

한강 수계 청평호의 저서성 대형무척추동물 군집 구조 모니터링 및 수환경 평가

천승필 · 전영철* · 권순직* · 김명철** · 박혜경*** · 공동수*** · 원두희*

고려대학교 환경생태공학과 · *(주)생태조사단 부설 두희자연환경연구소 ·

SOKN자연환경보전연구소 · *국립환경과학원 한강물환경연구소

Monitoring of Benthic Macroinvertebrate Community Structure and Evaluation of Water Conditions for Lake Chung-Pyong in the Han River Water System

CHUN, Seung-Phil · Yung-Chul JUN* · Soon-Jik KWON* · Myoung-Chul KIM** ·
Hye-Kyeong PARK*** · Dong-Soo KONG*** · Doo-Hee WON*

Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University

*Doohee Institute of Ecological Research, Korea Ecosystem Service Inc.

**Institute of Nature and Environment Conservation, SOKN

***Han River Environment Research Center,
National Institute of Environmental Research

ABSTRACT

A series of ecological monitoring surveys was conducted to examine the characteristics of benthic macroinvertebrate community and evaluate the water conditions for lake Chung-Pyong from August 2008 to April 2009. The benthic macroinvertebrate taxa represented total 84 species belonging to 52 families, 18 orders, 7 classes, 4 phyla from the qualitative and quantitative sampling. Among these, a total of 67 aquatic insect species(about 82%) were comprised of the major groups in all communities. The relative abundance of Ephemeroptera, Trichoptera, Odonata and Mollusca was 20%, 16%, 16% and 13%, respectively. According to the results, Chironomids were major dominant taxa. The primary dominant species was Chironomidae sp.1(92.18~23.28%) followed by Chironomidae sp.6 (65.52~46.69%), *Parafossarulus manchouricus*(61.29%), *Limnodrilus gotoi*(47.83%), *Ecdyonurus levis*(47.27%), Tanypodinae sp.(45.51%). The average values of dominant index(DI), diversity index(H'), evenness index(J'), and species richness index(R1) were 0.78(±0.13), 1.63(±0.62), 0.64 (±0.20), and 1.35(±0.52), respectively. The water quality of all the sites was oligosaprobic in average.

Key words : ecological monitoring, benthic macroinvertebrates, lake Chung-Pyong

서론

담수는 인간생활에 필수적인 자원이다. 우리나라의 경우 대부분의 담수 자원을 지표수로부터 얻고 있으며, 천연 호소의 발달이 미흡한 관계로 거의 모든 지표수는 강과 하천으로 되어 있다. 담수 생태계는 호수나 연못과 같은 정수 생태계(Lentic Ecosystem)와 강과 하천과 같은 유수 생태계(Lotic Ecosystem)로 대별된다(Allan, 1995; Horne & Goldman, 1994; Hynes, 1970; Minshall, 1988).

담수 생태계(Freshwater Ecosystem)는 생물 구성원과 비생물 구성원(환경)으로 구성된다. 생물 구성원은 다시 생산자, 소비자 및 분해자로 구분할 수 있으며, 각각의 영양단계(trophic level)가 서로 유기적 관계로 연결되어 먹이 사슬(food chain)을 이루고, 이들이 망처럼 얹혀서 먹이망(food web)을 형성한다. 생산자는 조류(Algae)와 대형 식물(Macrophyte), 소비자는 저서성 대형무척추동물, 어류 및 양서류, 분해자는 박테리아와 곰팡이와 같은 미생물로 대표된다. 소비자의 경우 저서성 대형무척추동물의 대부분(약 95%)이 수서 곤충으로서 이들이 담수 생태계의 생물의 종다양성과 풍부성을 거의 결정하게 된다(Ward, 1992).

담수 생태계의 먹이 사슬을 구성하는 생물 중 수서 곤충이 대부분을 차지하는 저서성 대형무척추동물(Benthic Macroinvertebrates)은 하천이나 호소에서 가장 다양하고 풍부한 무리일 뿐만 아니라, 영양단계의 저차 소비자(1차 또는 2차 소비자가 대부분)의 역할을 하기 때문에 구성원으로서 매우 중요하다(Hynes, 1970; Ward, 1992; William & Feltmate, 1992). 또한 이들은 담수 생태계의 다양한 환경요인과 서식처에 따라 적응방식이 다양하고, 수질 환경에 대하여 민감하게 반응하는 종이 많으므로 순수생태학적 연구뿐만 아니라, 지표종으로 이용되는 등 응용연구에도 좋은 재료가 된다(Boon, 1988; Dudgeon, 1994, 1995; Minshall, 1988; Reice & Wolemberg, 1993; Rosenberg & Resh, 1993).

우리나라의 담수 생태계는 1960년대 이래 산업화와 도시화의 영향으로 이화학적 수질 환경이 크게 악화되었고, 생물 서식처가 많이 훼손되었다. 특히 인구의 도시 집중으로 우리나라에는 현재 정도의 차이는 있지만 인위적 영향을 받지 않은 하천이나 호소가 거의 없다고 해도 과언이 아니다. 도시화에 따른 담수 생태계의 영향은 그 안에 서식하는 생물군집에도 지대한 영향을 끼쳐 왔으며, 그로 말미암아 담수 생태계의 생태학적 기능도 크게 변모되었다(배 등, 1996; 윤 등, 1993, 1994).

청평호는 북한강 중류 수계에 축조된 청평댐에 의해 이루어진 인공호수로서 수체가 하류 쪽으로 계속 흘러 내려가는 하천형 호소이다. 특히, 북한강 수계의 최 하단에 형성된 청평호의 수질은 한강 하류에 공급되는 수자원의 수질을 직접적으로 좌우하는 요인으로 중요성을 가진다. 청평호에서 방류된 물은 북한강, 남한강, 경안천의 세 지류가 합류하는 팔당호로 유입되어 수도권 일원의 모든 생활용수, 공업용수 및 농업용수로 사용되는 중요한 수자원이나 일부 정체수역에서는 일정기간 동안 부영양화가 일어나고 있어 수자원 및 수생태계의 보전을 위한 면밀한 관리가 요구되고 있다.

