

〈Original article〉

온배수 유입이 부소천의 저서성 대형무척추동물 군집구조에 미치는 영향

한중수 · 왕주현 · 김정은 · 정진호¹ · 배연재¹ · 최준길 · 이황구*

상지대학교 생명과학과, ¹고려대학교 환경생태공학부

The Effects of Thermal Discharge on Benthic Macroinvertebrate Communities Structure in Buso Stream

Jung Soo Han, Joo Hyun Wang, Jeong Eun Kim, Jin Ho Jung¹, Yeon Jae Bae¹,
Jun Kil Choi and Hwang Goo Lee*

Department of Biological Science, College of Science & Engineering, Sangji University,
Wonju 26339, Republic of Korea

¹Division of Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University,
Seoul 02841, Republic of Korea

Abstract - Benthic macroinvertebrates were investigated in thermal discharge that flows Buso stream region from December 2015 to February 2016, Korea. Study site was selected for the upstream, downstream relative to the mixing station and mixing station which thermal effluent flows, water quality analysis and benthic macroinvertebrates composition, taxa of EPT-group individuals, analysis of biological water quality. As a result, a total of 4,015 individuals including 50 species, 30 families, 11 orders, 4 classes, and 3 phyla were recognized. Taxa of species is Ephemeroptera 16 species (32.0%) including 6 families, the density composition was highest in 1,848 individuals (46.03%) Diptera. EPT-group occupied during the study period were a total of 1,876 individuals (46.72%) including 32 species and 17 family, lowest in the mixing station for study period. As a results of community analysis, mixing station in the *Limnodrilus gotoi* and Chironomidae sp.2, which is dominated by the analysis was *Ecdyonurus levis*, *Cincticostella levanidovae*, *Nemoura* KUa. The dominant species showed a difference in the upstream and downstream. In the functional feeding groups, in the upstream and mixing station Gathering-Collectors, downstream it was analyzed that the ratio of the highest Filtering-Collectors and decreased the ratio of Shredders increasing from upstream to downstream. Habitat orientation group is analyzed that accounted for most of the Clingers and Burrowers, from upstream to downstream toward the higher the ratio of Clingers. Biological water quality assessment results were analyzed the worst state in the mixing station with an average 2.73 (± 0.41). Correspondence analysis, correlation analysis results of water temperature and the cold-water species, as the water temperature increases were analyzed by reducing cold-water species and EPT-group.

Key words : thermal discharge, community analysis, functional group

* Corresponding author: Hwang Goo Lee, Tel. 033-730-0434,
Fax. 033-811-1030, E-mail. morningdew@sangji.ac.kr

서 론

온배수(Thermal discharges)란 발전소에서 사용한 냉각수, 온천, 폐수처리장 등에서 이용되는 자연 수온보다 높은 온도의 상태로 주변의 하천, 호소 등에 방출되는 방류수를 의미한다(Kim 2000). 수온은 하천생태계에서 물리적 특성을 결정하고 생리기능, 생물의 분포 및 진화에 영향을 미치며(Leeper and Taylor 1995), 자연 수온보다 높은 온배수는 하천 생태계의 인위적 온도변화 요인으로 하천, 호소의 수온을 상승시킨다(Kim 2000). 온배수 방류로 인한 수온 상승은 겨울철에 하천이 결빙하지 않는 현상, 어류의 집단 폐사, 온배수 방류지역에 안개가 빈번해지는 현상 등 하천 생태계의 일차생산 및 동·식물들의 종조성과 분포에 영향을 미친다(Whitehouse 1971; Waite 1981; Marcogliese *et al.* 1989). 또한 수온 상승은 하천의 용존산소량이 낮아지게 되어 하천생물들의 호흡 비율을 증가시키고, 산소 소비를 빠르게 하며, 기생충 및 질병, 독성화학물질에 대한 민감성을 증가시키는 등 부정적인 영향을 미치게 한다(Kil and Yoo 1999). 방출되는 온배수가 주위 환경에 순기능의 역할을 하는 경우에는 열이득(Thermal enrichment)이라고 하며(Moore 1958), 수온이 낮은 겨울에 동·식물의 활동을 활발하게 하여 메기, 연어, 굴양식 등에 이용되고 있다(Shin and Kim 1995). 하지만 역기능을 유발하는 열오염(Thermal pollution)은 여름철에 증식하는 우렁쉥이가 온배수 방류로 인하여 계절에 상관없이 증식한다는 보고가 있었으며(Shin and Kim 1995), 수온이 높은 여름철에 북극 민물송어의 신진대사 증가로 인해 카드뮴과 납의 섭취가 증가하고, 빠른 성장으로 인하여 조기 사망에 이르게 되는(Theurer *et al.* 1984; Kock *et al.* 1996) 등의 사례가 있다. 이처럼 하천 생태계의 수온 변화는 생물들의 변화를 야기시키고 있으며(Kwak *et al.* 2004), 도시하수 및 비점오염원에서 유출되는 오탁수는 방류되는 지역뿐만 아니라 인근 생태계에도 높은 영향을 미친다(Field 1985; Vigon 1985; Hill 1986; Meyers 1986; Higgins *et al.* 1989).

하천 생태계의 생물군집은 동·식물성 플랑크톤, 연체동물, 환형동물 등의 하등생물부터 담수어류 등과 같은 고등동물까지 다양한 생물군으로 구성되어 있으며(McCafferty 1981), 이러한 생물군 중에서 저서성 대형무척추동물은 하천 생태계의 주요 변화요인인 물리적 요인, 화학적 요인, 생물학적 요인 등의 환경변화에 민감하게 작용한다(Kim 2013). 대부분이 고착생활을 하고, 제한된 이동성을 가진 저서성 대형무척추동물은 환경의 급격한 변화에 능동적으로 대처하는 능력이 낮고(Im 2015), 비교적 뚜렷한 내성범위를 갖고 있어 환경 변화를 평가하는 지표생물로서 매우 효과적인 것으로 알려져 있다(Hynes 1960; Wiederholm 1983; Bea

et al. 2003). 수온의 증가와 같은 환경의 변화는 저서성 대형 무척추동물의 개체군과 군집구조에 영향을 미치기 때문에 종조성 및 생물상의 변화는 하천 생태계의 변화를 유추하는데 유용하게 사용된다(Gray 1981). 하천의 생물군집은 홍수와 가뭄 등의 자연적 교란의 영향(Power *et al.* 1988; Resh *et al.* 1988; Kwak *et al.* 2004) 및 공해, 보 설치, 물의 이용 등에 지장을 받고 있으며, 수중생물에 영향을 주는 수질오염(Baek *et al.* 1996) 등의 인위적 교란에 종 특이성을 나타내게 된다(Kwak *et al.* 2004, 2008; Lee 2014). 또한 수온이 증가함에 따라 저서성 대형무척추동물의 종수가 증가하지만(Jacobsen *et al.* 1997) 민감종들의 분포는 제한하는 것으로 알려져 있다(Burgmer *et al.* 1997). 이러한 문제에도 불구하고 온배수 방류에 의한 영향은 해양 생태계의 연구에 국한되어 있으며(Kim *et al.* 2000; Kim 2000, 2003; Go 2002; Lee 2016), 담수 생태계의 온배수 영향에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 경기도 포천시에 위치한 온배수 배출시설에서 방류되는 온배수가 저서성 대형무척추동물의 군집구조 및 기능군에 미치는 영향을 파악하고, 온배수의 수온이 하천 건강성에 미치는 영향을 평가하여 하천생태계의 복원 및 보전을 위한 기초자료로 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 조사시기

조사시기는 온배수의 영향이 명확하게 나타날 수 있는 저수온기를 고려하여 2015년 12월부터 2016년 2월까지 총 3회에 걸쳐 조사를 실시하였고, 조사시기는 다음과 같다.

