

## 영산강 수계의 분류 및 지천에서 4대강 사업 전·후의 어류분포 및 군집구조 특성 비교

이재훈 · 한정호 · 임병진<sup>1</sup> · 박종환<sup>1</sup> · 신재기<sup>2</sup> · 안광국\*

(충남대학교 생명시스템과학대학 생명과학과, <sup>1</sup>국립환경과학원 영산강물환경연구소,  
<sup>2</sup>한국수자원공사 K-water 연구원)

Comparative Analysis of Fish Fauna and Community Structures Before and After the Artificial Weir Construction in the Mainstreams and Tributaries of Yeongsan River Watershed. Lee, Jae Hoon, Jeong-Ho Han, Byung Jin Lim<sup>1</sup>, Jong-Hwan Park<sup>1</sup>, Jae-Ki Shin<sup>2</sup> and Kwang-Guk An\* (Department of Biological Science, College of Biological Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea; <sup>1</sup>Yeongsan River Environmental Research Center, Gwangju 500-480, Korea; <sup>2</sup>K-Water Research Institute, Daejeon 305-730, Korea)

The purpose of this study was to analyze fish fauna and species compositions along with trophic guilds, tolerance indicators, and fish community conditions before weir construction (BWC) and after weir construction (AWC) in the Yeongsan River watershed. Total 45 and 44 fish species were sampled in BWC and AWC, respectively without any distinct differences through weir constructions. Fish fauna analysis revealed that the dominant species was the same, *Zacco platypus* with 24.3% and 20.8% in BWC and AWC, respectively. However, the subdominant species were *Carassius auratus* with 8.9% in BWC but *Opsarichthys uncirostris amurensis* with 20.3%, almost identical that of the dominant species AWC. This phenomenon showed the distinct modification of species composition in the watershed. We sampled the 1<sup>st</sup> class endangered species, *Liobagrus obesus* in tributary stream as previously reported. Also *Culter brevicauda* was sampled in the mainstream of Yeongsan River watershed and this was the first sampled record in this watershed. One of the most important features were an increase of exotic species, such as *Micropterus salmoides* and *Lepomis macrochirus*, with 3.2% BWC vs. 10.2% AWC as well as the increase in tolerant species with 49.2% BWC vs. 73.7% AWC, indicating ecological degradation through weir construction. Overall, our results indicated that fish fauna and composition analyses showed distinct ecological degradations related to increases of exotic and tolerant species AWC. Further long-term studies of fish monitoring should be conducted in the future to configure existent status of river conditions and to provide key information in order to conserve the healthy ecosystem.

**Key words :** Yeongsan River, fish fauna, species composition, ecological health

\* Corresponding author: Tel: +82-42-821-6408, Fax: +82-42-822-9690, E-mail: kgan@cnu.ac.kr

## 서 론

최근 우리나라에서는 많은 소하천 및 4대강 유역에 농업용수 및 음용수 유량 확보를 위해 중소형 보(Weir) 및 대형 인공댐을 지속적으로 건설해 왔다. 특히, 우리나라와 같이 몬순강우 특성에 의한 계절 강우의 분포가 일정치 않고, 농업을 기반으로 성장한 국가에서 농업용수와 식수확보라는 생존적 문제에 의해 하천 및 강의 중·하류역에 보의 건설 및 대형 댐 건설은 수자원 확보를 위한 필수 불가결한 요소 중 하나로서 간주되어 왔다(Park *et al.*, 1999). 따라서 우리나라의 4대강 정비사업은 이러한 수자원의 불균등 수급 및 홍수와 가뭄 등과 같은 물 문제를 근원적으로 해결하고 하천공간을 합리적으로 정비하려는 취지로 시작되었다(Park, 2010; Yang, 2011). 하지만 이러한 중요성에도 불구하고, 지금까지 건설된 보 및 대형댐이 생태계에 미치는 영향에 대하여 일부 조사 및 영향 평가 등이 있으나, 국내에서는 과학적이고 체계적으로 규명되지 않았다.

하천 내의 보의 건설은 어류 생태계에 있어 긍정적인 측면과 부정적 측면 모두를 가지고 있다(Jang *et al.*, 2005). 우리나라 하천의 특성상 건전화되는 소하천들이 많이 분포하고 있어 어류의 서식자체가 불가능한 상황에서 보에 의해 형성되는 소(Pool)는 어류에게 최후의 피난처가 될 수도 있다(MOE/NIER, 2011). 그러나 강이나 하천의 하류역에 보나 소형 댐이 건설될 경우 상류 수역에서 유입되는 유기물 및 영양염류(질소, 인)의 수체 내 증가 및 강바닥에 퇴적물의 축적은 화학적 수질 악화 및 부영양화(Eutrophication) 현상을 초래하여 조류의 수화 현상을 초래하며, 어류와 같은 최상위 생물군의 종 조성 및 길드의 구성비 변화를 유발하고, 오염물 농도가 심할 경우 세균 및 곰팡이의 수체 내 농도 증가로 어류의 질병유발을 초래한다(Gleick, 2001; MOE/NIER, 2011). 또한 보의 건설은 어류 서식지 이용성의 제한으로 작용하여 먹이에 대한 종내 및 종간 경쟁을 유도할 수 있으며, 어류의 이동성의 제한으로 포식자에 대한 피난공간을 제한하여 개체수 감소를 가져올 수 있다(Park *et al.*, 1999; Choi and An, 2008; MOE/NIER, 2011). 특히, 가장 중요한 생태계 영향은 보 건설로 하천수의 흐름을 억제하여 물리적 변화 및 회유성 어류(Migratory fish)와 일반 어류의 이동에 교란을 가져오며, 사용여부가 불명확한 보 주변의 어도(Fishway) 설치의 봄에 산란을 위해 지천으로 이동할 경우 이동성 등에 큰 영향을 줄 수 있는 것으로 밝혀지면서 수체내의 보 및 불량한 어도 건설은 생태건

강성(Ecological health) 측면에서 부정적으로 밝혀져 왔다(MOE/NIER, 2011).

본 연구대상지역인 영산강 수계는 2011년 10월에 4대강 사업의 일환으로 영산강의 하류역에 승촌보 및 죽산보가 건설되었다. 영산강 수계는 유역면적 3,371.4 km<sup>2</sup>, 유로연장 136 km로서 담양군 용면 용추봉에서 발원하여 담양호에 집수된 후 지석천, 영산호를 지나 목포 영산강 하구둑을 통해 서해로 흘러가는 우리나라 4대강 중 하나로써 상수원 및 농공업용수의 공급에 중요한 역할을 담당하고 있다(An *et al.*, 2007; Choi and An, 2008). 본 수계에는 4대강 사업으로 진행되는 인공보 이외에 상류에는 담양댐, 광주댐, 장성댐, 나주댐 등 4개의 다목적댐이 건설되어 있고, 하류에는 상수원 및 농공업용수의 취수원에 염수유입을 막기 위하여 1981년에 영산강 하구둑이 건설되었다(Choi and An, 2008). 이러한 인공 구조물들은 시간이 지나면서 수리수문학적 특성변화 및 수질악화를 가속화시키고 있는 것으로 보고되고 있으며(Cho *et al.*, 1999), 어류를 비롯한 수생생물들의 서식지를 교란하여 영산강 수계의 생태건강성을 악화시키는 요인이 되는 것으로 파악되고 있어 영산강 수계의 종합적 수환경 평가가 절실히 요구되는 실정이다(An *et al.*, 2007). 따라서 본 연구는 영산강 살리기 사업으로 인하여 건설된 인공보로 인해 발생하는 영향을 평가하기 위해 영산강 본류와 지류의 어류 종조성, 생태지표종 및 섭식 특성을 분석하였고, 인공보 건설 이전의 어류는 2000년대에 실시한 An *et al.* (2007) 및 Choi and An (2008)의 연구자료를 이용하여 인공보 건설 전·후의 어류군집구조 및 특성을 비교·분석하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사 기간 및 조사 지점

