

ORIGINAL ARTICLE

## 가야산의 저서성 대형무척추동물 섭식기능군 및 서식습성군 분포와 생물학적 수질평가

문태영<sup>1)</sup> · 안미순<sup>2)</sup> · 김형곤<sup>2)</sup> · 윤춘식 · 정선우\*

창원대학교 생물학·화학 융합학부, <sup>1)</sup>대성기술단, <sup>2)</sup>국립수산과학원

### Distribution of Functional Feeding and Habitat Trait Groups of Benthic Macroinvertebrates and Biological Evaluation of Water Quality in Gayasan National Park

Tae Young Moon<sup>1)</sup>, Mi Soon An<sup>2)</sup>, Hyoung Gon Kim<sup>2)</sup>, Chun Sik Yoon, Seon Woo Cheong\*

Department of Biology & Chemistry, Changwon National University, Changwon 51140, Korea

<sup>1)</sup>Daesung Technology Engineering Company, Busan 46253, Korea

<sup>2)</sup>National Institute of Fisheries Science, Changwon 51688, Korea

#### Abstract

In the present study, the community distribution, functional feeding groups, and habitat groups of the benthic macroinvertebrates from Gayasan National Park were investigated at eight different sites from 2015 to 2016. The correlation between habitat altitude and each group type was analyzed statistically. Biodiversity indices, including dominance, diversity, richness, and evenness indices, were calculated. The results showed a total of 4,216 individual benthic macroinvertebrates were collected, including 4 phyla, 6 classes, 16 orders, 40 families, and 100 species. *Gammarus sobaegensis* was dominant with 0.141% dominance, and the subdominant species was *Epeorus nipponicus* with 0.088% dominance. The EPT group (Ephemeroptera, Plecoptera and Tricoptera) accounted for 71.00% of the total species and 67.69% of the total individuals. The number of scraper species was highest, and the number of gathering collector individuals was highest among functional feeding groups. The individual number of scrapers ( $r=-0.358$ ,  $p < 0.05$ ) and gathering collectors ( $r=-0.343$ ,  $p < 0.05$ ) decreased with increasing altitude. The numbers of species and individuals of clingers and sprawlers were highest among the habitat groups. The individual number of clingers ( $r=-0.547$ ,  $p < 0.01$ ) and burrowers ( $r=-0.331$ ,  $p < 0.05$ ) significantly decreased with increasing altitude. The diversity and richness indices were higher in St. 3 than in the other sites. The dominance index was highest in St. 2, and the evenness index was highest in St. 7. We evaluated the biological water quality with several known methods, and concluded that ESB (Ecological score of benthic macrovertebrates community) and GPI (Group pollution index) were more suitable than KSI (Korean saprobic index) and BMI (Benthic macrovertebrate index) to assess the biological water quality of Gayasan mountain stream water.

**Key words** : Benthic macroinvertebrates, Functional feeding groups, Habitat trait groups, Biological evaluation of water quality, Gayasan National Park.

Received 15 December, 2017; Revised 5 February, 2018;

Accepted 13 February, 2018

\*Corresponding author: Seon Woo Cheong, Department of Biology & Chemistry, Changwon National University, Changwon, 51140, Korea  
Phone: +82-55-213-3454  
E-mail: swcheong@changwon.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

본 논문은 2017년도 창원대학교 석사학위논문물의 재정리본입니다.

## 1. 서론

저서성 대형무척추동물은 호수나 하천에서 생활사의 전부 또는 일부분을 저서생활을 하고 수생태계의 먹이그물을 통한 에너지 이동에서 매우 중요한 역할을 맡고 있다(Rosenberg and Resh, 1993). 이들은 담수생태계의 종풍부성과 종다양성을 판단할 뿐만 아니라 유수생태계와 정수생태계의 다양한 서식처에 적응하고 있으며 생활사가 비교적 짧고 정량채집이 용이하기 때문에 많은 생태학적 연구에 이용되고 있다. 또한 저서성 대형무척추동물은 환경변화에 반응이 민감하고, 저서성 대형무척추동물에 따라 비교적 확실한 내성범위를 가진 것들도 있기에 하천생태계의 환경 또는 수질을 평가하는 지표로서 매우 효과적이다(Resh and Rosenberg, 1984; Ward, 1991). 이화학적 수질환경 평가로는 물속의 모든 오염물질을 찾아내는 것이 불가능할 뿐 아니라, 물환경의 단기적인 상태만 측정할 수밖에 없는 한계가 있다. 그러나 저서성 대형무척추동물을 이용한 생물학적 수질환경 평가는 이화학적으로 알 수 없는 오염물질이나 이에 따른 복합적 효과까지 반영하기 때문에 수질을 평가하는데 유용하다(Won et al., 2006).

본 연구의 대상지는 1972년 10월 13 국립공원 제9호로 지정된 가야산국립공원으로 하였으며 행정구역상 경상남도 합천군과 거창군, 그리고 경상북도 성주군 일부가 포함된 총 면적 84.556 km<sup>2</sup>의 산지이다. 지리적 좌표는 N 35°44'00"~35°51'30", E 128° 02' 30"~128°11'30"에 위치한다. 국내의 산지계류를 대표하는 국립공원의 저서성 대형무척추동물의 분포 연구는 국립공원관리공단의 자연자원조사 및 자원모니터링을 통하여 생물소장조사 위주로 이루어져 왔으며, 가야산의 저서성 대형무척추동물의 분포는 Park(2010) and Kim(2012)에 의해 이루어진 바 있으나 과거의 연구에서는 저서성 대형무척추동물의 분포 상태나 생물학적 수질평가 위주로 조사 되었고 생물군과 서식처 고도와의 상관관계에 대한 내용과 특히 서식습성군에 대한 내용은 다룬 바 없다.

본 연구에서는 가야산국립공원의 홍류골, 치발골, 토신골 및 용기골의 4개 수계에서 2년간 8개 조사지점을 선정하고 계절별로 저서성 대형무척추동물의 분

포를 조사하여 군집의 변화상태를 파악하였다. 또한 다양도지수 등의 생물지수를 산정하여 조사지점간 생태계 안정성을 비교분석 하였다. 생물학적 수질평가로는 국내에서 많이 쓰이는 기법인 저서생물지수(BMI, Benthic Macroinvertebrate Index), 저서성 대형무척추동물 생태점수(ESB, Ecological Score of Benthic macroinvertebrate community), 군오염지수(GPI, Group Pollution Index), 한국오수생물지수(KSI, Korean Saprobic Index)를 이용하여 조사지점간 수질환경을 비교하였다. 아울러, 조사지점별 섭식기능군과 서식습성군의 분포현황을 파악하였고, 고도에 따른 섭식기능군 및 서식습성군의 출현 상관성을 분석하였다. 이로써 우리는 계류와 하천의 하상구조 등, 서식환경이 저서성 대형무척추동물의 군집분포와 어느 정도로 관련이 있는지 알아 볼 수 있을 것이며 아울러, 현재 우리나라에서 활용되고 있는 수질환경 평가 기법들이 가야산과 같은 산간계류의 수질평가에 얼마나 적합한지 판단할 수도 있을 것이다. 또한 가야산 국립공원의 특이한 환경상태, 즉 농경지에 인접한 계곡상류의 계류가 하류로 유하하는 도중에 청정 계류의 유입으로 생물다양성과 서식환경의 변화를 보여주는 기회가 될 것이다. 이러한 연구로 산지 비점오염원에 의한 교란 또는 인간의 간섭에 관한 관리방안과 서식처 보존방안 설정에 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사지점 및 개황

경상남도 합천군과 경상북도 성주군에 걸쳐 소재하는 가야산국립공원 내 수계들 중 홍류골, 치발골, 토신골 및 용기골의 4개 수계에서 8개 조사지점을 정하여 2015년부터 2016년까지 2년간 저서성 대형무척추동물의 분포를 겨울을 제외한 계절별로 조사하여 군집의 변화상태를 파악하였다 (Fig. 1), 각 조사지점의 위치와 개황은 다음과 같다.

- 홍류골 상류(St.1): 경남 합천군 가북면 마장동에 소재하며 홍류골에서 최상류로서 하천형은 Aa형이다. 지리좌표는 N 35°47'22", E 127°04'12"이다. 고도는 714 m, 하폭은 5~15 m, 유평은 1~7 m, 수심은 10

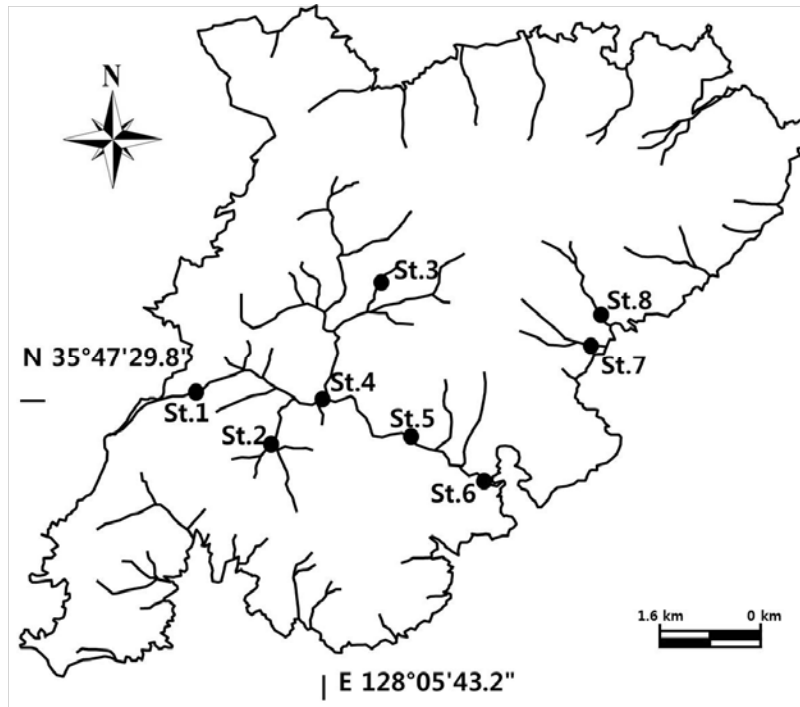


Fig. 1. Surveyed sites of benthic macroinvertebrate in major streams of Gayasan National Park. Sites of Hongrygol(St.1, St.4, St.5, St.6); site of Chibatgol(St.2); site of Toshingol(St.3); sites of Yongggol(St.7, St.8).

