선진 하천환경 평가체계의 사례검토

Review of Some Advanced Stream Environmental Assessment Systems

전승훈* · 박상길** · 채수권***

Chun, Seung Hoon*, Park, Sang Gil**, Chae, Soo Kwon***

Abstract

This study was carried out to suggest principles & guidelines necessary for setting up of the assessment system applied in Korean stream. The work was based on the review and discussion of advanced stream assessment techniques and its adjustment for Korean stream condition and management status. The results obtained from this study were summarized as follows: Firstly, stream assessment system has been developed from the fact that geomorphological structures and chemical qualities forming stream system in the hierarchy, were closely correlated to the biological diversity through temporal and spatial scales. Therefore, Korean stream assessment system must be developed with a sufficient consideration on the characteristics of stream conditions as well as actual status of stream management. The other side, those advanced and standardized assessment system, which has been originated from a long experienced lessons on stream management, interdisciplinary knowledge and techniques, represented much logic consistence in view of basic components such as aims for assessment, establishment of assesment indicators and criteria, selection of reference conditions. Accordingly, our assessment system must be also progressed towards scientifically oriented and integrated system which reflects our real stream surroundings and also includes some principles and process and techniques reviewed in advanced system.

Key words : Stream environmental characteristics, Physical structure, Biological diversity, Stream management, Integrated system

요 지

본 연구는 독일과 호주 등 선진국의 하천환경 평가체계의 개념적 틀과 평가체계의 발달과정 및 평가기법에 대한 종합적인 검토결과를 바탕으로 한국형 하천환경 평가체계 정립의 기본방향을 제시하기 위하여 수행되었으며, 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다. 일차적으로 하천환경 평가체계는 하천공간의 위계에 기초한 지질·지형학적 구조 및 화학적 질과 생물학적 다양성이 시공간적으로 긴밀한 상호관계를 이룬다는 사실이 전제되고 있다는 점이다. 따라서 우리나라 고유의 하천환경 체계와 특성, 그리고 실제적인 하천관리 여건 등을 충분히 고려한 평가체계의 구축이 요구된다는 점이다. 한편으로 선진국의 표준화된 하천환경 평가체계가 다년간의 하천관리의 경험적 측면과 학제적 지식 및 기술을 바탕으로 이루어졌으며, 또한 각국의 하천환경의 특성이 반영된 하천환경의 유형화 및 계층적 위계, 평가목적, 평가지표 및 방법, 참조하천의 설정 및 기준의 정립측면에서 논리적 일관성을 확보하고 있다는 사실이다. 따라서 우리나라의 하천환경 평가체계 구축도 선진국 평가체계에서 나타난 기본원칙과 과정 및 방법 등을 최대한 고려하되 우리의 현실적인 여건에 적합한 과학적이면서 통합적인 평가체계를 지향해야 할 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 하천환경 특성, 물리구조, 생물학적 다양성, 하천관리, 통합적 평가체계

1. 서 론

1.1 배경 및 필요성

오늘날 하천수계 및 하천환경은 고도의 복잡성을 지닌 살아 있는 체계로서 광범위한 생물적, 무생물적 요인에 의해 영향

을 받는다. 이러한 하천생태계는 자연적인 홍수조절, 생산성, 생태학적 피난처 및 생물종 보존의 핵심적인 역할 뿐만 아니라 운송, 여가 및 관광 등 문화적 경관의 실체로서 중요한 기능을 수행한다(Kamp *et al.*, 2007; Verdonschot, 2000)

우리나라 하천관리의 패러다임은 1990년대 이후 기존의 치

*정회원. 가천대학교 조경학과 교수(E-mail: chunsh@gachon.ac.kr)

Member. Professor, Department of Landscape Architecture, Gachon University

**가천대학교 조경학과 석사과정

Master Course. Department of Landscape Architecture, Gachon University

***교신저자. 정회원. 을지대학교 보건환경안전학과 교수(Tel: +82-31-740-7146, Fax: +82-31-750-5232, E-mail: cskwen@eulji.ac.kr)

Corresponding Author. Member. Professor, Department of Environmental Health and Safety, Eulji University

수 및 이수능력을 고려함과 동시에 하천환경의 보전 및 복원을 새로운 목표로 설정한 자연친화적 방식으로 변화되었다(국토해양부, 2009). 하천법령 및 제도적 측면에서도 수자원 장기종합계획 및 유역 종합치수계획은 하천의 환경보전 및 다목적 이용계획을 포함하도록 규정하고 있으며, 국내 하천법에 따르면 하천기본계획 수립 또한 자연친화적 하천조성 및 이와 관련된 보전지구 지정 등을 포함하도록 규정하고 있다.

그럼에도 불구하고, 하천설계기준(한국수자원학회, 2009)이나 자연친화적 하천관리에 관한 통합지침(국토해양부, 2009), 또는 수자원장기종합계획(2011-2020)에서 적용하고 있는 하천환경조사 및 평가지표는 서로 상이할 뿐만 아니라 과학적인 근거가 명확하지 않는 등 국가차원의 표준화가 이루어지지 못한 상태라 할 수 있다.

1990년대 이후 미국, 독일, 영국, 호주 등 선진국들은 하천 환경 복원사업의 추진과정에서 복원사업의 타당성 제고 및 성공적인 사업수행을 위하여 그들 국가의 하천특성에 적합한 하천환경 평가체계를 구축한 바 있으며, 이들 평가체계는 새로운 과학적 지식과 기술의 축적에 힘입어 지속적으로 발전되고 있는 상황이다(Kamp *et al.*, 2007; Weiß *et al.*, 2007; Parsons *et al.*, 2003; Kondolf and Piegay, 2003).

반면, 우리나라 하천환경의 경우 복잡하고 독특한 기후와 지형조건을 지녔음에도 불구하고 선진국의 일부 평가기법이 검증 없이 적용되고 있는 수준이다(환경부, 2012; 조용현, 1997). 그 결과, 하천사업과정에서 한국 하천환경의 특성이 제대로 반영되고 있지 못할 뿐만 아니라 사업의 성공여부도 적절하게 평가되지 못하고 있는 실정이다.