청평호와 같은 호소 형태의 정수역에서 높은 밀도로 서식하는 저서성 대형무척추동물은 영양단계 및 먹이 사슬 관계에 중요한 역할을 수행하는 생태적 구성원으로서 강의 상류로부터 유입되어 점차 퇴적되는 많은 유기물과 토양입자 및 오염물질 등을 영양원 및 서식처로 이용하게 된다. 최근에 청평호와 그 지류에서 출현하는 연체동물 중 생체량이 큰 부족류는 호소의 저층에 서식하면서 각 지류에

서 유입되는 유기물의 적체를 일으키는 기능을 하기 때문에 이들의 사체는 호소 전체의 부영양화를 일으키는 중요한 오염원이 되기도 하며, 또한 부식질을 분해시키는 데에 간접적인 기능을 담당하고 있으므로 호소의 저층에서는 매우 중요한 구성원이다. 따라서 청평호의 저서성 대형무척추동물의 시공간적 출현 현황과 추이 등의 비교를 통한 군집 변동 모니터링을 수행하여 정량적인 관계를 파악함으로써 청평호의 전체적인 생태계 파악 및 관리에 필요한 기초자료를 제공하고, 종합적인 보전대책 수립에 일조할 수 있을 것으로 본다.

조사지역 및 조사시기

1. 조사지역

청평댐을 기준으로 가평천 유입부 및 남이섬에 각 1개 지점, 홍천강과 홍천강 유입부에 각 1개 지점, 그리고 미원천과 미원천 유입부에 각 1개 지점의 총 6개 지점을 선정하여 현장에서 정량 및 정성 채집을 실시하였다(그림 1).



Fig. 1. Sampling sites in the survey area, lake Chung-Pyeong.

- St. 1 : 경기도 가평군 가평읍 읍내리 (가평천 유입부)
- St. 2 : 경기도 가평군 가평읍 이화리 (남이섬)
- St. 3 : 강원도 춘천시 남면 박암리 (홍천강)
- St. 4 : 강원도 춘천시 남면 관천리 (홍천강 유입부)
- St. 5 : 경기도 가평군 설악면 선촌리 (미원천 유입부)
- St. 6 : 경기도 가평군 설악면 선촌리 (미원천)

2. 조사시기

본 조사는 2008년 7월부터 2009년 4월까지 총 3회에 걸쳐 계절별로 실시하였다.

조사 및 분석방법

1 채집방법

저서성 대형무척추동물의 채집은 각 조사지점의 0.5m와 1.0m에서는 dredge(폭: 40cm, 망목: 0.25 mm)를 사용하여 0.5m를 끄는 방식으로 2회씩 정량채집을 하였고, 2.0m, 3.0m, 4.0m에서는 Eckman dredge(가로: 18cm, 세로: 18cm)를 사용하여 3회 또는 상황에 따라 2회씩 정량채집을 하여 모든 채집 물을 500mL 플라스틱 vial에 넣는 방식으로 진행되었다. 채집된 저서성 대형무척추동물 시료는 현장에서 ethyl alcohol 95%에 고정하였고, 실험실로 운반·sorting한 후 80% ethanol에 보존하였다.

2. 동정(Identification)

저서성 대형무척추동물의 각 분류군 중 수서 곤충의 경우는 윤(1988, 1995) 등을 참고로 하여 동정하였다. 특히 곤충류 중 꼬마하루살이류와 깔다구류는 외부형태, 특히 체장, 체색, mouth part 형태, abdominal tube의 유무, 강모의 형태 등의 특징을 고려하여 임의로 과 수준(family level)에서 동정하였다. 또한, 갑각류 및 환형동물류 등은 권오길(1990), 이상협(1992) 등을 이용하여 동정하였다. 동정된 학명의 체계 및 국명은 한국곤충명집(한국곤충학회, 1994)에 의거하여 작성하였다.

3. 군집 구조분석

군집의 안정도, 다양성 및 풍부성을 파악하기 위해 군집 분석은 정량 채집된 자료를 이용하여 다 음 공식에 의해 산출된 결과를 이용한다. 군집의 변화는 다분화된 스트레스의 영향 또는 오염에 대해 종합적으로 반응된 결과이며, 환경으로부터 받는 축적된 영향을 설명할 수 있는 현상으로 나타나게 된다.

- 우점도 지수 (Dominance Index: *DI*)
 - 군집의 단순도를 측정하는 방법으로 각 조사 지점별로 개체수 현존량에 의하여 산출하였다 (McNaughton, 1967).
- 종풍부도 지수 (Species Richness Index: *RI*)

- 지수값이 높을수록 군집의 종구성이 풍부함을 나타내는 것으로 Margalef(1958)의 지수를 이용하여 산출하였다.
- 종다양도 지수 (Species Diversity Index: H')
 - 종다양도 지수는 군집의 종풍부도와 개체수의 상대적 균형성을 나타내는 것으로 군집의 복잡성을 나타낸다. 종다양도는 Margalef(1958)의 정보이론에 의하여 유도된 Shannon-Weaver function(Pielou, 1966)을 사용하여 산출하였다.
- 균등도 지수 (Evenness Index: J')
 - 군집내 종구성의 균일한 정도를 나타내는 지수로 Pielou(1975)의 식을 사용하여 산출하였다.

$\text{우점도 지수}(DI) = \frac{N_1 + N_2}{N}$	McNaughton(1967)
$\text{종풍부도 지수}(RI) = \frac{S-1}{\ln N}$	Margalef(1958)
$\text{다양도 지수}(H') = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i, \quad p_i = \frac{N_i}{N}$	Shannon-Weaver(1949)
$\text{균등도 지수}(J') = \frac{H'}{\log_2 S}$	Pielou(1975)

4. 'ESB'를 이용한 수환경 평가

저서성 대형무척추동물을 이용한 수환경 평가 방법으로 제시된 “저서성 대형무척추동물 생태점수 (ESB, 환경부 2001)”를 이용하여 각 조사지점에 대한 수환경을 평가하였다(표 1).

$$ESB = \sum_{i=1}^4 (S_i \cdot Q_i)$$

- * ESB : Ecological score of benthic macroinvertebrate community
(저서성 대형무척추동물 생태점수)
- * Q_i : Environmental quality score of individual taxa
(개별 분류군에 대한 환경질 점수)
- * S_i : Species frequency to i environmental quality
(i 환경질에 대한 출현종수 합)

