

하천생태계 건강성 증진을 위한 새로운 패러다임¹⁾

김 철 구²⁾

국립생태원 습지센터

들어가며

일반적으로 하천의 기능은 공학적 기능과 환경적 기능으로 구분하여 제시하곤 한다. 여기서 공학적인 기능이란 이수(利水) 기능과 치수(治水) 기능을 말하며, 환경적인 기능은 동식물의 서식처 기능, 수질의 자정 기능, 심미적 기능 등의 자연적 기능을 말한다(하천복원연구회, 2006) 과거에는 공학적 기능과 환경적 기능은 서로 상충하는 기능으로 인식되어 왔다. 즉, 홍수방지를 위해서는 어쩔 수 없이 하천의 환경적 기능을 훼손할 수 밖에 없다는 것이다. 그러나 최근에는 환경적 기능이 발달한 하천이 홍수와 가뭄에도 안전하다는 새로운 패러다임으로 전환되어 가고 있다. 따라서 본 제언에서는 하천의 공학적 기능과 환경적 기능이 상충하는 것이 아니라 공존할 수 있음을 소개하고자 한다.

하천생태계의 특징

하천생태계의 종적 연속성

하천생태계는 종적으로 연속된 시스템이다. 하천의 발원지, 계곡과 같은 상류부분은 유속이 빠르고, 수온이 낮으며, 햇볕이 잘 들지 않는 반면에, 하류로 갈수록 유속도 느려지고 수온도 높아지며, 일조량도 많아진다. 이처럼 발원지로부터 바다와 만나는 하구까지 물리적인 환경이 연속적으로 변화하고, 이에 따라 생물군집도 변동하는 것을 볼 수 있다. 하천의 상류역에서는 주요 먹이원이 낙엽과 같은 외부에서 유입된 큰 입자성 유기물이며, 이에 따라 수서곤충도 잘라먹는 무리의 비중이 높다. 중류역에서는 나무 그늘이 적어서 부착조류가 성장하기 좋으며, 이를 굽어먹는 무리의 비중이 높아진다. 하류역에서는 수심이 깊어서 부착조류보다는 식물플랑크톤이 주요먹이원이 되고 수서곤충도 모아먹는 무리의 비중이 높아진다. 이처럼 상류에서부터 하류까지 수서곤충의 먹이원이 달라지고 이에

1)New Paradigm for Recovering Ecosystem Health

2)KIM, Chulgoo, Wetlands Research Center, National Institute of Ecology, Gyeongsangnam-do 50303, Korea;
E-mail: ecorest@nie.re.kr

따라 수서곤충의 종류도 달라지며 수서곤충을 먹이원으로 하는 어류의 종류도 차이를 나타낸다. 따라서 자연적인 하천에서의 상류에서 하류까지의 각각의 영양단계에 있는 생물 군집의 변동에 대한 예측이 가능하다. 또한 이러한 자연적인 생물구성을 파악함으로써 인간에 의한 영향을 예측하는 것도 가능하다. 이처럼 하천을 상류에서 하류까지의 일련의 시스템으로 이해하기란 일반적으로도 그다지 어려워 보이지 않음에도 불구하고, 이러한 ‘하천연속성 개념’은 그다지 오래되지 않은 1980년에 미국의 생태학자인 Vannote 등(Vannote 등, 1980)에 의해서 제안되었다.

하천생태계의 횡적 연결성

하천은 하천 양쪽의 육상생태계와도 횡적으로 연결된 시스템이다. 평상시에 항상 물이 흐르는 하도와, 홍수 때에 일시적으로 물에 잠기는 홍수터가 있다. 홍수터에는 강 가운데에 있는 섬인 하중도, 하천변의 물웅덩이인 수렁, 평상시에는 하천물이 넘어오지 않도록 하는 자연제방, 홍수 때만 물에 잠기는 홍수터 습지 등이 있다. 자연적인 하천에서는 계절적인 유량변동에 의해서 수변의 홍수터를 통해 육상생태계까지 이어지는 연결성을 가지고 있다. 많은 곤충과 어류, 양서류 등과 같은 물속에 사는 생물들이 생활사에 따라 하천 본류와 홍수터 습지, 심지어는 육상산림까지 왕복하며 생활하고 있다.

