

〈Original article〉

광릉숲 내 봉선사천의 어류군집 및 서식처 분석

왕주현 · 김정은 · 최준길 · 이혁제 · 조용찬¹ · 이황구*

상지대학교 생명과학과, ¹국립수목원

The Fish Community and Habitat Analysis in the Bongseonsa Stream within Gwangneung Forest, South Korea

Ju Hyoun Wang, Jeong Eun Kim, Jun Kil Choi, Hyuk Je Lee,
Yong Chan Cho¹ and Hwang Goo Lee*

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

¹Korean National Arboretum, Pocheon 11186, Republic of Korea

Abstract - The present study is to understand the Bongseonsa stream in the National Arboretum fish fauna variation through comparison with historical data and to evaluate the stream health situated. We performed investigations over three times from April to September 2015. In the survey, 2,960 individuals which belonging to 22 species, 8 families were collected. Dominant species by number was *Zacco platypus* and subdominant species was *Zacco koreanus*. Seven Korean endemic species (*Squalidus gracilis majimae*, *Microphysogobio yaluensis*, *Zacco koreanus*, *Koreocobitis rotundicausata*, etc) were observed and showed a ratio of 36.4%. The community analysis revealed that the structure of fish community in the study sampling sites was instability in having dominance 0.79 (± 0.15), diverse 1.21 (± 0.60), evenness 0.58 (± 0.15) and species richness 1.49 (± 0.83). The values in the Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI) was averagely 122.9 (± 44.8) in the Bongseonsa stream and this was showed to have favorable habitat surroundings. As a result of tolerance guild analysis, the total number of sensitive species and intermediate species were higher than tolerant species. Analysis was divided into A and B two groups of fiducial 12.25% in Cluster analysis degree of similarity between study sampling sites. Fish Assessment Index (FAI) was rated A and B grade in Bongseonsa stream that stream health showed favorable. However Wangsuk stream as a urban stream rated C grade and analysed the lowest grade in the whole study sampling sites. There was high correlation between FAI and various indexes, dominance, diverse, evenness and sensitive species and intermediate species.

Key words : Bongseonsa stream, fish community, QHEI, tolerance guilds, FAI

서론

오늘날 인간 활동에 의해 수천 종의 동식물들이 멸종되

고 그에 따른 유전변이가 감소됨으로써 생태계 전체가 파괴되고 있는 상황에 이르게 되었으며(Primack 2008), 그 어느 때보다 생물다양성 및 환경 문제에 대하여 민감하게 반응하고 있는 시대에 살게 되었다(Kim *et al.* 2011). 이에 따라 국내 자연생태계의 보전과 생물다양성을 확보하여 생태

* Corresponding author: Hwang-Goo Lee, Tel. 010-9159-2169,
Fax. 033-811-1030, E-mail. morningdew@sangji.ac.kr

계의 조화와 균형을 유지하기 위해 정부기관과 여러 지자체의 노력이 이루어지고 있다(Species Restoration Technology Institute 2012). 그중 하나의 대안으로 천연적인 자연환경을 그대로 옮겨 중요한 환경보전의 잠재력을 갖춘 시설인 식물원(Botanic garden) 및 수목원(Arboretum)의 역할이 대두되었으며, 이러한 시설들은 대중들에게 자연에 대한 소중함과 중요성을 일깨우는 역할을 수행하고 있다(Kim *et al.* 2005).

본 연구의 대상지역인 봉선사천이 흐르고 있는 광릉숲은 경기도 포천시 소흘읍에 위치해 있으며, 1930년에 수목원으로 지정되었다. 1,118 ha 면적의 천연림 상태로 매우 보존이 잘 되어 있으며, 식물 3,344종과 동물 1,668종 등이 서식하고 있는 것으로 알려져 있다(<http://www.kna.go.kr>). 또한 국내에서는 4번째로 유네스코 세계 생물권보존지역으로 지정이 되어 있는 상태로 광릉숲 내에 분포하는 식물과 육상동물에 대한 많은 조사연구가 진행되어 왔다(Choi and Byeon 2009). 하지만 최근 도시화로 인한 인구증가 및 교통의 발달로 봉선사천 주변에 민가나 식당, 숙박업소 등이 무분별하게 증가하고 있어 이로 인한 하천 내 수질오염이 가속화되고 있는 실정이다.

하천은 여러 생물들의 이동 통로인 역할과 동시에 서식처를 제공하며, 에너지의 고정과 순환, 오염물질을 스스로 정화하는 자정작용 등 중요한 기능을 담당함으로써 하천생태계와 육상생태계의 연속된 생태계를 구성하고 있다(Byeon 2013). 그러나 최근 토지 이용의 고도화로 인해 하천을 중심으로 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 이런 교란에 의한 환경 변화는 하천에 서식하는 어류뿐만 아니라 모든 생물의 서식지 및 산란장에 영향을 줄 수 있다(Hur *et al.* 2011). 그중 어류는 하천 생태계의 최상위 소비자로서 이동성이 매우 크며, 서식환경의 변화에 민감하게 반응하는 생물군 중 하나로 수환경에 따라 다양한 반응을 보이는 생물이다(Song *et al.* 1995; Han *et al.* 2007). 또한 자연적 환경변화뿐만 아니라 인위적 교란에 민감하게 반응하는 특성을 지니고 있어 특정 어류개체군의 생물군집 분석을 통해 하천 및 호수생태계에 미치는 영향을 종합적으로 평가할 수 있다(Jang *et al.* 2007; Lee *et al.* 2014). 현재 국내에서 기존 생물을 이용한 평가는 주로 군집 혹은 특정 개체군의 특성만을 고려한 연구가 주를 이루고 있으며(An *et al.* 2001), 이러한 기존의 평가 기법들은 시공간적 비교에 있어서 다소 한계를 보이는 실정이다. 따라서 최근에는 Plafkin *et al.* (1989)에 의해 도입된 하천의 하상구조 및 형태학적 특징을 이용한 정량적 서식처 평가방법인 QHEI (Qualitative Habitat Evaluation index)를 이용하여 국내 하천의 생물 서식지를 다양한 물리적 환경을 중심으로 분석하고 평가하는 데 널리 활용하고 있다.

광릉숲 내 봉선사천을 대상으로 실시한 어류상 및 서식

현황, 종복원(species restoration)에 필요한 기초자료, 복원종에 대한 조사연구 등 다양한 연구를 실시한 과거 조사는 The Government-General of Korea (1932), Choi and Byeon (2009), Byeon (2011)에 의한 연구가 있으며, 현재는 국립수목원에서 2007년 이후 4년 주기로 지속적인 어류 모니터링을 실시하고 있다.

