Korean J. Limnol. 43 (2) : 279~287 (2010)

형산강 수계의 생태 서식지, 화학적 수질 및 어류의 다변수모델 평가

김 유 표 · 안 광 국*

(충남대학교 생명시스템과학대학)

Evaluations of Ecological Habitat, Chemical Water Quality, and Fish Multi-Metric Model in Hyeongsan River Watershed. ***Kim, Yu-Pyo and Kwang-Guk An* (College of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)***

This study was to evaluate ecological conditions of Hyeongsan River watershed from April to September 2009. The ecological health assessments was based on Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI), water chemistry during 2000～2009, and the fish multi-metric model, Index of Biological Integrity (IBI). For the study, the models of IBI and QHEI were modified as 8 and 11 metric attributes, respectively. Values of IBI averaged 25.4 (n=6), which is judged as a "fair" condition (C) after the criteria of Barbour *et al*. (1999). The distinct spatial variation was found in the IBI. Physical habitat health, based on the values of QHEI, varied from 76 in the downriver (H6) to 150.5 in the headwater (H1) and was evidently more disturbed in the downriver reach. Values of BOD and COD averaged 2.4 mg L^{-1} (range: 0.3～13.8 mg L^{-1}) and 4.3 mg L^{-1} (scope: 0.6～12.8 mg L^{-1}), respectively during the study period. Total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) averaged 3.0 mg L^{-1} and 103.5 μg L^{-1}, respectively, indicating a severe eutrophication, and the nutrients increased more in the downriver than the headwater. Overall, physical, chemical and IBI parameters showed a typical downriver degradation along main axis of the river from the headwater-to-the downriver. This was mainly attributed to livestock waste and residential influences along with industrial discharge from the urban region.

Key words : physical habitat, water quality, Hyeongsan River, ecological health

서 론

형산강 수계는 울주군 두서면에서 발원하여 경주시 및 포항시를 지나 영일만으로 흐르는 강으로 경주시, 포항시를 비롯하여 전 유역에서 생활용수와 농·공업용수 등 각종 용수로서 핵심적인 역할을 담당하는 수자원이다. 그러나 형산강은 수량이 부족하고 하상의 경사도가 매우 급하기 때문에 하천수가 빠르게 영일만으로 유입되어 유하거리가 짧아 자정능력을 떨어지게 하여 오염물질 유입시 형산강 오염에 크게 영향을 줄 수 있다(포항시, 1999; 김과 김, 2004). 이러한 이유로 해서 본 수역은 매년 2월 초에서 11월까지 적조가 발생하여 강물이 검붉어지는 현상이 발생하여 심미적뿐만 아니라 생태계에도 큰 영향을 미치고 있으며, 특히 바다와 접하는 하구주변이 그 발생의 대부분을 차지하고 있는 실정이다(이, 2008). 특히, 하구 생태는 독특한 서식 환경을 이루고 있으며, 강 상류로부터 풍부한 영양염류가 계속적으로 유입되어 담수나 해

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

수 생태계에 비하여 높은 생물 생산성을 나타냄으로 중요한 의미를 가지고 있다(전 등, 1999). 영일만은 산업적으로 뿐만 아니라 각종 어패류의 서식 및 산란장으로 수산업측면에서도 매우 중요하여 형산강의 수질에 대한 관심이 증가하고 있다. 이에 따라 하구 유입하천의 수질개선을 위하여 정화시설을 조사 및 분석하여 도시하천의 부영양화 물질의 영향을 규명하고, 폐수처리장 방류수 유입전과 유입후의 독성물질이 하천의 수질에 미치는 영향 등 여러 연구가 진행되고 있다(김 등, 2005; 나 등, 2005).

형산강 수계의 연구에는 형산강 하구의 이화학적 수질특성과 기후(전 등, 1999; 전과 이, 2000), 담수유입에 따른 영일만 수질의 변화(김과 김, 2004), 점오염원 유입에 따른 형산강 하류의 수질변화(이, 2008)등 여러 연구가 보고되고 있어 형산강에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 형산강 잉어과 어류에 관한 연구(양, 1979; 양, 1982)와 형산강 어류상에 관한 연구(임, 1980), 형산강 하류수역의 어류상과 군집구조(양과 채, 1994)를 비롯하여 울산지역 상류하천의 어류군집에 관한 연구(장 등, 2001) 등 어류에 관한 연구도 활발히 보고되고 있다.

상기 문헌에서 제시하는 바와 같이 형산강 수계에서 수질과 점오염원 유입, 단순 어류상과 군집구조 등과 같이 연구되어 생태계의 수질, 물리적 서식지 및 생물을 이용한 통합적인 생태 평가는 전무한 실정이다. 최근 생물을 이용한 수환경 평가에 대한 관심이 높아지면서 여러 연구가 시도되고 있으며 환경부 또한 “수생태계 건강성 조사 및 평가”를 2007년부터 실시하고 있다.

본 연구의 목적은 형산강의 시공간적 화학적 수질 역동성 분석, 물리적 서식지 다변수 평가모델을 이용한 생태서식지 건강도 평가 및 어류의 다변수 IBI 모델을 이용하여 생태특성 및 길드분석을 실시하여 형산강 수계의 효율적인 관리를 위한 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지점 및 조사시기

본 연구지점인 형산강 수계는 울산광역시 울주군 두서면에서 발원하여 경주시와 안강읍을 거쳐 포항의 영일만으로 흐르는 강으로 유역 면적 1,132 km^2, 유로 연장은 63 km이다. 지천으로는 안강읍 북서쪽에서 유입되는 기계천과 포항시 남쪽에서 유입되는 칠성천 등 크고 작은 15개의 지류가 합류된다.