하천생태계의 수직적 연결성

하천에서는 물의 표면과 수심이 깊은 하천바닥까지 뿐만 아니라, 하천바닥으로 물이 스며들기도 하고 용출하기도 하면서 물과 다양한 물질, 에너지, 생물까지도 교환하는 수직적 연결성을 가지고 있다. 우리가 하천을 따라 걷다 보면 하천에 물이 말랐다가 하류로 조금 더 내려가면 물이 흐르고 있는 모습을 흔히 볼 수 있다. 이는 물의 흐름이 간극수역이라고 하는 겉으로 보기에는 물이 마른 것처럼 보이는 구간을 거쳐서 흐르기 때문이다. 이러한 간극수역이 하천의 수질 정화에 매우 중요한 공간이라는 것이 밝혀지고 있다 (Findlay, 1995).

하천생태계의 시간적 변화성

하천의 모양은 연속적인 침식과 퇴적작용에 의하여 변화한다. 이러한 지질학적인 시간 수준에서의 하천 형태의 변화뿐만 아니라, 계절적인 시간표에 따라서 유량, 수온, 수질 등이 큰 변화를 보이고, 이러한 자연의 시간표에 따라 하천에 서식하는 생물들도 독특한 생활사를 지니게 된다(USDA, 2001). 어떤 종의 물고기는 홍수를 겪으면서 자신이 산란한 시기가 되었음을 인지한다는 연구결과도 보고되고 있다(Postel & Richter, 2003). 따라서 하천에 물이 항상 일정하게 흐르는 것이 좋은 것만은 아닐 것이다.

하천복원의 개념

하천 생태계를 복원하기 위해서는 복원에 대한 개념 정리를 명확히 할 필요가 있다. 사실 엄격한 사전적 의미에서의 복원은 원래 존재하던 상태로 회귀를 의미한다. 하지만 생태학에서는 넓은 의미로 creation(창출), reclamation(개선), rehabilitation(재생)과 같은 이러한 모든 것들이 복원의 범주에 포함하여 사용하고 있다.

미국의 생태학자인 Bradshaw(Bradshaw, 1997)가 주장한 바와 같이, 생태계의 대부분의 경우 과거의 자연 상태에 대한 정보가 없기 때문에 과거의 상태로 돌아가는 것은 불가능하므로, 교란 이전의 상태로 회복하기 위한 과정도 생태계 복원의 범주에 포함할 수 있다. 또한 미국조사연구평의회(National Research Council)에서 발간한 ‘수생태계복원’이라는 책자(NRC, 1992)에서도 교란 이전의 상태에 가깝게 되돌리는 작업을 복원의 범주에 포함토록 제안하고 있다. 실제로 미국 생태복원학회에서도 생태계의 건강성, 온전성, 지속가능성의 관점에서 생태계의 회복을 도와주는 과정을 생태계 복원으로 인정하고 있다. 따라서 생태계 기능과 복잡성이 낮은 훼손된 생태계를 기능과 복잡성, 생물의 다양성이 높은 훼손 이전의 생태계로 돌리기 위한 일련의 노력이 모두 생태계복원이라고 할 수 있다.

하천생태계 복원의 기본원칙

하천의 생태계를 복원하기 위해서는 최소한 아래의 5가지 기본 원칙을 지킬 것을 제안하고자 한다.

1) 하천의 역동성 존중

하천의 역동성이란 하천 스스로가 자기 모습을 만들어 간다는 것을 의미한다. 그림과 같이 하천 바닥이 평탄하게 단순구조로 정비된 하천이 홍수에 의해서 복잡하고 다양한 모습으로 스스로의 모습을 되찾아가는 것을 볼 수 있다. 이것은 하천 형상은 고착화된 모습을 유지하는 게 아니라 지속해서 변화함을 의미하며 인위적으로 형상을 정형화하여도 결국 자연적인 모습으로 되돌아간다는 것을 보여주는 것이다.

2) 하천 생태계의 종적 연속성 보장

앞에서 설명한 바와 같이, 하천생태계는 상류에서 하류까지의 종적연속체이므로 이를 단절시켜서는 안 되며, 댐과 보와 같은 부득이한 횡단구조물에 의한 종적 연속성에 단절될 경우에는 이를 개선하기 위한 노력이 필요함을 의미한다.

