

우리나라에서 어류를 이용한 하천 생태건강도 평가 모델 개발



안 광 국 ▶▶▶
충남대학교 생물학과 교수
kgan@cnu.ac.kr

우리나라의 하천 및 강의 수 생태계는 다양한 공사 및 개발 사업을 통해 교란이 가속화되고 있다. 특히, 1980년대 이후 산업화, 공업화 및 도시화에 의한 각종 개발로 인해 하천, 강, 호수 등의 수 생태계의 수질오염이 가속되고 있고, 이에 따른 어류의 대량폐사 및 수질에 민감한 물고기의 종수 및 개체수의 감소는 시급한 문제로 대두되고 있다. 정부에서는 수질오염의 정도를 파악하기 위한 일환으로 1980년대 초에 수환경내 화학적 조사 항목들을 대상으로 하는 전국규모의 조사를 실시하였다. 즉, 기존의 하천 평가 기법으로 생화학적 산소요구량(BOD/COD)과 같은 항목에 의거한 화학적 접근방식이 널리 이용되어 왔으며, 현재에도 전국의 수계에서 지속적인 모니터링이 이루어지고 있다. 그러나 외국에서의 많은 하천 연구들에 따르면 화학적 유기물질 및 독성물질의 오염이 없는 상황에서도, 골재채취 및 하상구조 변화와 같은 물리적 변동은 물고기의 산란지 및 서식공간을 제한함으로써 어류의 급격한 개체수 감소 및 종의 감소를 가져오고 있다. 즉, 화학적 혹은 물리적 변수의 측정만으로는 수환경의 총체를 파악하기 어렵다는 것을 의미한다.

수환경의 생물학적 평가의 일환으로 국내 환경부 주도하에 수행된 최초 전국규모의 담수어류 생태 및 분포조사는 1986년에 시작되었다. 이 보고서에는 우리나라 주요 하천 내 어류분포, 상대풍부도, 어종 조성, 및 보호되어야 할 어종 등에 대하여 기술한 바 있으나, 하천간 혹은 수계 별 상대비교는 어려운 것이 사실이다. 이런 이유는 어류 조사 시 채집거리, 소요 시간, 채집도구로부터 발생하는 정량화 문제, 하천 차수(Stream order)를 고려하지 않은 상대풍부도 산정 및 물리적 비 안정기 동안(장마기간)의 어류의 물리적 역동적 변동을 고려치 않은데 따른 것으로 나타났다. 분명한 사실은 골재채취, 댐이나 농업용수용보 건설 및 점원 및 비 점원오염에 의한 어종이 감소하고 있는 상황에서, 현재, 과거 및 미래의 상태를 비교 검토할 수 있는 정량화된 수 환경 진단법 개발이 시급한 상황이었다.

한편, 미 환경부(US EPA)에서는 총체적 수 환경을 파악하기 위한 일환으로 하천 어류 이용한 “신속한 생물평가 개념(RBP)”을 확립하였고, 평가기법으로 생물보전지수(Index of Biological Integrity, IBI) 산정 법을 제시하였다. 생물보전지수는 수중 생태계내의 물리적, 화학적 변화에 민감할 뿐만 아니라, 생물 군집간의 역동적 특성을 직접적으로 반영하며, 조사 시 비용절감효과 때문에 수 생태계의 종합적 평가기법으로 인정 받아오고 있다. 특히 수중생물 중 담수어류를 이용하여 수 환경 및 수질상태를 평가하는 기법은 미국 외에 유럽, 아시아(일본, 인도) 아프리카, 남미, 호주 및 북미의 캐나다에서 도입되어

지역적 수환경의 종합적 생태 건강도 평가에 기여하고 있다.