따라서 본 연구에서는 봉선사천의 과거자료와의 비교를 통해 광릉숲의 어류상 변화를 분석하고, 현재의 하천 건강성을 평가하고자 한다. 또한 시공간적인 단점을 보완한 정량적 서식처 평가기법(QHEI)을 활용하여 봉선사천의 수환경 진단 및 분석을 실시하고자 하며, 본 연구 대상 지역의 생태계 건강성 특성 변화에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사 시기

조사 시기는 어류의 계절에 따른 종조성 및 산란시기에 따른 특성 차이를 고려하여 2015년 4월부터 9월까지 계절별로 총 3회 실시하였다. 각 조사 시기는 다음과 같다.

- 1차 조사 : 2015년 4월 24~25일
- 2차 조사 : 2015년 6월 29~30일
- 3차 조사 : 2015년 9월 12~13일

2. 조사 지점

조사 구간은 포천시 소흘읍과 진접읍에 위치한 봉선사천(BS: Bongseonsa stream)과 왕숙천(WS: Wangsuk stream)을 대상으로 조사를 실시하였다. 각 조사 지점 및 GPS (WGS)는 다음과 같다(Fig. 1).

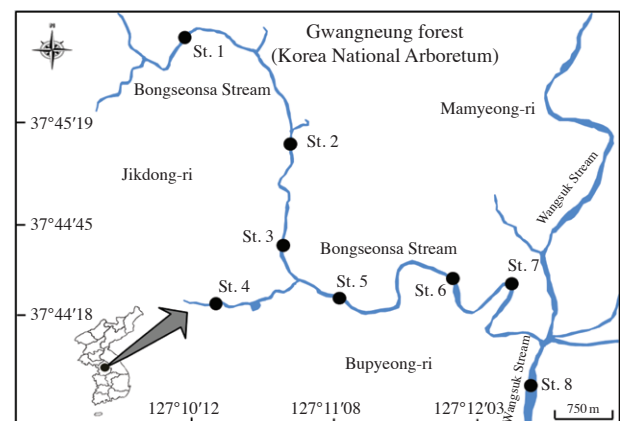


Fig. 1. Map of study sites the Gwangneung forest in Korea.

BS St. 1 (N: 37°46'19.91", E: 127°09'23.28")
 BS St. 2 (N: 37°49'49.80", E: 127°10'08.63")
 BS St. 3 (N: 37°45'16.54", E: 127°10'06.15")
 BS St. 4 (N: 37°44'52.40", E: 127°09'42.44")
 BS St. 5 (N: 37°44'57.38", E: 127°10'20.46")
 BS St. 6 (N: 37°44'54.23", E: 127°11'16.52")
 BS St. 7 (N: 37°44'57.53", E: 127°11'33.15")
 WS St. 8 (N: 37°44'19.65", E: 127°11'45.72")

3. 조사 방법

1) 서식처의 물리적 수환경 분석

서식처 내 물리적 특성 분석은 2015년 4월 현장조사를 통해 분석을 실시하였다. 레이저 거리측정계(Nikon LASER 1200S)를 이용하여 조사 지역의 유풍을 측정하였으며, Digital water velocity meter (FP111)를 이용하여 유속과 수심을 측정하였다. 하상구조물의 계측 및 분류는 Cummins (1962)의 방법을 적용하여 Boulder, Cobble, Pebble, Gravel, Silt/Sand의 5단계로 구분하여 상대적인 구성 비율을 측정하였다.

2) 채집 및 동정

어류의 정량 채집은 투망(망목 7×7 mm, 14회)과, 족대(망목 4×4 mm, 40분)를 이용하여 조사를 실시하였으며, 투망 조사가 어려운 조사 지점은 족대 이용 시간을 조정하여 투망 미사용에 대한 정량조사의 오차를 줄였다. 정량조사에서 채집된 어류는 현장에서 동정 후 대부분 방류하였고, 현장에서 동정이 불가하거나 계측이 필요한 어종은 10% Formalin 용액으로 고정한 후 실험실로 운반하여 동정 및 계측을 실시하였다. 어류의 동정에는 국내에서 발표된 검색표(Kim

1997; Kim and Park 2002; Kim *et al.* 2005)를 이용하였고, 분류체계는 Nelson (2006)을 따랐다.

3) 군집분석

군집분석은 조사 구간별로 정량적으로 채집된 자료로부터 출현한 종 수 및 개체수를 비교 분석하여 우점종(Dominant species), 아우점종(Subdominant species), 우점도지수(McNaughton 1967), 다양도지수(Shannon-Weaver 1949), 균등도지수(Pielou 1975), 풍부도지수(Margalef 1958)를 산출하였다.

4) 내성도 길드 분석

채집된 종은 수질 오염도에 따라 쉽게 감소하는 민감종(SS: Sensitive species), 수질오염에도 불구하고 종 수 및 분포 범위가 증가하는 내성종(TS: Tolerant species), 민감종과 내성종에 포함하지 않는 두 범주 사이의 중간종(IS: Intermediate species)으로 구분하여 분석을 실시하였다.

5) 정량적 서식처 평가(QHEI)

봉선사천의 서식처 분석은 Plafkin *et al.* (1989)이 제시한 모델인 정량적 서식처 평가 기법(Qualitative Habitat Evaluation Index)의 방법에서 본 연구 대상지의 환경에 적용 가능한 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(45~33) 및 악화(<32)상태로 구분하였으며, 각 10개의 점수를 합산하여 하천의 물리적 건강성을 평가하였다(Table 1).

6) 통계분석

통계분석은 Biodiversity Pro (ver. 2)를 이용하여 조사 구

Table 1. Qualitative habitat evaluation index (QHEI) in the Gwangneung forest

Habitat parameter	QHEI			
M1: Substrate/instream cover	20-16	15-11	10-6	5-1
M2: Embeddedness	20-16	15-11	10-6	5-1
M3: Flow velocity/depth combination	20-16	15-11	10-6	5-1
M4: Bottom scouring & sediment deposition	20-16	15-11	10-6	5-1
M5: Channel flow status	20-16	15-11	10-6	5-1
M6: Channel alteration	20-16	15-11	10-6	5-1
M7: Frequency of riffles or bends	20-16	15-11	10-6	5-1
M8: Bank stability	20-18	16-12	10-6	5-1
M9: Bank vegetative protection	20-18	16-12	10-6	5-1
M10: Riparian vegetative zone width	20-18	16-12	10-6	5-1
Total score	200-149	148-91	90-33	<32
Grade	O	S	M	P
Environmental state	optimal	suboptimal	marginal	poor