1차 조사: 2015년 12월 11일

2차 조사: 2016년 1월 8일

3차 조사: 2016년 2월 2일

2. 조사지점

조사지역은 온배수 배출시설에서 방류하는 온배수가 유입되고 있는 경기도 포천시 영북면에 위치한 부소천을 대상으로 선정하였다. 온배수 배출시설의 시설용량은 $43 \text{ m}^3 \text{ 일}^{-1}$ 이며, 주로 수영장 및 목욕용수로 이용되고 있었다. 조사지점은 온배수가 유입되어 합류하는 혼합역(MIX ZONE)을 기준으로 상류(UPPER ZONE)와 하류(DOWN ZONE)에 각각 1개 지점을 선정하여 정량 및 정성조사를 실시하였다(Fig. 1).

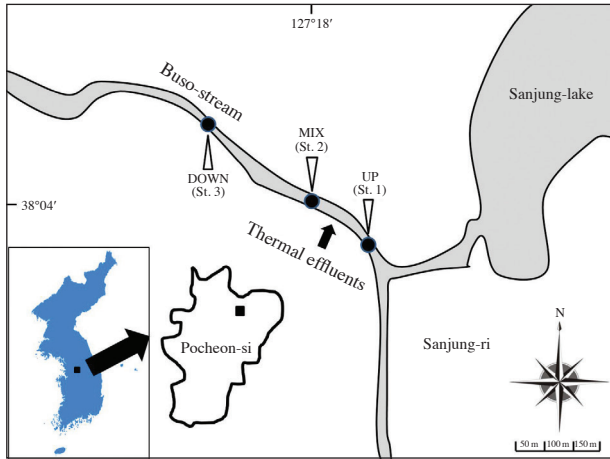


Fig. 1. Map of 3 studied sites in Buso stream region.

UPPER ZONE (St. 1) E: 38°04'00.04", N: 127°18'58.18"
 MIX ZONE (St. 2) E: 38°04'03.02", N: 127°18'49.12"
 DOWN ZONE (St. 3) E: 38°04'06.37", N: 127°18'40.36"

3. 조사방법

1) 수질 분석

수질 항목 중에서 수온, 용존산소(DO), 탁도 및 전기전도도는 멀티수질측정기인 Horiba U-22XD와 YSI를 이용하여 현장에서 직접 측정하였고, 생물학적 산소요구량(BOD) 및 화학적 산소요구량(COD_{Mn}), 총질소(T-N), 총인(T-P) 등의 항목은 현장수를 채수하여 시료병에 옮긴 후 냉장 보관하여 실험실 내에서 분석하였다.

2) 채집 및 분류

저서성 대형무척추동물의 정량채집은 유량 및 물리적 환경의 특성을 고려하여 계류형 정량채집망(Surber sampler 30 cm×30 cm, 망목 0.2 mm)을 이용하였으며, riffle, run/pool에서 지점별 총 3회를 실시하였다. 조사지점별 정확한 저서성 대형무척추동물상을 채집하기 위하여 Bottom kick net, Hand net(지름 18 mm, 망목 0.5 mm)을 사용하여 돌 밑, 수변부 등 가능한 다양한 미소서식처에서 정성채집을 병행하였다. 채집된 저서성 대형무척추동물은 500 mL Vial에 담은 후 현장에서 99% Ethanol로 고정하여 실험실에서 운반하였다. 실험실에서 유기물로부터 저서성 대형무척추동물을 골라내어 Vial(10~25 mL)에 옮겨 80% Ethanol로 보존하였다.

저서성 대형무척추동물은 현미경을 이용하여 분류목록 및 검색표를 참고로 하여 동정하였다. 수서곤충은 McCafferty (1981), Yoon (1988, 1995), Merritt *et al.* (2008), Won *et al.* (2005) 등을 참고하였고 연체동물은 Kwon (1990), 거머리류

는 Song (1995)을 참고하였다. 깔따구류(Chironomidae spp.)는 정확한 종과 속 수준의 동정이 제한되어 과 수준(Family level)으로 동정하였다.

3) EPT-group

하루살이목(Ephemeroptera), 강도래목(Plecoptera), 날도래목(Trichoptera)으로 구성된 EPT-group은 대부분 수환경이 양호한 상태일수록 높은 출현을 나타내는 것으로 알려져 있으며(Lenat 1988; Davis *et al.* 2003; Peitz 2003), 본 연구에서는 EPT-group을 이용하여 수환경을 평가하였다.

4) 군집 분석

조사시기별 정량적으로 채집된 저서성 대형무척추동물을 대상으로 출현한 분류군의 수를 비교하여 출현종수, 출현개체수, 우점종, 우점도지수(McNaughton 1967), 다양도지수(Shannon-Weaver 1949), 균등도지수(Pielou 1975), 풍부도지수(Margalef 1958)를 산출하였다.

5) 기능군 분석

저서성 대형무척추동물을 대상으로 기능군 분포를 통하여 온배수의 영향을 분석하고자 출현종을 기준으로 섭식기능군(Funtional Feeding Groups, FFGs) 및 서식기능군(Habitat Orientation Groups, HOGs)을 분석하였다(Ro and Chun 2004; Merritt *et al.* 2008).

6) 하천 건강성 평가

조사지역의 수생태계의 환경상태를 평가하기 위하여 한국 오수생물지수(Korean Saprobic Index, KSI)를 이용하여 분석하였다. KSI는 각 지표생물군의 오탁계급치 및 지표가중치의 산정을 통하여 산출하였다.

$$KSI = \frac{\sum_{i=1}^n s_i \times A_i \times G_i}{\sum_{i=1}^n A_i \times G_i}$$

KSI: 지정된 지표생물군의 일련번호

n: 출현한 지표생물군의 총수

s_i: i 지표생물군의 오탁계급치

A_i: i 지표생물군의 출현개체수

G_i: i 지표생물군의 지표가중치

7) 통계 분석

통계 분석은 SYSTAT (Version No. 11.0 for windows)을 이용하여 상·하류 지점 및 온배수가 유입되는 혼합역에서 Correspondence analysis를 통해 수온과 저서성 대형무척추동물의 관련성을 분석하였다. 수온과 개체수, 종수, 군집지수, EPT-group, 냉수성종과의 통계적인 차이와 다양한 요인

Table 1. Results of water quality at the study sites in Buso stream

	1st			2nd			3rd			Mean (\pm SD)		
	UP	MIX	DOWN	UP	MIX	DOWN	UP	MIX	DOWN	UP	MIX	DOWN
Temperature ($^{\circ}$ C)	5.02	8.05	7.6	1.74	3.04	4.09	1.74	7.83	3.27	2.83 ± 1.89	6.31 ± 2.83	4.99 ± 2.30
DO (mg L^{-1})	13.65	12.61	12.58	16.72	12.61	13.76	13.47	15.57	13.49	14.61 ± 1.83	13.60 ± 1.71	13.28 ± 0.62
BOD (mg L^{-1})	0.60	0.90	1.00	0.70	0.50	0.90	0.70	0.90	0.70	0.67 ± 0.06	0.77 ± 0.23	0.87 ± 0.15
COD (mg L^{-1})	1.20	2.20	1.80	1.60	1.50	1.33	1.80	0.90	2.00	1.53 ± 0.31	1.53 ± 0.65	1.71 ± 0.34
T-N (mg L^{-1})	1.41	2.68	2.57	2.09	2.15	3.24	1.34	4.10	2.78	1.61 ± 0.41	2.98 ± 1.01	2.86 ± 0.34
T-P (mg L^{-1})	0.01	0.08	0.06	0.004	0.02	0.16	0.01	0.28	0.10	0.01 ± 0.00	0.13 ± 0.14	0.11 ± 0.05

