

ORIGINAL ARTICLE

## 화포천의 저서성 대형무척추동물 분포특성과 생태학적 정보

배성우 · 황태원 · 윤춘식 · 홍성진<sup>1)</sup> · 정선우\*

창원대학교 생물학 · 화학융합학부, <sup>1)</sup>낙동강유역환경청

### Distribution Characteristics of and Ecological Information on Benthic Macroinvertebrates in the Hwapocheon Stream

Seong-Woo Bae, Tae-Won Hwang, Chun-Sik Yoon, Sung-Jin Hong<sup>1)</sup>, Seon-Woo Cheong\*

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

<sup>1)</sup>Nakdong River Basin Environmental Office, Changwon 51439, Korea

#### Abstract

Hwapocheon stream is located in Gimhae-si, Gyeongsangnam-do, and a part was declared a protected wetland area in 2017. In 2020 and 2021, we investigated the community structure of benthic macroinvertebrates of the Hwapocheon stream to provide ecological information for the management of the wetland. As a result, 4 phyla, 6 classes, 20 orders, 51 families, 83 species, and 2,621 individuals of benthic macroinvertebrates were identified. The average indices of diversity, richness, and evenness were the highest in the midstream area, whereas the highest average index of dominance was observed upstream. Seven biological water quality evaluations based on the distribution of benthic macroinvertebrates showed that the Biological Monitoring Working Party was an extremely suitable method for environmental evaluation of the Hwapocheon stream. Regarding functional feeding groups, the number of species of predators and gathering-collectors was the highest, and considering habitual dwelling groups, the number of species of clingers and sprawlers was the highest. The species number of Odonata, Hemiptera, and Coleoptera increased toward the downstream area, whereas the community loss index was the highest upstream. We also investigated relative resistance and resilience based on the distribution of aquatic insects and found that community stability was the highest downstream, whereas the lowest upstream.

**Key words** : Hwapocheon stream, Benthic macroinvertebrates, Biological environmental assessment, Functional feeding group, Habitual dwelling group, Community stability

#### 1. 서론

경상남도에는 2012년 기준 259개의 습지가 있으며 하천습지를 포함한 범람형 습지가 239개소, 산지습지가 20개소가 있다. 2013년은 9개의 습지가 소실되어 230개

의 습지목록이 확정되었으며 그 중 습지보호지역은 2013년 기준 우포늪, 화엄늪, 재약산사자평고산습지, 신불산습지의 4개소로 지정되었다(Gyeongsangnam-do, 2013). 하천습지인 화포천은 경상남도 김해시 진영읍 설창리와 한림면 퇴래리 일대에 소재하며 2007년 습지보호

Received 11 January, 2022; Revised 25 January, 2022;

Accepted 4 February, 2022

\*Corresponding author: Seon-Woo Cheong, Department of Biology & Chemistry, Changwon National University, Changwon 51140, Korea

Phone: +82-55-213-3454

E-mail: swcheong@changwon.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지역 지정이 추진 된 바 있으나 10여 년간 추진이 중단되었다가 2017년 11월 23일 환경부에 의해 습지보호지역으로(지정면적 1.24 km<sup>2</sup>) 지정되었다(Shim et al., 2019). 화포천의 습지보호지역 지정은 몇 차례의 하천기능평가 결과가 중요한 기준이 되었는데, 우선 2006년 환경부에서 전국내륙습지에 대한 기능평가를 수행하여 높은 등급을 나타냈기 때문에 이 습지의 보전 가치가 높은 것으로 판단하였으며(Ministry of Environment, 2007), 2011년 경상남도 습지총량제 도입을 위한 신속평가등급화 결과 화포천의 화포늪이 1등급으로 평가되어 절대보전이 필요한 습지로 분류되었다. 일반평가에서도 경상남도의 하천형습지 113개소 중 우포늪과 화포늪의 2개소가 1등급을 차지하였다. 이에 화포천에는 습지생태공원이 조성되어 2008년부터 2012년에 걸쳐 관련 시설에 대한 토목, 건축, 조정 공사를 진행하였으며 2012년에는 김해시의 화포천습지 생태공원시설 관리 및 운영조례가 제정 및 시행되었다(Gyeongsangnam-do, 2012; 2013). 이곳에서 서식하는 생물 중 법정보호종은 18종으로 보고되었으며 그 중 저서성 대형무척추동물에는 귀뚜라미가 포함된다(Shim et al., 2019).

화포천은 동서로 2,050 m, 남북으로 2,550 m, 길이는 6,550 m이고 면적 1,184,000 m<sup>2</sup>인 5차수 하천이다(Ministry of Environment, 2002). 하천은 김해시 진례면 신안리 대암산(해발 659 m)에서 발원하며 진례저수지에서 출발하여 신안저수지에 물을 공급하고 서쪽의 토성소류지를 통하여 오는 지류와 상류에서 합류한다. 화포천습지로 유입되는 지류로는 설창천, 고모천, 무릉천, 퇴래천, 안하천과 용덕천이 남쪽으로부터 출발하여 북쪽을 향해 습지로 유입되며, 사촌천이 동쪽에서 흘러들어 화포천습지로 유입되는 지류이다. 용청천은 서쪽에서 화포천습지로 유입되는 지류이며 이 지류들이 화포천습지로 모여 북하한 후 마지막으로 금곡천이 화포천의 하류로 유입되어 낙동강 본류로 들어간다. 화포천의 하류부인 화포늪은 우포늪과는 달리 개방 수면이 넓지 않아야 생조류의 방문이 비교적 적기 때문에 사람들의 관심을 끌지는 못하지만, 습지보존상태 및 생물서식지로서의 가치, 자연경관 등을 고려할 때 절대 보전이 필요하며 연구 가치가 충분한 곳으로 생각된다(Ahn et al., 2012).

이 지역에 대한 생물상 조사는 일부 생물군에 대하여 행해져 왔으며 그중 2001년에 시행된 환경조사에서 3문

5강 12목 34과 53속 55종의 저서성 대형무척추동물이 확인되었으며(Ministry of Environment, 2002), 2006년의 조사에서 5강 12목 36속 52종이 확인되었다(Ministry of Environment, 2007). 분류군별로는 두 조사 모두에서 잠자리목의 점유율이 가장 높았으며 딱정벌레목과 파리목의 점유율이 그 뒤를 이었다. 화포천의 저서성 대형무척추동물상의 변화와 군집구조에 관한 학술적 연구는 그 이후 거의 행해지지 않아 생태학적 정보가 미흡한 상태이다. 따라서 본 연구를 통하여 화포천에 서식하는 저서성 대형무척추동물의 군집구조를 파악하고 습지보호지역 관리에 따른 저서성 대형무척추동물상의 변화 양상을 파악하여 습지보호지역의 관리 및 보전방안을 마련하기 위한 정보를 제공하고자 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 화포천의 계절별 조사를 통한 기초정보를 파악하고 다양한 생태자료를 제공하였다. 출현 종의 자료를 이용하여 생물지수를 산출하였으며 기능적인 단위에서 화포천에 서식하는 저서성 대형무척추동물의 구조를 분석하여 군집안정성을 평가하였다. 화포늪은 화포천의 유역 근처에 발달한 하도습지이기 때문에 하천의 이화학적 특성을 반영하여 평가할 수 있는 지수를 선택하였으며 국내에서 일반적으로 사용되는 생물학적 수질평가 지수 외에도 하천의 유기오염을 감지할 수 있는 지표군에 대한 평가기법으로 알려진 FBI, BMWP, ASPT 등의 방법을 추가로 적용하였다. 생물학적 수질평가 체계는 생태적 교란을 총체적으로 반영하는 생물학적 온전성을 평가하는 체계로 점차 전환되고 있으며(Junqueira et al., 2010), 미국과 독일의 수생태계 평가체계는 생물군집의 온전성에 관한 평가요소들을 계량화한 다중계량지수(multimetric index)에 초점을 두고 있다. 이러한 흐름은 수질평가에 그치지 않고 군집 내 종 조성과 풍부도 등을 총체적으로 고려하는 방향으로 가고 있다(Kong et al., 2018). 따라서 이 논문에서는 다양한 생물학적 수질평가로 도출된 수질등급이 화포천의 저서성 대형무척추동물의 군집구조와 특성을 적절히 반영하는지 검토하였으며 화포천에 더욱 적합한 수질평가법을 탐색하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사지점 및 조사기간

화포천은 경상남도 김해시 퇴래리에 위치하는 하천형

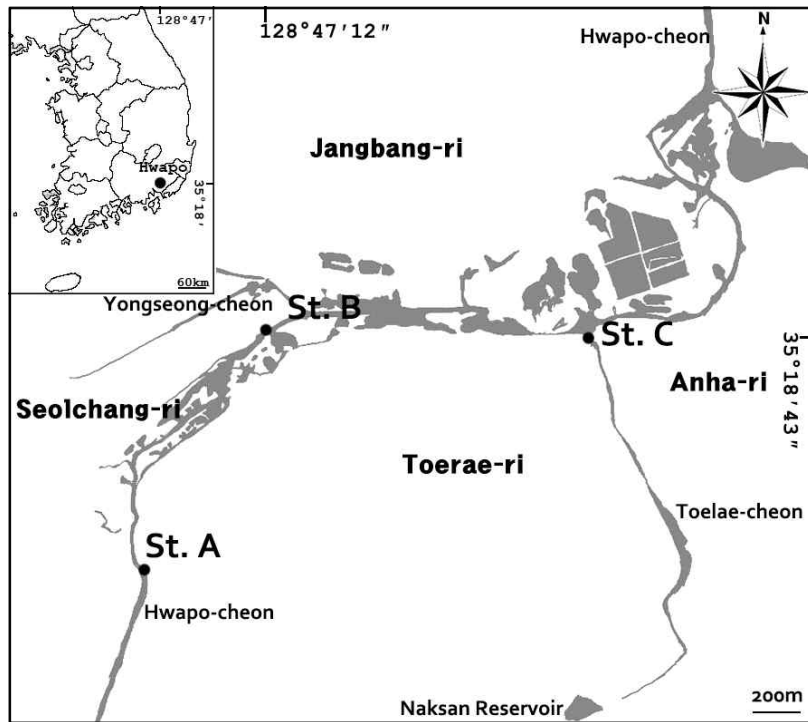


Fig. 1. Maps of the surveyed of benthic macroinvertebrate in Hwapocheon stream. St. A: upstream, St. B: midstream, St. C: downstream.

습지로 본 연구에서는 화포천습지생태공원의 상류(St. A), 중류(St. B), 하류(St. C) 3개 조사지점에서 저서성 대형무척추동물의 분포특성을 조사하였다. 상류(St. A)의 지리적 좌표는 북위 35°18'08"N, 동경 128°46'52"E이다. 하폭은 23~24 m, 수심은 15~90 cm로 다양하며 여울 지점은 하폭이 4~5 m, 수심은 15~40 cm로 나타났다. 하상은 모래, 마사, 자갈, 호박돌 등 다양하다. 주변은 달뿌리풀 군락이 우점하고 있으며 버드나무류가 밀생하고 있다. 습지를 가로지르는 징검다리 주변에는 여울이 형성되어 있으며 부착조류가 풍부하다. 주변 오염원은 주변 공장과 주택가로부터 유입되는 폐기물이며 상류부에서 진레천, 고모천, 무릉천이 합류한다. 중류(St. B)의 지리적 좌표는 북위 35°18'43"N, 동경 128°47'12"E이다. 하폭 14~15 m, 수심 50~60 cm, 하상은 모래, 펄, 호박돌로 구성되어 있으며 수변의 경사가 급하고 침식이 관찰된다. 수변 식생은 버드나무류와 달뿌리풀 군락이 우점하고, 수생식물로는 마름, 개구리밥, 노랑어리연, 나사말

등이 서식한다. 관찰 데크와 나루터가 있는 곳으로 인접 구역에 경부선 철도가 지나며 상류에서 용성천이 합류한다. 하류(St. C)의 지리적 좌표는 북위 35°18'43"N, 동경 128°48'10"E이다. 하폭 5~6 m, 수심 60~120 cm로 깊은 편이며 하안부의 수심이 갑자기 깊어지는 지점이 있다. 수질은 탁하고 하상은 호박돌과 펄로 구성되어 있으며 부분적으로 시멘트로 포장되어 있다. 식생은 버드나무류가 우세하며 마름 등의 수생식물이 분포한다. 농경지가 인접하여 있으며 퇴래천이 합류하는 지점이다. 저서성 대형무척추동물의 서식현황을 파악하기 위하여 2020년과 2021년에 봄(3월), 여름(6월), 가을(9월)의 3 계절에 대한 채집조사를 진행하였으며 총 6회의 조사를 하였다(Fig. 1).

