

마산저수지의 어류 종조성 및 생태 지표 특성 분석

한 정 호 · 이 의 행¹ · 안 광 국*

(충남대학교 생명시스템과학대학, ¹한국농어촌공사 농어촌연구원)

Analysis of Fish Compositions and Ecological Indicator Characteristic in Masan Reservoir. Han, Jung-Ho, Eui-Haeng Lee¹ and Kwang-Guk An* (College of Biological Sciences and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea; ¹Rural Research Institute, Korea Rural Community & Corporation, Ansan 462-908, Korea)

In this study, we analyzed fish compositions and ecological characteristics such as trophic guilds and tolerance guilds in association with water quality characteristics in Masan Reservoir during November 2008. Total number of species were 12 species (6 families) and the dominant species were *Zacco platypus*, *Hemiculter eigenmanni*, and *Pseudorasbora parva*. We found three Korean endemic species and one exotic species, *Carassius cuvieri*. According to the analysis of ecological indicator characteristics, relative proportion of tolerant and omnivore species was 98% of the total indicating that probably, the fauna was influenced by physical habitat disturbance and physicochemical degradations. Fish distribution analysis along with littoral zone showed that the most fishes (~95%) were observed in the littoral zone where emerged macrophytes were well developed. Also, substrate analysis indicated that the most species were found near silt area (11 species, 91.7%), so that the significant differences were found between the substrate types. Analysis of water quality indicated that concentrations of total phosphorus (TP) and chlorophyll-*a* (Chl-*a*) as a lake trophic indicator were judged as eutrophic states, respectively and COD as an indicator of organic matter pollution averaged 10.9 mg L⁻¹. Based on the water quality, this system were influenced by the nutrient enrichments and organic matter. The degradations of water quality in Masan Reservoir resulted in trophic compositions of fish (increase of omnivore species) and the dominance of tolerant fish. This Monitoring data may contribute changes of fish fauna and compositions in relation to habitat modifications and chemical water quality degradations in the future.

Key words : fish fauna, species composition, water quality, Masan Reservoir

서 론

우리나라에 존재하는 대부분의 호수는 인공호로서 15개의 대형 다목적 댐을 제외하고는 대부분 중소형 저수지로서, 전국적으로 17,956개의 농업용 저수지가 산재되어 있다(농림부, 2000). 이들 농업용 저수지는 대부분 생

성연도가 오래되고 평균 수심이 10 m 이하로서 평균 체류시간이 길고, 생활하수, 축산폐수, 비점오염원 등에서 유입되는 영양염류(N, P)의 영향에 의한 수질오염 및 부영양화가 가속화되고 있는 것으로 알려져 있다(OECD, 1977; 농림부, 2002; Hwang *et al.*, 2003). 이와 같은 수질오염 및 부영양화는 호수 생태계의 구조와 기능에 많은 영향을 미친다. 호수의 대표적인 생물군인 어류는 수생태

* Corresponding author: Tel: 042) 821-6408, Fax: 042) 822-9690, E-mail: kgan@cnu.ac.kr

계의 최상위 먹이사슬에 있고, 다른 생물군에 비해 장시간의 생활사를 가지고 있으며, 종 동정이 용이하고, 수질 오염 및 생태계 교란에 대한 종별 생태지표 특성(내성도 및 섭식 길드)이 다르기 때문에 수환경지표로 널리 이용되고 있다(Jones *et al.*, 2005). 그러나 어류는 호수의 수질악화, 과도한 어획, 또는 외래어종의 침입으로 인하여 종조성 및 종 다양성에 큰 악영향으로 작용하고 있다(Garcia and Cochrane, 2005). 이러한 악영향은 국내어종의 먹이사슬 구조의 변화와 외래종의 대량 우점현상을 초래하기도 한다(Pikitch *et al.*, 2004).

충남 아산시 온양동에 위치한 마산저수지(N 36° 46' 21", E 126° 28' 54")는 1928년에 축조되었으며, 황산천 및 초사천이 유입되어 형성되어 오목천을 통해 곡교천으로 유입되는 농업용 저수지로서(남, 2003), 현재 기존의 농업용수 공급뿐만 아니라 주민 휴식공간으로도 널리 이용되고 있는 인공 저수지이다(농림부, 2002). 마산저수지는 저수용량 $3.1 \times 10^6 \text{ m}^3$, 제당높이 10.7 m, 평균수심 3.5 m의 체류시간(76~161일)이 긴 중규모 농업용 저수지로서 수심이 얇고 체류시간이 긴 편으로 부영양화 등 수질오염에 취약한 물리적 특성(Vollenweider, 1968)을 지니고 있다. 또한 마산저수지 인근 토지이용은 농경지 및 임야가 주를 이루고 있으며, 매년 공원 및 도로의 이용이 증가되고 있는 실정이고(농림부, 2004), 인근 폐지 축사에 의한 오염부하량 증대 및 농경지의 비료사용에 의한 비점오염원 유발 등의 부영양화가 유발(최와 김, 2002)되는 유역환경을 가지고 있으며 수질개선이 요구되는 저수지이다(농림부, 2004). 이와 같은 호수의 서식지 변화는 호수 생태계 내 어류의 민감종 감소, 내성종 및 잡식종의 증가로 인한 어류 군집의 변화(농림부, 2000)를 가져올 것으로 예상되고 있으나 마산저수지에서는 어류에 관한 선행연구는 전혀 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 마산저수지를 대상으로 어류 종조성, 하상 및 호안 특성에 따른 어류 분포특성, 그리고 어류 생태지표 특성 분석을 실시하였으며, 화학적 수질과의 연관성을 분석하여, 마산저수지 이화학적 수질변화와 어류 종조성 및 생태지표 특성에 대한 상호관계를 규명하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지점 및 어류 현장조사

