

## 복원된 청계천에 서식하는 어류군집의 시공간적 변화

최준길 · 변화근 · 권용수<sup>1</sup> · 박영석<sup>1,\*</sup>

(상지대학교 생명과학과, <sup>1</sup>경희대학교 생물학과, 한국조류연구소)

**Spatial and Temporal Changes of Fish Community in the Cheonggye Stream after the Rehabilitation Project. Choi, Jun-Kil, Hwa-Kun Byeon, Yong-Su Kwon<sup>1</sup> and Young-Seuk Park<sup>1,\*</sup> (Department of Biological Sciences, Sangji University, Wonju, Gangwon-do 220-702, Korea; <sup>1</sup>Department of Biology and The Korea Institute of Ornithology, Kyung Hee University, Seoul 130-701, Korea)**

**Spatial and temporal changes of fish communities were studied at four study sites in the Cheonggye Stream from October 2005 to August 2006 after the rehabilitation process. During the survey period, 19 species in 6 families were sampled. Species *Rhynchocypris oxycephalus* and *Zacco platypus* were identified as dominant species. Korean endemic species such as *Acheilognathus yamatsutae* and *Zacco koreanus* were observed in the sites. Overall, species richness and abundance increased as time passes after the rehabilitation, reflecting colonization process of the fish community. Meanwhile species richness and abundance were higher at the downstream than at the upstream. Community indices such as dominant index, richness index and diversity index showed also similar spatial and temporal pattern. Nonmetric multidimensional scaling (NMDS), multivariate ordination technique, was used to analyze spatial and temporal variation of the fish communities, and the results showed spatial variation of fish communities with high species richness at downstream as well as the temporal variation of fish communities with high values of species richness and diversity index at later part of the study period, presenting colonization process of the fish community after the rehabilitation project.**

**Key words : ichthyofauna, fish community, Cheonggye Stream, temporal changes, ordination, community dynamics, rehabilitation, fish community colonization**

### 서 론

하천생태계는 물이 상류에서 하류로 흐름에 따라 시공간적으로 매우 역동적인 특성을 갖는다. 하천은 다양한 환경 특성에 따라 다양한 생물들의 서식처로서 중요한 기능을 할 뿐만 아니라 에너지 순환에서도 중요한 기능을 담당함으로써 하천생태계가 육상생태계와 단절된 것이 아니라 연속된 생태계를 구성하고 있다(Allan and

Castillo, 2007). 그러나 산업혁명 이후 급속한 인구증가와 함께 도시는 하천을 중심으로 발달하였으며, 이로 인해 하천 수변부는 다양한 목적으로 개발되어 왔다. 이러한 하천의 개발은 하천 고유 자연적 구조를 변형하였으며 하천 고유의 기능을 왜곡 또는 소실하게 하였다. 즉, 하천의 개발은 대부분 이 치수의 기능적인 측면을 고려하여 진행되었으며 하천 고유의 생태적 기능은 고려되지 않았다. 그러나 최근 생태, 환경에 대한 사회적 관심의 증가는 하천을 포함하는 생태계의 친환경적, 친생태적 복원

\* Corresponding author: Tel: 02) 961-0946, Fax: 02) 961-0244, E-mail: parkys@khu.ac.kr

에 대한 욕구를 증가시키고 있다 (Hellawell, 1986; 강 등, 2007).

대표적인 친환경적 하천 복원의 예로는 미국 미시시피 주의 호토피아강, 오스트리아의 알터바흐강, 스위스의 루프강, 일본의 요도가와강 등이 있다 (우와 박, 2000; 강 등, 2007). 우리나라에서는 1995년 시작된 양재천 복원사업이 대표적이며 그 외 많은 복원사업이 진행되었거나 진행되고 있다 (김 등, 2004; 강 등, 2007).

최근 국내외적으로 많은 관심을 받은 청계천 복원은 2003년부터 시작되어 2005년도에 완성되었다 (서울특별시, 2007). 청계천 복원 이전의 연구에서 이 (1976)는 부수성지표종을 이용하여 청계천의 수질을 평가하였으며, 한 (1980)은 이화학적 인자를 이용하여 수질을 평가하였다. 한편 2005년 청계천 복원 공사가 끝난 이후 강 등 (2007)은 식생에 대한 조사 결과, 2005년부터 2006년 사이에 새로운 종이 계속 이입되고 있으며 1년 동안에 60여 종이 증가하였다고 보고하였다. 그리고 박 등 (2007)은 조류를 이용한 청계천의 수질 평가 연구를 발표하였다. 한편 서울특별시보건환경연구원 (2003)에서 복원 전후 청계천의 수질환경과 생태복원성을 비교 평가하기 위해 2003년 3월부터 6월까지 청계천 수계에 대한 수질 및 생물상을 조사하였으며, 복원공사 이후에는 서울시설관리공단에서 매년 서식생물종 분포 조사를 수행하고 있으나 이를 체계적으로 분석 및 보고한 것은 미미하다. 따라서 본 연구에서는 청계천의 복원 이후 이 지역에 나타나는 어류 군집의 지역별 시기별 분포특성을 살펴봄으로써 앞으로 하천생태계 복원의 근거 자료를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지역 및 방법

