

Research Paper

## 우리나라 환경영향평가 제도 내 수생태계 평가 개선 방안

심연보\* · 김난영\*\* · 유경은\* · 성현찬\*\*\* · 전성우\*\*\*\* · 황순진\*

건국대학교 환경보건과학과\*, 건국대학교 휴먼엔에코케어센터\*\*,  
고려대학교 오정리질리언스연구원\*\*\*, 고려대학교 환경생태공학부\*\*\*\*

### Improvement Measures for Aquatic Ecosystem Assessment in the Environment Impact Assessment System in Korea

Younbo Sim\* · Nan-Young Kim\*\* · Kyeong-Eun Yoo\* ·  
Hyun-Chan Sung\*\*\* · Seongwoo Jeon\*\*\*\* · Soon-Jin Hwang\*

Department of Environmental Health Science, Sanghuh College of Life Sciences, Konkuk University, Seoul\*  
Human and Eco Care Center, Department of Environmental Health Science, Sanghuh College of Life Sciences,  
Konkuk University, Seoul\*\*

Ojeong Resilience Institute, Korea University, Seoul\*\*\*

Department of Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University, Seoul\*\*\*\*

**요약:** 우리나라 환경영향평가 제도 내의 수환경 분야 평가는 이화학적 항목만을 이용하고 있다. 특히, 수생태계 관련 내용은 일부 수서생물의 다양성(종조성과 군집특성) 정보에 불과하여 수생태계 상태(건강성)에 대한 평가 내용은 부재한 실정이다. 본 연구는 국내의 수생태계 건강성 평가 사례 및 환경영향평가 제도의 비교 분석을 통해 우리나라 환경영향평가 제도의 문제점과 개선방안을 도출하였다. 또한 2000~2022년 동안 시행된 환경영향평가 사업 중 '하천의 이용 및 개발' 89개 사업을 대상으로 수생태계 건강성 지수 활용 사례를 분석하여 생물학적 평가방법 도입을 위한 환경영향평가 개선 방안을 제시한다.

미국, 독일 등 12개 국가에서 하천의 모니터링 및 생물학적 평가를 시행하고 있으며, 미국 등 6개 국가에서는 생물학적 지수를 통한 평가를 시행하고 있는 것으로 나타났다. 특히, 미국은 수생태계 건강성 평가에 생물학적 온전성 지수(Index of Biological Integrity, IBI)를 이용하고 있으며, 또한 환경영향평가에서도 국가 환경정책법(NEPA)의 '신속한 생물평가 지침(Rapid Bioassessment Protocols: RBPs)'을 통해 하천의 생물학적 상태를 평가하도록 하고 있다. 국내 환경영향평가에서 수생태계 건강성 평가 사례는 물환경보전법(수생태계 건강성 조사 및 평가에 관한 조항)에 근거를 두고 시행되고 있는 국가 생물측정망에 포함된 지수를 대부분 이용하고 있다. 생물학적 평가지수 활용 내역은 저서성 대형무척추동물 지수 75건, 부착돌말류 지수 35건, 어류 지수 21건으로, 하천 수생태계 건강성 평가를 시작한 2007년을 기점으로 활용 빈도가 점차 증가하고 있는 것으로 나타났다. 이는 수

First Author: Younbo Sim, Tel: +82-2-452-3749, E-mail: sumatra0@nate.com, ORCID: 0000-0003-2317-8146

Corresponding Author: Soon-Jin Hwang, Tel: +82-2-450-3748, E-mail: sjhwang@konkuk.ac.kr, ORCID: 0000-0001-7083-5036

Co-Authors: Nan-Young Kim, Tel: +82-2-452-3749, E-mail: celeste0@daum.net, ORCID: 0000-0001-5949-2095

Kyeong-Eun Yoo, Tel: +82-2-452-3749, E-mail: dbekfi98@naver.com, ORCID: 0000-0002-2659-5466

Hyun-Chan Sung, Tel: +82-2-3290-3543, E-mail: wona2015@korea.ac.kr, ORCID: 0000-0003-4862-7980

Seongwoo Jeon, Tel: +82-2-3290-3043, E-mail: cepps\_korea@korea.ac.kr, ORCID: 0000-0001-5928-8510

Received: 26 November, 2024. Revised: 6 December, 2024. Accepted: 16 December, 2024.

환경에 대한 영향평가에서 생태계 수준 평가의 중요성을 반증하는 결과이다. 그러나 아직까지 국내에서 수생태계 건강성 평가는 환경영향평가 항목으로 제도화되어 있지 않아 지속적인 평가와 효과적인 활용이 미흡하다. 따라서 본 연구는 하천, 호소 등 물환경 영향평가에 있어 생태계 차원의 평가가 매우 중요함을 강조하며, 기존의 환경영향평가 수환경 조사 항목 내에 수생태계 건강성 지표항목을 정규 조사항목으로 추가하는 방안을 제안한다.

**주요어:** 환경영향평가, 수생태계 평가, 생물지수, 수생태계 건강성 평가

**Abstract:** The assessment of aquatic environments within Korea's Environmental Impact Assessment (EIA) system primarily relies on physico-chemical parameters. Specifically, evaluations of aquatic ecosystems are limited to certain aspects of aquatic organism diversity (species composition and community characteristics), with no comprehensive assessment of ecosystem health or condition. This study investigates the application of aquatic ecosystem health indices in 89 projects involving the "Use and development of rivers," conducted as part of EIAs between 2000 and 2022. It proposes improvements to the EIA system through the adoption of biological evaluation methods based on key aquatic organisms. This study conducts a comparative analysis of international cases of aquatic ecosystem health assessments and EIA systems to identify the limitations of Korea's EIA system and propose improvements. It also investigates the application of aquatic ecosystem health indices in 89 projects involving the "Use and development of rivers," conducted as part of EIAs between 2000 and 2022. Based on these findings, it suggests adopting biological evaluation methods based on key aquatic organisms to enhance the EIA system.

Globally, 12 countries, including the United States and Germany, conduct river monitoring and biological evaluations. Among them, six countries, including the United States, employ biological indices in their assessments. The United States, in particular, uses the Index of Biological Integrity (IBI) to evaluate aquatic ecosystem health. Furthermore, biological health assessments are incorporated into EIAs under the National Environmental Policy Act (NEPA) through the implementation of Rapid Bioassessment Protocols (RBPs). In Korea, aquatic ecosystem health assessments within EIAs primarily utilize indices from the National Biological Monitoring Network, established under the Water Environment Conservation Act (provisions for aquatic ecosystem health surveys and evaluations). The use of biological assessment indices includes 75 applications of the benthic macroinvertebrate index, 35 of the diatom index, and 21 of the fish index. Since the introduction of riverine aquatic ecosystem health evaluations in 2007, the frequency of their use has steadily increased, highlighting the growing recognition of ecosystem-level assessments in evaluating impacts on aquatic environments. However, the assessment of aquatic ecosystem health has yet to be institutionalized as a formal component of domestic EIAs, resulting in limited continuous evaluation and practical implementation. This study underscores the critical importance of ecosystem-level evaluations in EIAs of aquatic environments, such as rivers and lakes. It recommends incorporating aquatic ecosystem health indices as standardized survey items within the existing EIA framework for water environment assessments.

**Keywords:** Environmental Impact Assessment, Aquatic Ecosystem Evaluation, Biological Indices, Aquatic Ecosystem Health Assessment

## I. 서론

우리나라 환경영향평가 제도는 개발사업에 따른 환

경오염에 대한 예방적 수단인 하나로 1977년 「환경보전법」에서 행정기관이 시행하는 개발사업에 대한 협의의 근거를 마련하여 도입되었으며, 1981년 환경영향평

가서 작성에 대한 규정이 제정되어 실질적인 영향평가 제도가 실시되었다. 이후 각기 다른 법률에 근거하여 추진되어 온 환경영향평가는 2011년 7월 「환경영향평가법」으로 통합되면서 제도적 기반이 안정되었다(Choi & Park 2015; Choi et al. 2019). 국내 환경영향평가는 경제발전 및 국토개발과 같은 국가 성장 위주의 정책에 따라 급속한 발전을 이루어 왔으나, 환경보호 정책이 이를 뒷받침하지 못해 환경보전법(1997)이 제정된 이후 30여 년 동안 법의 제·개정과 함께 환경영향평가의 기법, 제도, 평가항목 등이 지속적으로 개선되었다(Lee et al. 2018).

하지만 국내 환경영향평가 제도는 개발위주의 정책으로 제도의 취지가 제대로 영향력을 발휘하지 못하였다. 이와 관련하여 우리나라는 2005년 세계경제포럼에서 환경지속성지수(Environmental sustainability index, ESI) 평가의 자연자원관리 및 생태계 분야에서 최하위 수준(146개국 중 122위)이었으며(Esty et al. 2005), 2022년 환경성과지수(Environmental performance index, EPI) 평가에서는 180개국 중 63위로 평가되었고, 생태계지속성(Ecosystem vitality) 분야 내 생물다양성 서식지 지수(Biodiversity habitat index)는 103위로 낮게 평가되었다(Wolf et al. 2022). 이처럼 생태계 분야에서 낮은 평가 결과는 협소한 국토에서 환경용량을 고려하지 않은 개발과 함께 지속가능한 발전이 환경영향평가 제도 내에서 제대로 고려되지 못한 이유로 판단된다.

개발사업의 영향은 사업 대상지역 뿐 만 아니라 그 영향권에도 미치게 된다. 즉, 그 영향은 환경 내에 존재하는 비생물적요인과 생물적 요인을 모두 포함하고, 여러 측면에서 광범위하고 복합적으로 발생하여 최종적으로는 생태계 수준의 영향으로 나타난다. 수생태계와 관련하여, 국내의 환경영향평가 내용을 살펴보면, 평가항목 내 수환경 분야는 수질, 수리·수문, 해양환경 등 3개 분야로 구성되어 있으며, 하천과 호수 등 담수에 대한 영향을 수질과 수리·수문 항목으로만 평가하고 있다(MOE 2021). 수생태계와 밀접한 관련이 있는 환경영향평가 항목으로는 자연생태환경 분야 내 동·식물상이 있지만, 환경영향평가서 작성규정 내 육수생물상에서 부착돌말, 저서성 대형무척추동물, 어류에 대해 종조성과 근집특성을 기술하는 정도에 불과한 실정이

다(MOE 2021).

