

Research Paper

무주-금산간 도로건설에 따른 적벽강의 어류 종 조성 분석 및 생태건강도 사전환경성평가

이상재 · 박희성 · 안광국

충남대학교 생명시스템과학대학 생물과학과

Preliminary Environmental Impact Assessments on Fish Compositions and the Ecological Health of Jeokbyeok River on the Road Construction of Muju-Geumsan Region

Sang-Jae Lee · Hee-Sung Park · Kwang-Guk An

Department of Biological Science, College of Biological Sciences and Biotechnology, Chungnam National University

요약 : 본 연구는 금강 상류에 위치한 적벽강에서 지역간 주민불편 해소를 위하여 도로 연결노선 건설 및 기반시설확충에 따른 환경영향성을 검토를 위해 2015년 수생태계의 어류 종조성 평가, 멸종위기종 특성, 군집평가 및 일반 수질특성을 분석하였다. 본 사업 구간에서 어류는 총 28종 1186개체가 출현하였고, 법적보호종은 멸종위기 1급인 감돌고기 (*Pseudopungtungia nigra*) 79개체, II급인 돌상어(*Gobiobotia breviparba*)와 꾸구리(*Gobiobotia macrocephala*)가 각각 5개체, 2개체가 출현하여 종 보존이 필요한 것으로 나타났다. 한편 국내 하천 및 호수에 널리 분포하는 큰입배스(*Micropterus salmoides*)와 파랑볼우럭(*Lepomis macrochirus*)의 생태계교란어류는 출현하지 않아 외래어종에 의한 생태계교란 현상은 나타나지 않아 생태계가 잘 보존된 지역으로 분석되었다. 어류군집 평가에 따르면, 전반적으로 종다양도 지수는 모든 지점에서 높게 나타났으며 (범위: 0.788 - 1.030), 우점도 지수는 아주 낮은 것 (범위: 0.097 - 0.183)으로 나타나 특정 종에 의해 우점하지 않고, 군집이 잘 유지되는 것으로 나타났다. 또한 어류의 내성도 및 트로픽 길드 분석 결과 내성종에 비해 민감종의 비율이 상대적으로 높고 잡식종에 비해 충식종의 비율이 상대적으로 높아 어류에 대한 오염도 측면 및 섭식구조에서도 생태계가 잘 유지됨을 나타냈다. 이런 특성은 다변수어류평가모델 (Multi-metric fish model)을 이용한 생태건강도 분석에서 잘 반영되었다. 즉, 어류평가지수 (FAI 모델값)는 82.4으로서, 생태건강도 등급은 “양호상태 (B등급)”로 평가되어 전반적으로 건강한 하천 생태계 특성을 보였다. 또한, 용존산소량(DO)과 수소이온농도(pH)가 각각 10mg L⁻¹, pH8 전후로 나타났으며 그 외 일반 이화학적 수질특성에서도 양호하게 나타났으며, 물리적 서식지

First Author: Sang-Jae Lee, Department of Biological Science, College of Biological Sciences and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea, Tel: +82-42-821-7538, Fax: +82-42-822-9690, E-mail: wangmommynson@hanmail.net

Corresponding Author: Kwang-Guk An, Department of Biological Science, College of Biological Sciences and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea, Tel: +82-42-821-6408, Fax: +82-42-822-9690, E-mail: kgan@cnu.ac.kr

Co-Author: Hee-Sung Park, Department of Biological Science, College of Biological Sciences and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea, Tel: +82-42-821-7538, Fax: +82-42-822-9690, E-mail: phosht@naver.com

Received: 28 July, 2016. Revised: 19 January, 2017. Accepted: 20 January, 2017.

도 여울과 풀 (Pool)이 잘 조화되는 것으로 나타났다. 이런 지역간 연결도로 건설은 수체내의 토사유입을 가져올 수 있고 이는 서식지 특성 및 어류먹이 연쇄에 직·간접적인 영향 줄 수 있어, 건설 시 토사유출에 대한 대책마련이 필요할 것으로 사료되었다.

