

금강 중·하류역의 이·화학적 수질특성 및 어류 군집특성

한 정 호 · 안 광 국*

충남대학교 생명과학과

Chemical Water Quality and Fish Community Characteristics in the Mid- to Downstream Reach of Geum River

Jeong-Ho Han and Kwang-Guk An*

Department of Biological Science, College of Biological Sciences and Biotechnology,
Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Abstract – The objectives of the study were to analyze chemical water quality and fish community structures in the downstreams of Geum River during 2004~2005. Water quality parameters showed that ionic dilution was evident during July~August due to a rainfall and river runoff by Asian monsoon. Mean concentrations of BOD showed a seasonal variation and were greater in the downstream than in the midstream. The total number of fish species observed was 34 (11 families) and 30.3% of them was Korean endemic species. The dominant species with >20% of the total were *Zacco platypus* (25.9%) and *Microphysogobio jeoni* (21.5%) in the river. Exotic species observed was only one species, *Carassius cuvieri* with relative abundance of 1.8%. According to the structure analysis of fish community, species richness index was highest (3.714) in S6 and lowest in S4 (1.961), while species diversity index was highest in S2 (1.01) and lowest in S5 (0.507). Tolerant species dominated the fish community (49%), and the sensitive species were rare (4.4%), indicating a biological degradation of ecosystem. In the mean time, omnivore species was composed of 49% in the fish community and insectivore species was nearly same with the proportion of the omnivores.

Key words : fish composition, water chemistry, community analysis, Geum River

서 론

최근 우리나라에서는 도심화로 인한 인구의 집중현상, 중·소규모 하천에서의 토목공사 및 화학 산업 등의 발달로 발생하는 각종 오염물질이 수생태계로 유입되어 수자원의 질적 악화를 가져왔다(Kim *et al.* 1989; Lee and Par 1991; Chung *et al.* 1997). 최근 환경부의 자료에 따르

면, 다각적 수질오염현상은 자명하다. 오·폐수에 의한 BOD 발생량은 1988년에서 1996년 기간 동안 2.7배 증가하였고, 같은 기간 동안 폐기물 발생량 및 농약 사용량은 각각 1.7배, 1.2배 증가추세를 보여, 이로 인한 수체 내 최종소비자의 핵심역할을 하는 어류의 대량 폐사 현상이 보고되고 있다. 또한 인(P)과 질소(N)와 같은 유기물 증가로 인한 수생태계의 부영양화(Kim *et al.* 1997) 및 물리적 서식지의 파괴 현상은 내수면 어종수의 감소 및 희귀종의 급격한 감소를 가져오고 있다(An *et al.* 2001). 이런 상황 하에서 내수면 어류의 종 분포, 현존량

*Corresponding author: Kwang-Guk An, Tel. 042-821-6408,
Fax. 042-822-9690, E-mail. kgan@cnu.ac.kr

파악, 보호어종 등에 대한 전반적 현황을 파악하는 것이 시급한 현실이다.

국내에서 전국규모의 어류 조사로는 자연 환경조사의 일환으로 1차 조사는 1986년에 시작되어 1990년에 종결되었고(MOE/NIER 1987), 2차 조사는 1997년에 시작되어 2002년에 완료되었다. 이에 이어 환경부에서는 생태계건강성 조사 및 평가의 일환으로 4대강에서 폭 넓은 어류조사가 실시되고 있다. 그러나 이런 대부분 조사 연구는 최근 수행되고 있어 4대강 수계에서 과거에 어떤 종류의 어류가 분포하고, 어떤 특성을 가지고 있는지에 대한 문헌이 극히 부족하다. 특히, 중·하류부 수역의 어류에 대한 조사 문헌은 극히 부족하여 과거 상태의 어류 종 조성, 우점종 및 희귀종 분포상태가 파악되지 않고 있는 실정이다. 또한, 기존 수질환경 평가에 이용된 어류 분석은 주로 어류 분포 분포도 및 풍부도 같은 분석에 한정되어 있으나, 좀 더 내수면 이용 어족 자원량의 측면에서 고찰이 필요하다.

최근 우리나라 하천에서는 급격히 가속되는 수질오염 및 부영양화에 대한 대책으로 어류모니터링평가, 오염총량제(TMDL) 수질 평가 작업 및 이에 대한 제반작업으로 수생태 복원작업이 활발히 이루어지고 있다. 기존의 수체 평가자들은 급속도로 악화되는 수중 생태계 오염을 파악하기 위한 일환으로서 화학적 모니터링을 이용해 왔다(US EPA 1991). 그러나 Klemm *et al.* (1993) 및 Judy *et al.* (1984)의 연구결과에 따르면, 수질악화는 화학적 오염뿐만 아니라 유로변경 및 유량변동, 물리적 하상구조의 변경 등에 의해 크게 손상되기 때문에, 단순 화학적 평가만으로는 수계내의 먹이사슬관계, 물질순환 및 생태계 건강상태를 진단 할 수 없다. 또한, 기존의 생물학적 모니터링을 이용한 평가는 많은 시간과 경비가 소요되었고, 해석의 모호성 때문에 수질평가에서 종종 무시되어 왔으나(Lofti *et al.* 1983), US EPA (1999)에서는 RBP등의 어류모니터링 기법을 통해 이러한 단점을 보완하고 있다. 또한, 과거에 모니터링을 했던 어류자료의 DB시스템 구축에 의해 과거 및 현재의 어류생태변화 특성을 규명하고, 생태복원 등의 핵심 자료로 이용하고 있다.

