

만경강 중·상류의 어류 길드특성 및 어류 조직내 수은 함량 분석

박 향 미 · 이 의 행¹ · 안 광 국*

(충남대학교 생명시스템과학대학, ¹한국농어촌공사 농어촌연구원)

Analysis of Fish Guild Compositions and Total Mercury Contents of Fish Tissues in Analysis in Mangyeong River. Park, Hyang-Mi, Eui-Haeng Lee¹ and Kwang-Guk An* (College of Biological Sciences and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea; ¹Rural Research Institute, Korea Rural Community & Corporation, Ansan 462-908, Korea)

This study was to analyze characteristics based on tolerance and trophic guilds and to determine the level of total mercury in tissues of sentinel species, *Zacco platypus* at 3 sampling sites of the Mangyeong River in 2007. Total sampled fishes were 26 species and the most dominant species was *Zacco temminckii* (47%). Fish community analysis was resulted that evenness index and diversity index showed low value at S1. However, diversity index and richness index at other sites showed high. According to various guilds analysis, relative abundance of sensitive species was 70% and 42% at S1 and S2, respectively. While sensitive species were decreased (1%) and tolerant species were increased (60%) at S3. It was mainly carried to the impacts of wastewater treatment plants near the location. Relative abundance of insectivore species was decreased from up (S1) to midstream area (S3). In addition, chemical water quality, based on analyses of BOD, COD, TP, TN, EC, MPN and SS concentration showed similar trends. Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI) was averaged 164, judged as "good" habitat condition. Average concentrations of total [Hg] was $146.9 \mu\text{g kg}^{-1}$. In the muscles of total [Hg] was the highest, and then followed by kidney, vertebrae, liver, and gills. According to FDA standards ($500 \mu\text{g kg}^{-1}$) of Korea, total [Hg] has not affected to the individual fish health.

Key words : Mangyeong River, fish, tolerance and trophic guilds, total mercury

서 론

만경강은 전라북도 완주군 동산면에서 발원하여 소양천, 전주천 등의 지류를 합류하고 전라북도 북부를 지나 서해로 유입되는 하천이다. 만경강의 유역에는 호남평야와 공업단지가 위치하고 있으며 주로 농업용수와 생활용수, 공업용수로 이용되고 있다. 1970년대 산업의 발달로

만경강 유역에 공업단지가 조성되고 그에 따른 인구의 증가로 각종 오염물질이 유입되어 수질이 악화되어 가고 있다(김과 이, 1998). 만경강은 새만금 유역의 수질에 직접적인 영향을 미치는 중요한 하천으로 최근 만경강의 수질에 관심이 커지고 있다. 새만금지구개발사업은 만경강과 동진강 하구의 국토 확장과 수자원 개발 등을 목표로 하는 간척종합개발사업으로 현재 수질오염이 예상되고 있어 발생하는 각종 오염 물질의 파악과 분석이 필요

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

하다(이 등, 2005).

오염물질 중 수은(Hg)은 농약, 공장폐수, 생활하수에 의해 발생되며, 수체 내에서 높은 독성을 보이고, 주변의 식물에까지 농축된다. 수생생물의 체내에 축적되면 생물의 생리적, 기능적 장애를 일으키며, 생물학적 먹이연쇄를 통하여 인체에까지 피해를 초래한다(김, 1988; 김, 1992). 특히, 담수 어류의 섭취가 많은 우리나라의 경우 인체의 중금속 농축 영향이 외국에 비해 더욱 심각할 것으로 우려된다. 인간이 지속적으로 수은이 함유된 어류를 섭취할 경우 체내의 수은 농축으로 인해 각종 신경장애, 시·청력 감퇴 및 언어장애 등의 심각한 영향을 가져오는 가장 위해성이 높은 환경 오염물질로 미국 환경부는 보고하고 있다(US EPA, 2000, 2005).

만경강 수계의 어류에 관한 연구는 1970년대부터 현재까지 꾸준히 진행되어 왔으며(김과 김, 1975; 이 등, 1980; 김과 이, 1998; 황 2006; 이 등, 2008), 이·화학적 수질과 관련된 연구로는 분류와 지류의 시공간적 역동성에 대해 보고하고 있다(문 등, 2001; 윤 등, 2002; 오 등, 2004; 이 등, 2004; 이 등, 2005; 이와 박, 2008). 이런 다양한 연구에도 불구하고, 주로 어류상과 군집분석에 관한 연구가 주를 이루고 있으며 길드 특성 분석 및 서식환경에 관한 연구는 미비한 실정이다. 수은 농도 조사는 대부분 토양과 수체 내의 수은 농도이며 어류 체내의 수은 농도에 관한 연구는 방과 최(1993)에 의해 이루어진 바 있으나 이미 오래되었고 부분적인 수은의 농도만 조사되어 있어 수은 농도에 대한 연구가 필요하다.

본 연구는 새만금 유역의 관리를 위한 기초자료 제공을 위하여 만경강 중·상류를 대상으로 서식하고 있는 어류상과 길드 특성을 조사하고 이·화학적 수질과 물리적 서식지 평가 모델을 이용하여 생태 건강성을 평가하였고, 어류 체내의 수은 농축도를 조사하였다.

재료 및 방법

1. 조사시기 및 조사지점

본 연구에서는 2007년 10월, 집중 강우 후 수체가 안정한 시기에 만경강의 중·상류구간 3개 지점을 선정하였으며 현장조사를 실시하였으며, 조사지점 선정은 대아저수지 방류 후부터 전주시를 통과하며 전주공단과 하수종말처리장의 영향을 받는 전주천이 유입되기 전의 비교적 오염에 영향을 덜 받는 중·상류구간에서 이루어졌다. 연구 대상지점(S1~S3)은 행정구역상 전라북도 완주군

