

Original article

생태·경관보전지역인 소한계곡의 저서성대형무척추동물 다양성 분석

함성남 · 김선유 · 주재형 · 장석구¹ · 김동삼^{1,*} · 배미정*

국립낙동강생물자원관, ¹민물김연구센터

Diversity of Benthic Macroinvertebrate Community in Sohan Stream in Ecological Landscape Conservation Area. Seong-nam Ham (0000-0002-2256-0880), Sun-yu Kim (0000-0001-5940-5975), Jaehyung Joo (0000-0001-5720-8716), Seuk Gu Jang¹ (0000-0002-8037-5093), Dongsam Kim^{1,*} (0000-0001-6454-2915) and Mi-Jung Bae* (0000-0003-4286-1119) (Nakdonggang National Institute of Biological Resources, Sangju 37242, Republic of Korea; Samcheck Prasiola Japonica Research Center, Samcheck 25932, Republic of Korea)

Abstract In 2020, the diversity of benthic macroinvertebrate communities was investigated in the Sohan stream, an ecological and landscape conservation area, and the results were compared with the previous research conducted in 2011. In total, 42 species (two phyla, three classes, and seven orders) were found in the Sohan stream. Species richness and abundance sharply decreased at all sampling sites because of Typhoons Haishen and Maysak in 2020, which had a direct impact on the stream. In the functional feeding group, the ratio of collector-gatherers was the highest at all sampling sites. However, during the autumn season, the shredder ratio increased from 13.4% to 42.4% in the uppermost stream site. Compared with the diversity of benthic macroinvertebrates surveyed in 2011, a total of 53 species (two phyla, three classes, and eight orders) were found. The percentage of species richness and abundance of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera was more than 50% both in 2011 and 2020. Only the richness of Ephemeroptera was significantly different between them (2011: 2.9 and 2020: 6.7). In this study, the abrupt changes of species richness and abundance in benthic macroinvertebrate were not observed before and after the designation of an ecological and landscape conservation area. However, it is necessary to monitor benthic macroinvertebrates in order to confirm that biodiversity is continuously maintained long after the designation of the ecological and landscape conservation area.

Key words: freshwater biodiversity, benthic macroinvertebrates, functional feeding group, community analysis, forest stream

서론

생태·경관보전지역은 1989년 이래로 지정되어 왔으며, 환경부와 시·도지사 지정을 합쳐 총 33개 지역으로 그 면적은 285.79 km²에 달한다(The Ministry of Environment, 2020). 그 중 강원도 삼척시 근덕면에 위치한 소한계곡은 국내 유일한 민물김 (*Prasiola japonica*)이 자생하는 지역

Manuscript received 14 December 2021, revised 27 December 2021, revision accepted 27 December 2021

* Corresponding author: Tel: +82-33-570-3337

E-mail: prasiolra@korea.kr

Tel: +82-54-530-0831, Fax: +82-54-530-0891

E-mail: mjbae@nnibr.re.kr

© The Korean Society of Limnology. 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, provide the original work is properly cited.

이며, 민물김 자생 지역을 포함한 103,522 m²의 주변지역이 생태·경관보전지역으로 2012년 10월 5일에 지정·고시되었다(강원도 고시 제2021-307호)(Research institute for Gangwon, 2013).

소한계곡의 상류에는 천연기념물 제226호로 지정된 초당굴이 위치해 있으며, 그 주변지역(84,958 m²) 또한 문화재보호구역으로 지정되어 있어 문화적·생태학적 가치가 매우 높아 지속적인 담수생물 서식환경에 대한 조사가 필요한 지역이다(Woo *et al.*, 2000; SAMPYO and KNU, 2017).

저서성대형무척추동물은 담수생태계를 대표하는 중요 분류군 중의 하나로 계류와 하천 유수역이나 호수와 연못 그리고 논과 같은 정수역 등 매우 다양한 담수환경에서 서식하며, 어류와 같은 포식자의 먹이원으로서 담수생태계의 먹이사슬에서 중요한 위치에 있다(Jung *et al.*, 2017; Moon *et al.*, 2020). 저서성대형무척추동물은 이동성이 적고 서식지의 변화에 민감하게 반응하여 수환경에 대한 평가에 널리 이용되고 있다(Pennak, 1989; Merritt *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2018). 또한 하천 생태계의 담수생물 중 가장 다양성이 높고 군집구성이 매우 풍부하며, 분류군 또는 종마다 선호하는 환경이 다르므로 인위적·자연적 교란 등에 따른 하천 서식지 평가에도 많이 활용되고 있다(Mandaville, 2002; Park *et al.*, 2007; Rosenberg and Resh, 2013; Shearer *et al.*, 2015; Kwak *et al.*, 2018).

소한계곡에서 수행된 저서성대형무척추동물에 대한 연구로는 생태·경관보전지역 설정 이전에 민물김 서식 지역을 포함한 총 4개의 지점에서 수행한 연구가 유일하며(Research institute for Gangwon, 2013), 생태·경관보전지역 지정 후 저서성대형무척추동물에 대한 조사는 수행되고 있지 않다. 이에, 본 연구에서는 소한계곡에 서식하는 저서성대형무척추동물의 군집 및 섭식기능군 분석을 통해 소한계곡의 담수생물다양성을 파악하고 그 관리방안을 수립하기 위한 기초정보를 제공하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 조사지점 개황 및 조사시기

소한계곡은 석회암층으로 이루어져 있으며 우리나라에서 유일하게 민물김(*Plasiola japonia*)이 서식하고 있는 소하천이다. 계곡 상류에는 천연기념물 제226호인 초당굴이 위치하고 있다. 소한계곡이 위치한 강원 남동부의 동해 무인관측소에서 측정된 1년 누적강수량은 지난 10년간

873.7 mm (2017년)~1,765.7 mm (2011년)이었으며, 연평균 기온은 10년간 12.1°C (2011년)~14.2°C (2016년)를 보였다. 조사가 이루어진 2020년도의 누적강수량은 1,322 mm이며, 연평균 기온은 12.9°C였다.

저서성대형무척추동물 군집 변화를 파악하기 위해 현장조사는 소한계곡 발원지부터 하류까지 총 3개의 지점을 설정하여 계절 조사(봄: 2020년 04월 27일~04월 28일, 여름: 2020년 09월 01일~09월 02일, 가을: 2020년 10월 06일~10월 07일)를 수행하였다(Fig. 1). 연구대상지인 소한계곡은 여름철 강수량(6월~8월)이 638.4 mm로 2020년 총 강수량 1322.4 mm의 48.3%를 차지하였으며, 9월 강수량은 한반도에 상륙한 태풍 마이삭(MAYSACK)과 하이선(HAISHEN) 등의 영향으로 304.0 mm를 기록하였다(National Typhoon center, 2020).