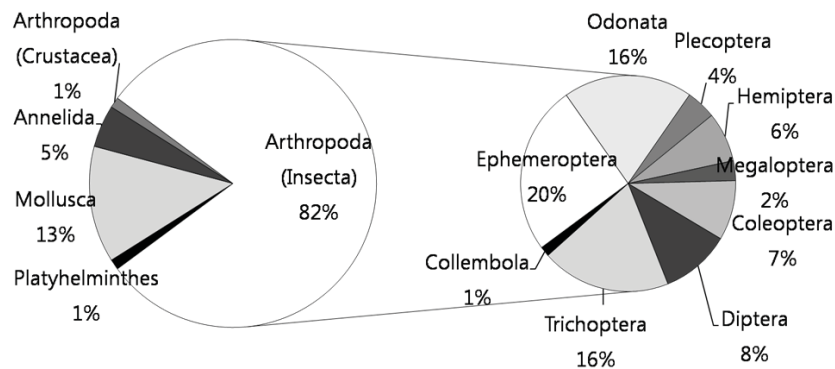
조사결과

1. 저서성 대형무척추동물상

청평호의 전 조사지점에서 출현한 전체 저서성 대형무척추동물의 종수는 총 4문 7강 18목 52과 84종이며, 이 중 수서 곤충류가 67종으로 82%를 차지하였다. 곤충류 중에서도 하루살이목이 17종으로 전체의 20%를 차지하여 가장 큰 비중을 차지하였으며, 그 다음으로 날도래목 및 잠자리목이 각

Table 1. Evaluation criteria for environmental quality and water saprobity

Evaluation of environmental quality				Evaluation of water saprobity	
ESB	Environmental quality	Needed action for watershed	Grade of water quality	ESB	Saprobity
≥ 81	Very high	Top priority conservation	I	≥ 51	Oligosaprobic
61~80	High	Priority conservation			
41~60	Good	Conservation	II	21~50	β -mesosaprobic
26~40	Poor	Improvement			
13~25	Bad	Priority Improvement	III	9~20	α -mesosaprobic
12 \geq	Very bad	Top priority Improvement	IV~V	8 \geq	Polysaprobic

**Fig. 2.** Species composition of major taxa at entire survey areas.

16%, 파리목 8%, 딱정벌레목 7%, 노린재목 6%, 강도래목 4%, 뱀잠자리목 2%, 툴토기목 1%의 순이었다. 비곤충류는 연체동물문 13%, 환형동물문 5%, 편형동물문과 절지동물문의 갑각강이 각각 1%를 점유하는 것으로 조사되었다(그림 2).

2. 출현종수의 변동

각 조사지점을 통하여 나타난 평균 출현종수는 29.33(± 8.87)종으로 조사되어 조사지점간의 환경 차이가 다소 큰 것으로 조사되었다. 각 조사 지점 중에 지점 3에서 41종으로 가장 많은 종이 출현하였고, 가장 적은 종이 출현한 지점은 지점 5으로 19종이 출현하였다(표 3).

각 조사 지점별 주요 출현 분류군의 종 조성을 보면 전체적으로 하루살이목과 파리목의 점유율이 비교적 높게 나타나고, 청평댐의 상류에서 하류로 갈수록 연체동물문을 중심으로 하는 비곤충류의 비중이 다소 높아지는 양상을 보였다(그림 3).

Table 2. Species list of benthic macroinvertebrates occurring at entire survey areas

Species name	Species name
Phylum Platyhelminthes	Class Hirudinia
Class Turbellaria	Order Rhynchobdellida
Order Tricladida	Family Glossiponidae
Family Planariidae	<i>Alboglossiphonia lata</i>
<i>Phagocata</i> sp.	<i>Helobdella stagnalis</i>
	Family Hirudinidae
	<i>Hirudo nipponia</i>
Phylum Mollusca	Phylum Arthropoda
Class Gastropoda	Class Crustacea
Order Mesogastropoda	Order Decapoda
Family Bithyniidae	Family Atyidae
<i>Gabbia misella</i>	<i>Cardinia denticulata denticulata</i>
<i>Parafossarulus manchouricus</i>	
Family Pleuroceridae	
<i>Semisulcospira coreana</i>	
<i>Semisulcospira gottschei</i>	Class Insecta
Order Basommatophora	Order Ephemeroptera
Family Lymnaeidae	Family Siphonuridae
<i>Radix auricularia</i>	<i>Siphonurus chankae</i>
Family Physidae	Family Baetidae
<i>Physa acuta</i>	<i>Baetis ursinus</i>
Family Planorbidae	<i>Cloeon dipterum</i>
<i>Hippeutis cantori</i>	<i>Procloeon pennulatum</i>
Class Bivalvia	Family Heptageniidae
Order Mytiloida	<i>Ecdyonurus bajkovae</i>
Family Mytilidae	<i>Ecdyonurus kibunensis</i>
<i>Limnoperna forunei</i>	<i>Ecdyonurus levis</i>
Order Unionoida	<i>Epeorus pellucidus</i>
Family Unionidae	Family Leptophlebiidae
<i>Anodonta arcuiformis</i>	<i>Choroterpes altiocularis</i>
<i>Unio douglasiae</i>	Family Potamanthidae
Order Veneroida	<i>Potamanthus(Potamanthodes) formosus</i>
Family Corbiculidae	<i>Potamanthus (Potamanthus) luteus oriens</i>
<i>Corbicula fluminea</i>	<i>Rhoenanthus (Potamanthindus) coreanus</i>
	Family Ephemeridae
Phylum Annelida	<i>Ephemera orientalis</i>
Class Oligochaeta	Family Ephemerellidae
Order Neoligochaeta	<i>Ephacrerella longicaudata</i>
Family Tubificidae	<i>Ephemerella dentata</i>
<i>Limnodrilus gotoi</i>	<i>Uracanthella rufa</i>