본 연구에서는 영산강 본류에 건설되는 2개의 인공보, 승촌보(E126° 76'40'', N35° 06'48'')와 죽산보(E126° 62'92'', N35° 06'48'')를 중심으로 각각 상류 2개 지점(1 km, 5 km), 보(Weir) 구하도 지점, 하류 2개 지점(1 km, 5 km)을 선정하여 각각 승촌보 5개 지점(M1~M5) 및 죽산보 5개 지점(M6~M10) 등 전체 본류 10개 지점을 선정하였고, 인공보가 설치되면서 영향을 받을 것으로 예상되는 본류 지점 인근에 위치한 대표적인 지류하천인 광주천, 황룡강, 지석천, 만봉천 함평천 및 고막원천 등 6개 지류하천(T1~T6)을 대상으로 각각 하나씩 지점을 선정하였다(Fig. 1). 어류 조사는 2011년 6월부터 집중강우가

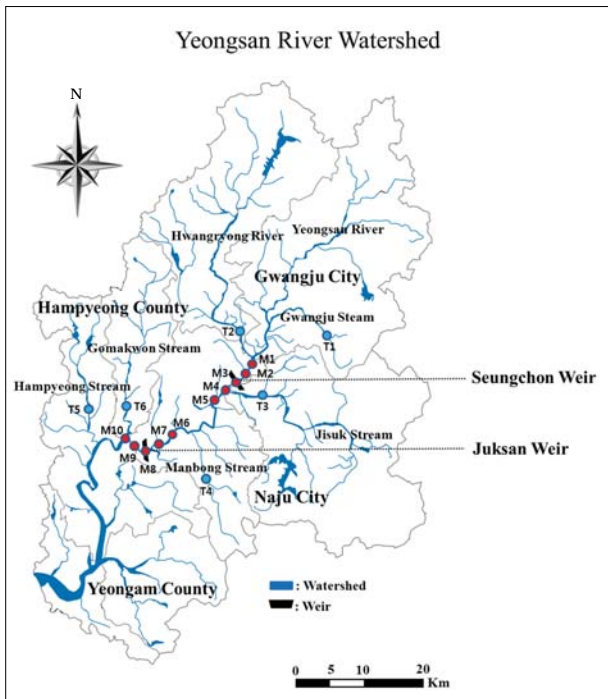


Fig. 1. Sampling sites with 10 mainstream and 6 tributaries in Yeongsan River Watershed.

발생한 7월을 제외하고 11월까지 매달 실시하였다. 조사에 선정된 각 지점들의 하천차수는 현재 환경부에서 모니터링 기법으로 이용되는 1:120,000의 축척지도를 이용하였고, Strahler (1957)의 방법에 의거하여 결정하였다. 영산강 본류지점들은 대체로 하폭이 넓고 수심이 깊은 대형하천(5차하천)의 특성을 보이고 있으며 보건설 이후 유량이 매우 풍부한 정수역의 특징을 보이고 있었다. 광주천(T1, 방학교, 4차)은 대표적인 도심하천으로, 하천 주변에 주거지가 넓게 분포하고 있고, 인위적으로 보와 제방공사가 진행되어 있다. 황룡강(T2, 평동교, 4차)은 영산강으로 유입되는 주요 지류 중 인간에 의한 간섭이 가장 적은 지류로서 자연제방과 수변부가 넓게 형성되어 있다. 지석천(T3, 남평교, 4차) 역시 황룡강과 마찬가지로 자연형 하천의 특성을 보였고, 하류 구간으로 갈수록 인공제방 및 보와 같은 인위적인 영향이 큰 것으로 사료되었다. 만봉천(T4, 죽동교, 4차)은 수변식생이 잘 발달되어 있고, 어류가 서식할 수 있는 서식지 유형이 다양하게 분포해 있어 최적의 물리적 서식지 상태를 보였다. 함평천(T5, 학야교, 4차)과 고막원천(T6, 고막교, 4차)은 하천 주변에 제방공사가 진행되고 있어서 다른 지류들과 비교하여 높은 탁도를 보였고, 많은 양의 토사가 유입되고 있었다.

## 2. 조사 방법

### 1) 어류 조사 방법

각 지점에 서식하는 어류를 채집하기 위해서 우선 비교적 수심이 낮은 본류 연안부 및 지천 지점들은 주로 투망(Cast net, 망목 7×7 mm)과 족대(Kick net, 망목 4×4 mm)를 사용하였고, Ohio EPA (1989)의 방법을 우리나라의 특성에 맞게 수정·적용한 An *et al.* (2001)의 방법에 기초하였다. 정량화된 Catch per unit effort (CPUE)를 위하여 채집거리는 200 m로 제한하였고, 조사구간 내 여울(Riffle), 소(Pool), 및 흐르는 지점(Run) 등 다양한 서식지 유형을 모두 포함하였다. 채집 소요시간은 최대 종풍부도곡선(Maximum Species Richness Lines, MSRLs)을 기준으로 60분 동안 실시하였다. 한편, 본류 지점에서 투망을 이용한 조사가 어려운 수심이 깊은 구간에서의 어류 채집은 정치망(Fyke net, 망목 5×5 mm, 높이 2.4 m, 길이 20 m, 외통발)과 자망(Gill net, 망목 12 mm, 45 mm, 높이 1 m, 길이 50 m)을 이용하였으며, 24시간 동안 설치한 후 어획물을 수거하였다. 채집한 어류는 현장에서 Kim and Park (2002), Lee and Noh (2006), Son and Song (2006), Noh (2011) 등에 의거해 동정 및 계수 후 즉각 풀어주는 것을 원칙으로 하되 현장에서 동정이 모호한 종은 10% 포르말린 용액으로 고정하여 실험실로 이송 후 동정하고 Nelson (2006)의 분류체계에 따라 정리하였다. 채집된 어류의 개체수 산정에서 어류 체장의 길이가 20 mm 이하의 동정이 불가능한 치어는 산정에서 제외하였으며, 비정상종(Anomalies)이 채집되었을 경우에는 Sanders *et al.* (1999)의 방법에 따라 기형(Deformity, DE), 지느러미 손상(Erosion, EF), 피부손상(Lesions, LE) 및 종양(Tumors, TU)로 비정상유형을 분류하여 어류 야장에 기록하였다.

### 2) 생태지표종(Tolerance indicator) 분석법

생태지표종 구분방식은 US EPA (1993) 및 Barbour *et al.* (1999)의 방식에 의거하여 분석하였고, 생태지표특성은 크게 민감종(Sensitive species, SS), 중간종(Intermediate species, IS) 및 내성종(Tolerant species, TS)으로 분류하였고 각 생태지표에 대한 세부특성은 다음과 같다. 민감종은 주로 오염도에 따라 쉽게 사라지는 어종으로 환경의 질적 변화에 민감하게 반응하는 어종들이다. 내성종은 수질오염에도 불구하고, 종수 및 분포범위가 증가하는 어종이고, 중간종은 민감종과 내성종의 두 범주 사이에 포함되지 않는 종으로 구분하였다.

### 3) 섭식특성 분석법

수체 내 에너지 흐름을 반영하는 영양단계는 잡식종

(Omnivores, O), 충식종 (Insectivores, I), 육식종 (Carnivores, C), 초식종 (Herbivores, H)으로 대별하여 분석하였다. Ohio EPA (1989)에 따르면 잡식종은 동·식물질의 상당비율을 지속적으로 먹는 종, 충식종은 주로 수서 무척추 곤충을 먹는 종, 육식종은 주로 어류 및 다른 무척추 동물을 먹는 종으로 정의하고 있으며 식성의 분류는 다양한 먹이원이 동시에 존재할 때 1차적으로 이용하는 자원 (Primary source of food)에 근거하여 분류하였다.