본 연구에서는 2008년 10월, 집중강우 후 수체가 안정한 시기에 마산저수지의 총 6개 지점(M1~M6)을 선정하여 어류 현장조사를 실시하였으며, 세부 조사 지점은

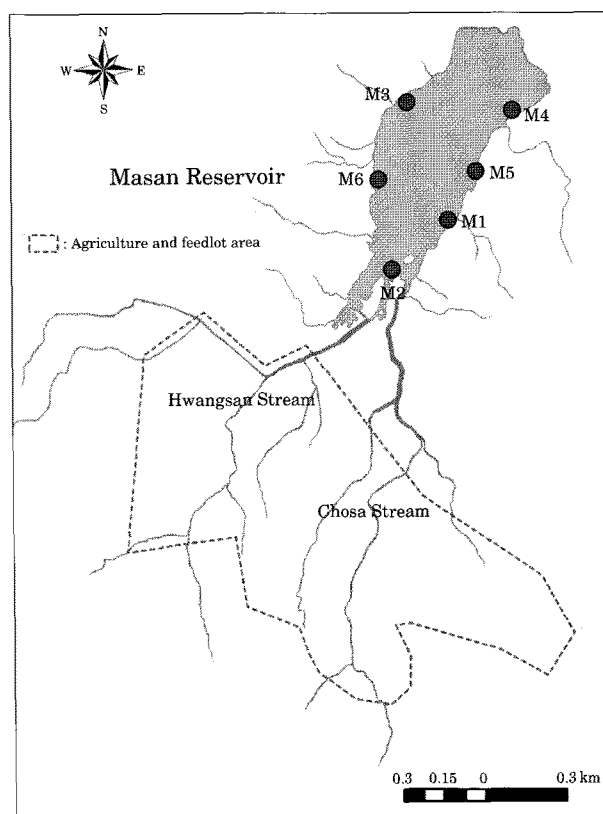


Fig. 1. The map of Masan Reservoir watershed showing sampling sites.

Fig. 1과 같다. 어류 현장조사는 각 조사 지점에서 상·하류 간 200 m로 채집거리를 한정하였으며, 4가지 어획도구 외통발(망목 5×5 mm, 깊이 2.4 m, 유도망 15 m), 자망(망목 1.2 mm, 높이 1 m, 길이 30 m), 투망(망목 5×5 mm, 포획면적 4.5 m²)을 사용하여 조사를 실시하였다. 외통발(M5) 및 자망(M6)은 1일(24시간) 동안 설치 후 어획물을 수거하였으며, 투망(M1~M4)은 각 지점 당 1시간 동안 조사를 실시하였다. 각 지점의 서식지별 어류의 종조성에 차이를 분석하고자 투척 지점의 서식지 특성을 하상(바위, 모래, 펄) 및 호안특성(인공암반, 암반, 흙, 정수 식물)에 의하여 구분하여 매회 투척마다 채집된 어종을 기록하여 어류 종조성을 분석하였고, 지점 간 종 다양성을 비교하기 위하여 Primer 5 (for windows, version 5.2.2)를 이용하여 종 다양도 지수(Shannon and Weaver, 1949)를 분석하였다.

2. 어류 생태지표 특성 분석법

내성도 길드(Tolerance guild) 분석은 U.S. EPA (1993) 및 Barbour *et al.* (1999)의 조사된 방식에 의거하였으며,

내성도 길드 분석을 위해 국내 출현 어종에 대하여 문헌 조사 및 어류 전문가들의 자문(환경부, 2008)과 현장조사를 통해 얻어진 시료분석 결과에 의거하여 구분된 결과를 근거로 하였다. 생태 지표종 분석을 위해 민감종(Sensitive species, SS), 중간종(Intermediate species, IS), 내성종(Tolerant species, TS)으로 구분하였으며, 각각의 지표종 특성은 다음과 같이 정의하였다. 민감종(SS)은 주로 오염도에 따라 쉽게 사라지는 어종, 내성종(TS)은 수질오염(역사적 자료근거)에도 불구하고, 종수 및 분포범위가 증가하는 어종, 중간종(IS)은 두 범주사이에 포함되지 않는 어종으로 규정하여 분석하였다.

수체 내 에너지 흐름을 반영하는 섭식특성 길드(Trophic guild) 분석도 Ohio EPA(1987)의 조사 방법에 의거하였으며, 내성도 길드 구분과 동일한 방법을 통하여 구분하였다. 섭식특성 분석을 위해 잡식종(Omnivores, O), 충식종(Insectivores, I), 육식종(Carnivores, C), 초식종(Herbivores, H)으로 구분하였으며, 다음과 같이 정의하였다. 잡식종(O)은 동, 식물질 등의 유기물질을 지속적으로 먹는 종, 충식종(I)은 주로 수서 무척추 동물을 먹는 종, 육식종(C)은 주로 어류, 다른 척추동물을 먹는 종, 초식종은 부착조류 및 플랑크톤을 주로 섭식하는 종으로 대별하여 분석하였으며, 식성의 분류는 1차적으로 이용하는 자원(Primary source of food)에 근거하여 분류하였다.