북악산, 인왕산, 남산 등에서 발원한 수계가 유입되는 청계천은 성동구 마장동을 거쳐 중랑천과 합류되어 한강으로 유입된다. 유로길이는 13.7 km 이고 유역면적은 50.96 km<sup>2</sup>인 지방1급 하천이다 (서울특별시, 2007). 청계천은 조선시대 태종 때 이미 제방축조 및 준설공사를 실시하여 직선화되었으며 1958년에서 1978년 사이에 복개되어 생태적 공간으로 하천의 기능을 상실하게 되었다. 그러나 2003년부터 2005년 사이에 실시된 청계천 복원 공사를 통하여 중구 광교에서 성동구 신답철교에 이르는 5.8 km 구간을 복원하였다.

청계천 복원 공사후 이 지역에 유입되어 서식하는 어

류군집을 분석하기 위하여 청계천 복원구간인 광교에서 중랑천 합류부까지 총 4개 지점 (Site 1~4)을 선정하여 (Fig. 1) 2005년 10월부터 2006년 8월까지 4회 (2005년 10월, 2006년 1월, 5월, 8월)에 걸쳐 조사하였다. Site 1은 서울시 중구 종로1가 광교지점으로 청계천 중상류부, Site 2는 청계천 중상류인 종로6가 오간수교 지점, Site 3은 청계천 중류인 성동구 청계8가 황학교 지점, Site 4는 청계천 하류인 성동구 사근동 지역으로 중랑천과 합류되는 수역이다. 특히 Site 4는 보가 위치하고 있으며, 보 위쪽은 수심이 깊고 정체된 웅덩이가 광범위하게 분포하고 있는 반면, 보 아래쪽은 수심이 얕은 여울이 분포한다. 각 조사지점에서 어류의 채집은 투망 (망목 7 mm × 7 mm)과 족대 (망목 4 mm × 4 mm)를 사용하였다. 채집된 대부분의 표본은 계수 후 즉시 재 방류하였고, 일부 표본은 현장에서 10% 포르말린으로 고정하여 실험실에서 동정하였다. 어류의 동정에는 국내에서 현재까지 발표된 검색표 (內田, 1939; 정, 1977; 김, 1997; 최 등, 2002; 김 등, 2005)를 이용하였고, 분류체계는 Nelson (1994)을 참조하였다. 각 조사지점에서는 어류의 서식환경을 평가할 수 있는 환경인자로 하상구성, 수심, 수폭 등을 각각 조사하였다.

### 2. 군집지수

어류군집 분석을 위하여 각 조사지점 및 시기별로 우점도 지수, 종다양도 지수, 균등도, 종풍부도 등을 조사하였다. 우점도 지수 (DI; McNaughton, 1967)는 각 조사지점별로 개체수 현존량에 의거하여 2종씩을 선정하였으며, 식 (1)을 이용하여 산출하였다.

$$DI = (n_1 + n_2) / N \tag{1}$$

여기서 N은 표본 내의 총 개체수, n<sub>1</sub>과 n<sub>2</sub>는 표본 내의 제1, 2우점종의 개체수를 나타낸다.

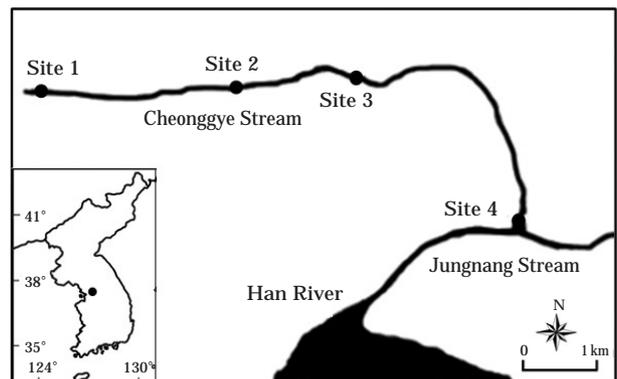


Fig. 1. Study sites in the Cheonggye Stream, Seoul, Korea.

**Table 1.** Environmental characteristics of the sites in the Cheonggye Stream.

Site	Composition of substrate (B : C : P : G : S)*	Depth (cm)	Width (m)	General characteristics
1	7 : 3 : 0 : 0 : 0	20~40	4~5	- Poor microhabitat for fish
2	2 : 3 : 2 : 2 : 1	30~80	5~7	- Relatively diverse substrate composition
3	0 : 0 : 3 : 5 : 2	12~50	10~20	- Small pools
4	0 : 0 : 1 : 4 : 5	30~100	40~60	- Installation of weir - Deposition of organic matter on the bottom

\* (Boulder : Cobble : Pebble : Gravel : Sand), Sand: 0.063~2 mm, Gravel: 2~16 mm, Pebble: 16~64 mm, Cobble: 64~256 mm, Boulder: >256 mm (Cummins, 1962)

종다양도 지수(H'; Shannon, 1948)는 식 (2)를 이용하여 산출하였으며, 이는 군집의 종풍부 정도와 개체수의 상대적 균형성을 의미하며 군집의 복잡성을 나타낸다.

