한국환경생태학회지 30(6): 986-995, 2016
Korean J. Environ. Ecol. 30(6): 986-995, December 2016
pISSN 1229-3857 eISSN 2288-131X
http://dx.doi.org/10.13047/KJEE.2016.30.6.986

금강 대권역 대표 멸종위기 담수어류의 분포 특성 및 이화학적 수질-하천 생태건강도와의 관계분석[1a]

이상재[2] · 안광국[2*]

Distributions of Endangered Fish Species and Their Relations to Chemical Water Quality-Ecological Stream Health in Geum-River Watershed[1a]

Sang-Jae Lee[2], Kwang Guk An[2*]

요 약

본 연구에서는 금강 대권역에 서식하는 멸종위기 담수어류의 분포, 이들 종에 대한 화학적 지표와의 관계 및 물리적 서식지 특성을 분석하였다. 금강 대권역에 서식하는 멸종위기종의 개체수는 감돌고기(*Pseudopungtungia nigra*), 꾸구리(*Gobiobotia macrocephala*), 돌상어(*Gobiobotia brevibarba*), 퉁사리(*Liobagrus obesus*), 미호종개(*Iksookimia choii*) 순으로 나타났다. 멸종위기 야생생물 I급 어류인 감돌고기는 금강 대권역 내 18개 하천에서 가장 광범위하게 분포하여, 향후 감돌고기의 I급 어종 선정에 대한 재평가가 필요한 것으로 사료되었다. 또한 초강 중권역에서 멸종위기어종이 총 4종 384개체가 채집되어 종수 및 개체수가 풍부하였다. 멸종위기어종 서식지에서 이화학적 수질내성도 분석에 따르면, 생물학적 산소요구량(BOD) 및 총인(TP)은 각각 매우 좋음(Ⅰa), 좋음(Ⅰb)으로 평가 되었으며. 암모니아성 질소(NH_{4+}), 총질소(TN), 인산염 인(PO_4-P) 등의 수질 항목도 멸종위기종 비 출현지점에 비해 훨씬 양호한 것으로 분석되었다. 한편, 미호종개의 경우 수질의 내성범위가 다른 어종에 비해서 광범위하게 나타나, 화학적 수질특성이 크게 악화되지 않을 경우 수질특성 보다는 미소서식처의 하상구조, 수리수문학적 특성 등의 물리적 서식지 조건이 더 중요한 것으로 나타났다. 또한, 멸종위기종의 분포는 1～3차의 소형하천보다 4～6차 대형하천에서 높게 나타났으며, 주로하천의 상류 및 중상류에 작은 무리를 이루며 서식하는 것으로 나타났다. 멸종위기종 미출현지역과 출현지역의 생태건강도 다변수 평가모델 값은 각각 21.6 "보통상태(Fair)" 및 30.5 "양호상태(Good)"로 나타나 뚜렷한 차이를 보여, 생태건강도가 잘 유지된 곳에서 멸종위기종이 잘 서식하는 것으로 나타났다. 본 연구를 요약해 보면, 감돌고기와 같은 어종의 멸종위기종 선정에 대한 재평가가 향후 필요하며, 수질오염 및 서식지교란이 가속화되고 있어 멸종위기종에 대한 체계적인 보호 및 관리가 필요하다.

주요어: 우점종, 물리적 서식지, 수질오염

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the distribution of endangered fish species and elucidate their relations on chemical water quality, physical habitat conditions and ecological stream health. The dominant

1 접수 2016년 6월 18일, 수정 (1차: 2016년 12월 27일), 게재확정 2016년 12월 28일
Received 18 June 2016; Revised (1st: 27 December 2016); Accepted 28 December 2016
2 충남대학교 생명시스템과학대학 생명과학과 Dept. of Biological Science, College of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National Univ., Daejeon 34134, Korea
a 이 논문은 대전녹색환경지원센터의 2009년도 연구개발사업 지원에 의하여 연구되었음.
* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-42-821-6408, Fax: +82-42-822-6990, E-mail: kgan@cnu.ac.kr

species in the watershed was *Pseudopungtungia nigra* (*Pn*), *Gobiobotia macrocephala* (*Gm*), *Gobiobotia brevibarba* (*Gb*), *Liobagrus obesus* (*Lo*), and *Iksookimia choii* (*Ic*) in the order. The species of Pn designated as "critical endangered species (I) (CER)", was most widely distributed species among the endangered species, so the designation of the species should be re-evaluated. The endangered species was most popular (4 species, 384 individuals) in the Cho-River region of eighteen lotic regions. According to the analysis of chemical tolerance limits in the habitats with endangered fish species, biological oxygen demand (BOD) and total phosphorus (TP) was analyzed as "very good" (Ia) and "good condition" in the chemical criteria of the Ministry of Environment, Korea. Also, chemical conditions, based on ammonia-N (NH_{4+}), total nitrogen (TN), phosphate-P (PO_4-P) were much better in the habitat with endangered species (Hw) than the habitat without endangered species (Ho). In the meantime, the species of Ic showed wide ranges on the chemical tolerance, so physical habitat conditions, such as the size of substrate particles (sand) and hydrological regime, were considered as more important factors than the chemical water quality, if the water quality is not largely degraded. The endangered species were also more distributed in the high-order (4-6) streams than the low-order (1-3) streams. The evaluation of ecological stream health, based on multi-metric model of the Index of Biological Integrity (IBI), showed the large difference between the Hw (21.6, fair condition)and Ho (30.5, good condition), indicating that the habitat maintained well chemically and physically had higher distributions of endangered species. Overall, the designation of CER on the *Pn* should be re-evaluated due to wide-distributions, and the protections from water pollution and the habitat conservations on the endangered species are necessary in the watershed.

KEY WORDS: DOMINANT SPECIES, PHYSICAL HABITAT, WATER POLLUTION

서 론

우리나라는 1980년대 급격한 산업화, 각종 건설업 붐에 의한 신축건물 확장 및 인구 도시집중화 현상으로 수생 생물종의 종 다양도가 급격히 감소하고 있고, 물리적 서식지가 파괴 되었으며, 또한 최근에는 전 세계적 기후변화(기후온난화)등에 의해 생물종 소실 및 수생태 교란을 초래하고 있다(Groombridge, 1992). '세계 생물다양성 전망(Global Biodiversity Outlook, GBO)'에 따르면 조류 1만 여종, 양서류 5천여 종, 포유류 5천여 종이 멸종위기에 직면에 있으며 생물의 멸종속도는 이전보다 1,000배 정도 빨라졌다고 밝혔다. 이러한 야생동물의 멸종, 즉 생물다양성의 감소는 생물자원의 감소를 의미하며 우리에게 경제적으로 큰 악영향을 가져올 수 있다.

