

동강 지류 기화천의 저서성 대형무척추동물 군집특성

전형주 · 홍 철^{1,2} · 송미영 · 김경환 · 이완옥² · 곽인실^{2,*}

국립수산과학원 중앙내수면연구소, ¹국립환경과학원, ²전남대학교 해양기술학부

Characteristics of Benthic Macroinvertebrates in Gihwa Stream, Tributary of Dong River, Korea.

Hyoung-Joo Jeon (0000-0001-7518-7554), Cheol Hong^{1,2} (0000-0002-5444-7743), Mi-Young Song (0000-0003-4404-9941), Kyung-Hwan Kim (0000-0002-1151-6606), Wan-Ok Lee² (0000-0001-5063-3357) and Inh-Sil Kwak^{2,*} (0000-0002-1010-3965) (Inland Fisheries Research Institute, NIFS, Gapyeong 12453, Republic of Korea; ¹National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Republic of Korea; ²Division of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea)

Abstract In order to investigate the characteristics of benthic macroinvertebrate communities in the Gihwa stream, a tributary of the Dong River, we surveyed the community and environmental factors in April and November 2013 at 6 sites. The benthic macroinvertebrate taxa represented total 63 species belonging to 29 families, 12 orders, 5 classes and 4 phyla. Total 48 (10~28 in each site) species were collected in April and 44 (13~24 in each site) in November. The number of individuals increased slightly from 560~2,290 m⁻² in April to 806~3,674 m⁻² in November. Chironomidae spp. was dominant species in April and *Stenopsyche bergeri* was dominant species in November. In the Functional Feeding Groups, Gathering-collector (53.9%) was dominant in April, while Filtering-collector (44.3%) increased in November. Intolerant order category (i.e. EPT species richness) in St.1, St.5 and St.6 increased in November compared to April due to the increase of Trichoptera. St.2, St.3 and St.4, which were located near the fish farm, were low EPT as a whole, but Benthic macroinvertebrate index (BMI) was good state in November than April due to decrease of Chironomidae spp.. The environmental factors in the survey site showed similar tendency except for St.1 between both seasons, and electrical conductivity, salinity, and water width showed seasonal differences. Cluster analysis and Nonmetric multidimensional scaling (NMDS) based on benthic macroinvertebrate community data were divided into two groups according to season. Electrical conductivity, salinity and substrate composition were the most influential factors determining the distribution patterns of macroinvertebrate communities.

Key words: benthic macroinvertebrates, community index, functional feeding groups

서론

하천생태계의 환경변화는 계절적 및 지리적 위치에 따른 자연적인 교란 (Resh *et al.*, 1988; Kwak *et al.*, 2004; Hong *et al.*, 2017)과 수질 변화 및 댐 건설 등 인위적인 교란 (Kim *et al.*, 2013; Driscoll *et al.*, 2016; George *et al.*, 2018)으로 인해 만들어지고 생물 군집변화에 영향을 준다. 하천에 서

Manuscript received 4 April 2019, revised 29 May 2019,
revision accepted 30 May 2019
* Corresponding author: Tel: +82-61-659-7148, Fax: +82-61-659-7149,
E-mail: iskwak@chonnam.ac.kr

식하는 생물 구성원인 저서성 대형무척추동물은 풍부한 군집 구성을 이루고 있으며 (Rosenberg and Resh, 1993), 생태계 내 저차 소비자로서 종에 따라 선호하는 서식환경의 뚜렷한 차이를 보인다 (Shearer *et al.*, 2015). 또한 긴 생활사, 군집의 다양성, 낮은 이동성, 채집의 용이성, 환경교란에 대한 민감한 반응 등의 특징으로 인해 수환경 평가의 지표생물로서 많은 연구가 이루어지고 있다 (Merritt and Cummins, 1996; Gonzalo and Camargo, 2013; Piggott *et al.*, 2015; Graeber *et al.*, 2017). 따라서 하천생태계의 환경 변화를 파악하기 위해서 저서생물군집의 분포를 파악하는 것은 생물과 환경의 통합평가를 위한 중요한 요소이다 (Park *et al.*, 2011; Shi *et al.*, 2016; Hong *et al.*, 2017).

기화천(또는 창리천)은 강원도 평창군 미탄면에 위치하고 있으며, 청옥산(1,256 m)에서 발원하여 진탄나루에서 동강과 합쳐진다. 기화천의 하천연장은 17 km, 유로연장은 18.8 km, 유역면적은 104.2 km²이며, 대부분의 하천유역은 급경사의 산지하천으로 계곡을 형성하고 있으며 하천 유역 내에 천연기념물 260호인 백룡동굴이 위치하고 있다. 기화천 상류는 차가운 석회암 용천수가 흘러나와 주변은 물이 차고 맑아 무지개송어양식장이 발달하였으며, 생태경관이 뛰어나고 다양한 하상구성으로 이루어져 있어 저서성 대형무척추동물 군집을 분석하기에 좋은 하천이다. 기화천은 1984년 열목어 서식지 보호를 위해 수산자원보호구역으로 지정되었으나, 2012년 자연환경 및 지역여건의 변화로 그 목적이 상실되어 해제되었다(강원도고시 제2012-84호).

현재까지 기화천에 관한 연구는 내수면 수산자원보전지역의 수질특성 (Kim, 2003)과 저서성 대형무척추동물 군집 특성 (Park *et al.*, 2001) 등 일부 지점에서 조사하여 보고되었으나, 기화천의 상류부터 하류까지 전 구간에서 저서성 대형무척추동물에 대한 연구는 없었다. 또한, 최근 기화천 일대에 하천 공사가 진행됨에 따라 인위적 교란에 따른 저서성 대형무척추동물 군집 변화 분석 및 영향 파악은 필수적일 것이다.

따라서 본 연구는 수산자원보호구역으로 지정 관리되었던 평창 기화천에 서식하는 저서성 대형무척추동물의 군집 분포를 조사하고 주요 환경요인과의 관계를 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지점 및 조사시기

