

# 서울시 한강으로 유입되는 하천의 어류 군집 특성<sup>1</sup>

변화근<sup>2\*</sup>

## Characteristic of Fish Community in the Stream Flowing into the Han River in Seoul, Korea<sup>1</sup>

Hwa-Keun Byeon<sup>2\*</sup>

### 요 약

서울시 한강으로 유입되는 하천의 어류군집 특성 분석을 위해 2016년 5월부터 2017년 4월까지 조사하였다. 자연형으로 복원된 하천은 우이천, 당현천, 청계천, 양재천, 목감천, 도림천, 홍제천 등이다. 조사 기간 동안 21개 지점에서 족대와 투망으로 채집된 어류는 총 10과 41종이었다. 한반도 고유종에 속하는 어종은 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*), 가시납지리(*Acheilognathus gracilis*), 중고기(*Scarcocheilichthys nigripinnis morii*), 몰개(*Squalidus japonicus coreanus*), 참갈겨니(*Zacco koreanus*), 꺾지(*Coreoperca herzi*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*) 등 7종이었으며 고유화빈도가 17.1%이었다. 국외에서 도입된 외래종은 비단잉어(*Cyprinus carpio*, Fancy type), 금붕어(*Carassius auratus*, Gold fishh), 떡붕어(*Carassius cuvieri*), 블루길(*Lepomis macrochirus*), 배스(*Micropterus salmoides*) 등 5종(12.2%)이었다. 각 조사 지점별 우점종은 피라미(*Zacco platypus*), 붕어(*Carassius auratus*), 납자루(*Acheilognathus lanceolatus*), 가시납지리(*Acheilognathus gracilis*), 대륙송사리(*Oryzias sinensis*) 등이었다. 종다양도 지수, 균등도지수 및 종풍부도 지수에서 양재천이 다른 조사 하천에 비해 지수가 높아 안정적인 군집 상태를 나타내었다. 수질에 대한 내성도 guild에서 민감종이 3종(7.3%), 중간종 16종(39.0%), 내성종 22종(53.7%)이었다. 식성에서 충식성은 12종(29.3%), 잡식성 23종(56.1%), 육식성 6종(14.6%)으로 잡식성이 매우 풍부하였다.

주요어: 복원된 하천, 외래종, 종다양도 지수, 내성도 guild, 충식종

### ABSTRACT

This study investigated the characteristics of fish communities in the streams flowing into the Han river in Seoul in May 2016 through April 2017. The investigated streams were Ui stream, Danghyeon stream, Cheonggye stream, Yangjae stream, Mokgam stream, Dorim stream, and Hongje stream, which were restored to their natural form. We collected 41 species of 10 families using skimming nets and cast nets from 21 points during the investigation period. There were 7 Korean endemic species, or 17.1% in collected species, such as *Acheilognathus yamatsutae*, *Acheilognathus gracilis*, *Scarcocheilichthys nigripinnis morii*, *Squalidus japonicus coreanus*, *Zacco koreanus*, *Coreoperca herzi*, and *Odontobutis interrupta*. There were 5 (12.2%) exotic species: *Cyprinus carpio* (fancy type), *Carassius auratus* (goldfish), *Carassius cuvieri*, *Lepomis macrochirus*, and *Micropterus salmoides*. The dominant species were *Zacco platypus*, *Carassius auratus*, *Acheilognathus lanceolatus*, *Acheilognathus gracilis*, and *Oryzias sinensis*. The Yangjae stream showed more

1 접수 2018년 4월 5일, 수정 (1차: 2018년 4월 17일, 2차: 2018년 5월 15일), 게재확정 2018년 5월 20일  
Received 5 April 2018; Revised (1st: 17 April 2018, 2nd: 15 May 2018); Accepted 20 May 2018

2 서원대학교 생물교육과 Dept. of Biology Education, Seowon Univ., Chungju(28674), Korea

\* 교신저자 Corresponding author: E-mail: cottus@seowon.ac.kr

stable fish community than other streams as it showed higher species diversity, and evenness and richness indices. Regarding the fish tolerance guild according to water quality, there were 3 (7.3%) sensitive species, 16 (39.0%) intermediate species, and 22 (56.7%) tolerant species. Twelve (29.3%) were insectivore species, 23 (56.1%) were omnivore species, and 6 (14.6%) were carnivore species, indicating the dominating presence of omnivore fish species.

**KEY WORDS : RESTORED STREAM, EXOTIC SPECIES, SPECIES DIVERSITY INDEX, TOLERANCE GUILD, INSECTIVORE SPECIES**

## 서론

한반도는 동쪽이 높고 서쪽이 낮은 지형 구조를 가지고 있으며 백두대간으로 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. 한강은 우리나라 중부의 가장 중요한 하천으로서 그 유역면적은 26,219 km<sup>2</sup>, 길이는 514 km로 유역면적은 우리나라에서 압록강 다음으로 2번째로 넓으며 하천의 길이는 압록강, 두만강, 낙동강 다음으로 길다. 한강유역의 연평균 강수량은 1,200 mm이며 수계는 크게 휴전선 북쪽에서 남서류하는 북한강수계와 강원도 남부에서 북서류하는 남한강수계로 크게 구성된다(Choi and Byeon, 1999; Kwater, 2007). 북한강과 남한강은 양수리 근처에서 합류하여 북서방향으로 흘러 서울을 지나 서해의 강화만으로 유입되며 팔당댐 하류 수역에는 왕숙천, 중랑천, 탄천, 양재천, 안양천, 창릉천, 곡릉천 등의 지류가 분포한다. 서울에 위치한 한강의 지류는 수질오염과 하천정비 공사로 하천의 자연성 상실되었으며 1990년까지 대부분의 지류 하천에서는 어류가 서식하지 못하였다(Bae et al., 2002). 그 이후 수질 개선과 자연형 하천복원 사업이 활발히 진행되어 오고 있다. 하천은 다양한 생물의 서식공간과 물 공급원이며 생물들의 이동 통로 역할을 하며 에너지 순환에서도 중요한 기능을 담당함으로써 하천생태계가 육상생태계와 단절된 것이 아니라 연속된 생태계를 구성하고 있다.

산업혁명 이후 급속한 인구증가와 함께 도시는 하천을 중심으로 발달하였으며, 이로 인해 하천 수변부는 다양한 목적으로 개발되어 왔다. 국내에서 이러한 하천 개발은 하천 자연적 구조를 변형하였고 하천 고유의 기능을 왜곡 또는 상실하게 하였다. 하천의 개발은 대부분 이-치수의 기능적인 측면을 고려하여 진행되었으며 하천 고유의 생태적 기능은 고려되지 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 욕구를 증가시키고 있다(Hellawell, 1986). 우리나라에서는 1995년 양재천을 시작으로 안양천, 전주천, 서호천, 오산천 등의 복원사업이 대표적이며 그 외 많은 하천복원사업이 전국적으로 활발히 진행 중이다(Kang et al., 2007).

