

농업용저수지인 오탈지의 수생태계구조와 수질과의 관련성

서정관* · 이혜진 · 정현기 · 탁보미 · 이재관 · 김인택¹⁾ · 이종은²⁾ · 황의욱³⁾

국립환경과학원 낙동강물환경연구소, ¹⁾창원대학교 생물학과, ²⁾안동대학교 생물학과, ³⁾경북대학교 생물교육과
(2010년 9월 27일 접수; 2010년 10월 22일 수정; 2010년 10월 27일 채택)

The Relation Between Water Quality and Structure of Aquatic Ecosystem in Agriculture Reservoir, Otae-ji

Jung-Kwan Seo*, Hae-Jin Lee, Hyun-Gi Jeong, Bo-Mi Tak, Jae-Kwan Lee,
In-Taek Kim¹⁾, Jong-Eun Lee²⁾, Ui-Wook Hwang³⁾

Nakdong river environment research center, NIER, Goryeong 717-870, Korea

¹⁾Department of biology, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea

²⁾Department of biology, Andong National University, Andong 760-749, Korea

³⁾Department of biology, Teachers College, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

(Manuscript received 27 September, 2010; revised 22 October, 2010; accepted 27 October, 2010)

Abstract

This study was carried out to elucidate the relation between water quality and structure of the aquatic ecosystem in the agriculture reservoir Otae-ji from January to December in 2009. The proportion of forest was 46.98%, which means that non-point sources are major contributor of water pollution in this area. The annual mean COD(Chemical Oxygen Demand) in Otae-ji was 3.6 mg L^{-1} , indicating, level II of environmental standards and the trophic state was mesotrophic. Although total phosphorus concentration in the reservoir was high in August due to large inflow of nutrients from outside the reservoir during monsoon season, there was no break out of significant algal bloom in the summer. The seasonal succession of phytoplankton showed that the dinophyta dominated in the the spring, chlorophyta in the summer, chrysophyta and chlorophyta in the autumn and chrysophyta in the winter. In case of zooplankton, rotifers dominated in the most seasons, but cladoceran(*Bosmina longirostris*) dominated in June and copepod(*Nauplii*) in August. The macrophyte plants showed diverse species compositon consisted of 3 varieties, 24 species, 23 genera, 15 families and 14 orders. The macroinvertebrates also showed various FFG(Functional Feeding Groups) such as GC(Gathering-Collector), P(Predator), SH(Shedder), FC(Filter-Collector) and PP(Plant-Piercer). Ecosystem stability analysis using aquatic insects was classified as Group I, which has high resilience and resistance indices. A total of 14 species of fish was collected but exotic species such as *Lepomis macrochirus* and *Micropterus salmoides* were not found in Otae-ji. In conclusion, the preservation of healthy food web in the reservoir ecosystem is closely related to water quality management as well as effective prevention of algal bloom by helping good material circulation in aquatic ecosystems.

Key Words : Water quality, Aquatic ecosystem, Agriculture reservoirs, Otae-ji

*Corresponding author : Jung-Kwan Seo, Nakdong river environment research center, NIER, Goryeong 717-870, Korea
Phone: +82-054-950-9730
E-mail: jkseo2001@korea.kr

1. 서론

호소생태학적으로 보면 자연호소의 경우 지각변동, 화산활동에 의해 지반함몰, 빙하의 침식 등의 과정을

거쳐 생성된다(유엔환경계획 한국위원회, 2003). 호소가 처음 생성되면, 유역에서 영양물질이 유입되기 시작하며, 호소는 점차 빈영양호에서 중영양, 부영양, 육지화 단계로 서서히 진화하며 이러한 과정을 부영양화라고 한다. 물론 때때로 경작, 주거, 산업활동 등 인간의 인위적 활동에 의해 호소의 부영양화가 급속히 진전되기도 하지만, 자연적으로는 수 백년에서 수 천년 이상에 걸쳐 천천히 영양상태가 변화한다(류 등, 2002). 따라서 우리주변에서 관찰되는 자연호소들은 대부분 긴 시간을 거치면서 생성되었기 때문에 호소의 물질순환과정에 호소 내 생물들이 깊이 관여하고 있는 등 생태계의 구조와 기능이 안정되어 있다. 이러한 호소들은 외부 및 내부로부터 영양물질이 끊임없이 공급되며, 호소내의 생산자들은 이를 효율적으로 활용하여 호소내에 유기물들을 안정적으로 생산, 공급한다. 생산된 유기물들은 호소내 다양한 소비자들에 의해 이용되며, 최종적으로는 분해자에 의해 물질이 재순환되는 과정을 되풀이 하면서 호소생태계를 건강하게 유지한다.

반면에 인공호소의 경우 대부분 용수공급 등 인간의 필요성에 의해 흐르는 물길을 인위적으로 막아 짧은 시간동안에 축조된다. 그러므로 호소형성 시기가 오래되지 않은 호소일수록 생물상이 빈약하고 호소생태계내 먹이사슬구조가 불안정하다. 또한 외부로부터 유입된 물질들이 호소생태계내에서 효율적으로 이용, 재분배 되지못하기 때문에 물질순환적인 측면에서 때때로 불균형을 초래하기도 한다. 그리고 인공호소들은 인위적인 수위변화가 크므로 호소생태계가 안정적으로 적응하기에는 많은 시간이 요구된다.

현재 우리나라에는 약 18,000여개의 크고 작은 호소가 있다(유와 박, 2007). 그중에서 1일 30만톤 이상의 원수를 취수하거나, 생물다양성이 풍부하여 특별히 보전할 필요가 있다고 인정되는 90개의 호소는 환경부 장관이 지정·고시하여 정기 조사를 수행하고 있다(환경부, 2001). 그리고 환경부장관이 지정한 호소 이외의 호소들 중 만수위 면적 50만 m^2 이상 호소는 총 88개이며 시·도지사에게 정기조사 및 측정의 의무가 부여되어 있다. 이러한 호소들 중에서 자연호소는 우포늪을 비롯하여 불과 10여개에 불과하며 나머지 대부분은 인공호소에 속한다. 또한 이 가운데 95%

이상은 유효저수량이 500만 m^3 이하의 중소규모 호소에 속한다(이 등, 2007).

그 동안 우리나라의 호소관리는 이처럼 용수공급을 목적으로 축조된 인공호소가 대부분이므로 COD(화학적산소요구량) 등 수질환경기준 충족여부에 중점을 두어 왔다. 그러나 2000년대에 들어와 수생태계가 건강하게 유지되는 것이 수질관리에 중요함을 인식하기 시작하면서 수생태계를 고려한 물관리가 이뤄지고 있다(최, 2002). 그러므로 향후 호소 수질관리에 있어서 호소생태계의 구조와 기능을 파악하는 것은 매우 중요하다.

본 조사대상지인 오테지의 경우 환경부장관이 고시한 전국 90개 호소에 포함되는 주요 관리대상 호소이며, 또한 축조된 지 50년이 경과되어 호소내 생물상이 안정적으로 적응되어 있다. 그리고 주변유역이 주로 임야로 이루어져 있어 인간활동에 의한 환경영향이 상대적으로 적고, 생물상도 비교적 우수한 편에 속한다. 그러므로 호소내 물질순환과 생물군집의 관련성이 클 것으로 판단되며 수생태계를 고려한 물관리 연구에 중요한 정보를 제공해 줄 수 있을 것으로 여겨진다.

따라서 본 연구는 중소규모 인공호소들 가운데 인간활동에 의한 환경영향이 상대적으로 적고, 생물상이 우수할 것으로 판단되는 오테지에 대한 수질 및 생물상을 조사하여 호소생태계의 안정성과 수질과의 관련성을 파악하고 호소생태계 보전 관점에서의 호소관리 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지 개황

오테지는 행정구역상 경상북도 상주시 공검면 오테리에 위치하고, 지리적으로 북위 36°29'30", 동경 128°07'30"에 걸쳐있다(Fig. 1). 주변은 낮은 산과 농경지로 싸여 있으며, 주변 농경지에 농업용수를 공급하기 위해 1959년에 준공된 저수지로 제방높이 14.5 m, 제방길이 785 m, 유역면적 150 km^2 , 만수면적 1.1 km^2 , 유효저수량 5,236 천톤이다. 저수지 주변에는 농경지가 발달하였으며, 이안천에서 도수하여 부족한 수량을 보충 급수한다. 수계는 구릉 꼭간의 짧은 세천

들이 저수지로 유입하는 방사상의 형상으로 되어있으며, 유역 면적은 4.30 km²로 이루어져 있다(환경부, 2009).

