

어류군집과 하천주변 토지이용에 따른 회야강 수계와 인근하천의 건강성 평가

김정희 · 윤주덕¹ · 조현빈² · 장광현³ · 장민호*

(공주대학교 생물교육과, ¹공주대학교 생물자원센터,
²부산대학교 생명과학과, ³경희대학교 환경학 및 환경공학과)

Stream Health Assessment on Hoeya River Basin and Other Streams Based on Fish Community and Land Use in the Surrounding Watersheds. Kim, Jeong-Hui, Ju-Duk Yoon¹, Hyunbin Jo², Kwang-Hyeon Chang³ and Min-Ho Jang* (Department of Biology Education, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea; ¹Biological Resource Center, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea; ²Department of Biological Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea; ³Department of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea)

In this study, to analyze the stream health using fish assemblage and make effective management, we conducted fish monitoring in the Hoeya River basin and neighboring streams. A total of 33 species classified into 12 families were collected from 29 sites in 2007. Dominant species was *Zacco platypus* (Relative abundance, RA: 24.8%), and subdominant species was *Rhynchocypris oxycephalus* (RA: 16.2%). Eight Korean endemic species and 4 exotic species were identified. Moreover, two species (*Opsariichthys uncirostris amurensis* and *Hemiculter eigenmanni*) were translocated from other basin. To evaluate stream health of the study sites, Index of Biological Integrity (IBI) was applied, based on fish assemblages. Overall, IBI values were “C (Fair)” or “D (Poor)” condition, according to the grade except two sites which recorded “B (Good)”. The correlation between land use pattern of surrounding watershed and IBI was analyzed to verify impact of development on stream health using fish assemblage. As a result, when percentage of the developmental groups increased, IBI values were decreased (Pearson correlation, $r = -0.425$, $p = 0.022$). In contrast, increment of percent forest and grass land was positively correlated with IBI ($r = 0.556$, $p = 0.002$). The agricultural group and IBI did not significantly correlate with each other ($r = -0.231$, $p = 0.333$). In this study, we identified a relationship between land use of surrounding watershed and stream health using fish data (i.e. IBI). These results could be provided useful fundamental information to establish management and restoration plan in the Hoeya River basin and other rivers distributed in Korea.

Key words : freshwater fish, Hoeya River, stream restoration, Index of Biological Integrity

* Corresponding author: Tel: (041) 850-8285, Fax: (041) 850-8842, E-mail: jangmino@kongju.ac.kr

서 론

인간은 생활과 밀접하게 관련되어 있는 담수자원을 이용하기 위해 하천의 인근토지를 다양한 목적으로 이용해 왔으며, 이는 하천생태계에 많은 변화를 초래하였다 (Ricciardi and Rasmussen, 1999; Baron *et al.*, 2002). 국내 역시 다수의 개발로 발생한 직·간접적인 교란요인으로 인하여 많은 하천이 원형을 잃어가고 있다 (Joo *et al.*, 1997). 이와 같은 원인으로 1980년대 후반부터 제 기능을 잃고 교란된 하천에 대해 하천의 회복 및 복원에 대한 필요성이 대두되었으며, 현재는 국민의 환경에 대한 인식 및 관심의 증가로 생태계의 구조와 기능의 복원을 목표로 하는 다수의 하천복원사업이 시행되고 있다 (Park *et al.*, 2009). 수생태계의 효과적인 복원을 위해서는 과학적 조사, 관리, 정책의 세가지 측면이 고려되어야 한다. 이 중 가장 먼저 과학적인 조사가 선행되어야 하며 이를 바탕으로 수립된 정책을 통해 적절한 관리가 이루어진다 (Meffe, 2002). 하천의 경우 과학적 조사는 주로 하천의 이·화학적 요소 및 서식생물을 대상으로 이루어진다. 또한 추가적으로 하천 인근 토지이용과 같이 하천에 직·간접적으로 영향을 미치는 외부 요인에 대한 조사가 동시에 이루어질 경우 해당하천의 관리 및 복원에 있어서 더욱 효과적인 자료로 이용될 수 있다.

과거 국내에서는 하천의 이·화학적 요소 및 서식생물을 대상으로 한 조사에서 하천의 수질과 관련된 이화학적 조사의 비중이 높았다. 반면 최근 들어 생물에 대한 관심이 증가되고 서식생물을 이용하여 하천의 건강성을 평가하는 지표가 개발·적용됨에 따라 서식생물에 대한 중요성이 증가되었다. 환경부는 2007년 수질환경 보전법을 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률로 변경하여 수생태계 복원을 위한 하천의 건강성 평가, 수생태 모니터링, 측정망 등을 수립하였다. 이 후 지금까지 다수의 하천을 대상으로 다양한 분류군의 수생생물에 대한 조사가 이루어지고 있으며 이를 이용해 하천의 건강성을 평가하고 있다. 이 중 수생태계의 high trophic level을 차지하여 다양한 환경변수와 서식처의 특성에 의해 영향을 받는 담수어류는 하천 내·외의 변화에 따라 직접 또는 간접적으로 많은 영향을 받기 때문에 하천의 건강성을 평가하는 중요한 지표로 이용되고 있다 (Matthews and Robison, 1988; Matthews *et al.*, 1992; Moyle and Cech, 2000; Kouamélan *et al.*, 2003; Buisson *et al.*, 2007). 따라서 어류군집을 이용한 하천의 건강성 평가는 미국을 비롯한 많은 선진국에서 이용되고 있으며 국내에서도 Karr (1981)

에 의해 만들어진 IBI (Index of Biological Integrity)를 기반으로 하여 국내실정에 맞는 IBI를 만들어 다수의 하천을 대상으로 평가가 이루어지고 있다 (Yeom *et al.*, 2000; An *et al.*, 2001; Bae and An, 2006; Kwon and An, 2006; Lee *et al.*, 2007).

하천 인근 토지이용의 변화는 하천에 직·간접적으로 영향을 주는 중요한 요인 중 하나이다 (Robert *et al.*, 2004). 한 예로써 하천 인근의 도시화는 직강화 공사, 복개사업 등 하천의 구조 및 형태를 변형시키며, 간접적으로 오염물질의 유입 증가, 유지유량의 감소 등의 부정적인 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다 (Wang *et al.*, 1997; Karr and Chu, 2000; Wang, 2001). 개발로 인하여 하천 인근 토지이용의 급속한 변화가 이루어진 국내의 경우 다수의 조사가 하천내의 이화학·생물학적 현황 파악에 편중되어 있다. 때문에 이러한 연구와 더불어 하천 인근 토지이용에 대한 연구가 동시에 시행될 경우 해당 유역의 관리 및 보전에 큰 도움이 될 것이다.

