

ORIGINAL ARTICLE

## 하천의 인공구조물이 저서성 대형무척추동물 군집에 미치는 영향

김봉성 · 심광섭<sup>1)</sup> · 김선희 · 권오창 · 서울원 · 이종은\*

안동대학교 자연과학대학 생명과학과, <sup>1)</sup>(주)엔에이피 자연생태기술연구소

### The Influence of Artificial Structures on Benthic Macroinvertebrate Communities in Streams

Bong Sung Kim, Kwang Sub Sim<sup>1)</sup>, Sun Hee Kim, O Chang Kwon, Eul Won Seo,  
Jong Eun Lee\*

*Department of Biological Science, Andong National University, Andong 760-749, Korea*

<sup>1)</sup>*Natural Ecological Technology Institute, NAP Inc., Daegu 701-828, Korea*

#### Abstract

This study was conducted for determining the influence of artificial structures on benthic macroinvertebrate communities in stream. Sampling was taken at upper(pool), down(riffle) and control(riffle) from two check dams, two weirs, one agricultural reservoir, and one multipurpose dam in northern part of Gyeongsangbuk-do. The benthic macroinvertebrate communities of these structures were surveyed during 2009 to 2011. The simple habitat of benthic macroinvertebrates occurred at the upper sites due to pooling effects from artificial structures. Specifically, Check dam1, Jusanji, Imha dam showed very low biological attribute values compared to the down and control sites, which have greater difference in substrate characteristics. However, in the upper sites of Check dam2, Weir1 and Weir2, the difference of values of biological attributes was relatively smaller. Also, proportion of functional feeding groups and functional habit groups were relatively simpler at upper stream and the degree of community differences was greater between upper and down, control sites. Spearman's correlation between biological attributes and substrate characteristics, water quality parameters had significant correlations; particularly, the substrate characteristics were more significantly related. In conclusion, the pool caused by artificial structures had negative effects on benthic macroinvertebrate communities thus leading to simplified stream habitats at upper stream ecosystems.

**Key words** : Artificial structure, Benthic macroinvertebrates, Community analysis, River bed

#### 1. 서론

우리나라는 연평균 강수량이 세계 평균 강수량에 비해 1.4배나 높아 많은 양의 수자원을 보유하고 있으나, 이중 국민 1인당 사용할 수 있는 연 강수량은 세계 1인당 연 강수량의 1/8 수준에 불과하다(Han 등,

2010). 이는 몬순 기후의 영향 및 국지성 집중호우 등으로 인하여 연간 강수량의 약 2/3 이상이 여름철에 집중되는 특징을 가지고 있으며, 급속한 산업화로 인한 각종 용수 이용, 지하수 개발 등이 증가함에 따라 수량이 감소하여 하천의 건천화 현상이 전국적으로 나타나는 등 물 부족 현상이 대두되고 있다(Bae와

Received 29 October, 2012; Revised 9 January, 2013;

Accepted 20 February, 2013

\*Corresponding author : Jong Eun Lee, Department of Biological science, Andong National University, Andong 760-749, Korea  
Phone: +82-54-820-7726  
E-mail: jlee@andong.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Lee, 2001). 이에 따라 효율적인 수자원 관리를 위해 4 대강 전 권역에 18,000여개의 다양한 규모의 인공구조물이 축조되어 있다(Ahn 등, 2008; Han 등, 2010).

하천에 설치된 인공구조물은 하천의 연속성(river continuum)을 차단하여 하천의 물질이동을 억제하고, 생물의 종적 교환을 방해하여 생명력 약화, 유전자 교환을 단절시켜 개체들의 저항력을 감소시키는 등 하천 생태계를 단편화하는 큰 요인이 될 수 있다(Dynesius 와 Nilsson, 1994). 또한 인공구조물의 상류에 형성되는 정체구간에서는 유속이 느려지고, 수심 및 물의 부피, 수표면적이 증가하게 된다. 이러한 인위적 활동에 의해 형성된 큰 규모의 정체수역에서는 부영양화, 심층의 산소고갈, 유입된 탁수의 호소 내 체류 등을 야기할 수 있으며, 유속, 수온, 하상 등의 물리적 변화와 어류 및 수서곤충, 수변식생 등의 생물상 변화 등 하천생태계의 구조와 기능을 변화시키는 주요한 요인이 되기도 한다(Baxter, 1977; Doeg와 Koehn, 1994; Stanley 등, 2002; Tiemann 등, 2004). 정체수역의 규모가 비교적 적은 하천의 보에서도 하천생태계를 근본적으로 변화시키지는 않지만 하상구조나 유속 등에 영향을 미칠 수 있다(Magilligan과 Nislow, 2001; Stanley 등, 2002).

인공구조물에 관한 연구는 대부분이 수리수문학적인 연구가 많았으나, 최근에는 보나 댐 등 인공구조물이 저서성 대형무척추동물에 미치는 영향에 관한 연구가 비교적 많이 이루어졌다(Kil 등, 2010; Lee 등, 2009; Lee

등, 2011). 그러나 상하류간 물리적 환경의 차이가 비교적 큰 대형 보나 댐을 위주로 연구가 진행되어 있어, 다양한 규모 및 환경과 기능의 구조물에 대한 연구는 많지 않다.