The numbers in the parentheses indicate the ranges of each category

간별 유사성을 분류하고자 유사도(Bray and Curtis 1957) 분석을 실시하였으며, 지점들 간의 통계적인 차이와 다양한 요인들 간의 상관성을 파악하기 위해 SPSS를 이용하여 상관관계 분석(Pearson Correlation Analysis)을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 물리적 수환경

조사 지역의 물리적 수환경을 분석한 결과는 다음과 같다(Table 2). 수온은 왕숙천인 St. 8에서 9.3°C로 가장 낮았으며, 봉선사천 지류인 St. 4에서 15.3°C로 가장 높게 나타났다. 하류지역보다 지류에서 수온이 더 높게 나타난 것은 측정 시간대와 장소에 따라 수치가 달라짐으로 절대적인 수온 측정값으로 볼 수는 없다. 유폍은 왕숙천인 St. 8에서 3.5~75 m의 범위로 가장 넓었으며, 봉선사천 St. 1에서 0.8~4.5 m로 가장 좁은 것으로 조사되었다. 수심은 봉선사천 St. 3에서 15~100 cm로 가장 깊은 것으로 나타났으며, St. 4에서 2~12 cm로 가장 낮은 것으로 조사되었다. 하류지역에 비해 St. 3에서 수심이 가장 깊게 나타난 것은 조사 지점에 설치되어 있는 인공형 횡단구조물(보)이 위치하고 있어 유량이 증가했기 때문이다. 하상구조는 St. 1, 4, 5, 7에서 Boulder와 Cobble, Pebble의 비율이 비교적 높은 것으로 조사되었으며, St. 2, 3, 6, 8에서 Gravel과 Silt/Sand가 대부분을 차지하는 것으로 조사되었다. 조사 수역에서 상류에 속하는 St. 2, 3에서 Gravel과 Silt/Sand의 비율이 높게 나타난 것은 St. 2의 하류부근에서 실시하는 겨울철 얼음 썰매장을 위한 하천 평탄화 작업으로 인해 하상구조가 단순화되었기 때문이며, St. 3은 하방에 설치되어 있는 인공형 횡단구조물(보)로 인해 유속감소 및 퇴적작용으로 조사 지점 내에 토사가 지속적으로 쌓인 결과로 판단된다.

2. 어류상

1) 종조성

광릉숲 내 봉선사천과 왕숙천에서 실시한 어류 조사 결과 총 8과 22종 2,960개체가 출현하였다(Table 3). 출현분류군 중 잉어과(Cyprinidae)에서 12종(54.5%)으로 가장 다양한 종이 출현하였으며, 미꾸리과(Cobitidae) 3종(13.6%), 동사리과(Odontobutidae) 2종(9.1%), 뱀장어과(Anguillidae), 종개과(Balitoridae), 메기과(Siluridae), 독중개과(Cottidae), 망둑어과(Gobiidae)에서 각각 1종(4.5%)이 출현하였다. 잉어과에 속하는 어종이 가장 풍부하였는데, 이는 서·남해로 흐르는 하천의 일반적인 결과와 일치하였다(Byeon and Lee 2006). 일반적으로 하천에서 어류의 종 수 및 개체수는 하천의 크기 즉, 하천차수(stream order)에 따라 비례하거나 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 것으로 알려져 있다(Choi and Kim 2004). 봉선사천의 경우 하천차수가 낮음에도 불구하고 비교적 다양한 어종들이 출현하였는데, 이는 봉선사천 내에서 부분적으로 발생하는 직·간접적인 교란(하천공사, 비점오염원 유입)을 제외하고는 하천 내 탐방객의 출입이 통제되어 있으며(Byeon 2011), 여러 어종이 서식하기에 비교적 다양한 미소서식처가 분포하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 채집된 어종 중 천연기념물 및 멸종위기야생생물에 속하는 종의 출현은 없었으며, 과거 멸종위기야생생물 II급이었으나 2012년 멸종위기야생생물에서 제외된 독중개(*Cottus koreanus*)가 봉선사천 유입 지류(St. 4)에서 지속적으로 출현하고 있는 것으로 조사되었다. 외래유입종으로는 비단잉어(*Cyprinus carpio*, Gold type) 1종이 출현하였으며, 생태계 교란야생생물은 출현하지 않았다.

출현한 어종의 상대풍부도 및 한국고유종의 종 구성비를 분석한 결과 피라미(*Zacco platypus*)가 1,328개체(45.5%)로 가장 높은 상대풍부도를 보였으며, 다음으로 참갈겨니(*Zacco koreanus*) 561개체(19.0%), 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*) 389개체(13.1%), 돌고기(*Pungtungia herzi*)

Table 2. Physical factors of the surveyed site in the Gwangneung forest

Sites	Water temperature (°C)	Stream width (m)	Water depth (cm)	Bottom structure *B:C:P:G:S	
BS	St. 1	11.8	0.8~4.5	4~28	B:C:P:G:S=2:3:2:1:2
	St. 2	13.6	6.5~8.5	5~45	B:C:P:G:S=1:1:1:1:6
	St. 3	13.8	11~16	15~100	B:C:P:G:S=0:0:0:1:9
	St. 4	15.3	2.5~10.5	2~12	B:C:P:G:S=3:3:2:1:1
	St. 5	14.7	5.2~13.5	4~35	B:C:P:G:S=1:3:3:1:2
	St. 6	11.1	4.4~22	3~85	B:C:P:G:S=0:1:2:3:4
	St. 7	10.7	8~25	5~47	B:C:P:G:S=1:3:3:2:1
WS	St. 8	9.3	3.5~75	5~55	B:C:P:G:S=1:2:4:1:2

BS: Bongseonsa stream, WS: Wangsuk stream

*B: Boulder >256 mm, C: Cobble 64~256 mm, P: Pebble 16~64 mm, G: Gravel 2~16 mm, S: Sand <2 mm

Table 3. List fish collected at each site in the Gwangneung forest from April to September 2015

