

영주댐 준공 전후 저서성대형무척추동물의 서식기능군 및 군집안정성 분석

조명호¹, 이미진², 서울원¹, 이종은^{1,3,*}

¹안동대학교 생명공학부, ²한국수목원관리원 국립백두대간수목원, ³안동대학교 환경연구소

Analysis of functional habitat groups and community stability of benthic macroinvertebrates before and after Yeongju Dam completion in Korea

Myeong Ho Jo¹, Mi Jin Lee², Eul Won Seo¹ and Jong Eun Lee^{1,3,*}

¹Department of Biological Sciences and Biotechnology, Andong National University, Andong 36729, Republic of Korea

²Korea Institute of Arboretum Management, Baekdudaegan National Arboretum, Bonghwa 36209, Republic of Korea

³Environment Research Center, Andong National University, Andong 36729, Republic of Korea

*Corresponding author

Jong Eun Lee

Tel. 054-820-5618

E-mail. jelee@anu.ac.kr

Received: 30 September 2019

Revised: 12 December 2019

Revision accepted: 16 December 2019

Abstract: This study was conducted to investigate the environmental impact of the construction of the Yeongju Dam, located near the upper stream of the Nakdong River, on benthic macroinvertebrates. The investigation was conducted four times from 2015 to 2016 and the composition of the benthic macroinvertebrate fauna from the four surveyed sites was compared. After the dam construction, the number of benthic macroinvertebrate species decreased and the species composition ratio of the E.P.T taxa (Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera) decreased, which favored the previous environment and the large riverbed structure. However, the species composition ratio of the O.C.H taxa (Odonata, Coleoptera, and Hemiptera), which favored the reservoir environment, increased. For the pattern of changes in the functional habitat groups, the proportion of 'Clinger (CL)' taxa decreased and the 'Burrower (BU), Climber (CB), Sprawler (SP), Swimmer (SW)' taxa increased in all surveys after the dam construction. A cluster stability comparison showed that the 'Stability Group II' species of St.2 and St.3 showed a drastic decrease. The average Benthic Macroinvertebrate Index (BMI) of all the survey sites in 2016 was lower than that in 2015. This research confirmed the temporal and spatial changes in the habitat type and community structure of the benthic macroinvertebrates resulting from the dam construction.

Keywords: benthic macroinvertebrates, community stability, functional habitat groups, Yeongju Dam

서 론

본 연구의 대상지인 내성천은 낙동강 상류에 위치하는

1차 지류로 상류의 계류를 제외한 대부분의 하상이 모래로 되어있는 국내의 대표적인 모래하천이다. 그러나 2009년 12월 영주댐 착공 후 2016년 10월에 준공됨에 따라 담

수화가 진행되면서 상류 하천의 유수생태계가 호소형의 정수생태계로 변화되었다. 유속, 하상구조 등의 서식환경 변화는 하천생태계의 생물상을 근본적으로 변화시키며, 특히 저서성대형무척추동물의 군집구조에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Doeg and Koehn 1994). 댐이 준공되면서 담수로 인해 유수역에서 정수역으로 수환경 변화가 초래되고 이로 인한 저서성무척추동물을 비롯한 수생태계에 다양한 변화가 예상된다.

수생태계의 주요 구성원인 저서성대형무척추동물은 수생태계의 먹이사슬에 중요한 중간자적 역할을 하는 분류군으로, 물리·화학적 서식처 교란에 매우 민감하게 반응하며(Hynes 1963; Kehde and Wilhm 1972), 환경요인에 따른 특정 종의 서식, 종수와 개체수 등 군집구조의 차이가 뚜렷하여 중요한 생물학적 지표로 이용된다(Hynes 1963). 이화학적 수질평가 방법에 비해 저서성대형무척추동물을 이용한 생물학적 수질 평가는 장기간에 걸친 수환경과 물리적인 서식처 변화를 잘 반영하고 있다(Forsyth 1978; Bass 1992; Nalepa *et al.* 1998; Nalepa *et al.* 2000; Weatherhead and James 2001; Morene and Callisto 2006; Baugartner *et al.* 2008).

