

ORIGINAL ARTICLE

## 지리산국립공원 저서성 대형무척추동물의 섭식기능군 분포 특성과 생물학적 수질평가

방기준<sup>1)</sup> · 김형곤<sup>1)</sup> · 윤춘식 · 정선우\*

창원대학교 생물학·화학 융합학부, <sup>1)</sup>국립습지센터

### Distribution Characteristics of Functional Feeding Groups of Benthic Macroinvertebrates and Biological Evaluation of Water Quality in Jirisan National Park

Gi-Jun Bang<sup>1)</sup>, Hyoung-Gon Kim<sup>1)</sup>, Chun-Sik Yoon, Seon-Woo Cheong\*

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

<sup>1)</sup>National Wetlands Center, Changnyeong 50303, Korea

#### Abstract

The distribution characteristics of functional feeding groups and biological evaluation of water quality with benthic macroinvertebrates were investigated from 2013 to 2014 in the mountain streams of Jirisan National Park. Both quantitative and qualitative collection had been performed six times during study periods in twelve sites located at upstream, midstream and downstream of four valleys, Chilsungol, Baemsagol, Daesunggol and Piagol of freshwater ecosystem in Jirisan National Park. As results, the total collected benthic macroinvertebrates were 3 phyla, 4 classes, 11 orders, 37 families, 107 species and 4,028 individuals. In 2013, 3 phyla, 4 classes, 10 orders, 32 families, 89 species and 1,829 individuals were collected. And in 2014, 3 phyla, 4 classes, 9 orders, 31 families, 80 species and 2,199 individuals were identified. The total dominant species was Ecdyonurus kibumensis, and EPT groups occupied 80.39% of total species number. Biotic indices were also compared to site and to season. The dominant index (DI) was highest at the downstream of Baemsagol in the spring of 2013, and the evenness index ( $J'$ ) was highest at the downstream of Daesunggol in the summer of 2013. Both diversity index ( $H'$ ) and richness index (RI) were highest at the upstream of Baemsagol in the summer of 2014. The correlation between altitude above sea level and functional feeding groups of benthic macroinvertebrates was also researched in this study. As a result, the species number of shredders and predators have significantly increased according to the increase of the altitude of their habitat. On the other hand, individuals of gathering collectors have increased according to the increase of altitude. The biological water quality was evaluated and compared with several methods in this study, and we suggest that ESB and GPI are more appropriate than KSI and BMI to evaluate biological water quality of mountain stream water.

**Key words** : Functional feeding groups, Benthic macro-invertebrates, Biological evaluation of water quality, Jirisan national park

Received 7 February, 2016; Revised 26 April, 2016;

Accepted 27 April, 2016

\*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.

## 1. 서론

수서곤충의 종수가 전체의 70% 이상을 차지하고 있는 저서성 대형무척추동물은 하천의 물리적, 화학적, 생물학적 상태에 영향을 받기 때문에 하천의 수환경을 평가하는데 널리 이용되고 있다. 특히 하루살이목(Ephemeroptera), 강도래목(Plecoptera), 날도래목(Trichoptera), 소위 EPT군의 대다수는 오염된 수환경에서 매우 민감하게 반응하기 때문에 청정한 하천계류에서 출현비율이 높다(Budin et al., 2008). 이들은 담수의 먹이망에서 포식자인 동시에 다른 동물의 먹이가 되기 때문에 생태적으로 매우 중요한 위치를 차지하는데, 예를 들어 강도래목의 유충은 하천 생태계에서 어류와 같은 착추동물을 비롯하여 가재, 잠자리류, 딱정벌레류와 같은 육식성 수서곤충의 먹이가 되기도 하지만 하루살이류, 날도래류 등 대부분의 수서곤충에 대한 포식자로서 중요한 역할을 하기도 한다(Theischinger, 1991). 저서성 대형무척추동물은 분류학적으로 다양하고 서식처에 대한 정수성 및 종다양성, 긴생활사를 가지며 수환경변화에 민감하고, 비교적 뚜렷한 내성범위를 가진 종들이 있기 때문에 하천생태계의 환경을 평가하는 지표생물로서 매우 효과적으로 이용되고 있다(Hellawell, 1986).

또한 하천환경에서 바다에 풍부하게 서식하면서 주변 생태계의 탄소순환에 기여하기도 하는데 육상으로부터 유입되는 환원된 탄소성분과 수계내의 탄소고정에 의하여 공급된 것들을 조직 내에 일시적으로 저장하거나 이산화탄소로서의 전환을 수행하는 것으로 알려져 있다(Chilton, 1991). 이처럼 수서곤충을 포함한 저서성 대형무척추동물은 정수와 유수생태계의 다양한 서식처에 적응하고 있으며 생활사가 짧고 정량채집이 용이하기 때문에 생태학적 연구 재료로 많이 이용되며, 하천생물의 다양도와 풍부도를 결정할 정도로 우점하기 때문에 하천환경에서 중요한 생물군에 속한다(Ward, 1992).

이들은 하천의 유역에 따라 서식처의 유형과 먹이자원의 종류가 다르기 때문에 이에 적응한 수서곤충 군집 특성이 다르게 나타나며 그 차이에 따른 연구도 이루어지고 있다(Cummins, 1973; Merritt and Cummins, 1996). 서식처의 유형과 먹이자원의 차이에 따라 저서성 대형무척추동물을 구분하는 것으로 섭식기능군의 개념이 있으며, 이는 주어진 환경에서 동일한 먹이자원

을 같은 방식으로 이용하는 종들의 모임을 말한다. 섭식기능군은 7가지 그룹으로 구분되며 썰어먹는무리(shredders), 주워먹는무리(gathering collectors), 걸러먹는무리(filtering collectors), 긁어먹는무리(scrapers), 잡아먹는무리(predators), 찢어먹는무리(piercers), 기생하는무리(parasites)가 있으며 이러한 구분은 하천생태계가 가진 고유의 물리적 특성과 지역성 그리고 인위적인 간섭의 정도를 총괄하여 총체적인 계량화를 함으로써 유수생태계의 기능을 파악할 수 있다는 점에서 의의가 있다(Ro and Chun, 2004).

본 연구의 대상지인 지리산은 1967년에 국내 최초의 국립공원으로 지정되어 3개 도(경상남도, 전라남·북도), 1개 시 4개 군, 15개 읍면의 행정구역이 속해 있으며, 471.758 km<sup>2</sup>의 면적을 보유한 국내 21개 국립공원 중 가장 넓은 산악형 국립공원이다. 식생의 특징은 하상에 소나무림이 우점한 가운데 중부에는 참나무림이 분포하며, 아고산지대에는 구상나무림이 넓게 분포하여 다양한 식생을 갖추고 있기 때문에 다양한 동물들이 서식할 수 있는 환경조건을 갖추고 있다. 고산으로서 다변적 지형 요소와 함께 사방으로 펼쳐진 깊은 계곡들은 사계절 내내 풍부한 수량을 보유하고 있다. 이는 지리산 계곡부와 산사면의 임상 및 식생이 양호하게 유지될 수 있는 조건이 되며, 야생 동물이 서식하기에도 훌륭한 조건을 제공하고 있다(Korea National Park Service, 2003).

본 연구에서는 지리산국립공원의 주요 수계인 뱀사골, 칠선계곡, 피아골, 대성골의 상류, 중류, 하류에서 2013년부터 2014년까지 2년간 총 12개 조사지점을 선정하여 춘계, 하계, 추계에 저서성 대형무척추동물의 분포현황과 생물지수 및 수환경상태를 평가하였다. 조사된 생물의 자료를 바탕으로 다음과 같은 세부내용으로 연구하였다.

첫째, 지리산국립공원의 주요계곡에 서식하는 저서성 대형무척추동물의 분류군별 서식현황을 목별 종수와 개체수 중심으로 파악하였으며 계곡별 군집분포양상을 조사하였다. 둘째, 우점도, 다양도, 풍부도, 균등도를 포함하는 생물지수의 산출을 통하여 조사지점별 군집구조의 안정성과 동태를 파악하였다. 셋째, 저서성 대형무척추동물의 종 구성을 분석하여 생물학적 수질평가 기법인 저서성 대형무척추동물 생태점수(ESB), 군오염지수(GPI), 한국오수생물지수(KSI), 저서생물지수(BMI)를

이용하여 조사지점별 수환경 평가를 하였으며 그 결과를 비교하였다. 넷째, 조사지점별 속(genus)의 구성에 따른 섭식기능군의 분포를 조사 하였으며, 우점종 현황을 파악하였다. 다섯째, 해발고도에 따른 섭식기능군의 분포 양상을 파악하였으며 섭식기능군의 분포와 고도와의 상관성을 분석하였다. 이번 연구가 가지는 의의는 현재 국내에서 사용되고 있는 다양한 생물학적 수질평가 기법 중 국내 산간계류의 실정에 더 적합한 수질평가기법이 무엇인지 알아보는 데에 지리산국립공원의 저서성 대형 무척추동물의 분포를 모델로 이용한 것이 그 하나이고 산지수계의 하상구조를 반영하는 섭식기능군의 해발고도별 분포특성을 파악하여 하상과 주변환경과의 관련성을 고찰하는 것이다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사지점 및 개황

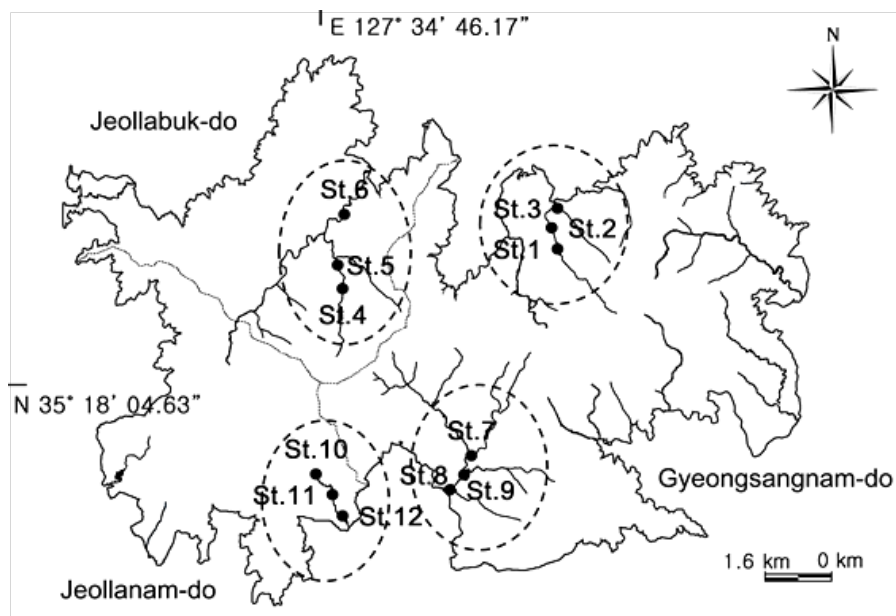
지리산국립공원 내 수계들 중 칠선계곡, 뱀사골, 대성

골, 피아골의 상류, 중류, 하류로서 총 12개 조사지점을 정하여 현지조사를 하였으며(Fig. 1), 각 조사지점의 위치와 개황은 다음과 같다.

