J. Kor. Soc. Environ. Eng., 36(3), 221~230, 2014
Technical Information
http://dx.doi.org/10.4491/KSEE.2014.36.3.221
ISSN 1225-5025

국내 어류 서식환경 조사 및 데이터베이스 구축

A Survey on Fish Habitat Conditions of Domestic Rivers and Construction of Its Database

정진홍 · 박지영 · 윤영한 · 임현만 · 김원재†
Jin-Hong Jung · Ji-Young Park · Young-Han Yoon · Hyun-Man Lim · Weon-Jae Kim†

한국건설기술연구원 환경연구실
Environment Engineering Research Division, Korea Institute of Construction Technology

(2013년 1월 23일 접수, 2014년 3월 3일 채택)

Abstract : In order to restore an ecologically damaged river, freshwater fish which inhabit at the target aquatic ecosystem have a great applicability as one of the essential indicators. Although the informations about the habitat conditions of freshwater fish are key elements reflecting biological, physical, and chemical properties of the aquatic environment, because of the lack of preceding related research and insufficient database with scattered data, they have not been applied effectively for the ecological river restoration projects in Korea. To cope with these problems, based on the nation-wide detailed investigation for domestic freshwater fish habitat conditions, we have selected 70 species considering the possibility for the candidates of flagship species, constructed a database for their population, physical, and chemical habitat properties, and suggested its application methodology for the river restoration projects. In particular, the utilization of the database has been enhanced by the additional statistical analysis to present their resistance and optimum ranges for physical, and chemical habitat properties respectively. It is expected that the database constructed in this study can be utilized for the calculation and evaluation of the appropriate ecological flow rate and target water quality for the selected flagship species (fish), and the basic data for the restoration of river environment.
Key Words : *Ecological River Restoration, Urban River Rehabilitation, Database, Fish Habitat Conditions, Flagship Species*

요약 : 수생태적 건전성이 훼손된 하천을 자연형 생태하천으로 복원하고자 할 경우, 대상 수생태계에 서식하고 있는 담수어류는 핵심적 지표생물로서의 활용 가능성이 매우 크다. 어류의 서식환경에 대한 정보는 수환경의 생물학적 및 물리 · 화학적 특성을 반영할 수 있는 핵심적 요소임에도 불구하고 관련 연구가 미비하고 기존 데이터 또한 산재해 있는 등 데이터베이스(DB)화가 미흡하여 생태하천 복원사업의 추진 과정에서 이를 충분히 연계하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 문제에 대응하기 위하여 국내에 서식하고 있는 주요 담수어종의 서식환경에 대한 전국 규모의 상세조사 결과를 바탕으로, 깃대종으로서의 활용도가 높을 것으로 판단되는 70종을 선정하여 각 어종별로 개체군 특성, 물리적 및 이화학적 서식특성을 DB화하고, 이를 생태하천 조성사업에 활용하는 방안을 제시하였다. 특히, 물리적, 이화학적 서식환경에 대해서는 서식범위와 최적범위를 산출하는 통계분석을 추가 수행하여 DB의 활용성을 제고하였다. 본 연구에서 구축한 DB는 생태하천 복원시 선정된 깃대종(어류)에 적합한 생태유량과 목표수질의 산정, 평가 및 서식환경 복원을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.
주제어 : 생태하천 복원, 도시하천 회복, 데이터베이스, 어류 서식환경, 깃대종

1. 서 론

도시화 및 산업화의 진전에 따라 우리나라 도심의 하천은 자연하천의 모습을 빠르게 상실해 왔다. 하천관리는 치수기능에 중점을 두거나 경제성을 우선적으로 추구함으로써 획일적이고 인공적인 하천정비에 초점을 맞추어 왔다. 또한 재해예방 및 복구사업 위주의 하천정비로 인하여 콘크리트 호안으로 조성되고, 유하능력 증대를 위한 하천의 직강화 등으로 그 구조가 단순해짐에 따라 여울(Riffle)과 소(Pool)가 사라지고, 수중생물의 서식지 및 산란지는 준설 또는 골재 채취로 파괴되거나 점토로 덮임으로써 다양한 생물들이 서식하기 어려운 상태가 되었을 뿐만 아니라 어류들의 이동통로가 사라지는 원인이 되었다.[1)] 한편, 생태환경의 중요성이 인식되고, 친환경적인 생활을 영위하고자 하는 국민들의 삶의 질에 대한 욕구가 높아짐에 따라 1990년대를 거치면서 비로소 생태적 건전성에 대한 문제가 사회 전반에 걸쳐 주요한 이슈로 떠오르게 되었고, 하천복원에 대한 관심이 높아지면서 2000년대부터 자연형 하천정비사업이 전국적으로 추진되기 시작하였다.[2)] 환경부[3)]에서는 '생태하천'을 하천이 지닌 본래의 자연성과 생태적 기능을 온전히 가지고 있는 하천으로 정의하고, '생태하천 복원'이란 하천 내외의 인공적 생태계 교란요인을 제거하여 자연상태에 가깝게 복원하고 건강한 생태계가 유지될 수 있도록 관리해 나가는 활동이라고 해설하고 있다.

국내외에서 담수어종을 하천 수환경의 지표로 활용하는 방안에 대한 연구는 지속적으로 진행되어 왔다. 국내의 경우 환경부[4)]는 담수어종의 분포 및 생태적 특성에 대한 조사를 수행하여 이를 하천 복원사업 과정에서의 성공 가능성을 높이기 위한 기초자료로 활용하도록 하였고, 양[5)]은 하천 복원사업에서 고려가 필요한 어종 및 식물을 제시하여 하

† Corresponding author E-mail: wjkim@kict.re.kr Tel: 031-910-0303 Fax: 031-910-0291

천 복원시 유용한 정보를 제공하고자 하였다.[5] 또한 노[6]는 대표 어종을 선정하고 선정된 어류의 서식에 필요한 최소한의 유량을 산정하기 위한 연구를 수행한 바 있다. 국외의 경우 미국에서 많은 선행 연구가 진행되었는데, 1960년대부터 어류서식에 필요한 유량을 산정하기 위하여 연어와 송어를 대표어종으로 선정하여 물리적 서식조건을 분석하였고,[7] 어류를 생물 및 생태학적 평가지표로 꾸준히 활용해 오고 있으며,[8] 미국 환경보호청[9]에서는 하천복원 및 기타 연구의 기초자료를 제공하기 위하여 지속적으로 모니터링을 수행하는 등 다양한 연구가 진행되고 있다. 한편, 지금까지의 연구는 대상유역을 선정한 다음 그 유역에 국한하여 깃대종을 선정하거나, 대상 어종의 서식환경에 대한 부분적 접근에 그치는 경우가 많았고, 개체군 특성, 물리적 및 이화학적 서식환경을 망라하여 종합적으로 접근하고자 하는 노력이 미비하여 생태하천 복원시 수리 및 수문학적 조건들과 깃대종의 서식환경과의 상호연계가 충분치 않은 문제점 등이 지적되어 왔다.[10] 참고로, 환경부에서는 '깃대종'에 대하여 지역의 생태적, 지리적, 문화적 특성을 반영하며, 이를 보전 · 복원함으로써 다른 생물의 서식지도 함께 보전 · 회복이 가능한 '상징적 동 · 식물'로 정의하고 있다.[3]

수생태계 건전성 확보 측면에서 어류는 하천의 고등 소비자일 뿐만 아니라 중요한 지표생물로서의 활용 가능성이 매우 크며, 수환경의 생물학적, 물리 · 화학적 특성에 대한 직 · 간접적인 영향을 평가할 수 있는 생물 중 하나이다.[11] 따라서 본 연구에서는 국내에 서식하고 있는 주요 담수어종의 서식환경에 대한 전국 규모의 상세조사 결과를 바탕으로, 하천 수환경에 대한 깃대종으로의 활용가능성 여부를 고려하여 70종을 선정하고, 각 어종별로 개체군 특성, 물리적 및 이화학적 서식특성을 데이터베이스(database, DB)화하고, 이 DB를 생태하천 조성사업에 활용하는 방안을 제시하였다. 이러한 연구결과는 생태하천 복원시 선정된 깃대종(어류)에 적합한 생태유량, 목표수질의 산정, 평가 및 서식환경 복원을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구방법

2.1. 어류 서식환경 데이터베이스 구축을 위한 조사지점 및 조사시기

아래의 Fig. 1에 조사지점의 위치를 도시하는 한편, 구체적인 조사지점명 및 조사시기는 Table 1에 수계별로 정리하여 나타내었다. 일부 지리적으로 인접한 조사지점에 대해서는 Fig. 1 상에 추가적인 도시를 생략하였다. 본 연구에 활용된 기초자료의 현장 모니터링은 어류 및 그 서식환경에 대한