~30 cm정도이다. 제방은 자연형이고 계곡주변은 자연식생으로 덮여 있으며 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 모래로 구성되어 있다.

- 치밭골 상류(St.2): 경상남도 합천군 가야면 치인리에 소재하며 치밭골 상류지역으로 하천형은 Aa형이다. 지리좌표는 N 35°47'03", E 128°05'06"이다. 고도는 660 m, 하폭은 1~2 m, 유폭은 0.5~1.6 m, 수심은 10~20 cm 정도로 얇은 편이다. 제방은 자연형이며 주변은 자연식생으로 덮여 있고 경사가 가파르고 지형이 험준하다. 하상은 암반과 자갈, 호박돌로 구성되어 있다.

- 토신골(St.3): 경남 합천군 가야면 치인리에 소재하며 토신골의 상류로서 하천형은 Aa형이다. 지리좌표는 N 35°48'18", E 128°06'20"이다. 고도는 717 m, 하폭은 1~4 m, 유폭은 0.5~2 m, 수심은 10~30 cm 정도이다. 제방은 자연형이고 계곡주변은 자연식생으로 덮여 있으며 주변 경사는 완만하여 조사지점 근처에 탐방로가 있다. 하상은 호박돌, 자갈, 모래, 진흙으

로 구성되어 있다.

- 홍류골 중상류(St.4): 경남 합천군 가야면 치인리에 소재하며 집단시설지구에 가까운 조사지역으로 하천형은 Aa형이다. 지리좌표는 N 35°47'21", E 128°06'20"이다. 고도는 549 m, 하폭은 10~15 m, 유폭은 5~10 m, 수심은 5~70 cm 정도로 깊은 편이다. 제방은 자연형이고 계곡주변은 자연식생으로 덮여 있으며 주변 경사는 급하고 주변 경치가 수려하여 근처에 휴게소가 자리하고 있다. 하상은 암반과 자갈, 호박돌, 모래로 구성되어 있다.

- 홍류골 중류(St.5): 경남 합천군 가야면 치인리에 소재하며 농산정 상부지역으로 하천형은 Aa형이다. 지리좌표는 N 35°47'11", E 128°06'36"이다. 고도는 429 m, 하폭은 15~25 m, 유폭은 10~20 m, 수심은 10~100 cm 정도로 깊다. 제방은 자연형이고 계곡주변은 자연식생으로 덮여 있으며 주변 경사는 완만한 편이어서 근처에 탐방로가 있다. 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 모래로 구성되어 있다.

- 홍류골 하류(St.6): 경남 합천군 가야면 구원리 소재하며 소리길 시작지점에 인접한 조사지역으로 하천형은 Aa형이다. 지리좌표는 N 35°46'40", E 128°07'26"이다. 고도는 333 m, 하폭은 20~30 m, 유폭은 10~20 m, 수심은 0.5~150 cm 정도로 매우 깊다. 제방은 자연형이고 계곡주변은 자연식생으로 덮여 있으며 주변 경사는 완만하고 조사지점 하부에 탐방센터가 있다. 하상은 암반과 호박돌, 모래로 구성되어 있으며 유속이 매우 느린 곳이다.

- 용기골 하류 서부(St.7): 경북 성주군 수륜면 백운리에 소재하며 백운동 지구에 있는 용기골 하부의 서쪽에 해당한다. 하천형은 Aa형이다. 지리좌표는 N 35°47'41", E 128°07'26"이다. 고도는 555 m, 하폭은 5~15 m, 유폭은 5~10 m, 수심은 10~30 cm 정도이다. 제방은 자연형이고 계곡주변은 자연식생으로 덮여 있으며 주변 경사는 급하고 조사지점 근처에 야영장이 있어 하계에 탐방객의 방문이 잦은 곳이다. 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 모래로 구성되어 있다.

- 용기골 하류 동부(St.8): 경북 성주군 수륜면 백운리에 소재하며 백운동 지구에 있는 용기골 하부의 동쪽에 해당한다. 하천형은 Aa형이다. 지리좌표는 N 35°46'40", E 128°07'26"이다. 고도는 515 m, 하폭은 1~2 m, 유폭은 1~1.5 m, 수심은 10~15 cm 정도로 얕다. 제방은 자연형이고 계곡주변은 자연식생으로 덮여 있으며 주변 경사는 약간 급하고 조사지점 근처에 경작지가 있다. 하상은 호박돌, 자갈, 모래로 구성되어 있다.

## 2.2. 조사방법 및 생물분류

가야산 4개 계곡의 총 8개 조사지점에 대하여 2015년과 2016의 2년간 현지조사를 하였다. 3계절 조사로서 5월에 춘계조사, 7월에 하계조사, 9월에 추계조사를 하였으며, 동계는 서식지의 결빙으로 조사에 포함하지 않았다.

저서성 대형무척추동물의 현장조사는 조사시기별, 조사지점별 출현도를 비교하였고 군집분석에는 정량조사 결과를 이용하였다. 정량조사는 서버(30×30 cm, 망목크기 0.5×0.5 mm)를 이용하였으며, 조사시기별로 조사지점당 각 3회씩 하였다. 조사지점내 군집의 종 구성을 조사하기 위하여 정성조사를 하였으며 dip

net(지름 30 cm, 망목크기 1×1 mm)과 hand-net(망목크기 1×1 mm)을 이용하여 조사지점당 30분씩 채집을 하였다. 현장에서 채집된 표본은 고정액(Kahle's Solution; 에틸알코올 28%, 포르말린 11%, 초산 2%, 증류수 59%)에서 1일간 고정하고 80% 에틸알코올에서 보관 및 동정하였다(Ward, 1992).

저서성 대형무척추동물의 동정은 Kawai and Tanida(2005), Kwon(1990), Lee(1971), Yoon(1988), Yoon and Song(1989), Song(1995), Yoon(1995), Jung(2011) 등을 참고하였으며 분류체계와 학명은 한국곤충명집(The Korean Entomological Society of Korea and Korean Society of Applied Entomology, 1994)과 한국동물명집(The Korean Society of Systematic Zoology, 1997)을 따랐다. 섭식기능군과 서식습성군의 분류는 Cummins(1973; 1974), Cummins and Klug(1979), Ro and Chun(2004), Won et al.(2005)을 참고하였다.

## 2.3. 생물지수의 산출과 통계분석

생물지수(Biotic index)의 산출에는 종다양도(Diversity index,  $H'$ ), 종풍부도(Richness Index, RI), 우점도(Dominance Index, DI), 균등도(Evenness Index:  $J'$ ), 종별 우점도(Dominance, D), 상대밀도(Relative Density, RD)지수를 이용하였다. 종다양도는 Shannon-Weaver function( $H'$ )을 이용하였고(Shannon-Weaver, 1949) 종풍부도는 Margalef(1958)의 공식을 이용하였다. 우점도는 조사지점별 출현 개체수에 대한 제 1 및 제 2 우점종의 개체수 비율을 나타낸 것으로, McNaughton(1967)을 참고하였고 균등도는 군집내 종 구성의 균등정도를 나타내는 것으로 Pielou(1975)를 참고하였다. 종별 우점도는 채집된 표본의 종별 개체수를 총 개체수에 대한 백분율로 나타내고 상대밀도는 종별 개체수를 우점종의 개체수로 나누어 나타내었다.

섭식기능군(Functional feeding groups) 및 서식습성군(Habitat trait groups)과 조사지점 해발고도간 상관관계를 각각 파악하기 위하여 상관분석 및 회귀분석을 하였다. Software PASW(=SPSS) Statistics version 21.0(IBM, USA) 프로그램을 이용하여 상관계수( $r$ )를 산출하고, 유의성 검정( $p$ ) 및 선형회귀분석(Linear regression analysis)을 하였다.

#### 2.4. 생물학적 수질 평가

저서성 대형무척추동물의 분포를 기반으로 한 생물학적 수질평가법으로 저서성 대형무척추동물 생태 점수(ESB), 군오염지수(GPI), 한국오수생물지수(KSI), 저서생물지수(BMI)의 네가지 평가방법을 이용하였으며 그 결과를 비교하였다.

ESB 지수(Kong, 1997)는 환경부의 전국자연환경 조사지침에서 제안한 방법을 적용하였으며 환경질에 대한 ESB의 평가구간의 범위도 동일지침에서 제시한 기준표를 기초로 하였다. 군오염지수는 생물학적 조사에서 서식분포가 확인된 분류군 중 수질등급에 따른 출현 특성이 밝혀져 있는 종을 이용하여 Pantle-Beck의 오수생물지수와 Beck-Tsuda의 오수생물지수에 의한 오수 생물 계열 판정 경계치를 변경한 군오염지수(GPI)를 바탕으로 산출하였다(Yoon et al., 1992). 오수생물지수는 독일 DIN 38410(1990)을 기본으로 하고, Yoon et al.(1992)의 계산법을 참고하여 산출하였다.

### 3. 결과

#### 3.1. 저서성 대형무척추동물의 서식현황

가야산국립공원의 4개 계곡, 8개 조사지점에서 조사기간 2년간 확인된 전체 저서성 대형무척추동물은 4문 6강 16목 40과 100종 4,216개체였으며, 2015년에는 4문 5강 10목 29과 79종 1,858개체가, 2016년에는 4문 6강 16목 37과 80종 2,358개체가 확인되었다. 전체 우점종은 보통옆새우(*Gammarus sobaogensis* Ueno)로 우점도는 0.141%로 나타났고, 아우점종은 흰부채하루살이(*Epeorus nipponicus* Ueno)로 우점도는 0.088%였다.

하천생태계의 종수와 개체수 점유율에서 가장 높은 점유율을 나타내는 수서곤충류 외에 비곤충류에서는 편형동물문의 외충강과 연체동물문의 복족강, 환형동물문의 빈모강과 거머리강, 절지동물문의 연갑강이 확인되었다.