회야강 수계는 동해로 유입되는 소규모 수계이며, 양산시와 울산광역시의 경계부분에 위치하여 주거단지 및 공단이 복합적으로 발달해 있다. 특히 회야강 중·상류 지역은 양산시 주거단지의 조성 및 확장으로 인하여 일부 하천이 직강화, 복개되는 등 다수의 도시하천이 만들어지고 있다. 이와 더불어 발생하는 하천 유지수 부족현상과 인근 공단에서 유입되는 오염물질로 인하여 회야강 수계의 오염이 가중시키고 있다. 현재 회야강 일부 구간에 대해서 오염원 차단 및 수변식생의 식재와 같은 정비를 통해 수질 개선 및 친수 공간을 생성하는 등 복원을 위한 노력이 이루어지고 있다. 하지만 소규모 수계로 지리적, 생물학적으로 중요성이 크게 나타나지 않아 회야강 수계 내 수질 및 생물상에 대한 선행 연구가 매우 부족하다. 특히 담수어류에 대한 연구는 Seo *et al.* (2008)의 어류상 보고만 있으며, 이는 회야강 본류만을 대상으로 이루어진 만큼 효과적인 복원을 위해서는 회야강 수계 전체에 대해 다양한 분야의 과학적인 조사가 수행될 필요성이 있다.

따라서 본 연구는 기초 생물상 연구가 부족한 회야강 수계 전체 구간의 어류군집구조를 밝히는 데 목적이 있다. 이처럼 제한된 지역내 서식하고 있는 어류의 종 및 개체수를 파악하는 것은 종다양성 보존을 위한 중요한 자료로 이용될 수 있다 (Kang *et al.*, 2005). 이와 더불어 하천별 어류군집을 이용하여 하천의 건강성을 파악하고 최종적으로 하천인근 토지이용과의 상관관계를 분석하여 회야강 수계내 하천의 관리 방향 설정 및 복원사업에 효과적으로 이용될 수 있는 자료를 제공하고자 한다.

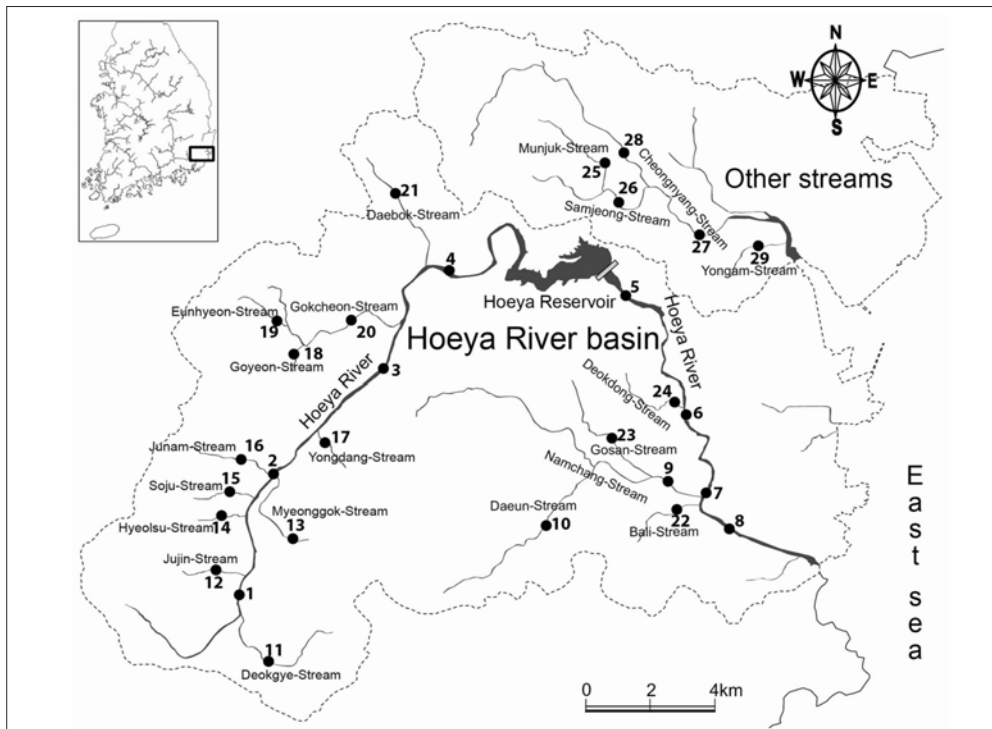


Fig. 1. Map showing the study sites.

재료 및 방법

1. 조사지점 및 조사기간

회야강 수계는 총 18개의 지방하천을 포함하며, 중심하천(회야강)을 제외한 나머지 대부분이 하천연장 5 km 내외의 소규모 하천이다. 이 외 청량천 등 인근의 4개의 기타 하천은 낙동강 동해권 수계에 포함된다(Fig. 1). 본 연구를 위해 회야강 수계의 17개의 지방하천과 인근에 위치하고 있는 4개의 기타 하천을 대상으로 총 29지점에서 조사가 이루어졌다(Table 1). 조사대상 하천 중 회야강 본류의 경우 상류부터 하류까지 구간을 총 8지점으로 구분하였으며, 회야강으로 유입되는 지천 중 화정천을 제외한 16개의 지천에서 각각 1개의 지점을 선정하여 조사를 실시하였다. 이 외 청량천에서 2지점, 청량천으로 유입되는 3개의 하천에 대해서 각각 1개의 지점에서 조사가 이루어졌다. 조사지점에 대한 어류 채집은 2007년 4월과 8월에 걸쳐 지점별 1~2회 이루어졌다. 전체 지점 중 회야강 본류와 남창천, 대운천은 2회 조사가 실시되었으며, 이를 제외한 나머지 지류의 경우 8월에 1회 조사가 이루어졌다.

2. 조사방법

조사지점에 대한 기초수질은 수온, 용존산소, pH, 전기전도도, 탁도, 염도를 포함한 총 6개의 항목을 측정하였으며 이는 어류채집을 위한 현장조사에서 Multi-parameter water quality meter (WQC-24, DKK-TOA, Japan)를 이용하여 측정되었다. 조사지점별 토지이용율은 환경부에서 2007년 만들어진 중분류 토지피복지도(도엽: 남창, 삼호, 언양, 울산, 좌천)를 이용하였다(Environmental Geographic Information System, <http://egis.me.go.kr>). 도엽별 토지피복지도에서 각 지점을 중심으로 1 km²의 면적에 대한 토지이용을 성격에 따라 크게 개발지(주거지역, 공업지역, 상업지역, 교통지역, 공공시설지역), 경작지(논, 밭, 하우스재배지, 과수원, 기타재배지), 숲과 초지(활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 자연초지, 기타초지), 기타(내륙습지, 나지, 내륙수)로 4개의 그룹으로 구분하여 전체면적에 대한 백분율을 산정하여 분석에 이용하였다.