1.2 연구목적

본 연구에서는 하천환경의 이해와 평가체계의 개념적 틀을 토대로 평가목적 및 평가지표에 대한 선행적인 연구의 종합적인 검토를 통해 통합적이고 표준화된 한국형 하천환경 평가 및 진단체계 개발을 위한 방법론을 정립하고, 나아가 하천환경의 지속가능성을 전제로 한 하천복원사업의 장·단기적 성공여부를 평가할 수 있는 실무지침의 과학적 근거를 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 하천환경과 평가체계의 개념적 틀

본 연구의 공간적 범위는 하천이 아닌 하천환경이며, 연구의 목적에 따른 결과물은 평가체계이다. 즉, 하천이 아닌 평가대상으로서의 하천환경의 특성과 중요성을 충분히 이해한 후, 이를 토대로 어떻게 평가할 것인가 하는 평가체계의 구성과 내용을 검토할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 선진국의 하천환경평가체계의 발달과정과 관련 선행연구에서 기술되고 있는 평가대상으로서의

하천환경의 특성과 평가체계를 구성하는 평가목적, 하천체계와 하천환경 유형화, 이에 따른 평가지표와 평가방법 등의 관계를 분석, 고찰하여 하천환경 평가체계의 개념적 틀을 구축하였다.

2.2 하천환경의 평가체계 및 평가지표의 분석

본 연구에서 하천환경의 평가체계 및 평가지표의 종합적인 분석을 위해 검토대상으로 한 주요 국가는 독일과 호주이며, 이들 국가는 최근까지 거의 20년 이상의 하천환경 평가체계 관련 지식과 기술을 축적하고 있는 선진국으로 판단된다.

독일의 하천환경 평가체계는 1998년 이래 연방정부의 물관리 공동체(LAWA, Laenderarbeits gemeinschaft Wasser)와 자치주별 환경청(LUA, Landesumweltamt)의 협력 아래에서 개발된 국가의 표준체계로서 2000년부터 2015년까지 약 15년동안 유럽 전 회원국 대상 하천의 구조 질 평가의 의무화를 위한 유럽 연합의 물관리 지침(EC-Water Framework Directive) 제정의 표준으로 자리 잡고 있다(Kamp *et al.*, 2007; Weiß *et al.*, 2007).

호주의 하천환경 평가체계는 연방정부 국토해양부의 NRHP(National River Health Program)에 의해 1994년부터 2001년까지에 걸쳐 개발된 평가체계이다. 이는 1998년 개발된 영국의 RIVPACS(River InVertebrate Prediction And Classification System)에 기초하여 호주 정부가 2000년에 개발한 저서무척추동물 군집 평가 중심의 AUSRIVAS(Australian River Assessment System)와 물리적 평가 중심의 AusRivAS 물리적 평가규약(Physical Assessment Protocol)으로 구성되며, AusRivAS 물리적 평가규약은 호주 자치주가 2000년에 개발한 서식처 예측 모델링(Habitats Predictive Modelling)과 미국 환경청(US-EPA)의 Rapid Bioassessment Protocols(2003)를 통합, 변형한 물리적 평가체계이다. 두 가지 평가체계는 현재 모든 주정부에 적용되고 있는 국가의 표준체계이다(Parsons *et al.*, 2003; Parsons *et al.*, 2001; Environment Australia, 2001).

또한 본 연구에서는 이들 국가의 하천환경 국가표준체계와 관련 연구자료 외에 국가별 하천환경의 고유한 특성이 어떻게 고려되었는가를 분석하기 위해 하천환경 유형화와 평가단위의 상호관계(Kondolf and Piegay, 2003; Frissell *et al.*, 1986; Habersack, 1997) 및 평가체계 구성요소로서 평가의 목적(Verdonschot, 2000), 평가지표(Gordon *et al.*, 2004; Simpson *et al.*, 2000; Plafkin *et al.*, 1989), 평가방법(Kamp *et al.*, 2007; Weiß *et al.*, 2007; Parsons *et al.*, 2003; Sudaryanti *et al.*, 2001) 등의 세부적인 사항을 검토, 분석하였다.

2.3 한국형 하천환경 평가체계의 방법론 정립

본 연구에서 제시하고자 하는 한국형 하천환경 평가체계의 방법론은 일차적으로 앞서 검토, 분석하여 정립한 하천환경과

평가체계의 개념적 틀을 토대로 선진국의 국가표준 하천환경 평가체계에서 제시하고 있는 내용을 종합적으로 재검토하여 기본방향을 설정하였다. 다음으로 우리나라 하천유역의 기후 및 지질학적 특성과 하천 관리적 측면에 따른 현재의 하천환경 상태, 그리고 국가수자원정보시스템의 활용가능성 및 국가사업으로의 실행여건 등을 종합적으로 고려하여 적용 가능한 범위 아래에서의 원칙과 방법론을 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 하천환경과 평가체계의 개념적 틀

3.1.1 서식처로서의 하천환경

1990년대 후반 서유럽의 선진국들은 하천관리측면에서 하천을 단지 깨끗한 물이 흐르는 수로가 아닌 하상구조, 유로형태, 범람원, 제방, 식생 등으로 구성된 다양한 생물들의 값진 서식처로 재규정하였다(Kamp *et al.*, 2007). 이때 평가의 대상이 되는 하천 서식처는 일반적으로 생물상의 서식에 적합한 저수로와 하반역의 물리·화학적 상태를 뜻하며, 이들 서식처 조건에 따라 고유한 생물상이 발생함과 동시에 특정 생물의 생활사에도 영향을 미치는 개념으로 이해된다(Norris and Thomas, 1999).

