

대형댐 하류지역 저서성 대형무척추동물 군집의 생태학적 비교^{1a}

김재성² · 이황구² · 최준길^{2*}

An Ecological Comparison of Benthic Macroinvertebrate Community in Downstream Region of Large Dams^{1a}

Jae-Sung Kim², Hwang-Goo Lee², Jun-Kil Choi^{2*}

요약

본 연구는 2011년 6월부터 10월까지 지리적으로 인접하지만 다른 수계로 분류되는 전라북도 무주군 일대의 용담댐 하류역과 경상남도 합천군 일대의 합천댐 하류역에 각각 댐에 의한 방류의 영향을 보기 위하여 대상지점(YE-1, 2, 3; HE-1, 2, 3) 및 대조지점(YC-1, 2; HC-1, 2)을 선정하여 각 지점에서 출현하는 저서성 대형무척추동물의 종구성, 군집분석, 섭식기능군 및 서식기능군, 군집안정성을 분석하였다. 채집은 각 댐의 하류역에서 Surber net(30cm×30cm)을 이용하여 3회에 걸쳐 정량채집을 실시하였다. 조사결과 용담댐 하류지역에서 총 4문 6강 12목 33과 69종 6,369개체가 출현하였고, 하천의 주요 분류군인 EPT-group(Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera-group)은 46종(66.7%)을 차지하였다. 합천댐 하류지역에서는 총 4문 5강 13목 44과 81종 5,728개체가 출현하였고, EPT-group은 45종(55.6%)을 차지하였다. 군집분석 결과 용담댐 하류지역에서 우점도지수는 0.27~0.50(Mean±SD 0.38±0.09), 다양도지수는 2.22~2.97(2.67±0.29), 균등도지수는 0.63~0.76(0.72±0.06), 풍부도지수는 4.43~7.06(5.69±0.99)으로 분석되었고, 합천댐 하류지역에서 우점도지수는 0.40~0.81(0.59±0.18), 다양도지수는 1.40~2.39(2.00±0.43), 균등도지수는 0.38~0.68(0.56±0.13), 풍부도지수는 4.04~5.80(4.95±0.70)으로 분석되었다. 섭식기능군은 용담댐과 합천댐 하류지역 모두에서 filtering-collectors와 gathering-collectors가 대부분을 차지하였으며, 서식기능군은 burrowers, clingers, swimmers가 대부분을 차지하였다. 군집안정성 분석 결과 용담댐 유역의 대상하천에서 수환경 변화에 저항력과 회복력이 강한 I 특성군에 속하는 집단이 더 많은 것으로 분석되었다. 합천댐 유역은 대조하천에서 수환경 변화에 대한 저항력과 회복력이 약한 III 특성군에 속하는 종이 많은 것으로 분석되었다. 대형댐 하류지역의 하천생태계 안정성은 환경 변화 및 오염에 강한 I 특성군에 속하는 군집이 좌우하고 있는 것으로 판단된다.

주요어: 용담댐, 합천댐, 군집분석, 기능군, 군집안정성

ABSTRACT

Benthic macroinvertebrates were investigated in Yongdam-dam and Hapcheon-dam resions from June to October 2011, Korea. Yongdam-dam and Hapcheon-dam are geographically contiguous, but they are classified as other water system. Experiment site(YE-1, 2, 3; HE-1, 2, 3) which is thought to be affected by dam, control site(YC-1, 2; HC-1, 2) which is thought not to be affected by dam were selected. Species composition, macroinvertebrate communities, composition of the functional feeding groups, habitat oriented groups and

1 접수 2013년 1월 2일, 수정(1차: 2013년 2월 5일), 게재확정 2013년 2월 6일

Received 2 January 2013; Revised(1st: 5 February 2013); Accepted 6 February 2013

2 상지대학교 생명과학과 Dept. of Biological Science, Sangji Univ., 83 Sangidae-gil, Wonju-si, Gangwon-do(220-702), Korea
a 이 논문은 2012년도 상지대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

* 교신저자 Corresponding author(jkilchoi@sangji.ac.kr)

community stability were assessed Yongdam-dam and Hapcheon-dam regions. Ten sites were selected for quantitative(Surber sampler 30cm×30cm) of benthic macroinvertebrates. As a results, a total of 6,369 individuals including 69 species, 33 families, 12 orders, 6 classes and 4 phyla were recognized in Yongdam-dam region. Also, a total of 5,728 individuals including 81 species, 44 families, 13 orders, 5 classes and 4 phyla were recognized in Hapcheon-dam region. Dominance index was 0.27 ~ 0.50(mean±SD 0.38±0.09), diversity index was 2.22 ~ 2.97(2.67±0.29), evenness index was 0.63 ~ 0.76(0.72±0.06) and richness index was 4.43 ~ 7.06(5.69±0.99) in Yongdam-dam region. Dominance index was 0.40 ~ 0.81(0.59±0.18), diversity index was 1.40 ~ 2.39(2.00±0.43), evenness index was 0.38 ~ 0.68(0.56±0.13) and richness index was 4.04 ~ 5.80(4.95±0.70) in Hapcheon-dam region. In the functional feeding groups, filtering-collectors and gathering-collectors were the highest in the whole sites. In the habitat orientied groups, burrowers, clingers and swimmers were considerably occupied in all sites. As a result of community stability analysis, experiment sites has been identified much as species high resistance and resilience to environmental changes in Yongdam-dam. Control sites has been identified much as species low resistance and resilience to environmental changes in Hapcheon-dam. Species belonging to the I group is considered to be important in the river ecosystem stability of large dams downstream areas.

KEY WORDS: YONGDAM-DAM, HAPCHEON-DAM, COMMUNITY ANALYSES, FUNCTIONAL GROUPS, COMMUNITY STABILITY

서론

용담댐과 합천댐은 홍수조절, 수력발전, 관개, 용수공급 등의 여러 목적으로 이용되는 다목적댐이다. 용담댐은 전라북도 진안군과 무주군 사이에 위치하고 있으며, 1992년 11월에 착공하여 2001년 10월에 준공된 우리나라에서 5번째로 규모가 큰 댐으로 규모는 높이 70m, 길이 498m, 총저수량 8억 1,500만 m^3 이다. 합천댐은 경상남도 합천군 대병면 회양리에 위치하고 있으며, 1984년 4월에 착공하여 1988년 12월에 준공되었다. 댐의 규모는 높이 96m, 길이 472m, 총저수량 7억 9,000만 m^3 이다. 대형댐은 하천의 유량을 조절하는 긍정적 역할을 하기도 하지만 하천생태계를 단절화하고 수로를 인위적으로 변화시키는 큰 요인이 되어 왔다(Dynesius and Nilsson, 1994; Dyson *et al.*, 2003). 또한 수질이나 유속, 댐상류의 부유물질의 증가와 댐하류의 침식에 의한 하상물질 변화, 수변식생의 영향에 따른 서식지 및 생물상의 변화를 초래하게 되며(Ward and Stanford, 1979; Doeg and Koehn, 1994; Poff and Hart, 2002; Stanley *et al.*, 2002; Tiemann *et al.*, 2004), 하천에서 수심이나 수온 등의 교란을 일으키는 인위적 요인의 하나로 작용하게 된다(Baxter, 1997).

하천생태계에서 생물군집은 자연적으로 발생하는 환경 변화 뿐만 아니라 수질 오염과 같은 인위적인 환경변화 정

도에 따라 생물의 구조와 기능에 있어 차이를 나타내기 때문에 이에 대한 분석은 하천생태계에 대한 환경변화의 영향을 평가하는데 매우 유용하다고 할 수 있다(Power *et al.*, 1988; Resh *et al.*, 1988). 특히 저서성 대형무척추동물은 긴 생활사를 갖고 이동성이 적으며, 인위적이거나 자연적인 환경변화에 민감하여 수질환경 모니터링에 유용하게 이용된다(Hynes, 1970; Rosenberg and Resh, 1993).

