoni(2000)는 식생대에서 항력에 의한 분산과정을 실내실험을 통하여 분석하였다. Zong and Nepf (2012)는 인공식생을 이용한 실내실험을 통하여 하도 중앙에 위치한 식생대 후면에서 발생하는 난류의 흐름 거동을 분석하였으며, Kim et al. (2014)은 식생의 밀도 변화에 따라 식생대와 저수로 사이에서 유사의 퇴적과정을 실내실험을 통하여

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

* 학생회원 · 한국교통대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : hwanghyo@ut.ac.kr

분석하였다. 그러나 이들 연구는 인공식생을 사용하여 직선 실험 수로에서 흐름과 하도변화의 과정을 분석하였으며, 식생의 변화에 의한 하도가 변화되는 역동적인 과정을 파악하는데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 실내실험을 통하여 유량의 변화에 따른 식생대에서 퇴적과정과 하도의 변화 과정을 분석하였다.

2. 실내실험

본 연구에서는 식생대에 의하여 하도의 변화 과정을 파악하기 위하여 실내실험을 수행하였다. 실험 수로는 하류의 수조에서 상류의 저류수조로 일정하게 유량을 공급하는 순환형 수로로서, 길이가 10 m, 폭이 0.6 m인 가변형 경사수로를 이용하였다(그림 1). 유량은 $0.035\text{m}^3/\text{s}$ 이고, 하상경사는 1/300 이다. 모래 입경은 0.8 mm 이고, 식생패치에서 식생의 밀도는 $1.76\text{ stems}/\text{m}^2$ 이었다 (표 1). 식생패치는 폭이 0.28 m 이고, 길이가 1.0 m이다. 식생패치의 배치 간격은 2.0 m이며, 교호사주가 형성될 수 있는 간격으로 설치하였다(그림 3과 4).

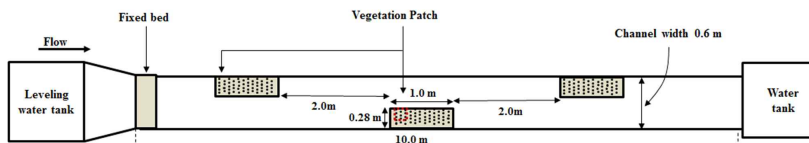


그림 1. 실험수로 모식도

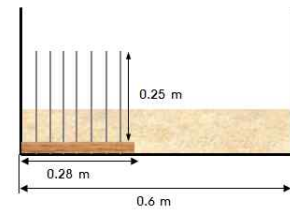


그림 2. 횡단면도



그림 3. 실험수로 전경

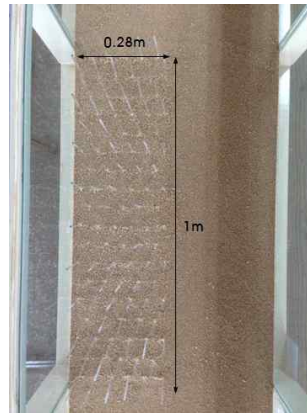


그림 4. 식생패치

상류수조 안에서 발생한 와류를 정류시키기 위하여, 수조 안에 있는 스크린에 플라스틱 격자망을 부착하였다. 고가수조에서 모래로 채워진 이동상 경사 수로에 물이 유입될 때, 유입구에서 국부세굴이 발생하므로, 고가수조의 물이 이동상 초기 수로로 물을 유도하고, 유입구에서 국부세굴이 발생하지 않도록 고정상 수로를 목재로 제작하고 수밀성을 확보하여 설치하였다. 또한 고정상 하상과 이동상 하상의 경계에서 국부세굴을 방지하기 위하여, 상류 유입구에서 일정하게 유사를 공급하였다. 하도의 지형은 각 실험 단계에서 상류로부터 2 ~ 8 m 구간에서 종방향으로 0.1 m, 횡방향으로는 0.02 m 간격으로 레이저 profiler를 이용하여 측정하였다. 실험을 위한 자세한 수리학적 조건은 Table 1에 나타내었다.

표 1. 실내실험 조건

Case	Discharge (m^3/s)	Channel Width (m)	Vegetation Density (stems/ m^2)	Channel Slope	Diameter of sediment (mm)
Run-1	0.035	0.6	1.76	1/300	0.8

3. 실험결과 및 분석

그림 5는 시간의 변화에 따른 식생하도에서 하도의 변화 과정을 보여주고 있다. 시간이 증가함에 따라, 식생대에서 퇴적이 발생하고, 식생대 반대쪽에서는 흐름이 집중되어 침식이 발생하고 있다. 식생대에서는 유속이 감소하고, 유사가 퇴적되고 있다. 퇴적과 침식 과정은 교호사주의 형상을 유지하고 있다 (그림 5). 초기에는 식생대와 식생대 외측에서 퇴적되는 과정이 지속적으로 나타나고 있으나, 240 분 경에는 퇴적과 세굴이 형상이 일정하게 유지되는 동적평형상태가 유지되고 있다 (그림 5). 식생대에서는 식생에 의하여 항력이 크게 작용하여 흐름이 급격하게 감소되며, 유사가 퇴적되어 하상고가 상승하고 있다. 식생대에서 흐름의 방향은 식생이 없는 쪽으로 바뀌게 되고 흐름이 집중되어 세굴이 형성된다. 식생대 하류에서는 식생 패치를 따라 흐름이 가속되고 식생대와 에너지 교환이 발생하여 퇴적이 형성된다. 전체적으로 최심하상고 선을 따라 하상이 깊이 세굴되고, 형상은 사행을 형성하고 있다 (그림 5).