현재, 우리나라에서는 4대강 사업의 일환으로 금강을 포함하여 수체 내에 보(weir) 및 어도(fishway)를 건설하여 가동하고 있어 수체류 시간 및 서식환경의 변화로 어류분포 특성 및 군집변화가 기대된다. 그러나 현재, 금강 수계에서 4대강 건설 이전의 과거 10년 전의 어류분포 자료 및 군집분석에 대한 자료는 극히 미비하다. 본 연구에서는 과거 2004~2005년에 걸쳐 조사를 실시한

어류자료를 문헌에 실려, 향후 4대강 사업 및 그 밖의 다양한 환경 변화로 인한 영향에 대한 어류변화특성에 대한 과거자료를 기록하기 위해 1차적으로 어류특성, 생태종의 군집구조분석 및 분포특성을 기술(descriptive)하는 1차적 단순 작업을 실시하였다.

재료 및 방법

1. 조사시기 및 조사지점 특성

금강 수계를 구성하는 하천들의 하천환경 및 서식어류에 대한 현지조사는 2004년 7월 29일, 2005년 4월 2일에 총 2회에 걸쳐 진행되었으며, 금강 본류를 중심으로 중·하류부 6 구간을 선정하여 어류 조사를 수행하였다. 각 조사 구간의 상세 위치는 다음과 같다(Fig. 1).

지점 1(S1) : 대전광역시 대덕구 신탄진동(N 36° 27'23", E 127° 25'43")

지점 2(S2) : 세종특별자치시 금남면 부용리(N 36° 30' 45", E 127° 21'40")

지점 3(S3) : 세종특별자치시 연기면 세종리(N 36° 28' 42", E 127° 16'09")

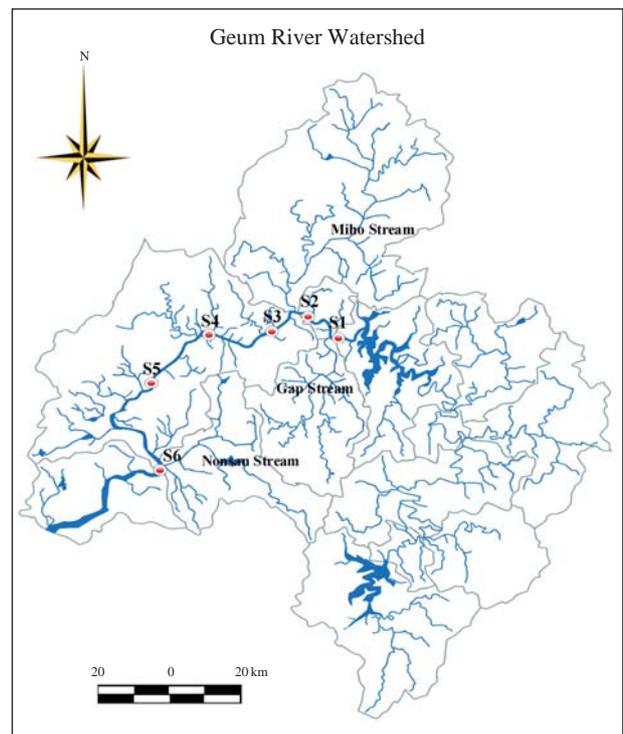


Fig. 1. Sampling sites in the mid- to downstream of Geum River.

지점 4 (S4) : 충청남도 공주시 옥룡동 (N 36° 22' 36", E 127° 08' 12")

지점 5 (S5) : 충청남도 청양군 탄천면 분강리 (N 36° 20' 25", E 126° 59' 11")

지점 6 (S6) : 충청남도 논산시 강경읍 채산리 (N 36° 09' 12", E 127° 00' 27")

2. 이·화학적 수질자료 분석

본 연구에서 수질조사는 환경부에서 고시한 수질오염 공정 시험방법을 구체화한 수질오염 공정시험방법주해와 미국의 Standard Method (APHA 1995)의 방식을 이용하여 측정하였다. 수온과 전기전도도는 YSI의 전기전도도 측정계 (YSI model 85)를 이용하여 측정하였고, 전기전도도 값은 25°C에서 보정된 값을 이용하였다. 용존산소(DO)는 용존산소측정계 (YSI model 51B)로 현장수의 용존 산소를 측정함과 동시에 현장수를 채수하여 Winkler-Azaid 변형측정법을 병행하여 보정하였다. 수소이온농도 (pH)는 수소이온측정계 (pH meter: HANNA HI 9023C)를 이용하여 검출부를 증류수로 잘 씻고 현장수를 100 mL 수소이온농도 측정 비이커에 넣은 후 측정하였다. 생물화학적 산소요구량 (BOD)은 300 mL BOD병에 현장수를 담은 후 냉장 보관하여 실험실로 옮겨 20°C의 부란기 (incubator)에서 5일간 부란시킨 후 Winkler-Azaid 변형측정법으로 시험수의 용존산소량을 측정하였다.

