

〈Original article〉

원주천의 어류군집을 이용한 생태적 건강성 평가 연구

박현경 · 최준길 · 원경호¹ · 이황구*

상지대학교 생명과학과, ¹원주시청

Study on the Evaluation of Ecological Health by using Fish Communities in the Wonju Stream, Korea

Hyun Kyung Park, Jun Kil Choi, Kyung Ho Won¹ and Hwang Goo Lee*

Department of Biological Science, College of Science & Engineering, Sangji University,
Wonju 26339, Republic of Korea

¹Wonju City Hall, Wonju 26384, Republic of Korea

Abstract - The purpose of this study was to analyze fish communities in the Wonju stream located in Wonju-si in Gangwon-do, and to evaluate the health of the stream through past and present changes. We performed investigations four times from May 2015 to September 2016. In the survey, 5,201 individuals which belonged to 27 species and 9 families were collected. *Zacco platypus* was the dominant species and *Pungtungia herzi* was the subdominant species. Eight Korean endemic species (*Acanthorhodeus gracilis*, *Zacco koreanus*, *Coreoleuciscus splendidus*, *Squalidus gracilis majimae*, *Microphysogobio yaluensis*, *Iksookimia koreensis*, *Koreocobitis rotundicaudata*, *Coreoperca herzi*) were observed and showed a ratio of 16.54%. The fish community of dominance (0.72 ± 0.10), diversity (1.37 ± 0.32), evenness (0.61 ± 0.13), and richness (1.70 ± 0.23) were evaluated. According to our analysis of tolerance guilds, the total individual number of intermediate species was higher than the sensitive and tolerant species. As a result of the trophic guild analysis, the omnivore and insectivore species were relatively high. The value of the qualitative habitat evaluation index (QHEI) in the wonju stream was averaged $121.2 (\pm 23.4)$, indicating a suboptimal condition. Stream health showed that the fish assessment index (FAI) value was an A to C grade in the Wonju stream. A correlation coefficient analysis with FAI and various factors was analysed statistically, and had a high correlation in QHEI, with the omnivore species, insectivore species, intermediate species, sensitive species, dominance, diversity, evenness, and richness.

Keywords : Wonju stream, fish community, QHEI, FAI

서 론

하천생태계는 물이 상류에서 하류로 흐름에 따라 시·공간적으로 매우 역동적인 특성을 갖으며, 이·화학적 특성과 함께 하천을 이루고 있는 무기물과 유기물이 총체적으로 어

우려져 형성된다. 하천은 물리·화학적인 구조나 지역적인 분포의 차이에 따라 서식하는 생물상이 다르며, 여러 다양한 생물에게 서식처를 제공하고 인간의 삶에 있어서도 많은 영향을 주고 있다(Choi *et al.* 2008). 하천생태계에서 어류는 먹이사슬의 상위소비자로서 다른 생물종들과 밀접한 관계를 유지하면서 생물다양성을 대표하고 있으며, 지리적 위치, 고도, 하천형태, 수질 등의 환경요인에 따라 어류상이 쉽게

* Corresponding author: Hwang-Goo Lee, Tel. 033-730-0434,
Fax. 033-811-1030, E-mail. morningdew@sangji.ac.kr

변화한다(Kim *et al.* 2005a; Kim and Park 2007; Lee *et al.* 2009). 그러나 산업혁명 이후 급속한 인구증가와 함께 도시는 하천을 중심으로 발달하였고, 하천 수변부는 다양한 목적으로 개발되어 왔으며, 이러한 하천의 개발은 자연적 구조를 변형시켜 하천의 기능이 상실되었다(Choi *et al.* 2008). 과거 국내에서는 하천 환경 개선 사업에 따라 하수처리장의 건설 등 수질 오염방지에 관한 노력이 지속적으로 이루어져 왔으나 2000년대 이후 자연형 하천 또는 생태하천의 개념이 도입되면서 수생태계의 기능을 회복하기 위한 노력이 시작되었으며, 이에 따라 최근에는 생태적으로 교란된 하천을 복원하거나 인공하천을 조성하여 자연형 하천으로 정비하고 있다(Park *et al.* 2009). 본 연구의 대상하천인 원주천은 1970년대 이후 도시화에 따른 급격한 인구밀도의 증가에 따라 1990년대에는 하수종말처리장과 함께 원주천에 다양한 시설물이 도입되어 자연성이 많이 훼손되었으며, 2000년대에 들어서 하천정비사업의 미명하에 대표적인 도심하천으로 자리 잡게 되었다. 원주천은 원주시 판부면 금대리에서 발원하여 호저면 주산리 섬강으로 합류하는 지방하천으로 유로연장 24.8 km, 유역면적 154.15 km²로서 치악산과 백운계곡에서 발원하는 영랑천, 단계천, 흥양천 등의 지천이 합류되어 형성된다. 유로길이가 매우 짧으나 상류역 일부는 매우 잘 보존되어 있고, 중류역은 도시와 접하고 있어 인간의 간섭을 많이 받고 있으며, 하류역은 농경지와 산지를 통과하고 있다(Choi *et al.* 2000). 원주천 역시 과거 설치된 보와 낙차공으로 인하여 수생생물의 이동통로가 단절되고, 서식지가 훼손되는 등 여러 가지 하천생태계 연속성에 문제점을 지니고 있으며, 하천의 상·하류 단절 및 서식지의 훼손에 따른 생태계 복원 및 생물종의 다양성 확보, 생태계 보전을 통한 원주천의 중·하류 네트워크 구축의 필요성이 대두되고 있다. 이에 최근에는 원주천 생태하천 복원사업을 통해 보와 낙차공을 자연형 하상유지 시설로 개량하고 여울 등을 설치하여 수질개선 및 생물종의 다양성 증대를 통하여 깨끗하고 안정한 하천환경, 생태적으로 건강하고 시민에게 보다 친숙한 수변환경의 조성을 시도하고 있다. 원주천을 대상으로 실시한 어류상 및 어류군집에 관한 과거 연구는 Choi *et al.* (2000), Choi *et al.* (2005)에 의해 진행되었으며, 이후 10여 년간 원주천을 대상으로 실시된 어류상 및 군집에 관한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 현재 원주천 일대에 서식하고 있는 어류상과 이들 어류 군집의 구조를 분석하고, 과거자료와의 비교를 통해 원주천 어류상의 변화를 보고자 한다. 또한 물리적 서식지 평가기법(QHEI; Qualitative habitat evaluation index)과 어류평가지수(FAI; Fish assessment index)를 활용하여 원주천의 수환경 진단 및 수생태계 건강성을 분석하고자 하며,

원주천의 담수어류 변동과 하천생태계 복원 및 보전 관리를 마련하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사시기

조사시기는 어류의 계절에 따른 종조성 및 산란시기의 특성 차이를 고려하여 2015년 5월부터 2016년 9월까지 총 4회 실시하였다. 각 조사시기는 다음과 같다.