이에 본 연구는 하천의 생물 중 가장 종류가 다양하고, 서식처 및 기능이 고도로 분화되어 환경변화를 평가하는 모니터링에 유용한 저서성 대형무척추동물의 군집 조사를 통해(Rosenberg와 Resh, 1993), 국내의 대표적인 인공구조물인 보, 사방댐, 농업용 저수지, 다목적댐을 선정하여 하천에 설치된 다양한 인공구조물이 저서성 대형무척추동물에 미치는 영향에 대해 알아보려고 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사지점 및 조사시기

연구 대상지역은 경북 북부지역에 위치한 수중보 2개 지점(경북 청송군: W1, W2), 사방댐 2개 지점(경북 예천군: C1, 봉화군: C2), 농업용 저수지 1개 지점(경북 청송군 주산지: JS), 다목적댐 1개 지점(경북 안동시 임하댐: IH)을 선정하였으며, 인공구조물에 의해 형성된 정체수역과 하류의 유수역, 그리고 인공구조물의 영향을 받지 않는 주변 수계의 유수역을 대조지점으로 선정하여 조사를 실시하였다(Fig. 1). 연구 기간은 2008년부터 2011년까지 지점별 3회 조사를 실시하였다.

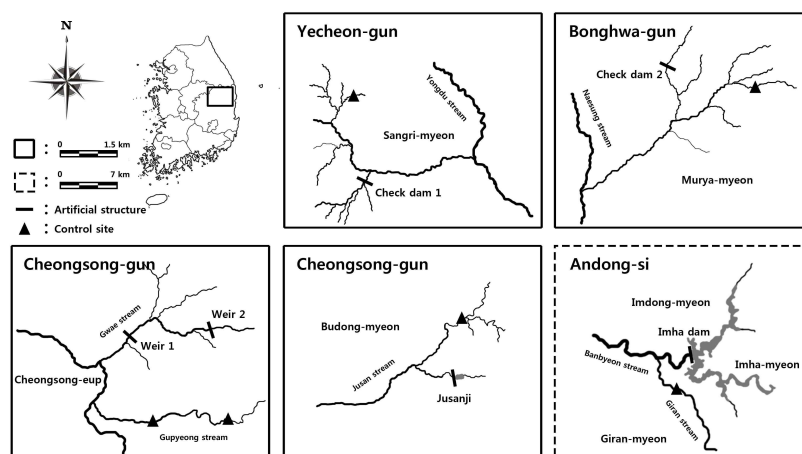


Fig. 1. Surveyed sites of each artificial structures in northern part of Gyeongsangbuk-do.

## 2.2. 환경 및 수질요인 분석

하상구조는 조사지점에서 Wentworth 체계에 따라 silt/sand, gravel, pebble, cobble, boulder의 5단계로 구분하여 육안을 통한 상대적 구성비율을 측정하였다 (Cummins, 1962).

이화학적 수질분석은 임하댐과 사방댐 2개 지점에서 실시하였다. 임하댐의 경우 환경부 수질측정망 지점의 자료를 이용하였으며, 사방댐의 경우 수질오염 공정시험법(APHA, 2001)에 준하여 실험을 실시하였다. 세부적인 조사항목은 pH, DO(용존산소), BOD(생물학적 산소 요구량), COD(화학적 산소 요구량), TN(총질소), TP(총인), SS(부유물질), Turbidity(탁도)를 측정하였다.

## 2.3. 채집 및 동정

채집은 여울부(riffle)에서는 각 조사지점의 유량과 하상의 구조 등을 고려하여 Surber sampler(30×30 cm, mesh 1 mm)를 이용하여 3회씩 정량채집을 하였고, 정수역(pool)에서는 Dredge sampler(가로 42 cm, mesh 1 mm)를 이용하여 0.9 m씩 2회 정량채집을 실시하였다. 채집된 표본은 현장에서 95% ethanol에 고정 후 실험실로 운반하였으며, 동정은 국내에서 발표된 검색도설(Won 등, 2005; Yoon, 1995)을 이용하였다.

## 2.4. 자료분석

개체수는 단위면적당 출현개체수(Inds. m<sup>-2</sup>)를 산출하였으며, 동정된 개체는 각 분류군의 종별 구성과 비율을 분석하였다. 또한 우점도지수(DI)와 풍부도지수(R1)를 산출하였으며, 섭식기능군(Functional Feeding Groups: FFGs)과 서식기능군(Functional Habit Groups: FHGs)의 분석은 Merritt 등(2008)을 참고하였다. 군집안정성은 Ro와 Chun(2004)을 참고하였으며, 생물학적 수질평가는 저서성 대형무척추동물의 상대적 오염 내성치를 반영한 ESB (Ecological Score of Benthic macroinvertebrate community)(MOE, 2006)를 분석하였다. 조사지점별 유사성을 확인하기 위해 유사도 분석을 실시하였으며(Jaccard, 1908), 물리적 환경요인 및 이화학적 환경요인과 생물군집간의 상관관계를 분석하기 위하여 통계프로그램(SPSS Inc., ver 12.0K)을 이용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 환경분석