3. 어류 현장조사 방법

어류의 현장조사는 수체 내 생태계의 정량적인 조사 기법으로서 Ohio EPA (1989)에서 제시한 Wading method를 이용하였다. 채집은 정량화된 Catch Per Unit of Effort (CPUE)를 위해 조사거리 200 m로서, 각 조사구간 내 어류 채집소구역은 여울 (riffle), 소 (pool) 및 유수지 (run)와 같은 다양한 서식지가 존재할 경우 채집구역에 포함하여 조사를 실시하였다. 채집개체수의 정량화를 위해 50분 조사를 원칙으로 하였다. 현장에서 어류채집은 3인으로 구성하였으며, 이 중 1인은 반드시 현장 어류조사에서 경험이 5년 이상인 전문가를 포함하였다. 수심이 얇은 수초 근처 및 물살이 빠른 여울지역에서 족대 조사 (망목: 4×4 mm)를 실시하였고, 좁은 여울 및 유수지에서는 전기충격기 (12V, 18A)를 이용하였다. 넓은 여울 및 수심이 깊은 구간에서 투망 조사 (망목: 5×5 mm)를 실시하였다. 채집된 어류 중 체장의 길이가 20 mm 이하일 경우, 본 조사에 포함시키지 않았다 (Barbour *et al.* 1999). 채집한 어류는 현장에서 Kim and Park (2002)

및 Son and Song (2006)에 의거해 동정 및 계수 후 바로 풀어주는 것을 원칙으로 하되 현장에서 동정이 모호한 종은 10% 포르말린 용액으로 고정하여 실험실로 옮긴 후 동정하였다.

4. 어류 군집분석

각 지점의 조사결과 자료를 정리하여 어류상 및 우점도는 채집어류의 출현 개체수에 따라 상대풍부도를 산정하였으며, 이를 근거로 하여 우점종 (dominant species)을 확인하였다. 군집분석은 출현 개체수, 우점종 및 군집지수 등을 이용하여 환경의 변화가 악화될수록 특정종의 우세를 나타내는 지표인 군집 우점도 지수 (Dominance Index= λ ; Simpson 1949), 군집분석 시 가장 많이 쓰이고 있으며, 풍부성을 지닌 종뿐만 아니라 보다 희귀성을 지닌 종까지 가치를 부여하는 지표인 종다양도 지수 (Diversity Index= H' ; Shannon-Weaver 1949), 군집 내 모든 종의 개체 수가 동일할 때가 값이 최대가 되며 군집 내 종 구성의 정도를 나타내는 지표인 종균등도 지수 (Evenness Index= J' ; Pielou 1975) 및 군집 내에 존재하는 종의 수에 근거한 종의 밀도 지표인 종풍부도 지수 (Richness Index= d ; Margalef 1958)를 산출하였다.

5. 어류의 생태 특성 분류

본 연구에서는 Klemm *et al.* (1993)의 기준에 의거하여 어류의 영양단계 (trophic level) 및 내성도 (tolerance)에 대한 범주를 다음과 같이 구분하였다. 영양단계 구조는 생태계 내에서 먹이그물 (food web)을 통해 에너지 흐름을 간단하게 표현하는 항목으로 잡식종 (Omnivore, O), 충식종 (Insectivore, I), 육식종 (Carnivore, C), 초식종 (Herbivore, H)으로 구분하였다. 내성의 정도는 수질 오염도에 따라 쉽게 사라지는 민감종 (Sensitive species, SS)과 수질오염도에 따라 상대적인 비율이 증가하는 내성종 (Tolerant species, TS), 그리고 두 범주의 중간에 해당하는 중간종 (Intermediate species, IS)으로 구분하였다. 각 어종별 영양단계 및 내성도 구분에 대한 기준은 수생태계 건강성 조사계획 수립 및 지침 (MOE/NIER 2008)의 분류기준에 의거하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 이·화학적 수질 특성