어류조사는 족대(망목 4×4 mm; 포획면적 1.35 m²)와 투망(망목 7×7 mm; 포획면적 4.5 m²)을 이용하였다. 하천의 폭이 넓어 투망을 이용하여 어류를 채집할 수 있는 구간에서는 각 지점별 10회 이상을 실시하였으며, 족대를 이용한 채집은 각 지점별 30분으로 동일한 방법과 시

Table 1. Global positioning system (GPS) coordinates and information of sampling sites.

		Stream name	Sites	Stream order	GPS coordinates	
Hoeya River basin	Main stream	Hoeya	1	4	N 35° 23'09.3"	E 129° 09'23.7"
		Hoeya	2	4	N 35° 25'03.6"	E 129° 10'06.4"
		Hoeya	3	4	N 35° 26'41.3"	E 129° 12'23.8"
		Hoeya	4	4	N 35° 28'19.8"	E 129° 13'37.4"
		Hoeya	5	4	N 35° 27'51.2"	E 129° 17'06.7"
		Hoeya	6	4	N 35° 25'53.1"	E 129° 18'13.0"
		Hoeya	7	4	N 35° 24'35.3"	E 129° 18'38.7"
		Hoeya	8	5	N 35° 24'09.5"	E 129° 18'42.7"
	Tributaries	Namchang	9	4	N 35° 24'40.0"	E 129° 17'59.6"
		Daeun	10	3	N 35° 24'07.9"	E 129° 15'29.0"
		Deokgye	11	3	N 35° 22'01.6"	E 129° 10'03.9"
		Jujin	12	2	N 35° 23'31.7"	E 129° 08'58.4"
		Myeonggok	13	2	N 35° 24'01.6"	E 129° 10'26.1"
		Hyeolsu	14	2	N 35° 24'23.6"	E 129° 09'07.8"
		Soju	15	2	N 35° 24'46.4"	E 129° 09'16.2"
		Junam	16	2	N 35° 25'18.4"	E 129° 09'26.2"
		Yongdang	17	2	N 35° 25'32.2"	E 129° 11'09.4"
		Goyeon	18	2	N 35° 26'39.2"	E 129° 10'27.9"
		Eunhyeon	19	2	N 35° 27'33.6"	E 129° 10'26.8"
		Gokcheon	20	3	N 35° 27'30.2"	E 129° 11'43.3"
		Daebok	21	3	N 35° 29'32.4"	E 129° 12'40.7"
		Bali	22	2	N 35° 24'22.1"	E 129° 18'06.4"
		Gosan	23	3	N 35° 25'28.7"	E 129° 16'49.0"
		Deokdong	24	2	N 35° 26'00.6"	E 129° 18'08.1"
Other streams	Munjuk	25	2	N 35° 29'57.8"	E 129° 16'44.9"	
	Samjeong	26	3	N 35° 29'15.6"	E 129° 17'03.2"	
	Cheongnyang	27	3	N 35° 28'45.4"	E 129° 18'35.5"	
	Cheongnyang	28	4	N 35° 30'05.6"	E 129° 17'10.1"	
	Yongam	29	2	N 35° 28'33.8"	E 129° 19'45.4"	

간을 소요하여 각 지점별 서식 어류의 종 조성을 파악하고자 하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정하고, 개체수를 기록하였으며, 동정이 어려운 종은 10% 중성포르말린용액에 고정시킨 뒤 실험실로 운반하여 동정하였다. 채집된 어류의 동정에는 Kim and Park (2002)을 이용하였으며, Nelson (1994)의 분류체계에 따라 배열하였다. 출현 어류를 1차 담수어와 주연어로 구분하였으며, 1차 담수어의 구분 기준은 life cycle 전체를 담수에서만 하는 종으로 국한하였다. 기본적 구분은 Kim *et al.* (2005)과 fishbase (<http://www.fishbase.org/>) 자료를 이용하였다.

3. 데이터 분석

지점별 조사된 어류군집자료를 바탕으로 하천의 건강성 평가는 2007년 환경부가 US EPA (1993)을 바탕으로 국내실정에 맞게 수정 보완한 8개의 평가 메트릭을 이용하여 생물보전지수 (Index of Biological Integrity, IBI)를 구하였다. 결과의 통계분석은 어류상을 토대로 산출되어

진 생물보전지수와 하천인근의 토지이용율, 어류군집간의 상관 관계를 분석하기 위해 Pearson correlation analysis를 사용하였다. 통계분석은 PASW Statistics 18 (SPSS Inc., IL, USA)을 이용하였다.

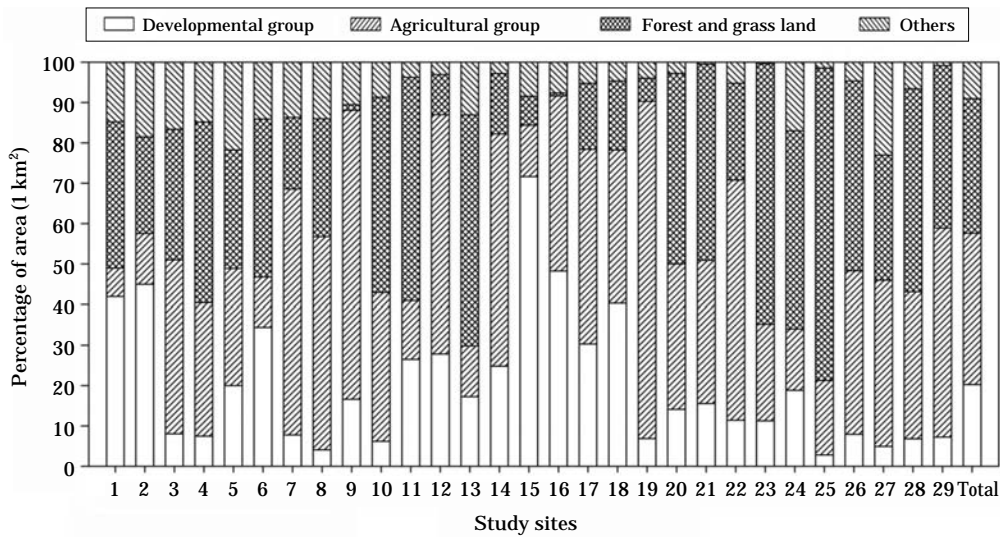
결 과

1. 지점별 수질 및 토지피복도

어류조사가 이루어진 8월의 조사지점별 수온 비교시 회야강 본류와 기타 하천이 유사하게 나타났으며, 고도가 높은 회야강 지류에서 평균수온 (Mean±SD)이 23.8±1.5°C로 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 용존산소 (DO)는 기타 하천에서 평균 9.7±0.4 mg L⁻¹로 가장 높게 나타났다. 또한 pH는 지점별 큰 차이를 보이지 않았으며, 반면 탁도는 지점별 차이가 큰 것으로 확인되었다. 염도의 경우 회야강 본류구간인 St. 6 (0.4 ppt), St. 7 (0.8

Table 2. Water qualities of study sites (recorded on August, 2007; mean \pm SD).