- 칠선골 상류(St. 1): 경상남도 함양군 마천면 추성리의 선녀탕 주변이며 지리좌표는 북위 35° 21' 56", 동경 127° 41' 58"이다. 고도는 665 m, 하폭은 15~30 m, 유폭은 10 m, 수심은 0.5 m 정도이며 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 모래로 구성 되어 있다.

- 칠선골 중류(St. 2): 경상남도 함양군 마천면 추성리 두지동의 철교 주변이며 지리좌표는 북위 35° 22' 29", 동경 127° 41' 40"이다. 고도는 552 m, 하폭은 약 20 m, 유폭은 10 m내외, 수심은 50 cm 정도이며 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 굵은 모래로 구성 되어 있다.

- 칠선골 하류(St. 3): 경상남도 함양군 마천면 추성리의 칠선계곡 입구 주차장 부근이며 지리좌표는 북위 35° 23' 01", 동경 127° 41' 52"이다. 고도는 356 m, 하폭은 25 m내외, 유폭은 20 m내외이고 수심은 1~2 m 정도이며 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 굵은 모래로 구성



**Fig. 1.** Surveyed sites of benthic macroinvertebrate in major streams of Jirisan National Park. St. 1: upstream of Chilsungol; St. 2: midstream of Chilsungol; St. 3: downstream of Chilsungol; St. 4: upstream of Baemsagol; St. 5: midstream of Baemsagol; St. 6: downstream of Baemsagol; St. 7: upstream of Daesunggol; St. 8: midstream of Daesunggol; St. 9: downstream of Daesunggol; St. 10: upstream of Piagol; St. 11: midstream of Piagol; St. 12: downstream of Piagol.

되어 있다.

- 뱀사골 상류(St. 4): 전라북도 남원시 산내면 부운리의 병풍소 인근지역이며 지리좌표는 북위 35° 20' 26", 동경 127° 35' 24"이다. 고도는 680 m, 하폭은 10~15 m, 유폭은 7 m이고 수심은 50 cm 정도이며 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 모래로 구성 되어 있다.

- 뱀사골 중류(St. 5): 전라북도 남원시 산내면 부운리의 오룡대 인근 와운교 하부이며 지리좌표는 북위 35° 21' 28", 동경 127° 35' 16"이다. 고도는 567 m, 하폭은 40 m내외, 유폭은 10~20 m이고 수심은 0.5~2 m 정도이며 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 모래로 구성 되어 있다.

- 뱀사골 하류(St. 6): 전라북도 남원시 산내면 부운리의 폭포가든 인근지역이며, 지리좌표는 북위 35° 23' 40", 동경 127° 36' 06"이고 고도는 389 m, 하폭은 50~70 m, 유폭은 40 m이며, 수심은 0.9 m 정도이며 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 모래로 구성 되어 있다.

- 대성골 상류(St. 7): 경상남도 하동군 화개면 대성리의 작은새개골 주변이며, 지리좌표는 북위 35° 17' 49", 동경 127° 39' 54"이고 고도는 451 m이다. 하폭은 20~40 m, 유폭은 30 m, 수심은 0.5 m 정도이며 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 모래로 구성 되어 있다.

- 대성골 중류(St. 8): 경상남도 하동군 화개면 대성리의 대성교 하부이며, 지리좌표는 북위 35° 16' 29", 동경 127° 39' 19"이고 고도는 288 m이다. 하폭은 20~25 m, 유폭은 20 m이고, 수심은 0.5 m 정도이며 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 모래로 구성 되어 있다.

- 대성골 하류(St. 9): 경상남도 하동군 화개면 대성리의 단천교 하부이며, 지리좌표는 북위 35° 16' 03", 동경 127° 39' 52"이고 고도는 259 m이다. 하폭은 10~30 m, 유폭은 20 m이고, 수심은 0.5 m 정도이며 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 모래로 구성 되어 있다.

- 피아골 상류(St. 10): 전라남도 구례군 토지면 내서리의 삼흥교 주변이며, 지리 좌표는 북위 35° 16' 17", 동경 127° 33' 57"이고 고도는 605 m이다. 하폭은 20~25 m, 유폭은 15 m이고 수심은 0.5 m 정도이며 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 모래로 구성 되어 있다.

- 피아골 중류(St. 11): 전라남도 구례군 토지면 내서리 등산로 입구이며, 지리좌표는 북위 35° 15' 46",

동경 127° 34' 56"이고 고도는 428 m이다. 하폭은 30-40 m, 유폭은 15 m이고, 수심은 0.3 m 정도이며 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 모래로 구성 되어 있다.

- 피아골 하류(St. 12): 전라남도 구례군 토지면 내서리 연곡사 인근이며, 지리좌표는 북위 35° 14' 59", 동경 127° 35' 23"이고 고도는 286 m이다. 하폭은 30~50 m, 유폭은 20 m, 수심은 0.5 m 정도이며 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 모래로 구성 되어 있다.

## 2.2. 조사방법 및 생물분류

4개 계곡의 상, 중, 하류 총 12개 조사지점에 대하여 2013년과 2014년의 2년간 현지조사를 하였다. 3계절 조사로서 5월에 춘계조사, 7월에 하계조사, 9월에 추계조사를 하였으며, 동계는 서식지의 결빙으로 조사에 포함하지 않았다.

저서성 대형무척추동물의 현장조사는 정량조사와 정성조사를 하였으며 조사시기별, 조사지점별 출현도를 비교하였고 군집분석에는 정량조사 결과를 이용하였다. 정량조사는 Surber-net (30×30 cm, 망목크기 0.5×0.5 mm)을 이용하였으며, 하상의 구조와 유속을 고려하여 조사시기별로 조사지점당 각 3회씩 하였다. 조사지점내 군집의 종 구성을 조사하기 위하여 정성조사를 하였으며 이는 D-frame dip net (지름 30 cm, 망목크기 1×1 mm)과 Hand-net (망목크기 1×1 mm)을 이용하여 다양한 미소서식처에서 조사지점당 30분씩 채집을 하였다. 현장에서 채집된 표본은 고정액(Kahle's Solution; 에틸 알콜 28%, 포르말린 11%, 초산 2%, 증류수 59%)에서 1일간 고정하고 80% 에틸알콜에서 보관 및 동정하였다(Ward, 1992).

채집된 저서성 대형무척추동물은 Kawai and Tanida (2005), Kwon(1990), Lee(1971), Won et al.(2005), Yoon(1988), Yoon and Song(1989)을 이용하여 실제 현미경하에서 동정 분류하였고, 분류체계와 학명은 The Entomological Society of Korea and Korean Society of Applied Entomology(1994)와 The Korean Society of Systematic Zoology(1997)을 따랐다. 섭식기능군의 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)로는 종다양도(diversity index,  $H'$ ), 종풍부도(richness index, RI), 우점도(dominance index, DI), 균등도(evenness index:  $J'$ ), 종별 우점도(dominance, D), 상대밀도(relative density, RD)를 산출하였다. 종다양도는 어떤 군집의 종풍부도와 개체수의 상대적 균형을 나타내는 것으로 Shannon-Weaver function ( $H'$ ) 을 이용하였다(Shannon-Weaver, 1949). 종풍부도는 종수와 개체수를 바탕으로 군집의 건강상태를 평가하는 것으로, Margalef(1958)의 공식을 이용하였다. 우점도는 조사지점별 출현 개체수에 대한 제 1 및 제 2 우점종의 개체수 비율을 나타낸 것으로, 우점도가 높으면 종다양도는 저하된다(McNaughton, 1967). 균등도는 군집내 종 구성의 균등정도를 나타내는 것으로 각 지수의 최대치에 대한 실제치의 비로서 표현되며 안정적인 생태계에서는 높은 값을 나타낸다(Pielou, 1975). 종별 우점도는 조사지점에서 채집된 표본의 종별 개체수를 총 개체수에 대한 백분율로 나타내었다. 상대밀도는 종별 개체수를 최우점종의 개체수로 나누어 나타내었다.

섭식기능군(Functional feeding groups)과 조사지점 해발고도간 상관관계를 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 알려진 생태점수(ESB), 군오염지수(group pollution index, GPI), 한국오수생물지수(korean saprobic index, KSI), 저서생물지수(benthic macroinvertebrate index, BMI)를 구하고 이를 바탕으로 서식환경을 평가하였다. 생태점수에 의한 환경질의 평가 및 생태환경 관리기준의 판정은 ESB 지수(Kong, 1997)를 적용하였다. 군오염지수는 생물학적 조사에서 서식분포가 확인된 분류군 중 수질등급에 따른 출현 특성이 밝혀져 있는 종을 이용하여 Yoon et al.(1992)의 군오염지수를 토대로 산출하였다. 한국오수생물지수는 Zelinka and Marvan(1961)에 의해 제시된 바 있는 오수생물계열 판정법을 정량화하여 제안한 독일 DIN

38410(1990)을 기본으로 하고, Yoon et al.(1992)의 계산법을 참고하여 정량지수를 산출하였다. 생물학적 수생태계 건강성 평가 방법은 NIER(2011)에 적용한 방법을 이용하였다.