전반적으로 인공구조물 상류의 하상구조는 점토(silt)와 모래(sand)가 높은 비율을 차지하고 있으며, 하류지점의 경우 비교적 다양한 구성요소로 이루어져

**Table 1.** Physical environment characteristics at the surveyed sites

Structures	Width (m)	Height (m)	Sites	Substrates (%)				
				Silt/Sand	Gravel	Pebble	Cobble	Boulder
Weir1 (W1)	10	1	Upper	10	20	40	20	10
			Down	20	30	30	10	10
			Control	10	10	30	40	10
Weir2 (W2)	12	1.5	Upper	25	40	20	15	0
			Down	25	40	20	15	0
			Control	15	30	35	10	10
Check dam1 (C1)	20	5	Upper	60	20	10	5	5
			Down	0	10	20	30	40
			Control	20	20	20	20	20
Check dam2 (C2)	24	4	Upper	0	15	25	30	30
			Down	0	15	25	30	30
			Control	0	5	15	35	45
Jusanji (JS)	45	15	Upper	65	25	10	0	0
			Down	0	10	30	40	20
			Control	0	10	20	40	30
Imha dam (IH)	515	73	Upper	65	20	15	0	0
			Down	10	15	30	35	10
			Control	10	15	30	35	10

있다(Table 1). 그러나 사방댐2의 경우는 만사로 인해 유수역이 형성되어 있고, 주로 호박돌(Cobble) 이상의 크기로 이루어져 있다. 이는 주로 수자원 확보의 목적을 띠는 보, 농업용 저수지, 댐과는 달리, 홍수 시 토사 및 토석류를 막는 사방댐의 기능과 목적에 따른 것으로 판단된다. 사방댐은 비교적 산간계류에 위치하고, 다른 인공구조물에 비해 하천의 구배가 크고 홍수의 피해가 크거나 예상되는 곳으로 설치되기 때문이다. 그 외 다른 지점의 상류는 인공구조물로 인해 정수역이 형성되어 있다. 수중보 2개 지점은 비교적 높이가 낮고, 수폭이 좁아 다소 정체수역이 크지 않다. 이는 본 연구에서 조사된 보는 다소 노후한 보로써, 상하류 간의 유속은 다소 느릴 뿐 물리적 환경에서는 큰 차이가 없기 때문으로 판단된다. 그리고 횡단구조물의 크기에 따라 상·하류 간의 하상구조의 차이도 다소 큰 것으로 나타났다. 농업용 저수지와 댐의 경우는 댐 축의 높이가 길기 때문에 정체수역 또한 다른 지점들에 비해서 다소 크다. 대형 댐에 의해 형성된 정체수역은 유속이 낮고 체류시간이 길기 때문에 정체수역이 적은 보의 상류역보다 점토와 모래 위주의 미세하고 단조로운 하상의 조성을 보였다. 일반적으로 하천이 깊고 유속이 감소하면 하천의 수송능력은 감소하게 되는데(Kondorf, 1997), 이는 하천의 크기나 횡단구조물의 크기가 클수록 유속의 감소와 정체수역이 증가하게 되기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.2. 군집구조

연구지점의 저서성 대형무척추동물의 출현 종수는

전반적으로 상류지점이 하류지점보다 빈약한 종조성을 보였다(Fig. 2). 그러나 사방댐2(C2)의 경우 상류지점이 만사로 인해 유수역을 형성하고 있어, 유수역을 선호하는 저서성 대형무척추동물의 특성상 하류지점이나 대조지점과 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 수중보1(W1), 수중보2(W2)에서도 중수에서는 큰 차이를 보이지 않았는데, 이러한 결과는 Ministry of Agriculture and Forestry(2007), Son(2008)의 선행 연구와 유사한 결과를 보였다. 이는 하류에 비해 유속이 다소 느릴 뿐 물리적 환경에서 큰 차이가 없고, 유수역과 정체수역의 서식처를 모두 갖춘 형태로 인해 유수성 종과 정체수성을 선호하는 종이 모두 출현한 결과로 판단된다. 그 외 사방댐1(C1), 주산지(JS), 임하댐(IH)의 상류지점에서는 상·하류 간의 차이가 비교적 뚜렷하게 나타났다. 이들 지점에서 비교적 유속이 느린 미소서식처를 선호하는 깔따구류(*Chironomidae spp.*), 정수성 하루살이류(*Ephemeroidea spp.*), 잠자리류(*Gomphidae spp.*) 등이 출현하였으나, 하루살이목, 강도래목, 날도래목 등 다양한 종 조성을 이루고 있는 하류지점이나 대조지점과는 다소 큰 차이를 보였다. 조사지점간의 수환경의 동일성 및 이질성을 파악하기 위해 각 지점별 출현 종을 기준으로 한 유사도 분석한 결과, 상기에 언급한 것과 같이 물리적 환경에 따라 3개의 그룹으로 구분되었다(Fig. 3). 정체수역이 뚜렷한 지점(사방댐1 상류, 주산지 상류, 임하댐 상류), 산간계류에 위치하며 유수역이 뚜렷한 지점(사방댐1 하류·대조, 사방댐2 상류·하류·대조, 주산지 하류), 그 외 중·하류 하천에 위치한 지점들로 크게 3개의 집단들로 분류되었다.