야생동물의 멸종과 생물다양성의 감소가 심각해짐에 따라 다양한 국제 규제와 협약을 통해 종 보존에 노력을 기울이고 있다. 생물다양성을 보전하고 생물자원을 현명하게 이용하고자 하는 노력으로 UN에서는 1992년 생물다양성협약(Convention on Biological Diversity, CBD)을 채택하였으며, 2014년 나고야 의정서가 발효됨에 따라 유전자원 접근 및 이익 공유(Access to genetic resources and Benefit-Sharing, ABS)를 이행하는 등 국제사회에서 생물자원의 경제적 가치와 그 중요성을 확인하고 있다. 최근, 우리나라에서도 한반도에서 절멸하거나 종 확보가 곤란했던 종의 복원 연구가 지속적으로 증가하고 있으며 체계적인 생물의 보호 및 관리의 필요성이 꾸준히 제기되고 있다. 현재, 우리나라 환경부 '야생생물 보호 및 관리에 관한 법률'에 따르면, 자연적 또는 인위적 위협 요인으로 개체수가 크게 줄어들어 멸종위기에 처한 야생생물을 '멸종위기 야생생물 Ⅰ급', 자연적 또는 인위적 위협 요인으로 개체 수가 크게 줄어들고 있어 현재의 위협 요인이 제거되거나 완화되지 아니할 경우 가까운 장래에 멸종위기에 처할 우려가 있는 야생생물을 '멸종위기 야생생물 Ⅱ급'으로 지정하여 관리하고 있다. 멸종위기 야생생물 Ⅰ급은 51종, Ⅱ급은 195종으로 총 246종이 지정, 관리하고 있다.

현재, 환경부에서는 담수 생태계의 최상위 생물종인 어류들도 개체수가 너무 적거나 혹은 분포지가 특정 지역에 한정되어 있을 경우 보호어종으로 지정하여 관리하고 있다. 미호종개(*Iksookimia choii*), 감돌고기(*Pseudopungtungia nigra*),

흰수마자(*Gobiobotia nakdongensis*), 퉁사리(*Liobagrus obesus*) 등 멸종위기 Ⅰ급은 9종, 꾸구리(*Gobiobotia macrocephala*), 돌상어(*Gobiobotia brevibarba*), 부안종개(*Iksookimia pumila*), 열목어(*Brachymystax lenok*) 등 멸종위기 Ⅱ급은 16종으로 총 25종이 지정되어 관리되고 있다. 우리나라 담수생태계에는 약 200여종의 어류가 살며, 이중 50여종이 한국 고유종이다. 어류는 물속 먹이사슬의 최상위 포식자로서 담수생태계의 구조와 기능을 조절하며, 생태계 건강성을 나타내는 매우 중요한 지표이다(An *et al*., 2001a). 특히, 최근 다양한 환경오염원들에 의해 어류 개체수의 감소 및 종 다양도 감소로 토종 담수어의 보존이 절실히 필요한 실정이다. 공장 및 오폐수 종말처리장의 인접수계의 증가는 각종 유기물 및 인(P), 질소(N)와 같은 영양 염류 등이 수체 내로 급격히 유입되고, 댐 건설 및 하천 정비 등 인위적인 요인으로 인해 수생태계의 오염 및 교란 현상이 빠르게 진행 되면서 국내 고유 어종의 감소는 물론 멸종위기어종의 감소 등이 빠르게 일어나는 것으로 보고되고 있다(An *et al*., 2001b). 현재 국내 멸종위기어류 증식복원 사업이 다양한 기관에서 각각 수행되고 있어 체계적인 보호 및 복원에 한계가 있고, 한반도내에서 절멸하거나 원종 확보가 어려운 경우 국가 간 협력을 통한 원종 확보 등 국가 차원의 체계적인 증식 복원 계획 구축이 필요하다. 또한 서식실태 조사, 자연서식지 확보, 적정 복원개체 유지, 사후 모니터링 및 평가 등 체계적이며 종합적인 멸종위기어류 보존 정책 수립이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 금강 수계에 서식하는 멸종위기 담수어류의 분포, 이화학적 수질지표의 내성범위 분석 및 생태건강도 모델 값을 이용한 멸종위기 분포지와 비분포지와의 관계를 비교 분석하였다. 이를 위해 종별 분포지의 미소서식지(Microhabitat), 하천차수(Stream order)와의 관계를 비교 분석하였으며, 하천생태건강도(Biological health) 평가를 위해 생태건강도 다변수 평가모형을 적용하여 멸종위기종 분포지의 수환경을 비교분석하였다. 본 연구에서 수행한 멸종위기종의 분포 특성은 수질 오염 및 다양한 요인에 의해 빠르게 사라져가는 멸종위기어종의 서식지 복원, 대체 서식지 마련, 증식 및 종복원에 중요한 기초자료로서 활용 될 것으로 사료된다.

연구방법

1. 조사 시기 및 조사지점 선정

본 연구를 위해 어류조사는 2007년부터 2015년까지 연 2회 실시하였다. 1차 조사는 수체가 안정된 시기인 4～5월에 실시하였으며, 2차 조사는 9～10월초에 실시되었다. 우라나라의 장마기인 7～8월은 유량증가 및 유속의 변화 등의 물리적 영향에 의하여 어류군이 상류로 이동할 수 있는 시기임으로 피하여 조사하였다. 어류 조사를 위한 현장 조사 시기는 일반적으로 최대일주기 대기온도(Maximum daily temperature)를 감안하여 선정하였다(US EPA, 1993). 이는 대기온도가 너무 낮을 경우 수온에 영향을 주어 어류군집의 상대풍부도에 영향을 주는 것으로 알려져 있기 때문이다.

조사지점은 현재 환경부에서 진행하고 있는 '수생태계 건강성 조사 및 평가'에서 선정한 금강대권역을 대상으로 하였으며, 중권역 대표지점과 수질측정망 지점을 고려하여 선정한 지점이다. 금강은 한강, 낙동강에 이어 국내에서 세 번째로 큰 강이며 유역면적은 약 9,912.12㎢ 이며 길이는 394.79㎞다. 전라북도 장수에서 발원하여 보청천, 미호천, 초강, 갑천 등 크고 작은 20여개의 지류가 합류하여 군산만으로 흐르며, 대전, 충청, 전라 지역의 상수원 및 농업용수로 활용된다. 금강 대권역의 총 조사구간은 금강 수계(100개 구간), 만경강 수계(80개 구간), 동진강 수계(14개 구간), 삽교천 수계(14개 구간), 기타 수계(24개 구간)를 포함하는 총 170개 구간을 대상으로 조사 및 평가 실시하였다.

