

ORIGINAL ARTICLE

신불산 고산습지 보호지역 저서성 대형무척추동물의 군집특성 및 변화상 연구

홍성진 · 정선우^{1)*}

낙동강유역환경청, ¹⁾창원대학교 생물학 · 화학융합학부

A Study on the Community Characteristics and Changes of Benthic Macroinvertebrates in the Conservation Area of the Shinbulsan Wetland

Sung-Jin Hong, Seon-Woo Cheong^{1)*}

Nakdong River Basin Environmental Office, Changwon 51439, Korea

¹⁾*Department of Biology & Chemistry, Changwon National University, Changwon 51140, Korea*

Abstract

The Shinbulsan wetland, located in Yangsan-si, Gyeongsangnam-do, South Korea, was designated as a conservation area in 2004. The area was monitored from 2015 to 2019 to investigate the community characteristics and changes of benthic macroinvertebrates. Between 2015 and 2016, several insects of the orders Ephemeroptera, Odonata, and Hemiptera were identified, but their numbers decreased significantly in 2017 and 2018 following the loss and recovery of the moor owing to drought. During this period, there were relatively more insects of the order Diptera. Within this order, three functional feeding groups, gathering-collectors, plant-piercers, and predators were investigated. Predator species were the most abundant (83.3%), whereas gathering-collectors accounted for the largest proportion of individual insects (50.5%). Between 2015 and 2016, when the moors were stable, groups I and III had the highest community stability. After 2017, when the moors had dried up, group III effectively disappeared because of its lower relative resistance and resilience, and only taxa belonging to group I remained. The results of this study indicate that benthic macroinvertebrates that adapt early during moor formation inhabit the Shinbulsan wetland.

Key words : Shinbulsan wetland, Benthic macroinvertebrates, Community characteristics, Functional feeding group, Relative resistance, Relative resilience

1. 서론

생물 서식 공간의 변화는 서식처, 먹이 조건 등 생물의 유치를 결정하는 주요 요소의 변화를 동반한다. 생물상

에 대한 장기모니터링은 이러한 생물 서식 공간인 생태계를 이해하고 평가하는 데 매우 적합한 방법으로 인식되고 있으며, 생태계의 생물적 및 비 생물적 요인의 변화 양상 파악을 위해 유용성과 필요성을 인정받고 있다(Lee

Received 11 October, 2020; Revised 20 October, 2020;

Accepted 9 November, 2020

*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.

et al., 2009). 저서성 대형무척추동물은 담수 생태계의 생물 중 가장 높은 종다양성과 개체수 현존량을 나타내고 있으며, 담수 생태계의 저차 소비자로서 영양단계의 중추적인 위치에 있다(Pennak, 1989; Bae et al., 2004; Kim et al., 2016). 또한, 저서성 대형무척추동물은 절지동물, 연체동물, 환형동물 등 다양한 동물의 분류군을 포함하고 있고, 정량채집이 가능하여 그 지역의 담수 생태계를 파악하는데 적절하게 활용될 수 있다.

신불산고산습지는 경상남도 양산시 원동면 대리 산 92-2 해발 730~750 m에 위치한다. 이 습지는 자연경관이 우수하고, 생태학적 보전가치가 높아 환경부에서는 습지보전법 제8조 제1항 및 제4항에 의하여 2004년 2월 25일 307,551 m²의 면적에 대하여 습지 보호지역으로 지정하여 관리하고 있다. 신불산고산습지는 인접한 산지습지보호지역인 양산 화엄늪, 울주 무제치늪, 밀양 재약산 사자평고산습지 등에 비해 평탄한 지역에 형성되어 있고, 물이 고여 있는 넓은 습원을 조망할 수 있어 경관적인 가치가 뛰어나다. 이 습지는 크게 4개의 소 습지로 구분되며 각 소 습지의 명칭은 별도로 지도상에 나타나지 않으므로 관련 보고에 따라 각각 A, B, C, D 습지로 구분하고자 한다. A 습지는 담수량이 가장 많아 저서성 대형무척추동물이 살기에 적합한 환경을 가지고 있다(Lee et al., 2009). B, C 습지는 고여 있는 물이 A 습지에 비해 적고, D 습지는 인접한 골프장 조성 시 훼손되어 현재는 습지의 기능을 대부분 상실한 상태이다.

신불산고산습지에 대한 연구들은 지화학적 특성(Shin et al., 2005), 생태적 특성과 관리 방안 연구(Yi and Nam, 2008) 등 습지 기반에 관한 연구가 있으며, 습지에 서식하는 생물과 관련해서는 식물상과 균락 분포에 관한 연구(Yoo, 2009) 및 저서성 대형무척추동물 군집구조 특성(Lee et al., 2009) 등이 수행된 바 있다. 신불산 고산습지에 대한 연구는 대부분 습지와 인접하여 위치한 골프장 등 리조트 건설과 관련해 훼손된 습지의 현황을 파악하고, 그에 따른 보전 및 복원 방안의 제시가 중심이 되었다.