## 2.2. 채집 및 분류

하천습지에 서식하는 저서성 대형무척추동물을 채집하였으며 D frame-net(폭 30 cm, 높이 30 cm, 망목 0.5 ×

0.5 mm)을 활용하여 조사지점 당 4 m<sup>2</sup>에 해당하는 면적에 대하여 정량 채집하였다(Williams and Feltmate, 1992; Merritt and Cummins, 2008). 채집된 저서성 대형무척추동물은 500 ml 유리병에서 고정액(Kahle's solution)으로 1일간 고정하고, 70% 에틸알코올에서 냉장보관 및 동정하였다(Ward, 1992). 동정은 Kawai and Tanida (2005), Yoon(1988), Kwon(1990), Kwon et al.(2013), Song(1995), Yoon(1995), Won and Kwon(2005), Jung(2011) 등을 참고하였으며, 분류체계와 학명은 The Korean Entomological Society of Korea(1994)와 The Korean Society of Systematic Zoology(1997)를 따랐다.

### 2.3. 생물지수

정량조사된 저서성 대형무척추동물에 대하여 다양도(diversity index,  $H'$ ), 풍부도(Richness Index, RI), 우점도(Dominance Index, DI), 균등도(evenness index,  $J'$ ), 상대밀도(Relative Density, RD) 등의 생물지수(biotic index)를 산출하였다. 군집의 생물 종 풍부도와 개체 수의 상대적 균형을 나타내는 다양도는 Shannon-Weaver function( $H'$ )을 이용하였고(Shannon and Weaver, 1949), 군집 내 개체수 대비 종 수를 나타내는 풍부도는 Margalef(1958)의 방식을 이용하였다. 총 개체수 대비 우점종과 아우점종의 개체수 비율을 나타내는 우점도는 McNaughton(1967)을 따랐으며 군집 내 종 구성의 균일한 정도를 나타내는 균등도는 Pielou (1975)의 방법을 사용하였다. 상대밀도는 우점종의 개체수에 대한 각 종의 개체 수를 백분율(%)로 나타내었다.

### 2.4. 생물학적 환경평가와 군집손실지수

저서성 대형무척추동물의 분포를 기반으로 일곱 가지의 생물학적 수질평가 지수를 산출하였다. 먼저, 생태점수에 의한 환경질의 평가 및 생태환경 관리기준의 판정은 저서성 대형무척추동물 생태점수(ecological score of benthic macroinvertebrate community, ESB)(Kong, 1997)를 적용하였으며 환경질 등급은 4단계로 나뉜다. 군오염지수(Group Pollution Index, GPI)는 서식분포가 확인된 분류군 중 수질등급에 따른 출현 특성이 밝혀져 있는 종을 이용하여 윤 등의 군오염지수를 토대로 산출하였으며 수질등급은 5단계로 나뉜다(Yoon et al., 1992). 한국오수생물지수(Korean Saprobic Index, KSI)

는 독일 DIN 38410(1990)을 기본으로 하고, Yoon et al.(1992)의 계산법을 참고하여 산출하였으며 수질등급은 5단계로 나뉜다(Won et al., 2006). 저서생물지수(Benthic Macroinvertebrate Index, BMI)는 생물학적 수생태계 건강성 평가방법으로 4개의 등급으로 분류되며 Ministry of Environment and National Academy of Environmental Sciences(2011)이 제안한 방법을 사용하였다. 과별 생물지수(Family Biotic Index, FBI)는 Hilsenhoff(1988)에 의해 제시된 생물학적 수질평가 방법으로부터 도출되었다. 이 지수는 유기오염에 대한 민감성에 따라 과(family)별로 내성점수(tolerance score)를 부여한 것이며 0~10의 수질범위를 나타낸다. 또한 BMWP (Biological Monitoring Working Party) 방법은 유기오염에 대한 내성을 과 수준에서 평가하는 방법으로 오염에 대한 내성이 클수록 큰 값을 나타낸다. BMWP는 출현 종의 모든 과별 점수와 Oligochaeta의 목별 점수를 더하여 계산하며 환경질은 5가지 등급으로 나뉜다. 분류군 당 평균점수(Average Score Per Taxon, ASPT)는 내성 점수의 평균을 의미하며 BMWP의 점수를 과 수로 나누어 계산한다. 이는 BMWP에 비하여 과별 풍부도의 영향을 적게 받으며 4개 등급으로 나뉜다. 그 외 조사지의 경시적 환경변화를 측정하기 위해 군집손실지수(Coummunity Loss Index: CLI)를 산정하였으며 이 지수는 비교대상지의 환경변화가 커질수록 큰 값을 나타낸다(Plafkin et al., 1989).

### 2.5. 기능군과 군집 안정성

섭식기능군(functional feeding group)의 분석은 Merritt and Cummins(1984)의 분류방식을 응용하여 한국산 수서곤충류 섭식기능군의 유형을 속(genus) 수준에서 6가지의 기능군으로 분류하였으며, 식물잔사체를 씹어먹는 무리(shredder), 돌이나 저질의 부착된 조류, 이끼 및 유기물을 긁어먹는 무리(scraper), 유수의 물리적 특성을 이용하여 유기물을 걸러먹는 무리(filtering-collector), 주워먹는 무리(gathering-collector), 수생식물을 직접 뚫어 영양물질을 이용하는 무리(plant-piercer), 육식성 포식자 무리(predator)로 나눌 수 있다(Ro and Chun, 2004). 서식습성군(habitual dwelling group)은 서식습성에 따라 지치는 무리(skater), 부유하는 무리(planktonics), 잠수하는 무리(diver), 헤엄치는 무리

(swimmer), 붙는 무리(clinger), 기는 무리(sprawler), 기어오르는 무리(climber), 굴파는 무리(burrower) 등으로 구분된다. 하천생태계에서 수서곤충류의 분류군별 군집 안정성을 평가하기 위해 특성군 별로 구분하는 방법을 적용하고자 하며, 상대적 회복력과 저항력에 대한 4개의 특성군으로 구분할 수 있다(Ro, 2002). 상대적 회복력과 저항력에 대하여 5를 기준점으로 4변면 위에 가중치의 산정 없이 도식화하며, 각 특성군은 상대적 저항력과 회복력이 모두 높은 특성군 I, 상대적 회복력은 높으나 상대적 저항력은 낮은 특성군 II, 상대적 회복력과 상대적 저항력이 모두 낮은 특성군 III, 상대적 회복력은 낮으나 상대적 저항력은 높은 특성군 IV로 구분된다(Cummins and Klug, 1979; Ro and Chun, 2004; Won et al., 2005).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 저서성 대형무척추동물 서식 현황

2020년부터 2021년까지 화포천에서 채집된 저서성 대형무척추동물은 총 4문 6강 20목 51과 83종 2,621개체였으며 2020년에는 4문 5강 19목 47과 67종 1,399개체가 확인되었고 2021년에는 4문 6강 17목 44과 66종 1,222개체로 나타났다. 2년간 전체 출현에 대한 목 이상의 상위 분류군별로는 삼기장목(Tricladida)이 1종 5개체, 고설목(Architaenioglossa)이 2종 33개체, 총알고둥목(Littorinimorpha)이 1종 10개체, 수병안목(Systellogmatophora)이 4종 92개체, 병안목(Stylommatophora)이 1종 1개체, 석패목(Unionoida)이 1종 1개체, 백합목(Veneroida)이 2종 9개체, 가시지렁이목(Haplotaxida)이 1종 3개체, 실지렁이목(Tubificida)이 2종 75개체, 부리거머리목(Rhynchobdellida)이 1종 11개체, 턱거머리목(Arhynchobdellida)이 2종 24개체, 등각목(Isopoda)이 1종 233개체, 십각목(Decapoda)이 4종 849개체, 하루살이목(Ephemeroptera)이 7종 277개체, 잠자리목(Odonata)이 19종 273개체, 노린재목(Hemiptera)이 1종 288개체, 딱정벌레목(Coleoptera)이 9종 29개체, 파리목(Diptera)이 7종 288개체, 날도래목(Tricoptera) 6종 116개체, 나비목(Lepidoptera)이 1종 4개체였다. 그 중 2020년과 2021년에 공통으로 출현한 종은 50종이며 2020년에만 출현한 종은 17종, 2021년에만 출현한 종은

16종으로 확인되었다(Fig. 2).

전체 출현종에 대한 강별 종수의 점유율을 살펴보면 곤충강(Insecta)이 72.30%로 우점하였고 복족강(Gastropoda) 9.60%, 환대강(Clitellata) 7.20%, 연갑강(Malacostraca) 6.00%, 이매패강(Bivalvia) 3.60%, 와충강(Turbellaria) 1.20% 순으로 나타났다. 목별 종수의 점유율은 잠자리목이 22.90%로 우점하였고 노린재목 13.30%, 딱정벌레목 10.80%, 하루살이목 8.40% 파리목 8.40%, 날도래목 7.20%, 수병안목 4.80%, 십각목 4.80%, 고설목 2.40%, 백합목 2.40%, 실지렁이목 2.40%, 턱거머리목 2.40%, 삼기장목 1.20%, 총알고둥목 1.20%, 병안목 1.20%, 석패목 1.20%, 가시지렁이목 1.20%, 부리거머리목 1.20%, 등각목 1.20%, 나비목 1.20% 순으로 나타났다. 강별 개체수 점유율은 곤충강이 48.60%로 우점하였고 연갑강 41.30%, 복족강 5.20%, 환대강 4.30%, 이매패강 0.40%, 와충강 0.20% 순으로 나타났다. 목별 개체수의 점유율은 십각목이 32.39%로 우점하였고 노린재목 10.99%, 파리목 10.99%, 하루살이목 10.57%, 잠자리목 10.42%, 등각목 8.89%, 날도래목 4.43%, 수병안목 3.51%, 실지렁이목 2.86%, 고설목 1.26%, 딱정벌레목 1.11%, 턱거머리목 0.92%, 부리거머리목 0.42%, 총알고둥목 0.38%, 백합목 0.34%, 삼기장목 0.19%, 나비목 0.15%, 가시지렁이목 0.11%, 병안목 0.04%, 석패목 0.04% 순으로 나타났다(Fig. 3). 화포천의 저서성 대형무척추동물 분포에 관한 2006년 환경부의 내륙습지 정밀조사 당시 5강 12목 36속 52종이 보고되어 이번 조사에서 나타난 연간 66종 및 67종의 결과에 비해 종 수가 적었다. 가장 우세한 목은 잠자리목으로 2006년 당시 40.00%의 점유율을 나타냈으며 이번 조사에서도 잠자리목이 23.00%를 점유하며 우점하였다. 잠자리목, 노린재목, 딱정벌레목은 정수 생태계의 건강성을 대변하며(Kim, 2015), 화포천에서는 잠자리목을 포함하여 정수 생태계의 대표적인 포식자인 이러한 세 가지 분류군이 우점하였다. 개체수의 구성은 십각목이 32.39%로 우점하였고 노린재목과 파리목이 각각 10.99%로 나타났다. 십각목에서는 새뱅이가, 노린재목에서는 꼬마물벌레가 각각 높은 비율을 차지하였으며 파리목에서는 갈파구류가 높은 점유율을 차지하는 등 다양한 피식자로 구성된다. 따라서 화포천에는 다양한 정수성 포식자들이 있으며 다수의 피식자가 분포

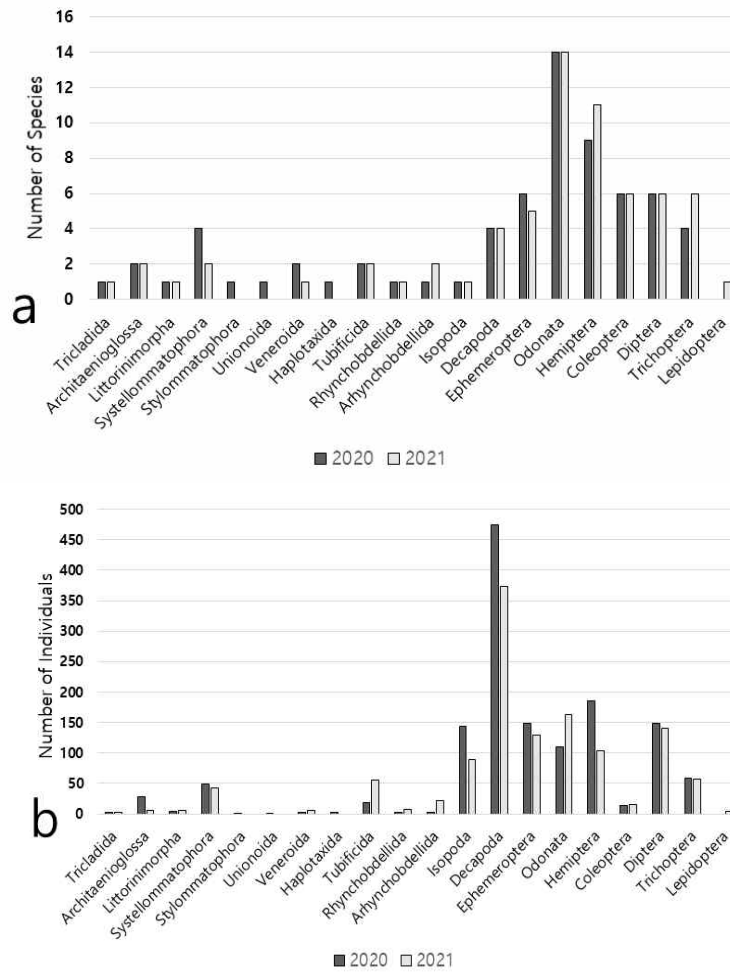


Fig. 2. Number of species (a) and individuals (b) by the order of benthic macroinvertebrates in Hwapocheon Stream (2020 ~2021).