1차 조사시기인 2004년 7월에 수온은 지점별로 22.5~

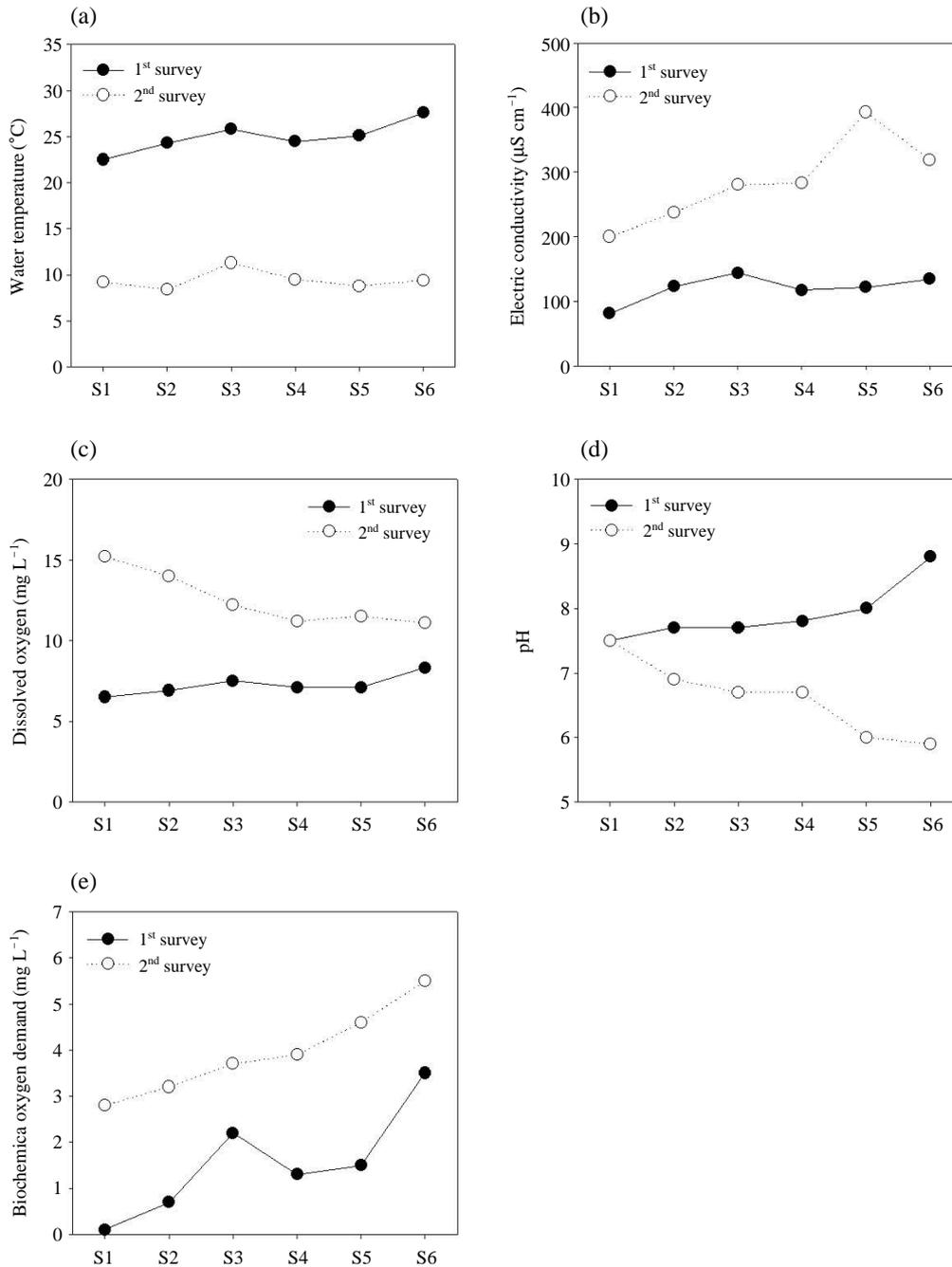


Fig. 2. General water quality of water temperature, electric conductivity, dissolved oxygen (DO), pH, and biological oxygen demand (BOD) in the sampling sites.

27.6°C 사이로 변동하였으며, S1에서 가장 낮은 수온을 보였고, 하류로 갈수록 수온이 증가하였다(Fig. 2a). 반면 2차 조사시기인 2005년 4월은 8.3~11.3°C 사이에서 변동하였으며, 1차 조사시기와는 다르게 상·하류간 종적 구배는 나타나지 않았다. 전기전도도(electric conductivity)는 1, 2차 모두 하류로 갈수록 증가하는 것으로 나

타났다(Fig. 2b). 1차 조사시기에 평균 120 $\mu\text{S cm}^{-1}$, 2차 조사 시기에서는 평균 285 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 로 나타나 1차시기에 비하여 2.4배 이상 증가한 경향을 보였다. 전 지점 중 S3에서 최고치를 보였는데, 이는 도심하천인 미호천의 유입으로 인한 수체 내 이온 증가로 사료되었다. 용존산소(DO)의 경우 1차 조사시기에는 평균 7.2 mg L^{-1} 로 나

Table 1. Fish fauna and compositions at each site of Geum River during July 2004 ~ May 2005 (1st survey=2004 and 2nd survey=2005)

Species	T _o	T _r	H _a	Sampling sites												Total (#)	RA (%)
				S1		S2		S3		S4		S5		S6			
				1 st	2 nd												
<i>Zacco platypus</i>	TS	O	-	59	25	10	10	73		6		23	70	3	18	297	25.9
† <i>Microphysogobio jeoni</i>	IS	I	-							92		5		116	34	247	21.5
<i>Carassius auratus</i>	TS	O	-	8	7	4	6	19	12	8		7		1	17	89	7.8
<i>Hemibarbus longirostris</i>	IS	I	-	18		4		6		5	9	9	1	18	12	82	7.1
<i>Pseudogobio esocinus</i>	IS	I	-			12	5	10	16	5		8		2	5	63	5.5
† <i>Squalidus gracilis majimae</i>	SS	I	-	8	3	12	8			13		2				46	4.0
<i>Rhinogobius brunneus</i>	IS	I	RB	5	3		11	4			5					38	3.3
<i>Cyprinus carpio</i>	TS	O	-	1		9	2	1						3	21	37	3.2
<i>Pseudorasbora parva</i>	TS	O	-									1		26	10	37	3.2
† <i>Microphysogobio yaluensis</i>	IS	O	RB	6	4	12	7							1	9	29	2.5
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	TS	C	-	2	5	2	3	3		3		1		2	7	28	2.4
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	IS	O	-					1	15		9	1				26	2.3
<i>Tridentiger brevispinis</i>	IS	I	RB				13		4		6					23	2.0
† <i>Carassius cuvieri</i>	TS	O	-											16	5	21	1.8
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	TS	I	-			4								1	15	20	1.7
† <i>Hemiculter eigenmanni</i>	TS	O	-											3	8	11	1.0
<i>Silurus asotus</i>	TS	C	-	2		3								1	1	7	0.6
<i>Hemibarbus labeo</i>	TS	I	-												6	6	0.5
† <i>Iksookimia koreensis</i>	IS	I	RB					6								6	0.5
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	TS	O	-							3		2				5	0.4
† <i>Odontobutis platycephala</i>	SS	C	-		4											4	0.3
† <i>Odontobutis interrupta</i>	IS	C	-						4							4	0.3
<i>Cobitis lutheri</i>	IS	I	-					4								4	0.3
<i>Acanthorhodeus macropterus</i>	IS	O	-											4		4	0.3
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	IS	O	-		3											3	0.3
<i>Erythroculter erythropterus</i>	TS	C	-											2		2	0.2
<i>Leiocassis ussuriensis</i>	IS	I	-												1	1	0.1
<i>Rhodeus notatus</i>	IS	O	-									1				1	0.1
<i>Anguilla japonica</i>	IS	C	-												1	1	0.1
<i>Oryzias latipes</i>	TS	O	-											1		1	0.1
<i>Mugil cephalus</i>	TS	H	-												1	1	0.1
<i>Coilia nasus</i>	IS	C	-												1	1	0.1
<i>Micropercops swinhonis</i>	IS	O	-											1		1	0.1
<i>Takifugu obscurus</i>	IS	I	-												1	1	0.1
Total Number of Species				9	8	10	9	10	5	7	5	5	8	17	19	34	
Total Number of Individuals				109	54	72	65	127	51	132	32	47	84	201	173	1,147	

