

남한강수계의 하천차수별 어류군집 분포 특성

이승현 · 이황구 · 박상정¹ · 이수형¹ · 최준길*

상지대학교 생명과학과, ¹국립환경과학원

Distribution Characteristics of Fish Community to Stream Order in Namhan River Watershed. Lee, Seung-Hyun, Hwang-Goo Lee, Sang-Jeong Park¹, Soo-Hyung Lee¹ and Jun-Kil Choi* (Department of Biological Science, Sangji University, Wonju 220-702, Korea; ¹National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea)

Abstract For this study, we collected fishes of seven times at the 51 sites by stream orders (2-6) from November 2007 to September 2010. In the results, 55 species belonging 12 families were collected. And there were one species (1.8%) of Natural monument, 6 species (10.9%) of endangered and 22 species (40.0%) of Korea endemic. Dominant species was *Zacco koreanus* and subdominant species was *Zacco platypus* in whole. Stream orders (2-6) increased with increasing species, diversity (H'), evenness (EI), richness (RI), tolerant (TS), omnivore (OS) and decreasing individual, dominance (DI), sensitive (SS) insectivore (IS), total IBI score. Principal component analysis results showed location of variable (species, individual, community index, relative abundance of tolerant, sensitive, omnivore, insectivore species) and each site changes in up-stream and down-stream changes in their distribution. Correlation analysis showed significant differences between stream orders (2-6) and variable (species: Sp, diversity index: H' , omnivore species: OS, stream depth: SD, stream width: SW and water temperature: WT).

Key words: stream order, principal component analysis, tolerance guild, trophic guild, correlation analysis

서 론

남한강수계는 총 유로연장 375 km, 유역면적 12,577 km²인 한강의 2대 지류로 강원도 삼척시의 대덕산에서 발원하여, 충주호와 팔당호로 유입되는 주요 상수원이다. 또한 국내에서 두 번째로 큰 충주호가 위치하여 홍수 및 갈수기에 수문조절을 통하여 남한강 하류의 유량 및 이화학적 수질 변화에 직접적인 영향을 미치며 (Han

and An, 2008), 최근에는 남한강 인근 수계에서 배출되는 생활하수 및 축산폐수 등이 퇴적되면서 이화학적 수질오염 및 수체의 부영양화 현상을 야기시키고 있다 (Oh *et al.*, 2009).

한강수계는 생태계 현황조사 및 수계관리를 목적으로 어류를 포함한 다양한 생물상 조사가 진행되어 왔다. 한강수계를 대상으로 한 어류의 군집수준에 대한 연구는 수계중심으로 이루어져 왔으며, 동강 및 평창강을 중심으로 남한강 상류수계 조사 외에 개방산 유역조사, 치악산 계류조사, 동강 및 원주천 연구 등이 수행되어 왔다 (Lee *et al.*, 2007). 이러한 연구들은 주로 종래의 생물종 분포특성, 군집 및 개체군의 종다양도, 밀도분석 및 이화학적인 수질평가들로 인위적 또는 자연적으로 발생되

Manuscript received 12 May 2013, revised 20 August 2013, revision accepted 31 October 2013

* Corresponding author: Tel: +82-33-730-0434, Fax: +82-33-730-0434, E-mail: jkilchoi@sangji.ac.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

는 특이 사항에 따른 연구들이 진행되었다. 또한 남한강 수계의 어류 개체군 수준에 대한 연구로는 연준모치 (*Phoxinus phoxinus*)의 생식실태 (Song *et al.*, 2002)와 꾸구리 (*Gobiobotia macrocephala*)의 식성 (Choi *et al.*, 2004)에 대한 연구가 진행되었다.

현재 미국을 비롯한 캐나다, 영국, 호주, 일본, 독일, 프랑스 등에서는 어류를 이용한 생물학적 수질평가기법을 도입하여 수환경 종합평가에 크게 기여하고 있으며, 이를 잘 활용하고 있다 (Moon *et al.*, 2010). 어류를 이용한 생물학적 평가기법은 미국에서 1981년 IBI (Index of Biotic integrity)의 개념이 도입된 이래, IBI 수정작업이 이루어졌으며, 1986년 12개 주 정부에서 실행하여 1991년에는 35개 이상의 주 정부에서 채택되어 하천 평가에 실효를 거두고 있다 (Yeom *et al.*, 2000). 한편, 국내에서는 2000년대부터 생물통합지수인 IBI (Index of Biotic integrity) 모델을 기반으로 우리나라 하천의 특성에 맞게 이를 수정 및 보완하여 하천들에 적용하고 있는 실정이다 (An and Kim, 2005). 이러한 어류를 이용한 IBI 모델 평가는 어류의 분포양상 및 환경 스트레스에 의한 반응을 정량화하여 (Karr, 1981; Yoder and Smith, 1999) 대상수계 또는 하천의 생태 건강성을 평가하고, 어류의 분포특성을 파악하는데 용이하게 사용되었다. 하천차수에 따른 하천 생태의 구조적, 기능적 연구는 과거 Strahler (1957)에 의해 활발히 진행되었으며, 최근에는 하천차수에 따른 수계의 생물상, 하천규모, 고도 등 다양한 자료를 이용한 생물과의 상호관계 연구가 진행되어 왔다 (Platts, 1979; Barila *et al.*, 1981; Beecher *et al.*, 1988; Sullivan and Watiz, 2009; Morgan and Cushman, 2009; Yan *et al.*, 2011).

본 연구에서는 강원도와 충청북도에 걸친 남한강 상류수계의 51개 지점을 대상으로 2차에서 6차까지 하천차수 (Stream order)에 따라 구분하여 어류군집의 분포 특성을 분석하고, 생태 건강성을 평가하고자 한다. 또한 하천차수에 따른 어류군집의 분포 특성 파악을 위한 IBI모델의 활용과 주성분 분석을 통한 다변량 변수 분석으로 정량화에 기준하여 향후 하천차수에 따른 어류군집 연구의 기초자료로 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 조사기간

조사기간은 2007년 11월~2010년 9월까지 총 7회에 걸쳐 조사하였다.

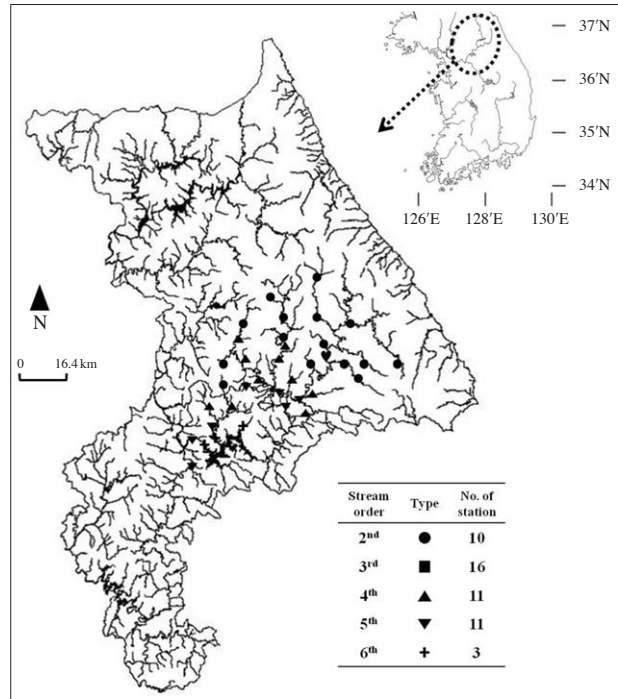


Fig. 1. Location of study area in Namhan river watershed.

1차조사는 2007년 11월, 2차와 3차조사는 2008년 6월과 9월, 4차와 5차조사는 2009년 5월과 9월, 6차와 7차조사는 2010년 5월과 9월에 실시하였다.

2. 조사지점

조사지점은 수생태 건강성 조사 및 평가 (Ministry of Environment, 2006)에 의거하여 2차하천 10개 지점, 3차하천 16개 지점, 4차하천 11개 지점, 5차하천 11개 지점, 6차하천 3개 지점 등 총 51개의 지점을 선정하였으며, 하천차수에 따라 2007년부터 2010년까지 지속적으로 조사된 지점의 선정을 위하여 각 하천차수의 지점수가 다르게 선정되었다 (Fig. 1, Table 1). 하천차수는 Strahler (1957)의 방법을 따라 1:25,000의 축척지도와 국가수자원관리종합정보시스템 (<http://www.wamis.go.kr>)을 이용하여 하천차수를 구분하였다.

3. 조사방법

남한강수계에서의 어류채집은 각 조사지점에서 정량 조사를 위하여 투망 (7×7 mm)과 족대 (4×4 mm)를 각각 12회, 30분간 실시하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정 및 개체수 파악 후 대부분 방류하였고, 일부 세밀한 동정을 요하는 개체만 10% Formalin 용액으로 고정

Table 1. Location (GPS) of each station in Namhan river watershed.

