

가평천 상류역 어류군집의 장기변동^{1a}

윤석진² · 최준길² · 이황구^{2*}

Long-Term Variation of the Fish Community in the Upper Region of the Gapyeong Stream, Korea^{1a}

Seok-Jin Yoon², Jun-Kil Choi², Hwang-Goo Lee^{2*}

요약

2005년 4월부터 2013년 10월까지 가평천 상류역 어류군집의 장기적인 변화를 조사하였다. 조사기간 동안 출현한 어종은 총 6과 17종 이었으며, 우점종은 *Zacco koreanus*(상대풍부도 59.9%), 아우점종은 *Pungtungia herzi*(8.5%) 이었다. 한국고유종은 *Coreoleuciscus splendidus*와 12종으로 확인되었다. 법적보호종은 멸종위기야생생물 II 급인 *Pseudopungtungia tenuicarpa*와 *Gobiobotia brevibarba* 등 2종으로 조사되었으며, 천연기념물은 *Hemibarbus mylodon* 1종이었다. 가평천의 수질등급은 최근 9년간 환경부 기준고시에 의거할 때 ‘매우 좋음’ 등급을 유지하고 있었다. 육식어종인 *Coreoperca herzi*의 개체수는 감소하고, 잡식어종인 *Zacco platypus*는 증가하는 경향을 나타내었다. 군집분석 결과 우점도지수는 0.58~0.86, 다양도지수는 0.94~1.77, 풍부도지수는 0.99~2.39의 범위로 나타났다. Rarefaction curve를 이용하여 연도별 기대 출현종수를 분석한 결과 151개체의 표본에서 예상되는 종은 최대 12종(2005), 최소 5종(2007)으로 나타났다. 가평천 상류역의 *Z. koreanus* 개체군을 대상으로 전장-체중 상관관계를 분석한 결과 회귀계수 b값은 연평균 3.29±1.11, 비만도는 0.0034±0.0021로 안정적인 개체군과 양호한 생육상태를 유지하고 있었다.

주요어: 군집분석, Rarefaction curve, 전장-체중 상관관계

ABSTRACT

Long-term variation of the fish community in the upper region of Gapyeong Stream was investigation from April, 2005 to October, 2013. The collected species during the survey period were 17 species belonging to 6 families. Dominant species was *Zacco koreanus*(Relative abundance 59.9%) and subdominant species *Pungtungia herzi*(8.5%). Korea endemic species were 12, including *Coreoleuciscus splendidus*. The species of *Hemibarbus mylodon* was identified as natural monument, and *Pseudopungtungia tenuicarpa* and *Gobiobotia brevibarba* were endangered species. Water quality assessment of Gapyeong Stream, had lately maintained the rating of "very good" for nine years, based on the Ministry of the Environment standards notice. It was found that there was a tendency for populations which is *Coreoperca herzi* carnivorous species decreases, increases omnivorous species *Zacco platypus*. As a result of community analysis, dominant index was 0.58 ~ 0.86, diversity index was 0.94 ~ 1.77 and richness index was 0.99 ~ 2.39. As a result of using the Rarefaction

1 접수 2014년 1월 20일, 수정(1차: 2014년 6월 18일, 2차: 2014년 8월 6일), 게재확정 2014년 8월 7일

Received 20 January 2014; Revised(1st: 18 June 2014, 2nd: 6 August 2014); Accepted 7 August 2014

2 상지대학교 생명과학과 Dept. Biological Science, Sangji Univ., 83 Sangjidae-gil, Wonju-si, Gangwon-do(220-702), Korea

a 이 논문은 국가장기생태 사업 과제의 지원 및 2013년도 상지대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

* 교신저자 Corresponding author(morningdew@sangji.ac.kr)

curve, were analyzed occurrence species expected each year, number of species is estimated from a sample of 151 individuals, up to 12(2005) was at least 5(2007) species. The regression coefficient (b) in relation to length-weight on *Z. koreanus* population were annual average 3.29 ± 1.11 , condition factor slope 0.0034 ± 0.0021 , which maintained good growth condition and stabilized population.

KEY WORDS: COMMUNITY ANALYSIS, RAREFACTION CURVE, LENGTH-WEIGHT RELATIONSHIP

서론

산업화 이후 인위적인 간섭에 의한 하천생태계 교란은 심각한 상태에 이르렀고, 양식기술과 교통의 발달로 하천간 어류의 분포상과 어류군집에 있어 많은 변화가 나타나고 있는 실정이다(Kang *et al.*, 2011). 유럽의 경우 어류가 멸종 위기에 처하게 되는 원인을 보와 제방의 설치 및 하천 직강화 등의 물리적 변형에 따른 서식처 파괴, 수질오염, 유입종의 번식 등으로 정리하고 있다(Kirchhofer and Hefti, 1996). 하천의 보(weir) 건설은 건천화 되는 소하천에 소(Pool)를 형성하여 어류에게 최후의 피난처로서의 역할을 할 수 있지만(Ministry of Environment, 2011), 보 또는 소형 댐이 하류지역에 건설될 경우 수체 내 유기물 및 영양염류를 증가시켜 화학적 수질 악화 및 부영양화 현상을 초래한다(Gleick, 2001; Ministry of Environment, 2011). 담수어류는 물리적인 조건에 따라 서식하는 종이 다르며, 종 특이성에 의해 먹이습성, 서식지의 형태, 하상재료의 구성 등에 따라 선호하는 최적의 서식장소가 다르다(Hur *et al.*, 2011). 담수생태계에 서식하는 어류는 지각변동과 같은 우연적인 사건이 없는 한 제한된 수역에서 항상 서식하며, 서로 다른 환경 조건에 적응하게 되어 지역마다 다른 종 특이성이 나타나게 된다(Kim, 1997). 이러한 고유종의 존재는 오랜 세월 특정 지역의 기후와 서식환경에 적응하여 왔으므로 환경 변화를 평가하는데 지표생물로 이용될 수 있다. 지표생물로서 가치가 높은 어류는 기타 수생생물에 비하여 생활사가 길기 때문에 장기적인 수환경 변화에 대한 영향을 잘 반영하며(Yang *et al.*, 2012), 하천생태계의 상위소비자로서 이동성이 크고 물리·화학적 서식지 변화에 민감하게 반응한다(Son *et al.*, 1997). 또한 수온변화에 매우 민감하여 기후변화로 인한 수온상승의 정도를 파악하는데 매우 유용한 지표가 될 수 있다(Kim and Jang, 1994). 이러한 지표생물의 장기모니터링은 점진적인 생태계의 미묘한 변화 과정과 기작을 파악할 수 있으며, 또한 예기치 못한 생태계의 변화, 즉 산불의 발생이나 각종 천재지변 등에 의한 생태계 파괴와 그 영향 등을 파악할 수 있다(Lee *et al.*, 2009). 또한 생물적, 비생물적 요인간의 생태학적 상호관계의 파악은 단기적 연구를 통해서 이루어질 수 없으므로 복잡한 생태계

변화의 양상을 파악할 수 있다는 점에서 가치가 높으며, 그 필요성을 인정받고 있다(Spellerberg, 1991).

