



A study on indicator & criteria for assessment of river environmental naturalness - focused on biological characteristics

Chun, Seung Hoon^{a*}

^aProfessor, Department of Landscape Architecture, Gachon University, Seongnam, Korea

Paper number: 19-051

Received: 23 July 2019; Revised: 18 September 2019; Accepted: 18 September 2019

Abstract

The purpose of this study is to provide the legal and institutional guidelines and standards that can be used in the whole river restoration project and to analyze and evaluate the performance of the river project. We constructed an assessment system of four biological taxa that can represent the river environments, namely, evaluation indexes and standards of vegetation and birds, benthic invertebrates and fishes. Specifically, the assessment indicator and criteria of biological characteristics are summarized, so that in case of vegetation community, vegetation diversity, vegetation complexity, and vegetation naturalness can be quantitatively assessed through the combination of three indices. Based on the scientific basis of the advanced techniques, benthic invertebrates, fishes, and birds were proposed to quantitatively evaluate assessment grades according to the classification of biological data. In order to evaluate biological characteristics, which are a part of river environmental naturalness, we proposed a comprehensive biological index and evaluation grade applying the weight of these four biological taxa, and it clearly reflects the characteristics of river environment in test bed.

Keywords: River environment, Vegetation, Birds, Benthic invertebrates, Fishes, Assessment indicator & criteria, Biological index

하천환경 자연도의 평가지표 및 기준 연구 - 생물적 특성을 중심으로

전승훈^{a*}

^a가천대학교 조경학과 정교수

요 지

본 연구는 하천복원사업의 전 과정에서 활용될 수 있는 법·제도적 지침과 기준을 제공하고 하천사업의 성과를 진단·평가할 수 있는 한국형 표준화된 하천환경 평가체계 구축과정의 일환으로서 하천생태계의 수변 및 수서환경을 대변할 수 있는 4개의 생물 분류군, 즉 식생과 조류, 그리고 저서 무척추동물과 어류의 평가지표 및 기준 등 평가체계를 구축하였다. 구체적으로 생물적 특성의 평가지표 및 기준을 정리하면, 식생의 경우 식생 다양도와 식생 복잡도, 그리고 식생 자연도 등 3가지 지수의 조합을 통한 하천 식생군집의 구조적 특성을 정량적으로 평가할 수 있도록 하였다. 저서 무척추동물과 어류, 그리고 조류의 경우도 선진 기법의 과학적 근거를 바탕으로 우리나라 하천특성에 적합하도록 생물적 자료의 평가등급 설정에 따른 정량적인 생물지수 평가법을 제안하였다. 아울러 하천환경 자연도의 한 부문인 생물적 특성의 평가를 위하여 이들 4개 생물분류군의 가중치를 적용한 종합 생물지수 및 평가등급화 방안을 제시하였으며, 이에 대한 시험하천의 적용결과에서도 생물분류군 간 비교적 일관성 있게 하천환경의 특성을 반영하고 있는 것으로 분석되었다.

핵심용어: 하천환경, 평가지표 및 기준, 식생, 조류, 저서 무척추동물, 어류, 하천기본계획

*Corresponding Author. Tel: +82-31-750-5263
E-mail: chunsh@gachon.ac.kr (S. H. Chun)

1. 서론

하천환경의 평가는 일차적으로 하천유역 및 주변 환경의 인위적인 이용과 교란에 따른 하천생태계의 총체적인 변화를 진단하는 것이며, 이는 수리적 특성의 변화에 따른 수질과 생물 종 및 이들의 물리적 서식환경의 변화를 주로 파악하기 위한 목적을 지니고 있다.

하천환경 평가체계는 초기에는 하천의 생물적 및 화학적 특성의 평가가 중심을 이루었으나 점차 지형학적 특성을 고려한 하천 서식처 평가가 통합적으로 이루어지고 있으며, 특히 독일과 호주의 국가표준 하천환경 평가체계는 유역단위의 하천관리를 위하여 서식처의 질을 평가하는 체계로서 선행적으로 구축된 생물적 및 화학적 평가자료와 연계된 통합체계로 알려져 있다(Chun, 2000; Parsons and Norris, 2004; Belletti *et al.*, 2014; Chun, 2017).

우리나라의 경우 자연친화적 하천관리의 통합지침(MOLIT, 2012)에서 생물종 중심의 평가지표를 적용하면서 다양한 생물분류군을 포괄하고 있으나 평가기준의 경우 단순하게 생물 종 수 및 개체 수만을 고려하고 있으며, 또한 과학적 검증 및 실효성이 미흡한 것으로 판단되었다.

또한 하천 수생태계 건강성 조사 및 평가(MOE, 2011)의 경우 수질 및 수리 환경, 부작조류, 저서성 대형무척추동물, 어류, 서식 및 수변환경과 이를 통합한 수생태계 건강성 통합 평가로 총 6분야 23항목으로 구성되어 있는 것으로 분석되었다. 저서성 대형 무척추동물과 어류 분야는 수질과의 상관성이 밀접하며 다소 복잡한 세부기준으로 구성되어 있으며, 식생의 경우도 식생특성보다는 생물서식환경과 수변환경의 일부 평가항목에 반영된 상태였다. 궁극적으로 수질오염물질 총량관리 및 측정망 운영을 통한 수질 및 수생태계 목표수질의 고시나 목표기준의 결정 등에는 적용되고 있기 때문에 본 연구에서 접근하고 있는 목적이나 평가지표 및 기준 등의 평가방식과는 큰 차이가 있다고 할 수 있다.

최근 개정된 하천기본계획 수립지침(MOLIT, 2015)의 경우 하천환경 종합분석 및 평가에 이어 하천환경정비 및 관리 계획의 체계화에 따라 물리구조, 생물서식처, 수질분야의 평가지표 및 기준이 제시되고 있으며, 이를 바탕으로 한 하천환경 목표등급의 설정 등을 반영토록 하고 있다. 하지만 여전히 평가체계의 검증과 더불어 실효성 확보가 미흡한 수준이며, 나아가 하천정비 및 관리계획 수립과정에서 하천환경 종합계획과 하천공간 관리계획으로의 연계 및 통합적 접근에 필요한 세부적인 기준 역시 체계화되어 있지 못한 상태이다.

따라서 우리나라 하천환경 특성에 적합하면서도 하천사업

의 전 과정에서 일관성 있게 적용가능하고 정량적인 하천환경 목표 등급의 설정과 지구지정의 기준, 그리고 하천사업의 효과를 평가할 수 있는 국가 표준의 하천환경 평가체계의 구축이 시급하다고 판단된다.

