

# 가야산 수계 내 저서성 대형무척추동물의 군집특성과 이화학적 수질 요인과의 상관관계

김형곤·윤춘식\*·정선우\*\*

국립수산과학원 내수면양식연구센터  
\*창원대학교 생물학·화학융합학부

## A Community Characteristic on Benthic Macroinvertebrates and Correlation of Physicochemical Water Quality Factors in Stream of Gaya Mountain

Hyoung-Gon Kim·Chun-Sik Yoon\*·Seon-Woo Cheong\*\*

Inland Aquaculture Research Center, National Institute of Fisheries Science

\*Department of Biology & Chemistry, Changwon National University

(Received : 06 February 2018, Revised: 23 July 2018, Accepted: 04 October 2018)

### 요약

본 연구에서는 가야산 수계에 분포하는 저서성 대형무척추동물 군집의 특성을 밝히고 이화학적 수질요인과의 상관관계를 확인하였다. 연구기간동안 확인된 저서성 대형무척추동물은 총 4문 6강 13목 36과 100종이었으며 종수 점유율은 하루살이목, 날도래목, 강도래목, 파리목, 비곤충류, 노린재목, 잠자리목의 순으로 나타났다. 우점종은 민하루살이(*Cincticostella levanidovae*)로 우점도 17.72%였으며, 아우점종은 띠무늬우목날도래(*Hydatophylax nigrovittatus*)로 우점도 6.15%였다. 생물지수 중 전체조사지역에 대한 다양도는 5.17, 풍부도는 12.44로 나타난 반면, 우점도는 0.24, 균등도는 0.78로 가야산 수계에 서식하는 저서성 대형무척추동물은 특정종이 우점하지 않는다는 것을 알 수 있다. 주요 분류군과 이화학적 수질 요인간의 상관관계를 확인해 본 결과 하루살이목과 강도래목은 수온과 음의 상관관계를 나타내고 용존산소량은 양의 상관관계를 나타내었는데 이는 청정수계의 지표군인 하루살이목과 강도래목의 서식에 영향을 미치는 중요한 이화학적 수질요인으로 수온과 용존산소량을 들 수 있음을 의미한다.

핵심용어 : 가야산, 저서성 대형무척추동물, 군집특성, 이화학적 수질요인, 상관관계

### Abstract

In this study the community characteristics of benthic macroinvertebrates distributed in stream of Gaya Mountain were figured out and the correlation with the physicochemical water quality factors were calculated. During the study period, total 4 phyla, 6 classes, 13 orders, 36 families, 100 species of benthic macroinvertebrates were recorded. Ephemeroptera were the most dominant followed by Trichoptera, Plecoptera, Diptera, Non-insecta, Hemiptera, and Odonata. The overall dominant species was *Cincticostella levanidovae* by dominance rate in 17.72%, subdominant species was *Hydatophylax nigrovittatus* by dominance rate in 6.15%. The biotic indices showed the diversity index 5.17, richness index 12.44, dominant index 0.24 and evenness index 0.78, there is no absolutely dominant benthic macroinvertebrates in the stream of Gaya Mountain. We identified the correlation between the species number and individuals of main taxa and the physicochemical water quality factors. Ephemeroptera and Plecoptera showed a negative correlation with water temperature, but they represented a positive correlation with the dissolved oxygen. This results suggest that water temperature and dissolved oxygen are important physicochemical water quality factors affects the distribution of Ephemeroptera and Plecoptera, the indicators of clean water stream.

Key words : Gaya Mountain, Benthic macroinvertebrates, Community characteristics, Physicochemical water quality factors, Correlation

## 1. 서론

하천생태계(Stream Ecosystem)는 상류에서 하류로 갈수록

다양한 환경요인의 변화에 따라 환경특성이 변화되어 서식처의 특징을 결정하게 되며 그 곳에 적응하여 서식하는 생물의 종류도 달라지는 독특한 생태계이다(Allan, 1995). 또한 비 생물학적 환경요소와 생물학적 요소로 구성되어 시스템 내에서 이들 요소들의 상호작용의 결과는 생태계의 독특한 구조와 기능으로 나타난다(Horne and Goldman, 1994; Hynes, 1970; Vannote, 1980).

\* To whom correspondence should be addressed.  
Department of Biology & Chemistry, Changwon National University  
E-mail: swcheong@changwon.ac.kr

하천생태계에 영향을 미치는 주요한 환경요인은 고도, 유속, 유량, 수심, 하상구조, 토양, 온도, 강수량과 기후 등의 물리적 요소와 수소이온농도(pH), 용존산소량(DO), 전기전도도(EC) 등의 이화학적 요소로 구분할 수 있으며, 생물군집은 동·식물성 플랑크톤, 수생식물, 연체동물, 환형동물, 절지동물 등의 하등생물로부터 어류와 양서류·파충류, 조류, 포유류 등과 같은 고등동물에 이르기까지 매우 다양하고 복잡한 생물군으로 구성되어 있다 (McCafferty, 1981). 하천생태계의 생물학적 요소는 생산자, 소비자 및 분해자로 구분할 수 있으며, 생산자는 조류(Algae)와 대형식물(Macrophyte), 소비자는 저서성 대형무척추동물과 어류 및 양서류, 그리고 분해자는 박테리아와 곰팡이 같은 미생물로 대표된다. 생물학적 요소 중 소비자에 속하는 저서성 대형무척추동물은 호수나 하천에서 주로 서식하며 일생 중 일정기간 저서생활을 하는 무리에 해당한다(Rosenberg and Resh, 1993). 국내 하천의 산간계류는 폭이 좁고 유속이 빠른 것이 특징이며, 하상의 구조는 대부분 전석(Boulders)과 호박돌(Cobbles)로 구성되어 있다. 일반적으로 하류로 내려갈수록 하천의 폭과 수심은 증가하며, 유속이 느려지고 하상재료의 사립자 크기는 작아진다. 여름철 홍수로 인하여 하상표면적이 증가하거나 유실되는 하상 불안정의 증가현상은 저서성 대형무척추동물에게 매우 불리한 서식환경을 제공하며(Cobb et al., 1992; Robertson et al., 1995), 이들 생물군집의 회복속도는 은신처에 생존한 개체의 분산과 성충의 산란에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Gray and Fisher, 1981; Brooks and Boulton, 1991).