국내의 대형댐에 관한 저서성 대형무척추동물에 대한 연구는 많지 않으며, 최근 대형댐 유역에서 저서성 대형무척추동물에 관한 연구는 Kim S.H.(2003)에 의한 안동호 주변 수계의 저서성 대형무척추동물을 이용한 생물학적 수질평가에 대한 연구, Kim S.H.(2008)에 의한 임하댐 탁수가 저서성대형무척추동물의 군집변동 및 어류의 먹이 선택에 미치는 영향에 대한 연구, Kil *et al.*(2007; 2010)에 의한 소형보와 대형댐이 저서성 대형무척추동물 군집에 미치는 영향에 대한 연구와 Lee *et al.*(2012)에 의한 횡성호 일대 저서성 대형무척추동물 군집의 생태적 특성을 분석한 연구가 있으나 대형댐 하류지역을 대상으로 저서성 대형무척추동물의 생태적 특성을 비교한 연구는 없는 실정이다.

본 연구는 용담댐과 합천댐 하류지역의 저서성 대형무척추동물의 종조성, 군집분석, 기능군, 군집안정성 등을 분석하고 대형댐 하류지역에 서식하는 저서성 대형무척추동물 군집의 생태학적 특성을 파악하여 댐 하류지역 하천생태계의 복원 및 보전을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

연구방법

1. 조사지역

용담댐 및 합천댐 하류지역의 대상하천 3개 지점(YE-1, 2, 3; HE-1, 2, 3)과 대형댐의 영향을 받지 않는 대조하천 2개 지점(YC-1, 2; HC-1, 2)을 각각 선정하였다.

YE-1: 전북 무주군 부남면 대소리 댐털교(E 127° 33' 31.15", N 35° 58'13.97")

YE-2: 전북 무주군 부남면 대유리 대티교(E 127° 34' 39.24", N 35° 59'38.55")

YE-3: 전북 무주군 무주읍 용포리 용포교(E 127° 37' 02.52", N 35° 59'23.65")

YC-1: 전북 무주군 무주읍 당산리 칠리2교(E 127° 40' 36.73", N 36° 00'33.36")

YC-2: 전북 무주군 무주읍 대차리 서면교(E 127° 37' 28.46", N 36° 00'10.65")

HE-1: 경남 합천군 용주면 용지리 합천조정지 방수로(E 128° 05'44.68", N 35° 31'52.60")

HE-2: 경남 합천군 대양면 정양리 제2남정교(E 128° 09'40.83", N 35° 33'30.52")

HE-3: 경남 합천군 울곡면 제내리 영천교(E 128° 12'

26.57", N 35° 34'24.59")

HC-1: 경남 합천군 용주면 평산리 해곡교(E 128° 07' 05.60", N 35° 32'00.58")

HC-2: 경남 합천군 용주면 손목리 손목교(E 128° 07' 36.29", N 35° 33'10.46")

2. 조사 시기

조사시기는 강우가 7, 8월에 집중되는 우리나라 기후의 특성을 고려하여 강우 전, 장마기간, 강우 후로 2011년 6월 부터 10월까지 총 3회에 걸쳐 집중적으로 실시하였다. 용담 댐 유역의 1차 조사는 2011년 6월, 2차 조사는 2011년 7월, 3차 조사는 2011년 10월에 실시하였고, 합천댐 유역의 1차 조사는 2011년 6월, 2차 조사는 2011년 7월, 3차 조사는 2011년 9월과 10월에 실시하였다.

3. 조사 방법

1) 물리·화학적 수환경

물리적 수환경의 조사는 1차조사 시기인 2011년 6월에 실시하였다. 레이저 거리측정계(Nikon LASER 1200S)를 이용하여 조사지역의 유폍을 측정하였으며, 수심은 막대자를 이용하여 조사지역 내의 수심을 측정하고 최저수위와 최고 수위로 나타냈다. 유속은 Craig(1987)가 고안한 방법으로 측정하여 적용하였고, 하상구조물의 계측 및 분류는 Cummins (1962)의 방법을 적용하여 boulder, cobble, pebble, gravel, silt/sand의 5단계로 구분하여 상대적인 구성비율을 측정하였다. 화학적 특성은 조사시기별 총 3차례에 걸쳐 현장에서 수온, DO, pH, EC(Electronic conductivity), 탁도 등을 HORIBA(U-52)를 이용하여 측정하였으며, 실험실에서는 SS, BOD, COD 등을 수질공정시험법에 준하여 분석하였다.

2) 채집 및 동정

저서성 대형무척추동물의 채집은 수생태계 건강성 조사 및 평가방법에 준하였다(Ministry of Environment, 2006). 각 조사지점의 유량과 물리적인 환경을 고려하여 계류형 정량채집망인 Surber sampler(30cm×30cm, 망목 0.2mm)를 이용하여 조사지점별 riffle과 run/pool에서 3회씩 정량 채집하였다. 조사지점별 정확한 저서성 대형무척추동물상을 파악하기 위하여 Hand net(망목 0.5mm)을 사용하여 다양한 미소서식처에서 정성채집을 병행하였다. 채집된 저서성 대형무척추동물은 현장에서 99% 에틸알코올에 고정한 다음 실험실로 운반·고르기(sorting)한 후 80% 에틸알코올에 보존하였다.

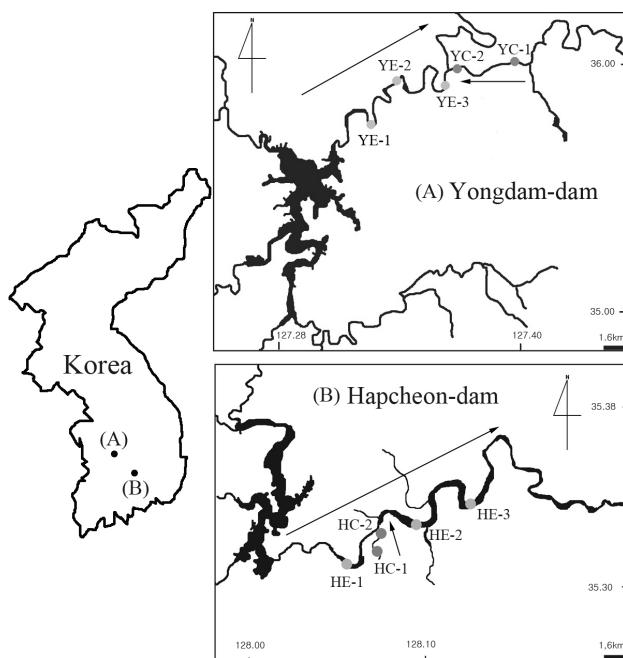


Figure 1. The map of study sites in Yongdam-dam and Hapcheon-dam region
(→: The direction of water flow)

저서성 대형무척추동물의 동정은 Yoon(1988, 1995), Won *et al.*(2005), McCafferty(1981), Kawai and Tanida(2005), Merritt *et al.*(2008) 등을 참고로 하여 동정하였다. 특히 곤충류 중 꼬마하루살이과(Family Baetidae)는 Bae *et al.*(1998)을 참고하였고, 깔따구과(Family Chironomidae)는 Wiederholm (1983)을 이용하여 동정하였다.

3) 군집 분석

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

4) 기능군 분석

기능군의 분석은 출현종을 기준으로 조사지점별 섭식기능군(Funtional Feeding Groups, FFGs) 및 서식기능군(Habitat Oriented Groups, HOGs)을 분석하였다(Ro and Chun, 2004; Merritt *et al.*, 2008).

5) 군집안정성 분석

군집안정성은 수서곤충 분류군 간의 상대적 저항력과 회복력을 10개 등급으로 세분화하여 상대적 저항력과 회복력에 대하여 정리한 Ro and Chun(2004)의 자료를 바탕으로 평가하였다.

