

부영양 농업용저수지인 전대지의 어류군집 및 먹이망 특성

이의행 · 장광현¹ · 서동일¹ · 최종윤² · 주기재² · 김미리내
신재훈 · 손미선³ · 남귀숙*

한국농어촌공사 농어촌연구원, ¹경희대학교 환경학 및 환경공학과,
²부산대학교 생명과학과, ³국립환경과학원 영산강물환경연구소

The Characteristics of Fish Community and Food Web in Eutrophic Agricultural Reservoir, Jeondae

Eui-Haeng Lee, Kwang-Hyeon Chang¹, Dong-Il Seo¹, Jong-Yun Choi², Gea-Jae Joo²,
Mirinae Kim, Jae Hoon Shin, Misun Son³ and Gui Sook Nam*

Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Ansan 462-908, Korea

¹Department of Environmental Science and Environmental Engineering,
Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea

²Department of Biological Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

³Yeongsan River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research,
Gwangju 500-480, Korea

Abstract - Fish community was investigated in eutrophic Jeondae agricultural reservoir from April to November 2012. The food web structure of major fish species of Jeondae reservoir showed that due to serious organic pollution, the hyper-eutrophic condition with high chemical oxygen demand (COD), chlorophyll-*a* (Chl-*a*), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP), as estimated by stable isotope analysis. Total of 679 individuals were collected from the reservoir, and 9 species were identified. Interestingly, *Lepomis macrochirus* and *Hemiculter eigenmanni* known as less sensitive to pollution and water quality deterioration, dominated the reservoir, and their relative abundances were 38% and 27%, respectively. Further, the analysis of the stomach contents revealed that main food source of dominant *L. macrochirus* was high amount of zooplankton, which includes copepoda and cladocera, while Cyprinidae species mainly consumed organic particles with zooplankton preys. Stable isotope analysis also suggested that *L. macrochirus*, *Carassius auratus*, *Pseudorasbora parva*, and *H. eigenmanni* are major zooplanktivorous group in the Jeondae Reservoir.

Key words : eutrophication, fish, stomach contents, stable isotope, food web

서 론

우리나라 농업용저수지는 대부분 생성연도가 오래되

고 평균 수심이 3 m 내외로서 체류시간이 길고, 점오염원(생활하수, 축산폐수 등)과 비점오염원에서 유입되는 과도한 영양염(N, P)의 영향에 의해 유기물 오염과 부영양화가 가속화되고 있는 실정이다(Hwang *et al.* 2003). 나아가 이러한 유기물 오염 및 부영양화는 농업용저수

* Corresponding author: Gui Sook Nam, Tel. 031-400-1829,
Fax. 042-400-1616, E-mail. leo612@ekr.or.kr

지 생태계의 구조와 기능을 변화시켜 종 다양성 감소, 군집구조 단순화, 먹이망 불균형 등의 악영향으로 작용하고 있다 (Garcia and Cochrane 2005). 이에 따라, 농업용저수지의 생물종 조성 및 이들의 영양단계구조를 분석하여 먹이망을 통한 생물간 상호작용 체계를 파악하는 일은 농업용저수지의 물질순환을 이해하고 효과적인 관리 체계를 수립하는데 있어 가장 기초적이고 중요한 자료를 제공할 수 있다 (Chang and Doi 2011). 농업용저수지의 대표적인 생물군인 어류는 수생태계의 최상위 먹이사슬에 있고, 다른 생물군에 비해 장시간의 생활사를 가지고 있으며, 교란에 대한 중별 내성도 및 섭식특성이 달라 최적의 지표생물로 이용가능하다 (Jones *et al.* 2005). 따라서 어류의 위내용물 분석을 통해 단기적인 섭식특성을 파악하는 동시에 장기간의 체내에 축적된 결과를 반영하기 위해 생물체내 안정동위원소 비를 이용한 먹이망구조의 연구 (Gal *et al.* 2012)가 필요한 것으로 사료되었으며 이를 통해 저수지의 에너지 흐름을 파악하여 저수지의 먹이연쇄의 복잡성 및 생태적 건강성을 평가하는 연구가 진행되어야 할 것이다. 본 연구대상지인 전대저수지는 충남 당진시 송악읍 전대리에 있으며, 1959년에 축조된 유역면적 234 ha, 만수면적 15.6 ha, 제방높이 7.8 m (15.6 EL.m), 평균수심 3.8 m, 총저수량 $61.9 \times 10^4 \text{ m}^3$ (유효저수량: $58.7 \times 10^4 \text{ m}^3$)의 소규모 농업용저수지이다. 주요염원은 축산계로서, 유역 내 축산농가가 산재해 있으며, 농경지 및 소규모 마을이 분포하고 있어 수질오염이 심각한 실정이다. 또한 저수지 내 유폐양시터가 존재하여 떡밥사용에 따른 추가오염과 낚시로 인한 생태계 교란 등이 이루어지고 있다 (MAFRA/KRC 2012). 이와 같은 수환경 특성에 의해 저수지생태계가 충분히 교란되어 있을 것으로 예상하고 있으나, 수환경 및 조류발생 특성 (Nam *et al.* 2013)에 관한 연구를 제외하고, 수생태계 최상위 먹이망의 지위를 차지하는 어류에 관한 선행 연구는 전혀 없는 실정이다. 본 연구에서는 전대저수지의 어류 종조성을 파악하고, 섭식특성 및 위내용물 분석, 안정동위원소 분석을 실시함으로써, 부영양 농업용저수지의 먹이망 특성을 이해하기 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사대상지 및 조사방법

