

부산시 도시하천의 어류군집과 하천복원을 위한 제안

윤주덕 · 장민호 · 오동하¹ · 주기재*

(부산대학교 생물학과, ¹부산발전연구원)

The Characterization of Fish Communities in Urban Streams of the Busan Metropolitan City and Suggestions of Stream Restoration. Yoon, Ju-Duk, Min-Ho Jang, Dong-Ha Oh¹ and Gea-Jae Joo* (Department of Biology, Pusan National University, Busan 609-735; ¹Busan Developmental Institute, Busan 614-052)

The fish community of small freshwater ecosystems gets easily disturbed by direct or indirect human induced disturbances during the period of urbanization. Urbanization is one of factors that generate changes in stream and influences fish fauna in developed countries. This study was conducted in Busan Metropolitan City from 2001 to 2004. In order to investigate the fish community, the city was divided into 3 parts, eastern, central and western. A total of 3,206 individuals of 46 species from 19 families were collected from 55 sites. The dominant species was *Rhynchocypris oxycephalus*, whereas *Zacco temminckii* was the subdominant species. Cluster analysis was conducted using primary freshwater fish species collected from each stream. As a result of the analysis, study sites were well differentiated into 3 parts. Two species of *Z. temminckii* and *R. oxycephalus* represented the upper part of the stream and *Carassius cuvieri*, *Acheilognathus rhombeus*, *Hemiculter eigenmanni* and *Micropterus salmoides* represented the middle and lower parts of the stream. When compared with previous studies, fish community of the eastern part of the Busan city where urbanization is in progress, showed similar patterns to the central part. At the time of the habitat restoration of fish fauna in stream, appropriate selection of fish species should be made through analysis of stream character and biogeographic distribution of fish, and long-term monitoring is also needed for sustaining the management of fish fauna.

Key words : Busan, fish community, urbanization, conservation

서 론

담수생태계는 다른 영역의 생태계(육상, 해양 등)보다 쉽게 교란을 받을 수 있으며, 전 세계적으로 이미 많은 교란이 진행되고 있다(Ricciardi and Rasmussen, 1999; Baron *et al.*, 2002). 이러한 교란 중에서도 도시화와 같이 하천의 직, 간접적 변화는 소규모의 담수생태계에 큰 영향을 미치게 된다(Garie and McIntosh, 1986; Booth and

Jackson, 1997; Finkenbine *et al.*, 2000; Bledsoe and Watson, 2001; Schweizer and Matlack, 2005). 도시화에 따른 교란은 교란지역 또는 요인에 따라 구분되는데, 지역에 따라서는 하천을 중심으로 한 간접적인 집수역 교란과 직접적인 하천 교란으로 구분된다. 집수역 교란은 대규모 공단이나 주거단지의 건설로 인하여 하천의 유입 유량 변화, 오염물질 유입, 주변생물상이 변화되는 것을 나타낸다. 반면, 하천의 직접적 교란은 수로정비, 하상정비 및 하천복개, 오염물질 투기, 외래종(exotic species) 및

* Corresponding author: Tel: 051) 510-2258, Fax: 051) 583-0172, E-mail: gjjoo@pusan.ac.kr

이식종(translocated species, 동일국가에 서식하나 지사적으로 분포하지 않는 지역에 서식하는 종(Jang *et al.*, 2003), 방류 등이 이에 속하며, 발생요인에 따라 물리적, 화학적, 생물학적 요인으로 구분된다.

도시화가 하천에 미치는 가장 큰 변화 중 하나는 하천 주변 및 하천 내의 서식지 다양성의 감소로 알려져 있다. 특히, 자연하천에서는 여울(riffle)의 비율이 높지만 도심 하천에서는 일반적인 흐름(run)이 증가하는 것으로 나타났다(Riley *et al.*, 2005). 아울러 수변의 단순화 역시 수생생물의 서식지 감소를 유발하며, 특히 담수어 군집의 변화에 중요한 요인이 될 수 있다(Argent, 2004). 또한 도시화 이후 하천 내로 유입되는 오염물질에 대해 내성이 약한 종은 그 하천에서 절멸시킬 수 있는 요인이 될 수 있다(Gwyneth, 1994).

국내에서 도시하천(urban stream)이란 '도시지역을 집수역으로 하여 도시내부를 관류하는 소규모의 하천'으로(손, 1998), 국내의 도시하천은 대부분은 2~5차 하천으로 이루어져 있으며 생활하수, 하천복개, 직강화, 인공제방, 둔치개발, 집수역의 토지이용 등 많은 교란 요인들로 인해 대다수가 원형을 잃어가고 있다(주 등, 1997). 아울러 도시하천의 대부분은 유역면적이 비교적 좁고, 유역내의 지표가 불투수성 물질로 피복되어 있어 토양에 침투되는 빗물의 양이 적기 때문에 건천화되기 쉬운 상황이다(Paul and Meyer, 2001). 또한 감소한 유량에 부가되는 생활 오폐수는 수질악화를 유발하여 생물 서식을 저해하며 악취를 풍기게 되는데, 몇몇 하천에서는 이러한 하수도화된 도시하천을 숨기고자 교통로로 이용하기 위한 복개가 이루어지기도 하였다(손, 1998). 국내의 도시하천은 1982년부터 대구시의 신천과 광주시의 광주천, 청주시의 무심천 등의 도시하천에 범람방지를 위한 제방축조, 직강화공사 및 둔치활용 등의 정비가 이루어졌다(권, 1987; 김, 1987; 송, 1987; 이, 1987).

초기 부산시는 기장군과 김해군을 제외한 지역만이 포함되었었다. 이후 1978년과 1989년 4차와 5차의 행정구역 확대를 통하여 김해군의 일부지역을 포함하게 되면서 강서구를 설치하였다. 또한 1995년 6차 행정구역 확대를 실시하면서 양산군의 일부였던 기장군을 편입하여 현재의 광역시 형태를 지니게 되었다. 현재 부산광역시에는 4개의 국가하천과 44개의 지방 2급 하천을 보유하고, 총 48개의 하천 중 다수가 부산 중심을 통과하는 도심하천의 형태를 띠고 있으며, 산업화 및 도시화에 따른 개발로 인해 하천생태계의 훼손이 가속화되고 있어 보존 및 복원이 요구되고 있다. 44개의 지방 2급 하천의 복개율은 하천연장 대비 약 22.6%에 달하며, 특히 부산진구, 동구, 중

구 및 서구와 같은 인구과밀지구의 하천 11개소는 전 구간이 복개되어 원래의 하천모습을 찾아볼 수 없다(부산발전연구원, 2006). 강서구와 기장군은 그린벨트 지정에 따라 아직까지 자연상태의 하천을 비교적 유지하고 있으나 기장군의 시가지화 구역인 죽성, 만화, 서부천은 수질오염이 심화됨에 따라 이미 복개가 상당히 이루어졌다(부산광역시, 2003). 이들 하천은 향후 개발제한구역이 해제되고 토지이용이 가속화 될 경우, 기존의 도시하천과 비슷한 문제를 그대로 답습할 위험이 높다. 자연생태계 보존의 중요성이 대두되고 있지만 실제로 부산시의 자연생태계에 관한 연구는 부족한 실정으로 하천을 중심으로 한 생물과 관련된 연구는 그 수가 매우 제한적이다. 특히 수생생태계 내에서 최상위 소비자인 어류(Allan, 1995)의 분포를 밝히는 일은 이들 어류의 지리적 구계 설정, 이동경로, 진화, 생태 등의 연구를 위한 기초연구로서 매우 중요한 역할을 한다. 또한, 제한된 지역 내에 서식하고 있는 어류의 종 및 개체수를 파악하는 것은 종 다양성 보존을 위한 중요한 자료로 이용될 수 있다(강 등, 2005).

현재까지 부산지역 내의 도심하천의 어류를 대상으로 한 연구는 생명공학연구소(1996)의 조사와 낙동강 본류와 하구를 대상으로 한 조사(김, 1969; 김과 홍, 1980; 전, 1987; 양 등, 2001; 장 등, 2001a, b; 박과 허, 2003)가 있지만 부산지역 내의 일부하천만을 대상으로 하였다. 본 연구에서는 부산시 하천 내에 서식하고 있는 담수어류의 분포 및 군집구조를 밝혀 도시화된 하천에서 서식하는 어류군집의 특징을 파악하고자 하였고 또한 행정구역 확장으로 부산시에 뒤늦게 편입된 하천과 원래부터 포함되어 있었던 지역과의 차이를 비교하였다. 아울러 이러한 결과를 바탕으로 최근 논의되고 있는 도시 하천을 자연형 하천으로 복원하는데 있어 어류를 바탕으로 한 생태하천의 복원 방안을 제시하며, 도시하천에서 어류 생태계의 변화양상 파악과 종다양성 보존을 위한 장기적 생태 모니터링 자료로 활용할 수 있는 기초 자료를 제공하고 하겠다.