#### 4) 군집 지수 분석

본 조사에서 어류 군집 분석을 위하여 군집 우점도 지수는 Simpson (1949), 종풍부도 지수는 Margalef (1958), 종다양도 지수는 Shannon-Weaver (1963), 균등도 지수는 Pielou (1975)의 군집지수 산정식을 이용하였고, PRIMER 5 (Window version)를 이용하여 지점별 유사도 분석 (Cluster Analysis)을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 인공보 (Artificial weir) 건설후의 어류의

#### 종 조성 및 분포특성

본 연구에서 채집된 어류는 총 10과 44종 12,155개체로서 조사지점에 따라 10종~36종, 개체수는 211개체~1,666개체까지 다양하게 채집되었다 (Table 1). 채집된 어종 중 잉어과 (Cyprinidae)가 28종으로 가장 많았으며, 종별 상대풍부도 (Relative Abundance, RA)에서는 피라미 (*Zacco platypus*)가 전체 어종의 20.8% (2,528개체)를 차지하여 단연 우점하고 있으며, 끄리 (*Opsarichthys uncirostris amurensis*)가 20.3% (2,471개체)로 아우점하고 있어 영산강 수계를 대표하고 있었다. 채집된 어종 중에서 본류와 지류 모든 지점에서 출현하여 항존도 (Constancy) 값이 100으로 나타난 어종은 붕어 (*Carassius auratus*), 참물개 (*Squalidus chankaensis tsuchigae*), 누치 (*Hemibarbus labeo*), 배스 (*Micropterus salmoides*)로서 영산강 수계 전역에 고르게 분포하는 것으로 나타났으며, 이외에도 피라미, 큰납지리 (*Acanthorhodeus macropterus*), 끄리 등이 94, 참붕어 (*Pseudorasbora parva*), 블루길 (*Lepomis macrochirus*), 모래무지 (*Pseudogobio esocinus*), 치리 (*Hemiculter eigenmanni*) 등이 88, 잉어 (*Cyprinus carpio*)가 81의 순으로 항존도가 높게 나타났다.

한국 고유종 (Korean endemic species)은 6과 13종 2,284개체가 채집되어 전체 채집어류의 18.8%를 차지하고 있었다. 고유종은 서식지의 수환경 상태가 악화되면

급격히 감소하는 경향을 보이는데 (Choi *et al.*, 2000), 본 조사에서는 한반도 평균 고유종 빈도인 22.5%보다 낮게 나타나고 있었다 (Nam, 1996). 이들 고유종 중에서 본 연구에서는 유속이 완만하고 정체된 수역에 서식하는 종들이 다수 채집되어 하구둑과 보 건설에 따른 수생태계의 구조변화를 시사한다. 즉, 인공구조물의 연속적인 건설에 의하여 정체수역이 증가하고, 유속의 감소로 인하여 하상구조의 변이가 일어남으로서 특히 끄리와 같이 정수역을 선호하는 어종들의 우점현상과 같은 서식 어종구성에 변화를 가져온 것으로 사료되었다.

본 연구기간 중 채집 조사된 법정보호종은 통사리 (*Liobagrus obesus*) 1종 1개체였으며, 본류구간에서는 채집되지 않았고, 6개 지류구간 중 황룡강에서만 채집되었다. 영산강 수계에서는 Song and Lee (1988)의 연구결과에 통사리의 서식이 마지막으로 확인된 이래 출현기록이 최근까지 거의 없고, 본 종 자체가 서식처 파괴에 따른 개체수의 현저한 감소로 멸종위기에 처해있는 실정이다. 따라서 본 조사에서 본종의 서식이 확인된 바, 이에 대한 보호 대책 마련이 시급한 것으로 사료된다. 또한, 과거 문헌자료에서 확인되지 않은 백조어 (*Culter brevicauda*)가 본 연구기간 중 확인되었으며, 본류 구간 중 죽산보 구간에서 6개체가 채집되어 전체 어종의 0.05%의 출현율을 보였다.

다른 수계와 비교하여 출현빈도와 개체수 상대빈도가 높게 나타난 블루길과 배스는 외래어종 (Exotics species)으로 고유종의 분포 및 종조성 (Fish composition) 변화에 큰 영향을 미친다. 외래종은 환경의 질적 저하에 따라 증가하는 양상을 보이는데, 영산강 수계의 대부분의 지점에서 채집되어 외래어종에 의한 생태계의 교란현상이 존재함을 나타냈다 (US EPA, 1991). 특히, 배스의 경우, 수서 곤충을 비롯하여 작은 물고기뿐만 아니라 개구리, 자라, 들쥐, 새까지 닥치는 대로 먹어 치워 생태계의 균형을 파괴하여 심각한 환경문제가 되고 있는 실정이다 (Lee and Noh, 2006). 현재 승촌보와 죽산보가 완공되어 영산강 중, 상류부까지 정수역이 확대되고 있어 이에 따른 수리·수문학적 특성 변화에 따라 정체된 수체를 선호하는 블루길과 배스의 밀도 또한 계속 증가할 것으로 사료되며 이에 따른 생물다양성 측면에서의 어류상 변화가 계속 될 것으로 사료된다.

영산강 본류 (M1~M10) 구간에서 채집된 어류는 총 40종 7,687개체, 지류구간 (T1~T6)에서 채집된 어류는 총 40종 4,468개체로 나타나 지류구간과 본류구간의 종수는 차이를 보이지 않았다. 영산강 본류 구간 중 승촌보 하류 1 km지점 (M4)에서 가장 많은 종이 채집이 되었고,

Table 1. Fish fauna and species composition after artificial weir construction in Yeongsan River watershed.

	To.	Tr.	Ha.	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Total	RA (%)
<b>Engraulidae</b>																					
<i>Coilia nasus*</i>	IS	C	-				32	69	184	66	0	236	109							696	5.7
<b>Cyprinidae</b>																					
<i>Cyprinus carpio</i>	TS	O	-	4	2	10	4	5	5	2		3	3	7	2		2	1		50	0.4
<i>Carassius auratus</i>	TS	O	-	10	6	34	36	46	12	6	1	8	7	29	4	21	9	4	1	234	1.9
<i>Carassius cuvieri*</i>	TS	O	-	5	2	3	7	11	17	6		6					2			59	0.5
<i>Rhodeus uyekii+</i>	IS	O	-					11	0	0	0	2	0	0	2	18	16	1	2	52	0.4
<i>Rhodeus notatus</i>	IS	O	-							1		2	128				3	20	9	163	1.3
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	IS	O	-				2				10	4	5		1		7	49	28	106	0.9
<i>Acheilognathus yamatsutae+</i>	IS	O	-				4	3	1						2		1	21	6	30	0.2
<i>Acheilognathus rhombus</i>	IS	O	-				4	3	1								14	1		23	0.2
<i>Acanthorhodeus macropterus</i>	IS	O	-	16	8	1	35	71	13	11	21	92	126		3	1	3	34	51	486	4.0
<i>Acheilognathus gracilis+</i>	IS	O	-	5			6	8	12	1	5	13			3		5	20	2	80	0.7
<i>Pseudorasbora parva</i>	TS	O	-	22	35	28	3	4	15	22	8	8	8	4	4	1	25	10	32	217	1.8
<i>Pungtungia herzi</i>	IS	I	-											1	2	5	1	2	5	16	0.1
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae+</i>	SS	I	-										2						1	3	0.0
<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii+</i>	IS	I	-						1								1	2		4	0.0
<i>Gnathopogon strigatus</i>	IS	I	-	3														6	1	10	0.1
<i>Squalidus gracilis majimae+</i>	SS	I	-	4	2		3	11	6		8	6					3	1		44	0.4
<i>Squalidus japonicus coreanus+</i>	TS	O	-	21	1	1	11	4	2	3		3					3		2	51	0.4
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae+</i>	IS	O	-	64	32	1	37	162	36	34	3	22	42	21	26	71	16	53	55	675	5.6
<i>Hemibarbus labeo</i>	TS	I	-	57	14	12	81	128	55	81	2	64	52	1	27	128	35	16	7	760	6.3
<i>Hemibarbus longirostris</i>	IS	I	-	5	4	1	11	7						8	44	39	7		4	130	1.1
<i>Pseudogobio esocinus</i>	IS	I	-	12	52	36	33	15		4		2	6	28	90	10	47	24	20	379	3.1
<i>Abbottina rivularis</i>	TS	O	-		8	4	1		3	1	1		1				3	2	3	27	0.2
<i>Microphysogobio yaluensis+</i>	IS	O	RB	3	3		2								18	25	37	9	25	125	1.0
<i>Zacco temminckii</i>	SS	I	-											10						16	0.1
<i>Zacco platypus</i>	TS	O	-	65	79	3	39	62	24	5	1	5	1,511	64	198	229	17	226		2,528	20.8
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	TS	C	-	280	172	30	152	236	316	83	2	222	772		42	56	93	6	9	2,471	20.3
<i>Culter brevicauda</i>	TS	C	-							1		5								6	0.0
<i>Hemiculter eigenmanni+</i>	TS	O	-	327	243	10	44	255	103	52	1	44	13			3	60	4	1	1,160	9.5
<b>Cobitidae</b>																					
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	TS	O	-	1										11	1	1	4	2	2	22	0.2
<i>Misgurnus mizolepis</i>	TS	O	-	3		2							7		1	8		4	4	25	0.2
<i>Cobitis lutheri</i>	IS	I	-				1								6	14	14	1	1	22	0.2

