KJEE 53(2): 173-184 (2020)
https://doi.org/10.11614/KSL.2020.53.2.173
ISSN: 2288-1115 (Print), 2288-1123 (Online)

Original article

서부 민간인출입통제구역 일대 둠벙의 저서성대형무척추동물 종 다양성 및 군집 특성

정현용[1,2] · 염철민[1,3] · 김재현[1,4] · 박신영[1] · 이예원[1,2] · 표진아[1] · 김승호[1,*]

[1]DMZ생태연구소, [2]서울대학교 환경교육전공, [3]우석대학교 생명과학과, [4]서울대학교 생명과학부

Species Diversity and Community Characteristics of Benthic Macroinvertebrates from Irrigation Ponds in the Western CCZ area, Korea. *Hyun-Yong Chung*[1,2] (0000-0001-7698-8105), *Cheol-Min Yeom*[1,3] (0000-0002-9937-711X), *Jae Hyun Kim*[1,4] (0000-0003-0361-9223), *Shinyeong Park*[1] (0000-0002-6604-3404), *Yae-Won Lee*[1,2] (0000-0003-0045-0119), *Gina Pyo*[1] (0000-0003-0967-1460) *and Seung Ho Kim*[1,*] (0000-0002-7248-7589) ([1]*DMZ Ecology Research Institute, Paju 10881, Republic of Korea*; [2]*Graduated School of Interdisciplinary Program in Environmental Education, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea*; [3]*Department of Biological Sciences, Woosuk University, Wanju 55338, Republic of Korea*; [4]*School of Biological Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea*)

Abstract Irrigation ponds, '*dumbeong*', which are artificially constructed water resources for traditional farming, serve as a biological shelter connecting seasonally created rice paddy fields to local freshwater ecosystems. This 2018 study surveyed 143 irrigation ponds in the western Civilian Control Zone (CCZ) area from August to September, revealing species diversity and community characteristics of benthic macroinvertebrates. A total of 13,454 individuals of macroinvertebrates were captured and classified into 3 phyla, 5 classes, 17 orders, 59 families, 192 species. Among Insecta, the most frequently recorded order was Odonata, 55 spp. (33.7%), followed by Coleoptera, 52 spp. (31.9%), Hemiptera, 34 spp. (20.8%), Diptera, 17 spp. (9.8%), Ephemeroptera, 3 spp. (2.4%), Trichoptera, 1 spp. (0.6%) and Lepidoptera, 1 spp. (0.6%). Taxon of non-Insecta consisted of Mollusca, 14 spp. (48.2%), Annelida, 11 spp. (37.9%) and Arthropoda, 4 spp. (3.4%). The analysis of Diversity Index (H′), Species Richness Index (RI), Dominance Index (DI) and Evenness Index (J′) revealed the general stability of communities in the study sites. A total of 28 rare species were found in 98 study sites, including three endangered species designated by the Ministry of Environment. These results showed that the species diversity and rarity of macroinvertebrates in the study area were greater than those of previous research on lentic wetlands (lake, etc.) and national conserved wetlands (Upo-swamp, etc.) in Korea. A conservation planning of aquatic ecosystems in the western CCZ area, therefore, should focus on conservation of irrigation ponds.

Key words: DMZ, CCZ, irrigation pond, benthic macroinvertebrate, wetland conservation, endangered species

서 론

1953년 군사분계선이 설정된 이래 비무장지대(DMZ) 및 민간인출입통제구역(CCZ)에서 민간인의 활동과 출입은 엄격히 통제되었다. 그럼에도 인간활동은 접경지역의 생태계에

Manuscript received 28 May 2020, revised 7 June 2020,
revision accepted 8 June 2020
* Corresponding author: Tel: +82-31-955-1550, Fax: +82-31-955-1551
E-mail: ecodmz@dmz.or.kr

ⓒ The Korean Society of Limnology. All rights reserved.
This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

제한적이지만 꾸준히 영향을 끼쳐 왔고 특히 서부 접경지역에서 집중적이었다(Kim, 2006). 그 영향은 인공습지인 논이 멸종위기 이동성 철새의 중간 기착지로 이용되는 등 생물종 다양성에 기여하는 효과를 보이기도 했다. 그 대표적인 예가 둠벙으로, 서부 민간인출입통제구역의 논농사는 오랜 역사를 갖는 한편, 근대화 이후에도 대규모 관개수로를 건설할 수 없어 전통농법인 둠벙을 이용해 왔다(Kim *et al.*, 2011). 둠벙이란 관개를 위해 지하수를 가두어 만든 인공습지로, 1970년대 이후 다목적농촌용수 개발사업, 배수 개선사업 등으로 관개수단이 개선되면서 둠벙은 한반도 전 지역에서 쇠퇴하였다. 하지만 둠벙과 같은 소택형습지가 농업 경관의 생물다양성 증진 및 보전에 기여한다는 해외의 연구 결과와 함께(Saito *et al.*, 1988; Katano *et al.*, 2003; Suzuki *et al.*, 2004; Mazerolle *et al.*, 2004; Maltchik *et al.*, 2011), 최근 국내에서도 둠벙 생태계에 대한 연구가 진행되는 한편, 생물다양성 보전을 위해 새롭게 둠벙을 조성하는 방안이 논의되고 있다(Kim *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2016; Yoon *et al.*, 2019).

둠벙에서 가장 널리 연구된 분류군은 절지동물문(Arthropoda), 환형동물문(Annelida), 연체동물문(Mollusca) 등으로 구성된 저서성대형무척추동물군으로, 이들은 외부에서 유입되는 식물의 사체나 유기잔사물을 동물성 에너지원으로 전환하는 한편 어류나 양서류에게 이용됨으로써 담수생태계의 영양단계에서 중추적인 역할을 한다. 또한 서식지를 선택하는 등으로 서식환경의 변화에 민감하게 대응하기 때문에, 저서성대형무척추동물의 군집 구조는 수생태계의 특성을 대표하는 생물집단으로서 널리 연구되고 있다(Ward, 1992).

그럼에도 불구하고 접경지역의 둠벙을 대상으로 한 저서성대형무척추동물 조사 및 연구는 제한적으로 수행되었는데, 이는 접경지역의 수생태계 연구가 주로 하천 및 산간계류를 대상으로 해 온 한편 인간의 간섭을 받는 인공습지에 대한 관심은 미진했기 때문으로 보인다(Ministry of Environment *et al.*, 2016). 중서부 권역에 속하는 철원 및 연천의 저서성대형무척추동물 및 어류 군집을 조사한 Jung *et al.* (2018)은 접경지역의 수생태계 훼손 요인으로 농업 활동을 지목하기도 했다. 하지만 농업 경관의 수서생물은 이미 인간의 농경 방식과 오랜 시간 공진화해 왔다는 지적이 있는 만큼(Han *et al.*, 2011), 전체 논의 89%가 전통농법인 둠벙에 의존해 농사를 짓는 서부 민간인 통제선 일대의 수생태계에서 서식처로서의 둠벙의 역할은 중요할 것으로 보인다(Paju-si Gunnaemyeon local office, 2011). 이에 본 연구는 서부 민간인통제선 이북지역 둠벙에 서식하는 저서성대형무척추동물 종 다양성 및 군집 구조를 규명하는 한편 특이종의 분포를 밝히고, 그에 기반해 보전방향을 제안하고자 한다.

재료 및 방법

조사지는 경기도 파주시의 민간인출입통제구역에 위치한 둠벙으로 한정하였다. 개별 조사지로부터 500 m 지름의 버퍼를 설정할 때 전체 조사지의 버퍼 면적이 파주시 민간인출입통제구역 전체를 망라할 수 있도록 하는 한편 평야, 계곡 등 다양한 입지 조건을 반영할 수 있도록 조사지를 선정하였다(Fig. 1). 선정된 조사지 143곳을 2018년 8월 15일부터 9월 22일까지 조사하였다. 모든 조사지는 정수지였으며 관개시기는 '중간 물 떼기' 또는 '물 걸러대기'에 해당하였다.

