

상수원 호소인 가창호의 수질과 수생태계의 계절적 변화

박연정 · 이혜진 · 서정관^{1,*} · 탁보미 · 정현기² · 이재관

국립환경과학원 낙동강물환경연구소,

¹국립환경과학원 환경건강연구부, ²한양대학교 생명과학과

Water Quality and Structure of Aquatic Ecosystem in Water Source, Lake Gachang

Yeon-Jeong Park, Hae-Jin Lee, Jung-Kwan Seo^{1,*}, Bo-Mi Tak,
Hyun-Gi Jeong² and Jae-Kwan Lee

Nakdong River Environment Research Center, NIER, Goryeong 717-870, Korea

¹Environmental Health Research, NIER, Incheon 404-708, Korea

²Department of Life Science, Hanyang National University, Seoul 133-791, Korea

Abstract – This study was carried out to investigate the relation between water quality and structure of the aquatic ecosystem in the Lake Gachang from February to December in 2010. The annual mean COD (Chemical Oxygen Demand) in Lake Gachang was 3.5 mg L⁻¹, indicating, level II of environmental standards and the trophic state was mesotrophic. The seasonal succession of phytoplankton showed that Bacillariophyceae was mostly dominant species throughout the year except August. In case of zooplankton, rotifers dominate in the most seasons, but copepod (Nauplii) in August. The macrophyte plants showed diverse species composition consisted of 9 varieties, 77 species, 64 genera, 34 families and 24 orders. Surveyed species of macroinvertebrates were classified into 1 phyla, 2 classes, 4 orders, 7 families, 9 species. The macroinvertebrates showed FFG (Functional Feeding Groups) such as GC (Gathering-Collector) and SH (Shedder). A total of 42 species of fish was collected including *Zacco koreanus* and *Coreoperca herzi*. In this study, we investigated environmental factors including pollutant source, load, water quality and distribution characteristics of biota such as phytoplankton, zooplankton, macrophyte plants, macroinvertebrates, fish.

Key words : water quality, aquatic ecosystem, Lake Gachang

서 론

호소 환경은 수자원으로 활용될 뿐만 아니라 다양한 생물 서식처로서도 중요한 역할을 담당하고 있다. 호소

는 하천과 달리 물이 정체되어 있는 시스템으로 형태상 수심이 존재하며, 물의 체류시간과 수심에 따른 생물·물리·화학적 특성이 호소 내 생물 및 무생물적인 요인들 그리고 이들 간의 상호작용에 중요한 영향을 미치기도 한다. 특히 상수원으로 이용되고 용수로서 가치가 큰 안동호, 임하호, 합천호, 진양호 등 주요 호소에서는 부영양화로 인한 조류 증식이 자주 발생하고 있다. 이는 곧 동물플랑크톤이나 저서생물 그리고 어류와 같은 2, 3

* Corresponding author: Jung-Kwan Seo, Tel. 032-560-7179,
Fax. 032-568-2037, E-mail. Jkseo2001@korea.kr

차 생산자의 이상증식을 야기시킴과 동시에 수질 환경의 악화에 직면해 있다는 것을 의미한다(국립환경과학원 2010).

각각의 호소는 각기 독자적인 생물상과 발달의 역사를 갖는 소우주이므로 생물에 관한 연구에서는 공서자(共棲者)인 다른 생물과 함께 연구해야 함은 물론 호소의 여러 성질들에 관한 종합적인 연구도 동반되어야 한다(Stephen 1887). 이는 호소의 수질 및 생물상을 함께 연구 하는 것이 중요하고 이를 통해 호소 생태계의 구조 및 기능을 종합적으로 고려해야 한다는 것을 의미한다.

가창호는 대구광역시의 상수 원수를 공급하기 위해 1918년도에 건설된 댐으로 대구시 달성군 가창면 용계리에 위치하고 있다. 댐이 건설된 이후, 인구의 증가와 생활수준의 향상 등 급수수요에 능동적으로 대처하기 위해 1986년 가창호를 확장하여 대구 시민의 중요한 상수원으로 이용되고 있다. 대구광역시에서는 상수원 관리와 양질의 수원확보를 위하여 1993년부터 2002년까지 오수차집관거시설을 완공하였고 매월 정기적인 수질검사를 실시, 상수원보호구역의 책임관리구역을 지정하는 등 상수원 보호관리를 위해 노력하고 있다(대구광역시 2010).

과거 가창호에 대한 연구 중 수질에 관한 연구는 Park (2003)에 의한 수질 변화에 관한 연구, 이(1995)에 의한 상류 유역의 점 및 비점오염원에 관한 연구, 장(1996)에 의한 인공호에서의 강수와 저수율에 따른 수질 변화 등이 이루어졌다. 또한 생물상에 관한 연구는 김 등(1998)에 의한 가창호의 식물플랑크톤 군집 변화에 대한 연구 등이 있으나 가창호의 수질과 다양한 생물상에 대한 연구가 동시에 수행된 적은 없었다.

따라서 본 연구는 상수원 보호구역으로 지정되어 대구 시민의 식수원으로 이용되는 가창호의 수질 및 수생태를 구성하는 주요 생물상을 함께 조사하여 호소환경에 대한 종합조사를 수행하였으며 호소관리 기초자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

가창호는 행정구역상 대구시 달성군 가창면 용계리에 위치하고 있으며, 지리적으로 위도 35° 47'58", 경도 128° 36'54"에 걸쳐 있다(Fig. 1). 주 유입하천은 용계천, 유출하천은 신천이며 유로연장은 11 km이다. 가창호 상류는

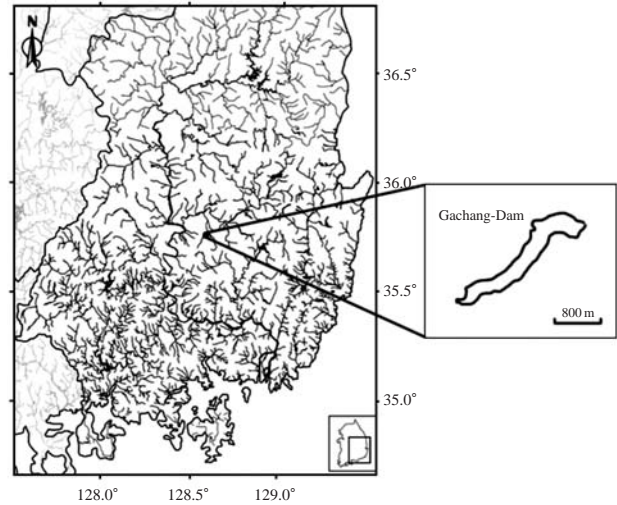


Fig. 1. Location of study area.

