

진양호에서 생태계 건강성평가를 위한 예비조사로서 어류채집도구별 종조성 분석

한 정 호 · 안 광 국*

(충남대학교 생명과학과)

Analysis of Fish Fauna by Sampling Gear as a Preliminary Survey for Ecosystem Health Assessments in Jinyang Reservoir. Han, Jeong-Ho and Kwang-Guk An* (Department of Bio-science and Biotechnology, College of Biological Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

The key objective of this study was to analyze sampling efficiency of various fish sampling gears for a lentic ecosystem health assessment. This survey was conducted at twelve sampling locations of Jinyang Reservoir in November, 2008 and June, 2009. Sampling gears used in the field were fyke net (FN), gill net (GN), trammel net (TN), casting net (CN), minnow trap (MT), and kick net (KN). Fishes sampled in Jinyang Reservoir were 29 species, in which tolerant species, as a proportions of the total numbers, dominated the fish community compared to the sensitive species. Overall sampling indicated that 28 species (3,567 individuals) were sampled by the CN and 15 species (3,108 individuals) were sampled by the FN along with 14 species (577 individuals) by the TN, 7 species (107 individuals) by the GN, 6 species (59 individuals) by MT, and 5 species (95 individuals) by KN, respectively. Statistical analysis (MANOVA), based on CPUE of the fishing gears showed that fish species and numbers of the CN were significantly ($p < 0.05$) greater than those of any other sampling gears. In contrast, sampling gear of MT and KN showed the least efficiency in our survey. This survey is a preliminary results for the tests of sampling gear's efficiency in lentic ecosystems, thus further extensive studies are required for the verification.

Key words : fish sampling gear, health assessment, sampling efficiency, casting net, Jinyang Reservoir

서 론

최근 담수생태계에서 어류를 이용한 생물학적 수질평가법이 환경 선진국인 미국(US. EPA, 1998)을 비롯하여 캐나다(Lyons *et al.*, 1995), 영국(Oberdorff and Hughes, 1992), 호주(Harris, 1995), 일본(Koizumi and Matsu-miya, 1997), 독일(Huguency *et al.*, 1996), 프랑스(Didier *et al.*, 1996)와 같은 선진국들에 이미 도입되어 생태네트 워크 구축 및 지역적 수 환경 종합평가에 크게 기여하고

있다. 어류 지표종 혹은 군집은 물리적, 화학적 변화에 민감할 뿐만 아니라, 생물군집간의 물질순환 및 에너지 흐름을 직접적으로 반영하고(Karr, 1981; Karr *et al.*, 1986; Karr and Dionne, 1991), 조사 시 비용 절감 효과(Ohio EPA, 1989), 또한 수질 진단 및 오염된 수환경 복원 시 핵심기술로 이용된다는 점에서 통합적인 생물 평가법으로 널리 인정 받아오고 있다. 호수생태계에서도 건강성 평가에 대한 관심이 고조되면서 미국(Simon *et al.*, 2000; Drake and Pereira, 2002)을 비롯하여 오스트레일리아(Gassner

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

et al., 2003), 프랑스(Belpaire *et al.*, 2000), 멕시코(Lyons *et al.*, 2000), 브라질(Pettesse *et al.*, 2007)과 같은 여러 나라에서 다변수 메트릭 모델을 사용하여 호수를 평가한 많은 연구가 진행되었으며, 우리나라에서도 정수 생태계 건강성 평가(Lentic Ecosystem Health Assessment, LEHA) 모델을 사용하여, 인공호인 대청호(안과 한, 2007)와 남양호(한과 안, 2008)에 적용한 연구사례가 있다.

지금까지 인공호를 포함한 호수생태계에서 이루어진 어류조사는 대부분이 한 종류의 어구만을 사용하거나 많은 개체수 확보를 위해 일반적으로 보편화된 어구만을 사용하여 단편적으로 어류를 채집한 결과를 정량적으로 비교하기 어렵고, 또한 그 지역의 어류군집 전체를 대표한다고 하기에는 무리가 있을 수 있다. 최근 국내에서는 물환경종합평가 방법 개발조사 연구(환경부, 2006)에서 강이나 하천과 같은 유수생태계(Lotic ecosystem)에서의 어류조사는 족대(Kick net)와 투망(Casting net)을 병행하여 채집 시간과 거리 등의 정량화를 통하여 건강성을 평가하고 있는데 비하여 호수조사에서는 아직까지 정형화된 조사방법이 없는 실정이다. 이에 따라 국내 호수 생태계의 정량적인 건강성 평가를 위해서는 어류채집에 사용되는 다양한 어구의 효율성 분석 및 정량적인 조사 방법의 개발 등의 선행연구 필요성이 절실히 요구된다.

국외에서는 호수에서 어류군집을 연구할 때 다양한 어구들의 효율성을 비교·분석하여 어류 조사 시 어류군집 특성이 잘 반영할 수 있는 어구에 대한 많은 연구가 진행되어 있다(Hayes, 1996; Amour and Boisclair, 2004; Ruetz *et al.*, 2007; Bonvechio *et al.*, 2008; Emmanuel *et al.*, 2008). 국내에서도 해양에서 주로 사용되어지는 삼각망(Fyke net)과 삼중자망(Trammel net)에 대한 채집 효율성 분석은 잘되어 있으나(Lee and Seok, 1984; 김과 이, 2002; 허와 안, 2002; 김 등, 2003; 차 등, 2004; 유 등, 2005), 호수에서 사용되어지는 어구의 효과에 대해 알려져 있는 것은 거의 없는 실정이다(장 등, 2006). 따라서 본 연구에서는 호수의 어류채집에 이용되어지는 다양한 어구를 대상으로 이들 어구의 채집효과를 분석하여 가장 효율적인 어구를 파악하고, 호수생태건강성 평가 시 우리나라 실정에 맞는 호수 어류조사 표준화 방법을 개발하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 조사지점 선정

본 연구에서는 호수생태계의 건강성 평가를 위한 어류

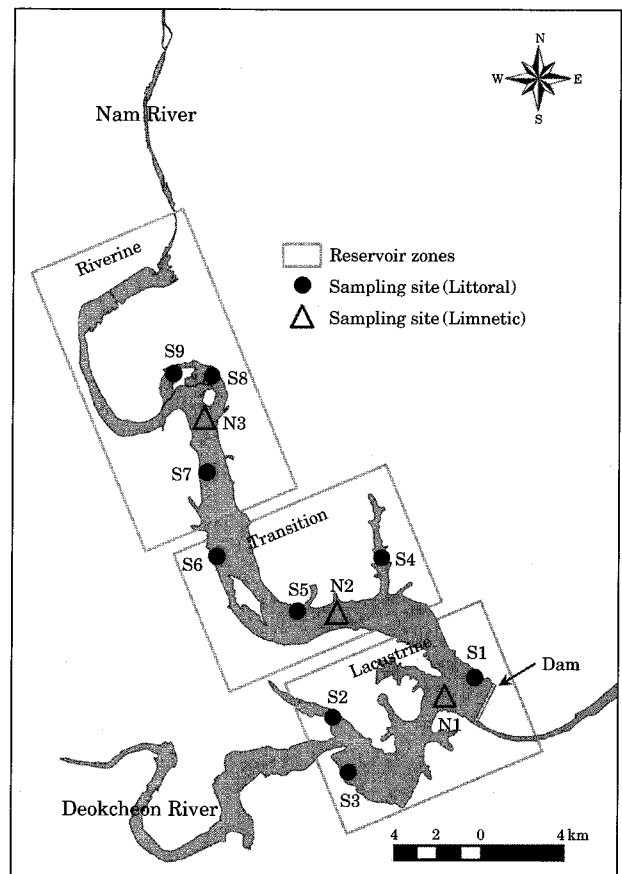


Fig. 1. Map showing each sampling site in the Jinyang Reservoir.