Table 1. Continued.

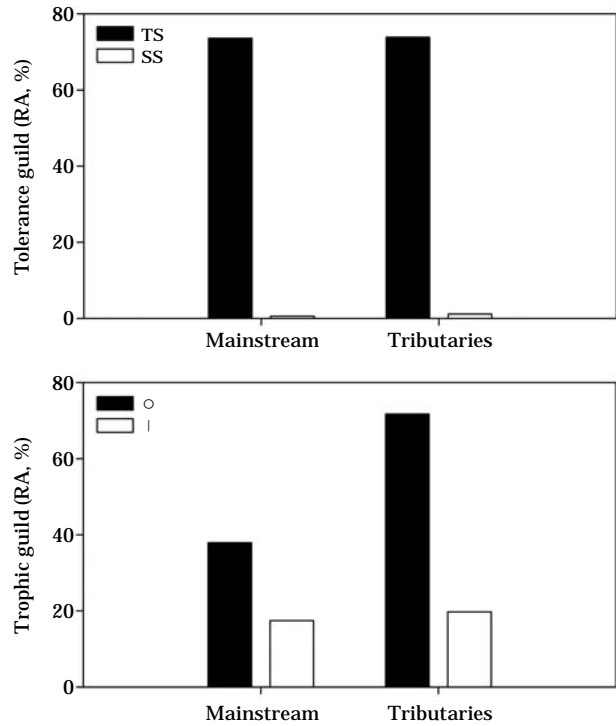
	To.	Tr.	Ha.	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Total	RA (%)
<b>Bagridae</b>																					
Pseudobagrus fulvidraco	TS	I	-							1						3		3	7	0.1	
Pseudobagrus koreanus <sup>+</sup>	SS	I	RB	1										2		6	1	6	16	0.1	
Leiocassis nitidus	TS	I	-	11	4	21	23	42	41									1	143	1.2	
<b>Siluridae</b>																					
Silurus asotus	TS	C	-	1						1	5					1	1	1	9	0.1	
<b>Amblycipitidae</b>																					
Liobagrus obesus <sup>+</sup>	SS	I	RB											1					1	0.0	
<b>Mugilidae</b>																					
Mugil cephalus <sup>•</sup>	TS	H	-	1			2	5											8	0.1	
<b>Centrarchidae</b>																					
Lepomis macrochirus <sup>*</sup>	TS	I	-	20	13	19	39	45	14	28	172	13	16		58	104	45	10	596	4.9	
Micropterus salmoides <sup>*</sup>	TS	C	-	34	69	14	153	29	11	5	13	109	15	6	29	62	20	4	7	580	4.8
<b>Odontobutidae</b>																					
Odontobutis platycephala <sup>+</sup>	SS	C	-											1	2	2	2	4	3	2	0.1
Odontobutis interrupta <sup>+</sup>	IS	C	-	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	10	3	3	9	4	2	33	0.3
<b>Gobiidae</b>																					
Rhinogobius giurinus <sup>•</sup>	TS	O	-																	4	0.0
Rhinogobius brunneus	IS	I	RB	33	2	1	1								1	13	1	3	19	74	0.6
Total Number of Species				22	19	19	27	22	22	22	10	24	24	17	24	20	36	28	31	44	
Total Number of Individual				994	747	211	750	1,177	860	446	224	903	1,375	1,666	435	763	741	318	545	12,155	100%

To.=Tolerance guild, Tr.=Trophic guild, Ha.=Habitat guild, SS=Sensitive species, IS=Intermediate species, TS=Tolerant species, O=Omnivores, I=Insectivores, C=Carnivores, H=Herbivores, RB=Riffle-benthic species, \*: Endemic species, +: Anadromous species, •: Exotic species, •: Peripheral species, RA: Relative abundance (%)

죽산보 지점 (M8)에서 가장 적은 종이 채집되었다. 본류 구간에서는 끄리가 전체 어종의 29.5%로서 가장 높은 우점도를 보였고, 치리 24.0%, 용어 9.1% 순으로 아우점하는 것으로 나타나 이들이 전체 채집된 개체수의 50% 이상을 차지하는 것으로 분석되었다. 한편, 지류 조사에 따르면, 영산강 주요 지류 중 만봉천 (T4)에서 가장 많은 종 (36종)이 채집되었고, 광주천 (T1)에서 가장 적은 종 (17종)이 채집되었다. 지류 구간에서는 피라미가 채집된 어종의 50.2%를 차지하였고, 전 지점에서 출현하고 있어 본류수계보다 지류수계에서 압도적으로 우점하고 있었다. 영산강 수계에서 출현한 비정상개체 (Anomalies)는 5종 15개체로 개체수 빈도는 0.4%로 나타났고, 여러 비정상 유형 중 피부손상의 비율이 70% 이상으로 높게 나타났다.

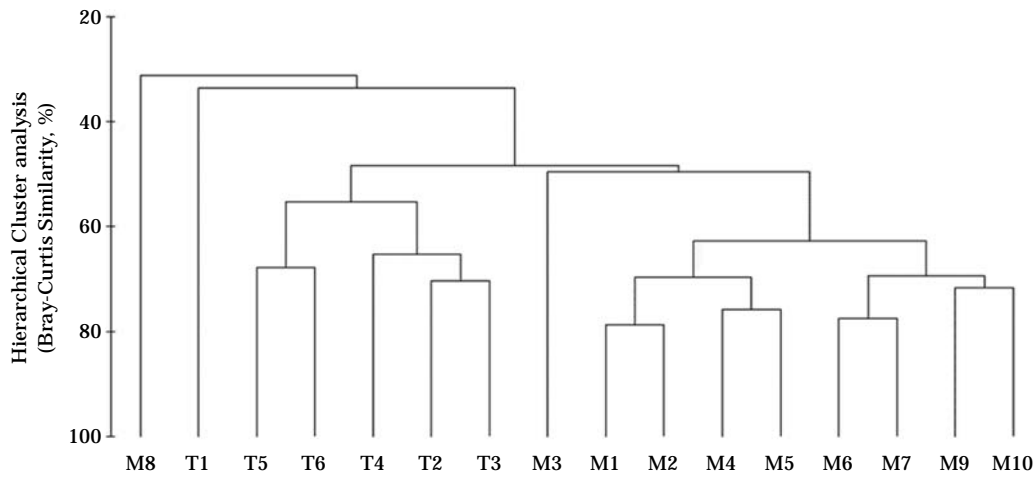
**2. 인공보 (Artificial weir) 건설후의 어류 생태지표 종 및 섭식 특성 분석**

