

생태수리학: 수공학자와 기술자들의 또 다른 임무



우효섭 >>

정회원, 우리학회 학술부회장
한국건설기술연구원 부원장
hswoo@kict.re.kr

1. 학문의 세분화와 결합화

과거 과학의 발전 과정을 되돌아보면 처음에는 하나였던 것이 어느 한 부분이 발전하면서 독립하여 나가는 등 과학기술의 세분화가 일반적인 추세였다. 예를 들면 산업혁명 이전 원래 군사공학(military engineering)과 대응하는 토목공학(civil engineering)에서 기술의 발전과 더불어 건축공학, 기계공학 등이 독립하여 나가면서 최근 20세기 중후반 이후에 위생공학, 환경공학 등이 독립하여 나간 것이 그 예가 될 것이다.

반면에 과거에 서로 독립적이거나 관계가 없어 보였던 학문 분야가 만나 공통적이면서 독창적인 분야를 만드는 경우가 있다. 그 대표적인 사례 중 하나는 물리학과 화학이 만나서 ‘물리화학’이라는 새로운 학문 분야가 생긴 경우일 것이다. 생명화학, 또는 생화학도 다른 예 중 하나일 것이다. 필자가 여기서 소개하는 생태수리학(ecohydraulics)도 바로 이와 같이 두 전문 분야, 생태학과 수리학이 결합하여 새롭게 탄생한 분야이다.

생태수리학이 생태학적 식견을 토대로 수리학의 영역을 확장한 것인가, 아니면 수리학적 식견을 토대로 생태학의 영역을 확장한 것인지 하는 문제는 그리 중요하지 않아 보인다. 물리화학이 처음에는 물리학의

식견과 방법론을 가지고 화학을 연구하는 분야로 생각하였지만 지금은 ‘물리화학’과 ‘화학물리’를 구분하지 않듯이 생태수리학도 ‘수리생태학’(그렇게 부르는 경우는 아직 없지만)과 구분할 필요가 없을 것이다. 이렇게 서로 다른 두 이름으로 제시된 전문 분야의 내용은 나열 순서와 관계없이 사실상 서로 같다. 동시에 이는 두 분야 전문가들의 협업(collaboration)을 장려한다는 의미가 있다.

한편 2000년 들어 ‘생태수문학(ecohydrology)’이라는 분야가 새로이 제시되어 UNESCO-IHP 등에서 활발히 추진되고 있다¹⁾. 이는 수리학적 측면(미시적, 과정적)보다는 유황(flow regime) 등 수문학적 측면(거시적, 결과적)에서 생태학과의 접목을 꾀한다는 점에서 생태수리학과 차별할 수 있지만, 생물이나 생태시스템에 직접적인 영향을 주는 것은 ‘물’ 자체보다는 대부분 ‘흐름’이므로 궁극적으로 두 분야를 반드시 구분할 필요는 없다. 예를 들면 국제수문과학회(IAHS)에서는 ‘수공생태학(Hydro-ecology)’이라는 이름으로 나온 프로시딩(2001. 10)²⁾에는 수문학적인 접근과 수리학적인 접근 모두를 다루고 있다.

2. 생태수리학의 정의와 배경

생태수리학은 자연계(또는 지구물리적) 수리학과 생물 또는 생태시스템의 반응을 결합한 다학제 연구 분야로서³⁾, 수생⁴⁾ 생태시스템의 물리적, 화학적, 생태적 과정을 통합하는 샘플링과 모델링 기술이라 정의할 수 있다. 구체적으로, 생태수리학은 수생모델 개발, 검증과 타당성 확인 연구, 다학제간 평가 틀, 하

i) 수생(水生)은 ‘aquatic’의 번역어로서, 이를 수중(水中)이라고도 번역함

천복원과 모니터링 전략, GIS/원격탐사/의사결정지원 시스템 등을 이용한 다학제간 통합적 평가 방법론의 응용 등에 초점을 맞추고 있다.