하는 견고한 생태환경으로 보인다.

조사지점의 환경특성을 살펴보면, 우선 상류 지점인 St. A는 하폭이 25~27m에 달하지만, 하천을 가로지르는 징검다리에 의해 여러 개의 작은 여울로 나누어져 있다. 일반적으로 유속이 빠르고 자갈과 모래로 구성된 하상 환경에서는 굵어먹는 무리의 하루살이류와 걸러먹는 무리의 날도래류가 주로 출현한다는 보고가 있지만 (Kong et al., 2013), 조사지점은 빠른 유속에도 주워먹는 무리인 하루살이목이 주로 채집되어 문헌에서 나타난 출현 양상과는 달랐다. 특히 환경오염에 대한 내성이

강하다고 보고된 줄날도래류(Chang et al., 2013)가 St. A에서 주로 나타났는데, 조사에서 날도래목 개체 수의 대부분을 차지한 꼬마줄날도래(*Cheumatopsyche brevilineata*)는 수질오염에 대하여 폭넓은 내성을 가지며 환경이 오염된 곳에서 마지막까지 생존하고, 환경이 회복되는 초기에 진입하는 종으로 보고된 바 있는 종이다(Nielsen, 1976). 조사지점의 물은 탁도가 높고 악취가 나며 깔따구류 등 파리목 및 유기물이 퇴적되는 곳에 주로 나타나는 물벌레 등의 등각목이 다수 확인되므로 건전한 수환경이라 평가하기는 어렵다. 중류 지점인 St.

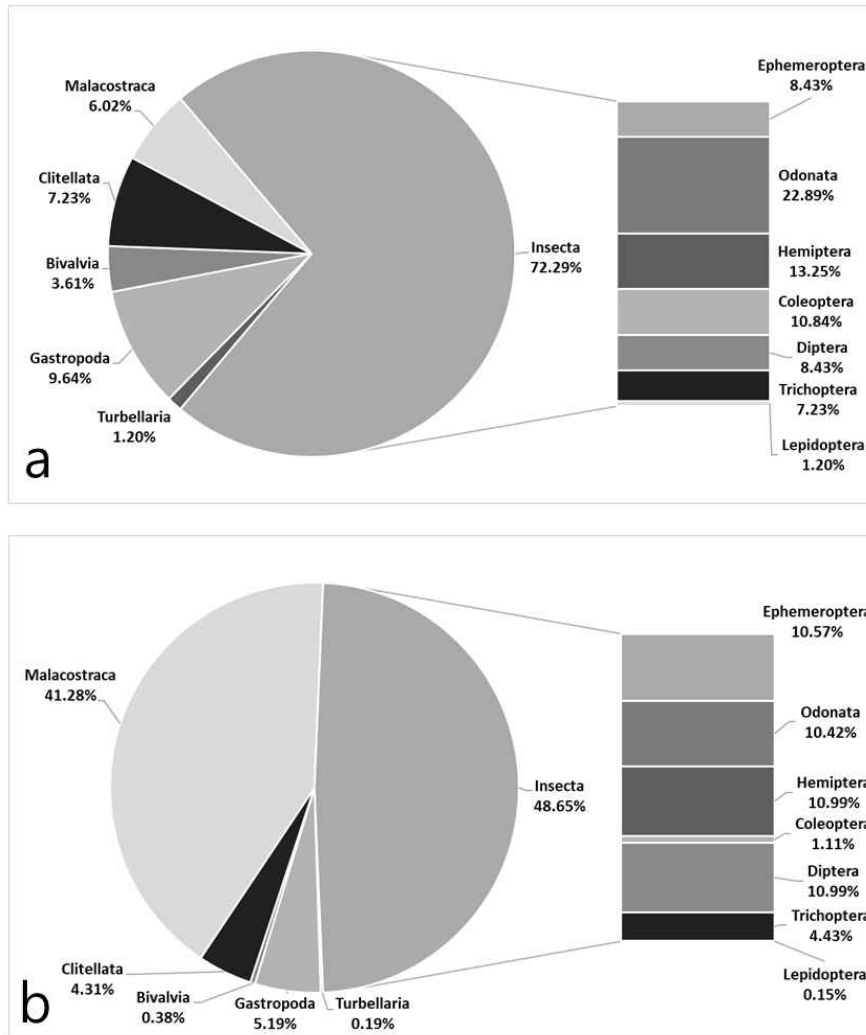


Fig. 3. Species composition (a) and individuals composition (b) by higher taxa than order of benthic macroinvertebrates in Hwapocheon Stream (2020~2021).

B는 하폭 13~15 m 정도로 조사지점 중 가장 넓으며 다양한 수변, 수중 식생이 분포한다. 수변 및 수중 식물은 저서성 대형무척추동물에게 먹이의 공급원이자 피난처이고 산란 기질을 제공하는 이점을 제공하며(Keddy, 2010), 습지에서 수질 정화는 식물과 기질에 의하여 흡착과 침전이 일어나고 미생물에 의해 오염원이 분해되는 과정을 통해 일어나므로 이곳은 높은 수준의 수질 정

화가 이루어지는 곳으로 보인다. 해당 조사지점은 가장 많은 종수와 개체 수를 보유하고 있으며 특히 잡아먹는 무리인 잠자리목이 가장 다양하게 출현하는 곳이다. St. B에 분포하는 잠자리목의 개체 수는 봄에서 여름까지 감소하고 가을에 증가하는 모습을 보이는데, 이는 잠자리목의 우화가 대체로 6월경 시작되기 때문으로 생각된다. 물속에 상주하는 비곤충류 중 우점하는 십각목의 개체

수는 가을로 가면서 점차 증가하는 계절적 변화 양상을 보인다. 이는 십각목과 먹이를 공유하는 수서곤충 무리가 봄부터 가을까지 우화하며 세대교체가 일어나기 때문에 감소한 수서곤충의 개체 수를 십각목이 대신 채우며 증가하는 것으로 보인다. 하류 지점인 St. C는 하폭 8 m 정도로 하상은 호박돌과 펄로 이루어져 단단하며 그로 인해 수중 식물의 다양성이 부족하다. 이곳의 하상특성으로 인한 수중 식물의 부족은 수심 변화에 따라 다양하게 분포하는 수변 식물이 보충해주어 종류 다음으로 저서성 대형무척추동물의 종 수와 개체 수가 풍부한 지점이다. 다양도가 가장 높은 St. B보다 십각목의 우점도는 오히려 더 높으며 가을로 갈수록 개체 수가 증가한다. 또한, 이곳에서는 더욱 다양한 노린재목이 출현하므로 십각목과 노린재목은 다른 분류군에 비해 수변 식물에 대한 의존도는 높고 수중 식물에 대한 의존도는 낮다고 생각된다. St. B와 같이 가을로 갈수록 십각목의 개체 수가 증가하는 계절적 변화 양상이 나타난다.

2020년과 비교하여 2021년에는 총 출현 종 수와 개체 수가 감소한 것으로 나타났다. 조사지점별 종 수와 개체 수 변화는 다른 모습을 보이는데 St. A에서는 종 수와 개체 수가 감소하였고 St. B에서는 종 수와 개체 수가 증가하였으며, St. C에서는 종 수는 증가하고 개체 수는 감소하였다. St. A는 등각목의 출현이 눈에 띄게 감소하여 하상의 유기물 침전이 감소하였다고 추측할 수 있으며 수질의 개선 가능성을 보였다. 하지만 퇴적물 감소와 함께 St. A에 서식하던 일부 정수성 종들이 자취를 감추며 출현 종 수가 감소하여 유수 생태계를 선호하는 종들이 St. A에 복구되기 위해서는 더 오랜 시간이 필요할 것으로 보인다. St. B에서는 잠자리목 개체 수가 증가하였으며 출현 종 수가 큰 폭으로 증가하였다. 개체 수의 증가는 크지 않았으며 이로 인하여 St. B의 다양도가 상승하였고 볼 수 있다. St. C에서는 노린재목의 종 수가 증가하고 십각목의 개체 수 감소가 눈에 띄게 나타났다. 꼬마물벌레와 같은 소형 노린재가 감소하고 송장헤엄치게, 물자라 등과 같은 중대형 포식성 노린재의 출현이 증가하였으므로 이들의 출현이 St. C의 십각목 개체 수 감소에 기여한 것으로 보인다.

전체 조사 기간에 모든 조사지점에서 공통으로 출현한 종은 새뱅이이다. St. A에서는 물벌레와 새뱅이가 그리고 깔따구류가 전체 조사기간 동안 출현하였고 St. B에

서는 물벌레와 새뱅이, 중국새뱅이, 연못하루살이, 아시 아실잠자리, 등검은실잠자리, 밀잠자리붙이, 꼬마물벌레, 깔따구류가 모든 조사기간 동안 출현하였으며, St. C에서는 새뱅이와 장구애비가 전체 조사기간 동안 출현하였다. 이들은 계절적 영향을 약하게 받는 것으로 생각되며 시기에 따른 개체 수의 차이는 있지만 모든 조사 시기에 출현하였기 때문에 조사지점에서 가장 잘 적응한 종들이라고 할 수 있으며 이들의 부재는 서식처의 큰 교란이나 오염을 의미한다.

### 3.2. 우점종과 생물지수

화포천의 전체 조사 기간에 대한 우점종은 새뱅이(*Neocardinia denticulata denticulata*)로 658개체 및 우점도 25.11%이었고 아우점종은 깔따구류(*Chironomidae* spp.)로 261개체 및 우점도 9.96%였다. 조사기간 중 St. A의 우점종은 깔따구류(*Chironomidae* spp.)로 149개체, 우점도는 17.63%로 나타났고 아우점종은 물벌레류(*Asellus* sp.)로 130개체, 우점도는 15.39%였다. St. B에서의 우점종은 새뱅이로 298개체가 출현하였고 우점도는 29.62%이었다. 아우점종은 꼬마물벌레(*Micronecta* (*Basileonecta*) *sedula*)로 출현개체수는 118개체, 우점도는 11.73%이었다. St. C에서는 새뱅이가 302개체 확인되어 우점도는 39.58%로 우점종으로 확인되고, 아우점종은 꼬마물벌레로 출현 개체수는 69개체, 우점도는 9.04%로 나타났다(Table 1).

