

시스템 사고를 통한 하천의 물리적 환경과 하천식생의 인과순환 관계분석

최윤의* · 전진형**

*고려대학교 대학원 환경생태공학과 · **고려대학교 환경생태공학부

I. 서론

하천에서 발생하는 교란으로 인한 물리적 환경의 변화와 식생의 훼손을 방지하기 위한 다양한 노력이 시도되고 있지만 궁극적인 복원방안을 제시하지 못한 이유는 복잡하고 다양한 하천 환경에 대해 단편적인 개별 연구를 진행하며 하천의 물리적 구조의 훼손과 귀화식물의 유입 및 정착의 관계를 단선적 사고로 바라보았기 때문이다. 하천환경을 둘러싼 다양한 요인들에 대한 상호 피드백 이해의 부재는 건강한 하천생태계를 지속시키는 것에 있어 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 주기적 혹은 일시적으로 변화하는 하천환경에 대한 전체적인 이해를 바탕으로 하천으로 유입되는 귀화식물에 대한 이해, 교란으로 발생하는 하천의 물리적 구조의 변형과 귀화식물 간의 관계, 기존 하천식생과 귀화식물 간의 관계 등 여러 요인들을 종합적으로 고찰하고 전체 시스템의 인과관계를 파악할 수 있는 시스템 사고 접근 방법이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 시스템 사고를 통해 하천 물리적 구조의 훼손과 귀화식물 유입 및 확산의 전체적인 인과순환 관계를 분석하고자 한다. 시스템 사고는 피드백 루프에 의한 순환적 인과관계 내에서 시간의 흐름에 따라 발생한 원인과 문제 요인을 함께 파악할 수 있는 접근방법으로써(김도훈 등, 1999), 다수의 변수 간의 인과관계가 복잡하게 설정되어 있는 시스템을 분석하거나, 복잡계의 개념을 이해하기 할 경우에는 시스템 사고는 유용한 방법이 될 수 있다(전대욱, 2013).

II. 선행연구 검토를 통한 변수탐색

하천환경의 교란요인은 규모와 빈도, 강도, 시기, 기간, 장소 등 수많은 변수에 따라 하천에 미치는 영향이 다르게 나타나며(김기흥, 2008), 그 정도에 따라 하천생태계의 훼손을 야기시킨다. 하천식생의 서식환경은 하상의 식생설, 하안, 고수부지, 제방사면, 제방 위(신동호와 조강현, 2001; 임동욱 등, 2004) 등 물리적 환경을 기반으로 형성되기 때문에, 물리적 환경의 훼손은 하천식생의 훼손과도 밀접한 관련이 있다. 물리적 환경 훼손과정에서 유입된 귀화식물은 훼손된 지역에서 자생식물에 비해 번식

력, 적응력, 질병에 대한 내성, 경쟁력이 강한 특성이 있으며, 척박한 환경에서의 정착 용이성과 빠른 확산속도로 인해 단일종이 우점하여 다양한 하천식생의 번식을 방해한다. 선행연구에 따르면, 하천식생의 출현과 관련된 물리적 환경으로 하상재료의 크기, 저수로 폭의 크기가 상관성이 인정되었다(김혜주 등, 2008). 또한 참조하천이 훼손하천에 비해 귀화율이 높게 나타나고, 하천의 물리적 구조의 평가지수와 식생귀화율 간의 유의한 상관관계가 있다(천예준 등, 2013). 이와 같은 선행연구를 기반으로 하천환경의 인과순환 관계분석을 위한 변수를 탐색하여 인과지도도를 작성할 수 있다.

