

영주댐 담수 이후 저서성 대형무척추동물 군집변화¹

안채희² · 한중수² · 최준길³ · 이황구^{4*}

Benthic Macroinvertebrate Community Changes after Impoundment of Yeongju dam in Korea¹

Chae-Hui An², Jung-Soo Han², Jun-Kil Choi³, Hwang-Goo Lee^{4*}

요약

본 연구는 경상북도 영주시에 위치한 영주댐의 담수 이전과 이후의 자료를 비교분석하여 인위적인 교란의 영향을 파악하고자 하였다. 조사시기는 2018년 4월부터 10월까지 총 4회 조사를 실시하였으며, 조사지점은 유사조절지(모래차단댐) 하류부터 영주댐 하류까지 총 4개의 지점을 선정하였다. 담수 이전의 자료는 문헌을 인용하여 분석하였다. 저서성 대형무척추동물은 총 3문 7강 14목 48과 77종 35,037개체/m²가 출현하였다. 군집분석 결과 우점도지수는 0.44(±0.11)에서 0.62(±0.16), 다양도지수는 2.26(±0.30)에서 1.75(±0.45), 균등도지수는 0.75(±0.10)에서 0.66(±0.14), 풍부도지수는 3.11(±0.98)에서 2.25(±0.81)로 나타났으며, 우점종은 대부분 줄날도래류(Hydropsychidae spp.)에서 깔따구류(Chironomidae sp.)로 변화하였다. PCA 분석 결과 Axis 1을 기준으로 2014년 지점과 줄날도래류는 음의 값을 나타내었으며, 2018년 지점과 깔따구류는 양의 값을 나타내었다. 모든지점에서 우점도지수는 증가하고 다양도지수는 감소하였으며, St. 2에서 군집변화가 가장 큰 것으로 분석되었다. 기능군 분석 결과 섭식기능군은 긁어먹는무리(Scrapers)가 감소하고 주워먹는무리(Gathering-Collectors)는 증가하였으며, 서식기능군은 붙는무리(Clingers)가 감소하고 굴파는무리(Burrowers)는 증가하는 것으로 나타났다. 저서동물 하천하상지수(BMSI) 분석 결과 평균 57.1(±8.0, C 등급)에서 평균 30.0(±12.1, C 등급)으로 감소하였으며, 특히 St. 3과 St. 4는 감소율이 높은 것으로 나타났다.

주요어 : 군집분석, PCA, 기능군, BMSI

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the effects of artificial disturbance by analyzing and comparing the survey data of the Yeongju dam located in Yeongju-si, Gyeongbuk before and after impoundment. We surveyed four sites between the downstream of sediment control to the downstream of Yeongju Dam four times between April and October 2018. The macroinvertebrate data before the survey were gathered from the literature. The total number of benthic macroinvertebrates we observed was 35,037 ind./m², including 77 species, 48 families, 14 orders, 7 classes, and 3 phyla. The result of the community analysis showed that the dominant index increased from 0.44(±0.11) before impoundment to 0.62(±0.16) after impoundment. The diversity index increased from 2.26(±0.30) to 1.75(±0.45), the evenness index from 0.75(±0.10) to 0.66(±0.14), and the richness index from

1 접수 2019년 7월 26일, 수정 (1차: 2019년 9월 17일), 게재확정 2019년 9월 25일

Received 26 July 2019; Revised (1st: 17 September 2019); Accepted 25 September 2019

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

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

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

* 교신저자 Corresponding author: morningdew@sangji.ac.kr

3.11(± 0.98) to 2.25(± 0.81). The most dominant species changed from Hydropsychidae spp. to Chironomidae sp. The result of the Principal Components Analysis (PCA) based on Axis 1 showed that the sites of 2014 and Hydropsychidae spp. had a negative value, while the sites of 2018 and Chironomidae sp. had a positive value. In all study sites, the dominance increased while the diversity decreased. The community change was the largest in St. 2. The results of the functional group analysis showed that the scrapers increased while gathering-collectors increased among the functional feeding group and that the clingers decreased while borrows increased among the habitat oriented group. The Benthic Macroinvertebrate Streambed Index (BMSI) decreased from an average of 57.1(± 8.0 , C class) to an average of 30.0(± 12.1 , C class). St. 3 and St. 4, in particular, showed a high reduction rate.

KEY WORDS: COMMUNITY ANALYSIS, PCA, FUNCTIONAL GROUPS, BMSI

서론

모래하천은 다량의 모래가 하천에 공급되어 유수에 의한 침식, 운반 및 퇴적 작용을 통해 하상을 덮게 되면서 전형적인 모래하천의 형태를 유지하게 된다(Lee *et al.*, 2010). 본 대상 지역에 위치한 내성천은 경상북도 봉화군에서 발원하여 낙동강에 합류하는 하천으로 모래하천의 고유한 물리적, 생물학적 특성을 유지하고 있다(Kang *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2013). 최근 국내의 모래하천은 대부분 골재채취, 댐 건설, 하천정비 등의 다양한 교란이 발생하고 있으며, 이러한 인공구조물의 건설은 물의 흐름을 방해하고, 침전물의 퇴적 방식을 변형시키며(Ward and Stranford, 1979), 유속 및 하상 변화 등 하천생태계 연속성의 교란 요인으로 작용하게 된다(Baxter, 1997; Kim, 2017). 대표적인 하천 인공구조물인 댐에 의한 서식환경의 변화는 하천생태계의 생물상에 직접적인 영향을 미쳐(Gregory *et al.*, 1991; Stevens *et al.*, 1995), 생물들의 서식환경을 급격하게 변화시키고 있다(Lee *et al.*, 2013).

경상북도 영주시 평은면 내성천에 위치한 영주댐은 2009년 12월에 공사를 착공하여 2016년 12월에 준공하였다(Kang and Lee, 2015). 내성천의 경우 하상이 모래로 이루어져 있어 추가적으로 영주댐 상류에 유사조절지(모래차단댐)를 설치하여 모래의 침식을 방지하였다. 유사조절지는 사방댐과 유사한 개념을 가지고 있으나 토석·나무 등을 차단하는 사방댐과 달리 모래 등을 차단함으로써 하류로 이동하는 모래 등을 저지한다(Kim, 2016). 이러한 인공구조물의 건설은 생물군집에 영향을 미치며, 하천에 서식하는 생물군집은 인위적인 교란에 종 특이적인 반응을 나타내는 것으로 알려져 있다(Kwak *et al.*, 2004). 그 중 저서성 대형무척추동물은 다른 생물군에 비하여 상대적으로 다양하고 풍부한 무리이며(Ward, 1992; Kim, 2014), 이동성이 적고 개체수가 풍부하여 하천생태계의 먹이사슬에 중요한 역할을 하고 있다(Ward, 1992). 또한, 하천의

물리적, 생물학적 요인 등의 서식환경 변화에 민감한 분류군으로 하천생태계 환경을 평가하는 지표가 되어 환경변화를 평가하는데 유용하게 이용될 수 있다(Barnes and Minshall, 1983; Kim *et al.*, 2005; Kim, 2013). 하천생태계 교란에 민감한 저서성 대형무척추동물은 댐과 같은 인공구조물 건설에 큰 영향을 받으며(Tiemann *et al.*, 2004), 개체군, 종조성, 생물상 등의 변화를 통해 하천생태계의 교란을 유추할 수 있다(Gray, 1981).

