

ORIGINAL ARTICLE

저서성 대형무척추동물 군집자료분석에 의한 우포늪의 생태계변화 평가

황태원 · 배성우 · 윤춘식 · 홍성진¹⁾ · 정선우*

창원대학교 생물학·화학융합학부, ¹⁾낙동강유역환경청

Evaluation of Ecosystem Changes in Upo Wetland through Analysis of Benthic Macroinvertebrate Community Data

Tae-Won Hwang, Seong-Woo Bae, Chun-Sik Yoon, Sung-Jin Hong¹⁾, Seon-Woo Cheong*

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

¹⁾Nakdong River Basin Environmental Office, Changwon 51439, Korea

Abstract

The community structure of benthic macroinvertebrates in Upo wetland was identified, and the biological water quality was evaluated. In addition, through statistical analysis of current and literature data, ecological changes over time were evaluated for each wetland. Benthos were quantitatively collected in March, June, and September of 2020 and 2021, and 4 phyla, 5 classes, 16 orders, 42 families, 81 species and 3,406 individuals were identified. In the functional feeding group of Upo wetland, predators were dominant with 34 species (45.95%) and 1,504 individuals (41.84%). In the habitual dwelling group, sprawlers and swimmers showed the highest proportion in the number of species and individuals. Average biological indices in Mokpo and Upo were the highest and lowest, respectively, and it is considered that Mokpo maintains the healthy ecosystem for benthic macroinvertebrates. Community stability was high in Upo, and other wetlands are thought to be stabilizing. The ecological score of benthic macroinvertebrate community is considered to be more suitable index among three biological water quality evaluation indices for the environmental evaluation of Upo wetland. The evaluation results on changes in environmental quality showed that Upo has stable ecosystem without significant change, Mokpo and Sajipo have significant increases in some indices.

Key words : Upo wetland, Benthic macroinvertebrates, Community stability, Assessment of biological environmental quality, Assessment of ecosystem change

1. 서론

습지는 육상생태계와 수생태계 사이의 전이대 역할을 하고 있어 종 다양성이 높은 서식공간이자 가장 비옥하고 생산적인 생태계이며 다양한 생태적 기능을 제공한다(Mitsch and Gosselink, 1993; Mulamootil et

al, 1996). 본 연구의 대상지인 우포늪은 경상남도 창원군 유어면, 이방면, 대합면, 대지면의 4개 면에 걸쳐 있는 국내 최대의 내륙습지이자 자연습지이다. 우포늪은 배후습지로서 후빙기의 해수면 상승에 의한 분류의 운반퇴적물로 인하여 생성된 자연제방에 의해 형성되었다(Ministry of Environment, 2002).

Received 7 January, 2023; Revised 5 February, 2023;

Accepted 8 February, 2023

*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.

본 논문은 2022년도 창원대학교 석사학위논문 자료로 바탕으로 작성되었음.

우포늪의 생태학적 중요성이 인식되면서 우포늪의 이화학적 수질 변화나 유역의 비점오염원에 대한 연구 (Seo, 2009; Lee and Lee, 2009)와 식물, 플랑크톤, 저서성 대형무척추동물 등의 생물상에 관련된 연구가 이루어졌다(Oh et al., 2004; Ahn, 2009; Lee et al., 2009). 특히, 우포습지의 생물상에 관한 연구 중 저서성 대형무척추동물에 대한 장기모니터링이 있었으며, 이를 기반으로 한 저서성 대형무척추동물 군집 변동패턴을 분석한 연구가 보고된 바 있다(Lee, 2011; Lee et al., 2011).

저서성 대형무척추동물은 종다양성과 개체수 현존량이 높아 습지생태계의 생물 다양성을 대표하며 편형동물, 환형동물, 갑각류, 수서곤충 및 연체동물을 포함하는 큰 분류단위로서 영양단계의 중추적 역할을 하므로 담수생태계에서 중요한 위치에 있다(Allan, 1995; Yoon, 1995). 저서성 대형무척추동물은 서식지 선호도가 뚜렷하고, 환경 내에서 이동성이 낮아 쉽게 채집이 된다. 이들은 다양한 분류군으로 이루어져 있으며 일부는 다양한 오염물질과 스트레스에 민감하게 반응하여 담수생태계의 종합적인 수질상태를 평가하는데 자주 사용되어 왔다(Carr and Neary, 2006).

저서성 대형무척추동물의 서식지는 세분되어있고 높은 다양성을 가지고 있어 이들의 역할을 연구하기는 쉽지 않다. 하지만 이들을 분류학적 단위로 구분하고 오탁계급치, 상대적 저항력과 회복력 등 점수를 부여하여 수질을 평가할 수 있는 다양한 방법들이 개발되었으며 (Ro, 2002; Won et al., 2006; Kong et al., 2018) 분류학적 범위를 넘어서 생태적 기능단위인 섭식기능군과 서식습성군으로 재구성하여 담수생태계가 가진 고유의 물리적 특성과 지역성, 인위적인 간섭의 정도를 계량화하여 나타내는 시도 또한 행해진 바 있다 (Cummins and Klug, 1979; Ro and Chun, 2004; Merritt et al, 2008).

과거 우포늪에서 진행된 저서성 대형무척추동물 연구는 분포상태에 관한 생태모니터링 중심으로 이루어졌으며(Lee et al., 2009; Lee, 2011, Lee et al., 2011, Kim et al., 2016), 다양한 생물학적 수질평가에 대한 자료는 미흡한 실정이다. 실제로 우포늪은 자연환경보전법 제 12조에 의해 1997년 생태·경관보전지역으로 지정되어 있으며 1999년습지보호지역으로 지정되어 관리되고 있다. 이러한 제도적 노력에 의해 우포늪의 환경이 어느 정도 개선되었는지 또는 보전되고 있

는지에 관한 평가나 측정은 쉽지 않을 것이므로 우리는 이를 위한 최소한의 기준이 될 수 있는 생물학적 평가를 시도하였다.

본 연구에서는 먼저, 우포늪 일대의 저서성 대형무척추동물의 분포현황을 파악하고 습지생태계에 대한 생물학적 수질평가를 위해 우포, 목포, 사지포, 쪽지벌 4개 조사지점에서 군집분포를 조사하였다. 정량조사 자료를 바탕으로 생물지수를 산출하고 다양한 생물학적 환경지수를 산출했으며 조사지점별로 군집안정성을 평가하였다. 그리고 지난 16년간 우포늪의 생물학적 수질 환경은 어느 정도 변화가 있었는지 평가하기 위해 본 연구에서 한 조사 외에도 2006년부터 2014년까지의 우포늪 저서성 대형무척추동물의 선행연구 데이터를 생물지수와 생물학적 수질분석에 포함하였다. 마지막으로 2006년부터 최근까지의 저서성 대형무척추동물의 분포자료를 통계적으로 분석하여 우포늪 각 습지의 생태계가 지난 16년간 유의미하게 변화하였는지 알아보았다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지점 및 조사기간

우포늪은 경상남도 창원군 이방면과 대합면에 소재하며 낙동강지류인 토평천이 유입하여 우포, 목포, 사지포, 쪽지벌의 4개 습지를 이루고 있다. 본 연구에서는 습지별 저서성 대형무척추동물의 분포를 조사하고 이를 바탕으로 우포늪의 장기 환경변화를 평가하였다.

습지별 개황을 보면, 먼저 우포는 경상남도 창원군 이방면 안리에 소재하며 조사지점의 지리적 좌표는 북위 35° 33' 35" N, 동경 128° 24' 53" E이다. 우포늪의 중앙에 있으며 가장 넓은 면적을 차지한다. 조사지점은 소목나루터 근방으로 수심은 15 cm 내외이고 유속이 거의 없으며 기질은 대부분 진흙으로 이루어져 있다. 수변부에는 매자기(*Scirpus maritimus*)와 줄(*Zizania latifolia*) 등의 정수식물들이 군락을 이루고 있고 수면에는 전체적으로 마름(*Trapa natans* var. *bispinosa*)이 우점하고 있으며 수변부로 갈수록 개구리밥(*Spirodela polyrhiza*)과 생이가래(*Salvinia natans*), 노랑어리연(*Nymphoides peltata*)이 풍부하게 분포한다. 가을에는 부유식물과 부엽식물이 줄어들어 개방수면이 넓어진다.

목포는 경상남도 창원군 이방면 안리에 위치하며 조

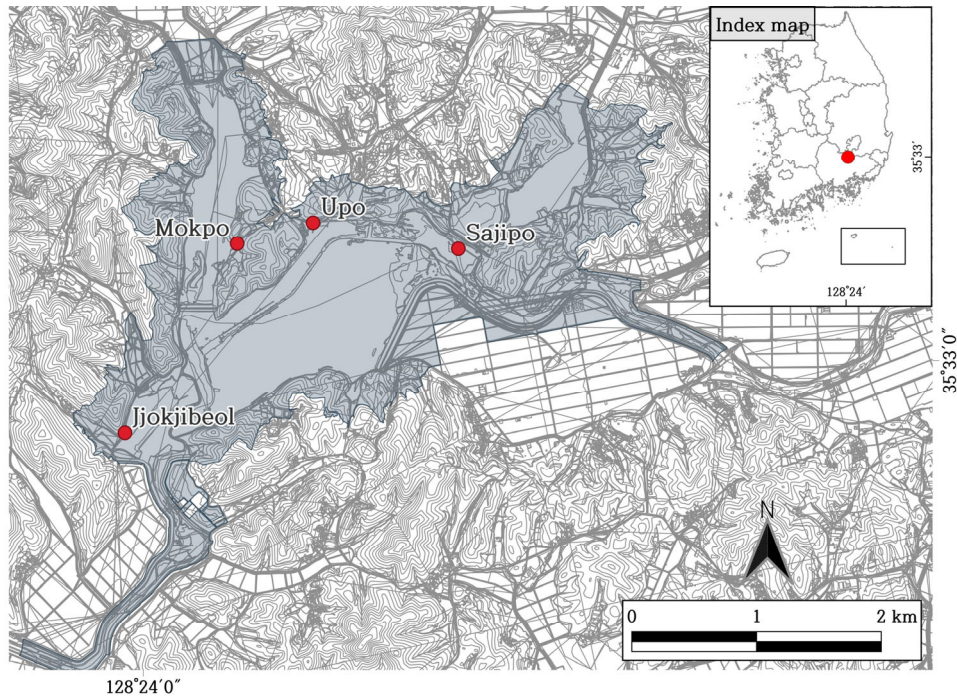


Fig. 1. Survey sites of benthic macroinvertebrates at Upo wetland in 2020 and 2021.

사지점의 지리적 좌표는 북위 35° 33' 29" N, 동경 128° 24' 30" E이다. 우포늪의 습지들 중 두 번째로 넓으며 북서쪽에 위치한다. 조사지점은 목포와 우포를 연결하고 있는 목포제방에서 북서쪽 약 500 m 정도 떨어진 곳으로 왜가리 집단번식지 근방이다. 조사지점의 수심은 50 cm 내외이며 유속이 거의 없고 기질은 진흙과 자갈로 이루어져 있다. 수변부에는 매자기와 줄, 갈대(*Phragmites australis*), 왕버들(*Salix chaenomeloides*) 등이 분포하며 수면에는 마름이 우점하고 개구리밥과 생이가래가 산재하고 있다.

사지포는 경상남도 창원군 대합면 소아리에 위치하며 조사지점의 지리적 좌표는 북위 35° 33' 39" N, 동경 128° 26' 14" E이다. 우포늪의 북동쪽에 있으며 우포와는 인공제방과 수문을 통해 연결되어 있다. 조사지점은 사지포의 동남쪽이며 유입부인 토평천과 유출부인 사지포제방 수문의 중간지점으로 호안의 경사가 급하다. 물의 흐름은 거의 없고 수심은 50cm 내외이며 기질은 진흙과 모래로 이루어져 있다. 여름에는 수면의 대부분을 마름이 덮고 있으며 가을에는 부유식물과 부엽식물이 줄어들어 개방수면이 넓어진다. 사지포의 중심부에는

연꽃(*Nelumbo nucifera*) 군락이 대규모로 분포하고 있고 수변부에는 줄군락이 넓게 발달하고 있다.

쪽지벌은 경상남도 창원군 이방면 옥천리에 있으며 조사지점의 지리적 좌표는 북위 35° 32' 40" N, 동경 128° 23' 54" E이다. 우포의 남서쪽에 있으며 우포늪의 습지 중에서 가장 작은 면적을 차지한다. 우포에서 낙동강으로 유출되는 수로가 근방에 있으며 강수량에 따른 수면면적의 변화가 다른 지역에 비해 큰 편이다. 조사지점의 수심은 10cm 내외이며 유속은 거의 없다. 호안의 경사가 급하고 기질은 두꺼운 진흙층으로 이루어져 있으며 식물잔사가 많다. 하상이 평탄하고 얕은 수심을 가지고 있어 줄 등의 정수식물과 가시연꽃(*Euryale ferox*), 마름 등의 부엽식물이 혼재하고 있다.