1차 조사: 2015년 5월 26일

2차 조사: 2015년 9월 02~03일

3차 조사: 2016년 5월 20일

4차 조사: 2016년 9월 23일

2. 조사지점

조사지점은 원주천 상류인 원주시 관설동에서 하류인 호저면 주산리까지 총 7개 지점을 선정하여 조사를 실시하였다. St.1은 원주천의 중·상류역에 해당하여 오염원의 노출이 비교적 적은 지점이며, St.2~St.6은 원주시의 도심지역을 통과하는 지점으로 상대적으로 점오염원 및 비점오염원에 노출되어 있다. St.7은 원주천의 하류지점으로 농경지를 통과하는 지점이다. 각 조사지점의 행정구역 및 GPS (WGS) 다음과 같다(Fig. 1).

St.1: 강원도 원주시 관설동 대평교 (N: 37°18'45.50", E: 127°58'28.22")

St.2: 강원도 원주시 단구동 병영교 (N: 37°19'24.99", E: 127°58'03.90")

St.3: 강원도 원주시 단구동 월운정교 (N: 37°19'55.73", E: 127°57'42.91")

St.4: 강원도 원주시 봉산동 원주교 (N: 37°20'50.68", E: 127°57'19.60")

St.5: 강원도 원주시 학성동 태학교 (N: 37°21'15.80", E: 127°57'12.51")

St.6: 강원도 원주시 태장2동 강변교 (N: 37°22'34.88", E: 127°56'55.00")

St.7: 강원도 원주시 호저면 주산리 주산교 (N: 37°24'45.59", E: 127°55'00.46")

3. 조사방법

1) 이화학적 수질 분석

조사지점별 수질 분석은 2014년 11월부터 2017년 1월까

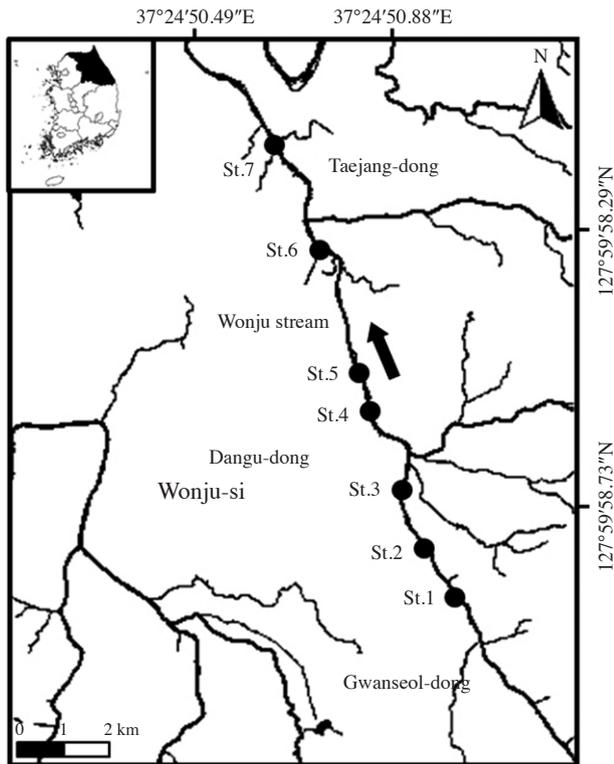


Fig. 1. Map showing the seven study sites of the Wonju stream, Korea.

지 총 10회에 걸쳐 2014년 11월, 2015년 4월, 5월, 8월, 11월, 2016년 2월, 5월, 9월, 11월, 2017년 1월에 실시하였다. 현장에서의 수질 측정은 다항목수질측정기(YSI Professional Plus, USA)를 사용하여 수온, pH, 용존산소량(DO), 전기전도도(EC)를 측정하였으며, 생화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS), T-N, T-P 등은 실험실 내에서 수질공정시험법에 준하여 분석하였다.

2) 채집 및 동정

어류의 채집은 정량조사를 위해 투망(망목 7×7 mm, 14회)과 족대(망목 4×4 mm, 40분)를 이용하여 조사를 실시하였으며, 정량조사에서 채집된 어류는 현장에서 동정 후 분류하였고, 동정이 어려운 개체들은 10% Formalin 용액으로 고정한 후 실험실로 운반하여 동정 및 분류하였다. 어류의 동정에는 국내에서 발표된 검색표(Kim 1997; Kim and Park 2002; Kim *et al.* 2005a)를 이용하였고, 분류체계는 Nelson (2006)에 따라 정리하였다.

4. 분석방법

1) 군집분석

군집분석은 조사지점별 정량적으로 채집된 출현종수 및

개체수를 비교 분석하여 우점종(Dominant species) 및 아우점종(Subdominant species)을 파악하고, 우점도지수(McNaughton 1967), 다양도지수(Shannon-Weaver 1949), 균등도지수(Pielou 1975), 풍부도지수(Margalef 1958)를 산출하였다.

2) 내성도 및 섭식도 길드 분석

내성도 길드 분석은 Barbour *et al.* (1999)에 의해 제시된 수질 오염도에 따라 내성 범위가 좁아 환경의 질적 변화에 민감하게 반응하는 민감종(SS; Sensitive species)과 수질오염에도 불구하고 종수 및 분포범위가 증가하는 내성종(TS; Tolerant species), 민감종과 내성종에 포함하지 않는 두 범주 사이의 중간종(IS; Intermediate species)으로 구분하여 분석을 실시하였다. 섭식도 길드 분석은 하천의 수생태계에서의 영양단계로 육식종(C: Carnivore), 초식종(H: Herbivore), 충식종(I: Insectivore), 잡식종(O: Omnivore)으로 분류하여 분석하였다. Ohio EPA(1987)에 따르면 육식종은 어류 등을 섭식하는 종, 충식종은 주로 수서곤충을 섭취하는 종, 잡식종은 동·식물을 지속적으로 먹는 종으로 식성의 분류에 의하여 이용하는 자원을 근거로 분류하였다.

