

도암호의 수질과 어류군집 특성 연구

이상하 · 최재석^{1,*} · 이광열¹ · 장영수¹
임인수¹ · 허우명 · 김재구² · 김범철²

(삼척대학교 환경공학과, ¹강원대학교 생물학과, ²강원대학교 환경과학과)

A Study of Water Quality and Fish Community in Lake Doam. Lee, Sang-Ha, Jae-seok Choi^{1,*}, Kwang-yeol Lee¹, Young-su Jang¹, In-soo Lim¹, Woo-myung Heo, Jai-ku Kim² and Bomchul Kim² (Department of Environmental Engineering, Samcheok National University, Samcheok 245-711, Korea; ¹Department of Biology, ²Department of Environmental Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea)

Both fish community and water quality in Lake Doam were investigated from September 2004 to August 2005. The turbidity of Lake Doam located in the upper region of the Songchun River in the South River system, Korea was high whole year due to the effects of distributed non point source pollutions in the watersheds. During the experimental periods, mean concentration of chlorophyll-*a* in epilimnetic layer (0~5 m) was 18.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ and transparency ranged from 0.3 m to 2.4 m. Average TP and TN concentrations were 111 $\mu\text{g L}^{-1}$ and 4.1 mg L^{-1} , respectively. Lake was classified as eutrophic state based on the nutrient concentrations suggested by U.S. EPA (1976). Total number of fish collected in Lake Doam was 9,600 individuals in 26 species of 6 family. Both dominant and subdominant species in the lake were *P. herzi* (34.6%) and *Z. platypus* (22.5%), respectively. Occurrence of water column species was high at upper region of the lake, whereas benthic type of species highly appeared in downstream area. The different fish assemblage between upper and lower area would be considered as the difference of bottom substrate and concentrations of suspended solids. In addition high appearance of Comat type of fish that is hybrid between gold fish (*C. auratus*) and *C. auratus* was found in the lake. It was unclear the reasons that high proportion of mutant species appeared in the lake. More researches are required in this area in future.

Key words : Lake Doam, eutrophic state, fish community, pollutant barrier, hybrid

서 론

우리나라의 전체 강수량은 1,000~1,800 mm 정도이나 몬순기후의 영향으로 여름에 강수량이 집중되며, 대부분의 하천 경사가 급해 자연 그대로 이용 가능한 수자원은 매우 부족한 실정이다. 국내에는 약 18,000개의 크고 작은 인공호가 있으며, 이들 대부분은 관개용수, 수자원 관

리, 홍수조절, 여가활동 등과 같은 목적을 위해 건설되었다 (Watters, 1996). 그러나 자연하천에서 인공호로의 변형이 유기물 및 영양염류의 체류를 증가시키고, 수생태계 및 동·식물상에 큰 영향을 주고 있다는 것은 의심할 여지가 없다 (Naiman and Melillo, 1986; Johnston, 1995). 특히 강우시 발생하는 고탁수의 원인물질인 부유물질은 플랑크톤의 발생 및 부착성 어란의 폐사와 부화, 자어의 서식환경을 악화시켜 결국에는 하천 생태계 전반에 커다

* Corresponding author: Tel: (033) 250-8405, Fax: (033) 251-3990, E-mail: gobiobotia@hanmail.net

란 변화를 초래한다(홍 등, 1999).

도암호는 강원도 평창군 도암면 수하리에 위치하며, 남한강 상류인 송천을 막아 유역 변경식 수력 발전용으로 건설된 인공호수이다. 도암호는 유역면적이 144.9 km², 총저수량이 5,100 m³, 유효저수량이 4,000 m³, 수리학적 체류시간이 0.39년, 평균수심이 26 m인 비교적 소형 인공호수이다(김 등, 1995b). 도암호 유역에는 약 70여개의 소규모 목장, 스키장, 골프장 및 콘도 등이 존재하고 있어 많은 오염원들이 유입되고 있는 실정이다. 특히 1990년대 이후 계속 증가한 고랭지 채소밭 등 수많은 오염원으로부터 유입되는 다량의 오염부하량 때문에 상류수계임에도 불구하고 담수 초기부터 부영양화 현상을 보여왔다(김 등, 1995a).

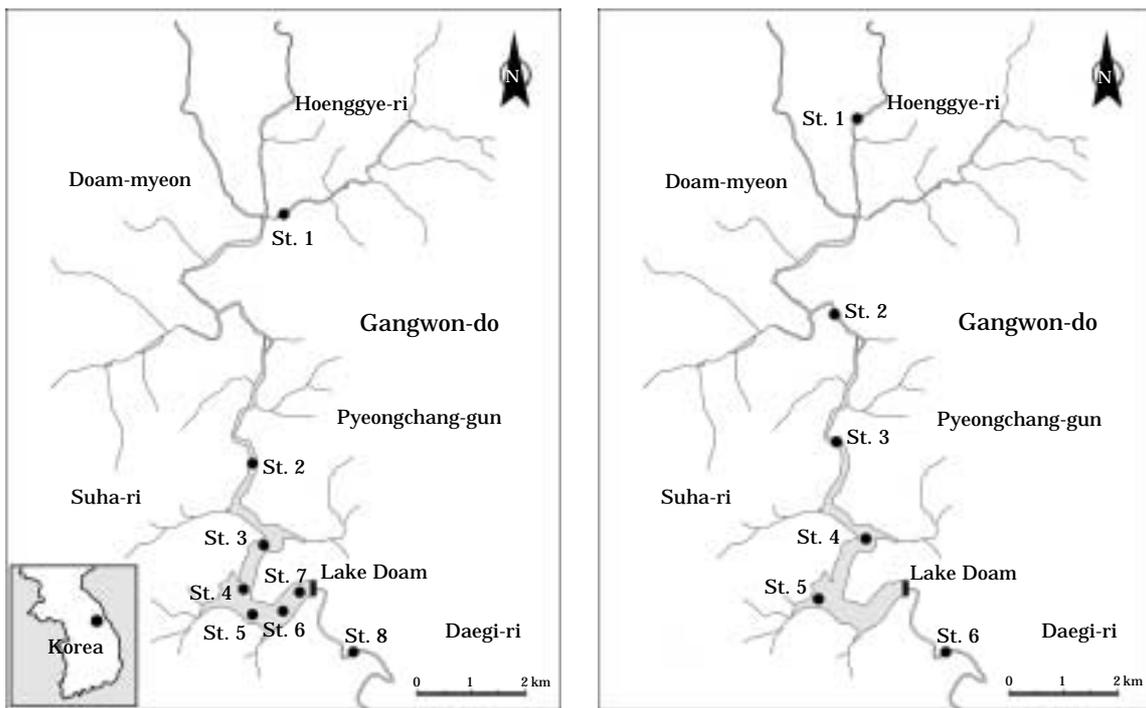
도암호의 수질에 관한 연구는 도암호의 부영양화 실태(김 등, 1995b), 송천상류수계의 수질 및 오염부하량 분포에 관한 연구(허 등, 1995) 및 송천유역의 수질환경특성 및 효율적 유역관리(허 등, 2001)가 있으며, 생태계에 관한 연구는 한국전력공사 보고서인 강릉 수력댐 및 발전소 주변 생태환경 조사(1994)와 한수원의 도암호 및 남대천의 독성남조류 조사(2001), 도암호 하류 송천수계 수질 및 육수생태계 조사(2002)가 있다. 이와 같이 대부분의 연구는 수질관리 측면에서 이루어졌으며, 생태계에 관