3. 화학적 수질 분석

마산 저수지의 화학적 수질 특성을 분석하기 위하여 2000년에서 2007년까지 8년간 측정된 한국농촌공사(<http://rawris.ekr.or.kr>, 농촌용수종합정보시스템)의 수질 자료를 이용하였으며, 분석한 수질 항목으로는 총인(Total phosphorus, TP), 총질소(Total nitrogen, TN), 엽록소-a(Chlorophyll-a, Chl-a), 생물학적 산소요구량(Biological oxygen demand, BOD), 화학적 산소요구량(Chemical oxygen demand, COD), 총부유물질(Total suspended solids, TSS)의 6개 변수를 이용하여 마산저수지의 장기적 계절별 수질변화 양상을 분석하였으며, 강수량 자료는 천안기상청에서 측정된 2000년~2007년까지 8년간 월평균 강수량 자료를 이용하였다. 또한, 조사 당시의 수질 특성을 반영하기 위하여 다항목 수질 측정기(YSI 6600)를 이용하여 각 지점별로 측정된 수질 항목은 수온(Temperature, Temp), 전기전도도(Electric conductivity, EC, 25°C), 염도(Salinity, Sal), 수소이온농도(pH), 탁도(Turbidity, Turb) 등 총 5개 항목을 측정하였으며, 각 지점별 TP 및 엽록소 a(Chl-a)의 농도를 측정하기 위하여 각각 아스크

로빈산 환원법 및 에탄올 추출법을 이용하였다. 측정된 수질항목을 이용하여 각 수질변수들의 지점별 변화양상을 분석하였다. 화학적 수질등급 기준은 환경부에 고시된 7등급 기준체계에 의거하였으며, 영양상태(Trophic state) 분석은 측정된 자료 중 총질소(TN), 총인(TP), 엽록소-a(Chl)를 이용하여 부영양화 단계를 Forsberg and Ryding(1980)의 기준에 의거하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 어류의 종 조성 및 분포특성

본 조사 시 마산저수지의 총 6개 지점에서 채집된 어류는 총 6과 12종 2,687개체로서, 잉어과(Cyprinidae) 7종, 동자개과(Bagridae), 바다빙어과(Osmeridae), 송사리과(Adrianichthyidae), 동사리과(Odontobutidae), 망둑어과(Gobiidae)는 각각 1종씩 채집되어 잉어과 어류의 상대풍부도가 95%를 상회하는 것으로 나타났다(Table 1). 이와 같이 잉어과에 속하는 어류가 우세하게 분포하는 것은 우리나라 서·남해로 유입되는 하천의 담수어류상의 특징과 잘 일치하는 것으로 나타났다(전, 1980). 우점종은 내성이 강해 인위적인 환경변화에 따라 개체수가 증가하는 것으로 알려진 피라미(*Zacco platypus*)로서 1,097개체가 채집되어 상대풍부도 41%로 나타났으며, 치리(*Hemiculter eigenmanni*)가 752개체(28%), 참붕어(*Pseudorasbora parva*)가 617개체(23%)로 아우점하는 것으로 나타났다. 또한 어종별 항존도(Constancy)에 따르면, 수질 및 서식지의 질적저하에 대한 내성이 강하고 유속이 완만하고 정체된 수역을 선호하는 치리, 붕어(*Carassius auratus*) 및 떡붕어(*Carassius cuvieri*)가 전체 지점(100%)에서 출현한 것으로 나타났으며, 잉어(*Cyprinus carpio*), 참붕어(이상 5개 지점, 83.3%), 밀어(*Rhinogobius brunneus*), 피라미(이상 4개 지점, 66.7%)는 65% 이상으로 마산저수지에 고르게 분포하는 것으로 나타났다(Table 1).

일반적으로 국내 하천에서 주로 서식하는 어종으로 알려진 피라미가 우점종으로 출현하였는데, 본 저수지의 경우 담수된 초기부터 부영양화로 보고되었으며(남, 2003), 현재까지 부영양화를 유지하는 것으로 나타났다. 이에 따라서 하천의 대표적인 우점종인 피라미가 마산저수지 담수초기부터 현재까지 주변 환경변화에 적응력이 강하여 많은 개체수가 유지되고 있는 것으로 사료되었다. 반면 하천성이거나 유기물 오염에 내성이 매우 약한 종들은

Table 1. Fish fauna and the various guilds of tolerance and trophic in Masan Reservoir.

Species	Tol. G	Tro. G	CN				FN	GN	Total	RA (%)	Constancy (%)
			M1	M2	M3	M4	M5	M6			
Cyprinidae											
<i>Cyprinus carpio</i>	TS	O	1	1	1	1	4		8	0.30	83.3
<i>Carassius auratus</i>	TS	O	4	5	11	1	21	39	81	3.01	100.0
<i>Carassius cuvieri</i> [†]	TS	O	38	4	6	1	1	4	54	2.01	100.0
<i>Rhodeus uyekii</i> *	IS	O			1				1	0.04	16.7
<i>Pseudorasbora parva</i>	TS	O	5	104	50	13	445		617	22.96	83.3
<i>Zacco platypus</i>	TS	O	36	30	21		1,010		1,097	40.83	66.7
<i>Hemiculter eigenmanni</i> *	TS	O	109	75	55	10	327	176	752	27.99	100.0
Bagridae											
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	TS	I	1		1		12		14	0.52	50.0
Osmeridae											
<i>Hypomesus nipponensis</i>	IS	I			1		24		25	0.93	33.3
Adrianichthyidae											
<i>Oryzias sinensis</i>	TS	O	19						19	0.71	16.7
Odontobutidae											
<i>Odontobutis interrupta</i> *	IS	C	1	1			1		3	0.11	50.0
Gobiidae											
<i>Rhinogobius brunneus</i>	IS	I	4	8	3	1			16	0.60	66.7
TNS			10	8	10	6	9	3	12		
TNI			218	228	150	27	1,845	219	2,687		

