

Original article

한강수계 하구호 남양호와 유입하천의 어류군집 특성

곽영호 · 김승용 · 송하윤 · 전형주 · 송미영*

국립수산과학원 중앙내수면연구소

Characteristics of Fish Communities in Namyang Lake and its Tributaries in the Estuary of Han River Watershed, South Korea. Yeong-Ho Kwak (0000-0003-2919-0808), Seung-Young Kim (0000-0003-2681-7011), Ha-Yun Song (0000-0001-6902-6688), Hyoung-Joo Jeon (0000-0001-7518-7554) and Mi-Young Song* (0000-0003-4404-9941) (Inland Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Geumsan 32762, Republic of Korea)

Abstract Fish community characteristics was investigated in Namyang Lake and tributaries in Han River basin, Korea from April to October 2015. During the period, there were 5,672 individuals of 20 species appeared from tributaries (St. 1~St. 6) and dominant species were *Pseudorasbora parva* (33.5%). Also 5,672 individuals of 20 species appeared in Namyang Lake (St. 7~St. 9) and dominant species were *Carassius auratus* (32.2%). There were 5 species of endemic species with *Rhodeus uyekii*, *Acanthorhodeus gracilis*, *Squalidus japonicus coreanus*, *Abbottina springeri* and *Odontobutis interrupta* from Namyang Lake watershed. The frequency of endemic species were higher tributaries (18.5%) than Namyang Lake (15%). Exotic species were 3 species with *Carassius cuvieri*, *Lepomis macrochirus*, and *Micropterus salmoides*. there were appeared more frequently Namyang Lake (15.0%) than tributaries (7.4%).

Key words: Namyang Lake, tributaries, fish community, endemic species, exotic species

서론

하구호는 담수화가 진행되면서 해산어류에서 담수어류로 큰 변동을 보인다. 특히 해수 유통이 없는 하구호는 상류에서 유입되는 담수로 인해 담수화 진행 속도가 빨라진다. 이에 따라 하구역에서 주로 서식하는 어류들은 호수의 담수화로 서식환경이 제한된다. 우리나라는 수자원 확보를 위해 하천의 중상류에 댐을 건설하였고, 농지의 확장과 염해 방지 및 농업용수의 확보 등을 이유로 하구에 방조제를

설치하였다(Chun, 2001). 댐의 건설은 수자원의 안정적인 이용, 전력 공급, 자원조성을 통한 내수면 소득 증대 등을 가능하게 하지만, 강과 하천을 인위적으로 변형시켜 어류의 이동을 차단하며 기존에 서식하는 생물에 부정적인 영향을 미친다(Joy and Death, 2001; Park *et al.*, 2005). 우리나라의 인공담수호는 도시화, 산업화 등으로 인해 오염원이 유입되어 빠르게 부영영화가 진행되고 있으며(Jang *et al.*, 2008), 남양호 또한 해수의 유입이 차단된 후로 수체가 정체되었고 강우 시에 유역으로부터 농업용 시비, 수중식물의 분해산물 및 공장 배출수의 유입으로 인해 하구역의 오염이 증가되고 있다(Lee and Cho, 1995). 이러한 수질오염은 어류의 종 다양성을 감소시키고, 내성종을 증가시켜 수생태계의 변화를 초래한다(An and Lee, 2018).

Manuscript received 23 November 2020, revised 9 January 2021, revision accepted 21 January 2021
* Corresponding author: Tel: +82-41-750-1040, Fax: +82-41-750-1015
E-mail: miyosong@korea.kr

과거 발안천 하구일대는 광활한 농경지였지만 용수원이 부족하였고 해수로 인한 염해가 빈번한 지역이었다(Suh, 1996). 이를 개선하기 위하여 1974년 5월에 농경지의 개발과 농업용수 확보를 목적으로 발안천의 하구에 방조제를 축조하여 남양호가 준공되었다(Cho, 1976; Lee and Cho, 1995). 남양호는 내수면 수산자원보호구역 중 하나로(해수면 10개소, 내수면 18개소; NIFS, 2018), 삼각망을 이용한 내수면 어로어업을 통해 붕어, 잉어, 동자개 등을 어획하고 있으며, 수도권과 인접하여 낚시꾼의 이용이 활발해 일부 지역이 낚시금지구역으로 지정되어 있다(Pyeongtaek-si, 2009).

남양호에 관한 연구는 수질오염에 관한 연구(Cho and Chung, 2007), 수생태계 건강성평가(Han and An, 2008; Kim *et al.*, 2008)와 생태계의 영양구조 및 에너지 흐름에 관한 연구(Jang *et al.*, 2008; Jang and Lee, 2011) 등이 있었다. 남양호와 유입하천을 포함한 어류의 군집구조 및 하구호의 어류군집에 대한 장기변동은 보고된 바는 없다.

따라서 본 연구는 남양호와 유입하천을 포함한 어류의 군집 특성을 조사하고 과거문헌과 비교하여 어류상의 변화를 비교하였다. 이를 통해 남양호 유역의 수생태계 내 상위 소비자인 어류의 분포 및 서식현황을 파악하여 수산자원 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지역

조사지점은 남양호로 유입하는 하천(Tributaries, 6개 지점)과 남양호 내(Lacustrine area, 3개 지점)에서 아래와 같이 총 9개 지점을 선정하였다(Fig. 1). 유입하천에서 조사는 조사지점을 기준으로 하천 내 200 m(상류 100 m, 하류 100 m)에서 여울과 소 등의 다양한 환경이 포함되도록 하였으며, 남양호는 유입부, 중심부, 개방부 각각 1곳을 선정하여 조사하였다. 발안천은 화성시 봉담읍에 위치한 태봉산과 건달산 일대 산지에서 발원하여 봉담읍, 팔탄면, 향남읍, 장안면을 남북으로 관통하며 흐르는 지방2급 하천으로 하천연장 17 km, 유로연장 30 km에 달하는 화성시 제2의 하천으로 유역면적은 61 km²이다. 남양호는 경기도 화성시 장안면과 평택시 포승읍 사이에 위치하며, 발안천 하구의 분양만을 막아 배후지 41.2 km²를 관개하기 위해 1973년 조성된 하구 담수호이다. 남양호의 유역면적은 209 km², 수면적 8 km², 총저수량은 33,297 m³로 연평균 저수용량은 20,407 m³이며 한국농어촌공사에서 관리하고 있다. 남양호의 주 수계는 발안천으로 종류에는 후사천이, 하류에는 장