조사대상지는 충남지역의 부영양화된 농업용저수지 (MAFRA/KRC 2010)인 전대저수지 (충남 당진시 송악읍

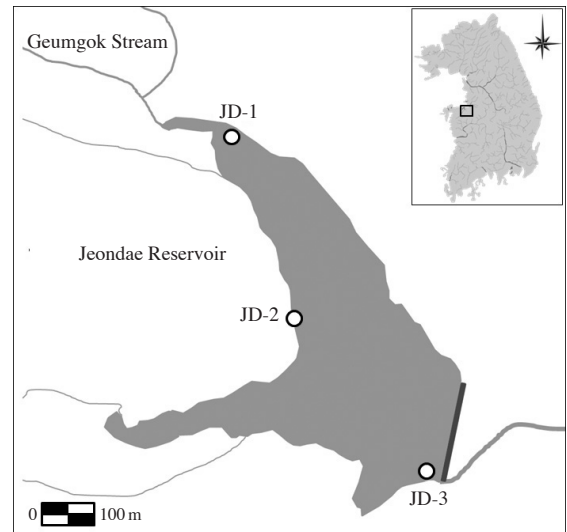


Fig. 1. Sampling sites in Jeondae Reservoir.

전대리~금곡리에 위치)로 선정하였으며, 걸어서 조사가 가능한 구간으로 유입부 (JD-1), 중앙부 (JD-2), 유출부 (JD-3)로 대별하였다 (Fig. 1). 조사시기는 2012년 4월~11월의 기간 중, 집중강우에 의해 수체가 불안정한 7~9월 (월누적강우 200 mm 이상, 기상청 서산기상대 자료활용)을 제외한 수체가 안정한 시기에 총 3회 (4월, 10월 및 11월) 실시하였다. 조사도구는 투망 (Casting net, 망목 7×7 mm)을 이용하여 60분간 실시하였으며, 조사자의 판단에 의해 필요시 보조도구로 족대 (Kick net, 망목 4×4 mm)를 사용하였다. 채집한 어류는 Nelson (1994)의 분류체계를 따랐으며, Kim and Park (2002), Lee and Noh (2006)에 의거해 동정하였고, 채집된 어류의 개체수를 산정할 때 어류체장의 길이가 20 mm 이하의 동정이 불가능한 치어 또는 위적출이 불가능한 개체는 제외하였다.

2. 이화학적 수질분석

전대저수지의 수환경 특성, 유기물 오염 및 부영양화 단계를 분석하기 위해, 현장에서 종합수질측정장치 (Professional Plus, YSI)를 이용하여 수온 (Water temperature, °C)과 용존산소량 (Dissolved oxygen, DO, mg L^{-1})을 측정하였으며, 수질분석 시료를 1 L씩 채수하여 화학적산소 요구량 (Chemical oxygen demand, COD, mg L^{-1}), 총질소 (Total nitrogen, TN, mg L^{-1}), 총인 (Total Phosphorus, TP, mg L^{-1}), 엽록소-a (Chl-a, mg m^{-3}) 농도를 분석하였다. 분석방법은 수질오염공정시험기준 (MOE 2011)에 준하였으며, 수질등급 기준은 환경정책기본법의 호소 생활환경 기준에 의거하였고, 부영양화 단계는 Forsberg and Ry-

ding (1980) 기준에 따라 분석하였다.

3. 영양단계 분석

수체 내 에너지 흐름을 반영하는 영양단계 분석은 MOE (2008) 기준에 의한 섭식특성 분석과 현장에 서식하는 어류의 위내용물 분석을 통해 실시하였다. 어종별 섭식특성은 육식종 (Carnivores), 충식종 (Insectivores), 잡식종 (Omnivores)으로 구분하였으며, Ohio EPA (1989)에 따르면 최상위 영양단계의 육식종은 어류 및 다른 척추동물을 섭식하고, 그 하위단계의 충식종은 수서무척추곤충을 주로 섭식하며, 잡식종은 동·식물질의 상당비율을 지속적으로 섭식하는 것으로 구분하였다. 식성의 분류기준은 다양한 먹이원이 존재할 때, 각 종이 가장 선호하는 자원 (Primary source of food)에 근거하였다. 또한, 어류의 위내용물 분석은 현장조사에서 채집한 어종을 대상으로 각 종별로 1~9개체의 위를 현장에서 적출하여 10% 포르말린 용액으로 고정한 후, 해부현미경 (Leica S8AP0, $\times 80$)을 이용하여 실시하였으며, 동물플랑크톤 이상의 분류군에 대한 어류개체 당 섭식 개체수를 계수하였다.

