

복원에 따른 양재천 어류 군집의 특성^{1a}

이황구² · 최준길^{2*}

The Characteristic of Fish Community Following the Restoration of Yangjae Stream^{1a}

Hwang-Goo Lee², Jun-Kil Choi^{2*}

요약

2012년 8월부터 2013년 4월까지 양재천의 어류상과 복원 후 특성을 조사하였다. 조사기간 동안 채집된 어류는 총 5과 18종 1,503개체가 확인되었다. 하천복원 이후 양재천에 서식하는 담수어류 분포 조사결과 피라미(*Zacco platypus*)와 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*) 개체군이 높게 나타났다. 양재천에 서식하는 피라미 개체군의 전장 빈도 분포 결과 총 4단계의 연령대가 추정되었으며, 27~63mm (Age 0⁺)가 51.3%로 가장 높게 나타났다. 피라미의 전장-체중 상관도의 회귀계수 b값은 3.27, 비만도지수 slope는 양의 값으로 안정적인 생육상태를 유지하고 있었다. 내성도와 섭식도 길드 분석 결과 하류로 내려갈수록 민감종과 충식종은 개체수 풍부성이 감소하고, 내성종과 잡식종은 증가하였다. 군집지수와 IBI지수를 활용한 주성분 분석 결과 조사시기에 따라 구분되었으며, 1차와 2차조사시 특정 단일종 개체군의 영향이 높고, 3차조사시 다양한 어류의 개체수가 균등하게 서식하는 것으로 분석되었다.

주요어: 어류상, 피라미, 전장빈도분포, 전장-체중 상관관계, 주성분 분석

ABSTRACT

From August 2012 to April 2013, the ichthyofauna and post-restoration properties of Yangjae stream were investigated. A total of 1,503 fish of 2 forms, 16 species and 5 families were studied during the survey period. A survey of the distribution of freshwater fish inhabiting Yangjae stream after restoration of the stream showed large populations of *Zacco platypus* and *Rhynchocypris oxycephalus*. From the frequency distribution of the total length for the *Zacco platypus* population inhabiting Yangjae stream, it was estimated that there are 4 distinct age groups, with an abundance of the 27–63 mm (Age 0⁺) category accounting for 51.3% of the population. The regression coefficient (b) for the length-weight relationship in *Zacco platypus* was 3.27, while the slope of the condition factor was positive, demonstrating that stable growth conditions are being maintained. Analysis of tolerance and trophic guilds showed a decrease in the numbers of sensitive species and insectivore species further downstream, and an increase in tolerant species and omnivore species. Principal component analysis using community indices and indices of biotic integrity (IBI) showed that there were differences according to the survey time: the first and second surveys showed major changes on certain single species populations while during the third survey, it was analyzed that the populations of various types of fish had established balance.

1 접수 2015년 9월 30일, 수정(1차: 2015년 10월 28일, 2차: 2015년 11월 12일), 게재확정 2015년 11월 13일

Received 30 September 2015; Revised (1st: 28 October 2015, 2nd: 12 November 2015); Accepted 13 November 2015

2 상지대학교 생명과학과 Dept. of Biological Science, Sangji Univ., Wonju 26339, Korea

a 이 논문은 과천시의 지원 및 2013년도 상지대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-33-730-0434, Fax: +82-33-730-0430, E-mail: jkilchoi@sangji.ac.kr

KEY WORDS: *ICHTHYOFAUNA, Zacco platypus, TOTAL LENGTH FREQUENCY DISTRIBUTION, LENGTH-WEIGHT RELATIONSHIP, PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS*

서 론

1970년대부터 시작된 독일과 스위스의 “Naturnaher Wasserbau (근자연형 하천공법)”을 근간으로 하천을 정비할 때에는 이수 또는 치수 문제뿐만 아니라 자연생태계를 고려하여 거석, 통나무, 식생 등과 같은 자연재료를 이용한 제방이나 호안을 만들고, 하천을 사형하게 하여 여울과 소를 적절히 조성하는 등 자연 하천의 형태에 가깝게 정비하고자 하였다(Kim *et al.*, 2003). 과거 국내에서는 수질환경보전에 대한 관심 증대와 친수기능을 강조한 하천환경개선 사업이 정책적으로 반영됨에 따라 하수처리장의 건설, 하수관거 정비 등 수질 오염방지에 관한 노력이 지속적으로 이루어져 왔으나 2000년대 이후 자연형 하천 또는 생태하천의 개념이 도입되면서 수생태계의 기능을 회복하기 위한 노력이 시작되었다(Kim *et al.*, 2010). 이에 따라 과거 인공적으로 정비된 하천을 본래의 자연형 하천상태로 되돌리고자 여러 가지 기술적 대안들이 시도되고 있으며(Choi *et al.*, 2011), 최근에는 생태적으로 교란된 하천을 복원하고자 복개된 하천을 복원하거나 인공하천을 조성하여 자연형 하천으로 정비하고 있다(Kim and Ahn, 2006).

양재천은 경기도 과천시와 관악산에서 발원하여 과천시와 서울특별시 서초구, 강남구를 경유하여 탄천으로 유입되는 유로연장 약 9 km, 유역면적 35.5 km²인 소규모 도시하천이다. 과천저수지로부터 유입되는 지천과 청계산(492.7 m) 하류로부터 유입되는 염곡천 등이 대표적인 유입 지천들이며, 1995년에 복원을 시작하여 2005년에 완공되어 자연형 하천복원의 모범사례로 평가되고 있다(Lee *et al.*, 2011).

담수어류는 하천 생태계에서 상위 포식자로서 중요한 위치를 차지하고 있는 동물군으로 하천정비 또는 복원사업 등과 같은 수환경의 변화를 초래하는 인위적인 간섭으로부터 변화 요인의 지표로서 활용되어 왔다(Rutherford *et al.*, 1987). 우리나라에서는 하천의 복원사업 이후 청계천(Choi *et al.*, 2008), 전주천(Park *et al.*, 2009), 창원천과 남천(Kim *et al.*, 2010) 등을 대상으로 어류를 이용한 전·후 비교 연구가 선행된 바 있다. 또한 하천 복원시 필요한 어류의 미소서식처를 대상으로 거석천과 청립습지(Park and Lee, 2008), 복하천(Byeon and Son, 2003), 갑천(Lee *et al.*, 2009), 탄천(Choi *et al.*, 2011), 양화천(Lee *et al.*, 2012), 홍천강(Lee *et al.*, 2013) 등의 연구가 진행되었다.

