

횡성호 일대 저서성 대형무척추동물 군집구조의 생태적 특성 분석^{1a}

이황구² · 정상우^{3,4} · 최준길^{2*}

Spatial Analysis of Ecological Characteristics for Benthic Macroinvertebrate Community Structure in Lake Hoengseong Region^{1a}

Hwang-Goo Lee², Sang-Woo Jung^{3,4}, Jun-Kil Choi^{2*}

요약

본 연구는 2010년 3월부터 10월까지 강원도 횡성군 청일면에서 갑천군 수백리 일대의 횡성호와 횡성호 상·하류지역을 선정하여 저서성 대형무척추동물의 군집구조, 섭식기능군 및 서식기능군 분포, 생물학적 수질을 평가하였다. 조사지역은 횡성호 상류 2개지점(St. 1~2), 횡성호 2개지점(St. 3~4), 횡성호 하류 2개지점(St. 5~6)의 총 6개 조사지점을 선정하여 총 3회에 걸쳐 계류형 정량채집망(Surber sampler 30cm×30cm, 망목 0.2mm)을 사용하여 정량채집 하였고, 조사지점별 정확한 저서성 대형무척추동물상을 파악하기 위하여 각 조사지점에서 미소서식처에 따른 정성채집을 병행하였다. 조사결과 총 5문 8강 17목 43과 83종이 출현하였으며, 하천의 주요 분류군인 하루살이-강도래-날도래군(EPT-group)이 50종(60.24%)을 차지하였고, 파리목(Diptera)을 더하면 61종(73.49%)으로 전체 출현종의 대부분을 차지하였다. 정량분석시 횡성호 상류지역의 저서성 대형무척추동물은 총 4문 4강 11목 28과 54종 2,399개체, 횡성호에서 총 3문 4강 7목 12과 16종 510개체, 횡성호 하류지역에서 총 4문 6강 13목 33과 62종 626개체가 출현하였다. 군집분석 결과 우점도지수는 0.82~0.93(0.87±0.05)으로 횡성호에서 높게 분석되었고, 다양도지수는 3.04~3.16(3.10±0.06), 균등도지수는 0.79~0.85(0.82±0.03), 풍부도지수는 7.27~8.52(7.90±0.63)로 횡성호 하류지역에서 상대적으로 높게 분석되었다. 섭식기능군은 collector-gatherers와 collector-filterers가 높았으며, 횡성호에서는 predators가 상대적으로 풍부하였다. 서식기능군은 swimmers, burrowers, clingers가 대부분을 차지하였다. DCA 서열법과 유사도 분석 결과 횡성호와 횡성호 상·하류지역의 두 개의 그룹으로 명확하게 구분되었으며, 조사지역별 종조성을 MRPP로 분석한 결과, 횡성호와 횡성호 상·하류지역은 유의한 차이를 나타내었다. 생물학적 수질평가를 나타내는 ESB 지수는 횡성호에서 매우불량한 최우선개선수역으로 평가되었다. 조사지역별 지표종은 횡성호 상류지역에서 두점 하루살이, 부채하루살이, 꼬마줄날도래 등 3종, 횡성호에서 징거미새우, 꼬마물벌레 등 2종, 횡성호 하류지역에서 꽃체 다슬기, 강하루살이, 긴다리여울벌레류 등 3종이 유의한 지표종으로 분석되었다.

주요어: 군집분석, 기능군, 지표종

ABSTRACT

Benthic macroinvertebrates were investigated in Hoengseong Lake region from March to October 2010, Korea. Macroinvertebrate communities, composition of the functional feeding groups, habitat oriented groups

1 접수 2011년 8월 1일, 수정(1차: 2012년 1월 27일, 2차: 2012년 2월 15일), 게재확정 2012년 2월 16일

Received 1 August 2011; Revised(1st: 27 January 2012, 2nd: 15 February 2012); Accepted 16 February 2012

2 상지대학교 생명과학과 Dept. of Biological Science, Sangji Univ., Wonju(220-702), Korea

3 국립환경과학원 National Institute of Environmental Research, Incheon(404-708), Korea

4 고려대학교 생명과학대학 College of Life Sciences and Biotechnology, Korea Univ., Seoul(136-701), Korea

a 이 논문은 한국수자원공사 강원지역본부 및 2010년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

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

and the biological water quality were assessed above and below Hoeongseong Dam in the lake region. Six sites, two (St. 1 ~ 2) above the lake, two (St. 3 ~ 4) into the lake, and two (St. 5 ~ 6) below the dam, were selected for quantitative (Surber sampler 30cm×30cm, mesh size 0.2 mm) and qualitative (Hand net) samplings of benthic macroinvertebrates. As a result, a total of 83 species belonging to 43 families, 17 orders, 8 classes, and 5 phyla were recognized. The EPT-group (50 spp. : 60.24%) that is major taxa or EPT-group plus Diptera (61 spp. : 73.49%) occupied most of benthic macroinvertebrates community. Based on quantitative sampling, the number of benthic macroinvertebrates above the lake was 2,399 individuals including 54 species, 28 families, 11 orders, 4 classes, and 4 phyla, whereas 510 individuals including 16 species, 12 families, 7 orders, 4 classes, and 3 phyla in the lake and 626 individuals including 62 species, 33 families, 13 orders, 6 classes, and 4 phyla below the dam were collected respectively. Dominance index was the highest, with 0.82-0.93 (0.87 ± 0.05) in Hoeongseong lake (St. 3-4), diversity index was 3.04-3.16 (3.10 ± 0.06), evenness index was 0.79-0.85 (0.82 ± 0.03), and richness index was 7.27-8.52 (7.90 ± 0.63), which were relatively higher below the dam sites. In the functional feeding groups, collector-gatherers and collector-filterers were the highest in the whole sites, and predators (*Micronecta sedula*) was appeared highly in the lake. Moreover, swimmers, burrowers, and clingers were considerably occupied in all collecting sites. The result of the DCA, similarity analysis, and MRPP were well reflective of the composition of lake and stream macroinvertebrates. ESB indicate that the lake sites were evaluated heavily polluted under priority improvement waters. Also, *Semisulcospira gottschei*, *Ecdyonurus kibunensis*, *Epeorus pellucidus*, *Rhoenanthus coreanus*, *Stenelmis* sp., and *Cheumatopsyche brevilineata* are considered as an indicator species above and below Hoeongseong Lake, whereas *Macrobrachium nipponense* and *Micronecta sedula* are indicated in the lake.