본 연구에서는 A, B, C, D 4개 습지 중 가장 넓은 면적을 차지하고, 저서성 대형무척추동물의 서식 공간인 습지 내부에 담수량이 양이 많은 A 습지를 대상으로 저서성 대형무척추동물의 분포현황을 장기모니터링하여 그 지역에 서식하고 있는 저서성 대형무척추동물의 군집특

성을 파악하고 환경의 변화에 따른 군집구조의 변화를 고찰하여 향후 산지습지의 보전방안 마련에 필요한 기초 자료를 확보하는 데 초점을 맞추었다. 이를 위해 2015년부터 2019년까지 5년간의 생물변화상 및 생물지수를 연도별로 비교하였고 섭식기능군의 유형을 분석하였으며, 서식지의 군집안정성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지점 및 조사기간

신불산고산습지는 경상남도 양산시 원동면 대리에 소재하며 지리정보는 동경 128° 59' 56.16"E, 북위 35° 25' 26.93"N이다. 이 지역은 2004년 환경부에 의해 307,551 m²의 면적이 습지보호지역으로 지정되어 보호되고 있다. 보호지역 내에는 A, B, C, D의 4개의 작은 습지가 있으며 습지들의 담수기간은 짧고 담수면적도 좁다(Fig. 1). 또한 육화지역이 대부분이며 습지의 외곽경계는 뚜렷하지 않다. 본 연구에서는 이들 중 가장 규모가 크고 담수량이 많은 A 습지를 대상으로 저서성 대형무척추동물의 군집구조 변화상을 조사하였다. A 습지는 전체적으로 진퍼리새(*Molinia japonica*)가 우점하고 있으며, 습지 주변은 신갈나무(*Quercus mongolica*), 떡갈나무(*Quercus dentata*) 등의 참나무류가 균락을 형성하고 있다. 습지 내부의 동편에는 신불산고산습지에서 가장 특징적인 경관적 요소라고 할 수 있는 약 150 m²의 물웅덩이 형태의 습원이 있으며, 이를 포함하여 소규모 물웅덩이 2~3개소가 습지 내부에 산재해 있다.

본 연구의 현장조사는 A 습지 내부 약 150 m² 크기의 습원에서 시행되었으며, 이 지점은 심각한 가뭄 외에는 상시로 물이 고여 있는 곳이다. 습원 내부에는 골풀(*Juncus effusus* var. *decipiens*), 큰개수염(*Eriocaulon hondoense*), 흰개수염(*Eriocaulon sikokianum*), 물고랭이(*Schoenopectus nipponicus*), 올챙이자리(*Blyxa aubertii*), 쇠털골(*Eleocharis acicularis* for. *longiseta*), 물매화(*Parmassia palustris*), 물고추나물(*Triadenum japonicum*), 끈끈이주걱(*Drosera rotundifolia*), 이삭귀개(*Utricularia racemosa*), 자주땅귀개(*Utricularia yakusimensis*) 등의 습지식물이 균락을 형성하고 있다(Fig. 1).

본 조사는 2015년부터 2019년까지 5년간 행하였으

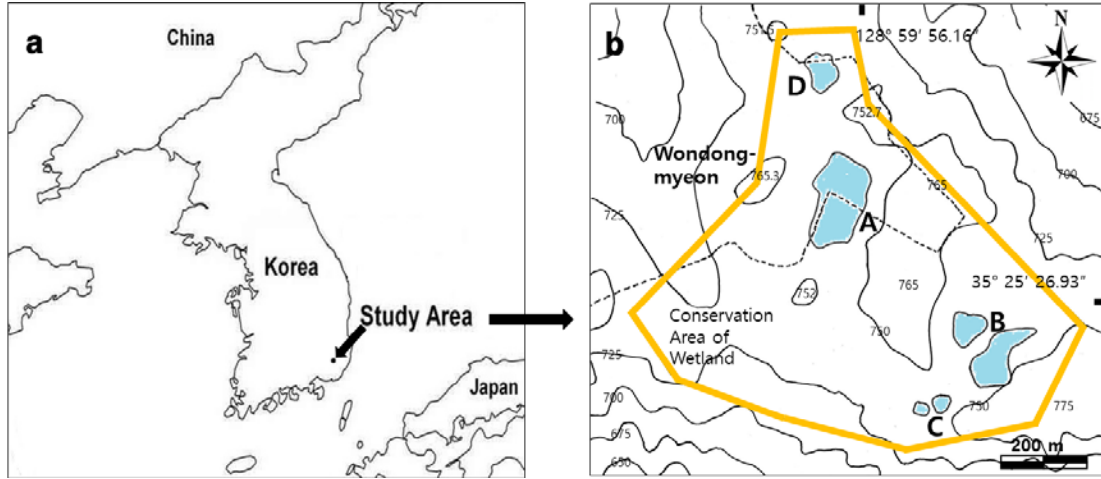


Fig. 1. Maps of the study area (a) and Shinbulsan wetland (b). There are four small moors (A~D) in the conservation area of the Shinbulsan wetland (b).

며, 기온이 낮은 산지습지의 특성을 고려하여 서식지가 가장 안정화되는 시기인 매년 6월(하계)과 9월(추계)에 현장조사를 하였다.

2.2. 채집 및 분류

A습지 내 150 m² 면적의 습원에서 저서성 대형무척추동물을 채집하였으며 D frame-net(폭 30 cm, 높이 30 cm, 망목 0.2×0.2 mm)을 활용하여 3 m²에 해당하는 면적에 대하여 정량 채집하였다. 용수의 부족 등으로 일시에 3 m²에 해당하는 채집면적을 확보하기 어려운 시기에는 세 개 지점을 선정하여 각각 1 m²에 해당하는 면적을 채집조사 하였다. 현장에서 채집된 표본은 500 ml 유리병에서 고정액(Kahle's solution)으로 1일간 고정하고, 80% 에틸알코올에서 냉장보관 및 동정하였다(Ward, 1992).

채집된 저서성무척추동물의 동정은 Lee(1971), Yoon(1988), Yoon and Song(1989), Kwon(1990), Song(1995), Yoon(1995), Kawai and Tanida(2005), Jung(2011) 등을 참고하였으며, 분류체계와 학명은 The Korean Entomological Society of Korea(1994)와 The Korean Society of Systematic Zoology(1997)를 따랐다.