2. 현장조사 및 저서성대형무척추동물 군집 분석

저서성대형무척추동물에 대한 조사는 하천 내 여울의 중심부에서 Surber-net (30×30 cm, 250 μm 망목크기)을 이용하여 채집하였다. 채집은 한 조사지점에서 3회 이상 반복하여 채집하였고 현장에서 95%의 에탄올에 고정하였다. 고정한 샘플은 실험실로 운반하여 70% 에탄올로 교체하였다. 그 후 실험실에서 골라내기(Sorting) 작업을 수행하여 저서성대형무척추동물과 유기물을 분리하였으며, 분리된 저서성대형무척추동물은 현미경(Nikon SMZ800)을 이용하여 대부분 종수준까지 분류하였다. 저서성대형무척추동물 동정에 대해서는 Quigley (1977), Pennak (1978), Brighnam *et al.* (1982), Yun (1988), Merritt and Cummins (2006)에 의거하여 분류하였다.

소한계곡 내 저서성대형무척추동물의 서식 현황을 파악하기 위해 우점도지수(Dominance Index, DI)(McNaughton, 1967)와 Shannon 종다양도지수(Shannon Diversity Index, H'), 종풍부도지수(Richness Index, RI), 균등도지수(Evenness Index, EI), 저서동물지수(Benthic Macroinvertebrate Index, BMI)를 산출하였다. 또한 기능적 군집의 차이를 비교분석하기 위해 섭식기능군(Functional Feeding Group, FFGs)을 분석하였다. 섭식기능군은 썰어먹는 무리(shredder, SH), 주워먹는 무리(collector-gatherer, CG), 걸러먹는 무리(collector-filterer, CF), 긁어먹는 무리(scraper, SC), 수액빠는 무리(macrophyte-piercer, MP), 잡아먹는 무리(predator, PR)로 구분하였다(Merritt and Cummins, 2006).

저서성대형무척추동물 군집의 다양성에 영향을 끼칠 것으로 예상되는 다양한 환경인자들을 동시에 조사하였다.

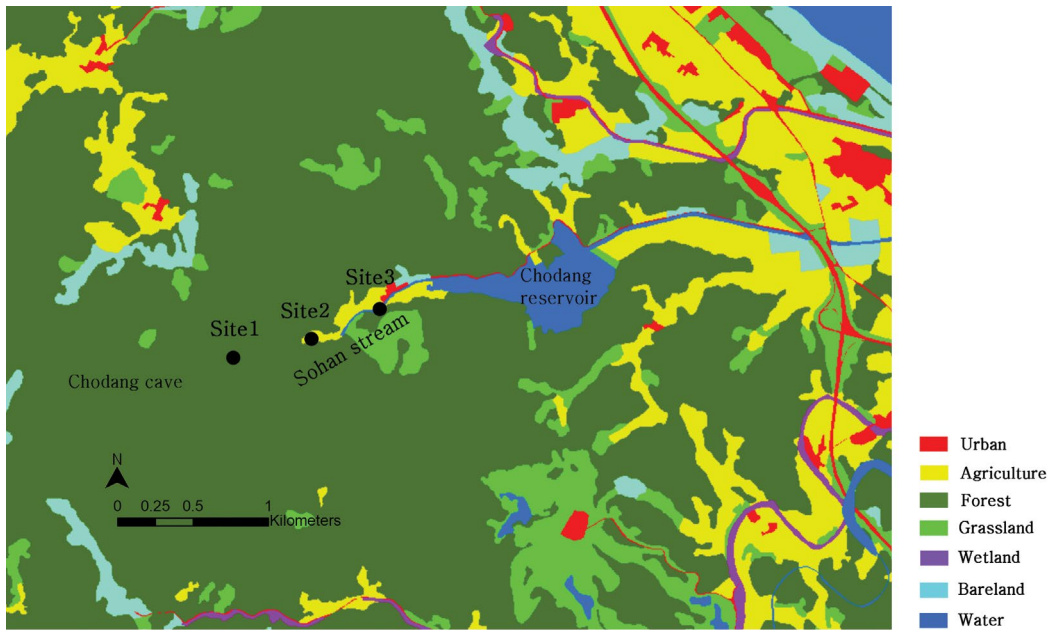


Fig. 1. Study sites in Sohan stream.

조사지점의 하상구성은 총 10개의 카테고리 (<math><0.063\text{ mm}</math>, \text{NH}_4^+), Nitrate (NO_3^-), Total Nitrogen (TN), Phosphate Phosphorus ($\text{PO}_4\text{-P}$), Total Phosphorus (TP), Chlorophyll-*a* (Chl-*a*), 경도 분석을 위해 현장에서 채수한 4L의 시료를 정도관리에 유의하며 공인된 분석기관에 분석을 의뢰하였으며, 환경부 수질오염공정시험법(2007)에 의거하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 기초환경

소한계곡에서 실시한 전체 조사시기의 기초환경 조사 결과, 유속은 $0.62\sim 0.90\text{ m s}^{-1}$ (평균 0.76 m s^{-1}), 수심은 $0.20\sim 0.25\text{ m}$ (평균 0.225 m)의 범위로 나타났으며, 하상구성은 호박돌이 70% 이상을 차지하였다. 또한 유속이 빠른 소한계곡의 특성상 식물플랑크톤과 동물플랑크톤이 매우 낮은 밀도로 나타나고 있어 저서성대형무척추동물의 군집 구성에도 많은 영향을 끼칠 것으로 예상된다(Bae et

al., 2020). BOD, TP, DO의 경우, 각각 $0.2\text{ mg L}^{-1}\sim 1.6\text{ mg L}^{-1}$, $0.012\text{ mg L}^{-1}\sim 0.20\text{ mg L}^{-1}$, $9.74\text{ mg L}^{-1}\sim 11.18\text{ mg L}^{-1}$ 으로 나타났으며, BOD와 TP의 경우 하천의 생활환경기준에 의거 “좋음” 또는 “매우좋음” 등급을 보였다. 그 이외에 TN은 $0.309\text{ mg L}^{-1}\sim 0.666\text{ mg L}^{-1}$, 전기전도도는 $203.5\text{ mg L}^{-1}\sim 222.9\text{ mg L}^{-1}$ 의 범위를 나타냈다(Table 1). 이처럼 소한계곡은 일반적인 계류의 환경적 특성을 잘 반영하고 있었으며, 비교적 안정적인 기초환경을 가지고 있는 것으로 확인되었다.

