

## 울산 하천 및 강에서의 어류서식 현황 및 8개 대표종의 이화학적 수질 내성범위

서진원\* · 임인수 · 김호준 · 이혜근

(한국수자원공사 수자원연구원)

Status of Fish Inhabitation and Distribution of Eight Abundant Species in Relation with Water Quality in Streams and Rivers, Ulsan City. Seo, Jinwon\*, In-Soo Lim, Hojoon Kim and Hye Keun Lee (Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea)

The objectives of the study were firstly to provide fundamental data for establishment of total maximum daily load (TMDL) management in Ulsan City, and secondly to make practical application of stream health assessment with tolerance range by each species when physiochemical and fish investigations were carried out together. A total of 44 sites in Taehwa River, Hoiya River, Dong Stream, and Cheongryang Stream were selected to monitor water qualities seasonally and fish investigation was performed in August 2006. Among the parameters of water quality, biological oxygen demand (BOD) and dissolved oxygen (DO) related to respiration, total nitrogen (T-N) and total phosphorus (T-P) related to nutrient and eutrophication, and total suspended solids (TSS) and NH<sub>4</sub>-N were compared with vertical box plot by 8 dominant species. According to the fish investigation, 12 families 33 species were found including endangered species (*Pungitius kaibarae*) and introduced species (*Lepomis macrochirus*, *Micropterus salmoides*), and appearance rate of Korean endemic species was greater in Taehwa River (29.2%) than others. As the results of tolerance range by species, *Zacco koreanus*, *Rhynchocypris oxycephalus*, *Iksookimia longicorpa*, and *Squalidus gracilis majimae* had limited low range by water quality parameters indicating preference of good water quality. Whereas, *Carassius auratus* and *Pseudorasbora parva* were found downstream and urban-streams which were exposed from frequent inflow of pollutants. It concludes that the results help distinguishing sensitive, intermediate, and tolerant species when we evaluate stream health assessment with fish, and further making practical application for conservation and restoration of aquatic ecosystem.

**Key words :** stream health assessment, fish, water quality, tolerance range

### 서 론

최근 수질과 생물을 상호 보완적으로 연구하는 통합적 수자원 관리 (integrated management of water resources)

가 제기되면서 수생생물에 대한 생태적 특성 및 생리·생화학적 영향을 살펴보기 시작하였다(Adams, 2002; Lee et al., 2003). 어류는 수생태계 내 최상위 포식자로서 수환경의 변화에 따라 다양한 반응을 보이며 단시간의 생리·생화학적인 반응을 통해 조직 및 기관내의 변화가

\*Corresponding author: Tel: 042) 870-7453, Fax: 042) 870-7499 E-mail: jinwonseo91@kwater.or.kr

결국 오래 지속되면 개체에 영향을 주어 장기적으로 개체군, 더 나아가 군집에까지 영향을 미치게 된다(McCarty and Munkittrick, 1996; Adams *et al.*, 2000). 이는 유해물질의 생물농축뿐만 아니라 독성물질에 의한 유전학적 변이까지 평가 할 수 있어, 각각의 단계별로 조사를 시행할 경우 수환경 내 오염원에 대한 원인 분석 및 영향 예측이 보다 용이해진다. 따라서 선진국에서는 어류를 이용한 다양한 환경영향평가와 생태위해성평가가 이미 보편화되어 널리 적용되고 있지만(U.S. EPA, 1996, 1999; Adams, 2002) 우리나라에는 최근에서야 시도되고 있는 실정이다(안 등, 2001).

최근 들어 수환경에 대한 생물학적 평가에 관심이 높아지면서 생물지표종을 이용한 하천 평가방법이 다양하게 시도되고 있다(안 등, 2001, 2006; 원 등, 2006; 황 등, 2006a, b). 과거 생물종을 배제한 이화학적 수질조사는 시공간적 변이가 커 얻은 실측치에 대한 불확실성이 높기 때문에 신뢰도 검증 및 수질 대표성에 대한 문제가 종종 거론되어 왔다(Barbour *et al.*, 1996; Yoder and Rankin, 1998; 공, 2002). 따라서 환경부에선 ‘물환경종합평가 방법 개발을 위한 조사연구(2003~2006년)’의 일환으로 어류를 포함한 부착조류, 저서성대형무척추동물을 활용한 ‘수생태계 건강성조사 및 평가’를 각 수계별 수질측정망 지점을 중심으로 실시하고 있다(환경부, 2007). 이를 통해 하천을 좀 더 생태학적인 측면에서 살펴보고 환경보전 및 복원을 위한 다양한 노력을 하고자 하는 것이다.

어류를 이용한 하천의 건강성 평가는 기본적인 어류분포조사와 더불어 이화학적 수질조사, 서식환경, 하상구조, 유량, 유속 등의 다양한 자료의 구축을 필요로 한다(Heins and Matthews, 1987; Matthews, 1998; Arthington *et al.*, 2000; Bunn and Arthington, 2002; 서, 2006; 서 등, 2007). 최근 들어 환경부에서 추진 중인 오염총량관리와 수생태계 건강성평가에 대한 국민적 인식이 증가하면서 지자체들이 앞 다투어 각 지방의 하천들을 대상으로 이화학적, 생물학적 조사를 통한 하천관리를 실시하고 있는 실정이다. 이와 같은 다양한 자료의 구축을 통한 통합적 수자원 관리는 하천의 건강성 평가뿐만 아니라 수생태계의 보전 및 복원사업의 효율적인 진행에 초석이 되리라 본다.

울산광역시에는 총면적 1,056.3 km<sup>2</sup>에 4개 구 46개 동, 1개 군 12개 읍·면으로 이루어져 있고, 지역 내 102개 국가 및 지방하천을 두고 있으며 수질관리는 태화강, 회야강, 동천 본류 위주로 진행되고 있어 지류인 소하천 수질관리가 매우 미흡한 실정이다. 울산지역 하천과 어류에

대한 연구는 양(1980, 1982)과 울산광역시(1997), 환경부(1997), 장 등(2001)이 태화강을 중심으로 한 담수어 연구를 비롯하여 한 등(2002)과 김 등(2003)이 울산연안 및 주변해역의 해산어 연구가 있으며, 안 등(2002)은 수공구조물이 하천환경에 미치는 영향에 관한 연구를 수질 및 생태학적 특성과 고려하여 연구하였다. 특히 태화강 어류에 대한 지역민의 관심은 최근 삼호교 하류의 누치 폐사와 더불어 태화강으로 돌아오는 연어의 회귀율 증가로 더욱 고조되어 있는 실정이다. 하지만 이들 연구뿐만 아니라 국내 대부분 어류관련 연구의 경우 조사지점에 대한 어류 종조성 위주의 자료로 구성되어 있고 간혹 현장에서의 수질조사 및 실험실로 운반된 시료의 수질측정 자료를 제시하고 있지만 어류종별 서식분포에 따른 이화학적 수질자료와의 연관성을 살펴본 것은 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 울산의 하천 및 강에서 이화학적 수질 조사와 더불어 어류 조사를 병행함으로써 어류서식 현황은 물론 각 수질항목별 대표어종의 수질 내성범위를 확인하여 어류를 이용한 하천의 건강성 평가 및 수생태계의 보전 및 복원을 위한 기초 자료로 활용하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지점 및 조사기간

