

환경변화에 따른 웅천천의 어류상과 어류 군집 특성^{1a}

정화영² · 김경환² · 송미영² · 이완옥^{2*}

Characteristics of Fish Fauna and Community Structure in Ungcheon Stream due to the Environmental Changes^{1a}

Hwa-Young Jung², Kyeong-Hwan Kim², Mi-Young Song², Wan-Ok Lee^{2*}

요 약

충남 보령시의 웅천천에 설치된 댐(어도 설치)과 대형 보(어도 미설치), 그리고 상류지역의 인근 폐광이 어류군집에 미치는 영향에 대해 알아보기 위하여 2011년 4월부터 10월까지 4회에 걸쳐 10개 지점의 어류상을 조사하였다. 총 12과 36종의 어류가 채집되었으며 우점종은 *Zacco platypus*(23.4%), 아우점종은 *Zacco koreanus*(20.5%) 였다. 고유종은 10종(27.8%)이었으며, 외래도입종인 *Micropterus salmoides*가 출현하였다. 유사도분석 결과 상류인 St.1, St.2, St.3, 중류인 St.4, St.5, St.6, St.7 하류인 St.8, St.9, St.10의 세 그룹으로 구분되었다. 어도가 설치된 보령댐의 상하류 지점간(St.6-St.7)의 군집유사도는 높았으나, 어도가 설치되지 않은 대형보의 상하류 지점간(St.7-St.8)의 유사도는 매우 낮아 어도의 설치가 필요하였다. 정준상관분석 결과, 웅천천의 환경조건은 일반적인 하천과는 달리 상류에서 전기전도도와 염도가 높게 나타났으며 이러한 환경에서 *Misgurnus mizolepis* 외에 고유종인 *Silurus microdorsalis*, *Coreoleuciscus splendidus*, *Iksookimia koreensis* 등이 서식하고 있었다. 하폭이 크고 유속이 느린 하류역에는 외래도입종인 *M. salmoides* 외에 고유종인 *Squalidus gracilis majimae* 이 동소적으로 출현하고 있어 이들을 위한 보호 대책이 필요하였다.

주요어: 인공구조물, 어도, 정준상관분석, 생태계변화, 고유종

ABSTRACT

We studied fish fauna at 10 study sites in Ungcheon stream for 4 times from April to October, 2011 to investigate the influence of artificial structures such as dam (with fish-way) and weir (without fish-way), and abandoned mine on fish community. A total of 12 families, 36 species of fishes were collected. Dominant species was *Zacco platypus* (23.4%) and subdominant species was *Zacco koreanus* (20.5%). Ten species (27.8%) of Korean endemic species and *Micropterus salmoides*, exotic species, were observed during the study period. Endangered species of Korea such as *Pseudopungtungia nigra* and *Liobagrus obesus*, and Korean endemic species, *Coreoperca herzi*, which are vulnerable for water quality and had been observed in previous study, were not identified in this study. According to the cluster analysis, Ungcheon stream were divided into three groups consisting upstream (St.1, St.2, St.3), midstream (St.4, St.5, St.6, St.7), downstream (St.8, St.9,

1 접수 2014년 4월 2일, 수정(1차: 2014년 5월 22일), 게재확정 2014년 5월 23일

Received 2 April 2014; Revised (1st: 22 May 2014); Accepted 23 May 2014

2 국립수산과학원 중앙내수면연구소 Inland Fisheries Research Institute, NFRDI, Gyeonggi-do(477-815), Korea

a 이 논문은 국립수산과학원 중앙내수면연구소(과제번호 14-OE-24, RP-2014-FR-006)의 지원으로 연구되었음.

* 교신저자 Corresponding author(wolee@korea.kr)

St.10). Community structure similarity between upper and lower site of Boryeong dam with fish-way (St.6-St.7) was high, whereas that of weir, lack of fish-way (St.7-St.8) showed little similarity indicating that fish-way was required. According to the canonical correlation analysis, high level of conductivity and salinity at upstream was detected and *Misgurnus mizolepis*, and endemic species of Korea such as *Silurus microdorsalis*, *Coreoleuciscus splendidus* and *Iksookimia koreensis* were observed at this part of the stream. Since Korean endemic species, *Squalidus gracilis majimae* cohabit with exotic species, *M. Salmoides* at downstream whose width is wide and water velocity is low, protection was needed for these endemic species.

KEY WORDS: ARTIFICIAL STRUCTURE, FISH-WAY, CANONICAL CORRELATION ANALYSIS, ECOSYSTEM CHANG, ENDEMIC SPECIES

서론

우리나라는 연 강수량의 약 70%가 특정시기인 6~8월에 집중되어 있어 하천유량의 계절적인 변동이 큰 편이며 국토 지형의 대부분이 산악지대로 구성되어 있어 강수가 급격히 바다로 유실되기 때문에 수자원 이용과 홍수에 대한 방어가 불리하다. 따라서 효율적인 하천유량관리를 위해서 댐에 의존해야 하는 환경을 갖추고 있어 많은 하천에는 댐이 축조되어 있으며 하천수위 조절 뿐 만 아니라 농수확보, 발전 등의 다양한 기능을 하여 산업적, 농업적으로 중요한 역할을 하고 있다. 댐 이외에도 농업에 쓰이는 수자원 확보를 위해 상당수의 하천에 보가 축조되어있으며 서해안으로 유입되는 일부 하천의 기수역에는 조수로 인한 농경지의 피해를 방지하기 위해 방조제가 설치되어 있다.

우리나라의 지형은 동고서저형으로, 대부분의 하천과 강이 서해로 유입되는데 그 중 충청남도 남단에 위치한 웅천천은 유로길이 34km, 유역면적 234km²이며 46개의 소하천이 합류하여 서해로 흐른다. 서해로 이어지는 하천은 일반적으로 대형 강과 합류하지만 웅천천은 독립적인 계류성 하천으로 다른 강과 연결되지 않는 독특한 구조를 갖고 있다. 웅천천은 유속이 빠르지 않아 다양한 유영성 및 저서성 어류가 서식할 수 있는 환경을 갖추고 있으며 집수역이 산간부에 인접해 있어 수질이 청정하여 수질오염에 민감한 많은 어류가 서식하고 있다고 보고되었다(Hong *et al.*, 1999). 웅천천의 상류에는 폐광이 위치하고 있으며 중류와 하류에는 댐, 보, 방조제와 같은 인공구조물이 설치되어 있다. 웅천천 중류의 보령댐은 충남 서북부지역에 생활용수를 공급하기 위해 1992년부터 건설되기 시작하여 1996년 완공된 높이 50m, 길이 291m, 총 저수량 1억 1700만 톤의 다목적 댐이다. 웅천천에는 총 45개의 보가 있으며 그 중 중류에는 높이 3m의 대형 보가 설치되어 있다. 웅천천의 최하류에 위치한 부사방조제는 1997년에 완공되었으며 총길이 3,474km, 매

립면적 1,244ha으로, 충남 서천군 서면과 충남 보령시 웅천읍 사이를 연결한다. 웅천천의 수질은 1980년경 이전에는 *Pseudopungtungia nigra* 등이 서식할 정도로 청정한 것으로 알려져 있었으나 성주광업소의 채광활동이 활발해지기 시작한 이후로 광산폐수가 상류인 성주산 부근의 하천에 유입되어 수질오염이 발생하였고(Choi, 1987) 이후 웅천천 상류부가 상수원보호구역으로 지정되면서 상류의 수질 오염은 비교적 완화되어 있는 것으로 알려져 있다(Water Information System, 2009).