재료 및 방법

1. 조사지점 및 조사기간

본 조사는 부산시 일대의 하천을 동부, 중부, 서부의 3 지역으로 구분하여 2001년부터 2004년에 걸쳐 모두 55개 지점에서 시행되었다(Appendix 1). 1차 조사(2001~2002년)는 부산시 동부권인 기장군에 포함되어 있는 18개 지점(St. 1~18)을 대상으로 하였고, 2차 조사(2002

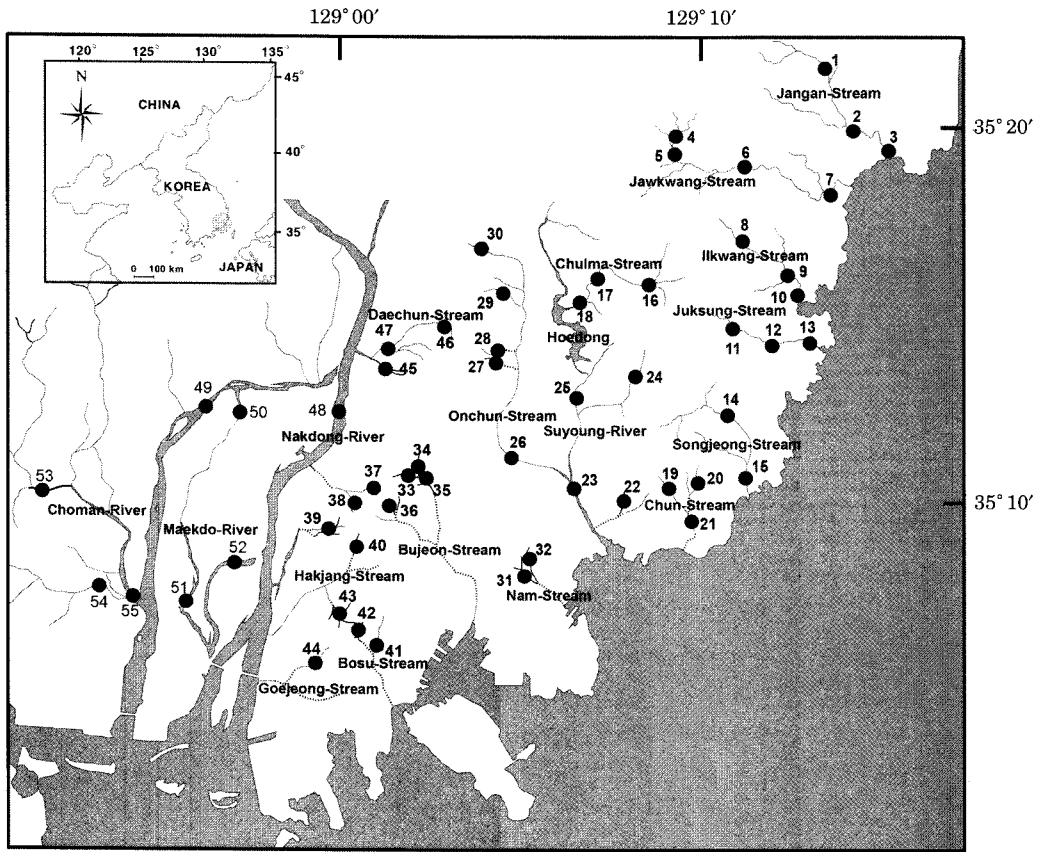


Fig. 1. Map showing the study sites in the Busan Metropolitan City (Dotted lines indicate covered stream).

~2003년)는 중부권의 29개 지점(St. 19~47), 3차 조사(2003~2004년)는 서부권인 강서구 지역의 8개 지점(St. 48~55)을 선정, 조사하였다. 동부권과 중부권에 포함되는 조사지점은 모두 지방 2급 하천이었으며, 서부권에 포함되는 하천은 4개의 국가하천이 포함되어 있다. 총 55개의 지점에서 춘계, 하계, 추계로 나누어 동계를 제외한 시기에 각 조사지점별로 3회 조사를 실시하였다. 낙동강 수계로 유입되는 하천을 제외한 대부분의 하천이 직접 바다로 유입되는 하천이었다. 1차와 2차 조사에 포함된 지역은 대부분 1~4차의 하천으로, 특히 2차 조사 대상지의 경우 다수의 하천이 부산의 중심부를 통과하는 하천으로 상류를 제외한 중, 하류 지역은 하천정비 및 복개 등으로 변형되어 있었다. 3차 조사 지역은 낙동강 본류와 서낙동강에 포함되는 비교적 큰 하천들이었다(Fig. 1).

2. 조사방법

각 조사지점별 기초수질 분석은 현장조사 및 원수를 채수하여 실험실에서 분석하였다. 현장에서는 용존산소(YSI

Dissolved Oxygen Meter, model 58), pH(Orion pH Meter, model 407A), 전기전도도(conductivity: Fisher Conductivity Meter, model 12)를 측정하였다. 채수한 원수를 실험실로 운반하여 탁도(turbidity: Shaban Turbidimeter model 20052) 및 알칼리도(alkalinity)를 측정하였으며 알칼리도는 APHA(1995)에 제시된 방법을 따랐다.

어류조사는 족대(망목 5×5 mm; 포획면적 1.35 m²=1.5×0.9 m)와 투망(망목 7×7 mm; 포획면적 4.5 m²=π×r², r=1.22 m)을 이용하여 가능한 한 조사지역에서 모든 종조성을 밝히고자 하였다. 각 조사지점에서 수로를 따라 상, 하로 약 50 m씩 이동하며 주로 투망을 이용하여 10회 이상 채집하였고, 수변식물이 발달한 지점에서는 족대를 이용하여 30분씩 채집하였다.

채집된 어류는 현장에서 동정하고 개체수를 파악한 후 포획된 지점에 다시 놓아주었으나, 이미 죽었거나 동정이 불확실한 개체 및 표본이 필요한 경우에는 10% 중성포르말린액에 고정하여 실험실에서 동정하였다. 어류의 동정을 위해서는 김과 박(2002), 김 등(2005), 최 등(2002)에 따라 분류, 동정하였으며, Nelson(1994)의 분류체계에

따라 배열하였다. 조사지역의 어류군집 분석을 위해 우점도(Simpson's index, McNaughton, 1967), 다양도(Shannon-Weaver index, Shannon and Weaver, 1949), 균등도(Pielou evenness index, Pielou, 1969), 풍부도(Margalef index, Margalef, 1958)를 구하였으며, 유사도 지수를 이용하여 지점별 집괴분석을 실시하였다(Biodiversity pro, The Natural History Museum & The Scottish Association for Marine Science, 1997, UK). 조사지점별 집괴분석은 풍부도를 기반으로 하여 널리 사용되고 있는 Bray-Cutis (1957)의 방법을 따랐으며, 도심하천의 특성을 파악하기 위한 통계분석에서는 각 하천에서 채집된 일차담수어만을 비교 대상으로 하였다.

결과 및 고찰

1. 기초수질

조사지점별 수환경은 기수지역을 포함한 지점이나, 공장 및 생활하수가 직접 유입되는 몇몇 지점을 제외하고는 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 2). 다른 조사지역과 큰 차이를 보이는 기수역 부근 지점은 해수의 영향으로 전기전도도와 알칼리도가 높게 나타났다.

수환경 조사에서 지점 36(선암사 계곡)과 지점 40(백운사 상부)은 조사기간 내내 건천 상태를 유지하여 측정이 불가능 하였다. 용존산소의 포화도는 조사지역 주변에 위치한 주거지와 공장에서 유입되는 각종 오폐수로 인해 오염 정도가 심한 지점 12(죽성천 중류)와 지점 13(죽성천 하류)을 제외하고는 전반적으로 90~130% 사이를 유지하였다. 대부분의 지점에서 과포화상태를 보인 이유는 조사기간 동안 번성하였던 부착조류 및 식물플랑크톤이 광합성을 통하여 다량의 산소를 발생시켰기 때문으로 생각된다. pH는 지점별로 큰 차이가 없었으며 탁도는 지점 23(수영강 하류)에서 높은 값을 나타내었는데, 이는 주변 공단과 주거지역에서 유입되는 하수에 포함된 부유성 물질이 크게 관여 하였을 것으로 판단된다. 전기전도도와 알칼리도는 각 지점에서 전반적으로 탁도와 비슷한 양상을 보였다. 지점 10(일광천 하류), 13, 23, 25(수영강 중류) 지역에서는 전기전도도가 $5,000 \mu\text{s cm}^{-1}$ 를 넘는 높은 값을 나타내었다. 지점 10과 13은 직접적인 해수의 영향이 크게 작용하였으며, 이외의 지역은 생활하수 및 공장 폐수가 영향을 주었을 것으로 생각된다. 이외에도 $500 \mu\text{s cm}^{-1}$ 를 넘는 지점들(지점 12, 49, 51, 52, 55)은 공장 및 주거지역에서 유입되는 오, 폐수에 의한 결과로 생각된다.