2. 저서성대형무척추동물 다양성

조사기간 동안 총 2문 3강 7목 25과 42종의 출현이 확인되었다. 환경부지정 멸종위기야생동물의 출현은 확인되지 않았으며, 한국고유종은 가는무늬하루살이(*Ephemera separigata*), 뿔하루살이(*Drunella aculea*), 한국강도래(*Kamimuria coreana*), 수염치레날도래(*Psilotreta locumtenens*)로 총 4종이 확인되었다. 국외반출승인대상종은 애호랑하루살이(*Baetiella tuberculata*), 감장하루살이(*Nigrobaetis bacillus*), 흰부채하루살이(*Epeorus curvatus*), 부채하루살이(*Epeorus pellucidus*), 알통하루살이(*Drunella cryptomeria*) 등 총 13종이 확인되었다. 3번 지점이 총 37종으로 가장 많은 종이 출현하였으며 2번 지점(29종), 1번 지점(28종) 순으로 나타났다. 또한 모든 조사시기에서 3번 지점(봄: 29종, 여름: 26종, 가을: 19

Table 1. The average of physico-chemical factors in each site in Sohan stream.

| | Site 1 | Site 2 | Site 3 |
|---|---------------|---------------|---------------|
| Water temperature (°C) | 13.8 (2.54) | 13.9 (2.55) | 14.0 (2.59) |
| Biochemical Oxygen Demand (mg L ⁻¹) | 1.30 (0.66) | 0.87 (0.70) | 1.03 (0.46) |
| Total Nitrogen (mg L ⁻¹) | 0.467 (0.145) | 0.532 (0.137) | 0.540 (0.095) |
| Total Phosphorus (mg L ⁻¹) | 0.083 (0.103) | 0.021 (0.194) | 0.018 (0.143) |
| Chlorophyll. A (m ³ mg ⁻¹) | 0.73 (0.10) | 0.45 (0.01) | 0.72 (0.01) |
| Alkalinity (mg L ⁻¹ as CaCO ₃) | 100 (0.00) | 62 (0.02) | 67 (0.0) |

※ (): Standard deviation

※ Sampling frequency: 3 times (Spring: April, Summer: September, Autumn: October)

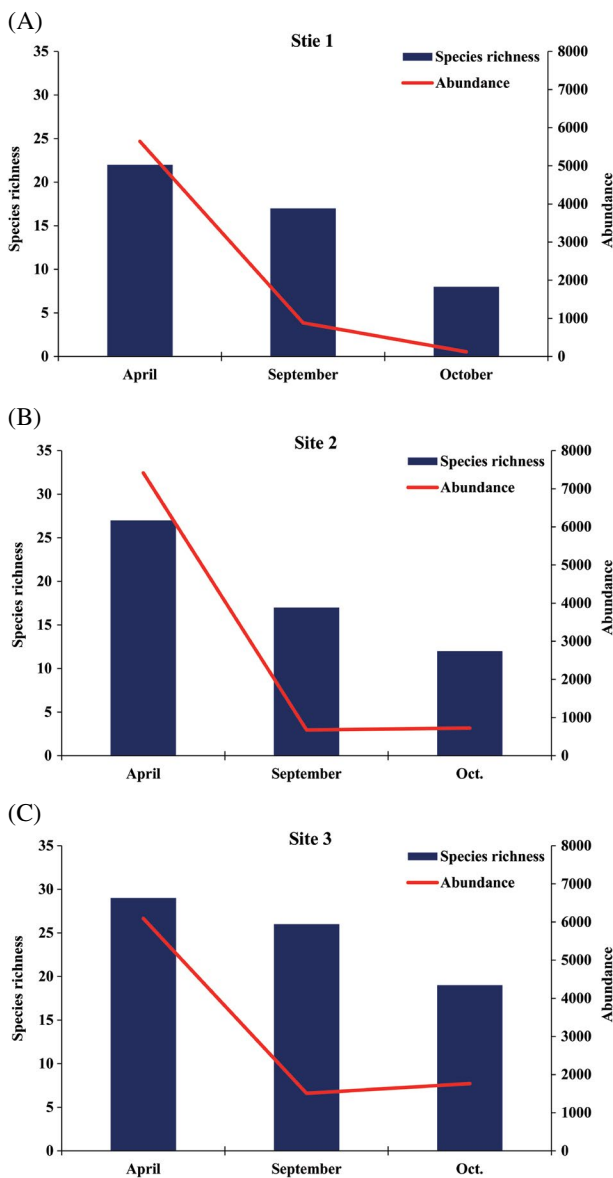


Fig. 2. Species richness and abundance in Sohan stream.

종)이 가장 높은 종수를 보였다. 출현한 개체수 또한 3번 지점(9,363개체 m⁻²)이 가장 많은 개체수가 확인되었고 2번 지점(8,815개체 m⁻²), 1번 지점(6,644개체 m⁻²) 순으로 많은 개체수를 보였다(Fig. 2). 조사시기 중 한달 동안의 누적 강수량이 304.0 mm로 2020년 월 누적 강수량 중 가장 높았던 9월 이후에 실시한 가을철에 모든 조사지점에서 종수(1번: 8종, 2번: 12종, 3번: 19종)가 가장 낮았으며 세 지점에 대한 개체수의 총합(2,611개체 m⁻², 1번: 122개체 m⁻², 2번: 729개체 m⁻², 3번 1,763개체 m⁻²)도 가장 낮게 나타났다.

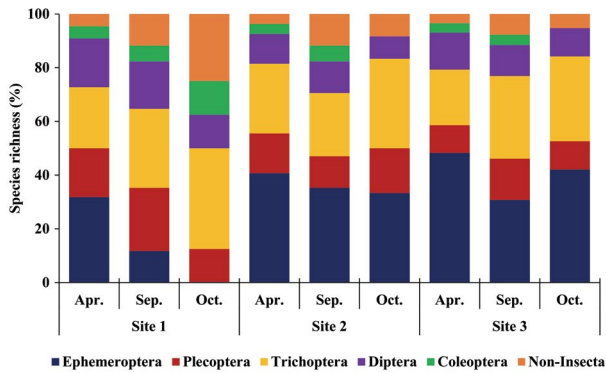
산림 하천인 소한계곡은 인위적 요인이 거의 없어 집중호우, 태풍, 계절적 요인과 같은 자연적 교란에 큰 영향을 받았다(Bae *et al.*, 2016). 특히 여름과 가을철의 장마나 태풍으로 인한 집중호우는 하상구조에 많은 영향을 주어 하상표면의 유실과 불안정성 증가가 예상되며 이는 저서성대형무척추동물 군집 변화를 야기하는 요인 중 하나로 작용한 것으로 보인다(Cobb *et al.*, 1992; Robertson *et al.*, 1995; Kwak *et al.*, 2008).