북한강수계에 속하는 가평천은 경기도 가평군 북면 적목리에서 발원하여 34.82km를 유하한 뒤 가평읍 읍내리에서 북한강과 합류되는 하천이며, 가평천 상류 명지산 일대는 매우 청정한 지역으로 보존 및 관리되고 있다(Bae *et al.*, 2003). 본 조사지점은 가평천의 상류지역으로 상류하천의 특성을 가지고 있으나 연중 일정 유량을 유지하기 위해 보가 설치되어 있으며, 보에 의해 일정 수심이 유지되어 여름철 휴양객들의 물놀이 공간으로 이용된다.

과거 가평천의 어류상에 관한 연구는 Nam(1997)에 의해 가평천의 어류상과 군집구조, Choi *et al.*(2011a)의 가평천 상류역의 어류상과 참갈겨니의 개체군 특징이 이루어진 바 있다. 본 연구는 2005년부터 2013년까지 가평천 상류지역 일대의 어류상과 어류군집에 대한 모니터링을 수행하였으며, 장기적인 어류상 변화를 관찰하였다. 따라서 최근 9년간 가평천의 어류상 변화와 인위적 및 자연적인 교란에 따른 어류군집의 변화 추이를 파악하여 장기적인 하천생태계 연구의 기초자료를 제공하고자 하였다.

연구방법

1. 조사지점 및 조사시기

1) 조사지점

조사 하천인 가평천은 명지산과 백운산에서 발원한 지류가 합쳐져 가평천을 이루며, 가평읍 읍내리에서 북한강으로 유입된다. 조사지점은 경기도 가평군 북면 도대리(명지산 입구) 일대의 가평천 상류 수역에서 1개 지점을 선정하여 조사를 실시하였다(Figure 1).

2) 조사시기

현장 조사시기는 2005년부터 2013년까지 매년 4월, 5월, 6월, 8월, 10월 말일에 실시하였으며, 2007년은 10월 조사만 수행하였다(2005년부터 2009년까지는 Choi *et al.*(2011a)의 기록을 인용).

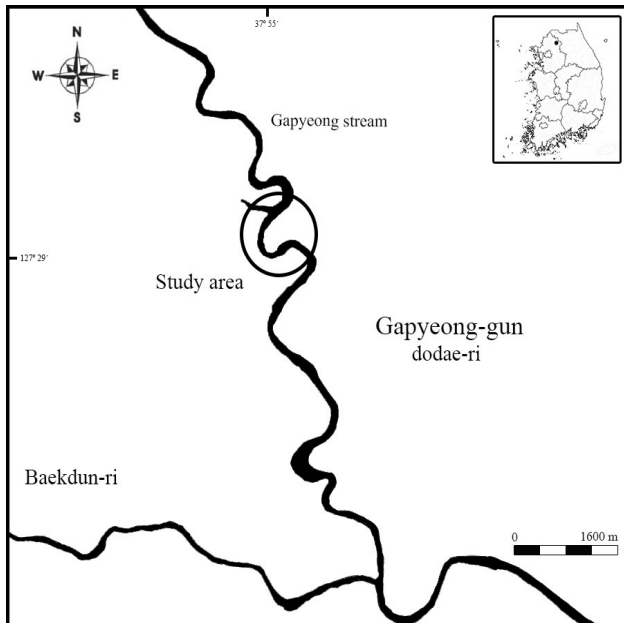


Figure 1. The map showing the study site in the Gapyeong stream

2. 조사방법

1) 어류의 채집 및 분류

어류의 채집은 정량조사를 위하여 투망(7mm×7mm)과 족대(4mm×4mm) 조사를 각각 15회 40분간 실시하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정 후 대부분 방류하였고, 일부 개체는 10% Formalin 용액으로 고정한 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.

2) 이화학적 수질특성

조사지점의 이화학적 수질은 2005년 1월부터 2013년 9월까지 환경부에서 운영 관리하는 물환경정보시스템의 월별자료를 수집하여 분석하였다. 자료 분석에는 수온(WT), 수소이온농도(pH), 용존산소량(DO), 생물학적 산소요구량(BOD), 전기전도도(EC), 부유물질(SS), 영양염류(T-N, T-P) 등이었다.

3) 군집분석

군집분석은 매년 조사지점에서 출현한 종과 개체수를 대상으로 우점도(McNaughton, 1967), 다양도(Shannon-Weaver, 1949), 풍부도(Margalef, 1958)를 산출하였다.

4) Rarefaction curve

서식 종수에 대한 현장조사의 오차를 줄이기 위하여 실제 관찰 값에서 개체군 크기에 따른 종수의 기대값을 BioDiversity Pro(V2)를 이용하여 분석하였다.

5) 전장-체중 상관관계

연도별 출현한 참갈겨니(*Zacco koreanus*)를 대상으로 전장과 체중을 측정하여 참갈겨니 개체군의 전장-체중 상관도와 비만도 지수를 분석하였다. 어류의 전장-체중 상관도와 비만도 지수는 어류의 건강상태 및 생식능력의 정도를 파악할 수 있으며, 서식처 등급, 수질, 먹이 이용능력 등의 다양한 정보를 제공하는 지표로 사용된다(Anderson and Gutreuter, 1983; Busacker *et al.*, 1990; Ney, 1993).