채집기법의 개발을 위한 사례 연구로 남강 본류에 위치하고 있는 인공호인 진양호를 대상으로 어류 조사를 실시하였다. 조사 시기는 대부분 어종의 행동반경이 일정지역을 벗어나지 않으며(Funk, 1957; Gerking, 1959; Cairns and Kaesler, 1971; Hill and Grossman, 1987), 어류군집이 안정된다는 특성을 고려하여 수체 안정기인 2008년 11월과 2009년 6월에 각각 1회씩 현장조사를 실시하였다. 조사 구간은 진양호의 종적 구배(Longitudinal gradient) 특성을 고려하여 정수대(Lacustrine zone, N1), 전이대(Transitional zone, N2), 유수대(Riverine zone, N3)로 구분하여 각 구간별 대표성을 갖는 3개의 구간을 선정하였으며, 각 지점의 일반적인 특징은 다음과 같다. 정수대 지점으로서 댐측에 위치하고 있는 N1은 수심이 평균수심이 6~8m 이상으로 깊고, 수생식물은 전혀 발달되어 있지 않으며, 선착장이 위치하고 있어 대부분 구간이 인공제방으로 구성되어 있다. 하상은 썰, 바위, 모래 비율이 60%:30%:10%로 주로 썰로 이루어져 있는 특징을 보였다. 진양호의 전이대 지점으로서 중류에 위치하는 N2는

평균수심에 4~5 m를 보이고 있으며, 주변에 산림으로 둘러싸여 있어 인간의 활동으로 인한 영향이 거의 없는 지점으로, 주변 호안은 수생식물대 및 자연 암반으로 구성되어 있으며, 하상은 빨, 바위, 모래 비율이 40%:40%:20%로 주로 자갈과 빨로 구성되어 있는 특성을 보였다. N3은 유수대 지점으로서 진양호 상류에 위치하고 있으며, 주변에 남강 및 오미천이 유입되고 있다. 평균수심이 3~4 m로 비교적 얇은 특성을 보이고 있으며, N1 주변의 호안은 수생식물대(침수식물)가 잘 발달되어 있다. 하상은 빨(Silt), 큰 바위(Rock), 모래(Sand)의 비율이 40%:30%:30%로 균등한 비율로 구성되어 있는 특성을 보이고 있다. 각 구간에서 접근이 용이한 연안대 지점을 선정하여(US, EPA, 1998) 각 지점 간 채집된 어류의 종조성에 차이를 분석하였다. 각 지점의 자세한 위치와 행정구역 명칭은 다음과 같다(Fig. 1).

N1(Lacustrine zone)

- S1: 경남 진주시 판문동(N 35° 10'04", E 128° 02'19")
- S2: 경남 진주시 대평면 당촌리(N 35° 10'00", E 127° 59'12")
- S3: 경남 진주시 내동면 내평리(N 35° 08'54", E 128° 00'29")

N2(Transitional zone)

- S4: 경남 진주시 대평면 신평리(N 35° 11'34", E 128° 00'55")
- S5: 경남 진주시 대평면 신평리(N 35° 10'56", E 127° 59'52")
- S6: 경남 진주시 대평면 하촌리(N 35° 10'59", E 127° 58'53")

N3(Riverine zone)

- S7: 경남 진주시 대평면 상촌리(N 35° 12'47", E 127° 58'12")
- S8: 경남 진주시 명석면 오미리(N 35° 14'17", E 127° 59'33")
- S9: 경남 진주시 대평면 대평리(N 35° 13'44", E 127° 58'25")

2. 채집도구 및 조사방법

본 연구에서는 호수의 생태 건강성 평가를 위한 어류 채집 시 사용되는 어구(어획도구)들의 효율성과 어류의 종조성의 차이를 분석하기 위하여 외통발(Fyke net, FN), 자망(Gill net, GN), 삼중자망(Trammel net, TN), 투망(Casting net, CN), 족대(Kick net, KN), 통발(Minnow trap, MT) 등 6가지 유형의 어획도구를 사용하였으며, 사

용된 각각의 어획도구 제원은 다음과 같다.

- FN-망목: 5×5 mm, 깊이: 2.4 m, 유도망 길이: 15 m
- GN-망목: 45×45 mm, 깊이: 3 m, 길이: 100 m
- TN-망목: 12×12 mm, 깊이: 1 m, 길이: 30 m
- CN-망목: 5×5 mm, 포획면적: 4.5 m²(1.2×1.2 m×π)
- KN-망목: 4×4 mm, 포획면적: 1.8 m²(1.8×1 m)
- MT-망목: 4×4 mm, 높이: 0.3 m, 길이: 0.6 m

조사거리는 정량화된 Catch per unit of effort (CPUE)를 산정하기 위하여 각 조사 지점에서 200 m 내외로 채집거리를 제한하여 조사를 실시하였으며, 조사지점 내 모든 서식지(암반, 자갈, 모래, 빨, 정수식물지역)를 포함하였다. 어구의 설치는 각 구간의 호안부에 FN, GN, TN, MT을 1일(24시간) 동안 설치 후 어획물을 수거하였고, FN, GN, TN, MT이 설치된 지점 부근의 호안대에서 CN, KN을 이용하여 지점당 1시간씩 어류조사를 실시하였다. 어류의 효율적인 채집을 위하여 조사인원은 현장 채집 경험이 3년 이상인 조사원을 포함하여 3인 1조로 하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정, 분류 및 개체수 산정을 한 후, 바로 놓아주는 것을 원칙으로 하였다. 동정이 모호한 종의 경우 10% 포르말린 용액에 고정된 후 실험실로 운반하여 김과 강(1993), 김(1997), 김과 박(2002)에 의거하여 동정하였다.

3. 자료 분석

본 연구에서 호수의 어류를 채집하는데 있어서 어구별 채집되는 어류 종조성에 차이 유무 및 각 어구의 효율성을 분석하였으며, 지점별 종조성의 차이 유무를 판단하기 위하여 통계분석을 실시하였다. 각 어구별, 지점별 종조성에 차이 유무를 판별하기 위하여 SPSS (Version 12.0 KO for windows, 2004) 통계 프로그램을 이용하였다. 어구별·지점별 채집된 어류의 종조성에 차이를 비교·분석하기 위하여 다변량분산분석(Multivariate analysis, MANOVA)과 교차분석(Crosstabulation analysis)을 실시하였으며, 어구별로 채집된 종조성 유의성을 분석하기 위하여 유사도 분석(Cluster analysis)을 실시하였다. 각각의 분석은 SPSS (Version 12.0 KO for windows, 2004) 프로그램을 이용하여 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 어류상 및 출현종 특성 분석

진양호를 대상으로 6종류의 어구를 이용한 어류조사 결

Table 1. Fish fauna and species composition of six type sampling gears in the Jinyang Reservoir.

Species	CN		MT		KN		FN		GN		TN		Total	RA (%)
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd		
<i>Zacco platypus</i>	1,527	7	8		13		1,278	512			3	2	3,350	44.59
<i>Lepomis macrochirus</i> [†]	359	122	2		35		9	60	6	11	75	60	739	9.84
<i>Erythroculter erythropterus</i>	20	18					121	229	17	45	9	82	541	7.20
<i>Hemiculter eigenmanni</i> *	178	63			40		135	62			1	56	535	7.12
<i>Micropterus salmoides</i> [†]	54	336						44			9	13	456	6.07
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	4	72			3			251			7	4	341	4.54
<i>Squalidus gracilis majimae</i> *	4	156		13				111				38	322	4.29
<i>Hamibarbus labeo</i>	25	74						10	7	8	38	69	231	3.07
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	5	158											163	2.17
<i>Squalidus japonicus coreanus</i> *	6	56	4	26				58			6		156	2.08
<i>Plecoglossus altivelis</i>		3						146					149	1.98
<i>Rhinogobius brunneus</i>	3	122		3									128	1.70
<i>Acanthorhodeus macropterus</i>	6	3									61	23	93	1.24
<i>Hypomesus nipponensis</i>		4						65					69	0.92
<i>Pseudorasbora parva</i>	6	51			4		2					2	65	0.87
<i>Cobitis lutheri</i>		42											42	0.56
<i>Acheilognathus yamatsuatae</i> *	14	1									14		29	0.39
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> *		25	3										28	0.37
<i>Pungtungia herzi</i>	1	8						11				1	21	0.28
<i>Pseudogobio esocinus</i>	13	3									3	1	20	0.27
<i>Carassius cuvieri</i> [†]	1	1						2	1	9			14	0.19
<i>Carassius auratus</i>		5								1			6	0.08
<i>Acheilognathus koreensis</i> *	4						2						6	0.08
<i>Cyprinus carpio</i>		3											3	0.04
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>		1									1		2	0.03
<i>Coreoperca herzi</i> *	1												1	0.01
<i>Rhodeus notatus</i>		1											1	0.01
<i>Silurus asotus</i>										1			1	0.01
<i>Tridentiger brevispinis</i>		1											1	0.01
TNS	19	26	4	3	5	—	6	13	4	7	12	11	29	
TNI	2,231	1,336	17	42	95	—	1,547	1,561	31	76	228	349	7,513	

CN=Casting net, FN=Fike net, GN=Gill net, TN=Trammel net, MT=Minnow trap, KN=Kick net, RA=Relative abundance, TNS=Total number of species, TNI=Total number of individuals, *=Korean endemic species, †=Exotic species