주요어 : 생태건강도 평가, 어류, 멸종위기종, 환경영향평가, 물리적 서식지

Abstract : The objectives of the study were to evaluate fish compositions, endangered species, community structure, physical habitat, and general water quality for a preliminary environmental impact assessment of Jeokbyeok River on the road construction between two regions. Total number of species and total number of individuals, based on CPUE, were 23 and 1186, respectively. The endangered species (I, II) as the legal protection species were *Pseudopungtungia nigra* (79 samples) *Gobiobotia brevibarba* (5) *Gobiobotia macrocephala* (2), indicating a requiring of endangered species conservation. In the meantime, exotic species and ecological disturbing species such as *Micropterus salmoides* and *Lepomis macrochirus*, were not present, indicating a well conserved area. According to fish community analysis, values of species diversity index were high (range: 0.788 - 1.030), and the dominance index were low (range: 0.097 - 0.183), indicating that the fish community in this area was maintained well without high dominance by specific species. Also, fish analysis on tolerance guilds and trophic guilds showed that the proportions of sensitive species were largely exceeded the proportions of the tolerant species, while the proportions of insectivore species were largely exceeded the proportions of the omnivore species. This outcome suggests that the ecosystem was well maintained in terms of tolerance and trophic compositions (food chain). Ecological health, based on the multi-metric fish model of Fish Assessment Integrity (FAI), reflected those fish conditions. In other words, values of FAI model averaged 82.4, which means a "good condition" in the criteria of ecological health by the Ministry of Environment, Korea. In addition, general water quality and physical habitat analyses showed that the system was in good condition. Under these conditions, if the road constructions between the two regions happen in the future, inorganic suspended solids may increase in the waterbody, and this may result in indirect or direct influences on the physical habitats and food chain as well as fish compositions, so the ecological protections and prevention strategy from the soil erosion are required in the system.

Keywords : Ecological health, fish, endangered species, environmental impact assessment, physical habitat

I. 서론

금강은 전라북도 장수군 장수읍 수분리 신무산 계곡에서 발원하여 충청남도과 전라북도의 경계를 이루는 서천군과 군산시 사이의 하구언을 통해 서해로 흘러나가는 유로연장 397.25km, 유역면적 9912.15km²에 달하는 우리나라 6대 하천 중의 하나이며, 남한에서 한강과 낙동강, 영산강과 함께 4대강 중의 하나이다. 최근, 금강 수계의 중·하류부에 세종보, 공주보 및 백제보를 건설하여 수질오염 문제 및 생태계 교란

이 발생하고 있어 관리가 시급한 실정이다(Kwon et al. 2013).

본 연구 대상지역은 상기 금강 수계 내의 중·상류에 위치한 적벽강(금강수계의 수통리 일부구간의 명칭)으로서 과거 수생태계내의 이화학적 수질 및 종 다양성이 아주 잘 보존된 지역으로 알려져 있다. 적벽강 지역과 관련된 선행 연구는 수질측정 및 수생태계조사(MEK 2007)가 주류를 이루었고, 최근에는 금강수계에서 하상재료에 따른 어류의 종다양성 및 서식지 평가(An et al. 2006)등에 대한 연구가 진행

된 바 있다. 2007년부터 2010년 조사에서 환경부에서 지정한 멸종위기야생동물(Endangered species)인 감돌고기(*Pseudopungtungia nigra*)와 꾸구리(*Gobiobotia macrocephala*), 돌상어(*Gobiobotia brevibarba*)가 출현하였다(Hur et al. 2011). 또한 멸종위기 II급 어류인 다묵장어의 서식이 보고된바 있다(Ko et al. 2013). 위에 언급된 종의 서식환경 조건은 여울이 형성되어있으며 자갈 등의 하상구조를 가진 서식지를 선호하는 것으로 나타나 하천 정비, 도로건설 및 각종 수환경 개선 사업시에 어류의 서식환경적 특성은 고려되어야 한다(An et al. 2001; Hur et al. 2011).

1980년대 이래 우리나라는 급격한 산업화, 도시화, 공업화에 따른 각종 오염 및 문제점이 끊이지 않고 일어나고 있다. 특히 인구가 밀집한 도시지역과 공장들이 밀집한 공단에서 유입되는 각종 생활폐수 및 산업폐수 등은 수계내로 직접적으로 오염원으로서 작용하고 있으며 또한 이수, 치수를 위한 목적의 무분별한 하천공사는 하천을 직강하시키며 서식지의 물리적 변화를 초래한다. 이는 특정서식지를 선호하는 서식지특이성을 지닌 어종이 자취를 감추어가는 원인으로 작용하고 있다(Yeom et al. 2000; Kwon & An 2006). 농사를 위해 사용하는 농약 및 비료의 무제한적 사용은 수계내의 화학물질 유입과 유기물의 과다유입으로 이어져 부영양화를 비롯한 각종 수생태계의 문제점을 양산한다(Bae & An 2006). 결국 이 모든 것들이 급격한 인구증가와 서로 맞물려 생물 종 다양성 감소, 수계 내 민감종의 감소와 내성종의 증가 등과 같은 생태학 교란을 통해 하천생태계의 종합적인 질적 저하를 일으키고 있는 것이 현실이다(Choi et al 2000; An et al. 2005). 현재 우리나라는 쾌적한 친환경적 생활환경 유지에 대한 국민적 관심이 증가하고 또한 정부도 국가적 차원에서의 수질 및 수생생물을 통합적으로 관리(MEK 2008)하기 위한 총량관리규제법, 사전환경성 검토 및 친환경적 복원성향 등의 강화와 같은 효율적인 수환경 관리체제를 도입하여 관리를 강화하고 있다. 특히 환경오염에 대한 언론의 대대적인 발표와 관심 그리고 이를 극복하기 위한 자원봉사의

꾸준한 지원 등은 환경에 대한 전 국민의 관심을 반증하고 있다.