강우 영향으로 인해 군집 구조에 변화가 있었음에도 불구하고 전반적으로 다양한 종들이 출현하였고 그 개체수도 풍부하였다. 게다가 청정수역을 대표하는 지표생물인 하루살이목과 강도래목, 날도래목 즉 EPT의 비율이 다른 출현종들보다 비교적 높게 나타나는 결과를 확인할 수 있었다(Barbour *et al.*, 1992; Kim *et al.*, 2018) (Fig. 3). 개체수를 기준으로 한 목별 출현율은 전체 조사기간 중 모든 지점에서 파리목이 19% (3번 지점, 여름)~71% (3번 지점, 가을)의 범위로 가장 높은 비율을 나타냈다. 하루살이목과 강도래목, 날도래목을 통칭하는 EPT의 비율은 2번 지점 가을조사에서 71%로 가장 높게 나타났으며, 가장 낮은 비율은 3번 지점의 가을조사에서 27%의 비율로 나타났으나 전체적으로 높은 출현율을 나타냈다.

3. 군집 및 섭식기능군 분석

우점도 지수는 가을철 조사 3번 지점에서 가장 높

(A) Species richness



(B) Abundance

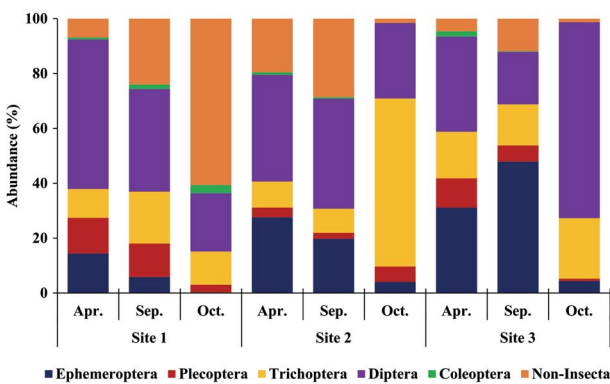


Fig. 3. The ratio of species richness (A) and abundance (B) in Order level in Sohan stream.

았으며 (0.81), 여름철 조사 3번 지점에서 가장 낮았다 (0.45). 조사시기별 우점종은 봄철 조사의 경우 깔따구류 (Chironomidae spp.)가 전 지점에서 우점하는 것으로 나타났다, 여름철도 마찬가지로 1번 지점과 2번 지점은 깔따구류가 우점하였으나 3번 지점은 애호랑하루살이 (*B. tuberculata*)가 우점하는 것으로 나타났다. 가을조사의 경우는 1번 지점은 보통옆새우 (*Gammarus sobaegensis*), 2번 지점은 광택날도래 KUa (*Glossosoma KUa*) 그리고 3번 지점은 깔따구류 (Chironomidae spp.)가 우점하는 것으로 나타났다. 또한 소한계곡의 저서동물지수는 91 (1번 지점)~96.1 (2번 지점)의 범위를 나타내 모두 “매우 양호”로 나타났다 (Table 2). 저서성대형무척추동물의 종다양도 차이에 영향을 끼치는 요인은 식생이나 수질 그리고 하천의 지리 및 지형적 환경 등으로 알려져 있다 (Harper *et al.*, 1997; Jung *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2014). 이번 조사 결과에서는 모든 조사 지점에서 분석된 종다양도 지수를 세 지점 간 비교해 보았을 때 서로 큰 차이는 나타나지 않았다. 이것은 세 지점의 다양한 환경요인에 대해서도 큰 차이는 없다는 것을 나타내는 결과이며, 인공구조물이나 보, 댐과 같은 구조물의 설치로 인한 상류에 정수역의 발달로 종다양도 지수가 낮게 나타나는 다른 하천들과는 다르게 소한계곡은 자연하천으로 잘 유지되어 있다는 점을 반영하는 결과로 볼 수 있다 (Kil *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2014).

개체수를 기준으로 소한계곡의 섭식기능군 비율을 분석한 결과, 봄 (1번 지점, 69.01%, 2번 지점, 64.64%, 3번 지점, 64.50%)과 여름 (1번 지점: 44.54%, 2번 지점: 52.75% 3번 지점: 63.14%) 기간동안 CG의 비율이 가장 높게 나타났으며, 가을에서는 SH (1번 지점, 42.42%), SC (2번 지점,

Table 2. Biological indices of benthic macroinvertebrates in Sohan stream in 2011 and 2020.

| | 2011 | | | | | | | | 2020 | | | | | | |
|-----------------|------------------|---|------|------|------|------|------|------------------|---|------|------|------|------|------|------|
| | Species richness | Abundance (individual m ⁻²) | DI | H' | R1 | J' | BMI | Species richness | Abundance (individual m ⁻²) | DI | H' | R1 | J' | BMI | |
| 1 st | Site 1 | 11 | 426 | 0.84 | 1.59 | 1.65 | 0.46 | 93.8 | 22 | 5641 | 0.64 | 2.41 | 4.75 | 0.45 | 95.0 |
| | Site 2 | 14 | 307 | 0.66 | 2.48 | 2.27 | 0.65 | 95.9 | 17 | 7415 | 0.58 | 2.83 | 4.6 | 0.52 | 94.9 |
| | Site 3 | 15 | 170 | 0.26 | 3.63 | 2.73 | 0.93 | 93.9 | 8 | 6093 | 0.55 | 2.97 | 4.7 | 0.55 | 94.9 |
| 2 nd | Site 1 | 16 | 729 | 0.72 | 2.19 | 2.28 | 0.55 | 94.8 | 27 | 881 | 0.59 | 2.81 | 6.05 | 0.52 | 94.0 |
| | Site 2 | 10 | 774 | 0.73 | 2.06 | 1.35 | 0.62 | 95.8 | 17 | 674 | 0.62 | 2.91 | 6.29 | 0.54 | 94.1 |
| | Site 3 | 13 | 622 | 0.65 | 2.3 | 1.87 | 0.62 | 95.2 | 12 | 1507 | 0.45 | 3.5 | 5.6 | 0.65 | 96.6 |
| 3 rd | Site 1 | 11 | 1792 | 0.94 | 0.71 | 1.33 | 0.2 | 93.1 | 29 | 122 | 0.64 | 2.3 | 8.53 | 0.43 | 91.0 |
| | Site 2 | 16 | 352 | 0.42 | 3.35 | 2.56 | 0.84 | 96.7 | 26 | 726 | 0.81 | 1.97 | 6.22 | 0.37 | 96.1 |
| | Site 3 | 17 | 433 | 0.62 | 2.92 | 2.64 | 0.71 | 97.2 | 19 | 1763 | 0.81 | 1.9 | 5.49 | 0.35 | 94.8 |

