

영산강 수계에서 죽산보 건설 중의 어류 분포 · 종 조성 및 군집구조 특성^{1a}

고대근² · 최지웅² · 임병진³ · 박종환³ · 안광국^{2*}

Fish Distribution, Compositions and Community Structure Characteristics during Juksan-Weir Construction in Yeongsan River Watershed^{1a}

Dae-Geun Ko², Ji-Woong Choi², Byung Jin Lim³, Jong Hwan Park³, Kwang-Guk An^{2*}

요 약

본 연구에서는 2011년 4대강 사업으로 건설된 영산강의 죽산보를 기점으로 상류구간(R-UW) 및 하류구간(R-LW)에서의 어류상, 어류분포 특성 및 어류군집 특성을 분석하였다. 본 연구는 단순히 어류 특성을 기술하는 연구이지만, 향후 오랜 시간이 경과한 후 수생태계의 보 건설에 대한 변화특성을 규명하는데 중요한 자료로 이용될 것으로 사료되었다. 총 8과 30종의 어류가 서식하는 것으로 분석되었고, 죽산보의 상류 및 하류구간에서는 각각 23종(938개체), 27종(1,680)이 출현하여 하류 구간에서 종수 및 개체수가 더 높은 것으로 나타났다. 죽산보 전 구간에서 출현한 우점종은 끄리(*Opsarichthys uncirostris amurensis*)로써 42%의 높은 출현율을 보였고, R-UW(30%)에 비해 R-LW(49%)에서 높은 빈도를 보였다. 주연성 어종은 웅어(*Coilia nasus*)가 출현하였고, 상류 구간과 하류 구간 사이에 차이를 보이지 않았다. 외래종은 떡붕어(*Carassius cuvieri*), 블루길(*Lepomis macrochirus*), 배스(*Micropterus salmoides*) 등의 3종이 모든 구간에서 출현하였으며, R-UW에서는 떡붕어(1.2%), 블루길(3.7%)이, R-LW에서는 배스가(6.7%)가 분포하여 교란요인으로 작용할 것이다. 내성도 길드(Tolerance guild) 분석에 따르면, 민감종은 전체 개체 수 측면에서 0.4~0.5%, 내성종은 65~70%의 범위를 보여 영양염류 및 유기물 오염 현상이 두드러지게 나타났다. 섭식 길드(Trophic guild)에서 육식종은 57~77%, 충식종 및 잡식종은 각각 10~20% 범위에 있어 육식종의 과대분포 양상을 보였다. 한편, 영산강 수계에서 실시된 지난 60여 년간의 어류 자료 검토 결과 멸종위기 야생 동물 II급으로 지정된 백조어(*Culter brevicauda*)가 본 연구 기간에 최초로 서식이 확인되었으며, 하류 구간에서 5개체(0.2%)가 관찰되어 지속적인 어류모니터링이 필요할 것으로 사료되며, 본 지역에 대하여 백조어 개체군의 보호구역으로 지정해야 할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

주요어: 외래종, 어류상, 인공보 건설, 백조어

ABSTRACT

The purpose of this research was to analyze fish fauna, distribution patterns, and fish community structures in the Juksan-Weir regions of upper weir(R-UW) and lower weir(R-LW), which was constructed in 2011 on Yeongsan River watershed. Our outcomes will provide valuable information in the impact analysis of weir constructions next decades, even if the current research is limited to distributions and fauna studies of fishes.

1 접수 2012년 11월 6일, 수정(1차: 2012년 12월 17일), 게재확정 2012년 12월 18일

Received 6 November 2012; Revised(1st: 17 December 2012); Accepted 18 December 2012

2 충남대학교 생명시스템과학대학 생물과학과 Department of Biological Sciences, College of Biosciences and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon(305-764), Korea

3 국립환경과학원 영산강물환경연구소 Yeongsan River Environment Research Center, Korea, Gwangju(500-480), Korea

a 이 논문은 영산강 수계관리위원회 국립환경과학원 영산강물환경연구소에서 시행한 영산강·섬진강 수계 환경 기초조사사업(연구 과제명: 보 설치 전·후 회귀성 어종의 이동경로조사 및 어도효과 분석)의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

* 교신저자 Corresponding author(kgan@cnu.ac.kr)

The fishes observed were 8 family and 30 species in all the sites, and the number of the species in the regions of R-UW and R-LW was 23(938 individuals) and 27(1,680 individuals), respectively, indicating greater abundance in the lower region of Juksan-Weir. Most dominant species was *Opsarichthys uncirostris amurensis* with relative abundance of 42%, and this species had greater abundance in the R-LW(49%) than in the R-UW(30%). *Coilia nasus*, was the migratory fish sampled in this region and had no differences of abundance between the two regions. The exotic species observed were *Carassius cuvieri*, *Lepomis macrochirus*, and *Micropterus salmoides*. The two formers of *Carassius cuvieri*(1.2%) and *Lepomis macrochirus*(3.7%) dominated in the R-UW, whereas *Micropterus salmoides* had greater dominance in the region of R-LW. According to tolerance guild analysis, the proportion of sensitive species ranged from 0.4 to 0.5%, and that of tolerant species ranged from 65% to 70%, implying a severe pollution of nutrients and organic matters in the water body. In the mean time, according to trophic guild analysis, the proportion of carnivores(57 - 77%) was evidently higher than that of insectivores(10 - 20%), indicating a dominance of the carnivores. Especially, high abundance of the bass, exotic species, may disturb the fish overall food chain, so the efficient ecosystem management may be required for the conservation of endemic species. When we examined fish data files of last 60 years, the species of *Culter brevicauda*, designated as endangered species, was observed firstly in our research area and the total number was 5 individuals(0.2% of the total). So, this region observed should be conserved as a protection zone and further monitoring studies should be done in the future.