· Length-weight relationship

$$W = aTL^b \quad (W: \text{weight}, TL: \text{Total Length}, a, b = \text{parameter})$$

· Condition factor (K value)

$$K = W/L^3 \times 10^5 \quad (\text{Anderson and Neumann, 1996})$$

결과 및 고찰

1. 이화학적 수질특성

최근 9년간의 자료에 기반을 둔 가평천의 수질 변화 분석 결과는 Table 1과 같다. 연평균 수온은 $12.8 \pm 0.9^\circ\text{C}$ 로 나타났다. 여름철 수온이 증가하는 6~8월 사이는 $16.3 \sim 27.0^\circ\text{C}$ 의 범위로 연평균치보다 높게 나타났으며(Figure 2), 가뭄에 의한 건천화로 강수량이 가장 적었던 2012년은 8월 수온이 27.0°C 로 가장 높게 나타났다. 어류가 서식하기에 적절

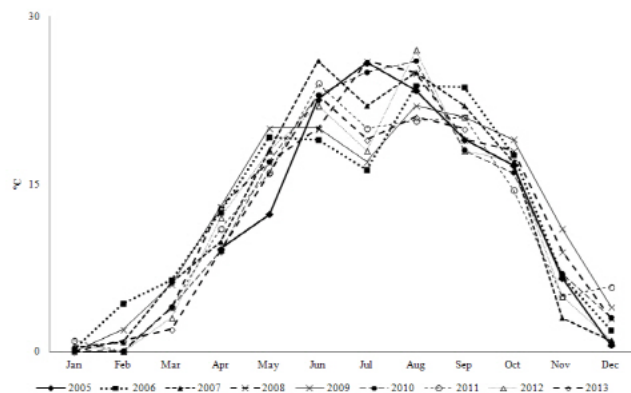


Figure 2. Water temperature at the Gapyeong stream from 2005 to 2013

Table 1. Environmental factors of the survey area in the Gapyeong stream from 2005 to 2013 (Year mean±SD)

Year	WT(°C)	pH	DO(mgL ⁻¹)	BOD(mgL ⁻¹)	EC(μS/cm)	SS(mgL ⁻¹)	T-N(mgL ⁻¹)	T-P(mgL ⁻¹)
2005	15.1±8.5	7.7±0.3	10.8±2.2	0.5±0.3	59.2±9.5	0.6±0.3	1.93±0.52	0.038±0.018
2006	12.6±8.4	7.2±0.5	10.3±3.9	0.4±0.2	66.8±12.7	0.5±0.1	1.90±0.50	0.034±0.021
2007	12.6±10.1	7.5±0.6	11.4±2.6	0.5±0.2	65.0±9.5	0.9±0.8	1.86±0.59	0.043±0.018
2008	12.8±9.4	7.8±0.4	11.4±2.2	0.4±0.3	65.5±12.5	0.6±0.3	1.97±0.64	0.021±0.011
2009	12.9±8.1	7.4±0.4	11.9±2.3	0.3±0.2	64.6±15.2	0.9±0.3	1.59±0.30	0.027±0.014
2010	12.3±9.7	7.2±0.4	10.7±2.7	0.3±0.2	57.9±19.8	1.0±0.5	1.73±0.43	0.014±0.013
2011	11.9±8.6	7.2±0.5	11.8±2.8	0.5±0.3	60.5±12.5	1.2±0.6	2.37±0.61	0.015±0.011
2012	12.9±9.1	7.6±0.2	11.9±2.9	0.6±0.8	74.3±71.5	1.2±2.2	2.21±0.94	0.018±0.013
2013	12.3±9.4	7.4±0.3	11.0±2.5	0.8±0.5	53.6±7.6	0.5±0.2	1.64±0.21	0.017±0.02

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

한 수소이온 농도(pH)는 6.5~8.5 이내로 알려져 있다(Park *et al.*, 1995). 2005년부터 2013년까지의 pH는 7.2~7.8 (7.4±0.2)의 범위로 어류가 서식하기에 적합한 범위 내에서 변동하였으며, 계절적인 변화는 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다. 용존산소는 3mgL⁻¹ 이하일 때 어류 성장에 현저한 제한을 주는 것으로 알려져 있으며(Kim *et al.*, 2012), 2mgL⁻¹ 이하로 떨어질 경우 내성이 없는 민감종은 용존산소가 풍부한 다른 지역으로 이동하거나 폐사하게 된다(Klyashtorin, 1976). 가평천의 우점종으로 나타난 참갈겨니는 산간계류에 서식하는 민감종(Sensitive species)이며, 최소 6.1mgL⁻¹의 용존산소가 필요한 것으로 알려져 있다(Seo *et al.*, 2008). 9년간 조사된 가평천의 용존산소는 10.3~11.9mgL⁻¹의 범위로 과포화상태(8.5mgL⁻¹)를 유지하고 있었으며, 높은 용존산소를 요구하는 민감종이 서식하기에 적합한 것으로 나타났다. 월별 용존산소의 변화는 수온이 상승하는 5월부터 9월까지 4.5~12.5mgL⁻¹, 수온이 하강하는 10월부터 4월까지 9.8~18.8mgL⁻¹의 범위로 수온이 낮은 겨울과 초봄에 용존산소가 증가하는 것으로 나타났다. 유기물 오염정도를 판단하는 수질변수인 생물학적 산소요구량(BOD)은 연평균 범위 0.3~0.8(0.4±0.2)mgL⁻¹로 우리나라의 하천 생활환경기준에 의거할 때 매우 좋음(1a등급)에 해당했다. 가평천이 유입되는 한강분류의 경우 생물학적 산소요구량은 집중강우가 있는 여름철에 계절적 변동이 나타나며, 강수량이 증가할 경우 BOD의 농도가 희석효과에 의해 봄과 겨울에 비해 낮은 값이 나타난다(Cho *et al.*, 2012). 하지만 가평천 상류역의 생물학적 산소요구량의 계절적인 변동은 유의하게 나타나지 않았으며, 이는 상류역의 오염정도가 매우 양호한 상태를 유지하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 전기전도도(EC)는 평균 범위 53.6~74.3 (63.0±6.0)μS/cm, 부유물질(SS)은 평균

0.5~1.2(0.8±0.3)mgL⁻¹로 나타났으며, 영양염류인 T-N, T-P는 각각 1.91±0.25mgL⁻¹와 0.0262mgL⁻¹로 유기물의 유입이 적고 오염원의 영향을 받지 않는 산간계류의 특성을 반영하였다. 가평천의 수소이온농도, 용존산소, 생물학적 산소요구량, 부유물질은 지난 9년간 우리나라 수질기준(2010년 1월 환경부 기준고시)에 의거할 때, 1a(매우 좋음) 등급을 유지하고 있었으며, 가평천 상류에 분포하는 어류가 서식하기에 적합한 수환경을 유지하고 있는 것으로 판단된다. 최근 5년간 가평천의 강수량은 1,299~2,103mm의 범위로 2010년이 가장 적었고, 2011년에 가장 높게 나타났으며, 연평균 강수량은 1,489±344mm를 기록하였다. 한편, 2012년은 1월부터 7월까지 월평균 강수량이 52±54mm로 최근 5년간 1월부터 7월까지의 월평균 강수량 76±75mm 보다 낮게 기록되었으며, 그 결과 2012년 1월부터 7월 사이에 하천의 유량이 가장 빈약하였을 것으로 판단된다(Figure 3).