용담댐과 합천댐 하류지역의 물리·화학적 수환경 및 하상 구조는 Table 1과 같다. 용담댐 대상하천의 수온은 18.3~24.2℃, DO는 9.4~10.2mg/l, pH는 7.5~8.2, EC는 112~180μs/cm, 탁도는 1.2~3.5NTU로 분석되었고, 대조하천의 수온은 11.0~23.8℃, DO는 9.2~10.3mg/l, pH는 7.3~8.3, EC는 160~181μs/cm, 탁도는 1.1~4.2NTU로 수온은 대상하천에 비해 다소 낮은 편이었으며, DO와 pH는 유사하였다. 한편, EC와 탁도는 대상하천보다 다소 높은 것으로 분석되었다. 대상하천은 대조하천에 비해 유폭이 18~143m로 넓고, 수심도 10~80cm로 깊었으나 유속은 0.0~1.5‰로 유사하였다. 하상구조는 호박돌과 자갈이 주를 이루었다. 대조하천의 유폭은 20~66m, 수심은 5~65cm, 유속은 0.0~1.3‰이었고, 하상구조는 호박돌, 자갈, 잔자갈이 주를 이루었다.

합천댐 대상하천의 수온은 17.9~23.1℃, DO는 9.9~10.3mg/l, pH 7.0~7.5, EC는 108~182μs/cm, 탁도는 2.5~8.7NTU로 분석되었고, 대조하천의 수온은 14.0~23.8℃, DO는 8.9~10.4mg/l, pH는 7.1~7.3, EC는 154~187μs/cm, 탁도는 2.1~4.4NTU로 최저수온이 다소 낮은 것을 제외하고 대상하천과 대부분 유사하였으며, 탁도는 대상하천이 높은 것으로 분석되었다. 대상하천의 유폭은 44~150m, 수심은 5~90cm, 유속은 0.0~1.2‰로 대조하천과 비교하여 대부분 높은 것으로 조사되었다. 하상구조는 대부분 모래로 구성되어 단순한 편이었다. 대조하천의 유폭은 4~25m, 수심은 5~55cm, 유속은 0.0~0.7‰이었고, 하상구조는 주로 호박돌과 모래로 구성되었다. 대상하천의 경우 댐의 방류량에 따라 유폭, 수심, 유속 등에 영향을 미칠 것으로 예상되나 하상구조에는 큰 변화가 없는 것으로 알려져 있다(Lee *et al.*, 2012).

결과 및 고찰

1. 수환경

Table 1. Physicochemical parameters at sampling sites in Yongdam-dam and Hapcheon-dam

Sites	Water temp. (°C)	DO (mg/l)	pH	EC (μs/cm)	Turbidity (NTU)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	CODMN (mg/l)	Water width (m)	Water depth (cm)	Water current (‰)	Bottom Structure				
												*B	C	P	G	S
YE-1	21.3±2.6	10.0±0.2	7.6±0.1	120±10	1.5±0.3	3.2±0.7	1.4±0.6	3.1±0.3	62~143	10~75	0.0~1.0	2	2	3	2	1
YE-2	21.7±2.6	9.9±0.2	7.6±0.2	162±2	2.2±0.6	3.5±0.7	1.8±0.3	3.2±0.6	51~110	11~80	0.0~0.8	1	2	3	2	2
YE-3	21.7±3.1	9.8±0.4	8.0±0.2	170±13	2.3±1.2	5.1±2.6	1.8±0.4	3.6±0.9	18~45	10~70	0.0~1.5	1	3	3	2	1
YC-1	19.3±7.2	9.9±0.6	7.7±0.5	171±10	2.5±1.3	4.9±1.8	1.8±0.3	3.5±0.7	20~60	5~65	0.1~1.3	2	3	3	1	1
YC-2	19.5±7.0	9.6±0.3	7.6±0.3	175±9	3.0±1.4	5.3±1.9	2.4±0.5	3.5±0.9	23~66	5~60	0.0~0.3	1	2	2	2	3
HE-1	20.1±2.0	10.2±0.1	7.2±0.2	139±2	3.0±0.5	4.2±0.1	1.4±0.2	3.1±0.7	44~100	5~90	0.0~0.2	0	1	1	1	7
HE-2	21.0±2.8	10.2±0.1	7.1±0.1	120±13	3.0±0.6	4.7±0.9	1.3±0.3	3.1±0.2	68~140	10~60	0.0~1.2	1	1	1	2	5
HE-3	21.2±2.5	10.0±0.1	7.3±0.3	175±7	5.1±3.2	6.9±0.7	1.4±0.2	3.5±0.6	120~150	5~50	0.0~0.5	0	0	1	1	8
HC-1	20.0±5.3	10.1±0.3	7.2±0.1	163±9	2.7±0.5	6.6±2.9	1.8±0.4	3.3±1.0	4~19	5~55	0.0~0.7	1	1	1	1	6
HC-2	20.4±4.8	9.3±0.4	7.2±0.1	180±11	3.8±0.6	6.5±0.9	1.6±0.2	3.2±0.4	14~25	6~52	0.0~0.3	2	3	1	1	3

* The substrate composition is based on the approach of Cummins (1962). B: boulder (>256 mm), C: cobble (64~256 mm), P: pebble (16~64 mm), G: gravel (2~16 mm), S: silt/sand (<2 mm)

Table 2. The number of species and families belong to taxa of benthic macroinvertebrates collected from all sites in Yongdam-dam (YD) and Hapcheon-dam region (HC)

Phylum	Class	Order	Family	Species						
				YD		HC				
				Exp.	Cont.	Exp.	Cont.			
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	1		1		1	1		
Mollusca	Gastropoda	Mesogastropoda	2	5	2		3	2		
		Basommatophora	2		1		1			
		Unionoida	1					1		
Annelida	Oligochaeta	Veneroida	1	1			2			
		Archioligochaeta	2	1	1		2	1		
		Crustacea	1	1						
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	9	22	25		16	19		
		Odonata	6	3	1		4	7		
		Plecoptera	2	3	3					
		Hemiptera	3				2	3		
		Megaloptera	1	2			1	2		
		Coleoptera	3	4	3		1	5		
		Diptera	5	3	4		5	2		
		Trichoptera	11	16	10		19	14		
		Total			50	61	51		57	57

2. 저서성 대형무척추동물상

용담댐 조사지역에서 채집된 저서성 대형무척추동물은 총 4문 6강 12목 33과 69종 6,369개체가었다. 출현분류군 중 편형동물문과 환형동물문에서 각각 1종(1.5%), 연체동물문에서 7종(10.1%), 절지동물문에서 60종(87.0%)이 조사되었다. 곤충류의 주요 출현종인 EPT-group(Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera-group)에서 46종(66.7%)이 출현하였고, 그 외의 곤충류가 13종(18.8%)이 출현하여 EPT-

group이 대부분을 차지하고 있었다. 대상하천(YE-1~YE-3)에서는 총 3문 5강 11목 27과 61종 3,068개체로 평균 42종 1,022개체였으며, 대조하천(YC-1~YC-2)에서는 총 4문 4강 10목 26과 51종 3,301개체로 평균 39종 1,650개체가 출현하였다. 합천댐 조사지역에서 채집된 저서성 대형무척추동물은 총 4문 5강 13목 44과 81종 5,728개체가었다. 출현분류군은 편형동물문에서 1종(1.2%), 연체동물문에서 8종(9.9%), 환형동물문에서 2종(2.5%), 절지동물문에서 70종(86.4%)으로 조사되었다. EPT-group에서 45종(55.6%)