이에 따라, 환경영향평가 항목 내 생물다양성 항목 도입(Kwon et al. 2006; Koo & Lee 2012), 해양환경 내 저서건강도지수(Benthic health index, BHI) 및 저서오염지수(Benthic pollution index, BPI)의 도입을 통한 개선 방안 연구(Lee & Kim 2021) 등 생태계 수준에서의 영향평가 항목 개선을 위한 몇몇 연구가 진행되었으나, 담수생태계 평가에 대한 연구는 전무하여 담수생태계의 훼손과 남용을 방지하기 위해 활용될 수 있는 환경평가가 크게 필요한 실정이다. 본 연구에서는 환경영향평가에서 담수생태계를 효과적으로 평가하기 위한 하천 수생태계 현황 조사 및 건강성 평가(MOE 2017) 항목과 활용방안을 제시한다. 세부적으로 (1) 담수생태계를 평가하기 위한 생물학적 지수를 활용한 외국사례를 조사하여 국내 제도와 비교하고, (2) 하천의 이용 및 개발사업에 대한 사례연구를 통하여 건강성 평가의 필요성 및 활용방안을 제시하며, 마지막으로 (3) 환경영향평가 조사항목 내 수생태계 건강성 지표 도입을 통한 개선방안을 제시하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 각국의 환경영향평가제도 내 수생태계 건강성 평가 관련 제도조사

학술 검색엔진(www.scholar.google.co.kr)을 사용하여 “수생태계 건강성 평가”, “수생태계 환경영향평가”, “stream bioassessment”, “stream ecological integrity assessment” 등을 키워드로 설정하여 학술발표, 학술지를 중심으로 수집하였으며, 법 제도 및 규정에 관한 주요 자료는 외국의 환경관련 사이트에서 수집하였다(미국환경보호청: <https://www.epa.gov/nepa/>; 유럽물관리기본지침: [https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive\\_en/](https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive_en/)).

국의 수생태계 건강성 평가 사례 및 환경영향평가 제도의 비교 분석을 통해, 우리나라 환경영향평가 제도의 문제점(수생태계 평가의 부재)과 개선방안(수생태계 건강성 평가의 도입)을 제시하는데 활용하였다.

## 2. 우리나라 수생태계 건강성 평가 방법 및 지수 검토

우리나라 수생태계 평가는 2006년 수립된 ‘물환경관리기본계획(2006~2015)’을 바탕으로 “생태적으로 건강한 하천 조성 및 유해물질로부터 안전한 물환경 구축”을 목표로 추진되었다. 이를 위해 정부는 하천 생태계의 종합적 평가와 보호를 강화하고자 2007년에 ‘수질환경보전법’을 ‘수질 및 수생태계 보전을 위한 법률’로 개정하였다. 법 개정을 통해 수생태계 건강성 지표 개발, 유해물질 관리를 위한 제도적 기반 강화, 수생태계 복원 및 보호 사업 등의 활동이 체계적으로 이루어지게 되었다. 이에 따라 ‘수생태계 건강성’ 개념을 규정하여 이화학적 수질과 수생태계를 관리하는 제도적 기반을 마련하였다. 2016년에는 ‘수질측정망 운영계획’에 생물측정망을 신설하고 ‘물환경측정망 운영계획’으로 변경하여 고시하였다. 이와 동시에 국립환경과학원에서 ‘생물측정망 조사 및 평가지침’이 제정되어 2008년부터 현재까지 운영되고 있다. 하천 수생태계에서 생물(부착돌말류, 저서성 대형무척추동물, 어류)을 이용한 평가 지표는 5개 등급(A: 매우 좋음, B: 좋음, C: 보통, D: 나쁨, E: 매우나쁨)으로 구분되어 평가되며, 각 지표에 대한 내용은 Appendix 1~3에 나타나 있다(MOE 2024a).

### 1) 부착돌말지수(Trophic Diatom Index, TDI)

우리나라에서 담수규조류를 이용한 하천 수생태계 평가는 역사가 오래되지 않았다. 국내에서 최초로 돌말류를 이용한 생물학적 평가는 일본에서 개발된 돌말군집지수(the diatom assemblage index of organic water pollution (DAIpo); Watanabe et al. 1990)를 이용한 연구였다(Chung, 1987). DAIpo는 하천의 유기물 오염도를 평가하는 방법으로, 국내에서 부착돌말을 이용한 생물학적 수질평가의 초기 연구는 모두 DAIpo 지수를 이용하였다. 하지만, 우리나라의 하천 생태계에서 조류 성장을 조절하는 주요 제한영양염은 인이므로, 우리나라 물환경종합평가방법 개발 조사연구(NIER, 2006)에서는 인산염(PO<sub>4</sub>-P)에 기초하여 개발된 TDI(Kelly & Whitton, 1995)를 채택하였다(Lee et al. 2011; Hwang et al. 2011). 이후 국내 하천의 인농도에 따른 부착돌말 분포를 고려하여 한국 실정에 맞도록 지수가 수정, 개선

되었다(Kim 2012).

### 2) 저서동물지수(Benthic Macroinvertebrate Index, BMI)

우리나라에서 저서성 대형무척추동물을 이용한 생물학적 수질평가는 Tsuda(1964)의 Beck-Tsuda biotic index를 활용한 평가로 시작되었으며(Wui 1974; Wui et al. 1983), 이후 Trent biotic index(Woodiwiss 1978), Biotic score(Chandler 1970), BMWP score(Hellawell 1986) 등의 방법을 이용하였다. 하지만, 이러한 방법들은 국내 저서성 대형무척추동물의 지표성이 고려되지 않아 적용상 한계점을 나타냈다. 이에 따라 Yoon et al.(1992a, 1992b, 1992c)은 우리나라 수질에 적합한 지표치 연구를 진행하였으며, Won et al. 2006에 의해 한국오수생물지수(Korean Saprobic Index, KSI)가 제안되었다. 이후 Kong et al. 2012은 우리나라 지표 생물군을 확대 고려하여 지수값을 100점으로 계량화한 한국저서생물지수(Korean Benthic Macroinvertebrates Index, KBI)를 제안하였다.

### 3) 어류지수(Fish Assessment Index, FAI)

우리나라의 어류를 통한 수생태계 평가연구는 1990년대 지표종 개념을 도입하면서 시작되었다. Karr (1981)는 어류를 이용한 생물온전성지수(Index of Biotic Integrity, IBI)를 개발하였으며 우리나라에서는 이 IBI 지수의 구성 메트릭 항목에 대한 다양한 평가연구가 진행되었다(Yeom et al. 2000; An et al. 2001; Kwon & An 2006). 현재 어류평가지수는 국내 어류군집의 생태적 특성을 반영하여 Karr(1991)가 제안한 12개 메트릭을 8개로 축소하였으며, 각 메트릭별로 하천규모(차수)를 반영하여 지수값을 5개 등급으로 계량화하여 생물측정망에서 이용하고 있다(MOE 2024a).

## 3. 환경영향평가 하천의 이용 및 개발사업 내 수생태계 건강성 관련 사례 분석

국내 환경영향평가 내 수생태계 평가 내용을 파악하기 위해, 1982년부터 2022년까지 접수된 환경영향평가서를 대상으로 수생태계 건강성 관련 의견 및 활용사례를 분석하였다. 분석대상 환경영향평가사업은 수생태

계와 가장 밀접한 '하천의 이용 및 개발사업' 분야로 선정하였다. 환경영향평가정보지원시스템(Environmental Impact Assessment Supporting System, EIASS)에서 본격적으로 수생태계 평가가 시작된 2000~2022년 동안 접수된 환경영향평가서 내 수생태계 건강성 관련 협의 의견, 검토의견, 건강성지수활용 사례를 분석하였다. 수생태계 건강성 지수 활용사례 분석은 환경영향평가서 본안 자연생태환경분야 동식물상 내 부착돌말류, 저서성 대형무척추동물, 어류 조사결과를 검토하여 부착돌말지수(TDI), 저서동물지수(BMI), 어류지수(FAI) 등 생물기반 평가지수를 활용한 사례를 파악하였다. 파악된 생물지수활용 사례는 연도 및 사업별로 구축하여 연도별 활용횟수와 사업수 대비 활용건수를 활용율로 이용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 각국의 환경영향평가 제도 내 수생태계 건강성 평가 프로그램

##### 1) 미국

미국은 수생태계 건강성 평가를 위해 기본적으로 생물학적 온전성(biological integrity) 개념을 이용하고 있다(US EPA 2002). 미국환경청(US EPA)은 미국 전국토를 10개의 생태권역(Ecoregion)으로 구분하여 각 권역의 생물조사를 통한 생태계 오염도 및 건강도의 현황을 파악하도록 하고 있다(Omernik & Griffith 2014). 이를 위해 각 주(state)의 특성에 맞는 생물학적 평가 프로그램(Biological Assessment Program) 및 생물기준(Biocriteria)을 개발하도록 하고 있으며, 생물 모니터링에 대한 세부 사항인 생물평가인자(Biological parameter), 조사빈도, 조사주기, 조사구간, 레퍼런스 구간 등에 대한 정보를 제시하고 있다(Table 1).

미국환경청은 국가환경정책법(NEPA) 지침을 통해 환경영향평가의 준비 및 검토과정에서 필요한 생태학적 고려사항에 대한 안내정보를 제공한다(US EPA, 2018). NEPA에서는 생물학적 평가시 '하천과 걸어서 건널 수 있는 강에서 이용하는 신속한 생물학적 평가 지침'(RBPs; Barbour et al. 1999)을 참고하여 평가하도

록 하고 있으며, RBPs는 부착조류, 저서성 대형무척추동물, 어류 뿐 만 아니라 다른 생물(예: 수생식물 등)들을 기반으로 하는 하천의 생물학적 건강성 평가법에 대한 정보도 제공한다.