3) 물리적 서식지평가지수(QHEI)

원주천의 서식처 평가 분석은 Plafkin *et al.* (1989)이 제시한 서식지평가지수(Qualitative Habitat Evaluation Index; QHEI)의 10개의 항목(M1, Substrate/instream cover; M2, Embeddedness; M3, Flow velocity/depth combination; M4, Bottom scouring & sediment deposition; M5, Channel flow status; M6, Channel alteration; M7, Frequency of riffles or bends; M8, Bank stability; M9, Bank vegetative protection; M10, Riparian vegetative zone width)을 선택하여 활용하였다. 각 변수는 최적(200~149), 양호(148~91), 보통(90~33), 악화(32 이하)의 상태로 구분하였으며, 각 10개의 점수를 합산하여 하천의 물리적 건강성을 평가하였다.

4) 어류평가지수(FAI)

원주천의 수생태계건강성을 평가하기 위하여 어류평가지수(Ministry of Environment 2007)를 활용하여 평가등급을 산정하였다. 각 등급은 최적상태($100 \leq A \leq 87.5$), 양호상태($87.5 < B \leq 56.2$), 보통상태($56.2 < C \leq 25$), 불량상태($25 < D \leq 0$)의 4개 등급으로 구분하여 평가하였다.

결과 및 고찰

1. 이화학적 수질 분석

원주천을 대상으로 10회에 걸쳐 수질을 분석한 결과는

Table 1. Results of a water quality analysis at each study site in the Wonju stream, Korea

Sites	WT(°C)	pH	DO(mg L ⁻¹)	BOD(mg L ⁻¹)	COD(mg L ⁻¹)	EC(μs/cm)	SS(mg L ⁻¹)	T-N(mg L ⁻¹)	T-P(mg L ⁻¹)
St.1	13.5(±7.2)	7.2(±0.5)	11.8(±1.6)	1.2(±0.5)	2.1(±0.9)	302.2(±74.9)	1.7(±1.8)	2.936(±0.705)	0.029(±0.022)
St.2	13.8(±8.0)	7.3(±0.5)	11.2(±2.5)	1.5(±1.0)	2.4(±1.0)	329.6(±85.9)	2.3(±1.7)	2.602(±0.731)	0.041(±0.021)
St.3	16.2(±7.3)	8.5(±0.7)	11.2(±2.6)	1.4(±0.6)	3.9(±1.8)	298.2(±46.8)	4.0(±2.8)	4.145(±1.673)	0.068(±0.068)
St.4	14.4(±8.8)	7.3(±0.7)	11.3(±2.3)	1.5(±1.3)	2.8(±1.2)	370.3(±100.5)	3.7(±4.0)	2.831(±0.734)	0.052(±0.032)
St.5	14.7(±8.1)	7.3(±0.6)	11.1(±3.0)	1.8(±1.5)	2.8(±1.2)	369.0(±116.3)	8.4(±18.2)	2.999(±0.918)	0.073(±0.070)
St.6	16.1(±9.0)	7.5(±0.6)	12.0(±1.9)	2.0(±0.9)	3.4(±1.1)	397.0(±122.1)	4.8(±3.8)	3.009(±0.689)	0.096(±0.048)
St.7	18.3(±7.0)	8.2(±0.5)	11.5(±1.7)	4.3(±3.4)	8.5(±2.5)	407.8(±84.3)	6.5(±4.2)	6.802(±2.682)	0.241(±0.249)

WT: Water temperature, pH: Potential of hydrogen, DO: Dissolved oxygen, BOD: Biochemical oxygen demand, EC: Electric conductivity, SS: Suspended solid, COD: Chemical oxygen demand, T-N: Total nitrogen, T-P: Total phosphorus

Table 1과 같다. 수온은 13.5~18.3°C로 상류역에서 낮고, 하류역에서 높게 나타났다. 수소이온농도(pH)는 어류가 서식하기에 적절한 값이 6.5~8.5 이내로 알려져 있으며(Park *et al.* 1995), 원주천의 pH는 7.2~8.5로 어류의 서식에 적당한 것으로 측정되었다. 용존산소(DO)는 3 mg L⁻¹ 이하일 때 어류의 성장에 제한을 주는 것으로 알려져 있으나(Kim *et al.* 2012), 원주천의 용존산소는 11.1~12.0 mg L⁻¹의 범위로 용존산소량이 매우 풍부하였으며, 높은 용존산소량을 필요로 하는 민감종이 서식하기에 좋은 조건을 유지하고 있었다. 생화학적 산소요구량(BOD)은 1.2~4.3 mg L⁻¹로 하천의 생활환경기준에 의거할 때, 좋음(Ib)~보통(III) 상태에 해당하였다. 화학적 산소요구량(COD)은 2.1~8.5 mg L⁻¹로 St.7에서 약간나쁨(IV) 상태를 나타냈으며, 그 외의 지점은 좋음(Ib) 상태를 유지하였다. 전기전도도(EC)는 298.2~407.8 μs/cm, 부유물질(SS)은 1.7~8.4 mg L⁻¹, 총질소(T-N)와 총인(T-P)은 각각 2.602~6.802 mg L⁻¹와 0.029~0.241 mg L⁻¹로 대부분 하류지점인 St.7에서 높은 것으로 분석되었으며, 이는 원주천 하류지역에 위치한 환경사업소의 영향이 작용한 것으로 판단된다.

2. 어류상

1) 어류상

원주천 일대에서 실시한 어류 조사 결과 총 9과 27종 5,201개체가 출현하였다(Table 2). 과별 종구성비는 잉어과(Cyprinidae)에서 16종으로 59.26%를 차지하여 가장 다양한 종이 출현하였으며, 미꾸리과(Cobitidae) 4종(14.81%), 종개과(Balitoridae), 동자개과(Bagridae), 메기과(Siluridae), 송사리과(Adrianichthyidae), 꺾지과(Centropomidae), 동사리과(Odontobuidae), 가물치과(Channidae)에서 1종(3.70%)씩 출현하였다. 과별 개체수 구성비는 잉어과에서 97.06%로 개체수의 대부분을 차지하였으며, 미꾸리과 1.63%, 동사리과 0.75%, 송사리과 0.27%, 메기과 0.10%, 꺾지과 0.08%, 종개과 0.06%, 동자개과 0.04%, 가물치과 0.02%로 나타났다. 한

