

춘천호와 안동호의 어류상과 군집 특성

김진희¹ · 권준영¹ · 송준영² · 오윤경² · 김광석² · 허준욱^{3*}¹선문대학교 수산생명의학과²국립수산물연구원 내수면양식연구센터³군산대학교 해양생명응용과학부 해양생명과학전공

Ichthyofauna and Community Structure of Fish in Chuncheon and Andong Reservoirs

Jin Hui Kim¹, Joon Yeong Kwon¹, Jun Young Song², Yun Kyeong Oh²,
Kwang Seog Kim², Jun Wook Hur^{3*}¹Department of Aquatic Life Medical Sciences, Sunmoon University, Asan 31460, Korea²Inland Aquaculture Research Center, National Institute of Fisheries Sciences (NIFS), Changwon 51688, Korea³Faculty of Marine Applied Biosciences, Aquaculture and Aquatic Science Major, Kunsan National University, Kunsan 54150, Korea

Corresponding Author

Jun Wook Hur

Faculty of Marine Applied Biosciences,
Aquaculture and Aquatic Science Major,
Kunsan National University, Kunsan
54150, Korea

E-mail : junwhur@kunsan.ac.kr

Received : November 27, 2019

Revised : December 02, 2019

Accepted : December 05, 2019

수산자원보호구역인 춘천호와 안동호에서 어류 군집 분석을 실시하였다. 조사는 2017년부터 2018년까지 수행되었으며, 어류상을 파악하고 우점종 및 아우점종을 확인한 결과 춘천호에서 채집된 어류는 총 13과 34종 1,197개체였다. 채집된 어류 중 블루길(*Lepomis macrochirus*)이 23.2%로 우점하였으며, 피라미(*Zacco platypus*)가 17.4%로 아우점하였다. 안동호에서 채집된 어류는 총 9과 24종 1,393개체였다. 우점종은 블루길이 15.7%로 가장 많이 채집되었으며, 붕어(*Carassius carassius*)가 15.2%로 아우점하였다. 두 조사지점의 종다양도는 과거보다 증가하는 경향을 보였으며, 균등도는 안동호에서는 차이가 보이지 않았으나 춘천호에서는 증가하는 경향을 보였다. 두 인공호 모두 어류상 및 군집구조 측면에서 안정된 상태를 유지하고 있으나 외래종 비율을 감소시키기 위한 지속적인 노력이 필요하고, 다양한 어종이 안정적으로 개체수를 유지할 수 있도록 수산자원 종자 방류 및 인공산란장 설치 등과 같은 관리가 필요하다.

Ichthyofauna and community structure of fish were studied for two fisheries resource reserves, Chuncheon reservoir and Andong reservoir from 2017 to 2018. Fish were sampled 8 times at each reservoir. In Chuncheon reservoir, total number of fish sampled was 1,197 representing 34 species and 13 families. Dominant species and sub-dominant species were *Lepomis macrochirus* (23.2%) and *Zacco platypus* (17.4%), respectively. In Andong reservoir, total number of fish sampled was 1,393 representing 24 species and 9 families. Dominant species and sub-dominant species were *L. macrochirus* (15.7%) and *Carassius carassius* (15.2%), respectively. The diversity index of two sampling site increased compared to previous investigation. The evenness index was not changed much in Andong reservoir but increased in Chuncheon reservoir. Ichthyofauna and community structure of fish at sampling sites in both reservoirs maintained stable except high proportion of exotics species with needed to be reduced by consistent effort. For better fish population in these communities, however, various efforts such as seed stocking and installment of artificial spawning ground should be provided to these reservoirs.

Keywords: Chuncheon reservoir(춘천호), Andong reservoir(안동호), Fish community(어류군집), Ichthyofauna(어류상)

서론

수산자원보호구역은 수산자원의 보호·육성을 위하여 지정된 공유 수면이나 그에 인접한 토지를 말한다. 수산자원보호구역 중 내수면은 20개소가 지정되어 있으며, 춘천호와 안동호가 포함되어 있다. 춘천호는 1965년 2월에 북한강 본류 협곡에 댐을 축조하여 형성된 인공호수로 유역면적 17 km², 총 저수량 약 1.5억 톤이다. 북한강수계의 계곡모양에 따라 S자 형태의 협곡으로 이루어져 있으며 위로는 파로호까지 이어지고 아래로는 의암호와 연결된다(Choi, 2005). 안동호는 낙동강의 상류구간에 위치한 인공호로 1976년에 완공되어 우리나라에서 두 번째로 큰 규모이다. 유역면적 51.5 km², 총 저수량 약 12.5억 톤에 달한다.

인공호는 자연 하천을 인위적으로 막아서 만든 공간으로 하천의 연속성이 저해되고, 인위적으로 단순화된 서식환경은 산란 및 서식처의 소실을 야기하여 생물다양성을 감소시키는 요인이 될 수 있다. 특히, 댐 건설과 같은 인위적인 교란은 수체 내 서식하고 있는 동·식물 플랑크톤, 저서성 대형무척추 동물 및 어류 등의 분류군별 군집구조 및 기능에 영향 미쳐 수생생물 군집의 변화를 일으킬 수 있다(Rutherford et al., 1987).

현재까지 춘천호 어류에 관한 연구는 댐 축조 초기에 Choi (1969, 1971)에 의한 춘천호 및 주변 인공호에 대한 어류상 조사와 Choi (2005)에 의한 춘천호 유역의 주요 지류 및 호내의 어류상 조사, Ministry of Environment (2011)의 호소환경 및 생태조사 연구에서 수질 및 수생태계의 생물군집에 대한 조사가 실시된 바 있다. 안동호의 어류상에 대한 연구는 Han et al. (2007) 및 Ministry of Environment (2010)의 조사 정도가 있으며, 최근에는 중금속의 피해를 입고 있기 때문에 중금속이 어류에 미치는 영향에 대한 조사가 대부분이다.