Table 1. The location of sampling sites in Lake Gachang

Items	Sampling site	G.P.S. coordinate	
Water quality	St. 1	N 35 47 51	E 128 36 30
	St. 2	N 35 47 58	E 128 36 54
Phytoplankton	St. 1	N 35 47 51	E 128 36 30
	St. 2	N 35 47 58	E 128 36 54
Zooplankton	St. 1	N 35 47 51	E 128 36 30
	St. 2	N 35 47 58	E 128 36 54
Macrophytes		N 35 47 40	E 128 36 27
Macroinvertebrate		N 35 47 26	E 128 36 10
Fish		N 35 47 26	E 128 36 09

마을, 농지, 임야가 분포하며 상수원 보호구역으로 지정되어 있다. 가창호는 대구 시민의 식수원으로 이용하기 위해 1986년에 조성된 생활용수 전용 댐으로써 댐 높이 45.0 m, 댐 길이 260.0 m이며 유역면적은 43.0 km², 총 저수용량은 9.1 백만 m³이다. 상수도 이용현황으로는 가창정수장에서 연간 12,824 m³를 취수하여 대구시 일부지역에 생활용수를 공급하고 있다(국립환경과학원 2010).

2. 조사지점 및 조사기간

본 연구는 대구시 인근 상수원 호소인 가창호를 대상으로 하였으며(Fig. 1), 각 조사항목별 조사지점은 호소환경 조사지침(환경부 2009)에 따라 선정하였다(Table 1). 호소수질 및 동·식물플랑크톤 조사는 호소 중앙(지점 1)과 유출부인 댐앞(지점 2) 등 2개 지점을 대상으로 2010년 2월부터 12월까지 월 1회 간격으로 조사하였다. 기타 생물상들은 생물상별 특성에 따라 호소 내 대표 지점을 선정하여 연 2회 조사를 수행하였다. 수생식물은 봄철(5월~6월)과 가을철(9월~10월) 조사하였으며, 저

서성대형무척추동물의 경우 4월 26일~30일과 8월 3일~21일 조사하였다. 어류조사는 6월 11일~18일, 10월 21일~31일 수행하였다.

3. 조사방법

호소수질에 영향을 미칠 수 있는 오염원은 전국오염원조사(환경부 2008)를 이용하여 가창호 유역에 해당하는 행정구역을 추출하고 유역 내 포함되는 행정구역 점유율을 적용하여 조사하였으며, 오염부하량은 “수계오염총량관리지침”(국립환경과학원 2007)에서 제시한 부하량 산정방법과 원단위를 적용하여 유역 내 발생부하량과 배출부하량을 산정하여 제시하였다.

수질조사항목 중 수온, pH, DO, 전기전도도는 휴대용 수질자동측정기(YSI 556MPS)를 이용하여 현장에서 측정하였으며, 투명도는 투명도판(지름 20 cm, 백색/흑색 원판)으로 측정하였다. 실험실 분석항목은 현장 시료를 냉암소에서 보관하여 실험실로 옮긴 후 생화학적산소요구량(Biochemical Oxygen Demand, BOD), 화학적산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD), 부유물질(Suspended Solids, SS), 클로로필-*a*(Chlorophyll-*a*), 총대장균군수(Total Coliforms), 분원성 대장균군수(Fecal Coliforms), 총질소(Total Nitrogen, TN), 총인(Total Phosphorus, TP), 암모니아성 질소(Ammonium Nitrogen, NH₃-N), 질산성 질소(Nitrate Nitrogen, NO₃-N), 인산성 인(Phosphate Phosphorus, PO₄-P)은 수질오염공정시험방법에 준하되 필요한 경우 국제적으로 통용되고 있는 표준시험방법(APHA 2005)에 따라 분석하였다.

가창호의 영양상태 분석은 조사기간 동안 측정된 자료 중 클로로필-*a* 농도와 총인 농도를 이용하여 부영양화 단계를 수정 Carlson 지수인 TSI_m(Aizaki *et al.* 1981) 기준으로 산정하였고, 산정된 지수가 40 미만이면 빈영양호, 40~50이면 중영양호, 50을 초과하면 부영양호로 구분하였다.

식물플랑크톤의 경우, 표층수를 대상으로 시료를 채수하여 Lugol's solution으로 현장에서 고정하였다. 실험실로 옮겨 48시간 이상 침강시킨 후 상등액을 제거하고 5배 이상 농축한 뒤, 정량분석용 Sedgwick Rafter Chamber를 이용하여 광학현미경(Zeiss, Axioscope) 하에서 검경하였다. 동물플랑크톤은 5L 원수를 채수하여 망목 64µm 플랑크톤 네트를 사용하여 시료를 채취한 후, 4% sucrose formalin solution으로 즉시 고정한 후 검경하였다.

수생식물은 가장 식생이 양호한 지역 3곳을 정밀조사 지역으로 설정하여 대형수생식물의 현존식생 등을 현지 조사하였다.

저서성대형무척추동물은 호소 내 대표성을 지닌 1개 지점을 선정하고 뜰채와 핀셋을 이용한 정성적인 방법과 지점당 0.5 m와 1 m 깊이에서 Dredge(가로 0.42 m)를 이용하여 0.9 m² 2회 정량채집을 수행하였다. 채집된 표본은 현장에서 94% Ethanol에 고정하여 윤(1988, 1995)과 원 등(2005) 등의 검색도서를 참조하여 동정하고 단위면적당 출현개체수(ind. m⁻²)를 산출하여 각 종이 출현한 총 조사단위에서 개체수를 나타내었다. 섭식기능군(Functional Feeding Group; FFG) 분석은 노와 전(2004)이 Merritte-Cummins의 체계를 근거로 한 한국산 수서곤충류 섭식기능군의 유형을 속 수준에서 정리한 6가지 기능군으로 정리한 방법을 이용하였다.

