

ORIGINAL ARTICLE

지리산 주요 수계의 저서성 대형무척추동물 군집분포의 특성

김형곤 · 윤춘식 · 황종우 · 박은희¹⁾ · 정선우*

창원대학교 생물학과, ¹⁾국립공원관리공단

A Characteristic of Community Distribution on Benthic Macro-invertebrates in Major Streams of Jirisan Mountain

Hyoung-Gon Kim, Chun-Sik Yoon, Jong-Woo Hwang, Eun-Hee Park¹⁾, Seon-Woo Cheong*

Department of Biology, Changwon National University, Changwon Gyeongnam 641-773, Korea

¹⁾Korea National Park Service, Seoul 121-717, Korea

Abstract

We have studied characteristics of community structure on the benthic macro-invertebrates at twelve selected sites in upstream, midstream and downstream of Paemsagol, Piagol, Chilseongol and Daeseonggol, major streams of Jirisan Mountain, for three years from April 2008 to September 2010. As a result, 2 phyla, 3 classes, 11 orders, 41 families, 119 species and 4,449 individuals of benthic macro-invertebrates have been collected and classified in this study. Among them EPT group (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), commonly appearing taxa in clean stream ecosystem, was found most frequently. The highest species number of benthic macro-invertebrates were collected in 2008, the year with lower climatic influence including heavy rain. In almost all of survey sites 80% or over of EPT group were counted, and St. 1 scored highest rate of EPT group at 92.59%. Most dominant species was *Ecdyonurus kibumensis* at 12.83% of dominance index, and subdominant species was *Goerodes* KUB at 6.81% of dominance index. The investigation of the feeding function group indicated that gathering-collectors were dominant with 26 species and 1,334 individuals, while the number of filtering-collectors was lowest with 11 species and 230 individuals. This result represents that the feeding function group of Jirisan Mountain is mountainous stream-specific one. Both diversity index and richness index were lowest at the midstream of Chilseongol (St. 5), while the midstreams of Daeseonggol (St. 11) and Piagol (St. 8) were highest in diversity and richness indices respectively. The analyses of linear regression and correlation were performed in order to investigate and to predict the appearance aspect of EPT group by altitude. The results showed that the ratio of Plecopteran species number has increased by the elevation of the altitude at 0.05 significance level. Cluster analysis was also carried out for evaluating environmental similarities among survey sites. As a result, upper regions of Paemsagol (St. 1) and Piagol have clustered as most similar sites each other, while the midstream of Piagol (St. 8) has separated with lower similarity value than other sites in species composition.

Key words : Benthic macro-invertebrates, EPT group, Jirisan main stream

1. 서론

하천생태계(stream ecosystem)는 물이 흐르는 긴

수역을 따라 환경요인이 연속적으로 변하고 그 곳에 적응하여 서식하는 생물의 종류도 달라지는 독특한 생태계이며, 수량, 수질, 물리적 서식지 등 비생물학적

Received 23 September, 2013; Revised 18 November, 2013;

Accepted 23 December, 2013

*Corresponding author: Seon-Woo Cheong, Department of Biology, Changwon National University, Changwon Gyeongnam 641-773, 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.

환경요소와 생물학적 요소로 구성되어, 시스템 내에서 이들 요소들의 상호작용의 결과는 생태계의 독특한 구조와 기능으로 나타난다(Allan, 1995; Horne과 Goldman, 1994; Hynes, 1970; Vannote, 1980). 하천 생태계의 생물군집은 동·식물성 플랑크톤, 대형수생 식물, 연체동물, 환형동물, 절지동물 등의 하등생물로부터 어류와 양서류·파충류, 조류, 포유류 등과 같은 고등동물에 이르기까지 매우 다양하고 복잡한 생물군으로 구성되어 있다(McCafferty, 1981). 하천 생태계의 생물학적 요소는 생산자, 소비자 및 분해자로 구분할 수 있으며, 생산자는 조류(algae)와 대형식물(macrophyte), 소비자는 저서성 대형무척추동물(benthic macro-invertebrates)과 어류 및 양서류, 그리고 분해자는 박테리아와 곰팡이 같은 미생물로 대표된다. 생물학적 요소 중 소비자에 속하는 저서성 대형무척추동물은 호수나 하천에서 주로 서식하며 일생동안 일부분을 저서생활을 하는 무리에 해당한다. (Rosenberg와 Resh, 1993). 저서성 대형무척추동물의 대부분은 수서곤충으로, 이들은 정수와 유수생태계의 다양한 서식처에 적응하고 있으며 생활사가 짧고 정량채집이 용이하기 때문에 생태학적 연구 재료로 많이 이용되며, 하천생물의 다양도와 풍부도를 결정할 정도로 우점하여 중요한 생물군이기도 하다(Ward, 1992).

유수성 생태계인 하천환경은 대부분 외부에서 유입된 유기물질의 영향을 받으므로 환경변화에 의한 유기물질의 구성변화는 저서성 대형무척추동물의 군집구조의 변화와 수서곤충의 섭식기능군의 다양성에 영향을 줄 뿐 아니라, 하천의 유역에 따라 서식처 유형과 먹이자원의 종류가 다르므로 이에 적응한 수서곤충 군집특성과 섭식기능군의 구성에 차이가 나는 것으로 알려져 있다(Cummins와 Klug, 1979; Merritt와 Cummins, 1996; Bae 등, 2003).

저서성 대형무척추동물은 일반적으로 하천의 바닥에 풍부하고 생태계의 먹이사슬에서 중요한 역할을 담당하며, 특히 수계의 전체적인 구조와 기능에 육상으로부터 유입되는 환원된 탄소성분과 수계내의 탄소고정에 의하여 공급된 것들을 조직 내에 일시적으로 저장하거나 이산화탄소로의 전환을 수행한다(Chilton, 1991). 따라서 어느 수생태계의 특성을 파악하기 위해서는 그 지역의 저서성 대형무척추동물에 대한 개체

군의 출현 양상과 군집의 특성을 분석하는 것이 필수적이다(Bae 등, 2004)

여름철 홍수로 인하여 하상표면적이 증가하거나 유실되는 하상불안정(substrate instability)의 증가현상은 저서성 대형무척추동물에게 매우 불리한 서식환경을 제공하며(Lee 등, 1991; Cobb 등, 1992; Robertson 등, 1995) 이들 생물군집의 회복속도는 은신처에 생존한 개체의 분산과 성충의 산란에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Gray와 Fisher, 1981; Brooks와 Boulton, 1991).