담수어류를 이용한 하천평가 개념, 즉 생물보존지수(IBM)에 의한 평가기법은 1981년 Karr가 미국의 중서부 하천을 대상으로 도입된 이래, 미국에서는 지역 및 그 지역의 생태적 특성을 고려한 IBM 수정작업이 1986년까지 12개 주 정부에서 실행되었으며, 그 후 4년 뒤인 1991년에는 이미 35개 이상의 주 정부에서 채택되어 하천 평가에 실효를 거두고 있다. 가장 최근인 2000년에는 미 환경부에서 담수어류를 이용한 IBM 기법을 하천 평가의 핵심도구로 이용하고 있다.

담수어류가 하천 및 강의 수 환경 건강성 평가의 지표로서 탁월한 이유로서 미 환경부(US EPA)는 채집이 쉽고, 분류동정이 용이하고, 수명이 길며, 생활사의 전부를 물속에서 생활하고, 오염의 종류 및 양에 대해 다양한 내성도를 보이기 때문이라고 제시하고 있다. 이런 어류의 특성을 이용하여 개발된 IBM 모델은 단일항목을 이용하지 않고 여러 어류의 속성을 갖는 여러 지표의 항목을 이용하기 때문에 자료에 정확도가 높아지고, 조사방법과 같은 세부적인 조서에 의하여 현지조사가 수행되기 때문에 작업의 표준화 성격(SOP)을 띄고, 수중내의 이화학적 특성을 잘 반영하는 장점을 가지고 있다. 2012년 현재 우리나라에서 어류를 이용한 생태 건강도 평가 기법은 안광국 교수에 의해 최초로 우리나라 어류 종 특성 및 생태 특성에 맞게 2002년에 최초로 10-메트릭 모델/ 5등급 평가체제 시스템이 개발되었다(표 1, 표 2). 이를 기반으로 안 교수는 정부에서 주도하는 “물 환경 종합평가 방법 개발 조사연구”(2004 - 2005)에 참여하여 전국 하천에 적용 가능한 “어류 생태 건강도 평가모델”을 확립하였다.

그 이후 환경부에서는 안광국 교수(충남대학교)가 환경부 과제에 참여하여 개발한 어류평가 다 변수평가 모델 및 평가기준을 채택하여 하천 생태건강도 평가기준 및 생물학적 수질평가기준을 확립하였다. 현재는 하천 생태건강도 평가를 위해 8-메트릭 생태건강도 평가 모델 및 4등급기준이 하천 및 강의 생태 건

표 1. 어류의 IBM 생물보존지수를 이용한 메트릭 범주, 메트릭 성분 및 점수기준

속성	메트릭 성분	모델 점수기준		
		5	3	1
종 성분	M1. 본 토종의 총 어종수)67%	33-67%)33%
	M2. 어육성 저서성종수			
	M3. 수충종수			
	M4. 민감종수			
	M5. 내성종의 상대풍부도			
트로픽 특성	M6. 본토 잡식성종의 개체수 빈도	<20%	20-45%	>45%
	M7. 본토 총식종의 개체수 빈도	>45%	20-45%	<20%
	M8. 본토 육식성종의 개체수 빈도	>5%	1-5%	<1%
종 풍부도 및 개체 건강도	M9. 본토종의 총 개체수	>67%	33-67%	<33%
	M10. 외래종의 개체수 빈도	0	0-1%	>1%
	M11. 질병, 외상 및 척추이상을 보이는 어종의 개체수 빈도	0	0-1%	>1%

표 2. 어류에 의거한 생태건강도 평가등급 및 특성

IBM 모델값	평가등급	특성
53-55	탁월한 상태(E)	천연조건에 비유할 만한 상태이며, 예외적으로 총적 구성이 풍부함.
43-47	좋은상태(G)	종 풍부도의 감소 및 내성종이 거의 없음. 민감종이 존재
35-39	보통상태(F)	민감종의 부재, 트로픽 구조의 비정규적 분포
23-29	악화된 상태(P)	육식종 및 기대되는 많은 어종의 부재, 내성종 및 잡식성종의 우점
8-17	극히 악화된 상태(VP)	종수가 극히 적고, 내성종수 및 개체수 증가, 어병 및 기형어종수 빈도의 증가

강도 평가에 적용되고 있고, 매년 4 대강의 1000여 개 하천 및 강에서 2회씩 조사하고 있다.

