

생태수리학의 필요성과 교과내용

윤 태 훈 (한양대학교 지구환경건설공학과교수)

생태계를 보전함에는 수리학의 지식이 필요하고, 수리학에서 다루어지는 영역인 수계내에 생태계가 존재하고, 수리구조물과 흐름의 수리특성이 생태계에 영향을 주는 사실들은 수리학의 새로운 영역인 생태수리학(ecohydraulics)의 태동에 이르렀고 이에 관한 수리학자들의 관심의 고조는 최근 다음과 같은 활동으로 설명될 수 있다.

- 국제 수리학회 (영어 명칭이 1999년에 International Association for Hydraulic Research 에서 International Association for Hydraulic Engineering and Research로 변경되었음)의 Division III-Geophysical Hydraulics에 Ecohydraulic Section의 존재
- IAHR 28차 총회에서 Ecohydraulics의 Technical Seminar와 Workshop이 총회 프로그램에 포함
- 3차 생태수리학 국제 심포지엄의 개최(1999. 7. 12~19)
- 미국토목학회의 2000년 수자원공학과 수자원 계획·관리 분야의 공동 학술회의에 생태수리관련 소심포지엄의 포함

생태수리학이 수리학분야의 한 영역을 점하게 된 배경과 생태수리학 또는 환경하천공학과목에서 다루어 질 수 있거나 다루어져야 하는 내용이 기술된다.

1. 수공인들이 생태수리학에 관여하게 된 배경

생태과학이 수리학 종사자들의 관심을 끌게 된 데에는 몇가지 이유를 들 수 있다. 또한 생활수준이 계속 높아지는 상황에서 사회의 변화와 필요에 따라 수공학 영역의 확대가 진행되고 대규모 기반시설공사의 시행과 오염 부하량의 증가에 따라 생태계의 보전에는 많은 논란이 계속되어 왔다.

1.1. 환경적으로 건전하고 지속적인 개발정책에(ESSD)에 부응하기 위하여

수리학은 하천개수와 관리 그리고 수자원개발의 많은 영역에서 응용되어 왔다. 하천개수관리는 홍수피해로부터 하천을 안전하게 유도하고 동시에 수운에도 이용되게 하는 것이다. 최근들어 많은 수리관계자들이 참여하는 하천개수와 관리, 수자원개발관련 공사는 환경관계자 및 일반시민들과 충돌을 일으키고 있다. 환경관계자들은 하천 공사와 수자원개발공사가 생태계를 파괴하거나 훼손한다고 주장한다. 한편 기반시설공사는 보다 향상된 삶을 위하여 필요하다. 따라서 기존 생태계의 평가, 공사가 생태계에 미치는 영향조사, 그리고 악영향 감소방안이 하천공사, 댐건설등과 같은 기반시설공사에서 기본적으로 행해지는 사항들이 되었다.

- 과거에는 수자원사업이 주로 경제적인 필요에 따라 시행되었다.
- 수자원 또는 수공사업의 업무영역이 [홍수조절, 효율적인 이수]에서 [홍수조절, 효율적인 이수

- 및 건강한 친수환경])으로 변화되었다.
- 수공사업으로 인한 악영향을 최소화 또는 제거하는 즉 환경보전하는 경향으로 유사침전, 오염, 생물종의 감소 및 경관손실에 관한 사항들이 수공사업에 포함된다.
- 경제적인 수요와 자연환경보전간의 상충에 대한 이해가 높아지면서 Environmentally Safe and Sustainable Development(ESSD) 개념에 이르게 되었다.
- 현 세대의 개발은 장래 세대가 그들의 요구를 충족할 수 있는 여건에서 현 세대의 요구를 충족해야 하는 점이 확실히 되어야 한다.
- 수자원 사업의 설계과정에서 환경보전이 필수적으로 포함되어야 한다.