들 간의 상관성을 파악하기 위해 SPSS (Version No. 18.0 for windows)를 이용하여 상관관계 분석(Pearson Correlations Analysis)을 실시하였으며, 수온과 냉수성종의 관계를 분석하기 위해 Multivariate analysis를 실시하였다. 또한 Paired samples t-test를 통해 조사지점별 수질항목의 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 수질 분석

온배수가 유입되어 합류하는 혼합역 및 상·하류에서의 수질 분석 결과는 다음과 같다(Table 1). 평균 수온은 상류 지점에서 $2.83 (\pm 1.89)$ 으로 가장 낮았고, 혼합역에서 $6.31 (\pm 2.83)$ 로 가장 높은 것으로 분석되었다. 상류와 하류지점의 수온은 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며($p < 0.05$), 이는 혼합역에서 유입되는 온배수의 영향에 따른 결과로 판단된다. 평균 용존산소량(DO)은 상류에서 $14.61 (\pm 1.83)$ 로 가장 풍부한 것으로 나타났고, 혼합역과 하류지점에서는 큰 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$). 평균 생물학적 산소 요구량(BOD)은 지점별 큰 차이는 없었지만($p > 0.05$) 상류에서 $0.67 (\pm 0.06)$ 로 가장 낮은 것으로 분석되었고, 하류에서 $0.87 (\pm 0.15)$ 로 가장 높은 것으로 분석되었다. 평균 화학적 산소 요구량(COD)은 상류와 혼합역에서는 큰 차이가 나타나지 않았고($p > 0.05$), 하류에서 $1.71 (\pm 0.34)$ 로 가장 높은 것으로 분석되었다. 평균 총 질소(T-N)는 $2.98 (\pm 1.01)$, 평균 총 인(T-P)은 $0.13 (\pm 0.14)$ 으로 혼합역에서 가장 높은 것으로 나타났으며, 상류와 하류지점은 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다(T-N, $p < 0.01$; T-P, $p < 0.05$). 질소는 생물학적 고정, 농업적 질소고정 등에 의해 하천으로 유입될 수 있지만 인은 자연 상태에서 순환하지 못하고 폐수의 유입 등 인위적인 교란에 의해 하천으로 유입되며(Choi and Yu 1998), 일상생활 및 사업 활동 등으로 발생한 폐수가 공공 수역으로 방류될 경우 유기물, 질소 등의 함량이 높은 것

으로 알려져 있다(Jung *et al.* 1999). 본 조사지역에서 배출되는 온배수는 대부분 목욕용수로 사용되고 있으며, 온배수 유출로 인한 유기물의 유입이 T-N 및 T-P를 증가시키는 원인인 것으로 판단된다.

2. 종조성

조사기간 동안 출현한 저서성 대형무척추동물은 총 3문 4강 11목 30과 50종 4,015개체가 출현하였다. 분류군별 출현 비율은 하루살이목(Ephemeroptera)이 6과 16종(32.0%)으로 가장 높게 나타났으며, 파리목(Diptera) 5과 10종(20.0%), 비곤충류(Non-Insects) 7과 9종(18.0%), 날도래목(Trichoptera) 6과 8종(16.0%), 잠자리목(Odonata) 1과 2종(4.0%), 강도래목(Plecoptera), 딱정벌레목(Coleoptera) 2과 2종(4.0%), 뱀잠자리목(Megaloptera) 1과 1종(2.0%)이 출현하였다. 분류군별 개체수 출현비율은 파리목이 1,848개체(46.03%)로 가장 높게 나타났으며, 하루살이목 1,572개체(39.15%), 비곤충류 270개체(6.72%), 강도래목 168개체(4.18%), 날도래목 136개체(3.39%), 잠자리목, 뱀잠자리목 8개체(0.20%), 딱정벌레목 5개체(0.12%)가 출현하였다. 조사지점별 출현 비율은 하루살이목에서 가장 높은 것으로 나타났으며, 상류에서 5과 8종, 혼합역에서 6과 8종, 하류에서 5과 13종으로 하류지점에서 상대적으로 출현종 비율이 가장 높은 것으로 조사되었다(Fig. 2a). 날도래목은 유수생태계에서 매우 중요한 위치를 차지하는 분류군으로 알려져 있다(Hwang 2006). 본 조사시 상류와 하류지점에 비해 혼합역에서 상대적으로 매우 낮은 비율을 나타냈으며, 이는 유수생태계를 나타내는 상류 및 하류지점에서 보다 다양한 날도래목이 출현한 결과로 판단된다. 조사지점별 개체수 출현비율은 하루살이목의 경우, 상류와 하류지점에 비해 혼합역에서 상대적으로 매우 낮은 비율을 나타내고 있었으며, 반대로 파리목의 경우에는 혼합역에서 개체수 비율이 증가하는 것으로 분석되었다(Fig. 2b). 혼합역에서 개체수가 높게 나타난 파리목은 깔따구과(Chironomidae)에서 대부분 차지하고 있었으며, 깔따구과는 청정수역부터 오염된 하천까지 광범위하게 서식하

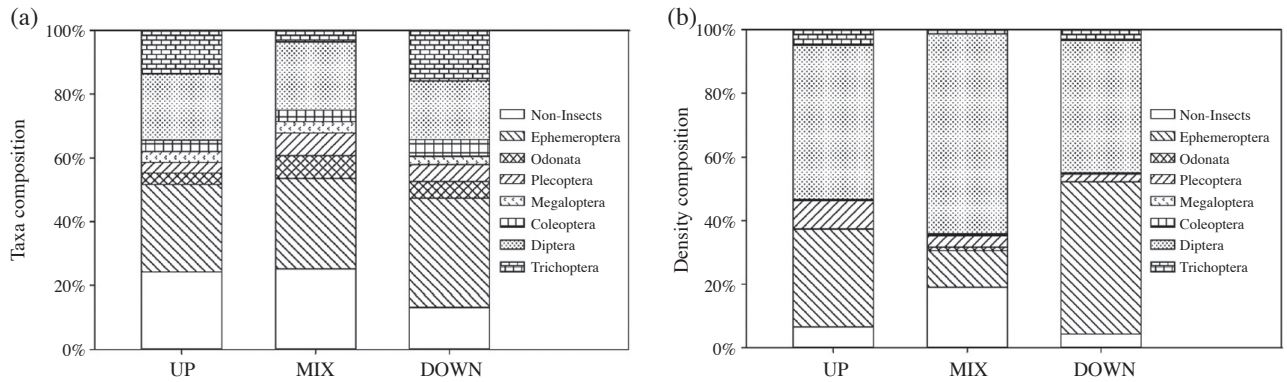


Fig. 2. Relative composition of major benthic macroinvertebrate taxa and number of individuals at the study sites in Buso stream.

