

하천의 지형변동과 식생



장 창 래 |

수자원연구원 수자원환경연구소 선임연구원
cljang@kwater.or.kr

1. 서론

최근에 하천관리 및 정비는 과거의 이수과 치수의 일변도에서 벗어나, 하천환경의 중요성을 인식하게 되어 이를 반영하여 수행하고 있으며, 특히 하천복원 사업이 활발해 지면서 주변 경관과의 어울림도 고려한 하천계획이 요구되고 있다.

하천에서는 하천특성에 맞추어 식생이 성장하고 있으며, 이는 하천의 경관을 형성하는 중요한 요소이고 식생의 직접 혹은 간접적인 영향은 하천의 지형형성과 수문학적 물순환, 토양 수분 뿐만 아니라 하천 및 홍수터에서 흐름에 저항을 증가시키는 등 매우 넓은 범위에 걸쳐 영향을 미치고 있다. 일반적으로 식생은 홍수 등의 교란과 벌채 등의 인위적인 행위가 가해지면 나지에서부터 초목군락이 형성되고, 다음으로 저목(低木) 혹은 교목 군락이 형성되며, 고목(高木) 혹은 관목 군락 그리고 최종적으로 극상군락으로 천이된다. 그러나 하천에 있는 식생은 홍수시에 흐름에 의해 유실되거나 토사에 의해 퇴적되어 성장환경이 변화되거나 침수에 의해 영향을 받아 천이 도중에 변동이 발생한다. 하천에 있는 식생은 이러한 홍수에 의해 교란을 빈번히 받아 파괴, 복원 및 재생을 반복하고 있다. 따라서 하천에서 식생의 역할을 이해하기 위해서는 이 수리 수문, 유사이송, 생태학, 식물학을 포함한 다

양한 분야의 학제간의 연구가 필요하다.

본고에서는 하천환경의 주요한 구성요소인 식생과 하천의 지형변동의 관계 및 그의 역할에 대하여 말하고자 한다.

2. 식생대에서 흐름 특성

식생은 하천에서 흐름에 영향을 준다. 하천의 식생대에서 식생의 밀도에 따른 하폭의 변화, 수심 및 유속에 관하여 많은 연구가 수행되어 왔다(Andrews, 1984; Hey and Thorne, 1986; Thorne, 1990; Hunang and Nanson, 1997; Jang, 2003).

하천에서 흐름은 유형이 바뀌거나 유속이 저감되고 수위가 상승되는 등 식생의 영향을 받는다. 하천에서 식생은 홍수터, 제방 혹은 하안과 사주에서 자라며, 수심과 흐름 특성에 따라 식생이 완전히 잠겨 하상에 쓰러지거나 반도복 혹은 흐름에 지탱하며 흰 상태로 있다(그림 1). 또한 계절별, 지하수위 상태, 혹은 유역의 토지이용에 따라 성장, 분포상태 등에 영

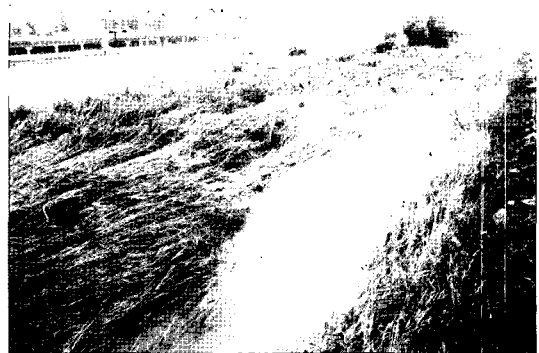


그림 1. 사주 및 하안에 있는 식생이 홍수에 의해 쓰러진 모습(유등천, 2005.8)

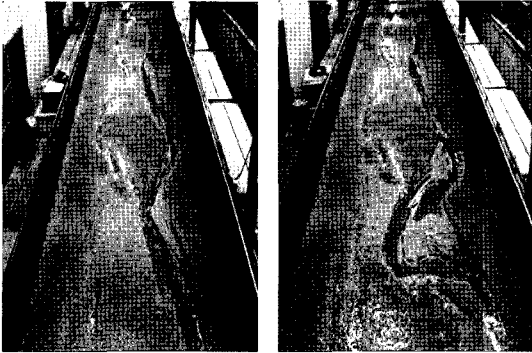


그림 2. 식생에 의한 유로변동; 실내실험 결과를 나타내며, 점선은 유심선의 변화이다 (Jang, 2003).