생태수리학의 탄생 배경은 다음과 같다⁴⁾. 1970년대 이후 수질, 오염, 생태시스템의 보호 문제 등이 현대사회의 중요 문제로 대두되었고 인간 활동이 자연 생태시스템에 미치는 영향을 예측하고 자연환경 속에서 수질과 종의 다양성을 유지하는 방안을 찾기 위해서는 많은 노력이 필요하게 되었다. 그러나 이를 위한 과학적 지식은 우리가 생각하는 만큼 그렇게 빨리 진보하지 못하였는데, 그 이유는 이러한 문제를 해결하기 위한 전문가들 간 협업과 정보교환이 충분하지 못하였기 때문이었다. 사실, 생태학 자체도 다학제간 분야로서, 생태학자, 수리학자, 수문학자, 기후학자, 화학자, 물리학자, 생물학자, 독성학자, 통계전문가 등이 공동 노력을 하여야 하는데 현실은 그렇지 못하였기 때문이다. 또 다른 이유는 자연은 매우 복잡한 현상이고, 수생생태계 연구는 많은 자료와 현장 관측을 요하기 때문이다. 그에 따라 수치모형은 날로 발전하고 있지만 실측 자료의 부족으로 이용 상의 한계가 생기게 되었다. 이러한 이유 등으로 노르웨이 Carsten, 미국의 H. W. Shen, 호주의 Imburger 교수 등과 국제수생모델링그룹(IAMG)ⁱⁱ⁾의 주관으로 1996년에 국제수리학회(IAHR) “지구물리 수리학” 분야에 생태수리학 분과를 신설하게 되었다ⁱⁱⁱ⁾.

국제수리학회에 생태수리학 분과의 신설 전에도 국제수리학회와 IAMG이 공동으로 1994년에 생태수리학이라는 이름으로 국제 심포지엄이 노르웨이 트론하임에서 열렸으며, 이 때 주제는 ‘서식처 수리학’이었다. 두 번째 심포지엄은 1996년 캐나다 퀘벡에서 ‘댐과 저수지가 하천에 미치는 영향을 완화시키는 기술과 측정’에 초점이 맞추어졌으며, 세 번째 심포지엄은

1999년에 미국 솔트레이크시티에서 열렸으며, 네 번째 심포지엄은 2002년에 남아공 케이프타운에서 ‘환경유량’ 심포지엄과 같이 열렸다^{iv)}. 제5차 심포지엄은 2004년에 스페인 마드리드에서 ‘수생서식처 복원’에 초점을 맞추었다. 제6차 심포지엄은 2007년 2월에 뉴질랜드 크라이스트처치에서 ‘수리학과 생물학의 연계’라는 주제로 열릴 것이며^{v)}, 제7차 심포지엄은 ‘물정보학(Hydroinformatics) 학회와 같이 2009년 초에 칠레에서 열릴 예정이다.

3. 생태수리학과 환경수리학

그러면 생태수리학은 무엇이며 기존의 환경수리학은 무엇인가? 환경수리학(environmental hydraulics)은 1970년대부터 시작한 비교적 역사가 있는 분야로서, 초창기에는 처리수와 하·폐수의 해양, 하천 등 공공 수역으로의 조절 방류에 초점을 맞추었다. 그러나 미토목학회의 정의(ASCE, 1996)⁶⁾는 이보다 매우 광범위한 내용을 포함하고 있다. 전통적인 수리학이 물의 흐름에서 양적인 면을 중시하였다면, 환경수리학은 아래와 같이 질적인 면과 수생 생물의 물리적, 화학적 서식처 조건까지 고려한다⁶⁾.

- 1) 처리수와 하·폐수의 해양, 하천 등 공공 수역으로의 조절 방류
- 2) 오염물의 해양, 하천 등 공공 수역으로의 비조절 방류(수질 사고)
- 3) 물과 유사에 의해 이송되는 비점 오염원에 의한 오염물의 이송과 귀착(fate)
- 4) 수생 서식처의 물리적 기반의 보전과 복원을 위한 생태수리학
- 5) 지구 기후 변화가 수자원의 공급과 하천, 하구, 해안 등에 미치는 영향

ii) International Aquatic Modelling Group

iii) 현재 분과위원장은 미국 아이다호 대학의 Klaus Jorde 교수임

iv) 필자는 3, 4회 심포지엄에 참가하여 논문을 발표하였다.

v) 이번 심포지엄의 웹사이트는 <http://www.conference.co.nz/index.cfm/ecohydraulics2007/index.cfm/ecohydraulics2007>이다.