본 연구는 영주댐 준공 전후를 기준으로 담수가 시작된 2016년 7월부터 유수역이 정수역화 되는 과정에서 저서성대형무척추동물의 서식기능군과 군집안정성을 분석하여, 담수와 모래 퇴적 등에 매우 민감한 영향을 받는 저서성대형무척추동물의 서식처와 이들 분류군의 군집구조 변화에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사방법

본 연구의 조사지점은 영주시에 위치하는 내성천의 영주댐 기준 상류부 St.1, St.2, St.3 및 하류부 St.4 등 하천 내 총 4개 지점을 선정하였으며(Fig. 1), 영주댐 준공 직전연도인 2015년 지점별(St.1, St.2, St.3, St.4) 2회(8월, 10월), 준공 연도인 2016년 지점별(St.1, St.2, St.3, St.4) 2회(8월, 10월) 총 4회에 걸쳐 조사를 실시하였다. 저서성대형무척추동물의 채집은 유수역(riffle)에서 surber sampler(30×30 cm, mesh 1 mm)로 하상의 구조와 유속 등을 고려하여 3회씩 정량채집, 정수역(pool)은 dredge sampler(가로 42 cm, mesh 1 mm)를 이용하여 0.9m씩 2회 정량채집을 실시한 후

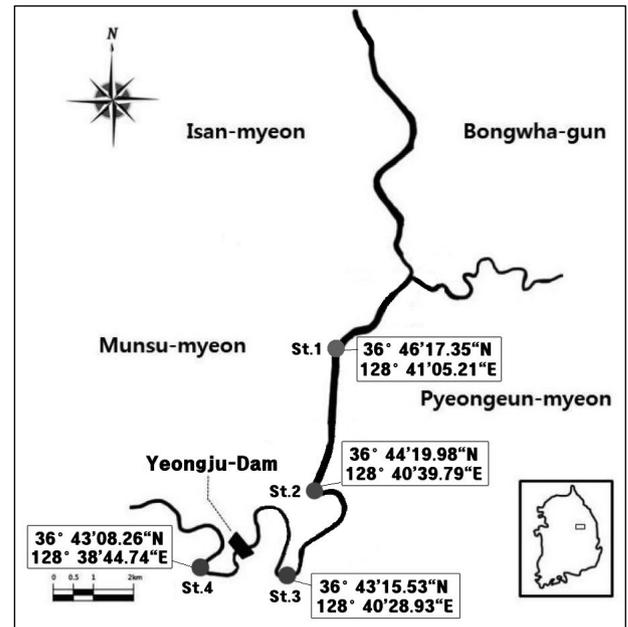


Fig. 1. The surveyed sites (St.1: N.36°46'17.35", E.128°41'05.21"; St.2: N.36°44'19.98", E.128°40'39.79"; St.3: N.36°43'15.53", E.128°40'28.93"; St.4: N.36°43'08.26", E.128°38'44.74").

지점별 단위면적당 개체수(ind m⁻²)를 산출하여 분석하였다. Hand net과 핀셋을 이용하여 정성채집을 병행하였으며, 채집된 시료는 현장에서 94% ethanol에 고정 후 실험실로 운반하였다. 채집된 종의 동정에는 Yoon (1995), Won *et al.* (2005), Kwon *et al.* (2013), Song (1995) 등을 참고하였으며, 동정된 표본은 70% ethanol에 액침 보관한 후, 안동대학교 동물분류학 연구실에 보관하였다.

2. 분석방법

군집분석은 조사구간별로 정량적으로 채집된 자료로부터 출현한 분류군의 수를 비교하여 출현개체수 및 우점종을 분석하였다. 우점도지수(DI; Dominance Index)는 McNaughton (1967), 다양도지수(H'; Diversiry Index)는 Shannon and Weaver (1949), 균등도지수(E'; Evenness Index)는 Pielou (1975), 풍부도지수(RI; Richness Index)는 Margalef(1958)의 방법으로 산출하였다.

서식기능군 분석은 저서성대형무척추동물 출현종을 기준으로 조사구간별 하상 구조 및 수변 식생, 유속 등의 물리적 서식환경에 따라 서식처가 달라지는 서식기능군(FHGs; Functional Habitat Groups)을 분석하였으며(Merritt *et al.*

2008), 기능군의 구분은 기는 무리 (Sprawler; SP), 굴파는 무리 (Burrower; BU), 기어오르는 무리 (Climber; CB), 붙는 무리 (Clinger; CL), 헤엄치는 무리 (Swimmer; SW) 그리고 지치는 무리 (Skater; SK)로 분류하였다.