Species	Sampling sites								1932 Year	2007 Year	2011 Year
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8			
Family Anguillidae											
<i>Anguilla japonica</i>	장어과 뱀장어								1	◎	
Family Cyprinidae											
<i>Cyprinus carpio</i>	잉어과 잉어								15	◎	◎
♠ <i>Cyprinus carpio</i> (Gold type)	비단잉어								1		
<i>Carassius auratus</i>	붕어								17	◎	◎
♣ ▲ <i>Acheilognathus signifer</i>	목납자루								11	◎	◎
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어								6	◎	◎
<i>Gnathopogon strigatus</i>	줄몰개									◎	
<i>Hemibarbus labeo</i>	누치									◎	
<i>Hemibarbus longirostris</i>	참마자								8	◎	◎
♣ ◆ <i>Hemibarbus mylodon</i>	어름치								45	◎	◎
<i>Pungtungia herzi</i>	돌고기								32	◎	◎
♣ <i>Squalidus gracilis majimae</i>	긴몰개								6	◎	◎
<i>Pseudogobio esocinus</i>	모래무지								9	◎	◎
♣ <i>Microphysogobio yaluensis</i>	돌마자								11	◎	◎
<i>Saurogobio dabryi</i>	두우쟁이									◎	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	버들치								165	◎	◎
♣ <i>Zacco koreanus</i>	참갈겨니								23	◎	◎
<i>Zacco platypus</i>	피라미								10	◎	◎
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	꼬리								119	◎	◎
Family Balitoridae											
<i>Orthrias nudus</i>	종개과 대륙종개										◎
<i>Lefua costata</i>	쌀미꾸리								5	◎	◎
Family Cobitidae											
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리과 미꾸리								11	◎	◎
♣ <i>Koreocobitis rotundicaudata</i>	새코미꾸리									◎	◎
♣ <i>Iksookimia koreensis</i>	참종개								4	◎	◎
Family Bagridae											
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	동자개과 동자개								13	◎	◎
♣ <i>Pseudobagrus koreanus</i>	눈동자개								2	◎	
Family Siluridae											
<i>Silurus asotus</i>	메기과 메기								2	◎	◎
♣ <i>Silurus microdorsalis</i>	미유기								1	◎	◎
Family Amblycipitidae											
♣ <i>Liobagrus andersoni</i>	통가리과 통가리								1	◎	◎
Family Adrianichthyidae											
<i>Oryzias sinensis</i>	송사리과 대륙송사리									◎	
Family Cottidae											
<i>Cottus poecilopus</i>	독중개과 독중개								2	◎	◎
<i>Trachidermus fasciatus</i>	찍정이								31	◎	◎
Family Centropomidae											
♣ <i>Coreoperca herzi</i>	찍지과 찍지									◎	
<i>Siniperca scherzeri</i>	쏘가리									◎	
Family Centrachidae											
♠ <i>Micropterus salmoides</i>	검정우럭과 배스										◎
Family Odontobitidae											
♣ <i>Odontobutis interrupta</i>	동사리과 얼룩동사리								6		◎
♣ <i>Odontobutis platycephala</i>	동사리								1	◎	◎
Family Gobiidae											
<i>Rhinogobius brunneus</i>	망둑어과 밀어								11	◎	◎
Family Belontiidae											
<i>Macropodus ocellatus</i>	버들붕어과 버들붕어									◎	
Family Channidae											
<i>Channa argus</i>	가물치과 가물치									◎	
Total number of family	2	4	5	2	4	4	5	4	13	9	8
Total number of species	2	9	15	2	11	14	13	13	30	22	22
Total number of individual	176	204	476	167	196	499	520	722			

♣ : Korean endemic species, ♠ : Exotic species, ◆ : Natural monument, ▲ : Endangered species

174개체 (5.9%), 참마자(*Hemibarbus longirostris*) 146개체 (5.9%), 모래무지(*Pseudogobio esocinus*) 63개체 (2.1%) 등의 순으로 나타났다. 한국고유종의 출현은 해당 지역의 생물상을 특징짓는 기준으로 서식지의 수환경이 악화되면 종수가 감소하며(Jeon 1980; Choi *et al.* 2000), 일반적인 하천에서의 한국산 고유종 빈도는 28.8%로 알려져 있다(Kim *et al.* 2005). 본 조사에서 출현한 고유종은 긴물개(*Squalidus gracilis majimae*), 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*), 참갈겨니, 새코미꾸리(*Koreocobitis rotundicausata*), 참종개(*Iksookimia koreensis*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta interrupta*), 동사리(*Odontobutis platycephala*) 등 7종 (36.4%)으로 비교적 고유종 빈도가 높게 나타났다. 국내에 서식하는 고유종은 대부분 중·상류역의 여울부 돌 밑에 서식하는 저서성종이 대부분을 차지하고 있는 것으로 알려져 있는데(Byeon 2013) 봉선사천의 경우 상류역에 속하며, 비교적 정수역보다는 여울부가 많이 형성되어 있어 고유종의 빈도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

2) 어류상 변화

과거 1932년 조사 시 13과 30종(The Government-General of Korea, 1932), 2007년 9과 22종(Choi and Byeon 2009), 2011년 8과 22종(Byeon 2011)이 출현하였으며, 본 조사에서는 7과 22종이 출현하였다(Table 3). 2007년부터 현재까지 출현종 수의 변화는 없는 것으로 나타났다. 과거에는 출현하였지만 본 조사에서 출현하지 않은 종으로는 묵납자루(*Acheilognathus signifer*), 어름치(*Hemibarbus mylodon*), 줄물개(*Gnathopogon strigatus*), 두우쟁이(*Saurogobio dabryi*), 끄리(*Opsarichthys uncirostris amurensis*), 쌀미꾸리(*Lefua costata*), 동자개(*Pseudobagrus fulvidraco*), 눈동자개(*Pseudobagrus koreanus*), 미유기(*Silurus microdorsalis*), 통가리(*Liobagrus andersoni*), 대륙송사리(*Oryzias sinensis*), 꺾정이(*Trachidermus fasciatus*), 쏘가리(*Siniperca scherzeri*), 배스(*Micropterus Salmoides*), 버들붕어(*Macropodus ocellatus*), 가물치(*Channa argus*) 등 총 17종으로 확인되었다. 1932년에 실시했던 조사 지점의 경우 조사 지점이 표기되어 있지 않아 정확한 조사 위치를 파악하기 어려웠으나 본 조사 수역뿐만 아니라 광릉숲 내에 위치한 크고 작은 하천들이 포함되어 있을 가능성이 있어 본 조사 수역에서 채집된 어종들보다 다양한 어종들이 출현한 것으로 판단된다. 과거에는 출현하지 않았지만 본 조사에서 추가적으로 출현한 종으로는 비단잉어 1종이었으며, 1932년 이후 출현하지 않다가 본 조사에서 채집된 종으로는 뱀장어(*Anguilla japonica*) 1종이 확인되었다. 외래 도입종에 속하는 비단잉어의 경우 조사 수역 중 St. 3에서만 채집이 되었는데, St. 3의 하류는 봉선사천