전체 조사기간 동안 출현한 저서성 대형무척추동물의 강별 종 점유율은 곤충강이 88종(88%)으로 가장 높았고, 비곤충류는 11종(11%)으로 나타났다. 비곤충류에서는 복족강이 5종(5%)으로 가장 많았고 거머리

강이 3종(3%), 연갑강이 2종(2%), 외충강과 빈모강이 각각 1종(1%)씩의 순으로 나타났다. 목(order)별 종점유율은 하루살이목이 34종(34%)으로 가장 높았으며 날도래목이 24종(24%), 강도래목 13종(13%), 파리목 9종(9%), 중복족목과 잠자리목이 각각 4종(4%)씩, 부리거머리목과 딱정벌레목이 2종(2%), 삼기장목, 기안목과 물지렁이목, 턱거머리목, 단각목과 십각목, 노린재목과 뱀잠자리목이 각각 1종(1%)의 순으로 나타났다(Fig. 2A).

강(class)별 개체수는 곤충강이 3,104개체(73.62%)로 가장 많았으며, 비곤충류가 1,112개체(26.38%)였다. 비곤충류에서는 연갑강이 607개체(14.4%), 복족강 309개체(7.33%), 외충강 166개체(3.94%), 거머리강 29개체(0.69%), 빈모강이 1개체(0.02%)의 순으로 나타났다. 목별 개체수는 하루살이목이 1,938개체(45.97%)로 가장 많이 확인되었으며, 그 다음으로는 단각목이 594개체(14.09%), 강도래목 484개체(11.48%), 날도래목 432개체(10.25%), 중복족목 307개체(7.28%), 삼기장목 166개체(3.94%), 파리목 129개체(3.06%), 잠자리목 110개체(2.61%), 턱거머리목 26개체(0.62%), 십각목 13개체(0.31%), 딱정벌레목 9개체(0.21%), 부리거머리목 3개체(0.07%), 기안목 2개체(0.05%), 물지렁이목과 노린재목, 뱀잠자리목이 각각 1개체(0.02%)씩으로 나타났다(Fig. 2B).

조사지점별로 살펴보면, St.1에서 4문 4강 7목 14과 19종 111개체, St.2에서 2문 3강 10목 19과 31종 377개체, St.3에서 2문 3강 8목 22과 46종 662개체, St.4에서 4문 4강 9목 19과 34종 817개체, St.5에서 4문 4강 8목 21과 46종 854개체, St.6에서 4문 5강 10목 21과 39종 535개체, St.7에서 1문 2강 5목 19과 32종 158개체, St.8에서 2문 3강 9목 23과 40종 702개체가 조사되었다. 가장 많은 종이 출현한 곳은 St.3과 St.5로서 각 46종씩 출현하였으며, 가장 적은 종수가 확인된 조사지점은 St.1 으로 19종이 출현하였다. 개체수는 St.5에서 854개체로 가장 많았고, St.1이 111개체로 가장 적었다.

조사대상지가 산지계류인 특성 때문에 EPT군(하루살이목, 강도래목, 날도래목)이 차지하는 비율이 높았으며 EPT군이 전체 출현종수의 71.00%를 차지하고 전체 출현개체수의 67.69%를 점유하였다.

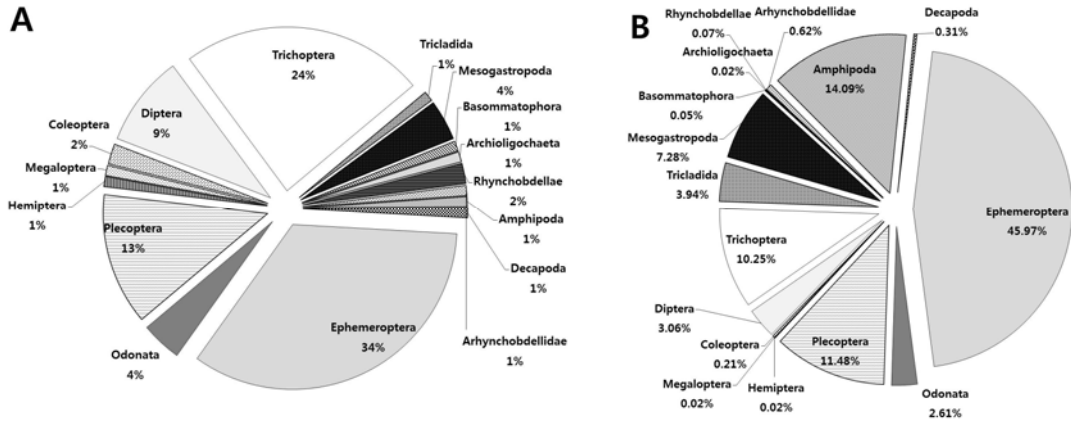


Fig. 2. Species composition (A) and individuals composition (B) by the order in Gayasan National Park(2015-2016).

### 3.2. 생물지수

가야산 국립공원 계곡별 조사지점에 따라 우점도 (DI), 종다양도( $H'$ ) 종풍부도(RI), 균등도( $J'$ )를 포함하는 생물지수를 산출하여 계절별로 비교하였다.

먼저, 전체적인 조사지점별 지수를 살펴보면 군집의 안정성을 나타내는 우점도 지수는 2015년 St.8에서 가장 높았으며 St.3에서 가장 낮은 수치를 나타냈다. 2016년에는 St.2에서 가장 높았고 St.5에서 가장 낮았다. 군집의 상대적인 균형과 복잡성을 나타내는 다양도 지수는 2015년은 St.3에서 가장 높았던 반면 St.2에서 가장 낮은 수치를 나타냈다. 2016년에는 St.7에서 가장 높았고 St.2에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 풍부도 지수는 2015년에 St.3에서 가장 높았고 St.1에서 가장 낮았으며 2016년에는 St.3에서 가장 높았고 St.1에서 가장 낮은 수치를 나타내었다. 군집 내 균등도 지수는 2015년에 St.1에서 가장 높았던 반면 St.2에서 가장 낮았던 것으로 나타났으며 2016년에는 St.7에서 가장 높고 St.2에서 가장 낮았던 것으로 나타났다.

조사지점에 따른 계절별 군집분석 결과를 살펴보면 우점도 지수는 0.314~1.000의 범위로 나타났으며 St.1에서 하계에 1.000로 나타난 것은 채집된 종수와 개체수가 적어 우점종과 아우점종의 개체수가 전체 개체수를 나타내었기 때문이다. 계절별로는 춘계와 추계에 하계보다 더 높은 수치를 나타내었다. 다양도

지수는 0.450~2.605의 범위로 나타났으며 대체적으로 St.3에서 높은 값을 보여주었고, St.1과 St.2 지점이 낮은 수치를 나타내었다. 계절적으로는 하계나 추계보다는 춘계조사에서 더 높은 수치를 나타내었다. 풍부도 지수는 1.509~4.914의 범위로 나타났으며 조사지점별로 살펴보면 다양도 지수와 마찬가지로 St.3에서 더 높은 값을 보여주었고 St.1과 St.2에서 낮은 수치를 나타내었다. 계절별로는 하계나 추계에 비해 춘계에 더 높은 수치를 나타내었다. 균등도 지수는 0.231~1.000의 범위로 나타났으며 St.1에서 균등도 지수가 1.000로 높게 나타난 것은 출현종이 모두 같은 개체수를 나타내었기 때문이다. 조사지점별로는 대체적으로 St.1에서 수치가 높았고 St.2에서 낮았다. 계절별로는 대부분 춘계나 하계에 비해 추계에 더 높은 수치를 나타내었다(Table 1).

계절에 따른 연도별 군집분석을 살펴보면 우점도 지수는 2015년 춘계조사에서 0.422로 가장 높았으며 2016년 춘계에 0.205로 가장 낮았고, 다양도 지수는 2016년 춘계조사에서 3.17로 가장 높았으며, 2015년 춘계에 2.704로 가장 낮았다. 그리고 풍부도 지수는 2016년 추계조사에서 7.167로 가장 높고 2015년 하계에 6.307로 가장 낮았다. 균등도 지수는 2015년 추계조사에서 0.821로 가장 높았으며, 2015년 춘계에 0.699로 가장 낮았다.

**Table 1.** Biotic indices of macro-invertebrates in major streams of Gayasan National Park in 2015 and 2016

		DI		H'		RI		J'	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
St.1	Spring	0.619	0.800	1.616	1.323	1.971	1.534	0.830	0.680
	Summer	1.000	0.500	0.693	1.834	1.443	2.606	1.000	0.943
	Autumn	0.600	0.538	1.582	1.778	1.846	2.339	0.883	0.914
	subtotal	0.068	0.603	2.116	1.915	3.024	2.797	0.851	0.747
St.2	Spring	0.938	0.849	0.450	1.005	1.369	1.259	0.231	0.561
	Summer	0.710	0.803	1.367	1.268	2.330	2.189	0.622	0.511
	Autumn	0.579	0.632	1.833	1.739	2.473	2.635	0.764	0.678
	subtotal	0.487	0.703	1.361	1.675	3.513	3.931	0.462	0.542
St.3	Spring	0.314	0.401	2.605	2.587	4.587	4.914	0.831	0.794
	Summer	0.531	0.458	2.051	2.334	3.597	3.622	0.757	0.793
	Autumn	0.452	0.656	2.213	1.763	2.934	3.309	0.839	0.636
	subtotal	0.319	0.419	2.856	2.618	6.281	5.510	0.797	0.742
St.4	Spring	0.745	0.538	1.359	1.958	1.399	2.956	0.654	0.706
	Summer	0.586	0.620	1.758	1.832	2.354	2.867	0.733	0.661
	Autumn	0.505	0.651	2.169	1.784	2.805	2.998	0.822	0.643
	subtotal	0.490	0.506	2.380	2.286	3.292	4.511	0.795	0.679
St.5	Spring	0.668	0.607	1.608	1.820	2.867	3.003	0.580	0.642
	Summer	0.570	0.395	1.855	2.238	2.289	3.560	0.774	0.760
	Autumn	0.333	0.558	2.446	1.921	3.292	2.635	0.863	0.749
	subtotal	0.555	0.308	2.699	2.587	5.517	4.733	0.765	0.761
St.6	Spring	0.647	0.505	1.837	2.125	3.181	3.185	0.648	0.766
	Summer	0.620	0.548	1.614	1.965	2.045	2.647	0.734	0.766
	Autumn	0.726	0.627	1.717	1.637	3.150	1.853	0.651	0.745
	subtotal	0.597	0.504	2.090	2.300	4.660	4.644	0.634	0.698
St.7	Spring	0.424	0.400	2.370	2.367	4.004	3.822	0.875	0.897
	Summer	0.882	0.385	0.660	2.194	1.059	3.069	0.476	0.915
	Autumn	0.645	0.571	1.615	1.814	1.747	2.628	0.830	0.826
	subtotal	0.137	0.364	2.400	2.670	4.551	5.295	0.788	0.840
St.8	Spring	0.674	0.404	1.719	2.483	3.610	3.890	0.584	0.815
	Summer	0.709	0.489	1.497	2.023	1.996	2.658	0.681	0.767
	Autumn	0.360	0.389	2.480	2.372	3.868	3.507	0.828	0.855
	subtotal	0.654	0.354	2.313	2.652	5.357	4.891	0.667	0.780

