

<Review Paper>

하천생태계에 대한 환경평가 기법과 생물다양성 관리시스템의 개발 및 적용

배연재* · 원두희¹ · 이용재² · 승현우²

서울여자대학교 생물학과, ¹자연과학연구소, ²정보통신공학부

Development of Environment Assessment Technique and Biodiversity Management System and Their Application to Stream Ecosystems in Korea

Yeon Jae Bae*, Doo Hee Won¹, Woong Jae Lee² and Hyun Woo Seung²

Department of Biology, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea

¹Institute of Natural Science, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea

²College of Information and Communication, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea

Abstract - This paper introduces a study on the development of environment assessment technique and biodiversity management system for stream ecosystems and their application to Korean streams. Based on comprehensive field investigations from a series of streams of Bukhangang (North Han River) system as well as on long-term field survey and bibliographic data from streams throughout South Korea, schemes for environmental and biodiversity research of stream ecosystems are reviewed; types of major environmental damages in Korean streams are classified; a rapid assessment technique for nature quality of stream ecosystems is presented; and a list of environmental and biotic factors for the use of GIS-based biodiversity management system in stream ecosystems is provided. The biodiversity management system, which is based on ArcView and GEUS programs, is applied to Gapyeong Creek, a typical mid-size stream in Korea.

Key words : biodiversity management, environment assessment, Gapyeong Creek, GIS, Korean streams, stream ecosystems

서 론

하천생태계는 지구상의 수권에서 극히 일부를 차지하고 있지만 담수자원의 효율적인 이용 면에서 인간 생활과 가장 밀접하다고 할 수 있다. 한국은 국토의 대부분

이 산악지형으로 이루어져 있으므로 천연 호소의 발달은 미약한 반면 하천생태계는 잘 발달하여 있다. 우리가 이용하는 대부분의 담수자원도 강과 하천을 막아서 만든 인공호나 저수지로부터 얻고 있다. 그러나 지난 반세기 동안 진행된 개발의 과정에서 하천생태계는 크게 훼손되었으며, 한국에서 온전히 자연 상태로 남은 하천을 찾아보기는 거의 불가능하다. 또한 우리나라 하천의 생물 서식환경 훼손으로 그곳의 생물다양성은 크게 피해

* Corresponding author: Yeon Jae Bae, Tel. 02-970-5667, Fax. 02-970-5974, E-mail. yjbae@swu.ac.kr

를 입어왔다(배와 이 2001).

하천생태계는 수로를 따라 인구가 밀집되어 있고 오염물질이 쉽게 하천으로 흘러들기 때문에 오염에 매우 취약하다. 하천생태계의 환경 훼손과 수질오염은 담수자원의 고갈과 직결되므로 일찍부터 선진 외국에서는 인위적 영향을 받고 있는 인위하천, 조절하천, 순화하천, 도시하천 등에 대한 연구, 보전 및 관리에 많은 관심을 기울여 왔다(Ward and Stanford 1979; Garnier and Mouchel 1999; Smits *et al.* 2000). 우리나라에서도 하천생태계의 보전에 대한 노력은 초기의 공학적 수질관리 차원을 벗어나 조경학적 관점의 자연하천 보존과 복원으로 이어지고 있으며, 궁극적으로 하천을 단위 생태계로 인식하여 그곳의 환경과 생물군집 및 인간의 영향을 총체적으로 규명하고, 보전 및 관리를 하여야 한다는 공감대가 형성되고 있다(배와 이 2001). 이러한 시점에서 한국 하천생태계의 인위적 훼손 유형을 규명하여 하천생태계에 대한 환경평가의 기법을 개발하고, 생물다양성을 관리하는 시스템을 개발하는 것이 필요한 실정이다. 하천생태계의 시공간적 관리는 최근에 급속히 발달한 지리정보시스템(GIS)의 도입으로 보다 용이하게 되었다.

한편 한국의 자연환경을 조사하여 평가하고 이를 바탕으로 보존과 관리에 이용하고자 하는 노력이 수차례 이루어져 왔다. 예를 들면 환경부에 의하여 1980년대 이래 1, 2차에 걸쳐 시행된 전국자연환경조사(전국생태계조사)는 전국적 규모에서 많은 전문가들이 관여하여 육상 및 연안생태계의 환경과 생물다양성을 조사하여 왔으나 그러한 조사는 아직 환경과 생물상에 대한 기초조사 수준에 머물러 있다. 또한 하천 생물 조사가 포함된 육상생태계에 대한 조사의 경우 산림식생 위주로 조사단위를 나누었기 때문에 유역(drainage) 또는 수계(stream network)를 단위로 한 하천생태계의 조사연구에는 불합리한 면이 있었다(배 1999).

따라서 본 논문에서는 지금까지 북한강 수계에서 집중적으로 이루어진 현지 조사자료와 전국 하천에서 장기간 조사된 야외조사 및 문헌 자료를 바탕으로 우리나라 하천생태계의 환경과 생물다양성 연구에 대한 체계를 고찰하고, 하천생태계의 환경평가 기법 및 종합적인 생물다양성 관리시스템을 GIS를 적용하여 제시하고자 하며, 이를 연구의 모델하천인 경기도 가평천에 적용한 사례를 소개하고자 한다.

연구 방법

본 연구를 위하여 북한강 수계의 일련의 하천들(상류

로부터 방대천, 가평천, 조종천, 수동천, 왕숙천, 중랑천, 청계천)을 대상으로 중점적인 야외조사를 실시하였다(Fig. 1). 이들 조사 하천은 강원도의 청정지역에서부터 남한 인구의 절반이 살고 있는 수도권과 서울의 인구 밀집지역까지 단계적으로 분포하기 때문에 우리나라 하천 중에서 자연상태의 하천, 개발의 초기단계 및 개발이 진행되고 있는 하천, 그리고 도시하천에 이르기까지 개발에 따른 하천생태계의 환경훼손 유형과 도시화의 영향을 단계적으로 살펴볼 수 있었다(배와 이 2001). 또한 이들 조사 하천에서 과거 20여년간 하천 환경과 생물군집에 관한 조사가 비교적 충실히 이루어져 왔으므로 그 자료를 직접 또는 간접적으로 이용할 수 있었다(윤 등 1990; 배 1996; 배 등 2002, 2003a, b). 단일 하천을 대상으로 한 생물다양성 관리시스템의 개발을 위하여 북한강 지류 중에서 개발과 인위적 환경 훼손이 초기에서 중기 사이의 단계에 있다고 여겨지는 가평천을 모델하천으로 하였다. 그 하천에서 개체군 수준의 생물다양성 관리를 위한 대표종으로서 환경 지표종인 연날개수염치레각날도래(*Stenopsyche bergeri*)를 조사하여 이용하였다.