강원도 평창군에 위치한 기화천의 상류부터 하류까지

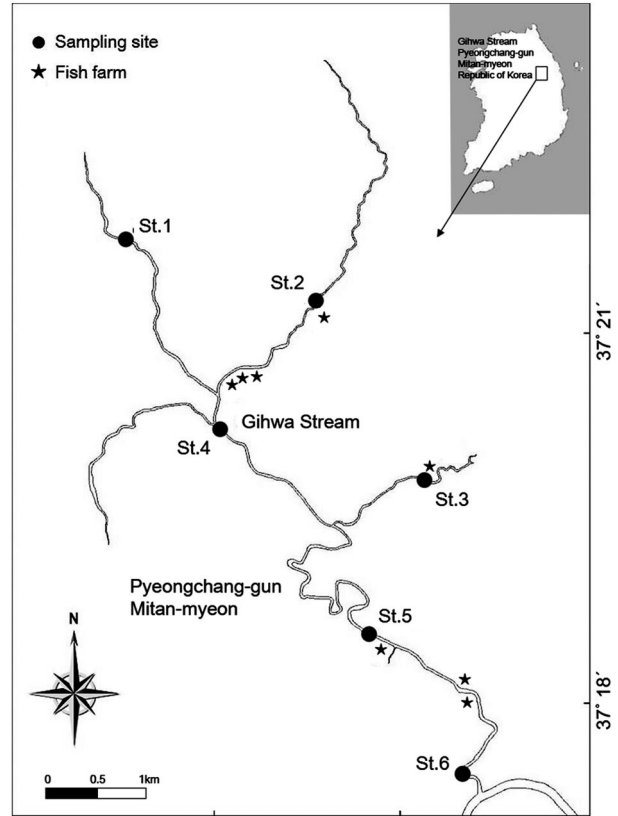


Fig. 1. Location of the sampling sites in Gihwa Stream, Korea.

본류 (St.1, St.4~6)와 유입하천 (St.2, St.3)에서 6개 조사지점을 선정하여 2013년 4월과 11월에 현장조사를 실시하였고, 각 조사지점의 행정구역, 위도 및 경도는 다음과 같다 (Fig. 1).

- St. 1: 강원도 평창군 미탄면 회동리 산33-1 (N 37°21'46.04", E 128°29'19.08")
- St. 2: 강원도 평창군 미탄면 평안리 682-1 (N 37°21'13.86", E 128°31'6.04")
- St. 3: 강원도 평창군 미탄면 백운리 산54-1 (N 37°19'57.71", E 128°32'38.08")
- St. 4: 강원도 평창군 미탄면 청옥산길 107-6 (N 37°20'18.69", E 128°30'06.76")
- St. 5: 강원도 평창군 미탄면 기화리 295-2 (N 37°18'32.27", E 128°31'48.22")
- St. 6: 강원도 평창군 미탄면 마하리 366-1 (N 37°17'25.26", E 128°32'35.90")

2. 이화학적 자료

기화천 각 조사지점의 수온, DO, pH, Conductivity, Salini-

ty는 휴대용수질측정기(YSI-556MPS, USA)를 사용하여 측정하였다. 각 조사지점의 수폭은 거리계(Bushnell, yardage pro)를 이용하여 현장에서 측정하였다. 저서성 대형무척추동물 채집 지역에서 서식처의 물리적 환경 요인인 수심, 유속, 하상구조 등을 조사하였으며, 유속은 유속계(Flowwatch, JDC)를 사용하였고, 하상구조는 Cummins (1962)의 방법을 적용하였다.

3. 현장 조사

저서성 대형무척추동물의 채집은 각 조사 지점의 유량과 환경을 고려하여 계류형 채집망인 Surber net (30×30 cm², 1 mm mesh size)을 이용하여 지점별로 여울(riffle)과 정수지역(pool)에서 각각 1회씩 정량 채집하였다. 채집된 시료는 현장에서 10% 포르말린으로 고정한 뒤, 실험실로 운반하여 체(sieve, 1 mm mesh)에서 고르기(sorting)를 한 뒤 75% 에탄올(ethanol)에 보관하였다. 동정은 해부현미경(Olympus SZX16)을 사용하여 분류문헌(Yoon, 1988; Yoon, 1995; Min *et al.*, 2004; Won *et al.*, 2008)을 참고하였다. 각 조사 지점에서 정량 채집된 표본은 1 m² 당 개체수로 환산하여 사용하였다.

4. 섭식기능군 분석

기화천에서 조사된 저서성 대형무척추동물의 정량채집 자료를 이용하여 조사지점에 따라 섭식기능군(Functional Feeding Groups; FFGs)을 분석하였다(Merritt and Cummins, 1996; Ro and Chun, 2004). 본 연구에서는 식물 잔사체를 씹어먹는 무리(shredder; SH), 돌이나 저질의 부착된 조류, 이끼 및 유기물 등을 긁어먹는 무리(scraper; SC), 유수의 물리적 특성을 이용하여 유기물을 걸러먹는 무리(filtering-collector; FC), 주어먹는 무리(gathering-collector; GC), 수생식물을 직접 뜯어 이들의 영양 물질을 이용하는 무리(piercer; PI), 그리고 육식성 포식자를 나타내는 무리(predator; PR) 등 6가지로 구분하였다.

5. 군집지수

기화천에서 채집된 저서성 대형무척추동물의 조사지점별 군집지수를 비교하기 위하여 우점도지수(McNaughton, 1967), 다양도지수(Pielou, 1969), 종풍부도지수(Margalef, 1958)와 균등도지수(Pielou, 1975)를 산출하였다.

6. 비내성 범주 지수(EPT)

비내성 범주지수(Intolerant order category index, EPT)

는 일반적으로 청정한 하천에서 출현도가 높은 하루살이목(Ephemeroptera), 강도래목(Plecoptera), 날도래목(Trichoptera)이 전체 군집에서 차지하는 비율을 사용하여 환경 상태를 평가하는 방법으로(Lenat, 1988), 본 연구에서는 EPT 분류군의 종수와 개체수를 사용하였다.

7. 저서생물지수(BMI)

수환경의 건강성을 평가하기 위해 생물학적 수질평가 방법으로 알려진 저서생물지수(benthic macroinvertebrate index, BMI)를 구하였다. 저서생물지수(BMI)는 저서성 대형무척추동물에 대한 각 지표생물군의 오락지수 및 지표가중치를 이용하여 100점 만점에서 감소한 지수로서, ‘수생태계 건강성 조사 및 평가’에 적용한 방법을 이용하여 계산하였고(NIER, 2011), 이를 바탕으로 A~E(매우좋음~매우나쁨)의 5등급으로 나누어 서식환경을 평가하였다.

8. 자료분석

기화천의 환경요인과 우점종 간의 유사성을 평가하기 위해 Paleontological Statistics (ver. 3.10) 프로그램을 이용하여 Ward's method와 유클리디안 제곱거리(squared Euclidean distance)를 이용하여 집괴분석(Cluster Analysis)을 하였다. 분석 전, 각 조사지점의 모든 데이터는 아래 식에 따라 Min-Max range normalization을 이용하여 전처리 하였다.

$$b_{ij} = \frac{(x_{ij} - \min(x))}{\max(x) - \min(x)}$$

x_{ij} = 제*i*행, 제*j*열의 데이터 값

$\min(x)$ = 데이터들의 최소값

$\max(x)$ = 데이터들의 최대값

집괴분석 결과에 따라 나뉘어진 그룹 정보를 이용하여 비계량다차원척도법(non-metric multidimensional scaling, NMDS)를 적용하여 환경인자 및 생물지수와 상관을 분석하였다. 관련된 모든 분석은 R프로그램(<http://cran.r-project.org>)을 이용하였다.