1.2. 오염에 의한 생태계 위협

정상적이고 건강한 하천은 다양한 식물상과 동물상에서 균형을 유지한다. 건강하천은 하천이 오염되지 않고 흐름이 자연적인 자정기능을 갖고 자연적 재해 이외에는 유량과 수심에서 급격한 변화가 없는 균형된 생태계를 갖는 하천임을 의미한다. 만약 하천이 오염되면 생태계의 균형이 파괴되어 많은 종의 감소로 이어지고 살아남는 종이 지배적인 종으로 남게된다. 특히 독성오염물은 하천의 어족수에 치명적인 영향을 준다. 수온이 높은 계절에는 어족에 불리한 조건인 비폭기 조건이 유발되어 죽음에 이르게까지 한다.

하천오염은 하천유량의 크기와 구조에 밀접한 관계를 갖고 이는 수리수문기술자들의 참여를 요구하게 된다. 환경문제의 중요성의 인식이 높아짐에 따라 지구상 생태계의 보전과 조절을 위한 수생생태계의 다양성을 유지하기 위하여 생태학이 수리공학에 연계되고 있다. 환경문제의 합리적인 해를 위해서는 문제에 관련된 현상이 독립적이 될 수 없는 성격이므로 수리공학과 생태학의 협동 연구가 필요하다.

1.3. 자연귀환에 대한 인간의 욕구

- 도시의 콘크리트 구조물에 대한 실증으로 탈도시의 성향이 높아지고 있다.

- 인구증가에 따른 대규모 야외 위락의 급격한 증가는 레저활동의 배경으로 자연 경관을 필요로 한다.
- 남아 있는 자연자원의 단순한 보전차원에서 손상되거나 잃어버린 생태계를 복원하는 차원으로 자연보전의 변화가 일어나고 있다.
- 만곡과 경사진 제방을 재건설하여 직강, 복개 및 콘크리트 구조의 호안 제방과 같은 인공적으로 변형되거나 가꾸어진 하천을 재자연화 한다.

1.4. 수리공학영역의 확대

자연상태에서 수송되는 모든 물질은 공기, 물 및 피를 포함한 유체에 의한다. 거의 모든 생물은 거의 전생애를 하천, 호수 및 해양과 같은 수권과 대기권에서 마친다. 그러므로 모든 생물의 환경은 유체동역학의 법칙에 따르게 된다. 이러한 이유로 인하여 유체동역학의 범위는 혈장물리학, 지구유체역학, 생유체역학, 혈류유체역학, 공기생물학, 환경물리학 및 풍공학과 같은 새로운 영역을 포함하게 되었다. 전통적으로 수공기술자의 관심과 활동은 환경문제에서 물리적인 과정에 국한되어 왔다. 그러나 수리학과 수리전문분야에 대한 실제적인 요구는 전통적인 영역에 국한되지 않고 생태학적인 이해와 특성을 생태학적인 실제업무에 확대 적용하는 것이다. 예를들면, 수역의 부영양화를 논의하고자 할 때 영양물의 수송, 플랑크톤의 내부생산, 미생물에 의한 생물학적인 반응등과 같은 많은 생물학적인 인자를 고려하는 것이 필요하다.

1.5. 수리학자와 생태학자간의 장벽제거

수리학의 영역을 확대함에는 생명과학의 지식이 필요하고 다음과 같은 어려움이 극복되어야 한다.

- 서로 다른 교육에서 오는 장벽 : 용어, 정의 및 학문적 배경의 차이에서 오는 상호의사 소통의 어려움
- 공학분야와 생명과학간의 해석과 예측의 정도의 차이 : 수리 및 다른 공학에서는 수학적인 모형이나 축척모형을 이용하여 사업의 장래 물리적

인 거동을 비교적 정확하게 예측하는 것이 가능하다. 그러나 생태학에서의 예측은 생물계통의 일반적인 이해와 지역적인 생물상에 근거하여 이루어진다.

- 축척문제, 시간과 공간에서 상이한 축척사용 : 생물학적인 개발은 물과 토양의 지역적인 특성, 온도와 수량의 지역적인 단기간 변화에 의존하는 반면 수리학에서는 시간과 공간의 평균치가 사용된다.