영주댐 건설 이후 유량과 유사량 감소에 따른 침식과 모래사장의 감소 및 소멸에 대한 문제가 대두되고 있는 실정이며, 댐 건설이 하류하천 하상에 미치는 영향 분석(Choo and Chae, 2012), 댐 하류하천에서 유사공급에 의한 하도의 지형변화 수치모의 분석(Kang *et al.*, 2016) 등 영주댐 건설 이후 유사량 및 하상 변화 등에 대한 연구가 진행되고 있다. 한편, 영주댐 관련 생물상 연구는 영주댐 예정지인 내성천의 어류상과 군집구조의 변화(Kang *et al.*, 2011), 댐 하류 하천에서 하상변동 모델을 이용한 어류 물리서식처 변화 모의(Kim and Choi, 2015) 등 대부분 어류와 관련된 연구가 진행되어 왔으나 저서성 대형무척추동물에 대한 연구는 영주댐 담수 이전의 자료(Kim, 2016)가 전부이다. 따라서, 본 연구는 환경변화에 민감한 저서성 대형무척추동물을 대상으로 영주댐 담수 이전과 이후의 인위적인 교란의 영향을 시·공간적으로 비교·분석하여 댐에 의한 환경변화가 저서성 대형무척추동물에 미치는 영향을 파악하고자 실시하였다.

연구방법

1. 조사시기

영주댐 담수 이후의 영향을 파악하기 위하여 과거문헌과 유

사한 시기인 2018년 4월부터 2018년 10월까지 총 4회에 걸쳐 조사를 실시하였다. 과거 문헌자료(Kim, 2016)는 2014년 3월부터 10월까지 총 4회에 걸쳐 조사를 실시하였다.

1차조사: 2018년 04월 01일

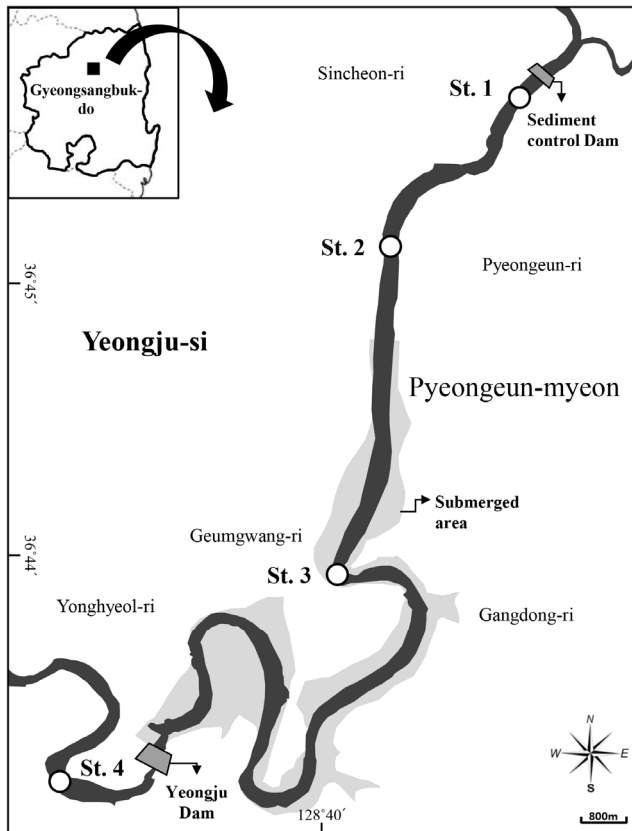
2차조사: 2018년 05월 14일

3차조사: 2018년 09월 03일

4차조사: 2018년 10월 10일

2. 조사지점

조사지점의 선정은 과거문헌과 비교하기 위해 경상북도 영주시 평은면에 위치한 영주댐을 기준으로 하류 1지점, 상류 3지점을 선정하였다(Figure 1). St. 1은 영주댐 상류에 추가적



St. 1 경상북도 영주시 이산면 신천리 1273-41

(N: 36°46'59.11", E: 128°42'01.40")

St. 2 경상북도 영주시 이산면 운문리 내성천교

(N: 36°45'49.53", E: 128°41'01.07")

St. 3 경상북도 영주시 평은면 강동리 1273-1

(N: 36°44'19.52", E: 128°40'39.37")

St. 4 경상북도 영주시 평은면 용혈리 미림교

(N: 36°43'08.70", E: 128°38'44.46")

Figure 1. Map showing the study sites in Yeongju dam region.

으로 설치된 유사조절지 하류에서 실시하였으며, St. 2는 영주댐과 유사조절지 사이에 위치하고 있어 상대적으로 높은 모래 비율을 유지하는 것으로 확인되었다. St. 3은 댐 건설이후 수몰된 지점으로 주변에 철거된 교각과 농경지 등이 위치하고 있었으며, St. 4는 영주댐 하류로 모래의 비율이 높았으나 상대적으로 다른 지점에 비해 진흙과 자갈의 비율이 높은 것으로 확인되었다.

3. 조사방법

1) 채집 및 분류

저서성 대형무척추동물의 정량 채집은 유량 및 환경 특성을 고려하여 Surber sampler(30cm x 30cm, 망목 0.2mm)를 이용하여 조사지점별 riffle, run, pool에서 각 1회씩 3회 정량채집을 실시하였다. 또한 Hand net(18mm, 망목 0.5mm)을 이용하여 다양한 미소서식처에서 정성채집을 병행하였다. 채집된 저서성 대형무척추동물은 현장에서 500ml Vial에 담아 99% Ethanol로 고정하여 실험실로 운반하였다. 운반된 채집물은 유기물로부터 저서성 대형무척추동물을 골라내어 Vial(10~25ml)에 옮긴 후 80% Ethanol로 보존하였다. 수서곤충은 McCafferty(1981), Yoon(1988, 1995), Merritt *et al.*(2008), Kim *et al.*(2013), Kwon *et al.*(2013) 등을 참고하여 동정을 실시하였으며, 연체동물과 거머리류는 각각 Kwon(1990), Song(1995)을 참고하여 동정하였다. 갈따구류(Chironomidae spp.)는 정확한 종과 속 수준의 동정이 제한되어 과 수준(Family level)으로 동정하였다.