본 연구의 대상 하천인 양재천은 환경친화적 관리방안 연구(Kim *et al.*, 2004)를 비롯한 식생 변화 분석에 관한 연구(Sin, 1999; Park and Ma, 2003; Lee *et al.*, 2011), 수환경과 수서동물군집 특성에 관한 연구(Bae *et al.*, 1999), 조류군집의 변화에 관한 연구(Kim *et al.*, 2003; Kim and Koo, 2005) 등이 선행되었다. 한편, 과천환경21 실천협의회에서 복원 이후 어류를 비롯한 서식생물종 분포 조사를 수행하였으나 분포 조사에 따른 구체적인 연구는 실시하고 있지 않는 실정이며(http://ebook.gccity.go.kr/20100506_171224_15), 양재천에 서식하는 어류를 대상으로 Lee *et al.* (2005)에 의해 양재천의 복원 후 하천 건강도를 평가한 연구가 있으나 양재천의 어류군집 및 생태 특성에 관한 전반적인 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 양재천의 복원 이후 담수어류 모니터링에 따른 기초자료를 토대로 어류상 및 어류군집의 생태적 특성을 분석하고, 우점을 차지한 피라미 개체군을 대상으로 전장-체중 상관도, 비만도지수, 전장빈도 분포 등을 파악하여 양재천 복원 후 피라미 개체군의 생육상태를 보고자 하며, 우리나라의 하천 복원 및 생물서식처 조성시 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

연구방법

1. 조사지점

조사지점은 경기도 과천시내 과천중앙공원에서 서울특별시 경계까지 흐르는 양재천의 약 5 km 구간에서 총 5개의 지점을 선정하였으며, 각 조사지점은 다음과 같다(Figure 1).

- St. 1: 경기도 과천시 별양동 과천도서관 앞
(E 126° 59' 43.24", N 37° 25' 55.10")
- St. 2: 경기도 과천시 관문동 과천체육공원 앞
(E 126° 59' 46.49", N 37° 26' 34.88")
- St. 3: 경기도 과천시 과천동 과천교
(E 127° 00' 01.33", N 37° 26' 56.66")
- St. 4: 경기도 과천시 과천동 39
(E 127° 00' 24.82", N 37° 27' 15.32")
- St. 5: 경기도 과천시 주암동 주암교
(E 127° 01' 35.74", N 37° 27' 33.24")

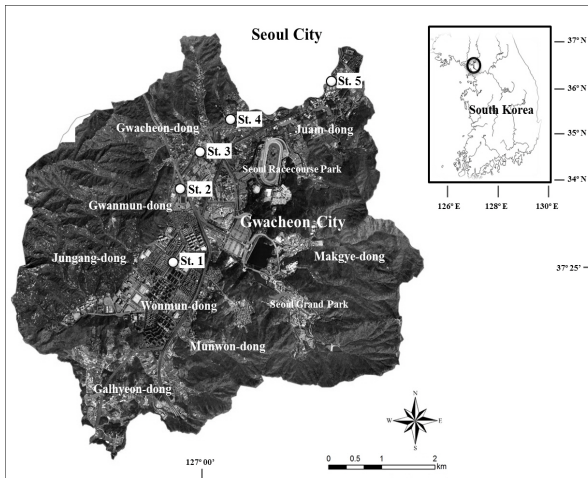


Figure 1. Location of five sampling sites in Yangjae stream

2. 조사기간

현장조사 기간은 2012년 8월부터 2013년 4월까지 총 3회에 걸쳐 실시하였으며, 각 조사시기는 다음과 같다.

- 1차 조사 : 2012년 08월 11일
- 2차 조사 : 2012년 10월 13일
- 3차 조사 : 2013년 04월 21일

3. 조사방법

1) 물리·화학적 수환경 분석

조사지점별 물리·화학적 특성분석은 현장조사와 실험실 분석으로 구분하였다. 물리적 수환경의 조사는 1차조사 시기인 2012년 8월에 현장에서 조사하였다. 출자와 레이저 거리측정계(Nikon LASER 1200S)를 이용하여 조사지역의 유속을 측정하였으며, Digital water velocity meter (FP111)을 이용하여 유속과 수심을 측정하였다. 하상구조물의 계측 및 분류는 Cummins (1962)의 방법을 적용하여 boulder, cobble, pebble, gravel, sand/mud의 5단계로 구분하여 상대적인 구성 비율을 측정하였다. 화학적 특성은 실험실내에서 BOD, T-N, T-P, SS, Chl-a 등을 수질공정시험법에 준하여 분석하였다.

2) 채집 및 동정

어류의 채집은 정량조사를 위하여 조사지점 당 투망(망목 5×5 mm)과 족대(4×4 mm)를 각각 15회, 40분간 실시하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정 및 측정 후 생태계 보전을 위해 대부분 방류하였고, 일부 세밀한 동정을 요하는 개체만 10% Formalin 용액으로 고정한 후 실험실로 운반하였

다. 어류의 동정은 국내에서 발표된 검색표(Kim, 1997; Kim and Park, 2002; Kim *et al.*, 2005)를 이용하였고, 분류체계는 Nelson (2006)을 따라 정리하였다.

4. 분석방법

1) 전장빈도분포 분석

양재천의 조사지점별 우점하여 서식하는 피라미(*Zacco platypus*) 개체군을 대상으로 연령을 추정하기 위하여 전장빈도분포를 분석하였다. 전장빈도 분포의 분석은 채집된 개체의 전장을 Caliper (1/20 mm)로 측정 후, Peterson method (Bagenal, 1978)를 적용하여 추정하였다.

2) 전장-체중 상관관계 분석

양재천의 조사지점별 풍부하게 출현한 피라미 개체군을 대상으로 전장-체중 상관관계를 이용한 분석을 실시하였다. 전장-체중 상관관계는 Anderson and Gutreuter (1983)의 $W=aTL^b$ (W =total weight, TL =total length, a , b =parameter)를 따랐으며, 비만도 지수 Condition factor (K)는 Anderson and Neumann (1996)의 $K=W/TL^3$ (W =total weight, TL =total length)을 적용하였다.

3) 어류 군집지수 및 생물학적 건강성 평가지수 분석

군집분석은 각 조사지점에서 출현한 종과 개체수를 기준으로 우점도(McNaughton, 1967), 다양도(Shannon-Weaver, 1949), 균등도(Pielou, 1966), 풍부도(Margalef, 1958)를 산출하였다.

양재천의 어류를 이용한 하천의 생물학적 건강성 평가의 지수는 환경부의 수생태계 건강성 조사 및 평가(Ministry of Environment, 2010) 방법에 따라 총 8개 메트릭 시스템으로 구성하였다. M1: 국내종의 총 종수(Total number of native species), M2: 민감종의 총 종수(Total number of sensitive species), M3: 여울성 저서종의 총 종수(Total number of riffle-benthic species), M4: 내성종의 총 개체수 비율(Proportion of tolerant species), M5: 잡식종의 총 개체수 비율(Proportion of omnivore species), M6: 국내종의 총 식종 총 개체수 비율(Proportion of insectivore species), M7: 국내종의 총 개체수(Total number of individual as a native species), M8: 비정상종의 총 개체수 비율(Proportion of abnormal individual) 등 총 8개의 메트릭을 이용하였다. 어류의 내성도와 섭식도 구분은 Table 2와 같다.

