

산간계류(청계산)의 물리적 환경요인과 생물지수의 관계

여민정^a · 공동수^{b,†}

경기대학교 생명과학과

Relationship between Physical Environmental Factors and Biological Indices of A Mountain Valley Stream (Mt. Cheonggye)

Minjeong Yeo^a · Dongsoo Kong^{1b,†}

Department of Life Science, Kyonggi University

(Received 23 June 2023, Revised 24 July 2023, Accepted 25 July 2023)

Abstract

This study aims to identify benthic macroinvertebrate fauna inhabiting at the mountain valley stream (Mt. Cheonggye) in Korea and the relationship between physical environmental factors and biological indices. Benthic macroinvertebrates were collected at five locations on August 24 and October 14, 2020, and were identified as 4 phyla, 7 classes, 16 orders, 42 families, and 72 species. Dominance ranged from 0.38 to 0.59, diversity 2.81 to 3.75, richness 3.25 to 4.63, evenness 0.65 to 0.84, and %EPT (Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera) richness value 42% to 73%, respectively. All sites were evaluated as a very good status by mostly biological indices based on tolerance of indicator organisms in Korea. As a result of principal component analysis, biological indices are classified into species-level indices and higher cartegory-level indices according to the taxonomic level of the indicator organism considered in each index. As a result of canonical correspondence analysis, it was confirmed that current velocity was a major factor that increased species richness and classified biological indices according to taxonomic category level. Water depth was a major factor related to the community indices, and the deeper the water depth, the lower the diversity and the evenness.

Key words : Benthic macroinvertebrate, Biological index, Canonical correspondence analysis, Correlation analysis, Mountain valley stream, Mt. Cheonggye, Principle component analysis

^a 석사과정(Master Student), yeo_jeong2@nate.com, <https://orcid.org/0009-0007-5122-6279>

^{b†} 교수(Professor), dkong@kyonggi.ac.kr, <https://orcid.org/0000-0001-8438-3229>

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. Introduction

청계산은 서울시 서초구, 성남시, 과천시, 의왕시에 걸쳐있는 해발고도 약 618 m의 산이며 남북으로 길게 능선이 이어져 있다(Oh et al., 2006). 청계산은 대기정화와 함께 도시의 온도를 내려주는 기후완화 등의 도시숲 기능을 하며, 반딧불이를 포함한 다양한 생물들이 서식하고 있고 그 중 원터골은 서울시에 의해 2004년 10월에 생태·경관보전지역으로 지정되어 관리되고 있다(Nam et al., 2009; Oh, 2022; Yun and Oh, 2021).

청계산은 생태학적으로 보전되어야 할 가치가 있으나 이를 파악하기 위한 생물상 조사는 주로 식물을 중심으로 수행되었고(Ahn, 2003; Ban, 2008; Kim and Oh, 2018), 연엽산이나 북한산 같은 다른 지역에 비해 여러 생물상에 대한 조사사료가 부족한 상태이다(Jang et al., 2020; Kim et al., 2013; Wang et al., 2016). 또한 서울 주위에 위치하고 있는 주요 도심하천들의 저서성 대형무척추동물의 분포 특성에 대하여 조사한 사례는 있었으나 서울 근교에 위치한 산들의 저서성 대형무척추동물에 대한 조사자료는 많지 않다(Lee, 2020). 생태계를 구성하는 여러 생물 중 저서성 대형무척추동물은 하천생태계에서 저차 소비자로서 먹이사슬에서 중요한 역할을 한다(Pennak, 1989; Orth and Maughna, 1983). 또한 저서성 대형무척추동물은 담수생태계 내의 여러 서식처에 적응하여 서식하고 있으며 인위적 환경 변화에 민감하게 반응하기 때문에 하천의 다양한 환경요인을 대변하는 지표생물로서 장단기적 환경 모니터링에 유용하게 적용되고 있다(Beche et al., 2006; Hynes, 1970). 이외에도 저서성 대형무척추동물은 생태독성, 기후변화 등 다양한 분야에서 연구되고 있다(Rosenberg and Resh, 1993).

본 연구에서 중점을 둔 사항은 일차적으로 청계산 일대에 위치한 하천의 저서성 대형무척추동물을 조사하여 기록하고 수생태계에 대한 건강성을 평가 및 진단하여 청계산 보전을 위한 기초자료로 활용토록 하는 것이었다. 또한 인위적인 교란이 적고 수질이 양호하여 수질에 의해 생물지수 값이 변별되지 않는 산간계류의 청정하천에서 생물지수들이 유형별로

어떻게 나타나는지와 더불어 이에 미치는 물리적 환경요인과 그 영향도를 파악하는데 중점을 두었다.

2. Materials and Methods

2.1 현장조사 및 등정

본 연구의 대상지역은 청계산에 위치하는 여러 하천의 상류역이며 조사지점은 5개였다(Table 1, Fig. 1). 본 연구의 주요 목적은 미소서식처의 물리적인 요인이 생물군집에 미치는 영향을 파악하기 위한 것이므로 조사지점의 물리적 요인이 시기적으로 분명한 차이를 보이는 시기를 선택하여 조사하였다. 하천에서 강우는 저서성 대형무척추동물의 미소서식처를 변화시키는 가장 큰 요인으로서 강우에 따라 유량 및 유속, 수폭, 수심, 하상의 기질이 변화된다. 따라서 현장조사는 미소서식처 및 생물군집의 변화를 비교하기 위하여 여름철 몬순의 영향을 받은 시기(2020년 8월 24일)와 강우 이후 안정기에 들어 유량이 적어지고 수온이 낮아진 가을철(2020년 10월 14일)에 각각 실시하였다. 또한 해당 조사지역은 인위적 교란이 적은 상류역으로 지점 별 수질의 차이는 크지 않은 것으로 보고 수질을 제외한 물리적인 요인을 위주로 조사하였다.

각 조사지점별로 여울, 흐름, 소, 수변식생으로 미소서식처를 구분하고 각 미소서식처에서 4개 정점을 조사하였으며, 5개 지점에서 2회에 걸쳐 조사된 총 조사정점 수는 160개였다.

하상(substrate) 표면에 격자 망을 두고 Wentworth (1922)의 체계에 따라 입도별 면적비율을 구하였다. 수심(water depth)은 채집 시 길이 0.6 m의 쇠자로 측정하였으며, 쇠자를 하천의 유하 방향과 직각 방향으로 세워 물이 부딪혀 올라오는 높이의 차이를 측정하여 Craig (1987) 공식에 따라 유속을 산출하였다. 수폭은 거리측정기(Bushnell 600)로 측

Table 1. Location of the Sampling sites

Sites	Location	Latitude	Longitude
St. 1	Gyeonggi-do Uiseong-si Cheonggye-dong 29	N:37°24'24.60"	E:127°01'50.77"
St. 2	Gyeonggi-do Seongnam-si Sujeong-gu Geumto-dong 533-1	N:37°24'29.78"	E:127°04'17.19"
St. 3	Gyeonggi-do Seongnam-si Sujeong-gu Sangjeok-dong 335-9	N:37°25'31.27"	E:127°04'05.00"
St. 4	Seoul Seocho-gu Wonji-dong 576	N:37°26'04.03"	E:127°03'42.01"
St. 5	Seoul Seocho-gu Wonji-dong 597	N:37°26'52.86"	E:127°02'45.15"

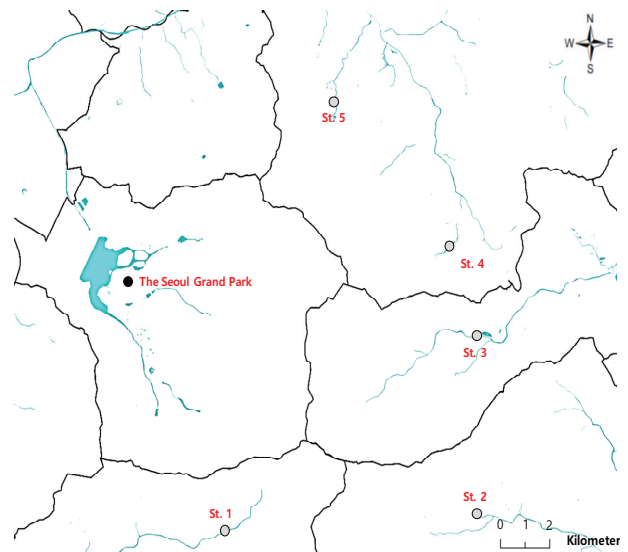


Fig. 1. A map showing the 5 sampling sites at the Mt. Cheonggye in Seoul, Korea.