채집에는 원형 뜰채(mesh = 0.5 mm × 0.5 mm, inner diameter = 27 cm)를 사용하였다. 정량채집을 위해 조사지 내 미소서식처를 세 지점 선정한 뒤 지점당 2회씩 반복 채집하였다. 이후 다양한 미소서식처에서 정성채집을 30~60분간 실시하였다. 채집된 저서성대형무척추동물을 현장에서 디지털카메라(NIKON D700 (body); AF-S Micro NIKON 60 mm F2.8G ED (lens); Canon EOS 650D (body); EF 50 mm f/2.5 Compact Macro (lens))로 촬영한 뒤 실험실에서 종 단위로 동정하였으며(Yoon *et al.*, 1988, 1995; Rural Development Administration, 2008; Jung, 2011, 2012; Kwon *et al.*, 2013; Lee and Ahn, 2018), 미기록종 및 형태학적 동정의 근거가 충분하지 않다고 판단되는 일부 분류군은 과(family) 또는 속(genus) 수준에서 처리하였다.

군집 비교를 위해 수집된 데이터로부터 다양도, 풍부도, 우점도, 균등도를 추산하였다. 다양도는 Shannon-Weaver diversity 지수(H′)를, 풍부도는 Margalef 지수(RI)를, 우점도는 McNaughton's dominance 지수(DI)를, 균등도는 Pielou's evenness 지수(J′)를 사용하였다(Table 1). 군집의 먹이연쇄 구조를 반영하는 섭식기능군(FFGs, Functional Feeding Groups)은 구강구조에 따라, 육식성 포식자는 씹어삼키는 무리(predator-engulfers) 및 체액빠는 무리(predator-piercers)로, 식물의 조직이나 유기잔사물을 이용하는 저차소비자는 썰어먹는 무리(shredders), 수액빠는 무리(macrophyte-piercers), 주워먹는 무리(collector-gatherers), 걸러먹는 무리(collector-filteres) 및 긁어먹는 무리(scrapers)로 분류하였다. 서식기능군(HOGs, Habitat Oriented Groups)은 미소서식지 이용 방식에 따라, 하상에 굴파는 무리(burrowers), 붙는 무리(clingers) 및 기는 무리(sprawlers), 수중에서 헤엄치는 무리(swimmers) 및 잠수하는 무리(divers), 지지물을 기어오르는 무리(climbers), 그리고 수면에서 지치는 무리(skaters) 및 부유하는 무리(planktonics)의 8갈래로 구분하였다. 종의 섭식기능군(FFGs) 및 서식기능군(HOGs) 분류는 속 단위에서 문헌(Ro and Chun, 2004; Won *et al.*, 2005; Kwon *et al.*, 2013)을 참고하면서, 일부는 실정에 맞게 변용하였다(Appendix 1).

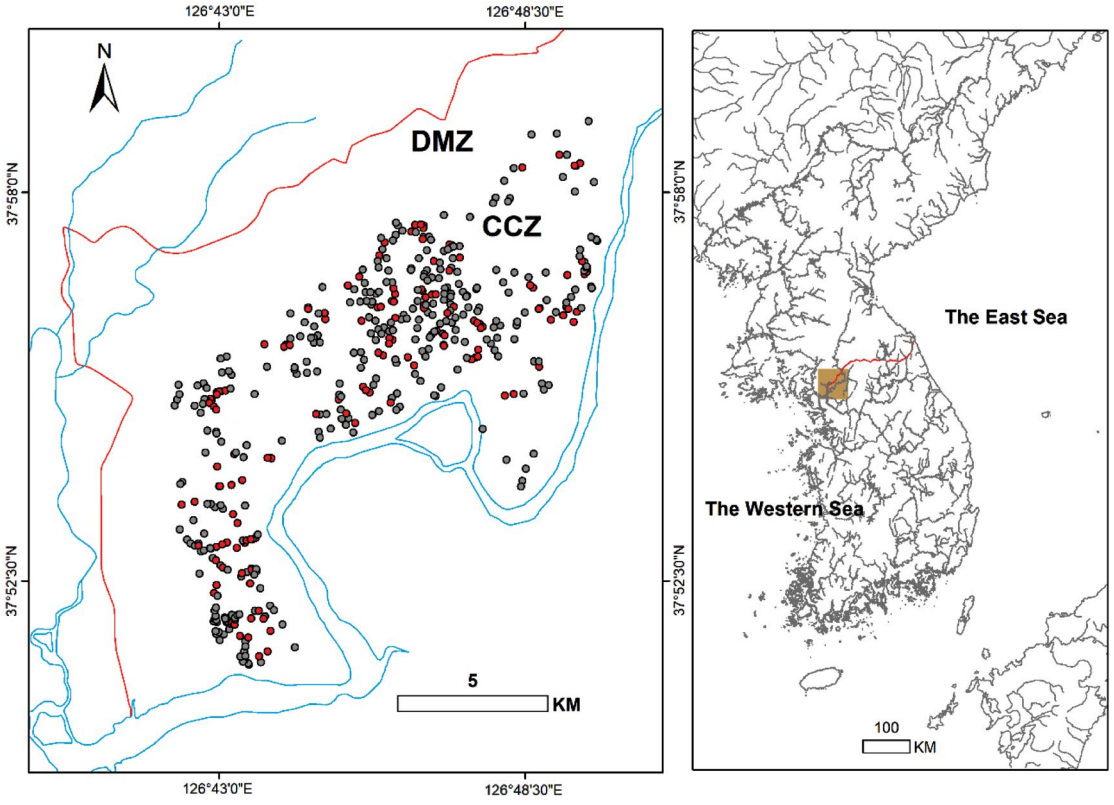

Fig. 1. A distribution map of irrigation ponds (*dumbeong*) in the western CCZ area (Red dots indicate 143 study sites and gray dots indicate the rest).

Table 1. Community indices used in the analysis.

Community index	Equation	Description
Shannon Diversity Index (H′)	$-\sum[(n_i/N)\times\ln(n_i/N)]$	n_i: Number of individuals of species i N: Total number of individuals
Species Richness Index (RI)	$(S-1)/\ln N$	S: Number of species N: Total number of individuals
Dominance Index (DI)	$(n_1+n_2)/N$	n_1: Number of individuals of the first dominant species n_2: Number of individuals of the second dominant species N: Total number of individuals
Evenness Index (J′)	H′/ H′max	H′: Shannon diversity index H′max: ln S S: Number of species

결과 및 고찰

1. 저서성대형무척추동물상 및 종 다양성

서부 민간인출입통제구역의 정수성 둠벙을 대상으로 한 본 연구의 정량조사에서 저서성대형무척추동물은 13,454개체가 채집되었으며, 정성조사의 채집결과를 포함하여 총 3문 5강 17목 59과 192종으로 분류되었다(Table 2; Appendix 1). 그중 곤충강(Insecta)은 7목 43과 163종이 출현하였으며, 분류군 비율은 잠자리목(Odonata)이 8과 55종(33.74%), 딱정벌레목(Coleoptera)이 9과 52종(31.90%), 노린재목(Hemiptera)이 12과 34종(20.86%), 파리목(Diptera)이 10과

Table 2. Number of benthic macroinvertebrate taxa from irrigation ponds (*dumbeong*) in the western CCZ area.

Phylum	Class	Order	Family	Species
Annelida	Clitellata	Arhynchobdellida	2	5
		Rhynchobdellida	1	4
		Tubificida	1	2
Mollusca	Bivalvia	Veneroida	1	1
	Gastropoda	Architaenioglossa	2	2
		Littorinimorpha	1	1
		Stylommatophora	1	2
		Systellommatophora	3	8
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	1	1
		Decapoda	3	3
	Insecta	Coleoptera	9	52
		Diptera	10	16
		Ephemeroptera	2	4
		Hemiptera	12	34
		Lepidoptera	1	1
		Odonata	8	55
		Trichoptera	1	1
Total			59	192

17종(9.82%), 하루살이목(Ephemeroptera)이 2과 3종(2.45%), 날도래목(Trichoptera)이 1과 1종(0.61%), 나비목(Lepidoptera)이 1과 1종(0.61%) 순이었다. 곤충강을 제외한 저서성대형무척추동물은 10목 16과 29종이 출현하여 연체동물문(Mollusca), 절지동물문(Arthropoda), 환형동물문(Annelida)으로 분류되었다. 연체동물문(Mollusca)에서는 복족강(Architaenioglossa) 4목 7과 13종(44.83%) 및 이매패강(Bivalvia) 1목 1과 1종(3.45%)이, 환형동물문(Annelida)에서는 환대강(Rhynchobdellida) 3목 4과 11종(37.93%)이, 절지동물문(Arthropoda)에서는 연갑강(Malacostraca) 2목 4과 4종(3.45%)이 출현했다.