4. 안정동위원소 분석

먹이망 특성분석은 동물플랑크톤과 출현어류의 탄소

와 질소 안정동위원소 비를 이용하여 정량적으로 분석하였다. 동물플랑크톤은 플랑크톤네트 (망목:100 μm)를 이용하여 저층에서 표층까지의 동물플랑크톤을 채집하여 해부현미경을 이용하여 유기물 및 식물플랑크톤을 제외한 순수 동물플랑크톤 (지각류 및 요각류)을 추출하였다. 어류의 경우 현장에서 채집된 개체에서 1~2g의 근육을 채취하였다. 분리된 시료는 60°C에서 최소 48시간 건조 후 분말처리한 후, methanol과 chloroform 혼합액 (2:1)을 이용하여 지방성분을 제거하고 CF-IRMS (Micro-mass ioprime, 부산대학교 공동실험실습관)를 이용하여 탄소와 질소 안정동위원소 비를 측정하였다. 시료의 동위원소비 값은 표준물질에 대한 시료의 비 값 변위를 천분율 (%)로 나타내어 표시하였다. 시료가 함유한 탄소와 질소의 동위원소비 (^{13}C : ^{12}C , ^{15}N : ^{14}N)를 기준으로 천분율로 나타낸 동위원소비를 측정하였다.

$$\delta\text{C}(\text{N})\text{‰} = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}}) - 1] \times 1000$$

$$[R : \delta\text{C} = \text{C}^{13}/\text{C}^{12}, \delta\text{N} = \text{N}^{15}/\text{N}^{14}]$$

결과 및 고찰

1. 이화학적 수질 특성

전대저수지의 수환경 특성을 알아보기 위하여, 현장에

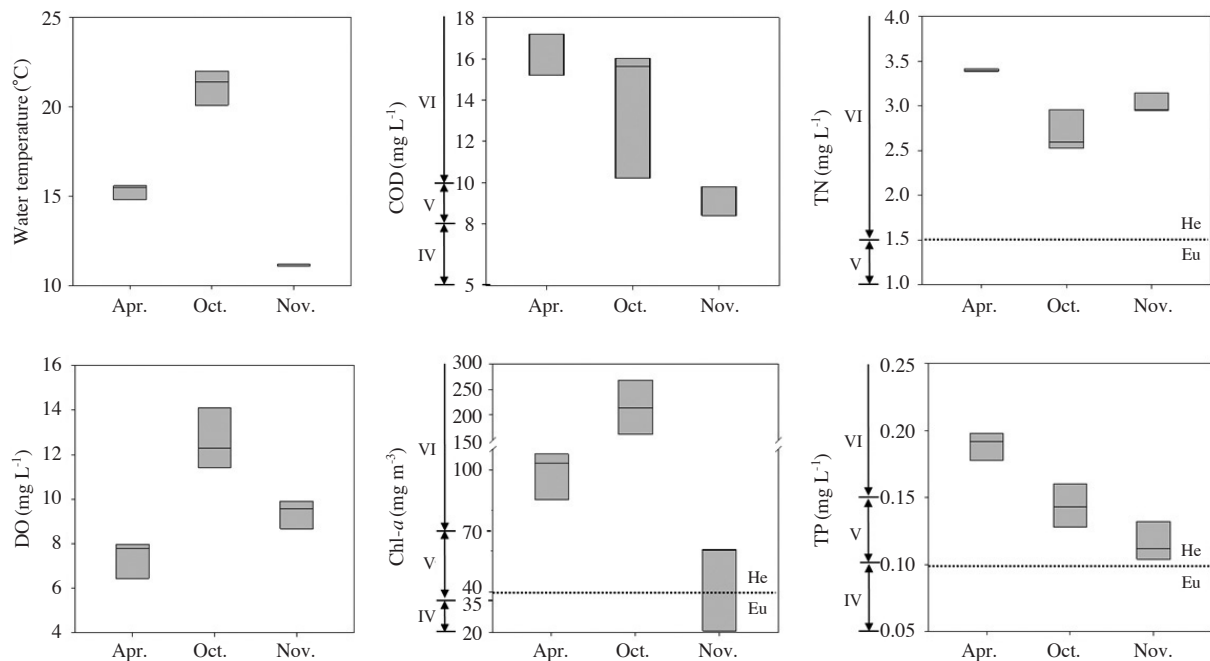


Fig. 2. Variations of water quality parameters in Jeondae Reservoir. The abbreviations are as follows : IV=some poor, V=poor, VI=very poor, Eu=etrophic condition, He=Hyper-etrophic condition.

Table 1. Fish fauna and the trophic guilds in the Jeondae Reservoir.

Species	MOE (2008)	Apr.			Oct.			Nov.			TNI	RA (%)
	Trophic guilds	JD-1	JD-2	JD-3	JD-1	JD-2	JD-3	JD-1	JD-2	JD-3		
Cyprinidae												
<i>Cyprinus carpio</i>	Omnivores	3			2			3			8	1.2
<i>Carassius auratus</i>	Omnivores	7	5	33	4	6	13	7		3	78	11.5
<i>Pseudorasbora parva</i>	Omnivores	10	10	7	30	5	9	18	10	13	112	16.5
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	Omnivores	67	10	38	21	10	9	11	6	14	186	27.4
Cobitidae												
<i>Misgurnus mizolepis</i>	Omnivores				1						1	0.1
Centrarchidae												
† <i>Lepomis macrochirus</i>	Insectivores	3	5	5	39	8	24	21	84	67	256	37.7
‡ <i>Micropterus salmoides</i>	Carnivores				4	3	2	7	3	10	29	4.3
Gobiidae												
<i>Chaenogobius urotaenia</i>	Insectivores			3							3	0.4
<i>Rhinogobius giurinus</i>	Omnivores	1		2				3			6	0.9
TNS		6	4	6	7	5	5	7	4	5	9	
TNI		91	30	88	101	32	57	70	103	107	679	

