

## 보령 대천천의 어류상과 어류 군집 특성<sup>1a</sup>

송미영<sup>2</sup> · 정승윤<sup>2</sup> · 김경환<sup>2</sup> · 백재민<sup>2</sup> · 이완옥<sup>2\*</sup>

### Characteristics of Fish Fauna and Community Structure in Daecheon Stream in Boryeong, Korea<sup>1a</sup>

Mi-Young Song<sup>2\*</sup>, Seung-Yoon Jung<sup>2</sup>, Kyung-Hwan Kim<sup>2</sup>, Jae-Min Baek<sup>2</sup>, Wan-Ok Lee<sup>2\*</sup>

#### 요약

하천에 설치된 인공구조물이 어류군집의 분포에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 2012년 4월부터 10월까지 서해로 유입되는 독립하천인 대천천에 서식하는 어류상을 조사하였다. 본 연구에서 확인된 어류는 총 13과 42종이었으며, 개체수에 있어서 우점종은 *Zacco platypus*(32.3%)와 *Tridentiger brevispinis*(12.8%)가 우점하였고, 생체량에 있어서는 *Z. platypus*(27.7%)와 *Chelon haematocheilus*(11.9%)가 풍부하였다. 한국고유종은 8종(19.9%), 법적보호종인 *Rhodeus pseudosericeus*, 회유성어종인 *Anguilla japonica*, 외래도입종인 *Carassius cuvieri*와 *Micropterus salmoides*가 출현하였다. 우점종인 *Z. platypus* 개체군의 전장-체중의 관계식에 의한 회귀계수  $b$ 값은 3.21~3.29, 비만도지수는 평균 0.89로 비교적 양호한 성장도를 유지하고 있었다. 유사도분석을 통한 대천천의 어류군집은 청천저수지 상류구간(St. 1), 성업사보 하류구간(St. 5)과 St. 2~4 구간의 세 그룹으로 나뉘어졌으며, 조사지점별 우점종은 *Zacco koreanus*(St. 1), *Z. platypus*(St. 2~4), *T. brevispinis*(St. 5) 등 이었다. 대천천의 어류군집은 하천에 설치된 인공구조물인 저수지와 보에 의해 뚜렷하게 나뉘어졌다.

주요어: 한강납줄개, 피라미, 전장-체중 관계식, 유사도분석, 인공구조물

#### ABSTRACT

The ichthyofauna and fish community were studied in Daecheon Stream from April to October 2012. During the survey period a total of 42 species belonging to 13 families were collected. Dominant species by number was *Zacco platypus*(32.3%) and *Tridentiger brevispinis*(12.8%). In biomass, the dominant species was *Z. platypus*(27.7%) and *Chelon haematocheilus*(11.9%). Also, eight Korean endemic fish species and one endangered species (*Rhodeus pseudosericeus*) were collected. In addition, two exotic species(*Carassius cuvieri* and *Micropterus salmoides*) and migration fish species(*Anguilla japonica*) were observed. Based on the length-weight relationship of *Z. platypus*, the  $b$  value was 3.21~3.29, and the condition factor(K) was 0.89 on average with stable condition. According to similarity analysis, fish communities in Daecheon Stream were divided into three groups; the upper reaches near a reservoir(St. 1), the middle reaches (St. 2 to 4) and the lower reaches near a weir(St. 5). Dominant species at each group were *Zacco koreanus*(St. 1), *Z. platypus*(St. 2 to 4) and *T. brevispinis*(St. 5). This result suggested that artificial structures such as dam and a weir have a marked effect on the distribution of fish communities in Daecheon Stream.

1 접수 2013년 7월 12일, 수정 (1차: 2013년 8월 30일), 게재확정 2013년 8월 31일

Received 12 July 2013; Revised (1st: 30 August 2013); Accepted 31 August 2013

2 국립수산물과학원 중앙내수면연구소 Inland Fisheries Research Institute, NFRDI, Gapyeong-gun, Gyeonggi-do 477-815, Korea  
a 이 논문은 국립수산물과학원 중앙내수면연구소(과제번호 13-OE-24, RP-2013-FR-056)의 지원으로 연구되었음.

\* 교신저자 Corresponding author: wolee@korea.kr

**KEY WORDS: *Rhodeus pseudosericeus*, *Zacco platypus*, LENGTH-WEIGHT RELATIONSHIP, SIMILARITY ANALYSIS, ARTIFICIAL STRUCTURE**

## 서론

일반적으로 하천의 구배가 완만해지는 상류에서 하류로 갈수록 서식처가 다양해짐에 따라 어류의 종 풍부도, 밀도와 생체량이 증가하는 경향을 보이며(Ostrand and Wilde, 2002; Vila-Gispert *et al.*, 2002; Dodds and Whiles, 2010), 국내의 하천이나 강에 서식하는 어류군집도 상류에서 하류로 내려감에 따라 종수가 증가되는 경향이 많이 보고되었다(Kim *et al.*, 1993; Choi and Kim, 2004; Lee *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2009; Ko *et al.*, 2011; Kwon *et al.*, 2012). 또한 바다로 직접 유입하는 하천의 기수역은 담수와 해수가 교차되면서 담수에서 다량의 영양염류가 유입되어 먹이생물이 풍부하여 다양한 어류들이 서식하는 것으로 알려져 있다(Abookire *et al.*, 2000).

우리나라는 문순기후의 영향 및 국지성 집중호우 등으로 연간 강수량의 약 2/3 이상이 여름철에 집중되고, 봄철에 가뭄이 지속되므로 농업용수 확보를 위한 댐과 보가 대부분의 하천의 상·하류에 설치되어 있다(EKR, 2010). 그러나 수량 조절 및 수자원 관리를 위해 하천에 설치된 인공구조물은 하천의 연속성을 차단하여 하천 생태계를 단편화시키는 요인이 되며(Poff *et al.*, 1997), 기수역의 경우 하천에서 유입되는 영양염과 수생생물이 감소되면서 연안생태계의 물질순환에도 영향을 주게 된다(March *et al.*, 2003). 국내의 경우에도 낙동강 하구둑의 설치로 인하여 하구역의 상부에는 담수어류 군집이 독의 하류에는 연안 해양어류로 변화되고, 산란지 및 생육장으로 이용하는 어류가 줄어들었다고 보고되었다(Yang *et al.*, 2001; Kang *et al.*, 2012). 댐과 보는 수로의 수류, 탁도와 침전 속도 등 물리적 특성을 변화시켜 생물군집의 서식환경에 영향을 준다(Kang *et al.*, 2012). 또한 높이 15 m 이상의 대형 댐(Poff and Hart, 2002) 등의 인공구조물은 회유성 어종의 이동을 단절시키고, 서식처의 정수화로 어류군집의 급격한 변화를 초래하였다(Mins and Olden, 2013; Pierce *et al.*, 2013). 최근에는 소형 댐이나 보가 어류군집에 미치는 영향이 많이 보고되었다(Cumming, 2004; Poulet, 2007; Yan *et al.*, 2013).