정하였다. 하상의 평균입경($\phi_m : \phi = -\text{Log}_2^{D_m}$, D_m =입경(mm))은 Kong and Kim (2016)의 방법을 따라 산출하였다.

각 조사정점에서 D-frame net (30 × 30 cm, 망목 1 mm)을 사용하여 1m를 깊어 저서성 대형무척추동물물을 정량채집하였다. 채집한 시료는 500 ml 플라스틱 병에 넣어 현장에서 95% Ethyl alcohol로 고정하였고, 실험실로 운반 후 채집물로부터 생물시료를 골라낸 후 동정하여 80% Ethyl alcohol에 보존하였다.

2.2 생물지수

본 연구에서는 종수와 개체수를 포함하여 4개의 군집지수(다양도, 풍부도, 우점도, 균등도)와 지표치 기반의 8개 생물지수(Table 2)를 적용하였다. 생물지수 중 한국온수생물지수

(Korea Thermality Index, KTI), 저서동물지수(Benthic Macroinvertebrates Index, BMI), 저서동물 하천하상지수(Benthic Macroinvertebrates Streambed Index, BMSI), 저서성 대형무척추동물 총생태점수(Total Ecological Score of Benthic Macroinvertebrates Index, TESB), 저서성 대형무척추동물 평균생태점수(Average Ecological Score of Benthic Macroinvertebrates Index, AESB)는 종 수준의 지표치를 기반으로 개발된 지수이며, 저서동물 과범주지수(Benthic Macroinvertebrates Family Index, BMFI)는 과(family) 수준, 민감분류군지수(EPT)는 목(order) 수준, 간이저서동물지수(Simple Benthic Macroinvertebrates Index, SBMI)는 종 수준에서 강(class)에 이르는 상위분류군의 지표치를 기반으로 개발된 지수이다.

Table 2. Community indices and bitoc indices of benthic macroinvertebrates used in this study

Indices	Equation	components	
Diversity index (Shannon and Weaver, 1949)	$H = -\sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i, p_i = \frac{N_i}{N}$	S : Total number of species	
Richness index (Margalef, 1973)	$R = \frac{S-1}{\ln N}$	p_i : Proportional abundance of species i N : Total number of individuals	
Dominance index (McNaughton, 1967)	$DI = \frac{N_1 + N_2}{N}$	N_i : Number of individuals in species i N_1 : Number of individuals in 1st dominant species N_2 : Number of individuals in 2nd dominant species	
Evenness index (Pielou, 1975)	$J = \frac{H}{\log_2 S}$		
Intolerant order category index (Lenat, 1988)	$EPT = \frac{E+P+T}{S}$	E, P, T : Number of species in Ephemeroptera (E), in Plecoptera (P), in Trichoptera (T) S : Total number of species	
Korea Thermality Index (Kong et al., 2013)	$KTI = \left(4 - \frac{\sum_{i=1}^n t_i h_i g_i}{\sum_{i=1}^n h_i g_i} \right) \times 25$	i : Number assigned to the species n : Total number of species t_i : Thermal value of species i h_i : Frequency of species i g_i : Indicator weight value of species i	
	Biological level	KTI	Thermal status
	A	75 ≤ ~ 100	Very sensitive
	B	50 ≤ ~ < 75	Sensitive
	C	25 ≤ ~ < 50	Normal
D	0 ~ < 25	Tolerant	
Benthic Macroinvertebrates Index (Kong, Son et al., 2018)	$BMI = \left(4 - \frac{\sum_{i=1}^n s_i h_i g_i}{\sum_{i=1}^n h_i g_i} \right) \times 25$	i :: The number assigned to the species n : Total number of species s_i :: The saprobic value of species i h_i : The relative abundance of species i g_i :: The indicator weight value of species i	
	Class	BMI	Status
	A	80 ≤ ~ 100	Very good
	B	65 ≤ ~ < 80	Good
	C	50 ≤ ~ < 65	Fair
	D	35 ≤ ~ < 50	Poor
E	0 ~ < 35	Very poor	

Indices	Equation		components
Benthic Macroinvertebrates Family Index (Kong et al., 2019)	$BMFI = \frac{\sum_{i=1}^n f_i h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}$		<i>i</i> .: The number assigned to the family <i>n</i> : Total number of family <i>f_i</i> : The sensitivity value of family <i>i</i> <i>h_i</i> : The relative abundance of family <i>i</i>
	Class	BMFI	Status
	A	≥ 7.0 ~ 10	Very good
	B	≥ 5.7 ~ < 7.0	Good
	C	≥ 4.4 ~ < 5.7	Fair
D	≥ 3.1 ~ < 4.4	Poor	
E	1 ~ < 3.1	Very poor	
Benthic Macroinvertebrates Streambed Index (Kong and Kim, 2019)	$BMSI = \left(4 - \frac{\sum_{i=1}^n l_i h_i g_i}{\sum_{i=1}^n h_i g_i} \right) \times 25$		<i>i</i> : The number assigned to the species <i>n</i> : Total number of species <i>l_i</i> : The lithophilic value of species <i>i</i> <i>h_i</i> : The abundance frequency of species <i>i</i> <i>g_i</i> : The indicator weight value of species <i>i</i>
	Lithophilicity class	BMSI	Lithophilicity
	A	80 ≤ ~ 100	Lithophilous
	B	60 ≤ ~ < 80	Psephophilous
	C	35 ≤ ~ < 60	Moderate
D	25 ≤ ~ < 35	Psammophilous	
E	0 ~ < 15	Pelophilous	
Total Ecological Score of Benthic Macroinvertebrates community (Kong, Park et al., 2018)	$TESB = \sum_{i=1}^s Q_i$		<i>s</i> .: Total number of species <i>Q_i</i> : Environmental quality score of species <i>i</i> (=1, 2, 3, 4, 5)
Average Ecological Score of Benthic Macroinvertebrates community (Kong, Park et al., 2018)	$AESB = \frac{\sum_{i=1}^s Q_i}{S}$		
ESB (Kong, Park et al., 2018)	Class	ESB	
		TESB	AESB
	A	≥ 95	≥ 3.7
	B	≥ 70	≥ 3.1
	C	≥ 30	≥ 2.6
D	≥ 13	≥ 2.1	
E	< 13	< 2.1	
Simple Benthic Macroinvertebrates Index (Kong, Min et al., 2018)	$SBMI = \frac{a \times 0 + b \times 1 + c \times 2 + d \times 3 + e \times 4}{a + b + c + d + e}$		<i>a, b, c, d, e</i> : sum of saprobic valency corresponding to occurent groups
	Class	SBMI	Status
	A	, 0 ~ ≤ 1.0	Very good
	B	1.0 < ~ ≤ 1.5	Good
	C	1.5 < ~ ≤ 1.9	Moderate
D	1.9 < ~ ≤ 2.3	Poor	
E	2.3 < ~ 4.0	Very poor	

