

서울시 한강의 어류군집과 외래종 분포 특성

변화근*

서원대학교 생물교육과

Characteristic of Fish Community and Distribution of Exotic Species at the Hangang River in Seoul, Korea
by Hwa-Keun Byeon (Department of Biology Education, Seowon University Chungju 28674, Republic of Korea)

ABSTRACT This study investigated the characteristics of fish communities at the Hangang River in Seoul from Jun 2016 to March 2017. During the survey period, there were 56 species of 17 families collected from 5 survey stations. The species that appeared mainly in the brackish water was *Coilia nasus*, *Leiocassis nitidus*, *Lateolabrax maculata*, *Repomucenus olidus*, *Trachidermus fasciatus*, *Mugil cephalus*, *Chelon haematocheilus*, *Synechogobius hastus*, *Tridentiger bifasciatus* and *Takifugu obscurus*. The migration fish of *Anguilla japonica*, *C. nasus*, *Plecoglossus altivelis*, *Hypomesus nipponensis* and *T. obscurus* appeared in this surveyed area. Korean endemic species were 11 species (17.9%) and accounted for a low rate. There were 6 species (10.7%) exotic species including *Cyprinus carpio*, *Carassius cuvieri*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Megalobrama amblycephala*, *Lepomis macrochirus* and *Micropterus salmoides*. The dominant species by stations were *Acheilognathus gracilis* (St. 1) and *Hemibarbus labeo* (St. 2, 3, 4, 5). Regarding the tolerance guild according to water quality, there were 3 (7.1%) sensitive species, 24 (42.9%) intermediate species, and 28 (50.0%) tolerance species. Twenty (35.7%) were insectivore species, 18 (32.1%) were omnivore species, 14 (25.0%) were carnivore species, and 4 (7.1%) were herbivore species, indicating the dominating presence of insectivore and omnivore fish species.

Key words: Hangang River, exotic species, *Megalobrama amblycephala*, tolerance guild

서 론

한반도는 동쪽이 높고 서쪽이 낮은 지형 구조를 가지고 있으며 백두대간이 동쪽으로 치우쳐 남북으로 달리고 있어 두만강을 제외한 대부분의 하천이 서해나 동해로 유입하는 특징을 갖고 있다. 또한 깊고 긴 계곡이 조밀하게 발달하여 유역면적에 비하여 하천의 길이가 길고 하천의 밀도도 대단히 높으며 전형적인 사행성의 모습을 보여주고 있는 경우가 많다(Kwater, 2007; Byeon, 2018). 한강은 우리나라 중부의 가장 중요한 하천으로서 그 유역면적은 26,219 km², 길이는 514 km로 유역면적은 우리나라에서 압록강 다음으로 2번째로 넓으며 하천의 길이는 압록강, 두만강, 낙동강 다음으로 길다. 한

강유역의 연평균 강수량은 1,200 mm이며 수계는 크게 휴전선 북쪽에서 남·서류하는 북한강수계와 강원도 남부에서 북서류하는 남한강수계로 크게 구성된다. 북한강과 남한강은 양수리 근처에서 합류하여 북서방향으로 흘러 서울을 지나 서해의 강화만으로 유입되며 팔당댐 하류 수역에는 왕숙천, 중랑천, 탄천, 양재천, 안양천, 창릉천, 곡릉천 등의 지류가 유입된다(Choi and Byeon, 1999; Kwater, 2007).

국내의 하천은 1961년 치수 위주의 하천관리를 위한 개정 하천법이 하천관리 및 수자원 개발의 기초가 되었으며 1996년에는 친환경 수자원 개발 및 관리를 기초로 수자원장기종합계획을 세워 관리하고 있으나 대규모 다목적댐 치수 관리에 중점을 두고 있다(MCT, 2006). 그 결과 하천 개발은 하천의 자연적 구조를 변형하였으며 하천 고유 기능을 왜곡 또는 소실하게 하였다. 하천의 개발은 대부분 이·치수 기능적인 측면을 고려하여 진행되었으며 하천 고유의 생태적 기능은 고려되

*Corresponding author: Hwa-Keun Byeon Tel: 82-43-299-8405
Fax: 82-43-299-8400, E-mail: cottus@seowon.ac.kr

지 않았다(Choi *et al.*, 2008). 담수어류 군집은 환경변화로 인해 쉽게 영향을 받으며 우리나라에서는 치수의 목적으로 보와 저수지, 댐 등이 지속적으로 건설되어 왔으며 최근 하천준설, 하천정비공사, 수질오염, 외래종 도입 등으로 큰 영향을 받고 있다(Yodo and Kimura, 1998; Kim *et al.*, 2015). 그러나 최근 생태와 환경에 대한 사회적 관심의 증가는 하천을 포함하는 생태계의 친환경적 및 친생태적 복원에 대한 수요가 증가하고 있다(Hellawell, 1986). 한강은 그 동안 산업발달의 원동력이 되는 각종 용수를 공급하였고 또한 과밀한 인구에 필요한 각종 수자원을 제공하여 왔으나 근래에 와서는 과다하고 밀집된 산업제반시설과 폭발하는 인구에 의해 그 역할이 감소하고 있다. 게다가 고수부지, 인공제방, 수중보 등의 축조로 서울시를 통과하는 한강은 거의 생태학적인 기능을 상실하였다(Byeon, 2018). 한강 하류에는 하구둑이 조성되지 않았고, 서울시 한강 하류역 김포에 신곡수중보가 설치되어 있지만 회유성 및 기수성 어류의 출입이 비교적 자유로운 상태이다. 서울시 내에 분포하는 한강수역은 잠실수중보 상방 일부 수역을 제외한 모든 수역은 해수가 유입되어 섞이는 기수역이며 잠실수중보는 염분침투를 억제하여 상수원을 확보하기 위해 조성되어 있다. 강과 하천에서 보는 수류, 유속, 탁도, 침전 등 물리적 특성을 변화시켜 생물군집의 서식 환경을 변화시킨다. 또한 회유생물에 대해서는 이동을 차단하므로 생활사를 불안정하게 하여 개체군의 급감 내지 소멸 위협이 되며, 변화된 환경은 외래종의 번성 기회를 주어 토착생물의 서식에 악영향을 주게 된다(Clay, 1995; Jackson and Marmulla, 2001). 따라서 한강 하류로 김포시 고척면 신곡리에 위치한 신곡수중보는 최근에 해체에 대해 논란이 되고 있다.

서울시에 위치한 한강 지류에 대한 어류 연구는 서울시 한강 유입 지천(Byeon, 2018), 청계천 복원(Choi *et al.*, 2008; Byeon, 2013), 중랑천(Bae *et al.*, 2002), 탄천(Choi *et al.*, 2011)

등에서 이루어져 왔으며 한강 본류에 대한 학술적인 어류 조사는 Choi *et al.*(1968), Jeon and Kim(1972), Choi and Byeon(1999)에 의해 어류상과 어류군집, Park *et al.*(2004)에 의한 잠실수중보 어도 소상기능 평가 등이 이루어졌으나 매우 단편적이며 학술적 연구가 미흡한 상태이다. 한강의 어류군집 안정성과 종다양성 증대를 위한 자연성회복 방안 기초자료를 마련하기 위해 어류상과 어류분포 특성, 어류군집 특성과 외래종의 분포현황, 각 어종의 생태특성 등을 조사하였다.