어류의 경우 채집을 위해 투망(망목 5×5 mm), 족대(7×7 mm), 두 종류의 자망(붕어망, 피리망)을 이용하여 실시하였다. 동정을 위해서 최(1991), 김과 강(1993) 등의 분류체계에 따라 어종을 분류, 동정하였으며, Nelson(1984)의 분류체계에 따라 배열하였다.

결과 및 고찰

1. 오염원 및 오염부하량

가창호 유역의 오염원의 경우, 인구에 의한 생활계 오염원은 총 인구는 2,736명, 하수도 보급률은 71.1%인 것으로 조사되었다. 유역 내 축산계 오염원은 가금 등 기타 분류군이 전체의 66.0%로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 그 외 한우 17%, 산양과 사슴 14%, 젓소 2% 순으로 조사되었다. 산업계 오염원으로는 유역 내 산업체 2개 업소의 폐수발생량과 방류량이 각각 403.3 m³ day⁻¹인 것으로 나타났다. 비점오염원의 경우, 유역 내 토지 이용면적 43.4 km² 중 임야가 37.2 km²로 전체의 85.7%를 차지하였으며, 기타 2.4 km²(5.5%), 담 1.8 km²(4.1%), 대지 1.2 km²(2.8%), 전 0.8 km²(1.8%)의 순으로 토지가 이용되고 있었다.

가창호 유역내 총 BOD 발생부하량은 431 kg day⁻¹로 그 중 생활계가 53%로 가장 많이 차지하였으며 토지계(27%), 축산계(16%) 순으로 나타났다. 가창호 유역내 총 TN 발생부하량은 190 kg day⁻¹, TP 발생부하량은 19 kg day⁻¹로 각각 토지계가 59%, 42%로 가장 많이 차지하였다.

가창호 유역내 총 BOD 배출부하량은 140 kg day⁻¹로 그 중 토지계가 61%의 높은 비율을 나타내었고 생활계(24%), 산업계(11%) 순으로 나타났다. TN, TP 배출 부하량은 각각 124 kg day⁻¹, 9 kg day⁻¹로 나타났으며 토지계

가 각각 75% 이상으로 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났다 (Table 2).

2. 수질

가창호 수질의 경우, 유기물 오염도는 COD의 연간평균값이 3.5 mg L⁻¹로 호소환경기준으로 약간 좋음 (II)을 나타내었으며, 부영양화도 지수로는 연평균 중영양 상태를 보여주었다. 9월의 경우 총인의 농도가 가장 높았으며, 조류발생 정도도 상대적으로 높게 나타났다.

조사항목별로 살펴보면, 가창호 조사지점의 수심은 연평균 23.6 m를 보였으며, 9월에 31.2 m로 수심이 가장 깊었다. 투명도의 경우 조사기간 동안 1.4~3.4 m 범위 (평균 2.5 m)를 보였으며, 3월에 가장 낮았고 2월에 가장

높은 투명도를 나타내었다. 수온은 조사기간 동안 2.7~30.1°C이었으며 평균 16.8°C를 나타내었다. 수소이온농도 (pH)는 조사기간 동안 6.7~8.7 범위 (평균 7.7)를 보였으며, 수온이 높고 강수량이 많았던 8월에 8.7로 가장 높게 나타났다 (Fig. 2).

전기전도도는 조사기간 동안 53~78 μS cm⁻¹의 범위 (평균 67 μS cm⁻¹)를 보였으며, 2월에 78 μS cm⁻¹로 높은 값을 나타내었고 9월에 53 μS cm⁻¹로 가장 낮았다. 용존산소는 조사기간 동안 8.7~15.4 mg L⁻¹의 범위 (평균 11.2 mg L⁻¹)를 보였으며 3월에 15.4 mg L⁻¹로 가장 높게 나타났고 11월에 8.7 mg L⁻¹로 비교적 낮게 나타났다.

유기물지수인 화학적산소요구량 (COD)의 경우 조사기간 동안 2.6~5.3 mg L⁻¹의 범위 (평균 3.5 mg L⁻¹)를 보였으며, 평균 수질이 호소환경기준으로 약간 좋음 (II)에 해당하였다 (Fig. 2). 조류발생정도를 나타내는 Chl-*a* 농도는 조사기간 동안 1.6~13.9 mg m⁻³의 범위를 보였으며 연평균 6.2 mg m⁻³로 대체로 낮은 값을 나타내었고 호소환경기준으로는 좋음 (Ib)에 해당하였다. 월별로 가장 높은 농도는 3월과 9월이었으며 모두 13.9 mg m⁻³로 조류 발생 정도가 심하지 않았다. 부유물질농도 (SS)는 조사기간 동안 1.4~5.1 mg L⁻¹ (평균 2.7 mg L⁻¹)로 대체적으로 낮은 값을 보였으며 호소환경기준으로 좋음 (Ib)

Table 2. Pollution load in watershed of Lake Gachang (Unit: kg day⁻¹)

Origin	Generation load			Discharged load		
	BOD (%)	TN	TP	BOD	TN	TP
Population	229 (53)	60 (32)	6 (32)	34 (24)	16 (13)	2 (22)
Livestock	68 (16)	16 (8)	5 (26)	6 (4)	4 (3)	0
Industry	17 (4)	2 (1)	0	15 (11)	2 (2)	0
Land	117 (27)	112 (59)	8 (42)	85 (61)	102 (82)	7 (78)