서울시에 위치한 한강 본류에 대한 어류 조사는 Jeon and Kim (1972)과 Choi and Byeon (1999)에 의해 어류상과 어류군집, Park et al.(2004)에 의한 잠실수중보 어도 소상기능 평가 등이 이루어졌고 서울시에서는 2017년까지 8차에 걸쳐 어류상 조사가 이루어졌다(SMG, 2017). 서울시에 위치한 한강 지류에 대한 어류 연구는 청계천 복원 후(Choi et al., 2008; Byeon, 2013), 중랑천(Bae et al., 2002), 탄천(Choi et al., 2011a) 등에서 단편적으로 이루어져 왔다. 서울시에 위치한 한강 지류는 1995년 양재천을 시작으로 자연형 하천 복원사업이 다양한 형태로 이루어졌으며 현재에도 일부 구간을 중심으로 진행 중에 있다. 이러한 하천 복원 사업은 어류에 대한 서식실태, 어류 군집 변화, 어종별 생태특징 등을 고려하지 않고 토목 및 조정 위주로 진행되어 피라미(Zacco platypus)와 붕어(Carassius auratus)의 우점률이 매우 높아져 어류군집에 있어 부정적인 효과로 나타났다(Choi et al., 2008). 그러므로 서식어류의 종다양성 증대, 군집의 안정성, 복원대상 어종 등을 고려한 자연형 하천복원이 필요한 상태이다. 본 연구는 서울시 한강 지류에서 서식지하는 어종의 생태적 특성, 어류상, 어류군집 지수 등을 조사하여 자연형 하천복원 방향과 어류 보전 방안을 위한 기초 자료를 마련하고자 실시하였다.

## 연구방법

### 1. 조사지점 및 시기

조사지점은 서울시에 위치하며 한강으로 유입되는 지류인 중랑천, 청계천, 서울숲, 탄천, 안양천, 양재천, 홍제천, 불광천, 도림천, 목감천, 안양천 등에서 다양한 어류의 서식이 가능한 수역을 중심으로 총 21개 지점을 조사하였다. 현장 조사는 2016년 5월, 2016년 8월, 2016년 10월, 2017년 4월 등 총 4회에 걸쳐 실시하였다.

#### 1) 중랑천 수계

- St. 1 : 서울특별시 노원구 상계동 711-2, 당현3교 하방(당현천, 37.644124, 127.061060)  
 St. 2 : 서울특별시 성북구 석관동 159-1(우이천, 37.614431, 127.069212)  
 St. 3 : 서울특별시 중랑구 목동 370-3(중랑천 중상류, 37.615215, 127.071176)  
 St. 4 : 서울특별시 성동구 성수동1가1, 살곶이다리(중랑천 하류, 37.553075, 127.047586)

#### 2) 청계천

- St. 5 : 서울특별시 종로구 서린동 125-3(모전교 상방, 37.569086, 126.978718)  
 St. 6 : 서울특별시 종로구 186-5(관수교 하방, 37.568504, 126.994883)  
 St. 7 : 서울특별시 동대문구 신설동 114(황학교 하방, 37.571426, 127.024341)  
 St. 8 : 서울특별시 성동구 용답동 215-1(37.559453, 127.051456)

#### 3) 서울숲

- St. 9 : 서울특별시 성수동1가 685-6, 서울특별시(습지생태원 내 연못, 37.542843, 127.033659)

#### 4) 탄천 수계

- St. 10 : 서울특별시 강남구 세곡동 150-1, 세곡3교(세곡천, 37.462071, 127.108555)  
 St. 11 : 서울특별시 강남구 세곡동 493-1(탄천, 37.468962, 127.122337)  
 St. 12 : 서울특별시 송파구 가락동 520, 탄천교(탄천, 37.493645, 127.101789)  
 St. 13 : 서울특별시 서초구 양재동 261-23(양재천, 37.476741, 127.041605)  
 St. 14 : 서울특별시 강남구 대치동 4-20, 대치교 하방(양재천, 37.500400, 127.073270)

#### 5) 안양천 수계

- St. 15 : 서울특별시 구로구 개봉동 372-1, 목감교 하방(목감천, 37.490863, 126.863488)  
 St. 16 : 서울특별시 영등포구 문래동2가 68, 신도림1교(도림천, 37.510788, 126.890910)  
 St. 17 : 서울특별시 양천구 신정동 871-20, 오금교(안양천, 37.508497, 126.873153)

#### 6) 홍제천 수계

- St. 18 : 서울특별시 종로구 홍지동 72-7, 상명대앞(홍제천, 37.599599, 126.9578340)  
 St. 19 : 서울특별시 서대문구 홍제동 277-58, 홍은교(홍제천, 37.594485, 126.9477011)  
 St. 20 : 서울특별시 서대문구 연희동 172-87, 홍연2교(홍제천, 37.577921, 126.930854)  
 St. 21 : 서울특별시 서대문구 북가좌동 415, 증산교(불광천, 37.576539, 126.902884)

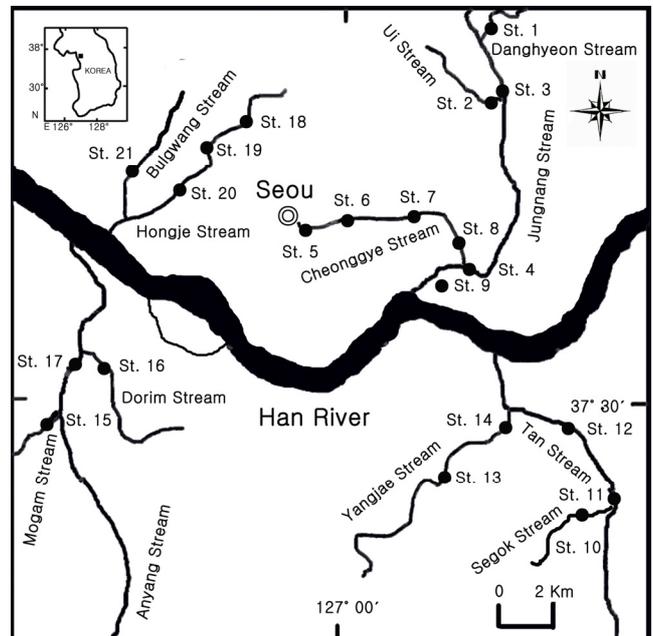


Figure 1. Map showing the studied stations of in the stream flowing into the Han River in Seoul

### 2. 채집 및 조사방법

채집은 각 지점별로 100m 구간 내에서 다양한 미소서식지를 모두 조사하였으며 어류 채집은 투망(망목 5x5mm)과 족대(망목 4x4mm)를 사용하였다. 정량적인 비교 분석을 위해 투망은 각 조사 지점 당 10회, 족대는 40분씩 현장 조사를 실시하였다. 채집된 표본은 현장에서 확인 후 대부분 방

류 하였으며 일부 개체는 분석을 위해 formalin 10% 용액으로 고정하여 실험실에서 동정하였다. 어류의 동정에는 국내에서 현재까지 발표된 검색표(Choi *et al.*, 2002; Kim, 1997; Kim *et al.*, 2005)를 이용하였고 분류체계는 Nelson (2006)에 따라 목록을 정리하였다. 하상구조는 Cummins (1962)의 방법으로 구분하였으며 각 조사 지점의 어류 군집을 분석하기 위해 각 조사지점에 대하여 우점도 지수(McNaughton, 1967), 종다양도 지수(Margalef, 1958, Pielou, 1975), 균등도(Pielou, 1969), 종풍부도(Margalef, 1958) 등을 산출하였다. 어종별 생태적 특성 분류는 환경부 수생태 건강성 조사 및 평가(Ministry of Environment, 2017)을 따랐다.