Table 2. Continued

Species name	Species name
Family Caenidae <i>Caenis nishinoae</i>	Order Megaloptera
Order Odonata	Family Sialidae <i>Sialis</i> KUa
Family Coenagrionidae <i>Cercion calamorum</i> <i>Ischnura asiatica</i> Coenagrionidae sp.	Family Corydalidae <i>Protohermes grandis</i>
Family Platycnemididae <i>Copera annulata</i>	Order Coleoptera
Family Calopterygidae <i>Calopteryx japonica</i>	Family Dytiscidae <i>Laccophilus lewisius</i>
Family Gomphidae <i>Anisogomphus maacki</i> <i>Burmagomphus</i> KUa <i>Davidius lunatus</i> <i>Sieboldius albardae</i> Gomphidae sp.	Family Gyrinidae <i>Gyrinus japonicus</i>
Family Libellulidae <i>Leucorrhinia dubia orientalis</i> <i>Orthetrum albistylum speciosum</i>	Family Hydrophilidae <i>Cercyon</i> sp.
Family Corduliidae <i>Macromia</i> sp.	Family Elmidae <i>Optioservus variabilis</i>
Order Plecoptera	Family Psephenidae <i>Psephenoides</i> KUa Psephenidae sp.
Family Nemouridae <i>Amphinemura</i> KUb	Order Diptera
Family Perlidae <i>Neoperla quadrata</i> <i>Paragnetina flavotincta</i>	Family Tipulidae <i>Antocha</i> KUa
Order Hemiptera	Family Ceratopogonidae Ceratopogonidae sp.
Family Corixidae <i>Micronecta sedula</i> <i>Micronecta</i> sp.	Family Chironomidae Chironomidae sp.1 Chironomidae sp.2 Chironomidae sp.4 Chironomidae sp.6
Family Belostomatidae <i>Muljarus japonicus</i>	Tanypodinae sp.
Family Nepidae <i>Nepa</i> sp.	Order Trichoptera
	Family Polycentropodidae <i>Plectrocnemia</i> KUa
	Family Ecnomidae <i>Ecnomus tenellus</i>
	Family Hydropsychidae <i>Hydropsyche orientalis</i>
	Family Rhyacophilidae <i>Rhyacophila nigrocephala</i>

Table 2. Continued

Species name	Species name
Family Limnephilidae	Family Molannidae
<i>Apatania</i> KUa	<i>Molanna moesta</i>
<i>Hydatophylax nigrovittatus</i>	Family Leptoceridae
<i>Nemotaulius</i> sp.	<i>Ceraclea</i> KUb
<i>Notopsyche</i> KUa	<i>Mystacides</i> KUa
Family Lepidostomatidae	
<i>Goerodes</i> KUa	Order Collembola
Family Odontoceridae	Family (TBD)
<i>Psilotreta kisoensis</i>	Collembola sp.
Total species number	84

Table 3. Species number of benthic macroinvertebrates at each survey site

Taxa / Site	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	Total
Platyhelminthes	-	-	-	1	-	-	1
Mollusca	-	5	7	6	5	3	11
Annelida	3	2	2	1	2	2	4
Crustacea	-	-	1	1	1	-	1
Insecta	Ephemeroptera	10	5	9	2	4	11
	Odonata	2	1	5	2	2	8
	Plecoptera	1	-	1	1	-	1
	Hemiptera	-	3	2	3	-	2
	Megaloptera	-	1	1	-	-	-
	Coleoptera	2	1	2	-	-	2
	Diptera	6	4	5	4	5	6
	Trichoptera	4	2	6	2	-	4
	Collembola	1	-	-	-	-	-
	Sub-total	26	17	31	15	11	34
Total	29	24	41	24	19	39	84

조사시기별 전체 조사 지점에 대한 평균 출현종수는 4월에 평균 16종으로 가장 높았고, 10월에 평균 11종으로 가장 낮았으나, 편차는 약 2종에 불과해 조사시기에 따른 출현종수의 변동은 크지 않은 것으로 나타났다(그림 4).

3. 출현 개체수의 변동

청평호의 전 조사 지점에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 단위면적당 평균 개체수 현존량을 살펴보면 수서곤충류가 전체의 97%를 차지하였으며, 그 중에서도 파리목이 약 113개체/m²로 전체의

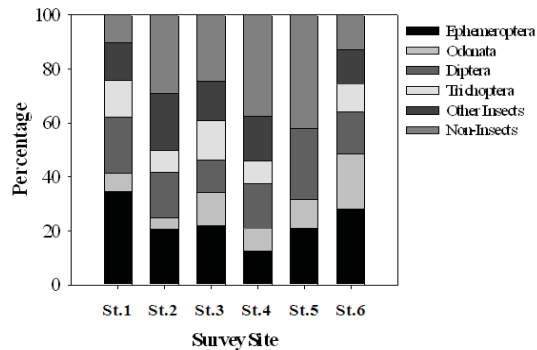


Fig. 3. Species composition of major taxa at each survey site.

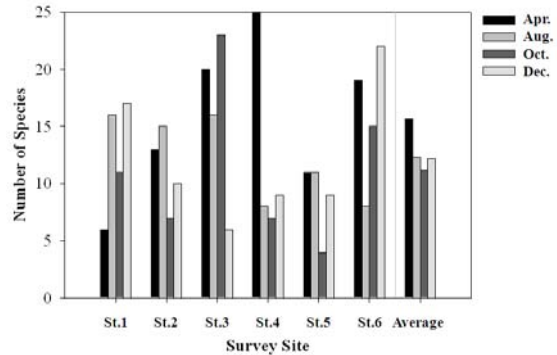


Fig. 4. Species number of benthic macroinvertebrates by each survey period.

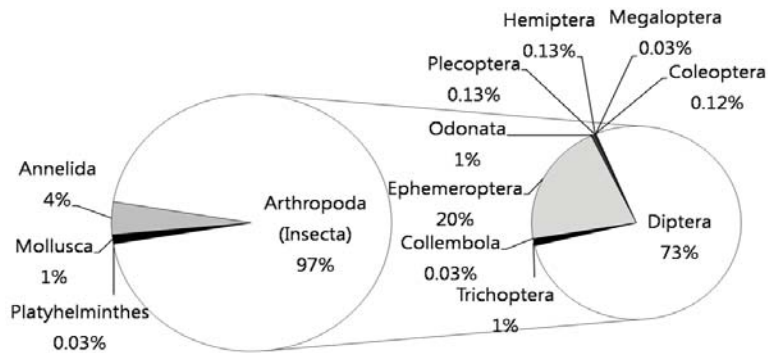


Fig. 5. Percentage of individual numbers of major taxa at entire survey areas.