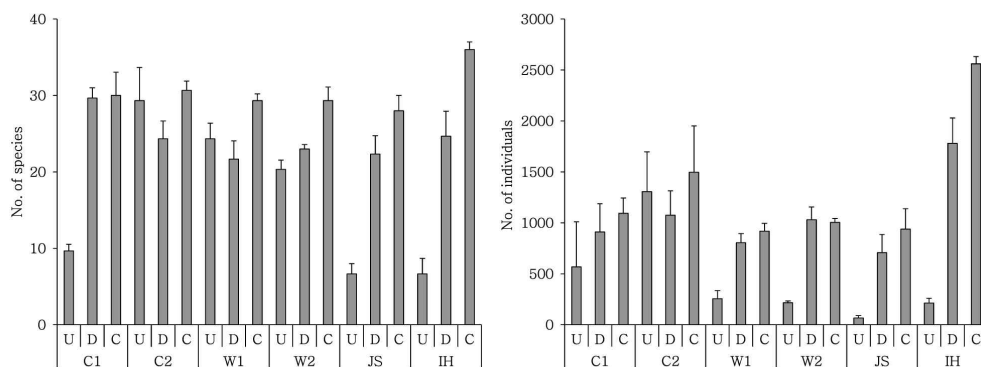


Fig. 2. Species and individuals number of benthic macroinvertebrate communities at each surveyed sites.

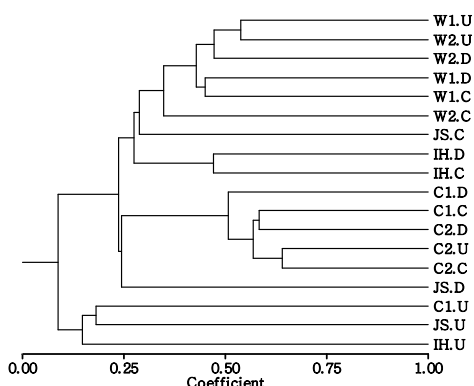


Fig. 3. Cluster analysis of benthic macroinvertebrate communities at each surveyed sites.

연구지점의 저서성 대형무척추동물의 출현 개체수는 유수역을 형성하고 있는 사방댐(C2) 지점을 제외한 모든 지점에서 상·하류 간에 뚜렷한 차이를 보였다(Fig. 2). 이는 정체수역으로 인한 비교적 단조롭고 미세한 물질로 구성된 하상의 구조와 느린 유속에 따른 것으로 판단된다. 일반적으로 저서성 대형무척추동물은 서식처 특성에 따라 출현 종이 달라지는데 (Allan, 1995; Merritt 등, 2008), 하상이 silt나 sand 등 미세입자의 비율이 높을수록 저서성 대형무척추동물의 다양성이 감소하게 된다(Kil 등, 2010; Han 등, 2011). 또한 미세입자의 증가는 하상의 공극을 메우고 저서생물의 기관아가미에 흡착됨으로써, 서식처 및 호흡기 작에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Culp 등, 1983; Minshall, 1984). 본 연구에서도 인공구조물에 의해 정

체수역이 형성되어 있고 미세한 물질로 구성된 하상구조를 가지는 상류지점에서는 잔자갈(pebble)과 호박돌(cobble)이 우세하고 여울이 형성되어 있는 하류지점과 대조지점에 비해 적은 개체수가 출현하였다. 특히 상대적으로 유속이 빠른 곳을 선호하는 강도래류 및 날도래류의 개체수가 적게 출현한 것으로 나타났다 (Fig. 4).

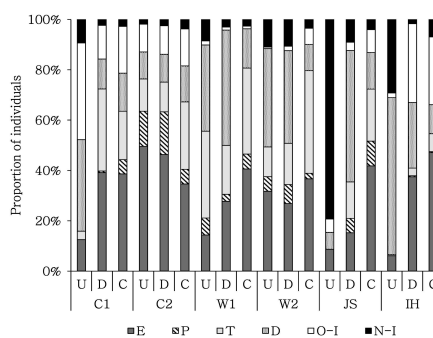


Fig. 4. Proportion of major benthic macroinvertebrate taxa at each surveyed sites. E: Ephemeroptera, P: Plecoptera, T: Trichoptera, D: Diptera, O-I: Other insects, N-I: Non insecta.

### 3.3. 섭식기능군 및 서식기능군

저서성 대형무척추동물은 하천의 상류에서 하류까지 그 조성이 다르며(Vannote 등, 1980), 먹이자원과 서식처의 특성에 따라 섭식기능군 및 서식기능군의 분포 특성이 달라지기 때문에 이를 통해 해당지역의 환경상태를 간접적으로 판단할 수 있다.