과, 채집된 총 어류는 1차 조사에서 20종의 4,149개체로 나타났으며, 그 중 한국고유종은 7종 412개체가 출현하여 9.9%의 비율로 나타났다. 2차 조사에서 27종의 3,364개체로 나타났으며, 그 중 한국고유종은 5종 665개체가 출현하여 19.8%의 비율로 나타나 동절기(11월)인 1차 조사에 비하여 하절기(6월)에서 더 많은 종이 출현한 것으로 나타났다. 1, 2차 조사 결과, 진양호에서 채집된 총 어류는 29종의 7,513개체로 이 중 한국 고유종은 5종 1,077개체가 출현하여 14.3%의 출현 비율을 보이는 것으로 나타났다. 출현종 중 피라미(*Zacco platypus*)가 3,350개체로 진양호에서 채집된 어종 중 44.6%의 높은 비율로 나타나 진양호의 우점종으로 나타났으며, 블루길(*Lepomis macrochirus*)이 739개체(9.8%), 강준치(*Erythroculter*

erythropterus)가 541개체(7.2%), 치리(*Hemiculter eigenmanni*)가 535개체(7.1%), 배스(*Micropterus salmoides*)가 456개체(6.1%)순으로 나타났다. 법적보호종 및 천연기념물은 전 지점에서 출현하지 않았으며, 외래종인 배스와 블루길이 1,195개체(15.9%)로 높은 비율로 나타나 현재 진양호는 외래종에 의한 생태계 교란이 진행된 것으로 사료되었다(Table 1).

진양호에서의 1차년도 어류조사 결과에 따르면, 1, 2차 조사에서 어구별로 채집된 어종을 분석한 결과, CN이 28종 3,567개체가 채집되었으며, FN이 15종 3,108개체, TN이 14종 577개체, GN이 7종 107개체, MT가 6종 59개체, KN이 5종 95개체가 채집되어 6종류의 어구 중 CN이 종 및 개체수에서 가장 많이 채집된 것으로 나타났다(Table

Table 2. Efficiency analysis of fish sampling gears using the multivariate analysis (MANOVA) in the Jinyang Reservoir.

	Source	Type III sum of squares	DF	Mean square	F-ratio (F-value)	p
Gear	Species	94.299	5	18.860	248.145	0.0001
	Individuals	371393.413	5	74278.683	7.404	0.002
Error	Species	0.912	12	0.076		
	Individuals	120379.956	12	10031.663		

*Correlation is significant at the 0.05 level

Table 3. Chi-square tests table of fish sampling gears in the Jinyang Reservoir.

	Value	df	Asymp. sig. (2-sided)
Pearson chi-square	3009.630 ^a	46	0.0001
Likelihood ratio statistic	2467.985	46	0.0001

^a34 cells (47.2%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 0.07.

Table 4. Index of predictive association (Lambda) of sampling gears and species number.

		Value	Asymptotic standard error ^a	Approximate-T ^b	Significance probability approximate
Lambda	Gear	0.190	0.007	24.549	0.0001
	Species	0.064	0.005	13.137	0.0001

^aThe null hypothesis was not assumed.

^bIt was used an asymptotic standard error that assumed the null hypothesis.

1). 이와 같은 결과는 호수에서의 어류 분포가 호수의 수심이 깊은 중앙부 보다 수심이 얇아 침수식물이 잘 발달되어 먹이가 풍부하고, 서식처가 잘 발달된 연안대에 더 많은 어종이 서식하기 때문인 것으로 사료되었다. 또한 어류 채집 시 다양한 서식환경 반영의 차이를 갖는 각 어구의 특성 때문이 것으로 사료되었다.

2. 어구별 종조성의 비교·분석

호수에서 이용되고 있는 6종류의 어구를 이용하여 어구별 채집되는 종조성에 차이성 유무를 분석하기 위하여 다변량분산분석(Multivariate analysis, MANOVA)과 교차분석(Crosstabulation analysis)을 실시하였다. 다변량분산분석 결과, 각 어구별 종수의 차이는 0.0001%의 매우 높은 유의수준 하에서 나타나 각 어구별로 채집되는 종조성의 특성에 유의한 차이가 있는 것으로 확인되었다. 한편 개체수의 유의확률은 유의한 수준($p=0.002$)으로 나타나 개체수에 있어서도 각 어구별 차이를 보이는 것으로 확인되었다(Table 2).

한편, 어류의 종조성이 어류채집도구에 따라 어떤 차이를 보이는지 알아보기 위하여 χ^2 검증 통계량을 이용한 교차분석을 실시하였다. 교차분석에 이용된 자료는 본 연구에서 채집된 결과를 바탕으로 하여 어구 중 어종과 개

체수가 많이 채집된 투망(CN), 외통발(FN), 삼중자망(TN)으로 채집된 자료를 이용하여 분석하였다. 교차분석 결과, 피어슨(Pearson)의 카이제곱 값은 3009.630이고 자유도는 46일 때, 점근 유의확률은 0.0001로 나타났다(Table 3). 즉, P-value 값이 유의수준 0.05보다 작은 값이 나와 유의하다고 볼 수 있다. 따라서 어류채집도구별 채집되는 어종의 차이가 있다는 대립가설이 성립된다. 결과적으로, 어획도구(Sampling gears)에 대해서 채집되는 어종의 종조성에 차이는 있다고 볼 수 있다. 또한, Likelihood Ratio 사후 검정 결과에서도 유의수준이 0.05 이하로 나타나 어구별로 채집되는 어종의 차이가 있는 것으로 나타났다. 각각의 어구와 종수 사이에 얼마나 관련성이 있는지에 대하여 방향성 측도 분석을 실시하였다. 분석 결과, 람다(Lambda) 값에서 어구 특성별로 비교하여 보면, 어류채집도구에서 근사 T값이 24.549로 높은 값을 보였으며, 유의 확률이 0.0001% 유의 수준을 나타나 통계적으로 분명한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 어종별 분석에서도 근사 T값이 13.137의 높은 값을 보였으며, 유의확률이 0.0001% 유의수준으로 나타나 어구에 따라서 종에 있어서도 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 4).

CN에서 50% 이상 채집된 어종으로서는 블루길, 배스, 진물개(*Squalidus gracilis majimae*), 납지리(*Acheilogna-*

Table 5. Crosstabulation analysis of sampled fish species composition through each sampling gear (CN, FN, TN) in the Jinyang Reservoir.

Species	CN	FN	TN	TI
<i>Zacco platypus</i>	1,534 (45.8%)	1,790 (53.4%)	5 (0.1%)	3,329
<i>Lepomis macrochirus</i>	481 (65.1%)	69 (9.3%)	135 (18.3%)	685
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	241 (45%)	197 (36.8%)	57 (10.7%)	495
<i>Erythroculter erythropterus</i>	38 (7%)	350 (64.7%)	91 (16.8%)	479
<i>Micropterus salmoides</i>	390 (85.5%)	44 (9.6%)	22 (4.8%)	456
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	76 (22.3%)	251 (73.6%)	11 (3.2%)	338
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	160 (49.7%)	111 (34.5%)	38 (11.8%)	309
<i>Hemibarbus labeo</i>	99 (42.9%)	10 (4.3%)	107 (46.3%)	216
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	163 (100%)			163
<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	3 (2%)	146 (98%)		149
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	62 (39.7%)	58 (37.2%)	6 (3.8%)	126
<i>Rhinogobius brunneus</i>	125 (97.7%)			125
<i>Acanthorhodeus macropterus</i>	9 (9.7%)		84 (90.3%)	93
<i>Hypomesus nipponensis</i>	4 (5.8%)	65 (94.2%)		69
<i>Pseudorasbora parva</i>	57 (87.7%)	2 (3.1%)	2 (3.1%)	61
<i>Cobitis lutheri</i>	42 (100%)			42
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>	15 (51.7%)		14 (48.3%)	29
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>	25 (89.3%)			25
<i>Pungtungia herzi</i>	9 (42.9%)	11 (52.4%)	1 (4.8%)	21
<i>Pseudogobio esocinus</i>	16 (80%)		4 (20%)	20
<i>Acheilognathus koreensis</i>	4 (66.7%)	2 (33.3%)		6
<i>Carassius auratus</i>	5 (83.3%)			5
<i>Carassius cuvieri</i>	2 (14.3%)	2 (14.3%)		4
<i>Cyprinus carpio</i>	3 (100%)			3
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	1 (50%)			1
<i>Coreoperca herzi</i>	1 (100%)			1
<i>Rhodeus notatus</i>	1 (100%)			1
<i>Tridentiger brevispinis Katsuyama</i>	1 (100%)			1
TNS	28	15	14	28
TNI	3,567	3,108	577	7,252