본 연구는 하천복원사업의 전 과정에서 활용될 수 있는 법·제도적 지침과 기준을 제공하고 하천사업의 성과를 진단·평가할 수 있는 한국형 표준화된 하천환경 평가체계 구축과정(Chun, 2017; 2018)의 일환으로서 생물적 특성 분야를 중심으로 한 평가체계와 평가지표 및 기준을 제시하고자 하였다.

2. 연구재료 및 방법

2.1 생물적 특성의 평가체계 및 적용성 검토

2.1.1 평가분야의 확정

독일과 호주, 미국 등의 평가체계를 검토한 결과 생물적 특성과 수질 특성에 대한 평가가 우선적으로 이루어지고 있으며, 다음으로 물리적 특성을 중점적으로 다루고 있는 것으로 나타났다. 선행 연구인 한국형 하천환경 평가체계에서 하천생태계의 생물적 요인과 비생물적 요인을 종합적으로 반영하는 것이 필요하다고 판단한 바 있다(Chun, 2016; 2017).

따라서 본 연구에서 확정한 생물적 특성의 평가분야는 하천환경의 특성을 충분히 반영할 수 있도록 식생과 조류, 저서 무척추동물과 어류 등 4개의 분류군으로 설정하였다. 식생과 조류는 생산자와 최종소비자의 역할을 하면서 둔치 등 수변환경을 대표하고, 반면에 저서무척추동물과 어류는 수서환경과 이들의 먹이사슬 관계를 반영한다고 볼 수 있다.

2.1.2 평가지표 및 기준

(1) 식생

하천생태계의 물리적 실체인 하천식생군집의 평가를 통한 하천환경의 이해와 신속하고 정밀한 하천식생군집의 공간정보화에 역점을 두었으며, 상관-종조성 수준(physiognomic & floristic composition level)에서 최상층 우점 식생군집의 수평적 및 수직적 구조, 이들의 분포양상, 그리고 자연성을 시·공간적으로 파악하고자 하였다.

따라서 식생평가의 지표는 학술적으로 검증된 생태학적 지수로서 식생군집의 수평적 분포패턴에 따른 다양성을 정량적으로 파악할 수 있는 식생 다양도 지수(vegetation diversity index)와 하천생태계 고유의 수리적 특성과 연관성이 큰 식생군집의 수직적 구조를 파악하기 위하여 식생 복잡도 지수(vegetation complexity index)를 개발, 적용하였으며, 이외에도

우점식생의 인위적 교란여부를 판단할 수 있는 식생 자연도 지수 (vegetation naturalness index) 개념을 도입, 적용하였다.

(2) 저서 무척추동물

저서 무척추동물 평가체계는 하천 서식공간의 생물 분류군이 해당 수계의 다양한 환경인자들에 영향을 받으며 살아가는 특징을 반영하여 하천을 종합적으로 평가하여 그 결과를 파악하고자 하였다. 따라서 저서 무척추동물의 경우 과(Family) 수준의 내성치를 적용하여 해당 분류군의 우점종과 아우점종을 반영하는 평가체계로서 조사·평가의 신속성과 정확성 확보하고자 하였다.

본 연구에서 개발, 적용한 저서 무척추동물의 평가지표는 Hilsenhoff (Hilsenhoff, 1988) 등의 방법을 기준으로 Hauer and Lamberti (1996), Barbour *et al.* (1999), Bode *et al.* (1991)에서 제시한 각 분류군별 내성치를 활용하여 조정하였다.

(3) 어류

어류 평가체계는 어류의 분포특성이 서식지 수환경, 부영양화 정도, 수환경에 대한 민감도, 수질 오염에 대한 내성도 등에 따라 어종이 서식하고 있는 지역의 수환경 정도를 반영하므로 하천환경 진단에 과학적이며 객관적인 평가방안으로 활용할 수 있는 지표라 할 수 있다.

어류 종 생물 지수(Fish Species Biotic Index)는 어류의 서식지 수환경과 수질, 어종의 민감도와 내성도 등의 생태 특성을 반영하여 평가한 값으로서 Hilsenhoff (1982; 1988)의 방법을 우리나라 여건에 적합하도록 변경하였다.

(4) 조류

조류 평가체계는 조류 종 생물 지수(Avian Biotic Index)를 사용하며, 조류 종 생물지수는 크게 출현종, 개체수, 하천의 특성 및 군집간의 다양성을 평가하여 하천의 생물상 중 조류상을 신속, 정확하게 평가하는 기법이라 할 수 있다. 조류 종 생물 지수는 조류종의 개체군 부양능력(population support), 군집다양성(community diversity), 군집구성(community composition) 및 안정성(stability) 등의 평가지표를 종합적으로 적용할 수 있는 매트릭스 체계로서 기존의 조류평가기법(Young *et al.*, 2013; Bryce *et al.*, 2002)을 개량하여 우리나라 하천환경의 특성을 적절하게 반영할 수 있도록 고안하였다.

2.2 평가체계 및 적용성 검토

하천환경 평가체계에서 생물적 특성 평가는 평가분야인 생물 분류군별 평가점수에 따라 5등급으로 평가하도록 하였

다. 하천환경 평가체계에서 하천자연도 산정은 물리적 특성과 생물적 특성, 각 40%, 수질 특성, 20%의 가중치를 기준으로 산정하도록 정립되었다. 따라서 생물적 특성은 생물 분류군에 따라 식생과 어류, 각 30%, 저서 무척추동물과 조류, 각 20%의 가중치를 적용하여 종합평가하도록 고안하였다.

한편, 본 연구에서 제시한 평가지표 및 기준을 바탕으로 한 평가체계의 적용성 검토는 시험하천으로 설정한 금강유역 갑천 수계의 갑천 분류와 유등천의 국가하천구간에서 이루어졌다. 시험하천의 하천유형화 및 평가단위를 체계화 한 결과, 갑천의 경우 금강 합류부에서 두계천 합류부까지 국가하천 연장 L=33.53 km 구간의 하천유형은 Segment 2(완경사)의 8개 세 구간(reach) 및 6개의 아세구간(sub-reach)으로 분류되었다. 반면 유등천의 경우 갑천 합류부에서 금산군 진산면 부암리 부암교(신)까지 국가하천 연장 L=15.53 km, 지방하천 연장 L=22.07 km 총 연장 L=37.6 km 구간의 하천유형은 Segment 1과 2(중 · 완경사)의 15개 세구간(reach)으로 분류되었다.