조사지의 평균 출현 종 수는 약 27종이었다. 출현 종 수에 따라 조사지를 분류하면 60종 이상이 3곳, 60종 미만 50종 이상이 2곳, 50종 미만 40종 이상이 11곳, 40종 미만 30종 이상이 34곳, 30종 미만 20종 이상이 55곳, 20종 미만 10종 이상이 32곳, 10종 미만이 7곳 있었다.

전국의 둠벙과 비교할 때 서부 민간인출입통제구역 둠벙의 저서성대형무척추동물 종 다양성은 높은 편으로 나타났다. 전국(화성, 태안, 군산, 천안, 아산, 원주) 여섯 곳의 둠벙을 2년간 5월마다 반복 조사한 Son *et al.* (2012)은 61종을, 전국(경기도, 충청도, 충청남도, 경상남도, 전라남도) 15개 둠벙을 계절별로 2~4회 조사한 Choi *et al.* (2013)는 총 131종을 보고한 바 있다(Table 3). 저서성대형무척추동물의 분포는 위도 및 계절에 따라 달라지기 때문에(Ward, 1992; Han *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2012) 8~9월에 걸쳐 단일 지역을 조사한 결과로서 192종은 선행연구와 비교할 때 상당히 높은 수준의 종 다양성을 보이는 것으로 판단된다. Han *et al.* (2007)이 종합한 국내 논 생태계 저서무척추동물 목록 중 물벼룩류와 선충류를 제외한 200종의 96%에 달하는 수치이기도 하다.

전국의 다른 유형의 정수성 습지들과 본 연구의 조사 결과를 비교할 때, 서부 민간인출입통제구역 일대 둠벙에서 더 다양한 분류군이 출현한 것으로 확인되었다(Table 3). Lee *et al.* (2012)는 습지 유형상 호수로 분류되는 횡성호에서 3계절에 걸쳐 조사한 결과 2문 3강 9목 31과 69종을 보고한 바 있고, Lee and Kim (2001)은 늪으로 분류되는 구담습지에서 4계절에 걸쳐 조사한 결과 3문 5강 11목 26과 47종을 보고한 바 있다. 또한 Lee *et al.* (2009)은 신불산의 고산습지에서 3계절에 걸쳐 조사한 결과 3문 3강 9목 31과 69종의 저서무척추동물을 보고한 바 있으며, Jung *et al.* (2010)은 제주도 한라산의 24개 고산습지에서 3계절에 걸쳐 조사한 결과 7목 31과 92종의 수서곤충을 보고한 바 있다.

Table 3. Comparison in number of taxa and H′ Index with irrigation ponds (*dumbeong*) in the western CCZ area versus previously surveyed lentic wetlands in Korea.

Type	Research	Province	Macroinvertebrate taxa					Season (repetition)	Years	Mean	Max.	Min.
			Phylum	Class	Order	Family	Species					
Irrigation pond	**This research**	**GG**	**3**	**5**	**17**	**59**	**192**	**1**	**1**	**2.031**	**3.137**	**0.370**
	Son *et al*. 2012	WC	3	6	14	35	61	4 (2)	3	2.347	2.902	1.661
	Choi *et al.* 2013	WC	4	NA	NA	NA	131	4 (2~4)	3	NA	NA	NA
Lake	Lee *et al.* 2012	GW	2	3	9	31	69	3	1	NA	3.160	1.030
Alpine wetland	Lee *et al*. 2009	GN	3	3	9	31	69	3 (2)	2	NA	3.175	2.265
	Jung *et al.* 2010	J J	1	1	7	31	92	3	4	NA	NA	NA
Swamp	Lee & Kim 2001	GB	3	5	11	26	47	4	2	1.980	1.000	0.400

GG, Gyeonggi-do; WC, Whole Country; GW, Gangwon-do; GN, Gyeongsangnam-do; JJ, Jeju-do; GB, Gyeongsangbuk-do

Table 4. Comparison in number of taxa and status with irrigation ponds (*dumbeong*) in the western CCZ area versus conservation wetlands in Korea.

Location	Macroinvertebrate taxa					WPA	RW	NM
	Phylum	Class	Order	Family	Species			
Study sites	**3**	**5**	**17**	**59**	**192**			
A.aquaticus Habitat	3	4	12	26	60			○
Maehwamareum Habitat	3	3	10	29	48		○	
Yong-swamp	4	7	15	36	61	○	○	
Mujechi-swamp	–	–	8	23	64	○	○	
Upo-swamp	3	7	15	59	135	○	○	○
Dongbaek-wetland	3	3	6	22	60	○	○	
Mulyeongari-wetland	2	3	8	26	58	○	○	

WPA, Wetland Protected Area; RW, Ramsar Wetland; NM, Natural Monument

그 밖에 람사르습지 및 습지보호지역으로 지정된 국내 주요 보호습지인 연천 물거미서식지, 강화 매화마름군락지, 대암산 용늪, 울주 무제치늪, 창녕 우포늪, 제주 동백동산습지, 제주 물영아리오름습지와 비교할 때, 서부 민간인출입통제구역 일대 둠벙에 서식하는 저서성대형무척추동물이 더 다양한 것으로 나타났다(Table 4). 연천 물거미서식지에서 3문 4강 12목 26과 60종(Cultural Heritage Administration, 1999, 2007), 강화 매화마름군락지 및 인근 농경지에서 3문 3강 10목 29과 48종(Hangang River Basin Environmental Office, 2016), 대암산 용늪에서 4문 7강 15목 36과 61종(National Wetlands Center, 2012; Wonju Regional Environmental Office, 2016), 울주 무제치늪에서 8목 23과 64종(Ministry of Environment, 1997, 1998; National Wetlands Center, 2012), 창녕 우포늪 일대에서 3문 7강 15목 59과 135종(Bae *et al.*, 2004), 제주 동백동산습지에서 3문 3강 6목 22과 60종(National Wetlands Center, 2012) 그리고 제주 물영아리습지에서 2문 3강 8목 26과 58종(National Institute of Environmental Research, 2008; Cho *et al.* 2011; Yeongsangang River Basin Environmental Office, 2015)의 저서성대형무척추동물이 보고된 바 있다. 조사 면적, 시기 및 반복 횟수가 다르기 때문에 단순 비교는 어렵지만, 서부 민간인출입통제구역 일대 둠벙은 국내 주요 보호습지에 준하거나 더 높은 저서성대형무척추동물 종 다양성을 보유한 것으로 보인다.

2. 군집 분석

전체 조사지의 평균 종다양도지수(H′)는 2.042, 종풍부

Table 5. Community structure Index on benthic macroinvertebrates from irrigation ponds (*dumbeong*) in the western CCZ area.

	H′	RI	DI	J′
Mean	2.042	3.283	0.308	0.796
Max.	3.137	6.814	0.961	0.984
Min.	0.370	0.613	0.220	0.125

Diversity Index (H′), Species Richness Index (RI), Dominance Index (DI) and Evenness Index (J′)

도지수(RI)는 3.283, 우점도지수(DI)는 0.308 그리고 균등도지수(J′)는 0.796으로 추산되었다(Table 5). 종다양도지수(H′)는 최대 3.137 (DP95), 최소 0.370 (JW13) 사이에 분포하였고 3.0 이상이 2곳, 3.0 미만 2.0 이상이 83곳, 2.0 미만 1.0 이상이 55곳, 1.0 미만이 4곳 있었다. 풍부도지수(RI)는 최대 6.814 (DP92-1), 최소 0.613 (DP47) 사이에 분포하였으며, 조사지별로 6.0 이상이 3곳, 6.0 미만 5.0 이상이 7곳, 5.0 미만 4.0 이상이 27곳, 4.0 미만 3.0 이상이 40곳, 3.0 미만 2.0 이상이 48곳, 2.0 미만 1.0 이상이 17곳, 1.0 미만이 1곳 있었다. 우점도지수(DI)는 최대 0.961 (DP47), 최소 0.220 (DP97) 사이에 분포하였으며 균등도지수(J′)는 최대 0.984 (GK10), 최소 0.125 (JW13) 사이에 분포하였다.

