

ORIGINAL ARTICLE

## 마동호습지의 저서성 대형무척추동물과 환경특성

한현우 · 이승현 · 윤춘식 · 홍성진<sup>1)</sup> · 정선우\*

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

## Benthic Macroinvertebrates and Environmental Characteristics of Madongho Wetland

Hyeon-Woo Han, Seung-Hyeon Lee, 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

The community structure of benthic macroinvertebrates in the Madongho Wetland protected area and inflow river located in Goseong-gun, Gyeongsangnam-do, was investigated in 2022 and 2023. We collected and identified 3,582 individuals belonging to 7 classes, 23 orders, 51 families, and 78 species over the 2 years from six sites. *Gnorimosphaeroma naktongense* was the dominant species with a ratio of 20%, and *Caridina denticulata denticulata* was the subdominant species with a ratio of 13.32%. Predators and gathering collectors were the most abundant in the functional feeding group, while sprawlers were the most diverse and numerous in the habitual dwelling group. Diversity, richness, dominance, and evenness were calculated as the biological indices. In addition, various biological water quality indices were calculated. Most insects in the inflow rivers belonged to group I in evaluating relative resistance and resilience, showing high colony stability. The results of analyzing the correlation between salinity and substrate particle size with brackish water species showed that *Gnorimosphaeroma naktongense* and *Hediste japonica* had a significant positive correlation with salinity, while *Assiminea lutea* and *Neomysis awatschensis* had a significant positive correlation with substrate particle size. Additionally, *Sinelobus kisui* was found to be a new record of Korean Tanaididae in this study.

**Key words** : Madongho Wetland, Benthic macroinvertebrates, Community stability, Assessment of biological environment, Salinity, Substrate particle size

### 1. 서론

저서성 대형무척추동물은 담수와 염습지 해수생태계에 모두 서식하며 육안으로 관찰가능한 크기의 무척추동물이다. 이 동물은 군집의 다양성이 높고 수중 먹이 그물 내의 에너지의 이동에서 중요한 위치를 차지하며, 이동성이 낮고 환경변화에 민감하여 수환경 평가의 지

표생물로 이용되는 중요 동물군이다(Ward, 1992; Arimoro and Muller, 2010). 이 연구에서는 염습지 저서성 대형무척추동물의 특성과 환경의 관련성에 초점을 맞추었다.

염습지는 담수와 해수가 만나는 기수역으로서, 해양 생물군과 담수 생물군이 공존하는 독특한 생태계를 형성하고 있다. 이러한 염습지는 지상의 오염수가 포함된

Received 15 January, 2024; Revised 4 February, 2024;

Accepted 6 February, 2024

\*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.

담수가 유입되고, 주기적인 해수의 교환으로 생물 및 물리적인 변동이 심하므로, 오염으로 인하여 생태적인 기능을 상실하기 쉬운 곳이다(Williams, 1993). 염습지는 육상환경과 해양환경의 전이지대로서 해양생물의 서식 및 생산기능, 수질정화기능, 친수 기능 그리고 자연재해 조절기능 등을 가지고 있으며, 조수간만과 강수량의 변화로 염도가 불규칙하고 계절에 따른 환경변동이 심하여 변화에 적응하는 생물만이 서식한다(Lee et al., 2017; Tiner, 2017). 실제로 염습지에는 해양생물군에 속하는 생물이 주로 서식하며 담수생물군은 일부만 서식하기 때문에 다양도가 낮은 지역이다(Batzer and Sharitz, 2014). 염습지의 염도 변화에 따른 저서성 대형무척추동물의 다양성에 대한 연구에서 이를 증명하고 있으며 염도 상승에 대한 저항성은 단각류(Amphipoda)가 가장 높은 데 반해, 치사율은 곤충류가 가장 높아, 염습지나 기수역에서는 저서성 대형무척추동물에서 점유율이 높은 수서곤충의 서식이 불리하여 다양도와 풍부도가 내륙습지나 계류보다 낮다고 고찰하고 있다(Ben et al., 2003).

현재 국내에서 하구나 연안습지, 염습지 등에 서식하는 생물다양성에 관한 연구는 제한적이다. 하구 환경요인과 저서성 대형무척추동물 군집의 관계에 관한 연구에서 퇴적환경의 변수와 생체량의 상관관계를 서술하였고(Yoo et al., 2019), 해역별 하구의 저서성 대형무척추동물 현황과 서식지 변화 동인의 연구에서는 염도, 하상기질 등 환경요인에 따른 군집의 유사도에 대해 보고하였다(Lim et al., 2022). 한편, 저서성 대형무척추동물 군집 구성과 기초 수환경의 관계에 관한 연구가 낙동강 하구에 대해 이루어졌다(Yoon et al, 1986; Bae and Yoon, 1989a, 1989b). 이 연구들은 주로 염도와 같은 특수한 환경요인이나 저서성 대형무척추동물의 서식에 중요한 요소인 하상과 관련한 것이며, 하구 염습지의 생태계에 관한 연구는 부족하므로 우리는 습지보호지역으로 최근 지정된 경상남도 고성군의 마동호를 본 연구의 대상 지역으로 선정하였다.

마동호 습지보호지역은 경남 고성군 마암면 삼락, 두호리, 거류면 거산리 일대에 위치하며 고성천 하구의 간척지에 농업용수 공급을 목적으로 만들어진 인공습지이다. 염습지의 특성을 가져 담수와 해수의 전이지대로서 중요한 곳이며 보호지역으로 지정된 면적은 약 1.08 km<sup>2</sup>로 저어새와 기수갈고동 등의 멸종위기 야생생물 23종을 포함하여 총 739종의 생물이 서식하는 것으로 보고된

바 있다(Gyeongsangnamdo Ramsar Environmental Foundation, 2012; Kwak et al., 2021). 이 곳은 다양한 서식환경을 보유하며 생물서식처로 보전의 필요성과 중요성이 높은 지역임에도 불구하고 전술한 현황조사 보고서 외에 이 지역에 대한 생물상 조사는 거의 이루어진 바 없으며, 저서성 대형무척추동물의 군집특성에 관한 연구는 미흡하여 이의 연구가 필요하다.

본 연구에서는 마동호 습지보호지역과 유입 하천에서 총 6개 조사지점을 선정하여 현장 조사를 하였으며 생물상과 서식 환경에 관한 분석을 하였다. 먼저, 서로 다른 서식지 특성을 나타내는 염습지와 유입 하천의 저서성 대형무척추동물의 조사 시기별 및 조사지점별 분포현황을 확인하였다. 또한 저서성 대형무척추동물의 분포를 이용하여 다양한 생물학적 수질 평가기법을 활용하였다. 서식 동물의 분포 상황에 따라 적절한 생물학적 수질 평가지수를 활용하였으며 기수지역인 마동호 습지보호지역과 담수지역인 유입 하천의 건강성 평가에 각각 어떠한 생물학적 평가지수가 더욱 적합한지 비교하였다. 환경요인의 영향에 대해서는 염도 및 하상 입경과 저서성 대형무척추동물과의 상관관계를 조사하였다. 이를 위하여 마동호에 서식하는 주요종들의 서식 기수지역 주요 환경 특성인 염도 변화가 갖는 상관성과 유의성을 확인하였다. 또한 저서성 대형무척추동물 생활사의 전체 또는 일부가 이루어지며 미소 서식처를 구성하여 서식 특성에 영향을 미치는 하상의 입경(Particle size)을 조사하여 생물과의 상관성과 유의성 또한 확인하였다. 주요 환경요인과 멸종위기 야생생물 II급인 기수갈고동(*Clithon retropictum*)의 상관관계를 파악하기 위하여 서식 지점의 염도 범위와 하상재료의 구성을 확인하여 서식지 특성을 확인하였다. 습지보호지역으로 유입되는 하천의 건강성은 습지 전체의 건강성에 영향을 미치므로 상대적 회복력(Relative resilience)과 상대적 저항력(Relative resistance)을 조사하여 군집안정성을 파악하였다. 마지막으로, 연구 중 마동호에서 채집된 저서성 대형무척추동물 중 주걱벌레붙이과(Tanaididae)의 미기록 1종이 확인되어 보고하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사지점 및 조사기간

마동호습지는 경상남도 고성군 마암면 삼락리, 두호

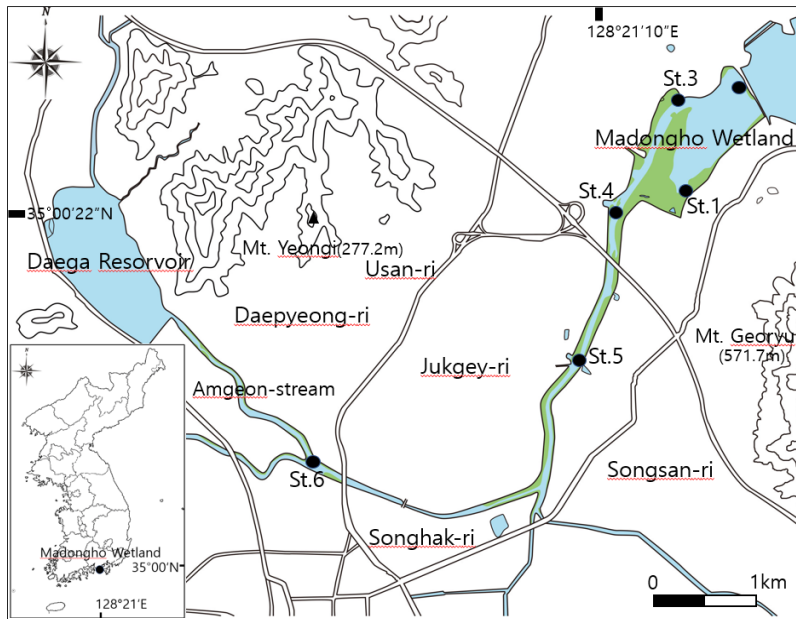


Fig. 1. Survey sites of macroinvertebrate in Madongho Wetland protected area with inflow river in 2022 and 2023.

리, 거류면 및 거산리에 걸쳐 소재하여 당항만의 해수가 혼입되는 기수습지이다. 본 연구에서는 이 기수습지와 유입 하천의 저서성 대형무척추동물의 분포를 조사하고 이를 바탕으로 습지의 건강성과 안정성을 평가하였다. 저서성 대형무척추동물의 시기별 서식 현황과 변화를 관찰하기 위해서 2022년과 2023년에 습지 내 4개소와 유입 하천 2개소의 총 6개 조사지점에 대하여 봄(3월), 여름(6월), 가을(9월)에 총 6회의 현장 조사를 하였다(Fig. 1).

St. 1: 경상남도 고성군 거류면 거산리에 위치하며 습지보호지역에 포함된다. 지리 좌표는 북위 35° 00' 33" N, 동경 128° 21' 36" E이다. 수심은 50 cm 내외이며, 유속은 거의 없다. 습지의 기질은 대부분 진흙이며 자갈, 모래, 호박돌이 소량 섞여 있다. 갈대(*Phragmites australis*)가 넓은 군락을 형성하고 있고, 토지는 대부분 농경지로 이용되고 있으며 근처에서 배수 개선 공사가 진행 중이다. 농수로에서 유입되는 담수로 인해 염도가 낮은 지점이다.

St. 2: 경상남도 고성군 거류면 거산리에 위치하며 습지보호지역에 포함된다. 지리 좌표는 북위 35° 01' 02" N, 동경 128° 22' 01" E이다. 간사지교 인근으로 수심은 50 cm 내외이며 유속은 거의 없다. 완만하게 깊

어지는 구조이며 기질은 호박돌, 자갈, 모래, 진흙의 다양한 재질로 이루어져 있으나 바닥은 주로 중간 크기의 호박돌이 바닥을 이루고 있다. 조사지점 중 가장 높은 염도를 나타내며 간사지 방파제로 막혀있어 유기물질이 축적되는 곳이다.

St. 3: 경상남도 고성군 마암면 삼락리에 위치하며 습지보호지역에 포함된다. 지리 좌표는 북위 35° 01' 03" N, 동경 128° 21' 42" E이다. 조사지점의 수심은 30~50 cm이며 유속은 거의 없다. 조사지점의 기질은 잡석, 호박돌 등 직경이 크고 편평한 돌 위주로 구성되어 있다. 수변식물로는 소규모의 갈대군락이 있다. 조사지점 중 유일하게 기수갈고둥이 서식하는 것으로 확인된 곳이다.

St. 4: 경상남도 고성군 두호리에 위치하며 습지보호지역에 포함된다. 지리 좌표는 북위 35° 00' 22" N, 동경 128° 21' 10" E이다. 마동호 유입하천으로 하폭은 약 95 m이며 수변의 수심은 10~20 cm 정도로 얇고 중심으로 갈수록 완만하게 깊어진다. 유속은 3 cm/s이고, 바닥은 진흙과 자갈로 이루어져 있으며 수변부로는 크고 작은 돌들이 우점하지만 하도의 중심으로 갈수록 진흙빨로 되어 있다. 조사지에는 넓은 갈대밭이 형성되어 있다. 주변 토지는 대부분 농경지이며, 조사지점 인근

에 송전탑이 있다.