형산강의 상 · 중 · 하류의 지점별 특성 및 오염원의 영향을 알아보기 위하여 6개의 지점을 선정하였으며, 조사지점은 Horton (1945)과 Strahler (1957)의 하천차수 (Stream order) 기준에 의거하였으며, 조사지점은 Fig. 1과 같다.

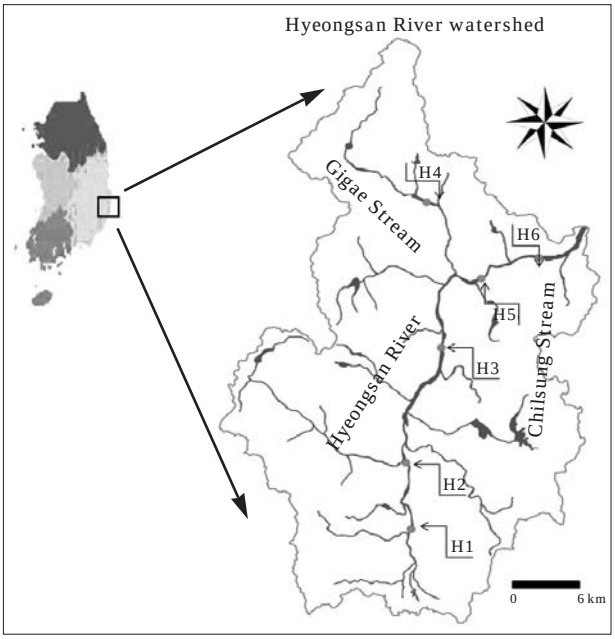

Fig. 1. Sampling sites (H1 ~ H6) in Hyeongsan River watershed.

조사시기는 몬순강우의 영향으로 수체가 불안정하면 어류의 교란 요인으로 작용할 수 있어 수체 안정기인 2009년 5월과 9월에 실시하였다.

H1: 경북 경주시 내남면 노곡리 이조교(N: 35°44′45″, E: 129°12′16″)
H2: 경북 경주시 탑동 나정교(N: 35°48′43″, E: 129°12′11″)
H3: 경북 경주시 천북면 모아리 모아리보(N: 35°54′53″, E: 129°14′34″)
H4: 경북 경주시 강동면 단구리 달성교(N: 36°2′49″, E: 129°14′39″)
H5: 경북 경주시 강동면 인동리 국당교(N: 35°58′51″, E: 129°16′51″)
H6: 경북 포항시 남구 연일읍 중명리 유강대교(N: 35°59′40″, E: 129°18′52″)

2. 조사방법

조사는 수생태계의 정량적인 건강성 평가를 위해 개발된 Ohio EPA (1989)의 Wading method를 우리나라 하천특성에 맞게 수정 · 보완한 환경부의 수생태계 건강성 조사 및 평가(환경부, 2008)의 방법에 의거하였다. 어류 채집

은 여울(Riffle), 소(Pool), 유속이 느린 구간(Run)이 존재하는 개방된 곳에서 투망(망목 5×5 mm)과 족대(망목 4×4 mm)를 이용하였다. 채집거리는 각 조사지점에서 상·하류로 200 m 구간에서 50분 동안 실시하였다. 각 지점에서 채집된 어류는 김 등(2005), 김과 박(2002)에 의거해 동정하였으며 동정 후 바로 놓아주었다. 현장에서의 동정이 어려운 종은 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실로 운반 후 동정하였다.

이·화학적 수질 변수는 생화학적 산소요구량(Biochemical oxygen demand; BOD), 화학적 산소요구량(Chemical oxygen demand; COD), 총인(Total phosphorus; TP), 총질소(Total nitrogen; TN), 부유물질(Suspended solid; SS)로서 형산강 수계의 환경부 측정망(http://water.nier.go.kr/weis) 지점 자료 중 2000부터 2009까지 10년간 측정된 자료를 이용하여 조사 지점별 특성을 분석하였다.

물리적 서식지 평가 모델은 Plafkin *et al.*(1989)에 의해 제안되었으며 물리적 서식지 평가 지수(Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI)는 Barbour *et al.*(1999)에 의해 보정되어 안과 김(2005)에 의하여 국내 하천 특성에 맞게 보완된 11개의 다변수 메트릭 모델을 이용하였다. M_1 하상구조/서식처 피복도, M_2 하상매몰도, M_3 유속/수심 조합, M_4 하상유실 및 토사축적도, M_5 유량 상태, M_6 수로 변경도, M_7 여울 빈도 및 하천굴곡도, M_8 제방 안정도, M_9 제방식생 보호도, M_{10} 천변 식생대의 폭, M_{11} 소규모 댐의 존재유무를 평가하였다. 각 변수값의 등급구분은 U.S. EPA (1993)의 기준에 의거하여 각 메트릭으로부터 얻어진 값의 합을 최종적으로 최적상태(Excellent, 220～182), 양호상태(Good, 168～124), 보통상태(Fair, 110～66), 불량상태(Poor, 52～8)의 4개 등급으로 구분하여 평가하였다.

어류 군집 구조분석을 위해 아래와 같이 군집 우점도 지수(Simpson, 1949), 종풍부도 지수(Margalef, 1958), 종다양도 지수(Shannon and Weaver, 1949) 및 종균등도 지수(Pielou, 1975)를 산정하였다.