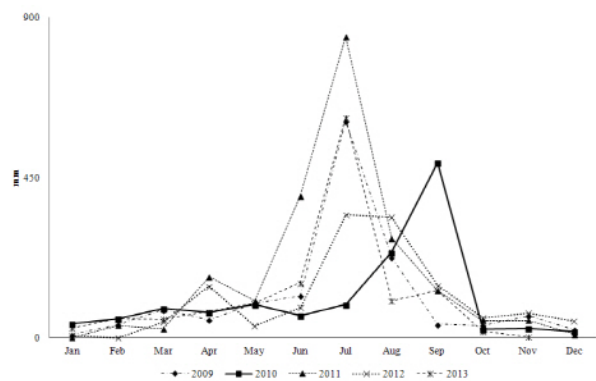


Figure 3. Precipitation at the Gapyeong Stream from 2009 to 2013

2. 어류상

9년간 가평천에서 채집된 어종은 총 6과 17종 2,138개체가 조사되었다(Table 2). 조사기간 중 2005년부터 2009년까지 Choi *et al.*(2011a)의 자료를 인용하였으며, 1996년은 Nam(1997)의 자료를 참고하였다. 과별 종수는 잉어과(Cyprinidae)가 10종으로 전체 어종의 58.8%를 차지하였으며, 미꾸리과(Cobioidea) 3종(17.6%), 메기과(Siluridae), 통가리과(Amblycipitidae), 꺾지과(Centropomidae), 동사리과(Odontobutidae) 등이 각각 1종(5.9%)씩 출현하였다. 전체 출현종 중 잉어과에 속하는 어종이 가장 풍부하였는데 이는 한강수계에 서식하는 담수어의 일반적인 현상이며 (Choi and Byeon, 2009), 한반도의 서·남해로 흐르는 하천에서 볼 수 있는 담수어류상의 특징이다(Jeon, 1980). 출현 어종 중 법적 보호종은 멸종위기야생생물 II급인 가는돌고기와 돌상어 등 2종이 확인되었으며, 천연기념물 제 259호인 어름치 1종이 조사되었다. 이중 가는돌고기는 2006년을 제외한 모든 조사기간 동안 출현하였으며, 돌상어는 2010년 1개체 출현 이후 조사되지 않아 면밀한 서식 현황을 파악하기 위해서는 향후 정밀조사 및 조사지역의 확대가 필요할 것으로 생각된다. 돌상어는 돌이 쌓인 여울지역에서 높은 비율로 서식하는 것으로 알려져 있으며(Ko *et al.*, 2011), 가평천 상류역인 본 조사지점은 빠른 여울과 호박돌, 큰돌, 자갈(Cummins 1962)의 비율이 높아 돌상어가 서식하기에 적합한 물리적 환경을 가지고 있다. 그러나 2010년 이후 돌상어는 조사되지 않았으며, 2008년 어도공사에 따른 물리적인 환경변화가 돌상어의 개체수 감소에 영향을 주었을 가능성도 있다. 출현어종 중 한국고유종은 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), 돌상어, 어름치, 배가사리(*Microphysogobio longidorsalis*), 가는돌고기, 참갈겨니, 참종개(*Iksookimia koreensis*), 새코미꾸리(*Koreocobitis rotundicaudata*), 미유기(*Silurus microdorsalis*), 통가리(*Liobagrus andersoni*), 꺾지(*Coreoperca herzi*), 동사리(*Odontobutis platycephala*) 등 총 12종(채집 종수의 70.5%)으로 확인되었다. 한국산

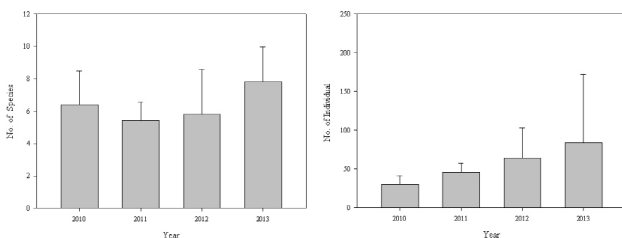


Figure 4. Mean (\pm SD) species number and individual number of the Gapyeong Stream from 2010 to 2013

담수어의 고유종 비율은 28.8%로 알려져 있으며(Kim *et al.*, 2005), 가평천 상류역은 우리나라 담수어의 고유종 빈도보다 매우 높은 고유종 비율을 유지하고 있었다. 고유종의 존재는 해당 지역의 생물상을 특징짓는 기준이 되는 경우가 많으며(Jeon, 1980), 연도별 고유종 비율을 비교한 결과, 29.4~70.6%의 범위로 연평균 51.6%를 유지하고 있었다. 연도별 출현한 어종 중 개체수 비율이 가장 높게 나타난 어종은 참갈겨니로 총 1,280개체(59.9%), 평균 142 ± 44 개체로 우점하고 있었다. 그다음으로 돌고기가 총 182개체(8.5%), 평균 20 ± 13 개체, 쉬리가 총 177개체(8.3%), 평균 22 ± 11 개체로 우세하게 서식하고 있었다. 호박돌과 큰돌의 비율이 높은 상류역의 산간계류에서는 참갈겨니가 높은 비율로 우점하는 특징이 나타나며(Hur *et al.*, 2011), 조사지역인 가평천 상류역 역시 이와 유사한 결과를 나타내었다. 2010년부터 2013년까지 최근 4년간 출현한 어류는 평균 5~8종, 편차범위 1~3종, 채집된 개체수는 34~126개체, 편차범위 7~84개체로 나타났다(Figure 4). 2011년의 평균 출현종수가 5.4종으로 가장 낮게 나타났고, 2013년에 평균 7.8종으로 가장 높게 나타났다. 평균 출현 개체수는 2010년에 가장 적게 나타났으며, 연도별 개체수가 증가하는 양상을 나타내었다. 최근 9년간 특정 개체군의 개체수를 분석한 결과 상위소비자인 육식어종 꺾지의 개체수는 감소하는 경향을 보이는 것으로 분석되었고, 잡식어종인 피라미는 2008년 이후 개체수가 증가하고 있는 것으로 분석되었다(Figure 5). 꺾지는 2007년 이후부터 개체수가 감소한 것으로 나타났으나 2007년은 가을철 1회 조사만 수행되어 개체수 감소 요인과는 연관성이 낮다. 이후 2008년 4월부터 6월까지 어도공사에 따른 하상 및 수환경이 교란되었으며, 어도 설치 후 정수역 형성 등의 환경 변화가 나타나 꺾지의 안정적인 생활과 서식처에 영향을 미친 것으로 판단된다. 한편, 피라미는 하천 중·하류에서 흔히 볼 수 있는 어종으로 하천생태계 교란시 개체수가 증가하는 것으로 알려져 있으며(Choi *et al.*, 2011b), 대형댐 건설 후 환경변화에 따른 교란이 발생할 경우, 참갈겨니에서 피라미로 우점종이 변화된 연구결과 (Choi *et al.*, 2005; Choi *et al.*, 2006; Jang