CN=casting net, FN=fyke net, TN=trammel net, TI=Total individuals, TNS=Total number of species, TNI=Total number of individuals

thus rhombeus), 밀어 (*Rhinogobius brunneus*), 참붕어 (*Pseudorasbora parva*), 점줄종개 (*Cobitis lutheri*), 줄납자루 (*Acheilognathus yamatsutae*), 참몰개 (*Squalidus chankaensis tsuchigae*), 모래무지 (*Pseudogobio esocinus*), 붕어 (*Carassius auratus*), 칼납자루 (*Acheilognathus koreensis*), 잉어 (*Cyprinus carpio*), 동자개 (*Pseudobagrus fulvidraco*), 꺾지 (*Coreoperca herzi*), 떡납줄갱이 (*Rhodeus notatus*), 민물검정망둑 (*Tridentiger brevispinis Katsuyama*) 등 17종이 투망을 이용하였을 때 더 효율적으로 채집되었으며, FN에서 50% 이상 채집된 어종은 주로 피라미 (*Zacco platypus*), 강준치 (*Erythroculter erythropterus*), 납자루 (*Acheilognathus lanceolatus*), 빙어 (*Hypomesus nipponensis*), 돌고기 (*Pungtungia herzi*) 등 5종이 효율적으로 채집되었다. 또한 TN에서는 50% 이상 채집된 종이 큰납지리 (*Acanthorhodeus macropterus*) 1종만 채집

효율성이 높은 것으로 나타났을 뿐, 그 이외의 종에서는 CN과 FN에 비하여 채집 효율성이 낮은 것으로 나타나 CN이 채집에 있어서 3종류의 어구 중 종수 측면에서 가장 효율적인 것으로 분석되었다 (Table 5). 채집된 어종의 종조성을 분석한 결과, 잉어과 어종인 피라미, 치리, 긴몰개, 몰개, 돌고기와 같이 무리를 지어 유영하는 어종인 군영어류 (Schooling fish)들은 CN과 FN 모두 높은 채집 효율성을 보인 것으로 나타났으며, 대형 어종인 누치는 CN과 TN에서 높은 채집 효율성이 보이는 것으로 분석되었다. 또한 주로 호수 바위 틈이나 호수 바닥에 서식하는 밀어, 점줄종개, 모래무지, 꺾지, 민물검정망둑과 같은 저서성 어종은 FN, TN보다는 CN에서만 채집되어 저서성 어종을 채집하는데 있어서 CN이 높은 채집 효율성을 갖는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과를 종합해 볼 때, 3종류의 어구 중 CN이 다양한 서식환경에 서식하는 어종

Table 6. Differences of species composition among the sites in each sampling gear through MANOVA in the Jinyang Reservoir.

		Source	Sum of squares	DF	Mean square	F-ratio (F-value)	p
FN	Site	Sp.	165.524	2	82.762	0.889	0.424
		Ind.	69900.333	2	34950.167	0.583	0.566
	Error	Sp.	2326.583	25	93.063		
		Ind.	1498479.700	25	59939.187		
GN	Site	Sp.	9.348	2	4.674	0.099	0.907
		Ind.	121.348	2	60.674	0.422	0.666
	Error	Sp.	521.867	11	47.442		
		Ind.	1581.867	11	143.806		
TN	Site	Sp.	155.091	2	77.545	0.845	0.439
		Ind.	196.424	2	98.212	0.227	0.798
	Error	Sp.	2751.636	30	91.721		
		Ind.	12955.818	30	431.861		
MT	Site	Sp.	14.400	2	7.200	0.062	0.940
		Ind.	78.150	2	39.075	1.404	0.307
	Error	Sp.	811.200	7	115.886		
		Ind.	194.750	7	27.821		
KN	Site	Sp.	15.600	2	7.800	0.093	0.912
		Ind.	164.103	2	82.051	0.911	0.433
	Error	Sp.	840.400	10	84.040		
		Ind.	900.667	10	90.067		
CN	Site	Sp.	1.274	2	0.637	0.008	0.992
		Ind.	33439.306	2	16719.653	0.948	0.394
	Error	Sp.	4690.376	57	82.287		
		Ind.	1005672.6	57	17643.379		
TG	Site	Sp.	3.917	2	1.959	0.025	0.976
		Ind.	196355.000	2	98177.500	0.273	0.287
	Error	Sp.	5334.883	67	79.625		
		Ind.	5167938.400	67	77133.409		

FN=fyke net, GN=gill net, TN=trammel net, MT=minnow trap, KN=kick net, CN=casting net, TG=total gears, DF=Degrees of Freedom, Sp.=species, Ind.=individuals

을 채집하는데 반하여, FN, TN에서 채집된 어종은 주로 중층이나 표층에 서식하고, 이동성을 갖는 어종만이 채집되고 있어, FN과 TN은 진양호의 다양한 서식환경을 대표하는 자료를 획득하기에 다소 어려울 것으로 사료되었다. 이와 같은 결과는 CN이 어류를 포획하는데 있어서 다양한 서식환경에서 채집할 수 있는 능동적인 어구(Active gears)인데 반하여, FN과 TN는 어류의 이동성이 높은 지점에 어구를 설치하여 어류가 채집되는 수동적인 어구(Passive gears)이기 때문에 이와 같은 결과를 나타낸 것으로 사료되었다. 이러한 어구의 특징은 종조성과 관련이 있으며, 특히 중수 측면에서 밀접한 연관성이 있는 것을 나타냈다.

따라서 진양호의 생태 건강성을 평가하는데 있어서 어

구의 선택이 어류의 종조성에 차이를 가져올 수 있으며, 이러한 차이는 생태건강성 평가 메트릭에 많은 영향을 주어 과대평가 되거나 혹은 과소평가되기 때문에, 정량적이고 효율적인 호수 생태계의 건강성을 평가하기 위해서는 어류채집도구의 선정이 매우 중요하다. 또한 어류채집의 용이성 및 대표성을 갖는 효과적인 어구를 선정하는 것도 매우 중요한 과정으로 사료된다.

3. 지점별 어류 종조성의 비교·분석

진양호의 종적 구배(Longitudinal gradient) 특성을 분석하기 위하여 N1(Lacustrine zone), N2(Transitional zone), N3(Riverine zone)의 3지점으로 구분하여 다변량 분산분석(MANOVA) 결과, 6종류 어구 모두 중수의 F 값

Table 7. Comparison of sampling efficiency with six type gears (CN, FN, TN, GN, KN and MT) through catch per unit effort (CPUE=individual number/sampling number×sampling time). For CN and KN, it was operated in 9 sites to sample and was spent in 1 hour in each site. For FN, TN, GN, and MT, it was operated in 3 sites to sample and was spent in 24 hour in each site.

Species	CPUE of sampling gears					
	CN	FN	TN	GN	MT	KN
<i>Zacco platypus</i>	170.44	24.86	0.07	-	0.11	1.44
<i>Lepomis macrochirus</i>	53.44	0.96	1.88	0.24	0.03	3.89
<i>Erythroculter erythropterus</i>	4.22	4.86	1.26	0.86	-	-
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	26.78	2.74	0.79	-	-	4.44
<i>Micropterus salmoides</i>	43.33	0.61	0.31	-	-	-
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	8.44	3.49	0.15	-	-	0.33
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	17.78	1.54	0.53	-	0.18	-
<i>Hamibarbus labeo</i>	11.00	0.14	1.49	0.21	-	-
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	17.56	-	-	-	-	-
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	6.89	0.81	0.08	-	0.42	-
<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	0.33	2.03	-	-	-	-
<i>Rhinogobius brunneus</i>	13.89	-	-	-	0.04	-
<i>Acanthorhodeus macropterus</i>	1.00	-	1.17	-	-	-
<i>Hypomesus nipponensis</i>	0.44	0.90	-	-	-	-
<i>Pseudorasbora parva</i>	6.33	0.03	0.03	-	-	0.44
<i>Cobitis lutheri</i>	4.67	-	-	-	-	-
<i>Acheilognathus yamatsuataea</i>	1.67	-	0.19	-	-	-
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>	2.78	-	0.00	-	0.04	-
<i>Pungtungia herzi</i>	1.00	0.15	0.01	-	-	-
<i>Pseudogobio esocinus</i>	1.78	-	0.06	-	-	-
<i>Carassius cuvieri</i>	0.22	0.03	-	0.14	-	-
<i>Carassius auratus</i>	0.56	-	-	0.01	-	-
<i>Cyprinus carpio</i>	0.33	-	-	-	-	-
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	0.11	-	-	0.01	-	-
<i>Acheilognathus koreensis</i>	0.44	0.03	-	-	-	-
<i>Coreoperca herzi</i>	0.11	-	-	-	-	-
<i>Rhodeus notatus</i>	0.11	-	-	-	-	-
<i>Silurus asotus</i>	-	-	-	0.01	-	-
<i>Tridentiger brevispinis</i>	0.11	-	-	-	-	-