KEY WORDS: EXOTIC SPECIES, FISH FAUNA, WEIR CONSTRUCTION, *Culter brevicauda*

서론

우리나라의 4대강 중 하나인 영산강은 전라남도 담양군 용면 용연리의 용추봉에서 발원하여 장성군, 광주광역시, 나주시, 함평군, 무안군, 목포시 등을 거쳐 서·남해로 유입되며, 총 길이는 138.75km, 유역면적은 3,371km²이다. 상수원 및 농·공업용수와 같은 수자원의 효율적인 이용을 위해 담양댐, 장성댐, 광주댐, 나주댐 등의 4개의 다목적댐을 상류유역에 건설하였고, 하류유역에는 영산강 하구둑이 1981년에 완공되었다. 영산강의 상류유역과 하류유역에 건설된 댐이나 하구연과 같은 인공 구조물은 1차적으로 수리·수문학적 특성에 영향을 주며, 이러한 특성은 수질 악화에 직접적으로 영향을 주어 궁극적으로는 어류를 포함한 수생생물들에 악영향을 미치는 것으로 보고된 바 있다(Cho *et al.*, 1999). An *et al.*(2007)은 영산강 수계의 하류유역에 건설된 인공 구조물들이 어류의 이동성 차단 및 생태 건강도를 악화시키는 요인으로 보고하여 이와 같은 인공 구조물 건설에 따른 종합적인 수생태 건강성 평가가 절실히 요구되는 바이다.

현재, 영산강 수계에서는 광주광역시를 포함한 인구밀집 지역의 도심으로부터 배출되는 생활하수를 비롯하여 수계 주변에 산재해있는 농공단지로부터 유출되는 폐수 등이 본

수계의 수질 악화에 주요 요인으로 작용하는 것으로 보고되고 있으며, 특히 도심하천인 광주천 등으로 부터 배출되는 하수처리수는 영산강 수계 중류역의 오염부하에 가장 크게 영향을 주는 것으로 보고되어 왔다(MOE/NIER, 2011). 또한, 하류역에서는 영산강 하구연이 건설된 이후 인(P), 질소(N) 등과 같은 다량의 영양염류 축적이 이루어졌고, 실트와 같은 침전물(Sediment)이 다량 축적이 되어 부영양화 현상이 빈번하게 발생해 오고 있으며, 이에 따른 조류 대발생(Algal bloom)을 비롯하여 다양한 생태계 영향이 지역사회에 큰 문제로 부각되고 있는 실정이다(KEI, 2005). Park *et al.*(2001) 및 Yun *et al.*(2003)에 따르면, 조류 대발생에 의해 수층의 심층부에는 용존 산소 고갈 현상의 발생 빈도가 증가하고 있고, 이런 특성은 수체의 어류를 포함한 수생생물에 직접적인 영향을 주는 것으로 나타났다.

일반적으로 하천 및 강의 중·하류부에 건설되는 댐 혹은 보와 같은 인공구조물은 수체의 수리·수문학적 특성 및 수질 변화를 야기하는 것으로 국내외의 많은 연구자들(Leentvaar and Nijbeer, 1986; Kwon, 1991; Lim and Choi, 2005; Choi and An, 2008a; 2008b)에 의해 보고되고 있으며, 특히 수중 생태계에서 서식하는 어류를 비롯한 여러 분류군의 군집구조, 종 조성 및 분포 특성에도 큰 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 2008년에는 우리나라 국가균형 발전위원회

로부터 국가 4대강 정비·복원 사업이 공식 결정되어 우리나라의 4대강 유역에 총 16개의 인공보(Weir)를 건설하였으며, 본 연구 대상 지역인 영산강 유역에는 승촌보와 죽산보의 2개 인공보 건설이 2011년에 완료되었다. 영산강 유역에 완공된 2개의 인공보 건설에 따른 수리·수문학적 특성, 물리적 서식지 구조 특성, 이·화학적 수질 특성에 대한 규명뿐만 아니라 수생 생물 중 먹이연쇄 단계 중 상위에 있는 어류의 분포 특성, 이동성 및 어도 효율성 등에 대한 종합적인 생태평가가 필요한 것으로 지적되고 있다(MOE/NIER, 2011).

따라서 본 연구의 목적은 4대강 사업의 일환으로 영산강 수계의 중·하류 유역에 건설된 죽산보를 대상으로 상류 구간 및 하류 구간에 대한 어류 종 조성 분석을 통해 종 분포 양상을 분석하고, 보 상류 유역과 하류 유역에 대한 어류의 내성도 길드 및 섭식 길드 분석, 어류 군집 구조 특성을 비교·분석하는 것이다. 이를 통해 얻은 결과는 죽산보의 건설 이후 장기간의 어류 이동성 평가 및 어도 효율성 평가 등 다양한 수 환경 평가에 대한 중요한 기초자료로써 활용될 것으로 사료된다.

연구방법

1. 조사 기간 및 조사 지점

본 연구에서는 영산강 하류부의 죽산보가 완공된 2011년

동안 집중 강우에 의한 영향이 있는 장마기(7~8월)를 제외하고, 수체가 안정된 장마 전기(5~6월)와 장마 후기(9~10월)로 대별하여 현장 조사를 실시하였다. 죽산보를 기준으로 1km와 5km 상류 구간(R-UW)의 2개 지점(S1, S2)과 보 하부로 부터의 1km와 5km 하류 구간(R-LW)에 대한 2개 지점(S3, S4), 총 4개 지점을 선정하여 조사를 실시하였다 (Figure 1).

2. 조사 방법

1) 어류 현장 조사방법

현장에서의 어류 채집은 조사 지점 내의 모든 서식지를 포함하여 실시하였다. 조사에 이용된 어류 채집 도구로는 투망(Casting net, CN), 족대(Kick net, KN), 정치망(Fyke net, FN), 자망(Gill net, GN), 삼중자망(Trammel net, TN) 등 총 5개의 어획 도구이며, 수심이 비교적 얇은 연안부에서는 CN(7mm×7mm)과 KN(4mm×4mm)을 이용하여 정량화된 Catch per unit effort(CPUE)를 위해 각 지점마다 200m로 채집구간을 제한하여 60분 동안 어류 조사를 실시하였다. 한편, 수심이 깊어 CN과 KN을 이용한 어류 조사가 어려운 지점에서는 FN(5mm×5mm), GN(45mm×45mm), TN(12mm×12mm)을 이용하였으며, 24시간 동안 설치 후 채집된 어획물을 수거하였다.