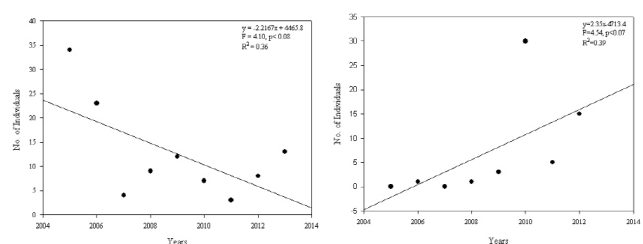


Figure 5. Change of individual numbers for *Coreoperca herzi* (A) and *Zacco platypus* (B) population in the Gapyeong Stream from 2005 to 2013

et al., 2007)가 있다. 따라서 가평천 상류에 서식하는 피라미 개체군의 증가는 가평천 수계의 물리적 교란요인 및 인간의 간섭에 따른 환경오염을 배제할 수 없으며, 좀 더 면밀한 조사가 필요할 것으로 판단된다. 1994년부터 1996까지 조사한 가평천 상류역 일대의 어류상(Nam, 1997)은 총 3과 11종으로 기록되어 있으며(Table 2), 본 조사에서 출현하지 않은 종은 돌상어 1종이었다. 과거 Nam(1997)의 조사결과

에 의하면 돌마자는 가평천 수계 내에서 0.8%의 매우 희소한 분포를 보인 결과 출현하지 않은 것으로 판단된다. 반면 본 조사에서 추가로 출현한 어종은 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*), 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*), 미유기, 통가리, 동사리 등 5종이었으며, 이들 어종은 과거에도 서식하였을 것으로 추정되나 개체수가 희소하여 채집되지 않은 것으로 판단된다.

Table 2. A list and individual number of collected fish in the Gapyeong stream from 1996 to 2013

Species	¹ 96'	² 05'	² 06'	² 07'	² 08'	² 09'	10'	11'	12'	13'	Total	R.A*	Remarks**
Cyprinidae													
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	•	25	20		17	28	10	15	16	46	177	8.3	E
<i>Gobiobotia brevibarba</i>		5	1		2	3	1				12	0.6	E, e
<i>Hemibarbus longirostris</i>	•									6	6	0.3	
<i>Hemibarbus mylodon</i>	•	5			1	2			1	7	16	0.7	E, N
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	•	1	2		3	6	1		22	26	61	2.9	E
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	•												E
<i>Pseudopungtungia tenuicorpa</i>	•	13		15	13	22	5	8	9	26	111	5.2	E, e
<i>Pungtungia herzi</i>	•	45	17	23	7	12	36	5	20	17	182	8.5	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>		1									1		
<i>Zacco platypus</i>			1		1	3	30	5	15	15	70	3.3	
<i>Zacco koreanus</i>	•	194	113	110	134	148	121	147	85	228	1,280	59.8	E
Cobitidae													
<i>Iksookimia koreensis</i>	•	1	1				7	8	1		18	0.8	E
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>	•	9	3	2	3	5	1	11	8	7	49	2.3	E
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>		1									1	0.04	
Siluridae													
<i>Silurus microdorsalis</i>		4								2	6	0.3	E
Amblycipitidae													
<i>Liobagrus andersoni</i>		9	5		1	3	1	4	1	1	25	1.2	E
Centropomidae													
<i>Coreoperca herzi</i>	•	34	23	4	9	12	7	3	8	13	113	5.3	E
Odontobutidae													
<i>Odontobutis platycephala</i>		2		1				6	1		10	0.4	E
No. of Expected species		12	9	5	10	10	9	9	11	10			
No. of Family		3	6	4	4	4	4	5	5	5	6		
No. of Species		11	15	10	6	11	11	11	10	12	17		
No. of Individuals		-	349	186	155	191	244	220	212	187	394	2,138	

¹Nam, 1997; ²Choi et al., 2011a

*: R.A(Relative abundance, %)