호소는 폐쇄적인 수역으로 수질오염이 진행되고 나면 자정속도가 매우 느리며, 호소의 수질과 관련된 생태계의 변화는 장기간 서서히 발생되어 수질 및 다양한 요인에 의해 복합적으로 나타난다. 따라서 장기적인 관점에서 호소의 생태계 관련 조사는 지속적으로 이루어져야 한다. 본 연구에서는 춘천호와 안동호의 어류군집 변화를 알아보고 변화된 군집 특성을 고찰하여 내수면 수산자원보호구역의 수산자원 관리를 위한 기초자료로 확보하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사 시기 및 지점

본 조사는 춘천호 상류와 안동호 상류에 각 1개 지점에 대하여 실시하였다(Fig. 1). 춘천호의 행정구역명 및 위치는 강원도 춘천시 사북면 안림리(N 37°59'05", E 127°39'37")였으며, 안동호는 경상북도 안동시 도산면 동부리(N 36°41'33", E 128°51'06")였다. 어류조사 시기는 2017년 3월부터 2018년 11월까지 매년 4회씩 총 8회에

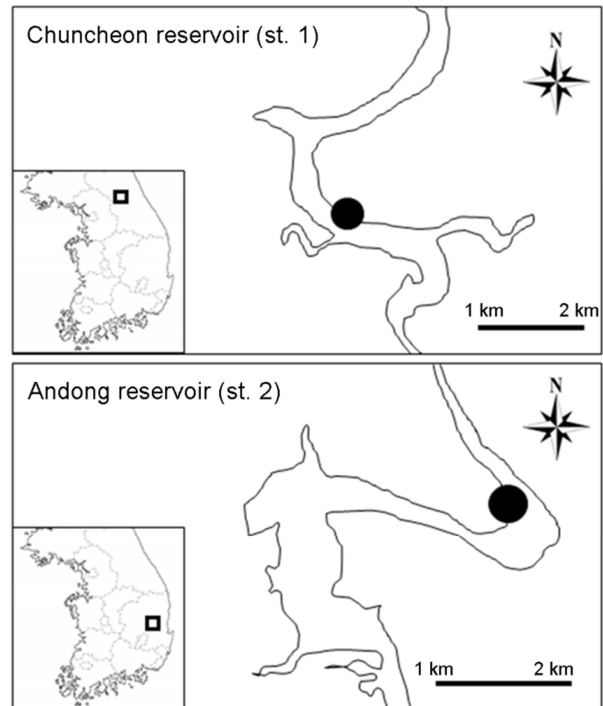


Fig. 1. Map showing the sampling site.

걸쳐 실시하였으며, 각 조사 시기별 일정은 다음과 같다.

- 1차 조사: 2017년 3월 13일 ~ 4월 4일
- 2차 조사: 2017년 5월 11일 ~ 5월 12일
- 3차 조사: 2017년 7월 25일 ~ 7월 27일
- 4차 조사: 2017년 9월 6일 ~ 9월 11일
- 5차 조사: 2018년 4월 16일 ~ 4월 18일
- 6차 조사: 2018년 6월 1일 ~ 6월 8일
- 7차 조사: 2018년 8월 13일 ~ 8월 29일
- 8차 조사: 2018년 10월 4일 ~ 10월 17일

2. 채집 방법 및 동정

어류의 채집은 조사 지점의 특성에 알맞게 삼각망(Fyke net, 망목 7×7 mm), 투망(Cast net, 망목 7×7 mm), 족대(Kict net, 5×5 mm)를 이용하여 실시하였다. 삼각망은 흐름이 없고 바닥 경사가 완만한 수심 3 m 이내인 수역에 설치하여 24시간 경과 후 수거하였다. 투망 및 족대에 의한 채집은 조사정점을 기준으로 상류 및 하류 200 m의 범위에서 실시하였으며, 정량적 조사를 위해 투망 10회 및 족대 30분을 기준으로 하였다.

채집된 어류는 현장에서 종을 동정하고 개체수를 기록 후 방류하였다. 현장에서 동정이 어렵거나 표본제작이 필요한 일부 개체

는 10% formalin으로 고정하여, 실험실로 운반하여 재동정을 실시하였다. Kim and Kang (1993), Kim and Park (2002)의 문헌을 참고하여 어종을 동정하고, Nelson (1994)의 방법으로 분류하였다.

3. 군집분석

본 조사에서 출현한 어종의 개체수를 기준으로 균등도(evenness, E), 종풍부도(richness, R), 우점도(dominance index, DI) 및 종 다양도(diversity index, H) 지수를 산출하였다.

균등도는 각 지수의 최대치에 대한 실제치의 비로서 표현되며, 균등도는 군집 내 종구성의 정도를 나타내는 것으로 Pielou (1975)을 사용하여 도출하였다(식 1). 종풍부도는 군집 내에 존재하는 종의 수에 근거한 종의 밀도이다. 단위 지점별 종의 출현을 나타내며, 각 조사 지점별 총 개체수와 총 종수의 값으로 기초로 하여 Margalef (1958)의 지수를 산출하였다(식 2). 우점도는 환경의 변화가 악화될수록 특정종의 우세를 나타낸다. 각 조사 지점의 어종별 개체 출현에 대하여 대상 어종의 우점도를 McNaughton (1967)를 참고하여 산출하였다(식 3). 종다양도는 군집분석 시 가장 많이 쓰이며, 풍부성을 지닌 종 뿐만 아니라 보다 희귀성을 지닌 종까지 가치를 부여하는 방법으로 Margalef (1958)의 정보 이론에 의하여 유도된 Shannon-Weaver function (Pielou, 1975)을 사용하여 도출하였다(식 4).

식 1: $E = H'/\ln(S)$ (E: 균등도, H': 다양도, S: 전체 종 수)

식 2: $R = (S-1)\ln(N)$ (R: 풍부도, S: 전체 종 수, N: 총 개체수)

식 3: $D = n_i/N$ (D: 우점도, N: 총 개체 수, n_i : I번째 종의 개체수)

식 4: $H = -\sum P_i \ln P_i$ ($P_i = n_i/N$) (H: 종다양도, N: 총 개체수, n_i : I번째 종의 개체수)

4. 생태지표종 분석

생태지표종(Tolerance indicator) 구분방식은 US EPA (1993)와 Barbour et al. (1999)에 의거하여 분석하였고, 생태지표 특성은 오염도 내성 특성(Tolerance guild)에 따라 민감종(Sensitive species, SS), 중간종(Intermediate species, IS) 및 내성종(Tolerant species, TS)으로 분류하였다. 민감종은 주로 오염도에 따라 쉽게 사라지는 어종으로 환경의 질적 변화에 민감하게 반응하며, 내성종은 수질 오염에도 불구하고 종수 및 분포범위가 증가한다. 중간종은 민감종과 내성종의 범주 사이에 포함되지 않는 종으로 구분하였다.