향을 받고 있다.

일반적으로, 식생은 흐름에 대한 저항을 증가시켜 유속을 감소시키고, 흐름의 방향을 변경하며(그림 2), 유사를 효율적으로 차단하거나 분급을 일으킨다(Tsujimoto, 1999). 따라서 하천공학에서 중요한 문제는 식생에 의한 흐름의 저항을 정량적으로 파악하고 예측하는 것이다. 식생은 하천 및 홍수터에서 추가적으로 운동량을 감소시키며, 이를 해석하기 위하여 운동량 방정식에서 식생에 의한 항력 및 저항을 고려한 항이 필요하며, 이항에는 식생의 크기, 밀도, 강성도 등 식생의 특성을 포함한다(Shimizu and Tsujimoto, 1994; Tsujimoto 1999; Jang, 2003).

완전히 물에 잠긴 식생대에서 유속분포는 2가지 경계층이 있으며, 하나는 하상바닥에서 식생대까지 식생대 층이고, 다른 하나는 식생대에서 수면까지 식생대 위층이다. 일반적으로 난류강도는 물에 잠긴 식생대 층에서 식생대와 물과의 경계층 부근에서 증가하고, 물에 드러난 식생층과 주수로(main stream) 사이의 경계면에서도 증가한다(Tsujimoto, 1999; Nepf and Vivoni, 2000).

3. 하천의 지형변동

하천은 홍수에 의해 교란 및 유량변동에 따라 역동

성을 갖고 있다. 이 변동은 하천의 특성을 결정짓고 하천의 생태계 구조를 결정하는 요인이 된다. 이는 하천의 형태 및 하상 구성재료, 서식처의 형성, 물질의 이동에 커다란 영향을 미치고 있고, 식생과 그 생물환경의 지배요인이 된다.

3.1 하안 침식 억제

하천의 식생은 하안, 고수부, 제방 등에서 변성하여 홍수의 유속저감, 수층의 완화, 뿌리에 의한 침식저감 및 토양의 결박 등으로 하안(河岸) 및 법면 등을 보호한다. 하천에서 식생의 밀도가 증가하면, 하안 침식이 감소하고, 하천의 측방이동이 억제된다(Jang, 2003). 이는 식생의 뿌리가 견고하게 토양을 결박하고 있기 때문이다. 하천에서 식생의 뿌리가 없는 흙은 압축력은 매우 강하나, 인장력이 거의 없으며, 식생의 뿌리는 이에 인장력과 탄성력을 증가시켜, 응력을 분산시키는 역할을 한다(Thorne, 1990; Simon and Collison, 2002). 식생은 또한 차단과 증발산을 통하여 배수를 증진시키고, 토양건조를 촉진시키며, 간극수압(pore pressures)을 저하시켜 하안의 안정성을 증가시킨다(Simon and Collison, 2002). 그러나 급한 경사면에서는 식생은 비가 오는 중에 식생의 뿌리에 의한 침투능의 증가에 의해 과도하게 토양수분을 흡수하고 있고, 나무의 과대 하중에 의해 사면안정에 취약하다는 연구도 있다(Collison and Anderson, 1996). 그러나 식생은 일반적으로 조도를 증가시켜 유속을 감소시키며, 수층부에서 흐름의 에너지를 저하시켜 간접적으로 하안의 안정성을 높인다.

3.2 식생에 의한 하천의 지형변동

하천에서는 식생에 의해 토사의 차단과 공급된 토사의 퇴적이 진행되고 있다. 하천의 식생은 홍수에 의해 손실된 나지가 나타나고 있는 형태를 반복하는 것이 많지만, 식생의 발달 및 하상의 저하 등으로부

터 육지화 되거나, 식생의 침입에 의해 사주가 발달한다(李參熙, 1999).