본 연구에서 유역조사는 울산 태화강, 회야강, 동천 및 청량천의 본류로 유입되는 주요 소하천을 중심으로 태화강 31지점, 회야강 5지점, 동천 5지점, 청량천 3지점 등 총

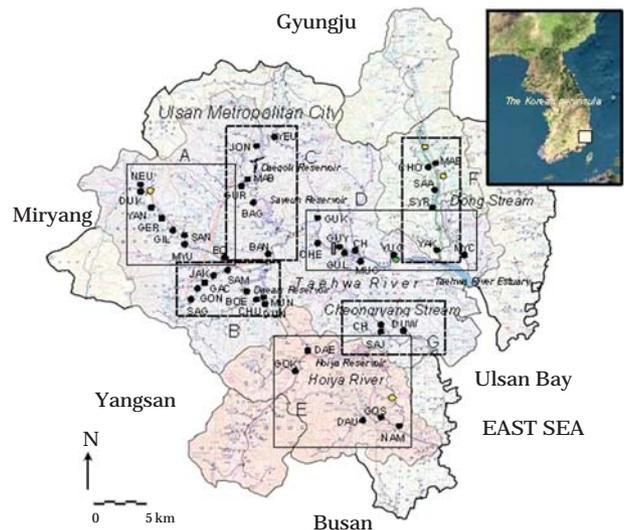


Fig. 1. The map showing sampling sites in Ulsan City.

44개 하천을 선정하여 조사하였으며, 어류조사지점은 수질 조사지점과 동일하였다(Table 1, Fig. 1). 이들 하천은 크게 31개의 농경지하천(70.5%)과 4개의 준도시하천(9.1%), 그리고 9개의 도시하천(20.4%)으로 구분되었고, 울산광역시로부터 외곽으로 멀어질수록 농경지하천 성향이 강하였고, 하천의 하류로 갈수록 점진적으로 준도시 또는

도시하천 성향이 확대되어 크게 대별되었다. 유역조사의 성과를 근간으로 하여 태화강, 회야강, 동천 및 청량천에 속해 있는 각각의 소유역을 전형적인 농촌보전지역과 도시화의 정도, 하천의 형태적 규모 및 차수를 고려하여 크게 7개(A, B, C, D, E, F, G) 중유역으로 나누었다(Fig. 1). 수질조사는 소하천 유역의 유량과 수질오염 특성 파악,

**Table 1.** Global positioning system (GPS) coordinates and stream types of sampling sites in Ulsan City.

	Stream name	Abbreviation	GPS coordinates	Stream type
Taehwa River (31 sites)	Deukhyun	DUK	N 35° 36'44.1" E 129° 03'10.8"	Rural
	Neungdong	NEU	N 35° 36'47.1" E 129° 04'07.4"	Rural
	Yangdeung	YAN	N 35° 35'51.7" E 129° 04'47.2"	Rural
	Geory	GER	N 35° 35'21.7" E 129° 04'24.6"	Rural
	Gilchun	GIL	N 35° 34'43.9" E 129° 05'43.3"	Rural
	Sanjeon	SAN	N 35° 34'07.0" E 129° 06'34.7"	Rural
	Myungchon	MYU	N 35° 33'59.0" E 129° 06'25.8"	Rural
	Unyang	EON	N 35° 33'08.0" E 129° 08'36.1"	Urban
	Sangchon	SAG	N 35° 31'08.1" E 129° 06'50.3"	Rural
	Gongam	GON	N 35° 31'39.4" E 129° 07'11.0"	Rural
	Gachon	GAC	N 35° 31'59.6" E 129° 07'33.0"	Rural
	Jaksu	JAK	N 35° 32'19.3" E 129° 08'10.2"	Rural
	Samdong	SAM	N 35° 32'30.3" E 129° 08'32.2"	Rural
	Moonsu	MUN	N 35° 31'06.0" E 129° 10'46.0"	Rural
	Chulgang	CHU	N 35° 31'00.6" E 129° 10'27.0"	Rural
	Boeun	BOE	N 35° 31'19.1" E 129° 09'54.5"	Rural
	Doongi	DUN	N 35° 31'05.9" E 129° 10'37.4"	Rural
	Banchon	BAN	N 35° 33'21.2" E 129° 11'09.8"	Rural
	Yeonhwa	YEU	N 35° 39'15.6" E 129° 11'52.4"	Rural
	Jeoneup	JON	N 35° 38'59.2" E 129° 10'37.0"	Rural
	Mabyung	MAB	N 35° 37'06.9" E 129° 10'01.3"	Rural
	Guryang	GUR	N 35° 36'58.2" E 129° 06'51.9"	Rural
	Bangkok	BAG	N 35° 35'57.7" E 129° 10'03.2"	Rural
	Guksu	GUK	N 35° 35'01.0" E 129° 14'04.3"	Rural
	Chonsang	CHE	N 35° 33'50.3" E 129° 14'12.6"	Semi-urban
	Guyoung	GUY	N 35° 33'59.0" E 129° 15'09.7"	Rural
	Gulhwa	GUL	N 35° 33'17.8" E 129° 15'36.1"	Urban
	Chokwa	CHK	N 35° 33'31.6" E 129° 16'15.8"	Rural
	Mugeo	MUG	N 35° 32'58.1" E 129° 16'43.7"	Urban
	Yugok	YUG	N 35° 32'58.8" E 129° 18'39.9"	Urban
	Myungchon	MYC	N 35° 33'27.3" E 129° 22'24.3"	Urban
Hoiya River (5 sites)	Gokchon	GOK	N 35° 27'15.9" E 129° 12'28.7"	Rural
	Daebok	DAE	N 35° 28'48.2" E 129° 13'07.4"	Semi-urban
	Daewoon	DAU	N 35° 24'49.1" E 129° 16'32.4"	Rural
	Gosan	GOS	N 35° 25'03.1" E 129° 17'06.1"	Rural
	Namchang	NAM	N 35° 24'23.6" E 129° 18'33.5"	Semi-urban
Dong Stream (5 sites)	Chongok	CHO	N 35° 37'40.9" E 129° 20'47.4"	Urban
	Maegok	MAE	N 35° 37'41.7" E 129° 20'53.9"	Urban
	Sangan	SAA	N 35° 36'21.4" E 129° 21'04.9"	Rural
	Sirye	SYR	N 35° 35'34.7" E 129° 20'51.6"	Semi-urban
	Yaksa	YAK	N 35° 33'18.0" E 129° 21'06.5"	Urban
Cheongryang Stream (3 sites)	Samchong	SAJ	N 35° 29'19.0" E 129° 17'41.0"	Rural
	Duwang	DUW	N 35° 29'38.7" E 129° 18'43.1"	Urban
	Cheongryang	CHR	N 35° 29'32.1" E 129° 17'37.5"	Rural

계절 및 강수량을 고려하여 2006년에 총 4회(2월, 5월, 8월, 10월)에 걸쳐 실시한 반면 어류조사는 8월에 실시하였다.