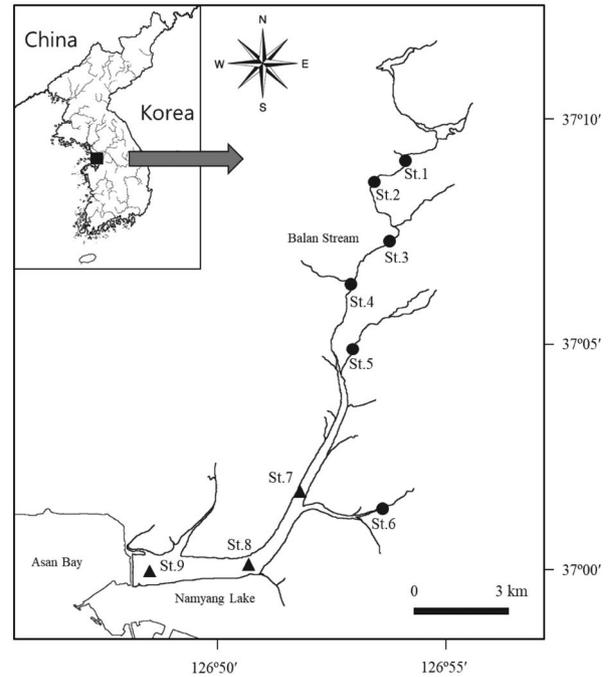


Fig. 1. Locality of survey stations in Namyang Lake watershed, Korea. ●: Tributaries, ▲: Namyang Lake

안천이 유입한다(GIHE, 2007).

- St. 1: 경기도 화성시 팔탄면 구장리 (37°09'20.12"N, 126°54'36.32"E)
- St. 2: 경기도 화성시 팔탄면 지월리 (37°08'54.79"N, 126°53'45.44"E)
- St. 3: 경기도 화성시 향남읍 발안리 (37°07'32.99"N, 126°54'06.82"E)
- St. 4: 경기도 화성시 향남읍 상신리 (37°06'37.97"N, 126°53'13.45"E)
- St. 5: 경기도 화성시 향남읍 장안로 (37°04'54.05"N, 126°53'06.06"E)
- St. 6: 경기도 평택시 청북읍 옥길리 (37°02'07.13"N, 126°54'29.94"E)
- St. 7: 경기도 평택시 포승읍 홍원리 (37°02'07.49"N, 126°51'56.10"E)
- St. 8: 경기도 평택시 포승읍 원정리 (37°00'45.88"N, 126°50'15.85"E)
- St. 9: 경기도 평택시 포승읍 원정리 (37°00'35.84"N, 126°48'11.68"E)

2. 조사방법

어류군집 조사는 결빙되는 겨울을 제외한 총 4회(2015

Table 1. Environmental factors at each station in Tributaries of Namyang Lake watershed, Korea.

Stations	River width (m)	Water width (m)	Water depth (m)	Water velocity (m/s)	Bottom structure*					
					M	S	G	P	C	B
St. 1	61	30~60	1.0~1.5	0.1~0.9	5	15	20	20	30	10
St. 2	20	3~10	0.1~0.3	0.1~0.6	10	20	30	20	15	5
St. 3	60	13	0.2~0.3	0.1~1.9	30	40	20	10	-	-
St. 4	52	20~40	0.3~1.0	0.5~1.5	25	30	15	10	10	10
St. 5	30	10~20	0.1~0.3	0.1	60	40	-	-	-	-
St. 6	45	20	0.5~1.5	0.1~0.2	90	10	-	-	-	-

*M: Mud (<0.1 mm), S: Sand (0.1~2 mm), G: Gravel (2~16 mm), P: Pebble (16~64 mm), C: Cobble (64~256 mm), B: Boulder (>256 mm) by Cummins (1962)

년 4월, 6월, 8월, 10월) 실시하였다. 어류의 채집은 내수면 수산자원 및 환경조사 매뉴얼(NIFS, 2015)에 따라 유입하천에 해당하는 St. 1~St. 6에는 지점당 투망(망목내경 16 mm) 10회 내외, 족대(망목내경 10 mm) 2인 30분 기준으로 조사하였고, 호소에 해당하는 St. 7~St. 9는 삼각망(끝자루 망목크기 12철(27 mm)과 31철(10 mm) 2종)을 지점당 1개씩 설치하여 최소 24시간 거치한 후 수거하는 방법으로 조사하였다. 채집된 어류는 대부분 현장에서 동정하여 개체수와 생체량을 측정하고 후 방류하였으며, 현장에서 식별이 어려운 일부 개체는 10% 포르말린에 고정하여 실험실에 운반 후 동정하였다. 종 동정은 Kim and Park (2002)을 참고하였으며 분류체계는 Nelson *et al.* (2016)의 방법을 따랐다. 군집구조를 파악하기 위해 조사지점별 출현한 종과 개체수를 기반으로 Primer 6.0 (PRIMER-E Ltd, UK)을 사용하여 지점별 우점도지수(McNaughton, 1967), 다양도지수(Pielou, 1969), 균등도지수(Pielou, 1975), 풍부도지수(Margalef, 1958)를 분석하였으며, 유사도지수는 특정 우점종 밀도에 대한 편차를 줄이기 위해 $\text{Log}(x+1)$ 로 변환 후 Bray Curtis similarity로 분석하였다. 또한 유사도지수 행렬로부터 각 조사지점과 출현 종을 연결하는 방법으로 group average를 적용하였다.

유입하천의 하폭과 유폭은 거리측정기(Bushnell, yardage pro)를 사용하여 측정하였고 유속은 유속계(Flowatch, JDC)를 사용하여 현장에서 측정하였다. 하상구조는 Cummins (1962)의 방법을 응용하여 펄(Mud, <0.1 mm), 모래(Sand, 0.1~2 mm), 왕모래(Gravel, 2~16 mm), 잔자갈(Pebble, 16~64 mm), 왕자갈(Cobble, 64~256 mm), 호박돌(Boulder, >256 mm)로 구분하였다. 이화학적 환경요인인 수온, 전기전도도(Conductivity), 염도(Salinity), 용존산소량(DO)은 수질측정기(YSI-MPS-556, USA)를 사용하여 조사하였다.

결 과

1. 이화학적 환경특성

유입하천의 지점별 물리적 요인은 Table 1과 같다. 남양호의 가장 큰 지류인 발안천에 해당하는 St. 1~St. 4는 하상구조가 상류에서 하류로 갈수록 모래와 펄의 비중이 증가하는 경향을 보였다. St. 5와 St. 6은 남양호로 유입되는 지류로서 발안천 조사지점보다 유속이 느렸으며 하상구조는 모래와 펄로 구성된 소의 형태를 주로 이루었다. 남양호 내 조사지점의 수심은 평균 3.9~7.0 m로 상류에서 하류로 갈수록 깊었다.