## 3. 결과

### 3.1. 저서성 대형무척추동물의 서식현황

지리산국립공원의 주요수계에서 2013년부터 2014년까지 조사된 저서성 대형무척추동물은 총 3문 4강 11목 37과 102종 4,028개체였으며, 2013년에는 3문 4강 10목 32과 89종 1,829개체, 2014년에는 3문 4강 9목 31과 80종 2,199개체가 각각 확인되었다.

전체 조사기간 동안 채집된 표본의 강별 종수 점유율을 계산하면 곤충강이 97종(95.10%)으로 가장 높았으며, 그 다음으로 빈모강과 갑각강이 각각 2종(1.96%)씩, 복족강이 1종(0.98%)으로 나타났다. 목별 종수로 고려한 점유율은 하루살이목이 36종(35.29%)으로 가장 높았고, 그 다음으로 날도래목이 26종(25.49%), 강도래목이 20종(19.61%), 파리목이 11종(10.78%), 물지렁이목과 잠자리목이 각각 2종(1.96%)씩, 중복족목, 단각목과 십각목, 노린재목과 뱀잠자리목이 각각 1종(0.99%)의 순으로 나타났다(Fig. 2A).

전체 출현종의 강별 개체수 점유율은 곤충강이 3,985개체(98.93%)로 가장 높았으며, 그 다음으로 갑각강이 29개체(0.72%), 복족강이 10개체(0.25%), 빈모강이 4개체(0.10%)의 순으로 나타났다. 목별 개체수 점유율은 하루살이목이 2,292개체(56.90%)로 가장 높았으며, 그 다음으로 강도래목이 954개체(23.68%), 날도래목이 507개체(12.59%), 파리목이 219개체(5.44%), 단각목이 28개체(0.70%), 잠자리목이 11개체(0.27%), 중복족목이 10개체(0.25%), 물지렁이목이 4개체(0.10%), 십각목, 노린재목과 뱀잠자리목이 각각 1개체(0.02%)의 순으로 나타났다(Fig. 2B).

2013년에 확인된 저서성 대형무척추동물은 3문 4강 10목 32과 89종 1,829개체였으며, 목별 종수 점유율은 하루살이목 33종(37.08%), 날도래목 20종(22.47%), 강도래목 19종(21.35%)의 순으로 이른바 EPT군의 비율이 가장 높았고, 그 외 파리목 9종(10.11%), 물지렁이목과 잠자리목이 각각 2종(2.25%)씩, 중복족목과 단각목,

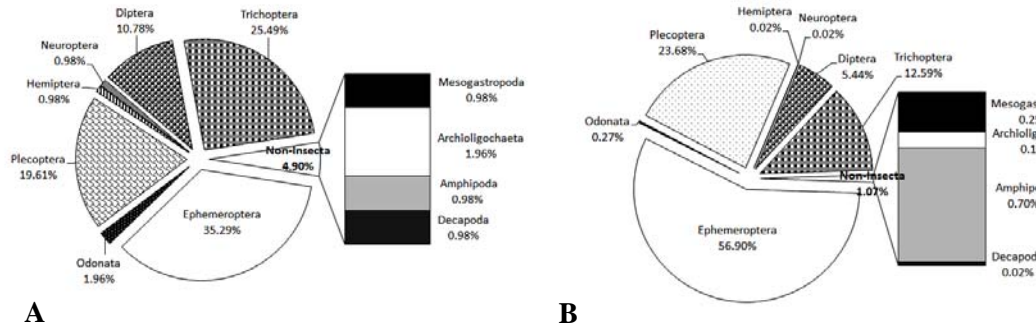


Fig. 2. Species composition (A) and individuals composition (B) by the order in Jirisan National Park (2013-2014).

십각목, 노린재목이 각각 1종(1.12%)씩의 순으로 나타났다. 목별 개체수 점유율도 하루살이목이 1,126개체(61.56%)로 가장 높았고 그 다음으로 강도래목 384개체(21.00%), 날도래목 191개체(10.44%), 파리목 98개체(5.36%), 단각목 16개체(0.87%), 잠자리목 6개체(0.33%), 중복족목과 물지렁이목 각각 3개체(0.16%)씩, 십각목과 노린재목이 각각 1개체(0.05%)씩의 순으로 나타났다. 2014년에는 3문 4강 9목 31과 80종 2,199개체가 조사되었으며, 목별 종수에 대한 점유율은, 역시 하루살이목이 31종(38.75%)으로 가장 높았고, 그 다음으로 날도래목이 21종(26.25%), 강도래목이 12종(15.00%), 파리목이 11종(13.75%), 중복족목, 물지렁이목, 단각목, 잠자리목과 뱀잡자리목이 각각 1종(1.25%)씩의 순으로 나타나 전년도와 비슷한 양상을 보여주었다. 2014년 목별 개체수 점유율은 전년도와 마찬가지로 하루살이목이 1,166개체(53.02%)로 가장 많이 출현하였으며, 그 다음으로 강도래목이 570개체(25.92%), 날도래목이 316개체(14.37%), 파리목이 121개체(5.50%), 단각목이 12개체(0.55%), 중복족목이 7개체(0.32%), 잠자리목이 5개체(0.23%), 물지렁이목, 뱀잡자리목이 각각 1개체(0.05%)씩의 순으로 나타났다.

계곡별 군집분포를 살펴보면, 칠선계곡에서 조사된 저서성 대형무척추동물은 2문 3강 7목 23과 65종 1,050개체이며, 2013년에 1문 2강 6목 22과 53종 424개체, 2014년에 2문 2강 5목 21과 50종 626개체로 나타났다. 뱀사골에서는 3문 4강 9목 32과 78종 1,129개체가 확인되었으며, 2013년에 3문 4강 8목 26과 63종 538개체,

2014년에 2문 3강 7목 27과 54종 591개체가 채집되었다. 대성골에서는 2문 3강 7목 27과 65종 623개체가 채집되었으며, 2013년도에 1문 2강 5목 19과 41종 241개체, 2014년에 2문 2강 6목 20과 51종 382개체가 확인되었다. 그리고 피아골에서는 3문 4강 8목 30과 76종 1,226개체의 저서성 대형무척추동물이 채집되었으며, 2013년에 3문 4강 8목 27과 63종 626개체, 2014년에 2문 3강 7목 27과 57종 600개체가 채집되었다.

전체 우점종은 두점하루살이(*Ecdyonurus kibumensis*)로 나타났고, 계곡별 우점종은 칠선계곡과 뱀사골에서 여린녹색강도래(*Sweltsa lepnevae*), 대성골과 피아골에서는 두점하루살이로 확인되었다. 국외반출승인종은 한국강도래(*Kamimura coreana*), 한국큰그물강도래(*Pteronarcys macra*), 수염치레각날도래(*Stenopsyche griseipennis*), 쇠측범잠자리(*Davidius iunatus*), 가는무늬하루살이(*Ephemera separigata*)가 확인되었다.

### 3.2. 생물지수

계곡별 조사지점에 따라 우점도(DI : dominance index), 종다양도( $H'$  : diversity index) 종풍부도(RI : richness index), 균등도( $J'$  : evenness index)를 포함하는 생물지수(Biotic indices)를 산출하여 계절별로 비교하였다.

전체적 우점도는 2013년 춘계에 뱀사골 하류에서 가장 높았고, 종다양도와 종풍부도는 2014년 하계에 뱀사골 상류에서, 균등도는 2013년 하계에 대성골 하류에서 가장 높았다. 낮은 지수를 나타낸 것은 우점도의 경우, 2014년 하계에 피아골 중류였으며, 종다양도와 종풍부

도는 2013년 하계에 칠선골 하류에서, 균등도는 2013년 춘계에 뱀사골 하류에서 가장 낮은 것으로 나타났다.

계곡별 결과는 먼저, 칠선계곡에서 우점도는 2013년 하계에 하류지점에서 0.767로 가장 높았으며, 2013년 추계에 중류지점에서 0.296으로 가장 낮게 나타났다. 종다양도는 2013년 추계에 중류지점에서 3.717로 가장 높았으며, 2013년 하계에 하류지점에서 1.840으로 가장 낮았다. 종풍부도는 2013년 추계에 상류지점에서 4.466으로 가장 높았고, 2013년 하계에 하류지점에서 1.329로 가장 낮았다. 그리고 균등도는 2013년 추계에 중류지점에서 0.929로 가장 높았고, 2013년 하계에 하류지점

에서 0.719로 가장 낮았다. 뱀사골의 우점도는 2013년 춘계에 하류지점에서 0.775로 가장 높았고 2014년 하계에 상류지점에서 0.295으로 가장 낮았다. 종다양도는 2014년 하계 상류지점에서 4.070으로 가장 높았으며, 2013년 춘계에 하류지점에서 2.189로 가장 낮았다. 종풍부도는 2014년 하계에 상류지점에서 5.352로 가장 높았고, 2013년 추계에 상류지점에서 2.463으로 가장 낮았다. 균등도는 2014년 하계에 하류지점에서 0.919로 가장 높았고, 2013년 춘계에 하류지점에서 0.592로 가장 낮은 수치를 나타냈다. 대성골의 우점도는 2013년 추계에 하류지점에서 0.739로 가장 높았으며, 2013년 춘