1967년에 국내 최초의 국립공원으로 지정된 지리산 국립공원은 3개 도(경상남도, 전라남·북도), 1개 시, 4개 군, 15개 읍·면의 행정구역이 속해 있으며, 471.758 km²의 면적을 보유한 국내 20개 국립공원 중 가장 넓은 산악형 국립공원이다. 식생의 특징은 하상에 소나무림이 우점한 가운데, 중봉에는 참나무림이 분포하며, 아고산지대에는 구상나무림이 넓게 분포하여 다양한 식물상을 갖추고 있기 때문에 다양한 동물들이 서식할 수 있는 환경조건을 갖추고 있다. 고산으로서 다변적인 지형적 요소와 함께 사방으로 펼쳐진 깊은 계곡들은 사계절 내내 풍부한 수량을 보유하고 있다. 이는 지리산 계곡부와 산 사면의 임상 및 식생이 양호하게 유지될 수 있는 조건이 되며, 야생동물이 서식하기에도 훌륭한 조건을 제공해 주고 있다. 그러므로 지리산은 수려한 자연 경관과 더불어 생물 서식 공간이 잘 보전된 국내의 대표적인 국립공원이라 할 수 있다(Korea National Park Service, 2003).

본 연구에서는 지리산의 주요 계곡인 뱀사골, 칠선계곡, 피아골, 대성골의 상류, 중류, 하류에서 2008년부터 2010년까지 3년간 총 12개 조사지점을 선정하여 춘계, 하계, 추계에 저서성 대형무척추동물에 대한 분포현황을 파악하고 군집구조의 특성을 연구하였다. 조사된 생물자료를 바탕으로 저서성 대형무척추동물의 종구성을 분석하고, 조사지점별 EPT군(Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera group)의 분포를 조사하였으며, 우점종 현황을 파악하였다. 또한 섭식기능군의 분포현황을 분석하고 조사지점별 생물지수를 산출하여 군집구조의 동태를 파악하였다. 그리고 EPT군의 고도별 출현양상을 분석하였고, 집괴분석에 의한 조사지점별 유사도 평가를 하였다. 본 연구내용과 관련된

지리산의 저서성 대형무척추동물의 군집구조에 관한 연구는 강도래목의 고도별 분포에 관하여 1년간 조사한 보고(Ra 등, 1991)가 있다. 이러한 연구와 비교하여, 본 연구가 가지는 차이점은 먼저, 3년 이라는 비교적 긴 조사기간을 통해 얻은 자료를 바탕으로 조사지점간의 유사도를 분석하였다는 것이며, 둘째로 EPT 군과 조사지점 해발고도간의 상관분석과 회귀분석에 대하여 유의성 검정을 하였다는 것이다. 셋째로는 전체 저서성 대형무척추동물 종과 개체수에 대한 EPT 군의 출현비율을 나타냄으로써 그 수계의 생태학적 건전성을 평가할 수 있도록 하였다는 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지점 및 조사기간

지리산 국립공원 내 주요수계의 12개 조사지점을 선정하여 조사하였으며(Fig. 1), 조사지점의 행정구역과 지리좌표 및 고도는 다음과 같다.

- 뱀사골 상류(St. 1): 전라북도 남원시 산내면 부운리 병풍소 부근 지역(N 35° 20' 26", E 127° 35' 24"), 해발고도: 655m
- 뱀사골 중류(St. 2): 전라북도 남원시 산내면 부운리 요룡대 부근 지역(N 35° 21' 28", E 127° 35' 16"), 해발고도: 544m
- 뱀사골 하류(St. 3): 전라북도 남원시 산내면 부운리 폭포가든 부근 지역(N 35° 23' 40", E 127° 36' 06"), 해발고도: 372m
- 칠선계곡 상류(St. 4): 경남 함양군 마천면 추성리 선녀탕 부근 지역(N 35° 21' 56", E 127° 41' 58"), 해발고도: 663m
- 칠선계곡 중류(St. 5): 경남 함양군 마천면 추성리 두지동 철교 부근 지역(N 35° 22' 29", E 127° 41' 40"), 해발고도: 521m
- 칠선계곡 하류(St. 6): 경남 함양군 마천면 추성리 칠선계곡 매표소 부근 지역(N 35° 23' 01", E 127° 41' 52"), 해발고도: 318m
- 피아골 상류(St. 7): 전남 구례군 토지면 내서리 삼흥소 부근 지역(N 35° 16' 17", E 127° 33' 57"), 해발고도: 531m
- 피아골 중류(St. 8): 전남 구례군 토지면 내서리 등산로 입구 부근 지역(N 35° 15' 46", E 127° 34' 56"), 해발고도: 436m

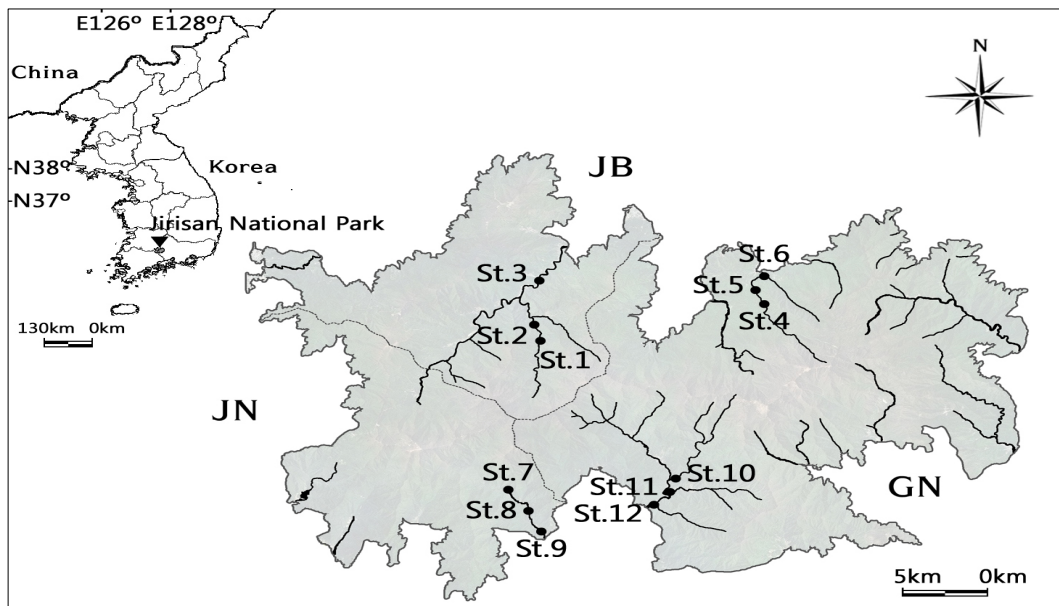


Fig. 1. Surveyed sites for community structure of benthic macroinvertebrate in Jirisan National Park.