Station	GPS	Station	GPS
St. 1	36.0° 44.0' 52.70"N 127.0° 54.0' 2.80"E	St. 26	37.0° 15.0' 25.80"N 128.0° 15.0' 5.60"E
St. 2	36.0° 40.0' 31.33"N 127.0° 51.0' 44.62"E	St. 27	37.0° 7.0' 33.74"N 128.0° 33.0' 8.80"E
St. 3	36.0° 36.0' 5.86"N 127.0° 50.0' 1.40"E	St. 28	37.0° 7.0' 9.10"N 128.0° 6.0' 32.70"E
St. 4	37.0° 20.0' 25.00"N 128.0° 58.0' 11.00"E	St. 29	37.0° 29.0' 2.30"N 128.0° 43.0' 8.80"E
St. 5	37.0° 22.0' 9.05"N 128.0° 43.0' 9.04"E	St. 30	37.0° 38.0' 9.00"N 128.0° 33.0' 36.00"E
St. 6	37.0° 40.0' 12.60"N 128.0° 27.0' 59.50"E	St. 31	37.0° 26.0' 26.00"N 128.0° 38.0' 57.00"E
St. 7	37.0° 22.0' 0.74"N 128.0° 7.0' 37.90"E	St. 32	37.0° 22.0' 25.00"N 128.0° 40.0' 16.00"E
St. 8	37.0° 27.0' 5.60"N 128.0° 18.0' 6.80"E	St. 33	37.0° 13.0' 38.60"N 128.0° 47.0' 50.10"E
St. 9	37.0° 38.0' 58.83"N 128.0° 19.0' 41.30"E	St. 34	37.0° 19.0' 22.00"N 128.0° 42.0' 49.00"E
St. 10	37.0° 30.0' 55.50"N 128.0° 14.0' 21.00"E	St. 35	37.0° 11.0' 10.00"N 128.0° 29.0' 17.00"E
St. 11	36.0° 40.0' 46.82"N 127.0° 48.0' 11.02"E	St. 36	37.0° 29.0' 19.60"N 128.0° 23.0' 28.00"E
St. 12	36.0° 51.0' 1.60"N 127.0° 59.0' 19.00"E	St. 37	37.0° 24.0' 44.40"N 128.0° 9.0' 20.00"E
St. 13	36.0° 38.0' 34.32"N 127.0° 53.0' 4.29"E	St. 38	36.0° 36.0' 55.00"N 127.0° 42.0' 7.00"E
St. 14	37.0° 2.0' 41.45"N 128.0° 24.0' 4.26"E	St. 39	37.0° 10.0' 17.00"N 128.0° 27.0' 20.00"E
St. 15	37.0° 7.0' 30.56"N 128.0° 46.0' 25.02"E	St. 40	37.0° 11.0' 50.50"N 128.0° 24.0' 10.40"E
St. 16	37.0° 0.0' 30.81"N 128.0° 20.0' 5.80"E	St. 41	37.0° 10.0' 55.00"N 128.0° 28.0' 32.00"E
St. 17	36.0° 55.0' 51.74"N 128.0° 20.0' 8.20"E	St. 42	37.0° 22.0' 54.00"N 128.0° 40.0' 5.00"E
St. 18	37.0° 7.0' 56.80"N 128.0° 7.0' 6.90"E	St. 43	37.0° 22.0' 44.00"N 128.0° 39.0' 33.00"E
St. 19	37.0° 7.0' 35.20"N 128.0° 9.0' 46.00"E	St. 44	37.0° 22.0' 4.00"N 128.0° 37.0' 10.0"E
St. 20	37.0° 8.0' 17.00"N 128.0° 1.0' 16.40"E	St. 45	37.0° 12.0' 25.00"N 128.0° 30.0' 38.00"E
St. 21	37.0° 17.0' 4.00"N 128.0° 59.0' 22.00"E	St. 46	37.0° 28.0' 24.00"N 128.0° 43.0' 46.00"E
St. 22	37.0° 13.0' 43.20"N 128.0° 20.0' 2.10"E	St. 47	37.0° 27.0' 25.00"N 128.0° 40.0' 42.00"E
St. 23	37.0° 13.0' 18.60"N 128.0° 13.0' 38.10"E	St. 48	37.0° 19.0' 45.80"N 128.0° 11.0' 27.40"E
St. 24	37.0° 34.0' 20.00"N 128.0° 24.0' 7.00"E	St. 49	37.0° 0.0' 20.75"N 128.0° 23.0' 24.35"E
St. 25	37.0° 25.0' 55.60"N 128.0° 10.0' 56.70"E	St. 50	37.0° 9.0' 27.00"N 128.0° 29.0' 53.00"E
		St. 51	37.0° 2.0' 19.27"N 128.0° 24.0' 16.50"E

한 후 실험실로 운반하였다. 어류의 동정은 국내에서 발표된 검색표 (Kim, 1997; Kim and Park, 2002; Kim *et al.*, 2005)를 이용하였고, 분류체계는 Nelson (2006)을 따랐다.

4. 분석 방법

하천 수환경의 물리적·이화학적 분석은 수생태 건강성 조사 및 평가 (Ministry of Environment, 2006)를 참고하였다. 어류의 군집분석은 우점도지수 (McNaughton, 1967), 다양도지수 (Shannon-Weaver, 1949), 균등도지수 (Pielou, 1966), 풍부도지수 (Margalef, 1958)를 산출하여 분석하였다. 어류를 이용한 하천의 건강성 평가는 기존에 보고된 Ahn *et al.* (2001)에 의해 국내 환경에 맞게 수정 및 보완된 생물통합지수 (IBI)를 이용하였다. 8개의 메트릭을 이용하여 각 메트릭별로 '5', '3', '1'의 점수를 부여하고, 각 메트릭 값을 산정하여 청정상태 (A; Excellent, 40~36), 양호상태 (B; Good, 35~26), 보통상태 (C; Fair, 25~16), 불량상태 (D; Poor, 0~15)의 4개 등급으로 구분하였다. 주성분 분석 (Principal Components Analysis)은 PC-ORD (Version 5)를 이용하여 Kaiser (1958, 1961)에 의거하여 분석하였다. 분석은 해당 지점에서 출현한 종수, 개체수, 민감종수, 내성종수, 충식종수, 잡식종수, 군집분석 지수를 이용하였으며, 2개의 요인 (Axis)을 선정하였다.

결 과

1. 어류상

본 조사기간 동안 남한강수계에서 서식이 확인된 어류는 총 12과 55종 28,628개체가 채집되었다 (Table 2). 이중 잉어과 (Cyprinidae) 어류가 33종 (60.0%)으로 출현종이 가장 높게 나타났으며, 미꾸리과 (Cobitidae) 5종 (9.1%), 망둑어과 (Gobiidae) 3종 (5.5%), 종개과 (Balitoridae), 메기과 (Siluridae), 연어과 (Salmonidae), 꺾지과 (Centropomidae), 동사리과 (Odontobutidae) 등이 각각 2종 (3.6%), 동자개과 (Bagridae), 통가리과 (Amblycipitidae), 바다빙어과 (Osmeridae), 독중개과 (Cottidae) 어류가 각각 1종 (1.8%)씩 출현하였다. 한편 상대풍부도가 가장 높게 나타난 어종은 참갈겨니 (*Zacco koreanus*)로 9,667개체 (33.3%)를 차지하여 우점하였으며, 피라미 (*Zacco platypus*)가 4,697개체 (16.2%), 버들치 (*Rhynchocypris oxycephalus*)가 2,644개체 (9.1%), 돌고기 (*Pung-*

Table 2. Continued.

Species	Station																								
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.10	St.11	St.12	St.13	St.14	St.15	St.16	St.17	St.18	St.19	St.20	St.21	St.22	St.23	St.24	St.25
Cobitidae																									
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>							2		1			2			1			14	4	3					
<i>Misgurnus micolepis</i>							6	1		7	35	5			7	5	18		10	15	9	1	10	10	
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>			3	4	1		11	27	1	5	65	1			4	6	25	1	12	37	22		28	17	
<i>Isookimia koreensis</i>	12	4	16	36	15																				
<i>Niwaella multifasciata</i>												1													
Bagridae																									
<i>Pseudobagrus koreanus</i>										1											2				2
Siluridae																									
<i>Silurus asotus</i>															1										
<i>Silurus microdorsalis</i>																									
Amblycipitidae																									
<i>Liobagrus andersoni</i>	3		1	6	1	1				1		12	1	1			5				3	3	3	4	4
Osmeridae																									
<i>Plecoglossus altivelis</i>																	2								
Salmomidae																									
<i>Brachymystax lenok tsinlingensis</i>																									
<i>Oncorhynchus masou masou</i>								2						14									2		
Cottidae																									
<i>Cottus koreanus</i>																									
Centropomidae																									
<i>Siniperca scherzeri</i>																									
<i>Coreoperca herzi</i>	9	2	6		5					11	16	6	6			2	4	5	5	2	2	3	1	1	1
Odontobutidae																									
<i>Odontobutis platycephala</i>	2	4	8									1	6		1										1
<i>Odontobutis interrupta</i>		1	6							2	1	2	2		3					2	1				
Gobiidae																									
<i>Chaenogobius urotaenia</i>																									1
<i>Rhinogobius brunneus</i>																									2
<i>Tridentiger brevispinis</i>										28		2			18	48	1	9			4	1	2		
No. of family	6	4	4	5	5	4	2	4	4	3	7	3	4	7	4	7	6	4	5	3	7	6	7	6	6
No. of species	15	17	12	22	16	13	6	16	14	15	28	12	16	25	13	29	22	25	15	24	17	30	13	26	23
No. of individual	340	567	306	2034	639	241	377	349	483	454	484	515	433	228	396	471	519	504	512	646	1805	745	360	469	397

Table 2. Continued.