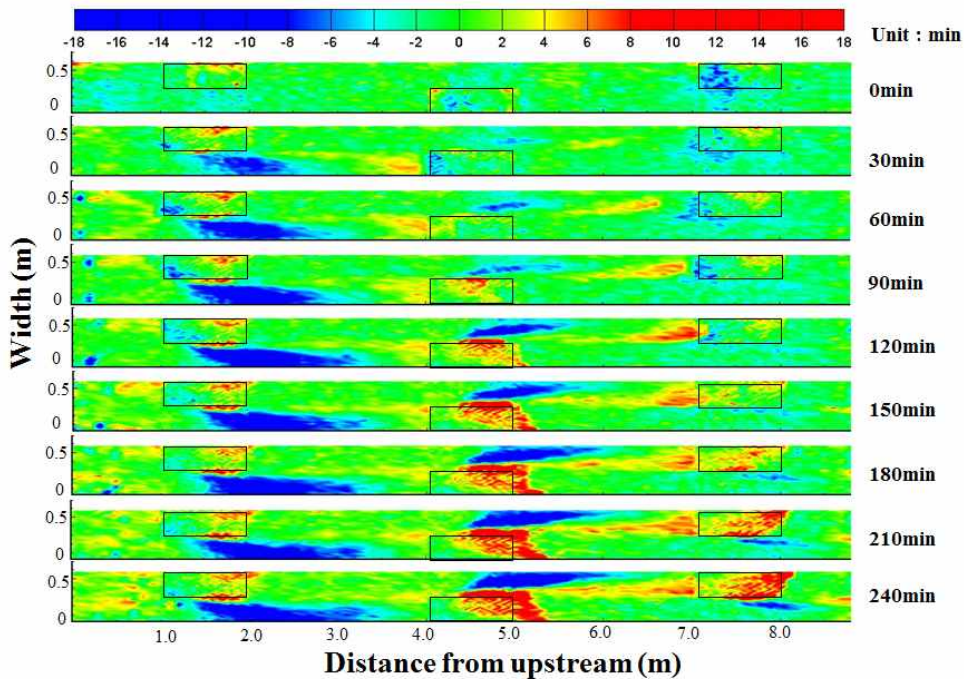
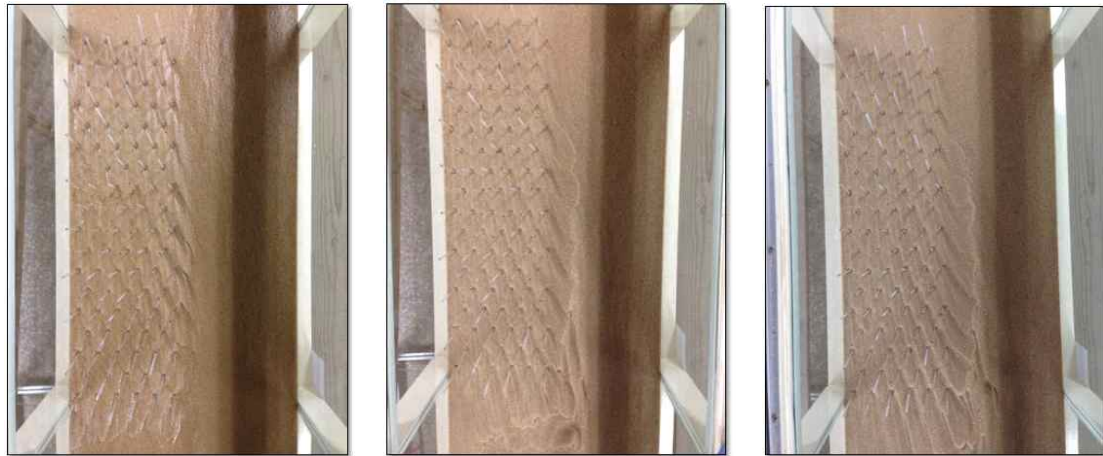


그림 5. 시간의 변화에 의한 식생대에서 변화



(a) T=90 min

(b) T=180 min

(c) T=240 min

그림 6. 식생 패치 주변에서 하상고의 변화(흐름은 위에서 아래로 방향으로 형성되었다.)

그림 6은 시간의 변화에 따라 식생 패치 주변에서 퇴적과 침식의 과정을 보여주고 있다. 초기에는 식생대에서 교란이 발생하고 있다 (그림 6(a)). 시간이 증가함에 따라, 식생대 후미에서 퇴적이 되고 있다 (그림 6(b)와 (c)). 식생대를 따라 흐름이 형성되면서 식생이 없는 구간과 흐름 에너지 교환이 발생하여 퇴적이 발생하고 있다 (그림 6(c)). 식생대의 반대편에서는 흐름이 집중되면서 하상이 지속적으로 세굴 되고 있다.