출현된 어류의 섭식 특성(Trophic guild)의 경우 잡식종(Omnivores), 충식종(Insectivores), 육식종(Carnivores), 초식종(Herbivores)으로 구분하여 분류하였다. 잡식종은 동·식물질의 상당 비율을 지속적으로 먹는 종, 충식종은 주로 수서 무척추 곤충을 먹는 종, 육식종은 주로 어류 및 다른 무척추 동물을 먹는 종으로 정의하고 있다(Ohio EPA, 1989).

결과 및 고찰

1. 출현종 및 종조성

춘천호에서 채집된 어류는 총 13과 34종 1,197개체였다(Table 1). 과(Family)별 출현 종수는 잉어과(Cyprinidae) 어류가 14종으로 가장 많았으며, 다음으로 동자개과(Bagridae), 미꾸리과(Cobitidae), 망둑어과(Gobiidae)가 각각 3종씩 출현하였다. 그 외 검정우럭과(Centrarchidae), 메기과(Siluridae)가 각각 2종, 종개과(Balitoridae), 가물치과(Channidae), 꺾지과(Centropomidae), 동사리과(Odontobutidae), 바다빙어과(Osmeridae), 연어과(Salmonidae)가 각각 1종씩 출현하였다. 종별 상대풍부도(Relative abundance, RA)는 블루길(*Lepomis macrochirus*)이 전체 어종의 23.2%를 차지하여 우점하고 있었으며, 피라미(*Zacco platypus*)가 17.5%로 아우점하였고, 그 밖에 누치(*Hemibarbus labeo*)가 9.8%, 빙어(*Hypomesus nipponensis*) 8.7%, 참갈겨니(*Zacco koreanus*) 6.3%, 참마자(*Hemibarbus longirostris*) 5.7% 등이 우세하게 출현하였다(Fig. 2). 피라미, 블루길, 배스(*Micropterus salmoides*)는 전체 조사 시기에서 출현하여 출현빈도가 가장 높았고, 붕어(*Carassius auratus*)와 누치는 조사 시기 1회를 제외하고 모두 출현하였다(Fig. 4). 우리나라 고유종은 꺾지(*Coreoperca herzi*), 눈동자개(*Pseudobagrus koreanus*), 몰개(*Squalidus japonicus koreanus*), 미유기(*Silurus microdorsalis*), 새코미꾸리(*Koreocobitis rotundicaudata*), 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*), 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*), 참갈겨니, 참종개(*Iksookimia koreensis*)로 10종이었고 총 121개체가 출현하여 고유화 비율은 10.1%로 비교적 낮았다. 그 밖에 환경부에서 지정하는 보호종의 서식은 확인되지 않았으며, 외래종으로는 생태계교란야생생물인 블루길 및 배스가 27.7%의 높은 비율로 확인되었다.

안동호에서 조사기간 동안 채집된 어류는 총 9과 24종 1,393개체였다(Table 2). 과(Family)별 출현 종수는 잉어과 어류가 10종으로 가장 많았으며, 다음으로 미꾸리과, 망둑어과가 각각 3종씩 출현하였다. 그 외 동자개과, 검정우럭과가 각각 2종씩, 뱀장어과, 가물치과, 꺾지과, 메기과가 각각 1종씩 출현하였다. 종별 상대풍부도는 블루길이 전체 개체수의 15.8%를 차지하여 우점하였고, 붕어가 15.3%를 차지하여 아우점종으로 나타났다. 그 밖에 고리(*Opsarichthys uncirostris amurensis*) 13.3%, 피라미 13.0%, 누치 11.8% 등이 우세하게 출현하였다(Fig. 3). 잉어(*Cyprinus carpio*), 붕어, 누치, 고리, 블루길은 전체 조사 시기에서 모두 출현하여 출현빈도가 가장 높은 종이었으며, 반대로 참마자, 기름종개(*Cobitis hankugensis*), 갈문망둑(*Rhinogobius giurinus*)은 출현빈도가 가장 낮은 것으로 나타났다. 우리나라 고유종은 기름종개, 왕종개(*Iksookimia longicorpa*), 참몰개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*)로 3종이었고, 총 140개체가 출현하여 고유화 비율은 10.1%로 비교적 낮았다(Fig. 4). 환경부에서 지정하는 보호종은 멸종위기야생

Table 1. Species and number of fish collected at the sampling site of Chuncheon reservoir

Species	Chuncheon reservoir								Total	RA (%)
	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th		
Anguillidae										
<i>Anguilla japonica</i>		1					1		2	0.17
Bagridae										
<i>Leiocassis ussuriensis</i>		1							1	0.08
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>						27	4		31	2.59
<i>Pseudobagrus koreanus</i>			2						2	0.17
Balitoridae										
<i>Orthrias nudus</i>	2								2	0.17
Channidae										
<i>Channa argus</i>						1			1	0.08
Centrarchidae										
<i>Lepomis macrochirus</i>	20	19	30	48	10	61	28	62	278	23.22
<i>Micropterus salmoides</i>	15	2	5	3	1	4	17	6	53	4.43
Centropomidae										
<i>Coreoperca herzi</i>				1					1	0.08
Cobitidae										
<i>Iksookimia koreensis</i>			1						1	0.08
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>					1				1	0.08
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	3		2	1					6	0.50
Cyprinidae										
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	5								5	0.42
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>					5		2	1	8	0.67
<i>Carassius auratus</i>		1	8	5	1	15	2	8	40	3.34
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>					1				1	0.08
<i>Cyprinus carpio</i>	1	5	3	2		15		1	27	2.26
<i>Hemibarbus labeo</i>		31	1	8	7	22	35	13	117	9.77
<i>Hemibarbus longirostris</i>		10			48		3	7	68	5.68
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	10	2		1	3				16	1.34
<i>Pseudogobio esocinus</i>	10	2			1	13	8	16	50	4.18
<i>Pungtungia herzi</i>	6	1	1		3			1	12	1.00
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	2								2	0.17
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>		2		5					7	0.58
<i>Zacco koreanus</i>	42			33					75	6.27
<i>Zacco platypus</i>	72	24	40	15	25	18	6	9	209	17.46

Table 1. Species and number of fish collected at the sampling site of Chuncheon reservoir (Continued)

Species	Chuncheon reservoir								Total	RA (%)
	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th		
Gobiidae										
<i>Chaenogobius urotaenia</i>			3	2					5	0.42
<i>Rhinogobius brunneus</i>	7		5	13					25	2.09
<i>Tridentiger brevispinis</i>	11	6							17	1.42
Odontobutidae										
<i>Odontobutis interrupta</i>	3	2	1	11	6			1	24	2.01
Osmeridae										
<i>Hypomesus nipponensis</i>	96				8				104	8.69
Salmonidae										
<i>Oncorhynchus masou</i>	1				1				2	0.17
Siluridae										
<i>Silurus asotus</i>		1				2			3	0.25
<i>Silurus microdorsalis</i>					1				1	0.08
Number of Family	8	7	6	6	7	5	4	3	13	
Number of Species	17	16	13	14	16	10	10	11	34	
Number of individual	306	110	102	148	122	178	106	125	1,197	

RA: relative abundance

생물 II급인 백조어가 출현하였고, 국외에서 도입된 외래종은 블루길, 배스, 떡붕어 3종으로 확인되어, 법정보호종 및 외래종의 출현 현황은 Han et al. (2007) 및 Yang et al. (1997)의 결과와 일치하였다.