식생의 증가에 의한 가장 큰 변화 중의 하나는 하폭의 감소이며 이는 하천의 통수능을 감소시키고, 홍수의 위험성을 증가시킨다. 식생이 없는 상태에서 하천은 전형적으로 홍수기에 유사(流路)의 이동이 매우 활발하며, 하천에서 식생이 증가하게 되면 사주의 고착화와 더불어 홍수의 잠재력이 증가하게 된다. 또한 하안 혹은 제방 가까이에 식생의 증가에 따른 유속의 감소는 유사의 퇴적을 촉진시킨다.

일반적으로 유로변동 및 하도변천은 큰 시간적 규모로 변화를 나타내는 것이 많지만 우리나라에서는 많은 하천에서 하도가 제방에 둘러싸여 그 범위 내에서 홍수시의 하상변동으로 발생한 하도에서는 유로(流路), 유사의 띠(sediment stripes)가 변동되는 경우가 많고, 그것이 하천관리의 대상이 되고 있다.

하천을 보는 규모에 따라, (1)구간(區間, reach), (2)세그먼트, (3) 수계, (4)유역으로 구분된다(Tsujimoto, 2001). 구간(區間, reach)은 사주 및 여울과 웅덩이와 같은 하천지형의 특징이 있는 단위체(unit)를 한 쌍 이상을 포함하는 하도구간이고, 세그먼트는 그 배열이 통계적으로 균질한 구간(충적평야 구

간, 선상지 구간 등)이며, 수계는 수원(水原)지인 산으로부터 하구까지이고, 유역은 집수총면적이다. 특히, 「세그먼트」(山本, 1997)에서는 하천에 대한 다양한 상황이 포함되어 있다. 특히, 하상경사, 하상재료 입경 등이 그룹화 되고, 특징적인 유로 및 하상형태가 나타나며, 유로(流路)방향에 주기적으로 구간(區間, reach)에서 다양한 요소(하상과, 아주 작은 기복이 있는 미세지형), 입경분포 등의 지형요소, 유속, 수심 등의 수리량, 식생)가 조합되어 있는 것이 중요한 특징이다. 세그먼트의 고유성은 일반적으로 수계를 통하여 규칙적으로 응답하는 연속성을 나타내는 것이다. 일반적으로는 산지부터 하구까지의 경사 및 입경의 지수적 감소 양상이 연속적으로 나타내는 것이 골격이지만 지질적 조건에 따라 협착부가 있거나, 용기 혹은 침강의 영향에 의해 독특한 불연속성을 나타내는 경우도 있다. 하도변천과 유로변동을 논할 때는 구간(reach)에서의 사상이 주요 목적이 되지만, 오히려 ‘세그먼트가 어떤 변형이 있는가’ 하는 것이 중요하다. 이러한 변형은 수계에 따라 토사이동의 불균형에 의해 발생하고 있는 것이 많고, 그에 대한 논의 및 대책이 수계에서 일관성 있게 수행하는 것이 중요하다(Tsujimoto, 2001).

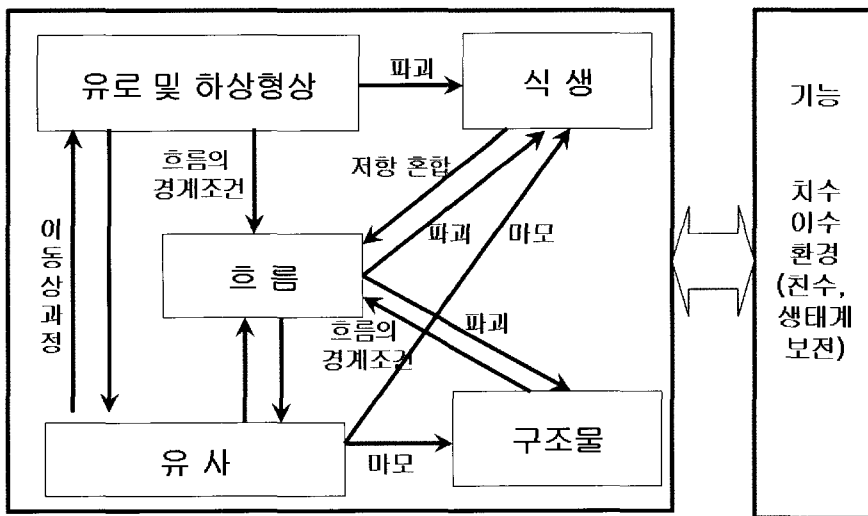


그림 3. 하천지형에 대한 상호작용계와 하천의 기능(Tsujimoto, 2001)