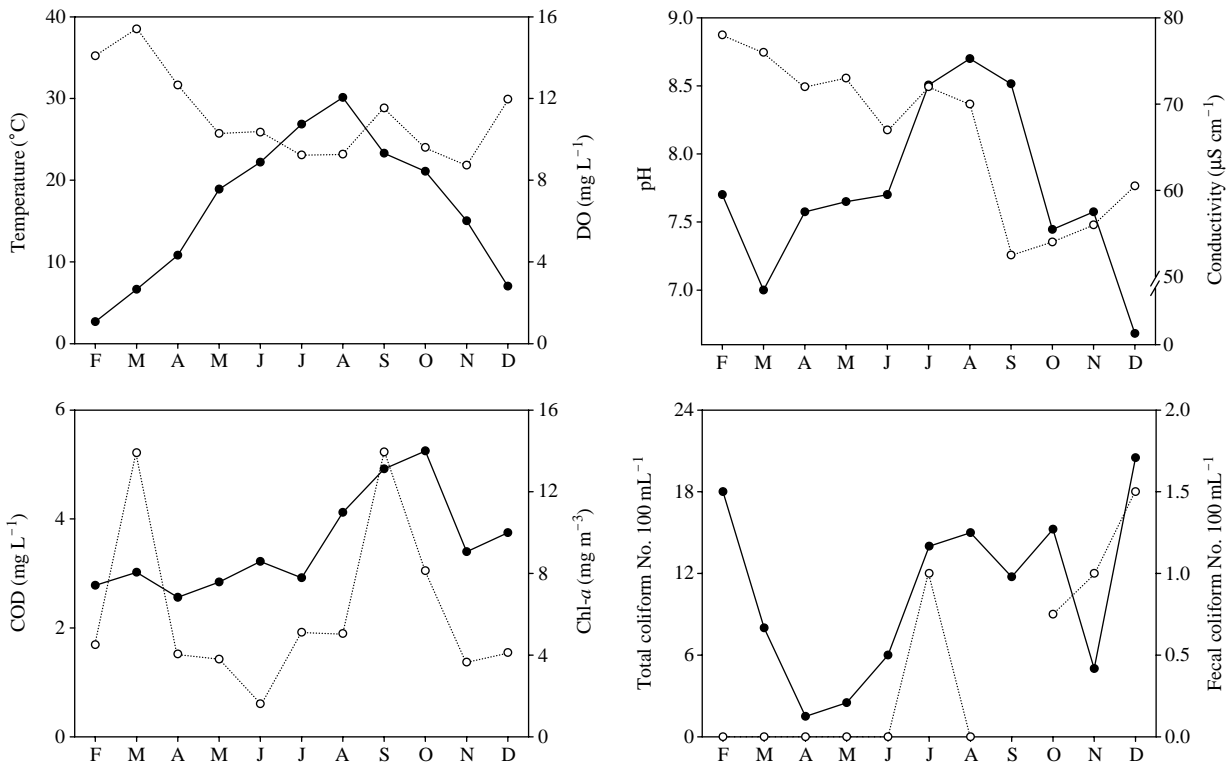


Fig. 2. Monthly variation of water quality (physical, organic factor) in Lake Gachang.

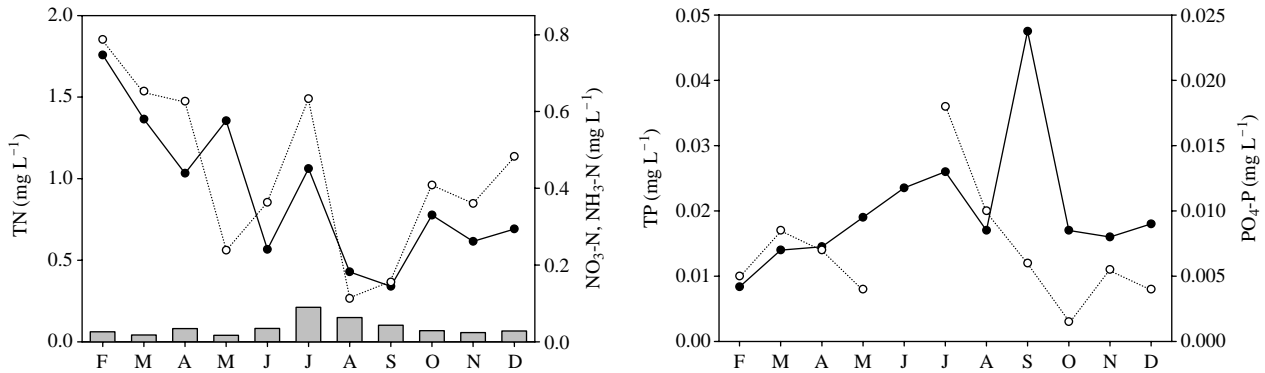


Fig. 3. Monthly variation of water quality (nutrient factor) in Lake Gachang.

Table 3. The indices of eutrophication in Lake Gachang

	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
TSIm (SD)	46	60	48	50	45	48	48	58	50	13	—
TSIm (Chl)	41	53	40	39	30	42	42	53	47	39	40
TSIm (TP)	38	44	45	48	51	52	47	60	47	46	47
Mean	42	53	44	46	42	47	46	57	48	33	44
Evaluation	M*	E*	M	M	M	M	M	E	M	O*	M

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

에 해당하였다. 가창호의 분변성 오염여부를 보여주는 총대장균군은 조사기간 동안 100 mL 당 2~21 균수 범위 (평균 11 균수 100 mL⁻¹)의 낮은 값을 나타내어 호소 환경기준으로 매우 좋음 (Ia)로 나타났다.

영양염의 경우, 총질소(TN)는 조사기간 동안 0.339~1.758 mg L⁻¹의 범위 (평균 0.908 mg L⁻¹)를 보였으며, 2월에 가장 높은 값을 나타내었고 9월에 가장 낮은 값을 나타내었다. 질산성 질소(NO₃-N)는 조사기간 동안 0.113~0.788 mg L⁻¹의 범위 (평균 0.438 mg L⁻¹)를 보였으며, 8월에 가장 낮은 값을 나타내었고 총질소와 동일하게 2월에 가장 높은 값을 나타내었다. 총인(TP)은 조사기간 동안 0.008~0.048 mg L⁻¹의 범위 (평균 0.020 mg L⁻¹)를 보였으며, 9월에 가장 높은 값을 나타내었고 2월에 가장 낮은 값을 나타내었다. 인산성 인(PO₄-P)는 0.002~0.018 mg L⁻¹의 범위를 보였다 (Fig. 3).

