

북한산 송추계곡 이주사업 이전 저서성 대형무척추동물 군집 특성^{1a}

왕주현² · 이황구² · 최준길^{2*}

Community Characteristics of Benthic Macroinvertebrate before the Translocation Project of Songchu Valley in Mt. Bukhansan^{1a}

Ju-hyoun Wang², Hwang-Goo Lee², and Jun-Kil Choi^{2*}

요약

본 연구는 향후 송추이주사업으로 인한 수생태계 회복의 효과에 대한 검증을 위하여 사업 전 송추계곡의 상류부터 하류 구간을 대상으로 저서성 대형무척추동물의 정밀 모니터링을 실시하여 송추이주사업 이전의 수생태계 현황 자료를 구축하고자 한다. 현지조사는 2012년 11월부터 2013년 8월까지 총 3회에 걸쳐 조사를 실시하였으며, 조사구간은 대조구간(St. 1), 이주구간(St. 2, 3), 하류구간(St. 4)의 총 4개 지점을 선정하였다. 저서성 대형무척추동물은 총 4문 5강 9목 32과 62종 3,805개체가 출현하였다. 군집분석결과 대조구간에서 우점도 0.52(±0.16), 다양도 1.95(±0.44), 균등도 0.81(±0.04), 풍부도 2.25(±0.85)로 나타나 상대적으로 가장 안정된 군집구조를 유지하는 것으로 분석되었다. 출현 종수와 개체수의 EPT-비율은 대조구간에서 각각 67.60(±5.66)%, 66.30(±2.06)%로 가장 높게 나타났으며, 하류구간으로 갈수록 감소하는 것으로 분석되었다. 기능군분석 결과 섭식기능군은 하류구간으로 갈수록 shredders의 비율은 감소하고 gathering-collectors와 filtering-collectors의 비율은 증가하였으며, 서식기능군은 하류구간으로 갈수록 sprawlers의 비율은 감소하고 burrows의 비율은 증가하는 것으로 나타났다. 하천오수생물지수(KSI)를 분석한 결과 대조구간은 평균 0.75(±0.10)로 A등급으로 나타났으며, 하류구간으로 갈수록 평균 지수값이 증가해 B등급으로 하락하는 것으로 평가되었다.

주요어: 군집구조, EPT, 기능군, KSI

ABSTRACT

This study was performed to investigate and monitor changes in aquatic ecological communities, particularly benthic macroinvertebrates from the upper reaches to the down reaches of Songchu valley before the project of Songchu valley translocation initiates. We aimed to verify the translocation effects of the valley on the aquatic macroinvertebrate communities. A field investigation was conducted over three rounds from November 2012 to August 2013. A total of four sites were selected: one to represent the control site (St. 1), two for the translocation sites (St. 2, 3), and one for the downstream sites (St. 4). Our quantitative sampling revealed that the total number of benthic macroinvertebrates were 3,805, which belong to 62 species, 32 families, 9 orders, 5 classes and 4 phyla. As a result of the community analysis at the control site, dominant index was 0.52(±0.16), diversity index was 1.95(±0.44), evenness index was 0.81(±0.04), and richness index was 2.25(±0.85). Thus,

1 접수 2015년 9월 25일, 수정(1차: 2015년 12월 17일, 2차: 2015년 12월 31일), 게재확정 2016년 1월 2일

Received 25 September 2015; Revised(1st: 17 December 2015, 2nd: 31 December 2015); Accepted 2 January 2016

2 상지대학교 생명과학과 Dept. of Biological Science, Sangji Univ., 83 Sangidae-gil, Wonju-si, Gangwon-do 26339, Korea

a 이 논문은 북한산국립공원 도봉사무소의 지원 및 2013년도 상지대학교 교내연구년에 의하여 연구되었음.

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

the community structure was found to be relatively stable. For the EPT ratio of species and individuals that appeared, the control site showed the highest values at 67.60(\pm 5.66)% and 66.30(\pm 2.06)% respectively, but its value became lower towards the downstream sites. Upon the statistical analysis of the functional feeding groups, it was found that gathering-collectors and filtering-collectors increased toward the downstream sites while shredders decreased. From the point of habitat-oriented group evaluation, sprawlers decreased and burrows increased toward the downstream sites. According to the analysis using Korea Saprobic Index (KSI), the control site is categorized as grade A with average value at 0.75(\pm 0.10). However, the grade gradually falls from A to B toward the lower reaches, as the KSI value increases at the translocation and downstream sites.

KEY WORDS: COMMUNITY STRUCTURE, EPT-RATIO, FUNCTIONAL GROUPS, KSI INDEX

서론

우리나라는 1967년 지리산을 최초의 국립공원으로 지정하였는데(Jeong *et al.*, 2009), 국립공원은 자연생태계 및 문화경관을 대표하는 지역으로 사람들의 여가활동이나 휴식공간을 제공하는 기능을 지니고 있다(Kim and Kim, 2009). 또한 국립공원은 국토 보전에 핵심적인 지역으로 우리나라 야생 동·식물의 약 68%가 국립공원 내 서식하고 있다(Park, 2010). 2007년 1월 이후 국내 모든 국립공원의 입장료 폐지 이후 탐방객의 수는 매년 지속적으로 증가하고 있다(Lee and Bea, 2007). 그에 따른 국립공원 내에서의 취사, 야영 등 각종 불법행위와 개발행위가 성행하고 동·식물의 남획 및 등산로 훼손 등에 의한 내부적 요인과 도시오염의 심화, 탐방객들의 과도한 이용에 의한 계류 수질오염 등 자연생태계에 심각한 영향을 초래하고 있어 생태적으로 전문적인 관리와 복원이 필요한 시점이다(Park and Ma, 1999; Lee and Bae, 2007).

북한산국립공원은 국내 대표적인 도심형 국립공원으로 수려한 자연경관과 문화자원을 온전히 보전하고 쾌적한 탐방 서비스 제공을 위하여 1983년 15번째 국립공원으로 지정되었다(Oh *et al.*, 2012). 북한산국립공원 중 특히 송추계곡은 연간 약 30만명이 찾는 수도권 대표적 휴양지로 이용되고 있다(Lee and Lee, 2012; Bukhansan National Park Dobong office, 2013). 현재 송추계곡은 국립공원 지정 이전인 1963년 서울 교외선 철도가 개통되면서 서울 근교의 유원지로 개발되어 음식점, 수영장 등 편의시설의 무분별한 증가와 불법 무질서행위가 반복적으로 발생되어 계곡 내 인위적 교란이 점차 증가하는 추세이다. 또한 생물서식처 위협, 상업시설 난립으로 인한 경관의 훼손, 불법행위 예방단속으로 인한 주민과의 갈등 심화 등의 문제점이 지속적으로 야기되어 왔다(Natinal Park Survice Bukhansan management office, 1997, 1998).