2. 군집분석

군집의 종 풍부 정도와 개체수의 상대적 균형성을 나타내는 종 다양도는 춘천호에서 1.67~2.09, 안동호는 1.49~2.19의 범위로 전체 평균은 각각 1.90 ± 0.16 및 1.96 ± 0.22 였으며, 춘천호는 조사 시기에 따라 감소 경향을 보였다(Table 3, Fig. 4). 종다양도와 생태학적 의미에서 반대 개념으로 특정종의 우세한 정도를 나타내는 우점도는 시기별로 춘천호가 0.49~0.69, 안동호는 0.39~0.74의 범위로 전체 평균은 각각 0.57 ± 0.06 , 0.54 ± 0.11 이었으며, 춘천호는 대부분의 조사 시기에서 0.5 이상으로 높았고, 안동호는 6~8월에 실시한 조사에서 상대적으로 우점도가 낮았다. 균등도는 군집 내 종의 풍부성과 균등성을 나타내는 지수이며, 춘천호가 0.69~0.83, 안동호는 0.55~0.88의 범위로 전체 평균은 각각 0.74 ± 0.04 및 0.75 ± 0.10 로 나타나 두 호소의 어류군집의 균등성이 비슷한 수준으로

분석되었다.

3. 생태지표종

채집된 어종의 생태지표종 분석에 따르면 내성도 특성에서 춘천호는 내성종(Tolerant species)이 11종 579개체(48.4%), 중간종(Intermediate species)은 15종 553개체(44.5%), 민감종(Sensitive species)은 8종 85개체(7.1%)로 구분되어 내성종의 개체수 비율이 가장 높았고, 출현 종수는 중간종이 가장 많았다(Fig. 6). 춘천호에서 내성종은 블루길의 우점현상이 가장 큰 영향을 미치고 있었으며, 누치, 붕어, 배스 등 중대형 어종의 비율이 높은 것으로 확인되었다. 그 밖에 중간종은 피라미와 빙어, 민감종은 참갈겨니의 비율이 가장 높았다. 안동호의 내성도 특성에 따른 분포는 내성종(TS)이 14종 1,103개체로 전체의 79.2%를 차지하여 종수와 개체수 비율이 가장 높았고, 중간종(IS)은 10종 290개체(20.8%)였으며, 민감종(SS)의 서식은 확인되지 않았다. 우점종인 블루길과 아우점종인 붕어를 비롯하여 누치, 고리, 잉어 등이 내성종의 우점현상에 큰 영향을 미치고 있었으며, 중간종은 피라미의 개체수 비율이 60.0% 이상으로 높았다.

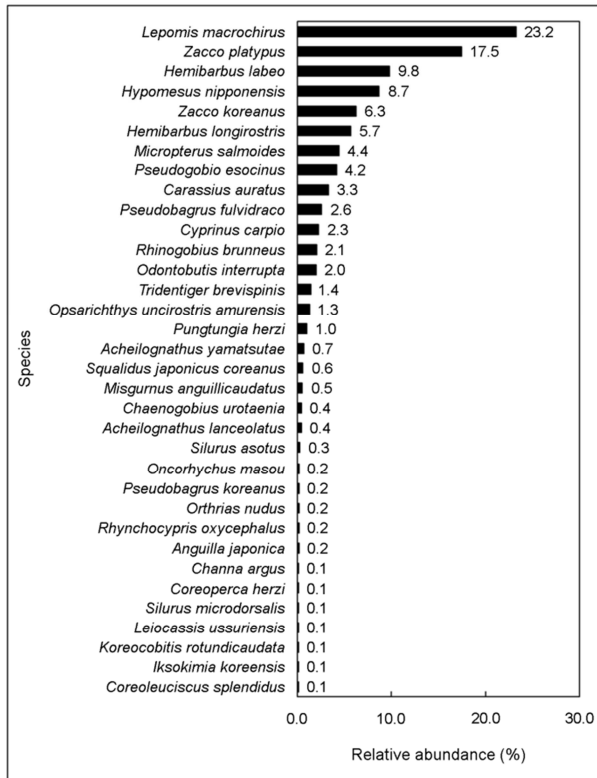


Fig. 2. Relative abundance of collected fish in Chuncheon reservoir.

섭식 특성분석에서는 춘천호의 경우 충식성(Insectivores) 어류가 17종 791개체(66.1%)가 출현하여 종수 및 개체수 비율이 가장 높았고, 잡식성(Omnivores) 어류는 8종 303개체(25.3%), 육식성(Carnivores) 9종 103개체(8.6%) 등으로 나타났다. 충식성 어류의 경우 우점종인 블루길의 영향이 가장 큰 것으로 나타났으며, 잡식성 어류는 피라미, 육식성 어류는 베스가 가장 높은 비율로 확인되었다. 안동호의 섭식 특성에 따른 분포는 잡식성(O) 어류가 8종 614개체(44.1%), 충식성(I) 9종 464개체(33.3%), 육식성(C) 어류는 7종 315개체(22.6%)로 구분되어 섭식 특성별 출현 종수는 큰 차이가 나지 않았고, 개체수 비율은 잡식성, 충식성, 육식성 순으로 Han et al. (2007) 및 Ministry of Environment (2010)의 조사결과와 일치되는 경향을 보였다.