2010년 조사한 Kim and Jang(2011)의 보고에 따르면, 전국의 국가하천과 지방하천에 설치된 보는 34,012개이며, 그 중에 어도는 5,081개이며 어도설치율이 14.9%에 불과하고 설치된 어도의 42%가 하천설계기준에서 제시하고 있는

표준형식을 따르지 않아 우리나라의 하천생태계 단절이 심각할 것을 시사하였다. 최근 국내에서도 대형 댐과 보가 설치된 강이나 하천을 중심으로 인공구조물이 수생태계에 서식하는 어류의 종 조성 및 분포에 미치는 영향이 보고되고 있다(Lee *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2011; Kang *et al.*, 2012; Ko *et al.*, 2012). 황성다목적댐의 건설로 인하여 유수역이던 하천생태계가 정수역의 호소생태계로 전환되면서 *Z. koreanus* 개체군은 감소하고, 정수성 환경을 선호하는 *Z. platypus* 개체군이 증가된 것으로 보고되었다(Jang *et al.*, 2007). *Z. platypus*는 우리나라 대부분의 하천과 댐호에 널리 분포하고 있으며, 수질오염 및 서식처 교란 등의 인위적 환경 변화에 내성종으로 정수역부터 유수역에 이르기까지 광범위하게 적응 분포하여 국내 담수어류 중 개체수로 가장 우점하고 있다(Choi and Kim, 2004; Jang *et al.*, 2007). 어류의 성장도와 비만도 분석은 직접적으로는 어류의 건강상태나 생식능력을 파악할 수 있으며, 간접적으로는 서식환경의 서식처등급, 수질 및 먹이 이용 등의 다양한 정보를 제공하는 지표로서 이용될 수 있다(Anderson and Gutreuter, 1983). 수생태계의 변화를 관찰하기 위한 어류군집의 변화와 동태에 관한 연구는 많이 보고되었으나, 개체군 변화에 관한 질적 연구는 제한적으로 보고되고 있다(Seo, 2005; Jang *et al.*, 2007; Choi *et al.*, 2011; Ko *et al.*, 2012).

서해로 유입되는 강에서 출현하는 어류상 조사는 한강수계(Son *et al.*, 1997; Choi and Kim, 2004; Byeon *et al.*, 2008; Choi, 2010), 금강(Choi *et al.*, 1977; Hur *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2010), 만경강(Lee *et al.*, 1980; Kim and Lee, 1998; Lee *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2011) 등 주요하천을 중심으로 많이 보고되어 있다. 독립하천의 경우 보령댐 건설전 웅천천 수계의 어류상(Hong *et al.*, 1999)과 변산반도 백천의 어류상(Choi *et al.*, 1992) 등으로 일부 하천에 제한적으로 보고되고 있다. 충남 보령시에 위치한 대천천은 하천연장 13.8 km, 유역면적 80.5 km<sup>2</sup>로 보령시 청라면 나원리에서 발원하여 보령시 남곡동에서 서해로 유입되는 소규모 독립하천이다. 하천 가운데 위치한 청천저수지는 농업지대에 용수를 공급하기 위하여 1962년에 준공되었으며, 높이는 23 m이고 제방길이는 306 m이며 총저수량은 2,080만 톤이다. 또한 대천천 하류에 위치한 성업사보는 1970년에 만들어진 길이 65 m, 높이 1.8 m의 농업용 취수보이며, 2012년 말에 도벽식 어도와 아이스하버식 어도가 새롭게 설치되었다. 대천천의 경우 기수역과 인접하면서 하천의

상·하류에 저수지와 보가 설치되어 서식하는 어류상 및 어류군집에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구는 없으며, 일부 어류상에 대한 제한적 보고만 되어있다(Byeon, 2000; Baek and Kim, 2009).

본 연구에서는 서해로 유입되는 독립하천인 대천천에 분포하는 어류상을 정밀조사하고, 우점종인 *Z. platypus* 개체군의 전장-체중 관계 및 비만도지수를 분석하였다. 이를 통하여, 하천에 설치된 인공구조물이 어류군집의 분포에 미치는 영향을 분석하여, 어족자원 관리와 보호를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 연구방법

### 1. 조사지점 및 기간

대천천에 설치된 인공구조물이 서식하는 어류군집에 미치는 영향을 파악하기 위하여 중·상류의 청천저수지, 하류의 성업사보를 기준으로 하여 저수지 상류, 저수지의 바로 아래, 하천의 중류 그리고 성업사보 바로 상류와 성업사보 하류로 5개의 조사 지점을 선정(Figure 1), 2012년 4월부터 10월까지 어류의 활동이 활발하지 않은 동절기를 제외하고 매월 조사하였다.

- St. 1 : 충청남도 보령시 청라면 내현리 의평교 아래
- St. 2 : 충청남도 보령시 죽정동 청천저수지 아래
- St. 3 : 충청남도 보령시 죽정동 죽정교 아래
- St. 4 : 충청남도 보령시 동대동 성업사보 위
- St. 5 : 충청남도 보령시 동대동 성업사보 아래

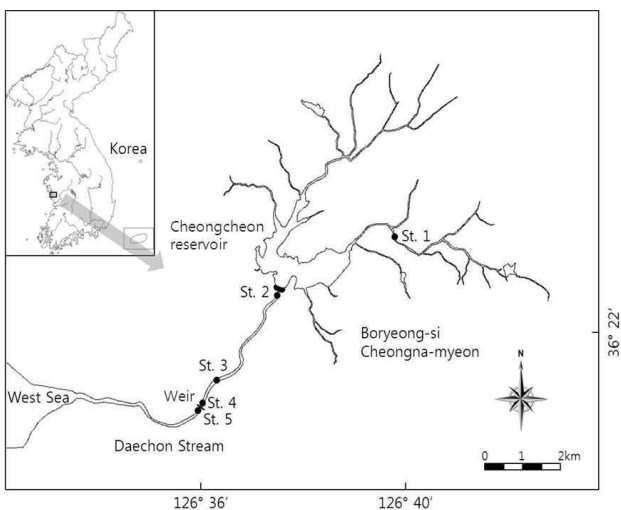


Figure 1. Map showing the studied stations in Daecheon Stream, Boryeong, Korea

### 2. 조사내용 및 방법

조사지점에 대한 이화학적 환경요인인 수온, DO, pH, Conductivity, Salinity는 휴대용 수질측정기(YSI-556MPS, USA)를 사용하여 측정하였다. 서식처의 환경요인은 유폍, 하폭, 수심, 하상 등을 조사하였으며, 하천형태는 Kani(1994)의 방법으로 구분하였고, 하상구조는 Cummins(1962)의 방법을 적용하였다. 어류의 채집은 각 조사지점에서 투망(망목 7 mm × 7 mm) 15회, 족대(망목 6 mm × 6 mm) 30분간 조사하여 가능한 정량적인 조사가 되도록 하였다. 채집된 대부분의 어류는 현장에서 동정하여 전장, 체장, 체중을 측정 후 방류하였으며, 일부개체는 10% 포르말린 수용액에 고정하여 실험실로 운반한 후 동정하여 체장 및 체중을 측정하였다. 종의 동정 및 학명적용은 Kim and Park(2002)을 참조하였고, 분류체계는 Nelson(2006)의 방법을 따랐다. 어류군집의 조사지점별 우점도 지수(DI; McNaughton, 1967), 종다양도 지수(H'; Shannon and Weaver, 1963), 균등도 지수(E; Pielou, 1966) 및 종풍부도 지수(RI; Margalef, 1958)를 분석하였다. 조사지점별 출현하는 어류군집의 유사도 분석은 Primer 5.0 program(Clarke and Warwick, 1994)을 이용하여 수행하였다. 또한 대천천의 전 지점에서 출현한 *Z. platypus* 개체군에 대하여 성장도와 비만도지수(K)를 전장과 체중과의 관계식을 이용하여 계산하였다(Anderson and Neumann, 1996).

$$T_w = aT_L^b$$

$$K = T_w/T_L^3 \times 10^3 (n=2)$$

$T_w$  = total weight,  $T_L$  = total length (a, b: parameters)

## 결과

### 1. 서식환경

조사기간 중 수온은 8월이 25.7~30.1℃로 가장 높았으며, 10월이 16.6~19.2℃로 가장 낮은 범위를 보였다(Figure 2a). 조사지점별로는 최상류인 St.1이 가장 낮은 수온분포를 보였으며, 하류지역으로 갈수록 수온이 높아지는 경향을 보였다. 청천저수지 아래에 위치한 St. 2는 수심이 낮고 하천 수변부의 식생이 발달되지 않은 정수역으로 6월과 8월에 수온이 높게 나타났다. DO 농도는 4월이 12.6~16.2 mg/L로 나타나 5~10월의 6.2~13.6 mg/L보다 높은 값을 보였으며(Figure 2b), 전반적으로 정수역인 St. 2와 St. 3에서 낮게 나타났다. Conductivity는 St. 5에서 해수의 영향으로 특히 4월과 5월에 각각 3,400, 9,200  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 St.