** : E: Korea endemic species, e: Endangered species, N: Natural monument

3. 군집분석

조사지역에 서식하는 어류의 군집구조 분석을 위하여 우점도지수, 다양도지수, 종풍부도지수를 산출하였다(Table 3). 우점도지수는 0.58(2012년)~0.86(2007년)의 범위로 분석되었으며, 2007년에 가장 높은 값을 나타내었다. 하천 종류 이상의 여울이 발달한 지역에서(Hur and Seo, 2011) 수서곤충을 주로 섭식하는 참갈겨니가 가평천의 우점종으로 조사되었으며, 연평균 60.6±8.4%의 높은 상대풍부도를 나타내고 있었다. 가을 조사만 수행된 2007년의 경우, 참갈겨니의 높은 우점으로 인하여 어류의 종다양도가 낮고 상대풍부도는 높게 나타났으며, 가뭄에 의해 강수량이 감소한 2012년은 참갈겨니의 개체수 감소로 인해 낮은 우점도지수가 산출되었다. 다양도지수는 0.94(2007년)~1.77(2012년)의 범위로 2007년에 가장 낮았으며, 강수량이 감소하여 비교적 저서성 어류의 채집과 관찰이 용이했던 2012년에 종다양도가 가장 높게 나타났다. 종풍부도지수는 0.99(2007년)~2.39(2005년)의 범위로 1회만 조사된 2007년에 가장 낮았고, 2005년에 가장 높은 것으로 분석되었으며, 2008년부터 2013년까지는 평균 1.84로 유사한 종풍부도를 나타내었다. 가평천 상류역 어류의 군집분석 결과 지수값은 2012년에 비교적 안정적인 것으로 나타났으나 이는 가뭄에 의한 일시적인 군집의 변화로 우점종의 감소와 저서성 어종의 개체수 증가에 따른 결과이다. 결과적으로 최근 9년간 가평천 상류역은 어도공사와 극심한 가뭄 등의 수환경 변화 요인이 있었으나 어류군집에 있어 큰 변화는 나타나지 않았으며, 2005년부터 최근까지 유사한 군집구조를 유지하고 있는 것으로 판단되었다. 하지만 어도를 비롯한 보(weir)의 설치와 골재채취는 우수역을 정수역으로 변형시킬 수 있으며, 여울에 서식하는 저서성 어종의 서식 개체수를 감소시키는 요인으로 작용할 수 있다(Choi *et al.*, 2001). 가평천 역시 2008년 4월부터 6월까지 진행된 어도 공사는 본 조사 지점의 하상구조와 하천의 물리적인 형태를 변형 및 교란시켰으며, 이에 따라 정수역의 형성과 큰돌과 자갈 등의 하상기질을 미소서식처로 이용하는 저서성 어류의 개체수가 일시적으로 감소되었을 것으로 판단된다. 따라서 2010년 이

후 개체수 감소가 우려되는 돌상어와 여울저서성종의 서식 환경을 유지하기 위해 지속적인 어류상의 모니터링과 가평천의 생물자원유지를 위한 관리대책이 필요하다.

4. Rarefaction curve

실제 서식 종수에 대한 야외 관찰의 오차를 줄이기 위해 실제 관찰값에서 개체군의 크기에 따른 종수의 기대값인 Rarefaction curve를 분석하였다(Figure 6). Rarefaction curve는 n개체수의 표본에서 예상되는 종수를 나타내며, 표본 크기의 경향과 차이점을 나타낼 수 있고, 조사지역의 종풍부도를 비교할 수 있다(James and Rathbun, 1981; Lee *et al.*, 2004). Rarefaction curve의 분석으로 기대할 수 있는 종수와 개체수의 상대풍도에 따른 가평천 상류역의 기대출현종을 분석한 결과 돌고기, 가는돌고기, 참갈겨니, 새코미꾸리, 꺾지 등 5종은 매년 출현을 기대할 수 있는 종으로 분석되었다. 한편, 출현 빈도가 가장 낮은 버들치, 미꾸리, 미유기는 가장 희소한 종으로 나타났다. 버들치는 산간계류에 무리지어 서식하는 특성이 있으며, 본 조사지점을 서식

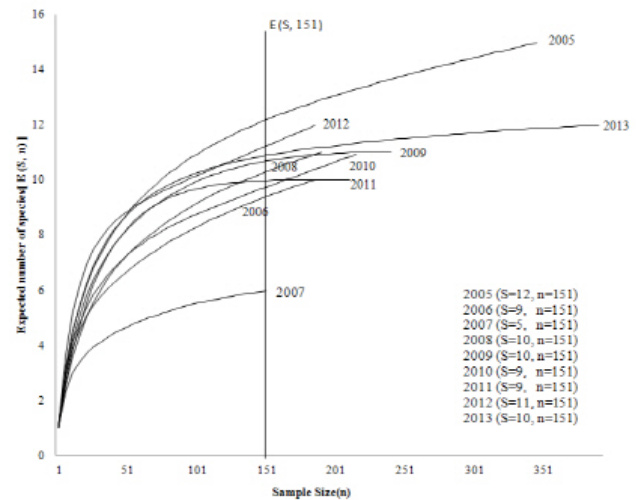


Figure 6. Rarefaction curves of Gapyeong Stream from 2005 to 2013

Table 3. Community indices in the Gapyeong Stream from 2005 to 2013

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
DI	0.69	0.73	0.86	0.79	0.72	0.71	0.76	0.58	0.77
H'	1.59	1.32	0.94	1.17	1.44	1.44	1.25	1.77	1.25
RI	2.39	1.72	0.99	1.90	1.82	1.85	1.68	1.91	1.87

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

장소로 이용하기 보다는 유량증가에 의해 하류구간으로 유하하였을 것으로 판단된다. 연도별 관찰된 어류의 개체수가 151개체로 동일하다고 예상하였을 때, 연도별 종수의 기대값은 2005년 12종, 2006년 9종, 2007년 5종, 2008년 10종, 2009년 10종, 2010년 9종, 2011년 9종, 2012년 11종, 2013년 10종으로 최대 12종 최소 5종으로 나타났다. 연도별 기대값 이상으로 출현한 희소종은 동사리, 으뜸치, 참종개, 통가리, 돌상어 등 5종이며, 멸종위기야생생물인 돌상어와 천연기념물인 으뜸치가 이에 포함되었다. 동사리, 참종개, 통가리 등은 다른 수계의 하천에서 비교적 다수 분포하나 본 조사지점에서는 하상과 유속의 교란에 의한 환경 변화 및 서식처의 훼손 등이 발생할 경우, 가장 먼저 소멸될 어종으로 판단되며, 가평천 상류역의 장기적인 어류상 모니터링의 주요 관찰 대상으로 생각된다.