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (2)$$

여기서 S는 전체 종수, P<sub>i</sub>는 i번째 종의 개체수(n<sub>i</sub>) 비율로서 n<sub>i</sub>/N으로 계산된다.

균등도 지수(E; Pielou, 1966)는 종다양도 지수의 최대 값에 대한 실제값의 비로서 군집 내 모든 종의 개체수가 동일할 때 최대가 되므로 결국 균등도 지수는 군집 내 종구성의 균일한 정도를 나타내는 것으로 식 (3)을 이용하였다.

$$E = H' / \ln(S) \quad (3)$$

종풍부도 지수(RI; Margalef, 1958)는 총 개체수와 총 종수만을 가지고 군집의 상태를 표현하는 지수로서 지수 값이 높을수록 종의 구성이 풍부하게 되므로 환경의 정도가 양호하다는 것을 전제로 한다. 종풍부도는 식 (4)를 이용하여 산출하였다.

$$RI = (S - 1) / \ln(N) \quad (4)$$

### 3. 군집 분석

어류군집의 장소와 시간에 따른 변동 특성을 분석하기 위해 다변량분석법의 하나인 비모수다차원척도법(Non-metric multidimensional scaling, NMDS)을 이용하였다. 분석 자료는 각 조사지점별, 시기별 각 종의 개체수를 사용하였으며, 분석은 PC-ORD 소프트웨어(v.4.41; McCune and Mefford, 1999)를 사용하였다. NMDS는 임의의 시작 구성, 실자료의 100회 실행, 실행 당 최대 400번의 반복, 0.00001의 안정 기준과 함께 Bray-Curtis 거리(Faith et al., 1987)를 이용하였다. 또한 99회의 randomization을 수행한 Monte Carlo 테스트를 통해 최종해의 신뢰성을

판단하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 환경 특성

Site 1은 청계천 중상류로 유폍은 4~5 m, 수심은 20~40 cm이었으며, 수변부에는 암석이 인접하여 있으며 버드나무와 초본류가 부분별로 식재되어 있었다(Table 1). 하상구조는 큰돌과 작은 돌이 7:3의 비율로 큰돌이 대부분이었으며, 하천 바닥에 틈이 없이 조밀하게 깔려있었다. Site 2는 청계천 중상류로 수폭은 5~7 m, 수심은 30~80 cm이었다. 수변부에는 갯버들, 물억새가 식재되어 있었다. 하상구조는 큰돌, 작은 돌, 자갈, 모래가 2:3:4:1로 비교적 다양하며, 자갈과 모래가 풍부한 수역이 많이 분포하고 있다. Site 3은 청계천 중류로 수폭은 10~20 m, 수심은 12~50 cm로 교각 밑 부분과 수변부 웅덩이에는 수심이 1 m 내외인 곳이 분포한다. 하상구조는 자갈, 모래, 펄이 3:5:2로 모래가 풍부하였다. Site 4는 청계천 하류로 유폍은 40~60 m, 수심은 30~100 cm이었다. 하상구조는 작은 돌, 자갈, 모래가 1:4:5로 자갈과 모래가 풍부하였다.

### 2. 어류상

조사기간 동안 출현한 어종은 총 6과 19종 686개체이었다(Table 2). 이중 잉어과(Cyprinidae)에 속하는 어종이 13종(68.4%)으로 가장 많은 종수를 차지하였고, 그 다음으로 미꾸리과(Cobitidae)에 속하는 어종이 2종(10.5%)이었다. 그외 메기과(Siluridae), 송사리과(Adrianichthyidae), 망둑어과(Gobiidae), 검정우럭과(Centrachidae)에 속하는 종이 각각 1종씩(5.3%) 출현하였다. 한편 청계천 복원 공사 전인 2003년도에 복개지역에서는 어류가 전혀 발견되지 않았으며(서울특별시보건환경연구

**Table 2.** A list and individual number of fishes collected at each study site in the Cheonggye Stream from October 2005 to August 2006.

Species	Acronyms	Sites				RA (%)*
		1	2	3	4	
<b>Cyprinidae</b>						
<i>Cyprinus carpio</i>	Cyca	11		12	10	4.8
<i>Carassius auratus</i>	Caau	4	12	40	25	11.6
<i>Acheilognathus yamatsutae</i> **	Acya				1	0.1
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	Acrhsf				1	0.1
<i>Hemibarbus labeo</i>	Hela				3	0.4
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pspa		5	41	19	9.5
<i>Pungtungia herzi</i>	Puhe		2			0.3
<i>Abbottina rivularis</i>	Abri		1	1		0.3
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	Rhox	23	11	63	1	14.3
<i>Zacco platypus</i>	Zapl	14	18	120	132	41.4
<i>Zacco temmincki</i>	Zate	3				0.4
<i>Zacco koreanus</i> **	Zako	2				0.3
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	Opun				82	12
<b>Cobitidae</b>						
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	Mian		2		3	0.7
<i>Misgurnus mizolepis</i>	Mimi		1	3		0.6
<b>Siluridae</b>						
<i>Silurus asotus</i>	Sias		1	1		0.3
<b>Adrianichthyidae</b>						
<i>Oryzias sinensis</i>	Orsi				1	0.1
<b>Gobiidae</b>						
<i>Rhinogobius brunneus</i>	Rhbr	1		1	12	2
<b>Centrarchidae</b>						
<i>Micropterus salmoides</i> ♦	Misa				4	0.6
Number of family		2	3	4	5	
Number of species		7	9	9	13	
Number of individuals		58	53	282	293	