T_o: Tolerance guilds, T_r: Trophic guilds, H_a: Habitat guilds, RA: Relative abundance, SS: Sensitive species, IS: Intermediate species, TS: Tolerant species, O: Omnivore, I: Insectivore, C: Carnivore, H: Herbivore, RB: Riffle-benthic species, †: Endemic species, ‡: Exotic species

타난 반면, 2차 조사시기에는 평균 12.5 mg L⁻¹로 나타나 계절적인 차이가 큰 것으로 나타났다(Fig. 2c). 수소이온 농도(pH) 역시 지점 간 변이는 크지 않은 반면, 계절적인 변이를 보이는 것으로 나타나 강우에 의한 희석효과 결과로 사료된다(Fig. 2d). 생물학적 산소요구량(BOD)은 정점별로 수질의 변화를 분명하게 보이고 있었는데, 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 2e). 1차 시기에 BOD 농도가 1.6 mg L⁻¹인데 비하여 2차 시기에는 4.0 mg L⁻¹로 2배 이상 증가한 것으로 나타나 계절적인 차이를 보였다.

2. 어류 종조성 및 분포특성

본 연구기간동안 채집된 어류는 1차 조사에서 23종, 683개체, 2차 조사에서 18종, 454개체의 어류가 채집되어 총 34종 1,137개체가 채집되었다(Table 1). 금강 하류부의 유사 지점(S5, S6 지점과 동일지점)에서 이전 담수어류에 관한 조사된 Choi(1987)에서 52종, Hwang *et al.*(1992)에서 32종으로 보고되었으나 본 조사에서는 27종이 확인되어 과거에 보고된 자료보다 종이 감소된 것으로 나타났다. Choi *et al.*(1987)에 의하여 조사된 종수보다 급격하게 감소된 것을 볼 수 있는데, 이는 금강하구

Table 2. Fish community analysis in the six sampling sites

Community structure	Sampling sites					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Margalef's species richness index (d)	1.963	2.236	2.123	1.961	2.051	3.714
Pielou's evenness index (J')	0.705	0.936	0.739	0.685	0.487	0.708
Shannon-Weaver diversity index (H')	0.734	1.010	0.797	0.714	0.507	0.965
Simpson's dominance index (λ)	0.296	0.101	0.228	0.335	0.515	0.192

독이 건설된 후 해산어종이 크게 감소하였음을 추측하여 볼 수 있다. 채집된 주요 우점종은 피라미 (*Zacco platypus*), 뿔경모치 (*Microphysogobio jeoni*), 붕어 (*Carassius auratus*), 참마자 (*Hemibarbus longirostris*), 모래무지 (*Pseudogobio esocinus*)로서, 전체 어종 중 상대풍부도가 각각 최대 26%, 22%, 8%, 7%, 5%를 차지하였다. 이는 금강 하구둑이 건설되기 20년 전에 금강 중·하류 유역에서 조사한 Choi(1987)의 52종의 어류와 비교해 볼 때, 종수가 1/2배 이상으로 감소한 것으로 확인되었다. 한국 고유종 (Korean endemic species)은 뿔경모치, 긴물개 (*Squalidus gracilis majimae*), 돌마자 (*Microphysogobio yaluensis*), 치리 (*Hemiculter eigenmanni*), 참중개 (*Iksookimia koreensis*), 동사리 (*Odontobutis platycephala*), 얼룩동사리 (*Odontobutis interrupta*)로 총 3과 7종 347개체가 채집되어 전체 채집어류의 30.3%를 차지하고 있었다. 고유종은 서식지의 수환경 상태가 악화되면 급격히 감소하는 경향을 보이는데 (Choi et al. 2000), 본 조사에서는 한반도 평균 고유종 빈도인 22.5% (Nam 1996)보다 높은 것으로 나타났다. 하구둑이 건설되고 수환경 상태가 좋지 않아졌음에도 불구하고 고유종 빈도는 높게 나타난 것은 고유종 중 뿔경모치 71.2%의 높은 비율을 차지하고 있어 나타난 결과로 생각되며, 이를 제외한 한국 고유종의 비율은 8.7%로 낮은 비율을 보이고 있었다.