6) 호소, 저수지, 하구에서 물리적, 생물적, 화학적 시스템을 종합적으로 평가하는 동수역학 모형 등

위와 같은 환경수리학의 범주 중에서 특히 첫 번째, 두 번째 항목이 1970년대 환경수리학이 태동하였을 때 주요 관심사였으며, 나머지는 1990년대 추가된 항목들이다. 그렇다면 이러한 분류 체제에서는 생태수리학은 환경수리학의 일부로 볼 수 있다^{vi)}. 다만 환경수리학의 범위를 비교적 한정시켜서 위의 1, 2항에 초점을 맞추고, 5항은 최근에 대두된 생태수문학의 범주로 본다면 4항은 생태수리학으로 별개로 고려할 수 있을 것이다. 여기서 6항은 환경수리학과 생태수리학의 공통 항목이 될 것이다. 다시 말하면 환경수

리학이 무생물적 환경요소인 물의 질에 초점을 맞춘 것이라면 생태수리학은 생물적 요소인 물에 관련된(water-related, aquatic) 생물과 그 서식처에 초점을 맞춘 것이라 할 수 있다.

4. 수생생태학의 기초⁷⁾

전통적 지구물리 수리학의 대상은 하천, 호소, 지하수, 해양 등 주로 공공 수역에서 물과 유사의 흐름과 같은 무생물적(abiotic) 환경이다. 반면에 생태학의 대상은 지구상의 생물체와 생물체 간, 또는 주변 비생물적 환경과의 관계이다. 여기서 생물 시스템(biotic system)은 식물(flora)과 동물(fauna) 등을 망라한다. 반면에 비생물 시스템(abiotic system)은

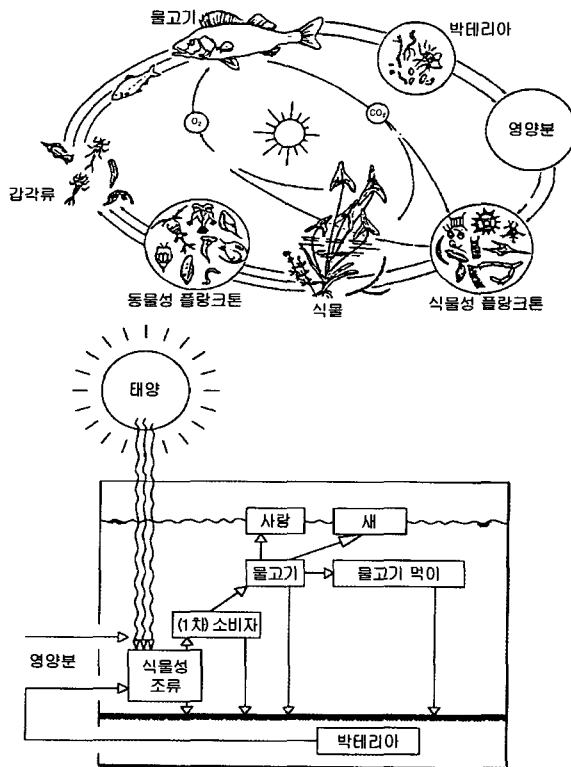


그림 1. 수역에서 먹이 사슬과 시스템(IAHR, 1991)⁸⁾

vi) 필자는 1999년에 이미 다른 글에서 생태수리학을 넓은 의미의 환경수리학 범주에 포함하였다(우효섭, 1999).¹⁹⁾

수리, 유사, 토양, 화학 시스템이다.

하천 생태계의 내부적인 과정을 지배하는 것은 먹이망(food web)이다. 그림 1은 하천을 포함한 일반 수역에서 단순 생태 시스템의 구조적인 요소로서 먹이 사슬을 각각 그림과 시스템 분석으로 보여주는 것이다.

이러한 먹이 사슬은 외부로부터 인, 질소, 실리카, 이산화탄소와 같은 화학물과 태양 빛과 같은 에너지를 받아들이는 것부터 시작된다. 플랑크톤과 같은 미세 식물이나 대형 식물 등은 광합성 작용으로 태양 빛과 영양 물질을 소비하여 유기물과 산소를 생산한다. 이를 1차 영양수준(trophic level)이라 한다. 다음, 이렇게 일차 생산자에 의해 만들어진 유기물(biomass)은 동물성 플랑크톤, 소형 갑각류나 어류 등에 의해 먹히며, 이를 1차 소비자(grazers) 또는 2차 영양수준이라 한다. 다시 이러한 소형 동물들은 큰 물고기나 새, 수변 포유류, 또는 인간에 의해 먹히며, 이를 제3차 영양수준이라 한다. 이러한 먹이 사슬에서 동식물의 잔해나 배설물 등은 바닥에 침전되고, 이는 다시 박테리아 의해 소화되어 새로운 영양물로 이용된다. 이렇게 하여 영양물의 순환은 계속된다.