4. 어류군집 변화

춘천호의 과거 어류군집에 대한 연구로는 Choi (2005)에 의한 춘천호의 지류 및 호내 지점 11개에 대한 어류상 조사와 Ministry of Environment (2011)의 호소환경 및 생태조사 연구에서 수질 및 수생태계의 생물군집에 대한 조사가 실시된 바 있다. 본 조사와 비교하기 위해 Choi (2005)의 연구결과는 지류하천에서 실시된 결

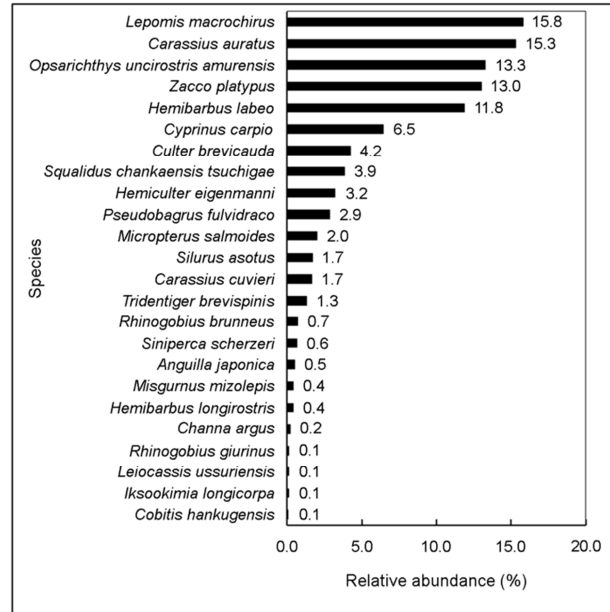


Fig. 3. Relative abundance of collected fish in Andong reservoir.

과를 제외하였으며, 호내 지점의 경우 11과 26종이 서식하는 것으로 나타났다. 그리고 Ministry of Environment (2011)의 조사에서는 10과 29종이 보고되었고, 본 조사에서는 2017년 12과 28종, 2018년에는 10과 21종이 확인되었다. 과거 연구와 본 조사결과를 종합하여 춘천호에 서식하는 어류는 총 14과 46종이었다. 본 조사에서 처음 출현한 어종들을 살펴보면 쉬리, 물개, 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*), 대륙종개(*Orthrias nudus*), 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*), 미유기, 꺾지, 밀어(*Rhinogobius brunneus*), 민물검정망둑(*Tridentiger brevispinis*), 가물치(*Channa argus*) 등 7과 10종이었다. 과거 조사에서는 출현하였으나 본 조사에서 출현하지 않은 어종은 다묵장어(*Lethenteron reissneri*), 떡붕어(*Carassius cuvieri*), 중고기(*Sarcocheilichthys nigripinnis morii*), 참중고기(*Sarcocheilichthys variegatus wakiyae*), 긴물개(*Squalidus gracilis majimae*), 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*), 백련어(*Hypophthalmichthys molitrix*), 치리(*Hemiculter eigenmanni*), 종개(*Orthrias toni*), 쏘가리(*Siniperca scherzeri*), 동사리(*Odontobutis platycephala*) 등 4과 11종이었다.

우점종 및 아우점종은 2005년에 빙어와 누치, 2011년에는 누치와 피라미였으며, 2017년은 피라미 및 블루길, 2018년에는 블루길과 누치로 확인되어 누치와 피라미는 안정적인 개체군을 유지하고 있었으며, 블루길은 2017년 조사에서 개체군이 증가된 것으로 나타났다.

춘천호의 고유종은 총 5과 11종으로 시기별로는 2005년 4종, 2011년 및 2017년에 각각 6종, 2018년에는 1종이었으며, 개체수 비

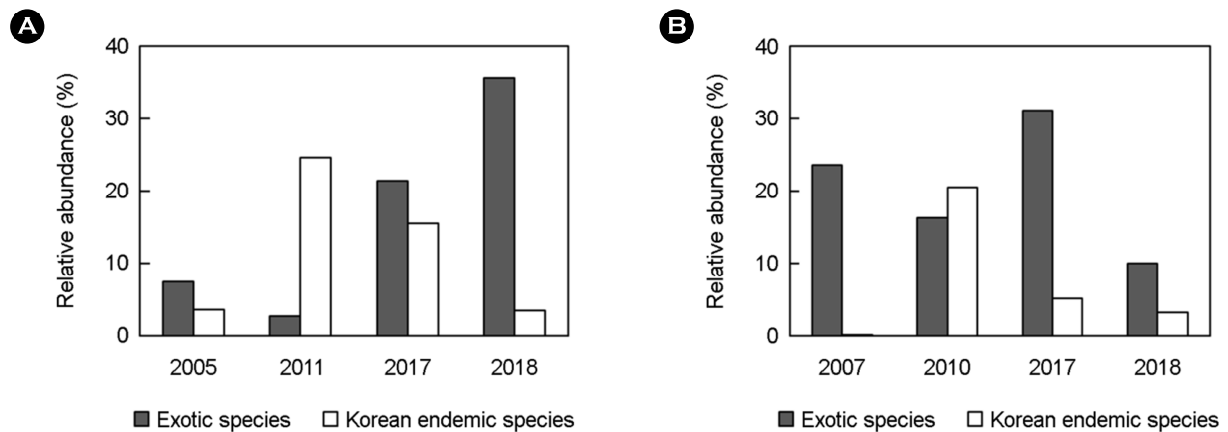
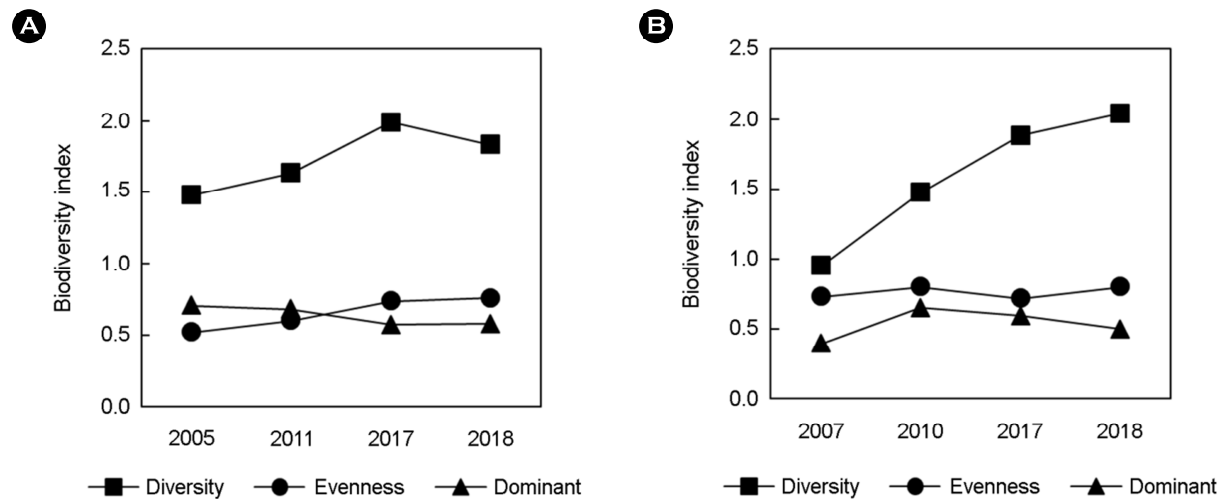
Table 2. Species and number of fish collected at the sampling site of Andong reservoir

