

## 얕은 습지에서 환경 요인에 따른 어류상 분포 특성<sup>1a</sup>

최종윤<sup>2\*</sup> · 조현빈<sup>3</sup> · 김성기<sup>3</sup> · 라공환<sup>4</sup> · 주기재<sup>3</sup>

### Distribution Dynamics of Fish Community in Shallow Wetland by Environmental Variables<sup>1a</sup>

Jong-Yun Choi<sup>2\*</sup>, Hyunbin Jo<sup>3</sup>, Seong-Ki Kim<sup>3</sup>, Geung-Hwan La<sup>4</sup>, Gea-Jae Joo<sup>3</sup>

#### 요 약

얕은 습지에서 환경 요인에 대한 어류의 분포와 종 조성을 평가하기 위해, 2012년 봄철(5~6월)에 경상남도에 위치한 24개의 습지에서 이화학적 요인, 수생식물, 어류 등을 조사하였다. 조사 기간 동안 20종의 어류가 동정되었으며, 잉어과 어류가 가장 우점하는 것으로 나타났다. 이화학적 요인 및 수생식물 생물량은 조사 지점에 따라 상이하였으며, 특히 수생식물 생물량은 어류 풍부도와 매우 밀접하게 관련되었다(df=1, F=32.00, P=0.001). 조사 지점간에 군집 분석을 수행한 결과, 조사 지점들은 3개의 집단으로 구분되었으며, 이 또한 수생식물 생물량에 대한 영향으로 분석되었다. 첫 번째 집단의 습지에서는 검정우렁과 어류인 블루길에 의해서 우점되었으며, 그 외 어류 군집은 거의 출현하지 않았다. 두 번째 집단은 주로 잉어과 어류인 붕어가 우점한다는 점에서 첫 번째 집단과 차이를 보였다. 세 번째 집단에 속한 습지에서는 첫 번째 집단과 비슷하게, 블루길이 우점하였으나, 다른 어류 종 또한 다양하게 출현하였다. 결론적으로 얕은 습지에서 어류 군집의 분포와 종 다양성은 수생식물의 생물량에 의해 강하게 영향 받는 것으로 평가되었으며, 수생식물의 높은 생물량은 어류의 높은 풍부도 유지에 크게 기여하였다. 이러한 관점에서 습지를 복원하거나 새롭게 조성할 때 수생식물의 적절한 식재는 어류의 종 다양성에 영향을 줄 것으로 보이며, 어류가 수생태 먹이망 내에서 최상위포식자로서의 역할을 한다는 점을 감안할 때 먹이망의 건강성 유지에도 필수적일 것으로 사료된다.

주요어: 수생식물, 미소서식처, 종 다양성, 군집분석, 동물플랑크톤

#### ABSTRACT

In order to investigate the distribution and species composition of fish in shallow wetlands that might be affected by environmental factors, we investigated the physicochemical parameters, macrophytes biomass, and fish assemblage in 24 shallow wetlands in South Korea from May to June, 2012. In this study, a total of 20 fish species were identified, and Cypinidae were found to be the most dominant species. Physicochemical parameters and macrophyte biomass were different in the survey sites, and macrophytes biomass, in particular, showed a positive relationship with fish abundance in stepwise multiple regression (df=1, F=32.00, P=0.001). According to the result of the cluster analysis between survey sites, the survey sites were divided into three groups in accordance with species composition of fish in relation to macrophytes biomass. In the wetlands of the first group, *Lepomis macrochirus* which belongs to Centrarchidae was found to be dominant and other fish

1 접수 2015년 1월 6일, 수정 (1차: 2015년 2월 23일, 2차: 2015년 6월 10일), 게재확정 2015년 6월 11일

Received 6 January 2015; Revised (1st: 23 February 2015, 2nd: 10 June 2015); Accepted 11 June 2015

2 국립생태원 National Institute of Ecology, Seo-Cheon Gun, Chungcheongnam province 325-813, South Korea

3 부산대학교 생명과학과, Dept. of Biological Sciences, Pusan National Univ., Busan 609-735, South Korea.

4 순천대학교 환경교육과, Dept. of Environmental Education, Suncheon National Univ., Suncheon 540-742, Korea.

a 이 논문은 낙동강물환경연구소 환경기초사업의 지원으로 연구되었음.

\* 교신저자 Corresponding author: Tel: 82- , Fax: , E-mail: jyc311@naver.com

assemblages were hardly seen. In the second group, unlike the first group, *Carassius auratus* that belongs to Cypinidae was found to be dominant. In the third group, *Lepomis macrochirus* was found to be as dominant as the first group but various other fish species appeared. Where there was abundance of the main food sources (i. e. zooplankton) of fish in the survey sites, there were more diverse macrophyte biomass. Consequently, it is proven that macrophytes strongly affect the species composition and abundance of fish, and high biomass of macrophytes support high assemblage of fish. Based on these results, we recommend establishing diverse aquatic macrophytes communities when restoring or creating wetlands to assure high diversity of fish species that use macrophytes as their habitat.

**KEY WORDS: AQUATIC MACROPHYTE, MICROHABITAT, SPECIES DIVERSITY, CLUSTER ANALYSIS, ZOOPLANKTON**

## 서론

습지는 육상생태계와 수 생태계의 중간에 위치하는 전이 지대이며, 매우 중요한 서식처로서 인식되고 있다(Denny, 1994). 특히, 이러한 환경에서는 얕은 수심으로 인해 빛이 충분히 유입될 뿐만 아니라 영양염류가 풍부하게 제공되므로, 수생식물이 성장하기에 적당하다. 그래서 일반적으로 수생식물이 빈번하게 우점되며, 이러한 상황은 우리나라에서의 습지에서도 쉽게 찾아볼 수 있다. 수생식물은 물 안에서 서식처의 물리적 구조를 결정짓는 중요한 요인이며 (Warfe and Barmuta, 2004; Thomaz *et al.*, 2008), 다양한 동물들을 위한 서식처로서 활용된다(Wolcox and Meeker, 1992). 또한 수생식물은 포식자를 회피하기 위한 피난처로서의 기능도 가지며, 이와 같은 효과는 주로 플랑크톤이나 치어 등의 작은 동물에서 효과적인 것으로 보고되어 있다(Dionne and Folt, 1991; Lauridsen *et al.*, 1998). 식생대의 구조는 식생대를 구성하는 수생식물 종의 구조나 형태에 따라 상이하게 나타나며, 잎이나 줄기 등이 복잡한 구조를 가질수록 서식처로서 기능이 증가된다(Lillie and Budd, 1992; Choi *et al.*, 2014a). 그래서 수생식물은 습지에 서식하는 동물들의 종 다양성과 개체수 유지에 크게 기여할 수 있다. 특히, 침수식물은 다른 수생식물(정수식물 및 부엽식물)보다 매우 복잡한 구조를 가지는 것으로 알려져 있으며 (Manatunge *et al.*, 2000, Meerhoff *et al.*, 2007), 이러한 특징으로 인해 침수식물의 현존은 다양한 동물들의 생존 및 개체군 성장을 도울 수 있다(Choi *et al.*, 2014b).