5. 전장-체중 상관관계

조사지역에서 우점종으로 서식하는 참갈겨니 개체군을 대상으로 전장-체중 상관도와 비만도지수를 연도별로 분석하였다(Figure 7, Table 4). 전장-체중 상관도는 일반적으로 회귀계수 b값이 3.0 이상일 경우 개체군의 성장이 비교적 양호한 것으로 알려져 있으며, 반대로 3.0 이하일 경우 서식환경의 불량과 먹이자원의 감소 등으로 성장상태가 불량함을 나타낸다(Han et al., 2007). 가평천 상류역에 서식하는 참갈겨니 개체군의 연도별 회귀계수 b값은 2.92(2012년)~3.52(2010년)의 범위로 나타났으며, 연평균 3.29±1.11로 3.0 이상의 값으로 나타나 개체군의 성장이 양호한 것으로 분석되었다. 2008년 실시된 어도공사는 인위적 환경 및 교란으로 연평균 회귀계수 값인 3.29보다 낮은 3.24로 나타났다. 한편, 가뭄으로 인해 강수량이 감소한 2012년은 최근 9년 중 가장 낮은 2.92로 나타났고, 참갈겨니의 서식처 감소와 먹이원의 감소가 어도공사로 인한 물리적인 환경요인보다 높게 작용한 것으로 나타났다. 전장-체중 상관도와 함께 전장과 체중을 이용하여 참갈겨니 개체군의 비만도지수를 산출하였다. 비만도지수는 어류의 에너지 축적과 서식지

Table 4. Length-weight relationship parameters for *Zacco koreanus* from 2005 to 2013

	Length-weight relationship			Condition factor (K) Slope
	a	b	R ²	
05'	0.0000020	3.31	0.9872	0.0038
06'	0.0000010	3.41	0.6781	0.0039
07'	0.0000020	3.38	0.9890	0.0048
08'	0.0000030	3.24	0.9939	0.0031
09'	0.0000020	3.39	0.9817	0.0041
10'	0.0000008	3.52	0.9303	0.0052
11'	-	-	-	-
12'	0.000010	2.92	0.9201	-0.0009
13'	0.000003	3.21	0.9707	0.0020

의 먹이원 유용을 반영하며, 수질오염과 같은 외부 교란요인은 서식하고 있는 어류에 영향을 주어 낮은 K값을 반영한다(Seo, 2005). 참갈겨니의 연도별 비만도지수 분석결과 개체군의 기울기는 -0.0009(2012년)~0.0052(2010년)의 범위로 분석되었으며, 연평균 0.0034±0.0021로 양의 기울기를 나타내었다. 다만 2012년을 제외한 참갈겨니 개체군은 건강한 상태를 형성하고 있는 것으로 분석되었으며, 2012년의 비만도지수의 기울기는 음의 값으로 불량한 건강상태의 개체군을 유지하고 있었다. 낙동강 상류역의 병보천, 이안천, 보현천, 위천에 서식하는 참갈겨니를 대상으로 전장-체중 상관도와 비만도지수를 분석한 연구결과(Choi et al., 2006)에 따르면, 전장-체중 상관도의 b값은 3.10(병보천), 3.18(이안천), 3.26(보현천), 3.24(위천), 비만도지수 기울기는 0.0015(병보천), 0.0023(이안천), 0.0025(보현천), 0.0028(위천)로 분석되었다. 따라서, 한강 상류역의 가평천에 서식하는 참갈겨니가 낙동강 상류의 일부 하천에 서식하는 참갈겨니 보다 b 값이 다소 높아, 안정적인 개체군을 유지하고 있는 것으로 분석되었다. 참갈겨니는 중·상류 하천의 물의 흐름이 비교적 완만한 곳에 서식하며, 상류 계곡까지 서식하는 대표적인 산간 계류성 어종으로(Lee and Lee, 1988; Kim, 1997; Kim and Park, 2002), 우리나라 대부분의 하천에 분포하여 국내 담수어류 가운데 높은 출현빈도를 보인다. 따라서, 가평천과 같은 중·상류 수계의 수환경을 장기적으로 평가하는 지표어종으로서 가치가 높을 것으로 생각되며, 기후변화와 환경변화에 따른 서식처 교란 영향의 파악을 위해 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

Anderson, R.O. and S.J. Gutreuter(1983) Length weight and associated structural indices, pp. 283-300. In: Fisheries Techniques(Johnson, L.A. ed.). American Fisheries Society, Maryland, USA.

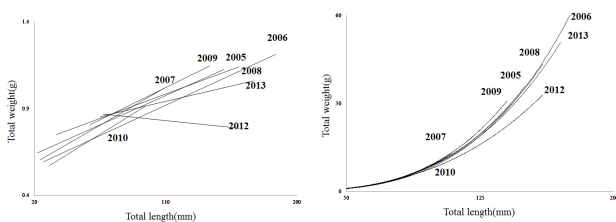


Figure 5. Change of individual numbers for *Coreoperca herzi* (A) and *Zacco platypus* (B) population in the Gapyeong Stream from 2005 to 2013