유입하천의 지점별 이화학적 요인은 Fig. 2와 같다. 수온은 대부분의 지점에서 8월에 높고 10월에 낮았다. 전기전도도는 대부분 $300 \mu\text{S cm}^{-1}$ 이상으로 나타났고, 발안천에 해당하는 St. 1~St. 4보다 남양호로 유입되는 St. 5와 St. 6의 전기전도도 값이 더 높게 측정되었는데, 해당지점은 상류에 시가지와 산업단지가 밀집되어 있으며 발안천보다 유속이 느린 특징을 보였다. 남양호 내 조사지점은 전기전도도가 $1,000 \mu\text{S cm}^{-1}$ 이상 높게 나타났으며, 8월에 다소 감소하는 경향을 보였다. 염도는 10월에 St. 5에서 가장 높게 나타났고 8월에 St. 1에서 가장 낮게 나타났으며, 전기전도도 값과 마찬가지로 남양호 내에서 가장 높았으며, St. 5와 St. 6이 발안천 지점들에 비해 높게 나타났다. 용존산소는 수온이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였고, 10월에 St. 2에서 가장 높게 나타났고 8월에 St. 6에서 가장 낮게 나타났다.

2. 남양호와 유입하천의 어류상

남양호 유역에 서식하는 어류는 총 15과 33종 11,571 개체(생체량 171.2 kg)가 출현하였고, 개체수 우점종은

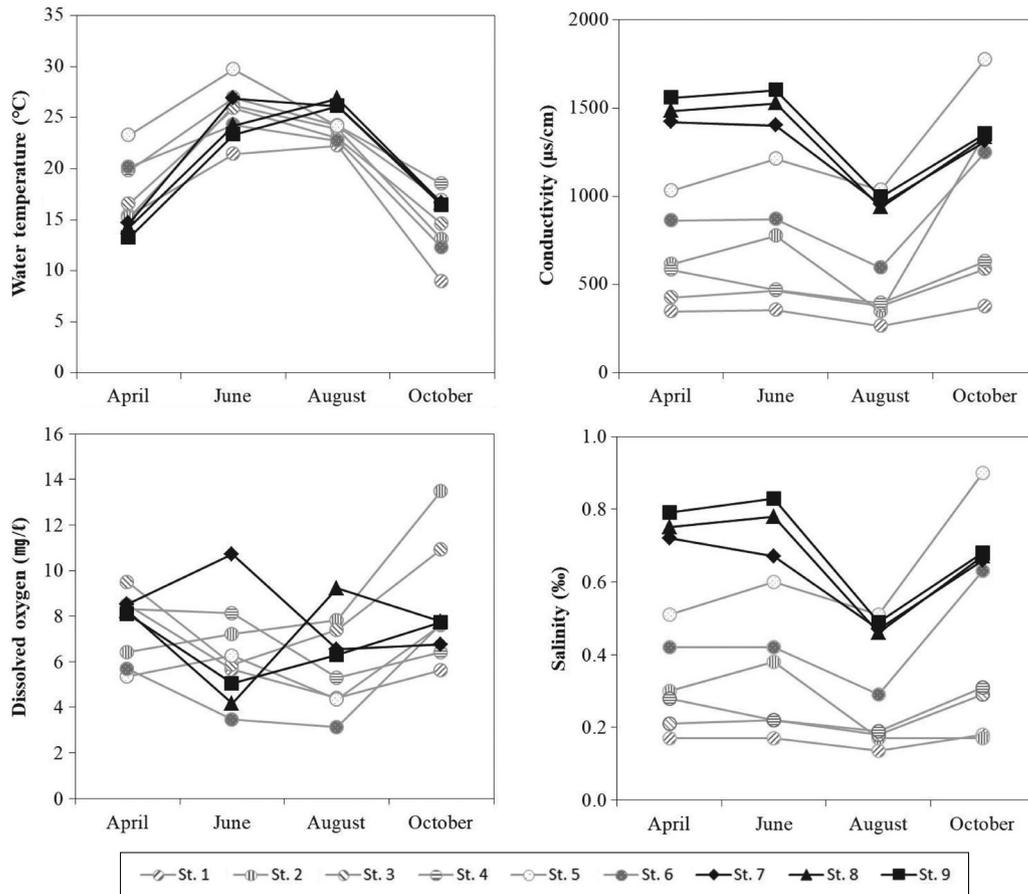


Fig. 2. Seasonal variation of water quality at each station in Namyang Lake watershed, Korea.

붕어 *Carassius auratus* (27.9%), 아우점종은 참붕어 *Pseudorasbora parva* (18.5%)로 나타났다 (Table 2). 출현한 어류 중 잉어과 (Cyprinidae) 어류가 15종으로 전체 종수의 45.5%를 차지하였고, 망둑어과 (Gobiidae) 3종, 미꾸리과 (Cobitidae)와 검정우럭과 (Centrarchidae) 2종이 출현하였고, 뱀장어과 (Anguillidae), 메기과 (Siluridae), 동자개과 (Bagridae), 바다빙어과 (Osmeridae), 송어과 (Mugilidae), 송사리과 (Adrianichthyidae), 학공치과 (Hemiramphidae), 드렁허리과 (Synbranchidae), 동사리과 (Odontobutidae), 버들붕어과 (Belontiidae), 가물치과 (Channidae)가 각 1종씩 출현하였다. 고유종은 각시붕어 *Rhodeus uyekii*, 가시납지리 *Acanthorhodeus gracilis*, 물개 *Squalidus japonicus coreanus*, 왜매치 *Abbottina springeri*, 얼룩동사리 *Odontobutis interrupta* 5종이 출현하였고, 외래종은 떡붕어 *Carassius cuvieri*, 블루길 *Lepomis macrochirus*, 배스 *Micropterus salmoides*가 3종 분포하였다. 전체 조사지점 중 St. 3에서 17종으로 가장 많은 종의 어류가 출현하였고, St. 8에서 12종으로 가장 적은 종이 출현하였다. 개체수는

St. 9에서 3,086개체로 가장 많았으며 St. 6에서는 148개체만 채집되었다. 생체량은 St. 7에서 58.4 kg으로 가장 많았으며 St. 6에서는 4.7 kg이 출현하였다.

남양호 유입하천인 St. 1~St. 6에 채집된 어류는 27종 5,899개체 (40.6 kg)였으며 우점종은 참붕어, 아우점종은 붕어로 나타났다 (Table 2). 고유종의 출현 비율은 유입하천에서 전체 출현 종의 18.5%였고 얼룩동사리는 전체 조사지점에서 출현하였으며 가시납지리와 물개는 유입하천인 St. 6에서 각각 10개체 이하로 출현하였다. 각시붕어는 St. 2~St. 4, St. 6에서 출현하였고 St. 3에서 집중적으로 나타났다. 왜매치는 발안천에 해당하는 St. 1, St. 3, St. 4에서 출현하였으나 다른 유입하천인 St. 5~St. 6에는 출현하지 않았다. 외래종은 떡붕어와 배스가 출현하여 전체 종의 7.4%를 차지하였으며, 배스는 유입하천인 St. 5와 발안천 상류부터 하류까지 폭 넓게 출현하였지만 떡붕어는 유입하천인 St. 6에서만 채집되었다.

