

영남지역 21개 호소의 어류상과 군집구조

김상기^{1,2} · 강영훈² · 홍기봉^{1,2} · 유동욱^{1,3} · 석호영⁴ · 채병수⁵ · 김한준² · 황의욱^{1,3,*}

¹경북대학교 계통진화유전체학연구소, ²경북대학교 생명과학부,
³경북대학교 생물교육과, ⁴영남대학교 생물학과, ⁵국립공원연구원 유류오염연구센터

Ichthyofauna and Community Structure from 21 Lakes in the Yeungnam Area including Gyeongsangbuk-do and Gyeongsangnam-do Provinces, Korea by Sang Ki Kim^{1,2}, Yeong Hoon Kang², Gi Bung Hong^{1,2}, Dong Uk Yoo^{1,3}, Ho Yeong Suk⁴, Byung Soo Chae⁵, Han Sun Kim² and Ui Wook Hwang^{1,3,*} (¹Institute for Phylogenomics and Evolution, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea; ²School of Life Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea; ³Department of Biology Education, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea; ⁴Department of Life Science, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea; ⁵Oil Pollution Research Center, National Park Research Institute, Taean 357-907, Korea)

ABSTRACT Freshwater fish fauna and community structure were surveyed through 21 lakes in the Yeungnam area including Gyeongsangbukdo and Gyeongsangnamdo provinces, Korean Peninsula from April 2008 to October 2009. Among 21 lakes, 16 lakes belong to the Nakdong River and 5 are independent drainages. From the present study, 61 species (44 genera, 15 families) were collected including 32 cyprinid species (52.5%), 6 cobitid species (9.8%) and so on. The dominant and subdominant species in aspect of the number of individuals were *Hypomesus nipponensis* (26.6%) and *Squalidus gracilis majimae* (14.8%), respectively. On the other hand, in aspect of in biomass, dominant and subdominant species were *Lepomis macrochirus* (19.8%) and *Cyprinus carpio* (14.7%), respectively. Among 61 examined species, there were found 20 Korean endemic species and 2 Korean endangered species (*Pseudobagrus brevicorpus* and *Pungitius kaibarae*). *P. brevicorpus* was found in Yongyeonji and Yeongcheonho, and *P. kaibarae* in Yongyeonji. In addition, 5 exotic species were identified such as *Cyprinus carpio nudus* (leather carp), *Carassius cuvieri*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Lepomis macrochirus* and *Micropterus salmoides*. Interestingly, a bluegill *L. macrochirus* appeared dominant or subdominant species in 5 of 21 examined lakes. Five species introduced from the other rivers in Korean Peninsula were additionally described. In the present study, it was first reported that *Micropercops swinhonis* inhabits in the Nakdong river basin. The fish species diversity, evenness and dominant indices were examined, and a dendrogram based on similarity indices of inhabiting species among the 21 examined lakes was constructed and discussed.

Key words : Ichthyofauna, community structure, species diversity, Yeungnam Lakes, Gyeongsangbuk-do, Gyeongsangnam-do

서 론

담수는 중요한 수자원으로 과거부터 인간의 활용 목적에 따라 다양한 방법으로 관리되어 왔다. 흐름이 조절되는 강

생태계에서의 물리적 변형 사례가 세계적으로 증가하고 있으며, 이에 따라 부영양화와 같은 수질 오염 및 생태계 교란의 문제점이 지속적으로 대두되고 있다 (Large and Petts, 1992). 더불어 21세기에 접어들어 수질오염 및 토지 이용의 증가와 기후 변화 등은 수생태계에 있어 가장 큰 위협이 되고 있으며, 그 중에서 정수 생태계인 호소는 주변의 농경지와 인간 활동에 따른 오염물질에 의해 심각한 부영양화

*교신저자: 황의욱 Tel: +82-53-950-5911, Fax: +82-53-950-6345,
E-mail: uwhwang@knu.ac.kr

의 위험에 놓여 있다 (Finlayson and Moser, 1992; Dugan, 1993). 잘 보존된 호소는 생물 다양성을 높여 줄 뿐만 아니라 심미적, 경제적 가치를 제공해주며 수많은 희귀종과 멸종위기종을 보호하는 서식처로서의 기능을 수행한다 (Barbier, 1994). 호소는 홍수조절, 오염된 수질의 정화, 레크리에이션 등의 직접적, 경제적 가치를 지닌 습지로 국가적 차원에서 보호될 필요성이 있을 뿐만 아니라 습지 내 생물의 생태적 특성과 천이과정에 대한 지속적인 모니터링이 요구되고 있다.

낙동강수계에는 용수 공급, 전력 생산, 홍수 조절, 하천유지용수 확보 등의 목적으로 많은 인공호소가 축조되어 있으며, 대표적으로 안동호, 임하호, 합천호, 진양호, 운문호 등을 들 수 있다. 또한 자연적으로 생성된 우포늪, 정양늪, 박실지, 질날벌 등이 있다. 호소에서 담수어류는 고차소비자로서 호수나 하천 생태계에서 중요한 생태적 지위를 가지는 동물군이다 (전, 1995). 영남 지역의 호소에 대한 어류상 조사는 영천호의 어류상과 어류군집조사 (변 등, 2004), 댐 저수지의 외래어종 분포 및 영향에 관한 연구 (김 등, 1996), 호소생물상조사 (대구지방환경청, 2004), 경상북도 경주시 저수지에서 채집된 어류상 (유 등, 2009) 등이 있다. 이 중 낙동강 수계의 개별 호소에 대한 조사는 댐 호를 중심으로 한 진양호 (이와 김, 2002), 영천호 (변 등, 2004), 합천호 (이, 2005) 등의 조사가 전부이고, 다른 개별 호소에 대한 조사는 부족한 실정이다. 또한 영남지역에는 많은 수의 외래어종 (배스 *Micropterus salmoides*, 블루길 *Lepomis macrochirus*

등)이 출현하고 있으며 또한 국내 타 수계로부터의 이입어종 (끄리 *Opsariichthys uncirostris amurensis*, 치리 *Hemiculter eigenmanni* 등) 역시 출현하고 있다. 이들 외래어종 및 타 수계로부터의 이입어종은 무분별하게 도입 및 방류되어 생태계 교란의 위험성이 대두되고 있어 (유 등, 2008), 이들에 의한 영남지역 호소 내 어류상의 변화도 평가되어야 할 것이다.

어류의 지리적 분포와 서식환경을 파악하는 것은 관련 학문에 기초 자료를 제공할 뿐만 아니라 수자원의 효율적인 이용과 보호를 위해 매우 중요한 일이다. 하지만 아직까지 이에 대한 기초자료는 매우 부족한 실정이다. 본 연구에서는 동일시기에 영남지역 주요 21개 호소의 어류상 및 어류군집의 특성을 파악하고, 외래어종 및 고유종의 서식실태를 확인하여 호소의 안정적인 어족자원 관리와 다른 지역 수계의 호소와의 비교 자료로서 활용 가능한 기초 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사 기간 및 정점

본 연구는 영남지역인 경상북도와 경상남도에 위치하는 21개 호소를 대상으로 2008년 4월부터 2009년 10월까지 수행되었으며, 동계를 제외하고 각 호소별로 3회씩 어류상 조사를 실시하였다. 조사 대상인 21개 호소의 이름, 위치,

Table 1. Name, location, river basin, available reservoir storage, area, and type of the 21 surveyed lakes located in Yeungnam area, Korean Peninsula