##### 2) 유럽연합(European union, EU)

유럽연합의 물관리 정책은 2000년 12월 발효된 물관리지침(Water Framework Directive 2000/60/EC, WFD)을 통하여 운영되고 있다. 현재 WFD의 목표는 유럽 전역의 수역에서 2030년까지 생태적으로 '양호(Good)'한 상태를 달성하는 것이며, 이를 위해 관련 모니터링 계획을 수립할 것을 명시하고 있다. 환경 평가시 필수적인 요소로는 대기질, 수문학, 지표수질, 동·식물, 지형·지질, 수생태계 등이 있으며, 사업 진행 시 이러한 요소들을 기반으로 환경영향평가 보고서를 작성하여 정부기관에 제출하도록 요구한다.

수질 목표를 달성하기 위한 환경 기준에는 생물학적 기준이 포함되어 있으며, 유럽 대부분의 국가에서는 저서성 대형무척추동물을 이용한 생물학적 수질 평가를 수행해왔다. 이러한 평가 및 관리는 지역 기관이 담당하고 있으나, 일부 국가에서는 주요 하천의 생물학적 상태를 국가 차원에서 조사하고 있다(WFD 2000; CEN 2010; UKTAG 2014; EEA 2018; Bonada et al. 2006).

##### 3) 유럽 각국

독일의 경우 생물학적 하천평가는 WFD의 지침을 기반으로 하며, 연방물관리청(Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG) 또는 연방환경청(Umweltbundesamt, UBA)의 독일의 환경특성을 반영한 가이드라인을 바탕으로 평가하고 있다(Arle et al. 2016; UBA 2016). 생물학적 평가 대상 생물군은 식물플랑크톤, 대형 식물, 저서성 대형무척추동물, 어류 등이며, 이를 통해 지표 대상 하천의 훼손 상태(예: 부영양화, 물리적 훼손, 산성화 등)를 평가한다.

영국의 경우, 과거에는 일반 수질평가체계(General Quality Assessment Scheme, GQA)를 사용했으나, 현재는 대부분 WFD 기준으로 대체되었다(UKTAG 2014). 물환경의 종합적 상태 평가는 'Ecological Status(생태적 상태)'라는 개념을 사용하며, 이화학적 수질 환경기

Table 1. Status of aquatic ecosystem health survey system among various countries (Kristensen & Bøgestrand, 1996; MOE, 2024b)

Nation	Variables	Commencement year of biological assessment	Period	Sampling frequency	Survey site	Application of indice
United States (US)	Periphyton	1993	5 years	1/years	1,924	Multimetric index
	Macroinvertebrate					
	Fish					
European Union (EU)	Phytoplankton	2000	Phytoplankton: 6 month Others: 3 years			Ecological status
	Macrophyte					
	Periphyton					
	Macroinvertebrate					
	Fish					
South Korea	Periphyton	2007	3 years	2/years	Total 3,035 sites 1,035 site/years	Biological index
	Macroinvertebrate					
	Fish					
Germany	Phytoplankton	1976	3 years		12,342	Saprobic index Multimetric index
	Macrophytes					
	Periphyton					
	Macroinvertebrate					
	Fish					
Austria	Macroinvertebrate	1968	2 years			Macroinvertebrate Saprobic index
	Macroinvertebrate	1991			244	
	Phytobenthos					
Belgium	Macroinvertebrate	1980	3 years	1/years	Walloon region 350 sites	Belgium Biotic Index
	Macrophytes					
	Phytoplankton					
	Macroinvertebrate	1989	Not every year	1/years	Flanders part 900 sites	
Denmark	Macroinvertebrate	1989	Every year	1~2/years	10,000	
	Macroinvertebrate	1989		2/years	261	
	Phytobenthos					
Ireland	Macroinvertebrate	1971	~1993 : every 4 years 1994~ : every 3 years	1/years (June, September)	Approx. 3,000	
	Macrophytes					
	Phytoplankton					
Luxembourg	Macroinvertebrate	1972	Every 3 to 5 years			Belgium Biotic Index
	Macrophytes					
	Phytoplankton					
Spain	Macroinvertebrate	1980	Every 3 to 5 years	4/years	847	Biological monitoring working party (BMWP)
United Kingdom (UK)	Macroinvertebrate	1970	~1995 : every 5 years 1995~ : Every 3 years	2/years (Spring, Autumn)	Approx. 8,300	Biological monitoring working party (BMWP)

Table 1. Continued

Nation	Variables	Commencement year of biological assessment	Period	Sampling frequency	Survey site	Application of indice
France	Benthic diatom	1971			1,082	Biological Diatom Index
	Invertebrate					
	Fish					
Netherlands	Macroinvertebrate	1992	Annually or in a 4 year cycle	1~13/years	35 streams	
	Fish					
	Phytoplankton					
	Zooplankton					
	Macrophytes					
Sweden	Macroinvertebrate	1994	Every years Macrophytes (3 years)	1/years	15 streams	
	Fish					
	Periphyton					
	Macrophytes					

준(용존 산소(DO), 생화학적 산소요구량(BOD), 암모니아)과 생물학적 요소를 연계하여 적용하고 있다.

프랑스의 물관리 체계는 Agence de l'Eau(수자원청)와 Ministère de la Transition Écologique(생태 전환부)가 관리하고 있으며, WFD 기준에 따라 물의 질을 모니터링하고 있다(Agence de l'Eau 2020). 생물학적 평가 대상 생물군은 어류, 부착돌말류, 저서성 대형무척추 동물이며, 이러한 생물군의 상태를 기반으로 하천과 호수의 생태적 상태를 평가한다. 또한, 프랑스는 물리적 훼손, 농업에서 발생하는 부영양화 및 화학 오염 등을 주요 평가 대상으로 삼고 있다.

네덜란드는 물관리에서 Rijkswaterstaat(국가 물관리청)이 중심 역할을 하며, WFD를 통해 생태적 수질관리 목표를 설정하고 있다(Rijkswaterstaat 2019). 그들은 저서성 대형무척추동물, 어류, 대형 식물 등을 주요 생물학적 평가대상으로 삼고 있으며, 광범위한 수질 모니터링 네트워크를 운영하여 국가 전역의 수역 상태를 조사하고 있다. 수질평가의 중요한 요소로는 수위 조절, 오염 방지, 그리고 해수면 상승에 대한 대응 등이 포함된다.

스웨덴은 Swedish Agency for Marine and Water Management(해양 및 물 관리청)를 통해 수질 관리와 모니터링을 수행하며, WFD 기준에 따라 수역의 생태적 상태를 평가하고 있다(SwAM 2019). 생물학적 평가 대상 생

물군으로 저서성 대형무척추동물, 어류, 수생식물 등을 사용하며, 주요 대상으로는 부영양화, 유기 오염물, 농업 및 산업 오염을 포함한다. 또한, 하천, 호수, 연안 수역을 구분하여 각 수역별로 맞춤형 생태적 상태 평가를 수행한다.

이와 같이, 우리나라를 포함하여 미국 및 유럽연합의 여러 국가들은 생물을 이용하여 수체의 상태를 평가하고 있으며, 모니터링 대상 생물의 범위는 하천생태계 먹이사슬의 생산자(Phytoplankton, Periphyton, Macrophyte)와 소비자(Macroinvertebrate, Fish)를 포함한다. 이 중에서 각국은 상황에 따라 전부 혹은 일부를 이용한다. 그러나 대체로 부착조류, 저서성 대형무척추동물, 어류를 가장 많이 이용한다. 평가 주기는 보통 3년으로 하고 있으며 빈도는 년 1~2회 정도가 일반적이다. 평가의 방법은 해당 생물을 이용하여 개발된 생물지수를 이용하며, 각 국가의 모니터링 정보는 Table 1에 제시하였다.

우리나라의 수생태계 건강성 평가는 부착돌말류, 저서성 대형무척추동물, 어류 등을 포함한 생물학적 지표 이용 측면에서 유럽 수준에 근접했으나, 유럽의 WFD나 미국 EPA와 비교시 장기 데이터 구축과 정책 연계 및 복원 체계가 미흡한 실정이다. 하지만 전국적으로 생물측정망 구축과 과학적 접근 방식에서 강점을 보여, 장기 데이터 구축과 환경영향평가 고도화, 하천

복원 체계 등의 정책 활용 연계가 필요할 것으로 판단 된다.

## 2. 국내 ‘하천의 이용 및 개발사업’ 내 수생태계 건강성 평가 수행 결과

1980년부터 2022년까지 환경영향평가 정보지원시스템(Environmental Impact Assessment Support System, EIASS) 데이터 베이스에서 ‘하천의 이용 및 개발사업’은 총 108개 사업(1980~1999년 19개, 2000~2009년 21개, 2010~2022년 68개)으로 파악되었으며, 2010년 이후로 증가하는 추세를 보였다. 하천의 이용 및 개발사업은 2000년도 이후 하천관리를 중심으로 증가하였다(Figure 1). 2010년대에는 68개 사업이 대부분 하천환경 정비사업, 하천정비사업, 생태하천 복원사업으로서 하천사업의 생태적 효과 및 개선에 대한 관심이 증대되고 있는 것으로 파악되었다.

2000년 이후(2000~2022)에 수행된 ‘하천의 이용 및 개발’ 사업 내에서 육수생물상 평가가 존재하는 사업은 총 89개로 파악되었으며, 환경영향평가서 내 동·식물상 조사결과에서 수생생물(부착돌말류, 저서성 대형무척추동물, 어류) 기반의 생물지수 활용현황을 분석

하였다.