본 조사연구의 모델하천인 가평천의 전체 수계를 하천 환경과 미소서식처가 유사한 소구역 단위로 나누어(배 등 2003b의 Fig. 1 참조) 집중적으로 하천 환경과 생물군집을 조사하였다. 가평천의 환경과 생물 군집에 관한 자세한 조사 자료는 다른 지면에 자세히 수록되어 있다(배 등 2003a, b). 서식처의 환경 훼손 유형을 파악하기 위하여 현지 야외 관찰과 측정 뿐만 아니라 조사 당시의 환경 현황을 Digital videocamera로 촬영하여 화상 비교 분석을 하였다.

전국 하천에서 보다 일반적인 환경훼손 유형을 반영할 수 있는 환경평가 기법을 개발하기 위하여 1960년대 이래 전국의 하천에서 조사된 생태자료와 문헌자료(배 1996), 북한강 지류의 조사 대상 하천들에 대한 환경자료와 생물군집 자료, 그리고 본 연구의 모델하천인 가평천의 환경 및 생물군집에 대한 야외조사와 분석을 통하여 하천의 자연환경을 종합적으로 대변할 수 있는 하천자연도등급 간이판정표를 고안하였다. 하천자연도등급은 우리나라의 하천에 빈번히 나타나는 인위적 환경훼손 유형을 수로 변경 요인과 하천의 환경 및 생물요인으로 대별하여 그에 해당되는 세부항목을 제시하였고, 어느 하천 지역의 세부항목에 대한 정량 또는 정성적 평가로 총점 10점에 대한 누적 감점수로 표현하는 방법을 고안하였다.

하천의 환경과 생물다양성 요인을 관리하기 위한 시스템으로서 GIS를 도입하였다. GIS의 구현에는 벡터식 표현 방법을 사용하는 ArcView와 그에 호환되는 GEUS DB 프로그램을 이용하였다(ESRI 1998). GIS 구현을 위

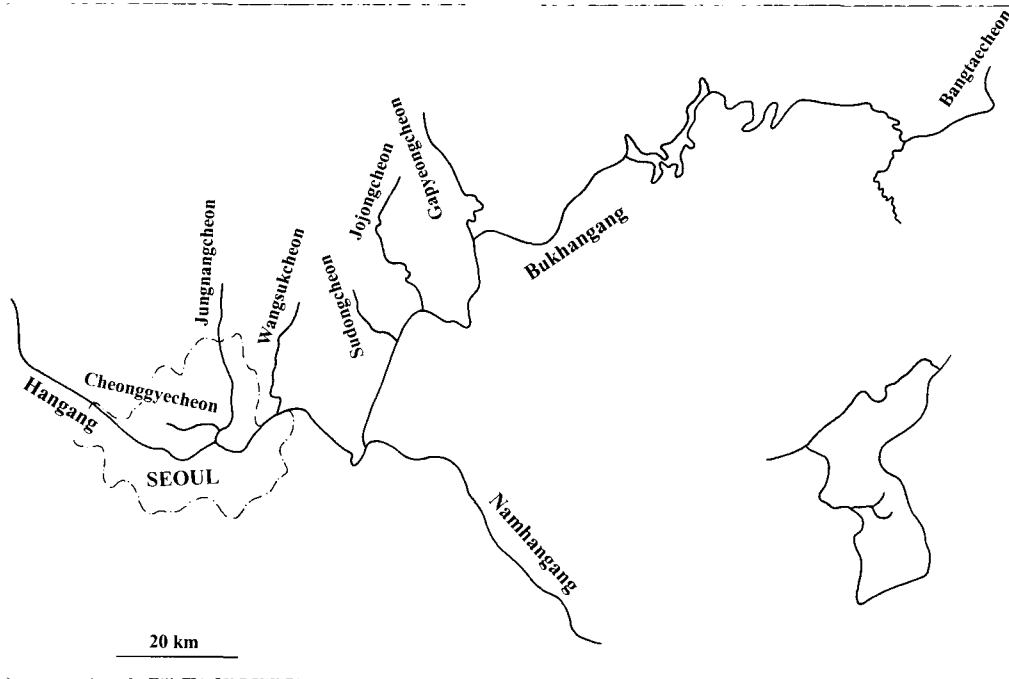


Fig. 1. 북한강 수계의 조사 대상 하천.

한 속성 자료로서 환경자료와 생물자료 및 예측모델을 고려하였다. 또한 멀티미디어자료(서식처사진, 생물의 생태사진, 동영상 등)를 적극 활용하여 다양한 형식의 조 회가 가능하도록 하였다.