의 지류가 합류되는 지역으로 지류에 위치해 있는 인공 저수지인 육림호에서 유입되었을 것으로 추정된다. 반면 외래 도입어종이며, 생태계교란야생생물로 지정되어 있는 배스의 경우 국내 서식하는 토착종의 알과 치어부터 성어까지 모두 포식하여 심각한 생태계교란을 야기하고 있는 것으로 알려져 있는데(Lee *et al.* 2013), 2007년에 채집된 이후 출현하지 않아 봉선사천 내에 적응하지 못하고 도태되었거나 하류인 왕숙천으로 이동한 것으로 판단된다. 과거 봉선사천에서 멸종한 것으로 파악된 참갈겨니의 경우 2008년 10월에 복원사업을 실시하여 봉선사천에 방류를 실시하였는데, 복원사업 이후 2011년에 산출한 상대풍부도 값이 7.6%였으며(Byeon 2011), 본 조사 시에는 19.0%로 2011년에 비해 2배 이상의 상대풍부도가 증가한 것으로 분석되었다. 따라서 복원사업 이후 봉선사천에서 참갈겨니의 안정적인 생활사가 이루어지고 있는 것으로 판단된다.

3. 군집지수

조사 지역의 군집구조를 파악하기 위하여 우점종 및 아우점종을 조사하였으며, 우점도지수, 다양도지수, 균등도지수, 풍부도지수를 분석하였다(Table 4).

우점종 및 아우점종을 조사한 결과 우점종은 피라미(45.5%), 아우점종은 참갈겨니(19.0%)로 분석되었다. 조사 지점별 우점종은 피라미(St. 2, 3, 6, 7, 8), 버들치(St. 1, 4), 참갈겨니(St. 5)가 우점종으로 나타났으며, 아우점종은 미꾸리(St. 1), 버들치(St. 2), 돌고기(St. 5, 8), 참갈겨니(St. 3, 6, 7), 독중개(St. 4)로 조사되었다. 우점도지수는 0.62(St. 5)~1.00(St. 1, 4)의 범위로 분석되어 평균 0.79(± 0.15)의 비교적 높은 우점도지수를 나타내고 있었다. 다양도지수는 0.23(St. 1)~1.71(St. 3)의 범위로 분석되어 평균 1.21(± 0.60)의 낮은 다양도지수를 보였다. 어류의 종다양성은 상류역에서 낮고, 중류에서 가장 높으며, 하류에서 다시 낮아지는 것으로 알려져 있는데(Choi and Byeon 2009), 본 조사 수역은 하천차수가 낮은 상류역에 해당하여 다양도지수가 낮게 나타난 것으로 판단된다. 균등도지수는 0.33(St. 8)~0.70(St. 5)의 범위로 분석되어 평균 0.58(± 0.15)로 다소 불균등한 분포양상을 나타내었다. 풍부도지수는 0.19(St. 1)~2.27(St. 3)의 범위로 분석되어 평균 1.49(± 0.83)로 봉선사천의 종 풍부도 역시 낮은 것으로 나타났다. 어류군집에 있어서 불안정적 군집구조는 하천 산간 계류와 상류역에서 나타나는 일반적인 양상(Choi and Choi 2005)으로 알려져 있는데, 본 조사 수역 중 최상류역에 속하는 St. 1과 봉선사천 지류인 St. 4에서 2종만 출현하여 문헌과 일치하고 있었으며, St. 8은 우점종인 피라미의 개체수가 전체 개체수의 대부분을 차지하여

Table 4. Dominant, subdominant species, and community indices at each site in the Gwangneung forest

Sites	Dominant species	Subdominant species	DI	H'	E	RI	
St. 1	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	1.00	0.23	0.34	0.19	
St. 2	<i>Zacco platypus</i>	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	0.70	1.47	0.67	1.50	
St. 3	<i>Zacco platypus</i>	<i>Zacco koreanus</i>	0.68	1.71	0.63	2.27	
BS	St. 4	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	<i>Cottus koreanus</i>	1.00	0.48	0.69	0.20
	St. 5	<i>Zacco koreanus</i>	<i>Pungtungia herzi</i>	0.62	1.69	0.70	1.90
	St. 6	<i>Zacco platypus</i>	<i>Zacco koreanus</i>	0.78	1.53	0.58	2.09
	St. 7	<i>Zacco platypus</i>	<i>Zacco koreanus</i>	0.67	1.70	0.66	1.92
WS	St. 8	<i>Zacco platypus</i>	<i>Pungtungia herzi</i>	0.87	0.85	0.33	1.82
mean	<i>Zacco platypus</i>	<i>Zacco koreanus</i>	0.79 (± 0.15)	1.21 (± 0.60)	0.58 (± 0.15)	1.49 (± 0.83)	

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

매우 불안정한 군집 양상을 나타내고 있었다. 봉선사천의 군집구조는 전체적으로 불안정한 군집 양상을 나타내고 있었으나 St. 1, 4, 8을 제외한 St. 2, 3, 5, 6, 7의 경우 상대적으로 안정된 군집구조를 유지하고 있는 것으로 판단된다.

4. 정량적 서식처 평가 지수(QHEI)

본 조사 지점들에 대한 서식처 평가 분석 결과, 각 서식처들의 질적 변화는 조사 지점들의 변수 특성에 따라 변화하였다(Table 5). 봉선사천의 경우 정량적 서식처 평가 지수(QHEI)는 평균 129.9(범위: 76.0~188.0)인 S등급으로 양호한 서식처 환경을 가지고 있는 것으로 분석되었다. 봉선사천과 유사한 남한강의 상류 하천(골지천, 임계천, 동남천)을 대상으로 실시한 QHEI는 평균 93.6(범위: 75~109)으로 평가되어(Choi and An 2013) 지수 값의 범위가 큰 차이를 보이는 것은 아니므로 조사되었으나, 본 조사 지점의 경우 지점별 지수 값의 차이가 큰 것으로 분석되었다. 이는 조사 지점별 잦은 서식처 교란(하천공사, 하천 평탄화) 및 인공구조물(보, 제방)들로 인하여 지점별 QHEI 값의 차이가 높게 나타난 것으로 판단된다.