## 결과 및 고찰

### 1. 서식지 특성

2016년 5월에 측정 또는 관찰된 각 조사 지점에서의 어류

의 서식환경은 Table 1과 같다. 하폭(12~800 m)과 유폭(3~250 m)은 하천과 위치에 따라 매우 다양하였다. 유폭에 있어 소하천인 당현천(St. 1)이 3~5 m로 가장 좁았으며 대부분의 조사 지점이 30 m 이내로 좁았다. 100 m 이상으로 넓은 유폭을 형성하고 있는 수역은 중랑천(St. 3, 4), 탄천(St. 11, 12), 안양천(St. 17) 등이었으며 국가하천인 안양천이 200~250 m로 가장 넓었다. 수심은 0.1~1.5 m로 대부분 수역에서 0.5 m 이내로 얇았다. 유량에 비해 유폭은 넓었고 수심은 얇았다. 서울시에 위치한 한강 지류는 매우 다양한 규모의 하천으로 구성되어 있어 하폭, 유량, 수심 등이 매우 다양하였다. 서울숲(St. 9)은 2005년에 개장한 곳으로 공원 내에 조성되어 있는 연못이며 정체된 수역이다. 하상구조는 모래(Sand)가 풍부하게 분포하는 수역이 많았고 자연형 하천으로 복원된 수역은 일부 구간에 큰돌(Boulder), 작은돌(Cobble), 조약돌(Pebble), 자갈(Gravel) 등이 풍부하게 구성되어 있었다(청계천, 양재천, 홍제천). 육안으로 보아 탁도가 높고 하상에 유기물이 다량 퇴적되어 있어 수질이 악화된 것으로 판단되는 수역은 우이천 하류(St. 1), 중랑천 하류(St. 4), 청계천 하류(St. 8), 탄천(11, 12), 도림천(St.

Table 1. Physical characteristics of each stations in the stream flowing into the Han River from May 2016 to April 2017

Stations	River width (m)	Water width (m)	Water depth (m)	Bottom structure					Stream
				(B : C : P : G : S)*					
1	40-70	3-5	0.2-1.2			1	4	5	Danghyeon Stream
2	80-120	15-20	0.5-1.0				1	8	Ui Stream
3	100-150	80-100	0.1-0.4		1	2	3	3	Jungnang Stream
4	150-200	100-150	0.2-0.4	1	2	3	3	1	Jungnang Stream
5	12-15	4-5	0.2-0.4	6	3	1			Cheonggye Stream
6	12-15	5-7	0.3-0.8	1	3	4	2	1	Cheonggye Stream
7	15-20	5-10	0.3-0.8		1	2	3	4	Cheonggye Stream
8	100-120	20-30	0.3-0.5	6	0	0	0	4	Cheonggye Stream
9	80-100	80-90	1.0-1.5				2	8	Seoulcup
10	150-200	30-40	0.2-0.4				6	4	Segok Stream
11	250-300	80-100	0.2-0.6	2	3	1	3	1	Tan Stream
12	250-350	90-100	0.2-0.6	1	1	2	4	2	Tan Stream
13	70-80	15-25	0.3-0.8		1	2	4	3	Yanghae Stream
14	80-100	15-30	0.4-1.0		1	2	3	4	Yanghae Stream
15	80-100	40-60	0.1-0.5				4	6	Mokgam Stream
16	70-100	5-10	0.2-0.5			3	4	3	Dorim Stream
17	500-800	200-250	0.3-0.8				1	9	Aanyang Stream
18	30-40	20-30	0.3-0.8	3	1	1	2	3	Hongje Stream
19	40-50	30-50	0.1-0.5			2	3	5	Hongje Stream
20	60-70	40-60	0.1-0.6		2	4	3	1	Hongje Stream
21	80-90	4-6	0.2-0.6				2	8	Bulgwang Stream

\* B : Boulder (>256mm), C : Cobble (64~256 mm), P : Pebble (16~64mm), G : Gravel (2~16 mm), S : Sand (0.01~2 mm) by cummins(1962)

16), 흥제천 하류(St. 20), 불광천(St. 21) 등이었다. 이들 수역은 다양한 어류가 서식하기에 부적합한 수질을 유지하고 있는 것으로 수질 개선이 시급한 것으로 판단된다.

탄천은 하상구조가 비교적 다양하게 구성되어 있으나 하상에 유기물이 많이 퇴적되어 있어 다양한 어류가 서식하기에 부적합한 상태를 유지하고 있었다. 중랑천, 탄천, 안양천 등은 유로가 대부분 직강화되었고 수변부에 제방이나 석축이 조성되어 있어 어류의 미소서식지가 대부분 소멸된 상태이다. 자연형 하천으로 복원된 수역은 우이천, 당현천, 청계천, 양재천, 목감천, 도림천, 흥제천 등이며 이들 수역은 급여울, 평여울, 웅덩이 등의 미소서식지가 조성되어 있었다. 그러나 보다 다양한 어종과 안정적인 서식지를 복원하기 위해서는 유로가 사행성이어야 하며 하천 수변부에는 내만형 웅덩이, 하천 중심부에 돌무덤, 사주, 셋강 등이 조성되어야 할 것으로 판단된다.

## 2. 어류상

조사 기간 동안 출현한 어종은 총 10과 41종(아종, 변종, 품종 포함) 7,183개체이었다. 한강 하류역 본류에는 14과 44종(Choi and Byeon, 1999)이 서식하는 것으로 알려져 있는데 본류역과 지류에서 출현하는 어종은 일부 종이 다르나 출현종 수에서는 큰 차이가 없었다. 지류에서 출현 어종의 수가 풍부하였는데 이는 하천 규모가 다양하였고 자연형 하천복원 사업 후 한강 본류역에서 이동하여 유입된 어종, 일부 어종은 서울시 이외의 수역에서 도입 방류된 결과로 생각된다(Byeon, 2013). 출현한 어종 중 잉어과(Cyprinidae)에 속하는 종이 27종(65.9%)으로 가장 다양하였고 그 다음으로 망둑어과(Gobiidae) 4종(9.8%)이었고, 미꾸리과(Cobitidae), 동사리과(Odontobutidae), 검정우럭과(Centrachidae) 등에 속하는 종이 각각 2종(4.9%)이었다. 그 외에 메기과(Siluridae), 썩지과(Centropomidae), 송사리과(Adrianichthyidae), 가물치과(Channidae) 등에 속하는 종이 각각 1종(2.4%)이었다. 망둑어과에 속하는 종이 4종으로 비교적 많이 출현하였는데 이는 하천이 한강 하류역과 직접 연결되어 있어 다양한 망둑어과 어종 일부가 지류로 이동하여 서식하였기 때문인 것으로 생각된다. 본 조사에서는 산란과 성장을 위해 이동하는 회유성 어종은 출현하지 않았다. 출현한 41종 중 한반도 고유종에 속하는 어종은 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*), 가시납지리(*Acheilognathus gracilis*), 중고기(*Scarcocheilichthys nigripinnis morii*), 물개(*Squalidus japonicus coreanus*), 참갈겨니(*Zacco koreanus*), 썩지(*Coreoperca herzi*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*) 등 7종으로 고유화빈도가 17.1%로 낮았다. 고유화빈도에 있어 국가하천의 지류에 속하는 지방하천인 갑천은 27.6%(Lee et al., 2009), 가평천 75.0%

(Choi et al., 2011b), 미호천 29.3%(Son and Byeon, 2005) 등으로 자연성이 양호하면 보통 25.0% 이상을 유지하였다. 서울시 한강 지류 하천에서 고유화빈도가 낮았던 것은 도심하천으로 하천 개수, 수질오염, 지속적인 정비, 복원 공사 등으로 자연적인 수환경이 훼손된 원인으로 생각된다.

개체수 구성비에 있어 피라미(54.0%), 붕어(12.2%), 돌고기(*Pungtungia herzi*, 4.3%), 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*, 3.9%), 참붕어(*Pseudorasbora parva*, 3.6%) 등이 풍부하였다. 이들 어종은 서울시에 위치한 한강 하류 지류 전역에 걸쳐 분포하였으며 서식량 또한 매우 풍부한 대표적인 어종으로 출현하였다. 반면 개체수 구성비가 0.5% 이하로 매우 적은 희소종에 속하는 어류는 참마자(*Hemibarbus longirostris*)를 포함한 총 24종(58.5%)이었다. 많은 어종은 개체수가 매우 적은 희소종에 속하였는데 교란된 수환경에 내성을 가진 특정종의 우점율이 매우 높았기 때문이다.