3.3. 생물학적 수질평가

1) 저서성 대형무척추동물의 생태점수

저서성 대형무척추동물 생태점수(ESB)는 조사지점에 따라 3에서 90의 범위로 나타났으며, 수질등급

은 I 급수에서 V 급수의 범위로 나타났다. 연도별 생태점수를 살펴보면 2015년에 가장 높은 수치를 나타낸 조사지점은 춘계에 St.3로 82이었으며 I급수로 나타났다, 가장 낮은 곳은 하계에 St.1지점에서 3으로 산정되어 IV~V급수로 나타났다. 2016년에 가장 높은

수치를 나타낸 조사지점은 춘계에 St.3으로 90이었으며 I급수로 나타났고, 가장 낮은 곳은 하계에 St.1지점에서 14로 산정되어 III급수로 나타났다(Table 2).

Table 2의 자료를 바탕으로 저서성 대형무척추동물 생태점수의 조사지점별 평균값과 표준편차를 비교하면 2015년도에는 St.3에서 61( $\pm 18.52$ )로 가장 높았던 반면 St.1이 12( $\pm 8.54$ )로 가장 낮았다. 2016년도의 조사지점별 평균값과 표준편차는 St.3이 70( $\pm 19.52$ )로 가장 높았으며, St.1이 15( $\pm 2.65$ )로 가장 낮았다. 저서성 대형무척추동물 생태점수의 계절별 평균값과 표준편차를 비교하면, 2015년도에는 춘계 47.13( $\pm 23.01$ ), 하계 28.18( $\pm 15.35$ ), 추계 40.13( $\pm 16.12$ )로 춘계와 추계가 하계보다 높은 수치를 보여주었고, 2016년도에는 춘계에 49.88( $\pm 24.56$ ), 하계에 43.38( $\pm 16.95$ ), 추계에 37.75( $\pm 13.29$ )로 춘계와 하계가 추계보다 높은 수치를 보여주었다. 이 결과를 종합하면 가야산 국립공원의 저서성 대형무척추동물 생태점수는 춘계에 St.3에서 더 높은 값이 산출되었다.

#### 2) 군오염지수

군오염지수(GPI)는 0.56에서 1.74의 범위로 나타났으며, 수질등급은 I ~ II급수를 나타냈다. 연도별 군오염지수를 살펴보면 2015년에 가장 높은 수치를 나타낸 조사지점은 하계에 St.6으로 1.30이었으며 II급수로 나타났고, 가장 낮은 곳은 하계에 St.1에서 0.50으로 산정되어 I급수로 나타났다. 2016년에 가장 높은 수치를 나타낸 조사지점은 춘계에 St.6으로 1.74였으며 II급수로 나타났고, 가장 낮은 곳은 하계에 St.2에서 0.50으로 산정되어 I급수로 나타났다(Table 2).

군오염지수의 조사지점별 평균값과 표준편차를 비교하면 2015년도에는 St.6에서 1.14( $\pm 0.18$ )로 가장 높았던 반면 St.3, St.7, St.8에서는 군오염지수의 평균이 0.60 이하로 나타났다. 2016년도에도 St.6에서 1.34( $\pm 0.40$ )로 가장 높았으며, St.2, St.7, St.8에서 군오염지수의 평균이 0.60 이하로 나타났다. 군오염지수의 계절별 평균값과 표준편차를 비교하면, 2015년도에는 춘계에 0.66( $\pm 1.12$ ), 하계에 0.74( $\pm 0.28$ ), 추계에 0.77( $\pm 0.25$ )로 춘계가 하계나 추계보다 낮은 수치를 보여주었다. 2016년도에는 춘계에 0.78( $\pm 0.24$ ), 하계에 0.77( $\pm 0.27$ ), 추계에 0.91( $\pm 0.40$ )로 춘계와 하계가 추계보다 더 낮은 수치를 보여주었다. 이 결과를 중

합하면 가야산 국립공원의 군오염지수는 춘계에 St.6에서 더 낮은 값이 산출되었다.

#### 3) 한국오수생물지수

한국오수생물지수(KSI)는 조사지점에 따라 0.00에서 0.63의 범위로 나타났으며, 수질등급은 전체적으로 “high”로 나타났다. 연도별 한국오수생물지수를 살펴보면 2015년에 가장 높은 수치를 나타낸 조사지점은 춘계에 St.1으로 0.46이었으며 수질등급은 “high”로 나타났다. 가장 낮은 곳은 하계에 역시 St.1로 0.00으로 산정되어 수질등급은 “high”로 나타났다. 2016년에 가장 높은 수치를 나타낸 조사지점은 춘계에 St.6로 0.63이었으나 이도 역시 수질등급은 “high”였고 가장 낮은 곳은 하계에 St.2로 수치는 0.01이며 수질등급은 “high”였다(Table 2).

한국오수생물지수의 조사지점별 평균값과 표준편차를 비교하면 2015년도에는 St.6에서 0.31( $\pm 0.29$ )로 가장 높았던 반면 St.2와 St.8에서는 0.03( $\pm 0.03$ )로 가장 낮았다. 2016년도에도 St.6에서 0.52( $\pm 0.16$ )로 가장 높았으며, St.2에서 0.04( $\pm 0.03$ )로 가장 낮았다. 군오염지수의 계절별 평균값과 표준편차를 비교하면, 2015년도에는 춘계에 0.08( $\pm 0.09$ ), 하계에 0.20( $\pm 0.22$ ), 추계에 0.20( $\pm 0.18$ )로 춘계가 하계나 추계보다 높은 수치를 보여주었다. 2016년도에는 춘계에 0.14( $\pm 0.10$ ), 하계에 0.23( $\pm 0.24$ ), 추계에 0.31( $\pm 0.26$ )로 추계에 가장 높은 수치를 보여주었다. 이 결과를 종합하면 가야산 국립공원의 한국오수생물지수는 춘계에 St.6에서 더 높은 값이 산출되었다.

#### 4) 저서생물지수

저서생물지수(BMI)는 79.47에서 98.11의 범위로 나타났으며, 수질등급은 St.6 지점의 가을조사를 제외하고는 모두 최상을 나타냈다. 연도별 군오염지수를 살펴보면 2015년에 가장 높은 수치를 나타낸 조사지점은 춘계에 St.7로 97.92였으며 가장 낮은 곳은 하계에 St.6에서 83.55로 나타났다. 2016년에 가장 높은 수치를 나타낸 조사지점은 하계에 St.7로 98.11이었으며, 가장 낮은 곳은 춘계에 St.6에서 80.47로 산정되었다(Table 2).

저서생물지수의 조사지점별 평균값과 표준편차를 비교하면 2015년도에는 St.3에서 96.20( $\pm 0.74$ )로 가장



**Table 2.** The biological evaluation of water quality by the distribution of benthic macroinvertebrates in major streams of Gayasan National Park

		2015		2016		2015		2016		2015		2016		2015		2016	
		ESB	WQ	ESB	WQ	GPI	WQ	GPI	WQ	KSI	WQ	KSI	WQ	BMI	WQ	BMI	WQ
St.1	Spring	20	II	13	III	0.63	I	1.16	II	0.07	HH	0.17	HH	93.69	HT	83.83	HT
	Summer	3	IV-V	14	III	0.50	I	0.81	I	0.00	HH	0.58	HH	93.75	HT	86.98	HT
	Autumn	13	III	18	III	1.07	II	1.13	II	0.46	HH	0.61	HH	90.08	HT	88.09	HT
St.2	Spring	21	III	24	III	0.63	I	0.52	I	0.00	HH	0.03	HH	95.29	HT	95.91	HT
	Summer	31	II	30	II	0.63	I	0.50	I	0.04	HH	0.01	HH	94.72	HT	95.15	HT
	Autumn	37	II	38	II	0.62	I	0.63	I	0.05	HH	0.07	HH	96.47	HT	95.89	HT
St.3	Spring	82	I	90	I	0.57	I	0.62	I	0.09	HH	0.09	HH	96.33	HT	94.38	HT
	Summer	54	II	69	I	0.61	I	0.63	I	0.04	HH	0.07	HH	95.40	HT	94.10	HT
	Autumn	47	II	51	II	0.56	I	0.58	I	0.04	HH	0.02	HH	96.86	HT	95.19	HT
St.4	Spring	26	II	48	II	0.60	I	1.05	II	0.10	HH	0.20	HH	95.58	HT	88.85	HT
	Summer	23	III	49	II	1.00	II	0.88	I	0.28	HH	0.19	HH	87.19	HT	88.06	HT
	Autumn	38	II	49	II	0.95	I	1.01	II	0.40	HH	0.52	HH	91.35	HT	88.73	HT
St.5	Spring	52	II	53	II	0.69	I	0.73	I	0.08	HH	0.10	HH	95.11	HT	92.35	HT
	Summer	37	II	59	II	0.78	I	0.87	I	0.20	HH	0.29	HH	89.75	HT	91.89	HT
	Autumn	53	II	39	II	0.71	I	1.04	II	0.36	HH	0.44	HH	92.16	HT	91.42	HT
St.6	Spring	58	II	53	II	0.95	I	0.94	I	0.28	HH	0.34	HH	92.05	HT	90.19	HT
	Summer	29	II	42	II	1.30	II	1.33	II	0.61	HH	0.59	HH	83.55	HT	85.70	HT
	Autumn	43	II	23	II	1.17	II	1.74	II	0.04	HH	0.63	HH	88.23	HT	80.47	HT
St.7	Spring	49	II	45	II	0.62	I	0.59	I	0.03	HH	0.08	HH	97.92	HT	94.77	HT
	Summer	14	III	38	II	0.61	I	0.53	I	0.41	HH	0.07	HH	89.89	HT	98.11	HT
	Autumn	25	III	30	II	0.55	I	0.60	I	0.18	HH	0.16	HH	95.00	HT	94.44	HT
St.8	Spring	69	I	73	I	0.59	I	0.63	I	0.01	HH	0.08	HH	95.60	HT	93.64	HT
	Summer	34	II	46	II	0.53	I	0.59	I	0.01	HH	0.03	HH	95.90	HT	92.36	HT
	Autumn	65	I	54	II	0.55	I	0.57	I	0.06	HH	0.06	HH	93.73	HT	94.71	HT