Station	Lakes	Location	River basin	Available reservoir storage (1,000 ton)	Area (km ²)		Lake type*
					Basin	Reservoir	
1	Gyeongcheonho	Magwang-ri, Dongro-myeon, Mungyeong-si, Gyeongsangbuk-do	Nakdong R.	27,220	91.5	1.6	RA
2	Imhaho	Imha-ri, Imha-myeon, Andong-si, Gyeongsangbuk-do	Nakdong R.	424,000	1,361	26.4	MD
3	Otaeji	Otae-ri, Gonggeom-myeon, Sanju-si, Gyeongsangbuk-do	Nakdong R.	5,236	150	1.1	RA
4	Yongyeonji	Ho-ri, Singwang-myeon, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	Gokgang S.	6,580	68.92	0.87	RA
5	Gidongji	Hwabong-ri, Gigye-myeon, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do	Hyeongsan R.	597	18.3	0.2	RA
6	Yeongcheonho	Seonggok-ri, Jayang-myeon, Yeongcheon-si, Gyeongsangbuk-do	Nakdong R.	81,400	235	6.9	RD
7	Pungrakji	Daepyeong-ri, Cheongtong-myeon, Yeongcheon-si, Gyeongsangbuk-do	Nakdong R.	2,143	9.8	0.6	RA
8	Bomunho	Bomun-dong, Gyeongju-si, Gyeongsangbuk-do	Hyeongsan R.	10,151	33.9	1.4	RA
9	Deokdongho	Songok-dong, Gyeongju-si, Gyeongsangbuk-do	Hyeongsan R.	10,520	51.7	2.0	RA
10	Unmunho	Daecheon-ri, Unmun-myeon, Cheongdo-gun, Gyeongsangbuk-do	Nakdong R.	126,175	301.3	7.8	RD
11	Hapcheonho	Hoeyang-ri, Daebyeong-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	Nakdong R.	560,000	925	26.0	MD
12	Uponeup	Daedae-ri, Yueo-myeon, Changnyeong-gun, Gyeongsangnam-do	Nakdong R.	-	105.7	2.3	NW
13	Jeongyangneup	Jeongyang-ri, Daeyang-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	Nakdong R.	-	42.8	0.3	NW
14	Baksilji	Pyeongsan-ri, Yongju-myeon, Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	Nakdong R.	-	41.2	0.4	NW
15	Beongaeneup	Bongsan-ri, Gyesung-myeon, Changnyeong-gun, Gyeongsangnam-do	Nakdong R.	2,280	19.9	0.8	RA
16	Jangcheokho	Sinje-ri, Yeongsan-myeon, Changnyeong-gun, Gyeongsangnam-do	Nakdong R.	2,022	6.3	0.5	RA
17	Jillalbeol	Daesong-ri, Beopsu-myeon, Haman-gun, Gyeongsangnam-do	Nakdong R.	-	5.2	0.3	NW
18	Junaji	Gawol-ri, Dong-eup, Changwon-si, Gyeongsangnam-do	Nakdong R.	5,302	35.1	3.0	RA
19	Jinyangho	Panmun-dong, Jinju-si, Gyeongsangnam-do	Nakdong R.	300,000	2,285	28.2	MD
20	Yeonchoho	Deokchi-ri, Yeoncho-myeon, Geoje-si, Gyeongsangnam-do	Yeoncho S.	4,600	11.7	0.6	RD
21	Guchoenho	Gucheon-ri, Dongbu-myeon, Geoje-si, Gyeongsangnam-do	Sanyang S.	9,250	12.7	0.5	RD

* MD: multipurpose dam, RA: reservoir for agriculture, RD: reservoir for drinking, NW: natural wetland

수계, 유효 저수량, 유역 면적, 호소의 유형을 정리하여 Table 1에 나타내었으며, 각 조사 호소의 영남지역 내 지도 상 위치를 Fig. 1에 정점 1~21로 나타내었다.

2. 조사방법

호소별 조사 정점은 호소의 크기와 각 호소를 대표할 수 있는 채집지를 고려하여 2~6개 정점을 선정하였다. 경천호, 기동지, 영천호, 질남벌, 진양호, 연초호, 구천호의 경우 유입부 및 유입 지류를 포함하여 조사지점을 선정하였다. 어류의 채집은 정치망(망목 5×5 mm), 투망(망목 7×7 mm), 족대(망목 5×5 mm), 유인어망(망목 3×3 mm) 및 자망을 이용하였는데, 이 중 정치망의 경우 약 48시간 이상 정치 후 수거하여 확인하였다. 채집된 어류는 현지에서 동정하여 계수 및 생체량을 측정 후 방류하였으며, 일부 개체는 10% 포르말린 용액으로 고정하여 정확한 종 동정에 활용하였다. 종의 검색에는 국내에서 지금까지 발표된 검색표(Uchida, 1939; 정, 1977; 최 등, 1990; 김, 1997; 김과 박,

2002; 김 등, 2005)를 이용하였으며, 각 종의 학명은 김 등(2005)에 준하였고, 과(family)의 분류 체계는 Nelson(2006)에 따라 분류 배열하였다.

개체수는 각 조사지점에서 채집된 총개체수로 나타내었다. 상대풍부도(relative abundance, %)는 각 종의 개체수/총개체수, 항존도(Constancy, %)는 각 종이 출현한지점수/총조사지점수로 나타내었다. 어류의 군집분석에는 종다양도, 우점도, 균등도, 그리고 군집유사도를 구하였다. 종다양도는 Shannon diversity index, 우점도는 Simpson dominance index, 균등도는 Pielou evenness index, 그리고 군집유사도는 Horn's index에 따라 산출하였다(Shannon and Weaver, 1949; Simpson, 1949; Horn, 1966; Pielou, 1966).

타 수계로부터 이입 혹은 기존 서식여부를 확인하기 위하여 미토콘드리아의 cytochrome *b* (*CytB*) 유전자를 마커로 하여 수계 간 개체의 유전자 염기서열을 결정 후 비교 분석하였다. PCR 및 염기서열의 결정은 Jang and Hwang(2009)의 방법을 따랐으며, primer의 경우 꼬치동자개(*Pseudobagrus brevicorpus*)에 적합하게 새롭게 디자인한 PSBF(5'-CTA ATG ACT TGA AAA ACC ACC-3')와 PSBR(5'-GCA CTA GGA AGG ATT TTA AC-3')를 사용하였다. 이 후 BioEdit v. 7.09 프로그램(Hall, 1999)을 이용하여 염기서열을 정렬하여 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 영남지역 21개 호소의 전체 어류상

본 조사 지역의 21개 호소에서 서식이 확인된 어류는 15과 44속 61종이었으며, 각 호소별 채집된 종과 그 개체수를 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 제시한 61종 중에서 잉어과 Cyprinidae가 32종(52.5%)으로 가장 많은 종수를 차지하였으며, 미꾸리과 Cobitidae가 6종(9.8%), 망둑어과 Gobiidae가 4종(6.6%), 동사리과 Odontobutidae가 3종(4.9%), 동자개과 Bagridae, 바다빙어과 Osmeridae, 꺾지과 Centropomidae, 검정우럭과 Centrarchidae가 각각 2종(3.3%), 뱀장어과 Anguillidae, 메기과 Siluridae, 통가리과 Amblycipitidae, 송사리과 Adrianichthyidae, 큰가시고기과 Gasterosteidae, 드렁허리과 Synbranchidae, 버들붕어과 Belontiidae, 가물치과 Channidae가 각각 1종(1.6%)씩 인 것으로 나타났다. 본 조사 지역의 호소에서 잉어과에 속하는 어종이 대부분을 차지하고 있는 경향은 담수어류의 분포구계에서 한만도의 서한아지역과 남한아지역에서 공통적으로 나타나는 어류상 특징과 잘 일치하고 있다(전, 1980; 최 등, 1989; 김, 1997).