MOE : The Ministry of Environment, Korea, TNS : Total number of species, TNI : Total number of individuals, RA : Relative abundance, † : Exotic species

서 측정된 수온과 DO 변화를 살펴본 결과, 수온은 평균 15.9°C (11.1~22.0°C)로 계절변화에 따른 차이를 보였으며, DO는 평균 9.8 mg L⁻¹ (6.4~14.1 mg L⁻¹)로 생물서식에 적절한 범위를 보였다 (Fig. 2). 수체의 부영양화는 다량의 영양염 (N, P)이 유입되어, 1차생산력 (Chl-*a*)이 증대되고 유기물 (COD)이 증가하여 수생태계의 구조와 기능적 측면에서 물질순환의 불균형을 초래하는 현상을 말한다 (OECD 1982). 특히, 수체 내 영양상태를 적절히 반영하는 1차생산력은 물리적 요인 (수온, 강우, 체류시간 등)도 중요하지만, 영양염의 농도에 의해 크게 좌우되는 것으로 알려져 있다 (Song *et al.* 2010). 유기물오염지표로 이용되는 COD는 평균 12.9 mg L⁻¹ (8.4~17.2 mg L⁻¹)로서, VI등급 (매우나쁨)의 수질등급을 보여, 전대저수지의 유기물 오염이 심각한 것으로 나타났다 (Fig. 2). 또한, 정체수역의 부영양화 및 1차생산력을 가장 잘 반영하는 간접지표인 (Kimmel and Groeger, 1984) Chl-*a*는 평균 120.3 mg m⁻³ (20.8~269.0 mg m⁻³)로 VI등급 (매우나쁨)의 수질등급을 보였으며, Forsberg and Ryding (1980) 기준에 의거하여 부영양화 단계가 과영양상태 (Hyper-eutrophic condition, He)인 것으로 나타났다, 집중강우 이후 10월에서는 최대 269.0 mg m⁻³ (평균 215.0 mg m⁻³)까지 증가하였다 (Fig. 2). 영양상태 지표로 널리 이용되는 영양염인 TN과 TP는 각각 평균 3.398 mg L⁻¹ (2.527~3.414 mg L⁻¹), 평균 0.189 mg L⁻¹ (0.104~0.198 mg L⁻¹)로 모두 VI등급 (매우나쁨)의 수질등급을 보였으며, 부영양화 단계는 과영양상태 (He)인 것으로 나타났다 (Fig. 2).

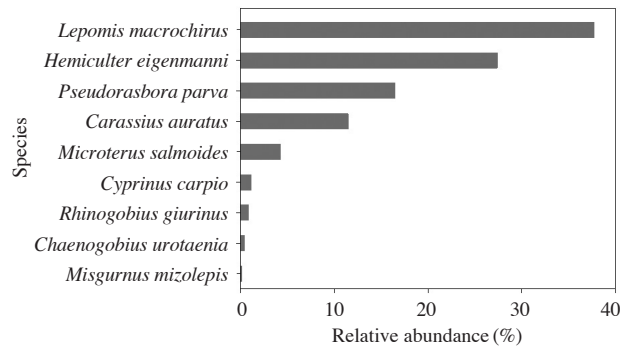


Fig. 3. Relative abundance of fish species sampled in Jeondae Reservoir.

2. 어류군집 특성

총 3회의 조사에서 출현한 어류는 총 4과 9종 679개체로서, 잉어과 (Cyprinidae) 4종, 검정우럭과 (Centrarchidae)와 망둑어과 (Gobiidae) 2종, 미꾸리과 (Cobitidae) 1종이 채집되었다 (Table 1). 출현어종 중 우점종은 블루길 (*Lepomis macrochirus*, 37.7%)과 치리 (*Hemiculter eigenmanni*, 27.4%)로 나타났으며, 참붕어 (*Pseudorasbora parva*, 16.5%)와 붕어 (*Carassius auratus*, 11.5%)도 10% 이상의 높은 상대풍부도를 보였다 (Fig. 3). Byeon *et al.* (2008)과 Han *et al.* (2009)은 물의 흐름이 느린 정체수역, 오염된 장소 및 서식지가 교란된 지역에서 내성이 강한 종이 많이 출현한다고 보고하였는데, 본 저수지에서 출현한 주요 어종은 이를 잘 반영함으로써, 본 저수지가 부영양화가 심각함을 증명하고 있다. 한국고유종 (Kim and Park