2. 수질 및 데이터 분석

본 연구에서는 수질변수로 전기전도도(Electric conductivity, EC, at 25℃), 생물학적 산소요구량(Biological oxygen demand, BOD), 총인(Total phosphorus, TP), 총질소(Total nitrogen, TN), 암모니아성 질소(Ammonia nitrogen, NH_4-N), 인산염인(Phosphorate-phosphorus, PO_4-P) 자료를 분석하였다. 본 연구에 사용된 금강 유역의 수질자료는 2007～2015년까지 측정된 환경부의 물환경정보시스템의 월평균 자료를 분석하였다.

3. 어류 현장조사

어류의 현장조사는 기본적으로 Wading method(US EPA, 1993)에 의거하였으며, 환경부. 물환경종합평가방법 개발 조사연구에 의해 우리나라 실정에 맞게 변형된 조사법을 이용하였다. 어류의 정량채집을 위해 CPUE(Catch Per Unit of Effort)에 의거하였고, 각 지점의 조사거리는 200m, 조사시간은 50분으로 한정하였다. 하천차수(Stream order)는 1:120,000 축적의 지도를 이용하여 Strahler(1957) 의 방법에 따라 결정하였다. 조사도구는 주로 투망(망목 : 7×7㎜)과 족대(망목 : 4×4㎜)를 이용 하였고, 조사인원은 어류채집에 대한 전문적 훈련을 받았거나 현장경험이 최소한 3년 이상인 전문가를 1인 이상 포함하였으며, 3인 1조로 구성하여 조사를 실시하였다.

채집한 어류는 현장에서 Kim and Park(2002) 및 Son and

Song(2006)에 의거해 동정 및 계수 후 바로 풀어주는 것을 원칙으로 하되 현장에서 동정이 모호한 종은 10% 포르말린 용액으로 고정하여 실험실로 옮긴 후 동정하였다. 채집된 어류의 개체 수 산정은 어류체장의 길이가 20㎜ 이하의 동정이 불가능한 치어의 경우 제외하였으며, 비정상어종이 채집되었을 경우에는 감별방식은 Sanders *et al.*(1999)의 방법에 따라 기형(Deformity, DE), 지느러미 손상(Erosion, EF), 피부손상(Lesions, LE) 및 종양(Tumors, TU)의 내용을 비정상성 유형을 감별하여 어류 야장에 기록하였다.

4. 생태 건강도 평가 모델 메트릭 속성 및 등급 구분

본 연구에서는 Karr(1981)의 어류를 이용한 생물통합지수(Index of Biological Integrity, IBI)를 기반으로 개발된 다변수 어류평가 메트릭 모델에 의거하였다. 잡종과 외래도입종은 본 항목에 포함하지 않는다. 본 모델에 이용된 8개의 메트릭은 다음과 같고, 크게 세 가지 부류로 대별된다. 첫째, 종의 구성성분에 특성을 반영한 생태지표특성(M1-4), 둘째, 어류의 섭식특성을 반영한 영양단계구성(M5-6), 셋째, 어류의 개체풍부도 및 개체 건강성(M7-8)으로 어류의 생태건강도 및 수환경 평가에 가장 일반적이면서, 우리나라에 적용 가능한 통합지수이다. M1: 국내종의 총 종수(Total number of native species), M2: 여울성 저서종수(Number of riffle-benthic species), M3: 민감종수(Number of sensitive species), M4: 내성종의 개체수 비율(Proportion as a number of tolerant species), M5: 잡식종의 개체수 비율(Proportion as a number of omnivore species), M6: 충식성의 개체수 비율(Proportion as a number of insectivore species), M7: 채집된 국내종의 총 개체수(Total number of native individuals), M8: 비정상종의 개체수 비율(Proportion as a number of abnormal individuals). 본 연구에서 이용된 메트릭의 속성, 모델의 세부적 특성 및 점수부여방법 등은 An *et al.*(2006)의 문헌에 자세히 기술되었다. 본 조사에서 사용된 어류를 이용한 다변수 생태건강도 평가 모델은 8개 메트릭 모델로서 계급구간을 “5”, “3”, “1”로 구분하였고, 이에 대한 최대 점수는 8 × 5 = 40점으로서 산정하였다. 메트릭 1, 2, 3, 7의 점수산정은 하천차수에 의거한 하천의 규모에 따라 차등을 두었으며 하천차수가 증가함에 따라 출현종과 채집개체수도 증가하고, 종 다양도 및 풍부도 또한 증가하기 때문에 이에 대응하는 레퍼런스 하천조사를 통하여 수치를 산정하였다. 세부등급은 청정상태(Excellent), 양호상태(Good), 보통상태(Fair) 및 악화상태(Poor)로 4등급 체계로 대별하였다. 하천 생태건강도의 등급구분에 따르면, 청정상태(Excellent)는 36-40의 모델 값의 범위로서, 민감종의 개체수가 풍부한 상태, 양호상태(Good)는 26-35의 모델 값의 범위로서 민감종이 존재하며, 내성종이 일부 출현하는 상태, 보통상태(Fair)는 16-25의 모델 값의 범위로서 민감종이 희박하고, 잡식종의 상대풍부도 및 내성종이 증가하는 상태, 악화상태(Poor)는 15 이하의 모델 값의 범위로서 어류가 거의 출현하지 않으며, 내성종이나 비정상성 어종의 개체수 비율이 증가하는 상태를 나타내며 이를 통하여 하천 생태 건강도 등급을 최종적으로 평가하였다.

결과 및 고찰

1. 멸종위기어종의 분포

금강 대권역에서 채집된 대표 멸종위기종(Endangered species)은 감돌고기(*Pseudopungtungia nigra*), 꾸구리(*Gobiobotia macrocephala*), 돌상어(*Gobiobotia brevibarba)*, 미호종개(*Iksookimia choii*), 퉁사리(*Liobagrus obesus*)로 나타났으며, 본 조사기간 동안 총 1,322개체가 채집되었다(Table 1). 금강수계의 총 13개 중권역 27개 하천에서 멸종위기 어종이 출현한 것으로 나타났으며, 특히 초강 중권역의 2개하천에서 4종 384개체가 채집되어 가장 많은 멸종위기종이 서식하는 것으로 나타났다. 한편 본 연구기간동안 금강 대권역에서 채집된 멸종위기종은 상기 5종외에도 흰수마자(*Gobiobotia nakdongensis*), 부안종개(*Iksookimia pumila*) 등이 출현하였으나 출현빈도와 개체수가 적으며 일부지역에서 지나치게 지엽적으로 나타나 본 연구의 분석 대상 종에서 제외하였다.