이에 국립공원에서는 송추계곡 주변 환경을 개선, 불법 영업 행위의 근절, 재해위험지구의 정비 등 송추이주사업을 통하여 국립공원의 지속가능성 확대와 21세기 국가 생태경쟁력 제고에 기여하고자 2001년 이주사업 조사 연구를 시행하고, 2011년 이주단지조성 사업시행계획 결정 고시 등의 사업을 추진하고 있다(Bukhansan National Park Dobong office, 2013). 한편, 이와 유사한 사례로 최근 국립공원관리공단에서는 북한산국립공원 북한산성 집단시설지구 이주 사업을 실시하였으나, 이주사업 전 사전 모니터링을 시행하지 않고 인공구조물 철거 위주의 사업을 진행하였으며, 이주사업 후 사업대상지에 나지가 분포하는 등의 한계를 초래하였다(Bukhansan National Park Dobong office, 2013). 따라서 본 연구에서는 이주사업 이전 모니터링을 실시하여 향후 이주사업 이후 송추계곡의 하천생태계 변화상을 분석하기 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

저서성 대형무척추동물은 환경변화에 민감하고, 하천의 특성에 따른 독특한 군집구조와 비교적 뚜렷한 내성범위를 가지고 있어 수서생태계의 환경을 평가하는 지표생물로서 매우 효과적으로 이용되고 있으며(Yoon *et al.*, 1981; Bae *et al.*, 2003), 하천 보존 및 복원을 실시하기 위한 사전 모니터링을 수행할 경우 보편적으로 사용되고 있는 지표생물이다(Bae *et al.*, 2005; Bonada *et al.*, 2006; Morse *et al.*, 2007). 북한산국립공원의 저서성 대형무척추동물에 관한 연구로는 과거 북한산국립공원 내 우이천(Bae and Yoo, 1993; Bae, 1997) 및 정릉천과 곡릉천(Park *et al.*, 1993)을 대상으로 저서성 대형무척추동물상에 관한 전반적인 조사가 이루어졌다. 현재는 북한산국립공원관리공단에서 실시하는 자원모니터링만이 실행되고 있는 실정이며, 송추계곡에 서식하는 저서성 대형무척추동물에 관한 전문적인 조사 및 연구는 이루어진 바가 없다.

본 연구는 송추이주사업 대상지의 현재 자연생태계를 생태적 측면에서 구체적이고 객관적인 연구를 통해 향후 송추

이주사업으로 인한 공원생태계 회복 및 쾌적한 공원 환경을 조성하여 그에 따른 저서성 대형무척추동물의 변화 양상을 파악하고 보전 및 복원에 필요한 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 조사시기

조사시기는 2012년 11월부터 2013년 8월까지 계절별로 총 3회 실시하였으며, 3차조사는 송추계곡 내 식당의 이용 및 계곡 내 취사 행위, 물놀이 행위 등의 간접 또는 직접적인 수질오염원의 발생이 가장 높을 것으로 예상되는 8월에 조사를 실시하였다.

- 1차조사 : 2012년 11월 27일
- 2차조사 : 2013년 4월 16일
- 3차조사 : 2013년 8월 18일

2. 조사분석

조사구간은 경기도 양주시 장흥면에 위치한 송추계곡을 대상으로 대조구간 1개 지점(Control, St. 1), 이주구간 2개 지점(Translocation, St. 2~3), 하류구간 1개 지점(Downstream, St. 4)을 선정하였으며, 각 조사구간 및 GPS(WGS)는 다음과 같다(Figure 1).

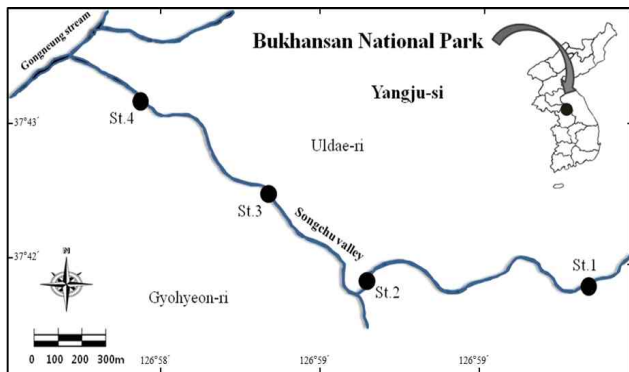


Figure 1. Map of the study sites in Songchu valley region

- 대조구간: 상류 St. 1
(E: 126° 59' 50.62", N: 37° 42' 37.97")
- 이주구간: 중류 St. 2
(E: 126° 59' 21.38", N: 37° 42' 39.15")
- 이주구간: 중류 St. 3
(E: 126° 58' 54.08", N: 37° 42' 50.55")

- 하류구간: 하류 St. 4
(E: 126° 58' 31.47", N: 37° 43' 04.71")

3. 조사방법

1) 서식처의 물리적 수환경 분석

서식처내 물리·화학적 특성분석은 현장조사와 실험실 분석으로 구분하였다. 수심, 유속, 하상구조는 2013년 4월에 현장에서 조사하였고, 레이저 거리측정계(Nikon LASER 1200S)를 이용하여 조사지역의 유폍을 측정하였으며, Digital water velocity meter(FP111)을 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

저서성 대형무척추동물의 채집은 수생태계 건강성 조사 및 평가방법에 준하였다(Ministry of Environment, 2006). 정량채집은 조사구간의 유량과 물리적 환경을 고려하여 계류형 정량채집망인 Surber sampler(30×30cm, 망목 0.2mm)를 이용하여 조사구간별 riffle과 run/pool에서 총 3회 정량 채집하였다. 정성채집은 Hand net(지름 25cm, 망목 0.5mm)을 사용하여 가능한 다양한 서식처(돌 밑, 가장자리, 수초 있는 곳, 낙엽 쌓인 곳 등)에서 조사하여 채집하였다. 채집물은 500ml Vial에 담은 후 현장에서 99% Ethanol로 고정하여 실험실로 운반 후, 옮겨진 채집물은 유기물로부터 저서성 대형무척추동물을 골라내고 Vial (10~25ml)에 옮겨 채집 정보를 첨부 후, 80% Ethanol로 보존하였다. 저서성 대형무척추동물의 동정은 Yoon(1988, 1995), Won *et al.*(2005), McCafferty(1981), Kawai and Tanida(2005), Merritt *et al.*(2008) 등을 참고로 하여 동정하였다. 특히 곤충류 중 꼬마하루살이과(Family Baetidae)는 Bae *et al.*(1998)을 참고하였고, 갈따구과(Family Chironomidae)는 Wiederholm(1983)을 이용하여 동정하였다.

3) 군집분석

군집분석은 조사구간별로 정량적으로 채집된 자료로부터 출현한 분류군의 수를 비교하여 출현종수, 출현개체수, 우점종, 우점도(McNaughton, 1967), 다양도(Shannon-Weaver, 1949), 균등도(Pielou, 1975), 풍부도(Margalef, 1958)를 산출하였다.

4) 기능군 분석

저서성 대형무척추동물 출현종을 기준으로 조사구간별

섭식기능군(FFGs, Funtional Feeding Groups) 및 서식기능군(HOGs, Habitat Oriented Groups)을 분석하였다(Ro and chun, 2004; Merritt *et al.*, 2008).