FN=fyke net, GN=gill net, TN=trammel net, MT=minnow trap, KN=kick net, CN=casting net, CPUE=catch per unit effort

이 1.0 미만의 낮은 값을 나타냈으며, 유의확률도 0.05 이상의 높은 값을 보여 6종류 어구에서 지점별 종수 측면에서 차이가 없는 것으로 분석되었다. 또한 개체수에서도 F 값이 1.5 미만으로 낮은 값을 나타냈으며, 유의확률도 0.05% 유의수준 보다 높은 값으로 나타나 개체수 측면에서도 각 지점별 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 분석되었다. 한편, 6종류 어구에서 채집된 어류 종조성의 지점간 차이 분석에 있어서도 종수 측면($F=0.025, p=0.976$)과 개체수 측면($F=0.273, p=0.287$) 모두 각 지점별로 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 분석되었다(Table 6). 이는 진양호의 종적구배 특성이 어류의 종조성에 있어서 유의한 차이를 보이지 않는다는 것을 나타내는 것으로 호수생태 건강성 평가를 위한 지점 선정시 호수의 대표성을 갖는 대표 지점을 선정하여 어류채집을 실시하여도

생태 건강성 평가 값에는 큰 변이를 보이지 않을 것으로 사료되었다.

4. 각 어구별 단위시간당 채집량 (CPUE) 효율성 분석 및 유사도 분석

각 어구별 채집된 어종의 단위시간당 효율성을 비교하고자 진양호에서 채집된 자료를 바탕으로 CPUE (Catch per unit effort)=individual number/(sampling number × sampling time)로 변환하여 어구별 효율성을 분석하였다. 분석 결과, CN이 각 어종별로 시간당 채집되는 개체수가 가장 많은 것으로 나타났으며, MT가 가장 낮은 효율성을 보이는 것으로 나타났다(Table 7). 진양호의 우점종인 피라미를 대상으로 비교한 결과, 시간당 CN이 170 개체, FN이 18개체, KN이 1개체가 채집되는 것으로 분

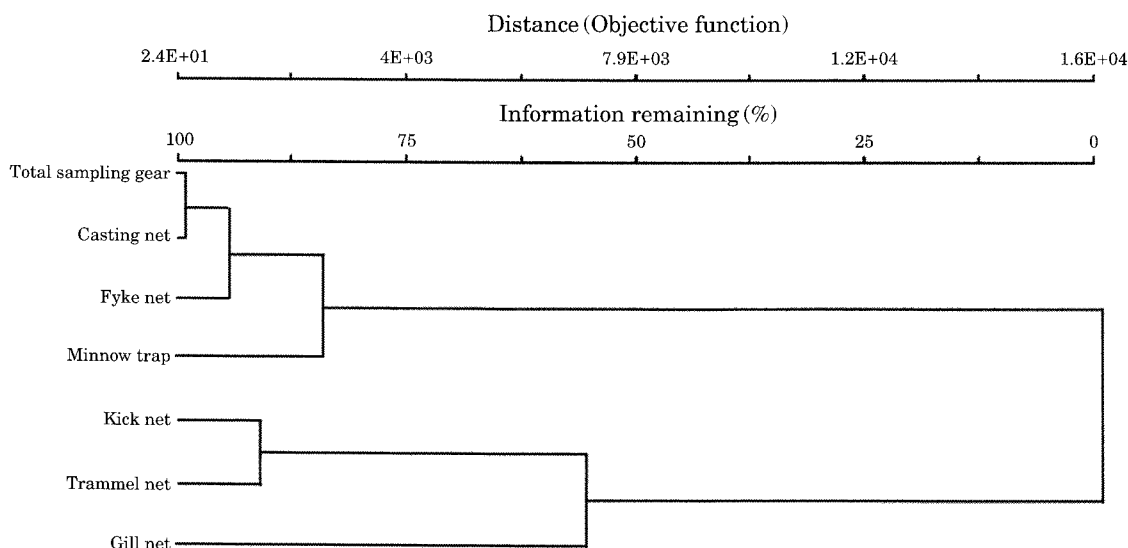


Fig. 2. Cluster analysis of sampled fish species through different sampling gears in the Jinyang Reservoir.

Table 8. Characteristics on different gear types.

Gear	Minimum crew size	Requirement for training	Need of boat	Elapsed time	Mortality/injury to fish
GN, TN	2	Moderate	Yes	Over 24 hr (dependent)	Usually high
FN	2 or 3	High	Yes	Less 24 hr (dependent)	Low, unless rapid change in dissolved O ₂ or water temperature during holding
MT	2	Low	Yes	Less 24 hr (dependent)	Negligible
KN	1	Low	No	1 hr	Negligible
CN	1	Moderate	No	1 hr	Moderate

FN=fyke net, GN=gill net, TN=trammel net, MT=minnow trap, KN=kick net, CN=casting net

석되었으며, TN, GN, MT은 시간당 1개체 미만이 채집되는 것으로 분석되었다. 종수에서도 CN이 28종으로 가장 많은 종이 채집된 반면, KN은 5종만이 채집되어 가장 적은 종수가 채집된 것으로 분석되었다. 결과적으로 6종류의 어구 중 단위시간당 채집되는 어획량에 있어서 CN이 가장 높은 채집 효율성을 보이는 것으로 분석되었다.

진양호에서 채집된 어종을 이용하여 전체 채집된 어종과 각 어구별로 채집된 어종을 유사도 분석(Cluster analysis)을 실시하였다. 분석 결과, 80%에서 유사한 어류 종조성을 보이는 것으로 그룹 I (CN, FN, MT)과 55% 정도에서 유사한 어류 종조성을 보이는 것으로 그룹 II (KN, TN, GN)으로 크게 구분되었다. 그룹 I에서 전체 채집된 어종과 유사한 종조성을 보였으며, 이 중 CN이 전체 채집된 어종과 99%의 연관성을 보이는 것으로 분석되었다. FN은 90% 정도의 연관성을 보였지만 CN에 비하여 상대적으로 낮은 연관성이 나타났으며, MT은 전체 채집된 종조성과는 연관성이 낮은 것으로 분석되었다. 반면, 그

룹 II에서는 KN과 TN은 85%로 유사한 어류 종조성을 보였으며, GN은 KN, TN과는 낮은 상관성을 보이는 것으로 분석되었다. 결과적으로 CN이 전체 채집된 어구와 가장 유사한 어류 종조성이 채집되는 것으로 나타났으며 (Fig. 2), 그 밖에 어구에서는 연관성이 매우 낮은 것으로 분석되었다. 따라서 진양호에서 호수생태계 건강성 평가를 위한 어구를 선정하는데 있어서 주된 어구로서 CN을 선정하고, KN이나 TN 중 보조 어구로 선정하여 조사하는 것이 생태계를 평가하는데 있어서 가장 효율적인 방법으로 사료되었다.

결론

어류 군집을 활용하여 담수 생태계를 평가하는데 있어서 어구의 선정과 방법의 기준은 모니터링 프로그램 혹은 연구의 목적에 따라서 결정되며, 이런 연구 목적에 따라

Table 9. Efficacy of gear types for determining fish species occurrence or abundance in different habitats.