4) 통계분석

주성분 분석(Principal Components Analysis)은 PC-ORD (Version 5)를 이용하여 Kaiser (1958, 1961)의 방법에 의거

하여 실시하였으며(McCune and Mefford, 1997), 생태지표로 많이 활용되고 있는 군집분석(Community index)과 생물학적 건강성 평가(Index of biological integrity, IBI) 지수 등 다변수 항목들을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 양재천의 서식지 환경

양재천의 조사지점별 최대유폍은 5.2~13.0 m로 중·하류인 St. 4에서 가장 넓었고, St. 1에서 가장 좁았다. 최대수심은 12~29 cm로 하류인 St. 5에서 가장 깊고, St. 1에서 가장 낮았다(Table 1). 최대유속은 0.3~1.3 m/s로 하류(St. 5)에서 가장 빠르고, St. 2에서 비교적 느린 것으로 측정되었다. St. 5의 경우 상대적으로 유폍이 넓고, 유속이 높았으나 수변식생대의 부족으로 다양한 어종이 서식하기에는 다소 제한되어 있었다. 하상구조는 대부분 큰돌(Cobble)과 자갈(Pebble)에서 비교적 높게 차지하고 있었으며, St. 3에서는 잔자갈(Gravel)과 모래(Sand)의 비율이 높게 나타났다. 여울 특성이 나타나는 St. 1과는 상대적으로 St. 2에서는 물의 흐름이 잠시 정체하였으며, 이에 따른 부유물질(SS)과 클로로필a(Chl-a) 값이 증가하는 것으로 측정되었다. 반면에 St. 3으로 내려가면서 여울이 형성되어 다시 SS와 Chl-a

값이 낮아지는 것으로 분석되었다. 하지만 유속이 증가하는 St. 3부터 BOD와 T-N, T-P 값이 같이 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 St. 3 인근에 위치한 과천시 환경사업소의 영향이 일부 작용할 가능성이 있으나 이에 따른 이화학적 추가조사가 요구된다. 한편, 탄천 합류부 인근에 위치한 대치교의 이화학적 수질 자료(물환경정보시스템, <http://water.nier.go.kr/main/mainContent.do>)를 참고한 결과 양재천 하류로 내려가면서 일부 자정작용이 나타나는 것으로 생각된다. 따라서 차후 과천시 환경사업소를 중심으로 상·하류 구간으로 구분하여 수질과 생물에 미치는 영향에 대한 지속적인 모니터링 및 연구가 요구된다.

2. 어류상

연구기간 동안 전체 조사구간에서 채집된 어류는 총 5과 18종 1,503개체로 확인되었다(Table 2). 조사구간에 따라 종수는 9종(St. 5)~12종(St. 2), 개체수는 168개체(St. 5)~373개체(St. 3)로 하류구간인 St. 5에서 비교적 낮은 종수와 개체수가 확인되었다.

과별 종구성을 살펴보면, 잉어과(Cyprinidae)에서 14종(77.8%)으로 가장 높게 출현하였다. 이는 한강수계에 서식하는 담수어류의 일반적인 현상(Choi and Byeon, 2009) 및 서·남해로 흐르는 하천의 일반적인 특징이다(Jeon, 1980).

Table 1. Spatial variation of water and physical parameter at each sites and season in Yangjae stream from August 2012 to April 2013

Sites	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
WT (°C)	14.1-17.6	14.7-18.4	17.5-18.6	17.2-19.2	17.4-18.4
EC (Sm/cm)	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
pH	7.5-8.6	7.6-8.6	8.2-8.6	7.8-8.4	7.6-8.1
DO (mgL ⁻¹)	8.2-10.7	8.2-16.4	10.9-12.7	7.8-7.9	7.5-8.7
BOD (mgL ⁻¹)	1.5-5.7	1.4-5.5	1.4-5.8	3.6-7.9	2.9-11.3
T-N (mgL ⁻¹)	4.7-4.9	3.7-4.8	3.5-4.5	12.2-12.8	4.2-11.7
T-P (mgL ⁻¹)	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1-0.2
SS (mgL ⁻¹)	3.0-8.0	1.0-33.0	0.0-15.5	3.0-19.3	14.0-22.8
Chl-a (mg/m ³)	1.6-8.3	8.3-32.6	2.7-17.9	4.4-7.5	0.5-12.9
Width (m)	1.6-5.2	5.5-6	6.5-7.2	8-13	6.5-11
Depth (cm)	9.0-12.0	9.0-18.0	9.0-14.0	13.0-21.0	14.0-29.0
Velocity (m/sec)	0.3-0.8	0.1-0.3	0.1-0.8	0.8-1.1	0.6-1.3
Substrate (B:C:P:G:S&M)	1:3:2:2:2	1:3:2:1:3	1:1:2:3:3	1:2:3:2:2	1:3:3:2:1

WT : Water temperature, ECC : Electric conductivity, pH : Potential of hydrogen, DO : Dissolved oxygen, BOD : Biochemical oxygen demand, T-N : Total Nitrogen, T-P : Total Phosphorus, SS : Suspended solid, Chl-a : Chlorophyll a, The substrate composition is based on the approach of Cummins (1962). B: boulder (>256 mm), C: cobble (64~256 mm), P: pebble (16~64 mm), G: gravel (2~16 mm), S: sand/mud (<2 mm).

Table 2. List of fauna and species composition in Yangjae stream from August 2012 to April 2013