Tol. G=Tolerance guild, Tro. G=Trophic guild, CN=Casting net, FN=Pyke net, GN=Gill net, RA=Relative abundance, TS=Tolerant species, IS=Intermediate species, O=Omnivores, I=Insectivores, C=Carnivores, TNS=Total number of species, TNI=Total number of individuals, *=Korean endemic species, †=Exotic species

거의 채집되지 않은 것으로 나타났다. 한국고유종(59종, 김과 박, 2002)은 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*), 각시붕어(*Rhodeus uyekii*), 치리 3종이 출현하여 마산저수지에 출현한 12종 중 25%를 차지하고 있는 것으로 나타나 평균 고유종 비율(25.9%, Kim, 1995)과 비슷 것으로 나타났으며, 상대풍부도 비율도 28%로 높게 나타났다(Table 1). 이는 고유종 중 일반적으로 정수역에 우점적으로 서식하는 것으로 알려진 치리가 752개체(고유종 중 99.5%)가 채집되어 반영된 것이며, 이 외 각시붕어 1개체, 얼룩동사리 2개체만이 채집되었다. 일반적으로 한국고유종이 물이 맑은 하천의 중·상류구간에 주로 분포하며, 수환경 악화에 의해 급속히 감소하는 경향을 보이는데(최 등, 2000), 본 연구대상 호수인 마산저수지는 유수역의 서식환경을 인위적으로 변화시킨 정수역이고(양 등, 1997; 최 등, 2003), 주변 농경지 및 축산폐수의 영향을 받는 부영양 농업용 저수지라는 특성 때문에 정수역 종인 치리를 제외한 고유종 비율이 현저하게 낮은 것으로 사료되었다(유, 2007). 범정보호종은 전혀 출현하지 않았으며, 외래도입종은 전체 지점에서 떡붕어가 54개체(상대풍부도: 2%) 출현하였다(Table 1). 환경부 생태계

교란야생 어종으로 지정된 배스(*Micropterus salmoides*) 및 블루길(*Lepomis macrochirus*)은 채집되지 않았으나, 떡붕어의 출현으로 붕어와의 교잡에 의한 잡종이 일어나는 등의 환경문제 발생을 야기할 것으로 사료되었다.

2. 하상 및 호안특성에 따른 종 분포특성

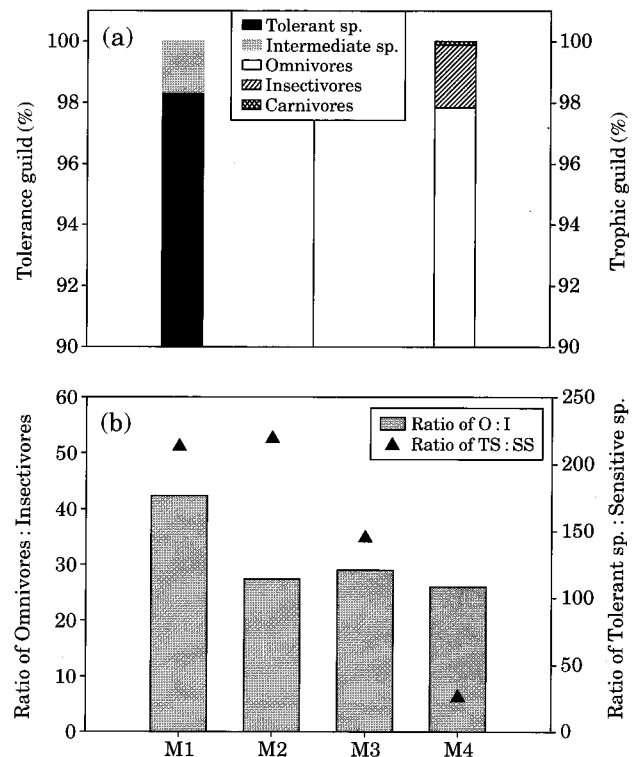
마산저수지 4개 지점(M1~M4)의 하상특성에 의한 어종분포 분석에 따르면(Table 2), 뺨(11종, 91.7%)에서 가장 많은 종이 채집되었으며, 모래(8종, 66.7%)와 바위(6종, 50%) 하상의 순서로 나타났으며, 개체수 측면에서도 뺨(447개체, 71.7%)에서 가장 많은 개체가 채집되었다. 이들 어종 중, 대륙송사리(*Oryzias sinensis*), 동자개(*Pseudobagrus fulvidraco*), 각시붕어는 뺨에서만 채집되었으며, 모래하상에서만 1개체 채집된 빙어(*Hypomesus nipponensis*)를 제외한 전체 어종의 50% 이상이 뺨에서 채집된 것으로 나타나 뺨로 이루어진 하상에서 군집의 종풍부도와 개체수의 상대적 균형성 및 복잡성(종 다양도: 1.648)이 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 마산저수지 조사지점별 투망 투척지점의 70% 이상이 뺨로 이루어진

Table 2. Characteristics of species distribution characteristics depending on substrate composition which fish were sampled by casting net in Masan Reservoir.