St. 5: 경상남도 고성군 고성읍 죽계리에 위치하며 마동호로 유입되는 하천 지점이다. 지리 좌표는 북위 34° 59' 46" N, 동경 128° 20' 59" E이다. 소하천들이 고성천으로 합쳐지는 지점이며, 하폭은 90 m 정도로 수심은 수변에서 하도의 중심으로 갈수록 완만하게 깊어지나 깊이는 2 m 이내이다. 유속은 6~7 cm/sec이다. 넓은 범위의 갈대군락이 형성되어 있으며 하상 기질은 공사로 인한 인공 구조물 외에는 대부분 진흙으로 이루어져 있다. 인근의 토지는 대부분 농경지로 이용되고 있으며, 조사지점 400 m 인근에 온실 재배시설이 있다.

St. 6: 경상남도 고성군 고성읍 대평리에 위치하며 마동호로 유입되는 하천 지점이다. 지리 좌표는 북위 34° 59' 16", 동경 128° 19' 33" E이다. 상부의 대가저 수지에서 내려오는 하천과 서쪽에서 내려오는 하천이 합쳐지는 부분이며 하폭은 15 m로 좁고 수심도 전체적으로 50 cm 이하이며 유속은 15 cm/sec로 조사지점 중 가장 빠른 곳이다. 갈대와 사초과(Cyperaceae), 창포과(Acoraceae) 등 다양한 식물이 있고, 바닥은 크고 작은 돌로 이루어져 있으나 얇게 쪼개진 돌이 바닥을 일부 구성하고 있다. 인근에 수산물 가공, 배합사료 공장과 주거가 있어 농경지의 비율이 다른 조사지점에 비하여 낮다.

## 2.2. 채집 및 분류

조사지점과 조사시기에 따른 저서성 대형무척추동물의 분포현황을 파악하고 생물지수를 산출하기 위해 정량조사를 하였다. 습지보호지역 내의 4개 지점은 정수역이며, 유입 하천인 고성천 2개 지점도 유속이 빠르지 않아 D frame net(폭 50 cm, 높이 30 cm, 망목 0.2 × 0.2 mm)을 사용하여 각 조사지점 내에서 2 x 2 m에 해당하는 면적을 끌어 정량조사 하였다. 조사방법은 제 5차 전국자연환경조사 지침(National Institute of Ecology, 2019)을 참고하였다.

채집한 표본은 Kahle's solution에서 1일간 고정하고 70% 에틸알콜에 보존한 후(Jung et al., 2008), 실험실에서 해부현미경을 이용하여 동정하고, 현미경 영상장치(Tech Xcam)를 이용하여 사진정보를 기록하였다. 동정 및 분류는 Yoon(1995), Kawai and Tanida (2005), Won et al.(2005), Jung(2011), Kong et al.(2013), Kwon et al.(2013)을 참고하였으며 분류체계와 학명은 National Institute of Biological

Resources(2022)를 따랐다.

## 2.3. 생물학적 수질평가

정량채집된 저서성 대형무척추동물에 대하여 마동호와 유입하천의 주요 생물학적 환경평가 지수를 산출하였다. 연구에 이용된 지수는 생태점수(Ecological score of benthic macroinvertebrate community, ESB) (Kong, 2018), 군오염지수(Group pollution index, GPI) (Yoon et al., 1992), 저서생물지수(Benthic macroinvertebrates Index, BMI) (Kong, 2018), 하구저서성 대형무척추동물 평가지수(Korea Estuary Benthic Macroinvertebrates Index, KEBMI) (Kong, 2018), 한국오수생물지수(Korean saprobic index, KSI) (Won et al., 2016), 생물학적 모니터링 작업그룹(Biological monitoring working party, BMWP) (Chapman, 1996), 분류군별 평균점수(Average score per taxon, ASPT)(Chapman, 1996)이며 서식처의 특성에 따라 적용하였다.

마동호 습지보호지역 내 기수역에서는 위의 지수 중 ESB의 전체생태점수(Total ecological score of benthic macroinvertebrate community, TESB) (Kong, 2018)와 평균생태점수(Average ecological score of benthic macroinvertebrate community, AESB) (Kong, 2018), 군오염지수(GPI), 하구저서성 대형무척추동물 평가지수(KEBMI)를 산출하였고, 마동호 유입하천에 대해서는 생물학적 모니터링 작업그룹(BMWP), 저서생물지수(BMI), 한국오수생물지수(KSI), 분류군별 평균점수(ASPT), 군오염지수(GPI), 전체생태점수(TESB), 평균생태점수(AESB)를 적용하였다.

## 2.4. 생물지수 및 환경분석

생물지수는 다양도(Diversity index,  $H'$ ) (Shannon and Weaver, 1949), 풍부도(Richness Index, RI) (Margalef, 1957), 우점도(Dominance Index, DI) (McNaughton, 1967), 균등도(Evenness index,  $J'$ ) (Pielou, 1975) 및 총 개체수와 종별 개체수의 백분율인 종별 우점도를 이용하였으며 우점종의 개체수에 대한 종별 개체수를 백분율(%)로 나타낸 상대밀도(Relative Density, RD)를 계산하였다.

환경분석에서는 일반적인 수질측정 외에도 저질의 입경과 염도를 측정하여 출현종과의 상관관계를 확인

하였다. 기초 수질조사는 수온, pH, 전기전도도(HANNA-HI98129)와 용존산소량(HORIBA LAQUAact DO-120)을 측정하였으며, 염도(HANNA- HI98319)를 조사지점별, 계절별로 비교하였다.

저서성 대형무척추동물의 서식특성을 확인하기 위하여 하상의 입경분석을 하였으며, 조사지점 별 저질을 500 g씩 채취하여 입경비율을 분석하였다. 하상의 입경분석은 4.0~0.18 mm 범위의 체를 이용하여 분류하고 각각의 건조 중량을 측정하여 비율을 확인하였다(Cummins, 1962; Lee et al., 2013).

기수역인 습지보호지역에서 채집된 저서성 대형무척추동물의 분포와 염도의 관계, 담수종과 기수종의 분포와 염도의 관계를 상관분석을 통해 유의성을 확인하였으며, 염도와 유의한 관계를 나타내지 않은 기수종의 개체수와 저질입경의 상관도를 파악하고 유의성이 나타난 종은 단순선회회귀분석을 통하여 상관성을 확인하였다(IBM SPSS Statistics 27).

### 2.5. 기능군과 군집안정성

섭식기능군은 먹이원에 따라 구분하는 방식과 먹이원의 종류와 섭식 방법에 따라 구분하는 방법이 있으며, 서식습성군은 미소서식체의 환경에 적응하여 살아가는 방식으로 구분한다. 섭식기능군의 먹이원에 따른 분류군은 크게 식식자(Herbivore), 육식자(Carnivore), 부식자(Detritivore)의 세 그룹이 있으며, 섭식방법에 따라서는 썰어먹는 무리(Shredders), 걸러먹는 무리(Filtering collectors), 주워먹는 무리(Gathering collectors), 육식성 포식자 무리(Predator), 긁어먹는 무리(Scrapers), 뚫어먹는 무리(Piercers), 기생하는 무리(Parasites)로 나뉜다. 서식습성군에는 지치는 무리(Skaters), 부유하는 무리(Planktonic), 잠수하는 무리(Divers), 헤엄치는 무리(Swimmers), 붙는 무리(Clingers), 기는 무리(Sprawlers), 굴파는 무리(Burrowers), 기어오르는 무리(Climers)의 8가지 기능군이 있다. 각 기능군은 속(Genus)의 수준에서 분류하였으며 Cummins and Klug(1979), Ro and Jeon(2004), Merritt et al.(2008)을 참고하였다.

하천생태계에서 생물적 요소를 구성하는 분류군들 가운데 수서곤충류의 환경 내 안정성에 대한 특성을 상대적 저항력과 회복력으로 나타내면 4개의 특성군으로 구분할 수 있다(Ro, 2002). 상대적 회복력과 저항력을 5를 기준으로 하여 4분면 위에 배치하면 상대적 저항

력과 회복력이 모두 높은 특성군 I, 상대적 저항력은 높으나 상대적 회복력이 낮은 특성군 II, 상대적 저항력과 회복력이 모두 낮은 특성군 III, 상대적 저항력은 낮으나 상대적 회복력이 높은 특성군 IV로 구분된다(Chun and Ro, 2004).

## 3. 결과 및 고찰

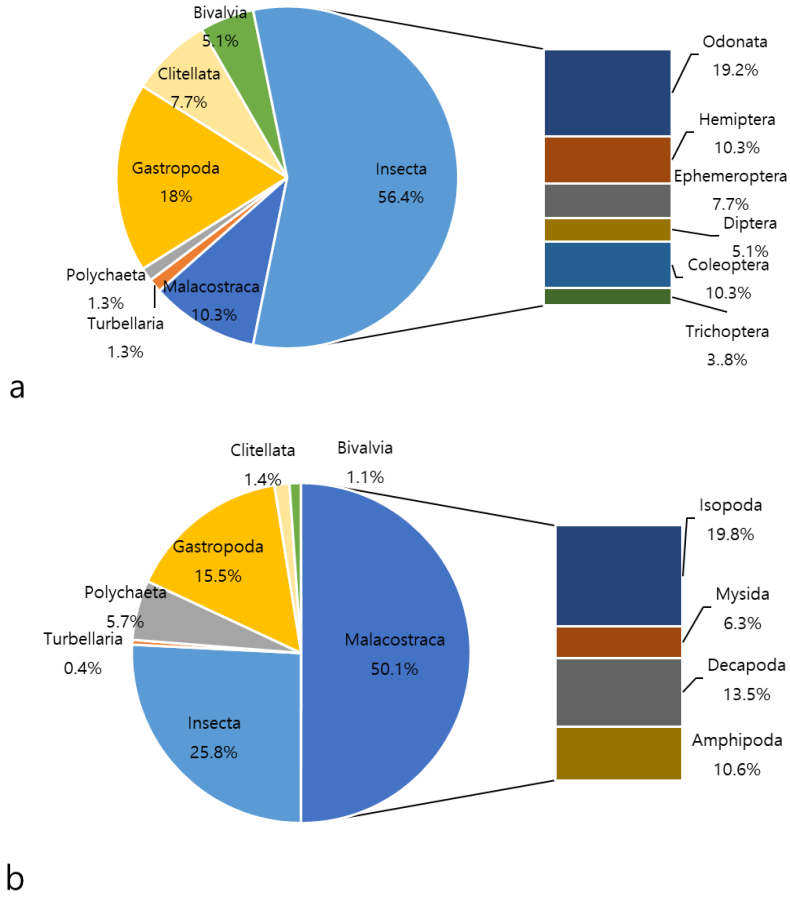
### 3.1. 저서성 대형무척추동물 서식 현황

조사기간 마동호와 유입하천에서 확인된 저서성 대형무척추동물은 7강 23목 51과 78종 3,582개체로, 2022년에 6강 19목 42과 55종 1,666개체, 2023년에 7강 21목 46과 63종 1,916개체로 나타났다. 2년간 연속으로 출현한 종은 총 40종이며 2022년에만 채집된 종은 15종, 2023년에만 출현한 종은 23종이었으며, 이중 기수역에 서식하는 종은 10종으로 나타났다.

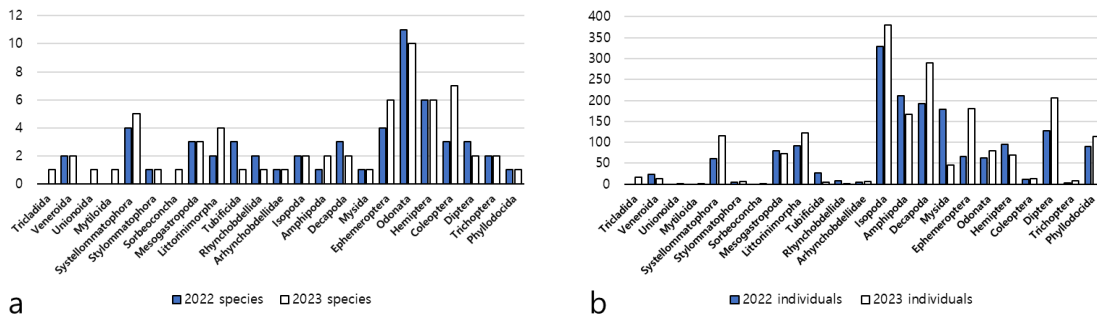
2년간의 강별 종수에서는 곤충강(Insecta)이 65.4%로 가장 높은 비율을 차지하였고 그 다음으로 복족강(Gastropoda), 연갑강(Malacostraca), 환대강(Citellata), 이매패강(Bivalvia), 다모강(Polychaeta) 및 외충강(Tubellaria)의 순으로 나타났다. 목별 종수 점유율은 곤충강의 잠자리목(Odonata)이 19.2%로 우점하였다.

강별 개체수에서는 연갑강이 50.1%로 우점하였으며 곤충강, 복족강, 다모강, 환대강, 이매패강, 외충강의 순으로 나타났다. 목별 개체수 점유율은 연갑강의 등각목(Isopoda)이 19.8%로 우점하였다.