한 연구는 단편적으로 이루어졌거나 매우 미비한 실정이다. 더욱이 1994년과 2002년도의 육수생태계조사 보고의 경우 수계생태계(부착조류, 저서성대형무척추동물, 어류)를 조사하였으나, 이는 호내를 제외한 유입하천과 유출하천을 중심으로 이루어져 호내 조사는 전무한 실정이다. 따라서 도암호 내의 생태계는 물론, 탁수 및 부영양화로 인한 호내 및 하천생태계의 변화는 더욱더 파악하기 어려웠으리라 생각된다. 본 연구에서는 도암호 호내를 중심으로 상류하천과 하류하천의 물리화학적 환경요인과 생태계의 특성을 파악하여, 추후 수환경에 변화에 따른 장기적인 생태계변화에 대한 연구의 기초자료로 제공하고 자 한다.

재료 및 방법

1. 수질조사

수질조사는 2004년 9월부터 2005년 5월까지 결빙시기를 제외하고 총 8회 실시하였다. 조사지점은 도암호 유입하천인 송천 상류 1개 지점, 호내 6개 지점 및 댐 하류의 하천 1개 지점을 선정하였다(Fig. 1a). 조사지점 및 시기는 다음과 같다.



(a) Water sampling

(b) Fish sampling

Fig. 1. Map showing the sampling site in Lake Doam.

- 지점 1: 평창군 도암면 횡계리 도암
 지점 2: 평창군 도암면 수하리 도암호 유입부
 지점 3: 평창군 도암면 수하리 피골(호내지점)
 지점 4: 평창군 도암면 수하리 피골 0.5 km 하방
 (호내지점)
 지점 5: 평창군 도암면 수하리 댐앞 1 km 상방
 (호내지점)
 지점 6: 평창군 도암면 수하리 댐앞 0.5 km 상방
 (호내지점)
 지점 7: 평창군 도암면 수하리 댐앞(호내지점)
 지점 8: 강릉시 왕산면 대기리 바람부리(댐하류)

- 1차 조사 : 2004년 9월 24일
 2차 조사 : 2004년 10월 13일
 3차 조사 : 2004년 11월 18일
 4차 조사 : 2004년 12월 16일
 5차 조사 : 2005년 4월 14일
 6차 조사 : 2005년 4월 29일
 7차 조사 : 2005년 5월 13일
 8차 조사 : 2005년 5월 25일

호수 시료는 지점 7에서 수심 0, 2, 5, 10, 20, 30 및 40 m에서 PVC Van Dorn 채수기를 이용하여 채수하였으며, 그 외 지점은 표층에서 채수하였다. 시료는 실험실로 운반 즉시 GF/C filter paper로 여과하였으며, 여과지는 냉동보관 하였다가 chlorophyll-*a* 농도 측정에 사용하였다. Chl. *a* 농도는 Lorenzen (1967)의 방법을 사용하여 계산하였다. 여과액은 용존형태의 인(DIP) 및 질소분석($\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{HO}_3\text{-N}$)에 사용하였으며 총인(TP) 및 총질소(TN) 분석용 시료는 여과하지 않은 시료를 사용하였다. 무기인(DIP)은 Standard Methods (APHA, 1992)의 ascorbic acid법으로 분석하였으며, 총인(TP)은 시료 250 mL를 냉장보관 하였다가 Standard Methods의 persulfate digestion과 ascorbic acid법에 따라 측정하였다. 질소는 cadmium 환원법으로 분석하였다(BRAN+LUEBBE, Auto-Analyzer3). COD는 과망간산칼륨법(수질오염 공정시험 방법)으로, 투명도는 30 cm 투명도판을 사용하여 측정하였으며, 부유물질(SS)은 여과후 중량법으로 측정하였다. 수온(수온 온도계), 용존산소(Azide modification), 전기전도도(YSI 30) 및 pH(Mettler Toledo, MP120)는 현장에서 측정하였다.

2. 어류조사

어류조사는 동절기를 제외하고 2005년 4월부터 8월까지

지 3회에 걸쳐 실시하였으며, 조사지점은 도암호를 중심으로 유입하천인 송천 상류 3개 지점, 호내의 2개 지점, 그리고 댐 하류 1개 지점을 포함하여 총 6개 지점을 선정하였다(Fig. 1b). 조사지점 및 시기는 다음과 같다.

- 지점 1: 평창군 도암면 횡계리 의야지
 지점 2: 평창군 도암면 수하리
 지점 3: 평창군 도암면 수하리 도암호 유입부
 지점 4: 평창군 도암면 수하리 피골(호내지점)
 지점 5: 평창군 도암면 수하리 댐앞 1.5 km 상방
 (호내지점)
 지점 6: 강릉시 왕산면 대기리 바람부리(댐하류)

- 1차 조사 : 2005년 4월 9일~4월 23일
 2차 조사 : 2005년 5월 20일~5월 30일
 3차 조사 : 2005년 8월 26일~8월 31일

어류표본의 채집은 호수내의 지점에서는 삼각망(망목 5×5 mm, 20×20 mm)을 48시간 정치한 후 어류를 수거하였으며, 유입하천 및 댐 하류의 지점에서는 투망(망목 7×7 mm: 14회)과 족대(망목 4×4 mm: 40분)를 사용하였다. 채집된 어류는 현장에서 10% 포르말린용액으로 고정된 후 실험실로 운반하여 동정·분류하였고, 종별로 전장과 습중량을 측정하였다. 어류의 동정에는 국내에서 지금까지 발표된 검색표(정, 1977; 최 등, 1990; 김과 강, 1993; 김, 1997; 김과 박, 2002)를 이용하였으며, 분류체계는 Nelson (1994)을 따랐다. 하상구조는 Cummins (1962)에 따라 분류하였다.

결과 및 고찰

1. 수질

1) 기초수질

조사기간 동안 수온은 $4.0 \sim 22.5^\circ\text{C}$ 이었으며, 8차 조사시 St. 8에서 22.5°C 로 높았고, 5차 조사시 St. 7의 수심 30 m와 40 m에서 4°C 로 낮았다(Table 1). 수온의 계절적 수직 분포는 1차 조사시 수심 5 m 부근에서 수온약층이 강하게 형성되었으나 4차 조사에서는 수층혼합(turn-over)으로 인해 전 수층이 고르게 혼합되었다(Fig. 2a). 이는 몬순기후에 속하는 호수들의 일반적인 현상으로 본 호에서도 나타났다(Horne and Goldman, 1994). pH는 $6.5 \sim 9.6$ 이었으며, 8차 조사시 St. 5에서 9.6으로 높았고, 3차 조사시 St. 6의 수심 5 m에서 6.5로 낮았다(Table 1). 이는 계절에 따른 식물플랑크톤의 광합성 때문인 것으로

Table 1. A statistical summary of physical and chemical parameters (average date of all site).