연구 방법

1. 조사지점 및 시기

조사지점은 서울시에 위치한 한강 하류 본류역으로 가능한 다양한 어류의 서식이 가능한 수역을 중심으로 총 5개 지점을 조사하였다(Fig. 1). 현장 조사는 2016년 5월, 2016년 8월, 2016년 10월, 2017년 4월 등 총 4회에 걸쳐 실시하였다. 산란을 위해 한강 하류로 이동하는 회유성 어류를 보다 상세하게 파악하기 위해 봄철은 2회에 걸쳐 조사하였다.

- St. 1 : 서울시 강동구 고덕동~경기도 하남시 풍산동
- St. 2 : 서울시 동작구 송파구 잠실동 잠실수중보~탄천 합류부
- St. 3 : 서울시 여의도 선착장 앞 밤섬 주변
- St. 4 : 서울시 마포구 망원동~마포구 상암동
- St. 5 : 서울시 마포구 상암동~경기도 고양시 덕양구 신평동

2. 채집 및 조사방법

본류는 각 조사 지점별로 수심이 깊은 곳에서는 정치망(삼각망, 20×20 mm)을 이용하여 채집하였고 정치망을 설치한 인접한 수역 중 수심이 얇은 곳(1.5 m 이내)에서는 투망(망목

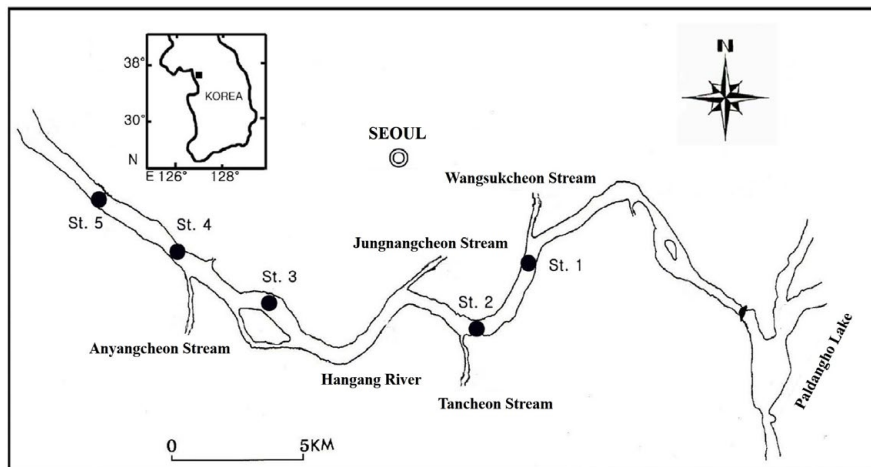


Fig. 1. Map showing the studied stations at the Hangang River in Seoul.

7×7 mm)과 족대(망목 5×5 mm)를 이용하여 채집을 실시하였다. 투망과 족대는 각 조사 지점 당 40분 실시하였고 정치는 보다 정확한 어류상과 어류군집의 데이터를 확보하기 위해 각 조사 지점 당 3곳에 설치하였으며, 설치 후 3일 경과 후 회수하였다. 채집된 표본은 현장에서 확인 후 대부분 방류하였으며 일부 개체는 분석을 위해 10% formalin 용액으로 고정하여 실험실에서 동정하였다. 어류의 동정에는 국내에서 현재까지 발표된 검색표(Kim, 1997; Choi *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2005)를 이용하였고 분류체계는 Nelson(2006)에 따라 목록을 정리하였다. 각 조사 지점의 어류 군집을 분석하기 위해 각 조사지점에 대하여 우점도지수(McNaughton, 1967), 종다양도지수(Margalef, 1958; Pielou, 1969), 균등도(Pielou, 1975), 종풍부도(Margalef, 1958) 등을 산출하였다. 어종별 생태적 특성 분류는 환경부 수생태 건강성 조사 및 평가(ME, 2017)를 따랐다.

결과 및 고찰

1. 어류상

한강 본류역에서 조사 기간 동안 출현한 어종은 총 17과 56종 8,694 개체(아종, 변종, 품종 포함)이었다(Table 1). 잉어과(Cyprinidae)에 속하는 종이 28종(종구성비: 50.0%)으로 가장 다양하였고 그 다음으로 망둑어과(Gobiidae) 6종(10.7%), 동자개과(Bagridae) 4종(7.1%)이었고, 꺾지과(Centropomidae), 바다빙어과(Osmeridae), 송어과(Mugilidae), 검정우럭과(Centrachidae) 등에 속하는 종이 각각 2종(3.6%)이었다. 그 외에 뱀장어과(Anguillidae), 멸치과(Engraulidae), 메기과(Siluridae), 농어과(Moronidae), 독중개과(Cottidae), 동사리과(Odontobutidae), 뚝양태과(Callionymidae), 가물치과(Channidae), 참복과(Tetraodontidae) 등에 속하는 종이 각각 1종(1.8%)이었다. 망둑어과에 속하는 종이 6종으로 비교적 많이 출현하였는데 이는 조사 수역이 한강 하류인 기수역을 포함하였기 때문이다. 기수역에 주로 서식하는 웅어(*Coilia nasus*), 밀자개(*Leiocassis nitidus*), 점농어(*Lateolabrax maculata*), 강주걱양태(*Repomucenus olidus*), 꺾정이(*Trachidermus fasciatus*), 송어(*Mugil cephalus*), 가송어(*Chelon haematocheilus*), 풀망둑(*Synechogobius hastus*), 민물두줄망둑(*Tridentiger bifasciatus*), 황복(*Takifugu obscurus*) 등 다양한 어종이 출현하여 기수역의 특징을 잘 보여주었다(Choi and Byeon, 1999). 이는 한강 하류역이 기수역 어류상 특징을 잘 유지하고 있는 것으로 판단된다. 본 조사에서는 산란과 성장을 위해 이동하는 회유성 어종은 뱀장어(*Anguilla japonica*), 웅어, 은어(*Plecoglossus altivelis*), 빙어(*Hypomesus nipponensis*), 황복 등 5종이었으며, 회유성 어류가 다양하게 출현한 것은 하구에 하구둑이 없으며

하류역에 신곡수중보가 위치하나 낙차가 크지 않아 다양한 어류의 이동에 큰 악영향을 주고있지 않기 때문이다.

출현한 56종 중 한반도 고유종에 속하는 어종은 각시붕어(*Rhodeus uyekii*), 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*), 가시납지리(*Acheilognathus gracilis*), 참중고기(*Scrocoelichthys variegatus wakiyae*), 중고기(*Scrocoelichthys nigripinnis morii*), 물개(*Squalidus japonicus coreanus*), 뽕경모치(*Microphysogobio jeoni*), 눈동자개(*Pseudobagrus koreanus*), 꺾지(*Coreoperca herzi*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*) 등 10종으로 고유화빈도는 17.9%로 낮았다. 서울시 한강 본류로 유입되는 지류역에서도 고유화빈도가 17.1%로 본류역과 유사하였다(Byeon, 2018). 이는 하천 정비 공사로 인하여 수심이 얇고 유속이 빠르며 하상에 돌과 자갈이 다양하게 분포하는 급여울이 소실되었기 때문이다. 범정보호종인 천연기념물이나 환경부 지정 멸종위기야생동·식물에 속하는 종은 출현하지 않았고 또한 환경부 조사지침서에 명시된 희귀종도 없었다. 서울시 한강으로 유입되는 지류에서는 10과 41종이 출현하여 한강 본류에 비해 출현어종이 적었다. 본류로 유입되는 지류는 대부분 도심하천으로 수환경이 심하게 악화되어 어류가 서식할 수 없는 상태의 하천이었지만 최근 들어 수질 개선과 자연형복원하천으로 복원되었다. 그러나 사람의 이용 측면이 강조되어 다양한 어류가 서식할 수 있는 자연형하천으로 복원되지 못하였기 때문이다(Byeon, 2018).