따라서 하천환경을 구성하는 서식처의 공간적 범위는 저수로 내부로부터 수변 통로, 범람원 및 유역까지 확장됨과 동시에 생물종 또한 지리적 위계에 따라 수서생물, 양서류 그리고 조류와 포유류를 포함하는 육상동물로까지 확대된다(Simpson and Norris, 2000). 따라서 생물 서식처의 질을 결정하는 주요 요인은 유수 중심의 유수생태계로 한정되지 않고 유사의 동태 및 범람원, 그리고 하반식생의 구조로까지 확장된다.

한편으로 이러한 생물 서식처 질의 저하는 하천환경의 사회·경제적 이용 질의 저하를 초래하기 때문에 서식처로서의 하천환경 가치는 하천생태계를 구성하는 자연·문화적 요소의 통합체적 성격을 갖는다(Kamp *et al.*, 2007)

3.1.2 하천체계와 하천환경의 유형

하천지질·지형학적 관점에서의 하천환경은 기후, 지질, 지형, 식생 등과 같이 하천체계에 영향을 미치는 구조적 요소들을 의미한다. 이들 하천환경의 서로 다른 특성에 따라 하천환경 유형의 다양성이 나타나며(Charlton, 2008), 또한, 이들 유형이 지닌 고유의 특성은 생명체의 분포를 직접적으로 결정할 뿐만 아니라 활용할 수 있는 먹이 수준에 영향을 주는 물리적 조건, 즉 서식처를 규정하게 된다(Rabeni and Minshall 1977).

하천환경은 그 자신만의 생물종과 물리적 조건을 지닌 수생태계와 육상생태계의 통합체로서(Lotspeich and Platts 1982), 유역, 하천구간, 하천세구간, 미소서식처 등의 위계로 구성된 하나의 체계라 할 수 있다(Frissell *et al.*, 1986). 이와 같은 하

천환경 구성의 특성을 가리키는 하천체계라는 개념은 하천환경의 유형화와 이에 따른 평가체계가 장기적인 하천형성과정을 반영하고, 또한 미래의 변화 예측력을 평가할 수 있는 통합적 접근이 필요하다는 점을 의미한다(Frissell *et al.*, 1986).

따라서 기존의 하천세구간 규모의 단일 척도에 근거한 하천환경 유형화와 달리 하천환경의 계층공간적 위계를 반영할 수 있도록 유역과 하천구간 규모도 함께 고려한 다중 척도의 하천환경 유형화가 요구된다(Kondolf and Piegay, 2003). 즉, 하위계(lower hierarchy)의 소규모 하천 공간체계인 하천세구간은 조절자인 상위계에 반응하는 물리적 조건에 적응한 저서성 무척추동물과 비회유성 어류 중심의 수생태계를 반영하는 반면, 상위계(upper hierarchy)의 대규모 하천공간체계인 유역과 지역, 그리고 하천구간은 하천생태계의 자기복원 가능 규모로서 회복 잠재력을 평가할 수 있기 때문에 하천환경의 평가·관리·친수계획의 공간 단위로 적합하다고 평가되고 있다(Habersack, 1997).

또한, 유럽 위원회(EC: European Commission)는 유럽연합에 속한 모든 하천생태계의 개선을 위하여 과거의 하천 지류 위주의 보호방침을 변경하여 하천 유역의 보호를 주요 목표로 변경한 물관리 지침(WFD: Water Framework Directive)을 2000년 12월 22일에 통과시켰다(EC, 2000). 이것은 하천생태계의 기능을 보호하고 복원하기 위한 것으로서 복원과 평가의 목적 및 범위가 확대되었음을 뜻한다.

따라서, 하천체계에 따른 하천환경 유형화는 수생태계 중심의 하위계인 하천세구간 규모와 하천생태계 중심의 상위계인 하천구간 및 유역을 통합적으로 고려한 다중 척도의 기준을 적용한 가운데 그 다양성과 고유성이 확보되어야 할 것으로 판단된다.

3.1.3 하천환경 평가의 목적과 평가체계

하천환경의 평가목적은 일차적으로 하천환경의 인위적인 이용과 교란에 따른 총체적인 변화를 진단하는 것이며, 이는 수질 및 수리적 특성의 변화와 생물종 및 이들 서식환경의 변화를 주로 파악하기 위함이다.

선진국들의 경우, 최근 들어 하천환경의 수질은 양호한 반면에 생물 서식처로서 기능하는 하천환경의 구조 질은 악화된 상태에 머무른 채 개선되지 못하였으며, 이는 수질오염이 여전히 문제가 되고 있는 후진국과 달리 선진국 하천환경이 지니고 있는 일반적인 특징이었다(Scheifhaken *et al.*, 2012). 그 결과, 하천환경의 구조 질 개선을 위한 목적으로 하천환경 평가체계의 개발이 필요하게 되었다. 이는 하천의 물리적 구조가 악화되면 아무리 깨끗한 수질을 보이는 하천이라 할지라도 그 하천환경은 야생동물을 위한 서식처 기능을 제공할 수 없음이 경험적, 과학적 사실로 입증된 바 있다(SEPA, 1998).

또한 하천 서식처 질의 악화는 서식처간 단절과 단순화에

다른 생물 다양성 감소를 가져올 뿐만 아니라 저류지 감소에 따른 홍수피해, 여가와 어로활동을 위한 하천환경의 가치저하 그리고 유지·관리 비용의 증가 등 다양한 사회·경제적 손실을 초래한다(Kamp *et al.*, 2007). 이는 곧 인간과 자연이 공존할 수 있는 하천환경의 지속가능성을 저해하는 요소라 할 수 있다. 따라서 하천환경의 평가목적은 과거 인간 활동의 역기능을 미래의 순기능으로 대체하면서 하천환경이 갖추고 있는 자원을 지속적으로 활용함과 동시에 관리비용을 절감할 수 있는 방안을 고려해야만 한다.