1~4의 평균 190  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 보다 월등히 높게 나타났다(Figure 2c). 하류지점인 St. 5는 조수간만의 영향으로 바닷물이 성업사보까지 도달하여 Salinity 역시 높은 값을 나타내어 기수역의 환경특성을 보였다. pH는 전반적으로 DO와 유사한 패턴을 보였고, 4월이 8.7~9.7로 가장 높았고, 9월이 6.7~7.2로 낮은 경향을 보였다(Figure 2d).

조사지점 중 상류인 St. 1은 Aa-Ba형 하천으로 주위에

논과 밭이 많이 위치하고 있었으며, 하천의 폭이 좁고 수심이 낮으며 여울과 소가 반복적으로 나타났다. 하상은 잔자갈(pebble)과 모래(sand), 진흙(mud) 등이 주로 섞여 있었다. St. 2와 St. 3은 Bb형 하천이었고, 유속이 비교적 느린 하상이 진흙인 곳이었다. 하상은 돌, 자갈, 잔자갈, 모래, 진흙 등이 골고루 섞여있었다. St. 4와 St. 5는 Bb-C형 하천으로 성업사보 상·하류지점으로 하폭이 넓어지며, 유속이

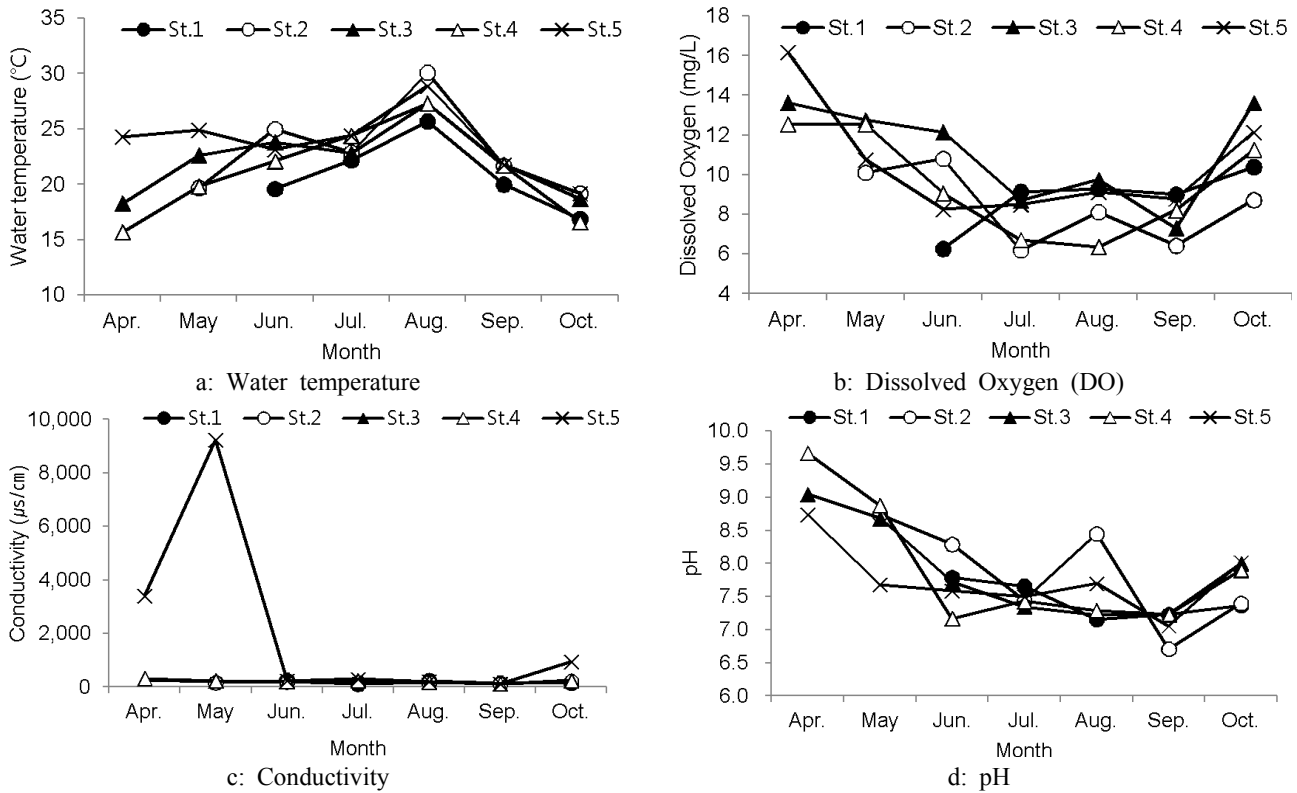


Figure 2. Monthly variation of water quality at each site in Daechon Stream, Boryeong, Korea in 2012

Table 1. The environmental characteristics of sample sites in Daechon Stream, Boryeong, Korea in 2012

Site	Stream width (m)	Water width (m)	Water depth (cm)	River type <sup>a</sup>	Bottom Structure(%) <sup>b</sup>				
					B	C	P	G	S&M
St. 1	30~33	5~10	30~60	Aa-Bb	5	5	20	40	30
St. 2	70~150	1~50	20~120	Bb	5	30	30	20	15
St. 3	65~120	4~60	20~120	Bb	5	10	20	30	35
St. 4	100~110	30~60	30~130	Bb-C	10	10	20	20	40
St. 5	80~150	5~40	10~150	Bb-C	-	10	10	20	60

<sup>a</sup>: by Kani(1944), <sup>b</sup>: B(Bolder): > 256 mm, C(Cobble): 64~256 mm, P(Pebble): 16~64 mm, G(Gravel): 2~16 mm, S&M(Sand and Mud): <2 mm)(Cummins, 1962)

완만하였다. 하상은 모래와 진흙의 비율이 높고 해수의 유입으로 물이 혼탁하였다(Table 1). 조사기간 중 9월과 10월은 가동보인 성업사보를 개방하여 만조시 해수가 St. 4까지 유입되었다.

### 2. 대천천의 어류상

대천천에서 출현한 어류는 총 13과 42종 5,104 개체였으며, 조사지점별 출현 어류는 St. 1에서 20종, St. 2에서 24종, St. 3에서 23종, St. 4에서 18종, St. 5에서 28종으로 기수역인 St. 5에서 Gobiidae 어류가 채집되어 많은 종과 개체수를 확인하였다(Table 2). 채집된 어류는 Cyprinidae 어류가 17종(40.5%)으로 가장 많았고, Gobiidae 어류 9종(21.4%), 다음으로 Cobitidae 어류 4종(9.5%) 순으로 출현하였다. 개체수에 있어서 *Z. platypus*(32.3%), *T. brevispinis*(12.8%), *Acheilognathus lanceolatus*(11.5%), *Squalidus gracilis majimae*(5.7%), *Tridentiger obscurus*(5.0%) 등의 순으로 우점하였다(Figure 3a). 생체량에 있어 *Z. platypus*(27.7%), *C. haematocheilus*(11.9%), *A. lanceolatus*(10.7%), *Cyprinus carpio*(6.1%), *Mugil cephalus*(6.1%) 등이 풍부하였다(Figure 3b). 출현 어류 중 우리나라 고유종은 *Rhodeus uyekii*, *R. pseudosericeus*, *S. gracilis majimae*, *Z. koreanus*, *Hemiculter eigenmanni*, *Iksookimia koreanus*, *Pseudobagrus koreanus*, *Odontobutis interrupta* 등 8종(전체 출현종의 19.9%)으로 확인되었고, 법적 보호종은 *R. pseudosericeus*, 강하 회유성 종인 *A. japonica*, 외래도입종

인 *C. cuvieri*, *M. salmoides*가 출현하였다.