3) 하천생태계의 횡적 연결성 보장

하천 생태계의 종적 연속성과 마찬가지로, 하천 생태계의 횡적 연결성 또한 보장되어야 한다. 제방을 높이 쌓아서 홍수를 방재하는 것만이 아니라 홍수터 등을 활용하여 홍수를



그림 1. 홍수에 의한 하천 형상의 역동적 변화 사례

분산시키는 것은 하천의 공학적 기능과 환경적 기능 양쪽을 모두 만족시키는 좋은 방법이며 하천생태계의 횡적 연결성도 복원할 수 있는 좋은 방법이라고 할 수 있다.

4) 하천 형상의 다양성 보장

하천에는 여울과 웅덩이, 모래밭, 자갈밭, 배후습지, 하중도 등이 다양하게 혼재되어 있다. 이러한 구조들을 다 밀어내고 평평하고 반듯반듯한 모양으로 하천을 정비하는 것을 지양해야 함을 의미한다.

5) 하천생태계의 개성 존중

하천의 개성을 존중해야 한다. 평지하천과 산지하천은 엄연히 그 모습이 다르고, 농촌하천과 도심하천도 달라야 한다. 이를 무시하고 전국 어느 곳에 가도 비슷비슷한 하천으로 만들어 놓는 것은 하천의 개성을 무시하는 행위이며, 생태하천복원의 기본원칙을 지키지 않는 처사라고 할 수 있다.

이러한 기본원칙에 대한 이해를 높이고자 미국 환경보호청에서 제시하는 수생태계를 복원하기 위한 17개의 원칙을 표 1에 간략히 소개한다(USEPA, 2000).

표 1. 미국환경보호청의 수생태복원의 원칙

1. 수생자원을 보전하고 보호한다.
2. 생태적 온전성을 복원한다.
3. 자연적 구조를 복원한다.
4. 자연적 기능을 복원한다.
5. 유역 및 경관적 차원(광범위한 지형)에서 실시한다.
6. 유역의 자연적 잠재력을 이해한다.
7. 현재 진행되고 있는 훼손의 원인을 파악한다.
8. 명확하고, 달성가능하고, 예측가능한 목표를 설정한다.
9. 타당성에 중점을 둔다
10. 참조하천을 활용한다.
11. 미래의 변화를 예측한다.
12. 다양한 분야의 전문가의 기술과 지식을 활용한다.
13. 복원 후 스스로 유지될 수 있도록 설계한다.
14. 적절한 경우 소극적인 복원방법을 사용한다.
15. 토착동식물종을 복원하고, 외래종은 피한다
16. 가능한 한 자연적인 정착물과 생물공학적 기법을 활용한다.
17. 사후 모니터링을 실시하고 변화가 필요한 경우 변경한다.

해외 하천복원 사례

독일의 Isar강

유럽의 많은 하천복원사례 중에서도 대표적인 우수사례로 손꼽히는 것이 독일의 뮌헨 시내를 흐르는 Isar강이다. 1750년경의 Isar강은 폭넓고 다양한 흐름이 있었으나, 이미 1820년대에 들어서는 하폭이 축소되고 일부 직강화가 이루어졌으며, 1930년대에는 최근의 복원 전 모습으로 인공화되었다. 이로 인해 오히려 홍수피해 규모가 확대되는 결과를 가져왔으며, 소수력 발전과 용수공급을 위해 설치한 보와 인공수로 때문에 하천에 유지용수가 부족해지고, 이로 인한 수질 오염과 생물상 변화가 문제점으로 대두되었다. 이러한 문제를 해결하고자 1998년에 Isar plan을 수립하여 복원사업에 착수하게 된다. 이 복원사업은 홍수조절, 생태적 건강성 증진, 시민휴식공간제공을 목적으로 해서, 약 10년간, 8 km를 천천히 복원해 왔다. 제일 먼저 도심구간의 치수 안정성을 확보하기 위하여 제방을 튼튼히 하였다. 기존제방에 파일링을 하고 제방높이를 높이면서 사면 경사는 완경사로 조성하였다.