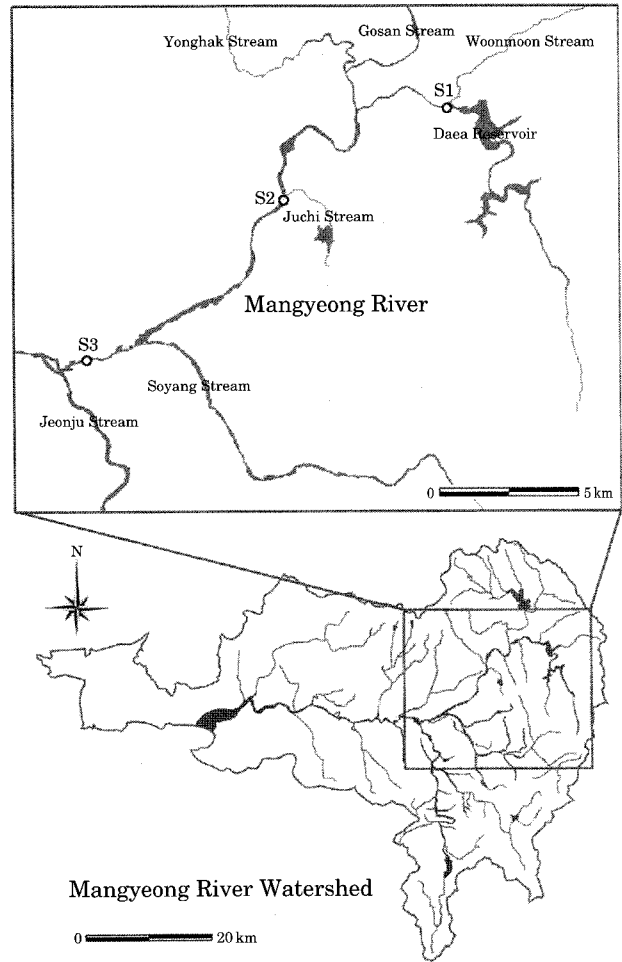


Fig. 1. The sampling sites (S1~S3) in the Mangyeong River.

에 속하며, 조사지점의 하천차수는 Strahler(1957)의 하천의 규모(Stream order)에 따른 분류 기준에 의거하였다.

조사지점 중 최상류에 위치한 S1은 3차 하천으로서 대아저수지 수문 하류에 위치하며, 하상은 대부분 자갈로 이루어져 있다. 하류구간은 인공제방으로 이루어졌으나, 수변식생이 매우 발달해 주변 오염원으로부터 완충작용이 이루어져 맑고 깨끗한 상태를 보여 여름철 유원지로 이용되고 있다. S2는 4차 하천으로서 하상은 자갈로 되어 있으며, 수변식생이 매우 발달하였으나, 인근 마을이 존재하고, 농경지 및 비닐하우스가 점오염원으로 작용하고 있어 영양염류의 유입 및 토사침적에 의한 하중도가 발달하였다. 전주시와 완주군의 경계를 이루는 S3은 전주시 생활하수 및 공단폐수로 수질이 악화된 전주천이 합류하기 전에 위치한 지점이며, 5차 하천으로 하폭이 넓고, 하상은 자갈과 모래로 이루어져 있다. 또한 전미평야

인근의 지점으로 제내지의 농경지가 오염원으로 작용하는 것으로 나타났으며, 퇴적물 침적에 의한 하중도가 발달하였다. 세부 조사지점(S1~S3)은 다음과 같다(Fig. 1).

S1 : 전라북도 완주군 고산면 소향리 용암교(N 35° 58' 52" E 127° 15' 31")

S2 : 전라북도 완주군 봉동읍 울소리 양화교(N 35° 56' 56" E 127° 11' 10")

S3 : 전라북도 완주군 삼례읍 하리 하리교(N 35° 53' 34" E 127° 06' 08")

2. 어류 현장조사 방법

어류 현장조사 방법은 wading method (Ohio EPA, 1989)에 의거하여 우리나라의 특성에 맞게 수정·적용한 안 등(2001)의 방법을 적용하였다. 어류 채집의 정량화를 위하여 (Catch Per Unit of Effort, CPUE) 채집거리는 200 m, 조사 소요시간 50분으로 한정하였고, 여울(Riffle), 소(Pool), 흐르는 곳(Run)을 포함하여 조사를 실시하였다. 채집 도구는 조사지점의 특징에 따라 투망(망목 5×5 mm)과 족대(망목 4×4 mm)를 이용하였다. 각 지점에서 채집된 어류는 현장에서 김과 박(2002)에 의거해 동정하였고, 일부 현장에서의 분류가 어려운 경우 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실로 운반 후 수행하였다.

3. 어류 생태지표 특성 분석법

내성도 길드 분석은 US EPA(1993) 및 Barbour *et al.* (1999)에 따라 민감종(Sensitive species, SS), 중간종(Intermediate species, IS), 내성종(Tolerant species, TS)으로 구분하였다. 민감종은 수질의 오염에 의해 쉽게 사라지는 어종으로 환경의 질적 변화에 민감하게 반응하는 어종이다. 그에 반해 내성종은 수질오염에도 불구하고 종수 및 분포범위가 증가하는 종이며, 중간종은 민감종과 내성종 사이에 포함되지 않는 종으로 구분하였다.

섭식특성 길드 분석은 Ohio EPA(1989)에 따라 잡식종(Omnivores, O), 충식종(Insectivores, I), 육식종(Carnivores, C) 및 초식종(Herbivores, H)으로 구분하였다. 잡식종은 동·식물 모두를 지속적으로 섭취하며, 충식종은 주로 수서무척추곤충을 섭취한다. 육식종은 어류 및 다른 척추동물을 섭취하며, 초식종은 주로 수체내 플랑크톤과 부착조류를 섭취하는 종이다. 식성의 분류는 다양한 먹이원이 동시에 존재할 때 1차적으로 이용하는 자원에 근거하여 분류하였다.

4. 어류 군집 특성 분석법

본 연구지점별 군집 특성 분석을 위해 우점도 지수(Simpson, 1949), 풍부도 지수(Margalef, 1958), 다양도 지수(Shannon and Weaver, 1949) 및 균등도 지수(Pielou, 1975)를 산정하였다.

5. 이·화학적 수질자료 분석

본 연구에서 이용된 화학적 수질자료는 본 연구지점과 인접한 환경부의 수질 측정망 자료 중 2005년부터 2007년까지 3년간 측정된 자료를 사용하였다(환경부, <http://water.nier.go.kr>). 자료 분석에 이용된 변수는 생물학적 산소요구량(Biological oxygen demand, BOD), 화학적 산소요구량(Chemical oxygen demand, COD), 총인(Total phosphorus, TP), 총질소(Total nitrogen, TN), pH, 전기전도도(Electric Conductivity, EC), 총대장균수(Most probable number, MPN), 부유물질(Suspended solids, SS)의 8가지 항목을 분석하였고, 화학적 수질등급 기준은 2007년 1월에 환경부에 고시된 7등급 기준체계에 의거하였다.