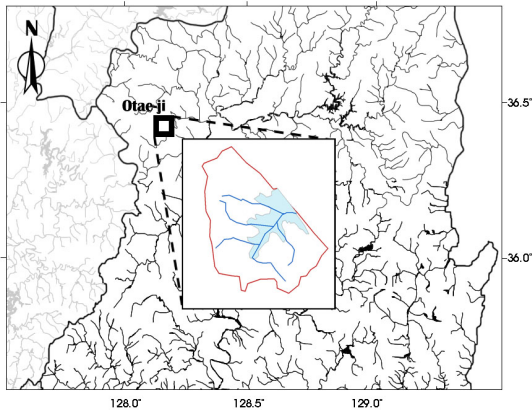


Fig.1. Location of study area.

2.2. 조사기간 및 조사지점

수질 및 동식물플랑크톤 조사는 오탈지 중앙 지점을 선정하여 2009년 1월부터 12월까지 월 1회 간격으로 표층 1 m이하의 물을 채수하여 분석하였다. 기타 생물상들은 생물상별 특성에 따라 호소 내 대표적인 1~2개 지점에 대하여 연 2~3회 조사를 수행하였다(Table 1). 수생식물은 3월18일과 8월28일에 조사하였으며, 저서성대형무척추동물의 경우 8월28일 9월30일 조사를 수행하였다. 어류조사는 4월11일~12일, 5월17일, 8월9일~11일 조사하였다.

2.3. 조사방법

호소별 오염원 현황은 2007년 전국 오염원 자료를

이용하였으며, 각 호소 유역에 해당하는 행정구역을 추출 후, 유역내 포함되는 행정구역 점유율을 적용하여 생활계, 토지계, 산업계, 축산계별로 오염원을 산정하였다. 오염부하량은 “수계오염총량관리지침”(국립환경과학원, 2007)에서 제시한 부하량 산정방법과 원단위를 적용, 환경기초시설 현황, 오염원 현황을 정리하여 수계오염총량관리 프로그램을 이용하여 산정하여 제시하였다. 오탈지 유역은 표준소유역도를 기준으로 유역을 구분하지 않고 하나의 유역으로 산정하였다.

수질조사항목 중 수온, pH, DO, 전기전도도는 휴대용 수질자동측정기(YSI 556MPS)를 이용하여 현장에서 측정하였으며, BOD 등 기타 수질항목은 수질오염공정시험방법으로 분석하였다. 호소별 부영양화도 평가는 수정 Carlson 지수(TSI_m)를 사용하였다(Aizaki 등, 1981).

식물플랑크톤의 경우, Van-dorn water sampler를 이용하여 수심별로 시료를 채수하여 Lugol's solution으로 현장에서 고정하였다. 수집된 시료는 정량 분석용 Sedgwick Rafter Chamber를 이용하여 광학현미경(Zeiss, Axioscope) 하에서 검경하였다. 동물플랑크톤은 Van-dorn water sampler를 통해 3 L 또는 8 L 원수를 채수하여 망목 64 μm 플랑크톤 네트(구경 60 cm)를 사용하여 시료를 채취하였다. 수집된 시료는 5% sucrose-formalin solution을 통해 즉시 고정한 후 실험실로 옮겨 종 수준의 동정을 실시하였다. 수생식물은 호소 주변 및 호내의 대형수생식물상과 현존식생 등을 현지 조사하였다(환경부, 2001). 저서성대형무척추동물은 호소내 환경 영향을 가장 많이 받는 유출부 및 호소환경

Table 1. The location of sampling sites in Otae-ji

Items	Sampling Site		G.P.S. Coordinate
Water Quality	The center of reservoir		N 36° 29' 31" E 128° 07' 33"
Phytoplankton	"		N 36° 29' 31" E 128° 07' 33"
Zooplankton	"		N 36° 29' 31" E 128° 07' 33"
Macrophytes	The margin of reservoir	St.1	N 36° 29' 00" E 128° 07' 32"
		St.2	N 36° 30' 02" E 128° 08' 00"
Macroinvertebrate	The margin of reservoir	St.1	N 36° 29' 01" E 128° 07' 01"
		St.2	N 36° 29' 16" E 128° 07' 39"
Fish	The center of reservoir		N 36° 29' 31" E 128° 07' 33"

에 큰 영향을 주는 유입부를 중심으로 각 지점별 대표성을 가진 2곳에서 조사가 수행되었고, 정량채집은 지점당 0.5 m와 1 m 깊이에서 Dredge(가로 0.42 m)를 이용하여 0.9 m씩 2회 정량채집을 수행하였다. 채집된 표본은 윤(1988, 1995)과 원 등(2005) 등의 검색도설을 참조하여 동정하고 단위면적당 출현개체수(ind. m²)를 산출하여 각 종이 출현한 총 조사단위에서 개체수를 나타내었다. 섭식기능군(Functional Feeding Group; FFG) 분석은 노(2004)가 Merritte-Cummins의 체계를 근거로 한 한국산 수서곤충류 섭식기능군의 유형을 속 수준에서 정리한 6가지 기능군으로 정리한 방법을 이용하였다. 또한, 노(2004)가 한국산 수서곤충류를 총 34개의 수서곤충 분류군들 간의 상대적인 저항력과 회복력을 10개 등급으로 세분한 후 이들의 상대적 저항력과 회복력에 대하여 정리한 자료를 바탕으로 군집안정성을 평가하였다. 어류의 경우 채집을 위해 투망(망목 5×5 mm, 7×7 mm), 족대(망목 3×3 mm) 손그물(망목 1×1 mm), 낚시, 정치망(삼각망, 10×10 mm), 통발 등을 사용하였다. 동정을 위해서 최 등(1990), 김과 강(1993) 등에 따라 어종을 분류, 동정하였으며, Nelson(1994)의 분류체계에 따라 배열하였다. 강우량, 방류량, 유입·유출량 자료는 국토해양부 국가수자원관리종합정보(2009) 및 한국농어촌공

사(2009)의 일일자료를 이용하였으며, 기상자료는 기상청(2009) 홈페이지를 통하여 확보하였다.

3. 결과

3.1. 기상 및 수리수문

2009년 1월부터 12월까지 유역 내 월별 평균기온은 -1.7~23.8℃로 연중 최저기온은 1월에 -13.5℃, 최고기온은 8월에 33.4℃를 나타내었다. 총 강우량은 879.1 mm를 나타내어 평년(1,205.4 mm)에 비하여 30% 가량 감소하였으며, 6~8월에 511.4 mm로 연간 총 강우량의 63%가 집중되어, 연간 강수량의 2/3가 하절기에 집중되는 우리나라의 전형적인 강우 특성을 잘 반영하였다. 월별로는 7월의 총강우량이 358.9 mm로 평년(270.8 mm)에 비해 30% 이상 많았으며, 일 최고 강우량은 7월9일에 최대 81.5 mm를 나타내었다.

오테지의 유효저수량은 5,236 천톤으로 2009년 1월부터 12월까지 평균 저수율은 74.9 %로 농업용수를 많이 이용하는 5~7월의 저수율이 최소 52%로 가장 낮았으며, 7월 이후 강우량의 증가로 저수율이 다시 증가하여 8월에 최대 90%의 저수율을 나타내었다 (Fig. 2).

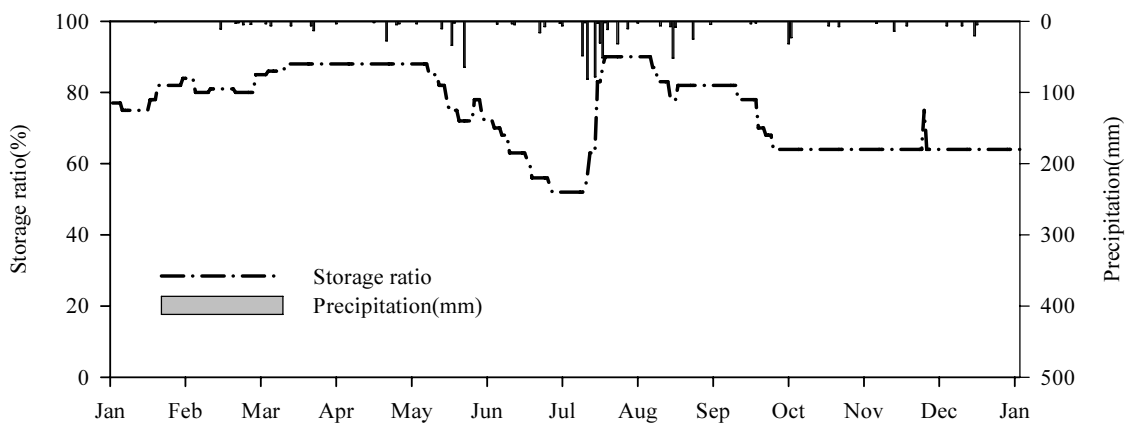


Fig. 2. The water storage ratio and precipitation in Otae-ji(2009).