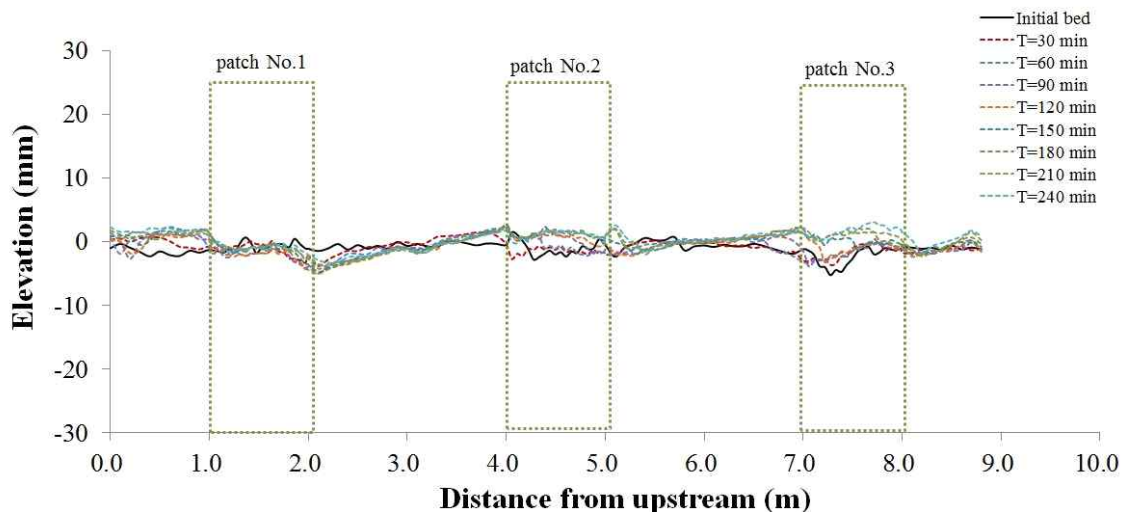


그림 7. 종방향 평균하상고 변화

그림 7은 시간의 변화에 따라 종방향 평균하상고의 변화를 보여주고 있다. Patch 1에서 평균 하상고는 감소하고 있다. 그러나 Patch 2에서 식생대에서 퇴적이 진행되고 있으며, Patch 3에서도 하상고가 상승하고 있다.

5. 결과

하도 식생은 흐름 및 유사의 거동에 영향을 미치며, 하도의 지형변화를 일으킨다. 또한 하천에서 생태계 서식처 형성을 하는데 영향을 주며 하천경관을 향상시킨다. 따라서 본 연구에서는 실내 실험을 통하여 유량의 변화에 따른 식생대에서 퇴적과정과 하도의 변화 과정을 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 시간이 증가함에 따라, 식생대에서 퇴적이 발생하고, 식생대 반대쪽에서는 흐름이 집중되어 침식이 발생하고 있다. 퇴적과 침식 과정은 교호사주의 형상을 유지하였다.
2. 식생대에서는 식생에 의하여 항력이 크게 작용하여 흐름이 급격하게 감소되며, 유사가 퇴적되어 하상고가 상승하였다. 식생대에서 흐름의 방향은 식생이 없는 쪽으로 바뀌게 되고 흐름이 집중되어 세굴 되었다.
3. 식생대 하류에서는 식생 패치를 따라 흐름이 가속되고 식생대와 에너지 교환이 발생하여 퇴적되며, 전체적으로 최심하상고 선을 따라 하상이 깊이 세굴된 사행의 형상이 나타났다.

감사의 글

본 연구는한국연구재단의 기초연구사업(2012-0002697)과 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원 (12기 술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. Kim, S.H., Kimura, I., and Yasuyuki Shimizu, Y.(2015). "Bed morphological changes around a finite patch of vegetation", *Earth Surface Processes and Landforms* 40, pp. 375 - 388.
2. Kondolf, G.M., and Wolman, M.G. (1993)."The sizes of salmonid spawning gravels." *Water Resour. Res.*, vol. 29, 2275-2285.
3. Lopez, M., and Garcia, M.(2001). "Mean flow and turbulence structure of open channel flow through non-emergent vegetation." *J. Hydraul. Engrg. ASCE*, Vol. 127, pp. 392-402.
4. Nepf, H.M., and Vivoni, E.R.(2000). "Flow structures in depth-limited, vegetated flow." *Journal of Geophysical Research*, Vol. 105(C12), 28, pp. 547-557.
5. Zong, L., and Nepf, H.(2012). "Vortex development behind a finite porous obstruction in a channel." *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 691, pp. 368-391.
6. Tsujimoto, T.(1999). "Fluvial processes in streams with vegetation.." *J. Hydraul. Res.* Vol. 106, no 6, pp. 789-803.