2.3. 생물지수

정량조사 된 저서성 대형무척추동물을 대상으로 종다양도(Diversity index, H'), 종풍부도(Richness index, RI), 균등도(Evenness index, J'), 우점도(Dominance, D) 등의 생물지수(Biotic index)를 산출하였다. 종다양도는 Shannon-Weaver function(H')을 이용하였고(Shannon-Weaver, 1949), 종풍부도는 Margalef(1958)의 방식을 이용하였다. 군집 내 종 구성의 균일한 정도를 나타내는 균등도는 Pielou(1975)의 방법을 활용하여 산출하였다. 우점도는 채집된 개체수 현존량에 의거하여, 제 1우점종 및 제 2우점종을 선정하여 McNaughton's dominance index를 이용해 산출하였다(McNaughton, 1967).

2.4. 섭식기능군 및 군집안정성 분석

섭식기능군(FFG : Functional Feeding Group)의 분석은 Merritt and Cummins(1984)의 분류방식을 응용하여 한국산 수서곤충류 섭식기능군의 유형을 속(genus) 수준에서 6가지로 분류하여 분석하였으며, 군집 안정성은 한국산 수서곤충류의 상대적 저항력(relative resistance)과 회복력(relative resilience)을 10개 등급으로 세분화한 자료를 바탕으로 평가하였다(Ro and Chun, 2004; Won et al., 2005).

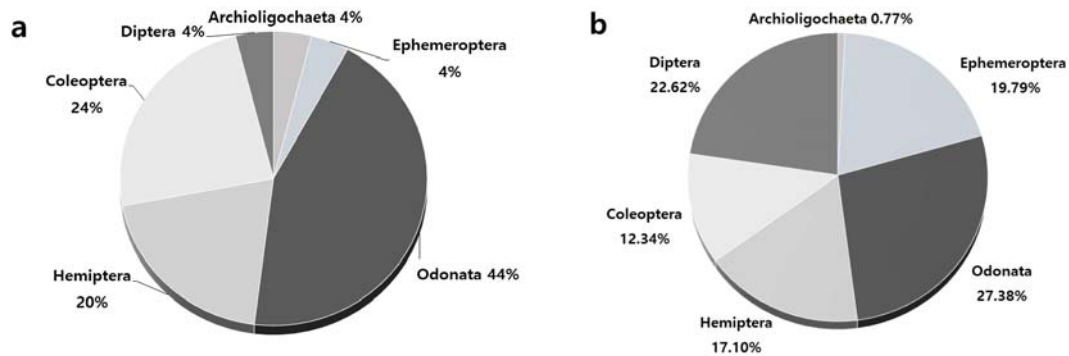


Fig. 2. Species composition (a) and individuals composition (b) by the order in the Shinbulsan wetland (2015~2019).

3. 결과 및 고찰

3.1. 저서성 대형무척추동물 서식 현황

신불산고산습지(A습지)에서 2015년부터 2019년까지 5년간 조사된 저서성 대형무척추동물은 총 2문 2강 6목 15과 25종 778개체로 나타났다. 전체 우점종은 갈따구류(*Chironomus* sp.)로 우점도(D)는 22.62%로 나타났고, 아우점종은 연못하루살이(*Cloeon dipterum*)로 우점도는 19.79%로 확인되었다. 전체 조사 기간에 확인된 저서성 대형무척추동물의 강(Class)별 종 점유율은 절지동물문(Arthropoda)의 곤충강(Insecta)이 96%(24종)였으며, 그 외 환형동물문(Annelida)의 빈모강(Oligochaeta)이 4%(1종)로 확인되었다. 따라서 일반적으로 담수 생태계에서 곤충강에 속하는 수서곤충류와 함께 비곤충류인 복족강(Gastropoda), 연갑강(Malacostraca) 등이 확인되는 것과 달리 신불산고산습지에서는 곤충강 외에 빈모강에 속하는 물지렁이(*Chaetogaster limnaei*) 1종만 확인되었다. 목(Order)별 종 점유율은 잠자리목(Odonata) 44%(11종), 딱정벌레목(Coleoptera) 24%(6종), 노린재목(Hemiptera) 20%(5종)으로 확인되었고, 그 외 물지렁이목(Archioligochaeta), 하루살이목(Ephemeroptera), 파리목(Diptera)이 각각 4%(1종)으로 나타났다. 그리고 조사 대상지점이 산지에 위치하는 정수성(lentic) 습지로 산간계류에서 비교적 높은 비율로 확인되는 EPT그룹(하루살이목, 강도래목, 날도래목)에 속하는 종은 연못하루살이(*Cloeon dipterum*) 1종만 확인되었다(Fig. 2-a).

개체수 점유율은 곤충강이 99.23%(772개체)로 나타났고, 빈모강은 0.77%(6개체)로 나타났다. 목별 개체수

는 잠자리목이 27.38%(213개체)로 가장 높은 점유율을 보였으며, 파리목 22.62%(176개체), 하루살이목 19.79%(154개체), 노린재목 17.10%(133개체), 딱정벌레목 12.34%(96개체), 물지렁이목 0.77%(6개체)의 순으로 확인되었다. 따라서, 신불산고산습지에 서식하는 저서성 대형무척추동물은 대부분 곤충류인 것으로 나타났다. 또한, 우점종은 파리목의 갈따구류였으며 아우점종은 하루살이목의 연못하루살이였으나 잠자리목에 속하는 종들의 개체수가 가장 많아 다양한 종의 잠자리가 고른 개체수로 분포하는 것으로 나타났다(Fig. 2-b).