오염도 내성특성 (Tolerance guild) 분석에 따르면, 인공보 건설후 내성종 20종, 민감종 6종이 출현하고 있어 뚜렷한 내성종 우세현상을 보이고 있으며, 개체수 측면에서도 73.7% (8,957개체)로 민감종 0.8% (94개체)에 비해 단연 뚜렷하게 나타나고 있었다 (Table 1). Karr (1981)와 US EPA (1991)의 보고에 의하면, 내성종의 개체수 및 종수는 유기물 오염, 서식지 파괴 등과 같은 서식지의 물리·화학적 인질적 하강에 따라 증가하는 경향을 보이기 때문에 영산강의 내성종 우점현상은 정체수역 증가와 이에 따른 저질 (Substrate) 오염 등과 같은 서식지의 질적 하강을 잘 반영하고 있었다. 특히 본류구간의 끄리와 지류구간의 피라미의 압도적인 우점현상은 내성종 개체수 비율 (RA)에 크게 영향을 미치고 있었다. 본류 및 지류구간을 나누어 분석한 결과, 본류구간은 내성종 20종 (73.6%, 5,657개체), 민감종 4종 (0.6%, 46개체)로 나타났고 지류구간은 내성종 17종 (73.9%, 3,300개체), 민감종 6종 (1.1%, 48개체)로 나타나 전체 수계 특성과 유사하게 나타났다 (Fig. 2). 하지만 본류 구간의 내성도 우점화 현상은 끄리 (29.5%, 2,265개체)에 의해서 영향을 많이 받고 있으며, 상대적으로 피라미는 지류구간 (50.3%, 2,245개체)에서 크게 영향을 주고 있는 것으로 판단된다. 이들 어종은 각각 본류 및 지류 수계 전 구간에 걸쳐 출현하고 있어 이러한 점을 감안하면 본 연구 대상 수계의 경우, 화학적 수질악화 및 물리적 서식지 교란요인들은 이들 지표종의 상대풍부도에 직접적으로 영향을 미친 것으로 사료되었다.



**Fig. 2.** Tolerance and trophic guild characteristics between mainstream and tributary sites after artificial weir construction in Yeongsan River Watershed. RA=Relative Abundance, TS=Tolerant Species, SS=Sensitive species, O=Omnivores, I=Insectivores.

섭식특성 (Trophic guild) 분석에서는 잡식종 20종, 충식종 16종이 채집되어 내성특성에서와 같이 뚜렷한 차이를 보이고 있지는 않았다 (Table 1). 하지만 개체수 비율에서는 잡식종이 50.3% (6,117개체)로 충식종 18.3% (2,221개체)에 비해 높게 나타나고 있으며, 육식종 또한 31.3% (3,809개체)로 높게 나타나고 있었다. 잡식종의 경우, 내성도 분석에서와 같이 피라미의 우점현상이 크게 영향을 미치고 있으며, 육식종의 경우, 영산강수계 전체의 아우점종인 끄리의 높은 비율이 영향을 주고 있었다. 본류 및 지류구간을 나누어서 분석한 결과, 본류구간은 육식종 끄리 (29.5%, 2,265개체)의 우점현상으로 인해 잡식종 (37.9%, 2,912개체)보다 육식종 (44.6%, 3,426개체)이 우점하고 있었다 (Fig. 2). 지류구간의 경우, 오염내성분석에서와 같이 피라미의 우세 (50.3%, 2,245개체)로 인하여 잡식종이 71.7% (3,205개체)로 압도적으로 우세한 상태였다. Barbour *et al.* (1999)의 연구에 따르면, 하천차수가 증가되면서 수생태계의 유기물 오염 및 독성물질의 유입 증가가 일반적이며, 이런 이유로 해서 어류의 섭식특이성



**Fig. 3.** Cluster Analysis of sampling fish at mainstream and tributary sites after artificial weir construction in Yeongsan River Watershed.

을 단순화시켜 하천차수의 증가에 따라 잡식종 우점현상을 보여 수계 건강도를 악화시킨다고 보고한 바 있다. 따라서 본류수계의 경우 대부분이 5차 하천으로 이들 지표종의 우점현상은 영산강 수계의 현재 상태를 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다.

**3. 인공보 (Artificial weir) 건설후의 군집구조 유사도분석 및 군집지수분석**

본 수계의 지점별 유사도 분석 (Cluster Analysis)에 따르면, 서식지 유형은 크게 인공보가 건설된 본류구간과 지류구간으로 뚜렷히 대별되고 있으며 (Fig. 3), 승촌보 및 죽산보의 구하도 지점 (M3, M8)도 서로 다른 특성을 보이고 있었다. 본류구간 그룹은 승촌보를 중심으로 상류구간 (M1, M2)과 하류구간 (M4, M5)으로 70%의 유사도 수준에서 구분되었고, 죽산보 또한 보 (Weir)를 중심으로 상류구간 (M6, M7) 및 하류구간 (M9, M10)으로 70% 유사도 수준에서 구분되었다. 따라서 인공보가 건설된 영산강 본류의 경우 상·하류간의 어류군집이 명확하게 차이가 나며, 따라서 보건설에 의해 어류 군집 구조가 영향을 받고 있음을 대별할 수 있다.

각 지점별 군집지수분석에 따르면 다양도 지수 (Diversity index)는 조사구간 전체에서 함평천 (T5)에서 1.179로서 가장 높게 나타나 개체수에 비해 많은 종수가 출현한 반면, 광주천 (T1)에서 0.233으로 가장 낮게 나타났다 (Table 2). 광주천에서는 특정종이 우세하게 나타나는 정도를 나타내는 우점도 지수 (Dominance index)가 가장 높게 나타나고 있어 다양도지수와 상반되는 결과를 보이

**Table 2.** Analysis of conventional fish community index along the sites in Yeongsan River watershed.

Site	Indices					
	S	N	d	J	H	λ
M1	22	994	3.043	0.668	0.896	0.203
M2	19	747	2.721	0.689	0.881	0.187
M3	19	211	3.363	0.809	1.035	0.110
M4	27	750	3.927	0.763	1.092	0.114
M5	22	1177	2.970	0.750	1.006	0.131
M6	22	860	3.108	0.669	0.898	0.203
M7	22	446	3.442	0.776	1.042	0.118
M8	10	224	1.663	0.401	0.401	0.602
M9	24	903	3.380	0.677	0.935	0.164
M10	24	1375	3.183	0.531	0.733	0.342
T1	17	1666	2.157	0.189	0.233	0.823
T2	24	435	3.786	0.760	1.049	0.114
T3	20	763	2.863	0.751	0.976	0.139
T4	36	741	5.297	0.727	1.131	0.134
T5	28	318	4.686	0.815	1.179	0.087
T6	31	545	4.761	0.664	0.991	0.202

S=Total number of species, N=Total number of individual, d=Margalef's species richness index, J=Pielou's evenness index, H=Shannon-Weaver diversity index, λ=Simpson's dominance index

고 있는데, 이는 피라미가 90.7% 상대풍부도로 우점하고 있기 때문이다. 종풍부도 (Species richness)는 가장 많은 어종 (36종)이 채집된 만봉천 (T4)에서 5.297로서 가장 높게 나타났으며 가장 적은 10종이 채집된 죽산보 구하도 (M8) 지점에서 가장 낮게 나타났다. 군집내 종 구성의 균일한 정도를 나타내는 균등도 지수 (Evenness index)는 우점도가 가장 높게 나타났으며 다양도가 가장 낮게 나



**Table 3.** Fish fauna and Composition before artificial weir construction based on An *et al.* (2007) and Choi and An (2008) in Yeongsan River watersheds.