	Hoeya river basin		Other streams
	Main stream	Tributaries	
Water temperature ($^{\circ}$ C)	26.1 \pm 1.2	23.8 \pm 1.5	26.5 \pm 1.0
DO (mg L ⁻¹)	8.5 \pm 2.1	8.3 \pm 0.8	9.7 \pm 0.4
pH	7.3~8.7	6.3~8.0	7.4~8.2
Conductivity (mS m ⁻¹)	128.6 \pm 181.1	20.5 \pm 9.8	28.4 \pm 4.2
Turbidity (NTU)	10.3 \pm 9.1	8.2 \pm 8.5	7.8 \pm 7.8
Salinity (ppt)	3.7 \pm 8.1	—	—

**Fig. 2.** Percentage of land use at surrounding area (1 km²).

ppt), St. 8 (16.3 ppt)을 제외한 모든 지점이 완전한 담수 환경으로 나타났다. 전기전도도 역시 해수의 영향을 받는 St. 6, St. 7, St. 8 지점에서 100 mS m⁻¹ 이상으로 높게 나타났다으며 이 외 지점들의 경우 평균 24.5 \pm 9.8 mS m⁻¹로 큰 차이를 보이지 않았다 (Table 2).

조사지점 주변 토지이용의 경우 전체 조사지점에서 경작지 그룹이 37.4%로 가장 높게 나타났다. 다음으로 자연환경을 대변하는 숲과 초지 그룹이 33.3%, 도시화를 대변하는 개발지 그룹이 20.2%로 나타났으며, 수체 및 나지를 포함하는 기타 그룹이 9.0%로 가장 낮은 비율을 보였다 (Fig. 2).

2. 어류상

본 연구에서 조사된 29지점에서 채집된 어류는 총 12과 33종 1,572개체였다 (Table 3). 이 중 회야강 본류 8개 지점 (St. 1~St. 8)에서 채집된 어류는 총 10과 31종 1,109개체다. 잉어과 어류가 15종으로 가장 많은 종이 출현하였으며, 개체의 출현율도 45.7%로 가장 높게 나타났

다. 이외에 망둑어과 어류가 4종, 미꾸리과 어류가 3종으로 다수 출현하였다. 우점종은 St. 7에서 다수 채집된 송어 (*Mugil cephalus*; RA, 20.0%)로 나타났으며, 아우점종은 St. 7, St. 8을 제외한 모든 지점에서 채집된 피라미 (*Zacco platypus*, RA, 16.9%)로 나타났다. 회야강에서 채집된 고유종은 참몰개 (*Squalidus chankaensis tsuchigae*), 점몰개 (*Squalidus multimaculatus*), 참갈겨니 (*Zacco koreanus*), 치리 (*Hemiculter eigenmanni*), 왕종개 (*Iksookimia longicorpa*), 기름종개 (*Cobitis hankugensis*), 꺾지 (*Coreoperca herzi*), 동사리 (*Odontobutis platycephala*)를 포함한 8종이었으며, 전체 출현개체의 5.0%를 차지하였다. 외래종은 이스라엘잉어 (*Cyprinus carpio* Israeli carp), 떡붕어 (*Carassius cuvieri*), 블루길 (*Lepomis macrochirus*), 베스 (*Micropterus salmoides*) 등 4종이 채집되었으며 이들은 전체 채집어류의 10.8%를 차지하였다. 외래종이 채집된 지점은 회야호 인근에 위치한 St. 3, St. 5, St. 6으로 총 3지점이다. 회야강 본류 중 해수의 영향을 받는 St. 6, St. 7, St. 8 가운데 하구에서 가장 멀리 떨어져 있는 St. 6

Table 3. Numbers of fishes and community structure collected at sampling site.

Family	Species name	Hoeya River basin																												Total	RA (%)	Remarks								
		Main stream														Tributaries																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28				29							
Cyprinidae	<i>Cyprinus carpio</i>					5	2	2																						9	0.6	Pr								
	<i>Cyprinus carpio</i> (Israeli carp)					1																								1	0.1	Pr, Ex								
	<i>Carassius auratus</i>	9	16	1			3	1	2												1	1	1	1	1	4	1		41	2.6	Pr									
	<i>Carassius cuvieri</i>				4	1																								5	0.3	Pr, Ex								
	<i>Acanthorhodeus macropterus</i>				1		2																							3	0.2	Pr								
	<i>Pseudorasbora parva</i>	4	9					3													1									25	1.6	Pr								
	<i>Pungtungia herzi</i>				29	49																								78	5.0	Pr								
	<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>				3	8	5	3	1												3									37	2.4	Pr, K								
	<i>Squalidus multimaculatus</i>	5	8																											13	0.8	Pr, K								
	<i>Hemibarbus labeo</i>							2																						2	0.1	Pr								
	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	45	84	1						34				13							7	13	16	1					254	16.2	Pr									
	<i>Zacco koreanus</i>			6						44																				50	3.2	Pr, K								
	<i>Zacco platypus</i>	6	13	117	10	26	15														15									390	24.8	Pr								
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>					2	2																							4	0.3	Pr									
<i>Hemiculter eigenmanni</i>					1	6																							7	0.4	Pr, K									
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	12	4		1	1		2	1		1										4		1	1	1	1	1			28	1.8	Pr									
<i>Iksookimia longicorpa</i>				3				1	4																					9	0.6	Pr, K								
<i>Cobitis hankugensis</i>					2	1	2	4																						9	0.6	Pr, K								
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>																														9	0.6	Pr, K								
<i>Osmerus eperlanus mordax</i>								1																						1	0.1	Pr								
<i>Plecoglossus altivelis</i>																														1	0.1	Ph								
<i>Neosalanx andersoni</i>																													12	0.8	Ph									
<i>Mugil cephalus</i>					1	199	22																						2	0.1	Ph									
<i>Gasterosteus aculeatus</i>							2																							222	14.1	Ph								
<i>Coreoperca herzi</i>								1	8	1																				2	0.1	Ph								
<i>Lepomis macrochirus</i>					2	85																								10	0.6	Pr, K								
<i>Micropterus salmoides</i>					2	3	22																							89	5.7	Pr, Ex								
<i>Odontobutis platycephala</i>	3	3	2	2				1		2																				33	2.1	Pr, Ex								
<i>Chaenogobius uroaenia</i>								18	1																					14	0.9	Pr, K								
<i>Synechogobius hasta</i>							4	13																						19	1.2	Ph								
<i>Rhinogobius brunneus</i>	1	4		10				1																						17	1.1	Ph								
<i>Tridentiger obscurus</i>							22	74	61	5																				17	1.1	Pr								
<i>Takifugu niphobles</i>								6																						162	10.3	Ph								
Number of individuals					75	130	184	68	61	167	301	123	23	56	35	3	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	20	16	6	10	15	19	123	31	72	0	1,572
Number of species					5	8	12	6	11	13	10	7	12	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	1	3	2	3	4	3	5	5	0	33

RA, Relative Abundance; Pr, Primary freshwater fishes; Ph, Peripheral freshwater fishes; K, Korean endemic species; Ex, Exotic species

Table 4. Biological water quality assessment based on the 8 metric IBI model in sampling sites.

