

청계천에서 수량 감소에 따른 어류군집 변화

변화근*

서원대학교 생물교육과

Variation of Fish Community by Reduced the Amount of Water in Cheonggye Stream, Korea by Hwa-Keun Byeon* (Department of Biology Education, Seowon University, Chungju 28674, Republic of Korea)

ABSTRACT The variation of fish community by reduced amount of water in the Cheonggye Stream was investigation from April to October 2018. Water depth decreased by 10~50 cm according to the stations, compared with 2011, before the amount of water decreased. Twelve species of five families appeared during the survey period. Short barbel gudgeon and *Zacco koreanus* belonging to the Korean endemic species such appeared in the stations. Seven species of *Rhodeus uyekii*, *Acheilognathus yamatsutae*, *Acheilognathus gracilis*, *Hemibarbus labeo*, *Abbottina rivularis*, *Opsariichthys uncirostris amurensis*, and *Erythroculter erythropterus* did not appear in 2018. After the decreased amount water, the fish species which increased rapidly was *Zacco platypus* and increased to 24.9% in the relative abundance of fishes. Dominant species of each station were *Acheilognathus yamatsutae* (St. 4) and *Zacco platypus* (St. 1, 2, 2). Results to water quality tolerance guild analysis of fish, number of species belonging to sensitive species decreased from 34.0% to 8.5%, there was no significant difference intermediate species, and tolerance species increased from 50.2% to 75.5%. Insectivore species sharply decreased from 48.1% to 19.2%, there was no significant difference carnivore and herbivore, and omnivore rapidly increased from 51.6% to 80.7%. Dominant index 0.76 from 0.62 to increased, diversity index 1.80 from 1.33 to reduced, evenness index 0.57 from 0.42 to reduced, and richness index 3.02 from 2.90 to decreased.

Key words: Cheonggye Stream, reduced the amount of water, tolerance guild, trophic guild

서 론

청계천은 인왕산 백운동천에서 발원하여 종로구, 중구, 성동구를 걸쳐 용답동에서 중랑천과 합류되어 한강으로 유입되는 소하천으로 유로길이는 24km이고 유역면적은 50.96km²인 하천이다(Kwater, 2007). 조선 태종 때 하천정비 공사가 진행되어 제방이 축조되었고 또한 하상 준설과 직선화되어 이루어졌으며 1958년에서 1978년 사이에 복개되어 지하 통로로 물이 흘렀다. 2003년 7월부터 2005년 10월 사이에 서울시 광교에서 신담철교에 이르는 유로 길이 5.8km 구간을 복원하였다(Kim and Han, 2005; Choi *et al.*, 2008). 복원된 이후 청계천 생물에 관한 연구에는 수질과 부착조류(Kim and Han, 2005; Park *et al.*, 2007; Shin *et al.*, 2008), 미생물(Park *et al.*, 2008), 어류(Bae *et al.*, 2005; Byeon *et al.*, 2007; Choi *et al.*, 2008; Byeon, 2013) 등이 있다.

복원되기 전에 복개된 청계천에는 어류가 서식하고 있지 않았으며 2005년에 복원된 직후부터 어류 조사가 시작되었으나 어류상과 분포에 대한 조사였으며 생태분석에 대한 내용이 거의 없었다. 복원된 이후 한강 본류와 중랑천에서 일부 어종이 이입되었고 일부 어종은 인위적인 방류로 인하여 어류상의 변화가 있었고 청계천에 서식하는 참갈겨니 *Zacco koreanus*는 인위적인 방류로 예상되며 참갈겨니 서식에 대한 여러 가지 다양한 평가와 논쟁이 지속되고 있다(Byeon, 2013). 청계천은 주변지역과 하천복원 구간 상류는 도심화되어 콘크리트로 덮여 있으며 인왕산에 위치한 최상류역은 소규모 산간계류로 수량이 매우 적어 복원된 구간이 갈수기에는 건천화될 수 있는 상태이다. 따라서 서울시에서는 일정량의 수량을 확보하기 위