Species	Andong reservoir								Total	RA (%)
	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th		
Anguillidae										
<i>Anguilla japonica</i>		1	1	2		1	1	1	7	0.50
Bagridae										
<i>Leiocassis ussuriensis</i>			2						2	0.14
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>		1	4	9	3	5	12	6	40	2.87
Channidae										
<i>Channa argus</i>	1				1	1			3	0.22
Centrarchidae										
<i>Lepomis macrochirus</i>	2	3	9	172	8	10	5	11	220	15.79
<i>Micropterus salmoides</i>	4		3	1	1		15	4	28	2.01
Centropomidae										
<i>Siniperca scherzeri</i>				1	6	2			9	0.65
Cobitidae										
<i>Cobitis hankugensis</i>	1								1	0.07
<i>Iksookimia longicorpa</i>				2					2	0.14
<i>Misgurnus mizolepis</i>	3	1	1			1			6	0.43
Cyprinidae										
<i>Carassius auratus</i>	20	26	15	7	46	30	45	24	213	15.29
<i>Carassius cuvieri</i>					18	5			23	1.65
<i>Culter brevicauda</i>	6		20	18	7		8		59	4.24
<i>Cyprinus carpio</i>	1	5	7	5	11	9	32	20	90	6.46
<i>Hemibarbus labeo</i>	9	8	18	10	68	23	27	2	165	11.84
<i>Hemibarbus longirostris</i>					6				6	0.43
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	4	1	11	8	3	18			45	3.23
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	37	20	52	33	8	4	24	7	185	13.28
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>			24	5			25		54	3.88
<i>Zacco platypus</i>	1		3		120	54		3	181	12.99
Gobiidae										
<i>Rhinogobius brunneus</i>	3	5		1	1				10	0.72
<i>Rhinogobius giurinus</i>	2								2	0.14
<i>Tridentiger brevispinis</i>	5	3			3	5		2	18	1.29
Siluridae										
<i>Silurus asotus</i>			2	4	3	2	5	8	24	1.72

Table 2. Species and number of fish collected at the sampling site of Andong reservoir (Continued)

Species	Andong reservoir								Total	RA (%)
	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th		
Number of Family	5	6	6	8	7	9	5	6	9	
Number of Species	15	11	15	15	17	15	11	11	24	
Number of individual	99	74	172	278	313	170	199	88	1,393	

RA: relative abundance

**Fig. 4.** Relative abundance of exotic species and Korean endemic species at sampling sites. (A) Chuncheon reservoir, (B) Andong reservoir.**Fig. 5.** Biodiversity index of fish communities at sampling sites. (A) Chuncheon reservoir, (B) Andong reservoir.

울은 2011년에 24.6%로 증가한 이후 2017년 및 2018년에 15.5% 및 3.4%로 감소 경향을 나타내었다. 상대적으로 외래종은 2005년 7.4% 및 2011년 2.7%로 감소하였다가 2017년 및 2018년에는 각

각 21.3% 및 35.6%로 급격히 증가하였다. 춘천호의 외래종은 떡붕어, 백련어, 블루길, 배스 4종이었으며, 2005년 및 2011년에는 각각 배스와 떡붕어의 비율이 높았으나, 2017년과 2018년 조사에

Table 3. Analysis of fish community at Chuncheon reservoir and Andong reservoir

Site	Date of sampling	Diversity index	Evenness index	Richness index	Dominant index
Chuncheon reservoir	1 st	2.07	0.73	2.80	0.55
	2 nd	2.09	0.75	3.19	0.50
	3 rd	1.77	0.69	2.59	0.69
	4 th	2.02	0.77	2.60	0.55
	5 th	1.98	0.71	3.12	0.60
	6 th	1.92	0.83	1.74	0.49
	7 th	1.73	0.79	1.72	0.61
	8 th	1.67	0.70	2.07	0.62
	Average	1.90±0.16	0.74±0.04	2.47±0.57	0.57±0.06
Andong reservoir	1 st	2.04	0.75	3.05	0.58
	2 nd	1.82	0.76	2.32	0.62
	3 rd	2.19	0.81	2.72	0.44
	4 th	1.49	0.55	2.49	0.74
	5 th	1.92	0.68	2.78	0.60
	6 th	2.10	0.77	2.73	0.49
	7 th	2.12	0.88	1.89	0.39
	8 th	2.03	0.85	2.23	0.50
	Average	1.96±0.22	0.75±0.10	2.52±0.36	0.54±0.11

서는 블루길의 개체군이 증가된 것으로 확인되었다.

춘천호의 군집 지수는 종다양도 지수(Diversity index)가 2005년 1.48, 2011년 1.63, 2017년 1.99로 증가하였고, 2018년에는 1.83으로 소폭 감소되었다(Fig. 5). 특정종의 우세한 정도를 나타내는 우점도 지수(Dominance index)는 2005년 및 2011년에 각각 0.70 및 0.68로 높았으나, 2017년 및 2018년 조사에서 각각 0.57 및 0.58로 감소하였다. 군집 내 종구성의 균일한 정도를 나타내는 균등도 지수(Evenness index)는 2005년 0.52에서 지속적으로 증가하여 2018년에는 0.76으로 나타났다.