계절과 조사지점을 통틀어 화포천에서 가장 빈번하게 나타나는 종은 깔따구류, 개똥하루살이, 꼬마물벌레, 새뱅이, 입술하루살이(*Labiobaetis atrebatinus*), 논우렁이(*Cipangopaludina chinensis malleata*), 징거미새우(*Macrobrachium nipponense*), 연못하루살이(*Cloeon dipterum*)의 8종이었다. St. A의 전체 우점종은 깔따구류이고 아우점종이 물벌레류였는데 이는 이곳에 여울이 형성되어 있음에도 불구하고 하상을 기어 다니며 유기물을 먹는 종들이 우점하는 상태이므로 유기물이 과잉 공급되는 현재의 수질 상태를 반영하는 것으로 생각된다. St. B의 전체 우점종이 새뱅이이며 아우점종은 꼬마물벌레인 것은 조사지점의 풍부한 수변, 수중 식물 군락의 영향으로 판단된다. St. C의 전체 우점종이 새뱅이이며 아우점종은 깔따구류인 것은 이곳의 유속이 느리고 하상에 퇴적물이 쌓이는 환경이기 때문으로 생각된다. 그러므로



**Table 1.** Dominant species and subdominant species of benthic macroinvertebrates in Hwapocheon stream (2020~2021)

		St. A	St. B	St. C	Total
2020	Dominant species	<i>Asellus</i> sp. (22.30%)	<i>Neocaridina denticulata denticulata</i> (31.50%)	<i>Neocaridina denticulata denticulata</i> (48.02%)	<i>Neocaridina denticulata denticulata</i> (27.81%)
	Subdominant species	Chironomidae spp. (18.99%)	<i>Micronecta (Basileonecta) sedula</i> (13.62%)	<i>Micronecta (Basileonecta) sedula</i> (13.66%)	<i>Asellus</i> sp. (10.29%)
2021	Dominant species	Chironomidae spp. (16.07%)	<i>Neocaridina denticulata denticulata</i> (27.45%)	<i>Neocaridina denticulata denticulata</i> (27.18%)	<i>Neocaridina denticulata denticulata</i> (22.01%)
	Subdominant species	<i>Baetis fuscatus</i> (15.05%)	<i>Micronecta (Basileonecta) sedula</i> (9.79%)	<i>Asellus</i> sp. (13.27%)	Chironomidae spp. (9.98%)
Total	Dominant species	Chironomidae spp. (17.63%)	<i>Neocaridina denticulata denticulata</i> (29.62%)	<i>Neocaridina denticulata denticulata</i> (39.58%)	<i>Neocaridina denticulata denticulata</i> (25.11%)
	Subdominant species	<i>Asellus</i> sp. (15.39%)	<i>Micronecta (Basileonecta) sedula</i> (11.73%)	<i>Micronecta (Basileonecta) sedula</i> (9.04%)	Chironomidae spp. (9.96%)

화포천 전체 우점종이 새뱅이이며 아우점종이 깔따구류인 점은 유속이 느린 화포천의 특성을 나타낸다고 볼 수 있다. 계절에 따른 조사지점별 우점종은 St. A에서 2020년 여름 이후 지속해서 교체되는데 이는 이곳에 주기적인 교란이 발생하여 환경이 안정적이지 않음을 나타낸다. St. B에서는 우점종이 새뱅이로 유지되고 있고 St. C에 이르러 우점종은 새뱅이로 유지될 뿐 아니라 아우점종의 변동도 줄어든 것으로 판단할 때 화포천은 하류부로 갈수록 더욱 안정적인 군집구조를 나타냈다.

군집분석을 위해 조사지점과 조사시기별 다양도(*H'*), 풍부도(*RI*), 균등도(*J*), 우점도(*DI*) 등의 생물지수를 산출하였다. 다양도 지수는 1.61에서 2.96의 범위로 나타났으며 2021년 여름 St. C에서 가장 높고 2020년 가을 St. C에서 가장 낮았는데, 이는 당시 우점종인 새뱅이의 우점도가 높았기 때문으로 판단된다. 풍부도 지수는 2.27에서 6.49의 범위로 나타났으며 2021년 여름 St. C

에서 가장 높고 2020년 봄 St. A에서 가장 낮았다. 우점도 지수는 0.32에서 0.72의 범위였으며 2020년 가을 St. C에서 가장 높고 2021년 여름 St. C에서 가장 낮았다. 균등도 지수는 0.54에서 0.87의 범위였으며 2021년 여름 St. C에서 가장 높고 2020년 가을 St. C에서 가장 낮은 값을 나타내면서 St. C는 시간의 경과에 따라 다양도와 균등도가 저하되는 현상을 보이는데 이는 새뱅이의 우점도 증가가 큰 영향을 준 것으로 보인다. 피식자인 새뱅이의 증가는 포식자 분류군의 감소와 관련 있어 보이지만 실제로 저서성 대형무척추동물 중 잡아먹는 무리의 개체수에 뚜렷한 변화는 없었으므로 이는 포식성 어류의 감소 때문으로 추측되며(Pringle, 1999), 유입하천인 퇴래천에서 공급되는 유기물의 영향도 있을 것으로 생각된다(Fig. 4). 다양도와 균등도의 평균치는 St. B에서 각각 2.42과 0.75으로 가장 높고 St. A에서 2.04과 0.72로 가장 낮았으며 평균 우점도는 St. A에서 0.54으로 가장

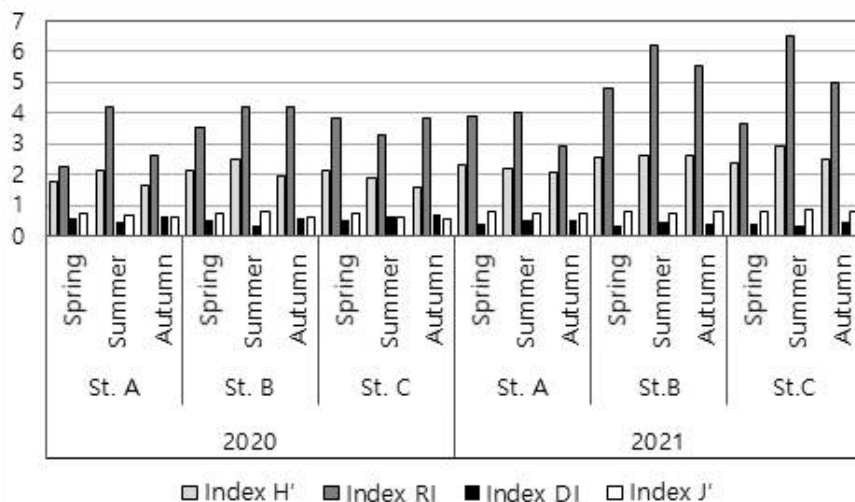


Fig. 4. Comparison of biotic indices of benthic macroinvertebrates in Hwapocheon stream (2020~2021). St. A: upstream, St. B: midstream, St. C: downstream, H': diversity index, RI: richness index, DI: dominance index, J': evenness index.

높고 St. B에서 0.46로 가장 낮았으며 평균 풍부도는 St. B에서 4.76으로 가장 높고 St. A에서 3.33으로 가장 낮았다. 이는 St. A가 물벌레, 깔따구류 등의 일부 종들의 서식에 더 적합한 환경이지만 St. B는 다양한 종이 서식하기에 유리한 환경조건이기 때문으로 생각된다.

조사지점별로 시간 경과에 따른 각 생물지수의 변화 양상을 비교했을 때 다양도와 균등도의 변화 양상은 서로 유사하며 St. A와 St. B보다는 St. C에서 시간 경과에 따른 변화폭이 큰 것으로 나타났다. 즉 St. C에서는 2020년의 가을에 다양도와 풍부도가 저하되었다가 2021에 회복하는 양상을 보였다. 2020년 가을의 다양도 저하는 St. A와 St. B에서도 확인되나 변화폭은 St. C에 비해 크지 않다(Fig. 5).

### 3.3. 생물학적 환경평가

화포천에서 조사된 저서성 대형무척추동물에 대하여 저서성 대형무척추동물 생태점수(ESB), 군오염지수(GPI), 한국오수생물지수(KSI), 저서생물지수(BMI), 종별생물지수(FBI), 분류군별 평균 점수(ASPT), 생물학적 모니터링 작업 그룹(BMWP)의 일곱 가지 지수를 산정함으로써 조사지역의 생물학적 환경질 평가를 하였으며 화포천의 수질환경 평가에 더 적합한 방법에 대하여 고찰하

였다.

화포천의 ESB는 조사시기와 조사지점에 따라 30.00~64.00의 범위로 나타났으며 수질의 범위는 I~II 등급을 나타내었다. 전체 조사시기에 따른 조사지점별 ESB 값은 2021년 여름 St. B에서 가장 크고 2020년 봄 St. A에서 가장 작았다. ESB로 평가한 수질 환경은 매우 건강한 상태로 나타나지만, ESB의 값은 출현 종의 내성 수치에 영향을 받는 것 외에도 출현 종수 증가에 따라 동반상승하는 경향이 있으므로 이것으로 화포천의 수질이 I~II 등급이라고 단언할 수는 없다.

GPI는 조사지점에 따라 1.49~2.08의 범위로 나타났으며 수질 범위는 II~III 급수를 나타내었다. GPI는 대체로 상류부에서 하류부로 갈수록 그 값이 컸으며 이는 화포천의 중하류부부터 정수역 습지가 발달하여 정수형 생물 출현빈도가 증가한 것과 관련이 있어 보인다. 예외적으로 2021년 St. C에서 GPI값이 더 컸는데 이는 실지렁이류와 복족류, 꼬마하루살이류 등의 출현빈도가 증가한 것과 관련이 있다. GPI의 수질 등급은 상류에서 하류로 갈수록 감소하며 시기적으로는 2021년 봄에 St. C에서 가장 큰 값을 나타냈으며 2020년 가을 St. A에서 가장 작은 값을 나타냈는데 동일한 조사지점에서는 계절별로 비슷한 수질등급을 나타냈다. 화포천의 군집분석결과와

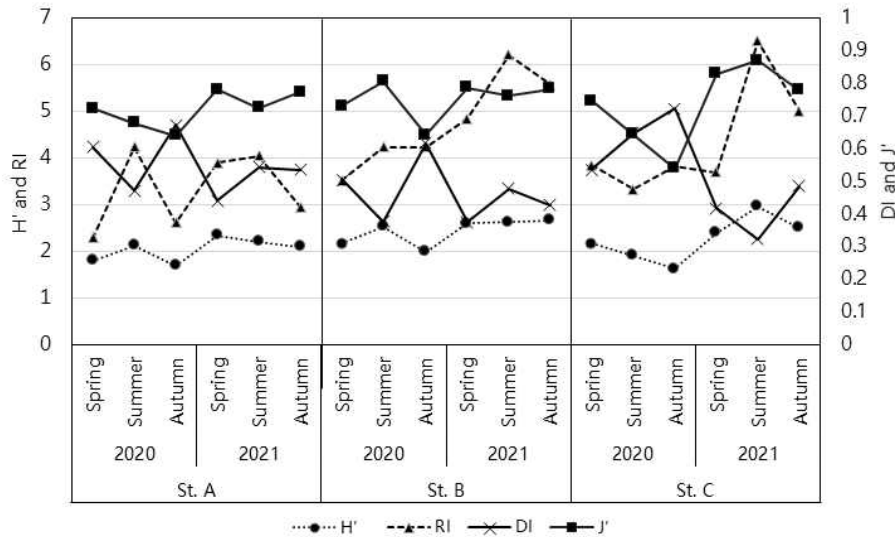


Fig. 5. Change of biotic indices by survey site in Hwapocheon stream (2020~2021). St. A: upstream, St. B: midstream, St. C: downstream, H': diversity index, RI: richness index, DI: dominance index, J': evenness index.

관련하여 상류는 회복력이 높은 종의 출현빈도가 높고 다양도가 낮아 교란된 환경으로 판단되는 반면 하류는 저항력이 높은 종의 출현빈도가 높고 깨끗한 곳에 사는 특성군 III이 출현한다는 점에서 더 건강한 환경으로 판단된다. 그러나 GPI의 산정결과는 상류가 오히려 깨끗하고 중류와 하류는 수질이 더 나쁘게 나타나 군집분석과 상반된 결과를 나타내므로 이 하천의 교란이나 오염 정도를 평가하기에는 미흡한 것으로 생각된다.