하천에 설치된 인공구조물인 댐과 보는 서식처를 정수화하고, 회유성 어종의 이동을 단절시키는 등 어류군집의 변화를 초래하였다(Poff and Hart, 2002; Poulet, 2007; Mins and Olden, 2013). 국내에서는 2005년 10월부터 내수면어업법 제19조2에 하천의 물흐름을 차단하는 인공구조물을 설치할 경우 어도를 설치할 것을 의무화하고 있으나, 2010년 전국의 국가하천과 지방하천의 인공구조물내 어도설치율이 14.9%에 불과하여 우리나라의 하천생태계 단절이 심각한 수준임이 보고되었다(Kim and Jang, 2011). 국내의 강이나 하천에 대형 댐과 보가 설치된 후 서식하는 어류의 종 조성 및 분포에 미치는 영향이 지속적으로 보고되고 있으며(Lee *et al.*, 2008; Jang *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2013), 인공구조물에 설치된 어도를 이용하는 어류의 연구도 활발하다(Yoon *et al.*, 2011; Kang *et al.*, 2012; Choi *et al.*, 2013). 그러나 하천에 설치된 인공구조물에 어도 유무가 어류군집의 분포에 미치는 영향에 대한 비교연구는 거의 없었다(Ko *et al.*, 2013).

현재까지 웅천천의 어류상에 관한 연구는 Jeon(1977)의 *P. nigra*의 생태에 관한 연구에서 개체수를 제외한 종 목록만이 있고, Choi(1987)는 충청남도에 서식하는 담수어류상을 조사하는 과정에서 웅천천 전체수역의 어류상을 71년도부터 86년까지 장기간에 걸쳐 조사하였고, Hong *et al.*(1999)은 보령댐이 완공되기 전에 일부 수계에서 어류상

조사를 실시하였다. 그 후 Byeon(2000)은 전국자연환경조사의 일환으로 성주산 일대 웅천천 수계의 어류상을 단기간 조사한 바 있으며, Oh(2007)의 연구에서도 일부 수계에 한해 어류상 연구가 실시되었다. 하지만 대부분 일부 수계를 대상으로 한 단기간의 연구에 그치고 있어 전체 수계에 걸친 지속적인 연구가 부족하였다.

따라서 본 연구에서는 다양한 인공구조물이 설치된 웅천천에 분포하는 어류상을 정밀조사하고, 서식환경과 어류군집과의 관계를 분석하였다. 이를 통하여 하천에 설치된 인공구조물의 어도 유무, 그리고 인근 폐광으로 인한 수질오염이 어류군집의 분포에 미치는 영향과 수생태계 보호 방안에 대하여 논의하고자 한다.

연구방법

1. 조사시기 및 조사지점

조사 시기는 풍수기와 갈수기 및 어류의 산란시기 전·후를 기준으로 결정하여 2011년 한 해 동안 4월 27~28일, 7월 19~20일, 8월 29~31일, 10월 26~28일에 총 4회 조사를 실시하였다. 조사지점은 상류부터 하류까지 다양한 서식지가 포함될 수 있도록 2~3km 간격으로 선정하였으며, 중하류에 어도가 설치된 보령댐과 어도가 설치되지 않은 대형보의 영향을 받는 지점을 포함하여 총 10개의 조사지점을 선정하였으며(Figure 1), 조사지점의 행정구역, 위도 및 경도는 아래와 같다.

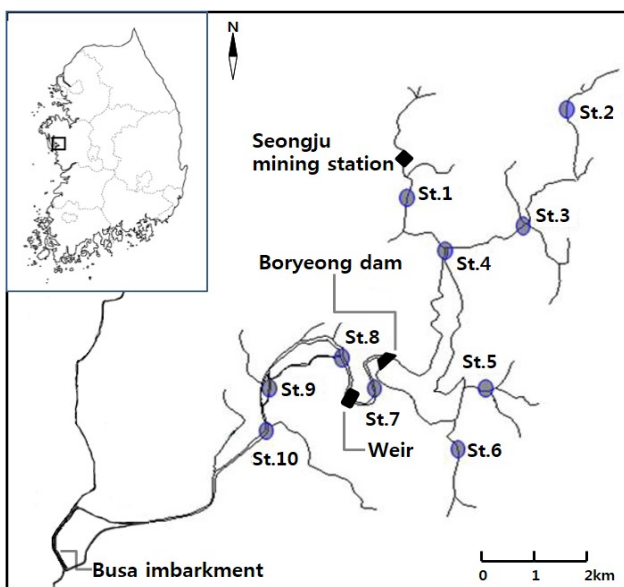


Figure 1. Map showing the study sites in Ungcheon stream, Boryeong, Korea

- St.1: 충청남도 보령시 성주면 개화리 (N 36° 19' 20", E 126° 39' 13")
- St.2: 충청남도 부여군 외산면 전정리 (N 36° 20' 15", E 126° 43' 21")
- St.3: 충청남도 부여군 외산면 만수리 (N 36° 17' 55", E 126° 42' 18")
- St.4: 충청남도 보령시 미산면 도화담리 (N 36° 17' 24", E 126° 40' 18")
- St.5: 충청남도 보령시 미산면 평라리 (N 36° 14' 18", E 126° 41' 03")
- St.6: 충청남도 보령시 미산면 내평리 (N 36° 12' 39", E 126° 40' 39")
- St.7: 충청남도 보령시 주산면 동오리 (N 36° 14' 57", E 126° 38' 19")
- St.8: 충청남도 보령시 웅천읍 성동리 (N 36° 15' 05", E 126° 37' 35")
- St.9: 충청남도 보령시 웅천읍 대천리 (N 36° 14' 35", E 126° 35' 48")
- St.10: 충청남도 보령시 웅천읍 대창리 (N 36° 13' 46", E 126° 35' 38")

2. 서식지의 환경특성 조사

조사지점별 수계의 화학적 특성을 조사하기 위하여 수질 측정기(YSI model 580, USA)를 사용하여 수온, pH, 용존산소량(DO), 전기전도도(Conductivity), 염도(Salinity) 등을 측정하였다. 어류 서식환경의 물리적 특성을 조사하기 위해 하폭, 유평, 수심, 하상구조를 측정하였으며, 하천형태는 Kani(1994)의 방법으로 구분하였고, 하상구조는 Cummins(1962)의 방법을 적용하였다.

3. 어류 채집 및 동정

어류상은 각 조사지점마다 정량적 조사를 실시하기 위하여 투망(망목 7 mm × 7 mm, 15회), 족대(망목 6 mm × 6 mm, 30분)를 이용하였다. 채집된 개체를 현장에서 동정하여 방류하였으며, 일부개체는 10% 포르말린 수용액으로 고정한 후 실험실로 운반하여 동정하였다. 어류의 동정 및 학명적용은 Kim and Park(2002), Kim *et al.*(2005)를 참고하였고, Nelson(2006)의 분류체계에 따라 정리하였다.

4. 통계 분석

각 지점별 어류의 군집특성을 분석하기 위해 우점도(McNaughton, 1967), 종다양도(Shannon and Weaver, 1963),

균등도(Pielou, 1966), 종풍부도(Margalef, 1958)를 산출하였으며 어류군집의 지점별 유사도 분석은 R 소프트웨어(ver. 3.0.1, R development core team, 2013)에서 Cluster package (Maechler, 2013)의 'agnes'함수를 사용하여 분석하였다. 어류군집과 서식환경요인간의 관계를 분석하기 위하여 정준대응분석(canonical correspondence analysis, CCA)을 실시했으며 R 소프트웨어의 CCA package (González *et al.*, 2008)에서 'cca' 함수를 사용하였다. 이때 독립변수는 조사시기별 조사지점 10개소의 유속, 수온, 수소이온농도, 용존산소량, 전기전도도, 염도 등 총 6개였으며 종속변수는 출현어종별 개체수를 $\log(S+1)$ (S는 개체수)로 변환한 값을 사용하였다.