수생식물을 서식처로서 활용하는 다양한 동물들 중에서, 어류는 식생대를 구성하는 수생식물의 구조와 형태에 크게 영향 받는 것으로 알려져 있다(Keast, 1984; Stansfield *et al.*, 1997). 어류는 담수생태계 먹이망 내에서

다양한 동물 군집을 먹이원으로 활용하는 최종소비자로서 역할을 가지며(Moyle and Cech, 2000), 수체 내 생물다양성을 결정짓기 때문에 이들의 분포에 대한 연구는 중요할 수 있다. 일반적으로 수생식물은 어류의 포식활동을 제한하는 것으로 알려져 있으며(Diehl, 1988; Valley and Bremigan, 2002), 이와 같은 효과는 어류가 주로 섭식하는 동물플랑크톤이나 무척추동물의 개체수와 종 다양성을 증가시키는 요인으로 작용한다(Lauridsen *et al.*, 1996; Thomaz *et al.*, 2008). 특히, 동물플랑크톤 군집은 수생식물을 서식처로서 빈번하게 활용하는 것으로 보고되어 있으며(Burks *et al.*, 2002), 수생식물의 잎과 줄기 표면은 부착성 종을 위한 기질로서 활용된다(Choi *et al.*, 2014a). 그러나, 수생식물에 대한 어류 포식의 영향은 종에 따라 매우 상이하게 나타난다. 예를 들어, 블루길과 같은 검정우렁과 어류의 경우 식생대 내에서도 활발한 먹이 활동을 할 수 있는 것으로 알려져 있다(Crowder and Cooper, 1982; Paukert and Willis, 2002). 그러나 식생대의 복잡한 구조 안에서는 블루길을 포함한 어류의 포식 활동은 현저하게 감소하며, 어류의 과도한 먹이 섭식을 제한하기 때문에 먹이원의 고갈을 방지하고 유지를 도울 수 있다(Dionne and Folt, 1991; Casatti *et al.*, 2003). 먹이원의 고갈은 포식자들간 경쟁을 심화시키며, 특정 포식자 종의 우점을 야기한다. 이러한 점에서 수생식물은 포식자와 피식자간에 상호작용을 조절하며, 이들의 서식처 내 공존에 크게 기여하기 때문에 생물다양성 증가에 크게 기여할 수 있다.

우리나라는 주로 여름에 강우량이 집중되기 때문에 물 부족 현상이 빈번하게 나타나며, 이를 방지하기 위해 대부분의 농경지 주변에는 소규모의 웅덩이(대부분 습지)들이 많이 조성되어 있다. 일반적으로 이들 웅덩이들은 대부분 수심이 얕고 영양염류가 풍부하게 유입되기 때문에 수생식물에 의해 빈번하게 우점되는 특징을 가진다. 그래서 이들

수체에서 어류를 포함한 다양한 동물들의 분포나 상호작용은 수생식물에 의해 강하게 영향을 받을 것으로 보인다. 국외의 경우, 수생식물은 어류를 포함한 다양한 동물 군집간 상호작용에 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 생태계의 주요 기능을 결정하는 중요한 요인으로 연구되어 있다 (Burks *et al.*, 2002; Warfe and Barmuta, 2004). 특히, 어류는 식생대를 구성하는 수생식물의 구조나 형태에 가장 크게 영향받으며, 이러한 효과는 생태계의 구조나 기능 변화를 이끄는 요인으로 작용한다. 이러한 중요성에서 불구하고, 국내의 경우 어류의 종조성이나 분포에 대한 이해에 수생식물의 역할은 간과되어 왔다. 더욱이, 현재 국내 정수역에서 블루길과 베스와 같은 외래종의 우점 비율이 높아지는 시점에서 이들의 분포에 대한 수생식물의 영향을 파악하는 것은 이들의 조절과 생태계의 기능 유지 측면에서 중요할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 수생식물이 우점하는 얕은 습지에서 어류의 종 조성과 분포를 조사하고, 수생식물의 생물량을 포함한 환경 요인이 어류에 미치는 영향을 평가하였다. 도출된 결과를 바탕으로 수생식물의 생물량이 어류 군집에 분포와 종 조성에 미치는 영향을 평가하고자 한다. 각 습지마다 수생식물의 생물량 및 우점종이 다르며, 이와 같은 차이는 어류 종조성이나 분포에 크게 영향을 줄 것으로 기대된다. 이러한 어류의 분포 특성을 해당 습지의 동물플랑크톤 밀도와 비교하여 수생식물의 생체량이 어류의 먹이원

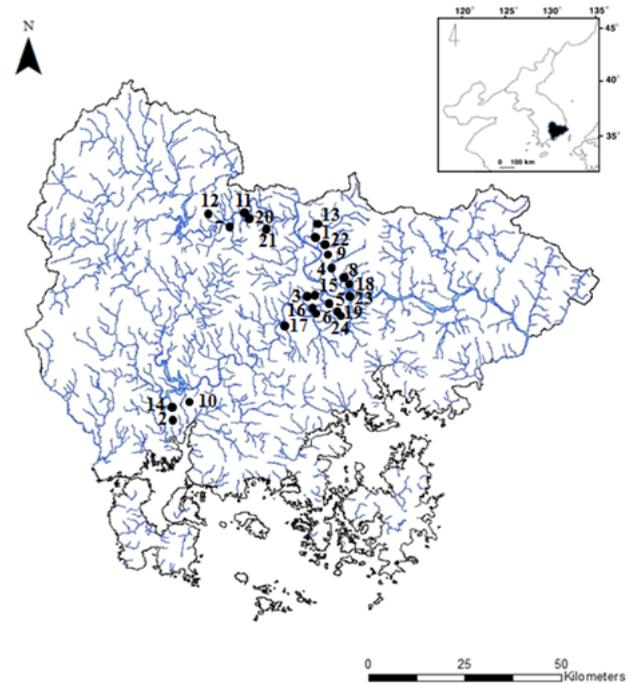


Figure 1. Map of the study sites. The study sites are indicated as solid circles (●), and located in the southeast South Korea. The small map in the upper right-hand corner shows the Korean peninsula