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

해 자양취수장에서 물을 끌어온다. 복원 당시에는 잠실대교 부근 자양취수장에서 취수한 98,000t의 한강물과 인근 지하철역의 지하수 22,000t을 합친 120,000t 물이 매일 펌프를 통해 공급되었다. 자양취수장에서 취수한 한강물은 6km의 관로를 따라 이동한 후 뚝도정수장에서 정수와 염소소독 대신 자외선 소독 과정을 거쳐 물고기가 살 수 있는 2급수로 정화된 물은 다시 11km의 관로를 따라 청계광장, 삼각동, 동대문, 성북천 하류 등 4개 지점으로 나누어 흘러가 각각 폭포, 분수, 터널 등을 통해 청계천으로 유입된다(SMG, 2017). 2012년 이후 서울시에서는 청계천 물공급에 대한 예산을 줄이기 위해 하루 120,000t에서 40,000t으로 줄여 현재까지 운영하고 있다. 청계천은 복원 당시에 비해 수량이 약 1/3로 감소하여 유속과 수심이 얕아진 상태이다. 하천에 있어 수량의 감소는 어류상과 어류군집에 많은 변화를 초래하고 있는 것으로 알려져 왔다(Byeon and Son, 2003; Byeon, 2018). 본 연구는 청계천에서 수량 감소가 어류상과 어류군집에 미치는 영향을 파악하고자 실시하였다.

재료 및 방법

청계천 복원 후 수량의 감소로 어류상과 어류군집 변화를 분석하기 위하여 2018년 4월, 8월, 10월 등 총 3회에 걸쳐 청계

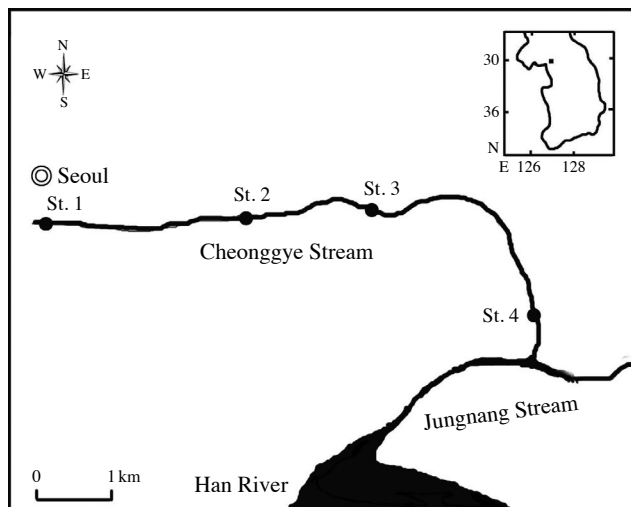


Fig. 1. Study stations in Cheonggye Stream, Korea.

천 복원구간에서 조사를 실시하였다. 조사 지점은 수량 감소가 이루어지기 전인 2011년에 조사된 지점과 동일하게 선정하였다(Fig. 1).

- St. 1: 서울시 중구 종로1가 광고
- St. 2: 서울시 중구 종로 6가 수표교
- St. 3: 서울시 중구 청계8가 황학교
- St. 4: 서울시 성동구 사근동

어류의 채집은 투망(망목 7×7 mm)과 족대(망목 5×5 mm)를 사용하였다. 채집된 대부분의 표본은 계수 및 측정 후 즉시 방류하였고, 일부 표본은 현장에서 10% formalin으로 고정하여 실험실에서 동정하였다. 하상구조는 Cummine (1962)의 방법에 따랐고(B: Boulder (>256 mm), C: Cobble (64~256 mm), P: Pebble (16~64 mm), G: Gravel (2~16 mm), S: Sand (0.06~2 mm)) 채집한 어류의 동정과 분류체계는 Kim (1997), Kim *et al.* (2005) 등의 검색표를 참고하였으며 분류체계는 Nelson (2006)을 따랐다. 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(NIER, 2017)를 따랐다(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).

결과 및 고찰

1. 수환경 특성

2018년 4월에 측정 또는 관찰된 각 조사 지점에서의 수환경은 다음과 같다(Table 1). 광고(St. 1)는 청계천 중·상류로 유속은 4~5 m, 수심은 0.1~0.5 m이었다. 수변부에는 암석과 콘크리트벽이 인접하여 뚝도정수장에서 정수한 물이 인공폭포를 통해 공급되고 있었다. 하상구조는 boulder, cobble, pebble이 7:3:1의 비율로 큰돌이 하천 바닥에 묻혀 있었고 폭포주변은 콘크리트 바닥으로 형성되어 있었으며, 어류 미소서식지 발달이 미약하였고, 급여울을 형성하고 있었다. 수표교(St. 2)는 청

Table 1. The environmental characteristics of sample stations in Cheonggye Stream, Korea