다.

2. 어류상

본 조사기간 동안 총 19과 46종 3,206개체의 어류가 채집되었다(Table 1). 이 중 Cyprinidae는 18종 2,446개체(RA, Relative abundance 76.3%)가 채집되어 가장 높은 출현 비율을 보였다. Gobiidae는 8종 343개체(RA 10.7%)가 채집되었으며, Cobitidae가 3종 125개체(RA 3.9%), 외래도입종인 Centrarchidae가 2종 101개체(RA 3.2%)로 나타났다. 이 외에도 15과에서 각 1종씩 모두 191개체(RA 6.0%)가 채집되었다. 채집된 46종 중 *Paralichthys olivaceus*, *Acanthopagrus schlegeli*, *Siganus fuscescens*와 같은 해산어가 3종, *Konosirus punctatus* 등과 같은 이차담수어가 14종, 일차담수어가 29종인 것으로 나타났다(Table 1).

조사기간 중 우점종은 *Rhynchocypris oxycephalus*로 24개 지점에서 629개체(RA 19.6%)가 채집되었고, 아우점종은 13개 지점에서 620개체(RA 19.3%)가 채집된 *Zacco temminckii*와 14개 지점에서 321개체(RA 10.0%)가 채집된 *Z. platypus*로 나타났다(Fig. 3). 이외에도 *Pseudorasbora parva*가 14개 지점 228개체(RA 7.1%), *Squalidus multimaculatus*가 6지점 207개체(RA 6.5%)가 각각 채집되었다. 가장 높은 출현빈도를 나타낸 종은 역시 *R. oxycephalus*였으며, *Rhinogobius brunneus*가 20개 지점에서 채집되었다. 본 조사지역이 하천부개구역을 제외한 하천구간에서 수행되었고 하류지역에 위치한 지점들을 제외하면 대부분 상류하천임을 고려할 때 *R. oxycephalus*의 출현빈도가 높은 것은 일반적인 결과로 생각된다. 김과 박(2002), 전(1989) 등에 의하면 *R. oxycephalus*는 하천의 상류를 주 서식처로 이용하는 종이며, *Z. temminckii*는 하천의 상, 중류부를 주 서식처로 이용하는 종으로 알려져, 본 조사결과와 유사한 것으로 보고하고 있다.

각 수계별로 채집된 어류는 일광천 수계에서 19종 249개체가 채집되어 가장 많은 종이 출현하였다. 우점종은 *S. multimaculatus*로 모두 53개체가 채집되었으며, 아우점종은 *Tridentiger bifasciatus*로 51개체 채집되었다. 일광천 수계에서 많은 종이 채집된 것은 하류 지점에서 이차담수어와 해산어가 채집되었기 때문으로 생각된다. 좌광천과 철마천 수계 역시 각각 18종(332개체)와 17종(528개체)으로 많은 종이 채집되었는데, 좌광천은 일광천과 마찬가지로 다수의 이차담수어와 해수어종이 종수 증가에 큰 역할을 한 것으로 판단되었다. 하지만 이외는

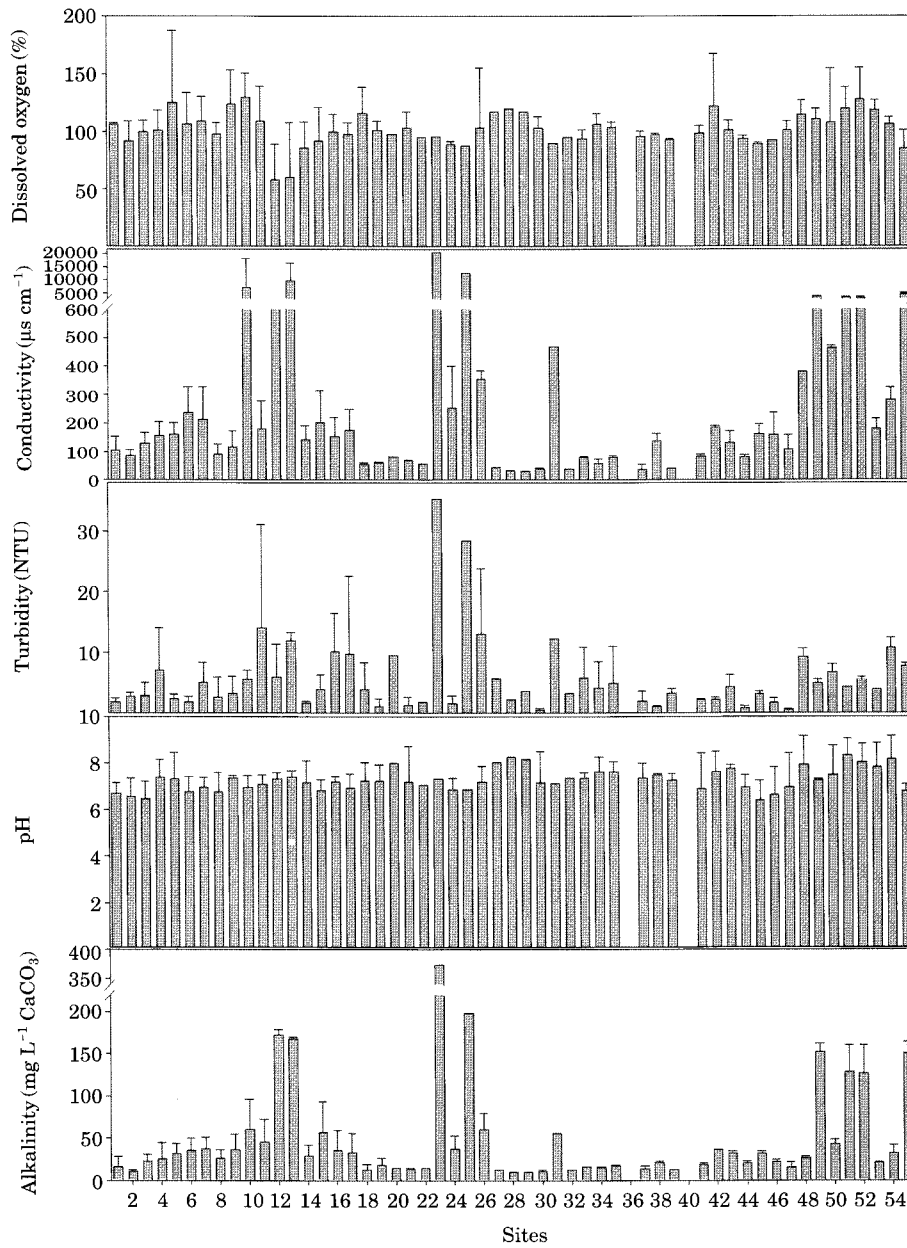


Fig. 2. Physical and chemical parameters of 55 sites in streams in the Busan Metropolitan City (2001~2004: N=1 or 2).

달리 회동수원지로 유입되어 기수역이 존재하지 않는 철마천은 이차담수어와 해수어가 출현하지는 않았지만 다수의 잉어과 어류가 출현하여 종 수가 증가한 것으로 사료된다. 부산시 중부지역에 위치한 하천에서 채집된 어류의 종 수는 다른 지역에 비해 낮게 나타났다. 부전천과 보수천 지역에서는 *Cyprinus carpio* (fancy carp)와 *Carrasius auratus* (Goldfish)가 다수 출현하였는데 이는 하천 상류에 공원 조성시 저수지에 이들 어종을 인위적으로 방류하였기 때문이다. 낙동강 본류와 조만강, 평강천

등 강서구 지역의 조사에서는 외래종인 *Micropterus salmoides*와 *Lepomis macrochirus*가 출현하였다. 이는 정체수역을 좋아하는 이들 어종이 하구둑 건설로 인해 낙동강 본류와 서낙동강 지역이 유속이 느려지고 저수지화되어 개체수가 증가한 것으로 사료된다(장 등 2001a; Jang et al., 2002, 2006). 전체 채집 지역인 55개 조사지점 중 41개 지점에서만 어류가 채집되었는데 어류가 채집되지 않은 지역은 대부분이 하천 상류 조사지점으로 갈수기에 쉽게 건천화되는 지역들이었다. 우기가 시작되

Table 1. Ichthyofauna of the Busan Metropolitan City (2001~2004).