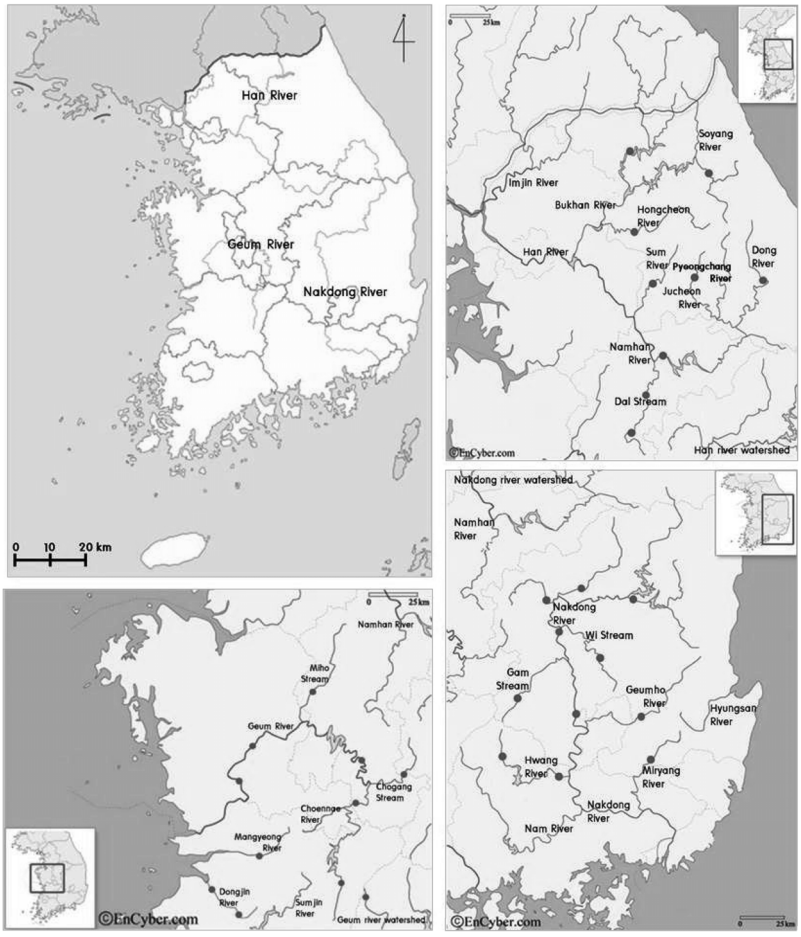


Fig. 1. Monitoring sites of the Han, Nakdong and Geum river basins.

Table 1. Detailed information for monitoring sites and time

Basin	Administrative address	River	Investigation time
Han river	Hoengseong-gun Hoengseong-eup	Gyecheon	2008 (Oct.), 2009 (Mar., May, Aug., Sep., Oct.), 2010 (Apr., Nov.)
	Hoengseong-gun Gonggeun-myeon	Gyecheon	2010 (Apr., Nov.)
	Inje-gun Sangnam-myeon	Naerincheon	2010 (Mar., May, Aug.)
	Hongcheon-gun Naechon-myeon	Naechoncheon	2008 (Oct.), 2009 (Mar., May, Aug., Oct.), 2010 (Apr.)
	Cheongwon-gun Miwon-myeon	Dalcheon	2008 (Sep., Nov.), 2009 (Mar., Apr., May, Jul., Aug., Sep., Nov.), 2010 (Nov.)
	Goesan-gun Cheongcheon-myeon	Dalcheon	2008 (Sep., Nov.), 2009 (Mar., Apr., May, Jul., Aug., Sep., Nov.), 2010 (Nov.)
	Goesan-gun Cheongcheon-myeon	Dalcheon	2008 (Sep., Nov.), 2009 (Apr., May, Jul., Aug., Sep., Nov.), 2010 (Nov.)
	Goesan-gun Gammul-myeon	Dalcheon	2008 (Sep., Nov.), 2009 (Mar., Apr., May, Jul., Aug., Sep., Nov.), 2010 (Nov.)
	Chungju-si Salmi-myeon	Dalcheon	2008 (Sep., Nov.), 2009 (Mar., Apr., May, Jul., Aug., Sep., Nov.), 2010 (Nov.)
	Yeongwol-gun Yeongwol-eup	Dong river	2009 (Mar., May, Aug., Sep., Oct.), 2010 (Apr.)
	Icheon-si Bubal-eup	Bokhacheon	2009 (Mar.)
	Hoengseong-gun Hoengseong-eup	Seom river	2008 (Oct.), 2009 (Mar., May, Aug.)
	Hoengseong-gun Hoengseong-eup	Seom river	2010 (Nov.)
	Icheon-si Janghowon-eup	Cheongmicheon	2008 (Oct.), 2009 (Mar., May, Aug., Oct.), 2010 (Apr.)
	Pyeongchang-gun Pyeongchang-eup	Pyeongchang river	2008 (Oct.), 2009 (Mar., May, Aug., Oct.), 2010 (Apr.)
	Hongcheon-gun Duchon-myeon	Hongcheon river	2008 (Oct.), 2009 (Mar., May, Aug., Oct.), 2010 (Apr.)
Nak-dong river	Gimcheon-si Jijwa-dong	Gamcheon	2010 (Jun., Oct.)
	Gimcheon-si Apo-eup	Gamcheon	2010 (Apr., Jun., Oct.)
	Gimcheon-si Joma-myeon	Gamcheon	2010 (Jun., Oct.)
	Sangju-si Hwaseo-myeon	Geumcheon	2010 (Apr., Jun., Oct.)
	Daegu-si Buk-gu Bukhyeon-dong	Geumho river	2010 (Jun., Oct.)
	Yeongcheon-si Geumho-eup	Geumho river	2010 (Jun.)
	Andong-si Dosan-myeon	Nakdong river	2010 (Jun., Aug.)
	Milyang-si Sangnam-myeon	Milyang river	2010 (Jun., Oct.)
	Andong-si Bukhu-myeon	Naeseongcheon	2010 (Apr., Jun., Oct.)
	Yecheon-gun Yonggung-myeon	Naeseongcheon	2010 (Jun., Oct.)
	Cheongsong-gun Jinbo-myeon	Banbyeoncheon	2010 (Jun., Oct.)
	Andong-si Songcheon-dong	Banbyeoncheon	2010 (Apr., Jun., Oct.)
	Mungyeong-si Hogye-myeon	Yeong river	2010 (Apr., Jun., Oct.)
	Uiseong-gun Danmil-myeon	Wicheon	2010 (Jun., Oct.)
	Hapcheon-gun Daeyang-myeon	Hwang river	2010 (Jun., Oct.)
	Goryeong-gun Unsu-myeon	Hoecheon	2010 (Oct.)
Geum river	Daejeon-si Yuseong-gu Bongmyeong-dong	Gapcheon	2007 (Oct.), 2008 (Apr., May, Oct.), 2009 (Sep.)
	Yeongi-gun Geumnam-myeon	Geum river	2007 (Sep.)
	Cheongwon-gun Nami-myeon	Geum river	2007 (Sep.)
	Geumsan-gun Buri-myeon	Geum river	2007 (Oct.), 2008 (Jun., Sep.), 2009 (Apr., Sep.)
	Muju-gun Muju-eup	Geum river	2007 (Jun.), 2008 (Apr., Jun., Sep.), 2009 (Apr., Sep.)
	Oakcheon-gun Dongi-myeon	Geum river	2008 (Apr., Jun., Sep.), 2009 (Apr., Sep.)
	Jangsu-gun Cheoncheon-myeon	Geum river	2008 (Apr., Jun., Aug.), 2009 (Apr., Sep.)
	Daejeon-si Daedeok-gu Sintanjin-dong	Geum river	2007 (May, Jun., Oct.), 2008 (Apr., May, Sep.), 2009 (Sep.)
	Nonsan-si Bujeok-myeon	Nonsancheon	2007 (Oct.), 2008 (Oct.), 2009 (Apr., Oct.)
	Jeongeup-si Sintaein-eup	Dongjin river	2007 (Nov.), 2008 (Apr., May)
	Wanju-gun Bongdong-eup	Mangyeong river	2007 (Nov.), 2008 (Apr., May, Aug.), 2009 (Apr.)
	Cheongju-si Heungdeok-gu	Musimcheon	2008 (May)
	Muju-gun Muju-eup	Namdaecheon	2010 (Jun., Oct.)
	Muju-gun Muju-eup	Namdaecheon	2010 (Jun., Oct.)
	Cheongwon-gun Gangnae-myeon	Mihocheon	2008 (May)
	Okcheon-gun Cheongseong-myeon	Bocheongcheon	2008 (Apr., Jun., Sep.), 2009 (Apr., Sep.)
	Yesan-gun Sapgyo-eup	Sapgyocheon	2007 (Oct.), 2008 (Apr., May, Oct.), 2009 (Apr., Sep.)
	Gongju-si Useong-myeon	Yugucheon	2007 (Oct.), 2008 (Apr., May, Oct.), 2009 (Apr.)
	Jeongeup-si Jeongu-myeon	Jeongeupcheon	2007 (Nov.), 2008 (Apr., May, Aug.), 2009 (Apr., Oct.)
	Cheongyang-gun Jangpyeong-myeon	Jicheon	2007 (Oct.), 2008 (Apr., May, Oct.), 2009 (Apr.)
	Yeongdong-gun Sangchon-myeon	Chogangcheon	2008 (Jun., Jul., Aug., Sep., Oct., Nov.), 2009 (Mar., Apr., May, Jun., Sep., Oct.)
	Yeongdong-gun Sangchon-myeon	Chogangcheon	2008 (Jun., Jul., Aug., Sep., Oct., Nov.), 2009 (Mar., Apr., May, Jun., Sep., Oct.)
	Yeongdong-gun Hwanggan-myeon	Chogangcheon	2008 (Jun., Jul., Aug., Sep., Oct., Nov.), 2009 (Mar., Apr., May, Jun., Sep., Oct.)
	Yeongdong-gun Yongsan-myeon	Chogangcheon	2008 (Jun., Jul., Aug., Sep., Oct., Nov.), 2009 (Mar., Apr., May, Jun., Sep., Oct.)
	Yeongdong-gun Simcheon-myeon	Chogangcheon	2008 (Jun., Jul., Aug., Sep., Oct., Nov.), 2009 (Mar., Apr., May, Jun., Sep., Oct.)