호소별 출현 종수를 비교한 결과 평균 14종이 서식하는 것으로 나타났으며, 가장 많은 종이 출현한 것으로 확인된

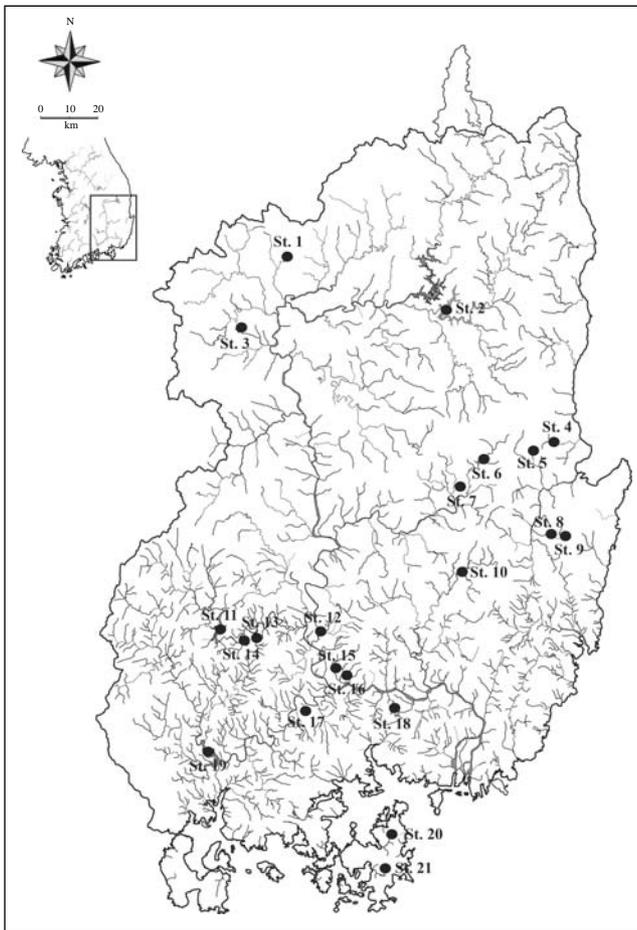


Fig. 1. Map showing the 21 surveyed lakes located in Yeungnam area including Gyeongsangbuk-do and Gyeongsangnam-do provinces, Korea.

Table 2. Continued

Species	Station																					Total	RA (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
<i>Iksokimia longicarpus</i> 왕종게																10	16				26	0.08	
<i>Iksokimia yongdokensis</i> 동남종게				8				6													14	0.04	
<i>Cobitis hankingensis</i> 기름종게	8					3	2	55					11					6			85	0.27	
<i>Kichulchoia multifasciata</i> 수수미꾸리						49			1									10			60	0.19	
Bagridae 통자게과																							
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i> 통자게	2	2	8				4				41	8	3					1			67	0.21	
<i>Pseudobagrus brevicarpus</i> 꼬치통자게																					3	0.01	
Siluridae 메기과																							
<i>Silurus asotus</i> 메기	2	2	6	1	1			13	3	20	1	1			3		5	2			60	0.19	
Amblycipitidae 통가리과																							
<i>Liobagrus mediadiposalis</i> 자가사리						1														1	2	0.01	
Osmeridae 바나빙어과																							
<i>Hypomesus nipponensis</i> 빙어	5320					50		122	37	26	2749										8370	26.55	
<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i> 은어																					71	0.23	
Adriamichthyidae 송사리과																							
<i>Oryzias latipes</i> 송사리												14		39							53	0.17	
Gasterosteidae 큰가시고기과																							
<i>Pungitius kaibarae</i> 잔가시고기				28																	28	0.09	
Synbranchidae 드렁허리과																							
<i>Monopterus albus</i> 드렁허리												2									2	0.01	
Centropomidae 각지과																							
<i>Siniperca scherzeri</i> 쫄가리		12				6			2	3											23	0.07	
<i>Coreoperca herzi</i> 각지	6					6			9	1								14			36	0.11	
Centrarchidae 검정우럭과																							
<i>Lepomis macrochirus</i> 블루길				1	1			1515	251	298	108	201	573		749	39	227	31			3394	12.67	
<i>Micropterus salmoides</i> 베스	9							15			3	71	1	6	29	4	15	17			170	0.54	
Odontobutidae 통사리과																							
<i>Odontobutis platycephala</i> 통사리	4					5			1	1								6			17	0.05	
<i>Odontobutis interrupta</i> 얼룩통사리					1				2												3	0.01	
<i>Micropercops swinhonis</i> 줄구렁치																42					42	0.13	
Gobiidae 망둑어과																							
<i>Gynogobius urotaenia</i> 꼭져구					579														893		1472	4.67	
<i>Rhinogobius giurinus</i> 갈망망둑																							
<i>Rhinogobius brunneus</i> 밀어	3		17	42	41	1	8	1	6									33	12	49	213	0.68	
<i>Tridentiger brevispinis</i> 민물검정망둑						1		12												10	23	0.07	
Belontiidae 버들붕어과																							
<i>Macropodus ocellatus</i> 버들붕어												8	9								18	0.06	
Channidae 가물치과																							
<i>Channa argus</i> 가물치	2	31	1	4	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	3	1	3	2	1		64	0.20	
Number of individuals	5537	192	1290	1083	646	1217	1778	1712	2293	4542	3257	1378	60	171	805	57	264	338	1118	1314	2473	31525	
Number of species	18	10	14	15	13	25	8	15	14	18	19	15	10	15	7	7	7	12	31	9	13	61	

호소는 31종이 발견된 진양호(St. 19)이며, 번개늘(St. 15), 장척호(St. 16), 질날벌(St. 17)에서 가장 작은 7종이 확인되었다(Table 2). Table 1에 나타난 유역 면적, 유효 저수량 및 저수 목적 등을 Table 2에서 나타난 평균 출현 종수와 호소별 출현 종수를 비교한 결과, 다목적댐(MD: Multipurpose Dam)에서 평균 20종이 확인되어 출현 종수가 가장 다양하게 나타났다. 식수용 저수지(RD: Reservoir for Drinking)에서 평균 16종, 농업용 저수지(RA: Reservoir for agriculture)에서 평균 12종, 자연 습지(NW: Natural wetland)로 분류된 호소에서 평균 12종이 출현하는 것으로 나타났다. 다목적댐이나 식수용 저수지에서 출현 종수가 상대적으로 많은 것은 유효 저수량이 풍부하고, 호소 면적이 상대적으로 넓어 많은 종을 수용할 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 반면에 농업용 저수지와 자연 습지의 경우 서식 어종의 종 다양성이 상대적으로 적은 것은 대부분의 다목적댐과 식수용 저수지에 비해 유효 저수량과 호소 면적이 상대적으로 작기 때문인 것으로 판단된다.