Family name	Species name	P/S	Gijang County																		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Anguillidae	<i>Anguilla japonica</i>	S							3	1											
Clupeidae	<i>Konosirus punctatus</i>	S										12									
Cyprinidae	<i>Cyprinus carpio</i>	P							4												
	<i>Cyprinus carpio</i> (fancy carp)	P																			
	<i>Cyprinus carpio</i> (Israel) [#]	P																			
	<i>Carassius auratus</i>	P	2		1			43	23	10	2		10		4	29	21	18			
	<i>Carassius auratus</i> (Goldfish)	P																			
	<i>Carassius cuvieri</i> [#]	P																	2		
	<i>Acheilognathus rhombeus</i>	P																		6	
	<i>Acanthorhodeus macropterus</i>	P																			
	<i>Zacco platypus</i>	P				2	68	16	7	12	5				37	73	12	78			
	<i>Zacco temminckii</i>	P				10			10										19	69	
	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	P	16	16		3	14	16	1	1			36						67	4	29
	<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> [*]	P																			15
	<i>Squalidus multimaculatus</i> [*]	P	23		49					53										34	34
	<i>Hemibarbus labeo</i>	P																			1
	<i>Microphysogobio yaluensis</i> [*]	P																			13
	<i>Pseudorasbora parva</i>	P				1	1	19	16	27	4								111	25	11
	<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	P																			
	<i>Hemiculter eigenmanni</i> [*]	P																			
	Balitoridae	<i>Lefua costata</i>	P																		
Cobitidae	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	P	3		1	1	3	13		6		15							7	7	
	<i>Misgurnus mizolepis</i>	P			2		1	2				2		10	1	2					
	<i>Iksookimia longicorpa</i> [*]	P	3		5																
Siluridae	<i>Silurus asotus</i>	P							1												
Adrianichthyidae	<i>Oryzias latipes</i>	P	18					14											12	1	
Osmeridae	<i>Plecoglossus altivelis</i>	S							1			15									
Salangidae	<i>Neosalanx andersoni</i>	S																			
Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>	S							4			12		25							
Moronidae	<i>Lateolabrax japonicus</i>	S							3												
Centropomidae	<i>Coreoperca herzi</i> [*]	P																		15	
Odontobutidae	<i>Odontobutis platycephala</i> [*]	P																		8	
Gobiidae	<i>Rhinogobius giurinus</i>	S							11			4		2							
	<i>Tridintiger bifasciatus</i>	S							1			51		7							
	<i>Tridentiger obscurus</i>	S							7			4									
	<i>Tridentiger brevispinis</i>	S																			
	<i>Chaenogobius urotaenia</i>	S																			
	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	S											7		21						
	<i>Rhinogobius brunneus</i>	P	2		2	2		2	9	2	7					7	18	8	10		
	<i>luciogobius guttatus</i>	S											3								
Sparidae	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	S										1									
Siganidae	<i>Siganus fuscescens</i>	S										9		3							
Paralichthyidae	<i>Paralichthys olivaceus</i>	S										1									
Tetraodontidae	<i>Takifugu niphobles</i>	S													7						
Centrarchidae	<i>Micropterus salmoides</i> [#]	P																			
	<i>Lepomis macrochirus</i> [#]	P			1																
Total individuals			67	16	61	19	87	125	101	112	18	119	63	0	65	58	232	207	292	29	
Total species			7	1	7	6	5	8	15	8	4	11	4	0	6	4	5	10	16	1	

Table 1. Continued.

Family name	Species name	Central Busan																					
		P/S	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
Anguillidae	<i>Anguilla japonica</i>	S																					
Clupeidae	<i>Konosirus punctatus</i>	S																					
Cyprinidae	<i>Cyprinus carpio</i>	P															3						
	<i>Cyprinus carpio</i> (fancy carp)	P															8						
	<i>Cyprinus carpio</i> (Israel) [#]	P															2						
	<i>Carassius auratus</i>	P							11								1						
	<i>Carassius auratus</i> (Goldfish)	P															7						
	<i>Carassius cuvieri</i> [#]	P							1														
	<i>Acheilognathus rhombeus</i>	P																					
	<i>Acanthorhodeus macropterus</i>	P																					
	<i>Zacco platypus</i>	P																					
	<i>Zacco temminckii</i>	P	99	33													19	13					1
	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	P	33	2			1			75	52		44				6	19	57				
	<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i> [*]	P																					
	<i>Squalidus multimaculatus</i> [*]	P			14																		
	<i>Hemibarbus labeo</i>	P																					
	<i>Microphysogobio yaluensis</i> [*]	P																					
	<i>Pseudorasbora parva</i>	P							6														
	<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	P																					
<i>Hemiculter eigenmanni</i> [*]	P																						
Balitoridae	<i>Lefua costata</i>	P						1															
Cobitidae	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	P			1			12															
	<i>Misgurnus mizolepis</i>	P						4															
	<i>Iksookimia longicorpa</i> [*]	P																					
Siluridae	<i>Silurus asotus</i>	P																					
Adrianchthyidae	<i>Oryzias latipes</i>	P																					
POsmeridae	<i>Plecoglossus altivelis</i>	S																					
Salangidae	<i>Neosalanx andersoni</i>	S																					
Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>	S							5														
Moronidae	<i>Lateolabrax japonicus</i>	S																					
Centropomidae	<i>Coreoperca herzi</i> [*]	P																					
Odontobutidae	<i>Odontobutis platycephala</i> [*]	P																					
Gobiidae	<i>Rhinogobius giurinus</i>	S																					
	<i>Tridentiger bifasciatus</i>	S																					
	<i>Tridentiger obscurus</i>	S																					
	<i>Tridentiger brevispinis</i>	S				24																	
	<i>Chaenogobius urotaenia</i>	S				14																	
	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	S				1																	
	<i>Rhinogobius brunneus</i>	P	7	6						2		13				33	2	22					
	<i>Luciogobius guttatus</i>	S																					
Sparidae	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	S																					
Siganidae	<i>Siganus fuscescens</i>	S																					
Paralichthyidae	<i>Paralichthys olivaceus</i>	S																					
Tetraodontidae	<i>Takifugu niphobles</i>	S																					
Centrarchidae	<i>Micropterus salmoides</i> [#]	P																					
	<i>Lepomis macrochirus</i> [#]	P																					
	Total individuals		139	95		36	5		77	52		57			79	21	92					1	
	Total species		3	8		7	1		2	1		2			8	2	3					1	

Table 1. Continued.

Family name	Species name	Central Busan													Gangseo-gu					Total	Ref.
		P/S	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55		
Anguillidae	<i>Anguilla japonica</i>	S																	4	+	
Clupeidae	<i>Konosirus punctatus</i>	S																	12		
Cyprinidae	<i>Cyprinus carpio</i>	P			4							1			1				13	+	
	<i>Cyprinus carpio</i> (fancy carp)	P		9	3														20		
	<i>Cyprinus carpio</i> (Israel) [#]	P																	2		
	<i>Carassius auratus</i>	P		3															178	+	
	<i>Carassius auratus</i> (Goldfish)	P		8	3														18		
	<i>Carassius cuvieri</i> [#]	P										3	5	3	1			1	16		
	<i>Acheilognathus rhombeus</i>	P										1	4					2	13		
	<i>Acanthorhodeus macropterus</i>	P									1		3						4	+	
	<i>Zacco platypus</i>	P											1		4	5		1	321	+	
	<i>Zacco temminckii</i>	P		131						84						99	33		620	+	
	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	P		51			54		20	12									629	+	
	<i>Squalidus chankanensis tsuchigae</i> [*]	P									2			1	1	45	3		67	+	
	<i>Squalidus multimaculatus</i> [*]	P																	207		
	<i>Hemibarbus labeo</i>	P									30							2	33	+	
	<i>Microphysogobio yaluensis</i> [*]	P																	13		
	<i>Pseudorasbora parva</i>	P										1	3	2				1	228	+	
	<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	P									40								40		
	<i>Hemiculter eigenmanni</i> [*]	P										3	13	3	2			3	24	+	
	Balitoridae	<i>Lefua costata</i>	P																1		
Cobitidae	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	P						1				6	2	5	10			93	+		
	<i>Misgurnus mizolepis</i>	P																24	+		
	<i>Iksookimia longicorpa</i> [*]	P																8	+		
Siluridae	<i>Silurus asotus</i>	P																1	+		
Adrianichthyidae	<i>Oryzias latipes</i>	P																45	+		
POsmeridae	<i>Plecoglossus altivelis</i>	S																16	+		
Salangidae	<i>Neosalanx andersoni</i>	S									2	5						7			
Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>	S									2	1		1				50	+		
Moronidae	<i>Lateolabrax japonicus</i>	S									1							4	+		
Centropomidae	<i>Coreoperca herzi</i> [*]	P								3					2	1		21	+		
Odontobutidae	<i>Odontobutis platycephala</i> [*]	P								1								9			
Gobiidae	<i>Rhinogobius giurinus</i>	S																17	+		
	<i>Tridentiger bifasciatus</i>	S																59			
	<i>Tridentiger obscurus</i>	S																11	+		
	<i>Tridentiger brevispinis</i>	S																24			
	<i>Chaenogobius urotaenia</i>	S																14			
	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	S										6						35	+		
	<i>Rhinogobius brunneus</i>	P		24							2							180	+		
	<i>luciogobius guttatus</i>	S																3			
	Sparidae	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	S																1		
Siganidae	<i>Siganus fuscescens</i>	S																12			
Paralichthyidae	<i>Paralichthys olivaceus</i>	S																1			
Tetraodontidae	<i>Takifugu niphobles</i>	S																7			
Centrarchidae	<i>Micropterus salmoides</i> [#]	P									13	13	8	13	8			34	89		
	<i>Lepomis macrochirus</i> [#]	P									3	3	2	1				2	12		
	Total individuals			226	10	54		21	102	100	31	42	25	21	156	47	46	3206			
	Total species			6	3	1		2	5	10	9	8	7	8	5	4	8	46			

(*, Korean endemic species; #, exotic species; Ref, literature study; P, primary species; S, secondary species)

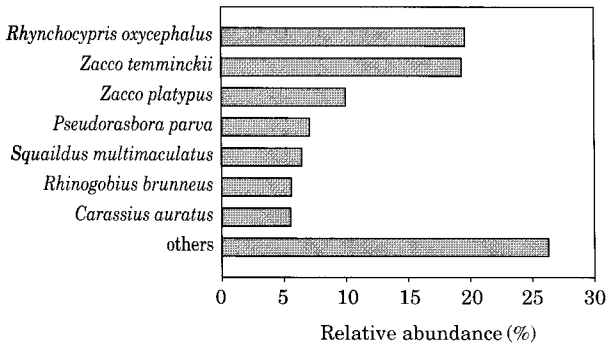


Fig. 3. Relative abundance of fishes collected from sampling sites (2001~2004).