- Anderson, R.O. and R.M. Neumann(1996) Length, weight, and associated structural indices. pp. 447-482. in B.R. Murphy and D.W. Willis, editor. Fisheries Techniques, 2nd edition. American Fisheries Society Bethesda, Maryland.
- Bae, Y.J., Y.H. Jin, J.M. Hwang and V.V. Nguyen(2003) Distribution, habitat environment, and conservation of aquatic insects from the Gapyeong Creek in Gyeonggi-do, Korea. Korean Journal of Nature Conservation. 1(1): 1-25. (in Korean with English abstract)
- Busacker, G.P., L.A. Adelman and E.M. Goolish(1990) Growth, p. 363-377. In: Methods for fish biology (Schreck, C.B. and P.B. Moyle eds.). American Fisheries Society, Maryland, USA.
- Choi, E.Y., J.W. Seo and J.S. Choi(2006) Length-weight relation and Von Bertalanffy's growth model of *Zacco koreanus* population distributed in the tributaries of the Nakdong River. Korean Journal of Limnology. 39(2): 226-235. (in Korean with English abstract)
- Cho, H.S., K.R. Kim, G.C. Lim, K.S. Bae and M.H. Lee(2012) A Study on long-term variations of BOD and COD as indicators of organic matter pollution in the Han River. Korean Journal of Limnology. 45(4): 474-481. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.K., J.S. Choi, H.S. Shin and S.C. Park(2005) Study on the dynamics of the fish community in the lake Hoengseong Region. Korean Journal of Limnology. 38(2): 188-195. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.K. and H.G. Byeon(2009) The fish fauna and community of Gwangneung arboretum. Korean Journal of Limnology. 42(2): 145-152. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.K., C.R. Chang and H.K. Byeon(2011a) The fish fauna and population of *Zacco koreanus* in the upper region of the Gapyeong Stream. Korean Journal of Environment and Ecology. 25(1): 65-70. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.K., C.R. Chang and H.K. Byeon(2011b) The characteristic of fish fauna by habitat type and population of *Zacco platypus* in the Tan Stream. Korean Journal of Environment and Ecology. 25(1): 71-80. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.S., O.K. Kwon, J.H. Park and H.K. Byeon(2001) Feeding habit of *Gobiotia brevibarba* (Cyprinidae) from the Hongcheon river, Korea. Korean Journal of Ichthyology. 13(4): 230-236. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.S., S.C. Park, Y.S. Jang, K.Y. Lee and J.K. Choi(2006) Population dynamics of Korean chub(*Zacco koreanus*, Cyprinidae) in the upstream and downstream of lake Hoengseong. Korean Journal of Environment Ecology. 20(4): 391-399. (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 waters. Amer. midl. Nat. 67: 477-504.
- Gleick, P.H.(2001) Making every drop count. Scientific American. 284(2): 40-46.
- 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. Korean Journal of Life Science. 17(7): 937-943. (in Korean with English abstract)
- Hur, J.W., D.S. In, M.H. Jang, H.S. Kang and K.H. Kang(2011) Assessment of inhabitation and species diversity of fish to substrate size in the Geum river basin. Korean Society of Environmental Impact Assessment 22(6): 845-856pp. (in Korean with English abstract)
- Hur, J.W. and J.O. Seo(2011) Investigation on physical habitat condition of Korean chub(*Zacco koreanus*) in typical streams of the Han River. Korean Society of Environmental Impact Assessment 20(2): 206-214pp. (in Korean with English abstract)
- James, F.C. and S. Rathbun(1981) Rarefaction, relative abundance, and diversity of avian communities. Auk, 98: 785-800.
- Jang, Y.S., J.S. Choi, K.Y. Lee, J.W. Seo and B.C. Kim(2007) Length-weight relationship and condition factor of *Zacco platypus* in the Lake Hoengseong. Korean Journal of Limnology. 40(3): 412-418. (in Korean with English abstract)
- Jeon, S.L.(1980) Distribution about Korean fresh water fish. Univ. of Chung-ang, pp. 30-72. (In Korean)
- Kang, Y.H., S.K. Kim, G.B. Hong and H.S. Kim(2011) Change of fish fauna and community structure in the Naeseong Stream around the planned Yeongju Dam. Korean Journal of Limnology. 44(2): 226-238pp. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.A. and C.I. Jang(1994) Fish ecology. Seoul press Co., Seoul, pp. 17. (In Korean)
- Kim, I.S.(1997) Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korean Vol. 37 Freshwater fishes. Ministry of education, 133-520pp. (In Korean)
- Kim, I.S. and Y.J. Park(2002) Freshwater fishes of Korea. Kyohak Press Co., Seoul, 465pp. (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, 515pp. (In Korean)
- Kim, S.J., M.S. Shin, J.K. Kim, J.Y. Lee, K.J. Jeong, B.Y. Ahn and B.C. Kim(2012) Oxygen fluctuation monitored with high frequency in a eutrophic urban stream(the Anyang Stream) and the effect of weather condition. Korean Journal of Limnology. 45(1): 34-41. (in Korean with English abstract)
- Kirchhofer, A. and D. Hefti(1996) Conservation of endangered freshwater fish in Europe. Birkhäuserverlag, Boston. 341pp.
- Klyashtorin, L.B.(1976) The sensitivity of young sturgeons to oxygen deficiency. Journal of Ichthyology. 16: 677-681.
- Ko, M.H., S.J. Moon and I.C. Bang(2011) Study of the fish com-

- munity structure and inhabiting status of the endangered species *Gobiobotia macrocephala* and *G. brevibarba* in the Seom River, Korea. Korean Journal of Limnology. 44(2): 144-154. (in Korean with English abstract)
- Lee, D.J., C.S. Yoon, J.C. Lee, S.H. Sung, D.R. Park and S.W. Jung(2009) Fundamental investigation for long-term ecological monitoring on community of benthic macro-invertebrates in Wetland Woopo. Journal of the Environmental Sciences . 18(12): 1399-1410. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.Y and H.S. Lee(1988) Evolutionary study on the dark chub (*Zacco temminckii*). N. Geographical variation on the Karyotypes between two allelotypes. Korean Journal of Genomics 10: 93-99. (in Korean with English abstract)
- Lee, W.H., C.W. Lee, J.D. Jang and K.J. Kwon(2004) Bird diversity on area around the Ulsan mosaic landscape. Journal of Ecology and Environment. 27(6): 325-333. (in Korean with English abstract)
- Margalef, R.(1958) information theory in ecology. Gen. Syst. 3: 36~71.
- McNaughton, S.J.(1967) Relationship among functional properties of California Grassland. Nature 216: 114-168.
- Ministry of Environment(2011) Passage route survey of migratory fishes before and after the construction of weirs and the fish-way's effects. Yeongsan River environment research center, National institute of environmental research, 175pp. (In Korean)
- Nam, M.M.(1997) The fish fauna and community structure in the Kapyong Stream. Korean Journal of Limnology. 30(4): 357-366. (in Korean with English abstract)
- Nelson, J.S.(2006) Fishes of the World(3rd ed). John Wiley & Sons, New York, 467pp.
- Ney, J.J.(1993) Practical use of biological statistics, pp. 137-158. In: Inland fisheries management of north america(Kohler, C.C. and W.A. Hubert eds.). American Fisheries Society, Maryland, USA.
- Park, H.Y., J.M. Yoon, G.N. Jang and H.T. Hur(1995) Fish biology. Jungmunkag, Seoul, pp. 50. (In Korean)
- Seo, J.W.(2005) Fish fauna and ecological characteristics of dark chub(*Zacco temminckii*) population in the mid-upper region of Gam Stream. Korean Journal of Limnology. 38(2): 196-206. (in Korean with English abstract)
- Seo, J.W., I.S. Lim., H.J.Kim and H.K. Lee(2008) Status of fish inhabitation and distribution of eight abundant species in relation with water quality in streams and revers, Ulsan City. Korean Journal of Limnology. 41(3): 283-293. (in Korean with English abstract)
- Shannon, C.E. and W. Weaver(1949) The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois Press, Urbana, 233pp.
- Son, Y.M., H.B. Song, H.K. Byeon and J.S. Choi(1997) Study on the dynamics of fish community in the Lake Paldang. Korean Journal of Ichthyology. 9(1): 141-152. (in Korean with English abstract)
- Spellerberg, I.F.(1991) Monitoring ecological change. Cambridge University Press, 334pp.
- Yang, S.G., Y.C. Cho, H. Yang and E. J. Kang(2012) Characteristics of fish fauna and community structure in Yongdam Reservoir by inhabiting environment changes. The Korean Journal of Environment. Biology. 30(1): 15-25. (in Korean with English abstract)