## 2. 조사방법

수질환경조사는 각 하천 및 강의 특성을 반영할 수 있는 최 하류 지점에서 채수하여 기초수질과 수중유기물, 수중 영양염, Chlorophyll-*a*, 용존유기물 분광특성, 중금속, 환경미생물을 조사하였다(울산지역환경기술개발센터, 2007). 그 중 일부 수질조사 결과를 활용하여 어류서식 현황 및 내성범위를 살펴보았는데, 대표적 수질환경 평가항목인 생물의 호흡과 관련된 BOD ( $\text{mg L}^{-1}$ )와 DO ( $\text{mg L}^{-1}$ ), 영양염 및 부영양화와 관련된 T-N ( $\text{mg L}^{-1}$ )과 T-P ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ), 기타 TSS ( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $\text{NH}_4\text{-N}$  ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) 등을 측정·분석하였다. DO는 YSI-550A meter로 각각 현장에서 직접 측정하였으며, BOD<sub>5</sub>, TSS는 채수한 시료를 실험실로 운반 후 Standard methods (APHA, 1995)와 Wetzel and Likens (2000)에 준하여 즉시 분석하였다. T-N,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , T-P 등의 항목은 Standard method (APHA, 1995)와 Rump and Krist (1988)의 실험 방법에 준하여 각각 분석하였다.

어류 조사방법은 각 조사지점에서 하천의 크기에 따라 30분에서 1시간 이내로 투망(망목 7×7 mm), 족대(망목 4×4 mm)를 선택적으로 사용하여 실시하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정하였고, 개체수 확인 후 즉시 놓아주

었으나 동정이 불가능한 개체나 표본 및 계측이 필요한 경우는 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실로 운반하여 김(1997), 김과 박(2002)에 의하여 동정하였다. 분류체계는 Nelson (1994)에 따라 정리하였다.

## 3. 자료 분석

이화학적 자료는 44개 지점을 크게 4개 그룹(태화강, 회야강, 동천, 청량천)으로 나누어 주요항목별 최소·최대 값과 평균, 표준오차를 가지고 비교하였다. 또한 8개 대표종을 대상으로 유사하게 출현지점의 수질자료를 이용하여 중앙값, 10, 25, 75, 90th 백분위수를 포함하는 vertical box plot을 활용하여 비교하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 수 질

계절별 수질조사 결과 최저수온은 2.0°C, 최고수온은 32.8°C로 나타났으며 평균수온은 태화강에서 17.1°C로 다른 하천들의 평균수온(18.0~19.0°C)에 비하여 낮은 값을 나타내었다(Table 2). 수온은 계절적인 영향에 따라 동계에 해당하는 2월 조사가 가장 낮았고 하계인 8월에 가장 높으며 하천별로 불규칙한 형태로서 차이가 컸다. 하지만 5월과 10월에는 하류로 갈수록 점진적으로 증가

**Table 2.** Mean values of discharge and water qualities measured in the each watershed.

		Water quality									
		Discharge ( $\text{m}^3 \text{sec}^{-1}$ )	Temp. (°C)	DO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Cond. ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	TSS ( $\text{mg L}^{-1}$ )	BOD <sub>5</sub> ( $\text{mg L}^{-1}$ )	COD <sub>Mn</sub> ( $\text{mg L}^{-1}$ )	T-N ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$\text{NH}_4\text{-N}$ ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	T-P ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
Taehwa River	Mean	0.073	17.1	9.6	245.2	7.3	2.8	5.3	3.51	509.2	132.1
	SE	0.087	8.0	2.8	149.3	39.4	3.8	6.9	2.84	1117.0	184.2
	Max	0.383	32.7	16.9	955.0	436.0	19.5	42.4	12.46	5020.6	938.9
	Min	0.001	2.0	0.6	45.8	0.0	0.4	0.9	0.07	8.5	1.0
Hoiya River	Mean	0.059	18.6	11.5	240.0	2.9	1.6	2.9	1.85	72.7	97.6
	SE	0.068	8.7	2.9	139.6	3.4	1.0	1.4	1.41	105.8	175.8
	Max	0.261	31.9	17.1	641.0	13.0	4.6	5.9	6.73	381.4	792.1
	Min	0.003	5.4	7.9	70.5	0.2	0.6	0.9	0.32	8.7	5.2
Dong Stream	Mean	0.087	18.0	8.4	388.9	20.8	15.7	27.2	7.43	2803.0	886.7
	SE	0.060	7.0	3.3	128.6	20.4	14.2	24.3	4.42	3029.2	1108.0
	Max	0.269	29.3	13.8	658.0	82.0	48.2	78.0	16.92	8609.2	3680.3
	Min	0.016	6.8	2.3	179.6	4.6	1.6	3.6	2.18	29.9	34.3
Cheonar- yang Stream	Mean	0.058	19.0	7.8	351.8	7.0	9.7	16.8	5.39	2362.7	658.7
	SE	0.059	8.4	4.4	190.9	8.4	12.7	22.3	6.23	3527.4	907.7
	Max	0.061	32.8	13.4	730.0	30.0	34.6	63.0	15.82	9715.0	2103.2
	Min	0.062	6.6	0.4	179.7	0.2	0.9	1.3	0.31	17.4	8.8

SE: Standard error, Max: Maximum, Min: Minimum

하는 양상을 보여 비교되었다.

용존산소는 수온이 높은 8월에도 5개 모든 지점에서  $7 \text{ mg L}^{-1}$  이상을 유지한 회야강에서 가장 높은 평균값( $11.5 \text{ mg L}^{-1}$ )을 나타냈으며 계절별 가장 낮은 평균용존산소( $2.3 \text{ mg L}^{-1}$ )를 나타낸 두왕천( $0.4 \sim 4.0 \text{ mg L}^{-1}$ ) 지점을 포함한 청량천( $7.8 \text{ mg L}^{-1}$ )에서 가장 낮았다. 44개의 조사지점 중 4개(유곡천:  $3.6 \text{ mg L}^{-1}$ , 명촌천:  $5.7 \text{ mg L}^{-1}$ , 약사천:  $4.3 \text{ mg L}^{-1}$ , 두왕천:  $2.3 \text{ mg L}^{-1}$ )의 조사지점을 제외한 나머지는 계절별 평균  $7 \text{ mg L}^{-1}$  이상을 유지하였다. 정체수역이 아닌 유수환경에서 용존산소가 낮다는 것은 수질상태가 매우 악화되었음을 의미하며 오염물질 유입 영향이 극심한 것을 볼 수 있었다.

전기전도도는 계절별로 살펴보았을 때 2월(평균  $315 \mu\text{S cm}^{-1}$ )에 가장 높고 8월( $242 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) 조사에서 가장 낮은 평균값을 나타내었고, 하천별로 태화강의 덕현천에서 계절별 최소평균  $63.0 \mu\text{S cm}^{-1}$ , 공암천에서 최대평균  $609 \mu\text{S cm}^{-1}$  등 매우 큰 차이를 보였다. 비록 2월에 태화강의 삼동천( $955 \mu\text{S cm}^{-1}$ )과 공암천( $874 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) 지점에서 매우 높게 나타났지만, 동천과 청량천의 모든 지점들에 있어서 계절별 평균이  $200 \mu\text{S cm}^{-1}$ 이 넘는 높은 값을 보여 태화강이나 회야강 평균 전기전도도보다 높았다.