수문 기상적 이변은 위와 같은 먹이 사슬의 최초 입력에 변화를 준다. 그러나 외부 입력의 변화는 생태계 자체의 완충 작용(탄력, resilience)에 의해 대부분 외부로부터 에너지와 물질의 유입을 줄여준다. 그러나 생태계 먹이 사슬에서 재생산되는 유기물의 총량 이상으로 인간이 소비하거나 생태계 자체적으로 소화할 수 있는 한계를 넘은 오염물의 유입은 생태계에 나쁜 영향을 준다.

수생 생태계(aquatic ecosystem)와 육상 생태계(terrestrial ecosystem)를 망라한 하천 생태계는 물, 에너지, 질량의 흐름과 생물체의 이송과 직접적으로 관련되어 있다. 따라서 위와 같은 무생물적 시스템의

변화는 관련 생물적 시스템의 변화를 주게 된다. 따라서 하천 생태계의 전체 그림을 이해하기 위해서는 직간접적으로 관련된 수리 변수를 찾아내는 것이 중요하다. 자연 하천에 오염물의 유입, 제방의 축조와 직강화, 댐의 축조 등은 수생 생태계의 물리적, 화학적 환경을 바꾸어 그에 따라 기존의 상하류 먹이 사슬이 단절되거나, 하류로 이전되며, 장기적으로는 새로운 물리적, 화학적 환경에 적응하는 생태계가 형성된다.

5. 생태수리학의 주요 분야^{vi)}

생태수리학 주요 구성요소와 분야를 구체적으로 소개하기 위해서는 그림 2와 같은 하천 흐름과 하천 서식처의 상호 작용을 이해하는 것이 도움이 된다. 이 그림은 전통적인 하천공학(수리학)과 생태하천공학(생태수리학)의 관계를 보여주기 위해 Tsujimoto¹⁰⁾의 도표를 필자가 보완한 것으로, 하천에서 흐름/유사이송과 지형(형태)/식생(동물)과의 상호 작용을 도식적으로 보여주고 있다. 여기에 인위적인 수공 구조물은 이와 같은 관계에서 추가적인 역할을 한다.

유사의 크기, 입경 분포 등 하상 재료(基層, substrate)는 수중 서식처의 중요한 물리적 기반이다. 하상은 수중 먹이사슬에서 중요한 역할을 하는 대소형 무척추 동물들의 서식처이며, 특히 물고기 산란에 중요하다. 연어나 송어와 같은 찬물 고기는 산란 장소로 자갈하상을 선호한다. 반면에 잉어, 붕어와 같은 따뜻한 물고기는 진흙 바닥의 수초에 알을 낳는다¹¹⁾. 따라서 골재채취, 댐 축조, 직강화 등으로 인한 인위적 하상재료의 변화는 수생서식처에 직접적인 영향을 준다¹²⁾.

하천 흐름의 변화는 수생 생태계에 민감한 영향을 미치며, 이에 따라 하천의 주요 생물종의 서식 조건을 기본적으로 만족시키는 최소유량 개념의 유지유량

vii) 국내에서 춘천 의암호 등에서 토종인 쏘가리와 외래종인 베스의 서식처 경합 문제가 대두되는데, 쏘가리는 주로 자갈, 모래 사이에 알을 낳고 베스는 수초에 알을 낳음(동아일보, 2006. 3. 17)