생태지표종 분포의 변화는 내성 특성의 경우 2018년 조사에서 내성종이 급격히 증가하였고, 상대적으로 중간종이 감소된 것으로 나타났다. 민감종은 참갈겨니와 중고기의 출현 비율이 높았던 2011년 및 2017년에 각각 3.3% 및 12.2%로 나타났으며, 나머지 조사에서는 1.0% 이하로 확인되었다. 내성종의 개체수 및 종수는 유기물 오염, 서식지 파괴 등과 같은 서식지의 물리·화학적 질적 하강에 따라 증가하는 경향을 보이는 것으로 보고된 바 있으나(Karr, 1981; US EPA, 1991), 춘천호의 내성종 개체군의 변화를 살펴보면 생물학적인 교란이 크게 작용한 것으로 보여진다. 2005년

과 2011년 조사의 경우 누치가 전체 내성종의 64.8% 및 62.6%를 차지하였으나, 본 조사의 2017년 및 2018년에는 블루길이 각각 50.0% 및 46.7%의 비율로 확인되었다. 생태계 교란종인 블루길은 2005년 조사에서는 출현하지 않았으나, 2011년 조사에서는 상대 풍부도 0.15%로 처음 출현하였고, 2017년 및 2018년에는 상대 풍부도 17.6% 및 30.3%로 개체군이 급격히 증가된 것으로 확인되었다. 섭식특 성에 따른 분포는 잡식성 어류가 2011년 52.1%에서 2017년 및 2018년에 각각 29.1% 및 20.5%로 감소하였고, 상대적으로 충식종의 비율이 증가하였다. 육식성 어류는 10.0% 내외로 비슷한 수준을 유지하였다. 충식종의 경우 과거 누치, 모래무지(*Pseudogobio esocinus*), 빙어 등이 우세하였으나, 본 조사결과에서는 블루길의 비율이 가장 높은 것으로 나타났다.

춘천호의 어류군집은 과거에 비해 군집 지수의 경우 표면적으로 안정된 상태로 분석되었지만, 생태계 교란종인 블루길의 개체군 증가로 인해 전반적인 생태지표종의 분포가 변화하였고, 외래종 비율 증가 등으로 어류군집의 구성 및 생태적 건강성은 불안정화 된 것으로 사료된다.

안동호의 과거 어류군집에 대한 연구로는 Han et al. (2007)에

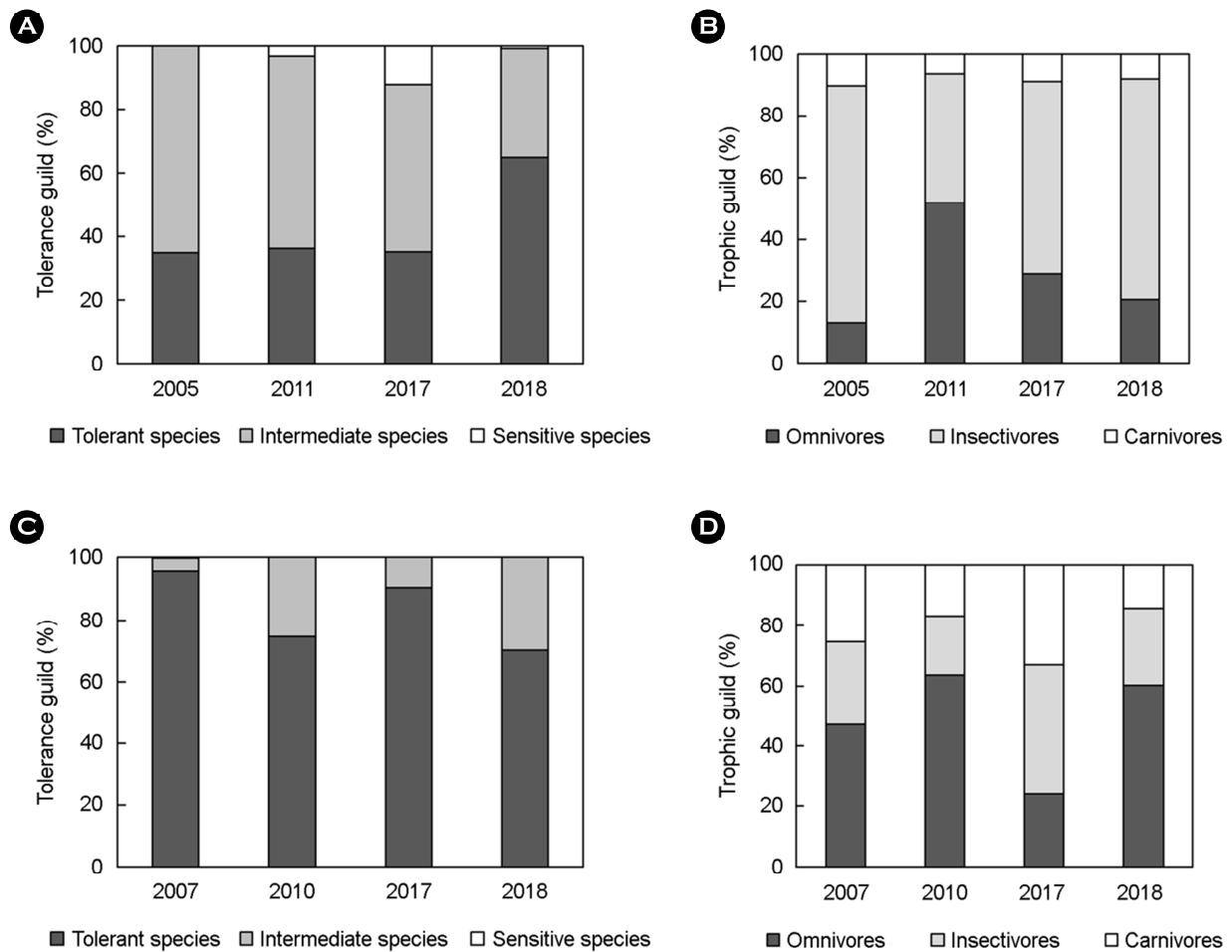


Fig. 6. Tolerance and trophic guild characteristics at sampling site. (A) Tolerance guild in Chuncheon reservoir; (B) Trophic guild in Chuncheon reservoir; (C) Tolerance guild in Andong reservoir; (D) Trophic guild in Andong reservoir.

의해 안동호에 서식하는 어류군집과 길이-무게 상관관계에 대한 연구와 Ministry of Environment (2010)의 호소환경 및 생태조사 연구에서 수질 및 수생태계의 생물군집에 대한 조사가 실시된 바 있다. Han et al. (2007)의 연구결과에서는 7과 20종의 어류가 출현하였고, 누치와 떡붕어가 각각 우점종 및 아우점종으로 나타났으며, Ministry of Environment (2010)에서는 4과 13종이 출현하였으며, 우점종은 치리, 아우점종은 참물개로 보고되었다. 본 조사에서는 2017년 9과 22종, 2018년에는 9과 20종으로 조사되어 과거 문헌과 종합해 보면 안동호에는 10과 28종의 어류가 서식하는 것으로 확인되었다. 본 조사에서 처음 출현한 어종들을 살펴보면 뱀장어(*Anguilla japonica*), 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*), 왕종개 등 3종이었으며, 과거 조사에서는 출현하였으나 본 조사에서 출현하지 않은 어종은 모래무지, 강준치(*Erythroculter erythropterus*), 빙어, 꺾지 등 4종이었다.