환경부에서 지정한 법정 보호종은 본 조사구간에서는 출현하지 않았으며, 외래어종 (Exotics species)은 떡붕어 (*Carassius cuvieri*) 1종만이 출현하였으며 그 비율은 2% 이하로 높지 않았다. 그러나 현재 금강 중·하류 구간에는 세종보, 공주보, 백제보가 완공되어 금강 중류부까지 정수역이 확대되어 있어 이에 따른 수리·수문학 특성 변화에 따라 정체된 수체를 선호하는 블루길과 배스의 밀도 또한 계속 증가할 것으로 사료되며 이에 따른 생물다양성 측면에서의 어류상 변화가 계속될 것으로 사료된다. 강하성 어종인 뱀장어 (*Anguilla japonica*), 소하성 어종인 황복 (*Takifugu obscurus*), 주연성 어종인 응어 (*Coilia nasus*) 등은 각각 한 개체씩 출현하였다. 이는 금강 하구둑의 건설로 회유성 어류의 이동 단절과 더불어

어 어류 채집방식의 차이로 인한 결과로 사료되었다.

3. 어류 군집분석

금강의 중·하류 구간에서 채집된 어류의 군집분석 결과에 따르면, 전 지점 중 구간에서 최하류 지점 (S6)에서 3.714로 가장 높은 종 풍부도 값을 보였으며, S4에서 1.961로 가장 낮은 지수 값을 보였다. 종 균등도 지수는 S1에서 0.936으로 가장 높은 값이 나타났으며, S5에서 0.487로 가장 낮은 값이 나타났다. 종 다양도 지수는 비교적 다양한 서식환경이 존재하는 S2에서 1.01로 가장 높은 지수값을 보였으며, S5에서 0.507로 가장 낮은 지수값을 보이는 것으로 나타났다. 군집 우점도 지수는 피라미가 단연 우점하는 S5에서 0.515로 가장 높은 지수값을 보였고, 그 외 지점에서는 낮은 값을 보이는 것으로 나타났다. 최하류 지점인 S6은 전 지점 중 가장 많은 어종 (23)이 출현하였고, 비교적 많은 개체가 채집되어 종 풍부도가 높게 나타났을 뿐만 아니라 종 다양도가 가장 높게 나타나 비교적 안정된 군집구조를 유지하고 있는 반면에, 부여군의 관통하는 S5 지점은 종 균등도와 종 다양도가 가장 낮게 나타나 불안정한 군집구조를 갖고 있는 것으로 사료되었다 (Table 2). 이는 도심지 (부여군)에서 유입되는 오·폐수 및 물리적 서식환경의 단순화가 어류군집에 직접적인 교란요인으로 작용한 것으로 분석되었다.

4. 어류 생태지표 특성 및 트로픽 특성 분석

오염도 내성특성 (tolerance guild) 분석에 따르면, 전 지점에서 내성종 14종, 민감종 2종이 출현하고 있어 내성종 우세현상을 보이고 있으며, 개체수 측면에서도 49% (562개체)로 민감종 4.4% (50개체)에 비해 단연 뚜렷하게 나타나고 있었다 (Fig. 3a). Karr (1981)와 US EPA (1991)의 보고에 의하면, 내성종의 개체수 및 종수는 유기물 오염, 서식지 파괴 등과 같은 서식지의 물리·화학적 질적 하강에 따라 증가하는 경향을 보이기 때문에 금강 중·하류 구간의 내성종 우점현상은 정체수역 증