2.3 통계분석

하천의 물리적 요인과 생물지수 간의 관계를 파악하기 위하여 피어슨 상관관계 분석(pearson's correlation analysis)과 주성분분석(principal component analysis, PCA) 및 정준대응 분석(canonical correspondence analysis, CCA)을 실시하였다. 분석에 앞서 각 요인은 단위가 서로 달라 계량화가 필요하므

로(Hwang et al., 2011; Jun et al., 2016), 각 요인의 최대값과 최소값을 고려한 식 1을 적용하여 계량화하였다. 주성분 분석 및 정준대응분석에는 PC-ORD (MjM Software, version 6.22, Gleneden beach, Oregon, USA)를 활용하였다.

$$A_x = (V_x - V_{min}) / (V_{max} - V_{min}) \quad (1)$$

- A_x : 각 요인의 계량치
 V_x : 각 요인의 값
 V_{min} : 각 요인의 최소값
 V_{max} : 각 요인의 최대값

3. Results and Discussion

3.1 물리적 환경요인

모든 조사지점의 유역면적은 10 km² 미만이었으며 해발고도는 68~169 m 범위였다(Table 3). 몬순기에 실시되었던 1차 조사 시의 상태와 비교하였을 때 2차 조사 시에는 수온이 낮아졌고, 유량이 줄면서 수폭이 좁아지고 수심이 얕아졌으며 유속이 느려졌다. 하상의 평균입경 역시 작아져 유속이 느려짐에 따라 세립화되었음을 알 수 있었다.

물리적 요인 중에서는 수온만이 수폭과 유속에 유의한 수준의 양의 상관성을 보였다(Table 4). 일반적으로 하류로 갈수록 수폭이 넓어지고 유속이 느려지며 수온이 높아지는데 (Lee et al., 2008), 본 연구의 조사지점은 상류에서 하류로 이어지는 연속적인 수체가 아니라 서로 독립적인 계류의 상류에 해당하므로 하천환경의 종적인 변화를 반영하지 않는다. 또한 수폭이 좁아지고 유속이 느려진 가을철에 이루어진 2차 조사 시의 수온은 여름철에 이루어진 1차 조사 시의 수

온에 비해 시기적으로 낮아진 것일 뿐 수폭과 유속이 수온에 직접적인 영향을 미쳤다고 보기 어렵다. 따라서 본 연구에서 나타난 수폭과 유속에 대한 수온의 상관관계는 계절이 교락 요인으로 작용한 무의미한 상관으로 볼 수 있다. 그 외 다른 물리적 요인 간에는 유의한 상관성이 나타나지 않아 단순상관분석만으로는 요인들의 관계를 파악하기 어려운 것으로 나타났다.

식 1로 산정된 각 물리적 요인별 계량치(A_x)로 주성분분석을 실시한 결과 제3주성분까지 총 82.4%의 설명력(Axis 1: 47.3%, Axis 2: 23.7%, Axis 3: 11.4%)을 보였다(Fig. 2). 수리학적 요인(수폭, 유속, 수심)과 수온 및 하상의 평균입경은 제1주성분으로 구분되는데, 수리학적 요인의 값이 커질수록 단순상관분석의 결과와 같이 수온이 높아지는 반면 하상의 평균입경은 작아지는 것으로 나타났다. 유역면적과 고도는 제2주성분으로 구분되어 고도가 높을수록 유역면적이 작아지며, 수리학적 요인은 제3주성분으로 구분되어 수폭이 넓고 수심이 깊을수록 유속이 느려지는 것으로 나타났다.

제1주성분과 제2주성분의 사분면에서 1차 조사시 조사지점들은 모두 제2사분면과 제3사분면에 위치하고 2차 조사시 조사지점들은 모두 제1사분면과 제4사분면에 위치하여 서로 뚜렷하게 구분되었다. 이로써 조사시기 간에 주로 수리학적 요인과 수온 및 하상의 평균입경이 뚜렷한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 지점2와 지점5는 제3사분면과

Table 3. Physical environment at the sampling sites

		Catchment area (km ² , DA)	Altitude (m, AL)	Water temperature (°C, WT)	Water width (m, WW)	Water depth (cm, WD)	Current velocity (cm/s, WV)	Mean diameter of substrate (Φ_m)
1 st Survey	St. 1	2.0	169	20.2	3.0	19.3	44.08	-5.56
	St. 2	9.9	98	21.7	7.0	25.7	29.96	-5.04
	St. 3	3.4	113	21.9	10.0	20.0	71.95	-5.85
	St. 4	0.9	113	21.7	4.0	16.0	45.30	-2.87
	St. 5	7.3	68	21.2	3.0	11.7	72.24	-6.19
2 nd Survey	St. 1	2.0	169	12.8	2.5	8.4	24.62	-4.16
	St. 2	9.9	98	13.6	2.0	15.2	34.55	-2.92
	St. 3	3.4	113	13.6	2.1	23.5	37.78	-3.99
	St. 4	0.9	113	12.4	1.0	7.4	9.90	-4.44
	St. 5	7.3	68	12.5	1.3	8.6	23.46	-3.03

Table 4. Pearson's correlation coefficient and significance between physical environmental factors of the sampling sites

variables	Catchment area	Altitude	Water temperature	Water width	Water depth	Current velocity
Altitude	-0.62	-	-	-	-	-
Water temperature	0.04	-0.04	-	-	-	-
Water width	0.09	0.01	0.73*	-	-	-
Water depth	0.22	0.07	0.54	0.59	-	-
Current velocity	0.07	-0.18	0.73*	0.58	0.33	-
Φ_m	0.04	-0.12	-0.56	-0.49	-0.25	-0.57

*: $p < 0.05$

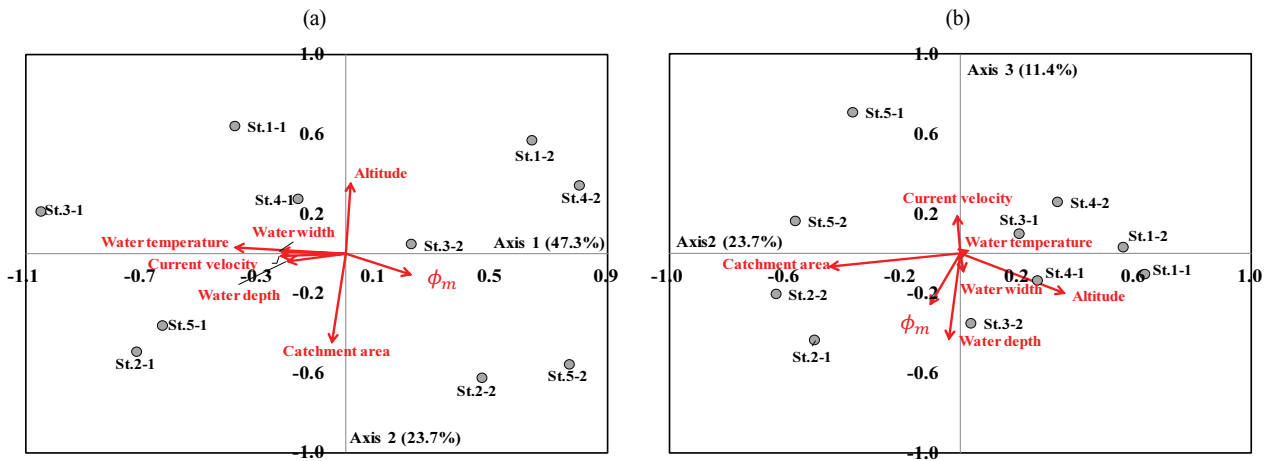


Fig 2. Principal component analysis (PCA) based on adjusted values (A_x) of each physical variable. (A) axis 1 versus axis 2 and (b) axis 2 versus axis 3. The gray circle are 5 sites and arrow length is proportional to the relative importance of each physical variable. ‘-1’ and ‘-2’ mean the first and the second survey.

