

ORIGINAL ARTICLE

군위댐 건설 공사가 저서성대형무척추동물 군집 변동에 미치는 영향

권혁영 · 이미진 · 박진영¹⁾ · 이종은*

안동대학교 자연과학대학 생명과학과, ¹⁾국립생태원

The Influence of Gunwi Dam Construction on Community Fluctuations of Benthic Macroinvertebrates

Hyeok-Yeong Kwon, Mi-Jin Lee, Jinyoung Park¹⁾, Jong-Eun Lee *

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

¹⁾National Institute of Ecology, Seoecheon 325-813, Korea

Abstract

Benthic macroinvertebrates were seasonally sampled from upstream and downstream of the Gunwi Dam construction site from 2006 to 2012. Totally 148 and 165 species were collected at the upstream and downstream sampling sites, respectively. At the upstream area after dam construction, there was no significant change of the numbers of non-insect taxa, but at the downstream area, the non-insect taxon numbers were increased gradually. The individual ratio of Ephemeroptera and Diptera had higher value than the other taxa in both of up and downstream. The trichopteran individual ratios were increased in upstream sites, but decreased in downstream sites from 2010. Also, non-insects and coleopteran individual ratios were decreased in upstream, but increased in downstream after completion of dam construction. The annual range of fluctuation in community indices narrowed after construction. According to a functional feeding group analysis, the individual ratios of FC (Filtering Collector) were increased, and GC (Gathering Collector) and SC (Scraper) were decreased in upstream sites annually. In contrast, the annual individual ratios of FC were decreased, and GC and SC were increased in the downstream sites.

Key words : Gunwi-dam, Benthic macroinvertebrate, Community fluctuation, FFG

1. 서론

군위다목적댐은 경북 중부지역(군위, 의성, 칠곡)의 용수공급과 낙동강 하류의 홍수피해 방지 및 전력 생산을 목적으로 2004년 6월에 착공되었다. 높이 45 m, 길이 390 m의 표면차수벽형 석괴댐으로, 2010년 12월에 준공과 동시에 화북다목적댐에서 “군위다목

적댐”으로 이름을 변경하였다.

댐 건설은 하천생태계의 단편화를 초래하고 수로를 인위적으로 변형시키는 가장 큰 요인으로 작용한다(Dynesius와 Nilsson, 1994). 더욱이 수계 내 인공 구조물의 축조 공사는 친환경적으로 균형을 이루고 있던 물의 흐름을 방해하고, 침전물의 퇴적 방식을 변형시킨다(Ward와 Stanford, 1979). 이러한 변형은 수

Received 25 September, 2013; Revised 4 February, 2014;

Accepted 26 February, 2014

*Corresponding author : Jong-Eun Lee, Department of Biological Science, Andong National University, Andong 760-749, Korea

Phone: +82-54-820-5618

E-mail: jelee@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.

체의 퇴적량을 과도하게 변형시키고(Song 등, 2007), 수생태계 상위 포식자인 어류의 이동 경로를 차단하며, 심하게는 종의 돌연변이를 일으키기도 한다(Zincon과 Rulifson, 1991). 특히 댐 건설은 하류의 탁도를 증가시키고, 수온 변화를 야기하며(Armitage, 1984; Ward, 1976), 수체 내부로의 빛 투과율이 낮아져 댐 조성지 하류의 생태계에 영향을 미치게 되며(Stevens 등, 1997), 댐 건설로 인한 지형적 변화는 저서생물과 어류, 수생식물의 생장에 결정적인 영향을 미친다(Gregory 등, 1991; Hupp, 1988; Newcombe와 McDonald, 1991; Stevens 등, 1995). 그 중 저서성대형무척추동물은 수생태계의 다양성과 구조 등을 나타내는 중요한 지표 생물군으로(Alland와 Johnson, 1997; Clarke 등, 2002; Samuel 등, 2012; WFD, 2003; Williams와 Smith, 1996; Woodcock과 Huryn, 2007), 담수생태계에서 수질에 민감한 반응을 보여 수질과 오염 정도를 명확하게 나타내주는 척도가 되기도 한다(Kannoje 등, 2012; Maybeck 등, 1996; Rosenberg와 Resh, 1993; Wilhm, 1972). 그러나 현재까지 댐 건설 영향에 관한 연구는 대부분 어류의 서식에 대한 것이며, 저서성대

형무척추동물에 대한 연구는 미미한 실정이다(Doeg와 Koehn, 1994; Tiemann 등, 2004).

이에 본 연구에서는 군위댐 건설이 하천 상하류의 저서성대형무척추동물 군집구조에 미치는 영향을 알아보고자, 댐 건설 공사 기간인 2006년부터 완공 이후인 2012년까지 7년간 댐 조성지의 상류와 하류 각각 2개 지점에서 저서성대형무척추동물 군집을 조사하였으며, 하천생태계의 교란으로 인한 연도별 변화 양상을 파악하기 위해 군집안정성 조사를 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사시기 및 조사지점

2006년부터 2012년까지 매년 4회씩 분기별 조사를 실시하였으며, 군위다목적댐을 기준으로 댐의 상류와 하류에 각각 2개 지점을 선정하여 연구를 수행하였다(Fig. 1, Table 1). 조사지점의 하상은 4개 지점 모두 호박돌과 자갈들로 이루어져있다. St. 1지점(N. 36° 10' 01.7", E. 128° 52' 25.5")은 최상류에 위치한 지점으로 하폭 및 수폭이 매우 협소하며, 공사의 영향을 받