면 일시적으로 유량이 불어났지만 시간이 짧았기 때문에 어류가 서식하기에는 어려움이 존재하는 것으로 사료되었다.

조사기간 중 채집된 한국고유종(Korean endemic species)은 4과 7종 349개체로 10.9%의 상대풍부도를 나타내었으며, 고유화 빈도는 15.2%로 김(1995)의 한국 고유담수어류의 고유화 빈도인 25.9%보다 낮게 나타났다. Cyprinidae의 고유종은 *Squalidus chankaensis tsuchigae* (67개체), *S. multimaculatus* (207개체) 등 4종 311개체로 가장 많은 부분을 차지하였으며, 이외의 과들은 각 1종씩 채집되었다. 수계별로는 철마천 수계에서 5종 119개체가 채집되어 타수계보다 높은 고유종 비율을 나타내었다.

각 수계별 어류의 군집 구조 분석을 위해 다양도, 균등도, 풍부도, 우점도 지수를 비교한 결과를 Table 2에 나타내었다. 전체에 대한 우점도는 0.12로 낮은 값을 기록하여 특정종이 우점하는 양상을 띠지 않는 것으로 나타났다. 이는 어류상 조사를 하천의 한 부분에 국한하지 않고 상류, 중류, 하류부분을 전체적으로 조사했기 때문으로 판단된다. 다양도는 2.57로 높게 나타나 종수와 개체수가 적절히 조화를 이루었음을 알 수 있었다. 풍부도는 4.12로 높은 값을 나타내어 개체수에 비해 많은 종수가 출현한 것을 알 수 있었으며, 균등도 지수는 0.73으로 나타나 각 종별 개체수가 각각 어느 정도 차이가 있는 것으로 나타났다. 철마천과 좌광천이 다양도 2.32와 2.03으로 비교적 높은 값을 나타내었다. 온천천을 제외한 다른 수계에서는 대부분 낮은 우점도 지수를 나타내었다. 하지만 조사지점별 분석에서는 우점도가 높은 것으로 나타났는데 이는 이들 하천에 서식하는 *Z. temminckii*와 *R. oxycephalus*의 출현비율이 타 어종에 비해 매우 높게 나타났기 때문인 것으로 판단되었다. 도심지를 관통하는 하천

Table 2. The dominance, diversity, richness and evenness index of fish communities in the Busan Metropolitan City (2001~2004).

	Diversity	Evenness	Richness	Dominance
Jangan	1.47	0.67	1.61	0.32
Jawkwang	2.03	0.77	2.27	0.17
Ilkwang	1.90	0.82	1.78	0.19
Juksung	1.36	0.84	0.89	0.28
Songjeong	1.32	0.82	0.71	0.31
Chulma	2.32	0.82	2.55	0.12
Chun	1.17	0.65	0.94	0.43
Suyoung	1.75	0.84	1.88	0.19
Onchun	0.28	0.40	0.19	0.85
Bujeon	1.44	0.69	1.35	0.29
Samrak	0.00	0.00	0.00	1.00
Bosu	1.31	0.67	1.10	0.37
Goejeong	0.00	0.00	0.00	1.00
Daechun	0.85	0.47	1.04	0.53
Nakdong	1.41	0.68	1.54	0.30
W. Nakdong	1.78	0.81	2.33	0.21
Pyonggang	1.95	0.81	2.38	0.18
Maekdo	1.79	0.86	2.30	0.18
Joman	0.92	0.57	0.79	0.48
Jisa	1.64	0.66	2.43	0.27
Total	2.57	0.73	4.12	0.12

의 경우 상류일부 지역을 제외하고 나머지 지역들은 생활하수 등의 오염으로 인해 어류가 살 수 있는 여건에 적합하지 않았고, 또한 이들 하천의 경우 중류지역은 복개로 인하여 채집 역시 불가하였기 때문에 상류 조사지역일 경우 우점도가 높은 것으로 사료되었다. 그러나 수계별로 분석한 결과에서는 이러한 경향이 나타나지 않았는데 이는 중류의 복개지점을 지난 이후 하천의 하류부에서 출현한 다수의 이차 담수어들과 잉어과 어류의 출현 결과에 기인하며, 이러한 결과는 국내의 도심지 내를 흐르는 대부분의 소하천에서 비슷할 것으로 판단된다.

수계별로 채집된 어류 중 일차담수어를 대상으로 유사도 분석을 실시하였다(Table 3). 분석 결과 유사도 백분율 45에서 크게 6개의 집단으로 나누어졌으며 전반적으로 부산시 동부, 중부, 서부가 구분되는 양상을 띠고 있었다(Fig. 4). 부산시 동부권 조사지점 중 일광천과 장안천 수계가 하나로 유집되었고, 좌광천과 송정천, 철마천 수계가 유집되었다. 장안천과 일광천의 경우 두 수계에서 우점하고 있는 종인 *S. multimaculatus*의 영향으로 사료되며 좌광천과 송정천, 철마천은 전체적인 종의 구성뿐만 아니라 각 종의 개체수 역시 비슷한 비율로 출현하기 때문에 유집된 것으로 사료된다. 복개와 오염 등의 제약으로 인해 수계의 중, 상류 부분만이 조사 대상 지점이었던

Table 3. The similarity index of fish fauna between each site of the Busan Metropolitan City (2001 ~ 2004).

	Jangan	Jaw- kwang	Il- kwang	Juk- sung	Song- jeong	Chulma	Chun	Su- young	Onchun	Bujeon	Samrak	Bosu	Goe- jeong	Dae- chun	Nak- dong	W. Nak- dong	Pyoung- gang	Maeek- do	Joman	Jisa
Jangan	60.0																			
Jawkwang	60.0																			
Ilkwang	62.5	66.7																		
Juksung	61.5	53.3	54.5																	
Songjeong	42.9	62.5	66.7	44.4																
Chulma	53.8	64.3	58.3	38.1	45.5															
Chun	57.1	50.0	66.7	44.4	20.0	45.5														
Suyoung	50.0	55.6	57.1	72.7	50.0	50.0	33.3													
Onchun	36.4	30.8	44.4	33.3	28.6	21.1	57.1	22.2												
Bujeon	35.3	52.6	40.0	33.3	30.8	32.0	46.2	26.7	40.0											
Samrak	0.0	16.7	0.0	0.0	0.0	11.1	33.3	0.0	0.0	22.2										
Bosu	37.5	55.6	42.9	36.4	33.3	33.3	50.0	28.6	44.4	93.3	25.0									
Goejeong	20.0	16.7	25.0	40.0	0.0	11.1	33.3	25.0	66.7	22.2	0.0	25.0								
Daechun	40.0	47.1	46.2	40.0	18.2	52.2	72.7	30.8	50.0	42.9	28.6	46.2	28.6							
Nakdong	13.3	0.0	0.0	0.0	0.0	17.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
W. Nakdong	12.5	22.2	14.3	0.0	16.7	25.0	0.0	28.6	0.0	13.3	0.0	14.3	0.0	0.0	30.8					
Pyounggang	21.1	28.6	35.3	14.3	26.7	44.4	13.3	35.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	50.0	70.6				
Maekdo	11.8	42.1	40.0	16.7	30.8	40.0	15.4	40.0	0.0	12.5	0.0	13.3	0.0	14.3	28.6	66.7	77.8			
Joman	14.3	37.5	33.3	22.2	20.0	45.5	40.0	16.7	0.0	15.4	33.3	16.7	0.0	54.5	18.2	0.0	40.0	46.2		
Jisa	19.0	34.8	31.6	12.5	23.5	62.1	23.5	31.6	0.0	10.0	15.4	10.5	0.0	33.3	44.4	63.2	81.8	70.0	58.8	

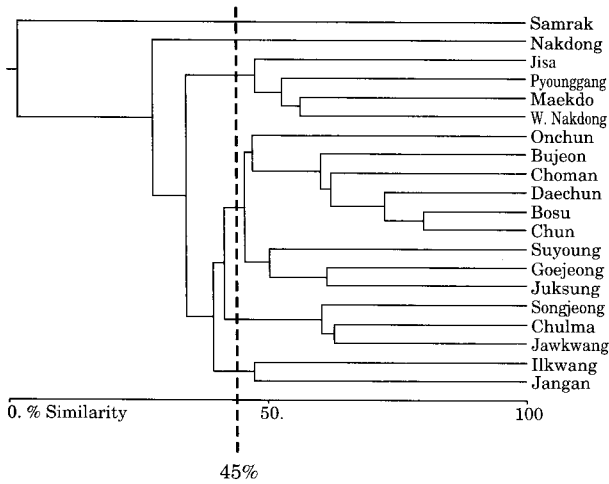


Fig. 4. Cluster analysis using number of collected fish individuals at the sampling sites in the Busan Metropolitan City (2001 ~ 2004).