KEY WORDS: COMMUNITY ANALYSES, FUNCTIONAL GROUPS, INDICATOR SPECIES

서론

현재 우리나라에는 15개의 다목적댐을 비롯하여 18,000여개의 크고 작은 자연호와 인공호가 존재하고 있으며, 홍수조절, 농업용수의 저장, 발전, 상수원, 레크리에이션 등의 용도로 이용되고 있다. 인공호 중의 하나인 횡성호는 1993년부터 2000년까지 횡성다목적댐 건설에 의하여 형성되었으며, 유역면적 207.88km², 유로연장 28.71km로 연간 119.5백만m³의 용수공급, 5.6GWH의 수력발전과 9.5백만m³의 홍수조절능력을 가지고 있다(Kim *et al.*, 2005). 횡성호 일대는 섬강의 상류부로 유동천과 대관대천이 계천과 합류하고 있으며, 횡성다목적댐의 건설로 유수역인 계천의 일부 유역이 유수생태계에서 정수생태계로 변하게 되었다. 이러한 변화는 하천생태계의 단편화와 유로의 변경을 가져오며, 하천의 연결성을 단절시켜 하천생태계의 교란요인으로 작용하게 된다(Benke, 1990; Dynesius and Nilsson, 1994, Ward and Stanford, 1979). 결국 정수생태계로의 변화는 퇴적물의 축적과 오염으로 저서성 대형무척추동물의 서식처 교란으로 연결되며(Boesch and Rosenberg, 1981; Gray,

1981; Hartley, 1982; Pearson and Rosenberg, 1978), 유속, 수온, 하상구조물의 변화로 저서성 대형무척추동물의 군집구조와 종다양성에 직접적인 영향을 주게 된다(Doeg and Koehn, 1994; Tiemann *et al.*, 2004).

저서성 대형무척추동물은 하천의 주요 에너지원으로 대부분의 생활사를 하천에 의존하여 서식하며, 이동성이 적고, 개체수가 풍부하여 하천생태계의 먹이사슬에 중요한 역할을 하고 있을 뿐만 아니라(Ward, 1992; Rosenberg and Resh, 1993) 오염물질과 서식환경에 민감하게 반응하는 분류군으로 생물학적 지표 및 환경변화를 평가하는 생태학적 모니터링에 유용하게 이용될 수 있다(Kim *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2009; Yoon *et al.*, 1981; Yoon *et al.*, 1992; Won *et al.*, 2005).

현재 대형댐 및 인공호에 관한 저서성 대형무척추동물에 대한 연구는 많지 않으며, 국내에서는 최근에 Kil *et al.*(2007, 2010)에 의한 소형보와 대형댐이 저서성 대형무척추동물 군집에 미치는 영향에 관한 연구가 있다. 특히 횡성호 일대의 하천생태계에 관한 연구는 수문학적 연구와 담수어류(Kim *et al.*, 2005; Choi *et al.*, 2005)에 한정되어

있으며, 댐 완공 이전의 육상곤충상(Byun *et al.*, 1996)을 제외하면 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 황성호와 황성호 상·하류지역의 저서성 대형무척추동물의 군집구조와 섭식기능군 및 서식기능군의 특성을 분석하고, 생물학적 수질 평가와 지표종의 선정으로 황성호 일대의 하천생태계 복원 및 보전을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사시기

조사시기는 저서성 대형무척추동물의 계절별, 우화시기의 특성을 고려하여 2010년 3월부터 10월까지 총 3회의 조사를 계절별로 실시하였으며, 각 조사 시기는 다음과 같다.

- 1차조사 : 2010년 3월 28일~29일
- 2차조사 : 2010년 6월 19일~20일
- 3차조사 : 2010년 10월 2일~3일

2. 조사분석

조사지점은 강원도 황성군 청일면과 갑천면 일대의 황성호 상류(유입하천) 2개지점(US: Upper Stream, St. 1~2), 황성호 2개지점(HL: Heongseong Lake, St. 3~4), 황성호 하류 2개지점(DS: Down Stream, St. 5~6)을 선정하여 정량조사 및 정성조사를 병행하였다. 각 조사지점의 행정구역 명칭 및 GPS(WGS)는 다음과 같다(Figure 1).

- St. 1: 강원도 황성군 청일면 초현리 유평교 하방(유동천 합류부)
(E: 128° 07' 51.75", N: 37° 33' 53.65")
- St. 2: 강원도 황성군 갑천면 매일리 매일교 하방

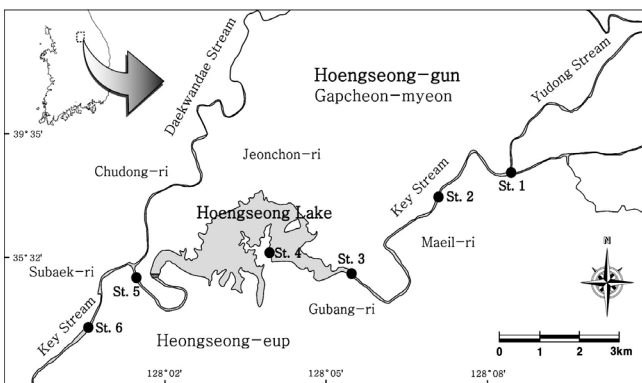


Figure 1. Map of six studied sites in Hoengseong Lake region

(E: 128° 06' 39.36", N: 37° 33' 32.84")

St. 3: 강원도 황성군 갑천면 구방리 구방교

(E: 128° 05' 15.48", N: 37° 32' 34.36")

St. 4: 강원도 황성군 갑천면 구방리 망향의 동산

(E: 128° 04' 06.71", N: 37° 32' 41.56")

St. 5: 강원도 황성군 갑천면 사기막 활아지교

(E: 128° 01' 31.78", N: 37° 32' 38.38")

St. 6: 강원도 황성군 갑천면 수백리 수백교 하방

(E: 128° 00' 36.06", N: 37° 31' 54.09")

3. 조사방법

1) 물리적 수환경 및 서식환경

물리적 수환경의 조사는 1차조사시기인 2010년 3월에 실시하였다. 줄자와 레이저 거리측정계(Nikon LASER 1200S)를 이용하여 조사지역의 유폭을 측정하였으며, 수심은 막대자를 이용하였다. 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.