Species	Station																										
	St. 26	St. 27	St. 28	St. 29	St. 30	St. 31	St. 32	St. 33	St. 34	St. 35	St. 36	St. 37	St. 38	St. 39	St. 40	St. 41	St. 42	St. 43	St. 44	St. 45	St. 46	St. 47	St. 48	St. 49	St. 50	St. 51	
Cobitidae																											
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>		4			1								1	1	1									1			
<i>Misgurnus mizolepis</i>		1																									
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>	6	9	11	1	5	13	5	2	1	4	5	7	4	2	9	10	8	13	3	7	1					6	
<i>Ksookimia koreensis</i>	18	14	43	3	8	58	23	26	19	2	5	6	8	2	11	6	11	22	17	3	2					2	
<i>Niwaella multifasciata</i>																											12
Bagridae																											
<i>Pseudobagrus koreanus</i>		2			1								1														
Siluridae																											
<i>Silurus asotus</i>		1																									
<i>Silurus microdorsalis</i>					3									1													
Amblycipitidae																											
<i>Liobagrus andersoni</i>	7	2	10		3	6	6	5	9	3	1															6	
Osmeridae																											
<i>Plecoglossus altivelis</i>																											
Salmonidae																											
<i>Brachymystax lenok tsinlingensis</i>						6																					
<i>Oncorhynchus masou masou</i>																											
Cottidae																											
<i>Cottus koreanus</i>																											29
Centropomidae																											
<i>Siniperca scherzeri</i>									7						1											1	1
<i>Coreoperca herzi</i>	7		14		11	16	1	1	1	6	8	13	3	6	11	5	8	13	12	30	16	19				11	
Odontobutidae																											
<i>Odontobutis platycephala</i>																											
<i>Odontobutis interrupta</i>																											
Gobiidae																											
<i>Chaenogobius urotaenia</i>																											
<i>Rhinogobius brunneus</i>																											13
<i>Tridentiger brevispinis</i>																											1
No. of family	3	5	7	5	3	7	5	1	3	5	5	4	4	6	6	3	4	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5
No. of species	9	25	27	23	20	27	22	3	14	24	29	18	22	28	24	16	24	21	23	17	20	25	25	25	25	19	19
No. of individual	166	802	429	754	756	330	783	892	1914	656	831	207	418	614	334	281	904	579	961	311	819	544	351	199	435	159	

tungia herzi)가 1,906개체 (6.6%), 금강모치 (*Rhynchocypris kumgangensis*)가 1,662개체 (5.7%) 등의 순으로 조사되었다 (Fig. 2). 본 연구 대상지역에서 천연기념물 제259호인 어름치 (*Hemibarbus mylodon*) 1종 (1.8%)과 환경부지정 멸종위기야생동물 2급으로 지정되어 있는 한강납줄개 (*Rhodeus pseudosericeus*), 목납자루 (*Acheilognathus signifer*), 가는돌고기 (*Pseudopungtungia tenuicarpa*), 꾸구리 (*Gobiobotia macrocephala*), 돌상어 (*Gobiobotia brevibarba*), 열목어 (*Brachymystax lenok*) 등 총 6종 (10.9%)이 출현하였다. 한국고유종으로는 참갈겨니, 금강모치, 새코미꾸리 (*Koreocobitis rotundicaudata*), 참중개 (*Iksookimia koreensis*), 통가리 (*Liobagrus andersoni*), 꺾지 (*Coreoperca herzi*) 등 총 22종 (40.0%)이 확인되었으며, 국내 하천수계에서 나타나는 한국고유종의 평균 출현빈도인 28.8% (Kim et al., 2005)보다 높게 나타나 하천의 고유성이 잘 유지되는 것으로 조사되

었다. 본 연구에서 출현한 어류의 종과 개체수를 하천차수별로 살펴보면, 하천차수가 증가할수록 종수는 증가하는 경향이 나타나며, 개체수는 상대적으로 감소하는 경향이 나타났다 (Fig. 3).

2. 군집분석

남한강수계의 어류 군집분석 결과는 다음과 같다 (Table 3, Fig. 4). 하천차수별 군집지수는 2차하천에서 우점도지수는 0.87 (±0.12), 다양도지수는 0.77 (±0.50), 균등도지수는 0.51 (±0.25), 종풍부도지수는 0.93 (±0.54), 3차하천에서 우점도지수는 0.72 (±0.17), 다양도지수는 1.30 (±0.51), 균등도지수는 0.68 (±0.18), 종풍부도지수는 1.52 (±0.73), 4차하천에서 우점도지수는 0.68 (±0.20), 다양도지수는 1.36 (±0.61), 균등도지수는 0.65 (±0.24), 종풍부도지수는 1.64 (±0.81), 5차하천에서 우점도지수는 0.69 (±0.13), 다양도지수는 1.46 (±0.38), 균등도지수는 0.70 (±0.15), 종풍부도지수는 1.80 (±0.58), 6차하천에서 우점도지수는 0.63 (±0.20), 다양도지수는 1.37 (±0.44), 균등도지수는 0.76 (±0.22), 종풍부도지수는 1.53 (±0.58)로 분석되었다. 우점도지수는 하천차수가 증가할수록 감소하고, 다양도지수, 균등도지수, 종풍부도지수는 상대적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, 하천차수별 지점간 차이는 4차하천에서 가장 크고 5차하천에서 가장 낮은 것으로 분석되었다. 한편, 남한강수계를 구성하는 전 조사지점의 군집지수는 우점도지수 0.73 (±0.18), 다양도지수 1.23 (±0.58), 균등도지수 0.63 (±0.25), 종풍부도지수 1.48 (±0.76)로 분석되어 전반적으로 비교적 불안정한 군집구조를 유지하고 있는 것으로 조사되었다.

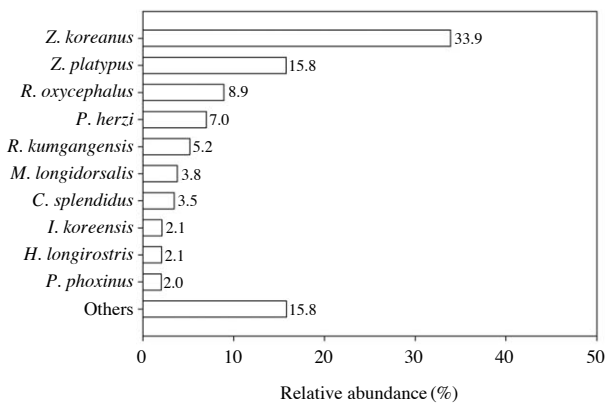


Fig. 2. Relative abundance of collected fish in Namhan river watershed.

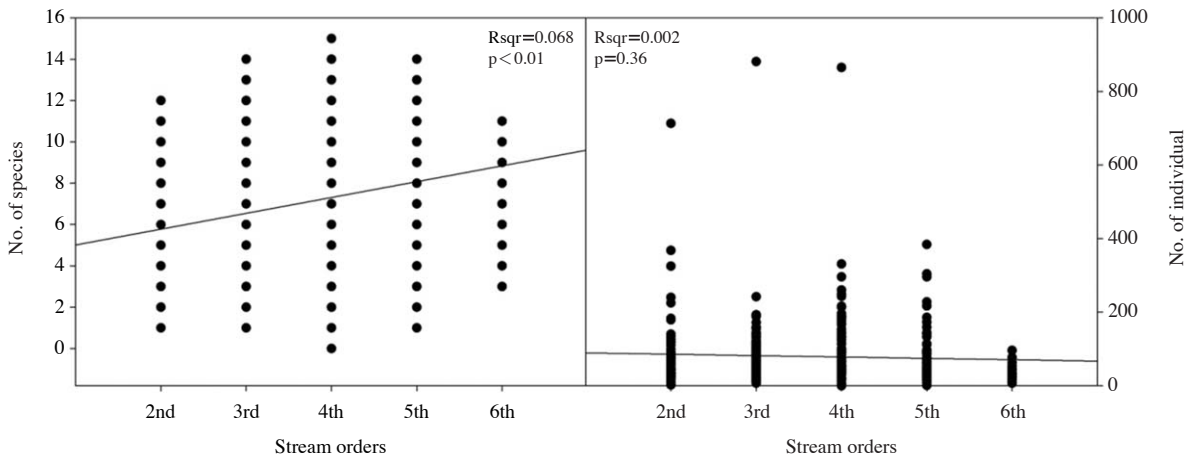


Fig. 3. Regression of species and individual with collected in Namhan river watershed.