최근 우리나라에서는 각종 도시 건축 사업 및 도로건설에 의해 하천생태계가 교란되며, 이를 위해 사전 환경 영향평가 등의 검토가 활발히 이루어지고 있다. 이런 생태계 건강성에 대한 교란의 평가를 위하여 주로 화학적 모니터링을 이용해 왔다(US EPA 1991). 그러나 수질악화는 화학적 오염뿐만 아니라 유로변경 및 유량변동, 물리적 하상구조의 변경 등에 의해 크게 손상되기 때문에, 단순 화학적 평가만으로는 수계내의 총체적 건강 상태를 진단 할 수 없다(Judy et al. 1984; Karr & Dudley 1981; Karr et al. 1986). 이런 이유로 해서 미국 환경부(US EPA 1993)에서는 어류를 이용한 생물학적 모니터링 및 생태계 건강성 평가가 광범위하게 이용되어 환경영향평가에 이용하고 있다(Barbour et al. 1999). 이런 평가는 현행 생태건강도 평가뿐만 아니라 향후 생태복원 및 수계의 수질관리에 핵심적인 역할을 한다. 이런 기법에 기반을 두어 우리정부는 4대강 수계에서 수생태건강성 조사 및 평가를 실시하고 있으며, 이는 수계내 다양한 생물군을 이용한 생물학적인 수환경 평가기법은 수환경을 진단하는데 필요한 핵심기법으로서 지속적인 모니터링을 통하여 하천생태계를 진단하고 복원하는데 중요자료로 활용될 수 있다.

본 연구는 금강 상류에 위치한(금산군 부리면 방우리 지역) 낙후된 교통·통행시설로 인해 주민불편 해소와 이지역의 연결 노선 및 기반시설 확충을 위한 기본방향을 설정한다. 또한 이에 부합하는 세부 사업 분야별 세부실행계획이 포함된 발전계획을 수립하여 종합발전계획 수립에 따른 환경기준의 적정성유지 및 자연환경보전을 위하도록 한다. 마지막으로 친환경적이며 지속 가능한 계획 수립이 될 수 있도록 금강 중 상류부에 위치한 적벽강에서 어류 종 평가, 일반 수질 분석, 물리적 서식지 평가 및 생태계 건강도 평가를 실시하였다. 따라서 본 연구는 적벽강수계 종합발전계획 수립 및 생태적 가이드라인 제시를 위한 기초자료로 활용 할 수 있을 것으로 사료된다.

II. 재료 및 방법

1. 조사시기 및 조사지점 선정

하천 생태건강도 평가 시, 조사시기는 일반적으로 최대 일주기 대기온도(Maximum daily temperature)가 19°C 이상 되는 시기로 선정되어야 한다. 대기온도가 이 범위 이하로 내려갈 경우 어류군집의 상대풍부도(Relative abundance)에 직접적으로 영향을 준다. 또한 우리나라의 장마기인 7 - 8월은 유량증가 및 유속변화 등의 물리적 영향에 의하여 어류군이 상류로 이동할 수 있으며, 반대로 동절기에는 낮은 수온 변동과 유량감소 등을 피하기 위하여 하류로 이동하는 양상을 보인다.

본 조사는 동절기 전으로서 장마 후에 가장 수체가 안정된 시기인 2015년 8월(1차)과 10월(2차)에 걸쳐 2회 실시하였으며, 1차 5개 조사지점, 2차 조사 6개 지점을 각각 선정하여 현장수질을 측정하였고, 어류 현장조사 및 하천 생태건강도 평가를 실시하였으며, 세부 조사대상 지점은 다음과 같다(Figure 1).

- St. 1: 충청남도 금산군 부리면 방우리 방우리습지 하류 약 400m지점
- St. 2: 충청남도 금산군 부리면 방우리 적벽교 상류 약 800m지점
- St. 3: 충청남도 금산군 부리면 수통리 적벽교 하

류 약 800m지점

- St. 4: 충청남도 금산군 부리면 수통리 적벽강오 토캠핑장 하류 약 100m지점
- St. 5: 충청남도 금산군 부리면 수통리 수통대교 상류 약 400m 지점
- St. 6: 충청남도 금산군 부리면 방우리 앞섬다리 상류 약 1,500m 지점

2. 일반 수질항목 분석

수질자료는 어류 현장조사와 동시에 현장에서 직접 측정된 자료로 YSI 6600(다항목 측정기)를 이용하여 수온(water temperature), 용존산소량(dissolved oxygen, DO), 전기전도도(electric conductivity, EC, at 25°C), 수소이온농도(pH), 탁도(turbidity) 5개 항목을 측정하였으며, 이들 항목은 근본적인 수질분석이 아니라 어류평가지수(FAI)와 비교를 위한 보조 자료로 이용되었다.