총 89건 사업에 대해 이용된 생물지수의 종류는 부착돌말 분야의 DAIPo, TDI, 저서성 대형무척추동물 분야의 ESB (Ecological Score of Benthic macroinvertebrates), AESB (Average Ecological Score of Benthic macroinvertebrate community), TESB (Total Ecological Score of Benthic macroinvertebrate community), KSI, GPI (Graded Pollution Index), BMI, BMWP, BI (Biotic Index), 어류 분야의 IBI, FAI로 나타났다. 수생태계 생물지수 활용은 총 131건이었으며, 부착돌말류 35건, 저서성 대형무척추동물 75건, 어류 21건으로 나타났다. 생물분야별로 가장 많이 활용된 지수로는 TDI(부착돌말류)가 22건, IBI(어류)가 19건, ESB(저서성 대형무척추동물)가 35건이었다(Table 2). 저서성 대형무척추동물 지수의 경우 KSI가 27건으로, 환경영향평가사업에서 활용된 생물지수의 대부분이 수생태계 건강성 평가에서 사용되고 있는 지수로 확인되었다(MOE 2024a). 이러한 결과로 판단할 때, 수생태계 건강성 평가 방법이 환경영향평가에서도 활용되고 있는 것으로 확인되었다. 연도별 생물지수 활용건수 변화를 살펴볼 때, 전국적으로 4대강 살리기 사업이 시작됨에 따라 2009년도에 가장 많은 활

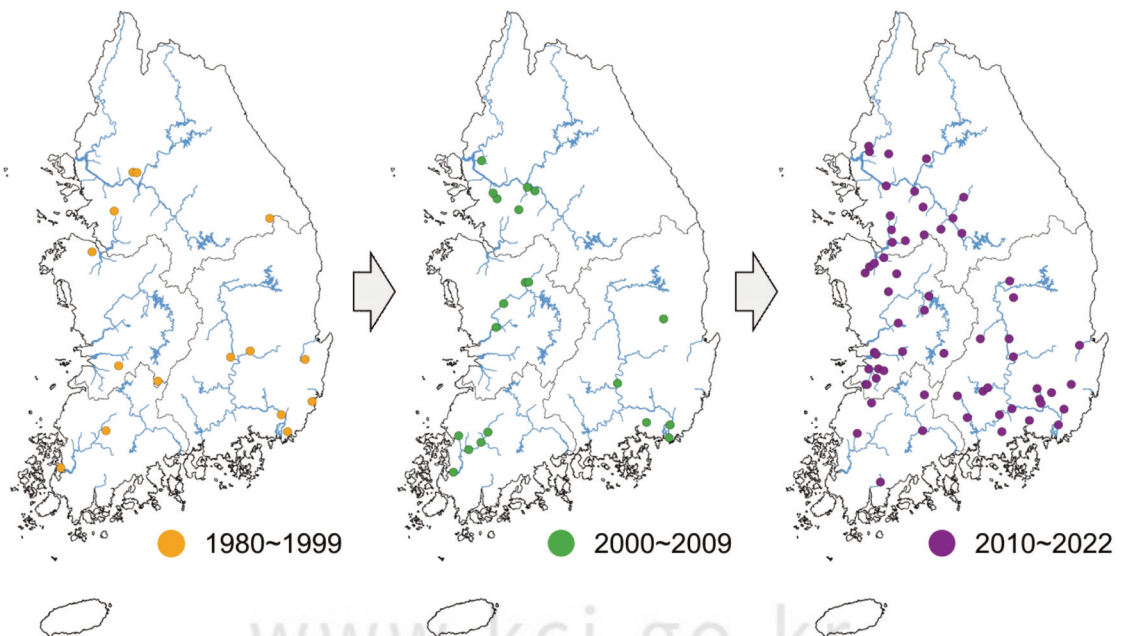


Figure 1. The temporal change in the number of projects for 'the use and development of river sector'



Table 2. Biological indices used in EIA reports during 2000~2022 (Project name: Use and development of river sector)

Aquatic organisms	Index name	Number of index applied	Reference
Benthic diatom	DAIpo (Diatom assemblage index of organic water pollution)	13	Watanabe et al. (1986)
	TDI (Trophic Diatom index)*	22	MOE (2024a)
Benthic Macroinvertebrate	ESB (Ecological score of benthic macroinvertebrate community)	35	Kong et al. (1997)
	FBI (Family biotic index)	1	Hilsenhoff (1988)
	BI (Biotic Index)	1	Tsuda (1964)
	KSI (Korean Saprobic Index)*	27	Won et al. (2006)
	GPI (Group Pollution Index)	3	Yoon et al. (1992c)
	BMI (Benthic Macroinvertebrates Index)*	5	Kong et al. (2018)
	AESB (Average Ecological Score of Benthic Macroinvertebrate Community)	1	Kong et al. (2018)
	TESB (Total Ecological Score of Benthic Macroinvertebrate Community)	1	Kong et al. (2018)
	BMWP (Biological Monitoring Working Party)	1	Hawkes (1997)
	Fish	IBI (Index of Biological Integrity)*	19
FAI (Fish Assessment Index)*		2	MOE (2024a)

\*Biological assessment indices consistent with or in previous forms within the biological monitoring network

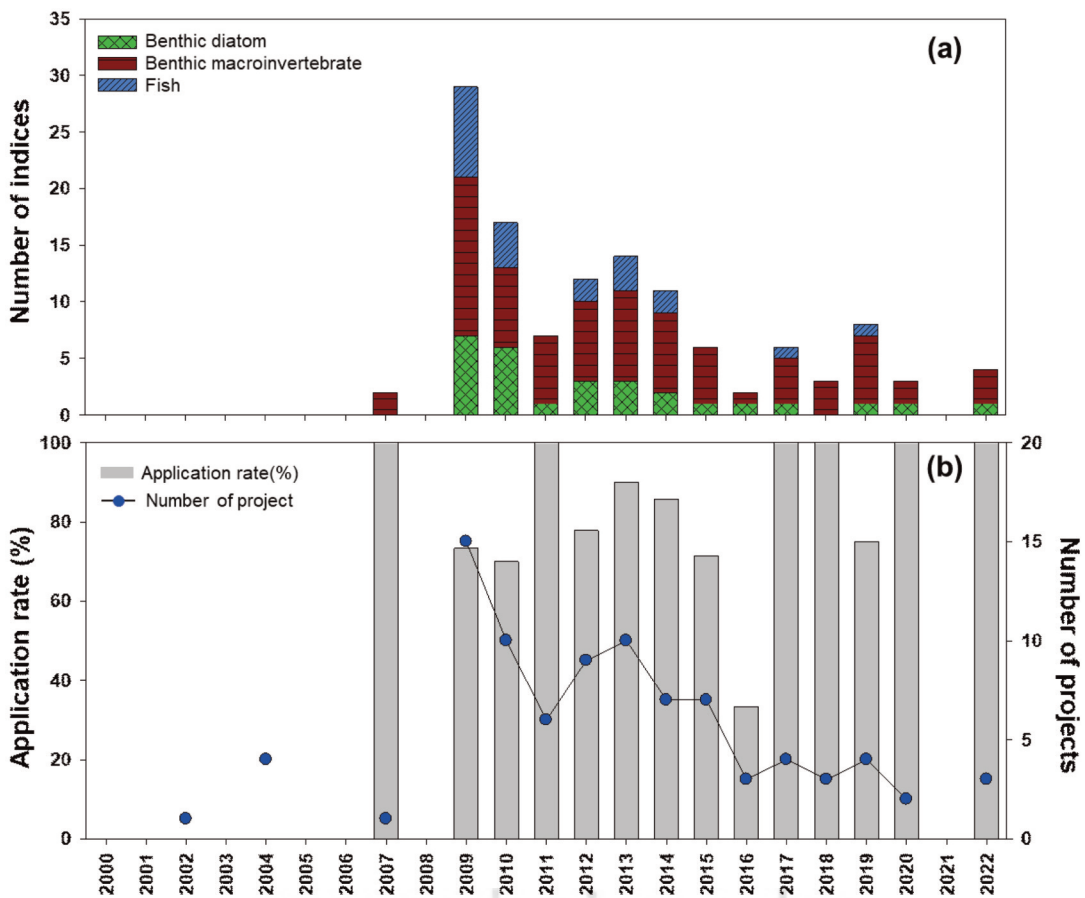


Figure 2. The temporal change of number of biological indices(a) used in the project (Use and development of river sector) and application rate of biological indices(b) during 2000~2022

용건수를 보였다(Figure 2). 국가 “하천 수생태계 현황 조사 및 건강성 평가”가 시행된 2007년 이후로 진행된 ‘하천의 이용 및 개발사업’에서 생물지수를 활용하여 평가를 한 사례가 60% 이상으로 나타난 결과는 수생태계 수준의 환경영향평가의 중요성을 반증하는 것이다(Figure 2).

‘하천의 이용 및 개발사업’ 평가서 내 초안 검토의견, 전략환경영향평가 협의내용(사전환경성검토), 평가항목·범위 등의 심의 결과 내에서 수생태계 건강성 평가 관련 의견 및 반영 여부를 파악한 결과, 수생태계 관련 검토 및 협의 의견으로는 육수생물상 조사, 수생태계 건강성 평가, 하천생태계 건전성 조사, 생태적 지수 평가, 생태하천복원사업 업무지침에 따른 조사 등 총 5가지

의견으로 나타났다. 2000년 이후에 시행된 89개의 사업 중 25개 사업에서 수생태계 관련 의견이 존재하였고, 이 중 수생태계 건강성 평가 1건 미반영을 제외하고 모두 반영된 것으로 확인되었다. 협의 의견 별로는 육수생물상 조사는 17건, 하천생태계 건전성 파악 2건, 수생태계 건강성 평가 6건으로 육수생물상 조사 및 수생태계 건강성 평가의 경우 중복 의견이 존재하였다. ‘하천의 이용 및 개발사업’은 대부분 생태하천 또는 하천정비사업이 주를 이루었다. 몇몇 사업의 의견에서 수생태계의 중요성을 강조하였으나 생물학적 건강성보다는 수질에 대한 의견이 대부분으로 나타나, 개발사업이 수생태계에 미치는 영향에 대한 실질적인 효과 평가에 어려움이 있는 것으로 판단되었다(Table 3).