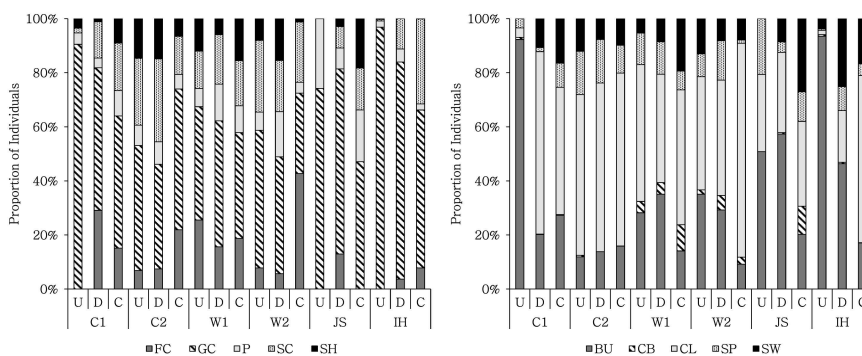


Fig. 5. Proportion of functional feeding groups and functional habit groups at each surveyed sites. FC: Filtering collectors, GC: Gathering collectors, P: Predators, SC: Scrapers, SH: Shredders, BU: Burrowers, CB: Climbers, CL: Clingers, SP: Sprawlers, SW: Swimmers.

섭식기능군에서는 연구지역의 하류지점과 대조지점에 비해 상류지점에서 단순한 조성을 보였으며, 정체수역이 큰 주산지과 임하댐의 상류지점에서 더 크게 나타났다(Fig. 5). 구조물의 상·하류지점과 관계없이 전반적으로 종풍부도와 개체수 비율에서 주워먹는 무리(Gathering collectors)의 비율이 가장 높았다. 전형적인 정체수역이 형성되어 있는 사방댐1, 주산지, 임하댐의 상류지점에서는 걸러먹는 무리(Filtering collectors)가 전혀 출현하지 않았는데, 걸러먹는 무리는 유속에 영향을 많이 받는 무리로 상류지점의 느린 유속의 영향을 받은 결과로 사료된다. 단순한 조성을 보이는 상류지점과는 달리 하류지점과 대조지점에서는 주워먹는 무리, 걸러먹는 무리, 긁어먹는 무리(Scrapers), 잡아먹는 무리(Predators) 등 다양한 조성을 보이며 선행 연구와 유사한 결과를 확인하였다(Kil 등, 2010).

서식기능군에서는 섭식기능군과 마찬가지로 연구지역의 하류지점과 대조지점에 비해 상류지점에서 단순한 조성을 보였다(Fig. 5). 사방댐1, 주산지, 임하댐의 상류지점은 정체수역이 비교적 적은 수중보1의 상류지점에 비해 서식기능군의 다양성이 단순하였다. 일반적으로 유속이 느리고 하상이 모래나 실트로 단순하거나, 오염물질이나 미세한 침전물이 우세하게 되면 굴파는 무리(Burrowers), 기어오르는 무리(Climbers)는 증가하고, 붙는 무리(Clingers), 기는 무리(Sprawlers)는 감소하게 된다(Yoon 등, 1992; Charles 등, 2005). 본 연구에서는 상류지점에서 굴파는 무리가 우세한 경향을 보였고, 하류지점과 대조지점에서는 붙는 무리가 높은 비율로 출현하였다. 비교적 정체수역이 적은 수중보 2개 지점에서는 상·하류 간의 차이가 크지 않았으며, 사방댐 2의 상류지점은 정체수역이 아닌 유수역이 형성되어 있어 상·하류간 큰 차이가 없었고 붙는 무리가 우세한 결과를 보였다.

### 3.4. 군집지수 및 군집 안정성

군집분석 결과, 우점도지수(DI)와 풍부도지수(RI)는 반비례하여 증감하는 것으로 나타났으며, 인공구조물의 영향을 받는 상류지점에 비해 하류지점 및 대조지점보다 수환경이 뛰어난 것으로 나타났(Fig. 6). 이는 기존 선행연구와 유사한 결과로서(Kil 등, 2010; Oh와 Chun, 1991), 본 연구에서도 점토(silt)와 모래(sand) 위주의 하상구조와 전형적인 정체수역이 형성

되어 있는 사방댐1, 주산지, 임하댐은 상·하류간의 차이가 크게 나타났으며, 잔자갈(pebble) 이상의 하상이 우세한 사방댐2, 수중보1, 수중보2에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 저서성 대형무척추동물의 서식처가 되는 하상의 구성에 따른 것으로, 일반적으로 하상구조가 단순화되면 상대적으로 단순한 미소서식처를 가지게 됨에 따라 다양성이 낮아지게 된다(Allan, 1995; Merritt와 Cummins, 1996).

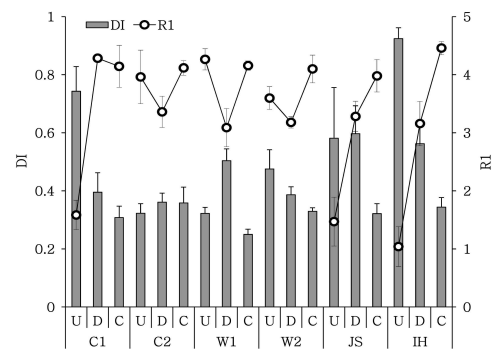
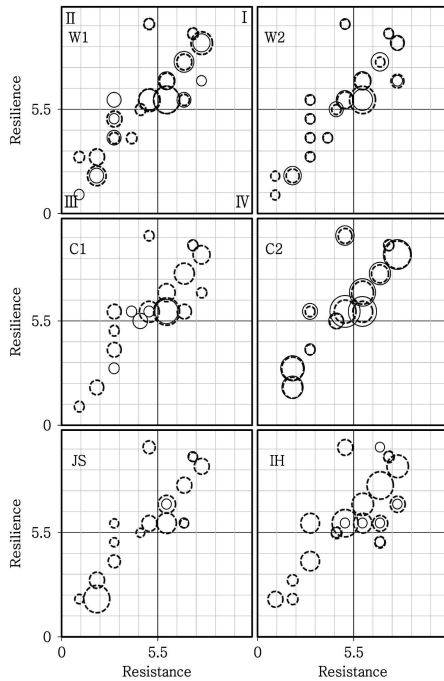


Fig. 6. Dominance indices (DI) and richness indices (RI) at each surveyed sites.