조사 수역의 호소에서 확인된 61종의 어종을 대상으로 개체수와 생체량에 근거하여 전체 호소와 각 호소별 우점종 및 아우점종을 조사하여 Table 3에 나타내었다. 먼저 개체수를 바탕으로 전체 호소의 우점종을 확인한 결과, 빙어 *Hypomesus nipponensis*가 총 8,370개체(26.6%)가 채집되어 전체 호소의 우점종으로 나타났으며, 아우점종은 총 4,659개체(14.8%)가 채집된 긴몰개 *Squalidus gracilis majimae*인 것으로 확인되었다. 전체 조사 대상 21개 호소에서 채집된 어류의 총 생체량은 528,387g이었으며, 생체량을 바탕으로 조사한 결과, 블루길 *Lepomis macrochirus*(104,513g, 19.8%)이 전체 호소의 우점종으로, 잉어 *Cyprinus carpio*(77,710g, 14.70%)가 전체 호소의 아우점종인 것으로 밝혀졌다. 개체수에서 우점종과 아우점종이었던 빙어와 긴몰개는 각각 28,532g(5.4%)과 21,048g(4.0%)의 생체량을 갖는 것으로 나타났다. 이와 같이 개체수와 생체량에 근거하였을 때, 나타나는 우점종과 아우점종의 차이는 빙어와 긴몰개가 개체수 측면에서는 우점종과 아우점종이지만, 중형 또는 대형 종인 블루길과 잉어에 비해 소형종인 까닭에 생체량이 적게 나타난 것으로 판단된다. 전체 21개 중 14개 호소는 개체수를 바탕으로 한 우점종과 아우점종이 전체 어류 군집의 70% 이상을 차지하는 서식 종 평준화 현상이 일어나는 것으로 확인되었으며, 이와 같은 서식 종 평준화 현상은 정체성 호소 어류상의 일반적인 특징으로 알려져 있다(김 등, 2005).

2. 한국 고유종 및 법적 보호 대상 어류

본 연구를 통해 영남 지역의 21개 호소에서 확인된 한국 고유종은 각시붕어 *Rhodeus uyekii*, 칼납자루 *Acheilognathus koreensis*, 큰줄납자루 *Acheilognathus majusculus*, 쉬리 *Cor-*

eoleuciscus splendidus, 참중고기 *Sarcocheilichthys variegatus wakiyae*, 긴몰개 *Squalidus gracilis majimae* 등 6과 20종 9,555개체로, 전체 호소에서 출현한 종수의 32.8%, 총 개체수의 30.3%를 차지한 것으로 나타났다(Table 2). 이 중 긴몰개가 오태지(St. 3), 영천호(St. 6), 운문호(St. 10), 박실지(St. 14)의 4개 호소에서 4,659개체가 확인되었으며, 전체 개체수의 14.8%를 차지하여 한국 고유종 중 가장 높은 출현율을 나타내었다(Table 2).

전체 조사 대상 호소에서 확인된 환경부 지정 멸종위기야생동·식물 및 천연기념물 등의 법정보호종은 꼬치동자개 *Pseudobagrus brevicorpus*와 잔가시고기 *Pungitius kaibarae* 2종이 확인되었다. 꼬치동자개의 경우 곡강천 수계의 용연지(St. 4)와 낙동강 수계의 영천호(St. 6)에서 각각 2개체와 1개체가 확인되었는데, 꼬치동자개는 멸종위기야생동물 I급 및 천연기념물 455호로 지정되어 있는 한국 고유종으로 낙동강 수계에만 서식한다고 알려져 있다(김과 박, 2002; 김 등, 2005). 영천호에 서식하는 꼬치동자개의 경우 변 등(2004)에 의해 서식이 보고되었고, 이번 연구에서도 서식이 확인되었다. 그런데 낙동강 수계가 아닌 수계에 서식하는 꼬치동자개는 유 등(2008, 2009)에 의해 동해로 유입하는 하천인 청하천, 서정리천, 곡강천 수계의 저수지에서 서식하는 것이 처음으로 보고되었고, 이번 연구에서도 곡강천 수계인 용연지에서 확인이 되었다. 유 등(2008, 2009)은 꼬치동자개가 대동천 지류에 위치한 하동지에서 진주양식을 위한 모패 이식과정에서 이입되었을 가능성을 제시하였다.

이에 이번 연구에서는 낙동강 수계에서 타수계로의 이입인지 또는 하천쟁탈에 의한 자연적 분포인지의 여부를 확인하기 위하여 미토콘드리아의 *CytB* 유전자의 염기서열을 결정하여 분석하였다. 미토콘드리아 *CytB* 유전자의 경우 여러 분류군에서 종 내의 진화적 양상을 확인하는 데 적합한 유전자 마커로 알려져 있다(Astroga and Galleguillos, 1998; Hwang and Kim, 1999; Akihito *et al.*, 2000; Barraclough and Nee, 2001). 용연지에서 채집한 개체의 *CytB*(GenBank accession number HQ_199229)와 낙동강의 지류인 금호강에서 채집한 개체의 전체 미토콘드리아 유전체(HM_355585, Kim *et al.*, 2011)의 *CytB*를 비교했을 때, 전체 1,140bp 중 단 하나의 염기서열에서만 차이를 보여, 두 개체 사이에는 유전적 차이가 거의 없는 것으로 확인되었다. 따라서 용연지에서 확인된 개체는 최근에 낙동강에서 곡강천으로 이입 분포한 것으로 추정된다. 최근 유 등(2008, 2009)에 의해 보고된 동해로 흐르는 여러 하천에서의 꼬치동자개의 안정적 서식과 관련하여 낙동강이 아닌 다른 하천에서 서식하는 꼬치동자개의 서식 생태에 관한 추가적인 연구가 이루어져야 할 필요가 있다.

잔가시고기 *Pungitius kaibarae*의 경우, 환경부 멸종위기야생동·식물 II급으로 지정되어 있으며, 용연지(St. 4)에서

서식하는 것이 확인되었다. 잔가시고기는 동해안으로 흐르는 하천의 중·상류, 형산강 및 낙동강의 지류인 금호강 등에 서식하는 것으로 알려져 있다(채, 1988; 장 등, 2006). 본 연구를 통해 잔가시고기가 동해로 유입되는 독립 하천인 곡강천 수계에 위치한 용연지에 서식하는 것을 처음으로 확인하였다. 현재 용연지 인근에 도로 확장 공사가 진행 중이어서 잔가시고기의 개체군 생존에 위협 요소가 될 것으로 예상되어, 추후 용연지의 잔가시고기 서식과 관련된 지속적 모니터링이 필요하다고 판단된다.

3. 외래도입종

본 연구를 통해 영남지역 21개 호소에 서식하는 외래도입종은 총 5종이 확인되었다(Table 2). 블루길 *Lepomis macrochirus*, 배스 *Micropterus salmoides*, 이스라엘잉어 *Cyprinus carpio*, 떡붕어 *Carassius cuvieri*, 백련어 *Hypophthalmichthys molitrix* 등 확인된 5종의 외래도입종들의 개체수는 총 4,178개체 (13.3%)였다.

조사호소 전체에서 생체량을 기준으로 우점종인 블루길은 총 3,994개체 (12.7%)가 확인되었다. 블루길은 21개 호소 중 12개에서 출현하였으며, 이 중 풍락지, 합천호, 번개늪, 장척호, 주남저수지의 5개 호소에서 우점종 또는 아우점종으로 나타났으며(Table 2 and Table 3), 합천호를 제외하고는 나머지 4개 호소 모두 저수량이 작거나 자연형 호소라는 생태적 특성을 가지고 있었다. 블루길이 우점종 또는 아우점종으로 나타난 5개의 호소에서는 토착어종을 포함한 전체적인 출현 종수와 개체수가 다른 호소보다 상대적으로 적게 나타났다. 이는 김 등(1996)의 국내 댐저수지의 외래어종 분포 및 영향에 관한 연구에서 블루길 개체수의 급격한 증가가 토착어종의 종수와 개체수를 급감시켰다는 결과와 일치한다(Table 2). 따라서 외래도입종인 블루길 개체수의 급증을 적절히 통제하고 이에 대한 대비책을 마련하기 위해 블루길의 서식 생태와 어류 군집에 미치는 영향에 대한 정밀한 조사가 시급히 필요하다고 할 수 있다.