2) 군집분석

채집된 저서성 대형무척추동물을 대상으로 출현종수, 출현개체수, 우점종, 아우점종, 우점도지수(McNaughton, 1967), 다양도지수(Shannon and Weaver, 1949), 균등도지수(Pielou, 1975), 풍부도지수(Margalef, 1958)를 분석하였으며, 개체수에 대한 평균은 표준편차(\pm SD)로 나타내었다.

3) 기능군 분석

저서성 대형무척추동물의 기능군은 먹이자원의 특성을 나타내는 섭식기능군(Functional Feeding Groups, FFGs)과 환경적 요인을 나타내는 서식기능군(Habitat Oriented Groups, HOGs)으로 분류된다(Ro and Chun, 2004; Merritt *et al.*, 2008). 섭식기능군은 크게 썰어먹는무리(Shredders), 긁어먹는무리(Scrapers), 주워먹는무리(Gathering-Collectors), 걸러먹는무리(Filtering-Collectors), 잡아먹는무리(Predators)로 나눌 수 있다. 서식기능군은 크게 헤엄치는무리(Swimmers), 붙는무리(Clingers), 기는무리(Sprawler), 기어오르는무리(Climbers), 굴파는무리(Burrowers)로 나눌 수 있다. 저서성 대형무척추동물을 대상으로 섭식기능군 및 서식기능군을 분석하였다.

4) 저서동물 하천하상지수(BMSI)

저서동물 하천하상지수(Benthic Macroinvertebrate Streambed Index, BMSI)는 국내 저서성 대형무척추동물의 하상기질에 대한 선호도를 분석하여 각 종의 지표치와 상대출현도를 이용해 하상기질의 유형에 따른 출현 특성을 분석하여 나타낸 지수이다. 저서동물 하천하상지수는 Kong and Kim(2016)에 의해 개발되었으며, Lithophilous(큰돌선호성), Psephophilous(자갈선호성), Moderate(중간성), Psammophilous(모래성), Pelophilous(진흙성) 등 총 5단계로 구분할 수 있다(Table 1).

Table 1. Classification of Benthic macroinvertebrate streambed index(BMSI) for evaluation of streambed substrate status

Lithophility class	Benthic macroinvertebrates streambed index (BMSI)	Lithophility
A	85≤~100	Lithophilous
B	65≤~<85	Psephophilous
C	30≤~<65	Moderate
D	15≤~<30	Psammophilous
E	0~<15	Pelophilous

5) 통계분석

통계분석은 SPSS(ver. 18.0)를 이용하여 상관관계 분석을 실시하였으며, 조사지점에 따른 우점종 및 아우점종 간의 상관성을 파악하기 위해 PC-ORD(ver. 5)를 이용하여 주성분 분석(Principal Components Analysis) 및 상관관계 분석(Pearson correlation analysis)을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 담수 전 · 후 출현종 비교

조사기간 동안 출현한 저서성 대형무척추동물은 총 3문 7강 14목 48과 77종 35,037개체/m²가 출현하였다(Table 2). 분류군별 출현비율은 하루살이목(Ephemeroptera)에서 7과 20종(25.97%)으로 가장 높게 나타났으며, 파리목(Diptera) 11과 15종(19.48%), 비곤충류(Non-Insects) 10과 12종(15.58%), 날도래목(Trichoptera) 6과 11종(14.29%), 잠자리목(Odonata) 5과 8종(8.91%), 딱정벌레목(Coleoptera) 3과 5종(6.49%), 노린재목(Hemiptera) 4과 4종(5.19%), 강도래목(Plecoptera) 2과 2종(2.60%) 순으로 출현하였다.

Table 2. Individual number of benthic macroinvertebrate in Yeongju dam to 2014, 2018

Species	2014	2018	Species	2014	2018
<i>Dugesia japonica</i>	62.9	265.2	<i>Gomphus postacularis</i>		13.6
<i>Pomacea canaliculata</i>	7.4		<i>Nihonogomphus</i> KUa		6.8
<i>Semisulcospira forticosta</i>	29.6		<i>Onychogomphus ringens</i>		3.4
<i>Semisulcospira libertina</i>	11.1		<i>Epithea marginata</i>		3.4
<i>Radix auricularia</i>	81.4	176.8	<i>Macromia amphigena fraenata</i>	7.4	
<i>Physa acuta</i>	7.4	3.4	<i>Nemoura</i> KUa	33.3	34
<i>Oxyloma hirasei</i>		3.4	<i>Perlodes</i> KUa	1069.3	6.8
<i>Corbicula fluminea</i>	3.7	68	<i>Sweltsa nikkoensis</i>	3.7	
<i>Chaetogaster limnaei</i>		71.4	<i>Micronecta</i> sp.	225.7	238
<i>Branchiura sowerbyi</i>		227.8	<i>Notonecta triguttata</i>	14.8	
<i>Limnodrilus</i> sp.	118.4	8510.2	<i>Muljarus japonicus</i>	11.1	3.4
<i>Alboglossiphonia lata</i>	3.7		<i>Laccotrephes japonensis</i>	11.1	3.4
<i>Glossiphonia complanata</i>		6.8	<i>Ranatra chinensis</i>	11.1	
<i>Hemiclepsis marginata</i>		6.8	<i>Aquaris paludum</i>		6.8
<i>Erpobdella lineata</i>	7.4	68	<i>Potamonectes hostilis</i>	11.1	
<i>Asellus</i> sp.		3.4	<i>Helochares striatus</i>		17
<i>Choroterpes altiocularis</i>	48.1		<i>Laccobius binotatus</i>		3.4
<i>Potamanthus formosus</i>	392.2	10.2	Hydrophilidae sp. (Larva)		132.6