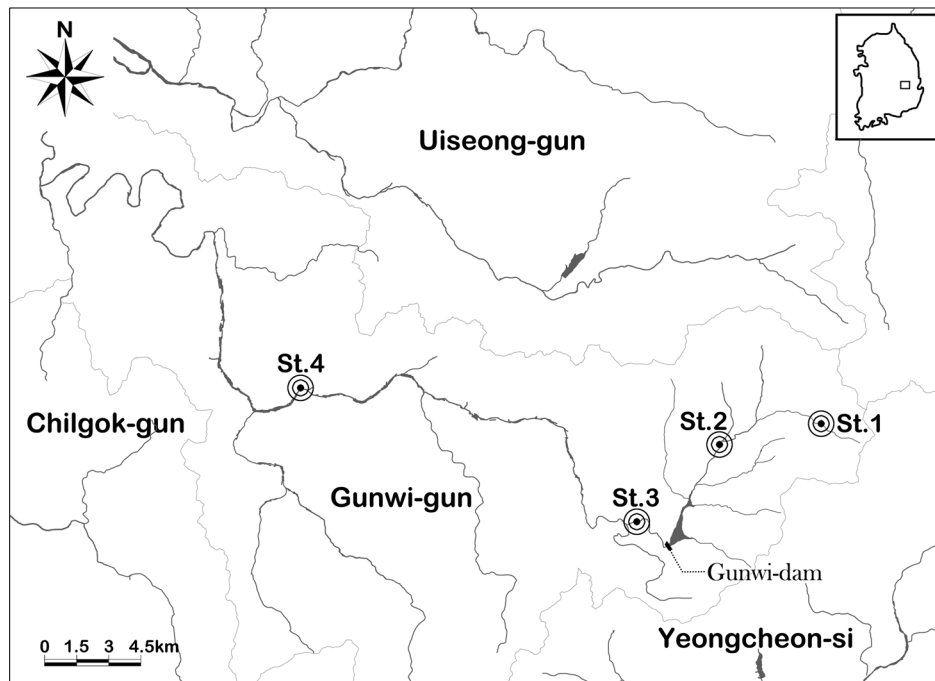


Fig. 1. The survey sites (St.1~St.2: upper sites of Gunwi dam; St.3~St.4: lower sites of Gunwi dam).

지 않는 지점이다. St. 2지점(N. 36° 09' 41.4", E. 128° 49' 19.0")은 유량이 다소 부족한 지점으로 군위댐 이설도로 건설로 인하여 일부 영향을 받았으나, 서식환경의 변화는 거의 없었다. St. 3지점(N. 36° 07' 39.0", E. 128° 46' 23.9")은 덕천천과 합류하기 전 수역으로 2010년부터 유량의 증가에 따른 영향으로 조사지점 중 가장 큰 영향을 받은 지점이다. St. 4지점(N. 36° 11' 11.0", E. 128° 36' 16.1")은 남천과 합류하기 전 수역으로 상수원 보호구역으로 지정되어 있으며, 유량은 풍부하고 물의 흐름은 거의 없는 지점이다.

Table 1. The coordinates of survey sites

Site	Coordinate
St.1	N. 36° 10' 06" E. 128° 52' 15"
St.2	N. 36° 09' 40" E. 128° 49' 22"
St.3	N. 36° 08' 40" E. 128° 49' 26"
St.4	N. 36° 11' 11" E. 128° 36' 23"

2.2. 채집 및 분석

저서성대형무척추동물은 surber sampler(30*30cm, mesh size 1mm)를 이용하여 지점당 3회씩 정량채집을 수행하였다. 채집된 표본은 현장에서 94% ethanol에 고정하여 보존하였으며, Yoon(1995)과 Won 등(2005) 등의 문헌 및 검색도설을 참조하여 동정한 후, 70% ethanol에 액침 보관하였다.

2.3. 조사결과 분석

채집된 저서성대형무척추동물은 단위면적당 출현 개체수(ind./m²)를 산출하여 군집분석을 실시하였다. 우점도지수(Dominance index, DI)는 McNaughton(1967)의 방법에 의해 산출하였고, 다양도지수(Species diversity index, H')는 Shannon과 Weaver(1949), 풍부도지수(Species richness index, R1)는 Margaleff(1958), 균등도지수(Evenness index, J')는 Pielou(1975)의 방법을 따랐다. 각각의 산출식은 다음과 같다.

$$DI = \frac{n_1 + n_2}{N}$$

$$H' = - \sum \left[\frac{n_i}{N} \cdot \log_2 \frac{n_i}{N} \right]$$

$$R1 = \frac{S-1}{\ln(N)}$$

$$J = \frac{H'}{\log_2 S}$$

- n₁ : 우점종의 개체수
- n₂ : 아우점종의 개체수
- N : 총개체수
- n_i : i번째 종의 개체수
- S : 전체 종수

저서성대형무척추동물의 섭식기능군(FFGs: Functional Feeding Groups)은 Ro(2002)와 Ro와 Chun(2004), Merritt 등(2008) 등의 문헌을 참고하여 6가지 기능군으로 구분하여 분석하였다. 또한, Ro(2002)가 한국산 수서곤충류의 상대적 저항력과 회복력을 1부터 10까지의 등급으로 세분화한 자료를 바탕으로 조사대상 군집의 안정성을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 종수 분석

본 연구 결과 출현한 저서성대형무척추동물은 총 5문 8강 23목 82과 208종이 출현하였다. 2006년부터 2012년까지 각 연도별로 92종, 116종, 119종, 99종, 89종, 104종, 95종이 출현하여 2008년에 가장 많은 종수를, 2010년에 가장 적은 종수를 보였다(Table 2).

군위댐 조성지를 기준으로 상하류 수계를 구분하여 분석한 결과, 상류 수계에서 총 5문 6강 17목 61과 148종, 하류 수계에서 총 5문 8강 21목 73과 165종이 출현하였다. 특히 하류수계에서는 후반기 공사 시점인 2009년부터 종수가 꾸준히 감소하는 경향을 보였으며, 날도래목에서 이러한 경향이 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 비곤충류는 상류 수계에 비하여 하류 수계에서 상대적으로 많은 종이 출현하였는데, 상류 수계에서는 2006년부터 2012년까지 8종~11종으로 큰 종수 변화가 없었던 반면, 하류 수계에서는 2006년 9종에서 2011년 19종으로 전반적으로 증가하는 양상을 보였다(Fig. 2).

