환경영향평가 제20권 제6호(2011) pp.845~856

연구논문

금강수계에서 하상재료에 따른 어류의 종다양성 및 서식지 평가

허준욱* · 인동수 · 장민호** · 강형식*** · 강경호****

생물모니터링센터*, 공주대학교 생물교육과**, 한국환경정책평가연구원***,
전남대학교 수산해양대학 해양기술학부****

(2011년 6월 30일 접수, 2011년 11월 25일 승인)

Assessment of Inhabitation and Species Diversity of Fish to Substrate Size in the Geum River Basin

Jun Wook Hur* · Dong Soo In · Min Ho Jang** · Hyoengsik Kang*** · Kyoung Ho Kang****

Bio-Monitoring Center*, Department of Biology Education, Kongju National University**,
Environmental Strategy Research Group, Korea Environment Institute***,
Department of Aquaculture, Chonnam National University****

(Manuscript received 30 June 2011; accepted 25 November 2011)

Abstract

In order to establish fundamental data for stream restoration and environmental flow, we investigated inhabitation and species diversity of fish to substrate size in the typical streams of Geum River Basin. Field monitoring including fish sampling was conducted from October 2007 to October 2009. Substrate size was determined according to six different : silt (Si), sand (Sa), fine gravel (Fg), coarse gravel (Cg), cobbles (Co) and boulders (Bo). A total number of fish caught in the 18 sites was 7,649 representing 10 families 50 species, and Si, Sa, Fg, Cg, Co and Bo stations occupied 30, 29, 38, 30, 27 and 17 species, respectively. The most frequently found species in number was pale chum (*Zacco platypus*, 29.7%, *n*=2,275) followed by *Z. koreanus* (22.5%, *n*=1,720) in total stations. Biological diversity with increase of substrate size from the dominance of part species showed higher values as dominance index, lower and diversity, richness and evenness index. Index of biological integrity (IBI) and qualitative habitat evaluation index (QHEI) scores decreased with increase of substrate size. Therefore, it is necessary to make an effort on stream rehabilitation with evaluation of physical habitat condition by indicator species in order to maintain biodiversity and perform ecological restoration.

Keywords : Geum River Basin, Substrate size, Biological diversity, Fish, Physical habitat

Corresponding Author: Jun Wook Hur, Bio-Monitoring Center, Daejeon 302-834, Korea. Tel: +82-42-483-4414, Fax: +82-42-483-4412, E-mail: junwhur@hanmail.net

I. 서 론

금강은 전라북도 장수군 장수읍 수분리의 신무산(896.8 m) 동쪽 계곡에서 발원하여 충청남도와 전라북도의 도계를 이루는 서천군과 군산시 사이의 하구언에서 서해로 유입하는 강이다. 유로 연장 397.3 km, 유역 면적 9912.2 km^2인 한국 6대 하천 중 하나이며, 남한에서는 낙동강, 한강에 이어 3번째로 긴 강이다. 금강으로 유입되는 주요지류로는 정자천, 주자천, 무주남대천, 초강천, 봉황천, 보청천, 갑천, 미호천, 유구천, 지천 및 논산천 등이 있으며, 또한 금강수계에는 삽교천, 동진강 및 만경강 등이 있다.

하천에서 어류의 서식(inhabitation)은 주변 환경 조건이 산간 및 평야지대에 따라 영향을 받으며, 특히 평야지대에 서식하는 어종일수록 환경요인에 대한 내성이 강한 것으로 보고하였다(Hubbs and Hettler, 1964; Matthews and Hill, 1980). 수계 시스템은 발원지로부터 하구까지 지속적으로 물리적 변동에 따라 흐름이 변화하고, 각각에 서식하는 어류의 종다양성(species diversity)도 변화 될 수 있다. 우리나라의 산간계곡 하천은 폭이 좁고 유속이 빠르며, 하상재료(substrate size)는 전석(boulders)과 호박돌(cobbles)로 대부분 이루어져 있다. 하류로 내려갈수록 폭과 수심은 증가하며, 유속이 느려지고 하상재료의 사립자 크기는 작아지는 게 일반적이다.

하천에 서식하는 어류들도 물리적인 조건에 따라 서식하는 종들이 다르며, 각각의 조건에 적응하며 살아간다. 한편, 하천에 서식하는 어류는 종특이성(species specificity)이 있어 먹이습성, 서식지 형태 및 하상재료의 구성 등에 따라 최적의 서식장소가 달라질 수 있다. 일반적으로 산간계곡 하천보다는 하류로 갈수록 출현어종 수와 양이 많아지는데, 이는 하폭이 넓어지고 유량이 증가하여 어류가 서식할 수 있는 미소서식지가 다양하기 때문인 것으로 보고되고 있다(이광열 등, 2006; 허준욱 등, 2009a). 그러나 최근 우리나라의 하천 생태계는 인공호 건설, 고랭지 지역의 농경지 증가, 하상 평탄화와 직강화 및 각종 토목공사로 인하여 교란되고 있다(이광열 등, 2006; 허준욱과 김정곤, 2009; 허준욱 등, 2009a; 허준욱 등, 2011).

우효섭(2004)와 Wentworth (1922)는 하천의 하상재료를 사립자의 크기에 따라 24등급으로 분류하였다. 이러한 분류는 미세 점토(very fine clay)로부터 크기가 커지면서 전석(very large boulders)으로 구분된다. 우리나라의 하천은 여러 가지 하상재료가 혼합되어 구성되어 있으나, 그 구성의 비는 주변 하천의 환경 요인에 따라 달라질 수 있다. 하상재료에 따라 모래에 서식하는 어류와 호박돌 및 전석 밑에 서식하는 어류로 나누어 질 것이며, 또한 모든 하상재료에 광범위하게 서식하는 어종도 있을 것이다. 지금까지 어류의 서식은 도감 등에 일반적으로 나타나 있으나, 각각의 어종에 대한 물리적 서식지중 하상재료에 따라 출현율을 조사한 자료는 부족하다.

따라서 본 연구에서는 금강수계를 대상으로 물리적 서식지 조건인 하상재료의 크기에 따라 18개 지점을 선정하여, 각각의 조건에 대한 출현한 어종의 종다양성과 서식지를 평가하였다.

II. 재료 및 방법

본 조사는 2007년 10월부터 2009년 10월까지 금강수계의 주요지점을 선정하여 어류 및 하상재료를 조사하였다. 채집지점은 본류, 초강천, 석천, 미호천, 논산천, 보청천, 갑천, 유구천, 지천, 삽교천, 정읍천 및 만경강을 포함한 총 18개 지점이다(Fig. 1). 조사지점의 행정구역명 다음과 같다.