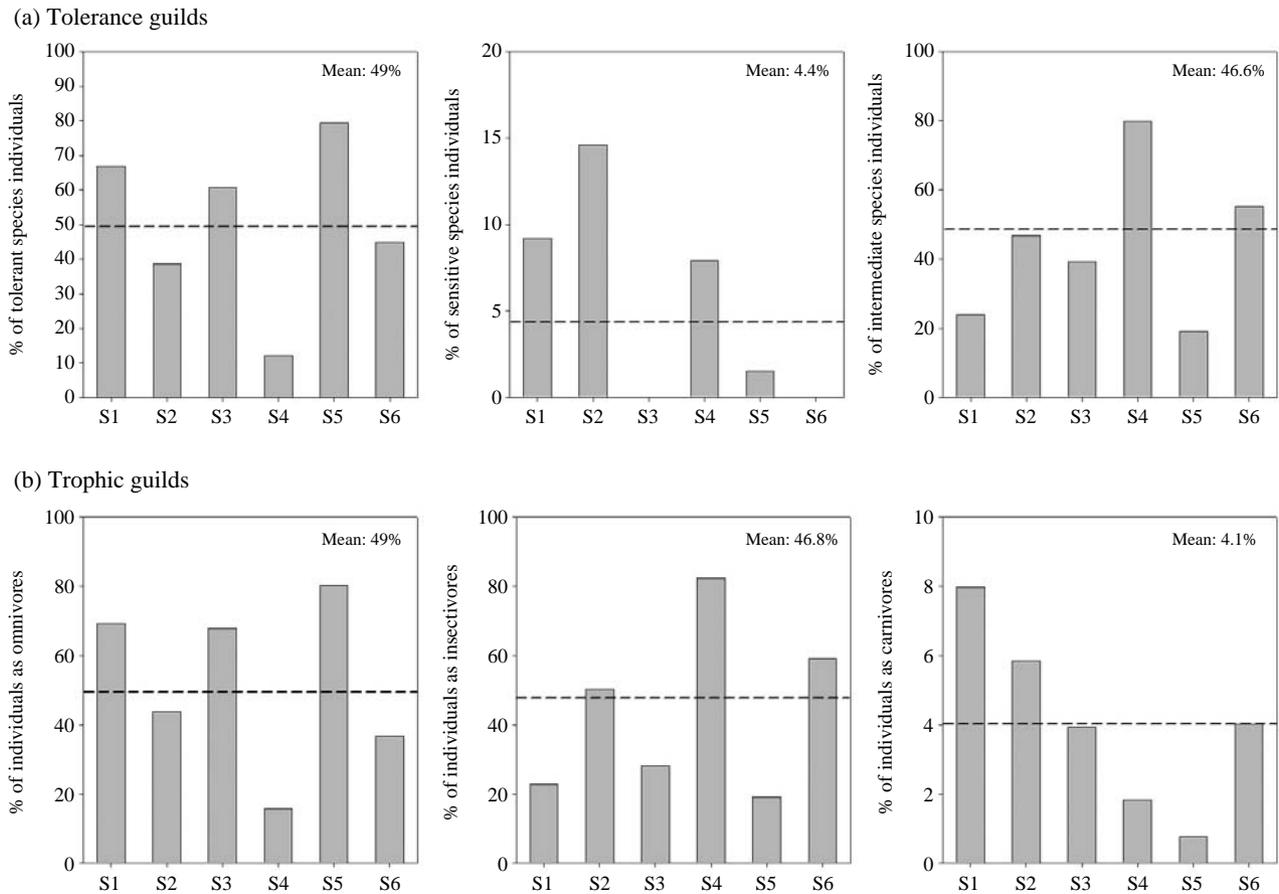


Fig. 3. Tolerance guild and trophic guild analyses in the six sampling sites of Geum River.

가와 이에 따른 저질 (substrate) 오염 등과 같은 서식지의 질적 하강을 잘 반영하고 있었다. 지점별 내성도 특성을 분석한 결과, 본류구간 중 내성종 비율은 S5에서 79.4%로 가장 높게 나타났으며, S4에서 12.2%로 가장 낮은 비율을 보였다. 반면 민감종 비율은 S2에서 14.6%로 가장 높은 비율을 보였으며, S3과 S6에서는 한 개체도 출현하지 않았다 (Fig. 3a). 내성종의 출현비율이 높고, 민감종의 출현하지 않은 S3과 S5는 상류부에서 유입되는 도심하천 (미호천, 정안천)의 유입으로 인하여 내성종 우점화 현상이 발생된 것으로 판단된다.

트로픽 특성 (trophic guild) 분석에서는 잡식종 14종, 충식종 12종, 육식종 7종, 초식종 1종이 채집되어 잡식종의 출현비율이 높은 것으로 나타났다 (Fig. 3b). 개체수 비율에서는 잡식종이 49% (562개체)로 충식종 46.8% (537개체)에 비해 큰 차이를 보이지 않았다. Barbour *et al.* (1999)의 연구에 따르면, 하천차수가 증가되면서 수생태계의 유기물 오염 및 독성물질의 유입 증가가 일반적이며, 잡식종의 경우 섭식특이성으로 인하여 오염이 증

가할수록 높은 우점현상을 보인다. 그러나 본 연구에서 금강 하류부는 내성종 비율이 높긴 하지만 충식종의 비율도 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 육식종의 경우, *끄리* (*Opsariichthys uncirostris amurensis*)의 높은 비율이 영향을 주고 있었다. 지점별 섭식구조 특성을 살펴보면, 잡식종의 비율은 S5에서 80.2%로 가장 높은 비율을 보이는 것으로 나타났다. 반면, S5에서 잡식종 비율이 15.9%로 가장 낮은 값을 보였다 (Fig. 3b). 이는 내성도 특성과 유사한 결과로 S3과 S4에서 유입되는 도심하천의 영향으로 판단되었다. 충식종의 비율은 S4에서 82.3%로 가장 높은 비율을 보였고, S5에서 19.1%로 가장 낮은 비율을 보였다. S4에서의 높은 충식종 비율은 아우점종인 땡경모치가 다수 출현한 결과로, 이 구간의 하상이 대부분 모래로 구성되어 광범위하게 분포하고 있으며, 또한 하중도 (alluvial island)가 존재하고 있어, 이로 인해 생성되는 다양한 서식환경이 이러한 결과를 나타낸 것으로 판단되었다.

한편, 여울성 저서종 (Riffle-benthic species)은 전 지점

에서 밀어 (*Rhinogobius brunneus*), 돌마자, 민물검정망둑 (*Tridentiger brevispinis*), 참종개 4종이 확인되었는데, 그 풍부도(8.4%)는 매우 미미한 것으로 나타났다. 지점간 비교 분석에서도 하류로 갈수록 여울성 저서종의 비율은 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 다른 지점에 비하여 S2에서 여울성 저서종의 개체수 비율이 31.4%로 가장 높게 나타났는데, 이는 이 구간이 유속이 빠르고, 여울과 소가 짧게 반복적으로 나타나고 있으며, 하상은 돌(cobble)과 바위(boulder)의 비율이 높게 나타나고 있어 다양한 미소환경이 잘 발달되어 있기 때문인 것으로 사료된다.