이전 조사에서는 채집되지 않고 본 조사에서 처음으로 서식이 확인된 종은 *A. japonica*, *Cyprinus carpio*, *Carassius cuvieri*, *Rhodeus ocellatus*, *R. pseudosericeus*, *Z. koreanus*, *Erythroculter erythropterus*, *H. eigenmanni*, *P. koreanus*, *M. cephalus*, *Chelon haematocheilus*, *Monopterus albus*, *Trachidermus fasciatus*, *Chaenogobius castaneus*, *Chaenogobius urotaeni*, *Acanthogobius lactipes*, *Synechogobius hasta*, *Tridentiger bifasciatus*, *T. obscurus*, *Mugilogobius abei*, *Channa argus*, *M. salmoides* 등 22종이었다(Table 3). 이전 조사에서는 출현이 보고되었지만 본 조사에서 확인되지 않은 종은 *Acheilognathus rhombeus*와 *Hypomesus nipponensis* 2종으로 나타났다.

### 3. 어류군집지수 및 유사도분석

조사지점별 다양도지수는 St. 1에서 2.45로 가장 높았고, St. 4에서 1.41로 낮았다. 균등도지수는 다양도지수와 유사한 경향을 보였다. 풍부도지수는 St. 5에서 3.68로 가장 높았고, St. 4에서 2.63으로 낮았다. 반대로 우점도지수는 St. 4가 0.75로 가장 높았고, St. 1에서 낮았다(Figure 4). 성업사보 상류에 위치하는 St. 4에서 다양도지수 등이 가장 낮았는데, 이는 보에 의해 서식처의 수심이 깊고 정수화되었으며, *Z. platypus*만 우점하게 출현한 결과였다.

대천천 조사지점간의 어류군집에 대한 유사도 분석결과, 청천저수지 상류구간(St. 1), 성업사보 하류구간(St. 5)과 St.

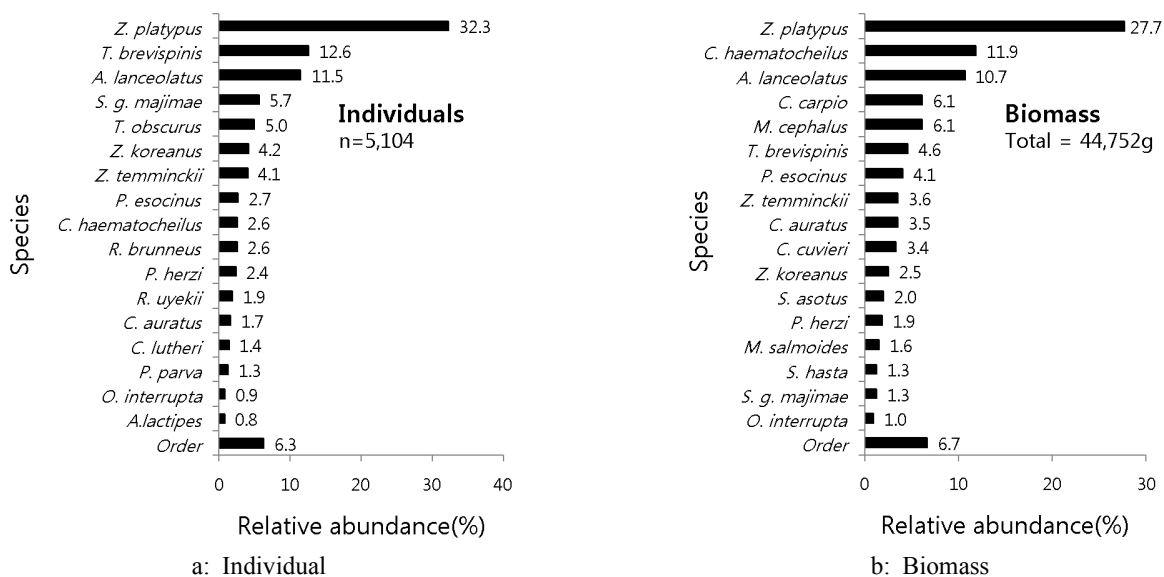


Figure 3. Comparison of individuals and biomass of collected fishes in Daecheon Stream, Boryeong, Korea in 2012

Table 2. The list and individual number of collected fishes in Daechon Stream, Boryeong, Korea in 2012

Scientific name and Korean name	Stations					Total	R.A.(%)	Remarks				
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5							
Anguillidae												
<i>Anguilla japonica</i>						5	0.10					
Cyprinidae												
<i>Cyprinus carpio</i>						6	0.16					
<i>Carassius cuvieri</i>						1	0.24	Ex <sup>a</sup>				
<i>Carassius auratus</i>	3	1	10	3	69	86	1.68					
<i>Rhodeus ocellatus</i>						3	0.71					
<i>Rhodeus uyekii</i>	32	18	46	1	1	98	1.92	Ke <sup>b</sup>				
<i>Rhodeus pseudosericeus</i>	20						16	0.71	En <sup>c</sup> , Ke			
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	14	104	398	66	6	588	11.52					
<i>Pseudorasbora parva</i>	18	7	30	7	4	66	1.29					
<i>Pungtungia herzi</i>	43	24	35	14	8	124	2.43					
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	70	70	99	51				Ke				
<i>Pseudogobio esocinus</i>	26	8	63	39	3	139	2.72					
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>						30	0.59					
<i>Zacco koreanus</i>	180	2	24	6				Ke				
<i>Zacco temminckii</i>	115	13	77	2	1	208	4.07					
<i>Zacco platypus</i>	8	313	525	418	384	1,648	32.28					
<i>Erythroculter erythropterus</i>						1	0.04					
<i>Hemiculter eigenmanni</i>						1	0.04					
Cobitidae												
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	5	2	3				10	0.20				
<i>Misgurnus mizolepis</i>	5	1				6	0.12					
<i>Iksookimia korensis</i>	6						6	0.12	Ke			
<i>Cobitis lutheri</i>	19	16	30	8				73	1.43			
Siluridae												
<i>Silurus asotus</i>						1	2	3	0.06			
Bagridae												
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>						2	0.04					
<i>Pseudobagrus koreanus</i>	7	2	3				12	0.24	Ke			
Mugilidae												
<i>Mugil cephalus</i>						28	28	0.55				
<i>Chelon haematocheilus</i>						133	133	2.61				
Adrianichthyidae												
<i>Oryzias sinensis</i>						8	8	0.16				
Synbranchidae												
<i>Monopterus albus</i>	2						2	0.04				
Cottidae												
<i>Trachidermus fasciatus</i>						2	2	0.04				
Odontobutidae												
<i>Odontobutis interrupta</i>	14	12	12	7				45	0.88	Ke		
Gobiidae												
<i>Chaenogobius castaneus</i>						1	1	0.02				
<i>Chaenogobius urotaeni</i>						23	23	0.45				
<i>Acanthogobius lactipes</i>						42	42	0.82				
<i>Synechogobius hasta</i>						20	20	0.39				
<i>Rhinogobius brunneus</i>	69	27	22	4	9	131	2.57					
<i>Tridentiger bifasciatus</i>						18	18	0.35				
<i>Tridentiger obscurus</i>						246	255	4.82				
<i>Tridentiger brevispinis</i>						116	30	14	493	644	12.79	
<i>Mugilogobius abei</i>						1	1	0.02				
Channidae												
<i>Channa argus</i>						1	1	0.02				
Centrarchidae												
<i>Micropterus salmoides</i>						2	1	9	12	0.24	Ex	
No. of individual	686	779	1,464	649	1,526	5,104						
No. of Species	20	24	23	18	28	42						

<sup>a</sup> Ex: Exotic Species, <sup>b</sup> Ke: Korean endemic species, <sup>c</sup> En: Endangered species

Table 3. The list of fish from previous and present studies in Daecheon Stream, Korea