Table 1. List and location description of each wetland

Site	Site name	Latitude (N)	Longitude (E)	Administrative district
1	가항늪	35°31'14.83"	128°23'07.03"	창녕군 유어면 가항리
2	가화늪	35°12'30.41"	128°00'38.59"	진주시 명석면 가화리
3	대산늪	35°21'49.04"	128°27'03.03"	함안군 대산면 장암리
4	대평늪	35°20'21.97"	128°20'12.08"	함안군 법수면 대송리
5	뜯늪	35°18'18.26"	128°18'09.18"	함안군 군북면 월촌리
6	매곡작은늪	35°19'45.37"	128°19'08.95"	함안군 법수면 황사리
7	박실지	35°32'43.47"	128°07'03.26"	합천군 용주면 평산리
8	번개늪	35°26'30.07"	128°28'51.73"	창녕군 장마면 유리
9	신전늪	35°24'40.51"	128°28'01.79"	창녕군 남지읍 신전리
10	연논늪	35°09'04.91"	128°09'37.90"	진주시 문산읍 이곡리
11	연당지	35°33'23.97"	128°08'07.04"	합천군 용주면 성산리
12	옥열늪	35°19'23.94"	128°24'08.96"	함안군 대산면 옥열리
13	우포늪	35°33'17.60"	128°24'45.40"	창녕군 이방면, 대지면, 유어면
14	원동늪	35°09'29.47"	127°57'44.45"	진주시 수곡면 원내리
15	월상늪	35°26'41.73"	128°22'59.91"	창녕군 남지읍 월하리
16	월포늪	35°20'51.02"	128°25'34.52"	함안군 대산면 평림리
17	유전늪	35°18'06.25"	128°20'23.58"	함안군 군북면 유현리
18	장척늪	35°26'02.05"	128°29'37.26"	창녕군 영산면 신체리
20	점늪	35°21'04.63"	128°29'19.13"	함안군 칠서면 태곡리
21	정양지	35°33'08.14"	128°09'45.19"	합천군 대양면 정양리
22	질랄늪	35°19'17.34"	128°20'53.49"	함안군 법수면 우거리
23	팔락늪	35°30'58.46"	128°24'00.91"	창녕군 유어면 부곡리
24	화포늪	35°18'45.03"	128°47'50.00"	김해시 한림면, 생림면, 진례면, 진영읍
25	황새몰늪	35°19'28.62"	128°19'27.23"	함안군 법수면 황사리

활용에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

## 연구방법

### 1. 조사 지점 현황

경상남도는 한반도의 동남쪽에 위치하고 있으며, 이 지역은 대부분이 평야지대로서 범람이 빈번하고 배수가 좋지 않아 다른 지역보다 많은 호소, 저수지, 습지 등이 분포하고 있다. 대부분의 정수역은 강 및 하천을 중심으로 분포하고 있으며, 특히 낙동강과 남강 합류점에 집중되어 있다(Son and Jeon, 2003).

정수역 주변 토지는 대부분 농경지로 구성되어 있으며, 이로 인해 영양염류의 유입 등 인위적인 요인에 지속적으로 노출되어 있다. 이러한 특징은 수생식물이 성장하기 좋은 조건을 제공하며, 그래서 대부분의 정수역에는 여름을 제외한 나머지 계절에 수생식물이 우점된다. 특히, 갈대(*Phragmites australis*), 털물참새피(*Picris hieracioides*), 생이가래(*Salvinia natans*), 마름(*Trapa japonica*), 붕어마름(*Ceratophyllum demersum*) 등과 같은 식물 종은 빈번하게 출현한다.

기존문헌을 통해 경상남도에는 164개의 정수역(습지, 저수지, 연못 등)이 위치하고 있는 것으로 파악되었으나(Choi et al., 2014c), 본 연구의 목적을 수행하기 위해 수생식물에 의해 우점된 얕은 습지 24개소를 선정하였다(Figure 1과 Table 1). 앞에서 언급하였듯이, 우리나라는 온순 기후의 영향으로 강우량이 여름에 집중되며, 이로 인해 급격한 수위 상승과 유량 변화가 발생하게 된다(Jeong et al., 2007). 이러한 교란 효과는 여름 강우의 양에 따라 차이는 있지만 보통 가을까지 영향받으며(Choi et al., 2011), 그래서 여름과 가을에는 강우에 대한 영향이 지배적이기 때문에 강우량을 제외한 다른 요인과 상호작용을 평가하기에 어려움이 있다. 본 연구의 주요 목적은 수생식물 등의 환경 요인에 대한 어류의 종 조성 및 분포에 미치는 영향을 평가하는 것이므로, 수환경이 비교적 안정적으로 조성되는 봄 시기(5~6월, 2012)에 각 습지에서 한번씩 조사를 수행하였다.

### 2. 환경 요인 측정 및 어류 채집

경상남도에 위치한 24개의 저수지에서 이화학적 요인의 측정 및 어류와 수생식물의 채집을 수행하였다. 이화학적 요인의 측정 항목은 수온, 용존산소, 전기전도도, pH, 탁도 등 5개로, 현장에서 측정되었다. 수온과 용존산소는 DO meter를 이용하여 측정하였으며(YSI DO Meter; Model 58), pH와 전기전도도는 각각 pH 측정기(Orion pH Meter; Model 58)와 전기전도도 측정기(Fisher Conductivity meter;

Model 152)를 이용하여 측정되었다. 탁도는 각 습지에서 원수 100 ml를 채수한 후, 실험실로 운반하여 탁도측정기(Model 100B)를 이용하여 측정되었다. 각 습지의 면적은 토지피복도와 국토지리정보원에서 발행한 1:25000 수치지도와 중첩하여 식생이 현저히 구분되는 구간까지 세부적인 경계를 설정하여 최종면적을 산출하였다.

어류의 채집은 투망(망목, 7mm × 7mm), 족대(망목, 4mm × 4mm)를 이용하여 약 200~300m의 거리에서 40분간 수행하였다. 투망을 이용한 어류 채집은 약 20회 정도 수행되었으며, 수생식물이 상대적으로 적은 습지에서 주로 이용되었다. 수생식물의 생물량이 높을 경우, 투망 채집 시 수생식물에 걸려 어류를 효율적으로 채집하기에 어려움을 가진다. 족대는 주로 수생식물의 생물량이 높은 습지에서 어류 채집 시 주로 활용되었으며, 약 20회 정도 수행되었다. 채집된 어류는 현장에서 즉시 종 수준으로 동정 후 방류하였다. 현장에서 정확한 동정이 어렵거나, 크기가 작아 동정이 어려운 경우에는 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실에서 자세하게 동정을 수행하였다. 채집된 어류는 Kim and Park (2002) 및 Nelson (1994)의 분류체계를 따라 종 수준으로 동정하였다. 각 습지에서 어류의 종 조성이나 분포 특성을 이해하기 위해, 수생식물의 채집도 병행하였다. 수생식물의 채집을 위해 각 습지의 수변부에서 1 × 1(m) 방형구를 이용하여 조사하였다. 각 습지에서 방형구 조사는 무작위적으로 3번 수행되었으며, 방형구 안에 있는 모든 수생식물을 채집하였다. 채집된 수생식물은 실험실로 운반하여 60°C에서 48시간 건조시킨 후 건조량을 측정하였다. 각 습지에서 3번씩 측정된 수생식물의 건조량은 평균을 산출하여 각 습지를 대표할 수 있는 수생식물의 생물량을 측정하였다.