결과 및 고찰

1. 하천생태계의 연구체계 고찰

하천생태계는 발원지 하천으로부터 하구까지 고도차에 의해 물이 한 방향으로 지속적으로 흐르기 때문에 하천규모, 수온, 유속, 바닥물질, 먹이자원 등의 환경요인과 그에 따른 생물 기능군이 연속적으로 변화한다. 따라서 하천을 연속적인 계(system)로 정의하는 하천연속성의 개념(River continuum concept)이 제시되었다(Vannott et al. 1980). 하천연속성의 개념을 서로 다른 환경의 모든 하천에 적용시키기에는 문제가 있지만, 그 개념은 하천생태계의 환경과 생물 군집 관계를 총체적으로 포함하고 있으므로(Allan 1995; Wetzel 2001) 우리나라와 같이 산악지형이 대부분인 지역의 하천에서는 그 적용이 대체로 무난한 것으로 보인다(배 등 2003). 따라서 하천생태계를 대상으로 조사연구를 수행할 때에는 이러한 하천연속성의 개념을 고려한 시공간적 조사연구의

Table 1. 하천생태계의 공간적 단위 구분

구 분	일반적 규모(대략적 범위)
유역(drainage area) 또는 수계(network)	수십 km (수 km ~ 수백 km)
구역(section)	수 km (수백 m ~ 수 km)
소구역(reach)	수백 m (수십 m ~ 수백 m)
복합서식대 (pool-riffle sequence)*	수십 m (수 m ~ 수십 m)
서식대(habitat)**	수 m (수 m ~ 수십 m)
미소서식처(microhabitat)	수십 cm (수 cm ~ 수 m)
바닥물질입자(individual particle and grain)	수 cm (수 mm ~ 수 cm)

*급류대(riffle), 완류대(run) 및 체수대(pool)가 연속되는 복합적 단위 구역
 **급류대, 완류대, 또는 체수대를 지칭.

틀을 짜는 것이 유용하다.

하천생태계는 어느 지역의 등고선의 정점을 연결하여 형성된 집수역(集水域, drainage)을 가장 큰 단위로 한다. 이러한 집수역을 일반적으로 하천의 유역(流域, drainage area)이라 하며, 그 하천 유역의 수로의 총체를 수계(水系, network)라 한다. 단위 수계는 시공간의 연속적인 척도에 따라 구역(區域, section), 소구역(小區域, reach), 복합서식대(複合棲息帶, pool-riffle sequence), 서식대(棲息帶, habitat), 미소서식처(微小棲息處, microhabitat), 바닥물질입자(底質粒子, individual particle

and grain) 등으로 등급화하여 공간적 단위를 나눌 수 있다(Allan 1995; 배 1999) (Table 1). 서식대는 대개 유속과 바닥물질 구성 등 환경 여건에 따라 급류대(急流帶, riffle: 일반적으로 “여울”로 불리고 있음), 완류대(緩流帶, run), 그리고 체수대(滯水帶, pool: 흔히 “소(沼)”로 불리고 있음)로 분류할 수 있으며, 이들이 연속적으로 반복되는 복합적 단위 구역을 복합서식대라 정의할 수 있다. 복합서식대는 정수-유수 연속구역(淨水-流水 連續區域)으로 불리기도 한다(배 1999).

하천생태계의 조사연구 및 관리시스템의 적용에 있어서도 조사의 성격에 따라 이와 같은 시공간적 규모를 적절히 적용하는 것이 필요하다. 조사장소에 관한 명칭의 사용에 있어서도 종래에는 조사하천(study stream), 조사지역(study area), 조사지점(study site) 등 포괄적인 용어를 사용하여 왔으나, 앞으로는 수계, 구역, 소구역 등의

기존 용어와 조사지점 (= 복합서식대 또는 그것을 구성하고 있는 급류대, 완류대 및 체수대), 채집지점(sampling point; 미소서식처와 동일 규모) 등의 용어를 도입하여 공간적 규모를 명확히 제시하는 것이 바람직하다.

현재 환경부에서 실시하고 있는 제2차 전국자연환경 조사에서는 환경자료와 생물자료를 동일한 기준으로 관리하기 위하여 통일된 조사권역을 설정하여 모든 조사 분야에 적용하고 있다. 즉, 현재의 조사권역은 주로 등고선을 따라 설정된 주요 산을 중심으로 구획되어 있는데 이러한 조사권역의 구분은 하천생태계의 구획 기준인 유역과는 상반된 구획방법이므로 그 적용에 어려움이 있다. 따라서 모든 분야에 동일하게 적용하고 있는 현재의 조사권역의 구획방법은 하천생태계를 대상으로 한 조사에는 적합하지 않기 때문에 앞으로 생태계 조사와 관리를 위한 권역의 구분에 있어서 2원적 체계를 도입하여 하천생태계 관련조사는 유역 개념으로 조사권역이 수정되어야 한다.

상기한 하천생태계의 조사 단위를 조사의 성격에 따라 적용한다면 전국 규모에서의 생물상 조사와 같은 수계별 조사, 단위하천 수준의 생태계(환경 및 군집) 조사, 그리고 단일 생물종의 개체군 조사와 같이 하천 구역, 소구역 및 복합서식대를 대상으로 한 조사, 그리고 생물의 개생태학적 수준의 연구를 위한 보다 소규모의 시공간적 범위를 생각할 수 있다. 이와 같은 기준에 따라 하천생태계의 관리시스템을 적용한다면 전국적 또는 수계별 관리시스템, 단위하천(모델하천) 수준에서의 관리시스템, 그리고 단일 생물종의 개체군이 분포하는 하천의 일부 지역을 대상으로 한 관리시스템을 생각할 수 있다 (Fig. 2).

2. 하천자연도등급

어느 생태계에 대한 자연도(nature quality)를 평가하는 것은 인위적 환경 훼손의 영향을 상대적으로 평가하는 방법으로서 여러 종류의 평가 방법이 고안되어 응용 분야에 적용되고 있다. 예를 들면 “녹지자연도”는 현존 식생의 분포와 군집의 특성으로 특정 생태계의 인위적 영향을 평가하는 방법으로서 환경영향평가의 도구로 사용되는 등 생태, 환경 분야에서 그 활용도가 높다(강 등 1996). 또한 하천내의 수질 환경을 종합적으로 평가하기 위한 방법으로서 저서성 대형무척추동물(Rosenberg and Resh 1993; 윤 1995)이나 어류(안 등 2001) 등 생물 군집을 이용한 생물학적 수질판정법이 제시되어 있으나 하천생태계의 전체 환경을 포괄적으로 대변하기에는 한계가 있다.