※DI: Dominance Index, H': Shannon Diversity Index, R1: Richness Index, J': Evenness Index and BMI: Benthic Macroinvertebrate Index

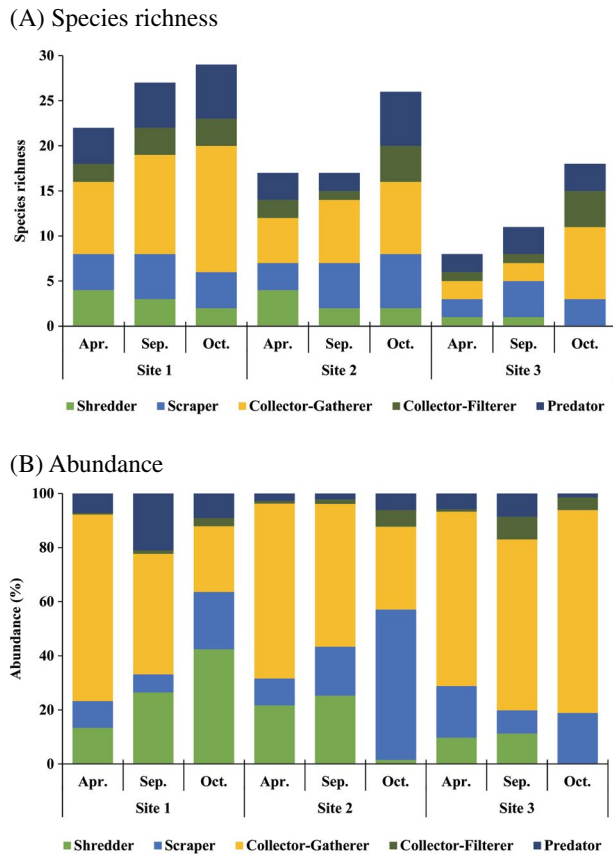


Fig. 4. Species richness (A) abundance (%) (B) of functional feeding groups in Sohan stream.

55.61%)가 가장 높은 비율을 차지였다. 출현한 종수를 기준으로 FFGs를 분석한 결과는 CG에 해당하는 종수가 봄철(1번 지점: 8종, 2번 지점: 11종, 3번 지점: 14종), 여름철(1번 지점: 5종, 2번 지점: 7종, 3번 지점: 8종)에 가장 많았다(Fig. 4). 이와 같은 결과는 하천 외부에서 낙엽과 나뭇가지 같은 고형의 큰 물질인 소립유기물이 유입되어 이것을 먹이원으로 삼는 SH가 높은 비율로 출현하는 하천 상류의 일반적인 특징과 일치한다(Pack *et al.*, 2010; Jeon *et al.* 2019). 특히, 가을의 경우 태풍의 영향으로 개체수 및 종수가 감소하였음에도 본 연구에서 최상류로 나뭇잎의 유입이 많은 1번 지점에서 SH의 개체수가 증가함을 보였다. 이는 계류에서 보이는 섭식기능군의 특징을 잘 반영하고 있었다(Wang *et al.*, 2016).

4. 과거 연구와의 비교

소한계곡과 같이 생태·경관보호지역으로 지정하여 생태학적 가치를 보호하는 보호지역의 경우에는 그 지역의

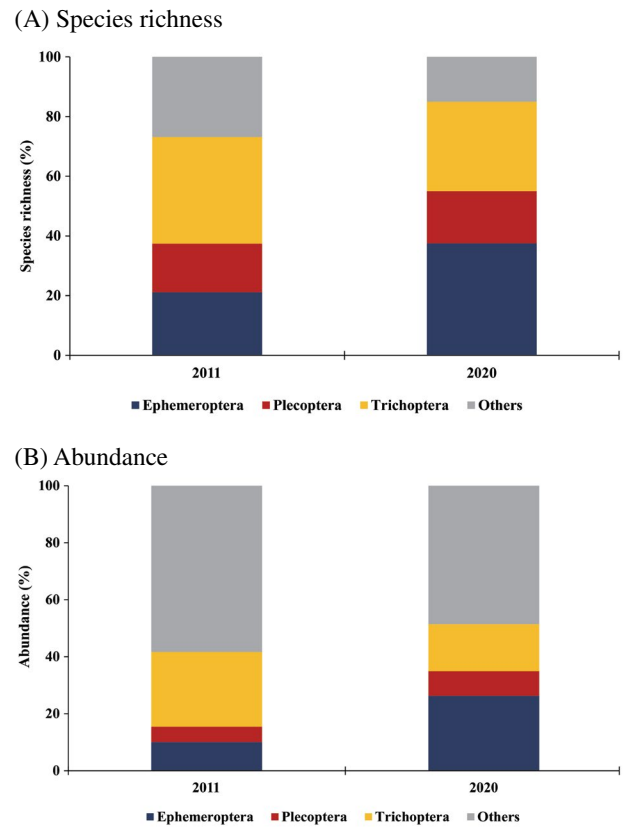


Fig. 5. Comparison of the ratio of species richness (A) and abundance (B) in order level in 2011 and 2020.

생태현황을 파악하고 과거조사의 결과와 비교하여 현재의 보호지역이 적절한 방법으로 관리되고 있는지 평가하는 것은 반드시 수행되어야 하는 과정이다(Elzinga *et al.*, 1998; Chae *et al.*, 2017; Chae *et al.*, 2019). 문헌조사 결과 소한계곡의 경우 2011년 한 차례 조사가 수행된 이래 저서성대형무척추동물 군집에 대한 조사가 수행된 바가 없었다. 이에, 2011년에 수행된 조사 자료와 2020년에 수행된 저서성대형무척추동물의 군집을 비교하였다.

2011년 연구는 총 4개의 지점에서 3회에 걸쳐 조사를 수행하였는데 본 연구결과와 비교를 위해 조사지점이 유사한 3개의 지점에서 조사된 결과만 이용하였다. 조사 결과 총 2문 3강 8목 22과 53종의 출현이 확인되었으며, 평균 19.6종으로 총 종수 42종, 평균 13.7종의 출현이 확인된 2020년보다 더 높은 출현 종수를 보였다(Mann-Whitney U test=2.17, p<0.05). 개체수의 경우 2011년이 평균 630 개체로 평균 2,758개체를 보인 2020년 보다 낮은 개체수를 보였다(Mann-Whitney U test=1.98, p<0.05).