수서곤충류의 상대적 저항력과 회복력을 기준으로 한 군집안정성 분석결과, 상·하류간의 물리적 환경의 차이가 크지 않은 사방댐2, 수중보1, 수중보2에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 상·하류간의 물리적 환경의 차이가 뚜렷한 사방댐1, 주산지, 임하댐에서는 비교적 뚜렷한 차이를 보였다(Fig. 7). 정수역이 형성된 상류부에서 출현한 종이 적을 뿐만 아니라, 상대적 저항력과 회복력이 뛰어난 I 그룹에 비해 상대적 저항력과 회복력이 약하고 비교적 수환경이 안정적인 곳에서 서식하는 III 그룹에 속하는 종들의 출현율이 떨어지는 것으로 판단된다. 이는 다른 생물학적 지수들과 마찬가지로 저서성 대형무척추동물의 서식처가 되는 하상의 구조와 밀접한 연관성이 있는 것으로 판단된다. 일반적으로 하천은 riffle, pool, run이 반복되면서 복잡한 환경을 가지며 저서성 대형무척추동물이 이용할 수 있는 다양한 미소서식처를 제공하지만, 인위적으로 하천을 가로지르며 형성된 인공구조물에 의해 단순한 환경을 가짐에 따라 저서성 대형무척추동물의 다양성에 부정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

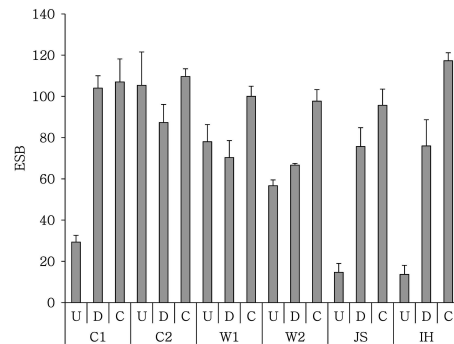


**Fig. 7.** Analysis of community stability : factors relative resistance and resilience at each surveyed sites.  
 I: Resistance ↑, Resilience ↑; II: Resistance ↓, Resilience ↑; III: Resistance ↓, Resilience ↓; IV: Resistance ↑, Resilience ↓ (Solid line: Upper, Dotted line: Down).

**3.5. 생물학적 수질평가 및 상관분석**

저서성대형무척추동물을 이용한 생물학적 수질평가 중 상대적 오염 내성치를 반영한 ESB에서는 전반적으로 조사지역의 상류지점에 비해 하류지점과 대조

지점에서 더 높은 수환경 등급을 보였다(Fig. 8). 사방댐2, 보1, 보2의 경우, 상류지점이 다소 높거나 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 하상의 구조가 상하류 간의 차이가 크지 않고, 저서성 대형무척추동물의 출현종수 및 종조성의 이질성이 크지 않은 결과로 판단된다. 사방댐1, 주산지, 임하댐에서는 하류지점과 대조지점에서는 I 등급의 매우 양호한 수역으로 나타났고, 상류지점에서는 사방댐1은 II등급의 다소 불량한 수역으로, 주산지와 임하댐은 III등급의 불량한 수역으로 평가되었다.



**Fig. 8.** Ecological score of benthic macroinvertebrate community (ESB) at each surveyed sites.

각 조사지점에서 확인된 생물학적 지수와 하상구조 간의 상관분석 결과 이화학적 수질 항목 간의 상관관계를 분석한 결과 Pebble 이상의 입자에서 종수 및 EPT 종수와 개체수에서 양의 상관성을 보였으며, Gravel 이하의 입자에서는 음의 상관성을 보여 하상의

**Table 2.** Spearman correlation coefficients of biological attributes and physico-chemical factors at the surveyed sites

Biological attributes	Physico-chemical and environmental factors												
	Sand/Silt	Gravel	Pebble	Cobble	Boulder	pH	DO	BOD	COD	T-N	T-P	SS	NTU
Species	-.821**	-.295*	.532**	.707**	.532**	-.336	.140	-.504**	.266	.141	-.012	-.008	.045
Individuals	-.460**	-.308*	.243	.519**	.313*	-.719**	.128	-.595**	.283	.478*	.039	-.120	-.084
EPT species	-.824**	-.449**	.455**	.747**	.658**	-.255	.087	-.422*	.265	.090	-.096	-.054	-.009
%EPT species	-.788**	-.425**	.427**	.705**	.642**	.057	.183	-.237	.020	.015	-.323	-.135	-.036
EPT individuals	-.550**	-.365**	.235	.555**	.474**	-.608**	.033	-.515**	.408	.324	-.032	-.108	-.065
%EPT individuals	-.788**	-.285*	.377**	.622**	.655**	.012	.129	-.216	.262	-.091	-.239	-.014	.092
DI	.667**	.097	-.442**	-.508**	-.392**	-.173	-.155	.275	-.325	.122	.111	-.051	-.138
H'	-.762**	-.127	.494**	.574**	.473**	.052	.200	-.340	.209	-.071	-.128	.030	.177
R1	-.820**	-.216	.576**	.660**	.494**	-.186	.163	-.436*	.251	.037	-.041	.009	.059
ESB	-.830**	-.383**	.488**	.722**	.626**	-.330	.120	-.476*	.270	.067	-.044	-.002	.052