Species	Substrate composition			Zonal characteristics		
	Silt	Sand	Rock	ELZ	ULZ	NLZ
<i>Cyprinus carpio</i>	3 (75.0%)	—	1 (25.0%)	3 (75.0%)	1 (25.0%)	—
<i>Carassius auratus</i>	18 (75.0%)	5 (20.8%)	1 (4.2%)	23 (95.8%)	1 (4.2%)	—
<i>Carassius cuvieri</i>	44 (89.8%)	3 (6.1%)	2 (4.1%)	47 (95.9%)	2 (4.1%)	—
<i>Rhodeus uyekii</i>	1 (100%)	—	—	1 (100%)	—	—
<i>Pseudorasbora parva</i>	97 (56.4%)	62 (36.0%)	13 (7.6%)	159 (92.4%)	13 (7.6%)	—
<i>Zacco platypus</i>	76 (86.4%)	12 (13.6%)	—	87 (98.9%)	—	1 (1.1%)
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	178 (71.8%)	59 (23.8%)	11 (4.4%)	237 (95.6%)	11 (4.4%)	—
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	2 (100%)	—	—	2 (100%)	—	—
<i>Hypomesus nipponensis</i>	—	1 (100%)	—	1 (100%)	—	—
<i>Oryzias sinensis</i>	19 (100%)	—	—	19 (100%)	—	—
<i>Odontobutis interrupta</i>	1 (50.0%)	1 (50.0%)	—	2 (100%)	—	—
<i>Rhinogobius brunneus</i>	8 (61.5%)	4 (30.8%)	1 (7.7%)	12 (92.3%)	1 (7.7%)	—
<i>H'</i>	1.648	1.295	1.260	1.604	1.260	0.000
TNS	11 (91.7%)	8 (66.7%)	6 (50.0%)	12 (100%)	6 (50.0%)	1 (8.3%)
TNI	447 (71.7%)	147 (23.6%)	29 (4.7%)	593 (95.2%)	29 (4.7%)	1 (0.2%)

ELZ=Emerged plant in littoral zone, NLZ=Non-Emerged plant in littoral zone, ULZ=Unnatural littoral zone, *H'*=Shannon-Weaver diversity index, TNS=Total number of species, TNI=Total number of individuals

것이 반영된 것으로 사료되었다. 호안특성에 의한 어종분포 분석에 따르면 (Table 2), 정수식물이 발달한 호안에는 본 연구에서 출현한 12종의 어류가 모두 채집되었으며, 95% 이상(593개체)의 어류 개체가 채집된 반면, 인공암반 및 흙으로 이루어진 호안에는 5% 미만의 개체가 채집되었다. 이들 어종 중, 대륙송사리, 얼룩동사리, 동자개, 붕어, 빙어(이상 100%)를 포함한 모든 어종의 90% 이상의 개체가 정수식물이 발달한 호안에서 채집되어 높은 종다양도(1.604)를 보였는데, 이는 산란장 및 서식처로서 역할을 수행할 수 있는 정수식물대의 발달에 의한 것으로 사료되었다. 반면, 상대적으로 어류 서식처가 빈약한 인공암반 호안(M4)에는 비교적 대형종(잉어, 붕어, 떡붕어)이거나 마산저수지의 우세종(치리, 참붕어)이 채집되었으며, 흙으로 이루어진 호안에서는 피라미 1개체만이 채집되었다. 지점별 하상 및 호안특성을 살펴보면, M1~M3의 호안은 주로 정수식물이 발달되어 있었으며, 하상은 바위, 모래, 펄의 비율이 각각 10%:20%:70%로 되어 있어 주로 펄로 구성된 구간이 많이 분포하였다. 반면, M4는 인공적으로 만들어진 호안으로서 큰 바위로 구성되어 있으며, 어류의 서식처가 될 수 있는 정수식물대가 거의 존재하지 않는 구간이었다. 하상의 비율도 각각 80%:5%:15%로 주로 하상이 바위로 구성되어 있었다. 지점별 출현한 어류 종조성을 살펴보면, 정수식물이 잘 발달된 지점(M1~M3)에서는 평균 9종, 199개체(n=3)로 많은 종과 개체가 출현한 반면, 정수식물이 없고, 인공암반으로