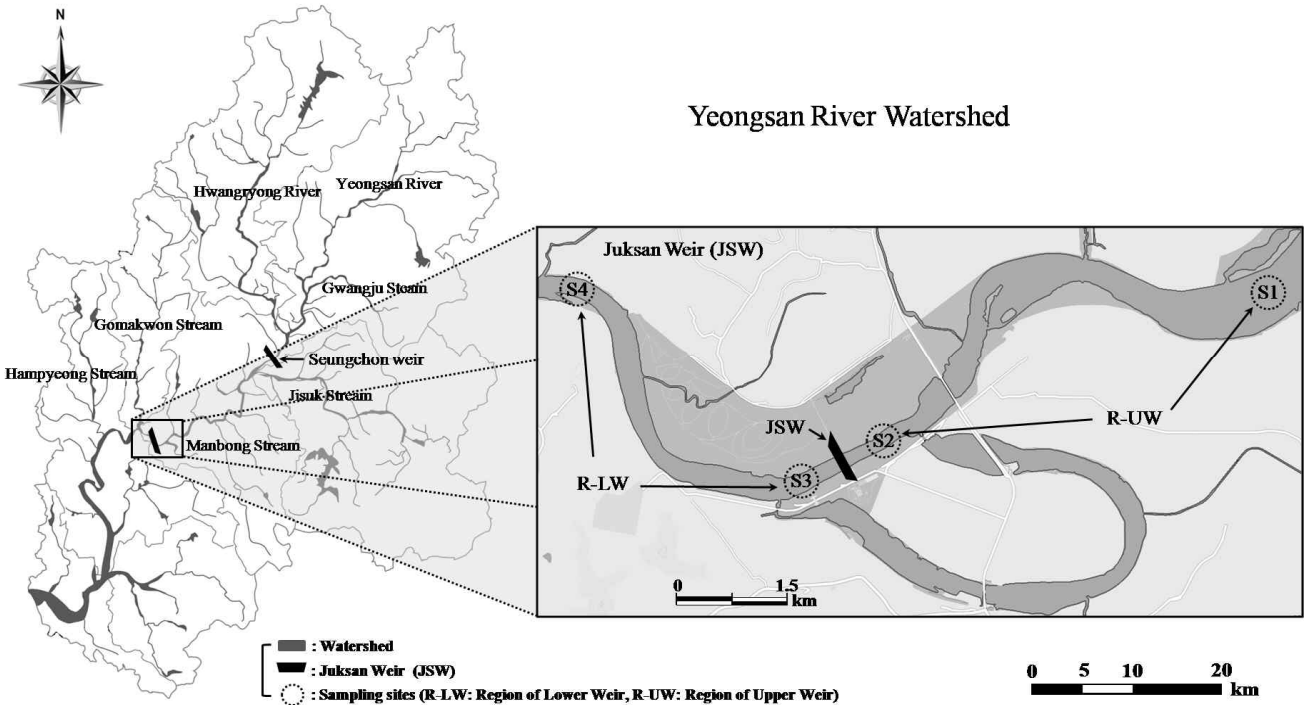


Figure 1. The map showing the sampling sites and Juksan Weir(JSW) in the Yeongsan River watershed

2) 어류 동정 및 군집분석

각 지점에서 채집된 어류는 현장에서 동정, 분류 및 개체 수 산정을 한 후 곧바로 방류하였다. 현장에서 동정이 어려운 종의 경우 10% 포르말린 용액에 고정하여 연구실로 옮긴 후 국내에서 발간된 검색표(Kim and Park, 2002)에 의거하여 동정하였으며 Nelson(1994)의 분류체계를 따라 정리하였다. 비정상어종의 감별은 U.S. EPA(1993)의 방법에 따라 기형(Deformity), 지느러미 깎임(Erosion), 피부 조직 손상(Lesion) 및 종양(Tumor) 등 4개 유형으로 구분하여 실시하였다. 한편, 어류 군집 특성 분석을 위해 Simpson (1949)의 우점도 지수(Dominance index), Shannon and Weaver(1949)의 종 다양도 지수(Species diversity index), Margalef(1958)의 종 풍부도 지수(Species richness index), Pielou(1975)의 균등도 지수(Evenness index) 등을 산정하였다.

3) 생태지표특성 분석

채집된 어류의 생태지표특성 분석을 위해 Ohio EPA(1989), U.S. EPA(1993), 및 Barbour *et al.*(1999)의 기준에 의거하여 내성도와 섭식 특성에 따라 분류하였다. 내성 특성에는 오염 정도에 따른 수환경의 변화에 민감하게 반응하여 쉽게 사라지는 특성을 보이는 민감종(Sensitive species, SS), 수질 오염에도 불구하고 오염 정도에 내성을 나타내 종 수 및 분포범위가 증가하는 특성을 보이는 내성종(Tolerant species, TS), 그리고 민감종과 내성종에 포함되지 않는 중간종(Intermediate species, IS)의 세 가지로 분류하였다. 한편, 섭식 특성에는 주로 수서 무척추 곤충을 먹는 충식종(Insectivores, I), 수서 무척추동물이나 다른 어류를 먹이원

으로 하는 육식종(Carnivores, C), 동·식물의 상당 비율을 지속적으로 섭식하는 잡식종(Omnivores, O), 그리고 식물 플랑크톤과 수초를 주로 섭식하는 초식종(Herbivores, H) 등의 네 가지로 분류하였다.

결과 및 고찰

1. 죽산보 건설구간의 어류상 분석

본 연구 기간 동안 죽산보 구역에서 조사된 어류는 8과 30종이었다. 죽산보의 상류구간에서는 23종(938개체) 죽산보 하류구간에서는 27종(1,680개체) 출현하여 하류구간에서 일부 종수 및 개체수가 더 높은 것으로 나타났다(Table 1, Figure 2). 본 조사에서 출현한 30종 중 잉어과 어류는 21종, 상대풍부도는 약 70%로 가장 높은 출현율을 보였으며, 동자개과(Bagridae)와 검정우럭과(Centrarchidae)등이 6.7%로 높게 나타났다. 잉어과 어류의 높은 우세 분포 양상은 이전의 타 연구자들이 제시한 바와 같이 4 대강 분류수계에서와 유사한 경향을 보였다(Jeon, 1980; Choi *et al.*, 1989). 또한, 본 연구 결과는 기존의 영산강 수계를 대상으로 조사를 실시한 문헌에서 보고된 결과와 유사한 양상을 보이는 것으로 확인되었다(Kim *et al.*, 1986; Song and Lee, 1987, 1988; Nah, 1989; Song and Kim, 1995; Song and Yang, 1995; An *et al.*, 2007; Choi and An, 2008a; 2008b).