결 과

1. 서식처 환경요인

저서성 대형무척추동물이 출현한 기화천 조사지점의 환경 특성은 Table 1과 같다. 상류지점인 St.1은 수온 6.7~7.7

Table 1. Physico-chemical environmental characteristics at each sampling site in Gihwa stream, Korea in 2013.

Sampling sites	Water temperature(°C)		Dissolved oxygen(mg L ⁻¹)		Conductivity (μs cm ⁻¹)		pH		Salinity(‰)		Water width (m)		Depth (m)		Velocity (m s ⁻¹)	
	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.
St.1	7.73	6.73	13.09	14.71	53	85	7.59	8.54	0.02	0.04	8.0	3.0	11.5	10.0	0.8	1.3
St.2	11.08	11.82	11.77	11.69	273	391	7.61	8.26	0.13	0.19	8.0	5.0	8.0	7.5	2.0	1.3
St.3	10.24	6.98	10.87	13.58	301	338	7.49	8.10	0.14	0.16	6.0	2.0	11.5	7.5	0.8	0.7
St.4	10.98	11.16	11.63	11.58	245	364	7.71	8.23	0.12	0.18	12.5	10.0	12.5	17.5	1.9	0.6
St.5	10.73	11.88	11.83	11.80	255	344	7.61	8.33	0.12	0.17	31.0	10.0	11.7	15.0	2.8	1.7
St.6	10.35	7.84	13.63	12.56	254	345	7.93	8.25	0.12	0.17	15.0	15.0	18.5	25.0	1.9	1.5

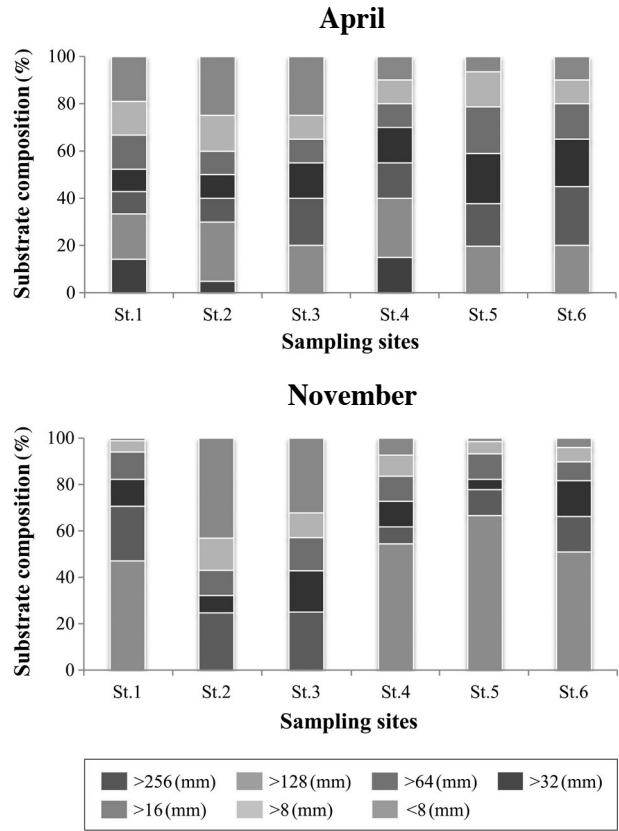


Fig. 2. Substrate composition at each sampling site in Gihwa Stream, Korea in 2013.

°C, DO 13.1~14.7 mg L⁻¹, 전기전도도 53~85 μs cm⁻¹로 다른 조사지점에 비해 양호한 수질상태를 나타내었다. St.1을 제외한 나머지 조사지점은 4월과 11월 조사에서 유사한 경향을 나타내었다. 전기전도도, pH와 Salinity는 4월 조사에 비해 11월 조사에서 대체로 높게 나타났다. 하천의 수폭은 4월 조사에서 6.0~31.0 m의 범위를 보였으며, 11월 조사에서 2.0~15.0 m보다는 값이 컸고, 하류로 갈수록 넓어졌다. 수심은 4월 조사에서 8.0~18.5 cm, 11월 조사에서 7.5~25.0 cm를 나타내었다. 유속은 4월 조사에서 0.8~2.8 m s⁻¹, 11월 조사에서 0.6~1.7 m s⁻¹의 분포를 보여 St.1을 제외한 전 지점에서 유속이 감소하였다(Table 1).

4월 조사에서 기화천 본류 조사지점의 입자 크기별 하상구성은 전체적으로 균등하게 나타났으며, 유입하천 조사지점인 St.1, St.2, St.3이 합류지점인 St.4, St.5, St.6보다 8 mm 이하의 세립질 하상구성물이 높게 나타났다. 11월 조사에서 하상구성은 St.2, St.3에서 8 mm 이하의 하상구성물이 50% 이상을 차지하였으며, 두 지점을 제외하고 128 mm 이상의 하상구성물의 비율이 50% 이상 크게 증가하였다(Fig. 2)

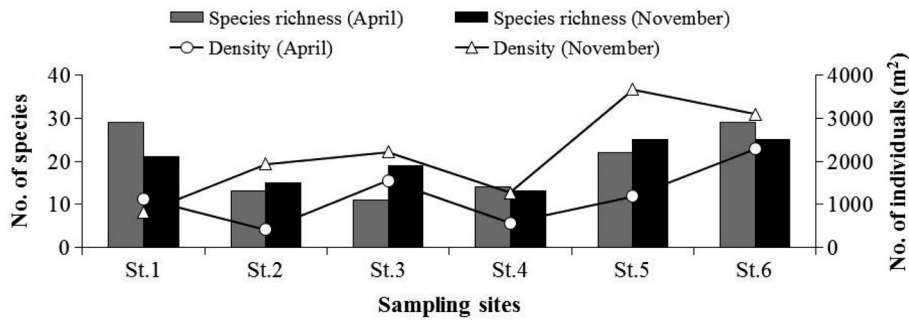


Fig. 3. Number of species and individuals of benthic macroinvertebrates collected at the sampling sites in Gihwa Stream, Korea in 2013.