- 피아골 하류(St. 9): 전남 구례군 토지면 내서리 연곡사 부근 지역(N 35° 14' 59", E 127° 35' 23"), 해발고도: 302m
- 대성골 상류(St. 10): 경남 하동군 화개면 대성리의 대성교 위쪽 부근 지역(N 35° 16' 29", E 127° 39' 19"), 해발고도: 281m
- 대성골 중류(St. 11): 경남 하동군 화개면 대성리 단천교 아래 부근 지역(N 35° 16' 03", E 127° 39' 52"), 해발고도: 242m
- 대성골 하류(St. 12): 경남 하동군 화개면 대성리 왕성초교 부근 지역(N 35° 15' 38", E 127° 38' 24"), 해발고도: 219m

채집조사는 지리산 주요 4개 계곡의 12개 조사지점에 대하여 2008년부터 2010년까지 3년간 계절별로 4월(춘계), 7월(하계), 9월(추계)로 구분하여 총 9회 행하였으며, 동계조사는 조사지의 특성상 서식지의 결빙 및 저서성 대형무척추동물 수 감소로 조사대상지 수계의 특징을 충분히 대변할 수 없기 때문에 제외하였다. 보다 정확한 결과를 얻기 위해 각 조사지점들의 생태계가 안정된 시기를 택하여 조사하였고 가능한 매년 계절별로 조사시기를 일치시켰다.

2.2. 조사방법

채집은 정량조사와 정성조사를 모두 행하였다. 정량조사는 Surber-net(30×30 cm, 망목크기 0.5×0.5 mm)을 이용하여 조사지점 별로 생물종의 서식가능성이 높거나 동물상이 풍부할 것으로 예상되는 곳을 선정하고 하상의 구조와 유속 등을 고려하여 3회씩 하였다. 정성조사는 폭이 30cm인 hand net과 D-frame dip net(지름 30cm, 망목크기 1×1 mm)을 이용하여 수초가 있는 곳, 계류의 가장자리, 낙엽 쌓인 곳, 모래 등 다양한 미소서식처에서 한 지점 당 30분 이상 하였다. 현장에서 채집된 표본은 500ml vial에 넣고 고정액(Kahle's Solution; 에틸 알콜 28%, 포르말린 11%, 초산 2%, 증류수 59%)으로 고정하였다. 표본은 하루 정도 고정한 후 80% 에틸 알콜 용액으로 옮겨 보관하였다(McCafferty, 1981; Ward, 1992; Williams와 Feltmate, 1992; Allan, 1995; Merritt와 Cummins, 1996).

2.3. 표본의 동정 및 분류

채집된 저서성 대형무척추동물은 Lee(1971), Kawai와 Tanida(2005), Yoon(1988), Yoon과 Song(1989), Kwon(1990), Won 등(2005)을 이용하여 실체현미경 하에서 동정 분류하였고, 이 외 상기한 자료의 분류방법으로 동정이 어려운 종은 sp.로 하였다. 분류체계와 학명은 The Entomological Society of Korea와 Korean Society of Applied Entomology(1994) 및 The Korean Society of Systematic Zoology(1997)를 따랐다.

2.4. 섭식기능군의 분류

섭식기능군의 분류는(Cummins, 1973, 1974; Cummins와 Klug, 1979; Merritt와 Cummins, 1996; Ro와 Chun, 2004; Won 등, 2005)을 참고하였다.

2.5. 생물지수의 산출

생물지수는 정량채집으로 조사된 저서성 대형무척추동물들을 대상으로 다음의 공식을 이용하여 산출하였다.

다양도(Shannon, 1948) (H') =

$$H' = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i, \quad p_i = \frac{N_i}{N}$$

P_i : i 번째에 속하는 개체수의 비율을 말하며 (N_i/N)으로 계산

(N : 총 출현개체수, N_i : 각 종의 출현개체수)

$$\text{풍부도(Margalef, 1957) (R)} = \frac{S-1}{\ln N}$$

S : 전체 출현 종수

N : 총 출현개체수

$$\text{우점도(McNaughton, 1967) (DI)} = \frac{N_1 + N_2}{N}$$

N : 총 출현개체수

N_1 : 제1우점종의 출현개체수

N_2 : 제2우점종의 출현개체수

$$\text{균등도(Pielou, 1966) (J')} = \frac{H}{\log_2 S}$$

H : 다양도

S : 전체 출현 종수

2.6. 상관분석 및 회귀분석

조사결과 출현한 EPT군과 조사지점 해발고도간의 상관관계를 파악하기 위하여 상관분석 및 회귀분석을 하였다. Software Pasw(=SPSS) Statistics version 20.0(IBM, USA) 프로그램을 이용하여 상관계수(r)를 산출하고, 유의성 검정(p) 및 선형회귀분석(Linear regression analysis)을 하였다(Lee와 Lim, 2013).

2.7. 집괴분석

전체 조사지점에서 출현한 저서성 대형무척추동물 종의 출현여부를 바탕으로 조사지점간 유사성을 평가하기 위해 집괴분석(Cluster Analysis)을 행하였으며 Software Pasw(=SPSS) Statistics version 20.0(IBM, USA) 프로그램에서 산출하였다. 비가중평균결합(UPGMA)에 의한 산술 결함을 이용하였으며, 집단 간 결합방법(Between group method)의 결과를 dendrogram으로 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 저서성 대형무척추동물의 종구성

본 조사기간 3년 동안 정량 및 정성조사로 지리산 국립공원 일대에서 확인된 저서성 대형무척추동물은 총 2문 3강 11목 41과 119종 4,449개체로 나타났고, 하루살이목이 37종(31.09%)으로 가장 많은 종수를 나타냈으며, 날도래목 31종(26.05%), 강도래목 23종(19.33%), 파리목 18종(15.13%), 딱정벌레목, 노린재

목, 잠자리목이 2종(1.68%), 나비목과 비곤충류의 중복족목, 단각목, 십각목이 각 1종(0.84%)의 순으로 나타났다. 연도별로는, 폭우나 집중호우 등의 기후적 영향이 적었던 2008년이 그보다 영향을 많이 받은 2009년, 2010년보다 종수가 많이 나타났다.