제4사분면에 위치하여 다른 지점에 비해 상대적으로 고도가 낮고 유역면적이 넓은 지점으로 구분되었다. 제2주성분과 제3주성분의 사분면에서는 지점2의 수심이 상대적으로 깊어 다른 지점과 구별되는 것을 알 수 있다.

주성분 값과 유의한 상관성을 보이는 요인 중에서 제1주성분 값과의 상관도는 수온, 수폭, 유속, 하상의 평균입경, 수심의 순으로 높았으며, 제2주성분 값과의 상관도는 유역면적과 고도의 순으로 높았고, 제3주성분 값과는 수심의 상관도가 높았다(Table 5).

3.2 저서성 대형무척추동물상

전체 조사지점에서 채집된 저서성 대형무척추동물은 총 4문 7강 16목 42과 72종이었다(Appendix 1). 곤충류에서는 하루살이류가 19종(26.4%)으로 가장 많이 출현하였으며 날도

래류 17종(23.6%), 파리류 15종(20.8%), 강도래류 5종(6.9%), 잠자리류 3종(4.2%), 노린재류 1종(1.4%), 뱀잠자리류 1종(1.4%), 딱정벌레류 1종(1.4%)으로 총 62종(86.1%)이 출현하였다. 비곤충류는 연체동물류가 5종(6.9%)으로 가장 많이 출현하였으며 그 밖에 편형동물류 1종(1.4%), 환형동물류 2종(2.8%), 갑각류 1종(1.4%), 내구류 1종(1.4%)으로 총 10종(13.9%)이 출현하였다. 오염에 비교적 민감하여 수환경 평가에 활용되고 있는 EPT군(하루살이목, 강도래목, 날도래목; Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) (Lenat, 1988; Edegbene et al., 2021)은 총 41종(56.9%)으로 절반 이상의 비율을 차지하였다.

3.3 생물지수

출현 종수 및 개체수는 지점 및 시기에 따라 달리 나타나

Table 5. Result of ordination by principal component analysis (PCA) of physical environmental factors. (a) axis summary of PCA and (b) pearson’s correlation coefficients between values of PCA axis and values of physical environmental factors

variables	Axis 1	Axis 2	Axis 3
(a) Axis summary statistics of PCA results			
Eigenvalue	0.455	0.227	0.110
% variance explained	47.3	23.7	11.4
Cumulative % variance explained	47.3	71.0	82.4
(b) Correlation coefficient for physical environmental factors			
Catchment area	-0.14	-0.92**	-0.09
Altitude	0.06	0.85**	-0.33
Water temperature	-0.94**	0.06	0.02
Water width	-0.83**	0.03	-0.18
Water depth	-0.65*	-0.09	-0.69*
Current velocity	-0.81**	-0.05	0.34
average of ϕ_m	0.70*	-0.23	-0.39

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

Table 6. Number of species, averaged values of community indices and biological indices, and evaluation of environmental status at the sampling sites

biological index	Site		1 st Survey					2 nd Survey				
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5		
Individual abundance (IA) (Ind./0.36m ²)	136	40	64	150	121	188	308	520	260	87		
Number of species (SN)	19	11	12	21	25	23	32	31	15	20		
Dominance index (DI)	0.70	0.48	0.59	0.65	0.40	0.38	0.45	0.59	0.52	0.36		
Species diversity index (H')	2.34	2.92	2.79	2.82	3.76	3.43	3.53	3.09	2.80	3.74		
Species richness index (R)	3.66	2.71	2.64	3.99	5.00	4.20	5.41	4.80	2.52	4.25		
Evenness index (J)	0.55	0.84	0.78	0.64	0.81	0.76	0.71	0.62	0.72	0.87		
EPT	0.42	0.73	0.58	0.48	0.56	0.61	0.59	0.55	0.53	0.60		
Korean Thermaily Index (A - D)	64.9	52.1	59.1	70.1	72	72.8	59.8	57.4	72.9	67.3		
	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B		
Benthic macroinvertebrates Index (A - E)	85.6	88.1	86	91.8	91.5	88.1	88.5	87.1	93.2	89.9		
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		
Benthic macroinvertebrates Family Index (A - E)	7.3	7.8	7.6	8.0	7.8	7.2	7.7	7.3	7.2	7.5		
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		
Simple Benthic Macroinvertebrates Index (A - E)	0.55	0.89	0.69	0.54	0.69	0.75	0.89	0.77	0.71	0.94		
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		
Benthic macroinvertebrates Streambed Index (A - E)	78.9	70.7	86.8	82.1	87	80.5	72.2	72.5	83.3	77.3		
	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B		
Total Ecological Score of Benthic Macroinvertebrates community (A - E)	71	43	45	86	103	93	127	120	63	78		
	B	C	C	B	A	B	A	A	C	A		
Average Ecological Score of Benthic Macroinvertebrates community (A - E)	3.74	3.91	3.75	4.10	4.12	4.04	3.97	3.87	4.36	3.90		
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		

다양도 등의 군집지수 값과 종의 풍부도 기반을 둔 TESB 값 역시 변동이 컸는데(Table 6), 이는 강우 및 계절적인 요인에 따른 것으로 보인다. 이와 반면 지표군의 민감도를 기반으로 한 대부분의 생물지수는 지점 및 시기에 따른 차이가 크지 않았다.

모든 지점에서 한국온수생물지수(KTI) 값은 50 이상으로 온수성 등급이 '민감(B)' 수준으로 평가되었으며, 수온이 상대적으로 높았던 지점2와 지점3의 KTI 값이 다른 지점에 비해 낮았다. 저서동물지수(BMI) 값은 85 이상으로 '매우 양호(A)' 등급으로서 조사 대상지역은 청정한 상태이며 특히 지점4와 지점5의 상태가 더욱 좋은 것으로 평가되었다. 저서동물 과범주지수(BMFI) 값은 7.2 이상으로 환경상태가 '매우 양호(A)'한 수준이며, 민감치가 높은 과들이 주를 이루어 다수 출현하였음을 알 수 있다. 저서동물 하천하상지수(BMSI) 값은 70 이상으로 '자갈선호성(B등급)'으로 평가되었다. 1차조사에 비해 2차조사 시 하상의 평균입경이 크게 작아진 지점3과 지점5에서는 2차조사 시의 BMSI 값이 뚜렷하게 감소하였다.

저서성 대형무척추동물 생태점수(ESB) 중 저서성 대형무척추동물 평균생태점수(AESB) 값은 3.70 이상으로 '매우양호(A)' 등급으로 평가되었다.

전체적으로 볼 때 지표군의 민감도를 기반으로 한 각 생물지수의 평가등급은 모두 '매우양호(A)' 등급으로 일관성 있

는 결과를 보였다. 그러나 생물종의 풍부도와 민감도를 복합적으로 평가하는 저서성 대형무척추동물 총생태점수(TESB)의 평가등급은 '매우 양호(A)~보통(C)' 수준을 보였는데, 이는 해당 조사지역이 각 수계의 상류역으로서 서식처의 규모가 작았고 1차 조사 시 강우의 영향도 관계가 있을 것으로 보인다.