Species	2014	2018	Species	2014	2018
<i>Potamanthus yooni</i>		159.8	Elmidae sp.	29.6	
<i>Potamanthus luteus oriens</i>	3.7		<i>Stenelmis vulgaris</i>		44.2
<i>Rhoenanthus coreanus</i>	96.2		<i>Malacopsephenoides japonicus</i>	3.7	
<i>Ephemera orientalis</i>	55.5	265.2	<i>Galerucella nipponensis</i>		6.8
<i>Cincticostella levanidovae</i>	40.7		<i>Antocha</i> KUa	677.1	948.6
<i>Drunella cryptomeria</i>	29.6		<i>Tipula</i> KUa		68
<i>Ephemerella dentata</i>	651.2	71.4	<i>Tipula latemarginata</i> Alexander	48.1	54.4
<i>Ephemerella kozhovi</i>	22.2	3.4	<i>Culex</i> sp.		3.4
<i>Serratella setigera</i>	11.1	34	<i>Simulium</i> sp.	777	435.2
<i>Uracanthella rufa</i>	1302.4	717.4	Ceratopogonidae sp.	70.3	23.8
<i>Caenis</i> KUa	62.9	503.2	Chironomidae sp.(White)	2427.2	10251
<i>Ecdyonurus bajkovae</i>	3.7		Chironomidae sp.(Red)	148	5994.2
<i>Ecdyonurus joernensis</i>	22.2		Tanypodinae sp.		428.4
<i>Ecdyonurus kibunensis</i>	18.5	30.6	<i>Atherix</i> KUa		3.4
<i>Ecdyonurus levis</i>	18.5	6.8	Dolichopodidae sp.	11.1	27.2
<i>Epeorus curvatus</i>	129.5		<i>Tabanus kinoshitai</i>	7.4	3.4
<i>Epeorus pellucidus</i>	210.9		Syrphidae sp.		3.4
<i>Acentrella gnom</i>	299.7	119	Ephydridae sp.	111	88.4
<i>Acentrella sibirica</i>	48.1	23.8	Mucidae sp.		10.2
<i>Baetiella tuberculata</i>	802.9	258.4	<i>Psychomyia</i> KUa	25.9	1105
<i>Baetis fuscatus</i>	1110	513.4	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	2356.9	1057.4
<i>Baetis silvaticus</i>		98.6	<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>	3674.1	326.4
<i>Baetis ursinus</i>	355.2	17	<i>Hydropsyche orientalis</i>	107.3	23.8
<i>Labiobaetis atrebatinus</i>	236.8	153	<i>Hydropsyche valvata</i>	2723.2	476
<i>Nigrobaetis bacillus</i>	347.8	3.4	<i>Macrostemum radiatum</i>		27.2
<i>Procloeon maritimum</i>	33.3		<i>Rhyacophila brevicephala</i>	462.5	
<i>Procloeon pennulatum</i>	51.8	95.2	<i>Rhyacophila</i> KUa		3.4
<i>Siphonurus chankae</i>	1927.7	479.4	<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	3.7	
<i>Cercion calamorum</i>	3.7	6.8	<i>Glossosoma</i> KUa	621.6	
<i>Ischnura asiatica</i>	3.7		<i>Hydroptila</i> KUa	7.4	40.8
<i>Copera annulata</i>		17	<i>Apatania</i> KUa	3.7	3.4
<i>Platycnemis phillopoda</i>	7.4		<i>Apatania</i> KUb		30.6
<i>Calopteryx atrata</i>	18.5	10.2	<i>Goera japonica</i>	7.4	
<i>Calopteryx japonica</i>	25.9		<i>Ceraclea</i> KUa	3.7	
<i>Anisogomphus maacki</i>	3.7		<i>Mystacides</i> KUa		57.8
<i>Davidius lunatus</i>		10.2			

조사지점별 담수 이후 종수를 비교한 결과(Figure 2), St. 1은 58종에서 48종, St. 2는 42종에서 50종, St. 3은 42종에서 24종, St. 4는 61종에서 44종으로 대부분의 지점에서 종수가 감소하는 것으로 분석되었다. 담수 전에만 출현한 종수와 담수 후에만 출현한 종수를 비교한 결과, St. 1은 33종에서 23종,

St. 2는 18종에서 26종, St. 3은 27종에서 9종, St. 4는 37종에서 20종으로 유사조절지와 영주댐 하류지점인 St. 1과 St. 4에서 종조성의 변화가 높은 것으로 나타났으며, 수몰지역인 St. 3에서는 공통종이 적게 출현하여 서식환경의 변화를 시사하고 있었다. 담수 전·후에 공통적으로 출현한 종은 47종으로 분석

되었으며, 담수 이전에만 출현한 종은 세갈래하루살이 (*Choroterpes altiocus*), 녹색강도래(*Sweltsa nikkoensis*), 일본가시날도래(*Goera japonica*) 등 총 30종, 담수 이후에만 출현한 종은 물지렁이(*Chaetogaster limnaei*), 노란측범잠자리(*Onychogomphus ringens*), 집파리류(*Mucidae* sp.) 등 총 30종으로 영주댐 담수 이후 하상변화 및 유속감소로 인해 유수 역을 선호하는 종들의 변화가 비교적 크게 나타난 것으로 분석되었다. 댐에 의한 인위적인 담수 및 방류는 하류지점의 바닥물 질 구성과 크기에 영향을 미쳐 생물상을 빈약하게 만드는 것으로 알려져 있으며(Kondolf, 1997; Camargo and Voelz, 1998), 본 연구에서도 영주댐 담수와 방류에 의한 서식환경의 교란으로 종조성의 변화가 나타난 것으로 판단된다.

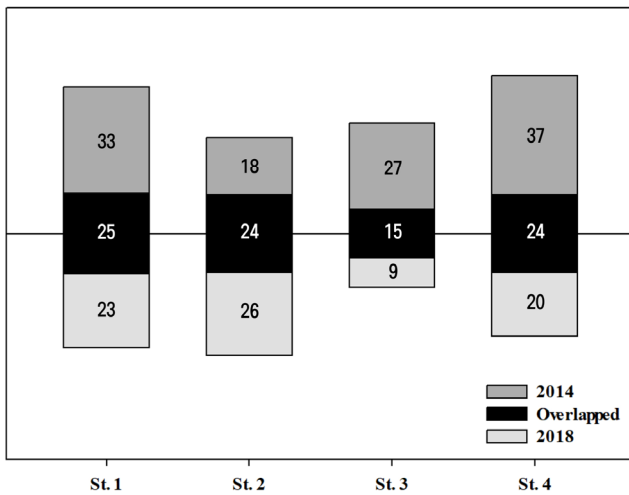


Figure 2. Benthic macroinvertebrate appearance species change analysis in Yeongju dam to 2014, 2018.

조사지점별 목별 구성비 분석결과(Figure 3), 출현종수는 담수 이후 하루살이목이 28종에서 20종으로 감소하고 파리목은 9종에서 15종으로 증가하였으며, 출현개체수는 날도래목이 9,997.4개체/m²에서 3,151.8개체/m²로 감소하고 파리목에서 4,277.2개체/m²에서 18,343.0개체/m²로 증가하였다. 날도래목의 경우 유수환경을 선호하여 대부분의 유수생태계에서 중요한 위치를 차지하는 것으로 알려져 있는데(Rabeni *et al.*, 2005), 영주댐 담수 이후 유속의 감소로 날도래목의 개체수가 감소한 것으로 판단된다. 또한, Won *et al.*, 2017에 따르면, 영주댐 공사 중 댐에 의해 유속이 느려지면서 썩의 함량이 많은 것으로 나타났는데, 본 연구결과에서도 영주댐 담수 이후 썩이 형성되면서 굴파는무리인 깔따구류 등과 같은 파리목의 종수 및 개체수가 증가하였기 때문에 판단된다.