2006년부터 2012년까지 각 연도별 출현 종 중 상류와 하류에서 공통으로 출현한 종을 분석한 결과, 공사

Table 2. The number of species and individuals in each surveyed year

		Upstream							Downstream						
		'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12
Tricladida	sp.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ind.	6.0	12.0	27.3	14.3	2.8	7.9	39.8	5.1	5.6	8.8	11.1	2.3	15.3	9.7
Gordea	sp.				1	1								1	
	ind.				0.5	0.5								1.9	
Mesogastropoda	sp.	2	3	2	2	1	1	2	2	2	5	3	4	4	4
	ind.	57.8	5.6	43.0	13.0	10.2	7.9	34.7	33.8	26.8	187.8	27.8	43.9	15.7	14.8
Basommatophora	sp.	2	4	3	3	4	2	3	3	3	1	2	2	3	2
	ind.	3.7	7.9	28.2	18.5	8.3	1.9	4.2	15.7	7.4	0.5	1.9	20.8	13.0	15.7
stylommatophora	sp.											1			
	ind.											0.5			
Unionoida	sp.										1	1		1	1
	ind.										0.5	1.4		0.5	0.5
Veneroida	sp.								1	1	1		1	1	2
	ind.								1.9	0.5	0.9		1.4	0.5	5.1
Architaenioglossa	sp.							1							
	ind.							0.5							
Archioligochaeta	sp.		1	1	1	1	1	1		1	1	1	2	2	1
	ind.		32.8	77.2	37.5	3.2	2.3	4.2		0.9	321.0	35.6	33.8	38.4	87.0
Rhynchobdellida	sp.	2	2	2	1	1	2		1	3	4	3		2	1
	ind.	0.9	1.4	1.4	0.9	0.5	1.9		1.9	1.4	3.2	3.7		2.3	4.2
Arhynchobdellidae	sp.	1		1	1	1	1	1			2	1		1	1
	ind.	2.8		4.2	0.5	0.9	3.2	9.3			1.9	1.4		0.9	2.3
Isopoda	sp.										1	1	1	1	1
	ind.										6.5	54.6	21.3	8.8	44.4
Amphipoda	sp.												1	1	
	ind.												2.3	0.9	
Decapoda	sp.												1	1	2
	ind.												1.9	7.9	1.9
Ephemeroptera	sp.	25	26	25	17	20	23	19	27	25	28	19	17	15	18
	ind.	2,026.2	1,412.0	1,201.6	267.3	364.0	1,120.2	689.6	2,646.4	1,300.6	3,881.3	863.0	583.2	484.2	309.0
Odonata	sp.	6	9	5	4		7	2	7	11	11	4	9	9	10
	ind.	27.8	18.5	7.4	4.6		5.1	2.3	27.3	21.3	6.9	7.9	20.8	22.7	16.7
Plecoptera	sp.	2	1	3	2	1	5	5		2	6	6	4	1	2
	ind.	1.9	130.0	37.0	2.3	4.2	174.8	13.0		2.3	9.7	7.4	7.9	1.4	0.9
Hemiptera	sp.		3			1	1		5	4	2	4		2	
	ind.		1.9			0.5	0.5		5.1	12.0	2.3	3.2		12.5	
Megaloptera	sp.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		2
	ind.	1.9	0.9	1.4	0.9	0.9	2.8	2.3	1.4	0.5	0.9	0.5	1.9		0.9
Coleoptera	sp.	4	3	6	5	2	4	3	5	7	6	5	4	4	4
	ind.	23.1	5.6	108.7	10.2	5.6	2.3	4.6	26.8	19.9	34.2	10.6	16.2	38.9	22.7
Diptera	sp.	7	10	9	8	7	12	6	5	6	6	7	5	6	4
	ind.	990.7	846.4	940.3	388.0	420.9	390.4	1,116.5	495.3	640.1	596.6	231.3	370.5	124.4	254.4
Trichoptera	sp.	15	14	14	15	12	14	14	10	23	17	15	14	11	6
	ind.	289.5	127.7	103.1	92.5	111.5	448.6	1,129.9	27.3	112.9	270.6	174.4	281.7	44.4	7.9
Lepidoptera	sp.						1								
	ind.						0.5								
Total	sp.	68	78	73	62	54	76	59	68	90	94	75	67	67	62
	ind.	3,432.2	2,602.5	2,580.8	851.0	933.8	2,170.1	3,050.7	3,287.9	2,152.0	5,333.6	1,436.1	1,409.7	834.4	797.8

sp.: Number of species; ind.: Number of individuals per m².

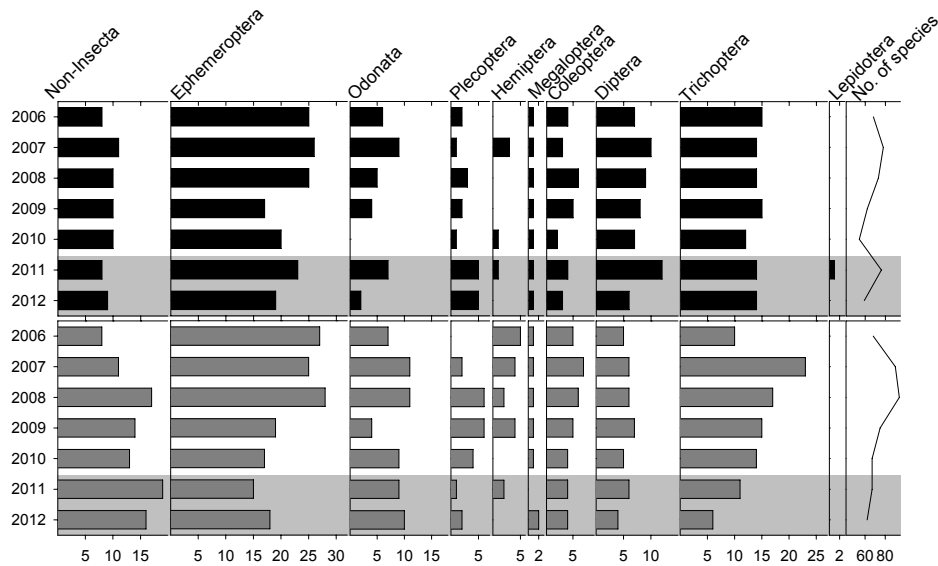


Fig. 2. The number of species from surveyed taxa in each year (Upper graphs: upper sites; Downer graphs: lower sites).