3.2. 연도별 서식현황 및 생물지수

2015년에 확인된 저서성 대형무척추동물은 2문 2강 6목 14과 20종 258개체였으며, 2016년에는 2문 2강 6목 14과 21종 280개체로 2015년과 유사한 서식 현황을 나타내었다. 그러나 2017년에는 1문 1강 4목 5과 6종 41개체로 서식이 확인된 종수가 전년도보다 71% 이상 현저하게 감소하였으며, 2018년에도 1문 1강 5목 8과 8종 55개체로 2015년과 2016년보다 서식 종수는 60% 이상, 개체수는 78% 이상 각각 감소하였다. 이후 2019년에는 1문 1강 5목 11과 15종 144개체로 2017년과 2018년에 비해 서식 종수는 87% 이상, 개체수는 260% 이상 증가하였다. 이러한 결과는 2017년 경남 양산지역의 가뭄으로 인해 2017년과 2018년은 신불산고산습지 내 습원이 고갈되어 6월 조사에서는 저서성 대형무척추동물이 전혀 확인되지 않았기 때문이며, 2018년 9월 조사 시 습원이 회복되면서 서식 종수와 개체수가 다소 회복되는 양상을 나타내었다(Fig. 3).

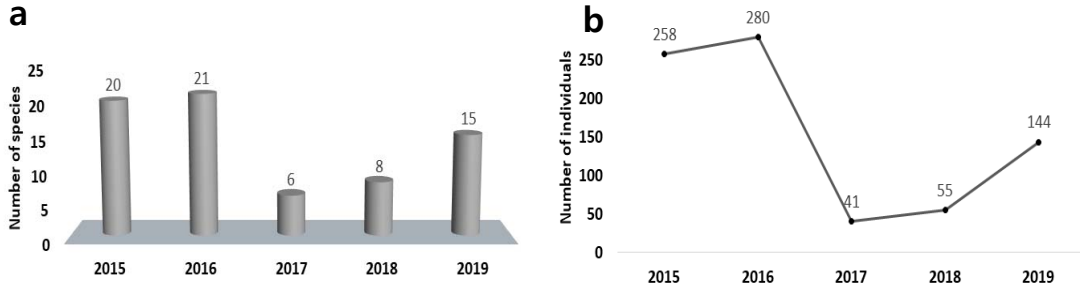


Fig. 3. Number of species (A) and number of individuals (B) in each surveyed years.

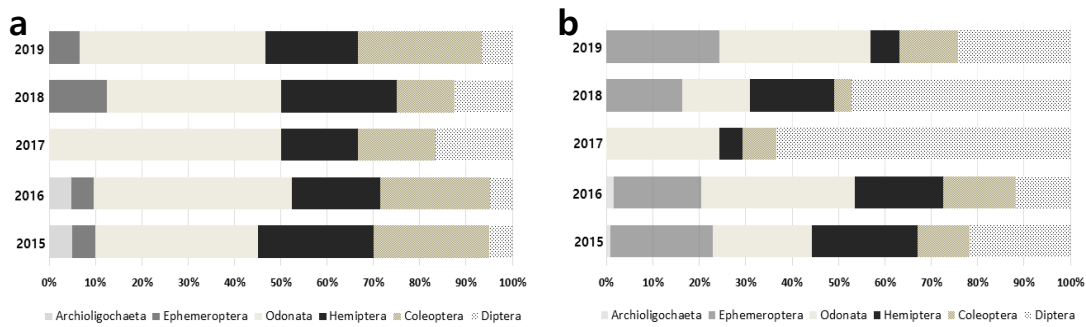


Fig. 4. Species composition (a) and individuals composition (b) by the order in each surveyed year.

연도별로 목별 종 점유율을 살펴보면, 2015년 잠자리목 35.0%, 노린재목과 딱정벌레목이 25.0%, 물지렁이목, 하루살이목, 파리목이 각각 5.0%를 차지하였고, 2016년에는 잠자리목 42.9%, 딱정벌레목이 23.8%, 노린재목 19.0%, 물지렁이목, 하루살이목, 파리목이 각각 4.8%를 차지하였다. 6월 조사 시 가뭄으로 습원이 말라 확인 개체가 없었던 2017년에는 물지렁이목과 하루살이목에 속하는 종은 조사되지 않았고, 잠자리목 50.0%, 노린재목, 딱정벌레목, 파리목이 각각 16.7%인 것으로 나타났다. 2018년은 잠자리목 37.5%, 노린재목 25.0%, 딱정벌레목, 하루살이목, 파리목이 각각 12.5%인 것으로 확인되었고, 2019년에는 잠자리목 40.0%, 딱정벌레목 26.7%, 노린재목 20.0%, 하루살이목과 파리목이 각각 6.7%를 차지하는 것으로 확인되었다. 따라서, 조사지점 내 습원의 소실과 재형성에 따라 이동력이 강한 잠자리목, 딱정벌레목, 파리목에 속하는 종이 주변 서식지로부터

재유입 된 것에 반해 이동력이 약한 물지렁이는 습원의 소실에 따라 단기적으로 해당 지점에서 절멸된 것으로 보인다(Fig. 4-a).

연도별 목별 개체수 점유율은 2015년 노린재목 22.9%, 하루살이목 22.1%, 파리목 21.7%, 잠자리목 21.3%, 딱정벌레목 11.2%, 물지렁이목 0.8%였으며, 2016년은 잠자리목 33.2%, 하루살이목과 노린재목이 각각 18.9%, 딱정벌레목 15.7%, 파리목 11.8%, 물지렁이목 1.4%로 나타났다. 2017년에는 파리목 63.4%, 잠자리목 24.4%, 딱정벌레목 7.3%, 노린재목 4.9%, 2018년 파리목 47.3%, 노린재목 18.2%, 하루살이목 16.4%, 잠자리목 14.5%, 딱정벌레목 3.6% 순으로 확인되었다. 2019년에는 잠자리목 32.6%, 파리목과 노린재목이 각각 24.3%, 딱정벌레목 12.5%, 노린재목 6.3%로 조사되었다. 이러한 결과로 볼 때, 신불산고산습지의 조사지점 일대에는 잠자리 등 주로 비행이 가능하여 외부 이입이