Stations	Stream width (m)	Water depth (m)	Water width (m)	Bottom structure (B:C:P:G:S)	General characteristics
1	12~15	0.1~0.5	4~5	6:3:1:0:0	Poor microhabitat for fish
2	12~15	0.2~0.6	5~7	3:2:3:1:1	Poor microhabitat for fish
3	15~20	0.1~1.0	10~15	0:0:2:3:5	Relatively diverse substrate composition
4	80~120	0.3~0.5	30~40	5:0:0:2:3	Deposition of organic matter on the bottom

계천 중상류로 유폍은 5~7 m, 수심은 0.2~0.6 m이었고 수변부에는 갯벌들 *Salix gracilistyla*, 물억새 *Miscanthus sacchariflorus*가 다량으로 식재되어 생육하고 있었다. 하상구조는 큰돌, 작은 돌, 조약돌이 많았고 광교와 수환경이 거의 동일한 급여울을 이루고 있었다. 황학교(St. 3)는 청계천 중류로 유폍이 10~15 m로 넓어졌고, 수심은 0.1~1.0 m로 교각 밑 부분과 수변부 웅덩이에는 수심이 1 m 이상되는 곳도 분포하였다. 하상구조는 gravel과 mud을 포함한 sand가 많았으며 어류의 미소서식지가 비교적 다양하게 형성되어 있었다. 사근동(St. 4)은 청계천 하류 수역으로 유폍은 30~40 m, 수심은 0.3~0.5 m이었고 돌보가 위치하고 있으며, 낙차가 심하지 않고 수로형 어도가 조성되어 있어 어류 이동에 큰 지장이 없을 것으로 판단된다. 하상은 gravel과 mud을 포함한 san가 많았고 유기물이 다량 퇴적되어 있어 수질이 악화되어 있는 상태이다. 수량이 감소되기 전인 2011년 조사된 결과(Byeon, 2013)에 비해 수심이 지점에 따라 0.1~0.5 m 정도 감소하였으며 수심이 가장 많이 감소한 지점은 St. 3이었고 그 외의 수환경의 특징은 큰 차이가 없었다.

2. 어류상

출현한 어종은 총 5과 21종 1,977개체가었고 잉어과(Cyprinidae)에 속하는 어종이 16종(69.6%)으로 대부분을 차지하였고, 미꾸리과(Cobitidae) 2종, 메기과(Siluridae) 1종, 망둑어과(Gobiidae) 3종, 가물치과(Channidae) 1종이 출현하였다(Table 2). 한국고유종은 잉어과에 속하는 물개 *Squalidus japonicus coreanus*와 참갈겨니 2종(8.7%)이 서식하는 것으로 나타나 고유화빈도가 매우 낮았다. 국내의 고유종은 하천 중류역과 중·상류역 여울부 돌 밑에 서식하는 저서성 종이 대부분이다(Byeon, 2013). 이는 여울부 하천 바닥의 하상에 암반이 매립되어 있어 어류 서식공간이 없어 다양한 고유어종이 서식하기에 부적합한 수환경을 유지하고 있었기 때문이다. 외래도입종은 잉어과에 속하는 비단잉어 *Cyprinus carpio*와 금붕어 *Carassius auratus* 2종이었다. *Cyprinus carpio*와 *Carassius auratus*는 국내 자연하천에서 번식이 이루어지지 않아 토착어종에 미치는 악영향은 매우 적다(Lee et al., 2003). 청계천에서 금붕어와 비단잉어가 출현한 것은 복원 후 방류된 것으로 판단된다.

Table 2. List of fish species and individual number collected in the Cheonggye Stream from 2018

Species	Stations				Total	RA(%)*
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4		
Cyprinidae (잉어과)						
<i>Cyprinus carpio</i> (잉어)		9	21	35	65	3.29
◆ <i>Cyprinus carpio</i> (fancy carp, 비단잉어)				3	3	0.15
<i>Carassius auratus</i> (붕어)		11	25	26	62	3.14
◆ <i>Carassius auratus</i> (gold fishes, 금붕어)		2			2	0.10
<i>Acheilognathus lanceolatus</i> (납자루)				67	67	3.39
<i>Acheilognathus rhombeus</i> (납지리)	1				1	0.05
<i>Acheilognathus macropterus</i> (큰납지리)				1	1	0.05
<i>Pseudorasbora parva</i> (참붕어)	2	1	9		12	0.61
<i>Hemibarbus longirostris</i> (참마자)			1		1	0.05
<i>Pungtungia herzi</i> (돌고기)		49	99	8	156	7.89
<i>Gnathopogon strigatus</i> (줄물개)		1	5	19	25	1.25
* <i>Squalidus japonicus coreanus</i> (물개)	1				1	0.05
<i>Pseudogobio esocinus</i> (모래무지)		6	27		33	1.67
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> (버들치)		23	26		72	3.64
<i>Zacco platypus</i> (피라미)	400	417	474	61	1352	68.39
* <i>Zacco koreanus</i> (참갈겨니)	7	86	2		95	4.81
Cobitidae (미꾸리과)						
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> (미꾸리)		1			1	0.05
<i>Misgurnus mizolpis</i> (미꾸라지)		1			1	0.05
Siluridae (메기과)						
<i>Silurus asotus</i> (메기)				1	1	0.05
Gobiidae (망둑어과)						
<i>Rhinogobius giurinus</i> (갈문망둑)	3				3	0.15
<i>Rhinogobius brunneus</i> (밀어)		4	11	1	16	0.81
<i>Tridentiger brevispinis</i> (민물검정망둑)	1	4		1	6	0.30
Channidae (가물치과)						
<i>Channa argus</i> (가물치)	1				1	0.05
Number of species	9	13	11	11		
Number of individual	439	615	700	223		

