

남부지역 소형 관개용 못들에서의 (뚝뚝) 동물플랑크톤 군집특성 조사 및 평가

김항아 · 최종윤 · 김성기 · 도윤호 · 주기재 · 김동균¹ · 김현우^{2,*}

(부산대학교 자연과학대학 생명과학과, ¹토론토대학교 물리환경과학과,
²순천대학교 사범대학 환경교육과)

Observation and Evaluation of Zooplankton Community Characteristics in the Petite Ponds (Dumbeong) for Irrigation: A Case Study in Goseong Region of South Korea. Kim, Hang-Ah, Jong-Yoon Choi, Seong-Gi Kim, Yuno Do, Gea-Jae Joo, Dong-Kyun Kim¹ and Hyun-Woo Kim^{2,*} (Department of Biological Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea; ¹Department of Physical & Environmental Sciences, University of Toronto, Ontario, Canada; ²Department of Environmental Education, Suncheon National University, Suncheon 540-950, Korea)

This study demonstrates the investigation of zooplankton communities (e.g. rotifers, cladocerans and copepods) and environmentally related driving factors (e.g. elevation, area size, water depth, types of dike construction, and bottom substrates). We hypothesized that zooplankton community structure and composition would be influenced by ambient driving forces in different scales of the irrigation ponds (*Dumbeong*). A total of 66 zooplankton species/groups (56 rotifers, 9 cladocerans, 1 copepods) were found and identified at 45 *Dumbeong* of Goseong region (i.e. Goseong-gun) in 2011. The rotifers occupied 84.9% of the total zooplankton abundance. We could categorize a clear separation of zooplankton communities into 4 different patterns based on cluster analysis. Zooplankton diversities in *Dumbeongs* were lower than those in natural ponds or wetlands. In addition, community structure of zooplankton was also simpler and had a broken stick distribution based on SHE analysis. Species composition in each *Dumbeong* was not significantly discriminated each other. The result of canonical correspondence analysis (CCA) pinpointed that significant influential variables upon zooplankton community were dissolved oxygen percent saturation, pH, and *Dumbeong's* material. This study indicated that morphological type of the *Dumbeong* and its water quality could determine the community structure of zooplankton. Furthermore, the connectivity between ambient habitats and materials could be necessary to be rigorously considered in respect to producing the *Dumbeongs* to subsidize alternative habitats for wetland ecosystem in freshwater landscape.

Key words : canonical correspondence analysis, cluster analysis, community structure and composition, *Dumbeong*, zooplankton diversity

* Corresponding author: Tel: 061) 750-3384, Fax: 061) 750-3308, E-mail: hwkim@suncheon.ac.kr, hwkim827@gmail.com

서 론

농업경관은 인위적인 관리가 지속적으로 행해지지만 오랜 기간 동안 유사한 활동이 유지되면서 자연생태계 또는 도시생태계의 구조와는 다른 독특한 특성을 가진다 (Duelli, 1997). 이런 논생태계에서 집약적인 농업활동에 생존한 생물들은 물론 잔존하고 있는 준자연서식처에 서식하는 생물상과 다양성을 효과적으로 관리하기 위한 방안들이 제시되고 있다 (Tschardt et al., 2005; Holzkämper and Seppelt, 2007). 국내의 농업경관에서 그리고 근래의 생태학 분야에 있어서 뚝방, 즉 농경지에 소규모로 조성된 저수지의 중요성이 상대적으로 부각되고 있다.

뚝방은 관개시설이 발달하지 않은 곳에서 농업용수 공급을 위해 소규모로 조성되므로 뚝방의 형태와 위치적 특성으로 인해서 인근의 담수서식처와는 단절되어 있는 경우가 많아 이러한 경우에 생물다양성은 그리 높지는 않다. 하지만 건조시기에 수서 생물들에게 대체서식처 또는 피난처로서 역할을 할 수 있기 때문에 뚝방을 활용한 농업경관의 생물다양성 유지 및 관리방안을 고려하여야 한다. 뚝방의 생태적 기능과 가치를 판단하기 위해서는 생물다양성에 대한 연구가 기본적으로 필요한데 뚝방에 서식할 수 있는 여러 분류군 중 특히 동물플랑크톤은 생산자와 소비자를 이어 주는 중요한 먹이사슬의 구성원이다. 실제 뚝방에 서식하는 어류의 먹이원 분석 결과 약 30%가 동물플랑크톤이며 먹이사슬에 중요한 구성원인 것으로 보고된 바 있다 (Kim et al., 2011a). 따라서 뚝방과 같이 농업경관의 생물다양성 증진 및 보전을 위해서 소규모 연못을 활용할 경우 동물플랑크톤과 같이 고차소비자의 먹이원으로 활용 가능한 생물군들의 연구는 특히 담수생태계 내에서의 에너지 흐름 및 이동의 관점에서 매우 중요하다 (Scheffer et al., 2006). 또한 안정적인 담수 환경유지를 위해서는 담수서식처의 수질 뿐만 아니라 서식처 내에 존재하는 생물상의 서식구조 및 상호연결성을 동시에 파악할 필요가 있다 (Fernández et al., 2009).