각 서식지의 분포식물을 동정하기 위해 Ko and Kim(1988), Cho(1989), Lee(2003), Jung and Park(2014)를 참고하였다.

저서성 대형무척추동물의 서식현황을 파악하기 위하여 2020년과 2021년에 봄(3월), 여름(6월), 가을(9월)의 3계절에 총 6회의 현장조사를 하였다(Fig. 1).

2.2. 조사방법 및 분류

조사시기에 따른 습지별 저서성 대형무척추동물의 종 수와 개체수를 비교하고 생물지수를 산출하기 위해 정량조사를 하였다. 우포습지 일대의 각 조사지점은 물의 흐름이 거의 없는 정수생태계로 제3차 전국자연환경 조사지침에 따라 D frame-net(폭 50 cm, 높이 30 cm, 망목 0.2 × 0.2 mm)을 이용하여 각 조사지점 수변부와 수생식물군락이 있는 미소서식처를 4개 선정하여 각각 2 × 2 m에 해당하는 면적을 끌어 채집하였다. 채집된 저서성 대형무척추동물은 Kahle's solution으로 1일간 고정하고, 70% 에틸알코올에서 보관 및 동정하였다(Ward, 1992). 표본의 분류는 Kawai and Tanida(2005), Won et al. (2005), Jung(2011), Kong et al.(2013), Kwon et al.(2013) 등을 참고하였으며 상기의 분류방법으로 동정하지 못한 종은 sp.로 하였다. 분류체계와 학명은 National Institute of Biological Resources(2021)를 따랐다.

2.3. 생물학적 환경평가

정량채집된 저서성 대형무척추동물을 동정하여 분포현황, 출현종, 주요종을 파악하였으며 이를 기반으로 우포늪의 습지별 세 가지 주요 생물학적 환경평가 지수를 산출하였다. 지수산출은 정수생태계의 환경평가에 가장 적합한 지수를 우선으로 하였다. 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., 1992a). 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.

2.4. 생물지수 및 생태계 변화평가

생물지수는 Shannon and Weaver(1949)에 의한

다양도(Diversity index, H'), Margalef(1958)에 의한 풍부도(Richness index, RI), McNaughton(1967)에 의한 우점도(Dominance index, DI), Pielou(1975)에 의한 균등도(Evenness index, J'), 우점종의 개체수에 대한 종별 개체 수를 백분율(%)로 나타낸 상대밀도(Relative density, RD)를 계산하였다.

우포늪은 정수생태계로 유수생태계와는 달리 잠자리목(Odonata), 노린재목(Hemiptera), 딱정벌레목(Coleoptera)(이하 OHC군)의 개체수가 환경변화를 민감하게 반영하므로, 생물다양성을 유지하는 데 있어 중요한 내적 요인이 될 수 있다(Kim, 2015). 이 논문에서는 이들 주요 출현군에 관한 우포늪의 습지별 분포변화를 조사하였다.

또한 본 연구자료와 우포늪의 과거 연구자료를 함께 분석하여 16년간 우포늪의 점진적인 생태계 변화양상을 평가하였다. 기존 자료는 2006년부터 2011년(Lee, 2011), 2011년부터 2014년까지(Kim, 2015)로 하였으며, 본 연구의 우포, 목포, 사지포에서 2020년과 2021년에 저서성 대형무척추동물의 분포를 조사한 자료를 추가하였다. 본 조사와 공통 습지는 우포, 목포, 사지포의 세 곳이며 2006년~2007년(A), 2013년~2014년(B) 2020년~2021년(C)과 같이 5년 간격으로 2년씩의 데이터를 추출하되 3월, 6월, 9월에 정량채집된 저서성 대형무척추동물 목록을 이용하여 그간 우포늪에서는 평가되지 않았던 생물학적 환경평가지수 중 ESB, BMI, GPI를 산출하여 시간의 흐름에 따라 이들 생물지수에 통계적으로 유의미한 변화가 있는지 습지별로 확인하였다. 산출된 생물지수와 생물학적 환경평가지수는 SPSS version 27.0(IBM, USA)을 사용하여 일원분산분석(One-Way ANOVA)을 하였으며 Tukey 사후검정을 하였다. 정규분포를 만족하지 않는 경우 Kruskal-wallis 방법으로 분석 후 Bonferroni 사후검정을 하였고 등분산이 아닌 경우 Welch's ANOVA 분석 후 Dunnett's T3 사후검정을 하였다.

2.5. 기능군과 군집 안정성

섭식기능군(Functional feeding group)과 서식습성군(Habitual dwelling group)의 분류는 Cummins and Klug(1979), Chun and Ro(2004), Merritt et al.(2008)을 참고하였다. 섭식기능군의 분류는 속(Genus) 수준에서 7가지의 기능군으로 나누는데, 찢어먹는 무리(Shredder), 긁어먹는 무리(Scraper), 유기

물을 걸러먹는 무리(Filtering-collector), 주워먹는 무리(Gathering-collector), 뚫어먹는 무리(Plant-piercer), 육식성 포식자 무리(Predator), 기생하는 무리(Parasites)가 포함된다. 한편, 서식습성군은 8가지의 기능군으로 나뉘며 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)가 포함된다. 또한, 하천생태계에서 생물적 요소를 구성하는 분류군들 가운데 수서곤충류 분포를 바탕으로 환경의 안정성을 평가하기 위해 특성군 별로 구분하는 방법을 이용하였으며 이를 상대적 회복력과 저항력으로 나타내면 이들은 4개의 특성군으로 구분된다(Ro, 2002). 상대적 회복력과 저항력을 각각 5를 기준점으로 하여 4분면 위에 도식화하면 가중치의 산정 없이 산출된 이들의 특성이 표현된다. 4개의 특성군은 상대적 저항력과 회복력이 모두 높은 특성군 I, 높은 상대적 회복력과 낮은 상대적 저항력을 보이는 특성군 II, 상대적 회복력과 상대적 저항력이 모두 낮은 특성군 III, 그리고 낮은 상대적 회복력과 높은 상대적 저항력을 보이는 특성군 IV로 구분된다(Chun and Ro, 2004).

3. 결과 및 고찰

3.1. 저서성 대형무척추동물 서식 현황

2020년에는 4문 5강 16목 39과 68종 1,550개체, 2021년에는 4문 5강 15목 37과 63종 1,856개체로 나타났다. 2020년부터 2021년까지 우포늪에서 채집된 저서성 대형무척추동물은 4문 5강 16목 42과 81종 3,406개체로 확인되었다.

곤충강(Insecta)은 60종이 확인되어 전체 출현군의 74.1%를 차지하였으며 그 외 복족강(Gastropoda)은 12.3%, 환대강(Clitellata)은 7.4%, 연갑강(Malacostraca)은 4.9%, 와충강(Turbellaria)은 1.2%를 나타냈다. 곤충강에 속하는 목별 종수는 딱정벌레목(Coleoptera)에서 18종(22.2%)으로 가장 많았으며 잠자리목(Odonata) 15종(18.5%), 노린재목(Hemiptera) 14종(17.3%), 파리목(Diptera) 10종(12.3%), 하루살이목(Ephemeroptera) 2종(2.5%), 나비목(Lepidoptera) 1종(1.2%)의 순으로 출현하였다. 와충강은 삼기장목(Tricladida)에서 1종(1.2%),

복족강은 수병안목(Systellommatophora) 5종(6.2%), 고설목(Architaenioglossa) 및 총알고등목(Littorinimorpha) 각 2종(각 2.5%), 병안목(Stylommatophora) 1종(1.2%)으로 나타났으며 환대강은 턱거머리목(Arhynchobdellida), 부리거머리목(Rhynchobdellida) 및 실지렁이목(Tubificida)에서 각 2종(각 2.5%), 연갑강은 십각목(Decapoda)에서 3종(3.7%), 등각목(Isopoda) 1종(1.2%)으로 확인되었다. 강별 개체수는 곤충강이 2,794개체(82.0%)로 가장 많았으며 복족강 332개체(9.7%), 연갑강 211개체(6.2%), 환대강 56개체(1.6%), 와충강 13개체(0.4%)의 순으로 출현하였다. 목별 개체수는 노린재목이 1,125개체(33.0%)로 가장 많았고 파리목이 509개체(14.9%), 잠자리목이 409개체(12.0%), 하루살이목이 376개체(11.0%), 딱정벌레목이 373개체(11.0%), 나비목이 2개체(0.1%)의 순으로 나타났다(Fig. 2).

연도별 종 구성 비율은 2020년에 곤충강이 49종(69.8%)으로 가장 높은 점유율을 보였으며 복족강 10종(15.9%), 환대강 5종(7.9%), 연갑강 3종(4.8%), 와충강 1종(1.6%)의 순으로 나타났다. 곤충강에서는 딱정벌레목이 14종(20.6%)으로 가장 높은 비율로 출현하였으며 노린재목 12종(17.6%), 잠자리목 11종(16.2%), 파리목 9종(13.2%), 하루살이목 2종(2.9%), 나비목 1종(1.5%)의 순으로 나타났다. 2021년에는 곤충강에 속하는 분류군들이 45종(71.4%)으로 확인되어 2020년보다 곤충강의 종 수가 4종 감소했으나 전체 점유율은 1.6% 증가하였다. 그 외 복족강은 8종(12.7%)으로 지난해보다 2종 감소하였고, 환대강 5종(7.9%), 연갑강 4종(6.3%), 와충강 1종(1.6%)으로 지난해와 비슷한 수준으로 확인되었다. 곤충강은 노린재목과 딱정벌레목이 12종(19.0%), 잠자리목 11종(17.5%), 파리목 9종(14.3%), 하루살이목 1종(1%)으로 2021년에는 나비목의 확인이 되지 않았다. 2020년 전체 조사지점에서 출현한 개체수는 곤충강에서 1,550개체(72.1%)로 가장 많았으며 2021년은 1,514개체(81.5%)로 개체수는 약간 감소하였으나 개체수 점유율은 9.4% 증가하였다. 2020년에 하루살이목 294개체(19.0%), 잠자리목 164개체(10.6%), 노린재목 294개체(30.1%), 딱정벌레목 105개체(6.8%), 파리목 250개체(16.1%), 나비목 2개체(0.1%)가 확인되었으며 2021년에는 하루살이목 82개체(4.4%), 잠자리목 245개체(13.2%), 노린재목 659개체(35.5%), 딱정벌레목 269개체(14.5%), 파리목 259개체(13.9%)로 나타났다. 곤

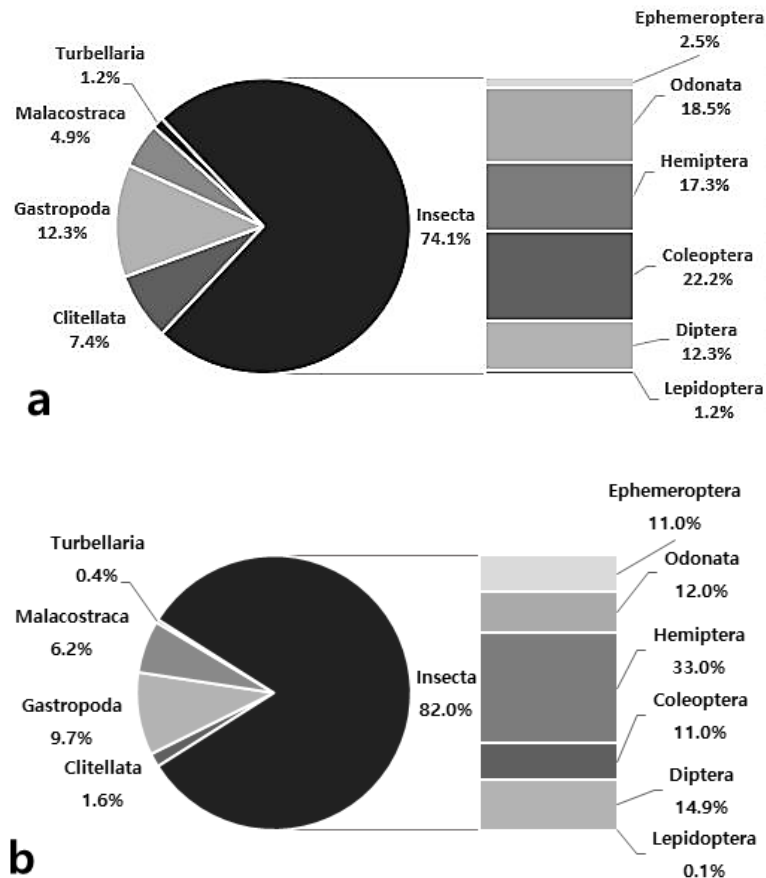


Fig. 2. Species composition (a) and individuals composition (b) by higher taxa than order of benthic macroinvertebrates in Upo wetland(2020~2021).