2) 채집 및 동정

저서성 대형무척추동물의 채집은 수생태계 건강성 조사 및 평가방법에 준하였다(Ministry of Environment, 2006). 각 조사지점의 유량과 물리적인 환경을 고려하여 황성호의 상류와 하류는 계류형 정량채집망인 Surber sampler (30×30cm, 망목 0.2mm)를 이용하여 조사지점별 riffle과 run/pool에서 3회씩 정량 채집하였다. 황성호는 Dredge sampler (30×50cm, 망목 0.2mm)를 이용하여 Surber sampler의 면적과 동일하게 채집하였다. 조사지점별 정확한 저서성 대형무척추동물상을 파악하기 위하여 Hand net(망목 0.5mm)를 사용하여 다양한 미소서식처에서 정성채집을 병행하였다. 채집된 저서성 대형무척추동물은 현장에서 99% 에틸알코올에 고정된 다음 실험실로 운반·고르기(sorting)한 후 80% 에틸알코올에 보존하였다.

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, 갈따구과(Family Chironomidae)는 Wiederholm(1983)을 이용하여 동정하였다.

3) 군집분석

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(Functional Feeding Groups, FFGs) 및 서식기능군(Habitat Oriented Groups, HOGs)을 분석하였다(Ro and Chun, 2004; Merritt *et al.*, 2008).

5) 통계 분석

통계 분석은 SPSS(ver. 12.0 KO for windows)을 이용하여 횡성호 일대의 유역별 유의성을 ANOVA test를 통해 검증하였다. ‘PC-ORD’ (ver. 4.25; McCune and Mefford, 1999)를 이용하여 횡성호 및 횡성호 상하류의 종조성 차이를 DCA (Detrended Correspondence Analysis)(Hill and Gauch, 1980) 서열법으로 분석하였으며, 그룹별 유의성은 MRPP (Multiple Responses Permutation Procedure) 기법으로 검증하였다. 조사지점별 유사성을 분류하고자 유사도(Bray and Curtis, 1957) 분석을 실시하였으며, 횡성호 상하류 및 횡성호에서 대표적으로 서식 가능한 지표종을 선정하기 위해 종과 개체수를 고려한 유역별 지표종을 분석하였다.

6) 생물학적 수질 및 환경질 평가

저서성 대형무척추동물의 생물학적 수질 및 환경질 평가를 위하여 저서성 대형무척추동물의 생태점수(ESB, Ecological Score of Benthic Macroinvertebrate Community)를 이용한 수환경평가지수를 적용하였다.

$$ESB = \sum_{i=1}^4 (Si \cdot Qi)$$

ESB: 저서성 대형무척추동물 생태점수(Ecological score of benthic macroinvertebrate community)

Qi: 개별분류군환경질점수(Environmental quality score of individual taxa)

Si: i 환경질에 대한 출현종수 합(Species frequency to i environmental quality)

결과 및 고찰

1. 물리적 수환경

횡성호 상하류와 횡성호의 조사지점별 측정된 물리적 수환경 및 하상구조는 Table 1과 같다. 횡성호로 유입되는 상류의 유폭은 16~24m, 수심은 12~80cm이었다. 유속은 0.2~1.1%로 다소 완만한 편이었으며, 하상구조는 큰돌과 호박돌 및 자갈로 구성되어 있었으나 횡성호의 유입부로 갈수록 자갈과 모래의 구성비가 높아질 것으로 판단된다. 횡성호 조사지점의 유폭은 60~600m, 수심은 8~150cm이었다. 하천의 유입부를 제외한 대부분의 수역은 유속이 없는 것으로 조사되었다. 하상구조는 펄과 모래로 매우 단순하였으며, 계곡천이 유입되는 St. 3은 잔자갈이 일부 분포하고 있었다. 횡성호 하류의 유폭은 3.2~32m, 수심은 22~85cm이었다. 유속은 0.3~1.3%로 상류보다 빠른 편이었으며, 하상구조는 호박돌과 자갈 및 잔자갈이 비교적 고르게 분포하고 있었다. 상류에 비하여 하류수역이 유폭이 넓고, 수심도 깊은 것으로 조사되었으며, 댐의 방류량에 따라 유폭, 수심, 유속 등에 영향을 미칠 것으로 예상되나 하상구조에는 큰 변화가 없을 것으로 판단된다.

2. 저서성 대형무척추동물

1) 종조성

조사기간 동안 채집된 저서성 대형무척추동물은 총 5문 8강 17목 43과 83종이 조사되었다(Table 2). 출현분류군 중 편형동물문과 유선형동물문에서 각각 1종(1.21%), 환형

Table 1. General characteristics of the studied sites in Hoengseong Lake region. US (Upper stream), HL (Hoengseong Lake), and DS (Down stream)

Sites	Stream Width (m)	Water depth (cm)	Current velocity (m/s)	Bottom structure *B:C:P:G:S	
US	St. 1	16~20	30~80	0.2~0.7	B:C:P:G:S=2:3:2:2:1
	St. 2	18~24	12~35	0.2~0.9	B:C:P:G:S=2:3:2:2:1
HL	St. 3	60~70	15~110	0.0~0.1	B:C:P:G:S=0:0:1:3:6
	St. 4	130~600	8~150	0.0	B:C:P:G:S=0:0:0:0:10
DS	St. 5	3.2~16	22~85	0.6~1.2	B:C:P:G:S=1:2:2:3:2
	St. 6	25~32	25~70	0.3~1.1	B:C:P:G:S=1:3:2:3:1

* 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 Hoengseong Lake region

Phylum	Class	Order	Family			Species				
			US	HL	DS	US	HL	DS		
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	1		1	1		1		
		Nematomorpha	1			1				
Annelida	Oligochaeta	Archiloligochaeta		1	1		1	1		
		Hirudinea			1			1		
Mollusca	Gastropoda	Mesogastropoda	1		1	3		2		
		Basommatophora	1	1		1	1			
	Pelecypoda	Unionoida			1			1		
		Veneroida			1			1		
Arthropoda	Crustacea	Decapoda		1			1			
		Ephemeroptera	8	5	7	26	6	22		
		Odonata	1	1	2	2	1	5		
		Plecoptera	4		2	4		1		
		Insecta	Hemiptera		1			1		
			Megaloptera	1		1	1		2	
			Coleoptera	1		2	1		3	
			Diptera	4	2	4	8	5	7	
				Trichoptera	5		9	8		15
		Total			28	12	33	56	16	62

동물문 2종(2.41%), 연체동물문 6종(7.23%), 절지동물문 73종(87.95%)이 조사되었으며, 절지동물문 중 72종(98.63%)이 곤충강에서 차지하였다(Table 2). 곤충강 중에서 주요 분류군인 EPT (하루살이목-강도래목-날도래목; Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera) 그룹에서 50종이 출현하여 전체 출현종의 60.24%를 차지하였으며, 황성호 상류지역에서 38종(45.78%), 황성호에서 6종(7.23%), 황성호 하류지역에서 39종(46.99%)이 출현하였다. 황성호 상류지역의 저서성 대형무척추동물은 총 4문 4강 11목 28과 56종 2,399개체로 평균 27종 800개체, 황성호에서는 총 3문 4강 7목 12과 16종 510개체로 평균 8종 170개체, 황성호 하류지역에서는 총 4문 6강 13목 33과 62종 626개체로 평균 35종 220개체가 출현하였다.