수중에 포함된 모든 부유물질의 총량을 의미하는 TSS는 계절별로 대부분 지점에서 높은 값을 보인 동천에서 가장 평균값( $20.8 \text{ mg L}^{-1}$ )이 높았고, 다른 하천에서는 지점별 큰 차이를 보였지만 상대적으로 낮은 평균값( $2.9 \sim 7.3 \text{ mg L}^{-1}$ )을 나타내었다. 이는 일부 조사지점에서 특정시기에 높은 총 부유물질 값을 보인 반면 대부분의 경우 낮은 값을 나타낸 것을 의미한다. 전체 조사지점 중 총부유물질 함량이  $10 \text{ mg L}^{-1}$  이하인 경우는 2, 5, 8, 10월에 각각 37, 42, 37, 36개 지점이었고,  $20 \text{ mg L}^{-1}$  이상인 경우는 각각 3, 1, 2, 6개 지점이었다.

용존산소와 연계된 생물학적·화학적 산소요구량(BOD, COD)도 역시 동천에서 다른 하천들에 비해 최대 8배 이상 높은 평균값을 보였다. 특히 회야강 모든 지점에서 다른 하천에 비해 상대적으로 낮게 나타났다. 이 중 조사된 BOD 결과를 국내수질기준처럼 매우 좋음 Ia ( $1.0 \text{ mg L}^{-1}$  이하), 좋음 Ib ( $2.0 \text{ mg L}^{-1}$  이하), 약간 좋음 II ( $3.0 \text{ mg L}^{-1}$  이하), 보통 III ( $5.0 \text{ mg L}^{-1}$  이하), 약간 나쁨 IV ( $8 \text{ mg L}^{-1}$  이하), 나쁨 V ( $10 \text{ mg L}^{-1}$  이하), 매우 나쁨 VI ( $10 \text{ mg L}^{-1}$  초과)으로 적용할 때 갈수기인 5월에 약간 좋음 II등급까지의 수질환경을 갖는 지점수(29개, 66%)가 가장 적었고, 8, 10월에 각각 전체 지점수의 약 75% 이상에서 약간 좋음 II등급에 해당하는 BOD를 보였다.

수중 영양염에 해당하는 총질소(T-N), 암모니아성 질

소( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), 총인(T-P)의 계절별 지점내 농도를 살펴본 결과 앞선 결과와 같이 동천에서 모두 가장 높은 평균값을 나타내었다. 총질소의 농도에 따라 빈영양(Oligotrophic,  $0.7 \text{ mg L}^{-1}$  이하), 중영양(Mesotrophic,  $0.7 \sim 1.5 \text{ mg L}^{-1}$ ), 부영양(Eutrophic,  $1.5 \text{ mg L}^{-1}$  초과)으로 구분되어 있는데 갈수기인 5월에 37개 지점이 Eutrophic에 해당하였고 장마 후 8월에 23개 지점에서만 Eutrophic에 해당하였다(Dodds *et al.*, 1998). 지점에 따라 최소  $0.07 \text{ mg L}^{-1}$  (10월 태화강의 출강천)부터 최대  $16.92 \text{ mg L}^{-1}$  (2월 동천의 매곡천)까지 약 240배 가량 농도 차이를 보였다. 총질소 중 암모니아성 질소가 지점별로  $8.5 \sim 9,715 \mu\text{g L}^{-1}$ 와 같이 매우 큰 차이를 나타내었다. 동천과 청량천에서 높은 평균값을 보인 반면 회야강에서는 상대적으로 매우 낮은 평균값을 보였다. 이때 8월 조사시 청량천의 두왕천 지점에서 가장 높은 암모니아성 질소값( $9,715 \mu\text{g L}^{-1}$ )을 나타내었는데, 이 당시 수온은  $30.1^\circ\text{C}$ , pH 7.6으로서 암모니아성 질소 중 독성이 있는 비이온화-암모니아성 질소(unionized ammonia,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ) 비율이 3.1%인  $301 \mu\text{g L}^{-1}$ 에 해당되게 된다(Boyd and Tucker, 1998). 만일 이 지점이 한낮에 수온  $32^\circ\text{C}$ , pH가 9.0까지 상승한다면  $\text{NH}_3\text{-N}$  비율이 49%에 해당하여 독성 비이온화-암모니아성 질소 농도값이  $4,760 \mu\text{g L}^{-1}$ 에 해당되어 단기간 내(48~96시간) 일반 어류의 폐사를 일으킬 수 있는  $3,000 \mu\text{g L}^{-1}$ 를 초과해 문제를 야기시킬 수 있다. 또한 이 지점에서의 용존산소가 당시  $0.4 \text{ mg L}^{-1}$ 밖에 되지 않아 어류에 대한 스트레스 영향은 더욱더 가중될 것으로 사료된다. 총인의 경우 최소  $1.0 \mu\text{g L}^{-1}$  (2월 태화강의 둔기천)부터 최대  $3680.3 \mu\text{g L}^{-1}$  (10월 동천의 천곡천)까지 매우 큰 차이를 보였으며 평균값의 경우 동천이 회야강의 9배 정도 가장 높았다. 또한 총질소와 같이 농도에 따라 빈영양(Oligotrophic,  $25 \mu\text{g L}^{-1}$  이하), 중영양(Mesotrophic,  $25 \sim 75 \mu\text{g L}^{-1}$ ), 부영양(Eutrophic,  $75 \mu\text{g L}^{-1}$  초과) (Dodds *et al.*, 1998)로 구분되어 있는데 계절별로 38.6~45.5%에 해당하는 지점들이 Eutrophic에 해당하였다. 이러한 결과를 토대로 대부분의 수중 영양학적 상태는 매우 부영양화된 상태로 볼 수 있었다.

## 2. 어류상

본 연구에서 조사된 어류는 총 12과 33종 1,838개체로서 각 그룹별로 살펴보면 다음과 같다.

### 1) 태화강

태화강 31개 지점을 선정하여 조사한 결과 총 9과 24종 1,245개체의 서식을 확인할 수 있었다(Table 3). 잉어

**Table 3.** A list of fish species and numbers of individuals caught from the sampling sites, Ulsan City.

Species	Abb.	Taehwa R.	Hoiya R.	Dong S.	Cheongryang S.	Total	Remark
		31 sites	5 sites	5 sites	3 sites		
<b>Anguillidae</b>							
<i>Anguilla japonica</i>	Aj	1				1	
<b>Cyprinidae</b>							
<i>Cyprinus carpio</i>	Cc			4		4	
<i>Carassius auratus</i>	Ca	11	7	102	8	128	
<i>Rhodeus uyekii</i>	Ru	8		2	33	43	K
<i>Acanthorhodeus macropterus</i>	Am	11		17	1	29	
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pp	23	6	37	23	89	
<i>Pungtungia herzi</i>	Ph		5		3	8	
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	Sg	73	24	3		100	K
<i>Hemibarbus labeo</i>	Hl	12				12	
<i>Tribolodon hakonensis</i>	Th		7			7	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	Ro	263	24	110		397	
<i>Zacco koreanus</i>	Zk	500	60		12	572	K
<i>Zacco platypus</i>	Zp	65	21	31		117	
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	Ou			3		3	
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	He	11				11	K
<b>Cobitidae</b>							
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	Ma	5				5	
<i>Misgurnus mizolepis</i>	Mm	6				6	
<i>Iksookimia longicorpa</i>	Il	62	2		2	66	K
<i>Cobitis sinensis</i>	Cs	2				2	
<b>Siluridae</b>							
<i>Silurus asotus</i>	Sa			2		2	
<b>Amblycipitidae</b>							
<i>Liobagrus mediadiposalis</i>	Lm	1				1	K
<b>Osmeridae</b>							
<i>Plecoglossus altivelis</i>	Pa				3	3	
<b>Mugilidae</b>							
<i>Mugil cephalus</i>	Mc	4	5			9	
<b>Adrianichthyoidae</b>							
<i>Oryzias latipes</i>	Ol				1	1	
<b>Gasterosteidae</b>							
<i>Pungitius kaibarae</i>	Pk	16				16	E
<b>Odontobutidae</b>							
<i>Odontobutis platycephala</i>	Op	13				13	K
<b>Gobiidae</b>							
<i>Chaenogobius urotaenius</i>	Cu	15				15	
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	Af	1	2			3	
<i>Rhinogobius brunneus</i>	Rb	135	20	3	4	162	
<i>Tridentiger bifasciatus</i>	Tb		1			1	
<b>Channidae</b>							
<i>Channa arga</i>	Ca			1		1	
<b>Centrarchidae</b>							
<i>Lepomis macrochirus</i>	Lm	3			1	4	I
<i>Micropterus salmoides</i>	Ms	4	1		2	7	I
Number of family		9	5	4	6	12	
Number of species		24	14	12	12	33	
Number of individual		1,245	185	315	93	1,838	