전국의 둠벙을 조사한 Son *et al.* (2012)의 평균 우점도 (0.412) 및 균등도(0.585)와 본 연구의 평균 우점도(0.308) 및 균등도(0.796)를 비교할 때, 서부 민간인출입통제구역 일대 둠벙의 전반적인 군집 구조는 전국의 다른 둠벙에 비해 안정적인 것으로 판단된다. 본 연구의 다양도지수 평균은 2.042 (범위 0.370~3.137)로 Son *et al.* (2012)의 평균인 2.347 (범위 1.661~2.902)에 비해 다소 낮았지만, 일반적으로 군집이 안정적이라고 평가되는 다양도지수 구간(2.000 이상; Lee *et al.*, 2012; Jung *et al.*, 2017)에 포함되었다.

본 연구의 다양도지수가 넓은 최대~최소값 범위를 보인 이유는, 서부 민간인출입통제구역 일대의 둠벙에 다양한 종이 서식하는 한편, 조사기간 동안 일부 조사지에서 관개(灌漑) 외적 인간 활동 및 계절적 가뭄의 영향으로 특정 종의 일시적 우점이 발생했기 때문으로 보인다. 예를 들어 새우 양식장으로 이용되는 조사지 DP92에서는 채집된 29개 분류군 중 새뱅이류(*Cardina* sp.)가 65%로 출현하여 다양도지수(1.121)가 낮았고, 조사지 GK12에서는 농법에 이용하고 남은 우렁이를 둠벙에 살포한 결과로 왕우렁이(*Pomacea canaliculata*)가 33개 분류군 중 54%로 출현하여 다양도지수(1.660)가 낮았다. 가장 낮은 다양도지수와 균등도지수가 추산된 조사지 JW13은 주변에서 진행되었던 수로공사의 영향으로 집모기류(*Culex* sp.)의 우점이 발생하였다(94%). 58종 중 꼬마물벌레류(Micronecta sp.)가 62% 출현해 다양도지수(1.554)가 낮았던 조사지 JC3-1, 34종 중 꼬마물벌레류가 72% 출현해 다양도지수(1.782)가 낮았던 조사지 BY8-1의 사례를 포함해, 수위가 낮아진 시기에 온난한 수온에서 발생한 꼬마물벌레류의 우점도 한 원인으로 생각된다(Rural Development Administration. 2008; Desjonquères *et al.*, 2020). 한편 다양도지수가 평균(2.042)에 미치지 못했던 이들 조사지 모두에서 물장군(*Lethocerus deyrolli*) 등의 멸종위기종이 출현했기 때문에, 서부민간인통제선 일대 둠벙의 개별 조사지의 다양도와 특이종의 출현 빈도는 반드시 비례하지는 않는 것으로 생각된다.

3. 기능군 분석

서식기능군(HOGs) 및 섭식기능군(FFGs) 분석 결과, 서부 민간인출입통제구역 둠벙의 저서성대형무척추동물 군집은 전형적인 정수성 습지의 특성을 따르는 것으로 나타났다. 서식기능군(HOGs) 분류에 따른 종 구성 비율에서 헤엄치는 무리(swimmers; 23%)와 기어오르는 무리(climbers; 19%)의 비율이 높은 것으로 나타나 물흐름이 적은 수중이나 수변식물이 둠벙에 서식하는 저서성대형무척추동물의 주요 서식지인 것으로 나타났다(Fig. 2). 한편 헤엄치는 무리와 기어오르는 무리에는 이동성이 높은 노린재목, 딱정벌레목, 잠자리목이 주로 속하는 점으로 미루어 서식지의 환경이 변화함에 따라 군집이 즉각적으로 변동할 것으로 예상된다. 섭식기능군(FFGs) 분류에 따른 종 구성 비율에서 포식자(predator)인 씹어삼키는 무리(predator-engulfers; 44%)와 체액빠는 무리(predator-piercers; 11%)가 전체의 절반이 넘는 55%를 차지하였다(Fig. 2). 하지만 개체수 밀도에서는 저차소비자인 모아먹는 무리(collectors; 42%)가 우점하는 것으로 나타났다는 점에서, 다양한 포식종을 유지할 수 있는 먹이원이 풍부한 것으로 해석된다.

4. 분포 특이종

특이종은 28종을 확인하였다. 환경부 지정 멸종위기야생생물 II급은 3종으로, 물방개(*Cybister japonicus*)가 18곳, 물장군(*Lethocerus deyrollei*)이 3곳, 대모잠자리(*Libellula angelina*)가 1곳의 조사지에서 출현하였다. 국립생물자원관에서 출간한 한국적색목록의 아홉 범주 중 멸종위험 관리가 필요한 네 범주에서는 13종이 출현하였으며 위급(CR: Critically Endangered) 등급은 없었고, 위기(EN: Endangered) 2종, 취약(VU: Vulnerable) 3종, 준위협(NT: Near Threatened) 등급이 8종으로 분류되었다. NIER 국외반출승인대상종은 물땡땡이(*Hydrophilus acuminatus*)를 비롯해

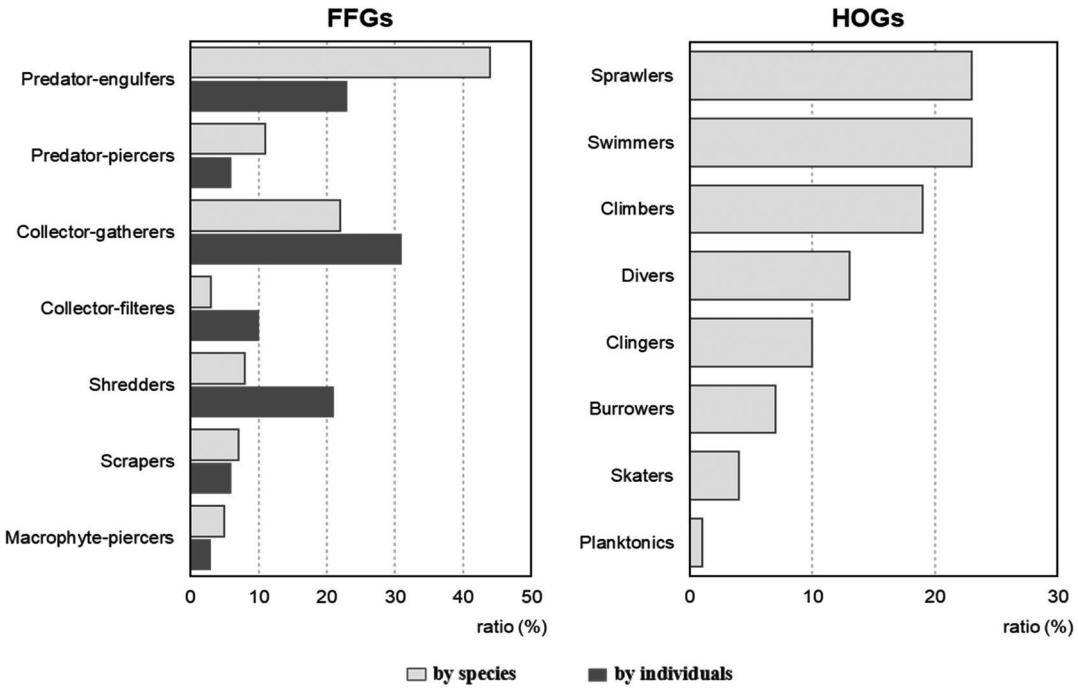

Fig. 2. Composition of the functional feeding groups (FFGs) and the habitat oriented groups (HOGs) of benthic macroinvertebrates from irrigation ponds (*dumbeong*) in the western CCZ area.

11종이, NIER 분포특이종은 물둥구리(*Ilyocoris exclamationis*)를 비롯해 14종이 출현하였다. 그 외 *Caenis* sp. 및 *Helophorus* sp. 등 2종의 미기록종이 출현하였으며, Han *et al.* (2011)이 정리한 전국 희귀 분포 물방개과 11종 중 5종이 출현하였다. 종합적으로 98곳의 조사지에 특이종이 하나 이상 분포하는 것을 확인하였다.