Scientific name	Re	Tol. G	Tro. G	Hab. G	St. 1			St. 2			St. 3			St. 4			St. 5			Total	R.A (%)
					1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd		
Cyprinidae																					
<i>Cyprinus carpio</i>		TS	O		7	4	1	2	3	1	3	1	1	1	1	1	1	10	1	35	2.3
<i>Cyprinus carpio</i> (Israel type)	★	TS	O					1												1	0.1
<i>Cyprinus carpio</i> (Fancy type)	★	TS	O		1								1							2	0.1
<i>Carassius auratus</i>		TS	O		5	9	1	1	2	2	9	10	2	21	4	2	7	2	77	5.1	
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>	★	IS	O												1				1	1	0.1
<i>Pseudorasbora parva</i>		TS	O		4	2		4	2	13	2		6					2	1	30	2.0
<i>Pangtungia herzi</i>		IS	I		5	1	4	3											13	0.9	
<i>Gnathopogon strigatus</i>		IS	I													1	1		2	0.1	
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	★	TS	O		3					17									20	1.3	
<i>Pseudogobio esocinus</i>		IS	I		12	11	3	18	10	2	6	13	3	11	14	9	5	3	120	8.0	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>		SS	I		98	48	6	63	31	12	23	43	25		3	1			358	23.8	
<i>Zacco temminckii</i>	★	SS	I		1	1													2	0.1	
<i>Zacco platypus</i>		TS	O		65	16	29	116	19	62	92	28	58	134	32	49	40	13	753	50.1	
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>		TS	C				2			1									3	0.2	
Siluridae																					
<i>Silurus asotus</i>		TS	C					1					1						3	0.2	
Odontobutidae																					
<i>Odontobutis interrupta</i>	★	IS	C					2	2	1									5	0.3	
Gobiidae																					
<i>Rhinogobius brunneus</i>		IS	I	RB	5		7	3	1	6	9	1	17	9	1	7	9	2	77	5.1	
Poeciliidae																					
<i>Poecilia reticulata</i>	★	TS	O																1	0.1	
Total number of species					8	7	5	12	9	8	10	7	6	5	8	5	4	9	6	18	
Total number of individual					132	139	27	135	170	42	143	170	60	108	159	50	66	80	22	1503	

Re : Remark, Tol. G : Tolerant Guild, Tro. G : Trophic Guild, Hab. G : Habitat Guild, R.A : Relative Abundance, ☆ : Korea endemic species, ★ : Exotic species (immigrant, release, introduce), SS : Sensitive Species, IS : Intermediate Species, TS : Tolerance Species, O : Omnivore Species, I : Insectivore Species, C : Carnivore Species, and RB : Riffle Benthic Species

다음으로 메기과(Siluridae), 동사리과(Odontobutidae), 망둑어과(Gobiidae), 난태생송사리과(Poeciliidae)에서 각각 1종(5.6%)씩 출현하였다. 출현어종 중 법적보호종은 출현하지 않았으며, 한국고유종은 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*), 물개(*Squalidus japonicus coreanus*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*) 등 총 3종(16.7%)으로 확인되어 한국산 담수어의 고유종 비율인 28.8% (Kim *et al.*, 2005) 보다 낮은 비율을 유지하고 있었다. 한편 도입어종(이입, 방류, 도입)은 이스라엘잉어(*Cyprinus carpio* Israel type), 비단잉어(*Cyprinus carpio* Fancy type), 구피(*Poecilia reticulata*), 갈겨니(*Zacco temminckii*) 등 총 4종(22.22%)이 확인되어 본 조사구간에서 출현한 한국고유종 출현 빈도(16.7%) 보다 높게 나타났다. 고유종의 존재는 해당 지역의 생물상을 특징짓는 기준으로 작용한다(Jeon, 1980). 양재천의 경우 한국고유종 보다는 도입어종의 출현 빈도가 높게 나타나 지역 특이성의 변화와 토착어종 및 고유종의 장기적인 서식제한요소로 작용할 것으로 판단된다. 도입종 중 이스라엘잉어와 비단잉어는 양재천 수계에서 산란 및 서식하는 종이 아닌 탄천이나 한강으로부터 이입되어 왕래하거나 인위적으로 방류되었을 것으로 추정되며, 구피는 인위적으로 적은 개체가 방류되어 수온이 높은 봄~가을 사이에 국지적으로 서식하고 있는 것으로 판단된다. 특히, 갈겨니는 국내 하천의 남부지방과 낙동강 수계에 주로 서식하는 종으로(Kim *et al.*, 2005) 양재천 수계에서 과거부터 서식하기 보다는 최근 인위적으로 방류된 것으로 생각되며, 2008년 과천환경21 실천협의회회의의 모니터링에서도 출현한 기록이 있다(http://ebook.gccity.go.kr/20100506_171224_15). 따라서 본 개체군이 양재천에서 점진적으로 적응하여 서식하는 것을 방지하기 위하여 지속적인 모니터링이 요구된다. 또한 우리나라 토착어종이나 타 수계에 서식하는 어류의 이입은 외래종의 도입에 의한 피해와 유사한 결과가 나타날 수 있으므로 공식적인 어류 방류시 전문가의 자문을 거쳐야 하며, 시민들에 의한 무분별한 방류는 구체적인 방류 기록이 없으므로 이를 방지할 수 있는 대책의 마련이 필요할 것으로 판단된다.

출현어종별 상대풍부도는 피라미가 753개체(50.1%)로 가장 높은 것으로 나타났으며, 그 다음으로는 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*) 358개체(23.8%), 모래무지(*Pseudogobio esocinus*) 120개체(8.0%), 붕어(*Carassius auratus*), 밀어(*Rhinogobius brunneus*) 77개체(5.0%) 등의 순으로 조사되었다. 상대풍부도가 2.0% 미만인 어종으로는 잉어(*Cyprinus carpio*), 참붕어(*Pseudorasbora parva*), 물개(*Squalidus japonicus coreanus*), 돌고기(*Pungtungia herzi*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*) 등 총 13종으로 확인되었다.

3. 개체군 분석

1) 전장빈도분포

피라미는 우리나라의 대부분 하천에 가장 널리 분포하고 있으며, 환경변화에 따른 적응력이 높아 풍부한 개체군을 유지하는 종이다(Kim, 1997; Yoon, 2000). 이에 본 연구에서는 양재천에 우점하여 서식하는 피라미 개체군의 안정적인 생활사를 파악하기 위해 산란시기인 2012년 8월에 채집된 개체를 대상으로 전장빈도 분포를 이용하여 연령을 추정하였다(Figure 2). 8월 조사시 총 198개체(33.9%)로 우점하여 출현하였으며, 이중 179개체를 대상으로 분석한 결과 총 4단계(Age 0~3 and over)의 연령대가 추정되었다. 31~60 mm (Age 0⁺)가 102개체(57.0%)를 차지하였고, 61~86 mm (Age 1⁺)는 37개체(20.7%), 88~109 mm (Age 2⁺)는 34개체(19.0%), 110~136 mm (Age 3⁺ and over)는 6개체(3.4%)를 차지하였다. 특히 31~60 mm의 개체가 풍부하게 출현하였는데, 이는 피라미의 산란시기를 고려할 때, 5월부터 산란한 당년생 개체가 풍부하게 출현하였기 때문이다. 한편, 61~86 mm와 88~136 mm의 개체수는 높지 않았는데, 본 수계의 피라미 개체군은 산란시기를 전후로 1년생과 2년생은 양재천 하류 및 탄천 합류부로 이동하는 것으로 생각되며, 산란시기가 되면 만 2년생 이상의 연령대 개체군이 양재천 상류로 올라오는 것으로 판단된다. 피라미의 성장은 만 1년생은 60~70 mm, 만 2년생은 80~110 mm, 만 3년생은 120 mm 이상으로 성장하는 것으로 알려져 있으며(Kim, 1997), 본 조사시 출현한 피라미 개체군의 전장 크기와 대부분 일치하였다. 따라서 양재천에 서식하는 피라미 개체군의 성장은 우리나라 수계에 서식하는 개체군과 성장속도가 유