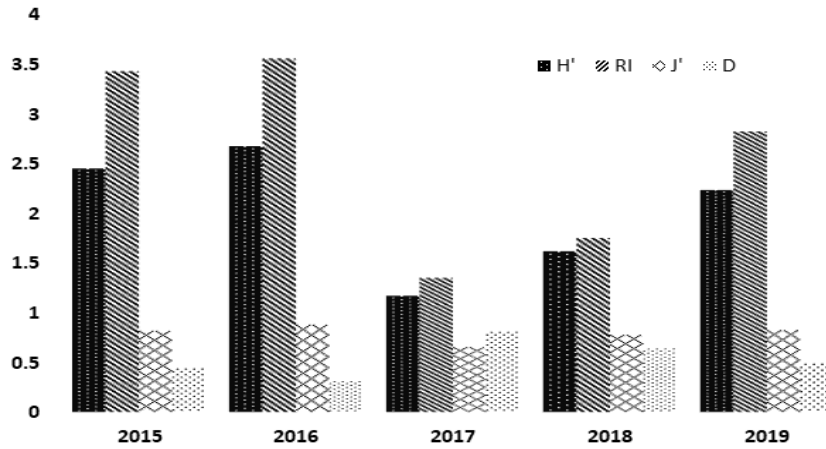


Fig. 5. Biotic indices of macro-invertebrates in each surveyed year.

가능한 개체가 99% 이상을 차지하고 있는 것으로 확인되었다. 또한, 2015년과 2016년의 경우 하루살이목, 잠자리목, 노린재목이 높은 개체수 비율을 차지한 데 반해 가뭄으로 습원의 소실과 재형성과정을 거친 2017년과 2018년에는 파리목의 개체수 비율이 비교적 높은 것으로 나타났으며, 2019년 습원 안정화 이후 파리목의 개체수 비율이 다시 낮아짐을 알 수 있었다. 따라서, 신불산고 산습지에서 습원 재형성과정 중 파리목에 속하는 깔따구류가 먼저 정착한 이후 잠자리, 하루살이 등 이동력이 있는 종이 유입, 정착하는 것으로 보인다. 일반적으로 다 회 발생하고, 성충의 이동력이 있으며 유충은 점토성 펄 속에서도 살아남을 수 있는 파리목 깔따구류의 특성이 재형성된 습원에서 정착하는 데 유리하게 작용했을 것으로 판단된다(Fig. 4-b).

군집분석을 위해 연도별 종다양도(H'), 종풍부도(RI), 균등도(J'), 우점도(D) 등의 생물지수를 산출하였다. 먼저, 군집 내 종수와 개체수의 상대적인 균형과 복잡성을 나타내는 종다양도와 종풍부도 지수는 서식지가 안정적인 상태를 유지하던 2015년과 2016년은 유사한 수준을 나타냈으나, 가뭄으로 6월 중 서식지가 소실된 2017년은 급격하게 낮아진 것으로 확인되었다. 이후 습원의 재형성 등 서식지가 점차 안정화 되면서 2018년과 2019년 점차 높아지는 경향을 보였다. 균등도, 종다양도, 종풍부도는 2017년 가장 낮은 수치를 나타냈다가 2019년에 다시 회복된 것으로 확인되었다. 우점도는 조사 기간 중

2016년이 가장 낮아 군집을 구성하는 종에 대한 개체수 비율이 안정적인 모습을 보였으나, 2017년 서식지의 소실에 따른 군집 내 종수 및 개체수 감소로 인해 일부 종의 우점이 심화하여 우점도가 가장 높은 것으로 판단되었다(Fig. 5).

3.3. 섭식기능군 유형분석

수서곤충류는 섭식기능군(FFG, Functional Feeding Group)별 분석을 할 수 있는데, 이는 수생태계 내 유기물의 상태 및 주위 환경에 따라 달라진다(Sim et al., 2011). 또한, 어떤 형태의 먹이를 먹는가와 어떻게 먹이를 획득하는가에 따라 썰어먹는무리(SH, shredder), 주위먹는무리(GC, gathering-collector), 걸러먹는무리(FC, filtering-collector), 긁어먹는무리(SC, scraper), 뚫어먹는무리(PP, plant-piercer), 잡아먹는무리(P, predator) 등 6가지 형태로 나눌 수 있다(Ro and Chun, 2004).

6가지의 섭식기능군 유형 중 2015년부터 2019년까지 5년간 조사지점에서 확인된 유형은 미세유기물(<1 mm)을 주위먹는무리, 수생식물에 구멍을 내 수액을 빨아먹는 뚫어먹는무리 및 다른 동물을 잡아먹는 포식자의 3가지 형태인 것으로 나타났다. 반면 나뭇잎, 나뭇가지 등 큰 고형물질(>1 mm)을 썰어 먹는무리, 미세 유기물을 걸러먹는무리, 하상물질의 표면에 부착되어 있는 유기물 등을 긁어먹는무리는 확인되지 않았다. 종수와 개체수 비율로 분석한 결과 중 수준에서는 잡아먹는무리가

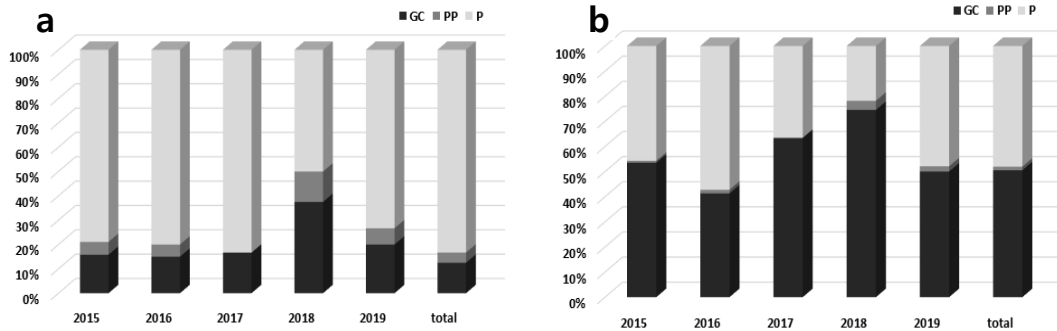


Fig. 6. Composition of functional feeding groups (FFG) of benthic macro invertebrates in each surveyed year (A:species composition, B:individuals composition).