Site	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IBI	23	24	21	24	18	17	22	21	21	24
Grade	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Site	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
IBI	24	22	24	8	8	8	8	8	24	20
Grade	C	C	C	D	D	D	D	D	C	C
Site	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
IBI	24	14	22	26	26	20	14	18	8	
Grade	C	D	C	B	B	C	D	C	D	

Table 5. Results of Correlation analysis among Index of Biological Integrity (IBI), characters of fish community and land use at surrounding area of study sites.

	Land use at surrounding area of study sites				Fish community	
	Developmental group	Agricultural group	Forest and grass land	Others	Number of species	Number of individuals
Agricultural group	-0.399*					
Forest and grass land	-0.459*	-0.575**				
Others	0.052	-0.256	-0.125			
Number of species	-0.197	-0.024	-0.025	0.638**		
Number of individuals	-0.188	-0.007	0.010	0.463*	0.713**	
IBI	-0.425*	-0.231	0.556**	0.092	0.212	0.202

*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; Developmental group (Residential area, Industrial area, Commercial area, Road, Public facilities area); Agricultural group (Paddy, Field, Greenhouse, Orchard, Other agricultural area); Forest and grass land (Broad-leaved forest, Coniferous forest, Mixed forest, Natural grassland, Other grassland); Others (Wet land, Bare ground, Freshwater)

에서 채집된 어류 중 순수담수어가 11종 주연어 및 해산어가 2종이 채집 (18.2%)되어 어류군집구성에 순수담수어의 비율 (81.8%)이 높게 나타났다. 반면 St. 7은 총 10종의 어류 중 7종이 주연어 및 해산어로 비율 (70.0%)이 높게 나타났으며 하구에서 가장 가까운 St. 8은 잉어 (*Cyprinus carpio*)와 붕어 (*Carassius auratus*)를 제외한 채집된 모든 종이 주연어 및 해산어로 염도에 내성이 약한 순수담수어의 서식이 불가능한 것으로 나타났다.

회야강으로 유입하는 16개의 지천 (St. 9~St. 24)에서 채집된 어류는 총 6과 15종 218개체이며 우점종은 총 7지점에서 107개체 (RA, 49.1%)가 채집된 버들치 (*Rhynchocypris oxycephalus*)로 나타났다. 지점들 가운데 가장 규모가 큰 남창천에 위치한 St. 9에서 12종의 어류가 채집되어 가장 많은 종이 출현하였으며, 반면 주거단지 내에 위치한 St. 14, St. 15, St. 16, St. 17, St. 18 등 총 5개의 지점에서 어류가 채집되지 않아 어류의 서식을 확인할 수 없었다.

4개의 기타 하천 (5지점: St. 25~St. 29)에서 채집된 어류는 총 3과 8종 245개체였다. 우점종은 St. 26과 St. 28

에서 다수 개체가 채집된 피라미 (RA, 76.7%)로 나타났으며, 이 외의 종들은 소수만 확인되었다. 대부분의 지점에서 3종에서 5종의 어류만이 채집되어 종다양성이 낮게 나타났으며, St. 29의 경우 어류가 채집되지 않았다.

3. 생물보전지수 (IBI)

지점별 채집된 어류상을 바탕으로 계산 되어진 생물보전지수 (IBI)는 Table 4와 같다. 최소 8점에서 최대 40점의 범위내 나타날 수 있는 생물보전지수에서 회야강 본류 8개 지점은 최소 17점 (St. 6)에서 최대 24점 (St. 2, St. 4)으로 지점별 차이를 보였으나, 수생태건강성 등급 구분시 총 4개로 구분되는 등급에서 모든 지점이 C 등급 “보통”으로 동일하게 나타났다. 회야강 지천의 생물보전지수는 어류가 채집되지 않은 5개의 지점에서 8점으로 최소 점수를 나타냈다. 이 외 St. 22를 제외한 모든 지점에서 20점 이상으로 확인되었으며, St. 24에서 26점으로 가장 높게 나타났다. 수생태건강성 등급 구분시 총 4개로 구분되는 등급에서 A 등급 “청정”을 제외한 B~D 등급만이

확인되었으며, 그 중 C 등급 “보통”이 가장 많았다. 지천 중 가장 높은 등급인 B 등급 “양호”의 경우 St. 24에서만 확인 할 수 있었다. 기타 하천의 생물보전지수는 8~26 점으로 지점별 차이가 크게 나타났다. 등급별 구분시 B 등급 “양호”이 1지점, C 등급 “보통”이 2지점, D 등급 “불량”이 2지점으로 확인되었다.

4. 생물보전지수와 인근 토지이용, 어류군집의 상관성 분석

지점별 계산된 생물보전지수와 지점 인근의 토지이용 및 어류군집간의 Pearson correlation 분석을 실시한 결과 Table 5와 같이 나타났다. 어류군집을 대표 할 수 있는 값인 지점별 종수와 개체수는 서로간 양의 상관성 ($r=0.713$, $p=0.000$)을 보였으며, 어류군집과 토지이용율과의 상관성 분석에 있어 종수와 기타 그룹($r=0.638$, $p=0.000$), 개체수와 기타 그룹($r=0.463$, $p=0.010$) 과의 양의 상관관계를 확인 할 수 있었다. 하천의 건강도를 평가하는 기준인 생물보전지수와 토지이용율과의 상관성 분석시 개발지 그룹과는 음의 상관성 ($r=-0.425$, $p=0.022$), 숲과 초지 그룹과는 양의 상관성 ($r=0.556$, $p=0.002$)을 나타냈다. 경작지 그룹의 경우 생물보전지수와 음의 상관성을 보여 경작지가 증가할수록 하천 건강성이 감소하는 것으로 나타났으나 통계적으로 유의하지 않은 수준이었다 ($r=-0.231$, $p=0.333$).

고 찰

회야강 수계 조사지점에 대한 수온, 용존산소, pH는 지점별 큰 차이를 보이지 않았다. 특히, 용존산소는 어류의 활성 및 분포를 제한하는 요소로 용존산소의 부족은 어류의 생리, 활동, 행동, 성장 등에 영향을 미친다 (Davis, 1975). 본 연구에서 용존산소는 모든 지점에서 7.5 mg L^{-1} 이상으로 나타났으며, 이러한 결과는 어류의 서식에 있어서 문제가 되지 않는 수준이다.

