

| 2006 세계 물의 날 기념 심포지움 |

## 어류를 이용한 다양한 수환경평가

### Various Assessments of Aquatic Environment Using Fish



서진원 |

한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원  
jinwonseo91@kowaco.or.kr

#### 1. 개요

얼마전까지 우리나라의 수자원관리정책은 음용수 기준을 위주로 하여 하천 및 호소의 수질을 상수원 관리에 맞추어 진행해오고 있었다. 이는 곧 수질에 있어 BOD나 COD와 같은 이화학적 수치를 이용한 수질등급을 만들었고, 심지어는 최근 들어 선진국 개념의 오염총량제(Total Maximum Daily Load, TMDL) 도입이라는 이화학적 접근법(Chemical-based approach)에 매우 치중한 모습을 보이고 있다. 하지만 이 지구상에는 십만여종 이상의 화학물질들이 인류의 산업화 또는 공업화와 더불어 전 세계적으로 사용되고 이들 중 대다수의 물질들은 환경속으로 되돌아오고 있다. 이들 중 상당수는 유해 화학물질이거나 아직도 유해 여부가 밝혀지지 않은 채 환경매체(공기, 물, 토양) 내에서 존재하며 우리 인간과 생태계를 위협하고 있다. 따라서 이들 각각의 물질들에 대한 이화학적 조사 및 규제는 현실적으로 어렵기 때문에 선진국에서는 앞서 언급한 이화학적 접근법에 앞서 생물을 이용한 통합독성법(Whole effluent toxicity approach) 및 생물평가법(Bioassessment approach)을 오래전부터 수행해오고 있다. 이는 하천 및 수계가 인간에만 초점이 맞추어져 있지 않고 그곳에 서식하는 생물에게도 안전하고 건강하게 살 권리를 부여하는 통합수자원

관리(Integrated management of water resource)가 필요하다는 것이다. 생태계를 건강하게 유지·관리하는 것은 더 나아가 우리 인간의 삶 또한 건강해지는 것을 의미하는 것이다. 이에 수서생태계에서 인간과 가장 분류학적(척추동물)으로 유사한 어류를 이용한 다양한 생물학적 수환경평가 방법을 소개함으로써 선진국형 수자원관리정책의 수립 및 활성화에 기여하고자 한다.

#### 2. 국내 수질관리현황

과거 우리나라의 수질관리에 대한 접근은 정부주도의 하향적 계획 및 대도시위주 기초시설 설치, 구체적 전략미흡 등의 물관리 대책에서 최근 몇 년간 4대강 물관리 종합대책의 일환으로 상수원보호 위주의 기초시설 투자, 오염총량제 도입, 지역과 정부가 공동으로 수립하는 등 구체적이고 체계적인 물관리 대책을 추진하고 있다. 이를 통해 전반적으로 4대강 주요지점 수질이 개선되는 일련의 성과도 있었지만 앞서 언급한 대로 BOD나 COD와 같은 단순한 수질항목에만 의존해서는 안된다는 우려의 목소리도 적지 않았다. 이를 통해 환경부에서는 최근 물 환경관리 목표와 기본방향을 “물고기가 뛰놀고 아이들이 벽감을 수 있는 물환경조성-생태적으로 건강한 하천과 유해물질로부터 안전한 물”이라는 국민건강과 생태적 건강성에 최우선을 두는 정책으로 전환함으로써 향후 10년간 물환경정책을 계획하는 노력을 보이고 있다. 이는 과거 환경정책기본법이 하천 및 호소를 생활환경향목과 사람의 건강보호향목을 기준으로 1등급에서 5등급으로 구분하여 관리하는 형태에서 수

질환경기준의 등급체계를 목표 지향적으로 개선하고 사람의 건강향목의 기준강화 및 신규항목 확대, 생물 모니터링(Biomonitoring) 및 생물학적 수질평가(Biological assessment) 제도를 도입하는 것을 주된 목적으로 전개해나가고 있다.