남양호 (St. 7~St. 9)에서는 20종 5,672개체 (130.5 kg)가 채집되었고 우점종은 붕어, 아우점종은 배스로 나타났

Table 2. The list and individual number of collected fishes at each station in Namyang Lake watershed, Korea from April to October 2015.

Scientific name	Korean name	Tributaries						Namyang Lake			Total		Remarks*
		St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	N	RA*	
Anguillidae	뱀장어과												
<i>Anguilla japonica</i>	뱀장어							1		4	5	0.04	
Cyprinidae	잉어과												
<i>Cyprinus carpio</i>	잉어	1		20	67	15	1	57		7	168	1.45	
<i>Carassius cuvieri</i>	떡붕어						6	23	2	3	34	0.29	
<i>Carassius auratus</i>	붕어	107	359	435	374	50	71	1,554	123	152	3,225	27.87	
<i>Rhodeus ocellatus</i>	흰줄납줄개		9	54							63	0.54	
<i>Rhodeus uyekii</i>	각시붕어		27	103	14		5				149	1.29	
<i>Rhodeus notatus</i>	떡납줄갱이			31							31	0.27	
<i>Acanthorhodeus gracilis</i>	가시납지리						4				4	0.03	
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어	78	346	834	702	3	14	165		1	2,143	18.52	
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	몰개						10	3	49	308	370	3.20	
<i>Pseudogobio esocinus</i>	모래무지			58	46						104	0.90	
<i>Abbottina springeri</i>	왜매치	1		143	2						146	1.26	
<i>Aphyocypris chinensis</i>	왜몰개			1		2	1				4	0.03	
<i>Zacco platypus</i>	피라미	23	184	212	36		2		2		459	3.97	
<i>Erythroculter erythropterus</i>	강준치							23	31	108	162	1.40	
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	치리		2	1		10	14	90	16	46	179	1.55	
Cobitidae	미꾸리과												
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리	9	15	3	2	20			1	1	51	0.44	
<i>Misgurnus mizolepis</i>	미꾸라지	8	1			6					15	0.13	
Siluridae	메기과												
<i>Silurus asotus</i>	메기	1		2	1						4	0.03	
Bagridae	동자개과												
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	동자개					1	5	28	2	2	38	0.33	
Osmeridae	바다빙어과												
<i>Hypomesus nipponensis</i>	빙어		1								1	0.01	
Mugilidae	승어과												
<i>Chelon haematocheilus</i>	가승어								2		2	0.02	
Adrianichthyidae	송사리과												
<i>Oryzias sinensis</i>	대륙송사리	369	413	47	86	29					944	8.16	
Hemiramphidae	학공치과												
<i>Hyporhamphus intermedius</i>	줄공치							10			10	0.09	
Synbranchidae	드렁허리과												
<i>Monopterus albus</i>	드렁허리		2	1							3	0.03	
Odontobutidae	동사리과												
<i>Odontobutis interrupta</i>	얼룩동사리	11	5	15	1	9	5	1			47	0.41	
Gobiidae	망둑어과												
<i>Rhinogobius giurinus</i>	갈문망둑	1	6			52	3	1		59	122	1.05	
<i>Rhinogobius brunneus</i>	밀어	13	51	47	100	46	6			1	264	2.28	
<i>Tridentiger brevispinis</i>	민물검정망둑					2		1	2	1	6	0.05	
Belontiidae	버들붕어과												
<i>Macropodus ocellatus</i>	버들붕어						1				1	0.01	
Channidae	가물치과												
<i>Channa argus</i>	가물치							2			2	0.02	
Centrarchidae	검정우럭과												
<i>Lepomis macrochirus</i>	블루길							86	218	658	962	8.31	
<i>Micropterus salmoides</i>	배스	1	4		1	19		50	43	1,735	1,853	16.01	
Number of individuals		623	1,425	2,007	1,432	264	148	2,095	491	3,086	11,571	100.00	
Number of species		13	15	17	13	14	15	16	12	15	33		

*RA: Relative abundance (%), **Ex: Exotic species, Ke: Korean endemic species

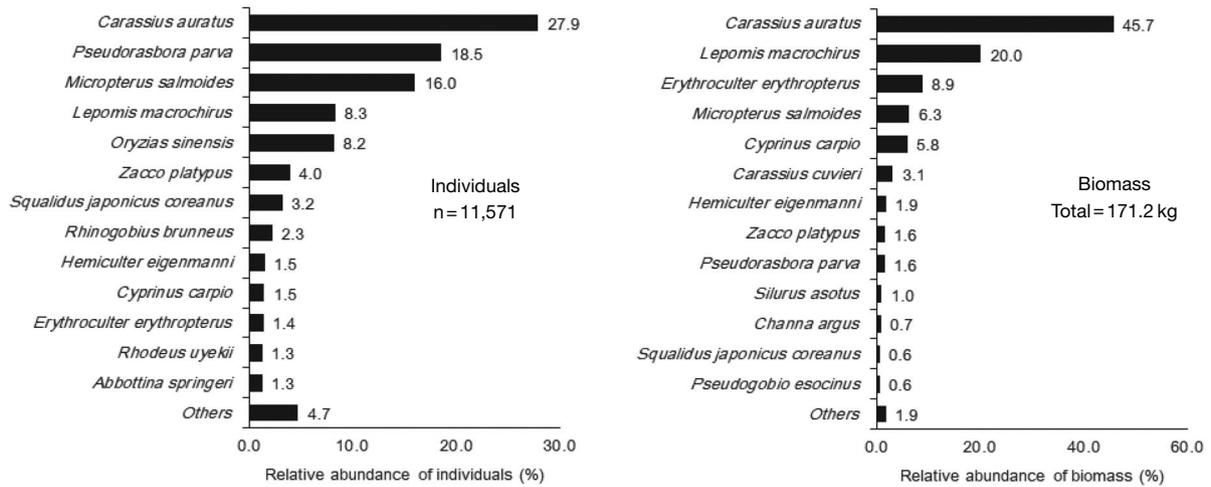


Fig. 3. Relative abundance of individuals and biomass of collected fishes in Namyangho Lake watershed, Korea in 2015.

Table 3. Dominant and sub-dominant species of each station in Namyang Lake watershed, Korea.