경상남도 고성군은 하천이 발달하지 않아 농업용수의 공급이 어려운 환경이기 때문에 이를 보완하기 위한 소규모의 뚝방이 다수 조성되어있다. 앞에서 언급한 바와 같이 뚝방의 생태적 중요성이 알려지고 이를 이용하여 논생물의 다양성을 유지하고자 하는 움직임은 있으나 이와 관련된 연구는 미비한 실정으로 뚝방의 생태계에 대해 아직까지 거의 알려지지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 1) 뚝방의 형태적 구조 및 이화학적 요인, 2) 뚝방에 서식하는 동물플랑크톤의 종다양성과 군집구조의 특성,

그리고 3) 서식처의 특성 중 동물플랑크톤 군집에 영향을 미치는 요인을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지점 선택 및 이화학적 요인 조사

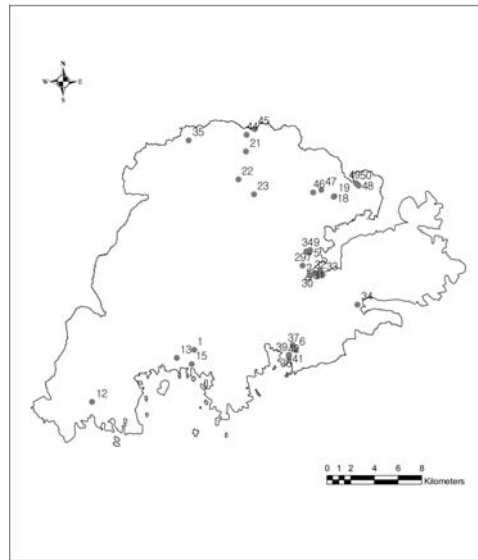
경상남도 고성군에 분포하고 있는 237개 (고성군, 2011) 뚝방 중 45개 (18.98%/고성군 전체 뚝방개수)를 선정하여 2011년 4월부터 7월 사이에 각 지점별 1회 조사를 한 후, 동물플랑크톤 군집구조와 이화학적 요인을 분석하였다 (Fig. 1A). 뚝방의 재원 및 건설형태를 기준으로 자연성 및 인위성에 따라 3가지 (Type I, II, III) 유형으로 구분하여 조사하였다. 첫 번째 형태는 제방과 하부재질 모두 흙으로 구성되어 있으며, 두 번째 형태는 제방과 벽면은 돌로 되어 있으나 바닥면은 흙으로 조성된 뚝방이다. 세 번째 형태는 제방과 벽면, 바닥면 모두 돌로 되어 있어 가장 인공적인 형태를 띤다 (Fig. 1B). 대부분의 뚝방은 용출수로 유지되고 있는데 제방이 높아 (약 30 cm) 주변 농경지에서 물의 유입이 없는 형태이다. 또한, 각각의 뚝방의 구조적 특성을 파악하기 위해서 해발고도 (a.s.l. m), 면적 (m²), 수심 (cm), 저수량 (m³), 재원 (바닥, 벽면, 제방 재원, 예: 흙, 돌)을 확인하였다. 또한 뚝방에 서식하는 생물 중 동물플랑크톤 군집구조에 영향을 줄 수 있는 수생식물의 피도 (coverage, %)를 조사하였다. 뚝방의 기초 육수학적 환경 요인 중 수온 (YSI DO Meter; Model 58) 과 용존산소량 (YSI DO Meter; Model 58), 전기전도도 (Fisher Conductivity Meter; Model 152), pH (Orion Model 407A)를 현장에서 측정하였다.

2. 동물플랑크톤

동물플랑크톤 샘플은 8 L의 원수를 채수통을 이용하여 표층수를 채수한 후 68 µm 직경 네트에 여과하여 100 mL로 농축시켜서 4~5% 포르말린으로 고정하였다. 동물플랑크톤은 종 (species) 및 속 (genus) 수준까지 동정 후 계수하여 원수 1 L당 개체수로 환산하였다 (Koste, 1978; Smirnov and Timms, 1983). 요각류는 발생 단계에 따라 유생 (nauplius), 아성체 (copepodid) 및 성체 (copepoda)로 구분하였다.

3. 분석방법

뚝방의 동물플랑크톤 종다양성을 파악하기 위해서 각 조사지점에 대하여 종풍부도 (S; species richness), 다양도



(A)

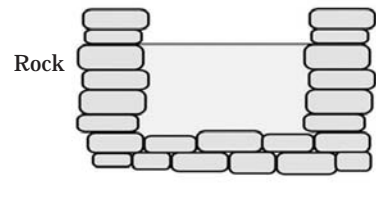
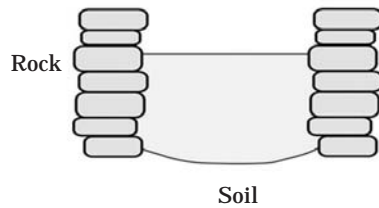
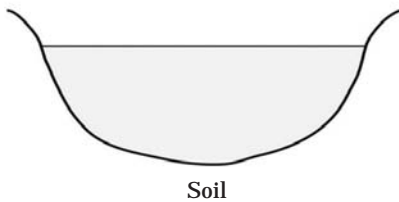
(1)



(2)



(3)



(B)

Fig. 1. Description of the study sites. (A) Geographical locations of 45 *Dumbeongs*, (B) Three types of *Dumbeongs* distributed in Goseong region.