	Mean	SD	SE	Range	N
Transparency (m)	0.8	0.5	0.0	0.3~2.4	116
Temperature (°C)	10.5	4.9	0.4	4.0~22.5	115
pH	7.4	0.8	0.1	6.5~9.6	132
Conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	122.1	21.4	1.9	67.4~211.0	132
Turbidity (NTU)	24.8	25.4	2.2	1.6~130.0	131
DO (mg L^{-1})	8.9	2.6	0.2	1.0~12.6	130
BOD (mg L^{-1})	1.0	0.8	0.1	0.1~4.5	116
SS (mg L^{-1})	16.9	16.4	1.4	2.8~90.4	115
COD (mg L^{-1})	3.4	1.4	0.1	0.9~6.6	130
TN (mg L^{-1})	4.1	0.9	0.1	3.1~8.0	130
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg L^{-1})	3.6	0.8	0.1	2.1~7.2	130
$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg L^{-1})	0.036	0.041	0.004	0.000~0.287	130
TP ($\mu\text{g L}^{-1}$)	111	91	8	23~475	130
DIP ($\mu\text{g L}^{-1}$)	35	19	2	2~85	130
DOC (mg L^{-1})	2.0	1.0	0.1	0.9~7.1	129
Chl. <i>a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)	6.3	9.1	0.9	0.0~38.7	110

SD: Standard Deviation SE: Standard Error ($\text{SD}/\text{N}^{0.5}$)
N: Numbers sampled

보인다. 투명도는 0.3~2.4 m였으며, 8차 조사시 St. 5와 6에서 2.4 m로 높았고, 3차 조사시 St. 2에서 0.3 m로 낮았다 (Table 1). 투명도는 호내 유입부인 St. 2에서 댐 지점 St. 7로 갈수록 높았다 (Fig. 3). U.S. EPA (1976)와 Carlson (1977)에 따르면 투명도가 2 m 미만인 경우 부영양호라고 정의하고 있으며, 도암호의 경우 투명도는 평균 0.9 m로 부영양호에 해당된다고 볼 수 있다. 전기전도도는 67.4~211.0 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 이었으며, 3차 조사시 St. 1에서 211 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 로 높았고, 1차 조사시 St. 7의 수심 10 m에서 67.4 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 로 낮았다 (Table 1). 탁도는 1.6~130.0 NTU이었으며, 1차 조사시 St. 7의 20 m에서 130.0 NTU으로 높았고, 8차 조사시 St. 6에서 1.6 NTU로 낮았다 (Table 1). 탁도의 계절적 수직 분포는 2.0~130.0 NTU로 1차와 2차 조사시 St. 7의 수심 20 m 층에서 각각 130.0 NTU 및 92.0 NTU로 높았으며, 3차 조사시 수심 30 m에서 69.0 NTU로 높았다 (Fig. 2b). 이러한 현상은 선행된 김 등 (1995b)의 보고에서도 9월에 장마로 인해 20~30 m 부근에서 90 NTU의 높은 탁도층이 관찰된다고 하였다. 또한 소양호와 안동호에서도 여름강우시기에 유입하천으로부터 탁수가 호수내 중층으로 이동하고 있음을 보고하였다 (허 등, 1998; 허 등, 2000). 이는 도암호 유역에 대규모 축산단지와 고령지 채소, 스키장 등에서 큰 우기 시 다량의 무기 현탁물이 일시에 호수의 중층으로 유입

되었기 때문으로 사료된다. 이렇게 중층으로 유입된 무기 현탁물은 댐 앞에서 대부분 침강하여 댐 하류지점인 St. 8에서 낮게 나타난 것으로 사료된다. DO는 1.0~12.6 mg L^{-1} 이었으며, 8차 조사시 St. 6에서 12.6 mg L^{-1} 으로 높았고, 2차조사시 St. 7의 수심 40 m에서 1.0 mg L^{-1} 으로 낮았다. 계절적 수직분포에서 1차, 2차 및 3차 조사시 심층에서 DO의 농도는 매우 낮았으며, 이는 다량의 유기물을 함유한 유입수가 중층으로 흘러들어 분해되는 과정에서 많은 양의 DO를 소모했을 가능성과 수온약층 형성으로 인한 상·하 수층의 정체로 심층의 산소공급부족, 저질의 유기물 분해과정에서의 산소소모로 추정된다 (Fig. 2c).

2) 유기물

조사기간 동안 BOD, COD 및 DOC는 각각 0.1~4.5 mg L^{-1} , 0.9~6.6 mg L^{-1} 및 0.9~7.1 mg L^{-1} 이었다 (Table 1). BOD는 8차 조사시 St. 2에서 4.5 mg L^{-1} 로 높았으며, COD는 4차 조사시 St. 7의 수심 40 m에서 6.6 mg L^{-1} 으로 높았다. 또한 DOC는 1차 조사시 St. 7의 수심 20 m에서 7.1 mg L^{-1} 로 높았던 것을 제외하고는 큰 변화가 없었다. DOC의 계절적 수직분포는 탁도의 분포와 잘 일치하였으며, 이를 통하여 유기물의 근원이 외부기원임을 알 수 있다 (Fig. 2d). SS와 Chl. *a*는 조사기간 동안 각각 2.8~90.4 mg L^{-1} 및 0.0~38.7 mg L^{-1} 이었다 (Table 1). SS는 2차 조사시 St. 1에서 90.4 mg L^{-1} 로 높았으며, 유입하천에서 호내를 거쳐 댐 하류로 흘러갈수록 SS의 농도는 감소하였다. 이는 도암호 유역에서 유입된 침강성 입자들의 침강에 따른 것으로 도암호가 하류지역의 부하량 유입에 대한 완충지대 역할을 하는 것으로 사료된다. 또한 SS와 Chl. *a*의 계절적 수직분포 각각 2.8~72.0 mg L^{-1} 및 0.0~30.4 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 나타났으며, SS는 탁도의 계절적 수직분포와 유사하게 2차와 3차 조사시 수심 20 m에서 56.0~72.0 mg L^{-1} 으로 높았다 (Fig. 2e, 2f). Chl. *a*는 1차 조사시 St. 7의 0 m에서 11.6 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이었으며, 7차와 8차 조사시 수심 0~5 m에서 27.9~30.4 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 높았다. U.S. EPA (1976)에 의하면 Chl. *a*가 10 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이상이면 부영양호로 규정하고 있어 이에 따르면, 도암호는 Chl. *a*가 0~5 m에서 평균이 18.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ 으로 부영양호로 판단된다.