저서성 대형무척추동물의 종풍부도는 하상구조물과 밀접한 관련이 있으며(Waters, 1995), 서식처 특성에 의하여 출현종이 결정된다(Allan, 1995; Merritt *et al.*, 2008). 또한 cobble과 pebble 하상이 gravel과 sand 하상보다 출현종이 높으며, 하상구조물이 가는 입자로 구성된 지역은 산소의 이용과 물리적인 서식환경의 제한으로 저서성 대형무척추동물의 종다양성이 매우 낮은 것으로 알려져 있다(Allan, 1995). 황성호 역시 호소의 물리적 서식처 환경(유량, 유속, 수심 및 하상구조물 등)의 특성상 빈약한 종다양성을 유지하고 있었으며, 꼬마물벌레(*Micronecta sedula*)와 깔따구류(Chironomidae spp.)를 비롯한 정수역의 서식환경에 적응한 특정종이 대량 번식할 가능성이 높은 것으로 판단된다. 일반적으로 댐에 의한 방류는 댐 하류지역의 하상구조물에 영향을 미치며, 종다양성을 감소시키는 것으로 알려져 있으나(Kondolf, 1997; Camargo and Voelz, 1998) 본 연구

에서는 하류지역에서 상류지역보다 종다양성이 높은 것으로 분석되었다. 종다양성이 가장 높게 나타난 하류지역의 St. 6은 댐과 가장 이격되어 있어 방류의 영향이 상대적으로 적은 것으로 생각되며, 댐에 가까워질수록 종수가 감소하는 것으로 알려져 있다(Sharma, 2008). 유역별 종조성은 황성호 상-하류의 경우 하루살이목에서 가장 높고, 파리목과 날도래목이 다음을 차지하였으며, 황성호의 경우 St. 3에서는 하루살이목이 높았고, St. 4에서는 파리목이 높은 것으로 분석되었다. St. 3은 계곡천이 합류하고 있어 하루살이목의 일부 종들이 유입된 결과이다. 개체수 밀도는 황성호 상-하류에서 하루살이목, 파리목, 날도래목이 높게 차지하였으며, 상류지역에서 황성호와 하류지역에 비하여 개체수 현존율이 높았다. 이는 애호랑하루살이(*Baetiella tuberculata*), 세갈래하루살이(*Choroterpes altiocus*), 먹파리(*Simulium* sp.), 깔따구류(Chironomidae spp.), 줄날도래(*Hydropsyche kozhantschikovi*), 꼬마줄날도래(*Cheumatopsyche brevilineata*)가 집중적으로 분포한 결과이다(Figure 2, 3).

황성호는 줄새우(*Palaemon paucidens*), 꼬마물벌레(*Micronecta sedula*), 깔따구류(Chironomidae spp.) 등 상대적으로 용존산소의 영향이 적고, 내성이 강한 파리목(Diptera)과 대기중의 산소를 이용하는 노린재목(Hemiptera)에서 개체수 밀도가 높은 것으로 분석되었으며(Figure 4, 5), 조사시기별 3~11종으로 다양한 종조성을 나타내고 있는 상-하류의 종풍부도와는 큰 차이를 나타내었다. 황성호의 St. 3은 계곡천이 유입되는 지점으로 계곡천의 유입종을 제외하면 종풍부도의 차이는 더욱 높아질 것으로 판단된다. 황성호는 하상구조가 단순하고 수위변동이 높은 댐호의 특성상 나대지가 발달하였으며, 이는 육상생태계와 수서생태계의 전이

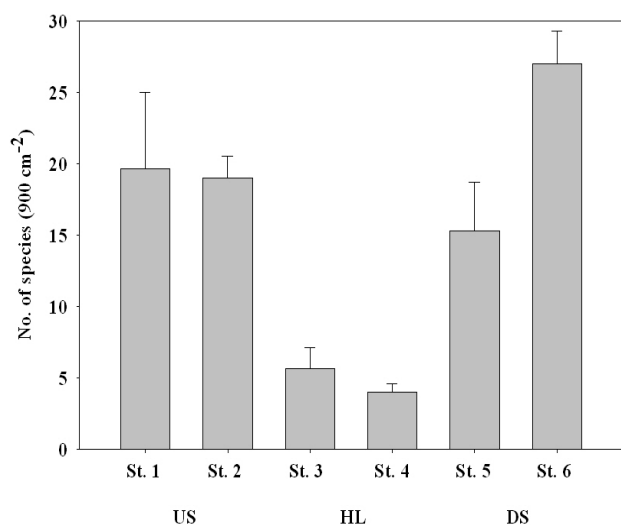


Figure 2. Mean value (\pm SE) of number of species of benthic macroinvertebrates at the study sites in Hoengseong Lake region

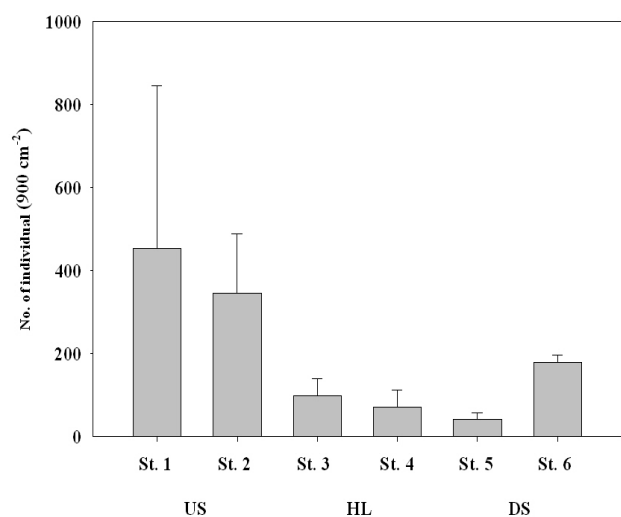


Figure 3. Mean value (\pm SE) of individual number of benthic macroinvertebrates at the study sites in Hoengseong Lake region