개체수 구성비에 있어 누치(*Hemibarbus labeo*, 29.0%), 가시납지리(17.7%), 강준치(*Erythroculter erythropterus*, 5.6%), 블루길(*Lepomis macrochirus*, 4.8%), 메기(*Silurus asotus*, 4.2%) 등이 풍부하였다. 이들 어종은 한강 하류역 전역에 걸쳐 분포하며 서식량 또한 매우 풍부한 것으로 생각된다. 반면 개체수 구성비가 0.5% 이하로 희소종에 속하는 어류는 향어(*Cyprinus carpio*), 단두어(*Megalobrama amblycephala*), 백련어(*Hypophthalmichthys molitrix*), 떡납줄갱이(*Rhodeus notatus*), 각시붕어, 줄납자루, 큰납지리(*Acheilognathus macropterus*), 참마자(*Hemibarbus longirostris*), 돌고기(*Pungtungia herzi*), 참중고기, 중고기, 모래무지(*Pseudogobio esocinus*), 버들매치(*Abbottina rivularis*), 뽕경모치, 두우쟁이(*Saurogobio dabryi*), 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*), 눈동자개, 꺾지, 꺾정이, 얼룩동사리, 강주걱양태, 빙어, 은어, 송어, 꼭저구(*Gymnogobius urotaenia*), 갈문망둑(*Rhinogobius giurinus*), 가물치(*Channa argus*), 배스(*Micropterus salmoides*), 황복(*Takifugu obscurus*) 등 29종(51.8%)이었다(Fig. 2). 많은 종이 희소종으로 어류 군집의 안정성이 취약하였다. 서울시 한강 본류로 유입되는 지류에서는 피라미(*Zacco platypus*, 54.0%), 붕어(*Carassius auratus*, 12.0%), 돌고기(4.3%), 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*, 3.9%) 등이 풍부하게 출현하여 본류와 차이를 보였다(Byeon, 2018). 본류는 수심이 깊고 유

Table 1. The list and individual number of fishes collected at each station of the Hangang River in Seoul from June 2016 to March 2017

Species / Stations	Type of fish guild			St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	RA
	Tolerance guild	Trophic guild	Habitat guild						
Anguillidae (뱀장어과)									
<i>Anguilla japonica</i> (뱀장어)	IS	C	—	14	3	18	19	27	0.93
Engraulidae (멸치과)									
<i>Coilia nasus</i> (옹어)	TS	C	—		2	62	60	69	2.22
Cyprinidae (잉어과)									
<i>Cyprinus carpio</i> (잉어)	TS	O	—	11	5	31	35	50	1.52
• <i>Cyprinus carpio</i> (향어)	TS	O	—			3	2		0.02
<i>Carassius auratus</i> (붕어)	TS	O	—	30	5	27	46	49	1.81
• <i>Carassius cuvieri</i> (떡붕어)	TS	O	—	5	2	8	11	5	0.36
• <i>Megalobrama amblycephala</i> (단두어)	TS	O	—			2	2		0.05
• <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (백련어)	IS	H	—				1		0.01
<i>Rhodeus notatus</i> (떡납줄갱이)	IS	O	—	1					0.01
* <i>Rhodeus uyekii</i> (각시붕어)	IS	O	—	7					0.08
* <i>Acheilognathus yamatsutae</i> (줄납자루)	IS	O	—	13	1				0.16
<i>Acheilognathus lanceolatus</i> (납자루)	IS	O	—	96	1	15	11	37	1.84
<i>Acheilognathus rhombus</i> (납지리)	IS	O	—	32			3	15	0.58
* <i>Acheilognathus gracilis</i> (가시납지리)	IS	O	—	694	178	503	151	12	17.69
<i>Acheilognathus macropterus</i> (큰납지리)	IS	O	—			2	3		0.06
<i>Hemibarbus labeo</i> (누치)	TS	C	—	353	200	696	896	380	29.04
<i>Hemibarbus longirostris</i> (참마자)	IS	I	—	1					0.01
<i>Pungtungia herzi</i> (돌고기)	IS	I	—	2	4				0.07
* <i>Scrococheilichthys variegatus wakiyae</i> (참중고기)	SS	I	—	1	2	3	10		0.18
* <i>Scrococheilichthys nigripinnis morii</i> (중고기)	IS	I	—	1		2			0.04
* <i>Squalidus japonicus coreanus</i> (물개)	TS	O	—	46	4	1			0.59
<i>Pseudogobio esocinus</i> (모래무지)	IS	I	—	27	13	2	1		0.49
<i>Abbottina rivularis</i> (버들매치)	TS	O	—	21	1				0.25
* <i>Microphysogobio jeoni</i> (뿔경모치)	IS	I	—			1			0.01
<i>Saugogobio dabryi</i> (두우쟁이)	IS	O	—			2		1	0.03
<i>Zacco platypus</i> (피라미)	TS	O	—	237					2.73
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i> (끄리)	TS	C	—	3				76	0.91
<i>Hemiculter eigenmanni</i> (치리)	TS	C	—	16	1	15	10	103	1.67
<i>Hemiculter leucisculus</i> (살치)	TS	I	—	39	3	73	53	84	2.90
<i>Erythroculter erythropterus</i> (강준치)	TS	C	—	275	16	86	26	80	5.56
Cobitidae (미꾸리과)									
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> (미꾸리)	TS	O	—				1		0.01
Bagridae (동자개과)									
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i> (동자개)	TS	I	—	14	158	29	23	9	2.68
* <i>Pseudobagrus koreanus</i> (눈동자개)	SS	I	RB	2	1				0.03
<i>Leiocassis ussuriensis</i> (대농갱이)	IS	I	—	124	61	38	21	37	3.23
<i>Leiocassis nitidus</i> (밀자개)	TS	I	—				18	32	0.58
Siluridae (메기과)									
<i>Silurus asotus</i> (메기)	TS	C	—	51	113	99	67	31	4.15
Moronidae (농어과)									
<i>Lateolabrax maculata</i> (점농어)	TS	C	—	3	9	29	25	41	1.23
Centropomidae (꺾지과)									
* <i>Coreoperca herzi</i> (꺾지)	SS	C	—		1				0.01
<i>Siniperca scherzeri</i> (쏘가리)	SS	C	—	26	11	9	8		0.62
Cottidae (독중개과)									
<i>Trachidermus fasciatus</i> (꺾정어)	TS	C	—		1	8	6	19	0.39
Odontobutidae (동사리과)									
* <i>Odontobutis interrupta</i> (얼룩동사리)	IS	C	—	1		1			0.02
Callionymidae (뚝양태과)									
<i>Repomucenus olidus</i> (강주걱양태)	TS	I	—					1	0.01
Osmeridae (바다빙어과)									
<i>Hypomesus nipponensis</i> (빙어)	IS	I	—					2	0.02
<i>Plecoglossus altivelis</i> (은어)	IS	H	RB			1			0.01
Mugilidae (송어과)									
<i>Mugil cephalus</i> (송어)	TS	H	—		1	1	2	29	0.38
<i>Chelon haematocheilus</i> (가송어)	TS	H	—		8	36	69	99	2.44