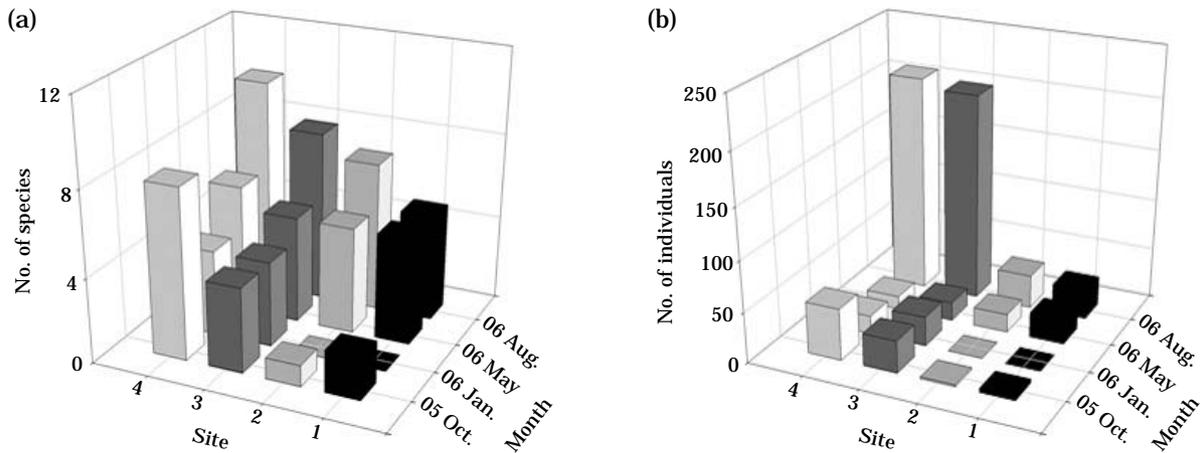
※: Korean endemic species, ♦: Exotic species, \*: Relative abundance

원, 2003), 청계천 하류에서 붕어, 참붕어, 밀어, 그리고 청계천의 발원지 부근에서는 버들치가 서식하는 것으로 알려졌다(서울특별시, 2006).

우리나라에 분포하는 고유 담수어종은 모두 63종(환경부, 2006)이 알려져 있으며, 이 중 본 조사에서는 잉어과에 속하는 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*)와 참갈겨니(*Zacco koreanus*) 2종(10.5%)이 서식하는 것으로 나타났다. 이는 비교적 교란이 적은 한강 상류지역의 홍천강(양 등, 1991)의 41.7%, 내린천(남 등, 1998)의 44.4%, 치악산 계류(변 등, 1994)의 46.2%에 비교하면 고유성이 매우 낮은 편이다. 이러한 차이는 청계천이 복원된 직후로 수환경이 안정화되지 않았으며, 또한 하상에 자갈층과 돌틈이 많은 여울이 광범위하게 분포하고 있지 않았기 때문으로 판단된다. 한국고유종의 존재는 해당 지역의 생물상을 특징짓는 기준이 되는 경우가 많은데(전, 1980), 본 조

사 수역은 고유종의 구성비가 매우 낮아 한강수계 어류상의 특징을 잘 반영하지 못하였다. 이는 조사지역이 자연하천의 서식환경과는 많은 차이가 있다는 것을 제시해 준다.

한편 외래어종은 검정우럭과에 속하는 배스(*Micropterus salmoides*)를 비롯해 잉어과에 속하는 잉어(*Cyprinus carpio*)의 변종인 비단잉어와 붕어(*Carassius auratus*)의 변종인 중국붕어, 금붕어 등이 조사되었다. 이 중 금붕어는 청계천 하류수역인 Site 4를 제외한 나머지 지점 모두에서 확인되었다. 금붕어는 아열대가 원산지로 국내의 하천에서는 자연 산란이 이루어지지 않아, 토착어종에 직접적인 악영향은 크지 않은 것으로 알려져 있다(이 등, 2003). 배스의 경우에는 청계천 하류인 Site 4의 중랑천 합류부에 국한되어 분포하였고, 4개체의 치어가 조사되었다. 이는 배스가 정수역을 선호하는 생태적 특성을 지녔다는 것을 반영해 주며, 한강 본류와 중랑천에 서식



**Fig. 2.** The changes of the number of species (a) and the number of individuals (b) at different sampling sites and sampling months in the Cheonggye Stream.

하던 일부 개체가 이동하여 서식하는 것으로 판단된다. 배스는 우리나라 환경부 지정 생태계 교란 야생동·식물(환경부, 2008)에 속하는 종으로, 출현량이 전체 출현 개체수의 0.6%에 해당되어 그 비율은 낮지만 이들의 밀도가 계속 증가하게 된다면 토착어종에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 이들에 대한 지속적인 모니터링이 요구된다.