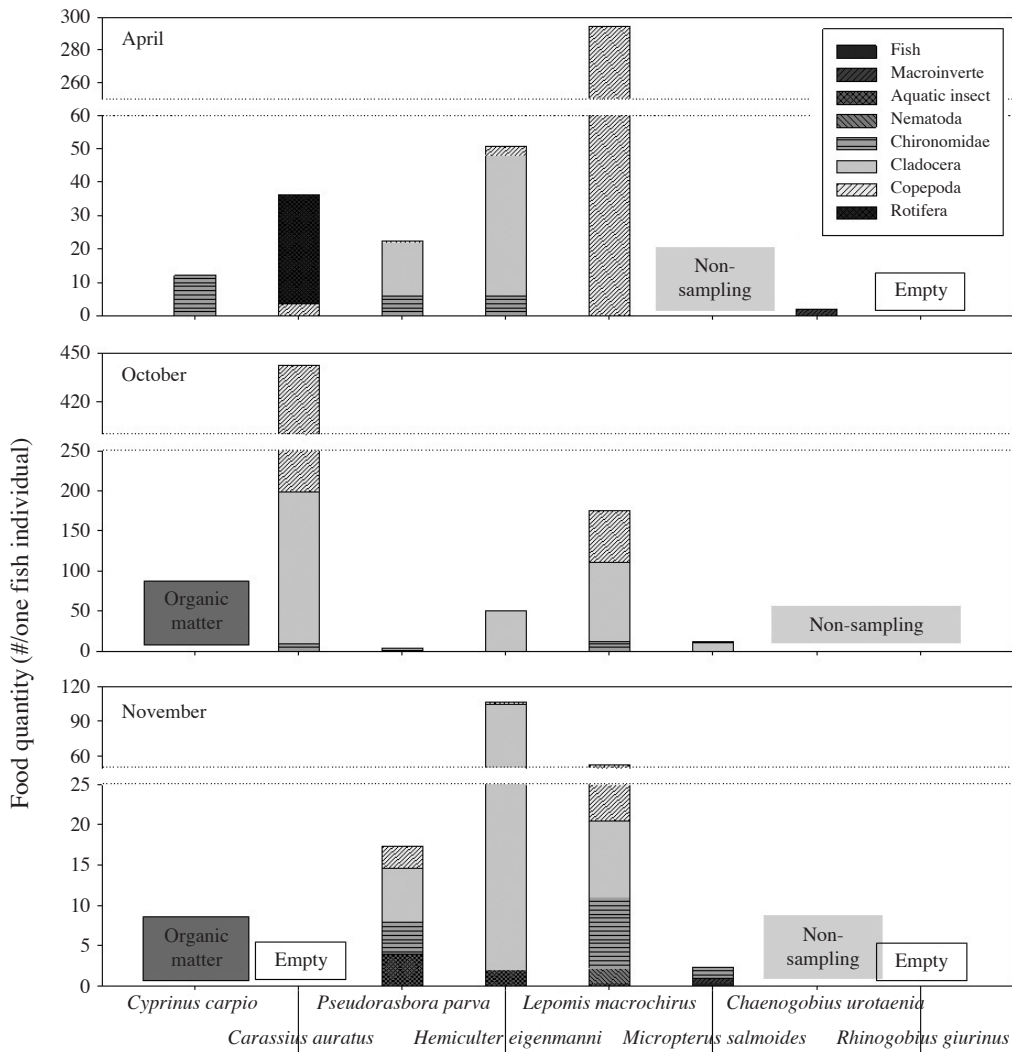


Fig. 4. Feeding characteristics based on analysis of stomach contents.

2002)은 치리 1종이 출현하여 전체 9종 중 1종(11.1%)으로 낮은 비율을 보였으며, 법적보호종은 출현하지 않았다. 본 연구대상지는 붕어낚시터로서, 2011년 이전까지는 생태계교란야생동식물(환경부 야생동식물보호법)로 지정되어 있는 블루길과 배스(*Micropterus salmoides*)가 서식하지 않았으나, 최근들어 출현하기 시작한 것으로 알려졌다(낚시터 청문조사 결과). 본 연구에서는 블루길(우점종)과 배스(4.3%)가 전체 개체수의 42%의 높은 비율을 차지하는 것으로 나타나, 이들에 의한 종 단순화 등 생태계 교란이 우려되었다.

3. 영양단계 특성

수생태계 건강성 조사계획 수립 및 지침(MOE 2008)

의 분류기준에 의거한 섭식특성 분석에 따르면(Table 1), 최상위 영양단계의 육식종(배스)은 4.3%, 그 하위단계로서 수서무척추곤충을 주로 섭식하는 충식종(블루길, 꼭저구)은 38.1%, 동·식물질의 상당비율을 지속적으로 섭식하는 잡식종(잉어, 붕어, 참붕어, 치리, 미꾸라지, 갈문망둑)은 57.6%로 나타나 잡식종이 우세하였다. 이때, 외래도입종으로서 본 저수지에 이입된 블루길(우점종)과 배스를 제외한다면 잡식종의 비율이 99.2%까지 증가하는 것으로 나타났는데, 잡식종의 경우 섭식특이성으로 인하여 오염이 증가할수록 높은 우점현상을 보이는 경향이 있다(Barbour *et al.* 1999; Han and An 2013).