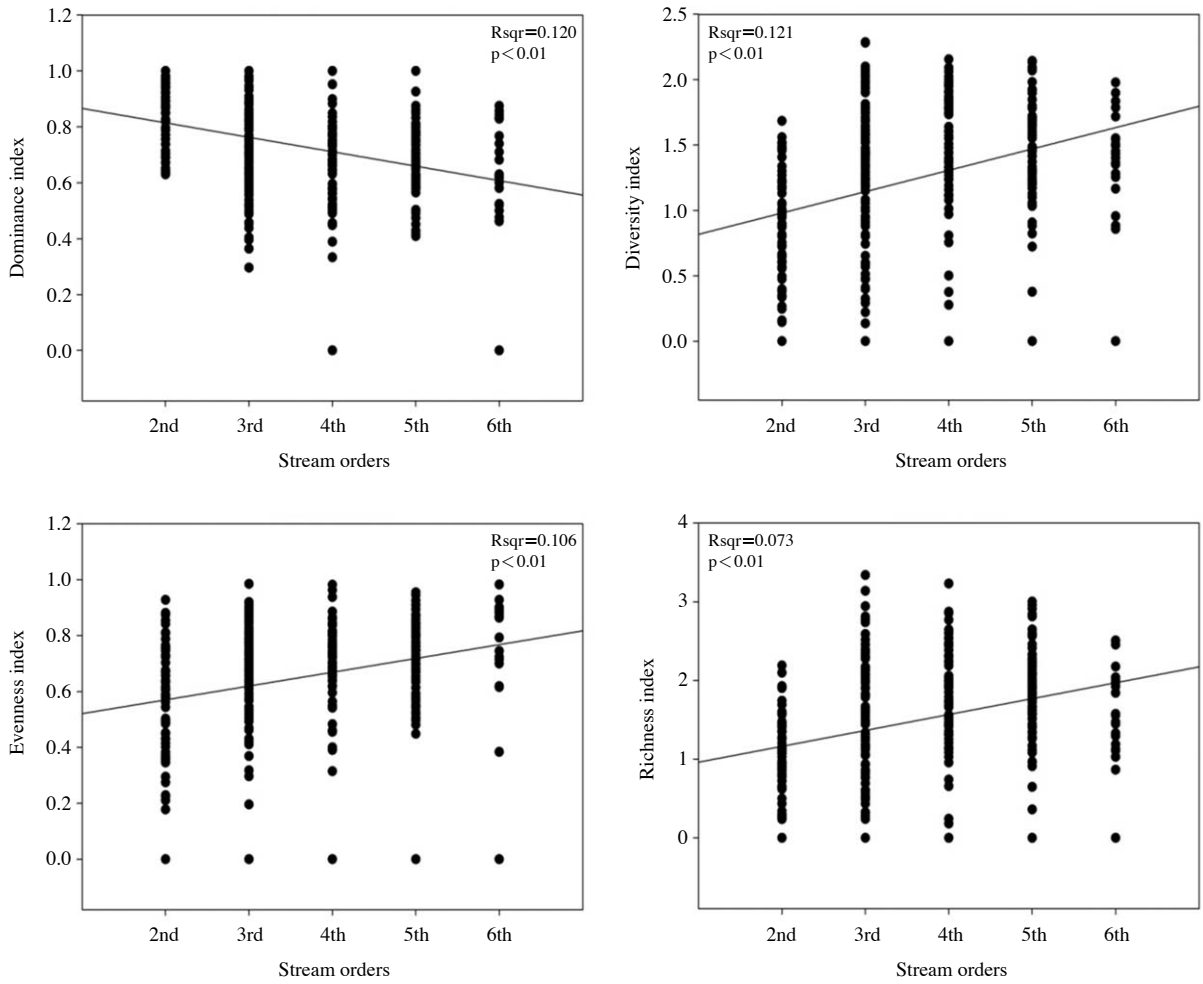


Fig. 4. Regression of fish community analysis in Namhan river watershed.

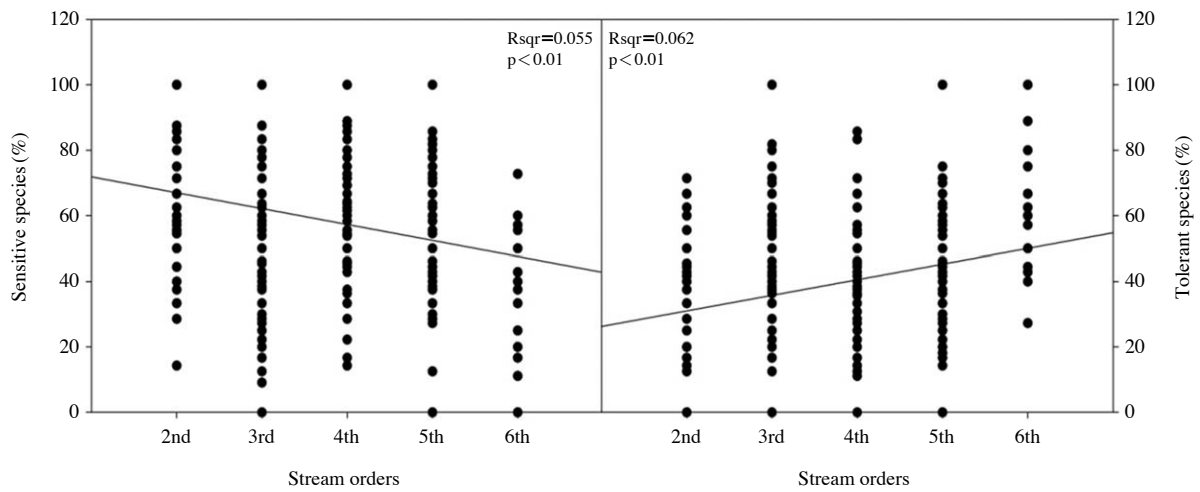


Fig. 5. Regression of comparison between relative abundance of sensitive and tolerant species in Namhan river watershed.

Table 3. Characteristic of stream fish and community analysis at each station in Namhan river watershed.