저서성 대형무척추동물은 분류학적으로 다양하고 서식처 한 곳에 정주하는 특성을 가지며, 수환경변화에 민감하고, 비교적 뚜렷한 내성범위를 가진 종들이 있기 때문에 하천생태계의 환경을 평가하는 지표생물로서 매우 효과적으로 이용되고 있다 (Hellowell, 1986). 특히, 이 중 하루살이목(Ephemeroptera), 강도래목(Plecoptera), 날도래목(Trichoptera)은 일반적으로 오염된 수질에서 매우 민감하게 반응하기 때문에 청정한 하천수계에서 출현빈도가 높다(Kim et al., 2014). 이 중 강도래목의 유충은 하천 생태계에서 1차 또는 2차 소비자로서, 이들은 주로 어류, 가재 등 비교적 큰 수서동물을 위시하여 잠자리류나 딱정벌레류와 같은 육식성 수서곤충의 먹이가 되기도 하지만 하루살이류나 날도래류 등 대부분의 수서곤충에 대한 포식자로서 중요한 역할을 한다(Theischinger, 1991). 유수생태계의 저서성 대형무척추동물의 생물다양성은 수환경 요인과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 예를 들어 호흡에 영향을 주는 수중 탁도가 증가할수록 종 다양성이 감소하고(Ward, 1974; Wright, 1967), 영양염류 및 TDS(Total Dissolved Solid)가 증가할수록 종 다양성이 증가한다는 것이다(Hilsenhoff, 1971). 이와 같은 연구는 저서성 대형무척추동물 전체분류군을 대상으로 포괄적으로 행해져 왔다.

따라서 본 연구에서는 저서성 대형무척추동물의 특정 분류군에 대해 수질과의 상관관계를 밝히고자 하였다. 연구대상지역인 가야산은 소백산맥의 한 지맥으로 한반도 남부내륙에 위치하고 있어 산세가 험준 수려하고 한국의 산악형 국립공원 16개소에 속하며, 1966년 6월 24일 사적 및 명승지 제5호 및 1972년 10월13일 국립공원 제 9호로 지정되어(Korea National Park Service, 2007) 자연

생태계가 잘 보존 되어 있어 연구대상지역으로 충분한 가치가 있다고 판단하여 2008년부터 2011년까지 4년간 총 7개 조사지점을 선정하여 춘계, 하계, 추계에 저서성 대형무척추동물의 군집특성을 연구하였다. 이렇게 조사된 생물자료를 바탕으로 조사지점별 저서성 대형무척추동물의 종구성의 분석 및 우점종 현황 등 군집분포의 특성을 파악하였다. 본 연구는 4년이라는 비교적 긴 조사기간을 통해 얻은 자료를 바탕으로 저서성 대형무척추동물의 각 분류군과 이화학적 수질 요인간의 상관관계를 분석하였으며 전체 저서성 대형무척추동물 종과 개체수에 대한 EPT군의 출현비율을 나타냄으로써 해당 수계의 생태학적 건강성을 평가할 수 있도록 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 조사지점 및 조사기간

가야산 내 산간수계의 7개 조사지점을 선정하여 조사하였다. 모든 조사지점 부근은 자연형 식생으로 되어 있었으며 St. 1의 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 모래로 구성되어 있었고 조사지점 상부에는 농경지가 있었다. St. 2의 하상은 암반과 호박돌, 자갈, 모래로 구성되며 조사지점 인근에는 관광객이 이용하는 야영장이 있었다. St. 3의 하상은 암반과 호박돌, 자갈로 구성되며 하천의 경사도는 약간 높은 편이며 자연형 제방이었다. St. 4 ~ St. 7의 하상은 암반과 호박돌 자갈 등으로 구성되며 하천의 경사도는 낮은 편이며 자연형 제방이었다. 이처럼 St. 1, 2는 농경활동 등으로 인해 인위적인 교란을 지속적으로 받고 있는 지역이었으며 St. 3 ~ St. 7은 탐방압 등 인위적 교란 요인이 적은 지역이었다. 각 조사지점의 행정구역과 지리좌표 및 해발고도는 다음과 같다 (Table 1, Fig. 1). 채집조사는 가야산 수계의 7개 조사지점에