배스는 총 170개체 (0.5%)가 경천호, 풍락지, 합천호, 우포늪, 정양늪, 박실지, 번개늪, 장척호, 질날벌, 주남저수지와 같은 10개의 호소에서 확인되었다(Table 2). 이들 호소에서 배스의 개체군 크기가 상대적으로 매우 작아, 블루길이 대상 호소의 어류 군집에 미치는 영향보다는 비교적 작을 것으로 판단된다. 하지만 번개늪(St.15)에는 배스가 개체수와 생체량 모두에서 아우점종이고(Table 3), 우포늪(St.12)에서는 아우점종 다음으로 개체수가 풍부한 것으로 나타났다. 따라서 이들 호소에서는 배스의 개체군의 크기가 커져 호소 내 어류 군집의 다양성에 미치는 영향도 비례하여 클 것으로 판단된다.

본 연구 결과에서 외래도입종인 블루길과 배스의 서식

분포를 살펴보았을 때, 21개의 연구 대상 호소가 속하는 5개의 독립 수계 중, 낙동강, 곡강천, 형산강 수계의 호소에서는 블루길과 배스의 서식을 확인하였으며, 연초천과 산양천 수계의 호소인 연초호와 구천호에서는 두 종의 서식을 확인하지 못했다.

이스라엘잉어와 떡붕어는 경천호(St. 1), 영천호(St. 6), 보문호(St. 8), 합천호(St. 11), 우포늪(St. 12)의 5개 호소에서 단지 13개체만이 출현하였고, 백련어는 덕동호(St. 9)에서 1개체가 유일하게 발견되었다.

4. 타 수계 이입종

타 수계로부터의 이입종은 *끄리* *Opsariichthys uncirostris amurensis*, 강준치 *Erythroculter erythropterus*, 치리 *Hemiculter eigenmanni*, 살치 *Hemiculter leucisculus*, 등자개 *Pseudobagrus fulvidraco*, 빙어 *Hypomesus nipponensis*, 얼룩동사리 *Odontobutis interrupta*의 7종 총 9,162개체 (29.1%)가 확인되었다. 이 중 육식성인 *끄리*는 임하호(St. 2)와 영천호(St. 6)에서 우점종으로 나타났다. 임하호의 경우는, 한 등(2007)의 연구 결과와 본 연구 결과에 근거했을 때, *끄리* 개체군의 크기가 지속적으로 유지되는 것으로 확인되었다. 따라서 이들 호소에서 *끄리*가 어류 군집에 영향을 미칠 가능성이 매우 높다고 판단된다. *끄리*의 포식성과 급격한 개체수의 증가는 낙동강 수계 토착종들의 서식 환경에 매우 큰 영향을 준다는 것은 이 등(2002)에 의해 이미 보고된 바 있다. 낙동강 수계의 임하호에서 양(1973)에 의해 최초로 보고된 *끄리*는 1990년대 중반부터 임하담 및 낙동강 수계의 여러 지천에서 지속적으로 보고되었으며, 그 개체수도 급격히 증가하여 일부 지역에서는 우점종의 지위를 가지고 있음이 보고되기도 하였다(양 등, 1997; 장 등, 2001; 강 등, 2004; 강 등, 2005; 한 등, 2007). 영천호의 경우, 변 등(2004)의 조사에서는 *끄리*가 확인되지 않았으나, 본 연구에서 처음으로 확인되었고 우점종으로 나타났다. *끄리*의 도입은 2001년 통수된 도수로를 통하여 임하호에서 유입이 된 것으로 판단된다. 이는 변 등(2004)의 보고에서도 자연적으로 분포할 가능성이 없는 빙어 *Hypomesus nipponensis*와 금호강 수계에서 출현한 적이 없는 민물검정망둑 *Tridentiger brevispinis*이 출현하고, 본 연구 결과에서도 두 종의 서식이 확인됨으로써 *끄리* 역시 도수로를 통하여 유입이 된 것으로 판단된다. 영천호에서 우점종으로 나타난 *끄리*가 어류 군집에 미치는 영향을 향후 지속적인 모니터링을 통해 주시할 필요가 있다.

강준치는 임하호(St. 2)에서 개체 수에 근거한 아우점종이고, 생체량에 근거한 우점종으로 확인되었다(Table 3). 한 등(2007)에 의한 보고에서도 강준치는 개체 수 측면에서 75.3%를 차지하여 우점종임을 확인하였는데, 본 연구 결과

Table 3. Dominant and subdominant fish species of 21 lakes (stations 1 ~ 21) located in Yeungnam area, Korean Peninsula

Station	Individuals		Biomass	
	Dominant species	Sub-dominant species	Dominant species	Sub-dominant species
1	<i>Hypomesus nipponensis</i> (96.1%)	<i>Zacco koreanus</i> (1.4%)	<i>Hypomesus nipponensis</i> (37.3%)	<i>Carassius auratus</i> (35.3%)
2	<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i> (32.8%)	<i>Erythroculter erythropterus</i> (29.2%)	<i>Erythroculter erythropterus</i> (42.1%)	<i>Carassius auratus</i> (17.3%)
3	<i>Pseudorasbora parva</i> (73.7%)	<i>Squalidus gracilis majimae</i> (8.2%)	<i>Carassius auratus</i> (36.4%)	<i>Pseudorasbora parva</i> (29.8%)
4	<i>Pseudorasbora parva</i> (59.6%)	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> (7.7%)	<i>Carassius auratus</i> (48.0%)	<i>Pseudorasbora parva</i> (29.8%)
5	<i>Gymnogobius urotaenia</i> (89.6%)	<i>Rhinogobius brunneus</i> (6.3%)	<i>Gymnogobius urotaenia</i> (53.7%)	<i>Channa argus</i> (17.3%)
6	<i>Opsariichthys uncorostris amurensis</i> (32.7%)	<i>Squalidus gracilis majimae</i> (24.2%)	<i>Carassius auratus</i> (49.4%)	<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i> (13.5%)
7	<i>Lepomis macrochirus</i> (85.2%)	<i>Zacco platypus</i> (6.6%)	<i>Lepomis macrochirus</i> (65.9%)	<i>Micropterus salmoides</i> (15.2%)
8	<i>Rhodeus ocellatus</i> (30.3%)	<i>Squalidus multimaculatus</i> (25.0%)	<i>Cyprinus carpio</i> (51.1%)	<i>Lepomis macrochirus</i> (21.3%)
9	<i>Squalidus multimaculatus</i> (56.0%)	<i>Pseudorasbora parva</i> (24.6%)	<i>Cyprinus carpio</i> (51.1%)	<i>Squalidus multimaculatus</i> (21.9%)
10	<i>Squalidus gracilis majimae</i> (93.6%)	<i>Lepomis macrochirus</i> (2.4%)	<i>Squalidus gracilis majimae</i> (65.1%)	<i>Cyprinus carpio</i> (23.7%)
11	<i>Hypomesus nipponensis</i> (84.4%)	<i>Lepomis macrochirus</i> (6.2%)	<i>Hypomesus nipponensis</i> (25.2%)	<i>Cyprinus carpio</i> (8.9%)
12	<i>Lepomis macrochirus</i> (41.6%)	<i>Pseudorasbora parva</i> (33.6%)	<i>Lepomis macrochirus</i> (49.8%)	<i>Cyprinus carpio</i> (18.4%)
13	<i>Pseudorasbora parva</i> (33.3%)	<i>Carassius auratus</i> (20.0%)	<i>Carassius auratus</i> (45.0%)	<i>Channa argus</i> (31.9%)
14	<i>Zacco platypus</i> (28.7%)	<i>Oryzias latipes</i> (22.8%)	<i>Carassius auratus</i> (30.8%)	<i>Carassius auratus</i> (22.4%)
15	<i>Lepomis macrochirus</i> (93.0%)	<i>Micropterus salmoides</i> (3.6%)	<i>Lepomis macrochirus</i> (51.7%)	<i>Micropterus salmoides</i> (20.0%)
16	<i>Lepomis macrochirus</i> (68.4%)	<i>Carassius auratus</i> (10.5%)	<i>Lepomis macrochirus</i> (43.2%)	<i>Carassius auratus</i> (21.1%)
17	<i>Pseudorasbora parva</i> (60.6%)	<i>Micropercops swinhonis</i> (15.9%)	<i>Carassius auratus</i> (48.4%)	<i>Pseudorasbora parva</i> (17.4%)
18	<i>Lepomis macrochirus</i> (67.2%)	<i>Acanthorhodeus macropterus</i> (16.9%)	<i>Carassius auratus</i> (27.2%)	<i>Cyprinus carpio</i> (19.1%)
19	<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> (59.3%)	<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i> (6.4%)	<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> (29.4%)	<i>Hemibarbus labeo</i> (9.6%)
20	<i>Gymnogobius urotaenia</i> (68.0%)	<i>Pseudorasbora parva</i> (25.0%)	<i>Gymnogobius urotaenia</i> (58.1%)	<i>Pseudorasbora parva</i> (21.1%)
21	<i>Zacco koreanus</i> (62.4%)	<i>Pseudorasbora parva</i> (16.9%)	<i>Zacco koreanus</i> (41.6%)	<i>Pungtungia herzi</i> (17.3%)
Total	<i>Hypomesus nipponensis</i> (26.6%)	<i>Squalidus gracilis majimae</i> (14.8%)	<i>Lepomis macrochirus</i> (19.8%)	<i>Cyprinus carpio</i> (14.7%)