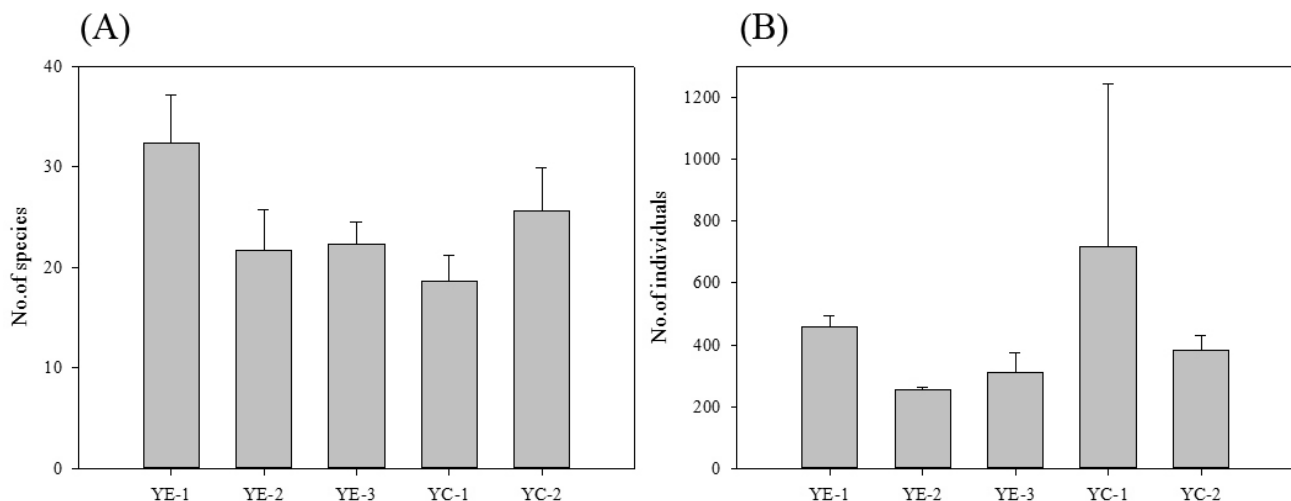


Figure 2. Mean value (\pm SE) of number of species and individuals of benthic macroinvertebrate in Yongdam-dam region (A: No. of species Yongdam-dam, B: No. of individuals Yongdam-dam)

이 출현하였고, 그 외의 곤충류가 25종(30.9%)이 출현하여 용담댐 유역과 마찬가지로 EPT-group의 상대적 점유율이 높았다. 대상하천(HY-1~HY-3)에서는 총 4문 5강 12목 34과 57종 2,984개체로 평균 33종 994개체가 출현하였으며, 대조하천(HC-1~HC-2)에서는 총 4문 5강 11목 30과 57종 2,744개체로 평균 38종 1,372개체가 출현하였다(Table 2). 용담댐 하류지역에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 평균 출현종수는 대상하천인 YE-1에서 가장 많고, 대조하천인 YC-1에서 가장 적게 출현하였으며, 대상하천의 YE-2

와 YE-3은 유사한 출현양상을 나타내었다. 평균 개체수는 대조하천인 YC-1에서 가장 많고, 대상하천인 YE-2에서 가장 적게 나타나 출현종과 개체수간 상반되는 양상을 나타내었다(Figure 2). 합천댐 하류지역의 평균 출현종수는 대조하천과 대상하천이 비교적 유사한 출현양상을 나타냈으며, 평균 개체수는 대상하천의 하류로 갈수록 감소하는 것으로 나타났다(Figure 3). 용담댐 하류지역의 대조하천과 대상하천 간의 종조성은 큰 차이를 보이지 않았으나 하루살이목은 대조하천에서 높

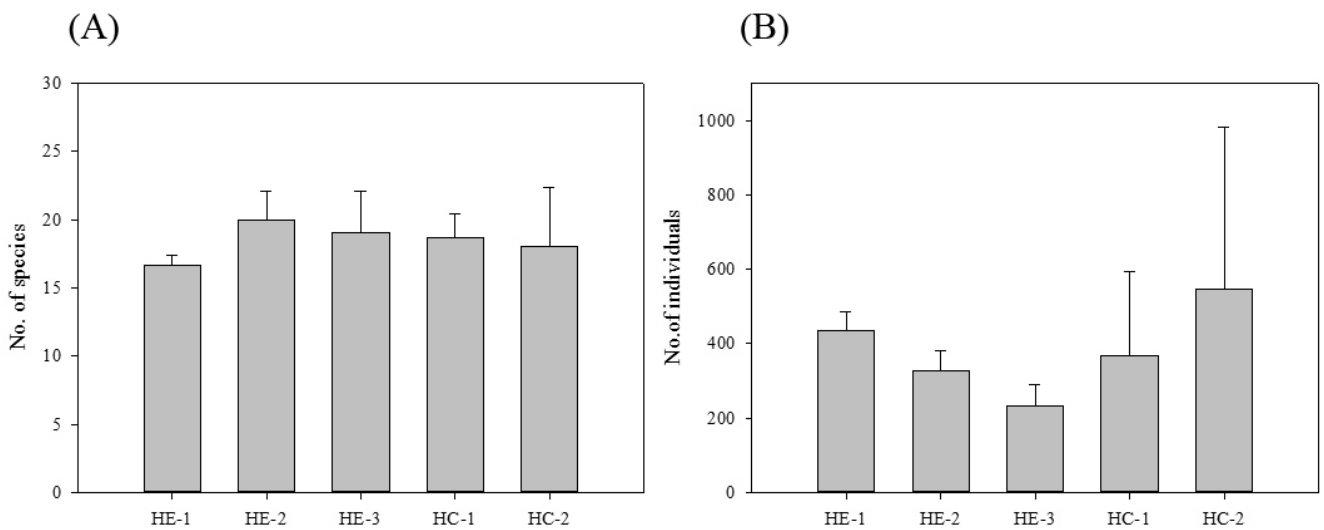


Figure 3. Mean value (\pm SE) of number of species and individuals of benthic macroinvertebrate in Hapcheon-dam region (A: No. of species Hapcheon-dam, B: No. of individuals Hapcheon-dam)

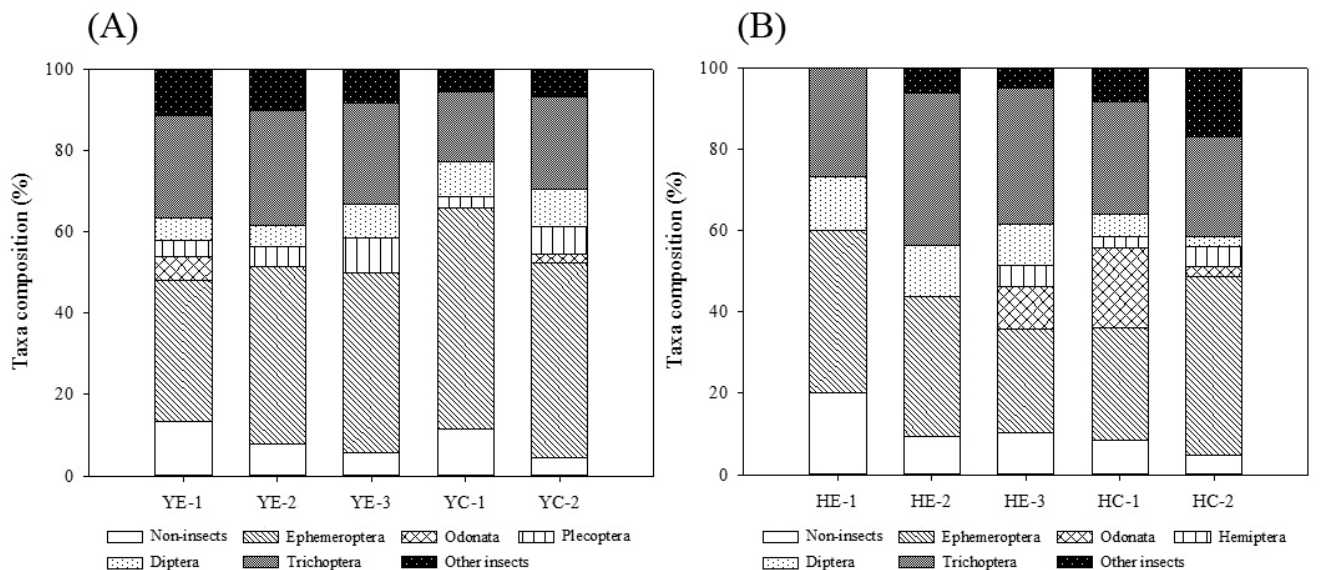


Figure 4. Relative composition of major benthic macroinvertebrate taxa in the Yongdam-dam and Hapcheon-dam region (A: Yongdam-dam, B: Hapcheon-dam)

고, 날도래목은 대상하천에서 상대적으로 높게 나타나는 경향을 보였다. 합천댐 하류지역 역시 유사한 종조성을 나타내고 있었으며, 파리목과 날도래목에서 다소 높게 분포하고 있었다(Figure 4). 댐의 하류지역에서는 강도래목과 하루살이목이 감소하는 경향을 보이고, 날도래목의 출현율은 비교적 다양하게 나타나는 것으로 알려져 있으며(Ward and Stanford, 1979), 이는 본 연구하천인 용담댐과 합천댐 하류지역의 종조성과도 일치하는 것으로 판단된다.