는 수서곤충으로 내성범위가 강한 종으로 알려져 있다(Na 2005). 특히, 깔따구류(Chironomidae spp.)는 오염도가 높은 도시하천에서도 출현하며(Yoo *et al.* 2005; Beak 2008), 낮은 용존산소량, 넓은 온도범위 등 열악한 환경에서도 생존이 가능한 특징을 가진다(Ingersoll and Nelson 1990). 본 조사시 혼합역에서 다른 분류군에 비해 고온의 방류수에 내성이 높은 깔따구류가 상대적으로 높게 나타났으며, 이로 인하여 파리목의 개체수 비율이 증가한 것으로 판단된다. 또한 오염에 내성이 비교적 강하고, 오염된 하천에서 넓은 범위의 수온대를 가지는 비곤충류의 실지렁이(*Limnodrilus gotoi*) (Choi 2005; Lee *et al.* 2012) 역시 상·하류지점에 비해 온배수가 유입되는 혼합역에서 높은 출현율을 나타내고 있었다. 조사지점별 종조성은 우수역 및 냉수성을 선호하는 하루살이목의 부채하루살이(*Epeorus pellucidus*)와 민하루살이(*Cincticostella levanidovae*) (Lee *et al.* 2012; Kim 2013)의 경우, 고온의 방류수로 인해 수온이 상대적으로 높은 혼합역 보다 상류지점에서 높은 출현율을 나타냈으며, 혼합역에서 하류지점으로 갈수록 하루살이목의 비율이 증가하는 것으로 조사되었다. 상류지점과 혼합역에서 출현하지 않은 냉수성을 선호하는 종인 감초하루살이(*Baetis silvaticus*), 감장하루살이(*Nigrobaetis bacillus*), 몽땅하루살이(*Ecdyonurus bajkova*)는 하류지점에서만 출현하였다. 또한 혼합역에 비해 상·하류지점에서 우수역의 대표적인 분류군인 날도래목의 꼬마줄날도래(*Cheumatopsyche brevilineata*), 광택날도래 KUa(*Glossosoma* KUa), 물날도래 KUa(*Rhyacophila* KUa), 검은머리물날도래(*Rhyacophila nigrocephala*) 등의 종이 출현하였다. 조사지점별 개체수 비율이 높게 나타난 파리목의 경우, 혼합역은 깔따구류가 대부분을 차지하고 있었으나 상류와 하류지점에서는 우수역에서 서식하는 냉수성 선호종인 먹파리류(*Simulium* sp.) (Kim 2013, 2014)가 높은 개체수를 구성하고 있었다. 또한 넓은 범위의 수온대를 가지

는 비곤충류의 실지렁이는 혼합역에 비해 하류지점에서 개체수가 감소하는 것으로 나타났다. 전체적으로 상류와 하류지점에서는 콩알하루살이(*Acentrella sibirica*), 감초하루살이, 감장하루살이, 몽땅하루살이, 두점하루살이(*Ecdyonurus kibunensis*), 민강도래 KUa(*Nemoura* KUa), 먹파리류, 물날도래 KUa, 검은머리물날도래, 네모집날도래 KUa 등 냉수성을 선호하는 종의 출현이 높은 것으로 나타났으며, 반대로 온도에 내성이 강한 실지렁이 및 깔따구류와 비교적 내성의 범위가 넓은 동양하루살이(*Ephemera orientalis*), 등딱지하루살이 KUa(*Caenis* KUa) 등은 혼합역에서 높게 출현하였다. 결과적으로 혼합역에서 상대적으로 출현종 및 개체수가 가장 낮은 것으로 조사되었으며, 오염 및 수온의 내성 범위가 높은 종들이 대부분을 차지하고 있었다. 따라서 고온의 방류수가 하천에 유입될 경우, 냉수성 종에 대한 서식환경의 교란으로 인해 고수온의 영향권내에 서식하는 저서성 대형 무척추동물의 군집구조에 부정적인 영향을 미치고 있는 것으로 생각되며, 이로 인해 냉수성 종들의 분포에 제한을 받는 것으로 판단된다.

3. EPT (Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera)-group

하천생태계의 곤충강에서 주요 분류군으로 알려진 EPT-group (Lee *et al.* 2012; Kim *et al.* 2013)은 출현비율에 따라 수질의 청정도를 나타내는 것으로 알려져 있다(Kwak *et al.* 2008). 조사기간 동안 출현한 EPT-group의 개체수는 총 1,876개체로 46.72%의 출현율을 나타냈다. 조사지점별 평균 EPT-group의 비율은 혼합역에서 19.05% (± 9.58)로 가장 낮고, 하류지점에서 65.66% (± 30.27)로 가장 높은 것으로 분석되었다(Fig. 3). 조사시기별로는 1차 조사 시 상류에서 218개체(84.17%), 2차 조사 시 하류에서 574개체(82.71%), 3차 조사 시 하류에서 440개체(30.70%)로 혼합역에 비해

상류 및 하류지점에서 높은 비율을 나타내는 것으로 분석되었다. 일반적으로 하천생태계에서 EPT-group의 비율이 높을수록 양호한 상태를 나타내는 것으로 알려져 있으며 (Davis et al. 2003; Peitz 2003), 상류와 하류지점에 비해 낮은 EPT 비율을 나타낸 혼합역은 고온의 방류수로 인한 수온 교란으로 인하여 청정수역을 선호하는 EPT-group에 불리한 서식 환경을 제공하고 있는 것으로 판단된다.

4. 군집 분석

조사시기에 따른 조사지점별 우점종 분석 결과 (Table 2), 상류에서는 1차와 2차 조사 시 냉수성 선호종인 민하루살이, 민강도래 KUa가 우점하고, 3차 조사 시에는 오염에 대

한 내성이 강한 깔따구 sp2.가 우점하여 조사시기별 다소 차이가 있었다. 하류에서는 1차와 2차 조사 시 등줄하루살이 (*Uracanthella rufa*), 네점하루살이 (*Ecdyonurus levis*)가 우점하고, 3차 조사 시에는 먹파리류가 우점하는 것으로 분석되었다. 반면에 혼합역에서는 조사시기별 오염에 내성이 강하고 넓은 수온대를 가지는 실지렁이와 깔따구 sp2.가 우점하여 상·하류지점과 차이를 나타내었다.

조사지역의 군집 분석 결과 우점도지수는 평균 0.63 (± 0.11), 다양도지수는 평균 1.82 (±0.24)로 상류지점에서 상대적으로 불안정한 군집을 나타내는 것으로 분석되었다 (Table 3). 이는 조사시기 동안 가장 낮은 수온을 나타낸 상류에서 냉수성을 선호하는 부채하루살이, 민하루살이 등 하루살이목의 종들이 높게 나타난 결과이며, 혼합역과 하류에 비해 상대적으로 불안정한 군집구조를 나타낸 것으로 판단된다. 반면에 하류지점에서는 우점도지수 0.54 (±0.08), 다양도지수 2.08 (±0.15)로 상대적으로 가장 안정적인 군집구조를 유지하고 있는 것으로 분석되었다. 우점도지수는 군집의 현존량에서 특정종이 차지하는 비율을 나타내어 특정종으로 인한 생물군집의 구조와 기능을 판단하는 척도이며 (Lee et al. 2009), 저서성 대형무척추동물이 상류에서 하류로 갈수록 나타나는 종 다양성의 차이는 식생 및 수질환경 등에 따라 다양하다 (Harper et al. 1997; Jung et al. 2008). 또한 도심 하천을 제외한 대부분의 하천에서는 상류보다 하류에서 종 다양성이 높은 것으로 알려져 있으며 (Kil et al. 2010; Savić et al. 2013), 본 연구에서도 상류지점에 비해 하류지점에서 종 다양성이 높게 분석되었다. 균등도지수는 평균 0.64 (± 0.08, 상류)~0.69 (±0.14, 혼합역)로 조사지점별 차이가 적

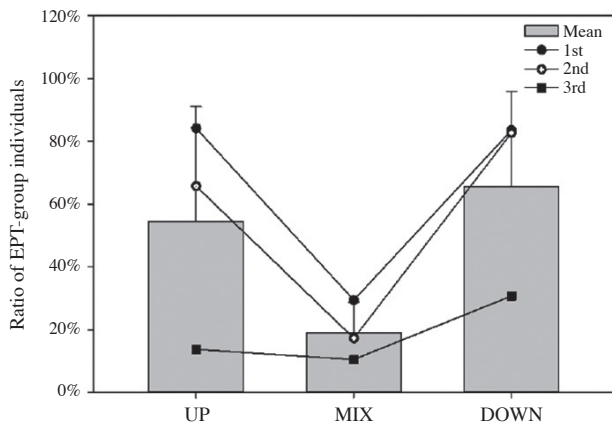


Fig. 3. EPT-ratio of individuals according to the season in the study sites.