생태 현장조사를 전문적으로 수행하는 생물모니터링센터(대표: 허준욱 박사)에서 수행하였다. 모니터링은 2007~2010년에 걸쳐 한강, 낙동강 및 금강 수계의 주요 지천 및 본류를 포괄하여 진행되었다. 조사시기는 우리나라의 계절적 특성을 고려하여 겨울철 월동기를 지나 산란기인 봄(3~5월), 수온 상승에 의해 어류의 활동성이 커지는 여름(6~8월)을 기준으로 년 4회(계절별) 실시하는 것을 원칙으로 하였다.[11)]

모니터링 지점으로는 다양한 어종의 포획이 가능한 장소를 중심으로 선정하였다. 토착어류의 경우, 여울과 소가 반복되는 하천에서 산란 및 서식하기 때문에 채취지점을 선정함에 있어서 여울과 소가 반복되는 지점을 선택하는 것이 다양한 종의 포획에 유리하다고 판단하였다. 또한 하천 가장자리의 식생이 발달한 지역이 치어의 포획에 유리하다는 점과 수리 구조물의 직하류에 다양한 종이 서식한다는 점을 고려하여 모니터링 지점을 선정하였다.[12)]

2.2. 어류의 채집

어류의 채집은 어류생태 모니터링 가이드라인(안)에 준하여 각 조사지점의 특성에 따라 투망(망목, 5 × 5 mm) 및 족대(망목, 3 × 3 mm)를 사용하였다.[12)] 투망의 경우 치어보다는 자어 및 성어의 포획에 유리한 조사도구로서, 조사 횟수는 15회 이상(여울, 소 및 유수역(Run) 각 20회), 약 1시간 동안 실시하는 것을 원칙으로 하고, 구간의 특성을 고려하여 유의한 수준에서 조절하였다. 단, 바람 및 주변 장애물에 의해 투망이 완전히 펼쳐지지 않은 경우는 조사 횟수에서 제외하였고, 동시에 어류 계측에서도 제외하였다. 투망의 경우 조사자의 경력 및 숙련도에 따라 포획되는 종의 개체수 및 다양도에 차이가 있을 수 있으므로 숙련된 기술을 보유한 조사자가 참여하였다.

족대의 경우 수변 식생부, 평여울, 급여울 등지에서 유용한 조사도구로서, 자갈 및 돌 등의 하상재료 하부에 서식하는 저서성 어종의 포획에 용이하고 성어뿐만 아니라 치어의 포획에도 유리한 조사도구이다. 이는 투망에 비해 포획면적이 좁기 때문에 투망보다 조사 횟수를 늘려 약 1시간 동안 실시하였다. 족대 채집의 경우, 육안으로 보이는 종의 포획보다는 하상에 주로 서식하는 육안으로 보이지 않는 종의 포획을 목적으로 하기 때문에 투망과 마찬가지로 숙련된 포획기술을 보유한 조사자가 채집에 참여하였다.

채집된 각 개체는 각종 보고서와 도감을 참고하여 현장에서 종을 확인 및 동정하고 기록하였다.

2.3. 데이터베이스 구축을 위한 담수어류의 선정

현재 국내의 하천에 서식하는 담수어류는 약 215종으로 보고되고 있다. 이 중 붕어 등 약 120종은 일생을 담수에서만 생장하는 1차 담수어이고, 산란을 위하여 바다와 담수를 오가는 뱀장어 등 회유성 어종이 약 80종, 회귀습성을 잃고 내륙호수에 정착된 어종은 산천어 등 6종이며, 기타 10여종의 외래어로 구성되어 있다.[4)] 본 연구에서는 DB 구축 대상 담수어류로서 국내 하천의 현장조사에서 가능한 다수의 개체가 채집(평균: 171.7개체, 최소: 9개체, 최대: 2,656개체)되고, 국내 생태하천 조성사업에서 깃대종을 선정하는 데 유용할 것으로 판단되는 종을 대상으로 70종을 선정하였다(일부 외래어종은 참고용으로 포함). 수수미꾸리(9개체)를 제외한 모든 어종에 대하여 10개체 이상 채집되었다. 여기에서 활용하고 있는 담수어종별 채집 개체수는 조사방법, 조사시기, 조사지점 및 조사횟수 등에 영향을 받게 되기 때문에 본 연구의 결과는 위에서 제시한 모니터링 시기(2007~2010년)와 조사지점(한강, 낙동강 및 금강 수계의 주요 지천 및 본류) 및 조사방법에 국한된 결과임에 유의할 필요가 있다.

위의 기준을 바탕으로 본 연구에서 선정한 담수어류 70종은 가는돌고기, 가물치, 가시납지리, 각시붕어, 갈문망둑, 감돌고기, 기름종개, 긴몰개, 꺽지, 꾸구리, 꾹저구, 끄리, 납자루, 누치, 눈동자개, 눈불개, 대농갱이, 대륙송사리, 대륙종개, 돌고기, 돌마자, 돌상어, 동사리, 동자개, 뚱경모치, 떡납줄갱이, 떡붕어, 메기, 모래무지, 몰개, 묵납자루, 미꾸라지, 미꾸리, 민물검정망둑, 밀어, 배가사리, 배스, 뱀장어, 버들붕어, 버들치, 붕어, 블루길, 산천어, 새코미꾸리, 수수미꾸리, 쉬리, 쏘가리, 어름치, 얼룩동사리, 얼룩새코미꾸리, 은어, 잉어, 자가사리, 잡지리, 점줄종개, 줄납자루, 줄몰개, 중고기, 참갈겨니, 참마자, 참몰개, 참붕어, 참종개, 참중고기, 치리, 칼납자루, 큰납지리, 퉁가리, 피라미 및 흰줄납줄개에 달한다(가나다 순). 참고로 외래어종의 서식환경에 대한 이해를 도울 수 있도록 배스와 블루길을 추가하였다.

2.4. 어류 서식환경 데이터베이스의 구성

국내에 서식하는 담수어류 중 DB를 구축하기 위한 70종을 선정한 다음, DB의 구성항목의 성격에 따라 아래와 같이 개체군 특성, 물리적 및 이화학적 서식환경으로 구분하였다.

2.4.1. 개체군 특성

담수어류의 개체군 특성으로 개체수 및 크기에 대하여 DB를 구축하였다. 총 개체수는 각 조사지점에서 채집한 개체수 전체를 합한 것으로 정의하였다. 어류의 크기는 전장(Total length), 체장(Body length) 및 체고(Body height) 등으로 구분할 수 있는데, 본 연구에서는 전장을 측정하되, 전장의 측정이 불가능한 경우에 한하여 체장을 측정하였다. 이 때, 측정에는 육안 및 휴대용 자를 활용하였다.