국외에서 도입된 어종은 비단잉어(*Cyprinus carpio*, Fancy type), 금붕어(*Carassius auratus*, Gold fish), 떡붕어(*Carassius cuvieri*), 블루길(*Lepomis macrochirus*), 배스(*Micropterus salmoides*) 등 5종(12.2%)이었다. 비단잉어는 청계천(3개체)과 서울숲 내 연못(4개체)에서 출현하였는데 이는 인위적인 방류에 의한 것으로 생각된다. 또한 금붕어는 청계천에서 2개체, 서울숲 내 연못에서 2개체가 출현하였는데 이는 인위적인 방류에 의한 것으로 생각된다. 비단잉어와 금붕어는 현재 한강수계에서 분포역이 매우 제한적이고 서식량 또한 매우 적으며 자연증식이 이루어지지 않아(Lee et al., 2003) 수중생태계에 미치는 악영향은 거의 없는 것으로 판단된다. 떡붕어는 불광천(St. 21)에서 1개체가 출현하여 출현량이 매우 빈약하므로 토착어종에 미치는 악영향은 크지 않은 것으로 생각된다. 블루길은 목감천(St. 15)에서 1개체가 출현하였고 그 외의 지역에서는 출현하지 않았다. 본 종은 유속이 매우 느리거나 정체된 수역 이외에서는 정착이 어려운 어종이므로(Byeon, 2015) 유수역인 한강 지류에서는 블루길이 토착어종에 미치는 영향은 매우 미미한 것으로 생각된다. 배스는 세곡천(St. 10)에서 3개체, 탄천(St. 12)에서 4개체, 양재천 하류(St. 14)에서 23개체, 목감천 하류(St. 15)에서 1개체가 출현하였고 그 외의 지역에서는 출현하지 않았다. 한강 지천 하류역에서 소수 개체가 출현하여 어류 군집에 미치는 악영향이 심하지 않은 것으로 생각되나 양재천 하류의 경우는 출현 개체수가 다소 많았다. 수심이 깊고 수변부 웅덩이가 대부분 파괴된 한강 지류 수역에서는 배스의 개체군이 급격히 증가하는 것이 어려운 것으로 생각된다. 블루길과 배스는 정수역을 중심으로 다량 증식하므로(Byeon, 2015) 서울숲 연못에 이들 어종이 유입되지 않도록 관리하여야 한다.

Table 2. The list and individual number of fishes collected at each station of the stream flowing into the Han River in Seoul from May 2016 to April 2017

Species / Stations	Type of fish guild			Stream																					RA(%)
	Tolerance guild	Trophic guild	Habitat guild	Jungnang Stream				Cheonggye Stream				Seoul-sup	Tan Stream				Anyang Stream			Hongje Stream					
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
<b>Cyprinidae</b>																									
<i>Cyprinus carpio</i>	TS	O	-	6	2	14	34	9	21	35	9	4	15	18	13	2	5	2	12	3	6	17	3.16		
● <i>Cyprinus carpio</i> (Fancy type)	TS	O	-							3	4				1							0.11			
<i>Carassius auratus</i>	TS	O	-	39	45	32	61	11	25	26	32	99	13	28	42	37	65	78	62	63	42	76	12.20		
● <i>Carassius auratus auratus</i> (Gold fishh)	TS	O	-					2			2											0.06			
● <i>Carassius cuvieri</i>	TS	O	-																		1	0.01			
<i>Rhodeus ocellatus</i>	IS	O	-												2							0.03			
<i>Rhodeus notatus</i>	IS	O	-																		1	0.01			
* <i>Acheilognathus yamatsutae</i>	IS	O	-											1	38	1		3				0.60			
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	IS	O	-							67			2		5	6					1	1.13			
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	IS	O	-					1							3							0.06			
* <i>Acheilognathus gracilis</i>	IS	O	-			16									3	146					1	2.31			
<i>Acheilognathus macropterus</i>	IS	O	-							1					1							0.03			
<i>Pseudorasbora parva</i>	TS	O	-		9	9	11	2	1	9	34		14	28	2	2	25	7	61	32	15	3.63			
<i>Hemibarbus labeo</i>	TS	I	-	18	3	32	36						14	12	19	8	3	26			45	3.01			
<i>Hemibarbus longirostris</i>	IS	I	-							1												0.01			
<i>Pungtungia herzi</i>	IS	I	-	57	20	20		49	99	8					13	1			15	24		4.26			
* <i>Scrocoheilichthys nigripinnis morii</i>	IS	I	-									8				1						0.13			
<i>Gnathopogon strigatus</i>	IS	O	-			16		1	5					9	2	2	1			2		0.53			
* <i>Squalidus japonicus coreanus</i>	TS	O	-			26		1		19					17							0.88			
<i>Pseudogobio esocinus</i>	IS	I	-	50	8				6	27		51	3	2	41	10	15	5				3.04			
<i>Abbottina rivularis</i>	TS	O	-				2													3		0.07			
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	SS	I	-	3	1			23	23	26					53				86	53	13	3.91			
<i>Zacco platypus</i>	TS	O	-	623	260	313	14	400	417	474	61	6	390	51	31	136	88	58	148	46	32	159	172	54.00	
* <i>Zacco koreanus</i>	SS	I	-					7	86	2												1.32			
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	TS	C	-			8	2					1	2		4						4	0.29			
* <i>Hemiculter eigenmanni</i>	TS	O	-													4	2	24				0.42			
<i>Hemiculter leucisculus</i>	TS	I	-													1		11				0.17			
<b>Cobitidae</b>																									
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	TS	O	-		5				1			6	2		1		4	1	5	3	2	0.42			
<i>Misgurnus mizolpis</i>	TS	O	-						1													0.01			
<b>Siluridae</b>																									
<i>Silurus asotus</i>	TS	C	-							1				1	2							0.06			
<b>Centropomidae</b>																									
* <i>Coreoperca herzi</i>	SS	C	-																		2	0.03			
<b>Adrianchthyidae</b>																									
<i>Oryzias sinensis</i>	TS	O	-			1					89											1.25			
<b>Odontobutidae</b>																									
<i>Microptercops swinhonis</i>	IS	O	-								21											0.30			
* <i>Odontobutis interrata</i>	IS	C	-	4	3							5		5	2	1	3					0.32			
<b>Gobiidae</b>																									
<i>Rhinogobius giurinus</i>	TS	O	-					3			15											0.25			
<i>Rhinogobius brunneus</i>	IS	I	RB						4	11	1	6			39	3	3					0.93			
<i>Tridentiger brevispinis</i>	IS	I	RB					1	4		1	21			3	9	4					0.60			
<b>Belontiidae</b>																									
<i>Macropodus ocellatus</i>	TS	I	-								1											0.01			
<b>Channidae</b>																									
<i>Channa argus</i>	TS	C	-					1														0.01			
<b>Centrarchidae</b>																									
● <i>Lepomis macrochirus</i>	TS	I	-														1					0.01			
● <i>Micropterus salmoides</i>	TS	C	-									3	4		23	1						0.43			
Number of species				8	10	11	7	9	14	11	11	12	9	6	12	15	20	17	9	10	2	8	7	11	
Number of individual				800	356	487	180	439	615	700	223	240	567	98	126	397	252	322	270	195	91	232	278	335	

\* : 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, RB : Riffle benthic species