5) 한국오수생물지수(KSI) 분석

한국오수생물지수(Korean Saprobic Index, KSI)는 각 지표생물군의 오락계급치 및 지표가중치의 산정을 통하여 산출하는 평가방법이며(Won *et al.*, 2006), 저서성 대형무척추동물 출현종을 이용하여 조사시기별 각 지점에 대한 KSI 지수를 이용하여 건강성을 평가하였다.

6) 통계분석

통계분석은 SYSTAT(ver. 11)을 이용하여 조사구간별 유사성을 분류하고자 유사도(Bray and Curtis, 1957) 분석을 실시하였으며, 조사지점들과 다양한 요인들 간의 상관성을 파악하기 위해 PC-ORD(ver. 6)와 Sigmaplo(ver. 11.0)을 이용하여 주성분 분석(Principal Components Analysis) 및 상관관계 분석(Pearson Correlation Analysis)을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 물리적 수환경

송추계곡은 산간계곡의 특성을 나타내는 수역으로 수환경 분석결과는 다음과 같다(Table 1). 하폭은 대조구간인 St. 1에서 6~9m의 범위를 나타내었으며, 하류구간인 St. 4에서 15~19m의 범위로 하류로 갈수록 넓어지는 경향을 나타내었다. 수심은 평균 11.5~29cm로 St. 1에서 8~35 cm, St. 4에서 13~23cm의 범위로 하류구간으로 갈수록 낮아지는 것으로 조사되었다. 유속은 평균 0~0.95m/s로 구간별 차이가 비교적 적게 나타났다. 하상구조는 대조구간과 이주구간에서 암반(Boulder)과 큰돌(Cobble), 작은돌(Pebble)의 비율이 비교적 높게 나타나 전형적인 산간계곡의 형태를 보였으며, 하류구간에서는 모래(Sand)의 비율이 높게 나타났다.

2. 저서성 대형무척추동물

1) 종조성

북한산국립공원의 송추계곡에 대한 저서성 대형무척추동물 조사 결과 채집된 종은 총 4문 5강 9목 32과 62종 3,805개체가 출현하였다.

출현분류군 중 편형동물문과 연체동물문에서 각각 1종(1.61%), 환형동물문 3종(4.84%), 절지동물문 57종(91.94%)이 조사되었다. 저서성 대형무척추동물은 하상구조물 및 서식처 특성에 의해 출현종의 다양성이 결정되며(Waters, 1995; Merritt *et al.*, 2008), 특히 종의 다양성은 cobble과 pebble의 하상이 gravel과 sand의 하상보다는 출현종수를 증가시키는 작용을 하는 것으로 알려져 있다(Giller and Malmqvist, 1998). 또한 하천생태계는 일반적으로 계곡천보다는 평지천에서 더욱 다양하고 많은 종이 서식하는 것으로 알려져 있는데(Strayer, 1983; Bronmark *et al.*, 1984), 본 조사수계인 송추계곡의 대조구간~하류구간은 하상구조 및 종풍부성을 고려할 경우, 계곡천과 평지천의 두 가지 특성을 모두 가지고 있는 것으로 판단된다. 한편 유사하천인 북한산 국립공원에서 발원하는 정릉천과 곡릉천(Park *et al.*, 1993)에서 77종, 휴식년제로 인해 출입이 통제된 운문산(Lee *et al.*, 2010)에서 140종, 설악산(Son *et al.*, 2011)에서 84종, 지리산(Kwon *et al.*, 2012)에서 113종으로 조사되어 본 조사수계인 송추계곡과는 큰 종다양성의 차이를 보였다. 이는 식당과 물놀이객에 의한 교란이 빈번한 송추계곡의 특성상 자연형 평지천을 포함하는 다른 조사수역에 비해 빈약한 종다양성을 보인 것으로 예상되나 조사지역별 조사방법, 조사지역 범위 및 조사횟수의 차이 역시 작용하였을 것으로 판단된다.

조사구간별 출현종 및 개체수 현존량은 대조구간(St. 1)에 비하여 이주구간(St. 2, 3)과 하류구간(St. 4)에서 다소 높게 나타났다(Figure 2, 3). 이는 네점하루살이(*Ecdyonurus levis*), 깔따구류(*Chironomidae* spp.), 꼬마줄날도래(*Cheumatopsyche brevilineata*), 동양줄날도래(*Hydropsyche orientalis*) 등의

Table 1. Physical factors of the each sit surveyed in the Songchu valley

Sites		Stream Width (m)	Water depth (cm)	Current velocity (m/s)	Bottom structure *B:C:P:G:S
CS	St. 1	6~9	8~35	0.0~1.0	B:C:P:G:S=4:2:2:1:1
	St. 2	8~13	13~30	0.0~0.8	B:C:P:G:S=2:3:3:1:1
TS	St. 3	9~12	12~28	0.0~1.0	B:C:P:G:S=4:2:2:1:1
	St. 4	15~19	13~23	0.0~1.0	B:C:P:G:S=1:1:2:2:4

CS: Control site, TS: Translocation site, DS: Downstream site

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

교란 및 유기물 오염에 내성을 갖는 종들이 이주구간과 하류구간에서 집중적으로 출현한 결과로 판단된다.

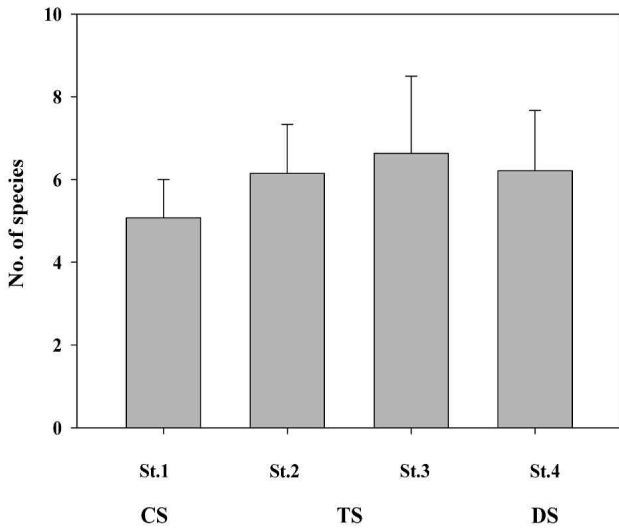


Figure 2. Mean value (\pm SD) of species number of benthic macroinvertebrates at the study sites in the Songchu valley(CS: Control site, TS: Translocation site, DS: Downstream site)

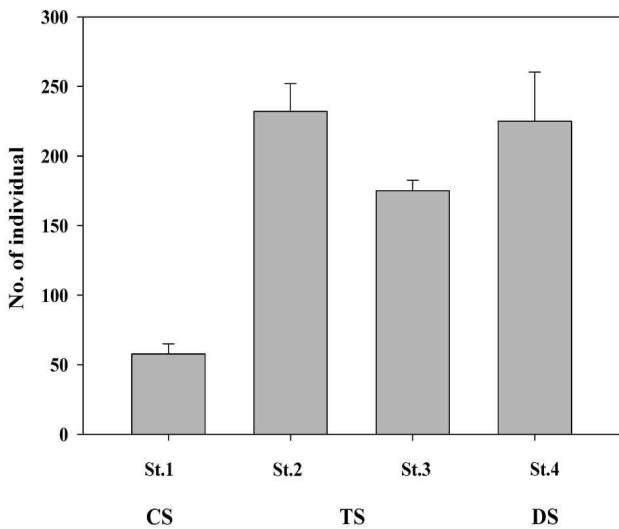


Figure 3. Mean value (\pm SD) of individual number of benthic macroinvertebrates at the study sites in the Songchu valley(CS: Control site, TS: Translocation site, DS: Downstream site)