국고유종은 가시납지리(*Acanthorhodeus gracilis*), 참갈겨니(*Zacco koreanus*), 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), 긴물개(*Squalidus gracilis majimae*), 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*), 참종개(*Iksookimia koreensis*), 새코미꾸리(*Koreocobitis rotundicaudata*), 꺾지(*Coreoperca herzi*) 등 총 8종(16.54%)으로 나타났으며, 한국고유종의 비율인 28.8%(Kim *et al.* 2005a)에 비추어 볼 때, 원주천의 고유종 출현비율은 상대적으로 낮게 나타났다. 출현한 어종 중 피라미가 2,975개체(57.20%)로 우점하고 있었다. 피라미는 유기물 오염과 수환경 변화에 내성이 강하고 수심이 깊은 정수된 수체에서도 잘 적응하는 어류로 인위적인 환경 변화인 수질오염이나 보설치 등은 피라미의 개체수 증가 요인으로 작용하는 것으로 알려져 있다(Kim and Kim 1975). 원주천 역시 중류지역은 도심을 관통하는 전형적인 도심하천으로 상류에서부터 하류까지 다수의 보가 설치되어 있으며, 수질오염의 노출 및 서식지의 단편화로 인해 상대적으로 내성이 강한 피라미가 우세하게 출현한 것으로 판단된다.

2) 어류상 변화

과거 원주천 본류 및 지류를 대상으로 실시된 기존의 문헌조사 결과 1998년 조사 시 9과 23종(Choi *et al.* 2000), 2004년 7과 24종(Choi *et al.* 2005)이 출현하였다(Table 2). 본 조사 시 9과 27종으로 종조성의 변화와 함께 전반적으로 종다양성이 증가한 것으로 조사되었으나 이는 조사지역 및 조사지점수 차이에 의한 것으로 보이며, 조사횟수 및 조사방법 상의 차이로 판단된다. 과거에는 출현하였지만 본 조사에서 출현하지 않은 종은 가는돌고기(*Pseudopungtungia tenuicorpa*), 물개(*Squalidus japonicus coreanus*), 배가사리(*Microphysogobid lingidorsalis*), 종개(*Orthrias toni*), 갈겨니(*Zacco temminckii*), 미유기(*Silurus microdorsalis*), 독종개(*Cottus koreanus*), 배스(*Micropterus salmoides*) 등 8종으로 확인되었으며, 이 중 배가사리(*M. lingidorsalis*), 미유기(*S. microdorsalis*), 독종개(*C. koreanus*) 등은 최근 하천의 공사 및 수환경의 변화로 서식지 및 개체수가 감소하는 것으

Table 2. A list of the individual number of fish collected at each site in the Wonju stream from May 2015 to September 2016

Species	Sites							Choi <i>et al.</i> (2000)	Choi <i>et al.</i> (2005)	This study (2016)
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7			
Family Cyprinidae										
<i>Cyprinus carpio</i>				1	7	26	2	◎	◎	◎
<i>Carassius auratus</i>	1	5	33	24	66	77	48	◎	◎	◎
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>							6			◎
◆ <i>Acanthorhodeus gracilis</i>							8			◎
<i>Pseudorasbora parva</i>	2		2		7		2	◎	◎	◎
<i>Pungtungia herzi</i>	65	74	91	50	42	80	117	◎	◎	◎
◆♣ <i>Pseudopungtungia tenuicorpa</i>									◎	
◆ <i>Coreoleuciscus splendidus</i>	21	7	2						◎	◎
<i>Gnathopogon strigatus</i>										
◆ <i>Squalidus gracilis majimae</i>	46	27	14	2	4	2		◎	◎	◎
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>								◎	◎	
<i>Hemibarbus labeo</i>				7	1	8	51	◎		◎
<i>Hemibarbus longirostris</i>		3	21	21	26	4	9	◎		◎
<i>Pseudogobio esocinus</i>	19	21	21	54	30	33	32	◎	◎	◎
◆ <i>Microphysogobio yaluensis</i>	21	7			9	21	90	◎	◎	◎
◆ <i>Microphysogobio longidorsalis</i>									◎	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	25	21	14	2	18		2	◎	◎	◎
<i>Zacco temminckii</i>								◎	◎	
◆ <i>Zacco koreanus</i>	159	142	140	31	15	19				◎
<i>Zacco platypus</i>	174	318	642	374	746	626	95	◎	◎	◎
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>							15			◎
Family Balitoridae										
<i>Orthrias toni</i>								◎	◎	
<i>Orthrias nudus</i>	3									◎
Family Cobitidae										
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	5			1	4	3	3	◎	◎	◎
<i>Misgurnus mizolepis</i>		1			1		1			◎
◆ <i>Koreocobiti srotundicaudata</i>	1	1	1					◎	◎	◎
◆ <i>Iksookimia koreensis</i>	17	13	12	3	2	11	4	◎	◎	◎
<i>Cobitis lutheri</i>									◎	
Family Bagridae										
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>							2			◎
Family Siluridae										
<i>Silurus microdorsalis</i>								◎		
<i>Silurus asotus</i>		1				1	3	◎		◎
Family Amblycipitidae										
◆ <i>Liobagrus andersoni</i>								◎	◎	
Family Adrianichthyidae										
<i>Oryzias sinensis</i>					13	1				◎
Family Cottidae										
<i>Cottus poecilopterus</i>								◎	◎	
Family Centropomidae										
◆ <i>Coreoperca herzi</i>		2	2							◎
Family Bagridae										
▲ <i>Micropterus salmoides</i>								◎		
Family Odontobutidae										
◆ <i>Odontobutis interrupta</i>	2	3	7	14	5	3	5	◎	◎	◎
Family Gobiidae										
<i>Rhinogobius brunneus</i>								◎	◎	
Family Channidae										
<i>Channa argus</i>							1			◎
Total number of family	4	5	4	3	4	5	4	9	7	9
Total number of species	15	16	14	13	17	17	20	24	24	27
Total number of individual	561	646	1002	584	996	916	496			

◆: Korean endemic species, ♣: Endangered species, ▲: Ecosystem disturbance species