부산시 중부권의 춘천, 수영강, 온천천, 부전천, 보수천, 괴정천, 대천천과 하류부의 오염으로 인하여 중, 상류 지역에서만 제약적으로 어류가 출현한 죽성천과 조만강이 한 집단을 형성하였다. 이들 지점들에서는 *Z. temminckii*, *R. oxycephalus*가 다수 출현한 것이 집단 형성에 많은 영향을 준 것으로 판단된다. 잉어과의 어류들이 다수 출현한 서낙동강, 평강천, 맥도강, 지사천이 하나의 집단을 이루었으며, 이는 수계들이 낙동강 하류부에 속하여 *Carasius cuvieri*, *Acheilognathus rhombeus*, *Hemiculter eigenmanni*, *M. salmoides*와 같은 어류들이 포함되었기 때문인 것으로 판단된다. 삼락유출부와 낙동강 본류 지점의 경우 각각 따로 묶였는데 삼락유출부는 *Z. temminckii* 1종, 1개체만이 채집되어 나타난 현상으로 판단되나 낙동강 본류의 경우 출현 어종으로 보아 서낙동강, 평강천 등과 같이 유집될 수도 있다고 사료된다. 본 집과 분석 결과 수계의 상, 중, 하류가 출현 어종별로 잘 구분되는 것으로 나타났다. 집과 분석의 결과는 하천의 상, 중, 하류를 구분하는데 용이하게 사용되며 하천 교란을 파악하는데 도움을 준다(장 등, 2001a). 모든 상황에 적용되기는 어렵겠지만 본 조사에서 나타난 결과에 의하면 *Z. temminckii*, *R. oxycephalus*가 상류를, *C. cuvieri*, *A. rhombeus*, *H. eigenmanni*, *M. salmoides*가 중, 하류를 대표하는 어종인 것으로 나타났다.

본 조사와 선행연구에서 나타난 어류상을 집과분석을 통해 비교한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 부산시의 어류상과 관련된 조사는 낙동강 본류를 대상으로 한 조사를 제외하고는 생명공학연구소(1996)에서 1976년부터 1996

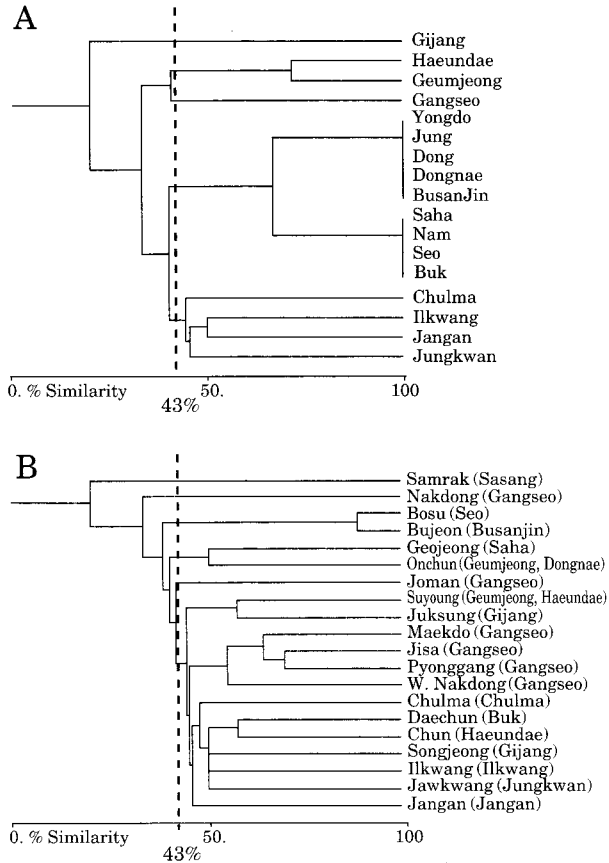


Fig. 5. Cluster analysis using presence-absence fish species data (A, literature study B, this study).

년 사이에 조사한 자료가 유일하였다. 이 보고서에 나타난 어류상을 바탕으로 분석을 실시하여 과거와 현재의 조사정점이 유집되는 경향을 분석하였다. 보고서에 기록된 어류상에는 개체수를 기록하지 않고 종의 출현 유무만을 기록하였기 때문에 이에 주로 사용되는 군집분석 방법인 Jaccard (Magurran, 1988)의 방법을 이용하였다. 과거자료와 본 자료가 다른 단위로 정리되어 있어 동일한 지점이라 하기는 문제가 있지만 대부분의 행정구역에 속하는 하천이 본 조사와 거의 일치하였기 때문에 비교가 가능하리라 판단하였다. 선행연구의 경우 유사도 백분율 43%에서 5개의 집단으로 나뉘어졌다. 동부권 지역인 철마면과 일광면, 장안읍, 정관면이 하나로 유집되었고 부산시 중부권 지역이 하나로 유집되어 두 집단이 자연스럽게 구분되었다. 하지만 본 조사의 결과를 유사도 백분율 43%로 나누었을 때는 동부권 지역과 부산 중부지역이 함께 유집되어 선행연구와는 다른 경향을 보였다. 이는 생명공학연구소에서 마지막으로 실시한 조사인 1996년 이후, 본 조사가 실시되기까지의 약 10년의 기간

동안 기장 지역에서 빠르게 이루어지고 있는 신도시 개발, 공장 이전 등과 관련하여 어류군집의 변화를 야기하였기 때문인 것으로 판단된다. 상대적으로 도시화의 진행이 느렸던 기장지역이 도시화에 편승하면서 도시지역과 유사한 패턴을 나타내게 된 것으로 사료된다.

부산시에 포함되어 있는 하천들을 중심으로 한 본 연구의 결과를 종합하면, 부산시 동부권의 조사대상 수계들은 하천의 상, 중, 하류에서 출현하는 어류들이 골고루 출현하였다. 전(1982)에 의하면 동해로 유입되는 소하천에서 출현한 어종수는 4~17종 정도였다. 본 조사 하천 수계에서 출현한 어류상의 경우 이와 비슷한 5~19종 정도가 채집되었다. 동해 수계의 경우, 하천의 길이가 짧기 때문에 한강이나 서해로 유입되는 하천에 비해 종수가 빈약하다. 짧은 수계는 오염이 발생하면 쉽게 하류까지 영향을 받기 때문에 서식어류에 치명적인 영향을 줄 수 있다. 현재 이들 지역은 주거지와 공장이 늘어나면서 오염 부하가 늘어나고 있기 때문에 관리가 필요하다(부산발전연구원, 2006). 중부권의 경우 부산시 중심부를 흐르는 하천들이 다수 존재하고 있으며, 이들 하천의 경우 도시 건설과 더불어 복개(16개 지점, 부산광역시, 2003)로 인하여 중류와 하류부의 경우 육안으로 확인할 수 없는 실정이라서 대부분의 조사지역은 하천의 상류부였으며, 이로 인하여 주로 상류에 서식하는 어류들이 출현하였다. 서부권의 경우 대부분이 낙동강으로 유입되는 하천이었으며 출현 어종 역시 낙동강 하류의 출현 어종과 비슷하였다. 잉어과 어류 중 오염에 대한 내성이 강한 어류였으며, 외래어종인 *M. salmoides*와 *L. macrochirus* 역시 다수 출현하였다.

3. 어류상 복원을 위한 방안

어류를 포함한 수서생물들은 서식처의 환경조건에 크게 영향을 받는다. Schweizer and Matlack (2005)과 Mendonca *et al.* (2005)의 연구에 의하면 하상구조 및 수환경의 변화는 어류군집에 많은 영향을 미치게 된다. 하지만, 국토의 균형적 발전과 도시화의 진행은 불가피한 상황임으로 새로운 도시개발에서 하천의 수변이나 수로 정비를 최소화 할 경우는 생물상의 변화가 크지 않아 (Miltner *et al.*, 2004) 도시화 과정에서 하천의 정비를 최소화하고, 홍수 등의 범람에 대비한 도심형 생태하천으로 활용한다면 어류를 포함한 수서생물의 다양성을 유지할 수 있을 것으로 생각된다.