조사구간별 종조성은 대조구간(St. 1)과 이주구간(St. 2)의 경우 날도래목이 가장 높게 나타났으며, 다음으로 강도래목이 높게 차지하였다. 반면에, 이주구간(St. 3)과 하류구간(St. 4)에서는 날도래목이 가장 높고, 다음으로 하루살이

목이 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 송추계곡은 하루살이목, 강도래목, 날도래목에서 상대적으로 다양하게 출현하여 산간계류의 전형적인 종조성(Bae, 1997; Yoon *et al.*, 2011)을 보이는 것으로 나타났다. 개체수 밀도는 이주구간(St. 2)에서는 강도래목, 날도래목이 높게 나타났으며, 이주구간(St. 3)과 하류구간(St. 4)에서는 파리목이 높게 분석되었다.

2) EPT-비율

EPT분류군에 속하는 하루살이목(Ephemeroptera), 강도래목(Plecoptera), 날도래목(Trichoptera)은 오염에 비교적 민감하게 반응하기 때문에 환경을 평가하는 대표지표 생물군으로 활용되고 있으며(Bae *et al.*, 2003), 일반적으로 EPT-Group(하루살이목-강도래목-날도래목, Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera)이 차지하는 비율이 높을수록 수환경질이 양호한 것으로 보고되고 있다(Davis *et al.*, 2003; Peitz, 2003; Sin *et al.*, 2008). 곤충강 중 주요 출현종인 EPT-Group에서 41종이 출현하여 전체 출현종의 약 2/3에 해당하는 73.2%로 높은 EPT 비율을 나타냈다. 도시형 복원하천인 양재천의 EPT 그룹이 37.5% (Unpublished data)를 차지하는 것과 비교하면 본 조사수역의 EPT-Group은 상대적으로 높은 비율을 차지하고 있었다. 또한 경기도 인근의 청정수역으로 알려진 가평천 상류의 EPT-Group이 전체 출현 분류군의 74.4% (Bae *et al.*, 2003)를 나타내는 것과 비교하면 본 조사구간은 물리적인 교란에도 불구하고 자연성이 비교적 잘 유지되고 있는 하천으로 판단된다.

송추계곡에 서식하는 저서성 대형무척추동물의 조사구간별 평균 EPT-Group의 출현 종수 및 출현 개체수 비율을 분석한 결과 출현 종수의 평균 EPT-Group 비율은 대조구간(St. 1)과 이주구간(St. 2)에서 각각 67.60(\pm 5.66)%, 67.60(\pm 3.49)%로 가장 높게 분석되었으며, 이주구간(St. 3)에서 60.60(\pm 5.43)%, 하류구간(St. 4)에서는 60.90(\pm 16.81)%로 분석되었다. 출현 개체수의 평균 EPT-Group 비율은 대조구간(St. 1)에서 66.30(\pm 2.06)%, 이주구간(St. 2)에서 44.50(\pm 20.88)%, 이주구간(St. 3)에서 44.60(\pm 16.69)%, 하류구간(St. 4)에서 47.30(\pm 32.47)%로 분석되어, 개체수의 EPT-Group은 상대적으로 교란이 적은 대조구간(St. 1)에서 가장 높게 나타났다(Table 2).

EPT-비율은 하천차수가 증가할수록 유기오염물의 증가로 인해 감소하는 것으로 알려져 있으며(Bae *et al.*, 2003), 수환경의 질 또한 불량해지는 것으로 볼 수 있다(Shin *et al.*, 2008). 송추계곡의 경우 구간사이의 거리가 짧아 하천차수가 동일함에도 불구하고 평균 EPT-Group의 종수 및 개체수의 비율이 대조구간에 비해 하류구간으로 갈수록 감

Table 2. ETP-ratio of mean species and individuals in each site of Songchu valley

Sites		1st.		2nd		3rd		Mean	
		Sp	In	Sp	In	Sp	In	Sp	In
CS	St.1	66.67	66.10	73.68	68.42	62.50	64.29	67.60(±5.66)	66.30(±2.06)
TS	St.2	69.23	67.47	70.00	26.70	63.64	39.36	67.60(±3.49)	44.50(±20.88)
	St.3	58.82	62.19	66.67	28.99	56.25	42.64	60.60(±5.43)	44.60(±16.69)
DS	St.4	42.86	84.24	63.64	23.06	76.19	34.58	60.90(±16.81)	47.30(±32.47)

CS: Control site, TS: Translocation site, DS: Downstream site Sp: No. of Species, Id: No. of Individuals

소하는 것으로 분석되었다. 이는 식당가에서 계곡으로 유입되는 유기오염물(생활하수, 음식물쓰레기)로 인해 수환경의 차이가 나타나는 것으로 추정되며, EPT-Group에 어느 정도 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

3) 군집지수

조사지역의 군집구조를 분석하기 위하여 우점종 및 아우점종을 파악하였으며, 우점도지수, 다양도지수, 균등도지수, 풍부도지수를 분석하였다(Table 3).

우점종 및 아우점종을 분석한 결과 송추계곡의 모든 구간에서 깔따구류가 우점종으로 분석되었으며, 구간별 아우점종으로 대조구간(St. 1)에서는 민강도래 KUb(*Nemoura* KUb), 이주구간(St. 2, 3)에서는 각각 민강도래 KUb와 떡파리류, 하류구간(St. 4)에서는 꼬마줄날도래로 분석되었다. 우점도지수는 대조구간에서 평균 0.52(±0.16), 이주구간에서는 각각 평균 0.64(±0.06), 0.64(±0.14), 하류구간에서는 평균 0.76(±0.07)로 나타나 대조구간에서 상대적으로 안정된 군집구조를 유지하고 있는 것으로 분석되었다.

다양도지수는 대조구간에서 평균 1.95(±0.44), 이주구간에서는 각각 평균 1.75(±0.06), 1.76(±0.02), 하류구간에서는 평균 1.37(±0.37)로 하류구간에서 상대적으로 종다양성이 낮은 가장 불안정한 군집양상을 나타내었다. 일반적으로 가는 입자로 구성된 단순한 하상구조와 미소서식처의 감소는 저서성 대형무척추동물의 종다양성을 감소시키는 원인

으로 작용하는데(Allan, 1995; Shao *et al.*, 2006), 송추계곡은 하류로 갈수록 모래 등의 단순한 하상구조로 구성되고, 오염물의 축적으로 종다양성이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 균등도지수는 대조구간에서 평균 0.81(±0.04)로 상대적으로 높게 분석되었으며, 이주구간에서는 각각 평균 0.66(±0.05), 0.62(±0.07), 하류구간에서는 평균 0.51(±0.12)로 상대적으로 불균등한 분포양상을 보였다. 풍부도지수는 대조구간에서 평균 2.25(±0.85)로 분석되었으며, 이주구간에서는 각각 평균 2.28(±0.64)과 2.76(±0.13), 하류구간에서 평균 2.40(±0.81)으로 분석되어 이주구간인 St. 3에서 종풍부도가 가장 높은 것으로 나타났다.