하천생태계의 안정성은 생물군집의 동적평형을 통하여 유지되며, 이는 항상성 기작과 밀접한 연관성을 지니고 있다. 이러한 일련의 기작은 계량화가 가능한 군집의 저항력과 회복력으로 설명될 수 있다. 군집안정성분석은 한국산 수서곤충류를 총 34개의 수서곤충 분류군들 간의 상대적인 저항력과 회복력을 각각 10개 등급으로 정리한 자료 (Ro and Chun 2004)를 바탕으로 실시하였다. 저서성대형 무척추동물에 이용한 생물평가방법인 생물학적 수질평가 (Total Ecological Score of Benthic Macroinvertebrate Community; TESB)를 이용하여 하천 수생태계 건강성을 평가하였으며, 환경질 및 오수생물계열에 대한 TESB의 평가구간 분석 및 개별분류군 환경질 점수 (Q_i) 분류기준표 (Kong 2018)를 참조하여 수록하였다 (Table 1).

Table 1. Classification scheme of TESB according to the environmental status

*TESB	Environmental status	Water quality
95 ≤	Very good	Ia
70 ≤ TESB < 95	Good	Ib
30 ≤ TESB < 70	Moderate	II
13 ≤ TESB < 30	Bad	III
< 13	Very bad	IV-VI

*TESB: Total Ecological Score of Benthic Macroinvertebrate Community.

결과 및 고찰

1. 저서성대형무척추동물상

조사기간 중 시기 및 전체 조사지점에서 저서성대형무척추동물은 총 4문 7강 14목 50과 82종 20,084.7개체 (ind m^{-2})가 조사되었다. 연도별 출현 현황을 살펴보면, 2015년에 4문 6강 13목 42과 66종 12,639.2개체 (ind m^{-2}), 2016년에 4문 7강 14목 40과 61종 7,445.5개체 (ind m^{-2})가 출현하였다 (Fig. 2).

연도별 분류군의 출현양상을 살펴보면, 2015년은 하루살이목 (Ephemeroptera)이 20종 (30.3%), 날도래목 (Trichoptera) 11종 (16.7%), 잠자리목 (Odonata) 8종 (12.1%), 딱정벌레목 (Coleoptera)과 파리목 (Diptera)이 각각 7종 (10.6%), 연체동물문 (Mollusca) 6종 (9.1%), 노린재목 (Hemiptera)과 환형동물문 (Annelida)이 각각 3종 (4.5%) 등의 순으로 나타났다. 이 가운데 유수성 환경과 입자가 큰 하상구조를 선호하는 E.P.T. (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) 분류군에 속하는 하루살이목과 날도래목이 31종 (47.0%)으로 나타났다. E.P.T. 분류군은 오염에 비교적 민감하게 반응하기 때문에 청정한 하천에서 출현도가 높으며 (Lenat 1988), 일반적으로 E.P.T. 분류군이 차지하는 비율이 높을수록 수환경이 양호한 것으로 알려져 있다 (Davis *et al.* 2003; Peitz 2003; Sin *et al.* 2008). 정수역 환경을 선호하는 O.C.H (Odonata, Coleoptera, Hemiptera) 분류군에 속하는 잠자리목, 딱정벌레목, 노린재목은 18종 (27.3%)으로 나타

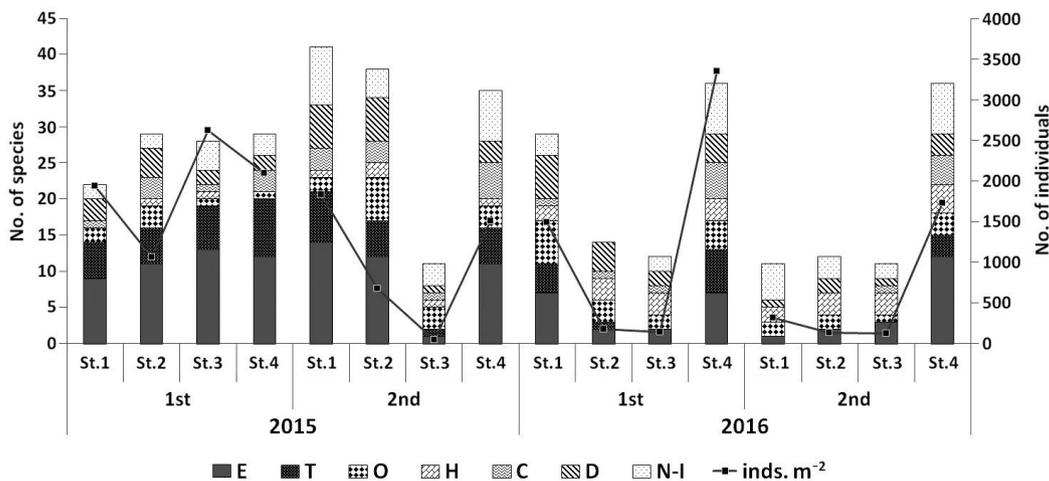


Fig. 2. Species and individual numbers of benthic macroinvertebrates in the surveyed sites (E: Ephemeroptera; T: Trichoptera; O: Odonata; H: Hemiptera; C: Coleoptera; D: Diptera; N-I: Non-Insecta).