하도에 대해서는 하도(하상, 유로) 형상 및 식생에 의해 유로(流路)가 이미 정해져 있으므로, 유사가 그것에 의해 지배되고 유송토사의 분포가 또한 지형변화를 야기하는 등 상호작용계가 형성되며, 이 계(系)에서는 식생 및 수리 구조물도 포함하게 된다. 이 계에서 경계 조건으로 중요한 것은 유황 및 상류에서 공급되는 토사다. 주변조건이 통계적 의미로 정상적이라면, 이 상호작용계는 동적평형을 유지한다. 하도가 직접변하거나, 앞에서 말한 경계조건이 (예를 들면, 댐, 사방, 유역의 변화) 변하면 이 계도 변한다. 하도변천을 보는 것은 간단히 물리적 용기로의 하천에서가 아니고 그 공간에서 흐름, 유사의 분포, 식생 등을 포함하고 있는 것으로서 이러한 상호작용계에서 성립하는 하천의 모양을 「하상(河相)」이라 부른다(Tsujimoto, 2001). 그림 3은 하천지형을 구성하는 상호작용을 나타내고 있으며, 그중에서 하천관리를 위하여 하천의 지형변동을 정확하게 파악하는 것이 필수이며, 식생의 변화와 상호관련성을 무시할 수 없다.

하천의 지형변동(하상변동, 유로변동)에 대하여 논의할 경우, 어떤 충격(impact)에 대한 응답(res-

ponse)으로 하도변천이 발생하는가를 분명하게 할 필요가 있으며, 그에 대하여 적절한 복원을 고려한 시나리오가 필요하다. 또한 하천관리에도 접근 및 추적 시나리오가 있다. 예를 들면, 댐건설로 인하여 하류하도에서는 유황의 변화(홍수의 강도 및 빈도의 변화), 토사공급량의 감소에 의하여 충격(impact)이 부여되고, 그것에 대한 응답(response)으로 본류에서 하상저하가 발생하며, 이것은 지류의 하류에서 상류 방향으로 하상변동을 야기하는 등 지류하천에도 영향을 주게 되며, 그에 따라서 하천의 지형변동을 유발한다. 이것은 또한 토지이용과 관련이 있으므로 오히려 지리학적인 연구대상이었으나 최근에는 재해 포센샬 정보이므로 하천공적으로 의미가 매우 깊다. 또한 최근에 우리나라에서는 연속제방에 대하여 하도가 고정되고, 하도 내에서 유로변동 및 하상변동이 구속되었다(그림 4). 따라서 홍수에 의해 하상 및 유로는 변동하지만, 근래의 댐 건설을 시작으로 하여 수계에서의 충격(impact)에 대하여 비가역적 변화가 확인되어 왔다. 예를 들면, 댐건설 및 사방사업이 지속되면서 하류로 토사이동이 차단되어 하류부에서 지속적인



그림 4. 하천이 제방의 축조로 고정된 모습(내성천, 2004); 본 구간은 사주가 식생에 의해 고착화 된 모습을 보여주고 있다.