Si.1 : 충청남도 예산군 삽교읍 두리 충의대교
Si.2 : 전라북도 정읍시 신태인읍 구석리 정우교
Si.3 : 전라북도 정읍시 정우면 초강리 정읍천대교
Sa.1 : 충청북도 청원군 부용면 부강리 부강가교
Sa.2 : 충청북도 청원군 오창면 석우리 팔결교
Sa.3 : 충청남도 공주시 우성면 동대리 동대교
Fg.1 : 대전광역시 유성구 온천동 만년교
Fg.2 : 충청남도 부여군 은산면 회곡리 지천교
Fg.3 : 충청남도 논산시 대교동 이호교
Cg.1 : 충청남도 금산군 부리면 수통리 수통대교

Table 1. Stream order and environmental characteristics of survey stations in the Geum River Basin

Substrate size and stations		Stream order	Width (m)	Depth (m)	Velocity (m/S)	River type*
Silt	1	5	30~40	0.2~0.5	0.1~0.4	B5
	2	5	30~40	0.2~0.8	0.1~0.3	B5
	3	4	20~30	0.3~0.8	0.3~0.5	B5
Sand	1	6	150~200	0.3~0.9	0.1~0.7	B5
	2	5	80~100	0.2~1.2	0.2~1.0	B4
	3	5	40~50	0.3~1.0	0.2~0.7	B5
Fine gravel	1	5	60~80	0.2~0.9	0.3~0.5	B4
	2	5	13~60	0.4~0.6	0.2~0.8	B4
	3	5	15~40	0.2~0.7	0.2~0.5	B4
Coarse gravel	1	5	80~100	0.2~1.2	0.2~1.0	B4
	2	6	100~150	0.2~1.2	0.2~1.0	B4
	3	5	60~90	0.3~0.6	0.2~0.8	B4
Cobble	1	4	30~40	0.1~0.9	0.1~1.0	B4
	2	5	30~40	0.1~1.3	0.1~1.0	B4
	3	6	50~80	0.1~1.1	0.1~1.5	B5
Boulder	1	3	10~20	0.1~1.0	0.1~0.9	B3
	2	5	20~30	0.2~0.8	0.1~0.8	B4
	3	3	10~15	0.2~0.6	0.1~0.7	B4

*B3 : meandering river-cobble, B4 : meandering river-gravel, B5 : meandering river-sand.

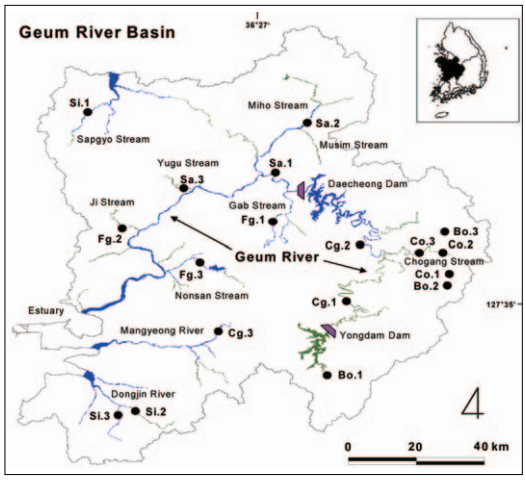

Figure 1. Map showing the survey stations in Geum River Basin.

Cg.2 : 충청북도 옥천군 동이면 적하리 잠수교
Cg.3 : 전라북도 완주군 봉동읍 장기리 용봉교
Co.1 : 충청북도 영동군 상촌면 돈대리 돈대교
Co.2 : 충청북도 영동군 황간면 신흥리 월유교
Co.3 : 충청북도 영동군 용산면 율리 송천교
Bo.1 : 전라북도 장수군 천천면 연평리 연화교
Bo.2 : 충청북도 영동군 상촌면 물한리 황점교
Bo.3 : 경상북도 상주시 모동면 반계리 남실교

각 조사지점의 하상재료 분포는 Fig. 2와 같다. 본류 및 지류에서 하상재료 조사를 기초로 하여, 우효섭(2004)와 Wentworth (1922)의 사립자 크기 등급에 따라 실트(silt, Si, 〈0.062 mm), 모래(sand, Sa, 0.062~2.0 mm), 가는자갈(fine gravels, Fg, 2.0~16.0 mm), 굵은자갈(coarse gravels, Cg, 16.0~64.0 mm), 호박돌(cobbles, Co, 64.0~256.0 mm) 및 전석(boulders, Bo, 〉256.0 mm)으로 분류하였다.

하상재료 조사는 봄(2~3월)과 가을(10~11월)에 2회 실시하였다. 조사방법은 50×50 cm 방형구를 사용하여 카메라로 지점 당 30개 이상 촬영한 후, 컴퓨터 화면에서 각각의 하상재료 크기를 측정 및 계수하여 면적비율로 하상분포도를 산출하였다. 또한 사진촬영으로 구분되지 않는 모래이하의 크기는 상법에 따라 D50으로 분석하였다. 조사된 자료를 기초로 하여 각각의 하상재료에 따른 3개 지점씩 선정한 후 어류 모니터링을 실시하였다.

어류채집은 조사정점 상 · 하류 각각 200 m 구간에서 60분씩 실시하였으며, 소(pool), 여울(riffle) 및 흐름이 있는 곳(run)을 모두 포함하여 조사하였다. 어류의 채집은 투망(망목크기, 5×5 mm) 및 족대(3×3 mm)를 사용하였다. 투망은 정량적 조사를 수행하기 위하여 20회씩 동일하게 투척하였으며, 족대는 하천 좌 · 우안 식생주변과 호박돌 주변에서

채집하였다. 소, 여울 및 유수역에서 투망의 투척 횟수는 가급적 횟수를 같게 하였으며, 족대의 채집 시간도 동일하게 실시하였다. 조사는 하류로부터 상류로 올라가면서 하천을 지그재그(zigzag)로 채집하였다. 현장에서 채집된 어류는 동정이 가능한 종은 현장에서 확인한 후 방류하였으며, 동정이 불가능한 종은 10% 포르말린 용액에 고정하여 연구실에서 김익수와 박종영(2002)의 문헌을 참고하였다. 어류의 검색 및 분류체계는 Nelson (1994)의 방법에 따라 정리하였다.