Table 2. Dominant, subdominant species, and community indices at each surveyed site

Sites	Dominant species	Subdominant species	DI	H'	RI	E'	
2015	St.1	<i>Hydropsyche valvata</i>	<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>	0.53	3.21	4.05	0.64
	St.2	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	<i>Rhoenanthus coreanus</i>	0.40	3.77	4.85	0.75
	St.3	<i>Hydropsyche valvata</i>	<i>Semisulcospira libertina</i>	0.45	3.00	3.04	0.77
	St.4	<i>Hydropsyche valvata</i>	<i>Cheumatopsyche</i> KUa	0.58	3.06	4.08	0.61
2016	St.1	Chironomidae spp.	<i>Cheumatopsyche</i> KUb	0.64	2.28	2.79	0.56
	St.2	Chironomidae spp.	<i>Copera annulata</i>	0.71	1.57	2.39	0.43
	St.3	<i>Cloeon dipterum</i>	Chironomidae spp.	0.66	2.11	2.15	0.60
	St.4	Chironomidae spp.	<i>Hydropsyche valvata</i>	0.70	2.99	4.51	0.58

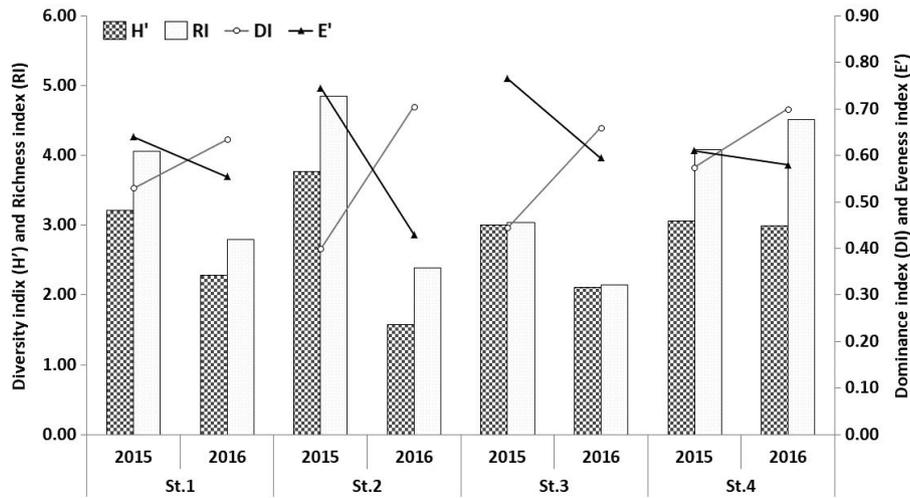


Fig. 3. Biological indices of the benthic macroinvertebrates in each surveyed site (H' : diversity indices; RI : richness indices; DI : dominance indices; E' : evenness indices).

났다(Fig. 2).

2016년은 하루살이목이 13종(21.3%), 잠자리목과 파리목이 각각 9종(14.8%), 날도래목 8종(13.1%), 연체동물문과 딱정벌레목이 각각 6종(9.8%), 노린재목 5종(8.2%) 등의 순으로 나타났으며, 이 중 E.P.T. 분류군인 하루살이목과 날도래목이 21종(34.4%), O.C.H. 분류군인 잠자리목, 딱정벌레목, 노린재목이 20종(32.8%)으로 나타났다(Fig. 2). 영주댐의 2015년과 2016년 저서성대형무척추동물상 및 종 조성 비교 결과, 댐 건설에 의해 내성천의 담수화가 진행됨에 따라 전체 출현 종수가 감소하였다. 특히 유수성 환경과 입자가 큰 하상구조를 선호하는 E.P.T. 분류군의 종 조성 비율은 감소하고, 정수역 환경을 선호하는 O.C.H. 분류군의 종 조성 비율은 증가한 것으로 확인되었다. 선행 연구인 군위댐 조사시에는 2009년에 총 5문 8강 17목 55과 99종, 2010년에 총 5문 8강 18목 53과 89종이 출현하였으며(Kwon et al. 2014), 준공 직전연도와 준공 연도의 출

현 종에 대한 목(Order)별 분류군 비율은 유사한 것으로 나타났다. 하지만 댐 조성 후, 전체 출현종수의 감소와 더불어 E.P.T. 분류군의 출현종수가 감소되는 것으로 나타났는데 본 조사지인 영주댐의 경우와 유사한 변화양상을 나타내었다.