1) 군집 우점도 지수(Simpson's Dominance Index, λ)

$$\lambda=\sum\frac{N_i^2-N}{N(N-1)}$$

[N=총 출현 개체수, Ni=i 종의 개체수,
S=총 출현 종 수]

2) 종 풍부도 지수(Margalef's species richness index, d)

$$d=\frac{(S-1)}{In(N)}$$

3) 종 다양도 지수(Shannon-Weaver diversity index, H′)

$$H'=-\sum P_i \log_{10} P_i$$

$$[P_i=N_i/N]$$

4) 종 균등도 지수(Pielou's evenness index, J')

$$J'=\frac{H}{\log_e S}$$

하천 건강도 평가모델은 북미에서 최초 개발된 어류의 다변수 메트릭인 IBI(Index of Biological Integrity)모델에 기반을 두고(Karr, 1981), Barbour *et al.*(1999)에 의해 재정립된 모델을 국내 하천의 특성에 맞게 수정·보완한 환경부의 수생태계 건강성 조사 및 평가(환경부, 2008)의 방법을 기초로 하였으며 총 8개 메트릭 시스템으로 구성되었다. M_1 국내종의 총 종수, M_2 여울성 저서종수, M_3 민감종수, M_4 내성종의 개체수 비율, M_5 잡식종의 개체수 비율, M_6 국내종의 충식종 개체수 비율, M_7 채집된 국내종의 총 개체수, M_8 비정상종의 개체수 비율로 각 메트릭을 평가하였고, M_1, M_2, M_3, M_7은 하천차수(Stream order)에 따라 차등 평가하였다. 모델 평가는 환경부에 의해 제시된 바와 같이 각각 "5", "3", "1"의 모델값을 부여한 뒤 최종값을 산정하여 최적상태(A; Excellent, 40～36), 양호상태(B; Good, 35～26), 보통상태(C; Fair, 25～16), 불량상태(D; Poor, ≤15)의 4개 등급으로 평가하였다. 하천차수별로 Reference 하천에 대한 현장에서의 종수 및 개체수 비율을 산정하여 평가하였다.

결과 및 고찰

1. 이·화학적 수질

10년간의 자료에 기반을 둔 형산강의 생화학적 산소요구량(Biochemical oxygen demand; BOD), 화학적 산소요구량(Chemical oxygen demand; COD), 총인(Total phosphorus; TP), 총질소(Total nitrogen; TN), 부유물질 (Suspended solids; SS)은 지점별로 뚜렷한 변이양상을 보여주었다(Fig. 2).

형산강의 지난 10년간 평균 BOD 값은 2.4 mg L^{-1}로서 우리나라 수질기준(2010년 1월의 환경부 기준고시)에 의거할 때 II(약간 좋음) 등급을 보였고, 0.3～13.8 mg L^{-1}의 넓은 변이폭을 보였다(Fig. 2). 지점별로 상류에서 경주시를 관통하면서 하류로 갈수록 증가하는 양상을 보이다 기계천의 영향으로 H5 지점에서 감소하였으며, H6 지점에서