1.6. 수리학에 대한 생태계의 의존성

- 수리학은 하천 생물 성장과 발달에 기본적인 조정자이다.
- 성숙한, 높은 생물자원 군집의 발달은 안정된 유속에서 이루어진다.
- 공간적인 규모에서 수리조건에 차이는 성장의 차이를 지배하고 생물자원의 자연증식과정을 통제한다. 예를 들면 서식처 이주와 군집형성은 낮은 유속에서 선호되고, 자연증식에는 중, 높은 유속이 선호되고, 종기 자연증식 단계의 생물자원은 중간유속을 선호한다.
- 유량이 장기간 안정상태에 있고 부착생물 생체량이 자연증식곡선상에서 침투 생체량을 경과하면 군집의 성장과 손실과정은 평형상태에 이른다.

2. 생태수리학에서 다루어질 수 있는 주제들

생태수리학은 그림 1.에서와 같이 생물계와 비생물계로 구성되는 대표적인 학제간의 과목이다. 따라서

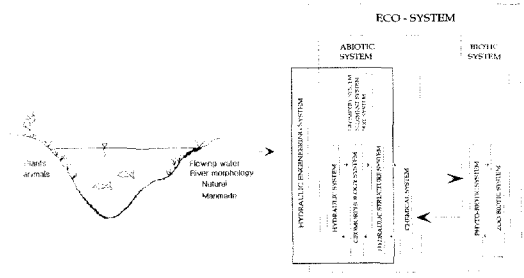


그림 1. 생태계에 대한 계 접근방법

표 1. 하천군단에 따른 특성

	바닥 물질	흐름	시간축척	에너지입력
상류	암석, 돌	소하천 중경사 급류	짧다 (hrs)	저태양에너지 주변숲으로부터 잔존유기 물이 풍부 생물자원 생산이 낮다
중류	자갈 모래			잔존유기물로부터의 생물 자원에너지가 낮다 고태양에너지 높은기초생산
하류	실트	대하천 완경사 완류	길다 (days)	높은 세립유기물 입력 탁수로 낮은 태양에너지

이 과목은 생태학, 지리학, 수문학 및 수공학의 전문가로 구성된 팀에 의한 교육이 보다 효율적일 것이다. 특히 현장조사에서는 협동조사가 거의 필수적이다.

수문학은 물의 발생, 순환과 분포, 물리화학적 성질, 환경에 대한 반응, 생물과의 관계를 포함한 지구상의 물의 과학으로 정의된다. 그러나 여기서 수문학은 한 유역에 대한 입력이 되는 수량을 결정하는 하천수문학을 의미한다. 수리학은 지구상, 수리구조물의 내부와 주위에 있는 물의 순환의 물리적인 과정

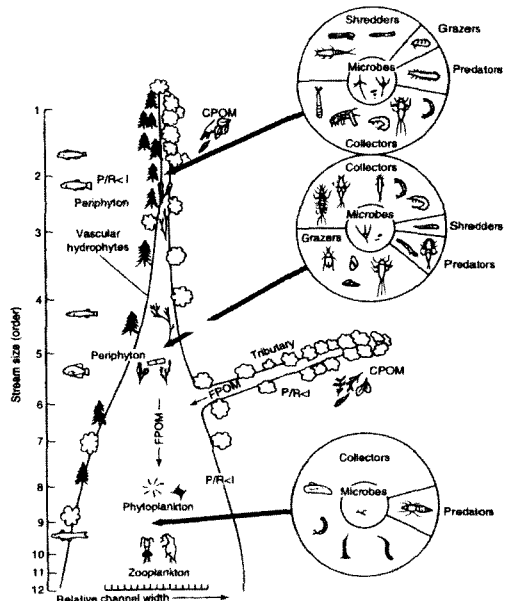


그림 2. 수로크기에 따른 생태군집

을 해석하는 과학과 기술의 한 영역이다.

다음에 기술되는 항목들은 1년 과목의 내용에 대한 교과안이므로 추가, 삭제 및 보완 수정이 필요하다고 생각한다.