로 보고되고 있으며 (Song and Son 2003), 과거 조사 시 원주천의 최상류 및 지류의 산간 계류에서 출현한 것으로 나타났으나 원주천 본류를 중심으로 조사를 실시한 본 조사 시에는 물리적인 서식환경의 차이로 확인되지 않았다. 한편, 멸종위기야생생물 II급인 가는돌고기 (*P. tenuicorpa*)는 2004년 조사 (Choi *et al.* 2005) 시 원주천 본류에서 출현한 것으로 기록되었으나 본 조사 시에는 출현하지 않았으며, 2004년 이전과 이후의 원주천 일대 및 섬강의 문헌에서도 출현하지 않는 것으로 조사되어 가는돌고기 (*P. tenuicorpa*)를 대상으로 지속적이고 정밀한 모니터링이 요구된다. 과거 조사 시 출현한 종개와 같겨니는 유전학적 및 생태학적으로 종이 분리되어 대륙종개 (*Orthrias nudus*) (Byeon 2010)와 참갈겨니 (*Z. koreanus*) (Kim *et al.* 2005b)로 지칭되었으며, 본 조사 시 출현이 확인되었다. 외래도입종인 배스는 과거 2000년도 조사에서 1개체가 출현하였는데 이는 유입 지류의 상류역에 위치한 행구재 저수지에 방류된 일부 개체가 강우시 수량의 증가로 인하여 저수지 수로를 통해 이동한 것으로 보이며 (Choi *et al.* 2000), 원주천에서 적응하지 못하였거나 하류 지역으로 이동한 것으로 판단되나 원주천의 중·하류지역은 유속이 느리고, 다수의 보에 의하여 정수역이 형성되는 지역으로 배스에 대한 지속적이고 정밀한 모니터링이 필요하다. 과거에는 출현하지 않았지만 본 조사에서 추가적으로 출현한 종은 납자루 (*Acheilognathus laneolatus*), 가시납지리 (*A. gracilis*), 꼬리 (*Opsarichthysuncirostris amurensis*), 동자개 (*Pseudobagrus fulvidraco*), 대륙송사리 (*Oryzias sinensis*), 가물치 (*Channa argus*) 등 6종으로 확인되었다. 이들의 어종은 내성도 길드 특성상 내성종 및 중간종에 해당하는 어종들로 수질오염이 진행된 곳에서 분포범위를 확대하는 특징이 있으며 (Barbour *et al.* 1999), 주로 원주천 하류지역에서 조사되었다.

3. 군집특성

원주천 어류의 종조성 자료를 분석한 결과, 상대적으로 오염 및 교란이 적을 것으로 예상되는 중·상류 지점 (St.1, 2) 과 도심을 지나는 지점 (St.3~6), 하류지점 (St.7)으로 구분되었다 (Fig. 2). St.5, 6에서 84.94%로 지점 간 유사성이 가장 높은 것으로 나타났으며, St.3이 83.32%의 높은 유사성을 나타내고 있었다. St.3, 4, 5, 6의 경우 도심을 통과하면서 다양한 유기물의 유입과 함께 인공구조물의 설치로 비슷한 유사성이 나타난 것으로 판단되며, St.1, 2는 중·상류역에 해당하여 자연성 및 미소서식처가 비교적 잘 발달되어 있었기 때문이다. 한편, St.7은 42.78%로 가장 낮은 유사성을 나타내고 있었으며, 농경지를 통과하는 원주천 하류역에 해당하

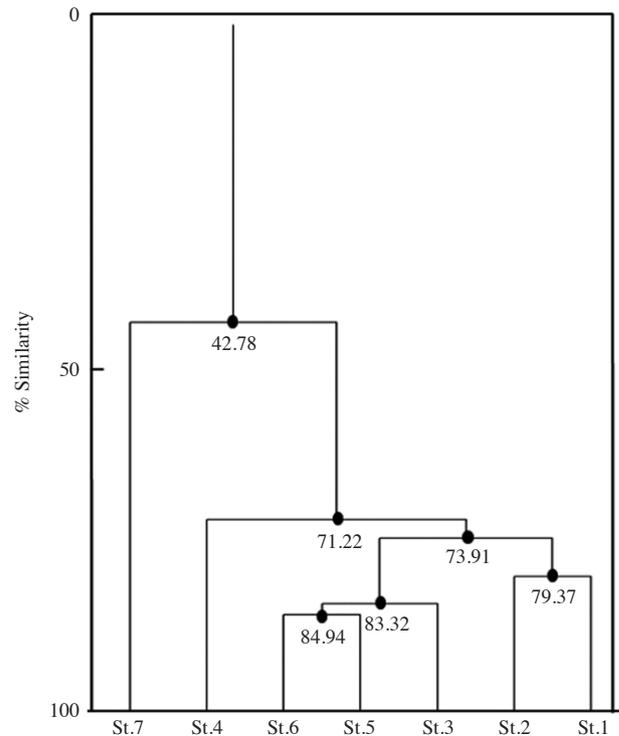


Fig. 2. Bray-Curtis similarity diagram between the sampling sites in the Wonju stream.

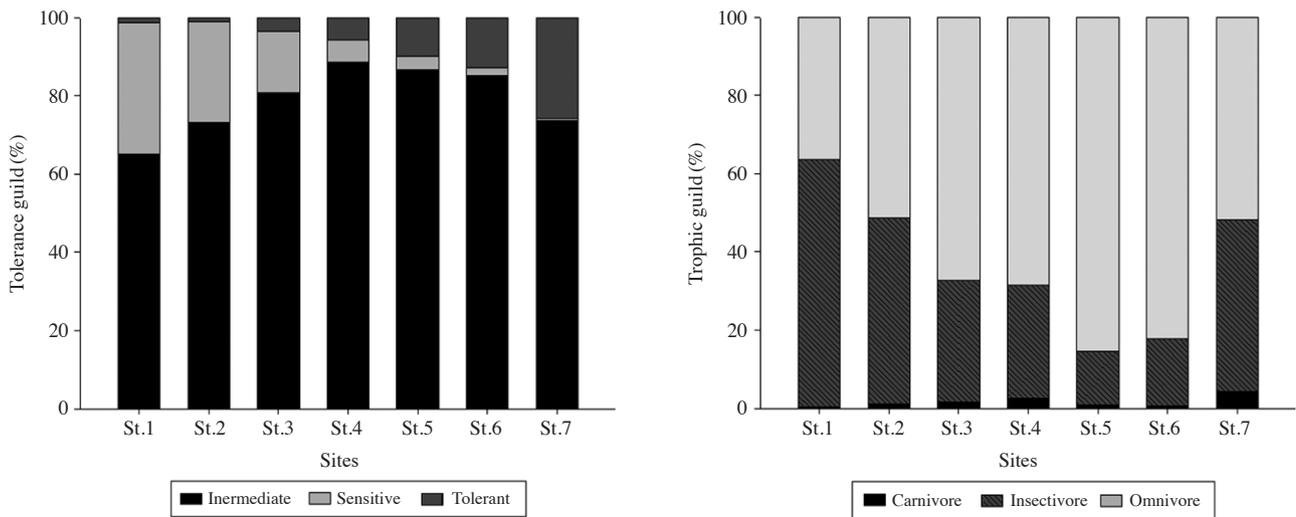
여 지점별 유사성이 적은 것으로 분석되었다.