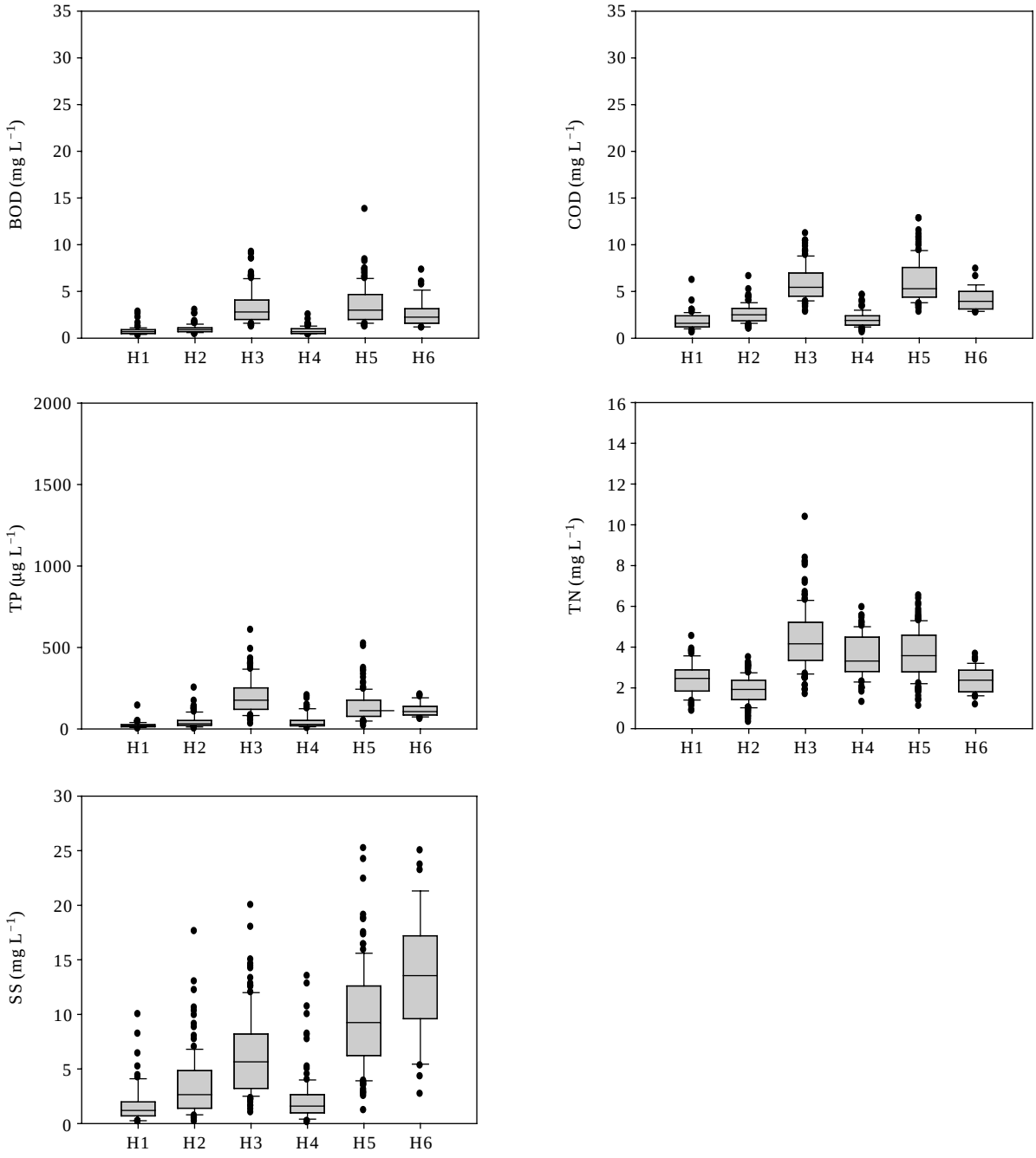

Fig. 2. Biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total phosphorus (TP), total nitrogen (TN) and suspended solids (SS) in Hyeongsan River watershed.

는 해수의 영향으로 감소하였다. COD 역시 큰 변이를 보이며 (0.6～12.8 mg L^{-1}), BOD와 유사한 경향을 보였다 (Fig. 2).

부영양화의 지표로 이용되는 TN의 평균값은 3.0 mg L^{-1} (범위: 0.3～10.4 mg L^{-1})이고, TN 역시 형산강이 경주시를 지나면서 TN이 증가한 후 감소하는 경향을 보였다. 이는 경주시를 관통하면서 영양염류가 하천으로 흘러들어 농도가 높아지는 것으로 사료되었다 (김과 안, 2010). TP의 평균값은 103.5 μg L^{-1} (범위: 0～606 μg L^{-1})로 TN과 비슷한 양상을 보였다. H3 지점은 TN 4.121 mg L^{-1}, TP 213 μg L^{-1}로 형산강수계에서 가장 높게 나타나 부영양상태를 보이고 있어 영양물질 유입에 대한 규제가 필요할 것으

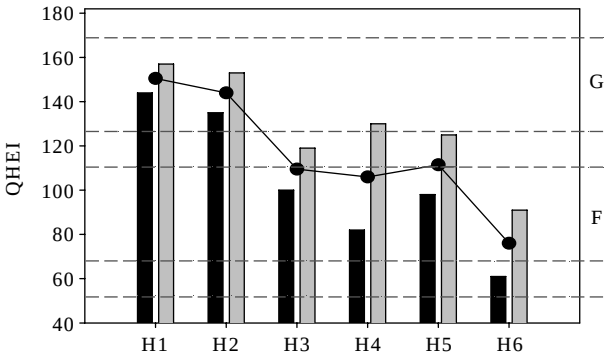

Fig. 3. Qualitative habitat evaluation index (QHEI) in Hyeongsan River watershed. The abbreviations are as follows: Good=G, Fair=F.

로 사료되었다. 또한, 형산강은 하류 지역은 경사가 완만하여 적조 현상이 발생할 수 있으며 영양염류의 농도가 영향을 주는 것으로 나타나 이에 대한 방안이 필요할 것으로 사료되었다(이, 2009). SS는 7.5 mg L^{-1} (범위: 0.1~25.2 mg L^{-1})로 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2).

2. 물리적 서식지 건강도

형산강의 물리적 서식지 평가 지수(Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI)값은 상류에서 하류로 갈수록 감소하는 경향이 나타났다(Fig. 3). H1은 흐름 유형을 나타내는 M_3, 수량을 나타내는 M_8이 낮게 나타났지만, 1, 2차 조사 평균 150.5로 "양호상태"(Good)로 나타났다. H1은 형산강 수계 중 제방식생이 잘 발달되어 있었으며, 하상이 자갈과 모래의 비율이 어류가 서식할 수 있는 최적의 상태로 나타났다. H3은 인공보가 위치하고 있고, H4는 1차 조사에서 건천화가 되어 수량을 나타내는 M_5가 나타났으며, 인공보가 있어 어류의 이동을 제한하며 하천의 흐름을 방해하여 서식환경에 영향을 주었다. Judy *et al.* (1984)은 하상구조 변경, 인공제방 축조 등은 서식지 공간을 제한함으로써 어류의 급격한 감소를 가져온다고 보고한바 있어 건강성 평가에 영향을 미친 것으로 사료되었다. H6은 기수역으로 하천 서식지 구성을 나타내는 M_1, 여울빈도를 나타내는 M_7, 인공보가 있어 M_{11}이 낮게 나타나 1, 2차 조사 평균 76으로 가장 낮게 나타났다(Fig. 3).

3. 생태 지표종 특성 및 트로픽 길드 특성

어류의 생태지표특성 분석은 수질오염 내성도의 정도에 의거하여 분석하며 수질 오염도에 따라 쉽게 사라지는 민감종(Sensitive species, SS), 내성종(Tolerant species, TS)과 두 범주사이의 중간종(Intermediate species, IS)으로 구분하여 분석하였다.