어류의 특성에 따른 분류에서 잉어와 같은 유영성 어류가 15종(78.9%) 661개체(96.4%)로 가장 많았으며, 밀어(*Rhinogobius brunneus*)를 비롯한 저서성 어류는 4종(21.1%) 25개체(3.6%)로 매우 빈약하였는데 이는 복원하는 과정에서 하천 바닥에 큰 돌을 매립하여 돌 밑 부분에 저서성 어류가 서식할 수 있는 공간이 적고, 다공층을 형성하는 자갈 바닥이 적었기 때문으로 판단된다. 또한 잡식성과 초식성에 속하는 어종이 다량 서식하고 있으며, 특히 피라미(*Zacco platypus*) (41.4%)와 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*) (14.3%)의 개체수가 매우 풍부하였다.

그러나 2006년 1월을 제외한 2006년 5월과 8월의 조사에서는 각각 10종 74개체, 14종 476개체로 산란기인 여름철로 접어들며 개체수가 증가하였다(Fig. 2). 이는 복원 공사 이후 청계천에서 어류군집이 형성되어 가는 과정을 보여주는 것으로 사료된다. 그리고 이러한 종의 증가는 한강 본류와 중랑천에서 자연적으로 유입된 종과 인위적인 방류에 의한 결과로 판단되며, 잉어의 변종인 비단잉어, 붕어의 변종인 중국붕어와 금붕어, 참갈겨니, 미꾸라지 등은 인위적인 방류에 의한 것으로 추정된다. 한편 수온이 낮은 산간 계곡 등에서 주로 서식하는 버들

치는 북악산 및 인왕산 상류지역에서 서식이 보고(서울특별시, 2006)되었으나 한강 본류에는 서식할 수 없다는 것을 고려한다면 상류로부터 내려왔거나 인위적 방류에 의한 것으로 사료된다. 건강하고 안정된 수생태계가 형성되게 하기 위해서는 어류의 인위적인 방류는 엄격히 규제되어야 할 것으로 판단된다.

### 3. 조사지점별 특징

조사지점별 어류의 분포를 보면 중상류인 Site 1에서 2과 7종 58개체, Site 2에서 3과 9종 53개체, Site 3에서 4과 9종 282개체, 하류 Site 4에서 5과 13종 293개체가 출현하여 중상류보다는 하류에서 보다 많은 종수와 개체수가 채집되었다(Table 2). 중상류지점인 Site 1과 Site 2에서 출현종이 빈약하였는데, 이는 Site 1은 수변부에 내만형 웅덩이가 형성되어 있지 않았으며 하상 구성에 있어 큰 돌이 차지하는 비율이 높아 어류 서식 공간이 부족하였기 때문인 것으로 사료된다. 또한 Site 2의 경우 Site 1과는 달리 하상구성은 큰 돌, 작은 돌, 자갈, 모래가 2:3:4:1로 비교적 다양하였지만(Table 1), 수심이 얕고 유속이 좁아 상대적으로 어류의 서식 공간이 부족한 것으로 판단된다. 반면 Site 4에는 보가 존재하여 깊고 정체된 웅덩이와 수심이 얕은 여울이 함께 위치함에 따라 미소서식지가 다양하게 발달하여 어류의 서식지로 사용되기 때문으로 사료된다.

조사지점에 따른 각 종의 분포를 살펴보면, 잉어과에 속하는 종들은 조사지점에 따라 고른 분포를 보였다(Table 2). 특히 갈겨니, 참갈겨니는 Site 1에서만 조사된

반면, 돌고기 (*Pungtungia herzi*)는 Site 2에서만 조사되었다. 또한 수심이 깊고 모래나 자갈로 구성된 하상구조를 선호하는 줄납자루, 납지리 (*Acheilognathus rhombus*), 누치 (*Hemibarbus labeo*)는 Site 4에서만 조사가 되었다. 반면 붕어, 버들치, 피라미는 전체 조사지점에서 모두 나타났다. 한편 망둑어과의 밀어 (*Rhinogobius brunneus*)가 Site 1에서 1개체가 조사된 것을 제외하고 Site 2 지점 이후의 하류 지역에서 주로 채집 되었다.

본 조사에서 채집된 19종 중 피라미가 284개체 (41.4%)로 가장 높은 밀도를 보였으며, 버들치가 98개체 (14.3%)로 다음으로 많았다 (Table 2). 또한 버들치는 조사지점 중 가장 상류역인 Site 1에서 우점종이었고 (39.7%), 그 이외의 지점에서는 피라미가 우점종이었다. 조사 지점별로 아우점종은 Site 1에서는 피라미, Site 2에서는 버들치와 붕어, Site 3에서는 버들치, Site 4에서는 끄리로 나타났다. 이러한 경향은 상류부는 유속이 빠른 계류형의 수환경을 나타내고 있어 피라미와 버들치 등 유형성 어류가 우점한 것인데 비해, Site 4에서는 보가 있어 정체된 수역이 광범위하게 분포하므로 수심이 깊은 곳을 선호하는 끄리가 높은 밀도로 출현하였다. 특히 출현종 중 가장 많은 개체수 (284개체)가 조사된 피라미의 경우 2006년 8월 Site 3과 Site 4에서 전체 피라미 개체수의 57.7% (164개체)에 해당하는 높은 개체수 분포를 보였다. 한편 줄납자루, 납지리, 누치 등 개체수가 1% 이하로 채집된 희소종들이 많았는데 이는 수환경이 안정화되지 않은 상태에서 적응력이 강한 피라미, 붕어 등 일부 어종의 개체수가 급격히 증가하였기 때문으로 판단된다.