2.1. 하천 단면도

하천종단면도

하천의 종단경사가 상류의 급경사에서 하류의 완경사로 변함에 따라 수리학적인 특성과 생태학적인 특성 즉 하천바닥 물질의 크기, 하천흐름의 유속, 시간 축적, 생물상의 먹이 원천이 되는 에너지 입력, 지배적인 생물상이 크게 다르게 되어 하천 종단면도는 생태수리에 중요한 인자이다.

수로경사와 유량

수로경사와 바닥물질

충적지역과 침식지역의 홍수

하천횡단면의 지형

2.2. 하천 수문학

지구상의 수문순환

설계강우량의 빈도해석

유출해석

설계홍수량

흐름영역의 특성

2.3. 수리구조물에 의한 흐름변화와 하천관리

댐과 저수지

제방

교량횡단

수로화와 수제

호안공

낙차공

생물상 감소위협

2.4. 하상지형학과 유사이송

하상형상

소류사량과 부유사량

지형학적인 분류

여울과 소

어족 생명주기에 따른 서식지

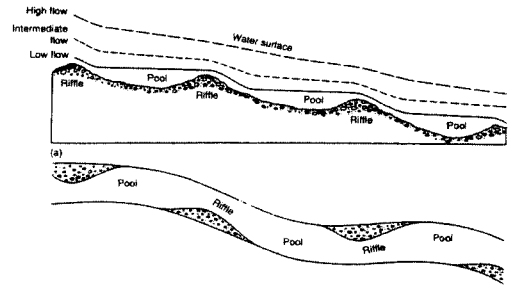


그림 3. 여울과 소

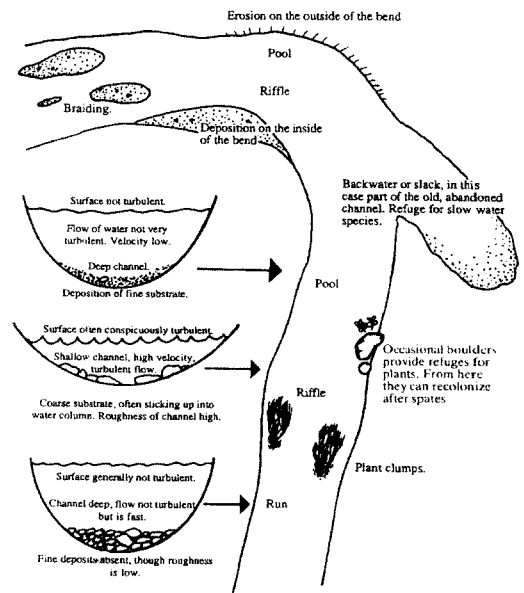


그림 4. 여울과 소의 서식지 상태

2.5. 하천의 수질

하천유지용수

오염물의 전단확산

흐르는 물의 재폭기

수질평가의 생태학적인 수단

저수지 부영양화와 대책

2.6. 수학적 모형

흐름 속의 여러 지점의 수심과 유속을 예측하고 하천의 유량범위에서 서식하는 어족에 대한 서식지의 적합성을 평가하기 위한 도구인 수학적 모형이 필요하다.

- 동수역학 모형 : 서식지 평가에 필요한 수심과 유속의 예측
- 수질모형
- 서식지 선호 곡선 : 어족에 필요한 흐름조건 평가를 위하여

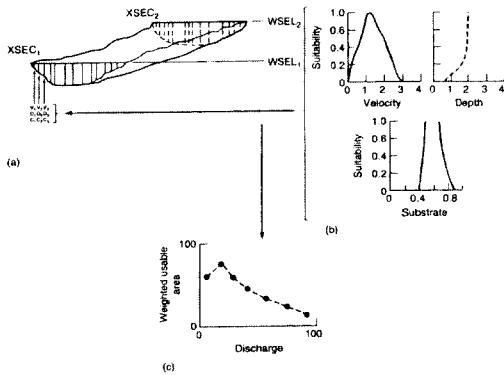


그림 5. 서식지 선호도 곡선

2.7. 흐르는 물의 생태학

1) 생태학의 정의

단어 Ecology의 어원은 household, home, place to live의 히랍어 Oikos이다. 몇가지 정의를 살펴보면 다음과 같다.