조사된 자료를 기초로 각 지점에서 우점종(dominant species) 및 아우점종(subdominant species)을 구분하였고, 군집분석은 어종의 개체수를 기준으로 우점도(dominance index, Simpson, 1949), 종다양도(diversity index, Pielou, 1975), 균등도(evenness index, Pielou, 1975) 및 풍부도(richness index, Margalef, 1968)를 산출하였다.

생물보전지수(index of biological integrity, IBI)는 생태지표 4개, 먹이습성지표 3개 및 풍부도 및 건강성지표 3개로 구성된 총 8~10개의 지표를

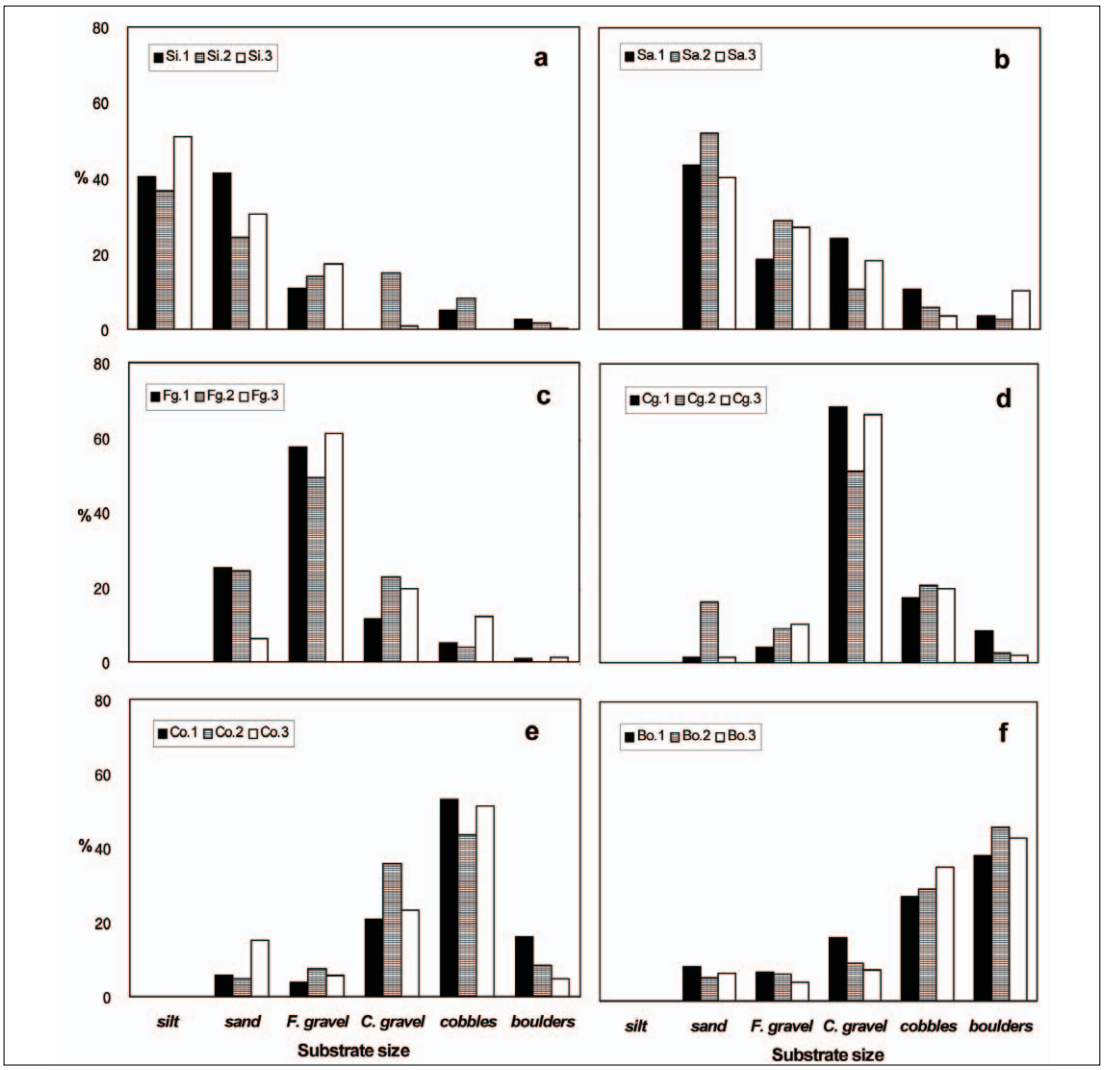

Figure 2. Distribution rate of substrate size at each station in the Geum River Basin. a: silt, b: sand, c: fine gravel, d: coarse gravel, e: cobbles, f: boulders.

사용하였으며, 각 지표에 대한 점수분류(1~5점) 및 기준 선정(하천차수 및 어류 습성 등)은 Karr (1981)와 안광국 등(2001)이 제시한 방법을 이용하였다. 각각의 지표점수를 합산하여 최적(50~47), 최적-양호(46~43), 양호(42~38), 양호-보통(37~35), 보통(34~29), 보통-악화(28~26), 악화(25~18), 악화-최악(17~14) 및 최악(〈13)으로 분류하였다.

정량적서식지평가지수(qualitative habitat evaluation index, QHEI)는 Plafkin et al. (1989)의 방법에 10개의 항목을 선택하여 적용하였다. 각 변수는 최적(200~162), 최적-양호(161~149), 양호(148~104), 양호-보통(103~91), 보통(90~46), 보통-악화(44~33) 및 악화(〈32)상태로 구분하였으며, 각 10개의 점수를 합산하여 하천의 물리적 건강성을 평가하였다.

III. 결과 및 토의

조사지점별 하상재료의 분포는 Fig. 2와 같다. Si 지점의 Si.1~Si.3에서 실트의 분포는 각각 40.4%, 36.6% 및 51.1%를 나타내어 가장 많이 분포하는 것으로 확인되었으며, 나머지 모래부터 전석의 비율은 적어지는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 Sa, Fg, Cg, Co 및 Bo에서도 각각의 하상재료 지점에 따라 유사한 경향을 보여주었다.

조사지점에서 채집된 어류는 총 10과 50종 7,649개체였다(Table 2). 어류의 종다양성에서는 각각 Si 30종, Sa 29종, Fg 38종, Cg 30종, Co 27종, Bo 17종으로 Fg에서 가장 많은 종이 출현하였다. 과(family)로는 잉어과(Cyprinidae) 어류가 34종으로 전체 채집된 어종의 68%, 미꾸리과(Cobitidae)가 4종으로 8%를 차지하였다. 이와 같이 잉어과 어류가 다른 과보다 우세하게 나타나는 것은 한국의 서해와 남해로 유입되는 하천에서 볼 수 있는 어류상의 공통된 특징으로 알려져 있다(전, 1980).