73%, 그 다음으로 하루살이목이 20%를 차지해 이 두 종이 전체 평균 개체수의 93%의 압도적인 점유율을 나타내었다(그림 5). 그 뒤로는 환형동물문 4%, 연체동물문, 날도래목 및 강도래목이 각 1% 정도를 차지하였으며, 그 밖의 분류군은 1% 미만으로 극히 미약한 수준을 보였다(그림 5).

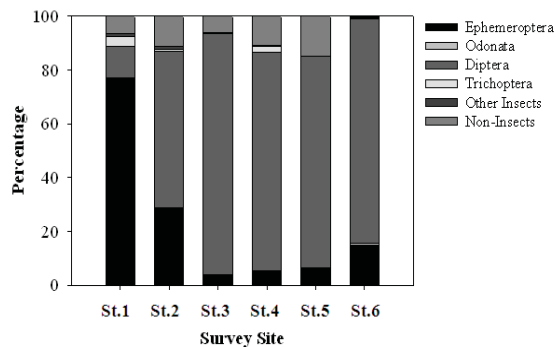
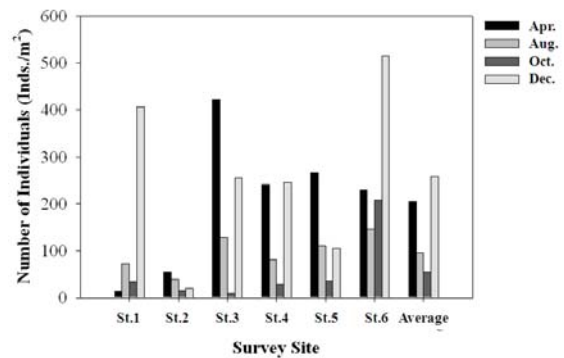
각 조사 지점에서 평균 약 154(±91.90)개체/m²가 출현하였고, 편차가 다소 크게 나타난 것은 조사 지점 간의 서식처의 환경차가 크다는 것을 의미한다. 이러한 개체수 현존량은 하천 생태계의 구조와 기능에 영향을 미치는 인자로 이의 부족은 안정적인 영양단계의 구성을 억제하여 생태계의 안정성에 중대한 영향을 미치는 한 요인이 될 수도 있다.

전체 조사 지점 중에 지점 3에서 약 277개체/m²가 출현하여 최대였고, 지점 2에서 약 40개체/m²로 가장 적은 개체수 현존량을 나타내었는데, 이는 이 지역의 유량 변동이 심하고 토사의 유출에 의한 퇴적 및 공사 등에 의한 영향으로 저서생물의 서식환경이 매우 불안정함을 의미하며, 또한 일반적으로 대량 발생을 하는 깔따구류와 실지렁이의 출현이 상대적으로 적어 다른 지점에 비해 현저히 낮은 개체수 현존량을 보이는 것으로 판단된다(표 4).

각 조사 지점별 주요 분류군의 개체수 현존량의 백분율 출현빈도를 살펴보면 전체적으로 파리목과,

Table 4. Individual number of major taxa at each survey site (Inds./m²)

Taxa / Site	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.5	Average
Platyhelminthes		0.63					0.05
Mollusca		3.02	1.56	4.38	1.67	0.52	1.74
Annelida	6.04	0.94	15.63	15.42	24.48	0.42	6.30
Crustacea							
Ephemeroptera	71.35	11.56	10.73	9.58	11.15	38.65	29.92
Odonata	0.21	0.10	0.31	0.31	0.31	2.19	0.76
Plecoptera	0.52						0.13
Hemiptera		0.21		0.10		0.21	0.13
Megaloptera		0.10					0.03
Insecta							
Coleoptera	0.31	0.10				0.21	0.15
Diptera	10.73	23.44	248.23	145.83	137.71	215.63	112.79
Trichoptera	3.54	0.21	0.21	4.48		1.35	1.72
Collembola	0.10						0.03
Sub-total	86.77	35.73	259.48	160.31	149.17	258.23	145.66
Total	92.81	40.31	276.67	180.10	175.31	259.17	153.75

**Fig. 6.** Percentage of individual numbers of major taxa at each survey site.**Fig. 7.** Individual numbers of benthic macroinvertebrates by each survey period.

하루살이목의 두 특정 분류군에 의한 점유율이 두드러짐을 알 수 있다(그림 6).

조사시기별 전체 조사 지점에 대한 평균 개체수 현존량은 4차 조사(12월)에서 평균 258개체/m²으로 가장 높았고, 3차 조사(9월)에서 평균 56개체/m²으로 가장 낮았다. 편차는 약 94개체/m²로 큰 편이었는데, 이는 앞서 언급한 바와 같이 시기에 따라 유량 변동의 폭이 크고, 토사의 유출과 퇴적, 공사 등 이화화적인 환경 변화에 서식환경이 쉽게 영향을 받는다는 것을 의미한다(그림 7).

4. 우점종 및 우점율의 변동

청평호 정수대의 우점종을 보면 지점 1을 제외한 전 조사 지점에서 연중 지속적으로 깔따구류(Chironomidae sp.1, Chironomidae sp.6, Tanypodinae sp.)가 제1우점종에 해당하며, 특히 지점 5과 지점 6에서는 연중 내내 우점종과 아우점종 모두를 깔따구류가 차지하여 하류 수계의 환경에 잘 적응한 것으로 나타났다. 지점 1은 각 조사시기별로 실지렁이(*Limnodrilus gotoi*), 깔따구류, 하루살이류, 그리고 쇠우렁이(*Parafossarulus manchouricus*) 등이 제1우점종으로 나타나 상대적으로 다른 지점에 비해 생물상이 다양한 것으로 판단되며, 그 외의 조사 지점에서도 깔따구류 외에 대체로 하루살이류, 실지렁이, 쇠우렁이 등이 높은 점유율을 보였다(표 5).