5. 서부 민간인출입통제구역 일대 저서성대형무척추동물 보전 방안

논 생태계는 매년 일정한 형태로 변화하고 회복하는 순환성을 갖는다(Han *et al.*, 2011). 둠벙의 생태계는 관개시기별 수위변화를 비롯해 농약의 유입이나 가뭄과 같은 일시적 환경 변화에 주기적으로 노출되는 한편(Kim *et al.*, 2016; Stenert *et al.,* 2018), 생활사 및 이동성을 통해 여기에 적응한 생물종이 탄력적으로 변화에 대응하는 회복성을 보인다(Han *et al.*, 2011). 회복 탄력성과 종 다양성은 생활사 및 이동성을 통해 수서생물이 이용할 수 있는 수생태계의 연결성, 즉 둠벙, 수로, 논 그리고 하천 간의 연결성에서 기인한다(Saito *et al.*, 1988; Katano *et al.*, 2003; Suzuki *et al.*, 2004; Mazerolle *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2011; Maltchik *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2016).

서식지 간의 연결성은 본 연구의 대상이 아니었지만, 여기에 섭식기능군과 서식기능군 분석에서 이동성이 높은 무리의 우점이 나타난 점, 개별 둠벙의 군집지수와는 별개로 멸종위기종이 출현하는 점을 함께 고려할 때, 서부 민간인출입통제구역 일대 둠벙의 높은 종 다양성은 둠벙과 인근 수생태계의 연결성을 통해 유지되는 것으로 보여진다. 그러므로 서부 민통선 일대 둠벙의 생물 다양성 보전계획을 수립할 때 특별히 종 다양성이 높은 몇 개 둠벙만을 점적으로 보전하는 접근은 부적절할 수 있으리라 판단되며, 둠벙을 포함한 수서생물의 이동성 서식지 전반의 연결성을 고려한 접근이 적절할 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 서부 민간인통제선 일대 둠벙에 서식하는 저서성대형무척추동물 종 다양성 및 군집 구조를 규명하여 향후 보전방향을 제안하고자 하였다. 조사 결과 3문 5강 17목 59과 192종의 저서성대형무척추동물이 출현하였다. 다른 지역의 둠벙(61~131종), 다른 유형의 정수성 습지(47~92종), 그리고 우포늪 등의 보호습지(48~135종)와 비교할 때, 서부 민간인출입통제구역 일대 둠벙에서 더 다양한 분류군이 출현하는 것으로 나타났다. 환경부 지정 멸종위기야생생물 물방개, 물장군, 대모잠자리를 포함 28종의 특이종이 확인되었

으며, 98곳의 조사지에 특이종이 하나 이상 분포하는 것을 확인하였다. 한편 섭식기능군 및 서식기능군 분석에서 이동성이 높은 무리의 우점이 나타난 점, 개별 조사지의 다양도와 특이종의 출현 빈도가 반드시 비례하지는 않는 점을 함께 고려할 때, 서부 민간인출입통제구역 일대 둠벙의 높은 종 다양성은 둠벙과 인근 수생태계의 연결성을 통해 유지되는 것으로 보여진다. 그러므로 서부 민통선 일대 둠벙의 생물 다양성 보전계획을 수립할 때 특별히 종 다양성이 높은 몇 개 둠벙만을 점적으로 보전하는 접근은 부적절할 수 있으리라 판단되며, 둠벙을 포함한 수서생물의 이동성 서식지 전반의 연결성을 고려한 접근이 적절할 것으로 생각된다.

저자정보 정현용(서울대학교 석사과정), 염철민(우석대학교 학사과정), 김재현(DMZ생태연구소 책임연구원), 박신영(DMZ생태연구소 연구원), 이예원(서울대학교 박사과정), 표진아(DMZ생태연구소 인턴연구원), 김승호(DMZ생태연구소 소장)

저자기여도 개념설정: 정현용, 김재현, 자료수집: 정현용, 염철민, 김재현, 박신영, 이예원, 표진아, 자료분석: 정현용, 염철민, 박신영, 원고 초안작성: 정현용, 염철민, 원고 검토 및 교정: 김재현, 박신영, 김승호

이해관계 본 연구는 이해관계 충돌 여지가 없습니다.

연구비 본 연구는 경기녹색환경지원센터의 지역참여형 환경연구 지원사업의 연구비로 일부 수행되었습니다.

사사 본 연구에 도움을 주신 이명화, 신철호, 오준영, 양현영, 허윤정에게 감사드립니다.

REFERENCES

Bae, Y.J., S.I. Cho, D.H. Hwang, H.G. Lee and G.B. Na. 2004. Biodiversity and community composition of benthic macro invertebrates from Upo wetlands in Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **18**(1): 75-91.

Cho, Y.H., Y.G. Han, S.J. Park, Y.J. Park, Y.J. Kim, M.J. Choi and S.H. Nam. 2011. A survey on insect diversity of Mulyeongari-oreum wetland, in Jeju island, South Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* **25**(4): 526-539.

Choe, L.J., M.S. Han, M. Kim, K.J. Cho, K.K. Kang, Y.E. Na and M.H. Kim. 2013. Characteristics of communities structure of benthic macroinvertebrates at irrigation ponds, within paddy field. *Korean Journal of Environmental Agriculture* **32**(4): 304-314.

Chun, D.J. and T.H. Ro. 2004. Functional feeding group categorization of Korean immature aquatic insects and community stability analysis. *Korean Journal of Ecology and Environment* **37**(2): 137-148.

Collins, W.W. and C.O. Qualset. 1999. Biodiversity in agroecosystems. CRC Press, Boca Raton. 362pp.

Cultural Heritage Administration. 1999. Environmental and ecological survey report on *Argyroneta aquatica* habitat in Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do.

Cultural Heritage Administration. 2007. A research report on the conservation plan of *Argyroneta aquatica* habitat in Eundae-ri, Yeoncheon.

Desjonquères, C., F. Rybak, J.S. Ulloa, A. Kempf, A. Bar-Hen and J. Sueur. 2020. Monitoring the acoustic activity of an aquatic insect population in relation to temperature, vegetation and noise. *Freshwater Biology* **65**(1): 107-116.

Han, M.S., H.S. Bang, M.H. Kim, M.K. Kim, K.A. Roh, J.T. Lee and Y.E. Na. 2007. The fauna of aquatic invertebrates in paddy field. *Korean Journal of Environmental Agriculture* **26**(3): 267-273.

Han, M.S., M.H. Kim, H.S. Bang, Y.E. Na, D.B. Lee and K.K. Kang. 2011. Geographical distribution of diving beetles (Dytiscidae) in Korean paddy ecosystem. *Korean Journal of Environmental Agriculture* **30**(2): 209-215.

Hangang River Basin Environmental Office. 2016. Wetland conservation plan on Ganghwa Maehwamareum habitat.

Jeong, S.B., D.S. Kim, H.S. Jeon, K.S. Yang and W.T. Kim. 2010. Species richness of aquatic insects in wetlands along the altitudinal gradient in Jeju, Korea: Test of Rapoport's rule. *Korean Journal of Applied Entomology* **49**(3): 175-185.

Jung, K.S. 2011. Odonata larvae of Korean. Ecology and Nature. 400pp.

Jung, K.S. 2012. The dragonflies and damselflies of Korea. Ecology and Nature. 272pp.

Jung, S.W., Y.H. Kim, H.M. Kim and S.H. Kim. 2018. Biodiversity and characteristic communities structure of freshwater ecosystems in the western area of DMZ, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* **32**(6): 603-617.

Katano, O., K. Hosoya, K. Iguchi and M. Yamaguchi. 2003. Species diversity and abundance of freshwater fishes in irrigation ditches around rice fields. *Environmental Biology of Fishes* **66**(2): 107-121.

Kim, J.H., H.Y. Chung, S.H. Kim and J.G. Kim. 2016. The influence of water characteristics on the aquatic insect and plant assemblage in small irrigation ponds in Civilian Control Zone, Korea. *Journal of Wetlands Research* **18**(4): 331-341.