본 조사에서 확인된 한국고유종(*Korea endemic species*)은 각시붕어(*Rhodeus uyekii*), 칼납자루(*Acheilognathus koreensis*), 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), 참종개(*Iksookimia koreensis*), 꺽지(*Coreoperca herzi*) 등 23종으로 46%였다. 손과 송(2006)은 담수어류 215종 중 한국고유종은 61종(28.4%)이고, 금강수계에 서식하는 고유종은 33종이라고 하였다. 따라서 본 조사에서는 전체어종에 비하여 상대적으로 고유종이 많이 채집되어 출현율이 높게 나타난 것으로 사료된다.

환경부에서 지정한 멸종위기야생동물(endangered species)로 감돌고기(*Pseudopungtungia nigra*)와 꾸구리(*Gobiobotia macrocephala*), 돌상어(*G. brevibarba*)가 출현하였다. 세 어종에 대하여 서식환경 조건은 여울이 형성되어 있는 서식지를 선호하는 것으로 나타나 하천 정비 및 각종 수환경 개선사업시에 이러한 서식환경은 활용되어야 한다고 하였다(허 등, 2009b; 허 등, 2010). 본 조사에서도 이 세 어종은 여울이 존재하는 곳에 서식하였으며, 하상재료가 Cg과 Co 지점에서 주로 채집이 되었다. 감돌고기의 경우, 이 등(2004)에 의하면 수심 0.5~1.0 m, Cg 이상으로 이루어진 하상재료에 암컷이 자리 잡고 수컷을 유인하여 산란행동을 실시하며, 생태적 지위(*ecological niche*)에서 꺽지(*Coreoperca herzi*)와 매우 유사한 산란장소를 선택하는 것으로 보고되었다. 최근 하천 바닥과 수로의 토목공사 및 수질오염 같은 물리 · 화학적 변화로 인하여 서식지가 감소하고 있다. 따라서 이들 종에 대한 생태적 지위와 물리적 서식지 등에 대하여 심도 있는 연구가 필요하다. 천연기념물(natural monument)은 확인되지 않았으며, 외래어종(exotic species)은 Fg 이하에서 떡붕어(*Carassius cuvieri*) 0.6%와 생태계 교란종인 배스(*Micropterus salmoides*)가 0.3% 확인되었다.

본 조사에서 채집된 50종 중 개체수 구성비가 가장 높은 종은 피라미(*Zacco platypus*)로 29.7% (2,275개체)을 차지하여 우점종으로 나타났으며, 주로 Si, Sa, Fg 및 Cg 지점에서 높게 나타났다. 아우점종은 참갈겨니(*Z. koreanus*)로 22.5%(1,720

Table 2. The list and individual number of collected fishes at each station in the Geum River Basin

Spesies	Silt	Sand	Fine gravel	Coarse gravel	Cobble	Boulder	Total	RA (%)
Anguillidae								
Anguilla japonica 1						1	0.01	
Cyprinidae								
**Carassius cuvieri* 35	5	3				43	0.56	
Cyprinus carpio 7	11	2				20	0.26	
Carassius auratus 14	26	4	1			45	0.59	
Rhodeus ocellatus 2						2	0.03	
°*Rhodeus uyekii* 3	1	2				6	0.08	
Rhodeus notatus 11						11	0.14	
Acheilognathus lanceolatus	17	27	79	15			138	1.80
°*Acheilognathus koreensis*			17	9	9		35	0.46
°*Acheilognathus yamatsutae*			1	46	6		53	0.69
Acheilognathus rhombeus	4	1	12	1			18	0.24
Acanthorhodeus macropterus	13	1	2				16	0.21
°*Acanthorhodeus gracilis*	4		2				6	0.08
Pseudorasbora parva	5	2		1			8	0.10
Pungtungia herzi	16	22	67	82	65	252	3.29	
°~*seudopungtungia nigra*				30	147	1	178	2.33
°*Coreoleuciscus splendidus*		68	8	89	415	20	600	7.84
°*Sarcocheilichthys variegatus wakiyae*		2	12	27	16		57	0.75
°*Sarcocheilichthys nigripinnis morii*			1	1	4		6	0.08
Gnathopogon strigatus	2	22	1	4			29	0.38
°*Squalidus gracilis majimae*	4		2	1			7	0.09
°*Squalidus japonicus coreanus*	33		3	1	1		38	0.50
°*Squalidus chankaensis tsuchigae*	44		1	2	1		48	0.63
Hemibarbus labeo 90	37	72		6	3	208	2.72	
Hemibarbus longirostris	17	39	82	43	56	49	286	3.74
Pseudogobio esocinus	150	64	101	24	43	13	395	5.16
°~*Gobiobotia macrocephala*				2	10		12	0.16
°~*Gobiobotia brevibarba*				4	13		17	0.22
°*Microphysogobio yaluensis*	30	10	147	17	40	90	334	4.37
°*Microphysogobio jeoni*			3				3	0.04
°*Zacco koreanus*			115	1056	549	1720	22.49	
Zacco platypus 539	172	533	196	671	164	2275	29.74	
Opsariichthys uncirostris amurensis	16	9	40	1	2	24	92	1.20
Squaliobarbus curriculus		1	3				4	0.05
°*Hemiculter eigenmanni*	7						7	0.09
Cobitidae								
Misgurnus anguillicaudatus	13	2	7		1		23	0.30
Misgurnus mizolepis						1	1	0.01
°*Iksookimia koreensis*		16	7	7	12	3	45	0.59
Cobitis lutheri			1			1	0.01	
Siluridae								
Silurus asotus		1				1	0.01	

Table 2. continued

Spesies	Silt	Sand	Fine gravel	Coarse gravel	Cobble	Boulder	Total	RA (%)
Bagridae								
Pseudobagrus fulvidraco	1	2	2				5	0.07
˚*Pseudobagrus koreanus*	1	17	5	5	2	2	32	0.42
Amblycipitidae								
˚*Liobagrus mediadiposalis*			3		2	2	7	0.09
Centropomidae								
Siniperca scherzeri		2	2		1		5	0.07
˚*Coreoperca herzi*				26	35	10	71	0.93
Odontobutidae								
˚*Odontobutis platycephala*	7	16	6	15	21	15	80	1.05
˚*Odontobutis interrupta*	8	10	1	3	2		24	0.31
Gobiidae								
Rhinogobius brunneus	51	44	102	3	8	49	257	3.36
Tridentiger brevispinis		102	1				103	1.35
Centrachidae								
**Micropterus salmoides*	18	2	4				24	0.31
Number of family	7	7	9	6	7	7	10	
Number of species	30	29	38	30	27	17	50	
Number of individual	1147	727	1296	757	2662	1060	7649	

˚ : Korea endemic species ˇ : Endangered species * : Exotic species RA : Relative abundance.