ESB: Ecological Score of Benthic macroinvertebrate community, GPI: Group Pollution Index, KSI: Korean Saprobic Index, BMI: Benthic Macroinvertebrates Index, WQ: Water Quality, HT: highest, HH: high

높았던 반면 St.6에서 87.94(±4.27)로 가장 낮았다. 2016년도에는 St.7에서 95.77(±2.03)로 가장 높았으며, St.6에서 85.45(±4.86)로 가장 낮았다. 저서생물지수의 계절별 평균값과 표준편차를 비교하면, 2015년도에는 춘계에 95.20(±1.74), 하계에 91.27(±4.42), 추계에 92.99(±3.07)로 춘계가 하계나 추계보다 높은 수치를 보여주었다. 2016년도에는 춘계에 91.74(±3.98), 하계에 91.54(±4.32), 추계에 91.12(±5.23)로 역시 춘계가 가장 높은 값을 나타냈다. 이 결과를 종합하면 가야산 국립공원의 저서생물지수는 춘계에 St.3과 St.7

에서 더 높은 값이 산출되었으며 수질등급은 모두 최상으로 나타났다.

#### 3.4. 섭식기능군과 서식습성군의 분포현황

가야산국립공원의 섭식기능군은 알려진 7가지의 섭식기능군 중에서 찢어먹는무리(piercers)와 기생하는무리(parasites)를 제외한 썰어먹는무리(shredders), 주워먹는무리(gathering collectors), 걸러먹는무리(filtering collectors), 긁어먹는무리(scrapers), 잡아먹는무리(predators)의 5개 군이 확인되었다. 전체 조사

에서 저서성 대형무척추동물 군집의 섭식기능군별 종수 구성에서는 굵어먹는무리가 28.71%로 가장 높은 비율로 나타났고, 잡아먹는무리 27.72%, 주워먹는무리 26.73%, 찢어먹는무리 9.90%, 걸러먹는무리 6.93%의 순으로 나타났다. 섭식기능군별로 개체수 구성을 살펴보면 주워먹는무리가 가장 높은 비율을 나타냈으며, 그 다음으로 굵어먹는무리 찢어먹는 무리, 잡아먹는무리, 걸러먹는무리의 순으로 나타났다. 조사지점별 섭식기능군별 종수 구성에서 가장 높은 비율을 차지한 섭식기능군은 St.1에서는 주워먹는무리(36.84%), St.2 에는 주워먹는무리와 잡아먹는무리(32.26%), St.3에는 잡아먹는무리(43%), St.4에는 잡아먹는무리(32.35%), St.5에서는 주워먹는무리와 굵어먹는무리(30.43%), St.6에서는 굵어먹는무리(41.03%), St.7에서는 주워먹는무리(37.50%), St. 8에서는 주워먹는무리(32.50%)로 나타났다. 한편, 조사지점별 섭식기능군별 개체수 구성에서 가장 높은 비율을 차지한 섭식기능군은 St.1에서는 주워먹는무리(37.84%), St.2 에는 찢어먹는무리(69.23%), St.3에는 주워먹는무리(39.27%), St.4에는 주워먹는무리(49.94%), St.5 에서는 굵어먹는무리(38.17%), St.6에서는 주워먹는무리(49.16%), St.7에서는 주워먹는무리(55.70%), St. 8에서는 찢어먹는무리(43.59%)로 나타났다(Fig. 3 A, B).

2015년과 2016년 조사에서 조사지점별 저서성 대형무척추동물 군집의 섭식기능군별 종수 구성을 비교했을 때 St.6에서 2016년에 주워먹는무리가 증가한 것이 확인되었고, St.7에서는 2016년에 주워먹는무리가 감소한 것을 확인할 수 있었다. 2015년과 2016년 조사에서 조사지점별 저서성 대형무척추동물 군집의 섭식기능군별 개체수 구성을 비교해보면 St.1에서 2016년에 굵어먹는무리가 감소한 것과 St.7에서 주워먹는무리가 감소한 것을 확인할 수 있었다(Fig. 4 A, B).

계절에 따른 섭식기능군별 종수 구성에서는 춘계 조사 때 굵어먹는무리와 주워먹는무리가 각각 29.85%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 그 다음으로 잡아먹는무리, 찢어먹는무리, 걸러먹는무리,의 순으로 나타났다. 하계조사에서는 주워먹는무리가 33.93%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 그 다음으로 잡아먹는

무리, 굵어먹는무리, 찢어먹는무리, 걸러먹는무리의 순으로 나타났다. 추계조사에서는 주워먹는무리와 잡아먹는무리가 각각 29.03%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 그 다음으로 굵어먹는무리, 찢어먹는무리, 걸러먹는무리의 순으로 나타났다. 계절에 따른 섭식기능군별 개체수 구성은 춘계조사 때 굵어먹는무리가 35.13%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 그 다음으로 주워먹는무리, 찢어먹는무리, 잡아먹는무리, 걸러먹는무리의 순으로 나타났다. 하계조사 때는 주워먹는무리가 42.70%로 가장 높은 비율을 나타내었고, 그 다음으로 찢어먹는무리, 굵어먹는무리, 잡아먹는무리, 걸러먹는무리의 순으로 나타났다. 추계조사에서는 주워먹는무리가 41.54%로 가장 높은 비율을 나타내었고, 그 다음으로 굵어먹는무리, 찢어먹는무리,, 잡아먹는무리, 걸러먹는무리의 순으로 나타났다.

서식습성군의 알려진 8가지 유형의 무리 가운데 가야산 국립공원에서는 붙는무리(clingers), 굴파는무리(burrowers), 기는무리(sprawlers), 헤엄치는무리(swimmer), 기어오르는무리(climbers), 지치는무리(skater), 잠수하는무리(diver)의 6개의 군이 확인되었다.

전체 조사에서 저서성 대형무척추동물 군집의 서식습성군별 종수 구성은 기는무리가 38.83%로 가장 높은 비율을 나타냈고, 그 다음으로 붙는무리가 32.04%, 굴파는무리 13.59%, 헤엄치는무리 11.65%, 기어오르는무리 1.96%, 지치는무리와 잠수하는무리가 각각 0.97%로 나타났다. 서식습성군별 개체수 구성은 기는무리가 63.14%로 가장 높은 비율을 나타냈으며, 그 다음으로 굴파는무리, 붙는무리, 헤엄치는무리, 기어오르는무리, 잠수하는무리, 지치는무리의 순으로 나타났다.

조사지점별 서식습성군 종수 구성에서 가장 높은 비율을 차지한 군은 전체 조사지점을 통해 기는무리로 나타났으며 기는무리의 종수 비율은 전체 서식습성군중 St.1에서 47.37%, St.2 에서 43.75%, St.3에서 46.81%, St.4에서40.00%, St.5에서 46.81%, St.6에서 42.50%, St.7에서 36.36%, St. 8에서 41.46%로 나타났다. 조사지점별 서식습성군 개체수 구성에서도 가장 높은 비율을 차지한 군은 St.6을 제외한 대부분의 조사지점을 통해 기는무리로 나타났으며 기는무리의 개체수 비율은 전체 서식습성군중 St.1에서 57.66%,

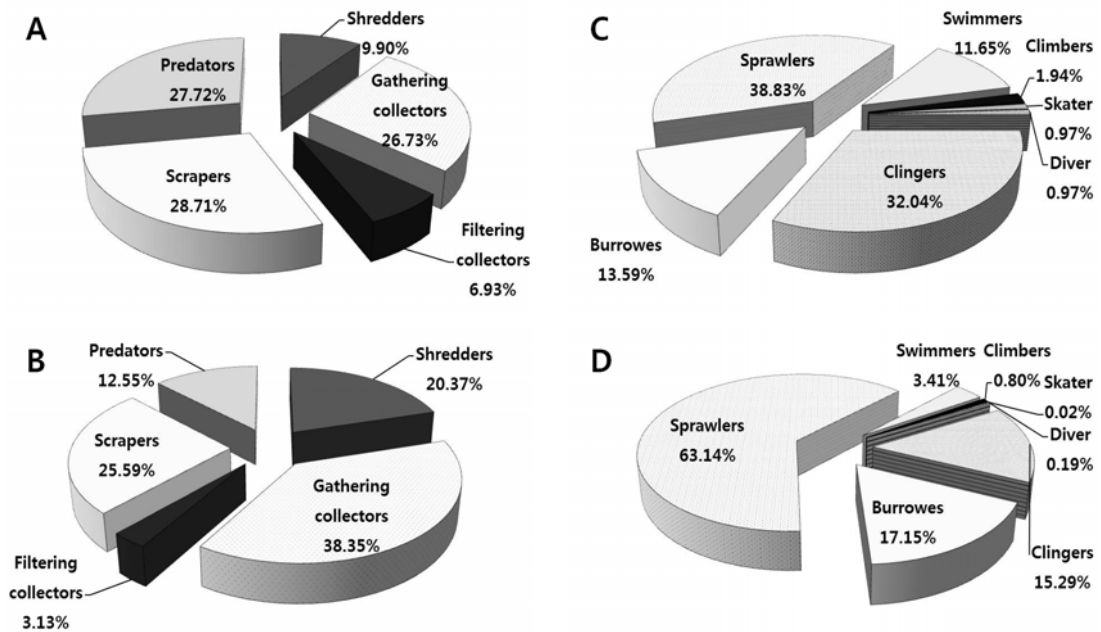


Fig. 3. Species composition (A) and individuals composition (B) of the functional feedings, and species composition (C) and individuals composition (D) of the habitat trait groups by the order in Gayasan National Park (2015-2016).