Kim, J.O., H.S. Shin, J.H. Yoo, S.H. Lee, K.S. Jang and B.C. Kim. 2011. Functional evaluation of small-scale pond at paddy field as a shelter for mudfish during midsummer drainage period. *Korean Journal of Environmental Agriculture* **30**(1): 37-42.

Kim, M.H., M.S. Han, H.K. Nam, K.K. Kang and M. Kim. 2012. Geological distribution of aquatic invertebrates living in paddy fields of South Korea. *Korean Journal of Soil Sci-*

ence and Fertilizer **45**(6): 1136-1142.

Kim, S.H., J.H. Kim and J.G. Kim. 2011. Classification of small irrigation ponds in western Civilian Control Zone in Korea. *Journal of Wetlands Research* **13**(2): 275-289.

Kim, S.W. 2006. Land-cover change detection of western DMZ and vicinity using spectral mixture analysis of landsat imagery. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* **9**(1): 158-167.

Kwon, S.J., Y.C. Chun and J.H. Park. 2013. Benthic macroinvertebrates. Ecology and Nature. 792pp.

Lee, D.H. and K.J. Ahn. 2018. Insect fauna of Korea. vol.12, no.22, aquatic Coleoptera I (Arthropoda: Insecta: Coleoptera: Dytiscidae). National Institute of Biological Resources. 167pp.

Lee, D.H., J.W. Hwang, S.H. Sung, C.S. Yoon and S.W. Cheong. 2009. A characteristic on community structure of benthic macroinvertebrates of the Shinbulsan wetland. *Journal of Environmental Science International* **18**(5): 561-567.

Lee, H.G., S.W. Jung and J.K. Choi. 2012. Spatial analysis of ecological characteristics for benthic macroinvertebrate community structure in lake Hoengseong region. *Korean Journal of Environment and Ecology* **26**(1): 46-56.

Lee, J.E. and J.S. Kim. 2001. The benthic macroinvertebrates community of Gudam swamp (Andong, Gyeongsangbuk-do). *Journal of Wetlands Research* **3**(1): 19-28.

Maltchik, L., A.S. Rolon, C. Stenert, I.F. Machado and O. Rocha. 2011. Can rice field channels contribute to biodiversity conservation in Southern Brazilian wetlands? *Revista de Biologia Tropical* **59**(4): 1895-1914.

Mazerolle, M.C. 2004. Drainage ditches facilitate frog movements in a hostile landscape. *Landscape Ecology* **20**(5): 579-590.

Ministry of Environment and National Institute of Ecology. 2016. Comprehensive biodiversity report of the Demilitarized Zone in Korea.

Ministry of Environment. 1997. (1st year) A report of survey results on the Mujechi-neup, Jeongjok-san mountain: Aquatic invertebrates, amphibia, reptilia and protozoa inhabiting the Mujechi-neup.

Ministry of Environment. 1998. (2nd year) A report of survey results on the Mujechi-neup, Jeongjok-san mountain: Insect fauna and conservation plan of Mujechi-neup.

National Institute of Environmental Research. 2008. The intensive field survey on wetland protection area: Muryeongari-oreum·Hwaeum-neup

National Wetlands Center. 2012. The intensive field survey on wetland protection area: Nakdong-gang estuary, Daeamsan Yong-neup, Dongbaek-dongsan, Mujechi-neup.

Paju-si Gunnae-myeon local office. 2011. A pumping station for water supply situation.

Rural Development Administration. 2008. Illustrated book of aquatic invertebrates in rice paddy field. 420pp.

Saitoh, K., O. Katano and A. Koizumi. 1988. Movement and spawning of several freshwater fishes in temporary waters around paddy fields. *Japanese Journal of Ecology* **38**: 35-47.

Son, J.K., N.C. Kim, M.H. Kim and B. Kang. 2012. Community characteristics of benthic macroinvertebrates according to growth environment at rural palustrine wetland. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* **15**(5): 129-144.

Son, J.K., N.C. Kim, M.H. Kim and B.H. Kang. 2012. Community characteristics of benthic macroinvertebrates according to growth environment at rural palustrine wetland. *Journal of the Korean Society for Environmental Technology* **15**(5): 129-144.

Stenert, C., Í.C. de Mello, M.M. Pires, D.S. Knauth, N. Katayama and L. Maltchik. 2018. Responses of macroinvertebrate communities to pesticide application in irrigated rice fields. *Environmental Monitoring and Assessment* **190**(2): 74.

Suzuki, M., M. Mizutani and A. Goto. 2004. Effects of connection of paddy fields, ditch and stream through small-scale fishways on fish fauna. *Irrigation, Drainage and Rural Engineering Journal* **72**(6): 641-651.

Ward, J.V. 1992. Aquatic insect ecology: Biology and habitat. John Wiley & Sons Inc. 456pp.

Wilson, A.L., D.S. Ryder, R.J. Watts and M.M. Stevens. 2005. Stable isotope analysis of aquatic invertebrate communities in irrigated rice fields cultivated under different management regimes. *Aquatic Ecology* **39**(2): 189-200.

Won, D.H., S.J. Kown and Y.C. Jun. 2005. Aquatic insects of Korea. Korea Ecosystem Service. 415pp.

Wonju Regional Environmental Office. 2016. 2nd year (2017~2021), Conservation plan of Yong-neup wetland protection area, Daeam-san mountain: Final report.

Yeongsan River Basin Environmental Office. 2015. A study on the wetlands protection area - Reservation plan on Mulyeongari-oreum wetland, Jeju.

Yoon, I.B. 1988. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea Vol. 30 Aquatic Insects. Ministry of Education Republic of Korea. 840pp.

Yoon, I.B. 1995. Aquatic insects of Korea. Junghaengsa. 262pp.

Yoon, S.S., G.W. Kim, H. Choi, C.H. Byun and D.W. Lee. 2019. Trait-based evaluation of plant assemblages in traditional farm ponds in Korea: Ecological and management implications. *Journal of Limnology* **78**(1).

Appendix 1. Taxonomic list of benthic macroinvertebrates from irrigation ponds (*dumbeong*) in the western CCZ area.