원주천의 지점별 군집의 구조를 파악하기 위하여 우점종 및 아우점종을 조사하였으며, 우점도지수, 다양도지수, 균등도지수, 풍부도지수를 분석하였다 (Table 3). 우점종은 피라미가 57.20%의 비율로 개체수의 대부분을 차지하였고, 아우점종은 돌고기 (9.98%)로 분석되었다. 각 지점별 우점종은 하류지역인 St. 7을 제외한 전 조사지점에서 피라미가 우점하는 것으로 분석되었으며, 중·상류지역은 피라미와 참갈겨니가 경쟁관계를 유지하면서 우점 및 아우점하고 있었다. 우점도지수는 0.59~0.84의 범위로 평균 0.72 (± 0.10)의 다소 불안정한 군집구조를 나타내었다. 다양도지수는 0.96~1.78의 범위로 평균 1.37 (± 0.32)의 낮은 다양도지수를 보였으며, 군집안정성이 불안정한 것으로 분석되었다. 도심을 통과하는 대표적인 하천인 탄천의 우점도지수와 다양도지수는 평균 0.78 (± 0.11), 1.18 (± 0.45)로 보고되었으며 (Choi *et al.* 2011), 탄천에 비하여 원주천이 우점도지수가 낮고 다양도지수가 높은 것으로 분석되어 상대적으로 안정적인 군집양상을 나타내었다. 균등도지수는 0.42~0.76의 범위로 평균 0.61 (± 0.13)의 다소 불균등한 분포양상을 나타내었으며, 풍부도지수는 1.41~2.05의 범위로 평균 1.70 (± 0.23)의 낮은 종풍부도를 유지하였다. 원주천의 군집분석 결과 서식지의

Table 3. Dominant, subdominant species, and community indices at each site in the Wonju stream, Korea

Sites	Dominant species	Subdominant species	DI	H'	E	RI
St.1	<i>Zacco platypus</i>	<i>Zacco koreanus</i>	0.59 (± 0.08)	1.78 (± 0.18)	0.75 (± 0.08)	1.98 (± 0.20)
St.2	<i>Zacco platypus</i>	<i>Zacco koreanus</i>	0.69 (± 0.09)	1.52 (± 0.23)	0.67 (± 0.08)	1.71 (± 0.34)
St.3	<i>Zacco platypus</i>	<i>Zacco koreanus</i>	0.78 (± 0.07)	1.26 (± 0.22)	0.57 (± 0.13)	1.54 (± 0.19)
St.4	<i>Zacco platypus</i>	<i>Pseudogobio esocinus</i>	0.76 (± 0.10)	1.19 (± 0.33)	0.57 (± 0.13)	1.41 (± 0.22)
St.5	<i>Zacco platypus</i>	<i>Carassius carassius</i>	0.84 (± 0.06)	0.96 (± 0.29)	0.42 (± 0.10)	1.64 (± 0.40)
St.6	<i>Zacco platypus</i>	<i>Pungtungia herzi</i>	0.78 (± 0.11)	1.15 (± 0.44)	0.50 (± 0.15)	1.61 (± 0.37)
St.7	<i>Pungtungia herzi</i>	<i>Zacco platypus</i>	0.59 (± 0.05)	1.77 (± 0.21)	0.76 (± 0.03)	2.05 (± 0.53)
mean			0.72 (± 0.10)	1.37 (± 0.32)	0.61 (± 0.13)	1.70 (± 0.23)

DI: Dominance index, H': Diversity index, E: Evenness index, RI: Richness index

**Fig. 3.** Tolerance guild analysis depending on different trophic states (a) and Trophic guild analysis according to feeding (b) in the Wonju stream, Korea.

단편화에 따른 환경변화에 내성이 강한 피라미가 광범위하게 우점하고 있었으며, 이로 인하여 군집구조가 전체적으로 다소 불안정한 것으로 분석되었다.

4. 내성도 및 섭식 길드 분석

내성도 길드 (Tolerance guild) 분석 결과 (Fig. 3a), 민감종의 개체수 비율은 33.51~0.40% 범위로 상류에서 하류로 갈수록 비율이 감소하였다. 서식처의 질적 저하는 민감종의 상대풍부도를 감소시키는 것으로 알려져 있으며 (Karr 1981; Choi *et al.* 2005), 상류에서 중류로 갈수록 감소한다 (Park *et al.* 2009). 원주천의 경우, 도심을 통과하면서 유입되는 다양한 오염물질 및 하류역에 위치한 환경사업소의 영향이 작용한 것으로 판단된다. 반면에 내성종의 개체수 비율은 1.08~25.81% 범위로 하류로 갈수록 점차 높아지는 경향을 나타냈다. 중간종은 65.06~88.70% 범위로 조사지점별

대부분을 차지하고 있었으며, 이는 우점종인 피라미의 개체수 비율이 조사지점별 높게 채집된 결과이다. 일반적으로 유기물 오염이나 서식지 훼손에 따라 내성종과 잡식종의 종수 및 개체수가 증가하는 것으로 알려져 있으며 (Karr 1991; US EPA 1991), 원주천 역시 점오염원 및 비점오염원의 유입과 유로연장에 비하여 많은 수의 크고, 작은 보가 산재하고 있어 광범위한 피라미의 서식공간이 제공된 것으로 판단된다. 섭식 길드 (Trophic guild)를 분석한 결과 (Fig. 3b), 잡식종의 비율이 36.4~86.2%로 조사지점별 매우 높은 비율을 차지하고 있었다. 수생태계에 있어 유기물 및 오염원의 유입은 섭식 특이성으로 인하여 유기물 오염이 증가할수록 잡식종에서 높은 우점현상을 보인다 (Barbour *et al.* 1999). 원주천 역시 도심지역을 통과하면서 하류로 갈수록 BOD를 포함한 EC, SS, T-N, T-P가 점차 증가하는 양상을 나타내고 있었으며 (Table 1), 상류에 비하여 상대적으로 유기물 오염이 높은 것으로 판단된다. 잡식종은 상류에서 하류로 갈수록 증가하

는 양상을 나타내고 있었으며, 반대로 충식종은 감소하는 경향을 나타내었다. 한편, 원주천은 육식종의 비율이 가장 낮게 나타났으며, 초식종은 출현하지 않았다. 육식종의 상대빈도가 5% 이상일 때 ‘최상’, 1~5%까지는 ‘보통’, 1% 미만인 경우 생태계 ‘악화’로 규정하는데 (US EPA 1993), 원주천의 육식종 출현빈도는 전체 1.2%로 ‘보통’의 범주에 해당하는 것으로 나타났다.