군집지수의 분석 결과 송추계곡의 대조구간에서 우점도가 낮고 다양도, 풍부도, 균등도가 높게 나타나 비교적 안정적인 군집구조를 유지하고, 하류구간으로 갈수록 불안정한 군집구조를 유지하는 것으로 분석되었다. 대조구간은 이주 및 하류구간에 비하여 상대적으로 상업시설 및 탐방객들로 인한 화학적 또는 물리적인 서식처교란의 영향이 적기 때문인 것으로 판단되며, 이주구간과 하류구간의 경우 비점오염원에서 유입되는 유기오염물질의 증가와 교란에 의한(Hu *et al.*, 2005; Qu *et al.*, 2007) 영향이 높게 작용한 결과로 판단된다.

4) 기능군 분석

하천생태계에서 수서곤충의 섭식기능군 및 서식기능군

Table 3. Dominant, sub-dominant species, and community indices at the each site in the Songchu valley

Sites	Dominant species	Subdominant species	DI	H'	E	RI	
CS St.1	Chironomidae spp.	<i>Nemoura</i> KUb	0.52(±0.16)	1.95(±0.44)	0.81(±0.04)	2.25(±0.85)	
TS	St.2	Chironomidae spp.	<i>Nemoura</i> KUb	0.64(±0.06)	1.75(±0.06)	0.66(±0.05)	2.28(±0.64)
	St.3	Chironomidae spp.	<i>Simulium</i> sp.	0.64(±0.14)	1.76(±0.02)	0.62(±0.07)	2.76(±0.13)
DS St.4	Chironomidae spp.	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	0.76(±0.07)	1.37(±0.37)	0.51(±0.12)	2.40(±0.81)	

CS: Control site, TS: Translocation site, DS: Downstream site DI: Dominance index, H': Diversity Index, E: Evenness Index, RI: Richness Index

의 분포 변화는 하천 유역에서 나타나는 서식처의 환경적 요인 및 먹이자원의 특성을 반영하고 있다(Kil *et al.*, 2010). 송추계곡 일대에서 출현한 수서곤충(aquatic insect)을 대상으로 섭식기능군(FFGs) 및 서식기능군(HOGs)을 분석하였다(Figure 4, 5). 대조구간에서의 섭식기능군은 shredders가 상대적으로 높게 차지하여 계류형 하천의 특징을 나타내었으며, 이주구간과 하류구간에서는 유기물을 주요 섭식원으로 이용하는 gathering-collectors와 filtering-collectors가 대부분을 차지하고 shredders의 비율은 점차적으로 감소하는 것으로 분석되었다. 일반적으로 상류에서는 낙엽과 같은 대형입상유기물질(Coarse particulate organic matter: >1.0 mm)이 대부분을 차지하고 있으며, 하류에서는 미세입상유기물질(Fine particulate organic matter: 0.5 μm~1.0 mm)의 비율이 증가하는 것으로 알려져 있다(Allan, 1995; Bea *et al.*, 2003). 송추계곡 역시 대조구간은 상류유역의 특성상 대형입상유기물질(CPOM)이 차지하고 있는 비율이 높아 이를 먹이원으로 선호하는 shredders의 비율이 높게 나타난 것으로 생각되며, 상대적으로 미세입상유기물질(FPOM)의 비율이 증가하는 이주구간 및 하류구간에서는 gathering-collectors와 filtering-collectors의 비율이 높게 나타난 것으로 판단된다.

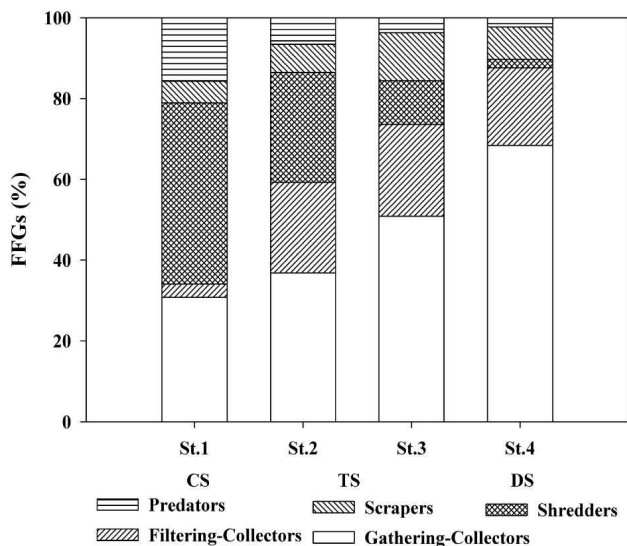


Figure 4. Composition of functional feeding groups(FFGs) of benthic macroinvertebrates at the study sites in the Songchu valley(CS: Control site, TS: Translocation site, DS: Downstream site)

송추계곡 일대의 서식기능군 분석결과 대조구간에서는 기능군별로 비교적 유사한 비율을 차지하고 있는 것으로 분석되었으며, 이주구간과 하류구간에서는 climbers와

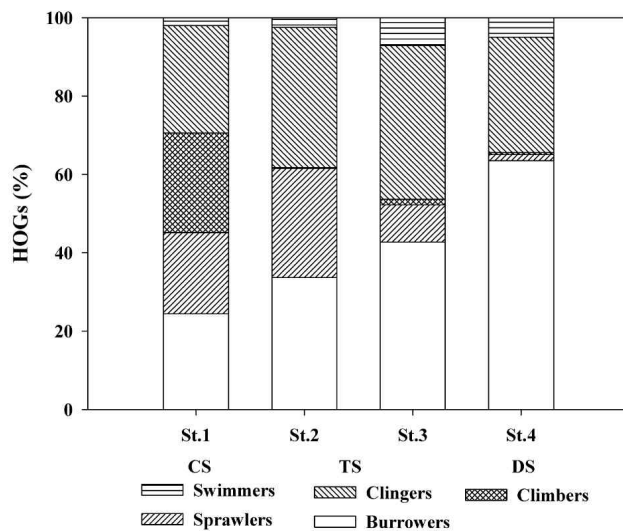


Figure 5. Composition of habitat oriented groups(HOGs) of benthic macroinvertebrates at the study in the Songchu valley(CS: Control site, TS: Translocation site, DS: Downstream site)

sprawlers의 비율은 감소하고, burrowers와 climbers의 비율이 증가하는 것으로 분석되었다. 일반적인 하천과 계곡은 하류로 갈수록 모래와 실트의 단순한 하상구조와 함께 미세입상유기물과 오염유기물질의 양이 축적되며(Allan, 1995; Bea *et al.*, 2003), 상류에서 하류로 갈수록 서식기능군은 burrowers의 비율이 증가하는 것으로 알려져 있다(Yoon *et al.*, 1992). 송추계곡의 조사결과 하류로 갈수록 climbers와 burrowers의 비율이 증가하는 것으로 분석되었는데, 이는 이주구간의 식당가에서 유입되는 오염유기물질(생활하수, 음식물쓰레기)에 상대적으로 내성을 갖는 네점하루살이, 꼬마줄날도래, 갈따구류 등의 개체수가 높게 나타났기 때문이다. 갈따구류와 같은 내성범위가 넓은 종의 개체수의 출현 빈도가 높다는 것은 오염원으로 인한 수질악화로 수환경의 질이 불량해지고 있다고 볼 수 있으며(Shin *et al.*, 2008), 송추계곡 역시 하류로 갈수록 수환경의 차이가 나타나는 것으로 판단된다.