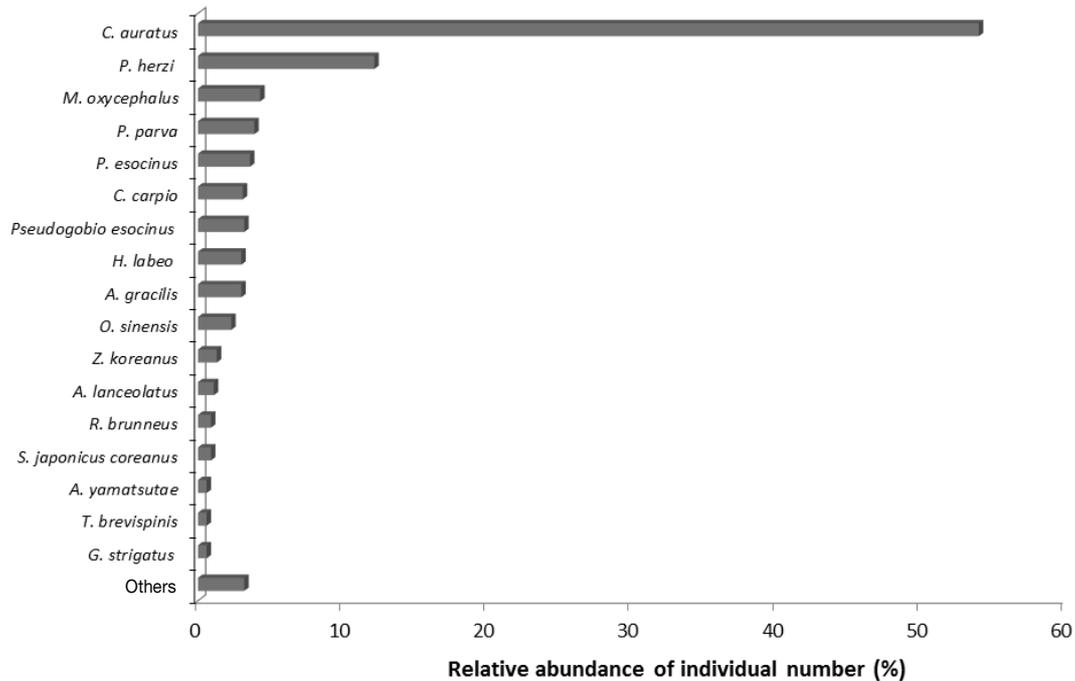


Figure 2. The relative abundance of fishes collected in the surveyed area

### 3. 하천별 어류상 특징

당현천(St. 1)에서는 2과 8종 800개체가 출현하여 출현종이 빈약하였는데 이는 규모가 작은 도심 소하천으로 수환경이 많이 교란되어 자연성이 상실된 상태이기 때문이다. 최근 자연형 하천으로 조성되었으나 유로는 직강화되어 있으며 미소서식지가 급여울 위주로 조성되어 있어 서식지 다양성이 상실된 상태이며 탁도와 하상유기물 퇴적 상황으로 보아 수질은 비교적 양호한 것으로 생각되었다. 우이천 하류(St. 2)에서는 3과 10종 356개체가 출현하여 출현 어종이 빈약하였으며 상류역 산간계류에 서식하던 버들치가 유입되어 출현하였다. 하상에 유기물이 다량 퇴적되어 있으며 갈수기에는 심한 악취가 발생하므로 다양한 어류가 서식하기에 부적합한 수질 상태를 유지하고 있는 것으로 판단되며 하상은 대부분 모래로 단순하게 형성되어 있었다. 최근에 자연형 하천으로 복원하였으나 웅덩이와 소, 평여울로 조성되어 있어 미소서식지가 단순하고 수질 오염이 심화되어 다양한 어종이 갈수기에도 안정적으로 서식하기에 부적합한 수환경을 유지하고 있었다. 중랑천 중류와 하류역(St. 3, 4)에서는 2과 12종 647개체가 출현하였으며 피라미와 붕어가 다량으로 출현하였다. 여울부에는 피라미가 다량으로 서식하였고 그 외 종과 개체수는 매우 빈약하였다. 중랑천 중류역(St. 3)은 1990년까지는 수질오염이 심화되어 어류가 서식하지 않았으며 수질개선으로 1996년부터 어류가 출현

하기 시작하여 2002년에는 8종이 출현하였으며(Bae *et al.*, 2002) 본 조사에서 11종으로 출현종이 많이 증가하였다. 중랑천 하류인 행당동 살곶이다리(St. 4)에서는 7종으로 하천 규모에 비해 출현종이 매우 빈약하였는데 이는 하상에 유기물이 다량퇴적 되어 있으며 갈수기에는 물곰팡이가 다량 생육하고 있어 어류의 서식지로 부적합한 상태이었다. 다양한 어류의 서식을 위해서는 수질 개선이 시급한 것으로 판단된다.

복개된 하천의 복원구간과 하류역을 포함한 청계천(St. 5, 6, 7, 8)에서는 5과 23종 1,977개체로 서울시에 위치한 한강 지류 중 안양천 다음으로 출현종이 풍부하였다. 이는 복개된 부분을 자연형 하천으로 복원하여 수심이 1.5 m 이상되는 소, 급여울, 평여울, 수변부에 일부 웅덩이, 유로 내에 소형 돌무덤, 사구 등 다양한 미소서식지가 조성되어 있었으며 인위적인 영향으로 강우시를 제외하면 연중 일정한 수량과 수질을 유지하고 있어 서식지 변동이 심하지 않은 원인으로 생각된다. 또한 비공식적으로 일부 시민들에 의해 다른 수역에서 포획한 종이 도입 방류되어 서식하고 있었기 때문이다(Byeon, 2013). 2013년에는 3과 24종(Byeon, 2013) 본 조사에서 5과 23종이 출현하여 하천복원 사업 후 2013년 이후 서식하는 어류군집이 다소 안정화되어 있는 것으로 판단된다.

서울숲(St. 9)은 2005년에 조성된 도심속 공원으로 공원 내에 생태 및 습지 연못이 조성되어 있으며 5과 12종 240개

체가 출현하였다. 정체된 수역으로 수심이 2m 이내이었고 하상에는 유기물이 다량 퇴적되어 있으며 하상구조가 모래와 자갈 형성되어 있었다. 자갈은 수심이 1 m 이내로 얇은 수변부에 부분별로 살포되어 있으며 침수 및 정수식물이 다량 생육하고 있었다. 출현어종은 정수역에 잘 적응하여 서식하는 어종들이 대부분이었고 서울시 내에 위치한 수역에서는 출현하지 않았던 버들붕어(*Macropodus ocellatus*)와 좀구굴치(*Microptercops swinhonis*)가 출현하였다 (Ministry of Environment, 2006-2013). 이들 어종은 서울시 이외의 수역에 서식하던 개체가 연못을 조성하는 과정에서 인위적으로 도입되어 서식하는 것으로 생각된다. 탄천 중류의 지류인 세곡천(St. 10)은 4과 9종 567개체가 출현하여 출현종이 빈약하였다. 이는 소하천으로 수량이 적고 하도의 직강화와 평탄화로 미소서식지가 발달되어 있지 않았기 때문인 것으로 생각된다.

탄천 중류와 하류(St. 11, 12)에서는 5과 13종 224개체가 출현하였다. 서울시에 위치한 한강지류 중 안양천을 제외하면 가장 큰 지방하천으로 유폭이 넓고 수량이 풍부한 상태이나 하천규모에 비해 출현 어종과 출현량이 적었다(Choi et al., 2011a; Son and Byeon, 2005). 이는 도심하천으로 직강화, 제방 구축, 하도 평탄화, 다양한 미소서식지 상실, 수질 오염 등이 원인인 것으로 판단된다. 자연형 하천으로 복원된 양재천 하류(St. 13, 14)에는 6과 25종 649개체가 출현하였다. 서울시에 위치한 한강지류 중 출현어종이 가장 풍부하였다. 이는 자연형 복원 하천 중 수량이 비교적 풍부하였으며 유로가 부분적으로 사행성을 유지하며, 급여울, 평여울, 소, 셋강, 하도 내 연못, 수변부 내만형 웅덩이 등 미소서식지가 가장 다양하였고 자연성에 근접하도록 복원된 원인으로 판단된다. 과천시에 위치한 양재천 상류에서는 5과 18종이 출현하여 서울시에 위치한 수역에 비해 적었다 (Lee and Choi, 2015).