지수 (H' ; Shannon-Weaver diversity index, Shannon-Weaver, 1975)와 최대다양도지수 (H'_{max} ; LnS), 균등도지수 (E ; evenness= H'/H'_{max} , Pielou, 1975)를 산출하여 평가하였다. 아울러, 동물플랑크톤 군집구조를 파악하기 위해서 SHE (species richness-Shannon-Weaver diversity index-evenness) 분석을 실시하였다(Hayek and Buzas, 1997). SHE 분석을 통해서 종풍부도와 다양도지수, 균등도지수 간의 상호관계를 파악하여 해당군집의 종풍부도

분포 (species abundance distribution, e.g. log normal, log series, broken stick)를 확인할 수 있다(Magurran, 1988). 군집분포분석을 실시하여 채집된 동물플랑크톤의 각 종의 밀도분포가 밀집 또는 무작위로 분포하는가를 확인하였다(Chi-sq test, Lamshead and Hodda, 1994; Rice and Lamshead, 1994). 둌병의 유형(Type I, II, III)에 따라 그에 상응하는 동물플랑크톤 군집배치(ordination)를 분석하기 위해, CA (Correspondence Analysis) 분석의 단점으로

Table 1. Zooplankton inventory and individual distribution (Chi-square test) in Dumbeongs.

Species	Var	Mean	Chi-sq	P	Aggregation
Rotifer					
<i>Philodina roseola</i>	1.79	0.93	84.43	0.00	A
<i>Brachionus angularis</i>	0.02	0.02	44.00	0.47	R
<i>Brachionus calyciflorus</i>	0.02	0.02	44.00	0.47	R
<i>Brachionus forficula</i>	0.04	0.04	43.00	0.51	R
<i>Brachionus urceolaris</i>	0.04	0.04	43.00	0.51	R
<i>Brachionus rubens</i>	1.08	0.31	153.14	0.00	A
<i>Brachionus quadridentatus</i>	5.53	0.51	475.91	0.00	A
<i>Mytilina ventralis</i>	0.71	0.20	156.00	0.00	A
<i>Mytilina trigona</i>	0.09	0.04	88.00	0.00	A
<i>Mytilina</i> sp.	0.04	0.04	43.00	0.51	R
<i>Euchlanis dilatata</i>	0.16	0.13	54.00	0.14	R
<i>Anuraeopsis fissa</i>	299.48	4.44	2964.85	0.00	A
<i>Keratella valga</i>	2.26	0.29	343.54	0.00	A
<i>Keratella cochlearis</i>	1977.48	10.80	8056.41	0.00	A
<i>Keratella quadrata</i>	0.04	0.04	43.00	0.51	R
<i>Trichotria tetractis</i>	0.24	0.11	94.00	0.00	A
<i>Trichotria pocillum</i>	0.13	0.09	63.50	0.03	R
<i>Squatinella mutica</i>	0.11	0.07	72.00	0.00	A
<i>Squatinella</i> sp.	0.19	0.11	76.00	0.00	A
<i>Colurella obtusa</i>	19.92	0.89	986.00	0.00	A
<i>Colurella uncinata</i>	35.61	0.98	1602.59	0.00	A
<i>Colurella</i> sp.	3.93	0.60	288.00	0.00	A
<i>Lepadella oblonga</i>	41.76	2.51	731.65	0.00	A
<i>Lepadella acuminata</i>	1.45	0.22	287.00	0.00	A
<i>Lepadella</i> sp.	3.78	0.36	467.75	0.00	A
<i>Lecane candida</i>	0.02	0.02	44.00	0.47	R
<i>Lecane brachydactyla</i>	0.02	0.02	44.00	0.47	R
<i>Lecane curvicornis</i>	0.02	0.02	44.00	0.47	R
<i>Lecane</i> sp.	0.54	0.22	107.00	0.00	A
<i>Monostyla opias</i>	0.02	0.02	44.00	0.47	R
<i>Monostyla pyriformis</i>	1.44	0.20	316.00	0.00	A
<i>Monostyla arcuata</i>	0.04	0.04	43.00	0.51	R
<i>Monostyla closterocerca</i>	4.05	0.67	267.00	0.00	A
<i>Monostyla bulla</i>	11.79	0.58	898.23	0.00	A
<i>Monostyla lunaris</i>	0.04	0.04	43.00	0.51	R
<i>Monostyla pygmaea</i>	0.11	0.07	72.00	0.00	A
<i>Monostyla</i> sp.	0.09	0.04	88.00	0.00	A
<i>Asplanchna priodonta</i>	3567.12	12.49	12567.43	0.00	A
<i>Asplanchna</i> sp.	46.86	2.33	883.71	0.00	A
<i>Scaridium longicaudum</i>	0.04	0.04	43.00	0.51	R
<i>Trichocerca tigris</i>	0.02	0.02	44.00	0.47	R
<i>Trichocerca bidens</i>	18.68	0.67	1233.00	0.00	A
<i>Trichocerca weberi</i>	0.89	0.20	196.00	0.00	A
<i>Trichocerca rattus</i>	0.80	0.13	264.00	0.00	A
<i>Trichocerca pusilla</i>	686305.19	127.07	237650.28	0.00	A
<i>Trichocerca iernis</i>	15.02	0.58	1144.00	0.00	A
<i>Trichocerca scipio</i>	2416.51	7.64	13908.96	0.00	A
<i>Trichocerca capucina</i>	5.93	0.73	355.64	0.00	A
<i>Trichocerca longiseta</i>	0.04	0.04	43.00	0.51	R
<i>Trichocerca marina</i>	20.32	0.84	1058.58	0.00	A
<i>Trichocerca</i> sp.	72.76	2.29	1398.60	0.00	A
<i>Polyarthra vulgaris</i>	658.10	7.76	3733.62	0.00	A
<i>Polyarthra dolichoptera</i>	295.91	3.67	3550.91	0.00	A
<i>Polyarthra</i> sp.	511.64	4.76	4733.90	0.00	A