아울러 생물적 특성의 각 분야별로 다른 하천에서 적용된 사례와 다른 평가체계의 적용사례와 비교, 고찰을 통해 본 연구의 타당성을 검토하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 생물적 특성의 평가지표 및 기준

3.1.1 식생

식생 평가지표(vegetation assessment indicator, VAI)는 식생 다양도 지수(vegetation diversity index, VDI), 식생 복잡도 지수(vegetation complexity index, VCI), 식생자연도 지수(vegetation naturalness index, VNI) 등 3개의 세부 지수로 구성되며, 각 세부지수는 측정된 값의 범위를 5 단계의 정량적 평가점수로 구분한 후, 식생 다양도, 식생 복잡도, 식생 자연도에 대해 각각 5%, 5%, 10%의 가중치를 적용하여 각 지수의 점수를 산출한 다음, 이들을 합산하여 최종 식생 평가지표의 종합점수를 산정하도록 하였다(Table 1).

구체적으로 살펴보면 식생 다양도는 일반적인 생태지수로서 확률론적 이론에 근거하여 개발된 Shannon-Wiener's diversity index (Martin and Paddy, 1992)를 적용하였으며, 식생군집의 종풍부도를 고려하여 최대 다양도 기준의 상대값을 반영하였다. 식생 다양도 지수는 표본조사구별 식물군집의 풍부도에 따라 5구간 척도로 구분하였으며, 표본조사구별로 계산된 식생다양도 지수는 Table 2에 제시된 평가기준의 해당 등급 점수로 산정된다. 식생다양도의 의미는 평가단

Table 1. Composition of vegetation assessment system

VAI (vegetation assessment indicator)	= <div> (VDI, vegetation diversity index) $VDI = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$ (Pi : Possibility of occurrence, Area of each vegetation community /Total area of All vegetation community) Horizontally diversity </div>	+ <div> (VCI, vegetation complexity index) $VCI = \sum_{i=1}^S \sum_{a=1}^n (L \times H) / A$ (L : circumference of surface area, H : Average height, A : Area of vegetation community) Vertical Diversity </div>	+ <div> (VNI, vegetation naturalness index) $VNI = \sum_{i=1}^S P_i \times k \times 100$ (k : A constant, Natural = 1, Semi-natural = 0.5, Artificial = 0) Natural Condition </div>
Total Score of VAI	5*Value of VDI + 5*Value of VCI + 10*Value of VNI		

Table 2. Criteria for vegetation diversity index based on vegetation richness

B \ A	2	3	4	5	6	7	8
5	0.55 ~ 0.69	0.88 ~ 1.1	1.11 ~ 1.39	1.29 ~ 1.61	1.43 ~ 1.79	1.56 ~ 1.95	1.66 ~ 2.08
4	0.42 ~ 0.54	0.66 ~ 0.87	0.83 ~ 1.10	0.97 ~ 1.28	1.08 ~ 1.42	1.17 ~ 1.55	1.25 ~ 1.65
3	0.28 ~ 0.41	0.44 ~ 0.65	0.55 ~ 0.82	0.64 ~ 0.96	0.72 ~ 1.07	0.78 ~ 1.16	0.83 ~ 1.24
2	0.14 ~ 0.27	0.22 ~ 0.43	0.28 ~ 0.54	0.32 ~ 0.63	0.36 ~ 0.71	0.39 ~ 0.77	0.42 ~ 0.82
1	0 ~ 0.13	0 ~ 0.21	0 ~ 0.27	0 ~ 0.31	0 ~ 0.35	0 ~ 0.38	0 ~ 0.41
B \ A	9	10	11	12	13	14	15
5	1.76 ~ 2.20	1.84 ~ 2.30	1.92 ~ 2.40	1.99 ~ 2.48	2.05 ~ 2.56	2.11 ~ 2.64	2.17 ~ 2.71
4	1.32 ~ 1.75	1.38 ~ 1.83	1.44 ~ 1.91	1.49 ~ 1.98	1.54 ~ 2.04	1.58 ~ 2.10	1.62 ~ 2.16
3	0.88 ~ 1.31	0.92 ~ 1.37	0.96 ~ 1.43	0.99 ~ 1.48	1.03 ~ 1.53	1.06 ~ 1.57	1.08 ~ 1.61
2	0.44 ~ 0.87	0.46 ~ 0.91	0.48 ~ 0.95	0.5 ~ 0.98	0.51 ~ 1.02	0.53 ~ 1.05	0.54 ~ 1.07
1	0 ~ 0.43	0 ~ 0.45	0 ~ 0.47	0 ~ 0.4	0 ~ 0.50	0 ~ 0.52	0 ~ 0.53

A: No. of Vegetation Community ; B : Grade Score

위내 분포하고 있는 전체 식생군집의 수와 각 군집의 분포면적을 기준으로 식생군집의 다양성을 파악할 수 있는 생태학적 지수로서 자연식생의 천이과정에 따른 현존 식생의 분포양상을 나타낸다 할 수 있다. 따라서 본 연구의 시험하천 적용에서 얻어진 최소 2개 식생군집에서부터 최대 15개 식생군집에 대해 최대 다양도 지수 기준의 상대 값을 적용하였다.

본 연구에서 최초로 정립된 식생 복잡도는 하천식생의 후기 천이단계의 특징이라 할 수 있는 하반림의 분포를 평가에 고려할 수 있는 지수로서 상대적으로 종 다양성이 높은 하반림은 하천지형의 특성에 따른 다양한 서식처들에 의해 형성된 것으로서 오랜 자연적 과정의 산물이라 할 수 있다는 사실 (Sakio and Tamura, 2008)을 고려하였으며, 또한 식생군집의 수평적 분포양상과 수직적 구조에 따른 공간적 이질성 (spatial heterogeneity)이 생물다양성 부양능력과 밀접한 상관관계가 있다는 경관생태학적 원리(Hunter, 1990; Chun *et al.*, 2015)에 근거하였다. 본 연구에서 제시된 식생 복잡도 지수는 교목, 관목, 초본 등의 성상별 식생패치와 식물군집의 수

직적 구조체를 지수화한 것으로 패치 및 식물군집의 지표면적 대비 지상 면적(둘레길이 × 높이)의 비율로서 계산되며, 계산된 지수 값은 클수록 높은 점수를 받을 수 있도록 평가기준의 5구간 척도로 구분하였다(Table 3).