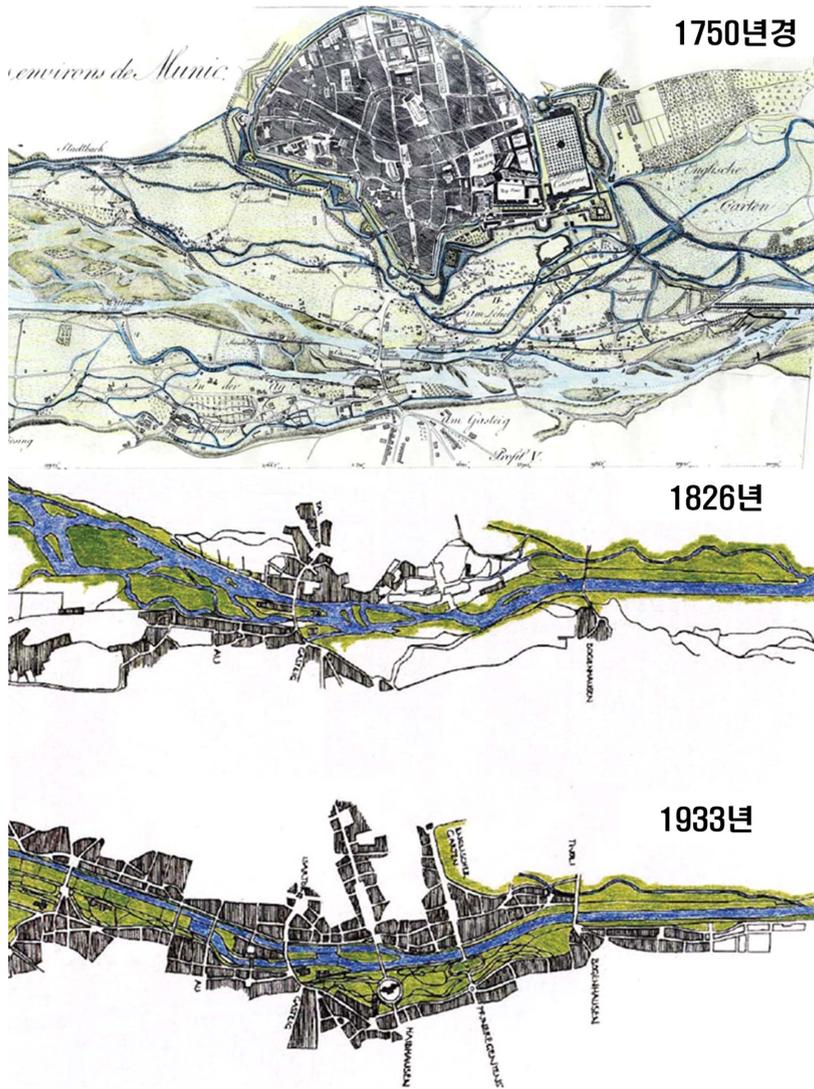


그림 2. 이자강 하천정비에 의한 하도 직강화. 출처: 김혜주, 2010

자전거길과 산책로는 포장하지 않고, 획일적이지 않도록 조성하였다. 콘크리트 저수호안은 철거하여 둔치에 매립하여 고수호안을 보호하는 데도 활용하였으며, 하천과 수변을 완경사로 만들어서 생태적 전이대를 복원하였다. 또한 보를 철거해서 완경사 낙차공을 설치함으로써 시민과 물고기가 어우러질 수 있는 공간으로 탈바꿈하였다. 이러한 복원사업을 통해서 홍수조절 능력이 향상되어 피해를 감소시킴으로써 경제적 가치가 향상되었고, 충분한 생물서식처 제공을 통하여 생태적 가치를 높였으며, 시민을 위한 휴식공간이 확대되어 사회적 가치를 높이는 성과를 거둔 모범적인 사업으로 평가되고 있다.