추가적으로 각 습지에서 어류의 분포에 대한 먹이원의 영향을 평가하기 위해 어류의 먹이원으로 빈번하게 활용되는(Perrow et al., 1999, Manatunge et al., 2000) 동물플랑크톤 군집(운충류, 지각류, 요각류)을 추가적으로 조사하였다. 동물플랑크톤은 각 습지에서 원수 10 l를 채수한 후, 이를 68 µm망목의 네트에 여과시켜 70 ml로 농축한 후 포르말린 5%로 고정하였다. 고정된 동물플랑크톤 시료는 실험실에서 현미경(ZEISS, Model Axioskop 40)을 이용하여 리터 (l)당 개체수로 환산하였다. 동물플랑크톤의 개체수 산출은 Mizuno and Takahashi(1999)의 분류체계에 따랐다.

### 3. 통계 분석

각 습지간에 어류 군집의 유사성을 분석하기 위해 유사도 분석(cluster analysis)을 수행하였다. 또한 수생식물과 이화학적 요인에 대한 어류의 군집의 영향을 분석하기 위해 단계별 회귀분석(stepwise multiple regression analysis)을 이

용하였다. 이 분석들은 SPSS (ver. 14)를 이용하여 분석되었다.

## 결과 및 고찰

### 1. 이화학적 요인 및 수생식물 생물량

#### 1) 이화학적 요인

조사기간 동안, 각 습지에서 측정된 이화학적 요인의 값은 상이하였다(Table 2). 수온은 19.5~27.9℃의 범위를 보였으며, 점늪(19번), 매곡작은늪(6번), 정양지(20번) 등의 습지에서 가장 높은 수온 값이 관찰되었다. 전체적으로 수온은 면적이 작은 습지일수록 높았으며, 이 것은 면적이 작을수록 기온 증가에 상대적으로 쉽게 영향 받기 때문인 것으로 사료된다.

면적이 큰 습지들의 경우 (대평늪(4번), 우포늪(13번), 화포늪(24번) 등), 상대적으로 낮은 수온 값이 관찰되었다. 용존산소는 21.6~128.7%의 범위로서 습지간에 편차가 비교

적 큰 것으로 나타났다. 용존산소는 매곡작은늪(6번), 번개늪(8번), 옥열늪(12번), 황새몰늪(24번) 등의 습지에서 가장 높았는데, 이들 습지들에서는 공통적으로 수생식물의 생물량이 낮은 특징을 가지고 있었다. 일반적으로 수표면에서 수생식물의 높은 밀도는 대기 중의 산소가 물 안으로 유입되는 것을 차단하기 때문에, 물 안으로 유입되는 용존산소의 농도를 감소시킬 수 있다. 더욱이 저층에서 발생하는 분해 작용에 상당히 많은 양의 산소가 소모되는 것 또한 습지에서의 낮은 산소 농도에 크게 기여한다(Brinson *et al.*, 1981). 본 연구에서 수표면에 수생식물이 우점하는 습지들은 대부분 낮은 용존산소 농도를 나타냈다(박실지(7번), 우포늪(13번), 장척늪(18번), 팔락늪(22번) 등). 전기전도도는 169.8~423.5 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 의 범위였으며, 이는 일반적으로 상류에 위치한 하천 구간에서 약 10~50 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이며, 도심에 위치한 하천 구간에서 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$  이상의 값을 보이는 점을 감안할 때 상대적으로 적은 범위의 값을 나타냈다. 이는 조사된 습지들이 대부분 비슷한 토지 피복을 가지며(대부분 농경지), 이로 인해 유입되는 영양염류의 질과 양이 대부분 비슷하기

Table 2. Environmental parameters measured at study sites from May to June. MDR, macrophytes dry weight; WT, water temperature; DO, dissolved oxygen; Cond., conductivity. The unit of zooplankton density is ind. L<sup>-1</sup>

Site	Area (m <sup>2</sup> )	WT (°C)	DO (%)	Cond. ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	pH	Turbidity (NTU)	MDR (g)	Dominant macrophyte species
1	22,574	22.8	76.1	227.7	7.4	32.4	51.4	<i>Phragmites australis</i>
2	109,852	23.5	86.5	169.8	7.4	27.5	34.2	<i>Picris hieracioides</i>
3	9,169	26.3	65.2	209.2	7.2	17.5	26.4	<i>Phragmites australis</i>
4	122,787	26.3	65.2	209.2	7.2	16.2	13.5	<i>Trapa japonica</i>
5	7,392	21.3	51.7	318.4	8.1	7.8	14.5	<i>Picris hieracioides</i>
6	3,889	24.1	111.5	423.5	7.4	23.5	35.6	<i>Picris hieracioides</i>
7	225,318	22.5	58.4	196.2	8.2	6.7	87.4	<i>Trapa japonica</i>
8	751,851	27.5	112.5	265.3	7.4	9.4	64.6	<i>Ceratophyllum demersum, Salvinia natans</i>
9	84,215	24.8	47.1	372.6	7.2	18.7	32.5	<i>Trapa japonica</i>
10	28,438	19.5	73.7	220	7.5	25.4	61.2	<i>Salvinia natans</i>
11	79,848	21.4	67.3	217.4	7.4	8.6	83.4	<i>Salvinia natans</i>
12	246,630	24.6	120.6	217.9	8.1	10.9	14.3	<i>Picris hieracioides</i>
13	2,695,060	22.4	57.8	225.4	7.7	21.76	92.4	<i>Ceratophyllum demersum, Salvinia natans</i>
14	82,060	25.4	86.2	179	7.3	12.2	57.6	<i>Salvinia natans</i>
15	12,500	23.4	97.6	243.5	7.7	14.5	27.6	<i>Picris hieracioides</i>
16	136,947	24.4	84.8	342.9	7.5	20	56.7	<i>Salvinia natans</i>
17	66,889	22.5	89.6	314.6	7.1	7.9	16.5	<i>Trapa japonica</i>
18	518,747	26.5	76.8	276.8	7.5	12.32	79.8	<i>Trapa japonica</i>
20	96,517	27.9	43.8	354.5	7.3	8.7	21.3	<i>Salvinia natans</i>
21	569,377	21.0	82.9	278.6	8.1	11.1	41.6	<i>Trapa japonica</i>
22	155,251	25.4	70.0	216.9	7.2	14.7	17.9	<i>Phragmites australis</i>
23	99,223	22.8	99.1	232.6	7.9	29.57	73.2	<i>Ceratophyllum demersum, Salvinia natans</i>
24	1,094,160	23.6	21.6	325.4	8.1	13.2	24.3	<i>Picris hieracioides</i>
25	7,660	26.7	128.7	243.4	8.4	17.5	45.8	<i>Picris hieracioides</i>
Average	301,098	24.0	81.0	261.7	7.6	16.2	44.7	