호소의 부영양화도 판정은 수정 Carlson 지표 (TSIm)를 이용하였다. 조사기간 동안 32~57의 범위였으며, 평균 45로 중영양 상태를 보였다. 특히 봄철인 3월과 가을철인 9월에 50 이상으로 부영양상태를 나타내었고 겨울철 11월에 33으로 빈영양상태를 나타내었다 (Table 3). 과거 자료 김 등(1998)의 Forsberg and Ryding (1980)에서 제시한 값은 3월을 제외하고 년중 부영양상태를 유지하고 있는 것으로 나타났고, 이 결과를 통해 1997년

보다 수질이 양호해졌음을 알 수 있었다.

3. 생물상

가창호에서 조사기간 동안 출현한 식물플랑크톤은 총 42속 70종이 동정되었다. 분류군별로는 규조류가 35종으로 전체 50.0%를 차지하였으며 녹조류 25종(35.7%), 기타편모조류 6종(8.6%), 남조류 4종(5.7%)로 조사되었다. 월별로는 10월에 36종으로 가장 많은 종이 출현하였고, 9월에 11종으로 가장 적은 종이 출현하였다. 식물플랑크톤 현존량은 243~3,404 cells mL⁻¹ (평균 1,137 cells mL⁻¹)로 나타났으며 3월에 3,404 cells mL⁻¹로 가장 높았다. 5월부터 8월까지의 개체수 밀도가 500 cells mL⁻¹ 이하로 낮게 나타났으며 6월에 243 cells mL⁻¹으로 가장 적게 나타났다 (Fig. 4).

월별 우점종 변화를 살펴보면, 2월과 3월에 각각 규조류인 *Aulacoseira distans*와 *Synedra acus*가 개체수의 50% 이상 우점하였고, 4월에는 기타 편모조류인 *Dinobryon divergens*가 우점하였다. 5월과 6월에는 각각 다시 규조류인 *Synedra ulna*와 *Cyclotella* sp.가 우점하였으며, 7월에는 기타 편모조류인 *Peridinium* sp.가 우점하였다. 8월부터 11월까지의 모두 규조류인 *Cyclotella* sp.가 우점하였고 12월에는 규조류인 *Aulacoseira ambigua*가 우점하는 경향을 보였다. 과거 자료와 비교하였을 때, 여름철

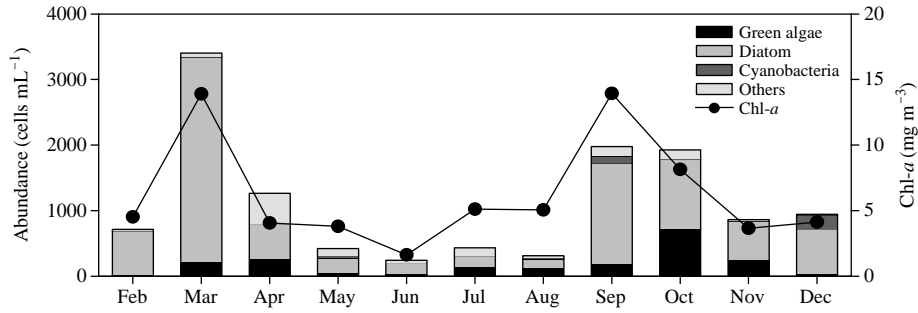


Fig. 4. Monthly variation of standing stock of phytoplankton in Lake Gachang.

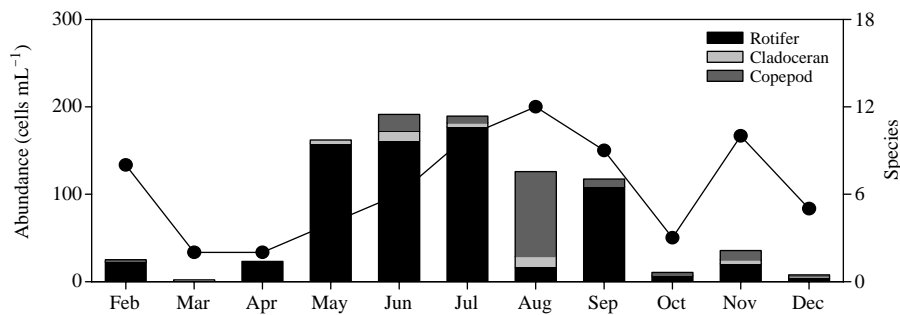


Fig. 5. Monthly variation of standing stock of zooplankton in Lake Gachang.

남조류가 증가하거나(김 등 1998), 녹조가 우세하게 나타난(대구지방환경청 2004) 결과에 비해 다소 다른 양상을 보여주었다.

김 등(1998)과 2004년 보고서에 의한 분류군별 분포를 살펴보면, 겨울에는 모두 규조류가 높은 구성비를 나타내었다. 과거 봄철에는 녹조류가 대부분을 차지하였으나, 이번 조사에서는 규조류가 53.7%를 차지하였고, 가을철의 김 등(1998)에 의한 조사에서는 녹조류가 대부분을 차지하였으나, 2004년 조사에서는 규조류가 64.4%, 이번 조사에서는 86.9%로 높은 구성비를 나타내었다. 특히, 여름철은 시기마다 다양한 분류군을 나타내었는데 1996년에는 상류 영양염 유입으로 *Microcystis aeruginosa*와 *Anabaena planktonica* 등의 남조류가 우점하였고 2004년의 보고서에서는 녹조류가 우점하였다. 이는 김(2007)에 의한 이화학적인 조사에서 2004년도의 영양염 농도는 2003년 태풍 “매미”의 영향으로 초기부터 평년에 비해 높았음을 알 수 있었다. 이번 조사에서는 평년의 연평균 낮은 영양염 농도를 보이며 규조류가 높은 구성비를 나타내었다.

가창호에서 조사기간 동안 출현한 동물플랑크톤은 총 16속 23종으로 조사되었다. 분류군별로는 윤충류 11속 17종(73.9%), 지각류 3속 4종(17.4%), 요각류 2속 2종

(8.7%)으로 소형 윤충류의 출현 종수가 다양한 것으로 나타났다. 월별 출현 종수는 3월과 4월에 가장 적은 종(2종)이 출현하였으나 그 후 지속적으로 증가하여 8월(12종)에 가장 많은 종이 출현하였다(Fig. 5).