하천복원이 최근에 이루어져 여울과 소형 보 형태의 정수역이 형성된 소하천인 목감천 하류(St. 15)에서는 4과 17종이 출현하였다. 하천 규모에 비해 출현한 어종의 수가 풍부하였는데 이는 여울성 어류와 정수역 수초대에서 납자루아과(Acheilognathinae)에 속하는 줄납자루, 납자루(*Acheilognathus rhombus*), 가시납지리 등이 출현하였기 때문이다. 안양천 하류역 소하천으로 최근에 자연형 하천 공사가 이루어진 목감천(St. 16) 하류에서는 3과 9종 270개체가 출현하여 출현종이 빈약하였다. 이는 수질오염이 매우 심화되어 하상에 유기물이 다량 퇴적되어 있었고 갈수기에는 사상체 녹조류와 남조류가 하상의 표면을 피복하고 있었으며 심한 악취가 발생하고 있어 안정적인 어류 서식을 위해서는 수질 개선이 시급한 수역이다. 서울시 한강 지류로 수량이 가장 풍부하며 국가하천에 속하는 안양천 하류(St. 17)에서는 2과 10종 195

개체가 출현하였다. 하천 규모에 비해 출현 어종이 매우 빈약하였는데 이는 하천정비로 인하여 수심이 일률적으로 30 cm 이내로 얇은 평여울로 형성되어 있으며, 하상구조는 모래이며, 수변부는 대부분 콘크리트 제방과 접하고 있어 유로는 직강화되었고 하상은 평탄화되었으며 미소서식지가 매우 단순화되었기 때문인 것으로 생각된다.

최근에 자연형으로 복원되었으며 하도 내에 산책로가 조성되어 있으며 상류역과 하류를 포함하는 홍제천 조사 수역(St. 18, 19, 20)에는 3과 9종 601개체가 출현하였다. 중류와 하류역은 하상에 유기물이 다량 퇴적되어 있었으며 출현종 수가 적었다. 꺾지는 불광천 복원전과 서울시 한강 본류에 서식하지 않았던 어종 이므로(Ministry of Environment, 2006-2013) 하천복원 이후 도입 방류된 것으로 판단되며 현재 출현 개체수가 매우 적으므로 적응하여 개체군이 증가할 수 있을지에 대한 지속적인 연구가 필요한 것으로 생각된다. 불광천 하류(St. 21)에서는 2과 11종이 출현하였으며 하천에 다량의 유기물이 퇴적되어 있고 하천에서 악취가 발생하고 있어 양호한 어류 서식지 회복을 위해서는 수질 개선이 시급한 것으로 판단된다.

안정적인 어류 서식지를 위해서는 서울시에 위치한 한강 지류 중 우이천 하류, 중랑천 하류, 청계천 하류, 탄천 중류와 하류, 도림천 하류, 안양천 하류, 불광천 하류 등은 수질 개선에 시급한 것으로 판단된다. 출현종이 가장 다양한 양재천이 복원된 하천 중 가장 안정적인 어류 서식지로 조성된 것으로 나타났다.

#### 4. 우점종

각 조사 지점의 우점종은 피라미가 14개 지점으로 전체 조사지점의 66.7%로 가장 광범위하였고 대부분 지점에서 우점종이 매우 높았다(Table 3). 피라미는 서울시 한강 지류에서 수질오염, 하천 정비, 자연형 하천복원 등 인위적인 요인에 가장 잘 적응한 어종으로 판단된다. 피라미의 과도한 우점은 다른 어종의 서식에 악영향을 주어 군집의 안정성이 감소하게 되므로 피라미의 우점도를 떨어뜨리고 다른 어종의 종과 개체수 증가를 가져올 수 있도록 하천을 관리하여야 할 것으로 생각된다. 붕어는 중랑천 하류(St. 4), 안양천 하류(St. 17), 홍제천 중류(St. 19) 등에서 우점종으로 출현하였다. 이들 수역은 수질 오염이 매우 심화된 수역으로 붕어가 다른 어종에 비해 유기물 오염에 내성이 강해 우점종으로 출현한 것으로 판단된다. 납자루는 청계천 하류(St. 8), 가시납지리는 목감천 하류(St. 15)에서 우점종으로 출현하였는데 이들 어종은 한강 본류에 서식하던 개체가 산란을 위해 지류역으로 무리지어 이동한 결과로 생각된다. 대륙송사리(*Oryzias sinensis*)는 연못인 서울숲(St. 9), 버들

치는 홍제천 상류역(St. 18)에서 우점종으로 출현하였다. 도심하천 일지라도 상류역에 속하며 수질이 3급수 이상 유지되면 버들치가 우점하는 것이 일반적인 현상이라는 Byeon (2015)의 결과와 일치하였다.

## 5. 군집지수

군집지수는 각 하천별로 우점도, 종풍부도, 종다양도를 분석하였으며 그 결과는 Table 4와 같다. 우점도지수는

Table 3. Dominant and subdominant species at each station from May 2016 to April 2017

Stations	Dominant species	Sub-dominant species
1	<i>Zacco platypus</i> 77.8%	<i>Pungtungia herzi</i> 7.2%
2	<i>Zacco platypus</i> 73.0%	<i>Carassius auratus</i> 12.7%
3	<i>Zacco platypus</i> 64.3%	<i>Hemibarbus labeo</i> 6.6%
4	<i>Carassius auratus</i> 38.1%	<i>Hemibarbus labeo</i> 22.5%
5	<i>Zacco platypus</i> 91.1%	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> 5.2%
6	<i>Zacco platypus</i> 67.8%	<i>Zacco koreanus</i> 14.0%
7	<i>Zacco platypus</i> 67.7%	<i>Pungtungia herzi</i> 14.1%
8	<i>Acheilognathus lanceolatus</i> 30.0%	<i>Zacco platypus</i> 27.4%
9	<i>Oryzias sinensis</i> 37.1%	<i>Pseudorasbora parva</i> 14.2%
10	<i>Zacco platypus</i> 68.5%	<i>Carassius auratus</i> 17.5%
11	<i>Zacco platypus</i> 51.0%	<i>Cyprinus carpio</i> 15.3%
12	<i>Zacco platypus</i> 24.6%	<i>Carassius auratus</i> 22.2%
13	<i>Zacco platypus</i> 34.3%	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> 13.4%
14	<i>Zacco platypus</i> 34.9%	<i>Acheilognathus yamatsutae</i> 15.1%
15	<i>Acheilognathus gracilis</i> 45.3%	<i>Carassius auratus</i> 20.2%
16	<i>Zacco platypus</i> 54.8%	<i>Carassius auratus</i> 28.9%
17	<i>Carassius auratus</i> 31.7%	<i>Zacco platypus</i> 23.6%
18	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> 94.5%	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> 5.5%
19	<i>Carassius auratus</i> 27.2%	<i>Pseudorasbora parva</i> 26.2%
20	<i>Zacco platypus</i> 57.1%	<i>Carassius auratus</i> 15.1%
21	<i>Zacco platypus</i> 51.3%	<i>Carassius auratus</i> 22.7%

Table 4. Community indices in the stream flowing into the Han River from May 2016 to April 2017