Abb.: Abbreviation, E: Endangered species, K: Korean endemic species, I: Introduced species

과 어류가 10종으로 가장 높은 출현율(41.7%)을 나타냈으며, 다음으로 미꾸리과 어류가 4종(16.7%)으로 나타났다. 그 외 기타 분류군들은 1~3종씩의 출현을 확인할 수 있었다. 이 중 한국고유종은 각시붕어 외 6종(29.2%)이 조사되었으며 외래도입종은 블루길과 배스 2종(8.3%)이 조사되었다. 총 24종 중 가장 높은 출현율을 보인 어종은 참갈겨니(40.2%)로 나타났으며, 버들치(21.1%), 긴물개(5.9%), 피라미(5.2%), 왕종개(5.0%) 등의 순으로 나타났다. 참갈겨니, 버들치, 왕종개의 경우 상류역에 서식하는 것으로 알려진 종으로 태화강 조사지점 다수가 상류역에 위치에 있어 높은 출현율을 나타냈다. 한편 무거천에서 조사된 문질망둑과 명촌천에서 조사된 송어의 경우 기수역에 서식하는 어종으로, 하절기 집중 강우에 따른 유량 증가 시 본류에서 유입된 것으로 판단되며, 언양천에서 조사된 뱀장어의 경우도 본류에서 유입된 것으로 판단된다. 또한 본 조사에서는 외래어종으로 한국고유종 및 토착어종의 서식에 영향을 끼쳐 환경부에서 위해성 어종으로 지정하여 관리하고 있는 배스와 블루길의 서식을 확인할 수 있었다. 특히 태화강 유역 조사지점 중 양동천과 산전천에서는 환경부에서 개체수 감소에 따른 종 보호를 위해 멸종위기야생동·식물 II급으로 지정한 잔가시고기가 16개체 조사되었다. 잔가시고기는 동해안으로 흐르는 하천 중·상류와 형산강과 낙동강의 지류인 금호강에서 일부 서식하는 것으로 알려져 있으며, 맑은 하천 종류의 돌 틈, 바위, 수초가 많은 지역에 서식하는 종으로 개체수 감소에 따른 보호 대책이 요구된다.

## 2) 회야강

회야강 유역 5지점을 선정하여 조사한 결과 총 5과 14종 185개체의 서식을 확인할 수 있었다(Table 3). 각 분류군별 출현율을 살펴보면 잉어과 어류가 8종(57.1%)으로 가장 높은 출현율을 보였으며, 다음으로 망둑어과 어류가 3종(21.4%)으로 확인되었다. 그 외 기타 분류군들은 1종씩의 출현을 확인할 수 있었다. 이 중 한국고유종은 긴물개와 참갈겨니, 왕종개 총 3종(21.4%)이 조사되었고, 외래도입종은 배스 1종이 조사되었다. 조사된 어종 중 가장 높은 출현율을 보인 어종은 참갈겨니(32.4%)로 나타났으며, 다음으로 긴물개와 버들치(13.0%), 피라미(11.4%), 그 외 종(0.5~10.8%) 등의 순서로 나타났다. 회야강 유역 역시 태화강 유역과 같이 상류에 주로 서식하는 참갈겨니와 버들치가 높은 출현율을 보였으며, 기수역과 인접한 남창천에서는 기수역에 서식하는 황어, 송어, 문질망둑이 조사되었다. 한편 회야강 유역에서도 위해성 어종으로 지정된 배스가 남창천에서 1개체가 조사되었다.

## 3) 동천

동천 유역 5지점을 선정하여 조사한 결과 총 4과 12종 315개체의 서식을 확인할 수 있었다(Table 3). 잉어과 어류가 9종으로 가장 높은 출현율(75%)을 나타냈으며, 메기과, 가물치과, 망둑어과 어류가 각 1종씩의 출현을 보였다. 이 중 한국고유종은 각시붕어와 긴물개 2종(16.7%)이 출현하였다. 조사된 어종 중 가장 높은 출현율을 보인 어종은 버들치(34.9%)로 나타났으며, 붕어(32.4%), 참붕어(11.7%), 피라미(9.8%), 기타 어종(0.3~5.4%) 등의 순으로 나타났다.