3.2. 오염원 및 오염부하량

오테지 유역의 오염원자료를 조사한 결과 2007년 기준으로 유역내 총 83명의 인구가 주거하고 있으며, 가축은 한우, 돼지, 가금 등 총 11,186 마리가 사육되고 있다. 축종별로는 가금(닭)이 전체 99.4%로 가장 많이 차지하였다. 토지이용도의 경우 임야 2.02 km²(46.98%), 기타 1.14 km²(26.51%), 답 0.7 km²(16.28%), 전 0.40 km²(9.30%), 대지 0.04 km²(0.93%)의 순으로 임야가 가장 많은 비율을 차지하였다.

오테지 유역내 총 BOD발생부하량은 102.4 kg day⁻¹로 축산계가 69%로 가장 많이 차지하였으며 토지계(26%), 생활계(5%)순으로 나타났다. 총 TN 발생부하량은 45.8 kg day⁻¹, 총 TP 발생부하량 7.3 kg day⁻¹로 TN, TP 모두 축산계가 차지하는 비율이 높았다.

오테지 유역내 총 BOD 배출부하량은 35.3 kg day⁻¹ 이었고, 총 TN, TP 배출부하량은 각각 25.2 kg day⁻¹ 와 2.1 kg day⁻¹ 이었다. 전체항목 중 모두 토지계가 차지하는 비율이 70% 이상으로 높게 나타났다 (Table 2).

3.3. 수 질

오테지의 연간 수질을 평가한 결과 수체내 유기물 오염도는 COD의 연간평균값이 3.6mg L⁻¹로 호소환경기준으로 약간 좋음(II)을 나타내었으며, 부영양화도 지수로는 연평균 중영양 상태를 보여주었다. 시간적으로는 수온이 높고, 저수율이 높았던 8월에 상대적으로 수질이 다소 악화되었다. 8월의 경우 외부로부터 유입된 오염물질로 인해 총인의 농도가 가장 높았으며, 조류발생정도도 상대적으로 높은 것으로 나타났다(Fig. 3).

조사항목별로 살펴보면, 오테지 조사지점의 수심

은 연평균 6.8 m를 보였으며, 연중 4.3~9.4 m로 용수사용량이 많은 봄철에 수심변동이 심하였다. 농업용수를 많이 이용하는 5~6월은 수심 5 m 이하를 나타내었고, 3월에 9.4 m로 수심이 가장 깊었다. 투명도의 경우 조사기간 동안 1.2~2.8 m 범위(평균 1.8 m)를 보였으며, 8월에 가장 낮았고 4월에 가장 높은 투명도를 나타내었다. 수온은 조사기간 동안 3.8~26.4°C이었으며 평균 16.6°C를 나타내었다. 수소이온농도(pH)는 조사기간 동안 7.1~9.6 범위(평균 8.1)를 보였으며, 수온이 높아 상대적으로 조류발생량이 많았던 8월에 9.6을 나타내었다. 전기전도도는 조사기간 동안 109~186 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 의 범위(평균 148.6 $\mu\text{S cm}^{-1}$)를 보였으며, 5월에 186 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 로 높은 값을 나타내었고 8월에 평균 109 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 로 가장 낮았다. 용존산소는 조사기간 동안 5.8~14.7 mg L⁻¹의 범위(평균 10.4 mg L⁻¹)를 나타내었다. 1월에는 낮은 수온으로 인해 수체가 과포화되어 14.7 mg L⁻¹로 용존산소값이 높게 나타났고 8월에는 조류의 활발한 광합성작용으로 다른 월에 비해 11.7 mg L⁻¹로 비교적 높게 나타났다.

유기물지수인 화학적산소요구량(COD)의 경우 조사기간 동안 2.0~6.4 mg L⁻¹의 범위(평균 3.6 mg L⁻¹)를 보였으며, 평균수질이 호소환경기준으로 약간 좋음(II)에 해당하였다. 월별로는 조류발생이 높았던 8월에 가장 높은 값을 나타내었다. 조류발생정도를 나타내는 Chl-a 농도는 조사기간 동안 3.6~4.4 $\mu\text{g L}^{-1}$ 의 범위를 보였으며 연평균 7.8 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 대체로 낮은 값을 나타내었다. 이것은 호소환경기준으로 좋음(Ib)에 해당하는 수치이며, 월별로 가장 높은 값이 기록된 8월의 경우도 14.4 $\mu\text{g L}^{-1}$ 를 나타내어 조류발생 정도가 심하지 않았다. 부유물질농도(SS) 또한 조사기간 0.8~5.6 mg L⁻¹(평균 3.2 mg L⁻¹)의 대체적으로 낮은 값을 보였으며, 호수내부로 유입된 토사 등 탁수의 영향

Table 2. Pollution load in watershed of Otae-ji

(Unit: kg day⁻¹)

Origin	Generation load			Discharged load		
	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP
Population	5.6	1.6	0.2	4.9	1.5	0.2
Livestock	70.5	22.3	5.4	6.7	4.0	0.4
Industry	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Land	26.3	21.9	1.7	23.7	19.7	1.5

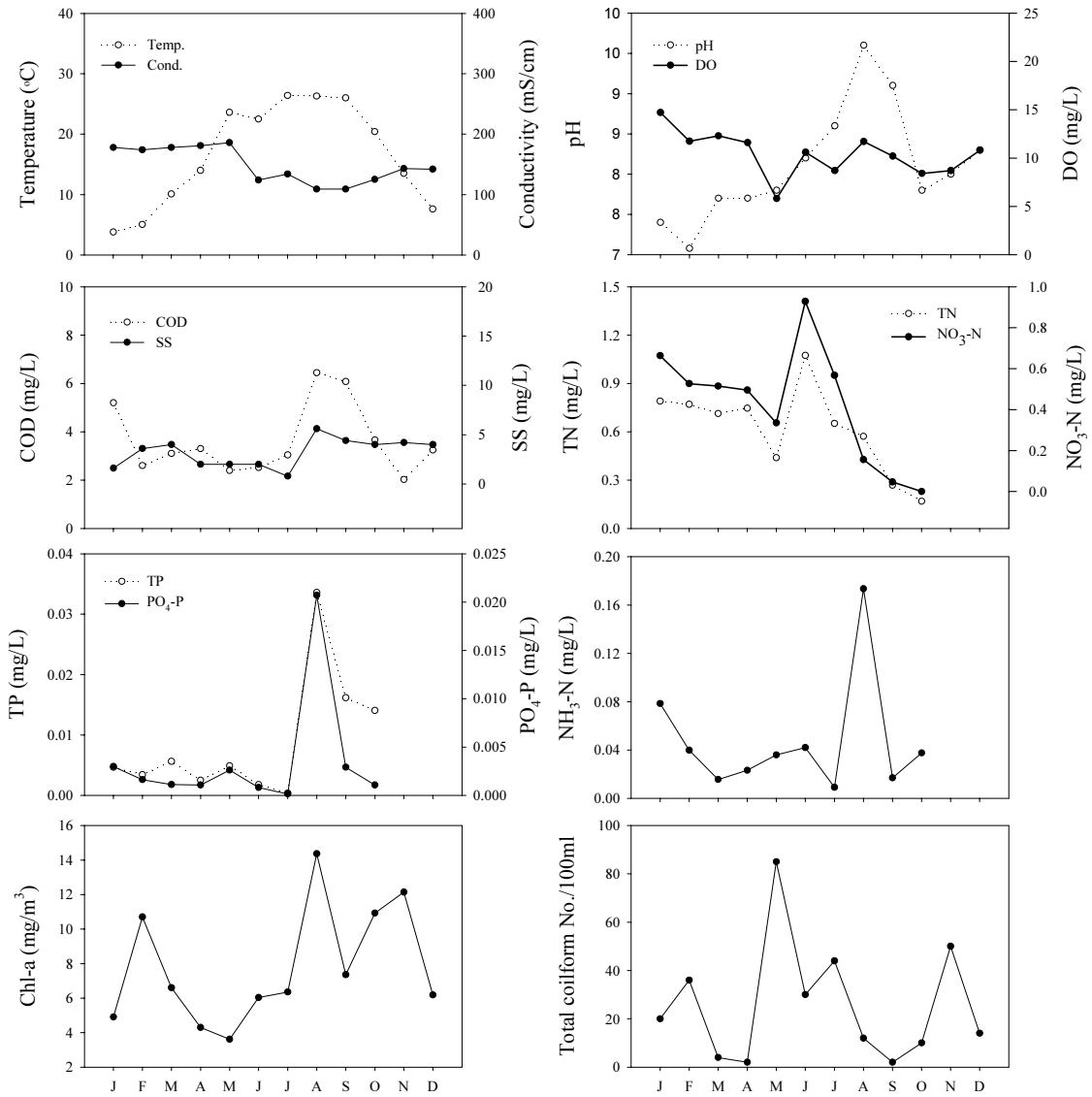


Fig. 3. Monthly variation of water quality in Otae-ji(2009).