5) 한국오수생물지수(KSI) 분석

본 조사구간들의 유기물 오염 및 생태계 건강성을 평가하기 위해 계절에 따른 조사구간별 한국오수생물지수(KSI)를 분석하였다(Table 4). 가을철인 11월의 KSI지수는 대조구간에서 0.74, 이주구간에서는 각각 0.45와 1.01, 하류구간은 0.52로 분석되었으며, 봄철인 4월의 대조구간은 0.65, 이주구간은 각각 1.47과 1.69, 하류구간은 3.23으로 분석되었다. 여름철인 8월은 대조구간에서 0.86, 이주구간에서 각각 2.10과 2.46, 하류구간은 2.93으로 분석되었다. 계절에 따른

Table 4. KSI index according to the season at the study in the Songchu valley

Sites		Fall(1st)		Spring(2nd)		Summer(3rd)		Mean	
		KSI	Class	KSI	Class	KSI	Class	KSI	Class
CS	St.1	0.74	A	0.65	A	0.86	A	0.75(±0.10)	A
TS	St.2	0.45	A	1.47	B	2.10	B	1.34(±0.83)	B
	St.3	1.01	B	1.69	B	2.46	C		
DS	St.4	0.52	A	3.23	C	2.93	C	2.22(±1.48)	B

CS: Control site, TS: Translocation site, DS: Downstream site
 A class: 0.0~≤1.0, B class: 1.0~≤2.4 C class: 2.4~≤3.6, D class: 3.6~≤5.0

조사구간별 KSI지수 값은 평균 대조구간에서 0.75(±0.10)의 A등급, 이주구간에서 각각 1.34(±0.83), 1.72(±0.73)의 B등급, 하류구간에서 2.22(±1.48)의 B등급으로 분석되었다. 대조구간에 비해 이주구간 및 하류구간으로 갈수록 KSI 지수가 높아지는 것으로 분석되었으며, 특히 송추계곡 내 직접적인 교란이 증가하는 4월과 8월에 이주구간 및 하류구간의 KSI지수에 더욱 높은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

6) 유사도 분석

조사구간별 유사도분석 결과 2개의 그룹(대조구간, 이주-하류구간)으로 구분되어 분석되었다(Figure 6). 오염원의 영향 및 교란이 적은 대조구간(St. 1)은 Group-A로 분석되었으며, 유사한 하상구조 및 물리적 수환경, 오염원의 유입, 각종 교란이 증가하는 이주구간(St. 2, 3)과 하류구간(St. 4)은 Group-B로 분석되었다. 대조구간에서는 강도래목과 날도래목 등의 내성범위가 좁은 종들이 대부분 출현하였으며,

이주구간과 하류구간에서는 하루살이목과 날도래목 일부와 파리목에서 상대적으로 오염에 대한 내성의 범위가 넓은 종들이 출현하였기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 양상은 하류로 갈수록 인위적교란 및 비점오염원에서 유입되는 오염유기물의 양이 증가하고, 모래와 펄로 이루어진 단순한 하상구조로 구성된 도시하천의 특성에서 주로 나타나는 현상(Shin *et al*, 2008)으로 한국오수생물지수(KSI)의 결과와도 유사한 양상을 보이는 것으로 분석되었다.

7) PCA 분석

송추계곡에서 출현한 총 62종 중 PCA 분석 결과에 영향을 주지 않는 상대풍부도 0.1% 이하의 종들을 제외한 23종을 대상으로 주성분 분석을 실시한 결과 2개의 축(Axis)이 각각 78.22%, 14.70%로 나타나 총 고유값이 약 92.92%로 분석되었다. Axis 1은 구간별 종의 우점율을 의미하며, Axis 2는 종의 풍부도를 나타낸다(Figure 7). 대조구간(St. 1)은 오염원의 유입이 없는 상류역으로 민강도래, 녹색강도

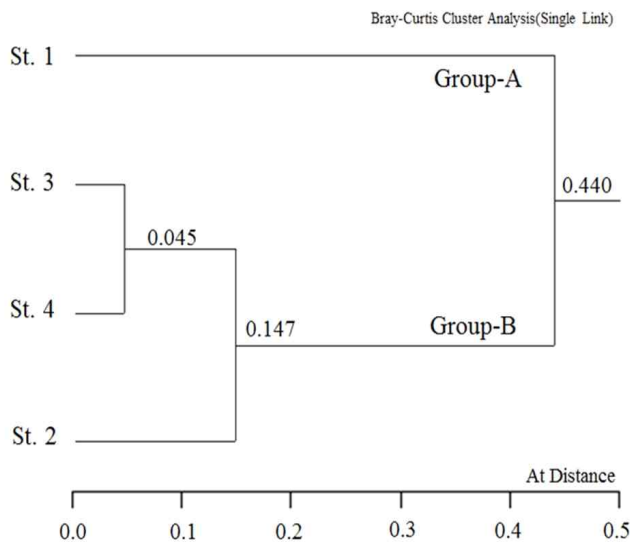


Figure 6. Cluster analysis based on benthic macroinvertebrates assemblages collected at the four sampling sites in the Songchu valley

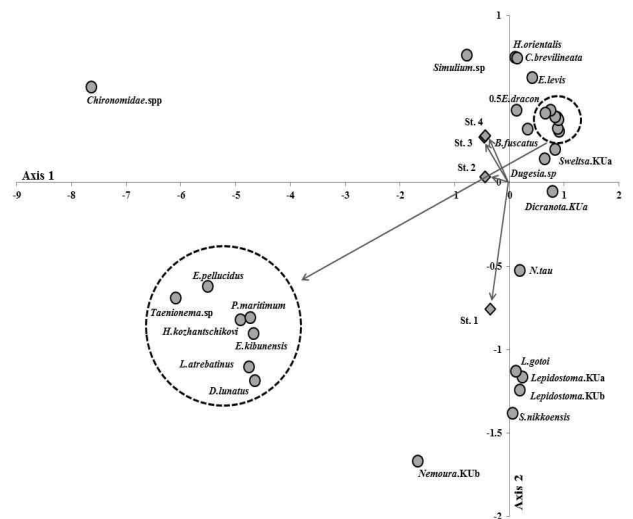


Figure 7. First two axes in principal components analysis of the four sampling sites in Songchu valley by PCA