Table 1. Continued.

Species	Var	Mean	Chi-sq	P	Aggregation
<i>Testudinella patina</i>	0.90	0.22	179.00	0.00	A
<i>Pompholyx complanata</i>	499.98	3.56	6187.25	0.00	A
Cladoceran					
<i>Scapholeberis</i> sp.	0.06	0.07	42.00	0.56	R
<i>Daphnia</i> sp.	0.02	0.02	44.00	0.47	R
<i>Moina macrocopa</i>	12.04	0.69	768.84	0.00	A
<i>Bosmina longirostris</i>	0.19	0.11	76.00	0.00	A
<i>Bosmina</i> sp.	0.56	0.11	220.00	0.00	A
<i>Bosminopsis deitersi</i>	0.02	0.02	44.00	0.47	R
<i>Alona rectangula</i>	0.02	0.02	44.00	0.47	R
<i>Chydorus gibbus</i>	0.04	0.04	43.00	0.51	R
<i>Chydorus ovalis</i>	0.06	0.07	42.00	0.56	R
Copepoda					
Nauplius	88667.66	77.02	50652.61	0.00	A
Copepodid	23.57	2.29	453.17	0.00	A
Cyclopoidea	114.00	2.84	1763.41	0.00	A

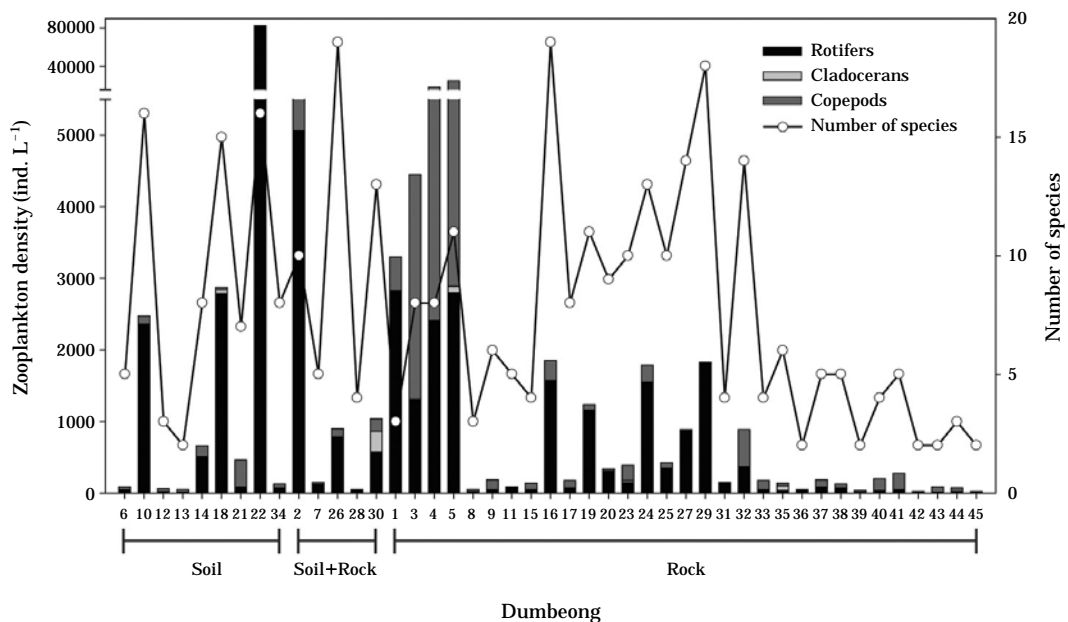


Fig. 2. Zooplankton community abundance and species richness in the study sites.

여겨지는 아치성향(arch effect)을 제거할 수 있는 DCA (Detrended Canonical Analysis)를 이용하였다(Jongman *et al.*, 1995). 물리화학적 그리고 주변 생물상 등의 환경요인들(면적, 고도, 재원, 수량, 수심, 둌병형태, DO, pH, 전기전도도, 수온, 수생식물)과 동물플랑크톤 군집과의 상관관계는 CCA (Canonical Correspondence Analysis)를 기반으로 분석하였다(Jongman *et al.*, 1995; ter Braak and Šmilauer, 2002). 동물플랑크톤의 다양성 및 군집구조 분석은 BioDiversity Pro (McAleece *et al.*, 1997)를 이용하였으며,

데이터분류(classification) 및 군집배치(ordination)는 PC-ORD (version 6; McCune and Grace, 2002) 프로그램을 사용하여 분석하였다.