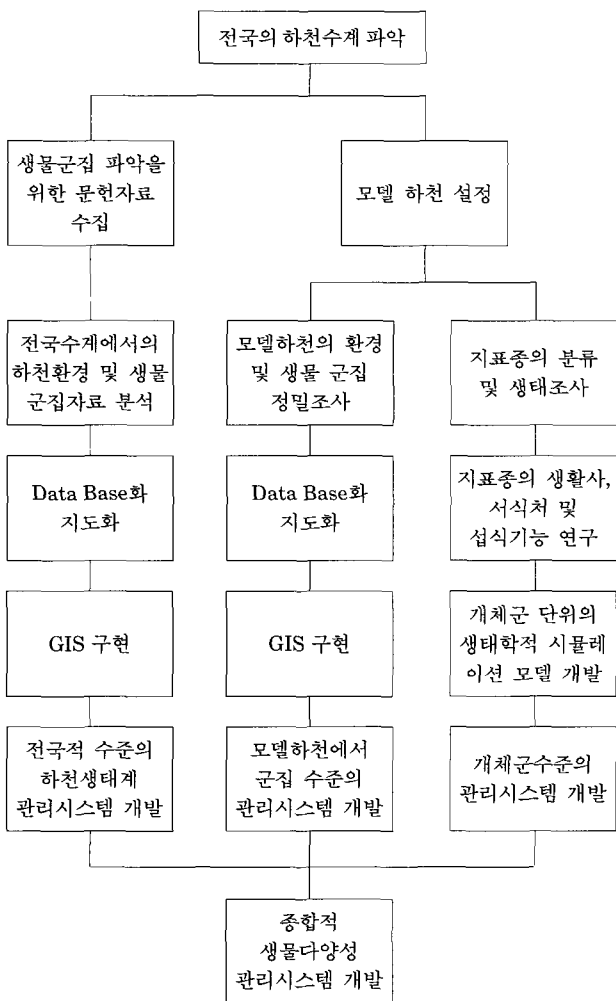


Fig. 2. 하천생태계의 생물다양성 관리시스템 연구 체계도.

그러나 어느 생태계의 총체적 환경을 정량적으로 평가하는 것은 쉽지 않으며, 그러한 작업이 다분히 주관적으로 흐르거나 전문가의 경험에 의존하는 경우가 많다. 그럼에도 불구하고 하천과 같이 환경 변화와 오염에 취

약한 생태계일수록 인위적 환경훼손의 정도를 반영할 수 있는 평가의 방법이 필요한 실정이다. 특히 우리나라와 같이 개발의 영향을 크게 입고 있는 지역일수록 인위적 환경영향에 대한 평가 방법과 그 적용이 시급하다.

Table 2. 한국 하천생태계의 주요한 인위적 환경변화 유형

서식처 변화	<ul style="list-style-type: none"> 댐과 저수지의 축조로 인한 정수화 농업, 산업, 생활 용수의 개발로 인한 수량감소 및 전천화 도시화로 인한 수로 변경 (채널화, 유로 변경, 준설, 인공제방, 수중보 등)
수질오염	<ul style="list-style-type: none"> 생활하수, 축산폐수 등에 의한 부영양화 산업폐수에 의한 독성화학물질의 증가 (중금속, 유기화합물, 농약, 암모니아 등)
기 타	<ul style="list-style-type: none"> 홍수 후의 토양 및 고형쓰레기의 퇴적 유흥행위의 증가로 인한 하천변 서식처 교란 및 난개발

상기한 우리나라 하천에서의 장기간 조사자료를 토대로 하천생태계 훼손의 유형을 고찰하여 볼 때, 그 훼손 유형은 대형댐 건설로 인한 정수화, 용수의 과도한 개발로 인한 수량감소와 전천화, 그리고 최근에 더욱 두드러진 도시화의 급속한 진행으로 인한 채널화 및 수질오염으로 요약할 수 있다 (Table 2). 우리나라 하천에서 생물 다양성의 감소를 초래한 환경 훼손 유형은 배와 이 (2001)에 의하여 자세히 소개되었다.

본 논문에서 새로이 제시하는 하천자연도등급 간이판정표 (Table 3)는 전국의 하천에서 수집된 환경훼손 유형과 상기한 조사 대상 수계와 하천에서 집중적인 현장조사 및 분석을 통하여 하천의 자연도를 측정할 수 있는

Table 3. 하천자연도등급 간이판정표. 10단계로 구분: 하천자연도 10 (10점), 9 (9.0~9.5점), 8 (8.0~8.5점), 7 (7.0~7.5점), 6 (6.0~6.5점), 5 (5.0~5.5점), 4 (4.0~4.5점), 3 (3.0~3.5점), 2 (2.0~2.5점), 1 (0~1.5점) 순으로 자연도가 감소함

항 목 (점수)	세 부 항 목	10점에 대한 감점수
I. 수로 변경 요인 (5/10)		
1) 제방형태 (3)	<ul style="list-style-type: none"> 인공제방 없음 자연재질 인공제방 1/2 미만 자연재질 인공제방 1/2 이상 돌망태, 계단식 블록 제방 시멘트 벽, 부분 또는 완전 복개 	<ul style="list-style-type: none"> 0 -0.5 -1 -2 -3
2) 준설 및 수로 변경 (1)	<ul style="list-style-type: none"> 준설 및 수로 변경 없음 준설 및 수로 변경 1/2 미만 준설 및 수로 변경 1/2 이상 	<ul style="list-style-type: none"> 0 -0.5 -1
3) 도로 및 하천내 구조물 (1)	<ul style="list-style-type: none"> 하천내 구조물 및 하천 30m 이내 도로 없음 하천내 구조물 (다리, 수중보, 인공섬 등) 있음 또는 하천 30m 이내 1차선 미만 비포장도로 (달구지 길) 있음 하천 30m 이내 포장도로 또는 1차선 이상 도로 (자동차 길) 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 0 -0.5 -1
II. 하천 환경 및 생물 요인 (5/10)		
1) 유역 환경 (1)	<ul style="list-style-type: none"> 자연상태 농경지, 드문 인가, 마을 소도시, 대도시 	<ul style="list-style-type: none"> 0 -0.5 -1
2) 유흥 활동 (1)	<ul style="list-style-type: none"> 유원지 아님 일시적 유원지 상설 유원지 또는 상주 상가 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 0 -0.5 -1
3) BOD 기준 수질 (1)	<ul style="list-style-type: none"> 1급수 2~3급수 4~5급수 	<ul style="list-style-type: none"> 0 -0.5 -1
4) 하천변 식생 (1)	<ul style="list-style-type: none"> 전반적 자연식생 부분적 자연, 인공식생 또는 전반적 인공식생 식생 거의 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 0 -0.5 -1
5) 생물다양성 (저서성 대형무척추동물) (1)	<ul style="list-style-type: none"> 다양함 (빈부수성: 다양도지수 3.0 이상) 보통 (중부수성: 다양도지수 1.0-2.9) 다양하지 못함 (강부수성: 다양도지수 0-0.9) 	<ul style="list-style-type: none"> 0 -0.5 -1