Stations	Stream orders	Water temperature (°C)	Velocity (cm sec ⁻¹)	Stream depth (cm)	Stream width (cm)	Stream	Bottom structure	No. of species individual		No. of TS		No. of OS		DI Mean (±SD)	H' Mean (±SD)	EI Mean (±SD)	RI Mean (±SD)
								Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean				
St. 1	2	15.8	67.1	25.7	31	B, C, P, S	B, C, P, S	4.7	47.3	3.3	1.4	3.4	0.3	0.89 (±0.08)	0.65 (±0.41)	0.41 (±0.27)	0.95 (±0.50)
St. 2	2	15.3	75.8	21.2	30	B, C, P, G, S	B, C, P, G, S	6	79.1	2.6	3.4	4	0.9	0.88 (±0.06)	0.78 (±0.27)	0.45 (±0.16)	1.15 (±0.47)
St. 3	2	14.7	48.8	19.4	30.9	B, C, P, G, S	B, C, P, G, S	3.3	42.6	2.1	1.1	1.6	0.1	0.97 (±0.03)	0.32 (±0.25)	0.27 (±0.22)	0.52 (±0.42)
St. 4	2	13.4	66	18.4	32.3	C, P, G	C, P, G	8.6	288.1	4.7	3.7	6	1.4	0.79 (±0.14)	1.18 (±0.38)	0.58 (±0.16)	1.38 (±0.50)
St. 5	2	13.8	51.5	14.7	43.6	C, P, G	C, P, G	5.7	89.7	4.6	1.1	5.4	0.3	0.80 (±0.12)	1.08 (±0.53)	0.59 (±0.29)	1.04 (±0.51)
St. 6	2	14.8	63.1	20.1	41.8	C, P, G, S	C, P, G, S	3.9	33.1	2.9	1	3.3	0.1	0.91 (±0.06)	0.65 (±0.35)	0.53 (±0.11)	0.93 (±0.17)
St. 7	2	16.3	65	19	14.6	B, C, P, G, S	B, C, P, G, S	1.4	53.3	1.3	0.1	1.3	0.1	0.96 (±0.12)	0.17 (±0.45)	0.12 (±0.32)	0.09 (±0.24)
St. 8	2	14.1	63.5	17.3	26.4	C, P, G	C, P, G	6.1	48.3	3.7	2.3	5	1.1	0.78 (±0.12)	1.13 (±0.54)	0.68 (±0.06)	1.43 (±0.36)
St. 9	2	15.6	63.1	22.2	34.3	B, C, P, G, S	B, C, P, G, S	4.1	67.6	2.9	1.3	3.4	0.6	0.90 (±0.10)	0.66 (±0.52)	0.49 (±0.26)	0.81 (±0.38)
St. 10	2	15.9	59.3	17.8	15.7	C, P, G, S	C, P, G, S	4.3	63.1	2.4	1.7	3.4	0.9	0.85 (±0.18)	0.76 (±0.70)	0.51 (±0.37)	0.72 (±0.82)
St. 11	3	15.3	66.3	27.7	64.3	B, C, P, G, S	B, C, P, G, S	10.1	66.1	4.6	5.4	5.1	3.4	0.62 (±0.11)	1.68 (±0.26)	0.73 (±0.14)	2.33 (±0.32)
St. 12	3	18.1	69.8	20.4	26.3	C, P, G, S	C, P, G, S	5.6	72.3	2.3	3.1	3.6	2	0.74 (±0.08)	1.22 (±0.26)	0.72 (±0.15)	1.11 (±0.21)
St. 13	3	14.7	71.5	21.1	47.7	C, P, G, S	C, P, G, S	4.3	60.1	2.6	1.4	2.3	0.7	0.93 (±0.10)	0.49 (±0.54)	0.27 (±0.26)	0.71 (±0.75)
St. 14	3	14.8	74.6	27.6	82.4	B, C, P, S	B, C, P, S	6.7	30	3.4	3.1	3.6	1.9	0.60 (±0.17)	1.49 (±0.35)	0.82 (±0.11)	1.75 (±0.67)
St. 15	3	14.8	92.7	31.8	36	B, C, P, G	B, C, P, G	4.9	55.3	4.7	0.1	3.7	0	0.83 (±0.11)	0.93 (±0.46)	0.55 (±0.27)	1.00 (±0.49)
St. 16	3	16.9	64.8	22.2	46.4	C, P, S	C, P, S	9.7	64.1	1.9	6.4	5.4	3.7	0.63 (±0.10)	1.65 (±0.20)	0.75 (±0.10)	2.18 (±0.50)
St. 17	3	17	87.5	24.2	67.9	B, C, P, G, S	B, C, P, G, S	7.9	71.9	2.7	4.9	5.4	1.7	0.67 (±0.17)	1.43 (±0.26)	0.72 (±0.15)	1.63 (±0.49)
St. 18	3	15.5	58.2	24.3	98.6	C, P, G, S	C, P, G, S	10.3	69.3	5.3	4.7	7	2.4	0.60 (±0.21)	1.72 (±0.50)	0.74 (±0.15)	2.28 (±0.66)
St. 19	3	17.1	79.3	20.7	77.9	C, P, G, S	C, P, G, S	5.7	71.6	1.6	2.9	3.4	2.3	0.80 (±0.07)	1.19 (±0.23)	0.69 (±0.13)	1.20 (±0.29)
St. 20	3	16.7	65	19.9	73.9	C, P, G, S	C, P, G, S	10.4	89.6	4.9	5.1	5.9	3.3	0.54 (±0.12)	1.84 (±0.25)	0.79 (±0.08)	2.14 (±0.43)
St. 21	3	14.1	55.5	16.7	75	C, P, G	C, P, G	8	255.9	5.1	2.9	5.6	1.6	0.71 (±0.08)	1.41 (±0.20)	0.72 (±0.13)	1.33 (±0.44)
St. 22	3	14	69.1	32.2	85.7	B, C, P, G, S	B, C, P, G, S	10	103.1	3.3	6	6.4	2.9	0.68 (±0.13)	1.55 (±0.45)	0.67 (±0.15)	1.95 (±0.58)
St. 23	3	12.4	98.2	22.2	17.5	B, C, P, G	B, C, P, G	3	50.4	2.9	0.1	2.7	0.1	0.95 (±0.09)	0.40 (±0.45)	0.31 (±0.34)	0.46 (±0.53)
St. 24	3	14.6	68.6	21.2	75	B, C, P, S	B, C, P, S	7.9	64.3	4	3.9	5.4	1.7	0.69 (±0.13)	1.42 (±0.36)	0.71 (±0.07)	1.67 (±0.66)
St. 25	3	13.5	67.8	58.4	49.7	B, C, P, G, S	B, C, P, G, S	7.7	54.3	5	2.7	5.1	1.4	0.65 (±0.11)	1.55 (±0.27)	0.76 (±0.11)	1.73 (±0.40)
St. 26	3	11.8	64.3	40.1	28	C, P, G	C, P, G	2.6	22.9	2.6	0	2.3	0	0.90 (±0.17)	0.50 (±0.36)	0.50 (±0.36)	0.46 (±0.34)
St. 27	4	16.9	86	27.9	143.6	C, P, G, S	C, P, G, S	10.6	111.7	7.4	3.1	6.9	2.1	0.70 (±0.17)	1.41 (±0.51)	0.62 (±0.22)	2.12 (±0.51)
St. 28	4	16.6	55.8	21.7	88.3	B, C, P, G, S	B, C, P, G, S	9.7	58.4	3.4	5.4	6.4	2.4	0.63 (±0.14)	1.67 (±0.30)	0.74 (±0.09)	2.15 (±0.47)
St. 29	4	14.1	67.5	23	109.3	C, P, G, S	C, P, G, S	11	105.1	6.9	4.1	8	1.7	0.64 (±0.09)	1.70 (±0.28)	0.71 (±0.10)	2.31 (±0.58)
St. 30	4	16.2	76.2	64	106.4	C, P, G, S	C, P, G, S	7	105.6	3.7	2.9	4.6	1.4	0.55 (±0.26)	1.31 (±0.62)	0.64 (±0.30)	1.31 (±0.64)
St. 31	4	15.4	60.4	21	44.5	C, P, G, S	C, P, G, S	8	44.3	4.7	3.3	5.6	0.9	0.64 (±0.26)	1.43 (±0.83)	0.75 (±0.18)	1.98 (±0.87)
St. 32	4	15.2	65.9	19.6	62.9	C, P, G, S	C, P, G, S	9.7	109.4	6.1	3.6	6.9	1.3	0.63 (±0.10)	1.67 (±0.28)	0.76 (±0.06)	1.91 (±0.42)
St. 33	4	13.6	80	24.9	46	B, C, P	B, C, P	1.3	127.1	1.3	0	1.3	0	0.98 (±0.01)	0.05 (±0.14)	0.08 (±0.20)	0.03 (±0.07)
St. 34	4	14.5	75.1	24.8	98.6	B, C, P, G	B, C, P, G	7.1	271.9	6.1	1	6.3	0.4	0.76 (±0.10)	1.34 (±0.25)	0.71 (±0.05)	1.17 (±0.35)
St. 35	4	15.1	54	23.1	106.1	C, P, G, S	C, P, G, S	9.3	91	5.1	4.1	6.6	2.4	0.65 (±0.17)	1.59 (±0.45)	0.74 (±0.07)	1.87 (±0.68)
St. 36	4	16.4	190.4	32.9	92.4	C, P, G	C, P, G	9.7	115.3	4.1	5.1	6.4	2.7	0.65 (±0.13)	1.62 (±0.33)	0.73 (±0.13)	1.87 (±0.53)
St. 37	4	15.8	66.4	30.7	56.4	B, C, P, G, S	B, C, P, G, S	5.3	27.6	3.4	1.9	4.3	0.6	0.65 (±0.29)	1.06 (±0.48)	0.61 (±0.30)	1.30 (±0.66)
St. 38	5	16.9	78.1	26.3	65	C, P, G	C, P, G	8.7	69.4	4	4.4	3.9	3.3	0.75 (±0.08)	1.34 (±0.31)	0.63 (±0.09)	1.86 (±0.47)
St. 39	5	16.7	71.6	27.4	123.2	C, P, S	C, P, S	8.7	84.6	4.9	3.7	4.9	2.7	0.69 (±0.17)	1.49 (±0.37)	0.71 (±0.12)	1.83 (±0.52)
St. 40	5	17	70	28.2	160.4	C, P, G	C, P, G	8.4	45.1	4.9	3.4	4.3	2.7	0.59 (±0.11)	1.69 (±0.21)	0.81 (±0.12)	2.08 (±0.52)
St. 41	5	16.4	73.7	80.8	268.3	C, P, G, S	C, P, G, S	4.7	38.4	2.1	2.4	2.9	1.6	0.80 (±0.17)	0.92 (±0.67)	0.57 (±0.40)	1.02 (±0.82)

Table 3. Continued.

Stations	Stream orders	Water temperature (°C)	Velocity (cm sec ⁻¹)	Stream depth (cm)	Stream width (cm)	Bottom structure	No. of species individual		No. of SS		No. of TS		No. of IS		No. of OS		DI Mean (±SD)	H' Mean (±SD)	EI Mean (±SD)	RI Mean (±SD)
							Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean						
St. 42	5	16.4	81.6	50.9	250	C, P, G, S	8	126.3	3	4.6	4.3	4.6	2.6	0.72 (±0.10)	1.42 (±0.21)	0.70 (±0.10)	1.49 (±0.34)			
St. 43	5	16	75.3	31.4	304.3	C, P, G, S	8.6	80.6	5.9	2.7	5.6	1.6	0.73 (±0.10)	1.40 (±0.35)	0.68 (±0.14)	1.86 (±0.64)				
St. 44	5	15.4	54.1	41.4	187.9	C, P, G, S	10.1	134.6	4.4	5.3	6.9	2.3	0.63 (±0.10)	1.62 (±0.26)	0.72 (±0.10)	1.92 (±0.48)				
St. 45	5	16.5	82.1	32.2	186	C, P, G, S	6.4	42.6	4.9	1.6	3.4	2	0.74 (±0.16)	1.30 (±0.45)	0.70 (±0.14)	1.50 (±0.71)				
St. 46	5	14.5	51.2	18.3	130	C, P, G, S	10	114.9	6.3	3.7	6.7	1.6	0.70 (±0.09)	1.51 (±0.25)	0.66 (±0.14)	2.05 (±0.30)				
St. 47	5	14.2	81.3	34.6	237.5	C, P, G	10.1	74.9	6.7	3.3	7.6	1.3	0.62 (±0.08)	1.70 (±0.20)	0.74 (±0.06)	2.12 (±0.47)				
St. 48	5	17	65.6	32.9	127.7	C, P, G	8.6	47.3	4.9	3.4	4.4	2.7	0.63 (±0.12)	1.62 (±0.33)	0.76 (±0.16)	2.04 (±0.45)				
St. 49	6	15.1	74.7	27.5	173.4	B, C, P, G, S	6.3	25.6	2.3	4	3.3	1.7	0.51 (±0.26)	1.39 (±0.67)	0.72 (±0.33)	1.60 (±0.88)				
St. 50	6	17.2	49.7	42.5	245	C, P, G, S	7.6	59.3	3.7	3.7	3.7	2.4	0.66 (±0.14)	1.44 (±0.34)	0.73 (±0.18)	1.61 (±0.34)				
St. 51	6	16.3	59.2	41.2	151.1	C, P, G	5	20.7	1.4	3.4	2.9	1.4	0.73 (±0.11)	1.27 (±0.26)	0.82 (±0.13)	1.39 (±0.45)				

SS: sensitive species, TS: tolerance species, IS: insectivore species, OS: omnivore species, DI: dominance index, H': diversity index, EI: evenness index, RI: richness index

Table 4. Correlation analysis with pearson's in Namhan river watershed.