1990년대 이후 국민의 생활수준이 높아지면서 환경에 대한 관심도 같이 높아지고 국내에서도 도시하천을 자연

형 하천 또는 생태하천으로의 복원에 많은 관심을 가지게 되었으며 이미 시행된 곳도 있다. 하지만 대부분의 하천 복원에서 하천의 기능을 충분히 고려한 복원은 미비한 실정이다. 하천의 이러한 기능은 사회적, 공간적, 생태적 기능을 갖는다. 사회적 기능은 용수공급, 관리대상, 교류, 에너지원 등의 기능으로 세분되며, 공간적 기능은 지형형성, 수변경관, 지역구성, 경계기능 등으로 세분된다. 생태적 기능은 폐수배출, 정화작용, 서식지, 기후조절 기능으로 나눌 수 있다(최, 2004). 하지만 많은 도시하천(양재천, 중랑천, 우이천, 홍제천, 탄천, 정릉천, 수원천, 청계천)에서 생물서식이나 수질자정보다는 친수 및 경관기능에 비중을 두어 추진되었다. 따라서, 하천의 생태복원에서 이러한 하천의 기능을 이해하고 각 기능에 상반되지 않도록 충분히 고려하여 이루어져야 할 것으로 생각된다. 아울러 서식생물의 복원에도 자연하천의 생물구배와 유사한 방향으로 진행되어야 할 것으로 생각된다.

본 조사에서 출현한 *R. oxycephalus*, *Z. temminckii*와 같은 어류들은 주요 서식처가 산간계류 또는 상류하천이며 이들은 일정량의 유량이 유지되며 유속이 있는 장소를 선호하는 어류로 하천 상류의 오염이 적은 지점에 주로 분포하고 있었다. 또한 이들의 주요서식처는 하상이 대부분 모래와 자갈이 깔려있는 지역이며 이들의 산란장역시 동일한 하상을 구성하는 지역을 선호하는 것으로 알려져 있다(김과 박, 2002; 김 등, 2005). 따라서 이들과 같은 종을 복원 및 보존하기 위해서는 위에서 제시한 환경을 제공 및 유지해야 할 것이다. 아울러 하천의 중, 하류지역에 서식하는 대부분의 담수어류 역시 자갈과 모래가 깔린 지역을 선호하기 때문에 하천 복원시 충분히 고려되어야 할 사항으로 생각된다. 또한 *C. carpio*나 *C. auratus*와 같은 종은 산란을 위해 수생식물이, *A. rhombeus*같은 종은 이매패가 필수적인 요인임을 감안한다면 하천복원에서 이와 같은 요소도 고려되어야 할 것이다.

부산시에 분포하는 대부분의 하천은 지속적인 도시확장으로 인하여 이미 도시화된 하천으로 본래의 모습을 잃은지 오래되었다. 현재 일부 하천(온천천)에서 하천 복원이 진행되었으며 앞으로도 더 많은 하천들이 자연형 하천으로 바뀔 예정이다. 하지만, 이제까지 진행된 하천 복원은 단순히 배수, 경관 및 둔치 활용에 주안점을 두고 있다. 따라서 앞으로 진행될 도시하천의 복원에서는 수질 및 유량관리를 위해 집수역에 대한 관리와 더불어, 서식처 및 수변환경을 자연하천과 유사하게 복원하여 하천생물들에게 다양한 서식처를 제공해야 할 것으로 생각된다. 또한 하천 복원 후에 수행되는 어류복원에 있어서도 각 하천의 특성에 따른 종 선별이 이루어져 지사적 분포

에 적합하도록 수행되어야 할 것이다. 부산 주변의 자연형 하천을 모델로 하여 적절한 어류를 이식하는 방법 역시 필요한 것으로 사료된다. 또한 복원 후에도 어류 및 서식 생물에 대한 장기적인 모니터링을 통해 생물자원의 지속적인 보호를 위한 보전 전략수립 및 개발에 있어서도 친환경적인 측면이 지속적으로 요구된다.

적 요

소규모 담수생태계의 어류군집은 하천의 직, 간접적인 변화에 의해 크게 영향을 받는다. 하천의 변화를 유발하는 요소 중 하나인 도시화에 따른 어류상의 변화를 파악하기 위하여 부산시 일대의 어류상 조사를 실시하였다. 본 조사는 부산시 일대의 하천을 동부, 중부, 서부의 3지역으로 구분하여 2001년부터 2004년에 걸쳐 모두 55개 지점에서 실시하였다. 조사기간 동안 총 19과 46종 3,206개체의 어류가 채집되었고, 우점종은 *Rhynchocypris oxycephalus*, 아우점종은 *Zacco temminckii*였다. 수계별로 채집된 어류 중 일차 담수어를 대상으로 집괴 분석을 실시한 결과 전반적으로 동부, 중부, 서부지역이 구분되는 양상을 보였으며, *Z. temminckii*, *R. oxycephalus*가 상류를, *Carassius cuvieri*, *Acheilognathus rhombeus*, *Hemiculter eigenmanni*, *Micropterus salmoides*가 중, 하류를 대표하는 어종이었다. 문헌조사와 본 조사의 자료를 집괴 분석한 결과 도시화가 진행되었던 동부 기장지역이 부산시 중부지역과 유사한 패턴을 보였다. 향후 하천복원과 동시에 이루어질 어류 복원시 각 하천의 특성과 어류의 지사적 분포 분석을 통하여 적합한 종 선별 및 서식처 복원이 이루어져야 할 것이며, 또한 지속적인 관리를 위한 모니터링이 요구된다.

사 사

본 연구는 부산발전연구원의 지원으로 수행되었습니다.

인 용 문 헌

강영훈, 채병수, 남명모, 김한순. 2005. 비슬산 계류의 어류상과 군집구조, *육수지* 38(2): 289-296.
 광석남, 허성희. 2003. 낙동강 하구역 어류의 종조성 변화, *한국수자원학회지* 36(2): 129-135.

권오준. 1987. 서울시와 하천정비, *도시문제* 22(2): 19-26.
 김용억, 홍성윤. 1980. 낙동강 하류 철새도래지의 어류상, *자연보존연구보고서* 2: 137-146.
 김익수, 박종영. 2002. 한국의 민물고기. 교학사, 서울
 김익수, 최 윤, 이충열, 이용주, 김병직, 김지현. 2005. 한국어류 대도감. 교학사, 서울.
 김인배. 1969. 낙동강 하류의 수산개발을 위한 기본 조사, *한국수산학회지* 2(1): 25-33.
 김철수. 1987. 도시의 하천미화: 대구시와 신천정비 -수변경관 조성, 정비의 방향-, *도시문제* 22(2): 27-39.
 부산광역시. 2003. 부산자연환경조사 및 관리시스템 개발(2차년도).
 부산발전연구원. 2006. 부산지역 도시하천의 실태분석과 환경관리방향에 관한 연구.
 생명공학연구소. 1996. 한국 민물고기 조사.
 손명원. 1998. 도시하천의 생태학적 역할과 개선방안, *한국지역지리학회지* 4: 15-25.
 송인성. 1987. 도시의 하천미화: 광주시와 광주천정비, *도시문제* 22(2): 40-52.
 양홍준, 김구환, 금지돈. 2001. 낙동강하구의 어류상과 댐의 어도에서 어류의 이동, *육수지* 34(3): 251-258.
 이종익. 1987. 도시의 하천미화: 청주시와 무심천정비, *도시문제* 22(2): 53-63.
 장민호, 조가익, 주기재. 2001a. 낙동강 본류의 어류상, *육수지* 34(3): 223-238.
 장민호, 최기룡, 주기재. 2001b. 울산지역(가지산) 상류하천의 어류군집, *육수지* 34(3): 239-250.
 전상린. 1982. 동해로 유입되는 소하천수계의 어류상에 관하여, *상명대학교논문집* 10: 465-487.
 전상린. 1987. 낙동강 하류역의 어류상에 관하여, *자연보존협회보고서* 9: 77-90.
 전상린. 1989. 한국산 황어속, 연준모치속, 및 버들치속(황어아과) 어류의 검색과 분류, *기초과학연구* 3: 17-36.
 주기재, 김현우, 하 경. 1997. 하천생태학의 발전과 우리나라 하천 연구의 현황, *한국생태학회지* 20: 69-78.
 최병두. 2004. 도시하천과 지속가능한 지역 개발: 금호강을 중심으로, *한국지역지리학회지* 10: 757-774.
 최윤, 김지현, 박종영. 2002. 한국의 바닷물고기. 교학사, 서울.
 Allan, J.D. 1995. Stream ecology-structure and function of running waters. Chapman & Hall.
 APHA. 1995. Standard methods (For the examination of water and wastewater), American Public Health Association.
 Argent, D.G. and R.F. Carline. 2004. Fish assemblage changes in relation to watershed landuse disturbance. *Aquatic Ecosystem Health & Management* 7(1): 101-114.
 Baron, J.S., N.L. Poff, P.L. Angermeier, C.N. Dahm, P.H. Gleick, N.G. Hairston Jr., R.B. Jackson, G.A. Johnston,