2. 군집분석

군집분석 결과, 담수 이후 우점도지수는 평균 0.44(±0.11)에서 0.62(±0.16)로 증가하였으며, 다양도지수는 평균 2.26(±0.30)에서 1.75(±0.45), 균등도지수는 평균 0.75(±0.10)에서 0.66(±0.14), 풍부도지수는 평균 3.11(±0.98)에서 2.25(±0.81)로 감소하였다. 결과적으로 담수 이후 지점별 우점도지수가 증가하였으며, 다양도지수, 균등도지수, 풍부도지수는 대부분의 지점에서 감소한 것으로 분석되어 종조성 차이에 따른 군집구조의 변화가 나타난 것으로 판단된다.

담수 전·후의 조사지점별 우점종 및 아우점종을 분석한 결과 (Table 3), St. 1은 줄날도래(*Hydropsyche kozhantschikovi*), 옛하루살이(*Siphonurus chankae*)에서 실지렁이류(*Limnodrilus* sp.)와 깔따구 sp. 1(*Chironomidae* sp. 1)으로 우점종 및 아우점종이 변화하였으며, St. 2는 먹파리류(*Simulium* sp.)와 개똥

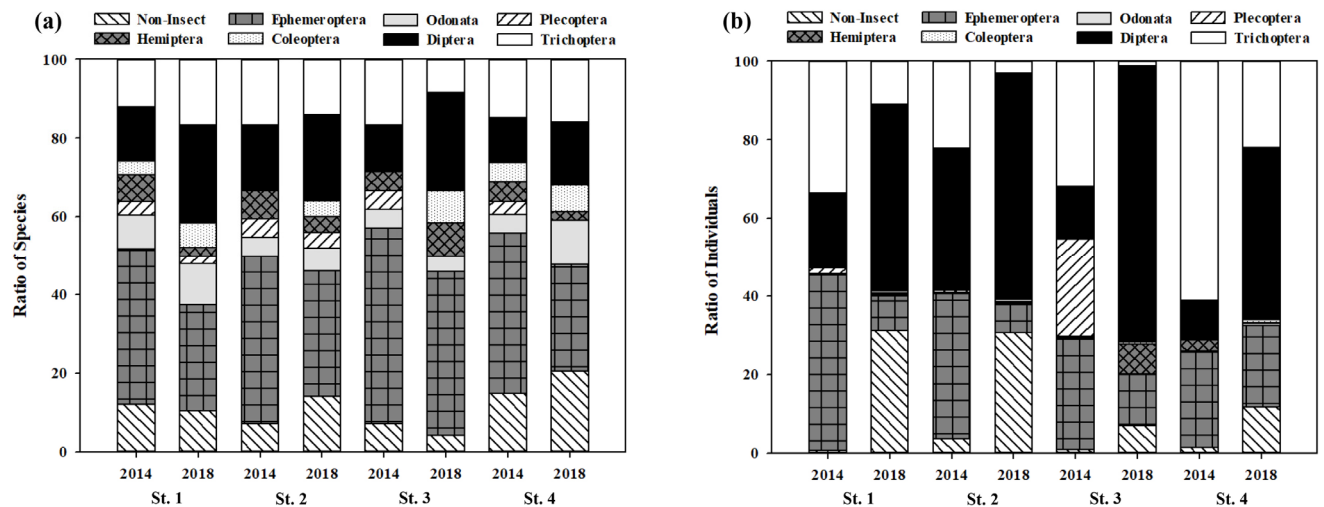


Figure 3. Composition of major benthic macroinvertebrate species and individuals at the study sites in Yeongju dam.

Table 3. Community index and dominant species according to the study sites in Yeongju dam

Sites	Dominant species	Subdominant species	DI	H'	E	RI	
2014	St. 1	<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>	<i>Siphonurus chankae</i>	0.44(±0.03)	2.34(±0.14)	0.73(±0.09)	3.73(±1.08)
	St. 2	<i>Simulium</i> sp.	<i>Baetis fuscatus</i>	0.41(±0.07)	2.23(±0.26)	0.85(±0.04)	2.53(±0.57)
	St. 3	<i>Perlodes</i> KUa	<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>	0.38(±0.11)	2.47(±0.35)	0.76(±0.07)	3.41(±1.31)
	St. 4	<i>Hydropsyche valvata</i>	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	0.55(±0.15)	2.01(±0.33)	0.66(±0.08)	2.75(±0.57)
	Mean	<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>	<i>Hydropsyche valvata</i>	0.44(±0.11)	2.26(±0.30)	0.75(±0.10)	3.11(±0.98)
2018	St. 1	<i>Limnodrilus</i> sp.	Chironomidae sp. 1	0.45(±0.04)	2.25(±0.10)	0.77(±0.06)	2.80(±0.53)
	St. 2	Chironomidae sp. 1	<i>Limnodrilus</i> sp.	0.70(±0.13)	1.40(±0.30)	0.72(±0.19)	1.46(±0.30)
	St. 3	Chironomidae sp. 1	Chironomidae sp. 2	0.64(±0.16)	1.74(±0.41)	0.60(±0.13)	2.38(±0.59)
	St. 4	Chironomidae sp. 2	Chironomidae sp. 1	0.68(±0.19)	1.61(±0.49)	0.56(±0.11)	2.37(±1.14)
	Mean	Chironomidae sp. 1	<i>Limnodrilus</i> sp.	0.62(±0.16)	1.75(±0.45)	0.66(±0.14)	2.25(±0.81)

하루살이(*Baetis fuscatus*)에서 깔따구 sp. 1, 실지렁이류로 변화하였다. St. 3은 점등그물강도래 KUa(*Perlodes* KUa), 줄날도래에서 깔따구 sp. 1, 깔따구 sp. 2(Chironomidae sp. 2)로 변화하였으며, St. 4는 흰점줄날도래(*Hydropsyche valvata*), 꼬미줄날도래(*Cheumatopsyche brevilineata*)에서 깔따구 sp. 2, 깔따구 sp. 1으로 변화하였다. 유기물 등의 먹이를 선호하는 줄날도래류와 먹파리류의 경우 유속이 있는 환경을 선호하는 것으로 알려져 있으며(Rabeni *et al.*, 2005), 땅 속에 굴을 파서 서식하는 특성을 가진 깔따구류의 경우 물리적인 교란에 의한 영향이 적고(Kim *et al.*, 2016), 유기물질이 퇴적되어 있는 곳에 굴을 파고 정착하는 것으로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2004). 담수 이후 대부분의 지점에서 우점종이 줄날도래류에서 깔따구류로 변화한 것은 유속 감소로 인한 유수환경을 선호하는 줄날도래류의 개체수가 감소하고 유기물질이 퇴적되어 있는 곳에 정착하는 깔따구류의 개체수가 증가했기 때문인 것으로 판단된다.