결 과

1. 서식환경

조사기간 중 수온은 7월에 23.1~29℃로 가장 높았고, 10월에 11.6~17.3℃로 가장 낮았으며 최상류에서 하류로 갈수록 점차 높아지는 경향을 보였다. pH는 계절별로 일정하지 않은 패턴을 보였으나 상류, 중류보다 하류에서 높아지는 경향이 있었다. DO농도의 경우 8월에 5.17~9.54 mg/L의 범위를 보여 낮게 나타났으며 지점별로는 일정한 패턴이 발견되지 않았다. 전기전도도는 강수량이 많아지는 7월에 66~196 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 의 범위를 보였고, 갈수기인 4월과 10월에 85~238 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 더 높았다. 전반적으로 중류를 제외한 상류, 하류에서 전기전도도가 높은 경향을 보였으며, 특히 하류보다 상류에서 더욱 높게 나타났다. 염도는 전체적으로 전기전도도와 비슷한 패턴을 보여 7월에 0.03~0.07, 4월에 0.05~0.08로 나타나 전반적으로 하절기에 낮은 경향을 보였다. 지점별로는 해수의 영향을 받는 하류역으로 갈수록 높아지는 경향이 있었지만 계곡 산간부인 최상류에서 가장 높게 나타났다(Figure 2). 하폭 및 유폍은 지류인 St.1, St.5,

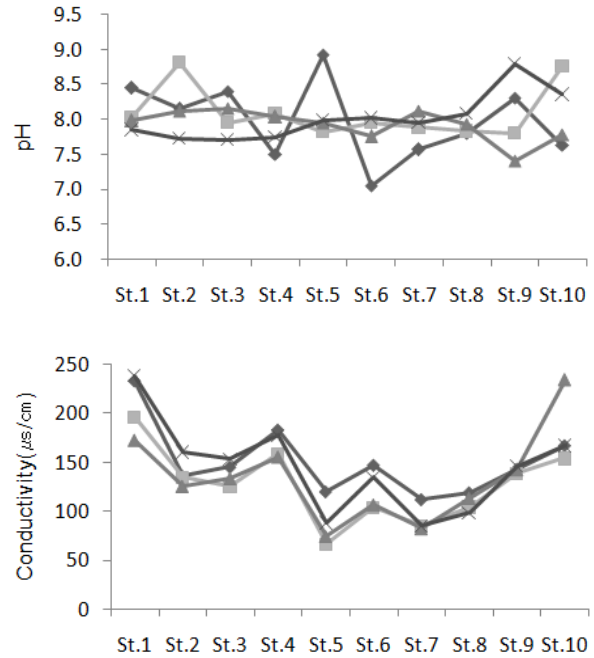
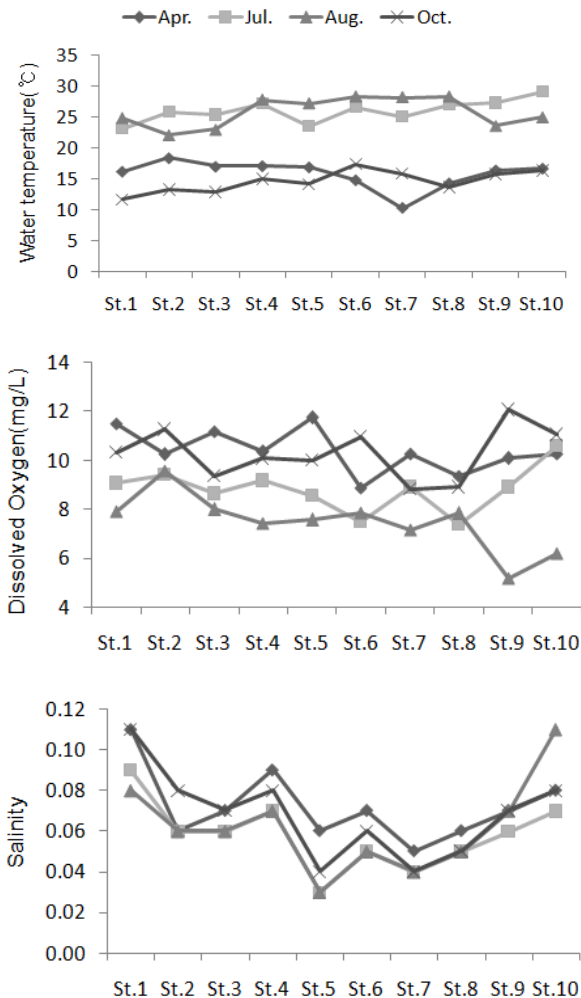


Figure 2. Seasonal variation of water quality at each site in Ungcheon stream, Boryeong, Korea

Table 1. The environmental factors at each site in Ungcheon stream, Boryeong, Korea

Site	Stream width (m)	Water width (m)	Water depth (cm)	River type*	Bottom structure (%)**				
					M&S	G	P	C	B
St.1	45-60	2-50	30-150	Bb	10	20	30	20	20
St.2	40-50	2-30	20-200	Bb	-	20	30	20	30
St.3	27-36	2-25	30-100	Aa-Bc	10	30	30	20	10
St.4	66-100	5-20	30-500	Aa-Bc	10	10	30	30	20
St.5	25-40	5	10-50	Aa	20	10	20	30	20
St.6	15-20	1-10	10-80	Aa-Bc	15	50	30	5	-
St.7	65-100	30-40	30-100	Aa-Bb	10	10	30	40	10
St.8	105	10-100	30-100	Ab-Bb	60	20	10	10	-
St.9	120-140	3-120	10-100	Aa-Bb	10	30	30	10	20
St.10	70-144	20-80	30-80	Bc	25	20	40	10	5

*River type: by Kani (1944), **Bottom structure: B (Bolder, 256 mm<), C (Cobble, 64~256 mm), P (Pebble, 16~64 mm), G (Gravel, 2~16 mm), M&S (Mud and Sand, <2 mm) (Cummins, 1962)

St.6에서 비교적 작았으며 하류로 갈수록 커지는 경향이 있었다. 상류와 중류의 사이에 위치한 St.7, St.8에서 가장 규모가 컸다. 하상구조는 하류로 갈수록 큰 돌(bolder)의 비율은 감소하고, 진흙 및 모래(mud & sand)의 비율이 증가하는 경향을 보였다. 전반적으로 St.8을 제외한 대부분의 조사지점에서 모든 종류의 입자가 고루 섞여있었다(Table 1).

2. 웅천천의 어류상

전체 웅천천 조사 수역 내에서 총 6목 12과 36종 7,864개체의 어류가 채집되었다(Table 2). Cyprinidae의 어류가 19종(52.7%)으로 가장 많았으며 그 다음으로 Cobitidae 4종(11.1%), Siluridae, Bagridae, Gobiidae가 각각 2종(5.6%) 등의 순으로 출현하였다. *Zacco platypus* (23.4%)가 가장 우점하였고, 아우점종은 *Zacco koreanus* (20.5%), 그 외에 *Tridentiger brevispinis* (15.6%), *Rhinogobius brunneus* (5.9%), *Squalidus gracilis majimae* (5.3%)의 순으로 우세하였다. 채집된 어류 중 우리나라 고유종으로는 *Rhodeus uyekii*, *Acheilognathus yamatsutae*, *Coreoleuciscus splendidus*, *S. gracilis majimae*, *Z. koreanus*, *Hemiculter eigenmanni*, *Iksokimia koreensis*, *Silurus microdorsalis*, *Pseudobagrus koreanus*, *Odontobutis interrupta* 등 10종이 채집되었으며, 전체 출현종의 27.8%로 확인되었다. 멸종위기종 등의 법적 보호종은 출현하지 않았으며, 외래도입종인 *Micropterus salmoides*의 서식이 확인되었다. 본 조사에서 처음으로 확인된 종으로는 *Acheilognathus rhombeus*, *Z. koreanus*, *Hypomesus nipponensis*, *Oryzias sinensis*, *Siniperca scherzeri*,

M. salmoides 등 6종이었다(Table 3).

이전 조사에서는 분포가 확인되었으나(Jeon, 1977; Choi, 1987; Hong *et al.*, 1999; Byeon, 2000; Oh, 2007) 본 조사에서 확인 되지 않은 종으로는 고유종이자 멸종위기야생생물 I급인 *Pseudopungtungia nigra*와 *Liobagrus obesus* 2종, 고유종인 *Squalidus chankaensis tsuchigae*, *Liobagrus andersoni*, *Coreoperca herzi*, *Odontobutis platycephala* 등 4종, 회유종인 *Anguilla japonica*와 *Plecoglossus altivelis* 2종, 기수역에 분포하는 *Trachidermus fasciatus*, *Lateolabrax japonicus*, *Chaenogobius urotaenius*, *Tridentiger obscurus* 등 4종, 그 외 *Lefua costata*와 *Oryzias latipes* 2종 등 총 14종이었다(Table 3).