출현어종 분석 결과 8개 중권역 18개 하천에서 감돌고기가 1,110개체 채집되어 전체 채집된 멸종위기종의 약 84.0%를 차지하며, 금강 수계에서 가장 넓게 분포하는 종으로 확인 되었다(Figure 1). 본류 구간 7개 지점에서 평균 72개체가(범위: 4～171개체) 채집되었으며, 지류구간 11지점에서 평균 55개체가(범위: 1～204개체) 채집되었다. 수계별 감돌고기 출현을 분석 결과 마조천, 안창천, 북창천 등과 같은 금강 상류에서 주로 출현하였다. 특히 초강 중권역에서 감돌고기가 매년 출현하는 것으로 보아 감돌고기 서식에 매우 적합한 것으로 사료 되었다. 한편 갑천과 대청댐하류 중권역이 합류지점 이하의 금강 중하류에서는 감돌고기 출현이 전무한 것으로 나타났다. 감돌고기는 하천의 상류 및 중상류와 같은 맑은 물이 흐르며 자갈 깔린 여울에 무리로 서식하는 기존의 연구결과(Son and Song, 2006)와 일치하였다.

출현 연도별 분석 결과 조사기간 동안 감돌고기는 평균 69개체(범위: 11～167개체) 채집되었다. 감돌고기 증식 및 방류 사업으로 인해 2011년도에 일시적으로 개체수가 증가한 해를 제외하면, 2008년부터 2012년까지 개체수가 점진

Table 1. A list of endangered fish species in the mid-region sampling sites of Geum-River Watershed during 2007 - 2015

Mid-Region of the Watershed	Stream Name	Tr/Ms	*Pn*		*Gm*		*Gb*		*Ic*		*Lo*	
			TNI	AF	TNI	AF	TNI	AF	TNI	AF	TNI	AF
Yongdam Reservoir	Majo-Stream	Tr	1	1								
	Geum-River	Ms	65	9	2	1						
Down stream of Yongdam Reservoir	Anchang-Stream	Tr	2	1								
	Geum-River	Ms	171	13			3	3				
Mujunamdae-Stream	Mujunamdae-Stream Ⅰ	Tr	15	3								
	Bukchang-Stream	Tr	22	4								
	Mujunamdae-Stream Ⅱ	Tr	204	14			4	2				
Young dong-Stream	Geum-River	Ms	130	11	3	2	24	6				
	Bonghwang-Stream	Tr	11	5								
	Geum-River	Ms	4	2								
	Young dong-Stream	Tr	12	4							1	1
Chogang	Chogang Ⅰ	Tr	151	14			9	1				
	Chogang Ⅱ	Tr	123	15	78	12	22	8			1	1
Up stream of Daecheong Reservoir	Geum-River Ⅰ	Ms	41	12			5	3			5	4
	Geum-River Ⅱ	Ms	44	8	1	1	1	1				
Bocheong-Stream	Bocheong-Stream Ⅰ	Tr									8	3
	Bocheong-Stream Ⅱ	Tr	42	8	3	3						
Daecheong Reservoir	Geum-River	Ms	51	9							4	2
Gap-Stream	Yudeung-Stream	Tr	21	7								
	Gap-Stream	Tr							10	4		
Down stream of Daecheong Reservoir	Geum-River	Ms							2	2		
Miho-Stream	Miho-Stream Ⅰ	Tr							1	1		
	Baekgok-Stream	Tr							3	2		
	Chopyeong-Stream	Tr							1	1		
	Miho-Stream Ⅱ	Tr							1	1		
Mangyeong-River	Mangyeong-River	the others									16	6
Sapgyo-Stream	Sapgyo-Stream	the others							4	1		

Tr=Tributary, Ms=Main stream, TNI=Total number of Individual, AF=Appearance Frequency, Pn=*Pseudopungtungia nigra*, Gb=*Gobiobotia brevibarba*, Gm=*Gobiobotia macrocephala*, Ic=*Iksookimia choii*, Lo=*Liobagrus obesus*

적으로 감소하는 현상을 보였으나, 2013년 이후부터는 평균 79개체가 채집되는 등 비교적 안정적인 개체군을 유지하는 것으로 나타났다. 하지만 감돌고기 방류사업이 이루어진 지역에서 일시적으로 개체수가 증가하였을 뿐, 지속적인 정착은 이루어지지 않은 것으로 나타났다. 따라서 향후 감돌고기 증식 및 방류사업에 있어 서식환경의 안정성 및 미소서식지의 형태적 특성을 충분히 고려하여 사업의 실효성을 높일 필요가 있는 것으로 사료 되었다.

출현어종 분석 결과 5개 중권역 5개 하천에서 꾸구리가 87개체 채집되어 전체 채집된 멸종위기종의 약 6.6%를 차지하며, 금강 수계에서 아우점하는 멸종위기어종으로 확인되었다(Figure 1). 본류 구간 3개 지점에서 평균 2개체가(범위: 1～3개체) 채집되었으며, 지류구간 2지점에서 평균 41개체가(범위: 3～78개체) 채집되었다. 수계별로 꾸구리 출현을 분석 결과 금강본류, 초강, 보청천 등과 같은 금강 상류에서 주로 출현하였다. 특히 급여울일 매우 발달한 초강2 지점에서 총 78개체가 채집되어 전체 채집된 꾸구리의 약 89.7%를 차지하고 있어, 꾸구리 서식에 매우 적합한 지역으로 사료 되었다.

한편, 대청댐 하류에 위치한 금강 중류 및 하류 지점에서는 꾸구리 출현이 전무한 것으로 나타났다. 출현 연도별 분석 결과 조사기간 동안 꾸구리는 평균 5개체(범위: 0～17개체) 채집되었다. 2009년 이전에는 꾸구리가 총 5개 지점에서 출현하였으나, 2009년 이후에는 단 2개 지점에서만 출현하는 것으로 나타났다. 이는 4대강사업에 따른 보건설이 꾸구리 서식지를 크게 감소하는데 영향을 미친 것으로 사료된다. 또한 꾸구리의 출현빈도가 뚜렷한 경향 없이 불규칙적으로 나타나는 것으로 볼 때, 금강수계 내 꾸구리 개체군이 불안정하게 유지되는 것으로 나타났다. 따라서 현재 국내 한강 수계 등 일부지역에서 지엽적으로 진행 중인 꾸구리의 증식 및 방류 사업을 다양한 수계에 확대 적용하여 꾸구리를 체계적으로 보호할 필요성이 있는 것으로 사료된다.

출현어종 분석 결과 5개 중권역 7개 하천에서 돌상어가 68개체 채집되어 전체 채집된 멸종위기종의 약 6.1%를 차지하였다(Figure 1). 본류 구간 4개 지점에서 평균 8개체가(범위: 1～24개체) 채집되었으며, 지류구간 3지점에서 평균

12개체가(범위: 4~22개체) 채집되었다. 수계별 돌상어 출현을 분석 결과 금강본류, 무주남대천 등과 같은 금강 상류에서 주로 출현하였다. 특히 초강 중권역에서 돌상어가 가장 빈번하게 출현하는 것으로 보아 돌상어 서식에 매우 적합한 것으로 사료 되었다.