출현 개체수는 하루살이목이 2,277개체(51.18%)로 출현 개체수의 절반이상을 차지하였고, 날도래목이 1,040개체(23.38%), 강도래목 757개체(17.02%), 파리목 250개체(5.62%), 중복족목 50개체(1.12%), 잠자리목 41개체(0.92%), 단각목 20개체(0.45%), 노린재목 6개체(0.13%), 딱정벌레목 4개체(0.09%), 십각목 3개체(0.07%), 나비목 1개체(0.02%)의 순으로 나타났다(Fig. 2).

지리산의 하천 생태계에서 하루살이목이 전체 조사지점에서 고루 분포하며 종 구성비율과 개체수 구성 비율이 가장 높게 나타났으며 날도래목과 강도래목이 그 다음으로 높은 종 구성 및 개체수 비율을 나타내었다. 이러한 결과는 조사지점이 산지계류이기 때문에 산지계류에 대표적으로 출현하는 생물군이 확인된 것이며 특히 다양한 종류의 하루살이류가 서식하기에 유리하도록 다양한 서식지유형을 지리산의 계곡이 갖고 있기 때문일 것이다. 본 연구에서 법적보호종 등 주요 종은 확인되지 않았다.

3.2 조사지점별 EPT군의 분포

저서성 대형무척추동물 중 EPT군은 하루살이목(Ephemeroptera), 강도래목(Plecoptera), 날도래목

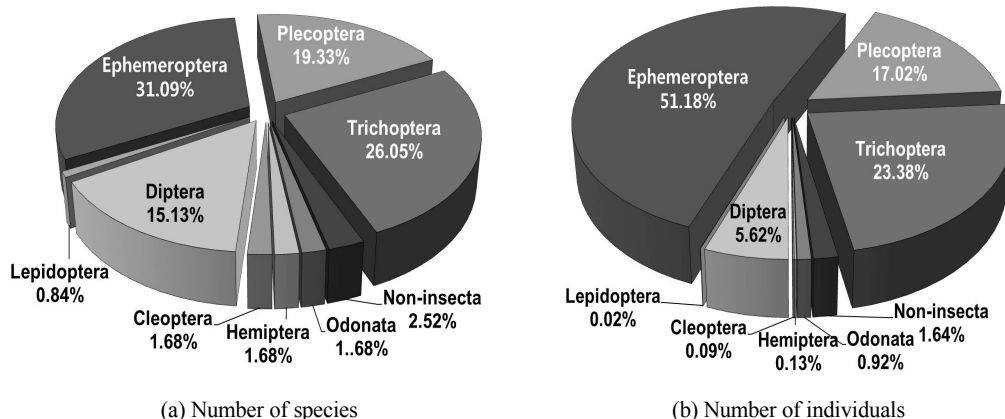


Fig. 2. Compositions of species and individuals of benthic macro-invertebrates in main stream of Jirisan Mountain.

(Trichoptera)을 뜻하며 이들은 청정수역을 대표하는 지표종으로 알려져 있다. 조사지점별 출현 EPT군의 종별 비율은 St. 10에서 75.93%로 가장 낮게 나타났으며, St. 1에서 92.59%로 가장 높게 나타나, 대부분의 조사지점에서 EPT군의 종 비율이 80%이상으로 나타났다. 출현 개체수별 EPT군의 비율로 고려하면, St. 10에서 87.09%로 가장 낮게 나타났으며, St. 7에서 96.48%로 가장 높게 나타났다. 따라서 대부분의 조사지점에서 EPT군의 개체수 비율이 90%수준으로 높게 나타났다. 이것으로 지리산의 수계에서 출현한

저서성 대형무척추동물의 대부분이 EPT군으로 구성되고 있다는 것을 알 수 있었는데, 이는 전형적인 산간계류의 특징을 반영하고 있다(Table 1).

3.3 우점종 현황

지리산의 수계에서는 모든 조사지점에서 EPT군의 종이 우점종으로 나타났으며 전체 우점종은 두점하루살이(*Ecdyonurus kibumensis*)로서 12.83%를 점유하였다. 아우점종은 네모집날도래 KUb(*Goerodes* KUb)로서 6.81%를 점유하였다. 우점종의 변화를 살펴보면

Table 1. Compositions on the species and individuals by the Orders and by the survey site in the main stream of Jirisan Mountain

(a) Proportion(%) on number of species by order

	EPT group(%)				Non-Insecta	O	H	C	D	L
	E	P	T	EPT						
St. 1	37.04	24.07	31.48	92.59	1.85	-	-	-	5.56	-
St. 2	36.67	23.33	28.33	88.33	-	1.67	1.67	-	8.33	-
St. 3	39.34	13.11	27.87	80.33	1.64	1.64	1.64	-	14.75	-
St. 4	43.40	24.53	18.87	86.79	1.89	1.89	-	-	9.43	-
St. 5	36.00	22.00	28.00	86.00	4.00	2.00	-	-	8.00	-
St. 6	37.25	19.61	29.41	86.27	1.96	1.96	-	-	9.80	-
St. 7	35.48	25.81	29.03	90.32	1.61	1.61	-	-	6.45	-
St. 8	34.33	23.88	25.37	83.58	1.49	1.49	-	1.49	10.45	1.49
St. 9	37.74	20.75	24.53	83.02	1.89	3.77	1.89	-	9.43	-
St. 10	38.89	18.52	18.52	75.93	1.85	3.70	3.70	-	14.81	-
St. 11	42.19	14.06	25.00	81.25	1.56	1.56	-	1.56	14.06	-
St. 12	40.68	16.95	22.03	79.66	3.39	-	-	1.69	15.25	-

(b) Proportion(%) on number of individuals by order

	EPT group(%)				Non-Insecta	O	H	C	D	L
	E	P	T	EPT						
St.1	53.80	20.11	22.01	95.92	0.27	-	-	-	3.80	-
St.2	34.08	18.31	40.85	93.24	-	1.69	0.28	-	4.79	-
St.3	55.83	8.50	25.73	90.05	0.73	1.46	0.49	-	7.28	-
St.4	59.41	11.14	21.29	91.83	0.50	0.74	-	-	6.93	-
St.5	54.94	14.51	21.91	91.36	4.32	0.62	-	-	3.70	-
St.6	54.43	15.60	22.63	92.66	0.31	0.31	-	-	6.73	-
St.7	49.75	21.86	24.87	96.48	0.50	1.01	-	-	2.01	-
St.8	50.69	22.31	18.73	91.74	0.55	0.83	-	0.55	6.06	0.28
St.9	51.67	16.43	21.67	89.76	4.05	2.62	0.24	-	3.33	-
St.10	47.15	22.52	17.42	87.09	4.50	0.90	0.60	-	6.91	-
St.11	51.46	17.77	20.69	89.92	1.86	0.53	-	0.27	7.43	-
St.12	49.46	16.58	22.55	88.59	2.45	-	-	0.27	8.70	-