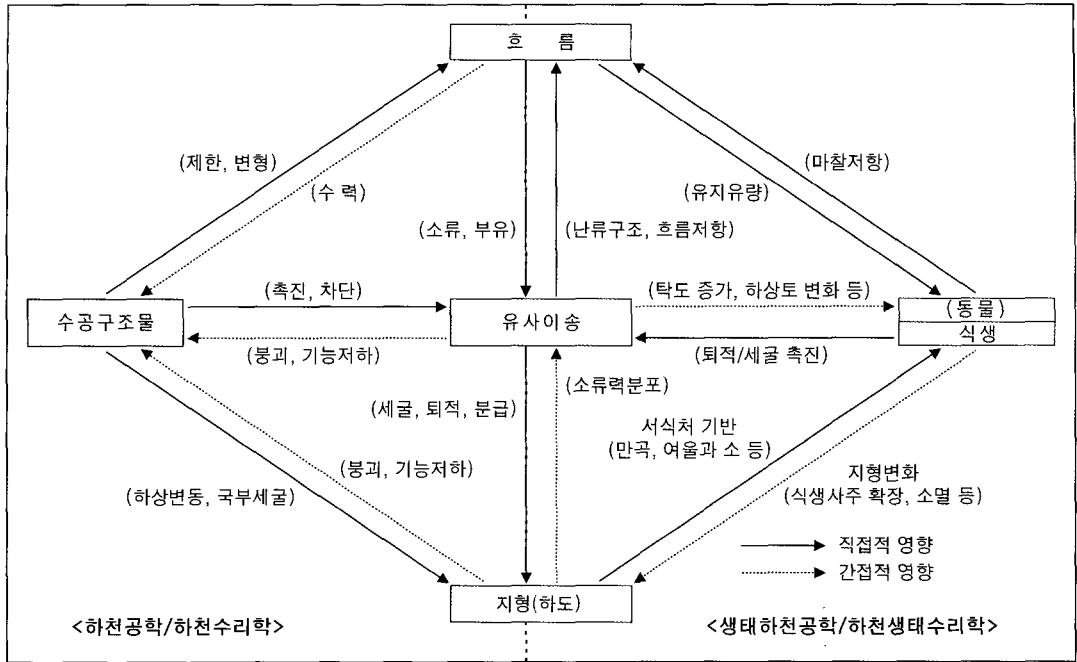


그림 2. 하천 흐름과 서식처와의 상호 작용⁹⁾(Tsujiimoto의 원 그림 수정)

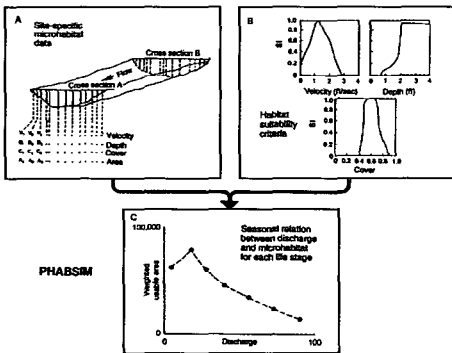


그림 3. 서식처 적합도에 의한 물고기 필요유량의 결정¹²⁾; 환경유량



그림 4. 식생에 의한 흐름저항 증가의 평가: 하천복원사업의 전제조건(과천시 양재천)²¹⁾; 식생저항

의 중요성이 강조되어 왔다. 유지유량은 구미에서 환경유량(Environmental Flow)이라 하여 생태 수리학의 주요 관심 대상이 되고 있다. 미국에서는 1970년대부터 유지유량 평가를 위한 IFIM/PHABSIM 등 정량적 방법¹²⁾을 개발하여 왔다.

하천에 식생이 활착하고 번성하게 되면 무생물간의 관계에 커다란 변화를 가져온다. 우선 하천 내 식생은 일반적으로 흐름의 마찰저항을 증가시키며, 이

같은 이유 때문에 전통적으로 하천 식생은 하천 기술자들에게 기피의 대상이 되어 왔다. 그러나 지금까지 식생에 의한 흐름저항은 과다 추정된 것으로, 이는 1990년대 이후 하천의 식생관리에 중요한 전환점을 제공해 주었다¹³⁾. 특히 하천복원사업에서 필수적인 하천 내 식생도입은 식생에 의한 흐름저항 평가의 중요성을 보여준다.

그림 2에서 좌측 반의 수공구조물과 흐름/유사이

송/지형 간의 상호 작용은 전통적인 하천공학 또는 하천수리학의 대상이다. 그러나 댐이나 하구둑과 같은 수공 구조물로 인한 흐름과 유사이송의 변화와 그에 따른 하류 하천 형태의 변화는 곧 하천 서식처의 변화와 직결되며, 수생 생물에 영향을 준다. 댐이나 하구둑의 축조로 인한 상하류 하천 생태통로(eco-corridor)의 차단과 그에 따른 생물 서식환경의 변화는 하천기술자들에게도 잘 알려진 사실이다. 생태수리학의 또 다른 역할은 이렇게 인위적으로 차단된 하천의 생태통로를 부분적으로 연결해주는 기능에 관한 것이다. 이를 '생태통로 수리학'으로 부를 수 있을 것

이며, 그 대표적인 예는 어도이다.

나아가 댐의 축조로 흐름과 유사이송이 변화되어 식생의 활착이 가속화되고, 그에 따라 하류 하천에 새로운 서식처가 형성되는 것도 수공 구조물의 의한 식생 변화의 한 예이다. 1988년에 완공된 경남 함천의 황강댐 하류의 하천에 식생역이 최대로 확장되면서 새로운 하천 서식환경이 조성된 것이 그 좋은 예이다¹⁴⁾. 이렇게 흐름과 유사이송의 변화에 따른 식생과 하천형태의 변화를 다루는 분야, 다른 표현으로 수문지형학(Hydro-geomorphology)^{viii)}도 생태수리학의 한 분야가 될 것이다.