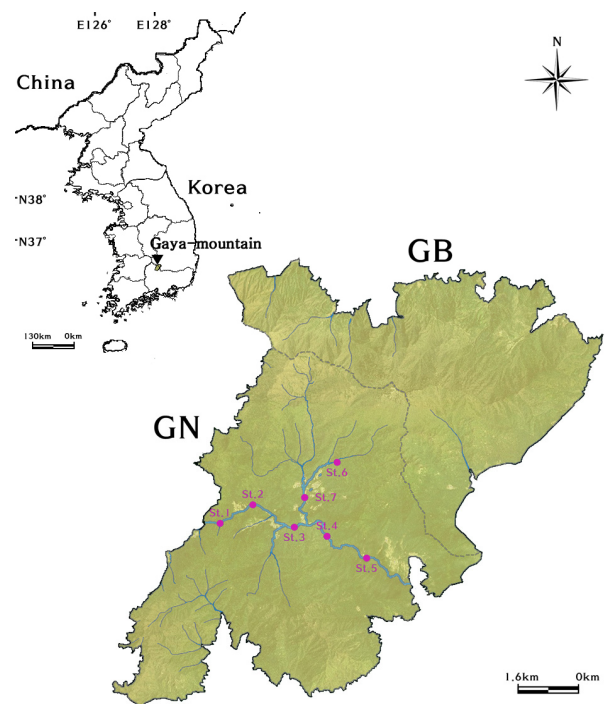


Fig. 1. Map of study sites in streams of Gaya Mountain.

Table 1. Description of study sites in Gaya Mountain

Study sites	Administrative districts	Coordinate	Altitude
St. 1	Gyeongnam Hapcheon-gun Gabuk-myeon Hongryugol upstream area	N 35° 47' 21" E 128° 04' 11"	689 m
St. 2	Gyeongnam Hapcheon-gun Gaya-myeon Chiin-ri 1st Campground area	N 35° 47' 30" E 128° 05' 10"	569 m
St. 3	Gyeongnam Hapcheon-gun Gaya-myeon Hongryugol midstream area	N 35° 47' 20" E 128° 05' 50"	513 m
St. 4	Gyeongnam Hapcheon-gun Gaya-myeon Gilsangam Temple area	N 35° 47' 10" E 128° 06' 12"	460 m
St. 5	Gyeongnam Hapcheon-gun Gaya-myeon Hongryugol downstream area	N 35° 46' 52" E 128° 06' 51"	439 m
St. 6	Gyeongnam Hapcheon-gun Gaya-myeon Tosingol upstream area	N 35° 48' 17" E 128° 06' 19"	652 m
St. 7	Gyeongnam Hapcheon-gun Gaya-myeon Tosingol downstream area	N 35° 47' 37" E 128° 05' 50"	569 m

대하여 2008년부터 2011년까지 4년간 총 12회 4월(춘계), 7월(하계), 9월(추계)로 구분하여 계절별로 행하였으며, 동계조사는 조사지의 특성상 하천의 결빙에 따른 저서성 대형무척추동물의 감소 등으로 조사대상지 수계의 특성을 충분히 대변할 수 없기 때문에 제외하였다. 보다 정확한 결과를 얻기 위해 가능한 매년 계절별로 조사 시기를 일치시켰다.

## 2.2 조사방법 및 저서성 대형무척추동물의 분류

저서성 대형무척추동물의 채집은 정량조사와 정성조사를 모두 행하였다. 정량조사는 Surber-net(30×30 cm, 망목크기 0.5×0.5 mm)을 이용하여 조사지점의 특성을 대변할 수 있는 곳을 선정하고 하상의 구조와 유속 등을 고려하여 3회씩 하였다. 정성조사는 폭이 30 cm인 hand net과 D-frame dip net(지름 30 cm, 망목크기 1×1 mm)을 이용하여 다양한 미소서식처에서 한 지점 당 30분 이상 채집하였다. 현장에서 채집된 표본은 500 ml vial에 넣고 고정액(Kahle's Solution; 에틸 알콜 28%, 포르말린 11%, 초산 2%, 증류수 59%)으로 고정하였다. 표본은 하루 정도 고정된 후 80% 에틸알콜 용액으로 옮겨 보관하였다(McCafferty, 1981; Williams and Feltmate, 1992).

수질조사는 저서성 대형무척추동물의 채집과 동시에 이루어졌으며 수온(Water temperature), pH, DO, EC는 다항목 수질 측정기(HORIBA OM-71-2E, HANNA HI98129)로 현장에서 측정하였고 부유물질(SS)은 유리섬유 여과법(GF/C, 0.45 μm)으로 여과 전·후의 무게차로 구하였고, 생물학적 산소요구량(BOD)은 시료를 20 °C에서 5일간 저장 후 호기성 미생물의 증식과 호흡작용에 의하여 소비된 용존산소량을 용존산소 측정기(YSI 5100; Dissolved Oxygen instrument, USA)를 사용하여 측정하였다.

채집된 저서성 대형무척추동물은 Kawai and Tanida(2005), Kwon(1990), Lee(1971), Won et al.(2005), Yoon(1988), Yoon and Song(1989)을 이용하여 실체현미경하에서 동정 분류하였고, 이 외 상기한 자료의 분류방법으로 동정이 어려운 종은 sp.로 하였다. 분류체계와 학명은 National List of Species of Korea(2018)에 따랐다.