3. 어류군집 비교

웅천천의 전체 종다양도지수(H')는 2.43, 균등도지수(E)는 0.68, 종풍부도지수(RI)는 3.79, 우점도지수(DI)는 0.44였다(Figure 3). 웅천천의 조사수역별 어류군집을 분석한 결과 종다양도지수는 최상류인 St.1과 St.2에서 각각 1.50으로 가장 낮았으며, 최상류에서 댐으로 갈수록 높아졌고 댐에서 하류로 인접할수록 낮아지는 경향을 보였다. 균등도지수는 최상류에서 St.5까지는 값이 거의 일정하였으나 St.6으로 넘어가면서 급격히 증가하였고, 그 이후의 지점에서 최하류로 갈수록 다시 감소하였다. 종풍부도지수는 종다양도지수와 유사한 경향을 보여 상류에서 최하류로 갈수록 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 우점도지수는 최상류인 St.1과 최하류인 St.10에서 각각 0.74, 0.78로 가장 높았으

Table 2. The list and individual number of collected fishes at each site in Ungcheon stream, Boryeong, Korea

Scientific name	Korean name	abb.	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.10	Total	R.A.(%)	Remark	
Cyprinidae																
<i>Carassius carpio</i>	잉어	sp 1										1	1	0.09		
<i>Carassius auratus</i>	붕어	sp 2			1	141	1		2	35	8	24	212	2.70		
<i>Rhodeus ocellatus</i>	흰줄납줄개	sp 3										5	5	0.06		
<i>Rhodeus uyekii</i>	각시붕어	sp 4				11			16	127	151	17	322	4.10	Ke ^a	
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	납자루	sp 5				15	28	35	6	13	77	9	183	2.33		
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>	줄납자루	sp 6							21	106	19	1	147	1.87	Ke	
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	납지리	sp 7				1			12	140	19	2	174	2.21		
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어	sp 8			1	10	13	1		6	23	22	76	0.97		
<i>Pungtungia herzi</i>	돌고기	sp 9	19	48	18	22	10	41	58	16	16	3	251	3.19		
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	쉬리	sp 10	13		37				1				51	0.65	Ke	
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	긴물개	sp 11	17	41	6	37	11	32	88	152	35	1	420	5.34	Ke	
<i>Hemibarbus longirostris</i>	참마자	sp 12	3		1		1	4		1	1		11	0.14		
<i>Pseudogobio esocinus</i>	모래무지	sp 13				1	2			4	7	2	16	0.20		
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	버들치	sp 14	78	81	51	13	4	26				3	256	3.26		
<i>Aphyocypris chinensis</i>	왜물개	sp 15										1	1	0.01		
<i>Zacco koreanus</i>	참갈겨니	sp 16	216	303	381	175	198	133	92	51	28	33	1,610	20.48	Ke	
<i>Zacco temminckii</i>	갈겨니	sp 17			5			30	70	19			124	1.58		
<i>Zacco platypus</i>	피라미	sp 18	12	58	99	203	118	144	115	239	397	457	1,842	23.43		
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	치리	sp 19							7	2	7	3	19	0.24	Ke	
Cobitidae																
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리	sp 20				2	6	5			1	21	35	0.45		
<i>Misgurnus mizolepis</i>	미꾸라지	sp 21	1	1								3	5	0.06		
<i>Iksokimia koreensis</i>	참종개	sp 22	27	31	26	21							105	1.34	Ke	
<i>Cobitis lutheri</i>	점줄종개	sp 23			6	21	18	10	6	16	24	9	110	1.40		
Siluridae																
<i>Silurus asotus</i>	메기	sp 24								1			1	0.01		
<i>Silurus microdorsalis</i>	미유기	sp 25	1	1									2	0.03	Ke	
Bagridae																
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	동자개	sp 26									2		2	0.03		
<i>Pseudobagrus koreanus</i>	눈동자개	sp 27	2	6	4	11	2		3	24	10	1	63	0.80	Ke	
Osmeridae																
<i>Hypomesus nipponensis</i>	빙어	sp 28							1	11	4	2	18	0.23		
Adrianchthyidae																
<i>Oryzias sinensis</i>	대륙송사리	sp 29									2		2	0.03		
Synbranchidae																
<i>Monopterus albus</i>	드렁허리	sp 30						1		2			3	0.04		
Centropomidae																
<i>Siniperca scherzeri</i>	쏘가리	sp 31				1			1	1			3	0.04		
Odontobutidae																
<i>Odontobutis interrupta</i>	얼룩동사리	sp 32	7	3	4	2	2	9	17	31	22	7	104	1.32	Ke	
Gobiidae																
<i>Rhinogobius brunneus</i>	밀어	sp 33			114	75	23	46	27	31	105	39	460	5.85		
<i>Tridentiger brevispinis</i>	민물검정망둑	sp 34				431	302	48	54	4	109	276	1,224	15.57		
Channidae																
<i>Channa argus</i>	가물치	sp 35								2			2	0.03		
Centrarchidae																
<i>Micropterus salmoides</i>	배스	sp 36										3	1	4	0.05	Ex ^b
No. of individuals			396	573	754	1,193	739	565	597	1,034	1,074	939	7,864	100		
No. of species			12	10	15	19	16	15	19	24	24	23	36			

^aKe: Korean endemic species, ^bEx: Exotic Species

Table 3. Comparison of fish species in previous and present studies in Ungcheon stream, Boryeong, Korea