3) 영양염류

조사기간 동안 TP과 DIP는 각각 23~475 $\mu\text{g L}^{-1}$ 및 2~85 $\mu\text{g L}^{-1}$ 였다 (Table 1). TP는 St. 1과 8에서 각각 51~156 $\mu\text{g L}^{-1}$ 및 34~133 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이었으며, 호내를 거쳐 St. 8로 갈수록 감소하였다. DIP는 St. 1과 8에서 각각 29~58 $\mu\text{g L}^{-1}$ 및 4~48 $\mu\text{g L}^{-1}$ 으로 TP와 유사한 경향을 보였다. TP과 DIP의 계절적 수직분포는 1차와 2차 조사

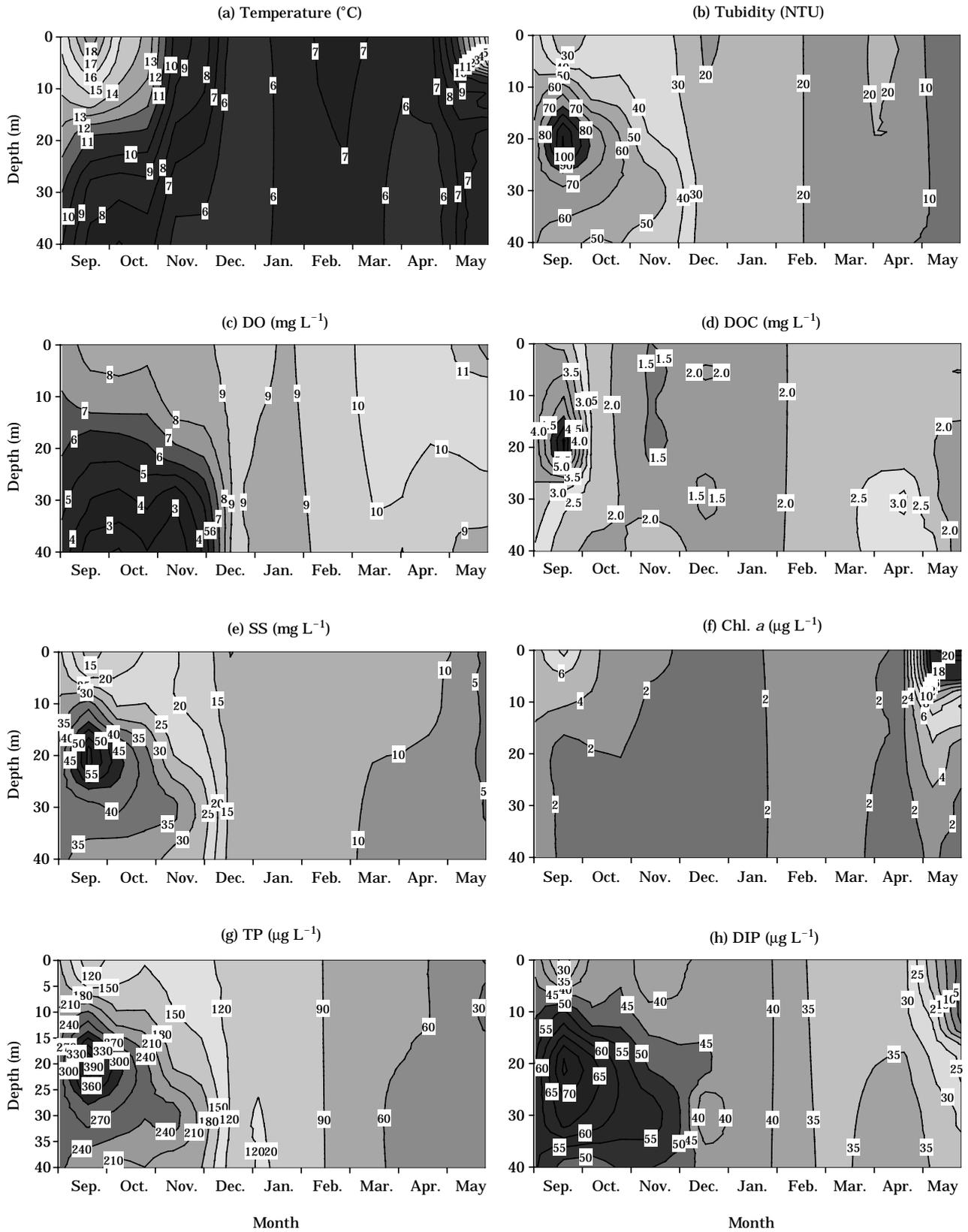


Fig. 2. Seasonal and stational variation of quality in Lake doam (St. 7).

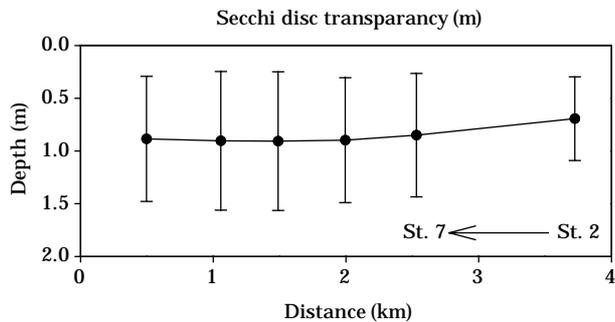


Fig. 3. Variation of Secchi disc transparency at each site (St. 2~St. 7).

시 수심 20 m에서 각각 $475 \mu\text{g L}^{-1}$ 및 $366 \mu\text{g L}^{-1}$ 와 $82 \mu\text{g L}^{-1}$ 및 $75 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 높게 나타났으며, 3차 조사시 30 m 부근에서 각각 $305 \mu\text{g L}^{-1}$ 및 $65 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 높게 나타났다 (Fig. 2g, 2h). 김 등 (1995b)은 인의 분포가 탁도 분포와 같이 중층에서 증가한다고 하였으며 이는 큰 우기에 유역으로부터 탁류와 함께 중층으로 유입되었을 것이라 하였다. 또한 허 등 (1999)은 강우시 유입수량 증가에 따라 비점오염원으로부터 오염물이 일시에 호수로 유입된다고 하였으며, 김 등 (2001)도 하계 집중강우와 이로 인한 유역으로부터 인 유출 증가는 국내 대부분의 호수에서 나타난다고 하였다. 도암호는 유역내 산재해 있는 축산농가와 고랭지 채소 밭과 같은 비점오염원에 따른 영향이 클 것으로 생각되며, 이에 따라 도암호의 수질을 관리하기 위해 유역내의 비점오염원 관리가 절대적으로 필요할 것으로 사료된다. 조사기간 동안 TN은 $3.1 \sim 8.0 \text{ mg L}^{-1}$ 이었으며, 3차 조사시 St. 1에서 8.0 mg L^{-1} 으로 높았고, 1차 조사시 St. 6의 수심 2 m에서 3.1 mg L^{-1} 로 낮았다. $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 조사기간 동안 $0.000 \sim 0.287 \text{ mg L}^{-1}$ 이었으며, 7차 조사시 St. 4에서 0.287 mg L^{-1} 로 높았다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 $2.1 \sim 7.2 \text{ mg L}^{-1}$ 이었으며, 3차 조사시 St. 6의 수심 20 m에서 7.2 mg L^{-1} 로 높았다. TN, $\text{NH}_3\text{-N}$ 및 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 전 수층에서 계절적 수직분포는 유사하였다. Forsberg and Ryding (1980)의 영양단계 분류에 따르면 TP과 TN 농도 각각 $25 \mu\text{g L}^{-1}$ 및 0.6 mg L^{-1} 를 부영양호로 규정하고 있어 이 기준에 따르면 도암호의 경우 총인과 총질소의 평균이 각각 평균 $111 \mu\text{g L}^{-1}$ 및 4.1 mg L^{-1} 로 부영양호 수준을 초과한 것으로 사료된다.