생물지수 간에는 종의 풍부도를 반영하는 지수(종수, 풍부도, TESB)가 유의한 양의 상관성을 보였으며, 지표군의 민감도를 기반으로 하는 지수(BMI, AESB, BMFI, EPT, SBMI)에서는 종 수준의 지수인 BMI와 AESB, 상위범주 지수인 EPT와 SBMI 간에 유의한 양의 상관성이 나타났으나 과 범주의 BMFI는 다른 지수와 상관성이 낮았다(Table 7). 수질이 전반적으로 양호하여 물리적인 환경요인이 생물군집의 조성에 주요 요인으로 작용하는 산간계류에서는 분류학적인 범주가 생물지수 간의 관계를 결정하는 것으로 보인다. 온수성을 반영하는 KTI는 종 수준의 민감도 지수인 AESB 및 하상의 조립도를 반영하는 BMSI와 유의한 양의 상관성을 보였는데, 이는 수질에 대한 민감도가 높은 지표군일수록 조립질 하상을 선호하는 냉수성 종류가 많기 때문인 것으로 판단된다. 군집지수와 생물지수 간에는 상위범주 지수인 EPT와 SBMI가 각각 우점도와 균등도에 대하여 유의한 양의 상관관계를 보였는데, 종 수준의 생물지수에 비하여 상위범주 지수가 군집지수와 더욱 높은 상관도를 보이는 이유에 대해서

Table 7. Pearson's correlation coefficient and significance between biological indices of the sampling sites

index	IA	SN	DI	H'	R	J	EPT	BMI	BMFI	SBMI	BMSI	KTI	TESB
SN	0.73*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DI	0.15	-0.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H'	0.05	0.50	-0.89**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R	0.46	0.94**	-0.32	0.66*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
J	-0.52	-0.34	-0.80**	0.62	-0.14	-	-	-	-	-	-	-	-
EPT	-0.22	-0.21	-0.66*	0.44	-0.13	0.80**	-	-	-	-	-	-	-
BMI	-0.02	0.00	-0.30	0.31	0.02	0.24	-0.05	-	-	-	-	-	-
BMFI	-0.41	-0.05	0.02	0.16	0.15	0.26	0.19	0.24	-	-	-	-	-
SBMI	0.07	0.14	-0.72*	0.62	0.19	0.65*	0.80**	-0.04	0.11	-	-	-	-
BMSI	-0.38	-0.30	0.07	-0.05	-0.24	0.08	-0.39	0.32	0.03	-0.60	-	-	-
KTI	-0.09	0.09	-0.22	0.22	0.13	-0.04	-0.46	0.63	-0.21	-0.41	0.66*	-	-
TESB	0.71*	1.00**	-0.21	0.53	0.94**	-0.31	-0.20	0.09	-0.02	0.13	-0.26	0.16	-
AESB	0.15	0.05	-0.30	0.23	-0.03	0.14	-0.02	0.91**	-0.01	-0.07	0.30	0.65*	0.14

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

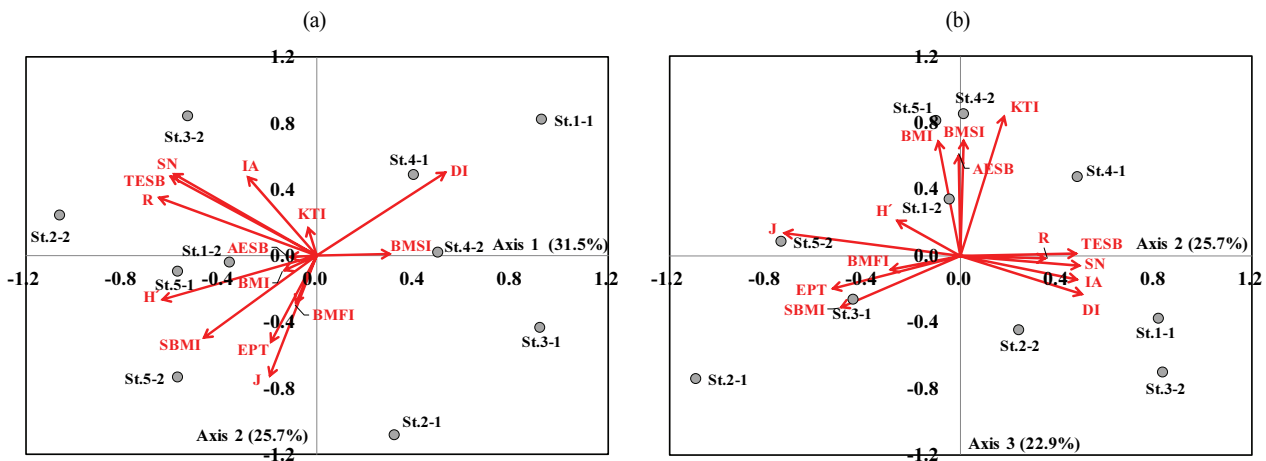


Fig 3. Principal component analysis (PCA) based on adjusted values (A_x) of each biological index. (A) axis 1 versus axis 2 and (b) axis 2 versus axis 3. The gray circles are 5 sites and arrow length is proportional to the relative importance of each biological index. '-1' and '-2' mean the first and second survey.

는 파악하기 어려우며 향후 표본크기를 확대하여 재평가할 필요가 있다.

생물지수에 대한 주성분분석 결과 제3주성분까지 총 80.1%의 설명력(Axis 1, 31.5%; Axis 2, 25.7%; Axis 3, 22.9%)을 보였다(Fig. 3). 제1주성분과 제2주성분에서 분류군의 민감도나 다양도를 기반으로 하는 지수들(BMI, AESB, BMFI, EPT, BMSI, 다양도, 균등도, 우점도)이 제1군으로, 종의 풍부도를 기반으로 하는 지수들(종수, 총개체수, 풍부도, TESB)이 제2군으로 분류되었으며, 제1군은 제2주성분과 제3주성분에서 종 수준의 민감도를 기반으로 한 지수들(BMI, AESB, KTI, BMSI)과 상위범주의 민감도를 기반으로 한 지수 및 군집지수들(BMFI, EPT, SBMI, 다양도, 균등도, 우점도)로 세분되었다.

제1주성분 값과 유의한 상관도를 보이는 지수는 종의 풍부도와 관련된 것으로 TESB, 종수, 풍부도, 다양도의 순으로

상관도가 높았으며, 제2주성분 값과의 상관도는 균등도, 우점도와 BMI의 순으로 높았고, 제3주성분 값과의 상관도는 EPT와 KTI의 순으로 높았다(Table 7). 다양도 등의 군집지수는 상호 관련성이 있으므로 동일한 주성분에서 각각 높은 상관도를 보이는 것으로 이해되며, EPT와 KTI가 제3주성분에서 각각 높은 상관도를 보이는 것은 EPT군의 강도래나 날도래 및 하루살이류 중 상당수의 종류가 KTI 값에 영향을 미치는 온수 민감종이기 때문인 것으로 판단된다(Kong et al., 2013).

3.4 물리적 요인과 생물지수의 관계

전체 조사지점의 1~2차 조사의 모든 자료를 가지고 물리적 환경요인과 생물지수의 상관관계를 분석한 결과, 유역면적과 EPT와 SBMI, 수온과 BMFI, 수심과 KTI 간에 유의한 상관성이 나타났으며 그 외에는 상관도가 낮았다(Table 8).

Table 8. Result of ordination by principal component analysis (PCA) of biological indices (a) axis summary of PCA and (b) pearson's correlation coefficients between values of PCA axis and values of biological indices

variables	Axis 1	Axis 2	Axis 3
(a) Axis summary statistics of PCA results			
Eigenvalue	0.490	0.400	0.355
% variance explained	31.5	25.7	22.9
Cumulative % variance explained	31.5	57.2	80.1
(b) Correlation coefficient for twelve variables			
IA	-0.44	0.67*	-0.19
SN	-0.79**	0.60	-0.07
DI	0.70*	0.60	-0.26
H'	-0.88**	-0.33	0.25
R	-0.84**	0.41	-0.02
J	-0.28	-0.93**	0.17
EPT	-0.33	-0.82**	-0.29
BMI	-0.19	-0.11	0.81**
BMFI	-0.12	-0.36	-0.10
SBMI	-0.63	-0.60	-0.36
BMSI	0.39	0.01	0.75*
KTI	-0.05	0.21	0.92**
TESB	-0.81**	0.58	0.01
AESB	-0.18	-0.01	0.79**

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

이처럼 낮은 상관성은 강우 및 생활사에 따른 생물군의 계절적 변동에 따른 것으로 보인다. 일례로 하폭과 출현종수의 관계가 음의 상관도를 보이는 것은 본 대상지역이 상하류에 걸쳐 연속된 지점이 아니라 독립적인 수계의 상류역임을 고려할 때 일반적인 경향으로 볼 수 없다. 강우기에 하폭이 확장되었던 1차 조사 시에 물리적인 교란으로 인해 출현종수가 적었던 것이 일반적이지 않은 상관관계를 보인 이유라고 판단된다.