4. 군집지수 변동

각 조사지점별 조사시기에 따른 어류군집의 종풍부도 지수는 미소서식지 환경이 다양한 하류지역 Site 4가 중상류지점인 Site 1에 비해 높게 나타났다 (Table 3). 특히 조사 지점 중 미소서식지가 가장 잘 조성된 Site 3과 Site 4에서 종다양도 지수와 종풍부도 지수가 다른 조사지점에 비해 조사기간 내내 고르고 높게 나타나 상대적으로 안정적인 군집을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 전반적으로 종다양도 지수는 2.0 이하로 낮게 나타났다. 또한 채집이 되지 않은 2006년 1월의 Site 1과 Site 2, 그리고 1종만 출현한 2005년 10월의 Site 2를 제외한 나머지 조사 시기별 조사지점에서 균등도 지수는 0.50~0.95로 2005년 10월 Site 3에서 가장 낮았으며, 2006년 1월 Site 4에서 가장 높게 나타났다.

우점도 지수는 2005년 10월에 Site 1과 Site 2에서 가

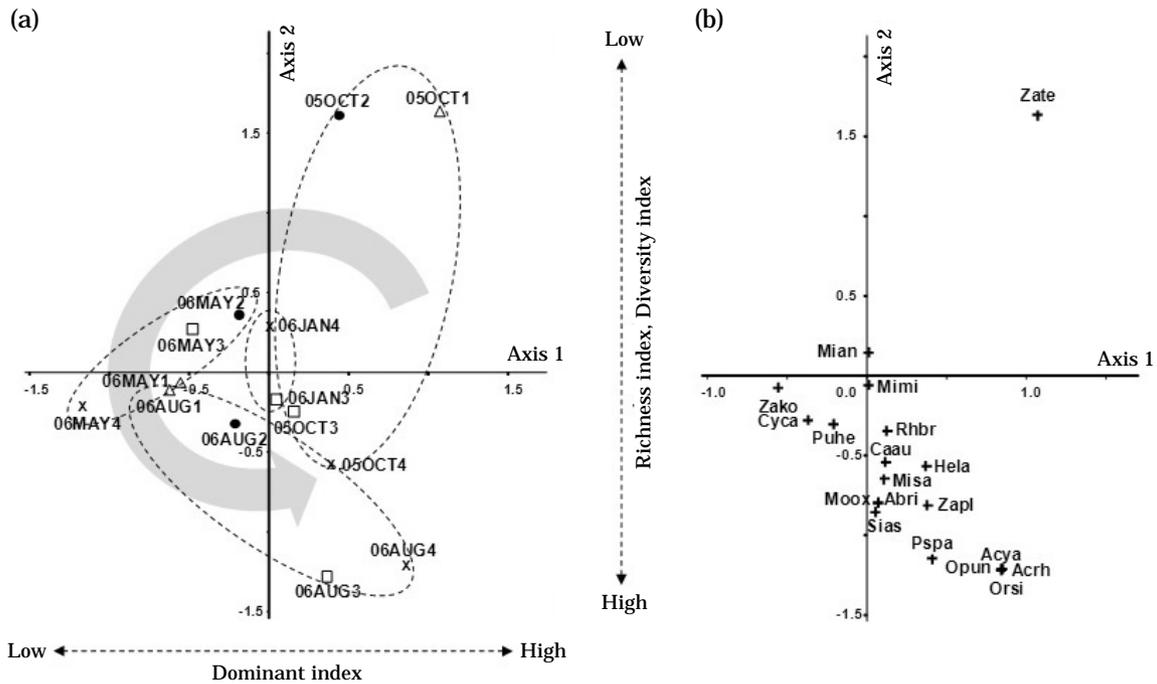
Table 3. Community indices according to each sample site and sample month of the Cheonggye Stream.