개체)를 차지하였으며, Co 및 Bo 지점에서 높은 출현을 보였다.

각 하상재료에 따른 서식지 유형(여울, 소 및 유수역)에서 어류의 출현율은 하상재료가 작아질수록 소에서 높게 나타났으며, 하상재료가 커질수록 여울에서 출현하는 비율이 증가하였다. 그러나 전체적으로 유수역에서 분포율이 가장 높게 나타났다. 이러한 이유는 모든 하천에서 소 및 여울보다는 유수역의 면적 분포가 많아 나타나는 현상으로 판단된다. 또한 하상재료가 작아질수록 하천형태에서 여울보다는 소와 물의 유속이 느린 서식지를 많이 갖추고 있어 이러한 결과가 나온 것으로 보여 진다(Fig. 3).

Table 3. Occurrence rate of dominant and sub-dominant species at each station in the Geum River Basin

Substrate size	Pool (%)	Run (%)	Riffle (%)
Silt	*Zacco platypus* (47.7)	*Z. platypus* (37.9)	*Z. platypus* (77.3)
	Hemibarbus labeo (13.9)	*Pseudogobio esocinus* (16.5)	*P. esocinus* (10.1)
Sand	*P. esocinus* (26.3)	*Z. platypus* (31.9)	*Z. platypus* (39.2)
	Z. platypus (26.3)	*Coreoleuciscus splendidus* (10.8)	*C. splendidus* (27.2)
Fine gravel	*Z. platypus* (40.3)	*Z. platypus* (37.1)	*Z. platypus* (51.1)
	P. esocinus (13.1)	*Microphysogobio yaluensis* (13.6)	*M. yaluensis* (11.1)
Coarse gravel	*Z. platypus* (32.1)	*Z. platypus* (23.1)	*C. splendidus* (29.8)
	Pungtungia herzi (12.3)	*Z. koreanus* (16.2)	*Z. platypus* (28.2)
Cobbles	*Z. koreanus* (47.9)	*Z. koreanus* (40.2)	*Z. koreanus* (34.0)
	Z. platypus (24.2)	*Z. platypus* (24.9)	*Z. platypus* (27.0)
Boulders	*Z. koreanus* (69.2)	*Z. koreanus* (48.2)	*Z. koreanus* (31.3)
	Z. platypus (10.5)	*Z. platypus* (16.5)	*Z. platypus* (21.3)

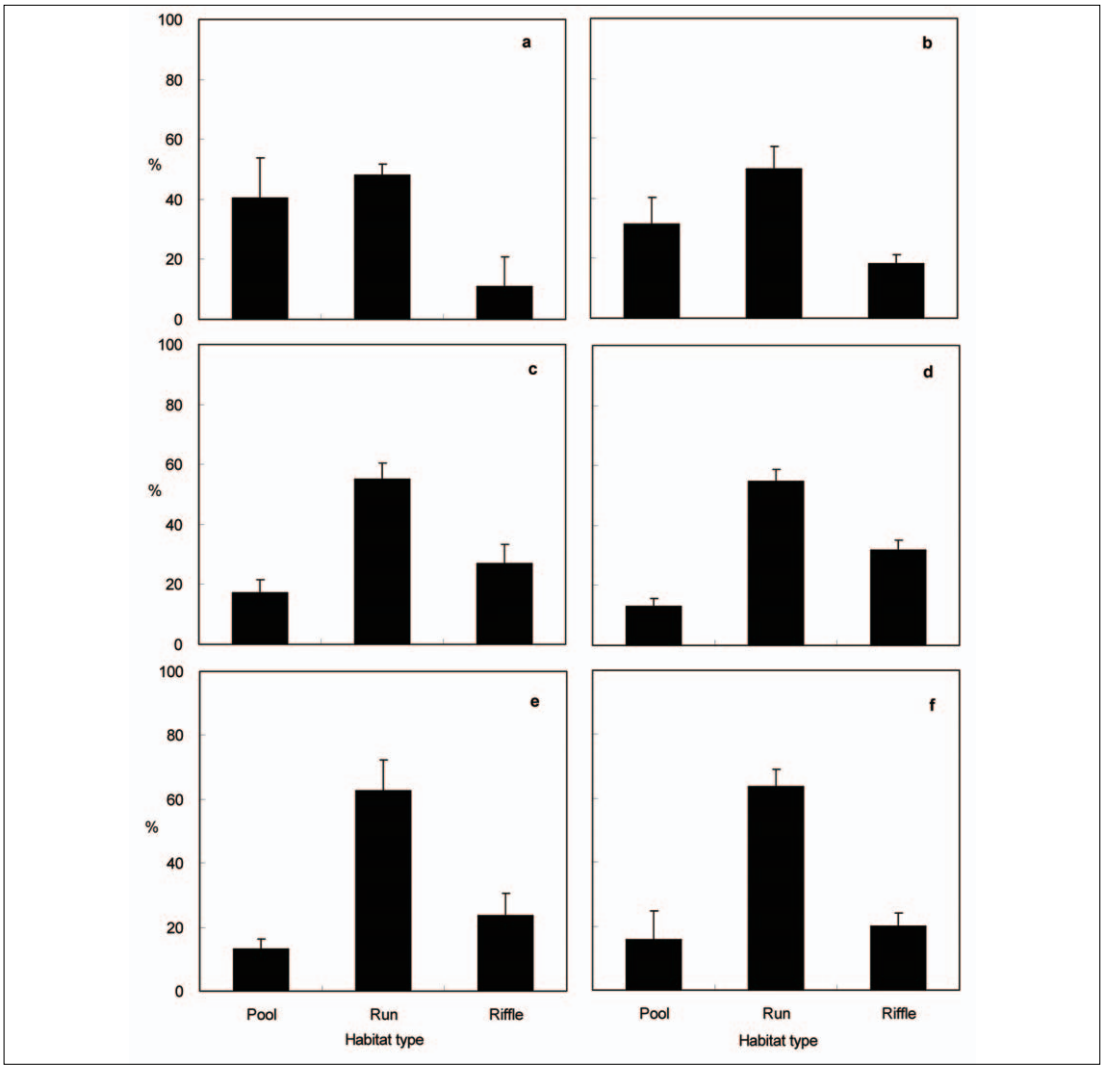

Figure 3. Occurrence rate to habitat types of collected fishes at each station in the Geum River Basin. a: silt, b: sand, c: fine gravel, d: coarse gravel, e: cobbles, f: boulders.