식생 복잡도의 경우 식생군집의 천이과정에 따른 수직적 구조를 나타내는 것으로서 하반림이나 관목림, 또는 키가 큰 초본군집 등의 식생층 높이가 생태학적으로 중요하다는 점을 의미한다고 할 수 있다. 또한 우점종 중심의 식생군집 외에도 개체목의 형태로 분포하고 있는 식생패치도 고려함으로써 현존 식생의 특성을 최대한 반영하고자 하였다.

식생 자연도는 자연식생의 인위적인 교란정도를 나타내는 개념으로 식생의 자연성 분류는 미국의 표준 육상식생 평가체계의 3개 유형인 자연식생, 반 자연식생, 인공식생의 구분법에 근거한 것으로서 해당 식생군집별 식피율(%)에 자연성 상수(자연=1, 반자연=0.5, 인공=0)를 곱하여 계산하며, 계산된 지수 값은 클수록 높은 점수를 받을 수 있도록 5구간 척도로 구분하였다(Table 3).

Table 3. Total score of VAI & Criteria for VCI & VNI

Grade Score	Vegetation Complexity Index	Vegetation Naturalness Index	Total Score of VAI
5	5.0 ~	80 ~ 100	86 ≤
4	3.0 ~ 4.9	60 ~ 79	76 ≤ ~ 86 >
3	2.0 ~ 2.9	40 ~ 59	66 ≤ ~ 76 >
2	1.0 ~ 1.9	20 ~ 39	56 ≤ ~ 66 >
1	0.0 ~ 0.9	0 ~ 19	~ 55 >

한편 식생평가 지수의 적용성 검토는 단계별로 이루어졌는데, 우선적으로 갑천의 16개 하천 세구간과 유등천의 30개 하천 세구간에 적용한 결과에서도 모두 1등급(23개소)과 2등급(17개소)이 대부분을 차지하는 것으로 나타남으로서 세부 식생지수의 변별력이 매우 미흡한 것으로 판단되었다. 따라서 식생다양도의 지수에 대하여 최대다양도 지수 기준의 상대평가 체계로 전환하였으며, 식생복잡도 지수의 경우 하천 구간(segment)의 유형에 관계없이 일원화하면서 지수 값의 범위를 재조정하였고, 또한 식생평가지표의 종합점수도 최소 값과 최대 값의 범위를 기준으로 재조정하였다(Table 3, MOLIT, 2019).

최종적으로 개정된 식생평가체계를 갑천과 유등천에 적용한 결과 1등급 3개, 2등급 21개, 3등급 10개, 4등급 6개, 5등급 4개로 재조정됨으로서 평가등급간 변별력이 크게 개선되었으며, 이러한 결과는 이후 내성천, 남강, 벽계천, 왕피천, 그리고 요천 등 다양한 시험하천의 선별적인 평가단위의 적용에서도 현존 식생의 상태를 잘 반영하고 있는 것으로 확인되었다(MOLIT, 2019).

3.1.2 저서 무척추동물

저서무척추동물 평가지표는 하천, 강 단위 등 다양한 수계 환경을 대상으로 신속하고 간단한 분석을 위한 평가방법으로 저서무척추동물의 과(family) 수준에서 현장 조사하여 그들의 내성치(tolerance level)에 따른 점수를 계산하는 방식이다. 또한 중 수준에서의 어려운 동정의 문제점과 오류를 보완함과 동시에 현장에서 좀 더 용이하게 판별하고 내성도 값(tolerance values)이란 유기물 오염 등 각종 환경교란인자에 대한 생물분류군들의 민감도를 상대적으로 평가하여 제시한 값이라 할 수 있다(Table 4).

따라서 우리나라 하천환경에 서식하는 주요 저서 무척추동물의 50개 과(family)별 내성치의 범위를 11 단계(0~10단계)의 등급으로 구분한 후, 우점분류군의 가중치 및 아우점종의 점수를 부여하여 점수를 산출하도록 하였다(Tables 5 and 6). 따라서 서식환경교란에 대한 민감도를 반영한 내성치가 높은 분류군의 과 수준에서의 신속한 동정과 이를 반영하여 얻은 지수 값은 작을수록 높은 등급을 받으며, 이는 매우 양호한 환경상태를 나타낸다고 할 수 있다.

한편, 저서무척추동물 평가지수도 내성천, 남강, 광천, 섬강, 홍천강, 한탄강, 황강, 갑천 및 유등천 등 다양한 하천수계의 특성을 고려한 시험하천에 적용, 검토하였다. 이를 통해 아우점종에 비해 우점종의 가중치를 부여하였고, 평가대상 저서 무척추동물의 과(family)의 수도 38개에서 50개로 늘어났으며, 깔따구과와 하루살이과 등의 경우 중 수준으로의 내성치 조정이 이루어졌고, 평가등급의 지수 값 범위도 초기의 최소 0에서부터 최대 20.0까지 5등급의 점수기준에서 최소 0.0에서 최대 12.5로 조정되었다(Table 5, MOLIT, 2019).

Table 4. Composition of assessment indicator for benthic invertebrates

(BITI, Benthic invertebrates Tolerance Index)	=	(DFI, Dominant Family index) Tolerance Index of DF	+	(SFI, Subdominant Family index) Tolerance Index of SDF
Total score = [1.5*DFI + SFI] / 2				

Table 5. Grades by total score of benthic invertebrates tolerance index

Grade	Total Score of Benthic Invertebrates Tolerance Index	Environmental Condition
1	0.0-2.75	Very Good
2	2.76-5.5	Good
3	5.6-8.5	Common
4	8.6-10.5	Bad
5	10.6-12.5	Very Bad

Table 6. Tolerance index for fifty five families of benthic invertebrates (Hauer and Lamberti, 1996; Barbour *et al.*, 1999; Bode *et al.*, 1991)

Order	Family	TI	Order	Family	TI
Turbellaria	Planariidae	1	Plecoptera	Chloroperlidae	1
Mollusca	Physidae	8		Nemouridae	2
	Lymnaeidae	6		Perlidae	1
	Planorbidae	6		Perlodidae	2
	Pleuroceridae	4	Hemiptera	Corixidae	5
	Corbiculidae	4		Gerridae	5
	Unionidae	4	Coleoptera	Elmidae	4
Annelida	Hirudinea	8		Dytiscidae	5
	Tubificidae	10		Hydrophilidae	5
Crustacea	Asellidae	8		Psephenidae	4
	Gammaridae	4	Diptera	Chironomidae (red)	8
	Decapoda	6		Chironomidae (non-red)	6
Ephemeroptera	Ameletidae	0		Ceratopogonidae	6
	Siphonuridae	4		Dolichopodidae	4
	Baetidae	4		Tabanidae	6
	Ephemerellidae	1		Psychodidae	10
	Ephemeridae	4		Simuliidae	6
	Potomanthidae	4		Tipulidae	3
	Heptageniidae	4	Trichoptera	Glossosomatidae	0
	Leptophlebiidae	2		Hydropsychidae	4
	Caenidae	7		Lepidostomatidae	1
Odonata	Gomphidae	1		Limnephilidae	4
	Aeshnidae	3		Odontoceridae	0
	Calopterygidae	5		Rhyacophilidae	0
	Coenagrionidae	9		Hydroptilidae	4
	Libellulidae	9			

또한, 환경부의 수생태계 건강성평가의 적용하천과의 비교평가에서는 평가등급이 낮게 산출되는 등 전반적으로 양호하지 않게 나타나는 것으로 검토되었다(MOLIT, 2019).