## 2.3 생물지수의 산출 및 통계분석

생물지수로 어떤 군집의 풍부도와 개체수의 상대적 균형을 나타내는 종다양도(H') (Shannon and Weaver, 1949), 종수와 개체수를 바탕으로 군집의 건강상태를 나타내는 종풍부도(RI) (Margalef, 1958), 조사지점별 출현 개체수에 대한 우점종 및 아우점종의 개체수 비율을 나타내는 우점도(DI) (McNaughton, 1967) 군집 내 종구성의 균등정도를 나타내는 균등도(J') (Pielou, 1966)의 공식을 이용하여 산출하였다.

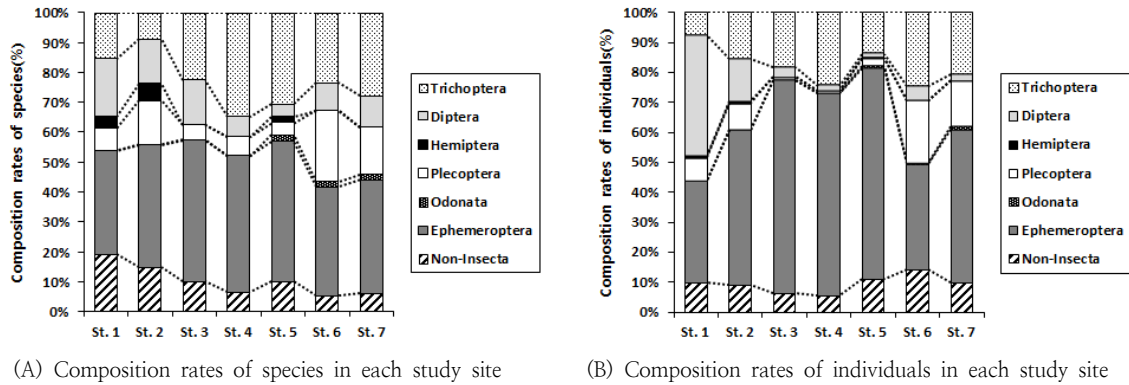
통계분석은 저서성 대형무척추동물의 각 분류군과 이화학적 수질요인과의 상관관계를 파악하기 위하여 상관분석을 하였으며 Software PASW Statistics(=SPSS) Version 21.0(IBM, USA) 프로그램을 이용하여 Pearson correlation coefficient를 통해 상관계수(r)를 산출하고, 유의성 검정(p)을 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 저서성 대형무척추동물의 분포

본 연구기간 4년 동안 정량조사로 가야산 일대에서 확인된 저서성 대형무척추동물은 총 4문 6강 13목 36과 100종 2,861개체였다. 이 중 하루살이목(Ephemeroptera)이 34종(34.00%)으로 가장 많은 종수를 나타냈으며, 날도래목(Trichoptera) 27종(27.00%), 강도래목(Plecoptera) 15종(15.00%), 파리목(Diptera) 11종(11.00%), 비곤충류(Non-Insecta) 10종(10.00%), 노린재목(Hemiptera) 2종(2.00%), 잠자리목(Odonata) 1종(1.00%)의 순으로 확인 되었다.

출현 개체수는 하루살이목이 1,637개체(57.22%)로 출현 개체수의 절반이상을 차지하였고, 날도래목 550개체(19.22%), 비곤충류 266개체(9.30%), 강도래목 218개체(7.62%), 파리목 174개체(6.08%), 잠자리목 11개체(0.38%), 노린재목 5개체(0.17%)의 순으로 확인 되었다(Table 2). 조사기간 중 연도별로 확인하면 2008년(연 767.00 mm)이 2009년(연 1066.00 mm), 2010년(연 1547.10 mm), 2011년(연 1624.50 mm)보다 많은 종수가 확인되었고 계절별로 확인하면 춘계나 추계에 비해



(A) Composition rates of species in each study site (B) Composition rates of individuals in each study site  
 Fig. 2. Differences of composition rates (%) on species richness and individuals in each stream site, Gaya Mountain.

Table 2. Number of species and individuals of benthic macroinvertebrates in stream of Gaya Mountain

	Number of species (Composition rate, %)	Number of Individuals (Composition rate, %)
Non-Insecta	10(10.00)	266(9.30)
Ephemeroptera	34(34.00)	1,637(57.22)
Odonata	1(1.00)	11(0.38)
Plecoptera	15(15.00)	218(7.62)
Hemiptera	2(2.00)	5(0.17)
Diptera	11(11.00)	174(6.08)
Trichoptera	27(27.00)	550(19.22)
Total	100(100)	2,861(100)

하계에 비교적 적은 종수가 확인되었는데 이는 폭우나 집중호우 등의 기후변화가 해당 서식처의 교란 작용을 하여 저서성 대형무척추동물의 분포에 영향을 주었을 것으로 보인다(Korea Meteorological Administration, 2011).

저서성 대형무척추동물의 분류군 중 EPT군은 청정수계를 대표하는 지표군이다(Kim et al., 2014). 따라서 종(species)수준에서의 지표성이 아닌 목(order) 수준에서의 EPT군이 전체 군집에서 차지하는 비율은 환경상태를 반영하는 간편한 지수로 이용될 수 있다(Lenat, 1988). 이에 조사지점별 출현 EPT군의 종별 비율은 St. 1에서 57.69%로 가장 낮았으며, St. 4에서 86.96%로 가장 높았다(Fig. 2A). 출현 개체수별 EPT군의 비율은 St. 1에서 49.12%로 가장 낮았으며, St. 4에서 92.38%로 가장 높아 각 조사지점에서 EPT군의 종 비율과 개체수 비율의

편차가 큰 것을 확인 할 수 있었다(Fig. 2B). St. 1은 조사지점 상부에서 이뤄지고 있는 농경활동으로 인한 비점오염원의 유입으로 EPT군의 서식분포에 영향을 미친 것으로 보인다.