한편, 대청댐 하류에 위치한 금강중류 및 하류역에서는 돌상어 출현이 전무한 것으로 나타났다. 한편 돌상어의 지리적 분포특성은 앞에서 언급한 꾸구리와 매우 유사한 경향을 보였다. 꾸구리가 출현한 5개 지점중 3개 지점에서 돌상어가 동일하게 출현하였다. 이는 꾸구리와 돌상어가 비슷한 수질환경에서 급여울과 같은 서식환경을 서로 공유하며 서식하는 것으로 보아 생태적으로 비슷한 지위(niche)에 속하는 것으로 사료된다. 출현 연도별 분석 결과 조사기간 동안 돌상어는 평균 4개체(범위: 0～17개체) 채집되었다. 4대강 사업 직후인 2010년부터 2013년 봄까지 금강 수계 내 돌상어의 출현이 전무하기도 하였으나, 2013년 여름 이후 점차 서식지의 안정화로 돌상어 개체군이 다시 확인 되었다.

조사기간 동안 출현어종의 분석에 따르면, 6개 중권역 6개 하천에서 퉁사리가 35개체 채집되어 전체 채집된 멸종위기종의 약 3.2%를 차지하였다(Figure 1). 본류 구간 2개 지점에서 평균 5개체가(범위: 4～5개체) 채집되었으며, 지류구간 3지점에서 평균 3개체가(범위: 1～8개체), 기타수계 1개 지점에서 16개체가 채집되었다. 수계별 퉁사리 출현을 분석 결과 영동천, 보청천 등과 같은 금강 중류에서 주로 출현하였다. 특히 만경강 수계에서 총 6회 16개체가 나타나 가장 금강 수계 내에서 가장 높은 출현 분포를 보였다. 출현 연도별 분석 결과 조사기간 동안 퉁사리는 평균 2개체(범위: 0～8개체) 채집되었다. 또한 퉁사리의 출현빈도가 뚜렷한 경향 없이 불규칙적으로 나타나는 것으로 볼 때, 금강 수계 내 꾸구리 개체군이 불안정하게 유지되는 것으로 나타났다. 따라서 현재 국내 영산강 수계 등 일부지역에서 지엽적으로 진행중인 퉁사리 증식 및 방류 사업을 다양한 수계에 확대 적용하여 체계적으로 보호할 필요성이 있는 것으로 사료된다.

출현어종 분석 결과 4개 중권역 7개 하천에서 미호종개가 22개체 채집되어 전체 채집된 멸종위기종의 약 2.0%를 차지하여, 금강 수계 대표 멸종위기종 5종 중 가장 낮은 상대빈도를 보였다(Figure 1). 본류 구간 1개 지점에서 2개체 채집되었으며, 지류구간 5지점에서 평균 3개체가(범위: 1～10개체) 채집되었다. 수계별 미호종개 출현을 분석 결과 백곡천, 초평천 등 미호천 중권역에 주로 출현하였다. 한편 미호종개의 분포는 수계의 종적구배 특성과 무관하게 나타났다. 즉 수계 상하류간 수질에 의한 영향보다 서식환경에 더 많은 영향을 미치는 것으로 사료된다. 미호종개가 고유종으로 신종 기재 당시 금강 수계의 미호천에 많은 개체가 서식하는 것으로 보고되었으나(Bang *et al.*, 2012; Kim and An, 2014), 이후 농약, 생활하수, 공장폐수, 축산 폐수 등으로 인한 수질오염, 무분별한 하상 공사 및 골재 채취로 인한 서식지가 파괴되어 분포 및 서식이 제한적으로 나타나는 것으로 사료된다. 출현 연도별 분석 결과 조사기간 동안 미호종개는 평균 1개체(범위: 0~6개체) 채집되었다. 2012년 이전에는 미호종개가 갑천, 대청댐하류, 미호천, 삽교천 4개 중권역에서 출현하였으나, 2012년 이후에는 미호천 중권역에서만 미호종개가 출현하는 것으로 나타났다. 이는 4대강 사업에 따른 보건설이 미호종개 서식지를 크게 감소하는데 영향을 미친 것으로 사료된다. 미호종개도 위에서 언급했던 다른 멸종위기종들과 마찬가지로 안정적인 개체군을 유지하지 못하는 것으로 나타나 향후 미호종개의 증식 및 방류 상업에 있어 서식환경의 안정성, 미소서식지의 형태적 특성을 충분히 고려하여 종복원의 실효성을 높일 필요가 있는 것으로 사료되었다. 정착은 이루어지지 않은 것으로 나타났다. 따라서 향후 미호종개 증식 및 방류사업에 있어 서식환경의 안정성 및 미소서식지의 형태적 특성을 충분히 고려하여 사업의 실효성을 높일 필요가 있는 것으로 사료 되었다.

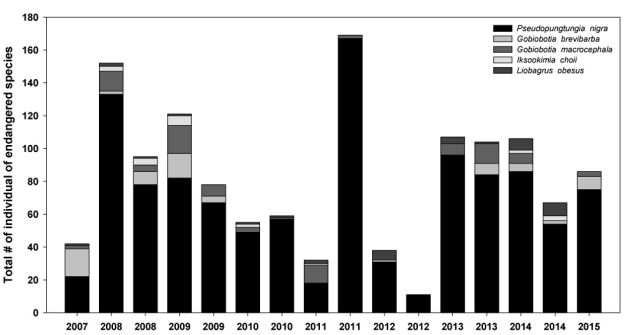

Figure 1. Longterm interannual variations of endangered fish species as total number of individuals in Geum-River Watershed

2. 금강 수계 멸종위기어종의 수질 내성범위

금강수계에 서식하는 멸종위기어종의 수질 내성범위를 분석하기 위하여 우리나라에서 가장 우점하는 담수어류인 피라미(*Zacco platypus*)의 대표서식지를 대조하천으로 선정하여 비교, 평가하였다. 대조하천은 금강 수계에서 최근 5년간 피라미가 우점한 지역 5개 지점을 선정하여 분석한 결과는 다음과 같다.