Table 4. 하천자연도등급 간이판정표 적용 사례: 가평천 도대리 오목교 (Fig. 5의 St. 6; Fig. 3 참조)

항 목(점수)	세 부 항 목	10점에 대한 감점수
I. 수로 변경 요인 (5/10)		
1) 제방형태 (3)	자연재질 인공제방 1/2 미만	-0.5
2) 준설 및 수로 변경 (1)	준설 및 수로 변경 없음	0
3) 도로 및 하천내 구조물 (1)	하천 30m 이내 포장도로 또는 1차선 이상 도로(자동차 길) 있음	-1
II. 하천 환경 및 생물 요인 (5/10)		
1) 유역 환경 (1)	농경지, 드문 인가, 마을	-0.5
2) 유흥 활동 (1)	일시적 유원지	-0.5
3) BOD 기준 수질 (1)	1급수	0
4) 하천변 식생 (1)	전반적 자연식생	0
5) 생물다양성 (저서성 대형무척추동물) (1)	다양함 (빈부수성: 다양도지수 3.0 이상)	0
점 수		10-2.5=7.5
하천자연도등급		7

Table 5. 하천자연도등급 간이판정표 적용 사례: 가평천 가평읍 가평철교 (Fig. 5의 St. 1; Fig. 4 참조)

항 목(점수)	세 부 항 목	10점에 대한 감점수
I. 수로 변경 요인 (5/10)		
1) 제방형태 (3)	돌담대, 제단식 불력 제방	-2
2) 준설 및 수로 변경 (1)	준설 및 수로 변경 1/2 미만	-0.5
3) 도로 및 하천내 구조물 (1)	하천 30m 이내 포장도로 또는 1차선 이상 도로(자동차 길) 있음	-1
II. 하천 환경 및 생물 요인 (5/10)		
1) 유역 환경 (1)	소도시, 대도시	-1
2) 유흥 활동 (1)	상설 유원지 또는 상주 상가 있음	-1
3) BOD 기준 수질 (1)	1급수	0
4) 하천변 식생 (1)	부분적 자연, 인공식생 또는 전반적 인공식생	-0.5
5) 생물다양성 (저서성 대형무척추동물) (1)	다양함 (빈부수성: 다양도지수 3.0 이상)	0
점 수		10-6.0=4.0
하천자연도등급		4

항목을 선별하였으며, 하천 수로에 인위적 변경을 가한 정도를 직접적으로 평가할 수 있는 부분과 하천의 인위적 영향을 간접적으로 유추할 수 있는 부분을 50%씩 배분하여 측정함으로써 평가의 균형을 맞추고자 하였다. 수로 변경 요인에서는 제방의 형태 (30%)가 하천의 인위적 구조 변경을 가장 근원적으로 반영하며, 또한 평가의 효율성과 용이성이 높다고 판단되어 가중치를 가장 크게 주었고, 그 외에 준설 및 수로 변경 (10%)과 하천변 도로 및 하천내 구조물 (10%)의 상태를 고려하였다. 간접적 평가인 하천환경 및 생물 요인으로서 유역환경 (10%), 유흥활동 (10%), BOD 기준 수질 (10%), 하천변 식생 (10%), 그리고 하천내 생물다양성 (10%)을 고려하였다. 유흥활동은 근래 우리나라의 비교적 양호한 하천에서 나타나는 하천 개발 요인 중 가장 눈에 띄는 부분이므로 독립된 항목으로 평가하였다. 상기한 세부항목은 야외에서 육안으로 비교적 쉽게 측정할 수 있고, 실험실

에서 간단한 실험으로 측정치를 구할 수 있으며, 그 정도를 판단하기에 용이한 항목을 사용하고자 노력하였다. 하천내 생물다양성 항목은 정량채집이 용이하며, 지표생물로서 많이 이용되는 저서성 대형무척추동물을 대상으로 정량채집에 따른 종다양도지수를 구하여 이용하는 방법을 사용하였다(배 1999).

등급의 판정에 있어서 완전한 자연상태의 하천을 10점으로 두고 각 세부항목의 인위적 변경 정도에 따라 0.5점 또는 1점씩 감점하는 방식을 도입하여 판정의 용이성을 높이고자 하였다. 상기 하천자연도등급 간이평가표에 의한 가평천의 대표적 조사지점 2곳 (Figs. 3, 4)의 평가에 관한 사례를 제시하였고 (Table 4, 5), 이에 따른 가평천 전 수계의 소구역별 하천자연도를 구하여 서로 다른 색으로 표시하였다 (Fig. 5). 본 논문에서 제시한 하천자연도등급은 우리나라의 일반적 중규모 하천을 대상으로 하여 야외에서 사용하기 쉽도록 고안한 간이판정



Figs. 3-4. 가평천의 자연환경. 3: 가평천 도대리 오목교(St. 6). 4: 가평천 가평읍 가평철교(St. 1).