E=Ephemeroptera, P=Plecoptera, T=Trichoptera, O=Odonata, H=Hemiptera, C=Coleoptera, D=Diptera, L=Lepidoptera

Table 2. Dominant species and subdominant species at each survey site in the main stream of Jirisan Mountain

	Dominant Species(%)	Subdominant Species(%)
St.1	<i>Baetis silvaticus</i> (15.76)	<i>Ecdyonurus kibumensis</i> (10.33)
St.2	<i>Goerodes</i> KUb (20.56)	<i>Ecdyonurus kibumensis</i> (8.17)
St.3	<i>Ecdyonurus kibumensis</i> (15.53)	<i>Psilotreta kisoensis</i> (8.98)
St.4	<i>Ecdyonurus kibumensis</i> (18.56)	<i>Paraleptophlebia chocorata</i> (12.38)
St.5	<i>Ecdyonurus kibumensis</i> (17.59)	<i>Paraleptophlebia chocorata</i> (12.04)
St.6	<i>Ecdyonurus kibumensis</i> (11.62)	<i>Psilotreta kisoensis</i> (9.48)
St.7	<i>Baetis silvaticus</i> (13.07)	<i>Epeorus pellucidus</i> (9.30)
St.8	<i>Baetis silvaticus</i> (12.95)	<i>Ecdyonurus kibumensis</i> (10.47)
St.9	<i>Ecdyonurus kibumensis</i> (14.29)	<i>Goerodes</i> KUb (8.57)
St.10	<i>Ecdyonurus kibumensis</i> (15.02)	<i>Goerodes</i> KUb (10.21)
St.11	<i>Ecdyonurus kibumensis</i> (13.79)	<i>Neoperla quadrata</i> (6.37)
St.12	<i>Psilotreta kisoensis</i> (10.33)	<i>Ecdyonurus kibumensis</i> (9.51)
Total	<i>Ecdyonurus kibumensis</i> (12.83)	<i>Goerodes</i> KUb (6.81)

3년간 12개 조사지점 중 7개 조사지점(St. 3, St. 4, St. 5, St. 6, St. 9, St. 10, St. 11)에서 두점하루살이(*Ecdyonurus kibumensis*)가 우점하였고, 3개 조사지점(St. 1, St. 7, St. 8)에서 감초하루살이(*Baetis silvaticus*)가 우점하였으며, St. 2에서 네모집날도래 KUb(*Goerodes* KUb), St. 12에서 바수염날도래(*Psilotreta kisoensis*)가 각각 우점하였다. 아우점종은 두점하루살이(*Ecdyonurus kibumensis*), 두갈래하루살이(*Paraleptophlebia chocorata*), 바수염날도래(*Psilotreta kisoensis*), 부채하루살이(*Epeorus pellucidus*), 네모집날도래 KUb(*Goerodes*

KUb), 두눈강도래(*Neoperla quadrata*)로 나타났다(Table 2.). 조사지점 별 주요 우점종으로는 두점하루살이(*Ecdyonurus kibumensis*), 감초하루살이(*Baetis silvaticus*), 네모집날도래 KUb(*Goerodes* KUb), 바수염날도래(*Psilotreta kisoensis*)가 각각의 조사지점에서 10%에서 20%사이의 우점율을 보이며 어느 한 종이 절대 우점하지 않고 고루 분포하였다(Fig. 3). 이는 EPT군이 일반적으로 수질오염에 매우 민감하게 반응하여 청정한 하천수계에서 출현빈도가 높기 때문이며(Budin 등, 2008), 이로 미루어 지리산의 하천수계는

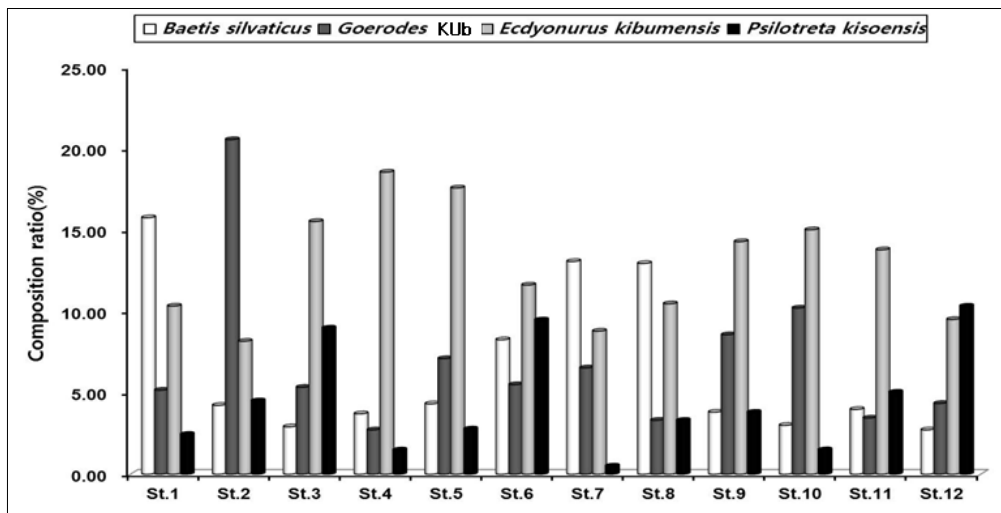


Fig. 3. Major species at each survey site in the main stream of Jirisan Mountain.

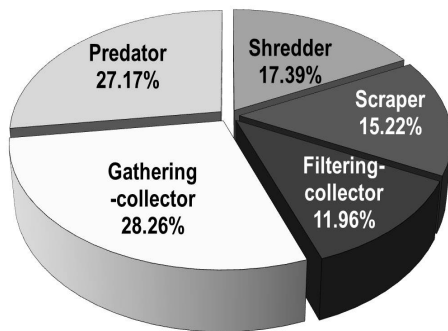
청정한 것으로 판단할 수 있다.