봉선사천의 QHEI를 지점별로 살펴보면 서식처 건강도가 최적인 162 이상으로 평가된 St. 1, 4, 5지점에서는 대부분의 항목에서 우수한 값을 나타내었다. St. 1과 4는 봉선사천의 상류 및 지류에 해당하여 산간 계류의 특징을 나타내고 있었다. 또한 St. 5를 포함한 조사 지점별 수변 식생이 제방에 안정적으로 활착해 있는 상태였으며, 하천에 형성된 높은 수관(Canopy)과 하천으로 투과되는 빛의 비율이 일정하여 높은 평가지수를 보이는 것으로 판단된다. St. 2와 7은 서식처 건강도가 양호 상태로 조사 지점 인근에 식당가가 밀집해 있으며, 겨울철 부대시설을 위한 하천 평탄화 작업 등의 직·간접적인 교란현상이 지속적으로 발생하고 있기 때문인 것으로 판단된다. St. 3, 6, 8은 서식처 건강도가 보통 상태인

Table 5. Qualitative habitat evaluation index (QHEI) at eight sampling sites in the Gwangneung forest

Site	QHEI		
	Index	Assessment	
BS	St. 1	167.0	O
	St. 2	148.0	S
	St. 3	89.5	M
	St. 4	174.5	O
	St. 5	188.0	O
	St. 6	76.0	M
	St. 7	113.5	S
WS	St. 8	83.0	M
mean	129.9 (± 44.8)	S	

Optimal (O): 200-162, O-S: 161-149, Suboptimal (S): 148-104, S-M: 103-91, Marginal (M): 90-46, M-P: 45-33, Poor (P): <32.

것으로 평가되었다. 본 조사 지점은 횡단구조물(보)로 인해 상류부 하상이 모래와 펄로 이루어져 있으며, 하천 제방이 인공구조물로 조성되어 있어 이로 인한 수관 및 수변식생이 빈약하여 서식처의 질이 악화되었기 때문인 것으로 판단된다.

5. 내성도 길드 분석

내성도 길드(Tolerance guilds) 분석 결과 민감종(SS: Sensitive species)의 개체수 비율은 St. 1, 4에서 93.8~100.0%의 범위로 민감종이 매우 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 분석되었다(Fig. 2). 민감종은 수환경의 물리적 교란이나 오염에 민감하게 반응하여 감소하는 특성을 보이는 것으로 알려져 있는데(Ko *et al.* 2012), 민감종이 높게 출현한 본 조사 지점의 경우 봉선사천의 상류 및 지류에 해당하는 지점으로 서식처 교란 및 환경오염의 발생량이 비교적 적었기 때문인 것으로 판단된다. St. 2, 3, 6, 7, 8에서는 중간종(IS: Intermediate species)의 개체수 비율이 55.9~94.5%

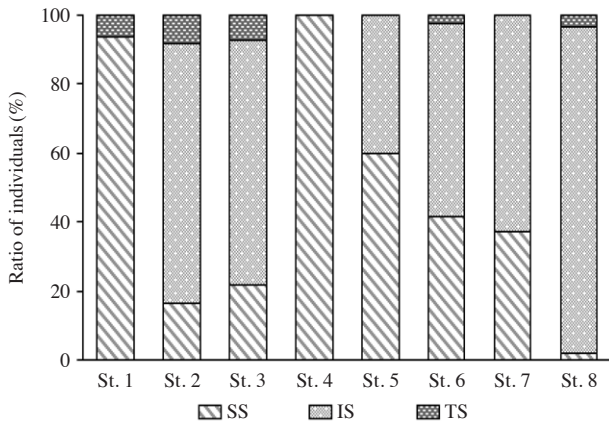


Fig. 2. Tolerance analysis different trophic states in the Gwangneung forest. abbreviations are as follow; TS: tolerant species, IS: intermediate species, SS: sensitive species.

의 범위로 중간종이 대부분의 비율을 차지하고 있었으며, 수환경의 오염이 진행됨에 따라 증가하는 특성을 나타내는 (Ko *et al.* 2012) 내성종 (TS: Tolerant species)의 개체수비율은 0.0~8.3%의 범위로 조사 지점 모두 매우 낮은 비율을 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 일반적으로 유기물 오염 및 서식지 파괴 등의 물리·화학적인 질적 저하에 따라 내성종과 잡식종의 종 수 및 개체수가 증가한다는 것으로 알려져 있다 (Karr 1981; US EPA 1991). 봉선사천의 경우 내성종의 개체수 출현 비율이 매우 낮게 나타났는데 이는 앞서 분석을 실시한 QHEI 결과로 알 수 있듯이 봉선사천 대부분의 지점에서 비교적 양호한 서식지 수환경을 유지하고 있어 내성종보다는 민감종과 중간종의 개체수 비율이 높게 나타난 것으로 판단된다.

6. 유사도 분석

조사 구간별 유사도 분석 결과 12.25%의 유사성을 기준으로 A, B 2개의 Group으로 구분되었다 (Fig. 3). Group-A에서는 St. 6, 7이 87.47%로 가장 높은 유사성을 갖는 것으로 나타났으며, 다음으로 St. 3이 79.23%의 높은 유사성을 갖는 것으로 분석되었다. St. 3, 6, 7의 경우 하천을 구성하는 하상구조 및 수환경에 따른 출현종과 개체수가 매우 유사했기 때문인 것으로 판단된다. Group-A에서 St. 5가 가장 낮은 유사성을 갖는 것으로 나타났는데 이는 다른 지점들에 비해 여울의 수가 많았으며, 하천의 수변식생대의 발달로 수관이 높게 형성되어 내성종과 중간종보다는 민감종의 종 수 및 개체수가 많이 출현했기 때문인 것으로 판단된다. Group-B는 조사 지점 중 최상류인 St. 1과 봉선사천의 유입지류인 St. 4로 하천의 유폭과 유량이 적은 최상류와 하천의 지류이

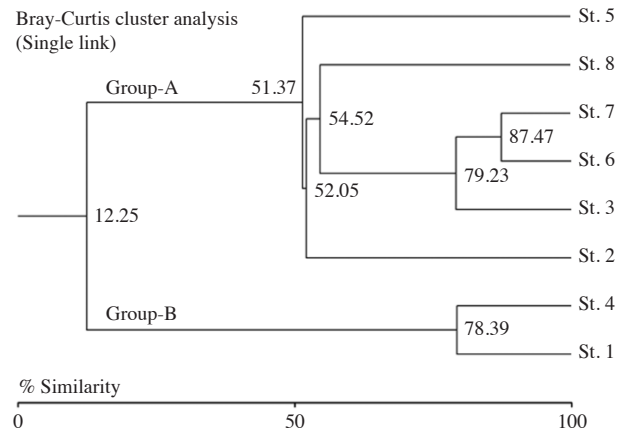


Fig. 3. Cluster analysis fish communitassemblages collected at 8 sites in the Gwangneung forest.

기 때문에 출현한 어종의 수가 적어 Group-B로 구분된 것으로 판단된다.