전체 조사지역의 종구성은 보호지역과 유입 하천이 현저히 다르게 나타났는데, 전체적으로 종수는 보호지역의 네 지점보다 유입하천 두 지점에서 더욱 다양하게 나타났다. 전체 출현 분류군 78종 중 곤충강이 44종으로 가장 높은 비율을 차지하였으나 개체수는 총 923개체로 전체 개체수의 25.8% 정도였다. 반대로 연갑강의 종수는 전체 78종 중에 8종으로 10% 안팎의 낮은 비율을 차지하였지만 개체수는 총 1,793개체로 전체 3,582개체의 절반을 차지하였는데, 이는 기수지역의 특성상 곤충강의 치사율이 높아(Ben et al., 2003) 보호지역의 네 개 조사지점에서 연갑강이 차지하는 비율이 높고, 풍부도와 다양도는 높지 않아 낙동산벌레(*Gnorimosphaeroma naktongense*)가 우점하고 있기 때문이다. 이 때문에 거의 모든 시기에 종수는 곤충강이 가장 많고, 개체수는 연갑강이 우점하는 현상이나



**Fig. 2.** Species composition (a) and individuals composition (b) by higher taxa than order of benthic macroinvertebrates in Madongho wetland and inflow stream(2022~2023).



**Fig. 3.** Comparison of species number(a) and individuals(b) of benthic macroinvertebrates in Madongho wetland and inflow stream in 2022 and 2023.

타나게 되었다. 가을에는 종수와 개체수 모두 곤충강의 비율이 가장 높았는데, 이는 전체적으로 가을에 낙동간 벌레의 개체수가 급감하는 현상과 더불어 2023년 가을에 강수량 급증에 따른 보호지역 내의 염도 급강하로 0 ppt에 가까운 수치를 나타내 곤충강의 개체수, 특히 담수성 정수역에 주로 서식하는 연못하루살이(*Cloeon dipterum*)의 개체수가 증가하였기 때문이다(Fig. 2).

2년간 마동호습지와 유입하천의 조사지점에서 확인된 23개 목에 대한 종수의 변화를 고려하였을 때, 2022년에는 19목에서 55종이, 2023년에는 21목에서 63종이 확인되어 2023년은 전년도에 비해 8종의 증가가 있었다. 이는 삼기장목(Tricladida), 말조개목(Unionida), 홍합목(Mytiloida), 흡강목(Sorbeoconcha)에서 종이 추가되었기 때문이고 두 해 중에 종 수가 뚜렷하게 증가한 분류군은 총알고둥목(Littorinimorpha)과 딱정벌레목(Coleoptera) 등이다. 2년간 목별 개체수의 변화를 고려하면, 2022년에는 19목에서 1,666개체가, 2023년에는

21목에서 1,916개체가 확인되어 2023년은 전년도에 비해 250개체가 증가하였다. 개체수가 가장 많은 목은 등각목이며 두 해 모두 100개체 이상인 분류군은 등각목 외에도 단각목(Amphipoda), 십각목(Decapoda), 파리목(Diptera) 등이다. 2023년에 전체 개체수가 증가한 것은 주로 수병안목(Systellommatophora), 단각목, 십각목, 하루살이목(Ephemeroptera), 파리목의 개체수 증가가 원인이다(Fig. 3).

조사기간 중 조사지점별 우점종과 아우점종의 변화를 정리하였으며 우점도를 괄호 속에 나타냈다. 2022년 우점도가 가장 높은 조사지점은 St. 2로, 조사지점 내 우점도 53.58%를 차지한 낙동간벌레로 나타났다. 2022년 전체 우점종도 우점도 18.61%의 낙동간벌레였다. 2023년 우점도가 가장 높은 조사지점은 역시 St. 2로, 조사지점 내 우점도 42.69%를 차지한 낙동간벌레로 나타나 St. 2의 종구성이 편중되어 있다는 것을 알 수 있다, 2023년 전체 우점종은 우점도 17.17%의

**Table 1.** Dominant species and subdominant species of benthic macroinvertebrates in Madongho Wetland and inflow stream (2022~2023)

	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	Total
2022	Dominant species <i>Jesogamma-rus koreaensis</i> (46.39%)	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i> (53.58%)	<i>Neomysis awatschen-sis</i> (40.76%)	<i>Hediste japonica</i> (24.76%)	<i>Caridina denticulata denticulata</i> (34.05%)	<i>Caridina denticulata denticulata</i> (19.39%)	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i> (18.61%)
	Subdominant species <i>Micronecta sedula</i> (22.89%)	<i>Batillaria multiformis</i> (24.30%)	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i> (32.88%)	<i>Neomysis awatschen-sis</i> (20.95%)	<i>Cipango-paludina chinensis</i> (31.03%)	<i>Cloeon dipterum</i> (13.20%)	<i>Jesogamma-rus koreaensis</i> (12.73%)
2023	Dominant species <i>Jesogamma-rus koreaensis</i> (32.00%)	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i> (42.69%)	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i> (37.71%)	<i>Hediste japonica</i> (22.70%)	<i>Caridina denticulata denticulata</i> (37.32%)	<i>Caridina denticulata denticulata</i> (31.17%)	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i> (17.17%)
	Subdominant species <i>Gyraulus chinensis</i> (14.40%)	<i>Jesogamma-rus koreaensis</i> (12.97%)	<i>Assimineea lutea</i> (29.97%)	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i> (22.09%)	<i>Chironomidae</i> sp. (17.39%)	<i>Chironomidae</i> sp. (13.43%)	<i>Caridina denticulata denticulata</i> (15.08%)
Total	Dominant species <i>Jesogamma-rus koreaensis</i> (40.21%)	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i> (47.38%)	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i> (35.04%)	<i>Hediste japonica</i> (24.34%)	<i>Caridina denticulata denticulata</i> (35.83%)	<i>Caridina denticulata denticulata</i> (28.71%)	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i> (17.84%)
	Subdominant species <i>Micronecta sedula</i> (15.29%)	<i>Batillaria multiformis</i> (13.02%)	<i>Neomysis awatschen-sis</i> (22.56%)	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i> (19.85%)	<i>Cipango-paludina chinensis malleata</i> (22.05%)	<i>Chironomidae</i> sp. (12.88%)	<i>Caridina denticulata denticulata</i> (13.32%)

**Table 2.** Biotic indices of benthic macroinvertebrates of Madonho Wetland and inflow stream (2022~2023)

Site	Season	$H'$		RI		DI		$J'$	
		2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023
St. 1	Spring	0.730	1.364	0.831	1.858	0.730	0.724	0.453	0.592
	Summer	1.386	1.782	1.733	1.938	0.733	0.587	0.631	0.774
	Autumn	1.599	2.160	2.777	3.057	0.685	0.368	0.606	0.938
	Total	1.591	2.249	2.584	3.803	0.693	0.464	0.574	0.728
St. 2	Spring	1.280	1.490	1.154	1.128	0.751	0.603	0.658	0.766
	Summer	0.936	1.385	0.893	1.197	0.841	0.700	0.581	0.712
	Autumn	0.894	1.317	0.759	1.422	0.885	0.765	0.645	0.677
	Total	1.293	1.786	1.040	1.653	0.779	0.557	0.665	0.745
St. 3	Spring	1.507	1.314	1.019	0.811	0.652	0.719	0.841	0.817
	Summer	0.712	1.403	0.975	1.445	0.947	0.780	0.397	0.674
	Autumn	1.319	2.215	1.465	3.069	0.750	0.346	0.678	0.924
	Total	1.516	1.787	1.354	2.986	0.736	0.677	0.690	0.618
St. 4	Spring	0.672	1.645	0.866	2.015	0.906	0.655	0.485	0.715
	Summer	1.523	1.624	2.045	1.903	0.741	0.672	0.693	0.739
	Autumn	1.782	1.061	2.299	0.910	0.524	0.778	0.857	0.966
	Total	2.122	2.153	3.008	2.945	0.486	0.448	0.784	0.776
St. 5	Spring	1.868	1.250	1.996	1.214	0.527	0.778	0.850	0.776
	Summer	1.378	1.212	1.976	1.829	0.800	0.839	0.598	0.526
	Autumn	1.647	1.877	2.723	2.967	0.744	0.571	0.642	0.693
	Total	2.006	2.570	4.039	3.914	0.651	0.547	0.622	0.640
St. 6	Spring	2.450	2.026	3.417	2.911	0.333	0.480	0.865	0.731
	Summer	2.454	2.421	3.769	4.243	0.352	0.404	0.849	0.783
	Autumn	1.816	1.858	3.197	3.040	0.615	0.622	0.655	0.656
	Total	2.570	2.485	5.585	5.298	0.416	0.422	0.735	0.705

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

낙동잔벌레였으나 아우점종인 새뱅이(*Caridina denticulata denticulata*)의 우점도(15.08%)와 2% 정도의 차이만 보였다. 2년의 전체 조사기간을 대상으로 했을 때 우점도가 가장 높은 곳은 St. 2로 낙동잔벌레가 우점도 47.38을 나타냈다. 조사지점에 관계없이 조사 기간 전체 우점종은 낙동잔벌레로 우점도 17.84%를 나타냈다(Table 1).

### 3.2. 기초 수환경과 생물지수

기초 수환경조사에서 평균 수온은 봄에 가장 낮았으며 용존산소량은 St. 2와 St. 5에서 전체적으로 다른 지역보다 높았는데 염도가 높을수록 용존산소량이 낮은

것이 일반적이나 본 연구에서는 습지보호지역 조사지점별 용존산소량끼리 비교하였을 때, 염도가 높은 St. 2에서 용존산소량이 가장 높고 St. 1에서 용존산소량이 현저히 낮았다. 이는 St. 1이 인근 농경지 등의 교란요인이 다른 조사지점에 비해 많으며, 개방수면의 면적이 매우 좁기 때문으로 생각된다. 특히, St. 1의 인근에서 배수 개선공사를 하고 있어 이러한 인위적 교란요인이 용존산소량에 영향을 준 것으로 보인다. 이외의 용존산소량은 물의 흐름이 있고 염도가 0으로 나타나는 유입 하천이 보호지역보다 높은 일반적인 현상이 확인되었다. pH는 전체 조사 기간에 6.2~7.2의 범위로 큰 변화는 나타나지 않았다. 염도는 해수의 영향을 받는 습지보



호지역에서 0~19.2 ppt의 범위로 나타났으며 St. 5나 St. 6에서도 염도가 측정된 시기도 있으나 1 ppt 이하의 수준으로 매우 낮았다. 조사지역의 염도에 대한 조수의 영향을 확인하기 위해서 조사 기간에 만조와 간조를 구분하여 염도 측정을 하였으나 조수간만에 따른 염도의 변화는 크지 않았으며, 오히려 강수량이 급증한 2023년 가을에 전체적인 염도가 현저히 낮아지는 것으로 미루어 만조에 의한 염도의 상승보다는 내륙에서 유입되는 빗물 등 담수로 인한 염도의 감소가 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 전기전도도의 증감은 염도 증감에 따라 움직이는 전형적인 모습을 보였다.

마동호습지지역의 생물지수는 다양도( $H'$ ), 풍부도(RI), 우점도(DI), 균등도( $J'$ )에 대하여 조사지점 및 계절별로 산정하였다. 다양도는 0.672~2.454의 범위로 나타났으며 2022년 봄에 St. 4에서 0.672로 가장 낮았는데 이는 당시 St. 4에서 출현한 종 수가 4종으로 매우 적고, 32개체 중 26개체가 참갯지렁이(*Neanthes japonica*)로 나머지 종과의 개체수 차이가 매우 컸기 때문이다. 반면, 2022년 여름에는 St. 6에서 종 별 개체수가 비교적 균등하게 나타나 2.454로 가장 높았다. 종 풍부도는 0.759~4.243의 범위로 나타났으며 2022년 가을 St. 2에서 0.759로 가장 낮았는데 이는 이 조사지점의 저서생물이 4종 52개체로 이 중 36개체가 갯고둥(*Batillaria multiformis*)이었고 나머지 3종의 개체수가 각각 10, 4, 2개체로 중간 개체수 비율 차이가 컸기 때문이다. 반면, 전체 계절 및 조사 지점 중 종 수가 22종으로 가장 많이 나타난 2023년 여름 St. 6에서 가장 높은 수치를 나타냈다. 한편, 우점도는 0.333~0.906의 범위로 나타났으며 균등도는 0.397~0.966의 범위로 나타났다(Table 2).

### 3.3. 생물학적 수질평가

#### 3.3.1. 습지보호지역

마동호 습지보호지역은 기수지역으로 출현종이 제한적이므로 환경질점수 분석도 제한적이다. 먼저 가장 기초적인 분석법인 ESB를 사용하였는데, 저서성대형 무척추동물 생태점수 개선에 관한 보고에 의하면, 기존에 이용되던 ESB인 TESB는 종수만을 고려하여 표본크기가 커지면 값이 따라서 커지는 문제점을 가지고 있었다(Kim et al., 2013). 이러한 점을 보완하여 수질 판정에 유용하도록 TESB의 평균을 이용한 AESB를 함께 사

용하였으며(Kong, 2018), 이외에도 GPI를 추가로 활용하였다. 더불어 기수지역에서 수질의 확인을 위하여 사용되는 KEBMI를 이용하여 어떠한 분석이 가장 적합한지 확인하였으며, 마동호 습지보호지역 내에서 활용한 생물학적 수질평가지수는 TESB, AESB, GPI 및 KEBMI였다.