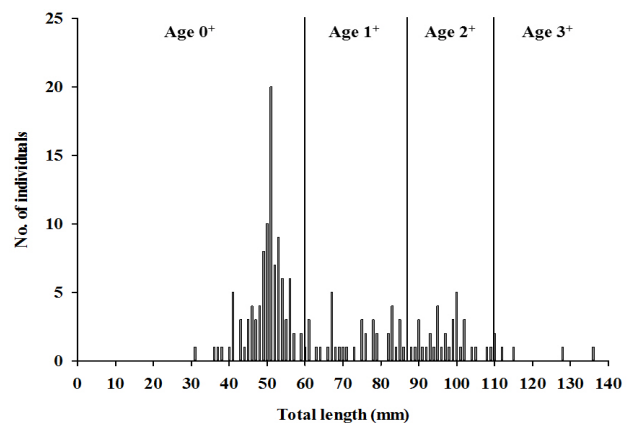


Figure 2. Histogram of *Zacco platypus* composition with total length and nonlinear regression analysis in Yangjae stream from August 2012

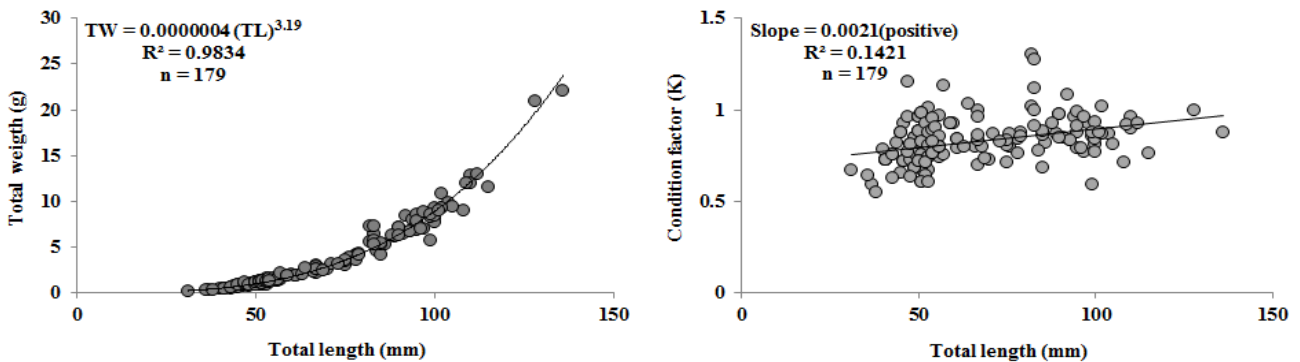


Figure 3. Length-weight relations (left) and regression analysis of condition factor (K) against total length (right) with *Zacco platypus* in Yangjae stream from August 2012

사한 것으로 나타났다.

2) 전장-체중 상관관계

조사수역에서 우점을 차지한 피라미 개체군의 생육상태를 파악하기 위해 산란시기인 2012년 8월에 채집된 개체를 대상으로 전장-체중 상관관계를 통하여 분석하였다(Figure 3). 어류의 전장-체중 상관도와 비만도 지수는 어류의 건강상태 및 성숙정도를 파악할 수 있으며, 서식처등급, 수질, 먹이 이용능력 등의 다양한 지표로 사용된다(Anderson and Gutreuter, 1983; Busacker *et al.*, 1990; Ney, 1993). 전장-체중 상관도는 회귀계수 b 값이 3.0 이상일 경우 개체군의 성장이 비교적 양호하며, 3.0 이하일 경우 서식환경 및 성장상태가 대체로 불량함을 나타낸다(Han *et al.*, 2007). 양재천에 서식하는 피라미 개체군의 회귀계수 b 값은 3.19로 기준 값 3.0보다 높게 나타났으며, 양재천의 피라미 개체군은 비교적 안정적인 생육상태를 유지하고 있는 것으로 확인되었다. 전장-체중 상관도 분석과 함께 피라미 개체군의 비만도 지수를 산출하였다. 비만도 지수는 어류의 서식을 위한 풍부한 먹이원의 유무와 먹이원을 이용한 에너지의 축적량을 나타낸다(Seo, 2005). 비만도 분석결과 기울기(Slope)가 양의 값인 0.0021로 분석되었다. 본 조사 수계의 합류하천인 탄천(Choi *et al.*, 2011)에 서식하는 피라미 개체군은 회귀계수 b 값(3.29)과 비만도 기울기(0.0027)가 본 조사결과보다 다소 높은 것으로 확인되었다. 따라서 과천시에 위치한 양재천 상류 복원구간 보다 양재천이 합류하는 탄천의 수환경 및 먹이자원이 피라미 개체군의 생육에 보다 양호하게 작용하고 있는 것으로 판단된다.

4. 복원 후 양재천 특성

양재천의 어류상에 대한 과거 기록은 2005년 복원 후 Lee *et al.* (2005)과 과천환경21 실천협의회에 의해 양재

천 과천시 구간을 대상으로 2006년부터 2009년까지 실시된 생태계 모니터링이 있다(http://ebook.gccity.go.kr/20100506_171224_15). Lee *et al.* (2005)의 연구에서는 4과 9종 378개체의 어류가 출현하였으며, 과천환경21 실천협의회에 의해 실시된 모니터링은 2006년에 5과 10종 180개체, 2007년에 5과 11종 735개체, 2008년에 5과 13종 752개체, 2009년에 5과 12종 568개체, 2012년 본 조사시 5과 18종 1,503개체가 출현하였다. 과거 조사 자료와 비교시 조사지점, 조사방법, 조사횟수에 따른 차이를 배제할 수 없으나 전체적으로 출현종 및 개체수가 증가하는 양상을 나타내고 있었다(Figure 4). 우점종 및 아우점종은 2005~2006년에는 버들치가 우점하고, 붕어가 아우점하였으며, 2007~2008년에는 붕어가 우점하고 버들치가 아우점하여 유사한 군집구조를 나타내고 있었으나 2009년과 2012년에는 피라미가 우점하고 버들치가 아우점하여 상대적으로 붕어의 개체밀도가 감소한 것으로 조사되었다.