Table 3. Review and consultation opinion on aquatic ecosystem in EIA reports (Project name: Use and development of river sector)

Year	Project name	Index name	Consultation and review opinion	Action on the opinion
2004	Seongdeok Multipurpose Dam Construction Project	-	Survey of aquatic biota	Comply
2004	Anyang Stream Natural Type River Development Project	-	Survey of aquatic biota	Comply
2007	Gyeongancheon Stream Purification Project	ESB, BI	Survey of aquatic biota, Ecosystem health assessment	Comply
2009	Geumgang Restoration Project Zone 10 (Miho 2nd District)	DAIpo, TDI, KSI, IBI	Survey of aquatic biota	Comply
2009	Geumgang Restoration Project Zone 3 (Kyungang District)	DAIpo, TDI, KSI, IBI	Survey of aquatic biota	Comply
2009	Geumgang Restoration Project Zone 6 and 7 (Cheongnam and Gongju districts)	DAIpo, TDI, KSI, IBI	Survey of aquatic biota	Comply
2009	Nakdonggang River Restoration Project (area 2)	ESB, KSI, IBI	Survey of aquatic biota	Comply
2009	Nakdonggang River Restoration Project (area 1)	DAIpo, ESB, KSI	Survey of aquatic ecosystem integrity	Comply
2009	Yeongsangang River Restoration Project (Zone 1 and 2)	-	Survey of aquatic biota, Ecosystem health assessment	Comply
2009	Yeongsangang River Restoration Project (Zone 6, 7, 8)	DAIpo, TDI, ESB, KSI	Ecosystem health assessment	Comply
2009	Han River Restoration Project	DAIpo, TDI, KSI, IBI	Survey of aquatic biota, Ecosystem health assessment	Comply
2010	Geumgang River Restoration Project Phase 2 (Seocheon District and 7th District)	DAIpo, TDI, KSI, IBI	Survey of aquatic biota	Comply
2010	Seomjingang River Ecological Restoration Project	DAIpo, ESB	Survey of aquatic biota	Comply
2011	Gobu, Wonpyeongcheon Maintenance Project	ESB	Survey of aquatic biota	Comply

Table 3. Continued

Year	Project name	Index name	Consultation and review opinion	Action on the opinion
2011	Changwon and Namcheon Ecological River Restoration Project (Reconciliation)	ESB	Survey of aquatic biota	Comply
2011	Hwanggujicheon Stream Environment Maintenance Project	GPI	Survey of aquatic biota	Comply
2012	Gyeongancheon Stream Environment Maintenance Project (Seoha, Gyeongan District)	ESB	Survey of aquatic biota	Comply
2012	Cheongmicheon River Environment Maintenance Project (Jangan, Jeomdong, Notap and Onam District)	ESB	Survey of aquatic biota	Comply
2013	Sincheon Ecological River Restoration Project (Previous, Sincheon Natural River Purification Project)	ESB	Assessment of ecological index	Comply
2014	Gaecheon Ecological River Restoration Project	KSI	Guidelines for ecological stream restoration project	Comply
2014	Naeseongcheon River Environment Maintenance Project (Yonggung, etc District)	TDI, KSI, IBI	Survey of aquatic biota	Comply
2014	Dongjin River Environment Maintenance Project (Yeonpo, etc District)	ESB	Survey of aquatic ecosystem integrity	Comply
2015	Gamcheon (National River Section) River Maintenance Project	KSI	Ecosystem health assessment	Comply
2019	Seomgang River Maintenance Project (Wonju, etc District)	-	Ecosystem health assessment	Not comply
2022	Dongchangcheon Disaster Risk Area Maintenance Project	TDI, AESB	Ecosystem health assessment	Comply

Remarks) DAIPo: Diatom Assemblage Index to organic Pollution, TDI: Trophic Diatom Index, ESB: Ecological Score of Benthic macroinvertebrates, AESB: Average Ecological Score of Benthic macroinvertebrate community, TESB: Total Ecological Score of Benthic macroinvertebrate community, KSI: Korean Saprobic Index, GPI: Graded Pollution Index, BMI: Benthic Macroinvertebrate Index, BMWP: Biological Monitoring Working Party Score, BI: Biotic Index, IBI: Index of Biological Integrity, FAI: Fish Assessment Index

### 3. 환경영향평가 내 수생태계 건강성 평가 활용 및 개선 방안

생태계는 생물과 비생물적 요소들로 구성된 시스템이며, 생태계의 상태에 대한 평가는 다양한 생물적 및 비생물적 요인들을 이용할 수 있다. 생태계의 건강성은 생물적 요인들이 기반이 되기 때문에, 비생물적(예를 들면, 수질) 요소들로는 생태계 건강성을 직접 평가할 수 없다(Karr 1981; Dembowska 2021; Lee et al. 2023; Harvey et al. 2023). 물환경에 대한 개발사업의 영향평가는 전통적으로 수질 요인들을 위주로 수행했다(Canter, 1982., Petts, 2009). 한편, 생물학적 요인들은 종풍부도와 다양성 등 생물군집의 구조적 측면을 대상으로 조사하여왔기 때문에 생태계의 기능적 상태를 반영하는

건강성에 대한 평가는 매우 제한적이었다(Kwon et al. 2006; Koo & Lee 2012; Chun et al. 2015). 그러나 2000년대 이후로 하천사업과 연관된 환경영향평가에서 수생생물을 이용한 생태계 건강성 평가의 빈도가 높아지고 있다. 이는 물환경보전법과 시행규칙 내에 수생태계 건강성의 개념과 조사평가에 대한 내용을 포함한 법제화의 영향이 크다고 판단되며, 동시에 사업의 환경영향을 파악함에 있어 생태계 수준 평가와 대책의 중요성에 대한 인식의 개선을 반영하는 것이다. 그러나 이러한 변화에도 불구하고 현재 환경영향평가 제도에서는 그 변화를 반영하지 못하고 있다.

본 연구에서는 환경부의 생물측정망 제도화(2016) 이전에 하천생태계 건강성 평가가 시작된 2008년부터

2022년까지 사업 전·후의 상태 비교가 가능한 ‘하천의 이용 및 개발 사업’을 검토하였다. 이 중에서 ‘금강살리기 행복지구 생태하천 복원사업’을 대상으로 사업 이전과 이후에 수생태계 건강성과 수질 변화 차이의 비교 분석을 통해 개발 사업이 수생태계에 미치는 영향을 파악하고, 그 중요성과 활용성을 제시하고자 하였다. ‘금강살리기 행복지구 생태하천 복원사업’은 2009~2011년에 걸쳐 진행된 사업으로, 사업구간 내에 8개(조천1-2, 청원-2, 청원-3, 삼성천(금남), 제천, 연기, 용수천(금남), 금남1)의 국가 생물축정망 지점이 존재하였으며, 이 중 2008년도부터 2022년까지 지속적으로

조사가 진행된 조천1-2, 연기, 용수천(금남) 지점을 대상으로 사업 전·후 수질 및 수생태계 건강성 변화를 분석하였다.

금강살리기 행복지구 생태하천 복원사업 시행 후 일시적으로 악화했던 영양염류 농도를 비롯한 수질 요인들은 사업 이후 서서히 개선되었다. 수생태계 건강성을 반영하는 생물요인들을 이용한 평가 결과, 부착돌말, 저서성 대형무척추동물, 어류지수 모두 사업 기간 동안에 악화되었다. 수질과 밀접한 관계를 나타내는 부착돌말지수(TDI)의 경우 사업기간 동안 급격히 감소하였다가 이후 회복되는 것으로 나타났다(Figure 3). 특히, 부

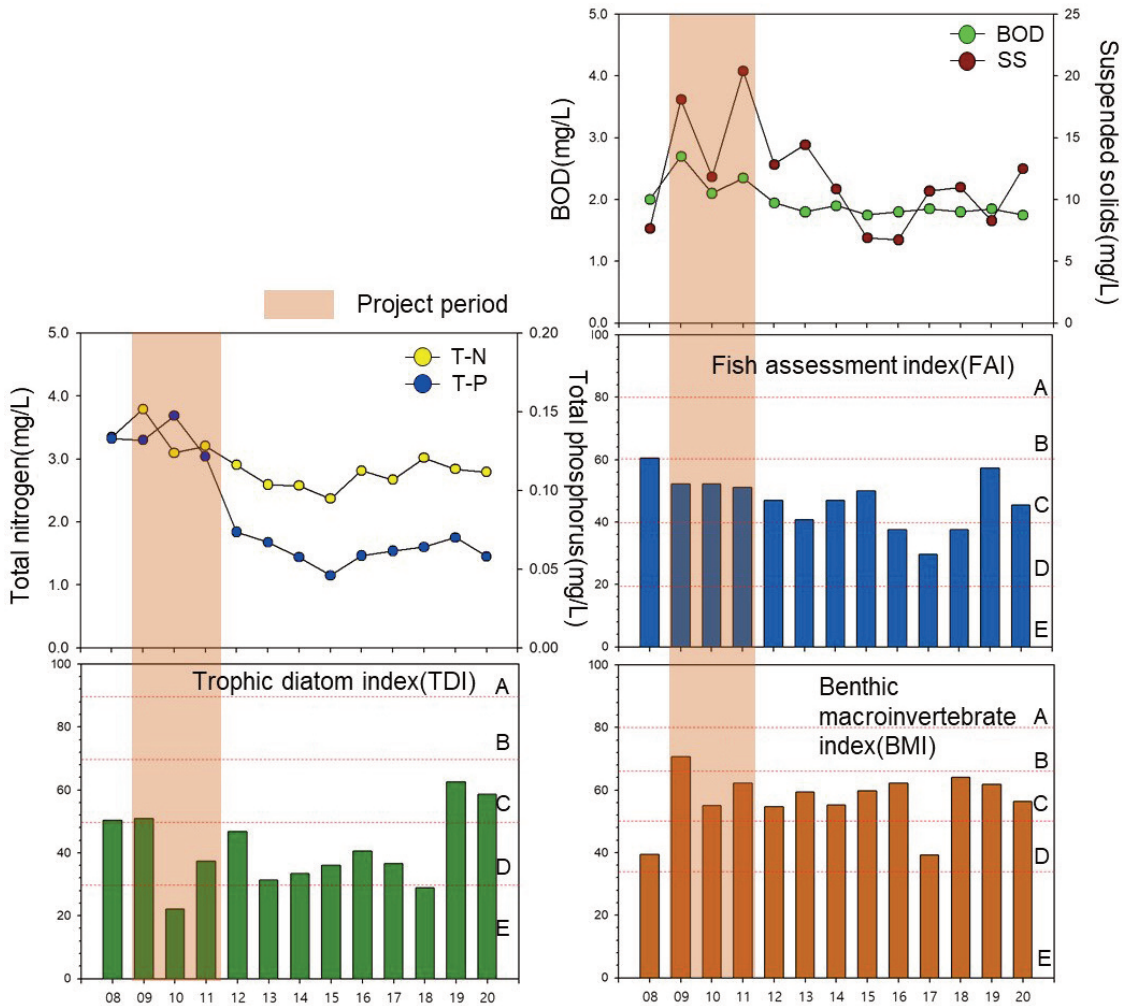


Figure 3. Application process of aquatic ecosystem health assessment within the EIA projects (Ecological River Restoration Project - Geum River).