보호지역 조사지점인 St. 1~St. 4에서 TESB는 6~27의 범위로 나타났으며 수질등급은 A~E 중 D와 E 등급을 나타냈다. 2023년 St. 4의 가을에 가장 낮은 수치로 매우 열악한 수질등급을 나타냈으며, 이듬해인 2023년 가을에 St. 1에서 가장 높은 수치를 나타냈으나 여전히 D등급에 해당했다. AESB는 2.0~4.0의 범위로 나타났으며 수질등급은 전체 5개 판정범위인 A~E가 모두 나타났다. 2023년 St. 4의 가을에 가장 낮은 수치로 E등급의 열악한 상태를 나타냈으며, 2022년 St. 2에서 여름과 가을에 가장 높은 수치를 보이면서 AESB기준 가장 양호한 수질등급으로 판정되었다. 두 가지 ESB평가방법을 고려했을 때, TESB는 군집의 크기가 커지면 함께 증가하는 경향을 나타냈고, AESB는 이러한 문제가 개선되었지만, 환경질 점수가 부여되지 않은 좋은 산정에서 제외되기 때문에 출현 종수가 제한적인 보호지역에서의 사용에는 적합하지 않아 보인다.

GPI는 1.265~2.119의 범위로 나타났으며 수질등급은 I~V의 판정범위 중 II와 III 등급이 나타났다. 대부분 III 등급이었으나 2022년 St. 1의 여름에 가장 낮은 수치로 II등급의 양호한 수질상태를 나타냈으며, 2022년 St. 2에서 여름에 가장 높은 수치를 보이면서 GPI 기준 III등급으로 판정되었다. 이 또한 보호지역 내에서는 군오염지수에 적용되는 지표생물군의 종수가 매우 적어 적용에 적합하지 않은 것으로 보이며 출현 종수와 개체수가 현저히 적어 교란이 의심되는 2023년 가을에 St. 4의 수질이 II등급으로 책정되어 사용에 부적합한 것으로 판단된다.

KEBMI기준 수질은 A~E의 5개 등급으로 판정되며 측정치는 25~75의 범위로 나타났다. 2023년 가을에 St. 4에서 가장 낮은 수치로 D등급의 수질을 나타냈으며 봄에 St. 3에서 가장 높은 수치로 KEBMI 기준 A등급의 수질로 판정되었다. KEBMI는 기수종과 민감종의 비율을 통해 하구 생태계의 건강성을 평가하는 지수이다. 적용한 지수들을 비교하였을 때, 기수종에 대한 변수들을 고려한 KEBMI가 마동호와 같은 기수습지의 평가에 가장 적합하다고 생각된다(Table 3).

**Table 3.** The evaluation of environmental quality by benthic macroinvertebrates in Madonho Wetland protected area (2022~2023)

Site	Season	2022		2023		2022		2023		2022		2023		2022		2023	
		TESB	WQ	TESB	WQ	AESB	WQ	AESB	WQ	GPI	WQ	GPI	WQ	KEBMI	WQ	KEBMI	WQ
St.1	Spring	11.000	E	22.000	D	2.300	C	2.300	C	1.476	II	1.454	II	43.000	C	50.000	C
	Summer	21.000	D	21.000	D	2.200	C	2.200	C	1.350	II	1.750	III	50.000	C	36.000	D
	Autumn	27.000	D	25.000	D	2.100	D	2.800	C	1.514	II	1.901	III	43.000	C	39.000	D
St.2	Spring	17.000	D	20.000	D	3.500	B	3.300	B	2.035	III	1.767	III	71.000	B	68.000	B
	Summer	12.000	E	17.000	D	4.000	A	3.000	C	2.119	III	1.866	III	64.000	C	68.000	B
	Autumn	10.000	E	17.000	D	4.000	A	2.800	C	1.899	III	1.557	II	57.000	C	50.000	C
St.3	Spring	17.000	D	13.000	D	3.000	C	3.000	C	1.920	III	1.894	III	75.000	A	71.000	B
	Summer	12.000	D	20.000	D	3.000	C	2.800	C	1.963	III	2.019	III	64.000	C	61.000	C
	Autumn	10.000	D	26.000	D	2.600	C	2.500	D	1.768	III	1.923	III	50.000	C	50.000	C
St.4	Spring	17.000	E	24.000	D	3.000	C	2.500	D	1.265	II	1.774	III	64.000	C	61.000	C
	Summer	17.000	D	23.000	D	2.500	D	2.700	C	2.000	III	2.003	III	57.000	C	46.000	C
	Autumn	17.000	D	6.000	E	2.300	D	2.000	E	1.553	II	1.541	II	46.000	C	25.000	D

TESB: total ecological score of benthic macroinvertebrate community, AESB: average ecological score of benthic macroinvertebrate community, GPI: group pollution index, KEBMI: korea estuary benthic macroinvertebrate index, WQ: water quality.

### 3.3.2. 유입하천

유입하천의 두 조사지점은 담수환경이기 때문에 TESB, AESB, GPI뿐만 아니라 보호지역에서 적용하지 못한 BMI, KSI, BMWP, ASPT를 포함한 다양한 평가 방법으로 환경질점수를 산정하였다.

TESB는 15~52의 범위로 나타났으며 수질등급은 A~E중 C와 D 등급을 나타냈다. 2023년 St. 5의 봄에 가장 낮은 수치로 D 등급의 열악한 수질상태를 나타냈으며, 2023년 St. 6의 여름에 C 등급 중 가장 높게 나타났다. AESB는 2.4~3.0의 범위로 나타났으며 수질등급은 전체 5개 판정범위인A~E중에서 C~D의 범위만 나타났다. AESB 기준으로 대체로 D등급의 서식지가 더 많고 가을에 St. 6에서 지속적으로 C등급으로 판정되었다. TESB는 군집의 크기가 커질수록 점수 또한 증가하는 일반적인 모습을 보였고, AESB는 전체적으로 비슷한 수치를 나타냈다. 이를 통해 두 가지 분석법 중 군집 크기의 영향을 받지 않은 AESB가 TESB보다 유입하천의 수환경평가에 더 적합한 것으로 판단된다.

GPI는 1.475~2.109의 범위로 나타났으며 수질등급은 5개의 판정범위 중 II와 III등급으로 나타났다. 대부분 III 등급이었으나, St. 5와 St. 6에서 가을에 가장 낮은 수치로 GPI 기준 II등급을 나타냈다. 전체적으로 출현도가 높은 복족강, 꼬마하루살이과(Baetidae), 실

지렁이(*Limnodrilus hoffmeisteri*) 등의 비율로 수질 등급을 산정하는 GPI산정방식을 따르면, 주요 출현종이 복족류 및 꼬마하루살이류인 유입하천에 적용할 때 산정에서 제외되는 종들이 많아 이 지수는 적용에 적합하지 않은 것으로 생각된다.

BMI는 31.949~70.132의 범위로 나타났으며 수질등급은 A~D중 B~D의 등급을 나타냈다. BMI는 2023년 봄에 St. 5에서는 확인된 종 수와 개체수가 현저히 적음에도 불구하고 BMI지수 70.132 및 수질등급 B로 가장 높게 나타났는데, 이는 BMI값이 큰 말조개의 출현이 조사지점의 적은 종수 및 개체수와 맞물려 나타난 결과이므로 BMI의 적용은 신중한 고려가 필요하다.

KSI는 I~V의 범위로 나타났으며 2년간 봄에 St. 1에서 수질등급에 큰 차이를 보였다. I 등급으로 나타난 2023년 St. 5의 봄은 BMI와 마찬가지로 종수와 개체수가 낮아 원돌이물달팽이(*Physa acuta*), 실지렁이 등의 출현이 없었기 때문에 KSI가 이와 같이 높게 나타나 적용에 적합하지 않은 것으로 보이나 St. 6에서는 원돌이물달팽이의 개체수 증가가 수질에 잘 반영된 것으로 보인다.

BMWP는 21~73의 범위로 나타났으며 수질등급은 B~D의 범위로 나타났다. St. 5에서는 2년간 계절에 관계없이 D등급으로 나타나고 St. 6에서는 2023년 여름

**Table 4.** The evaluation of environmental quality by benthic macroinvertebrates in inflow stream(2022~2023)

Site	Season	2022		2023		Site	Season	2022		2023	
St. 5		TESB	WQ	TESB	WQ	St. 6		TESB	WQ	TESB	WQ
	Spring	22.000	D	15.000	D		Spring	41.000	C	42.000	C
	Summer	24.000	D	24.000	D		Summer	42.000	C	52.000	C
	Autumn	32.000	C	37.000	C		Autumn	42.000	C	44.000	C
		AESB	WQ	AESB	WQ			AESB	WQ	AESB	WQ
	Spring	2.400	D	3.000	C		Spring	2.400	D	2.600	C
	Summer	2.500	D	2.500	D		Summer	2.400	D	2.400	D
	Autumn	2.500	D	2.600	C		Autumn	2.700	C	2.700	C
		GPI	WQ	GPI	WQ			GPI	WQ	GPI	WQ
	Spring	2.060	III	1.929	III		Spring	1.789	III	1.760	III
	Summer	2.060	III	2.158	III		Summer	1.944	III	1.903	III
	Autumn	2.109	III	1.475	II		Autumn	1.984	III	1.518	II
	BMI	WQ	BMI	WQ		BMI	WQ	BMI	WQ		
Spring	31.949	D	70.132	B	Spring	42.727	D	55.845	C		
Summer	49.914	C	51.932	C	Summer	55.000	C	56.310	C		
Autumn	56.205	C	67.500	C	Autumn	57.557	C	57.558	C		
	KSI	WQ	KSI	WQ		KSI	WQ	KSI	WQ		
Spring	3.032	V	0.530	I	Spring	1.661	II	1.378	II		
Summer	1.593	II	3.437	V	Summer	2.747	VI	3.130	VI		
Autumn	4.570	V	2.072	II	Autumn	3.301	VI	1.216	II		
	BMWP	WQ	BMWP	WQ		BMWP	WQ	BMWP	WQ		
Spring	21.000	D	22.000	D	Spring	61.000	C	58.000	C		
Summer	27.000	D	37.000	D	Summer	47.000	C	73.000	B		
Autumn	30.000	D	38.000	D	Autumn	57.000	C	56.000	C		
	ASPT	WQ	ASPT	WQ		ASPT	WQ	ASPT	WQ		
Spring	3.000	P. S. P.	4.400	P. M. P.	Spring	4.692	P. M. P.	5.273	D. Q.		
Summer	4.500	P. M. P.	4.111	P. M. P.	Summer	3.917	P. S. P.	4.563	P. M. P.		
Autumn	3.750	P. S. P.	4.222	P. M. P.	Autumn	5.182	D. Q.	4.308	P. M. P.		

BMWP : biological monitoring working party, BMI : benthic macroinvertebrate index, KSI : Korean Saprobic Index, ASPT : Average Score Per Taxon, GPI : group pollution index, TESB : total ecological score of benthic macroinvertebrate community, AESB : average ecological score of benthic macroinvertebrate community, WQ : water quality.

이 B등급인 것을 제외하면 모두 C등급으로 나타났다. BMWP는 유입하천의 풍부도의 변화에 따라 증가하며 풍부도와 다양도가 가장 높은 2023년 St. 6의 여름에 가장 좋은 수질을 보여 생물을 이용한 평가에 적합한 것으로 판단된다.

ASPT는 네 개의 판정범위 중 세 가지로, 심각한 오염가능성~의심스러운 수질의 범위로 나타났다. 2023년 봄에 St. 6에서 가장 높은 수치를 나타내면서 의심스러운 수질상태로 판정되었고, 2022년 봄에 St. 5에서

가장 낮은 수치를 나타내면서 심각한 오염가능성이 있는 환경으로 판정되었다. ASPT는 생물지수와 함께 고려했을 때, 가장 안정적인 군집으로 생각되는 St. 6에서 좋은 수질로 평가되었다. 그러나 전체적으로 분류 등급이 다른 지수보다 한 단계 적으며, St. 5에서는 생물지수와 수질이 일치하지 않아 적용에는 어려움이 있을 것으로 생각된다(Table 4).

기수역과 담수유입하천에 대한 생물학적 수질평가 결과를 종합했을 때, 현재 담수역에서 주로 사용하는 생

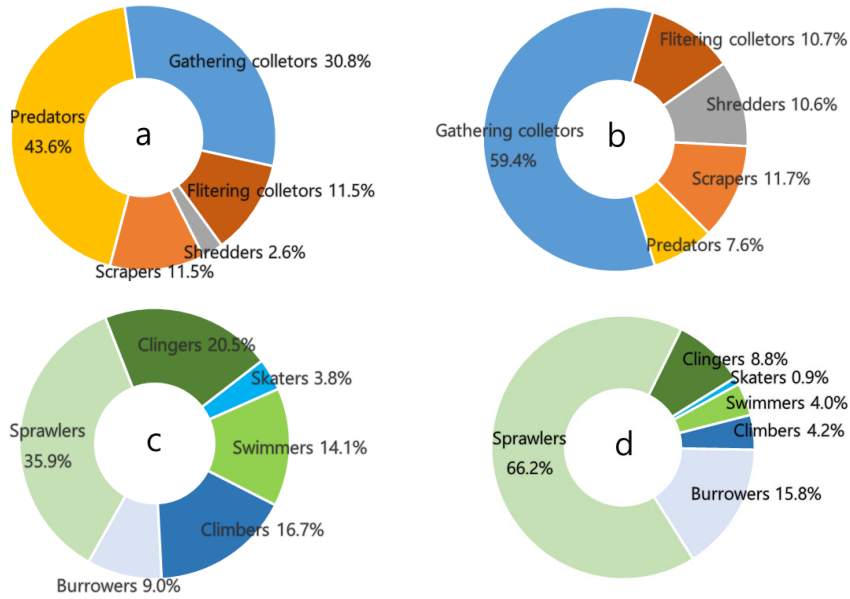


Fig. 4. Compositions on functional feeding group and habitual dwelling group of benthic macroinvertebrates in Madongho Wetland and inflow stream(2022~2023). a: species composition of functional feeding group, b: individuals composition of functional feeding group, c: species composition of habitual dwelling group, d: individuals composition of habitual dwelling group.