형산강의 1, 2차 어류 조사 결과 총 35종 3,055개체가 채집되었으며, 내성종이면서 초식종(Herbivore)인 숭어(*Mugil cephalus*)와 민감종이면서 충식종(Insectivore)인 참갈겨니(*Zacco koreanus*)가 각각 33.8%, 33.6%로 우점종으로 나타났다(Table 1). 이는 장 등(2001)에 의하여 참갈겨니가 우점한다는 결과와 일치하였다.

형산강의 어류 내성도 길드(Tolerance guild) 분석에 따르면, 민감종은 36.1% (1,103개체), 중간종은 13.0% (396개체), 내성종은 50.9% (1,556개체)로 나타났다(Table 1). 민감종의 93.2% (1,028개체)를 참갈겨니가 차지하여 민감종의 대표어종으로 나타났으며 내성종의 66.5% (1,034개체)를 숭어가 차지하여 내성종의 대표어종으로 나타났다. 민감종은 본류 구간 중 하류에서 출현하지 않았고, 내성종의 개체수는 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 양상을 보여 해수와 포항 공단의 영향을 받는 것으로 사료되었다(Fig. 4). 또한 H3 지점부터 수변구역의 식생대의 비율이 하류로 갈수록 감소하고 도시화 비율이 증가하여 식생대의 감소가 어류 군집 교란에 큰 영향을 미친다는 연구 결과와 일치한다(Allison *et al.*, 2007).

상류인 H1과 H2에서는 참갈겨니의 우점으로 민감종이 우점하였으나 하류로 갈수록 내성종이 우점하는 것으로 나타났다. 특히 H6 지점은 17종 중 11종이 내성종으로 나타났으며, 95.1% (1,163개체)를 차지하였다. H6 지점에서는 하수종말처리장의 유입으로 오염이 가중되었으며, 점오염원 유입이 형산강 하류 수질 악화에 크게 영향을 미쳐 이와 같은 결과가 나타난 것으로 사료되었다(이, 2008).

어류의 트로픽 길드(Trophic guild) 분석을 따르면 충식성(Insectivore) 어종은 41.3% (1,261개체), 초식성(Herbivore) 어종은 34.5% (1,054개체), 잡식성(Omnivore) 어종은 16.4% (502개체), 육식성(Carnivore) 어종은 7.8% (238개체)로 나타났다(Table 1). 잡식종은 하류로 갈수록 개체수 비율이 증가하였지만, H6 지점에서는 해수의 영향으로 초식종인 숭어의 개체수 비율이 증가하였다(Fig. 4). 외래어종(Exotic species)은 모든 지점에서 출현하였으며, H3 지점에서는 떡붕어(*Carassius cuvieri*), 배스(*Micropterus salmoides*), 블루길(*Lepomis macrochirus*) 3종 모두 출현하여 종 조성의 교란이 예상되는 지점이다. 1991년(양과 채, 1994)조사에서는 백련어(*Hypophthalmichthys molitrix*), 1999년(장 등, 2001) 조사에서는 이스라엘 잉어가 출현하였지만 본 조사에서는 확인되지 않았다. 양과 채(1994)와 장 등(2001)에서는 블루길이 출현하는 것으로 확인되었지만 배스는 출현하지 않았다. 본 조사에서 배스가 2.2

Table 1. Fish fauna and the various guilds of tolerance, trophic level and habitats in Hyeongsan River.

Species	Tolerance guild	Trophic guild	Habitat guild	1st survey						2nd survey					
				H1	H2	H3	H4	H5	H6	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Cyprinus carpio	T	O							1			7		1	2
Carassius auratus	T	O			1		17	1	3	1		13	34		4
Carassius cuvieri	T	O				8						1			
Rhodeus uyekii	I	O								1					
Acanthorhodeus macropterus	I	O						3				1		2	
Acanthorhodeus gracilis	I	O			1			3							
Pseudorasbora parva	T	O					2	3		1			10		1
Pungtungia herzi	I	I			9										
Sarcocheilichthys nigripinnis morii	I	I			4	5		24	2			25		10	
Squalidus japonicus coreanus	T	O				1	5	81	11			2		1	4
Squalidus chankaensis tsuchigae	I	O										7		6	25
Squalidus multimaculatus	I	O		9	30		58			1			44		
Rhynchocypris oxycephalus	S	I		17			2			1			16		
Zacco koreanus	S	I		252	101		209			90	245	1	130		
Zacco platypus	T	O		6	4	1	3	2		6	5	21	10		
Opsarichthys uncirostris amurensis	T	C							2			8		60	28
Hemiculter eigenmanni	T	O												1	
Misgurnus anguillicaudatus	T	O		4	6					1		1	2		
Misgurnus mizolepis	T	O											6		
Iksookimia yongdokensis	I	I					1								
Cobitis hankugensis	I	I			16	9	10		2			1	7		
Plecoglossus altivelis altivelis	I	H							18						2
Mugil cephalus	T	H							219						815
Gasterosteus aculeatus	I	I							3						
Pungitius kaibarae	I	I					4								
Coreoperca herzi	S	C		2	11					1	8	2			
Lepomis macrochirus	T	I						2				1	2		11
Micropterus salmoides	T	C				1		9		1	6	22		12	15
Odontobutis platycephala	S	C		1			2			3	1		8		
Odontobutis interrupta	I	C		3	6					8	1	17			
Chaenogobius urotaenia	I	I					1						2		
Acanthogobius flavimanus	T	I													10
Rhinogobius giurinus	T	O							16						
Rhinogobius brunneus	I	I	RB		1		1		1		1	1	3		7
Tridentiger obscurus	T	I							21						
Total Number of Species				8	12	6	13	9	12	12	7	17	13	8	12
Total Number of Individual				294	190	25	315	128	299	115	267	131	274	93	924