따라서 미래지향적인 하천환경 평가체계는 하천환경의 효율적인 복원 및 지속가능한 관리뿐만 아니라 각국이 처한 사회·경제적 상황에 따라 하천의 생물자원 보호와 함께 하천환경의 사회·경제적 이용을 동시에 고려하는 통합적인 평가의 목적이 반드시 포함되어야만 할 것이다(Bolgrien *et al.*, 2005; EC, 2000; Verdonshot, 2000).

3.2 하천환경의 평가체계와 지표 분석

3.2.1 독일의 사례

독일의 하천환경 평가체계를 분석한 결과 기본적으로 2002년도에 중·소규모 하천을 주요 대상으로 한 현장조사 중심의 평가체계인 LAWA-Field Survey와 대규모 하천을 주요 대상으로 한 자료 분석 중심의 평가체계인 LAWA-Overview Survey의 두 가지 체제로 구성되어 있었다(Weiß *et al.*, 2007). 이들 평가체계에 근거하여 독일 전체 하천의 약 10%에 해당하는 하천 서식지 지도가 제작되었고, 이는 기존의 생물·수질 지도와 함께 통합적으로 독일 전역의 하천환경을 평가할 수 있는 기초가 되었다(Kamp *et al.*, 2007).

그런데, 하천환경 평가체계 개발의 주체가 자치주에서 연방으로 바뀌면서 평가영역-평가부문-평가항목으로 이어지는 평가지표의 구성과 체계가 또한 변화하였다(Table 1). 즉, 하천환경의 공간 규모에 따라 평가체계가 LAWA-FS와 LAWA-OS로 구분됨과 동시에 평가영역이라는 새로운 분류기준이 평가지표에 추가되었고, 영역은 LAWA-FS와 LAWA-OS의 평가결과가 서로 연동될 수 있도록 구성되어 있었다. 또한, 독일 자치주에서는 상호 연관성이 반영되지 못한 채 개별적으로 나열되지만 하였던 평가부문이 LAWA-FS에서는 영역이라는 보다 큰 분류기준의 틀 속에서 계층적으로 재배열되었다(Table 2) (Kamp *et al.*, 2007).

Table 1. Change of Assessment Units According to the Development Body and System

System	Sector	Main parameter	Individual parameter
County's	na	various	various
LAWA-FS	3	6	25
LAWA-OS	2	5	9

Table 2. Sectors and Main Parameters in LAWA-FS

Sector	Main parameter
Bed	Plan form
	Longitudinal profile
	Bed structures
Banks	Cross section
	Bank structures
Floodplain corridor	Floodplain corridor

Table 3. Sectors and Main Parameters in LAWA-OS

Sector	Main parameter
Riverbed dynamics	Planform
	Potential for structure formation
	Riparian vegetation
Floodplain dynamics	Retention
	Development potential

LAWA-FS의 3영역 중 하상과 제방 영역은 LAWA-OS의 하상 역동성(riverbed dynamics) 영역으로 통합되며, LAWA-OS의 5부문 중 하반식생 부문은 LAWA-FS의 6부문 중 제방 구조에 속한 자연식생 항목을 반영한 것이라 판단되었다(Table 3).

또한, LAWA-OS를 구성하는 평가지표들의 영역별·부문별 위계를 분석한 결과, 하상 역동성 영역은 범람원 역동성 영역 보다 상위에 속하는 평가지표이며, 하상 역동성 내에서도 평면형태와 구조형성 잠재력 부문은 하반식생부문에 비하여 상위에 속하는 평가지표로 나타났다. 다만, 범람원 역동성 영역에 속하는 저류와 발달 잠재력 부문은 서로 간에 위계 관계가 형성되지 않았다(Kamp *et al.*, 2007).

한편, 독일 하천환경 평가체계의 평가방법을 분석한 결과 얻은 결과는 다음과 같다.

첫째 하천환경의 유형화를 반영한 정량적 평가방식의 적용이 특징적이었다. 즉 LAWA-FS는 현장조사 이전에 하천 전체 또는 특정 구간에 대한 하폭, 평면형태 그리고 경관유형 등에 대한 개략적인 정보의 파악을 수행한 다음 현장조사를 통해 얻은 25개의 평가항목에 대한 평가결과는 6개의 평가부문으로 종합되고, 다시 이 6개의 평가부문은 3개의 평가영역으로 합산된 후 하나의 최종 평가결과가 도출되는 방식이다(Kamp *et al.*, 2007; Weiß *et al.*, 2007). LAWA-FS에서 적용된 하천환경 유형은 지질·지형, 계곡유형, 경사도, 하상재료 등을 기준으로 한 V자형 저수로(K), U자형 저수로(S), 납작한 저수로(M), 웅덩이형 저수로(A), 웅덩이 및 자갈 하상(AK), 평지형 하천(F) 등 6개 유형의 분류체계이고, 하천 유형별로 서로 다른 정량적 평가 등급을 적용하여 25개 항목이 평가되었다.

이와 같은 정량적 평가방법은 Gordon 등(2004)이 밝힌 미

국 환경청의 서식처 평가방식에서 그 유사성을 찾아볼 수 있다. 즉 하천유형을 경사도에 따라 급경사 하천과 완경사 하천으로 구분한 후 평가항목별 서로 다른 점수를 부여하되 참조 하천 기준의 상대평가 방식을 적용하는 방식이다.

이와 같이 하천환경의 유형별 차이를 반영하고 참조하천의 기준을 고려하는 정량적인 상대평가방법은 하천 형태의 고유한 자연적 차이를 신중하게 고려하여 평가하기 위한 것으로서 통합적 하천환경 평가체계의 중요한 특징이라 할 수 있다(Weiß *et al.*, 2007; Verdonschot, 2000).