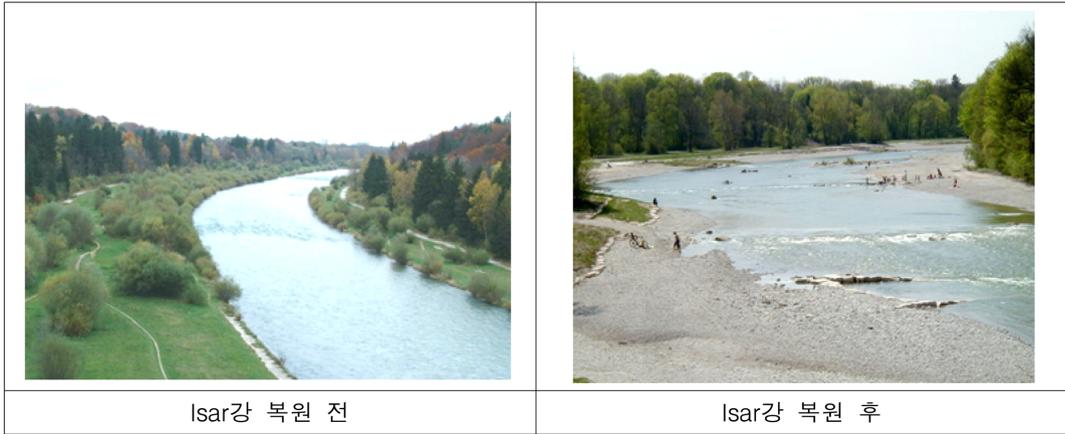


그림 3. Isar강의 복원 전·후 모습 비교

네덜란드의 Room for the River Project

네덜란드는 1993년과 1995년의 대홍수에 의해 25만 명의 이재민이 발생하는 등의 피해를 보았으며, 기후 변화에 따라 하천 수위가 높아지는 빈도가 늘어남에 따라 라인강 주변 400만의 인구를 홍수의 위험으로부터 안전하게 하기 위해 계획된 사업이다. 사업의 목표는 라인강 하구의 홍수량을 500년 빈도의 15,000 m³/s에서 1,250년빈도의 16,000 m³/s 수준까지의 치수 안전성을 확보하고, 하천환경을 개선하여 생물다양성을 증진하는 것을 목표로 하여 2015년까지 공사비 2.3억 유로를 투입한 사업이다.

주요 사업내용은 ① 주운 수로를 깊게 하기(Deepening navigation channel), ② 물 저장 능 증대시키기(Water storage), ③ 홍수터를 낮추기(Lowering of flood plains), ④ 수제와

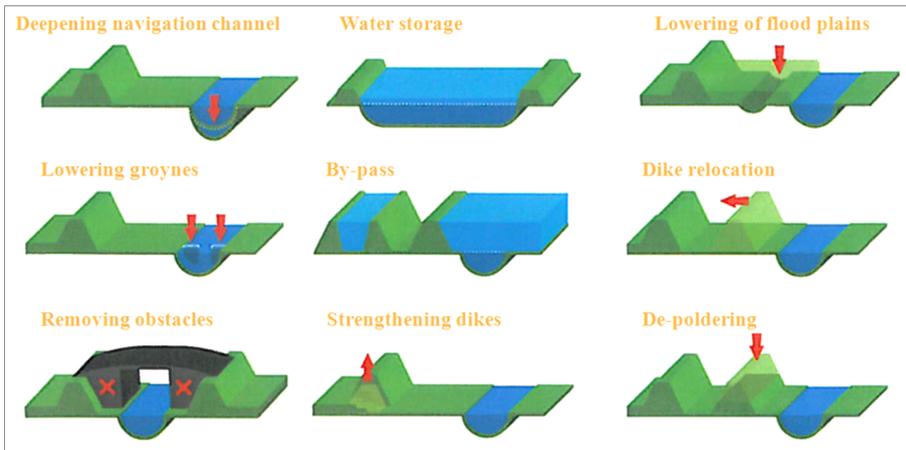


그림 4. Room For the River Project의 주요 사업 내용

같은 시설물의 높이를 낮추기(Lowering groynes), ⑤ 샛강을 통한 유량 분담(By-pass), ⑥ 제방 후퇴를 통한 통수단면 확대(Dike relocation), ⑦ 횡단구조물 철거(Removing obstacles), ⑧ 제방보강(Strengthening dikes), ⑨ 보조 제방 낮추기(De-poldering) 등이 있다(그림 4).

아래 그림 5에서 보는 바와 같이 목축지로 사용되던 하천 부지에 물길을 조성함으로써, 하천의 물길에 더 많은 공간을 할애하고 있다. 배가 다니는 물길을 그대로 두면서도, 하천변에 자연적인 물길을 만들어지도록 함으로써 다양한 공간이 형성되도록 하였으며, 이로 인해 생물다양성이 증가하는 성과를 보여주고 있다.