3.2 우점종 현황

가야산 수계의 대부분의 조사지점에서 EPT군에 속하는 종이 우점종으로 확인되었으며 전체 우점종은 민하루살이(*Cincticostella levanidovae*)로 우점도 17.72%, 아우점종은 띠무늬우묵날도래(*Hydatophylax nigrovittatus*)로 우점도 6.15%였다. 조사지점별 우점종의 현황을 확인해보면 4년간 7개 조사지점 중 6개 조사지점에서 오염에 대한 내성도가 약한 종인 민하루살이(St. 2, 3, 4, 5, 7)와 띠무늬우묵날도래(St. 6)가 우점하였고, 나머지 1개의 조사지점인 St. 1에서 오염에 대한 내성이 있는 종인 깔따구류 spp.(Chironomidae spp.)가 우점하였다. 아우점종은 무늬하루살이(*Ephemera strigata*), 개똥하루살이(*Baetis fuscatus*), 뿔하루살이(*Drunella aculea*), 가는무늬하루살이(*Ephemera separigata*), 가시우묵날도래(*Neophylax ussuriensis*), 등줄하루살이(*Uracanthella rufa*), 띠무늬우묵날도래였다(Table 3). 조사지점별 주요 우점종으로는 깔따구류 spp., 민하루살이, 띠무늬우묵날도래로 대부분의 조사지점에서 10%에서 40%사이의 우점율을 보이며 어느 한 종이 절대적으로 우점하지 않고 고루 분포하였다. 조사지점별 우점종과 아우점종 대부분이 하루살이목과 날도래목이었다. 이 분류군들은 수질오염에 민감하게 반응하기 때문에 대부분 양호한 하천수계에서 출현빈도가 높은 것을 알 수 있다

Table 3. Dominant species and subdominant species at each study site in stream of Gaya Mountain

	Dominant Species(%)	Subdominant Species(%)
St. 1	<i>Chironomidae</i> spp. (37.43)	<i>Baetis fuscatus</i> (8.77)
St. 2	<i>Cincticostella levanidovae</i> (23.31)	<i>Hydatophylax nigrovittatus</i> (9.02)
St. 3	<i>Cincticostella levanidovae</i> (25.06)	<i>Neophylax ussuriensis</i> (8.86)
St. 4	<i>Cincticostella levanidovae</i> (29.50)	<i>Uracanthella rufa</i> (8.75)
St. 5	<i>Cincticostella levanidovae</i> (15.94)	<i>Ephemera strigata</i> (14.96)
St. 6	<i>Hydatophylax nigrovittatus</i> (10.42)	<i>Ephemera separigata</i> (8.87)
St. 7	<i>Cincticostella levanidovae</i> (13.69)	<i>Drunella aculea</i> (9.49)
Total	<i>Cincticostella levanidovae</i> (17.72)	<i>Hydatophylax nigrovittatus</i> (6.43)

(Kim et al., 2014). 따라서 우점종 현황을 통해 살펴본 가야산 수계는 농경지에 인접한 St. 1을 제외한 나머지 조사지점의 하천의 생태적 건강성은 양호한 것으로 보인다.

### 3.3 조사지점별 생물지수

정량채집된 저서성 대형무척추동물에 대하여 조사지점에 따라 다양도와 풍부도, 우점도, 균등도 등 생물지수를 산출하여 조사지점별 군집구조의 특성을 파악하였다. 그 결과 전체조사지역에 대한 다양도( $H'$ )는 5.17, 풍부도(RI)는 12.44로 나타난 반면, 우점도(DI)는 0.24, 균등도( $J'$ )는 0.78로 확인되었다. 우점도와 균등도의 최고값이 1인 것을 감안할 때 가야산 수계에 서식하는 저서성 대형무척추동물은 특정종이 우점하지 않는다는 것을 알 수 있었다. 조사지점별 다양도지수는 St. 1이 3.57로 가장 낮았고 St. 6이 4.82로 가장 높았다. 풍부도는 St. 1이 4.86으로 가장 낮고, St. 6이 8.84로 가장 높게 나타났다. St. 1은 저서성 대형무척추동물의 다양도와 풍부도가 모두 낮은 곳인데 이는 조사지점 상부에 위치한 경작지의 농경활동으로 인해 다량의 유기물이 유입되어 서식지로서의 불리한 조건으로 인해 나타난 결과라고 판단된다. 이와는 반대로 St. 6의 다양도지수가 높은 것은 전형적인 산지계류의 특성을 반영하고 인위적인 간섭 등을 받지 않고 모래, 자갈, 호박돌로 이루어진 안정적인 하상구조의 특성 등 저서성 대형무척추동물의 서식지로서 매우 유리한 조건을 갖추고 있기 때문이다. 우점도는 0.19에서 0.46사이로 전체적으로 낮으며 조사지점별로 비슷하였고 균등도는 전체적으로 높으며 역시 서로 많은 차이를 보이지 않았다(Table 4).