KSI는 1.06~3.62의 범위로 나타났으며 수질은 II~V 급수의 범위로 나타났다. 전체 조사시기에 따른 조사지점별 KSI는 2020년 여름 St. C에서 가장 큰 값을 나타냈으며 2021년 여름 St. A에서 가장 작은 값을 보여주었다. KSI는 IV 이상의 높은 오탁 계급치를 가진 종들의 출현에 강한 영향을 받는다. 원돌이물달팽이, 물지렁이, 실지렁이, 나방파리 및 붉은색 깔따구류 등 IV~V 등급에 속한 종들이 다수 채집된 조사시기와 조사지점에서는 나쁜 수질평가 결과를 얻었다. 예를 들어 2020년 여름의 St. C, 2021년 봄의 St. B, 2021년 봄, 여름, 가을의 St. C에서는 이러한 높은 오탁계급치를 나타내는 종들이 일반 종과 함께 출현하며 이로 인해 매우 나쁜 수질평가 결과가 나타난 것이다. KSI는 우리나라 대부분의 하천평가에 적

합한 지수로 설명되고 있으나(Won et al., 2006), 다른 평가지수와 오탁계급치를 활용하는 방법의 차이로 인해 생물지수와는 상반된 결과를 나타냈다. 그러므로 이 지수는 화포천과 같이 하천유역을 따라 발달한 하천습지의 환경을 평가하는 데에는 다소 적합하지 않다고 생각된다.

BMI는 25.96~71.27의 범위로 나타났으며 수질등급은 B~D의 범위로 나타났다. 전체 조사시기에 대한 조사지점별 BMI는 2020년 가을 St. A에서 가장 큰 값을 나타냈으며 2021년 봄 St. C에서 가장 작은 값을 나타냈다. BMI는 상류부에서 하류부로 갈수록 그 값이 작아졌으며 2021년 St. C에서 예외적인 반등은 아가미지렁이 (*Branchiura sowerbyi*)의 개체수 변화에 의한 것으로 보인다. 이 지수는 GPI와 유사하게 하류로 갈수록 등급이 감소하는 모습을 보이는데, 수질이 비슷하더라도 여울에서부터 흐름을 거쳐 소로 갈수록 BMI의 값이 감소하는 모습을 보인다. BMI는 여름부 조사에서 얻어진 자료를 이용해 만든 지수이기 때문에 소에 주로 서식하는 저서성 생물들에 대한 평가는 아니기 때문이다(Kim, 2017). 따라서 물이 얇고 흐름이 빠른 여울부의 면적보다 물의 흐름이 느린 곳과 정수역의 면적이 넓은 화포천의 환경평가에 BMI는 적합한 지수가 아닌 것으로 보인다.

**Table 2.** The evaluation of environmental quality by benthic macroinvertebrates in Hwapocheon stream (2020~2021)

Year	2020								
	St.A			St.B			St.C		
Site	Spring	Summer	Autumn	Spring	Summer	Autumn	Spring	Summer	Autumn
ESB	30.00	53.00	32.00	38.00	45.00	45.00	36.00	37.00	40.00
WQ-ESB	II	II	II	II	II	II	II	II	II
GPI	1.56	1.68	1.49	1.76	1.80	1.80	1.88	1.81	1.92
WQ-GPI	II	II	II	III	III	III	III	III	III
KSI	1.96	2.35	1.29	2.48	2.39	1.69	1.99	3.62	1.94
WQ-KSI	III	III	II	III	III	II	III	V	III
BMI	68.09	63.45	71.27	45.44	46.73	46.07	40.36	46.79	38.30
WQ-BMI	B	B	B	C	C	C	D	C	D
FBI	6.31	6.04	4.47	4.53	4.91	5.42	5.83	3.96	4.92
WQ-FBI	Fairly poor	Fairly poor	Good	Good	Good	Fair	Fairly poor	Very good	Good
ASPT	4.33	5.55	6.14	3.70	6.00	7.50	4.75	4.43	5.70
WQ-ASPT	P.M.	D.Q.	C.W.	P.S.	C.W.	C.W.	P.M.	P.M.	D.Q.
BMWP	390.00	61.00	43.00	37.00	66.00	75.00	57.00	31.00	57.00
WQ-BMWP	Poor	Moder-ate	Moder-ate	Poor	Moder-ate	Good	Moder-ate	Poor	Moder-ate

Year	2021								
	St.A			St.B			St.C		
Site	Spring	Summer	Autumn	Spring	Summer	Autumn	Spring	Summer	Autumn
ESB	49.00	49.00	34.00	59.00	64.00	61.00	35.00	60.00	48.00
WQ-ESB	II	II	II	II	I	I	II	II	II
GPI	1.60	1.57	1.54	1.74	1.77	1.86	2.08	1.85	1.80
WQ-GPI	II	II	II	III	III	III	III	III	III
KSI	1.93	1.06	1.41	2.66	2.01	1.78	3.01	3.17	2.78
WQ-KSI	III	II	II	IV	III	III	IV	IV	IV
BMI	65.88	67.79	61.89	58.10	47.94	43.91	25.96	39.55	51.43
WQ-BMI	B	B	B	C	C	D	D	D	C
FBI	5.71	4.75	5.58	5.02	5.61	5.55	6.50	5.64	5.87
WQ-FBI	Fair	Good	Fair	Fair	Fair	Fair	Fairly poor	Fair	Fairly poor
ASPT	6.11	5.42	5.43	6.17	5.06	5.54	6.22	5.87	6.33
WQ-ASPT	C.W.	D.Q.	D.Q.	C.W.	D.Q.	D.Q.	C.W.	D.Q.	C.W.
BMWP	55.00	65.00	38.00	74.00	81.00	72.00	56.00	88.00	76.00
WQ-BMWP	Moder-ate	Moder-ate	Poor	Good	Good	Good	Moder-ate	Good	Good

ESB: ecological score of benthic macroinvertebrate community, GPI: group pollution index, KSI: Korean saprobic index, BMI: benthic macroinvertebrate index, FBI: family biotic index, ASPT: average score per taxon, BMWP: biological monitoring working party, WQ: water quality. St. A: upstream, St. B: midstream, St. C: downstream.

FBI는 각 조사지점에서 3.96~6.50의 범위로 나타났으며 수질 등급은 'Fairly poor~Very good'의 범위로 나타났다. FBI는 앞선 평가방법들에 비하여 같은 조사지점에서도 조사 시점에 따라 큰 차이를 보였으며 이는 내성 생물군의 출현과 그 우점도에 영향을 받기 때문으로 보인다. 수질 등급은 2020년 봄, 여름 St. A에서 가장 나쁘고 2020년 여름 St. C에서 가장 좋은 상태를 나타내는데 이는 2020년 봄, 여름 St. A에 출현한 대부분 종이 FBI 지표종 목록에 해당하기 때문으로 보이며, 2020년 여름 St. C는 지표종 목록에 포함되는 분류군의 출현이 적고 오히려 목록에 포함되지 않는 노린재목이 우점하였기 때문에 매우 좋은 수질 등급을 나타낸 것으로 보인다.

ASPT는 3.70~7.50의 범위로 나타났으며 수질 등급은 'Probable severe pollution~Clean water'의 범위로 나타났다. 전체 조사시기에 따른 조사지점별 ASPT의 값은 2020년 가을에 St. B에서 가장 컸으며 2020년 봄 St. B에서 가장 작은 값을 보여주었다. 이 지수는 내성 점수의 평균을 나타내며 BMWP의 점수를 과수로 나누어 계산하므로 BMWP에 비하여 과별 풍부도의 영향이 적고 4단계의 수질구분으로 인해 등급간 변별력이 낮은 것으로 생각된다.

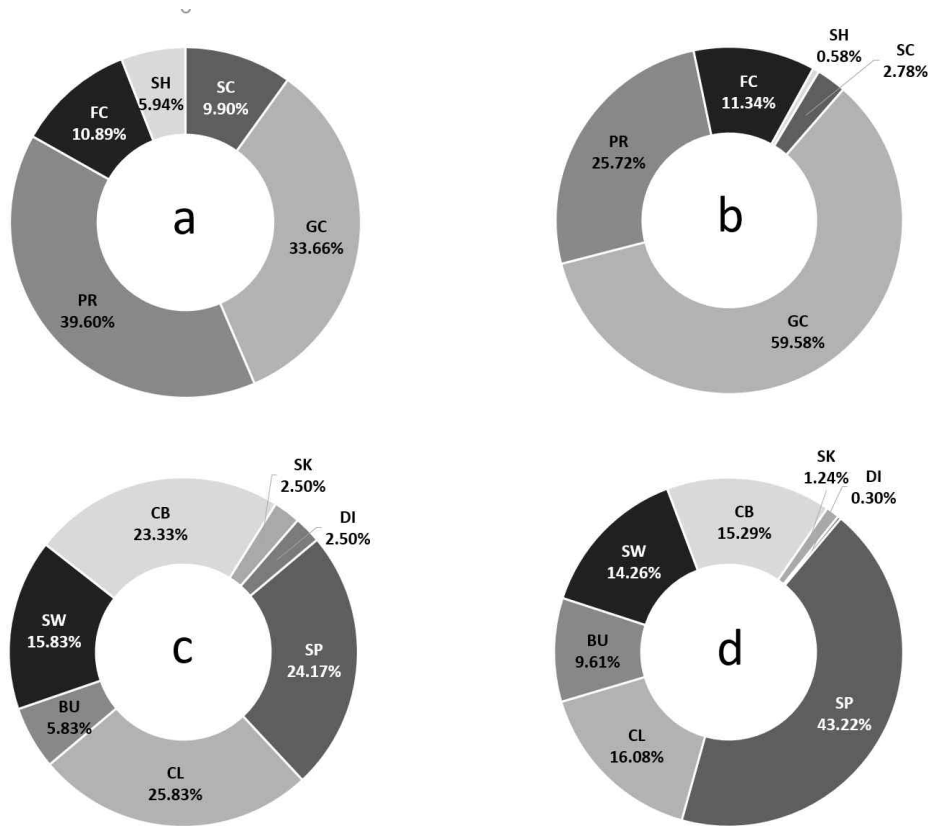
BMWP는 31.00~88.00의 범위로 나타났으며 수질은 'Poor~Good'의 범위였다. 전체 조사시기에 대한 조사지점별 측정치는 2021년 여름 St. C에서 가장 크고 2020년 봄 St. A에서 가장 작은 값을 나타냈다. BMWP는 St. A에서 평균적으로 가장 낮은 수질 등급을 유지하였으며 St. B에서 평균적으로 가장 높은 수질 등급을 나타내었다. 시기별 수질은 2020년보다 2021년이 더 좋아졌으며 poor로 나타난 조사지점은 출현 종 수가 적은 점과 관련 있어 보인다. BMWP의 값은 조사지점이나 시기에 따른 풍부도의 변화와 비슷한 패턴을 나타내며 수질에 따라 평가치의 변별력이 있으므로 화포천의 평가에는 다른 수질평가지수보다 적합한 것으로 보인다(Table 2).

### 3.4. 기능군의 유형분석

화포천의 섭식기능군은 7종류의 무리 중 찢어먹는 무리(piercers)와 기생하는 무리(parasite)를 제외한 찢어먹는 무리(shredders, SH), 주워먹는 무리(gathering collectors, GC), 걸러먹는 무리(filtering collectors, FC), 긁어먹는 무리(scrapers, SC), 잡아먹는 무리

(predators, PR)의 5개 군이 확인되었다. 종 수 구성은 잡아먹는 무리가 39.60%로 우점하였는데 이는 화포천의 정수구역에 서식하는 다양한 잠자리 군집의 영향이 큰 것으로 보이며 서식처에 잠자리의 먹이인 저차 소비자가 풍부하다는 것을 의미하기 때문에 수생태계의 건강성을 추측할 수 있다. 그다음으로 주워먹는 무리 33.70%, 걸러먹는 무리 10.90%, 긁어먹는 무리 9.90%, 찢어먹는 무리 5.90% 순으로 나타났는데 이들은 저차 소비자로서 섭식방식도 다양하므로 화포천의 먹이사슬이 견고하다는 것을 알 수 있다. 개체 수 구성에서는 주워먹는 무리가 59.60%로 우점하였다. 이는 우점종인 새뱀이 개체 수의 영향으로 보이며 주워먹는 무리가 대표적인 1차 소비자임을 알 수 있다. 그다음으로는 잡아먹는 무리, 걸러먹는 무리, 긁어먹는 무리, 찢어먹는 무리의 순이었다. 이로 미루어 화포천은 주워먹는 무리와 잡아먹는 무리가 주된 포식 관계를 형성하는 전형적인 정수성 생태계로 보인다(Fig. 6-a, b).