둘째, 하천 체계의 규모와 위계를 반영한 정량적 평가방식의 적용이 또 하나의 특징이었다. 즉, LAWA-OS는 매 1 km 단위의 하천구간을 대상으로 한 자료분석 중심의 평가체계로서 우선적으로 LAWA-FS와 동일하게 하천 전체 또는 특정구간의 개략적인 하천정보를 분석한 다음, 항공사진(1:5,000-1:15,000, 5년 이내), 위성사진, 기타 영상 기록물, 지형도(1:25,000), 각종 주제도(지질도, 수문단위 지도, 토양도, 토지이용도, 고지도 등), 대상 하천에 대한 문헌, 보고서, 계획서, 지역 전문가와의 인터뷰 또는 회의 기록 등을 토대로 평가가 이루어진다(Weiß *et al.*, 2007; Kamp *et al.*, 2007). LAWA-FS와 마찬가지로, 조사된 LAWA-OS의 9개 평가항목의 결과는 5개의 평가부문으로 종합된 후 2개의 평가영역 합산을 거쳐 최종 평가결과가 도출된다(Weiß *et al.*, 2007).

그런데, LAWA-OS는 LAWA-FS와 달리 개별 평가항목과 평가부문을 포함한 전체 평가지표가 위계에 의하여 구성되어 있다. 이는 평가지표들이 갖는 생태적 가치의 차이가 반영된 결과이다. 일례로서, 하상 역동성이 갖는 자연적 기능은 범람원 역동성보다 높게 평가된다(Kamp *et al.*, 2007). 이와 같은 평가지표의 위계에 따라 평가의 결과가 도출된다. 다만, 평가의 전체 결과는 언제나 낮은 평가결과 값을 기준으로 하기 때문에 불량한 하상 역동성 영역의 평가결과는 우수한 범람원 역동성 영역의 평가결과에 의하여 상쇄되지 않는다.

한편으로, LAWA-OS가 비록 실내용심의 평가방법이지만 특정한 하천구간에 대한 평가결과와 검증이 필요할 때에는 현장조사를 수행하도록 되어 있으며(Kamp *et al.*, 2007), 특히, LAWA-OS의 평가결과는 자료의 해상도에 크게 영향을 받기 때문에 제방의 일부 손실이나 장애물 등과 같은 작은 규모의 구조물, 또는 하상 유형과 같이 수면 아래의 특징을 파악하기 위해서는 보다 정밀한 항공사진을 활용하도록 규정하

고 있다(Weiß *et al.*, 2007).

3.2.2 호주의 사례

호주의 하천환경 평가체계를 분석한 결과 생물적 지표중심의 AUSRIVAS(Australian River Assessment System)와 물리적 지표중심의 AusRivAS(Australian River Assessment Scheme) Physical Assessment Protocol로 구분된다. AUSRIVAS이후 후속적으로 개발된 AusRivAS 물리적 평가규약은 AUSRIVAS의 보완목적으로 동일한 평가방법론에 근거하여 개발된 정량적 평가체계이나(Parsons *et al.*, 2001), 평가지표를 구성하는 하천환경 변수들이 변경되었다. Table 4에 나타난 바와 같이 AUSRIVAS의 생물적 반응변수인 무척추동물의 군집 특성이 AusRivAS 물리적 평가규약에서는 하천 세구간의 물리·구조적 반응변수로 대체됨과 동시에 AUSRIVAS의 예측변수인 하천세구간 단위의 물리, 화학, 식생, 하상재료의 특성이 AusRivAS 물리적 평가규약에서 하천체계의 지질·지형적 위계성이 반영된 상위계의 조절변수인 유역 및 하천구간 규모의 지질·지형·화학 특성으로 변경되었다(Simpson *et al.*, 2000).

이와 같이 유역 및 하천구간 규모의 지질·지형적 변수가 상위계 평가지표에 해당하는 조절변수로 된 이유는 일차적으로 하천생태계를 생물군집 서식처의 기본 틀을 제공하는 물리적 구조체로 인식한 결과라 할 수 있다. 즉 하천의 구조적 교란 정도뿐만 아니라 지질·지형적 특성이 형성되는 과정 즉, 조절변수와 반응변수 간 상관성을 분석한 결과에 따른 하천환경의 장기적인 변화 양상 또한 평가에 반영하기 위함이었다. 다른 한편으로 물리적 서식처 평가체계는 생물학적 평가체계보다 더 저렴한 비용으로 신속하게 하천환경을 평가할 수 있다는 점도 고려된 것으로 판단된다. 하지만, 호주의 물리적 서식처 평가체계는 기본적으로 생물다양성 부양을 목적으로 한 것이기 때문에 해당 평가지표들은 생물학적 평가체계인 AUSRIVAS의 평가결과에 상응하는 특성을 보여 주어야만 했다. 따라서 AusRivAS 물리적 평가규약이 채택한 평가지표들은 결코 생물학적 평가체계의 평가결과와 동떨어진 것이 될 수 없었다(Parsons *et al.*, 2003).

한편, 호주 하천환경 평가체계의 평가방법을 분석한 결과 독일의 평가체계와 다른 하천환경 예측모델링을 통한 평가방식으로서 영국의 RIVPACS에 기초한 다변량 예측모델이라

Table 4. Comparison with Assessment Indicators between AUSRIVAS and AusRivAS Physical Assessment Protocol

AUSRIVAS			AusRivAS Physical Assessment Protocol		
Variables	Scale	Characteristics	Variables	Scale	Characteristics
Predictor variables	Reach	Environmental data (physical-chemical-vegetation-substrate)	Control variables	Watershed Segment	Environmental data (geomorphological-chemical)
Response variables		Biological macroinvertebrate community	Response variables	Reach	Environmental data (physical-chemical-vegetation-substrate)

할 수 있다(Parsons *et al.*, 2001). 즉 서식처 유형별 예측변수의 선정은 예측변수 목록 중에서 판별함수분석을 통해 반응변인과의 상관성 관련 판별력이 가장 높은 변수를 선정하게 된다. 인도네시아 브란타스 하천연구에서는 고도, 수원으로부터의 거리, 하반식생, 저수로 폭, 하천 세구간 내 여울 등 5개의 변수가 예측변수로 선정되었다(Sudaryanti *et al.*, 2001).