충강을 제외한 분류군에서는 2020년에 복족강이 153개체(14.7%), 연갑강 81개체(5.2%), 환대강 24개체(1.5%), 와충강 11개체(0.7%)로 나타났으며 2021년은 복족강이 179개체(9.6%), 연갑강이 130개체(7.0%), 환대강이 32개체(1.7%), 와충강이 2개체(0.1%)로 나타나 전반적으로 지난해보다 개체수는 증가하고 개체수 점유율은 감소한 경향을 보였다(Fig. 3).

연구 기간 중 조사지점별 전체 출현 종수와 개체수 차이는 크지 않았지만, 분류군별 종 수와 개체수는 조사지점별로 차이를 확인할 수 있었다. 즉, 습지별로 출현 빈도가 높은 분류군이 달랐다. 먼저, 우포의 저서성 대형무척추동물은 총 3문 4강 13목 49종 851개체로 복족강 8종(16.3%), 환대강 2종(4.1%), 연갑강 3종(6.1%), 곤충강 36종(73.5%)으로 나타났으며 그중

곤충강에서는 하루살이목 1종(2.0%), 잠자리목 7종(14.3%), 노린재목 13종(26.5%), 딱정벌레목 7종(14.3%), 파리목 8종(16.3%)이 확인되었다. 우포는 비곤충류의 비율이 사지포 다음으로 높았으며 특히, 복족강의 종수와 개체수가 가장 많은 것으로 확인되었다. 또한 노린재목이 우포 전체 출현 개체수의 절반을 차지하고 있어 일부 분류군이 우점하는 것으로 나타났다. 목포는 3문 4강 12목 53종 898개체로, 종 구성 비율은 복족강 5종(9.4%), 환대강 4종(7.5%), 연갑강 3종(5.7%), 곤충강 41종(77.4%)이었다. 곤충강에 속하는 분류군은 하루살이목 1종(1.9%), 잠자리목 11종(20.8%), 노린재목과 딱정벌레목이 각각 12종(22.6%), 파리목 5종(9.4%)의 점유율로 나타났다. 목포는 우포는 전체 조사지점 가운데 곤충강의 종수가

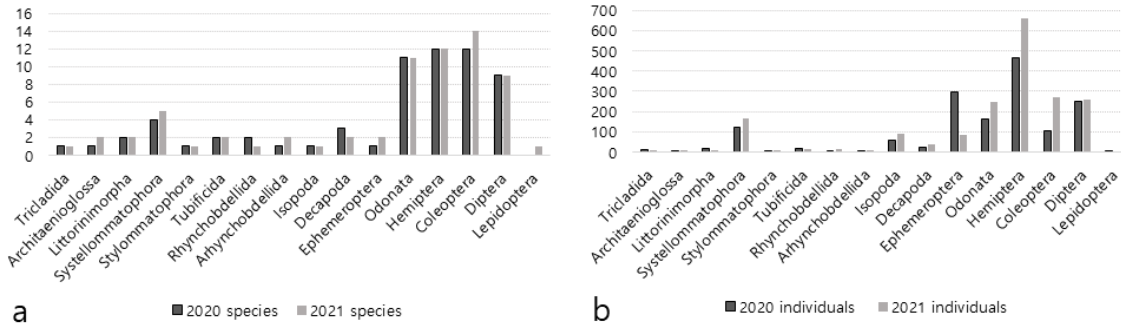


Fig. 3. Comparison of species number(a) and individuals(b) of benthic macroinvertebrates in Upo wetland in 2020 and 2021.

41종으로 가장 다양하게 출현하였으며 잠자리목과 노린재목, 딱정벌레목의 3개 주요 곤충군의 종 수는 11종 또는 12종으로 비슷하게 나타났다. 그중 하루살이목이 120개체로 조사지점 중 가장 많은 개체수를 차지하였다. 사지포에서는 4문 5강 15목 50종 858개체가 확인되었고 곤충강이 31종(61.2%)으로 가장 높은 비율을 차지하고 있었으며 와충강 1종(2.0%), 복족강 9종(18.0%), 환대강 5종(10.0%), 연갑강 4종(8.0%)으로 나타났다. 곤충강에서는 하루살이목 2종(4.0%), 잠자리목 9종(18.0%), 노린재목 7종(14.0%), 딱정벌레목 6종(12.0%), 파리목 7종(14.0%)의 점유율로 각각 나타났다. 사지포는 다른 조사지점에 비해 비곤충류에 속하는 복족강, 환대강, 연갑강의 종 수가 다양하게 나타났으며 다른 조사지점에서 출현하지 않은 와충강이 확인되었다. 또한 곤충강의 입술하루살이(*Labiobaetis atrebatinus*)가 유일하게 출현하였으며 파리목의 우점도가 다른 조사지점보다 높은 것으로 확인되었다. 쪽지벌에서는 3문 4강 10목 49종 800개체로 복족강 4(8.2%)종, 환대강 2종(4.1%), 연갑강 3종(6.1%), 곤충강 40종(81.6%)으로 나타났으며 곤충강에 속하는 분류군은 하루살이목 1종(2.0%), 잠자리목과 노린재목 9종(18.4%), 딱정벌레목 14종(28.6%), 파리목 6종(12.2%), 나비목 1종(2.0%)으로 나타났다. 쪽지벌에서는 딱정벌레목의 종수와 개체수가 네 조사지점 중 가장 풍부한 것으로 확인되었으며 다른 조사지점에서는 출현하지 않은 나비목이 확인되었다.

조사지점과 조사연도별 우점종을 조사한 결과 우포늪의 전체 우점종은 연못하루살이(*Cloeon dipterum*)로 11.0%의 점유율을 나타냈으며 아우점종은 꼬마등글

물벌레(*Paraplea indistinguenda*)로 9.8%의 점유율을 나타냈다. 2020년에는 연못하루살이와 깔따구류(*Chironomidae* spp.), 꼬마등글물벌레, 각시물자라(*Diplonychus esakii*), 꼬마물벌레가(*Microneecta (Basileonecta) sedula*), 2021년에는 꼬마등글물벌레, 각시물자라, 깔따구류, 꼬마물벌레, 그리고 등검은실잠자리(*Paracercion calamorum*)와 물벌레(*Asellus hilgendorfi*)의 출현빈도가 높았다. 우포에서는 꼬마등글물벌레가 가장 많았고, 목포에는 연못하루살이, 사지포에는 깔따구류, 쪽지벌에는 꼬마물벌레가 가장 높은 빈도로 출현하였다(Table 1).

3.2. 생물지수

2020년 다양도는 사지포에서 2.902로 가장 높았으며 다음으로 쪽지벌이 2.847, 목포가 2.692의 순으로 나타났으며 우포가 2.465로 가장 낮은 값을 나타내었다. 2021년에는 사지포를 제외한 모든 조사지점에서 다양도가 증가하였는데, 목포가 3.128로 가장 높았으며 다음으로 우포가 3.067, 쪽지벌이 2.927로 나타났고 사지포가 2.886로 가장 낮은 값을 나타냈다. 2020년 풍부도는 목포가 6.356으로 가장 높았고 우포가 5.204로 가장 낮은 값으로 나타났다. 2021년에는 쪽지벌을 제외한 전체 조사지점에서 풍부도가 증가하였는데 목포가 6.911로 가장 높았으며 쪽지벌이 6.048로 가장 낮았다. 2020년 우점도는 우포가 0.433으로 가장 높았으며 사지포가 0.331로 가장 낮은 값을 나타냈다. 이는 2020년 봄에 우포에서 꼬마등글물벌레가 높은 밀도로 서식하여 전체 우점도에 영향을 끼쳤기 때

Table 1. Dominant species and subdominant species of benthic macroinvertebrates in Upo wetland (2020~2021)

	Upo	Mokpo	Sajipo	Jjokjibeol	Total
2020	Dominant species <i>Paraplea indistinguenda</i> (29.8%)	<i>Cloeon dipterum</i> (21.4%)	Chironomidae spp. (15.8%)	<i>Cloeon dipterum</i> (26.3%)	<i>Cloeon dipterum</i> (18.8%)
	Subdominant species <i>Diplonychus esakii</i> (13.5%)	Chironomidae spp. (17.5%)	<i>Cloeon dipterum</i> (15.3%)	<i>Micronecta (Basileonecta) sedula</i> (12.1%)	Chironomidae spp. (11.3%)
2021	Dominant species <i>Paraplea indistinguenda</i> (15.0%)	<i>Diplonychus esakii</i> (11.5%)	<i>Paracercion calamorum</i> (16.4%)	<i>Paraplea indistinguenda</i> (12.3%)	<i>Paraplea indistinguenda</i> (11.4%)
	Subdominant species <i>Micronecta (Basileonecta) sedula</i> (11.3%)	<i>Asellus hilgendorffii</i> (11.0%)	Chironomidae spp. (15.2%)	<i>Micronecta (Basileonecta) sedula</i> (11.7%)	<i>Paracercion calamorum</i> (7.4%)
Total	Dominant species <i>Paraplea indistinguenda</i> (20.6%)	<i>Cloeon dipterum</i> (13.4%)	Chironomidae spp. (15.5%)	<i>Micronecta (Basileonecta) sedula</i> (11.9%)	<i>Cloeon dipterum</i> (11.0%)
	Subdominant species <i>Micronecta (Basileonecta) sedula</i> (11.2%)	<i>Diplonychus esakii</i> (12.9%)	<i>Paracercion calamorum</i> (10.3%)	<i>Cloeon dipterum</i> (11.8%)	<i>Paraplea indistinguenda</i> (9.8%)

문으로 보인다. 2021년에는 사지포를 제외한 모든 조사지점에서 우점도가 감소하였는데 목포가 0.225로 모든 조사지점 중 가장 낮았지만, 사지포는 0.316으로 가장 높았다. 이는 2021년 사지포의 전체 출현개체수는 가장 적으면서도 우점종인 등검은실잠자리와 아우점종인 깔따구류의 우점도는 오히려 다른 습지보다 높기 때문이다. 2020년 균등도는 사지포에서 0.798로 가장 높았으며 우포에서 0.718로 가장 낮은 값을 나타냈다. 2021년에는 사지포를 제외한 모든 조사지점에서 균등도가 증가하였는데 목포에서 0.832로 가장 높았고 사지포에서 0.788로 가장 낮은 값을 나타냈다. 각 생물지수의 연도별 계절별 등락을 고려하면 다양도는 2020년에는 봄에 쪽지벌에서 2.507로 가장 높고 가을에 우포에서 1.530으로 가장 낮았다. 이처럼 2020년 가을에 우포의 다양도가 저하된 이유는 당시 우포의 출현종수가 다른 습지보다 적으면서, 꼬마등글물벌레, 연못하루살이, 각시물자라 등 일부 종은 개체수가 급증하였기 때문이다. 2021년의 다양도는 여름에 사지포에서 2.998로 가장 높고 가을에 쪽지벌에서 1.998로 가장 낮았다.

풍부도는 2020년에는 여름에 목포에서 4.981로 가장 높고 가을에 우포에서 2.157로 가장 낮았다. 2021년의 풍부도는 여름에 사지포에서 5.778로 가장 높고 가을에 쪽지벌에서 2.834로 가장 낮았다. 우점도는 2020년 가을에 우포에서 0.701로 가장 높았으며 여름에 쪽지벌에서 0.370으로 가장 낮았다. 2021년의 우점도는 여름에 쪽지벌에서 0.625로 가장 높고, 여름에 사지포에서 0.215로 가장 낮았다. 균등도는 2020년에는 봄에 쪽지벌에서 0.837로 가장 높았으며 가을에 쪽지벌에서 가장 낮았다. 2021년의 균등도는 여름에 사지포에서 0.900으로 가장 높았으며 봄에 사지포에서 0.683으로 가장 낮았다. 2020년 봄 쪽지벌에서는 우점종과 아우점종을 제외한 분류군들이 대체로 균일한 개체수로 출현하였고 2021년 여름 사지포에서는 종별 우점도가 현저히 높은 분류군이 없어 균등도가 높은 것으로 보인다. 한편 2020년 가을 쪽지벌에서는 우점종인 연못하루살이의 우점도가 60.7%로 현저히 높고, 봄에 사지포에서는 깔따구류와 등검은실잠자리의 우점도가 현저히 높아 균등도가 저하한 것으로 보인다(Table 2).