3.1.3 어류

어류 종생물지수(Fish Species Biotic Index, FSBI)는 어류의 서식지 수환경과 수질, 어종의 민감도와 내성도 등의 생태 특성을 반영하여 평가하는 체계로서 어종별 10등급으로 점수화한 기준을 적용하여, 각 어종별 등급점수와 개체수를 이

용해 수환경과 연계하여 평가하는 방식이다(Table 7).

우리나라에 서식하는 담수어류를 대상으로 서식지, 유속, 수질, 내성도 등을 구분한 내용과 평가등급은 Table 8과 같으며, 평가 등급의 경우 생태적 특성 등을 종합한 다음, 다수의 어류전문가의 자문 및 시험하천의 적용성 검토를 거쳐 최종적으로 결정하였다. 따라서 Table 9에서 제시한 어류지수 값의 경우 1등급은 양호한 서식환경의 지표종의 출현이 많은 것으로 의미하여, 5등급의 매우 불량한 서식환경의 지표종 출현이 많은 것으로 나타낸다고 할 수 있다.

Table 7. Composition of assessment system by fish species biotic index

(FSBI, Fish Species Biotic Index)	:	Ecological Characteristics by Fish Species Sensitivity & Tolerance Water Condition	=	Assessment Grade by Fish Species 10 Grades by Fish Species
-----------------------------------	---	---	---	---

$FSBI = (n1 \times t1) + (n2 \times t2) + \dots + (nx \times tx) / N$ <p>(n1, n2, nx: population of species of order 1, 2, x ; t1, t2, tx: Grade of species of order 1, 2, x, N: Total population)</p>				
--	--	--	--	--

Table 8. Assessment grade of freshwater fish species by biotic index in Korea

No.	Grade 1	Grade 2
1	<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	<i>Pseudopungtungia tenuicarpa</i>
2	<i>Cottus koreanus</i>	<i>Pseudopungtungia nigra</i>
3	<i>Onchorhynchus mykiss</i>	<i>Orthrias nudus</i>
4	<i>Rhynchocypris semotilus</i>	<i>Silurus microdorsalis</i>
5	<i>Rhynchocypris steindachneri</i>	<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>
6	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	<i>Koreocobitis nakdongensis</i>
7	<i>Onchorhynchus masou masou</i>	<i>Liobagrus mediadiposalis</i>
8	<i>Ladislavia taczanowskii</i>	<i>Orthrias toni</i>
9	<i>Phoxinus phoxinus</i>	<i>Zacco koreanus</i>
10	<i>Brachymystax lenok tsinlingensis</i>	<i>Liobagrus andersoni</i>
Total	10 species	10 species
No.	Grade 3	Grade 4
1	<i>Coreoperca herzi</i>	<i>Coreoperca kawamebari</i>
2	<i>Pseudobagrus brevicarpus</i>	<i>Gobiobotia macrocephala</i>
3	<i>Lamptera reissneri</i>	<i>Odontobutis obscura</i>
4	<i>Gobiobotia brevibarba</i>	<i>Pseudobagrus koreanus</i>
5	<i>Odontobutis platycephala</i>	<i>Pungtungia herzi</i>
6	<i>Acheilognathus signifer</i>	<i>Microphysogobio koreensis</i>
7	<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	<i>Iksookimia pacifica</i>
8	<i>Iksookimia pumila</i>	<i>Lefua costata</i>
9	<i>Liobagrus somjingensis</i>	<i>Siniperca scherzeri</i>
10	<i>Kichulchoia multifasciata</i>	<i>Iksookimia longicarpa</i>
11	<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>
12	<i>Hemibarbus mylodon</i>	<i>Kichulchoia brevifasciata</i>
13	<i>Onchorhynchus keta</i>	<i>Hemibarbus longirostris</i>
14	<i>Iksookimia koreensis</i>	<i>Lamptera japonicus</i>
15	<i>Liobagrus obesus</i>	<i>Cottus hangiongensis</i>
16	<i>Rhodeus pseudosericeus</i>	
Total	16 species	15 species
No.	Grade 5	Grade 6
1	<i>Cobitis hankugensis</i>	<i>Pungitius sinensis</i>
2	<i>Squalidus gracilis majimae</i>	<i>Zacco temminckii</i>
3	<i>Iksookimia hugowolfeldi</i>	<i>Gymnogobius petschiliensis</i>
4	<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	<i>Gymnogobius urotaenia</i>
5	<i>Microphysogobio yaluensis</i>	<i>Squalidus japonicus coreanus</i>
6	<i>Iksookimia yongdokensis</i>	<i>Gymnogobius opperiensis</i>
7	<i>Ssuogobio dabryi</i>	<i>Cobitis choii</i>
8	<i>Rhinogobius brunneus</i>	<i>Odontobutis interrupta</i>
9	<i>Anguilla japonica</i>	<i>Acheilognathus somjinensis</i>
10	<i>Hypomesus nipponensis</i>	<i>Pungitius kaibarae</i>
11	<i>Acheilognathus yamatsutae</i>	<i>Squalidus multimaculatus</i>
12	<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>	<i>Cobitis lutheri</i>
13	<i>Acheilognathus majusculus</i>	<i>Cobitis tetralineata</i>
14	<i>Gobiobotia nakdongensis</i>	<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>
15		<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>
16		<i>Acheilognathus koreensis</i>
17		<i>Zacco platypus</i>
Total	14 species	17 species

Table 8. Assessment grade of freshwater fish species by biotic index in Korea (Continue)