	To.	Tr.	Ha.	Before artificial weir construction		Total	RA (%)
				An <i>et al.</i> , 2007	Choi and An, 2008		
<b>Anguillidae</b>							
<i>Anguilla japonica</i> <sup>o</sup>	IS	C	-	1	1	2	0.0
<b>Engraulidae</b>							
<i>Coilia nasus</i> *	IS	C	-		1	1	0.0
<b>Cyprinidae</b>							
<i>Cyprinus carpio</i>	TS	O	-	27	28	55	1.1
<i>Carassius auratus</i>	TS	O	-	154	275	429	8.9
<i>Carassius cuvieri</i> *	TS	O	-	36	31	67	1.4
<i>Rhodeus ocellatus</i>	IS	O	-		5	5	0.1
<i>Rhodeus uyekii</i> †	IS	O	-	22	27	49	1.0
<i>Rhodeus notatus</i>	IS	O	-	3	3	6	0.1
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	IS	O	-	181	183	364	7.5
<i>Acheilognathus yamatsutae</i> †	IS	O	-	11	11	22	0.5
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	IS	O	-		2	2	0.0
<i>Acanthorhodeus macropterus</i>	IS	O	-	3	344	347	7.2
<i>Pseudorasbora parva</i>	TS	O	-	9	21	30	0.6
<i>Pungtungia herzi</i>	IS	I	-	286	141	427	8.8
<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i> †	IS	I	-	7	13	20	0.4
<i>Squalidus gracilis majimae</i> †	SS	I	-	29	41	70	1.4
<i>Hemibarbus labeo</i>	TS	I	-	113	4	117	2.4
<i>Hemibarbus longirostris</i>	IS	I	-	2	46	48	1.0
<i>Pseudogobio esocinus</i>	IS	I	-	78	92	170	3.5
<i>Abbottina rivularis</i>	TS	O	-	20	33	53	1.1
<i>Abbottina springeri</i> †	TS	O	-	37	37	74	1.5
<i>Microphysogobio yaluensis</i> †	IS	O	RB	162	175	337	7.0
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	SS	I	-		26	26	0.5
<i>Aphyocypris chinensis</i>	TS	O	-		1	1	0.0
<i>Zacco temminckii</i>	SS	I	-	3	286	289	6.0
<i>Zacco platypus</i>	TS	O	-	541	635	1176	24.3
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	TS	C	-	48	50	98	2.0
<i>Hemiculter eigenmanni</i> †	TS	O	-	51	82	133	2.7
<b>Cobitidae</b>							
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	TS	O	-	3	3	6	0.1
<i>Misgurnus mizolepis</i>	TS	O	-		11	11	0.2
<i>Iksookimia hugowolfeldi</i>	IS	I	-	22		22	0.5
<i>Cobitis lutheri</i>	IS	I	-	22	26	48	1.0
<b>Bagridae</b>							
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	TS	I	-	16	16	32	0.7
<b>Siluridae</b>							
<i>Silurus asotus</i>	TS	C	-	1	1	2	0.0
<b>Osmeridae</b>							
<i>Hypomesus nipponensis</i>	IS	I	-	45	28	73	1.5
<b>Mugilidae</b>							
<i>Mugil cephalus</i> •	TS	H	-		3	3	0.1
<b>Adrianichthyidae</b>							
<i>Oryzias latipes</i>	TS	O	-	2	3	5	0.1
<b>Centropomidae</b>							
<i>Siniperca scherzeri</i>	SS	C	-	28	6	34	0.7
<i>Coreoperca herzi</i> †	SS	C	-		2	2	0.0

Table 3. Continued.

	To.	Tr.	Ha.	Before artificial weir construction		Total	RA (%)
				An <i>et al.</i> , 2007	Choi and An, 2008		
<b>Centrarchidae</b>							
<i>Lepomis macrochirus</i> *	TS	I	-	17	27	44	0.9
<i>Micropterus salmoides</i> *	TS	C	-	10	35	45	0.9
<b>Odontobutidae</b>							
<i>Odontobutis platycephala</i> <sup>+</sup>	SS	C	-	9	12	21	0.4
<b>Gobiidae</b>							
<i>Rhinogobius brunneus</i>	IS	I	RB	33	40	73	1.5
<i>Tridentiger brevispinis</i>	IS	I	RB		1	1	0.0
<b>Channidae</b>							
<i>Channa argus</i>	TS	C	-	1	1	2	0.0
Total Number of Species				36	44	45	
Total Number of Individuals				2,033	2,809	4,842	100%

To.=Tolerance guilds, Tr.=Trophic guilds, Ha.=Habitat guilds, SS=Sensitive species, IS=Intermediate species, TS=Tolerant species, O=Omnivores, I=Insectivores, C=Carnivores, H=Herbivore, RB=Riffle-benthic species, +: Endemic species, \*: Anadromous species, °: Catadromous species, \*: Exotic species, °: Peripheral species, RA: Relative abundance (%)

타났던 광주천 (T1)에서 0.189로 최소값을 보이고 있으며 다양도가 가장 높았던 함평천 (T5)에서 0.815로서 가장 높게 나타났다. 대부분의 군집지수 분석에서 최대값을 보이는 것은 지류하천이며, 최소값 또한 중풍부도 (M8, 1.663)를 제외하면 모두 지류하천에서 나타났다. Choi and An (2008)에 따르면 다양도, 균등도 지수가 높고 우점도 지수가 낮으면 안정된 군집구조를 의미하며, 다양도, 균등도 지수가 낮고, 우점도 지수만이 높게 나타나는 경우, 매우 불안정한 군집구조를 의미하기 때문에 광주광역시를 가로지르며 오염부하를 많이 받는 도심하천인 광주천 (T1)이 불안정한 군집구조를 보이고 있어 교란에 의한 어종 조성의 변화를 유추할 수 있었다.

#### 4. 인공보 (Artificial weir) 건설전의 어류의 종 조성 및 분포특성

영산강 수계에서 2000년대에 채집된 기록 (An *et al.*, 2007; Choi and An, 2008)을 토대로 인공보 건설전의 어류 종조성을 살펴보면, An *et al.* (2007)에 의해서 36종 2,033개체가, Choi and An (2008)에 의해서 44종 2,809개체가 보고되어 전체 14과 37속 45종 4,842개체가 출현한 것으로 나타났다 (Table 3). 종조성을 살펴보면 잉어과가 26종으로 가장 많이 분포하였으며, 미꾸리과 (Cobitidae)가 4종으로 나타났다. 이후 나머지는 각각 1~2종씩 출현하고 있었다. 주요 우점종 (Dominant species)으로는 인공보 건설후와 같이 피라미가 24.3% (1,176개체)로서 우점하고 있으며, 붕어 및 돌고기 (*Pungtungia herzi*)가

각각 429개체 (8.9%) 및 427개체 (8.9%)로 아우점하고 있었다. 전체 45종 중에서 기수역에 주로 서식하는 주연성 어종은 송어 (*Mugil cephalus*) 1종 3개체만이 출현하였다. 회유성 어종으로는 강하성 어종, 뱀장어 (*Anguilla japonica*) 2개체와 소하성 어종, 웅어 (*Coilia nasus*) 1개체 등 2종 3개체만이 출현하였다. 1981년 하구둑 건설 직후 최대 분포를 보였던 주연성 어종 및 회유성 어종이 하구둑 건설 후 계속 감소하는 경향을 보이고 있는데 (MOE/NIER, 2011), 이는 하구둑 건설로 인한 해수와 담수의 단절현상이 기수 및 담수역을 왕래하는 회유성 및 주연성 어종에게 점진적으로 영향을 준 것으로 사료된다.