SS=Sensitive species, IS=Intermediate species, TS=Tolerant species, O=Omnivore, I=Insectivore, C=Carnivore, H=Herbivore, RB=Riffle-benthic species

%(66개체)로 서식이 확인되어 종 조성의 교란이 예상되어 이에 대한 대책이 요구되고 있다. 화학적 독성 물질 및 유기물 오염이 존재하는 곳에서 빈번히 나타나는 비정상 개체(Abnormality, U.S. EPA, 1993)는 H6 지점에서만 출현하여 하수종말처리장 및 점오염원의 유입의 영향이 있는 것으로 사료되었다(이, 2008).

지점별 분석에 따르면, H1은 총 12종 409개체, H2는 14종 457개체가 채집되었고 그 중 참갈겨니가 가장 높은 우점도를 보였다. H3은 총 17종 156개체로 채집되어 1차 조사 결과 6종 25개체가 채집되었던 결과와는 상대적으로 2차 조사 결과에서 많은 종이 채집되었다. 이는 유량이 풍부해져 1차 조사에서와 같은 악취가 나지 않았으며, 수질이 일시적으로 향상되어 이와 같은 결과가 나타난 것으로 사료되었다. 또한 인공보가 위치하고 있어 어류가 상류로 이동할 수 있는 공간이 한정되어 있어 인공보 아래에 다양한 어종이 서식하고 있는 것으로 나타났다. H4는 총 16종 589개체가 채집되었고, 1차 조사에서 환경부 멸종위기종 2급인 잔가시고기(*Pungitius kaibarae*)가 출현하였

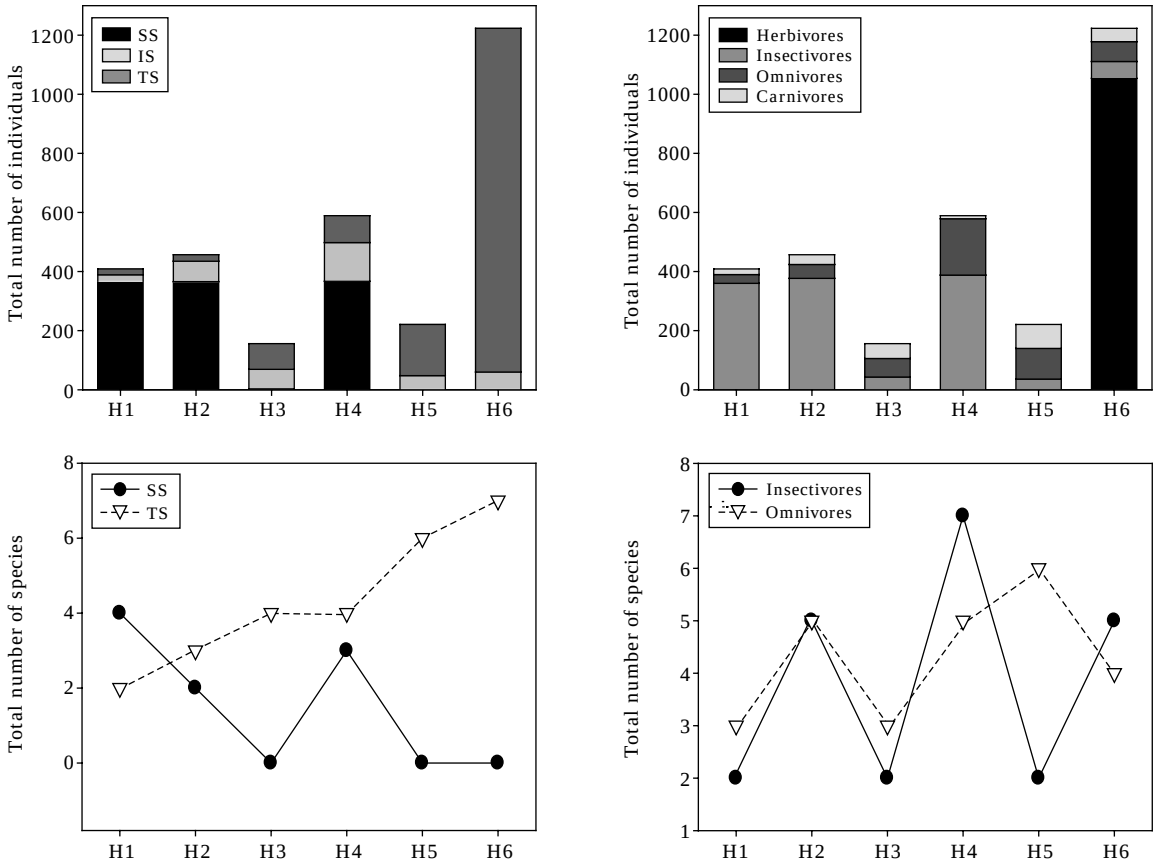

Fig. 4. Tolerance guilds and trophic guilds in Hyeongsan River watershed.