결 과

1. 둌병의 구조 및 이화학적 특성

경상남도 고성군에 위치한 45개소의 둌병은 해발고도

가 35.24 ± 4.72 m (mean \pm S.E.)로 대부분 낮은 지대에 위치하고 있었다. 면적은 110.26 ± 20.57 m² (최소 3 m², 최대 342.9 m²), 수심은 190.78 ± 11.13 cm (최소 50 cm, 최대 340 cm), 저수용량은 216.32 ± 47.22 m³였다. 조사기간 동안 평균수온 및 용존산소는 각각 $21.48 \pm 0.55^\circ\text{C}$, 9.09 ± 0.55 mg L⁻¹ ($103.37 \pm 6.83\%$)이며 전기전도도는 평균 565.9 ± 335.56 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 이었다.

2. 동물플랑크톤 다양성

돔병에서 출현한 총 동물플랑크톤의 종수는 66종이며, 평균 출현 종수는 6.8 ± 0.75 였다. 윤충류가 56종으로 전체 동물플랑크톤 종수의 84.8%를 차지하였고 지각류가 9종 (13.6%), 요각류는 1아문으로 동정되었다 (Table 1). 주요 군집별 상대 풍부도는 윤충류가 70.7%로 가장 높았으며, 지각류가 0.4%, 요각류가 28.9%를 차지하였다 (Fig. 2). 조사기간 중 최고 밀도를 나타낸 종은 *Trichocer capusila* 로 5718 ind. L⁻¹이었으며, 요각류유생, *Asplanchna priodonta*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra vulgaris*가 다소 높은 밀도를 나타내었다. 다양도지수 (H')는 0.41에서 2.38의 범위를 나타내었으며 (mean \pm S.E. = 1.30 ± 0.08), 다양도지수가 높은 돔병은 제방과 벽면은 돌로 바닥면은 흙인 곳으로 평균 1.66 ± 0.26 (mean \pm S.E., Type II)를 나타내었다. 이외 모두 흙으로 구성된 돔병의 다양도 지수는 1.35 ± 0.21 (Type I), 그리고 제방과 벽면, 바닥 모두 돌로 구성된 돔병의 다양도 지수는 1.25 ± 0.09 (Type III)이었다.

3. 동물플랑크톤 군집구성 및 환경요인

각 돔병에서 채집된 동물플랑크톤의 출현 빈도를 보면 요각류유생이 전체 조사지점 중 40개소 돔병에서 출현하여 광역분포하는 것으로 나타났으며, 요각류아성체 (copepodid)가 22개소 (48.9%)에서 출현하였다. *Philodina roseola*와 *Lepadella oblonga*는 각각 19개소 (42.2%), *Keratella cochlearis*는 17개소 (37.8%)에서 출현하였다. 통계적으로 각 종별 개체분포를 산출한 결과 43종 (66.15%)의 밀도는 각 돔병 간의 통계적인 차이 없이 여러 돔병에서 관찰되는 종들이었다. 반면 23종 (34.85%)은 특정 돔병에서만 관찰되어 돔병 간 개체밀도가 상이한 종이었다. 돔병에서 서식하는 전체 동물플랑크톤의 군집분포는 특이적으로 구분되지 않고 유사한 군집구조를 가지는 것으로 파악되었다 (Chi-square=195079.14, df=2926, P < 0.001). SHE 분석 결과 종수 (LnS)와 다양도지수 (H')는 증가하지만 균등도 (E)는 일정하게 유지되어 Broken Stick

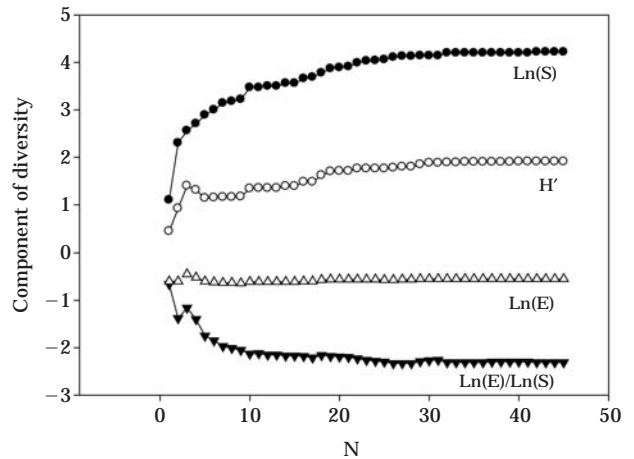


Fig. 3. The result of the SHE analysis in respect to zooplankton community of the *Dumbeongs* (Ln(S): species richness, Ln(E): evenness, H': Shannon-Weaver diversity index).