보다는 조류발생에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다. 월별로는 8월에 높은 값을 나타내었고 7월에 0.8 mg L⁻¹로 가장 낮았다. 오테지의 분변성 오염여부를 보여주는 총대장균군은 조사기간 동안 100 mL당 2~85군수 범위(평균 25.8군수 100 mL⁻¹)의 낮은 값을 나타내어 외부에서 유입되는 분변성 오염영향이 거의 없는

것으로 나타났고, 호소환경기준으로도 매우 좋음 (Ia)에 해당하였다.

호소의 영양상태를 보여주는 영양염의 경우, 주로 8월에 갑자기 높아지는 특성을 보여주었다. 이것은 강수량이 7월 중순 이후 집중되었고, 이때 외부에서 유입수와 함께 호소내로 운반된 외부 영양염이 호소 바

Table 3. The indices of eutrophication in Otae-ji

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
TSlm(SD)	48	53	56	48	53	57	52	62	60	62	62	58
TSlm(Chl)	42	50	45	41	39	44	45	54	46	51	52	44
TSlm(TP)	30	27	33	23	31	18	-	55	46	44	-	-
Mean	40	43	45	37	41	40	49	57	51	52	57	51
Evaluation	O	M	M	O	M	O	M	E	E	E	E	E

* O : Oligotrophic * M : Mesotrophic, * E : Eutrophic

같으로 배출되지 못하고 8월동안 호소 내에 체류하였기 때문이다. 총인(TP)의 경우 조사기간 동안 0.002 ~ 0.034 mg L⁻¹의 범위(평균 0.009 mg L⁻¹)를 보였으며, 8월에 상대적으로 높은 값을 나타내었고 7월에 가장 낮았다. 인산염인(PO₄-P) 또한 0.001 ~ 0.021 mg L⁻¹의 범위(평균 0.006 mg L⁻¹)를 보였으며, 8월에 높은 값을 나타내었고 7월에 가장 낮았다. 암모니아성질소(NH₃-N) 역시 0.009 ~ 0.173 mg L⁻¹의 범위(평균 0.052 mg L⁻¹)를 보였으며, 8월에 높은 값을 나타내었고 7월에 가장 낮은 특성을 보였다. 그 외 총질소(TN)는 조사기간 동안 0.151 ~ 1.073 mg L⁻¹의 범위(평균 0.526 mg L⁻¹)를 보였으며, 질산성 질소(NO₃-N)는 0.002 ~ 0.929 mg L⁻¹의 범위(평균 0.354 mg L⁻¹)를 나타내었다. 총인에 대한 총질소의 비율인 TN/TP 비율은 조사기간 동안 27 ~ 604의 범위(평균 144)로서 인제한성이 강한 것으로 나타났다.

호소의 부영양화도 판정은 수정 Carlson 지표(TSlm)를 이용하였다. 수정 Carlson 지표(TSlm)의 평가 기준

에 따라 투명도, Chl-a, TP를 이용한 오테지의 부영양화도 평가 결과 조사기간 동안 37 ~ 57의 범위였으며, 평균 47로 중영양 상태를 보였다. 8월에 평균 57로 상대적으로 높은 값을 나타내었고 4월에 평균 37로 가장 낮았다(Table 3).

3.4. 생물상

3.4.1. 식물플랑크톤

오테지에서 조사기간동안 출현한 식물플랑크톤으로는 총 65종이 동정되었으며, 녹조류가 33종으로 전체 50.8%를 차지하였으며, 규조류 20종(30.8%), 기타 편모조류 7종(10.8%), 남조류 4종(6.2%)로 조사되었다. 월별 출현 종수의 변화는 5월에 6종으로 가장 적었다. 반면에 10월, 11월에 가장 많은 29종이 출현하였으며, 남조류를 비롯하여 녹조류와 규조류 등 다양한 종들이 혼재하였다. 식물플랑크톤 현존량은 4월부터 6월까지 개체수 밀도가 500 cells mL⁻¹ 이하로 낮았으며, 특히 5월에는 114 cells mL⁻¹로 연중 가장 적었

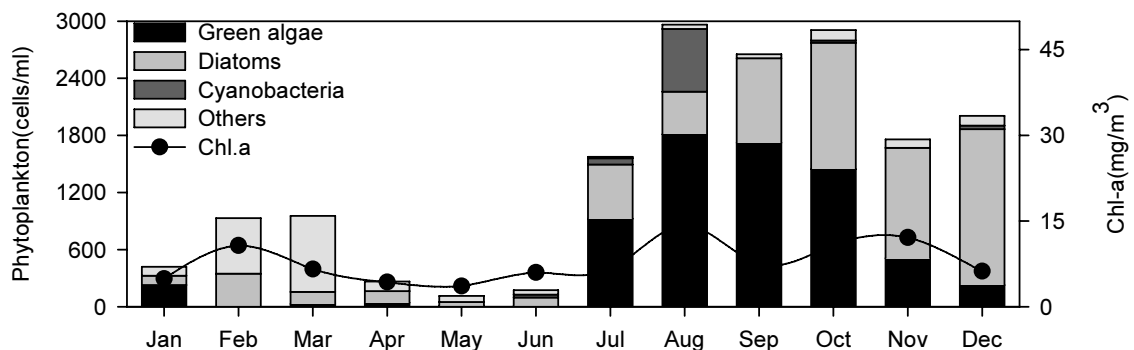


Fig. 4. Monthly variation of standing stock of phytoplankton in Otae-ji(2009).

다. 여름철인 8월에는 녹조류와 남조류 개체수가 증가로 총 개체수가 2,963 cells mL⁻¹로 조사기간 중 가장 높은 것으로 나타났다(Fig. 4).

월별 우점종 변화를 살펴보면 1월에 녹조류인 *Chlamydomonas* sp., 2월~3월에는 편모조류인 *Dinobryon divergens*, 6월에는 규조류인 *Cyclotella* sp.가 우점하였다. 여름철인 8월과 9월에는 다시 녹조류인 *Scenedesmus ecornis*가 전체 개체수의 50% 이상으로 우점하였으나, 수온이 낮아지는 10월부터 규조류인 *Cyclotella* sp., 12월에는 *Aulacoseira ambigua*로 천이하는 경향을 보였다.

3.4.2. 동물플랑크톤

오태지에서 출현한 동물플랑크톤은 총 22속 31종이 출현하였다. 전체 분류군중 윤충류는 11속 18종(58.1%), 지각류 7속 9종(29.0%), 요각류 4속 4종(12.9%)으로 윤충류가 가장 다양하게 조사되었다. 월별 출현종수는 5월부터 지속적으로 증가하여 10월(14종)에 가장 많은 종이 출현하였고 1~3월에 가장 적은 종(2종)이 출현하였다. 분류군별 출현 현황은 윤충류가 9월(9종)에 가장 많이 조사되었고 지각류는 7월, 10월(4종), 요각류는 6월, 11월(3종)에 가장 많이 조사되었다(Fig. 5).

조사기간 동안 오태지에서 조사된 동물플랑크톤 현존량은 봄철에 증가하여 5월에 가장 많은 현존량(534.6 ind. L⁻¹)이 조사되었고 겨울철인 1월에 7.7 ind.

L⁻¹로 현존량이 가장 낮은 것으로 나타났다. 분류군별 현존량 변화를 살펴보면, 윤충류의 경우 5월에 496.2 ind. L⁻¹로 최고 현존량을 보였고, 1월에 3.8 ind. L⁻¹로 가장 낮았다. 지각류는 6월에 269.2 ind. L⁻¹로 현존량이 가장 높았으며, 1월~2월에는 전혀 출현하지 않았다. 요각류는 5월 이후 지속적으로 증가하여 8월에 176.9 ind. L⁻¹로 최고 현존량을 보인 후, 겨울철인 12월, 1월과 2월에 0~3.8 ind. L⁻¹로 낮게 조사되었다. 오태지의 동물플랑크톤 우점분류군은 조사기간 평균, 윤충류가 57.7%(92.1 ind. L⁻¹)로 가장 우점하였고 지각류, 요각류가 각각 23.0%(36.7 ind. L⁻¹), 19.4%(30.9 ind. L⁻¹)로 조사되었다. 조사기간 동안 오태지의 계절별 동물플랑크톤 출현양상을 살펴보면, 윤충류인 *Polyarthra vulgaris*(54.3%)는 5월에 가장 우점하였고 이때 *Asplanchna herricki*(28.8%)가 아우점종으로 조사되었다. 지각류인 *Bosmina longirostris*(81.3%)는 조사기간 중 6월에 가장 우점하였으며, 요각류는 8월에 *Nauplii*(39.5%)가 주요 우점종으로 나타났다.