St.2에서 77.92%, St.3에서 58.28%, St.4에서 77.56%, St.5에서 65.96%, St.7에서 47.83%, St. 8에서 60.62%로 나타났다. 한편 St.6에서는 굴파는무리가 46.68%로 가장 많았으며, 기는무리는 40.96%로 두 번째로 많은 군으로 나타났다(Fig. 3 C, D).

연차별 조사결과를 살펴보면 2015년도의 서식습성군별 종수 구성은 전체적으로 기는무리가 43.75%로 가장 높은 비율을 나타냈으며, 그 다음으로 붙는무리, 헤엄치는무리, 굴파는무리, 기어오르는무리의 순으로 나타났다. 서식습성군별 개체수 구성에서도 기는무리가 60.31%로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 그 다음으로 붙는무리, 굴파는무리, 헤엄치는무리, 기어오르는무리의 순으로 나타났다. 2016년에는 기는무리가 40.24%로 가장 높은 비율을 나타내었고, 그 다음으로 붙는무리, 굴파는무리, 헤엄치는무리, 기어오르는무리, 지치는무리와 잠수하는무리의 순으로 나타났다. 개체수 구성은 기는무리가 65.34%로 가장 높은 비율을 차지했고, 그 다음으로 굴파는무리, 붙는무리, 헤엄치는무리, 기어오르는무리, 잠수하는무리 지치는

무리의 순으로 나타났다(Fig. 4 C, D).

계절별 서식습성군의 종수 구성변화를 조사하였을 때, 춘계에는 기는무리가 37.50%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 그 다음으로 붙는무리, 굴파는무리, 헤엄치는무리, 기어오르는무리의 순으로 나타났다. 하계에는 붙는무리가 42.11%로 가장 높은 비율을 나타냈고, 다음으로 기는무리 굴파는무리, 헤엄치는무리, 기어오르는무리의 순이었다. 추계에는 붙는무리가 33.33%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 기는무리, 굴파는무리, 헤엄치는무리, 기어오르는무리와, 지치는무리 및 잠수하는무리의 순으로 나타났다. 계절별 서식습성군의 개체수 구성은 춘계에는 기는무리가 50.32%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 굴파는무리, 붙는무리, 헤엄치는무리, 기어오르는무리의 순이었으며, 하계에는 기는무리가 48.69%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 다음으로 붙는무리, 굴파는무리, 헤엄치는무리, 기어오르는무리의 순이었다. 추계에는 기는무리가 44.51%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 그 다음으로 붙는무리, 굴파는무리, 헤엄치는무리, 헤엄

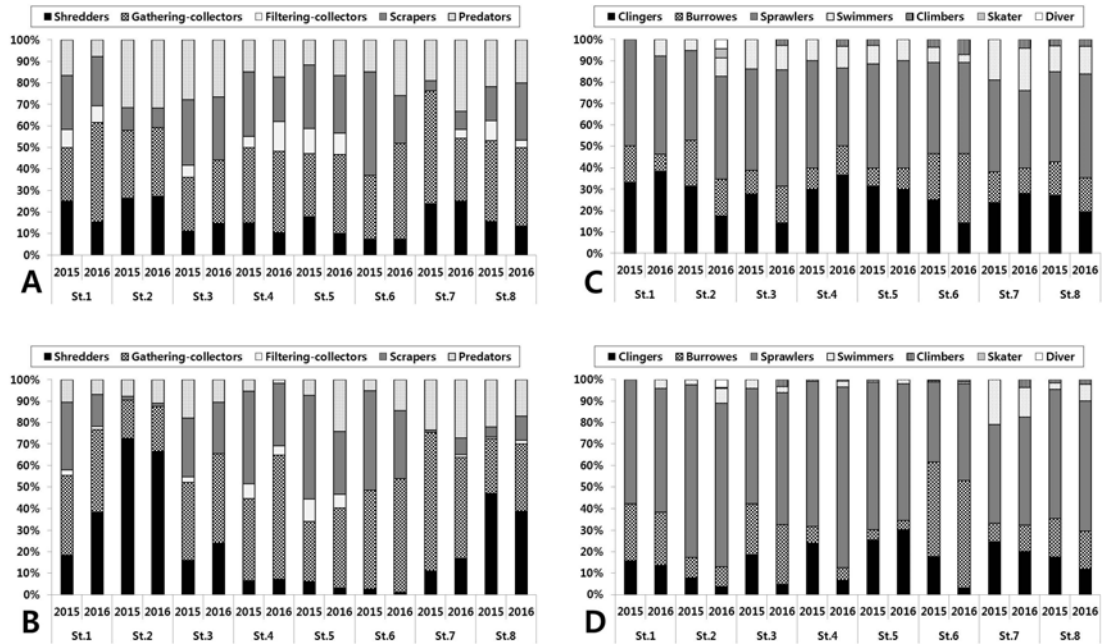


Fig. 4. Species composition (A) and individual composition (B) by the functional feeding groups, and species composition (C) and individual composition (D) by the habitat trait groups of Gayasan National Park in 2015 and 2016.

치는무리, 기어오르는무리 및 지치는무리의 순으로 나타났다.

### 3.5. 고도에 따른 저서성 대형무척추동물의 분포

가야산국립공원의 저서성 대형무척추동물 섭식기능군 분포와 서식지 고도사이에 상관분석을 하여 유의성을 확인하였다. 그 결과 서식지의 고도변화는 섭식기능군별 종수의 증감보다는 오히려 개체수의 증감에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 섭식기능군별로 고려하면, 개체수와 서식지 고도간에는 주위먹는무리가 상관계수  $-0.343$ 에 유의도  $99.5\%$ 로 음의 상관관계를 나타냈으며, 굵어먹는무리가 상관계수  $-0.358$ 에 유의도  $99.5\%$ 로 음의 상관관계를 나타냈다. 그 외 썰어먹는무리는 상관계수  $0.274$ 로 고도와는 양의 상관관계를 나타냈으나 유의성은 낮은 것으로 나타났으며, 걸러먹는무리가  $-0.260$ , 잡아먹는무리가  $-0.223$ 으로 모두 고도와는 음의 상관관계를 나타냈으나 이들 또한 유의성은 낮은 것으로 확인되었다. 결과적으로 가야산의 섭식기능군중에서는 주위먹는무

리와 굵어먹는무리가 서식지고도의 상승에 따라 유의미하게 개체수가 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 5).

이와 마찬가지로 서식습성군별 개체수와 서식지고도와는 상관분석을 하고 유의성을 확인하였을 때에도 서식지의 고도변화는 서식습성군별 종수의 증감보다는 오히려 개체수의 증감에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 서식습성군별 개체수와 고도간 상관분석에서는 붙는무리가 상관계수  $-0.547$ 와 유의도  $99.9\%$ 로 음의 상관관계를 나타내고 유의성이 매우 높은 것으로 나타났으며, 그 다음으로 굴파는무리가 상관계수  $-0.331$  및 유의도  $99.5\%$ 로 음의 상관관계를 나타내며 유의미 한 상관관계를 나타냈다. 그 외 지치는무리, 잠수하는무리는 각각  $0.148$ , 헤엄치는무리가  $0.043$ 로 양의 상관관계를 나타냈지만 유의성은 없는 것으로 확인되었고, 기어오르는무리가 상관계수  $-0.024$ , 기는무리가  $-0.041$ 로 음의 상관관계를 나타냈지만 이 역시 유의성은 없는 것으로 확인되었다. 결과적으로 가야산의 서식습성군중에서 붙는무리는 서식지의 고도가 상승함에 따라 개체수가 매우 뚜렷이 감소하는

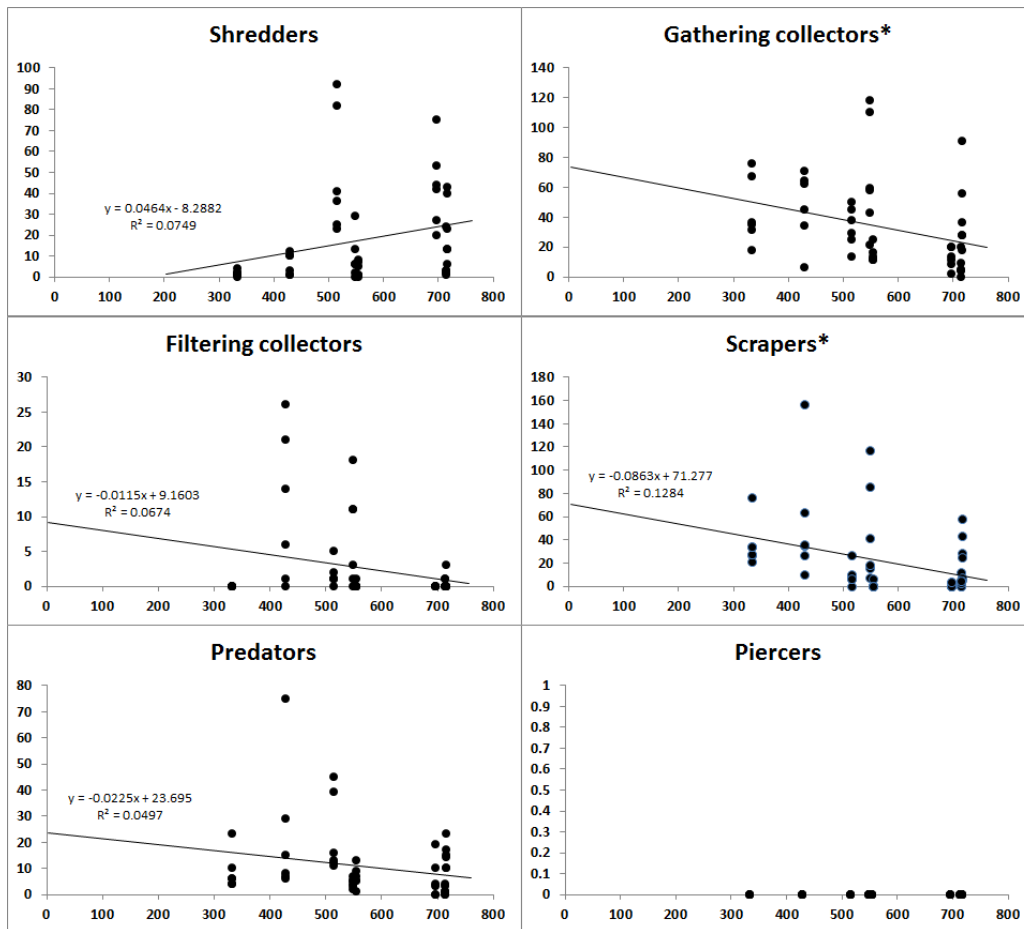


Fig. 5. Linear regression analyses between altitude and individuals of each functional feeding groups in Gayasan National Park (2015-2016).