Stram	Dominant	Diversity	Evenness	Richness
Danghyeoncheon	0.85	0.87	0.42	1.05
Uicheon	0.86	1.02	0.44	1.53
Jungnangcheon	0.65	1.67	0.67	1.70
Cheonggyecheon	0.76	1.34	0.43	2.90
Seoulsup	0.51	1.95	0.79	2.01
Segokcheon	0.86	1.00	0.46	1.26
Tancheon	0.55	1.88	0.73	2.22
Yanghaecheon	0.47	2.34	0.73	3.71
Mokgamcheon	0.66	1.66	0.58	2.77
Dorimcheon	0.84	1.21	0.55	1.43
Anyangcheon	0.55	1.84	0.80	1.71
Hongjecheon	0.57	1.64	0.75	1.25
Bulgwangcheon	0.74	1.39	0.58	1.72

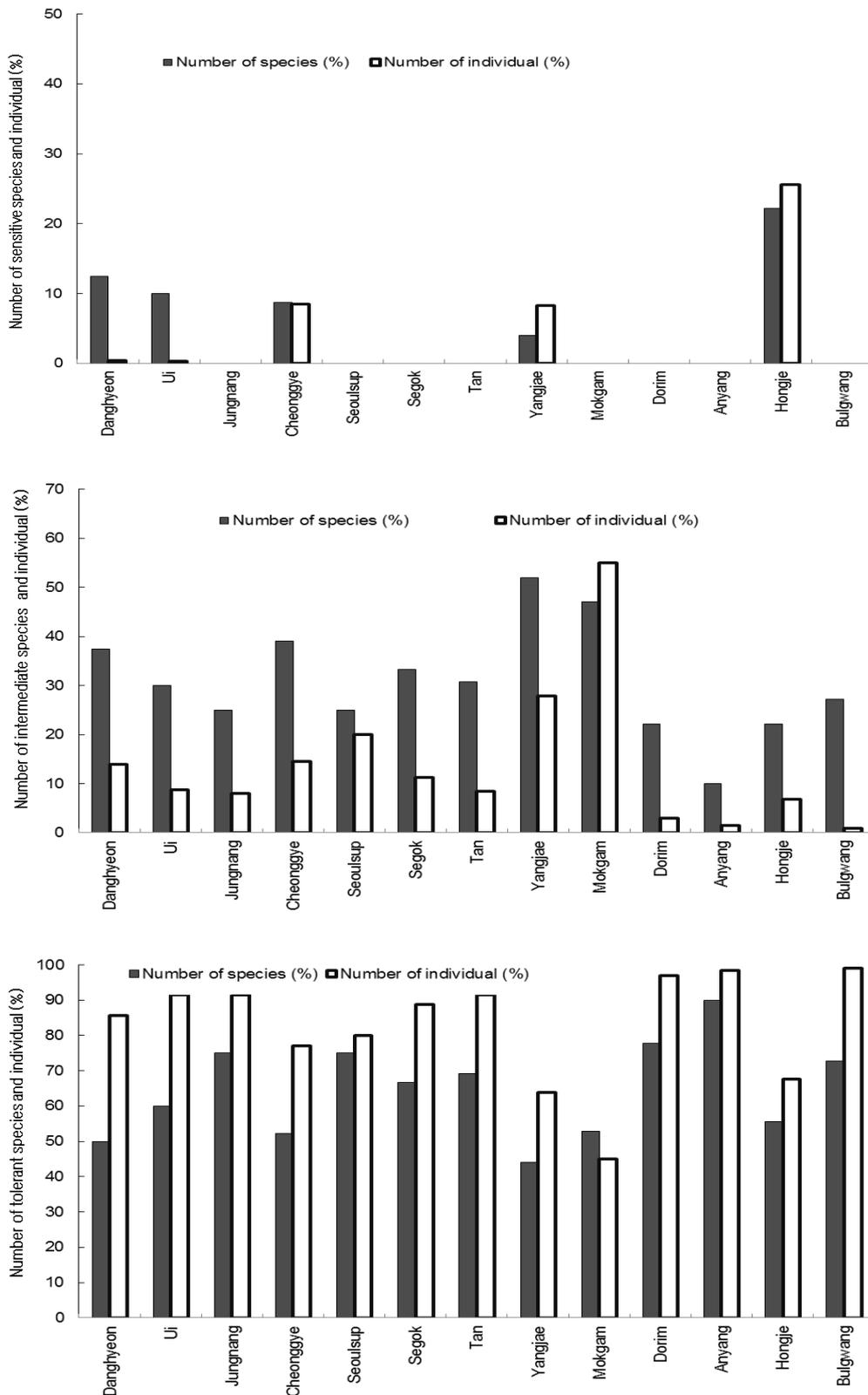


Figure 3. Tolerance, intermediated and sensitive guild in the stream flowing into the Han River

0.47(양재천)~0.86(우이천, 세곡천)로 하천에 따라 다소 차이가 있으나 0.7 이상으로 매우 높은 하천이 6개 하천으로 많았다. 종다양도지수는 0.87(당현천)~2.34(양재천)로 다양하였다. 다양도 지수가 양재천을 제외하고는 모두 2.0 이하로 낮았고 1.5 이하인 하천은 당현천, 우이천, 청계천, 세곡천, 도림천, 불광천 등이었다. 수질오염, 하천정비, 하천복원 등 수환경 교란이 발생한 서울시 한강지류에서는 일부 종의 우점률이 높아 종다양도 지수가 낮게 나타났다. 국내의 산간계류역을 제외한 수역 중 수환경이 양호하고 매우 안정적인 어류군집을 유지하는 수역은 어류 종다양도 지수가 2.0 이상을 유지하며, 종 다양성이 1.5 이하이면 어류군집은 안정성이 미약한 것으로 판단되므로(Byeon, 2014) 서울시 한강 지류 어류 군집은 양재천을 제외하면 매우 미약한 하천이 많았다. 균등도는 0.42(당현천)~0.80(안양천)로 하천에 따른 큰 차이를 보였으며, 종풍부도는 1.25(홍제천)~3.71(양재천)로 다양하였다. 양재천은 하천 복원이 다양한 어류 서식에 긍정적인 요소로 작용한 것으로 생각된다.

6. 어종별 수질에 대한 내성도 및 섭식특성 분석

출현한 41종 중 수질에 대한 내성도 guild를 분석한 결과 민감종(sensitive species)에 속하는 종은 버들치, 참갈겨니,

꺼지 등 3종(7.3%), 중간종(intermediate species)은 16종(39.0%)이었고 내성종(tolerance species)은 22종(53.7%)으로 나타났다. 수질오염과 수환경교란에 쉽게 사라지는 민감종은 개체수 구성비가 홍제천에서 25.62%로 가장 높았다. 이는 조사 지점 중 수환경이 비교적 양호한 홍제천 상류(St. 18)에서 버들치가 다량 출현하였기 때문이다. 서울시 한강지류에서는 중간종과 내성종에 속하는 종이 많았고 민감종에 속하는 종이 가장 적었다. 일반적으로 하천 산간계류를 포함한 상류역을 제외한 수역에도 이와 같은 경향을 보이는데(Choi and An, 2008; Ryu et al., 2010) 서울시 한강지류에서는 민감종의 비율이 매우 적었고 내성종의 비율이 더 높았다. 이는 수질오염과 수환경 교란에 의한 결과로 생각된다. 내성종 어류에 속하는 종의 개체수가 90% 이상을 차지하는 하천은 우이천, 중랑천, 탄천, 도림천, 안양천, 불광천 등으로 이들 하천은 수질오염이 다른 하천에 비해 심한 것으로 판단되며 어류의 안정적인 서식을 위해서는 수질 개선이 시급한 것으로 판단된다. 조사 시기에 따른 각 하천의 내성도 guild 종의 종수와 개체수 상태는 큰 차이가 없었다.