3. 어류 현장조사 방법

어류의 현장조사는 환경부의 “물환경종합평가개발 조사연구” 및 “수생태계 건강성 조사계획 수립 및 지침(MEK 2007)”의 어류 조사 방법에 의거(Wading method에 기초)하였고, 정량화된 채집 조사를 위하여 Catch Per Unit of Effort(CPUE)에 따랐으며,

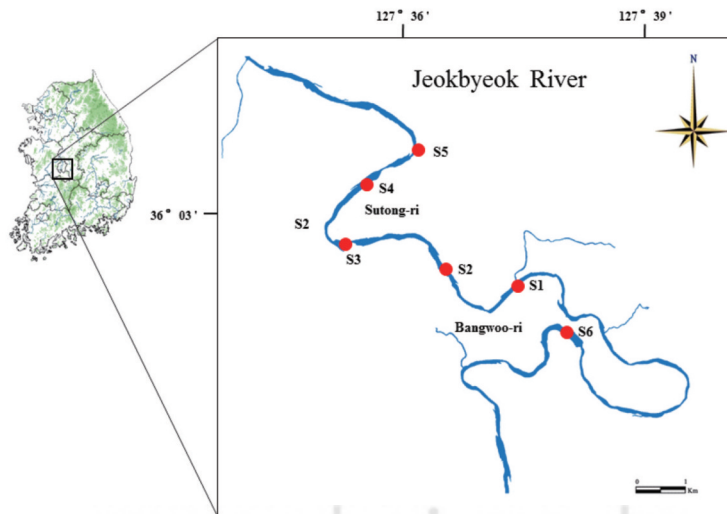


Figure 1. The map showing the sampling sites in Jeokbyeok River

채집자가 가슴장화의 착용으로 접근이 가능한 장소에서 조사를 실시하였다. 각 지점의 조사거리는 200m, 조사시간은 50분으로 한정하였다. 하천차수(Stream order)는 1:120,000 축적의 지도(정밀도로 지도, 영진출판사)를 이용하여 Strahler(1957) 방법에 따라 결정하였다.

조사도구는 주로 투망(망목 5×5 mm)과 족대(4×4 mm)를 이용하였고, 조사인원은 어류채집에 대한 전문적 훈련을 받았거나 현장경험이 최소한 3년 이상인 전문가를 1인 이상 포함하였으며, 3인 1조로 구성하여 조사를 실시하였다.

Nelson(1994)의 분류체계에 의거하여 각 지점에서 채집한 어류는 현장에서 동정 및 계수 후 바로 풀어주는 것을 원칙으로 하되 현장에서 동정이 모호한 종은 10% 포르말린 용액으로 고정하여 실험실로 옮긴 후 Kim & Park(2002)와 Son & Song(2006)의 기준에 따라 동정하였다. 채집된 어류의 개체 수 산정은 어류체장의 길이가 20 mm 이하의 동정이 불가능한 치어의 경우 제외하였으며, 비정상어종이 채집되었을 경우에는 감별 방식은 Sanders et al.(1999)의 방법에 따라 기형(Deformity, DE), 지느러미 손상(Erosion, EF), 피부손상(Lesions, LE) 및 종양(Tumors, TU)의 내용을 비정상성 유형감별 야장에 기록하였다.

4. 어류 군집분석

본 조사의 어류 군집분석을 위해, 각 조사지점에서 채집된 어종의 개체수를 기준으로 아래와 같이 종 풍부도 지수(Margalef 1958), 종 균등도 지수(Pielou 1975), 종 다양도 지수(Shannon & Weaver 1949) 및 군집 우점도 지수(Simpson 1949)를 산정하였다.

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

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

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

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S}$$

iii) 종 다양도 지수(Shannon-Weaver diversity index, H')

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

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

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

[N = 총 출현 개체수, N_i = i 종의 개체수, $P_i = N_i/N$, S = 총 출현 종수]

5. 어류 다변수 모델을 이용한 생태건강도 평가

1) 어류 생태특성 분석법

본 연구에서 어류 생태특성 분석 및 하천 생태건강도 평가 모델의 적용을 위한 내성도(Tolerance guild) 및 섭식특성(Trophic guild)에 대한 범주는 US EPA(1993)의 기준에 의거하였으며, 분류는 기준의 도감 및 문헌을 이용하였다(Kim & Park 2002; Son & Song 2006).