그림 5. 하천생태통로 회복을 위한 어도 (경기도 오산천): 생태통로 수리학



그림 6. 유황 변화에 따른 식생과 하천지형의 변화(황강댐 하류 하천)¹⁴⁾: 수문지형학

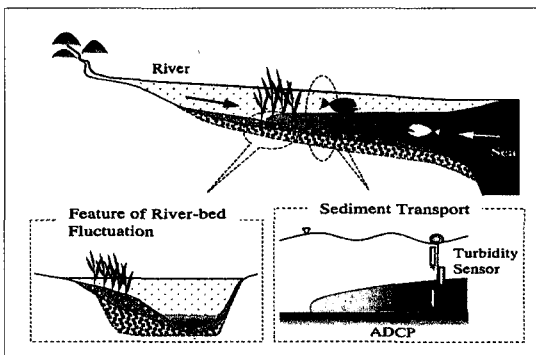


그림 7. 하구부 수리특성과 수생생태: 3차원 수치모형의 응용(Yokoyama, 2001)²¹⁾



그림 8. 여름에서의 공기연행, 유기물 침전, 물고기 산란: 서식처 수리학

viii) 이 분야가 생태수문학과 생태수리학의 엄격한 구분이 큰 의미가 없음을 보여주는 좋은 예로서, 하천 유황 등 수문조건이 변화하여 하천 지형/식생에 영향을 주는 것이므로 거시적, 결과적인 면을 보면 생태수문학의 범주에 들어가거나 이는 결국 흐름 변화가 하천 내 식생의 침입을 유발하고 그로 인해 세굴과 퇴적에 영향을 주어 하천형태가 변화하는 것이므로 미시적, 과정적인 면에서 생태수리학의 범주에 포함됨.

흐름과 유사이송에 의한 하천 서식처의 변화와 그에 따른 생태시스템의 반응을 예측하기 위해서는 기본적으로 흐름 모의가 기본적이다. 특히 호소나 하구 부에서 흐름의 수리, 수질 특성을 예측하여 서식처 조건을 검토하기 위해서는 3차원 동수역학 모델링이 필수적이다. 생태수리학의 또 다른 주요 분야는 동수역학 모형을 이용하여 수온, 염분, 조류 등 무생물적, 생물적 요소의 변화를 예측하는 수질 모델링이다.

하천의 지형, 즉, 하천의 크고 작은 형태는 그 자체가 서식 기반이기 때문에 생물에 직접적인 영향을 준다. 하천을 개수하기 위해 만곡, 샐강, 웅덩이, 사주, 여울과 소 등 크고 작은 서식처를 제거하게 되면 생물종과 수는 급속히 감소한다. 또한 하도와 사주의 밑은 하천수와 지하수가 상호 작용하면서 물리적, 화학적, 생물적 특성이 변화는 곳이다. 이러한 저생성 생물 서식조건은 하저(河底)의 생물리화학(biophysiochemical) 과정을 이해하는 것이 우선적이다¹⁵⁾. 이와 같이 수생 서식처의 물리, 화학 조건과 생물과정의 관계를 다루는 서식처 수리학은 생태수리학의 중요 분야이다.

결론적으로, 생태수리학의 주요 관심대상은 현재로서 그림 2에서 제시된 것을 포함하여 다음과 같이 정리할 수 있을 것이다.

- 1) 생물의 수생서식환경을 위해 필요한 흐름 조건을 다루는 생태 환경유량(Environmental Flow)
- 2) 유연하거나 딱딱한 식생에 의한 흐름저항의 변화를 다루는 식생저항(Vegetation Resistance)
- 3) 흐름/유사이송/식생 등의 상호작용에 의한 하천 지형/사주 변화를 다루는 수문지형학(Hydro-geomorphology)
- 4) 수질, 특히 부영양화와 수리조건 관계를 다루는 수질 모델링(Water-quality Modelling)
- 5) 서식처의 물리, 화학 조건과 생물과정 관계를 다루는 서식처 수리학(Habitat Hydraulics)
- 6) 하천에서 인위적 생물이동통로 조건을 다루는 생태통로 수리학(Eco-corridor Hydraulics), 또는 어도 수리학(Fishway Hydraulics) 등

위의 6가지 대상 중에서 특히 제5항의 서식처 수리학은 수생서식처의 물리, 화학 조건과 생태과정과의 상호 관계를 정량적으로 파악하는 것으로, 수생 모델링의 기본적인 구성요소이다.