조사기간 동안 가창호에서 조사된 동물플랑크톤 현존량은 1.9~191.3 ind. L⁻¹(평균 80.9 ind. L⁻¹)로 나타났으며, 6월에 가장 많은 현존량(191.3 ind. L⁻¹)이 조사되었고 7월(189.4 ind. L⁻¹)에도 높은 현존량이 조사되었다. 월별 우점종을 살펴보면 2월에는 윤충류인 *Conochilus* sp., 3월~7월에는 윤충류인 *Keratella cochlearis*가 모두 우점하였고, 8월에는 요각류인 *Nauplii*가 우점하였다. 하지만 9월~12월에 *Polyarthra vulgaris*의 개체수가 증가하면서 다시 윤충류가 우점하였다.

일반적으로 국내 부영양화된 인공호소에서는 수온이 증가하는 봄철과 여름철에 호소생태계 내 1차 생산자인 식물플랑크톤의 종수와 개체수 밀도가 증가하고 이를 섭식하는 동물플랑크톤의 생물량도 증가하는 경향을 나타낸다(Sommer *et al.* 1986; 김 등 1999). 그러나 본 조사 대상 호소인 가창호의 경우, 봄철인 3월에 식물플랑크톤 현존량이 가장 높았으며, 4월부터 감소하기 시작하여 8월까지 500 cells mL⁻¹ 미만으로 개체수 밀도가 낮았다. 반면 동물플랑크톤은 5월부터 윤충류 등이 우점하는 가

운데 현존량이 증가하기 시작하여 9월까지 종조성과 밀도가 높게 나타났는데, 이는 플랑크톤의 상호관계에 있어서 소형 동물플랑크톤인 윤충류가 식물플랑크톤의 섭식자로서의 기여도가 다소 높았으며(김 등 2010), 이로 인해 포식자인 동물플랑크톤의 생물량이 증가하고 식물플랑크톤의 군집 구조 변화에도 영향을 미친 것으로 판단된다.

수생식물은 수중의 영양염류를 흡수하여 수질을 개선시키고, 식물플랑크톤의 성장을 억제할 뿐만 아니라 (Aliotta *et al.* 1996; 임 등 2000; 변 등 2006), 수서곤충이나, 어류의 산란처 등 생물 서식장소로서의 중요한 기능을 담당하고 있다. 가창호에서는 습생, 수생식물이 24목 34과 64속 77종 9변종으로 총 86종이 출현하였으며, 전체 생활형별 분류는 교목(MM) 4.6%, 아교목(M) 4.6%, 관목(N) 4.6%, 반지표식물(Ch) 4.6%, 지중식물(G) 5.8%,

반지중식물(H) 15.1%, 수생식물(HH) 23.2%, 일년생식물(Th) 37.2%로 조사되었다. 이중 수생식물은 28종 3변종으로 총 31종이 출현하였으며 생활형별로는 습생식물이 19종(61.2%)으로 가장 큰 점유율을 나타내었고 정수식물 7종(22.5%), 부엽식물 4종(12.9%), 부유식물 1종(3.4%)으로 조사되었다.

가창호에서 출현한 식물군락의 식생도는 Fig. 6에 나타내었으며, 주요 군락으로는 물억새군락 (*Miscanthus sacchariflorus* Community), 달뿌리풀군락 (*Phragmites japonica* Community), 선버들군락 (*Salix nipponica* Community), 쇠치기풀군락 (*Hemarthria sibirica* Community), 갈대군락 (*Phragmites communis* Community), 이삭사초군락 (*Carex dimorpholepis* Community), 갈풀군락 (*Phalaris arundinacea* Community), 칩군락 (*Pueraria thunbergiana* Community) 등 8개 군락이 조사되었다.

가창호 일대 저서성대형무척추동물은 총 1문 2강 4목 7과 9종 68개체가 출현하였으며, 그 중 파리목이 4종(44.4%)으로 가장 많은 종이 출현하였으며, 비곤충류와 하루살이목이 각각 2종(22.2%), 딱정벌레목이 1종(11.1%)로 나타났다. 개체수 비율의 경우, 파리목이 49개체(73.1%)로 가장 많이 출현하였으며, 비곤충류가 13개체(19.2%), 기타분류군(하루살이목, 딱정벌레목)이 5개체(7.7%)의 점유율로 나타났다(Fig. 7). 주요 우점종은 갈따구류(*Chironomus* sp. - non red type), 아우점종은 등딱지하루살이(*Caenis* KUa)와 징거미새우(*Macrobrachium nipponense*)로 조사되었다. 섭식기능군(FFG)별로는 모아 먹는 무리인 GC(Gathering-Collector)의 종수와 개체수 비율이 높았으며 일부 지점에서 썰어먹는 무리인 SH(Shredder) 분류군이 출현하기도 하였다.

가창호에서 서식하는 어종은 총 3과 7종 42개체로 잉어과(Cyprinidae) 5종, 바다빙어과(Osridae)와 꺾지과(Centropomidae)가 각각 1종씩 출현하여 종조성과 개체수가 매우 단순하였다. 우점종으로는 붕어(*Carassius*

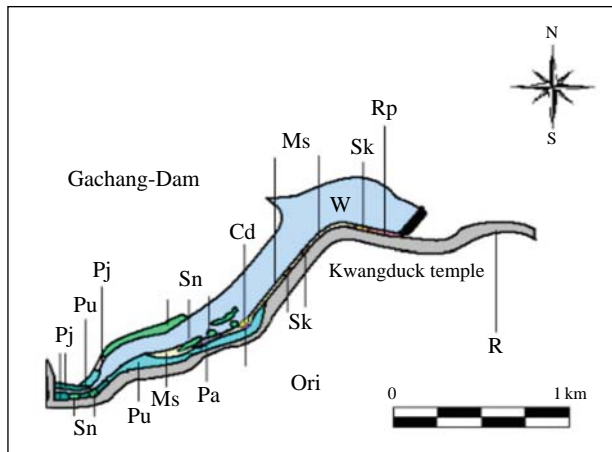


Fig. 6. The map of actual vegetation of Lake Gachang. Sn: *Salix nipponica*, Pa: *Phalaris arundinacea*, Pc: *Phragmites communis*, Cd: *Carex dimorpholepis*, Rp: *Robinia pseudoacacia*, W: Water, Ms: *Miscanthus sacchariflorus*, Pu: *Pueraria thunbergiana*, Pj: *Phragmites japonica*, Sk: *Salix koreensis*, R: Road.