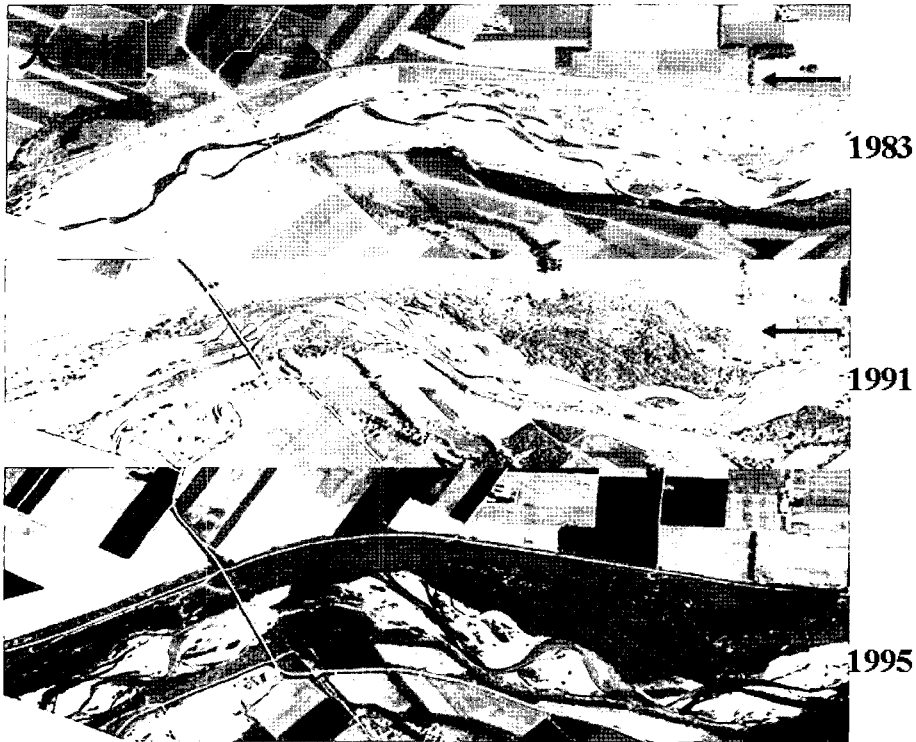


그림 5. 사쯔나이강(札幌川)(일본 홋카이도(北海道))의 경년 변화(Jang, 2003)

로 하상저하 및 장갑화가 진행되고 있다. 그러나 하도의 지형변동을 보다 미시적으로 보면, 유사 띠의 변화 및 사주(중규모 하상 형태)의 변화 그리고 수찰부에서 국소세굴이 가속화 되는 현상이 나타나고 있으며, 근래에는 하도내에 식생의 활착으로 하도내 수림화로 확인되었다(최성욱 등, 2004; 수자원연구원, 2004).

예를 들면, 그림 5는 일본 홋카이도(北海道)의 사쯔나이강(札幌川)에서 식생변무의 경년변화를 보여주고 있으며, 하도내에서는 식생역의 확대, 초목으로부터 목본으로의 변화가 확인되었다. 시간이 경과하면서 망상하천에서 저수로의 수가 감소하며, 식생대에서 유로(流路)는 고착화되어 간다. 그 원인으로는 하상저하에 의한 하천의 육지화 경향, 식생의 파괴를 일으키는 홍수의 강도 및 빈도의 감소 등으로 생각되며, 그 밖에 고수부지 이용형태의 변화도 원인이 된다.

예를 들면, 그림 5는 일본 홋카이도(北海道)의 사쯔

나이강(札幌川)에서 식생변무의 경년변화를 보여주고 있으며, 하도내에서는 식생역의 확대, 초목으로부터 목본으로의 변화가 확인되었다. 시간이 경과하면서 망상하천에서 저수로의 수가 감소하며, 식생대에서 유로(流路)는 고착화되어 간다. 그 원인으로는 하상저하에 의한 하천의 육지화 경향, 식생의 파괴를 일으키는 홍수의 강도 및 빈도의 감소 등으로 생각되며, 그 밖에 고수부지 이용형태의 변화도 원인이 된다.

4. 하천관리

하천의 식생관리는 종래에 조도 및 정체수역 관리, 유목(流木)의 방지, 하천관리시설의 보호 및 점검 등 치수상의 관점으로부터 수행되어온 것이 대부분이었다. 그러나 최근에는 하천환경의 정비 및 보전이 하천관리의 목적이 되고 식생관리도 하천의 특성 및 식

생의 갖고 있는 기능을 충분히 배려한 하천환경을 고려하지 않으면 안 된다.

식생의 환경 기능으로써, 하도에서 발달한 수목군은 동물의 서식처가 되며, 햇빛을 차단시켜 수목군 내부에서 기온상승을 완화시켜 수목군 내부에서 다양한 곤충 등이 서식할 수 있도록 한다. 또한 수면에 그늘을 만들어서 수온상승을 억제시키며, 수목의 잎이나 종자는 곤충이나 조류의 먹이가 된다. 또한 하도의 식생은 홍수시 흐름을 완화시켜서 어류의 피난장소가 되며 이동통로가 된다. 모래하천에서 식생은 하상저하와 홍수의 발생빈도가 작아지면, 고수부의 침수빈도가 작아져서 고수부에서 식생의 번성 속도가 빨라지므로 이에 의해 통수면적이 감소하고, 계획 홍수량을 안전하게 소통시키기 어려우므로 하상고의 변화와 더불어 식생의 변화를 파악해야 한다. 또한 이곳에서는 홍수소통을 원활히 하기 위해서 식생의 밀도를 조절할 수야베기를 수행하며, 이때 생태계의 충격을 최소화해야 하고, 주변경관과의 조화를 유지해야 한다(personal communication, Hasegawa 2004).