83.3%로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 주위먹는무리가 12.5%, 뚫어먹는무리가 4.2%인 것으로 나타났다. 종수 비율과 달리 개체수 수준에서는 주위먹는무리가 50.5%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 잡아먹는무리가 48.1%, 뚫어먹는무리가 1.4%인 것으로 확인되었다.

연도별 섭식기능군별 종수 비율은 2015년에 잡아먹는무리 78.9%, 주위먹는무리 15.8%, 뚫어먹는무리 5.3%, 2016년 잡아먹는무리 80.0%, 주위먹는무리 15.0%, 뚫어먹는무리 5.0%, 2017년 잡아먹는무리 83.3%, 주위먹는무리 16.7%였으며, 뚫어먹는무리는 확인되지 않았다. 2018년의 경우 잡아먹는무리 50.0%, 주위먹는무리 37.5%, 뚫어먹는무리 12.5%였으며, 2019년은 잡아먹는무리 73.3%, 주위먹는무리 20.0%, 뚫어먹는무리 6.7%인 것으로 나타났다(Fig. 6-a).

섭식기능군별 개체수 비율은 2015년에 주위먹는무리 53.5%, 잡아먹는무리 45.7%, 뚫어먹는무리 0.8%, 2016년 잡아먹는무리 57.2%, 주위먹는무리 41.3%, 뚫어먹는무리 1.4%, 2017년은 주위먹는무리 63.4%, 잡아먹는무리 36.6%, 2018년은 주위먹는무리 74.5%, 잡아먹는무리 21.8%, 뚫어먹는무리 3.6%, 2019년은 주위먹는무리 50.0%, 주위먹는무리 47.9%, 뚫어먹는무리 2.1%로 각각 나타났다(Fig. 6-b).

섭식기능군 유형 분석 결과 신불산고산습지의 경우 잡자리목 등 잡아먹는무리에 속하는 종이 대부분을 차지하고 있으며, 이들 종은 비교적 개체수가 많은 주위먹는무리의 파리목, 하루살이목 곤충을 주로 포식하며 서식하고 있는 것으로 보인다. 또한, 나뭇잎 등 큰 고형물질을

썰어먹는무리, 물속에 떠 있는 미세 유기물을 걸러먹는 무리, 하상의 표면에 부착된 유기물을 긁어먹는무리가 전혀 확인되지 않았던 것은 습원에 이들의 먹이원이 되는 유기물이 부족했기 때문으로 보인다. 이러한 사실로 미루어 볼 때, 신불산고산습지는 강우에 의해 습원이 형성된 후 다양한 저서성 대형무척추동물의 먹이원이 되는 유기물이 안정적으로 축적되기 전 습원이 다시 소실되는 상태가 반복되고 있는 것으로 보인다.

3.4. 군집안정성

수서곤충 분류군의 군집 안정성 분석에는 물리적 교란 후 서식지에 재출현하는 시간, 이동력, 분포 영역의 상대적 크기, 연간 세대수 등을 고려하여 Ro and Chun(2004)에 의해 부여된 상대적 회복력(relative resilience)과 상대적 저항력(relative resistance)을 각각 10등급으로 세분화한 자료를 활용하였다. 세분화된 분류군별 상대적 회복력과 저항력 등급을 각각 5.5를 기준점으로 하여 4분면 위에 도식화하면 4개 특성군으로 구분되며, 각 특성군은 상대적 회복력과 저항력이 모두 높은 특성군 I, 높은 상대적 회복력과 낮은 상대적 저항력을 보이는 특성군 II, 상대적 회복력과 저항력이 모두 낮은 특성군 III, 낮은 상대적 회복력과 높은 상대적 저항력을 보이는 특성군 IV로 구분할 수 있다(Ro and Chun, 2004; Sim et al., 2011; Jo et al., 2019).

5년간의 조사 결과 신불산고산습지의 경우 상대적 회복력과 저항력이 모두 높은 특성군 I과 상대적 회복력과 저항력이 모두 낮은 특성군 III에 속하는 분류군만이