*: Korea endemic species, ◆: exotic species, *RA: relative abundance (%)

생태적 특성에 있어 유영성 어류가 18종 (78.3%) 1,916개체 (96.9%)였으며, 저서성 어류는 모래무지 *Pseudogobio esocinus*, 미꾸리 *Misgurnus anguillicaudatus*, 미꾸라지 *Misgurnus mizolpis*, 메기 *Silurus asotus*, 갈문망둑 *Rhinogobius giurinus*, 밀어 *Rhinogobius brunneus*, 민물검정망둑 *Tridentiger brevispinis* 등 7종 (30.4%) 61개체 (3.1%)로 확인되었다. 유영성 어류에 비해 저서성 어류 출현이 매우 적었는데 이는 하상구조에 있어 암석이 매립되어 하상에 어류가 서식할 수 있는 돌밑 공간이 존재하지 않았기 때문이다.

수량이 감소하기 전과 비교하면 출현종 수에서는 큰 차이가 없었으며 2011년 이전에는 출현하였으나 2017년에 출현하지 않은 종은 각시붕어 *Rhodeus uyekii*, 줄납자루 *Acheilognathus*

yamatsutae, 가시납지리 *Acheilognathus gracilis*, 누치 *Hemibarbus labeo*, 벼들매치 *Abbottina rivularis*, 끄리 *Opsariichthys uncirostris amurensis*, 강준치 *Erythroculter erythropterus* 등 7종이었다. 이들 어종은 한강본류역에서 청계천으로 일시적으로 이동하여 서식하는 어종이거나 현재보다 수량 많고 수심이 다소 깊은 곳을 선호하는 어종 이어서 2017년 조사에서 채집되지 않은 것으로 판단된다. 2017년에 새로 출현한 어종은 납자루 *Acheilognathus lanceolatus*, 큰납지리 *Acheilognathus macropterus*, 미꾸리 *Misgurnus anguillicaudatus*, 미꾸라지 *Misgurnus mizolpis*, 갈문망둑 *Rhinogobius giurinus*, 가물치 *Channa argus* 등 6종이었다. 이들 어종 중 미꾸리, 미꾸라지, 갈문망둑 등은 생태적 특징으로 보아 과거보다 수량이 적고

Table 3. List of fish species and individual number collected in the Cheonggye Stream from 2011 and 2018