2. 어류

1) 출현종 및 종조성

도암호의 조사 결과 출현한 어류는 총 6과 26종 9,600

개체였다. 각 조사지점별로 출현종은 유입하천지점인 St. 1, St. 2 및 St. 3에서 각각 2과 7종, 2과 11종 및 3과 15종이었으며, 호내지점 St. 4와 St. 5에서 각각 2과 9종 및 5과 19종이었다. 또한 댐 하류하천 지점인 St. 6에서 6과 16종이었다 (Table 2). 이와 같이 유입하천보다 호내 지점에서 높은 종조성을 보였으며, 이는 호내 COD, DOC, 탁도 및 영양염류 (TN, TP)가 유입하천보다 낮은 것과 도암호로 직접 유입되는 소지류와 호가 만나는 부분에서 적은면적이기는 하나 호내 일부지역에서 깨끗한 수체의 영향이라 사료된다. 따라서 이러한 지역에서 소수개체이지만 돌밑에 서식하는 통가리 (*Liobagrus andersoni*), 미유기 (*Silurus microdorsalis*), 새코미꾸리 (*Koreocobitis rotundicaudata*), 그리고 하천의 상류에 서식하는 종으로 알려진 버들개 (*Rhynchocypris lagowskii*), 버들치 (*Rhynchocypris oxycephalus*), 금강모치 (*Rhynchocypris kungangensis*), 갈겨니 (*Zacco temminckii*), 어름치 (*Hemibarbus mylodon*) 등이 출현한 것으로 사료된다. 또한 St. 6에서 비교적 많은 종들이 출현하였는데, 이는 도암호가 송천수계에서 오염을 감소시키는 완충지대의 역할을 수행함으로써 수질조사에서와 같이 본 지점의 탁도 및 SS 등 교란요인을 감소시키기 때문인 것으로 사료된다.

한국고유종은 천연기념물 제259호로 지정된 어름치 (*H. mylodon*)와 멸종위기 야생 동·식물 II급인 목납자루 (*Acheilognathus signifer*)을 포함하여 가는돌고기 (*Pseudopungtungia tenuicarpa*), 쉬리 (*Coreoleuciscus splendidus*), 돌마자 (*Microphysogobio yaluensis*), 미유기 (*S. microdorsalis*), 통가리 (*L. andersoni*) 등 모두 11종 (39.3%)으로 나타났으며 이 중 호수 내에서 출현한 고유종은 7종 (25.0%)이었다. 또한 본 조사에서 출현한 26종 중 잉어과 (Cyprinidae)가 17종 (65.4%)으로 가장 많았고 미꾸리과 (Cobitidae) 5종 (19.2%), 그리고 나머지 4개과의 어류들이 각각 1종 (3.8%)씩 출현하였다. 이와 같이 잉어과 (Cyprinidae)와 미꾸리과 (Cobitidae)에 속하는 어류가 우세하게 분포하는 것은 우리나라 서·남해로 유입되는 하천의 담수어류상의 특징과 잘 일치하고 있다 (전, 1980). 출현종 중 일차담수어는 24종 (92.3%), 주연성 담수어는 2종 (7.6%)이었다. 특히 국외로부터 도입된 종은 호내 지점에선 채집되지 않았으며, 지점 6 (댐 하류)에서 무지개송어 (*Onchorhynchus mykiss*) 2개체만이 채집되었다. 총 출현한 26종 중 개체수 구성비가 가장 높은 종은 돌고기 (*Pungtungia herzi*)로 34.6% (3,318개체)를 차지하고 있었고, 다음은 피라미 (*Zacco platypus*) 22.5% (2,160개체), 참붕어 (*Pseudorasbora parva*) 9.4% (906개체), 참마자 (*H. longirostris*) 6.7% (647개체), 새미 (*Ladislavia*

Table 2. List and individual number of fishes in Lake Doam.

Species	Site						Total	RA	Remarks
	1	2	3	4	5	6			
Cyprinidae									
<i>Carassius auratus</i>			1	232	106		339	3.5	Pr
<i>Carassius auratus</i> (Gold-type)				1	6		7	0.1	Pr
<i>Carassius auratus</i> (Hybrid-type)				57	26		83	0.9	Pr
<i>Acheilognathus signifer</i>						1	1	0.0	Pr, E
<i>Pseudorasbora parva</i>			6	36	862	2	906	9.4	Pr
<i>Pungtungia herzi</i>		1	97	288	2,882	50	3,318	34.6	Pr
<i>Pseudopungtungia tenuicarpa</i>						1	1	0.0	Pr, E
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>			8				8	0.1	Pr, E
<i>Ladislavia tazanowskii</i>	48	124	5		356	2	535	5.6	Pr
<i>Hemibarbus longirostris</i>			22	187	437	1	647	6.7	Pr
<i>Hemibarbus mylodon</i>			9	1			10	0.1	Pr, E
<i>Pseudogobio esocinus</i>		3	11	1	5		20	0.2	Pr
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	2	3	1				6	0.1	Pr, E
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	3	2			13	17	35	0.4	Pr, E
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>					3		3	0.0	Pr
<i>Rhynchocypris lagowskii</i>					9		9	0.1	Pr
<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	233	122	70		76	3	504	5.2	Pr, E
<i>Zacco temminckii</i>	1	1	37	6	70	20	135	1.4	Pr
<i>Zacco platypus</i>		15	209	904	977	55	2,160	22.5	Pr
Cobitidae									
<i>Orthrias nudus</i>	47	22			3		72	0.7	Pr
<i>Lefua costata</i>	4		1				5	0.0	Pr
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>					9		9	0.1	Pr
<i>Iksookimia koreensis</i>		44	7		48	46	145	1.5	Pr, E
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>		1			163	11	175	1.8	Pr, E
Siluridae									
<i>Silurus microdorsalis</i>					9	2	11	0.1	Pr, E
Amblycipitidae									
<i>Liobagrus andersoni</i>					1	1	2	0.0	Pr, E
Osmeridae									
<i>Hypomesus olidus</i>			2	24	411	15	452	4.7	Ph
Salmonidae									
<i>Onchorhynchus mykiss</i>						2	2	0.0	Ph
Family	2	2	3	2	5	6	6		
Species	7	11	15	9	19	16	26		
No. individuals	338	338	486	1,737	6,472	229	9,600		

E: Korean endemic species, Pr: Primary freshwater, Ph: Peripheral freshwater, RA: relative abundance

tazanowskii) 5.6% (535개체) 등의 순으로 나타났다 (Fig. 4). 이와 같이 하천에 주로 서식하는 어종으로 알려진 돌고기 (*P. herzi*)가 우점종으로 출현한 것은 호수 환경에 잘 적응한 결과라 판단된다. 더욱이 본 호수의 경우 담수 초기부터 부영양상태를 보였다고 김 등 (1995b)은 보고 하였으며, 본 조사에서도 부영양상태로 나타났다. 그러므로 본 종은 하천에서 호수로의 물리적인 환경변화와 부영양화 등에 비교적 내성이 강한 종으로 생각된다. 아우점종으로 나타난 피라미 (*Z. platypus*)도 주변 환경에 대

한 내성이 강하여 환경변화에 따라 개체수가 증가하는 것으로 알려져 있어 (김과 김, 1975), 본 조사의 결과와 일치하고 있다. 또한 개체수의 풍부도가 0.05% (5개체) 이하로 희소하게 출현한 종은 묵납자루 (*A. signifer*), 기는돌고기 (*P. tenuicarpa*), 버들치 (*R. oxycephalus*), 쌀미꾸리 (*Lefua costata*), 통가리 (*L. andersoni*) 및 무지개송어 (*O. mykiss*)로 모두 6종이었다. 이들 어종들 중 쌀미꾸리 (*L. costata*)를 제외하고 나머지 어종들은 하천성이거나 탁수와 같은 오염에 내성이 매우 약한 종으로 알려져 있다.