때문인 것으로 사료된다. 습지의 전기전도도 값은 주변 토지로부터 유입된 영양염류의 종류와 특성에 따라 달라지며, 주변 농경지에서 비료의 사용 등은 전기전도도 값은 증가시킬 수 있는 주요한 요인이다(Niehoff *et al.*, 2002). pH는 7.1~8.4의 범위로서 대체적으로 중성의 값을 가지는 것으로 조사되었다. pH는 일반적으로 탄소값과 밀접하게 연관되지만, 조사된 습지의 경우 탄소 값의 변동은 비교적 낮은 것으로 사료되었다(Wetzel and Likens, 2000). 탁도는 6.7~32.4 NTU의 범위를 나타냈으며, 대부분의 습지들에서의 탁도 값은 상대적으로 낮았다. 탁도는 강우량 등의 물리적인 요인과 높은 상관성을 가지며, 그래서 우리나라에서는 강우량이 집중된 여름철에 높은 탁도 값을 빈번하게 관찰할 수 있다(Jeong *et al.*, 2001). 또한 탁도는 식물플랑크톤 등과 같은 작은 입자의 증가에 따라 높아질 수 있으며, 겨울철이나 여름철에 *Stephanodiscus hantzschii*나 *Microcystis aeruginosa*가 우점 시에 높은 값이 관찰된다(Jeong *et al.*, 2007). 그러나, 봄철에는 강우량 등의 물리적인 요인이 거의 발생되지 않으며, 식물플랑크톤 또한 상대적으로 안정된 환경을 가질 수 있다. 탁도의 경우, 부유물질뿐만 아니라 식물플랑크톤의 양 등에 의해서 영향 받을 수 있지만, 수생식물이 우점된 습지의 경우 수생식물과 타감작용 등의 상호작용을 통해 식물플랑크톤이 감소할 수도 있다(van Donk and van de Bund, 2002). 각 습지의 면적은 3,889~2,695,060m<sup>2</sup>로 매우 다양하였으며, 우포늪(13번), 화포늪(23번) 등의 습지가 가장 큰 면적을 보였다. 그러나 대부분의 습지는 작은 면적이었으며, 수생식물의 높은 풍부도를 가지는 것으로 나타났다.

## 2) 수생식물 생물량

수생식물의 건중량 또한 습지에 따라서 상이한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 각 습지에서 측정된 수생식물의 건중량은 13.5~92.4g으로 편차가 상당하였으며, 이와 같은 수생식물의 건중량 차이는 각 습지에서 우점하는 수생식물의 종에 의해 영향 받는 것으로 나타났다. 수생식물의 건중량이 높은 습지에서는 공통적으로 붕어마름이나 생이가래 등의 수생식물이 우점하였다. 이와 대조적으로, 갈대, 퉁물참새피, 생이가래 등의 식물 종이 우점하는 습지에서는 상대적으로 적은 건중량이 관찰되었다. 특히 박실지(7번), 연당지(11번), 우포늪(13번) 등의 습지는 80g 이상의 수생식물 건중량이 측정되어 상대적으로 높은 생물량의 수생식물에 의해 우점되는 것으로 나타났다. 수생식물의 형태나 구조적인 특징은 수생식물의 생물량을 결정하는 중요한 요인으로 작용하며, 수생식물을 활용하는 다양한 동물들의 분포나 개체 유지에 강하게 영향을 미치기 때문에 중요할 수 있다(Wolcox and Meeker, 1992).

## 2. 어류상 분포

조사 기간 동안, 어류는 총 8과 20종이 동정되었으며, 총 789 개체가 채집되었다(Table 3). 과별 출현 개체수 비율은 잉어과(Cypinidae)에 속하는 어류가 우세하게 분포하는 것을 확인할 수 있는데(약 52.3%), 이는 국내에 서식이 확인된 담수 어류 중 잉어과의 어류가 다른 분류군에 비해 더욱 다양하게 분포하는 특성과도 일치한다(Kim and Park, 2002). 그 밖에 검정우럭과(Centrarchidae)가 41.8%, 미꾸리과(Cobitidae)가 3.4%, 동자개과(Bagridae)가 1.3%, 가물치과(Channidae)가 0.6%, 동사리과(Odontobutidae) 0.4%, 드렁허리과(Synbranchidae)가 0.3%, 메기과(Siluridae)가 0.1%로 나타났다. 조사된 전체 습지 내에서 우점종은 블루길(*Lepomis macrochirus*)이며 조사 기간 동안 총 240 개체가 채집되었고, 붕어(*Carassius auratus*) 또한 총 194 개체로 블루길 다음으로 높은 개체수를 보였다. 그 밖에 참붕어(*Pseudorasbora parva*)와 베스(*Micropterus salmoides*) 또한 각각 79와 88 개체로 조사된 습지에서 빈번하게 출현하는 것으로 나타났다. 가장 많은 어류 개체수가 채집된 습지는 번개늪(8번)으로 총 88 개체가 출현하였으나, 대부분 블루길이었으며 다른 어류 종은 거의 채집되지 않았다. 우포늪(13번) 또한 86 개체로 많은 수의 어류가 채집되었으며, 번개늪과 마찬가지로 블루길이 우점하기는 하였지만 상대적으로 다양한 종이 출현하였다(총 10종).

각 습지에서 조사된 어류의 분포에 대한 이화학적 요인 및 수생식물의 생물량과 단계별 회귀분석을 통해 상관성을 평가한 결과, 어류 개체수는 수생식물의 건중량과 밀접하게 연관되었다(df=1, F=32.00, P=0.001; Table 4). 그러나 수온, 용존산소, 전기전도도, pH, 탁도 등의 이화학적 요인은 어류 분포에 영향을 미치지 않았다. 일반적으로 식생대는 다양한 동물들을 위한 서식처를 제공하는 동시에 포식자를 피하기 위한 피난처로서의 역할을 겸한다(Stansfield *et al.*, 1997; Warfe and Barmuta, 2004). 수생식물의 이러한 기능으로 인해 식생대는 다양한 동물들이 서식하기에 적합하며, 높은 생물다양성을 유지하기 위한 중요한 요인이다(Geurts *et al.*, 2008). 특히, 어류는 식생대에서 서식하면서, 조류(bird)나 육식성어류 등의 포식으로부터 회피할 수 있으며(Okun and Mehner, 2005), 동물플랑크톤 등의 먹이원이 풍부하게 제공되기 때문에 성장과 발달에 용이하다(Robertson and Lenanton, 1984). 수생식물과 어류간에 영향에 대해서 연구한 일부의 기존 연구에서는 수생식물이 어류의 포식활동을 저해할 수 있다고 제안하였지만(Diehl, 1988; Warfe and Barmuta, 2004), 잉어과 어류의 경우 식생대 내에서도 활발한 포식활동을 가질 수 있다. 본 연구에서도 또한 잉어

Table 3. The list and individual number of fishes collected from each site. RA, relative abundance