2.4.2. 물리적 서식환경

담수어류의 물리적 서식환경으로 하천차수(Stream order), 서식지 형태(Habitat type), 하상재료(Bed materials), 수심(Water depth) 및 유속(Flow velocity)에 대하여 DB를 구축하였다. 하천차수는 일정한 유역 내의 하천망에서 그 하천의 본류와 지류의 규모를 정량적으로 구분하거나 일반적인 하천 규모를 구분하기 위하여 각 하도의 합류점을 기준으로 하여 구간별로 나누고, 이 구간에 일정한 계급을 부여하는 수치로 정의한다.[13)] 일반적으로 하천차수 결정방법은 하천망 분류방법 가운데 하나인 Horton-Strahler 방법이 많이 이

용되는데, 이는 하천이 합류된 후 증가된 차수가 합류하는 두 개 중 하나의 하천에 소급되는 방법을 수정하여, 합류점을 경계로 일정한 유역분지 내에서 가장 상류 부분부터 시작하여 다른 하도와 만나기까지의 구간을 '1'차수 하천으로 부여하고, 이 하천이 동일 차수의 하천과 합류하게 되면 합류하천의 차수를 하나씩 높여주는 방법이다.[14] 서식지 형태는 여울, 소 및 유수역으로 구분할 수 있다. 여울은 지형과 하상이 급경사로 변화하여 유속이 빠르고, 유량의 감소 시 하상이 노출되는 지점이고, 소는 개방형 또는 폐쇄형으로 물의 유속이 느리거나 정체수역이며, 유수역은 여울과 인접한 상·하류 지점이다.[12] 하상재료는 일반적으로 통일분류법(Unified Soil Classification System, USCS)에 의해서 분류된다. 통일분류법은 Casagrande (1942)가 제안한 분류법으로 흙의 공학적 분류법의 하나로 도로 관계 및 일반적인 흙의 분류에 많이 사용되고 있는 분류법 중 하나이다.[15] 이를 바탕으로 본 연구에서는 사립자의 크기에 따라 실트(Si, <0.062 mm), 모래(Sa, 0.062~2.0 mm), 가는자갈(Fg, 2~16 mm), 굵은자갈(Cg, 16~64 mm), 호박돌(Co, 64~256 mm) 및 전석(Bo, >256 mm) 등 6단계로 분류하였다. 수심 및 유속은 각 조사지점에서 투망을 투척한 장소 및 족대로 채집한 장소에서 포획을 마친 다음 유속 및 수심을 측정하여 기록하였다. 이 때, 유속은 유속계를 사용하여 도섭법(하폭의 횡단면을 건너면서 직접 조사하는 방법)으로 조사하였으며, 수심은 수심 측정봉을 활용하여 측정하였다.

2.4.3. 이화학적 서식환경

담수어류의 이화학적 서식환경으로 수질기본항목인 pH, 수온(Water temperature), 용존산소(Dissolved Oxygen, DO), 부유물질량(SS, Suspended Solids), 생물화학적산소요구량(Biochemical Oxygen Demand, BOD), 화학적산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD) 및 전기전도도(Conductivity)와 영양염류인 총질소(Total Nitrogen, T-N) 및 총인(Total Phosphorus, T-P) 및 생태독성물질인 암모니아성질소(Ammonium Nitrogen, NH_3-N)를 조사하였다. pH, 수온, DO 및 전기전도도는 현장에서 직접 측정하였고, 나머지 수질분석 항목인 SS, BOD, COD, T-N, T-P 및 NH_3-N는 수질공정시험법에 준하여 실험실에서 분석하였다. COD는 망간법에 의해 측정하였다. 위의 수질항목 중에서 pH, 수온 및 DO 등과 같이 일 중 측정값이 변할 수 있는 항목 또한 일평균 값이 아니라 현장조사가 진행되는 시점에 동시에 측정된 값이라는 점에 주의할 필요가 있다.

2.5. 어류 서식환경 데이터베이스 구축을 위한 통계분석

조사한 어류의 서식환경을 개체군 특성, 물리적 및 이화학적 서식환경에 따라 분류하여 DB화한 후 통계적인 분석을 수행하였다. 특히, 정량적 분석이 가능한 물리적 및 이화학적 서식환경에 대해서는 각 DB 구성항목에 대하여 기술통계처리를 거쳐 대푯값(중앙값), 범위(서식범위) 및 최적범위($(\mu \pm \sigma)$ 범위 또는 제1사분위수와 제3사분위수 사이의 IQR 범위(interquartile range))를 제시하여 활용성을 제고하였다. 이 때, 서식범위는 대상 어류가 채집된 최저값 및 최고값의 범위로 정의하였고, 최적범위는 전체 서식범위에서 상위와 하위 각각 16% 및 25%를 제외하고 남은 중간의 68% ($\mu \pm \sigma$) 및 50% (IQR)의 범위로 정의하였다(식 (1)).

0 백분위수 ≤ 서식범위(Resistance range) ≤ 100 백분위수

$\mu - \sigma$ (16 백분위수) ≤ 최적범위 I (Optimum range I) ≤ $\mu + \sigma$ (84 백분위수)

25 백분위수 ≤ 최적범위 II (Optimum range II) ≤ 75 백분위수 (1)

또한, DB로 구축된 70종의 어종 전체를 대상으로 중앙값의 분포를 재해석하는 등 추가적인 통계분석을 실시하여 어종별 분포특성을 계량화하고, 이를 바탕으로 복원대상 생물종에 적합한 수질·수량적 목표조건을 용이하게 도출하는 방법론을 마련하였다.

Fig. 2에 한국의 대표 담수어종 중 하나인 참갈겨니(*Zacco koreanus*)를 대상으로 유속 및 T-N에 대하여 서식범위 및 최적범위를 도출한 결과를 예시하였다.

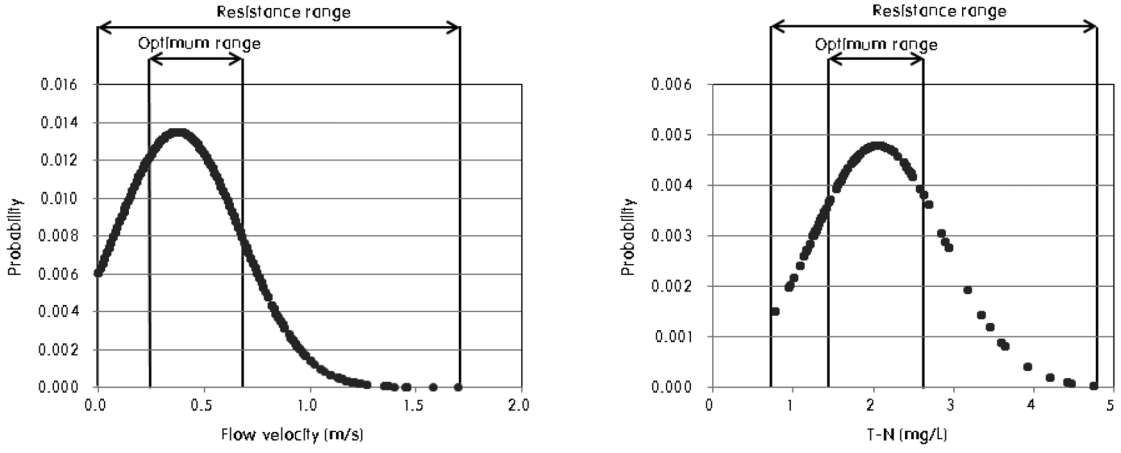


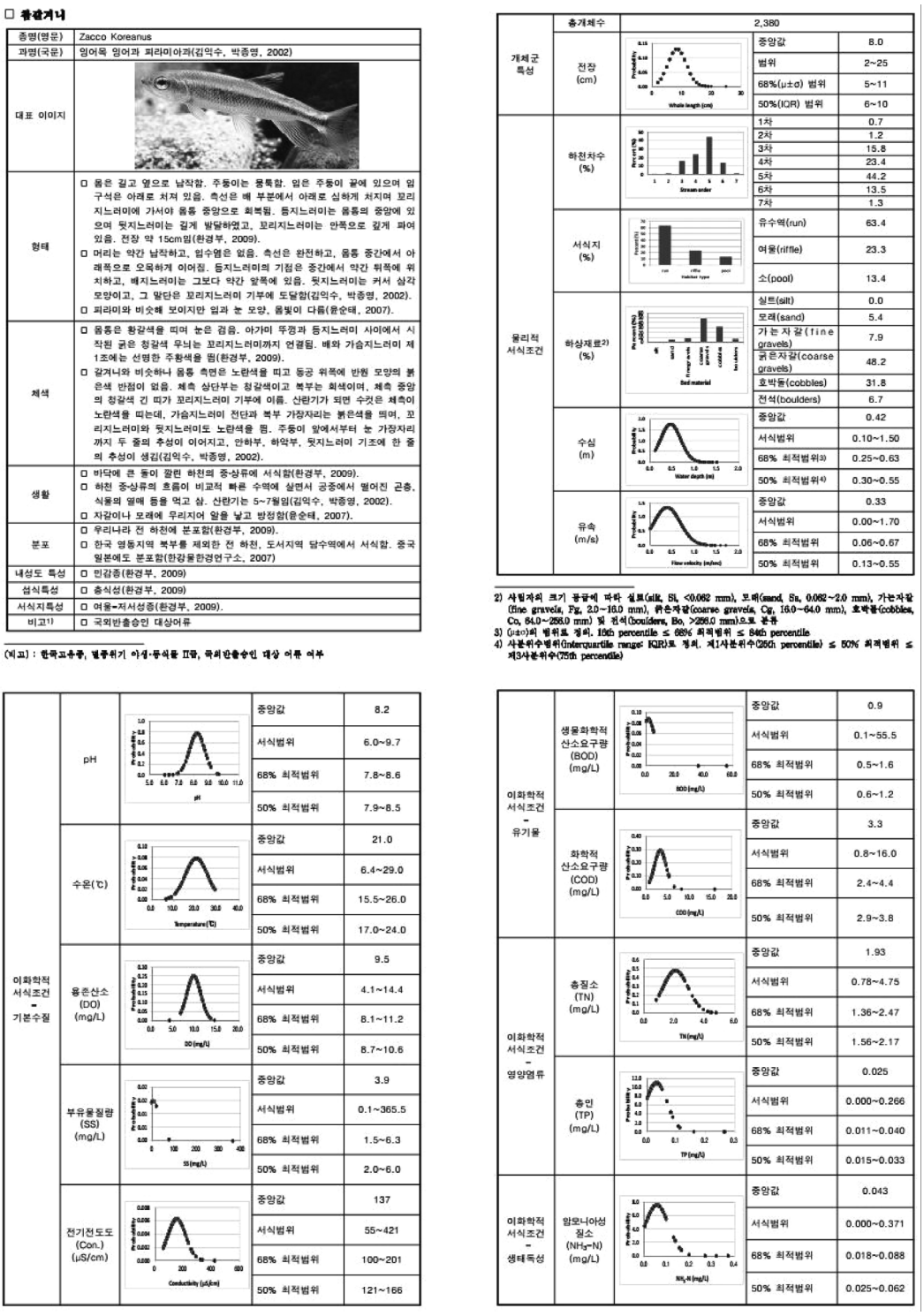
Fig. 2. Examples of the resistance range and optimum range for flow velocity and T-N (Target fish: *Zacco Koreanus*).