Orders	#.Species	#.Individual	H'	SS	TS	I	O	WT	WC	SD	SW	B	C	P	G	S
#.Species	•	0.303*	0.927**	0.706**	0.842**	0.897**	0.761**	0.233	0.051	0.001	0.341*	-0.345*	-0.224	0.133	0.369**	0.195
#.Individual	•	•	0.172	0.382**	0.114	0.432**	0.045	-0.206	0.053	-0.151	-0.057	-0.074	-0.269	0.271	0.399**	-0.162

*, p<0.05, **, p<0.01, H': diversity, SS: sensitive species, TS: tolerance species, IS: insectivore species, OS: omnivore species, WT: water temperature, WC: water current, SD: stream depth, SW: stream width, B: boulder, C: cobble, P: pebble, S: sand

Table 5. Correlation analysis with pearson's at each stream order in Namhan river watershed.

Orders	#.Species	#.Individual	H'	SS	TS	I	O	WT	WC	SD	SW	B	C	P	G	S
#.Individual	•	0.303*	0.438**	0.447**	0.490**	0.394**	-0.147	-0.149	-0.135	-0.015	-0.065	-0.179	0.102	0.341**	0.129	-0.129
#.Species	0.301**	0.829**	0.591**	0.850**	0.898**	0.793**	0.167	-0.227*	-0.025	0.260**	-0.077	-0.134	0.020	0.153	0.069	0.069
#.Individual	•	0.158	0.290**	0.190*	0.330**	0.168	-0.023	-0.216*	-0.085	-0.002	-0.086	-0.174	0.203*	0.274**	-0.071	-0.071
#.Species	0.169	0.843**	0.840**	0.810**	0.943**	0.707**	0.334**	-0.016	-0.014	-0.125	-0.289*	-0.059	0.068	0.142	0.134	0.134
#.Individual	•	0.037	0.266*	-0.007	0.206	0.066	-0.181	-0.099	0.077	-0.037	-0.145	-0.110	0.186	0.110	-0.098	-0.098
#.Species	0.517**	0.670**	0.769**	0.677**	0.836**	0.480**	0.249*	-0.137	-0.275**	-0.122	0.212	0.012	-0.094	0.112	-0.150	-0.150
#.Individual	•	0.157	0.201	0.566**	0.492**	0.276*	-0.099	-0.288*	0.035	0.216	0.012	-0.220	-0.077	0.222	0.054	0.054
#.Species	0.742**	0.685**	0.805**	0.618**	0.901**	0.720**	-0.019	0.311	-0.137	0.163	-0.080	-0.248	0.215	0.143	0.088	0.088
#.Individual	•	0.231	0.776**	0.207	0.675**	0.546*	0.007	0.163	0.110	0.427	-0.008	-0.167	-0.050	-0.017	0.159	0.159

*, p<0.05, **, p<0.01, H': diversity, SS: sensitive species, TS: tolerance species, IS: insectivore species, OS: omnivore species, WT: water temperature, WC: water current, SD: stream depth, SW: stream width, B: boulder, C: cobble, P: pebble, S: sand

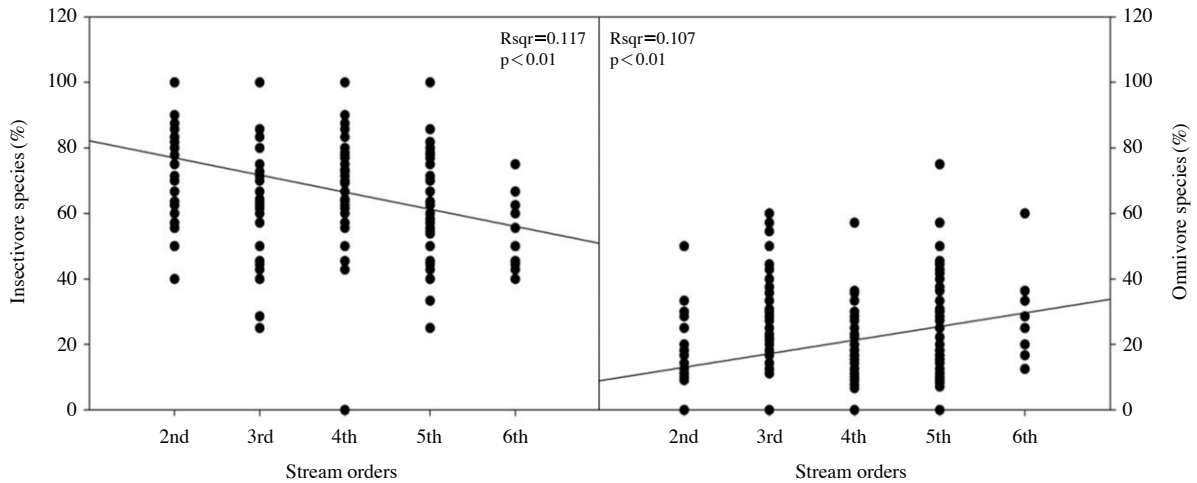


Fig. 6. Regression of comparison between relative abundance of insectivore and omnivore species in Namhan river watershed.

3. 내성도 및 섭식도

남한강수계에서 확인된 민감종 (Sensitive species)과 내성종 (Tolerant species)의 출현종수에 따른 내성특성 (Tolerance guild)은 2차하천에서 70.2% ($\pm 22.1\%$), 29.2% ($\pm 21.3\%$), 3차하천에서 55.9% ($\pm 28.1\%$), 40.6% ($\pm 25.2\%$), 4차하천에서 63.7% ($\pm 21.5\%$), 34.6% ($\pm 20.0\%$), 5차하천에서 55.5% ($\pm 22.1\%$), 42.4% ($\pm 17.6\%$), 6차하천에서 35.5% ($\pm 20.1\%$), 62.6% ($\pm 19.2\%$)로 분석되었다. 하천차수가 증가할수록 민감종은 감소하고, 내성종은 증가하는 경향이 나타나 서로 대조적인 모습을 보였다 (Fig. 5). 또한 3차하천에서 지점간 민감종과 내성종의 차이가 가장 크게 나타났으며, 5차하천에서 차이가 가장 낮게 나타났다. 남한강수계를 구성하는 전 조사지점의 내성특성은 민감종 59.2% ($\pm 24.5\%$), 내성종 38.7% ($\pm 22.7\%$)로 민감종에서 더욱 우세한 것으로 분석되었다. 충식종 (Insectivore species)과 잡식종 (Omnivore species)의 출현종수에 따른 섭식특성 (Trophic guild)은 2차하천에서 79.5% ($\pm 19.4\%$), 9.8% ($\pm 12.8\%$), 3차하천에서 66.8% ($\pm 16.6\%$), 22.2% ($\pm 15.3\%$), 4차하천에서 73.4% ($\pm 16.6\%$), 15.6% ($\pm 11.8\%$), 5차하천에서 60.2% ($\pm 15.1\%$), 26.7% ($\pm 14.6\%$), 6차하천에서 52.9% ($\pm 10.6\%$), 29.9% ($\pm 12.3\%$)로 분석되었다. 내성도와 마찬가지로 하천차수가 증가할수록 충식종은 감소하고, 잡식종은 증가하는 경향을 나타내었다 (Fig. 6). 또한 충식종은 2차하천에서 지점간 차이가 가장 크고, 6차하천에서 가장 낮은 것으로 나타났으며, 잡식종은 3차하천에서 가장 크고, 4차하천에서 가장 낮은 것으로 분석되었다. 남한강수계를 구성하는 전 조사지점의 섭식특

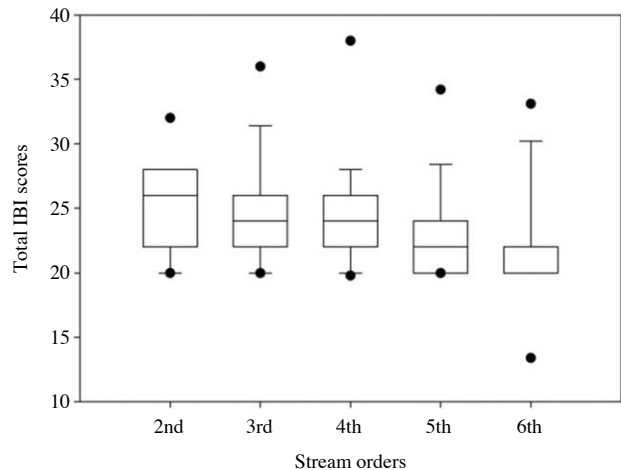


Fig. 7. Total IBI score at each stream order in Namhan river watershed.

성은 충식종이 68.5% ($\pm 18.2\%$), 잡식종이 19.8% ($\pm 15.2\%$)로 충식종에서 우세하게 나타났다.