Table 5. Correlations coefficient analysis for each item according to the sites

Factors	Sp	In	DI	H'	RI	KSI	EPT
Correlation Coefficient(r)	0.335	0.458	0.652*	-0.583*	0.179	0.579*	-0.565
*p-value	0.288	0.135	0.022	0.047	0.579	0.049	0.056

*P<0.05 in the Correlation Analysis; Sp: No. of Species, Id: No. of Individuals, DI: Index of Dominance, H': Index of Diversity, RI: Index of Richness, KSI: Index of KSI, EPT-Ratio: Proportion of EPT-group Species

래, 네모집날도래 KUa, 네모집날도래 KUb, 토우민강도래 등 상대적으로 내성범위가 좁은 종들이 우점하여 출현하였으며, 이주구간(St. 2, 3)과 하류구간(St. 4)인 중·하류역에서는 깔따구류, 개똥하루살이, 꼬마줄날도래, 동양줄날도래 등 내성범위가 넓은 종들이 우점하는 것으로 분석되었다. 일반적으로 유역의 자연환경을 훼손하는 인공제방 설치, 하천정비로 인한 하상구조의 단순화, 생활하수 및 담수자원을 이용하는 유역인구의 증가는 자연환경을 훼손하는 직접 또는 간접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Prat and Ward, 1994; Shin *et al.*, 2006; Choi *et al.*, 2008). 송추계곡 역시 하류로 갈수록 하상구조가 단순해지고, 인간의 간섭에 따른 교란 및 오염유기물질의 양이 증가하여 깔따구류, 꼬마줄날도래와 같은 내성종들이 우점하여 출현하고 있는 것으로 판단된다.

8) 상관관계분석

송추계곡 내 지점별 수서곤충의 종수 및 개체수, 우점도 지수, 다양도지수, 풍부도지수, KSI지수, EPT-비율을 대상으로 오염요소가 없는 대조구간의 상류를 기준으로 거리를 측정하여 하류로 갈수록 오염원들의 증가가 각 항목들과 어떠한 상관성을 갖는가를 파악하기 위해 상관관계 분석(Pearson correlation analysis)을 실시하였다(Table 5). 조사구간의 분석항목 중 DI와 KSI는 양의 상관성을 갖는 것으로 분석 되었으며, H'은 음의 상관성을 갖는 것으로 분석되었다. 따라서 송추계곡은 하류로 갈수록 우점도는 증가하고, 다양도는 감소하며, KSI지수는 증가해 수서생태계의 건강성이 하류로 갈수록 낮아지는 것으로 분석되었다. 이는 송추계곡 이주구간(St. 2, 3)에 식당가가 밀집해 있으며, 비점오염원의 유입 및 교란현상이 가중되어 나타난 결과로 판단된다.

REFERENCES

Allan, D.J.(1995) Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. Chapman & Hall, London, 388pp.
 Bae, Y.J., S.Y. Park, and J.M. Hwang(1998) Description of Larval *Nigrobaetis bacillus* (Kluge) (Ephemeroptera: Baetidae) with a Key to the Larvae of the Baetidae in Korea. The Korean

Journal of Limnology 31(4): 282-286. (in Korean with English abstract)
 Bae, Y.J., D.H. Won, D.H. Hoang, Y.H. Jin and J.M. Hwang(2003) Community Composition and Functional Feeding Groups of Aquatic Insects According to Stream Order from the Gapyeong Creek in Gyeonggi-do, Korea. Korean Journal of Limnology 36(1): 21-28. (in Korean with English abstract)
 Bae, Y.J., H.K. Kil and K.S. Bae(2005) Benthic macroinvertebrates for uses in stream biomonitoring and restoration. KSCE Journal of Civil Engineering 9: 55-63(in Korean with English abstract)
 Bae, K.S.(1997) The Effects of Rest Years on the Distribution of Aquatic Animals at the Rest Year Area of Ui Creek in Seoul. The Korean Journal of Limnology 30(1): 55-66. (in Korean with English abstract)
 Bae, K.S. and B.T. Yoo(1993) Water Environment and Ecological Dynamics of Aquatic Animal Community in Wooyi Stream. The Korean Journal of Limnology 43(2): 232-241. (in Korean with English abstract)
 Bonada, N., N. Prat, V.H. Resh and B. Stutzner(2006) Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. Annual Review of Entomology 51: 495-523.
 Bray, J.R. and J.T.Curtis(1957) An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. Ecological Monographs 27(4): 325-349
 Bronmark, C., J. Hermanm, B. Malmqvist, C. Otto and P. Sjoström(1984) Animal community structure as a function of stream size. Hydrobiologia 112(1): 73-79.
 Bukhansan National Park Dobong office(2013) Proactive monitoring for the Bukhansan National Park two weeks Songchu business effectiveness analysis, National Park Research 62pp. (in Korean)
 Choi, J.K., H.S. Shin, O.Mitamura and S.J. Kim(2008) Health Assessment of Aquatic Ecosystem for Wonju Stream Using the Composition of Aquatic Insects. The Korean Journal of Environment and Ecology 22(5): 544-550. (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. American Midland Naturalist 67(2): 477-504.
 Davis, S.D., S.W. Golladay, G. Vellidis and C.M. Pringle(2003)