3. 군집지수

조사지역의 군집구조를 파악하기 위하여 우점도지수 및 우점종과 아우점종을 파악하였으며, 다양도지수, 균등도지수 및 풍부도지수를 분석하였다(Table 3). 군집분석 결과 용담댐과 합천댐 하류지역 모두 대상하천에서 우점도가 낮고 다양도 및 풍부도가 높은 것으로 보아 군집구조가 더욱 안정된 것으로 분석되었다.

우점종 및 아우점종을 분석한 결과 용담댐 하류지역의 대상하천에서는 개똥하루살이(*Baetis fuscatus*), 부채하루살이(*Epeorus pellucidus*), 줄날도래(*Hydropsyche kozhantschikovi*), 흰점줄날도래(*Hydropsyche valvata*), 꼬마줄날도래(*Cheumatopsyche brevilineata*), 대조하천에서는 개똥하루살이, 깔따구류(*Chironomidae* spp.), 흰점줄날도래, 꼬마줄날도래로 분석되었다. 합천댐 하류지역의 대상하천에서는 개똥하루살이, 입술하루살이(*Labiobaetis atrebatinus*), 깔따구류, 대조하천에서는 깔따구류, 큰줄날도래(*Macrostemum radiatum*), 흰점줄날도래로 분석되었다.

용담댐 하류지역의 군집분석 결과 대상하천과 대조하천의 우점도지수는 평균 0.37(±0.12)과 0.39(±0.05)로 조사지역간 유사한 군집양상을 나타냈으며, 비교적 안정된 군집구조를 유지하고 있었다. 다양도지수는 평균 2.77(±0.20)과 2.55(±0.47)로 대상하천에서 종다양성이 높은 것으로 분석

되었다. 균등도지수는 평균 0.73(±0.03)과 0.69(±0.10)로 비교적 유사하게 나타났으며, 풍부도지수는 평균 5.97(±0.99)과 5.27(±1.18)로 대상하천에서 풍부도지수가 높은 것으로 분석되었다. 대조하천의 경우 출현종수에 비하여 특정종인 줄날도래류(*Hydropsyche* spp.)의 높은 개체수 밀도로 인해 대상하천에 비하여 군집지수가 낮게 나타난 것으로 판단된다. 합천댐 유역의 군집분석 결과 우점도지수는 평균 0.47(±0.09)과 0.76(±0.07)으로 대상하천에서 비교적 안정된 군집양상을 나타내었다. 다양도지수는 평균 2.30(±0.09)과 1.55(±0.21)로 대상하천에서 종다양성이 높은 것으로 분석되었다. 균등도지수는 평균 0.66(±0.02)과 0.43(±0.07)으로 대상하천에서 상대적으로 균등하게 분포하고 있는 것으로 분석되었다. 풍부도지수는 평균 4.78(±0.91)과 5.20(±0.29)으로 대조하천에서 개체수에 비하여 상대적으로 풍부도지수가 높은 것으로 분석되었다. 대조하천은 깔따구류의 높은 개체수 밀도로 인해 우점도지수는 높았으나 대상하천에 비해 상대적으로 하상구조가 다양하고 미소서식처가 발달하여 풍부도지수가 다소 높게 나타난 것으로 판단된다.

4. 기능군 분석

용담댐 하류지역의 섭식기능군 분석 결과 대상하천과 대조하천에서 모두 gathering-collectors와 filtering-collectors가 대부분을 차지하고 있는 것으로 분석되었다(Figure 5). 대상하천은 하루살이류 및 깔따구류의 영향으로 gathering-collectors에서 비율이 높게 나타났으며, 대조하천의 YC-2는 줄날도래류에 의해 filtering-collectors의 비율이 높게 나타난 것으로 판단된다. 합천댐 하류지역에서는 대상하천과 대조하천에서 모두 gathering-collectors가 매우 높은 비율을 차지하고 있었다. 결과적으로 용담댐 및 합천댐 하류지역은 gathering-collectors의 구성비가 높은 것으로 분석되었다. 용담댐 하류지역의 서식기능군 분석결과 대상하천과

Table 3. Dominant species, Dominance index (DI), Diversity index (H'), Evenness index (E), Richness index (RI) from Yongdam-dam and Hapcheon-dam region

Sites	1st dominant species	2nd dominant species	DI	H'	E	RI
YE-1	<i>Hydropsyche valvata</i>	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	0.27	2.97	0.75	7.06
YE-2	<i>Epeorus pellucidus</i>	<i>Baetis fuscatus</i>	0.50	2.57	0.70	5.73
YE-3	<i>Epeorus pellucidus</i>	<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>	0.35	2.70	0.75	5.12
YC-1	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	<i>Hydropsyche valvata</i>	0.43	2.22	0.63	4.43
YC-2	<i>Baetis fuscatus</i>	Chironomidae spp.	0.36	2.88	0.76	6.10
HE-1	<i>Baetis fuscatus</i>	Chironomidae spp.	0.40	2.30	0.68	4.04
HE-2	Chironomidae spp.	<i>Baetis fuscatus</i>	0.56	2.20	0.64	4.50
HE-3	Chironomidae spp.	<i>Labiobaetis atrebatinus</i>	0.44	2.39	0.65	5.80
HC-1	Chironomidae spp.	<i>Macrostemum radiatum</i>	0.72	1.70	0.48	5.00
HC-2	Chironomidae spp.	<i>Hydropsyche valvata</i>	0.81	1.40	0.38	5.40

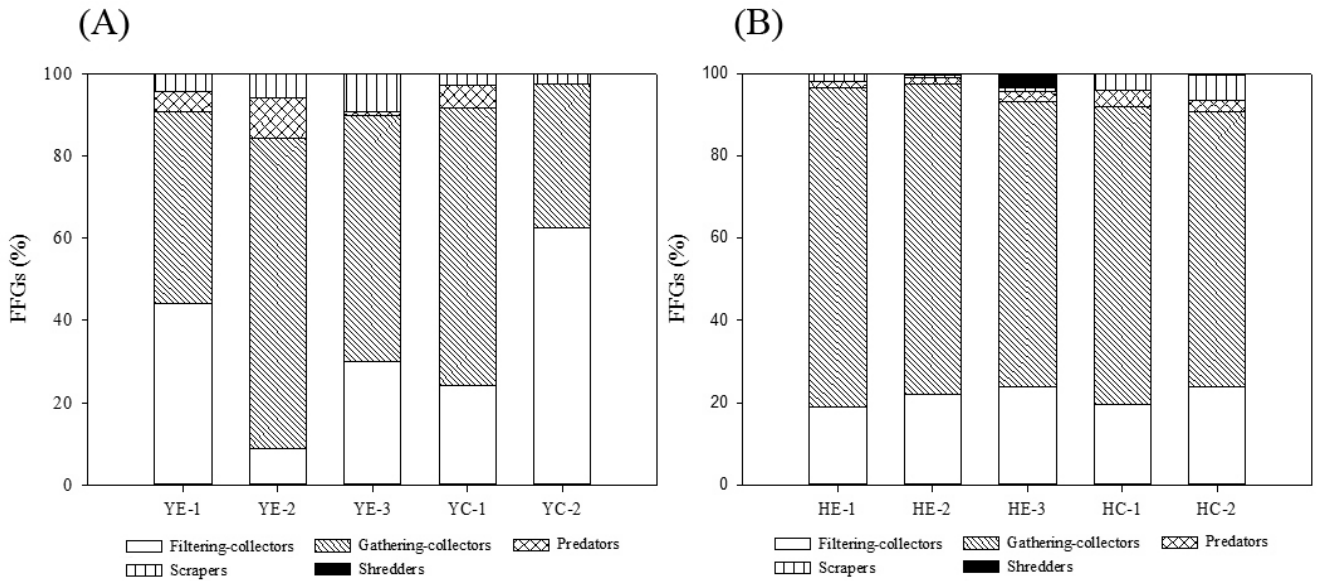


Figure 5. Composition of functional feeding groups (FFGs) in Yongdam-dam and Hapcheon-dam region (A: Yongdam-dam, B: Hapcheon-dam)