각 서식지에 대한 각각의 하상재료에서 출현한 우점종과 아우점종을 Table 3에 나타냈다. Si 지점에서 여울, 소 및 유수역에서 우점종은 피라미로 나타났으며, 아우점종은 소, 유수역 및 여울에서 각각 누치(*Hemibarbus labeo*)(13.9%), 모래무지(*Pseudogobio esocinus*) (16.5%) 및 모래무지(10.1%)였다. Sa 지점에서 유수역과 여울에서는 각각 피라미가 31.9%와 51.1%, 소에서는 모래무지가 26.3%로 우점종이었다. Si와 Sa 지점에서 우점 및 아우점종으로 출현한 모래무지는 서해와 남해로 흐르는 하천에 광범위하게 분포하고, 모래 속을 파고드는 습성을 보이는 어류로 보고되고 있다(김익수와 박종영, 2002; 손영목과 송호복, 2006). 본 조사에서 모래무지는 모든 하상재료에서 출현하였으나, Fg를 중심으로 그 이상에서는 출현율이 감소되는 것으로 나타났다. 김익수와 박종영(2002)과 손영목과 송호복(2006)의 보고에서와 같이, 모래무지는 먹이로 모래에 붙어있는 소형 무척추동물 등을 흡입하여 걸러먹는 습성을 가지고 있어, 이 어종은 모래와 많은 연관성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

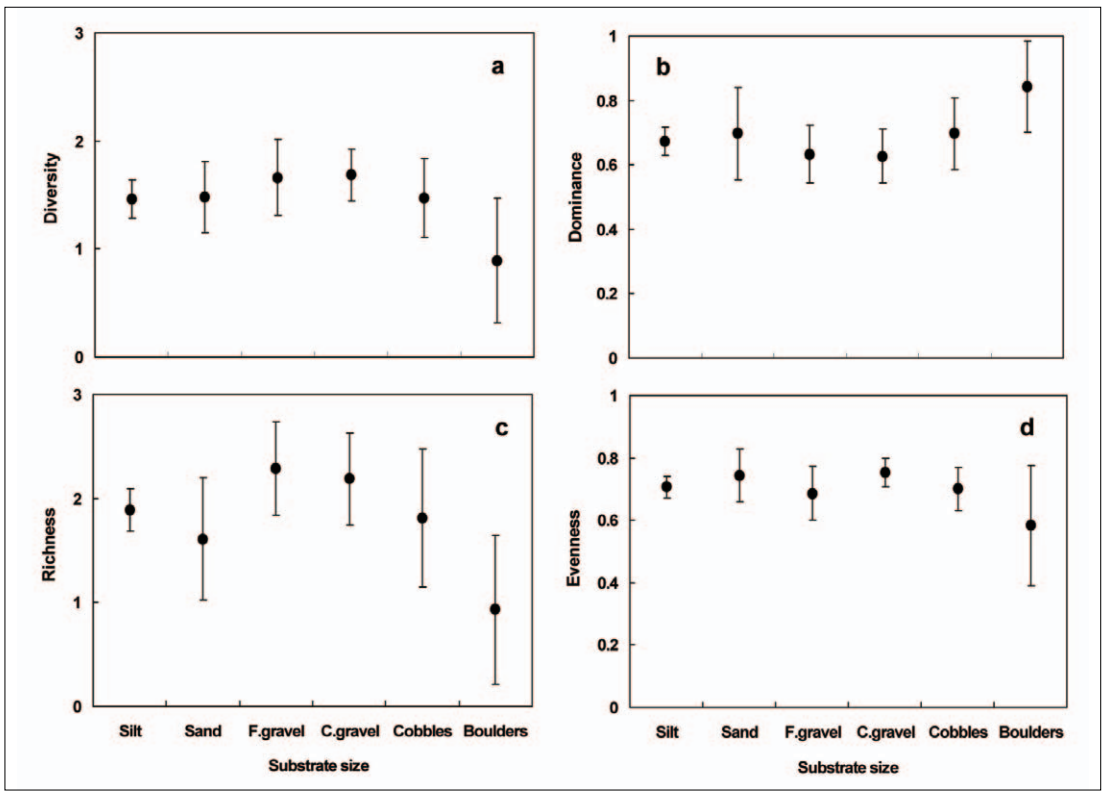

Figure 4. The biological indices of fish community at each station in the Geum River Basin. a: diversity, b: dominance, c: richness, d: evenness.

Fg의 유수역과 여울에서 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*)가 각각 13.6%와 11.1% 출현하였다. 손영목과 송호복(2006)에 의하면 돌마자는 동해로 유입되는 하천을 제외한 우리나라 모든 수역에서 모래와 가는자갈로 이루어진 하상재료와 서식지는 주로 여울에 서식한다고 하였다. Fg와 Cg에서 피라미는 우점종 또는 아우점으로 출현하였으며, Cg의 여울에 쉬리(29.8%)가 우점하는 것으로 나타났다. Co와 Bo에서는 참갈겨니와 피라미가 우점 및 아우점으로 나타났다. Co를 중심으로 피라미 보다는 참갈겨니가 많이 출현하는 것으로 나타났다. 이러한 것은 Bo 지점이 상류역에 있어 나타나는 현상으로 보여 진다. 또한 허준욱 등(2009a)은 하천차수에 따른 피라미와 참갈겨니의 서식지 분포가 차이 난다고 하였는데, 하상재료 및 하천차수 등과 관련하여 이 두 종에 대한 심도 있는 서식지 평가와 생태적 지위에 대하여는 추후에 이루어져야 할 것으로 판단된다.

군집구조 분석을 위하여 다양도, 우점도, 균등도 및 풍부도를 산출한 결과는 Fig. 4와 같다. 생물다양도에서 최재석과 김재구(2004)는 상류로부터 하류로 내려갈수록 어류 종수가 증가한다고 보고하였다. 또한 허준욱 등(2009a)은 하천차수가 커질수록 어류 종수와 생물양이 증가하는 것으로 보고하였다. 본 조사에서도 이러한 경향은 뚜렷하게 나타났으며, 한 종이 차지하는 우점률이 하류보다는 상류에서 높게 나타났다. 이러한 이유로 상류에서 우점도가 높게 나타나고 이와 반대로 다양도, 균등도 및 풍부도는 하류로 갈수록 값이 증가되는 것으로 나타났다.