6. 물리적 서식지 평가

만경강의 서식지 평가 모델은 Plafkin *et al.* (1989)이 제정한 정성적 서식지 평가지수(Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI)를 우리나라 환경에 맞게 수정한 모델(안과 김, 2005)을 이용하였다. 서식지 평가 등급은 최적상태(220~182), 양호상태(168~124), 보통상태(110~66), 악화상태(52~8)로 구분하여 평가하였다.

7. 수은 농축도 분석법

지점별 어류 생체 내 수은 농축도 분석을 위하여, 본 수계의 우세종이면서 전체지점에 모두 출현한 피라미(*Zacco platypus*)를 선정하였으며, 각 지점마다 개체별 농도 변이를 줄이기 위하여 크기가 유사한 개체 3마리를 선별하여 수은 농축도를 분석하였다. 어류 조직별 수은 농축도 분석을 위하여, 채집된 개체의 간(Liver, Li), 신장(Kidney, Ki), 아가미(Gill, Gi), 척추(Vertebra, Ve), 근육(Muscle, Mu) 등 총 5개의 조직을 적출하였으며, 가열기화법(US EPA, 2000)인 수은 직접분석기(Direct mercury analyzer, DMA-80)를 사용하여 각 조직별 수은 함량을 측정하였다. 수은 분석을 위한 표준물질은 MESS-3(0.091±0.009 ppm, National Research Council Canada)을 사용하였다.

Table 1. Fish fauna and fish guild analysis at the Mangyeong River.

Species	Types of fish guild			Sampling sites			TNI	RA (%)
	Tol.G	Tro.G	Hab.G	S1	S2	S3		
<i>Zacco temminckii</i>	SS	I	-	176	33		209	46.9
<i>Odontobutis platycephala</i> *	SS	C	RB	2	1		3	0.7
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i> *	SS	I	-		3		3	0.7
<i>Coreoperca herzi</i> *	SS	C	RB		1	1	2	0.4
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	SS	I	-	2			2	0.4
<i>Pseudopungtungia nigra</i> *†	SS	I	-		2		2	0.4
<i>Pseudobagrus koreanus</i> *	SS	I	RB		1		1	0.2
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	IS	O	-	21	15		36	8.1
<i>Hemibarbus longirostris</i>	IS	I	-	6	1	23	30	6.7
<i>Acheilognathus yamatsuatea</i> *	IS	O	-	15	12		27	6.1
<i>Pungtungia herzi</i>	IS	I	RB	2	17		19	4.3
<i>Rhodeus notatus</i>	IS	O	-	8	3		11	2.5
<i>Odontobutis interrupta</i> *	IS	C	RB		4	2	6	1.3
<i>Iksookimia koreensis</i> *	IS	I	RB	2		4	6	1.3
<i>Pseudogobio esocinus</i>	IS	I	-			6	6	1.3
<i>Rhinogobius brunneus</i>	IS	I	RB	3		1	4	0.9
<i>Cobitis lutheri</i>	IS	I	RB	1			1	0.2
<i>Rhodeus uyekii</i> *	IS	O	-	1			1	0.2
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	IS	O	-	1			1	0.2
<i>Zacco platypus</i>	TS	O	-	17	4	28	49	11.0
<i>Micropterus salmoides</i> †	TS	C	-			21	21	4.7
<i>Hamibarbus labeo</i>	TS	I	-			2	2	0.4
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	TS	C	-			1	1	0.2
<i>Lepomis macrochirus</i> †	TS	I	-			1	1	0.2
<i>Squalidus japonicus coreanus</i> *	TS	O	-			1	1	0.2
<i>Pseudorasbora parva</i>	TS	O	-			1	1	0.2
Total number of species				14	13	13	26	
Total number of individuals				257	97	92	446	

Tol.G=Tolerance guild, Tro.G=Trophic guild, Hab.G=Habitat guild, SS=Sensitive species, IS=Intermediate species, TS=Tolerant species, O=Omnivores, I=Insectivores, C=Carnivores, RB=Riffle-benthic species, *: Endemic species, †: Endangered species, ‡: Exotic species, TNI : Total number of individuals, RA: Relative abundance

결과 및 고찰

1. 종 조성 및 분포특성

만경강에서 채집된 어류는 총 7개과 26종 총 446개체로서, 잉어과(Cyprinidae)가 17종 65%로 가장 많이 채집되었고, 미꾸리과(Cobitidae), 검정우렁과 (Centrarchidae), 동사리과(Odontobutidae)는 각각 2종, 동자개과 (Bagridae), 꺾지과(Centropomidae), 망둑어과(Gobiidae)는 각각 1종이 나타났다(Table 1). 안 등(2001)에 의하면, 점오염원이나 비점오염원과 같이 인위적 교란이 없을 경우, 하천차수에 따라 어종 수와 개체수가 상류로부터 하류로 갈수록 증가하는 것으로 보고하고 있으나 조사지점의 경우 3차 하천인 S1 지점에서 가장 많은 종과 개체가 채집되었고 하천차수가 증가하면서 감소하는 경향을 보였다.

S1에서는 갈겨니(*Zacco temminckii*)와 납자루(*Acheilognathus lanceolatus*)가 우점하여 Zacco-Acheilognathus 군집, S2는 갈겨니(*Zacco temminckii*)와 돌고기(*Pungtungia herzi*)의 우점으로 Zacco-Pungtungia 군집, S3은 피라미(*Zacco platypus*)와 참마자(*Hemibarbus longirostris*)가 우점하여 Zacco-Hemibarbus 군집으로 명명하였다. S1과 S2에서 우점하는 갈겨니는 수질 오염에 쉽게 사라지는 민감종(Sensitive species), 납자루와 돌고기는 중간종(Intermediate species)이다. S3에서 우점한 피라미는 서식지의 질적 저하에도 개체수가 증가하는 내성종(Tolerant species)이고, 참마자는 중간종이다. S3에서는 내성종이 우점한 반면, S1과 S2는 민감종이 우점하여 비교적 수계가 잘 보존된 것으로 사료되었다.