기존 미국을 포함한 외국에서 개발된 어류를 이용한 IBM 모델 평가기법은 각 나라 혹은 지역적 생태 특성을 고려한 체제이다. 따라서 IBM 개발을 위한 첫 단계의 작업은 이용되는 메트릭 수, 메트릭 구성성분, 어종의 영양구조 체제를 지역적 특성에 맞게 변형되어야 한다. 총 메트릭 특성들이 결정되면, 두 번째로 조사하고자 하는 하천(혹은 강)이 속해 있는 수계 전체에서 인위적 간섭이 적은 하천의 여러 지점(하천 차수 고려; 주로 1-5차 하천)을 선정하여 대조군 하

천(Reference stream)으로 이용한다. 셋째, 실제 조사대상 하천에서 얻은 IBI 모델 값은 대조군 하천에서 얻은 자료의 하천 차수별 최대풍부도선과 비교하여 각각의 메트릭 점수를 결정하는 방식이다. 넷째, 얻어진 점수를 모두 합산하면 조사지점 혹은 하천의 총 IBI모델 값이 되고, 얻어진 점수는 판정기준과 비교하여 하천의 생태 건강도를 진단하는 방식이다.

이런 유사한 생물평가지수에 의한 개념이 나오기 전에 우리나라에서는 어류의 몇몇 생태 지표종 특성을 이용하여 생물학적 수 환경을 대략 진단해 왔다. 예를 들면, 어류를 기준으로할 때 금강모치, 버들치 등과 같은 어종이 우점하면 수질 1등급, 붕어, 잉어, 메기와 같은 종이 우점하여 출현하면 최하등급인 4등급 혹은 5 등급으로 분류하였다. 이와 같이 종의 생물상 지수를 이용하여 평가하는 방식은 어류의 종별 생물상 지수(Species Biotic Index; SBI)인데 이는 각각의 어류 종에 오염도의 상대적 값을 정해 유사도를 비교하는 방법이다. 이 기법 또한 안광국 교수(충남대학교)에 의해 개발되었으나, 어류의 종에 대한 내성도 특성 분류는 이미 작고하신 고 최기철 박사님(서울대

학교 명예교수)이 건강이 좋지 않은 상태에서도 제공한 자료에 기반을 두었다. 즉, 종별 어류를 이용한 유사도 비교방법은 과거와 현재 하천의 유기물오염과 서식환경의 변화 정도를 파악할 수 있다. 또한, 종별 생물상 지수 값이 과거의 지수 값과 비교 시 85%이상 유사할 경우 현재 하천의 생물상 환경은 과거에 비해 거의 영향을 받지 않았음을 의미하며, 유사도 값이 50%미만일 경우 과거의 환경에 비해 심각하게 생물상이 변화되었음을 의미한다. 이런 기법은 어종 별 생물상 지수라는 “Species Biotic Index (SBI)”를 이용하는 방식인데, 원래는 Hilsenhoff (1988)가 최초로 수서무척추동물(Macroinvertebrate)를 이용하여 수환경을 측정하는 방식였다. 우리나라에서 이 기법을 적용하기 위해 어류의 내성도 점수 표가 필요한데, 고 최기철박사(서울대 명예교수)는 어류내성도 점수 표(표 3)를 직접 본인(안광국교수)에게 2002년 2월 12일 신림동 자택에서 제공해 준 바 있다. 표 3은 우리나라에서 어떤 어종이 가장 내성도가 낮고 어떤 종이 가장 내성도가 높은지 10 단계로 대별하여 만든 결과이다.