본 조사시 양재천의 우점종인 피라미와 아우점종인 버들

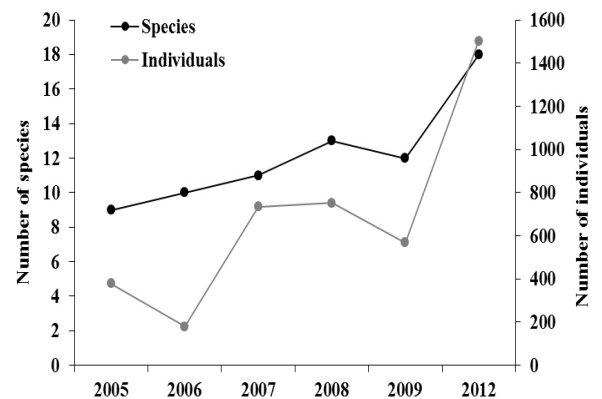


Figure 4. Comparison of number of species and individuals in Yangjae stream from 2005 to 2012

치 개체군의 구간에 따른 분포 특성을 분석한 결과, 피라미는 하류(St. 5) 구간으로 내려갈수록 풍부하게 출현하였으며, 버들치는 상류(St. 1) 구간으로 올라갈수록 풍부하였다 (Figure 5). 이는 피라미가 하천의 중·하류역, 버들치는 산간계류 또는 하천의 상류역에서 흔히 출현한다는 분포 특성 (Moon *et al.*, 2010)에 따라 St. 1구간은 상류역, St. 2와 St. 3구간은 중·상류역, St. 4와 St. 5구간은 중·하류역으로 구분되는 분포 특성이 나타났다.

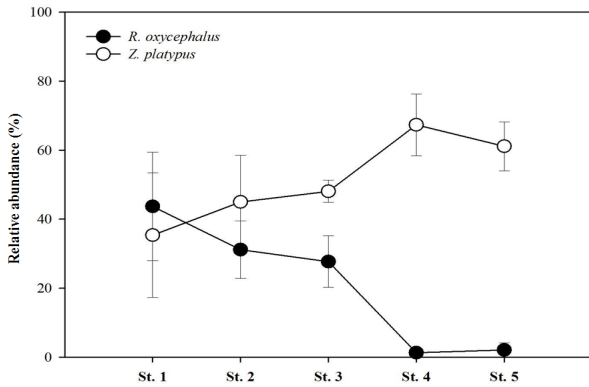


Figure 5. Multiple line and scatter error-bar by relative abundance of *R. oxycephalus* and *Z. platypus* at each site in Yangjae stream from August 2012 to April 2013

내성도와 섭식도 길드 분석결과 민감종(Sensitive species)과 충식종(Insectivore species)은 하류역으로 내려갈수록 개체수가 급격히 감소하였으며, 내성종(Tolerance species)과 잡식종(omnivore species)은 개체수가 증가하였다 (Figure 6). 종풍부도는 충식종을 제외한 나머지 모두 감소하는 경향이 나타났다. 일반적으로 하천차수가 증가할수록 민감종과 충식종은 감소하고, 내성종과 잡식종은 증가하는 경향을 나타내는 것으로 알려져 있다(Lee *et al.*, 2013). 양재천의 경우 유로연장이 짧고, 하천차수가 동일하여 하천차수별 경향과는 차이가 있으나 양재천은 서식 특성상 민감종이면서 충식종인 버들치와 내성종이면서 잡식종인 피라미의 개체수에 의해 동일한 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

양재천의 군집분석 결과 우점도지수는 평균 0.75 (St. 3, 5)~0.85 (St. 4), 다양도지수는 평균 0.95 (St. 4)~1.40 (St. 2)의 범위로 다소 불안정한 군집양상을 나타내고 있었다. 균등도지수는 평균 0.56 (St. 4)~0.69 (St. 3)로 비교적 불균등한 분포양상을 나타내었으며, 풍부도지수는 평균 1.08 (St. 4)~1.89 (St. 2)의 범위로 St. 2에서 상대적으로 풍부한 것으로 분석되었다. 우점도 및 다양도 측면에서 고려해볼 때, St. 2에서 어류의 중간 경쟁이 가장 양호하게 이루어지고 있는 것으로 생각되나 전체적으로 비교적 유사한 군집구

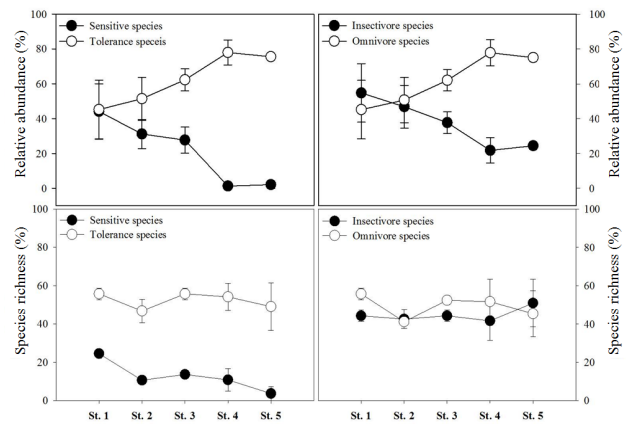


Figure 6. Multiple line and scatter error-bar by sensitive, tolerance, insectivore and omnivore species at each site in Yangjae stream from August 2012 to April 2013

조를 유지하고 있었다. 따라서 양재천 수계는 St. 1에서부터 St. 5까지 상류역에서 하류역으로 어류군집이 어느 정도 구분 되었으나 부분적으로 상·하류 간의 확연한 차이는 나타나지 않았다. 이는 조사구간별 유폭의 차이는 있으나 조사구간의 유로 길이가 짧고, 수환경이 유사하게 복원되었기 때문에 상·하류 구간의 어류군집 분포가 거의 비슷한 것으로 생각된다. 또한 잦은 하천공사에 따른 물리적인 서식처의 교란과 도심지를 통과하거나 상업지역 및 농경지나 주거지를 통과하며 발생하는 점오염원 및 비점오염원의 유입은 유기오염물의 하상 침전 및 퇴적을 발생시키며, 일부 구간의 모래로 구성된 단순한 하상구조 등은 양재천 어류의 종 다양성을 제한하는 요인으로 판단된다.