한편 만경강 수계에 서식하고 있는 어류에 대해서 김 과 이(1998)는 53종, 이 등(2008)은 63종을 보고한 바

있는데 이번 조사에서 비교적 적은 26종이 채집된 것은 조사 지역이 만경강의 중·상류에 한하였고 채집 시기, 도구 및 조사 횟수의 차이가 있고, 특히 조사가 1회에 그쳐 과소평가 되었을 것이라 사료되었다. 최근 이번 조사와 인접한 지역(이 등, 2008)에서 확인된 종종 본 조사에서 확인 되지 않은 종은 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*)의 17종이었고 반면에 물개(*Squalidus japonicus coreanus*)는 새로 서식이 확인되었다. 외래종으로는 블루길(*Lepomis macrochirus*)과 배스(*Micropterus salmoides*)가 출현하였는데 1998년 조사(김과 이, 1998)에 의하면 조사지점에서는 외래종이 확인되지 않았지만 2006년 조사(이 등, 2008)와 이번 조사의 S3 지역에서 서식이 확인되었다. 특히 배스는 S3에서 채집된 전체 개체수 중 23%를 차지하여 심각한 수준이었다. 외래종은 유속이 느린 곳에 주로 분포하므로 서식지와 수질의 개선이 없다면 외래종의 분포지역과 수가 증가할 것으로 사료되어 이에 대한 대책이 필요하다(이 등, 2008).

채집된 한국고유종은 줄납자루(*Acheilognathus yamat-suataea*)의 10종으로써 39%를 차지하여 한반도의 평균 고유종 비율인 23%(남, 1996)보다 높게 나타났다. 이는 본 연구에서 선정된 지점이 중·상류구간으로 하상이 대부분 자갈로 이루어져 있고 식생이 잘 발달되어 있으며, 오염물질이 다량 유입되는 하류구간은 포함되지 않은 것에 의한 것으로 사료된다. 일반적으로 고유종은 하천의 중·상류에 주로 많이 분포하며, 수환경의 악화에 의해 급속히 감소하는 경향을 보이는데 본 연구에서도 상류에서 중류로 갈수록 고유종의 비율이 감소하는 것으로 나타났다. S2 지점에서 보호종으로 지정되어 있는 감돌고기가 출현하여 종 보존을 위해 향후 대책마련이 필요한 것으로 사료된다.

2. 어류 생태지표 특성

내성도 길드의 분석에 따르면 민감종의 상대풍부도는 50%인 반면 내성종은 17%, 중간종은 33%로 나타나 민감종의 우점현상이 나타났다. S1과 S2는 피라미 단 한종의 내성종이 출현하였고 민감종이 각각 70%, 42%으로 비교적 높게 나타났으나 S3은 민감종이 1종 출현하고(1%), 내성종이 60%로 높게 나타났다. 민감종은 상류에서 중류로 갈수록 감소하는 것으로 나타났고 내성종은 S3에서 급격하게 증가하였다. 내성종수 및 비율은 유기물의 오염, 서식지 파괴 등 서식지의 질적 하강에 따라 증가하는 경향을 나타내는 것으로 보고되어 있는데(Karr, 1981; US EPA, 1991), 본 연구에서 만경강의 상류에서

민감종의 비율이 높게 나와 생태계 교란이 비교적 적고 하천이 잘 보존된 것으로 나타났다. 하지만 S3 지역은 다른 지역에 비해 내성종의 비율이 비교적 높게 나타난 것으로 보아 전주 3공단 및 진미평야 등의 점오염원에서 배출되는 배출수의 유입에 의한 것으로 사료되었다(Fig. 2).

트로픽 길드에 따른 개체수 분석에 의하면 총식종이 64%, 잡식종이 29%, 육식종은 7%로 총식종의 우점현상을 보였다. 지점별 S1과 S2에서는 갈겨니의 우점현상으로 총식종의 우점이 뚜렷이 나타났으며 S1 지점에서 S3 지점으로 갈수록 총식종의 비율이 감소하는 것으로 나타났다.

3. 군집분석

각 지점별 군집분석에 따르면, 특정 종이 우세한 정도를 나타내는 우점도 지수(Simpson's dominance index, $1-\lambda$)는 S2에서 0.817로 가장 높게 나타났고 S1에서 0.517으로 가장 낮게 나타났다. 다양도 지수(Shannon-Weaver diversity index, H')는 S2에서 1.966로 가장 높게 나타났고 S1에서 1.273로 가장 낮게 나타나 우점도 지수와 비슷한 양상을 나타냈다. 균등도 지수(Pielou's evenness index, J')는 군집 내 종 구성의 균일한 정도를 나타내는 것으로 S2에서 0.766로 가장 높게 나타났고 S1에서 0.482로 최소치를 나타냈다. 종 풍부도 지수(Margalef's species richness index, d)는 S3의 2.625이 가장 높게 나타났고, 가장 낮은 값은 S1의 2.343으로 나타나 큰 차이를 보이지 않았다. 상류의 S1 지점은 균등도 및 종 다양도가 낮게 나타났으나 그밖의 2개 지점들에서는 종 다양도 및 풍부도가 비교적 높은 것으로 나타났다. 이는 S1 지점에서 갈겨니(*Zacco temminckii*)가 69%의 높은 비율로 우점하지만 다른 지점에서는 일부종의 개체수가 많이 나타나지 않고 비교적 균등하게 채집된 결과로 사료된다(Fig. 2).

본 연구는 비교적 교란이 적은 지점에서 조사가 이루어져 비교적 종 다양도·풍부도·균등도 지수가 높고 군집 우점도 지수가 낮게 나타나 전체적으로 다양하고 안정된 군집구조를 가진 것으로 나타났으나, 오염원의 영향을 직접적으로 받는 지류나 하류에서는 교란에 의한 종 조성의 변화로 인해 군집구조가 불안정해질 것이라 예상되었다(방 등, 1995; 손과 변, 2005; 안 등, 2005).