그림 5. Vreugderijkerwaard지역의 방목지로 사용되던 홍수터에 샛강을 조성하여 생태습지를 조성하는 과정(왼쪽부터 2000년, 2002년, 2004년의 모습)

미국 Kissimmee river 복원 사업

미국의 플로리다주에 있는 키시미강은 좀 더 극단적인 사례라고 할 수 있다. 1960년대에 이치수와 주운을 목적으로 원래는 구불구불하던 하천을 직강화하였다. 그 결과 어류,



그림 6. Kissimmee강의 복원 전·후 모습

물새, 독수리 등의 많은 생물들의 종수가 급격히 감소하는 생태적인 피해를 초래하였다. 1960년대 말에 운하 건설 이후 30여 년 이상의 모니터링 등의 준비과정을 통해 1990년대에 복원사업에 착수하여 현재도 계속되고 있다. 사진에서 보는 바와 같이 직강화된 운하를 다시 메우고, 과거의 구불구불한 자연하천의 물길을 복원하고 있다.

맺음말

유럽, 미국 등의 사례에서 시사하는 바와 같이, 하천복원이란 치수 사업, 기타 목적의 하천 사업이나 불량한 유역 관리에 의해 훼손된 하천의 생물서식처, 자정작용, 친수성을 되살리기 위해 하도와 하천변을 원래의 자연하천에 가깝게 되돌리는 것이다. 다시 말하면 하천생태계의 구조와 기능을 훼손시키는 자연적, 인위적 교란이나 훼손 하천이 자연적으로 회복되는 것을 막는 작용 등을 인식하는 것부터 시작한다(USDC, 1998). 따라서 하천 복원은 하천 생태계의 구조와 기능을 이해하고 그 생태계를 만드는 물리적, 화학적, 생물적 과정을 이해하는 것이 중요하다. 하천의 환경적 기능인 친수성과 오염정화 기능은 이러한 생태계의 복원을 통해 얻어진다.

하천복원은 하천에 교란을 주는 활동이나 자연적인 회복을 막는 활동을 가능하면 억제하는 것으로, 지속적인 교란 활동을 제거하거나 저감시키는 소극적인 활동부터 교란으로 훼손된 하천을 적극적으로 복원하는 활동 모두를 포함한다. 여기서 하천복원의 주요 대상은 하도를 포함한 홍수터, 강터, 제방 등 수변이다. 더 나아가 유역 차원에서 접근하는 것이 효과적이며, 참조하천을 통해 적정수준의 사업과 규모를 결정하는 것이 효과적임을 미국과 유럽의 많은 복원사례에서 적시하고 있다. 이처럼 유역은 하천의 수량과 수질 그리고 서식지 형성에 영향을 미쳐 궁극적으로는 생물의 다양성과 생태적 건강성의 모태를 제공하고 있음을 인식하고, 하천 본류의 종횡적 연속성뿐만 아니라 지류 하천들과의 연속성 그리고 유역을 함께 다루어야 한다.

경제성장을 위해서는 어느 정도의 환경 훼손을 감안해야한다는 기존의 패러다임은 경제 성장과 환경 개선이 함께 할 수 있다는 패러다임으로 전환되고 있음을 환경 쿠즈네츠 이론이 보여주고 있다. 이와 마찬가지로 하천의 공학적 기능과 환경적 기능도 공존할 수 있음을 인식하고 이를 추구하는 것이 타당함을 제언하고자 한다.

참고문헌

- 김혜주, 2010. 독일 문헨의 이자강(Isar) 살리기 사업, 하천과 문화, 6: 92-103.
하천복원연구회, 2006. 하천복원사례집. 청문각.
Bradshaw, A., 1997. Restoration of mined lands-using natural processes. Ecol. Eng. 8: 255-269.
Findlay, S., 1995. Importance of surface-subsurface exchange in stream ecosystems: The hyporheic

- zone. *Limnol. Oceanogr.* 40(1): 159-164.
- National Research Council, 1992. Restoration of Aquatic Ecosystems-Science, Technology, and Public Policy. NATIONAL ACADEMY PRESS, Washington, D.C. 1992.
- Postel, S. and Richter, B., 2003. Rivers for life: Managing water for people and nature. Island Press.
- URBEM, 2004. Existing Urban River Rehabilitation Schemes. (<http://www.urbem.net>)
- USDC; US Department of Commerce, 1998. Stream Corridor Restoration-Principles, Processes, and Practices, Federal Interagency Stream Restoration Working Group, National Technical Information Service, Springfield, VA, USA.
- USEPA, 2000. Principles for the Ecological Restoration of Aquatic Resources. EPA841-F-00-003. Office of Water (4501F), United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. 4 pp.
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R. and Cushing, C. E., 1980. The River Continuum Concept. *Can. J. Fish. Aqua. Sci.* 37(1): 130-137.