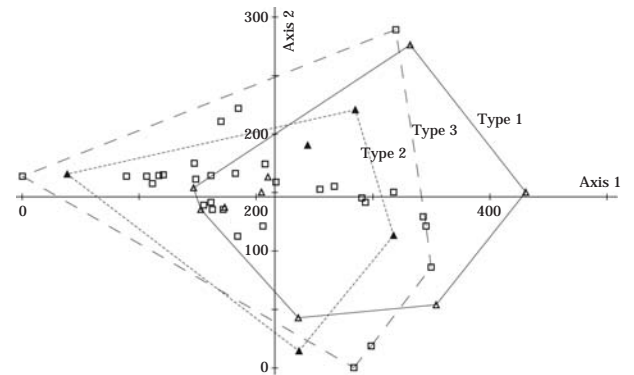


Fig. 4. The DCA result for classifying zooplankton community in according to types of *Dumbeong*. Type I: natural type, Type II: intermediate, and Type III: artificial type.

model에 적합하다 (Fig. 3). Broken Stick distribution을 보이는 군집의 경우 일반적으로 자원의 양에 비해 군집의 종다양성이 낮은 것을 의미하는데, 돔병에서 동물플랑크톤 역시 종다양성이 낮고 특정 돔병에 특이적으로 분포하는 동물플랑크톤 종이 적은 것을 나타낸다. DCA에 의한 ordination결과 제1축과 제2축의 고유값 (eigenvalue)은 각각 0.89, 0.35 (total inertia=5.58)였다 (Fig. 4). 동물플랑크톤 군집조성을 이용하여 돔병을 그룹화하기는 어렵고 다만 돔병의 재원에 의해서는 일부 구분되었다. 바닥면과 벽면 모두 흙으로 구성되어 자연성이 강한 Type I은 제방과 벽면, 바닥면 모두 돌로 되어 있어 가장 인공적인 Type III과는 구분되었다.

Table 2. Canonical and the correlations coefficients of environmental variables with the first two axes of the canonical correspondence analysis (CCA).

	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Eigenvalue	0.878	0.518	0.369
Variance in species data			
% of variance explained	13.2	7.8	5.5
Cumulative % explained	13.2	20.9	26.4
Pearson Correlation, Spp-Envt	0.979	0.899	0.925
Kendall (Rank) Corr., Spp-Envt	0.442	0.291	0.436

고 찰

경상남도 고성군에 위치한 45개 둑병에서 조사기간 동안 총 66종의 동물플랑크톤을 파악하였다. 조사된 둑병에서 동물플랑크톤 군집 조성이 복잡하지 않고 둑병 간 동물플랑크톤 군집조성이 뚜렷이 구분되지 않는 것은 무작위적으로 분포된 담수환경 자원으로 인해 자원 경쟁이 낮은 이유인 것으로 판단된다. 일반적으로 자원경쟁이 상대적으로 낮은 시스템에서는 특이적으로 분포하는 종들의 출현이 적고 어떠한 종이 선 유입되었는가 하는 사항은 전체 종의 풍부도에 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다 (Bogdan and Gilbert, 1987; Shurin *et al.*, 2000). 또한 일반적으로 소규모 서식처의 종다양도(군집의 이질성)는 자원양 또는 시스템의 크기에 비례하는 것으로 알려져 있으나 (Desmarais and Tessier, 1999) 본 연구 대상인 둑병의 경우, 생산성이 낮고 크기 역시 작아 다양한 동물플랑크톤 군집을 지지하지 못하는 것으로 보인다 (Holland and Jenkins, 1998; Forbes and Chase, 2002).

둥병의 형태 및 재질에 의해서 동물플랑크톤의 군집구조의 차이는 있었으나 이는 각 종이 선호하는 소서식처 (micro-habitat)가 다르기 때문이며, 특히 둑병에서 다양성이 가장 높은 윤층류 중 기질에 부착하여 생활하는 부착성 생활방식을 가지는 종들의 경우 부착할 수 있는 기질의 상태와 종구성이 밀접한 관계가 있는 것으로 밝혀져 있다 (Wetzel, 1975). 자연성이 높은 둑병의 경우 수변대에 수생식물이 일부 서식하고 있어 윤층류의 서식처로 적합한 환경을 제공하는 것으로 보인다. 바닥만 흙으로 되어 있는 둑병의 경우 수심이 깊어 수생식물의 발달이 미비하여 둑병의 모든 재원이 돌로 되어 있는 지점과 비교해 볼 경우 동물플랑크톤 군집 구조 간의 큰 차이를 보이지 않았으나, 보다 다양한 기질을 제공할 수 있을 것으로 보인다. 다른 선행 연구에서는 바닥이 흙으로 되어 있는 저층구조를 가지고 있을 경우 동물플랑크톤이 자원으로 이용할 수 있는 유기물들의 축적과 공급이 가능해 지므로 상대적으로 높은 종 다양성과 밀도를 지지할 수 있는 것으로 보고된 바가 있다 (Kim *et al.*, 2011b).