적 요

본 연구에서는 2004~2005년에 금강 중·하류부의 이·화학적 수질 특성을 분석하였고, 또한 어종 분포 및 길드분석을 통해 어류 군집특성을 비교 평가하였다. 대부분 수질 변수들은 몬순 장마기(7~8월)의 집중강우로 인해 계절적인 수질변이가 나타났다. BOD의 평균 농도는 각각 평균 1.6 mg L^{-1} (1차 조사), 4.0 mg L^{-1} (2차 조사)으로 중류 지점에 비하여 하류지점에서 더 높은 것으로 나타났으며, 계절별로 BOD 농도에서도 하류지점의 변이가 더 큰 것으로 나타났다. 채집된 어류는 총 11과 34종이었으며, 이중 한국고유종에 속하는 종은 7종(30.3%)이었다. 전체 어종 중 20% 이상의 비율을 보이는 종으로는 피라미가 25.9%, 뿔경모치가 21.5%로 우점하여 나타났다. 국외에서 도입된 외래어종은 떡붕어 한 종만 출현하였고, 개체수 비교풍부도가 1.8%이었다. 회유성 어종으로는 잉어, 뱀장어, 황복 3종이 출현하였다. 군집분석 결과에 따르면, 중 풍부도 지수는 다른 지점에 비해 많은 종이 출현한 최하류 구간(S6)에서 3.714로 높게 나타났으며, 중류구간(S4)에서 1.961로 가장 낮게 나타났다. 종 다양도 지수는 중류구간(S2) 1.01, 하류구간인(S5)에서 0.507로 나타났다. 어류의 내성도 길드분석에 따르면, 내성종이 전체 중 49%를 차지하였고, 반면 민감종은 4.4%로 나타나 단연 내성종이 우세하게 나타났다. 섭식 길드분석에서는 잡식종은 49%, 충식종은 46.8%으로 유사한 구성비를 보였다.

사 사

본 연구는 대전녹색환경지원센터의 2009년도 연구개

발사업 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- An KG, SH Jung and SS Choi. 2001. An evaluation on health conditions of Pyong-Chang river using the index of biological integrity (IBI) and qualitative habitat evaluation index (QHEI). Korean J. Limnol. 34:153-165.
- APHA. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed. Am. Pub. Health Assoc., Washington, DC, USA.
- Barbour MT, J Gerritsen, BD Snyder and JB Stribling. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish. Second Edition. EPA 841-B-99-002. US EPA, Office of Water, Washington, DC, USA.
- Choi JK, HK Byeon and HK Seok. 2000. Studies on the dynamics of fish community in Wonju Stream. Korean J. Limnol. 33:274-281.
- Choi KC. 1987. Nature of Chungnam. Jeongmunsa Publishing Co. Seoul (in Korean).
- Chung YH, SC Kim, SK Shin, JI Lee, WS Lee and JB Lee. 1997. A study on the effluent source of monitoring technique for organic pollutant. J. Korean Soc. Water Qual. 13:373-383.
- Hwang GH, SR Jeon, MO Kim and CS Hoang. 1992. Fish fauna of the lower area of Kum-river. Sangmyung University Basic Science Research. 6:53-74.
- Judy RD, PN Jr Seeley, TM Murray, SC Svirsky, MR Whitworth and LS Ischinger. 1984. 1982 national fisheries survey. Vol. I. Technical report: initial findings, Report No. FWS/OBS-84/06. US Fish and Wildlife Service. Washington, DC, USA.
- Karr JR. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries. 6:21-27.
- Kim BC, DS Kim and OK Kwon. 1989. The trophic state of lake Pladang. J. Korean Soc. Water Qual. 5:39-46.
- Kim BC, JH Park, KS Choi and GS Hwang. 1997. Eutrophication of large freshwater ecosystems in Korea. pp. 63-68. In International symposium on eutrophication and water resources management and the 30th Annual meeting of the Korean J. Limnol.
- Kim IS and JY Park. 2002. Freshwater fishes of Korea. Kyohak-sa Publishing Co. pp. 30-428.
- Klemm DJ, QJ Stober and JM Lazorchak. 1993. Fish field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. Environmental Monitoring and Support

- Laboratory, EPA/600/R-92/111. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, USA.
- Lee SY and KS Park. 1991. The occurrence of volatile organic chemicals (VOCs) in the Daegu region drinking water supplies. *J. Korean Soc. Water Qual.* 7:145-151.
- Lofti JC, RC Ward and GM Smillie. 1983. Statistical models for water quality regulation. *J. Water Pollut. Control Fed.* 55:1098-1104.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 3: 36-71.
- MOE/NIER. 1987. National survey on natural ecosystem in 1987 the 2nd Year (I): freshwater fish/aquatic insects. pp. 450.
- MOE/NIER. 2008. The survey and evaluation of aquatic ecosystem health in Korea, The Ministry of Environment/National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea. pp. 73-100.
- Nam MM. 1996. Present status of Korean freshwater fish. In 1996 Symposium of Korean J. Limnol. Proc. pp. 31-45.
- Ohio EPA. 1989. Ohio Environmental Protection Agency. 1989. Biological criteria for the protection of aquatic life: Vol III. Standardized Biological and Field Sampling and Laboratory Methods for Assessing Fish and Macroinvertebrate Communities. Technical Report. Columbus, OH, USA.
- Pielou EC. 1975. Ecological diversity. Wiley. New York. USA.
- Shannon CE and W Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press, Urbana. USA.
- Simpson EH. 1949. Measurement of diversity. *US EPA.* 1993. *Nature.* 163:688.
- Son YM and HB Song. 2006. Freshwater fish of Geum River. Jisungsa Publishing Co. Seoul (in Korean)
- US EPA. 1991. Technical support document for water quality-based toxic control. EPA 505-2-90-001. US EPA, Office of Water, Washington, DC, USA.
- US EPA. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in wadeable streams and rivers: Periphyton, benthic, macroinvertebrates and fish, second ed. EPA 841-B-99-002. US Environmental Protection Agency, Washington, DC. USA.

Received: 13 May 2013

Revised: 8 August 2013

Revision accepted: 12 August 2013