Species/Sites	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	RA (%)		
<b>Cyprinidae</b>																											
<i>Cyprinus carpio</i>		1	1			4			1				14	3	1					2			1			3.5	
<i>Carassius auratus</i>	6	5	1	6	4	6	2				47		11		1	31	7		3		2	56	3	3		26.6	
<i>Carassius cuvieri</i>	4												3											3		1.3	
<i>Acheilognathus macropterus</i>												1			1									9		1.4	
<i>Pseudorasbora parva</i>		2		2	7		1				22		5	4		2	9	2	2	6		11		4		10.0	
<i>Squalidus gracilis majimae</i>						1	1		3	1																1.1	
<i>Pseudogobio esocinus</i>						6			4			4		2	1											2.1	
<i>Zacco platypus</i>		10							12	2											3					3.4	
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>							1		1																	0.3	
<i>Erythroculter erythropterus</i>	1	2								24			3											2		4.0	
<i>Hemiculter eigenmanni</i>															1	1					2					0.5	
<b>Siluridae</b>																											
<i>Silurus asotus</i>		1																									0.1
<b>Synbranchidae</b>																											
<i>Monopterus albus</i>						1																1					0.3
<b>Centrarchidae</b>																											
<i>Lepomis macrochirus</i>	10		1	8	3	4	1	82		12	5	5	25	7		3			33	16	15	4			6		30.4
<i>Micropterus salmoides</i>	2		4	2		1	2	6	5	2	2		16	2	4	5			17	6	7			4	1		11.2
<b>Odontobutidae</b>																											
<i>Odontobutis platycephala</i>									1				1												1		0.4
<b>Cobitidae</b>																											
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	3			2			3				1	1	5												2		2.2
<i>Cobitis hankugensi</i>							8		1												1						1.3
<b>Bagridae</b>																											
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	2	1	1										3			3											1.3
<b>Channidae</b>																											
<i>Channa argus</i>	2			1														1									0.6
<b>Total number of individuals</b>	30	22	8	21	14	17	25	88	28	39	79	11	86	12	46	16	52	27	37	37	6	68	20	19			
<b>Total number of species</b>	8	7	5	6	3	6	9	2	8	4	6	4	10	5	7	2	3	4	4	8	2	3	5	7			
<b>Diversity (H')</b>	1.8	1.6	1.4	1.5	1.5	1.0	1.6	1.9	0.3	1.7	0.9	1.1	1.2	2.0	1.5	1.8	1.2	0.7	0.8	1.1	1.7	0.6	0.5	1.4			
<b>Evenness (E)</b>	1.7	1.0		1.3	1.4	0.8	0.7	1.3	0.2	0.9	0.6	0.9	0.4	1.8	1.4	0.4	1.0	0.4	0.5	0.9	1.4	0.6	0.2	1.0			

과 어류는 조사된 습지에서 가장 우점하는 것으로 나타났으며, 조사된 습지 대부분이 수생식물이 우점한 습지인 것을 감안하면 이와 같은 현상은 기존 연구와 비슷한 것으로 사료되었다.

검정우렁과 어류 또한 잉어과 어류 다음으로 상대적으로 높은 개체수를 보였다. 검정우렁과 어류를 구성하는 대부분의 어류 종은 블루길 및 베스와 같은 외래종으로, 대부분의

습지에서 빈번하게 출현하는 것으로 나타났다. 블루길과 베스 또한 잉어과 어류와 비슷하게 식생대 내에서 발달된 포식활동을 보이는 것으로 연구되어 있으며(Crowder and Cooper, 1982; Paukert and Willis, 2002), 특히 블루길은 식생대의 복잡한 구조 안에서도 매우 활발한 먹이 활동을 가질 수 있다(Werner and Hall, 1977, Mittelbach, 1981). 또한 다른 어류와 비교할 때, 상대적으로 빠른 개체군 성장

Table 4. Summary of stepwise multiple regression between fish abundance and environmental parameters in open water zones. \*: statistically significant

Dependent variables	Independent variables	t	P
Fish abundance	Area (m <sup>2</sup> )	1.927	0.068
	Water temperature (°C)	-0.496	0.625
	Dissolved oxygen (%)	-0.033	-0.228
	Conductivity (µs/cm)	0.156	1.110
	pH	-0.152	-1.114
	Turbidity (NTU)	-0.020	-0.143
	Macrophyte dry weight (g)	5.657	0.000*

Criterion for entry into the model was P=0.05

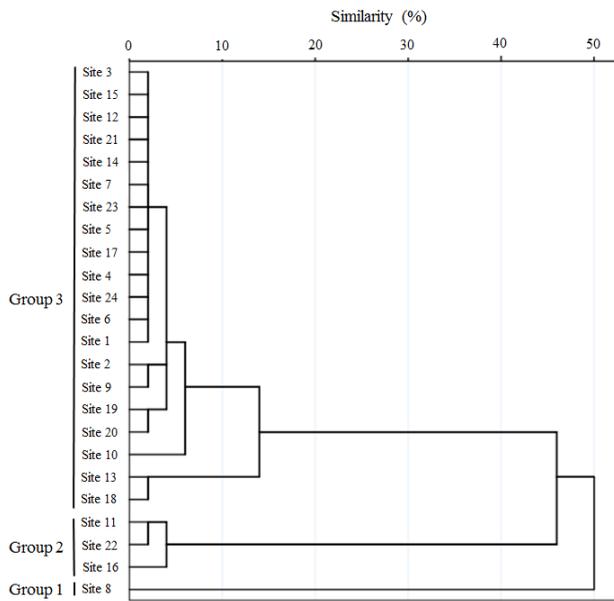


Figure 2. Result of cluster analysis on fish species composition among 24 wetlands

을 가지기 때문에 경쟁에서 우위를 가질 수 있다. 이와 같은 특성으로 인해 블루길과 베스는 우리나라 전역에서 빈번하게 출현하고 있으며(Lee *et al.*, 2008), 토착어종의 감소를 야기하는 주요한 요인으로 작용한다(Terachima, 1980). 비록 블루길과 베스는 습지 및 하천의 생물자원 증가를 위해 외국으로부터 유입되어 우리나라 수역에 방류되었으나, 생태계 교란 등 다양한 문제를 발생시키고 있는 것이 현실이다.

각 습지에서 조사된 어류 중에 대해 유사도 분석을 수행한 결과, 크게 3 집단으로 구분되었다 (Figure 2). 3개로 구분된 집단에 속한 각 습지들은 유사도가 40%이상으로 높은 유사성을 보였다. 각 집단별 특성을 살펴보면, 집단 1은 번개늪(8번)만이 속해 있었으며, 주로 검정우렁과 어류만이 우점하는 것으로 나타나, 다른 습지와 뚜렷하게 구분되었다. 특히 블루길은 번개늪에서 출현하는 전체 어류 중에서 약 93%를 차지하는 것으로 나타나 매우 높은 우점률을 보였다. 이와 대조적으로, 집단 2는 연당지(11번), 월포늪(16번), 팔락늪(22번) 등의 습지가 속하며, 주로 잉어과 어류인 붕어에 의해 우점되어 집단 1과 차이를 보였다. 또한 집단 2에 속한 습지들은 상대적으로 많은 어류 개체수를 보였으며, 이는 수생식물의 높은 생물량과 관계되는 것으로 나타났다. 수생식물의 높은 생물량은 포식자와 피식자간에 상호작용을 조절하며(Jeppesen *et al.*, 1998, Pelicice and Agostinho, 2006), 특정 어류 종의 과도한 우점을 방지하기 때문에 종 다양성을 증가시킬 수 있다. 집단 3에 속한 습지

에서는 대부분 블루길이 가장 높은 개체수를 보였으나, 전체적으로 다양한 어류 종이 출현하는 것으로 나타났다.