위내용물 분석에 따르면(Fig. 4), 잉어는 전장 >300 mm의 개체군이 채집되었으며, 위내용물의 대부분(>95%)이 유기물 및 식물잔해였고, 4월에는 갈따구류(Chiro-

nomidae)도 12개체가 발견되었다(Fig. 4). 잡식성이어서 거의 모든 유기물을 섭식(Choi and Lee 1994)하며, 저서 동물이나 동·식물플랑크톤을 섭식(Jang *et al.* 2008)하는 것으로 알려진 붕어는 전장 100~250 mm의 개체군이 출현하였으며, 시기별로 4월에는 요각류(Copepoda)인 cyclopoida와 윤충류(Rotifera)인 *Brachionus angularis*의 섭식이 확인되었고, 10월에는 요각류인 cyclopoida를 평균 243개체, 지각류(Cladocera)인 *Moina* sp., *Bosmina longirostris*, *Diaphanosoma* sp. 등을 평균 190개체를 섭식하여 동물플랑크톤을 다수 포식한 것으로 나타났다(Fig. 4). 잡식성으로 소형갑각류를 비롯해 부착조류, 수서곤충, 수초에 붙은 생물을 섭식(Choi and Lee 1994)하는 것으로 알려진 참붕어는 대부분 전장이 100 mm 내외의 개체군이 주를 이뤘고, 수초에 붙어사는 지각류인 *Chydorus* sp., *Alona* sp. 등과 수서곤충, 요각류인 cyclopoida, 깔따구류 등을 섭식하였는데(Fig. 4), 채집된 개체의 대부분이 수초대에 서식하고 있었으며, 이러한 서식특성이 섭식특성을 반영하는 것으로 판단되었다. 치리는 대부분 전장이 100~150 mm의 개체군이 주를 이뤘으며, 참붕어와 마찬가지로 지각류를 주로 섭식하였는데, 4월에는 *Simocephalus vetulus* 등을 평균 42개체, 10월에는 *Moina* sp., *Diaphanosoma* sp. 등을 평균 50개체, 11월에는 *Bosmina longirostris*, *Alona* sp. 등을 평균 103개체 포식한 것으로 나타났고, 일부 요각류와 깔따구류, 수서곤충, 유기물조각 등이 확인되었다(Fig. 4). 블루길은 동물플랑크톤, 곤충 및 저서성대형무척추동물, 어란, 치어 등을 섭식하는 것으로 알려져 있으며(Kim and Park 2002), Lee *et al.* (2013)은 치어, 수서곤충, 새우류, 특히 다수에 지각류를 섭식한다고 보고하였다. 본 연구에서도 4월에는 요각류인 cyclopoida를 평균 295개체 섭식하였으며, 10월과 11월에는 *Simocephalus vetulus*, *Moina* sp., *Diaphanosoma* sp., *Bosmina longirostris*, *Chydorus* sp., *Alona* sp., *Scaphoreberis* sp. 등의 다양한 종의 지각류를 포식하는 것으로 나타났다(Fig. 4). Kim and Park (2002)에 의하면, 블루길은 1년에 50 mm, 2년에 80 mm, 3년에 130 mm, 4년에 160 mm로 성장하는 것으로 보고되어 있는데, 본 조사에서 4월에는 전장 50 mm 미만이 채집되어 1년 미만, 10월에는 50~110 mm으로 1~2년생, 11월에는 최대 210 mm으로 4년생 이상으로 추측되는 개체가 출현하여 다양한 연령분포를 보였으며, 우점종의 지위를 보임에 따라, 향후 지속적으로 개체군이 증가할 가능성이 높은 것으로 판단되었다. 우점종인 블루길과 함께 생태계 교란 야생동식물로 지정된 배스는 공격성이 강한 육식어류로서, 100 mm 미만의 개체에서는 *Diaphanosoma* sp. 등의 지각

류가 일부 발견되었으며, 100~160 mm의 개체에서는 깔따구류, 줄새우(*Palaemon paucidens*)와 참붕어를 확인하였다(Fig. 4). 이들 블루길 및 배스와 같은 외래도입종은 먹이망 내에서 다양한 단계의 생물을 포식하며(Lee *et al.* 2013), 번식과 먹이경쟁에 있어서 포식위협과 효과적인 먹이획득으로 수생태계 군집구조의 불균형을 초래하고 생태계 내 에너지 흐름의 교란원인이 되고 있다(Byon and Jeon 1997; Ko *et al.* 2008; Song *et al.* 2012). 꼭저구(*Chaenogobius urotaenia*)는 수서곤충이나 소형동물을 섭식하는 충식성으로 알려져 있으며(Choi and Lee, 1994), 본 조사에서도 줄새우 2개체가 발견되어 유사한 먹이특성을 보였다. 갈문망둑(*Rhinogobius giurinus*)은 공복상태에서 위내용물 확인이 불가능하였고, 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*)는 위내용물을 검토하지 않았다(Fig. 4).