2. 군집분석

2015년과 2016년의 각 지점별 우점종을 분석한 결과, 2015년의 우점종은 St.1, St.3, St.4에서 흰점줄날도래(*Hydropsyche valvata*), St.2에서 꼬마줄날도래(*Cheumatopsyche brevilineata*)로 나타났으며, 전체 조사 지점에서 날도래목이 우점하는 것으로 분석되었다. 2016년에는 St.1, St.2, St.4에서 깔따구류(Chironomidae spp.), St.3에서 연못하루살이(*Cloeon dipterum*)로 St.3을 제외한 전체 조사 지점에서 파리목이 우점하는 것으로 분석되었다(Table 2).

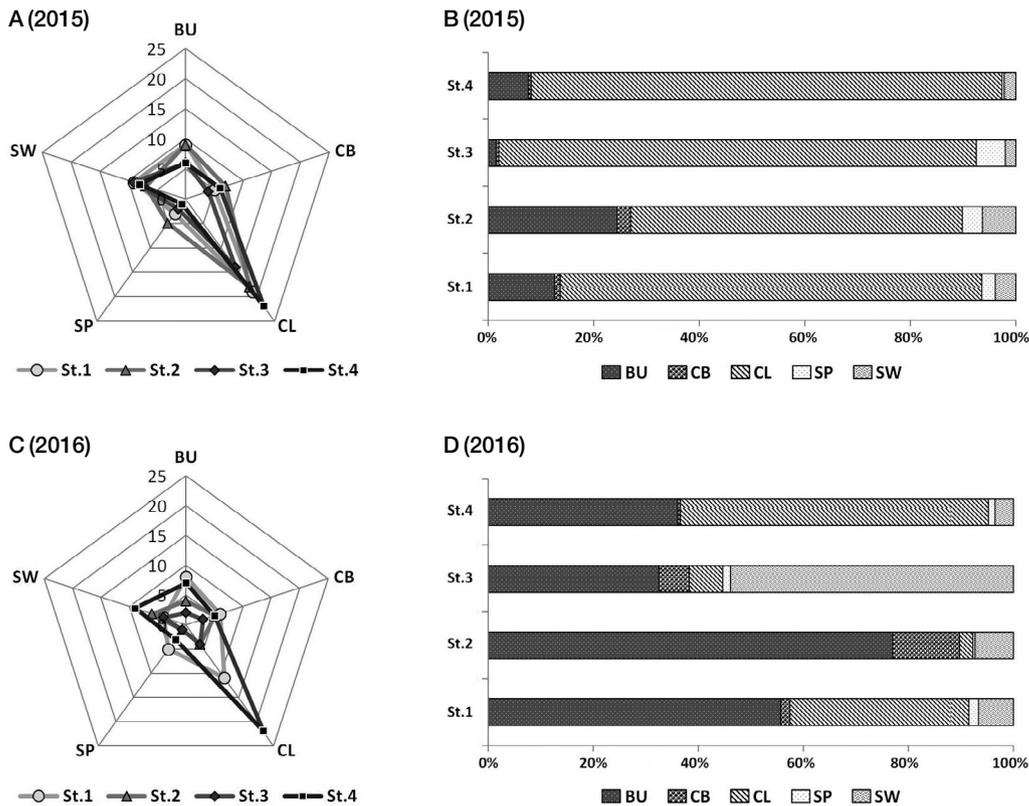


Fig. 4. Species (A and C) and the individual (B and D) proportion of functional habitat taxa of benthic macroinvertebrates in each surveyed site (BU: Burrowers; CB: Climbers; CL: Clingers; SP: Sprawlers; SW: Swimmers).

2015년과 2016년의 각 지점별 군집지수 분석 결과, 2016년 7월부터 담수가 진행됨에 따라 댐의 하류에 위치한 지점(St.4)과 댐에서 가장 이격된 상류에 위치한 지점(St.1)에 비해, 댐으로부터 인접한 지점(St.2, St.3)일수록 우점종의 증가와 다양도, 풍부도, 균등도의 감소가 더욱 크게 나타났다(Fig. 3). 이는 담수와 유사(모래의 흐름)에 의한 퇴적에 따른 미소서식처 변화와 유수역에서 정수역으로 변화되는 과정에서 군집구조가 급격히 변화되는 것으로 판단된다.