### 3. 어류를 이용한 수환경평가

어류는 일생을 물속에서만 서식하는 생물로서 수서생태계 내 최고소비자의 역할을 하고 있다. 따라서 하천 및 호소에서 수질의 변화와 서식처의 교란에 따라 생존 및 생활에 영향을 받는 어류는 플랑크톤 및 저서생물을 먹이로 삼아 생활하므로 이들 먹이생물에 대한 간접적인 영향 또한 받을 수 있다. 이를 모식화한 그림 1과 같이 어류를 수서생태계에서 크게 3가지 방향에서 접근할 수 있다(그림 1).

수질에 있어 가장 기본적인 인, 질소와 같은 영양염은 플랑크톤의 먹이원이 되고 이는 곧 어류의 먹이원으로서 영향을 미치기 때문에 수계에서의 조류량은 부영양화와 관련이 있는 반면 어류전체의 생체량을 비교, 가능하는데 활용될 수 있다. 따라서 호소와 같은 곳에서 Chl-a 농도를 측정하거나 조류량을 측정한 후 저수량과 수면적을 고려한 평균수심을 이용하여 호소형태적합지수(Morphoedaphic index, MEI)를 산출하여 호소별 어류의 생산성을 비교할 수 있다.

전통적으로 어류에 대한 조사를 할 때 어류군집을 우선적으로 확인하게 된다. 이때 천연기념물, 멸종위기종, 한국고유종, 외래도입종과 같은 특정종에 대한 출현유무를 먼저 살펴보고 이를 통해 조사지점에 대한 특이성 및 보전여부를 계획하게 된다. 또한 지점별 우점종 및 아우점종에 대한 백분율을 구하여 상대적인 비교와 풍부도, 다양도, 우점도 지수 등을 통해 천 차수별 지수비교로서 어류군집을 분석할 수 있다.

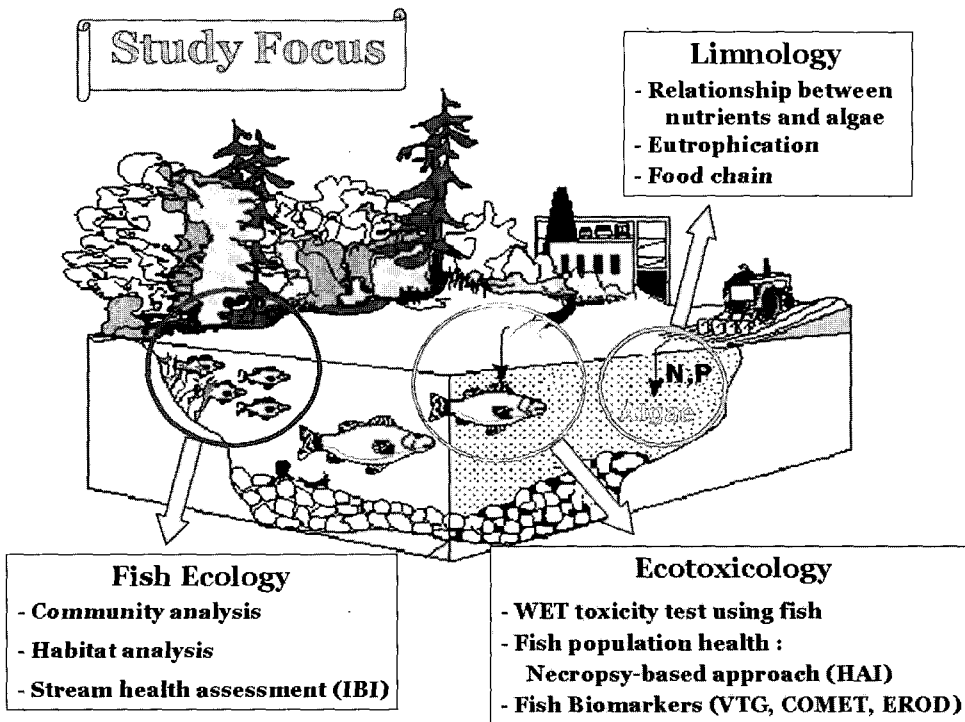
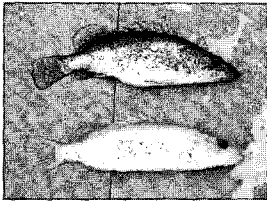