전기전도도(Conductivity)는 수체 내 이온함량 정도를 신속하게 평가할 수 있는 지표로서, 전기전도도를 활용하여 총용존고형물(TDS, total dissolved solids)과 염분(salinity)을 손쉽게 예측할 수 있다. 본 연구기간 동안 대조군인 피라

미 서식지의 전기전도도는 평균 333.6μS㎝$^{-1}$로 나타났다. 하지만 금강 수계 대표 멸종위기어종 5종의 서식지는 평균 202.6μ㎝$^{-1}$로 나타나 피라미 서식지 보다 월등히 낮은 수치를 보였다. 특히, 돌상어 서식지에서 평균 125.3μS㎝$^{-1}$로 가장 낮은 수치를 보였는데(Figure 2), 이는 돌상어가 유기물, 용존 고형물 등의 오염원에 대해 민감하게 반응하는 것으로 사료된다. 전기전도도에 따른 분포범위는 멸종위기어종 중 미호종개가 59～678μS㎝$^{-1}$의 범위에서 출현하여 가장 넓은 범위에서 나타났으나, 피라미 서식지의 전기전도도는 65～3,060μS㎝$^{-1}$로 나타나 약 4～5배 적은 분포 범위를 보였다. 우리나라는 아시아 몬순(Asia monsoon) 강우의 영향과 대형 인공 댐에서 방류량에 따라 계절적, 지리적 수체

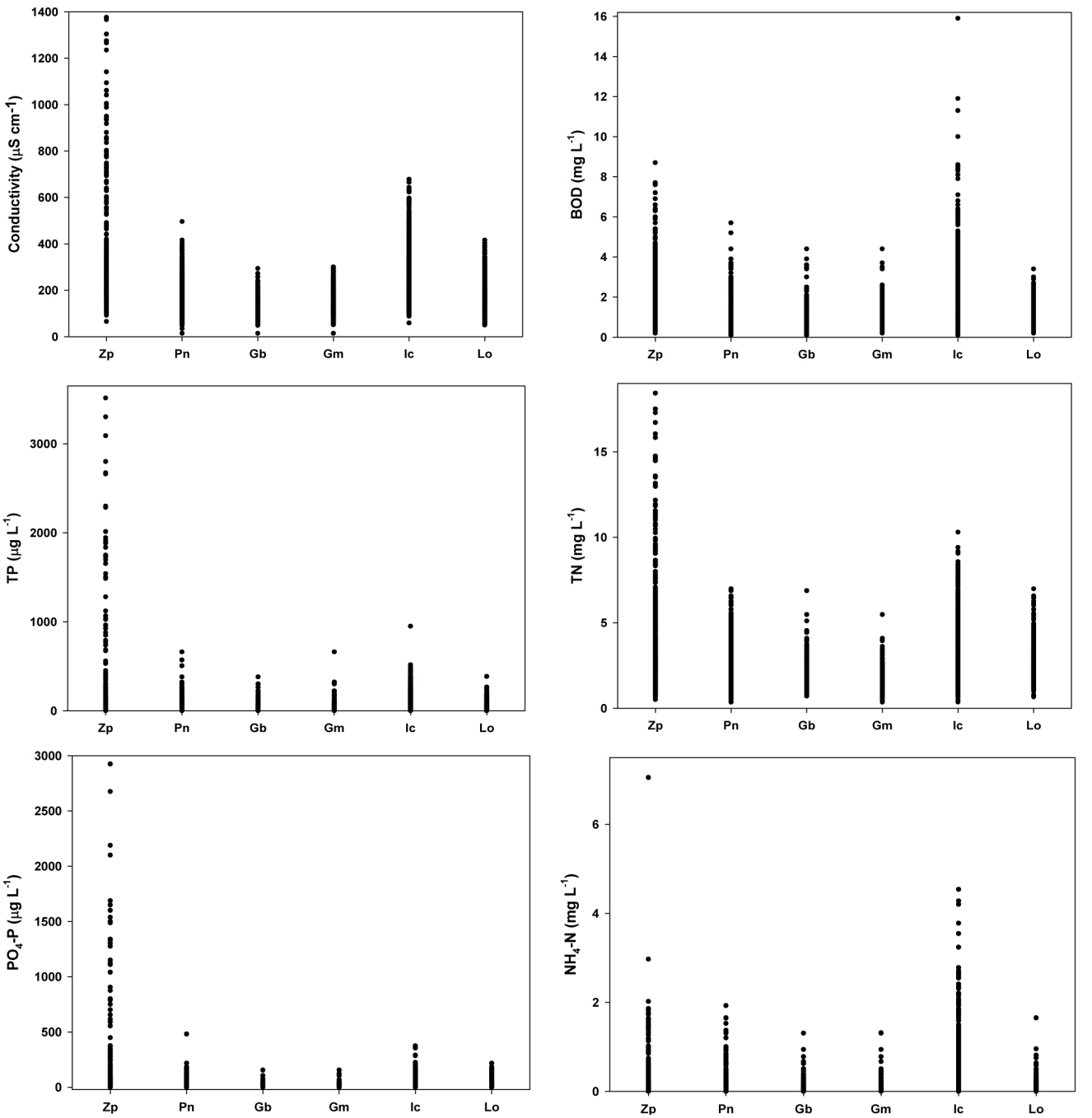

Figure 2. Range of endangered species inhabitation by chemical water quality

이온변화가 심하다. 또한 하천수계의 크기가 작고 하천차수(Stream order)가 작을 경우 집중강우가 하천에 유입되는 시기가 짧은데 비해, 반대로 하천의 수계가 크고 하천이 클수록 강우에 의한 희석시간이 더 오래 걸린다(Lee *et al.*, 2007). 따라서 수체 내에서 지리적, 계절적으로 변하는 전기전도도와 멸종위기어종의 서식에 관한 체계적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

수체 내 유기오염의 지표인 BOD농도는 대조하천인 피라미 서식지에서 평균 1.9㎎ℓ $^{-1}$ 로 환경부 하천수질 및 수생태계 기준에 의거할 때 좋음(Ⅰb)으로 평가 되었다. 금강 수계 대표 멸종위기어종 5종의 서식지는 평균 1.2㎎ℓ $^{-1}$로 나타나 피라미 서식지 보다 다소 낮은 수치를 보였다(Figure 2). 미호종개를 제외한 감돌고기, 돌상어, 꾸구리, 퉁사리 서식지 모두 평균 1㎎ℓ $^{-1}$이하로 나타나 환경부 하천수질 및 수생태계 기준 매우 좋음(Ⅰa)으로 평가 되어, 수계내 용존산소가 풍부하고 유기 오염이 없는 청정상태의 생태계로 사료되었다. 하지만 미호종개의 서식지의 BOD 평균은 2.2㎎ℓ $^{-1}$ 환경부 하천수질 및 수생태계 기준에 의거할 때 약간 좋음(Ⅱ)으로 평가 되어 연구 대상 서식지 중 가장 낮은 BOD 수치를 보였다. 따라서 미호종개의 서식은 수체 내 유기오염 정도보다 유속, 하상구조와 같은 미소 서식지 및 먹이원 등에 의해 더 많은 영향을 미치는 것으로 사료된다.