	Stations	Dominant species	Sub-dominant species
Tributaries	St. 1	<i>Oryzias sinensis</i> (59.2%)	<i>Carassius auratus</i> (17.2%)
	St. 2	<i>Oryzias sinensis</i> (29.0%)	<i>Carassius auratus</i> (25.2%)
	St. 3	<i>Pseudorasbora parva</i> (41.6%)	<i>Carassius auratus</i> (21.7%)
	St. 4	<i>Pseudorasbora parva</i> (49.0%)	<i>Carassius auratus</i> (26.1%)
	St. 5	<i>Rhinogobius giurinus</i> (19.7%)	<i>Carassius auratus</i> (18.9%)
	St. 6	<i>Carassius auratus</i> (48.0%)	<i>Hemiculter eigenmanni</i> (9.5%)
Namyang Lake	St. 7	<i>Carassius auratus</i> (74.2%)	<i>Pseudorasbora parva</i> (7.9%)
	St. 8	<i>Lepomis macrochirus</i> (44.4%)	<i>Carassius auratus</i> (25.1%)
	St. 9	<i>Micropterus salmoides</i> (56.2%)	<i>Lepomis macrochirus</i> (21.3%)

다. 고유종의 출현 비율은 15.0%로 유입하천보다 다소 낮게 나타났다. 유입부에 해당하는 St. 7에서 얼룩동사리와 물개가 출현하였으며, 물개는 개방부로 갈수록 증가하는 양상이 나타났다. 외래종은 전체 출현 종의 15.0%로 유입하천보다 호 내 외래종 비율이 높은 것으로 나타났다. 유입하천에서 출현하지 않은 블루길은 호 내에서 높은 비율(17.0%)로 출현하였고 같은 검정우럭과(Centrachidae)에 속하는 외래종인 배스도 호 내 전체 출현 종의 32.2%에 해당하는 우점도를 보였다.

남양호와 유입하천에서 출현한 전체 어류의 개체수 상대풍부도는 붕어(27.9%), 참붕어(18.5%), 배스(16.0%), 블루길(8.3%) 순으로 나타났고, 생체량 상대풍부도는 붕어(44.2%), 블루길(19.2%), 강준치(8.6%), 배스(5.9%) 순으로 나타나 개체수, 생체량 모두 붕어의 비중이 매우 큰 것으로 나타났다(Fig. 3). 각 조사지점별 우점종과 아우점종

은 Table 3과 같다. 조사지점의 상류에 해당하는 St. 1, St. 2의 우점종은 대륙송사리 *Oryzias sinensis*로 나타났고 아우점종은 붕어로 나타났다. 시가지를 지나기 시작하는 St. 3부터 하류에 해당하는 St. 4 지점까지 우점종은 참붕어로 나타났고 아우점종은 붕어로 나타났다. 남양호로 유입되는 St. 5는 갈문망둑 *Rhinogobius giurinus*이 우점하였으며 붕어가 아우점종으로 나타났다. St. 6은 붕어가 우점종, 치리가 아우점종으로 나타났다. 남양호 상류인 St. 7은 붕어가 우점하였고 참붕어가 아우점하여, 남양호로 유입되는 발안천(St. 4)의 영향을 일부 받은 것으로 추정되었다. 남양호 중류인 St. 8의 우점종은 블루길, 아우점종은 붕어로 나타나 외래종의 강세가 두드러지기 시작했으며, 남양호 하류인 St. 9의 우점종은 배스로 전체의 56.2%를 차지했고 아우점종은 블루길로 나타났다.

Table 4. Community indices of each station in Namyang Lake watershed, Korea.

Indices	Tributaries						Namyang Lake		
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9
Dominance	0.76	0.54	0.63	0.75	0.39	0.57	0.82	0.69	0.78
Diversity	1.32	1.68	1.83	1.48	2.20	1.92	1.09	1.56	1.33
Richness	1.87	1.93	2.10	1.65	2.33	2.80	1.96	1.78	1.74
Evenness	0.51	0.62	0.64	0.58	0.83	0.71	0.39	0.63	0.49

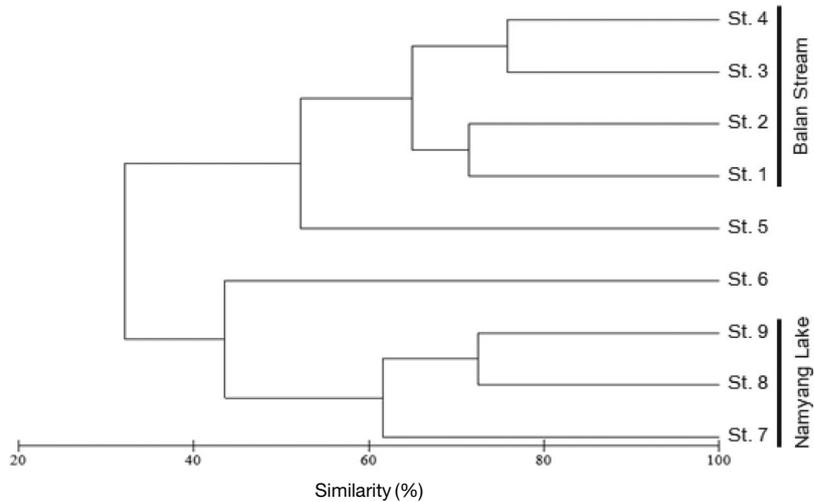


Fig. 4. Dendrogram of survey stations based similarity on cluster analysis using fish community in Namyang Lake watershed, Korea.

3. 군집 및 유사도 분석

우점도지수는 남양호 상류인 St. 7이 0.82로 가장 높았고 유입하천 St. 5가 0.39로 가장 낮게 나타났다(Table 4). 그 외 조사지점에서 0.5 이상의 수치를 나타냈다. 다양도 지수는 1.09~2.20의 범위로 나타났고 St. 5에서 가장 높게 나타났고 St. 7에서 가장 낮게 나타났으며 종 풍부도지수는 1.65~2.80의 범위였고 St. 6에서 가장 높게 나타났고 St. 4에서 가장 낮게 나타났다. 균등도지수는 0.39~0.83의 범위였고 St. 5에서 0.83으로 가장 높게 나타났고 St. 7에서 가장 낮게 나타났다. 남양호 전체 조사지점의 출현종과 개체수에 근거하여 유사도 분석한 결과, 유사도 백분율 60 수준에서 발안천 집단(St. 1~St. 4), 발안천 유입집단(St. 4), 남양호 유입집단(St. 6), 남양호 집단(St. 7~St. 9)의 4개 그룹으로 분리되어 나타났다. 발안천으로 유입되는 St. 5는 발안천 집단과 가깝게 나타났고 남양호로 직접 유입되는 St. 6은 남양호 본류와 가까운 유연관계를 보였다(Fig. 4).