Table 1. continued

Species / Stations	Type of fish guild			St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	RA
	Tolerance guild	Trophic guild	Habitat guild						
Gobiidae (망둑어과)									
<i>Gymnogobius urotaenia</i> (꼭저구)	IS	I	—	1					0.01
<i>Synechogobius hastus</i> (폴망둑)	TS	I	—			22	18	68	1.24
<i>Rhinogobius giurinus</i> (갈문망둑)	TS	O	—	12					0.14
<i>Rhinogobius brunneus</i> (밀어)	IS	I	RB	51					0.59
<i>Tridentiger brevispinis</i> (민물검정망둑)	IS	I	RB	88		13	44	107	2.90
<i>Tridentiger bifasciatus</i> (민물두줄망둑)	IS	I	—		1	23	32	155	2.43
Channidae (가물치과)									
<i>Channa argus</i> (가물치)	TS	C	—	1	3	3	2	2	0.23
Centrarchidae (검정우럭과)									
● <i>Lepomis macrochirus</i> (블루길)	TS	I	—	219	114	71	12		4.78
● <i>Micropterus salmoides</i> (배스)	TS	C	—	4		2			0.07
Tetraodontidae (참복과)									
<i>Takifugu obscurus</i> (황복)	IS	I	—		3		1		0.05
Number of species				37	31	36	34	28	
Number of individual				2522	926	1937	1689	1620	

※: Korean endemic species, RA: Relative abundance (%), ●: Exotic species, SS: Sensitive species, TS: Tolerance species, IS: Intermediate species, C: Carnivore species, I: Insectivore species, O: Omnivore species, H: Herbivore species, RB: Riffle benthic species

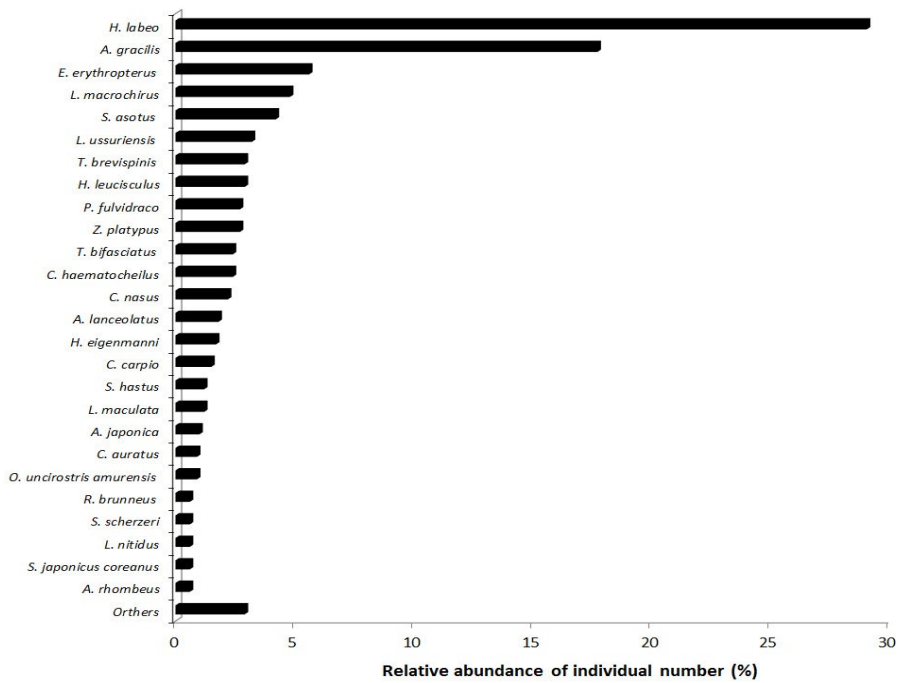


Fig. 2. The relative abundance of fishes collected in the each station of the Hangang River in Seoul from June 2016 to March 2017.

속이 느리며 하상은 모래와 펄로 형성되어 있어 지류역과 서식환경 차이를 보였기 때문이다.

2. 국외 도입종 (외래종)

국외에서 도입된 어종은 향어, 떡붕어(*Carassius cuvieri*), 백

련어, 단두어, 블루길, 배스 등 6종(10.7%)이었다. 향어는 하천에서 성장은 하나 자연증식이 이루어지지 않으므로(Lee et al., 2003) 하천생태계에 미치는 악영향은 크지 않은 것으로 생각된다. 밤섬 주변 수역(St. 3, 3개체)과 가양대교 인접 수역(St. 4, 2개체)에서 희소하게 출현하였다. 이는 인위적인 방류나 저수지에 서식하던 개체가 유출되어 한강으로 유입된 것으로

생각된다. 서식지가 매우 제한적이고 서식량 또한 매우 적으며 자연증식이 이루어지지 않으므로 수중생태계에 미치는 악영향은 거의 없는 것으로 판단된다. 떡봉어는 국내에 이식 정착되어 전국의 하천 하류, 저수지, 댐호 등에 우점적으로 분포하는 경우가 많다(Byeon, 2015). 고덕동 인접 수역(St. 1, 5개체), 잠실수중보와 탄천합류부 사이의 수역(St. 2, 2개체), 밤섬 인접수역(St. 3, 8개체), 성산대교 인접수역(St. 4, 11개체), 가양대교 하방수역(St. 5, 5개체) 등 전 조사 수역에서 출현하였다. 출현량이 많지 않아 토착어종에 미치는 악영향은 크지 않은 것으로 생각된다. 백련어는 한강 수계에서 큰 저수지나 댐호에 치어가 방류되어 일부 개체가 서식하며 이들 개체가 한강 본류에 유입되어 가끔 출현한다(SMG, 2017). 이와 같은 원인에 의해 본 종이 한강 하류인 가양대교 하방수역(지점 4)에서 1개체가 출현하였다. 분포역이 제한적이고 출현량이 매우 적으므로 토착어종에 미치는 악영향은 매우 적은 것으로 판단된다. *Megalobrama amblycephala*는 국내에서는 정식 명칭이 없으나 일반적으로 단두어로 불리우고 있으며 잉어과 어류로 40 cm까지 자라며 중국 무한이 원산지로 주로 초식성이며 유속이 느리며 수초가 풍부한 곳에 서식한다. 만 2년이면 성적 성숙하며 산란기는 5~6월이며 수초에 알을 붙이는 어종이다. 한강에서는 2012년 조사에서는 출현하지 않았으나(SMG, 2017) 본 조사에서는 밤섬주변수역(St. 3, 2개체)과 성산대교 인접수역(St. 4, 2개체)에서 출현하였다. 한강에서는 현재 출현 개체수가 많지 않으나 생태적으로 적응하게 되면 개체군이 급격히 증가할 가능성이 있으며 자연증식하여 개체수가 증가하면 토착어종과 서식지 및 먹이 경쟁이 발생하여 토착어종에 심한 악영향을 미칠 수 있다. 국내로의 유입 경로는 확실하게 밝혀진 것이 없으나 유료 낚시터에서 유출되었거나 방류한 것으로 추정된다. 한강에서는 2015년부터 출현하기 시작하여 지속적으로 출현하며 출현한 개체의 크기가 작은 치어에서 성어까지 다양하였다. 이러한 결과로 보아 한강에서 적응하여 이미 자연 증식이 이루어지고 있는 것으로 추정되어 단두어 개체군에 대한 정밀 조사가 시급한 상태이다. 블루길은 1969년 수산청에서 일본 Osaka로부터 시험양식을 위해 치어 510 마리를 도입하였으며 그 후 팔당호에 방류한 후 급격히 서식처를 넓히고 개체수를 증가하여 지금은 팔당호(20.6%), 소양호(14.6%), 안동호(24.23%), 대청호(20.1%) 등지에서 우점적으로 서식하고 있으며 도서지방을 제외한 전국의 하천수계에서 출현하고 있다(Byeon, 2015). 한강 하류역에서는 강동구 고덕동(St. 1, 219개체), 잠실수중보 하방(St. 2, 114 개체), 밤섬주변(St. 3, 71개체), 성산대교 인접수역(St. 4, 12개체) 등에서 출현하였다. 조사 지점 중 가장 하류역이며 염분도가 높은 가양대교 하방수역(St. 5)을 제외한 전 수역에 걸쳐 서식하였으며 총 416개체(4.78%)가 출현하고 있다. 1999년에는 강동구 고덕동(St. 1, 1개체)과 밤섬 주변(St. 3, 2개체)에서만 출현하였