Table 2. Seasonal community analysis of benthic macroinvertebrates of Upo wetland in 2020 and 2021

		H'		RI		DI		J'	
		2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Upo	Spring	2.449	2.293	4.280	4.439	0.430	0.478	0.804	0.722
	Summer	1.827	2.564	3.100	4.634	0.646	0.413	0.712	0.807
	Autumn	1.530	2.695	2.157	5.419	0.701	0.412	0.616	0.792
	total	2.465	3.067	5.204	6.532	0.433	0.263	0.718	0.821
Mokpo	Spring	2.231	2.600	3.367	5.144	0.477	0.419	0.805	0.798
	Summer	2.061	2.803	4.981	5.104	0.681	0.261	0.625	0.860
	Autumn	1.948	2.522	4.569	4.463	0.634	0.434	0.605	0.793
	total	2.692	3.128	6.356	6.911	0.390	0.225	0.730	0.832
Sajipo	Spring	2.477	2.046	3.860	3.942	0.382	0.589	0.814	0.683
	Summer	1.954	2.998	3.530	5.778	0.613	0.215	0.690	0.900
	Autumn	2.114	2.584	3.777	4.141	0.549	0.315	0.706	0.824
	total	2.902	2.886	6.116	6.257	0.311	0.316	0.798	0.788
Jjockjibeol	Spring	2.507	2.639	3.948	4.459	0.390	0.342	0.837	0.854
	Summer	2.499	2.092	4.428	3.823	0.370	0.625	0.834	0.698
	Autumn	1.716	1.998	3.992	2.834	0.687	0.477	0.564	0.721
	total	2.847	2.927	6.329	6.048	0.384	0.240	0.783	0.805

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

각 조사지점에서 2020년과 2021년에 출현한 종과 개체를 이용하여 연도별 생물지수를 산출한 결과 풍부도, 다양도, 균등도의 평균은 각각 2.91, 6.63, 0.78으로 목포가 가장 높고 우포가 2.77, 5.87, 0.77로 가장 낮았으며 우점도는 우포가 0.35로 가장 높고 목포가 0.31로 가장 낮았다. 따라서 목포는 우포늪을 이루는 네 지역 중 환경 상태가 상대적으로 양호하고 다양한 분류군들이 서식하고 있는 건전한 생태계이며 우포의 생물지수 상태가 상대적으로 불량한 것으로 생각된다.

3.3. 생물학적 환경질 평가

우포늪의 4개 습지에서 조사된 저서성 대형무척추동물에 대하여 저서성 대형무척추동물 생태점수(ESB; Ecological score of benthic macroinvertebrate community), 군오염지수(GPI; Group Pollution Index), 저서생물지수(BMI; Benthic macroinvertebrates index)를 산정하여 조사지역의 생물학적 환경질 평가를 하였다. 조사 기간 중 우포늪의 ESB는 24-59의 범위로 나타났고, GPI는 1.59-2.12, BMI는 20.00-56.29의 범위로 나타났다.

조사 기간 ESB는 전체 조사지점에서 II등급이 가장 많았으며 2020년 우포에서 여름과 가을에 III등급으로 수질이 나쁘게 나타났으나 2021년에 다른 조사지점과 비슷한 수준으로 회복된 것이 확인되었다. 조사지점별 ESB 지수 범위는 사지포의 2020년 여름에 34(II등급)로 가장 낮게 나타났고 2021년 여름에 57(II등급)로 가장 높게 나타났다. 우포는 2020년 가을에 24(III등급)로 조사 기간 중 가장 낮게 나타났으며 2021년 가을에 59(II등급)로 조사 기간 중 가장 높게 나타났다. 목포에서는 2020년 봄에 32(II등급)로 가장 낮게 나타났으며 2021년 봄과 여름에 53(II등급)으로 가장 높게 나타났다. 쪽지벌에서는 2021년 가을에 33(II등급)으로 가장 낮았으며 2021년 봄에 44(II등급)로 가장 높았다.

GPI 지수는 사지포에서 2020년 여름에 1.59(II등급)로 전체 조사 중 가장 낮았고 2020년 봄에 1.98(III등급)로 가장 높았다. 우포에서는 2021년 여름에 1.66(II등급)으로 가장 낮았으며 2021년 가을에 2.04(III등급)로 가장 높았다. 목포에서는 2020년 가을에 1.68(II등급)로 가장 낮았으며 2021년 여름에

Table 3. The evaluation of environmental quality of by benthic macroinvertebrates in Upo wetland(2020~2021)

		2020		2021		2020		2021		2020		2021	
		ESB	WQ	ESB	WQ	GPI	WQ	GPI	WQ	BMI	WQ	BMI	WQ
Upo	Spring	42.00	II	47.00	II	1.80	III	1.92	III	46.16	C	44.31	D
	Summer	25.00	III	49.00	II	1.95	III	1.66	II	48.00	C	43.46	D
	Autumn	24.00	III	59.00	II	1.68	II	2.04	III	42.92	D	31.69	D
Mokpo	Spring	32.00	II	53.00	II	1.73	III	1.80	III	41.54	D	52.28	C
	Summer	53.00	II	52.00	II	1.81	III	1.92	III	37.08	D	40.50	D
	Autumn	50.00	II	49.00	II	1.74	III	1.73	III	50.78	C	42.25	D
Sajipo	Spring	41.00	II	41.00	II	1.98	III	1.72	III	42.02	D	53.25	C
	Summer	34.00	II	57.00	II	1.59	II	1.85	III	34.82	D	47.65	C
	Autumn	39.00	II	48.00	II	1.62	II	1.60	II	47.84	C	49.29	C
Jjockjibeol	Spring	44.00	II	43.00	II	1.71	III	2.12	III	56.29	C	38.28	D
	Summer	40.00	II	39.00	II	1.81	III	1.89	III	20.00	D	24.85	D
	Autumn	42.00	II	33.00	II	1.92	III	1.61	II	39.94	D	44.17	D

ESB: ecological score of benthic macroinvertebrate community, GPI: group pollution index, BMI: benthic macroinvertebrate index, WQ: water quality.

1.92(III등급)로 가장 높았다. 쪽지벌에서는 2021년 가을에 1.61(II등급)로 가장 낮았으며 2021년 봄에 2.12(III등급)로 전체 조사 중 가장 높게 나타났다.

BMI 지수는 우포에서 2020년에 비해 2021년에 약화한 것으로 나타났다. 목포에서는 봄과 여름은 2020년보다 2021년에 더 높았지만, 가을에는 2020년에 비해 2021년에 더 낮아졌다. 쪽지벌은 2020년 조사에서 봄과 여름의 지수 차이가 크게 나타났으며 봄을 제외한 계절에서 2020년에 비해 2021년이 대체로 더 높았다. 사지포에서는 2020년 여름에 34.82(D등급)로 가장 낮았고 2021년 봄에 53.25(C등급)로 가장 높았다. 우포에서는 2021년 가을에 31.69(D등급)로 가장 낮았으며 2020년 여름에 48.00(C등급)으로 가장 높았다. 목포에서는 2020년 여름에 41.54(D등급)로 가장 낮았으며 2021년 봄에 52.28(C등급)로 가장 높았다. 쪽지벌에서는 2020년 여름에 20.00(D등급)으로 전체 조사 기간 중 가장 낮았으며 2020년 봄에 56.29(C등급)로 가장 높은 것으로 나타났다(Table 3).

습지의 건전성을 평가하기 위해 본 연구에서 적용한 생물학적 수질평가지수 중 우포늪을 평가하기에 더 적합한 방법은 ESB라고 생각된다. ESB, GPI, BMI는 우포의 서식환경과 출현 종 특성을 고려하여 선택한 지수이며, 산정 결과 GPI는 세분된 결과가 도출되지 못했고, BMI는 2020년 우포의 생물지수 저하를 반영하지

못했다. 반면 ESB는 전체 조사 기간의 지수 범위가 다양하게 나타났으며 우포의 생물지수 저하를 잘 반영하는 결과를 보여주었기 때문에 우포늪의 환경평가에 더 적합한 지수로 판단된다.

3.4. 기능군의 유형분석

우포늪의 섭식기능군과 서식습성군의 출현양상을 전체지역에 대하여 확인하고 각 습지별로 2020년과 2021년에 대하여 비교하였다.

우포늪의 전체 조사지점에서 확인된 섭식기능군은 굵어먹는무리, 주워먹는무리, 잡아먹는무리, 걸러먹는무리, 찢어먹는무리, 기생하는무리의 총 6개 군이었다. 섭식기능에 따른 종수 구성 비율은 잡아먹는무리가 34종(45.95%)으로 가장 높았고 주워먹는무리가 24종(32.43%), 굵어먹는무리와 찢어먹는무리가 각 각 6종(8.11%), 걸러먹는무리 3종(4.05%), 기생하는무리 1종(1.35%)의 순으로 출현하였다(Fig. 4a). 섭식기능군별 개체수 구성 비율은 잡아먹는무리가 1,504개체(41.84%)로 가장 높았으며, 주워먹는무리 1,406개체(40.59%), 걸러먹는무리 425개체(11.82%)로 종 구성 비율에 비해 개체수가 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 확인되었으며 찢어먹는무리는 122개체(3.39%)로 확인되었다. 다음으로 굵어먹는무리가 82개체(2.28%), 기생하는무리는 3개체

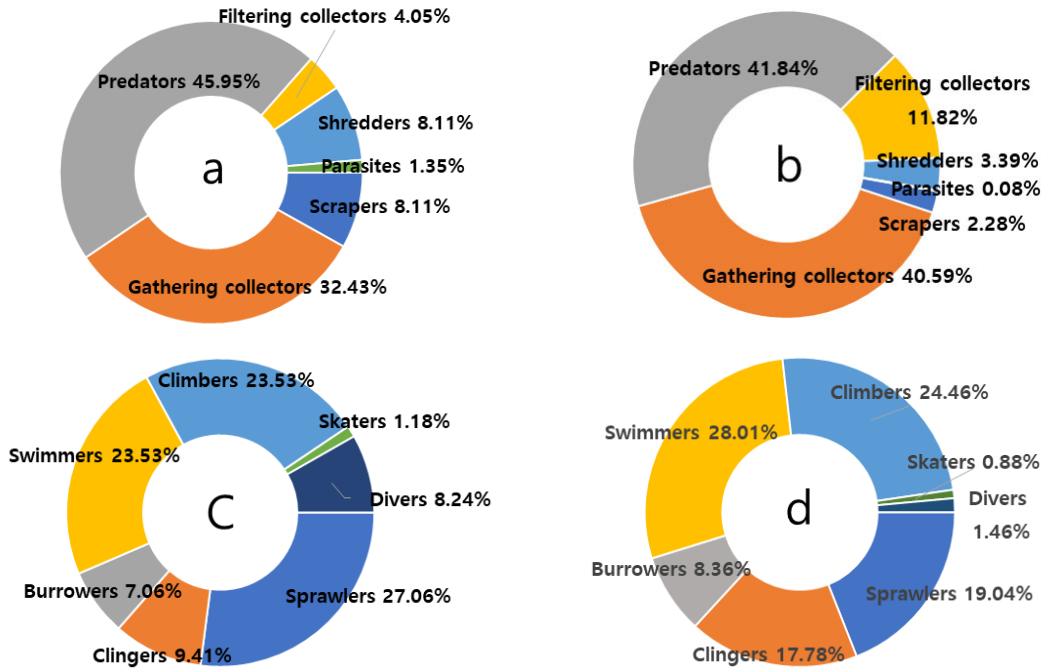


Fig. 4. Compositions on functional feeding group and habitual dwelling group of benthic macroinvertebrates in Upo wetland (2020-2021). a: species composition of functional feeding group, b: individuals composition of functional feeding group, c: species composition of habitual dwelling group, d: individuals composition of habitual dwelling group.

(0.08%)의 순으로 나타났다(Fig. 4b).