Table 2. Dominant, subdominant species according to season at the study sites in Buso stream

		1st	2nd	3rd	Total
UP	Ds	<i>Cincticostella levanidovae</i>	<i>Nemoura</i> KUa	<i>Chironomidae</i> sp. 2	<i>Chironomidae</i> sp. 2
	Sds	<i>Epeorus pellucidus</i>	<i>Cincticostella levanidovae</i>	<i>Chironomidae</i> sp. 1	<i>Cincticostella levanidovae</i>
MIX	Ds	<i>Limnodrilus gotoi</i>	<i>Chironomidae</i> sp. 2	<i>Chironomidae</i> sp. 2	<i>Chironomidae</i> sp. 2
	Sds	<i>Chironomidae</i> sp. 2	<i>Ephemera orientalis</i>	<i>Chironomidae</i> sp. 1	<i>Chironomidae</i> sp. 1
DOWN	Ds	<i>Uracanthella rufa</i>	<i>Ecdyonurus levis</i>	<i>Simulium</i> sp.	<i>Simulium</i> sp.
	Sds	<i>Epeorus pellucidus</i>	<i>Cincticostella levanidovae</i>	<i>Chironomidae</i> sp. 2	<i>Ecdyonurus levis</i>

Ds: Dominant species, Sds: Subdominant species

Table 3. Community indices according to the season at the study sites in Buso stream

	1st			2nd			3rd			Mean (± SD)		
	UP	MIX	DOWN	UP	MIX	DOWN	UP	MIX	DOWN	UP	MIX	DOWN
DI	0.63	0.37	0.45	0.51	0.67	0.59	0.45	0.59	0.58	0.63±0.11	0.56±0.17	0.54±0.08
H'	1.92	2.37	2.24	2.01	1.68	1.95	1.55	1.81	2.04	1.82±0.24	1.95±0.36	2.08±0.15
E	0.65	0.85	0.71	0.71	0.61	0.62	0.55	0.62	0.62	0.64±0.08	0.69±0.14	0.65±0.05
RI	3.27	3.38	3.81	2.98	2.82	3.36	2.58	3.34	3.58	2.94±0.33	3.18±0.31	3.58±0.22

DI: dominance, H': diversity index, E: evenness, R: richness

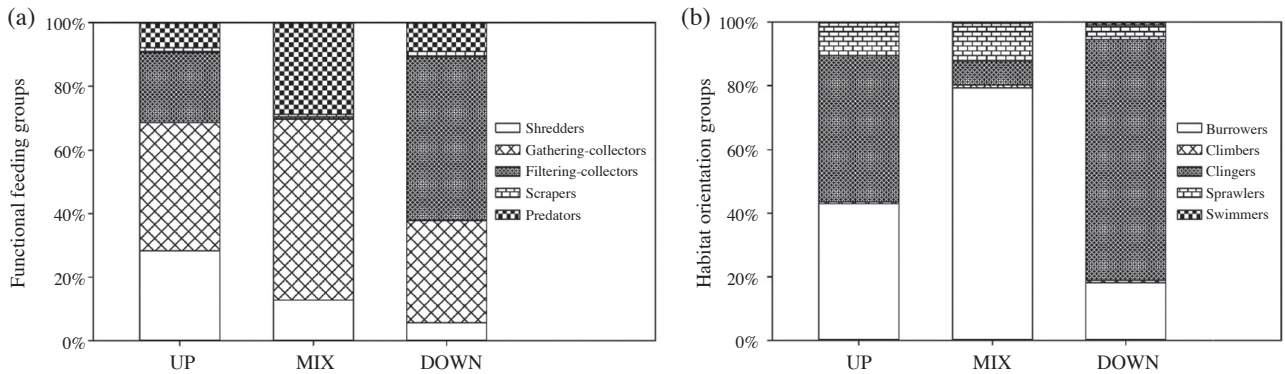


Fig. 4. Composition of functional feeding groups (FFGs) and habitat orientation groups (HOGs) of aquatic insects at the study sites in Buso stream.

은 것으로 나타났으며, 풍부도지수는 평균 $2.94 (\pm 0.33, \text{상류}) \sim 3.58 (\pm 0.22, \text{하류})$ 로 우점도지수 및 다양도지수와 마찬가지로 상류지점 및 혼합역에 비해 하류지점에서 출현종이 풍부한 것으로 분석되었다.

5. 기능군 분석

수서곤충의 섭식기능군 (FFGs)과 서식기능군 (HOGs)의 구성은 서로 다른 하천유역에서 나타나는 서식처의 환경적 요인과 먹이자원의 특성을 나타낸다 (Cummins 1973; Ward 1992; Williams and Feltmate 1992; Kil *et al.* 2010). 섭식기능군은 상류와 혼합역에서 Gathering-Collectors의 비율이 높고 하류에서는 Filtering-Collectors의 비율이 상대적으로 높은 것으로 나타났으며, 상류에서 하류로 갈수록 Shredders의 비율은 감소하는 것으로 분석되었다 (Fig. 4a). 대형입상유기물질 (Coarse Particulate Organic Matter: $> 1.0 \text{ mm}$)이 풍부한 상류에서 Shredders의 출현율이 높고, 하류로 갈수록 미세입상유기물질 (Fine Particulate Organic Matter: $> 0.5 \mu\text{m} \sim 1.0 \text{ mm}$)이 증가하는 것으로 알려져 있다 (Allan 1995; Bae *et al.* 2003). 본 연구에서도 낙엽과 같은 대형입상유기물질이 높은 상류지점에서 Shredders의 비율이 혼합역과 하류지점에 비해 높은 것으로 분석되었다. 미세입상유기물질을 증가시키는 요인으로 공장폐수, 축산폐수 등의 점오염원과 특정 배출지점이 없는 비점오염원이 있으며 (Charles and William 1992; Lee *et al.* 1994; Jung *et al.* 1997), 본 연구에서는 온배수 방류로 인한 유기물질의 유입으로 미세입상유기물질이 증가하여 유속이 낮은 혼합역에서 Gathering-Collectors가 높고 유속이 높은 하류로 갈수록 Filtering-Collectors가 증가한 것으로 판단된다. Predators는 상류와 하류지점에 비해 혼합역에서 가장 높은 것으로 분석되었고, Scrapers는 조사지점별 유사한 점유율을 나타내었다. 우리나

라의 하천은 발원지역을 제외하고 대부분의 하천이 연중 햇빛에 노출되어 있는 상태이며, 1차생산력이 높아 Scrapers의 비율은 비교적 일정하게 나타나는 것으로 알려져 있다 (Shin *et al.* 2006).

서식기능군 분석 결과 상류지점은 Clingers와 Burrowers가 대부분을 차지하고 있었으며, 혼합역은 Burrowers가 매우 높고, 하류지점은 Clingers의 비율이 상대적으로 높아지는 것으로 분석되었다 (Fig. 4b). 이는 하류지점에서 유속에 적응력이 높은 네점하루살이, 부채하루살이, 민하루살이, 검은머리물날도래 등이 출현한 결과로 판단된다. 유속이 느리면 Clingers는 감소하고, Burrowers와 수초의 표면을 기어오르는 소수의 Climbers와 하천의 바닥을 기어다니는 Sprawlers가 증가하는 것으로 알려져 있다 (Yoon *et al.* 1992). 본 연구에서는 비교적 유속이 느린 혼합역에서 Clingers의 비율이 낮고, Burrowers와 Sprawlers의 비율이 상대적으로 높은 것으로 분석되었다.