5. 결론

최근에 하천관리 및 정비는 과거의 이수과 치수의 일변도에서 벗어나 하천환경의 중요성을 인식하게 되어 이를 반영하여 수행하고 있으며, 특히 하천의 복원 등이 사업이 활발해 지면서 주변 경관과의 어울림도 고려한 하천계획이 요구되고 있다.

하천에서는 하천특성에 맞추어 식생이 성장하고 있으며, 이는 하천의 경관을 형성하는 중요한 요소이고, 식생의 직접 혹은 간접적인 영향은 하천의 지형형성과 흐름에 영향을 미치고 있으며, 생태계의 서식공간 및 주변경관과 깊은 관계가 있으며, 이를 고려하여 하천에서의 식생관리의 중요성이 매우 높아지고 있다.

따라서 하천 지형변동과 식생의 상호작용을 수리

수문, 유사이송, 생태학, 식물학을 포함한 다양한 분야의 학제간의 연구를 통해 보다 더 정교하게 파악하여 역동성을 갖고 있는 하천의 상을 미래지향적으로 관리해야 할 것이다.

참고문헌

- 수자원연구원 (2004). 하천특성 조사기법 연구, 한국수자원공사 보고서.
- 최성욱, 윤병만, 우효섭, 조강현 (2004). “댐건설에 의한 유황 변화에 따른 하류 하도에서 하천지형학적 변화 및 식생피복의 변화: 황강 합천댐 사례”, 한국수자원학회 논문집, 37(1), 55-66.
- 李參熙 (1999). 扇狀地礫床河道における安定植生域の形成機構に関する研究, 博士學位論文, 筑波大學, 日本.
- 山本光一 (1997). 沖積河川學, 山海堂.
- Andrews, E.D.(1984). “Bed-material entrainment and hydraulic geometry of gravel-bed rivers in Colorado.” Geological Society of America Bulletin, 95, 371-378.
- Hey, R.D., and C.R.Thornes.(1986). “Stable channels with mobile gravel beds.” Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 112, 671-689.
- Thorne, C.R.(1990). “Effects of vegetation on riverbank erosion and stability.” Vegetation and Erosion, Edited by J.B. Thornes, pp. 125-144, John Wiley and Sons.
- Hunag, H.Q., and G. C. Nanson. (1997). “Vegetation and channel variation; a case study of four small streams in southeastern Australia.” Geomorphology, 18, 237-249.
- Shimizu, Y., and T. Tsujimoto. (1994). “Numerical analysis of turbulent open channel flow over a vegetation layer using a ke-

- turbulence model." *Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, JSCE*, 11, pp.57-67.
- Nepf, H.M., and E. R. Vivoni. (2000). "Flow structure in depth-limited, vegetated flow." *Journal of Geophysical Research*, 105(C12), 28, pp 547-557.
- Simon, A., and A. J. Collison. (2002). "Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability." *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, 527-546.
- Collison, A. J. C., and M. G. Anderson. (1996). "Using a combined slope hydrology/stability model to identify suitable conditions for land slide prevention by vegetation in the humid tropics." *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, 737-747.
- Jang, C.-L. (2003). "Study on the morphological behavior of the channel with erodible banks." PhD dissertation, Hokkaido University, Sapporo, Japan.
- Tsujimoto, T.(1999). "Fluvial processes in streams with vegetation." *Journal of Hydraulic Research*, 37(6), 789-803.
- Tsujimoto, T.(2001). "Change in channel morphology and riparian vegetation." Lecture notes of the 37th summer seminar on hydraulic engineering." Course A, Committee on Hydraulic Engineering, JSCE(in Japanese). 