3.4.3. 수변 및 수생식물

오태지는 많은 만곡지점으로 형성되어 있고 수변 부경사도가 낮아 비교적 양호하고 다양한 수생식물군락들이 산재 분포하였다. 오태지에서 조사된 습생·수생식물은 14목 15과 23속 24종 3변종으로 총 27종이 출현하였다. 이중 정수식물이 6과 10속 11종 1변종

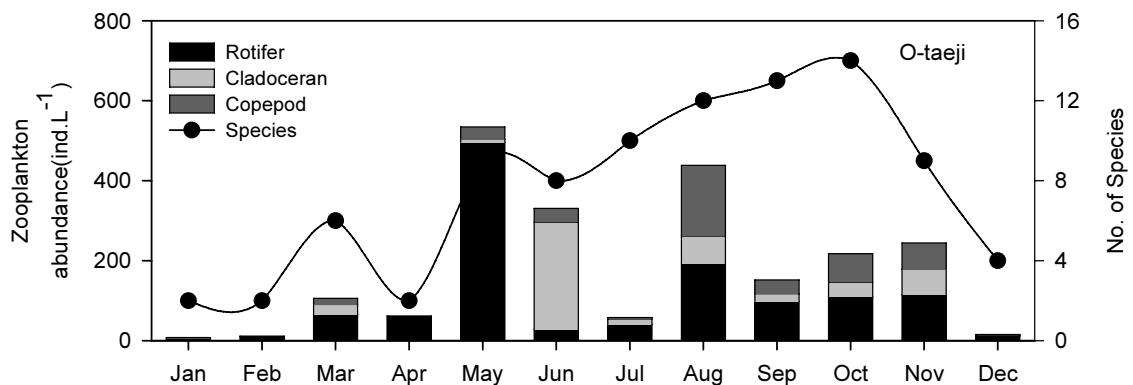
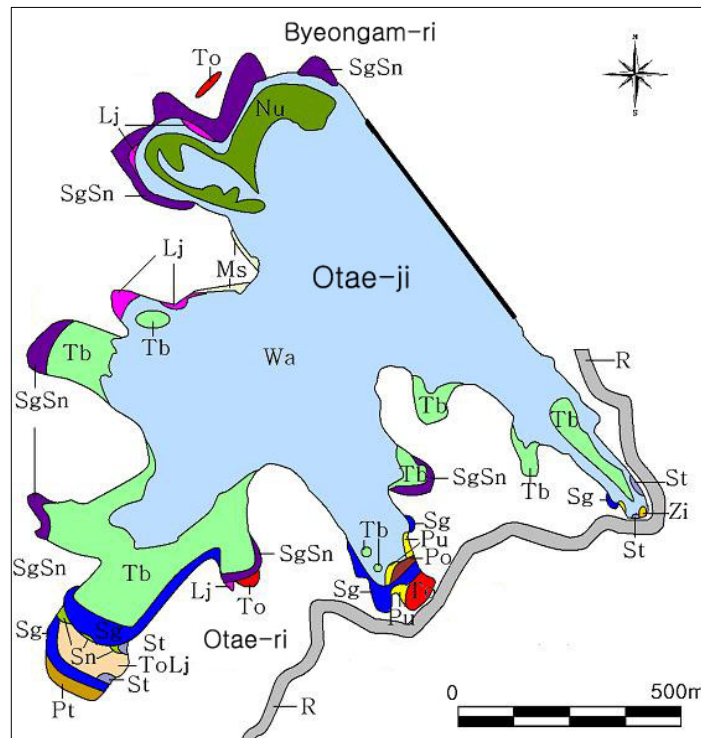


Fig. 5. Monthly variation of standing stock of zooplankton in Otae-ji(2009).

으로 44%를 차지하여 가장 큰 점유율을 나타내었다. 습생식물은 7과 9속 7종 2변종으로 33%를 차지하였고, 부엽식물은 3과 3속 4종으로 15%, 부유식물이 1과 2속 2종으로 8%의 순을 나타내었다.

현존식생을 분석해보면 북서쪽인 오테마을수변부에는 왕버들-선버들군락이 형성되어 있으며 수변에는 연꽃이 광범위한 군락으로 발전하고 있는 가운데 부

들 군락과 나도겨풀, 물억새군락 등이 산재 분포하였다. 그리고 남서쪽인 가산마을지역의 만입부에는 가을철에 마름군락이 넓게 형성되는 특징을 나타내었다. 오테지의 동남쪽 만곡지역 수변부에는 왕버들이 순군락을 이루고 부들군락과 물잔디군락, 말즘군락, 마름군락등이 주변에 산재 분포하였다(Fig. 6).



Nu	<i>Nelumbo nucifera</i> (연꽃)	Sg	<i>Salix glandulosa</i> Seemen(왕버들)
To	<i>Typha orientalis</i> (부들)	Lj	<i>Leersia japonica</i> (나도겨풀)
Tb	<i>Trapa japonica</i> (마름)	St	<i>Scirpus triangulatus</i> (송이고랭이)
Pt	<i>Persicaria thunbergii</i> (고마리)	Pu	<i>Pseudoraphis ukishiba</i> (물잔디)
Zi	<i>Zizania latifolia</i> (줄)	Po	<i>Potamogeton crispus</i> (말즘)
Sn	<i>Salix nipponica</i> (선버들)	Ms	<i>Miscanthus sacchariflorus</i> (물억새)
SgSn	<i>Salix glandulosa-Salix nipponica</i> (왕버들-선버들)	ToLj	<i>Typha orientalis-Leersia japonica</i> (부들-나도겨풀)
Wa	Water(물)	R	Road(도로)

Fig. 6. The actual vegetation map of the Otae-ji.

3.4.4. 저서성대형무척추동물

오태지내 2개 지점의 정성조사 결과 총 3문 5강 10목 15과 26종이 조사되었다. 출현한 목별 종수는 잠자리목이 10종(38.5%)으로 가장 많이 출현하였으며, 노린재목 5종(19.2%), 딱거머리목, 십각목, 파리목이 각각 2종(7.7%), 기안목, 물지렁이목, 딱정벌레목, 날도래목, 나비목이 각 1종(3.9%)의 순으로 나타났다. 정량조사 결과, 총 3문 4강 8목 10과 14종이 출현하였다. 단위면적당 평균 개체수는 53.5 ind. m²로, 출현 목별 개체수 점유율은 잠자리목이 38.5%로 가장 높은 점유율을 나타냈으며, 노린재목 19.2%, 딱거머리목, 십각목, 파리목이 각각 7.7%, 기안목, 물지렁이목, 딱정벌레목, 날도래목, 나비목이 각 3.9%의 순으로 조사되었다(Fig. 7).

오태지의 우점종 및 아우점종은 각각 깔따구류(*Chironomus* spp. - red type), 깔따구류(*Chironomus* spp. - non red type)로 나타났다. 지점 1에서의 우점종은 깔따구류(non red type)로, 지점 2에서의 우점종은 적색 깔따구류로 나타났으며, 지점 1에서의 아우점종은 적색 깔따구류, 지점 2에서의 아우점종은 깔따구류(non red type)로 조사되었다. 이는 지점 1과 지점 2의 하상구조 차이에 의한 결과로, 지점 1은 자갈과 모래에 의해 만들어진 많은 하상공극으로 깔따구류의 호흡이 원활하게 이루어질 수 있어 헤모글로빈을 함유하지 않은 non red type의 깔따구류가 우점할 수 있었

고, 지점 2는 하상 대부분이 니와 점토로 이루어져 있기 때문에 하천 바닥의 용존산소가 부족해짐과 더불어, 외부 오염물질 유입 가능성 등의 환경에 의해 헤모글로빈을 가진 적색 깔따구류가 우점하게 된 것으로 사료된다.