고찰

남양호와 유입하천에서 잉어과 어류가 강세를 보이는 현상은 우리나라 서남해로 흐르는 일반적인 하천들의 특징과 일치하였다(Jeon, 1980). 잉어과 어류의 종 조성은 유입하천과 남양호에서 큰 차이를 보였는데, 유입하천에서는 큰 강이나 댐에서 서식하는 강준치 *Erythroculter erythropterus*를 제외한 14종의 어류가 출현하였으며(93.3%), 남양호에서는 8종이 출현하였다(53.3%). 이는 하천과 호수에서 어류 조사에 사용된 어구의 차이로 보이며, 호수가장자리에서 투망이나 족대 조사가 이루어졌다면 잉어과 어류의 종 수가 증가할 수도 있을 것이다. 또한 남양호 조사지점에서는 유입하천과 달리 외래종이 다수 출현하였는데 국내에 도입된 외래종인 배스와 블루길은 강한 포식압으로 수생태계를 교란시키고 있으며(Kim *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2013; Ko *et al.*, 2018), 배스는 잉어과 어류를 주로 포식하기에(Jang *et al.*, 2006; Ko *et al.*, 2008) 남양호의 잉어과 어류가 유입하천에 비해 포식압이 커 종 조성의 차이

Table 5. Occurrence comparison of fish species in the Namyang Lake watershed from 1985 to 2015, Korea.

Scientific name	Korean name	Year				Remarks*
		1985 ¹	2005 ²	2009 ³	2015 ⁴	
<i>Anguilla japonica</i>	뱀장어	+		+	+	
<i>Cyprinus carpio</i>	잉어	+	+	+	+	
<i>Carassius cuvieri</i>	떡붕어		+	+	+	Ex
<i>Carassius auratus</i>	붕어	+	+	+	+	
<i>Rhodeus ocellatus</i>	흰줄납줄개	+	+		+	
<i>Rhodeus uyekii</i>	각시붕어		+		+	Ke
<i>Rhodeus notatus</i>	떡납줄갱이		+		+	
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	납지리		+			
<i>Acanthorhodeus gracilis</i>	가시납지리	+		+	+	Ke
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어	+	+	+	+	
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	긴물개	+		+		
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	물개			+	+	Ke
<i>Hemibarbus labeo</i>	누치		+			
<i>Pseudogobio esocinus</i>	모래무지	+	+		+	
<i>Abbottina springeri</i>	왜매치	+			+	Ke
<i>Aphyocypris chinensis</i>	왜물개		+		+	
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	돌마자	+	+			Ke, Rb
<i>Zacco platypus</i>	피라미	+	+	+	+	
<i>Erythroculter erythropterus</i>	강준치				+	
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	치리	+	+	+	+	
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리	+		+	+	
<i>Misgurnus mizolepis</i>	미꾸라지	+	+	+	+	
<i>Silurus asotus</i>	메기				+	
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	동자개			+	+	
<i>Hypomesus nipponensis</i>	빙어		+	+	+	
<i>Mugil cephalus</i>	송어	+				
<i>Chelon haematocheilus</i>	가송어				+	
<i>Oryzias sinensis</i>	대륙송사리				+	
<i>Hyporhamphus intermedius</i>	줄공치				+	
<i>Monopterus albus</i>	드렁허리				+	
<i>Trachidermus fasciatus</i>	찍정어	+		+		
<i>Siniperca scherzeri</i>	쏘가리			+		
<i>Odontobutis interrupta</i>	얼룩동사리		+	+	+	Ke
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	문절망둑	+				
<i>Synechogobius hasta</i>	풀망둑	+				
<i>Rhinogobius giurinus</i>	갈문망둑			+	+	
<i>Rhinogobius brunneus</i>	밀어	+	+	+	+	Rb
<i>Tridentiger bifasciatus</i>	민물두줄망둑	+				
<i>Tridentiger brevispinis</i>	민물검정망둑				+	Rb
<i>Periophthalmus modestus</i>	말뚝망둥어	+				
<i>Macropodus ocellatus</i>	버들붕어	+	+		+	
<i>Channa argus</i>	가물치	+		+	+	
<i>Lepomis macrochirus</i>	블루길			+	+	Ex
<i>Micropterus salmoides</i>	배스		+	+	+	Ex

¹: Choi (1985), ²: Han and An (2008), ³: Pyeongtaek-si (2009), ⁴: Present study (2015)

*Ex: Exotic species, Ke: Korean endemic species, Rb: Riffle benthic species

를 보이는 것으로 판단되었다. 배스와 블루길은 기존의 어류군집에 부정적인 영향을 끼쳐 어류상을 단순화하는데 (Jang *et al.*, 2006; Song *et al.*, 2012), 호소 내에서 다량의 개체수와 생체량이 조사됨에 따라 이들 종에 의한 생태적 교란이 예상되며 관리방안 마련이 필요하였다.

일반적으로 상류에서 하류로 갈수록 종수가 증가함에 따라 우점도지수가 감소하고 다양도지수와 풍부도지수가 증가하는데 (Chae *et al.*, 2014; Ko *et al.*, 2019), 본 조사에서 발안천 (St. 1~St. 4) 은 상류에서 하류로 갈수록 다양도지수가 증가하는 경향을 보였으나, St. 4에서는 다양도가 낮게 나타났다. St. 4의 종 다양도가 낮게 나타난 원인으로 도심하천인 발안천의 하류로 내려오면서 다량의 오염원이 하천으로 유입되어 하상의 슬러지와 탁도가 증가해 종다양도가 낮아진 것으로 추정되며 이러한 수질오염은 하천의 종다양도를 감소시킨다고 알려져 있다 (Hur *et al.*, 2011; An and Lee, 2018). 또한 유사도 분석에서 발안천 집단과 남양호 집단이 각각 하나의 그룹을 형성하였는데, 이는 하천과 호수의 어류군집 차이를 잘 반영해주었다 (Fig. 4). 하천으로 유입되는 St. 5는 발안천 그룹과 가깝게 나타났고 남양호로 유입되는 St. 6은 남양호 본류와 가까운 유연관계를 나타냈는데, 지리적으로 가까운 특성에 따라 각각 하천과 호소에 서식하는 어류군집의 영향을 받아 나타난 결과로 보인다.