조사지점별 섭식기능군의 종 수는 St. A에서 2020년과 2021년 모두 주워먹는 무리가 우점하는 것으로 나타났다. St. A는 유수 지역임에도 불구하고 긁어먹는 무리의 출현 종 수가 적는데, 이는 유수 환경의 대표적인 긁어먹는 무리인 납작하루살이 분류군이 거의 없는 것이 원인으로 생각된다. St. B에서는 2020년과 2021년 모두 잡아먹는 무리가 우점하는 것으로 나타났다. 이는 St. B에서 다양한 잠자리목이 출현하는 것이 영향을 미친 것으로 보이며 다양한 잡아먹는 무리를 지지할 수 있는 다양한 저차소비자의 서식을 의미하기 때문에 이곳은 생물 다양성이 높다고 여겨진다. St. C에는 2020년과 2021년 모두 잡아먹는 무리가 우점하였다. 이는 St. C 또한 St. B만큼 잠자리목이 우점하기 때문으로 생각된다. 조사지점별 섭식기능군 개체 수는 2020년과 2021년 St. A, St. B, St. C 모두 주워먹는 무리가 우점하였다. 하지만 그 원인은 조사지점별로 다른데 St. A는 물벌레와 깔따구류의 영향을 크게 받았고 St. B와 St. C는 새뱀의 영향을 크게 받았기 때문이다. 상류에서 하류 구간으로 갈수록 찢어먹는 무리의 숫자가 감소하는 등(Wang et al., 2016)의 섭식기능군 조성 변화가 일어나게 되는데 화포천의 조사지점에서는 찢어먹는 무리의 개체 수가 적어 변화를 관찰하기 힘들었다. 다만 상류부에서 하류부로 갈수록 걸러먹는 무리의 개체 수가 감소하고 주워먹는 무리가

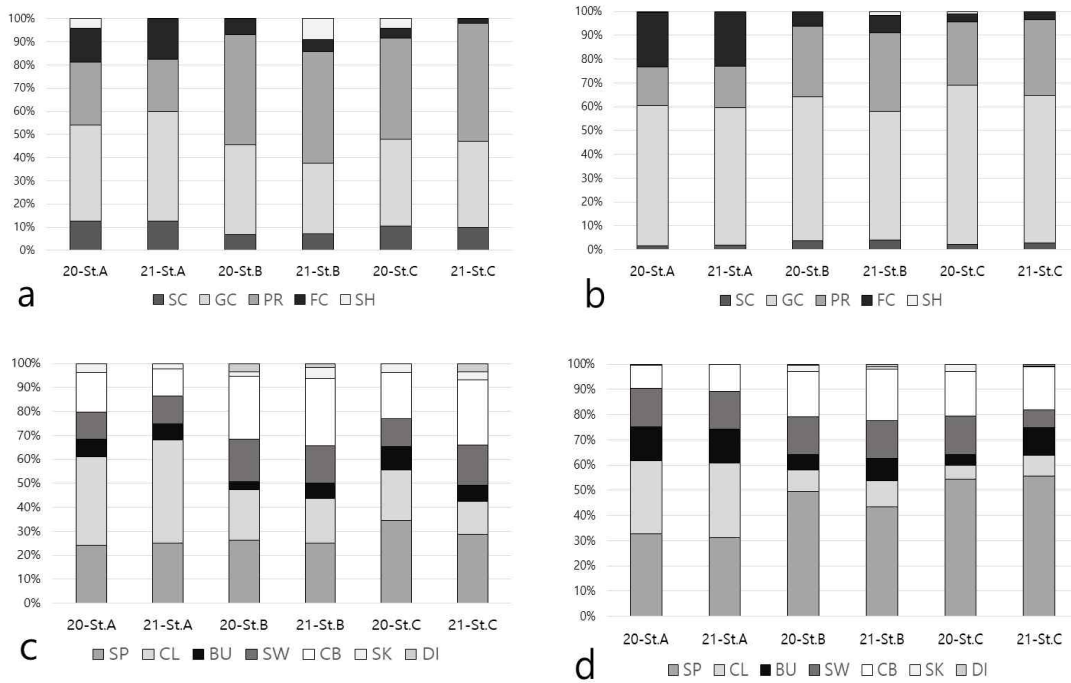


**Fig. 6.** Species and individuals compositions on functional feeding group and habitual dwelling group of benthic macroinvertebrates in Hwapocheon stream(2020-2021). a: species composition of functional feeding group, b: individuals composition of functional feeding group, c: species composition of habitual dwelling group, d: individuals composition of habitual dwelling group, SH: shredders, GC: gathering collectors, FC: filtering collectors, SC: scrapers, PR: predators, CL: climbers, SK: skaters, DI: divers, SW: swimmers, CL: clingers, SP: sprawlers, BU: burrowers.

소폭 증가하는 모습을 관찰할 수 있었다. 하류로 갈수록 미세입상 유기물질의 비율이 증가하여 이를 먹이로 하는 주워먹는 무리와 걸러먹는 무리의 출현이 늘어나지만 (Park et al., 2011), 화포천의 경우 하류로 갈수록 유속이 극단적으로 느려지므로 섭식 시 최소한의 유속이 필요한 걸러먹는 무리가 감소하는 것으로 생각된다. 화포천의 걸러먹는 무리는 주로 줄날도래류로 구성되며 하류로 갈수록 해당 분류군의 출현 종과 개체 수가 감소하는 것을 볼 수 있다. 주워먹는 무리는 유속 감소에 영향을 받지 않아 하류로 갈수록 개체 수의 증가가 나타나는 것

로 생각된다(Fig. 7-a, b).

한편, 화포천의 서식습성군은 8가지 무리중 부유하는 무리(planktonic)를 제외한 기어오르는 무리(climbers, CL), 지치는 무리(skaters, SK), 잠수하는 무리(divers, DI), 헤엄치는 무리(swimmers, SW), 붙는 무리(clingers, CL), 기는 무리(sprawlers, SP), 굴파는 무리(burrower, BU)의 7개 군이 확인되었다. 중수 구성은 붙는 무리가 25.80%로 우점하는 것으로 나타났으며 이는 복족류와 날도래류, 하루살이류 등의 영향으로 보인다. 그다음으로 기는 무리가 24.20%, 기어오르는 무리가



**Fig. 7.** Compositions of species and individuals by survey site and year on functional feeding group and habitual dwelling group in Hwapocheon stream (2020-2021). a: species composition of functional feeding group, b: individuals composition of functional feeding group, c: species composition of habitual dwelling group, d: individuals composition of habitual dwelling group, SH: shredders, GC: gathering collectors, FC: filtering collectors, SC: scrapers, PR: predators, CL: climbers, SK: skaters, DI: divers, SW: swimmers, CL: clingers, SP: sprawlers, BU: burrowers.

23.30%, 헤엄치는 무리가 15.80%, 굴파는 무리가 5.80%, 지치는 무리와 잠수하는 무리가 각 2.50% 순으로 나타났다. 서식습성군의 개체 수는 기는 무리가 43.20%로 우점하는 것으로 나타났으며 이는 화포천의 우점종인 새뱅이의 영향으로 보인다. 그다음으로 붙는 무리가 16.10%, 기어오르는 무리가 15.3%, 헤엄치는 무리가 14.30%, 굴파는 무리가 9.60%, 지치는 무리가 1.20%, 잠수하는 무리가 0.30% 순으로 나타났다(Fig. 6-c, d).

조사지점별 서식습성군의 종 수는 St. A에서 2020년과 2021년 모두 붙는 무리가 우점하는 것으로 나타났으며 이는 St. A에 다수 서식하는 날도래목의 영향으로 보인다. St. B에는 2020년과 2021년 모두 기어오르는 무리가 우점하였으며 이는 잠자리목, 노린재목, 딱정벌레

목의 영향으로 보인다. St. C는 2020년에는 기는 무리가 우점하였고 2021년은 기어오르는 무리가 우점하였다. 2020년에 기는 무리가 우점한 것은 다수 종의 복족강이 영향을 미친 것으로 보이며 2021년 출현한 다양한 잠자리목과 노린재목이 기어오르는 무리가 우점하는 데 영향을 미친 것으로 보인다. 하천의 서식습성군 분포특성에 관한 연구에서 상류에서 하류 구간으로 굴파는 무리의 출현이 증가한다고 한 것과 관련하여(Kong, 2014), 화포천에서도 서식습성군의 변화를 관찰하였는데 굴파는 무리의 변화를 관찰하기는 어려웠으나 상류에서 하류로 갈수록 기는 무리와 기어오르는 무리가 증가하며 붙는 무리의 출현이 감소하는 모습을 보였다. 이는 하류로 갈수록 기는 무리의 출현이 감소하고 붙는 무리의 출현이 증가하였다는 서식습성군 변화양상에 관한 연구결과와는

차이가 있으며(Wang et al., 2016) 그 원인은 화포천 중류 및 하류의 습지의 영향으로 보인다(Fig. 7-c, d).

3.5. 환경특성지표군 및 환경변화상

화포천의 조사범위는 우수지역과 정수지역이 공존하는 곳으로 두 가지 습지의 특성을 모두 반영할 수 있도록 정수성 환경의 특징적 분류군인 OHC군과 우수성 환경의 분류군인 EPT군에 대한 분포 변화를 관찰하였으며 특징적인 증감을 나타내는 다른 분류군에 대해 별도의 고찰을 하였다. 정수성 생태계의 건강성을 대표하는 분류군에 관한 연구 중 우포늪의 4년간 채집조사를 통하여 정수역에서 저서성 대형무척추동물의 종수와 개체수에 가장 큰 영향을 준 분류군은 OHC군(Odonata, Hemiptera, Coleoptera)이라고 보고하였다(Kim, 2015). 이 논문에서는 OHC군이 대부분의 호수 생태계에서 높은 출현율을 보이며 이들 종수와 개체수의 증감이 정수 생태계의 다양성 유지에 주된 영향을 미친다고 고찰하고 있다. 이러한 내용을 바탕으로 화포천의 물 흐름에 따른 저서성 대형무척추동물의 구성을 확인한 결과 우수 지역인 St. A로부터 정수지역인 St. C로 갈수록 OHC군의 종수는 증가하였고 2020년에 비해 2021년에 종수가 증가하였다. OHC 분류군의 출현이 가장 빈약한 조사지점은 St. A이며 2021년에 종수가 감소하였다. 다만 St. A는 징검다리로 인해 유속이 빠른 여울이 형성되어 OHC군 만으로는

습지의 건강성을 판단하기 어려우므로 EPT군의 결과와 함께 고려할 필요가 있다. 따라서 조사지점에 따른 OHC군과 EPT군(Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera)을 함께 비교하였을 때, St. A에서 St. C로 갈수록 EPT 분류군의 출현 종수는 감소하고 OHC 분류군의 출현 종수는 증가하였다. 따라서 St. A는 OHC군의 분포는 극도로 빈약하지만 대신 EPT군이 보충하고 있는 상태로 판단된다. St. B는 St. C보다 OHC군의 종수가 적고 St. A보다 EPT군의 종수가 적지만 두 조사지점에 비해 더 다양한 분류군을 내포하고 있으며 하천(St. A)과 습지(St. C)에 대한 전이대로 평가된다(Fig. 8).

환경변화상 평가는 군집손실지수(Coummunity Loss Index, CLI)를 이용하여 2020년과 2021년 조사지점을 기준으로 출현 종의 결손 양상을 비교하는 방법과 본 연구와 선행 조사(Ministry of Environment, 2002; 2007)를 목수준의 분류군으로 간략히 비교하였다. CLI는 여름에 St. A에서 0.43로 가장 높았고 가을의 St. A가 그 뒤를 이었다. 출현 종수는 2020년에 23종, 2021년에 21종이었으며 2년간 14종이 공통으로 확인되었다. 가장 낮은 지수를 보여준 것은 봄에 St. B에서 0.11로 나타났으며 2020년 19종, 2021년 28종이 St. B에 출현하여 2년간 16종이 공통으로 확인되었다. 3계절의 평균 CLI가 가장 높은 곳은 St. A로, 이곳은 기존에 출현하던 종이 가장 많이 사라졌음을 알 수 있으며 St. A에 서식하는 저서성 대형무척추동물은 다른 환경에서 유입된 개체 종일 가능성이 높다(Table 3).