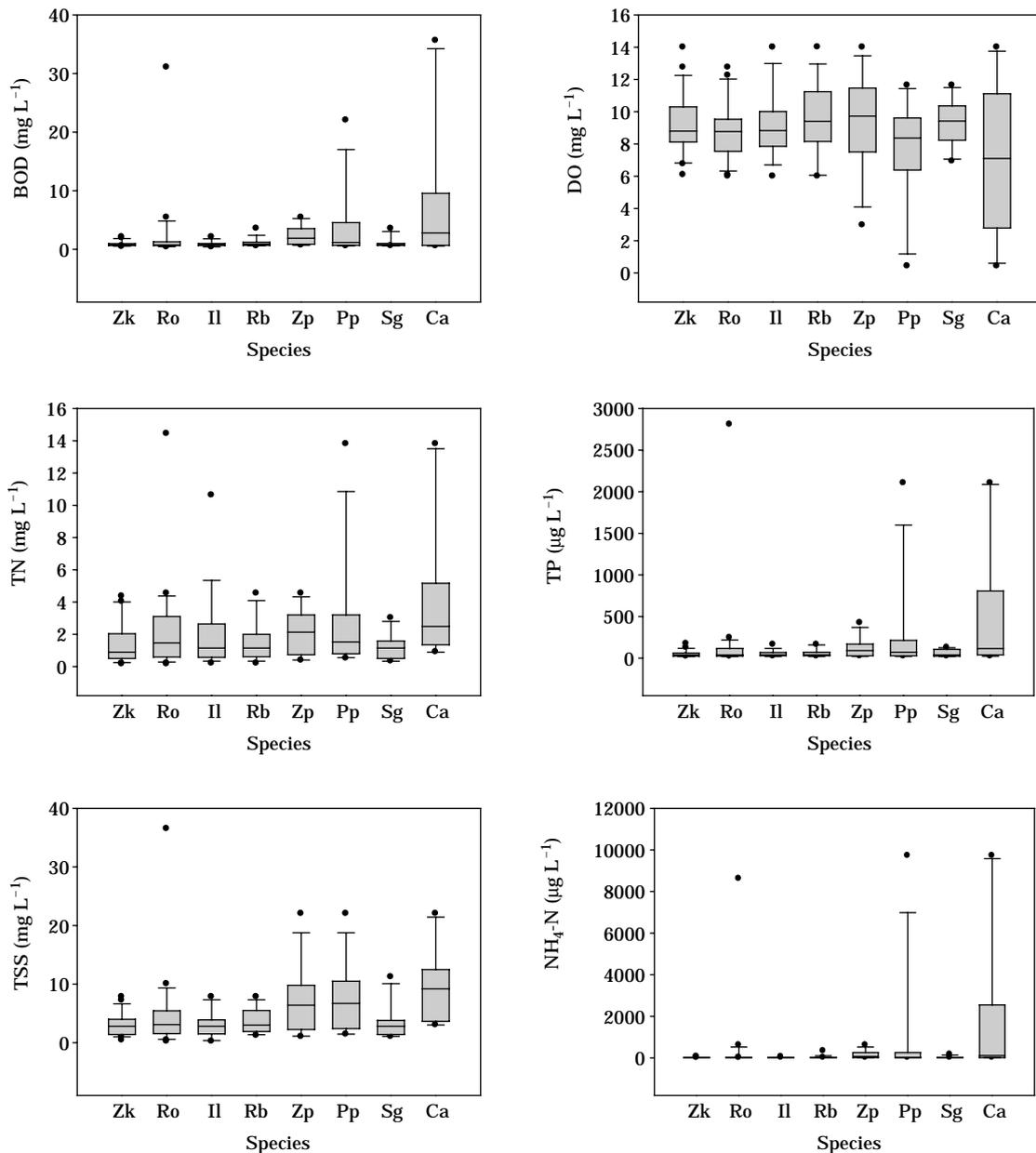
## 4) 청량천

청량천 유역 3지점을 선정하여 조사한 결과 총 6과 12종 93개체의 서식을 확인할 수 있었다(Table 3). 잉어과 어류가 6종으로 가장 높은 출현율(50.0%)을 보였으며, 다음으로 검정우럭과가 2종(16.7%)으로 나타났다. 그 외 다른 어류들은 1종씩의 출현을 확인할 수 있었다. 이 중 한국고유종은 각시붕어와 참갈겨니, 왕종개 3종(25.0%)이 조사되었고 외래도입종은 배스와 블루길 2종(16.7%)이 조사되었다. 어종 중 가장 높은 출현율을 보인 어종은 각시붕어(35.5%)로 나타났으며, 다음으로 참붕어(24.7%), 참갈겨니(12.9%), 붕어(8.6%), 기타 어종(1.1~4.3%) 등의 순으로 나타났다. 특히 두왕천의 경우 다른 하천보다 상대적으로 수질악화(DO: 0.4 mg L<sup>-1</sup>, BOD: 22.0 mg L<sup>-1</sup>, T-N: 13.8 mg L<sup>-1</sup>, NH<sub>4</sub>-N: 9.7 mg L<sup>-1</sup>, T-P: 2.1 mg L<sup>-1</sup>)가 심각하였으며 출현한 4종(붕어: 8개체, 각시붕어: 33개체, 참붕어: 19개체, 송사리: 1개체) 대부분이 하천의 건강성 평가 시 내성종으로 분류되어 있어 이를 잘 반영하였다.

## 3. 울산 하천 및 강에서의 수질환경에 따른 어류의 수질 내성범위

본 연구에서 조사된 33종 가운데 총 44개 지점 중 10개 지점 이상 출현을 확인한 8종(참갈겨니, 버들치, 왕종개, 밀어, 피라미, 참붕어, 긴물개, 붕어)에 대해 당시 측정된 주요 수질항목(BOD, DO, TN, TP, TSS, NH<sub>4</sub>-N)과 관련하여 그 서식범위를 살펴보았다(Fig. 2). 이들 종은 또한 전체 어류상에 있어서 포획된 개체수가 가장 많은 8종에 해당하기도 하였다. 종별로 출현지점에 해당하는 각각의 수질항목별 내성범위 패턴은 크게 3개의 그룹으로 구별되었다.

첫 번째 그룹에 해당하는 참갈겨니와 왕종개, 긴물개의 경우 출현된 지점의 평균 BOD는 1.0 mg L<sup>-1</sup> 이하로서 하천수질기준의 1a(매우 좋음) 등급에 서식하는 어종으



**Fig. 2.** Range of fish inhabitation by water quality with vertical box plot indicating median, 10, 25, 75, and 90th percentiles as vertical boxes with error bars.

로 확인되었다. 수중 내 용존산소 역시 3종 모두 최소 6.0 mg L<sup>-1</sup> 이상 측정되는 지점 (평균 9 mg L<sup>-1</sup> 이상)에서만 확인되어 BOD 내성범위와 연관된 결과를 보였다. 버들치의 경우 총 22개 발견 지점 중 동천의 3개 지점 (3.5, 5.4, 31.1 mg L<sup>-1</sup>)을 제외하면 대체적으로 낮은 BOD (평균 0.8 mg L<sup>-1</sup>)값과 높은 용존산소 범위를 나타내었지만 동천의 매곡천 지점에서와 같이 매우 높은 BOD값 (31.1 mg L<sup>-1</sup>)을 보인 지점에서도 67개체나 출현을 하였다. 이

를 통해 버들치가 하천의 중·상류 이상에서 주로 서식하는 계류성 어종이긴 하지만 BOD값을 기준으로 1급수의 환경에서만 산다는 것은 무리한 해석일 수 있다는 것을 확인하였다(안 등, 2006; 환경부, 2007). 수중의 영양염과 부영양화와 관련된 총질소와 총인의 경우 최대값을 보인 매곡천 지점 (T-N: 14.42 mg L<sup>-1</sup>, T-P: 2.81 mg L<sup>-1</sup>)을 제외하면 4종 모두 평균 1.0~1.5 mg L<sup>-1</sup> T-N, 0.05~0.1 mg L<sup>-1</sup> T-P의 범위를 나타내어 호소수질기준 적용 시 나