Gear	Active or passive	Depth constraints	Habitat constraints	Comments
GN, TN	Passive	Usually water > 1 m depth	Limited to habitat with no or sparse structure and low to medium velocity	High selectivity for species (roaming versus sedentary) and size
FN	Passive	Determined by depth of trap	Limited to low or moderate water velocity	High selectivity for species (roaming versus sedentary); potential for predation in traps
MT	Passive	Not possible in extremely shallow water	Limited to low velocity habitat	Limited to small fish. Efficacy is species dependent and often low
KN	Active	Limited to safe wading depth	Limited to low velocity habitat	Efficacy is littoral condition dependent and often low
CN	Active	Usually limited to < 1.5 m for cast	Limited to low velocity habitat	Increasing interest and research on these gears

FN=fyke net, GN=gill net, TN=trammel net, MT=minnow trap, KN=kick net, CN=casting net

서 사용되는 어구나 채집방법 선정에 차이를 보인다. 본 연구는 호수생태계를 건강성을 평가하는데 있어서 어류를 이용하여 효율적이고 신속하게 평가하는데 그 목적을 두고 있다. 따라서 호수생태계에 서식하고 있는 어류를 반영할 수 있는 대표적인 어류 종조성 자료를 신속하고 효율적으로 획득할 수 있는 어구 및 방법을 선택하여야 한다. 최근 국내의 많은 인공호에서도 어류군집에 대한 관심이 고조되면서 그에 대한 많은 연구가 진행되고 있다(변 등, 1997; 손 등, 1997; 양 등 1997; 양과 최, 1997; 최 등, 1997; 김과 양, 2001; 이와 김, 2002; 최 등, 2003; 이, 2005; 임과 최, 2005; 최 등, 2005). 그러나 이와 같은 연구에서 이루어진 어류군집 조사는 대부분이 한 종류의 어구만을 사용하였거나, 단편적으로 어류를 채집한 결과 이므로 호수 간 비교에 있어서 정량적인 비교가 어렵고, 그 인공호의 전체 어류군집을 대표하기에는 다소 무리가 있다. 반면, 국외에서는 어류군집을 연구할 때 여러 가지 어구를 동시에 사용함으로써 그 조사 결과가 대상 생태계의 어류군집 특성을 잘 반영하도록 노력하고 있다(Simon, 1998; Jennings *et al.*, 1999; Schulz *et al.*, 1999; Thoma, 1999; Whittier, 1999; Appelberg *et al.*, 2000). 따라서 국내에서도 호수생태 건강성 평가를 위하여 표준적으로 어류군집 포획할 수 있는 어구 선정 및 개발이 시급하다. 그러나 현재 국내에서 호수의 어류군집 조사에 이용되는 어구들 중 생태 건강성 평가 측면에서 가장 효율적인 어구 선정하는데 있어서 각 어구의 특성 및 채집 효율성 분석이 선행되어야 하지만 이에 대한 연구가 실질적으로 아직 미미한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 필요성에 의하여 6종류의 어구를 대상으로 각 어구별 특성을 기술하여, 어구의 채집 효율성을 비교하였다(Table 8).

6종류의 어구를 비교한 결과, MT은 설치와 채집에 있어서 가장 쉬운 특징을 갖는 어구이나, 어류를 채집하는데 있어서 사용되는 미끼(Bait)에 따라서 채집되는 어종이 매우 선택적이고, 채집되는 확률이 매우 낮게 나타나 호수에서 어류를 채집하는데 있어서 매우 부적합한 것으로 사료되었다. KN은 일반적으로 하천이나 강에서 주로 많이 사용되는 어구로서 하천의 하안(Stream bank)이나 바위틈에 서식하는 어류를 채집할 때 매우 높은 효율성을 보인다. 또한 유량이 적거나, 하폭이 좁은 소하천에서는 그 효율성이 더욱 더 증가하는 특성을 보인다(환경부, 2007). 호수에서도 수생식물이 잘 발달된 연안대(Littoral zone)에서 많은 종을 채집하는 것으로 나타난다. 그러나 국내에 산재하고 있는 대부분의 호수들은 인공호들로서 계절적으로 수위 변화에 있어서 큰 차이를 보이기 때문에 연안대에 수생식물 발달이 미약하다. 이는 진양호의 연안대 지점 중 대부분의 지점에서 이와 같은 특성을 보였으며, 수심이 깊어서 KN으로는 어류채집이 불가능하였다. 이에 따라서 KN은 호수에서 어류채집에 있어서 주된 어구로서 사용하기에 다소 무리가 있기 때문에, 주된 어구를 보완하여 주는 보조어구로서는 적합한 것으로 사료되었다.

FN은 일반적으로 담수나 해양 생태계에서 CN과 같이 어종을 찾아 이동하면서 어획을 하는 어구가 아니라, 특정 지점에 어구를 설치하여 고정하고, 유영하는 어류가 어획되기를 기다리는 수동적인 어구로 알려져 있다(NFRDI, 2002). 이러한 특성 때문에 FN으로 채집된 어구는 계절에 따라서 무리를 지어 연안대를 회유하는 어류가 주로 대량으로 어획되는 특징을 가지고 있으나, 시기적으로 우점종의 생물량 변이가 심하고, 어구설치가 복잡하여 많은

시간과 노력을 요구되는 특징을 가지고 있다. 또한 설치되는 시간에 따라서 생체량 변화도 심하기 때문에 어류 군집 연구를 위한 정성적인 채집은 어렵다(Lee and Seok, 1984). 본 연구 결과에 있어서도 FN은 특정 우점종이 다른 어구에 비하여 너무 많이 채집된 것을 확인할 수 있었는데 이러한 특징은 해양에서 다양한 어구를 사용하여 채집 효율성을 비교한 연구(허와 안, 2002; 안과 허, 2003)에서도 이와 같은 연구 결과와도 일치하였다(장 등, 2006). 이러한 특징은 호수에 서식하고 있는 어류의 자원량이나 특정 어종을 채집하는데 있어서 높은 효율성을 보일 수는 있으나, 본 연구의 목적에서는 어류의 자원량 측면보다는 어류의 종 다양성 측면과 채집되는 어류의 상대적인 비율에 더 많은 초점을 맞추고 있기 때문에 본 연구의 목적에는 다소 적합한 어구는 아닌 것으로 사료되었다. 한편, GN, TN은 어류들이 이동하는 동선에 어구를 설치하여 어체의 일부가 그물에 걸리게 하여 채집하는 어구로서(안과 허, 2003), 어류를 채집하는데 있어서 전 세계적으로 널리 쓰이고 있으며(Craig *et al.*, 1986; Degerman *et al.*, 1988; Acosta, 1997), FN과는 달리 채집 면적을 정확히 추정할 수 있어 단순히 개체수 자료가 아닌 단위시간당 채집량(CPUE)으로 환산하여 정량적인 자료를 확보할 수 있으며, 어구의 망목 크기를 조절하여 어류의 크기를 선택적으로 채집할 수 있는 특징을 갖는 어구이다. 그러나 GN, TN은 채집되는 어류에 있어서 편향성을 가지고 있으며, 채집된 어류의 수거 시 훼손이 심각하여, 어류 개체의 건강도를 평가하는데 많은 어려움을 가지고 있다(Table 9).

환경선진국인 미국이나 유럽에서는 호수생태계 건강성 평가 시 어류를 채집하는데 있어서 단일 어구 중 가장 많이 사용하고 있는 어구는 보트를 이용한 전기충격기(Electrofishing)이다. 전기충격기는 더 적은 시간과 노력으로 일관되게 많은 종 및 개체를 채집할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 모든 서식환경에서 사용될 수 있으며, 어떠한 상황에서도 보다 양질의 데이터를 얻을 수 있는 유일한 어구로 기술하고 있다(Thoma, 1999). 그러나 국내에서는 전기충격기 자체가 어류를 채집하는데 있어서 불법적인 어구로 지정되어 사용을 금지하고 있기 때문에 어류 조사에 있어서 전기충격기를 사용할 수가 없다. 일반적으로 전기충격기는 걸어 다닐 수 있는 하천이나 강에서 효율성이 높은 어구로서 국내에서도 이미 그 효율성이 입증되었음에도 불구하고(An *et al.*, 2005), 현재 국내 환경부 주도하에 유수생태계(Lotic ecosystem)의 생태건강성을 평가하는 프로젝트에서 기준화된 채집 도구로서 전기충격기를 제외한 CN과 KN이 사용되고 있는 실정이다

(환경부, 2007), 따라서 CN과 KN이 하천이나 강에서 가장 효율적인 어구로 선정되어 사용되고 있으며, 특히 대전천(안과 김, 2005), 유등천(안 등, 2005), 갑천(배와 안, 2006)과 같은 도심 하천 및 평창강(안 등, 2001), 유구천(안과 이, 2006), 초강(안과 최, 2006) 등의 산간 계류형 하천 등 생태 건강성을 평가하는 등 많은 생태 건강성 평가 연구에 적용되고 있다. CN은 수심이 깊은 곳에서는 채집이 어려워 호수에서는 주로 연안대에서만 조사가 이루어진다는 특징이 있으나, 어류를 채집하는데 있어서 다양한 서식환경에 있는 어류를 능동적으로 채집할 수 있기 때문에 FN, GN, TN, MT과는 다르게 다양한 어류를 채집하는 것으로 분석되었다. 또한 CN은 다른 어구에 비하여 채집하는데 소요되는 시간이 짧은 특징을 가지고 있어, 빠른 기간 내에 평가를 해야 하는 생태 건강성의 목적과도 부합되는 어구로 사료되었다.