No.	Grade 7	Grade 8
1	<i>Acheilognathus chankaensis</i>	<i>Rhinogobius giurinus</i>
2	<i>Rhodeus uyekii</i>	<i>Repomucenus olidus</i>
3	<i>Acheilognathus rhombeus</i>	<i>Tridentiger obscurus</i>
4	<i>Leiocassis ussuriensis</i>	<i>Trachidermus fasciatus</i>
5	<i>Tribolodon brandti</i>	<i>Gymnogobius castaneus</i>
6	<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	<i>Hemibarbus labeo</i>
7	<i>Rhodeus notatus</i>	<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>
8	<i>Pseudogobio esocinus</i>	<i>Microphysogobio jeoni</i>
9	<i>Anguilla marmorata</i>	<i>Acanthogobius flavimanus</i>
10	<i>Luciogobius guttatus</i>	<i>Tridentiger bifasciatus</i>
11	<i>Tridentiger brevispinis</i>	<i>Takifugu niphobles</i>
12	<i>Abbottina springeri</i>	<i>Leucopsarion petersii</i>
13	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	<i>Synechogobius hasta</i>
14	<i>Acheilognathus macropterus</i>	<i>Takifugu obscurus</i>
15	<i>Tribolodon hakonensis</i>	<i>Acanthogobius lactipes</i>
16	<i>Rhodeus ocellatus</i>	
Total	16 species	15 species
No.	Grade 9	Grade 10
1	<i>Erythroculter erythropterus</i>	<i>Channa argus</i>
2	<i>Lateolabrax japonicus</i>	<i>Chelon haematocheilus</i>
3	<i>Squaliobarbus curriculus</i>	<i>Oreochromis niloticus</i>
4	<i>Gymnogobius taranetzi</i>	<i>Eleotris oxycephala</i>
5	<i>Oryzias sinensis</i>	<i>Chelon affinis</i>
6	<i>Monopterus albus</i>	<i>Carassius cuvieri</i>
7	<i>Leiocassis nitidus</i>	<i>Periophthalmus modestus</i>
8	<i>Micropterus salmoides</i>	<i>Silurus asotus</i>
9	<i>Culter brevicauda</i>	<i>Misgurnus mizolepis</i>
10	<i>Abbottina rivularis</i>	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>
11	<i>Macropodus ocellatus</i>	<i>Carassius auratus</i>
12	<i>Lepomis macrochirus</i>	<i>Hyporhamphus quoyi</i>
13	<i>Hemiculter bleekeri</i>	<i>Mugil cephalus</i>
14	<i>Oryzias latipes</i>	<i>Coilia nasus</i>
15	<i>Aphyocypris chinensis</i>	<i>Cyprinus carpio</i>
16	<i>Konosirus punctatus</i>	<i>Cyprinus carpio</i>
17	<i>Lateolabrax maculatus</i>	<i>Microperops swinhonis</i>
18	<i>Gnathopogon strigatus</i>	<i>Leiognathus nuchalis</i>
19	<i>Boleophthalmus pectinirostris</i>	<i>Hyporhamphus intermedius</i>
20	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>	<i>Pseudolashbora parva</i>
21	<i>Hemiculter leucisculus</i>	<i>Periophthalmus magnuspinnatus</i>
22		<i>Hyporhamphus sajori</i>
Total	21 species	22 species

Table 9. Grade by total score of FSBI & environmental condition

Grade	Total Score of FSBI	Environmental Condition
1	1.00 ~ 4.00	Very Good
2	4.01 ~ 5.00	Good
3	5.01 ~ 6.00	Common
4	6.01 ~ 7.00	Bad
5	7.01 ~ 10.0	Very Bad

한편, 어류의 종 생물지수도 내성천, 남강, 광천, 탄천, 갑천 및 유등천 등 다양한 하천수계의 특성을 고려한 시험하천에

적용, 검토하였다. 이를 통해 평가대상 어류 종의 수도 143종에서 156종으로 확대되었으며, 시험하천에 대한 조사결과와 전문가 자문, 문헌자료 등을 통하여 대상 어종의 평가 등급을 조정하여 일부 수정과정을 거쳤다(Table 8, MOLIT, 2019).

3.1.4 조류

조류 평가지표는 개체군 부양능력, 군집 다양성, 군집 구성(수변조류 비율), 군집 안정성을 매트릭스화한 지수를 발굴, 사용하였으며 이에 대한 점수 체계를 도입하여 간편하고 정량적인 분석이 가능하도록 하였다(Table 10).

Table 10. Composition of assessment system by avian biotic index

Matrix	Biological Condition Scoring Criteria			
	6	4	2	0
A. Population support				
a-1. Population density (Population / 1 km ²)	>1000	300-1000	50-299	<50
a-2. Number of Species (No. Spp. / 10 km ²)	>35	20-35	10-19	<10
a-3. Max. population size	>10000	1000-10000	100-999	<100
B. Community diversity				
b-1. Diversity index (H')	> 3	2-3	1-1.9	< 1
b-2. Species richness index	> 3	2-3	1-1.9	< 1
C. Community composition				
c-1. Ratio of waterborne birds (%)	> 50	25-50	10-24.9	< 10
D. Community Stability				
d-1. Species evenness	> 0.5	0.3-0.5	0.2-0.29	< 0.2

Table 11. Grade by total score of ABI & biological condition

Grade	Total Score of ABI	Biological Condition
1	35-42	Most Favorable
2	27-34	Slightly Favorable
3	16-26	Moderately Favorable
4	8-15	Severely Favorable
5	0-7	Least Favorable

조류 중 생물지수는 개체군 밀도, 종수, 최대 개체군 크기, 종 다양도, 종 풍부도, 종 구성, 종 균등도 등으로 이루어진다. 주로 매트릭스(matrix)를 활용한 방식으로 종 구성 지표는 수면성(dabbling ducks) 및 잠수성 오리류(diving ducks)의 비율로서 조류의 이주특성과 서식처 다양성을 반영하고, 또한 개체군 안정성 측면에서 종 균등도의 항목을 산정하여 반영하였다.

따라서 조류 생물지수 값 역시 Table 11에서 제시한 바와 같이 평가지표별 양호한 자연성과 생태적 특성을 나타낼수록 높은 평가 점수를 받아 우수한 등급의 상태를 의미한다고 할 수 있다.

한편, 조류 중 생물지수도 안양천, 탄천, 남대천, 공지천, 중랑천, 미호천, 대전천, 감천, 낙동강 상류 및 하류 등 다양한 하천수계의 특성을 고려한 시험하천에 적용, 검토하였다. 이를 통해 여름과 겨울철새의 계절성 고려가 중요하며, 하천 세구간단위의 평가보다는 보다 광역적인 평가단위의 설정, 그리고 평가등급별 종합점수의 범위가 재조정되었다(Table 11, MOLIT, 2019).