Scientific name	Korean name	Jeon (1977)	Choi (1987)	Hong <i>et al.</i> (1999)	Byeon (2000)	Oh (2007)	Present (2011)	Remark
<i>Anguilla japonica</i>	뱀장어	○	○	○				
<i>Cyprinus carpio</i>	잉어			○			○	
<i>Carassius auratus</i>	붕어	○	○	○			○	
<i>Rhodeus ocellatus</i>	흰줄납줄개		○				○	
<i>Rhodeus uyekii</i>	각시붕어	○	○	○			○	Ke ^a
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	납자루	○	○	○			○	
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>	줄납자루		○	○			○	Ke
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	납지리						○	
<i>Pseudorasbora parva</i>	참붕어	○	○	○		○	○	
<i>Pungtungia herzi</i>	돌고기	○	○	○	○	○	○	
<i>Pseudopungtungia nigra</i>	감돌고기	○	○					Ke, En ^b
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	쉬리	○	○	○			○	Ke
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	긴물개	○	○	○	○		○	Ke
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>	참물개	○						Ke
<i>Hemibarbus longirostris</i>	참마자	○	○	○			○	
<i>Pseudogobio esocinus</i>	모래무지	○	○	○		○	○	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	버들치	○	○	○	○		○	
<i>Aphyocypris chinensis</i>	왜물개	○	○				○	
<i>Zacco koreanus</i>	참갈겨니						○	Ke
<i>Zacco temminckii</i>	갈겨니	○	○	○	○	○	○	
<i>Zacco platypus</i>	피라미	○	○	○	○	○	○	
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	치리		○				○	Ke
<i>Lefua costata</i>	쌀미꾸리				○			
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리	○	○	○	○		○	
<i>Misgurnus mizolepis</i>	미꾸라지		○				○	
<i>Iksookimia koreensis</i>	참종개	○	○	○	○		○	Ke
<i>Cobitis lutheri</i>	점줄종개		○	○	○	○	○	
<i>Silurus asotus</i>	메기	○	○	○			○	
<i>Silurus microdorsalis</i>	미유기			○			○	Ke
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	동자개		○	○			○	
<i>Pseudobagrus koreanus</i>	눈동자개		○	○	○		○	Ke
<i>Liobagrus andersoni</i>	통가리	○	○					Ke
<i>Liobagrus obesus</i>	통사리			○				Ke, En
<i>Hypomesus nipponensis</i>	빙어						○	
<i>Plecoglossus altivelis</i>	은어		○	○		○		
<i>Oryzias latipes</i>	송사리		○					
<i>Oryzias sinensis</i>	대륙송사리						○	
<i>Monopterus albus</i>	드렁히리			○			○	
<i>Trachidermus fasciatus</i>	걱정이		○					
<i>Lateolabrax japonicus</i>	농어		○					
<i>Siniperca scherzeri</i>	쏘가리						○	
<i>Coreoperca herzi</i>	걱지	○	○					Ke
<i>Odontobutis platycephala</i>	동사리	○		○		○		Ke
<i>Odontobutis interrupta</i>	얼룩동사리		○		○		○	Ke
<i>Chaenogobius urotaenius</i>	꼭저구		○		○			
<i>Rhinogobius brunneus</i>	밀어	○	○	○	○	○	○	
<i>Tridentiger obscurus</i>	검정망둑		○	○				
<i>Tridentiger brevispinis</i>	민물검정망둑				○	○	○	
<i>Channa argus</i>	가물치		○	○			○	
<i>Micropterus salmoides</i>	배스						○	Ex ^c
No. of species		23	36	29	14	10	36	

^aKe: Korean endemic species, ^bEn: Endangered species, ^cEx: Exotic Species

며 종류인 St.4 에서는 0.35로 가장 낮았다. 전체적으로 종 다양도지수, 균등도지수, 종풍부도지수가 상류보다 중·하류에서 높은 경향을 보였으며 우점도지수는 상류 및 하류보다 중류에서 더 낮게 나타났다.

4. 지점별 유사도 분석

웅천천 내의 어류군집의 유사도를 분석한 결과, 크게 세 그룹으로 나뉘었다(Figure 4). 상류인 St.1, St.2, St.3, 중류인

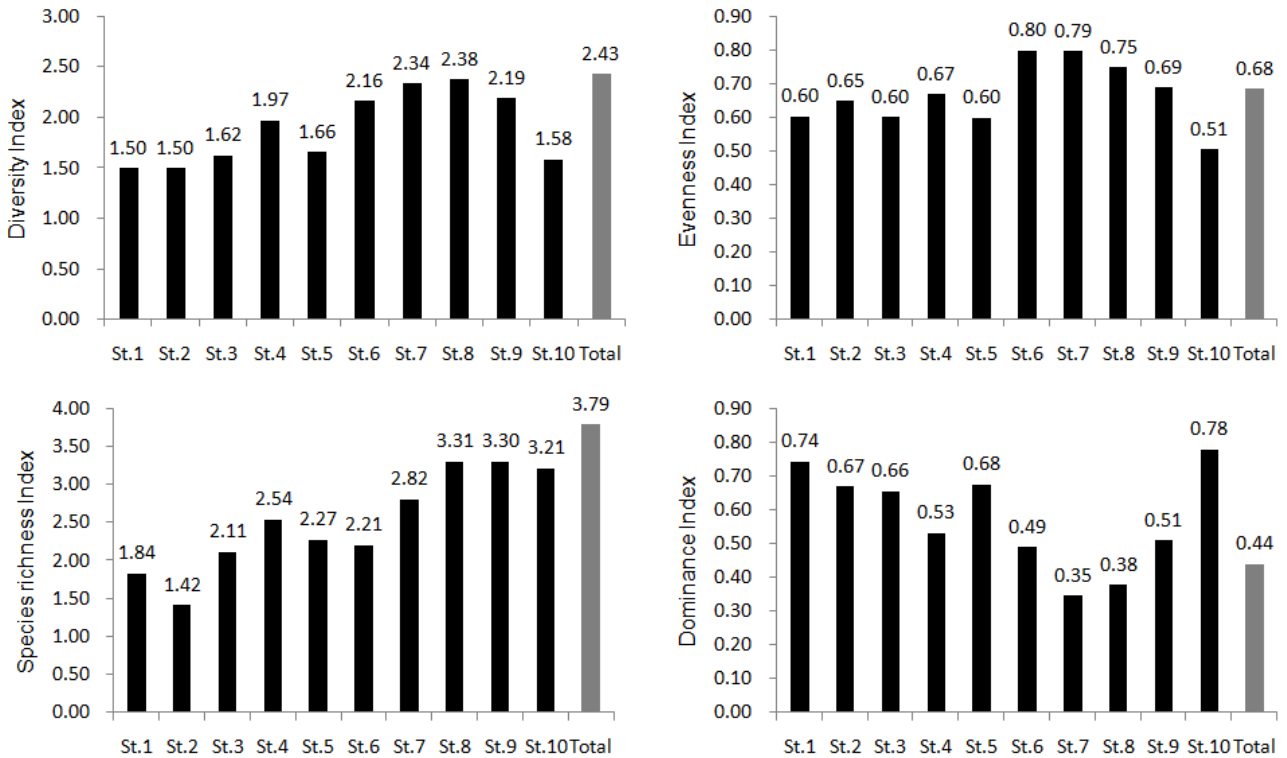


Figure 3. Community indices at each site in Ungcheon stream, Boryeong, Korea

St.4, St.5, St.6, St.7, 그리고 하류인 St.8, St.9, St.10으로 구분되었고 상류보다 중류와 하류 사이의 유사도가 더 컸다.