화포천은 습지 보호지역으로 지정되기 전 2001년 전국내륙습지 자연환경조사와 2006년 전국내륙습지 정밀 조사를 통하여 저서성 대형무척추동물의 조사가 이루어진 바 있으며 깔따구류와 물벌레류를 제외하고 종수준으로 동정이 이루어진 개체만을 대상으로 본 조사의 자료와 비교하였다. 조사지점과 조사시기에 차이가 있으므로 조사 기간은 1년 단위로 통합하고 조사지점은 전체 조사지점으로 통합하였으며 군집구조를 간단히 비교하였다. 2001년과 2006년의 보고에서는 십각목의 생물이 출현하지 않았는데 이것은 본 연구의 전체 조사기간과 조사지점에서 십각목에 속하는 새뱅이가 공통으로 출현한 것과 대조된다. 새뱅이는 ESB, GPI, KSI, BMI 등의 수환경을 진단하는 지수에서 높은 점수를 받지 못하는 종으로 환경에 대한 내성이 강한 종으로 평가되며 이러한

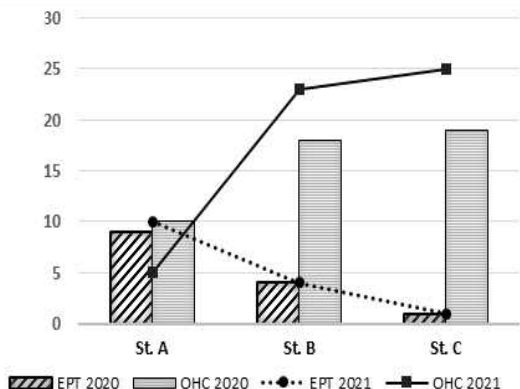


Fig. 8. The number of OHC and EPT species by site and year in Hwapocheon stream(2020-2021). OHC: Odonata, Hemiptera, Coleoptera, EPT: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera St. A: upstream, St. B: midstream, St. C: downstream.



**Table 3.** Comparison of CLI according to survey point and survey period in Hwapocheon stream

Season	Site	Species number in 2020	Species number in 2021	Number of overlapping species	CLI
Spring	St. A	12	20	9	0.15
	St. B	19	28	16	0.11
	St. C	18	18	14	0.22
Summer	St. A	23	21	14	0.43
	St. B	23	31	14	0.29
	St. C	19	30	13	0.20
Autumn	St. A	14	15	8	0.40
	St. B	22	31	16	0.19
	St. C	20	24	12	0.33
		23	21	14	

새뱅이가 발견되지 않았다는 것은 흥미로운 사실이다. 화포천으로 유입되는 가장 큰 지류인 St. A 지점에서 새뱅이의 출현이 확인된 것으로 보아 그동안 화포천 내 새뱅이의 서식을 인위적으로 교란하는 요인이 있었을 것으로 생각된다. 그 원인 중 하나로 생각되는 것이 계면활성제이며 2000년~2021년까지의 물환경 정보시스템의 수질측정망 자료에 따르면 낙동강 합류전 금곡교 구간의 수질 측정망에서 2000년부터 2003년까지 0.03~0.05 mg/L, 2009년에도 0.03 mg/L의 음이온계면활성제(LAS)가 검출되었다. 이와 관련하여 계면활성제가 십각목에 미치는 독성영향에 대한 몇몇 연구에서는 줄새우류인 *Palaemon adspersus*에 대한 96시간 반수치사농도(LC50)가 50.00 mg/L이며(Hong, 1990), *Palaemonetes africanus*에 계면활성제의 분산제의 일종인 Caamol Lubri-Clean을 처리했을 때, 10일 LC50은 53.33±3.52 mg/kg으로 나타났다(Ogeleka, 2011). 화포천 수질 측정망에서 검출된 계면활성제 농도는 십각목의 LC50에는 미치지 못하지만 LAS는 생분해가 잘 일어나는 물질이고 수질 측정망이 화포천의 하류 지점에 있어 상대적 상류인 조사지점에서의 계면활성제의 실제 농도는 더 높았을 것이다. 따라서 특정 기간 화포천에서 새뱅이의 출현기록이 없는 것은 서식지 손실과 같은 환경 스트레스나 다른 복합적 요인에 의해 발생한 문제일 수도 있으나(Aazami, 2015), 계면활성제의 영향을 배제할 수 없다.

### 3.6. 군집 안정성

수서곤충을 중심으로 출현 종의 상대적 회복력(relative resilience)과 상대적 저항력(relative resistance)을 조사하여 조사지점별 군집 안정성을 파악하였다.

상류인 St. A는 중류와 하류인 St. B 및 St. C와는 뚜렷한 패턴 차이가 관찰되었는데, St. A에는 주로 특성군 I 과 특성군 I, II의 경계에 위치하는 분류군들이 주로 분포하였다. 2020년에는 특성군 I에 속하는 분류군이 15종, 특성군 I 과 II의 경계에 위치하는 분류군이 4종이었으며 2021년에는 특성군 I에 11종, 특성군 I 과 II의 경계에 속하는 분류군이 5종, 특성군 II에 속하는 분류군이 1종으로 나타났다. 이처럼 St. A에는 회복력이 높거나 저항력과 회복력이 모두 높은 종들이 주로 출현하고 있으며 이는 이곳의 환경변화가 심해 정착한 생물들이 탈락하고 새로운 개척 종들이 지속해서 유입되고 있음을 보여준다. St. B에는 주로 특성군 I 과 특성군 I, IV의 경계에 위치하는 분류군이 주로 분포하였다. 2020년에는 특성군 I에 위치하는 분류군이 14종, 특성군 I 과 특성군 IV의 경계에 속하는 분류군이 5종이었으며 특성군 I 과 II의 경계에 위치하는 분류군이 3종이었다. 2021년에는 특성군 I에 속하는 분류군이 20종, 특성군 I, IV의 경계에 6종, 특성군 I, II의 경계에 위치하는 분류군이 2종으로 나타났으며 특성군 III에 위치한 분류군은 2종이었다. St. B에는 교란에 대한 회복력보다 저항력이

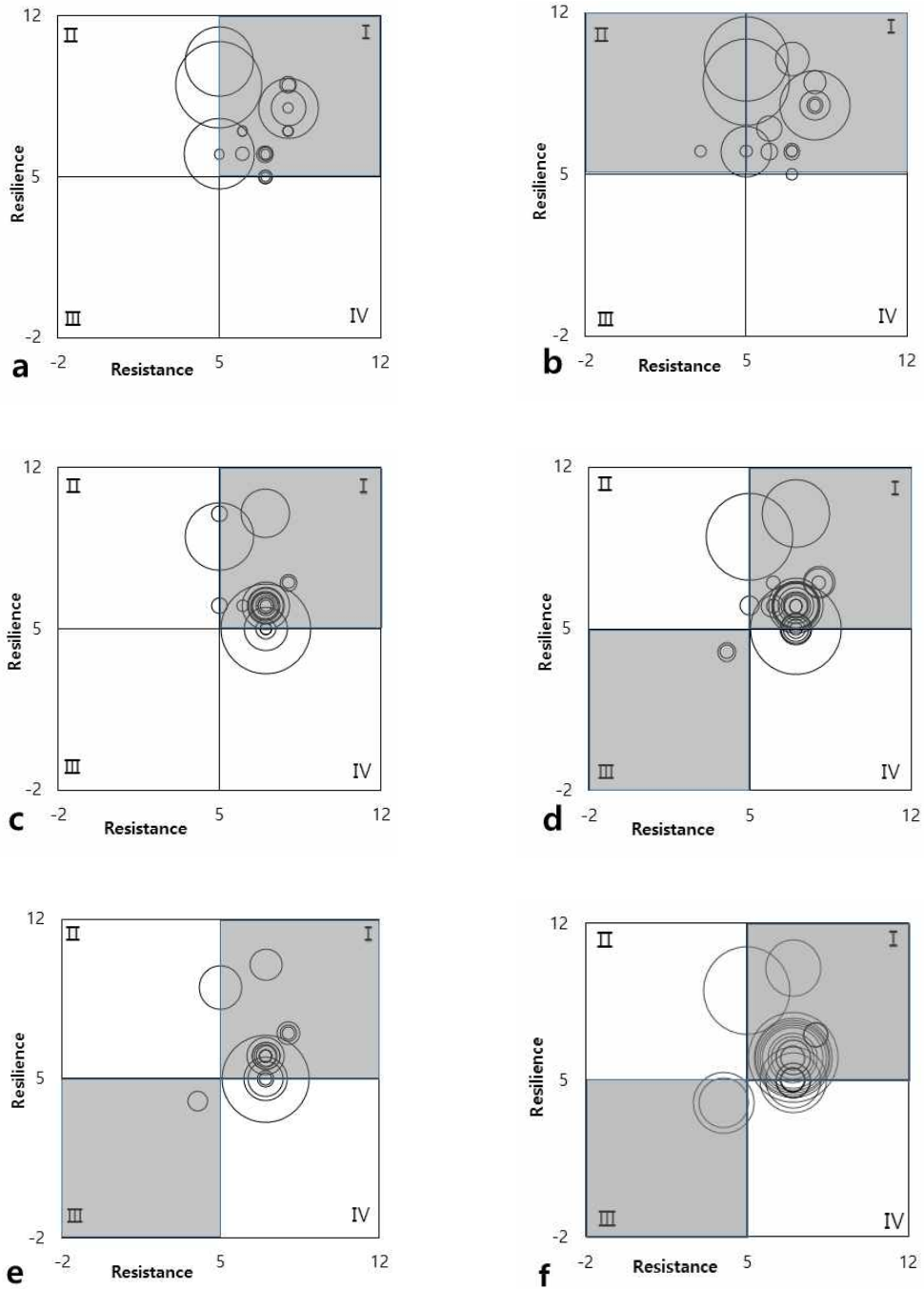


Fig. 9. Evaluation of community stability by relative resistance and resilience of benthic invertebrates in Hwapocheon stream. a: St. A in 2020, b: St. A in 2021, c: St. B in 2020, d: St. B in 2021, e: St. C in 2020, f: St. C in 2021.

높은 종들이 다양하게 출현한 것을 발견할 수 있으며 St. A보다 상대적으로 내성과 저항력이 높은 수서곤충들이 다양하게 분포한다고 볼 수 있다. 또한, 상대적으로 회복력이 높은 분류군의 종수와 개체 수가 감소한 것이 관찰된다. 따라서 St. B는 St. A보다 교란 원인에 대한 영향을 적게 받는 것으로 보이며 더 안정된 환경임을 알 수 있다. St. C에는 특성군 I 과 특성군 I, IV의 경계에 속하는 분류군이 주로 분포하였다. 2020년에는 특성군 I 에 위치하는 분류군이 14종, 특성군 I, IV의 경계에 속하는 분류군이 5종, 특성군 I, II의 경계에 위치하는 분류군이 1종으로 나타났으며 특성군 III에 위치한 분류군도 1종 나타났다. 2021년에는 특성군 I 에서 16종, 특성군 I 과 IV의 경계에 포함되는 분류군에서 8종, 특성군 I 과 II의 경계에 위치하는 분류군이 1종 나타났으며 특성군 III에 위치한 분류군이 2종 나타났다. St. C의 경우 저항력이 높은 종의 분포는 St. B와 비슷한 패턴을 보이지만 회복력이 높은 분류군의 개체 수가 더 감소하였고 상대적으로 저항력과 회복력이 낮은 특성군 III에 속하는 수서곤충이 지속해서 출현한다. 따라서 St. C는 St. B보다 안정적인 환경으로 생각된다(Fig. 9).

화포천의 군집 안정성을 평가하기 위한 보조적인 방법으로 2020년과 2021년 출현 종에 대하여 전술한 CLI 지수를 산정하였으며 CLI는 여름에 St. A에서 0.429로 가장 높았고 2020년에 23종이, 2021년 21종이 출현하였으며 2년간 14종이 공통으로 확인되었다. 가장 낮은 값을 보여준 것은 봄에 St. B에서 0.107로 나타났으며 2020년 19종, 2021년 28종이 St. B에 출현하였으며 2년간 16종이 공통으로 확인되었다. 이처럼 상대적 회복력과 저항력의 분석결과를 CLI지수와 종합하면 상류인 St. A는 교란이 발생할 때마다 저서성 대형무척추동물의 군집구조가 붕괴하고 개척과 회복을 반복하는 불안정한 생태환경으로 평가할 수 있다.