6. 하천 건강성 평가

조사지역의 환경상태를 평가하기 위해 한국오수생물지수 (Korean Saprobic Index, KSI)를 이용하였다. KSI 분석 결과 조사시기별 혼합역에서 가장 높은 지수값을 나타내는 것으로 분석되었다 (Fig. 5). 조사지점별 평균 KSI 지수는 혼합역에서 $2.73 (\pm 0.41)$ 으로 C등급의 수환경을 나타내어 가장 불량한 것으로 분석되었다. 상류지점은 $1.12 (\pm 1.25)$ 로 B등급의 양호한 환경상태를 나타냈으며, 하류지점은 $0.71 (\pm 0.38)$ 로 최적의 환경상태인 A등급을 나타내어 가장 양호한 수환경으로 분석되었다. 1차 조사 시 상류에서 0.33으로 A등급, 2차 조사 시 상류에서 0.47로 A등급, 3차 조사 시에 하류에서 1.15로 B등급의 가장 양호한 환경상태를 나타내는 것으로 분석되었다. 전체적으로 혼합역에서 가장 불량한 환경상

태를 나타내었고, 상류와 하류지점에서는 조사시기별로 다소 차이가 있는 것으로 분석되었지만 혼합역에 비해 상대적으로 건강한 환경상태를 나타내고 있는 것으로 분석되었다. 수온의 증가로 인한 수환경의 변화는 저서성 대형무척추동물의 개체군과 군집구조에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며(Gray 1981), 본 연구에서도 고온의 온배수 방류로 인한 수온의 변화는 수질에 민감한 저서성 대형무척추동물의 군집구조 및 서식처 환경에 교란을 유발하는 요인으로 작용하여 하천 건강성에 부정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

7. 통계 분석

온배수 유입으로 인한 수온의 변화와 조사지점별 서식하는 저서성 대형무척추동물과의 대응 분석 결과(Fig. 6) EPT-group은 수온이 낮은 상류와 하류지점에서 관련성이 있는 것으로 분석되었다. 잠자리목은 수온이 높은 혼합역과 관련성이 있는 것으로 나타났고, 비곤충류와 파리목은 수온과의 관련성이 적은 것으로 분석되었다. 수온이 가장 낮은 상류지점에서 날도래목이 관련성이 있는 것으로 분석되었으며, 애우묵날도래 KUa(*Apatania* KUa)가 수온과의 관련성이 가장 높은 것으로 분석되었다. 하류에서는 강도래목과 하루살이목이 관련성이 있는 것으로 분석되었고, 강도래목의 녹색강도래(*Sweltsa nikkoensis*)가 가장 관련성이 높은 것으로 나

타났다. 한편, 하루살이목의 등딱지하루살이 KUa는 혼합역과 관련성이 있는 것으로 분석되었다. 비교적 수온의 영향이 적은 잠자리목과 관련성이 높게 분석된 혼합역은 냉수성 종 분포에 있어 상·하류지점과 차이가 있는 것으로 분석되었다.

수온과 개체수, 종수, 군집지수, EPT-group, 냉수성 선호 종과의 상관성 분석 결과(Table 4), 우점도, 개체수, EPT 비율, 냉수성 선호종은 수온과의 음의 상관관계를 나타내는 것으로 분석되었다. 반면 다양도, 균등도, 종수는 수온과 양의 상관관계를 나타내었으며, 풍부도는 유의한 양의 상관관계를 나타내는 것으로 분석되었다. 또한 수온이 증가함에 따라 냉수성 선호종의 분포가 감소하는 것으로 분석되었다(Fig. 7). 수온의 증가는 저서성 대형무척추동물의 종수를 증가시키고, 민감종들의 분포를 제한하여 수생생물의 변화를 야기하는 것으로 알려져 있다(Jacobsen *et al.* 1997; Kwak *et al.* 2004; Burgmer *et al.* 2007). 본 연구 결과 온배수 유입으로 인한 수온의 변화는 냉수성종들의 다양한 분포를 제한하고,

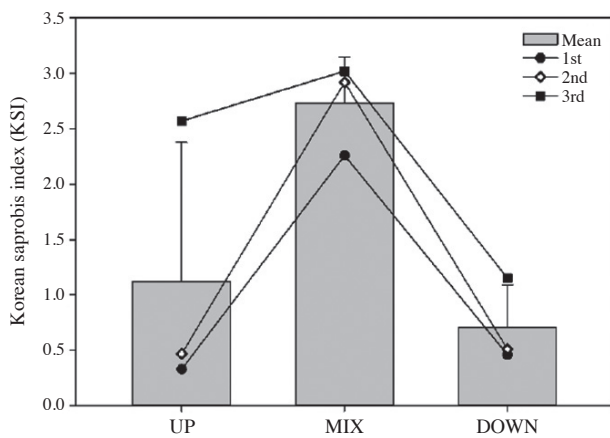


Fig. 5. KSI index according to the season at the study sites in Buso stream.

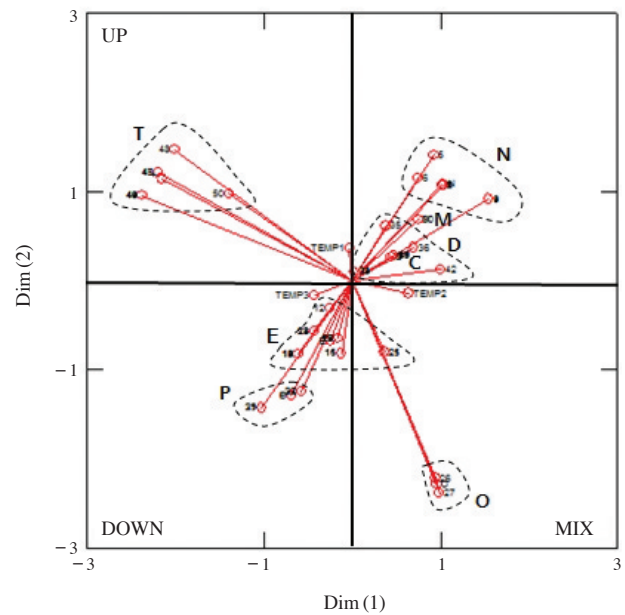


Fig. 6. Benthic macroinvertebrates corresponding with water temperature by correspondence analysis. N: Non-insects, E: Ephemeroptera, O: Odonata, P: Plecoptera, M: Megaloptera, C: Coleoptera, D: Diptera, T: Trichoptera.

Table 4. Correlations coefficient analysis for each item according to the study sites in Buso stream

	WT	Ind.	Specise	DI	H'	E	R	EPT	CS
WT	1.000	-0.314	0.090	-0.536	0.597	0.559	0.679*	-0.102	-0.241

N=9, *P<0.05, W-T: Water temperature, Ind.: No. of individuals, Species: No. of species, DI: Dominance, H': Diversity index, E: Evenness, R: Richness, EPT: No. of EPT-group, CS: No. of cold-water species

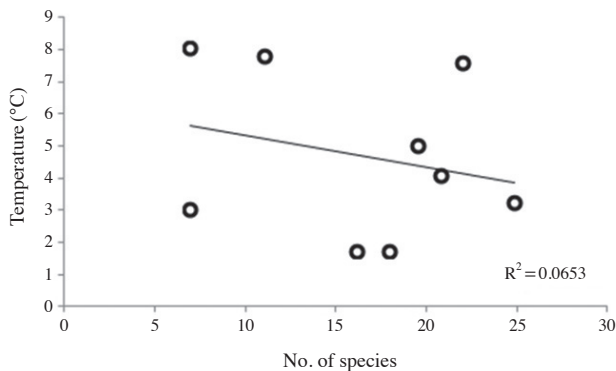


Fig. 7. The relationship between water temperature and cold-water species.