고 출현량(0.09%)이 매우 적었으며 2012년에는 분포역이 본 조사와 동일하였으나 출현량이 많지 않았다(Choi and Byeon, 1999; SMG, 2017). 본 조사와 비교 시 2012년에 비해 분포역은 동일하였으나 개체수가 급격히 증가하였다. 본 종은 생태계교란야생동·식물로 토착 어종에 많은 악영향을 끼치고 있는 종으로 알려져 있다. 따라서 한강 하류역 블루길의 개체군 증가 원인을 조사하고 개체군 증가를 억제할 수 있는 방안 연구가 시급한 상태이다. 배스는 북미원산으로 1973년 미국 Louisiana로부터 치어 500마리를 도입되었으며 현재에는 낚시 대상종으로 활용되고 있으며 대형 댐이나 저수지, 하천 하류 등 전국적으로 분포한다. 강한 육식종(어식성)으로 국내 분포지에서는 토착 어종의 감소를 초래하고 있다(Byeon, 2015). 서울시에 위치한 한강에서 1999년에는 1개체가 출현하였고 본 조사에서는 강동구 고덕동(St. 1, 4개체)과 밤섬주변(St. 3, 3개체)에서 소수 개체가 출현하고 있다. 현재 서울시에 위치한 한강 하류역에서 배스가 토착 어류에 미치는 영향은 출현개체수가 적어 크지 않을 것으로 생각되나 정밀조사가 필요한 상태이다.

3. 우점종

한강 본류역에서는 가시납지리와 누치가 우점종 이었다. 가시납지리는 조사 지점 중 상방에 위치한 강동구 고덕동(St. 1)에서 우점종으로 출현하였다(Table 2). 잠실수중보 하방에서 행주대교에 이르는 수역에서는 누치가 우점종 이었다. 잠실수중보 상방에서 팔당대교에 이르는 수역은 기수역이 아닌 순수 담수 구역이며 자연성을 유지하고 수심이 얇은 수변부가 광범위하게 분포하였다. 이들 수역은 수심이 얇은 하상에 낚자루아과 어류가 산란장으로 이용하는 담수 이매패가 다량 서식하고 있어 가시납지리가 서식하기에 매우 적합하였다. 잠실수중보 보다 하류역은 해수의 영향으로 염분 농도가 높고 수심이 깊으며 유속이 느려 하상에 유기물이 다소 퇴적되어 있으며 수심이 얇은 수변부가 대부분 파괴된 상태에서 누치가 다른 어종에 비해 서식하기에 적합하였다. 한강 하류에서 누치와 가시납지리가 우점종으로 출현한 것은 1999년과 동일하였으며(Choi and Byeon, 1999) 과거 조사와 비교한 결과 우점종의 변화는 없었다. 아우점종은 잠실수중보 상방인 하남시 풍산동 일대 수역(St. 1)에서는 누치, 잠실수중보에서 인접수역(St. 2)에서 성산대교 인접수역(St. 4)에 이르는 수역에서는 가시납지리, 가양대교 하방(St. 5)에서는 민물두줄망둑(*Tridentiger bifasciatus*) 등으로 조사 수역에 따라 차이를 보였다.

4. 군집지수

군집분석은 각 조사 지점별로 우점도, 종다양도, 균등도, 종

Table 2. Dominant and subdominant species at each station in the Hangang River from June 2016 to March 2017

Stations	Dominant species	Subdominant species
1	<i>Acheilognathus gracilis</i> (27.5%)	<i>Hemibarbus labeo</i> (14.0%)
2	<i>Hemibarbus labeo</i> (21.6%)	<i>Acheilognathus gracilis</i> (19.2%)
3	<i>Hemibarbus labeo</i> (33.9%)	<i>Acheilognathus gracilis</i> (26.0%)
4	<i>Hemibarbus labeo</i> (53.0%)	<i>Acheilognathus gracilis</i> (8.9%)
5	<i>Hemibarbus labeo</i> (23.5%)	<i>Tridentiger bifasciatus</i> (9.6%)

풍부도를 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다. 우점도지수는 0.33 (St. 5)~0.62 (St. 4)로 낮았고 종다양도지수는 2.05 (St. 4)~2.78 (St. 5)로 높았다 (Table 3). 종다양도지수는 전 조사지점에서 2.0 이상으로 높았다. 균등도는 0.58 (St. 4)~0.83 (St. 5)로 모든 지점에서 0.5 이상으로 높았고 종풍부도는 3.65 (St. 5)~4.62 (St. 3)으로 높았다. 1999년에 비해 종다양도지수가 다소 증가하였는데 이는 출현종 수가 증가하였고 우점종인 누치와 가시납지리의 우점율이 감소하였기 때문이다. 서울시 한강 지류에서는 우점종지수가 0.47~0.86, 종다양도지수는 0.87~2.34, 균등도지수는 0.42~0.80로 (Byeon, 2018) 본류역이 지류에 비해 우점도지수는 낮았고 종다양성지수와 종풍부도지수가 높았다. 본류역은 수체의 규모가 크며 지류에 비해 수심과 수변부 상태가 다양하여 출현어종 수가 풍부하였으며 특정종의 우점률이 급격히 높지 않았기 때문이다.