호주의 생물적 중심의 평가체계인 AUSRIVAS의 예측모델 알고리즘 개발 및 시험하천 평가과정은 다음의 단계로 이루어진다(Sudaryanti *et al.*, 2001). 1단계는 기후와 지질 등 하천환경의 유형적 특성을 고려한 잠재적인 참조하천 지점을 선택한다. 2단계는 선택된 잠재하천 지점을 대상으로 환경변수의 조사와 측정, 그리고 무척추동물의 수집 및 분석이 이루어진다. 3단계는 예측모델 구축 단계로서 비가중 산술 결합법(UPGMA, Unweighted pair-group arithmetic averaging)에 의한 무척추동물 군집의 유형화와 판별함수분석(DFA: Discriminant Function Analysis)을 통해 군집유형을 가장 잘 예측할 수 있는 서식처변수를 판별하여 예측변수로 설정한다. 4단계는 시험하천의 평가적용단계로서 참조하천별 기댓값(Expected Value)을 도출하여 동일 유형의 시험하천에서 출현하는 관찰값(Observed Value)과의 편차(OE Ratio)를 지수화하여 시험하천의 교란 또는 건강성 정도를 평가하게 된다.

하지만 호주의 평가체계 역시 참조하천을 평가의 중요한 상대적 기준으로 삼는 정량적 평가방법이라고 할 수 있다.

3.3 한국형 하천환경 평가체계의 방법론 정립

3.3.1 하천환경 평가체계의 통합적 분석 및 고찰

선진국의 하천환경 평가체계에서 나타난 하천환경의 특성에 대한 기본전제는 유역에서부터 하천수계와 하천구간 및 하천세구간, 그리고 서식처로 이어지는 하천공간의 계층적 위계 아래에서 물리적 구조와 생물적 분포양상이 시·공간적으로 동적 평형상태를 추구한다는 사실이다. 즉, 하천체계의 위계에 기초한 지질·지형의 다양성은 생물다양성을 부양하는 기반환경이 되고(Rutherford *et al.*, 2000), 하천환경에서 나타나는 서식처의 시간적·공간적 변이성과 생물학적 다양성은 밀접한 관계를 형성하는 것으로 알려져 있다(Raven *et al.*, 1998). 이와 같은 상호관계성은 수질과 수문이 오랜 시간에 걸쳐 동일한 상태를 지속할 경우 물리적 질과 생물학적 상태의 가설적 관계가 거의 모든 영역에 걸쳐서 직선적인 비례 양상을 보인다는 사실에서 규명된 바 있다(Plafkin *et al.*, 1989).

따라서, 위와 같은 하천환경 체계와 특성에 대한 이해와 인식을 통해 선진국의 하천환경 평가체계가 수질과 생물분야를 바탕으로 물리, 사회적 분야로 평가목적의 확장 변화시킴으로써 통합적 평가목적의 추구하게 되었을 뿐만 아니라 다양한 하천환경의 분류 및 유형화, 하천 공간규모의 계층적 위계에 대한 고려는 평가지표의 개발, 참조하천 기준의 정량적 평가방법의 도입 등으로 발전되는 전제가 되었음을 확인할 수 있

었다.

결론적으로 선진국의 하천환경 평가체계의 발전과정과 동향을 분석한 결과는 다음의 몇 가지 사항으로 정리되었다.

첫째, 하천환경은 저수로뿐만 아니라 하반역을 포괄하는 통합적인 서식처이며 하천환경 유형별로 하천체계의 위계에 따라 상·하위계의 고유한 다양성과 연속적 역동성을 지닌 것(Frissell *et al.*, 1986)으로 인식되었다. 하천환경 평가는 일반적으로 참조하천과 같은 기준에 근거한 정량화를 지향하며 평가체계는 복원과 대안 제시라는 구체적 목적과 함께(조용현, 1997) 하천의 구조적 체계에 상응하는 상·하위계 지표를 평가대상으로 한다.

둘째, 하천환경 평가체계의 발달과정을 살펴본 결과, 독일이나 호주 모두 다년간의 축적된 경험과 진보된 과학적 사실을 바탕으로 신뢰할 수 있는 국가표준의 평가체계로 정립되었음을 확인할 수 있었다. 특히, 초기의 생물학적 평가나 수질환경적 측면의 하천환경 평가에서 점차 이들과 연계한 물리적 구조의 평가 및 사회경제적 측면에서의 토지이용을 고려하는 통합적 평가체계로 발전되고 있는 것으로 나타났다.

셋째, 하천환경 평가체계의 핵심사항이라 할 수 있는 평가의 목적, 계층적 위계를 지닌 하천체계와 하천환경의 유형화, 평가지표 및 평가방식 등의 분석결과에서도 선진국 평가체계의 일관된 흐름과 기본방향을 파악할 수 있었다. 즉, 어떻게 하면 시·공간적 가변성을 지닌 물리적 구조와 생물적 실체 등 하천환경의 특성을 통합적으로 반영할 것인가, 또한 다양한 하천환경 공간 규모의 위계적 상호관계성을 어떻게 고려할 것인가가 중요한 논점으로 판단되었다. 아울러 평가영역에서부터 평가부문과 평가항목으로 이어지는 평가지표의 위계에 따른 가중치의 부여 및 상관성의 관계 설정, 참조하천 기준의 정량적 평가방식의 타당성 확보도 핵심사항으로 드러났다.

3.3.2 한국형 하천환경 평가체계의 방법론 정립

우리나라 하천환경의 일반적인 특성은 온대 몬순기후의 영향으로 여름철 집중강수에 따른 하천영역의 범람이 상존하고, 지질·지형적으로 비교적 안정된 산지지형이며 이곳의 풍화된 암석 및 토양입자로 축적된 하천수계 주변의 구릉성 평야 지대가 경작지화되어 있고, 이들 지형상의 분수령을 경계로 형성된 유역에서 산지와 평야지대 사이로 흐르는 경관 통로로서의 하천수계망이라 할 수 있다. 따라서 1970년대 이후 도시 생활권과 경작지의 보호, 수자원의 확보 및 관리차원에서 치수 및 이수사업이 집중적으로 추진되어왔다. 즉 상류역의 대규모 댐 건설, 하천 횡단구조물의 축조, 하천수계양안의 제방 건설 및 수로의 직강화, 홍수터의 공원부지 및 경작지 등으로의 활용 등 인공적으로 정비된 하천환경이 일반적인 모습이었다.