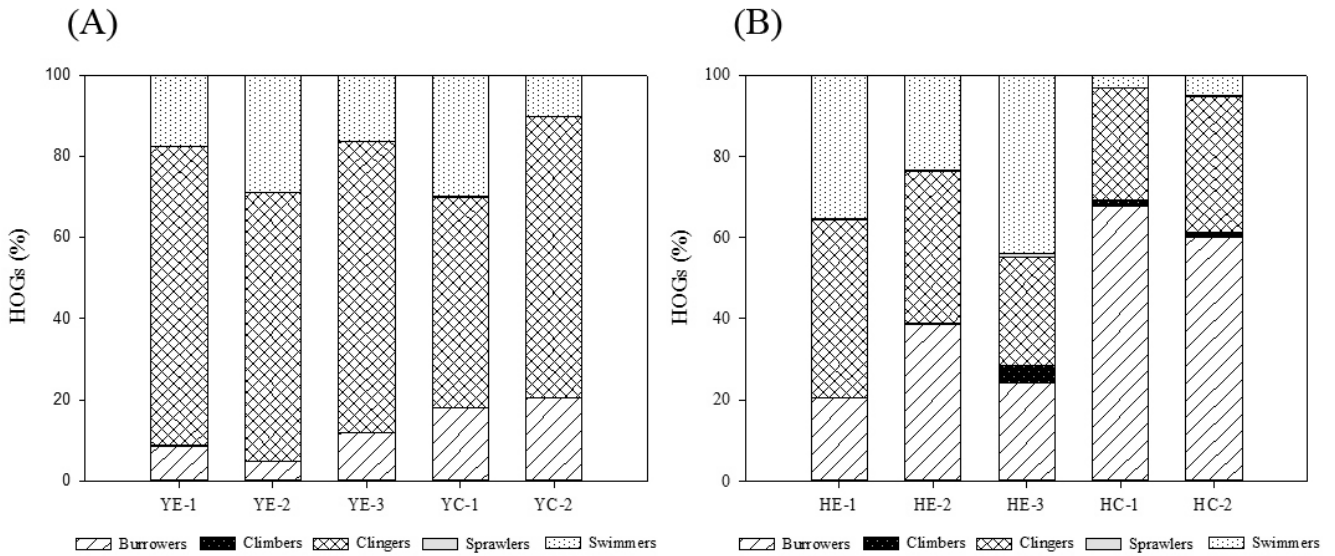


Figure 6. Composition of habitat oriented groups (HOGs) in Yongdam-dam and Hapcheon-dam region (A: Yongdam-dam, B: Hapcheon-dam)

대조하천 모두 clingers가 차지하는 비율이 상대적으로 높게 나타났으며, swimmers와 burrowers가 다음을 차지하였다(Figure 6). clingers의 높은 점유율은 조사지점별 줄날도래류의 출현율이 높았기 때문인 것으로 생각되며, 대조하천에 비하여 대상하천에서 clingers의 비율이 상대적으로 높게 나타났다. 합천댐 하류지역은 대상하천에서 burrowers, clingers, swimmers가 유사한 비율로 차지하고 있어 비교적 안정된 서식기능군 조성을 유지하고 있는 것으로 생각된다.

대조하천에서는 대상하천에 비하여 burrowers가 차지하는 비율이 매우 높게 나타났는데 이는 대조하천에서 사질위주의 하상구조로 깔다구류가 서식하기에 적합한 환경이었기 때문인 것으로 판단된다.

5. 군집안정성 분석

하천생태계의 안정성은 생물군집의 동적평형을 통하여

유지되는데 이러한 일련의 기작은 계량화가 가능한 군집의 저항력과 회복력으로 설명될 수 있다(Ro and Chun, 2004). 수서곤충의 상대적 회복력과 저항력을 기준으로 4개의 특성군으로 나눌 수 있다. I 특성군에 포함되는 분류군은 상대적 저항력과 회복력이 높은 집단으로 교란된 하천에서 생물군집이 회복될 때 가장 먼저 유입되는 종이다. II 특성군에 포함되는 분류군은 상대적 저항력은 낮으나 높은 회복력을 갖는 집단으로 교란이 자주 일어나는 환경에 적응한 종이다. III 특성군에 해당하는 분류군은 상대적 저항력과 회복력이 낮은 집단으로 인위적인 교란에 민감하게 반응하는 종이다. IV 특성군에 해당하는 분류군은 높은 상대적 저항력을 갖지만 회복력은 떨어지는 종이다. 용담댐 유역의 군집 안정성 분석 결과 전체적으로 유사한 경향을 나타냈으나

대상하천에서 I 특성군에 속하는 속의 circle 크기가 대조하천에 비해 큰 것으로 나타나 수환경 변화에 저항력과 회복력이 강한 집단이 더 많은 것으로 분석되었다(Figure 7). Kim(2008)의 연구에서도 탁수에 의해 교란이 발생하는 실험수계에서 대조수계에 비하여 I 특성군 구역이 풍부하게 나타난 것으로 알려져 있다. 합천댐 유역의 군집안정성 분석 역시 유사한 경향을 나타냈으며, 대조하천에서 III 특성군에 속하는 속의 circle 크기와 개수가 대상하천과 비교하여 큰 것으로 나타나 대조하천에서 수환경 변화에 대한 저항력과 회복력이 약한 종이 우세한 것으로 분석되었다. Lee *et al.*(2009)의 연구에서는 강우로 인한 교란 후에 저항력과 회복력이 약한 III 특성군에 해당하는 종이 감소한 것으로 나타난 바 있으며, 이는 댐의 방류시 수온이나 유량 등에