죽산보의 모든 구간에서 분포하고 있는 어류 중 전체의 5%이상을 차지하는 주요 우점종은 꼬리(*Opsarichthys uncirostris amurensis*) 42.3%, 잉어(*Coilia nasus*) 22.7%, 누치(*Hemibarbus labeo*) 6.4% 등으로 나타났다(Figure 3). 주요 우점종의 상대풍부도를 구간 별로 비교·분석해본 결

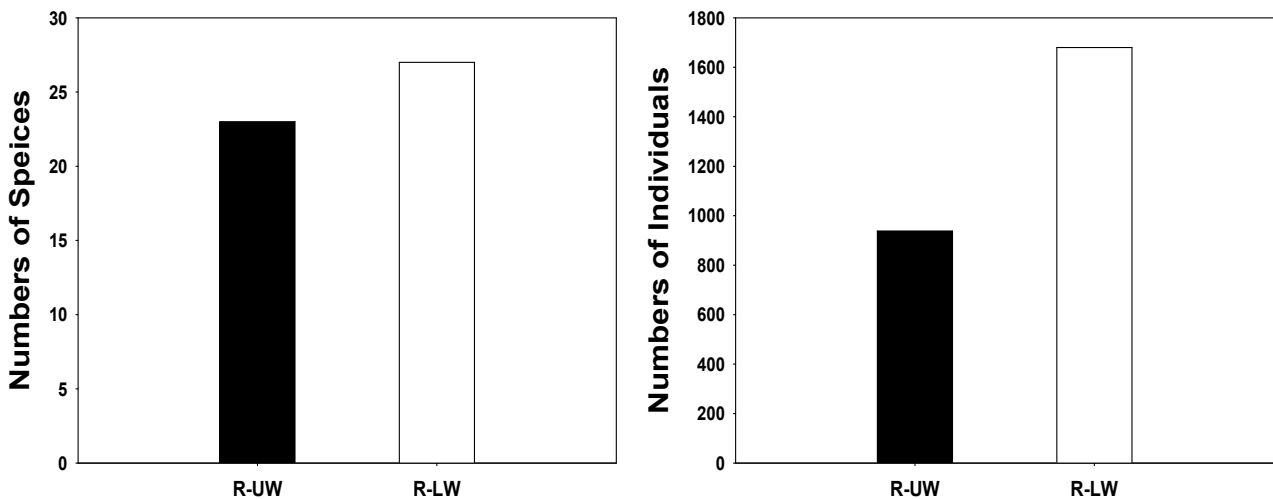


Figure 2. Fish fauna analysis in the regions of upper weir (R-UW) and lower weir (R-LW), Juksan weir in Yeongsan River watershed

Table 1. Fish fauna and compositions, based on the types of fish sampling gears (Sg- I ~ Sg- V), in two regions of upper weir (R-UW) and lower weir (R-LW), Juksan Weir of Yeongsan River watershed

Species name	Region of Upper Weir (R-UW)										Region of Lower Weir (R-LW)						Whole Region (R-W)							
	ToG	Sg-I			Sg-II			Sg-III			Sg-IV			Sg-V			Sg-I	Sg-II		Sg-III		Sg-IV		Sg-V
		CN+	FN	TN	CN+	FN	TN	CN+	FN	TN	CN+	FN	TN	CN+	FN	TN		KN	FN	TN	GN	GN	GN	
Engraulidae																								
<i>Coilia nasus</i>	IS	C	24	168	58	250						110	155	80	345									
Cyprinidae																								
<i>Cyprinus carpio</i>	TS	O	1	1	4	5	1	1	1	3	5	1	1	3	5	1	1	1	1	1	1	1	7	
<i>Carassius auratus</i>	TS	O	2	1	7	10	1	1	5	7	13	3	3	7	13	3	1	1	5	14	14	23	23	
<i>Carassius cuvieri</i> †	TS	O	1	1	10	11	2	2	3	3	3	2	2	3	3	1	1	13	13	13	13	14	14	
<i>Rhodeus uyekii</i> *	IS	O	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
<i>Rhodeus notatus</i>	IS	O	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	IS	O																						
<i>Acanthorhodeus macropterus</i>	IS	O	1	13	14	14	49	3	28	80	80	49	4	41	94	49	4	41	41	94	94	94	94	
<i>Acanthorhodeus gracilis</i> *	IS	O	1	12	13	13	10	3	3	13	13	10	1	15	26	10	1	15	15	26	26	26	26	
<i>Pseudorasbora parva</i>	TS	O	6	2	8	8	6	2	2	6	6	6	2	2	14	12	2	2	2	14	14	14	14	
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyai</i> *	SS	I																						
<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i> *	IS	I	5	1	1	1	2	1	1	3	3	2	1	1	8	7	1	1	1	8	8	8	8	
<i>Squalius gracilis majimai</i> *	SS	I	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
<i>Squalius japonicus coreanus</i> *	TS	O	26	15	42	42	29	17	46	46	46	29	17	55	88	55	32	1	1	88	88	88	88	
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> *	IS	O	23	26	46	4	20	8	37	68	68	20	8	83	167	43	34	83	83	167	167	167	167	
<i>Hemibarbus labeo</i>	IS	I	2	2	2	2	3	1	1	5	5	3	1	1	9	5	3	1	1	9	9	9	9	
<i>Pseudogobio esocinus</i>	TS	O	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
<i>Abbottina rivularis</i>	TS	O	7	4	12	12	7	4	12	12	12	7	4	17	2	8	8	1	1	17	17	17	17	
<i>Zacco platypus</i>	TS	O	44	232	3	279	2	826	828	828	828	2	826	3	1,107	46	1,058	3	3	1,107	1,107	1,107	1,107	
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	TS	C	18	62	9	89	2	11	12	25	25	2	11	12	114	20	73	21	21	114	114	114	114	
<i>Culter brevicauda</i> †	TS	C																						
<i>Hemiculter eigenmanni</i> *	TS	O																						
Bagridae																								
<i>Pseudogobius fulvifracco</i>	TS	I																						
<i>Leiocassis nitidus</i>	TS	I	4	40	44	44	1	1	83	83	83	1	1	127	1	4	123	123	127	127	127	127	127	
Siluridae																								
<i>Silurus asotus</i>	TS	C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Mugilidae																								
<i>Mugil cephalus</i>	TS	H	6	16	13	35	17	1	2	20	20	17	1	15	55	23	17	15	15	55	55	55	55	
Centrarchidae																								
<i>Lepomis macrochirus</i> †	TS	C	9	9	9	9	110	3	113	113	113	3	3	122	119	3	3	3	3	122	122	122	122	
<i>Micropterus salmoides</i> †	SS	C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Odonobutidae																								
<i>Odonobutis platycephala</i> *	TS	O	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Gobiidae																								
<i>Rhinogobius giurinus</i>	TS	O	15	15	12	23	20	13	13	27	27	20	13	5	30	21	19	18	5	30	30	30	30	
Total Numbers of Species																								
Total Numbers of Individuals																								