5. 생태적 건강성 평가

원주천의 생태건강도 특성을 평가하기 위하여 물리적 서식지 평가지수(QHEI) 및 어류평가지수(FAI)를 이용하여 분석하였다(Fig. 4). QHEI는 Plafkin *et al.* (1989)에 의해 도입된 12개 항목 중 10개의 항목을 선택하여 평가하였다. 분석결과 전체 조사지점에서 평균 QHEI의 값은 121.2 (± 23.4)로 나타났으며, 조사지점별 92.0~150.3으로 분석되어 양호~최적의 건강도를 유지하고 있는 것으로 분석되었다. 물리적 서식지만으로 평가하였을 때, 원주천의 서식처는 하천수계에서 심하게 교란되거나 훼손되지 않고, 대부분 양호한 상태로 서식지 건강도가 유지되고 있는 것으로 판단된다. 조사지역에서 출현한 종을 대상으로 FAI를 분석한 결과, 평균 FAI는 68.5 (± 13.7)의 B등급으로 환경상태가 양호한 것으로 평가되었다. 조사지점별로는 53.2~90.7로 상류지역에서 최상의

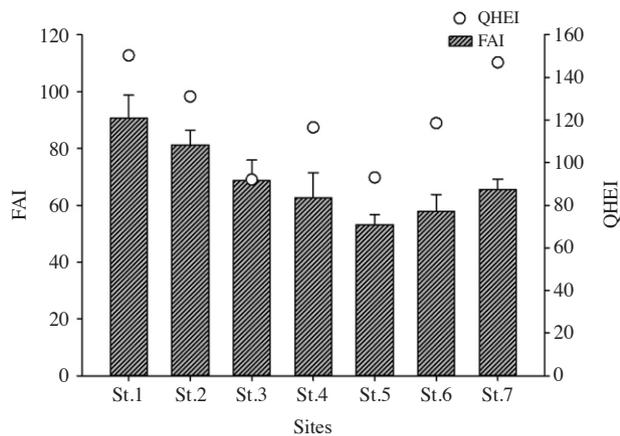


Fig. 4. Analysis of fish assessment index (FAI) and qualitative habitat evaluation index (QHEI) in the Wonju stream, Korea.

상태를 유지하고 있었으며, 중류의 도심지 및 하류지역에서는 양호 및 보통의 건강성을 나타내었다. 원주천의 조사지점별 QHEI 및 FAI의 지수값은 상류지역에서 중류지역으로 갈수록 감소하고, 하류지역에서 다소 높아지는 경향을 보이고 있었다. 이는 상류지역이 중류지역에 비해 유속이 빠르고 수심이 깊지 않은 전형적인 하천의 흐름을 보여주고 있어 생태건강도가 양호한 것으로 분석되었다. 중류지역은 도시화에 의한 오염물질의 유입으로 인한 하천 내 일부 교란현상이 발생한 결과로 보이며, 하류지역의 경우 유기물 오염이 진행되고 있으나 농경지를 통과하면서 도심지에 비하여 일부 회복되고 있는 것으로 판단된다. QHEI 및 어류군집을 이용한 FAI 분석 결과, 원주천은 도시를 통과하는 도심하천의 특성을 보여주고는 있으나 물리적인 서식처 환경 및 수생태계 건강성에 있어서는 양호한 생태적 건강성을 유지하고 있는 것으로 판단된다. 그러나 도심하천의 특성상 하천변에서 실시되는 크고 작은 유지·보수 공사 및 점오염원과 비점오염원에 상시 노출되어 있으며, 이는 수생태계를 교란시키는 주요 요인으로 작용한다. 따라서 원주천을 대상으로 직접적인 환경의 개선을 위한 공사보다는 점오염원의 유입을 통제하는 노력이 우선시 되어야 할 것으로 생각된다.

6. 어류지수평가(FAI)와 다양한 항목과의 상관성 분석

원주천의 조사시기 및 조사지점별 FAI의 분석결과와 QHEI, 잡식종, 충식종, 육식종, 내성종, 중간종, 민감종, 우점도, 다양도, 균등도, 풍부도 등 다양한 항목들과 상관성 분석 (Pearson correlation analysis)을 실시한 결과는 다음과 같다 (Table 4). QHEI, I, C, SS, H', E, RI는 FAI와 양의 상관성을 나타냈으며, O, TS, IS, DI와는 음의 상관성을 갖는 것으로 분석되었다. 또한 QHEI, O, I, IS, SS, DI, H', E, RI는 FAI와 통계적으로 높은 상관성 ($p < 0.05$)을 갖는 것으로 분석되었다. 원주천의 상관성 분석결과 FAI 값에 의한 수생태계 건강성이 높아질수록 잡식종, 중간종, 우점도는 감소하고, QHEI, 충식종, 민감종, 다양도, 균등도, 풍부도는 상대적으로 유의하게 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 하천의 건강성이 불량할수록 내성종과 잡식종이 증가하고, 민감종과 충식종이 감소하는 연구 결과 (An *et al.* 2001; An *et al.* 2006)와 일치하였다.