후반기인 2009년에 상하류 중복 출현종의 수가 48종 (2008년)에서 38종(2009년)으로 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 하류 수계에서는 출현하지 않고 상류 수계에서만 출현한 종이 댐 준공 이전(2007년 26종, 2010년 22종)에 비해 준공 이후(2011년 37종, 2012년 33종)에 증가하였다(Fig. 3).

과거에 출현하였던 종의 서식이 유지되고 있는 정도를 확인하고자, 연도별 출현 종 중 다른 해에 출현한 종과의 중복 정도를 분석하였다. 상류 수계의 경우, 공사 초반인 2006년부터 2009년까지는 직전 해에 출현하였던 종이 2007년에 53종, 2008년에 56종, 2009년 53종 재출현하였으나, 공사 완료 후인 2012년에는 2006년 출현종과의 중복 종수가 34종으로 줄어들었다(Table 3). 하류 수계에서는 댐이 준공된 해인 2010

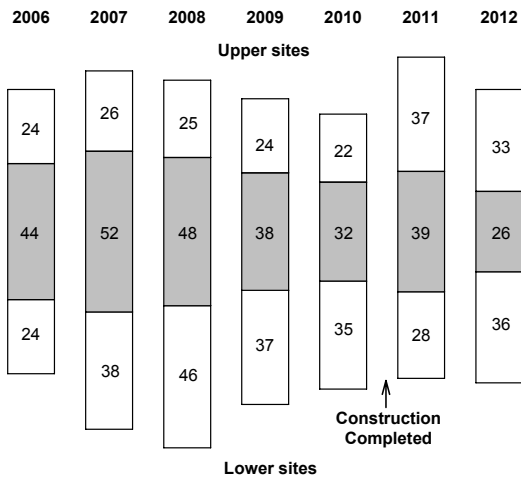


Fig. 3. Species number of benthic macroinvertebrates at the upper and lower sites (Gray color: overlapping species; White color: species occurred only at the upper or lower sites).

Table 3. Overlapping species number of benthic macroinvertebrates in each crossing year (dark gray cell: 50 and over; gray cell: 45 and over; pale gray cell: 40 and over; lower cells than diagonal line: lower sites; upper cells than diagonal line: upper sites)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
2006	68	68	53	45	41	41	38
2007	47	78	90	56	49	46	42
2008	46	51	73	94	53	45	42
2009	41	44	40	62	75	47	45
2010	36	38	38	41	54	67	48
2011	45	45	47	41	42	76	67
2012	40	41	39	41	35	41	59

년에는 준공 전 해에 비해 중복 출현 종수가 눈에 띄게 감소하였다. 이는 소형 댐이 저서성대형무척추동물의 군집 변화에 크게 영향을 미친다는 연구결과(Kil, 2007)와 유사한 경향으로 조사되어 군위댐 건설로 인한 하류 수계의 종조성은 점차적으로 변화되고 있는 것으로 판단된다.

3.2. 개체수 분석

본 연구 결과 출현한 저서성대형무척추동물은 평균 2,205.2개체/m²로, 군위댐 조성지의 상류 수계에서 평균 2,231.6개체/m², 하류 수계에서 평균 2,178.8개체/m²로 나타났다. 상류 수계에서는 2006년(3,432개체/m²)부터 공사 후반부인 2009년(851.0개체/m²)까지 개체수가 꾸준히 감소하다가 댐 준공 시점인 2010년(933.8개체/m²)부터 증가하는 양상을 보였다. 하류 수계에서는 공사 중후반인 2008년(5,333.6개체/m²) 개체수가 일시적으로 증가한 후, 공사 완료 이후인 2012년(797.8개체/m²)까지 점차적으로 감소하는 경향을 보였다(Table 2). 상류수계의 경우, 2009년 진행된 하상 공사에 의한 교란으로 개체수가 일시적으로 감소하였으며, 하류수계는 댐 건설에 의한 생물서식환경 변화의 영향으로 공사 후반기에 깔따구류(Chironomidae sp.), 실지렁이(*Limnodrilus gotoi*) 등의 특정종이 일

시적으로 증가하여 나타난 결과로 판단된다. 상류로부터 운반 및 퇴적되는 부유물 또는 침전물의 증가는 하천의 생물서식처를 단순화하는 효과를 보이는 것으로 알려져 있으며(Berkman와 Rabeni, 1987; Carling와 McCahon, 1987), 미세한 무기퇴적물에 의해 교란된 수계에서 깔따구류 및 환형동물류 등이 개체수 현존량의 증가를 보이기도 하지만, 무기퇴적물 및 부유물질의 양이 매우 많거나 또는 지속적으로 수계에 유입될 경우에는 오히려 전반적인 개체수현존량의 감소와 연결된다(Armitage, 1995; Dudgeon, 1994).

저서성대형무척추동물 각 목의 단위면적당 출현 개체수 점유율을 분석한 결과, 상하류 모두 전반적으로 하루살이목과 파리목이 높은 비율을 차지하였다. 공사 완료 시점인 2010년부터 상류수계에서는 날도래목의 개체수 비율이 점차 증가하는 경향을 보였으나, 하류 수계에서는 점차적으로 감소하였다. 또한, 완공 이후부터 딱정벌레목 및 비곤충류의 개체수 점유율이 상류에서는 감소, 하류에서는 증가하는 경향을 보였다(Fig. 4).