물지수를 기수역에 적용하기에는 어려움이 있는 것으로 보이며, 기수역에는 기수종의 종별 민감도를 이용한 KEBMI가 가장 적합한 수질평가 기법으로 보인다. 유입하천의 St. 5는 담수지역임에도 종 수와 개체수가 적어 지수들의 사용이 어려우므로, 군집의 크기에 영향을 적게 받는 AESB가 가장 적합한 것으로 보인다. St. 6은 군집의 종 구성이 다양하고 개체수도 적지 않아 대부분의 수질평가 방법 적용이 가능할 것으로 생각되나, 원도이물달팽이와 같은 오염지표종의 출현도가 높아진 2023년 여름의 생물상을 고려하였을 때, 이를 잘 반영하는 KSI와, 군집 크기에 대한 영향이 적은 AESB가 가장 적합한 방법으로 판단 된다. 기수습지는 육상 생태계와 해양 생태계의 전이지대로 연안생태계에서 중요한 역할을 하므로, 이의 환경을 보전하기 위해 생물학적 수질평가에서 기수종을 포함한 다양한 지수의 개발이 필요할 것이다.

### 3.4. 기능군의 유형분석

마동호 조사지역 전체에서 2년간 출현한 섭식기능군은 8개 무리 중 걸러먹는 무리, 굽어먹는 무리, 썰어먹

는 무리, 잡아먹는 무리), 주워먹는 무리의 5개군으로 나타났다. 전체 조사에서 각 섭식기능군의 종 수 비율은 잡아먹는 무리가 34종 43.6%로 가장 높은 비율을 차지하였으며 이는 유입 하천에서 다양한 종의 잠자리목 곤충이 확인되었기 때문이다. 그 다음으로 주워먹는 무리가 24종으로 30.8%, 굽어먹는 무리와 걸러먹는 무리가 9종으로 각각 11.5%였고 썰어먹는 무리가 2종으로 2.6%를 차지하였다(Fig. 4a). 섭식기능군별 개체수 비율은 주워먹는 무리가 2,129개체 확인되어 59.4%로 가장 높은 비율을 나타냈는데, 이는 습지보호지역 내 대부분의 개체수를 차지하는 낙동잔벌레가 주워먹는 무리에 포함되기 때문이다. 그 다음으로 굽어먹는 무리가 419개체로 11.7%, 걸러먹는 무리가 382개체로 10.7%, 썰어먹는 무리가 378개체로 10.6%, 잡아먹는 무리가 274개체로 7.6%를 차지하였다(Fig. 4b).

2년간의 전체 서식습성군은 기는 무리, 붙는 무리, 기어오르는 무리, 헤엄치는 무리, 굴파는 무리, 지치는 무리로 6개 군이 모두 출현하였다. 마동호 조사지역 내 서식습성군별 종 수 비율은 기는 무리가 28종 확인되어 35.9%로 가장 높았는데, 이는 전체 조사지역의 하상이

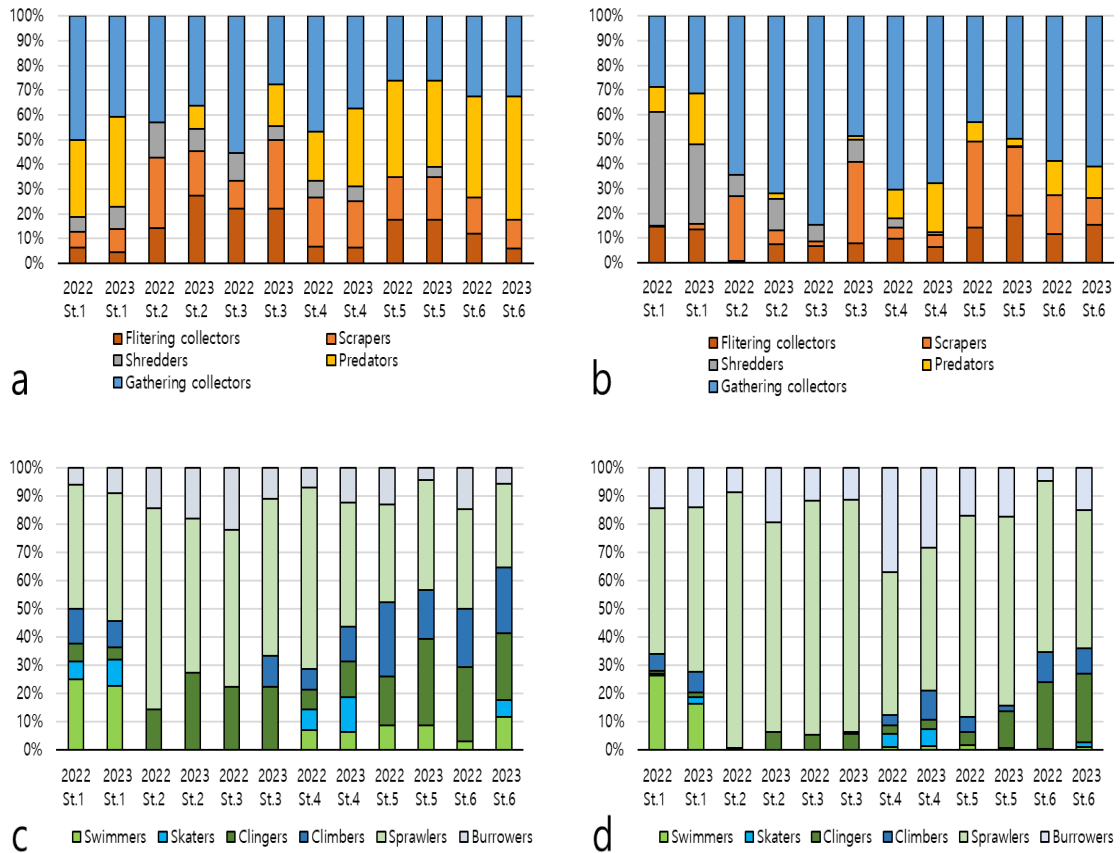


Fig. 5. Number of of species and individuals by survey site and year on functional feeding group and habitual dwelling group in Madongho Wetland and inflow stream(2022-2023). a: species composition of functional feeding group, b: individuals composition of functional feeding group, c: species composition of habitual dwelling group, d: individuals composition of habitual dwelling group.

입경 64 mm 이상의 비교적 큰 돌로 이루어진 지역이 많고 수생식물의 분포가 매우 적어 기는 무리의 서식에 적당했기 때문으로 생각된다. 다음으로는 붙는 무리가 16종으로 20.5%, 기어오르는 무리가 13종으로 16.7%, 헤엄치는 무리가 11종으로 14.1%, 굴파는 무리가 7종으로 9.0%, 지치는 무리가 3종으로 3.8%를 각각 차지하였다 (Fig. 4c). 서식습성군별 개체수 비율은 기는 무리가 2,372개체로 전체의 66.2%로 가장 높았으며, 그 다음으로 굴파는 무리가 566개체로 15.8%, 붙는 무리는 317개체로 8.8%, 기어오르는 무리가 152개체로 4.2%, 헤엄치는 무리가 143개체로 4.0%, 지치는 무리가 32개체로 0.9%의 순으로 나타났다(Fig. 4d).

조사지점별 섭식기능군과 서식습성군의 종 수와 개

체수 비율을 조사하고 2년간의 변화를 관찰하였다.

섭식기능군의 분포를 살펴보면 2022년에 습지보호 지역 내 조사지점인 St. 1 ~ St. 4 에서는 복족강과 연갑강의 종수 비율이 높아 주워먹는 무리와 굽어먹는 무리의 종수 점유율이 높았으나 2023년에 강우량 증가로 인해 전체적으로 염도가 낮아지면서 곤충강의 비율이 늘어 잡아먹는 무리의 전체적인 비율이 증가하게 되었다. 그중 St. 1에서는 주워먹는 무리와 잡아먹는 무리의 종이 가장 다양하게 나타났으나 개체수는 씹어먹는 무리가 높은 비율을 차지하였는데, 이는 단각목의 민가시예소염새우(*Jesogammarus koreaensis*)의 우점도가 높아 나타난 현상으로 보인다. 유입하천인 St. 5와 St. 6에서는 잠자리목의 높은 종수가 점유율을 높였다. St. 6

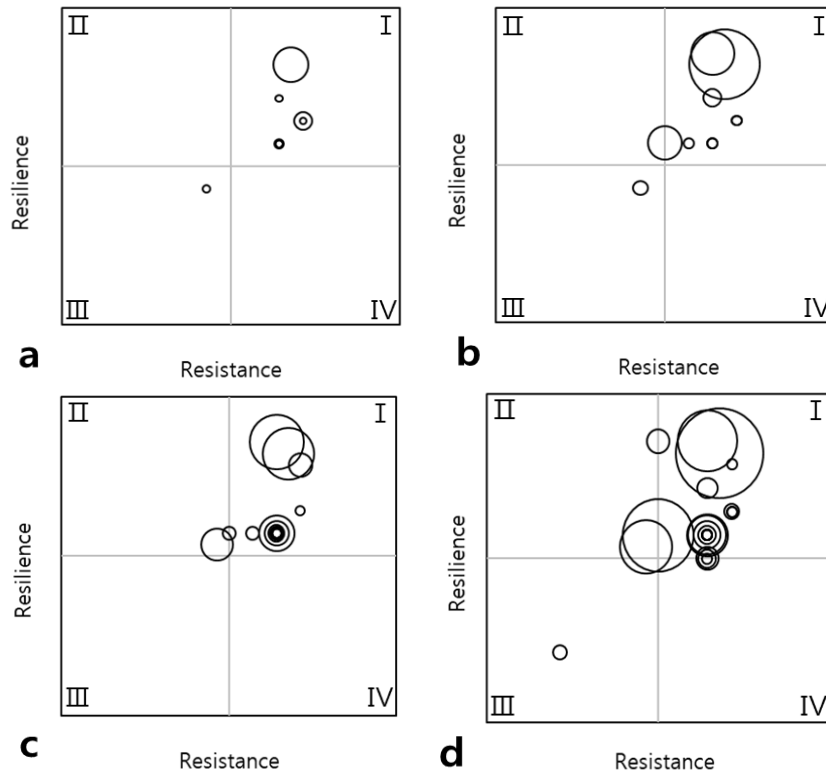


Fig. 6. Evaluation of community stability by relative resistance and resilience of benthic invertebrates in inflow stream. a: St. 5 in 2022, b: St. 5 in 2023, c: St. 6 in 2022, d: St. 6 in 2023.

에서 걸러먹는 무리는 종수 비율의 감소와는 달리 개체 수 비율은 4% 증가하였다. 개체수는 전체적으로 주위 먹는 무리의 비율이 높았는데, 이는 주위먹는 무리인 등각목의 낙동잔벌레과, 유입하천에서는 십각목의 새뱅이가 우점종으로 나타났기 때문이다.

서식습성군의 분포를 비교하면 습지보호지역 내 조사지점인 St. 1 ~ St. 4 에서는 기는 무리가 종수와 개체 수에서 모두 높은 비율을 나타냈는데, 이는 기수종의 대부분이 복족강과 연갑강이므로 기는 무리에 속하며 보호지역 내 하상 기질의 평균입경이 커, 기는 무리의 서식에 적합하기 때문으로 보인다. 기는 무리의 비율은 2022년에 비해 2023년에 약간 감소하는 경향을 보였다. 유입 하천인 St. 5와 St. 6에서도 기는 무리의 종수와 개체수는 가장 높은 비율을 나타냈는데, 이는 유입 하천의 우점종인 새뱅이는 기는 무리에 포함되며, 복족강의 출현도가 높았기 때문이다. 습지보호지역과 비교했을 때 유입 하천에서는 기어오르는 무리의 종수 비율

보다 개체수의 비율이 더 높다. 2023년에는 2022년에 비해 St. 2와 St. 4에서 기는 무리의 종수가 각각 17%와 20% 감소하였다. 이러한 변화는 역시 2023년 염도의 변화로 복족류 대신 곤충강의 종수가 증가하면서 나타난 현상으로 판단된다(Fig. 5).

### 3.5. 유입하천의 군집안정성

수서곤충의 상대적 저항력(Relative resistance)과 상대적 회복력(Relative resilience)은 유수생태계에서 생태계 항상성 및 건전성을 유지하여 종합적으로 생물 군집의 안정성을 유지하는 가장 주된 두 가지 요소이다 (Ro, 2002).