\*\* : p<0.01, \* : p<0.05

구조가 종 다양성 및 개체수에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다(Table 2). 또한 이러한 결과는 군집지수 및 생물학적 수질평가에서도 상관성을 보이며, 단순한 하상구조는 미소서식처의 단순화를 야기하여 저서성 대형무척추동물 군집에 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 그리고 각 조사지점에서 확인된 수질분석 결과와 생물학적 지수 간의 상관분석 결과 BOD는 중수 및 개체수, EPT 중수 및 개체수에 대해서 음의 상관성을 보였다. 이는 Choi 등(2012)과 유사한 결과로, 하천횡단구조물에 의해서 유기물의 자연적인 이동을 방해하여 퇴적됨으로써 저서성 대형무척추동물 군집에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. BOD를 제외한 다른 이화학적 수질요인과는 큰 상관관계를 보이지 않았는데, 이러한 결과는 저서성 대형무척추동물 군집은 수질오염 보다는 유속 및 하상구조 등의 서식처 환경이 더 크게 작용하고 있음을 확인하였다.

#### 4. 결론

본 연구는 하천에 설치된 다양한 크기의 인공구조물(보, 사방댐, 농업용 저수지, 다목적댐)이 저서성 대형무척추동물 군집에 미치는 영향을 알아보기 위해 경북 북부지역에 설치된 보 2개 지점, 사방댐 2개 지점, 농업용 저수지 1개 지점, 다목적댐 1개 지점을 대상으로 인공구조물의 상류(pool), 하류(riffle), 대조(riffle)에서 2008년부터 2011년까지 저서성 대형무척추동물의 조사를 실시하였다. 인공구조물의 상류에 정수역이 조성되어 하상구조가 단순해짐에 따라 중수와 개체수 및 풍부도지수가 하류지점과 대조지점에 비해서 낮았으며, 상대적으로 규모가 큰 주산지와 임하댐은 상·하류 간에 큰 차이를 보였다. 또한 섭식기능군과 서식기능군에서도 상류역에서는 유속이 느리거나 정수역을 선호하는 종들이 우세하면서, 하류의 종조성과는 다소 차이가 났다. 한편, 상류역이 만사로 된 사방댐2와 하상구조의 큰 차이를 보이지 않은 보 2개 지점에서는 생물학적 지수에서 상·하류 간에 큰 차이를 보이지 않았다. 군집안정성 분석 결과, 상류지점에서는 하류지점과 대조지점에 비해 상대적 저항력과 회복력이 약한 III 그룹에 속하는 종들의 출현율이

떨어졌으며, 생물학적 수질평가에서도 상·하류간에 차이를 보였다. 생물학적 지수와 물리적 환경 및 이화학적 수질 간의 상관분석에서는 저서성 대형무척추동물은 이화학적 수질요인보다는 하상의 구조에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 결론적으로 인공구조물에 의해 형성된 정수역에서는 저서성 대형무척추동물의 서식처를 단순화한다는 기존 선행연구와 유사한 결과를 얻었으나(Kil 등, 2010), 만사가 된 사방댐이나 다소 노후한 보처럼 상·하류간 물리적 환경의 차이가 크지 않은 지점의 저서성 대형무척추동물 군집은 큰 차이를 보이지 않았다.

#### 감사의 글

이 논문은 2012년도 안동대학교 산학연구비 지원 사업에 의하여 연구되었습니다.

#### 참고 문헌

- Ahn, H. K., Woo, H. S., Lee, D. S., Kim, K. H., 2008, Stream eco-corridor restoration by out-aged small dam removal - Focused on Gokreung river Gokreung 2 small dam removal, *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 11(2), 40-54.
- Allan, D. J., 1995, *Stream ecology: Structure and function of running waters*, Chapman & Hall, London, 388.
- APHA, 2001, *Standard methods for the examination of water and wastewater*, American Public Health Association, 21st ed., APH-AWW-WEF, Washington, DC, USA. 1368.
- Bae, Y. J., Lee, B. H., 2001, Human impacts on stream ecosystems and freshwater Arthropods in Korea, *Korean Journal of Entomology*, 31(2), 63-76.
- Baxter, R. M., 1977, Environmental effects of dams and impoundments, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 8, 255-283.
- Charles F. R., Dosi, K. E., Zweig, L.D., 2005, Stream invertebrate community functional responses to deposited sediment, *Aquatic Science*, 67, 395-402.
- Choi, A. R., Park, S. J., Kim, J. Y., Song, M. Y., Kong, D. S., 2012, The correlation between water quality