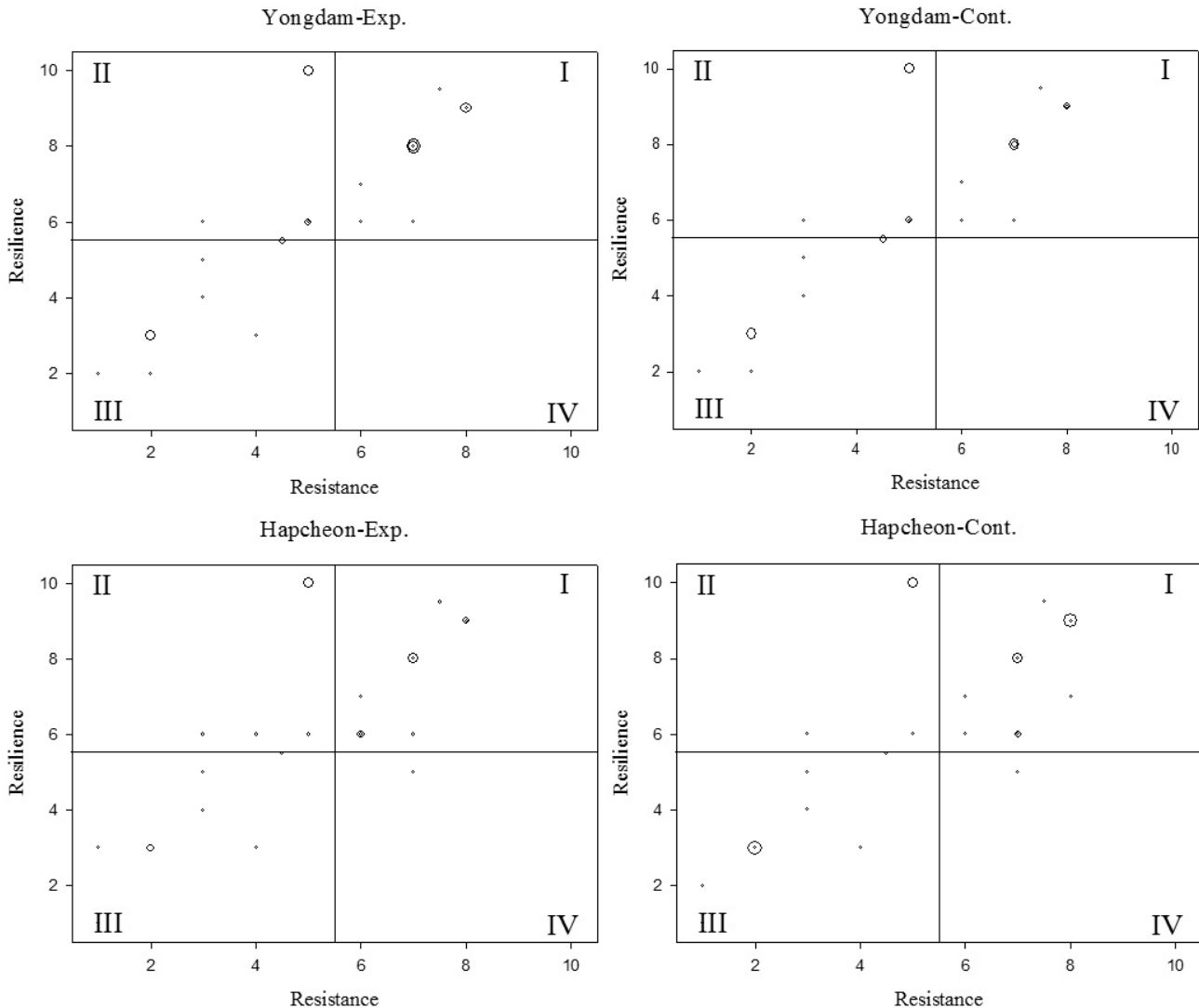


Figure 7. Analysis of stability factors-relative resistance and resilience in each site. The difference sizes of circles mean the number of genus.

의한 교란으로 대형댐 하류지역에 서식하는 종들의 저항력과 회복력에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 용담댐 유역의 대상하천(YE-1)에서 우점종으로 나타난 *Hydropsyche* 속은 상대적 저항력이 7, 회복력이 8로 오염 및 환경 변화에 강한 종(I 특성군)으로 생각되며, 우리나라의 대형댐 유역에서 적응력이 높은 종으로 판단된다. 또한 합천댐 유역의 대상하천(HE-1)에서 우점종으로 나타난 *Baetis* 속은 상대적 저항력이 5, 회복력이 10으로 오염에 내성이 강한 종은 아니나 대형댐에 의한 수환경 변화에 가장 빠르게 회복될 수 있는 종(II 특성군)으로 판단된다. 용담댐 및 합천댐 유역 상류지점(YE-1, HE-1)의 우점종은 환경변화에 대한 적응력 및 회복력이 높은 것으로 분석되었다. 따라서 우리나라의 대형댐 하류지역에 서식하는 종들은 대부분 인위적 교란이나 간섭 직후에 빠르게 회복할 수 있는 종들로 구성되어 있는 것으로 추정되지만 이는 대형댐 하류지역에 대한 더욱 다양한 조사가 필요하다.

6. 대형댐 유역 비교

대형댐 유역의 생태적 특성을 알아보기 위해 현지 조사된 용담댐과 합천댐 및 기존에 발표되었던 안동댐, 임하댐, 횡성댐(Kim, 2003; Kim, 2008; Lee et al., 2012)의 연구자료를 참고하여 대형댐의 하류 10km이내의 조사지점에서 저서성 대형무척추동물의 종구성비를 비교한 결과 모든 대형댐 유역에서 상대적으로 하루살이목의 출현율이 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 날도래목의 출현율이 높은 것으로 분석되었다(Figure 8). 대형댐 하류지역 역시 우리나라 자연형 하천의 일반적인 양상이라 할 수 있는 하루살이류, 강도래류, 날도래류(EPT-groups)의 분류군이 수서곤충의 대부분을 차지하는 조성비(Bae et al., 2003)와 큰 차이를 보이지 않는 것으로 분석되었다. 대형댐별 높은 출현율을 보인 하루살이목의 개똥하루살이(상대적저항력 5, 상대적회복력 10), 두점하루살이(상대적저항력 8, 상대적회복력 9), 파리목의 깔따구류(상대적저항력 7.5, 상대적회복력 9.5)는 5개

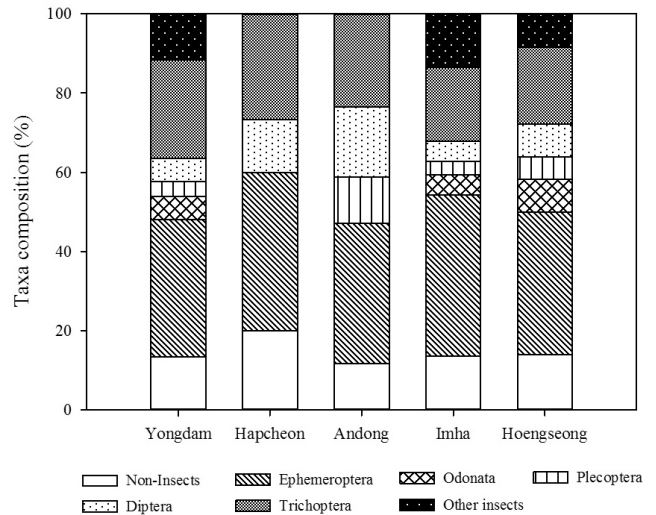


Figure 8. Relative composition of major benthic macroinvertebrate taxa in the Yongdam-dam, Hapcheon-dam, Andong-dam, Imha-dam and Hoengseong-dam

대형댐 하류지역에서 공통적으로 출현하고 있는 것으로 조사되었으며, 이들 종은 우리나라 대형댐 하류지역에서 수환경 및 물리적 환경변화에 적응력이 높은 것으로 판단된다.

대형댐별 하류지역의 우점종을 분석한 결과 용담댐 하류 지역에서는 흰점줄날도래, 합천댐 하류지역에서는 개똥하루살이, 안동댐, 임하댐, 횡성댐 하류지역에서는 깔따구류가 우점하고 있는 것으로 분석되었다. 즉, 대형댐 하류지역에서 우점하고 있는 종은 모두 상대적으로 저항력과 회복력이 강하거나 저항력은 다소 낮으나 회복력이 강한 군집안정성을 가지고 있어 인위적인 교란에 잘 적응할 수 있는 종들로 구성되어 있는 것으로 판단된다.