4. 하천 건강성 (IBI) 평가

본 연구에서 출현한 어류를 이용한 하천차수별 건강성 평가 결과, IBI 종합 점수와 등급은 2차하천에서 25.3 (± 3.8)으로 “양호상태”, 3차하천에서 24.9 (± 4.6), 4차하천에서 24.3 (± 5.0), 5차하천에서 23.4 (± 4.1), 6차하천에서 21.6 (± 4.7)으로 “보통상태”의 등급으로 확인되었다 (Fig. 7). 또한 하천차수가 증가할수록 IBI 값이 감소하는 경향을 보여 하류로 갈수록 물리·화학적 영향에 따른 교란이 증가하는 것으로 분석되었다. 한편, 4차

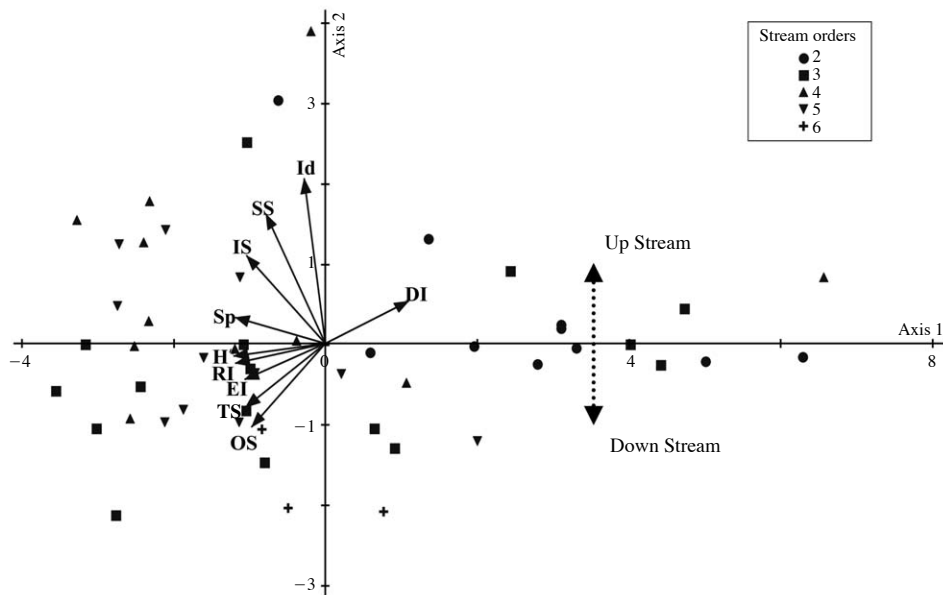


Fig. 8. Principal component analysis with multivariable data in Namhan river watershed (Sp: species, Id: individual, SS: sensitive species, TS: tolerance species, IS: insectivore species, OS: omnivore species, DI: dominance index, H': diversity index, EI: evenness index, RI: richness index).

하천에서 지점간 차이가 가장 크고, 2차하천에서 가장 낮은 것으로 나타났으며, 남한강수계를 구성하는 전 조사지점의 IBI는 24.3 (± 4.5)으로 “보통상태”의 등급으로 분석되었다.

5. 주성분 분석

남한강수계를 구성하는 51개 지점의 하천차수에 따른 주성분 분석결과, 선정된 2개의 요인은 각각 Axis 1 (69.9%; $p < 0.01$)과 Axis 2 (14.6%; $p = 0.67$)의 고유값으로 분석되었다 (Fig. 8). Axis 1은 다양도지수 (H')가 음의 방향으로 상관성이 가장 높은 것으로 나타났으며, 이와 대조적으로 우점도지수 (DI)는 양의 방향으로 상관성이 가장 높은 것으로 분석되었다. Axis 2는 잡식종수 (OS, Omnivore species)가 음의 방향으로 상관성이 가장 높게 나타났으며, 개체수 (Id, Individual)는 양의 방향으로 상관성이 높게 나타났다. 결과적으로 Axis 2를 기준으로 양의 방향으로서는 다양도지수가 낮고, 우점도지수가 높으며, 잡식종수가 적고, 개체수가 비교적 높게 출현하는 산간계류 또는 자연성이 잘 보존되고 있는 지점들로 구분 되었다. 한편, 음의 방향으로서는 다양도지수가 높고 우점도지수가 낮으며, 잡식종수가 많고 개체수가 비교적 낮게 출현하는 지점들로 구분이 되었다.

6. 다변량 상관관계 분석

Pearson's 상관관계 분석결과, 하천차수는 수온 ($p < 0.05$), 수심 ($p < 0.01$), 유속 ($p < 0.01$) 등 물리적 수환경과 상관성이 높은 것으로 나타났다. 또한 출현종과 개체수는 유속 ($p < 0.05$), boulder ($p < 0.05$), gravel ($p < 0.01$)과 상관관계가 높게 나타났다 (Table 4). 하천차수별 출현종수는 2~6차 하천에서 종다양도지수 ($p < 0.01$), 민감종수 ($p < 0.01$), 내성종수 ($p < 0.01$), 충식종수 ($p < 0.01$), 잡식종수 ($p < 0.01$)와 상관성이 높게 나타났으며, 개체수는 각 하천차수에 따라 상관성이 차이가 나타났다. 또한 2차하천에서는 pebble ($p < 0.05$), gravel ($p < 0.01$), 3차하천에서는 유속 ($p < 0.05$), 유폭 ($p < 0.01$), pebble ($p < 0.05$), gravel ($p < 0.01$), 4차하천에서는 수온 ($p < 0.01$), boulder ($p < 0.05$), 5차하천에서는 수온 ($p < 0.05$), 유속 ($p < 0.05$), 수심 ($p < 0.01$) 등 물리적 수환경과 상관성이 높게 나타났으며, 6차하천에서는 출현종과 개체수에 따른 물리적 수환경과 상관성이 나타나지 않았다 (Table 5).

고찰

본 연구에서 어류를 이용한 남한강수계의 하천차수별 어류군집의 분포 특성 결과, 출현한 어류는 총 12과 55

중 28,628개체로 확인되었다. 이 중 상대풍부도가 5% 이상인 어종은 참갈겨니, 피라미, 버들치, 돌고기, 금강모치 등의 순으로 확인되었다(Fig. 2). 갈겨니는 하천의 중·상류역, 피라미는 하천 중·하류에서 출현하는 분포 특성이 나타나며, 버들치는 산간계류의 수온이 낮은 물이나 강의 상류역에 서식하는 특성이 나타나는 것으로 알려져 있다(Moon *et al.*, 2010). 그러나 본 연구에서는 갈겨니와 생태적 특성이 유사한 참갈겨니가 전체 출현종 중 가장 풍부하게 출현하였으며, 2, 3, 5, 6차하천에서는 피라미가 4차하천에서 버들치가 아우점하여 Strahler (1957) 방식에 따른 상류에서 하류로의 하천차수 구분이 본 연구의 남한강수계에서는 일치하지 않는 것으로 조사되었다. 이는 하천차수의 구분은 동일하여도 하상공사, 골재채취 등의 인위적인 간섭과 유폭, 수심, 유속, 하상구조의 차이 등과 같은 지역별 하천특이성이 작용한 결과로 판단된다. 또한 각 지점의 종수와 개체수를 하천차수에 따라 살펴보면 하천차수에 따른 구배가 나타났으며, 이는 채집방법의 정량화에 기준할 때, 본 연구의 5, 6차하천의 조사지점들은 유폭, 수심, 유량 등 하천의 규모가 커짐에 따라 채집이 용이하지 않아 개체수가 감소하는 경향이 나타난 것으로 판단되며, 4차하천은 조사지점 인근으로 유입되는 1~3차하천의 영향이 작용하였을 것으로 사료된다(Fig. 3). Lee *et al.* (2007)의 남한강 상류수계, Moon *et al.* (2010)의 흑천수계, Lee *et al.* (2010)의 금강수계, Kim *et al.* (2012)의 회야강수계, Moon *et al.* (2012)의 탐진강수계 등에서 조사구간을 하천차수에 따라 구분하여 어류상과 분포를 조사하였으나 우리나라에서 서식하는 어류의 분포 특성은 하천차수에 따라 명확하게 일치하지 않는 것으로 판단되며, 추후 하천차수 구분에 따른 Strahler(1957)의 하천차수 방법을 보완하여 국내 하천 현황에 맞는 어류 군집의 분포 특성을 정립시켜야 할 필요성이 있다.

군집분석 결과 하천차수의 증가 또는 감소에 따른 우점도, 다양도, 균등도, 종풍부도지수의 구배는 기존의 Moon *et al.* (2010)의 보고와 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 어류의 다양성은 하천차수에 따라 상관성이 높게 나타나며, 물리적 수환경이 어류의 분포와 관련성이 높은 것으로 알려져 있다(Barila *et al.*, 1981; Beecher *et al.*, 1988; Sullivan and Watiz, 2009). 본 연구에서도 하천차수별 지점간 어류 분포의 차이(\pm SD)는 조사지점별 물리적 수환경 및 수변식생대의 분포 유무의 차이가 높게 작용한 것으로 판단된다.

남한강수계의 어류를 이용한 내성특성, 섭식특성 및 IBI 통합지수를 통한 분석결과, 하천차수의 증가 또는

감소에 따라 민감종, 내성종, 충식종, 잡식종, IBI 통합지수의 구배는 기존 국내에서 발표된 문헌(Moon *et al.*, 2010, 2012)과 동일하게 나타나는 것으로 분석되었다. IBI값의 감소는 내성종 어류의 증가를 초래한 결과이며, 이는 수질과 물리적인 수환경의 변화 및 교란으로 하천차수가 높아짐에 따라 IBI 값의 감소를 초래하는 것으로 판단된다. 한편 내성특성, 섭식특성 및 IBI 통합지수의 하천차수별 지점 간의 차이는 하천차수가 동일하여도 지점별 물리적 수환경에 따라 서식하는 어류상의 차이로 생각되며, 4~6차의 경우 각 지점에 따라 수변식생대의 발달 및 유폭, 수심, 유속의 차이가 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 본 연구의 분석결과 기존의 하천차수를 대상으로 보고된 문헌과는 부분적으로만 일치하여 추후 보다 정밀한 연구와 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 사료된다.