3. 결과 및 고찰

3.1. 어류 서식환경 데이터베이스의 구축 사례

본 연구에서 선정한 70종의 담수어류에 대하여 각 어종별 개체군 특성, 물리적 및 이화학적 서식환경에 대하여 DB를 구축하였다. Fig. 3에는 그 중에서 참갈겨니에 대한 DB 구축 결과를 예시하고 있다.

Fig. 3의 내용을 중심으로 참갈겨니에 대한 DB의 구축 결과에 대해서 상술하면 다음과 같다. 학명은 *Zacco Koreanus* 이고, 잉어목, 잉어과 피라미아과에 속하는 담수어류이다. 하천 중 · 상류의 유속이 빠른 여울에 살며, 상류 계곡까지 올라가면서 주로 수생곤충을 먹는 특징을 가지고 있다. 어종별 형태, 채색, 생활, 분포, 내성도, 섭식 및 서식지 특성 등은 김과 박[16], 윤[17], 한강물환경연구소[18] 및 환경부[19] 등



□ 참갈겨니

종명(영문)	Zacco Koreanus
과명(국문)	잉어목 잉어과 피라미아과(김익수, 박종영, 2002)
대표 이미지	
형태	□ 몸은 길고 옆으로 납작함. 주둥이는 뭉툭함. 입은 주둥이 끝에 있으며 입구석은 아래로 처져 있음. 측선은 배 부분에서 아래로 심하게 처지며 꼬리지느러미에 가서야 몸통 중앙으로 희복됨. 등지느러미는 몸통의 중앙에 있으며 뒷지느러미는 길게 발달하였고, 꼬리지느러미는 안쪽으로 깊게 파여 있음. 전장 약 15cm임(환경부, 2009). □ 머리는 약간 납작하고, 입수염은 없음. 측선은 완전하고, 몸통 중간에서 아래쪽으로 오목하게 이어짐. 등지느러미의 기점은 중간에서 약간 뒤쪽에 위치하고, 배지느러미는 그보다 약간 앞쪽에 있음. 뒷지느러미는 커서 삼각모양이고, 그 말단은 꼬리지느러미 기부에 도달함(김익수, 박종영, 2002). □ 피라미와 비슷해 보이지만 입과 눈 모양, 몸빛이 다름(윤순태, 2007).
체색	□ 몸통은 황갈색을 띠며 눈은 검음. 아가미 뚜껑과 등지느러미 사이에서 시작된 굵은 청갈색 무늬는 꼬리지느러미까지 연결됨. 배와 가슴지느러미 제1조에는 선명한 주황색을 띰(환경부, 2009). □ 갈겨니와 비슷하나 몸통 측면은 노란색을 띠고 등공 위쪽에 반원 모양의 붉은색 반점이 없음. 체측 상단부는 청갈색이고 복부는 희색이며, 체측 중앙의 청갈색 긴 띠가 꼬리지느러미 기부에 이름. 산란기가 되면 수컷은 체측이 노란색을 띠는데, 가슴지느러미 전단과 복부 가장자리는 붉은색을 띄며, 꼬리지느러미와 뒷지느러미도 노란색을 띰. 주둥이 앞에서부터 눈 가장자리까지 두 줄의 추성이 이어지고, 안하부, 하악부, 뒷지느러미 기조에 한 줄의 추성이 생김(김익수, 박종영, 2002).
생활	□ 바닥에 큰 돌이 깔린 하천의 중·상류에 서식함(환경부, 2009). □ 하천 중·상류의 흐름이 비교적 빠른 수역에 살면서 공중에서 떨어진 곤충, 식물의 열매 등을 먹고 삶. 산란기는 5~7월임(김익수, 박종영, 2002). □ 자갈이나 모래에 무리지어 알을 낳고 방정함(윤순태, 2007).
분포	□ 우리나라 전 하천에 분포함(환경부, 2009). □ 한국 영동지역 북부를 제외한 전 하천, 도서지역 담수역에서 서식함. 중국 일본에도 분포함(한강물환경연구소, 2007)
내성도 특성	□ 민감종(환경부, 2009)
섭식특성	□ 충식성(환경부, 2009)
서식지특성	□ 여울-저서성종(환경부, 2009).
비고[1]	□ 국외반출승인 대상어류

(비고) : 한국고유종, 멸종위기 야생·동식물 II급, 국외반출승인 대상 어류 여부

개체군 특성	총개체수	2,380		
	전장 (cm)		중앙값	8.0
			범위	2~25
			68%(μ±σ) 범위	5~11
			50%(IQR) 범위	6~10
물리적 서식조건	하천차수 (%)		1차	0.7
			2차	1.2
			3차	15.8
			4차	23.4
			5차	44.2
			6차	13.5
			7차	1.3
	서식지 (%)		유수역(run)	63.4
			여울(riffle)	23.3
			소(pool)	13.4
	하상재료[2] (%)		실트(silt)	0.0
			모래(sand)	5.4
			가는자갈(fine gravels)	7.9
			굵은자갈(coarse gravels)	48.2
			호박돌(cobbles)	31.8
			전석(boulders)	6.7
	수심 (m)		중앙값	0.42
			서식범위	0.10~1.50
			68% 최적범위[3]	0.25~0.63
			50% 최적범위[4]	0.30~0.55
	유속 (m/s)		중앙값	0.33
			서식범위	0.00~1.70
			68% 최적범위	0.06~0.67
			50% 최적범위	0.13~0.55

2) 사립자의 크기 등급에 따라 실트(silt, St, <0.062 mm), 모래(sand, Sa, 0.062~2.0 mm), 가는자갈(fine gravels, Fg, 2.0~16.0 mm), 굵은자갈(coarse gravels, Cg, 16.0~64.0 mm), 호박돌(cobbles, Co, 64.0~256.0 mm) 및 전석(boulders, Bo, >256.0 mm)으로 분류
3) (μ±σ)의 범위로 정의, 16th percentile ≤ 68% 최적범위 ≤ 84th percentile
4) 사분위수범위(interquartile range: IQR)로 정의, 제1사분위수(25th percentile) ≤ 50% 최적범위 ≤ 제3사분위수(75th percentile)

이화학적 서식조건 – 기본수질	pH		중앙값	8.2
			서식범위	6.0~9.7
			68% 최적범위	7.8~8.6
			50% 최적범위	7.9~8.5
	수온(℃)		중앙값	21.0
			서식범위	6.4~29.0
			68% 최적범위	15.5~26.0
			50% 최적범위	17.0~24.0
	용존산소 (DO) (mg/L)		중앙값	9.5
			서식범위	4.1~14.4
			68% 최적범위	8.1~11.2
			50% 최적범위	8.7~10.6
	부유물질량 (SS) (mg/L)		중앙값	3.9
			서식범위	0.1~365.5
			68% 최적범위	1.5~6.3
			50% 최적범위	2.0~6.0
	전기전도도 (Con.) (μS/cm)		중앙값	137
			서식범위	55~421
			68% 최적범위	100~201
			50% 최적범위	121~166

이화학적 서식조건 – 유기물	생물화학적 산소요구량 (BOD) (mg/L)		중앙값	0.9
			서식범위	0.1~55.5
			68% 최적범위	0.5~1.6
			50% 최적범위	0.6~1.2
	화학적 산소요구량 (COD) (mg/L)		중앙값	3.3
			서식범위	0.8~16.0
			68% 최적범위	2.4~4.4
			50% 최적범위	2.9~3.8
이화학적 서식조건 – 영양염류	총질소 (TN) (mg/L)		중앙값	1.93
			서식범위	0.78~4.75
			68% 최적범위	1.36~2.47
			50% 최적범위	1.56~2.17
	총인 (TP) (mg/L)		중앙값	0.025
			서식범위	0.000~0.266
			68% 최적범위	0.011~0.040
			50% 최적범위	0.015~0.033
이화학적 서식조건 – 생태독성	암모니아성 질소 (NH_3-N) (mg/L)		중앙값	0.043
			서식범위	0.000~0.371
			68% 최적범위	0.018~0.088
			50% 최적범위	0.025~0.062

Fig. 3. Database of population, physical and chemical habitat properties for *Zacco Koreanus*.