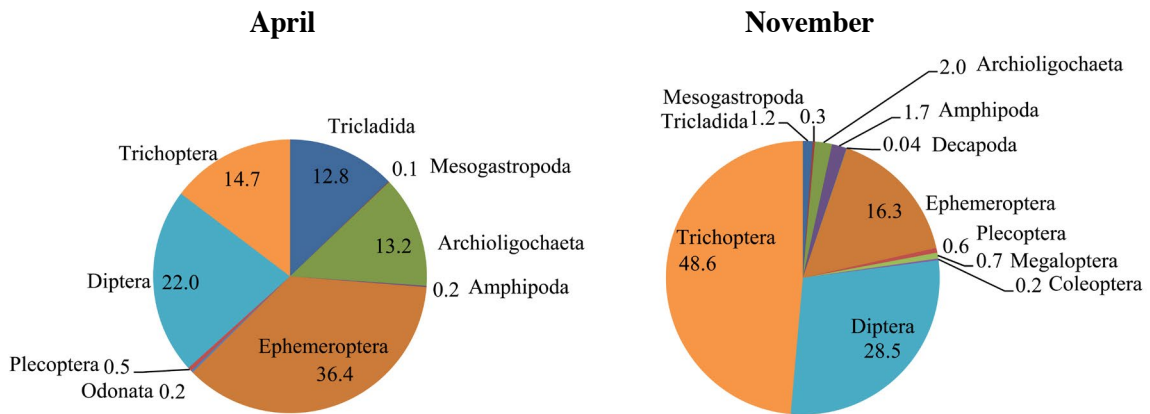


Fig. 4. The relative abundance of order levels in benthic macroinvertebrates in Gihwa Stream, Korea in 2013.

Table 2. Dominant and sub-dominant species in each sampling site in Gihwa stream, Korea in 2013.

Sampling sites	April		November	
	Dominant species	Sub-dominant species	Dominant species	Sub-dominant species
St.1	<i>Hydropsyche orientalis</i>	<i>Ephemera strigata</i>	<i>Hydropsyche orientalis</i>	<i>Cincticostella levanidovae</i>
St.2	<i>Ephemerella dentata</i>	<i>Arctopsyche ladogensis</i>	<i>Drunella aculea</i>	Chironomidae spp. (non-red type)
St.3	<i>Limnodrilus gotoi</i>	Chironomidae spp. (non-red type)	<i>Stenopsyche bergeri</i>	Chironomidae spp. (non-red type)
St.4	<i>Drunella aculea</i>	Chironomidae spp. (red type)	Chironomidae spp. (non-red type)	<i>Stenopsyche bergeri</i>
St.5	<i>Epeorus pellucidus</i>	<i>Uracanthella rufa</i>	<i>Stenopsyche bergeri</i>	<i>Arctopsyche ladogensis</i>
St.6	<i>Dugesia japonica</i>	Chironomidae spp. (red type)	<i>Antocha</i> KUa	<i>Stenopsyche marmorata</i>

2. 종 조성

기화천에서 2013년 조사기간 동안 출현한 저서성 대형무척추동물은 총 4문 5강 12목 29과 63종이었다. 계절별로 출현 종수는 4월 조사에서 총 48종으로 지점별로 10~28종, 11월 조사에서 총 44종으로 지점별로 13~24종이 출현하였다(Fig. 3). 계절별 출현 개체수는 4월 조사에서 560~2,290 inds. m⁻², 11월 조사에서 806~3,674 inds. m⁻²로 11월이 4월보다 더 많았다. 조사기간 동안 하루살이목과 날

도래목의 상대풍부도가 높았으며, 4월에는 하루살이목과 파리목이 각각 36.4%와 22.0%의 높은 상대풍부도를 차지하였다. 11월 조사에는 총 개체수 중 날도래목이 48.6%, 파리목이 28.5%의 비율을 나타내었다(Fig. 4). 전체 조사기간 동안 우점종은 4월의 경우 깔따구류(Chironomidae spp.)로 St.6에서 가장 많았으며, 아우점종은 실지렁이(*Limnodrilus gotoi*)로 St.3에서 가장 많이 나타났다(Table 2). 11월의 경우 연날개수염치레까날도래(*Stenopsyche bergeri*)가 가장 우점하여 St.5에서 가장 많았고, 아우점종

은 깔따구류(Chironomidae spp.)로 St.3에서 가장 많이 출현하였다. 특히 유입하천인 St.1에서 4월과 11월 조사기간 동안 *Hydropsyche orientalis*가 우점하였다.

3. 섭식기능군

섭식기능군은 조사기간 동안 GC가 40.7%, FC가 32.6%로 대부분을 차지하였다. 4월 조사에서 GC가 53.9%, SC가 18.4%의 비율을 보였고, 11월 조사에는 FC가 44.3%, GC가 33.5%를 차지하여 계절에 따라 섭식기능군의 비율이 달랐다. 조사지점에 따라서는 4월 조사에서 대부분 GC의 비율이 높았으며, St.1과 St.2에서 FC의 비율도 30% 이상을 차지하였다. 그러나 11월 조사에서는 FC의 비율이 대부분의 조사지점에서 증가하였고, GC의 비율은 다소 감소하였다. St.1과 St.2 조사지점에서 SC의 비율이 증가하였다 (Fig. 5).

4. 생물지수

기화천에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 군집지수는 Table 3에 나타내었다. 우점도지수는 4월 조사의 경우 St.3에서 0.73로 가장 높았고, St.5 지점에서 0.32로 가장 낮았다. 11월 조사에는 St.4에서 0.76으로 우점도지수가 가장 높았다. 다양도지수는 4월 조사에서 St.1에서 3.77로 가장 높았고, St.3에서 2.04로 가장 낮았다. 풍부도지수도 다양도지수와 유사한 경향을 보였으며, 균등도지수는 4월 조사에서 St.5 지점이 0.82로 가장 높았고, St.3 지점이 0.59로 가장 낮았다.

조사기간 동안 기화천에서 출현한 EPT 종수와 개체수는 총 44종, 12,173 inds. m⁻²이었다. 4월 조사에는 총 35종, 3,667 inds. m⁻², 11월 조사에는 총 31종, 8,506 inds. m⁻²가 출현하였다. EPT 종수는 4월 조사시점보다 11월 조사시점에 전반적으로 감소하여 4월 조사기간 동안 EPT 종수는 6~21종이었고 St.1에서 가장 많았으며, 11월에는 9~17종

이 출현하였고 St.6에서 가장 많았다(Fig. 4). EPT 개체수는 4월 조사보다 11월 조사에서 St.1, St.4 지점을 제외한 전 지점에서 증가하였다(Fig. 6A).

저서생물지수(BMI)는 4월의 경우 90.4~92.2로 ‘매우 좋음(A)’의 상태를 나타내었으며, 11월은 88.7~96.9로 다소 증가하여 ‘매우 좋음(A)’의 상태를 나타냈다(Fig. 6B).