Species	Type of fish guild			Number of individuals (%)	
	Tolerance guild	Trophic guild	Habitat guild	2011	This study
Cyprinidae (잉어과)					
<i>Cyprinus carpio</i> (잉어)	TS	O		32 (1.56)	65 (3.29)
◆ <i>Cyprinus carpio</i> (fancy carp, 비단잉어)	TS	O		24 (1.17)	3 (0.15)
<i>Carassius auratus</i> (붕어)	TS	O		34 (1.66)	62 (3.14)
◆ <i>Carassius auratus</i> (gold fish, 금붕어)	TS	O		1 (0.05)	2 (0.10)
※ <i>Rhodeus uyekii</i> (각시붕어)	IS	O		3 (0.15)	
※ <i>Acheilognathus yamatsutae</i> (줄납자루)	IS	O		7 (0.34)	
<i>Acheilognathus lanceolatus</i> (납자루)	IS	O			67 (3.39)
<i>Acheilognathus rhombeus</i> (납지리)	IS	O		11 (0.54)	1 (0.05)
※ <i>Acheilognathus gracilis</i> (가시납지리)	IS	O		1 (0.05)	1 (0.05)
<i>Acheilognathus macropterus</i> (큰납지리)	IS	O		1 (0.05)	
<i>Pseudorasbora parva</i> (참붕어)	IS	O		39 (1.90)	12 (0.61)
<i>Hemibarbus labeo</i> (누치)	TS	I		38 (1.85)	
<i>Hemibarbus longirostris</i> (참마자)	IS	I		3 (0.15)	1 (0.05)
<i>Pungtungia herzi</i> (돌고기)	IS	I		158 (7.70)	156 (7.89)
<i>Gnathopogon strigatus</i> (줄물개)	IS	O		12 (0.58)	25 (1.26)
※ <i>Squalidus japonicus coreanus</i> (물개)	TS	O		2 (0.10)	1 (0.05)
<i>Pseudogobio esocinus</i> (모래무지)	IS	I		25 (1.22)	33 (1.67)
<i>Abbottina rivularis</i> (벼들매치)	TS	O		1 (0.05)	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> (벼들치)	SS	I		330 (16.07)	72 (3.64)
<i>Zacco platypus</i> (피라미)	TS	O		893 (43.50)	1352 (68.39)
※ <i>Zacco koreanus</i> (참갈겨니)	SS	I		370 (18.02)	95 (4.81)
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i> (끄리)	TS	C		3 (0.15)	
<i>Erythroculter erythropterus</i> (강준치)	TS	C		2 (0.10)	
Cobitidae (미꾸리과)					
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> (미꾸리)	TS	O			1 (0.05)
<i>Misgurnus mizolpis</i> (미꾸라지)	TS	O			1 (0.05)
Siluridae (메기과)					
<i>Silurus asotus</i> (메기)	TS	C		1 (0.05)	1 (0.05)
Gobiidae (망둑어과)					
<i>Rhinogobius giurinus</i> (갈문망둑)	TS	O			3 (0.15)
<i>Rhinogobius brunneus</i> (밀어)	IS	I	RB	55 (2.68)	16 (0.81)
<i>Tridentiger brevispinis</i> (민물검정망둑)	IS	I	RB	8 (0.39)	6 (0.30)
Channidae (가물치과)					
<i>Channa argus</i> (가물치)	TS	C			1 (0.05)
Number of species				24	23
Number of individual				2053	1977

※: Korean endemic species, (): Relative abundance (%), ◆: Exotic species,

수심이 얇은 곳을 선호하여 출현한 것으로 생각된다. 그러나 이들 어종은 청계천에서 정착하는지에 대한 지속적인 연구가 필요한 상태이다.

3. 개체수 구성비

피라미 *Zacco platypus* (68.4%), 돌고기 *Pungtungia herzi* (7.9%), 참갈겨니 (4.8%), 버들치 *Rhynchocypris oxycephalus* (3.6%), 납자루 *Acheilognathus lanceolatus* (3.4%) 등으로 출현 개체수 구성비가 높았다. 개체수 구성비가 0.1% 이하로 희소 종에 속하는 어종은 금붕어, 납지리, 큰납지리, 참마자 *Hemibarbus longirostris*, 물개, 미꾸리, 미꾸라지, 메기 *Silurus asotus*, 가물치 등이었다 (Table 3). 개체수 구성비가 3% 이상인 종은 모두 유영성 어종이었으며 0.1% 이하로 개체수 구성비가 낮은 어종은 방류한 어종, 하천 하류역과 정체된 수역에 주로 서식하는 어종이었다. 이러한 결과는 하상의 돌 밑면에 어류가 서식할 수 있는 공간이 없어 나타나는 수환경의 특징이다 (Choi et al., 2008). 개체수가 적은 희소종들이 매우 많았는데 이는 미소서식지가 다양하지 않고 단조로운 서식지에도 적응력이 강한 피라미 개체수가 다량 서식하였기 때문이다 (Byeon, 2013). 청계천에서 수량이 감소한 이후 개체수가 급격히 증가한 어종은 피라미였으며 2011년 개체수 구성비는 43.5%, 현재에는 68.4%로 24.9%가 증가하였다. 반면 개체수가 급격히 감소한 어종은 버들치 (12.3% 감소)와 참갈겨니 (13.2% 감소)이었다. 참갈겨니와 버들치의 생태적 특징은 유속이 빠른 급여울보다 여울 사이에 위치하며 수심이 1.5 m 이상 깊고 폭이 5 m 이상 되는 큰 소를 선호하는데 청계천에서 수량이 감소하여 소의 규모가 축소되어 이들 어류의 서식에 악영향을 미친 것으로 판단되며 피라미의 경우 상대적으로 적응도가 높아 우점률이 급격히 상승하였다.