내성도 분석을 위해, 주로 수질오염에 따라 쉽게 사라지는 민감종(sensitive species, SS), 수질오염(역사적 자료근거)에도 불구하고, 종수 및 분포범위가 증가하는 어종인 내성종(tolerant species, TS), 두 범주사이에 포함되지 않는 중간종(intermediate species, IS)으로 대별하였다(US EPA 1993). 생태계 내에서 먹이그물(Food web)을 통해 수체 내 에너지 흐름을 반영하는 영양단계는 잡식종(omnivore species, O), 충식종(Insectivore 혹은 invertevore species, I), 육식종(carnivore 혹은 piscivore species, C) 및 초식종(herbivore species, H)으로 구분하였으나, 본 모델에서는 잡식종 및 충식종에 관련된 매트릭만을 채택하였다.

2) 생태 건강도 평가 모델 적용

본 연구에서는 Karr & Dudley(1981)의 어류를 이용한 생물통합지수(Index of Biological Integrity, IBI)를 기반으로 개발된 환경부의 국가 수생태계 건강성 평가 프로그램의 어류평가지수(Fish Assessment Index, FAI)에 의거하였다. 잡종과 외

래도입종은 본 항목에 포함하지 않는다. 본 모델에 이용된 8개의 메트릭은 다음과 같다.

8개의 메트릭은 크게 세 가지 부류로 대별된다. 첫째, 종의 구성성분에 특성을 반영한 생태지표특성, 둘째, 어류의 섭식특성을 반영한 영양단계구성, 셋째, 어류의 개체풍부도 및 개체 건강성으로 어류의 생태건강도 및 수환경 평가에 가장 일반적이면서, 우리나라에 적용 가능한 통합지수이다(Table 1). 메트릭 1은 국내종의 총 종수로서 본 항목은 수질오염 및 서식지 교란 등의 환경이 악화된 지역에서는 수가 감소하고, 하천차수에 영향을 많이 받는다. 메트릭 2는 여울성 저서종수로 본 항목은 Karr & Dudley(1981)가 제시한 “number of darter species” 혹은 “number of cottidae”는 국내의 실정에는 적절하지 않아 Harris가 제시한 “여울성 저서종수”로 대체하여 적용한다. 메트릭 3은 민감종수로 본 항목은 높은 부유물질로 인한 서식지의 하상구조 변경, 낮은 용존산소량, 수온 상승 및 독성 물질로 인해 종의 감소가 기대되는 특성을 살린 요소이다. 메트릭 4는 내성종의 개체수 비율로 본 모델 메트릭에 이용된 내성종은 잉어(*Cyprinus carpio*), 붕어(*Carassius auratus*), 피라미(*Zacco platypus*) 등과 같은 수질 저하 및 오염에 상대풍부도가 증가하는 오염에 내성이 강한종(다량의 유기물을 선호하는 종)을 이용한다. 메트릭 5는 잡식종(omnivore)의 개체수 비율로 본 항목은 동식물을 구분하지 않고 섭식하는 종으로 정의되는 항목으로, 서식지의 물리·화학적 질적 하강에 따라 잡식성 어종의 풍부도는 증가한다. 메트릭 6은 충식성

(insectivore)의 개체수 비율로 본 항목은 수중 무척추동물을 섭식하는 어종으로서, 서식지의 물리·화학적 질적 하강에 따라 충식성 어류의 풍부도는 감소한다. 메트릭 7은 채집된 국내종의 총 개체수로 개체군의 풍부도를 평가하는 항목으로, 채집된 어류의 개체수를 과거의 어류상 조사 결과를 기초로 최대 종풍부도 선(Maximum species richness line)을 구한다. 메트릭 8은 비정상종(Anormalities)의 개체수 비율: 어류의 건강상태를 대표하는 항목으로, 본 조사에서는 Sanders et al.(1999)의 방법에 따라 DELT 비정상성(Deformity, Erosion, Lesions 및 Tumors)은 4부류로 구분한다.

3) 하천 생태 건강도 등급 구분

본 조사에서 사용된 어류를 이용한 하천 생태건강도 모델은 메트릭이 8개이며 계급구간을 “12.5”, “6.25”, “0”로 구분하여, 이에 대한 최대 점수는 $8 \times 12.5 = 100$ 점으로서 산정된다. 세부등급은 최상상태(A), 양호상태(B), 보통상태(C) 및 불량상태(D)로 4등급 체계로 대별하였다. 메트릭 1, 2, 3, 7의 점수 산정은 하천의 규모(Stream order)에 따라 차등을 두는데(Table 1), 이때 하천차수는 하천의 규모가 증가할수록 출현종과 채집개체수가 늘어나 종 다양도 및 풍부도가 증가하는 것에 대응하기 위하여 고려되었다.