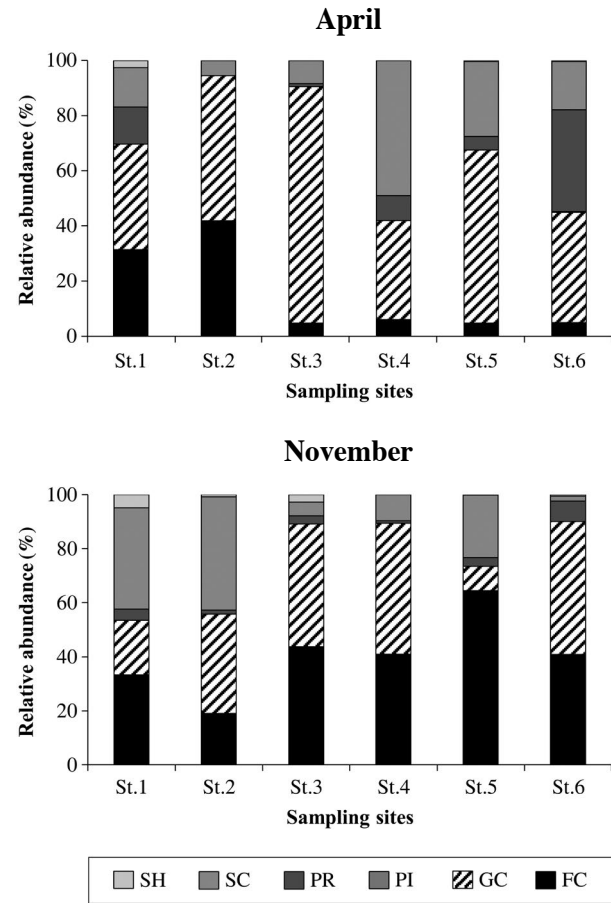


Fig. 5. Composition of functional feeding groups at each sampling site in Gihwa Stream, Korea in 2013.

Table 3. Community indices at each sampling site in Gihwa Stream, Korea in 2013.

Sampling sites	Dominant index		Shannon diversity index		Richness index		Evenness	
	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.
St.1	0.42	0.47	3.77	3.47	3.99	2.99	0.78	0.79
St.2	0.54	0.65	2.90	2.44	1.99	1.85	0.78	0.63
St.3	0.73	0.47	2.04	3.22	1.36	2.34	0.59	0.76
St.4	0.62	0.76	2.75	2.23	2.05	1.68	0.72	0.60
St.5	0.32	0.47	3.68	3.10	2.97	2.92	0.82	0.67
St.6	0.54	0.61	3.33	2.90	3.62	2.99	0.69	0.62

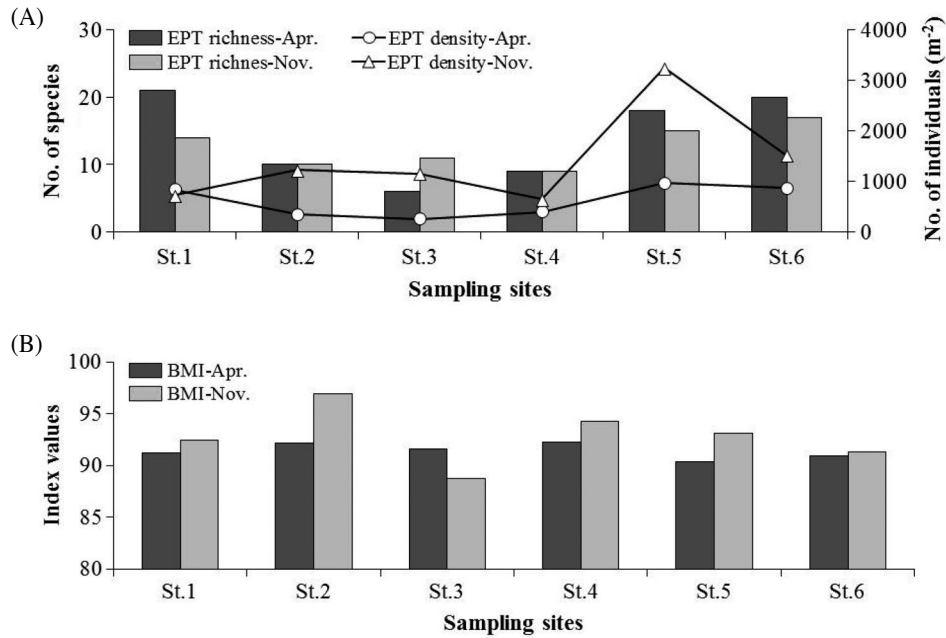


Fig. 6. Number of EPT taxa richness and density of benthic macroinvertebrates (A) and BMI (B) at each sampling site in Gihwa Stream, Korea in 2013.

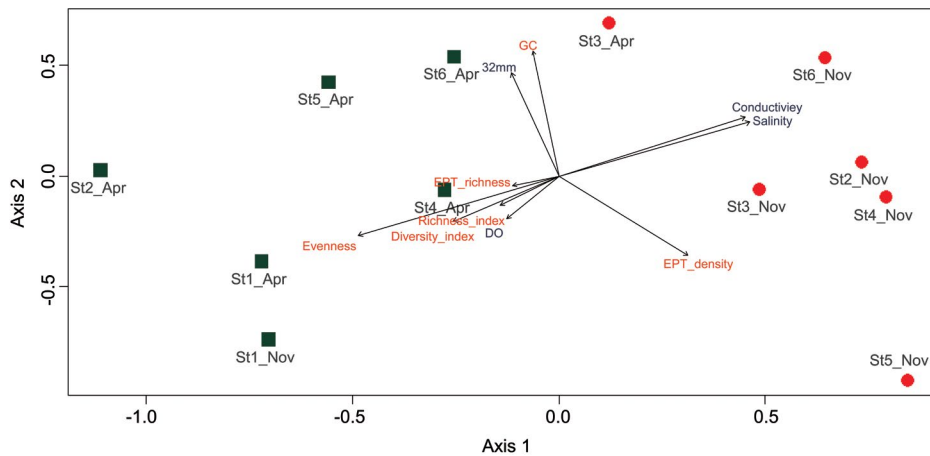


Fig. 7. Nonmetric-multidimensional scaling ordination based on benthic macroinvertebrate community. Environmental factors and biotic indices with <0.05 p value are represented in the figure. Different colors and symbols indicate the result of cluster analysis (green-colored square: cluster 1, red-colored circle: cluster 2).

5. 다변량 분석

조사기간 동안 채집된 저서성 대형무척추동물 우점종과 환경요인을 기반으로 집괴분석을 실시한 결과 조사시기에 따라 크게 두 그룹으로 나누어졌다. 위 그룹의 결과를 바탕으로 비계량다차원척도법을 이용하여 분석한 결과 그룹 1에 속하는 조사지점들은 주로 축 1을 기준으로 왼쪽에 위

치하였으며, 그룹 2에 속하는 조사지점들은 오른쪽에 위치하였다(stress = 84.5) (Fig. 7). 주로 1번 그룹에 위치한 조사지점의 경우 EPT 종수, 종풍부도, 다양도 지수 등이 높았으며 그룹 2에 위치한 조사지점들의 경우 주로 전기전도도 및 염도가 높은 지점들이 위치하였다. 또한 축 2를 기준으로 위쪽에 위치한 조사지점들의 경우 하상구성 중 크기가 <32 mm 및 GC의 비율이 높았다.