4. 이·화학적 수질 평가 및 물리적 서식지 평가

본 연구 지점의 지난 3년간의 수질분석에 따르면, pH를 제외한 생물학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구

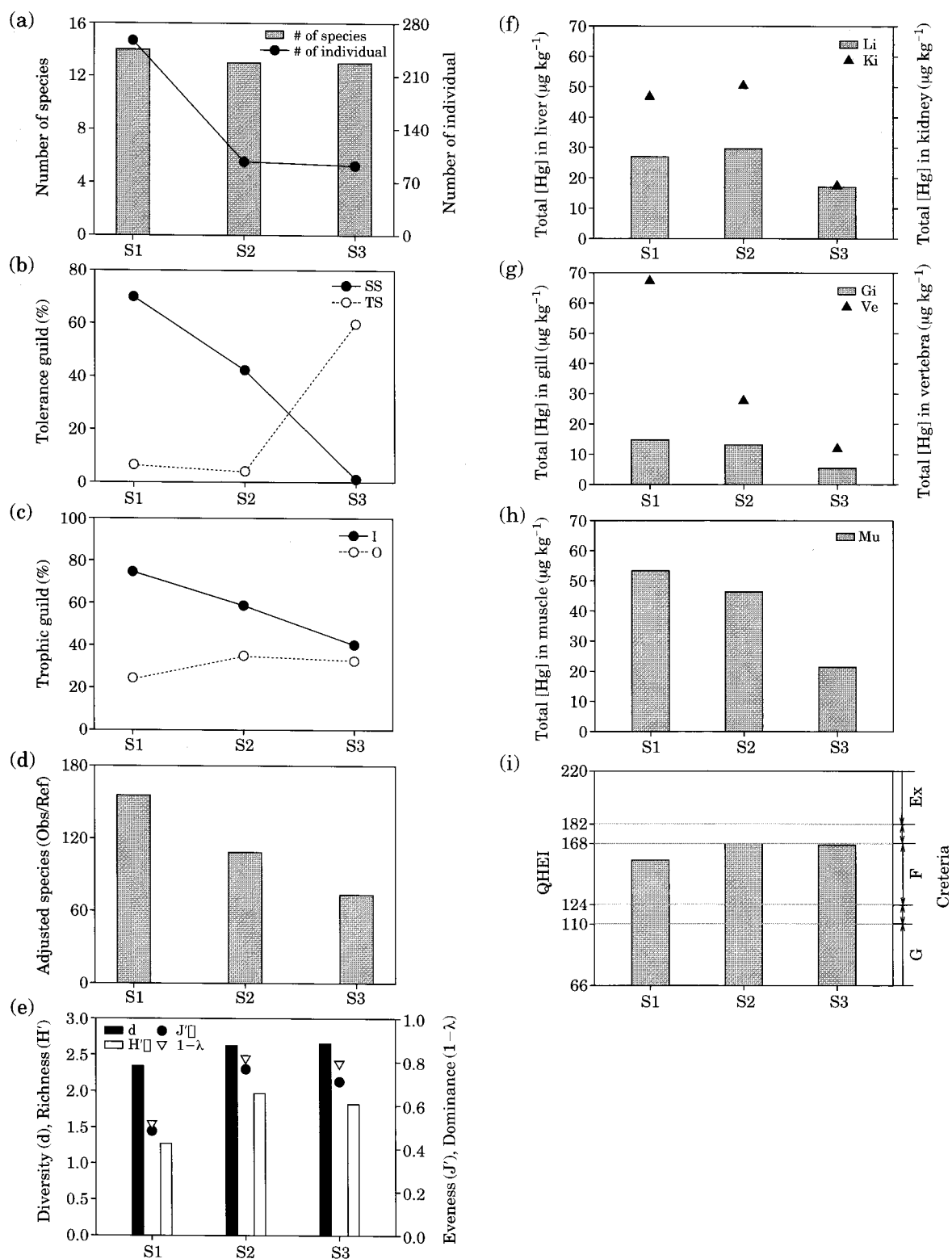


Fig. 2. Characteristics of biological parameters (a~e), total [Hg] in the fish tissues (f~h) and physical habitat health, base on QHEI (i) in the sampling sites. The abbreviations are as follows: SS=sensitive species, TS=tolerant species, I=insectivore, O=omnivore, Obs/Ref=observed value : reference value, d=Margalef's species richness index, J'=Pielou's evenness index, H'=Shannon-Weaver diversity index, 1-λ=Simpson's dominance index, Li=liver, Ki=kidney, Gi=gill, Ve=vertebra, Mu=muscle, Ex=excellent, G=good and F=fair.