의 기존 문헌들을 참조하여 재정리하였다.

채집된 총 개체수는 2,380마리이고, 전장은 2~25 cm (IQR: 6~10 cm)의 범위로 나타났다. 또한 참갈겨니는 4차 및 5차 하천(각각 23.4% 및 44.2%)의 유수역(63.4%)에서, 하상재료로는 굵은자갈과 호박돌(각각 48.2% 및 31.8%)인 하천환경에 주로 서식하는 것으로 나타났다. IQR 최적서식범위를 중심으로 살펴보면, 물리적 서식환경으로 수심은 0.30~0.55 m, 유속은 0.13~0.55 m/s의 범위에 분포하고, 이화학적 서식환경으로 pH는 7.9~8.5, 수온은 17.0~24.0℃, DO는 8.7~10.6 mg/L, SS는 2.0~6.0 mg/L, 전기전도도는 121~166 μS/cm, BOD는 0.6~1.2 mg/L, COD는 2.9~3.8 mg/L, T-N은 1.56~2.17 mg/L, T-P는 0.015~0.033 mg/L의 범위에 주로 분포하는 것으로 나타났다. 생태독성물질인 NH_3-N의 경우 0.025~0.062 mg/L의 범위에 주로 서식하는 것으로 조사되었다.

이상에서 참갈겨니에 대한 DB를 일례로 제시한 바와 같이 본 연구를 통하여 70종의 담수어류에 대하여 Fig. 3과 동일한 양식에 따라 DB를 구축하였다.

3.2. 어류 서식환경 데이터베이스의 종합분석

종합분석은 본 모니터링이 이루어진 한강, 낙동강 및 금강 수계의 모든 대상 하천을 통합하여 진행되었다. 실제 하천복원 과정에서 본 연구결과를 활용하기 위해서는 각 하천이 소속된 유역 및 수계의 고유한 특성을 반영하기 위한 충분한 고려가 필요할 것으로 판단된다. 본 논문에서는 원 데이터의 한계 등의 이유로 인해 수계별 특성을 고려한 추가적인 분석까지는 나아가지 못하였다. 수계별 종합분석 등은 본 연구의 성과를 바탕으로 한 향후의 과제가 될 것이다.

3.2.1. 개체군 특성 종합분석

본 연구에서 DB를 구축한 70종에 해당하는 총 개체수는 12,022마리로서, 피라미(2,656개체), 참갈겨니(2,380개체) 및 쉬리(990개체)가 다른 어종에 비하여 상대적으로 높은 채집빈도수를 나타냈으며, 총 23종이 100개체 이상 채집되었다. 채집된 개체수가 많을수록 해당 어종이 우리나라 하천에서 우점종이 될 가능성이 높을 것으로 판단된다. 어종별로 채집된 개체수에 따라 70종의 담수어류를 구분하여 도시한 결과는 Fig. 4와 같다.

70종의 담수어류에 대하여 각 어종별 전장의 중앙값의 분포를 도시한 결과는 Fig. 5와 같다. 분석결과, 전장의 중앙값이 5~10 cm의 범위에 포함되는 어종이 41종, 5 cm 이하인 어종이 13종, 10~15 cm의 범위에 포함되는 어종이 10종으로 본 연구에서 채집된 어종의 대부분이 전장 15 cm 이하인 것으로 나타났다.

3.2.2. 물리적 서식환경 종합분석

물리적 서식환경에 해당하는 하천차수, 서식지, 하상재료, 수심 및 유속에 대하여 70종의 DB 구축 대상 어류의 분포정도를 분석하였다. 이 중 하천차수, 서식지, 하상재료의 경우 각 어종별 분포를 구한 다음, 70종 전체에 대하여 산술평균으로 산출하여 Fig. 6에 도시하였으며, 수심 및 유속의 경우에는 각 종별 중앙값에 대한 산술평균을 산출하여 Fig. 7에 도시하였다.

하천차수에 대해 분석한 결과, 대다수의 어종이 복수의 하천차수에 걸쳐 서식하고 있는 것으로 나타났으며, 50% 이상의 개체가 서식하는 있는지를 기준으로 분석하였을 때 계류

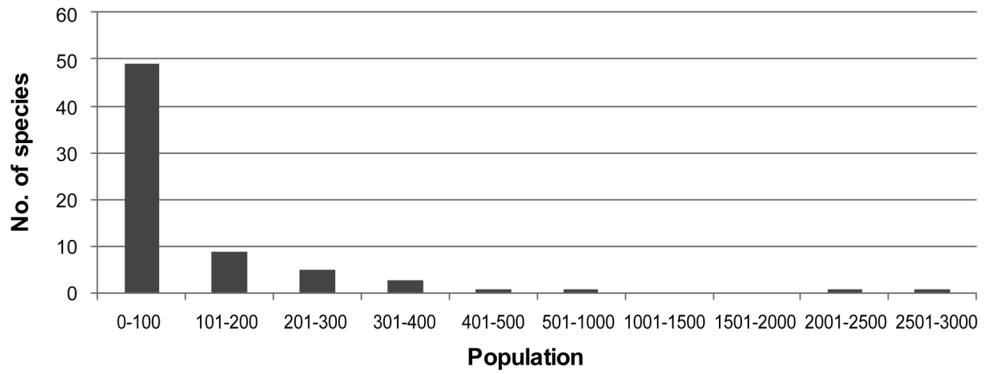


Fig. 4. Distribution of total population for 70 freshwater fish species.

Range (cm)	No. of species
0 ~ 5	13
5 ~ 10	41
10 ~ 15	10
15 ~ 20	3
20 ~ 25	3
Total	70

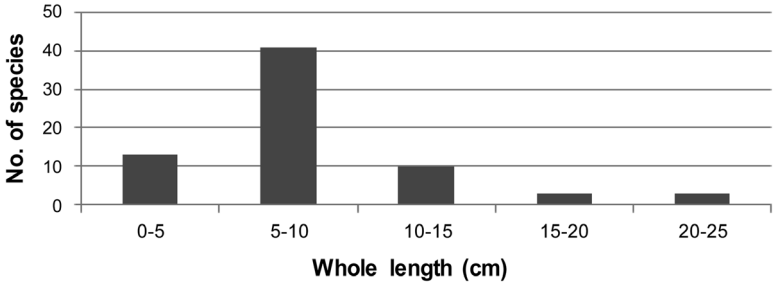


Fig. 5. Distribution of whole length for 70 freshwater fish species.

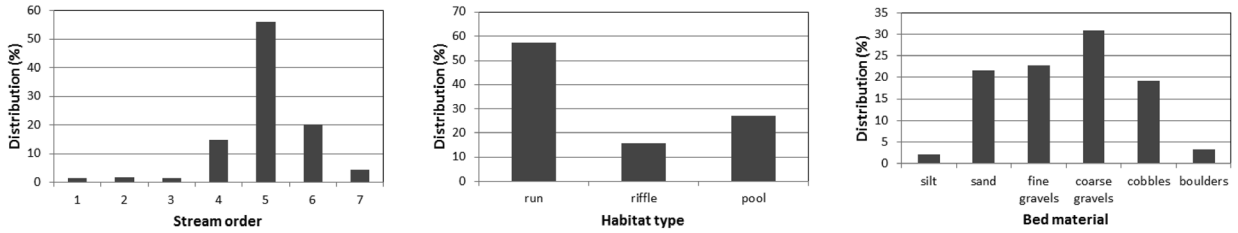


Fig. 6. Distribution of stream order, habitat type, and bed material for 70 freshwater fish species.

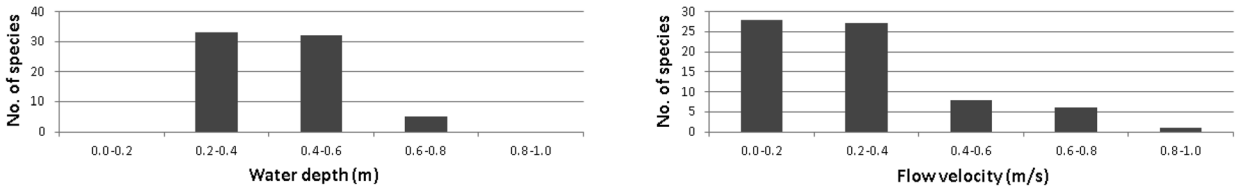


Fig. 7. Distribution of water depth and flow velocity for 70 freshwater fish species.