둥병은 작은 면적과 깊은 수심을 나타내는 형태적 특성을 보여 평가된 대부분의 담수환경요인의 변화가 적음에도 불구하고 둑병에서 동물플랑크톤은 다양한 이화학적 환경요인 중 DO와 pH가 다소 낮은 지점에서 주로 관찰되었다. 둑병에서의 낮은 DO가 동물플랑크톤군집에 직접적인 영향을 미친다기 보다는 동물플랑크톤의 포식자인 어류의 서식을 방해하여 동물플랑크톤의 군집의 안

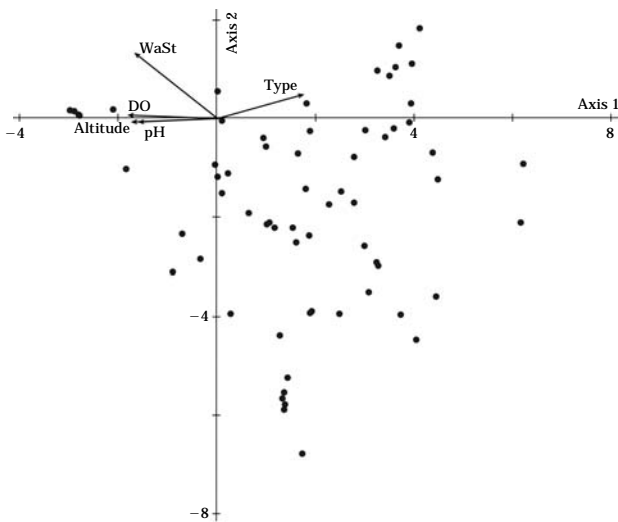


Fig. 5. The CCA result that zooplankton species and environmental driving factors were superimposed each other on the biplot (WaSt: Water storage and DO: dissolved oxygen).

CCA를 이용하여 동물플랑크톤과 환경요인과의 상관관계를 살펴본 결과 제1축의 고유값은 0.86, 제2축의 고유값은 0.47로 나타났으며 상관계수 역시 제1축이 0.98, 제2축이 0.89로 나타났다 (Table 2). 10개의 환경요인 중 DO ($F=6.97$, $P=0.002$)와 수량 ($F=3.60$, $P=0.002$), 고도 ($F=3.45$, $P=0.016$), pH ($F=2.58$, $P=0.024$), 둑병형태 ($F=2.31$, $P=0.008$)가 동물플랑크톤 군집에 통계적으로 유의하게 영향을 미쳤다. 제1축은 수환경요인에 의해 많은 영향을 받고, 제2축은 형태에 영향을 받았다. 대부분의 동물플랑크톤은 수온과 pH, DO의 감소에 영향을 받고 인공성이 높은 둑병에서 관찰되었다 (Fig. 5). 따라서 CCA 분석을 요약해서 정리하면 둑병에서의 동물플랑크톤 군집패턴은 둑병의 유형에 의한 영향성보다는 수환경 자체의 물리화학적 요인이 군집패턴 결정에 더 큰 영향을 주는 것으로 드러났다.

정성 유지에 도움을 줄 수는 있는 것으로 보인다(Burks *et al.*, 2002). 실제 수심이 깊고 수생식물이 발달되지 않은 뚝방에서는 어류(치어)가 존재하지 않았으며 이렇게 포식압이 낮은 뚝방에서 상대적으로 다양한 동물플랑크톤종이 관찰되는 것으로 생각된다(Lynch, 1979). pH의 증가는 동물플랑크톤의 성장과 생식을 저해하는 주요인으로 작용하기 때문에(Beklioglu and Moss, 1995), pH가 감소하는 수환경으로 갈수록 동물플랑크톤의 군집의 다양성이 확보될 수 있다.

뚝방의 잠재적인 생태적 기능과 가치는 많은 부분에서 인정될 수 있지만 현재의 단조로운 서식처 구조 및 주변 서식처와의 연결성 부족이 뚝방이 지지할 수 있는 생물다양성을 감소시키는 것으로 판단된다. 따라서 농업경관수준에서 뚝방과 주변서식처와의 연결성을 확보함과 동시에 뚝방의 형태와 구조를 다양화한다면 생태적 이동통로(ecological corridor) 및 디딤돌(stopping stone)로서 역할을 수행할 수 있을 것으로 보인다(William *et al.*, 2003).

사 사

본 연구 논문은 환경부 국가장기생태연구사업(2005~2012)의 지원으로 작성되었습니다.