에서도 동일한 결과를 얻었다. 끄리가 도수로를 통하여 임하호에서 영천호로 유입된 것에 비해, 강준치는 아직까지 영천호로 유입되지는 않은 것으로 판단된다.

빙어는 경천호 (St. 1)와 합천호 (St. 11)의 2개 호소에서 우점종으로 나타났다. 빙어는 낚시나 식용으로 이용하는 등 그 경제적 가치로 인해 1926년 이후로 주요 호소에 이식되었으며 (노, 2009), 계절적 변동이 큰 어종이고, 작은 갈따구, 요각류 등을 주 먹이원으로 하기 때문에 호소의 어류 군집에 끼치는 영향은 상대적으로 미미할 것으로 판단된

다. 치리, 살치, 동자개, 얼룩동사리의 경우 대부분의 호소에서 희소종으로 나타났다.

5. 생물지리학적 분포 고찰

본 연구 대상 호소는 낙동강 수계, 형산강 수계, 곡강천 수계, 연초천 수계, 산양천 수계로 이루어진 5개의 독립 수계에 속한다. 경천호 (St. 1)를 포함한 15개 호소는 낙동강 수계, 기동지 (St. 5), 보문호 (St. 8), 덕동호 (St. 9)는 형산강

수계, 용연지 (St. 4)는 곡강천 수계, 연초호 (St. 20)는 연초천 수계, 구천호 (St. 21)는 산양천 수계에 속한다. 21개의 대상 호소에 공통적으로 서식하는 어종으로는 붕어, 참붕어, 미꾸리, 밀어로 총 3과 4종이 확인되었다. 이들은 한반도 내에서 광범위한 분포를 보이는 종이며 (전, 1980; 최 등, 1989), 본 연구 결과에서도 5개 독립 수계 모두에 서식하는 것으로 나타났다. 낙동강 수계에만 서식하는 어종은 11과 33종이 확인되었다. 낙동강 수계를 제외한 타 독립 수계에만 서식하는 종으로는, 곡강천 수계에서만 확인되었던 잔가시고기 *Pungitius kaibarae*를 확인할 수 있었다. 동해로 흐르는 하천인 곡강천 수계와 형산강 수계에 속하는 호소들에서는 점물개 *Squalidus multimaculatus*와 동방종개 *Ikssoo-kimia yongdokensis*가 공통적으로 출현하였다.

점물개는 울주군 회야강에서 강원도 삼척시 가곡천에 이르는 동해로 유입되는 하천에 분포하는 것으로 알려져 있는데 (김과 박, 2002; 남 등, 2002), 본 연구에서도 역시 동해로 흐르는 독립수계인 형산강 수계와 곡강천 수계에 속하는 용연지 (St. 4), 기동지 (St. 5), 보문호 (St. 8), 덕동호 (St. 9)에서만 서식하는 것으로 확인되었다. 동방종개는 형산강에서 송천천에 이르는 동해로 유입되는 하천에 분포하는 것으로 알려져 있는데 (김과 박, 2002), 용연지 (St. 4)와 덕동호 (St. 9)에서만 서식이 확인되었다.

따라서 점물개와 동방종개의 출현은 동해 남부로 흐르는 하천의 생물지리학적 특징으로 간주할 수 있음을 본 연구를 통해 확인하였다.

6. 낙동강 미기록종

낙동강 수계에서 처음으로 서식을 확인한 종은 줌구굴치 *Micropercops swinhonis*이다. 줌구굴치는 농어목 동사리과에 속하며, 중국, 한반도에서는 만경강과 섬진강등 물의 흐름이 느린 수초 지대에 주로 서식하는 것으로 알려져 있는 소형 담수어이다 (김과 김, 1996; 김과 김, 1997). 최근에는 경기도 시흥시 일대와 서해로 흐르는 하천의 저수지 (이와노, 2006)와 여수반도 (채와 윤, 2005)에서도 확인된 바 있다. 본 연구를 통해 낙동강의 한 지류인 남강의 북쪽 평원에 위치한 질날벌 (St. 17)에서 처음으로 서식이 확인되었다. 질날벌은 자연적으로 형성된 배후 습지라는 점과 줌구굴치가 경제성이 있는 어종이 아니라는 점을 고려하면, 줌구굴치가 타 수계에서 낙동강 수계로 인위적인 이입이 되었을 가능성은 적다고 판단된다. 추후 이입 여부 등의 명확한 판단을 위해서는 한반도에 서식하는 줌구굴치 전체 집단의 계통지리학적 연구 등을 포함한 추가적인 연구가 수행될 필요가 있다고 사료된다.

7. 군집분석

본 연구에서 확인된 어류의 전체 군집 지수를 분석한 결

Table 4. Fish community indices examined in the 21 lakes located in Yeungnam area, Korea

Station	Diversity	Evenness	Dominance
1	0.108	0.086	0.923
2	0.745	0.745	0.224
3	0.493	0.430	0.554
4	0.676	0.575	0.376
5	0.214	0.192	0.807
6	0.899	0.643	0.189
7	0.254	0.281	0.735
8	0.774	0.658	0.203
9	0.531	0.464	0.392
10	0.156	0.124	0.878
11	0.327	0.256	0.717
12	0.659	0.561	0.300
13	0.800	0.800	0.185
14	0.957	0.795	0.154
15	0.151	0.179	0.867
16	0.497	0.588	0.481
17	0.538	0.636	0.407
18	0.507	0.470	0.483
19	0.791	0.530	0.366
20	0.386	0.405	0.526
21	0.554	0.498	0.429
Total	1.082	0.606	0.135

과, 종다양도 1.079, 균등도 0.604, 우점도 0.134로 나타났다 (Table 4). 종다양도는 0.108~0.957의 범위였으며, 가장 높은 호소는 박실지 (St. 14)로서 0.957의 종다양도를 갖는 것으로 나타났으며, 경천호 (St. 1)가 0.108로 가장 낮은 종다양도를 갖는 것으로 나타났다. 영천호 (St. 6), 정양늪 (St. 13), 박실지 (St. 14), 진양호 (St. 19)를 제외한 대부분의 호소에서 종다양도 지수가 0.8 이하의 낮은 종다양도 지수를 나타내었다. 균등도 지수는 0.124~0.800의 범위로 나타났으며, 운문호 (St. 10)에서 0.124로 가장 낮았고 정양늪 (St. 13)에서 0.800으로 가장 높게 나타났다.