**Fig. 2.** Comparison of tolerance and trophic guilds in the Masan Reservoir.

구성된 지점(M4)에서는 6종, 27개체만 출현하여 빈약한 종 및 개체 풍부도를 보였다. 호안 특성에 따른 어류의

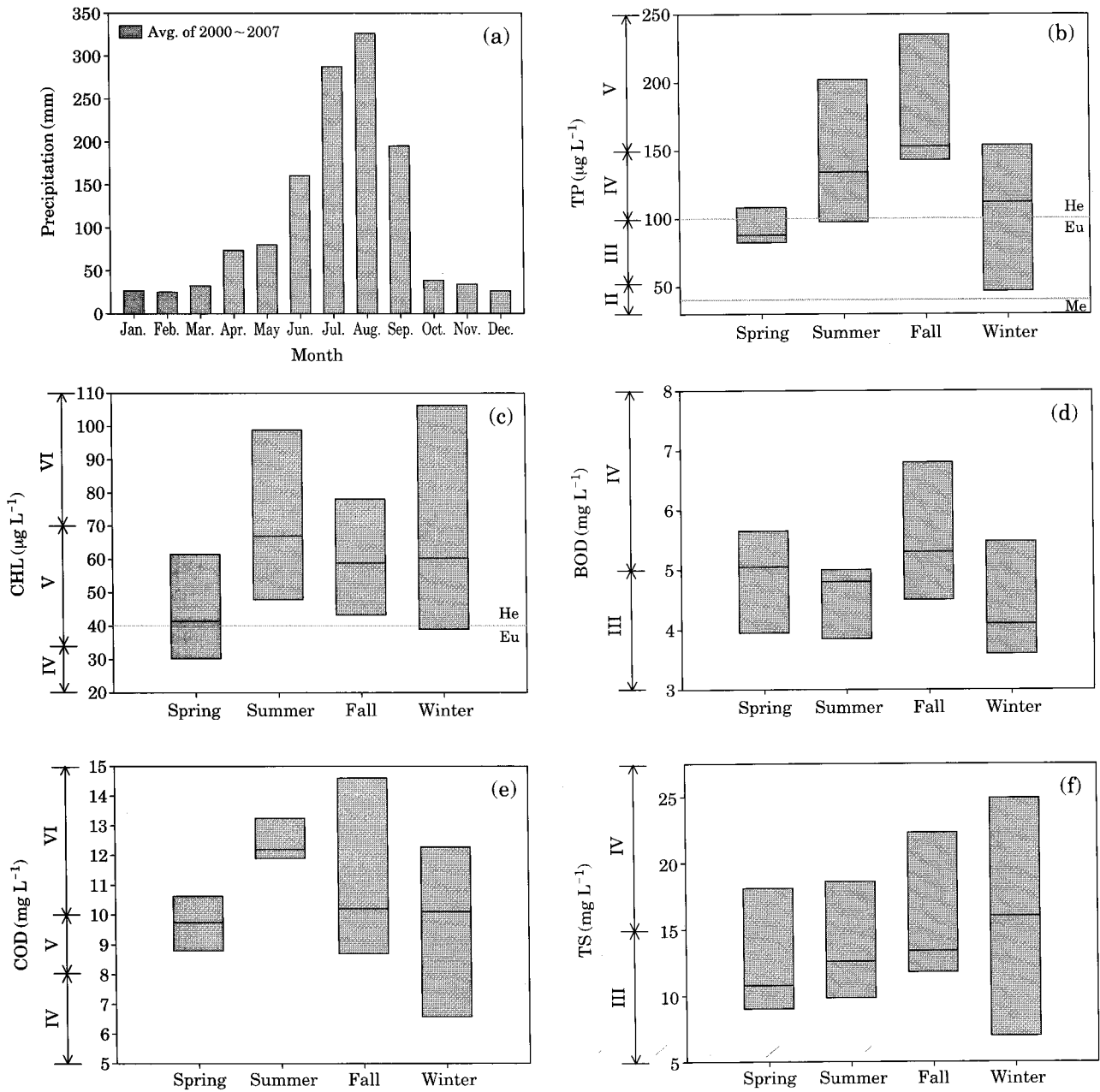


Fig. 3. Seasonal variations of water quality parameters in the Masan Reservoir. The abbreviations are as follows: II=some good, III=fair, IV=some poor, V=poor, VI=very poor, Me=mesotrophic condition, Eu=eutrophic condition, He=hyper-eutrophic condition.

종조성은 정수식물지역에서 전체 어종이 출현하였으며, 하상이 펠로 구성된 지역에서 대부분의 어종이 출현하여, 호안 및 하상 특성에 따라 어류의 종조성에 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 정수식물이 어류의 산란처 및 서식처, 또한 포식자로부터 보호받을 수 있는 피난처의 역할을 수행할 수 있음을 간접적으로 시사하였다. 이처럼 마산저수지의 호안 및 하상 특성이 어류의 종조성에 큰 영향을 주

는 것으로 판단되어, 향후 마산저수지의 생태복원 시 어류 방류에 앞서서 다양한 어류가 서식할 수 있는 서식지(정수식물)의 복원사업이 선행되어야 할 것으로 사료되었다.

3. 어류 생태지표 특성

생태지표 특성 분석을 위한 내성도 길드(Tolerance

Table 3. Spatial variation of water quality in Masan Reservoir.

Sites	YSI 6600					Ascorbic acid method	Absorbance analysis
	Temp. (°C)	EC ($\mu\text{s cm}^{-1}$)	Sal. (ppt)	pH	Turb. (NTU)	TP ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Chl- <i>a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)
M1	6.8	257	0.12	9.0	8.5	31.1	58
M2	6.6	279	0.13	8.5	9.0	48.8	43.9
M3	7.7	259	0.12	8.4	9.1	59.8	52.2
M4	7.5	227	0.11	9.0	7.2	26.2	64.7
M5	6.9	258	0.12	8.0	10.8	21.5	61.0
M6	7.2	257	0.12	7.9	9.6	48.9	68.6

Temp.=Temperature, EC=Electric conductivity, Sal.=Salinity, Turb.=Turbidity, TP=Total phosphorus, Chl-*a* = Chlorophyll-*a*

guild) 분석에 따르면, 수질 오염 및 생태교란에 의해 쉽게 사라지는 민감종(Sensitive species)은 전혀 출현하지 않은 반면, 수질 및 서식지의 질적저하에도 불구하고 종수 및 분포범위가 증가하는 내성종(Tolerant species)은 98.3%로 단연 우점하는 것으로 나타났다. 이는 현재 마산저수지의 부영양화와 수질 오염 정도가 매우 심각한 상태임을 간접적으로 시사하였다(Fig. 2a). 섭식특성 guild(Trophic guild) 분석에 의하면, 잡식종(Omnivores)의 상대풍부도는 97.8%인 반면, 충식종(Insectivores) 및 육식종(Carnivores)는 각각 2.1%, 0.1%로 나타나 잡식종의 우세현상을 보여 이전 연구결과(윤 등, 2006)에서도 일반적으로 농업용 저수지에서 잡식종이 크게 우점하는 현상을 보인다는 보고와 일치하는 것으로 나타나, 본 수계의 수환경 특성을 잘 반영하는 것으로 나타났다(Fig. 2a). 지점별로 잡식종과 충식종의 상대적 비율을 분석한 결과 M1에서 42.4로 가장 높게 나왔으며, M4에서 26으로 가장 낮게 나타나 지점별로 차이가 있는 것으로 나타났으며, 유기물 오염의 정도를 간접적으로 나타내는 내성종의 비율도 M1, M2에서 높게 나타났다(Fig. 2b). 이와 같은 지점 간 차이는 마산저수지로 유입되는 하천의 이·화학적 수환경 특성의 질적저하와 더불어 댐축 주변의 조성된 유원지 및 수상스키와 같은 레저활동에 의한 서식지 교란요인 등이 악영향을 미친 것으로 사료되었다. 생태지표 특성분석에 의하면 유기물 오염도가 증가할수록 상대풍부도가 증가하는 내성종과 잡식종의 비율이 각각 95% 이상의 높은 비율을 차지하는 것으로 나타나 이를 간접적으로 시사하였으며, 유기물 오염에 민감하게 반응하는 민감종은 전 지점에서 출현하지 않았으며, 충식종 역시 상대풍부도가 현저하게 낮은 것으로 나타났다. 또한 고유종의 역시 1종만이 출현하여 마산저수지의 서식환경이 주변 농경지 및 축산폐수의 유입으로 인하여 악화된 것으로 사료되며, 이에 따라서 내성종 및 잡식종이 현재 마산저수지의 어류상에서 단연 우점하고 있는 것으로 판단