4. 우점종

지점별 우점종은 St. 4에서 납자루 (30.0%)이었고 그 외 지점에서는 피라미이었다. 피라미가 대부분의 지점에서 우점종이었다. 이러한 현상은 Byeon (2013)의 결과와 동일하였다. 아 우점종으로 출현한 어종은 버들치 (St. 1), 참갈겨니 (St. 2), 돌고기 (St. 3), 피라미 (St. 4) 등이었으며 이들 어종은 조사 지점에 따라 차이가 있었다. 청계천은 하상에 암석이 매립되어 있어 저서성 어류가 서식할 수 있는 서식공간이 없고 빠른 유속의 급여울형 수환경을 유지하고 있어 유영성인 피라미가 우점한 것으로 판단된다. 이러한 하상구조의 특성은 복원 당시인 2005년부터 변화 없이 현재까지 유지되고 있었다 (Byeon, 2013). 이는 하상구조와 유로 형태의 변화가 거의 없었기 때문인 것으로 판단된다.

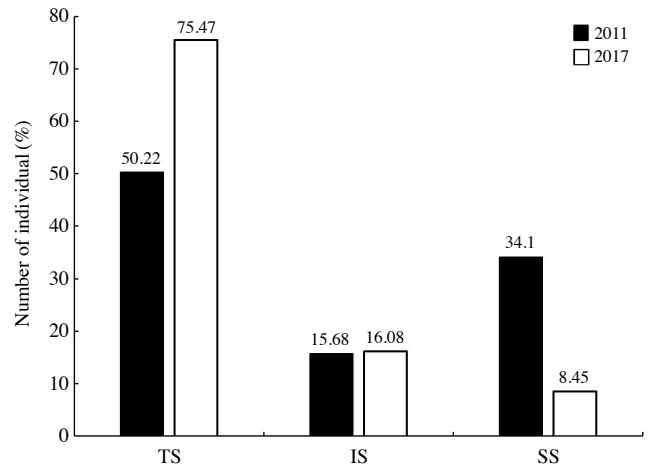


Fig. 2. Tolerance, intermediated and sensitive guild in the Cheonggye Stream.

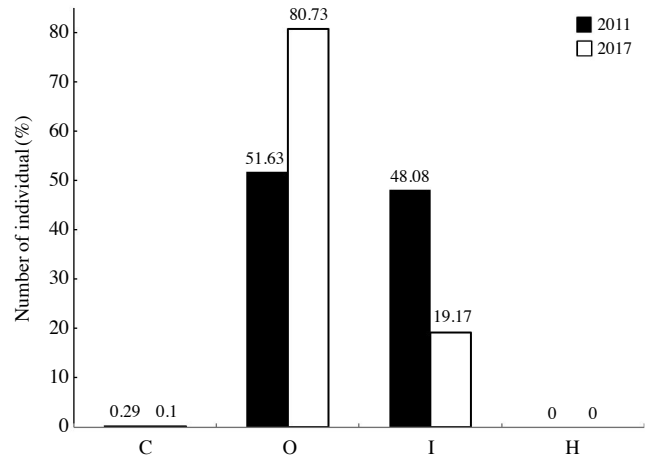


Fig. 3. Trophic guild in the Cheonggye Stream. The abbreviations of as follows: C = Carnivore, I = Insectivore, O = Omnivore.

5. 수질 내성도 및 섭식특성 분석

수량이 감소한 2018년에는 수량이 감소하기 전에 비해 민감종 개체수 비율이 34.0%에서 8.5%로 감소하였고 내성종은 50.2%에서 75.5%로 증가하였으며 중간종은 큰 차이가 없었다 (Fig. 2). 수량이 감소함에 따라 내성종의 개체수가 증가하였는데 이는 피라미 개체수가 증가한 원인이다. 서울시 한강지류 하천에서도 내성종의 개체수가 매우 풍부하여 본 조사결과 거의 동일한 상태를 나타내었다 (Byeon, 2018). 섭식에 있어 총섭식성 개체수 비율은 48.1%에서 19.2%로 급격히 감소하였고 잡섭식성은 51.6%에서 80.7%로 급격히 증가하였으나 육섭식성과 초섭식성은 큰 차이가 없었다 (Fig. 3). 잡섭식종과 내성종은 수질 오염에서 유기물 증가와 서식지 교란으로 어종의 개체수가 증가하며 하천건강성이 악화되는 것으로 보고되어 있다 (U·S·