- 동물의 분포와 수도(abundance)에 관한 과학적 연구(1900)
- 생물과 그들의 환경간의 관계에 관한 과학적인 연구(1979)
- 생물과 그들의 물리·생물학적 환경간의 관계에 관한 연구(1987)
- 생태학은 자연의 구조와 기능의 연구이다. 이 경우 구조는 주변환경의 생물학적, 비생물학적인 요소에 영향을 받는 생물의 분포와 수도를 포함하고, 기능은 경쟁, 포식, 기생, 상리공생, 영양과 에너지의 수송을 포함하는 개체군의 성장과

상호작용의 모든 면을 포함한다. (1996. Ecology and Field Biology by R. L. Smith).
 - 용어 Ecology는 management of household의 뜻을 갖는 Economics와 같은 어원으로부터 유래되어 자연의 경제로 고려될 수 있다.

2) 식물

- 식물 대형수생식물
- 소형생물상 식물플랑크톤
- 부착생물(periphyton)

3) 생물군집

- 영양관계

생물의 영양관계는 에너지 수송으로 기술될 수 있고 에너지 수송은 3영양 단계로 구분된다.

1차 생산자(primary producers) : 태양복사로부터 에너지와 무기질양분을 이용하여 에너지 함량이 많은 물질(식물성)을 생산

자급영양생물(소비자) (autotrophs) : 일차 생산자에 의하여 이미 합성된 유기물질에 의존한다.

초식동물 : 식물성물질만에 의하여 양육

육식동물 : 동물성물질만에 의하여 양육

잡식동물 : 식물과 동물성물질에 의하여 양육

분해자(decomposers) : 대개 죽은 다른 유기물을 단순한 성분으로 분해하여 박테리아, 균류와 같은 1차 생산자가 취할 수 있도록 한다.

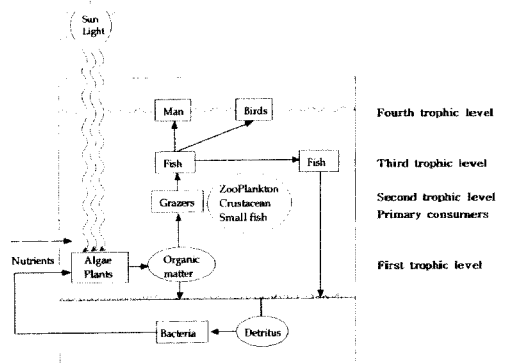


그림 6. 영양단계별 먹이사슬

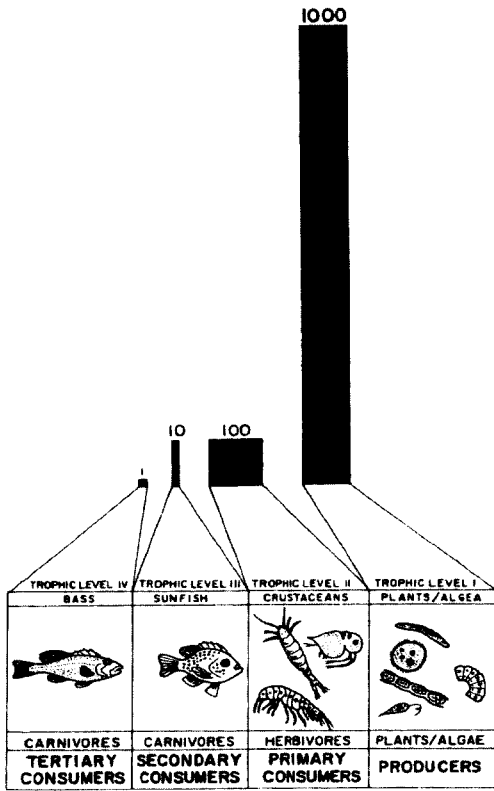


그림 7. 영양단계별 먹이사슬

- 포식

한 생물은 살아있는 다른 생물을 먹이로 양육된다. 모든 생물은 생애의 몇 단계에서 다른 생물의 먹이가 되고 많은 종은 생애를 통하여 포식 위험을 만나게 된다. 포식의 영향은 한 영역의 수도의 감소 또는 한 종의 멸종을 포함한다.