III. 하천환경의 인과순환 관계분석

1. 하천환경 변화의 동태성

하천환경 변화 인과지도는 그림 1과 같으며, 총 2개의 피드백 루프가 형성된다(R1, B1). 하천의 물리적 환경 변화는 기본적으로 자기강화 피드백 루프(R1)를 나타낸다. 자연적·인위적 교란 요인에 영향을 받은 하천은 물리적 환경이 훼손됨에 따라 귀화식물의 정착가능성이 높아진다. 이때 귀화식물 유입량의 영향을 받으며, 광조건, 수분조건, 토양성분조건에 따라 달라진다. 귀화식물의 정착가능성이 높을수록 내성과 번식력에 의한 확산율이 높아지며, 이는 귀화식물의 경쟁력과 출현빈도 및 우점도를 강화시킨다. 귀화식물의 우점도가 높을수록 하천식생의 종 다양성은 줄어들 것이며 이는 곧 하천식생의 건강성 상실을 야기한다. 하천식생의 건강성이 하천의 물리적 환경에 영향을 미칠 때 오랜 시간이 소요되는 시간지연 현상이 발생한다. 이는 하천식생의 생물적 특성으로 인해 물리적 환경이 천천히 변화되는 것을 의미한다. 이와 같은 자기강화 피드백 루프는 다양한 교란요인에 의해 하천의 물리적 환경이 한번 훼손되기 시작하면 변수들의 연쇄적인 강화반응으로 인해 지속적으로 훼손되는 것을 보여준다. 한편, 기존 자생식물의 경쟁력이 귀화식물의 적응력보다 우수할 경우에는 하천식생의 종 다양성이 유지되어 하천식생의 건강성으로 연결되기 때문에 하천의 물리적 환경은 균형을 유지할 수 있다(B1). 본 피드백 구조를 통해 훼손된 하천의 물리적

구조에 유입되는 귀화식물과 기존하천식생인 자생식물의 경쟁력에 따라 하천식생의 건강성에 영향을 주는 것을 알 수 있으며, 하천식생의 건강성이 확보되어야만 지속가능한 물리적 환경이 형성되는 것을 알 수 있다.

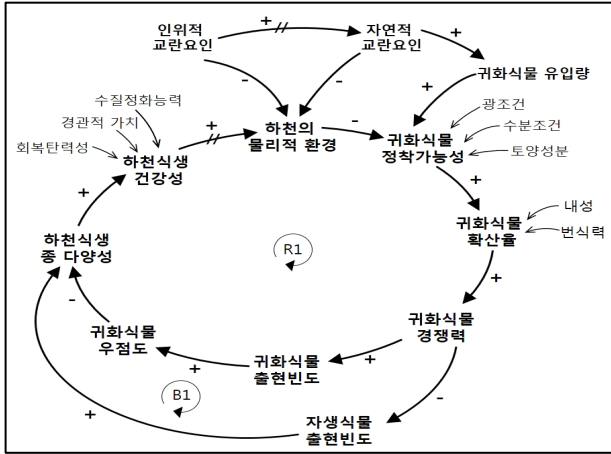


그림 1. 하천환경 변화 인과지도

2. 하천환경 건강성 유지의 동태성

국토교통부와 환경부는 2014년 2월부터 지방하천관리의 효율성 제공 등을 위해 '지방하천정비사업과 생태하천복원사업의 효율적 추진 지침'을 공동으로 제정·시행하고 있다. 하천정비사업은 하천의 올바른 이용과 하천생태계의 건강성 확보를 목표로 하지만, 사업시행 중에는 인위적 교란을 발생시켜 하천의 물리적 환경의 훼손을 야기한다. 이에 하천사업 추진지침 공동 제정에 있어 하천정비사업으로 인해 발생하는 직·간접적인 영향에 대한 관리방안과 사업 시행 후 유지관리 방안이 고려되어야 할 것이다. 한편, 훼손된 하천의 물리적 환경에 유입된 귀화식물의 확산을 막기 위해서는 귀화식물의 번식특성을 이해하고, 번식이 발생하기 전 방제작업을 실시하여야 한다. 또한 자생식물의 경쟁력을 강화할 수 있도록 서식환경 확보 및 귀화식물 제거작업을 실시하여야 한다. 이처럼 귀화식물의 확산을 방지하기 위해서는 귀화식물의 특성을 이해하여 유입시기부터 시기적절한 방제작업을 실시하여야 한다. 그러나 귀화식물의 확산은 종별로 상이한 차이가 있으며, 장마기간 등 기후와도 밀접한 관련이 있어 그 시기를 정확히 예측하지 못한다. 또한 방제작업이 일회성에 그치는 등의 문제로 귀화식물의 제어를 실패하는 경우가 많아 하천식생에 대한 직접적인 복원이 필요하기도 하다. 하천식생의 직접적인 복원 방법으로는 자생식물과 귀화식물의 경쟁에서 생태적 우위를 가지는 자생식물의 탐색과 경쟁력을 강화할 수 있는 식생공법이 마련되어야 하며, 하천식생의 종 다양성 확보 및 건강성 유지를 위한 지속적인 복원사업이 진행되어야 한다. 하천식생의 건강성이 하천의 물리적 환경에 영향을 미칠 때,