2011년 조사 결과에서 환경부가 지정한 멸종위기동물 I급과 II급에 포함되는 종은 출현이 확인되지 않았다

Table 3. Dominant species and index in Sohan stream in 2020 and 2011.

| | 2011 | | | 2020 | | | |
|-----------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|------|
| | Dominant species | Sub dominant species | DI | Dominant species | Semi dominant species | DI | |
| 1 st | Site 1 | <i>Gammarus sobaegensis</i> | <i>Ecdyonurus kibunensis</i> | 0.84 | Chironomidae spp. | <i>Baetiella tuberculata</i> | 0.64 |
| | Site 2 | <i>Gammarus sobaegensis</i> | <i>Baetiella tuberculata</i> | 0.72 | Chironomidae spp. | <i>Gammarus sobaegensis</i> | 0.58 |
| | Site 3 | <i>Gammarus sobaegensis</i> | <i>Kamimuria coreana</i> | 0.94 | Chironomidae spp. | Chironomidae spp. | 0.55 |
| 2 nd | Site 1 | <i>Gammarus sobaegensis</i> | <i>Apatania</i> KUa | 0.66 | Chironomidae spp. | <i>Gammarus sobaegensis</i> | 0.59 |
| | Site 2 | <i>Glossosoma</i> KUa | <i>Baetiella tuberculata</i> | 0.73 | Chironomidae spp. | <i>Gammarus sobaegensis</i> | 0.62 |
| | Site 3 | <i>Glossosoma</i> KUa | <i>Psilotreta kisoensis</i> | 0.42 | <i>Baetiella tuberculata</i> | Chironomidae spp. | 0.45 |
| 3 rd | Site 1 | <i>Gammarus sobaegensis</i> | <i>Psilotreta locumtenens</i> | 0.26 | <i>Gammarus sobaegensis</i> | <i>Baetiella tuberculata</i> | 0.64 |
| | Site 2 | <i>Gammarus sobaegensis</i> | Chironomidae sp. | 0.65 | Chironomidae spp. | Chironomidae spp. | 0.81 |
| | Site 3 | <i>Glossosoma</i> KUa | <i>Agapetus</i> KUa | 0.62 | <i>Glossosoma</i> KUa | <i>Glossosoma</i> KUa | 0.81 |

※DI: Dominance Index

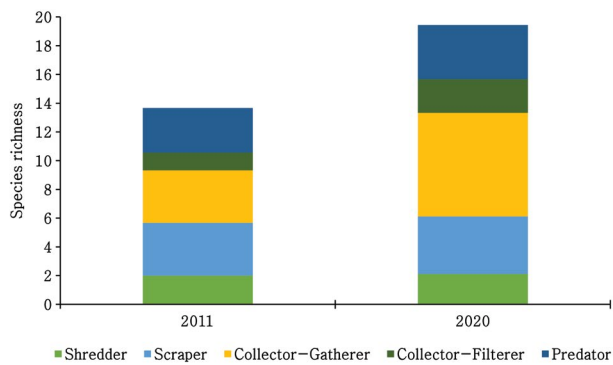
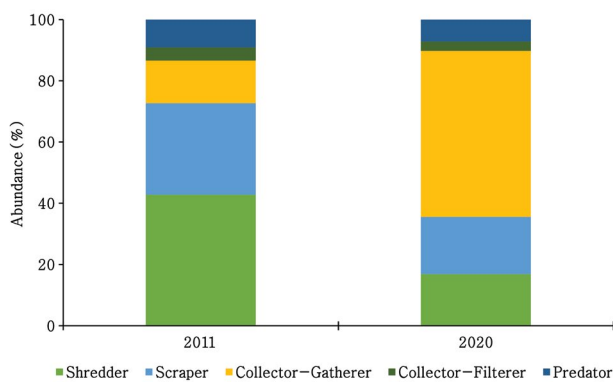
(A) Species richness**(B) Abundance**

Fig. 6. Comparison of the ratio of functional feeding group based on species richness (A) and abundance (B) in order level in 2011 and 2020.

(Research institute for Gangwon, 2013). 한국고유종은 뽕 하루살이 (*D. aculea*), 가는무늬하루살이 (*E. separigata*), 한

국강도래 (*K. coreana*), 수염치레날도래 (*P. ocumtenens*) 등 4종이 두 연구에서 공통으로 출현하였으며, 2011년 조사에서는 삼새민강도래 (*Protonemura villosa*), 큰광택날도래 KUa (*Agapetus* KUa), 둥근얼굴날도래 KUa (*Micrasema* KUa), 애우묵날도래 KUa (*Apatania* KUa)의 4종이 더 출현했던 것으로 확인되었다. 우점종의 경우 기존 연구에서는 보통옆새우 (*G. sobaegensis*), 광택날도래 KUa (*G. KUa*), 수염치레각날도래, 두점하루살이 (*Ecdyonurus kibunensis*), 한국강도래 (*K. coreana*) 등이 주로 선정되었으며, 2020년의 경우 깔따구류 (Chironomidae spp.)나 보통옆새우 (*G. sobaegensis*), 광택날도래 KUa (*G. KUa*)가 주로 우점하였다 (Table 3). EPT에 속하는 종수와 개체수의 경우 2011년 (종수: 73.7%, 개체수: 53.3%)과 2020년 (종수: 72.4%, 개체수: 43.0%) 간의 통계적으로 유의한 차이는 확인되지 않았으나, 하루살이목의 경우 개체수 (2011년: 10.0%, 2020년: 26.4%)가 2020년에 상대적으로 높았던 반면, 날도래목 개체수 (2011년: 26.2%, 2020년: 16.5%)는 2011년에 상대적으로 높았다. 종수의 경우 하루살이목에서 2011년 2.9종, 2020년 6.7종으로 연도별 차이가 확인되었다 (Mann-Whitney U test = 2.07, $p < 0.05$). 섭식기능군의 경우 종수 (2011년: 3.6종, 2020년: 7.2종) 및 개체수 (2011년: 14.0%, 2020년: 54.3%) 모두 2020년에 CG가 높게 나타났으나 그 이외에 섭식기능군의 경우 통계적으로 유의한 차이는 확인되지 않았다 (Fig. 6).