생물다양도를 알 수 있는 어류 군집구조의 분석 중 우점도는 출현개체수, 우점종 및 군집지수 등을 이용하여 환경이 악화될수록 특정종이 우세하여 우점도가 높아지는 것으로 보고하였다(허준욱과 김정곤, 2009). 한편 오염이 되지 않더라도 특정종이 우

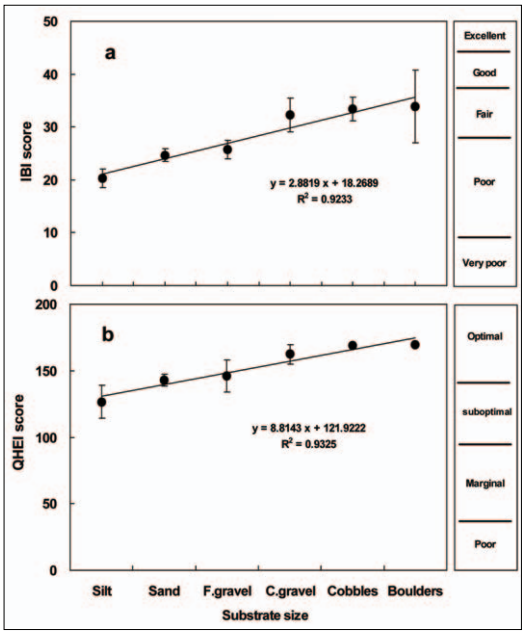

Figure 5. The IBI and QHEI scores at each station in the Geum River Basin. a: IBI, b: QHEI.

세하게 나타나는 것은 하천차수가 낮을수록 어류 종수가 적고 살 수 있는 서식지가 적어 나타난다고 하였다(허준욱 등, 2009a). 본 조사에서 나타난 Bo 지점의 우점도는 0.84±0.14로 다른 지점 0.70 이하보다 높게 나타났다(Fig. 4b). 이러한 이유는 금강수계에서 하상재료가 암반을 형성할 수 있는 서식지가 하천차수 3차 이하로 볼 때, 허준욱 등(2009a)이 보고한 것처럼 하천차수가 낮을수록 종수와 서식지가 적어 한 종이 차지하는 우점률이 높아져 나타난 결과로 판단된다. 우점도의 기준 점수는 0.9 이상(매우불량), 0.7~0.9(불량), 0.5~0.7(다소양호),0.25~0.5(양호) 및 0.25 이하(매우양호)로 평가한다. 본 조사에서 나타난 Si (0.67±0.05), Sa (0.70±0.14), Fg (0.63±0.09), Cg (0.63±0.08) 및 Co (0.70±0.11)지점은 기준 점수에 의해 다소양호였으며, Bo는 불량을 나타냈다.

군집내 모든 종의 개체수가 동일할 때 최대값을 보이는 종다양도는 Cg 지점에서 1.68±0.24로 가장 높은 값을 보였다(Fig. 4a). 다양도 점수 기준은 1.0 이하(매우불량), 1.0~2.0(불량), 2.0~3.0(다소양호), 3.0~4.0(양호), 4.0 이상(매우양호)으로 평가한다. 가장 높은 값을 보였던 Cg 지점은 불량으로 나타났으며, 다른 지점도 이와 유사한 것으로 평가되었다. 균등도와 풍부도도 우점도가 높은 Bo 지점에서 가장 낮은 값을 보였으며, 나머지 지점에서는 다양도와 유사한 경향을 보였다(Fig. 4c, d).

IBI는 Si (20.3±1.8), Sa (24.7±1.2), Fg (25.7±1.8), Cg (32.3±3.2), Co (33.4±2.3), Bo (32.1±8.6)으로 하상재료가 커짐에 따라 높아지는 경향을 보였다(Fig. 5a). 이는 IBI 기준점수로 보았을 때 Fg 이하 지점에서는 보통~불량이며, Cg 이상에서는 보통~양호를 나타내고 있다. 위에서 논의한 하천차수가 커지고 하류로 내려갈수록 어종 및 생물양이 증가한다고 하였는데, IBI 점수는 낮게 나타났다. 이는 하상재료가 작아지면서 여울성 및 저서성 어종의 출현율이 낮으며, 상대적으로 IBI 점수를 낮추는 어종이 출현하여 나타난 결과로 보여 진다. 하상재료의 사립자 크기가 작은 곳에서 여울성 및 저서성 어종은 여울보다는 소가 많이 형성되어 있어 여울성 어종 출현이 낮아지며, 저서성 어종이 숨을 수 있는 서식장소가 감소되어 나타난 것으로 판단된다(Fig. 3a). 또한 IBI 점수를 낮추는 어종은 잡식성 및 외래어종인데, 본 조사에서 하상재료가 높아짐에 따라 외래 어종은 나타나지 않은 반면 하상재료가 작은 실트 및 가는자갈 등에서 배스 등이 채집되어 이를 증명해준다. IBI 점수는 각 지점에 대하여 하상재료가 커짐에 따라 직선적으로 점수가 높아져 $y=2.8819X+18.2689$($R^2=0.9233$)의 직선식을 나타냈다.

QHEI는 Si (126.7±12.4), Sa (143±4.4), Fg (146.1±12.0), Cg (162.3±7.4), Co (169.2±1.3), Bo (169.2±1.2)으로 하상재료가 커짐에 따라 높아지는 경향을 보였다(Fig. 5b). 이러한 경향은 IBI와 유사하였다. 최근 하상정비 및 하천 주변의 공사 등으로 하천 좌우안은 안정화된 지점이 많아 모든 지점에서 높은 점수를 나타낸 것으로 판단된다. 세심히 보면 하상재료 크기가 작은 지점에서 낮게 나타났는데, 이는 하상재료가 작아짐에 따라 여울분포가

적어 나타난 것으로 보여 진다. 또한 하도내 하중도 및 폐쇄 및 개방형 소 등이 상대적으로 많이 형성되어 점수가 낮은 것으로 판단된다. 각 지점에 대하여 하상재료가 커짐에 따라 직선적으로 점수가 높아져 $y=8.8143X+121.9222(R^2=0.9325)$로 나타났다.