**Table 4.** Mean, minimum, and maximum of water qualities on sites found 8 abundant species.

Species	AF		DO (mg L <sup>-1</sup> )	pH	Cond. ( $\mu$ S cm <sup>-1</sup> )	Turbidity (NTU)	TSS (mg L <sup>-1</sup> )	BOD <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	COD <sub>Mn</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	T-N (mg L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> -N ( $\mu$ g L <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> -N ( $\mu$ g L <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> -N ( $\mu$ g L <sup>-1</sup> )	T-P ( $\mu$ g L <sup>-1</sup> )	Chl- <i>a</i> ( $\mu$ g L <sup>-1</sup> )
Zk	23	Min	6.1	7.2	72.2	0.7	0.4	0.4	1.4	0.15	13.3	8.8	0.7	21.7	0.8
		Max	14.0	9.4	330.0	4.6	7.8	2.1	4.2	4.35	64.9	1,312.4	260.3	172.7	31.8
		Mean	9.2	8.2	182.6	1.8	3.1	0.9	2.3	1.47	21.3	530.2	16.3	51.5	5.4
Ro	22	Min	6.0	7.1	67.6	0.4	0.2	0.4	1.4	0.15	12.9	8.8	0.7	21.7	0.4
		Max	12.7	9.4	451.0	18.5	36.5	31.1	48.8	14.42	8,609.2	1,312.4	371.2	2,806.0	36.5
		Mean	8.8	8.0	189.0	3.1	5.0	2.5	4.8	2.26	455.4	609.5	41.1	190.1	7.1
Il	17	Min	6.0	7.2	67.6	0.4	0.2	0.4	1.4	0.20	12.9	8.8	0.7	22.1	0.4
		Max	14.0	9.4	258.0	4.4	7.8	2.1	3.7	4.02	48.9	1,312.4	371.2	161.5	31.8
		Mean	9.1	8.3	181.0	1.6	2.9	1.0	2.3	1.47	20.9	514.9	25.7	52.9	5.6
Rb	17	Min	6.0	7.2	135.1	0.7	1.2	0.5	1.5	0.20	12.9	8.8	0.7	22.1	0.6
		Max	14.0	9.4	330.0	4.6	7.8	3.5	5.5	4.53	390.5	1,290.3	371.2	161.5	26.9
		Mean	10.8	8.4	201.3	2.1	3.9	1.4	2.2	1.98	47.7	417.6	43.1	68.1	6.2
Zp	12	Min	3.0	7.6	171.7	0.7	1.0	0.7	1.7	0.37	16.2	128.0	2.0	23.5	1.3
		Max	14.0	8.9	506.0	21.0	22.0	5.4	8.5	4.53	613.9	1,297.0	260.3	423.1	37.9
		Mean	9.4	8.1	250.0	5.4	7.0	2.4	4.2	2.11	142.6	609.8	61.3	122.0	12.8
Pp	12	Min	0.4	7.5	147.9	0.7	1.4	0.5	1.5	0.50	13.3	2.0	1.8	22.3	0.8
		Max	11.6	8.8	526.0	21.0	22.0	22.0	41.4	13.80	9,715.0	1,281.3	187.0	2,103.2	37.9
		Mean	7.7	8.0	286.9	5.4	7.2	3.6	7.0	2.86	910.8	516.9	33.9	275.8	8.7
Sg	11	Min	6.9	7.8	142.5	0.7	1.4	0.7	1.6	0.37	14.2	128.0	2.5	22.1	1.0
		Max	11.0	9.4	235.0	2.8	5.6	1.0	2.7	1.59	28.3	459.8	8.6	106.2	5.6
		Mean	9.3	8.4	188.8	2.2	3.4	1.0	2.5	1.19	32.0	407.4	9.6	58.3	6.1
Ca	10	Min	0.4	7.5	159.8	1.0	3.0	0.5	1.5	0.90	12.9	2.0	1.8	22.3	0.8
		Max	14.0	8.9	526.0	21.0	22.0	35.6	58.0	13.80	9,715.0	879.3	187.0	2,103.2	37.9
		Mean	7.2	8.0	320.5	7.8	9.6	7.7	13.4	4.09	1928.8	507.7	38.0	510.5	13.5

AF: Appearance frequency

뽕 V과 약간 나뽕 IV에 해당하게 된다. 총 부유물의 경우 4종 모두 발견된 조사지점에서 10 mg L<sup>-1</sup> 이하(매곡천의 버들치 예외)로 측정되어 매우 좋음 Ia 등급에 해당하였다.

두 번째 그룹에 해당하는 밀어와 피라미의 경우 비교적 낮은 BOD(각각 평균 1.4, 2.4 mg L<sup>-1</sup>)값과 높은 용존산소(각각 평균 10.8, 9.4 mg L<sup>-1</sup>)량을 나타내었다. 하지만 피라미의 경우 태화강의 명촌천과 같이 낮은 용존산소(3.0 mg L<sup>-1</sup>)를 나타낸 곳에서도 출현하여 넓은 용존산소 내성범위를 가짐을 알 수 있었다. 총 부유물에 있어서 피라미의 경우 참붕어와 붕어와 유사하였지만 나머지 수질항목에 있어서 밀어와 함께 첫 번째 그룹과 유사하였다.

세 번째 그룹에 해당하는 참붕어와 붕어는 낮은 농도의 BOD(0.5 mg L<sup>-1</sup>)와 높은 용존산소량(참붕어 11.6 mg L<sup>-1</sup>, 붕어 14.0 mg L<sup>-1</sup>)을 보인 지점에서도 출현하였지만, 용존산소가 최소 0.4 mg L<sup>-1</sup>인 청량천의 두왕천 지점에서도 이들 두 종 모두 확인되었고 특히 붕어는 8종 중

가장 높은 평균 BOD값(7.7 mg L<sup>-1</sup>)을 보여 이들 두 종이 대표적인 내성종을 확인하였다. 이뿐만 아니라 다른 수질항목도 매우 폭넓은 내성범위를 보였으며 평균값들도 위의 두 그룹보다 높게 나타났다.

환경부에서 추진중인 “수생태계 건강성조사 및 평가”에서 어류를 이용한 생물학적 물환경 평가 시 사용되는 항목 중 하나가 내성도이다(환경부, 2007). 이는 종별로 과거 어류도감 자료와 최근 전문가 협의를 근거로 하여 민감종(sensitive), 중간종(intermediate), 내성종(tolerant species)으로 구별하여 민감종의 종수와 내성종 개체수 비율을 가지고 하천차수에 따라 메트릭 3과 4를 산정하도록 되어 있다. 현재까지 환경부에서 결정된 내용과 본 연구에서 나타난 수질 내성분포를 비교해 보면 민감종으로 선정된 참갈겨니와 긴물개, 내성종으로 선정된 피라미, 참붕어, 붕어는 비교적 잘 일치하였다. 또한 일부 영양염 농도가 매우 높은 지점에서도 확인된 버들치의 경우도 일치한다고 볼 수 있다. 하지만 중간종으로 선정된 왕중개와 밀어의 경우 본 연구에서 수질항목별로 다

른 민감종들과 매우 유사하거나 더 좋은 내성범위를 갖는 결과를 나타낸 만큼 앞으로 더 많은 연구가 수행되어 검증해야할 필요성이 있다.

## 적 요

본 연구는 울산광역시의 오염총량관리계획을 수립하기 위한 기초자료를 제시하고자 소하천을 중심으로 이화학적 수질조사와 더불어 어류조사를 병행하여 각 수질항목별 대표어종의 수질 내성범위를 확인하여 어류를 이용한 하천의 건강성 평가 기초자료로 활용하고자 하였다. 현장 조사는 태화강, 회야강, 동천 및 청량천에서 총 44개 지점을 선정하여 수질조사는 계절별로, 어류는 8월에 실시하였으며 수질항목 중 생물의 호흡과 관련된 BOD와 DO, 영양염 및 부영양화와 관련된 T-N, T-P, 기타 TSS와 NH<sub>4</sub>-N 등을 출현율이 높은 8개 대표어종별로 vertical box plot을 활용하여 비교하였다. 어류조사 결과, 태화강은 9과 24종, 회야강은 5과 14종, 동천은 4과 12종, 청량천은 6과 12종으로서 전체적으로 멸종위기종인 잔가시고기와 외래도입종인 블루길, 배스를 포함한 총 13과 33종이 확인되었으며 태화강이 가장 높은 한국고유종 출현율(29.2%)을 보였다. 출현율이 높은 8개 어종별 서식이 확인된 지점의 수질을 기본으로 내성범위를 살펴본 결과, 참갈겨니, 버들치, 왕중개, 긴물개는 각 항목별로 제한적인 내성범위를 보이며 양호한 수환경을 선호하는 것으로 나타난 반면 참붕어와 붕어는 오염물질 유입이 빈번한 하류지역 및 도심형하천에도 서식이 가능한 것으로 확인되었다. 이를 통해 어류를 이용한 생물학적 평가 시 사용되는 항목 중 하나인 내성도를 살펴볼 때 좀 더 객관적인 자료를 토대로 민감종과 중간종, 내성종으로 구별하여 하천의 건강성 평가 및 수생태계 보전 및 복원을 위한 기초자료로 활용되리라 사료된다.