**Table 1.** Biotic indices of macro-invertebrates in major streams of Jirisan National Park in 2013 and 2014

Biotic Index	Chilsungol								Baemsagol							
	DI		$H'$		RI		$J'$		DI		$H'$		RI		$J'$	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
A a	0.512	0.412	3.005	3.321	2.962	3.676	0.838	0.796	0.581	0.490	2.889	3.481	3.150	4.737	0.759	0.770
A b	0.535	0.571	2.909	2.741	3.284	2.532	0.745	0.765	0.460	0.525	2.997	3.193	2.812	3.892	0.836	0.781
A c	0.585	0.509	3.084	3.208	3.778	3.631	0.771	0.769	0.775	0.529	2.189	2.886	2.673	3.081	0.592	0.758
B a	0.500	0.353	2.970	3.332	2.943	3.318	0.829	0.853	0.404	0.295	3.436	4.070	3.896	5.352	0.859	0.900
B b	0.677	0.528	1.994	2.627	1.456	2.519	0.772	0.760	0.364	0.585	3.298	2.728	3.432	2.950	0.891	0.717
B c	0.767	0.359	1.840	3.298	1.329	3.003	0.712	0.920	0.523	0.333	2.966	3.401	2.907	3.432	0.827	0.919
C a	0.333	0.397	3.699	3.301	4.466	2.955	0.887	0.892	0.529	0.507	2.682	2.962	2.463	2.598	0.748	0.826
C b	0.296	0.558	3.717	3.072	3.760	3.543	0.929	0.786	0.395	0.500	3.764	3.012	5.080	2.784	0.832	0.840
C c	0.341	0.464	3.414	3.313	3.171	3.543	0.923	0.828	0.460	0.492	2.948	3.072	2.812	3.162	0.822	0.807
Total	0.505	0.461	2.959	3.135	3.017	3.191	0.823	0.819	0.499	0.473	3.019	3.201	3.247	3.554	0.796	0.813
Biotic Index	Daesunggol								Piagol							
	DI		$H'$		RI		$J'$		DI		$H'$		RI		$J'$	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
A a	0.533	0.318	2.742	3.614	2.352	3.964	0.865	0.904	0.315	0.355	3.615	3.728	4.010	4.361	0.851	0.878
A b	0.380	0.314	3.046	3.847	2.301	4.578	0.917	0.906	0.289	0.388	3.788	3.442	4.156	4.053	0.892	0.784
A c	0.286	0.534	3.916	2.948	4.816	3.030	0.922	0.774	0.303	0.319	4.016	3.673	4.813	4.015	0.876	0.881
B a	0.577	0.377	2.853	3.735	3.069	4.622	0.825	0.864	0.500	0.259	3.259	3.819	3.940	4.433	0.797	0.899
B b	0.667	0.500	2.108	3.250	1.642	3.657	0.815	0.832	0.450	0.269	2.871	3.819	2.670	4.302	0.906	0.916
B c	0.500	0.344	2.252	3.352	2.232	3.462	0.970	0.906	0.390	0.456	3.153	3.420	2.962	4.029	0.879	0.820
C a	0.467	0.625	2.473	2.281	1.846	1.803	0.957	0.882	0.540	0.388	2.864	3.584	3.138	4.111	0.752	0.877
C b	0.357	0.556	3.308	2.753	3.301	2.768	0.923	0.868	0.506	0.462	3.440	2.988	4.702	2.278	0.771	0.899
C c	0.739	0.488	2.138	3.129	1.914	3.501	0.762	0.822	0.726	0.431	2.550	3.119	3.496	2.798	0.638	0.870
Total	0.501	0.451	2.760	3.212	2.608	3.487	0.884	0.862	0.446	0.370	3.284	3.510	3.765	3.820	0.818	0.869

DI: Dominance index,  $H'$ : Diversity index, RI: Richness index,  $J'$ : Evenness index, A: spring, B: summer, C: autumn, a: upstream, b: midstream, c: downstream

계에 하류지점에서 0.286으로 가장 낮았다. 종다양도는 2013년 춘계에 하류지점에서 3.916으로 가장 높았으며, 2013년 하계에 중류지점에서 2.108로 가장 낮았다. 종풍부도는 2013년 춘계에 하류지점에서 4.816으로 가장 높았으며 나타냈으며, 2013년 하계에 중류지점에서 1.642으로 가장 낮았다. 균등도는 2013년 하계에 하류지점에서 0.970으로 가장 높았으며, 2013년 추계에 하류지점에서 0.762로 가장 낮은 수치를 나타냈다. 피아골에서 우점도는 2013년 추계에 하류지점에서 0.726으로 가장 높았으며, 2014년 하계에 상류지점에서 0.259로 가장 낮았다. 종다양도는 2013년 춘계에 하류지점에서 4.016으로 가장 높았으며, 2013년 추계에 하류지점에서 2.550으로 가장 낮았다. 종풍부도는 2013년 춘계에 하류지점에서 4.813으로 가장 높았으며, 2014년 추계에 중류지점에서 2.278로 가장 낮았다. 균등도는 2014년 하계에 중류지점에서 0.916으로 가장 높았으며, 2013년 추계에 하류지점에서 0.638로 가장 낮은 수치를 나타냈다(Table. 1).

### 3.3. 생물학적 수질평가

#### 1) 저서성 대형무척추동물의 생태점수

저서성 대형무척추동물 생태점수(ESB : ecological score of benthic macroinvertebrate community)는 조사시기와 조사지점에 따라 14에서 88의 범위로 나타났으며, 그에 따른 수질등급은 I ~ III급수로 나타났다.

2013년에는 추계에 뱀사골 중류지점이 88로 가장 높았으며, 하계에 대성골 하류지점이 14로 가장 낮았다. 조사지점별 평균값을 비교하면 뱀사골 중류지점이 59(±13)로 가장 높았으며, 대성골 상류지점이 30(±3)으로 가장 낮았다. 계절별 평균값을 비교하면 춘계에 52(±8), 하계에 33(±7), 추계에 51(±10)로 춘계와 추계가 하계보다 높은 수치를 보여주었다. 2013년의 계곡별 평균값을 비교하면 칠선계곡 44(±9), 뱀사골 49(±8), 대성골 32(±32), 피아골 56(±9)로 피아골은 I 급수, 칠선계곡, 뱀사골 대성골은 II급수로 나타났다.

2014년에는 춘계에 뱀사골 상류지점이 79로 가장 높았으며, 추계에 대성골 상류지점이 20으로 가장 낮았다. 조사지점별 평균값을 비교하면 뱀사골 상류지점이 67(±10)로 가장 높았으며, 대성골 상류지점이 44(±11)로 가장 낮았다. 계절별 평균값을 비교하면 춘계에

58(±6), 하계에 51(±6), 추계에 44(±5)로 춘계와 하계에 추계보다 더 높은 수치를 나타냈다. 2014년의 계곡별 평균값을 비교하면 칠선계곡 49(±5), 뱀사골 54(±8), 대성골 45(±7), 피아골 56(±6)으로 뱀사골과 피아골은 I 급수, 칠선계곡과 대성골은 II급수를 나타냈다(Table 2).

#### 2) 군오염지수

군오염지수(GPI: group pollution index)는 0.56에서 1.26의 범위로 나타났으며, 수질등급은 I ~ II급수를 나타냈다.

2013년에는 추계에 피아골 상류지점이 1.26으로 가장 높았으며, 춘계에 뱀사골 중류지점이 0.56으로 가장 낮았다. 조사지점별 평균값을 비교하면 피아골 하류지점이 1.05(±0.05)로 가장 높았으며, 하계에 뱀사골과 피아골의 하류지점과 추계에 피아골의 상하류에서 II급수를 나타냈다. 그 외의 계절별 조사지점에서는 모두 I 급수의 수질등급을 보여주었다. 계절별 평균값을 비교하면 춘계에 0.89(±0.06)로 하계의 0.94(±0.04)나 추계의 0.94(±0.07)보다 더 낮은 수치를 나타냈다. 2013년의 계곡별 평균값을 비교하면 칠선계곡 0.89(±0.03), 뱀사골 0.87(±0.07), 대성골 0.93(±0.02), 피아골 1.00(±0.07)로 칠선계곡, 뱀사골, 대성골이 피아골에 비해 수질평가에서 더 높은 점수를 보여주었다.

2014년에는 추계에 대성골 중류지점이 1.19로 가장 높았으며, 하계에 대성골 하류지점이 0.61로 가장 낮았다. 조사지점별 평균값을 비교하면 대성골 중류지점이 0.99(±0.08)로 가장 높았고, 계절과 조사지점에 상관없이 칠선계곡과 뱀사골은 모두 높은 점수로 I 급수의 수질을 나타냈다. 그러나 대성골에서는 추계에 중류와 하류에서, 피아골에서는 춘계와 추계에 상류에서 II급수로 나타났다. 계절별 평균값을 비교하면 춘계가 0.85(±0.07), 하계가 0.83(±0.07)로 추계의 0.94(±0.06)보다 더 낮은 수치를 나타냈다. 2014년의 계곡별 평균값을 비교하면 칠선계곡 0.87(±0.04), 뱀사골 0.86(±0.05), 대성골 0.94(±0.08), 피아골 0.82(±0.09)로 모두 I 급수를 나타냈다(Table 2).

#### 3) 한국오수생물지수

한국오수생물지수(KSI: korean saprobic index)는 조사지점에 따라 0.03에서 0.56의 범위로 나타났으며, 수질등급은 전체적으로 "high"로 나타났다.