그림 1. 수서생태계에서 어류와 연관된 연구 분야



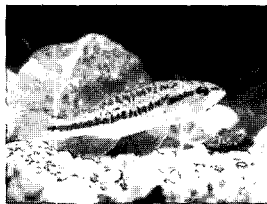
천연기념물 황쏘가리



열중위기종 감돌고기



한국고유종 쉬리



외래도입종 베스

국내에서는 현재 낫설지만 어류생태조사 시 미국 및 영국 등 선진국에서 실시되는 것이 서식지 평가(Habitat assessment)와 하천건강성평가(Stream health assessment)이다. 이는 하천의 어류조사 시 박물학적인 차원에서의 종조성 확인에서 그치는 것이 아니라 다양한 세부항목(Matrix)들을 이용하여 조사 지점에 대한 평가를 지수화하는 것으로서 미국의 경우 USEPA와 USGS에서 하천유역도상에 지수를 색깔로 표현하여 하천관리 및 복원 시 활용하기도 한다(표 1).

끝으로 최근 10여년간 선진국에서 대두되고 있는 분야가 생태독성학(Ecotoxicology)이다. 인류의 문명화(Civilization)와 더불어 산업이 발전(Industrialization)하고 다양해짐에 따라 유해화학물질(Hazard chemicals)들의 종류와 사용량이 크게 증가하여 폐수를 통한 수서생태계 오염은 날로 증가하고 있는 추세이다. 우리나라는 현재 약 3만 6천여 종의 화학물질이 유통되고 있으며 이 중 약 1,000여종이 유해화학물질관리법 등으로 관리되고 있으나, 수계로 배출되는 오염물질에 대해서는 효율적으로 관리하지 못하고 있다. 따라서 폐수 내에 있는 모든 유해한 화학물질들을 개별적으로 규제하기는 현실적으로 상당히 어려움이 있기 때문에 화학물질별 관리(Chemical-based management)와 병행하여 독성을 근거로 한 통합 독성(Whole effluent toxicity, WET) 관리의 개념이 요구되는 실정이다. 이런 맥락에서 배출수에 대한 독성을 근거로 총체적 관리개념으로서의 배출수 bioassay 기법은 1980년대 이후부터 선진국에서 도입되어 현재 약 18개국에서 활용되거나 이미 규제화 단계에 이르기까지 진행되고 있다. Bioassay 기법은 동정이 안된 배출수의 생물학적 영향, 화학물질간의 상호작용, 생물이용성 등을 포함하는 총괄적 영향평가를 할 수 있기 때문에 폐수의 위해성 평가(Risk

표 1. 서식지 평가 및 하천건강성평가 시 사용되는 세부항목

Habitat assessment <sup>1)</sup>	Index of biotic integrity (IBI) <sup>2)</sup>
Epifaunal substrate/Available cover	Total number of species
Pool substrate characterization	Number of darter species
Velocity/depth regimes	Number of sunfish species
Sediment deposition	Number of sucker species
Channel flow status	Number of intolerant species
Channel alternation	Percent green sunfish
Frequency of riffles(or bends)	Percent omnivores
Bank stability	Percent insectivorous cyprinids
Bank vegetative protection	Percent top carnivores
Riparian vegetative zone width	Number of individuals
	Percent hybrids
	Percent anomalies

1) Barbour et al. (1999), 2) Karr(1981)