3. 서식기능군 분석

서식처의 환경적 특성을 반영하는 서식기능군은 2015년에는 불는무리(CL; Clingers)의 종수 및 개체수 비율이 모든 지점에서 가장 높게 나타났고, 기는무리(SP; Sprawlers)와 기어오르는무리(CB; Climbers)의 종수 및 개체수 비율이 가장 낮게 나타났다. 2016년에는 2015년과 비교하여, 불는무리의 종수 및 개체수 비율이 모든 지점에서 감소하

였고, 굴파는무리(BU; Burrowers), 기어오르는무리, 기는무리, 헤엄치는 무리(SW; Swimmers)의 종수 및 개체수 비율이 증가하였다(Fig. 4). 이는 담수에 따른 유수역 구간이 감소하고 정수역 구간이 증가함에 따라 정수역 환경을 선호하는 O.C.H. 분류군과 오염에 대한 상대적 내성범위가 넓은 갈파구류(Chironomidae spp.) 등의 종수 및 개체수 밀도가 높게 나타났기 때문으로 사료된다.

4. 군집안정성 및 생물학적 수질평가

종의 회복력과 저항력을 바탕으로 산출한 군집안정성은 2015년에는 전체 조사지점에서 상대적 저항력과 회복력이 뛰어난 group I에 속하는 종들의 출현율이 가장 높았으며, group II, group III의 종은 비교적 고르게 분포하는 것으로 나타났다. 2016년 또한 전체 조사지점에서 group I에 속하는 종들의 출현율이 가장 높게 나타났으나, St.2와 St.3에서 높은 상대적 회복력과 낮은 상대적 저항력을 보이는 group II의 출현율이 크게 감소하면서 group I이 상대적으로 높

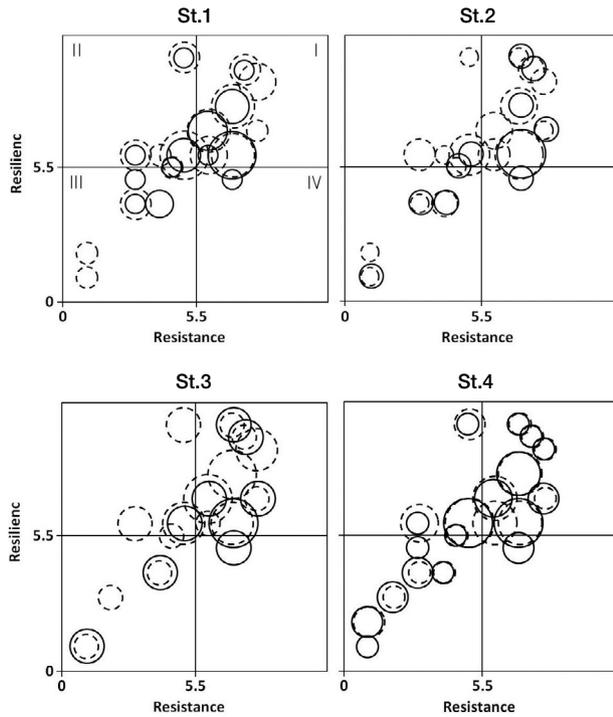


Fig. 5. Analysis of community stability: relative resistance and resilience factors at each surveyed site (Dotted circle: 2015; Solid circle: 2016).

은 비율을 차지하였으며, 이로 인해 2015년에 비해 각 그룹에 따른 출현율이 고르게 분포하지 않는 것으로 나타났다(Fig. 5). 이는 담수에 따라 St.2와 St.3에서 일어난 유수역 감소, 하상구조의 변화와 미소서식처 감소 등 물리적 변화가 직접적인 원인으로 판단된다.