저서성대형무척추동물 군집은 교란이 있는 후에도 빠르게 회복을 한다고 알려져 있다 (Bae and Park, 2009; Bae et al., 2014; Kwak et al., 2018). 그러나 최근에 들어 불규칙적인 강우패턴으로 인한 서식환경의 변화로 저서성대형무척

추동물의 군집 구조에 많은 영향을 끼치고 있다(Connolly and Pearson, 2007; Lee *et al.*, 2014). 2011년과 2020년 사이에도 강우량의 차이가 뚜렷하였는데, 2018년 이후 연강수량이 이전과 다르게 계속적으로 1,000 mm가 넘는 강우가 지속되어 이는 소한계곡 내 저서성대형무척추동물의 서식에도 많은 영향을 끼칠 것으로 생각된다. 또한 생태·경관보전지역으로 지정된 33개의 지역 중 계곡은 소한계곡을 포함하여 서울의 백사실계곡과 부산의 석은담계곡, 단 3곳밖에 되지 않아 이들의 보전과 관리가 매우 중요하다(The Ministry of Environment, 2020). 따라서 소한계곡의 생태학적 가치와 문화적 가치를 지켜나가기 위해서는 지속적인 모니터링 조사를 통한 담수생물다양성 파악과 관리방안을 수립하는 것이 무엇보다 시급할 것으로 생각된다.

적 요

본 연구에서는 국내 유일의 민물길 서식지이며 생태·경관보전지역인 소한계곡의 저서성대형무척추동물 다양성을 분석하였다. 저서성대형무척추동물의 조사는 소한계곡의 발원지를 포함하여 총 3개 지점에서 계절 조사를 수행하였으며, 2011년에 수행된 과거 조사 자료와 비교하였다. 본 연구의 조사 결과, 총 2문 3강 7목 25과 42종의 출현이 확인되었으며, 개체수 및 종수는 2020년 삼척시에 직접적인 영향을 끼친 태풍 하이선, 마이삭의 영향으로 모든 조사지점에서 급격하게 감소하였다. 섭식기능군 분석 결과 주워먹는 무리의 비율이 전 조사지점에서 가장 높았으나, 가을철 최상류 구간에서 썰어먹는 무리의 비율이 13.4~42.4%로 증가하였다. 기존에 수행된 2011년 조사와 비교시 총 2문 3강 8목 22과 53종의 출현이 확인되어 본 연구보다 11종이 많이 출현하였다. 하루살이목, 강도래목, 날도래목의 종 및 개체수 비율이 조사연도와 관계없이 50% 이상을 차지하였으며, 하루살이목의 종수만 2.9종에서 6.7종으로 유의하게 증가하였다. 본 연구에서는 기존에 수행된 2011년과 비교하였을 때 저서성대형무척추동물의 다양성에 큰 변화는 확인되지 않았으나, 강수량 변화 등과 같은 기후영향에 따른 저서성대형무척추동물의 급감, 종조성 변화가 확인된 바 지속적인 모니터링을 통해 생태·경관보전지역인 소한계곡의 보전·관리 방안 마련을 위한 기초자료 확보가 필요한 것으로 판단된다.

저자정보 함성남(국립낙동강생물자원관 연구원), 주재형(국립낙동강생물자원관 전임연구원), 김선유(국립낙동강

생물자원관 선임연구원), 배미정(국립낙동강생물자원관 선임연구원), 장석구(민물김연구센터 계장), 김동삼(민물김연구센터 연구원)

저자기여도 개념설정: 배미정, 김동삼, 현장조사: 배미정, 주재형, 김선유, 논문 초안작성 및 교정: 함성남, 배미정, 원고검토: 함성남, 배미정, 과제관리: 배미정, 김동삼

이해관계 이 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

연구비 본 논문은 환경부의 재원으로 국립낙동강생물자원관(NNIBR202101107) 및 삼척시청 연구과제 생태·경관보전지역 소한계곡 담수생물 다양성조사의 지원을 받아 수행하였습니다.

REFERENCES

Bae, M.J. and Y.S. Park. 2009. Changes in benthic macroinvertebrate communities in response to natural disturbances in a stream. *Korean Journal of Ecology and Environment* **32**(3): 197-206.

Bae, M.J., F. Li, Y.S. Kwon, N. Chung, H. Choi, S.J. Hwang and Y.S. Park. 2014. Concordance of diatom, macroinvertebrate and fish assemblages in streams at nested spatial scales: Implications for ecological integrity. *Korean Journal of Ecology and Environment* **47**: 89-101.

Bae, M.J., J.H. Chun, T.S. Chon and Y.S. Park. 2016. Spatio-temporal variability in benthic macroinvertebrate communities in headwater streams in South Korea. *Water* **8**(3): 99.

Barbour, M.T., J.L. Plafkin, B.P. Bradley, C.G. Graves and R.W. Wisseman. 1992. Evaluation of EPA's rapid bioassessment benthic metrics: Metric redundancy and variability among reference stream sites. *Environmental Toxicology and Chemistry* **25**(5): 655-671.

Brighnam, A.R., W.U. Brighnam and A. Gnika. 1982. *Aquatic Insects and Oligochaetes of North and South Carolina*. Midwest Aquatic Enterprise. Mahomet: Illinois.

Chae, H.H., H.U. Ji, J.H. Min and Y.C. Kim. 2017. Report on the monitoring of special protection zone in Odaesan national park-Iris odaesansis Y.N. Lee, Paeonia obovata Maxim. *Journal of Nation Park Research* **8**: 8-23.

Chea, H.H., Y.C. Kim, K.S. Lee, G.H. Nam, S.R. Lee, Y.J. Lee and Y.K. Lee. 2019. Floristic Characteristics of Vascular Plants in the Dong-gang River Basin Ecological and Scenery Conservation Area. *Korean Journal of Ecology and Environment* **33**(2): 131-167.

Cobb, G.G., T.D. Galloway and J.F. Flannagan. 1992. Effects of discharge and substrate stability on density and species composition of stream insects. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **49**: 1788-1795.