5. 주성분 분석

모든 생물군의 평가지표로 활용되는 군집분석과 하천의 건강성 평가에 활용되는 생물학적 건강성 평가(IBI)지수를 활용한 주성분 분석 결과, 2개의 요인(Axis)이 각각 51.1%, 25.3%의 고유값으로 총 고유값 76.4%로 분석되었다(Table 3, Figure 7). Axis 1에서는 M7(국내종의 총 개체수, Total number of individual as a native species)과 M4(내성종의 총 개체수 비율, Proportion of tolerant species)의 상관성이 가장 높게 나타났으며, Axis 2에서는 M2(민감종의 총 종수, Total number of sensitive species)와 우점도지수(DI), 다양도지수(H')의 상관성이 가장 높게 나타났다. 따라서 양재천 수계는 조사지점 보다는 조사시기에 따른 차이가 높게 분석되었다. 2012년 1차(8월)와 2차(10월) 조사시에는 산란에 따른 피라미와 버들치의 당년생 개체들이 높게 출현하여 우점도지수와와의 상관성에 영향을 미친 반면 2013년

Table 3. Value of community index and IBI(index of biological integrity) at each site and season in Yangjae stream from August 2012 to April 2013

Sites	St. 1				St. 2				St. 3				St. 4				St. 5			
	1st	2nd	3rd	Mean	1st	2nd	3rd	Mean	1st	2nd	3rd	Mean	1st	2nd	3rd	Mean	1st	2nd	3rd	Mean
DI	0.83	0.81	0.82	0.82	0.68	0.87	0.74	0.76	0.59	0.79	0.88	0.75	0.73	0.90	0.92	0.85	0.88	0.63	0.73	0.75
H'	1.00	1.27	1.13	1.13	1.63	1.07	1.50	1.40	1.76	1.28	1.12	1.39	1.22	0.69	0.93	0.95	0.79	1.61	1.30	1.23
EI	0.48	0.66	0.70	0.61	0.66	0.49	0.72	0.62	0.77	0.66	0.63	0.69	0.76	0.33	0.58	0.56	0.57	0.73	0.73	0.68
RI	1.43	1.22	1.21	1.29	2.24	1.56	1.87	1.89	1.81	1.17	1.22	1.40	0.85	1.38	1.02	1.08	0.72	1.83	1.62	1.39
M1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M2	3	3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M4	5	3	3	3	5	1	3	3	1	3	3	3	1	1	3	1	1	1	1	1
M5	5	3	3	3	5	1	3	3	1	3	3	3	1	1	3	1	1	1	1	1
M6	5	3	3	5	5	3	5	5	3	3	5	3	3	1	3	1	3	3	3	3
M7	5	5	1	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	1	5
M8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

DI : dominant index, H' : diversity index, EI : evenness index, RI : richness index, M1 : Total number of native species, M2 : Number of sensitive species, M3 : Number of Riffle-benthic species, M4 : Proportion of tolerant species, M5 : Proportion of sensitive species, M6 : Proportion of insectivore species, M7 : Total number of individual as a native species, M8 : Proportion as a number of abnormal individual

3차(4월) 조사시에는 이들 어종의 산란시기 이전으로 당년 생 개체의 채집이 이루어지지 않았으며, 상대적으로 개체수가 비교적 균등하게 분포하면서 다양도지수와의 상관성에 영향을 준 것으로 분석되었다. 하지만 이러한 양상은 본 조사 결과만으로는 단정 짓기 어려우며, 지속적인 모니터링을 통해 결과를 도출해야 할 것으로 생각된다. 또한 이러한 기초자료를 바탕으로 도심하천의 복원시 생물 변화양상을 고려한 하천관리가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구 수행을 위해 현지조사 및 분석에 도움을 준 인천대학교 김종명 선생님과 상지대학교 이승현 연구원에게 감사드립니다. 본 연구는 “과천시 양재천 수계 생물다양성·오염현황 연구 및 도시생태 현황도 작성 용역”과 2013년도 상지대학교의 교내연구비 지원으로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

REFERENCES

Anderson, R. and S. Gutreuter(1983) Length, weight and associated structural indices. In: L. Nielsen and D. Johnson(Eds). American Fisheries Society, Bethesda, Md, pp. 283-300.

Anderson, R.O. and R.M. Neumann(1996) Length, weight, and associated structural indices. In: B.R. Murphy and D.W. Willis(Eds). American Fisheries Society, Bethesda, Md, pp. 447-482.

Bae, K.S., M.Y. Seo, J.H. Shin, H.K. Gil and J.Y. Shin(1999) Characteristics of Water Environment and Aquatic Animal Community in Yangjae Stream, Seoul. Kor. J. Env. Hlth. Soc. 25(4) : 107-117. (in Korean with English abstract)

Bagenal, T.(1978) Methods for assessment of fish production in fresh waters. Blackwell Scientific, pp. 48-116.

Busacker, G.P., I.R. Adelman and E.M. Goolish(1990) Growth, In: Schreck C.B., Moyle P.B. (Eds) Methods for fish biology. American Fisheries Society, Bethesda Md, pp. 363-387.

Byeon, H.K. and Y.M. Son(2003) Study on the Fish Community and Microhabitat in the Bokha Stream of Namhan River System. Kor. J. Ichthyol. 15(4) : 295-302.(in Korean with English abstract)

Choi, J.K and H.G. Byeon(2009) The Fish Fauna and Community

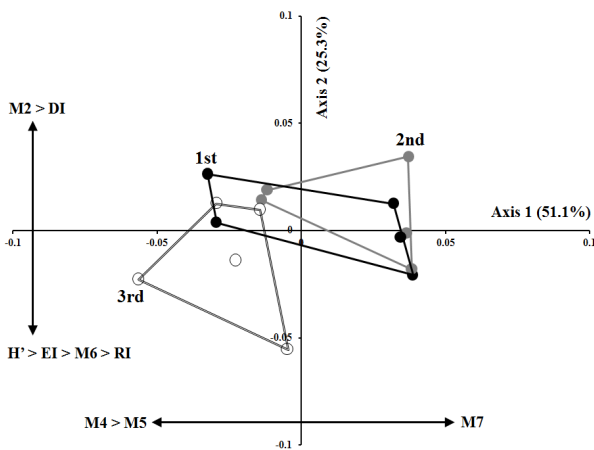


Figure 7. Principal component analysis with data in Yangjae stream from August 2012 to April 2013(1st, 2nd and 3rd : observed time, M2 : total number of sensitive species, M4 : proportion of tolerant species, M5 : proportion of omnivore species, M6 : proportion of insectivore species, M7 : Total number of individual as a native species, DI : dominant index, H' : diversity index, EI : evenness index, RI : richness index)