### 3. 어류 먹이원 활용 가능성 평가

각 습지에서 어류 먹이원의 활용 가능성을 평가하기 위해 어류의 대표적인 먹이원인 동물플랑크톤을 평가하였다 (Figure 3). 동물플랑크톤 밀도는 습지에 따라 상이하였으며, 298~3,546 ind. L<sup>-1</sup>의 범위를 보였다. 동물플랑크톤 밀도는 주로 수생식물의 생물량이 높은 습지에서 큰 밀도를 가지는 것으로 나타났으며, 특히 우포늪(13번)은 가장 높은 수생식물 생물량을 가지는 것으로 평가되었으며, 동물플랑크톤 밀도 또한 조사된 습지 중에서 가장 높았다. 이와 같은 결과는 기존 논문의 결과에서도 유사하게 보고되었다(Choi *et al.*, 2012; Choi *et al.*, 2013). 일반적으로 수생식물은 포식자의 과도한 포식활동을 제한하여 피식자의 밀도 유지 및 증가에 크게 기여하는 것으로 알려져 있다(Warfe and Barmuta, 2004). 피식자의 밀도 유지 및 증가는 어류가 활용할 수 있는 먹이 자원을 지속적으로 유지시키며 어류의 개체군 성장을 돕는다. 이러한 특성으로 인해 수생식물이 우점된 환경에서는 포식자와 피식자가 적절하게 공존하는 양상을 보이며, 어느 한 종이 과도하게 우점하거나 절멸되는 경우는 거의 발생하지 않는다.

이러한 관점에서 습지의 생산성 및 높은 생물다양성은 수생식물의 생물량과 강하게 관련된다고 할 수 있다. 높은 영양염류와 먹이자원의 다양성은 소비자의 개체군 유지 및 성장에 크게 기여하며, 먹이망 내의 다양한 구성원들의 유지와 상호작용은 먹이망의 건강성 및 기능 증대를 돕는다. 그래서 수생식물은 생물다양성의 유지 및 증가를 위한 핵심적인 요인(keystone species)으로서 평가될 수 있다. 향후, 본 연구의 결과들은 습를 복원하거나 새로 만들 때, 생물다

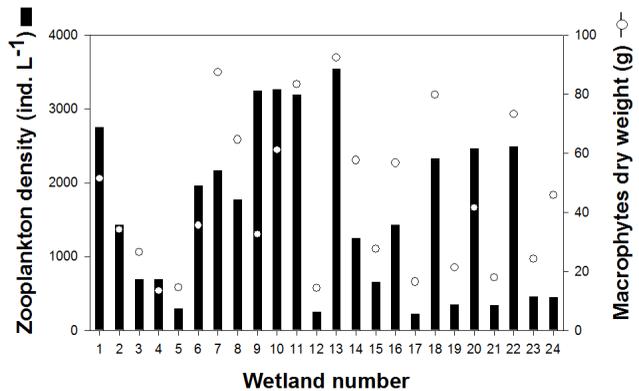


Figure 3. Zooplankton density and macrophytes dry weight in study sites

양성을 증가시키기 위한 자료로서 활용될 수 있을 것으로 보인다. 특히 복잡한 형태나 구조를 가지는 수생식물의 식재는 생물다양성 증대에 크게 기여할 수 있기 때문에(Choi *et al.*, 2014c), 식재하고자 하는 수생식물 종은 신중하게 선택되어야 할 것으로 보인다.

## REFERENCES

- Brinson, M.M., A.E. Lugo and S. Brown(1981) Primary productivity, decomposition and consumer activity in freshwater wetlands. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 12: 123-161.
- 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 Biol.* 47: 343-365.
- Casatti, L., H.F. Mendes, K.M. Ferreira(2003) Aquatic macrophytes as feeding site for small fishes in the Rosana Reservoir, Paranapanema River, Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 63: 213-222.
- Choi, J.Y., G.H. La, S.K. Kim, K.S. Jeong and G.J. Joo(2013) Zooplankton community distribution in aquatic plants zone: Influence of epiphytic rotifers and cladocerans in accordance with aquatic plants cover and types. *KJEE* 46: 86-93. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.Y., K.S. Jeong, G.H. La and G.J. Joo(2014a) Effect of removal of free-floating macrophytes on zooplankton habitat in shallow wetland. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.* 414, 11.
- Choi, J.Y., K.S. Jeong, G.H. La, H.W. Kim, K.H. Chang and G.J. Joo(2011) Inter-annual variability of a zooplankton community: the importance of summer concentrated rainfall in a regulated river ecosystem. *J. Ecol. Field Biol.* 34: 49-58.
- Choi, J.Y., K.S. Jeong, G.H. La, S.K. Kim and G.J. Joo(2014b) Sustainment of epiphytic microinvertebrate assemblage in relation with different aquatic plant microhabitats in freshwater wetlands (South Korea). *J. Limnol.* 73: 11-16.
- Choi, J.Y., K.S. Jeong, S.K. Kim, G.H. La, K.H. Chang and G.J. Joo(2014c) Role of macrophytes as microhabitats for zooplankton community in lentic freshwater ecosystems of South Korea. *Eco. Inform.* 24: 177-185.
- Choi, J.Y., S.K. Kim, G.H. La, K.S. Jeong, H.W. Kim, T.K. Kim and G.J. Joo(2012) Microcrustacean community dynamics in Upo Wetlands: Impact of rainfall and physiochemical factor on microcrustacean community. *Korea J. Limnol.* 45: 329-335. (in Korean with English abstract)
- Crowder, L.B. and W.E. Cooper(1982) Habitat structural complexity and the interaction between bluegills and their prey. *Ecology.* 63: 1802-1813.
- Denny, P.(1994) Biodiversity and wetlands. *Wetl. Ecol. Manag.* 3: 55-61.
- Diehl, S.(1988) Foraging efficiency of three freshwater fishes: effects of structural complexity and light. *Oikos.* 53: 207-214.
- Dionne, M. and C.L. Folt(1991) An experimental analysis of macrophyte growth forms as fish foraging habitat. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48: 123-131.
- Geurts, J.J., A.J. Smolders, J.T. Verhoeven, J.G. Roelofs and L.P. Lamers(2008) Sediment Fe: PO4 ratio as a diagnostic and prognostic tool for the restoration of macrophyte biodiversity in fen waters. *Freshwater Biol.* 53: 2101-2116.
- Jeong, K.S., D.K. Kim and G.J. Joo(2007) Delayed influence of dam storage and discharge on the determination of seasonal proliferations of *Microcystis aeruginosa* and *Stephanodiscus hantzschii* in a regulated river system of the lower Nakdong River (South Korea). *Water Res.* 41: 1269-1279.
- Jeong, K.S., G.J. Joo, H.W. Kim, K. Ha and F. Recknagel(2001) Prediction and elucidation of phytoplankton dynamics in the Nakdong River (Korea) by means of a recurrent artificial neural network. *Ecol. Model.* 146: 115-129.
- Jeppesen, E., T.L. Lauridsen, T. Kairesalo and M.R. Perrow(1998) Impact of submerged macrophytes on fish-zooplankton interactions in lakes. In E. Jeppesen, M. Søndergaard and K. Christoffersen (Eds.), *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes.* (pp. 91-114). New York. Springer.
- Keast, A.(1984) The introduced aquatic macrophyte, *Myriophyllum spicatum*, as habitat for fish and their invertebrate prey. *Can. J. Zoolog.* 62: 1289-1303.
- Kim, I.S. and J.Y. Park(2002) *Freshwater fishes of Korea.* Kyo-Hak Publishing Co. Seoul. (in Korean)
- Lauridsen, T.L., L.J. Pedersen, E. Jeppesen and M. Sønergaard (1996) The importance of macrophyte bed size for cladoceran composition and horizontal migration in a shallow lake. *J. Plankton Res.* 18: 2283-2294.
- Lauridsen, T.L., E. Jeppesen, M. Søndergaard and D.M. Lodge(1998) Horizontal migration of zooplankton: predator-mediated use of macrophyte habitat. In *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes* (pp. 233-239). Springer New York.
- Lee, W.O., I.R. Lee, H.Y. Song and I.C. Bang(2008) Genetic Differentiation of the Largemouth Bass *Micropterus salmoides* from the Major Rivers and Reservoirs in Korea Assessed by AFLP. *Korean J. Limnol.* 41: 395-401. (in Korean with English abstract)
- Lillie, R.A. and J. Budd(1992) Habitat architecture of *Myriophyllum spicatum* L. as an index to habitat quality for fish and macroinvertebrates. *J. Freshwater. Ecol.* 7: 113-125.
- Manatunge, J., T. Asaeda and T. Priyadarshana(2000) The influence of structural complexity on fish-zooplankton interactions: a study using artificial submerged macrophytes. *Environ. Biol. Fish* 58: 425-438.