- Connolly, N.M. and R.G. Pearson. 2007. The effect of fine sedimentation on tropical stream macroinvertebrate assemblages: A comparison using flow through artificial stream channels and recirculating mesocosms. *Hydrobiologia* **592**: 423-438.
- Cummins, K.W. and G.H. Lauff. 1969. The influence of Substrate particle size on the microdistribution of stream macrobenthos. *Hydrobiologia* **34**: 145-181.
- Ezinga, C.L., D.W. Salzer and J.W. Willoughby. 1998. Measuring and monitoring plant population. U.S. Department of the Interior Bureau of Land Management. 477pp.
- Harper, D., J. Mekotova, S. Hulme, J. White and J. Hall. 1997. Habitat Heterogeneity and Aquatic Invertebrate Diversity in Floodplain Forests. *Global Ecology and Biogeography Letters* **6**: 275-285.
- Jeon, H.J., C. Hong, M.Y. Song, K.H. Kim, W.O. Lee and I.S. Kwak. 2019. Characteristics of Benthic Macroinvertebrates in Gihwa Stream, Tributary of Dong River, Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **52**(2): 105-117.
- Jung, S.W., Y.C. Cho and H.G. Lee. 2017. Community Characteristics and Biological Quality Assessment on Benthic Macroinvertebrates of Bonseonsa Stream in Gwangneung Forest, South Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **31**(6):508-519.
- Jung, S.W., V.V. Nguyen, Q.H. Nguyen and Y.J. Bae. 2008. Aquatic insect faunas and communities of a mountain stream in Sapa Highland, northern Vietnam. *Limnology* **9**: 219-229.
- Kil, H.K., D.G. Kim, S.W. Jung, Y.H. Jin, J.M. Hwang, K.S. Bae and Y.J. Bae. 2010. Impacts of impoundments by low-head and large dams on benthic macroinvertebrate communities in Korean streams and rivers. *Korean Journal of Limnology* **43**(2): 190-192.
- Kim, H.G., C.S. Yoon and S.W. Cheong. 2018. Effects of Habitat Changes Caused by Localized Heavy Rain on the Distribution of Benthic Macroinvertebrates. *Korean Journal of Environmental Science International* **27**(8): 689-699.
- Kim, J.Y., S.H. Lee, K.L. Lee, S.Y. Noh, Y.N. Shin, S.W. Lee, J.K. Lee, D.H. Won, S.H. Li, Y.J. Kwon and D.S. Kong. 2018. Spatio-temporal Distribution Patterns of Lotic Benthic Macroinvertebrate Communities in Namhan River Weir Section. *Korean Journal of Ecology and Environment* **51**(4): 331-344
- Kwak, I.S., S.A. Jeong and G.S. Jeong. 2008. Community Composition on Stream Benthic Macroinvertebrate in Daegu. *Korean Journal of Environmental Biology* **26**(1): 47-55.
- Kwak, I.S., D.S. Lee, C. Hong and Y.S. Pack. 2018. Distribution Patterns of Benthic Macroinvertebrates in Streams of Korea. *The Korean Society of Limnology* **51**(1): 60-70.
- Lee, D.Y., M.J. Bae, Y.S. Kwon, C.W. Park, H.M. Yang, Y.S. Shin, T.S. Kwon and Y.S. Park. 2018. Characteristics of Spatiotemporal Patterns in Benthic Macroinvertebrate Communities in Two Adjacent Headwater Streams. *Korean Journal of Ecology and Environment* **51**(2): 192-203.
- Lee, J.Y., K.Y. Lee, S.J. Han, S.J. Lee, Y.K. Jung, J.L. Cheon, J.S. Choi and J.C. Kim. 2014. Spatial and Temporal Variation of Macroinvertebrates according to Physical Factors in Gongji Stream Area. *Korean Journal of Ecology and Environment* **28**(1): 24-32.
- Mandaville, S.M. 2002. Benthic macroinvertebrates in freshwaters: taxa tolerance values, metrics, and protocols. Soil and Water Conservaton Society of Metro Halifax.
- McNaughton, S.J. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature* **216**: 168-169.
- Merritt, R.W., K.W. Cummins and M.B. Berg. 2008. An Introduction to the aquatic insects of North America. Cambridge University Press, 1-267.
- Merritt, R.W. and K.W. Cummins. 2006. An introduction to the aquatic insects of North America. Dubuque (IA): Hunt Publishing Company. Dubugue.
- National Typhoon center. 2020 The Report of Typhoon Impact on the Korean Peninsula 2020. pp. 38-63.
- Moon, M.Y., C.W. Ji, D.S. Lee, D.Y. Lee, S.J. Hwang, S.Y. Noh, I.S. Kwak and Y.S. Park. 2020. Characterizing Responses of Biological Trait and Functional Diversity of Benthic Macroinvertebrates to Environmental Variables to Develop Aquatic Ecosystem Health Assessment Index. *Korean Journal of Ecology and Environment* **53**(1): 31-45.
- Pack, Y.J., H.M. Lim, K.D. Kim, Y.H. Cho, S.H. Nam and O.S. Kwon. 2010. Community Analysis Based on Functional Feeding Groups of Benthic Macroinvertebrate in Wangpi-cheon. *Korean Journal of Ecology and Environment* **24**(5): 556-565.
- Pack, Y.S., M.Y. Song, Y.C. Park, K.H. Oh, E. Cho and T.S. Chon. 2007. Community patterns of benthic macroinvertebrates collected in the national scale in Korea. *Ecological Modelling* **203**(1-2): 26-33.
- Pennak, R.W. 1989. Fresh-water invertebrates of the United States. Wiley interscience, 1-535.
- Pennak, R.W. 1978. Freshwaer Invertebrates of the United States. John Wiley and Sons, Inc: New York.
- Quigley, M. 1977. Invertebrates of Streams and Rivers: A Key to Identification. Edward Arnold: London.
- Research institute for Gangwon. 2013. Management Plan of Sohan Stream, Ecological Landscape Conservation Area: Focusing on the Habitat of Freshwater Laver (*Prasiora japonica*). pp. 1-167.
- Robertson, A.L., J. Lancaster and A.G. Hildrew. 1995. Stream hydraulics and the distribution of macrocrustacea: A role for refugia. *Freshwater Biology* **33**: 469-484.
- Rosenberg, D.M. and V.H. Resh. 2013. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York.
- SAMPYO and KNU. 2017. Groundwater Impact Investigation Report (1st Stage) on High Quality Limestone Develop-

- ment of Dongyang 2nd Mine. March 2017. KNU.
- Shanon, C.E. and W. Weaver. 1949. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana, 233pp.
- Shearer, K.A., J.W. Hayes, I.G. Jowett and D.A. Olsen. 2015. Habitat suitability curves for benthic macroinvertebrates from a small New Zealand river. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* **49**(2): 17-191.
- The Ministry of Environment. 2020. Status of Designation of Ecological Landscape Conservation Area (Accessed December, 2020).
- Wang, J.H., H.G. Lee and J.K. Choi. 2016. Community Characteristics of Benthic Macroinvertebrate before the Translocation Project of Songchu Valley in Mt. Bukhansan^{1a}. *Korean Journal of Ecology and Environment* **30**(1): 81-91.
- Woo, K.S., J.K. Won, G.C. Lee, C. Namkoong and Y.K. Choi. 2000. Comprehensive Investigation Report of Chodang Cave. Samcheok City. 202p.
- Yun, I.B. 1988. Illustrated Encyclopedia of Fauna and Flora of Korea. Aquatic Insects Vol. 30. Ministry of Education. Seoul.