수생태계에 교란을 야기시키고 있는 것으로 생각되며, 저서성 대형무척추동물의 군집구조에 부정적인 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 2015년 12월부터 2016년 2월까지 고온배수 배출시설에서 온배수가 유입되는 경기도 포천시 영북면에 위치한 부소천 일대에서 조사를 실시하였다. 조사지점은 온배수가 유입되는 혼합역과 혼합역을 기준으로 상·하류 지점을 선정하여 수질 분석 및 저서성 대형무척추동물의 종 조성, EPT-group 개체 비율, 군집 분석, 기능군 분석, 생물학적 하천 건강성을 평가하였다. 조사기간 동안 출현한 저서성 대형무척추동물은 총 3문 4강 11목 30과 50종 4,015개체이며, 출현종 비율은 하루살이목이 6과 16종 (32.00%), 개체수 비율은 파리목이 1,848개체 (46.03%)로 가장 높게 나타났다. 하루살이-강도래-날도래목 (EPT-group)이 조사기간 동안 총 17과 32종 1,876개체 (46.72%)가 출현하였으며, 1차에서 3차 조사기간 동안 혼합역에서 가장 낮은 출현율을 나타냈다. 군집 분석 결과 혼합역에서 비교적 넓은 수온대를 가지는 실지렁이 (*Limnodrilus gotoi*)와 깔따구 sp2. (*Chironomidae* sp.2)가 우점하는 것으로 분석되었으며, 네점하루살이 (*Ecdyonurus levis*), 민하루살이 (*Cincticostella levanidovae*), 민강도래 KUa (*Nemoura* KUa) 등이 우점종으로 분석된 상·하류 지점과 차이를 나타냈다. 섭식기능군 분석 결과 상류와 혼합역에서 Gathering-Collectors, 하류에서는 Filtering-Collectors의 비율이 가장 높은 것으로 분석되었고, 상류에서 하류로 갈수록 Shredders의 비율이 감소하였다. 서식기능군은 Clingers와 Burrowers가 대부분을 차지하였으며, 상류에서 하류로 갈수록 Clingers의 비율이 높아지

는 것으로 분석되었다. 하천 건강성 평가 결과 평균 2.73 (± 0.41)으로 혼합역에서 가장 불량한 상태를 나타내는 것으로 분석되었다. 수온과 냉수성종의 상관성 분석 결과 수온이 증가할수록 냉수성 선호종 및 EPT-group은 감소하는 것으로 분석되었다. 혼합역에 유입되는 고온의 방류수는 하천생태계에 교란을 일으키는 요인으로써 저서성 대형무척추동물 군집과 냉수성 선호종 및 민강종의 분포에 부정적인 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 (과제번호: 20150305103-00, 과제명: 방류수 수온으로 인한 수생태계 영향실태 조사 및 관리방안 마련 연구 I)의 지원으로 수행되었다.

REFERENCES

- Allan DJ. 1995. Stream Ecology: Structure and function of running waters. School of natural resources and environment. University of Michigan. pp. 343-377.
- Bae YJ, DH Won, DH Hwang, YH Jin and JM Hwang. 2003. Community composition and functional feeding groups of aquatic insects according to stream order from the Gapyeong creek in Gyeonggi-do, Korea. Korean J. Limnol. 36:21-28.
- Beag CO, SG Kang and KS Lee. 1996. A status of agricultural water quality and improvable countermeasure in Korea. Korean J. Environ. Agriculture. 15:506-519.
- Beak MJ. 2008. Temperature-dependent development and successive rearing of *Glyptotendipes tokunagai* (Diptera: Chironomidea). University of Seoul Women's Press. Seoul.
- Burgmer T, H Hillebrand and M Pfenninger. 2007. Effects of climate-driven temperature changes on the diversity of freshwater macroinvertebrates. J. Oecologia. 151:93-103.
- Charles MC and ML William. 1992. Water quality and agriculture Mississippi experiences. J. Soil Water Con. 47:220-223.
- Choi HS and CM Yu. 1998. A study on the epilithic algae in a stream drained from hot springs. Korean J. Env. Hlth. Soc. 24:131-136.
- Choi YH. 2005. The Bloodworm (*Limnodrilus socialis*) using capacity for treatment of aquaculture wastewater. University of Chungju National Press. Chungju.
- Cummins KW. 1973. Trophic relations of aquatic insects. Ann. Rev. Entomol. 18:183-206.

- Davis SD, SW Golladay, G Vellidis and CM Pringle. 2003. Macroinvertebrate biomonitoring in intermittent coastal plain stream impacted by animal agriculture. *J. Environ. Quality*. 32:1036-1043.
- Field R. 1985. Urban runoff: Pollution sources, control and treatment. *American J. Water Res. Bull.* 21:197-206.
- Go JL. 2002. The Effects of thermal effluents from a power plant on marine environments and recovery process of phytoplankton with temperature gradients. University of Gwangju Press. Gwangju.
- Gray JS. 1981. Detecting pollution induced changes in communities using the log-normal distribution of individuals among species. *Mar. Pollut. Bull.* 10:173-176.
- Harper D, J Mekotova, S Hulme, J White and J Hall. 1997. Habitat heterogeneity and aquatic invertebrate diversity in floodplain forests. *Global Ecology and Biogeography Letters*. 6:275-285.
- Hill AR. 1986. Stream nitrate-n loads in relation to variations in annual and seasonal runoff regimes. *American J. Water Res. Bull.* 22:829-839.
- Higgins DA, AR Tiedemann, TM Quigley and DB Marx. 1989. Stream flow characteristics of small watersheds in the blue mountains of Oregon. *American J. Water Res. Bull.* 25:1131-1149.
- Hwang JH. 2006. A taxonomic study of the caddisfly in Korea. University of Korea Press. Seoul.
- Hynes HBN. 1960. The biology of polluted water. University of Liverpool press. England.
- Im SH. 2015. The Analysis of benthic macroinvertebrates community structure in the Saemangeum water. University of Hanseo Press. Seosan.
- Ingersoll C and MK Nelson. 1990. Testing sediment toxicity with *Hyalella azteca* (Amphipod) and *Chironomus riparius* (Diptera). *American Society of Testing and Materials*. Philadelphia. pp. 93-110.
- Jacobsen D, R Schultz and A Encalada. 1997. Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and latitude. *Fresh Water Biology*. 38:247-261.
- Jung SW, VV Nguyen, QH Nguyen and YJ Bae. 2008. Aquatic insect faunas and communities of a mountain stream in sapa highland, northern Vietnam. *Korean J. Limnol.* 9:219-229.
- Jung YS, JE Yang, YK Joo, JY Lee, YS Park, MH Choi and SC Choi. 1997. Water quality of streams and agricultural wells related to different agricultural practices in small catchments of the Han river basin. *Korean J. Environ. Agric.* 16:199-205.
- Jung YT, DB Lee, KB Lee, MY Kim, BH Kim, MK Choi and ST Park. 1999. Influence of spa sewage on the water and soil pollution and restoration: I. Influence of spa sewage on the pollution of stream water and agricultural land. *Korean J. Environ. Biol.* 17:337-344.
- Kil BS and HG Yoo. 1999. Ecological study on aquatic plant communities in stream of thermal wastewater. *Korean J. Environ. Biol.* 17:139-146.
- Kil HK, DG Kim, SW Jung, YH Jin, JM Hwang, KS Bae and YJ Bae. 2010. Impacts of impoundments by low-head and large dams on benthic macroinvertebrate communities in Korean streams and rivers. *Korean J. Limnol.* 43:190-198.
- Kim GS, YC Choi and MJ Lee. 2000. The estimation of marine environmental capacity for the reception of cooling water from HTPP in Southern water of Che-ju island using a 3-D hydrodynamic model. *Korean J. Soc. Mar. Environ. Eng.* 3:1-12.
- Kim JK. 2000. The effect of primary production by thermal effluent of the Hadong power plant. University of Chonnam National Press. Gwangju.
- Kim JS, HG Lee and JK Choi. 2013. An ecological comparison of benthic macroinvertebrate community in downstream region of large dams. *Korean J. Environ. Ecol.* 27:52-63.
- Kim JY. 2013. Development of korean thermal index using benthic macroinvertebrates. University of Kyonggi Press. Suwon.
- Kim SW. 2014. Zooplankton and phytoplankton in the Hyuncheon wetland, Gangwon-do, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 32:371-376.
- Kim YH. 2000. Thermal power station and marine ecosystems: Is thermal, why is the problem. Jeonpa-Science publisher Press. Seoul.
- Kim YN. 2003. The state of water quality in the vicinity of Young-gwang nuclear power plant and the recovery of phytoplankton from the stress of thermal effluents. University of Gwangju Press. Gwangju.
- Kock G, M Triendl and R Hofer. 1996. Seasonal patterns of metal accumulation in arctic char (*Salvelinus alpinus*) from an oligotrophic alpine lake related to temperature. *Canadian J. Fisheries and Aquatic Sci.* 53:780-786.
- Kwak IS, MY Song and TS Chon. 2004. The effects of natural disturbances on benthic macroinvertebrate. *Korean J. Limnol.* 37:87-95.
- Kwak IS, SA Jeong and GS Jeong. 2008. Community composition on stream benthic macroinvertebrate in Daegu. *Korean J. Environ. Biol.* 26:47-55.
- Kwon OK. 1990. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea. Mollusca(I). Ministry of Education Press. Seoul.
- Lee CK. 2014. The Characteristics on emergence of benthic organisms related to water quality of Osipcheon stream in Samcheok. University of Kangwon National Press. Sam-