- Meerhoff, M., C. Iglesias, F.T. de Mello, J.M. Clemente, E. Jensen, T.L. Lauridsen and E. Jeppesen(2007) Effects of habitat complexity on community structure and predator avoidance behaviour of littoral zooplankton in temperate versus subtropical shallow lakes. *Freshwater Biol.* 52: 1009-1021.
- Mittelbach, G.G.(1981) Foraging efficiency and body size: a study of optimal diet and habitat use by bluegills. *Ecology* 62: 1370-1386.
- Mizuno, T. and E. Takahashi(1999) (Eds). An illustrated guide to freshwater zooplankton in Japan. Tokai University press, Tokyo.
- Moyle, P.B. and J.J. Cech Jr(2000) Hydromineral balance. *Fishes: an Introduction to Ichthyology* 79-96.
- Nelson, J.S.(1994) *Fishes of the World*. 3rd ed. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Niehoff, D., U. Fritsch and A. Bronstert(2002) Land-use impacts on storm-runoff generation: scenarios of land-use change and simulation of hydrological response in a meso-scale catchment in SW-Germany. *J. Hydrol.* 267: 80-93.
- Okun N. and T. Mehner(2005) Distribution and feeding of juvenile fish on invertebrates in littoral reed (*Phragmites*) stands. *Ecol. Freshw. Fish* 14: 139-149.
- Paukert, C.P. and D.W. Willis(2002) Seasonal and diel habitat selection by bluegills in a shallow natural lake. *T. Am. Fish. Soc.* 131: 1131-1139.
- Perrow, M.R., A.J. Jowitt, J.H. Stansfield and G.L. Phillips(1999) The practical importance of the interactions between fish, zooplankton and macrophytes in shallow lake restoration. *Hydrobiologia* 395: 199-210.
- Pellicice, F.M. and A.A. Agostinho(2006) Feeding ecology of fishes associated with *Egeria* spp. patches in a tropical reservoir, Brazil. *Ecol. Freshw. Fish* 15: 10-19.
- Robertson, A.I. and R.C.J. Lenanton(1984) Fish community structure and food chain dynamics in the surf-zone of sandy beaches: the role of detached macrophyte detritus. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 84: 265-283.
- Son, M.W. and Y.G. Jeon(2003) Physical geographical characteristics of natural wetlands on the downstream reach of Nakdong River. *J. Korean Assoc. Reg. Geogr.* 9: 66-76. (in Korean with English abstract)
- Stansfield, J.H., M.R. Perrow, L.D. Tench, A.J. Jowitt and A.A. Taylor(1997) Submerged macrophytes as refuges for grazing Cladocera against fish predation: observations on seasonal changes in relation to macrophyte cover and predation pressure. In *Shallow Lakes' 95* (pp. 229-240). Springer Netherlands.
- Terashima, A.(1980) Bluegill: a vacant ecological niche in Lake Biwa. In: T. Kawai, H. Kawanabe and N. Mizuno, Editors, *Freshwater Organisms in Japan: Their Ecology of Invasion and Disturbance*, Tokai Univ. Press, Tokyo, p. 63-70.
- Thomaz, S.M., E.D. Dibble, L.R. Evangelista, J. Higuti, and L.M. Bini(2008) Influence of aquatic macrophyte habitat complexity on invertebrate abundance and richness in tropical lagoons. *Freshwater Biol.* 53: 358-367.
- Valley, R.D. and M.T. Bremigan(2002) Effects of macrophyte bed architecture on largemouth bass foraging: implications of exotic macrophyte invasions. *T. Am. Fish. Soc.* 131: 234-244.
- van Donk, E. and W.J. van de Bund(2002) Impact of submerged macrophytes including charophytes on phyto- and zooplankton communities: allelopathy versus other mechanisms. *Aquat. Bot.* 72: 261-274.
- Warfe, D.M. and L.A. Barmuta(2004) Habitat structural complexity mediates the foraging success of multiple predator species. *Oecologia* 141: 171-178.
- Werner, E.E. and D.J. Hall(1977) Competition and habitat shift in two sunfishes (*Centrarchidae*). *Ecology* 58: 869-876.
- Wetzel, R.G. and G.E. Likens(2000) *Limnological Analyses*, Springer-Verlag, New York.
- Wolcox, D.A. and J.E. Meeker(1992) Implications for faunal habitat related to altered macrophyte structure in regulated lakes in northern Minnesota. *Wetlands* 12: 192-203.