본 연구에서 회야강 수계 및 인근 하천에서 채집된 어류는 총 12과 33종이다. 이는 2006년에 실시된 Seo et al. (2008)의 연구에서 5과 14종이 채집된 것과 비교하여 많은 종의 서식을 확인 하였다. 어류의 경우 지점 수 및 위치, 채집시기에 따라 채집되는 어종이 차이가 날 수 있는데 Seo et al. (2008)의 경우 총 5지점에 대한 조사 결과로 본 연구의 29지점과 조사지점의 수에 큰 차이가 있다. 또한 두 연구 모두에서 회야강 수계 및 인근 하천에서 멸종위기종 및 천연기념물이 서식은 확인되지 않았

다. 국내에서만 서식하는 고유종의 경우 본 연구에서 총 8종의 서식이 확인되어 총 24.2%의 고유화 빈도를 나타냈는데, 이러한 결과는 Kim (1995)의 한국 고유 담수어류의 고유화 빈도 25.9%와 비교하여 유사한 수치이다. 또한 국내 대부분의 하천에서 문제가 되고 있는 외래종 문제와 더불어 타 수계로부터의 이입 역시 문제가 되고 있음을 확인하였다. 회야강 수계의 외래종은 이스라엘잉어, 떡붕어와 함께 생태계 교란 야생동·식물로 지정되어 있는 배스와 블루길을 포함하여 총 4종이 채집되었다. 배스와 블루길의 경우 하천의 규모가 크고 정체수역이 많은 회야강 본류와 청량천에서 서식이 확인되었다. 현재 국내에서 이들 어종에 대한 연구는 주로 생태와 섭식에 관한 연구가 대부분으로 (Byeon et al., 1997; Yang and Chae, 1997; Jang et al., 2006) 국내 하천에서의 이동성 및 서식처 범위에 대한 연구가 아직 이루어지지 않아 회야강의 채집지점으로부터 정확한 분포범위를 예측하기에는 어려움이 있다.

자연 상태에서 국내의 특정 하천에는 서식하지 않는 어류를 국내의 다른 곳으로 부터 들어오는 경우가 있는데 이를 이입종 (translocated species) 이라고 한다 (Shaf-land and Lewis, 1984; Jang et al., 2003). 본 조사 결과 회야강 본류 St. 5, St. 6에서 끄리 (*Opsariichthys uncirostris amurensis*)와 치리의 서식이 확인되었다. 끄리와 치리는 과거에 동해안으로 유입되는 수계에서 서식하지 않은 것으로 보고되어 있다 (Jeon, 1999; Kim and Park, 2002). 이들의 유입 경로에 대해서 정확한 예측은 어려우나 두 종이 출현한 지점이 회야강은 중류에 조성된 회야호 하류에 위치한 지점이다. 회야호는 원수 공급을 위해 낙동강 원동취수장에서 물을 끌어 사용하고 있는데 이 과정에서 이미 낙동강에 우점적으로 서식하고 있던 끄리와 치리가 회야호 내 유입되어서 서식이 확산되었을 것으로 추측된다.

회야강의 경우 하구둑과 같은 해수유통을 차단하는 구조물이 없으며 본 조사에서 하구로부터 약 7.5 km 떨어져 있는 St. 6에서 염도가 0.4 ppt로 해수의 영향을 받는 것으로 조사되었다. 본 지점에서 채집된 13종 중 주연어 및 해산어가 송어, 검정망둑 (*Tridentiger obscurus*) 2종 (15.4%)으로 순수담수어가 우세하게 서식하는 것을 확인할 수 있었다. 반면 하류지점인 St. 7의 경우 총 10종 중 7종이 주연어 및 해산어로 70.0%의 비율을 차지하여 주연어 및 해산어의 우세현상을 확인할 수 있었다. St. 7 상류 인근에 높이 1 m 이상의 보가 1개소 건설되어 있다. 하천을 가로지르는 구조물인 보의 건설은 서식처 환경의 변화 (유수역 → 정수역)와 함께 구조물의 상·하류간 생

물의 이동을 단절시키는 결과를 초래한다 (Schlosser and Toth, 1984; Pires *et al.*, 1999; Jang *et al.*, 2001). 이는 또한 산란을 위한 회유성 어종의 이동 및 순수담수어의 국지적 이동에 있어서도 방해요인으로 작용 된다. 따라서 해당보에 어류가 소상할 수 있게 어도를 건설 할 경우 어류의 이동에 도움이 될 것이다.

어류는 하천 먹이사슬의 최상위 소비자로서 수질의 상태와 함께 생태계의 건강성을 평가하는 도구로 사용되어 왔다 (Karr, 1981; Karr *et al.*, 1986). 현재 유럽과 미국 등에서 어류를 이용한 생물지수 (IBI, RBP 등)의 사용이 상당히 보편화되어 있다. 회야강 수계를 포함한 총 29지점에 대해서 건강성이 “최적”으로 평가되는 A 등급은 없었으며, 두 지점만이 “양호”로 평가되는 B 등급으로 나타났다. 나머지 모든 지점이 C 등급 “보통” 또는 D 등급 “불량”으로 조사가 이루어진 하천이 건강성이 전반적으로 낮은 것을 확인 할 수 있다. 회야강 수계 및 인근하천의 경우 인근 토지가 경작지 및 도심지로 이용되는 구간이 많으며 자연성을 유지하고 있는 하천은 소수이다. 또한 유입 지천의 경우 하천의 길이가 짧고 경사가 급하며, 상류구간 용수공급을 위한 저수지의 형성으로 유량부족의 문제를 안고 있다. 따라서 많은 하천에서 여울보다 소가 많으며 물의 흐름이 단절됨에 따라 서식종 역시 민감종 및 여울성 저서종 보다는 이러한 환경을 견딜 수 있는 붕어, 참붕어 (*Pseudorasbora parva*), 미꾸리 (*Misgurnus anguillicaudatus*), 배스, 블루길 등 내성종의 구성이 높게 나타나 전체적인 메트릭 값이 낮게 나타났다. 생물학적 평가는 해당 수생태계의 전반적인 생태학적 총체성을 반영한다. 즉, 생물 및 그들과 관련된 제반 현상이 건강할 때 수체의 물리·화학적 상태 역시 양호한 상태에 있게 된다. 본 조사 결과는 회야강 수계 및 인근하천에 대한 물리·화학적 상태가 양호하지 않음을 말해준다.