Table 5. Dominant species and dominant rates at each survey site by each survey period

Site	Dominant species			
	1st dominant species	(%)	2nd dominant species	(%)
St. 1	Apr. <i>Limnodrilus gotoi</i>	47.83	Chironomidae sp.1	17.39
	Aug. Chironomidae sp.1	23.28	<i>Limnodrilus gotoi</i>	16.38
	Oct. <i>Ecdyonurus levis</i>	47.27	Chironomidae sp.6	16.36
	Dec. <i>Parafossarulus manchouricus</i>	61.29	<i>Ecdyonurus levis</i>	11.06
St. 2	Apr. Chironomidae sp.1	59.55	<i>Ephemera orientalis</i>	20.22
	Aug. Chironomidae sp.1	30.16	<i>Ephemera orientalis</i>	23.81
	Oct. Chironomidae sp.1	65.38	<i>Ecdyonurus levis</i>	15.38
	Dec. Chironomidae sp.1	29.03	<i>Ephemera orientalis</i>	22.58
St. 3	Apr. Chironomidae sp.6	54.37	Chironomidae sp.1	23.56
	Aug. Chironomidae sp.1	36.89	<i>Ephemera orientalis</i>	31.07
	Oct. Chironomidae sp.1	68.75	<i>Parafossarulus manchouricus</i>	6.25
	Dec. Chironomidae sp.1	92.18	Chironomidae sp.6	4.65
St. 4	Apr. Chironomidae sp.1	51.81	Tanypodinae sp.	20.73
	Aug. Chironomidae sp.1	59.54	Tanypodinae sp.	26.72
	Oct. Chironomidae sp.1	80.43	<i>Limnodrilus gotoi</i>	4.35
	Dec. Chironomidae sp.1	91.37	Chironomidae sp.6	3.81
St. 5	Apr. Chironomidae sp.1	51.64	Tanypodinae sp.	17.84
	Aug. Chironomidae sp.6	56.74	Chironomidae sp.1	28.09
	Oct. Chironomidae sp.6	65.52	Tanypodinae sp.	18.97
	Dec. Chironomidae sp.1	86.39	Chironomidae sp.2	4.14
St. 6	Apr. Chironomidae sp.1	52.73	Tanypodinae sp.	22.95
	Aug. Chironomidae sp.1	87.18	Chironomidae sp.6	4.70
	Oct. Chironomidae sp.6	46.69	Tanypodinae sp.	33.73
	Dec. Tanypodinae sp.	45.51	Chironomidae sp.1	31.67

5. 군집지수의 변화

청평호의 각 조사 지점별 군집지수는 표 6 및 그림 8과 같다.

우점도 지수(DI)는 가장 근본적이고 고전적인 지수로서 군집 내에서 가장 높은 출현도를 보이는 두 종의 개체수에 대한 총 개체수의 상대적 구성비율을 의미하는데, 지수값이 높을수록 특정종이 차지하는 비율이 높음을 나타낸다. 즉, 지수값이 1에 가까울수록 생태계 내의 군집이 매우 단순함을 의미하며, 반대로 생물다양성과 안정성이 높은 생태계에서의 우점도 지수는 낮게 나타난다. 각 조사 지점별 우점도 지수는 전 조사시기에 걸쳐 대체적으로 지점 1에서 가장 낮고 하류로 갈수록 점차 높아져 지점 6에서 가장 높은 양상을 보였다.

다양도 지수(H')는 출현한 각 종의 개체수와 전체 출현 개체수의 상대적인 출현도를 나타내는 것으로 지수값이 높을수록 다양한 종이 안정적으로 서식하고 있음을 의미한다. 각 조사 지점별 다양도 지

Table 6. Community index at each survey site by each survey period

Site		Dominance index (DI)	Diversity index (H')	Evenness index (J')	Richness index (R1)
St. 1	Apr.	0.77	1.53	0.84	0.94
	Aug.	0.44	3.02	0.86	2.60
	Oct.	0.74	1.75	0.64	1.73
	Dec.	0.67	2.30	0.63	2.20
St. 2	Apr.	0.77	1.90	0.66	1.66
	Aug.	0.58	2.32	0.87	1.65
	Oct.	0.91	1.29	0.81	1.51
	Dec.	0.56	2.41	0.86	2.24
St. 3	Apr.	0.78	1.82	0.65	0.99
	Aug.	0.71	2.08	0.70	1.50
	Oct.	0.89	1.21	0.78	1.24
	Dec.	0.97	0.51	0.21	0.76
St. 4	Apr.	0.75	1.88	0.61	1.40
	Aug.	0.94	1.21	0.75	0.97
	Oct.	0.89	1.00	0.48	1.11
	Dec.	0.93	0.75	0.28	1.07
St. 5	Apr.	0.70	1.88	0.74	0.90
	Aug.	0.84	1.654	0.61	1.23
	Oct.	0.94	1.11	0.89	0.97
	Dec.	0.91	0.88	0.32	1.24
St. 6	Apr.	0.76	2.00	0.62	1.57
	Aug.	0.94	0.78	0.32	0.95
	Oct.	0.79	1.80	0.56	1.68
	Dec.	0.76	2.13	0.55	0.34

수는 조사 지점간 편차가 다소 크긴 하지만 전 조사기간에 걸쳐 우점종과는 달리 평균적으로 지점 1에서 최대이며 하류로 갈수록 점차 낮아지는 것으로 나타났다.

균등도 지수(J')는 종 조성이 어느 정도 균일한가를 보여주는 것으로 안정적인 생태계에서는 높은 값을 나타낸다. 즉, 어느 장소에서 분포하는 종들이 완전히 균등하다면 그 값은 1이 되며, 이는 하천 생태계에 서식하고 있는 생물종이 이루고 있는 군집 구조가 안정화된 것으로부터 기인한다고 볼 수 있다. 전 조사시기에 걸쳐 각 조사 지점별로 종다양도 지수와 유사한 양상을 나타내고 있는 것으로 볼 수 있다.