섭식에 있어 서울시 한강 지류에 서식하는 어종은 충식성 12종(29.3%), 잡식성 23종(56.1%), 육식성 6종(14.6%)로 잡식성 어종에 매우 풍부하였다. 보청천에서는 충식성 어종

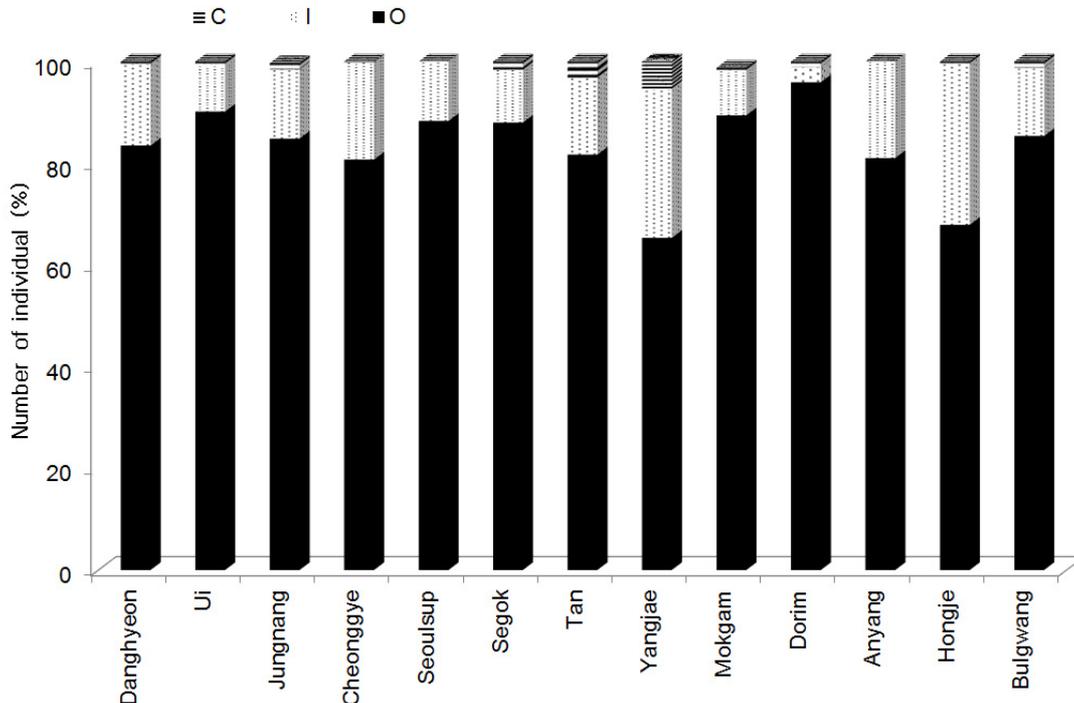


Figure 4. Trophic guild with the stream flowing into the Han River. The abbreviations of as follows: C=Carnivore, I=Insectivore, O=Omnivore

이 영산강 수계에서는 잡식성 어종의 개체수가 가장 많이 출현하여 하천에 따라 차이가 있었으며(Choi and An, 2008; Ryu *et. al.*, 2010) 한강지류 중 홍제천에서는 충식성 어류의 개체수 구성비가 31.8%, 양재천에서 29.1% 다른 하천에 비해 높았는데 이는 상류역에서 충식성인 버들치가 다량 출현하였기 때문이다. 그 외 하천은 20% 이하로 매우 낮았다. 잡식성 어류는 양재천과 홍제천을 제외한 하천에서 모두 80% 이상으로 매우 높았으며 그 중 도림천이 95.9%로 가장 높았다. 내성종과 잡식종의 풍부도는 유기물오염과 서식지 파괴로 수환경의 이·화학적 질적 악화로 어종의 풍부도가 증가하는 경향을 보이는 것으로 알려져 있다(U·S·EPA, 1993). 서울시 한강 지류에 서식하는 어류는 대부분 수질오염과 수환경 악화에 적응된 종들이 서식하고 있었다.

여울저서성 어류(Riffle benthic species)는 하천 수환경이 양호한 수역에 주로 출현하는 어종으로 알려져 있으며(Ministry of Environment, 2010) 본 조사에서는 밀어(*Rhinogobius brunneus*)와 민물검정망둑(*Tridentiger brevispinis*) 2종이 출현하였고 중구성비율이 매우 낮았다. 이들 어종은 청계천, 서울숲, 탄천, 양재천, 목감천 등에 소수 개체가 출현하였다. 정수역인 서울숲에서 여울저서성 어종이 출현한 것은 방류로 인한 것으로 생각된다. 하천복원 시 다양한 여울저서성 어종이 서식하도록 조성하는 것이 바람직하다.

## 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 Jungang Creek, Seoul, Korea. *Korean J. Limnol.* 35(2): 63-70. (in English with Korean abstract)
- 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(3): 695-703. (in Korean with English abstract)
- Byeon, H.K.(2014) The Fish Fauna of Mt. Seongju. *Korean J. Nature Conservation* 12(1-2): 67-77. (in Korean with English abstract)
- Byeon, H.K.(2015) Fluctuation of Introduced Fish and Characteristics of the Fish Community in Lake Soyang. *Korean J. Environ. Ecol.* 29(3): 401-409. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.K., C.R. Jang and H.K. Byeon(2011a) The Characteristic of Fish Fauna by Habitat Type and Population of *Zacco platypus* in the Tan Stream. *Korean J. Environ. Ecol.* 25(1): 71-80. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.K., C.R. Jang and H.K. Byeon(2011b) The Fish Fauna and Population of *Zacco koreanus* in the Upper Region of the Gapyeong Stream. *Korean J. Environ. Ecol.* 25(1): 65-70. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.K. and H.K. Byeon(1999) Fish Community in the Lower Course of Han River. *Korean J. Limnol.* 32(1): 49-57. (in Korean with English abstract)
- 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(3): 374-381. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.W. and K.G. An(2008) Characteristics of Fish Compositions and Longitudinal Distribution in Yeongsan River watershed. *Korean J. Limnol.* 41(3): 301-310. (in Korean with English abstract)
- 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)
- Cummins, K.W.(1962) An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. *Am. Midl. Nat.* 67: 477-504.
- Hellawell, J.M.(1986) Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management, Elsevier, London. pp. 146-178.
- 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 with English abstract)
- Kang, S.H., H.G. Kim and B.H. Koo(2007) A Study on Changing of Flora Pre and Post of Restoration in Cheonggyecheon Stream. *J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 10(3): 8-13. (in Korean with English abstract)
- 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 Ecology and Conservation*, 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)
- Kwater(2007) A Guidebook of River in South Korea. Kwater, Daejeon, 582pp. (In Korean)
- Lee, D.J., H.K. Byeon and J.K. Choi(2009) Characteristics of Fish Community in Gap Stream by Habitat Type. *Korean J. Limnol.* 42(3): 340-349. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.G. and J.K. Choi(2015) The Characteristic of Fish Community Following the Restoration of Yangjae Stream. *Korean J. Environ. Ecol.* 29(6): 873-883. (in Korean with English abstract)

- 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 Journal of Ichthyology. 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: 168-144.
- Ministry of Environment(2006-2013) The 3rd National Ecosystem Survey. (in Korean)
- 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 Wiely & 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(7): 541-552. (in Korean with English abstract)
- 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(2): 255-262. (in Korean with English abstract)
- SMG (Seoul Metropolitan Government)(2017) Investigation and research of Han River ecosystem (VIII). (In Korean)
- Son, Y.M. and H.K. Byeon(2005) The Ichthyofauna and Dynamics of the Fish Community in Miho Stream, Korea. Korean J. Limnol. 17(3): 271-278. (in Korean with English abstract)
- 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.