Scientific name and Korean name	Byeon (2000)	Baek and Kim (2009)	Present study (2012)	Remark
Anguillidae				
<i>Anguilla japonica</i>			•	
Cyprinidae				
<i>Cyprinus carpio</i>			•	
<i>Carassius cuvieri</i>			•	Ex <sup>a</sup>
<i>Carassius auratus</i>	•	•	•	
<i>Rhodeus ocellatus</i>			•	
<i>Rhodeus uyekii</i>		•	•	Ke <sup>b</sup>
<i>Rhodeus pseudosericeus</i>			•	En <sup>c</sup> , Ke
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>		•	•	
<i>Acheilognathus rhombeus</i>		•	•	
<i>Pseudorasbora parva</i>		•	•	
<i>Pungtungia herzi</i>		•	•	
<i>Squalidus gracilis majimae</i>		•	•	Ke
<i>Pseudogobio esocinus</i>		•	•	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	•	•	•	
<i>Zacco koreanus</i>			•	Ke
<i>Zacco temminckii</i>	•	•	•	
<i>Zacco platypus</i>	•	•	•	
<i>Erythroculter erythropterus</i>			•	
<i>Hemiculter eigenmanni</i>			•	Ke
Cobitidae				
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	•		•	
<i>Misgurnus mizolepis</i>	•		•	
<i>Iksookimia koreensis</i>	•		•	Ke
<i>Cobitis lutheri</i>		•	•	
Siluridae				
<i>Silurus asotus</i>		•	•	
Bagridae				
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>		•	•	
<i>Pseudobagrus koreanus</i>			•	Ke
Osmeridae				
<i>Hypomesus nipponensis</i>	•			
Mugilidae				
<i>Mugil cephalus</i>			•	
<i>Chelon haematocheilus</i>			•	
Adrianichthyidae				
<i>Oryzias sinensis</i>	•		•	
Synbranchidae				
<i>Monopterus albus</i>			•	
Cottidae				
<i>Trachidermus fasciatus</i>			•	
Odontobutidae				
<i>Odontobutis interrupta</i>	•		•	Ke
Gobiidae				
<i>Chaenogobius castaneus</i>			•	
<i>Chaenogobius urotaeni</i>			•	
<i>Acanthogobius lactipes</i>			•	
<i>Synechogobius hasta</i>			•	
<i>Rhinogobius brunneus</i>	•		•	
<i>Tridentiger bifasciatus</i>			•	
<i>Tridentiger obscurus</i>			•	
<i>Tridentiger brevispinis</i>		•	•	
<i>Mugilogobius abei</i>			•	
Channidae				
<i>Channa argus</i>			•	
Centrarchidae				
<i>Micropterus salmoides</i>			•	Ex
No. of species	11	15	42	

<sup>a</sup> Ex: Exotic Species, <sup>b</sup> Ke: Korean endemic species, <sup>c</sup> En: Endangered species

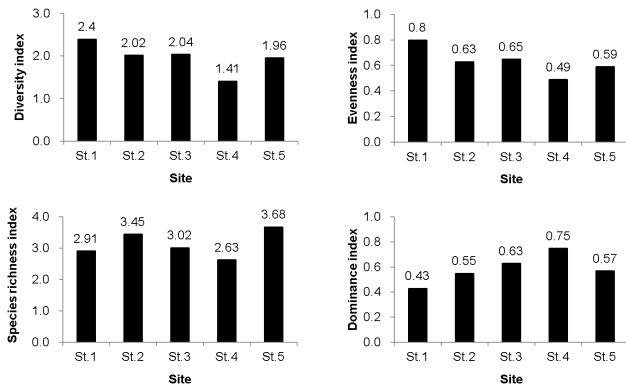


Figure 4. Community indices at each site in Daecheon Stream, Boryeong, Korea in 2012

2~4 구간의 세 그룹으로 나뉘어졌다(Figure 5). 상류에 위치하는 St. 1은 다른 지점과 독립적인 군집구성을 나타내어 유사도가 낮았으며, 기수역에 위치한 St. 5는 Gobiidae 어류 및 회유성 어류의 분포로 다른 지점과 유사도가 낮게 나타났다. St. 2와 St. 4는 70%이상의 군집 유사도를 보여주었다.

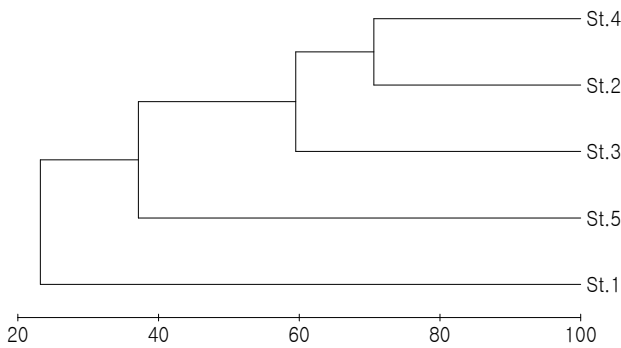


Figure 5. Dendrogram of similarity at each site in Daecheon Stream, Boryeong, Korea in 2012

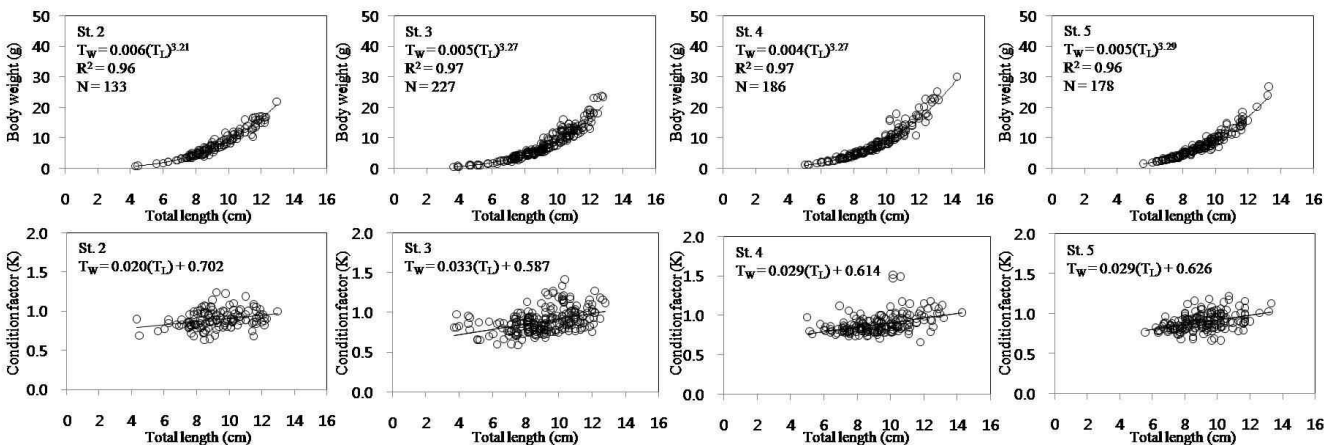


Figure 6. Length-weight relationship and condition factor for *Z. platypus* collected at each site in Daecheon Stream, Boryeong, Korea in 2012. TW = total weight, and TL = total length.

#### 4. *Z. platypus* 개체군 분석

*Z. platypus* 개체군의 전장-체중 관계 분석에 따르면, 각 조사지점의 회귀계수 b값은 3.21~3.29이었고, 비만도 지수-전장과의 관계 분석에서는 기울기 값이 0.020~0.033으로 양의 값을 보여 안정된 개체군이었다(Figure 6). 비만도 지수는 전체 평균 0.89(0.59~1.52)이었고, 조사지점별로는 St. 3이 평균 0.92(0.59~1.40)로 가장 높았고, St. 2가 평균 0.89(0.63~1.24)로 가장 낮았다. 성장에 따른 K 값의 기울기는 St. 3이 0.033으로 가장 높았으며, St. 2는 0.020으로 가장 낮았다(Figure 6).