종합적으로 고려하면 화포천의 군집 안정성은 St. C가 가장 높으며 다음으로 St. B, St. A의 순으로 평가할 수 있다. 한편, 환경의 안정성과 생물 다양성 지수의 관계에 관한 중간교란 가설에 의하면 교란의 빈도와 세기가 중간 정도일 때 특정 군집의 종 다양성이 최대로 유지된다고 하며(Connell, 1978), 이번 연구에서도 중간 정도의 교란을 받은 곳으로 평가된 St. B의 다양도 지수가 가장 높았으므로 이러한 내용과 일치한다고 할 수 있다.

#### 4. 결론

하천의 국지적 환경상태를 알 수 있는 좋은 지표생물은 물속에서 극히 제한적으로 이동하거나 거의 고착해서 살기 때문에 그 환경의 변화에 따른 영향을 파악하기 쉬운 저서성 대형무척추동물이다. 본 연구에서는 경상남도 김해시에 소재하며 2017년 습지보호지역으로 지정된 하천형 습지인 화포천에 서식하는 저서성 대형무척추동물의 군집구조를 파악하고 계절적 변화 양상을 파악하여 습지 보호지역의 관리 및 보전을 위한 생태학적 정보를 제공하였다. 이를 위하여 2020년과 2021년의 봄, 여름, 가을에 화포천을 포함한 화포천의 3개 지점에서 저서성 대형무척추동물을 정량조사하여 분류군별 구성과 우점 종 등의 기초정보를 파악하였다. 조사결과 저서성 대형무척추동물은 총 4문 6강 20목 51과 83종 2,621개체가 확인되었다. 생물지수로는 다양도, 풍부도, 우점도, 균등도를 산출하였으며 다양도, 풍부도, 균등도의 평균은 중류인 St. B에서 가장 높고 우점도의 평균은 상류인 St. A에서 가장 높았다. 저서성 대형무척추동물의 분포를 기반으로 ESB, GPI, KSI, BMI, FBI, BMWP, ASPT와 같은 생물학적 수질평가 지수를 산출하여 조사지점별 수환경 평가를 하였다. 각각의 수질평가지수가 가리키는 화포천의 수질등급이 화포천의 대형저서성 무척추동물의 군집구조 특성을 적절히 반영하는지 검토하여 화포천에 더 적합한 수질평가 기법을 탐색하였다. 그 결과 BMWP의 값이 조사지점이나 시기에 따른 풍부도의 변화와 비슷한 패턴을 나타내며 수질에 따른 평가치의 변별력이 있어, 화포천의 환경평가에는 다른 수질평가지수보다 적합한 것으로 보인다. 화포천의 섭식기능군은 잡아먹는 무리의 종이 가장 다양하였고 주위먹는 무리의 개체 수가 가장 많은 것으로 나타났으며 찌어먹는 무리의 종수와 개체 수가 가장 적었다. 서식습성군은 붙는 무리의 종수가 가장 많고 기는 무리의 개체 수가 가장 많았으며 잠수하는 무리의 종수와 개체 수가 가장 적었다. 환경특성 지표군으로서 OHC군은 상류에서 하류로 갈수록 출현 종 수가 증가하였고 군집손실지수는 St. A에서 가장 높은 평균값을 나타내었다. 또한, 수서곤충을 중심으로 출현 종의 상대적 회복력과 상대적 저항력을 조사하여 조사지점별 군집 안정성을 파악하였다. 그 결과 화포천의 수서곤충은 대부분 특성군 I 에 분포하는 것으로

나타났으며 군집 안정성은 St. C가 가장 높고, St. A가 가장 낮은 것으로 나타났다.

### 감사의 글

이 논문은 2021~2022년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과임.

### REFERENCES

- Aazami, J., Esmaili-Sari, A., Abdoli, A., Sohrabi, H., Van den Brink, P. J., 2015, Environmental management, *J. Environ. Health. Sci. Eng.*, 56, 260-269.
- Ahn, C. H., Kwon, J. H., Joo, J. C., Song, H. M., Joh, G. J., 2012, Water quality of a rural stream, the Hwapocheon stream, and its analysis of influence factors, *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 34, 421-429.
- Chang, F. H., Lawrence, J. E., Rios-Touma, B., Resh, V. H., 2013, Tolerance values of benthic macroinvertebrates for stream biomonitoring: assessment of assumptions underlying scoring systems worldwide, *Environ Monit Assess.*, 186, 2135 - 2149.
- Connell, J. H., 1978, Diversity of tropical rain forests and coral reefs, *Science*, 199, 1304-1310.
- Cummins, K. W., Klug, M. J., 1979, Feeding ecology of stream invertebrates, *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 10, 147-172.
- DIN 38410, 1990, Part 2, Biological-ecological analysis of water(group M), determination of the saprobic index (M2), German standard methods for the examination of water, *Waste Water and Sludge*, 1-10.
- Gyeongsangnam-do, 2012, Final report on grading survey research service for the introduction of the total wetland system in Gyeongsangnam-do, Gyeongsangnam-do, Korea, 1-403.
- Gyeongsangnam-do, 2013, The 2nd Gyeongsangnam-do wetland conservation action plan, Gyeongsangnam-do, Korea, 1-560.
- Hong, S. W., 1990, Safty aspects of synthetic detergents, *Environ. Health. Toxicol.*, 5, 1-35.
- Jung, K. S., 2011, Odonata larvae of Korea, 1st ed., Ilkongyuk-Sa, Seoul, Korea, 14-399.
- Junqueira, M. V., Friedrich G., Pereira de Araujo, P. R., 2010, A saprobic index for biological assessment of river water quality in Brazil (Minas Gerais and Rio de Janeiro states), *Environ. Monit. Assess.*, 163, 545-554.
- Kawai, T., Tanida, K., 2005, Aquatic insects of Japan : manual with keys and illustrations, 1st ed., Tokai University Press, Kanagawa, Japan, 27-1275.
- Keddy, P. A., 2010, Wetland ecology principles and conservation, 2<sup>nd</sup> ed., Cambridge University Press, UK, 813-817.
- Kim, H. G., 2015, A Study on establishing a group of biodiversity indicators for benthic macroinvertebrates in the lake ecosystem, Changwon National University, 1-138.
- Kim, J. W., 2017, Classification of microhabitats based on habitat orientation groups of benthic macroinvertebrate communities, Kyonggi University, 1-45.
- Kong, D. S., 1997, Benthic macroinvertebrate fauna of Yesan, Seosan, Hongseong and Mountain Kayasan, *Natural Environment of Yesan, Seosan, Hongseong*, 155-204.
- 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. H., 2018, Development of benthic macroinvertebrates index (BMI) for biological assessment on stream environment, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 34, 183-201.
- Kong, D. S., Won, D. H., Park, J. H., Kim, M. C., Ham, S. A., Kwon, S. J., Son, S. H., Han, S. S., Hwang, I. C., Lee, S. H., Park, S. J., Yoo, G. A., Kong, H. Y., 2013, Ecology book of benthic macroinvertebrates produced in Korea. Ministry Environment, National Institute of Environment Research, 2-483.
- Hilsenhoff, W. L., 1988, Rapid field assessment of organic pollution with a family level biotic index, *J. N. Am. Bentnol. Soc.*, 7, 65-68.
- Kwon, O. G., 1990, Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Min. Edu. Korea, 2-446.
- Kwon, S. J., Jun, Y. C., Park, J. H., 2013, Underwater creature book, Nature and Ecology, Korea, 9-791.
- Margalef, R., 1958, Information theory in ecology, *General Systems.*, 3, 36-71.
- McNaughton, S. J., 1967, Relationship among functional properties of California grassland, *Nature*, 216, 1268-144.
- Merrit, R. W., Cummins, K. W., Berg, M. B., 2008, An Introduction to the aquatic insects of North America, Cambridge Univ. Press, 1-267.

- Ministry of Environment, 2002, 2001 National inland wetlands natural environment survey, Ministry of Environment, Korea, 1-389.
- Ministry of Environment, 2007, 2006 National inland wetlands detailed investigation final report, Ministry of Environment, Korea, 1-603.
- Ministry of Environment and National Academy of Environmental Sciences, 2011, Aquatic ecosystem health survey and evaluation, Ministry of Environment, Korea, 1-427.
- Nielsen, 1976, Junk, the hague pollution and caddis-fly fauna, Proc. of the First Int. Symp. on Trichoptera, 159-161.
- Ogeleka, D. F., 2011, Assessment of the toxicological effects of dispersant on fresh and brackish water shrimp, Pol. J. Environ. Stud., 20, 1267-1270.
- Park, Y. J., Kim, K. D., Cho, Y. H., Han, Y. G., Kim, Y. J., Nam, S. H., 2011, Habitat Classification and distribution characteristic of aquatic insect functional feeding groups in the Geum River, Korea, Kor. J. Env. Eco., 25, 691-709.
- Pielou, E. C., 1975, Species-diversity and pattern diversity in the study of ecological succession, J. Theor. Biol., 10, 370-383.
- Plafkin, J. L., Barbour, M. T., Porter, K. D., Gross, S. K., Hughes, R. M., 1989, Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish. US Environmental Protection Agency, Assessment and Watershed Protection Division, Washington DC., 1-337.
- Pringle, C. M., Hemphill, N., McDowell, W. H., Bednarek, A., March, J. G., 1999, Linking species and ecosystems: different biotic assemblages cause interstream differences in organic matter, Ecology, 80, 1860-1872.
- Ro, T. H., Chun, D. J., 2004, Functional feeding group categorization of Korean immature aquatic insects and community stability analysis, Korean J. Limnol., 37, 137-148.
- Shannon, C. E., Weaver, W., 1949, The mathematical theory of communication, Univ. Illinois Press, Urbana, 1-117.
- Shim, Y. J., Hong, J. P., Lee, G. S., 2019, Prioritizing land purchase in Hwapocheon wetland protection area, J. Korean Env. Res. Tech., 22, 59-71.
- Song, K. R., 1995, Systematics of the Hirudinea (Annelida) in Korea, Korea Univ., 1-57.
- The Korean Entomological Society of Korea and Korean Society of Applied Entomology, 1994, Check list of insects from Korea, Kon-Kuk Univ. Press, 5-744.
- The Korean Society of Systematic Zoology, 1997, List of Animals in Korea, The Korean Soc. Syst. Zool., 3-489.
- Wang, J. H., Lee, H. G., Choi, J. K., 2016, Community characteristics of benthic macroinvertebrate before the translocation project of Songchu valley in Mt. Bukhansan, Korean J. Environ. Ecol., 30, 81-91.
- Ward, J. V., 1992, Aquatic insect ecology, John Wiley & Sons, New York, 1-438.
- Williams, D. D., Feltmate, B. W., 1992, Aquatic insects, CBA International, Oxon, 1-358.
- Won, D. H., Kwon, S. J., Jun, Y. C., 2005, Aquatic insects of Korea, K. E. S., Korea, 1-415.
- Won, D. H., Jun, Y. C., Kwon, S. J., Hwang, S. J., Ahn, K. G., Lee, J. K., 2006, Development of Korean saprobic index using benthic macroinvertebrates and its application to biological stream environment assessment, J. Korean Soc. Water Environ., 22, 768-783.
- Yoon, I. B., 1988, Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea (Aquatic Insects), 30, Min. Edu. Korea, 7-840.
- Yoon, I. B., 1995, Aquatic insects of Korea, Jungheangsa, Korea, 5-262.
- Yoon, I. B., Kong, D. S., Ryu, J. K., 1992, Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (3) macroscopic simple water quality evaluation, Korean Soc. Environ. Biol., 10, 77-84.

- 
- Graduate student. Seong-Woo Bae  
Department of Biology & Chemistry, Changwon National University  
pansi4@naver.com
  - Graduate student. Tae-Won Hwang  
Department of Biology & Chemistry, Changwon National University  
xodnjs0525@naver.com
  - Research Professor. Chun-Sik Yoon  
Department of Biology & Chemistry, Changwon National University  
biobioy@hanmail.net
  - Researcher. Sung-Jin Hong  
Nakdong River Basin Environmental Office  
s2228j@daum.net
  - Professor. Seon-Woo Cheong  
Department of Biology & Chemistry, Changwon National University  
swcheong@changwon.ac.kr