오태지에서 출현하는 저서성대형무척추동물의 섭식기능군(FFG)을 조사한 결과 조사지점 전체에서 주위 먹는 무리인 GC(Gathering-Collector)가 가장 높은 종 및 개체수 비율을 차지하였다. GC는 하상이나 저질층의 퇴적물에서 미세유기물 또는 초미세유기물을 주위 먹는 습성을 갖는 기능군으로, 오태지 하상의 저니성 유기퇴적물에 의한 결과이며, 육식성 포식자인 P(Predator) 또한 매우 많은 종이 출현하였는데, 이는 호소의 수변부에 주로 서식하며 미소곤충을 잡아먹는 잠자리목과 딱정벌레목, 노린재목의 출현에 의한 결과이다. 이외에 정량채집 결과 씹어먹는 무리인 나비목의 SH(Shredder)와 수심이 낮은 곳에 서식하면서 유기물질을 걸러먹는 날도래목의 FC(Filtering-collector), 수변부 수초 부근에서의 정성채집 결과 수생식물을 직접 뚫어 이들의 영양물질을 이용하는 노린재목의 PP(Plant Piercer)에 속하는 종이 확인되었다(Fig. 8).

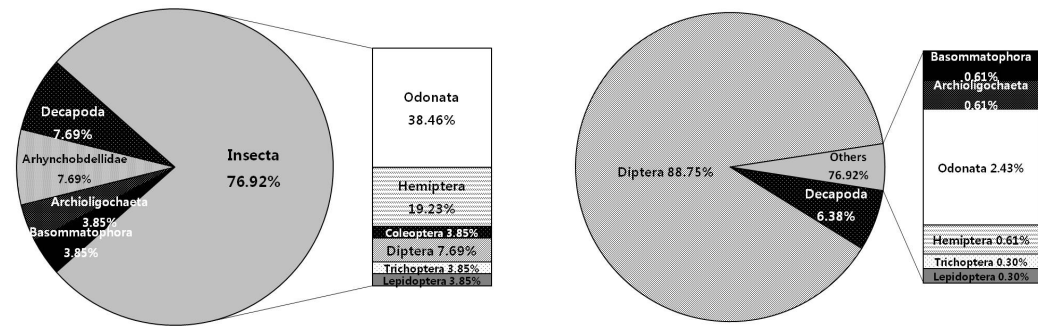


Fig. 7. Species(left) and individual(right) ratio in Otae-ji.
(Note: the ratio of species included qualitative analysis but the ratio of individuals was not included qualitative analysis)

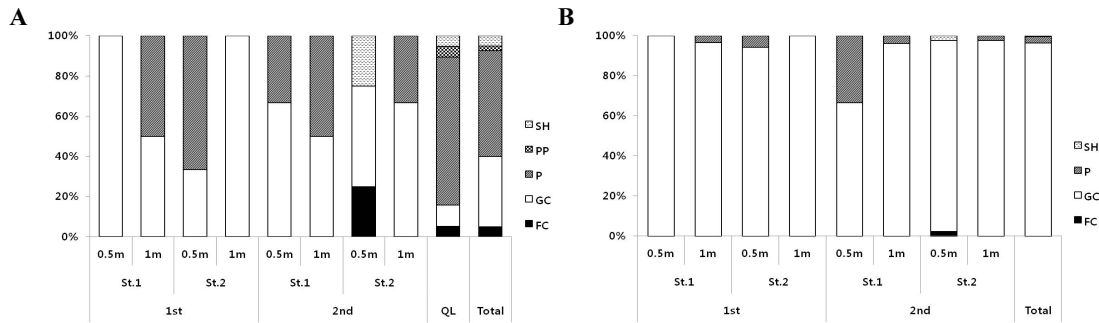


Fig. 8. Species(A) and individual(B) ratio of FFG in Otae-ji.

(GC: Gathering-Collector, P: Predator, SH: Shedder, FC: Filter-Collector, PP: Plant-Piercer).

(Note: the ratio of species included qualitative analysis but the ratio of individuals was not included qualitative analysis)

오테지의 저서성대형무척추동물군 군집안정성을 평가하기 위하여 노(2004)가 제시한 수서곤충 종별 저항력과 회복력 분류등급을 활용한 결과, 2회 조사 모두 대부분의 종이 상대적 저항력과 회복력이 높은 제 I 구역에 위치하여 호소 내 교란이 있을 시에 큰 영향을 받지 않거나 영향을 받은 경우 빠른 시일 내에 회복될 가능성이 큰 종으로 구성되어 있다(Fig. 9). 일부 제III구역에 위치하는 물자라, 게아재비, 장구애비 등은 상대적 저항력과 회복력이 약한 종으로, 1차 조사에서는 확인되지 않았으며, 저항력이 강하고 회복력이 약한 제IV구역의 꼬마물벌레와 물벌레 또한 확인되지 않았다. 제III구역의 물자라, 게아재비, 장구애비 등은 환경변화에 서식하는 종 스스로가 선택할 수 있는 기능(예: 날개가 있다)이 있고, 미소서식처의 형태

변화에 민감하기 때문에 교란에 의해 생긴 미소서식처의 모양 변화로 인해 다른 곳으로 서식처를 옮겼다가 교란이 정돈된 2차 조사시에 서식이 확인된 것으로 판단되며, 제IV구역의 꼬마물벌레와 물벌레 또한 1차 조사 전에 일어난 교란으로 영향을 받았다가 다시 출현한 것으로 사료된다.

3.4.5. 어류

오테지 내에서 서식하는 어종을 조사한 결과 6과 13속 14종 1290개체가 채집되었다. 과별 종수에 의한 점유율을 살펴보면 잉어과(Cyprinidae) 어류가 8속 9종으로 점유율이 64.3%로 가장 큰 점유율을 나타내며 미꾸리과(Cobitidae), 동자개과(Bagruidae), 메기과(Siluridae), 망둑어과(Gobiidae), 가물치과(Channidae)가 각각 1속 1종으로 점유율이 각각 7.1%로 나타났다(Fig. 10).

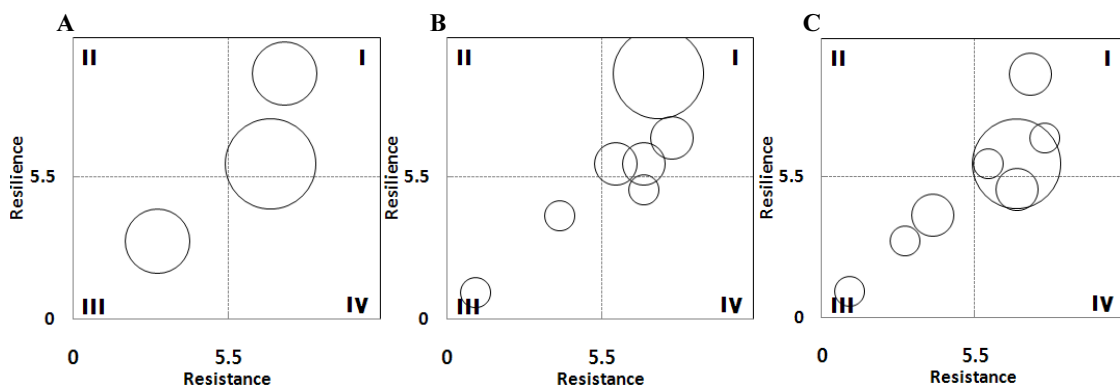


Fig. 9. Analysis of stability factors relative resistance and resilience in Otae-ji.

(A, the first survey; B, the second survey; C, Total)

과별 개체수에 있어서도 잉어과에서 채집된 개체가 1227개체로 전체 조사 개체수의 95.1%를 차지하여 점유율이 매우 높은 것으로 나타났다(Fig. 11).

오태지에서 채집된 어종의 개체 수 및 생체량을 바탕으로 우점종을 추정하여 보면 먼저 개체수에 있어서 잉어과의 참붕어(*Pseudorasbora parva*)가 전체 개체수의 73.7%를 차지하여 우점종으로 나타났다(Fig. 13). 아우점종은 긴물개(*Squalidus gracilis majimae*)가 전체 개체수의 8.2%를 차지하였다. 이 외에 돌고기(4.2%), 붕어(2.6%), 참물개(2.6%) 순으로 나타났으며, 이 밖에 잉어 미꾸리 동자개 등은 1% 미만의 희소종으로 나타났다.

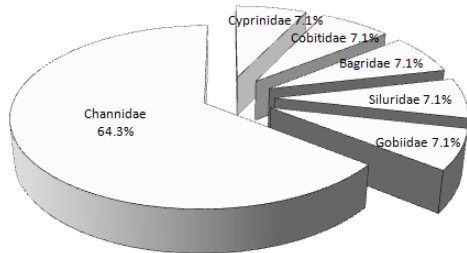


Fig. 10. Relative abundance(%) by family in Otae-ji.

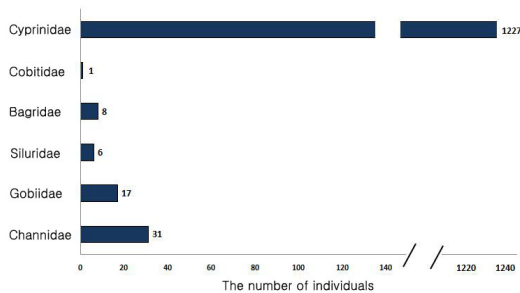


Fig. 11. Individuals of fish by Family in Otae-ji.