회야강 수계 내 하천의 인근 토지이용과 하천의 건강성을 나타내는 생물보전지수와의 상관성 분석시 하천 인근에 개발지 그룹의 비율이 높은 지역이 다른 지점과 비교하여 하천의 건강성이 낮은 것으로 나타났다 ($r = -0.425$, $p = 0.022$). 도시의 발달 및 확장은 도시지역을 집수역으로 하여 도시내부를 관통하여 흐르는 소규모의 하천인 도시하천을 생성한다 (Son, 1998). 도시하천의 특징이라 할 수 있는 하천의 직강화, 복개, 인공제방, 둔치 개발과 같은 물리적인 변화는 어류의 서식처를 단순하게 만들며 이러한 서식처 단순화는 특정어종의 증가에 영향을 미치기도 하지만 다른 특정 어종을 감소시켜 결국 종 다양성을 감소시키는 결과를 초래한다 (Joo *et al.*, 1997; Kim *et al.*, 2009). 또한 콘크리트, 아스팔트 구조물과 같

은 불투수 지역의 증가와 각종 용수사용의 증가로 인해 발생하는 유량감소, 하천내 생활하수의 유입으로 인한 오염은 결국 서식어류의 이동 및 폐사를 초래하여 어류군집에 영향을 미친다. 조사지점 중 어류가 채집되지 않은 하천들은 대부분 도시하천 및 준도시하천 이었다. 이들 지점의 경우 공통적으로 유량부족, 생활하수 유입, 쓰레기 투기 등의 직접적인 교란요인이 다수 확인되었으며, 또한 모두 2차 하천으로 규모가 작아 여러 교란요인들에 쉽게 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 반대로 하천인근에 자연환경을 대변할 수 있는 그룹인 숲과 초지 그룹의 비율이 높은 지점은 다른 지점과 비교하여 하천의 건강성이 높게 나타났다 ($r = 0.556$, $p = 0.002$). 숲과 초지의 경우 하천에 영향을 미치는 물리·화학적 교란요인이 없으며 또한 개발지와 같은 불투수 지역이 존재하지 않아 하천의 건강성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 캐나다의 토론토 지역에 있는 하천에서 실시된 Steedman (1988)의 연구에 의하면 하천의 가장자리로부터 20 m의 손상되지 않는 구역이 도시화가 해당하천에 서식하는 수생물에 미치는 부정적인 영향을 감소시킨다고 보고되어 있다. 따라서 도시하천의 건강성 증진을 위한 방안으로 하천복원사업과 같은 수환경의 직접적인 물리·화학적 변화와 함께 하천인근에 자연환경의 면적을 증가시킬 수 있는 공원 및 녹지 조성과 같은 사업을 함께 시행하는 것도 고려해 볼 수 있다.

회야강 수계 및 인근유역은 지난 20년 사이에 도시의 발달, 공단의 건설 등 유역 토지이용의 변화가 빠르게 일어났다. 또한 양산시와 울산광역시의 위성도시 역할을 하는 지리적인 특성상 향후 양산시와 울산시의 인구증가에 따라 더욱 발달 할 가능성이 있는 지점이다. 본 연구 결과에 의하면 이러한 개발이 지속될 경우 인근에 위치한 하천의 건강성이 지금보다 더욱 감소될 것으로 예상된다. 이러한 상황에서 적절한 관리 및 복원 대책을 세우기 위해서는 기초 생물상에 대한 연구가 매우 중요하며 본 연구를 통해 나타난 결과와 함께 해당하천에 대한 지속적인 모니터링이 이루어질 경우 더욱 효과적인 자료를 제공할 수 있을 것이다.

적 요

본 연구는 어류군집을 이용하여 회야강 수계와 인근 하천의 건강도를 분석하고 해당하천을 효과적으로 관리하기 위하여 29지점에 대한 어류상을 조사하였다. 2007년 실시된 조사에서 총 12과 33종의 어류가 채집되었으

며, 전체 조사지점에서 우점종은 피라미 (*Zacco platypus*, RA: 24.8%), 아우점종은 버들치 (*Rhynchocypris oxycephalus*, RA: 16.2%)로 나타났다. 또한 8종의 한국고유종과 4종의 외래종, 그리고 타 수계로부터 도입된 2종의 이입종 (끄리, *Opsariichthys uncirostris amurensis*; 치리, *Hemiculter eigenmanni*)의 서식이 확인되었다. 하천별 건강성 평가를 위해 어류군집을 이용하여 생물보전지수 (IBI)를 구한 결과 2지점이 B 등급인 것을 제외한 대부분 C~D 등급으로 확인되었다. 조사지점 인근의 토지이용이 하천의 건강성에 미치는 영향을 알아보기 위해 생물보전지수와 토지이용과의 Pearson correlation 분석을 실시한 결과 개발지가 증가할수록 생물보전지수가 감소하였다 ($r = -0.425$, $p = 0.022$). 반대로 생물보전지수와 숲과 초지는 양의 상관성을 보였으며 ($r = 0.556$, $p = 0.002$), 경작지는 유의한 상관관계를 나타내지 않았다 ($r = -0.231$, $p = 0.333$). 본 연구를 통해 확인된 회야강 수계 및 인근하천의 어류군집구조, 하천의 건강도, 인근 토지이용과의 상관관계는 유역 토지의 개발로 인한 인근 하천의 영향 예측 및 해당하천의 관리 및 복원사업에 있어 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