본 조사에서는 금강수계에서 하상재료에 따른 어류의 종다양성 및 서식지 평가를 실시한 결과를 요약하면 다음과 같다. 출현한 어류의 종다양성에서는 각각 Si 30종, Sa 29종, Fg 38종, Cg 30종, Co 27종, Bo 17종으로 Fg에서 가장 많았다. 전체 어종 중 피라미와 참갈겨니가 우점 및 아우점종으로 확인되었다. 따라서 금강수계에서 피라미는 모든 하상재료에서 가장 광범위하게 출현하는 것으로 확인되었다.

서식지 형태(소, 여울 및 유수역)에 따른 어류의 분포는 가장 광범위 하게 출현하였던 피라미와 참갈겨니가 높은 출현을 보였으며, 모래무지는 Fg 이하의 소와 유수역에서 높은 출현율을 보였다. 돌마자는 Fg의 여울과 유수역에서 아우점종으로 출현하여 여울과 밀접한 관련이 있는 것으로 확인되었다. 피라미와 참갈겨니는 하상재료에 따라 우점 및 아우점종으로 확인되어, 추후 하천형태, 차수 및 하상재료와의 연관성에 대하여 심도 있는 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

생물다양도에서 하상재료가 커짐에 따라 우점도는 특정종의 우세로 높아지는 값을 보였으며, 다양도, 풍부도 및 균등도 등은 하상재료가 작아짐에 따라 높아졌다. IBI와 QHEI는 하상재료가 작아짐에 따라 값이 낮아지는 것으로 나타났다. 이러한 것은 하상재료가 작아지면서 여울보다는 소가 많이 형성되어 있어 여울성 어종 출현이 감소하며, 저서성 어종이 숨을 수 있는 서식장소가 감소되어 나타난 것으로 판단된다.

IV. 결 론

환경유량과 하천복원을 위한 기초자료를 확립하고자 금강수계에서 2007년 10월~2009년 10월까지 하상재료에 따른 어류의 종다양성 및 서식지 평가를 실시하였다. 하상재료는 6단계로 실트(Si), 모래(Sa), 가는자갈(Fg), 굵은자갈(Cg), 호박돌(Co) 및 전석(Bo)으로 구분하여, 각각 3개 지점에 대하여 어류 모니터링을 실시하였다. 조사결과 모든 지점에서 채집된 어류는 10과 50종 7,649개체였다. 채집종은 각각 Si 30종, Sa 29종, Fg 38종, Cg 30종, Co 27종 및 Bo 17종이 출현하였다. 전체 어종 중 피라미(*Zacco platypus*)와 참갈겨니(*Z. koreanus*)가 우점 및 아우점종으로 확인되었다. 생물다양도에서 하상재료가 커짐에 따라 우점도는 특정종의 우세로 높아지는 값을 보였으며, 다양도, 풍부도 및 균등도 등은 하상재료가 작아짐에 따라 높아졌다. 생물보전지수(IBI)와 정량적서식지평가지수(QHEI)는 하상재료가 작아짐에 따라 값이 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 생물다양성을 유지하고 생태적 하천복원을 위해서는 각 어종에 대한 물리적 서식 조건을 자세하게 파악하여 서식지 조성에 필요한 노력을 해야 할 것이다.

참고문헌

김익수, 박종영, 2002, 한국의 민물고기, 교학사, 466 pp.

손영목, 송호복, 2006, 금강의 민물고기, 지성사, 239 pp.

안광국, 정승현, 최신석, 2001, 생물보전지수(Index of Biological Integrity) 및 서식지 평가지수 (Qualitative Habitat Evaluation Index)를 이용한 평창강의 수환경 평가, 155-158.

우효섭, 2004, 하천수리학, 청문각, 362-363.

이광열, 장영수, 최재석, 2006, 평창강의 어류상 및 법적보호종의 서식 실태, 한국환경생태학회지 20(3): 331-339.

이성훈, 한경호, 윤성민, 황동식, 유동재, 이충렬, 김익수, 손영목, 2004, 감돌고기(*Pseudopungtungia nigra*)의 산란습성 및 초기생활사, 한국어류

학회지 16(4): 309-316.

전상린, 1980, 한국산 담수어의 분포에 관하여, 중앙대학교 박사학위 논문, 91.

최재석, 김재구, 2004, 홍천강의 어류상과 어류군집, 환경생물학회지 18(3): 446-455.

허준욱, 강형식, 장민호, 2011, 한강수계 달천의 어류상과 물리적 서식지 조건에 관한 연구, 대한환경공학회지 33(8): 564-571.

허준욱, 김정곤, 2009, 용담댐 하류의 하천 건강성 평가 및 어류 서식처를 고려한 최적유량 산정, 한국수자원학회지 42(6): 481-491.

허준욱, 박상영, 강신욱, 김정곤, 2009a, 하천차수에 따른 금강수계 피라미(*Zacco platypus*)의 서식지 평가, 환경생물학회지 27(4): 397-405.

허준욱, 박진우, 강신욱, 김정곤, 2010b, 금강유역의 어류상과 서식지 적합도 지수 산정, 한국환경생태학회지 23(6): 516-527.

허준욱, 박진우, 김정곤, 2010, 초강천의 어류상과 군집, 한국하천호수학회지 43(2): 271-278.

허준욱, 서진원, 2011, 한강의 대표적 하천에 서식하는 참갈겨니(*Zacco koreanus*)의 물리적 서식 조건에 관한 연구, 환경영향평가, 20(2): 207-215.

Hubbs, C. and Hettler, W.F., 1964, Observations on the tolerance of high temperatures and low dissolved oxygen in natural waters by Crenichthys baileyi, The Southwestern Naturalist, 9, 245-248.

Karr, J.R., 1981, Assessment of biotic integrity using fish communites, Fishieries, 6, 21-27.

Margalef, R., 1968, Perspectives in Ecological Theory, Chicago, 111pp.

Matthews, W.J. and Hill, L.G., 1980, Habitat partitioning in the fish community of a southwestern river, Southwest, Nature, 25, 51-66.

Nelson, J.S., 1994, Fishes of the world. John Wiely and Sons, New York, 600pp.

Pielou, E.C., 1975, Ecological Diversity, Wiley, New York, 165pp.

Plafkin, J.L., M.T. Barbour, K.D. Porter, S.K. Gross, and R.M. Hughes, 1989, Rapid assessment protocols for use in streams and rivers: binthic macroinvertebrats and fish, EPA/444/4-89-001, Office of Water Regulations and Standards, U.S.EPA, Washington, DC, USA.

Simpson, E.H., 1949, Measuremwnt of diversity, Nature, 163, 688.

Wentworth, C.K., 1922, A scale of grade and class terms for clastic sediments: The Journal of Geology, 30, 377-392.

최종원고채택 11. 11. 28