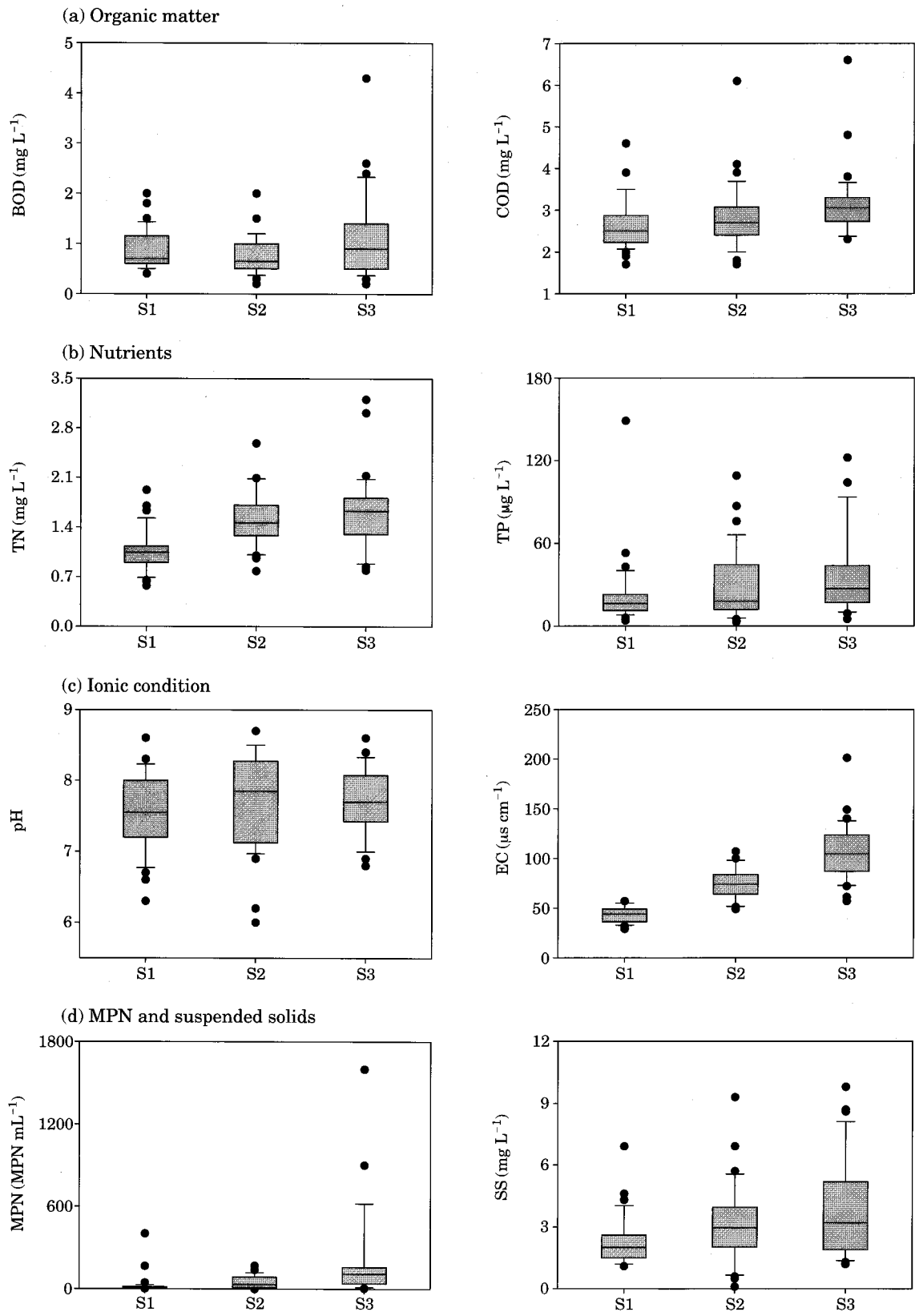


Fig. 3. Organic matter (BOD, COD), nutrients (TN, TP), ionic condition (pH, conductivity), MPN (most probable number) and suspended solids in the Mangyeong River.

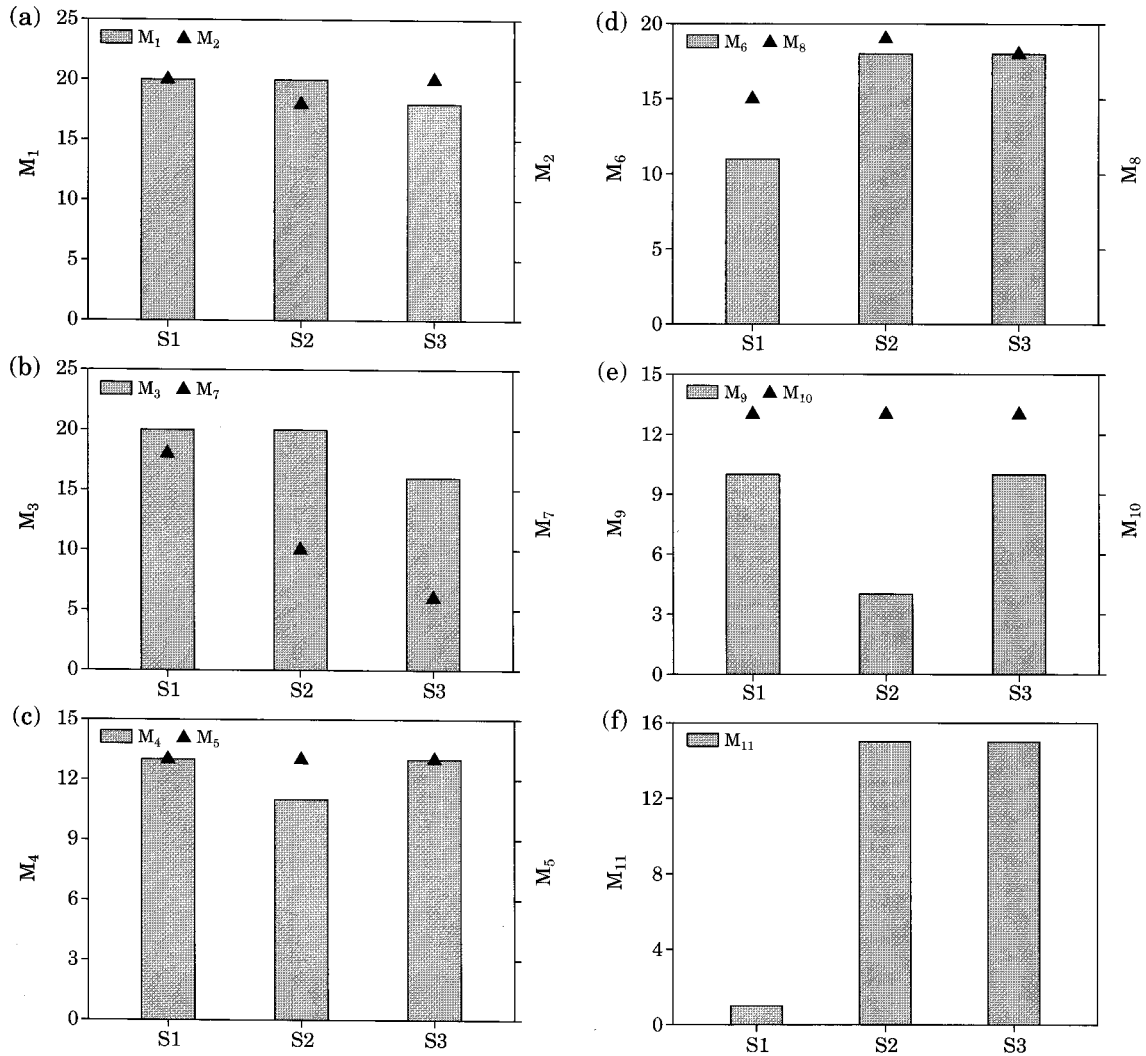


Fig. 4. Matrix attributes of $M_1 \sim M_{11}$ in the Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI) in the sampling sites. Each matrixes are follows: M_1 : substrate/instream cover, M_2 : embeddedness, M_3 : flow velocity/depth combination, M_4 : bottom scouring & sediment deposition, M_5 : channel flow status, M_6 : channel alteration, M_7 : frequency of riffles or bends, M_8 : bank stability, M_9 : bank vegetative protection, M_{10} : riparian vegetative zone width, M_{11} : dam construction impact.