대 역할을 수행하는 수변식생대의 부족으로 연결되어 서식 환경의 단편화와 종다양성의 제한요인으로 작용할 것으로 생각된다. Kouame(2011)는 부레옥잠을 식재한 호수(Lake Taabo)에서 43종이 출현하여 수생식물의 중요성을 강조하였으며, Wanganeo(2011)는 Bhoj wetland의 upper basin과 lower basin에서 각각 50종과 40종이 출현하여 수심과 수생 식물에 따른 종수 및 종조성의 차이를 나타낸 바 있다. 한편, 횡성호의 종풍부도를 국내의 대형 다목적댐인 합천댐, 임하댐, 대청댐의 자료(Kil *et al.*, 2010)와 비교한 결과 횡성호

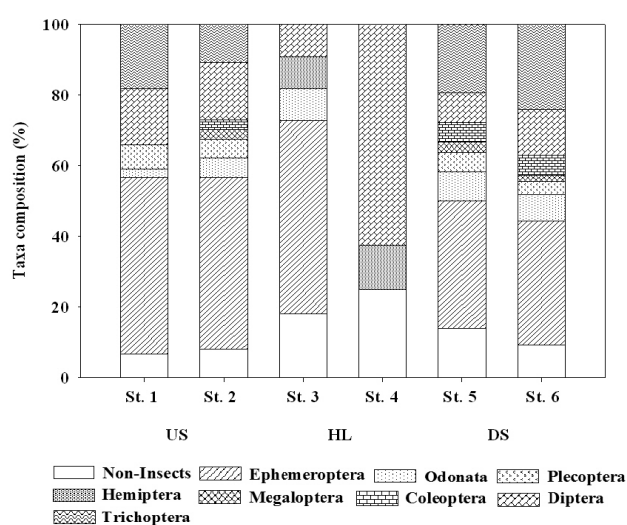


Figure 4. Relative composition of major benthic macroinvertebrate taxa at the study sites in Hoengseong Lake region

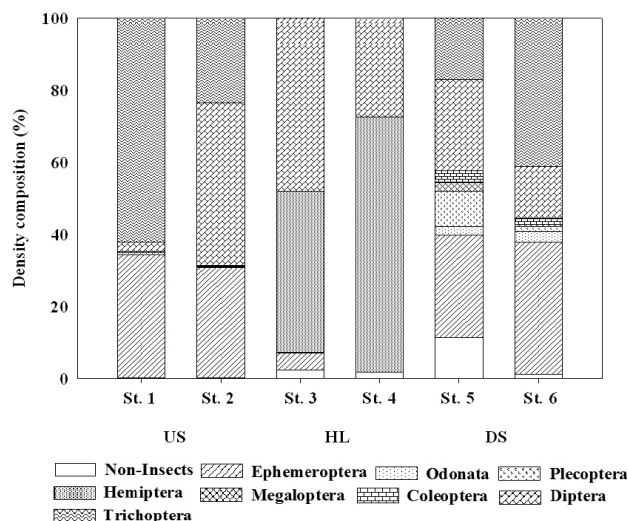


Figure 5. Relative density Composition of major benthic macroinvertebrate taxa at the study sites in Hoengseong Lake region

(16종), 대청댐(4종), 합천댐과 임하댐(3종) 순으로 나타났으며, 횡성호에 비해 저수량이 높은 대형댐에서 종풍부도가 상대적으로 낮은 것으로 조사되었다. 반면에 횡성호보다 저수량이 낮은 팔당호(Park *et al.*, 2007)의 경우 52종이 출현하여 매우 높은 종풍부도를 나타냈으나 이는 조사시기 및 조사지점수의 차이가 크게 작용하며, 나대지가 발달한 횡성호에 비하여 팔당호는 복잡한 만입부와 수생식물이 발달한 연안대가 풍부하였기 때문인 것으로 판단된다. 결과적으로 깊은 수심, 저수량, 바닥물질의 낮은 이질성, 수생식물의 빈약, 나대지의 발달 등이 횡성호에 서식하는 저서성 대형무

척추동물의 종풍부도에 높은 영향을 미치는 주요 원인으로 추정되지만 이는 댐호 및 인공호에 대한 더욱 다양한 조사 연구가 필요할 것으로 사료된다.

조사시기별 분류군의 종구성비율은 유사한 양상을 나타내었으며, 하루살이목에서 가장 우세하게 출현하였고, 파리목과 날도래목에서 그 다음을 차지하였다. 개체밀도는 1차 조사시 파리목에서 가장 높게 나타내었으며, 2차조사시에는 하루살이목과 날도래목에서 높게 출현하였는데 이는 하루살이목과 날도래목의 생활사와 연관성이 높으며, 다수의 Nymph가 출현한 결과이다. 3차조사시에는 황성호에서 집중적으로 출현한 꼬마물벌레(*Micronecta sedula*)의 영향으로 노린재목에서 높게 나타내었다.

2) 군집지수

조사지역의 군집구조를 파악하기 위하여 우점종 및 아우점종을 파악하였으며, 우점도지수, 다양도지수, 균등도지수 및 풍부도지수를 분석하였다. 황성호 하류에서 군집구조가 가장 안정된 것으로 분석되었으며, 황성호에서 상대적으로 매우 낮은 군집지수를 나타내었다(Table 3).

우점종 및 아우점종을 분석한 결과 황성호 상류에서는 깔따구류(*Chironomidae* spp.), 줄날도래(*Hydropsyche kozhantschikovi*), 꼬마줄날도래(*Cheumatopsyche brevilineata*), 황성호에서는 꼬마물벌레(*Micronecta sedula*), 깔따구류(*Chironomidae* spp.), 황성호 하류에서는 등줄하루살이(*Uracanthella rufa*), 깔따구류(*Chironomidae* spp.), 줄날도래(*Hydropsyche kozhantschikovi*)로 분석되었다. 우점도지수는 황성호 하류에서 평균 0.30(±0.00)으로 가장 안정되었으며, 황성호 상류에서는 평균 0.49(±0.14)를 나타내었다. 황성호에서는 평균 0.88(±0.08)로 불안정한 것으로 분석되었다.