생물학적 수질평가(TESB)를 분석한 결과, 2015년 8월 전체 조사지점에서 TESB 점수는 St.4 (108), St.3 (99), St.2 (98), St.1 (80)의 순으로 ‘양호(Ib)’~‘매우 양호(Ia)’등급의 환경상태를 나타냈다. 하지만 2015년 10월 TESB 점수는 St.1 (135), St.2 (117), St.4 (114), St.3 (25)의 순으로 ‘불량(III)’~‘매우 양호(Ia)’등급의 환경상태를 나타냈으며, 이는 St.3의 담수화 진행에 따른 급격한 환경변화로 인해 군집구조에 영향을 미친 결과로 사료된다. 이후 2016년 8월 TESB 점수는 St.4 (102), St.1 (95), St.2 (31), St.3 (19)의 순으로 ‘불량(III)’~‘매우 양호(Ia)’등급의 환경상태, 2016년 10월 TESB 점수는 St.4 (103), St.1 (22), St.3 (21), St.2 (20)의 순으로 ‘불량(III)’~‘매우 양호(Ia)’등급의 환경상태를 나타내 담수화가 진행됨에 따라 영주담 하류부에 위치한 St.4를 제외한 전체 조사지점의 TESB 점수 및 환경상태 등

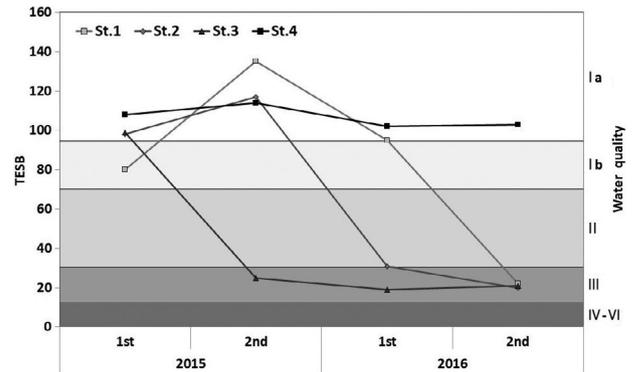


Fig. 6. Ecological score of the benthic macroinvertebrate community (TESB) in each surveyed site.

급이 점차 감소하는 것으로 확인되었다(Fig. 6). 이는 St.4는 댐의 하류에 위치하여 담수와 유사로 인한 퇴적에 따른 서식환경의 변화가 상대적으로 적은데 비해, 댐에서 가까운 상류에 위치한 St.2와 St.3은 담수 및 토사 유실과 퇴적 등 급격한 수환경과 미소서식처 변화로 인해 전체 출현종의 감소와 높은 환경질 점수(Qi)를 갖는 종이 감소하여 나타난 결과로 사료된다.

적 요

낙동강 상류의 지류이며, 국내 대표적인 모래하천으로 잘 알려진 내성천 상류에 위치한 영주담을 기준으로 하류 지점과 상류 지점을 선정하여, 2015년과 2016년동안 담수화에 따른 저서성대형무척추동물의 서식유형 및 군집구조의 변화 양상에 대한 분석을 실시하였다. 조사는 댐의 건설이 저서성대형무척추동물에 미치는 영향을 파악하고자 2015년, 2016년 총 4회에 걸쳐 실시하였다. 조사 결과, 댐에 의한 내성천의 담수화가 2016년 7월부터 진행됨에 따라 전체 출현 종수가 감소하였다. 특히 댐에서 가까운 상류 지점인 St.2와 St.3에서 감소 폭이 크게 나타났다. 유수성 환경과 입자가 큰 하상구조를 선호하는 E.P.T. 분류군의 종조성 비율은 감소하고, 정수역 환경을 선호하는 O.C.H. 분류군의 종조성 비율은 증가한 것으로 확인되었다. 서식기능군은 담수가 진행됨에 따라 붙는무리(CL; Clinger)의 종수 및 개체수 비율이 모든 지점에서 감소하였고, 굴파는무리(BU; Burrower), 기어오르는무리(CB; Climber), 기는무리(SP; Sprawler), 헤엄치는 무리(SW; Swimmer)의 종수 및 개체