### 고찰

#### 1. 대천천의 어류상

서해로 유입되는 독립하천인 대천천은 하천연장이 13.8 km로 비교적 짧은 하천이지만, 조사기간 동안 총 42종의 어류가 출현하였다(Table 1). 이는 서해로 유입되는 비교적 큰 규모의 임진강과 만경강의 각각 80종, 63종이 보고된 것에 비하면 적은 종수이지만(Byeon and Lee, 2006; Lee *et al.*, 2008), 비슷하거나 조금 큰 규모의 인근 소하천인 웅천천에서 29종, 변산반도의 백천에서 22종의 어류가 보고된 결과에 비하면 매우 다양한 어류분포를 보였다(Choi *et al.*, 1992; Hong *et al.*, 1999). 또한 남해안의 광양만으로 흐르는 비슷한 규모의 여수 소라천에서 기수역을 포함하고 21종이 출현한 것(Lee *et al.*, 2004)과 비교하여도 대천천에서 매우 다양한 어류가 출현한다는 것을 알 수 있다. 이전조사보다 많은 종이 출현한 이유는 이전조사가 1회성 조사에 그친 반면 본 조사는 대천천 상류지점부터 하류지점까지



5지점에서 월1회 정밀 조사가 이루어진 결과이며, 특히 기수역을 집중적으로 조사하여 Gobiidae 어류를 중심으로 기수에 서식하는 어류가 다수 채집되었기 때문이다.

대천천에서 Cyprinidae 어류가 많이 출현하는 것은 우리나라 서남해로 흐르는 하천이나 강의 특성과 관련되어 있다 (Kim and Park, 2002; Lee et al., 2008, Ko. et al., 2012). 성업사보 하류인 St. 5는 강의 하구로 *A. flavimanus*, *T. obscurus* 등의 Gobiidae 어류가 많이 출현하였고, 회유성 어종인 *A. japonica*와 연안과 기수역에 서식하는 *T. fasciatus*, *C. haematocheilus*가 분포하기 때문에 성업사보에 설치된 어도가 회유성 및 기수성 어류가 이용하기에 적합한지 검토가 필요하였다. 대천천에서 고유종의 비율은 우리나라 하천의 고유화 빈도인 28.8% 보다는 낮은 값을 보이는데, 이는 하천연장이 짧고 바다로 직접 유입되는 독립하천이기 때문이었다(Choi et al., 1992; Hong et al., 1999; Lee et al., 2004). 조사기간 동안 St. 5에서 고유종의 출현 비율은 매우 낮았으며, 이는 큰 강인 섬진강 하구에서도 해수가 유입되는 곳에서 일부 Gobiidae를 제외하고 고유종이 거의 서식하지 않은 결과와 비슷하였다(Kim et al., 2012).

전장-체중 상관도는 성장률 곡선과 비만도지수가 주어인 환경에 서식하는 개체군의 건강상태나 생식능력의 정도 등 다양한 정보를 제공하는 중요한 지표로 이용된다(Seo, 2005; Choi et al., 2011; Kim et al., 2012). 회귀계수 b값이 3.0을 넘지 못하면 길이의 증가만큼 개체가 비대하지 않다는 것을 의미하고 3.0을 넘으면 길이에 비해 비만하다는 것을 뜻한다(Seo, 2005). 대천천의 *Z. platypus* 개체군의 성장도는 전 지점에서 양호한 상태를 유지하고 있었고, 성장도와 비만도 분석결과에서는 비교적 안정된 영양상태를 유지하는 것으로 확인되었다(Figure 6). 대천천의 *Z. platypus* 개체군의 회귀계수 b 값은 탄천의 3.29와 유사하였지만, 횡성댐호의 3.35 보다는 낮았다(Jang et al., 2007; Choi et al., 2011). 대천천의 결과는 횡성호에 비해서는 조금 낮았지만, 다른 인공호 및 유입하천과 비교하여 성장이 양호한 결과를 보였는데, 이는 대천천의 서식환경이 *Z. platypus*의 서식에 적합한 조건으로 판단되었다(Jang et al., 2007; Choi et al., 2011; Ko et al., 2012). 한편 *Z. platypus* 개체군의 성장에 따른 K 값의 기울기는 모든 지점에서 양의 값을 나타내어 횡성댐호의 결과와 비슷하였으며, 탄천의 결과보다는 오히려 높은 값을 나타내어 대천천에 서식하는 개체군의 성장이 비교적 양호한 상태임을 알 수 있었다(Jang et al., 2007; Choi et al., 2011).

*Z. koreanus*는 신종으로 발표되기 전에는 *Zacco temminckii*와 동일종으로 알려져 있어서 2005년 이전 조사에서 *Z. koreanus*가 확인되지 않았던 것으로 사료된다(Kim et al., 2005). 본 조사에서 확인되지 않은 종은 *A. rhombeus*,

*H. nipponensis* 등 2종이었다. *A. rhombeus*는 물 흐름이 느리거나 정체된 하천의 중하류 또는 수초가 많은 곳의 바닥 가까이 서식하는데 추가조사를 수행하면 분포를 확인할 수 있을 것으로 사료된다. *H. nipponensis*는 추후 하구에서 출현한다면 자연 산란형 집단일 것이지만, 청천저수지 상류에서도 출현한다면 방류된 육봉형 집단일 수 있어 추후 조사장소를 확인한 후에 이에 대한 결론을 얻을 수 있을 것이다. 어류상의 경우 이전조사와 차이를 보이는 이유는 이전 조사가 1회성 조사에 그친 반면 본 조사는 대천천 상류지점부터 하류지점까지 5지점을 월1회 총7회 정밀하게 조사한 결과이다. 특히, 어도의 효과에 대한 조사를 위하여 기수역 조사를 집중적으로 실시하여 Gobiidae 어류가 다수 확인되었다. 또한 외래도입종인 *C. cuvieri*와 *M. salmoides*가 이전 연구에서는 보고되지 않았으나, 본 연구에서 St. 1을 제외한 모든 지점에서 출현이 확인되어 인위적 도입에 의한 유입으로 사료되었다.

## 2. 인공구조물에 의한 하천단절

하천에 서식하는 어류는 상류에서 하류로 갈수록 서식처가 다양해져서 출현 종수가 증가하지만(Matthews, 1998; Allan, 2007), 댐이나 보 등의 인공구조물에 의해 하천단절이 되면 어류의 이동 및 서식환경을 제한하여 어류 군집구조에 변화를 초래한다(Poff et al., 1997; Mins and Olden, 2013; Pierce et al., 2013). 대천천에서도 하천의 중·상류와 하류에 설치된 인공구조물인 청천저수지와 성업사보를 기준으로 어류군집의 유사도가 차이를 보였다(Figure 5). 특히, *R. oxycephalus*, *I. koreensis*, *M. albus* 3종이 상류인 St. 1에서만 출현하였고, 다른 조사지점에 비해 출현개체수가 풍부한 고유종은 *R. pseudosericeus*, *Z. koreanus*, *P. koreanus* 등 이었다(Table 2). *Z. platypus*의 경우는 상류인 St. 1에서 출현비율은 매우 낮았으나, 청천저수지 하류에 위치하는 St. 2부터 St. 5의 조사지점에서는 다량 출현하였다(Table 2). 대천천의 각 조사지점별 *Z. platypus* 개체군의 성장도와 비만도 지수는 비교적 유사한 경향을 나타내어, 인공구조물에 의한 정수화가 *Z. platypus* 개체군의 서식에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 대천천의 하류에 위치한 성업사보는 대부분의 조사기간 동안 수문이 닫혀 있어 St. 4의 수역은 평균 수심 1 m 이상을 유지하는 정체된 수역으로, *Z. platypus*의 출현비율이 64% 이상으로 높았다. 그러나 *Z. platypus*의 성장에 따른 K 값의 기울기는 St. 3에서 가장 높게 나타났는데, 이는 주변 식생이 잘 발달되고 영양염류의 유입이 활발한 정수역에서 영양상태가 양호하였기 때문이다. 청천저수지 하류에 위치한 St. 2 지점의 기울기는 가장 낮게 나타났는데, 이 지역은 주변식생이 거의

없으며 상류 저수지에 의해 흐름이 단절되어 *Z. platypus* 개체군의 서식이 상대적으로 불리한 환경으로 판단되었다. 성업사보 상·하류지점인 St. 4와 St. 5의 K 값은 St. 3보다는 낮았는데, 해수의 유입이 *Z. platypus*의 성장에는 다소 불리한 환경을 제공하는 것으로 판단되었다. 자연상태의 식생이 풍부한 정수역은 인공구조물에 의해 만들어진 정수역보다는 *Z. platypus* 개체군의 성장에 상대적으로 유리한 환경을 제공하는 것으로 사료되었다.