다양도지수는 황성호 하류에서 평균 3.10(±0.08)을 나타내었으며, 조사지점별 3 이상의 안정된 군집구조를 유지하고 있는 것으로 분석되었다. 황성호 상류에서는 평균 2.16(±0.26)으로 비교적 안정된 군집양상을 나타내었으며, 황성호에서는 평균 1.04(±0.01)로 불안정한 군집구조를 유지하

Table 3. Various community quotient from all sites in Hoengseong Lake region

Sites	DI	H'	J'	RI	ESB (Mean)	
US	St. 1	0.59	1.97	0.52	5.96	65
	St. 2	0.39	2.34	0.65	5.18	59
HL	St. 3	0.93	1.05	0.44	1.76	12
	St. 4	0.82	1.03	0.49	1.31	7
DS	St. 5	0.30	3.04	0.85	7.27	48
	St. 6	0.30	3.16	0.79	8.52	87

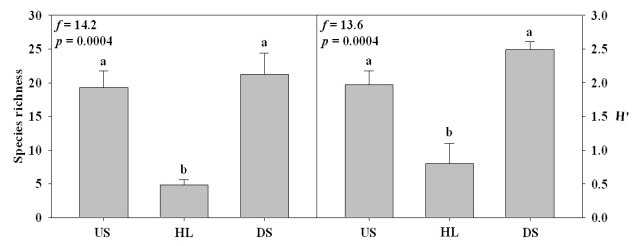


Figure 6. Species richness and diversity index (H') of species compared with three groups (US, HL, and DS) by ANOVA test

고 있는 것으로 분석되었다. 황성호 일대의 다양성(종풍부도, 다양도지수 [H'])을 ANOVA test로 분석한 결과 종풍부도 및 다양도지수 모두 황성호 하류, 황성호 상류, 황성호 순으로 높게 나타내었고, 황성호는 상류 및 하류와 비교하여 유의하게 낮은 것으로 분석되었다(Figure 6). 균등도지수는 황성호 하류에서 평균 0.82(±0.04)를 나타내었으며, 조사지점별 균등하게 분산되어 있는 것으로 분석되었다. 황성호 상류에서는 평균 0.59(±0.09)를 나타내었으며, 황성호에서는 평균 0.47(±0.04)로 불균등한 분포양상을 나타내었다. 풍부도지수는 황성호 하류에서 평균 7.90(±0.88)을 나타내었으며, St. 6에서 출현종이 가장 풍부한 것으로 분석되었다. 황성호 상류에서는 평균 7.07(±2.67)을 나타내었으며, 황성호에서는 평균 1.54(±0.32)로 개체수에 비하여 출현종이 빈약한 것으로 분석되었다.

군집지수의 분석 결과 황성호 하류에서 지수가 높고, 군집이 안정된 것으로 분석되었는데 이는 황성댐에서 규칙적인 방류에 따라 수위의 안정성이 유지되고, 수온의 변화폭이 적어(Kim et al., 2005) 저서성 대형무척추동물에 미치는 영향이 상대적으로 적었기 때문인 것으로 생각된다. 한편, 가는 입자로 구성된 단순한 하상구조와 미소서식처의 부족은 저서성 대형무척추동물의 종다양성을 감소시키는 원인으로 작용한다(Allan, 1995; Stoffele et al., 2005; Shao et al., 2006). 본 연구에서도 황성호는 이질성이 적은 미세한 바닥물질과 단순한 미소서식처를 유지하고 있어 다양성이 낮게 나타난 것으로 생각된다.

3) 기능군 조성

하천생태계에 서식하는 저서성 대형무척추동물의 섭식 기능군과 서식기능군의 분포 경향은 주어진 먹이자원과 서식처의 환경요인을 반영하고 있다(Kil et al., 2010). 황성호 일대에서 출현한 수서곤충(Aquatic Insect)을 대상으로 섭식기능군(FFGs) 및 서식기능군(HOGs)을 분석하였다(Figure 7, 8).

황성호 상하류의 섭식기능군은 collector-gatherers와 collector-

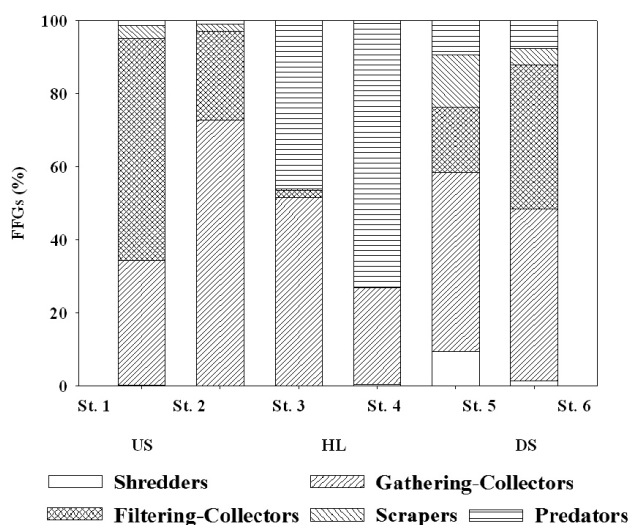


Figure 7. Composition of functional feeding groups (FFGs) of benthic macroinvertebrates at the study sites in Hoengseong Lake region

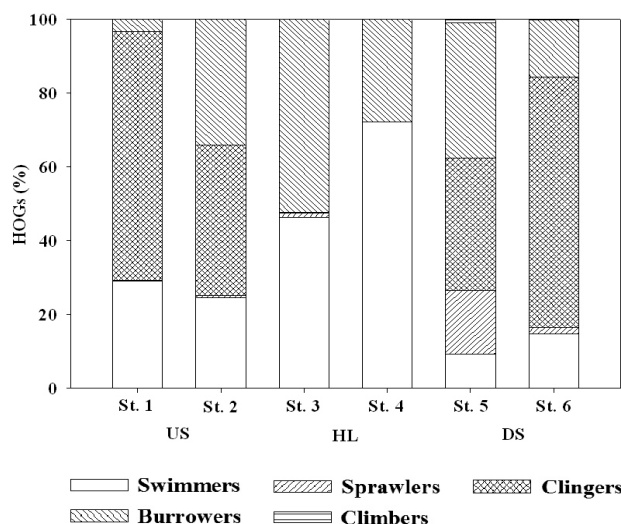


Figure 8. Composition of habitat oriented groups (HOGs) of benthic macroinvertebrates at the study sites in Hoengseong Lake region

filterers가 대부분을 차지하였으며, scrapers와 predators는 상류에 비하여 하류에서 상대적으로 높은 것으로 분석되었다. 횡성호는 collector-gatherers와 predators가 상대적으로 높은 것으로 분석되었으며, 횡성호 상·하류에 비하여 섭식 기능군이 단순하였다.

횡성호 상·하류의 서식기능군은 우수역의 특성상 clingers가 차지하는 비율이 높았으며, swimmers와 burrowers가 다음을 차지하였다. 횡성호 상·하류는 서식기능군 조성이 유

사한 것으로 분석되었으며, 하류의 St. 5는 sprawlers가 상대적으로 높게 출현하였다. 횡성호는 swimmers와 burrowers가 매우 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 분석되었으며, 일반적으로 정수역의 서식기능군은 clingers가 감소하고 burrowers나 climbers가 증가하는 것으로 알려져 있다(Yoon et al., 1992). 본 연구에서도 횡성호에서 clingers는 출현하지 않았으며, 상대적으로 burrowers가 높은 비율로 출현하였다.