Community indices	Sites	2005		2006	
		Oct.	Jan.	May	Aug.
Richness index (RI)	1	0.72	-	1.24	1.19
	2	0.00	-	1.38	1.72
	3	0.87	0.89	1.38	1.32
	4	1.78	1.04	1.95	1.68
Dominance index (DI)	1	1.00	-	0.64	0.69
	2	1.00	-	0.72	0.61
	3	0.94	0.86	0.72	0.67
	4	0.78	0.61	0.69	0.81
Diversity index (H)	1	0.56	-	1.45	1.30
	2	0.00	-	1.37	1.64
	3	0.70	1.01	1.35	1.43
	4	1.14	1.32	1.48	1.32
Evenness index (E)	1	0.81	-	0.90	0.81
	2	0.00	-	0.85	0.84
	3	0.50	0.73	0.84	0.69
	4	0.55	0.95	0.83	0.57

장 높았는데, 이는 Site 1과 Site 2의 출현 종수가 각각 2종과 1종만 나타났기 때문이다. 또한 2006년 1월의 조사가 되지 않은 Site 1과 Site 2를 제외한 전체 조사 시기에 따른 조사지점에서의 우점도 지수가 0.6 이상으로 높게 나타났는데, 이는 점유율이 높은 일부 종이 해당 지점에서 다량으로 출현하였기 때문이다.

5. 어류군집 분석

NMDS를 이용한 어류군집의 다변량분석 결과의 신뢰성을 판단하기 위한 Monte Carlo 테스트 결과, 제1축과 제2축에 대하여 각각 유의한 결과를 보였으며 (p=0.01). 청계천에서 채집된 어류군집의 NMDS ordination 결과 조사시기에 따른 시기별 분포 유형이 비교적 뚜렷하게 나타났다 (Fig. 3). Ordination의 제1축과 제2축은 각각 20.4과 8.2의 스트레스 값이었으며, Monte Carlo 테스트를 실시한 결과 유의성을 보였다 (p=0.01). 각 축에 대한 분산분석 결과 제1축과 제2축은 결정계수 (r<sup>2</sup>)가 각각 0.35과 0.47로 전체 분산의 82%를 설명하였다. 특히 제1축은 2005년 10월의 표본들이 NMDS ordination의 오른쪽에 위치한 반면 2006년 5월의 표본들은 NMDS ordination의 왼쪽에 위치해 봄과 가을의 특성을 보였다. 또한 제1축은 우점도 지수와 유의한 양의 상관관계 (r=0.62, p<0.05)를 보였는데 이는 2005년 10월에는 피라미와 같이 점유율이 높은 종들이 다른 종들에 비해 높은



**Fig. 3.** The NMDS ordination of fish communities sampled at four sites in the Cheonggye Stream from October 2005 to August 2006 (Axis 1,  $r^2=0.35$ ; Axis 2,  $r^2=0.47$ ). (a) ordination of samples, and (b) ordination of species. Acronym of each species is given in Table 2.

출현율을 보여 상대적으로 높은 우점도 지수를 보였으나, 2006년 5월에는 전체 출현종들이 고른 출현 빈도를 보여 상대적으로 낮은 우점도 지수를 나타냈다. 이에 비해 제2축은 종풍부도 지수( $r=-0.70$ ,  $p<0.05$ ) 및 다양도 지수( $r=-0.68$ ,  $p<0.05$ )와 유의한 음의 상관관계를 보였다. 제2축의 아래쪽에 위치하는 2006년 8월은 풍부한 종의 출현이 있었으며, 또한 다른 지점들에 비해 Site 3과 Site 4의 경우 미소서식지가 발달되어 있어 다양한 어류의 출현이 용이해 높은 다양도 지수를 보였다. NMDS ordination에 따른 종의 분포에서는 대부분의 종들이 축의 제3사분면과 제4사분면에 위치하였다 (Fig. 3). 이러한 NMDS ordination에서의 종 분포는 어류의 산란에 따른 개체수의 증가에 인한 것으로, 어류의 개체수가 가장 높게 증가하는 시기인 2006년 8월의 군집 분포와 유사하였다. 또한 NMDS ordination에서 같겨니는 2005년 10월 Site 1 지점에서만 3개체가 조사되어 제1사분면의 위쪽에 위치한 2005년 10월 Site 1의 표본과 동일하게 위치하였다. NMDS는 생태적 자료의 분석에 있어 다른 ordination 기법들에 비해 보다 적합한 방법이다 (Kenkel and Orloci, 1986). 이는 생물군집이 환경 인자와 연관되지 않고, normality를 가정하지 않더라도 NMDS에서는 군집 구조를 무시하지 않기 때문에 생태 자료와 같은 비

선형성을 내포한 자료의 군집 분석에 적합하기 때문이다 (McCune and Grace, 2002; Laughlin *et al.*, 2007).

마지막으로 본 연구는 복원 공사 후 약 1년간에 걸친 조사 결과로서 2006년 이후 계속 진행되는 모니터링 결과와 비교 분석이 이루어진다면 하천 복원 공사 후 형성되어 가는 어류군집의 천이를 보다 잘 밝힐 수 있을 것이며, 또한 이를 통해 어류의 서식처 적합성 평가 등을 실시하여 하천 복원에 중요한 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 적 요

2005년 10월부터 2006년 8월까지 청계천에서 어류상과 어류군집을 조사한 결과, 채집된 어류는 총 6과 19종이었으며 이중 한국고유종에 속하는 종은 줄납자루, 참갈겨니 등 2종(10.5%)이었다. 조사지점별 어류 발생은 Site 1에서 2과 7종 58개체, Site 2에서 3과 9종 53개체, Site 3에서 4과 9종 282개체, Site 4에서 5과 13종 293개체가 출현하였으며, 지점별 우점종은 버들치(Site 1)와 피라미(Site 2, 3, 4)이었다. 미소서식지가 잘 발달된 하류지점 Site 4에서 종다양도 지수, 종풍부도 지수가 다른 조사