공사 시행 초반에는 상류와 하류수계 모두 수심이 얇고 여울구간이 다수 분포되어 있어 다양한 생물서식환경을 조성하고 있었다. 하지만 댐 건설에 의해 상류는 유속이 느려지고 하류는 여울이 감소하여 일부

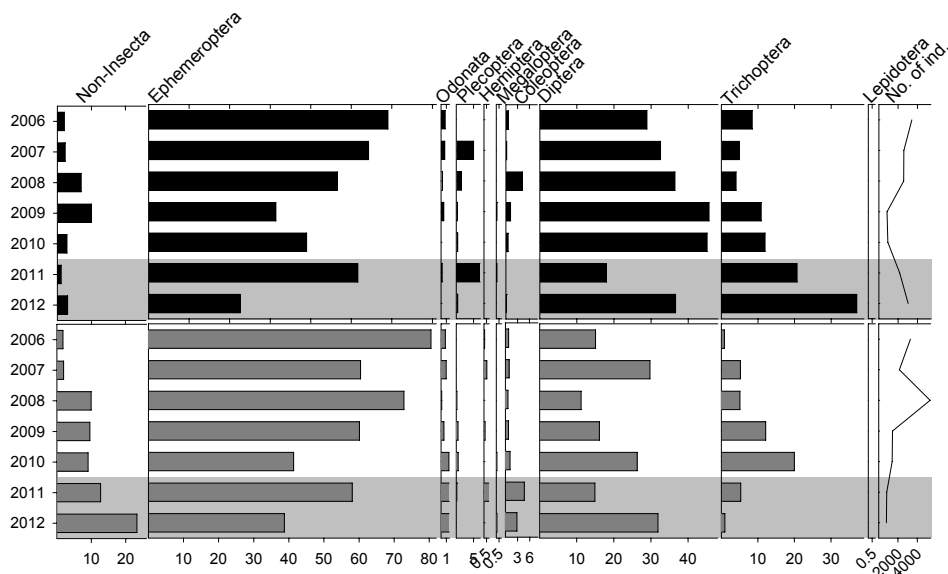


Fig. 4. Relative abundances of individuals of surveyed taxa in each year.

구간에 정수역이 조성된 동시에, 주기적으로 수심이 변동되는 불안정적인 생물서식환경을 이루게 되었기 때문에 위와 같은 결과가 나타난 것으로 사료된다. 이러한 결과는 댐 건설 이후 댐의 상류 지역에 비해 하류 지역에서 여울 서식성 종이 감소하고, 정수역에 주로 서식하는 종의 개체수가 늘어난다는 Chessman 등 (1987)의 연구와도 일치하는 결과이다.

3.3. 군집지수 분석

군위댐 조성지를 기준으로 상하류 수계의 공사 연차별 우점도, 다양도, 풍부도 및 균등도를 분석한 결과, 상류 수계의 우점도지수(DI)는 공사 후반기인 2009년을 기점으로 점차 감소하는 경향을 보였다. 그러나 다양도지수(H')와 풍부도지수(R1), 균등도지수(J')는 공사 초반부터 중후반인 2009년까지 점차 감소하는 경향을 보이다가, 공사 후반부터 증가하는 양상을 보였다. 상류수계의 분기별 군집지수는 공사 초반인 2006~2007년에 비해 2008~2009년 및 2011년에 연간 변동

폭이 다소 크게 나타났다. 하류수계에서는 연도별 평균 우점도, 다양도, 풍부도, 균등도지수가 뚜렷한 변화 양상을 보이지 않았으며, 완공 이전에 비해 공사 완료 후인 2011~2012년의 연간 군집지수 변동 폭이 상대적으로 작게 나타났다(Fig. 5).

3.4. 섭식기능군 분석

저서성대형무척추동물의 먹이섭식 특성을 반영하는 섭식기능군(FFGs) 분석은 해당 생태계의 물리적 수환경 변화 양상을 해석함에 있어 매우 중요한 요소로 작용한다. 본 연구 결과, 군위댐 조성지의 상류수계에서는 댐 완공시기인 2010년부터 줄날도래, 꼬마줄날도래, 먹파리류 등 하천의 부유성 유기물을 걸러먹는 FC(Filtering Collector)의 개체수 점유율이 점차적으로 증가하는 경향을 보였다. 반면 깔따구류, 개똥하루살이 등 하상에 침전된 유기물을 주워 먹는 GC(Gathering Collector) type과 네점하루살이, 두점하루살이 등 SC(Scraper) type의 개체수 점유율은 공사 연차에 따