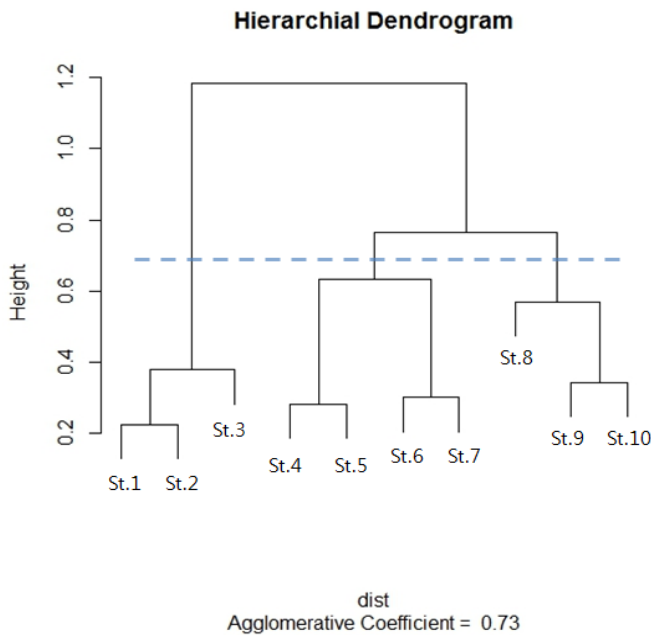
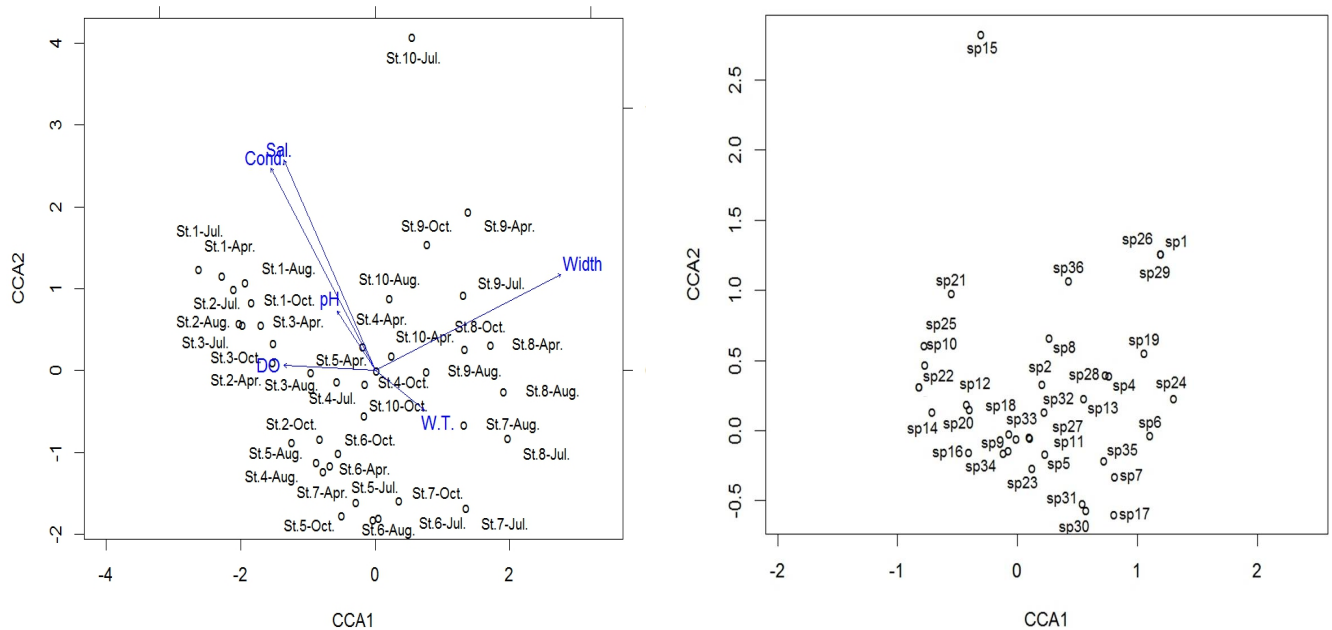


Figure 4. Dendrogram of similarity at each site in Ungcheon stream, Boryeong, Korea

5. 어류상과 환경변수와의 관계

서식지의 환경요인에 따른 어류 군집의 구조를 분석하고자 정준상관분석을 실시한 결과, CCA 제 1축의 고유값(eigen value)은 0.1904, 제 2축의 고유값은 0.0686이었고 이 두 축은 전체 변이의 69.2%를 반영하였다. 유폭은 pH, 전기전도도, 염도와 거의 직각의 위치에 있어 이들과는 상관관계가 약한 것으로 보였다. 수온은 전기전도도, 염도, pH와 음의 상관관계를 보였으며 전기전도도와 염도의 위치는 거의 일치하여 매우 높은 상관관계가 있었다. 하류수역인 St.8, St.9, St.10은 유폭과 양의 상관관계를 보였으며 최하류인 St.10에서는 전기전도도, 염도, pH와 양의 관계를, 중류수역인 St.4, St.5, St.6, St.7은 전기전도도, 염도, pH와 음의 관계를 보였다. 상류수역인 St.1, St.2, St.3은 유폭과의 상관관계는 낮았으며 pH, 전기전도도, 염도와 양의 관계, 수온과는 음의 관계를 갖는 것으로 나타났다. 최상류인 St.1, St.2에서 전기전도도와 염도값이 매우 높게 나타났으며 이러한 환경에서 서식하는 어류로는 *S. microdorsalis*, *C. splendidus*, *I. koreensis*, *Misgurnus mizolepis* 등이 있었다(Figure 5). *M. salmoides*는 전기전도도와 염도가 다소 높은 하류역에 분포하고 있었으며 이 종과 동소적으로 분포하는 종으로는 고유종인 *Squalidus gracilis majimae* 와 *O. interrupta*이 있었다.



a: CCA plot describing environmental factors and sites (W.T.: water temperature, Cond.: conductivity, Sal.: salinity)

b: CCA plot describing fish species distribution

Figure 5. Results of Canonical Correspondence Analysis of the fish communities in Ungcheon stream, Boryeong, Korea. Species numbers are shown in Table 2.

고찰

1. 웅천천 어류상 변화

웅천천은 하천연장이 34km로, 서해로 유입되는 독립하천 중 비교적 큰 편이며 본 조사를 통해 총 36종의 어류가 채집되었다(Table 2). 인근의 서해로 유입되는 소규모 독립하천인 대천천에서 42종의 어류가 출현했으나(Song *et al.*, 2013) 웅천천과 규모가 비슷하거나 조금 큰 미호천에서 28종(Lee and An, 2010), 백천에서 20종(Chae and Yoon, 2011)의 어류서식이 확인되어 비교적 다양한 어류분포를 보였다. 기존 조사에서보다 많은 종이 채집된 이유는 조사 시기가 갈수기, 풍수기, 평수기를 모두 포함하도록 고르게 편성되었으며 이전 조사에서보다 조사지점이 많아 정밀조사가 가능했기 때문인 것으로 보인다. 본 조사결과 Cyprinidae 어류가 많이 출현하여 우리나라 서해, 남해로 유입되는 하천의 특성을 반영하고 있다(Kim and Park, 2002; Kang *et al.*, 2004; Byeon and Lee, 2006; Lee *et al.*, 2008; Song *et al.*, 2013).

웅천천에서 최근 20년 동안 담수어류상이 급격히 변화하여 멸종위기종 및 일부 고유종의 출현이 확인되지 않고 있다(Jeon, 1977; Choi, 1987; Hong, 1999; Byeon, 2000; Oh,

2007). 기존조사에서는 서식이 확인되었으나 본 조사에서 출현하지 않은 멸종위기종 및 고유종은 *P. nigra*, *S. chankaensis tsuchigae*, *L. andersoni*, *L. obesus*, *O. platycephala*, *C. herzi* 등 이었다. 이들 고유종과 멸종위기종은 서식환경에 민감하게 반응하는데 부사방조제, 보령댐 축조로 인해 하상이 변하고 수질이 악화되어 웅천천에 더 이상 출현하지 않게 된 것으로 판단된다. 고유종인 *C. herzi*와 고유종이자 멸종위기야생생물I급인 *P. nigra*는 각각 탁란숙주와 탁란자의 관계로, *P. nigra*가 번식기에 *C. herzi*의 산란장에 탁란을 하여 번식한다(Kim *et al.*, 2004). *P. nigra* 외에 국내에서 *C. herzi* 산란장에 탁란하는 종으로는 *Pseudopungtungia tenuicarpa*, *Pungtungia herzi*가 있으며 이들은 *C. herzi*의 산란장에 탁란하기도 하지만 *C. herzi*가 없을 경우에도 틈새산란을 하여 번식할 수 있다(Lee, 2011). 하지만 *P. nigra*는 틈새산란을 주로 하지 않고 *C. herzi*의 산란장에 탁란을 하기 때문에 *C. herzi*가 없으면 번식이 어렵게 된다. 웅천천 종류 보령댐이 건설되기 시작한 1992년 이후의 조사부터 이 두 종의 출현이 확인되지 않는다는 것은 서식지 파괴 및 정수화로 인해 *C. herzi*의 개체수가 감소하고 이후 산란숙주가 부족해진 *P. nigra*의 개체수도 따라서 감소하여 지역적인 절멸에 이른 것으로 보이며, 특히 웅천천과 같은 독립하천은 더욱 직접적인 영향이 있었을 것으로 사료된다.