인 용 문 헌

- Beklioglu, M. and B. Moss. 1995. The impact of pH on interactions among phytoplankton algae, zooplankton and perch (*Perca fluviatilis*) in a shallow, fertile lake. *Freshwater Biology* **33**: 497-509.
- Bogdan, K.G. and J.J. Gilbert. 1987. Quantitative comparison of food niches in some freshwater zooplankton. *Oecologia* **72**: 331-340.
- Burks, R.L., D.M. Lodge, E. Jeppesen and T.L. Lauridsen. 2002. Diel horizontal migration of zooplankton: costs and benefits of inhabiting the littoral. *Freshwater Biology* **47**: 343-365.
- Collinson, N.H., J. Biggs, A. Corfield, M.J. Hodson, D. Walker, M. Whitfield and P.J. Williams. 1995. Temporary and permanent ponds: an assessment of the effects of drying out on the conservation value of aquatic macroinvertebrate communities. *Biological Conservation* **74**: 125-133.
- Davies, B., J. Biggs, P. Williams, M. Whitfield, P. Nicolet, D. Sear, S. Bray and S. Maund. 2008. Comparative biodiversity of aquatic habitats in the European agricultural landscape. *Agriculture Ecosystems and Environment* **125**: 1-8.
- Desmarais, K.H. and A.J. Tessier. 1999. Performance trade-off across a natural resource gradient. *Oecologia* **120**: 137-146.
- Duelli, P. 1997. Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: an approach at two different scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **62**: 81-91.
- Fernández, A.I., O. Viedma, S. Sánchez-Carrillo, M. Alvarez-Cobelas and D.G. Angeler. 2009. Local and landscape effects on temporary pond zooplankton egg banks: conservation implications. *Biodiversity and Conservation* **18**: 2373-2386.
- Forbes, A.E. and J.M. Chase. 2002. The role of habitat connectivity and landscape geometry in experimental zooplankton metacommunities. *Oikos* **96**: 433-440.
- Goseong County. 2011. Status survey of Dumbeong in Goseong County. Goseong County. pp. 273.
- Hayek, L-A.C. and M.A. Buzas. 1997. Surveying Natural Populations. Columbia University Press, New York. pp. 563.
- Holland, T.A. and D.G. Jenkins. 1998. Comparison of processes regulating zooplankton assemblages in new freshwater ponds. *Hydrobiologia* **387/388**: 207-214.
- Holzkaemper, A. and R. Seppelt. 2007. Evaluating cost-effectiveness of conservation management actions in an agricultural landscape on a regional scale. *Biological Conservation* **136**: 117-127.
- Jongman, R., C.J.F. ter Braak and O. van Tongeren. 1995. Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge University Press. pp. 324.
- Kim, J.O., H.S. Shin, J.H. Yoo, S.H. Lee, H.S. Jang and B.C. Kim. 2011a. Physicochemical and biological properties of constructed small-scale ponds for ecological improvement in paddy fields. *Korean Journal of Limnology* **44**: 253-263.
- Kim, J.O., H.S. Shin, J.H. Yoo, S.H. Lee, H.S. Jang and B.C. Kim. 2011b. Functional evaluation of small-scale pond at paddy field as a shelter for mudfish during mid-summer drainage period. *Korean Journal Environmental Agriculture* **30**: 37-42.
- Kobori, H. and B.R.B. Primack. 2003. Participatory conservation approaches for Satoyama, the traditional forest and agricultural landscape of Japan. *A Journal of the Human Environment* **32**: 307-311.
- Koste, W. 1978. Rotatoria, die Radertiere Mitteleuropas: Uberordnung Monogononta: ein Bestimmungswerk, 2 edition. Gebruder Borntraeger, Stuttgart.

- Lamshead, P.J.D. and M. Hodda. 1994. The impact of disturbance on measurements of variability in marine nematode populations. *Vie et Milieu* **44**: 21-27.
- Lynch, M. 1979. Predation, competition, and zooplankton community structure: an experimental study. *Limnology and Oceanography* **24**: 253-272.
- Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University, New Jersey. pp. 7-45.
- McAleece, N., J. Lamshead, G. Patterson and J. Gage. 1997. BioDiversity Pro (Version 2). The Natural History Museum, London, and The Scottish Association of Marine Science, Oban, Scotland. Available from <http://www.nhm.ac.uk/zoology/bdpro>.
- McCune, B. and J.B. Grace. 2002. Analysis of ecological communities. MJM Software Design, Gleneden Beach, Oregon. pp. 300.
- Rice, A.L. and P.J.D. Lamshead. 1994. Patch dynamics in the deep-sea benthos: the role of a heterogeneous supply of organic matter. Aquatic Ecology: scale, pattern and process. 34th Symposium of The British Ecological Society. Blackwell Scientific Publications, Oxford. pp. 469-499.
- Scheffer, M., G.J. Van Geest, K. Zimmer, E. Jeppesen, M. Søndergaard, M.G. Butler, M.A. Hanson, S. Declerck and L. De Meester. 2006. Small habitat size and isolation can promote species richness: second-order effects on biodiversity in shallow lakes and ponds. *Oikos* **112**: 227-231.
- Shurin, J.B., J.E. Havel, M.A. Leibold and B. Pinel-Alloul. 2000. Local and regional zooplankton species richness: a scale-independent test for saturation. *Ecology* **81**: 3062-3073.
- Smirnov, N.N. and B.V. Timms. 1983. A revision of the Australian Cladocera (Crustacea). Australian Museum.
- ter Braak, C. and P. Šmilauer. 2002. CANOCO reference manual and CanoDraw for user's guide to Canoco for Windows: software for canonical community ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, New York. pp. 500.
- Tscharntke, T., A.M. Klein, A.K. Ingolf, S. Dewenter and C. Thies. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management. *Ecology Letters* **8**: 857-874.
- Wetzel, R.G. 1975. Limnology. W. B. Saunders Company, Philadelphia. pp. 743.
- Williams, P., M. Whiteild, J. Biggs, S. Bray, G. Fox, P. Nicolet and D. Sear. 2003. Comparative biodiversity of river, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England. *Biological Conservation* **115**: 329-341.

(Manuscript received 19 November 2012,
Revised 1 December 2012,
Revision accepted 18 December 2012)