표이며, 사용자의 주관적 판단에 따라 다소 다른 결과를 가져올 수도 있다. 따라서 각 항목과 점수 비율에 대한 검증과 수정 및 보완이 뒤따라야 할 것이다.

3. GIS를 이용한 생물다양성 관리시스템

앞에서 언급하였듯이 하천생태계의 생물다양성 관리 시스템의 적용에 있어서 먼저 전국 규모의 하천 수계를

대상으로 하는 관리시스템의 내용과 특정 하천 및 개체군 수준을 대상으로 하는 관리시스템의 내용을 체계적으로 구분하여 개발, 적용할 필요가 있다(Fig. 2 참조). 따라서 본 논문에서 도입한 GIS 속성자료(Table 6)는 자료의 양과 질을 고려하여 전국적 생물상 조사나 수계별 군집 조사에 적용되는 일반조사지역의 자료와 그것보다 더 상세한 자료를 필요로 하는 개체군 수준의 관리에 적용되는 중점조사지역의 자료로 구분하였다.

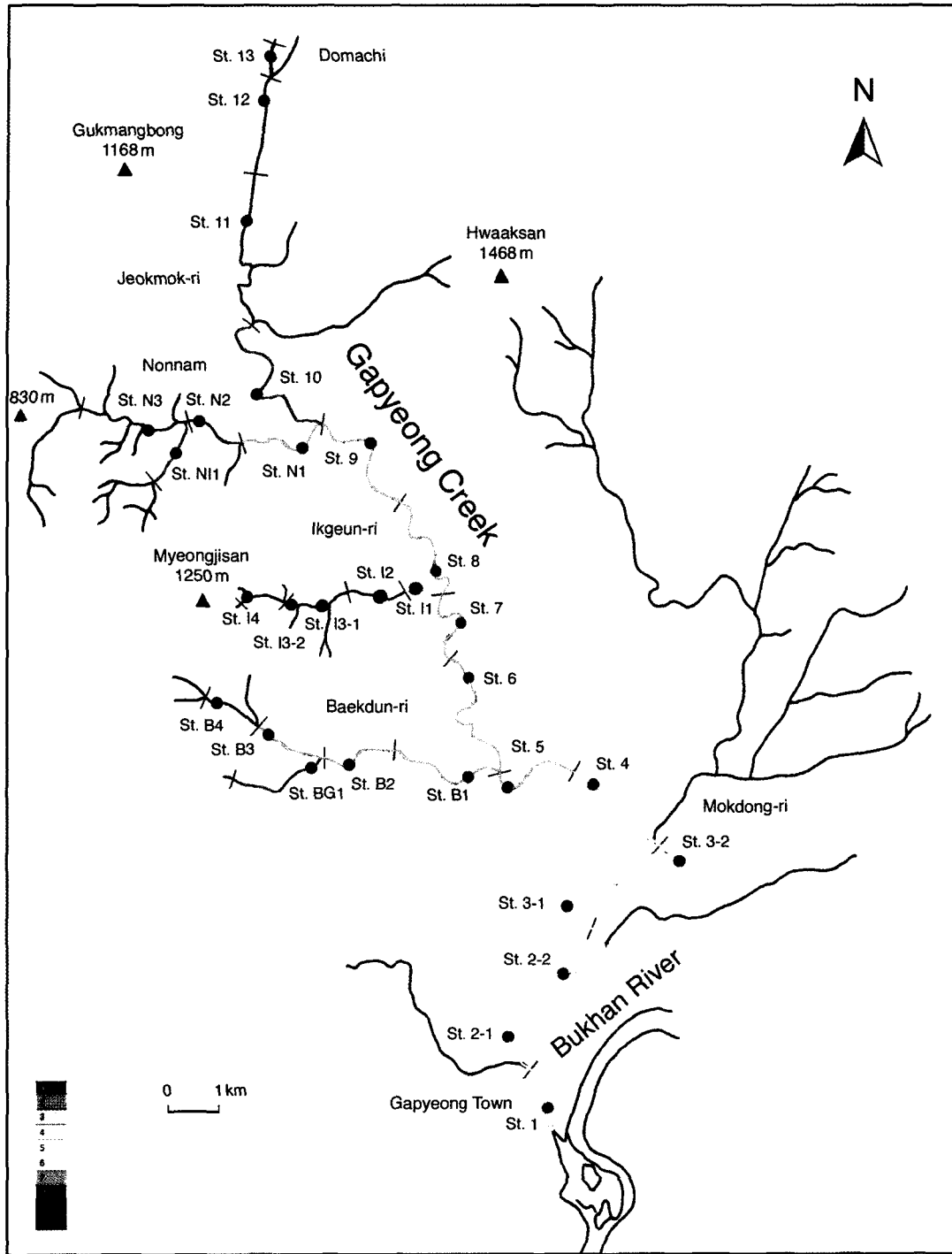


Fig. 5. 하천자연도등급 간이판정표를 적용한 가평천의 소구역별 하천자연도등급 실례.

일반조사지역의 속성자료로서는 먼저 기본 입력 자료인 지역명 분류에 관한 내용과 일반적 환경요인을 포함하였다. 중점조사지역에서는 개체군의 변동을 해석하기 위하여 필요한 연간 수온, 강수량, 일조량 등의 변화와 먹이자원, 바닥물질 등의 세부자료를 포함하였다. 하천자

연도등급은 특정 지역의 총체적인 환경 훼손에 대한 정도를 나타내는 값으로서 간이판정표(Table 3)를 따랐다. 중점조사지역에서는 하천자연도등급의 세부사항을 수록하였다. 속성자료의 성격에 따라 표, 그림, 사진, 동영상 등으로 표현하였다.