4. 먹이망 특성

전대저수지에 서식하는 어류의 종별 섭식성향을 파악하기 위해, 4월 조사에서 동물플랑크톤과 출현어류의 탄소와 질소 안정동위원소 비를 이용하여 먹이망 특성을 분석하였다(Fig. 5). 채집된 어류와 수체 내의 동물플랑크톤의 안정동위원소를 비교한 결과, 전대저수지 어류의 먹이섭식 특성은 동물플랑크톤을 먹이원으로 하는 종들과 저서성 먹이원을 이용하는 어종들로 구분되었다(Fig. 5). 먹이용을 나타내는 탄소 안정동위원소 비의 유사성이 동물플랑크톤과 블루길, 붕어 및 참붕어에서 높게 나타나 이들 어류는 동물플랑크톤을 주먹이원으로 이용하는 것으로 나타났다. 반면 이들 종의 경우 질소 안정동위원소의 차이가 동물플랑크톤과 4% 이상의 차이를 보여, 동물플랑크톤을 먹이원으로 하는 무척추동물 및 치어도 섭식하고 있는 것으로 판단된다. 치리는 동물플랑크톤뿐만 아니라 수서무척추동물 및 갑각류를 동시에 섭식하고 있는 것으로 나타났다. 부영양 저수지 내의 탄소 안정동위원소의 경우, 담수의 부유성 식물플랑크톤은 서식환경에 따라 -20~-40‰의 넓은 범위를 보이나, 부착조류와 같은 저서성생물의 경우 -20‰ 이상의 탄소안정동위원소 비를 가지는 것으로 알려져 있다(France 1995). 갈문망둑과 꼭저구는 탄소 안정동위원소 비가 -20‰ 이하로, 동물플랑크톤 및 타어류와 현저한 차이를 보이는 것으로 나타나, 이들은 저수지에 서식하는 저서성무척추동물을 포함한 부착조류 및 저서성 유기물 먹이원을 주로 이용하고 있는 것으로 나타났다. 치리는 개체에 따른 탄소 안정동위원소비의 차이가 큰 것으로 나타나, 부유성과 저서성 먹이원을 동시에 섭식하는 것으로 나타났다.

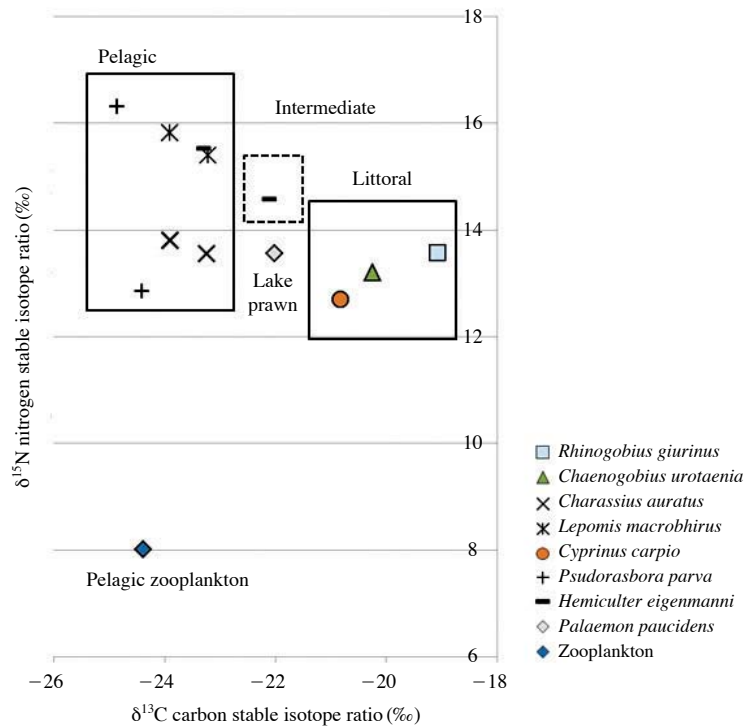


Fig. 5. Food web structure using stable carbon and nitrogen isotope ratios and major food sources estimated based on carbon isotope ratio in Jeondae Reservoir.

적 요

본 연구는 부영양 농업용저수지인 전대지에서 2012년 4월~11월까지 실시하였으며, 부영양화 특성, 어류 종조성 및 먹이망 특성을 살펴보았다. 전대저수지는 COD, Chl-*a*, TN, TP항목 모두 호소 생활환경기준 VI등급(매우 나쁨)으로 나타났으며, 부영양화 단계는 과영양상태(Hyper-eutrophic condition)로, 유기물 오염 및 부영양화가 심각한 것으로 나타났다. 어류는 총 4과 9종 679개체가 출현하였고, 블루길(*Lepomis macrochirus*, 37.7%)과 치리(*Hemiculter eigenmanni*, 27.4%)가 우점종 및 아우점종으로 나타났는데, 이들은 수질오염 및 서식지의 질적저하에 대한 내성이 강한 것으로 알려져 유기물 오염과 부영양화가 심각한 전대저수지의 수환경 특성을 적절히 반영하는 결과로 사료되었다. 위내용물 분석에서 잉어과 어류는 유기물 및 동물플랑크톤을 주로 섭식하였으며, 우점종인 블루길은 요각류와 지각류를 포식하는 것으로 나타났다. 채집된 어류와 동물플랑크톤의 안정동위원소를 비교한 결과, 먹이이용을 나타내는 탄소 안정동위원소 비의 유사성이 동물플랑크톤과 블루길, 붕어, 참붕어, 치리에서 높게 나타나 이들 어류는 저수지 내 동물플랑

크톤을 주먹이원으로 이용하는 것으로 나타난 반면, 잉어, 갈문망둑 및 꼭저구는 저수지 연안지역의 유기물 및 저서생물을 주먹이원으로 이용하는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 농림축산식품부로부터 지원받은 농촌개발 시험연구 과제에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

REFERENCES

- Barbour MT, J Gerritsen, BD Snyder and JB Stribling. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish. Second Edition. EPA 841-B-99-002. US EPA, Office of Water, Washington, DC., USA.
- Byeon MS, HK Park, WO Lee and DS Kong. 2008. Fish fauna and community structure in lake Paldang and its inflows. J. Kor. Water Qual. 24:206-213.