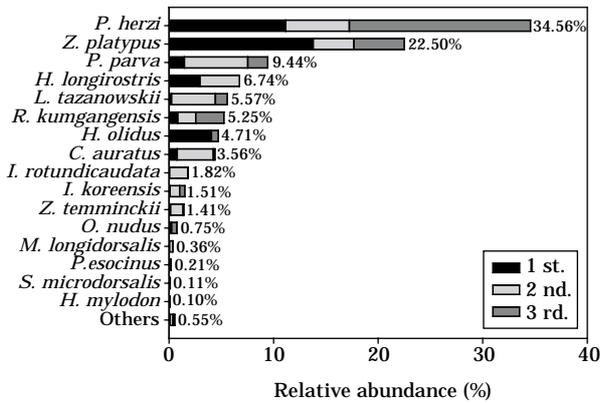


Fig. 4. Relative abundance of fish species collected at Lake Doam.

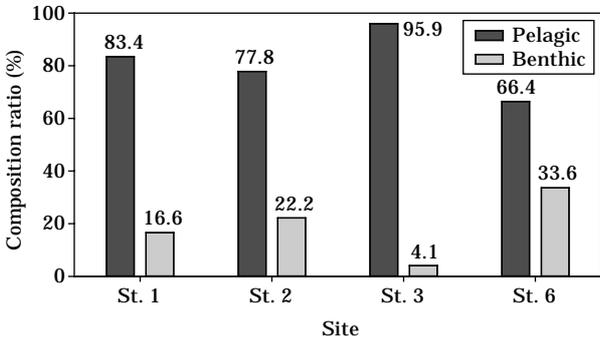


Fig. 5. Fish composition of pelagic and benthic species in the sampling site.

수환경 특성에 따른 어류의 영향을 파악하기 위하여 본 지역에 분포하는 어류를 중심으로 표층 및 중층에서 유영하며 생활하는 유영성 (Pelagic) 어종과 저서성 (Benthic) 어종의 출현 비율을 비교하였다 (Fig. 5). 호내 유입 부인 지점 3에서는 부유성 어종이 95.9% (11종)으로 가장 우세하게 나타났으며, 반면 저서성 어종은 4.1% (4종)으로 가장 낮았다. 한강유역환경청 (2003)의 보고에 따르면 부유성 어종비가 높은 것은 탁수 및 교란요인으로 인하여 저서성 어종이 감소하고 부유성 어종의 비가 증가한다고 하였다. 도암호의 경우 주변의 고령지 채소밭과 같은 비점오염원에 의한, 강우시 상류로부터 유입되는 고농도의 탁수와 하상구조가 90% 정도 모래로 이루어져 있어 저서성 어종의 서식에 영향을 주었을 것으로 사료된다. 이와 반대로 지점 6에서 저서성 어종의 비율이 33.6%로 높게 나타났는데, 이는 도암호 상류에서 유입된 침강성 입자들이 댐 앞 지점까지 도달 하면서 대부분 침강하여 댐하류인 지점 6에는 영향이 적으며 하상구조가 큰돌:

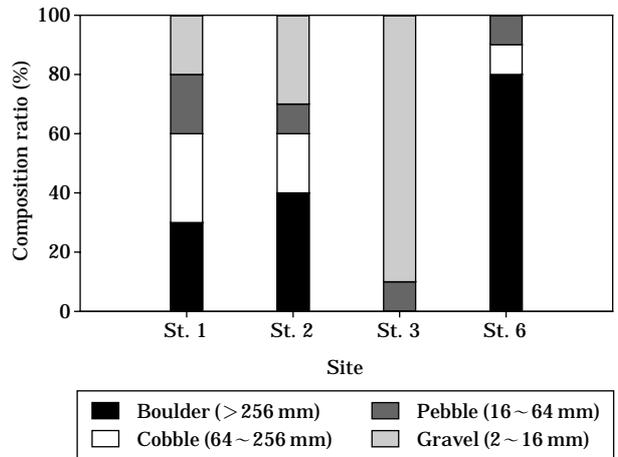


Fig. 6. Substrate composition of 4 sites in Lake Doam.

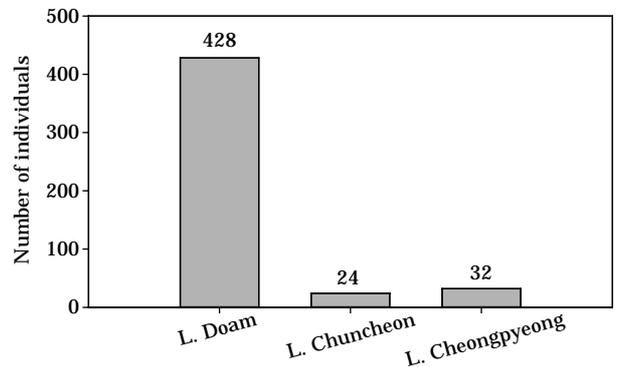


Fig. 7. Analysis of *C. auratus* collected at three lakes.

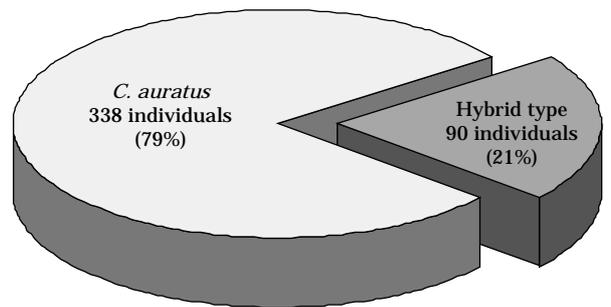


Fig. 8. Hybrid type of *C. auratus* collected at Lake Doam. The total number of individual observed was 428.

작은돌:자갈의 비율이 8:1:1로 저서성 어종이 서식하기에 알맞기 때문인 것으로 판단된다 (Fig. 6).