- of Gwangneung Arboretum. Kor. J. Limnol. 42(2): 145-152. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.K. H.K. Byeon, Y.S. Kwon and Y.S. Park(2008) Spatial and Temporal Changes of Fish Community in the Cheonggye Stream after the Rehabilitation Project. Kor. J. Limnol. 41(3) : 374-381. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.K., C.R. Jang, H.K. Byeon(2011) The Characteristic of Fish Fauna by Habitat Type and Population of *Zacco platypus* in the Tan Stream. Kor. J. of Env. Eco. 25(1) : 71-80. (in Korean with English abstract)
- Cummins, K.W.(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, S.C., H.Y. Lee, E.W. Seo, J.H. Sim and J.E. Lee(2007) Fish Fauna and Length-Weight Relationships for 9 Fish Species in Andong Reservoir. Kor. J. Life Sci. 17(7): 937-943. (in Korean with English abstract)
- Jeon, S.L.(1980) Distribution about Korean fresh water fish. Univ. of Chung-ang, pp. 30-72. (In Korean)
- 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.
- Kim, H.B. and K.S. Ahn(2006) An Assessment on Vegetation and Fish Diversity in Natural Urban Stream. Kor. J. Wet. Soc. 8(2) : 53~64. (In Korean with English abstract)
- Kim, H.J., S.J. Lee and K.G. An(2010) Comparative Analysis of Ecological Health Conditions Before and After Ecological Restoration in Changwon Stream and Nam Stream. Kor. J. of Limnol. 43(2) : 307-318. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S. and J.Y. Park(2002) Freshwater fishes of Korea. Kyohak Press Co., Seoul, 465pp. (in Korean)
- Kim, I.S.(1997) Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korean. Vol. 37 Freshwater fishes. Ministry of education, 518pp. (in Korean)
- 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, 512pp. (in Korean)
- Kim, I.S., M.K. Oh and K. Hosoya(2005) A New Species of Cyprinid Fish, *Zacco koreanus* with Redescription of *Z. temminckii*(Cyprinidae) from Korea. Kor. J. Ichthyol. 17(1) : 1-7.
- Kim, J.S., J.H. Chae and T.H. Koo(2003) Variation of Bird Community after Implementation of Close-to-Nature River Improvement Techniques in the Yangjae Stream. Kor. J. Limnol. 36(1) : 74-82. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.S. and T.H. Koo(2005) Comparison of Bird Communities Between Ecological Restoration Area and Non-restoration Area in the Yangjae Stream, J. Kor. Env. Res. & Reveg. Tech. 8(4) : 1-11. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.H., S.H. Hong and J.N. Bae(2004) A Study on the Nature-friendly Management Regarding the User Pattern of Yangjae Stream. Kor. J. Env. Eco. 18(3) : 306-315. (in Korean with English abstract)
- Lee, D.J., H.K. Byeon and J.K. Choi(2009) Characteristics of Fish Community in Gap Stream by Habitat Type. Kor. J. Limnol. 42(3) : 340-349. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.G., C.R. Jang and J.K. Choi(2013) The Characteristics of Fish Fauna by Habitat Type and Population of *Zacco platypus* in the Hongcheon River. Kor. J. Env. Eco. 27(2) : 230-240. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.Y., J.K. Kim, D.Y. Bae and K.G. An(2005) Biological Assessments Using Fish Assemblages at the Restored and Non-restored Reaches of Yangjae Stream. Proceedings of the Joint Conference of KSWW & KSWQ in 2002, Autumn, Kim Dae Jung Convention Center, Gwangju, pp. 86-92.(in Korean with English abstract)
- Lee, S.H., H.G. Lee, H.S. Shin and J.K. Choi(2012) The Characteristic of Fish Fauna and Distribution by Habitat Type in the Yanghwa Stream of the Namhan River Basins. Kor. J. Env. Eco. 26(6) : 884-891. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.H., H.G. Lee, S.J. Park, S.H. Lee and J.K. Choi(2013) Distribution Characteristics of Fish Community to Stream Order in Namhan River Watershed. Kor. J. Limnol. 46(Special issue) : 100-115. (in Korean with English abstract)
- Lee, Y.H., B.H. Kang, C.S. Na, G.Y. Yang, T.G. Min and S.H. Hong(2011) Herbal Flora and Succession of Stream Under Management Conditions After its Restoration. Kor. J. Weed. Sci. 31(1) : 49-70. (in Korean with English abstract)
- Margalef, D. R.(1958) Information theory in ecology. Society for General Systems Research, 3: 36-71.
- McCune, B. and M. J. Mefford(1997) PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, version 6.0. MjM Software Design, Glaneden Beach, Oregon.
- McNaughton, S.J.(1967) Relationship among functional properties of California Grassland. Nature 216 : 114~168.
- Ministry of Environment(2010) Water ecosystem health investigation and assessment final report. National Institute of Environmental Reaserch. (in Korean)
- Moon, W.K., J.H. Han and K.G. An(2010) Fish Fauna and Community Analysis in Heuck Stream Watershed. Kor. J. Limnol. 43(1) : 69-81. (in Korean with English abstract)
- Nelson, J.S.(2006) Fishes of the world (4th ed.). Jhon Wiely & sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 601pp.
- Ney, J.J.(1993) Practical use of biological statistics. Inland fisheries management of North American Fisheries Society. Bethesda, Md, pp. 137-158.

- Park, J.W. and H.S. Ma(2003) Evaluation of Stream Naturalness and Vegetation of Yangjae Stream. *J. Agr. & Life Sci.* 37(2) : 57-70. (in Korean with English abstract)
- Park, J.Y., S.H. Kim, M.H. Ko, M.K. Oh and J.C. Shin(2009) Change of Ichthyofauna and Fish Community on Natural Stream Restoration in Jeonju-Chon Stream, Jeollabuk-do, Korea. *Kor. J. Env. Eco.* 23(5) : 381-391. (in Korean with English abstract)
- Park, S.A. and M.W. Lee(2008) Stream Restoration Guidelines by Evaluation of Fish Habitat and Introducing of the Keystone Species. *J. Kor. Env. Res. & Reveg. Tech.* 11(4) : 24-36. (in Korean with English abstract)
- Pielou, E.C. J.(1966) The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* 13 : 131-144.
- Rutherford, D.A., A.A. Echelle and O.E. Maughan(1987) Changes in the fauna of the little river drainage, south-eastern Oklahoma, 1948-1955 to 1981-1982: Test of the Hypothesis of environmental degradation. *Community and evolutionary ecology of north American stream fishes.* Univ. of Oklahoma, p.17.
- Seo, J.W.(2005) Fish Fauna and Ecological Characteristics of Dark Chub (*Zacco temminckii*) Population in the Mid-Upper Region of Gam Stream. *Kor. J. Limnol.* 38(2): 196-206. (in Korean with English abstract)
- Shannon, C.E. and W. Weaver(1949) The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, pp. 233.
- Shin, J.Y.(1999) Analysis of Vegetation Variation after the Rehabilitation Treatment of Stream. *J. Kor. Env. Res. & Reveg. Tech.* 2(3) : 10-17. (in Korean with English abstract)
- Yoon, H.N.(2000) Studies on the inhabitation limiting factors of the genus *Zacco* in Korea. Master's thesis, Univ. of Sangmyung, Seoul, Korea, 80pp. (in Korean)
- <Internet URL>
http://ebook.gccity.go.kr/20100506_171224_15 (Oct. 2015)
<http://water.nier.go.kr/main/mainContent.do>, (Aug. 2015)