전체 45종 중에서 고유종이 8종 708개체 (14.6%)가 출현하고 있으며 이는 인공 구조물 건설에 의하여 정체수역이 증가하고, 유속의 감소로 퇴적물이 다량 침적되어 하상 구조의 변화에 따른 것으로 판단된다. 외래어종으로는 떡붕어, 블루길 및 배스가 출현하고 있는데, 특히 배스와 블루길은 환경부에서 1998년 이래로 생태계 교란 야생동식물로 지정되어 관리할 만큼 국내 하천생태계에 미치는 영향이 큰 어종으로 영산강 수계로 유입이 이 시기부터 확인되었다. 일반적으로 블루길과 배스는 직접적 또는 간접적으로 어류 군집구조를 변화시킨다 (Maezono and Miyashita, 2004). 따라서 외래어종에 대한 지속적인 모니터링 및 관리대책이 요구된다.

인공보 건설전 오염도 내성특성에 따른 종구성 분석에 따르면 (An *et al.*, 2007; Choi and An, 2008), 내성종이 20종 2,383개체 (49.2%)가 출현한 반면, 민감종은 6종 442개체 (9.13%)만이 나타나 내성종 우점현상이 뚜렷하게 나

타났다. 1981년 하구둑 완공 이후 내성종은 영산강 수계에서 지속적으로 우세한 양상을 보이고 있었다 (MOE/NIER, 2011). 한편, 섭식 특성 분석에서는 잡식종과 충식종이 각각 20종 3,172개체 (65.5%) 및 15종 1,460개체 (30.15%)로 나타나 잡식종 우점현상이 꾸준히 발생하고 있었다. 일반적으로 잡식종 우점 현상에 따른 섭식특이성 단순화는 결과적으로 수계 건강도를 악화시키기 때문에 (Barbour *et al.*, 1999), 결국 인공보 건설전에도 영산강 수계에서의 잡식종 우점현상은 내성종 우점현상과 더불어 영산강 수계의 이화학적 교란현상을 잘 설명하고 있는 것으로 판단된다. 한편, 서식지 특이성 분석에서 여울성 저서어종은 3종 411개체 (8.4%)로 나타났다.

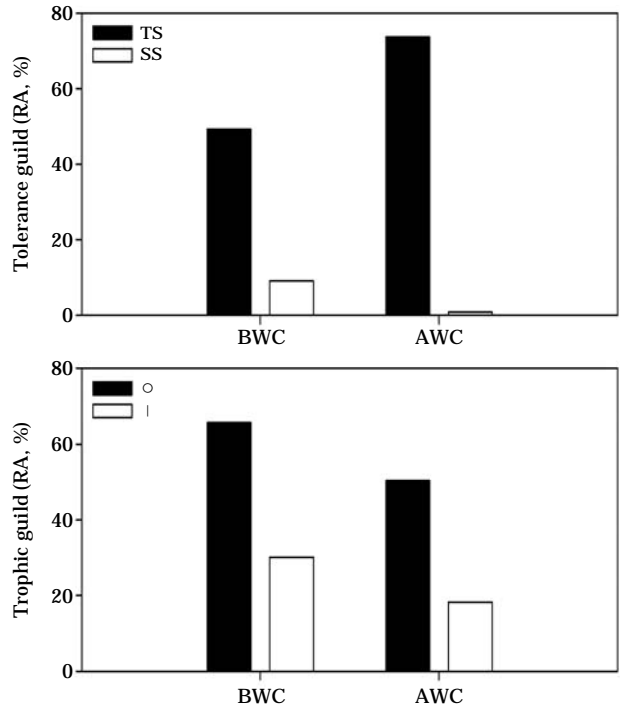
**5. 인공보 (Artificial weir) 건설 전·후의 생태계 영향**

인공보 건설 전·후의 어류상 분석에 따르면 축조 전후의 어종수는 각각 45종 및 44종으로 큰 차이가 없었다. 하지만 영산강 유역에 분포하는 것으로 알려진 전체 어종 72종 (MOE/NIER, 2011)에 비교하였을 때, 전체 종수의 약 60% 정도만 분포하고 있는 것으로 나타났다. 특히 1980년대 최대 69종 분포 기록 이후 꾸준한 감소현상을 보고하고 있어, 하구둑 및 인공보와 같은 인공구조물의 건설로 인한 단절효과 (Discontinuity effect)가 종조성 감소에 영향을 주는 것으로 판단된다. 인공보 건설 전·후의 우점종은 모두 피라미 (*Zacco platypus*)로서 각각 인공보 건설전 24.3%, 인공보 건설후 20.8%로 유사하게 나타났다. 하지만 아우점종에서 큰 차이가 나타났는데, 건설전에는 붕어가 8.86%로 나타났지만 건설후에는 끄리가 피라미와 거의 유사한 20.3%로 나타나고 있었다. 즉, 인공보 건설전 2.0%에 불과하던 끄리가 건설후에 압도적으로 증가하였고 특히 지류보다 본류지점들에서 끄리 우점현상이 뚜렷하게 나타나고 있었다.

MOE/NIER (2011)에 따르면 영산강 수계에서 처음으로 출현한 외래어종은 떡붕어로 Song and Lee (1988)의 조사에서 최초 보고되었고, 블루길은 Song and Kim (1995) 및 Song and Yang (1995)에 의하여, 배스는 An *et al.* (2007)에 의해 처음 보고되었다. 이들 외래어종은 인공보가 건설된 후 10.2%로 나타났는데, 인공보 건설전 3.2%에 불과했던 것을 감안할 때 인공보 건설 이후 외래종의 확산 속도가 가속화되는 것으로 나타났다. 특히, 상위 포식자인 배스의 경우, 이미 영산강 수계에 안정적으로 정착된 것으로 사료되었다. 특히, 치어 (체장: 5~10 cm)들이 다수 확인되어 자연 상태에서 증식이 일어나는 것으로 확인되

었고, 체장이 30 cm 이상인 성체의 출현빈도가 높게 나타나 고유종과 소형 어종의 밀도에 악영향을 미칠 것으로 판단되었으며, 더욱이 이들은 주로 정체된 수역을 선호하기 때문에 정체구역이 확대된 영산강에서 더욱 증가할 것으로 사료되었다. 이러한 외래 어종이 국내 수계의 어류종조성에 미치는 영향에 관한 연구는 Jang *et al.* (2001, 2005, 2006)에 의하여 연구된 사례는 있으나 향후 외래어종 관리에 대하여 과학적이고 체계적인 외래어종에 관한 연구가 조속히 진행되어야 할 것으로 판단된다.

오염도 내성 특성 분석에 따르면, 인공보 건설 이전에 나타난 내성종과 민감종의 상대풍부도 (RA)는 각각 49.2% 및 9.1%, 인공보 건설 이후의 내성종 및 민감종은 각각 73.7% 및 0.8%로 나타나 내성종 우점현상이 심화된 것으로 나타났다 (Fig. 4). MOE/NIER (2011)에 따르면 영산강 수계에서는 일반적으로 민감종에 비해 내성종의 우점현상이 뚜렷하게 나타나고 있으며, 2000년대 인공보 건설전까지 이러한 우점현상이 그대로 유지되고 있는 것으로 나타났다. 내성종은 연도별에 따라 약간의 변이를 보였으나, 전체 개체수의 약 40% 정도를 유지하고 있는 것으로 분석되었다. 반면, 민감종의 상대풍부도는 10% 내외



**Fig. 4.** Tolerance and trophic guild characteristics before Weir Construction (BWC) and After Weir Construction (AWC). RA=Relative Abundance, TS=Tolerant Species, SS=Sensitive species, O=Omnivores, I=Insectivores.