Thoma (1999)에 보고에 따르면, 인공호의 생태건강성 평가 모델에서 대조군 조사를 실시하여야 한다고 기술되어 있지만, 국내에는 대조군 조사를 실시할만한 상태가 양호한 인공호가 없기 때문에, 건강성 평가에 있어서 어류 생체량보다는 종조성 비율 및 길드 분석을 통한 접근 방법만이 유일한 대안으로 사료된다. 따라서 어류의 생체량을 제외한 종조성 비율 및 길드분석에 있어서는 6종류의 어구 중 호수에서 단일 어구로는 CN이 가장 효율적인 어구로 분석되었으며, MT이 가장 낮은 채집 효율성을 보이는 어구로 분석되었지만, 다양한 어구를 동시에 사용하여 획득한 자료가 가장 정확한 자료라고 판단된다. 그러나 연구자의 목적과 평가의 효율성에 따라서 사용되는 어구가 달라질 수 있을 것으로 판단된다. 결론적으로 호소라는 대형 조사 지역에서 시간적, 물리적 여건을 고려할 때 수변부의 수생식물이 잘 발달되고 서식지가 다양하게 형성된 호소라면, 경제적으로나 시간적으로 효율적인 CN을 사용하는 것도 호수 건강성 평가 시 표준화된 어구로 고려할 수 있을 것으로 판단된다. 이와 같은 연구는 그 동안 호수의 어류군집을 표준적으로 비교하는데 있어서 어구 선택이 가지고 있던 문제점을 해결할 수 있는 핵심적인 자료로 활용될 수 있으며, 향후 추가적으로 더 많은 호수에서의 연구가 뒷받침 된다면 호수생태계의 건강성 평가 시 표준이 되는 어구와 채집 방법이 개발될 수 있을 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 현재 국내 호수에서 사용되는 어구들(Sam-

pling gears) 중 어류를 이용한 호수생태계의 건강성 평가에 적용할 수 있는 어구를 선정하기 위하여 각 어구별 채집 효율성을 분석하였다. 이를 위하여 진양호를 대상으로 2008년 11월과 2009년 6월 2회에 걸쳐서 어류조사를 실시하였다. 조사에 사용된 어구는 외통발(FN), 자망(GN), 삼중자망(TN), 투망(CN), 통발(MT), 족대(KN) 등 6개의 어구를 사용하였다.

진양호에서 채집된 총 어류는 1차 조사에서 20종의 4,149개체로 나타났으며, 2차 조사에서 27종의 3,364개체로 나타나 동절기(11월)인 1차 조사에 비하여 하절기(6월)에서 더 많은 종이 출현한 것으로 나타나 1, 2차 조사 결과, 총 어류는 29종의 7,513개체가 채집되었다. 어구별로 채집된 어종을 분석한 결과, 투망(CN)이 28종 3,567개체가 채집되었으며, 정치망(FN)이 15종 3,108개체, 삼중자망(TN)이 14종 577개체, 자망(GN)이 7종 107개체, 통발(MT)이 6종 59개체, 족대(KN)가 5종 95개체가 채집되어 투망이 종 및 개체수에서 가장 많이 채집된 것으로 나타났다.

어류채집도구별 다변량분산분석(MANOVA) 결과, 각 어구마다 채집되는 종수에 차이가 있는 것으로 나타났으며, 이 중 CN을 이용한 다른 채집도구들에 비해서 가장 효율적인 것으로 분석되었다. 반면, MT와 KN이 어류채집 시 가장 낮은 효율성을 보이는 것으로 나타났다. 또한 유사도 분석에서도 CN이 전체 채집된 어류 자료와 95% 정도의 유사도를 보였으며, MT, GN, TN, KN으로 채집된 어류는 유연관계가 적은 것으로 나타났다. 본 연구는 호수생태계에서 어류조사도구별 효율성에 대한 예비연구로서 검증용을 위해 향후 여러 호수에 대한 더 많은 연구가 뒷받침되어야 할 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

김성훈, 이주희. 2002. 가자미 삼중자망의 망목 선택성. 한국어업기술학회지 38(2): 91-100.
 김영혜, 김종빈, 장대수. 2003. 여수연안 정치망 어획물의 종조성과 계절변동. 한국수산학회지 36(2): 120-128.

김익수, 강언중. 1993. 원색 한국 어류도감. 아카데미 서적, 서울.
 김익수, 박종영. 2002. 한국의 민물고기. 교학사, 서울.
 김익수, 양 현. 2001. 전북 부안댐 어류군집의 변화. 한국생태학회지 24(1): 45-50.
 김익수. 1997. 한국동식물도감. 제37권 동물편(담수어류). 교육부, 서울.
 배대열, 안광국. 2006. 생물학적 다변수 모델 적용 및 수화학 분석에 의거한 갑천 생태계 평가. 한국육수학회지 39(2): 198-208.
 변희근, 전상린, 김도한. 1997. 소양호의 어류상과 어류군집. 한국육수학회지 30(4): 325-335.
 손영목, 송호복, 변희근, 최재석. 1997. 팔당호의 어류군집 동태. 한국어류학회지 9(1): 141-152.
 안광국, 김자현. 2005. 물리적 서식지평가기법 및 어류 다변수 평가모델에 의거한 대전천의 생태학적 건강도 진단. 한국육수학회지 38(3): 361-371.
 안광국, 이의행. 2006. 어류의 군집 메트릭 모델을 이용한 유구천의 생태 건강도 평가. 한국육수학회지 39(3): 310-319.
 안광국, 이재연, 장하나. 2005. 유동천에서의 생태학적 건강도 평가 및 수질양상. 한국육수학회지 38(3): 341-351.
 안광국, 정승현, 최신석. 2001. 생물보전지수(Index of Biological Integrity) 및 서식지 평가지수(Qualitative Habitat Evaluation Index)를 이용한 평창강의 수환경 평가. 한국육수학회지 34(3): 153-165.
 안광국, 최지웅. 2006. 초강의 통합적 생태건강성 평가. 한국육수학회지 39(3): 320-330.
 안광국, 한정호. 2007. 정수 생태계 건강성 평가를 위한 다변수 메트릭 모델 개발. 한국육수학회지 40(1): 72-81.
 안용락, 허성희. 2003. 가덕도 주변 해역 어류의 종조성과 계절변동 4. 저층자망에 의해 채집된 어류. 한국수산학회지 36(6): 686-694.
 양홍준, 채병수, 남명모. 1997. 안동댐유역의 어류상과 어류군집구조. 한국육수학회지 30(4): 347-356.
 양홍준, 채병수. 1997. 남강댐호 유역의 어류상과 군집구조. 환경생물 15(2): 175-183.
 유정화, 김병기, 김진구, 김현주. 2005. 동해 중부 연안에서 자망과 정치망에 어획된 어류 종조성의 계절 변동. 한국어류학회지 17(4): 279-286.
 이충렬, 김용호. 2002. 진양호 일대의 어류상과 어류군집 구조. 한국어류학회지 14(3): 173-182.
 이충렬. 2005. 합천호의 어류상과 어류 군집구조. 한국어류학회지 17(2): 131-141.
 임현식, 최진우. 2005. 영암호 저서동물군집에 미친 하구둑 건설의 영향. 한국수산학회지 38(3): 172-183.
 장영수, 이광열, 최준길, 서진원, 최재석. 2006. 포획도구에 따른 횡성호내 어류채집 효과분석. 한국육수학회지 39(2): 245-256.
 차병열, 장대수, 김병엽. 2004. 제주도 함덕 연안의 정치망 어