착돌말류는 담수생태계에서 영양염 변화에 대한 효율적인 생물학적 지표로 활용되며(Kelly & Whitton 1995; Kelly et al. 1998; Kafouris et al. 2019), 부착돌말지수(TDI)는 사업 전·후의 영양염 변화를 반영하였다. 저서동물지수(BMI)의 경우, 사업 시행 이후 일시적으로 감소하였으나, 사업 전후 비교에서는 큰 변동을 나타내지 않았다. 저서성 대형무척추동물은 수질개선과 하천서식환경의 복원이 병행되었을 때 건강성이 증진되는 것으로 알려져 있으며(Kim et al. 2016; Jung et al. 2022), 사업시행시 일시적으로 높은 부유물질 농도를 나타낸 것을 제외하고 양호한 수질을 나타내 저서동물지수(BMI)가 수환경을 반영하는 것으로 판단되었다. 어류지수(FAI)는 사업 시행 이후로 악화되었으며, 이는 보 건설로 인한 유량변화, 물리적 서식지 구조 변화가 내성종의 증가와 총식종 감소 등 어류 군집에 악영향을 준 것으로 판단되었다(Lee et al. 2013). 결론적으로, 사업 시행 이후 준설을 통한 하도정비, 인공습지 조성, 자연습지 복원을 통해 수질은 개선되었으나, 보의 건설, 준설 등으로 인한 물리적 서식환경 교란으로 인해 생물 서식환경과 수생태계 건강성 측면에서는 개선되지 못한 것으로 나타났다(Figure 3). 하천복원 사업으로 인한 하도복원과 부유물질 농도 감소는 저서성 대형무척추동물의 종다양성과 건강성을 개선시켰으나, 유기물과 영양물질 농도가 감소하여도 하도개선이 미미하고 수변중심의 복원 공사가 이루어진 구간에서는 저서성 대형무척추동물 군집이 단순해지는 것으로 나타났다(Kim et al. 2016). 이에 따라 하천생태계의 복원은 인간 중심이 아닌 수생물 중심의 복원계획과 평가 지표가 필요한 것으로 판단된다.

2008년 전국 하천에 대해 640개 지점의 조사로 시작된 하천 수생태계 건강성 평가 사업은 2016년부터는 3,000여 개로 지점이 대폭 증가하였고(국가 생물측정망 도입), 물환경측정망 내에서 가장 많은 조사지점을 포함하여 전국적으로 대부분 하천을 대상으로 조사 평가가 진행되고 있다(MOE 2024b). 2010년대 이후 대부분의 하천개발사업은 생물측정망 지점이 포함되어, 수생태계 건강성 평가 자료를 활용할 수 있다. 현재 환경영향평가 규정에서는 공사 시, 사후영향평가에서 조사된 자료를 통한 평가만 이루어지고 있어 개발사업 이전

과 이후를 포함한 종합적인 영향평가에 한계가 있다. 따라서, 수생태계 건강성 평가자료의 추가 및 활용을 통해 개발사업 전·후의 수생생물이 포함된 수생태계의 종합적인 환경영향평가가 가능하다. 대표적으로, 4대강 정비사업(4대강 살리기, 2009~2010)은 대규모 하천 개발사업으로서 하천 준설, 보 건설 등에 의한 수질 변화와 수생태계 건강성 악화에 대한 우려가 제기되어, 하천정비사업의 수질 및 수생태계 분야 사후모니터링 방안에 관한 연구(KEI 2011), 4대강 물환경 개선 중심의 수량 및 수질 통합관리 정책연구(KEI 2012), 4대강사업 조사평가보고서(MOLIT 2014) 등에 수생태계 건강성 자료가 활용되었다. 이에 따라, 향후 환경갈등 문제에 대한 대처방안 수립, 사후영향평가 활용방안 마련 등 큰 효과를 기대할 수 있을 것이다. 외국의 경우에도 부착돌말류 지수를 하천에서 수질기준과 비교 검증을 통해 환경영향평가 내 활용에 관한 연구(Venkatachalapathy & Karthikeyan 2015)와 누적영향평가에서 어류 온전성지수(IBM), 저서성대형무척추동물 온전성지수(B-IBM)를 적용하는 연구(Canter & Atkinson 2011) 등 생물학적 평가가 고려되었다.

현재 국내 환경영향평가 평가항목중 육수생물상(자연생태환경 분야 내 동·식물상 항목) 자료는 출현종(분류군), 개체수, 우점종 등 생물군집의 구조적인 정보만을 제공하며, 다양한 환경요인들에 대한 생물의 반응을 반영하는 생태계 수준의 영향을 직접적으로 평가할 수 있는 항목은 부재한 실정이다. 수생태계 건강성 지표는 물환경 보전법(제9조 3항, 제10조의 2 제1항)에 따라 법적인 근거에 따라 시행되고 있으며, 현재 중권역별 물환경 목표기준에는 2018년 1월 18일부터 '물환경 보전법' 제10조의 2 제1항에 따라 「중권역별 수질 및 수생태계 목표기준」(환경부고시 제 2017-71호)을 개정하여 목표기준에 수생태계 건강성 지표 중 하나인 어류생물지수를 도입하였다. 하지만 현재 환경영향평가 평가항목에는 수생태계 평가항목이 정규 항목으로 포함되지 않아 법적인 연계성을 가지지 못하고 있는 상황이다.

현재 환경영향평가서 등 작성 등에 관한 규정(환경부고시 제 2021-300호)에서는 환경영향평가서 작성시 “제7조(환경 현황 조사) ① 환경 현황 조사는 환경영향

평가 등의 평가대상지역에 대해 현지조사(탐문조사 포함)와 문헌조사를 병행함을 원칙으로 하되, 평가대상 지역의 인근에 해당 지역의 환경 현황을 대표할 수 있는 국가 환경데이터베이스 또는 환경공간정보, 문헌 등의 자료가 있는 경우에는 이를 활용하여 조사할 수 있다”로 규정되어 있다. 하지만, 현재 환경영향평가서 평가준비서의 작성 방법(제26조 관련, 별표 5)에서 조사항목 내 수생태계 평가 관련 항목이 없으며, 조사방법 내 참고문헌에서도 수생태계 건강성 보고서(환경부)만 명시하여 실질적 활용이 어렵다. 이에 따라, 환경현황조사시 문헌조사에서 국가환경 데이터 베이스인 “물환경정보시스템”내 수생태계 건강성 조사 및 평가 자료(생물측정망)의 활용은 거의 없다. 세부적으로 환경영향평가서 등 작성 등에 관한 안내서에서는 “환경영향평가법”과 “환경영향평가서 등의 작성 등에 관한 규정(고시)”의 내용에 대해 다양한 예시 등을 참고자료로 제공하고 있다. 자연생태환경 분야 내 수생태 분야 평가시 수생태계 건강성 조사 및 평가(생물측정망)에서의 생물지수가 제공되고 있으나, 지침으로서의 강제성은 없어 조사 진행에 혼란을 야기할 수 있으며, 그에 따라 환경영향평가시 활용은 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현재 ‘물환경보전법’과 관련 시행규칙에 근거하여 현재 식물상, 육상동물상, 육수생물상으로 구성된 자연생태환경 동식물상 내 수생태계 건강성을 평가할 수 있는 지표의 도입을 제안한다

(Figure 4). 즉, 육수생물상 뿐만아니라 수증생물(부착돌말, 저서성대형무척추동물, 어류)을 이용한 건강성 평가지표를 도입한다면, 현재 환경영향평가 체계 내에서 단편적인 수질평가의 한계를 극복하는 수생태계 수준의 종합적인 영향 평가가 가능해지며, 또한 사회적 환경갈등의 효과적 대응과 사후 추가 조사비용 절감 등 환경적 효과뿐만 아니라 사회·경제적 효과를 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

#### IV. 결론

본 연구는 국내 환경영향평가 체계 내에서 수생태계에 대한 환경영향 평가의 필요성을 강조한다. 이에 대한 근거로서 미국과 유럽 등 선진 외국의 수생태계 건강성 평가 사례와 국내의 하천개발사업과 관련된 기존의 환경영향평가서를 분석하였다. 선진 외국에서는 개발사업에 따른 생태적 영향 평가(생물지수를 활용한 수생태계 건강성 평가)를 시행하고 있으며, 따라서 국내에서도 환경영향평가에 수생태계 건강성 평가 내용을 포함하는 것이 바람직하다고 판단된다. 또한, 환경영향평가 보고서에서도 2000년대 이후 하천에서 개발사업의 증가와 함께 사업의 생태적 효과에 대한 인식과 기대가 높아지고 있으며, 이에 따라 생태학적 영향 평가 의견이 점차 증가하고 있다. 2007년부터 환경부

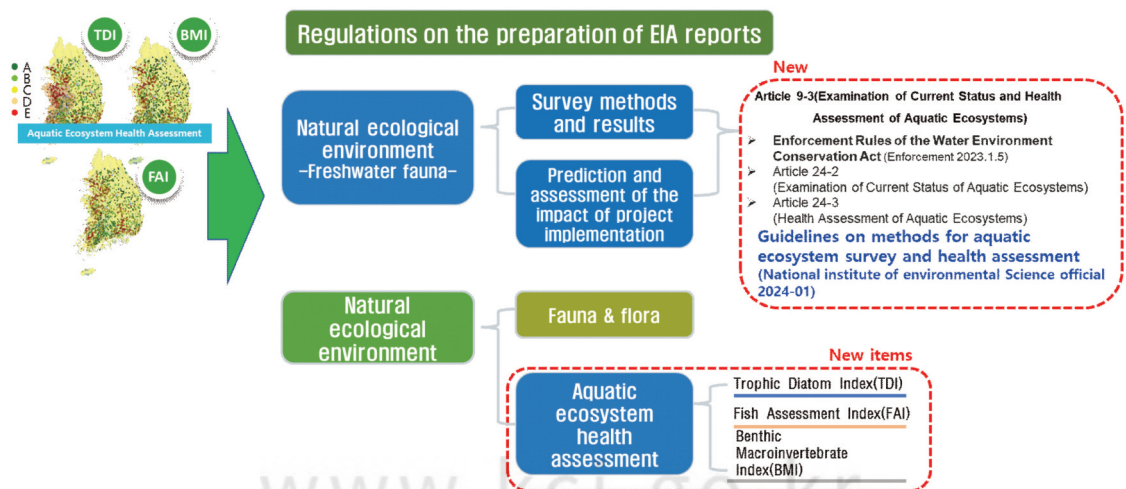


Figure 4. Improvement measures of aquatic ecosystem assessment in the EIA.