우점도 지수는 0.154~0.923의 범위로 나타났으며, 박실지 (St. 14)에서 0.154로 가장 낮았고, 경천호에서 0.923으로 가장 높게 나타났다. 이는 경천호에서 빙어가 극단적으로 우점 (96.1%)하는 것으로 나타났기 때문이다. 이외에 운문호 (St. 10; 0.878), 번개늪 (St. 15; 0.867), 기동지 (St. 5; 0.807)의 우점도가 0.800 이상으로 높게 나타났다. 이는 운문호에서는 긴물개, 번개늪에서는 블루길, 기동지에서는 꼭두구가 전체 조사 개체수의 80% 이상을 차지하였기 때문인 것으로 판단된다.

균등도 지수로부터 산출된 정보이론 지수를 이용하여 산출한 21개의 연구 대상 호소간 유사도는 2.702~63.425의 범위로 나타났다. 유사도 지수를 이용한 조사 지점별 유사 거리를 비가중치 평균연결법 (UPGMA)으로 집괴 분석한 결과는 Fig. 2와 같이 나타났다. 유사도 백분율 20의 수준에서 크게 3개의 집단으로 구분되는 경향이 있었다. 이는 호

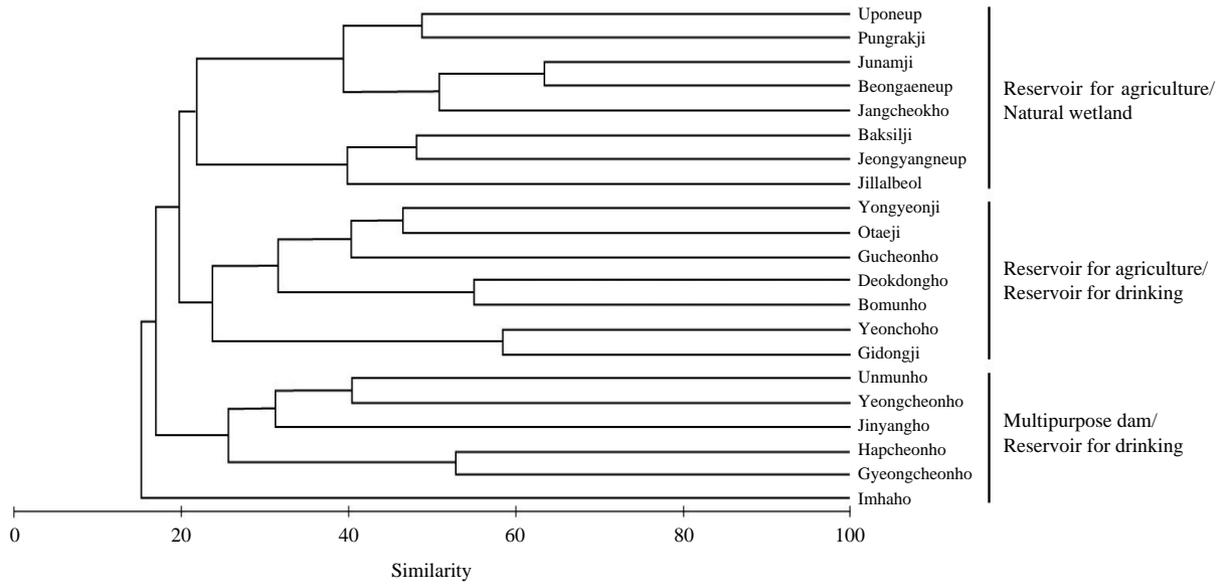


Fig. 2. A UPGMA dendrogram showing the similarity among the 21 lakes examined in this study.

소별 저수용량과 관계가 있었는데 주로 저수용량이 큰 댐 호 간의 유사도가 크게 나타났으며, 저수용량이 작은 자연 호 또는 농업용 저수지 사이의 유사도가 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 분석 결과 독립 수계의 호소들이 고유한 어류상을 나타내지 못하였는데, 이는 외래종 및 국내 타 수계로부터 이입된 종들에 의해 토착종의 감소 또는 절멸 등에 따라 전체 호소의 어류상이 균질화되는 방향으로 어류상의 변화가 초래되었음을 보여주는 것으로 해석할 수 있다 (Rahel, 2000).

요 약

2008년 4월부터 2009년 10월까지 영남지역 21개 호소를 중심으로 어류상을 조사한 결과, 서식이 확인된 어류는 15과 44속 61종이었다. 채집된 어류 가운데 잉어과가 32종 (52.5%)으로 가장 많았고, 다음은 미꾸리과 어류가 6종 (9.8%)이었다. 호소별 출현종수는 진양호에서 31종으로 가장 많은 종이 확인되었다. 전체 호소에서 확인된 61종의 어종 중 개체수에 근거할 때, 우점종은 빙어 (26.6%), 아우점종은 긴몰개 (14.8%)로 나타났으며, 생체량에 근거할 때, 우점종은 블루길 (19.8%), 아우점종은 잉어 (14.8%)로 나타났다. 확인된 61종 중 한국 고유종은 6과 20종으로 나타났으며, 긴몰개가 전체 개체수의 14.8%를 차지하여 가장 높은 출현율을 나타내었다. 환경부지정 멸종위기종인 꼬치동자개는 용연지와 영천호, 잔가시고기는 용연지에서 각각 확인되었다. 유전자 분석 결과 용연지의 꼬치동자개는 낙동강수계

에서 최근 이입된 것으로 확인되었다. 외래도입종으로는 배스, 블루길, 이스라엘잉어, 떡붕어, 백련어로 총 5종이 확인되었다. 블루길은 풍락지, 합천호, 번개늪, 장척호, 주남저수지와 같은 5개 호소에서 우점종 또는 아우점종으로 나타났다. 타 수계로부터 낙동강으로 이입된 종으로 끄리, 강준치, 치리, 살치, 동자개, 빙어, 얼룩동사리의 7종이 확인되었으며, 이 중 끄리는 임하호와 영천호에서 우점종으로 나타났다. 본 연구를 통하여 농어목 동사리과에 속하는 줌구굴치가 낙동강 유역의 질남벌에서 처음으로 확인되었다. 21개 호소의 어류 군집 분석을 실시한 결과, 전체 호소의 종다양도, 균등도, 우점도 지수는 각각 1.079, 0.604, 0.134로 나타났으며, 호소별 어류상의 유사도는 저수량과 관계가 있는 것으로 나타났다. 본 연구는 동일시기에 영남 지역에 위치하는 21개의 호소를 대상으로 어류상을 조사하였다는 점에서 이후 관련 연구에 의미 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 경상북도 낙동강물환경연구소 낙동강수계 호소환경 및 생태조사 연구사업 (2008-2009)과 국립생물자원관 주요생물자원의 유전자 분석·연구 (No. 074-1800-1844-304)에 의해 지원되었다. 어류 채집 및 조사에 도움을 주신 보령민물고기 생태관 조성장 소장님, 한국수자원공사 직원 여러분, 유선호, 이형우, 신승호, 윤상호군에게 감사의 뜻을 표합니다.