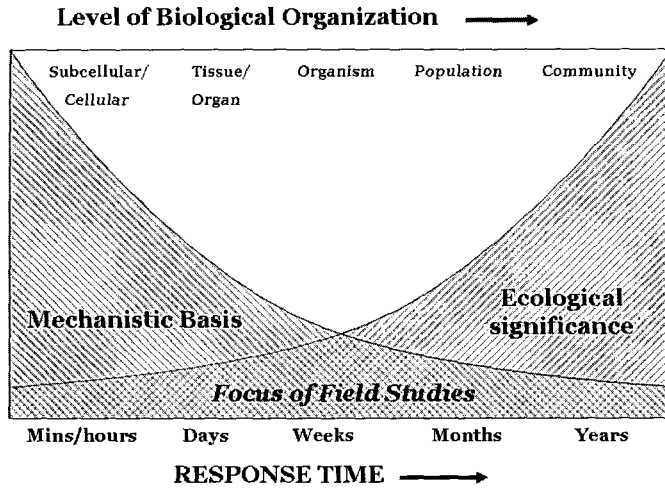


그림 2. 단계별 반응시간에 따른 작용기작과 생태적 중요성 비교(Adams 2002)

assessment)를 할 수 있는 기법으로 기대되고 있다. 어류를 이용한 급성(Acute) 및 만성(Chronic) 독성시험은 생존에 따른 영향뿐만 아니라 생체 내 미칠 수 있는 여러 가지 요인들을 부검을 기초로 한 어류건강성 평가(Fish health assessment, FHA)와 다양한 생물 지표(Biomarkers)들을 가지고 비교·분석함으로써 수계에 배출되는 점오염원인 생활하수 및 산업폐수를 올바르게 관리하여 생태적 건강성을 유지하는데 기준을 두고 있다. 이때 활용되는 생물지표로서 간조직을 이용한 간효소활성도(EROD) 측정, 혈액을 이용한 내분비계장애물질 영향(Vitellogenin induction) 측정 및 DNA 손상(COMET assay) 등이 있다. 이는 매우 복잡한 기작에 대한 해석과 생태적 중요성 측면에선 다소 떨어지지만 단시간에 수계 내 오염원에 대한 반응 결과를 살펴봄으로써 조기에보(Early warning)의 역할을 하여 생태계가 교란되는 것을 즉시 방지할 수 있다(그림 2).

#### 4. 결론

1970년대 후반 환경보전법을 제정하면서 시작된 수질환경기준, 배출허용기준, 방류수 수질기준 등의

환경기준은 30여년의 시간을 흐르면서 수정·보안되어 왔지만 아직도 BOD와 COD 등 유기물 중심의 수질관리정책에서 벗어나지 못하고 있다. 하지만 주변 선진국의 수질관리현황을 살펴보면서 최근 국내에서도 달라진 환경여건 및 국민적 환경욕구에 걸맞도록 선진국형 물환경관리 기본계획을 수립하고자 노력하고 있다. 이 중 새로운 개념의 생물학적 평가방법 도입에 위에서 언급한 어류를 이용한 다양한 수환경평가 방법들이 소개·적용된다면 앞으로 국내 하천 및 호소의 수질을 총체적으로 관리하는 통합수자원관리(Integrated management of water resource)에 많은 보탬이 되리라 생각한다.

#### 참고문헌

Adams, S. M., editor. 2002. Biological indicators of aquatic ecosystem stress. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.  
 Barbour, M. T., J. Gerritsen, B. D. Snyder, and J. B. Stribling. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates

and fish, second edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.

Karr, J. R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fish.* (Bethesda) 6(6): 21-27.

Schmitt, J. C. and G. M. Dethloff., editor. 2000. *Biomonitoring of environmental status and*

*trends (BEST) program: selected methods for monitoring chemical contaminants and their effects in aquatic ecosystems.* Information and Technology Report (USGS/BRD/ITR--2000-0005), U.S. Geological survey. Missouri.

Walker, C. H., S. P. Hopkin, R. M. Sibly, and D. B. Peakall. 1996. *Principles of ecotoxicology.* Taylor & Francis Press, Great Britain. 🐟