경향을 보여주었으며 굴파는무리도 서식지고도의 상승에 따라 개체수가 유의미하게 감소하였다는 것을 알 수 있다(Fig. 6).

#### 4. 고찰

본 연구에서는 가야산 국립공원의 홍류골, 치발골, 토신골, 용기골에 8개의 조사지점을 선정하여 2015년 춘계부터 2016년 추계까지 2년간 저서성 대형무척추동물의 군집 분포현황을 조사하고, 섭식기능군과 서식습성군의 분포양상을 파악하였다.

전체 조사기간 중 채집되어 동정된 저서성 대형무

척추동물은 모두 4문 6강 16목 40과 100종 4,216개체로 나타나 선행연구(Kim, 2012)에 비해 19종이 증가하였다. 가야산 국립공원에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 목별 종 점유율은 하루살이목이 34종(34%)으로 가장 많이 출현하였으며, 그 다음으로 날도래목이 24종(24%), 강도래목이 13종(13%), 목별 개체수는 하루살이목이 1938개체(45.97%)로 가장 많이 출현하였으며, 그 다음으로는 단각목이 594개체(14.09%), 강도래목이 484개체(11.48%), 날도래목이 432개체(10.25%)로 나타나 하루살이목과 강도래목, 날도래목이 가장 높은 비율을 차지하였다. 이러한 구성은 조사지인 가야산 국립공원이 전형적인 산지계류

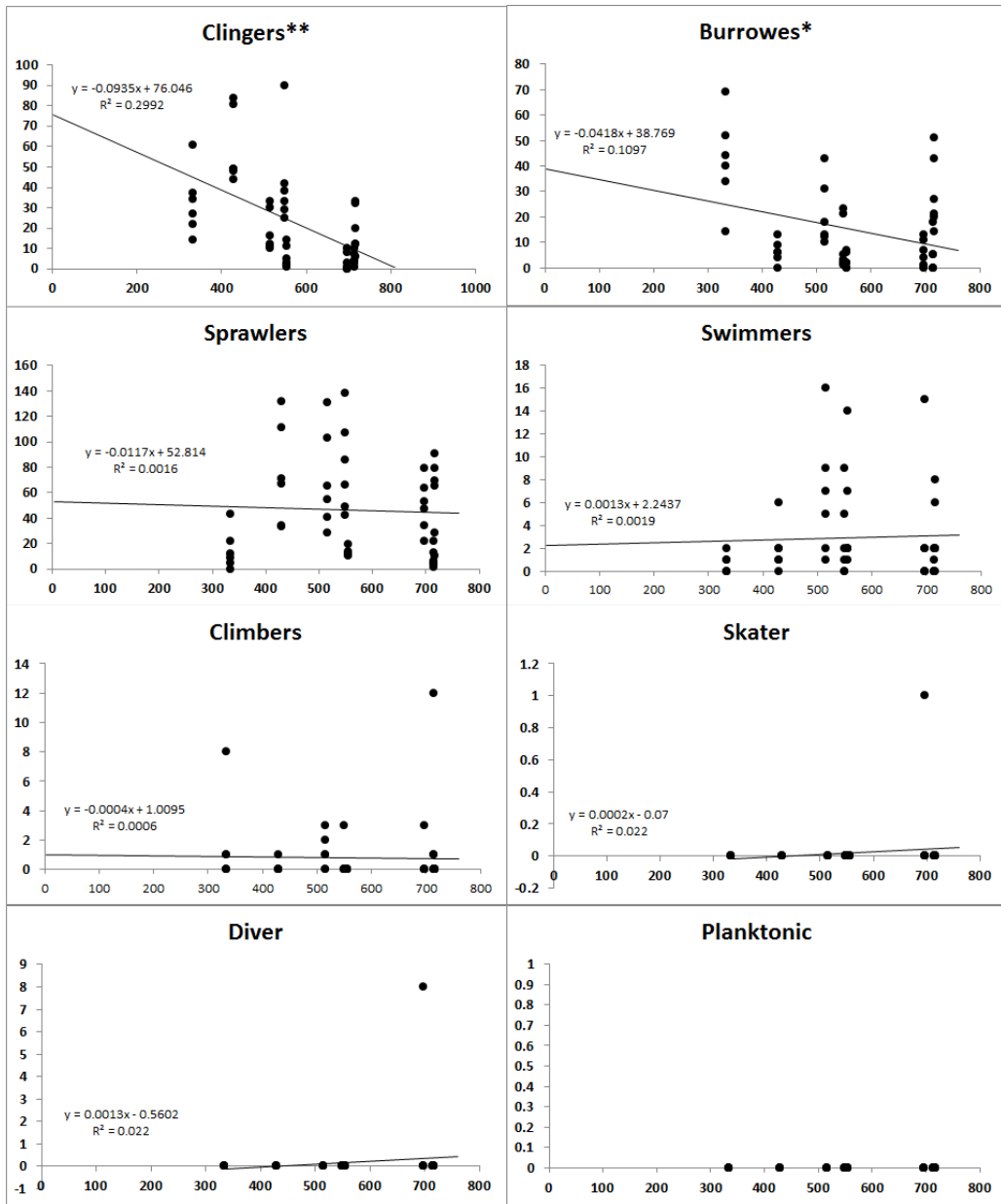


Fig. 6. Linear regression analyses between altitude and individuals of each habitat trait groups in Gayasan National Park (2015-2016).

이므로 그 특성을 반영하는 저서생물구조를 보여주는 결과이다. 조사연도별 저서성대형무척추동물 분포를 비교해 보면 2016년에는 2015년에 비해 종과 개체수가 증가하였지만 하루살이목, 강도래목, 날도래목 등

은 오히려 종수가 감소한 것을 확인할 수 있었다. 저서성 대형무척추동물의 출현현황을 각 조사지점별로 살펴보면 가장 많은 종이 채집된 곳은 St.3과 St.5로 각각 46종이 확인되었고, 가장 적은 종이 채집된 곳은

St.1로 19종만이 확인되었다. 출현 개체수는 St.5에서 854개체로 가장 많았고, St.1에서 111개체로 가장 적었다. 종수가 가장 많았던 St.3과 종수와 개체수가 모두 가장 많았던 St.5는 조사지점 중 가장 양호한 서식 환경으로 볼 수가 있고, 종수와 개체수가 가장 적은 St.1은 홍류골 상류의 농장이 주요오염원으로 작용하여 계류에 미세유기입자의 과도한 유입으로 서식지 교란이 강하게 가해지기 때문이라 판단된다.

섭식기능군의 종수는 굽어먹는무리에서 가장 많았고, 개체수는 주위먹는무리에서 가장 많았다. 굽어먹는무리는 하상의 부착조류를 굽어먹고, 주위먹는무리는 하상에 있는 미세 미립자 유기물을 먹는데, 가야산 섭식기능군의 이러한 구성은 암반의 면적이 넓은 가야산 국립공원의 하상의 특징을 반영하는 것이다. 또한 홍류골에 속하는 조사지점 네 곳보다 나머지 조사지점에서 전체적으로 잡아먹는무리가 더 많은 것을 볼 수가 있는데, 이는 잡아먹는무리가 다른 무리보다 수질오염에 더 민감하기 때문에 수질이 상대적으로 더 우수한 치밭골, 토신골, 용기골에 더 편중되어 분포하기 때문일 것이다. 섭식기능군과 고도의 상관분석의 결과를 보면 주위먹는무리의 개체수가 상관계수  $-0.343$  및 유의도  $99.5\%$ 로 유의한 음의 상관관계를 나타냈는데 이러한 결과는 원주천의 섭식기능군에 대한 선행연구에서 주위먹는무리의 개체수가 서식지의 고도가 높을수록 현저히 감소한다고 밝힌 결과(Shin et al., 2006)와는 일치하나 일치한다. 그러나 지리산 국립공원의 계류에 서식하는 섭식기능군 분포의 고도와의 관계를 비교하면 일치하지 않는 것(Bang et al., 2016)으로 보아, Ra et al.(1991)에서 제시된 바와 같이 어떤 섭식기능군의 출현양상은 고도의 단일 영향이라기보다는 서식지의 여러 생물학적 및 화학적 요인이 복합적으로 작용한 결과로 해석해야 할 것이다.

한편 서식습성군의 분포 현황을 살펴보면 붙는무리와 기는무리의 종 수와 개체수가 다른 군 보다 많이 출현한 것을 알 수 있는데, 이는 산간계류의 특징인 빠른 유속에 적응하여 살기 적합하기 때문이라고 생각이 된다. 서식습성군과 고도의 상관분석의 결과를 보면 붙는무리가 상관계수  $-0.547$  및 유의도  $99.9\%$ 로 음의 상관관계를 나타냈는데, 이는 고도가 높아질수록 하폭과 수폭이 좁아지기 때문에 이러한 결과가 나

온 것으로 보인다. 그리고 굴파는무리가 상관계수  $-0.331$  및 유의도  $99.5\%$ 로 음의상관관계를 나타냈는데, 이는 고도가 높아질수록 모래와 퇴적물 등이 비교적 줄어들기 때문에 굴파는무리의 개체수가 줄어드는 것으로 사료 된다. 그러나 현재까지 섭식기능군에 비해 서식습성군의 생태에 관한 연구는 상대적으로 미비한 실정이므로 결과에 대한 합리적인 해석을 위해서는 관련연구가 앞으로 더 심도 있게 이루어져야 할 것이다. 다시 말해 고도와 섭식기능군, 그리고 고도와 서식습성군간에 유의미한 관련성이 있을지에 관해서는 앞으로 더 많은 연구가 이루어진 후에 종합적으로 고려해 보아야 할 문제로 생각된다.