따라서 물리적 환경요인과 생물지수의 관계는 가을철 안정기에 해당하는 2차 조사의 자료만을 가지고 정준대응분석을 통해 파악하였다. 이때 환경요인 중 유역면적은 하폭과, 고도는 수온과, 하상의 평균입경은 유속과 관련된 항목이므로 이를 제외하고 분석하였다. 정준대응분석의 제3주성분까지의 설명력은 98.2%(Axis 1, 56.9%; Axis 2, 33.5%; Axis 3; 7.8%)로 제1주성분과 제2주성분만으로도 충분한 설명력을 보였다(Fig. 4).

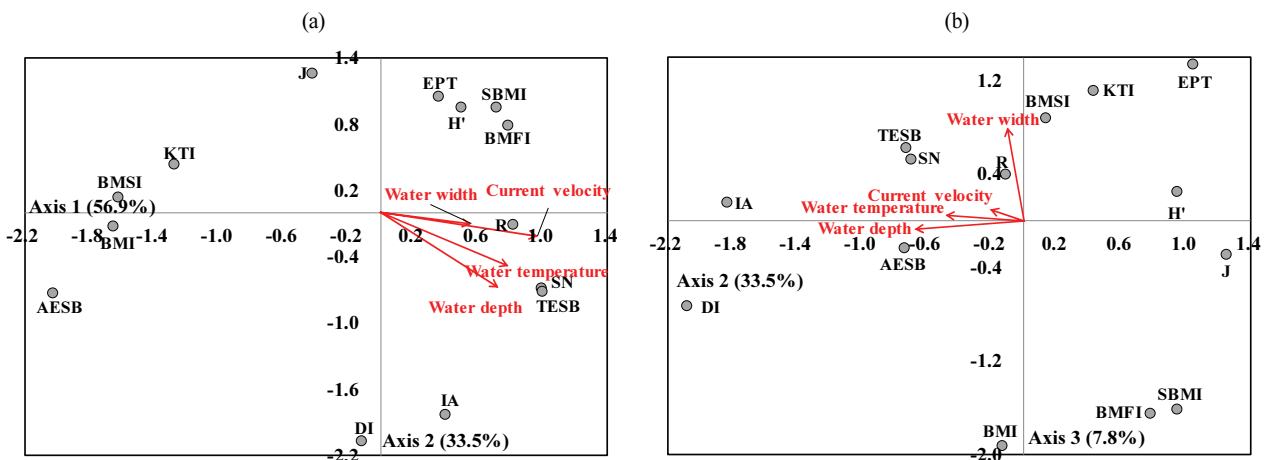


Fig. 4. Canonical correspondence analysis (CCA) based on adjusted values (A_x) of biological indices and physical variables. (A) axis 1 versus axis 2 between indices and physical variables and (b) axis 2 versus axis 3. The gray circles are 14 biological indices and arrow length is proportional to the relative importance of each physical variable.

1~2차 조사자료를 모두 포함하여 분석되었던 주성분분석의 결과와 유사하게 2차 조사자료만으로 정준대응분석한 결과에서도 생물지수들은 종의 풍부도를 반영하는 지수들(종수, 풍부도, TESB)과 상위범주의 민감도를 기반으로 한 지수들(BMFI, EPT, SBMI), 종 수준의 민감도를 기반으로 한 지수들(KTI, BMI, BMSI, AESB)로 그룹화되었다. 고려한 모든 물리적 환경요인은 같은 방향의 속성을 보였다.

물리적 요인 중 유속은 제1주성분값과 유의한 상관관계를 보였으며, 유의성을 보이지는 않았으나 수온, 수심, 하폭의 순으로 상관도가 높았다(Table 9). 수심은 제2주성분값과 상대적으로 높은 상관도를 보였으며, 하폭은 제3주성분값과 높은 상관도를 보였으나 제3주성분의 설명력이 낮으므로 큰 의미는 없는 것으로 판단되었다. 주성분값과의 상관계수와 Fig. 4에서 나타나는 생물지수의 분포를 종합할 때 유속은 종 수준의 민감도를 기반으로 한 지수들과 상위범주의 민감도를 기반으로 한 지수들을 분별하는 주요 요인이며, 유속이 빠를수록 종의 풍부도와 관련된 지수들의 값이 커지는 것을

확인할 수 있다. 또한 수심은 군집지수와 관련된 요인으로서 수심이 깊을수록 총개체수와 우점도가 높아지는 반면 다양도와 균등도는 낮아짐을 알 수 있다.

종의 풍부도와 양의 연관성을 보이는 요인에서 수온을 제외하고는 모든 요인이 유량과 관련이 있는 데 유량이 많고 유속이 빨라지면 폭기 작용이 활발히 일어나는 여울의 비율이 높아지고 하상의 기질이 조립화되면서 출현생물이 많아지는 것으로 이해된다(Brown and Brussock, 1991).

Sandin (2003)은 스웨덴 전역에서 저서성 대형무척추동물의 출현개체수를 기반으로 생물분포에 영향을 미치는 환경요인을 분석한 결과 유속과 하상기질의 조성이 저서성 대형무척추동물의 분포를 설명하는데 있어 수질보다 더 높은 적용성을 보였다고 보고하였다. Jun et al. (2016)은 국내 하천의 저서성 대형무척추동물의 공간적 분포에 전기전도도, BOD₅, T-P 등 화학적 요인들에 비해 고도, 하상 기질의 조성 및 유속이 상대적으로 큰 영향을 미치는 요인이었다고 보고한 바 있다.

Table 9. Pearson's correlation coefficient and significance between environmental factors and biological indices

index	Catchment area	Altitude	Water temperature	Water width	Water depth	Current velocity	Mean diameter of substrate
IA	-0.18	0.11	-0.58	-0.52	0.08	-0.27	0.36
SN	0.15	-0.07	-0.45	-0.60	-0.11	0.01	0.43
DI	-0.55	0.45	0.46	0.29	0.55	0.24	-0.15
H'	0.56	-0.59	-0.41	-0.37	-0.48	0.00	0.27
R	0.32	-0.21	-0.30	-0.53	-0.16	0.15	0.37
J	0.58	-0.62	-0.04	0.23	-0.28	-0.01	-0.08
EPT	0.68*	-0.38	-0.08	0.31	0.16	-0.18	0.01
BMI	-0.09	-0.47	-0.17	-0.45	-0.62	-0.27	0.28
BMFI	0.45	-0.55	0.66*	0.40	0.28	0.48	0.09
SBMI	0.76*	-0.50	-0.50	-0.12	-0.04	-0.40	0.32
BMSI	-0.50	0.01	0.31	0.20	-0.47	0.50	-0.46
KTI	-0.52	0.12	-0.24	-0.53	-0.87**	-0.12	0.07
TESB	0.14	-0.09	-0.45	-0.63	-0.17	0.00	0.44
AESB	-0.20	-0.20	-0.31	-0.48	-0.63*	-0.39	0.20

Table 10. Result of ordination by canonical correspondence analysis (CCA) (a) axis summary of CCA and (b) Pearson's correlation coefficients for the three axes with four physical variables

variables	Axis 1	Axis 2	Axis 3
(a) Axis summary statistics of CCA results			
Eigenvalue	0.358	0.211	0.049
% variance explained	56.9	33.5	7.8
Cumulative % variance explained	56.9	90.3	98.2
(b) Correlation coefficient for seven variables			
Water temperature	0.81	-0.47	0.08
Water width	0.61	-0.05	0.81
Water depth	0.74	-0.67	-0.05
Current velocity	0.97**	-0.20	0.14

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

본 연구는 Sandin (2003)이나 Jun et al. (2016)의 연구에 비해 국지적인 것이지만 수질이 양호한 산간계류의 하천에서 저서성 대형무척추동물의 군집단위의 생물지수에 미치는 물리적 환경요인의 영향도를 확인하였다는 점에서 의미가 있다고 본다.