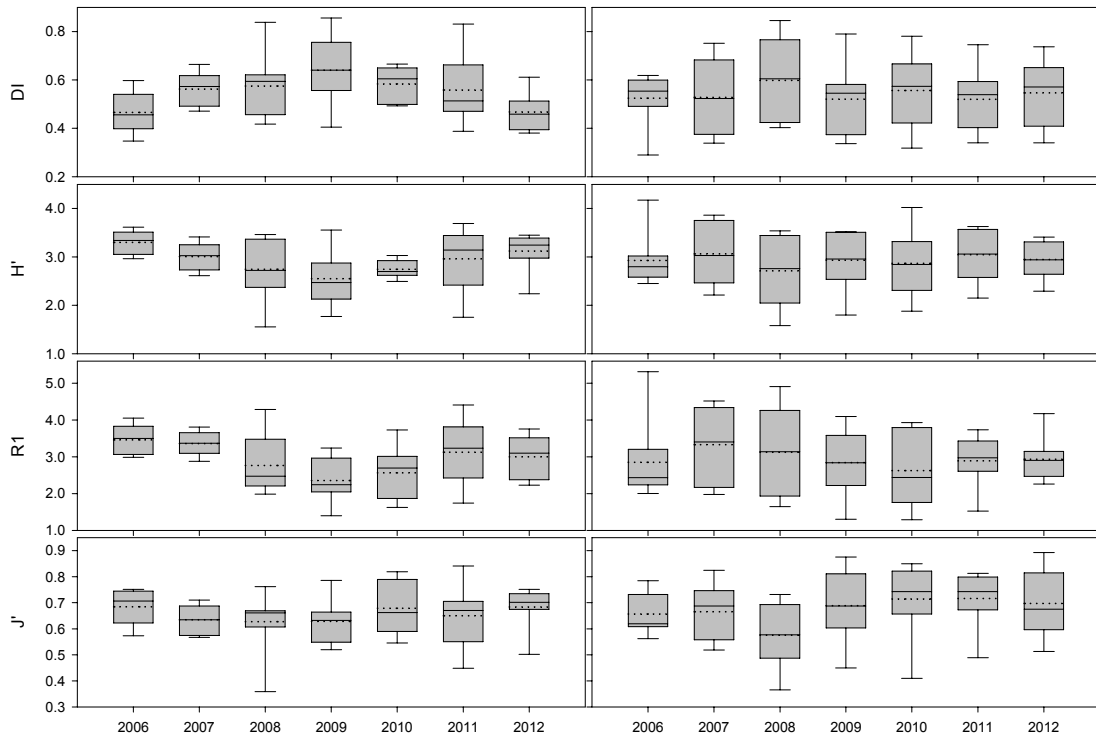


Fig. 5. Range of DI, H', R1, and J' with vertical box plot indicating minimum, 10%, 25%, median, 75%, 90%, and maximum in each year (dotted line: average value; left graphs: upper sites; right graphs: lower sites).

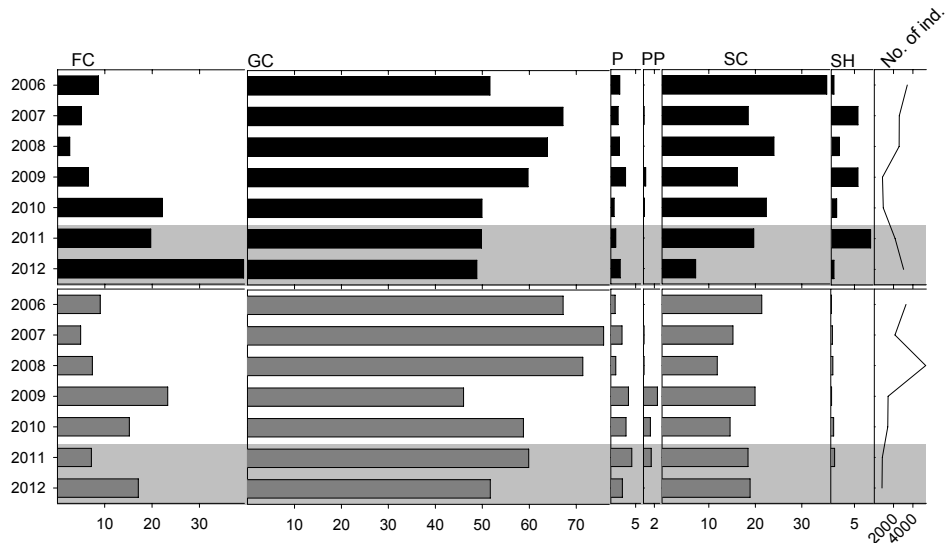


Fig. 6. Relative abundance of individuals of functional feeding groups in each year (FC: Filtering Collector, GC: Gathering Collector, P: Predator, PP: Plant Piercer, SC: Scraper, SH: Shredder; Upper graphs: upper sites; Downer graphs: lower sites).

라 단계적으로 감소하는 경향을 보였다(Fig. 6). 2011년과 2012년 조사지역 일대에는 예년보다 집중호우가 적게 발생하였고 인위적 공사 진행이 없어 하상의 교란이 적었다. 이로 인해 CPOM(Coarse Particulate Organic Matter)을 섭식하는 FC와 SH type 중의 개체수 점유율이 높아지고, 더욱 분해된 형태의 유기물인 FPOM(Fine Particulate Organic Matter)을 섭식하는 GC와 FC type 중의 개체수 점유율은 상대적으로 낮아지게 된 것으로 사료된다.

댐 조성지의 하류수계에서는 FC(Filtering Collector)의 개체수 점유율이 공사 후반부인 2009년 일시적으로 증가하였다가 다시 감소하는 추세를 보였다. CPOM을 섭식하는 GC(Gathering Collector) type과 SC(Scraper) type의 개체수 점유율은 상류수계에서와 마찬가지로 공사 연차에 따라 단계적으로 감소하는 경향을 보였으며, 각다귀류, 네모집날도래류, 민강도래류 등 하상에 떨어진 식물 잔사물을 썰어 먹는 SH(Shredder) type은 상류 수계에 비해 하류 수계에서 상대적으로 낮은 개체수 점유율을 나타내었다. 이러한 하류 수계의 FFG 개체수 점유율 변동은 공사의 영향을 직접적으로 반영하는 결과로 사료된다. 공사의 진행에 따라 저서생물 개체수가 전반적으로 감소하는 경향을 보였

으며, 미세유기물을 섭식하는 GC와 SC의 개체수 감소가 특히 두드러지게 나타났다(Fig. 6).

Shin 등(2006)의 연구결과 일반적인 하천에서는 하류로 갈수록 FPOM이 증가하기 때문에(Allan, 1995), FC의 무리가 하류로 갈수록 점차 증가한다고 보고하였으나, 본 연구결과 하류수계의 경우 유수역 환경에서 정수역 환경으로 변화되어 FC의 개체수는 감소하는 경향으로 조사되었다.

3.5. 군집안정성 분석

Ro(2002)는 저서성대형무척추동물이 생태적으로 교란된 환경에 놓였을 경우 각 종이 갖는 저항력과 회복력의 정도를 1부터 10까지의 수치로 표현하였다. 각 저항력과 회복력 수치별 중수를 그래프화할 경우, 각 축의 수치 5.5를 기준으로 하여 네 개의 구역으로 구분이 가능하다. 이 경우, 저항력과 회복력이 모두 높은 분류군은 I 구역, 저항력은 낮고 회복력이 높은 분류군은 II 구역, 저항력과 회복력이 모두 낮은 분류군은 III 구역, 저항력은 높으나 회복력이 낮은 분류군은 IV 구역으로 구분된다.