되었다.

4. 화학적 수질 특성

마산저수지의 8년 동안의 강우패턴 및 수질자료 분석에 따르면, 연평균 강수량은 1308mm로서, 이 중 65% 이상은 7~9월(평균 1,049mm)에 집중하는 것으로 나타났다(Fig. 3a). 이러한 하절기 집중강우는 수체 내 수질 및 영양상태 특성에 영향을 미치는 것으로 사료되었다(An, 2000; An and Jones, 2000; 안 등, 2001). 영양상태 지표로 널리 이용되는 영양염류 중의 하나인 총인(TP)의 농도는 평균 $127.6 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 Forsberg and Ryding(1980)의 기준에 의거하여 과영양 상태(Hyper-eutrophic condition, He)로 나타났으며, 특히 하절기 초기 강우 시 주변 농경지 및 축산폐수의 유입에 의해 큰 변이를 보이며 급격히 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 3b). 또한, 1차생산력의 간접지표인 Chl-*a*의 농도는 평균 $60.8 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 과영양상태(He)로 나타났으며, 하절기 강우 시 영양염류의 급격한 유입에 의한 대규모 번성이 일어나는 것으로 나타났다(Fig. 3c). 유기물 오염의 지표인 BOD는 8년간 자료에 의거할 때, 평균 5.2mg L^{-1} 로 환경부 기준에 의거하여 IV등급(약간 나쁨)으로 나타났으며, 초기 강우에 의한 일시적인 희석효과를 보였으나 집중강우 후, 수체가 안정해지면서 농축된 BOD가 증가한 후 다시 감소하는 경향을 보였다(Fig. 3d). COD는 평균 10.9mg L^{-1} 로 VI등급(매우 나쁨)으로 나타나 불량한 수질 상태를 보였으며(Fig. 3e), 부유물 오염의 지표인 TSS는 평균 14.8mg L^{-1} 로 III등급(보통)으로 나타나 비교적 다른 수질 변수에 비해 양호한 상태를 보이는 것으로 나타났다(Fig. 3f). 조사 지점별 수질 특성을 알아보기 위하여, 현장조사 시 측정된 수질자료를 분석해 보았다(Table 3). 계절적 요인으로 수온이 평균 7.1°C 로 낮게 나타났고, EC는 $256 \mu\text{s cm}^{-1}$, 염도는 0.12 ppt, pH는 8.5, 탁도는 9.0 NTU로 지점 간 차

이를 보이지 않았다. 또한 영양상태 특성의 경우, TP는 39.4 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 Forsberg and Ryding(1980)의 기준에 의거하여 부영양 상태(Eutrophic condition, Eu)로 나타났으며, M5에서는 21.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 중영양 상태(Mesotrophic condition, Me)를 보이는 것으로 나타났다. Chl-a는 58.1 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 부영양 상태(Eu)로 나타났으며, Chl-a의 농도는 M2 및 M3에서 TP의 농도가 일부 낮게 나타난 것을 제외하고는 TP보다 높은 농도를 보이는 것으로 나타나, 1차생산력에 제한요인으로 인(P)이 영향을 미치는 것으로 사료되었다. 이처럼 심각한 부영양화 및 수질오염은 마산저수지의 어류상에도 악영향을 미친 것으로 나타났다. 마산저수지에서 출현한 어류는 총 6과 12종으로서 잉어과 어류가 높은 상대풍부도(~95%)로 나타났으며, 이 중 우점종으로서 피라미가 전체 어종 중 41%의 상대 풍부도를 보였고, 치리(28%), 참붕어(23%) 등이 아우점하는 것으로 나타나 호수의 유기물오염이 증가함에 따라 상태 풍부도가 증가하는 어종들이 마산저수지 어류상에 많은 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 이처럼 마산저수지의 이·화학적 수환경의 질적 저하 및 인위적인 호안건설로 인한 어류 서식지의 질적저하 또한 어류의 종조성에 악영향을 미친 것으로 사료되었다. 이와 같은 현상을 개선하기 위해서는 마산저수지로 유입되는 영양염과 축산폐수의 유입 차단과 획일화된 서식지 복원과 지속적인 수질관리 및 어종의 복원사업이 필요할 것으로 사료되었다. 향후, 이러한 변화를 예측하고 관리하기 위해 장기적인 수환경 모니터링이 이루어져야 할 것이다.