담수생태계의 대표적인 제한 영양염류인 인(P) 지표인 총인(TP)은 대조하천인 피라미 서식처에서 205㎍ℓ $^{-1}$로 환경부 하천수질 및 수생태계 기준에 의거할 때 보통(Ⅲ)으로 평가 되었다. 분포 범위도 0～3514㎍ℓ $^{-1}$ 로 굉장히 광범위한 내성범위를 보였다. 하지만 금강 수계 대표 멸종위기어종 5종의 서식지는 평균 50㎍ℓ $^{-1}$로 나타나 피라미 서식지 보다 월등히 낮은 수치를 보였다(Figure 2). 미호종개를 제외한 감돌고기, 돌상어, 꾸구리, 퉁사리 서식지 모두 평균 20㎍ℓ $^{-1}$ 초과, 40㎍ℓ $^{-1}$ 이하로 나타나 환경부 하천수질 및 수생태계 기준 좋음(Ⅰb)으로 평가 되었다. 하지만 미호종개의 서식지의 총인 평균은 126㎍ℓ $^{-1}$ 로 환경부 하천수질 및 수생태계 기준에 의거할 때 약간 좋음(Ⅱ)으로 평가 되어, 멸종위기 서식지 중 중 가장 낮은 총인 수치를 보였다. 한편 총질소(TN), 인산염 인(PO_4-P)도 총인과 유사한 경향으로 내성의 범위를 나타났다(Figure 2).

암모니아(NH_4-N) 농도는 물속에서 이온화된 암모니아(NH_4^+)와 이온화되지 않은 암모니아(NH_3)의 두 가지 형태로 존재하며, 일반적 환경(pH 7, 수온 0～30℃)에서는 대부분 NH_4^+형태로 존재하나, pH와 온도가 증가할수록 독성이 있는 NH_3의 존재율이 증가하여 수생생물에 악영향을 보인다(Oh and Kim, 1980). 다른 수질항목과는 달리 암모니아성 질소의 수치는 대조하천인 피라미 서식지보다 미호종개 서식지에서 가장 오염된 수치로 나타났다. 피라미, 미호종개 서식지에서는 각 각 0.44㎎ℓ $^{-1}$, 0.22㎎ℓ $^{-1}$로 나타났으며, 그 외 멸종위기종은 모두 0.08㎎ℓ $^{-1}$ 이하로 나타났다(Figure 2).

3. 하천차수(Stream order)에 따른 멸종위기어종의 분포

전체 170개 조사지점 중 1～3차 소형하천이 78지점으로 전체 46%를 차지하고, 4～6차 대형 하천이 92지점으로 전체 54%를 차지하는 등 각 하천차수별 조사범위가 비교적 균등하게 분포하였다. 조사 기간 동안 소형하천(1～3차)에서는 2종 26개체가 채집되었나, 대형하천(4～6차)에서는 금강 수계 대표 멸종위기종 5종 모두 출현하였으며 총 1296개체가 채집되어 소형하천보다 대형하천에서 월등히 높은 분포 양상을 보였다(Figure 3). 특히 5차하천은 조사지점이 24개 지점으로 전체 170개의 약 14%를 보여 다른 하천차수에 비해 조사지점이 상대적으로 적음에도 불구하고 총 675개체가 채집되어 가장 다양하고 많은 분포양상을 보였다. Barbour *et al.*(1999)의 연구에 따르면, 하천차수가 증가되면서 수생태계 유기오염 및 독성물질의 유입 증가가 일반적이며, 이런 이유로 어종을 단순화시켜 하천차수의 증가에 따라 내성종 혹은 잡식종 우점현상을 보여 수계 건강도를 악화시킨다고 보고한 바 있다. 그러나 본 연구에서 얻은 결과는 하천차수가 증가하여 하천의 크기가 커져도 멸종위기종의 감소는 보이지 않고, 오히려 높은 하천차수에서 더욱 우점 하는 것으로 나타났다. 그 이유는 멸종위기종이 출현한 지점의 경우 이화학적 수질 오염 및 수계교란이 미미하고 어류 서식지가 비교적 잘 보전되어 있음을 제시하는 바이다.

멸종위기어종 출현지역의 다변수 평가모델(Multi-metric model)을 이용한 하천 생태건강도(IBI, Index of biological

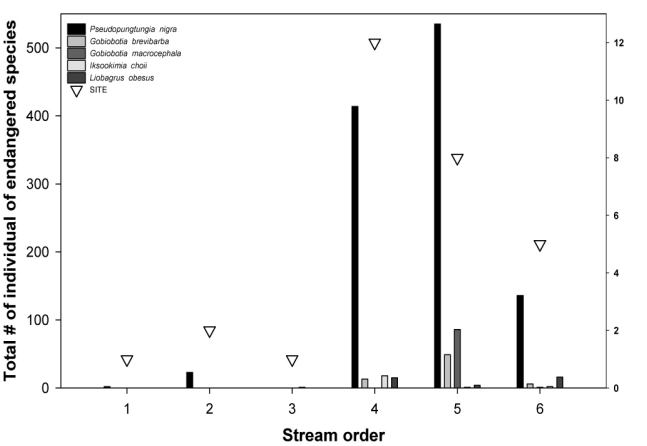

Figure 3. Fluctuations of endangered fish species (as total number of individuals) over the stream order

integrity) 비교평가에 따르면 조사하천 중 멸종위기 어종이 출현하지 않은 지역의 모델 값은 평균 21.6 “보통상태(Fair)”로 분석되었다. 하지만 멸종위기어종이 출현한 지역의 모델 값은 평균 30.5 “양호상태(Good)”로 분석되어, 멸종위기어종 비출현지점과 출현지점간 공간적 이질성(Spatial heterogeneity)이 뚜렷이 구분되었다(Figure 4). 특히 꾸구리, 돌상어의 서식지의 모델 값은 평균 32 “양호상태(Good)” 이상으로 나타나 안정적이고 건강한 하천생태계를 유지하