고 찰

동강 지류인 기화천의 저서성 대형무척추동물 군집 특성과 환경요인의 변화를 분석하였다. 기화천의 수질은 상류 지점인 St.1을 제외한 대부분의 조사지점에서 전기전도도와 염도가 높게 나타났다. 그러나 저서성 대형무척추동물의 출현 종수는 St.1과 St.6에서 높게 나타나고, St.2~St.4에서 낮게 나타났다. St.1, St.2와 St.3은 지류에 위치하며 수폭, 수심, 유속 등 서식처 특성이 유사하지만 저서성 대형무척추동물의 출현 종수는 크게 차이를 보였다. St.2는 조사기간 동안 상류부에서 하천정비공사가 이루어졌고, St.4는 기화천 본류로 지류들이 만나는 합류지점이었지만 상류부에 규모가 큰 양식장이 있었다. 하류지점으로 갈수록 유폭이 넓고 서식환경이 다양해지면서 종풍부도가 크게 회복되는 것을 볼 수 있었다.

하상구성의 경우 4월에는 하상 구성물의 비율이 전체적으로 균등하게 나타났으나 11월은 본류지점인 St.4, St.5, St.6에서 조립질의 하상구성물 비율이 크게 증가하여 유사한 경향을 나타냈다. 그러나 양식장 주변에 위치한 St.2, St.3 지점은 세립질의 하상구성물 비율이 증가하여 본류지점과는 반대되는 양상을 보였으며, St.1은 조립질의 하상구성물 비율이 증가하여 상류부의 특성이 잘 반영되었다.

섭식기능군의 분포는 조사지점과 계절에 따라 차이를 보였는데, 4월에는 GC의 비율이 상대적으로 높게 나타나고 11월에는 FC의 비율이 증가하였다. 4월에 비교적 환경조건이 양호한 St.1 지점은 GC와 FC가 각각 40%, 30%를 차지하였으며, SC와 PR도 각각 18%, 15%를 차지하였다. 그러나 St.2와 St.3은 GC의 비율이 55%, 80% 이상으로 높게 나타났고, SC의 비율은 각각 10% 내외로 낮았으며, PR은 거의 출현하지 않았다. PR의 비율은 하류지점으로 갈수록 증가하였다. SH(Shredder)는 상류지점인 St.1에서만 출현하였는데, 썰어먹는 무리들은 낙엽이 풍부하게 쌓이는 상류(headwater stream)에서 출현하여 낙엽을 분해하여 하천생태계의 영양단계에 중요한 역할을 수행한다(Wallace *et al.*, 1997; Kelly and Dick, 2005; Piscart *et al.*, 2009). 상류 하천에는 썰어먹는 무리들(Gammaridae, Limnephilidae and Sericostomatidae)이 하천의 먹이망에서 에너지 전환의 기본단계를 제공하는 것으로 보인다. 그러나 하류지점들은 SH의 상대풍부도가 크게 감소하였는데, 이는 낙엽 등 토양층에서 1차 에너지를 제공하지 않는 것으로 사료되며 유사한 연구가 보고되었다(Guilpart *et al.*, 2012). 본 연구에서 비교적 청정한 지역에 속하는 St.1을 제외하고 중상류 조사지점은 종풍부도 및 EPT 지수가 낮았으나, 하류로 가면서 회복되는 경향을 보였다. 그러나 EPT 분류군 중 강도래

과 종은 서식처의 특성이 뚜렷하여 하류지점에서 나타나지 않았으며, 기화천의 하천정비사업, 건천화 발생 및 양식장 등이 하천의 수질에 지속적으로 영향을 주어 저서성 대형무척추동물 중 환경변화에 민감한 종의 출현은 제한되었다.

환경요인과 저서성 대형무척추동물 군집을 다변량분석으로 살펴본 결과 조사시기에 따라 두 그룹으로 나누어졌으며, 각 그룹은 조사지점의 전기전도도, 유속 등 환경적 특성을 잘 반영되어 구분되었다. 특히 상류 지점인 St.1은 조사시기와 상관없이 유사한 것으로 나타났으며, 하천공사와 양식장의 영향을 받은 St.2, St.3, St.4와는 구분되었다. 이는 저서성 대형무척추동물의 군집 특성은 서식처의 특성뿐만 아니라 유역 주변 환경에 의해서도 영향을 받는다는 것을 시사하였다. Goldyn *et al.* (2018)은 마을, 공장 등 유역 주변 토지의 이용에 따라 강우 시 하천에 유입되는 생활하수, 중금속 등에 의한 오염으로 비교적 교란이 적은 하천과 교란을 많이 받는 하천을 비교하여 저서성 대형무척추동물 군집 차이가 있음을 보고하였다. Kim *et al.* (2013)은 산림 주변하천, 일반 농지와 도심을 가로지르는 하천, 가정용 하수, 농업지역, 소규모 공장 등 유역주변에 의해 집중적인 교란을 받은 하천으로 나누어 인공신경망 기법인 Self-organizing map을 이용하여 계절에 따른 저서성 대형무척추동물 군집의 차이를 보여주었다. 이러한 점에서 서식처의 환경적 특성뿐만 아니라 유역 주변의 교란이 저서성 대형무척추동물의 군집에 영향을 주어 군집변화를 유도하는 패턴을 파악하기 위한 지속적인 모니터링이 필요하다.

적 요

동강 지류인 기화천의 저서성 대형무척추동물 군집 특성을 알아보기 위해 6지점을 대상으로 2013년 4월과 11월 조사를 실시하였다. 조사기간 동안 출현한 저서성 대형무척추동물은 총 4문 5강 12목 29과 63종이었다. 출현 종수는 4월 조사에서 총 48종으로 지점별로 11~28종, 11월 조사에서 총 44종으로 지점별로 13~24종이 출현하였다. 계절별 출현 개체수는 4월 조사에서 560~2,290 inds. m⁻², 11월 조사에서 806~3,674 inds. m⁻²로 다소 증가하였다. 종조성을 살펴보면 우점종으로는 깔따구류가 4월 조사에서 가장 많이 출현하였으며, 11월 조사에서 연날개수염치레과 날도래가 가장 우점하였다. 섭식기능군은 4월의 경우 전체 지점에서 GC가 우세하였으나, 11월은 FC가 증가하는 경향을 나타냈다. 날도래목의 증가로 St.1, St.5, St.6의 EPT

는 4월보다 11월에 증가하였으며, 양식장 주변에 위치한 St.2, St.3, St.4는 전체적으로 EPT가 낮게 나왔으나, 깔따구류의 감소로 BMI는 4월보다 11월에 더 좋아지는 것으로 나타났다. 조사지점의 환경요인은 St.1을 제외하고 비슷한 경향을 나타냈으며, 전기전도도, 염분농도, 수폭은 계절적 차이를 보였다. 환경요인과 저서성 대형무척추동물 군집을 다변량분석으로 살펴본 결과 조사시기에 따라 두 그룹으로 나누어졌으며, 이들 그룹은 전기전도도, 염도, 하상구성 특성과 밀접한 관계를 가지고 있었다.