Table 4. Community indices at each station in the Cheonggye Stream

Stations	Dominant	Diversity	Evenness	Richness
This study				
1	0.96	0.42	0.19	1.31
2	0.82	1.17	0.44	2.02
3	0.82	1.20	0.50	1.53
4	0.57	1.74	0.73	1.85
Total	0.76	1.33	0.42	2.90
2011				
1	0.75	1.38	0.55	1.67
2	0.83	1.24	0.57	1.28
3	0.64	1.87	0.65	2.71
4	0.66	1.64	0.62	2.30
Total	0.62	1.80	0.57	3.02

※2011: Byeon (2013)

EPA, 1993). 청계천에서 수량 감소 이후 내성종과 잡식성 어류의 개체수가 급격히 증가하였는데 이는 하천건강성이 악화된 것으로 판단된다.

서식지 guild에 있어 여울저서성 어류는 자연성과 수환경이 양호한 수역에 주로 서식하는 종이며(NIER, 2017) 수량 감소 전과 후에 각각 밀어 *Rhinogobius brunneus*와 민물검정망둑 *Tridentiger brevispinis* 2종이 채집되었고 개체수 구성비가 매우 낮았다. 서울시에 위치한 한강본류와 지류하천에서도 여울저서성 어류의 출현이 매우 적었다. 이러한 결과는 하상이 작은 돌과 자갈이 풍부한 여울이 잘 발달되어 있지 않아 여울저서성 어류가 서식하기에 부적합한 수환경을 유지하고 있다는 Byeon (2018)의 결과와 일치하였다.

6. 군집지수

우점도지수는 수량감소 후 0.62에서 0.76으로 증가하였는데 이는 우점종인 피라미의 개체수가 급격히 증가하였기 때문이다. 종다양도 지수는 1.80에서 1.33으로 감소하였고 종균등도 지수는 0.57에서 0.42로 감소하였으며 종풍부도지수는 3.02에서 2.90으로 감소하였다(Table 4). 우리나라에서는 상류역 계류를 제외한 수역 중 자연상태가 잘 보존된 수환경에서 안정적인 어류군집을 유지하는 수역은 종다양도 지수가 2.0 이상을 유지하며, 종다양도 지수가 1.5 이하이면 어류군집은 불안정한 상태인 것으로 알려져 있으므로(Byeon, 2018) 청계천은 수량감소 이후 어류군집의 안정성이 더욱 악화되었다.

요 약

청계천에서 수량이 감소한 이후 2018년 4월부터 10월까지 복원된 구간에서 조사하였다. 수량이 감소되기 전인 2011년에

비해 수심이 지점에 따라 1~5 cm 정도 감소하였다. 출현한 어종은 총 5과 21종이었고 고유종은 물개 *Squalidus japonicus coreanus*와 참갈겨니 *Zacco koreanus* 2종이었다. 2018년에 출현하지 않은 종은 각시붕어 *Rhodeus uyekii*, 줄납자루 *Acheilognathus yamatsutae*, 가시납자리 *Acheilognathus gracilis*, 누치 *Hemibarbus labeo*, 버들매치 *Abbottina rivularis*, 꼬리 *Opsariichthys uncirostris amurensis*, 강준치 *Erythroculter erythropterus* 등 7종이었다. 수량이 감소한 이후 개체수가 급격히 증가한 어종은 피라미 *Zacco platypus*였으며 개체수 구성비에 있어 24.9%가 증가하였다. 반면 개체수가 급격히 감소한 어종은 버들치 *Rhynchocypris oxycephalus* (12.3% 감소)와 참갈겨니 (13.2% 감소)이었다. 각 조사 지점에서 우점종은 납자루 *Acheilognathus yamatsutae* (St. 4)와 피라미 (St. 1, 2, 3)이었다. 민감종의 개체수는 34.0%에서 8.5%로 감소하였고 내성종은 50.2%에서 75.5%로 증가하였으나 중간종은 변화가 없었다. 총식성종의 개체수는 48.1%에서 19.2%로 급격히 감소하였고 잡식성은 51.6%에서 80.7%로 급격히 증가하였으며 육식성과 초식성은 큰 차이가 없었다. 우점도지수는 0.62에서 0.76으로 증가, 종다양도 지수는 1.80에서 1.33으로 감소, 종균등도 지수는 0.57에서 0.42로 감소, 종풍부도 지수는 3.02에서 2.90으로 감소하였다.