수 비율이 증가하였다. 또한 서식환경 변화에 따른 군집안정성을 비교 결과, group I(높은 저항력, 높은 회복력)의 종 분포는 크게 변화하지 않았으나 St.2와 St.3에서 group II(높은 저항력, 낮은 회복력)의 종 출현율이 현저히 감소하는 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 댐 건설로 인해 담수가 진행됨에 따라 저서환경변화와 유속에 영향을 직접적으로 받는 저서성대형 무척추동물의 서식유형과 군집구조에 대한 시간적, 공간적 변화 양상을 확인할 수 있었다. 또한 향후 내성천 수계의 지속적인 모니터링을 통해 댐 건설과 이로 인한 담수의 진행 정도에 따라 저서성대형무척추동물 군집구조 변화와 서식기능군은 물론 섭식기능군의 변화 양상에 대한 체계적인 연구가 요구된다. 그리고 댐 조성이 하천생태계 저서성대형무척추동물의 분포 및 서식양태 변화에 미치는 영향에 대한 추가적인 조사 및 연구가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2016년도 안동대학교 학술연구 조성사업(연구교수)에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- Bass D. 1992. Colonization and succession of benthic macroinvertebrates in Arcadia Lake, a South-Central USA reservoir. *Hydrobiologia* 242:123-131.
- Baumgartne DM, K Mörtl and O Rothhaupt. 2008. Effects of water-depth and water-level fluctuations on the macroinvertebrate community structure in the littoral zone of Lake Constance. pp. 97-107. In *Ecological Effects of Water-Level Fluctuations in Lakes*. Springer, Dordrecht.
- Davis SD, SW Golladay, G Vellidis and CM Pringle. 2003. Macroinvertebrate biomonitoring in intermittent coastal plain stream impacted by animal agriculture. *J. Environ. Qual.* 7:1036-1043.
- Doeg TJ and JD Koehn. 1994. Effects of draining and desilting a small weir on downstream fish and macroinvertebrates. *Regul. Rivers-Res. Manage.* 9:263-277.
- Forsyth DJ. 1978. Benthic macroinvertebrates in seven New Zealand lakes. *N. Z. J. Mar. Freshw. Res.* 12:41-49.
- Hynes HBN. 1963. *The Biology of Polluted Waters*. Liverpool Univ. Press, Liverpool.
- Kehde PM and JL Wilhm. 1972. The effects of grazing by snails on community structure of periphyton in laboratory streams. *Am. Midl. Nat.* 16:8-24.
- Kong DS, YJ Park and YR Jeon. 2018. Revision of ecological score of benthic macroinvertebrates community in Korea. *J. Korean. Soc. Water Environ.* 34:251-269.
- Kwon HY, MJ Lee, JY Park and JE Lee. 2014. The influence of Gunwi dam construction on community fluctuations of benthic macroinvertebrates. *J. Environ. Sci. Inter.* 23:807-817.
- Kwon SJ, YC Jeon and JH Park. 2013. Checklist of Organisms in Korea: 7. Benthic Macroinvertebrates. *Eco and Nature*, Seoul.
- Lenat DR. 1988. Water quality assessment of streams using a qualitative collection method for benthic macroinvertebrates. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 11:222-233.
- Margalef R. 1958. Information Theory in Ecology. *Gen. Syst.* 35:36-71.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature* 216:168-169.
- Merritt RW, KW Cummins and MB Berg. 2008. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. 4th eds. Kendall/Hunt Publishing Corporation. p. 862.
- Morene P and M Callisto. 2006. Benthic macroinvertebrates in the water-shed of an urban reservoir in southeastern Brazil. *Hydrobiologia* 560:311-321.
- Nalepa TF, DJ Hartson, DL Fanslow, GA Lang and SJ Lozano. 1998. Declines in benthic macroinvertebrate populations in southern Lake Michigan, 1980-1993. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55:2402-2413.
- Nalepa TF, GA Lang, DL Fanslow. 2000. Trends in benthic macroinvertebrate populations in southern Lake Michigan. *Verein. Limnol.* 27:2540-2545.
- National Institute of Environmental Research. 2015. *Survey and Evaluation Method for River and Stream Ecosystem Health Assessment*. Ministry of Environment, Sejong, Korea.
- Petiz DG. 2003. Macroinvertebrate biomonitoring as an indicator of water quality: Status report for pipestone Creek. *Pip. Nat. Mon* 13:1989-2002.
- Pielou EC. 1975. *Ecological Diversity*. John Wiley, New York. p. 165.
- Ro TH and DJ Chun. 2004. Functional feeding group categorization of Korean immature aquatic insects and community stability analysis. *Korean J. Limnol.* 11:137-148.
- Shannon CE and W Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana. p. 117.
- Sin HS, O Mitamura, SJ Kim and JK Choi. 2008. Characters of Musim stream by surveyed sites based on EPT-group of aquatic insects. *Korean J. Environ. Ecol.* 6:420-426.
- Song KL. 1995. *Korea Leech Classification*. Korea University, Seoul. p. 57.

Weatherhead MA and MR James. 2001. Distribution of macroinvertebrates in relation to physical and biological variables in the littoral zone of nine New Zealand lakes. *Hydrobiologia* 462:115–129.

Won DH, SJ Kwon and YC Jeon. 2005. *Aquatic Insect of Korea*. Korea Ecosystem Service Press, Seoul.

Yoon IB. 1995. *Explanatory Diagram of Aquatic Insects*. Jeongheangsa, Seoul.