저자기여도 개념설정: 박인실 & 전형주, 방법론: 송미영, 전형주 & 박인실, 분석: 홍철, 송미영, 김경환 & 이완옥, 자료제공: 전형주, 송미영 & 박인실, 자료관리: 송미영 & 이완옥, 원고 초안작성: 전형주 & 홍철, 원고 교정: 전형주, 송미영, 김경환, 이완옥 & 박인실, 원고 편집: 홍철, 송미영 & 박인실, 과제관리: 전형주 & 송미영, 연구비 수주: 전형주 & 박인실. 모든 저자는 논문의 결과에 동의하였고, 출판될 최종본을 검토하고 동의하였습니다.

이해관계 본 논문은 저자들 간의 어떠한 이해충돌도 존재하지 않음.

연구비 이 논문은 2019년도 국립수산과학원 수산과학연구사업(R2019028)과 한국연구재단 중점연구사업(NRF-2018-R1A6A1A-03024314)의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Cummins, K.W. 1962. An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. *The American Midland Naturalist* **67**: 477-504.
- Driscoll, C.T., K.M. Driscoll, H. Fakhraei and K. Civerolo. 2016. Long-term temporal trends and spatial patterns in the acid-base chemistry of lakes in the Adirondack region of New York in response to decreases in acidic deposition. *Atmospheric Environment* **146**: 5-14.
- George, S.D., B.P. Baldigo, G.B. Lawrence and R.L. Fuller. 2018. Effects of watershed and in-stream liming on macroinvertebrate communities in acidified tributaries to an Adirondack lake. *Ecological Indicators* **85**: 1058-1067.
- Gołdyn, R., B. Szpakowska, D. Świerk, P. Domek, J. Buxakowski, R. Dondajewska, D. Barańkiewicz and A. Sajnog. 2018. Influence of stormwater runoff on macroinvertebrates in a small urban river and a reservoir. *Science of The Total Environment* **625**: 743-751.
- Gonzalo, C. and J.A. Camargo. 2013. The impact of an industrial effluent on the water quality, submersed macrophytes and benthic macroinvertebrates in a dammed river of Central Spain. *Chemosphere* **93**: 1117-1124.
- Graeber, D., T.M. Jensen, J.J. Rasmussen, T. Riis, P. Wiberg-Larsen and A. Baattrup-Pedersen. 2017. Multiple stress response of lowland stream benthic macroinvertebrates depends on habitat type. *Science of The Total Environment* **599**: 1517-1523.
- Guilpart, A., J.M. Roussel, J. Aubin, T. Caquet, M. Marle and H. Le Bris. 2012. The use of benthic invertebrate community and water quality analyses to assess ecological consequences of fish farm effluents in rivers. *Ecological Indicators* **23**: 356-365.
- Hong, C., W.S. Kim and I.S. Kwak. 2017. Changes of benthic macroinvertebrate community composition following natural temperature and precipitation increase. *Korean Journal of Ecology and Environment* **50**: 275-285.
- Hynes, H.B.N. 1960. *The Biology of Polluted Waters*. Liverpool University Press, Liverpool.
- Kelly, D.W. and J.T. Dick. 2005. Effects of environment and an introduced invertebrate species on the structure of benthic macroinvertebrate species at the catchment level. *Archiv für Hydrobiologie* **164**: 69-88.
- Kim, D.H., W.S. Cho and T.S. Chon. 2013. Self-organizing map and species abundance distribution of stream benthic macroinvertebrates in revealing community patterns in different seasons. *Ecological Informatics* **17**: 14-29.
- Kwak, I.S., M.Y. Song and T.S. Chon. 2004. The effects of natural disturbances on benthic macro-invertebrate. *Korean Journal of Limnology* **37**: 87-95.
- Lenat, D.R. 1988. Water quality assessment of streams using a qualitative collection method for benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society* **7**: 222-233.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *General Systems* **3**: 36-71.
- McNaughton, S.J. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature* **216**: 168-169.
- Merritt, R.W. and K.W. Cummins. 1996. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America* 3rd ed. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa.
- Min, D.G., J.S. Lee, D.B. Go and J.G. Jae. 2004. *Mollusks in Korea*. Freshwater Shellfish Museum, Korea.
- Park, J.-W., M.-K. Hwang, S.-J. Aw, S.-S. Choi and P.-R. Chung. 2001. Biological evaluation of water quality and community structure of benthic macroinvertebrates in the Pyungchang River water system, Gangwon-do, Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **19**: 119-128.
- Park, Y.J., K.D. Kim, Y.H. Cho, Y.G. Han, Y.J. Kim and S.H. Nam. 2011. Habitat classification and distribution characteristic of aquatic insect functional feeding groups in the Geum River, Korea. *Korean Journal of Environment and*

- Ecology* **25**: 691-709.
- Pielou, E.C. 1975. Ecological Diversity. Wiley, New York.
- Piggott, J.J., C.R. Townsend and C.D. Matthaei. 2015. Climate warming and agricultural stressors interact to determine stream macroinvertebrate community dynamics. *Global Change Biology* **21**: 1887-1906.
- Piscart, C., R. Genoel, S. Doledec, E. Chauvet and P. Marmonier. 2009. Effects of intense agricultural practices on heterotrophic processes in streams. *Environmental Pollution* **157**: 1011-1018.
- Resh, V.H., A.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 Korean immature aquatic insects and community stability analysis. *Korean Journal of Limnology* **37**: 137-148.
- Rosenberg, D.M. and V.H. Resh. 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York.
- Shearer, K.A., J.W. Hayes, I.G. Jowett and D.A. Olsen. 2015. Habitat suitability curves for benthic macroinvertebrates from a small New Zealand river. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* **49**: 178-191.
- Shi, X., J. Liu, X. You, K. Bao, B. Meng and B. Chen. 2016. Evaluation of river habitat integrity based on benthic macroinvertebrate-based multi-metric model. *Ecological Modelling* **353**: 67-76.
- Wallace, J.B., S.L. Eggert, J.L. Meyer and J.R. Webster. 1997. Multiple trophic levels of a forest stream linked to terrestrial litter inputs. *Science* **277**: 102-104.
- Won, D.H., S.J. Kwaon and Y.C. Jun. 2008. Aquatic Insects of Korea. Korea Ecosystem Service, Seoul.
- Yoon, I.B. 1988. Korean Animals and Plants Illustrations Vol. 30 - Animal species (Benthic macroinvertebrates). Ministry of Education, Korea.
- Yoon, I.B. 1995. Aquatic Insects of Korea. Junghaengsa, Seoul.