Table 6. 하천생태계의 생물다양성 관리시스템 개발을 위한 GIS 속성 자료(일반조사지역: 전국적 생물상 조사 및 수계별 군집 조사에 적용. 중점조사지역: 개체군 수준의 조사에 적용)

구 분	GIS 속성자료	표현양식
I. 환경자료		
1) 일반조사지역 (모든 소구역에 적용됨)	지역명 분류: 수계명 (Stream network), 구역명 (Section), 소구역명 (Reach), 소구역 번호(Reach No.), 소구역 행정구역명 (Locality), 조사지점번호 (Site No.) 물리환경 요인: 하순 (Stream order), 하폭 (Stream width), 수폭 (Water width), 수심 (Water depth), 평균 유속 (Current velocity), 평균 수온 (Average water temperature), 바닥물질 구성 (Substrate composition) 및 바닥물질 입자 중간값 (Substrate median diameter) 화학환경요인: pH, DO, BOD ₅ , COD, SS, Conductivity, Turbidity, T-N, T-P 하천자연도등급*: 10단계	표 표 표 그림
2) 중점조사지역 (일반조사지역의 환경요인에서 다음 사항 추가)	연간 수온 모니터링 자료 연간 강수량 변화 연간 일조량 변화 먹이자원 자료: CPOM, FPOM 등 바닥물질 자료: Phi scale 하천자연도등급 세부 자료*: 수로변경 요인 (제방형태, 준설 및 수로 변경, 도로 및 하천내 구조물), 하천 환경 및 생물 요인 (유역 환경, 유흥 활동, BOD 기준 수질, 하천변 식생, 생물다양성)	그림 그림 그림 그림 그림 그림
II. 생물자료		
1) 일반조사지역 (생물군집 자료 적용)	생물군집의 분류 목록 (수계별, 구역별, 소구역별 목록) 분류군별 (목별) 구성비 섭식기능군별 구성비 제1, 2 우점종 및 주요종 우점도지수, 다양도지수, GPI 지수 GPI 지수에 의한 오염현황	표 그림 그림 사진, 동영상 표 그림
2) 중점조사지역 (지표생물 개체군 자료 적용)	지표생물 종의 분류학적 자료: 학명, 국명, synonym, 형태 diagnosis, 분포 생활사 요인 서식처 요인 (광범위 분포, 미소서식처, 바닥물질 선호성 등) 섭식생태 요인 (섭식행동, 위내용물 등), 2차생산, 먹이사슬 문헌자료 목록, 기타 참고자료 및 Internet site link	표, 사진 그림 표, 그림, 사진, 동영상 표, 그림, 사진, 동영상 표
III. 예측모델		
1) 일반조사지역	하천자연도등급 판정* 생물학적 수질 판정: 다양도지수 및 GPI지수 이용	그림 표
2) 중점조사지역	수온변화에 따른 개체군 변동(생물기후학적 생활사 예측 모델)	그림

*Table 3 참조

생물자료로서는 일반조사지역인 경우 출현 생물군집의 분류군 목록, 분류군별 구성비, 섭식기능군의 구성비, 우점종 또는 주요종에 대한 정보, 우점도, 다양도, 군오염도지수 (GPI 지수) 등을 포함하였다. 중점조사지역에서 개체군 수준의 생물다양성 관리는 가평천의 대표적 지표생물인 연날개수염치레각달도래의 생활사 및 생태연구를 토대로 하여 지표생물 종에 대한 자세한 명세와 개체군 생태자료인 생활사, 개체군 변동, 서식처, 먹이관계 등을 수록하는 방법을 고안하였다.

상기한 환경 및 생물자료는 자료 제공자에 의하여 사용자에게로 전달되는 전달 방식이다. 그러나 예측 모델은 자료 사용자가 어떤 환경요인에 대한 실측값을 가지

고 있을 경우 이를 스스로 입력함으로써 그 결과를 예측하여 확인할 수 있는 시스템으로서 Internet을 통한 관리시스템의 활용에 유용하게 적용될 수 있다. 일반조사지역에서는 하천자연도등급과 종다양도지수 및 GPI 지수를 사용자의 자료로 연산할 수 있는 예측 모델을 설치함으로써 사용자가 스스로 생물학적 수질판정을 시도할 수 있고, 중점조사지역에서는 수온변화에 따른 개체군 변동모델에 적용할 수 있다.

상기 GIS 속성자료를 모델화한 가평천에 적용할 때 지도화 작업과 속성자료의 DB작업으로 나누어 작업을 진행하였다. 지도화 작업은 상품화된 디지털 지도를 구입할 수 있는 경우 이를 이용할 수 있지만 가평천은 그