섭식기능군은 우포늪 전체지역에서 잡아먹는무리와 주워먹는무리의 종수, 개체수 비율이 각각 30% 이상으로 높은 비율을 차지하고 있었으며 이러한 결과는 우포늪 전체 조사지점에서 포식자로 잘 알려진 노린재목과 잠자리목이 풍부하게 서식하고 초식성 수생 딱정벌레인 물땹땹이류의 다양한 종수와, 하루살이목에 속하는 연못하루살이의 풍부한 개체수의 영향이라 할 수 있다. 조사지점별 섭식기능군의 종수에 따른 비율은 우포와 사지포, 목포와 쪽지벌의 두 그룹으로 구별되면서 차이가 나타났는데, 우포와 사지포는 굽어먹는무리의 종수에 따른 비율이 목포와 쪽지벌보다 높았으며 목포와 쪽지벌은 잡아먹는무리와 걸러먹는무리의 종수에 따른 비율이 다른 두 조사지점보다 높았다. 또한 우포와 사지포에서는 복족강의 종수가 목포와 쪽지벌에 비해 다양하게 나타나 굽어먹는무리의 종구성비율이 다른 두 조사지점보다 높았으며 목포에서 잠자리목, 쪽지벌에서

물땹땹이과에 속하는 종들이 다양하게 출현하여 두 조사지점에서 잡아먹는무리와 걸러먹는무리의 비율이 높았다. 섭식기능군의 개체수 비율은 대체적으로 종수에 따른 비율과 비슷했으나 썰어먹는무리는 종수에 비해 개체수가 적은 것으로 나타났다.

습지별 섭식기능군 종 구성비에 대하여 2020년과 2021년을 비교하였다. 2020년 우포에서는 주워먹는무리가 12종(44.44%)으로 가장 높은 비율로 출현하였으며 2021년 종수가 전체적으로 증가하면서 주워먹는무리의 비율이 감소하였다. 대신, 잡아먹는무리가 9종 증가하여 20종(43.48%)으로 가장 높은 비율을 차지하였으며 주워먹는무리는 3위로 하락하였다. 목포에서는 2020년에 잡아먹는무리가 17종(48.57%)으로 가장 높은 비율을 차지하고 있었으며 기생하는무리는 출현하지 않았다. 2021년에는 잡아먹는무리에 속하는 종수가 크게 증가하여 24종(55.81%)으로 나타났으며 다른 섭식기능군은 2020년과 비슷한 수준으로 나타났다. 기생하

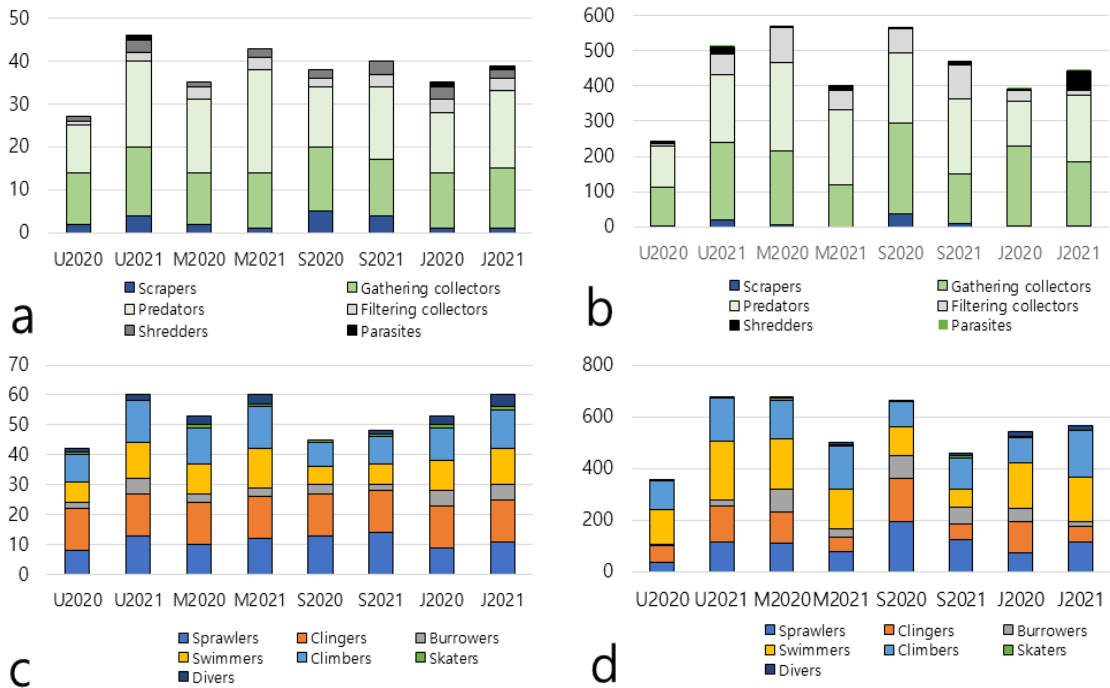


Fig. 5. Number of of species and individuals by survey site and year on functional feeding group and habitual dwelling group in Upo wetland(2020–2021). a: species composition of functional feeding group, b: individuals composition of functional feeding group, c: species composition of habitual dwelling group, d: individuals composition of habitual dwelling group, U: Upo, M: Mokpo, S: Sajipo, J: Jjockjibeol.

는무리는 2020년과 마찬가지로 출현하지 않았다. 사지포에서는 2020년에 주위먹는무리가 15종(39.47%)으로 가장 높은 비율을 차지하고 있었으며 2021년에는 잡아먹는무리가 3종 증가하여 17종(42.50%)으로 가장 높은 비율을 차지하였다. 쪽지벌에서는 2020년에 잡아먹는무리가 14종(40.00%)으로 가장 비율이 높았고 기생하는무리가 1종(2.56%)확인되어 가장 낮은 비율을 나타냈다. 2021년에는 잡아먹는무리가 4종 증가하여 18종(46.15%)으로 가장 높은 비율을 차지하였으며 기생하는무리가 1종(2.56%)으로 역시 가장 낮은 비율을 나타냈다. 이러한 변화는 우포의 깔따구류, 집모기류의 증가와 쪽지벌 연못하루살이의 개체수 저하와 연관이 있음을 확인할 수 있었다(Fig. 5a).

습지별 섭식기능군 개체수 구성에 대하여 2020년과 2021년을 비교하였으며 쪽지벌과 우포에서 두 해 사이에 많은 차이가 나타났다. 우포에서는 2020년에 잡아먹는무리가 117개체(48.15%)로 주위먹는무리 111개

체(45.68%)와 함께 가장 높은 개체수비율을 나타냈다. 2021년에도 주위먹는무리와 잡아먹는무리가 각각 220개체(42.97%) 및 194개체(37.89%)로 우세하였으며 굵어먹는무리, 걸러먹는무리와 썰어먹는무리는 개체수가 크게 증가하였다. 목포에서는 2020년에 잡아먹는무리가 251개체(44.19%)로 가장 높은 비율을 차지하였으며 2021년에도 여전히 잡아먹는무리가 215개체(53.75%)로 가장 높은 비율을 차지하였다. 굵어먹는무리, 주위먹는무리, 걸러먹는무리는 개체수가 감소하였으며 썰어먹는무리는 13개체(3.25%)로 크게 증가하였다. 사지포에서는 2020년에 주위먹는무리가 257개체(45.33%)로 가장 높은 비율을 차지하였으나 2021년에는 주위먹는무리가 대폭 감소하여 141개체(20.94%)로 나타났으며 대신, 잡아먹는무리가 210개체(44.59%)로 가장 높은 비율로 나타났다. 쪽지벌에서는 2020년에 주위먹는무리가 227개체(57.76%)로 가장 높은 비율을 차지하였으며 2021년에는 각 섭식기능군

에 속하는 종들의 개체수가 대체적으로 감소하였으나 굽어먹는무리와 떨어먹는무리는 증가하였고 잡아먹는 무리의 개체수가 가장 많았다(Fig. 5b).

조사 기간 우포늪 전체지역에서 출현한 서식습성군은 8가지 유형 중 기는무리, 붙는무리, 굴파는무리, 헤엄치는무리, 기어오르는무리, 지치는무리, 잠수하는 무리의 7개 군이 확인되었다. 우포늪 전체 저서성 대형무척추동물 군집의 서식습성군별 종수 구성은 기는무리가 23종(27.06%)으로 가장 높은 비율을 차지하였으며 헤엄치는무리, 기어오르는무리가 각각 20종(23.53%), 붙는무리 8종(9.41%), 잠수하는무리 7종(8.24%), 굴파는무리 6종(7.06%), 지치는무리 1종(1.18%)으로 각각 나타났(Fig. 4c). 개체수 구성은 헤엄치는무리가 1246개체(28.01%)로 가장 높았으며 그 다음으로는 기어오르는무리 1,088개체(24.46%), 기는무리 847개체(19.04%), 붙는무리 791개체(17.78%), 굴파는무리 372개체(8.36%), 잠수하는무리 65개체(1.46%), 지치는무리 39개체(0.88%)의 순으로 나타났(Fig. 4d).

각 서식습성군의 조사지점별 종수에 따른 구성비율은 네 조사지점 모두 비슷한 양상을 보였다. 우포에서는 헤엄치는무리가 종수에 비해 개체수가 많은 것을 확인할 수 있었으며, 꼬마물벌레와 각시물자라, 집모기류, 연못하루살이와 같이 우포 내 우점도가 높은 종들은 대부분 헤엄치는무리에 속하는 것으로 확인되었다. 목포와 쪽지벌에서는 잠수하는무리에 속하는 종들이 사지포와 우포보다 다양하게 출현하였다. 사지포는 타 조사지점보다 기는무리에 속하는 종들의 비율이 높았으며 개체수에 따른 구성비율은 우포를 제외한 나머지 조사지점에서 종수에 따른 구성비율과 유사하게 나타났다.

조사지점별 서식습성군에 따른 종 구성비율을 연도별로 살펴보면 잠수하는무리가 조사지점에 따라 차이가 낮으며 쪽지벌에서는 굴파는무리, 사지포에서 기는 무리가 특히 높은 비율을 차지하고 있었다. 각 조사지점의 연도 차이에 대한 서식습성군 비율은 대체로 비슷한 수준이었다. 습지별 서식습성군 중 구성비에 대하여 2020년과 2021년을 비교한 결과 2020년 우포에서는 붙는무리가 14종(33.33%)으로 가장 높은 비율을 차지하였고 지치는무리와 잠수하는무리가 각각 1종(2.38%)으로 가장 낮은 비율을 나타냈다. 2021년은 붙는무리와 기어오르는무리가 각각 14종(23.33%)으로 우세하였고 전년도와 달리 지치는무리는 출현하지 않았다. 2020년 목포에서는 붙는무리가 14종(26.42%)으

로 가장 우세하였고 지치는무리가 1종(1.89%)으로 가장 낮은 비율을 나타냈다. 2021년에는 붙는무리와 기어오르는무리가 14종(23.33%)으로 가장 높은 비율을 차지하였으며 지치는무리가 역시 1종(1.67%)으로 가장 낮은 비율을 나타냈다. 2020년 사지포에서는 기는무리와 붙는무리가 각각 13종(28.89%), 14종(31.11%)으로 다른 서식습성군에 비해 상대적으로 우세하게 나타났으며 잠수하는무리는 출현하지 않았다. 2021년에도 기는무리와 붙는무리가 각각 14종(29.17%)으로 가장 우세하였으며 지치는무리와 잠수하는무리는 각각 1종(2.08%)으로 낮은 비율을 나타냈다 쪽지벌에서는 붙는 무리가 2020년에 14종(26.42%)과 2021년에 14종(23.33%)으로 공통 우세를 나타냈으며 다른 무리의 구성도 두 해에 큰 차이가 없었다(Fig. 5c).

서식습성군에 따른 개체수 구성은 2020년 우포에서는 헤엄치는무리가 135개체(37.82%)였으며 2021년에도 224개체(32.94%)로 각각 가장 높은 비율을 차지하였다. 지치는 무리와 잠수하는 무리가 가장 낮은 비율을 나타냈는데 2021년에는 지치는무리가 나타나지 않았다. 2020년 목포에서는 헤엄치는무리가 196개체(28.87%)로 가장 우세하였으나 2021년에는 기어오르는무리가 164개체(32.80%)로 가장 높은 비율을 차지하였다. 두 해 모두 가장 낮은 개체수 비율을 나타낸 것은 잠수하는무리였다. 2020년 사지포에서는 기는무리가 193개체(29.07%), 2021년에 기는무리와 기어오르는무리가 123개체(26.86%)로 가장 우세하였으며 잠수하는 무리는 가장 낮은 개체수비율을 나타내거나 출현하지 않았다. 2020년 쪽지벌에서는 헤엄치는무리가 180개체(33.09%), 2021년에는 기어오르는무리가 178개체(31.34%)로 가장 우세하게 나타났으며 잠수하는 무리가 두 해 모두 가장 낮은 개체수 비율을 나타냈다(Fig. 5d).