Annelida 환형동물문
Clitellata 환대강
Arhynchobdellida 턱거머리목
Erpobdellidae 돌거머리과
Erpobdella lineata 돌거머리[Cln,SP/PrE]
Hirudinidae 거머리과
Hirudo nipponia 참거머리[SW,Cln,SP/PrE, PrP]
Whitmania acranulata 갈색말거머리[Cln,SP/PrE]
Whitmania edentula 녹색말거머리[SW,Cln,SP/PrE]
Whitmania pigra 말거머리[Cln,SP/PrE]
Rhynchobdellida 부리거머리목
Glossiphoniidae 넙적거머리과
Alboglossiphonia sp.[Cln,SP/PrE]
Glossiphonia paludosa 연두넙적거머리[Cln,SP/PrE]
Hemiclepsis sp.[Cln,SP/PrE]
Torix tagoi 개구리넙적거머리[Cln,SP/PrE,PrP]
Tubificida 실지렁이목
Tubificidae 실지렁이과
Branchiura sowerbyi 아가미지렁이[BU/CoG]
Limnodrilus sp. 실지렁이류[BU/CoG]
Arthropoda 절지동물문
Insecta 곤충강
Coleoptera 딱정벌레목
Chrysomelidae 잎벌레과
Galerucella (*Galerucella*) *nipponensis* 일본잎벌레[SP/SH]
Dytiscidae 물방개과
Agabus (*Acatodes*) *japonicus* 땅콩물방개[SW,DI/PrE]
Agabus (*Acatodes*) *regimbarti* 큰땅콩물방개[SW,DI/PrE]
Copelatus zimmermanni 맵시등줄물방개[SW,DI/PrE]
Cybister (*Cybister*) *chinensis* 물방개[SW,DI/PrE]
Cybister (*Cybister*) *lewisianus* 동쪽애물방개[SW,DI/PrE]
Cybister (*Melanectes*) *brevis* 검정물방개[SW,DI/PrE]
Eretes griseus 잿빛물방개[SW,DI/PrE]
Graphoderus adamsii 아담스물방개[SW,DI,CL/PrE]
Hydaticus (*Prodaticus*) *bowringii* 줄무늬물방개[SW,DI/PrE]
Hydaticus (*Prodaticus*) *grammicus* 꼬마줄물방개[SW,DI,CL/PrE]
Hydaticus (*Prodaticus*) *thermonectoides* 알락물방개[SW,DI/PrE]
Hydroglyphus geminus 큰꼬마물방개[SW,DI/PrE]
Hydroglyphus japonicus 꼬마물방개[SW,DI/PrE]
Hydrovatus subtilis 점톨물방개[SW,DI/PrE]
Hygrotus chinensis 가는줄물방개[SW,CL/PrE]
Hyphydrus japonicus vagus 알물방개[SW,DI,CL/PrE]
Ilybius apicalis 모래무지물방개[SW,DI/PrE]
Laccophilus difficilis 깨알물방개[SW,DI,CL/PrE]
Laccophilus kobensis 동쪽깨알물방개[SW,DI/PrE]
Laccophilus lewisioides 줄무늬깨알물방개[SW,DI/PrE]
Laccophilus sp. 깨알물방개류[SW,DI/PrE]
Nebrioporus hostilis 흑외줄물방개[SW,DI/PrE]
Platambus fimbriatus 노랑테콩알물방개[SW,DI/PrE]
Platambus koreanus 우리콩알물방개[SW,DI/PrE]
Rhantus (*Rhantus*) *suturalis* 애기물방개[SW,DI/PrE]
Erirhinidae 벼바구미과
Lissorhoptrus oryzophilus 벼물바구미[CL/MP]
Gyrinidae 물맴이과
Dineutus (*Spinosodineutes*) *orientalis* 왕물맴이[SW,DI,CL/PrE]
Gyrinus (*Gyrinus*) *japonicus* 물맴이[SW,DI,CL/PrE]
Haliplidae 물진드기과
Haliplus (*Haliplus*) *simplex* 알락물진드기[Cln,SW,CL/SH,PrE]
Haliplus (*Liaphlus*) *basinotatus* 극동큰물진드기[Cln,SW,CL/SH,PrE]
Haliplus (*Liaphlus*) *eximius* 큰물진드기[Cln,SW,CL/SH,PrE]
Haliplus (*Liaphlus*) *sharpi* 샤아프물진드기[Cln,SW,CL/SH,PrE]
Peltodytes intermedius 물진드기[Cln,SW,CL/SH,PrE]
Peltodytes sinensis 중국물진드기[Cln,SW,CL/SH,PrE]
Helophoridae 투구물땡땡이과
Helophoridae sp. 투구물땡땡이류[SW,DI,CL/SH,CoG]
Hydrophilidae 물땡땡이과
Amphiops mater mater 알물땡땡이[SW,DI,CL/CoG]
Berosus (*Berosus*) *japonicus* 새가슴물땡땡이[SW,DI,CL/SH,CoG]
Berosus (*Berosus*) *punctipennis* 점박이물땡땡이[SW,DI,CL/SH,CoG]
Berosus (*Enoplurus*) *lewisius* 뒷가시물땡땡이[SW,DI,CL/SH,CoG]
Coelostoma (*Holocoelostoma*) *stultum* 등볼록물땡땡이[SW,DI,CL/CoG]
Enochrus (*Holcophilydrus*) *simulans* 애넓적물땡땡이[SW,DI,CL/CoG]
Enochrus (*Methydrus*) *uniformis* 한일넓적물땡땡이[SW,DI,CL/CoG]
Helochares (*Hydrobaticus*) *nipponicus* 좀물땡땡이[SW,DI,CL/CoG]
Hydrochara affinis 사돈물땡땡이[SW,DI,CL/CoG]
Hydrochara libera 북방물땡땡이[SW,DI,CL/CoG]
Hydrophilus (*Hydrophilus*) *acuminatus* 물땡땡이[SW,DI,CL/PrE,CoG]
Hydrophilus (*Hydrophilus*) *bilineatus cashimirensis* 남방물땡땡이[SW,DI,CL/CoG]
Laccobius (*Laccobius*) *bedeli* 점물땡땡이[SW,DI,CL/CoG]
Sternolophus (*Sternologphus*) *rufipes* 애물땡땡이[SW,DI,CL/CoG]
Noteridae 자색물방개과
Noterus japonicus 자색물방개[SW,CL/PrE]
Scirtidae 알꽃벼룩과
Scirtidae sp. 알꽃벼룩류[SP,CL/SH,SC,CoG]
Diptera 파리목
Ceratopogonidae 등에모기과
Ceratopogonidae sp. 등에모기류[SP,BU,SW/CoG,PrP]
Chaoboridae 털모기과
Chaoboridae sp. 털모기류[PL/PrE]
Chironomidae 깔따구과
Ablabesmyia sp. 목걸이알락깔따구류[SP,BU/CoG,CoF]
Chironomidae sp. 깔따구류[SP,BU/CoG,CoF]
Culicidae 모기과
Aedes sp. 숲모기류[PL/CoG,CoF]
Anopheles sp. 얼룩날개모기류[PL/CoF]
Culex sp. 집모기류[PL/CoF]
Dixidae 별모기과
Dixa sp. 별모기류[SW,PL/CoG]
Ephydridae 물가파리과
Ephydridae sp. 물가파리류[SP,BU/SH,CoG,PrE]
Psychodidae 나방파리과

Appendix 1. Continued.