6. 생태수리학의 연구와 교육

생태수리학은 아주 신생 분야이고 다학제간 분야이기 때문에 이 분야를 전문적으로 연구하고 가르치는 곳은 세계적으로 그리 많지 않다. 이 분야에서 미국에서 가장 앞서가는(?) 대학과 연구소는 아마 아이오와 대학의 생태수리학 연구소(Center for Ecohydraulics Research)¹⁶⁾일 것이다. 이 연구소는 Jorde 교수와 Goodwin 교수 등이 주관하는 것으로 연구 분야는 홍수관리, 하천지형학, 계산수리학, 유사이송, 수질, 물리적/생물적 과정의 상호작용, 물정보학, '녹색 수력발전' 등이다. 최근 아이오와 대학도 Larry May 교수의 주관으로 이 분야를 시작하고 있으며¹⁷⁾, 현재 주로 하는 연구는 미시시피강의 홍합(zebra mussel) 서식처 평가와 관련된 3차원 동수역학 모형 등이다.

유럽의 경우 독일 스투트가르트 대학의 생태수리학(수리공학 포함) 대학원 과정에 제시된 과목을 보면 생태수리학의 이해에 필요한 분야를 엿볼 수 있다¹⁸⁾. 이 대학에서 제시하는 생태수리학 교과 과정은 필수 과목으로 환경유체역학, 수리시스템 모델링, 수리구조물 설계, 통합홍수대책, 하천공학 및 유사관리 등이며, 선택과목은 생태계획 개념, 지표수 수질모델링 등이다.

7. 생태수리학의 전망: 맺는 말

생태수리학은 사회적 니즈에 의해 새롭게 제시된 복합 전문분야이다. 이는 아직 독립된 분야라기보다는 어떤 면에서 생태학과 수리학의 협업의 마당으로서 의미가 크다. 필자는 1999년 우리 학회지 에세이¹⁹⁾를 통해 21세기를 시작하며 수리 전문가들이 특별히

관심을 가질 필요가 있는 분야로서 이미 생태수리학을 제시하였다. 생태수리학은 넓은 의미에서 환경수리학의 한 분야로 볼 수 있지만, 후자가 전통적으로 무생물적 생활환경(물, 공기, 토양 등)의 오염 문제에 초점을 맞춘 것이라면 전자는 생물적/생태적, 특히 수생생태적 환경의 보전과 복원에 초점을 맞춘 것이다.

생태수리학은 구미의 경우 1990년대 초, 일본의 경우 1990년대 말부터 시작한 분야이다. 이는 그 당시 모든 것이 새롭게 시작했기 보다는 기존의 개별적인 생태수리학 관련 연구가 국제학회 등을 통해 같이 모여 체계화된 것이다. 국내에서는 하천/저수지 수질 모델링, 유지유량, 식생수리, 어도설계, 하천복원 등 생태수리학의 응용 분야가 먼저 시작하였지만 아직 대학이나 연구소에서 생태수리학을 전문적으로 다루지 않고 있다.

선진 외국은 물론 우리도 2000년 들어 국토환경의 보전, 복원과 더불어 삶의 질 향상이 항상 사회적 니즈의 맨 앞에 대두되고 있다. 이는 무생물적 생활환경의 개선은 물론 생물적 자연환경의 보전, 복원을 의미한다. 이에 따라 수공 기술자들은 지금까지 전통적인 이수, 치수 관련 하천/저수지, 하구, 해안을 주요 관심 대상으로 다루었지만 앞으로는 위와 같은 수환경 관련 자연환경의 보전, 복원에 관심을 가져야 할 것이다. 나아가 전통적인 환경수리학과 더불어 생태수리학에 적극적인 관심과 투자가 요망된다. 이를 위해서는 수리 기술자와 생태학자, 생물학자 등의 능동적인 학제간 공동 노력이 중요하다.

마지막으로 환경수리학 분야이든 생태수리학 분야이든 수환경 관련 문제를 다루기 위해서는 흐름의 물리적 특성을 이해하고 예측하는 것이 기본이 될 것이다. 이 점에서 필자가 1999년에 에세이를 통해 강변한 것을 여기에 다시 인용해본다¹⁹⁾.