3.4 섭식기능군의 분포

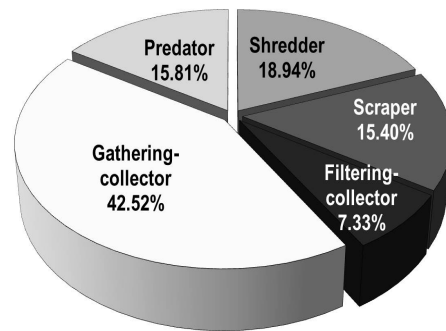
섭식기능군(feeding function groups)조사 결과 주워먹는 무리(gathering-collectors)가 총 26종 1,334개체로 가장 많은 종수와 개체수를 보였으며, 육식성 포식자무리(predators)는 25종 496개체, 찢어먹는 무리(shredders)는 16종 594개체, 긁어먹는 무리(scrapers)는 14종 483개체, 걸러먹는 무리(filtering-collectors)는 11종 230개체 순으로 나타났다. 이러한 연구결과는 산간계류의 섭식기능군의 특성을 설명한(Ro와 Chun, 2004)의 보고에서 나타난 결과와 유사하였다. 일반적으로 하천 생태계의 상류에서는 낙엽 및 식물의 잔사체와 같은 굵은 유기물질이 많으며, 이를 이용한 찢어먹는 무리와 긁어먹는 무리 그리고 주워먹는 무리의 구성 비율이 높으며(Horne과 Goldman, 1994), 중·하류에서는 미세입상유기인자(Fine Particulate Organic Matter)의 양이 증가하면서 걸러먹는 무리의 비율이 높아진다고 알려져 있다(Allan, 1995). 이들 연구 결과와 유사하게 이번 연구에서도 특히 주워먹는 무리가 전체 조사지점에 걸쳐 광범위 하게 분포함으로써 가장 높은 비율을 차지하였으며 여러 유형의 서식처에 고루 분포하는 포식자무리의 비율도 높게 나타났다(Fig. 4). 이는 산간계류에서 전형적으로 나타나는 섭식기능군의 특성으로 지리산의 저서성 대형무척추동물 섭식기능군도 이와 같은 분포경향을 나타내었다.

3.5. 조사지점별 생물지수

지리산 산지계류에서 정량채집된 저서성 대형무척추동물에 대하여 다양도와 풍부도, 우점도, 균등도 등 생물지수를 산출하여 조사지점별 군집구조의 특성을 파악하였다. 그 결과 전체조사지역에 대한 다양도(H')는 5.39, 풍부도(R)는 14.02로 나타난 반면, 우점도(DI)는 0.20, 균등도(J')는 0.78로 나타났다. 우점도와 균등도의 최고값이 1인점을 감안할 때 지리산의 저서성 대형무척추동물은 특정종이 우점하지 않는다는 것을 알 수 있었다. 조사지점별 다양도지수는 칠선계곡 중류(St. 5)가 4.55로 가장 낮았고 대성골 중류(St. 11)가 5.18로 가장 높았다. 풍부도는 칠선계곡 중류(St. 5)가 8.48로 가장 낮고, 피아골 중류(St. 8)가 11.20으로 가장 높게 나타났다. 칠선계곡 중류는 저서성 대형무척추동물의 다양도와 풍부도가 모두 낮은 곳인데 이는 하상이 암반으로 이루어져 있으며 연간 유량의 차이가 많고 강우기에는 유속이 매우 빨라 서식지로서 불리한 조건을 갖추고 있기 때문이다. 대성골 중류의 다양도지수가 높은 것은 하상의 구조가 다양하고 하폭이 넓으며, 연간 유량과 유속의 변화가 적고 경사가 완만하여 저서성 대형무척추동물의 서식지로서 매우 유리한 조건을 갖추고 있기 때문이다. 우점도는 0.20에서 0.31사이로 전체적으로 낮으며 조사지점별로 비슷하였고 균등도는 전체적으로 높으며 역시 서로 많은 차이를 보이지 않았다. 이는 지리산 수계에 서식하고 있는 저서성 대형무척추동물의 군집구조가 안정되



(a) Composition of species



(b) Composition of individuals

Fig. 4. Composition of the functional feeding groups on benthic macro-invertebrates in the main stream of Jirisan Mountain.

어 있고, 서식지의 상태가 양호하기 때문일 것이다 (Table 3).

Table 3. Biotic indices on benthic macro-invertebrates by survey site in the main stream of Jirisan Mountain

Survey Sites	H'	R	DI	J'
St.1	4.72	8.97	0.26	0.82
St.2	4.83	10.05	0.29	0.82
St.3	4.91	9.97	0.25	0.83
St.4	4.61	8.66	0.31	0.80
St.5	4.55	8.48	0.30	0.81
St.6	4.78	8.64	0.21	0.84
St.7	4.92	10.19	0.22	0.83
St.8	5.09	11.20	0.23	0.84
St.9	4.90	8.61	0.23	0.86
St.10	4.87	9.13	0.25	0.85
St.11	5.18	10.62	0.20	0.86
St.12	5.07	9.82	0.20	0.86
Total	5.39	14.02	0.20	0.78

H' : species diversity, R : species richness, DI : dominance index, J' : evenness index

3.6. EPT군의 고도별 출현양상

지리산 주요 수계에서 빈번하게 출현하는 분류군인 EPT군에 대하여 해발고도별 출현 종수 및 개체수의 출현 양상 파악 및 예측을 위해 선형회귀분석(linear regression analysis)을 하였다. 하루살이목은 종수에 따른 고도별 분포에서는 고도가 증가 할수록 종수가 감소하는 경향($r=-0.305$, $p>0.05$)을 보였으나, 개체수에 따른 고도별 분포에서는 고도가 증가할수록 개체수가 약하게 증가하는 경향($r=0.121$, $p>0.05$)을 보였다. 강도래목은 종수에 따른 고도별 분포에서, $p=0.027$ 로 고도가 증가할수록 종수가 유의하게 증가하는 경향($r=0.633$, $p<0.05$)을 보였으나, 개체수에 따른 고도별 분포에서는 개체수에 유의한 차이가 없었다($r=-0.012$, $p>0.05$). 날도래목의 경우 고도에 비례하여 종수 및 개체수 모두에서 약한 증가추세($r=0.175$, $p>0.05$), ($r=0.290$, $p>0.05$)를 보였다(Fig. 5). 상관분석을 행한 결과, 하루살이목과 날도래목의 고도에 따른 출현 종수 및 개체수 비율에서 뚜렷한 유