Table 4. Biotic indices on benthic macroinvertebrates by study sites in stream of Gaya Mountain

Study Sites	$H'$	RI	DI	$J'$
St. 1	3.57	4.86	0.46	0.76
St. 2	4.20	5.91	0.32	0.83
St. 3	4.18	6.52	0.34	0.79
St. 4	4.15	7.00	0.38	0.75
St. 5	4.39	7.70	0.31	0.78
St. 6	4.82	8.84	0.19	0.83
St. 7	4.73	8.01	0.23	0.84
Total	5.17	12.44	0.24	0.78

$H'$  : Diversity Index, RI : Richness Index, DI : Dominance index,  $J'$  : Evenness index

### 3.4 조사지점별 이화학적 수질요인

수온은 평균 15.02 ~ 16.88 °C의 범위로 전형적인 산간 수계의 특성을 보였으며, pH는 평균 7.40 ~ 7.93의 범위를 나타내었다. DO는 평균 7.71 ~ 8.50 mg/L의 범위로 하천 생활환경 기준으로 모든 조사지점에서 매우 좋음(Ia)에 해당하였다. EC는 31.58 ~ 110.33  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 의 범위를 나타내었고, SS는 0.73 ~ 5.20 mg/L의 범위를 보였다. BOD는 0.50 ~ 1.73 mg/L의 범위로 하천 생활환경 기준으로 St. 1은 좋음(Ib)이고 나머지 조사지점에서는 매우 좋음(Ia)에 해당하였다(Table 5). EC, SS, BOD는 농경지에 인접한 St. 1이 타 조사지점에 비해 비교적 높은 범위를 나타내었으며 하류로 갈수록 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 유수생태계(lotic ecosystem)인 하천의 특성상 물이 정체해 있지 않고, 흐르기 때문에 나타난 자정효과로 볼 수 있다.

### 3.5 주요 분류군과 이화학적 수질 요인간의 상관관계

가야산 수계에서 확인된 저서성 대형무척추동물의 주요 분류군과 이화학적 수질 요인간의 출현 종수와 개체수의 양상파악을 위해 상관분석(Correlation analysis)을 하였다. 그 결과, 비곤충류, 잠자리목, 날도래목의 종수와 개체수 및 전체 종수에서는 이화학적 수질 요인간의 유의한 상관관계는 확인되지 않았다. 하루살이목의 종 수와 수온은 음의 상관관계( $r=-0.607$ ,  $*p<0.05$ ), 개체수와 수온은 음의 상관관계( $r=-0.703$ ,  $*p<0.05$ ), 용존산소량은 양의 상관관계( $r=0.702$ ,  $*p<0.05$ )를 나타내었다. 강도래목의 종수와 수온은 음의 상관관계( $r=-0.810$ ,  $**p<0.01$ ), 용존산소량은 양의 상관관계( $r=0.773$ ,  $**p<0.01$ ), 개체수에서도 마찬가지로 수온과 음의 상관관계( $r=-0.740$ ,  $**p<0.01$ ), 용존산소량과 양의 상관관계( $r=0.752$ ,  $**p<0.01$ )를 확인할 수 있었다. 노린재목은 종수와 개체수에서는 수온과 양의 상관관계( $r=0.290$ ,  $**p<0.01$ ,  $r=0.289$ ,  $**p<0.01$ )를 나타내었고 파리목의 개체수와 전기전도도는 양의 상관관계( $r=0.337$ ,  $**p<0.01$ )를 확인할 수 있었고 전체 개체수와 수온은 음의 상관관계( $r=-0.691$ ,  $*p<0.05$ )를 용존산소량과는 양의 상관관계( $r=0.717$ ,  $**p<0.01$ )를 나타내었다(Table 6). 이는 청정수계의 지표군인 하루살이목과 강도래목의 서식에 영향을 미치는 적정 수온이상의 고수온에서는 감소할 경향이 크고, 저수온에서는 종수와 개체수가 증가할 경향이 크다는

Table 5. Physicochemical water quality factors by study sites in stream of Gaya Mountain

Study Sites	Water temperature(°C)	pH	DO (mg/L)	EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	SS (mg/L)	BOD (mg/L)
St. 1	15.49	7.93	7.71	110.33	5.20	1.73
St. 2	15.02	7.62	7.92	96.27	4.75	1.00
St. 3	16.33	7.53	7.86	90.33	2.60	0.85
St. 4	16.35	7.40	8.09	60.52	1.70	0.65
St. 5	16.88	7.49	8.17	59.13	1.55	0.63
St. 6	15.04	7.55	8.50	31.58	0.73	0.50
St. 7	16.38	7.46	8.37	34.72	0.95	0.58

Table 6. Correlation analysis for water quality factors data and benthic macroinvertebrates in stream of Gaya mountain