하지만 1990년대 이후 국내외적으로 자연친화적인 하천관

리의 패러다임이 확산되면서 점차 생물 서식처이자 친수공간으로서의 하천환경의 생태적 및 사회·경제적 가치를 실현시켜야 하는 필요성이 점증되고 있는 실정이다. 이러한 필요성에 대응하여 최근까지 국토교통부와 환경부를 중심으로 자연친화적인 하천 관련 법제도의 정비 및 정책사업이 활발하게 추진되어 왔으나 가장 근간이라 할 수 있는 하천환경의 특성을 바탕으로 한 하천환경의 평가, 특히, 물리적 구조와 다양한 하천환경 분야의 통합적 평가는 매우 미흡한 상태로 판단된다(한국하천협회, 2013; 국토부, 2013; 환경부, 2012; 국토부, 2007).

따라서 본 연구에서 검토·분석한 선진국의 하천환경 평가체계의 발달과정과 구성 등을 종합적으로 고려하고, 또한 우리나라 하천환경 관리의 현실적인 여건 등을 판단하여 다음과 같이 한국형 하천환경평가체계의 기본방향을 제시하였다.

첫째 한국형 하천환경 평가체계의 개발은 앞서 제시한 바와 같이 우리나라 하천환경의 특성을 올바르게 이해하는 것으로부터 출발해야 한다는 점이다. 특히 물리·구조적 분야의 평가지표는 지질·지형적 및 수리·수문학적 특성이 충분히 고려되어 한국 하천환경의 고유성이 반영되어야만 할 것이다. 따라서 하천환경의 유형화 및 이에 따른 평가지표의 개발, 그리고 참조하천 설정에 따른 평가기준의 정립이 요구된다.

둘째, 하천환경의 평가목적과 기본방향이 수질, 생태적 분야에서 점차 물리·구조적 분야로 진행되고, 나아가 사회·경제적 분야까지 체계적이고 통합적으로 접근되고 있다는 사실 역시 충분히 고려해야만 한다.

셋째, 유역에서부터 하천세구간 및 미소서식처(Microhabitat)에 이르는 하천체계의 위계적 상호관계 역시 기본적으로 고려되어야만 한다. 이는 상위계의 하위계의 종속적인 연속관계를 고려하되 상위계의 거시적 특성과 하위계의 미시적 특성이 통합적으로 평가되어야만 올바른 하천환경의 평가가 이루어질 수 있음을 뜻한다. 따라서, 하천환경의 유형화를 기준으로 하천수계 전체 또는 하천구간 규모의 상위계와 하천세구간 및 미소서식처 규모의 하위계를 동시에 평가할 수 있는 평가지표 및 방법의 정립이 필요하다.

넷째, 우리나라 하천관리의 체계와 실제적인 여건 등을 고려할 때 과학적으로 연역적 방법인 독일의 평가체계가 귀납적인 방법인 호주의 평가체계보다 더 합리적일 것으로 판단된다. 이는 하천관리 부서의 이원화와 이에 따른 통합적 가치의 실현, 유역 및 수자원 정보의 가용성 한계와 비용 효과적 접근 등이 제한요인으로 작용하는 현실여건에 기인한다. 또한, 독일의 하천환경 평가체계의 경우 공간정보화된 하천환경 유형화과정의 도입은 비용과 시간 측면에서 유보될 수밖에 없는 상황으로 판단되고, 평가지표의 위계적 접근이나 참조하천 설정은 원칙적으로 받아들여져 평가지표나 기준은 우리나라 특성에 맞게 수정되어야만 할 것이다.

4. 결론 및 제언

1990년대 이후 국·내외적으로 자연친화적인 하천관리의 패러다임이 확산됨에 따라 치수 및 이수기능과 함께 생태적 및 사회·경제적 가치의 통합적 실현에 대한 필요성이 점증되고 있으나, 우리나라 하천환경관리의 수준은 가장 기본적인 관리의 틀이라 할 수 있는 과학적이고 표준화된 하천환경 평가체계의 부재와 함께 법·제도적 한계로 인하여 하천복원사업의 실효성을 담보하고 있지 못한 상태라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 독일과 호주 등 선진국의 하천환경 관리의 개념적 틀과 평가체계의 발달과정, 그리고 평가목적, 유형화 및 계층적 위계, 평가지표 및 방법 등에 대한 종합적인 검토결과를 바탕으로 우리나라 하천환경의 특성과 실제적인 하천관리 여건 등을 고려하여 한국형 하천환경 평가체계 정립의 기본방향을 제시하였다.

첫째, 하천환경 평가체계는 기본적으로 하천공간 환경의 위계에 기초하여 지질·지형, 수리·수문 등의 물리구조 및 화학적 질과 생물학적 다양성이 시간적·공간적인 변이성과 함께 긴밀한 상호관계를 이룬다는 사실이 전제되고 있다. 따라서 우리나라 하천환경의 체계와 특성, 그리고 실제적인 하천관리 여건 등을 충분히 고려한 평가체계의 개발이 필요하다는 점을 확인할 수 있었다.