4. Conclusion

수질이 양호한 산간계류(청계산)의 물리적 환경과 생물군집의 관계를 생물지수적 측면에서 검토한 결과 산간계류의 물리적 환경은 강우영향을 크게 받으며 몬순기와 그 이후의 상태가 크게 다름을 확인할 수 있었다. 이러한 이유로 물리적 환경요인 간의 관계를 분석할 때 강우와 계절이라는 잠재변수를 고려하는 것이 중요하다. 일례로 수온의 계절적인 변화를 고려하지 않고 몬순기와 비몬순기의 다른 물리적 요인(하폭, 유속, 수심 등)과 수온의 관계를 분석하는 경우 넌센스상관이 될 수 있다.

저서성 대형무척추동물 지표군의 민감도를 기반으로 개발된 여러 생물지수(BMI, BMFI, AESB, SBMI)에 의해 평가된 청계산 상류역의 건강성은 모든 지점에서 모든 조사시기에 걸쳐 ‘매우 좋음’ 상태로서 우선적으로 보존되어야 할 지역이라 할 수 있다.

또한 각 생물지수는 지표군의 분류학적 범주와 등급기준이 다름에도 불구하고 일관성있는 평가결과를 보여주었다는 점에서 각 지수의 적용성과 신뢰성이 확인되었다. 생물지수에 대한 주성분분석 결과 수질에 의해 생물지수 값이 변별되지 않는 산간계류의 청정하천에서는 생물지수들이 지표군의 분류학적 범주에 따라 종 수준의 지수들과 상위범주의 지수들로 유형화됨을 확인할 수 있었다.

물리적 환경요인과 생물지수에 대한 정준상관분석 결과 유속은 분류학적 범주에 따른 생물지수들을 구별하는 요인이자 종의 풍부도를 높이는 주요 요인임을 확인할 수 있었고, 수심은 군집지수와 관련된 요인으로서 수심이 깊을수록 다양도와 균등도가 낮아짐을 알 수 있었다.

그러나 본 연구의 결과는 조사지점이나 조사횟수가 적은 자료를 바탕으로 얻어진 것이므로 대표성을 가지기에는 충분하지 않다. 향후 보다 많은 조사자료를 확보하여 수질이 양호한 산간계류에서 물리적 요인들이 생물군집에 미치는 영향에 대하여 보다 심도있는 연구가 필요하다.

Acknowledgement

본 연구는 2023학년도 경기대학교 대학원 연구원 장학생 장학금 지원에 의해 수행되었습니다.

References

Ahn, Y. H. (2003). Analysis of vegetative composition in Mt. Chonggye through phytosociology, *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, 6(1),

15-27.
 Ban, S. H., Kim, Y. S., and Kim, Y. H. (2008). The management planning of ecological landscape preservation area in mt. Cheonggye Wontegol, *Korean Society of Environment and Ecology Conference*, 73-75.
 Beche, L. A., Mcelravy, E. P., and Resh, V. H. (2006). Long term seasonal variation in the biological traits of benthic-macroinvertebrates in two Mediterranean climate streams in California, U. S. A., *Freshwater Biology*, 51(1), 56-75.
 Brown, A. V. and Brussock, P. P. (1991). Comparisons of benthic invertebrates between riffles and pools, *Hydrobiologia*, 220, 99-108.
 Craig, D. A. (1987). Some of what you should know about water or, KISS* for Hydrodynamics (* Keeping It Stupidly Simple). *Journal of the North American Benthological Society*, 4(2), 178-182.
 Edegbene, A. O., Odume, O. N., Arimoro, F. O., and Keke, U. N. (2021). Identifying and classifying macroinvertebrate indicator signature traits and ecological preferences along urban pollution gradient in the Niger Delta, *Environmental Pollution*, 281, 117076.
 Hwang, S. J., Kim, N. Y., Yoon, S. A., Kim, B. H., Park, M. H., You, K. A., Lee, H. Y., Kim, H. S., Kim, Y. J., and Lee, J. H. (2011). Distribution of benthic diatoms in Korean rivers and streams in relation to environmental variables, *Annales De Limnologie-International Journal of Limnology*, 47(S1), S15-S33.
 Hynes, H. B. N. (1970). The ecology of stream insects, *Annual Review of Entomology*, 15(1), 25-42.
 Jang, S. J., Nam, S., Kim, S. W., Koo, H. B., Kim, J. H., Lee, Y. T., and Chun, K. W. (2020). Habitat characteristics of benthic macroinvertebrates at a headwater stream in the Yeonyeopsan (Mt.), *Korean Journal of Environment and Ecology*, 34(4), 334-344.
 Jun, Y. C., Kim, N. Y., Kim, S. H., Park, Y. S., Kong, D. S., and Hwang, S. J. (2016). Spatial distribution of benthic macroinvertebrate assemblages in relation to environmental variables in Korean nationwide streams, *Water*, 8(1), 27.
 Kim, J. S., Lee, H. G., and Choi, J. K. (2013). An ecological comparison of benthic macroinvertebrate community in downstream region of large dams, *Korean Journal of Environment and Ecology*, 27(1), 52-63.
 Kim, J. W. and Oh, C. H. (2018). Characteristics and dynamics of Robinia pseudoacacia forest in Cheonggyesan ecological and scenery conservation area, *Korean Journal of Environment and Ecology*, 2018(1), 21-22., [Korean Literature]
 Kong, D. S. and Kim, D. H. (2019). Analysis of water quality factors for benthic macroinvertebrates streambed index (BMSI) improvement in Korea, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 35(6), 539-549.
 Kong, D. S. and Kim, J. Y. (2016). Development of benthic macroinvertebrates streambed index (BMSI) for bioassessment of stream physical habitat, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 32(1), 1-14.