다. 잔가시고기는 물의 온도가 낮고 흐름이 거의 없거나 느린 곳에 주로 서식하며, 수초의 줄기 중간에 산란둥지를 짓기 때문에 서식지의 보호가 필요할 것으로 사료된다(이와 노, 2006). 잔가시고기가 처음 기재된 일본의 경우 이미 본종은 절멸된 것으로 보고되어(강 등, 2004), 본 종을 보호하기 위하여 여러 방안이 필요할 것으로 사료된다.

H6은 형산강 하류부로 하구의 특성을 반영하는 지점으로 17종 1,223개체가 채집되었고, 하구에서 서식하는 검정망둑(*Tridentiger obscurus*)과 회유성 어종인 숭어, 은어(*P. altivelis altivelis*)가 출현하였다(Table 1).

4. 어류의 군집 특성

형산강의 어류 군집 특성 분석 결과에 따르면, 1차 조사 종풍부도 지수(범위: 1.232～2.096)는 H2에서 2.096으로 가장 높게 나타났으며, 2차 조사 종풍부도 지수(1.074～3.282)에서는 H3에서 가장 높게 나타났다. 이는 유량증가에 의한 수질 향상과 인공보의 영향으로 사료되었다. 1차 조사에서 종다양도 지수는 H2에서 1.609로 높게 나타났고 2차 조사에서는 H3에서 2.275로 높게 나타났다. 1차 조사에서 H1은 종풍부도, 종균등도, 종다양도 지수가 가장 낮게 나타났으며 참갈겨니의 우점으로 군집

Table 2. Community analysis, based on the species richness index (d), evenness index (J′), species diversity index (H′), and dominance index (λ) in Hyeongsan River.

Sampling location		d	J′	H′	λ
1st survey	H1	1.232	0.3086	0.6416	0.7388
	H2	2.096	0.6474	1.609	0.3196
	H3	1.553	0.804	1.441	0.2467
	H4	2.086	0.4552	1.168	0.477
	H5	1.649	0.5561	1.222	0.4384
	H6	1.93	0.4398	1.093	0.5481
2nd survey	H1	2.318	0.3849	0.9565	0.618
	H2	1.074	0.2089	0.4066	0.8432
	H3	3.282	0.8031	2.275	0.1206
	H4	2.138	0.6829	1.752	0.272
	H5	1.544	0.5734	1.192	0.4434
	H6	1.611	0.2419	0.601	0.78

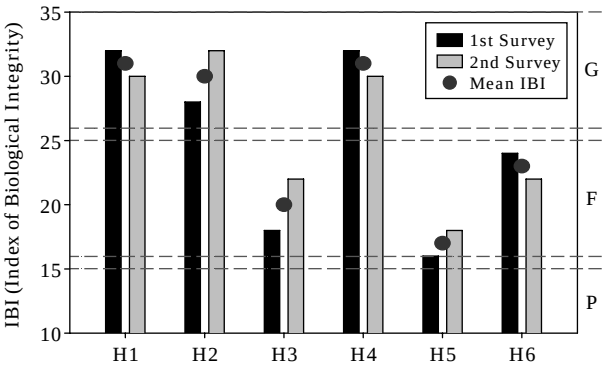

Fig. 5. Index of biological integrity (IBI) in Hyeongsan River watershed. The abbreviations are as follows: Excellent=E, Good=G, Fair=F, Poor=P.

우점도 지수가 가장 높게 나타났다(Table 2).

5. 어류의 다변수 IBI 모델 평가

형산강에서 채집된 어류를 이용하여 생물학적 건강도 지수(Index of Biological Integrity, IBI)를 산정하였고, 얻어진 자료는 환경부의 수생태계 건강성 조사 및 평가(2008)의 등급 평가기준에 의거하여 평가하였다.

형산강의 1, 2차 조사 결과 평균 25.4 (n=6)로 "보통상태" (C)로 나타났다. 1차 조사 결과 평균 25로 "보통상태" (C), 2차 조사 결과 평균 25.7로 "보통상태"(C)로 나타났다(Fig. 5). 지점별 분석결과 H1은 1, 2차 조사에서 각각 32, 30으로 "양호상태"(B)로 나타났고, H2 역시 각각 28, 32로 "양호상태"(B)로 나타났다. H3은 각각 18, 22로 "보통상태"로 나타났다. 이는 3차 하천으로 여울성 저서종수, 민감종수, 내성종의 개체수 비율의 감소로 낮게 나타났다. H4는 각각 32, 30으로 "양호상태"로 나타났고, H5는 각각 16, 18로 "보통상태"로 나타났다. H5 지점은 민감종수, 내성종, 충식종의 개체수 비율의 감소로 형산강 지점 중 가장 낮게 나타났다. H6 역시 각각 24, 22로 "보통상태"로 나타났으며, 숭어의 생장기로 치어가 대량으로 출현하였다. 전체적으로 본류 지점은 하류로 갈수록 건강성이 악화되는 것으로 나타났는데 이는 경주시를 관통하면서 수질이 악화되었고, 생활하수, 산업폐수 및 분뇨처리수가 유입되어 이와 같은 결과가 나타난 것으로 사료되었다(전 등, 1999; Moon *et al*., 2001).

적 요

본 연구는 형산강 수계 6개 지점을 선정하고, 2009년 4월과 9월에 조사를 실시하여 이·화학적 수질, 물리적 서식지 분석을 통하여 어류 분포특성 및 생태 건강도를 진단하였다. 생물통합지수(Index of Biological Integrity, IBI) 모델 분석은 국내 하천의 특성에 맞게 수정·보완하여 8개 다변수 메트릭 모델을 이용하였고, 물리적 서식지 평가지수(Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI)분석은 11개의 다변수 메트릭 모델을 적용하였다.