- Macroinvertebrate biomonitoring in intermittent coastal plain stream impacted by animal agriculture. *Journal of Environmental Quality* 32(3): 1036-1043.
- Giller, P.S. and B. Malmqvist(1998) *The biology of stream and rivers*. Oxford University Press, New York, 289pp.
- Hu, B.J., L.F. Yang, B.X. Wang and L.N. Shan(2005) Functional feeding groups of macroinvertebrates in 1-6 order tributaries of the Chang-jiang River. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* 11: 463-466.
- Jeong, T.Y., C.H. Park, K.S. Lee, H.B. Yun, G.Y. Lee, C.K. Ahn and J.H. You(2009) Plant Resources of Ssanggok Valley in Sokrisan National Park, Korea. *The Korean Journal Plant Research* 22(1): 13-25. (in Korean with English abstract)
- Kawai T. and K. Tanida(2005) *Aquatic Insects of Japan: Manual with Keys and Illustrations*. Tokai University Press, Tokyo, 1342pp.
- Kil, H.K., D.G. Kim, S.W. Jung, Y.H. Jin, J.M. Hwang, K.S. Bae, and Y.J. Bae(2010) Impacts of Impoundments by Low-Head and Large Dams on Benthic Macroinvertebrate Communities in Korean streams and Rivers. *Korean Journal of Limnology* 43(2): 190-198. (in Korean with English abstract)
- Kwon, S.J., Y.C. Jun, J.C. Jeong, S.C. Han and J.E. Lee(2012) Distribution of Benthic Macroinvertebrates According to Altitude at Jirisan National Park. *Journal of National Park Research* 3(1, 2): 33-43. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.H. and M.K. Bae(2007) Establishment of National Park Management Policy with Elimination of Entrance Fee. *Journal of Korean Forest Society* 103(2): 211-217. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.W., J.K. Choi, S.H. Oh and G.W. Choi(2010) A study on the Benthic Macroinvertebrates and Biological Water Quality Evaluation in Nature Sabbatical Area of Unmunsan. *The Korean Journal of Environment and Ecology* 24(10): 1-13. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.R. and D.W. Lee(2012) Fauna of Freshwater Fish in Bukhansan National Park. *Journal of National Park Research* 3(1, 2): 27-32. (in Korean with English abstract)
- Margalef, R.(1958) Information theory in ecology. *General Systematics* 3: 36-71.
- McCafferty, W.P. (1981) *Aquatic entomology*, John and Bartlett, Boston, 448pp.
- McNaughton, S.J.(1967) Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature* 216: 168-169.
- Merrit, R.W., K.W. Cummins and M.B. Berg(2008) *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. 4h Ed. Kendall/Hunt Publish. Co. Dubuque, Iowa, 1158pp.
- Ministry of Environment(2006) *The 3rd National Ecosystem Survey Guide*, NER, 298pp. (in Korean)
- Morse, J.C., Y.J. Bae, G. Munkhjargal, N. Sangpradub, K. Tanida, T.S. Vshivkova, B.X. Wang, L.F. Yang and C.M. Yules(2007) Freshwater biomonitoring with macroinvertebrates in East Asia. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 33-42
- National Park Service Bukhansan management office(1997) Bukhansan National Park ecosystem conservation plan. Research Report 128pp. (in Korean)
- National Park Service Bukhansan management office(1998) Bukhansan National Park Ecological Monitoring Survey Report. Research Report 86pp. (in Korean)
- Oh, H.K., Y.H. Han, Y.R. O, E.K. Lim and K.H. Kim(2012) A Study on Vascular Plants of Fixed Sites in Bukhansan National Park. *Journal of National Park Research* 3(1, 2): 14-21. (in Korean with English abstract)
- Park, J.H. and H.S. Ma(1999) Stream Water Quality Monitoring in Closed Valley Areas for Preserving Stream Water Quality of Puk'ansan National Park. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 2(2): 88-96. (in Korean with English abstract)
- Park, M.K.(2010) Effective management for conservation of ecosystem in Korea National Parks. Master's thesis of Konkuk University. 62pp.
- Park, S.B., K.S. Bae, M.Y. Seo, Y.K. Lee, S.H. Park and M.J. Yoo(1993) Seasonal Community Structure of Aquatic Insects and biological Assessment of Water Quality at the Jungneung and Gokneung Streams in the Mountain Bukhan. *The Korean Society of Environmental Health* 19(4): 14-24. (in Korean with English abstract)
- Peitz, D.G.(2003) Macroinvertebrate monitoring as an indicator of water quality: Status report for pipestone Creek, Pipestone National Monument 1(13): 1989-2002.
- Pielou, E.C.(1975) *Ecological Diversity*. John Wiley and Sons, New York, 165pp.
- Prat, N. and J.V. Ward(1994) The tamed river. pp. 219-236 In: Margalef, R. (ed.) *Limnology Now: A Paradigm of Planetary Problems*. Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Qu, X.D., Q.H. Cai, Z.C. Xie, T. Tang, M. Cao and D.F. Li(2007) Research of functional feeding groups of macro invertebrate in the stony habitat of the Xiangxi River system. *Resources and Environment in the Yangtze Basin* 16: 738-743.
- Ro, T.H. and D.J. Chun(2004) Functional Feeding Group Categorization of Korean Immature aquatic Insects and Community Stability Analysis. *The Korean Journal of Limnology* 37(2): 137-148. (in Korean with English abstract)
- Shanon, C.E. and W. Weaver(1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, 233pp.
- Shao, M., Z. Xie, L. Ye and Q. Cai(2006) Changes in the Benthic Macroinvertebrates in Xiangxi Following Dam Closure to Form the Three Gorges Reservoir. *Journal of Freshwater of*

- Biology 21(4): 717-719.
- Shin, H.S., S.C. Park, J.K. Kim, S.J. Kim, J.H. Park, J.S. Choi and S.J. Choi(2006) Community Analysis Based on Functional Feeding Groups of Aquatic Insects in Wonju Stream. The Korean Journal of Environment and Ecology 20(2): 259-266. (in Korean with English abstract)
- Shin, H.S., O. Mitamura, S.J. Kim and J.K. Choi(2008) Characteristics of Musim Stream by Surveyed Sites Based on EPT-group of Aquatic Insects. The Korean Journal of Environment and Ecology 22(4): 420-426. (in Korean with English abstract)
- Son, S.H., J.Y. Kim, J.I. Jo and D.S. Kong(2011) Altitudinal Distribution Aspect of Benthic Macroinvertebrates in a Mountain Stream of Seoraksan. Journal of Korean Society on Water Quality 27(5): 680-688. (in Korean with English abstract)
- Strayer, D.(1983) The effects of surface geology and stream size on fresh water mussel(*Bivalvia*, *Unionidae*) distribution on south-eastern Michigan, USA, *Freshwater Biology* 13: 253-264.
- Waters, T.F.(1995) *Sediment in Streams: Sources, Biological Effects, and Control*. American Fisheries Society, Monograph 7, Bethesda, Maryland.
- Wiederholm, T.(1983) Chironomidae of the Holarctic region Keys and diagnoses. Part 1-Larvae. *Entomologica Scandinavica: Supplement*. 19, 457pp.
- Won, D.H., S.J. Kwon and Y.C. Jun(2005) *Aquatic Insects of Korea*. Korea Ecosystem Service, 415pp. (in Korean)
- Won, D.H., Y.C. Jun, S.J. Kwon, S.J. Hwang, K.G. Ahn and J.K. Lee(2006) Development of Korean Saprobic Index using Benthic Macroinvertebrates and Its Application to Biological Stream Environment Assessment. *Journal of Korean Society on Water Quality* 22(5): 768-783. (in Korean with English abstract)
- Yoon, I.B.(1988) *Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea Vol. 30 Aquatic Insect*. Ministry of Education Republic of Korea, 840pp. (in Korean)
- Yoon, I.B.(1995) *Aquatic Insects of Korea*. Junghaengsa, 262pp. (in Korean)
- Yoon, I.B., D.S. Kong and J.K. Ryu(1992) Studies on the Biological Evaluation of Water Quality by Benthic Macroinvertebrates. *Korean J. Environ* 10(1): 24-39. (in Korean with English abstract)
- Yoon, I.B., D.S. Kim and H.U. Byun(1981) A Study on the Aquatic Insect Community in the Upper Stream of Nakdong River. *The Korean J. of Limnology* 14(3): 27-49. (in Korean with English abstract)
- Yoon, M.J., H.Y. Kwon, C.U. Chung, E.W. Seo and J.E. Lee(2011) Community Structure and Similarity Analysis of the Benthic Macroinvertebrate of Juwangsang National Park. *Journal of National Park Research* 2(1): 46-51. (in Korean with English abstract)