종풍부도 지수($R1$)는 출현한 생물의 총 종수와 총 개체수를 고려하여 존재하는 종의 구성이 어느 정도 높은가(또는 어느 정도 풍부한가)를 가늠하는 척도가 되는 지수로 종다양도 지수와 마찬가지로 값이 높을수록 하천에 서식하는 생물종에 의한 생태적 안정성이 높음을 의미한다. 종다양도 지수와 비교할 때 민감도가 뛰어나 공간적으로 여러 곳에 위치하는 군집의 생물다양성을 상호 비교하는 데에

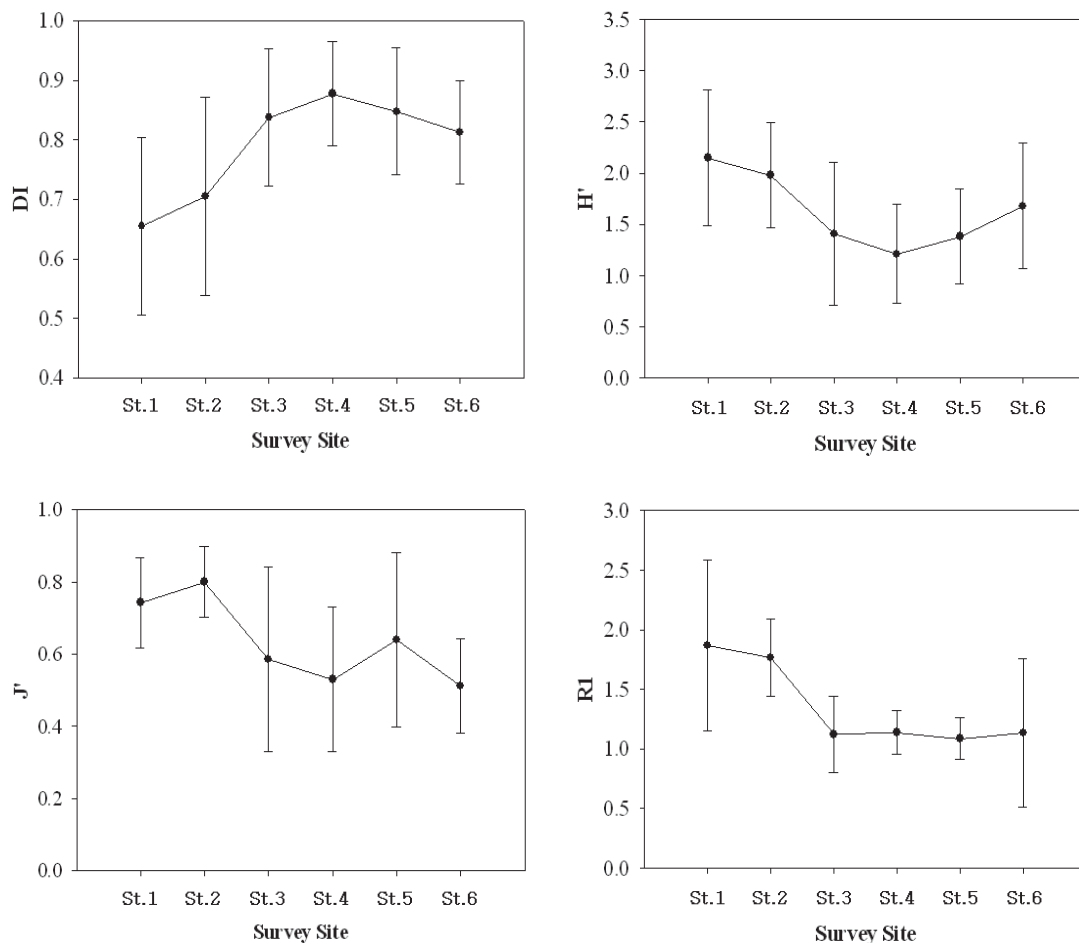


Fig. 8. Variation of community index at each survey site.

Table 7. Estimation of environmental quality and water saprobity at each site

Site	ESB	Environmental quality	Needed action for watershed	Grade of water quality	Water saprobity
St.1	65	High	Priority conservation	I	Oligosaprobic
St.2	47	Good	Conservation	II	β -mesosaprobic
St.3	91	Very high	Top priority conservation	I	Oligosaprobic
St.4	22	Bad	Priority improvement	III	α -mesosaprobic
St.5	33	Poor	Improvement	II	β -mesosaprobic
St.6	70	High	Priority conservation	I	Oligosaprobic

매우 유용한 지수이다. 전 조사시기에 걸쳐 각 조사 지점별 분석 결과를 보면 역시 전체적으로 다양도 지수 및 균등도 지수와 유사한 양상으로 나타났다.

6. 'ESB'를 이용한 청평호의 수환경 평가

저서성 대형무척추동물 생태점수(ESB)를 이용한 수환경 평가에서 청평호는 조사 지점에 따라 다양한 환경상태를 보여주고 있으며, 그 평가 결과는 표 7과 같다.

본 생태점수(ESB)의 수치는 다소 세밀한 정성조사의 진행 여부에 따른 종 출현도가 매우 중요한 영향을 미칠 수 있는 바 일부 지점 간 그에 따른 결과치가 유도될 수 있으나 전체적인 환경의 질적 수준을 파악하는데는 무리가 없다고 사료된다. 지점 3에서 가장 높은 91의 값을 보였고, 지점 6이 70으로 우선 보호 수역에 해당되는 것으로 나타났다. 반면, 지점 4는 우선 개선 수역에 해당되는 매우 낮은 값을 나타냈다.

결 론

금번 조사를 통하여 청평호의 6개 조사 지점에서 나타난 저서성 대형무척추동물은 총 4문 7강 18목 52과 84종으로 나타났다. 전체적으로 수서곤충류가 67종으로 82%를 차지하였으며, 비곤충류는 연체동물문 13%, 환형동물문 5%, 편형동물문과 절지동물문의 갑각강이 각각 1%를 점유하는 것으로 조사되었다.