3.5. 주요출현군

정수성 담수생태계의 생물군집과 건강성에 관한 연구 중 Kim(2015)은 우포늪에서 4년간 채집조사를 통하여 정수역에 서식하는 저서성 대형무척추동물의 종과 개체 수 증감에 가장 많은 영향을 준 분류군은 이른바 OHC군(Odonata, Hemiptera, Coleoptera)이며, OHC군의 종 수와 개체 수의 증감은 정수 생태계의 다양성에 큰 영향을 미친다고 보고하였다. 이러한 보고를 기반으로 2020년과 2021년의 우포늪 조사를 통하여

Table 4. Dominance of Odonata, Hemiptera and Coleoptera of Upo wetland in 2020 and 2021

Site	Order Year	Dominance(%)					
		Odonata		Hemiptera		Coleoptera	
		2020	2021	2020	2021	2020	2021
Upo		6.27	4.70	59.87	43.98	5.96	8.46
Mokpo		17.10	17.89	24.68	36.01	4.33	8.26
Sajipo		10.85	25.81	18.16	14.29	3.54	13.36
Jjockjibeol		5.49	6.61	24.57	45.37	14.74	28.41

OHC군의 구성과 목별 우점종의 출현 등 최근의 주요 출현 현황을 살펴보았다.

잠자리목에 속하는 분류군의 구성은 2020년 우포에서는 총 2과 4종 18개체로 우점도 6.27%였으며 등검은실잠자리가 10개체로 우점도(3.13%)가 가장 높았다. 목포에서는 3과 9종 79개체로 우점도 17.10%였으며 등검은실잠자리가 44개체로 우점도(9.52%)가 높았다. 사지포에서는 2과 6종 46개체, 우점도 10.85%였으며 아시아실잠자리(*Ischnura asiatica*)가 21개체로 우점도(4.96%)가 높았다. 쪽지벌은 3과 5종 19개체, 우점도 5.49%였으며 등검은실잠자리의 우점도가 2.31%였다. 2021년 우포에서는 3과 6종 25개체가 출현하여 우점도가 4.70%로 2020년보다 감소하였다. 2020년과 달리 등줄실잠자리가 가장 많았으며 우점도는 1.50%였다. 목포에서는 3과 9종 78개체로 우점도(17.89%)가 2020년에 비해 증가하였으며 등검은실잠자리가 45개체로 우점도는 10.32%로 가장 높았다. 사지포에서는 3과 7종 112개체로 우점도(25.81%)가 크게 상승하였고 이들 중 등검은실잠자리가 71개체로 가장 많고 우점도는 16.35%였다. 쪽지벌에서는 3과 7종 30개체 및 우점도가 6.61%였으며 등검은실잠자리가 14개체로 우점도(3.08%)가 가장 높았다.

노린재목은 2020년 우포에서 6과 9종 191개체, 우점도 59.87%로 나타났으며, 꼬마등글물벌레가 95개체로 우점도(29.78%)가 가장 높았다. 목포에서는 7과 9종 114개체, 우점도 24.68%로 나타났고 각시물자라가 66개체로 우점도(14.29%)가 가장 높았다. 사지포에서는 5과 6종 77개체, 우점도는 18.16%였으며 호르바드 깨알소금쟁이(*Microvelia (Microvelia) horvathi*)가 14개체로 우점도(3.30%)가 가장 높았다. 쪽지벌에서는 6과 7종 85개체, 우점도 24.57%로 나타났으며 꼬마물벌레가 42개체로 우점도(12.14%)가 높았다. 2021년에

는 우포에서 노린재목이 7과 11종 234개체로 2020년보다 개체수가 매우 증가하였으나 다른 분류군들의 개체수도 증가하여 우점도는 43.98%로 2020년보다 오히려 감소하였다. 그중 꼬마등글물벌레가 84개체로 우점도(15.04%)가 가장 높았다. 목포에서는 8과 11종 157개체의 노린재목이 확인되었으며 우점도는 36.01%로 2020년에 비해 증가하였다. 이들 중 각시물자라가 50개체로 가장 많았으며 우점도는 11.47%였다. 사지포에서는 6과 6종 62개체 및 우점도 14.29%로 2020년보다 낮은 값을 나타냈다. 꼬마등글물벌레가 31개체로 가장 많이 출현하였으며 우점도는 7.14%였다. 쪽지벌에서는 6과 7종 206개체 및 우점도 45.37%로 2020년에 비해 증가하였다. 이들 중 꼬마등글물벌레가 56개체로 가장 많았으며 우점도는 12.33%로 나타났다.

딱정벌레목에 속하는 분류군은 2020년 우포에서 3과 4종 19개체가 출현하였으며 우점도는 5.96%로 나타났다. 이들 중 중국물진드기(*Peltodytes sinensis*)가 8개체로 가장 많았고 우점도는 2.51%였다. 목포의 딱정벌레목은 5과 8종 20개체였으며 우점도는 4.33%였다. 이들 중 알꽃벼룩류(Scirtoidea)가 5개체로 가장 많이 출현하였고 우점도는 1.08%였다. 사지포에서는 3과 3종 15개체 및 우점도 3.54%였으며 애늪적물뽕뿔이(*Enochrus (Holcophilydrus) simulans*)가 10개체로 가장 많았고 우점도는 2.36%였다. 쪽지벌에서는 4과 10종 51개체의 딱정벌레목이 출현하였고 우점도는 14.74%였으며 애늪적물뽕뿔이가 16개체로 가장 많았고 우점도는 4.62%였다. 2021년에는 우포에서 5과 6종 45개체의 딱정벌레목이 확인되었으며 우점도는 8.46%로 2020년에 비해 증가하였다. 중국물진드기와 애늪적물뽕뿔이가 19개체로 가장 많았으며 우점도는 3.57%였다. 목포의 딱정벌레목은 4과 7종 36개체였으며

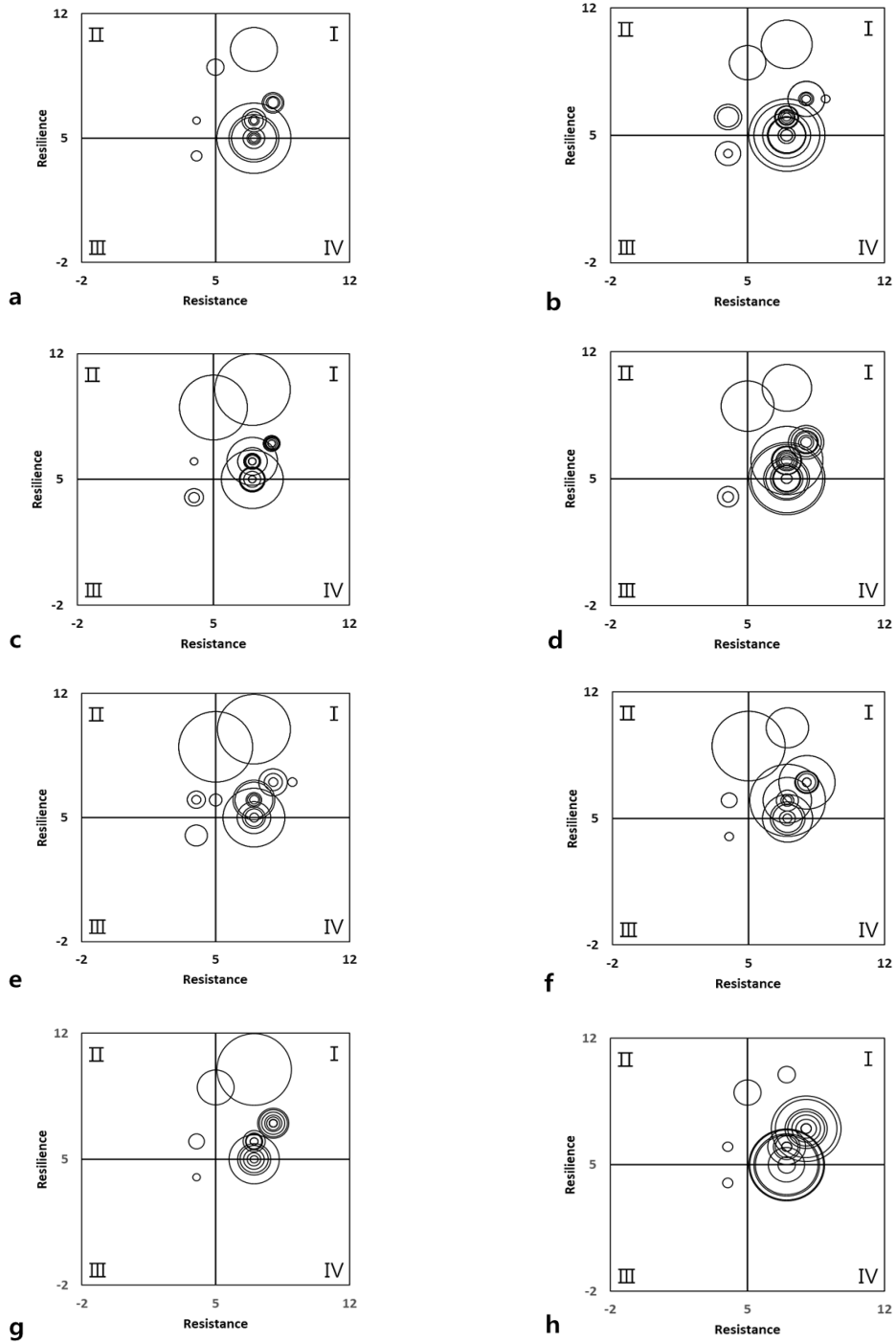


Fig. 6. Evaluation of community stability by relative resistance and resilience of benthic invertebrates in Upo wetland. a: Upo in 2020, b: Upo in 2021, c: Mokpo in 2020, d: Mokpo in 2021, e: Sajipo in 2020, f: Sajipo in 2021, g: Jjockjibeol in 2020, h: Jjockjibeol in 2021.

며 우점도는 8.26%로 2020년에 비해 우점도가 증가하였다. 애늬적물땡땡이가 14개체 및 우점도 2.52%로 가장 많았다. 사지포에서는 4과 6종 58개체였으며 우점도는 13.36%로 2020년에 비해 증가하였다. 이들 중 애늬적물땡땡이가 39개체, 우점도 8.99%로 2020년과 마찬가지로 가장 많았다. 쪽지벌에서는 5과 9종 129개체의 딱정벌레목이 출현하였으며 우점도는 28.41%로 2020년에 비해 증가하였다. 이들 중 가장 많이 출현한 종은 애늬적물땡땡이로 37개체, 우점도는 8.15%였다 (Table 4).

세 분류군을 합친 우점도는 2021년 쪽지벌이 가장 높으며 2020년 사지포가 가장 낮았다. 사지포와 목포는 잠자리목의 우점도가 높고 우포는 노린재목, 쪽지벌은 딱정벌레목이 높게 나타났다. 환경상태가 가장 불량했던 우포의 OHC그룹 우점도는 사지포나 목포보다 높았는데, 이러한 결과는 우포에서 높은 우점도를 보이는 꼬마등글물벌레와 꼬마물벌레의 영향으로 확인되었다. 꼬마물벌레의 경우에는 일부 지역에서 매우 높은 개체수 밀도로 서식하는 것으로 알려져 있는데(권 등, 2013), OHC그룹을 이용한 환경평가가 이루어지기 위해서는 이러한 생태를 가지고 있는 개체군들의 과도한 우점도를 보정하는 개선이 필요한 것으로 보인다.

3.6. 군집 안정성

수서곤충을 중심으로 출현 종의 상대적 회복력(Relative resilience)과 상대적 저항력(Relative resistance)을 조사하여 조사지점별 군집 안정성을 파악하였다. 각 조사지점에 연도별로 출현한 분류군들의 상대적 회복력과 저항력을 구한 후 각각 5를 기준으로 하여 4개의 영역을 등분하는 그래프 위에 상대적 회복력과 저항력을 나타냈다. 각 영역은 I, II, III, IV 4개의 특성군을 나누며 원의 크기는 해당 분류군의 개체수를 나타낸다.

우포에서는 특성군 I, 특성군IV에 속하는 분류군이 주로 분포하였다. 2020년에는 특성군 I에 속하는 분류군이 10종, 특성군II에 속하는 분류군이 2종, 특성군III에 속하는 분류군이 1종, 특성군IV에 속하는 분류군이 8종으로 나타났으며 2021년에는 특성군 I에 속하는 분류군이 14종, 특성군II에 속하는 분류군이 3종, 특성군III에 속하는 분류군이 2종, 특성군IV에 속하는 분류군이 9종으로 나타났다. 이것으로 우포에서는 상대적으로 회복력이 낮은 분류군들이 우세하여 비교

적 안정된 환경임을 알 수 있다. 목포에서는 특성군 I에 속하는 분류군들이 주로 분포하였다. 2020년에는 특성군 I에 속하는 분류군이 18종, 특성군II에 속하는 분류군이 2종, 특성군III에 속하는 분류군이 2종, 특성군IV에 속하는 분류군이 7종으로 나타났으며 2021년에는 특성군 I에 속하는 분류군이 17종, 특성군II에 속하는 분류군이 1종, 특성군III에 속하는 분류군이 2종, 특성군IV에 속하는 분류군이 9종으로 나타났다.