의 수중 생물을 이용한 하천의 건강성 조사 및 평가 (2016년부터 물환경측정망 내 생물측정망으로 제도화)가 시행되면서 “하천의 이용 및 개발사업”의 환경영향평가지 생물학적 지수를 활용한 평가 사례가 증가하고 있다. 이는 수생생물을 포함한 생태계 수준의 환경영향평가의 중요성을 반증하는 것이다. 우리나라는 사업시행자가 환경영향평가의 주체이기 때문에 평가서에 대한 공정성 시비가 발생하고 있으며, 비용 절감의 사유로 평가서 부실 작성이 우려되고 있다. 또한 사후 환경영향조사에서 사업 완료 이후에 환경에 대한 생태학적 영향을 지속적으로 모니터링하여야 하나, 단순히 동·식물상 조사 결과만을 제시하여 생태적 영향을 파악하는데는 어려움이 있다. 따라서 환경영향평가 대상인 ‘하천의 이용 및 개발사업’에 있어서 수생생물 지수를 통한 수생태계 평가 도입이 시급하다. 나아가 데이터 기반의 수생태계 건강성 예측 모델 개발을 통해 개발사업이 환경뿐 만 아니라 수생태계 건강성에 미치는 영향을 예측함으로써 생태계 영향 완화 및 관리에 대한 효율적 전략을 수립하는데 활용하여야 한다.

## 사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 ‘ICT기반 환경영향평가 의사결정 지원 기술개발 사업’의 지원을 받아 연구되었습니다.(2020002990009)

## References

- Agence de l'Eau. 2020. Rapport de la qualite des eaux en France. Available from: <https://www.eaufrance.fr/>
- An KG, Jung SH, Choi SS. 2001. An Evaluation on Health Conditions of Pyong-Chang River using the Index of Biological Integrity (IBI) and Qualitative Habitat Evaluation Index (QHAI), Korean Journal of Limnology, 34(3); 153-165. [Korean Literature]
- Arle J, Mohaupt V, Kirst I. 2016. Monitoring of surface waters in Germany under the water framework directive - a review of approaches, methods and results. Water, 8(6); 217.
- Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD, Strubling JB. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in wadeable streams and rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, 2nd ed. EPA 841-B-99-002. US Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington DC.
- Bonada N, Prat N, Resh VH, Stutzner B. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. Annual Review of Entomology, 51; 495-523.
- Canter LW. 1982. Environmental impact assessment. Impact Assessment, 1(2); 6-40.
- Canter LW, Atkinson SE. 2011. Multiple uses of indicators and indices in cumulative effects assessment and management. Environmental Impact Assessment Review, 31(5); 491-501.
- Chandler JR. 1970. A Biological Approach to Water Quality Management, Water Pollution Control, 69(4), 415-422.
- Choi JG, Park JH, Lee BK. 2019. The future of Korea's environmental impact assessment system, Environmental Forum 234; 1-22. [Korean Literature]
- Choi JG, Park JH. 2015. Practical Strategies for the Improvement of Environmental Impact Assessment Follow-up, 930-1055. [Korean Literature]
- Chun SH, Kim CB, Kim WR, Park, SG, Chae SK. 2015. Analysis of Stream Environmental Assessment Systems in Korea: Focus on the Biological Aspect. Ecology and Resilient Infrastructure, 2(2); 108-117. [Korean Literature]
- Chung J. 1987. An assesment of water quality by epilithic diatoms of Hyungsan River water-system. Algae, 2(1); 139-146. [Korean Literature]
- Dembowska EA. 2021. The Use of Phytoplankton in the Assessment of Water Quality in the Lower Section of Poland's Largest River. Water, 13(23); 3471.

- Esty DC, Levy M, Srebotnjak T, De Sherbinin A. 2005. Environmental sustainability index: benchmarking national environmental stewardship. New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy, 47, 60.
- European Committee for Standardization (CEN). 2010. Water quality – Guidance standard for the routine sampling and preparation of benthic macroinvertebrates, EN 27828.
- European Environment Agency (EEA). 2018. European waters - Assessment of status and pressures, EEA Report No. 7.
- European Union Water Framework Directive (WFD). 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy.
- Federal Environment Agency (UBA). 2016. Water Resource Management in Germany. Part 2: Water Quality; Available from: <https://www.umwelt.bundesamt.de/publikationen/water-resource-management-in-germany-part-2>
- Harvey JW, Conaway CH, Dornblaser MM, Gellis AC, Stewart AR and Green CT. 2023. Knowledge gaps and opportunities in water-quality drivers of aquatic ecosystem health. US Geological Survey Open-File Report, 1085; 72.
- Hawkes HA. 1997. Origin and Development of the Biological Monitoring Working Party Score System, *Water Research*, 32(3); 964-968.
- Hellawell JM. 1986. *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*, Elsevier Applied Science Publishers, London, England, 1-546.
- Hilsenhoff WL. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society*, 7(1); 65-68.
- Hwang SJ, Kim NY, Yoon SA, Kim BH, Park MH, You KA, Lee HY, Kim HS, Kim YJ, Lee JH, Lee OM, Shin JK, Lee EJ, Jeon SL, Joo HS. 2011. Distribution of benthic diatoms in Korean rivers and streams in relation to environmental variables. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*. 47(S1); S15-S33.
- Jung SW, Kim YH, Lee JH, Kim DG, Kim MK, Kim HM. 2022. Biodiversity Changes and Community Characteristics of Benthic Macroinvertebrates in Weir Section of the Nakdong River, South Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology*. 36(2); 150-164. [Korean Literature]
- Kafouris S, Smeti E, Spatharis S, Tsirtsis G, Economou-Amilli A, Danielidis DB. 2019. Nitrogen as the main driver of benthic diatom composition and diversity in oligotrophic coastal systems. *Science of the Total Environment*, 694; 133773.
- Karr JR. 1981. Assessment of Biotic Integrity using Fish Communities, *Fisheries*, 6(6); 21-27.
- Karr JR. 1991. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. *Ecological Applications*, 1(1); 66-84.
- Kelly MG, Whitton BA. 1995. The trophic diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology*, 7; 433-444.
- Kelly MG, Cazaubon A, Coring E, Dell'Uomo A, Ector L, Goldsmith B, Guasch H, Hurlimann J, Jarlman A, Kawecka B, Kwadrans J, Laugaste R, Lindstrom EA, Leitao M, Marvan P, Padisak J, Pipp E, Prygiel J, Rolt E, Sabater S, van Dam H, Vizinet J. 1998. Recommendations for the routine sampling of diatoms for water quality assessments in Europe. *Journal of Applied Phycology*, 10; 215-224.
- Kim NY. 2012. Study on the improvement of biological water quality assessment method using the distribution of benthic diatoms in Korean streams. Ph.D thesis Konkuk University. [Korean Literature]



- Kim PJ, Kim JY, Son SH, Won DH, Kong DS. 2016. Comparative analysis of benthic macroinvertebrate communities before and after the restoration project in the Kyoungan stream. *Journal of Korean Society on Water Environment*, 32(1); 15-22. [Korean Literature]
- Kong DS, Park YJ, Jeon YR. 2018. Revision of Ecological Score of Benthic Macroinvertebrates Community in Korea. *Journal of Korean Society on Water Environment*, 34(3); 251-269. [Korean Literature]
- Kong DS, Son SH, Hwang SJ, Won DH, Kim MC, Park JH, Jeon TS, Lee JE, Kim JH, Kim JS, Park JH, Kwak IS, Jun YC, Park YS, Ham SA, Lee JK, Lee SW, Park CH, Moon JS, Kim JY, Park HK, Park SJ, Kwon YJ, Kim PJ, Kim AR. 2018. Development of Benthic Macroinvertebrates Index (BMI) for Biological Assessment on Stream Environment, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 34(2); 183-201. [Korean Literature]
- Kong DS. 1997. Benthic Macroinvertebrate Fauna of Yesan, Seosan, Hongseong and Mountain Kayasan, *Natural Environment of Yesan, Seosan, Hongseong* (6-11, 12), 155-204. [Korean Literature]
- Kong DS., Son SH, Kim JY, Won DH, Kim MC, Park JH, Chon TS, Lee JE, Park JH, Kwak IS, Kim JS, Ham SA. 2012. Development and Application of Korean Benthic Macroinvertebrates Index for Biological Assessment on Stream Environment, *Proceedings of the 2012 Spring Conference and water environmental forum of Yeongsan River*, Korean Society of Limnology, 33-36. [Korean Literature]
- Koo MH, Lee DK. 2012. A Study on the National and International Research Trend of Biodiversity Assessment method and Its Application of Environmental Impact Assessment. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 21(1); 119-132 [Korean Literature]
- Kristensen P, Bøgestrand J. 1996. Surface water quality monitoring. European Environment Agency
- Kwon YH, No TH, Lee HW, Jung HR. 2006. Introducing biodiversity items in environmental assessment. Korea Environment Institute(KEI). [Korean Literature]
- Kwon YS, An KG. 2006. Biological Stream Health and Physico-chemical characteristics in the Keum-ho River watershed, *Korean Journal of Limnology*, 39(2); 145-156. [Korean Literature]
- Lee EJ, Kim TY. 2021. Improvement of the Environmental Impact Assessment and Post-environment Impact Survey Reports Using Marine Environment Assessment Indices. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 30(2); 61-74 [Korean Literature]
- Lee JH, Han JH, Lim BJ, Park JH, Shin JK, An KG. 2013. Comparative analysis of fish fauna and community structures before and after the artificial weir construction in the mainstreams and tributaries of Yeongsan River watershed. *Korean Journal of Ecology and Environment*, 46(1); 103-115. [Korean Literature]
- Lee SW, Hwang SJ, Lee JK, Jung DI, Park YJ, Kim JT. 2011. Overview and application of the National Aquatic Ecological Monitoring Program (NAEMP) in Korea. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*. 47(S1); S3-S14.
- Lee SW, Kim JG, Seo JK. 2018. A Study on the Issues and Improvement of the Existing Environmental Impact Assessment System. *Journal of Environmental Science International*, 27(5); 281-289. [Korean Literature]
- Lee L., Liu S, Qiu X., Zhao R., Zhao Z., Wan Y, Cao Z. 2023. Development of Aquatic Index of Biotic Integrity and Its Driving Factors in the Diannong River, China. *Water*, 15(6); 1130. Ministry of Environment (MOE). 2023. Guideline for