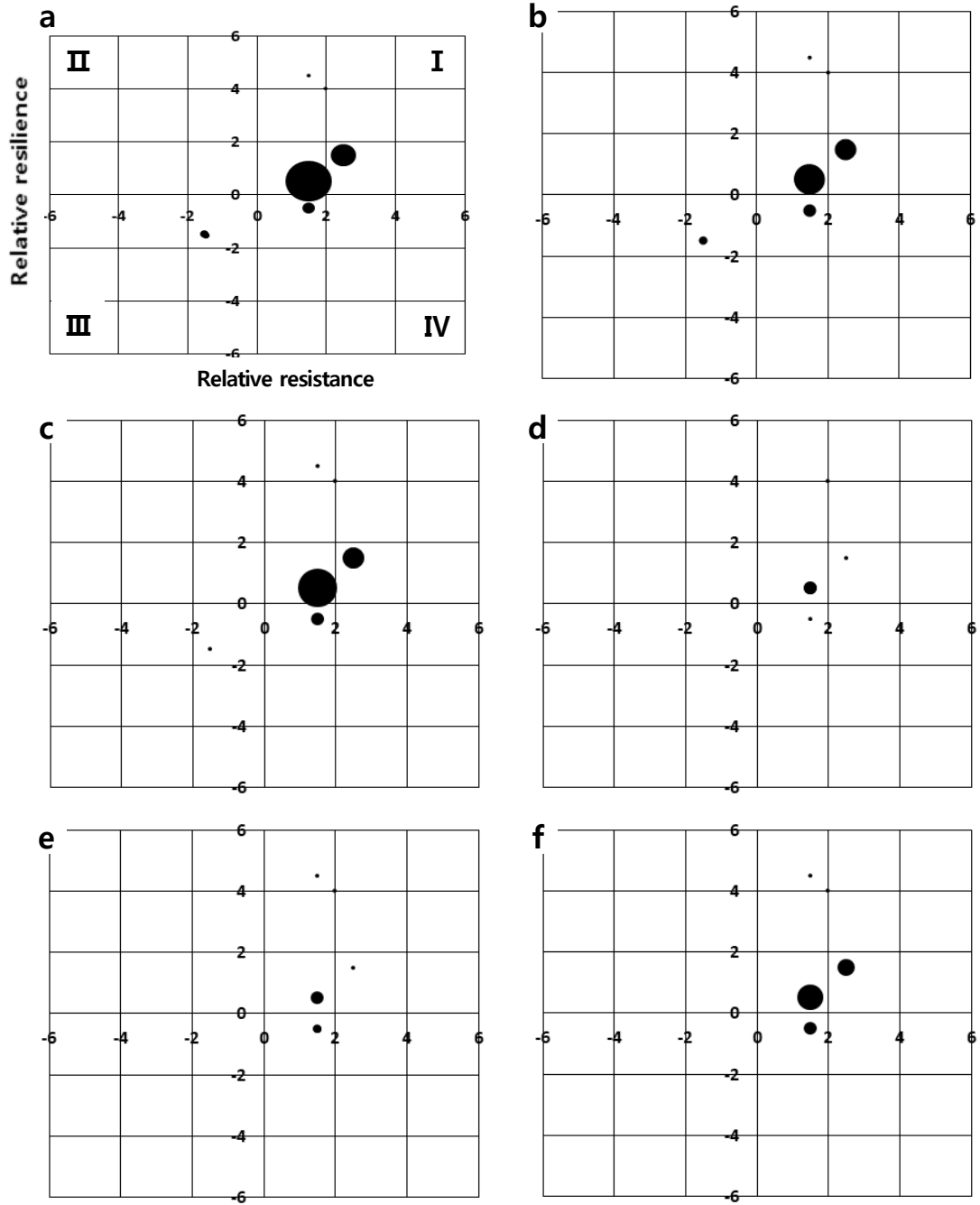


Fig. 7. Community stability of relative resistance and resilience in the Shinbulsan wetland (A:2015~2019, B:2015, C:2016, D:2017, E:2018, F:2019, The different sizes of black circles mean the number of genus).

확인되었다. 이때, 특성군 I에 속하는 분류군은 장구에 비속(*Laccotrephes*)과 게아재비속(*Ranatra*)의 2개 분류군이였다. 연도별로 볼 때, 습원이 안정적으로 유지되던 2015년과 2016년에 특성군 I과 특성군 III이 모두 확인된 것에 반해 습원의 소실이 있었던 2017년 이후 상대적으로 회복력과 저항력이 모두 낮은 특성군 III은 확인되지 않았고, 특성군 I에 속하는 분류군만 서식하는 것으로 확인되었다(Fig. 7).

군집안정성 분석 결과로 고려했을 때 연도별 서식현황 및 섭식기능군 분석 결과와 마찬가지로 습원의 지속적인 소실과 재형성이 신불산고산습지의 저서성 대형무척추동물의 종 조성에 큰 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있으며, 이로 인해 서식지의 교란에 대해 저항력과 회복력이 높아 수생태계에서 개척자의 역할을 하는 분류군이 현재 대상 습지에 서식하고 있는 것으로 판단된다.

결과적으로 현재 신불산고산습지는 강수량의 변화에 따라 습원의 소실과 재형성이 반복되고 있으며, 이는 저서성 대형무척추동물 개체군에도 영향을 주고 있는 것으로 확인되었다. 따라서, 습지보호지역인 신불산고산습지의 저서성 대형무척추동물의 보전을 위해 습원의 안정적인 유지 및 관리가 필요한 상황인 것으로 판단된다. 또한, 추가적인 모니터링을 통해 신불산고산습지 내 저서성 대형무척추동물상의 변화를 보다 장기적으로 파악할 필요가 있으며, 이는 산지습지에서 저서성 대형무척추동물의 초기 이입과 안정화에 따른 종조성 변화를 연구하는 데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결론

습지보호지역으로 지정돼 관리되고 있는 경상남도 양산시 소재 신불산고산습지에서 저서성 대형무척추동물의 군집 특성과 변화상을 파악하기 위해 2015년부터 2019년까지 5년간 모니터링을 시행하였다. 그 결과 개체수에서 깔따구류(*Chironomus* sp., 우점도 22.62%)와 연못하루살이(*Cloeon dipterum*, 19.79%)가 우점하는 것으로 나타났다. 목별 중 점유율은 잠자리목 44%, 딱정벌레목 24%, 노린재목 20%, 그 외 물지렁이목, 하루살이목, 파리목이 각각 4%로 나타나 전체적으로 곤충강에 속하는 종의 비율이 96%인 것으로 확인되었다. 연도별 서식 특성은 2015년, 2016년의 경우 하루살이목, 잠자