본문에서 기술되지는 않았으나 저서성 무척추동물의 섭식기능군(Functional Feeding Group)의 조성을 살펴볼 때, 주로 Gatherer/Collector의 섭식 특성을 나타낸다고 보여지며, 정수성에서 딱정벌레류와 노린재류를 중심으로 한 Predator의 일정서식도 생각할 수 있다. 수서 곤충을 포함한 저서성 무척추동물들의 호소내 영양단계의 역할에서 하위단계의 유기물 등의 양을 조절할 뿐 아니라 상위단계의 군집구조에도 큰 영향을 미치게 된다. 출현한 저서성 대형무척추동물 중 가장 우점화되어 있는 파리목의 깔따구류는 상위 영양단계인 어류 및 수서포식자들의 중요한 1차 소비자로서의 매우 중요한 역할을 할 뿐만 아니라 수계오염의 대표적인 지표종으로서의 의미도 가지고 있다. 결과적으로 내성치가

큰 깔따구류의 주요 서식은 일정정도 수계가 유기오염 등에 많이 노출되어 있음을 설명하고 있다고 할 수 있을 것이며, 유역의 점오염원 및 비점오염원의 유입 등이 지속적으로 이뤄진다고 판단된다.

대부분의 수환경의 특성과 같이 청평호에서도 상류로부터 하류로 이어지는 서식환경에서 하류로 갈수록 수계환경이 다소 건전치 못함을 군집 지수 등의 생물상 현황에서 보여주고 있다고 판단되며, 전체적으로 중수 및 개채수 현존량 등과 연관되어 하천생태계의 구조 및 기능에 영향을 미치게 되어 생태계 안전성을 결정짓게 된다고 할 수 있을 것이다. 청평호의 경우 댐이 형성되어 있는 호소 또는 저수지 형태의 정수성 특성과 달리 수심이 완만한 편에 속하고 일부 유수의 특성을 같이 가지고 있음에 따라 수변식물 등의 분포와 함께 저서성 무척추동물의 출현도 증가되어질 수 있는 성질을 가지고 있으나, 하상공사 및 오염물질의 유입 등이 간헐적으로 진행되고 있어 이에 따른 생태적 변동성도 같이 동반되고 있다고 할 수 있다.

사 사

본 연구는 2008년도 한강수계 환경기초조사사업의 수계별 호소환경 및 생태조사의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 권오길. 1990. 한국동식물도감 제32권 동물편(연체동물 I). 문교부.
- 배연재, 박선영, 윤일병, 박재홍, 배경석. 1996. 왕숙천 준설구간의 저서성 대형무척추동물 군집 변동. 한국육수학회지, 29(4): 251-261.
- 송광래. 1995. 한국산 거머리강(환형동물문)의 분류. 고려대학교 석사학위 논문 p. 58.
- 윤일병. 1988. 한국동식물도감 제30권 동물편(수서 곤충류). 문교부.
- 윤일병, 김종인, 이성진, 황정훈, 박재홍. 1994. 경안천의 저서성 대형무척추동물 군집. 경안천 자연생태계조사연구보고서. pp. 71-110.
- 윤일병, 배연재, 이현철, 이상조. 1993. 서울 근교 왕숙천의 유역 환경변화에 따른 수서 곤충의 장기 변동. 한국환경생물학회지. 11(2): 97-109.
- 윤일병. 1995. 수서 곤충검색도설. 정행사. p. 262.
- 이상협. 1992. 한국산 넓적거머리과(거머리강: 문질목)의 분류 및 생태. 고려대학교 석사학위 논문. p. 43.
- Allan, J. D. 1995. Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters. Chapman & Hall, London.
- Boon, P. J. 1988. The impact of river regulation on invertebrate communities in the U.K. Regulated Rivers: Research and Management. 2: 389-409.
- Dudgeon, D. 1994. Functional assessment of the effects of increased sediments loads resulting from riparian-zone modification of a Hong Kong stream. Verh. Internat. Verein. Limnol. 25: 1790-1792.
- Horne, A. J. and C. R. Goldman. 1994. Limnology. McGraw-Hill, Inc. p. 576.
- Hynes, H. B. N. 1970. The Ecology of Running Waters. Liverpool Univ. Press, Liverpool, UK.

- Minshall, G. W. 1988. Stream Ecosystem Theory: A Global Perspective. J. N. Benthol. Soc. 7(4): 263-288.
- Reice, S. R. and M. Wohlemberg. 1993. Monitoring freshwater benthic macroinvertebrates and benthic processes: measures for assessment of ecosystem health. p. 287-305 In: D. M. Rosenberg and V. H. Resh (Eds.) Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York.
- Rosenberg, D. M. and V. H. Resh. 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman and Hall, New York. p. 488.
- Ward, J. V. 1992. Aquatic Insect Ecology. John Wiley & Sons, New York.
- Willams, D. D. and B. W. Feltmate, 1992. Aquatic Insects. C·A·B International. Wallingford, UK.

요 약

2008년 8월부터 2009년 4월까지 청평호의 저서성 대형무척추동물 군집의 특성을 조사하고 수환경을 평가하기 위한 모니터링을 실시하였다. 정량 및 정성조사를 통해 나타난 저서성 대형무척추동물상은 총 4문 7강 18목 52과 84종으로 확인되었다. 이 중 수서곤충류가 전체의 82%인 67종을 차지하였으며, 하루살이류, 날도래류, 잠자리류 및 연체동물류의 상대적인 종 다양성 점유율은 순서대로 각각 20%, 16%, 16%, 13%였다. 전체적으로 깔따구류가 우점하고 있는 것으로 나타났으며, 제1 우점종은 깔따구류 sp.1(Chironomidae sp.1)로서 92.18~23.28%의 점유율을 보였고, 제2 우점종은 깔따구류 sp.6(Chironomidae sp.6)로서 65.52~46.69%의 점유율을 보였다. 그 다음으로 쇠우렁이(*Parafossarulus manchouricus*) 61.29%, 실지렁이(*Limnodrilus gotoi*) 47.83%, 네점하루살이(*Ecdyonurus levis*) 47.27%, 늪깔따구류(Tanypodinae sp.) 45.51%의 순으로 주요 우점군을 형성하였었다. 청평호의 전체적인 평균 군집지수는 각각 우점도지수(DI)가 0.78(± 0.13), 다양도지수(H')가 1.63(± 0.62), 균등도지수가 0.64(± 0.20), 종풍부도지수가 1.35(± 0.52)이었으며, 조사지점의 전체적인 수질은 빈부수성인 것으로 나타났다.

검색어 : 생태 모니터링, 저서성 대형무척추동물, 청평호