3.2 평가체계 및 적용성 검토

하천환경의 자연도 평가에서 생물적 특성은 40%의 비중

을 차지하며, 생물적 특성의 분야별 가중치는 식생과 어류, 각 30%, 저서 무척추동물과 조류, 각 20%의 가중치를 부여하였으며, 이에 따라 산정된 종합 평가점수 및 평가등급은 Tables 12 and 13에 나타난 바와 같다.

시험하천인 갑천의 8개 하천 세구간과 6개 아세구간의 평가단위에 적용하여 생물분야의 종합점수 산정에 따른 등급을 평가한 결과 2-3등급이 대부분이고 1개 평가단위에서 4등급이 나타났다. 어류의 경우 상류보다 하류구간이 낮은 반면 저서무척추동물의 경우 중류구간의 평가등급이 낮고 조류의 경우는 중류와 하류의 등급이 다소 높았다. 반면 식생의 경우 1-5등급까지 다양하게 나타났고, 좌안과 우안이 서로 다른 등급치를 보여주었다(Table 12).

전체적으로 볼 때 생물분야 간 어느 정도 일관성 있는 평가결과를 보여주고 있는 것으로 나타났으며, 갑천의 생태적 자연상태를 충분히 반영하고 있는 것으로 판단되었다.

갑천보다 상류하천인 유등천의 경우 15개 하천 세구간의 평가단위에 적용하여 생물분야의 종합점수 산정에 따른 등급을 평가한 결과, 역시 2-3등급이 대부분이나 갑천에 비해 보다 양호한 등급결과를 나타내었다(Table 4). 어류의 경우 상류와 하류구간의 평가등급 낮은 반면 저서무척추동물과 조류의 경우 큰 차이가 없이 양호한 상태를 보여주었다. 반면 식생의 1-5등급까지 다양하게 나타나 국소적으로 교란된 자연상태를 반영하고 있는 것으로 판단되었다. 갑천과 마찬가지로 전체적으로 생물분야간 어느 정도 일관성 있는 평가결과를 보여주고 있는 것으로 판단되었다.

한편 생물분야의 평가결과와 타당성을 검토하기 위하여 물리 특성의 평가결과와 비교하였다. 물리 특성 평가결과는

Table 12. Grades evaluated by total scores in biological factors at Gap stream

Section	R1				R2		R3		R4				R5				R6		R7		R8	
	R1-1		R1-2						R4-1		R4-2		R5-1		R5-2							
	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R		
VE	2	2	2	2	2	2	4	5	2	2	2	2	2	5	2	5	2	3	3	2	1	2
IV	3	3	3	3	2	2	3	3	5	5	5	5	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
FI	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2
BI	3	3	3	3	1	1	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
Total Scores	30	30	30	30	36	36	24	21	28	28	28	28	37	28	37	28	38	35	35	38	39	36
Grades	3	3	3	3	2	2	4	4	3	3	3	3	2	3	2	3	2	3	3	2	2	2

VE : Vegetation, IV : Invertebrates, FI : Fish, BI : Birds, PH : Physical Factors

R1-8 : Reach, L : Left, R : Right

Table 13. Grades evaluated by total scores in biological factors at Yudeung stream

Section	S2				S1																									
	R1		R2		R3		R4		R5		R6		R7		R8		R9		R10		R11		R12		R13		R14		R15	
	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
VE	3	4	5	5	1	1	3	4	3	2	2	2	3	2	2	3	3	2	2	3	2	4	2	2	5	4	3	5	2	4
IV	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
FI	5	5	2	2	1	1	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	1	1	3	3	3	3	3	3
BI	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Total Scores	26	23	31	31	46	46	34	31	35	38	40	40	37	40	40	37	34	37	37	34	40	34	43	43	28	31	34	28	37	31
Grades	3	4	3	3	1	1	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	3	2	2	3	3	3	3	2	3

VE : Vegetation, IV : Invertebrates, FI : Fish, BI : Birds, PH : Physical Factors

R1-15 : Reach, L : Left, R : Right

갑천의 경우 하천 세구간, R3의 4등급외에는 전부 3등급으로 평가된바 있으며, 반면 유등천의 경우 하천 세구간, R1, R2, R3 등 3개 평가단위가 4등급, 나머지는 전부 3등급으로 평가되었다. 특히 갑천의 R3 평가단위는 생물 평가등급과 동일한 등급을 나타내었다. 또한 유등천의 경우 R1 (우안) 평가단위 역시 4등급으로 물리 특성 평가와 동일한 등급을 나타내었다 (MOLIT, 2019).

따라서 하천의 미지형과 수리수문, 그리고 하상재료, 그리고 인공구조물 등을 고려한 하도 및 하안식처, 그리고 하천 교란의 영역 등 3개 영역의 10개의 평가지표로 구성된 물리 특성의 평가결과를 보면 일부 도시화된 구간을 제외하고는 전체적으로 3등급의 평균치를 보여주고 있는 것으로 나타났다. 반면 생물분야의 경우 저서 무척추동물과 조류의 경우 전반적으로 2등급 정도의 양호한 등급을 나타낸 반면, 어류와 식생의 경우 3등급의 평균치를 보여주고 있으나 하천 세구간 별 편차가 큰 것으로 분석되었다(MOLIT, 2019).

4. 결 론

최근 국가적으로 물 관리의 일원화가 논의되고 있는 가운데 국토교통부의 수자원조사·계획 및 관리법에 의한 하천유역수자원관리계획의 수립 및 하천환경 자연도의 고시가 규정되었으며, 또한 환경부의 물환경 보전법 시행으로 물환경 목표기준의 고시 및 평가, 수생태계 현황조사계획의 고시 및 건강성 평가 등이 강화되고 있는 추세이다(Chun, 2018).

본 연구는 국가 하천환경관리정책의 합리적이고 효율적인 실행을 위한 법제도적 기반구축 차원에서 정립된 한국형 하천환경평가체계의 하천환경 자연도 구축과정에서 한 부문이라 할 수 있는 생물적 특성의 평가체계를 정립하고자 하였다. 하천환경의 자연생태적 특성의 핵심분으로 수변 및 수서환경을 대변할 수 있는 4개의 생물분류군, 즉 식생과 조류, 그리고 저서 무척추동물과 어류의 평가체계를 구축하였다.