4) DCA 및 유사도 분석

횡성호 상·하류와 횡성호에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 종조성을 DCA 서열법으로 분석한 결과 I 및 II축의 설명율은 각각 30%와 7%였으며, 조사지역의 분포무게중심(centroid)과 표준오차로 표현하였다(Figure 9). 설명율이 높은 I축상의 배열을 살펴보면, 횡성호 상·하류는 왼편, 횡성호는 비교적 먼 거리의 오른편에 위치하여 종조성이 상·하류와 상이한 것으로 분석되었다. 횡성호 상·하류 및 횡성호를 비교 그룹으로 한 MRPP 분석 결과 상·하류의 종조성 차이(A=0.016, p=0.1080)는 유의하지 않은 것으로 분석되었으나 횡성호와 상·하류는 유의한 차이(상류, A=0.052, p=0.0179; 하류, A=0.067, p=0.0030)를 나타내었다. 조사지점별 유사도분석 결과 2개의 그룹(횡성호, 상·하류)으로 구분되어 분석되었다(Figure 10). 횡성호(St. 3, 4)에서 유사도가 가장 높은 것으로 분석되었으며, 횡성호 상류(St. 1, 2)가 다음으로 유사한 것으로 분석되었다. 횡성호는 조사지점별 하상구조 및 물리적 수환경이 유사하여 출현종과 개체수의 차이가 다소 적게 나타났기 때문인 것으로 판단되며,

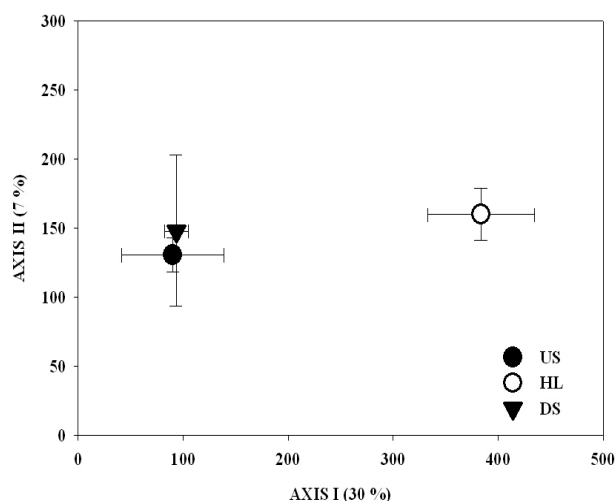


Figure 9. DCA ordination on species composition on benthic macroinvertebrates in Hoengseong Lake region

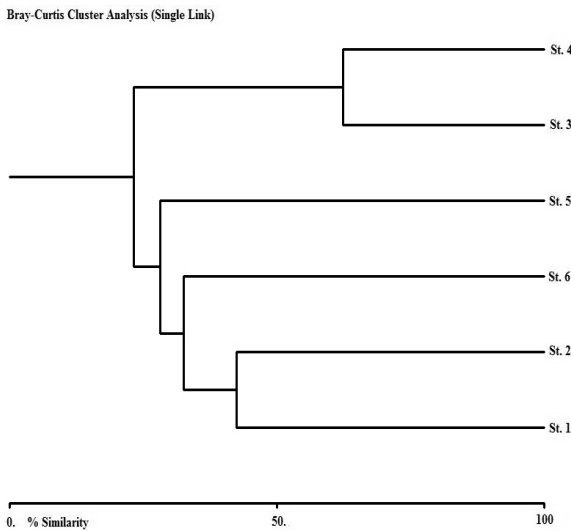


Figure 10. Bray-Curtis similarity diagram of study sites including control based on benthic macroinvertebrates in Hoengseong Lake region

횡성호와 상·하류간의 유사도가 적은 것으로 분석되어 유수역과 정수역의 종풍부도에 있어 차이를 나타내었다.

5) 지표종 분석

횡성호 상·하류와 횡성호의 지표종(Indicator Species)을 분석한 결과 상류에서는 두점하루살이(*Ecdyonurus kibunensis*), 부채하루살이(*Epeorus pellucidus*), 꼬마줄날도래(*Cheumatopsyche brevilineata*) 등 3종, 하류에서는 꽃채다슬기(*Semisulcospira gottschei*), 강하루살이(*Rhoenanthus coreanus*), 긴다리여울벌레류(*Stenelmis* sp.) 등 3종, 횡성호에서는 줄새우(*Palaemon paucidens*), 꼬마물벌레(*Micronecta sedula*) 등 2종이 유의한 지표종으로 분석되었다(Table. 4). 횡성호 상·하류의 지표종은 부분적으로 오염이 진행된 유수역에서 대부분 서식하는 종들이었으며, 횡성호의 지표종은 정수역에서 대표적으로 서식하는 종

Table 4. List of indicator species in Hoengseong Lake region

Region	Species	IV MAX	p
US	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	81.1	0.0088
	<i>Epeorus pellucidus</i>	63.3	0.0112
	<i>Ecdyonuru skibunensis</i>	60.8	0.019
HL	<i>Macrobrachium nipponense</i>	83.3	0.0022
	<i>Micronecta sedula</i>	66.7	0.0118
	<i>Stenelmis</i> sp.	66.7	0.018
DS	<i>Rhoenanthus coreanus</i>	64.8	0.0276
	<i>Semisulcospira gottschei</i>	60.6	0.03

들로 구성되어 횡성호 상·하류와는 이질성을 나타내고 있었다.

6) 수환경평가

횡성호 상·하류의 ESB 지수는 평균 62(±20.26)와 69(±25.28)로 하류에서 다소 높게 나타내었으며, 빈부수성의 오수생물계열과 환경상태가 양호한 수역으로 판정되었다(Table 3). 상류는 St. 1에 비해 수질오염이 진행중인 St. 2에서 수환경 등급이 낮은 것으로 평가되어 수질오염이 저서성 대형무척추동물 분포에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 하류는 매우양호한 수역으로 평가되는 St. 6에 비해 횡성호와의 이격거리가 적은 St. 5에서 수환경 등급이 낮은 것으로 평가되어 불안정한 수위 및 유속의 변동이 부정적인 영향을 미치는 것으로 생각된다. 횡성호는 평균 9(±5.43)로 α -중부수성의 오수생물계열을 나타내었으며, 환경상태가 매우불량한 수역으로 판정되어 단순한 바닥물질 조성과 황폐화된 내대지의 발달이 저서성 대형무척추동물의 분포에 높은 악영향을 미치고 있음을 시사하였다.