- and benthic macroinvertebrate community indices in the Jinwi stream, *Korean Journal of Limnology*, 45(1), 1-10.
- Cummins, K. W., 1962, An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic water, *The American Midland Naturalist*, 67, 477-504.
- Culp, J. M., Walde, S. J., Davies, R. W., 1983, Relative importance of substrate particle size and detritus to stream benthic macroinvertebrate microdistribution, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40, 1568-1874.
- Doeg, T. J., Koehn, J. D., 1994, Effects of draining and desilting a small weir on downstream fish and macroinvertebrates, *Regulated Rivers: Research and Management*, 9, 263-277.
- Dynesius, M., Nilsson, C., 1994, Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world, *Science*, 266, 753-762.
- Han, J. H., Lee, J. Y., An, K. G., 2010, Interannual and seasonal variations of water quality in terms of size dimension on multi-purpose Korean dam reservoirs along with the characteristics of longitudinal gradients, *Korean Journal of Limnology*, 43(2), 319-337.
- Han, S. C., Jun, Y. C., Hwang, I. C., Won, D. H., 2011, Effects of sedimentation on benthic macroinvertebrate communities at upper Song stream basin, *Korean Journal of Environment Biology*, 26(4), 353-361.
- Jaccard, P., 1908, Nouvelles recherches sur la distribution florale, *Bulletin Society Sciences Nature*, 44, 223-207.
- Kil, H. K., Kim, D. G., Jung, S. W., Jin, Y. H., Hwang, J. M., Bae, K. S., Bae, Y. J., 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.
- Kondorf, G. M., 1997, Hungry water: Effects of dams and gravel mining on river channels, *Environmental Management*, 21, 533-551.
- Lee, M. J., Park, J. Y., Seo, J. K., Lee, H. J., Seo, E. W., Lee, J. E., 2009, Community structure and cluster analysis of the benthic macroinvertebrates in inflow and outflow area of ten reservoirs of the Nakdong river system, *Journal of Life Science*, 19, 1758-1763.
- Lee, M. J., Kwon, H. Y., Lee, H. J., Seo, J. K., Lee, J. K., Lee, J. E., 2011, Community structure of benthic macroinvertebrates and water quality in the major lakes (Lake Sayeon, Lake Daeam, Seonam Reservoir, Lake Hoeya) of Ulsansi, *Korean Journal of Limnology*, 44(4), 396-406.
- Magilligan, F. J., Nislow, K. H., 2001, Long-term changes in regional hydrologic regime following impoundment in a humid-climate watershed, *Journal of the American Water Resources Association*, 37(6), 1551 - 1569.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., 1996, An introduction to the aquatic insects of North America, 3rd ed, Kendall/Hunt Publish, Co. Dubuque, Iowa, 862.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., Berg, M. B., 2008, An introduction to the aquatic insects of North America, 4th ed, Kendall/Hunt Publish, Co. Dubuque, Iowa, 1158.
- Ministry of Environment, 2006, The 3rd National Ecosystem Survey Guide, NIER, 298.
- Ministry of Agriculture and Forestry, 2007, Development of environment-friendly erosion control techniques for ecosystem conservation in torrent, 389.
- Minshall, G. W., 1984, Aquatic insect-substratum relationships, in: Resh, V.H. and Rosenberg, D.M. (eds.), *The Ecology of Aquatic Insects*, Praeger, New York, 358-400.
- Oh, Y. N., Jun, T. S., 1991, A study on the benthic macroinvertebrates in the middle reaches of Paena stream, a tributary of the Nakdong river, Korea 2. Comparison of communities and environments at the upper and lower sites of levees, *The Korean Journal of Ecological Sciences*, 14(4), 399-413.
- Ro, T. H., Chun, D. J., 2004, Functional feeding group categorization of Korean immature aquatic insects and community stability analysis, *Korean Journal of Limnology*, 37, 137-148.
- Rosenberg, D. M., Resh, V. H., 1993, *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*, Chapman and Hall, New York, 488.
- Son, S. H., 2008, Effects of artificial structure on stream ecosystem (On the benthic macroinvertebrate, fishes and stream vegetations), Master dissertation, Soonchunhyang University, 113.
- Stanley, E. H., Michelle, A. L., Dolye, M. W., Marshall,

- D. W., 2002, Short-term changes in channel form and macroinvertebrate communities following low-head dam removal, *Journal of North American Benthological Society*, 21, 172-187.
- Tiemann, J. S., Gillette, D. P., Wildhaber, M. L. and Edds, D. R., 2004, Effects of lowhead dams on riffle-dwelling fishes and macroinvertebrates in a midwestern river, *Transactions of the American Fisheries Society*, 133, 705-717.
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., Cushing, C. E., 1980, The river continuum concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 37, 130-137.
- Won, D. H., Kwon, S. J., Jun, Y. C., 2005. Aquatic insect of Korea, Korea ecosystem service, 415.
- Yoon, I. B., 1995, An illustration of aquatic insects, Jeonghaengsa press, 262.
- Yoon, I. B., Kong, D. S., Ryu, J. K., 1992, Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (1); saprobic valency and indicative value, *Korean Journal of Environment Biology*, 10(1), 24-39.