생체량을 비교하여 보았을 때는 개체수와는 다른 결과를 나타내었는데 전체 개체수에서 2.6%만을 차지하던 붕어가 생체량은 7,650g(36.4%)으로 우점종으로 나타났다(Fig. 13). 개체수에서 크게 우점하던 참붕어는 생체량이 6,257g(29.8%)로 아우점종으로 나타났다. 이어 잉어, 메기, 돌고기 순으로 우점하고 있

는 것으로 나타났다. 개체수와 생체량을 비교하여 본 결과 개체수로는 크기가 작은 소형어종이 주로 우점하고, 생체량으로는 개체의 크기가 큰 어종이 주로 우점하는 것으로 나타났다.

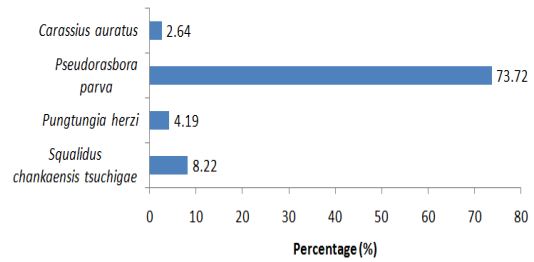


Fig. 12. Relative abundance(%) of dominant fish species in Otae-ji.

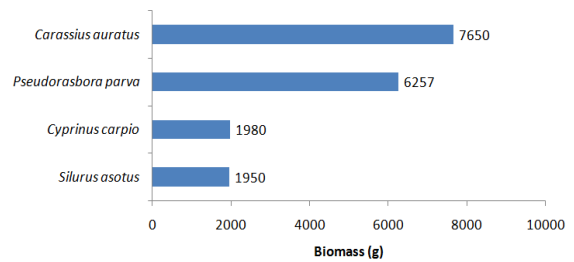


Fig. 13. Biomass of dominant fish species in Otae-ji.

이번 오태지 조사에서 한국특산종은 잉어과의 칼납자루(*Acheilognathus koreensis*), 긴물개(*Squalidus gracilis majimae*), 참물개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*) 3종이 확인되었는데, 전체 종 수의 21.4%를 차지하고 있어 이것은 우리나라의 평균적인 고유어종의 출현율(22.5%)보다 낮게 나타났다. 외래도입어종은 채집되지 않았으며, 보호대상 어류 또한 확인되지 않았다. 다른 호소에서 많은 비율을 차지하는 블루길과 베스가 아직 오태지에는 유입되지 않은 것으로 판단되며 앞으로도 지금의 상태를 유지하면 우리나라 호소의 어류상 비교 대조군으로 이용될 수 있으리라 사료되며 지속적으로 보호와 관심을 가져야 할 것이다.

4. 고찰

일반적으로 저수지의 수질은 기후, 수리수문학적

특성도 중요하지만 유역의 토지이용과도 밀접히 관련되어 있다(Zalidis 등, 2002). 국내 농업용 저수지 490개 대상으로 유역특성과 수질과의 관계를 조사한 결과에서 유역내 논과 밭의 이용면적이 30% 이상인 경우 수체내 총인 농도는 평균 0.1 mg L^{-1} 이상이었고, 유역전체면적중 논 면적이 25% 이상인 경우 총질소 농도가 평균 2.6 mg L^{-1} 이상의 분포를 보이는 것으로 조사된 바 있다(김 등, 2007). 따라서 유역내 논과 밭의 이용면적은 저수지의 수질을 결정하는 매우 중요한 요소로 알려져 있다. 반면에 임야는 강우 유출에 의해 발생하는 오염물질을 막아주고, 토양유실을 방지하는 역할을 하므로 수질개선에 도움을 주는 요인으로 평가되고 있다(Sliva와 William, 2001; Baker, 2003; Ngoye와 Machiwa, 2004; 이 등, 2007). 오테지의 경우 유역내 토지이용도를 살펴보면 임야가 47%, 논 16%, 밭 9%를 나타내었다. 임야의 경우 상대적으로 가장 높은 비율을 차지하고 있지만, 전형적인 농촌 저수지 유역에서 임야 면적인 평균 63%에는 미치지 못한다(이 등, 2007). 그리고 논과 밭의 비율도 25% 이상으로 30%에 근접한 토지이용도를 나타내고 있다. 김 등(2007)의 조사결과를 기준으로 한다면 호소내 총인의 농도가 높아 부영양상태를 보이는 것이 일반적일 것이다. 그러나 본 조사결과 오테지는 연평균 중영양 상태의 호소영양상태를 보이고 있으며, 여름철 조류 대번성과 같은 문제가 발생하지 않는 등 상이한 결과를 나타내었다. 또한 김 등(2004)이 제시한 조류대발생 및 부영양화된 농업용저수지의 공통특성인 수심 10 m 이하, 오래된 생성연도, 유역면적이 넓고, 인위적 방류시설이 없는 등의 요인들(김 등, 2004)을 오테지도 동일하게 가지고 있으나 호소 부영양화에 따른 심각한 문제점을 보여주고 있지 않다. 이러한 사실은 호소 부영양화 문제를 다루는데 있어서 토지이용도와 같은 외적인 요인 이외에 물질순환에 중추적 역할을 담당하는 호소 생태계의 구조 및 기능을 깊이 고려할 필요성이 있음을 시사해 준다.

보편적으로 국내 부영양화된 인공저수지의 경우 연중 규조류가 우점하는 가운데 여름철 남조류가 대발생하는 단순한 천이형태가 많다(윤 등, 2010). 뿐만 아니라 동물플랑크톤도 대부분 윤충류가 우점하는 가운데 지각류나 요각류는 그 출현종 및 현존량이 비교

적 적다(e.g., Maier, 1996). 그러나 오테지의 경우 식물플랑크톤 계절별 천이형태가 편모조류(봄), 녹조류(여름), 규조·녹조류(가을), 규조류(겨울)로 시기별로 다양한 분류군이 우점하여 출현하고 있다. 그리고 동물플랑크톤은 6월에 지각류인 *Bosmina longirostris*가 81.3% 우점하였고, 8월에도 요각류인 *Nauplii*가 39.5% 우점하는 등 시기별로 다양한 분류군이 우점하고 있는 것으로 나타났다. 이것은 호소생태계의 1차생산자를 비롯한 하위단계의 생물상이 다양해짐에 따라 먹이사슬단계를 거치면서 상위단계의 생물상 구조에도 당연히 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 수변 및 수생식물의 경우도 오테지 수변부에 왕버들, 선버들, 군락이 발달하고, 계절에 따라 연꽃, 마름군락 등이 넓게 형성되며, 부들, 나도겨풀, 물억새 등의 수생식물이 곳곳에 산재 분포하는 등 식생이 우수하고 경관이 수려한 특성을 나타내고 있다. 이는 오테지가 형태적으로 많은 만곡지점으로 형성되어 있으며 수변경사가 낮은 등 서식환경이 양호하기 때문이다. 수생식물은 수중의 영양염류를 흡수하여 자연적 수질정화에도 높은 효율이 있음이 알려져 있으며, 수표면의 빛을 차단하여 식물플랑크톤의 광합성을 차단하거나, 식물플랑크톤 성장을 억제하는 화학물질을 방출하여 식물플랑크톤의 성장을 억제하기도 한다(e.g., Aliotta 등, 1996; Brix, 1997; 임 등, 2000; 변 등, 2006). 또한 수서곤충이나, 어류의 산란, 도피처 등 생물 서식장소로서의 중요한 기능을 담당하고 있다. 그러므로 오테지의 경우 수생식물이 호소내 수생태계 물질순환과 먹이사슬 구성인자로서 중요한 역할과 기능을 수행하고 있는 것으로 사료된다. 오테지에 서식하는 저서생물은 동일한 조사빈도의 비슷한 규모의 다른 인공저수지와 비교할 경우 출현종수가 2배 이상 많이 출현하는 것으로 나타났다(낙동강수계관리위원회, 2010). 그리고 출현종수만을 고려했을 때 섭식기능군별로 주위먹는 무리(Gathering-Collector), 포식자(Predator), 썰어먹는 무리(Shedder), 걸러먹는 무리(Filter-Collector), 수생식물에 뚫어먹는 무리(Plant-Piercer) 등 다양한 섭식기능군이 출현하였다. 특히 포식자(Predator)에 속하는 종들이 많이 출현하였는데 이는 수변부 혹은 호소 전체에 수생식물이 잘 발달해 있어 잠자리목에 속하는 포식자들의 서식에 적합한 환경을 갖추었기

때문으로 사료된다. 그리고 오테지에 출현하는 대부분 종들이 상대적 저항력과 회복력이 높은 것으로 조사되어 군집안정성이 높았다. 이는 대부분의 분류군이 높은 회복력을 보이는 섭식기능군 GC와, 전반적으로 생물군집의 저항력 유지에 기여하는 정도가 높은 섭식기능군 P에 속하는 종들이 많이 출현하였기 때문으로 사료된다(노 등, 2004). 어류의 경우 오테지에서 총 14종이 출현한 것으로 나타났는데, 이는 윤 등(2006)이 전국 63개 농업용 저수지를 대상으로 조사한 결과인 평균 출현종수 6.5 ± 4.2 보다 월등히 많은 것으로 나타났다. 또한 보편적으로 농업용 저수지에서 출현하는 베스, 블루길과 같은 외래종이 오테지에서는 전혀 출현하지 않는 점은 오테지의 어류군집의 다양성이 높고 수생태계내에서 대체적으로 안정되어 있음을 나타내고 있다.