5. 선행 연구와 비교

한강 하류역에 대한 최초 어류 조사는 1958년 한강수산자원보고(전, 미발표자료)에서 61종이 기록되어 있으며, Choi *et al.* (1968)에 의해 54종, Choi and Byeon (1999)에 44종이 출현하였으며 한강생태계 조사가 1987년부터 2017년까지 5년 간격으로 수행되었다 (SMG, 2017). 각 조사 시마다 출현종의 차이가 심하였는데 이는 조사 시마다 조사지점과 범위, 조사 기간과 횟수, 조사방법 등에 있어 차이가 있었기 때문이며 각각의 조사결과를 직접 비교하는 것은 큰 의미가 없다. 그러나 본 조사와 조사지점이 거의 동일한 Choi and Byeon (1999)의 자료와 비교하면 다음과 같다 (Table 4). 본 조사에서 출현하지 않은 종은 흰줄납줄개 (*Rhodeus ocellatus*) 1종이었고 향어, 단두어, 백련어, 돌고기, 물개, 버들매치, 밀자개, 꺾지, 얼룩동사리, 강주걱양태, 빙어, 은어, 꼭저구, 갈문망둑, 민물검정망둑 (*Tridentiger brevispinis*), 민물두줄망둑 등 16종은 새로 출현하였다. 향어, 백련어, 돌고기, 물개, 버들매치, 밀자개, 꺾지, 얼룩동사리, 은어 등은 서식 개체수가 매우 희소하여 1999년 조사 시 채집되지 않았거나 1999년 이후 개체수가 다소 증가하여 본 조사에서 채집이 되었던 것으로 생각된다. 1999년 조사 시 지점 5에서는 정치망으로만 채집하였고 투망과 족대로 채집하지 않아 강주걱양태, 빙어, 꼭저구, 민물검정망둑, 민물

Table 3. Community index at each surveyed station, based on the McNaughton's dominance index, Margalef's species diversity index, Pielou's evenness index and Margalef's species richness index

Stations	Dominant	Diversity	Evenness	Richness
1	0.42	2.49	0.69	4.60
2	0.41	2.26	0.64	4.39
3	0.62	2.18	0.61	4.62
4	0.62	2.05	0.58	4.44
5	0.33	2.78	0.83	3.65

두줄망둑 등 소형 저서성 어류가 출현하지 않았다. 또한 1999년 이후 수질이 다소 개선되었고 (SMG, 2017), 잠실수중보 상방을 중심으로 급여울, 내만형 웅덩이, 수변부 습지, 평여울 등 다양한 미소환경이 일부 회복되어 출현종이 증가하였다. 개체수 구성비에 있어 3% 이상으로 증가한 종은 누치, 블루길, 풀망둑 등이며, 3% 이상으로 급격히 감소한 종은 떡붕어, 가시납지리, 큰납지리, 치리 등이었다. 이들 어종의 개체군 증가가 일시적인 현상인지 아니면 지속적인 현상인지에 대한 원인은 추후 지속적인 연구가 필요하였다.

6. 어종별 수질에 대한 내성도 및 섭식특성 분석

출현한 56종 중 수질에 대한 내성도 guild를 분석한 결과 민감종 (sensitive species)에 속하는 종은 참중고기, 눈동자개, 꺾지, 쏘가리 등 3종 (7.1%), 중간종 (intermediate species)은 24종 (42.9%)이었고 내성종 (tolerance species)은 28종 (50.0%)이었다. 개체수에 있어 수질오염과 수생태계 교란에 쉽게 사라지는 민감종이 0.9%로 매우 낮았고, 내성종에 속하는 종이 67.8%로 매우 높았다. 일반적으로 국내의 하천 중 하류역에서 이와 같은 경향을 보이는데 (Choi and An, 2008; Ryu *et al.*, 2010) 서울시 한강 본류에서는 민감종의 비율이 매우 낮았고 내성종의 비율이 매우 높았다. 이는 수질오염과 수환경 교란에 의한 결과로 생각된다. 서울시 한강 지류에서도 민감종 7.3%, 중간종 39.0%, 내성종이 53.7%를 본류역과 유사한 상태를 나타내었다 (Byeon, 2018).

식성에 있어 충식성 20종 (35.7%), 잡식성 18종 (32.1%), 육식성 14종 (25.0%), 초식성 4종 (7.1%)로 충식성과 잡식성 어종이 매우 풍부하였고 개체수 구성비에 있어서는 충식성 종이 22.3%, 잡식성 28.0%, 육식성 47.0%, 초식성 2.8%로 육식성 어종의 개체수가 매우 풍부하였다 (Fig. 4). 서울시 한강 지류에서는 충식성 종이 14.6%, 잡식성 56.1%, 육식성 14.6%로 본류에 비해 잡식성 어종이 매우 풍부하였다. 내성종과 잡식종의 풍부도는 유기물오염과 서식지 파괴로 수환경의 이·화학적 질적 악화로 어종의 풍부도가 증가하는 경향을 보이는 것으로 알려져 있다 (U·S·EPA, 1993). 서울시는 한강 본류에 비해 지류에 서식하는 어류는 대부분 수질오염과 수환경 악화

Table 4. The occurrence of fish fauna in the lower Hangang River from 1999 and 2017

Species / Stations	Type of fish guild			1999	This study
	Tolerance guild	Trophic guild	Habitat guild		
Anguillidae (뱀장어과)					
<i>Anguilla japonica</i> (뱀장어)	IS	C	—	10(0.46)	81(0.93)
Engraulidae (멸치과)					
<i>Coilia nasus</i> (웅어)	TS	C	—	17(0.79)	193(2.22)
Cyprinidae (잉어과)					
<i>Cyprinus carpio</i> (잉어)	TS	O	—	56(2.59)	132(1.52)
• <i>Cyprinus carpio</i> (향어)	TS	O	—		5(0.02)
<i>Carassius auratus</i> (붕어)	TS	O	—	9(0.42)	157(1.81)
• <i>Carassius cuvieri</i> (떡붕어)	TS	O	—	173(8.00)	31(0.36)
• <i>Megalobrama amblycephala</i> (단두어)	TS	O	—		4(0.05)
• <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (백련어)	IS	H	—		1(0.01)
<i>Rhodeus ocellatus</i> (흰줄납줄개)	IS	O	—	23(1.06)	
<i>Rhodeus notatus</i> (떡납줄갱이)	IS	O	—	11(0.51)	1(0.01)
* <i>Rhodeus uyekii</i> (각시붕어)	IS	O	—		7(0.08)
* <i>Acheilognathus yamatsutae</i> (줄납자루)	IS	O	—	22(1.02)	14(0.16)
<i>Acheilognathus lanceolatus</i> (납자루)	IS	O	—	24(1.11)	160(1.84)
<i>Acheilognathus rhombeus</i> (납지리)	IS	O	—	14(0.65)	50(0.58)
* <i>Acheilognathus gracilis</i> (가시납지리)	IS	O	—	435(20.09)	1538(17.69)
* <i>Acheilognathus macropterus</i> (큰납지리)	IS	O	—	242(11.18)	5(0.06)
<i>Hemibarbus labeo</i> (누치)	TS	C	—	458(21.15)	2525(29.04)
<i>Hemibarbus longirostris</i> (참마자)	IS	I	—	10(0.46)	1(0.01)
<i>Pungtungia herzi</i> (돌고기)	IS	I	—		6(0.07)
* <i>Scrocheilichthys variegatus wakiyae</i> (참중고기)	SS	I	—	8(0.37)	16(0.18)
* <i>Scrocheilichthys nigripinnis morii</i> (중고기)	IS	I	—	4(0.18)	3(0.04)
* <i>Squalidus japonicus coreanus</i> (물개)	TS	O	—		51(0.59)
<i>Pseudogobio esocinus</i> (모래무지)	IS	I	—	31(1.43)	43(0.49)
<i>Abbottina rivularis</i> (버들매치)	TS	O	—		22(0.25)
* <i>Microphysogobio jeoni</i> (뿔경모치)	IS	I	—	1(0.05)	1(0.01)
<i>Saugogobio dabryi</i> (두우쟁이)	IS	O	—	2(0.09)	3(0.03)
<i>Zacco platypus</i> (피라미)	TS	O	—	30(1.39)	237(2.73)
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i> (꼬리)	TS	C	—	49(2.26)	79(0.91)
<i>Hemiculter eigenmanni</i> (치리)	TS	C	—	191(8.82)	145(1.67)
<i>Hemiculter leucisculus</i> (살치)	TS	I	—	32(1.47)	252(2.90)
<i>Erythroculter erythropterus</i> (강준치)	TS	C	—	90(4.16)	483(5.56)
Cobitidae (미꾸리과)					
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> (미꾸리)	TS	O	—	1(0.05)	1(0.01)
Bagridae (동자개과)					
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i> (동자개)	TS	I	—	1(0.05)	233(2.68)
* <i>Pseudobagrus koreanus</i> (눈동자개)	SS	I	RB	2(0.09)	3(0.03)
<i>Leiocassis ussuriensis</i> (대농갱이)	IS	I	—	36(1.66)	281(3.23)
<i>Leiocassis nitidus</i> (밀자개)	TS	I	—		50(0.58)
Siluridae (메기과)					
<i>Silurus asotus</i> (메기)	TS	C	—	27(1.25)	361(4.15)
Moronidae (농어과)					
<i>Lateolabrax maculata</i> (점농어)	TS	C	—		107(1.23)
Centropomidae (꺾지과)					
* <i>Coreoperca herzi</i> (꺾지)	SS	C	—		1(0.01)
<i>Siniperca scherzeri</i> (쏘가리)	SS	C	—	22(1.02)	54(0.62)
Cottidae (독중개과)					
<i>Trachidermus fasciatus</i> (꺾정어)	TS	C	—	2(0.09)	34(0.39)
Odontobutidae (동사리과)					
* <i>Odontobutis interrupta</i> (얼룩동사리)	IS	C	—		2(0.02)
Callionymidae (뿔양태과)					
<i>Repomucenus olidus</i> (강주걱양태)	TS	I	—		1(0.01)