회유종인 *A. japonica*와 *P. altivelis*의 서식 역시 본 조사에서는 확인되지 않았다. 1997년에 부사방조제가 축조되면서 *A. japonica*와 *P. altivelis*의 회유로가 단절되었을 뿐 만 아니라 하류역이 정수역으로 변하면서 수질오염이 더욱 심화되고, 이후 보령댐이 축조되면서 회유시기에 유량이 변하여 이동에 방해를 받았을 것으로 추정되었다. 이는 기수역 근처에 댐이 건설된 경우에는 해안과 민물 사이를 오가는 회유종의 이동이 차단될 수 있다고 한 Kim *et al.*(2002)의 연구와도 유사하였다. 본 조사에서는 기수역을 포함하지 않았기 때문에 *T. fasciatus*, *L. japonicus*, *C. urotaenius*, *T. obscurus*는 출현하지 않았으며, 그 외 *L. costata*, *O. latipes* 역시 조사방법의 차이로 발견되지 않은 것으로 보인다.

본 조사를 통해 처음으로 발견된 종으로는 *A. rhombeus*, *Z. koreanus*, *H. nipponensis*, *O. sinensis*, *S. scherzeri*, *M. salmoides* 등 총 6종이 있었다. 이 중 *A. rhombeus*, *H. nipponensis*, *O. sinensis*, *S. scherzeri*는 이전에도 서식했으나 조사시기 및 장소 등 조사 방법의 차이로 인해 발견되지 않았던 것으로 보인다. *Z. koreanus*는 2005년 이전까지는 *Zacco temminckii*인 것으로 분류되었으나 그 이후로는 *Z. temminckii*와 형태적으로 차이를 보이는 개체들이 *Z. koreanus*로 따로 분류되었다(Kim *et al.*, 2005). 따라서 *Z. koreanus*는 *Z. temminckii*와 함께 웅천천에 분포하였던 것으로 보인다. *M. salmoides*는 St.9와 St.10에서 출현하였는데 2000년대 후반에 인위적 도입에 의한 유입으로 사료되었다.

2. 지점별 유사도 분석

인간활동에 의해 만들어진 댐, 보와 같은 인공구조물은 어류의 이동을 제한하여 대부분의 경우 댐 상류 및 하류의 어류군집구조가 달라지게 된다(Martinez *et al.*, 1994; Almodovar and Nicola, 1999). 웅천천의 조사지점 중 St.6과 St.7사이에는 보령댐이 위치하고, St.7과 St.8사이에는 높이 3m의 대형 보가 설치되어 있는데 어류군집 유사도의 차이는 댐보다 대형 보를 기준으로 더 컸다. 일반적으로 서식지 단절을 유발하는 장벽의 크기가 클수록 생태계 단절에 미치는 영향이 클 것으로 보이며, 실제로 ASCE(1997)에 의하면 댐의 크기에 따라 수생태계에 미치는 영향의 정도가 다르다고 한다. 그럼에도 대형 보에서보다 규모가 훨씬 큰 댐에서 유사도의 차이가 더 작게 나타난 이유는, 댐에 어도가 설치되어 있는 반면 대형보에는 어도가 설치되어 있지 않아 어류의 이동통로를 제공하지 못하기 때문인 것으로 사료된다. 고성 배봉천의 경우 하류부에 설치된 보에 어도가 없어 상류부와 군집유사도의 차이가 보고되었다(Ko *et al.*, 2013). 하천의 흐름을 방해하는 인공구조물에 어도가

설치되어 있을 경우 다양한 종의 어류가 이용할 수 있으며, 탐진강의 장흥댐에 설치된 어도는 전체 15종 중 *Carassius auratus*, *Carassius cuvieri*, *P. herzi*, *Z. temminckii*, *Z. platypus*, *P. koreanus* 등 6종이 이용하여 40.0%의 이용률을 보였으며, 낙동강 하구둑에 설치된 어도의 경우 전체 62종 중 39종(63%)이 어도를 이용하였다(Yoon *et al.*, 2011, Kang *et al.*, 2012). 영산강에 설치된 승촌보 어도에서는 총 30종 중 13종 어류가 발견되어 43.3%의 종이 이용하였다(Choi *et al.*, 2013). 따라서 하천의 연속성을 방해하는 인공구조물에 설치된 어도는 어류의 이동을 도와 하천 연결을 높일 수 있다.

3. 서식환경과 어류군집의 관계

정준상관분석으로 웅천천의 서식환경요소에 따른 어류 분포를 분석한 결과, 상류와 하류에서 전기전도도와 염도가 높게 나타나 해당 수역의 수질이 오염되어 있었으며, 하류보다 상류에서 더욱 심한 것으로 나타났다. 일반적인 하천과 달리 상류의 수질이 오염되어 있는 이유는 웅천천의 발원지인 성주산에 성주광업소의 석탄채광으로 인해 광물입자가 하천에 유입되었기 때문인 것으로 보인다(Choi, 1987). 성주광업소는 1955년에 개발되었으며, 1977년 호황기를 맞아 활발하게 운영되었으나 1990년도에는 석탄산업 합리화정책으로 인해 폐광 되었다(Korea Coal Corporation, 2001). 즉, 채광으로 인한 수질오염은 1955년부터 서서히 진행되어 호황기인 1970년대 말에 가속화 되었으며 1990년에는 폐광이 되었음에도 20년이 지난 현재까지도 지속되고 있는 것으로 판단된다. 수질오염이 발생된 상류수역에도 *M. mizolepis*, 그리고 고유종인 *S. microdorsalis*, *C. splendidus*, *I. koreensis* 등이 서식하고 있었고, *M. mizolepis*를 제외한 고유종들은 오염에 내성이 강한 종이 아니지만 광산폐수가 다량으로 유입되던 1970~80년대에도 이들 고유종이 서식이 확인되었으며, 이러한 이유에 관하여 향후 광산폐수가 수질오염에 민감한 종의 내성에 미치는 영향 등을 연구할 필요가 있을 것으로 보인다. 또한 An *et al.*(2012)의 연구에 의하면 광산폐수에 버들치를 노출시킨 실험군과 노출되지 않은 대조군을 비교했을 때 대조군의 장기조직의 손상은 발견되지 않은 반면, 실험군에서는 간 조직이 영향을 받았다고 한다. 따라서 추후 웅천천 상류에 서식하는 어류의 장기손상여부에 대한 연구도 필요할 것으로 보인다.

특히 웅천천 내에서 *C. herzi*와 *P. nigra*를 비롯한 많은 고유종의 서식이 어려워진 상황을 고려했을 때, 현재 남아 있는 고유종 *S. microdorsalis*, *C. splendidus*, *I. koreensis*에 대한 적극적인 보호조치가 요구된다. 또한 웅천천의 상

류수역은 상수원보호구역으로 지정되어 있어 보령시에서 웅천천 정화사업을 실시하였지만 본 연구에서는 아직 수질이 오염 되어 있는 것으로 확인되었기 때문에 앞으로 더욱 적극적인 회복방안이 필요할 것이다.