청천저수지는 농업용수 확보를 위하여 취수보가 단혀져서 조사기간 중 St. 2는 출구부로부터 정수역까지 수심 10 cm 이하를 유지하면서 여울을 형성하고 있었다. 이런 이유로 상류에서 하류로 어류의 이동은 가능하지만, 하류에서 상류로의 이동은 거의 불가능하였다. 외래위해종인 *M. salmoides*의 경우 St. 2 까지만 출현이 확인되었으며 저수지가 *M. salmoides*의 상류로의 확산을 차단하는 역할을 하는 것으로 추정되었다.

강하성 회유종인 *A. japonica*와 기수어 중에 *T. fasciatus*, *C. haematocheilus*와 *M. cephalus* 그리고 Gobiidae 어류인 *C. castaneus*, *C. urotaeni*, *A. lactipes*, *S. hasta*, *T. bifasciatus*, *T. obscurus*, *M. abei* 등은 성업사보 하류의 조사지점인 St. 5에서만 출현하여 성업사보에 설치된 어도의 역할에 대한 평가가 필요하였다. 보령시는 어업인 소득증대와 관광사업의 발전을 위하여 대천천과 웅천천을 중심으로 지속적으로 참게 치어 방류사업을 추진하고 있으며, 성업사보 주변에서 강으로 소상하는 참게 치해(稚蟹)가 조사기간 중에 다수 관찰되었다. 보령시와 한국농어촌공사는 회유성 어종의 이동통로인 성업사보 어도를 개선하여 수위조절이 가능한 도복식어도와 아이스하버식어도를 2012년말에 설치하였으며, 이후 이에 대한 모니터링이 진행된다면 회유성 어종의 이용을 확인할 수 있을 것이다. Kim *et al.*(2012)에 의하면 금강수계에 서식하는 대부분의 참게는 금강하구에서 산란, 성장하여 소상하는 것이 아니라 방류한 참게들로 추정되고 있어, 금강하구둑에 담수로 이동하는 통로인 어도를 만들어 준다면 자연산 참게의 자원량 회복이 가능할 것임을 제시하였다.

### 3. *R. pseudosericeus* 출현과 외래어종 관리

2012년에 멸종위기야생동식물 II급으로 새롭게 지정된 *R. pseudosericeus*는 지금까지 남한강 상류(강원 횡성과 경기 양평)에 제한 분포한다고 보고되었는데(Kim and Park, 2002), 본 조사 지역인 대천천에도 출현이 확인되어 이를 위한 보호대책이 필요하였다(Figure 7).

*M. salmoides*는 국내에 도입방류된 후 뚜렷한 천적의 부재로 인해 단기간에 대형 댐 호 및 하천에 높은 밀도로 서식



Figure 7. *Rhodeus pseudosericeus* collected from Daechon Stream, Boryeong, Korea in 2012

하고 있으며, 먹이생물로 어류와 십각류 및 수서곤충 등을 섭식하여 수생태계에 급격한 변화를 초래하고 있다(Ko *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2009). St. 2와 St. 4에서 2개체와 4개체 그리고 St. 5에서 9개체가 발견된 *M. salmoides*는 최하류 구간인 St. 5는 보 상류 정수역에 분포하던 *M. salmoides*가 보 개방에 따라 하류로 유입된 것으로 추정된다. 생태계 위해 외래종인 *M. salmoides*의 개체수 증가와 분포지의 확대가 하천생태계 건강도에 미칠 영향에 대한 지속적인 모니터링이 필요할 것이며, 특히 소규모하천에 멸종위기종인 *R. pseudosericeus*가 동소적으로 출현하고 있어 *M. salmoides*의 확산을 막고 저수지상류에 많은 개체가 분포하는 *R. pseudosericeus* 집단의 보호를 위하여 철저하게 관리가 필요하였다.

## LITERATURE CITED

- Abokire, A.A., J.F. Piatt and M.D. Robards(2000) Nearshore fish distributions in an Alaskan estuary in relation to stratification, temperature and salinity. *Estuarine, coastal and shelf science* 51(1): 45-59.
- Allan, J.D. and M.M. Castillo(2007) *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*(2nd ed.). Springer, Dordrecht, The Netherlands, 436pp.
- Anderson, R.O. and R.M. Neumann(1996) Length, Weight, and Associated Structural Indices. pp. 447-482. In: Murphy, B.R. and D.W. Willis(ed.), *Fisheries Techniques*, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA.
- Anderson, R.O. and S.J. Gutreuter(1983) Length Weight and Associated Structural Indices. pp. 283-300. In: Johnson, L.A.(ed.), *Fisheries Techniques*, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA.
- Baek, H.M. and H. Kim(2009) *Freshwater Fish Fauna in Daechon, Korea. National Ecosystem Survey 3rd.* The Ministry of Environment, pp. 1-13. (in Korean)