지점에 비해 조사시기 동안 고르고 높게 나타나 다른 조사지점에 비해 비교적 안정적인 어류군집을 형성하였다. 또한 비모수다차원척도법(NMDS)를 이용한 어류군집의 시공간분석을 실시한 결과 어류군집은 하류에서 높은 종 풍부도를 보여 장소에 따른 차이를 보였으며, 또한 종 풍부도 및 종다양도가 조사 후반부에 가장 높게 나타나 어류군집의 시간적 변동을 구분해 줌으로써 청계천 복원 공사 후 어류군집이 형성되고 점차 안정화되어 가고 있는 것을 반영해 주었다.

인 용 문 헌

강수학, 김형국, 구분학. 2007. 청계천 복원 전·후의 식물상 변화 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 **10**(3): 8-13.

김익수. 1997. 한국동식물도감. 제37권 동물편 (담수어류). 교육부.

김익수, 최 윤, 이충렬, 이용주, 김병직, 김지현. 2005. 원색한국 어류도감. 교학사.

김창원, 우효섭, 이두환. 2004. 하천복원의 허와 실. 춘천 물포럼. p. 607-648.

남명모, 양홍준, 채병수, 강영훈. 1998. 내린천의 어류상과 군집 구조. 한국어류학회지 **10**: 61-66.

박명환, 황순진, 서미연, 김용재, 김백호. 2007. 조류성장잠재력 조사를 이용한 청계천 복원 이후 수질 평가. 한국육수학회지 **40**(2): 234-243.

변화근, 조규승, 최재석, 최준길, 송병용. 1994. 치악산(부곡) 계류 어류의 월별 군집구조와 서식밀도. 한국육수학회지 **27**: 257-273.

서울특별시. 2006. 청계천복원사업 백서. 서울특별시.

서울특별시. 2007. 2006 환경백서: 서울의 환경. 서울특별시, 서울. 598p.

서울특별시보건환경연구원. 2003. 청계천 생태계 조사 보고서. 서울특별시보건환경연구원.

양홍준, 채병수, 남명모. 1991. 홍천강 상류수역의 추계어류상. 한국육수학회지 **24**: 37-44.

우형섭, 박재로. 2000. 하천복원의 이해와 국내외 사례. 한국수자원학회지 **33**(6): 15-28.

이완욱, 강중배, 박현우, 한명철, 변화근, 명정구, 노충환, 홍경표, 송호복, 채병수, 한경호, 고정락, 홍영표. 2003. 국내에 도입된 외래어 현황. 한국어류학회, 구룡문화사. 53p.

이학동. 1976. 오수생물학적지표생물에 의한 청계천의 오염도에 대한 연구. 한국육수학회지 **9**(1-2): 49-53.

전상린. 1980. 한국산 담수어의 분포에 관하여. 중앙대박사학위논문. 서울.

정문기. 1977. 한국어도보. 일지사, 서울.

최기철, 전상린, 김익수, 손영목. 2002. 개정원색한국담수어도감. 향문사.

한경남. 1980. 수질지표를 적용한 청계천의 수질평가. 대한보건협회지 **6**(2): 59-65.

환경부. 2006. 제3차 전국자연환경조사 지침. p. 215-228.

환경부. 2008. 우리가 지켜야 할 한국의 야생동식물: 생태계교란 야생동식물. <http://nre.me.go.kr> (2008년 5월 10일 온라인접속).

内田惠太郎. 1939. 조선어류지. 조선총독부 수산시험장보고 **6**: 1-460.

Allan, J.D. and M.M. Castillo. 2007. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. Springer, Dordrecht, the Netherlands.

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.

Faith, D.P., P.R. Minchin and L. Belbin. 1987. Compositional dissimilarity as a robust measure of ecological distance. *Vegetation* **69**: 57-68.

Hellawell, J.M. 1986. Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management, Elsevier, London.

Kenkel, N.C. and L. Orloci. 1986. Applying metric and non-metric multidimensional scaling to ecological studies: some new results. *Ecology* **67**: 919-928.

Laughlin, D.C. and S.R. Abella. 2007. Abiotic and biotic factors explain independent gradients of plant community composition in ponderosa pine forests. *Ecol. Model.* **205**: 231-240.

Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.* **3**: 36-71.

McCune, B. and J.B. Grace. 2002. Analysis of Ecological Communities. MjM Press.

McCune, B. and M.J. Mefford. 1999. PC-ORD: Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 4.41. MjM software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.

McNaughton, S.J. 1967. Relationship among functional properties of California grassland. *Nature* **216**: 168-169.

Nelson. J.S. 1994. Fishes of the World (3rd ed). John Wiley & Sons, New York.

Pielou. E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theoret. Biol.* **13**: 131-144.

Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* **27**: 379-423 and 623-656.

(Manuscript received 15 June 2008, Revision accepted 29 August 2008)