우점종 및 아우점종은 2007년에 누치와 떡붕어, 2010년에는 치

리와 참물개였으며, 2017년은 블루길 및 고리, 2018년에는 피라미와 붕어로 확인되었다. 안동호에서 안정적인 개체군을 나타내는 어종은 잉어, 붕어, 참물개, 누치, 고리, 백조어, 치리, 블루길 등이었으며, 희소하게 출현한 어종은 뱀장어, 참마자, 모래무지, 왕종개, 대농갱이, 꺾지 등으로 확인되었다. 안동호에서 법정보호종은 멸종위기야생생물 II급으로 지정된 백조어 1종이 출현하였고, 과거 Han et al. (2007) 및 Ministry of Environment (2010)의 조사와 본 조사에서 모두 출현하여 안동호에서 안정적으로 서식하는 것으로 보여진다. 고유종은 참물개, 왕종개, 기름종개, 꺾지 등 3과 4종이었으며, 외래종은 떡붕어, 블루길, 배스로 2과 3종으로 나타났다. 외래종의 개체수 비율은 2017년 조사에서 31.1%로 가장 높았고, 2018년에 10.0%로 가장 낮았다. 고유종은 2010년 20.5%로 가장 높았으나, 이후의 조사에서 5.1% 및 3.2%로 감소된 것으로 나타났다.

안동호의 군집 지수는 종다양도 지수의 경우 2007년 0.95에서

2018년에 2.04로 지속적으로 증가되었고, 특정종의 우세한 정도를 나타내는 우점도 지수는 2007년에 0.39로 가장 낮았고, 2010년 조사에서 0.65로 가장 높았다. 군등도 지수는 전체 0.72~0.80의 범위로 시기별로 큰 차이를 보이지 않았다.

생태지표종 분포의 변화는 내성특성에서 내성종이 전체 시기에 70.0% 이상으로 높은 비율을 유지하고 있었으며, 섭식 특성은 2017년에 블루길의 우점현상으로 충식성 비율이 가장 높았고, 나머지 시기에는 잡식성, 충식성, 육식성 순으로 높은 비율을 나타내었다.

안동호의 어류군집은 잉어, 붕어, 누치, 백조어, 블루길 등 내성이 강한 중대형 어종 중심으로 구성되어 있었으며, 생태지표종 분포에서 내성종과 잡식성 어종의 비율이 높은 상태를 유지하고 있는 것으로 나타났다. 군집 지수의 경우 과거에 비해 안정된 상태로 분석되었으나, 고유종의 비율이 감소되었고, 민감종 어류가 서식하고 있지 않아 미소서식지의 질적 개선이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과를 종합하면, 춘천호는 호소면적에 따라 대형인 공호로 분류가 되나 높은 종다양도에 비하여 상대적으로 적은 개체가 분포하고 있는 것으로 조사되었다. 어류군집 구조의 안정화를 위하여 생물학적 먹이사슬 단계를 고려한 수산자원종 및 일반종의 중요 방류를 실시하고 산란 및 번식을 위한 환경을 조성할 필요가 있다. 안동호의 경우, 멸종위기야생생물Ⅱ급 어종인 백조어가 지속적으로 출현하고 있으나 대형 개체들만 주로 채집되고 치어 및 미성어의 출현빈도는 매우 낮은 것으로 조사되었다. 이는 백조어의 산란이 이뤄지고 있으나 자어 및 치어가 서식하고 성장할 수 있는 서식환경의 부재로 인하여 발생한 현상으로 판단되며 자어 및 치어가 성장할 수 있는 환경을 조성하는 등 관리가 필요할 것으로 사료된다. 또한, 과거에 비하여 현저히 증가한 외래종 및 생태계교란종의 비율을 감소시키기 위해 인공산란장을 설치하여 수정란을 제거하거나 산란기에 대형 개체를 포획하는 등 다양한 해결방안을 모색하여 수산생물자원을 보호하고 육성해야 할 것이다.

사 사

이 논문은 국립수산물과학원의 수산생물방역프로그램 개발·운영(R2019058)의 지원으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD, Stribling JB. 1999. Rapid bio-assessment protocols for use in streams and wadable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, 2nd edition. EPA 841-B-99-002. US Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, DC.
- Choi JS. 2005. Ichthyofauna and fish community structure in Chuncheon Reservoir. *Korean J Environ Biol* 23: 173-183.
- Choi KC. 1969. Fish population dynamics in the Choon Chun Impoundment. *Kor J Limnol* 2: 31-38.
- Choi KC. 1971. Comparative studies on the fish population dynamics in the Choon Chun, Uiam impoundments and in the Achim reservoir. *Kor J Limnol* 4: 43-62.
- Han SC, Lee HY, Seo EW, Shim JH, Lee JE. 2007. Fish fauna and weight-length relationships for 9 fish species in Andong reservoir. *J Life Sci* 17: 937-943.
- Kim IS, Kang EJ. 1993. Coloured fishes of Korea. Academy Publishing Co. Ltd.
- Kim IS, Park JY. 2002. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Publishing Co. Ltd.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology, *General Systematics*, 3: 36-71.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature* 216: 168-169.
- Ministry of Environment. 2010. Survey of Lake Environment and Ecology in Nakdong river system.
- Ministry of Environment. 2011. Survey of Lake Environment and Ecology in each river system.
- Nelson JS. 1994. Fishes of the world. John Wiley and Sons, New York. 600 pp.
- Ohio EPA. 1989. Biological criteria for the protection of aquatic life. Vol.III, Standardized biological field sampling and laboratory methods for assessing fish and macroinvertebrate communities. USA.
- Pielou EC. 1975. *Ecological Diversity*. Wiley, New York. 165 pp.
- Rutherford DA, Echelle AA, Maughan OE. 1987. Changes in the fauna of the Little River drainage, southeastern Oklahoma, 1948-1955 to 1981-1982: a test of the hypothesis of environmental degradation. *Community and evolutionary ecology of North American stream fishes*. University of Oklahoma Press, Norman, 178-183.
- US 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.
- Yang HJ, Chae BS, Nam MM. 1997. Ichthyofauna and fish Community Structure in the Andong-Dam Area. *Korean J Limnol* 30: 347-356.