인 용 문 헌

- An, K.G., D.H. Yeom and S.K. Lee. 2001. Rapid bioassessments of Kap stream using the index of biological integrity. *Korean Society of Environmental Biology* **19**: 261-269.
- Bae, D.Y. and K.G. An. 2006. Stream ecosystem assessments, based on a biological multimetric parameter model and water chemistry analysis. *Korean Journal of Limnology* **39**: 198-208.
- Baron, J.S., N.L. Poff, P.L. Angermeier, C.N. Dahm, P.H. Gleick, N.G. Hairston Jr., R.B. Jackson, G.A. Johnston, B.D. Richter and A.D. Steinman. 2002. Meeting ecological and societal needs for freshwater. *Ecological Applications* **12**: 1247-1260.
- Buisson, L., L. Blanc and G. Grenouillet. 2007. Modeling stream fish species distribution in a river network: the relative effects of temperature versus physical factors. *Ecology of Freshwater Fish* **17**: 144-157.
- Byeon, H.K., H.B. Song, S.R. Jeon and Y.M. Son. 1997. Feeding habit of Bluegill, *Lepomis macrochirus*, introduced at lake Paldang. *Korean Journal of Limnology* **30**: 75-84.
- Davis, J.C. 1975. Minimal dissolved oxygen requirements of aquatic life with emphasis on Canadian species: a review. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **32**: 2295-2332.
- Jang, M.H., G.J. Joo and S.S. Choi. 2001. The impact of monsoon on the distribution of fish in a small stream, Korea. *Ecohydrology and Hydrobiology* **3**: 87-95.
- Jang, M.H., M.C. Lucas and G.J. Joo. 2003. The fish fauna of mountain stream in South Korean national parks and its significance to conservation of regional freshwater fish biodiversity. *Biological Conservation* **114**: 115-126.
- Jang, M.H., M.C. Lucas and G.J. Joo. 2006. Diet of introduced largemouth bass in Korean rivers and potential interactions with native fishes. *Ecology of Freshwater Fish* **15**: 315-320.
- Jeon, S.R. 1999. First record of the *Opsariichthys uncirostris amurensis* (pisces: cyprinidae) from Panbyon-river of Naktong-river system, Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **17**: 499-501.
- Joo, G.J., H.W. Kim and K. Ha. 1997. The development of stream ecology and current status in Korea. *Journal of Ecology and Field Biology* **20**: 69-78.
- Kang, Y.H., B.S. Chae, M.M. Nam and H.S. Kim. 2005. Fish fauna and community structure of the mountain streams in the Mt. Biseul. *Korean Journal of Limnology* **38**: 289-296.
- Karr, J., K.D. Rausch, P.L. Angermeier, P.R. Yant and I.J. Schlosse. 1986. Assessing biological integrity in running water: a method and its rationale, p. 28. *In: Illinois National History Survey, Special Publication 5*, Champaign, IL.
- Karr, J.R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* **6**: 21-27.
- Karr, J.R. and E.W. Chu. 2000. Sustaining living rivers. *Hydrobiologia* **422/423**: 1-14.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater Fish of Korea. Kyohak Publishing, Seoul.
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyohak Publishing, Seoul.
- Kim, I.S. 1995. The conservation and status of threatened freshwater fishes in Korea, p. 31-50. *In: Proceedings of Ichthyofauna and Characteristics of Freshwater Ecosystems in Korea*, the Ecological Society of Korea and the Korean Society of Ichthyology (Lee, H.J. and I.S. Kim, eds.). Seoul, Korea.
- Kim, J.W., S.W. Ryu, J.K. Lee, J.W. Park, Y.K. Lee, J.H. Shim, Y.H. Kang, S.K. Kim, G.J. Joo, G.Y. Kim, Y.H. Do, C.W. Lee and J.D. Yoon. 2009. Stream Ecology and the Nakdong River. Keimyung University Press.

- Kouamélan, E.P., G.G. Teugels, V. N'Douba, G.G. Bi and T. Koné. 2003. Fish diversity and its relationships with environmental variables in a West African basin. *Hydrobiologia* **505**: 139-146.
- Kwon, Y.S. and K.G. An. 2006. Biological stream health and physico-chemical characteristics in the Keum-Ho river watershed. *Korean Journal of Limnology* **39**: 145-156.
- Lee, J.H., Y.P. Hong and K.G. An. 2007. Fish community structure analysis and ecological health assessments in the headwater watershed of Nakdong river. *Korean Journal of Limnology* **40**: 403-411.
- Matthews, W.J. 1998. Patterns in Freshwater Fish Ecology. Chapman & Hall, New York.
- Matthews, W.J. and H.W. Robison. 1988. The distribution of the fishes of Arkansas: a multivariate analysis. *Copeia* **1988**: 358-374.
- Matthews, W.J., D.J. Hough and H.W. Robison. 1992. Similarities in fish distribution and water quality patterns in streams of Arkansas: congruence of multivariate analysis. *Copeia* **1992**: 296-305.
- Meffe, G.K. 2002. Connecting science to management and policy in freshwater fish conservation, p. 363-372. *In*: Conservation of Freshwater Fishes: Options for the Future (Collares-Pereira, M.J., I.G. Cowx and M.M. Coelho, eds.). Blackwell Science.
- Moyle, P.B. and J.J. Cech Jr. 2000. Fishes: an Introduction to Ichthyology. Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Nelson, J.S. 1994. Fishes of the World (3rd edition). John Wiley & Sons, New York.
- Park, J.Y., S.H. Kim, M.H. Ko, M.K. Oh and J.C. Shin. 2009. Change of ichthyofauna and fish community on natural stream restoration in Jeonju-chon stream, Jeollabuk-do, Korea. *Korean Society of Environment and Ecology* **23**: 381-391.
- Pires, A.M., I.G. Cowx and M.M. Coelho. 1999. Seasonal changes in fish community structure of intermittent streams in the middle reaches of the Guadiana basin, Portugal. *Journal of Fish Biology* **54**: 235-249.
- Ricciardi, A. and J.B. Rasmussen. 1999. Extinction rates of North American freshwater fauna. *Conservation Biology* **13**: 1220-1222.
- Robert, J.M., W. Dale and Y. Chris. 2004. The biotic integrity of streams in urban and suburbanizing landscapes. *Landscape and Urban Planning* **69**: 87-100.
- Schlosser, I.J. and L.A. Toth. 1984. Niche relationships and population ecology of rainbow (*Etheostoma caeruleum*) and fantail (*E. flabellare*) darters in a temporally variable environment. *Oikos* **42**: 229-238.
- Seo, J.W., I.S. Lim, H.J. Kim and H.K. Lee. 2008. Status of fish inhabitation and distribution of eight abundant species in relation with water quality in streams and rivers, Ulsan city. *Korean Journal of Limnology* **41**: 283-293.
- Shaffland, P.L. and W.M. Lewis. 1984. Terminology associated with introduced organisms. *Fisheries* **9**: 17-18.
- Son, M.W. 1998. Ecological role of urban stream and its improvement. *Korean Association of Regional Geographers* **4**: 15-25.
- Steedman, R.J. 1988. Modification and assessment of and index of biotic integrity to quantify stream quality in southern Ontario. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **45**: 492-501.
- U.S. EPA. 1993. Fish Field and Laboratory Methods for Evaluating the Biological Integrity of Surface Waters. United States EPA, Cincinnati, Ohio 45268.
- Wang, L., J. Lyons, P. Kanehl and R. Gatti. 1997. Influences of watershed land use on habitat quality and biotic integrity in Wisconsin streams. *Fisheries* **22**: 6-12.
- Wang, X. 2001. Integrating water-quality management and land-use planning in a watershed context. *Journal of Environmental Management* **61**: 25-36.
- Yang, H.J. and B.S. Chae. 1997. Ecological study on the Bluegill, *Lepomis macrochirus* Rafinesque, in the Andong-dam reservoir. *Korean Journal of Limnology* **30**: 135-143.
- Yeom, D.H., K.G. An, Y.P. Hong and S.K. Lee. 2000. Assessment of an index of biological integrity (IBI) using fish assemblages in Keum-Ho river, Korea. *Korean Society of Environmental Biology* **18**: 215-226.

(Manuscript received 17 September 2012,

Revised 21 November 2012

Revision accepted 8 December 2012)