어류 평가지수의 등급구분에 있어 최상상태는 $87.5 \leq \leq 100$ 의 모델값의 범위로서, 민감종의 개체수가 풍부한 상태, 양호상태는 $56.2 \leq \leq 87.5$ 의 모델값의 범위로서 민감종이 존재하며, 내성종이 일부

Table 1. Fish community metrics, scoring criteria, and class boundaries for the Fish Assessment Index(FAI) in Jeokbyeok River.

	Stream order	Scoring criteria				Stream order	Scoring criteria		
		0	6.25	12.5			0	6.25	12.5
Total number of native fish species [M1]	1	0-1	2	>2	Number of sensitive species [M3]	1	0	1-2	>2
	2	0-2	3-5	>5		2	0	1-3	>3
	3	0-4	5-8	>8		3	1	2-4	>4
	4	0-5	6-11	>11		4	1	2-4	>4
	5	0-7	8-14	>14		5	1	2-4	>4
	6	0-9	10-18	>18		6	0	1-3	>3
	7	0-11	12-22	>22		7	0	1-2	>2

Table 1. Continued

	Stream order	Scoring criteria				Stream order	Scoring criteria		
		0	6.25	12.5			0	6.25	12.5
Number of riffle benthic species [M2]	1	0	1	>1	Total number of individuals [M7]	1	0-10	11-20	>20
	2	0	1-2	>2		2	0-30	31-55	>55
	3	0	1-2	>2		3	0-50	51-90	>90
	4	1	2-3	>3		4	0-60	61-115	>115
	5	0	1-2	>2		5	0-80	81-160	>160
	6	0	1-2	>2		6	0-100	101-200	>200
	7	0	1	>1		7	0-120	121-240	>240
Proportion of individuals as tolerant species [M4]	Scoring criteria			Proportion of individuals as native insectivores[M6]	Scoring criteria				
	0	6.25	12.5		0	6.25	12.5		
	>70	70-30	<30		<20	20-45	>45		
Proportion of individuals as omnivores [M5]	Scoring criteria			Proportion of individuals with disease, tumors, fin damage and other anomalies[M8]	Scoring criteria				
	0	6.25	12.5		0	6.25	12.5		
	>70	70-30	<30		>1	0-1	0		

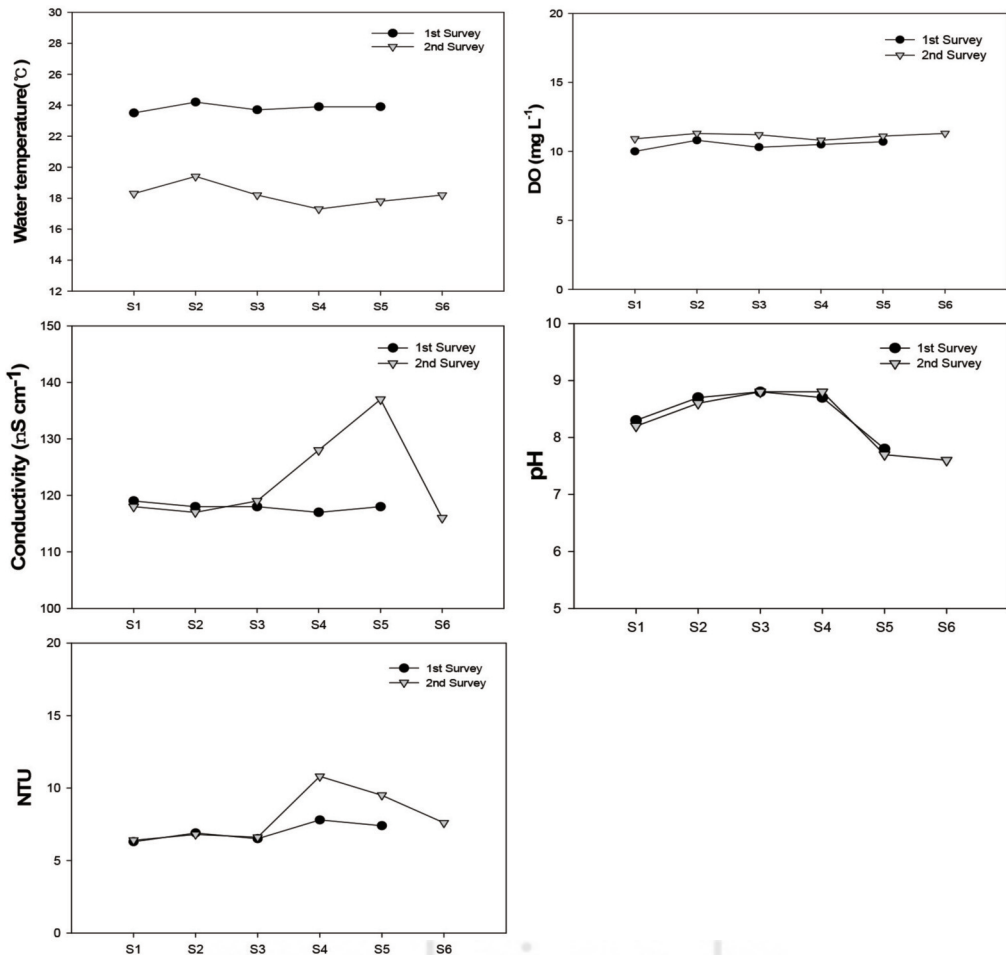


Figure 2. Water chemistry in the sampling sites. The abbreviations of chemical parameters are shown in method section