## 사 사

본 연구는 2005년 울산지역환경기술개발센터의 환경기술연구개발사업(과제번호: 05-2-30-33)에 의해 수행되었음.

## 인 용 문 헌

공동수. 2002. 생물학적 수질기준 설정 필요성 및 접근방안. 환

경생물 20: 28-49.

김 성, 유재명, 이은경. 2003. 울산 주변해역에서 채집된 여덟동가리 (*Goniistius quadricornis*) 후기자어의 외부형태. 한국어류학회지 15: 189-192.

김익수. 1997. 한국동식물도감, 제37권 동물편(담수어류). 교 육부.

김익수, 박종영. 2002. 한국의 민물고기, 교학사.

서진원. 2005. 감천 중·상류역의 어류상과 갈겨니 (*Zacco tem-mincki*) 개체군의 생태학적 특성. 한국어류학회지 38(2): 196-206.

서진원. 2006. 어류를 이용한 다양한 수환경평가. 한국수자원학회지 물과 미래, 39: 67-71.

서진원, 홍영표, 김정근, 박상영, 김기형. 2007. 금강에서의 유랑변동과 어류상 변화. 한국수자원학회 2007년 학술발표회.

안광국, 염동혁, 이성규. 2001. 생물보전지수의 신속한 생물평가 기법을 이용한 갑천 수계의 평가. 한국어류학회지 19(4): 261-270.

안광국, 이재연, 배대열, 김자현, 황순진, 원두희, 이재관, 김창수. 2006. 우리나라 주요하천 수계에서 다변수모형을 이용한 생태학적 수환경평가. 한국물환경학회지 22: 796-804.

안승섭, 최윤영, 이수식. 2002. 수공구조물이 하천환경에 미치는 영향에 관한 연구(II): 수질 및 생태학적 특성. 한국환경과학회지 11: 309-317.

양홍준. 1980. 태화강의 어류상에 관하여. 경북대학교 논문집 29: 419-424.

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

울산광역시. 1997. 울산광역시 환경오염조사 및 환경중기 종합계획수립-생태계분야, p. 107-196.

울산지역환경기술개발센터. 2007. 울산 소하천 수질환경조사 및 하천수질기준설정 연구. 05-2-30-33 최종보고서.

원두희, 전영철, 권순직, 황순진, 안광국, 이재관. 2006. 저서성 대형무척추동물을 이용한 한국오수생물지수의 개발과 생물학적 하천환경평가 적용. 한국물환경학회지 22: 768-783.

장민호, 최기룡, 주기재. 2001. 울산지역(가치산) 상류하천의 어류군집. 한국어류학회지 34: 239-250.

한경호, 김종현, 백승록. 2002. 울산연안 정치망에 어획된 어류의 종조성 및 양적변동. 한국어류학회지 14: 61-69.

환경부. 1997. 자연생태계 전국조사 -담수어류-, p. 21-458.

환경부. 2007. 수생태 건강성 조사계획 수립 및 지침. 수생태 건강성 회복을 위한 하천복원 모델과 기준, 조사계획 수립 연구 최종보고서(III), 334p.

황순진, 김난영, 원두희, 안광국, 이재관, 김창수, 신재기. 2006a. 우리나라 생물학적 물환경평가의 현황과 미래. 한국물환경학회지 22: 757-767.

황순진, 김난영, 원두희, 안광국, 이재관, 김창수. 2006b. 돌말(*Epilithic diatom*) 지수를 이용한 국내 주요 하천(금강, 영산강, 섬진강)의 생물학적 수질평가. 한국물환경학회지

- 22: 784-795.
- Adams, S.M. 2002. Biological indicators of aquatic ecosystem stress. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA.
- Adams, S.M., M.S. Greeley and M.G. Ryon. 2000. Evaluating effects of contaminants on fish health at multiple levels of biological organization: extrapolating from lower to higher levels. *Human and Ecological Risk Assessment* **6**: 15-27.
- American Public Health Association (APHA). 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed., Washington, DC., USA.
- Arthington, A.H., S.O. Brizga, S.C. Choy, M.J. Kennard, S. J. Mackey, R.O. McCosker, J.L. Ruffini and J.M. Zaluski. 2000. Environmental flow requirements of the Brisbane River downstream from Wivenhoe Dam. South East Queensland Water Corporation, And Center for Catchment and In-Stream Research, Griffith University, Brisbane, Australia.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, G.E. Griffithy, R. Frydenborg, E. McCarron, J.S. White and M.I. Bastian. 1996. A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society* **15**: 185-211.
- Boyd, C.E. and C.S. Tucker. 1998. Pond Aquaculture water quality management. Kluwer Academic Publisher, Massachusetts, USA.
- Bunn, S. and A.H. Arthington. 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management* **30**: 492-507.
- Dodds, W.K., J.R. Jones and E.B. Welch. 1998. Suggested classification of stream trophic state: Distributions of temperature stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. *Wat. Res.* **32**: 1455-1462.
- Heins, W.J. and D.C. Mattews. 1987. Historical perspectives on the study of community and evolutionary ecology of North American stream fishes, p. 3-7. *In*: Community Ecology of North American Stream Fishes (Mattews, D.C. and W.J. Heins, eds.). University of Oklahoma Press, London.
- Lee, S-K., J. Seo, H. Lee, H-G. Yun and S-O. Lee. 2003. Ecotoxicological assessment of complex industrial effluents in Korea using whole effluent toxicity (WET) test. Asia-Pacific SETAC Conference, Christchurch, New Zealand.
- Mattews, W.J. 1998. Patterns in freshwater fish ecology. Chapman and Hall, New York, 756p.
- McCarty, L.S. and K.R. Munkittrick. 1996. Environmental biomarkers in aquatic toxicology: fiction, or functional? *Human and Ecological Risk Assessment* **2**: 268-274.
- Nelson, J. S. 1994. Fishes of the world (3rd ed.). John Wiley & Sons, New York.
- Rump, H. H. and H. Krist. 1988. Laboratory Manual for the examination of water, wastewater, and soil. VCH, Publishers, New York, USA.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 1996. Biological criteria: technical guidance for streams and small rivers, revised edition. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Science and Technology, Document No. EPA/822/B-96/001.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Science and Technology, Document No. EPA-B-99-002.
- Wetzel, R.G. and G.E. Likens. 2000. Limnological Analyses, 3rd edition, Springer-Verlag New York, Inc., USA.
- Yoder, C.O. and E.T. Rankin. 1998. The role of biological indicators in a state water quality management process. *Environmental Monitoring and Assessment* **51**: 61-88.

(Manuscript received 5 August 2008,  
Revision accepted 14 September 2008)