목포의 경우 각 특성군의 종 수 변화는 적으며, 상대적 회복력이 높은 일부 분류군의 개체수가 감소하였고 상대적 회복력이 낮은 분류군들의 개체수가 크게 증가하여 서식지가 안정화되고 있다고 추정할 수 있다. 사지포지역에서는 특성군 I에 속하는 분류군들이 주로 나타났다. 2020년에는 특성군 I에 속하는 분류군이 11종, 특성군II에 속하는 분류군이 4종, 특성군III에 속하는 분류군이 1종, 특성군IV에 속하는 분류군이 5종으로 나타났으며 2021년에는 특성군 I에 속하는 분류군이 14종, 특성군II에 속하는 분류군이 2종, 특성군III에 속하는 분류군이 1종, 특성군IV에 속하는 분류군이 5종으로 나타났다.

사지포의 특성군 I 내 분류군들의 연도별 변화를 살펴보면 상대적으로 저항력이 높은 분류군들이 감소하고 저항력이 낮은 분류군들이 증가하였는데, 이는 특성군 I로 분류되는 종들 가운데 교란요인에 비교적 민감한 종들이 유입되고 있음을 보여주며, 사지포의 교란요인이 감소하고 있다고 추정할 수 있다.

쪽지벌에서는 특성군 I에 속하는 분류군들이 주로 분포하였다. 2020년에는 특성군 I에 속하는 분류군이 16종, 특성군II에 속하는 분류군이 2종, 특성군III에 속하는 분류군이 1종, 특성군IV에 속하는 분류군이 6종으로 나타났으며 2021년에는 특성군 I에 속하는 분류군이 17종, 특성군II에 속하는 분류군이 2종, 특성군III에 속하는 분류군이 1종, 특성군IV에 속하는 분류군이 6종으로 나타났다. 쪽지벌도 목포와 마찬가지로 상대적 회복력이 높은 일부 분류군들의 개체수가 크게 감소하였고 상대적으로 회복력이 낮은 분류군들의 개체수가 크게 증가하여 서식지의 안정화가 진행되고 있는 환경인 것으로 판단된다(Fig. 6).

연도에 따른 습지별 상대적 저항력과 회복력은 조사한 모든 습지에서 인위적인 교란에 대한 항상성 유지가 높은 분류군들로 이루어진 특성군 I이 우세하였다. 인

위적 간섭이나 교란에 매우 민감한 특성군Ⅲ의 종수와 개체수는 우포를 제외한 모든 조사지점에서 2020년과 2021년에 비슷한 수준으로 유지되었지만, 우포에서는 2021년에 특성군 I 에 속하는 분류군들 가운데 상대적 회복력이 높은 분류군들의 개체수가 감소하였고 상대적으로 회복력이 낮은 분류군들의 종수와 개체수가 증가하는 것을 확인하였다. 쪽지벌에서는 특성군 I 중 상대적 저항력이 7, 회복력이 10인 연못하루살이의 개체수가 크게 줄어들었는데, 유수역에서는 상대적 저항력과 회복력에 대한 다양한 특성군이 나타나므로 교란요인의 유무에 대해 파악할 수 있지만, 이번 연구의 대상지이자 정수지역인 우포늪에서는 모든 조사지점에서 특성군 I 이 우세한 양상을 보여줬다. 이는 이 분석법이 정수역에 주로 서식하는 개체군에 대한 세부적인 분류는 이루어지지 않기 때문에 다양한 분류군들이 획일화된 점수를 부여받았기 때문이다. 그 결과 우포늪의 조사지점별 특성을 명확하게 파악할 수는 없었다. 따라서 정수역에 주로 서식하는 저서성 대형무척추동물을 대상으로 하는 상대적 저항력, 회복력에 관한 연구가 앞으로 필요한 것으로 보인다.

3.7. 우포늪의 생태계변화

3.7.1. 우포

우포의 다양도는 C시기(2020-2021년)에 2.970으로 가장 높았고 B 시기(2013-2014년)와 A 시기(2006-2007년)에는 각각 2.746, 2.741로 비슷하게 나타났다. 풍부도는 C 시기에 7.115로 가장 높았고 A 시기에 6.149, B 시기에 5.661로 나타났다. 우점도는 A 시기에 0.379로 가장 높고 C 시기에 0.317, B 시기에 0.279로 가장 낮았으며 균등도는 C 시기에 0.763으로 가장 높고, B 시기에 0.761, A 시기에 0.748로 가장 낮았으나 차이가 크지 않았다.

우포에서 2006년-2007년(A), 2013년-2014년(B), 2020년-2021년(C)에 각각 3월, 6월, 9월 총 18회 정량조사 후 보고된 자료를 이용하여 산출한 지수의 시기에 따른 평균의 차이가 유의한 지 확인하기 위하여 One-way ANOVA분석을 하였으며 Tukey 방법을 통해 사후검정을 하였다. 우포의 GPI 지수는 정규성을 만족하지 않아 Kruskal-wallis 검정을 실시하였으며 Bonferroni 검정을 통해 사후검정을 하였다. 그 결과 우포에서는 시간적 변화에 따른 세 그룹(A, B, C)을 비

교했을 때, 생물지수와 ESB, BMI, GPI 지수의 평균에서 유의미한 변화는 관찰되지 않았으며 전체 시기에 걸쳐 비슷한 수준을 유지하고 있었다(Table 5).

3.7.2. 목포

목포의 다양도는 C 시기(2020-2021년)에 3.055로 가장 높았으며 B 시기(2013-2014년)는 2.926, A 시기(2006-2007년)에 2.736으로 가장 낮았다. 풍부도는 C 시기가 7.647로 가장 높았으며 A 시기는 5.924, B 시기는 5.852로 가장 낮았다. 우점도는 B 시기가 0.309로 가장 높고, A 시기는 0.289, C 시기가 0.263으로 가장 낮았으며, 이는 목포의 출현종수가 A와 B 시기보다 C 시기에 현저히 증가하였기 때문이다. 균등도는 B 시기가 0.804로 가장 높고 C 시기가 0.769, A 시기가 0.752로 가장 낮았다.

목포의 시기별 3월, 6월, 9월 총 18회에 대한 정량조사 자료를 이용하여 산출한 지수들에 대해 시기에 따른 평균의 차이가 통계적으로 유의한 지 확인하기 위해 One-way ANOVA분석 및 Tukey 사후검정을 하였다. 목포에서 산출된 지수 중 ESB지수는 분포의 정규성을 만족하지 않아 Kruskal-wallis 검정을 하였고 사후검정을 위해 Bonferroni 검정을 하였다. 다양도지수와 BMI지수는 정규분포를 하고 있었으나 등분산을 만족하지 않아 Welch's ANOVA를 실행하였으며 사후검정에 Dunnett's T3를 이용하였다. 시기에 따른 목포의 지수 중 풍부도($p < 0.001$), 다양도($P < 0.01$), ESB ($p < 0.05$)에서 유의한 차이가 확인되었다. 결과에서 A나 B 시기보다 최근인 C 시기에 이들 지수가 매우 유의하게 증가하였고, 과거인 A시기에 비해 더 최근인 B와 C 시기에 다양도가 매우 유의하게 증가하였으며, ESB의 값이 C 시기에 유의하게 증가하였다(Table 6).

3.7.3. 사지포

사지포의 다양도는 C 시기(2020-2021년)에 3.099로 가장 높았으며 B 시기(2013-2014년)에 2.819, A 시기(2006-2007년)에 2.641의 순으로 나타났다. 풍부도는 C 시기에 7.254로 가장 높았고 B 시기에 6.059, A 시기에 5.888로 나타났다. 우점도는 A 시기에 0.351로 가장 높았으며 B 시기에 0.296, C 시기에 0.258로 가장 낮았다. 균등도는 C 시기에 0.792로 가장 높았고 B 시기에 0.775, A 시기에 0.726으로 나타났다. 이는 C 시기의

Table 5. Changes in the biological and environmental indices of Upo over time

Index	Group	N	Mean	SD	F	p	Tukey HSD	
<i>H'</i>	A	6	2.120	0.437	0.158	0.855	ns	
	B	6	2.223	0.148				
	C	6	2.227	0.454				
RI	A	6	3.238	1.150	1.209	0.326	ns	
	B	6	3.287	0.211				
	C	6	4.005	1.173				
DI	A	6	0.485	0.138	0.516	0.607	ns	
	B	6	0.443	0.088				
	C	6	0.513	0.129				
<i>J'</i>	A	6	0.812	0.110	1.389	0.280	ns	
	B	6	0.803	0.039				
	C	6	0.742	0.073				
ESB	A	6	31.167	12.844	1.413	0.274	ns	
	B	6	32.333	2.944				
	C	6	41.000	13.929				
BMI	A	6	48.335	8.012	0.776	0.478	ns	
	B	6	48.135	11.628				
	C	6	42.757	5.736				
Index	Group	N	Mean	SD	Mean Ranks	H	p	Bonferroni
GPI	A	6	1.878	0.842	11.000	0.959	0.619	ns
	B	6	1.795	0.171	8.000			
	C	6	1.841	0.154	9.050			

A: 2006-2007, B: 2013-2014, C: 2020-2021, Statistical test for *H'* - BMI: One-way ANOVA, Statistical test for GPI: Kruskal Wallis, *H'*: diversity index, RI: richness index, DI: dominance index, *J'*: evenness index, ESB: ecological score of benthic macroinvertebrate community, BMI: benthic macroinvertebrate index, GPI: group pollution index.

출현종이 다른 시기에 비해 많으며 우점도가 낮은 종들의 수가 많은 영향으로 생각된다.

사지포에서 산출한 지수들의 시기에 따른 평균 차이의 유의성을 검증하기 위하여 One-way ANOVA 분석과 Tukey 사후검정을 하였다. 우점도와 균등도는 정규성을 만족하나 등분산성을 만족하지 않아 Welch's ANOVA를 적용하였으며 Dunnett의 T3를 이용하여 사후검정을 하였다. 사지포에서 산출된 지수 중 풍부도는 정규성이 만족하지 않아 Kruskal-wallis 검정을 하였으며 Bonferroni 검정을 통해 사후검정을 하였다. 그 결과 사지포에서의 ESB에서 시간의 흐름에 따른 세 그룹 간 유의한 차이가 있었으며($p < 0.05$), A 시기보다 최근인 B 및 C 시기에 ESB가 유의하게 높았다. 그러나 나머지 지수들의 평균은 시기별로 유의한 차이가 나지

않았다(Table 7).

우포는 모든 지수에 유의한 차이가 나타나지 않았으며 이는 일정한 수준의 생태환경이 유지되고 있다는 것을 의미한다. 목포에서는 다양도, 풍부도, ESB에 유의한 차이가 나타났으며 사후검정 결과 다양도, 풍부도, ESB의 평균이 시간의 흐름에 따라 유의하게 증가하고 있다는 사실을 확인하였다. 사지포에서는 ESB에 유의한 차이가 나타났으며 목포와 마찬가지로 시간의 흐름에 따라 ESB의 평균이 유의하게 증가하고 있다는 사실을 알 수 있었다. 이는 사지포와 목포에 16년 동안 수환경에 긍정적인 변화가 나타났으며 우포는 과거와 비슷한 수준으로 유지되고 있다는 것을 의미한다. 생태계의 저차 소비자로서 중추적인 위치에 있는 저서성 대형무척추동물 군집은 우포에서 안정적으로 보전·관리되고

Table 6. Changes in the biological and environmental indices of Mokpo over time

Index	Group	N	Mean	SD	F	p	Tukey HSD
RI	A	6	2.875	0.634	15.78	<0.001***	A,B<C
	B	6	3.430	0.207			
	C	6	4.603	0.666			
DI	A	6	0.543	0.084	2.386	0.126	ns
	B	6	0.407	0.071			
	C	6	0.483	0.153			
J'	A	6	0.757	0.088	2.232	0.142	ns
	B	6	0.840	0.049			
	C	6	0.748	0.103			
GPI	A	6	1.813	0.108	3.079	0.076	ns
	B	6	1.916	0.961			
	C	6	1.788	0.736			

Index	Group	N	Mean	SD	F	Welch p	Dunnet T3
H'	A	6	1.937	0.204	6.253	0.008**	A<B,C
	B	6	2.352	0.130			
	C	6	2.360	0.332			
BMI	A	6	45.860	3.701	0.037	0.84	ns
	B	6	45.858	21.605			
	C	6	44.072	6.062			

Index	Group	N	Mean	SD	Mean Ranks	H	p	Bonferroni
ESB	A	6	28.000	7.925	6.080	8.070	0.018*	A<C
	B	6	32.667	2.733	8.000			
	C	6	48.167	8.085	14.420			

A: 2006-2007, B: 2013-2014, C: 2020-2021, Statistical test for RI-GPI: One-way ANOVA, Statistical test for H' and BMI: Welch's ANOVA, Statistical test for ESB: Kruskal Wallis. RI: richness index, DI: dominance index, J': evenness index, GPI: group pollution index, H': diversity index, BMI: benthic macroinvertebrate index, ESB: ecological score of benthic macroinvertebrate community.