결론적으로 우리나라에 농업용저수지의 수질관리에 있어서 토지이용도에 바탕을 둔 오염원 관리는 매우 중요하다. 그러나 이와 더불어 저수지 생태계내의 먹이사슬을 건강하게 유지하는 것은 저수지내 물질순환이 효율적으로 일어나도록 함으로써 조류에 의한 수화현상을 미리 예방하는 효과가 있다. 뿐만 아니라 저수지의 경관을 향상시켜 많은 사람들이 찾는 자연 휴식처로 활용될 수도 있다. 인위적으로 조성된 수많은 전국의 저수지들 가운데 오테지와 같이 수서생태계가 잘 보전된 사례를 적극 발굴하여 보전할 필요가 있을 것으로 사료된다.

5. 결론

호소생태계의 안정성과 수질과의 관련성을 파악하기 위한 목적으로 2009년 1월부터 12월까지 오테지에 대한 수질 및 생물상을 조사하였다.

토지이용도의 경우 임야가 2.02 km^2 (46.98%)로 가장 많은 비율을 차지하였으며 배출되는 오염원 형태로는 토지계가 차지하는 비율이 70% 이상으로 높게 나타났다.

오테지의 호소내 유기물 오염도는 COD의 연간평균값이 3.6 mg L^{-1} 로 호소환경기준으로 약간 좋음(II)을 나타내었으며, 부영양화도지수로는 연평균 중영양 상태를 보여주었다. 8월의 경우 외부로부터 유입된 오

염물질로 인해 총인의 농도가 가장 높았으며, 다른월에 비해 조류발생정도는 상대적으로 높았으나 조류대번성과 같은 심각한 문제는 발생하지 않았다.

식물플랑크톤 계절별 천이는 편모조류(봄), 녹조류(여름), 규조·녹조류(가을), 규조류(겨울)로 시기별로 다양한 분류군이 우점하여 출현하였다. 그리고 동물플랑크톤의 경우대체적으로 윤충류가 우점하였으나 6월에는 지각류인 *Bosmina longirostris*가 81.3% 우점하였고, 8월에는 요각류인 *Nauplii*가 39.5% 우점하는 등 시기별로 다양한 분류군이 우점하고 있는 것으로 나타났다.

수생식물은 수변부에 왕버들, 선버들 군락이 발달하고, 계절에 따라 연꽃, 마름군락 등이 넓게 형성되며, 부들, 나도겨풀, 물억새 등의 수생식물이 곳곳에 산재 분포하는 등 식생이 우수하고 경관이 수려한 특성을 나타내었다.

저서성대형무척추동물은 다양한 섭식기능군이 출현하였다. 또한 출현하는 대부분 종들이 상대적 저항력과 회복력이 높은 것으로 조사되어 군집안정성이 높았다.

어류는 총 14종이 출현한 것으로 나타났으며 보편적으로 농업용 저수지에서 출현하는 베스, 블루길과 같은 외래종이 오테지에서는 출현하지 않았다.

오테지와 같이 호소생태계가 건강하게 유지되는 경우 대체적으로 조류수화 현상이 심하게 발생하지 않음을 알 수 있고, 호소수질관리에 있어서 호소생태관리도 중요한 요소로 고려되어야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 국토해양부 한강홍수통제소, 2009, 국가수자원관리 종합정보시스템, <http://www.wamis.go.kr>.
- 국립환경과학원, 2007, 수계오염총량관리지침.
- 기상청, 2009, <http://www.kma.go.kr>.
- 김익수, 강인중, 1993, 원색한국어류도감, 아카데미서적.
- 김호섭, 최은미, 김동우, 공동수, 김경만, 김범철, 2007, 농업용저수지 유역환경특성에 따른 수질경향 분석, 한국육수학회지, 40(2), 214-222.
- 낙동강수계관리위원회, 2010, 낙동강수계 호소환경 및 생태조사.
- 노태호, 전동준, 2004, 한국산 수서곤충류 섭식기능군 유

- 형 및 군집 안정성 분석, 한국육수학회지, 37(2), 137-148.
- 류재근, 박혜경, 정명숙, 임연택, 공동수, 안승구, 김우구, 박제철, 신윤근, 허우명, 2002, 호소공학, 동화기술 교역, 194.
- 변명섭, 박혜경, 정동일, 2006, 대형수생식물이 팔당호의 물질 수지에 미치는 영향, 한국육수학회지, 39(1), 85-92.
- 원두희, 권순지, 전영철, 2005, 한국의 수서곤충, (주)생태조사단, 405.
- 유엔환경계획 한국위원회, 2003, 호소와 저수지, (주)주손미디어, 7.
- 유철상, 박현근, 2007, 한국 농업용 저수지의 형태학적 특성분석, 대한지리학회지, 42(6), 940-954.
- 윤석제, 박혜경, 신경애, 2010, 한강수계 주요 인공댐호의 식물플랑크톤 군집 동태, 한국물환경학회지, 26(2), 317-325.
- 윤일병, 1988, 한국동식물도감 제30권 동물편(수서곤충류), 문교부, 840.
- 윤일병, 1995, 수서곤충검색도설, 정행사, 262.
- 윤주덕, 장민호, 김명철, 남귀숙, 황순진, 주기재, 2006, 농업용 저수지의 어류군집 특성, 한국육수학회지, 39(1), 131-137.
- 이새봄, 윤춘경, 정광욱, 장재호, 전지홍, 2007, 토지이용의 공간적 분포와 농업용저수지 수질간의 상관분석, 한국육수학회지, 40(3), 481-488.
- 임병진, 정원화, 변명섭, 전선옥, 2000, 식물체를 이용한 조류증식억제 효과, 한국육수학회지, 33(2), 136-144.
- 최기철, 전상린, 김익수, 손영목, 1990, 원색한국담수어도감, 향문사.
- 최지용, 2002, 물환경 생태복원을 위한 수질관리, 한국환경생물학회지, 20(0), 20-29.
- 한국농어촌공사, 2009, <http://www.ekl.or.kr>.
- 환경부, 2001, 호소환경조사지침.
- 환경부, 2009, 호소 수질관리 방안에 관한 연구, 370.
- Aizaki, M., Otsuki, A., Fukushima, T., Kawai, T., Hosomi, M., Muraoka, K., 1981, Application of modified Carlson's trophic state index to Japanese and its relationships to other parameter related to trophic stage, Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud., 23, 13-31 (in Japanese).
- Aliotta, G., Greca, M. D., Monaco, P., Pinto, G., Pollio, A., Previtera, L., 1996, Potential allelochemicals from aquatic weeds: Their action on microalgae. In Allelopathy: Field observations and methodology. Eds. S.S. Narwal and P. Tauro, Scientific Publishers, Jodhpur, 243-254.
- Baker, A., 2003, Land use and water quality, Hydrological Process, 17, 2499-2501.
- Maier, G., 1996, Copepod communities in lakes of varying trophic degree, Archiv für Hydrobiologie, 136, 455-465.
- Nelson, J. S., 1994, Fishes of the world, 3rd ed., John Willy & Sons, New York.
- Ngoye, E., Machiwa, J. F., 2004, The influence of landuse patterns in the Ruvu river watershed on water quality in the river system, Physics and Chemistry of the Earth, 29, 1161-1166.
- Silva, L., Williams, D. D., 2001, Buffer zones versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality, Water Research, 35, 3462-3472.
- Zalidis, G., Stamatiadis, S., Takavakoglou, W., Eskidge, K., Misopolinos, N., 2002, Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology, Agriculture, Ecosystem and Environment, 88(2), 137-146.