출현하는 상태, 보통상태는 $25.0 \leq < 56.2$ 의 모델값의 범위로서 민감종이 희박하고, 잡식어종의 상대풍부도 및 내성종이 증가하는 상태, 불량상태는 25.0이하의 모델값의 범위로서 어류가 거의 출현하지 않으며, 내성종이나 비정상성 어종의 개체수 비율이 증가하는 상태로 어류를 이용한 하천 생태 건강도를 산출하였다. 각 메트릭에 대한 점수구분 및 기준산정은 Karr et al.(1986) 및 Ohio EPA(1989)에 의거하였다.

III. 결과

1. 일반 수질항목 분석

적벽강의 조사지점별 수질특성은 상·하류간 종적구배를 보이지는 않았다. 수온(water temperature, °C)의 경우, 17.3 - 24.2 °C로 풍수기 이후의 일반적인 수온 특성을 보였으며, 다른 항목들도 일반적인 생물서식에 적합한 수준을 보였다. 2차조사시 극심한 가뭄으로 인해 유량감소로 일부 지역에서 유기물이 침적되어 탁도(turbidity, NTU)와 전기전도도(conductivity, $\mu\text{s cm}^{-1}$)가 1차 조사에 비하여 다소 높게 나타났다. 하류에 위치한 지점일수록 하상에 유기물 침적이 뚜렷이 나타났으며, 특히 지점 5의 인근에서는 가축분뇨 악취가 발생하기도 하였다. 탁도와 전기전도도의 수치도 다른 지점에 비교해 볼 때 뚜렷이 증가하였다(Figure 2).

2. 어류군집분석

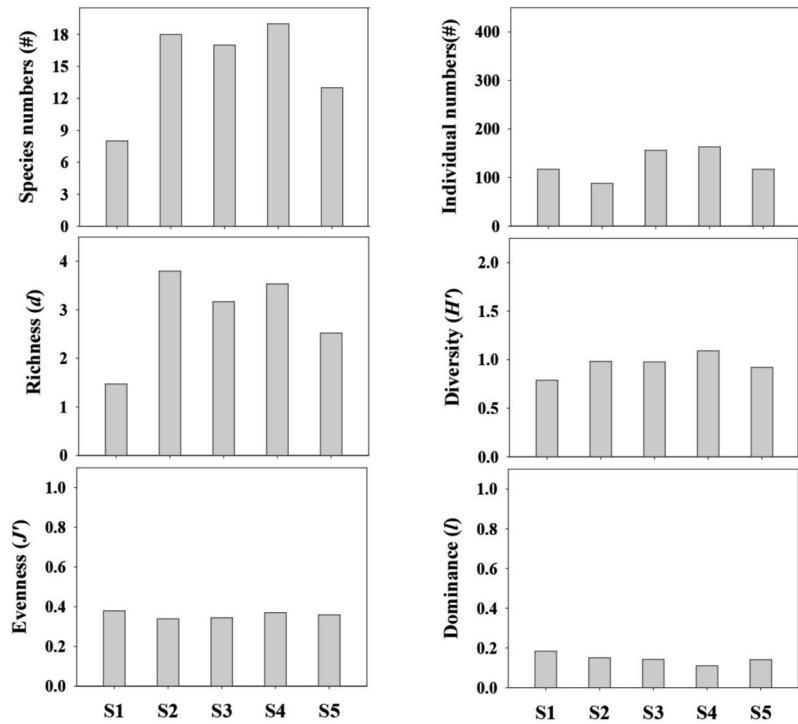
적벽강 상류에서 하류에 이르기까지 8월에 실시한 총 5개 지점 군집구조를 결과에 따르면 종풍부도 지수(d)는 2,900(1,470 ~ 3,797), 종 균등도 지수(J)는 0.360(0.344 ~ 0.379), 종 다양도 지수(H')는 0.950(0.788 ~ 1.091), 군집우점도 지수(λ) 0.140(0.110 ~ 0.183)로 분석되었다(Figure 3). 지점별 특성을 분석하면, 군집우점도 지수는 지점 4에서 가장 낮게 분석되어 특정 어종의 우점화 경향이 나타나지 않았고, 종다양도 지수에 있어 1.091로 가장 높게 분석되어 조사된 지점들 중 다양한 어류상이 비교적

고른 분포를 보이는 것으로 나타났다. 이는 다른 구간에 비하여 안정된 군집이 유지되고 있는 것으로 사료된다. 반면 5개 조사지점 중 최상류에 위치한 지점 1의 경우 군집우점도가 0.183으로 가장 높게 분석되었는데, 이는 피라미(*Zacco platypus*)가 전체 출현종 중 30%이상으로 우점하기 때문인 것으로 사료된다. 또한 지점 1은 종풍부도도 1,470으로 가장 낮게 분석되었으며, 균등도는 0.379로 가장 높게 분석되었는데 서식종의 단순화 및 특정종의 우점화 현상으로 인하여 상대적으로 어류 군집이 불안정화 되어있는 것으로 분석되었다.