또한 선진국의 관련 평가기법을 심층적으로 검토하고, 또한 우리나라의 법제도적 측면과 연계하여 구축되었던 평가기

법에 대해서도 문제점을 도출하고 이를 보완하고 차별화할 수 있는 방안을 제시하였다. 특히 하천 구간과 하천 세구간으로 이어지는 하천의 유형화 및 평가단위의 체계화를 바탕으로 공간정보화의 토대를 구축함과 동시에 하천기본계획 수립의 기준이자 관련 상위 및 하위계획과의 일관성을 확보할 수 있도록 생물적 특성의 평가지표 및 기준을 제안하였다.

세부적으로 생물적 특성의 평가지표 및 기준을 정리하면, 식생의 경우 식생 다양도와 식생 복잡도, 그리고 식생 자연도 등 3가지 지수의 조합을 통한 하천 식생군집의 구조적 특성을 정량적으로 평가할 수 있도록 고안되었다. 저서 무척추동물과 어류, 그리고 조류의 경우도 선진 기법의 과학적 근거를 바탕으로 우리나라 하천특성에 적합하도록 생물적 자료의 평가등급 구축 등 신속하고 정확하게 정량적으로 평가할 수 있는 기반을 구축한 것으로 판단된다. 아울러 하천환경 자연도의 한 부문인 생물적 특성의 평가를 위하여 이들 4개 생물분류군의 가중치를 적용한 종합 생물지수 및 평가등급화 방안을 제시하였으며, 이에 대한 시험하천의 적용결과에서도 생물분류군 간 비교적 일관성 있게 하천환경의 특성을 반영하고 있는 것으로 분석되었다. 하지만, 제한된 연구의 여건과 실무 적용성의 어려움 등의 요인으로 인하여 보다 다양한 시험하천의 적용을 통한 자료의 축적과 통계적 유의성 검증 등은 충분히 이루어지지 못한 점은 연구의 한계로 사료되며, 보다 많은 시험하천의 적용 연구 및 실무적용과정에서 검증되어야 할 것으로 판단되었다.

본 연구의 결과는 하천법 상의 하천환경 개념정의를 기준으로 관련 계획이라 할 수 있는 하천법 제25조(하천기본계획) 및 시행령 제24조(하천기본계획의 수립)에 따른 「하천기본계획수립 지침」 및 「하천설계기준·해설」, 수자원의 조사·계획 및 관리에 관한 법(이하 수자원 조사법) 제6조(하천유역조사의 실시)에 따른 「유역조사 지침」, 수자원 조사법 시행령 제8조(하천유역수자원관리계획의 고시) 등에서의 체계적 적용 및 반영을 기본으로 하였다. 따라서 현재 하천기본계획 수립의 실무과정에서 체계적이고 정량화된 평가기준이 부재한 가운데 단편적이고 검증되지 않은 자료를 반영하고 있는 시점에서 향후 활용성 높을 것으로 기대된다. 다만, 본 연구의 결과는 과학적인 근거를 토대로한 평가기준으로서 일부 법적 기준 등은 행정적 절차와 실무작업 절차에서 조정되는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12 기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., and Stribling, J. B. (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.
- Belletti, B., Rinaldi, M., Buijse, D., Gurnell, A. M., and Mosselman, E. (2014). "A review of assessment methods for river hydromorphology." *Environmental Earth Sciences*, Vol. 73, No. 5, pp. 2079-2100.
- Bode, R. W., Novak, M. A., and Abele, L. E. (1991). *Methods for rapid biological assessment of streams*. NYS Department of Environmental Conservation, Albany, N.Y.
- Bryce, S. A., Hughes, R. M., and Kaufmann, P. R. (2002). "Development of a bird integrity index: using bird assemblages as indicators of riparian condition." *Journal of Environmental Management*, Vol. 30, No. 2, pp. 294-310.
- Chun, S. H. (2016). "Some problems and improvement of domestic system for river environment assessment." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, KOSHAM, Vol. 16, No. 1, pp. 305-317 (in Korean with English summary).
- Chun, S. H. (2017). "Review and discussion on policy and legal system for river environments management in Korea." *Journal of Environmental Impact Assessment*, Vol. 26, No. 6, pp. 431-444 (in Korean with English summary).
- Chun, S. H. (2018). "Suggestion of zoning criteria based on the assessment system for river environment." *Journal of Environmental Impact Assessment*, Vol. 27, No. 6, pp. 647-657 (in Korean with English summary).
- Chun, S. H., Kim, C. B., Kim, W. R., Park, S. G., and Chae, S. K. (2015). "Analysis of stream environmental assessment systems in Korea: focus on the biological aspect." *Ecology and Resilient Infrastructure*, Vol. 2, No. 2, pp. 108-117 (in Korean with English summary).
- EC (2000). *Directive 2000/60/EC of the European parliament and of the council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy*. Official Journal of the European Communities, Vol. 327, pp. 1-73.
- Hauer, F. R., and Lamberti, G. A. (1996). *Methods in stream ecology*. Academic Press, Massachusetts, Cambridge, p. 696.
- Hilsenhoff, W. L. (1982). *Using a biotic index to evaluate water quality in streams*. Technical Bulletin No. 132, Department of Natural Resources, Madison, Wisconsin, p. 22.
- Hilsenhoff, W. L. (1988). "Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index." *Journal of the North American Benthological Society*, NABS, Vol. 7, No. 1, pp. 65-68.
- Hunter, J. R. L. M. (1990). *Wildlife forests and forestry, principles of managing forests for biological diversity, regents*. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., p. 370.
- Martin, K., and Paddy, C. (1992). *Vegetation description and analysis*. John Wiley & Sons, Hoboken, N.J..
- Ministry of Environment (MOE) (2011). *Survey & assessment of aquatic ecosystem in river*.

- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2012). *Integrated guidelines for nature-friendly river management*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2015). *Guideline for setting up of basic river plans*. p. 67.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2019). *Technical report on assessment system for river environment*. p. 376.
- Parsons, M., and Norris, R. (2004). "Development of a standardized approach to habitat assessment in Australia." *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 98, No. 1-3, pp. 109-130.
- Sakio, H., and Tamura, T. (2008). *Ecology of riparian forests in Japan*, Springer (in Japanese).
- Young, J. S., Ammon, E. M., Weisberg, P. J., Dilts, T. E., Newton, W. E., Wong-Kone, D. C., and Heki, L. G. (2013). "Comparison of bird community indices for riparian restoration planning and monitoring." *Ecological Indicators*, Vol. 34, pp. 159-167.