둘째, 선진국의 표준화된 하천환경 평가체계는 다년간 축적된 하천관리의 경험적 측면과 과학적 지식 및 기술 진보의 산물이다. 즉 각국 하천환경의 고유성을 어떻게 반영할 것인가 하는 기본전제를 바탕으로 하여 하천환경의 유형화 및 계층적 위계, 평가분야, 평가지표 및 방법, 참조하천의 설정 및 기준의 정립 등이 일관성을 지니고 있는 것으로 나타났다. 따라서 우리나라의 하천환경 평가체계도 선진국 평가체계에서 드러난 기본원칙과 과정 및 방법 등을 최대한 고려하되 우리의 현실적인 여건에 적합한 과학적이면서도 통합적인 평가체계를 개발해야만 할 것이다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Bolgrien, David W. Ahgra, Ted R. Schweiger, William, Kelly John R. (2005) Contemplating The Assessment of Great River Ecosystems. Environmental Monitoring and Assessment (2005) 103: 5-20.
- Charlton, Ro (2008) Fundamentals of Fluvial Geomorphology. Routledge.
- Cho, Y.-H. (1997) Development of an Evaluation Method of

- Stream Naturalness for Ecological Restoration of Stream Corridors, Interdisciplinary Doctoral Program on Landscape Architecture Graduate School, Seoul National University.
- EC (2000) Directive 2000/60/EC establishing a framework for community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities. L327, 1-71. EPSRC., 2001. River Habitat Survey. Engineering.
- Environment Australia (2001) Australian River Assessment System: AusRivAS Physical Assessment Protocol. Monitoring River Health Initiative Technical Report: Report Number 22.
- Frissell, Christopher A. Liss William J. Warren, Charles E. Hurley Michael D. (1986) A Hierarchical Framework for Stream Habitat Classification: Viewing Streams in a Watershed Context Environmental Management Vol. 10. No. 2, pp. 199-214. Springer-Verlag New York Inc.
- Gordon, Nancy D. McMahon, Thomas A. Finlayson, Brian L. Gippel, Christopher J. Nathan, and Rory J. (2004) Stream Hydrology. John Wiley & Sons, Ltd.
- Habersack, Helmut M. (2000) The river-scaling concept(RSC): a basis for ecological assessments. Hydrobiologia 422/423: 49-60.
- Kamp, Ulrich. Binder, Walter and Holzl Konrad (2007) River habitat monitoring and assessment in Germany. Environ Monit Assess 127: 209-226.
- Kondolf, G. Mathias and Piegay, Herve (2003) Tools in Fluvial Geomorphology. John Wiley & Sons Ltd.
- Korea Institute of Construction Technology, Institute of Landscape Planning Hyea-Ju Kim (2007) User's Guide on the Physical Assessment System for small to medium size catchment(Ver. 1.0).
- Korea River Association (2013) Review of Stream Assessment Methodologies for Application in Korea, Seminar on River Management
- Korea Water Resource Association (2009) River Design Criteria.
- Lotspeich, F.B. and Platts, W.S. (1982) An integrated landaquatic classification system. North American Journal of Fisheries Management 2: 138-149.
- Ministry of Environment (2009) Survey and Recovery Measures on the Aquatic Ecosystem.
- Ministry of Environment (2012) Development and Application of an Evaluation Method of Stream Naturalness.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2009) Manual of River Corridor Survey and Monitoring for Nature-Friendly River Management.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2013) River restoration technique, Non & low-toxic materials, Assessment of river condition, Monitoring & assessment of isolated stream habitats, Characteristics of river condition Report.
- Norris, R.H. and Thomas, M.C. (1999) What is river health? Freshwater Biology 41: 197-209.
- Parsons, Mellisa. Martin, C. and Norris, R. (2003) Development of a Standard Approach to River Habitat Assessment in Australia.
- Parsons, Mellisa. Thomas, Martin. Norris, Richard (2001) Australian River Assessment System: AusRivAs Physical Assessment Protocol. Monitoring River Health Initiative Technical Report: Report Number 22. University of Canberra and Commonwealth of Australia.
- Plafkin, J.L. Barbour, M.T. Poeter, K.D. Gross, S.K. and Hughes, R.M. (1989) Rapid Bioassessment Protocols for use in Streams and Rivers: Benthic Macroinvertebrate and Fish. EPA/444/489-001. Washington DC.
- Rabeni, C.F. and Minshal, G.W. (1977) Factors affecting microdistribution of stream benthic insects. Oikos 29: 33-43.
- Raven, P.J. Holmes, N.T.H. Dawson, F.H. Fox, P.J.A. Everard, M. Fozzard, I.R. and Rowen, K.J. (1998) River Habitat Quality: The Physical Character of Rivers and Streams in the UK and Isle of Man. Environment Agency, Bristol, UK.
- Rutherford, Ian D. Jerie Kathryn. Marsh Nicholas (2000) A Rehabilitation Manual for Australian Streams. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology.
- Scheifhacken, Nicole. Haase, Ulrike. Gram-Radu, Lesya. Kozovyi, Roman. Berendonk, Thomas U. (2012) How to assess hydromorphology? A comparison of Ukrainian and German approaches. Environ Earth sci(2012) 65: 1483-1499.
- SEPA. (1998). River Habitat Quality Report. Scottish Environment Protection Agency Stirling, Press Release, 8th June 1998, Ref 24/98.
- Simpson, J.C. and Norris. R.H. (2000) Biological assessment of water quality: development of AUSRIVAS models and outputs. In: Wright JF, Sutcliffe DW and Furze MT (eds.). Assessing the Biological Quality of Freshwaters: RIVPACS and Similar Techniques. Freshwater Biological Association. Ambleside.
- Sudaryanti, Sri. Trihadiningrum. Hart, Barry, T. Davies. Peter, E. Humphrey, Chris. Norris, Richard. Simpson. Justen and Thurtell (2001) Assessment of the biological health of Brantas River, East Java, Indonesia using the Australian River Assessment System(AUSRIVAS) methodology. Aquatic Ecology 35: 135-146.
- Verdonschot, Piet F.M. (2000) Integrated ecological assessment methods as a basis for sustainable catchment management. Hydrobiologia 422/423: 389-412.
- Weiß, Annet. Matouskova, Milada. Matschullat (2007) Hydromorphological assessment within the EU-Water Framework Directive.

Received	March 4, 2014
Revised	March 12, 2014
Accepted	March 28, 2014