Appendix A. Species list of benthic macroinvertebrates collected in Gihwa Stream, Korea in 2013.

Species (inds. m ⁻²)	Apr.						Nov.					
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
Phylum Platyhelminthes												
Class Turbellaria												
Order Tricladida												
Family Planariidae												
<i>Dugesia japonica</i>	72.8		11.2	39.2	44.4	744.8		11.2	33.6	11.2	16.8	78.4
Phylum Mollusca												
Class Gastropoda												
Order Mesogastropoda												
Family Pleuroceridae												
<i>Semisulcospira coreana</i>						5.6						
Order Basommatophora												
Family Lymnaeidae												
<i>Radix auricularia</i>									33.6			
Class Oligocheata												
Order Archiolioligocheata												
Family Tubificidae												
<i>Limnodrilus gotoi</i>	16.8	11.2	890.4	5.6		16.8			252	5.6		5.6
Phylum Arthropoda												
Class Crustacea												
Order Decapoda												
Family Cambaridae												
<i>Cambaroides similis</i>								5.6				
Class Insecta												
Order Ephemeroptera												
Family Baetidae												
<i>Acentrella gnom</i>								28				5.6
<i>Acentrella sibirica</i>					85.1	11.2						16.8
<i>Baetiella tuberculata</i>				22.4	40.7	50.4						
<i>Baetis fuscatus</i>	11.2		16.8	28	140.6	28	39.2					
<i>Baetis silvaticus</i>	5.6	5.6										
<i>Baetis ursinus</i>				11.2	77.7	28						
<i>Nigrobaetis bacillus</i>		5.6			7.4	72.8					16.8	22.4
Family Heptageniidae												
<i>Ecdyonurus dracon</i>					7.4	5.6					44.8	
<i>Ecdyonurus kibunensis</i>					3.7		11.2					
<i>Ecdyonurus levis</i>		5.6			3.7	5.6						
<i>Ecdyonurus</i> sp.	11.2											
<i>Epeorus curvatulus</i>	5.6					5.6						
<i>Epeorus pellucidus</i>	16.8	5.6		16.8	210.9	33.6	44.8			22.4	28	39.2
Family Leptophlebiidae												
<i>Choroterpes altioculus</i>	5.6											
Family Ephemeridae												
<i>Ephemera orientalis</i>					7.4				11.2			5.6
<i>Ephemera separigata</i>	16.8	11.2	28	11.2	14.8	11.2		11.2		5.6		
<i>Ephemera strigata</i>	156.8				7.4		39.2		67.2			
Family Ephemerellidae												
<i>Cincticostella levanidovae</i>							140					
<i>Cincticostella tshernovae</i>	11.2						16.8					
<i>Drunella aculea</i>	11.2	11.2	128.8	257.6	96.2	72.8	84	789.6	39.2	89.6	431.2	16.8
<i>Drunella cryptomeria</i>						16.8						
<i>Drunella triacantha</i>						252						
<i>Ephemerella dentata</i>	44.8	128.8	5.6		22.2	39.2						11.2

Appendix A. Continued.

Species (inds. m ⁻²)	Apr.						Nov.					
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
<i>Serratella setigera</i>	44.8											
<i>Uracanthella rufa</i>					166.5	22.4					16.8	11.2
Order Odonata												
Family Gomphidae												
<i>Davidius lunatus</i>	16.8											
Order Plecoptera												
Family Nemouridae												
<i>Nemoura</i> KUa	22.4						39.2					
Family Perlidae												
<i>Kamimuria coreana</i>	5.6						11.2				11.2	11.2
<i>Kiotina decorata</i>	5.6											
Order Megaloptera												
Family Corydalidae												
<i>Protohermes grandis</i>							5.6				67.2	16.8
Order Coleoptera												
Family Elmidae												
Elmidae sp.											28	
Order Diptera												
Family Tipulidae												
<i>Antocha</i> KUa	28		16.8	5.6		67.2	16.8	11.2	100.8	61.6	252	1041.6
<i>Dicranota</i> KUa	39.2											
<i>Hexatoma</i> KUa							16.8	5.6			5.6	16.8
<i>Tipula</i> KUa							5.6		61.6		5.6	16.8
<i>Tipula</i> KUb					3.7							
Family Simuliidae												
<i>Simulium</i> sp.							5.6				39.2	
Family Chironomidae												
Chironomidae sp.	106.4	44.8	369.6	117.6	173.9	571.2	33.6	470.4	576.8	543.2	11.2	403.2
Family Dolichopodidae												
Dolichopodidae sp.								5.6				
Family Tabanidae												
<i>Tabanus</i> sp.								5.6				
Tabanidae sp.	5.6								5.6			
Order Trichoptera												
Family Rhyacophilidae												
<i>Rhyacophila brevicephala</i>	5.6											
<i>Rhyacophila clemens</i>												22.4
<i>Rhyacophila nigrocephala</i>			5.6	11.2	14.8	95.2		11.2	28		16.8	84
<i>Rhyacophila shikotsuensis</i>												5.6
Family Glossosomatidae												
<i>Glossosoma</i> KUa	89.6						5.6	16.8	39.2	5.6	341.6	
Family Stenopsychidae												
<i>Stenopsyche bergeri</i>								72.8	711.2	420	873.6	
<i>Stenopsyche marmorata</i>	33.6	44.8	72.8	22.4	48.1	78.4	11.2	229.6	134.4	28		845.6
Family Arctopsychidae												
<i>Arctopsyche ladogensis</i>		95.2						61.6	5.6		851.2	5.6
Family Hydropsychidae												
<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>										11.2		229.6
<i>Cheumatopsyche</i> KUa									5.6		5.6	
<i>Cheumatopsyche</i> KUb											16.8	
<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>				11.2		5.6	16.8		78.4	61.6	509.6	179.2
<i>Hydropsyche orientalis</i>	319.2	33.6			7.4	28	235.2	5.6	33.6		72.8	5.6

Appendix A. Continued.

Species (inds. m ⁻²)	Apr.						Nov.					
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
Family Limnephilidae												
<i>Hydatophylax nigrovittatus</i>	5.6							16.8				
Family Uenoidae												
<i>Neophylax ussuriensis</i>	11.2					5.6						
Family Odontoceridae												
<i>Psilotreta kisoensis</i>								5.6				
Number of species	28	12	10	13	21	28	20	14	18	13	23	24
Number of individuals	1,125.6	403.2	1,545.6	560.0	1,184.0	2,290.4	806.4	1,719.2	2,217.6	1271.2	3,668.0	3,096.8