REFERENCES

- Bae, K.S., I.H. Yeo, G.S. Kim, G.C. Im, J.Y. Kim, H.K. Kil, S.J. Cho, H.J. Jung, M.Y. Seo, J.C. Yoon and M.Y. Kim. 2005. Watercourse restoration and dynamic tendency of fish fauna at the Cheonggye Stream in Seoul, Korea. Seoul Metro. Inst. of Health and Environment, 41: 387-397pp. (in Korean)
- Byeon, H.K. 2013. The fish fauna Changes and characteristics populations of *Zacco Koreanus* in Cheonggye Stream after the rehabilitation, Korea. Kor. J. Env. Eco., 27: 695-703. (in Korean)
- Byeon, H.K. 2018. Characteristic of fish community in the stream flowing into Han River in Seoul, Korea. Kor. J. Env. Eco., 32: 261-273. (in Korean)
- Byeon, H.K., H.C. Lim, O.I. Bae and Y.C. Ham. 2007. Han River ecosystem survey study. Seoul Metropolitan. pp. 276-304. (in Korean)
- Byeon, H.K. and Y.M. Son. 2003. Study on the fish community and microhabitat in the Bokha Stream of Namhan River System. Kor. J. Ichthyol., 15: 295-302. (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. Kor. J. Lim., 41: 374-381. (in Korean)
- Cummins, K.W. 1962. An evaluation of some techniques for the col-

- lection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. *Am. Midl. Nat.*, 67: 477-504.
- 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: 8-13. (in Korean)
- Kim, B.H. and M.S. Han. 2005. Water quality and management ecosystem by valuable of ecological function Cheonggyecheon restoration and periphyton. Institute for Environmental Science, Wonkwang Univ., 13: 37-42. (in Korean)
- Kim, H.G. and B.H. Koo. 2010. Floral changes during three years after Cheonggyecheon restoration. *J. Korean Env. Res. Tech.*, 13: 107-115. (in Korean)
- Kim, H.J., S.H. Kim and S.Y. Kim. 2006. Changes in water quality, flora and vegetation of Cheonggye stream before, during and after its restoration. *Korean J. Environ. Ecol.*, 20: 235-256. (in Korean)
- Kim, I.S. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korean Vol. 37 Freshwater Fishes. Ministry of Education, Yeongi, 629pp. (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. KyoHak publishing Co. Ltd., Seoul, 615pp. (in Korean)
- Kim, U.S. and Y.H. Cho. 2005. Microclimate and ecosystem change survey study of Cheonggye stream and Seoul Forest Construct. Seoul Development Institute, pp. 94-101. (in Korean)
- Kwater. 2007. A guidebook of river in South Korea. Kwater, Daejeon, 582pp. (in Korean)
- Lee, W.O., C.B. Kang, H.U. Park, M.C. Han, J.G. Myeong, C.H. No, K.P. Hong, H.B. Song, B.S. Chae, K.H. Han, J.R. Go and Y.P. Hong. 2003. The introduced fishes of Korea. The Ichthyological Society of Korea. pp. 1-26. (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: 144-168.
- Nelson. J.S. 2006. Fishes of the world (4th ed). John Wiley & Sons, New York, pp. 15-467.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2017. Bio-monitoring survey and assessment manual. National Institute of Biological Resources, Incheon, 306pp. (in Korean)
- Park, M.H., S.J. Hwang, M.Y. Suh, Y.J. Kim and B.H. Kim. 2007. Evaluation of water quality after rehabilitation of Cheonggye stream using AGP Test. *Kor. J. Lim.*, 40: 234-243. (in Korean)
- Park, Y.B., H.T. Lee, S.Y. Kim and G.P. Ko. 2008. Investigation of microbial contaminants and community in restored section of Cheonggyecheon. *J. Korean Soc. Water Environ.*, 2008: 115-116. (in Korean)
- Pielou, E.C. 1975. Ecological diversity. John Wiley, New York, 167 pp.
- Pielou, E.C. 1969. Shannon's formula as a measure of specific diversity. *Am. Nat.*, 1000: 463-465.
- Shin, M.S., B.C. Kim, J.K. Kim, M.S. Park, S.M. Jang, C.W. Jang, Y.K. Shin and Y.J. Bae. 2008. Seasonal variations of water quality and periphyton in the Cheonggyecheon. *Kor. J. Lim.*, 41: 1-10. (in Korean)
- SMG (Seoul Metropolitan Government). 2017. Ecosystem survey study. 8th ed. Seoul Metropolitan Government, pp. 533-572. (in Korean)