2년간의 조사에서 정량 채집한 저서성 대형무척추동물의 상대적 저항력과 회복력을 사분면에 나누어 표시하였으며, 원의 크기는 종별 개체수를 의미한다. 상대적 저항력과 회복력은 곤충강의 분류군에 대해서만 저항력과

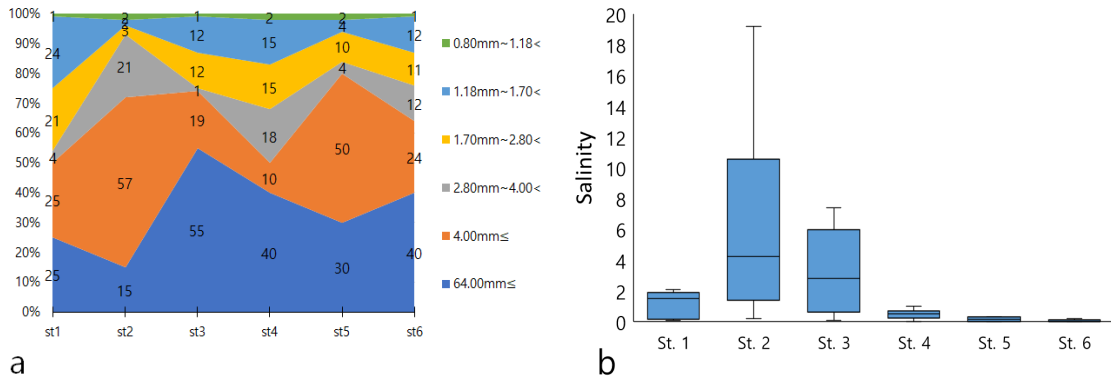


Fig. 7. Riverbed structure(a) and salinity(b) of Madongho Wetland and inflow stream.

회복력에 대한 점수를 나타내기 때문에, 곤충강이 현저히 적은 기수지역의 특성상 습지보호지역 내 조사지점 네 곳의 상대적 저항력과 회복력은 다루지 않고 유입 하천의 두 조사지점 St. 5와 St. 6에 대해 평가하였다. St. 5에서는 2022년과 2023년 모두 상대적 저항력과 회복력이 높은 특성군 I에 속하는 종이 가장 많이 나타났으며, 2022년에는 상대적 저항력과 회복력이 모두 낮은 특성군 III에 속하는 1종을 제외한 나머지 8종이 특성군 I에 위치하였다. 2023년에도 특성군 I의 종이 9종으로 가장 많이 나타났고, 나머지 1종이 특성군 III에 속하였다. St. 6 또한 2022년과 2023년 모두 특성군 I에 속하는 종이 가장 많이 나타났으며 특성군 I에 속하는 깜장하루살이 (*Nigrobaetis bacillus*)의 개체수가 St. 5와 St. 6의 안정된 생물군집 유지에 기여하는 것으로 보인다. 2022년에는 15종이 특성군 I에 속하고 나머지 1종이 상대적 저항력이 낮으나 회복력이 높은 특성군 II에 1종이 나타났다. 2023년에는 특성군 I에 속하는 종이 21종으로 2022년에 비하여 6종 증가하였으며, 특성군 II에서는 2022년과 같이 1종이 나타났고, 특성군 III에 1종이 나타났다. 이처럼 마동호 유입 하천에 서식하는 수서곤충은 주로 I사분면에 속하는 종들로 구성되어 있어 상대적 저항력과 회복력이 모두 높은 군집을 이루고 있다고 할 수 있으며 이로써 마동호의 상류이자 유입 하천은 항상성이 높아 군집안정성이 높다고 할 수 있다(Fig. 6).

상대적 저항력과 회복력은 수서곤충의 섭식기능군 유형에 따라 분석하는 것이기 때문에 마동호습지보호지역과 같이 곤충강이 적은 기수지역이나 북쪽강, 연감강과 같은 비곤충류 저서성 대형무척추동물이 우점하는

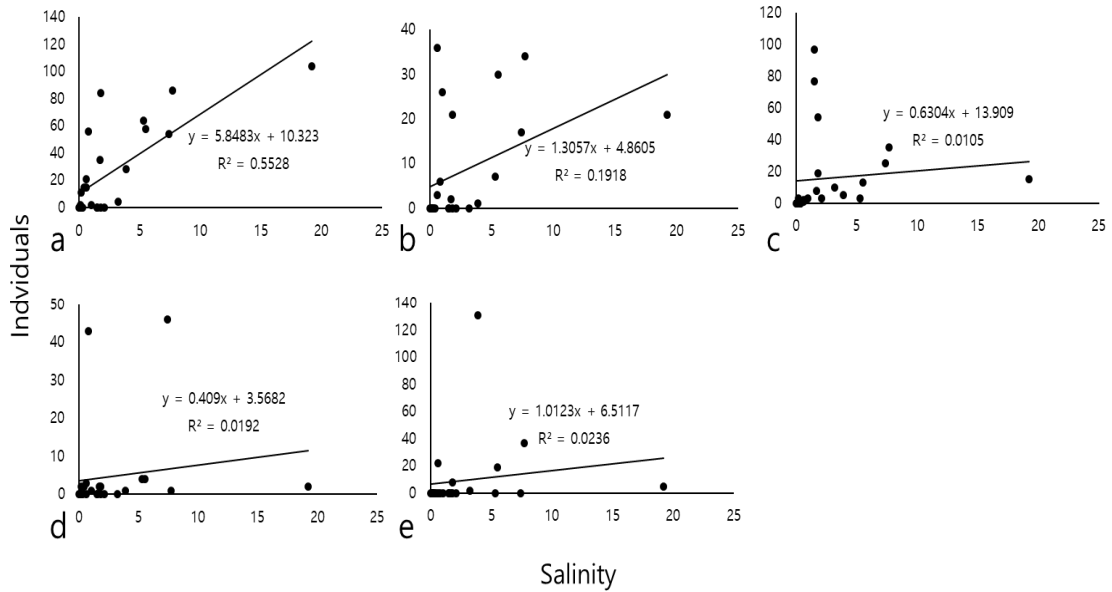
환경에서는 이러한 군집안정성 분석 결과가 설득력이 부족할 수 있다. 그러므로 차후에는 기수역과 같은 특이 서식지의 평가를 위해 수서곤충류 이외에도 다양한 저서성 대형무척추동물을 이용한 군집안정성 분석방법이 고안되어야 할 것으로 생각된다.

### 3.6. 마동호 습지보호지역의 주요 환경요인과 기수종

마동호는 기수습지의 특성상 내륙습지에 비해 저서성 대형무척추동물의 종 수가 적고 출현 종의 구성도 매우 다르다. 본 연구에서는 기수종에 영향을 미치는 주요 환경요인으로 염도와 하상입경을 중심으로 상관분석을 통해 유의성을 확인하였다. 유의성이 확인된 종은 단순 선형회귀분석을 통하여 환경요인과 개체수의 관계를 살펴보았다. 더불어, 기수갈고등은 전체 조사지점 중 St. 3에서만 출현하여 그 지점의 하상재료와 염도를 다른 조사지점과 비교하였다. 그 결과 전체 염도의 범위는 조사지점에 따라 0 ~ 19.2 ppt로 나타났으며 저질의 비율은 지점마다 다양하게 나타났다(Fig. 7).

#### 3.6.1. 염도

염도가 높을수록 출현 종수는 감소하고 기수종의 비율과 기수종의 개체수가 증가하였다. 기수역인 습지보호지역 내 조사지점 네 곳에서 공통으로 확인된 낙동잔벌레, 민가시예소옆새우, 좀기수우렁이(*Assiminea lutea*), 참갯지렁이, 곤쟁이(*Neomysis awatschensis*)에 대하여 염도와 개체수의 상관관계를 살펴보면, 먼저 낙동잔벌레와 참갯지렁이의 상관도는 각각 0.743 ( $p < 0.001$ ), 0.438 ( $p < 0.05$ )로 염도와 높은 상관도를 나



Graph	Species	R <sup>2</sup>	R	P-Value
a	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i>	0.5528	0.743	.000***
b	<i>Hediste japonica</i>	0.1918	0.438	.032*
c	<i>Jesogammarus koreaensis</i>	0.0105	0.102	.634
d	<i>Assiminea lutea A Adams</i>	0.0192	0.139	.519
e	<i>Neomysis awatschensis</i>	0.0236	0.154	.473

Variable	Non-standardized coefficients		standardized coefficients	t(p)	F(p)	R <sup>2</sup>
	B	SE	β			
<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i>	10.323	5.549		1.860	27.190***	.553
salinity	5.848	1.122	.743	5.214***		

Variable	Non-standardized coefficients		standardized coefficients	t(p)	F(p)	R <sup>2</sup>
	B	SE	β			
<i>Hediste japonica</i>	4.860	2.827		1.719	5.221*	.192
salinity	1.306	.571	.438	2.285*		

Fig. 8. Analysis of the relationship between salinity and brackish water species.

타냈다. 이 두 종과 염도에 대한 단순선형회귀분석 결과, 낙동간벌레의 상관계수는 0.743, F값은 27.190 ( $p < 0.001$ ), R<sup>2</sup>은 0.553로 염도와 상관이 매우 유의함을 알 수 있었다. Durbin-Watson지수는 1.689로 잔차의 독립성 가정을 만족한다고 볼 수 있으며, β값은

0.743으로 양의 값을 가져 종속변수인 낙동간벌레의 개체수는 염도의 상승에 따라 증가함을 알 수 있다. 참갯지렁이의 상관계수는 0.438, F값은 5.221 ( $p < 0.05$ ), R<sup>2</sup>은 0.192로 염도와의 상관이 유의하였다. Durbin-Watson지수는 2.175로 잔차의 독립성 가정



을 만족한다고 볼 수 있으며  $\beta$ 값은 0.438로 양의 값을 가져 종속변수인 참갯지렁이의 개체수 또한 염도의 상승에 따라 증가함을 알 수 있다(Fig. 8).

### 3.6.2. 하상입경

하상의 입경별 비율과 각 기수종 개체수의 상관관계를 살펴보면 낙동간벌레의 상관계수는 0.737로 나타났으나  $p$ 값이 0.094로 유의하지 않았다. 참갯지렁이와 민가시예소옆새우 또한 하상입경과의 상관계수가 각각 0.678과 -0.636으로 나타났지만  $p$ 값은 각각 0.139와 0.174로 유의하지 않았다. 쏘기수우렁이는 상관계수가 0.919( $p < 0.05$ )로 유의하였고, 곤쟁이 또한 0.969 ( $p < 0.01$ )로 유의하였다. 유의성이 나타난 쏘기수우렁이와 곤쟁이의 개체수와 하상입경에 대해 단순선형회귀분석을 통하여 상관성을 확인하였다. 쏘기수우렁이는 상관계수 0.917,  $F$ 값은 21.162( $p < 0.05$ ),  $R^2$ 은 0.841로 유의하였다. Durbin-Watson지수는 1.584로 잔차의 독립성 가정을 만족한다고 볼 수 있으며  $\beta$ 값은 0.917( $p < 0.5$ )로 양의 값을 가져 종속변수인 쏘기수우렁이의 개체수는 하상의 크기가 커짐에 따라 증가함을 알 수 있다. 곤쟁이의 상관계수는 0.969,  $F$ 값은 62.244( $p < 0.01$ ),  $R^2$ 은 0.940로 유의하였다. Durbin-Watson지수는 1.630으로 잔차의 독립성 가정을 만족한다고 볼 수 있으며  $\beta$ 값은 0.969( $p < 0.01$ )로 양의 값을 가져 종속변수인 곤쟁이의 개체수는 하상의 크기가 커짐에 따라 증가함을 알 수 있다(Fig. 9).

마동호 습지보호지역 내에서 출현률이 높은 5종을 이용하여 종별 개체수를 조사지점별, 조사시기별 염도에 따라 상관분석을 한 결과 낙동간벌레와 참갯지렁이는 하상구정보다는 염도와 상관관계가 있음이 확인되었고, 쏘기수우렁이와 곤쟁이는 염도보다는 하상재료와 연관성을 가지는 것을 확인하였다. 하지만 하상재료는 생물의 서식 특성에 가장 큰 영향을 주기 때문에 쏘기수우렁이와 곤쟁이를 제외한 나머지 종들이 전혀 연관이 없다고는 할 수 없으며, 염도와 상관성을 나타낸 낙동간벌레와 참갯지렁이에 대해서는 생활사나 서식 특성 연구가 부족하여 기초적 수환경과의 관련성 연구가 더욱 필요하다고 생각된다. 염도 및 하상재료 모두와 상관성을 나타내지 않은 민가시예소옆새우에 대해서는 서식 특성과 생활사에 대한 국내연구가 거의 이루어지지 않아 추가적인 연구가 필요하다.