- Byeon, H.G.(2000) Freshwater Fish Fauna in Boryeong(Mountain Seungju), Korea. National Ecosystem Survey 2nd. The Ministry of Environment, pp. 1-18. (in Korean)
- Byeon, M.S., H.K. Park, W.O. Lee and D. Kong(2008) Fish fauna and community structure in lake Paldang and its inflows. Journal of Korean Society on Water Quality 24: 206-213.
- Byeon, H.K. and W.O. Lee(2006) The ichthyofauna and fish community in the lower course of the Imjin River. Korean J. Limnol. 39(1): 32-40. (in Korean with English abstract)
- Choi, C.G., J.B. Lee and Y.J. Hwang(1992) On the ichthyofauna of Paikchon streams, Puan, Cholla-bukdo, Korea. Korean J. Ichthyol. 4(2): 63-71. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.K.(2010) Fish assemblage dynamics and community analysis in the Han River. Korean J. Syst. Zool. 26(2): 105-114.
- Choi, J.S. and J.K. Kim(2004) Ichthyofauna and Fish Community in Hongcheon River, Korea. Korean J. Environ. Biol. 18: 446-455. (in Korean with English abstract)
- 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. Kor. J. Env. Eco. 25(1): 71-80. (in Korean with English abstract)
- Choi, K.C., J.Y. Lee and T.R. Kim(1977) Survey on the fish fauna in Geum River around Dae-chung dam in construction. -The list of fishes and their distribution -. Korean J. Limnol. 10: 25-32. (in Korean with English abstract)
- Clarke, K.R. and R.M. Warwick(1994) Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Natural Environment Research Council, Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK, 144pp.
- Cumming, G.S.(2004) The impact of low-head dams on fish species richness in Wisconsin, USA Ecological Applications 14: 1495-1506.
- Cummins, K.W.(1962) An evolution of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. Amer. Midl. Nat'l. 67: 477-504.
- Dodds, W.K. and M.R. Whiles(2010) Freshwater Ecology Concepts and Environmental Applications of Limnology(2nd ed.). Elsevier Academic press, pp. 611-634.
- EKR(2010) Study on the Fish-way Condition in Korea and Development of Fish-way Database. Report, Ansan, Korea, 275pp. (in Korean)
- Hong, Y.P., M.H. Chang, H. Kang and S.S. Choi(1999) The fish community of the Ungchon Stream around the new dam intended area. Korean J. Environ. Biol. 17: 79-88. (in Korean with English abstract)
- Hur, J.W., J.W. Park, S.U. Kang and J.K. Kim(2009) Estimation of fish fauna and habitat suitability index in the Geum River Basin. Kor. J. Env. Eco. 23(6): 516-527. (in Korean with English abstract)
- Jang, Y.S, J.S. Choi, K.Y. Lee, J.W. Seo and B.C. Kim(2007) Length-weight relationship and condition factor of *Zacco platypus* in the Lake Hoengseong. Korean J. Limnol. 40(3): 412-418. (in Korean with English abstract)
- Kang E.J., H. Yang, H.H. Lee, K.S. Kim and C.H. Kim(2012) Characteristics of fish fauna collected from near estuaries bank and fish-way on the bank of Nakdong River. Korean J. Ichthyol. 24(3): 201-219. (in Korean with English abstract)
- Kani(1994) Ecology of Mountain Stream Insects. Research history Tokyo, pp. 5-17. (in Japanese)
- Kim, B.M. and C.L. Lee(1998) A study on the fish community from the Mangyong River system. Korean J. Limnol. 31(3): 191-203. (in Korean with English abstract)
- Kim, C.H., E.J. Kang, H.S. Shin, H.H. Lee and Y. Choi(2012) Migration and spawning of the Chinese Mitten Crab, *Eriocheir sinensis* in Geum River of Korea. Korean J. Environ. Biol. 30(1): 26-30. (in Korean with English abstract)
- Kim, C.H., E.J. Kang, H. Yang, K.S. Kim and W.S. Choi(2012) Characteristics of fish fauna collected from near estuary of Seomjin River and population ecology. Korean J. Environ. Biol. 30(4): 319-327. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S. and J.Y. Park(2002) Freshwater Fish of Korea. Kyohak Publishing, Seoul, 465pp. (in Korean)
- Kim, I.S., M.K. Oh and K. Hosoya(2005) A new species of cyprinid Fish, *Zacco koreanus* with redescription of *Z. temminckii* (Cyprinidae) from Korea. Korean J. Ichthyol. 17(1): 1-7.
- Kim, J.H, H.W. Cho, W.D. Han and W.O. Lee(1993) The change of fish communities by the change of ecosystem in the Posong River. Korean J. Environ. Biol. 11: 154-160. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.H., J.D. Yoon, D.S. and M.H. Jang(2011) Changes of fish community in the Mankyeong and the Dongjin River after construction of Saemangeum dike. J. Korean Nature 4(2): 111-119.
- Kim, J.O. and K.S. Jang(2011) Distribution of fish-way in Korea and development of National Fish-way Information System (NFIS). Water for future 44(7): 50-55. (in Korean)
- Ko, D.G., J.H. Han and K.G. An(2012) Length-weight relations and condition factor (K) of *Zacco platypus* along trophic gradients in reservoir ecosystems. Korean J. Limnol. 45(2): 174-189. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., J.Y. Park and Y.J. Lee(2008) Feeding habits of an introduced large mouth bass, *Micropterus salmoides* (Perciformes; Centrarchidae), and its influence on ichthyofauna in the Lake Okjeong. Korean J. Ichthyol. 20(1): 36-44. (in Korean with English abstract)
- Ko, M.H., S.J. Moon and I.C. Bang(2011) Study of the fish community structure and inhabiting status of the endangered species *Gobiobotia macrocephala* and *G. brevibarba* in the Seomriver, Korea. Korean J. Limnol. 44: 144-154. (in Korean)

- with English abstract)
- Kwon, Y.S., F. Li, N. Chung, M.J. Bae, S.J. Hwang, M.S. Byoen, S.-J. Park and Y.-S. Park(2012) Response of fish communities to various environmental variables across multiple spatial scales. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 9: 3629-3653. DOI 10.3390/ijerph.9103629.
- Lee, C.Y., I.B. Yoon and I.S. Kim(1980) A study on the dynamics of fish community in Mangeong River. *Korean J. Limnol.* 13: 23-38. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.H., K.H. Han, W.I. Seo, S.M. Yoon, C.C. Kim, S.Y. Hwang and K.S. Kim(2004) Ichthyofauna and fish community of Sora Stream in Yeosu, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 16(4): 348-365. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.H., J.H. Lee, J.H. Han and K.G. An(2010) A study on the fish community and various guilds to stream order in Geum River Watershed. *Korean J. Limnol.* 43(4): 503-512.
- Lee, W.O., H. Yang, S.W. Yoon and J.Y. Park(2009) Study on the feeding habits of *Micropterus salmoides* in Lake Okjeong and Lake Yongdam, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 21(3): 200-207. (in Korean with English abstract)
- Lee, W.O., K.H. Kim, J.H. Kim and K.E. Hong(2008) Study of freshwater fish fauna and distribution of introduced species of Mankyeong River, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 20(3): 198-209. (in Korean with English abstract)
- March, J.G., J.P. Benstead, C.M. Pringle and F.N. Scatena(2003) Damming tropical island streams: problems, solutions, and alternatives. *Bioscience* 53: 1069-1078.
- Margalef, D.R.(1958) Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 3: 36-71.
- Matthews, W.J.(1998) *Patterns in Freshwater Fish Ecology*. Chapman and Hall, NY, 756 pp.
- McNaughton, S.J.(1967) Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature* 216: 114-168.
- Mins, M.C. and J.D. Olden(2013) Fish assemblages respond to altered flow regimes via ecological filtering of life history strategies. *Freshwater Biology* 58: 50-62.
- Nelson, J.S.(2006) *Fishes of the world*(4th ed). John Wiely and Sons, New York, 601pp.
- Ostrand, K.G. and G.R. Wilde(2002) Seasonal and spatial variation in a prairie stream-fish assemblage. *Ecology of Freshwater Fish* 11: 137-149.
- Pielou, E.C.(1966) The measurement of diversity in different types of biological collection. *J. Theort. Biol.* 13: 131-144.
- Pierce, C.L., N.L. Ahrens, A.K. Loan-Wilsey, G.A. Simmons and G.T. Gelwicks(2013) Fish assemblage relationships with physical characteristics and presence of dams in three eastern Iowa Rivers. *River Res. Applic.* DOI 10.1002/rra.2654.
- Poff, N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegard and B.D. Richter(1997) The natural flow regime. *Bioscience* 47: 769-784.
- Poff, N.L. and D.D. Hart(2002) How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal. *Bioscience* 52: 659-668.
- Poulet, N.(2007) Impact of weirs on fish communities in a piedmont stream. *River Res. Applic.* 23: 1038-1047.
- Seo, J.W.(2005) Fish fauna and ecological characteristics of Dark chub (*Zacco temminckii*) population in the mid-upper region of Gam Stream. *Korean J. Limnol.* 38(2): 196-206. (in Korean with English abstract)
- Shannon, C.E. and W. Weaver(1963) *The Mathematical Theory of Communication*. Illinois Univ. Pre., Urbana, 117pp.
- Son, Y.M., H.B. Song, H.K. Byeon and J.S. Choi(1997) Study on the dynamics of fish community in the Lake Paldang. *Korean J. Ichthyol.* 9(1): 141-152. (in Korean with English abstract)
- Vila-Gispert, A., E. García-Berthou and R. Moreno-Amich(2002) Fish zonation in a Mediterranean stream: Effects of Human disturbances. *Aquat. Sci.* 64: 163-170.
- Yan, Y.W., H. Zho, R. Chu, L. Chen and Y. Chen(2013) Influences of low-head dams on the fish assemblages in the headwater streams of the Qingyi watershed, China. *Environmental biology of fishes.* 96(4): 495-506.
- Yang, H.J., K.H. Kim, J.D. Kum(2001) The fish fauna and migration of the fishes in the fish way of the Nakdong River Mouth Dam. *Korean J. Limnol.* 34(3): 251-258. (in Korean with English abstract)