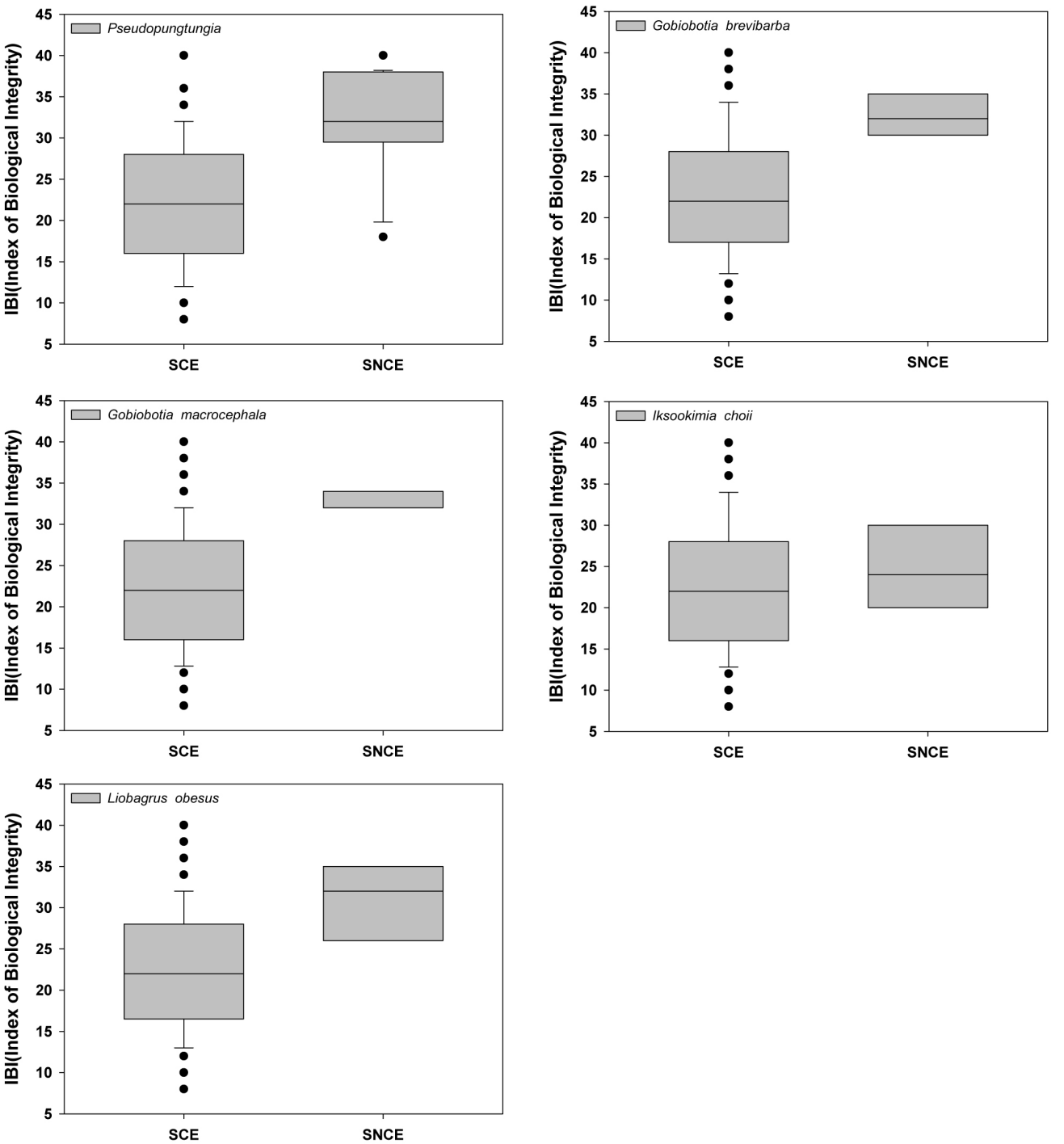

Figure 4. Comparison of Index of Biological integrity as an indicator of stream ecosystem health, in the habitats with the endangered species(SCE) and the habitat without the endangered species (SNCE)

고 있는 것으로 사료된다. 각 메트릭별로 분석결과 멸종위기종 비 출현 지역에서는 피라미(*Zacco platypus*), 붕어(*Carassius auratus*)의 출현빈도가 높아 내성종, 잡식종 메트릭에서 낮은 평가를 받았다. 한편 멸종위기종 출현지점은 물리적 서식지 특성 면에서 주로 여울(Riffle)이 반복적으로 교차하였으며, 하상기질(Bottom substrate)이 자갈형태로 이루어지고 수환경이 다양하여 많은 어종이 서식하며 산란할 수 있는 특성을 보였다. 따라서 여울성 저서종과 총 국내종 개체수 메트릭에서 높은 모델값을 보였다. 상기 자료를 종합해 보면, 하천생태건강도가 높은 지역은 건강도가 낮은 지역에 비해 멸종위기종의 출현빈도가 뚜렷하게 높게 나타나, 생태건강도는 멸종위기종의 분포에 중요한 요인으로 평가되었다.

REFERENCES

An, K. G., D. H. Yeom and S. K. Lee(2001a) Rapid Bioassessments of Kap stream using the index of biological integrity. Korean J. Environ. Biol. 19(4): 261-269. (in Korean with English abstract)

An, K. G., S. H. Jung and S. S. Choi(2001b) An evaluation on health conditions of Pyong-Chang river using the the index of Biological Integrity(IBI) and Qualitative habitat evaluation index(QHEI). Korean J. Limnol. 34(3):153-162. (in Korean with English abstract)

An. K.G., J. Y. Lee, D. Y. Bae, J. H. Kim, S. J. Hwang, D. H. Won. J. K .Lee and C. S. Kim(2006) Ecological assessments of aquatic environment using multi-metric model in major nationwide stream watersheds. Journal of Korean Society on water quality 22(5):796-804. (in Korean with English abstract)

Bang, I. C., I. R. Lee and M. H. Ko(2012) Distribution status and estimation of population size of the endangered species Cobitis choii (Pisces: Cobitidae) in Geum river, Korea. Korean Journal of Ichthyology 24(1):56-61. (in Korean with English abstract)

Barbour, Michael T., Jeroen Gerritsen, Blaine D. Snyder, and James B. Stribling(1999) Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington. D.C. 313pp.

Groombridge. B.(1992) World Conservation Monitoring centre. IN ‘Global biodiversity’. Chapman & Hall. London

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

Kim J. Y. and ·K.G. An(2014) Microhabitat Analysis of Endangered Species (I), Cobitis choii with Rapid Decreases of Population by Environmental Pollution for a Habitat Replacement. Journal of Environmental Impact Assessment, 23(4):271~284. (in Korean with English abstract)

Kim, I.S. and J.Y.Park(2002) Freshwater fishes of Korea. Kyohak Press (in Korean)

Lee, J.H. , Y.P. Hong and K.G. An(2007) Multi-metric index assessments of fish model and comparative analysis of community index with the health index in the upstream watershed of southern Han river Korean J. Limnol. 40(2):327~336. (in Korean with English abstract)

Oh, K.W.and N.C. Kim(1980) Effect of pH and ammonia on the rate of nitrification of cheong-gye cheon sewage water Korean J. Limnol. 13(3):1~6 (in Korean with English abstract)

Sanders RE, Milter RJ, Yondr CO, Rankin ET.(1999) The use of external deformities, erosion, lesions, and tumors (DELT anomalies) in fish assemblages for characterizing aquatic resources: a case study of seven Ohio streams. In: Simon TP, editor. Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities. Washington, DC, USA: CRC Press; p. 225–45.

Son Y. M. and H.B, Song(2006) Freshwater fishes of Geum river, Korea. Jisung Press (in Korean)

Strahler, A.N.,(1957) Quantitative analysis of watershed geometry, American Geophysical Union Transactions, 38, 913-920.

US EPA. 1993. Fish field and laboratory methods for evaluation the biological integrity of surface waters. EPA 600-R-92-111. Environmental Monitoring systems Laboratory-Cincinnati office of Modeling, Monitoring systems and quality assurance Office of Research Development. U.S. EPA, Cincinnati, Ohio 45268.