Table 4. continued

Species / Stations	Type of fish guild			1999	This study
	Tolerance guild	Trophic guild	Habitat guild		
Osmeridae (바다빙어과)					
<i>Hypomesus nipponensis</i> (빙어)	IS	I	—		2(0.02)
<i>Plecoglossus altivelis</i> (은어)	IS	H	RB		1(0.01)
Mugilidae (송어과)					
<i>Mugil cephalus</i> (송어)	TS	H	—	5(0.23)	33(0.38)
<i>Chelon haematocheilus</i> (가송어)	TS	H	—	27(1.25)	212(2.44)
Gobiidae (망둑어과)					
<i>Gymnogobius urotaenia</i> (꼭저구)	IS	I	—		1(0.01)
<i>Synechogobius hastus</i> (폴망둑)	TS	I	—	85(3.93)	108(1.24)
<i>Rhinogobius giurinus</i> (갈문망둑)	TS	O	—		12(0.14)
<i>Rhinogobius brunneus</i> (밀어)	IS	I	RB	8(0.37)	51(0.59)
<i>Tridentiger brevispinis</i> (민물검정망둑)	IS	I	RB		252(2.90)
<i>Tridentiger bifasciatus</i> (민물두줄망둑)	IS	I	—		211(2.43)
Channidae (가물치과)					
<i>Channa argus</i> (가물치)	TS	C	—	3(0.14)	11(0.23)
Centrarchidae (검정우럭과)					
● <i>Lepomis macrochirus</i> (블루길)	TS	I	—	2(0.09)	416(4.78)
● <i>Micropterus salmoides</i> (배스)	TS	C	—	2(0.09)	6(0.07)
Tetraodontidae (참복과)					
<i>Takifugu obscurus</i> (황복)	IS	I	—	3(0.14)	4(0.05)
Number of species				41	56
Number of individual				2165	8694

1999: Choi and Byeon, () : Relative abundance (%), ※: Korean endemic species, RA: Relative abundance (%), ●: Exotic species, SS: Sensitive species, TS: Tolerance species, IS: Intermediate species, C: Carnivore species, I: Insectivore species, O: Omnivore species, H: Herbivore species, RB: Riffle benthic species

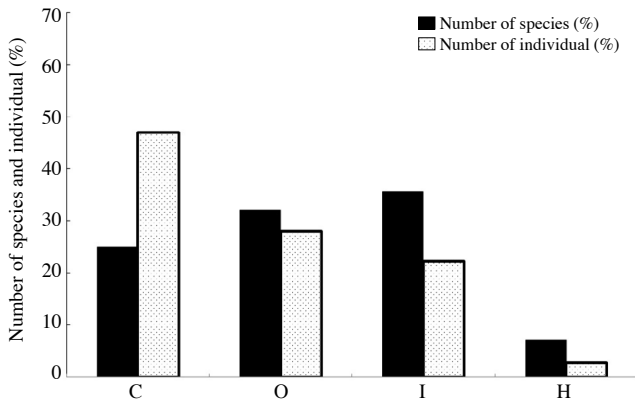


Fig. 3. Tolerance, intermediated and sensitive guild in the stream flowing into the Hangang River.

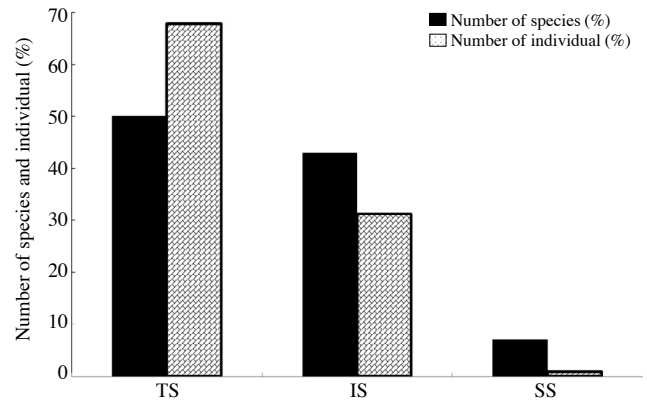


Fig. 4. Trophic guild with the stream flowing into the Hangang River. The abbreviations of as follows: C=Carnivore, I=Insectivore, O=Omnivore

에 적응된 종들이 주로 서식하고 있었다.

여울저서성 어류 (Riffle benthic species)는 하천 수환경이 양호한 수역에 주로 출현하는 어종으로 알려져 있으며 (ME, 2017) 본 조사에서는 눈동자개, 은어, 밀어 (*Rhinogobius brunneus*), 민물검정망둑 등 4종이 출현하였고 종구성비율이 매우 낮았다. 서울시 한강 지류에서는 밀어와 민물검정망둑 2종이 출현하였다 (Byeon, 2018). 서울시 한강 본류와 지류역 모두 수심이 1 m 이내로 얇고 하상에 자갈과 돌로 구성되어 있으며 수질이 2급 이상을 유지하는 급여울이 형성되어 있지 않

아 여울저서성 어류가 서식하기에 부적합한 수환경을 유지하고 있는 것으로 판단된다.