있는 것으로 보인다. 쪽지벌은 동일한 조건으로 정량채집된 과거자료가 존재하지 않아 비교할 수 없었으나 연구기간 조사된 저서성 대형무척추동물의 분포정보를 통해 산출한 생물지수와 수질점수는 우포보다 양호한 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 우포늪을 이루고 있는 4개 습지에 서식하는 저서성 대형무척추동물을 정량조사하여 이들의 군집구조를 파악하고 생물학적 수질평가를 하였다. 또한 우포늪의 저서성 대형무척추동물 분포에 대한 문헌자료와 현행자료를 바탕으로 생태계의 변화를 통계학

적으로 평가하였다. 표본조사는 2020년과 2021년의 3월, 6월, 9월에 저서성 대형무척추동물을 정량조사하였으며, 채집된 분류군은 4문 5강 16목 42과 81종 3,406개체로 확인되었다. 2020년에는 4문 5강 16목 39과 68종 1,550개체, 2021년에는 4문 5강 15목 37과 63종 1,856개체를 채집하였으며 전체 우점종은 연못하루살이(*Cloeon dipterum*), 아우점종은 꼬마등글물벌레(*Paraplea indistinguenda*)로 나타났다. 우포늪 전체 섭식기능군의 종수 구성 및 개체수 구성은 모두 잡아먹는무리가 34종(45.95%) 및 1,504개체(41.84%)로 가장 높았으며, 서식습성군의 종수 구성은 기는무리가 23종(27.06%), 개체수 구성은 헤엄치는무리가 1,246개체(28.01%)로 가장 높은 비율을 차

Table 7. Changes in the biological and environmental indices of Sajipo over time

Index	Group	N	Mean	SD	F	p	Tukey HSD
H'	A	6	2.003	0.442	1.540	0.246	ns
	B	6	2.225	0.164			
	C	6	2.362	0.400			
ESB	A	6	29.833	11.427	4.487	0.030*	A<BC
	B	6	31.667	4.412			
	C	6	43.333	8.066			
BMI	A	6	50.832	5.917	2.893	0.087	ns
	B	6	57.465	11.641			
	C	6	45.812	6.483			
GPI	A	6	1.760	0.129	0.127	0.881	ns
	B	6	1.762	0.115			
	C	6	1.727	0.158			

Index	Group	N	Mean	SD	F	Welch p	Dunnet T3
DI	A	6	0.557	0.134	1.314	0.363	ns
	B	6	0.468	0.060			
	C	6	0.443	0.164			
J'	A	6	0.762	0.086	0.761	0.355	ns
	B	6	0.810	0.032			
	C	6	0.768	0.088			

Index	Group	N	Mean	SD	Mean Ranks	H	p	Bonferroni
RI	A	6	3.070	1.258	7.170	3.135	0.209	ns
	B	6	3.427	0.459	8.830			
	C	6	4.172	0.813	12.500			

A: 2006-2007, B: 2013-2014, C: 2020-2021, Statistical test for H' -GPI: One-way ANOVA, Statistical test for DI and J' : Welch's ANOVA, Statistical test for RI: Kruskal Wallis. H': diversity index, ESB: ecological score of benthic macroinvertebrate community, BMI: benthic macroinvertebrate index, GPI: group pollution index, DI: dominance index, J' : evenness index, RI: richness index.

지하였다. 생물지수중 풍부도, 다양도, 균등도의 평균은 목포가 가장 높고 우포가 가장 낮았으며 우점도는 가장 높고 목포가 가장 낮았다. 따라서 목포는 저서성 대형무척추동물에 대한 가장 건전한 생태계를 이루고 있었으며 우포는 소수의 분류군들이 우점하는 특성을 나타낸다고 볼 수 있다. 정수 생태계의 다양성에 큰 영향을 미치는 3개 주요군인 잠자리목, 노린재목, 딱정벌레목(OHC 군)을 합친 우점도는 2021년에 쪽지벌이 가장 높았으며 2020년 사지포가 가장 낮았다. 습지별 주요군 중 사지포와 목포에서는 잠자리목, 우포에서는 노린재목, 쪽지벌에서는 딱정벌레목의 우점도가 높았다. 환경상태가 가장 불량했던 우포에서 OHC그룹의 우점도

가 가장 높았으며, 이는 일부 노린재류의 개체수 증가에 의한 영향이다. 습지별 군집안정성 조사결과 우포의 군집은 비교적 안정된 상태로 유지되고 있으며 목포, 사지포, 쪽지벌은 안정화가 진행되고 있는 것으로 판단된다. 2020년과 2021년의 생물학적 수질평가를 한 결과 ESB, GPI, BMI지수 가운데 우포늪의 군집분석의 결과를 더 잘 반영하는 지수는 ESB로 판단되며 우포늪의 생물학적 환경평가에 더 적합한 지수로 생각된다. 우포, 목포, 쪽지벌의 경시적 생태계 변화양상을 평가하기 위해 2006년부터 2021년까지의 동물상 기준 및 현재 자료에서 일부를 추출하여 생물지수 및 수질지수를 산출하고, 통계분석을 하였다. 그 결과 우포는 모든 지수에

서 유의한 변화 없이 유지되고 있어 안정된 생태계를 이루고 있다고 생각되며, 목포에서는 최근에 풍부도지수 ($p < 0.001$), 다양도지수 ($p < 0.01$), ESB지수 ($p < 0.05$)가 유의하게 증가하였고, 사지포에서는 ESB지수가 유의하게 증가한 것을 확인하였다 ($p < 0.05$).

REFERENCES

- Ahn, K. H., 2009, Syntaxonomy and synecology of the Upo wetland, Ph. D. Dissertation, Keimyung University, Daegu, Korea.
- Allan, J. D., 1995, Stream ecology, structure and function of running waters, 1st ed., Chapman and Hall, London, 1-388.
- Carr, G. M., Neary, J. P., 2006, Water quality for ecosystem and human health, 1st ed., UN GEMS Water Programme, Ontario, 1-132.
- Cho, M. Y., 1989, Coloured woody plants of Korea, 1st ed., Academy Books Co., Ltd., Korea, 1-498.
- 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., Klug, M. J., 1979, Feeding ecology of stream invertebrates, Annu. Rev. Ecol. Syst. 10, 147-172.
- Jung, K. S., 2011, Odonata larvae of Korea, 1st ed., Nature and Ecology, Korea, 1-399.
- Jung, Y. O., Park, N. B., 2014, Four seasons wildflower encyclopedia, 1st ed., Garamnuri Books Co., Ltd., Korea, 1-872.
- Kawai, T., Tanida, K., 2005, Aquatic insects of Japan : manual with keys and illustrations, 1st ed., Tokai University Press, Kanagawa, Japan, 1-1275.
- Kim, H. G., 2015, A Study on establishing a group of biodiversity indicators for benthic macroinvertebrates in the lake ecosystem, Ph. D. Dissertation, Changwon National University, Changwon, Korea.
- Kim, H. G., Lee, D. J., Yoon, C. S., Cheong, S. W., 2016, Assessing biodiversity of benthic macroinvertebrates and influences of several environmental factors on the community structure in Upo wetland by long-term ecological monitoring, J. Environ. Sci., 25, 459-472.
- 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., Kwak, I. S., Jun, Y. C., Park, Y. S., Ham, S. A., Lee, J. K., Lee, S. W., Park, C. H., Moon, C. H., Kim, J. Y., Park, H. K., Park, S. J., Kwon, Y. G., Kim, P. J., Kim, A. R., 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, 1-483.
- Kwon, S. J., Jun, Y. C., Park, J. H., 2013, Underwater creature book, 1st ed., Nature and Ecology, Korea, 9-791.
- Lee, D. J., 2011, A Study on the changing pattern of benthic macroinvertebrate community in Upo wetland, Ph. D. Dissertation, Changwon National University, Changwon, Korea.
- Lee, D. J., Yoon, C. S., Lee, J. C., Sung, S. H., Park, D. R., Cheong, S. W., 2009, Fundamental investigation for long-term ecological monitoring on community of benthic macroinvertebrates in wetland Woopo, J. Environ. Sci., 18, 1399-1410.
- Lee, J. C., Koo, B. Y., Yoon, C. S., Lee, D. J., Cheong, S. W., 2011, Seasonal changes on community structures of benthic macroinvertebrates in wetland Upo, J. Environ. Sci., 20, 261-274.
- Lee, J. J., Lee, J. H., 2009, Changes of the environmental factors in Upo wetland, Korean. J. Environ. Biol., 27, 306-313.
- Lee, Y. M., 2003, Coloured wild flowers of Korea, 9th ed., Dareunsang Books Co., Ltd., Korea, 1-551.
- Ko, B. S., Kim, Y. S., 1988, Coloured wild plants of Korea, 1st ed., Academy Books Co., Ltd., Korea, 1-500.
- 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.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., Berg, M. B., 2008, An Introduction to the aquatic insects of North America, 4th ed., Kendall Hunt Publishing, USA, 105-267.
- Ministry of Environment, 2002, 2001 National inland wetlands natural environment survey, Ministry of Environment, Korea, 1-389.
- Ministry of Environment and National Academy of Environmental Sciences, 2011, Aquatic ecosystem health survey and evaluation, Ministry of Environment, Korea, 1-427.
- Mitsch, W. J., Gosselink, J. G., 1993, Wetlands, 2nd ed., Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, 1-722.

- Mulamoottil, G., Warner, B. G., McBean, E. A., 1996, Wetland : environmental gradients, boundaries, and buffers, 1st ed., CRC Press, Boca Raton, USA, 1-320.
- National Institute of Biological Resources, 2021, National list of species of Korea, https://www.kbr.go.kr/stat/kt_sfiledown/downpopup.do.
- Oh, K. H., Kim, C. S., Lee, P. H., Son, S. G., 2004, Flora in Woopo wetland and Topyeong stream, *J. Wetlands Res.*, 6, 107-118.
- 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.
- Seo, D. J., 2009, Categorizing the landcover classes of the satellite imagery for the management of the nonpoint source pollutions, *Jour. of KoCon.a.*, 9, 465-474.
- Shannon, C. E., Weaver, W., 1949, The mathematical theory of communication, 2nd ed., Univ. Illinois Press, Urbana, 1-125.
- The Korean Entomological Society of Korea and Korean Society of Applied Entomology, 1994, Check list of insects from Korea, Kon-Kuk Univ. Press, Korea, 5-744.
- The Korean Society of Systematic Zoology, 1997, List of animals in Korea, *The Korean Soc. Syst. Zool.*, 3-489.
- Ward, J. V., 1992, Aquatic insect ecology, Vol. 1., John Wiley & Sons, USA, 2-438.
- 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.
- Won, D. H., Kwon, S. J., Jun, Y. C., 2005, Aquatic insects of Korea, 1st ed., Korea Ecosystem Service, Korea, 1-415.
- Yoon, I. B., 1995, Aquatic insects of Korea, 1st ed., Junghaengsa, Korea, 5-262.
- Yoon, I. B., Kong, D. S., Ryu, J. K., 1992a, Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (1) Saprobic valency and indicative value, *Korean J. Environ. Biol.*, 10, 24-39.
- Yoon, I. B., Kong, D. S., Ryu, J. K., 1992b, Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (2) Effects of environmental factors to community, *Korean J. Environ. Biol.*, 10, 40-55.
- Yoon, I. B., Kong, D. S., Ryu, J. K., 1992c, Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (3) Macroscopic simple water quality evaluation, *Korean J. Environ. Biol.*, 10, 77-84.
-
- Graduate student. Tae-Won Hwang
Department of Biology & Chemistry, Changwon National University
xodnjs0525@naver.com
 - Graduate student. Seong-Woo Bae
Department of Biology & Chemistry, Changwon National University
pansi4@naver.com
 - Researcher. Chun-Sik Yoon
Department of Biology & Chemistry, Changwon National University
biobioly@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