### 3.6.3. 기수갈고등과 환경요인

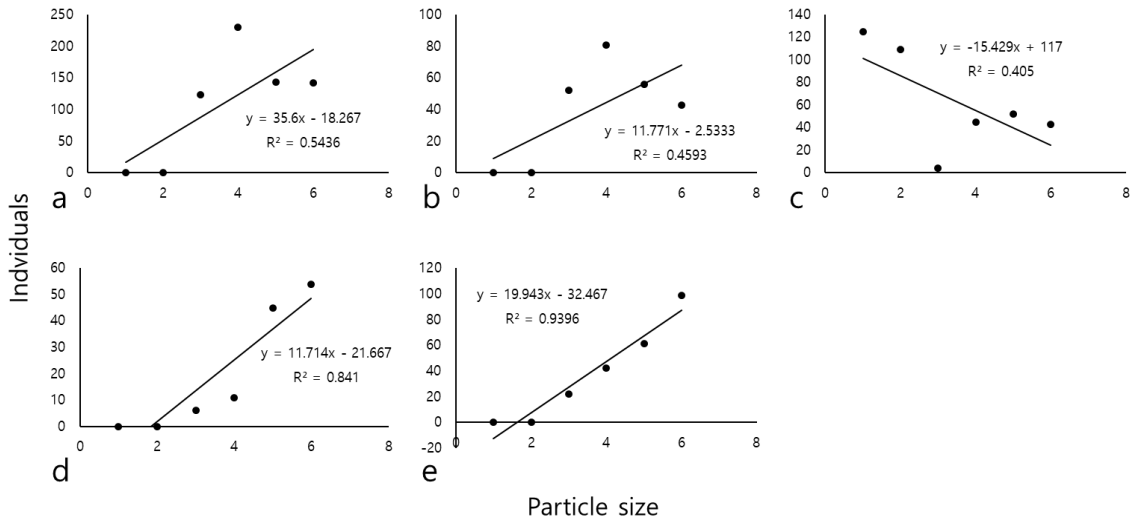
멸종위기 야생생물 II급인 기수갈고등은 조사 중 St. 3에서만 확인되었다. 기수갈고등은 멸종위기종으로 채집이 불가하여 4  $m^2$ 의 조사 면적 내에서 개체수를 확인하여 기록하였다. St. 3에서 관찰한 기수갈고등의 개체는 대체로 조사지점 내에서 확인되었으나 2023년 가을에는 조사지점뿐만 아니라 인근에서 2개체가 확인되어 이 시기의 결과는 포함하지 않았다.

기수갈고등은 염도 범위가 0~25‰인 기수역에 서식하는 것으로 밝혀져 있으며(Kobayshi and Keiji, 2002; Lee et al., 2018; Han et al., 2021), 큰 돌 및 자갈에 붙어서 서식하는 생태적 특성을 가진다(Noseworthy et al., 2012). 또한 기수갈고등은 이러한 하상재료에 알을 붙이는 특성을 가져 하상구조는 기수갈고등의 서식에 중요한 요소이다. 한국산 기수갈고등 분포와 생태에 관한 연구에서는 기수갈고등 출현지역의 염도 범위는 0.7 ~ 17.3%, 하상재료는 세립질보다는 자갈, 호박돌 등의 면적이 넓은 하상재료 비율이 높은 곳에서 개체밀도가 높다고 보고하였으며(Han et al., 2021), 남해안 연초천에 서식하는 기수갈고등에 대한 조사에서는 0 ~ 25%의 염도 범위에서 서식하고 염도가 높을수록 개체수는 줄어들었다고 한다. 또한 입경 19 ~ 75 mm의 큰 돌의 비율이 높아질수록 기수갈고등의 개체밀도가 높아진다고 보고하였다(Lee et al., 2018).

본 연구에서 입경 64 mm 이상의 하상이 55%로 가장 높은 비율을 차지하는 St. 3에서만 기수갈고등이 출현하였다. 그러나 인근의 St. 2에는 이러한 큰 돌의 비율이 낮으며, 염도 변화의 폭이 너무 크기 때문에 기수갈고등의 서식에 적합하지 않은 것으로 보인다. 또한 St. 4나 유입 하천도 입경 64 mm 이상의 저질이 40% 정도의 비율을 차지하였으나 이 조사지점들은 염도가 0으로, 기수갈고등의 서식에는 적합하지 않은 것으로 보인다. St. 3은 입경이 큰 하상 입자의 비율이 높으며 염도의 범위가 0.8 ~ 5.5 ppt로 나타나, 기존 연구에서 보고된 기수갈고등의 서식 범위에 포함되므로 전체 조사지점 중 가장 적합한 서식지로 확인되었다(Fig. 7).

## 3.7. 한국산 주걱벌레붙이목의 1미기록

2023년에 경상남도 고성군 거류면 거산리에 소재한 마동호습지에서 채집된 주걱벌레붙이목(Tanaidacea), 주걱벌레붙이과(Tanaididae)의 표본 중 한국 미기



Graph	Species	R <sup>2</sup>	R	P-Value
a	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i>	0.5436	0.737	.094
b	<i>Hediste japonica</i>	0.4593	0.678	.139
c	<i>Jesogammarus koreaensis</i>	0.4050	0.636	.174
d	<i>Assiminea lutea</i>	0.8410	0.917	.010*
e	<i>Neomysis awatschensis</i>	0.9396	0.969	.001**

Variable	Non-standardized coefficients		standardized coefficients	t(p)	F(p)	R <sup>2</sup>
	B	SE	$\beta$			
<i>Assiminea lutea</i>	-21.667	9.917		-2.185		
salinity	11.714	2.546	.917	4.600*	21.162*	.841

Variable	Non-standardized coefficients		standardized coefficients	t(p)	F(p)	R <sup>2</sup>
	B	SE	$\beta$			
<i>Hediste japonica</i>	-32.467	9.844		-3.298		
salinity	19.943	2.528	.969	7.889**	62.244**	.940

\* p<.05, \*\* p<.01, \*\*\* p<.001

Fig. 9. Analysis of the relationship between riverbed materials and brackish water species.

록 1종, *Sinelobus kisui*가 확인되어 보고하는 바이다.

*Sinelobus kisui* Hirano & Kakui, 2022  
기수주걱벌레붙이(국명신청) (Fig. 10 and Fig. 11)

*Sinelobus stanfordi*: Ariyama et Ohtani, 1990,  
(p. 25-26, fig. 2-5); Kakui, 2016, (p. 610).

*Sinelobus* sp. 1: Kakui et al., 2011, (p. 751);  
Kakui et al., 2012, (p. 128-129, fig. 1D).  
*Sinelobus* sp.: Kaji et al., 2016, (p. 3-8, fig. 1-5);  
Kakui et al., 2021, (p. 3).  
*Sinelobus kisui*: Hirano et Kakui, 2022,  
(p.245-256, fig. 2-6).

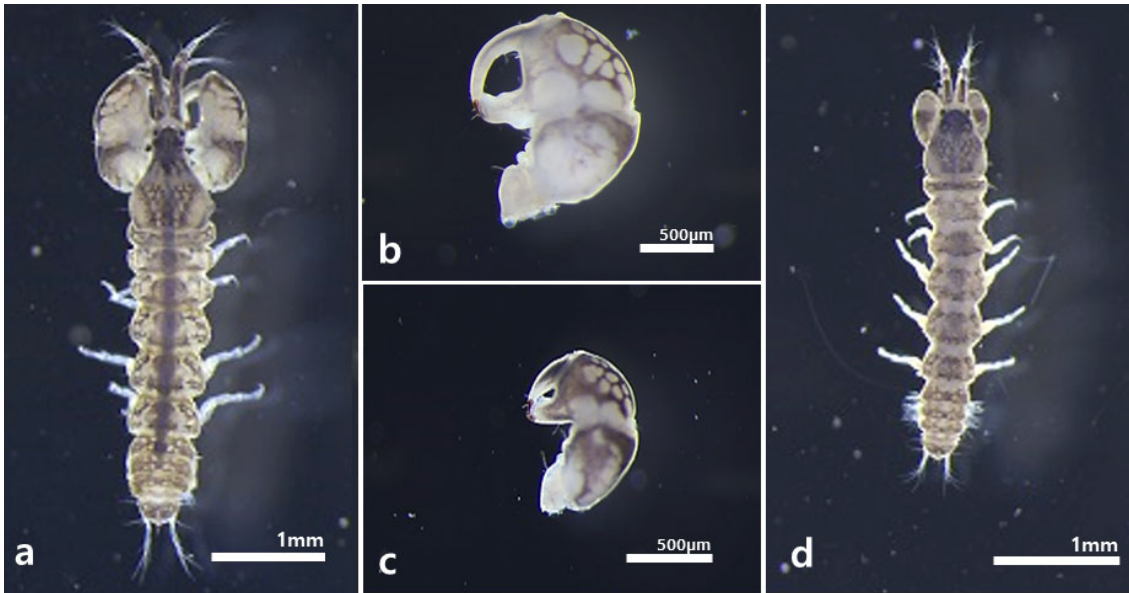


Fig. 10. *Sinelobus kisui*, male dorsal(a), right male chelipad dorsal(b), right female chelipad dorsal(c)and female dorsal(d).

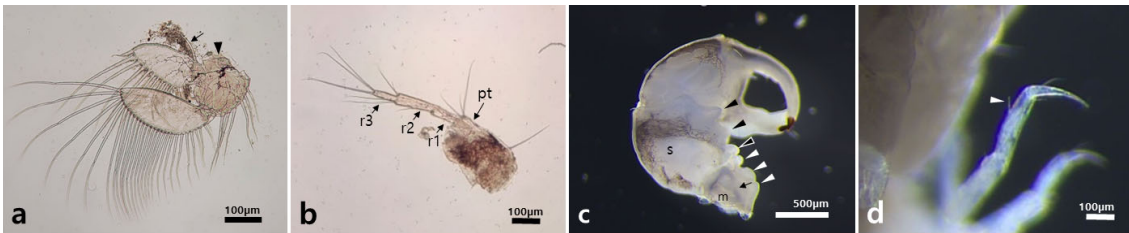


Fig. 11. Significant characteristics of *Sinelobus kisui*. a: 1<sup>st</sup> Pleopod(male, left) with a single hair(arrow) on the endopodite and without inner plumose seta on the protopod(arrowhead). b: Uropod(male, right) with protopod(pt) and three segments of ramus(r1~r3). c: Inner view of male right cheliped. Merus(m) and carpus(s) with three ventral processes (arrowheads), respectively. Inner broad thickening on merus indicated by an arrow. d: Propodus of 1<sup>st</sup> pereopod with one middle seta(arrowhead).

두홍갑의 앞쪽 1/3은 색이 진하며 두홍갑을 포함한 몸의 전체 등면에는 망상의 짙은 색 패턴이 있다. 수컷의 두홍갑에는 대각선의 띠무늬가 뚜렷하며 수컷의 체장은 두홍갑(Carapace)의 선단부에서 복부(Pleon) 말단까지 3.0~3.6 mm이며 체장은 체폭(두홍갑폭)의 4.72 배 정도이다. 암컷의 체장은 2.6~3.3 mm이며 체장은 체폭의 5.63 배 정도이다. 6쌍의 홍지(Pereopods) 중 제 1홍지의 전절(Propodus)에는 중간부에 강모가 1개 있다. 수컷의 집게발(Cheilped)은 장절(Merus)의 외측 등면에 1개, 배쪽에 1개의 강모가 있다. 완절(Carpus)

의 내측에 3개의 돌기가 있으며 장절의 내측에도 3개의 돌기가 있다. 3쌍의 복지(Pleopods) 중 제1복지의 원절(Protopod)에는 외측에 6개의 긴 강모가 있고 내측에는 강모가 없다. 내측지(Endopodite)에는 안쪽에 강모가 하나뿐이고 외연에 긴 강모가 14개 있다. 복지의 외측지(Exopodite)는 내측지보다 길며 긴 강모가 29개 있다. 미지(Uropod)는 한마디의 원절(Protopod)과 3마디의 지절(Ramus)로 이루어져 있고 원절에는 외측에 4개의 강모가 있으며 제1지절에는 강모가 없다. 제2지절은 가장 길고 중간부에 하나의 강모와 원위부에 2

개의 강모가 있다. 제3지절은 중간부에 하나의 강모와 원위부에 4개의 길다란 강모가 있다.

- 분류학적 위치: Tanaidacea(주걱벌레붙이목) > 주걱벌레붙이과(Tanaididae), Nobili, 1906 > *Sinelobus* Sieg, 1980
- Remarks: *Sinelobus*는 굴을 파고 사는 기수역 서식 군으로 플랑크톤성 유생 단계를 갖지 않고 직접 발생하는 갑각류이다(Hirano and Kakui, 2022).
- 몸길이 : 암컷: 3.0~3.8 mm , 수컷: 3.1~4.0mm
- 분포: 일본, 한국의 기수역
- 서식환경: 기수습지(조사당시 서식지 염도 7.7 ppt, pH 7.2, 수온 14.9℃, 용존산소량 16.85mg/L)
- 관찰표본: 성체 : 7♀, 7♂, 경상남도 고성군 (35° 01' 02.9" N, 128° 22' 01.1" E), 17-III-2023, Han, Hyeon-Woo, Lee, Seoung-Hyeon, Yoon, Chun-Sik, Cheong, Seon-Woo.