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

		Chilsungol															
		2013		2014		2013		2014		2013		2014		2013		2014	
		ESB	WQ	ESB	WQ	GPI	WQ	GPI	WQ	KSI	WQ	KSI	WQ	BMI	WQ	BMI	WQ
A	a	43	II	57	I	0.93	I	0.86	I	0.07	high	0.11	high	95.02	highest	96.33	highest
	b	49	II	42	II	0.96	I	0.70	I	0.09	high	0.10	high	95.22	highest	95.73	highest
	c	56	I	63	I	0.79	I	0.93	I	0.07	high	0.08	high	96.60	highest	95.37	highest
B	a	34	II	48	II	0.85	I	0.94	I	0.43	high	0.18	high	92.24	highest	95.76	highest
	b	18	III	38	II	0.91	I	0.86	I	0.28	high	0.25	high	95.24	highest	96.57	highest
	c	15	III	37	II	0.97	I	0.85	I	0.41	high	0.14	high	93.24	highest	95.93	highest
C	a	68	I	44	II	0.87	I	0.85	I	0.23	high	0.24	high	95.29	highest	94.93	highest
	b	62	I	52	I	0.83	I	0.85	I	0.16	high	0.38	high	94.87	highest	95.11	highest
	c	49	II	58	I	0.86	I	0.95	I	0.20	high	0.27	high	93.44	highest	94.85	highest
		Baemsagol															
A	a	44	II	79	I	0.97	I	0.68	I	0.27	high	0.11	high	96.72	highest	96.03	highest
	b	46	II	55	I	0.56	I	0.87	I	0.03	high	0.20	high	95.75	highest	96.85	highest
	c	38	II	49	II	0.93	I	0.78	I	0.11	high	0.16	high	97.11	highest	95.44	highest
B	a	53	I	78	I	0.89	I	0.86	I	0.26	high	0.12	high	95.43	highest	96.12	highest
	b	43	II	45	II	0.84	I	0.87	I	0.29	high	0.17	high	95.79	highest	96.33	highest
	c	39	II	38	II	1.02	II	1.00	I	0.56	high	0.21	high	90.09	highest	94.85	highest
C	a	45	II	43	II	0.86	I	0.87	I	0.14	high	0.19	high	95.29	highest	97.38	highest
	b	88	I	43	II	0.86	I	0.85	I	0.23	high	0.29	high	94.16	highest	96.59	highest
	c	44	II	55	I	0.93	I	0.98	I	0.17	high	0.14	high	95.08	highest	95.89	highest
		Daesunggol															
A	a	31	II	49	II	0.96	I	0.93	I	0.08	high	0.24	high	95.03	highest	95.86	highest
	b	33	II	62	I	0.88	I	0.91	I	0.05	high	0.12	high	97.23	highest	96.37	highest
	c	64	I	43	II	0.90	I	0.98	I	0.29	high	0.08	high	95.48	highest	95.74	highest
B	a	34	II	62	I	1.00	I	0.90	I	0.27	high	0.26	high	94.55	highest	95.30	highest
	b	24	II	43	II	0.93	I	0.89	I	0.15	high	0.20	high	96.95	highest	95.99	highest
	c	14	III	45	II	0.91	I	0.61	I	0.20	high	0.13	high	92.43	highest	95.67	highest
C	a	24	II	20	III	0.97	I	1.00	I	0.14	high	0.33	high	95.97	highest	94.90	highest
	b	46	II	31	II	0.86	I	1.19	II	0.09	high	0.25	high	96.01	highest	97.04	highest
	c	22	II	47	II	0.95	I	1.04	II	0.54	high	0.08	high	95.19	highest	94.47	highest
		Piagol															
A	a	66	I	63	I	0.91	I	1.16	II	0.14	high	0.15	high	98.00	highest	95.95	highest
	b	64	I	75	I	0.94	I	0.75	I	0.08	high	0.09	high	94.67	highest	94.85	highest
	c	85	I	57	I	0.93	I	0.65	I	0.14	high	0.30	high	96.16	highest	94.01	highest
B	a	54	I	64	I	0.86	I	0.62	I	0.18	high	0.12	high	94.38	highest	95.88	highest
	b	29	II	53	I	0.98	I	0.93	I	0.28	high	0.26	high	90.81	highest	95.15	highest
	c	34	II	61	I	1.06	II	0.64	I	0.43	high	0.17	high	91.33	highest	95.53	highest
C	a	44	II	54	I	1.29	II	1.02	II	0.50	high	0.45	high	91.26	highest	96.52	highest
	b	74	I	39	II	0.88	I	0.74	I	0.18	high	0.18	high	93.77	highest	95.75	highest
	c	51	I	38	II	1.15	II	0.90	I	0.34	high	0.23	high	90.06	highest	94.91	highest

A: spring, B: summer, C: autumn, a: upstream, b: midstream, c: downstream

ESB: ecological score of benthic macroinvertebrate community, GPI: group pollution index, KSI: Korean saprobic Index, BMI: benthic macroinvertebrates index, WQ: water quality

2013년에는 하계에 뱀사골 하류지점에서 0.56으로 가장 높았으며, 춘계에 뱀사골 중류지점에서 0.03으로 가장 낮았다. 조사지점별 평균값을 비교하면 대성골 하류지점이 0.34( $\pm 0.09$ )로 가장 높은 수치를 나타냈으며, 대성골 중류지점이 0.10( $\pm 0.02$ )로 가장 낮았다. 계절별 평균값을 비교하면 춘계에 0.12( $\pm 0.04$ ), 하계에 0.31( $\pm 0.06$ ), 추계에 0.24( $\pm 0.07$ )로 춘계와 추계보다 하계조사 시 더 높은 수치를 나타냈다. 2013년의 계곡별 평균값을 비교했을 때 칠선계곡 0.22( $\pm 0.07$ ), 뱀사골 0.23( $\pm 0.08$ ), 대성골 0.20( $\pm 0.08$ ), 피아골 0.25( $\pm 0.07$ )로 모두 "high"의 상태를 나타냈다.

2014년에는 추계에 피아골 상류지점에서 0.45로 가장 높았으며, 춘계에 대성골 하류지점이 0.08로 가장 낮았다. 조사지점별 평균값을 비교하면 대성골 상류지점이 0.28( $\pm 0.02$ )로 가장 높은 수치를 나타냈으며, 대성골 하류지점이 0.09( $\pm 0.01$ )로 가장 낮았다. 계절별 평균값을 비교하면 춘계에 0.15( $\pm 0.03$ ), 하계에 0.18( $\pm 0.03$ ), 추계에 0.25( $\pm 0.05$ )로 춘계와 하계보다 추계조사 시 더 높은 수치를 나타냈다. 2014년의 계곡별 평균값을 비교했을 때 칠선계곡 0.19( $\pm 0.05$ ), 뱀사골 0.18( $\pm 0.03$ ), 대성골 0.19( $\pm 0.04$ ), 피아골 0.22( $\pm 0.06$ )로 모두 "high"의 상태를 나타냈다(Table 2).

#### 4) 저서생물지수

저서생물지수(BMI: benthic macroinvertebrates index)는 조사지점에 따라 90.06에서 98.00의 범위로 나타났으며, 수질등급은 전체가 최상(highest)을 나타냈다.

2013년에는 춘계에 피아골 상류지점이 98.00으로 가장 높았고, 추계에 피아골 하류지점이 90.06으로 가장 낮았다. 대성골 중류지점이 96.73( $\pm 0.32$ )으로 가장 높았으며 피아골 하류지점이 92.51( $\pm 1.61$ )로 가장 낮았다. 계절별 평균값을 비교하면 춘계에 96.08( $\pm 0.53$ ), 하계에 93.54( $\pm 1.09$ ), 추계에 94.20( $\pm 0.92$ )로 춘계가 하계와 추계보다 더 높은 수치를 나타냈다. 2013년의 계곡별 평균값을 비교하면 칠선계곡 94.57( $\pm 0.67$ ), 뱀사골 95.05( $\pm 1.03$ ), 대성골 95.43( $\pm 0.71$ ), 피아골 93.38( $\pm 1.35$ )로 수질등급이 모두 "highest"를 나타냈다.

2014년에는 추계에 뱀사골 상류지점에서 97.38로 가장 높았으며, 춘계에 피아골 하류지점에서 94.01로 가장 낮았다. 조사지점별 평균값을 비교하면 뱀사골 중류지점

이 96.59( $\pm 0.13$ )로 가장 높았으며 피아골 하류지점이 94.82( $\pm 0.38$ )로 가장 낮았다. 계절별 평균값을 비교하면 춘계에 95.71( $\pm 0.37$ ), 하계에 95.76( $\pm 0.25$ ), 추계에 95.70( $\pm 0.49$ )로 3계절이 모두 비슷한 수준으로 나타났다. 2014년의 계곡별 평균값을 비교하면 칠선계곡 95.62( $\pm 0.30$ ), 뱀사골 96.17( $\pm 0.37$ ), 대성골 95.71( $\pm 0.38$ ), 피아골 95.39( $\pm 0.37$ )로 수질등급이 모두 "highest"를 나타냈다(Table 2).

#### 3.4. 섭식기능군의 분포현황

지리산 저서성 대형무척추동물의 섭식기능군은 전체 7가지로 구분되는 무리들 중 긁어먹는무리(scrapers), 잡아먹는무리(predators), 주워먹는무리(gathering collectors), 썰어먹는무리(shredders), 걸러먹는무리(filtering collectors), 찢어먹는무리(piercers)의 6개 군으로 나뉜다. 긁어먹는 무리에 속하는 것들은 하루살이목 피라미하루살이과, 납작하루살이과 등이고, 잡아먹는무리에는 잠자리목 부채장수잠자리과, 강도래목 강도래과, 그물강도래과, 녹색강도래과, 파리목 각다귀과, 날도래목 물날도래과 등이 있으며, 주워먹는 무리에는 중복족목 다슬기과, 물지렁이목 물지렁이과, 단각목 옆새우과, 십각목 가재과, 하루살이목 꼬마하루살이과, 파리목 갈따구과 등이 있고, 걸러먹는무리에 날도래목 입술날도래과, 갯날도래과, 줄날도래과 등이 있다. 그리고 썰어먹는무리에는 강도래목 민강도래과, 꼬마강도래과, 넓은가슴강도래과, 날도래목 우묵날도래과 등이 있으며, 찢어먹는무리에는 노린재목 물벌레과가 있다.

2013년 조사지점에 따른 저서성 대형무척추동물 군집의 섭식기능군별 종수의 구성에서는 전체적으로 긁어먹는무리가 30.34%로 가장 높은 비율을 나타냈으며, 그 다음으로 잡아먹는무리 23.60%, 주워먹는무리 22.47%, 썰어먹는무리 13.48%, 걸러먹는무리 8.99%, 찢어먹는무리 1.12%의 순으로 나타났다. 2014년 조사에서도 긁어먹는무리가 30.00%로 가장 높은 비율을 나타냈으며, 그 다음으로 잡아먹는무리 26.12%, 주워먹는무리 22.50%, 썰어먹는무리 11.25%, 걸러먹는무리 10.00%의 순으로 나타났다(Fig. 3A).