인용문헌

Allan, D.J.(1995) Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. Champman & Hall, London, 388pp.

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)

Benke, A.C.(1990) A perspective on America's vanishing streams. Journal of the North American Benthological Society 9: 77-88.

Boesch, D.F. and R. Rosenberg(1981) Responses to stress in marine benthic communities. In stress effect on natural ecosystems. John Wiley and Sons, New York, 179pp.

Bray, J.R. and J.T. Curtis(1957) An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. Ecol. Monogr. 27: 325-349.

Byun, B.K., Y.D. Kwon and K.T. Park(1996) Investigation of Terrestrial Insects in the Scheduled Area for the Hwengsung-Dam, Kangwon Province. Journal of Agriculture and Life Sciences 7: 25-44. (in Korean with English abstract)

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

Choi, J.K., J.S. Choi, H.S. Shin and S.C. Park(2005) Study on the Dynamics in the Lake Hoengseong Region. Korean Journal of

- Limnology 38(2): 188-195. (in Korean with English abstract)
- 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.
- Gray, J.S.(1981) Detecting pollution induced changes in communities using the log-normal distribution of individuals among species. Mar. Pollut. Bull. 12(5): 173-176.
- Hartley, J.P.(1982) Methods for monitoring offshore macrobenthos. Mar. Pollut. Bull. 13: 153-154.
- Hill, M.O. and H.G. Gauch(1980) Detrended correspondence analysis: An improved ordination technique. Vegetat 42: 47-58.
- Kawai T. and K. Tanida(2005) Aquatic Insects of Japan: Manual with Keys and Illustrations. Tokai University Press, Tokyo, 1,342pp.
- 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 Gyeongan stream in Kyeonggi-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, J.S., Y.I. Moon and T.D. Oh(2005) A Study on Parameter Optimization for Estimation of Probability Maximum Flood in Hoengseong Dam Basin. Journal of the Institute of Industrial Technology 15: 51-57. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.K., Y.J. Bae, G.S. Yoo, D.H. Yeom, S.K. Lee, S.H. Lee, J.H. Lee, and K.J. Cho(2005) Invertebrate Biological Indicators and Environmental Risk Assessment. Junghaengsa, 211pp.
- Kondorf, G.M.(1997) Hungry water: Effects of dams and gravel mining on river channels. Environmental Management 21: 533-551.
- Kouame, M.K., M.Y. Dietoa, E.O. Edia, S.K. Da Costa, A. Ouattara and G. Gourene(2011) Macroinvertebrate communities associated with macrophyte habitats in a tropical man-made lake (Lake Taabo). Knowledge and management of aquatic ecosystems, 18pp.
- Lee, J.H., S.K. Lee, Y.J. Bae, K.J. Cho, G.S. Yoo, Y.K. Kim and M.P. Jung(2009) Invertebrates Using Biological Indicators of Heavy Metal Pollution Ecological Impact Assessment Technique Field. Junghaengsa, 90pp.
- Margalef, R.(1958) Information theory in ecology. General Systematics 3: 36-71.
- McCafferty, W.P.(1981) Aquatic Entomology. Jones and Bartlett, Boston, 448pp.
- McCune, B. and M.J. Mefford(1999) Multivariate analysis of ecological data (version 4.25). MjM Software, Glenden Beach, OR, USA, 28pp.
- McNaughton, S.J.(1967) Relationship among functional properties of California Crassland. 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, 1158pp.
- Ministry of Environment(2006) The 3rd National Ecosystem Survey Guide, NER, 298pp. (in Korean)
- Park, J.H., H.C. Lim and H.K. Ra(2007) The Ecological Study of Benthic Macroinvertebrates Community in Lake Paldang. Journal of Environmental Research 4: 52-72. (in Korean with English abstract)
- Pearson, T.H. and R. Rosenberg(1978) Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 16: 229-311.
- Pielou, E.C.(1975) Ecological Diversity. John Wiley and Sons, New York, 165pp.
- Ro, T.H. and D.J. Chun(2004) Functional Feeding Group Categorization of Korean Immature aquatic Insects and Community Stability Analysis. The 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 and Hall, New York, 488pp.
- Shannon, C.E. and W. Weaver(1949) The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana, 233pp.
- Shao, M., Z. Xie, L. Ye and Q. Cai(2006) Changes in the Benthic Macroinvertebrates in Xiangxi Following Dam Closure to Form the Three Gorges Reservoir. Journal of Freshwater of Biology 21(4): 717-719.
- Sharma, R.C., P. Chauhan and M. Bahuguna(2008) Impact of Tehri Dam on aquatic macroinvertebrate diversity of Bhagirathi, Uttarakhand (India). Journal of Environmental Science and Engineering 50(1): 41-50.
- Stoffels, R.J., K.R. Clarke and G.P. Closs(2005) Spatial scale and benthic community organisation in the littoral zones of large oligotrophic lakes: potential for cross-scale interactions. Freshwater Biology 50: 1131-1145.

- Tiemann, J.S., D.P. Gillette, M.L. Wildhaber and D.R. Edds(2004) Effects of lowhead dams on riffle-dwelling fishes and macro-invertebrates in a midwestern river. *Transactions of the American Fisheries Society* 133: 705-717
- Wanganeo, A., P. Kumar, R. Wanganeo and F. Sonallah(2011) Variation in Benthic population in two basins of Bhoj Wetland, Bhopal. *International Journal of Environmental Sciences* 1(7): 2,004-2,017.
- Ward, J.V. and J.A. Stanford(1979) *The Ecology of Regulated Streams*. Plenum Press, New York, 398pp.
- Ward, J.V.(1992) *Aquatic Insect Ecology. 1. Biology and Habitat*. John Wiley, New York, 438pp.
- Waters, T.F.(1995) *Sediment in Streams: Sources, Biological Effects, and Control*. American Fisheries Society, Monograph 7, Bethesda, Maryland, 251pp.
- Wiederholm, T.(Ed.)(1983) *Chironomidae of the Holarctic region Keys and diagnoses. Part 1-Larvae*. *Ent. Scand. Suppl.* 19, 457pp.
- Won, D.H., S.J. Kown 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)
- Yoon, I.B., D.S. Kim and H.U. Byun(1981) A Study on the Aquatic Insect Community in the Upper Stream of Nakdong River. *The Korean J. of Limnology* 14(3): 27-49. (in Korean with English abstract)
- Yoon, I.B., D.S. Kong and J.K. Ryu(1992) Studies on the Biological Evaluation of Water Quality by Benthic Macroinvertebrates. *Korean J. Environ. Biol.* 10(1): 24-39. (in Korean with English abstract)