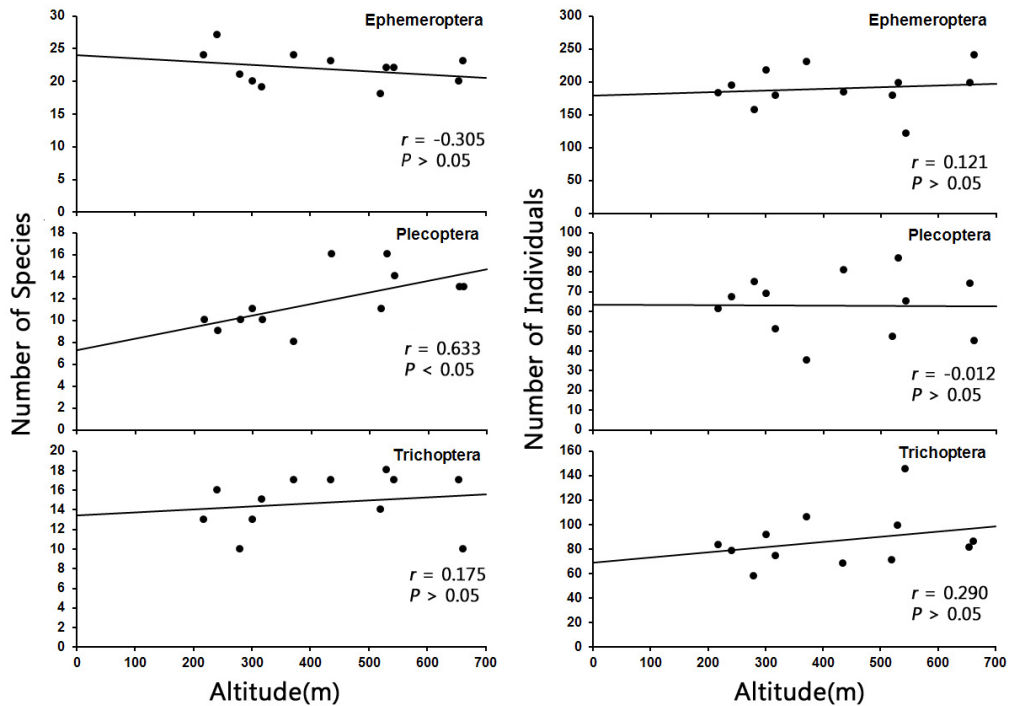


Fig. 5. Linear regression analysis for altitudinal distribution tendency of EPT group in the main stream of Jirisan Mountain.

의성을 나타내지 않았다. 그러나 강도래목의 종수에 따른 고도별 분포에서는 유의한 것으로 나타났다 ($p < 0.05$). 이는 서식지의 고도가 증가할수록 강도래목의 종수 출현 비율이 증가할 경향성이 가장 강하다는 것을 의미한다.

3.7. 출현종에 따른 조사지점간 집괴분석

지리산의 각 조사지점별 종구성을 토대로 조사지점간 서식환경의 유사도를 평가하였다. 평균결합법(average linkage method)을 이용한 집단간 결합(between group linkage)을 집괴분석(cluster analysis)을 통하여 나타낸 결과 뱀사골 상류(St. 1)와 피아골 상류(St. 7)가 2 이하의 결합거리로 묶여 서로 가장 유사한 서식지로 나타났으며 피아골 중류(St. 8)가 다른 지점들과 종구성의 유사성이 가장 낮은 것으로 나타났다. 뱀사골 상류(St. 1)와 피아골 상류(St. 7)의 종구성이 유사한 것은 두 지점의 하상구조와 유속 등 서식지 구조가 서로 유사하기 때문인 것으로 생각된다. 다음으로 칠선계곡 상류(St. 4)가 결합되며 이곳도 역시 전형적인 계곡하천 상류부 서식지의 특성을 가진 곳이기 때문이다. 칠선계곡 중류(St. 5)와 칠선계곡 하류(St. 6)도 7정도의 결합수준에서 서로 유사성을 보이는데 이는 이들 조사지점이 전형적인 계곡하천으로 외부의 교란요인이 거의 없으며, 다른 계곡의 상류부와 서식지 구조가 유사하기 때문인 것으로 생각된다. 피아골 중류(St. 8)가 다른 조사지점과 종구성이 가장 다른 것은 그 곳의 하상이 암반으로 다른 곳의 모래, 자갈, 호박돌이 혼재하는 서식 환경과 달리 암반 특이적 종들이

출현하고, 주변 음식점들에 의한 유기물의 유입 등 외부요인이 있어 다른 조사지점과는 서식지의 조건이 다르기 때문이다. 이것으로 저서성 대형무척추동물의 출현종 구성은 하상구조와 유속, 그리고 외부환경교란 등 서식지의 특성에 따라 달라진다는 것을 알 수 있었다(Fig. 6).

지금까지의 연구결과들을 종합하면 지리산의 저서성 대형무척추동물군집은 구성종이나 섭식기능군이 전형적인 산지계류의 특성을 나타내었으며 기후변화와 외부 교란요인도 군집구조에 영향을 주는 것으로 생각된다. 또한 앞으로 장기적인 모니터링을 통하여 계속 조사를 한다면 더욱 명료한 결과를 얻을 수 있을 것으로 보인다. 본 논문의 내용은 지리산 저서성 대형무척추동물 군집의 특성과 동태를 밝힌 것으로 지리산 주요 수계의 생물다양성 보존과 서식처의 효과적 관리를 위한 기초자료로 유용할 것으로 생각된다.

4. 결론

지리산 주요수계인 뱀사골, 피아골, 칠선골, 대성골의 상, 중, 하류에서 총 12개의 조사지점을 선정하여 2008년부터 2010년까지 3년간 저서성 대형무척추동물을 채집하여 군집구조의 특성을 연구하였다. 조사기간 동안 출현한 저서성 대형무척추동물은 총 2문 3강 11목 41과 119종 4,449개체였다. 그 중 청정한 하천 생태계에서 출현빈도가 높은 분류군인 하루살이목, 강도래목, 날도래목(EPT group: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera)이 가장 빈번하게 나타났으며 집중호우 등 기후의 영향이 적었던 2008년에 종수가 가장 많이 나타났다. 대부분의 조사지점에서 EPT군의 종 비율이 80%이상으로 나타났으며 St. 1에서 92.59%로 가장 높게 나타났다. 전체 우점종은 두점하루살이(*Ecdyonurus kibunensis*)로서 12.83%를 점유하였고 아우점종은 네모집날도래 KUb(*Goerodes KUb*)로서 6.81%를 점유하였다. 섭식기능군(feeding function group)조사에서는 주워먹는 무리(gathering-collectors)가 26종 1,334개체로 가장 많았으며, 걸러먹는 무리(filtering-collectors)가 11종 230개체로 가장 적었다. 이러한 연구결과는 산간계류의 섭식기능