도암호의 어류상의 특징은 다른 수계에 위치한 인공호보다 상류부에 위치함에도 불구하고 오염에 대한 내성이

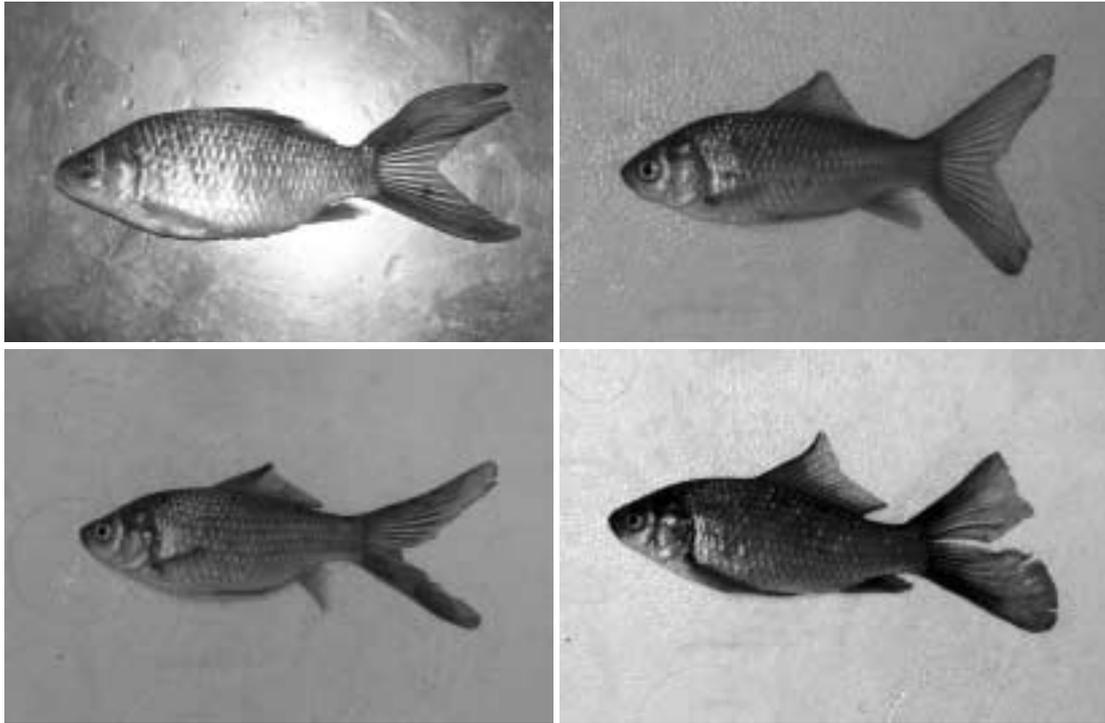


Fig. 9. The photographs of *C. auratus* (Hybrid type).

강한 붕어 (*C. auratus*)가 많이 채집되었다. 춘천호(최, 2005b)와 청평호(최, 2005a)의 경우 하천의 중류역에 위치한 인공호임에도 불구하고 붕어 (*C. auratus*)의 출현 양상은 각각 24개체 (0.3%), 32개체 (0.7%)를 보인 반면에 본 호에서는 428개체 (4.5%)로 매우 높았다 (Fig. 7). 이는 수환경, 즉 영양염류 및 탁수 등과 밀접한 관련이 있을 것으로 생각되며 추후 지속적인 연구가 필요하다고 사료된다. 또한 주목할 만한 현상은 인근의 골프장 또는 리조트에서 유입된 것으로 보이는 Comat (Gold fish)이라는 붕어 (*C. auratus*)의 한 품종과 교잡된 붕어 (*C. auratus*-Hybrid type)가 개체군 내에서 비교적 높은 비율인 21.0% (90개체)로 나타난 것이다 (Figs. 8, 9). 또한 교잡붕어 (*C. auratus*-Hybrid type)의 비율은 지느러미, 채색 및 혈액 등의 이상 유무를 자세히 검토한다면 더 높아질 것으로 예상된다. 한편 이러한 현상은 매우 드문 현상으로 빠른 시일내, 형태학적, 육수생태학적, 유전학적 등, 원인 분석에 대한 세밀한 연구가 이루어져야 될 것으로 사료된다.

2) 어류상의 변화

도암호에 대한 과거 어류상 조사는 송천 상류역을 중심으로 이루어진 강릉 수력댐 및 발전소 주변 생태환경

조사(1994)와 도암댐 하류지역을 조사한 도암호 하류 송천수계 수질 및 육수생태계 조사(2002)가 있다. 1994년과 2002년 조사에서는 각각 3과 15종 및 6과 22종이 확인되었으나 본 조사에서는 총 6과 26종이 확인되었다. 본 조사에서 처음 출현한 어종들을 살펴보면 버들치 (*R. oxycephalus*), 버들개 (*R. lagowskii*), 쌀미꾸리 (*L. costata*), 그리고 무지개송어 (*O. mykiss*) 등 4종이 확인되었다 (Table 3). 본 조사에서 출현한 버들치 (*R. oxycephalus*), 버들개 (*R. lagowskii*)는 산간계류의 상류하천에 서식하는 것으로 알려졌으며, 이 종들의 출현은 호내로 유입되는 소지류의 영향인 것으로 사료된다. 특히 버들개 (*R. lagowskii*)는 주로 동해안으로 유입되는 하천에 분포하는 것으로 알려져 있으나(김, 1997) 서·남해로 유입되는 하천에서도 일부 분포하고 있다고 양 (1973)과 전 (1989, 1998)이 보고한 바 있다.

위에서 언급한 호내의 붕어류 (*C. auratus*-Hybrid type)의 출현은 매우 주목할 만하다. 붕어류 (*C. auratus*-Hybrid type)는 도암호 상류지역에 위치하고 있는 골프장 또는 리조트의 저수지로부터 금붕어의 일종인 Comat (Gold fish : *C. auratus*)라는 종이 유입됨으로써 기존의 붕어들과 교잡된 것으로 사료된다. 또한 교잡붕어 (*C. auratus*-Hybrid type)의 출현 비율이 전체 붕어들 중 21.0%를 차

Table 3. Comparison of previous and this investigations on the fish communities in Lake Doam.

Species	1994 (inflow)	2002 (outflow)	Present study
Cyprinidae			
<i>Carassius auratus</i>		●	●
<i>Acheilognathus signifer</i>		●	●
<i>Pseudorasbora parva</i>		●	●
<i>Pungtungia herzi</i>	●	●	●
<i>Pseudopungtungia tenuicorpus</i>	●	●	●
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	●	●	●
<i>Ladislavia tazanowskii</i>	●	●	●
<i>Hemibarbus longirostris</i>	●	●	●
<i>Hemibarbus mylodon</i>		●	●
<i>Pseudogobio esocinus</i>	●	●	●
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	●	●	●
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	●	●	●
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>			●
<i>Rhynchocypris lagowskii</i>			●
<i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	●	●	●
<i>Zacco temmincki</i>	●	●	●
<i>Zacco platypus</i>	●	●	●
Cobitidae			
<i>Orthrias nudus</i>	●	●	●
<i>Lefua costata</i>			●
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	●	●	●
<i>Iksookimia koreensis</i>		●	●
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>	●	●	●
Siluridae			
<i>Silurus microdorsalis</i>		●	●
Amblycipitidae			
<i>Liobagrus andersoni</i>		●	●
Osmeridae			
<i>Hypomesus olidus</i>		●	●
Salmonidae			
<i>Brachymystax lenok tsinlingensis</i>	●		
<i>Onchorhynchus mykiss</i>			●
Total	3/15	5/22	6/26

지하고 있어 이에 대한 연구와 더불어 호내 생태계의 장기적 조사가 필요하다고 사료된다. 한편 1994년 조사에서는 출현하였지만, 본 조사에서는 출현하지 않은 종은 하천의 최상류에 서식한다고 알려진 열목어 (*Brachymystax lenok tsinlingensis*) 1종이었다. 하지만 급격한 수환경 변화로 인하여 본 종은 본 지역에서 소멸하였을 것으로 사료된다.