과거부터 남양호 유역에서 출현한 어류의 전체 종수는 총 44종으로, Choi (1985)에 의해 23종이 보고된 이래로 Han and An (2008)에 의해 남양호 및 유입하천 6개 지점에서 20종이 알려졌으며 (연 2회 조사), Pyeongtaek-si (2009)에 의해 남양호 내 2지점에서 22종이 보고된 바 있다 (연 6회 조사; Table 5). 이번 조사에서는 남양호와 유입하천을 포함한 9개 지점 (남양호 3지점, 유입하천 6지점)에서 33종이 출현하였다 (연 4회 조사). 선행연구에 비해 약 10종 이상이 증가하였는데 조사지점, 조사 횟수, 조사어구 등의 차이로 인해 출현종이 증가한 것으로 추정된다.

남양호 유역에서 출현한 여울성 저서종은 돌마자 *Microphysogobio yaluensis*, 밀어 *Rhinogobius brunneus*, 민물검정망둑 3종이었으며, 2005년 이후로 돌마자가 출현하지 않았고 2015년 조사에서 민물검정망둑이 처음으로 출현한 점으로 보아 남양호 내 서식환경이 일부 변화한 것으로 추정되었다. 여울성 저서종은 일반적으로 수환경이 양호한 곳에서 서식하며 유속이 감소하거나 하상에 퇴적물이 쌓이면 감소하는 특성을 보이는데 (NIER, 2017), 선행연구의 조사지점 및 조사방법 등의 차이로 인해 여울성 저서종의 개체수 감소는 명확히 알 수는 없었으나 출현한 여울성 저

서종 중 밀어가 과거부터 꾸준히 출현하고 있고 3종이 지금까지 유지되고 있는 점을 보아 수환경의 큰 변동은 없는 것으로 사료된다.

또한 과거에는 출현하지 않았지만 본 조사에서 신규 출현한 종은 강준치, 메기 *Silurus asotus*, 가숭어, 대륙송사리, 줄공치, 드렁허리 *Monopterus albus*, 민물검정망둑 등 7종이었다. 과거에는 출현하였지만 본 조사에서 출현하지 않은 종은 납지리 *Acheilognathus rhombeus*, 긴몰개 *Squalidus gracilis majimae*, 누치 *Hemibarbus labeo*, 돌마자, 송어 *Mugil cephalus*, 꺾정어 *Trachidermus fasciatus*, 쏘가리 *Siniperca scherzeri*, 문절망둑 *Acanthogobius flavimanus*, 풀망둑 *Synechogobius hasta*, 민물두줄망둑 *Tridentiger bifasciatus*, 말뚝망둥어 *Periophthalmus modestus* 등 11종으로 나타났다.

외래종은 2005년부터 떡붕어와 배스 2종이 출현하였고 2009년부터 블루길이 출현하였다. 외래종의 출현은 고유종의 서식에 부정적인 영향을 끼친다고 알려져 있지만 (Elvira, 1995; Leonardos *et al.*, 2008), 남양호 유역 내 고유종의 수는 증가하였다 (6.8% → 11.4%). 이는 연도별 조사 지점과 조사방법에 따른 차이로 인해 출현종수가 선행연구보다 많이 출현하여 고유종의 수도 증가한 것으로 추정되었다.

유사한 형태의 아산호는 1973년 4월 완공되어 시간이 지남에 따라 담수화가 진행되었다. Choi (1991)의 연구에 따르면 아산호 완공 1년 전인 1972년에는 안성천 하류에서 해수가 드나드는 구역에는 풀망둑, 송어, 전어 등이 우점하였으나, 아산호 완공 1년 후 1974년에는 붕어가 우점종이었으며, 10년 후 1984년에는 개체수 우점종이 붕어 (31.6%)와 치리 (31.0%) 순으로 조사되었다. 배스와 블루길이 호소내로 유입된 이후에는 개체수 우점종이 강준치 (55.2%), 붕어 (15.4%)로 조사되었으며, 치리 (6.6%), 물개 (5.7%), 참붕어 (5.4%), 블루길 (4.1%), 배스 (0.3%) 순이었다 (NIFS, 2018). 남양호의 경우 과거 배스와 블루길이 출현하기 전에는 붕어 (60.5%), 치리 (18.1%), 문절망둑 (6.0%)가 우점하였으나 (Choi, 1985), 배스와 블루길이 유입된 이후 본 연구에서는 붕어 (27.9%), 참붕어 (18.5%), 배스 (16.0%), 블루길 (8.3%) 순으로 나타나 담수어류의 변동이 뚜렷하였다. 또한 빙어 *Hypomesus nipponensis*는 이전 연구에서 전체 어획량의 36.9%에 해당하는 호수 내 가장 우점하는 수산자원이었으나 (Pyeongtaek-si, 2009), 이번 조사에서는 1마리도 확인되지 않았으며, 외래종인 배스와 블루길은 지속적으로 증가하고 있어 이에 대한 관리가 시급하였다.

적 요

2015년 4월부터 10월까지 남양호 유역의 어류군집 특성을 밝히기 위해 유입하천을 포함한 9개 지점에서 조사하였다. 남양호 유입하천(St. 1~St. 6)에서 27종 5,899개체가 출현하였으며 우점종은 참붕어 *Pseudorasbora parva* (33.5%)로 나타났다. 남양호(St. 7~St. 9)에서는 20종 5,672개체가 출현하였으며 우점종은 붕어 *Carassius auratus* (32.2%)로 나타났다. 남양호 유역에서 출현한 고유종은 각시붕어 *Rhodeus uyekii*, 가시납지리 *Acanthorhodeus gracilis*, 물개 *Squalidus japonicus coreanus*, 왜매치 *Abbottina springeri*, 얼룩동사리 *Odontobutis interrupta* 5종으로 유입하천에서 전체 출현 종의 18.5%, 남양호에서 15%로 유입하천에서 고유종의 빈도가 높게 나타났다. 외래종은 떡붕어 *Carassius cuvieri*, 블루길 *Lepomis macrochirus*, 베스 *Micropterus salmoides*가 출현하였으며 유입하천에서 전체 출현 종의 7.4% 남양호 15.0%로 호소 내에서의 외래종의 빈도가 높게 나타났다.