조사지점별, 우점종, 아우점종에 대한 주성분 분석(PCA) 결과(Figure 4), 종 분산에 대한 설명력(% of variance explained)은 Axis 1은 42.1%, Axis 2는 16.9%로 나타나 총 59.0%로 분석되었다. 조사지점별 분석 결과, Axis 1을 기준으로 2014년의 지점은 음의 값(St. 1, 3, 4)을 나타내었으며, 2018년의 지점은 양의 값을 나타내는 것으로 분석되었다. 또한, 우점종 및 아우점종에 대한 분석 결과, 조사지점별 분석 결과와 마찬가지로 Axis 1을 기준으로 2014년에 출현한 우점종, 아우점종은 음의 값을 나타내었으며, 2018년에는 양의 값을 나타내는 것으로 분석되었다. 2014년에 출현한 우점종 및 아우점종의 경우 대부분 줄날도래류, 먹파리류, 점등그물강도래 KUa 등의 유수역 및 낮은 내성도를 가진 종들이 출현하였으나 2018년에는 깔따구류, 실지렁이류와 같은 높은 내성도를 가진 종들이 출현하여 담수 이후 수환경이 변화되었음을 시사하고 있었다.

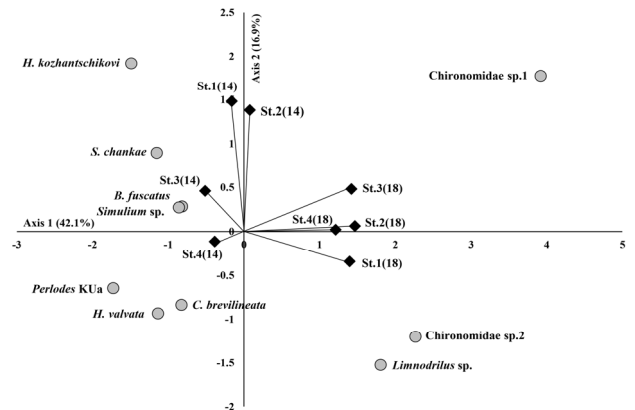


Figure 4. Principal Components Analysis(PCA) on study sites(diamond), dominant species, subdominant species(circle) on benthic macroinvertebrate in Yeongju dam.

3. 기능군 분석

섭식기능군(FFGs) 및 서식기능군(HOGs)은 수서곤충의 먹이자원 특성과 서식처의 환경적 요인을 나타내는 것으로 알려져 있다(Cummins, 1973). 섭식기능군 분석 결과, 긁어먹는무리(Scrapers)는 18종에서 7종으로 감소하였으며, 걸러먹는무리(Filtering-Collectors)는 6종에서 8종, 주워먹는무리(Gathering-Collectors)는 28종에서 32종, 잡아먹는무리(Predator)는 22종에서 24종, 썰어먹는무리(Shredders)는 3종에서 5종으로 증가하였다(Figure 5a). 둘에 부착된 조류나 이끼, 유기물 등을 긁어먹는무리는 대부분 1차생산력이 높아 비율이 일정하게 나타나는 것으로 알려져 있으나(Shin *et al.*, 2006), 영주댐 담수 이후 서식환경의 변화로 긁어먹는무리가 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 걸러먹는무리는 미세입상유

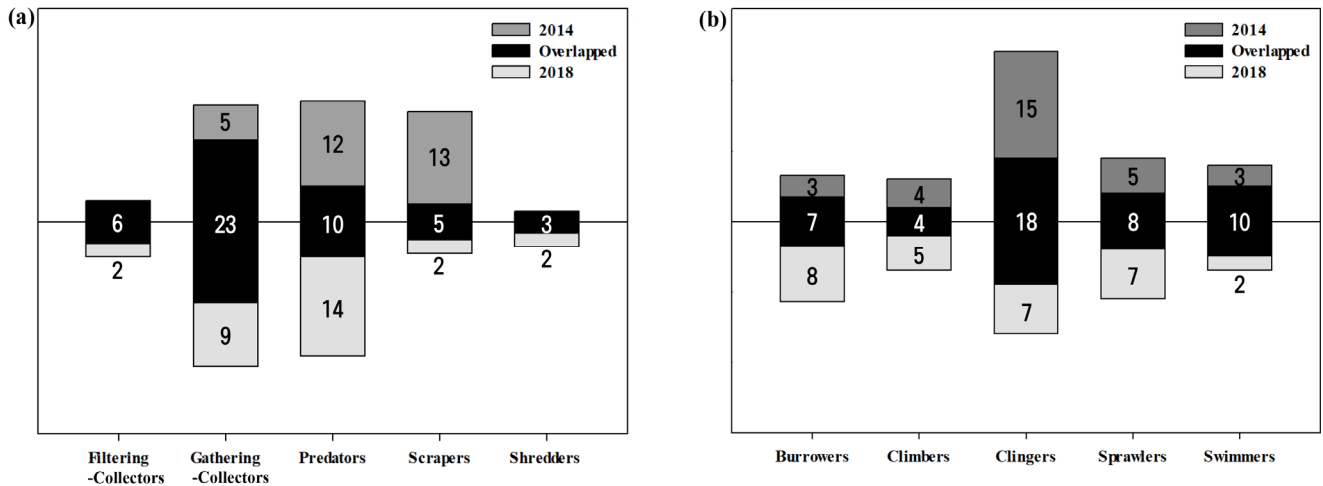


Figure 5. Species change of the functional feeding groups(a) and habitat oriented groups(b) in Yeongju dam to 2014, 2018.

기물질(Fine Particulate Organic Matter, FPOM: 0.5 μ m~0.1 mm)을 선호하는 것으로 알려져 있어 종수는 증가하였으나, 일정 유속을 필요로 하는 걸러먹는 무리의 개체수는 유속의 감소로 9,642.2개체/m²에서 2,417.4개체/m²로 급격히 감소하였다.