주성분 분석결과 각 조사지점들이 하천차수에 따라 뚜렷하게 구분되지 못하였는데, 이는 하천차수 구분에 따라 각 지점들의 수환경, 어류분포 특성 등이 뚜렷하지 못하기 때문이다. 이러한 비특이적 결과는 Axis 1, 2를 기준으로 인위적인 간섭에 따른 하천의 자연성이 높은 상류지점들과 하천의 자연성이 낮은 하류지점들로 구분이 되며, 기존에 선행된 하천차수구분에 따른 연구와는 일치하지 않는다. 이는 하천차수구분은 동일하여도 각 지점들의 물리적 수환경 및 출현종의 차이가 비교적 높기 때문이며, 국내 하천현황에 적합한 하천차수의 구분에 관한 깊이 있는 연구가 필요하다. 한편, Sullivan and Watiz (2009)는 미소서식처의 물리적·이화학적 수환경 등 다양한 자료를 바탕으로 주성분 분석을 실시하였고, 이러한 분석자료를 토대로 서식처 구분에 따른 생물종의 분포 특성을 언급하였다. 하지만 본 연구의 조사자료를 하천차수에 따른 생물종의 분포 구분을 실시한 결과 하천차수별 출현 유무의 차이만 확인할 수 있었으며, 보다 더 구체적인 결론은 분석되지 못하였다. 이는 각 하천차수 구분에 따라 출현한 어종의 차이가 뚜렷하지 못하기 때문이며, 조사지점별 어류의 출현유무와 개체수 빈도는 이동통로, 피난처, 휴식처 등에 좌우되기 때문인 것으로 판단된다.

Pearson's 상관관계 분석결과 하천차수의 구배에 따라 출현한 어류의 종과 개체수, 물리적 수환경 등의 구배는 어류의 다양성 및 하천의 물리적 수환경과 상관관계가 높으며, 이 중 본 연구에서는 수온, 수심, 유폭의 구배가 하천차수 구분에 따라 영향을 미치는 것으로 분석되었다(Table 2). 또한 하천차수별 출현종수와 개체수는 2차하천에서 pebble과 gravel, 3차하천에서는 유속,

유향, pebble, gravel, 4차하천에서는 수온, boulder, 5차 하천에서는 수온, 유속, 수심이 영향을 미치는 것으로 나타났다. 한편 6차에서는 상관관계로 분석된 값이 높게 나타나지는 않았으나 유속, cobble, pebble이 미치는 영향이 큰 것으로 판단된다(Table 3). 결과적으로 하천 차수별 물리적 수환경의 특성을 구분하는 요인들이 분석되었으나 이는 본 연구 수계에서의 결과에 한정되며, 추후 보다 더 광범위하고 세밀한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

남한강 수계의 51개 지점을 대상으로 하천차수에 따라 어류상, 군집분석, 내성특성 및 섭식특성 분석, IBI 평가, 주성분 분석을 실시한 결과, 하천차수에 따라 기준에 보고된 문헌과 부분적으로 일치하였으나 남한강수계의 특징은 뚜렷하게 구분되지 못하였다. 이는 본 연구의 조사지점들은 유향, 수심, 유량 등의 물리적 수환경이 하천차수별로 비교적 유사하였기 때문이다. 따라서 본 연구결과를 바탕으로 우리나라 하천 실정에 맞는 적합한 하천차수의 구분을 정립하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 2007년 11월부터 2010년 9월까지 2차 하천부터 6차하천까지 하천 차수에 따라 총 51개의 지점을 7회에 걸쳐 조사하였다. 채집된 어류는 총 12과 55종이었으며, 전체 지점에서 참갈겨니 (*Zacco koreanus*)가 우점하고, 피라미 (*Zacco platypus*)가 아우점 하였다. 또한 천연기념물 1종(1.8%), 환경부지정 멸종위기야생동물 2급 6종(10.9%), 한국고유종 22종(40.0%)이 확인되었다. 하천차수가 2차하천에서 6차하천으로 증가할수록 종수, 다양도지수, 균등도지수, 종풍부도지수, 내성종, 잡식종이 증가하며, 개체수, 우점도지수, 민감종, 충식종, IBI종합 지수는 감소하는 경향이 나타났다. 주성분 분석 결과 각 지점들의 분포양상은 종수, 개체수, 군집지수, 내성종, 민감종, 잡식종, 충식종에 따라 상류와 하류로 구분이 되었다. 다변량 상관관계 분석결과 하천차수와 다변수(종수, 다양도지수, 잡식종, 하폭, 수심, 수온)는 유의미한 양의 상관관계가 나타났다.

사 사

본 연구는 환경부 “수생태건강성 조사 및 평가(2007

~2010)” 및 2012년도 상지대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었음.

REFERENCES

- An, G.K., D.H. Yoem and S.K. Lee. 2001. Rapid bioassessments of Kap Stream using the index of biological integrity. *Korean Journal of Environmental Biology* **19**(4): 261-269.
- An, G.K. and J.H. Kim. 2005. A diagnosis of ecological health using physical habitat assessment and multimetric fish model in Daejeon Stream. *Korean Journal of Limnological Society* **38**(3): 361-371.
- Barila, T.Y., R.D. Williams and J.R. Stauffer Jr, 1981. The influence of stream order and selected stream bed parameters on fish diversity in Raystown Branch, Susquehanna River drainage, Pennsylvania. *Journal of Applied Ecology*, pp. 125-131.
- Beecher, H.A., E.R. Dott and R.F. Fernau. 1988. Fish species richness and stream order in Washington State streams. *Environmental Biology of Fishes* **22**(3): 193-209.
- Choi, J.S., Y.S. Jang, K.W. Lee and O.K. Kwon. 2004. Feeding habit of *Gobiobotia macrocephala* (Cyprinidae) from the Namhan River, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **16** (2): 165-172.
- Han, J.H. and K.G. An. 2008. Water quality variation dynamics between artificial reservoir and the effected downstream watershed. *Korean Journal of Limnological Society* **41**(3): 382-394.
- Kaiser, H.F. 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika* **23**: 187-200.
- Kaiser, H.F. 1961. A note on Guttman's lower bound for the number of common factors. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology* **14**: 1-2.
- Karr, J.R. 1981. Assessment of Biotic Integrity using Fish Communities. *Fisheries* **6**: 21-27.
- Kim, I.S. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korean Vol. 37 Freshwater Fishes. Ministry of Education, pp. 518.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Press Co., Seoul, pp. 465.
- 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 Press Co., Seoul, pp. 512.
- Kim, J.H., J.D. Yoon, H.B. Jo, K.H. Chang and M.H. Jang. 2012. Stream Health Assessment on Hoeya River Basin and Other Streams Based on Fish Community and Land Use in the Surrounding Watersheds. *Korean Journal of Limnological Society* **45**(4): 392-402.
- Lee, J.H., Y.P. Hong and K.G. An. 2007. Multi-metric index assessment of fish model and comparative analysis of community index with the health index the upstream watershed

- of Southern Han River. *Korean Journal of Limnological Society* **40**(2): 327-336.
- Lee, S.H., J.H. Lee, J.H. Han and K.G. An. 2010. A study on the fish community and various guilds to stream order in Geum River Watershed. *Korean Journal of Limnological Society* **43**(4): 503-512.
- Margalef, R. (1958). Information theory in ecology. *General Systems* **3**: 36-71.
- McNaughton, S.J. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature* **216**: 114-168.
- Ministry of Environment. 2006. The 3rd National Ecosystem Survey Guide. National Institute of Environmental Research, pp. 298.
- Moon, W.K., D.Y. Bae, J.W. Seo and K.G. An. 2012. Fish distribution and compositions along with altitude and longitudinal distance from the river mouth in the Tamjin River Basin, Korea. *Journal of Korean Society on Water Environment* **29**(4): 512-522.
- Moon, W.K., J.H. Han and K.G. An. 2010. Fish fauna and community analysis in Heuck Stream Watershed. *Korean Journal of Limnological Society* **43**(1): 69-81.
- Morgan, R.P. and S.F. Cushman. 2009. Urbanization effects on stream fish assemblages in Maryland, USA. *Journal of the North American Benthological Society* **24**(3): 643-655.
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the World. Wiley, pp. 600
- Oh, S.J., S.H. Woo, J. Hur, M.S. Jung and H.S. Shin. 2009. Changes in dissolved organic matter composition in the Namhan River during a heavy rain event. *Journal of Korean Society on Water Quality* **25**(5): 697-703.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* **13**: 131-144.
- Platts, W.S. 1979. Relationships among stream order, fish populations, and aquatic geomorphology in an Idaho river drainage. *Fisheries* **4**(2): 5-9.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, pp. 233.
- Song, H.B. and Y.M. Son. 2002. Maturity and reproductive ecology of the minnow, *Phoxinus phoxinus* (Cyprinidae) in the upper south Han River, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **14**(4): 262-268.
- Sullivan, S.M.P. and M.C. Waitzin. 2009. Stream-floodplain connectivity and fish assemblage diversity in the Champlain Valley, Vermont, U.S.A. *Journal of Fish Biology* **74**: 1394-1418.
- Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union* **38**(6): 913-920.
- Yan, Y., X. Xiang, L. Chu, Y. Zhan and C. Fu. 2011. Influences of local habitat and stream spatial position on fish assemblages in a dammed watershed, the Qingyi Stream, China. *Ecology of Freshwater Fish* **20**(2): 199-208.
- Yeom, D.H., K.G. An, Y.P. Hong and S.K. Lee. 2000. Assessment of an index biological integrity (IBI) using fish assemblages in Keum-Ho River, Korea. *Korean Journal of Environment Biology* **18**(2): 215-226.
- Yoder, C.O. and M.A. Smith. 1999. Using fish assemblages in a state biological assessment and criteria program: essential concepts and considerations. Assessing the Sustainability and Biological Integrity of Water Resources Using Fish Communities, pp. 17-56.