- Kong, D. S., Kim, J., Son, S. H., Oh, M. W., Choi, A. R., and Byeon, M. S. (2013). Development and application of Korean thermality index (KTI) for biological assessment on climate change, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 29(1), 114-126.
- Kong, D. S., Min, J. K., and Noh, S. Y. (2018). Development of simple benthic macroinvertebrates index (SBMI) for biological assessment on stream environment, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 34(5), 514-536.
- Kong, D. S., Min, J. K., and Noh, S. Y. (2019). Development of benthic macroinvertebrates family-level biotic index for biological assessment on Korean stream environment, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 35(2), 152-164.
- Kong, D. S., Park, Y., and Jeon, Y. R. (2018). Revision of ecological score of benthic macroinvertebrates community in Korea, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 34(3), 251-269.
- Kong, D. S., Son, S. H., Hwang S. J., Won, D. H., Kim, M. C., Park, J. H., Jeon, T. S., Lee, J. E., Kim, J. H., Kim, J. S., Park J., Kwak, I. S., Jun, Y. C., Park, Y. S., Ham, S. A., Lee, J. K., Lee, S. W., Park, C. H., Moon, J. S., Kim, J. Y., Park, H. K., Park, S. J., Kwon Y., Kim P., and Kim, A. R. (2018). Development of benthic macroinvertebrates index (BMI) for biological assessment on stream environment, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 34(2), 183-201. [Korean Literature]
- Lee, H. S., Lee, G. S., Kim, Y. S., and Yang, J. R. (2008). Investigation of correlativity between water velocity and water temperature at a natural river, *Korea Water Resources Association Conference*, 1879-1883.
- Lee, J. H., Han, H., Lee, J. Y., Lee, M. H., Lee, M. Y., and Koo, J. Y. (2020). Survey on the characteristics of water quality and distribution of benthic macroinvertebrate in major urban streams in Seoul, *Korean Journal of Nature Conservation*, 19(1), 137-155.
- Lenat, D. R. (1988). Water quality assessment of streams using a qualitative collection method for benthic macroinvertebrates, *Journal of the North American Benthological Society of Korea*, 7(3), 222-233.
- Margalef, R. (1973). *Information theory in ecology*, Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelonas, Argentina, 55-64.
- McNaughton, S. J. (1967). Relationship among functional properties of California Grassland, *Nature*, 216, 168-169.
- Nam, T. H., Kim, H. S., Oh, C. H., Kim, J. J., and Yoo, R. H. (2009). Landscape ecological management for urban landscape forests of Mt. Cheungye in Seoul, *Journal of the Korean Society of Forestry, Korean Society of Forest Science*, 96-98. [Korean Literature]
- Oh, C. H. (2022). *A Study on the observation of precise changes in ecological and landscape conservation area in Cheonggye mountain Wontegol*, Seoul, 1-3. [Korean Literature]
- Oh, C. H., Kim, Y. H., and Jeong, E. Y. (2006). The management plan of ecosystem conservation area in seoul-case study on cheonggyesan (Mt.) Wontegol, *Proceeding of the Korean Society of Environmental Ecology*, Korean Society of Environment and Ecology Conference, 90-93. [Korean Literature].
- Orth, D. J. and Maughan, O. E. (1983). Microhabitat preferences of benthic fauna in a woodland stream, *Hydrobiologia*, 106(2), 157-168.
- Pennak, R. W. (1989). *Fresh-water invertebrates of the United States. Protozoa to Mollusca*, New York, John Wiley and Sons, Interscience, 628.
- Pielou, E. C. (1975). *Ecological diversity*, Wiley-Interscience Publication, New York 165.
- Rosenberg, D. M., and Resh, V. H. (1993). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*, Chapman and Hall Publishers, New York, 488.
- Sandin, L. (2003). Benthic macroinvertebrates in Swedish streams: community structure, waxon richness, and environmental relations, *Ecography*, 26(3), 269-282.
- Shannon, C. E. and Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*, University of Illinois Press, Urbana.
- Wang, J. H., Lee, H. G., and Choi, J. K. (2016). Community characteristics of benthic macroinvertebrate before the translocation project of Songchu valley in Mt. Bukhansan, *Korean Journal of Environment and Ecology*, 30(1), 81-91.
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments, *The Journal of Geology*, 30(5), 377-392.
- Yun, Y. J. and Oh, C. H. (2021). A study on actual vegetation of ecosystem conservation area in Mt. Cheonggyesan Wontegol, *Journal of Korean Society of Environment and Ecology*. 2021(2), 6-6.

Appendix 1. Abundance (Ind./0.36m²) of benthic macroinvertebrates at the sampling sites

Scientific name	Site		1st					2nd				
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5		
Phylum Platyhelminthes												
<i>Dugesia</i> sp.	4		3	2	3		2	12		5		
Phylum Mollusca												
<i>Semisulcospira forticosta</i>				4					16			
<i>Semisulcospira gottschei</i>							5					
<i>Semisulcospira libertina</i>	2				3	3		2		1		
<i>Physa acuta</i>					1					1		
<i>Pisidium coreanum</i>								1				
Phylum Annelida												
<i>Eisenia</i> sp.							1					
<i>Limnodrilus gotoi</i>	1					3		1		1		
Phylum Arthropoda												
<i>Gammarus</i> sp.	83		4	73	7	31	7	9	85			
Collembola sp.								1				
<i>Acentrella sibirica</i>								2				
<i>Baetiella tuberculata</i>			4					19				
<i>Baetis fuscatus</i>	12	5	24	1	3	2	28	75				
<i>Baetis silvaticus</i>		2			9		36			9		
<i>Baetis ursinus</i>								4				
<i>Labiobaetis atrebatinus</i>		5					14	42		1		
<i>Nigrobaetis bacillus</i>	1			3	1	2				2		
<i>Procladius pennulatus</i>							1		1			
<i>Ecdyonurus dracon</i>		1			4					1		
<i>Ecdyonurus kibunensis</i>		4	3	4	3	3		2				
<i>Ecdyonurus levis</i>		3		2			1	2		4		
<i>Epeorus curvatus</i>	1				6		3			4		
<i>Epeorus pellucidus</i>							3	9				
<i>Heptagenia kihada</i>						6	2		51			
<i>Choroaterpes altiocus</i>							2					
<i>Paraleptophlebia chocorata</i>										2		
<i>Ephemera strigata</i>	1	14		25	2	28	35	5	32	12		
<i>Cincticostella levanidovae</i>						40	104	230	39	19		
<i>Drunella aculea</i>						1	8	2	1			
<i>Calopteryx japonica</i>							1					
<i>Davidius lunatus</i>	2	3	1	9	3	7	3	8	12	6		
<i>Sieboldius albardae</i>							2	8				
<i>Amphinemura coreana</i>					1							
<i>Nemoura</i> KUb	11			4	17	1						
<i>Kiotina decorata</i>						1						
<i>Neoperla coreensis</i>							1		1			

Scientific name	Site	1st					2nd				
		St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
Phylum Arthropoda											
Chloroperlidae sp.						1	1				
<i>Nepa hoffmanni</i>									2		
<i>Parachauliodes asahinai</i>	3			1	1	1	3	4	2	2	
<i>Eubrianax ramicornis</i>			1	2	1				2		
<i>Hexatoma</i> KUa				1							
<i>Dicranota</i> KUa	2			1	1						
<i>Tipula latemarginata latemarginata</i>							1				
<i>Tipula</i> KUa	1						1				
<i>Tipula</i> KUd	1										
<i>Tipula</i> KUn								1			
Psychodidae sp.							2				
Dixidae sp.						1					
<i>Simulium</i> sp.	3	1		5	14	6	2	10		6	
Ceratopogonidae sp.				1							
Chironomidae sp.	1	1	14	5	31	31	14	25	1	4	
<i>Philonus</i> KUa					2						
Dolichopodidae sp.						1					
Tabanidae sp.								1			
Ephydridae sp.								1			
<i>Rhyacophila brevicephala</i>						2					
<i>Rhyacophila lata</i>					2	1	2	1			
<i>Apsilochorema sutshanum</i>				1							
<i>Glossosoma</i> KUa								5			
<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>			1		2						
<i>Cheumatopsyche</i> KUa			5					1			
<i>Diplectrona kibuneana</i>					2						
<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>					1						
<i>Hydropsyche orientalis</i>	1		3			11	10	28		2	
<i>Hydropsyche valvata</i>								1			
<i>Psychomyia</i> KUa	1										
<i>Hydatophylax nigrovittatus</i>				1					6	1	
<i>Goera</i> sp.							2				
<i>Lepidostoma</i> KUb	5	1	1	2	1		10	8		4	
<i>Gumaga orientalis</i>				3							
<i>Anisocentropus kawamurai</i>						5			9		
<i>Oecetis</i> sp.							1				
Total species : 72	19	11	12	21	25	23	32	31	15	20	
Total individuals : 1,874	136	40	64	150	121	188	308	520	260	87	