(최상류) 및 상류(3차 이하의 하천)에 주로 서식하는 종은 버들치와 대륙송사리 등 2종이었고, 대다수의 어류가 4차 및 5차 하천에 해당하는 중류에 집중적으로 서식하고 있는 것으로 나타났으며(54종), 6차 이상의 하천 하류부에서도 16종이 서식하는 것으로 조사되었다.

- **3차 이하의 계류(최상류) 및 상류에 50% 이상의 개체가 서식하는 담수어종:** 대륙송사리, 버들치(2종)
- **중류(4차 및 5차 하천)에 50% 이상의 개체가 서식하는 담수어종:** 가는돌고기, 가시납지리, 각시붕어 등 54종
- **하류(6차 이상의 하천)에 50% 이상의 개체가 서식하는 담수어종:** 강준치, 기름종개, 꾸구리, 대륙종개, 돌상어, 민물검정망둑, 배스, 붕어, 블루길, 산천어, 쏘가리, 얼룩새코미꾸리, 은어, 중고기(14종)

서식지를 기준으로 분류한 결과 유수역, 소 및 여울(57%, 27% 및 16%)의 순서로 채집빈도가 큰 것으로 나타났으며, 하상재료로는 대체로 모래(22%), 가는자갈(23%), 굵은자갈(31%) 및 호박돌(19%)을 갖는 하천환경에 분포하는 것으로 나타났다.

Fig. 7에서 수심을 살펴보면 0.2~0.4 m 및 0.4~0.6 m의 수심에서 중앙값을 갖는 종이 각각 33종 및 32종으로 나타나 약 93%의 어류가 0.2~0.6 m의 수심을 갖는 하천에서 채집되었음을 알 수 있었다. 유속은 0.0~0.2 m/s 및 0.2~0.4 m/s의 범위에서 중앙값을 갖는 종이 각각 28종 및 27종으로 나타나 약 79% 어류의 채집 지점이 0.0~0.4 m/s의 유속 범위에 속함으로써 대체로 완만한 유속의 하천환경에서 서식하는 것으로 나타났다.

3.2.3. 이화학적 서식환경 종합분석

이화학적 서식환경과 관련하여 기본 수질항목인 pH, 수온, DO, SS, 전기전도도와 BOD, COD, T-N, T-P 및 NH_3-N에 대하여 분석한 결과는 Fig. 8과 같다. 모든 그래프는 각 종별로 수질항목별 중앙값의 분포를 나타낸다.

pH는 34종의 중앙값이 pH 8.0~8.5 범위에, 28종이 pH 7.5~8.0의 범위에 분포하여 대체로 약알칼리성의 수질에서 분포하는 것으로 조사되었다. 수온의 경우, 10~30℃의 범위에서 서식하였으며, 15~20℃의 상온에서 43종, 20~25℃에서 감돌고기, 꾹저구 등 16종 및 10~15℃의 저수온에서 갈문망둑, 대륙송사리, 대륙종개, 묵경모치, 묵납자루, 산천어, 어름치, 퉁가리 등 8종의 중앙값이 분포하였다. DO 분석결과 약 69% 어종의 중앙값이 9~10 mg/L의 범위에 집중적으로 분포하여, 담수어가 정상적으로 서식할 수 있고 활력을 유지할 수 있는 기준인 5 mg/L 이상의 범위에 대부분의 어류가 서식하는 것으로 나타났다. SS의 경우, 어류 70종 중 49종이 0~5 mg/L, 15종이 5~10 mg/L의 농도에 서식하는 것으로 나타나 대부분의 어류가 하천 생활환경기준 II등급(수산용수 1급: 5 mg/L 이하) 및 III등급(수산용수 2급: 15 mg/L 이하)을 만족하는 SS 농도 범위에 서식하는 것으로 나타났다. 전기전도도는 용액의 전류 전도능력을 나타내는 지표로서 수중에 녹아있는 양이온 및 음이온의 합계량과 관련되어 있어 생활하수 및 산업폐수 등의 오염물질 유입을 판정하는 데 이용할 수 있다.[20] 전기전도도를 기준으로 분석한 결과 어류 70종 중 약 77%인 54종의 중앙값이 100~200 μS/cm의 범위에 속하여 이 범위가 국내에 서식하는 대부분의 어류가 분포하는 범위인 것으로 나타났다.

유기물 중 BOD는 약 89%의 어류가 0~2 mg/L의 범위에 분포하는 것으로 나타났다. 이와 같이 대다수의 어종이 하천수질환경 기준 I등급인 2 mg/L 이하의 범위에 포함되는 오염물질이 거의 없는 청정한 상태에 근접한 조건에서 서식하는 것으로 나타났다. 한편, 떡납줄갱이, 잉어 및 큰납지리 등은 중앙값이 BOD 4 mg/L 이상의 범위에 분포하는 것으로 나타나 이들 종이 유기물 오염에 대한 내성이 큰 것으로 조사되었다. COD의 경우 0~2 mg/L에서 8종, 2~4 mg/L에서 45종, 4~6 mg/L에서 11종이 분포하는 것으로 조사되어 대다수의 어류가 2~4 mg/L의 범위에서 서식하고 있는 것으로 나타났다. 영양염류 항목 중 하나인 T-N에 대하여는 0~4 mg/L의 범위에 걸쳐 분포하며, 그 중 1~3 mg/L의 범

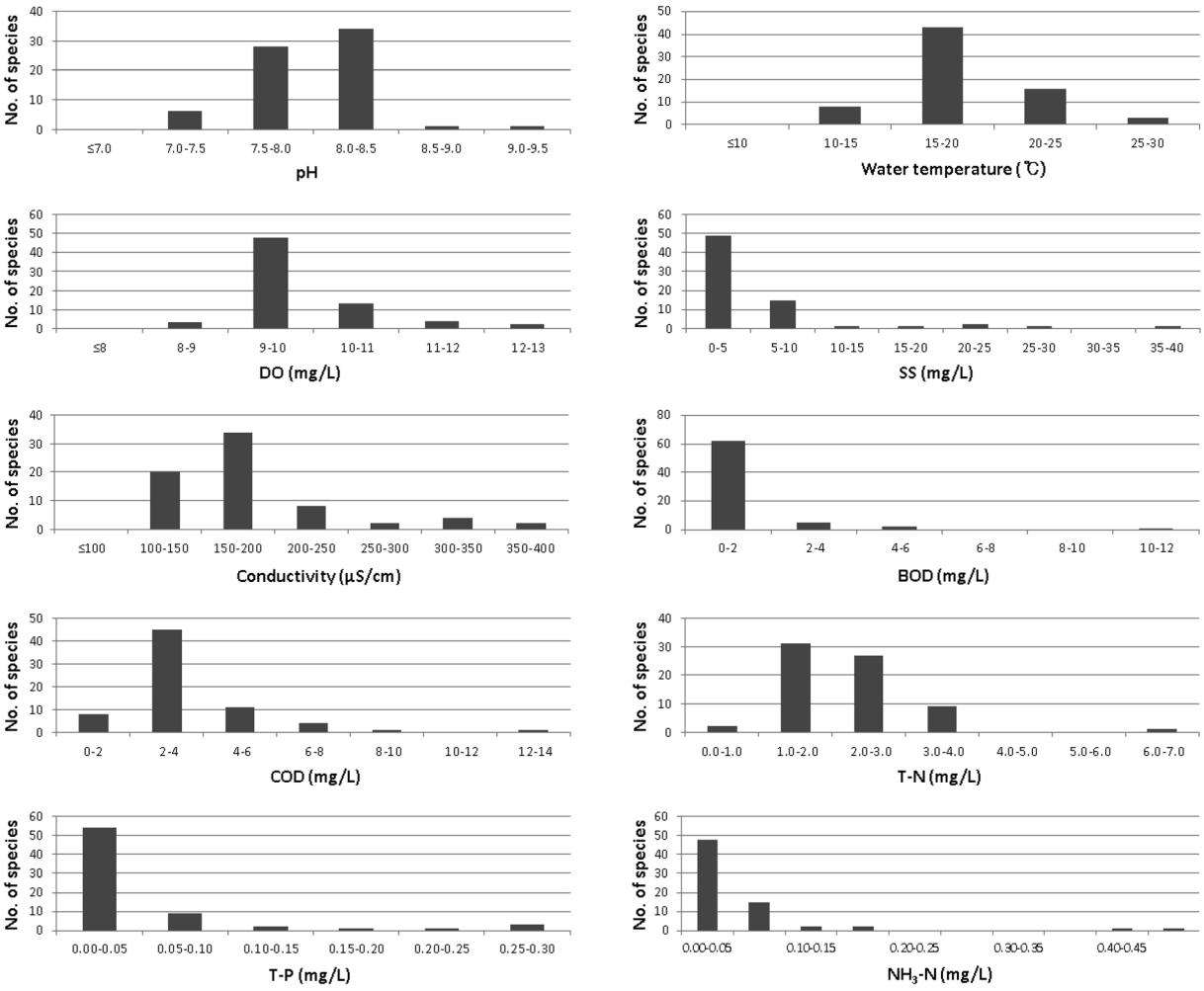


Fig. 8. Distribution of chemical habitat conditions for 70 freshwater fish species.