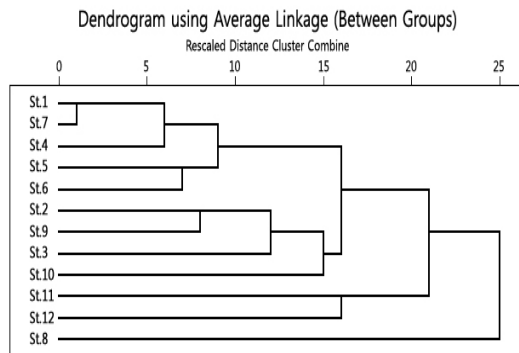


Fig. 6. A dendrogram of cluster analysis by average linkage (between group) method.

군의 특성을 반영한 것이다. 다양도와 풍부도는 모두 칠선계곡 중류(St. 5)에서 가장 낮았고 대성골 중류(St. 11)는 다양도가 가장 높았으며 풍부도는 피아골 중류(St. 8)가 가장 높게 나타났다. EPT군의 고도별 분포현황을 파악하고 예측하기 위해 선형회귀분석 및 상관분석을 행하였다. 그 결과 서식지의 고도가 증가할수록 강도래목의 종수 출현 비율이 증가하며, 유의수준이 높은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 조사지점간 서식환경의 유사도를 평가하기 위해 집괴분석을 행한 결과 뱀사골 상류(St. 1)와 피아골 상류(St. 7)가 가장 유사한 서식지로 결합되었으며 피아골 중류(St. 8)가 다른 지점들과 중구성의 유사성이 가장 낮은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2013, 2014 창원대학교 교내공모과제 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Allan, J. D., 1995, Stream ecology, structure and function of running waters, Chapman & Hall, London, 2-388.
- Bae, Y. J., Won, D. H., Hoang, D. H., Jin, Y. H., Hwang, J. M., 2003, Community composition and functional feeding groups of aquatic insects according to stream order from the Gapyeong Creek in Gyeonggi-do, Korean J. Limnol, 36(1), 21-28.
- Bae, Y. J., Jo, S. I., Hoang, D. H., Lee, H. G., Na, K. B., 2004, Biodiversity and community composition of benthic macroinvertebrates from Upo Wetlands in Korea, Kor. J. Env. Eco., 75-91.
- 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.
- Brooks, S. S., Boulton, A. J., 1991, Recolonization dynamics of benthic macroinvertebrates after artificial and natural disturbances in an Australian temporary stream, Aust. J. Mar Freshw. Res, 42, 295-308.
- Chilton, E. W., 1991, Macroinvertebrate communities associated with three aquatic macrophytes (*Ceratophyllum*, *Myriophyllum spicatum*, and *Vallisneria americana*) in lake Onalaska, Wisconsin [USA], J. Freshwater Ecol, 5(4), 455-466.
- Cobb, G. G., Galloway, T. D., Flannagan, J. F., 1992, Effects of discharge and substrate stability on density and species composition of stream insects. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49: 1778-1795.
- 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.
- Gray, L. J., Fisher, S. G., 1981, Post flood recolonization pathways of macroinvertebrates in a lowland Sonoran Desert stream, Am. Midl. Nat, 106, 249-257.
- Horne, A. J., Goldman, C. R., 1994, Limnology, McGraw-Hill, Inc, 1-576.
- Hynes, H. B. N., 1970, The ecology of running waters, Liverpool Univ. Press, Liverpool, U, K, 1-555.
- Kawai, T., Tanida, K., 2005, Aquatic insects of Japan, Tokai University Press Japan. 27-1275.
- 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 (Insecta IV), Min. Edu. Korea, 386-448.
- Lee, H. S., Lim, J. H., 2013, SPSS 20.0 Manual, Jyphyunjae Publishing Co., 2-354.
- Lee, J. C., Koo, B. Y., Yoon, C. S., Lee, D. J., Cheong, S. W., 2011, Seasonal changes on community structures of benthic macroinvertebrates in Wetland Upo, Journal of the Environmental Sciences, 20(2), 261-274.
- Margalef, R., 1957, La teoria de la informacion en ecologia, Mem. Real Acad. Cienc. Artes, Barcelona, 32, 373-449.
- Margalef, R., 1958, Temporal succession and spatial heterogeneity in natural phytoplankton, In perspectives in marine biology, Univ. of California Press, 323-349.
- McCafferty, W. P., 1981, Aquatic entomology, John & Bartlett, Boston, 2-448.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., 1996, An introduction

- to the aquatic insects of North America, 3rd ed, Kendall/Hunt, Dubuque, Iowa, 1-862.
- McNaughton, S. J., 1967, Relationship among functional properties of California Grassland, *Nature*, 216, 168-169.
- Pielou, E. C., 1966, Species-diversity and pattern diversity in the study of ecological succession, *J. theor. Biol.*, 10, 370-383.
- Ra, C. H., Cho, Y. G., Kim, J. S., 1991, The seasonal and altitudinal distribution of the stonefly nymphs (Plecoptera) in Paemsagol Vally of Mt. Chiri, Korea, *Korean J. Limnol*, 24 (2), 69-76.
- 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.
- Robertson, A. L., Lancaster, J., Hildrew, A. G., 1995, Stream hydraulics and the distribution of macrocrustacea: a role for refugia, *Freshw. Biol*, 33, 469-484.
- Rosenberg, D. M., Resh, V. H., 1993, Introduction to freshwater biomonitoring and benthic Macroinvertebrates: 1-9. In: Rosenberg, D. M., Resh, V. H., *Freshwater biomonitoring and benthic Macroinvertebrates*, Chapman Hall, Inc, N, Y, 1-488.
- Shannon, C. E., 1948, A mathematical theory of communication, *The Bell System Technical Journal*, 27, 379-423 and 623-656.
- The Entomological Society of Korea & 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
- Vannote, R. L., 1980, The river continuum concept, *Canadian j, Fish, Aquat*, 37: 130-137.
- Ward, J. V., 1992, *Aquatic insect ecology*, John Wiley & Sons, 2-438.
- Williams, D. D., Feltmate, B. W., 1992, *Aquatic insects*, CBA International, Oxon, UK, 2-358.
- 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.