- 초식동물

흐르는 물의 식물은 주로 규조류, 조류, 및 남색 박테리아로 구성된 부착생물로서 이들은 식물로 양육되는 생물이다.

- 경쟁상호 작용

경쟁은 다수의 동물이 공급이 한정된 공동자원을 이용할 때 일어난다.

착취경쟁 : 이는 다른 동물이 불이익을 받게 되는 자원의 고갈에 이르게 된다.

간섭경쟁 : 예를 들면 한 동물이 선호되는 지역

에서 다른 동물을 제거할 때 공격적인 성격의 직접적인 상호작용이다. 자원고갈은 성장의 감소, 최종적으로 소형의 체구로 이어지고 이에 대한 결과로 다음세대에 자손의 감소로 연결된다.

4) 생태학적 변화

- 천이

생태천이 : 시간의 흐름에 따라 종의 구성, 군집구조와 기능의 변화이다.

천이 : 자연군집의 종구성에서 방향적이고 계속적인 변화이다.

극상 : 군집의 연속적이고 일련의 변화가 최종적인 평형(정상)에 이른 상태로 자급자족 단계이다.

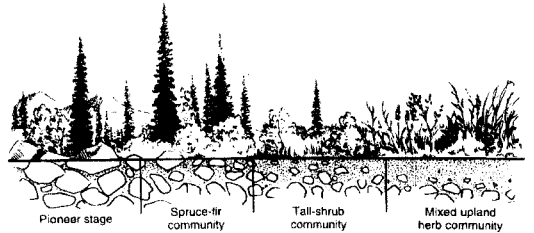


그림 8. 1차 천이-천이과정의 초기단계는 나무로 구성되고 최종평형상태인 극상은 혼합된 풀군집이다. 암석표층에서 미세입자 토양표층으로 변화가 주목된다.

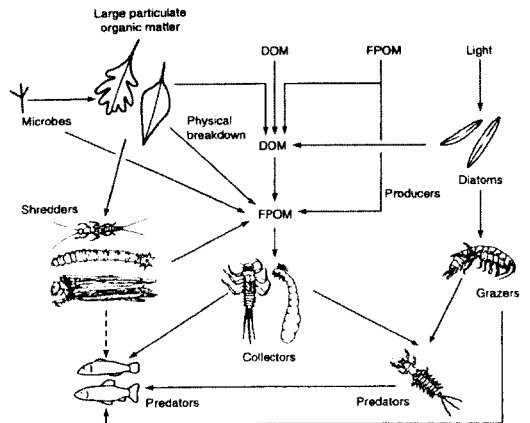


그림 9. 흐르는 물의 먹이사슬

- 1차 천이 : 다른 생물에 의하여 점령된 적이 없는 새로운 지역에서 시작하는 식물생장이다.
- 2차 천이 : 다른 생물을 지원한 적이 있는 지역에서 일어나는 식물천이
- 내륙수생계의 먹이사슬

5) 현지조사

2.8. 생태학 관련 구조물

- 어도
- 인공서식지

2.9. 하천초목


유연성 저항 : 내부저항요소를 형성하고 유속의 분포, 크기 및 방향에 영향을 준다.

초목의 수리학적 영향 : 흐름영역의 일부를 점유하고 흐름의 수축을 유발하고, 조도를 증가시키고 흐름의 진동성 운동은 추가적인 난류를 발생시킨다.

수생 생태계에 그들과 피난처의 제공 유사의 조절

Stickler-Manning 식의 적용

난류와 난류가 생태계에 미치는 영향

횡단면에서 초목천이 

〈참고 문헌〉

1. Allen, J. D., 1995, Stream Ecology, Chapman & Hall.
2. Hydraulics and the Environment, 1991, Extra Issue, J. of Hydraulic Research, vol. 29.
3. Park, C. C., 1980, Ecology and Environmental Management, Butterworths.
4. Proc. of 1st Int. Sym on Habitat Hydraulics, 1994, Trondheim, Norway.
5. Smith, R. L., 1996, Ecology and Field Biology, Harper Collins.