- 획량 변동. 한국수산학회지 **37**(1): 65-72.
- 최신석, 송호복, 황수옥. 1997. 대청호의 어류 군집. 한국육수학회지 **38**(1): 63-72.
- 최재석, 이광열, 장영수, 고명훈, 권오길, 김범철. 2003. 소양호의 어류군집 동태. 한국어류학회지 **15**(2): 95-104.
- 최재석, 이광열, 장영수, 최의용, 서진원. 2005. 평화의 댐 어류 군집 분석. 한국육수학회지 **38**(3): 297-303.
- 한정호, 안광국. 2008. 남양호에서 다변수 메트릭 모델 적용 및 평가. 한국하천호수학회지 **41**(2): 228-236.
- 허성희, 안용락. 2002. 가덕도 주변 해역 어류의 종조성과 계절적 변동 2. 삼각망에 의해 채집된 어류. 한국수산학회지 **35**(4): 366-379.
- 환경부. 2006. 물환경종합평가방법 개발 조사연구(III) 최종보고서: 수생태 건강성 조사 및 평가체계 연구.
- 환경부. 2007. 수생태 건강성 회복을 위한 하천복원 모델과 기준, 조사계획 수립 연구 최종보고서(III): 수생태 건강성 조사계획 수립 및 지침.
- Acosta, A. 1997. Use of multi-mesh gillnets and trammel nets to estimate fish species composition in coral reef and mangroves in the southwest coast of Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science* **64**: 91-100.
- Amour, B.A. and A.D. Boisclair. 2004. Comparison between two sampling methods to evaluate the structure of fish communities in the littoral zone of a Laurentian Lake. *Journal of Fish Biology* **62**: 1372-1384.
- An, K.G., S.J. Hwang, D.Y. Bae, J.Y. Lee and J.-H. Kim. 2005. Introduction of an electrofishing technique for assessments of fish assemblages to Korean watersheds. *Korean Journal of Limnology* **38**(4): 482-493.
- Appelberg, M., B.C. Bergquist and E. Degerman. 2000. Using fish to assess environmental disturbance of Swedish lakes and streams - a preliminary approach. *Verhandlungen. Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* **27**: 311-315.
- Belpaire, C., R. Smolders, I.V. Auweele, D. Ercken, J. Breine, G.V. Thuyne and F. Ollevier. 2000. An index of biotic integrity characterizing fish populations and the ecological quality of Flandrian water bodies. *Hydrobiologia* **434**: 17-33.
- Bonvechio, T.F., W.F. Pouder and M.M. Hale. 2008. Variation between electrofishing and otter trawling for sampling black crappies in two Florida lakes. *North American Journal of Fisheries Management* **28**: 188-192.
- Cairns, J. Jr. and R.L. Kaesler. 1971. Cluster analysis of fish in a portion of the upper Potomac River. *Transactions of the American Fisheries Society* **100**: 750-756.
- Craig, J.F., A. Sharma and K. Smiley. 1986. The variability in catches from multi-mesh gillnets fished in three Canadian lakes. *Journal of Fish Biology* **28**: 671-678.
- Degerman, E., P. Nyberg and M. Appelberg. 1988. Estimating the number of species and relative abundance of fish in oligotrophic Swedish lakes using multi-mesh gillnets. *Nordic Journal of Freshwater Research* **64**: 91-100.
- Didier, J., D. Kestemont and J.C. Micha. 1996. Indice Biologique d'Integrite piscicole pour evaluer la qualite ecologique des ecosystemes aquatiques. la Paix, Namur, Belgium.
- Drake, M.T. and D.L. Pereira. 2002. Development of a fish-based index of biotic integrity for small inland lakes in Central Minnesota. *North American Journal of Fisheries Management* **22**: 1105-1123.
- Emmanuel, B.E., L.O. Chukwu and L.O. Azeez. 2008. Cast net design characteristics, catch composition and selectivity in tropical open lagoon. *African Journal of Biotechnology* **7**(12): 2081-2089.
- Funk, J.L. 1957. Movement of stream fishes in Missouri. *Transactions of the American Fisheries Society* **85**: 39-57.
- Gassner, H., G. Tischler and J. Wanzenbock. 2003. Ecological integrity assessment of lakes using fish communities suggestions of new metrics developed in two Austrian Prealpine lakes. *International Review of Hydrobiology* **88**(6): 635-652.
- Gerking, S.D. 1959. The restricted movement of fish populations. *Biological Review* **34**: 221-242.
- Harris, J.H. 1995. The use of fish in ecological assessments. *Australian Journal of Ecology* **20**: 65-80.
- Hayes, D.B., C.P. Ferreri and W.W. Taylor. 1996. Active fish capture methods. p. 193-220 *In*: Fisheries techniques (Murphy, B.R. and D.W. Willis, eds.). American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Hill, J. and G.D. Grossman. 1987. Home range estimates for three North American stream fishes. *Copeia* **1987**: 376-380.
- Huguency, B., S. Camara, B. Samoura and M. Magassouba. 1996. Applying an index of biotic integrity based on communities in a West African river. *Hydrobiologia* **331**: 71-78.
- Jennings, M.J., J. Lyons, E.E. Emmons, G.R. Hatzenbichler, M.A. Bozek, T.D. Simonson, T. Douglas Bezar Jr. and D. Fago. 1999. Toward the development of an index of biotic integrity for inland lakes in Wisconsin, p. 541-560. *In*: Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities (Simon, T.P. ed.). CRC-Press Boca Raton, London, New York, Washington.
- Karr, J.R. and M. Dionne. 1991. Designing surveys to assess biological integrity in lakes and reservoirs, in biological criteria. EPA-440/5-91-005, USA. p. 62-72.

- Karr, J.R., K.D. Fausch, P.L. Angermeier, P.R. Yant and I.J. Schlosser. 1986. Assessing biological integrity in running water: A method and its rationale. p. 5-28, Illinois National History Survey, Special Publication 5, Champaign, IL.
- Karr, J.R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* **6**: 21-27.
- Koizumi, N. and Y. Matsumiya. 1997. Assessment of stream fish habitat based on index of biotic integrity. *Bulletin of the Japanese Society of Fisheries Oceanography* **61**: 144-156.
- Lee, T.W. and K.J. Seok. 1984. Seasonal fluctuations in abundance and species composition of fishes in Cheonsu Bay using trap net catches. *Korean Journal of Oceanology Society* **19**: 217-227.
- Lyons, J.S., P. Navarro, A. Perez, E. Cochran, C. Santana and M. Guzman-Arroyo. 1995. Index of biotic integrity based on fish assemblages for the conservation of streams and rivers in west-central Mexico. *Conservation Biology* **9**: 569-584.
- Lyons, J., G.H. Altagracia, D.P. Edmundo, S.G. Eduardo, M.N. Martina and P.L. Raul. 2000. Development of a preliminary index of biotic integrity (IBI) based on fish assemblages to assess ecosystem condition in the lakes of central Mexico. *Hydrobiologia* **418**: 57-72.
- NERDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2002. Fishing gear of Korea. Hangeul Graphics, pp. 579.
- Oberdorff, T. and R.M. Hughes. 1992. Modification of an index of biotic integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin, France. *Hydrobiologia* **228**: 117-130.
- 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.
- Pettesse, M.L., M. Petesse Jr. and R.J. Spigolon. 2007. Adaptation of the reservoir fish assemblage index (RFAI) for assessing the Barra Bonita reservoir (Sao Paulo, Brazil). *River Research and Applications* **23**: 595-612.
- Ruetz, C.R. III, D.G. Uzarski, D.M. Krueger and E.S. Rutherford. 2007. Sampling a littoral fish assemblage: comparison of small-mesh fyke netting and boat electrofishing. *North American Journal of Fisheries Management* **27**: 825-831.
- Schulz, E.J., M.V. Hoyer and D.E. Canfield Jr. 1999. An index of biotic integrity: A test with limnological and fish data from sixty Florida lakes. *Transactions of the American Fishery Society* **128**: 564-577.
- Simon, T.P. 1998. Modification of an index of biotic integrity and development of reference conditions expectations or dunal, palustrine wetland fish communities along the southern shore of Lake Michigan. *Aquatic Ecosystem Health and Management* **1**: 49-62.
- Simon, T.P., R. Jankowski and C. Morris. 2000. Modification of an index of biotic integrity for assessing vernal ponds and small palustrine wetlands using fish, crayfish, and amphibian assemblages along southern Lake Michigan. *Aquatic Ecosystem Health and Management* **3**: 407-418.
- SPSS. 2004. SPSS 12.0 KO for windows. Apache software foundation.
- Thoma, R.F. 1999. Biological monitoring and the index of biotic integrity for Lake Erie's nearshore waters, p. 418-461. *In*: Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities (Simon, T.P. ed.). CRC-Press Boca Raton, London, New York, Washington, D.C., USA.
- US. EPA. 1998. Lake and reservoir bioassessment and bio-criteria. EPA 841-B-98-007. U.S. EPA, Office of Water, Washington, D.C., USA.
- Whittier, T.R. 1999. Development of IBI metrics for lakes in Southern New England, p. 563-580. *In*: Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities (Simon, T.P. ed.). CRC-Press Boca Raton, London, New York, Washington, D.C., USA.

(Manuscript received 31 January 2010,
Revision accepted 10 March 2010)