Psychodidae sp. 나방파리류[BU/CoG]
Stratiomyidae 동애등에과
Odontomyia garatas 범동애등에[SP,BU/CoG,PrE]
Stratiomyidae sp. 동애등에류[SP,BU/CoG,PrE]
Stratiomys japonica 줄동애등에[BU,SP/CoG,PrE]
Syrphidae 꽃등에과
Syrphidae sp. 꽃등에류[SP/CoG]
Tipulidae 각다귀과
Nephrotoma sp. 황나각다귀류[BU,SP/SH,CoG]
Tipulidae sp. 각다귀류[BU,SP/SH,CoG]
Ephemeroptera 하루살이목
Baetidae 꼬마하루살이과
Cloeon dipterum 연못하루살이[Cln,SW/CoG]
Procloeon pennulatum 갈고리하루살이[Cln,SW/SC,CoG]
Caenidae 등딱지하루살이과
Caenidae sp. 등딱지하루살이류[SP,Cln/CoG]
Hemiptera 노린재목
Belostomatidae 물장군과
Appasus japonicus 물자라[SW,CL/PrP]
Appasus major 큰물자라[SW,CL/PrP]
Diplonychus esakii 각시물자라[SW,CL/PrP]
Lethocerus deyrolli 물장군[SW,CL/PrP]
Corixidae 물벌레과
Corixidae sp. 물벌레류[SW,CL/MP]
Hesperocorixa distanti 물벌레[SW,CL/PrP]
Hesperocorixa hokkensis 왕물벌레[SW,CL/MP]
Micronecta (*Basileonecta*) *sahlbergii* 동쪽꼬마물벌레[SW,CL/PrP]
Micronecta (*Basileonecta*) *sedula* 꼬마물벌레[SW,CL/MP]
Micronecta (*Micronecta*) *guttata* 꼬마손자물벌레[SW,CL/MP]
Sigara (*Tropocorixa*) *bellura* 진방물벌레[SW,CL/MP]
Sigara (*Tropocorixa*) *nigroventralis* 검정배물벌레[SW,CL/MP]
Sigara (*Tropocorixa*) *substriata* 방물벌레[SW,CL/MP]
Sigara sp. 방물벌레류[SW,CL/MP]
Gerridae 소금쟁이과
Aquarius elongatus 왕소금쟁이[SK/PrP]
Aquarius paludum paludum 소금쟁이[SK/PrP]
Gerris (*Gerris*) *latiabdominis* 애소금쟁이[SK/PrP]
Gerris (*Macrogerris*) *gracilicornis* 등빨간소금쟁이[SK/PrP]
Hydrometridae 실소금쟁이과
Hydrometra albolineata 실소금쟁이[SK/PrP]
Hydrometra procera 애실소금쟁이[SK/PrP]
Mesoveliidae 물노린재과
Mesovelia vittigera 물노린재[SK/PrP]
Naucoridae 물둥구리과
Ilyocoris exclamationis exclamationis 물둥구리[SW,Cln/PrP]
Nepidae 장구애비과
Laccotrephes japonensis 장구애비[SW,CL/PrP]
Nepa hoffmanni 메추리장구애비[SW,CL/PrP]
Ranatra chinensis 게아재비[SW,CL/PrP]
Ranatra unicolor 방게아재비[SW,CL/PrP]
Notonectidae 송장헤엄치게과
Notonecta (*Paranecta*) *triguttata* 송장헤엄치게[SW/PrP]
Ochteridae 딱부리물벌레과
Ochterus (*Ochterus*) *marginatus marginatus* 딱부리물벌레[SK/PrP]
Pleidae 둥글물벌레과
Paraplea indistinguenda 꼬마둥글물벌레[SW,CL/PrP]
Saldidae 갯노린재과
Saldula saltatoria 갯노린재[SK/PrP]
Veliidae 깨알소금쟁이과
Microvelia (*Microvelia*) *douglasi* 긴깨알소금쟁이[SK/PrP]
Microvelia (*Microvelia*) *horvathi* 호르바드깨알소금쟁이[SK/PrP]
Microvelia (*Microvelia*) *riculata* 얼룩깨알소금쟁이[SK/PrP]
Microvelia sp. 깨알소금쟁이류[SK/PrP]
Lepidoptera 나비목
Pyralidae 명나방과
Pyralidae sp. 명나방류[CL/SH,SC]
Odonata 잠자리목
Aeshnidae 왕잠자리과
Aeschnophlebia longistigma 긴무늬왕잠자리[SP/PrE]
Aeshna crenata 참별박이왕잠자리[CL/PrE]
Aeshna juncea 별박이왕잠자리[SP/PrE]
Anax parthenope julius 왕잠자리[CL/PrE]
Calopterygidae 물잠자리과
Calopteryx japonica 물잠자리[SP/PrE]
Coenagrionidae 실잠자리과
Coenagrion johanssoni 참실잠자리[CL/PrE]
Ischnura asiatica 아시아실잠자리[CL/PrE]
Ischnura elegans 북방아시아실잠자리[CL/PrE]
Ischnura senegalensis 푸른아시아실잠자리[CL/PrE]
Mortonagrion selenion 황등색실잠자리[CL/PrE]
Paracercion calamorum 등검은실잠자리[CL/PrE]
Paracercion hieroglyphicum 등줄실잠자리[CL/PrE]
Paracercion melanotum 작은등줄실잠자리[CL/PrE]
Paracercion sieboldii 왕등줄실잠자리[CL/PrE]
Paracercion v-nigrum 왕실잠자리[CL/PrE]
Corduliidae 청동잠자리과
Epitheca marginata 언저리잠자리[SP,CL/PrE]
Somatochlora graeseri 밑노란잠자리[SP/PrE]
Somatochlora metallica 참북방잠자리[SP/PrE]
Gomphidae 측범잠자리과
Gomphidia confluens 어리부채장수잠자리[BU/PrE]
Sinictinogomphus clavatus 부채장수잠자리[SP,BU/PrE]
Trigomphus citimus 가시측범잠자리[BU/PrE]
Trigomphus nigripes 검정측범잠자리[BU/PrE]
Lestidae 청실잠자리과
Indolestes peregrinus 가는실잠자리[SP/PrE]
Lestes japonicus 좀청실잠자리[SP/PrE]
Lestes temporalis 큰청실잠자리[SP/PrE]
Sympecma paedisca 묵은실잠자리[SP/PrE]
Libellulidae 잠자리과
Crocothemis servilia mariannae 고추잠자리[SP/PrE]
Deielia phaon 밀잠자리붙이[SP/PrE]
Libellula angelina 대모잠자리[SP/PrE]
Libellula quadrimaculata 넉점박이잠자리[SP,BU/PrE]

Appendix 1. Continued.

Lyriothemis pachygastra 배치레잠자리[SP/PrE]
Orthetrum albistylum 밀잠자리[SP,BU/PrE]
Orthetrum japonicum 중간밀잠자리[SP,BU/PrE]
Orthetrum lineostigma 홀쭉밀잠자리[SP,BU/PrE]
Orthetrum melania 큰밀잠자리[SP,BU/PrE]
Pantala flavescens 된장잠자리[SP/PrE]
Pseudothemis zonata 노란허리잠자리[SP/PrE]
Rhyothemis fuliginosa 나비잠자리[SP/PrE]
Sympetrum baccha 산깃동잠자리[SP/PrE]
Sympetrum cordulegaster 긴꼬리고추잠자리[SP/PrE]
Sympetrum croceolum 노란잠자리[SP/PrE]
Sympetrum darwinianum 여름좀잠자리[SP/PrE]
Sympetrum depressiusculum 대륙고추좀잠자리[SP/PrE]
Sympetrum eroticum 두점박이좀잠자리[SP/PrE]
Sympetrum fonscolombii 두점배좀잠자리[SP/PrE]
Sympetrum frequens 고추좀잠자리[SP/PrE]
Sympetrum infuscatum 깃동잠자리[SP/PrE]
Sympetrum kunckeli 흰얼굴좀잠자리[SP/PrE]
Sympetrum parvulum 애기좀잠자리[SP/PrE]
Sympetrum pedemontanum elatum 날개띠좀잠자리[SP/PrE]
Sympetrum risi 들깃동잠자리[SP/PrE]
Sympetrum striolatum 대륙좀잠자리[SP/PrE]
Platycnemididae 방울실잠자리과
Copera annulata 자실잠자리[CL/PrE]
Copera tokyoensis 큰자실잠자리[CL/PrE]
Platycnemis phyllopoda 방울실잠자리[CL/PrE]
Trichoptera 날도래목
Limnephilidae 우묵날도래과
Nemotaulius sp. 띠우묵날도래류[SP/SH,CoG]
Malacostraca 연갑강
Amphipoda 단각목
Gammaridae 옆새우과
Gammarus sp. 옆새우류[SP,BU/SH,CoG]
Decapoda 십각목
Atyidae 새뱅이과
Caridina sp. 새뱅이류[SP,CL/CoG,SC]
Palaemonidae 징거미새우과
Palaemon paucidens 줄새우[SP,CL/CoG,PrE]
Varunidae 참게과
Eriocheir sinensis 참게[SP/CoG]
Mollusca 연체동물문
Bivalvia 이매패강
Veneroida 백합목
Pisidiidae 산골과
Musculium lacustre 삼각산골조개[BU/CoF]
Gastropoda 복족강
Architaenioglossa 고설목
Ampullariidae 사과우렁이과
Pomacea canaliculata 왕우렁이[Cln,SP/SH,CoG,SC]
Viviparidae 논우렁이과
Cipangopaludina chinensis malleata 논우렁이[Cln,SP/CoG,SC]
Littorinimorpha 총알고둥목
Bithyniidae 쇠우렁이과
Gabbia misella 염주쇠우렁이[Cln,SP/CoG,SC]
Stylommatophora 병안목
Succineidae 뾰족쨈물우렁이과
Neosuccinea horticola koreana 참쨈물우렁이[Cln,SP/CoG,SC]
Oxyloma hirasei 뾰족쨈물우렁이[Cln,SP/CoG,SC]
Systellommatophora 수병안목
Lymnaeidae 물달팽이과
Austropeplea ollula 애기물달팽이[Cln,SP/CoG,SC]
Galba truncatula 긴애기물달팽이[Cln,SP/CoG,SC]
Radix auricularia 물달팽이[Cln,SP/CoG,SC]
Physidae 왼돌이물달팽이과
Physa acuta 왼돌이물달팽이[Cln,SP/CoG,SC]
Planorbidae 또아리물달팽이과
Gyraulus convexiusculus 또아리물달팽이[Cln,SP/CoG,SC]
Hippeutis cantori 수정또아리물달팽이[Cln,SP/CoG,SC]
Laevapex nipponica 민물삿갓조개[Cln,SP/CoG,SC]
Polypylis hemisphaerula 배꼽또아리물달팽이[Cln,SP/CoG,SC]

FFGs: SH, shredders; CoG, collector-gatherers; CoF, collector-filteres; SC, scrapers; MP, macrophyte-piercers; PrE, predator-engulfers; PrP, predator-piercers
HOGs: SW, swimmers; Cln, clingers; SP, sprawlers; BU, burrowers; DI, Divers; CL, Climbers; PL, planktonics; SK, skaters