7. 어류평가지수 (FAI) 분석

조사 구간별 어류를 이용한 하천 건강성 평가지수인 FAI (Fish assessment index)를 분석한 결과는 다음과 같다 (Table 6). 봉선사천의 FAI는 상류지역의 조사 지점보다는 하류로 갈수록 FAI 지수 값이 점차 증가하는 것으로 나타났다. 이는 상류지역의 경우 식당 및 숙박시설이 밀집하고 있으며, 잦은 하천공사에 따른 하천교란이 빈번하게 발생하고 있기 때문이다. FAI 등급은 St. 1, 2, 3, 4, 6에서 평균 B등급으로 나타났으며, St. 5, 7에서 평균 A등급으로 분석되었다. 봉선사천의 합류수역인 St. 8은 조사 지점 중 가장 낮은 등급인 평균 C등급으로 분석되었다.

8. FAI와 다양한 항목 간의 상관성 분석

조사차수에 따른 조사 지점별 FAI의 분석 결과와 종 수, 개체수, 우점도, 다양도, 균등도, 풍부도, 민감종 개체수 비율, 중간종 개체수 비율, 내성종 개체수 비율 등 다양한 항목들 간의 상관성 분석 (Pearson correlation analysis)을 실시한 결과는 다음과 같다 (Table 7). Sp, H', E, RI, SS는 FAI와 양의 상관성을 갖는 것으로 나타났으며, In, DI, IS, TS와는 음의 상관성을 갖는 것으로 분석되었다. 그중 DI, H', E, SS, IS는 FAI 지수와 통계적으로 높은 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 일반적으로 우점도는 감소하고, 다양도, 균등도, 풍부도가 증가할수록 하천의 균집이 양호한 상태를 나타내며, 하천 건강성이 악화될수록 내성종은 증가하고 민감종과 중간종은 감소하는 것으로 알려져 있다 (Karr 1981; US EPA 1991; An

Table 6. FAI index according to season at the Gwangneung forest

Sites	Summer (1st)		Spring (2nd)		Autumn (3rd)		Mean		
	FAI	Class	FAI	Class	FAI	Class	FAI	Class	
BS	St. 1	68.8	B	62.5	B	62.5	B	64.6 (±3.6)	B
	St. 2	62.5	B	75.0	B	81.3	B	72.9 (±9.6)	B
	St. 3	68.8	B	81.3	B	81.3	B	77.1 (±7.2)	B
	St. 4	81.3	B	81.3	B	81.3	B	81.3 (±0.0)	B
	St. 5	81.3	B	87.5	A	93.8	A	87.5 (±6.3)	A
	St. 6	81.3	B	75.0	B	87.5	A	81.3 (±6.3)	B
	St. 7	81.3	B	100.0	A	87.5	A	89.6 (±9.5)	A
WS	St. 8	43.8	C	56.3	B	43.8	C	48.0 (±7.2)	C

A class: 87.5~≤100, B class: 56.2~<87.5, C class: 25~≤56.2

Table 7. Correlation coefficients between FAI and other factors

Factors	Sp	In	DI	H'	E	RI	SS	IS	TS
Correlation coefficient (r)	0.275	-0.356	-0.547**	0.617**	0.777**	0.368	0.510*	-0.506*	-0.322
*p-value	0.194	0.088	0.006	0.001	0.000	0.077	0.011	0.012	0.125

*P<0.05, **P<0.01 in the Correlation Analysis; Sp: No. of Species, Id: No. of Individuals, DI: Index of Dominance, H': Index of Diversity, E: Index of Evenness, RI: Index of Richness, SS: Individuals ratio of Sensitive Species, IS: Individuals ratio of Intermediate Species, TS: Individuals ratio of Tolerant Species

et al. 2001; An et al. 2006). 본 연구 결과 역시 FAI 지수 값이 증가할수록 우점도와 중간종은 감소하고, 다양도, 균등도, 민감종은 증가하는 것으로 분석되었다.

9. 봉선사천의 서식처 특성

광릉숲 내 봉선사천의 상류지역은 하천 주변의 빈번한 유지·보수 공사 및 토목공사에 따른 토사의 유입과 탁류의 발생으로 인하여 수시로 교란이 발생하고 있다. 더욱이 하천 인근에는 식당 및 숙박시설이 밀집해 있어 상시 오염원의 유입에 노출되어 있는 상태이며, 민가 및 농경지에서 발생하는 점오염원과 비점오염원의 유입은 봉선사천의 수생태계 교란요인으로 작용하고 있다. 또한 하천변은 도로와 바로 인접하여 있으며, 인공 제방의 설치로 수변식생대 및 초본류의 형성 및 자연성이 낮은 편이다. 한편, 봉선사천의 중·하류 지역은 상대적으로 수관층 및 하천자연성이 높고, 광릉수목원에 의하여 과도한 인원의 출입이 적절하게 통제되고 있어 오염원의 발생량이 조절되고 있는 상황이며, 일부 식당가가 존재하지만 어류의 종다양성이 상류지역보다 높게 나타나고 있다. 어류의 종다양성은 하천의 수질 청정도가 높은 상류역보다는 유폭, 수심, 먹이원 등을 고려할 때, 중류역에서 상대적으로 높아지는 특성을 가지고 있다(Choi and Byeon 2009). 봉선사천의 경우에서도 마찬가지로 횡단구조물 및 식생빈도 등의 이유로 서식처 평가 지수가 상대적으로 낮게 평가된 중·하류지역의 St. 3과 6은 유기물을 포함한 풍부한

먹이원 및 서식처가 제공되고 있었으며, 이를 이용하는 잡식성의 중간종(IS)들이 다양하게 서식하여 비교적 안정된 군집구조를 유지하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 봉선사천의 중·하류지역은 현 상태의 유지와 함께 하천생태계 교란요인으로 작용하고 있는 유입 오염원의 통제와 자연정화를 위한 buffer zone의 유지·관리가 매우 중요할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 과거자료와의 비교를 통해 광릉숲 내에 위치한 봉선사천의 과거와 현재의 어류상 변화를 파악하고, 하천 건강성을 평가하고자 하였다. 현지조사는 2015년 4월부터 9월 까지 총 3회 조사를 실시하였다. 어류상 조사결과 총 8과 22종 2,960개체가 출현하였다. 피라미(*Zacco platypus*)가 우점하고, 참갈겨니(*Zacco koreanus*)가 아우점하는 것으로 나타났다. 한국고유종은 총 7종으로 고유종 빈도는 36.4%로 분석되었다. 과거 문헌자료와의 어류상 비교 결과 2007년 이후 종 수의 변화는 없었으며, 2008년 복원사업의 일환으로 봉선사천에 방류한 참갈겨니는 2008년 이후 상대풍부도가 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 조사 지역의 군집분석 결과 평균 우점도지수는 0.79 (±0.15), 다양도지수는 1.21 (±0.60), 균등도지수는 0.58 (±0.15), 풍부도지수는 1.49 (±0.83)로 분석되어 우점도지수는 높고, 다양도지수, 균등도지