량(COD), 총질소(TN), 총인(TP), 전기전도도(EC), 총대장균수(MPN), 부유물질(SS)은 S1에서 최소치를 보였으며 중류인 S3으로 갈수록 증가하는 경향을 나타냈다. pH는 S2 지점에서 가장 높게 나타났으나 각 지점간 큰 차이는 없었다. 각 항목별 지점간 차이를 보면 S1과 S2의 평균 BOD는 각각 0.9 mg L^{-1} 와 0.8 mg L^{-1} 으로 환경부의 하천생활환경 기준 7등급 중 Ia등급인 '매우 좋음'으로 나타났고 S3 지점은 1.1 mg L^{-1} 로 Ib등급인 ' 좋음'으로 나타났다. TN과 EC는 S1 지점과 S3 지점 간에 2배 이상 차이가 났으며 TP는 1.5배 차이를 나타냈다. 이러한 차이는 상류와 중류 주변에 모두 농경지가 존재하고 특히 S3 주변에 존재하는 공단과 도시에 의한 영향으로 사료

된다(Fig. 3).

만경강의 물리적 서식지 평가는 11메트릭 모델에 의하여 수행되었다. 물리적 서식지 평가지수는 S1 지점에서 S3 지점으로 갈수록 증가하는 양상을 보였다. 정성적 서식지 평가지수(Qualitative Habitat Evaluation Index)에 따르면, S1, S2, S3 각각의 QHEI 값은 156, 168, 167로 모두 양호(Good)상태로 나타났다. 각 지점에 대해 항목을 비교하면 S1 지점은 다른 지점에 비해 M_6 하천변경, M_8 제방안정성에서 비교적 낮은 점수를 나타냈으며, 상류의 대아 저수지로 인해 M_{11} 소규모 댐 건설 유무에서 악화상태를 나타냈다. S2 지점은 다른 지점에 비하여 수변의 농경지로 인하여 M_{10} 제방으로부터 인위적인 구간

까지의 공간에서 가장 낮은 점수를 나타냈다. S3 지점은 M₇ 여울의 빈도에서 가장 낮은 점수를 나타냈다(Fig. 4).

이·화학적 수질은 상류(S1)에서 중류(S3)로 갈수록 종의 수와 민감종은 감소하고 내성종이 증가하는 것과 유사한 경향을 보였으나 물리적 서식지 평가에서는 오히려 중류로 갈수록 증가하는 것으로 나타났다. 이로 인해 물리적 서식지보다 수질에 의해 어류의 종구성이 영향을 받았을 것이라 사료되었으며, 추가적인 어류 채집을 통하여 보다 정확한 어류의 종조성과 수질, 물리적 서식지에 관한 연관성에 대한 연구가 필요하다.

5. 어류 조직내의 수은 농도

각 지점별로 선정된 피라미의 3개체를 선별하여 수은을 분석한 결과 총 수은의 양이 S1은 208.9 $\mu\text{g kg}^{-1}$, S2은 167.4 $\mu\text{g kg}^{-1}$, S3은 73.0 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 으로 나타나 상류에서 더 높은 수은 농도축적을 보였다. 어류 조직의 수은 농도는 공단과 농경지의 점오염원에 영향을 받는 지점보다 오염원이 비교적 덜한 상류에서 더 높게 나타나 오염원에 의해 어류 조직내 수은의 농축이 심화될 것이라는 예상과는 상반되는 결과가 도출되었다. 상류의 수은 농축량이 높은 원인에 대해서는 상류지역의 수은 오염원 유무와 그 밖의 다른 원인에 대한 조사 등의 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료되었다.

분석에 사용된 어류의 각 조직별 수은의 농축도를 보면 5개의 조직 중 근육에서 평균 40.3 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 으로 가장 높았고 신장 38.2 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 척추 35.6 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 간 24.5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 순이었으며 아가미가 11.1 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 으로 농축도가 가장 낮았다. 본 연구에서는 근육의 조직에서 수은의 농도가 가장 높게 나타나 강 등(1986), 김과 박(1981) 및 Lee and An(2007)의 연구와 일치한 반면에 황 등(1988)에서는 신장이나 간에서 농축도가 높은 것으로 나타났다. 지점간의 조직별 수은의 농축도는 간과 신장의 근육 농축도는 S2에서 가장 높았고 S1, S3 순이었으며 아가미, 척추, 근육의 수은 농축도는 S1이 가장 높고 S3으로 갈수록 감소하였다(Fig. 2). 같은 종의 어류라도 채집한 장소의 차이에 따라 다른 조직별 수은 농축도를 나타냈는데 이런 개체변이는 어류의 크기와 조직별에 따라 차이를 보이는 것으로 알려져 있으며(손 등, 1982) 보다 정확한 분석을 위해 분석 개체수와 횟수를 늘린 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료되었다.

방과 최(1993)의 연구에서 만경강의 어류 체내의 평균 총 수은 농도를 219.4 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 로 보고하였는데, 이번 연구에서 총 수은양의 평균은 149.6 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 로 나타나 차이를

보였다. 이는 분석방법과 조사지점의 차이에 의한 것으로 사료된다. 본 연구의 수은 농도는 한국 식약청은 담수어 중금속 잔류 허용 기준인 500 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 을 초과하지 않은 상태로 전반적으로 수은 농축에 대한 영향은 어류의 건강성에 크게 영향을 미칠 정도는 아니라고 평가되었다(식약청, 2007). 하지만 지속적인 수은 농축에 의해 먹이 연쇄에 따라 수은 농축량이 상위 소비자로 갈수록 증가하고, 어류를 섭취하는 인간이 최상의 소비자인 것을 감안할 때 어류의 수은 농축도 증가에 따른 피해 가능성은 주의해야 할 것이다(김과 박, 1981; Hamdy and Prabhu, 1979).

적 요

본 연구는 2007년 만경강의 중·상류의 3개 지점을 선정하여 어류의 길드특성 및 조직별 수은 함량을 분석하였다. 어류의 종조성 분석에 따르면 7과 26종이 채집되었으며, 주요 우점종은 갈겨니(47%)로 수질오염에 쉽게 사라지는 민감종(Sensitive species)이 우점하였다. 상류의 S1 지점은 균등도 및 종 다양도가 낮게 나타났으나 그 밖의 2개의 지점들에서는 종다양도 및 풍부도가 높은 것으로 나타났다. 내성도 길드 분석에 의하면 S1과 S2 지점에서는 민감종의 비율이 각각 70%, 42%를 보였으나 반면 공단이나 도심지의 점오염원에 의해 영향을 받는 S3 지점은 민감종의 비율 감소(1%) 및 내성종의 비율(60%)이 증가하였다. 트로픽 길드 분석에서는 층식종의 비율이 S1에서 S3으로 갈수록 감소하였다. 이런 특성은 유기물질(BOD, COD), 영양염류(TN, TP), 전기전도도, 대장균수 및 부유물질에 근거한 이·화학적 수질 평가 결과와 일치하였다. 물리적서식지평가(QHEI)는 3지점에서 모두 '양호'상태로 나타나 물리적 서식지가 양호한 상태일지라도 수질에 의해 어류의 종구성이 달라질 수 있음을 나타냈다. 어류의 조직(tissue) 내의 총 수은 함량 분석에 따르면, 평균 농도는 149.6 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 로서 식약청의 기준(500 $\mu\text{g kg}^{-1}$)에 따르면 어류 건강성에 영향을 줄만한 농도는 아닌 것으로 평가되었다. 각 조직별 수은 농축도는 근육에서 가장 높았고, 신장, 척추, 간, 아가미의 순으로 나타났다.