종합적으로 고려하였을 때, 현재 마동호 습지보호지역 인근에서는 여러 가지 공사와 개선 사업이 진행 중이므로 추가적인 연구와 지속적인 모니터링이 필요하다. 강우와 담수 유입의 증가로 20203년 가을에는 습지보호지역 내 염도가 급증하였으며 조사 기간 내 보호지역에서 거의 나타나지 않던 하루살이목, 노린재목, 딱정벌레목 등 곤충강이 증가하고 기수종은 감소하였다. 이때 다양도와 풍부도는 다른 시기에 비해 상승하였으며 마동호 습지보호지역의 저서성 대형무척추동물상은 해수의 유입보다 유입 하천을 통한 담수의 유입과 강우에 더 큰 영향을 받는 것으로 생각되며, 특히 인위적 간섭과 교란이 가장 많은 St. 1에서는 유입수가 증가하여 염도가 낮아진 시기에 용존산소량이 매우 낮아지는 현상을 보였다. 이러한 점들로 미루어 보았을 때, 마동호 습지보호지역의 환경요인과 저서 생물상에 인위적 간섭과 교란, 담수의 유입이 지대한 영향을 끼치는 것으로 보이며, 생태계의 보전을 위해서 마동호 습지보호지역 뿐 아니라 유입 하천에 대해서도 지속적인 관리가 필요할 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

마동호 습지는 간척지에 농업용수를 공급하기 위해 인위적으로 조성한 기수습지로 2022년 습지보호구역으로 지정되었으나 향후 보호지역의 기초자료로 활용될 전반적인 생물학적 조사자료는 부족하다. 본 연구에서는 마동호의 보호지역과 유입하천에 대하여 2022년부터 2023년까지 겨울을 제외한 계절에 대하여 저서성 대형무척추동물 군집분포를 조사하였다. 2년간 6개 조사지점에서 7강 23목 51과 78종 3,582개체의 저서성 무척추동물을 확인하였다. 우점종은 낙동간벌레(*Gnorimosphaeroma naktongense*), 아우점종은 새뱅이(*Caridina denticulata denticulata*)로 점유율은 각각 17.84%와 13.32%였다. 섭식기능군에서는 잡아먹는 무리와 주위먹는 무리가 가장 풍부하였고, 서식습성군에서는 기는 무리가 가장 다양하고 개체수가 많은 것으로 나타났다. 생물지수는 다양도, 풍부도 우점도, 균등도를 산출하였으며 다양한 생물학적 수질평가지수를 적용하였다. 습지보호지역에서는 생태점수가 A~E 등급을 나타냈고, 군오염지수는 II ~ III, 하구저서성 대형무척추동물 평가지수는 A~D의 범위로 나타났다. 유입 하천에서는 생태점수, 저서생물지수, 생물학적 모니터링 작업그룹지수가 C~D 등급으로 나타났으며, 한국 오수생물지수는 II~V 범위, 군오염지수는 2~3의 범위로 나타났다. 분류군별 평균점수는 오염의심~심각한 오염예상의 범위로 나타났다. 상대적 저항력과 상대적 회복력의 평가에서는 유입하천의 곤충들이 대부분 그룹 I에 속하여 군집안정성이 높은 것으로 나타났다. 염도 및 저질입경과 기수종의 상관관계를 각각 분석한 결과, 낙동간벌레와 참갯지렁이(*Hediste japonica*)는 염도와 유의한 양의 상관관계를 나타냈으며, 쏘기수우렁이(*Assiminea lutea*)와 곤쟁이(*Neomysis awat-schensis*)는 저질 입경과 유의한 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 마지막으로, 2023년 마동호습지에서 채집된 주걱벌레붙이과의 표본에서 *Sinelobus kisui*가 확인되어 한국 미기록종, 기수주걱벌레붙이(국명신청)로 보고하였다.

#### 감사의 글

이 논문은 2023~2024년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구 결과임.

REFERENCES

- Arimoro, F. O., Muller, W. J., 2010, Mayfly (Insecta: Ephemeroptera) community structure as an indicator of the ecological status of a stream in the niger delta area of Nigeria., *Environ. Monit. Assess.*, 166, 581-594.
- Ariyama, H., Ohtani, M., 1990, Record of Tanaidacean crustacea *Sinelobus stanfordi* (Richardson) from the Yodo River in Osaka, *Nanki Seibutsu*, 32, 23-26.
- Bae, K. S., Yoon, I. B., 1989a, Ecological studies of benthic macroinvertebrates in Naktong estuary, Korea, *Korean J. Limnol.*, 22, 337-356.
- Bae, K. S., Yoon, I. B., 1989b, Study on the environmental characteristics and dynamics of benthic macroinvertebrates in Naktong estuary, *Korean J. Limnol.*, 22, 11-27.
- Batzer, D. P., Sharitz, R. R., 2014, Ecology of freshwater and estuarine wetlands, Univ of California Press, California, 1-372.
- Ben, J. K., Phil, J. P., Dayanthi, N., 2003, Relative salinity tolerance of macroinvertebrates from the Barwon River, Victoria, Australia, *Mar. Freshw.*, 54, 755-765.
- Chapman, D., 1996, Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring, 2<sup>nd</sup> ed., Cambridge University Press, Cambridge, 182-245.
- Chun, D. J., Ro, T. H., 2004, Functional feeding group categorization of Korean immature aquatic insects and community stability analysis, *Korean J. Limnol.*, 37, 137-148.
- Cummins, K. W., 1962, An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters, *Am. Midl. Nat.*, 67, 477-504.
- Cummins, K. W., Klug, M. J., 1979, Feeding ecology of stream invertebrates, *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 10, 147-172.
- Gyeongsangnamdo Ramsar Environmental Foundation, 2012, Status survey report to increase the value of Madongho, Gyeongsangnamdo Ramsar Environmental Foundation, Korea.
- Han, S. P., Hwang, I. C., Kwon, S. J., 2021, Studies on distribution and ecology of *Clithon retropictus* (Martens, 1879) in South Korea, *J. Wetl. Res.*, 23, 317-326.
- Hirano, K., Kakui, K., 2022, A New brackish Tanaidacean, *Sinelobus kisui* sp. nov. (Crustacea, Peracarida, Tanaidacea), from Japan, with a key to *Sinelobus* species and barcode information from two loci, *Zoosyst. Evol.*, 98, 245-256.
- Jung, K. S., 2011, Odonata larvae of Korea, 1st ed., Nature and Ecology, Seoul, 106-399.
- Jung, S. W., Nguyen, V. V., Nguyen, Q. H., Bae, Y. J., 2008, Aquatic insect faunas and communities of a mountain stream in Sapa highland, northern Vietnam, *Limnol.*, 9, 219-229.
- Kaji, T., Kakui, K., Miyazaki, N., Miura, K., Palmer, A. R., 2016, Mesoscale morphology at nanoscale resolution: Serial block-face scanning electron microscopy reveals fine 3d detail of a novel silk spinneret system in a tube-building Tanaid crustacean, *Front. Zool.*, 13, 1-9.
- Kakui, K., 2016, Review of the taxonomy, diversity, ecology, and other biological aspects of order Tanaidacea from Japan and surrounding waters, in: Motokawa, M., Kajihara, H. (eds.), *Species Diversity of Animals in Japan*, Springer, Berlin, 603-627.
- Kakui, K., Fleming, J. F., Mori, M., Fujiwara, Y., Arakawa, K., 2021, Comprehensive transcriptome sequencing of Tanaidacea with proteomic evidences for their silk. *Genome Biol. Evol.*, 13, 1-11.
- Kakui, K., Katoh, T., Hiruta, S. F., Kobayashi, N., Kajihara, H., 2011, Molecular systematics of Tanaidacea (Crustacea: Peracarida) based on 18S sequence data, with an amendment of sub-order/superfamily-level classification. *Zool. Sci.*, 28, 749-757.
- Kakui, K., Kobayashi, N., Kajihara, H., 2012, Phylogenetic position of *Arctotanais* in the suborder Tanaidomorpha (Peracarida: Tanaidacea). *J. Crust. Biol.*, 32, 127-139.
- Kawai, T., Tanida, K., 2005, Aquatic insects of Japan : manual with keys and illustrations, 1st ed., Tokai University Press, Kanagawa, 31-1276.
- Kim, A. R., Oh, M. W., Kong, D., 2013, The influence of sample size on environment assessment using benthic macroinvertebrates, *J. Korea water resour. Assoc.*, 29, 790-798.
- Kobayashi, S., Keiji, I., 2002, Distribution and spatio-temporal variation in the population structure of the fluvial Neritid gastropod *Clithon retropictus*, *Benthos Res.*, 57, 91-101.
- Kong, D. S., Park, Y. J., Jeon, Y. R., 2018, Revision of ecological score of benthic macroinvertebrates community in Korea, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 34, 251-269.
- Kong, D. S., Won, D. H., Park, J. H., Kim, M. C., Ham, S. A., Kwon, S. J., Son, S. H., Han, S. C., Hwang, I. C., Lee, J. K., Lyu, D. H., Lee, S. H., Park, S. J., Yu, K. A., Kong, H. Y., 2013, Benthic macroinvertebrate ecology guide, 1<sup>st</sup> ed., Jeonghaengsa, Seoul, 21-473.
- Kwak, S. G., Jeon, D. S., Choi, M. Y., Shin, E. S., Lee, C. W., 2021, Tidal wetland protection area designation planning service, Goseong-gun, Korea.
- Kwon, S. J., Jun, Y. C., Park, J. H., 2013, Underwater creature book, 1st ed., Nature and Ecology, Seoul,

- 24-771.
- Lee, B. K., Lee, C. R., Jeong, S. J., Kim, B. K., Jeong, J. H., Park, H. K., Jeong, W. O., 2013, Distribution and change of *in situ* suspended particulate matter at the streams of Geum River using LISST-100X. *J. Nat. Park Res.*, 4, 156-163.
- Lee, S. D., Kim, M. J., Kim, J. S., 2018, Ecological characteristic of *Clithon retropictus* inhabiting in Yeoncho River in southern coastal area, *Korean J. Environ. Evol.*, 32, 591-602.
- Lee, S. M., Lee, D. J., Seo, J. H., 2017, Setting ecological goals and success criteria items for ecological restoration projects : Focusing on the coastal restoration projects, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 20, 12-17.
- Lim, S. H., Jung, H. C., Lee, M. H., Lee, S. W., Moon, J. S., Kwon, S. H., Won, D. H., 2022, Benthic macroinvertebrates inhabiting estuaries in sea area and relationship with major drivers of change in estuaries, *Korean J. Ecol. Environ.*, 55, 10-18.
- 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, 168-169.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., Berg, M. B., 2008, An Introduction to the aquatic insects of North America, Kendal Hunt Publishing Company, Iowa, 107-108.
- National Institute of Biological Resources, 2022, National list of species of Korea, <https://species.nibr.go.kr/ind ex.do>.
- National Institute of Ecology, 2019, Guidelines for the 5th National Natural Environment Survey, Ministry of Environment, Korea.
- Noseworthy, R. G., Mondol, M. R., Ju, S. J., Choi, K. S., 2012, The occurrence of *Clithon retropictus* (von Martens in Kobelt, 1879, Gastropoda: Neritidae) in Jeju Island, *Korean J. Malacol.*, 28, 81-90.
- Pielou, E. C., 1975, Species-diversity and pattern diversity in the study of ecological succession, *J. Theor. Biol.*, 10, 370-383.
- Ro, T. H., 2002, Resilience and resistance of biological community : Application for stream ecosystem health assessment, *J. Environ. Policy*, 1, 91-110.
- 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., 1964, The mathematical theory of communication, 10<sup>th</sup> ed., Univ. Illinois Press, Urbana, 14-16.
- Tiner, R. W., 2017, Wetland indicators, a guide to wetland formation, identification, delineation, classification, and mapping, 2<sup>nd</sup> ed., CRC Press, Florida, 63-132.
- Ward, J. V., 1992, Aquatic insect ecology, John Wiley & Sons, New York, 5-55.
- Williams, M., 1993, Wetlands: A Threatened landscape, 1st ed., Wiley-Blackwell, New Jersey, 2-41.
- Won, D. H., Jun, Y. C., Kwon, S. J., Hwang, S. J., Ahn, K. G., Lee, J. K., 2016, Development of Korean saprobic index using benthic macroinvertebrates and its application to biological stream environment assessment, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 22, 768-783.
- Won, D. H., Kwon, S. J., Jun, Y. C., 2005, Aquatic insects of Korea, 1<sup>st</sup> ed., Korea Ecosystem Service, Seoul, 11-363.
- Yoo, J. W., Lee, C. L., Park, M. R., Yoon, J. H., Kang, S. R., 2019, Relationship between environmental factors and macrobenthos assemblages in Geum estuary tidal-flat, *J. Wetl. Res.*, 21, 84-94.
- Yoon, I. B., 1995, Aquatic insects of Korea, 1<sup>st</sup> ed., Junghaengsa, Seoul, 5-237.
- Yoon, I. B., Bae, K. S., Bae, Y. J., Aw, S. J., Kim, K. H., 1986, A Study on the benthic macroinvertebrate community structure according to the four seasons in the Naktong estuary, *Korean J. Limnol.*, 19, 19-38.
- Yoon, I. B., Kong, D. S., Ryu, J. K., 1992, Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (1) Saprobic valency and indicative value, *Korean J. Environ. Biol.*, 10, 24-39.

- 
- Graduate student. Hyeon-Woo Han  
Department of Biology & Chemistry, Changwon National University  
gusdn9609@naver.com
  - Graduate student. Seung-Hyeon Lee  
Department of Biology & Chemistry, Changwon National University  
aplsh419@daum.net
  - Researcher. Chun-Sik Yoon  
Department of Biology & Chemistry, Changwon National University  
biobioy@naver.com

- 
- Researcher. Sung-Jin Hong  
Nakdong River Basin Environmental Office  
s2228j@korea.kr
  - Professor. Seon-Woo Cheong  
Department of Biology & Chemistry, Changwon National University  
swcheong@changwon.ac.kr