표 3. 담수어류의 종별 내성도 등급(고 최기철 박사가 지난 50여 년간의 어류 채집 및 생태연구 경험에 기반을 두어 작성한 어류종별 내성도 등급. 본 내성도 표는 안광국교수에게 2002. 2. 27일 신림동 자택에서 직접 제공함).

어류의 내성도 등급 (1~10등급)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
금강모치	꺼지	꼬치동자개	갈겨니	기름종개	가시고기	피라미	중고기	동자개	가물치
독종개	어름치	묵납자루	꺼저기	모래주사	미호종개	모래무지	참종고기	백조어	메기
미유기	배가사리	수수미꾸리	새코미꾸리	모섬치	쏘가리	가시납지리	버들붕어	버들매치	붕어
버들가지	새미	쉬리	은어	밀어	잔가시고기	각시붕어	대농갱이	강준치	잉어
버들개	가는돌고기	칼납자루	자가사리	부안종개	고리	납자루	동경모치	미꾸라지	치리
버들치	꾸구리	쌀미꾸리	종개	왕종개	흰수마자	납줄갱이	물개	뱅어과	살치
산천어	돌상어	그 외 유사종	참종개	왜물개	남방종개	달납줄개	긴물개	그 외 유사종	참붕어
송어	북방종개		좁수수치	점줄종개	꼭저구	돌마자	참물개		그 외 유사종
연준모치	감돌고기		동사리	눈불개	눈동자개	왜매치	밀자개		
열목어	그 외 유사종		참마자	황복	두우쟁이	임실납자루	드렁허리		
한독종개			칠성장어	빙어	점물개	줄납자루	웅어		
통사리			그 외 유사종	황어	사백어	줄물개	싱어		
통가리				대황어	그 외 유사종	줄종개	망둑어과		
그 외 유사종				뱀장어		큰가시고기	그 외 유사종		
				다목장어		큰납지리			

표 3. 담수어류의 종별 내성도 등급(고 최기철 박사가 지난 50여 년간의 어류 채집 및 생태연구 경험에 기반을 두어 작성한 어류종별 내성도 등급. 본 내성도 표는 안광국교수에게 2002. 2. 27일 신림동 자택에서 직접 제공함).(계속)

어류의 내성도 등급 (1~10등급)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				걱정이		흰줄납줄개			
				돌고기		누치			
				그 외 유사종		송사리			
						대륙송사리			
						동방종개			
						얼룩동사리			
						미꾸리			
						송어			
						기송어			
						농어			
						구굴무치			
						좁구굴치			
						강주걱양태			
						그 외 유사종			

고 최기철 박사님은 현재의 우리가 이용하는 어류를 이용한 생태계 건강성 평가기법을 개발하지는 않았지만 상기 중요한 경험적 자료(일부 종명의 개명이 있음)를 남겨 현재에도 하천생태계 건강성 평가에 유용하게 이용하고 있다. 고 최기철 박사님이 2002년 10월 9일 처음으로 “민물고기보존협회” 창립을 준비하며 다음과 같은 말을 남겼다. “자연을 즐기며, 강을 사랑하고 물고기를 좋아하는 여러분이 원하는 것은 한가지 일 것입니다. 바로 이 아름다운 계곡, 호수, 하천, 강을 훼손 없이 우리의 후손들에게 물려 주는 것

이 우리의 할 일입니다(고 최기철 박사, 2012년 10월 9일 민물고기보존협회 회보 “재도약을 위하여” 중에서 발췌).” 최 박사님이 언급 하셨던 것처럼 우리 후손에게 아름답고 건강한 생태계를 물려주는 일이 생태학자들에게 아주 중요한 소임입니다. 현재, 우리나라에서는 하천 및 강에 4 대강 개발 사업 및 각종 복원 사업이 시행되고 있으나 일부에서는 토목공사가 실시되어 일부의 생태계는 교란을 받고 있어 향후 이에 대한 생태 건강도의 집중적 연구 및 생태 건강도의 네트워크 기반작업이 절실히 요구되는 바이다. 🌊