본 연구 결과, 군위댐 조성지 상류의 경우 공사 시기인 2006년부터 2010년까지는 III 구역에 속하는 중

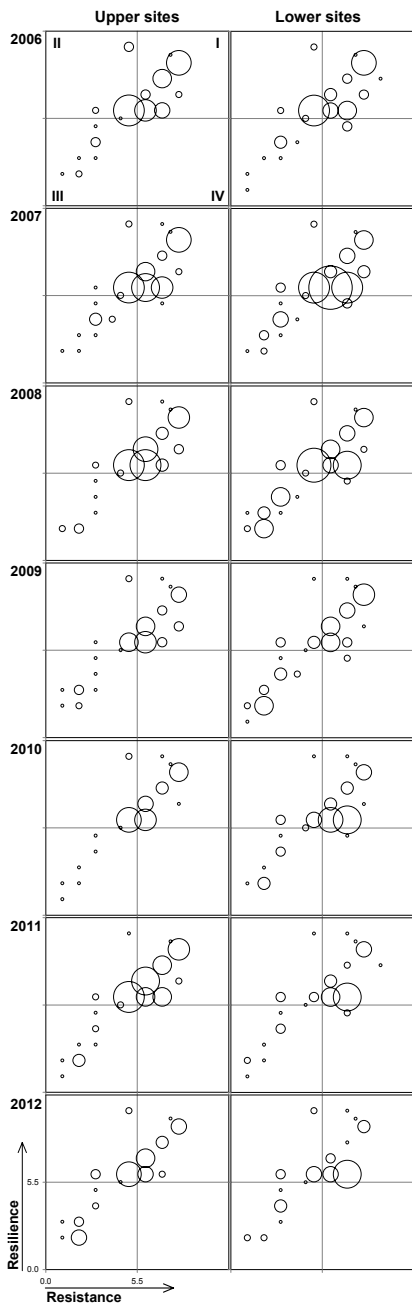


Fig. 7. Analysis of community stability : factors relative resistance and resilience at each surveyed sites (left graphs: upper sites; right graphs: lower sites).
 I: Resistance ↑, Resilience ↑; II: Resistance ↓, Resilience ↑; III: Resistance ↓, Resilience ↓; IV: Resistance ↑, Resilience ↓

의 출현이 빈약했으나 공사 완료 후인 2011년과 2012년에는 III구역 종의 출현이 증가하였다. 상류 수계의 I 구역과 II구역에 속하는 종은 연차별 출현 변동이 크지 않았으며, IV구역에 속하는 종은 출현하지 않았다. 군위댐 조성지 하류 수계의 경우, I 구역과 III구역, IV구역에 속하는 종들이 공사 진행에 따라 점차적으로 감소하는 경향을 보였으며, II구역에 속하는 종은 큰 변동을 보이지 않았다(Fig. 7). 저항력과 회복력이 약한 III구역에 해당하는 종은 강우로 인한 교란 후 감소하는 것으로 알려져 있으며(Lee 등, 2009), 2010년 댐의 완공 후 강우의 영향과 유사한 교란요인을 제공하는 댐의 방류로 인하여 상류 수계에 비해 하류 수계의 경우 III구역에 해당하는 종의 감소폭이 크게 나타난 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 군위댐 건설이 하천 상하류의 저서성대형무척추동물 군집구조에 미치는 영향을 알아보고자, 댐 건설 공사 기간인 2006년부터 완공 이후인 2012년까지 7년간 댐 조성지의 상류와 하류 각 2개 지점에서 저서성대형무척추동물 군집을 조사하였다.

군위댐 조성 완료 이후, 조성지의 하류 수계에는 대부분 시기에 적은 유량을 갖는 정수역이 조성되었으며, 공사 이전에는 서식하지 않았던 호정수성 종들이 유입되기 시작하였다. 이와 동시에 유수역에 주로 서식하는 종들은 줄어들면서 후반기 공사 시점인 2009년부터 중수와 개체수가 꾸준히 감소하는 경향을 보였다. 또한, 공사 후반부로 접어들수록 상류수계와 하류수계에 공통으로 서식하는 종의 수가 점차 감소하는 것으로 나타났다.

각 종이 갖는 저항력과 회복력을 이용하여 연차별 저서성대형무척추동물 출현 양상을 분석한 결과, 상류수계에서는 공사 진행 기간 동안에는 큰 변화를 보이지 않았으나, 공사 완료 이후부터 저항력과 회복력이 낮은 종의 출현이 조금씩 증가하였다. 반면 하류수계에서는 공사 시행 초반부터 공사 완료 이후까지 저항력과 회복력이 모두 낮은 종이 꾸준히 감소하는 경향을 보였다.