조사계절별 군집분석 결과에서 생물지수가 춘계에 가장 높았고 하계에 가장 낮았는데 이것은 저서성 대형무척추동물 군집과 그 환경에서 나타나는 일반적 현상이다. 하계에 생물 다양성이 가장 낮은 이유는 하계의 높은 수온과 강수량의 변화, 그리고 인간의 간섭 강도가 높기 때문이며 무엇보다 구성비율이 가장 높은 수서곤충의 우화가 막 끝나고 차세대 유충들이 아직 서식지를 점유하지 않은 시기로서, 실제 채집되는 수서유충의 수가 적기 때문일 것이다.

생물학적 수질평가에서 저서성 대형무척추동물 생태점수(ESB)는 대부분의 조사지점에서 I ~ III급수로 나타났으나 St.1에서는 특히 2015년도 춘계에는 II급수인데 반해 하계에는 V급수까지로 다양한 수질로 나타났는데 이러한 결과는 이 조사지점에서 저서성 대형무척추동물의 종수와 개체수가 가장 적었던 사실과 밀접한 관련이 있으며 이 조사지점의 상류부 농장으로부터의 다량의 유기물질이 수계로 유입되어 얻어진 것으로 판단된다. 본 연구에서 한국오수생물지수(KSI)는 전체 조사지점 'high'의 상태를 나타내었고, 저서생물지수(BMI)도 전체 조사지점에서 '최상'의 상태가 나왔다. 이 두 가지 수질평가방법은 산간계류와 같이 수질상태가 양호한 곳에 대해서는 대부분 최상의 수질평가 값이 산출되기 때문에 수질평가 시 변별력이 없다는 단점이 있다. 수질평가방법의 변별력에 관해서는 지리산의 산지계류를 대상으로 한 연구에서 생물학적 평가지수들에 대한 비교를 한 바 있으며 그 연구에서도 역시 KSI와 BMI값이 모두 최상으로 산출되어 산지계류의 수질평가 수단으로는 변별력이

낮아 적합하지 못하다는 의견을 제시하였다(Bang et al., 2016). 즉 이 두 가지 수질 평가법은 평지하천이나 정수성 습지에 오히려 더 적합하므로 국립공원의 산간계류에 적용할 수 있는 생물학적 수질평가에는 오히려 저서성 대형무척추동물 생태점수(ESB)나 군오염지수(GPI)가 더 변별력이 높아 유용한 것으로 판단된다. 그러나 저서성 대형무척추동물 생태점수(ESB)는 점수가 높은 종의 출현 수의 합으로 산정하여 깨끗한 수질에서도 출현 종수가 적을 수 있기 때문에 이러한 생물학적 수질평가지수는 산간계류의 조건에 맞게 보완이 필요하다고 생각된다.

## 5. 결론

가야산국립공원 주요수계 8개 조사지점에 대하여 2015년부터 2016년까지 저서성 대형무척추동물의 군집분포, 섭식기능군과 서식습성군의 분포 양상, 그리고 고도와와의 상관성을 분석하였다. 또한 생물지수들을 계산하여 각 조사지점의 우점도, 종다양도, 종풍부도, 균등도를 알아보았다. 그 결과 전체조사기간에 출현한 저서성 대형무척추동물은 4문 6강 16목 40과 100종 4,216개체였고, 전체 우점종은 보통옆새우(*Gammarus sobaogensis*)로 우점도는 0.141%였으며, 아우점종은 흰부채하루살이(*Epeorus nipponicus*)로 우점도는 0.088%였다. EPT군은 전체 출현종수의 71.00%를 차지하고 전체 출현개체수의 67.69%를 점유하였다. 섭식기능군의 종수는 굵어먹는무리가 가장 많았고, 개체수는 주위먹는무리가 가장 많았다. 고도별 섭식기능군의 출현양상을 살펴보면 주위먹는무리와 굵어먹는무리는 고도가 높아짐에 따라 개체수가 통계학적으로 유의미하게 감소하였다. 서식습성군의 종수와 개체수는 붙는무리와 기는무리에서 많이 출현하였고, 고도별로 출현한 서식습성군을 살펴보면, 붙는무리와 굴파는무리는 고도가 높아짐에 따라 개체수가 유의미하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 생물지수에서 종다양도와 종풍부도는 St.3 지점에서 가장 높았고 우점도는 St.2 지점에서 가장 높았으며, 균등도는 St.7 지점에서 가장 높게 나타났다. 또한, 알려진 몇 가지 방법으로 생물학적 수질평가를 하였으며 그 결과 가야산의 계류와 같은 산지계류에 대한 생물학

적 수질평가에는 KSI나 BMI보다는 ESB와 GPI지수가 더 적합하다는 결론에 도달하였다.

## REFERENCES

- Bang, G. J., Kim, H. G., Yoon, C. S., Cheong, S. W., 2016. Distribution characteristics of functional feeding groups of benthic macroinvertebrates and biological evaluation of water quality in Jirisan National Park, J. Environ. Sci., 25(5), 655-671.
- Cummins, K. W., 1973, Trophic relations of aquatic insects, Ann. Rev. Entomol., 18, 183-206.
- Cummins, K. W., 1974, Structure and function of stream ecosystem, Bioscience, 24(11), 631-641.
- Cummins, K. W., Klug, M. J., 1979, Feeding ecology of stream invertebrates, Ann. Rev. Syst., 10, 147-172.
- DIN 38410, 1990, Part 2, Biological-ecological analysis of water(group M), determination of the saprobic index(M2), German standard methods for the examination of water, Wastew. Sl., 1-10.
- Jung, K. S., 2011, Odonata Larvae of Korea, 1st ed., Ilkongyuk-Sa, Seoul, Korea, 14-399.
- Kawai, T., Tanida, K., 2005, Aquatic insects of Japan: Manual with keys and illustrations, 1st ed., Tokai University Press, Kanagawa, Japan, 27-1275.
- Kim, H. G., 2012, An analysis of the community structure of benthic macroinvertebrate community and an evaluation of water environment in the main stream of Gayasan National Park, M. Sc. Dissertation, Changwon National University, Changwon, Korea.
- Kong, D. S., 1997, Benthic macroinvertebrates in Hongseong and Yesan County, Ministry of Environment, Natural Environment in Yesan, Seosan and Hongseong, 155-204.
- Kwon, O. G., 1990, Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Min. Edu. Korea, 2-446.
- Lee, C. E., 1971, Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Min. Edu. Korea, 386-448.
- Margalef, R., 1957, La teoria de la informacion en ecologia, Mem. Real Acad. Cienc. Artes Barcelona, 373-449.
- McNaughton, S. J., 1967, Relationship among functional properties of California gassland, Nature, 216, 1268-144.
- Park, H. C., 2010, A Community structure of benthic



- macroinvertebrates in Gayasan National Park, M. Sc. Dissertation, Changwon National University, Changwon, Korea.
- Pielou, E. C., 1975, Species-diversity and pattern diversity in the study of ecological succession, *J. Theor. Biol.*, 10, 370-383.
- Ra, C. H., Cho, Y. K., Kim, J. S., 1991, The seasonal and altitudinal distribution of the stonefly nymphs (Plecoptera) in Paemsagol valley of Mt. Chiri, Korea, *Korean J. Limnol.*, 24(2), 69-76.
- Resh, V. H., Rosenberg, D. M., 1984, *The ecology of aquatic insects*, 1st Ed., Praeger Publishers, New York, 508-557.
- Resh, V. H., Rosenberg, D. M., 1993 *Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*, 1st ed., Chapman Hall, Inc., New York, 1-488.
- Ro, T. H., Chun, D. J., 2004, Functional feeding group categorization of Korean immature aquatic insects and community stability analysis, *Korean J. Limnol.*, 37(2), 137-148.
- Shannon, C. E. 1948, A Mathematical theory of communication, *Bell Sys. Tech. J.*, 27(3), 379-423.
- Shin, H. S., Park, S. C., Kim, J. K., Kim, S. J., Park, J. H., Choi, J. S., Choi, J. K., 2006, Community analysis based on functional feeding groups of aquatic insects in Wonju Stream, *Kor. J. Env. Eco.*, 20(2), 259-266.
- Song, K. R., 1995, Systematics of the Hirudinea(Annelida) in Korea, Korea University, 1-57.
- The Korean Entomological Society of Korea, 1994, Check list of insects from Korea, Konkuk University Press, 5-744.
- The Korean Society of Systematic Zoology, 1997, List of animals in Korea (excluding insects), Academy Press, Ltd., 2-489.
- Ward, J. V., 1991, *Aquatic Insect Ecology*, Part. 1, Biology and habitat, 1st Ed., John Wiley & Sons, New York, 1-456.
- Won, D. H., Jun, Y. C., Kwon, S. J., Hwang, S. J., Ahn, K. G., Lee, J. K., 2006, Development of Korean saprobic index using benthic macroinvertebrates and its application to biological stream environment assessment, *J. Korean Soc. Water Qual.*, 22(5), 768-781.
- Yoon, I. B., 1988, Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea(Aquatic Insects), Min. Edu. Korea, Vol. 30, 7-840.
- Yoon, I. B., 1995, Aquatic insects of Korea, *Junghaengsa*, Korea, 5-262.
- Yoon, I. B., Kong, D. S., Ryu, J. K., 1992, Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (3) Macroscopic simple water quality evaluation, *Korean Soc. Environ. Biol.*, 10(2), 77-84.
- Yoon, I. B., Song, M. Y., 1989, A Revision of the taxonomy of Korean black-flies (Simuliidae : Diptera) I, The larval and pupal stages of subgenus Simulium, *Entomol. Res. Bul.*, 15, 35-64.