외래도입종인 *M. salmoides*는 유속이 느린 서식지를 선호하여 하류역에 분포하고 있었다. *M. salmoides*와 같은 외래종이 댐 호와 같은 정수화 된 지역에서 인간의 인위적인 유입으로 인해 서식하게 되는 경우가 종종 있으며, (Hickley 1994; Cowx and Welcomme 1998; Welcomme, 1998) 웅천천에서 발견된 *M. salmoides* 역시 이와 유사한 인위적인 유입에 의해 서식하게 된 것으로 사료된다. *M. salmoides*는 환경부에서 생태계교란생물로 지정한 외래종으로 갑각류, 수서곤충 뿐만 아니라 우리나라 고유종과 같은 토착민물고기를 포식하는 등 우리나라 하천 고유의 생태계를 교란하는 것으로 알려져 있으며(Hong and Son, 2003; Ko *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2009) 웅천천 내에서는 고유종인 *Squalidus gracilis majimae*이 동소적으로 출현하고 있어 이들의 서식이 위협받고 있는 것으로 보인다. *M. salmoides*는 서식지를 점차 넓혀갈 수 있기 때문에 (Ross 1991; Martinez *et al.*, 1994) 지속적인 모니터링을 실시하는 등 웅천천내에서 출현하는 고유종을 보호하여 웅천천 고유의 생태계가 교란되지 않도록 방지해야 할 것이다.

REFERENCES

- Almodovar, A. and G.G. Nicola(1999) Effects of a small hydro-power station upon brown trout *Salmo trutta* L. in the River Hoz Seca (Tagus basin, Spain) one year after regulation. *Regul. River*15(5): 477-484.
- An, K.G., D.Y. Bae and J.H. Han(2012) Physico-chemical characteristics and in situ fish enclosure bioassays on wastewater outflow in abandoned mine watershed. *Korean J. Limnol.*45(2): 218-231. (in Korean with English abstract)
- ASCE(1997) Guidelines for retirement of dams and hydroelectric facilities, NY: ASCE Publications, 222pp.
- Byeon, H.K.(2000) Freshwater fish fauna in Boryeong (Mountain Seongju), Korea. National Ecosystem Survey 2nd. The Ministry of Environment, pp.1-18. (in Korean)
- 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)
- Chae B.S. and H.N. Yoon(2011) Ichthyofauna of Baekcheon river within Byeonsanbando National Park. *Journal of National Park Research*2(4): 187-193. (in Korean with English abstract)
- Choi, G.C.(1987) Natural environment in Chungcheongnam-do; freshwater fish. Korea Science and Technology Foundation, Seoul, 365pp.
- Choi, J.W., C.S. Park, B.J. Lim, J.H. Park and K.G. An(2013) Fish passage evaluations in the fishway constructed on Seungchon weir. *Journal of Environmental Science International* 22(2): 215-223. (in Korean with English abstract)
- Cowx, I.G. and R.L. Welcomme(1998) Rehabilitation of rivers for fish. FAO and Fishing News Books, Oxford, 260pp.
- 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.
- González, I., S. Déjean, P.G.P. Martin and A. Baccini(2008) CCA: An R package to extend canonical correlation analysis. *J. Stat. Softw.*23(12): 1-14.
- Hickley, P.(1994) Stocking and introduction of fish-a synthesis. In: Cowx IG (ed.), Rehabilitation of freshwater fisheries, Fishing News Books, Oxford, pp. 247-254.
- Hong, Y.P., M.H. Chang., H. Kang and S.S. Choi(1999) The fish community of the Ungch'on stream around the new dam intended area. *Korean J. Environ. Biol.*17: 79-88. (in English with Korean abstract)
- Hong, Y.P., and Y.M. Son(2003) Studies on the interspecific association of community including *Micropterus salmoides* Population, introduced fish in Korea. *Korean J. Ichthyol.*15(1): 61-68. (in Korean with English abstract)
- Jang, Y., J. Choi, K. Lee, J. Seo and B. 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)
- Jeon, S.R.(1977) Ecological studies on the *Pseudopungtungia nigra* from Korea. *Korean J. Limnol.*10(1): 33-46. (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 Naktong River. *Korean J. Ichthyol.*24(3): 201-219. (in Korean with English abstract)
- Kang, Y.H., J.W. Seo, J.D. Keum, H.J. Yang(2004) The fish community structure in the middle of Nakdong River. *Korean J. Limnol.*37(2):227-235. (in Korean with English abstract)
- Kani(1994) Ecology of mountain stream insects. Research history Tokyo, pp. 5-17. (in Japanese)
- Kim, D.S., C.G. Choi, S.J. Joh and J.H. Kim(2002) Preservation of fish community by the construction of the Tamjin Dam. *Korean J. Limnol.*35(3): 237-246. (in Korean with English abstract)
- 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. (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. S.H. Choi, H.H. Lee, and K.H. Han(2004) Brood parasite of Korean shiner, *Pseudopungtungia nigra* in the Keum River Korea. Korean J. Ichthyol.16(1): 75-79. (in Korean with English abstract)
- 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, 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(2013) Fish community structure and inhabiting status of endangered species in Baebong stream. Korean J. Ecology and Environment 46(2): 192-204. (in Korean with English abstract)
- Korea Coal Corporation(2001) 50 years of Korea coal corporation:1950-2000. Korea Coal Corporation, Seoul, 813pp. (in Korean)
- Lee, H.H.(2011) Reproductive strategies of genus *Pseudopungtungia* and *Pungtungia*. Ph. D. Dissertation, Kunsan National University, Gunsan, 132pp. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.H., J.H. Han, B.J. Lim, J.H. Park, J.K. Shin and K.G. An(2013) Comparative analysis of fish fauna and community structures before and after the artificial weir construction in the mainstreams and tributaries of Yeongsan River watershed. Korean J. Ecology and Environment 46(1): 103-115. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.H. and K.G. An(2010) An ecological health assessment based on fish assemblages along with total mercury concentrations of *Zacco platypus* in Miho Stream. Korean J. Limnol. 43(2): 288-297. (in Korean with English abstract)
- Lee, W.O., H. Yang, S.W. Yoon and J.Y. Park(2009) 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., 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)
- Margalef, D.R.(1958) Information theory in ecology. Gen. Syst. 3:36-71.
- Martinez, P.J., T.E. Chart., M.A. Trammell., J.G. Wullschleger and E.P. Bergersen(1994) Fish species composition before and after construction of a main stem reservoir on the White River, Colorado. Environ. Biol. Fish. 40(3): 227-239.
- Maechler, M., P. Rousseeuw, A. Struyf, M. Hubert and K. Hornik(2013) Cluster: cluster analysis basics and extensions. R package version 1.14.4.
- McNaughton, S.J.(1967) Relationship among functional properties of California Grassland. Nature216: 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 Wiley and Sons, New York, 601pp.
- Oh, S.J.(2007) Ichthyofauna in Ungcheon and nearby streams in Chungcheongnam-do. M.S. Dissertation, Seonam University, Jeollabukdo. 33pp.
- Pielou, E.C.(1966) The measurement of diversity in different types of biological collection. J. Theort. Biol. 13: 131-144.
- 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.
- R Development Core Team(2013) R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Vienna. URL <http://www.R-project.org>. ISBN 3-900051-07-0.
- Ross, S.T.(1991) Mechanisms structuring stream fish assemblages: are there lessons from introduced species?. Environ. Biol. Fish.30: 359-368.
- Shannon, C.E. and W. Weaver(1963) The Mathematical theory of communication. Illinois Univ. Pre., Urbana, 117pp.
- Song, M.Y., S.Y. Jung, K.H. Kim, J.M. Baek, W.O. Lee(2013) Characteristics of fish fauna and community structure in Daecheon stream in Boryeong, Korea. Korean J. Environ. Ecol. 27(4): 437-448. (in Korean with English abstract)
- Water Information System(2009) <http://water.nier.go.kr>
- Welcomme, R.L.(1998) Evaluation of stocking and introductions as management tools. In: Cowx, I.G., Stocking and introduction of fish, fishing news books, Oxford, pp. 397-413.
- Yoon, J.D., J.H. Kim, G.J. Joo, J. Seo, H. Park and M.H. Jang(2011) Freshwater fish utilization of fishway installed in the Jangheung dam. Korean J. Limnol. 44(3):264-271. (in Korean with English abstract)