적 요

도암호는 송천의 상류수계에 건설된 호수임에도 불구하고

하고 담수초기부터 주변에 산재해 있는 비점오염원의 영향으로 연중 탁도농도가 높았다. 도암호의 수질은 조사기간동안 투명도가 평균 0.8 m이었으며, Chl. a는 표층 평균 (0~5 m)이 18.5 µg L⁻¹, 총인은 평균 111 µg L⁻¹, 총질소는 평균 4.1 mg L⁻¹로 나타났다. 이는 U.S. EPA (1976)에서 제시한 부영양화 정도를 초과하는 수준이었으나, 상류에서 유입된 오염원이 댐 하류지점에서 낮게 나타났다.

도암호의 어류상은 총 6과 26종 9,600개체가 채집되었으며, 우점종으로는 돌고기 (34.6%), 아우점종으로는 피라미 (22.5%)로 나타났다. 또한 수환경에 따른 어류상을 살펴 본 결과 도암호 상류에서는 유영성어종의 비율이 높게 나타났으며, 하류로 갈수록 저서성 어종의 비율이 높게 출현하였다. 이는 도암호의 상류와 하류의 하상구조에 따른 차이와 부유물질 및 탁도와 같은 수질의 상·하류간의 차이에 의한 영향으로 사료된다. 그러므로 도암호는 송천수계에서 오염을 감소시키는 완충지대의 역할을 하고 있는 것으로 사료된다. 한편 특이할 사항은 Comat (*C. auratus*의 품종: Gold fish)과 붕어 (*C. auratus*)의 사이에서 교잡된 붕어 (*C. auratus*: Hybrid type)가 출현한 것이다.

인 용 문 헌

김익수. 1997. 한국동식물도감. 제37권 동물편 (담수어류). 교육부.

김익수, 강언중. 1993. 원색 한국어류도감. 아카데미서적.

김동섭, 김범철, 황길순, 박주현. 1995a. 팔당호의 부영양화 영향. 한국수질보전학회지 **11**: 295-302.

김익수, 김환기. 1975. 전주천의 수질오염과 어류군집의 변화에 관한연구. 육수지 **8**: 51-58.

김범철, 박주현, 허우명, 임병진, 황길순, 최광순, 최중수. 2001. 국내 주요호수의 육수학적 조사 (4): 주암호. 육수지 **34**(1): 30-44.

김익수, 박종영. 2002. 한국의 민물고기. 교학사, pp. 138-139.

김범철, 허우명, 황길순. 1995b. 도암호의 부영양화 실태. 육수지 **28**(2): 223-240.

양홍준. 1973. 낙동강산 어류의 조사-목록과 분포에 대하여-. 육수지 **6**(1): 19-36

전상린. 1980. 한국산담수어의 분포에 관하여. 중앙대학교 대학원 박사학위 청구문. pp. 14-49.

전상린. 1989. 한국산 황어속, 연준모치속 및 버들치속 (황어아과) 어류의 검색과 분포. 상명여대 논문집. **23**: 17-36.

전상린, 김영자. 1998. 평창강에서 채집된 버들개 (황어아과)에 관하여, 상명대학교 자연과학 연구소.

정문기. 1977. 한국어도보. 일지사. 서울, pp. 205-207.

- 최재석. 2005a. 청평호의 어류상 및 어류군집. *육수지* **38**(1): 63-72.
- 최재석. 2005b. 춘천호의 어류상 및 어류군집. *한국환경* **23**(2): 173-183.
- 최기철, 전상린, 김익수, 손영목. 1990. 원색한국담수어도감. 향문사, 서울, pp. 82-86.
- 한강유역환경청. 2003. 탁수로 인한 수중생태계 영향조사 및 저감대책 제시.
- 한국전력공사. 1994. 강릉 수력댐 및 발전소 주변 생태환경 조사.
- 한수원. 2001. 도암호 및 남대천의 독성남조류 조사.
- 한수원. 2002. 도암호 하류 송천수계 수질 및 육수생태계 조사 최종보고서.
- 허우명, 권상용, 박주현, 김범철. 2000. 안동호 수질의 장기적인 변화. *육수지* **33**(3).
- 허우명, 김범철, 김윤희. 1999. 달방댐 유입수의 강우에 따른 인농도 변화와 인부하량. *육수지*. **32**: 43-48.
- 허우명, 김범철, 김윤희, 최광순. 1998. 소양호 유역에서 비점오염원의 홍수유출과 오염수피의 호수내 이동. *육수지* **31**(1): 1-8.
- 허인량, 박상균, 최규열, 정의호. 1995. 송천상류수계의 수질 및 오염부하량분포에 관한 연구. *한국수질보전학회지* **11**(3): 175-181.
- 허인량, 신용건, 이진호, 최지용, 김영진, 정의호, 정명선. 2001. 송천유역의 수질환경특성 및 효율적 유역관리. *한국환경위생학회지* **27**(2): 51-59.
- 홍재상, 서인수, 김창수, 윤건탁, 황인서. 1999. 강릉 남대천 하구역의 대형저서동물 군집의 생태학적 연구.
- APHA (American Public Health Association), 1992 "Standard Methods for the examination of water and wastewater 18th ed", Washington D.C.
- Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* **22**: 361-369.
- Cummins, K.W. 1962. An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters, *Am. Midl. Nat.* **67**: 477-504.
- Forsberg, C. and S.O. Ryding. 1980. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 swedish waste receiving lake, *Arch Fur Hydrobiol.* **89**: 189-207.
- Horne, A.J. and C.R. Goldman. 1994. *Limnology*. Mcgraw-Hill, Inc.
- Johnston, C.A. 1995. Effects of animals on landscape pattern. In: Hansson, L. (Ed.), *Mosaic Landscapes and Ecological Processes*. Chapman and Hall, London, UK, pp. 58-80.
- Lorenzen, C.J. 1967. Determination of chlorophyll and pheo-pogments: Spectrophotometric equation. *Limnol. Oceanogr.* **12**: 343-346.
- Naiman, R.J. and J.M. Melillo. 1986. Ecosystem alternation of boreal forest streams by beaver (*Castor canadensis*). *Ecology* **67**: 1254-1269.
- Nelson, J.S. 1994. *Fishes of the World* (3rd ed.). John Wiley & Sons, New York.
- U.S. EPA. 1976. Water Quality Criteria Research of the U. S. Environmental Protection Agency, Proceeding of and EPA Sponsord Symposium, EPA-600 (3-76-079): 185.
- Watters, G.T. 1996. Small dams as barriers to freshwater mussels (bivalvia, unionida) and their hosts. *Biological Conservation* **75**: 79-85.

(Manuscript received 11 January 2006,
Revision accepted 26 April 2006)