- B.D. Richter and A.D. Steinman. 2002. Meeting ecological and societal needs for freshwater. *Ecological Applications* **12**: 1247-1260.
- Bledsoe, B.P. and C.C. Watson. 2001. Effects of urbanization on channel instability. *Journal of the American Water Resources Association* **37**(2): 255-270.
- Booth, D.B. and C.R. Jackson. 1997. Urbanization of aquatic systems: degradation thresholds, stormwater detection and the limits of mitigation. *Journal of the American Water Resources Association* **33**(5): 1077-1090.
- Bray, J.R. and J.T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* **27**: 325-349.
- Finkenbine. J.K., J.W. Atwater and D.S. Mavinic. 2000. Stream health after urbanization. *Journal of the American Water Resources Association* **36**: 1149-1160.
- Garie, H.L. and A. McIntosh. 1986. Distribution of benthic macroinvertebrates in a stream exposed to urban runoff. *Water resources Bulletin American Water Resource Association* **22**: 447-455.
- Gwyneth, H. 1994. Water Quality for Freshwater Fish-Further Advisory Criteria. Gordon and Breach Science Publishers.
- Jang, M.H., J.G. Kim, S.B. Park, K.S. Jeong, G.I. Cho and G.J. Joo. 2002. The current status of the distribution of introduced fish in large river systems of South Korea. *International Review of Hydrobiology* **87**: 319-328.
- Jang, M.H., M.C. Lucas and G.J. Joo. 2003. The fish fauna of mountain stream in South Korean national parks and its significance to conservation of regional freshwater fish biodiversity. *Biological Conservation* **114**: 115-126.
- Jang, M.H., G.J. Joo and M.C. Lucas. 2006. Diet of introduced largemouth bass in Korean rivers and potential interaction with native fishes. *Ecology of Freshwater Fish* **15**: 315-320.
- Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Chapman & Hall, London.
- Margalef, K.R. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics* **3**: 36-71.
- McNaughton, S.J. 1967. Relationships among functional properties of Californian Grassland. *Nature* **216**: 168-169.
- Mendonca, F.P., W.E. Magnusson and J. Zuanon. 2005. Relationships between habitat characteristics and fish assemblages in small streams of central amazonia. *Copeia* **2005**(4): 751-764.
- Miltner, R.J., D. Whute and C. Yoder. 2004. The biotic integrity of streams in urban and suburbanizing landscapes. *Landscape and Urban Planning* **69**: 87-100.
- Nelson, J.S. 1994. Fishes of the World (3rd ed.) John Wiley & Sons, Inc.
- Paul, M.J. and J.L. Meyer. 2001. Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecological System* **32**: 333-365.
- Pielou, E.C. 1969. Shannon's formula as a measure of specific diversity: its use and misuse. *American Naturalist* **100**: 463-465.
- Ricciardi, A. and J.B. Rasmussen. 1999. Extinction rates of North American freshwater fauna. *Conservation Biology* **13**: 1220-1222.
- Riley, S.P.D., G.T. Busteed, L.B. Kats, T.L. Vandergon, L.F.S. Lee, R.G. Dagit, J.L. Kerby, R.N. Fisher and R.M. Sauvajot. 2005. Effects of urbanization on the distribution and abundance of amphibians and invasive species in southern California streams. *Conservation Biology* **19**: 1894-1907.
- Schweizer, P.E. and G.R. Matlack. 2005. Annual variation in fish assemblages of watersheds with stable and changing land use. *American Midland Naturalist* **153**: 293-308.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois press, Urbana.

(Manuscript received 19 January 2007,

Revision accepted 11 June 2007)

Appendix 1. Location of study sites.

▶1차 조사 (2001년 6월~2002년 4월)

장안천 수계

- St. 1: 부산광역시 기장군 장안읍 기룡리 장안사 하류 1 km 지점
- St. 2: 부산광역시 기장군 장안읍 반룡리 하근교
- St. 3: 부산광역시 기장군 장안읍 월내리 장안천 하류

좌광천 수계

- St. 4: 부산광역시 기장군 정관면 용전리 상부
- St. 5: 부산광역시 기장군 정관면 용전리 하부 좌광천 상류
- St. 6: 부산광역시 기장군 정관면 달산리 좌광천 중류
- St. 7: 부산광역시 기장군 장안읍 입랑리 좌광천 하류

일광천 수계

- St. 8: 부산광역시 기장군 일광면 용천리 대리 일광천 상류
- St. 9: 부산광역시 기장군 일광면 화전리 일광천 중류
- St. 10: 부산광역시 기장군 일광면 일광 일광천 하류

죽성천 수계

- St. 11: 부산광역시 기장군 기장읍 만화리 만화천
- St. 12: 부산광역시 기장군 기장읍 교리 현대아파트 죽성천 중류
- St. 13: 부산광역시 기장군 기장읍 죽성리 원죽일구 죽성천 하류

송정천 수계

- St. 14: 부산광역시 기장군 기장읍 내리고 송정천 중류
- St. 15: 부산광역시 기장군 기장읍 당사리 송정천 하류

회동저수지유입천 수계 (철마천 수계)

- St. 16: 부산광역시 기장군 철마면 연구리 보림교 철마천 상류
- St. 17: 부산광역시 기장군 철마면 장전리 철마천 하류
- St. 18: 부산광역시 기장군 철마면 장전리 부산대학교 연습림

▶2차 조사 (2002년 7월~2003년 6월)

춘천 수계

- St. 19: 부산광역시 해운대구 좌동 춘천 상류 폭포사
- St. 20: 부산광역시 해운대구 좌동 LG 아파트 뒤편 군부대 내 춘천 상류
- St. 21: 부산광역시 해운대구 중동 대림 아파트 춘천 본류

수영강 수계

- St. 22: 부산광역시 해운대구 우동 칠성암 수영강 지류
- St. 23: 부산광역시 해운대구 재송동 수영강 하류
- St. 24: 부산광역시 해운대구 반송동 유신교 석대천
- St. 25: 부산광역시 금정구 금사동 수영강 본류

온천천 수계

- St. 26: 부산광역시 동래구 수민동 연안교 온천천 하류
- St. 27: 부산광역시 금정구 장전동 부산대학교 내 미리내골
- St. 28: 부산광역시 금정구 장전동 부산대학교 옆 장전천
- St. 29: 부산광역시 금정구 남산동 온천천 지류

St. 30: 부산광역시 금정구 청룡동 범어사 계곡 온천천 상류

남천 수계

- St. 31: 부산광역시 남구 대연 3동 도시고속도로 황령산IC 남천 상류
- St. 32: 부산광역시 남구 대연 3동 에버그린 아파트 남천 상류

부전천 수계

- St. 33: 부산광역시 부산진구 초읍동 성지곡수원지
- St. 34: 부산광역시 부산진구 초읍동 성지곡수원지 유입천
- St. 35: 부산광역시 부산진구 초읍동 성지곡수원지 저수지 아래
- St. 36: 부산광역시 부산진구 부암동 선암사 계곡

낙동강 유입천 (삼락)

- St. 37: 부산광역시 사상구 모라동 운수사 계곡
- St. 38: 부산광역시 사상구 모라동 용문사 계곡

낙동강 유입천 (패법)

- St. 39: 부산광역시 사상구 패법동 신라대학교 내

학장천 수계

- St. 40: 부산광역시 사상구 주례동 백운사 상부
- St. 43: 부산광역시 북구 학장동 부산시립정신병원 옆

보수천 수계

- St. 41: 부산광역시 서구 서대신 4동 대신공원 내
- St. 42: 부산광역시 서구 서대신 4동 구덕야영장

괴정천 수계

- St. 44: 부산광역시 사하구 당리동 무학사 상부 지산농원 옆

대천천 수계

- St. 45: 부산광역시 북구 화명동 우신 아파트 상부 대천천 지류
- St. 46: 부산광역시 금정구 금성동 산성교 대천천 상류
- St. 47: 부산광역시 북구 화명동 애기소 계곡 대천천 하류

▶3차 조사 (2003년 7월~2004년 6월)

낙동강 본류

- St. 48: 부산광역시 강서구 대저동 낙동강교

서낙동강 본류

- St. 49: 부산광역시 강서구 강동동 김해교

평강천 권역 수계

- St. 50: 부산광역시 강서구 강동동 가락교
- St. 51: 부산광역시 강서구 명지동 순아교

맥도강 권역 수계

- St. 52: 부산광역시 강서구 명지동 염막지구

조만강 권역 수계

- St. 53: 경상남도 김해시 장유면 무계리
- St. 54: 부산광역시 강서구 녹산동
- St. 55: 부산광역시 강서구 범방동 둔치도