Table 4. Correlations coefficient analysis for each item according to the FAI

Factors	QHEI	O	I	C	TS	IS	SS	DI	H'	E	RI
Correlation coefficient (r)	0.566**	-0.553**	0.749**	0.128	-0.23	-0.49**	0.703**	-0.682**	0.724**	0.682**	0.459*

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ in the Correlation Analysis; FAI: Fish Assessment Index, QHEI: Qualitative Habitat Evaluation Index, O: Omnivore, I: Insectivore, C: Carnivore, TS: Tolerant species, IS: Intermediate species, SS: Sensitive species, DI: Dominance, H': Diversity, E: Evenness, RI: Richness

적 요

본 연구는 강원도 원주시에 위치한 원주천의 현재의 어류상을 파악하고, 과거와 현재의 변화를 통하여 하천 건강성을 평가하고자 하였다. 현지조사는 2015년 5월부터 2016년 9월까지 총 4회 조사를 실시하였다. 조사결과 총 9과 27종 5,201개체가 출현하였으며, 피라미(*Zacco platypus*)가 우점하고, 돌고기(*Pungtungia herzi*)가 아우점한 것으로 나타났다. 한국고유종은 총 8종으로 고유종 빈도는 16.54%로 분석되었다. 군집분석 결과 평균 우점도지수는 $0.72 (\pm 0.10)$, 다양도지수는 $1.37 (\pm 0.32)$, 균등도지수 $0.61 (\pm 0.13)$, 풍부도지수 $1.70 (\pm 0.23)$ 으로 분석되었다. 내성도 길드 분석 결과 중간종의 개체수 비율이 높게 나타났으며, 섭식도 길드 분석 결과 전반적으로 잡식종의 비율이 상대적으로 높게 분포하였다. 물리적 서식지 평가지수(QHEI) 분석결과 평균 121.2 (± 23.4)로 양호한 서식처 환경을 나타냈으며, 어류평가지수(FAI)를 분석한 결과 대부분 A~B등급으로 하천건강성이 양호한 것으로 분석되었다. FAI와 다양한 항목 간의 상관성 분석결과 QHEI, 잡식종, 충식종, 중간종, 민감종, 우점도, 다양도, 균등도, 풍부도는 통계적으로 높은 상관성을 갖는 것으로 분석되었다.

사 사

본 연구는 원주시(과제번호: 20141121941-03, 원주천 생태하천 복원사업 공사중 모니터링 연구 용역)의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- An KG, SH Jung and SS Choi. 2001. An evaluation on health conditions of Pyong-chang river using the index of biological integrity (IBI) and qualitative habitat evaluation index (QHEI). Korean J. Limnol. 34:153-165.
- An KG, JY Lee, DY Bea, JH Kim, SJ Hwang, DH Won, JK Lee and CS Kim. 2006. Ecological assessments of aquatic environment using multi-metric model in major nationwide stream watersheds. Korean J. Soc. Water Environ. 22:796-804.
- Barbour MT, J Gerritsen, BD Snyder and JB Stribling. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and Wadeable Rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; office of Water; Washington, D.C.
- Byeon HK. 2010. Ecological study of *Orthrias nudus* (Balitoridae) in the Eoron stream of Korea. Korean J. Ichthyol. 3:162-167.
- Choi JK, CR Jang and HK Byeon. 2011. The characteristic of fish fauna by habitat type and population of *Zacco platypus* in the Tan Stream. Korean J. Environ. Ecol. 25:71-80.
- Choi JK, HK Byeon and HK Seok. 2000. Studies on the dynamics of fish community in Wonju stream. Korean J. Limnol. 33:274-281.
- Choi JK, HK Byeon, YS Kwon and YS Park. 2008. Spatial and temporal changes of fish community in the Cheonggye stream after the rehabilitation project. Korean J. Limnol. 41:374-381.
- Choi JK, HS Shin and JS Choi. 2005. Fish community analysis in the Wonju stream. Korean J. Environ. Ecol. 19:46-54.
- Karr JR. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries 6:21-27.
- Kim IS, Y Choi, CL Lee, YJ Lee, BJ Kim and JH Kim. 2005a. Illustrated book of Korean fishes. Kyohak publishing co. Ltd. Seoul. p. 117.
- Kim IS, MK Oh and H Kazum. 2005b. A new species of cyprinid fish, *Zacco koreanus* with redescription of *Z. temminckii* (Cyprinidae) from Korea. Korean J. Ichthyol. 17:1-7.
- Kim IS. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korean. Ministry of Education. p. 632.
- Kim IS and HG Kim. 1975. A study on the water pollution and its influence on the fish community in Jeonju-cheon creek, Jeonrabug-do province, Korea. Korean J. Limnol. 8:7-14.
- Kim IS and JY Park. 2002. Freshwater fishes of Korea. Kyohak. p. 465.
- Kim IS and JY Park. 2007. Freshwater fishes of Korea. Kyohak publishing co. Ltd. Seoul, pp. 138-143.
- Kim SJ, MS Shin, JK Kim, JY Lee, KJ Jeong, BY Ahn and BC Kim. 2012. Oxygen fluctuation monitored with high frequency in a eutrophic urban stream (the Anyang Stream) and the effect of weather condition. Korean J. Limnol. 45:34-41.
- Lee WO, H Yang, SW Yoon and JY Park. 2009. Study on the feeding habits of *Micropterus salmoides* in lake Okjeong and Yongdam, Korea. Korean J. Ichthyol. 21:200-207.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. General Systems 3:36-71.
- Ministry of Environment. 2007. National aquatic ecological monitoring program. Korea.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California grassland. Nature 216:168-169.

- Nelson JS. 2006. Fishes of the World (4th ed.). John Wiley and Sons, New York. p. 601.
- Ohio EPA. 1987. Biological criteria for the protection of aquatic life. Vol. II, users manual for biological field assessment of ohio surface waters. Columbus, Ohio, USA.
- Park HY, JM Yoon, GN Jang and HT Hur. 1995. Fish biology. Jungmunkag, Seoul. p. 50.
- Park JY, SH Kim, MH Ko, MK Oh and JC Shim. 2009. Change of ichthyofauna and fish community on natural stream restoration in Jeonju-chon stream, Jeollabuk-do, Korea. Korean J. Ecol. 23:381–391.
- Pielou EC. 1975. Ecological diversity. John Wiley and Sons, New York. p. 165.
- Plafkin JL, MT Barbour, KD Porter, SK Gross and RM Hughes. 1989. Rapid assessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish, EPA/444/4-89-001, office of water regulations and standards, U.S. EPA, Washington, DC, USA.
- Shannon CE and W Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. University of illinois press, urbana. p. 233.
- Song HB and YM Son. 2003. Population ecology of *Microphysogobio longidorsalis* (Cyprinidae) from Korea. Korean J. Ichthyol. 15:303–310.
- US EPA. 1991. Technical support document for water quality-based toxic control. EPA 505-2-90-001, office of water regulations and standards, U.S. EPA, Washington, DC, USA.
- US EPA. 1993. Fish field an laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. EPA 600-R-92-111. Environmental monitoring systems laboratory-cincinnati office of research development, US. EPA, cincinnati, Ohio 45268, USA.

Received: 3 November 2017

Revised: 1 December 2017

Revision accepted: 14 December 2017