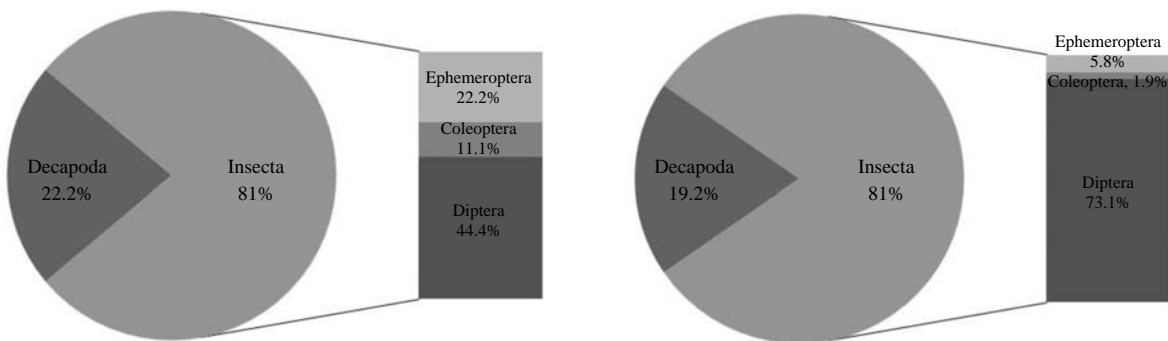


Fig. 7. The composition of species (left) and individuals (right) of macroinvertebrates in Lake Gachang.

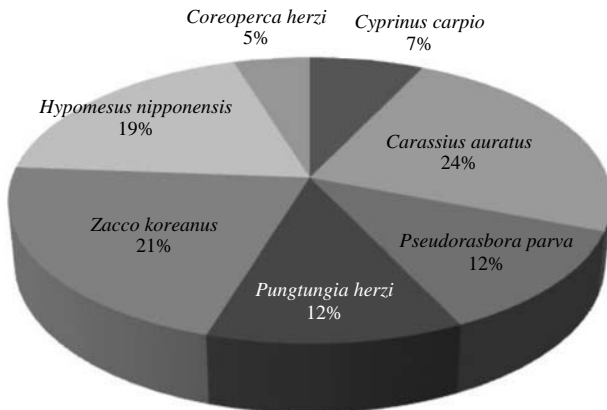


Fig. 8. Relative abundance (%) by family of fish in Lake Gachang.

auratus)가 10개체 채집되어 전체 출현 어류의 23.8%로 우점하였으며, 참갈겨니가 9개체 (*Zacco koreanus*, 21.4%)로 아우점종으로 출현하였다(Fig. 8). 한국 고유종으로는 참갈겨니 (*Zacco koreanus*)와 꺾지 (*Coreoperca herzi*) 2종이 채집되었으며 외래종은 출현하지 않았다. 이는 가창호가 하천의 상류지점에 위치하고 낮은 수온을 유지하여 물이 맑고 바위와 자갈이 많은 하천 중·상류에 주로 서식하는 참갈겨니, 꺾지 등이 주로 출현한 것으로 판단된다. 특히 참갈겨니의 경우, 과거에는 갈겨니로 분류하여 표기하였으나, 2005년부터 낙동강수계에서 서식하는 갈겨니는 참갈겨니 (*Zacco koreanus*)로 동정하여 구분하였으며 (낙동강수계관리위원회 2005), 가창호 유입천인 용계천 상류부와 가창호에서 주로 출현하였던 것으로 조사되었다(강과 금 2001; 대구지방환경청 2004).

본 조사 결과 상수원 호소로 이용되는 가창호는 비교적 유역면적이 작고 유역 내 오염원과 오염부하량은 크지 않았다. 유기물 오염도를 나타내는 COD의 경우, 연평균 농도가 호소환경기준으로 약간 좋음(II)에 해당하였으며, 호소의 영양상태를 나타내는 부영양화도 역시 중영양상태를 보였다. 그러나 가창호 유역은 임야로 인한 비점오염원이 차지하는 비율이 높고 호소 수변의 경사도가 평균 40도 이상으로 급경사를 이루고 있어 과거 2003년 태풍 매미와 같은 집중호우가 발생할 경우 외부 환경에 의해 오염원이 대량 유입되어 호소 수질에 직접적인 영향을 끼칠 수 있다. 특히 탁수가 발생하여 장기간 지속될 경우, 수생태계 내 일차생산자인 식물플랑크톤의 감소는 물론이고 상위영양단계인 동물플랑크톤과 어류 등 먹이사슬을 이루고 있는 생태계의 교란을 야기시킬 수 있을 것이다. 따라서 안전한 상수원을 공급하기 위한 호소수질관리뿐만 아니라 건강한 호소생태계를 유지하기 위한 노력도 필요할 것으로 사료된다.

적 요

2010년 2월부터 12월까지 상수원 호소인 가창호에 대한 수질 및 생물상을 조사하였다.

가창호 유역내 총 BOD 발생부하량은 생활계가 53%로 가장 많이 차지하였으며 토지계(27%), 축산계(16%) 순으로 나타났다. 가창호 유역내 총 TN, TP 발생부하량은 토지계가 각각 59%, 42%로 가장 많이 차지하였다. 가창호 유역내 총 BOD 배출부하량은 토지계가 61%의 높은 비율을 나타내었고 생활계(24%), 산업계(11%) 순으로 나타났다. TN, TP 배출 부하량은 모두 차지하는 비율이 75 이상으로 토지계가 높게 나타났다.

가창호 수질의 경우, 유기물 오염도는 COD의 연평균값이 3.5 mg L⁻¹로 호소환경기준으로 약간 좋음(II)을 나타내었으며, 부영양화도 지수로는 연평균 중영양 상태를 보여주었다. 조류발생정도는 3월과 9월에 다른 달에 비해 상대적으로 높은 값을 나타내었으나, 호소환경기준으로 좋음(Ib)을 나타내었다.