섭식기능군별 개체수의 구성에서도 2013년에 긁어먹는무리가 41.77%로 가장 높은 점유율을 보여주었으며, 그 다음으로 주워먹는무리 24.60%, 잡아먹는무리

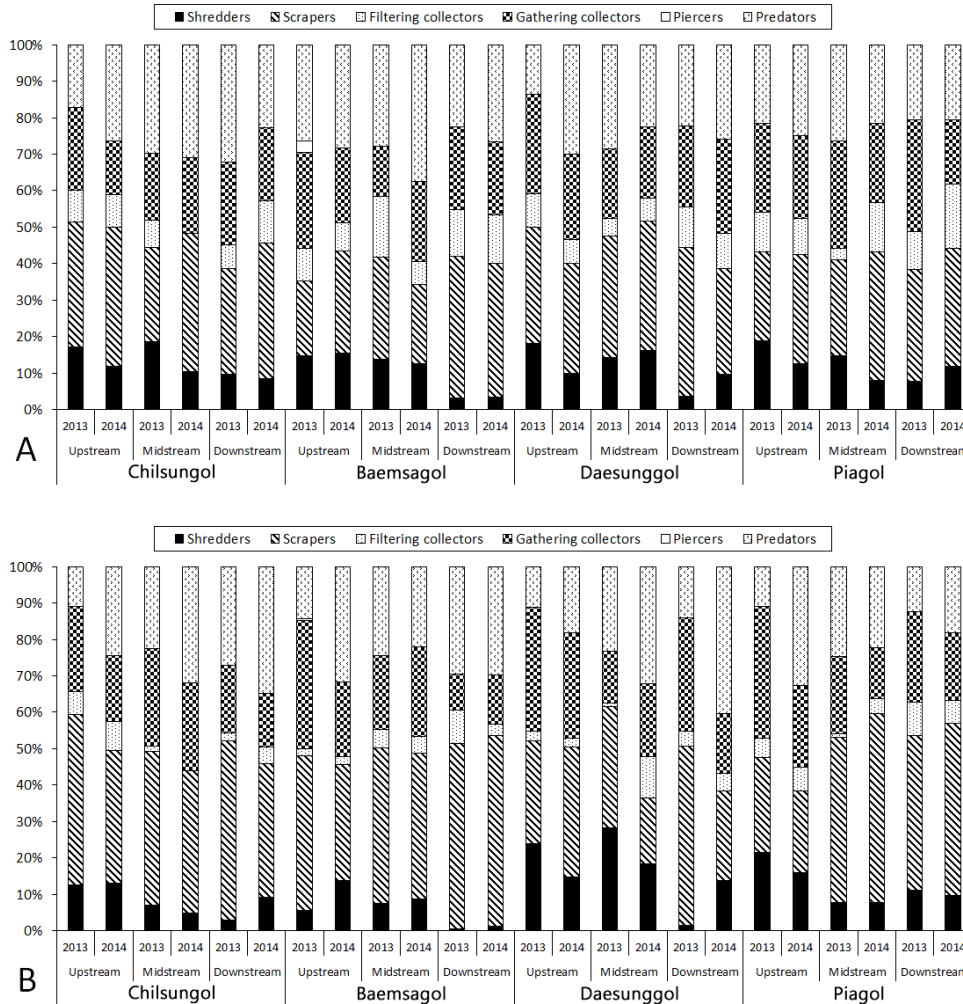


Fig. 3. Species composition (A) and individual composition (B) by the functional feeding groups of Jirisan National Park in 2013 and 2014.

18.92%, 찢어먹는무리 10.17%, 걸러먹는무리 4.48%, 찢러먹는무리 0.05%의 순으로 나타났다. 2014년 섭식 기능군별 개체수의 구성에서도 굵어먹는무리가 37.47%로 가장 높은 비율을 나타냈으며, 그 다음으로 잡아먹는무리 27.97%, 주워먹는무리 19.28%, 찢어먹는무리 10.60%, 걸러먹는무리 4.68%의 순으로 나타났다(Fig. 3B).

2013년과 2014년에 굵어먹는무리가 우세하였고 주워먹는무리의 개체수는 잡아먹는무리보다 2013년에는

5.69%가 더 많았으나, 2014년도에는 주워먹는무리의 개체수가 잡아먹는무리보다 8.69% 적은 것을 확인할 수 있었다. 또한 2013년도에는 찢러먹는무리가 확인되었지만, 2014년에는 확인되지 않았다.

### 3.5. 섭식기능군의 고도에 따른 분포

지리산국립공원의 저서성 대형무척추동물 섭식기능군의 분포와 고도와의 상관도를 선형회귀분석으로 알아보고 유의성을 확인함으로써 고도에 따른 저서성 대형무척추동물의 분포예측을 하였다. 그 결과 섭식기능군별

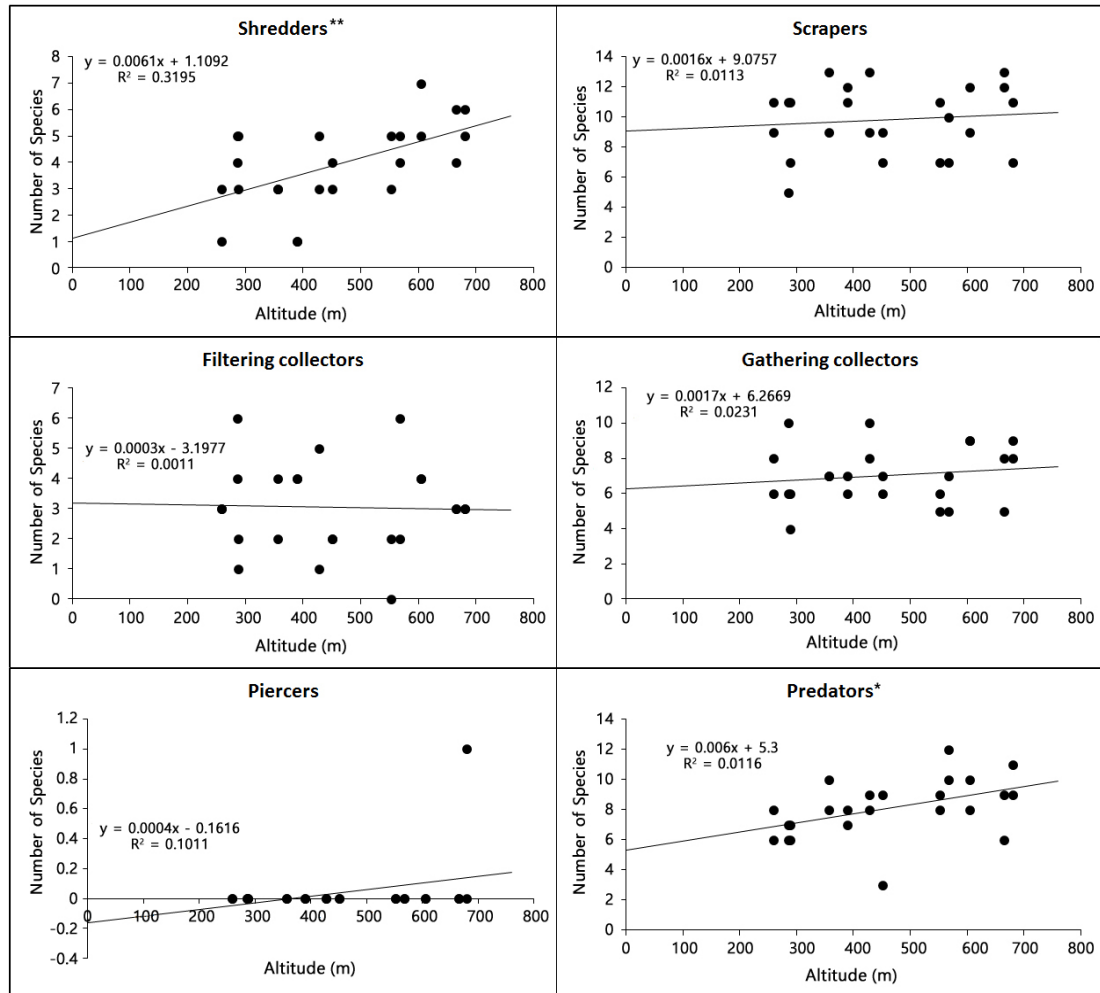


Fig. 4. Linear regression analyses between altitude and species number of each functional feeding groups in Jirisan National Park.

종수와 고도간 회귀분석에서는 썰어먹는무리가 결정계수 0.320 및 유의도는  $P < 0.01$ 로 매우 유의하게 나타났으며, 그 다음으로 잡아먹는무리가 결정계수 0.012 및 유의도는  $P < 0.05$ 로 유의하게 나타났다. 그 외 굵어먹는무리( $R^2 = 0.011$ ,  $P > 0.05$ ), 찢어먹는무리( $R^2 = 0.101$ ,  $P > 0.05$ ), 걸러먹는무리( $R^2 = 0.001$ ,  $P > 0.05$ )는 고도와는 양의 상관관계를 나타냈으나 유의성은 없는 것으로 확인되었다(Fig. 4).

섭식기능군별 개체수와 고도와는 상관관계는 주위먹는무리가 결정계수 0.275 및 유의도  $P < 0.01$  매우 유의

하게 나타났다. 그 외 찢어먹는무리( $R^2 = 0.101$ ,  $P > 0.05$ ), 굵어먹는무리( $R^2 = 0.088$ ,  $P > 0.05$ ), 썰어먹는무리( $R^2 = 0.042$ ,  $P > 0.05$ ), 잡아먹는무리( $R^2 = 0.016$ ,  $P > 0.05$ )는 고도와는 양의 상관관계를 나타냈으나 유의도는 낮은 것으로 나타났다. 걸러먹는무리( $R^2 = 0.003$ ,  $P > 0.05$ )로 고도와 음의 상관관계를 나타냈으나 유의미하지 않은 것으로 나타났다.