저자정보 곽영호(국립수산과학원 인턴연구원), 김승용(국립수산과학원 인턴연구원), 송하윤(국립수산과학원 해양수산연구소), 전형주(국립수산과학원 해양수산연구소), 송미영(국립수산과학원 해양수산연구소)

저자기여도 연구설계: 송미영, 곽영호, 조사 및 채집: 곽영호, 김승용, 송하윤, 자료분석: 곽영호, 송미영, 원고작성: 곽영호, 송미영, 원고수정 및 검토: 송미영, 송하윤, 전형주

이해관계 본 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

연구비 본 연구는 2021년도 국립수산과학원 수산시험연구사업(R2021036)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- An, K.G. and S.J. Lee. 2018. Ecological health assessments, conservation and management in Korea using fish multi-metric model. *Korean Journal of Ecology and Environment* **51**: 86-95.
- Chae, B.S., Y.H. Kang, S.K. Kim, D.U. Yoo, J.M. Park, H.U. Ha and U.W. Hwang. 2014. Ichthyofauna and fish community structure in the Yeong River, Nakdong River system, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **26**: 50-69.
- Cho, K.S. 1976. Limnological studies on the Asan & Namyang Reservoirs to be varying as freshwater. *Journal of Research in Science Education* **2**: 67-79.
- Cho, Y.C. and S.W. Chung. 2007. Sediment release rate of nutrients from Namyang Reservoir. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* **29**: 1345-1352.
- Choi, K.C. 1985. Nature of Gyeonggi Province. Gyeonggi Provincial Board of Education, Jeongmun Publishing, Korea.
- Choi, K.C. 1991. In Search of Freshwater Fishes. Hangil Publishing, Korea.
- Chun, J.S. 2001. A study on current status and development plan of water resources in Korea. Master Thesis, Daejeon University, Korea.
- Cummins, K.W. 1962. An evolution of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. *The American Midland Naturalist* **67**: 477-504.
- Elvira, B. 1995. Conservation status of endemic freshwater fish in Spain. *Biological Conservation* **72**: 129-136.
- GIHE (Gyeonggi Institute of Health and Environment). 2007. Research report of water and environment in Gyeonggi from 2002 to 2006. Gyeonggi Institute of Health and Environment, Korea.
- Han, J.H. and K.G. An. 2008. Applications and assessments of a multimetric model to Namyang Reservoir. *Korean Journal of Limnology* **41**: 228-236.
- Hur, J.W., H.S. Kang and M.H. Jang. 2011. Investigation on physical habitat condition and fish fauna in Dal Stream of Han River basin. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* **33**: 564-571.
- Jang, M.H., G.J. Joo and M.C. Lucas. 2006. Diet of introduced largemouth bass in Korean Rivers and potential interactions with native fishes. *Ecology of Freshwater Fish* **15**: 315-320.
- Jang, S.H. and J.H. Lee. 2011. Comparison of trophic structures and energy flows using the ecopath model in the Lake Namyang and the lower reaches of the Nakdong River. *Korean Journal of Environment and Ecology* **25**: 747-759.
- Jang, S.H., C.I. Zhang, J.H. Na, S.W. Kim, K.G. An, J.J. Lee and J.H. Lee. 2008. A analysis of trophic structure in Lake Namyang using the ecopath modelling. *Korean Journal of Limnology* **41**: 144-154.
- Jeon, S.R. 1980. Studies on the distribution of freshwater fishes from Korea. Doctoral Thesis, Chungang University, Korea.
- Joy, M.K. and R.G. Death. 2001. Control of freshwater fish and crayfish community structure in Taranaki, New Zealand: dams, diadromy or habitat structure?. *Freshwater Biology* **46**: 417-429.
- Kim, B.S., K.H. Park, Y.K. Park, M.H. Joeng, A.S. You, Y.J. Yang, J.B. Choi, O.K. Kwon and Y.J. Ahn. 2008. Assessment of the health of fish species collected in agricultural Reservoirs, AsanHo and NamyangHo. *The Korean Journal of Pesticide Science* **12**: 57-66.
- Kim, H.M., J.H. Kil, E.H. Lee and K.G. An. 2013. Distribution Characteristics of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) as an exotic species, in some medium-to-large size Korean

- Reservoirs and physico-chemical water quality in the habitats. *Korean Journal of Limnology* **46**: 541-550.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Publishing, Korea.
- Ko, M.H., J.Y. Park and Y.J. Lee. 2008. Feeding habits of an introduced large mouth bass, *Micropterus salmoides* (Perciformes; Centrarchidae), and its influence on ichthyofauna in the Lake Okjeong, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **20**: 36-44.
- Ko, M.H., M.S. Han and S.M. Kwon. 2018. Distribution aspect and extinction threat evaluation of the endangered species, Rhodeus pseudosericeus (Pisces: Cyprinidae) in Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **30**: 100-106.
- Ko, M.H., M.S. Han, R.Y. Myeong and H.J. Yun. 2019. Fish community characteristics and habitats aspects of endangered species *Pseudopungtungia tenuicarpa* and *Acheilognathus signifer* in the Hwayangcheon Stream, Hangang River of Songnisan national park, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **31**: 222-234.
- Lee, J.W., J.H. Kim, S.H. Park, K.R. Choi, H.J. Lee, J.D. Yoon and M.H. Jang. 2013. Impact of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) on the population of Korean native fish, crucian carp (*Carassius auratus*). *Korean Journal of Environmental Biology* **31**: 370-375.
- Lee, J.Y. and K.S. Cho. 1995. Appearance and distribution of zooplankton in Namyang estuary Reservoir. *Korean Journal of Limnology* **28**: 271-278.
- Leonardos, I.D., I. Kagalou, M. Tsoumani and P.S. Economidis. 2008. Fish fauna in a protected Greek Lake: biodiversity, introduced fish species over a 80-year period and their impacts on the ecosystem. *Ecology of Freshwater Fish* **17**: 165-173.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *General Systems* **3**: 36-71.
- McNaughton, S.J. 1967. Relationship among functional properties of california Grassland. *Nature* **216**: 168-169.
- Nelson, J.S., T.C. Grande and M.V.H. Wilson. 2016. Fishes of the world (5th ed). John Wiley and Sons, Canada.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2017. Bio-monitoring survey and assessment manual. National Institute of Biological Resources, Korea.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2015. Inland fisheries resources and environment survey manual. Inland Fisheries Research Institute, Korea.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2018. Survey report of fisheries resources protection area research report. National Institute of Fisheries Science, Korea.
- Park, B.J., Y.D. Sung and K.S. Jung. 2005. An evaluation of fish conditions due to the construction of Youngchun dam in the Gumho River. *Korean Journal of Hydrosociences* **38**: 771-778.
- Pielou, E.C. 1969. Shannon's formula as a measure of diversity. *American Naturalist* **100**: 463-465.
- Pielou, E.C. 1975. Ecological diversity. John Wiley, USA.
- Pyeongtaek-si. 2009. Ecological survey research of Namyang Lake. Inland Fisheries Research Institute, Korea.
- Song, H.B., M.S. Byeon, D.W. Kang, C.Y. Jang, J.S. Moon and H.K. Park. 2012. Population structure of bluegill, *Lepomis macrochirus* in Lakes of the Han River System, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **24**: 278-286.
- Suh, Y.J. 1996. Development status of freshwater Lake in Korea. *Korean Journal of Hydrosociences* **29**: 12-19.