“물 환경 관련 문제에 접근하기 위해서는 흐르는 물의 특성을 이해하는 것이 기본이다. 즉 수리 현상을 이해하는 것이 그 안에 있는 관련 문제를 해결하는 시발점이다. 따라서 수리 전문가들이 환경수리 문제를 해결하기 위해 그들의 전문성을 능동적으로 발휘하는

것은 “명백한 운명(Manifest Destiny)” 이다. 이는 피하면 안 되고, 피할 수도 없는 우리의 새로운 임무(mission)인 것이다. 그러나 환경수리학의 특성상 수리만 가지고는 한계가 있으며, 수 처리, 생물, 화학, 임학 등 타 분야의 지원과 협력이 요구된다. 따라서 학제간, 기관간, 협동 연구가 필요하다. 우리들은 환경 수리 관련 학제간(multi-disciplinary), 기관간(multi-institutional) 협동 사업이나 프로그램에 리더가 되어야 할 것이다. 이는 앞으로 우리의 전문성을 가지고 사회에 최대한 봉사하는 길이 될 것이다. 어쩌면 유일하게 봉사하는 길이 될 지도 모른다. 주춤하거나 게을러서 안 될 것이다. 이를 위해서 우리 학회가 중심적 역할을 시작하기를 기대한다.”

참고문헌

- 1) 김양수, 우효섭 (2004). “생태수문학의 소개”, 한국수자원학회지, 9월호.
- 2) <http://www.cig.enscm.fr/~iahs/>
- 3) 미 아이다호 대학의 Klaus Jorde교수와의 개인 서신 교환(2006. 3. 22)
- 4) <http://ecohydraulics.org/>
- 5) ASCE Task Committee on Hydraulic Engineering Research Advocacy(1996). “Environmental Hydraulics: New Research Directions for the 21st Century”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, vol. 122, no. 4, Apr.
- 6) 우효섭(2001). 하천수리학, 청문각, p. 710.
- 7) 우효섭(2001). 하천수리학, 청문각, pp. 766-767.
- 8) IAHR(1991). “Hydraulics and the Environment- Partnership in Sustainable Development,” IAHR Workshop on Matching Hydraulics and Ecology in Water System, Utrecht, March 14~16, J. of Hydraulics Research, IAHR, vol. 29, extra issue.

- 9) 우효섭(2002). “생태하천공학의 의의와 실무 - 생태학과 토목공학의 접목을 통한 새로운 연구 분야”, 2002년 가을 대한토목학회 학술발표회 논문집.
- 10) Tsujimoto, T. (1999). “Fluvial processes in streams with vegetation”, *J. of Hydraulic Research, IAHR*, vol. 37
- 11) ASCE Task Committee (1992). On Sediment Transport and Aquatic Habitats, Sedimentation Committee, “Sediment and Aquatic Habitat in River System”, *J. of Hydraulic Engineering*, vol. 118, no. 5, May.
- 12) Milhous, R. T., Updike, M. A. T., and Schneider, D. M. (1989). Physical Habitat Simulation System Reference Manual-Version II, US Fish and Wildlife Service, Biological Report, vol. 89, no. 16.
- 13) Masterman, R. and Thorne, C. R. (1992). “Predicting Influence of Bank Vegetation on Channel Capacity”, *J. of Hydraulic Engineering, ASCE*, vol. 118, no. 7, July.
- 14) Choi, S.-U., Yoon, B. M., and Woo, H. (2005). “Effects of Dam-induced Flow Regime Change on Downstream River Morphology and Vegetation Cover in the Hwang River, Korea”, *River Research and Applications, John Wiley & Sons*, vol. 21, pp. 315-325.
- 15) Aaron I. Packman, et al. (2002). “Challenges in Ecohydraulics: Biophysiochemical Processes at the Stream-Subsurface Interface,” *Proceedings of the 4th International Conference on Hydro-Science and Engineering, Warsaw, Poland.*
- 16) <http://www.uidaho.edu/ecohydraulics/>
- 17) <http://www.iihr.uiowa.edu/initiatives/ecohydraulics.html>
- 18) <http://www.warem.uni-stuttgart.de/study/section3.html>
- 19) 우효섭(1999). “환경수리학에 눈을 돌립시다”, 한국수자원학회지.
- 20) Yokoyama, K. (2001). “Sediment transport in the Tamagawa river estuary”, *River Hydraulics Div., PWRI, Japan.* (unpublished monograph)
- 21) 환경부/건기연, 국내어건에 맞는 자연형 하천공법의 개발, 1-6차년도 보고서, 1996-2001. 