참 고 문 헌

- Allan, J. D., 1995, Stream Ecology. Structure and Function of Running waters, Chapman & Hall, Landon.
- Allan, J. D., Johnson, L. B., 1997, Catchment-scale analysis of aquatic ecosystems, *Freshwater Biology*, 37, 107-111.
- Armitage, P. D., 1984, Environmental changes induced by stream regulation and their effects on lotic macroinvertebrates communities, In: Lillehammer, A. and Saltveit, S. J. (Eds.), *Regulated rivers*. Universitetsforlaget AS, Oslo, 139-165.
- Armitage, P. D., 1995, Faunal community change in response to flow manipulation, In Harper, D. M and Ferguson, A. J. D. (eds.), *the ecological basis of river management*, Wiley, Chichester, 59-78.
- Berkman, H. E., Rabeni, C. F., 1987, Effects of siltation on Stream Fish Communities, *Environmental Biology of Fishes*, 18, 285-294.
- Carling, P. A., McCahon, C. P., 1987, Natural Siltation of Brown Trout (*Salmo trutta* L.) Spawning Gravels during Low-flow Conditions, In Craig J. F., Kemper, J. B. (eds.), *Regulated streams; Advances in ecology*, Plenum Press, NY, 229-244.
- Chessman, B. C., Robinson, D. P., Hortle, K. G., 1987, Changes in the riffle macroinvertebrate fauna of the Tanjil River, Southeastern Australia, during construction of blue rock dam, *Regulated Rivers Research and Management*, 1, 317-329.
- Clarke, R. T., Furse, M. T., Gunn, R. J., Winder, J. M., Wright, J. F., 2002, Sampling variation in macroinvertebrate data and implications for river quality indices, *Freshwater Biology*, 47, 1735-1751.
- 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.
- Dudgeon, D., 1994, The functional significance of selection of particles by aquatic animals during building behaviour, In Wotton, R. S. (eds.), *The biology of particles in aquatic systems*, Lewis Publishers, London, 289-312.
- Dynesius, M., Nilsson, C., 1994, Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world, *Science*, 266, 753-762.
- Gregory, S. V., Swanson, F. J., McKee, W. A., Cummins, K. W., 1991, An ecosystem perspective of riparian zones, *BioScience*, 41: 540-551.
- Hupp, C. R., 1988, Plant ecological aspects of flood geomorphology and paleoflood history, In: Baker, V. R. (Ed.), *Flood geomorphology*, John Wiley & Sons, New York, 335-357.
- Kannoje, S. R., Maheshwari, R., Kumar, A., 2012, River ecosystem & macro Invertebrate: A review, *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 2(1), 73-82.
- Kil, H. K., 2007, Effects of dams on benthic macroinvertebrate communities in Korean stream, Department of biology Graduate school Seoul Women's University.
- 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 Nakdong River System, *Journal of Life Science*, 19(12), 1758-1763.
- Margalef, R., 1958, Temporal succession and spatial heterogeneity in natural phytoplankton, In perspectives in marine biology, Univ. of California Press, 323-349.
- Maybeck, M., Friedrich, G., Thomas, R., Chapman, D., 1996, Rivers, In: *Water quality assessment: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2nd edition), UNESCO, WHO, UNEP, and Spon, London, 243-320.
- McNaughton, S. J., 1967, Relationship among functional properties of California Grassland, *Nature*, 216, 168-169.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., Berg, M. B., 2008, *An introduction to the aquatic insects of North America*, 4th eds, Kendall/Hunt Publishing Corporation.
- Newcombe, C. P., MacDonald, D. D., 1991, Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems, *North American Journal of Fisheries Management*, 11, 72-82.
- Pielou, E. C., 1975, *Ecological Diversity*, John Wiley and Sons, New York.
- Ro, T. H., 2002, Resilience and resistance of biological community: Application for stream ecosystem health assessment, *Journal of Environmental Policy*, 1(1), 93-112.
- 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, B. H., 1993, *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*, Chapman & Gall, London.
- Samuel, F. M., Ernest, K., Gideon, A., Felix, B. B. C., Thomas, N., 2012, Impact of dam construction on the diversity of benthic macroinvertebrates community in a periurban stream in Cameroon, *International Journal of Biosciences*, 2(11), 137-145.
- Shannon, C. E., Weaver, W., 1949, *The mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, Urbana.
- Shin, H. S., Park, S. C., Kim, J. K., Kim, S. J., Park, J. H., Choi, J. S., Choi, J. K., 2006, Community analysis based on functional feeding groups of aquatic insects in Wonju Stream, *Korean Journal of Environment and Ecology*, 20(2), 259-266.
- Song, J. X., Xu, Z. X., Liu, C. M., Li, H. E., 2007, Ecological and environmental instream flow requirements for the Wei River - the largest tributary of the Yellow River, *Hydrological processes*, 21, 1066 - 1073.
- Stevens, L. E., Schmidt, J. C., Ayers, T. J., Brown, B. T., 1995, Flow regulation, geomorphology and Colorado River marsh development in the Grand Canyon, Arizona, *Ecological Applications*, 6, 1025-1039.
- Stevens, L. E., Shannon, J. P., Blinn, D. W., 1997, Colorado river benthic ecology in Grand Canyon, Arizona, USA: Dam, tributary and geomorphological influences, *Regulated rivers: Research & Management*, 13, 129-149.
- Tiemann, J. S., Gillette, D. P., Wildhaber, M. L., 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.
- Ward, J. V., 1976, Effects of flow patterns below large dams on stream benthos: a review, In: Osborn, J. F., Allman, C. H. (Eds.), *American Fisheries Society*, Bethesda, MD, 235-253.
- Ward, J. V., Stanford, J. A., 1979, Ecological factors controlling stream zoobenthos with emphasis on thermal modification of regulated stream (Eds.), *The Ecology of Regulated Stream*, Plenum Publishing, New York.
- Water Framework Directive (WFD), 2003, Overall approach to the classification of ecological status and ecological potential, *Water Framework Directive Common Implementation Strategy Working Group 2, An Ecological Status (ECOSTAT)*.
- Wilhm, J. L., 1972, Graphic and mathematical analysis of biotic communities in polluted stream, *Annual Review of Entomology*, 17, 223-252.
- Williams, D. D., Smith, M. R., 1996, Colonization dynamics of river benthos in response to local changes in bed characteristics, *Freshwater Biology*, 36, 237-248.
- Won, D. H., Kwon, S. J., Jeon, Y. C., 2005, *Aquatic insect of Korea*, Korea ecosystem service press, Seoul.
- Woodcock, T. S., Hurny, A. D., 2007, The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream, *Freshwater Biology*, 52, 177-196.
- Yoon, I. B., 1995, *Explanatory diagrams of aquatic insects*, Jeongheangsa press, Seoul.
- Zincon, L. H., Rulifson, R. A., 1991, Instream flow and striped bass recruitment in the lower Roanoke River, North Carolina, *Rivers*, 2(2), 125 - 137.