사 사

본 연구는 환경부 수생태복원사업단 Eco-STAR project [과제명: 호수생태계 통합적 건강성 평가기법 개발(08-IV-

11)]의 지원으로 수행되었기에 이에 감사합니다.

인 용 문 헌

강희곤, 윤원용, 박상현, 박성배. 1986. 북한강에 서식하는 담수 어종의 중금속 함유량에 관한 연구(제2보). 한국육수학회지 **19**(1): 79-88.

김남승. 1988. 만경강 담수어 중 중금속 함량에 관한 연구. 예방의학회지 **21**(1): 121-131.

김동현. 1992. 대전관류 하천에 서식하는 어·폐류 중의 중금속 함량조사. 충남대학교 석사학위논문.

김명희, 박성배. 1981. 담수어종의 총수은함량에 관한 연구(1) 수종의 금강하류 담수어에 대하여. 한국육수학회지 **14**(3): 13-20.

김병만, 이충렬. 1998. 만경강 수계에 서식하는 어류군집에 관한 연구. 한국육수학회지 **31**(3): 191-203.

김익수, 김환기. 1975. 전주천의 수질오탁과 어류군집의 변화에 관한 연구. 한국육수학회지 **8**(3): 7-14.

김익수, 박종영. 2002. 원색도감 한국의 민물고기. 교학사. 428p.

남명모. 1996. 한국산 담수어류의 현황. 한국육수학회지포지엄. p. 31-45.

문영희, 박종민, 손재권, 김계환. 2001. 만경강 상류 지역 수질의 시기별 변화. 한국환경농학회지 **20**(3): 252-257.

방성자, 최신석, 홍영표. 1995. 금강 수서생태계의 구조와 기능에 관한 연구: 담수어류. 환경연구보고 **13**: 84-91.

방성자, 최신석. 1993. 만경강 유역의 수질, 토양 및 어류의 중금속 함량에 관한 연구. 환경연구보고 **11**: 35-51.

손영복, 변화근. 2005. 미호천의 어류상과 어류군집 동태. 한국어류학회지 **17**(4): 271-278.

손동현, 홍순각, 송철용, 전상린. 1982. 담수어종의 총수은 함량에 관한 연구. 한국식품과학회지 **14**(2): 168-173.

식약청. 2007. 제1총칙-제4규격 외 일반가공식품, 식품공전(전면개정 개정 후). 23p.

안광국, 김자현. 2005. 물리적 서식지 평가기법 및 어류 다변수 평가모델에 의거한 대전천의 생태학적 건강도 진단. 한국육수학회지 **38**(3): 361-371.

안광국, 염동혁, 이성규. 2001. 생물보전지수(Index of Biological Integrity)의 신속한 생물평가 기법을 이용한 갑천수계의 평가. 환경생물 **19**(4): 261-269.

오연찬, 이남도, 김종구. 2004. 다변량해석기법을 이용한 만경강 수계의 수질평가. 한국환경과학회지 **13**(3): 233-244.

윤순강, 이종식, 정구복, 김민경, 김선중, 고문환, 엄기철. 2002. 만경강 유역내 하천의 특성별 영향평가. 한국환경농학회지 **21**(4): 237-242.

이경보, 김중천, 김종구, 이덕배, 박찬원, 김재덕. 2005. 만경강 유역 오염부하량 평가. 한국환경농학회지 **24**(2): 83-90.

이완옥, 김경환, 김종화, 홍관의. 2008. 민경강의 담수어류 및 외래어종의 분포. 한국어류학회지 **20**(3): 198-209.

이종식, 정구복, 김진호, 윤순강, 김원일, 신종두. 2004. 만경강 및 동진강 수계의 BOD에 의한 수질 평가. 한국환경농학회지 **23**(1): 81-84.

이충렬, 윤일병, 김익수. 1980. 만경강 어류군집의 동태에 관한 연구. 한국육수학회지 **13**(3): 23-38.

이혜원, 박석순. 2008. 비모수 통계기법을 이용한 만경강 유역의 장기간 수질 경향 분석. 한국물환경학회 **24**(4): 480-487.

황선완. 2006. 금강과 만경강 하구 어류의 출현양상과 서식처 이용. 충남대학교 박사학위논문.

황인담, 기노석, 정인호, 이정상, 이재형. 1988. 수은 증독에 관한 실험적 연구. 한국환경보전학회지 **14**(1): 103-113.

Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder and J.B. Stribling. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, second edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.

Hamdy, M.K. and N.V. Prabhu. 1979 Behavior of mercury in biosystems III. Biotransference of mercury through food chains. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **21**(1-2): 170-178.

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

Lee, E.H. and K.G. An. 2007. Preliminary studies on mercury bioaccumulation within various fish tissues as heavy metal stressor in aquatic ecosystems. *Korean Journal of Limnology* **40**(4): 569-575.

Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.* **3**: 36-71.

Nelson, J.S. 1984. *Fishes of the world* (3th ed.). John Wiley & Sons, New York.

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. USA.

Pielou, E.C. 1975. *Ecological diversity*. Wiley. New York. pp. 165.

Plafkin, J.L., M.T. Barbour, K.D. Porter, S.K. Gross and R.M. Hughes. 1989. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrate and fish. EPA/444/4-89-001. Office of water regulations and standards. US EPA. Washington. DC, USA.

Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.

Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* **163**: 688.

Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union Transac-*

tions **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.

US EPA. 2000. Test method for evaluating solid waste, physical/chemical methods: method #7473, SW 846, Update IVA, US GPO, Washington DC.

US EPA. 2005. What you need to know about mercury in fish and shellfish. EPA-823-F-04-009.

(Manuscript received 21 April 2009,
Revision accepted 8 June 2009)