- cheok.
- Lee HG, SW Jung, DG Kim and YJ Bae. 2012. Effects of acid drainage from abandoned coal mines on benthic macroinvertebrate communities in the upper reaches of the Nakdong river. *Korean J. Limnol.* 45:72-81.
- Lee JS, BY Kim and KD Woo. 1994. Chemical composition of precipitation in Suwon area and its effect on crop development. *Korean J. Environ. Agric.* 13:31-38.
- Lee MJ, JY Park, JK Seo, HJ Lee, EW Seo and JE Lee. 2009. Community structure and cluster analysis of the benthic macroinvertebrates in inflow and outflow area of ten reservoirs of the Nakdong river system. *Korean J. Life Sci.* 19:1758-1763.
- Lee SK. 2016. Responses by phytoplankton communities to temperature elevation in the vicinity of condenser effluent from nuclear power plants and mixotrophic ecology of a newly described dinoflagellate species, *Ansanella granifera*. University of Seoul National Press. Seoul.
- Leeper DA and SE Taylor. 1995. Plankton composition, abundance and dynamics in a severely stressed cooling reservoir. *J. Plankton Res.* 17:821-843.
- Lenat DR. 1988. Water quality assessment of streams using a qualitative collection method for benthic macroinvertebrate. *North American J. Benthol. Soc.* 7:222-233.
- Marcogliese DJ, GW Esch and RV Dimoch. 1989. Long-term comparison of zooplankton communities between thermally-altered and ambient areas of a north carolina cooling reservoir. *J. Elisha Mitchell Sci. Soc.* 105:1-13.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *General Systems bull.* University of Louisville. *Systems Sic. Ins.* 3:36-71.
- McCafferty WP. 1981. *Aquatic entomology: the fisherman's and ecologist's illustrated guide to insects and their relatives.* Science Book International. Boston. 448pp.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California grassland. *Letters to Nature* 216:168-169.
- Merritt RW, KW Cummins and MB Berg. 2008. *An Introduction to the aquatic insects of north america.* 4th Ed. Kendall/Hunt Publish. 1158pp.
- Meyers PC. 1986. Non point-source pollution control: the USDA position. *J. Soil and Water Con. Soc.* 41:156-158.
- Moore EW. 1958. Thermal pollution of streams. *Ind & Eng. Chem.* 50:1-4.
- Na KB. 2005. *Taxonomy of the Chironomidae (Diptera, insecta) in seoul-Gyeonggi area, Korea.* University of Seoul Women's Press. Seoul.
- Peitz DG. 2003. Macroinvertebrate monitoring as an indicator of water quality: Status report for Niobrara river. *Agate Fossil Beds National Monument.* pp. 1-13.
- Pielou EC. 1975. *Ecological diversity-john wiley & sons.* New York. 165pp.
- Power ME, RJ Stout, CE Cushing, PP Harper, FR Hauer, WJ Matthews, PB Moyle, B Statzner, IR Wais and De Badgen. 1988. Biotic and abiotic controls in river and stream communities. *North American J. Benthol.* 7:456-479.
- Resh VH, AV Brown, AP Covich, ME Gurtz, HW Li, GW Minshall, SR Reice, AL Sheldon, JB Wallace and RC Wissmar. 1988. The role of disturbance in stream ecology. *North American J. Benthol.* 7:433-455.
- Ro TH and DJ Chun. 2004. Functional feeding group categorization of korean immature aquatic insects and community stability analysis. *Korean J. Limnol.* 37:137-148.
- Savić A, V Randelović, M Đorđević, B Karadžić, M Đokić, and J Krpo-Četković. 2013. The influence of environmental factors on the structure of caddisfly (Trichoptera) assemblage in the Nišava river (central balkan peninsula). *Knowledge and management of aquatic ecosystems.* 3:1-18.
- Shanon CE and W Weaver. 1949. *The mathematical theory of communication.* University of Illinois Press. Urbana. 233pp.
- Shin HG and RJ Kim. 1995. *Environmental science.* Donga publisher Press. pp. 225-226.
- Shin HS, SC Park, JK Kim, SJ Kim, JH Park, JS Choi and JK Choi. 2006. Community analysis based on functional feeding group of aquatic insect in Wonju stream. *Korean J. Environ. Eco.* 20:259-266.
- Song GR. 1995. *Systematics of the Hirudinea (Annelida) in Korea.* University of Korea Press. Seoul.
- Theurer FD, KA Voos and WJ Miller. 1984. Instream water temperature model. *Instream flow information paper* 16. Fish and wildlife Service. FWS/OBS-84/15.
- Vigon BW. 1985. The status of nonpoint source pollution: its nature, extent, and control. *American. J. Water Res. Bull.* 21:179-184.
- Waite SW. 1981. Effects of cooling lake perturbations upon the zooplankton dynamics of lake sangchris. *Ill. Nat. Suv. Bull.* 32:342-357.
- Ward JV. 1992. *Aquatic insects ecology.* John Wily & Sons. New York.
- Whitehouse JW. 1971. Some aspects of the biology of lake Trawsfynydd; a power station cooling pond. *Hydrobiol.* 38:253-288.
- Wiederholm I. 1983. Chironomidae of the Holarectic region, keys and diagnoses: Part I. larvae. *Entomol. Scand. Suppl.* 19:1-457.
- Williams DD and BW Feltmate. 1992. *Aquatic insects.* CBA International, Oxon, UK.
- Won DH, SJ Kown and YC Jun. 2005. *Aquatic insects of Korea.* Korea Ecosystem Service. 415pp.

Yoo DH, JO Son, HH Mo, YJ Bae and KJ Jo. 2005. Comparing acute and swimming endpoints to evaluate the response of two freshwater midge species, *Chironomus yoshimatsui* and *Chironomus riparius* to heavy metals. Korean J. Environ. Biol. 23:98-105.

Yoon IB. 1988. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Vol. 30. Aquatic insects. Ministry of Education of Korea. 840pp.

Yoon IB. 1995. Aquatic insects of Korea. Jeonghaengsa pub-

lisher Press. Seoul. 262pp.

Yoon IB, DS Kong and JK Ryu. 1992. ARTICLES : Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (1)-Saprobic valency and indicative value. Korean J. Soc. Environ. Biol. 10:24-39.

Received: 3 March 2017

Revised: 16 March 2017

Revision accepted: 27 March 2017