요 약

서울시 한강 어류군집 특성 분석을 위해 2016년 6월부터 2017년 3월까지 조사하였다. 조사기간 동안 5개 조사지점에서 출현한 어종은 총 17과 56종이었다. 기수역에 주로 서식

하는 용어(*Coilia nasus*), 밀자개(*Leiocassis nitidus*), 점농어(*Lateolabrax maculata*), 강주걱양태(*Repomucenus olidus*), 꺾정어(*Trachidermus fasciatus*), 송어(*Mugil cephalus*), 가송어(*Chelon haematocheilus*), 풀망둑(*Synechogobius hastus*), 민물두줄망둑(*Tridentiger bifasciatus*), 황복(*Takifugu obscurus*) 등이 출현하였다. 회유성 어종인 뱀장어(*Anguilla japonica*), 용어, 은어(*Plecoglossus altivelis*), 빙어(*Hypomesus nipponensis*), 황복 등이 출현하였다. 한반도 고유종은 11종(17.9%)로 매우 낮은 비율을 차지하였다. 국외에서 도입된 어종은 유럽잉어(*Cyprinus carpio nudus*), 떡붕어(*Carassius cuvieri*), 백련어(*Hypophthalmichthys molitrix*), 단두어(*Megalobrama amblycephala*), 블루길(*Lepomis macrochirus*), 배스(*Micropterus salmoides*) 등 6종(10.7%)이었다. 각 조사 지점별 우점종은 가시납지리(*Acheilognathus gracilis*, St. 1)와 누치(*Hemibarbus labeo*, St. 2, 3, 4, 5)이었다. 수질 내성도 guild에서 민감종의 상대풍부도는 3종(7.1%), 중간종은 24종(42.9%), 내성종은 28종(50.0%)로 내성종이 매우 높았다. 섭식특성 guild에서 충식성은 20종(35.7%), 잡식성 18종(32.1%), 육식성 14종(25.0%), 초식성 4종(7.1%)으로 충식성과 잡식성 어종이 매우 풍부하였다.

REFERENCES

- Bae, K.S., G.B. Kim, H.K. Kil, B.T. Yu and M.Y. Kim. 2002. Long-term changes of the fish fauna and community structure in the Jungrang Creek, Seoul, Korea. *Korean J. Limnol.*, 35: 63-70.
- Byeon, H.K. 2013. The Fish fauna changes and characteristics populations of *Zacco koreanus* in Cheonggye Stream after the rehabilitation, Korea. *Korean J. Environ. Ecol.*, 27: 695-703. (in Korean)
- Byeon, H.K. 2015. Fluctuation of introduced fish and characteristics of fish community in Lake Soyang. *Korean J. Environ. Ecol.*, 29: 401-409. (in Korean)
- Byeon, H.K. 2018. Characteristic of fish community in the stream flowing into the Han River in Seoul, Korea. *Korean J. Environ. Ecol.*, 32: 126-273. (in Korean)
- Choi, J.K. and H.K. Byeon. 1999. Fish community in the lower course of Han River. *Korean J. Limnol.*, 32: 49-57. (in Korean)
- Choi, J.K., C.R. Jang and H.K. Byeon. 2011. The characteristic of fish fauna by habitat type and population of *Zacco platypus* in the Tan Stream. *Korean J. Environ. Ecol.*, 25: 71-80. (in Korean)
- Choi, J.K., H.K. Byeon, Y.S. Kwon and Y.S. Park. 2008. Spatial and temporal changes of fish community in the Cheonggye stream after the rehabilitation project. *Korean J. Limnol.*, 41: 374-381. (in Korean)
- Choi, J.W. and K.G. An. 2008. Characteristics of fish compositions and longitudinal distribution in Yeongsan River watershed. *Korean J. Limnol.*, 41: 301-310. (in Korean)
- Choi, K.C., S.R. Jeon and S.S. Choi. 1968. On the fresh-water fishes inhabiting at Kwangnaroo area in Seoul. *Korean J. Limnol.*, 1: 1-5. (in Korean)
- Choi, K.C., S.R. Jeon, I.S. Kim and Y.M. Son. 2002. Coloured Illustrations of The Freshwater Fishes of Korea. Hyangmunsa Press Co. Seoul. 258pp. (in Korean)
- Clay, H.C. 1995. Design of Fishways and other Fish Facilities. 2nd ed. Lewis Publishers, 248pp.
- Hellawell, J.M. 1986. Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management, Elsevier, London. pp. 146-178.
- Jackson, D. and G. Marmulla. 2001. The influence of dams on river fisheries. Prepared for Thematic Review II. I: Dam, ecosystem functions and environmental restoration. World Commission on Dams, Environmental Issues, Final Draft, June 30-2000. 187pp.
- Jeon, S.R. and K.Y. Kim. 1972. A Study on the Fresh-Water in the Han River. R-72-81, Ministry of Science and Technology of Korea, 117-120. (in Korean)
- Kwater. 2007. A Guidebook of River in South Korea. Kwater, Daejeon, 582pp. (in Korean)
- Kim, H.M., S.H. Kim, J.R. Song and K.G. An. 2015. Monitoring of *Micropterus salmoides* and *Lepomis macrochirus* in Major Artificial Reservoirs, Korea. *Proc. Korean Society of Environment Eco. and Con.*, 25: 89.
- Kim, I.S. 1997. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korean Vol. 37 Freshwater Fishes. Ministry of Education. pp. 133-520. (in Korean)
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyo-Hak. pp. 104-468. (in Korean)
- Lee, W.O., C.B. Gang, H.U. Park, C.M. Han, H.K. Byeon, J.G. Myeong, C.H. No, G.P. Hong, H.B. Song, B.S. Chae, G.H. Han, J.R. GO and Y.P. Hong. 2003. The Introduced Fishes of Korea. *Korean J. Ichthyo.*, 128pp. (in Korean)
- Margalef, R. 1958. Information Theory in Ecology. *Gen. Syst.*, 3: 36-7.
- McNaughton, S.J. 1967. Relationship among Functional Properties of California Grassland. *Nature*, 216: 168-169.
- MCT (Ministry of Construction and Transportation). 2006. Long-term Comprehensive plan for Water Resources. (in Korean)
- ME (Ministry of Environment). 2017. Water ecosystem health investigation and assessment final report. National Institute of Environmental Research. (in Korean)
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the World (4rd ed). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 601pp.
- Park, S.D., S.S. Shin, H.Y. Aha, S.B. Ma and C.S. Hwang. 2004. An assessment of ascending functions of the pool-and-weir fishway at Jamsil Weir in the Han River. *Korean J. Water Resources Association*, 37: 541-552. (in Korean)

- Pielou, E.C. 1969. Shannon's Formula as a Measure of Specific Diversity. *The American Naturalist*, 1000: 463-465.
- Pielou, E.C. 1975. *Ecological Diversity*. John Wiley, New York, 167pp.
- Ryu, T.H., Y.P. Kim, J.K. Kim and K.G. An. 2010. Analysis of ecological health using a water quality and fish in Bocheong Stream. *Korean J. Limnol.*, 43: 255-262. (in Korean)
- SMG (Seoul Metropolitan Government). 2017. Investigation and Research of Han River Ecosystem (VIII). (in Korean)
- U·S·EPA. 1993. *Fish Field and Laboratory Methods for Evaluating the Biological Integrity of Surface Waters*. EPA 600-R-92-111. Environmental Monitoring systems Laboratory-Cincinnati Office of Modeling, Monitoring Systems, and Quality Assurance Office of Research Development, U·S·EPA, Cincinnati, Ohio 4568.
- Yodo, T. and S. Kimura. 1998. Feeding habits of largemouth bass *Micropterus salmoides* in lakes Shorenji and Nishinoko, central Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 64: 26-28.