- Byon HG and SR Jeon. 1997. Feeding habit of bluegill, *Lepomis macrochirus* introduces in Korea. Korean J. Environ. Biol. 15:165-174.
- Chang GH and H Doi. 2011. Water Management and Food Webs, Stable Isotope. Mag. Korea Water Resour. Assoc. 44:46-51.
- Choi KC and WK Lee. 1994. We really need to know, one hundred kinds of freshwater fish in Korea. Hyeonam Publishing Co., Ltd., Seoul, Korea.
- Forsberg O and SO Ryding. 1980. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste receiving lakes. Arch. Hydrobiol. 89:189-207.
- France RL. 1995. Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: foodweb implications. Mar. Ecol. Prog. Ser. 124:307-312.
- Gal JK, MS Kim, YJ Lee, J Seo and KH Shin. 2012. Foodweb of Aquatic Ecosystem within the Tamjin River through the Determination of Carbon and Nitrogen Stable Isotope Ratios. Korean J. Limnol. 45:242-251.
- Garcia SM. and KL Cochrane. 2005. Ecosystem approach to fisheries: a review of implementation guidelines. ICES J. Mar. Sci. 62:311-318.
- Han JH and KG An. 2013. Chemical Water Quality and Fish Community Characteristics in the Mid- to Downstream Reach of Geum River. Korean J. Environ. Biol. 31:180-188.
- Han JH, EH Lee and KG An. 2009. Analysis of Fish Compositions and Ecological Indicator Characteristic in Masan Reservoir. Korean J. Limnol. 42:212-220.
- Hwang SJ, CG Yoon and SK Kweon. 2003. Water quality and limnology of Korean reservoirs. Paddy Environ. 1:43-52.
- Jang SH, CI Jang, JH Na, SW Kim, KG An, JJ Lee and JH Lee. 2008. A Analysis of Trophic Structure in Lake Namyang Using the Ecopath Modelling. Korean J. Limnol. 41:144-154.
- Jones JPG, FB Andriahajaina and NJ Hockley. 2005. A multi-disciplinary approach to assessing the sustainability of freshwater crayfish harvesting in Madagascar. Conserv. Biol. 19:1863-1871.
- Kim IS and JY Park. 2002. Freshwater fishes of Korea. Kyo-Hak Publishing Co., Ltd., Seoul, Korea.
- Kimmel BL and AW Groeger. 1984. Factors Controlling Phytoplankton Production in Lake and Reservoirs. US EPA 440/5/84-001. 277-281.
- Ko MH, JY Park and YJ Lee. 2008. Feeding habits of an introduced large mouth bass, *Micropterus salmoides* (Perciformes; Centrarchidae), and its influence on ichthyofauna in the lake Okjeong, Korea. Korean J. Ichthyol. 20:36-44.
- Lee EH, M Kim, HM Kim, M Son, KH Chang and GS Nam. 2013. Ecological Characteristics and Distribution of Fish in the Downstream Region of Gyeongang Stream. Korean J. Environ. Biol. 31:478-785.
- Lee WO and SY Noh. 2006. The characteristic of Korean peninsula freshwater fish. JiSung Publishing Co., Ltd., Koera.
- MAFRA/KRC. 2010. Technical development for control of algal bloom using predators in the agricultural reservoir (I). Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs/Korea Rural Community Corporation, Naju, Korea.
- MAFRA/KRC. 2012. Investigation report of water quality measurement network of agricultural water. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs/Korea Rural Community Corporation, Naju, Korea.
- MOE. 2008. The survey and evaluation of aquatic ecosystem health in Korea. The Ministry of Environment/National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea.
- MOE. 2011. Standard method, quality test of water. The Ministry of Environment, Sejong, Korea.
- Nam GS, EH Lee, M Kim, YS Pae and HY Um. 2013. Characteristics of Aquatic Environment and Algal Bloom in s Small-scaled Agricultural Reservoir (Jundae Reservoir). Korean J. Environ. Biol. 31:429-439.
- Nelson JS. 1994. Fishes of the world (3th ed.). John Wiley & Sons, New York, USA.
- OECD. 1982. Eutrophication of Waters-monitoring, Assessment and Control. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, France.
- Song ES, YS Shin, NI Jang and JB Lee. 2010. Assessment of Nutrient and Light Limitation of Phytoplankton in the Youngsan Lake. Korean J. Limnol. 43:35-43.
- Song HB, MS Byeon, DW Kang, CY Jang, JS Moon and HK Park. 2012. Population Structure of Bluegill, *Lepomis macrochirus* in Laks of Han River System, Korea. Korean J. Ichthyol. 24:278-286.

Received: 31 October 2014

Revised: 3 December 2014

Revision accepted: 4 December 2014