위에 약 65%가 서식하는 것으로 나타났고, T-P의 경우 약 77%의 어종의 중앙값이 하천 생활환경기준 II등급(0.1 mg/L 이하)에 포함되는 범위인 0.00~0.05 mg/L의 범위에 서식하는 것으로 나타났다.

암모니아성질소(NH_3-N)는 수생생물에 생태독성을 유발할 뿐만 아니라 산화되는 과정에서 수중의 용존산소를 이용하기 때문에 어류를 질식시킬 수 있으며 용존산소가 고갈되면 하상의 퇴적물로부터 인과 중금속의 용출을 가속시키는 등의 부작용을 유발할 수 있다. 이와 같이 생태독성의 지표로 활용할 수 있는 NH_3-N의 경우 70종 중 48종의 중앙값이 0.00~0.05 mg/L의 범위에, 15종의 중앙값이 0.05~0.1 mg/L의 범위에 분포하였다. 중앙값이 0.1 mg/L을 초과하는 범위에 분포하는 어종은 가시납지리, 각시붕어, 떡납줄갱이, 떡붕어, 줄몰개, 참몰개, 큰납지리 등 7종으로 나타나 이들 종들이 암모니아 독성에 상대적으로 강한 내성을 갖고 있는 것으로 판단되었다. 수중의 암모니아 농도가 0.02 mg/L 이상일 경우 수생생물에 영향을 미치며, 0.2 mg/L 이상이면 치명적이므로 안전율을 고려해 0.02 mg/L를 기준으로 관리할 필요가 있다는 기존의 보고에도 불구하고, 암모니아 생태독성에 대한 내성은 종별로 상당한 편차를 갖는 것으로 나타났으며, 이는 기존의 다수의 선행연구에서 보고된 바와 유사한 결과라고 할 수 있다.[21)]

위에서 예시적·부분적으로 제시한 바와 같이 본 연구에서 구축한 어류 서식환경 DB는 개체군 특성뿐만 아니라 물리적, 이화학적 서식환경까지 포괄하여 종합적으로 구성된 다학제적 현장조사를 바탕으로 한 결과로서, 각종 하천 토목공사 및 생태하천 복원사업 등에서 복원 방향 및 목표를 설정하고, 사업 종료 후의 모니터링 등 여러 과정에서 다양하게 활용 가능한 정량적인 기초자료로서의 역할을 할 것으로 기대된다.

4. 결 론

개발로 인해 크게 훼손된 도시하천의 생태계를 복원하기 위하여 최근 전국적으로 생태하천 복원사업이 추진되고 있다. 그러나 대상하천에 고유한 생태적 특성을 충분히 고려하지 못한 채 기존 사례들을 단순 모방하거나 공원화된 하천복원을 실시하는 사례가 적지 않은 실정이다. 수생태계의 건강성은 생물학적인 지표를 활용하여 모니터링되고 평가된

다. 최근 수생태계의 건강성에 대한 지표로서 뿐만 아니라 복원사업의 깃대종으로서 담수어류가 폭넓게 활용되고 있다. 본 연구에서는 생태하천 복원시 선정된 깃대종에 대해 적정한 서식조건을 산정하는 데 필요한 기초자료 구축을 위하여, 국내 주요 수계에서 실시된 현장조사 결과를 바탕으로, 담수어류 70종을 선정하여 어종별로 개체군 특성, 물리적 및 이화학적 서식환경에 대하여 DB를 구축하고, 그 활용방안을 예시하였다. 주요한 연구결과는 다음과 같다.

1) 국내의 주요 수계에 서식하고 있는 담수어종별 현장조사 결과를 바탕으로 70종을 선정하여 어류 서식환경 DB를 구축하였다.

2) 어류 서식환경 DB는 개체군 특성(개체수, 크기), 물리적(하천차수, 서식지, 하상재료, 수심 및 유속) 및 이화학적 서식환경(pH, 수온, DO, SS, 전기전도도, BOD, COD, T-N, T-P 및 NH_3-N)으로 구분하여 구성하였으며, 물리적 및 이화학적 서식환경은 서식범위 및 최적범위에 대한 통계분석을 추가로 수행하여 제시하였다.

3) DB화된 담수어류 70종 전체를 대상으로 물리적, 이화학적 서식환경을 분석한 결과는 다음과 같이 요약된다. 국내에 서식하고 있는 담수어류들은 4~6차 하천의 유수역에 집중적으로 분포하고, 하상재료로는 모래, 가는자갈, 굵은자갈 및 호박돌에서, 수심은 0.2~0.6 m의 범위에서, 유속은 0.0~0.4 m/s의 범위에서 많은 어종들이 서식하는 것으로 나타났다. 이화학적 서식환경의 경우, 수온은 15~20℃ 사이의 중온 범위를, DO는 9~11 mg/L의 범위의 용존산소가 풍부한 수역에 주로 분포하였다. BOD는 0~2 mg/L 농도 범위에서, COD는 2~4 mg/L의 범위에서 집중적으로 분포하였다. 영양염류인 T-N은 1.0~3.0 mg/L, T-P는 0.00~0.05 mg/L에서 가장 많이 분포하였다. 생태독성을 나타내는 NH_3-N는 0.00~0.05 mg/L의 범위에서 주로 서식하는 것으로 나타났다.

4) 본 연구에서 제시한 어류 서식환경 DB는 국내에 서식하는 각 담수어류에 대하여 적합한 서식조건을 추정하고, 최적의 수량 및 수질 확보를 위한 의사결정지원의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 환경부 Eco-STAR 수생태복원사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

KSEE

Reference

1. Kim, Y. H., “A study on the river improvement method for the ecological restoration of Urban streams,” Master’s degree thesis of Ulsan University(2009).
2. Jo, Y. H., “Problem with urban river improvement works in Korea,” *Pub. Officials Benefit Assoc.*, **44**(484), 18~23(2009).
3. Ministry of Environment, Korea Environment Corporation, “CheonSaengInSaeng V-Guidebook for ecological river restorations,” (2013).
4. Ministry of Environment, “Distribution and genetic differentiations of Korea endemic species (freshwater fishes) in four major rivers,” (2010).
5. Yang, J. J., “A study on the restoration practice for the river improvement; focused on the Kangnung Namdae River,” Master’s degree thesis of Gachon University(2010).
6. No, G. S., “A study on the method of habitat conservation and management for fish using the ecological model in a river ecosystem,” Master’s degree thesis of Dongsin University(2010).
7. Stalnaker, C., Lamb, B. L., Henriksen, J., Bovee, K. and Bartholow, J., “The instream flow incremental methodology; A primer for IFIM,” National Biological Service Midcontinent Ecological Science Center(1995).
8. William J. M., “Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities,” CRC Press LLC, pp. 79~83(1999).
9. Hu, J. W. and Kim, J. G., “Assessment of Riverine Health Condition and Estimation of Optimal Ecological Flowrate Considering Fish Habitat in downstream of Yongdam Dam,” *J. Kor. Water Resour. Assoc.*, **42**(6), 481~191(2009).
10. Jung, J. H., Park, J. Y., Lim, H. M., Yoon, Y. H. and Kim, W. J., “Decision support for ecological river rehabilitation using fish habitat database,” *Water Sci. Technol.*, (2014).
11. Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, “Development of techniques for efficient creation of wildlife habitat,” (2011).
12. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “Monitoring guidelines of fish assemblage,” (2009).
13. Kim, D. H., “A study on interpreting rainfall-runoff in river basins using river degree rules,” Master’s degree thesis of Kyungil University(2002).
14. Da Costa, F. P., Grinfeld, M. and Wattis, J. A. D., “A hierarchical cluster system based on Horton-Strahler rules for river networks,” *Appl. Math.*, **109**(3), 163~204(2002).
15. Kim, B. C., “The effect on soil compaction characteristics of embarkment material by fine grained soil contents,” Master’s degree thesis of Chungbuk National University(2008).
16. Kim, I. S. and Park, J. Y., “Freshwater fish in Korea,” Gyohaksa(2002).
17. Yoon, S. T., “Encyclopedia of freshwater fish,” Bullsbook, (2007).
18. National Institute of Environmental Research, Han River Environment Research Center, “Photographs of the biota in Paldang lake,” (2007).
19. National Institute of Environmental Research, “Photographs of freshwater fish in domestic rivers (I),” (2009).
20. Lee, Y. S., “Species composition and seasonal variation of fish assemblages that inhabit the Namdaecheon stream, Uljin area,” Master’s degree thesis of Yeungnam University(2010).
21. Choi, E. S., “Water and wastewater engineering,” Cheongmungak(1999).