Sg: sampling gears, ToG = tolerance guilds (IS: intermediate species, TS: tolerant species, SS: sensitive species), TrG = trophic guild (C: carnivores, O: omnivores, I: insectivores), Hab G.: habitat guild, CN: casting net, FN: fyke net, TN: trammel net, GN: gill net, †: exotic species, *: korean endemic species, ‡: endangered species

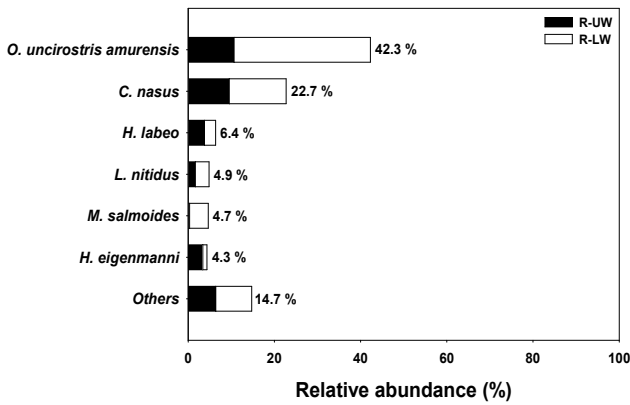


Figure 3. The relative abundance of the dominant fish species collected in Juksan weir region in Yeongsan River watershed

과, 대체적으로 이와 유사한 양상을 보였으나, 상류 구간에서는 치리(*Hemiculter eigenmanni*)의 상대풍부도가 높게 나타났으며, 이와는 반대로 배스(*Micropterus salmoides*)의 상대풍부도는 하류 구간에서 더 높게 나타나 다소 차이를 나타냈다.

2. 한국 고유종의 분포 특성

해당 조사 지역의 어류상을 특징짓는 기준이 되는 한국 고유종은(Jeon, 1980) 서식지의 수환경 상태가 악화됨에 따라 급격히 감소하는 경향을 보인다(Choi *et al.*, 2000). 본 연구에서 확인된 한국고유종은 각시붕어(*Rhodeus uyekii*), 가시납지리(*Acanthorhodeus gracilis*), 참중고기(*Sarcocheilichthys variegatus wakiyae*) 등 9종 249개체로 나타나, 과거 문헌에서 보고된 결과와는 차이를 보였다. 개체수 수준의 출현율을 분석한 결과 상류구간에서는 16.3%의 출현 빈도를 보였으나, 하류 구간에서는 5.7%의 출현빈도를 보여 고유종은 상류 구간에서 높은 출현 빈도를 나타내어 차이를 보였다(Figure 4). 과거 문헌에서 보고된 한국 고유종은 총 7과 19종이며, 이 중 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*), 남방종개(*Iksookimia hugowolfeldi*), 미유기(*Silurus microdorsalis*) 등을 포함한 다른 종은 채집되지 않았다. 이들 종의 일반적인 특성은 하상이 자갈로 구성되어 있고, 여울이 잘 발달된 하천에 주로 서식하는 종들로(Kim and Park, 2002), 유속이 완만하고 정체된 수역에 서식하는 종들이 다수 채집된 본 연구 결과와 차이를 나타내었으며, 하구둑과 인공보 건설에 따른 수생태계의 구조변화를 가져와, Choi and An(2008a; b)의 결과와 유사한 경향을 보였다. Yang *et al.*(1997); Choi *et al.*(2003); Choi *et al.*(2004)의 결과에 의하면, 일반적으로 고유종의 수는 유수역에 비해 정수역에서 적게 나타난다

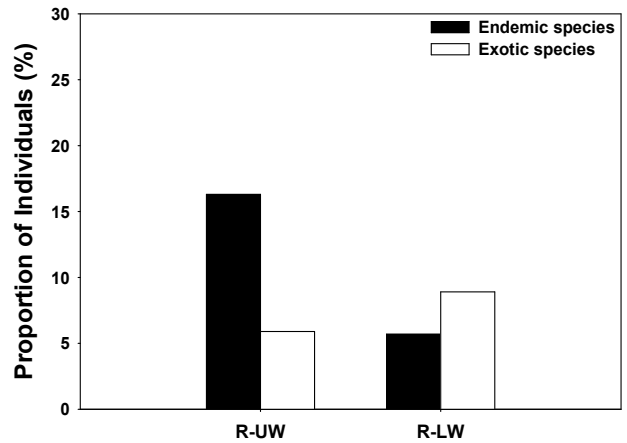


Figure 4. Comparative analysis between region of upper weir (R-UW) and lower weir (R-LW) for proportion of individuals about Korean endemic species and exotic species

고 한다. 즉, 연속적인 인공구조물 건설에 따른 정체수역 증가와, 유속의 감소로 하상에 퇴적물이 다량 침적되어 하상구조의 변이가 일어남으로써 궁극적으로 어종 조성에 변화를 가져온 것으로 사료되었다.