이로써 지리산의 저서성 대형무척추동물의 섭식기능군 중 고도와 유의한 상관관계를 보이는 것은 종수 기준에서는 썰어먹는무리와 잡아먹는무리로 나타났고, 개체

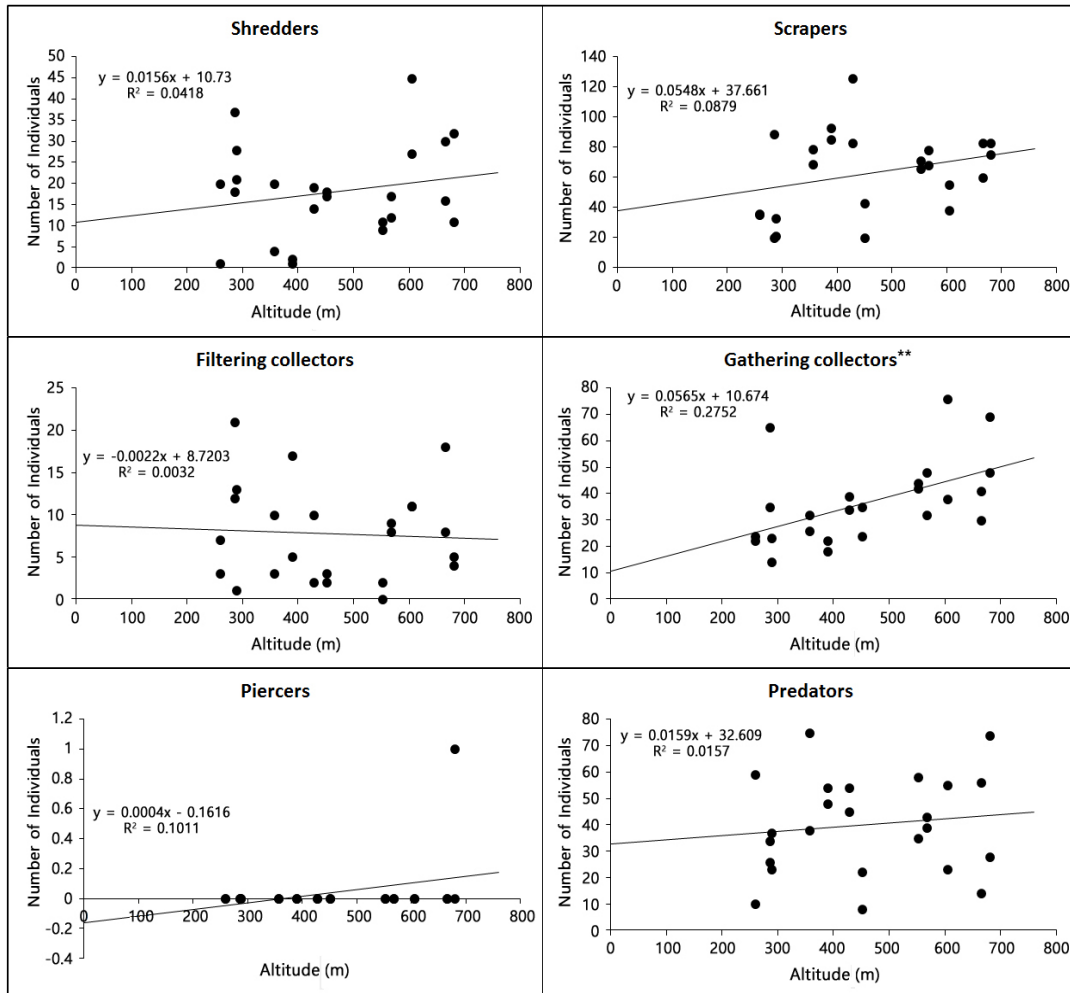


Fig. 5. Linear regression analyses between altitude and individuals of each functional feeding groups in Jirisan National Park.

수에 대해서는 주위먹는무리로 나타났다. 즉, 서식지의 고도가 높을수록 씹어먹는무리와 잡아먹는무리의 종수가 증가하고, 주위먹는무리의 개체수가 증가하는 경향을 나타낸다고 할 수 있다(Fig. 5).

#### 4. 고찰

지리산국립공원의 주요 4개 계곡에 서식하는 저서성 대형무척추동물의 군집구조를 파악하고, 알려진 몇 가지 생물학적 수질평가법을 적용하여 청정한 산지계류의 수

질평가에 가장 적합한 방법이 무엇인지 고찰해 보았다. 또한 고도별 서식환경의 차이에 의해 서로 다른 섭식기능군이 분포한다는 것을 보여주기 위하여 섭식기능군별 종 구성과 고도간의 상관분석을 하였으며 선형회귀분석에 의한 분포예측을 하였다.

지리산국립공원의 2013년부터 2014년까지 조사된 저서성 대형무척추동물은 11목 102종 4,028개체였으며, 2013년에는 10목 89종 1,829개체, 2014년에는 9목 80종 2,199개체가 확인되었다. 목별 종수 및 개체수에 대한 점유율을 살펴보면, 2013년과 2014년 모두 하루살이목

(Ephemeroptera)과 강도래목(Plecoptera), 날도래목(Trichoptera)이 다른 분류군보다 많이 나타났는데, 이는 산지계류의 전형적인 저서성 대형무척추동물상을 나타내는 것이며 지리산국립공원의 수환경이 청정하기 때문일 것이다.

2년 조사기간 중 2014년도는 전체적으로 전년도에 비해 종수는 감소하고 개체수는 증가하였는데, 이는 2014년도에 잦은 비로 인하여 서식처에 변화가 생긴 영향으로 생각되며 한편으로 서식환경에 적응된 우점종들의 개체수가 증가되어 나타난 현상으로 보인다. 조사시기별 출현 종수를 비교하였을 때, 2013년에는 춘계와 추계에 비해 하계조사에서 종수가 적게 나타나는데, 이는 하계의 집중호우로 유속이 빨라지면서 서식처의 하상구조의 변화로 인해 춘계와 추계조사에서는 확인되는 일부 종들이 나타나지 않아서 감소된 것으로 여겨진다. 그러나 2014년에는 2013년과 다르게 춘계와 하계조사보다 오히려 추계조사에서 적은 종수가 나타났는데, 이는 그해 늦은 장마로 인하여 다른 해의 하계조사 결과와 비슷한 양상을 보여준 것 같다. 반면 2014년의 개체수는 춘계에 가장 많았으며, 이는 그해 춘계에 강도래목의 먹이자인 풍부하여 개체수 증가에 기여한 것으로 보인다.

조사지점별 생물지수를 비교하였을 때, 우점도는 뱀사골을 제외한 칠선계곡, 대성골, 피아골에서 특정종이 우세하게 나타난 2013년도에 비해 2014년도에 더 낮게 나타남으로써 종별 개체수가 더 고르게 분포하다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 서식처가 전체적으로 안정된 형태를 갖는다는 것을 의미하기도 한다. 안정화된 환경에서 정량으로 채집된 종수와 개체수는 조사지점 별로 차이가 크지가 않아서 종다양도나 종풍부도가 전체적으로 비슷하게 나타나며 균등도도 2013년보다 2014년에 증가하였는데, 이는 2014년이 전년도보다 종들이 균일하게 분포하여 안정된 생태계를 나타내는 것으로 사료된다.

이번 연구를 통틀어 우점종은 두점하루살이(*Ecdyonurus kibumensis*)였는데 두점하루살이는 유속이 빠르며, 암반 및 호박돌에서 서식하는 동물이기 때문에 산간계류의 특성을 그대로 보여주는 조사지점의 특성 때문에 가장 많이 채집된 것으로 사료된다. 그 외 조사지점별로 납작하루살이(*Heptagenia kihada*), 부채하루살이(*Epeorus curvatulus*), 중부채하루살이(*Iron aesculus*), 참납작하루살이(*Ecdyonurus dracon*), 흰부채하루살이(*Epeorus*

*curvatulus*)가 우점하였고, 유속이 상류지점보다는 조금 느린 중류지점이나 하류지점의 같은 경우 강도래목인 한 국강도래(*Kamimuria coreana*)나, 진강도래(*Oyamia coreana*), 여린녹색강도래(*Sweltsa lepnevae*)가 우점하기도 하였다.

조사지점별로 생물학적 수질평가를 행하였으며 먼저, 저서성 대형무척추동물 생태점수(ESB)는 조사시기와 조사지점에 따라 1급수로 나타난 경우가 더 많았으나 전체적으로 I 급수~III급수의 범위로 다양한 구분이 가능하였다. 계절별로는 하계에 수온상승과 피서객에 의한 인간의 간섭으로 수질등급이 낮게 나타난 것으로 여겨진다. 군오염지수(GPI)는 2013년과 2014년 일부 조사결과에서 2급수가 나타나는 것을 제외하면 전체적으로 1급수에 해당되는 점수를 받았는데, 이는 저서성 대형무척추동물 생태점수(ESB)와 유사한 평가방법으로, 개체수에 상관없이 출현종에 의존하여 군오염점수를 산출하였기 때문이라 생각된다. 군오염지수에 의한 수질평가결과는 청정 산지계류인 이번 연구대상지에서 2개의 등급으로 나누어져 수질의 차이의 구별이 가능하였다. 한국오수생물지수(KSI)에 의한 수질평가결과는 전체 조사기간과 조사지점을 통하여 모두 “high”로 나타났는데, 이는 이 지수의 산출기준이 종수보다는 개체수에 의존하기 때문에 전체 개체수가 일정 수준 이상이 나오면 수질의 상태가 “high”로 판정되기 때문이다. 한국오수생물지수에 의한 이번 수질평가결과는 2년간의 조사시기와 조사지점에 상관없이 모두 “high”로 판정되어 지리산과 같은 청정 산지계류에서는 수질의 차이에 의한 구별이 어려웠다. 그리고 저서생물지수(BMI)에 의한 수질평가결과는 한국오수생물지수의 결과처럼 지리산의 주요 4개 계곡에 대하여 조사계절과 조사지점에 상관없이 모두 최상(highest)으로 나타났다. 이 지수도 한국오수생물지수처럼 종별 출현도와 관계없이 점수의 합산으로 산출하기 때문에 일정 개체수 이상이 나타나면 수질의 상태가 최상으로 판정되기 때문에 전체적으로 청정한 산간계류에는 변별력이 없어 적용하기 힘든 수질 평가법이라고 생각된다. 따라서 산간계류의 수 환경 평가에서는 출현종에 따른 빈도의 차이가 아닌 각 종들의 특이성을 접목시켜 점수를 산출한 군오염지수(GPI)나 수질평가 결과가 다양하게 나타난 저서성 대형무척추동물 생태점수(ESB)가 한국오수생물지수(KSI)나 저서생물지수(BMI)보다는

더 적합한 것으로 사료된다.