적 요

본 연구는 2008년 11월에 마산저수지를 대상으로 어류 종조성 및 섭식길드 및 오염내성길드에 따른 생태지표 특성을 분석하고, 이와 연관된 화학적 수질 특성 변화를 분석하였다. 채집된 어류는 총 12종(6과)으로 나타났고, 주요 우점종은 피라미, 치리, 참붕어 등으로 나타났다. 한국 고유종은 3종만이 출현하였으며, 외래도입종은 떡붕어 1종이 출현하였다. 생태지표 특성 분석에 따르면, 내성종 및 잡식종의 상대풍부도는 각각 98%로 단연 우점하는 것으로 나타나, 이화학적 질적저하 및 물리적 서식지 교란요인에 의한 영향을 반영하고 있었다. 호안에 따른 중분포 특성 분석 결과, 정수식물이 발달한 호안에서 대부분의 어류가 95% 이상이 채집된 것으로 나타났다. 또한 하상 기질 특성에 따른 분석 결과, 펄(Silt)로 된 구간에서 가장 많은 종(11종, 91.7%)이 채집되어, 하상기

질에 따라 유의한 차이를 보이고 있었다. 화학적 수질자료 분석에 따르면, 호수 영양상태 지표인 총인(TP) 및 Chl-a의 농도는 모두 과영양상태인 것으로 나타났으며, 호수의 유기물오염의 지표로 사용되는 COD도 평균 10.9 mg L^{-1} 로 나타났다. 마산저수지의 이러한 수질저하는 어류의 섭식구조(잡식종의 증가) 및 내성종의 증가 등을 통해 반영되었다. 향후 마산저수지의 어류상 및 어류 종조성이 향상을 위해서 수질 개선 및 서식지 복원이 필요할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 환경부 수생태복원사업단 Eco-STAR project [과제명: 호수생태계 통합적 건강성 평가기법 개발(08-IV-11)]의 지원으로 수행되었기에 이에 감사합니다.

인 용 문 헌

김익수, 박종영. 2002. 한국의 민물고기. 교학사.
 남귀숙. 2003. 농업용저수지의 생물학적 수질정화 및 미생물군집동태. 부산대학교 대학원 박사학위논문.
 농림부. 2000. 농업용수 수질개선 시험사업 보고서(IV). 농업기반공사.
 농림부. 2002. 농업용수 수질개선 시험사업 보고서(VI). 농업기반공사.
 농림부. 2004. 농업용수 수질개선 시험사업 보고서(최종). 농업기반공사.
 안광국, 서진원, 박석순. 2001. 대청호의 취수탑 주변의 이화학적, 생물학적 상태에 대한 계절경향의 영향. 한국육수학회지 34(4): 327-336.
 양홍준, 채병수, 남명모. 1997. 안동댐유역의 어류상과 어류군집구조. 한국육수학회지 30(4): 347-356.
 유동재. 2007. 경상북도 댐호와 저수지의 어류상. 전남대학교 박사학위논문.
 윤주덕, 장민호, 김명철, 남귀숙, 황순진, 주기재. 2006. 농업용저수지의 어류군집 특성. 한국육수학회지 39(1): 131-137.
 전상린. 1980. 한국산담수어의 분포에 관하여. 중앙대학교 대학원 박사학위논문.
 최선화, 김호일. 2002. 우리나라 수자원과 농업용수 수질오염실태. 농어촌과 환경 12: 93-103.
 최재석, 이광열, 장영수, 고명훈, 권오길, 김법철. 2003. 소양호의 어류군집 동태. 한국어류학회지 15(2): 95-104.
 최준길, 변화근, 석형근. 2000. 원주천의 어류군집 동태. 한국육수학회지 33(3): 274-281.
 환경부. 2008. 수생태계 건강성 조사 및 평가 최종보고서(총괄

- 분야). 국립환경과학원.
- An, K-G. 2000. Monsoon inflow as a major source of in-take phosphorus. *Korean Journal of Limnology* **33**(3): 222-229.
- An, K-G. and J.R. Jones. 2000. Factors regulating blue-green dominance in a reservoir directly influenced by the Asian monsoon. *Hydrobiologia* **432**: 37-48.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder and J.B. Stribling. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
- Forsberg, O. and S.O. Ryding. 1980. Entrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes. *Arch. Hydrobiol.* **89**: 189-207.
- Garcia, S.M. and K.L. Cochrane. 2005. Ecosystem approach to fisheries: a review of implementation guidelines. *ICES J. Mar. Sci.* **62**: 311-318.
- Hwang, S.J., C.G. Yoon and S.K. Kweon. 2003. Water quality and limnology of Korean reservoirs. *Paddy and Environment* **1**: 43-52.
- Jones, J.P.G., F.B. Andriahajaina and N.J. Hockley. 2005. A multidisciplinary approach to assessing the sustainability of freshwater crayfish harvesting in Madagascar. *Conserv. Biol.* **19**: 1863-1871.
- Kim, I.S. 1995. Distribution status and conservation of endangered freshwater fish in Korea. Korean Society of Ecology and Ichthyology Joint Symposium. p. 31-50.
- OECD. 1977. Eutrophication of waters-monitoring. Assessment and control. p. 154.
- Ohio EPA. 1989. Biological criteria for the protection of aquatic life. Vol.III, Standardized biological field sampling and laboratory method for assessing fish and macroinvertebrate communities.
- Pikitch, E.K., C. Santora and E.A. Babcock. 2004. Ecosystem-based fishery management. *Science* **305**: 346-347.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The Mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.
- U.S. EPA. 1993. Fish field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. EPA 600-R-92-111. Environmental Monitoring systems Laboratory-Cincinnati office of Modeling, Monitoring systems, and quality assurance Office of Research Development, U.S. EPA, Cincinnati, Ohio 45268.
- Vollenweider, R.A. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Technical Report DAS/CSI/68.27. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, France.

(Manuscript received 19 May 2009,
Revision accepted 13 June 2009)