3. 외래종 분포 특성

죽산보 구간에서 채집된 외래종은 떡붕어(*Carassius cuvieri*), 블루길(*Lepomis macrochirus*), 배스 등의 3종이 전 조사 구간에서 분포하는 것으로 나타났다. 상류 구간에서는 5.9%의 출현 빈도를 보였으나, 하류 구간에서는 8.1%의 출현 빈도를 보여 하류 구간에서 외래종의 출현 빈도가 다소 높은 것으로 나타났다(Figure 4). 블루길(2.1%)과 떡붕어(0.5%)에 비해, 배스가 122개체(4.7%)의 비교적 높은 출현 빈도를 보여 이에 따른 죽산보 구간에서 토착어종에 미치는 악영향이 클 것으로 예상된다. 상류 구간에서는 떡붕어(1.2%)와 배스(1.0%)에 비하여 블루길(3.7%)의 출현 빈도가 비교적 높게 나타났으며, 하류 구간에서는 배스(6.7%), 블루길(1.2%), 떡붕어(0.2%)로 배스가 현저히 높은 출현율을 나타내 하류 구간에서 배스에 의한 수중 생태계 내의 교란 현상이 더욱 심각해질 것으로 판단되어 이에 따른 대책 마련이 필요할 것으로 사료된다.

4. 내성도 길드 특성

내성도 특성(Tolerant guild) 분석 결과, 내성종(Tolerant species, TS)이 68.3%로 가장 높게 나타났으며 중간종(Intermediate species, IS) 31.3%, 민감종(Sensitive species)

0.4% 순으로 나타나 죽산보 구간에서는 내성종이 우점하여 분포하는 것으로 분석되었다(Figure 5). 조사 구간별 분석 결과, 상류 구간에서는 내성종 64.7%, 중간종 34.8%, 민감종 0.5%로 나타났고, 하류 구간에서는 내성종 70.3%, 중간종 29.3%, 민감종 0.4%로 나타나 내성종의 단연 우세 현상을 보여 내성도 특성은 조사 구간에 따른 차이가 없는 것으로 분석되었다. Karr(1981), U.S. EPA(1991), Barbour *et al.*(1999)의 기존 연구 결과에 따르면, 유기물 오염 및 서식지 파괴 등의 서식지의 물리·화학적 질적 저하에 따라 하천 생태계 내의 민감종의 종 수 및 개체 수는 감소하는 반면, 내성종의 종 수 및 개체 수는 증가하는 경향을 보이는데, 본 연구에서는 내성종의 단연 우세 현상이 나타나 죽산보 구간의 서식 환경 및 이·화학적 수질이 양호하지 않은 것으로 판단된다.

5. 섭식 길드 특성

죽산보 구간의 섭식 길드(Trophic guild) 분석 결과, 육식종(Carnivores, C) 69.9%, 초식종(Herbivores, H) 0.1%, 충식종(Insectivores, I) 14.1%, 잡식종(Omnivores, O) 15.9%으로 나타나 육식종이 우세한 분포 양상을 보였다(Figure 6). 구간별 분석 결과, 상류 구간에서는 육식종 57.4%, 초식종 0.2%, 충식종 20%, 잡식종 22.4%로 나타났고, 하류 구간에서는 육식종 77%, 초식종 0%, 충식종 10.8%, 잡식종 12.2%로 나타나, 섭식 특성 분석 결과 또한 내성도 특성 분석 결과와 마찬가지로 조사 구간에 따른 차이가 없는 것으로 확인되었다. 육식종이 현저하게 높은 출현율을 보인 것은 죽산보 전 구간에서 우점하고 있는 *꼬리*(42.3%)와 *응*

어(22.7%), *배스*(4.7%)등이 다량 출현한 결과 때문으로 사료된다.

6. 주연성 어종 및 회유성 어종 분포 특성

죽산보 구간에서 출현한 어종 중 주연성 어종은 멸치과(Engraulidae)에 속하는 *응어* 1종으로서 총 595개체(22.7%)가 출현하였고, 이 중 죽산보 상류 구간에서는 250개체, 하류 구간에서는 345개체가 채집되어 하류 구간에서 더 많은 개체가 출현하였다. 본 종은 시기별(계절별)로 뚜렷한 개체 수 및 출현 빈도의 차이를 보였는데, 이는 4~5월에 바다나 강의 하구역에서 강의 중·상류역으로 거슬러 올라와 6~7월에 산란을 하는 주연성 어종(Kim and Park, 2002)의 특성 때문으로 특히, 봄철에 뚜렷한 증가양상을 보인 후 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 이런 이유로, 2차 조사 시기인 10월에 비하여 1차 조사 시기인 6월에 채집된 총 595개체의 약 94%에 해당하는 558개체가 채집되어 산란을 위해 이동하는 주연성 어종의 특성을 뚜렷하게 나타냈다.

7. 법적 보호종 분포 특성

본 연구 기간 동안 출현한 법적보호종은 멸종위기 야생동물 II급으로 지정된 *백조어*(*Culter brevicauda*) 1종으로 하류 구간에서만 5개체 출현한 것으로 나타났으며, 이는 영산강 수계에서 백조어의 서식에 대한 최초의 보고이다. 조사 시기별로 채집된 개체를 분석한 결과, 1차 조사인 5~6월에 4개체가 확인되었고, 2차 조사인 9~10월에 1개체가 확인되어 시기별로 분포 특성에 차이를 나타냈다. 채집에 이용된