형산강의 1, 2차 생태 건강도 조사 결과 평균 25.4(n=6)로 "보통상태"(C)로 나타났다. 1차 조사 결과 평균 25로 "보통상태"(C), 2차 조사 결과 평균 25.7로 "보통상태"(C)로 나타났다. 물리적 서식지 평가 결과 최상류 H1에서 150.5로 "양호상태"(B)로 나타났으며, 하류인 H6에서 76으로 "보통상태"(C)로 나타나 하류로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 이·화학적 수질 분석은 형산강 수계의 환경부 수질 측정망 자료 중 2000년부터 2009년까지 10년간의 자료를 이용하여 분석하였다. 형산강의 지난 10년간 평균 BOD 값은 2.4 mg L^{-1} (범위: 0.3～13.8 mg L^{-1})로서 우리나라 수질기준(2010년 1월의 환경부 기준고시)에 의거할 때 II (약간 좋음) 등급을 보였고, COD 역시 큰 변이를 보이며 (범위: 0.6～12.8 mg L^{-1}), BOD와 유사한 경향을 보였다. TN의 평균값은 3.0 mg L^{-1} (범위: 0.3～10.4 mg L^{-1})이고, TN 역시 형산강이 경주시를 지나면서 TN이 증가한 후 감소하는 경향을 보였다. TP의 평균값은 103.5 μg L^{-1} (범위: 0～606 μg L^{-1})로 TN과 비슷한 양상을 보였다. SS는 7.5 mg L^{-1} (범위: 0.1～25.2 mg L^{-1})로 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. 전체적으로 본류 지점은 하류로 갈수록 건강성이 악화되는 것으로 나타났는데 이는 경주시를 관통하면서 수질이 악화되었고, 생활하수, 산업폐수 및 분뇨처리수가 유입되어 이와 같은 결과가 나타난 것으로 사료되었다.

인 용 문 헌

김영숙, 김영섭. 2004. 영일만 수질의 시, 공간 변동에 미치는 담수유입의 효과. 환경생물 **22**(1): 57-65.

김영철, 이동률, 황길순. 2005. 하구호 유입하천의 유역특성에 따른 장기대표 수질결정. 대한환경공학회지 **27**(3): 262-272.

김유표, 안광국. 2010. 형산강 수계의 수질특성. 한국하천호수학회지 **43**(1): 150-160.

김익수, 박종영. 2002. 한국의 민물고기. 교학사.

김익수, 최 윤, 이충렬, 이용주, 김병직, 김지현. 2005. 원색 한국어류대도감. 교학사.

나진성, 김상돈, 안광국, 장남익. 2005. 폐수처리장의 전 방류수 독성 평가 및 방류수 배출하천의 생지표도 영향분석. 대한환경공학회지 **27**(4): 353-361.

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

양홍준, 채병수. 1994. 형산강 하류수역의 어류상과 군집구조. 한국육수학회지 **27**(1): 23-32.

양홍준. 1979. 형산강산 잉어과 어류상. 한국수산과학회지 **12**(1): 65-70.

양홍준. 1982. 영남지역(낙동강, 형산강, 태화강)의 잉어과 어류에 관한 연구. 부산대학교 박사학위논문. 부산대학교, 41pp.

이완옥, 노세윤. 2006. 특징으로 보는 한반도 민물고기. 지성사.

이창수. 2008. 점오염원 유입이 형산강하류 수질변화에 미치는 영향. 한국환경과학회지 **17**(10): 1075-1080.

이창수. 2009. 형산강 하류 적조발생시 수질 및 수문학적 특성 검토. 한국환경과학회지 **18**(10): 1155-1162.

임완택. 1980. 형산강의 어류상에 관한 연구. 경북대학교 석사학위논문, 경북대학교.

장민호, 최기룡, 주기재. 2001. 울산지역(가지산) 상류하천의 어류군집. 한국육수학회지 **34**(3): 239-250.

전재인, 이동석, 이동철. 1999. 형산강 하구의 Ecosystem 연구 (2) -이화학적 수질 특성-. 환경관리학회지 **5**(2): 219-227.

전재인, 이동철. 2000. 형산강 하구의 Ecosystem 연구 (3) -기후적 요인-. 환경관리학회지 **6**(3): 323-332.

포항시 환경위생과. 1999. 환경백서. 412pp.

환경부. 2008. 수생태계 건강성 조사 및 평가 최종보고서. 국립환경과학원.

Allison, H.R., B.J. Freeman and M.C. Freeman. 2007. Riparian influences on stream fish assemblage structure in urbanizing streams. *Landscape Ecol* **22**: 385-402.

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, 2nd Ed., EPA 841-B-99-002. US EPA Office of Water, Washington, D.C., USA.

Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin* **56**: 275-370.

Judy, R.D., Jr. P.N. Seeley, T.M. Murray, S.C. Svirsky, M.R. Whitworth and L.S. Ischinger. 1984. National Fisheries Survey. Vol. 1. Technical Report : initial findings. United States Fish and Wildlife Service. FWS/OBS-84/06.

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

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

Moon, Y.H., J.M. Park, J.G. Son and K.H. Kim. 2001. Change in water quality on upper stream of Mankyeong River. *Kor. J. Environ. Agric.* **20**(3): 252-257.

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. 165pp.

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, D.C., 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 Transactions* **38**: 913-920

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, US EPA, Cincinnati, Ohio 45268, USA.

(Manuscript received 15 May 2010,
Revision accepted 20 June 2010)