시간지연이 발생함에 따라 하천식생 복원사업이 과잉공급 될 경우, 복원공사 기간 연장, 예산의 과잉채정 등의 문제가 발생하므로 적정규모의 복원사업이 시행될 수 있도록 하여야 한다. 하천환경 건강성 유지에 대한 인과지도는 그림 2와 같다.

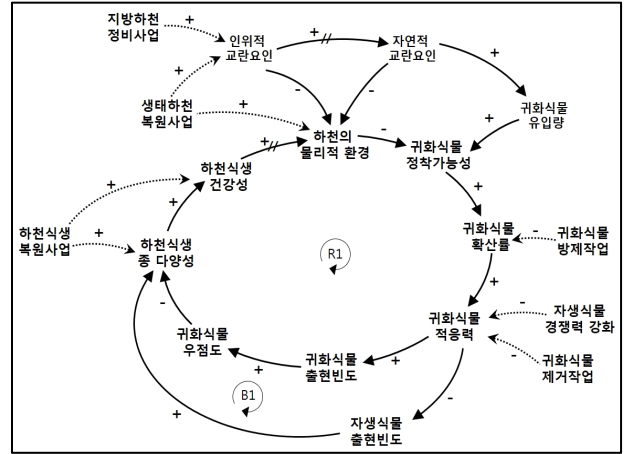


그림 2. 하천환경 건강성 유지 인과지도

IV. 결론

본 연구는 하천환경이 다수의 요인들이 복잡하게 상호작용하는 피드백 구조에 의하여 동태적으로 변하는 특성이 강하기 때문에, 하천의 물리적 환경과 하천식생에 대한 관계를 설명하기 위해서는 시스템 사고를 사용하였다. 본 연구방법을 통해 기존의 선행연구에서 분석하지 못한 하천의 물리적 환경과 하천식생 간의 관계를 파악할 수 있었으며, 하천환경의 건강성 유지를 위해서는 시기와 현황에 따른 적합한 관리가 실시되어야 함을 고찰할 수 있었다. 앞으로 본 연구는 인과지도의 검토와 시뮬레이션 모델링 작성 및 실행을 통해 하천환경의 동태성을 설명하고, 지속가능한 하천환경을 유지하기 위한 관리방안을 탐색하고 평가하여 하천생태계를 안정화 하는데 가장 효과적인 제도 및 정책이 무엇인지를 탐색할 것이다.

참고문헌

- 김기홍(2008) 남강뱀하류의 물리적 하천교란 평가. 한국환경복원기술학회지 11(3): 74-86.
- 김도훈, 문태훈, 김동환(1999) 시스템 다이내믹스. 서울: 대영문화사.
- 김혜주, 신범균, 김창완(2008) 하천의 자연환경과 식물출현과의 상관성-한강 및 낙동강 지류하천의 사례-. 한국환경생태학회지 22(1): 43-58.
- 신동호, 조강현(2001) 인천 승기천의 하안지대에서 지형과 교란에 따른 외래식물의 분포와 식생 구조. 한국생태학회지 24(5): 273-280.
- 임동욱, 유윤미, 황인천(2004) 광주광역시 도심 대규모 하천의 귀화식물 분포 및 환경지수 분석. 한국환경생태학회지 18(3): 288-296.
- 전대욱(2013) 시스템의 회복성에 대한 이론적 검토와 시스템 다이내믹스 방법론의 적용. 한국 시스템 다이내믹스 연구 14(2): 5-30.
- 천예준, 최윤의, 홍선희, 전진형(2013) 중·소하천에서 물리적 구조의 교란과 하안식생 귀화율의 관계. 한국환경복원학회지 16(1): 207-225.