지리산국립공원의 저서성 대형무척추동물의 군집분포와 고도와와의 관계에 관한 연구는 청정수계에 서식하는 EPT group의 고도별 분포에 관하여 조사된 보고(Kim et al., 2014)가 있으나 이러한 연구와 비교하였을 때, 본 연구가 가지는 차이점은 청정수계에 특징적으로 서식하는 EPT group의 대한 해발고도별 분포특성이 아니라 속(genus)별 섭식기능군의 해발고도별 분포특성을 알아보는 것이다. 이러한 연구방법의 이점은 섭식기능군이 해당 조사지점의 하상구조를 나타내는 것이기 때문에 하상구조가 생물 다양성에 미치는 영향도 함께 알아 볼 수 있다는 것이다.

섭식기능군에 따른 결과로 2013년과 2014년 모두 전체적으로 굵어먹는무리의 비율이 높게 나타났는데, 굵어먹는무리는 돌이나 바닥 등, 표면에 붙어있는 조류를 굵어먹는 섭식특성을 가졌기 때문에 이들의 우점은 호박돌과 자갈로 구성된 하상구조의 특성을 반영한다. 한편 상류와 달리 하류로 갈수록 잡아먹는무리나 주워먹는무리의 비율이 점차 높게 나타났는데 이는 하류로 갈수록 하폭이 넓고 많은 유기물이 분포함으로써, 먹이자원이 다르기 때문에 섭식기능군의 분포가 다르게 나타난 것으로 여겨진다.

각 조사지점별로 출현한 섭식기능군과 고도와의 상관관계를 분석한 결과, 썰어먹는무리는 고도와 유의한 양의 상관관계를 나타내면서 고도가 높아짐에 따라 종수도 많이 나타난다는 결과를 얻었다. 이는 고도가 높아질수록 인간의 간섭도 적을뿐더러 주변 목본식생이 계류에 더 밀접하게 분포하여 낙엽이나 떨어진 나뭇가지가 계류에 유입됨으로써, 하폭이 넓고, 잔사체가 적은 하류지점보다는 하폭이 좁고, 돌의 틈 사이에 잔사체가 많은 상류지점에 여러 종류의 썰어먹는무리가 나타나는 것으로 사료된다. 그리고 잡아먹는무리도 고도와 유의한 양의 상관관계를 나타내면서 고도가 높아짐에 따라 종수도 많이 나타난다는 결과를 얻었다. 이도 역시 주변의 식물과 잔사체에 의존하는 소형의 저차 소비자가 풍부하여 잡아먹는무리의 먹이 역할을 하기 때문일 것이다. 고도가 높은 상류에서 주워먹는무리의 종수에 비해 개체수가 많은 것은 먹이자원이 풍부하여도 서식환경에 적응한 특정 종들만 서식하면서 개체수가 증가하였기 때문일 것이다. 그 외의 섭식기능군무리는 고도와 양 또는 음의 상관관계를

보였으나 유의하지는 않았다. 이에 대해서는 장기적인 연구로 더 명확한 결과를 도출할 필요가 있다고 생각된다. 이처럼 고도에 따라 나타나는 섭식기능군의 무리가 변화하는 것은 고도에 따라 변화되는 유속이나, 수심, 부유물질이 달라지면서 서식기능군의 먹이자원이 다르기 때문으로 사료된다. 그러나 이번 연구에서 밝힌 사실은 지리산의 저서성 대형무척추동물의 고도별 분포자료에 의거한 것으로, 이 결과의 일반화를 위해서는 앞으로 섭식기능군의 분포에 미치는 다양한 산지수계에서 여러 환경의 영향과 더불어 장기적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 5. 결론

지리산 국립공원 산지계류의 저서성 대형무척추동물의 서식현황을 2013년과 2014년에 조사하여 섭식기능군의 분포특성을 연구하였으며 생물학적 수질평가를 행하였다. 채집조사는 지리산 국립공원 담수생태계의 4개 계곡인, 칠선골, 뱀사골, 대성골, 피아골의 상류, 중류, 하류 총 12개 조사지점에서 정량조사와 정성조사를 연구기간 중 6회 행하였다. 조사 결과, 전체 대형무척추동물의 분류군은 3문 4강 11목 37과 107종 4,028개체였으며 2013년에는 3문 4강 10목 32과 89종 1,829개체가, 2014년에는 3문 4강 9목 31과 80종 2,199개체가 동정되었다. 전체 우점종은 두점하루살이(*Ecdyonurus kibumensis*)였으며 EPT군이 전체 종수의 80.39%를 차지하였다. 조사지점별 생물지수를 계산하여 비교한 결과, 우점도(DI)는 2013년 춘계에 뱀사골의 하류지점에서 가장 높았고 균등도(J)는 2013년 하계에 대성골의 하류지점에서 가장 높았으며 다양도(H')와 풍부도(RI)는 2014년 하계에 뱀사골의 상류지점에서 가장 높았다. 해발고도와 저서성 대형무척추동물의 섭식기능군사이의 상관관계를 연구한 결과 썰어먹는무리와 잡아먹는무리는 그들의 서식지 고도가 상승하면 종수가 유의하게 증가하고, 주워먹는무리의 개체수는 서식지의 고도가 상승할 때 증가하였다. 또한 생물학적 수질평가를 알려진 몇 가지 방법으로 하였으며 ESB와 GPI지수가 KSI나 BMI보다는 지리산의 계류와 같은 산지계류의 생물학적 수질평가를 하는데 더 적합하다고 사료된다.

### 감사의 글

이 연구는 국립공원관리공단 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

### REFERENCES

- Budin, K., Jubok, Z., Gabda, D., Abdullah, N., Ahmed, A., 2008, Effect of water parameters on Ephemeroptera abundance in Telipok River, Sabah Malaysia, Wseas Transactions on Environment and Development, 5(4), 447-451.
- Chilton, E. W., 1991, Macroinvertebrate communities associated with three aquatic macrophytes (*Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum*, and *Vallisneria spiralis*) in lake Onalaska, Wisconsin, J. Fresh-water Ecol., 5(4), 455-466.
- 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, Waste Water and Sludge, 1-10.
- Hellawell, J. M., 1986, Biological indicators of fresh-water pollution and environmental management, London, Elsevier. 1-546.
- Kawai, T., Tanida, K., 2005, Aquatic insects of Japan, Tokai University Press, Japan, 27-1275.
- Kim, H. G., Yoon, C. S., Hwang, J. W., Park, E. H., Cheong, S. W., 2014, A Characteristic of community distribution on benthic macro-invertebrates in major streams of Jirisan Mountain, Journal of Environmental Science International, 23(2), 291-302.
- Kong, D. S., 1997, Benthic macroinvertebrates in Hongseong and Yesan Country, Ministry of Environment, Natural Environment in Yesan, Seosan and Hongseong, 155-204.
- Korea National Park Service, 2003, Natural resources survey on Jirisan National Park, Korea National Park Service, 121-139.
- Kwon, O. G., 1990, Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Vol. 32, Min. Edu. Korea, 2-446.
- Lee, C. E., 1971, Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Vol. 12, Min. Edu. Korea, 386-448.
- Margalef, R., 1958, Temporal succession and spatial heterogeneity in natural phytoplankton, In perspectives in marine biology, Univ. of California Press, 323-349.
- Merritt, R. W., Berg, M. B., Cummins, K. W., 1996, An Introduction to the aquatic insects of North America, 3rd. Ed., Kendall/Hunt, Dubuque, Iowa. 1-1214.
- McNaughton, S. J., 1967, Relationship among functional properties of California grassland, Nature, 216, 168-169.
- NIER. 2011, Research and evaluation in health of aquatic ecosystems, NIER. 3-441.
- Pielou, E. C., 1975, Species-diversity and pattern diversity in the study of ecological succession, J. Theor. Biol., 10, 370-383.
- 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., Weaver, W., 1949, The mathematical Theory of communication Univ. Illinois press. Urban, IL, 1-144.
- The Entomological Society of Korea and Korean Society of Applied Entomology, 1994, Check list of insects from Korea, Kon-Kuk University Press, 5-744.
- The Korean Society of Systematic Zoology, 1997, List of Animals in Korea (excluding insects), The Korean Society of Systematic Zoology, 3-489.
- Theischinger, G., 1991, The Insects of Australia, Melbourne University Press, 311-319.
- Ward, J. V., 1992, Aquatic insect ecology, John Wiley & Sons, 2-438.
- Won, D. H., Kwon, S. J., Jun, Y. C., 2005, Aquatic insects of Korea, Korea Ecosystem Service, 1-415.
- Yoon, I. B., 1988, Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Vol. 30 (aquatic insects), Min. Edu. Korea., 7-840.
- 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*,



- Entomological Research Bulletin, 15, 35-64.
- Yoon, I. B., Kong, D. S., Ryu, J. K., 1992, Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (I)-saprobic valency and individuals value, Korean Journal of Environment Biology, 10(1), 24-39.
- Zelinka, M., Marvan, P., 1961, Zur Priizisierung der Biologischen Klassifikation der Reinheid Fliessender Gewässer, Arch. Hydrobiolog., 57, 389-407.