서식기능군 분석 결과, 붙는무리(Clingers)는 33종에서 25종, 헤엄치는무리(Swimmers)는 13종에서 12종으로 감소하였으며, 굴파는무리(Burrowers)는 10종에서 15종, 기어오르는무리(Climbers)는 8종에서 9종, 기는무리(Sprawlers)는 13종에서 15종으로 증가하였다(Figure 5b). 미소서식처의 다양성이 상대적으로 높은 우수역의 경우 붙는무리가 다양하게 분포하며(Ward, 1992), 정수역일 경우 붙는무리는 감소하고 굴파는 무리가 증가하는 것으로 알려져 있다(Yoon *et al.*, 1992). 본 연구에서도 영주댐으로 인해 정수역이 형성되어 붙는 무리는 감소하고 굴파는 무리가 증가한 것으로 판단되며, 굴파는 무리는 상대적으로 유속이 낮은 영주댐 상류지점에서 695.6개체/m²에서 10,410.8개체/m²로 급격히 증가하였다. Kil *et al.*(2010)에 따르면 댐에 의한 상류지점의 정수역 형성으로 굴파는 무리가 높은 비율로 출현한다는 연구결과와 일치하는 것으로 분석되었다.

4. 저서동물 하천하상지수(BMSI)

조사지점별 2014년과 2018년의 BMSI 분석 결과는 다음과 같다(Figure 6). 평균 BMSI는 57.1(\pm 8.0, C 등급)에서 30.0(\pm 12.1, C 등급)으로 감소하였으며, St. 1은 61.0(\pm 19.1, C 등급)에서 41.8(\pm 21.9, C 등급), St. 2는 52.7(\pm 22.1, C 등급)에서 39.0(\pm 35.9, C 등급), St. 3은 48.5(\pm 9.4, C 등급)에서 21.4(\pm 10.7, D 등급), St. 4은 66.2(\pm 27.0, B 등급)에서

17.9(\pm 17.0, D 등급)로 분석되었다. 평균 BMSI와 모든 조사지점별 BMSI가 감소한 것으로 나타났으며, St. 3은 C 등급에서 D 등급, St. 4는 B 등급에서 D 등급으로 다른 두 지점에 비하여 급격히 BMSI가 감소한 것으로 나타났다. BMSI는 여울에서 소(pool)로 갈수록 감소하는 경향을 나타내며(Kim *et al.*, 2017), 영주댐 담수 이후 우수역에서 정수역으로 하천생태계가 변화함에 따라 BMSI도 감소한 것으로 판단된다. St. 3은 댐에 의해 수몰된 지점으로 다른 지점에 비해 유속의 변화가 높아 BMSI가 급격하게 감소한 것으로 판단되며, St. 4는 영주댐 하류에 위치한 지점으로 댐의 크기가 클수록 하상의 변화가 큰 것으로 알려져 있어 다른 지점에 비해 BMSI의 감소율이 높게 나타난 것으로 판단된다.

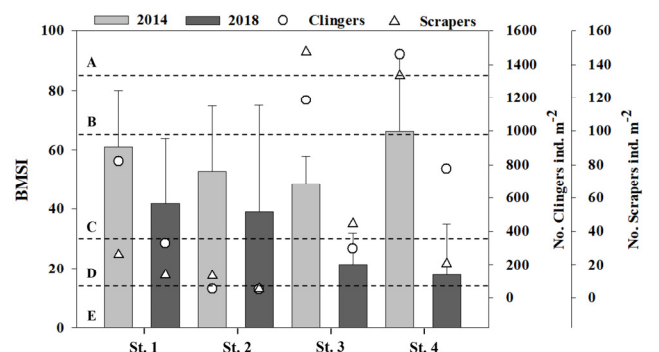


Figure 6. BMSI, Clingers and Scrapers in Yeongju dam to 2014, 2018.

BMSI와 군집분석, 섭식기능군, 서식기능군의 상관관계 분석 결과(Table 4), 우점도지수는 음의 상관성을 나타냈으며,

Table 4. Correlation coefficient analysis of each item according to the BMSI in Yeongju dam

BMSI	Community index				Functional Feeding Groups					Habitat Oriented Groups				
	DI	H'	E	RI	FC	GC	PR	SC	SH	BU	CB	CG	SP	SW
	-0.793*	0.889**	0.718*	0.682	0.352	0.438	0.164	0.782*	-0.260	-0.293	-0.078	0.807*	0.123	0.654

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

DI: Dominant index, H': Diversity index, E: Evenness index, RI: Richness index, FC: Filtering Collectors, GC: Gathering Collectors, PR: Predators, SC: Scrapers, SH: Shredders BU: Burrowers, CB: Climbers, CG: Clingers, SP: Sprawlers, SW: Swimmers

다양도지수, 풍부도지수는 양의 상관성을 나타내었다. 섭식기능군과 서식기능군은 하상구조물에 영향을 받는 굽어먹는무리와 붙는무리에서 양의 상관성을 나타내었다. BMSI의 비율과 굽어먹는무리 및 붙는무리의 비율은 유사한 경향을 나타내는 것으로 알려져 있으며(Kim *et al.*, 2017), BMSI와 기능군 상관관계 분석에서 굽어먹는무리와 붙는무리의 출현율을 비교하였을 때, 담수 이후 유사하게 감소하는 것으로 분석되었다.

Resour. Assoc. 49(8): 693-705. (in Korean with English abstract)

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 J. Limnol. 44(2): 226-238. (in Korean with English abstract)

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 J. Limnol. 43(2): 190-198. (in Korean with English abstract)

Kim, J.H.(2014) Hydraulic habitat analysis of benthic macroinvertebrates at Gapyeong Stream. Korean J. Water Resources Association 47(1): 63-70. (in Korean with English abstract)

Kim, J.W., A.R. Kim and D.S. Kong(2017) Classification of microhabitats based on habitat orientation groups of benthic macroinvertebrate communities. Korean J. Environ. Soc. 33(6): 728-735.(in Korean with English abstract)

Kim, J.Y.(2013) Development of Korean thermality index using benthic macroinvertebrates. University of Kyonggi Press, Suwon. (in Korean with English abstract)

Kim, J.Y.(2016) The influence of sediment control dam on benthic macroinvertebrate community stability of Naeseongcheon Stream. Ph. D. Univ. of Andong, Andong. (in Korean with English abstract)

Kim, M.C., S.P. Cheon and J.G. Lee(2013) Invertebrates in Korean Freshwater Ecosystems. Geobook.

Kim, P.J., J.Y. Kim, S.H. Son, D.H. Won and D.S. Kong(2016) Comparative analysis of benthic macroinvertebrate communities before and after the restoration project in the Kyoungan Stream. Korean J. Water Environ. Soc. 32(1): 15-22. (in Korean with English abstract)

Kim, S.K. and S.U. Choi(2015) Simulation of change in physical habitat of fish using the mobile bed model in a downstream river of dam. Ecology and Resilient Infrastructure 2(4): 317-323. (in Korean with English abstract)

Kim, T.W., S.H. Lee, K.S. Lee and J.P. Park(2004) The distribution of chironomids by flow mechanisms. Korean J. Water Resource Association, Academic Press, pp. 399-403. (in

REFERENCES

Barnes, J.R. and G.W. Minshall(1983) Stream ecology, Application and Testing of general ecological theory. Plenum Press, London, 399pp. (in Korean with English abstract)

Baxter, R.M.(1997) Environmental effects of dams and impoundments. Annual Review of Ecology and Systematics 8: 255-283.