로 나타나 본 연구결과 인공보 건설이후 내성종 증가 및 민감종 감소가 더욱 뚜렷한 것으로 분석되었다. 섭식특성 분석에서는 잡식종과 충식종의 상대풍부도가 인공보 건설 전·후 모두 충식종에 비해 잡식종이 단연 우점하고 있었으며, 특히 잡식종은 전체 개체수의 약 50% 이상 나타나 잡식종 우점현상이 뚜렷하게 나타났다. 하지만 잡식종은 인공보 설치이전에 비해 약 15% 정도 감소하는 것으로 나타났다 (Fig. 4). 결국 영산강 수계에서의 내성종 및 잡식종 우점현상은 영산강 수계의 물리 화학적 질적 저하현상을 잘 설명하고 있었다 (Barbour *et al.*, 1999). 특히 인공보 건설이후의 내성종 증가 및 충식종 감소는 인공보 건설후의 정체수역 증가 및 이에 따른 저질 오염 및 하상변화와 같은 서식환경의 질적 변화 등이 이들 지표종의 상대풍부도에 직접적으로 영향을 미친 것으로 사료된다.

종합적으로 영산강 수계는 인공보 건설이후에 유속이 완만하고 정체된 수역에 서식하는 종들이 다수 채집되어 하구둑과 보 건설에 따른 수생태계의 구조변화를 시사하였다. 즉, 연속적인 인공구조물의 건설은 정체수역 증가 및 유속 감소 등을 초래하고, 이에 따라 서식하는 어류의 종조성에 변화를 가져온 것으로 판단된다. 이에 따라 고유종 감소 및 외래종 증가는 이러한 변화에 따라서 더욱 가속화 될 것으로 판단된다. 내성종 및 잡식종 우점현상 역시 인공보 건설 후 뚜렷하게 증가한 것으로 나타나, 향후 어류군집의 구조적인 측면에서도 질적 저하 현상이 두드러질 것으로 예상된다. 따라서 인공보 건설에 따른 제반 현상들은 궁극적으로 수생태 건강성에 크게 영향을 미치기 때문에 장기적이고 지속적인 어류 모니터링으로 이러한 변화들을 예측하고 진단하여 효율적인 생태계 관리가 필요하다.

## 사 사

본 연구는 영산강 수계관리위원회 국립환경과학원 영산강물환경연구소에서 시행한 영산강·섬진강 수계 환경기초조사사업 (연구과제명: 보 설치 전·후 회귀성 어종의 이동경로조사 및 어도효과 분석)의 연구 지원으로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

## 인 용 문 헌

An, K.G., D.H. Yeom and S.K. Lee. 2001. Rapid bioassess-

ments of Kap stream using the index of biological integrity. *Korean Journal of Environmental Biology* **19**(4): 261-269.

An, K.G., K.I. Kim and J.H. Kim. 2007. Biological water quality assessments in wastewater-impacted and non-impacted streams. *Korean Journal of Limnology* **40**(1): 82-92.

Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder and J.B. Stribling. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, 2<sup>nd</sup> edition. EPA 841-B-99-002. US Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, DC.

Cho, K.A., P.K. Ahn, S.G. Hong and D.O. Hong. 1999. A study on characteristics of water quality and degradation rates of organic phosphates in Young-San river. *Journal of the Korean Environmental Science Society* **8**(6): 691-698.

Choi, J.K., H.K. Byeon and H.K. Seok. 2000. Studies on the dynamics of fish community in Wonju stream. *Korean Journal of Limnology* **33**(3): 274-281.

Choi, J.W. and K.G. An. 2008. Characteristics of fish compositions and longitudinal distribution in Yeongsan river watershed. *Korean Journal of Limnology* **41**(3): 301-310.

Gleick, P.H. 2001. Making every drop count. *Scientific American* **284**(2): 40-46.

Jang, M.H., G.I. Cho and G.J. Joo. 2001. Fish fauna of the main channel in the Nakdong River. *Korean Journal of Limnology* **34**(3): 223-238.

Jang, M.H., G.I. Cho and G.J. Joo. 2005. The impact of unregulated fishing on the size distribution of a fish population in a temperate upland stream pool. *Journal of Freshwater Ecology* **20**(1): 191-193.

Jang, M.H., G.J. Joo and M.C. Lucas. 2006. Diet of introduced largemouth bass in Korean rivers and potential interactions with native fishes. *Ecology of Freshwater Fish* **15**: 315-320.

Karr, J.R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* **6**: 21-27.

Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater fish of Korea. Kyo-Hak Publishing Co., Ltd., Korea.

Lee, W.O. and S.Y. Noh. 2006. Freshwater fishes based on characteristics in Korean peninsula. Jinseong Press. Seoul. 432pp.

Maezono, Y. and T. Miyashita. 2004. Impact of exotic fish removal on native communities in farm ponds. *Ecological Research* **19**: 263-267.

Margalef, R. 1958. Temporal succession and spatial heterogeneity in natural phytoplankton, p. 323-349. *In: Perspectives*

- tives in Marine Biology. University of California Press.
- MOE/NIER (Ministry of Environment/National Institute of Environmental Research). 2011. Passage route survey of migratory fishes before and after the construction of weirs and the fishway's effects. Yeongsan river environment research center, National institute of environmental research, 175pp.
- Nam, M.M. 1996. Present status of Korean freshwater fish. 1996 Symposium of Korean Society of Limnology Proceeding. p. 31-45.
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the world (4<sup>th</sup> edition). John Wiley and Sons, New York.
- Noh, S.Y. 2011. How to find fresh water fishes easily. Jin-Sun Publishing Co. Seoul.
- Ohio EPA. 1989. Biological criteria for the protection of aquatic life. Vol.III, Standardized biological field sampling and laboratory method for assessing fish and macro-invertebrate communities. USA.
- Park, S.B., J.Y. Lee, M.H. Jang, H.W. Kim, J.M. Jeong, J.W. Kim and G.J. Joo. 1999. Water quality and phytoplankton community dynamics in a weir reach of the Yangsan Stream (1993-1996). *Korean Journal of Limnology* **32**(4): 331-340.
- Park, S.T. 2010. The 4-River restoration project from the viewpoint of 21st century river management. *Korean Journal of Environmental Health* **36**(1): 72-75.
- Pielou, E.C. 1975. Ecological diversity. Wiley. New York. p. 165.
- Sanders, R.E., R.J. Milner, C.O. Yondr and E.T. Rankin. 1999. The use of external deformities, erosion, lesions, and tumors in fish assemblages for characterizing aquatic resources, p. 225-245. *In*: Simon, T.P. eds., CRC Press.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. The Mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, 177pp.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* **163**: 1-688.
- Son, Y.M. and H.B. Song. 2006. Freshwater fish of Geum River. Ji-Sung Publishing Co., Ltd., Seoul, Korea.
- Song, T.K. and H.S. Yang. 1995. The freshwater fish fauna in the upper streams of Yongsan River system. *Bulletin of Institute of Littoral Environment, Mokpo National University* **12**: 59-69.
- Song, T.K. and W.O. Lee. 1988. The fish fauna of Yongsan river system and the change of fish fauna in Yongsan lake. *Bulletin of Institute of Littoral Biota, Mokpo National University* **5**(1): 113-129.
- Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union Transactions* **38**: 913-920.
- US EPA. 1991. Technical support document for water quality-based toxic control. EPA 505-2-90-001. US EPA, Office of Water, Washington D.C., USA.
- US EPA. 1993. Fish field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. EPA 600-R-92-111. Environmental Monitoring systems Laboratory - Cincinnati office of Modeling, Monitoring systems, and quality assurance Office of Research Development, U.S. EPA, Cincinnati, Ohio 45268.
- Yang, W.I. 2011. Research on the development of four major river restoration project. M.Sc. Thesis, Kwangwoon University. 64pp.

(Manuscript received 4 November 2012,  
Revised 4 December 2012  
Revision accepted 27 February 2013)