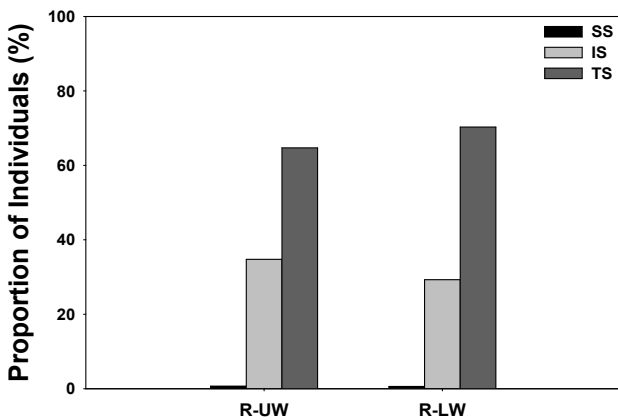


Figure 5. Tolerant guild analysis depending on sampled regions. The abbreviations are as follows; SS: sensitive species, IS: intermediate species, TS: tolerant species, R-UW: region of upper weir, R-LW: region of lower weir

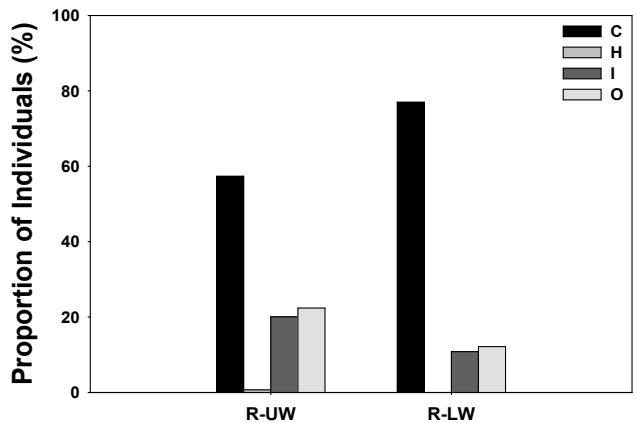


Figure 6. Trophic guild analysis depending on sampled regions. The abbreviations are as follows; C: carnivores, H: herbivores, I: insectivores, O: omnivores, R-UW: region of upper weir, R-LW: region of lower weir

여러 가지 어획도구 중 FN에서 1개체, TN에서 4개체가 채집되었으나, 본 결과로 백조어의 채집에 효율성이 가장 좋은 어획도구는 TN으로 단정하기에는 다소 무리가 있는 것으로 판단된다. 한편, 백조어 개체군의 유지를 위하여 본 연구에서 백조어의 서식·분포가 확인된 죽산보 하류 1km 구간을 백조어 보호지역으로 지정해야 하며, 이 지역의 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 판단된다.

8. 군집지수 및 군집구조 분석

죽산보의 구간 별 군집지수 분석 결과, 다양도 지수(Species diversity index)는 상류 구간에서 2.08로 하류 구간 1.74에 비해 높게 나타나 개체 수에 비하여 비교적 많은 종이 채집된 것을 반영하였다. 특정 종이 우세하게 분포하는 정도를 나타내는 우점도 지수(Dominant index)는 상류 구간에서 0.82로 높게 나타났으며, 하류 구간에서도 0.5 이상의 값을 보여 꼬리의 우점현상을 반영하였다. 군집 내 종 구성의 균일한 정도를 나타내는 균등도 지수(Evenness index)는 상류 구간에서 0.66, 하류 구간에서 0.53로 나타났다. 종 풍부도 지수(Species richness index)는 상류 구간 3.22보다 하류 구간 3.50에서 더 높게 나타났다(Table 2). 본 연구 대상인 죽산보 구간은 인공보 건설 등에 따른 인위적인 교란에 의해 물리·화학적 서식 환경의 질적 저하에 따라 높은 다양도 지수를 보였음에도 균등도 지수가 낮고, 우점도 지수가 비교적 높은 값을 나타내 종 조성의 변화가 야기된 것으로 판단되며 향후 보다 뚜렷한 변화 양상이 나타날 것으로 사료된다.

9. 죽산보의 상류역 및 하류역에 대한 종합적 고찰

본 연구 기간 동안 죽산보 전체 구간에서 채집된 어류는 총 30종 2,618개체였으며, 상류 구간에서는 23종 938개체, 하류 구간에서는 27종 1,680개체가 확인되어 상류 구간에 비해 하류 구간이 종 수 및 개체 수 측면에서 높게 나타났다. 즉, 일반적으로 어류는 수류를 거슬러 상류로 이동하려는 경향이 높은 특성을 고려했을 때 다소 부분적 이지만 하류

구간에 분포하는 일부 어류의 이동성 제한 현상을 보인 것으로 사료된다.

내성도 길드 및 섭식 길드 특성 분석에 따르면, 상류 구간과 하류 구간 모두 내성종과 육식종이 현저하게 우점하여 분포하는 양상을 나타내어 구간별로 큰 차이를 보이지 않았다. 특히 육식종의 우점현상은 죽산보 전 구간에서 우세하게 분포하는 주요 우점종인 꼬리, 웅어 및 배스 등의 때문으로 나타났는데, 특히 배스 개체군의 크기는 향후 정체구간이 늘어날 경우 급격히 증가될 수 있는 것으로 사료되었다. 또한, 전 구간에서 정체된 수역을 선호하는 정수정 어종(Lentic-type species)의 우세 분포 양상을 보여 보 건설로 인한 정수역의 증가에 따른 결과를 반영한 것으로 사료되었다.

외래종은 전 구간에서 모두 분포하는 것으로 나타났으나, 특히 하류 구간에서 배스의 출현율이 높게 나타나 하류 구간에서 토착 어종에 미치는 악영향이 심화될 것으로 예상된다. 한편, 멸종 위기 야생 동물 II급으로 지정된 백조어가 하류 1km 구간에서 채집되어 해당 종의 개체군 유지를 위해 이 구간을 백조어 보호지역으로 지정함과 동시에 향후 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단되었다.

결론적으로 어류를 비롯한 여러 수생생물의 군집 특성 및 분포 특성을 더 잘 이해하기 위해서는 인공보 건설에 따른 죽산보 구간의 수리·수문학적 특성 변화 양상 분석, 물리적 서식지 환경 변화 파악 및 이·화학적 수질 특성 변화 양상 분석이 동시에 수반 되어야 하며, 어류 이외에도 부착조류, 식물성 플랑크톤, 동물성 플랑크톤, 수서무척추동물 등의 다양한 수생생물에 대한 종 분포 변화 등의 여러 변화 양상을 분석하기 위한 지속적인 장기 모니터링이 요구되는 바이다.