섭식기능군 및 서식기능군 분석 결과 일반적인 하천생태계에서는 외부로부터 유입되는 나뭇잎이나 나뭇가지와 같은 CPOM(Coarse Particulate Organic Matter)을 먹이원으로 하는 shredders가 높은 점유율을 나타내며, 중하류로 내

Table 4. Functional feeding groups (FFGs), Habitat oriented groups (HOGs), Community stability in Yongdam-dam, Hapcheon-dam, Andong-dam, Imha-dam and Hoengseong-dam

Sites	Functional feeding groups(%)					Habitat oriented groups(%)					Community stability(genera)			
	*FC	GC	P	SC	SH	BU	CB	CG	SP	SW	I	II	III	IV
Yongdam-dam	22.2	40.0	22.2	13.3	2.2	15.6	2.2	66.7	0.0	15.6	18	14	14	0
Hapcheon-dam	25.0	54.2	12.5	8.3	0.0	8.3	0.0	66.7	4.2	20.8	9	8	5	0
Andong-dam	6.7	40.0	13.3	13.3	26.7	6.7	0.0	33.3	33.3	26.7	8	3	3	0
Imha-dam	19.6	45.1	21.6	13.7	0.0	11.8	3.9	51.0	7.8	25.5	24	14	7	1
Hoengseong-dam	16.1	35.5	25.8	16.1	6.5	19.4	6.5	48.4	16.1	9.7	13	8	8	0

*FC: Filtering-collectors, GC: Gathering-collectors, P: Predators, SC: Scrapers, SH: Shredders, BU: Burrowers, CB: Climbers, CG: Clingers, SP: Sprawlers, SW: Swimmers

려오면서 gathering-collectors와 filtering-collectors의 점유율이 높아지는 것으로 알려져 있으나(Ro and Chun, 2004), 5개 대형댐 하류지역의 섭식기능군은 gathering-collectors의 비율이 35.5%(횡성댐)~54.2%(합천댐)로 가장 높은 상대적 점유율을 나타내어 물리적인 교란이 잦은 대형댐 하류 지역에는 gathering-collectors가 가장 먼저 회복하여 적응하는 것으로 생각되며, 서식기능군은 대형댐 하류지역이라는 유수역의 특성상 clingers의 비율이 33.3%(안동댐)~66.7%(용담댐, 합천댐)로 가장 높은 점유율을 나타냈다(Table 4). 결과적으로 물리적 환경변화가 높은 대형댐 하류 지역에는 gathering-collectors와 clingers의 점유율이 높은 것으로 조사되었으며, 이들 기능군이 인위적인 간섭 및 교란에 대한 적응력이 높은 것으로 판단된다. 군집안정성 분석결과 상대적 저항력과 회복력이 강한 I 특성군에 속하는 속이 8개(안동댐)~24개(임하댐)로 다른 특성군에 비해 상대적으로 높은 구성비를 보여 우리나라 대형댐 하류지역의 하천생태계 안정성은 환경 변화 및 오염에 강한 I 특성군에 속하는 군집이 좌우하고 있는 것으로 생각된다.

인용문헌

- Bae, Y.J., D.H. Won, D.H. Hoang, Y.H. Jin and J.M. Hwang(2003) Community Composition and Functional Feeding Groups of Aquatics Insects According to Stream Order from the Gapyeong Creek in Gyeonggi-do, Korea. *The Korean Journal of Limnology* 36(1): 21-28. (in Korean with English abstract)
- Bae, Y.J., S.Y. Park and J.M. Hwang(1998) Description of larval *Nigrobaetis bacillus* (Kluge)(Ephemeroptera: Baetidae) with a key to the larvae of the Baetidae in Korea. *The Korean Journal of Limnology* 31(4): 282-286. (in Korean with English abstract)
- Baxter, R.M.(1997) Environmental effects of dams and impoundments. *Annual Review of ecology and Systematics* 8: 255-283.
- Craig, D.A.(1987) Some of what you should know about water: or K.I.S.S. for hydrodynamics. *Bulletin of North American Benthological Society* 4: 178-182.
- Cummins, K.W.(1962) An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic water. *Am. Midl. Nat.* 67:477-504.
- Doeg, T.J. and J.D. Koehn(1994) Effects of draining and desilting a small weir on downstream fish and macroinvertebrates. *Regulated Rivers: Research and Management* 9: 263-277.
- Dynesius, M. and C. Nilsson(1994) Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Science* 266: 753-762.
- Dyson, M., G. Bergkamp and J. Scanlon(2003) *Flow: The Essentials of Environmental Flow*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 118pp.
- Hynes, H.B.N.(1970) *The Ecology of Running Waters*. University of Toronto Press. Toronto, 555pp.
- Kawai, T. and K. Tanida(2005) *Aquatic Insects of Japan: Manual with Keys and Illustrations*. Tokai University Press, Tokyo, 1342pp.
- Kil, H.K., D.G. Kim, S.W. Jung, I.K. Shin, K.H. Cho, H.S. Woo and Y.J. Bae(2007) Changes of benthic macroinvertebrate communities after a small dam removal from the Gyeonggi stream in Gyeonggi-do, Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* 25(4): 385-393. (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 Journal of Limnology* 43(2): 190-198. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.H.(2003) The biological water quality evaluation of streams of the near Andong lake by using benthic macroinvertebrates. M. S. thesis, Univ. of Andong, Andong, Korea, 27pp. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.H.(2008) Influence of Muddy Water in Imha Reservoir on the Community Fluctuation of Benthic Macroinvertebrates and Food Selection of Fishes. M. S. thesis, Univ. of Andong, Andong, Korea, pp. 21-29. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.G., S.W. Jung and J.K. Choi(2012) Spatial analysis of ecological characteristics for benthic macroinvertebrate community structure in lake Hoengseong region. *Korean Journal of Environmental Ecology* 26(1): 45-56. (in Korean with English abstract)
- Lee, M.J., J.Y. Park, J.K. Seo, H.J. Lee, E.W. Seo and J.E. Lee(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. (in Korean with English abstract)
- Margalef, D.R.(1958) Information theory in ecology. *General systems* 3: 36-71.
- McCafferty, W.P.(1981) *Aquatic Entomology*. John & Bartlett, Boston, 448pp.
- McNaughton, S.J.(1967) Relationship among functional properties of California Grassland. *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. Co. Dubuque, Iowa, 1214pp.
- Ministry of Environment(2006) *The 3rd National Ecosystem Survey Guide*, NER, 289pp. (in Korean)
- Pielou, E.C.(1975) *Ecological diversity*. Wiley, New York, 165pp.
- Poff, N.L. and D.D. Hart(2002) How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal, *Bioscience* 52:

- 659-668.
- Power, M.E., R.J. Stout, C.E. Cushing, P.P. Harper, F.R. Hauer, W.J. Matthews, P.B. Moyle, B. Statzner and I.R. Wais De Badgen(1988) Biotic and abiotic controls in river and stream communities. *Journal of the North American Benthological Society* 7: 456-479.
- Resh, V.H., H.V. Brown, A.P. Covich, M.E. Gurtz, H.W. Li, G.W. Minshall, S.R. Reice, A.L. Sheldon, J.B. Wallace and R.C. Wissmar(1988) The role of disturbance in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society* 7: 433-455.
- Ro, T.H. and D.J. Chun(2004) Functional Feeding Group Categorization of Korea Immature Aquatic Insects and Community Stability Analysis. *Korean Journal of Limnology* 37(2): 137-148. (in Korean with English abstract)
- Rosenberg, D.M. and V.H. Resh(1993) *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman & Hall, New York, 488pp.
- Shannon, C.E. and W. Weaver(1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, 233pp.
- Stanley E.H., M.A. Luebke, M.W. Doyle and D.W. Marshall(2002) Short-term changes in channel form and macroinvertebrate communities following low-head dam removal. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 21: 172-187.
- 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) *The Ecology of Regulated Streams*. Plenum Press, New York, 398pp.
- Wiederholm, T.(Ed.)(1983) *Chironomidae of the Holarctic region Keys and diagnoses. Part 1-Larvae*. *Entomologica Scandinavica Suppliments*. No. 19. 457pp.
- Won, D.H., S.J. Kwon and Y.C. Jun(2005) *Aquatic Insects of Korea*. Korea Ecosystem Service, 415pp. (in Korean)
- Yoon, I.B.(1988) *Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea Vol. 30 Aquatic Insect*. Ministry of Education Republic of Korea, 840pp. (in Korean)
- Yoon, I.B.(1995) *Aquatic Insects of Korea*. Junghaengsa, 262pp. (in Korean)