식물플랑크톤은 연중 규조류가 대부분 우점하였으나, 4월과 7월에 기타 편모조류가 우점하여 출현하였다. 그리고 8월에서부터 11월까지는 *Cyclotella* 속이 우점하여 출현하였다. 동물플랑크톤의 경우에는 소형 윤충류의 출현 종수가 다양한 것으로 나타났다.

2월에는 윤충류인 *Conochilus* sp., 3월~7월에는 윤충류인 *Keratella cochlearis*가 모두 우점하였고 특히 4월에는 윤충류가 49.8%의 높은 상대풍부도를 나타내었다. 11월에 요각류인 *Cyclops* sp.가 우점한 것을 제외하면 9월~12월 동안 윤충류인 *Polyarthra vulgaris*가 우점하였고 8월에는 요각류인 *Nauplii*가 우점하였다.

수생식물은 가창호 수변을 따라 다양한 군락이 나타났다. 주로 선버들군락과 물억새군락이 넓게 형성되어 있으며 도로 인접지역은 침 피복이 심하고 북쪽 다리 상류 쪽에는 달뿌리풀군락과 왕버들, 갈풀, 여뀌군락이 소규모로 분포하였다.

저서성대형무척추동물의 섭식기능군(FFG)을 조사한 결과, 조사지점 전체에서 GC(Gathering-Collector)와 SH(Shredder)가 조사되었으며, GC 분류군이 가장 높은 종 및 개체수 비율을 차지하는 것으로 조사되었다.

어류는 총 7종이 출현하였으며 잉어과 어류가 5종으로 가장 많이 출현하였다. 참갈겨니, 꺾지와 같이 물이 맑고 바위와 자갈이 많은 하천 중·상류에 서식하는 어종이 일부 채집되었는데 가창호의 경우 하천의 상류지점에 위치하고 낮은 수온을 유지하여 이들 어류가 서식 가능한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 낙동강수계관리위원회, 국립환경과학원 낙동강물환경연구소에서 수행한 환경기초조사사업의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 강영훈, 금지돈. 2001. 비슬산 생태계 조사 보고서-담수어류. 대구광역시 달성군. pp. 156-179.
- 국립환경과학원. 2007. 수계오염총량관리지침. 96pp.
- 국립환경과학원. 2010. 낙동강수계 호소환경 및 생태조사. pp. 155-186.
- 김범철, 김재욱, 전만식, 황순진. 1999. 소양호 동·식물플랑크톤의 계절변동. 한국육수학회지. 32:127-134.
- 김은경. 2007. 가창댐 수질 변화와 조류발생 분포 분석. 경북대학교 산업대학원. 55pp.
- 김익수, 강종언. 1993. 원색한국어류도감. 아카데미서적. 478pp.
- 김한순, 최재신, 김용재. 1998. 가창댐의 식물플랑크톤 군집의 동태. 한국육수학회지. 31:337-344.
- 김현우, 라공환, 정광석, 박종환, 허유정, 김상돈, 나정은, 정명화, 이학영. 2010. 국내 남서부지역 호수 및 저수지 생태계의 플랑크톤 동태 변화. 환경생물. 28:86-94.
- 낙동강수계관리위원회. 2005. 낙동강 수계의 어류생태 및 수질평가에 관한 연구. 65pp.
- 노태호, 전동준. 2004. 한국산 수서곤충류 섭식기능군 유형 및 군집 안정성 분석. 한국육수학회지. 37:137-148.
- 대구광역시. 2010. 2010 환경백서. pp. 223-358.
- 대구지방환경청. 2004. 호소생물상조사 보고서(가창댐, 보문호, 풍락지, 영천댐). 179pp.
- 변명섭, 박혜경, 정동일. 2006. 대형수생식물이 팔당호의 물질 수지에 미치는 영향. 한국육수학회지. 39:85-92.
- 원두희, 권순직, 전영철. 2005. 한국의 수서곤충. (주)생태조사단. 410pp.
- 윤일병. 1988. 한국동식물도감. 동물편(수서곤충류). 문교부. 850pp.
- 윤일병. 1995. 수서곤충검색도설. 정행사. 262pp.
- 이영주. 1995. 嘉昌댐 水質에 影響을 미치는 上流流域의 點 및 非點汚染源에 關한 研究. 嶺南大學校. 70pp.
- 임병진, 정원화, 변명섭, 전선옥. 2000. 식물체를 이용한 조류 증식억제 효과. 한국육수학회지. 33:136-144.
- 장봉기. 1996. 인공호에서의 강수와 저수율에 따른 수질변화. 순천향자연과학연구. 순천향대학교 기초과학연구소. 2:61-69.
- 최기철. 1991. 경북의 자연. 담수어편. 경상북도교육위원회. 408pp.
- 환경부. 2008. 전국오염원조사 보고서. 128pp.
- 환경부. 2009. 호소환경조사지침. 117pp.
- Aizaki M, A Otsuki, T Fukusima, T Kawai, M Hosomiand and K Muraoka. 1981. Application of modified Carlson's trophic state index to Japanese and its relationships to other parameters related to trophic stage. Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud. 23:13-31. (in Japanese)
- Aliotta G, MD Greca, P Monaco, G Pinto, A Pollio and L Previtiera. 1996. Potential allelochemicals from aquatic weeds: Their action on microalgae. pp. 243-254. In Allelopathy: Field observations and methodology (Narwal SS and P Tauro eds.). Scientific Publishers, Jodhpur.
- APHA. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater (21th edition). American Public Health Association, Washington, D.C.
- Forsberg C and SO Ryding. 1980. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes. Archiv. Fur Hydrobiologie. 89:189-207.
- Nelson JS. 1984. Fishes of the World. 2nd edition John Wiley & Sons, New York. 523pp.
- Park JK. 2003. Annual variation of fresh water quality in the Gachang Dam Reservoir. Korean Journal of Chemical Engineering 20:487-491.
- Sommer U, ZM Gliwicz, W Lampert and A Duncan. 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. Arch. Hydrobiol. 106:433-471.
- Stephen AF. 1887. The Lake as a Microcosm. Isis 91:681-705.

Manuscript Received: September 19, 2011

Revision Accepted: November 11, 2011

Responsible Editor: Yongsik Shin