인 용 문 헌

- 강영훈 · 서준원 · 금지돈 · 양홍준. 2004. 낙동강 중류(구미 지역)의 어류군집구조. 한국육수학회지, 37: 227-235.
- 강영훈 · 채병수 · 남명모 · 김한순. 2005. 비슬산 계류의 어류상과 군집구조. 한국육수학회지, 38: 289-296.
- 김도한 · 황수욱 · 양홍준 · 전상린 · 최신석 · 김익수 · 최충길. 1996. 댐저수지의 외래어종 분포 및 영향에 관한 연구. 한국수자원공사, 264pp.
- 김익수. 1997. 한국동식물도감 제37권 동물편(담수어류). 교육부, 629pp.
- 김익수 · 김병직. 1996. 줍구굴치(*Micropercops swinhonis*)의 산란 습성 및 초기 난발생. 한국생태학회지, 19: 477-486.
- 김익수 · 김병직. 1997. 전북 부안의 줍구굴치(*Miropercops swinhonis*) 개체군 생태. 한국육수학회지, 30: 47-54.
- 김익수 · 박종영. 2002. 한국의 민물고기. 교학사, 465pp.
- 김익수 · 최 윤 · 이충렬 · 이용주 · 김병직 · 김지현. 2005. 한국어류도감. 교학사, 615pp.
- 김치홍 · 이완욱 · 이종관 · 홍관의. 2005. 청평호의 어류군집. 한국어류학회지, 17: 123-130.
- 남명모 · 강영훈 · 채병수 · 양홍준. 2002. 동해로 유입되는 가곡천과 마읍천에 서식하는 담수어의 지리적 분포. 한국어류학회지, 14: 269-277.
- 노세윤. 2009. 민물고기 쉽게 찾기. 진선출판사, 396pp.
- 대구지방환경청. 2004. 호소생물상조사 보고서(가창댐, 보문호, 풍락지, 영천댐). 대구지방환경청, 179pp.
- 변화근 · 이완욱 · 김동섭. 2004. 영천호의 어류상과 어류군집. 한국어류학회지, 16: 234-240.
- 양홍준. 1973. 낙동강산 어류의 조사. 한국육수학회지, 6: 19-36.
- 양홍준 · 채병수 · 황수욱. 1997. 임하댐 유역의 어류상과 어류군집구조. 한국육수학회지, 30: 145-154.
- 유동재 · 한경호 · 이성훈 · 임후순 · 황재호 · 이진희 · 강경완. 2008. 경상북도 포항시 저수지에서 채집된 어류상. 한국수산학회지, 41: 363-370.
- 유동재 · 한경호 · 임후순 · 서원일 · 이성훈. 2009. 경상북도 경주시 저수지에서 채집된 어류상. 한국어류학회지, 21: 38-46.
- 이완욱 · 강충배 · 박현우 · 한명철 · 변화근 · 명정구 · 노충환 · 홍경효 · 송호복 · 채병수 · 한경호 · 고정락 · 홍영표. 2002. 국내에 도입된 외래어 현황과 효과적 관리. 한국어류학회 추계발표, 서울, 2002, 155pp.
- 이완욱 · 노세윤. 2006. 특징으로 보는 한반도 민물고기. 지성사, 432pp.
- 이충렬. 2005. 합천호의 어류상과 어류 군집구조. 한국어류학회지, 17: 131-141.
- 이충렬 · 김용호. 2002. 진양호 일대의 어류상과 어류군집 구조. 한국어류학회지, 14: 173-182.
- 장민호 · 윤주덕 · 채병수 · 주기재. 2006. 동해 유입천에 서식하는 잔가시고기의 미토콘드리아 DNA를 이용한 계통분류학적 연구. 한국어류학회지, 39: 265-270.
- 장민호 · 조가익 · 주기재. 2001. 낙동강 본류의 어류상. 한국육수학회지, 34: 223-238.
- 전상린. 1980. 한국산 담수어의 분포에 관하여. 중앙대 대학원 박사학위논문, 91pp.
- 전상린. 1995. 한국산담수어생물지리논문집. 상명여자대학교 생물학과, 414pp.
- 정문기. 1977. 한국어도보. 일지사, 727pp.
- 채병수. 1988. 韓國産 가시고기 (*Pungitius sinensis*: Gastero-steidae)의 形質分析에 의한 分類. 경북대학교 박사학위논문, 82pp.
- 채병수 · 윤희남. 2005. 여수 · 순천, 영취산 일대의 담수어류. 제2차 전국자연환경조사보고서.
- 최기철 · 전상린 · 김익수 · 손영목. 1989. 한국산담수어분포도. 제9판, 한국담수생물연구소, pp. 1-38.
- 최기철 · 전상린 · 김익수 · 손영목. 1990. 원색한국담수어도감. 향문사, 277pp.
- 한승철 · 이학영 · 서울원 · 심재현 · 이종은. 2007. 임하호의 탁수가 어류상 및 어류생장에 미치는 영향. Journal of Life Science, 17: 1104-1110.
- Akihiro, A. Iwata, T. Kobayashi, K. Ikee, T. Imanishi, H. Ono, Y. Umehara, C. Hamamatsu, K. Sugiyama, Y. Ikeda, K. Sakamoto, A. Fumihito, S. Ohno and T. Gojobori. 2000. Evolutionary aspects of gobioid fishes upon a phylogenetic analysis of mitochondrial cytochrome *b* genes. Gene, 259: 5-15.
- Astroga, M. and R. Galleguillos. 1998 Genetic divergence of jack mackerel of genus *Trachurus* from northwestern and southern Pacific. Rev. Biol. Mar. Oceanogr., 33: 155-161.
- Barbier, E.B. 1994. Valuing environmental functions: Tropical wetlands. Land Economics, 70: 155-173.
- Barraclough, T.G. and S. Nee. 2001. Phylogenetics and speciation. Trends Ecol. Evol., 16: 391-399.
- Dugan, P. 1993. Wetlands in Danger. A world conservation atlas. Oxford University Press, 187pp.
- Finlayson, C.M. and M. Moser. 1992. Wetlands. Facts on File. Oxford, 224pp.
- Hall, T.A. 1999. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows95/98/NT. Nucl. Acids Symp. Ser., 41: 95-98.
- Horn, H.S. 1966. Measurement of "overlap" in comparative ecological studies. Amer. Natur., 100: 419-424.
- Hwang, U.W. and W. Kim. 1999. General properties and phylogenetic utilities of nuclear ribosomal DNA and mitochondrial DNA. Korean J. Parasitol., 37: 215-228.
- Jang, K.H. and U.W. Hwang. 2009. Complete mitochondrial genome of *Bugula neritina* (Bryozoa, Gymnolaemata, Cheilostomata): phylogenetic position of Bryozoa and phylogeny of lophophorates within the Lophotrochozoa. BMC Genomics, 21: 167-285.
- Kim, S.K., E.H. Choi, K.B. Hong, K.H. Jang, S.H. Ryu and U.W. Hwang. 2011. Complete mitochondrial genome of the Korean stumpy bullhead *Pseudobagrus brevicorpus* (Siluriformes, Bagridae). Mitochondrial DNA, 22: 44-46.
- Large, A.R.G. and G.E. Petts. 1992. Rehabilitation of river margins. In: Calow, P. and Petts, G.E. (eds.), The Rivers Handbook:

- Hydrological and Ecological Principles, Volume 2, Blackwell Scientific, Oxford, pp. 401-418.
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the world. 4th ed., John Wiley & Sons, 601pp.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theoret. Biol.* 13: 131-144.
- Rahel, F.J. 2000. Homogenization of fish faunas across the United States. *Science*, 288: 854-856.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, 117pp.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688-688.
- Uchida, K. 1939. The fishes of Tyseon. Part 1. Nematognathi, Even-thognathi, *Bull. Fish. Exp. Sat. Gov. Gener. Tyosen.* 6, 458 pp. (in Japanese)