	Water temperature(°C)	pH	DO (mg/L)	EC (μs/cm)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)
Non-insecta(S)	-0.205	0.194	0.208	-0.068	-0.244	0.131
Non-insecta(I)	-0.321	-0.283	0.245	-0.428	0.014	0.031
Ephemeroptera(S)	-0.607*	0.112	0.453	0.143	-0.136	0.189
Ephemeroptera(I)	-0.703*	-0.171	0.702*	-0.074	-0.259	0.218
Odonata(S)	0.455	-0.181	-0.496	-0.003	0.370	-0.421
Odonata(I)	0.443	-0.255	-0.439	0.075	0.377	-0.425
Plecoptera(S)	-0.810**	0.006	0.773**	0.113	-0.330	0.207
Plecoptera(I)	-0.740**	-0.257	0.752**	0.028	-0.283	0.040
Hemiptera(S)	0.290**	0.123	0.126	-0.156	-0.024	0.085
Hemiptera(I)	0.289**	0.024	0.105	0.135	-0.107	0.328
Diptera(S)	-0.005	0.033	0.181	0.058	-0.440	0.114
Diptera(I)	-0.408	-0.008	0.575	0.337**	-0.376	0.419
Trichoptera(S)	0.121	-0.043	0.032	0.350	-0.321	0.121
Trichoptera(I)	-0.293	0.044	0.398	0.478	-0.513	0.484
Total(S)	-0.509	0.088	0.492	0.238	-0.341	0.266
Total(I)	-0.691*	-0.173	0.717**	-0.002	-0.327	0.274

(S)=Species, (I)=Individuals, \*=p<0.05, \*\*=p<0.01

것을 보여준다. 또한, 용존산소량은 적정 범위 이상으로 증가할 경우 증가하는 정비례 경향을 보인다.

EPT군 중 날도래목은 본 연구에서 수질 요인과 상관성을 보이지 않았는데 이는 양호한 수계에 서식하는 종과 수질오염에 대해 넓은 내성 범위를 나타내는 종인 줄날도래과의 줄날도래와 꼬마줄날도래 등이 분포하기 때문에 나타난 결과라 생각된다(Kim et al., 2017). 또한 일반적으로 파리목의 딱파리류와 뱃모기류 등은 수환경 상태가 양호한 곳에서 분포하고 있다. 본 연구에서 파리목의 개체수는 전기전도도가 높을수록 증가할 경향이 큰 것을 확인할 수 있었는데 이는 파리목의 개체수 대부분이 St. 1에서 확인된 깔따구류이기 때문에 나타난 결과라고 판단된다.

본 연구결과를 종합하면 가야산 수계의 저서성 대형무척추동물은 기후변화, 비점오염원 유입, 외부 교란요인 등에 주요한 영향을 받는 것으로 보이며 이에 대해서는 지속적인 모니터링을 통하여 증명이 될 것으로 생각된다. 본 연구 내용은 가야산 수계의 저서성 대형무척추동물과 수질 요인간의 관계를 나타낸 것으로 가야산 수계 내 서식지의 효율적 관리 및 생물다양성 보전을 위한 기초자료로 가치가 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

가야산 산간수계에 분포하는 저서성 대형무척추동물의 군집특성 및 이화학적 수질 요인과의 상관관계를 연구하였다. 본 연구기간동안 확인된 저서성 대형무척추동물은 총 4문 6강 13목 36과 100종이었고, 목별 종구성비는 하루살이목, 날도래목, 강도래목, 파리목, 비곤충류, 노린재목, 잠자리목의 순이었다. 청정수계를 대표하는 분류군인 EPT군은 비점오염

원이 유입되고 있는 St. 1을 제외한 전체 군집에서 차지하는 비율이 높았다. 가야산 수계의 전체 우점종은 민하루살이로 우점도 17.72%였고, 아우점종은 떠무늬우묵날도래로 우점도 6.15%였다. 조사지점별 우점종으로 환경상태를 평가했을 때, 오염에 대한 내성이 있는 깔따구류 spp.가 우점한 St. 1을 제외하면 나머지 조사지점에서는 모두 오염에 대한 내성이 약한 민하루살이와 떠무늬우묵날도래가 우점하였다. 이러한 점으로 미루어 St. 1을 제외한 나머지 조사지점의 하천의 생태적 건강성은 양호한 것으로 보인다. 전체 생물지수는 다양도(H')가 5.17, 풍부도(RI)는 12.44로 나타난 반면, 우점도(DI)는 0.24, 균등도(J)는 0.78로 확인되었는데 우점도와 균등도의 최고값이 1인 것을 감안할 때 가야산 수계에서는 특정한 종의 저서성 대형무척추동물이 우점하지 않는다는 것을 알 수 있으며 St. 1이 타 조사지점과 비교 했을 때, 다양도와 풍부도는 낮고 우점도는 높았는데 이는 다량의 유기물이 유입되어 서식지로서의 불리한 조건을 갖추고 있기 때문이다. 하루살이목의 종수와 수온은 음의 상관관계(r=-0.607, \*p<0.05), 개체수와 수온은 음의 상관관계(r=-0.703, \*p<0.05), 용존산소량은 양의 상관관계(r=0.702, \*p<0.05)를 나타내었으며 강도래목의 종수와 수온은 음의 상관관계(r=-0.810, \*\*p<0.01), 용존산소량은 양의 상관관계(r=0.773, \*\*p<0.01), 개체수에서도 마찬가지로 수온과 음의 상관관계(r=-0.740, \*\*p<0.01), 용존산소량과 양의 상관관계(r=0.752, \*\*p<0.01)를 확인할 수 있었는데 이는 청정수계의 지표군인 하루살이목과 강도래목의 서식에 영향을 미치는 적정 수온이상의 고수온에서는 감소하는 경향을 나타내며, 저수온에서는 종수와 개체수가 증가하는 경향을 나타낸다는 의미이며 용존산소량은 적정 범위 이상으로 증가할 경우 증가하는 정비례 경향을 보인다는 것을 알 수 있다.