리목, 노린재목에 속하는 개체수가 높은 비율을 차지한 데 반해 가뭍으로 습원의 소실과 재형성과정을 거친 2017년과 2018년에는 서식 종수와 개체수가 현저히 감소하였으며, 파리목의 개체수 비율이 비교적 높은 것으로 나타났다. 섭식기능군(FFG, Functional Feeding Group)은 미세유기물을 주워먹는무리(GC, gathering-collector), 수생식물에 구멍을 내 수액을 빨아 먹는 뚫어먹는무리(PP, plant-piercer)와 다른 동물을 포식하는 잡아먹는무리(P, predator) 등 3가지 형태가 조사되었다. 종 수준에서는 잡아먹는무리가 83.3%로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 주워먹는무리가 12.5%, 뚫어먹는무리가 4.2%인 것으로 나타났다. 개체수 수준에서는 주워먹는무리가 50.5%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 잡아먹는무리가 48.1%, 뚫어먹는무리가 1.4%인 것으로 확인되었다. 군집 안정성 분석 결과 상대적 회복력과 저항력이 모두 높은 특성군 I과 상대적 회복력과 저항력이 모두 낮은 특성군 III에 속하는 분류군만이 확인되는 특성을 나타냈다. 습원이 안정적으로 유지되던 2015년과 2016년에 특성군 I과 특성군 III이 모두 확인된 것에 반해 습원의 소실이 있었던 2017년 이후에는 상대적 회복력과 저항력이 모두 낮은 특성군 III은 확인되지 않았고, 특성군 I에 속하는 분류군만 서식하는 것으로 확인되었다. 5년간의 연구에서 신불산고산습지에 서식하는 저서성 대형무척추동물은 습원 형성 초기에 정착할 수 있는 종이 높은 비율로 서식하고 있는 특성을 나타냈다.

감사의 글

이 논문은 2019~2020년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과임.

REFERENCES

- Bae, Y. J., Shin, L. J., Hoang, D. H., Lee, H. G., Na, K. B., 2004, Biodiversity and community composition of benthic macroinvertebrates from upo wetlands in Korea, *Kor. J. Env. Eco.*, 18, 75-91.
- Jo, M. H., Lee, M. J., Seo, E. W., Lee, J. E., 2019, Analysis of functional habitat groups and community stability of benthic macroinvertebrates before and after Yeongju Dam completion in Korea, *Korean J. Environ. Biol.*, 37, 664-671.

- Jung, K. S., 2011, Odonata larvae of Korea, 1st ed., Ilkongyuk-Sa, Seoul, Korea, 14-399.
- Kawai, T., Tanida, K., 2005, Aquatic insects of Japan : manual with keys and illustrations, 1st ed., Tokai University Press, Kanagawa, Japan, 27-1275.
- 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. Int., 25, 459-472.
- Kwon, O. G., 1990, Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Min. Edu. Korea, 2-446.
- Lee, C. E., 1971, Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Min. Edu. Korea, 386-448.
- 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.
- Margalef, R., 1958, Information theory in ecology. General systems., 3, 36-71.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., 1984, An Introduction to the aquatic insects of North America, 2nd ed., Kendall Hunt Pub. Co., Iowa, 1-722.
- McNaughton, S. J., 1967, Relationship among functional properties of California grassland, Nature, 216, 1268-144.
- Pennak, R. W., 1989, Fresh-water invertebrates of the United States, 3rd ed., John Wiley & Sons, New York, 1-628.
- Pielou, E. C., 1975, Species-diversity and pattern diversity in the study of ecological succession, J. Theor. Biol., 10, 370-383.
- Ro, T. H., Chun, D. J., 2004, Functional feeding group categorization of Korean immature aquatic insects and community stability analysis, Korean J. Limnol., 37, 137-148.
- Shannon, C. E., Weaver, W., 1949, The mathematical theory of communication, Univ. Illinois Press, Urbana, 1-117.
- Shin, Y. H., Kim, S. H., Park, S. J., 2005, The geochemical roles and properties of mountain wetland in shinbulsan (Mt.), J. Korean Geomorphol. Assoc, 12, 133-149.
- Sim, K. S., Kim, M. E., Lim, J. H., Seo, E. W., Lee, J. E., 2011, A study on the functional feeding groups and community stability of benthic macroinvertebrate in forest fire area, J. Korean Soc. For. Sci., 100, 112-117.
- Song, K. R., 1995, Systematics of the Hirudinea (Annelida) in Korea, Korea Univ., 1-57.
- The Korean Entomological Society of Korea and Korean Society of Applied Entomology, 1994, Check list of insects from Korea, Kon-Kuk Univ. Press, 5-744.
- The Korean Society of Systematic Zoology, 1997, List of Animals in Korea, The Korean Soc. Syst. Zool., 3-489.
- Ward, J. V., 1992, Aquatic insect ecology, John Wiley & Sons, New York, 1-438.
- Won, D. H., Kwon, S. J., Jun, Y. C., 2005, Aquatic insects of Korea, K. E. S., Korea, 1-415.
- Yi, G. C., Nam, J. C., 2008, Management program and ecological characteristics of forest wetlands located at sinbul mountain, J wetlands res., 10, 1-14.
- Yoo, N. H., 2009, A Study on the flora and distribution analysis of communities in Mt. sinbul wetland, Changwon Nat. Univ., Korea, 1-67.
- Yoon, I. B., 1988, Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea (Aquatic Insects), 30, Min. Edu. Korea, 7-840.
- Yoon, I. B., Song, M. Y., 1989, A Revision of the taxonomy of Korean black-flies (Simuliidae : Diptera) I, The larval and pupal stages of subgenus *Simulium*, Entomol. Res. Bul., 15, 35-64.
- Yoon, I. B., 1995, Aquatic insects of Korea, Junghaengsa, Korea, 5-262.

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