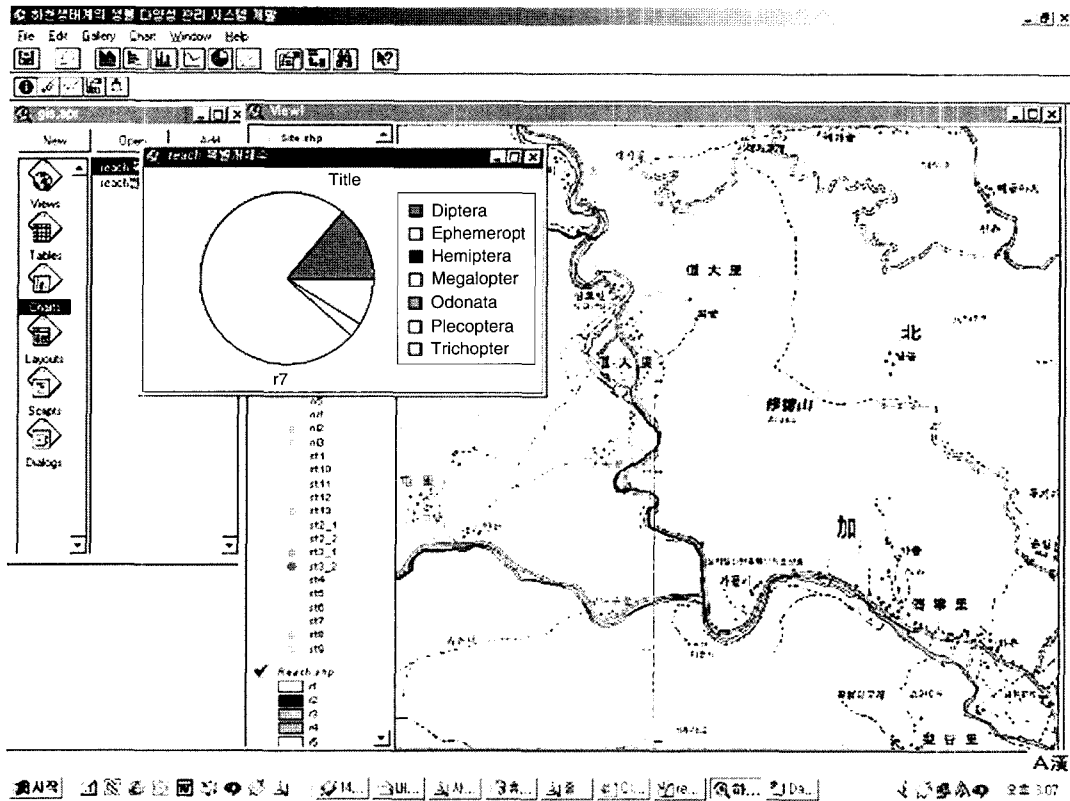


Fig. 6. 가평천의 생물다양성 관리에 관한 GIS 구현 실례.

것이 여의치 않았으므로 먼저 가평천의 축척 1:25000 지형도를 스캐너를 이용하여 그림 (jpg) 파일로 만든 다음 ArcView에서 digitizing 작업을 수행한 후 가평천 수계의 좌표 값과 mapping 시켰다. 이렇게 디지털화 된 공간 데이터를 GEUS에서 인식할 수 있도록 데이터형 변환을 하였다. 공간데이터 구축이 완료된 가평천의 전체 지도에 GEUS로 저장된 상기한 환경과 생물 속성 자료를 접속하면 사용자가 원하는 지점의 속성 정보를 손쉽게 볼 수 있고, 또한 이를 통하여 사용자가 원하는 지역의 확대, 축소를 통하여 자세한 그래픽 정보, 사진 정보, 동영상 정보 등의 멀티미디어 정보를 손쉽게 볼 수 있다(Fig. 6).

적 요

본 논문에서는 하천생태계의 환경평가 기법과 생물다양성 관리시스템을 개발하여 한국의 하천에 적용한 사례를 소개하였다. 전국 하천에서 장기간 수집된 조사자료와 문헌자료 뿐만 아니라 북한강 수계의 일련의 하천들을 대상으로 종합적으로 실시한 야외조사를 바탕으로

하천생태계의 환경과 생물다양성에 대한 조사연구의 체계를 고찰하였고, 한국 하천의 주요 환경훼손 유형을 분류하였고, 하천자연도등급 간이평가표를 작성하여 제시하였으며, GIS를 적용한 하천생태계의 생물다양성 관리시스템에 사용될 환경 및 생물 요인의 속성자료 목록을 제시하였다. ArcView와 GEUS 프로그램을 이용하여 구축한 상기 생물다양성 관리시스템을 한국의 전형적인 중규모 하천인 가평천에 적용하였다.

사 사

본 연구는 과학기술부의 1999년도 여자대학교 연구기반확충사업 (99-B-WB-08-A-09)의 지원으로 이루어졌음. 본 연구의 야외조사는 명지산생태연구소(MERC-2003-3)에서 이루어졌음.

참 고 문 헌

강 헌, 박석순, 이무춘 외 9인. 1996. 환경영향평가. 동화기술, 서울.

- 배경석, 유승성, 원두희, 김민영, 신재영. 2002. 한강 상류수계 (가평)의 저서성 대형무척추동물 군집 분석 및 생물학적 수질 평가. 한국환경위생학회지. 28:149-160.
- 배연재. 1996. 한국 수서곤충 연구의 현황과 과제. '96한국육수학회 심포지움 강연록. pp. 63-71.
- 배연재. 1999. 한국산 수서곤충의 연구현황과 조사방법의 표준화. 한국곤충학회 심포지엄 강연록 - 21세기 자연환경보전과 곤충학. 한국곤충학회. pp. 67-105.
- 배연재, 원두희, 황득휘, 진영현, 황정미. 2003a. 경기도 가평천의 하순에 따른 수서곤충 군집조성과 섭식기능군. 한국육수학회지. 36:21-28.
- 배연재, 이병훈. 2001. 한국 하천생태계의 환경 훼손과 담수 절지동물의 생물다양성 피해 및 보전. 한국곤충학회지. 31:63-76.
- 배연재, 진영현, 황정미, 원 빈, 황득휘, 김도희. 2003b. 경기도 가평천의 수서곤충 분포와 서식환경 및 보전. 한국자연보전연구지. 1:1-25.
- 안광국, 염동혁, 이성규. 2001. 생물보전지수 (Index of Biological Integrity)의 신속한 생물평가 기법을 이용한 갑천 수계의 평가. 환경생물. 19:261-269.
- 윤일병. 1995. 수서곤충검색도설. 정행사, 서울.
- 윤일병, 노태호, 이선희. 1990. 가평천 수계의 수서곤충 군집에 관한 연구. 한국곤충학회지. 20:41-51.
- Allan JD. 1995. Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters. Chapman & Hall, London.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.). 1998. Introduction to ArcView® GIS. Redlands, California.
- Garnier J and J-M Mouchel. (Eds.) 1999. Man and River Systems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Rosenberg DM and VH Resh. (Eds.) 1993. Freshwater Bio-monitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York.
- Smits AJM, PH Nienhuis and RSEW Leuven. (Eds.) 2000. New Approaches to River Management. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands.
- Vannote RL, GW Minshall, KW Cummins, JR Sedell and CE Cushing. 1980. The river continuum concept. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37:130-137.
- Ward JV and JA Stanford. (Eds.) 1979. The Ecology of Regulated Streams. Plenum Press, New York.
- Wezel RG. 2001. Limnology. Lake and River Ecosystems. Third Edition. Academic Press. San Diego, California.

Manuscript Received: May 27, 2003

Revision Accepted: August 18, 2003

Responsible Editorial Member: Wonchoel Lee
(Hanyang Univ.)