## 사 사

본 논문은 국립공원관리공단 연구지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

## References

- Allan, JD (1995). *Stream Ecology, Structure and Function of Running Waters*, Chapman & Hall, London. [DOI: 10.2307/2261644]
- Brooks, SS and Boulton, AJ (1991). Recolonization dynamics of benthic macroinvertebrates after artificial and natural disturbances in an Australian temporary stream, *Aust. J. Mar. Freshw. Res.*, 42, pp. 295–308. [DOI: 10.1071/mf9910295]
- Cobb, GG, Galloway, TD and Flannagan, JF (1992). Effects of discharge and substrate stability on density and species composition of stream insects, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49, pp. 1778–1795. [DOI: 10.1139/f92-198]
- Gray, LJ and Fisher, SG (1981). Post flood recolonization pathways of macroinvertebrates in a lowland Sonoran Desert stream, *Am. Midl. Nat.*, 106, pp. 249–257. [DOI: 10.2307/2425161]
- Hellawell, JM (1986). *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*, Elsevier, London. [DOI: 10.1007/978-94-009-4315-5\_2]
- Hilsenhoff, WL (1971). Changes in the Downstream Insect and Amphipod Fauna Caused by an Impoundment with a Hypolimnion Drain, *Annals of the Entomological Society of America*, Volume 64(3), pp. 743–746. [DOI: 10.1093/aesa/64.3.743]
- Horne, AJ and Goldman, CR (1994). *Limnology*, McGraw-Hill, Inc., USA.
- Hynes, HBN (1970). *The Ecology of Running Waters*, Liverpool Univ., Press, Liverpool, UK.
- Kawai, T and Tanida, K (2005). *Aquatic Insects of Japan*, Tokai University Press, Japan.
- Kim, HG, Bang, GJ, Lee, JH, Lee, YS, Cheong, CJ and Cheong, SW (2017). Community distribution of benthic macroinvertebrates and its biological–environmental assessments in urban streams of Changwon city, *J. of Korean Society Environmental Technology*, 18(5), pp. 439–447.
- Kim, HG, Yoon, CS, Hwang, JW, Park, EH and Cheong, SW (2014). A characteristic of community distribution on benthic macroinvertebrates in major streams of Jirisan mountain, *J. of Environ. Sci. Int.*, 23(2), pp. 291–302. [Korean Literature] [DOI: 10.5322/jesi.2014.23.2.291]
- Korea Meteorological Administration (2011). <http://www.kma.go.kr/weather/climate>.
- Korea National Park Service (2007). Natural resources survey on Gayasan National Park, Korea National Park Service, pp. 3–484.
- Kwon, OG (1990). *Illustrated Encyclopedia of Funa & Flora of Korea, Mollusca I*, Min. Edu. Korea. [Korean Literature]
- Lee, CE (1971). *Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea, Insecta IV*, Min. Edu. Korea. [Korean Literature]
- Lenat, DR (1988). Water quality assessment of streams using a qualitative collection method for benthic macroinvertebrates, *J. of the North American Benthological Society*, 7, pp. 222–233. [DOI: 10.2307/1467422]
- Margalef, R (1958). *Temporal Succession and Spatial Heterogeneity in Natural Phytoplankton*, Univ. of California Press, USA.
- McCafferty, WP (1981). *Aquatic Entomology*, John & Bartlett, Boston.
- McNaughton, SJ (1967). Relationship among functional properties of California grassland, *Nature*, 216, pp. 168–169. [DOI: 10.1038/216168b0]
- National List of Species of Korea (2018). National Institute of Biological Resources, online at <http://kbr.go.kr>, accessed on (data of access).
- Pielou, EC (1966). Species–diversity and patterndiversity in the study of ecological succession, *J. theor. Biol.*, 10, pp. 370–383. [DOI: 10.1016/0022-5193(66)90133-0]
- Robertson, AL, Lancaster, J and Hildrew, AG (1995). Stream hydraulics and the distribution of macrocrustacea: a role for refugia, *Freshw. Biol.*, 33, pp. 469–484. [DOI: 10.1111/j.1365-2427.1995.tb00407.x]
- Rosenberg, DM and Resh, VH (1993). *Introduction to Freshwater Biomonitoring and Rentic Macroinvertebrates*, Chapman Hall, Inc., NY.
- Shannon, CE and Weaver, W (1949). *The Mathematical Theory of Communication*, Univ. Illinois Press, Urban, IL, USA.
- Theischinger, G (1991). *The Insects of Australia*, Melbourne University Press, Australia.
- Vannote, RL (1980). The river continuum concept, *Canadian J. Fish. Aqat.*, 37, pp. 130–137.
- Ward, JV (1974). A temperature–stressed stream ecosystem below a hypolimnion release mountain reservoir, *Arch. Hhdrobiol.*, 74(2), pp. 247–275.
- Williams, DD and Feltmate, BW (1992). *Aquatic Insects*, CBA International, Oxon, UK.
- Won, DH, Kwon, SJ, and Jun, YC (2005). *Aquatic Insects of Korea*, Korea Ecosystem Service, Korea. [Korean Literature]

- Wright, JC (1967). Effect of impoundments on productivity, water chemistry, and heat budgets of rivers, *American Fisheries Society*, pp. 188-199.
- Yoon, IB (1988). Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea, Aquatic Insects, Min. Edu. Korea. [Korean Literature]
- Yoon, IB and Song, MY (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, pp. 35-64. [Korean Literature]