Camargo, J.A. and N.J. Voelz(1998) Biotic and abiotic changes along the recovery gradient of two impounded rivers with different impoundment use. Environmental Monitoring and Assessment 50: 143-158.

Choo, T.H. and S.K. Chae(2012) Influence analysis for natural reiver bed with dam construction. Korean J. Wetlands Research 14(4): 715-723. (in Korean with English abstract)

Cummins, K.W.(1973) Trophic relation of aquatic insects. Ann. Rev. Entomol. 18: 183-206.

Gray, J.S.(1981) Detecting pollution induced changes in communities using the log-normal distribution of individuals among species. Mar. Pollut. Bull. 10: 173-176.

Gregory, S.V., F.J. Swanson, W.A. McKee and K.W. Cummins(1991) An ecosystem perspective of riparian zones. BioScience 41: 540-551.

Kang, G.H. and W.S. Lee(2015) Introduction of Yeongju Multipurpose Dam construction project. Water for Future 48(3): 63-70. (in Korean)

Kang, K.H., C.L. Jang, G.H. Lee and K.S. Jung(2016) Numerical analysis of the morphological changes by sediment supply at the downstream channel of Youngju dam. Korean J. Water

- Korean)
- Kim, W.(2017) Ecological monitoring for the management of sand-bed stream. *Ecology and Resilient Infrastructure* 4(1): 001-002. (in Korean)
- Kim, Y.K., Y.J. Bae, G.S. Yoo, D.H. Yeom, S.K. Lee, S.H. Lee, J.H. Lee and K.J. Cho(2005) Invertebrate Biological Indicators and Environmental Risk Assessment. Junghaengsa, 211pp. (in Korean)
- Kondorf, G.M.(1997) Hungry water: Effects of dams and gravel mining on river channels. *Environmental Management* 21: 533-551. (in Korean)
- Kong, D.S. and J.Y. Kim(2016) Development of benthic macroinvertebrates streambed index (BMSI) for bioassessment of stream physical habitat. *Korean J. Water Environ. Soc.* 32(1): 1-14. (in Korean with English abstract)
- Kwak, I.S., M.Y. Song and T.S. Chon(2004) The effects of natural disturbances on benthic macroinvertebrate. *Korean J. Limnol.* 37(1): 87-95. (in Korean with English abstract)
- Kwon, O.K.(1990) Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea. Mollusca(I). Ministry of Education Press, Seoul. (in Korean)
- Kwon, S.J., Y.C. Jeon and J.H. Park(2013) Illustrated book of water creature(Benthic macroinvertebrates). Nature and ecology.
- Lee, C.J., S.J. Chung and S.Y. Hwang(2013) Study on the monitoring of the changes in landform and riparian vegetation of sand-bed stream before the dam construction: In the case of Naesung Stream before the dam construction. *Water for Future* 46(5): 120-127. (in Korean)
- Lee, G.R., Y.D. Cho, D.S. Kim, J.S. Kim, W.H. Jeong, H.J. Cho and K.H. Yun(2010) A study on geomorphic environments and sediments of channels at Naeseongcheon River in Gyeongpook Province. *Korean. J. Association of Regional Geographers* 16(2): 85-99. (in Korean)
- Margalef, R.(1958) Information theory in ecology. *General Systems bull, University of Louisville, Systems Sic, Ins.* 3: 36-71.
- McCafferty, W.P.(1981) Aquatic entomology: the fisherman's and ecologist's illustrated guide to insects and their relatives. Science Book International, Boston, 448pp.
- McNaughton, S.J.(1967) Relationship among functional properties of California grassland. *Letters to Nature* 216: 168-169.
- Merritt, R.W., K.W. Cummins and M.B. Berg(2008) An introduction to the aquatic insects of north america(4th Ed). Kendall/Hunt Publish, 1158pp.
- Pielou, E.C.(1975) Ecological diversity. John Wiley & Sons, New York, 165pp.
- Rabeni, C.F., K.E. Doisy and L.D. Zweig(2005) Stream invertebrate community functional responses to deposited sediment. *Aquatic Sciences* 67: 395-402.
- Ro, T.H. and D.J. Chun(2004) Functional Feeding Group categorization of Korean immature aquatic insects and community stability analysis. *Korean J. Limnol.* 37(2): 137-148. (in Korean with English abstract)
- Shannon, C.E. and W. Weaver(1949) The mathematical theory of communication. Ph. D. Univ. of Illinois, Urbana, 233pp.
- Shin, H.S., S.C. Park, J.K. Kim, S.J. Kim, J.H. Park, J.S. Choi and J.K. Choi(2006) Community analysis based on functional feeding group of aquatic insect in Wonju stream. *Korean J. Environ. Eco.* 20: 259-266. (in Korean with English abstract)
- Song, G.R.(1995) Systematics of the Hirudinea (Annelida) in Korea. University of Korea Press, Seoul. (in Korean with English abstract)
- Stevens, L.E., J.C. Schmidt, T.J. Ayers and B.T. Brown(1995) Flow regulation, geomorphology and Colorado River marsh development in the Grand Canyon, Arizona. *Ecological Applications* 6: 1025-1039.
- Tiemann, J.S., D.P. Gillette, M.L. Wildhaber and D.R. Edds(2004) Effects of lowhead dams on riffle-dwelling fishes and macroinvertebrates in a Midwestern River. *Transactions of the American Fisheries Society* 133: 705-717.
- Ward, J.V. and J.A. Stanford(1979) Ecological factors controlling stream zoobenthos with emphasis on thermal modification of regulated streams. *The ecology of regulated streams*, Springer US, pp. 35-55.
- Ward, J.V.(1992) Aquatic insects ecology. John Wiley & Sons, New York.
- Won J.S., S.H. Kim and K.H. Cho(2017) Characteristics of fish community structure before the dam operation in the naesong stream, Korea. *Ecology and Resilient Infrastructure* 4(1): 034-043. (in Korean with English abstract)
- Yoon, I.B.(1988) Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea Vol. 30 Aquatic insects. Ministry of Education of Korea, 840pp. (in Korean)
- Yoon, I.B.(1995) Aquatic insects of Korea. Jeonghaengsa publisher Press, Seoul, 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(2)- Effects of environmental factors to community. *Korean J. Environ. Biol.* 10(1): 40-55. (in Korean with English abstract)