인용문헌

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. (in Korean with English abstract)
 Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder and J.B. Stribling(1999)

Table 2. Fish community index, based on the Margalef's species richness index (d), Pielou's evenness index (J'), species diversity index (H'), and dominance index (λ) and the community structure in the regions of upper weir (R-UW), lower weir (R-LW), and whole region (R-W), Juksan Weir of Yeongsan River watershed

Sampling Regions	Types of Community Index					
	S	N	d	J'	H'	λ
R-UW	23	938	3.22	0.66	2.08	0.82
R-LW	27	1,680	3.50	0.53	1.74	0.70
R-W	30	2,618	3.69	0.57	1.93	0.76

- Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. EPA; Office of Water, Washington D.C., USA.
- Cho, K.A., P.K. Ahn, S.G. Hong and D.O. Chung(1999) A study on characteristics of water quality and degradation rates of organic phosphates in Young-San River. *Journal of the Korean Environmental Sciences* 8(6): 691-698. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.S., 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. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.S., K.Y. Lee, Y.S. Jang, M.H. Ko, O.K. Kwon and B.C. Kim(2003) Study on the dynamics of the fish community in Lake Soyang. *Korean Journal of Ichthyology* 15(2): 95-104. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.S., Y.S. Jang, K.Y. Lee, J.G. Kim and I.K. Kwon(2004) Ichthyofauna and fish community in Lake Paro. *Korean Journal of Environmental Biology* 22(1): 111-119. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.W. and K.G. An(2008a) Evaluation of Yeongsan Lake ecosystem using various environment parameters. *Korean Journal of Limnology* 41(2): 155-165. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.W. and K.G. An(2008b) Characteristics of fish compositions and longitudinal distribution in Yeongsan River watershed. *Korean Journal of Limnology* 41(3): 301-310. (in Korean with English abstract)
- Choi, K.C., S.R. Jeon, I.S. Kim and Y.M. Son(1989) Distribution map of Korean freshwater fishes. *Korean Limnobiology Research Center*. pp. 2-202. (in Korean with English abstract)
- Jeon, S.R.(1980) Studies on the distributions of the Korean freshwater fishes. PhD thesis. Chungang University, Korea, pp.18-45. (in Korean with English abstract)
- Karr, J.R.(1981) Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6: 21-27.
- KEI(Korea Environment Institute)(2005) Development of sustainable estuary management strategy in Korea II. pp. 141-229. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S. and J.Y. Park(2002) Freshwater fishes of Korea. Kyohak Publishing Co., Ltd, Seoul, pp. 1-465. (in Korean)
- Kim, I.S., C.K. Choi and Y.M. Son(1986) Fish communities of the Yeongsan Lake. *Bulletin of the KACN* 8: 56-66. (in Korean with English abstract)
- Kwon, O.S.(1991) Effect of river barrage on the changes of environmental factors in Naktong Estuary. *Korean Journal of Limnology* 24(4): 231-238. (in Korean with English abstract)
- Leentvaar, J and S.M. Nijboer(1986) Ecological impacts of the construction of dams in and estuary. *Water Science and Technology* 18: 181-191.
- Lim, H.S. and J.W. Choi(2005) Ecological impact of the dyke construction on the marine benthos community of the oligohaline Youngam Lake. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38(3): 172-183. (in Korean with English abstract)
- Margalef, R.(1958) Temporal succession and spatial heterogeneity in natural phytoplankton. In *perspectives in marine biology*. University of California Press. pp. 323-349.
- 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*. pp. 3-175. (in Korean with English abstract)
- Nah, C.S.(1989) Comparative study on limno-biological aspects of the dammed lakes in the Youngsan River in Korea – Centering on fish fauna. *Korean Journal of Ecology* 12(1): 51-65. (in Korean with English abstract)
- Nelson, J.S.(1994) *Fishes of the world*(3rd ed.). John Wiley & Sons, New York, USA, 600pp.
- Ohio EPA(1989) Biological criteria for the protection of aquatic life. Vol.III, Standardized biological field sampling and laboratory method for assessing fish and macroinvertebrate communities.
- Park, L.H., Y.K. Cho, C. Cho, Y.J. Sun and K.Y. Park(2001) Hydrography and circulation in the Yeongsan River Estuary in Summer, 2000. *The Sea, Journal of the Korean Society of Oceanography* 6(4): 218-224. (in Korean with English abstract)
- Pielou, E.C.(1975) *Ecological diversity*. Wiley, New York, 165pp.
- Shannon, C.E and W. Weaver(1949) *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana, pp. 1-144.
- Simpson, E.H.(1949) Measurement of diversity. *Nature* 163: 688.
- Song, T.G. and H.S. Yang(1995) Fish fauna in the upstream of the Yeongsan River System. *Bulletin of Institute of Littoral Environment* 12: 59-69. (in Korean with English abstract)
- Song, T.G. and J.G. Kim(1995) Fish fauna in the mid-stream of the Yeongsan River System. *Bulletin of Institute of Littoral Environment* 12: 71-82. (in Korean with English abstract)
- Song, T.G. and W.O. Lee(1987) Freshwater fish fauna in the up and mid-stream of the Yeongsan River System. *Bulletin of Institute of Littoral Biota* 4(1): 81-90. (in Korean with English abstract)
- Song, T.G. and W.O. Lee(1988) Fish fauna in the Yeongsan River System and changes of fish fauna in the Yeongsan Lake. *Bulletin of Institute of Littoral Biota* 5(1): 113-129. (in Korean with English abstract)
- U.S. EPA.(1991) Technical support document for water quality-based toxic control. EPA 505-2-90-001. U.S. EPA, Office

- of Water, Washington D.C., USA.
- U.S. 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, H.J., B.S. Chae and M.M. Nam(1997) Ichthyofauna and fish community structure in the Andong-Dam area. Korean Journal of Limnology 30: 347-356. (in Korean with English abstract)
- Yun, S.T., Y.G. Go, G.H. O, B.C. Mun and H.G. Kim(2003). Water quality assesment of the lower Yeongsan River System. Environmental Impact Assessment 12(4): 259-270. (in Korean with English abstract)