- Preparing environmental Impact Assessment Report. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). 2024a. Biomonitoring survey and assessment manual. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). 2024b. Water Environment Monitoring Network Installation and Operation Plan. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). 2006. Development of Comprehensive Water Environment Evaluation Methods (III). [Korean Literature]
- Omernik JM, Griffith GE. 2014. Ecoregions of the conterminous United States: Evolution of a hierarchical spatial framework. *Environmental Management*, 54(6); 1249-1266.
- Petts J. 2009. *Handbook of Environmental Impact Assessment, Volume 2: Impact and Limitations*.
- Rijkswaterstaat. 2019. Water Quality Monitoring in the Netherlands. <https://www.rijkswaterstaat.nl/>
- Swedish Agency for Marine and Water Management (Havochvatten, SwAM). 2019. Implementation of the EU Water Framework Directive in Sweden. <https://www.havochvatten.se/>
- Tsuda M. 1964. *Biology of Polluted Waters*, Hokuryukan, Tokyo, 1-258.
- United Kingdom Technical Advisory Group on the Water Framework Directive(UKTAG). 2014. *Biological Standards for the Assessment of Water Quality*.
- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). 2002. *Biological assessments and criteria: Crucial components of water quality programs*. Report EPA 822-F-02-006. US Government Printing Office, Washington, DC.
- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). 2018. *Guidelines for Preparing Environmental Impact Statements*. Available from: <https://www.epa.gov/nepa/national-environmental-policy-act-review-process>
- Venkatachalapathy R, Karthikeyan P. 2015. Diatom indices and water quality index of the Cauvery River, India: implications on the suitability of bio-indicators for environmental impact assessment. *Environmental Management of River Basin Ecosystems*, 707-727.
- Watanabe T, Asai K, Houki A. 1986. Numerical estimation to organic pollution of flowing water by using the epilithic diatom assemblage—diatom assemblage index (DAIpo)—. *Science of the Total Environment*, 55; 209-218.
- Watanabe T. 1990. Attached diatoms in Lake Mashuu and its value of the diatom assemblage index of organic water pollution (DAIpo). *Diatom*, 5; 21-31.
- Wolf MJ, Emerson JW, Esty DC, Sherbinin AD and Wendling ZA. 2022. 2022 Environmental Performance Index (EPI) results. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy.
- Won DH, Jun YC, Kwon SJ, Hwang SJ, Ahn KG, Lee JK. 2006. Development of Korean Saprobic Index using Benthic Macroinvertebrates and Its Application to Biological Stream Environment Assessment, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 22(5); 768-783. [Korean Literature]
- Woodiwiss FS. 1978. *Comparative Study of Biological-Ecological Water Quality Assessment Methods*. Second Practical Demonstration, Summary Report, Commission of the European Communities.
- Wui IS, Ra CH, Choi CG, Baik SK. 1983. Studies on the aquatic insects of the Tamjin River, *Korean Journal of Ecology and Environment*, 16(1); 33-52. [Korean Literature]
- Wui IS. 1974. The Biological Estimation of Water Pollution Levels on the Benthos Fauna of the Yenong-san River. *Korean Journal of Ecology and Environment*, 7(3-4); 29-36. [Korean Literature]

Yeom DH, An KG, Hong YP, Lee SK. 2000. Assessment of an Index of Biological Integrity (IBI) using Fish Assemblages in Keum-Ho River, Korea, Korean Journal Environment Biology, 18(2); 215-226. [Korean Literature]

Yoon IB, Kong DS, Ryu JK. 1992a. Studies on the Biological Evaluation of Water Quality by Benthic Macroinvertebrates (1) Saprobic Valency and Indicative Value, Korean Society of Environmental Biology, 10(1); 24-49. [Korean Literature]

Yoon IB, Kong DS, Ryu JK. 1992b. Studies on the

Biological Evaluation of Water Quality by Benthic Macroinvertebrates (2) Effects of Environmental Factors to Community, Korean Society of Environmental Biology, 10(1); 40-55. [Korean Literature]

Yoon IB, Kong DS, Ryu JK. 1992c. Studies on the Biological Evaluation of Water Quality by Benthic Macroinvertebrates (3) Macroscopic Simple Water Quality Evaluation, Korean Society of Environmental Biology, 10(2); 77-84. [Korean Literature]

Appendix 1. Biological indices using in stream/river ecosystem health assessment and index scores to each grade with environmental status in Korea (MOE, 2024a)

Grade (Environmental status)	Biological indices		
	TDI	BMI	FAI
A (Very Good)	$90 \leq \sim \leq 100$	$80 \leq \sim \leq 100$	$80 \leq \sim \leq 100$
B (Good)	$70 \leq \sim < 90$	$65 \leq \sim < 80$	$60 \leq \sim < 80$
C (Fair)	$50 \leq \sim < 70$	$50 \leq \sim < 65$	$40 \leq \sim < 60$
D (Poor)	$30 \leq \sim < 50$	$35 \leq \sim < 50$	$20 \leq \sim < 40$
E (Very Poor)	$0 \leq \sim < 30$	$0 < \sim < 35$	$0 \leq \sim < 20$

\* TDI: Trophic Diatom Index; BMI: Benthic Macroinvertebrate Index; FAI: Fish Assessment Index

Appendix 2. Equations of biological indices (TDI, BMI) using in stream/river ecosystem health assessment in Korea (MOE, 2024a)

Biological index	Equations
Trophic Diatom Index (TDI)	$TDI = 100 - \{(WMS \times 25) - 25\}$ $WMS = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot S_i \cdot V_i}{\sum_{i=1}^n A_i \cdot V_i}$ <p>where,                      WMS: weighted mean sensitivity                      i = Number assigned to the species                      A<sub>i</sub> = Relative abundance of the species in sample, %                      S<sub>i</sub> = Pollution sensitivity of the species, 1 ≤ S ≤ 5                      V<sub>i</sub> = Indicator value of the species, 1 ≤ V ≤ 3</p>
Benthic Macroinvertebrate Index (BMI)	$BMI = \left( 4 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot H_i \cdot G_i}{\sum_{i=1}^n H_i \cdot G_i} \right) \times 25$ <p>where,                      i = Number assigned to the species                      n = Number of indicator species                      S<sub>i</sub> = Saprobic value of the species                      H<sub>i</sub> = Frequency of the species                      G<sub>i</sub> = Indicator weight value of the species</p>

Appendix 3. Equations of multimetric index(FAI) using in stream/river ecosystem health assessment in Korea (MOE, 2024a)

Biological index	Equations
Fish Assessment Index (FAI)	$FAI = M1 + M2 + M3 + M4 + M5 + M6 + M7 + M8$

Category	Stream order	score			Category	Stream order	score		
		0	6.25	12.5			0	6.25	12.5
Metric1(M1): Number of Korean native species	1	0~1	2	> 2	Metric3(M3): Number of sensitive species	1	0	1~2	> 2
	2	0~2	3~5	> 5		2	0	1~3	> 3
	3	0~4	5~8	> 8		3	1	2~4	> 4
	4	0~5	6~11	> 11		4	1	2~4	> 4
	5	0~7	8~14	> 14		5	1	2~4	> 4
	6	0~9	10~18	> 18		6	0	1~3	> 3
	7	0~11	12~22	> 22		7	0	1~2	> 2

Category	Stream order	score			Category	Stream order	score		
		0	6.25	12.5			0	6.25	12.5
Metric2(M2): Number of riffle-benthic species	1	0	1	> 1	Metric7(M7): Total number of individuals	1	0~10	11~20	> 20
	2	0	1~2	> 2		2	0~30	31~55	> 55
	3	0	1~2	> 2		3	0~50	51~90	> 90
	4	1	2~3	> 3		4	0~60	61~115	> 115
	5	0	1~2	> 2		5	0~80	81~160	> 160
	6	0	1~2	> 2		6	0~100	101~200	> 200
	7	0	1	> 1		7	0~120	121~240	> 240

Category	score			Category	score		
	0	6.25	12.5		0	6.25	12.5
Metric4(M4): Proportion of tolerant species individuals	> 70	70~30	< 30	Metric6(M6): Proportion of Korean native insectivores individuals	< 20	20~45	> 45

Category	score			Category	score		
	0	6.25	12.5		0	6.25	12.5
Metric5(M5): Proportion of omnivores individuals	> 70	70~30	< 30	Metric8(M8): Proportion of abnormal individuals	> 1	$1 \geq \sim > 0$	0