수, 풍부도지수는 낮은 비교적 불안정한 군집구조를 유지하고 있는 것으로 나타났다. 정량적 서식처 평가 지수(QHEI) 분석 결과 QHEI는 평균 122.9(±44.8)로 양호한 서식처 환경을 가지고 있는 것으로 분석되었다. 내성도 길드 분석 결과 전반적으로 오염에 내성이 강한 내성종보다는 오염에 민감하게 반응하는 민감종과 중간종의 개체수 비율이 높게 나타났다. 조사 지점 간 유사도 분석결과 12.25%를 기준으로 A, B 2개의 Group으로 구분되었다. Group-A는 봉선사천 분류인 St. 2, 3, 5, 6, 7과 왕숙천 St. 8이 포함되었으며, Group-B는 봉선사천 최상류인 St. 1과 봉선사천으로 유입되는 지류인 St. 4가 포함되어 구분되었다. 어류평가지수(FAI)를 분석한 결과 봉선사천은 대부분 A~B등급으로 하천건강성이 양호한 것으로 나타났으며, 도심하천인 왕숙천은 C등급로 조사 지점 중 가장 낮은 등급으로 분석되었다. FAI와 다양한 항목 간의 상관성 분석 결과 우점도, 다양도, 균등도, 민감종, 중간종에서 통계적으로 높은 상관성을 갖는 것으로 분석되었다.

사 사

본 연구는 국립수목원(과제번호: 20150314861-00, 과제명: 광릉숲 및 시험림 생물다양성 보전 연구, 광릉숲 생물상 모니터링-어류)의 지원을 받아 수행한 연구입니다.

REFERENCES

- 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. J. Korean Soc. Water Environ. 22:796-804.
- 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.
- Bray JR and JT Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. Ecology. Monogr. 27: 325-349.
- Byeon HK. 2011. The characteristics of fish fauna and population of *Zacco koreanus* in the Bongseonsa stream, Korea. J. Korean Nat. 4:255-262.
- Byeon HK. 2013. The fish fauna changes and characteristics populations of *Zacco koreanus* in Cheonggye stream after the rehabilitation, Korea. Korean J. Environ. Ecol. 27:695-703.
- Byeon HK and WO Lee. 2006. The ichthyofauna and fish community in the lower course of the Imjin river. Korean J. Limnol. 39:32-40.
- 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 and HK Byeon. 2009. The fish fauna and community of Gwangneung arboretum. Korean J. Limnol. 42:145-152.
- Choi JS and JK Choi. 2005. Fish fauna and disturbance in Odaesan National Park, Korea. Korean J. Limnol. 19:177-187.
- Choi JS and JK Kim. 2004. Ichthyofauna and fish community in Hongcheon river, Korea. Korean J. Environ. Biol. 18: 446-455.
- Choi JW and KG An. 2013. Ecological health assessments on stream order in Southern Han river watershed and physical habitat assessments. Korean J. Environ. Biol. 31:440-447.
- Cummins KW. 1962. An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic water. Am. Midl. Nat. 67:477-504.
- Han SC, HY Lee, EW Seo, JH Shim and JE Lee. 2007. Fish fauna and weight-length relationships for 9 fish species in Andong reservoir. Korean J. Life Sci. 17:937-943.
- Hur JW, HS Kang and MH Jang. 2011. Investigation on physical habitat condition and fish fauna in Dal stream of Han river basin. Korean Soc. Environ. Eng. 33:564-571.
- Jang YS, JS Choi, KY Lee, JW Seo and BC Kim. 2007. Length-weight relationship and condition factor of *Zacco platypus* in the lake Hoengseong. Korean J. Limnol. 40:412-418.
- Jeon SR. 1980. Studies on the distribution of fresh-water fishes from Korea. Doctoral Dissertation of Chungang University. pp. 14-49.
- Karr JR. 1980. Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries 6:21-27.
- Kim IS. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea. Ministry of Education. 632pp.
- Kim IS and JY Park. 2002. Freshwater Fishes of Korea. Kyohak. 465pp.
- Kim IS, Y Choi, CL LEE, YJ Lee, BJ Kim and JH Kim. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyohak. 515pp.
- Kim JI, CG Kang, HT Shin and JW Seong. 2011. A Study on the composition and operating trend of arboreta in Korea. Korean J. Soc. Environ. Resto. Tech. 14:37-51.
- Kim TJ, YS Hong, SH Ahn and YH Byun. 2005. A study of trend of private arboretum in Korea. J. of KIRF. 9:49-59.
- Ko DG, JH Han and KG An. 2012. Length-weight relation and condotion factor (k) of *Zacco platypus* along trophic gradients in reservoir ecosystems. Korean J. Limnol. 45:174-189.
- Lee JW, JH Kim, SH Park, KR Choi, HJ Lee, JD Yoon and

- MH Jang. 2013. Impact of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) on the population of Korean native fish, crucian carp (*Carassius auratus*). Korean J. Environ. Biol. 31:370-375.
- Lee KY, HR Jang, YJ Yun, SC Park, JC Kim, JY Lee and JS Choi. 2014. Ecological diagnosis of the Gongjicheon water system using length-weight relationship and condition factor (K) of population of the *Zacco platypus*. J. Environ. Impact Assess. 23:137-149.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. General Systematics 3:36-71.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California Crassland. Nature 216:168-169.
- Nelson JS. 2006. Fishes of the World (4th ed.). John Wiley and Sons, New York. 601pp.
- Pielou EC. 1975. Ecological Diversity. John Wiley and Sons, New York. 165pp.
- 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.
- Primack RB. 2008. A Arime of Conservation Biology (4th ed.). Sinauer, Sunderland.
- Shannon CE and W Weaver. 1949. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana, 233pp.
- Song HB, OK Kwon and SH Jeon. 1995. Fish fauna of the upper Sum river in Hoengsong. Korean J. Limnol. 28:225-232.
- Species Restoration Technology Institute. 2012. A survey study on the people's opinions for species restoration. Korea National Park. 125pp.
- The Government-General of Korea. 1932. The general of Gwangneung experiment forest. Samsusa. pp. 101-103.
- 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.
- <http://www.kna.go.kr> (accessed 12 August 2011)

Received: 14 March 2017

Revised: 20 April 2017

Revision accepted: 21 April 2017