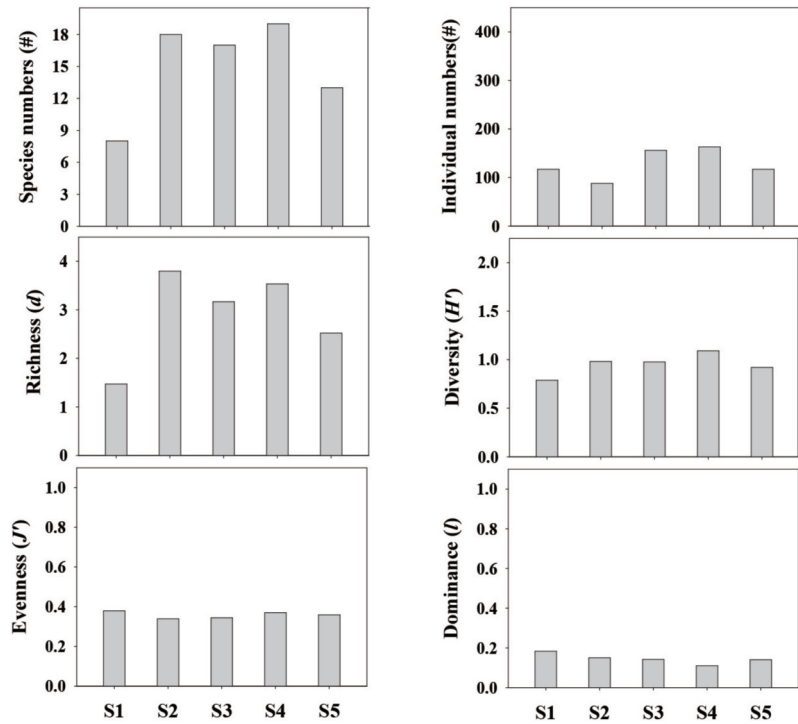
10월에 실시한 총 6개 지점 군집구조 결과에 따르면 종풍부도 지수(d)는 2,650(2,104 ~ 3,138), 종 균등도 지수(J)는 0.370(0.354 ~ 0.402), 종 다양도 지수(H')는 0.950(0.586 ~ 1.030), 군집우점도 지수(λ)는 0.130(0.097 ~ 0.170)로 분석되었다(Figure 3). 전반적으로 1차 조사와 유사한 경향을 보였으나, 종 풍부도 지는 소폭 감소한 것을 나타났다. 종 풍부도 지수는 다른 지점에 비해 가장 많은 종이 출현한 지점 1에서 3,138로 가장 높게 나타났으며, 11종으로 가장 적게 출현한 지점 5에서 2,104로 가장 낮은 종 풍부도 지수를 나타냈다. 지점 2에서는 종 풍부도 지수는 비교적 낮은 반면, 균등도 지수와 다양도 지수가 각각 0.402, 1.030으로 가장 높게 나타났으며, 군집 우점도 지수는 0.097로 가장 낮게 나타났다. 이는 특정 종에 의한 우점현상이 나타나지 않고, 어류 군집이 안정적으로 유지되는 것으로 사료된다.

3. 어류상 및 종분포 특성

본 연구를 통해 채집된 어류는 총 8과 28종 1186개체가 채집되었다. 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*)와 돌고기(*Pungtungia herzi*)가 각각 199(18.1%)개체, 182(16.4%)개체가 채집되어 우점종과 아우점종으로 나타났다. 적벽강에서 채집된 어류의 섭식특성을 살펴보면, 쉬리, 돌고기와 같은 충식어종(674개체, 57%)이 잡식종(367개체, 31%)보다 압도적으로 우점하는 것으로 나타났다. 한편 조사기간 중 외래종, 비정상종의 출현은 전무하였다. 전반적으로 적벽



(a) 1st survey



(b) 2nd survey

Figure 3. Community analysis, based on the species richness index(d), evenness index(J'), species diversity index(H'), dominance index(l), species numbers(#), and individual numbers(#), in Jeokbyeok River.

강은 어류서식에 적합한 다양한 형태의 서식지를 보여, 안정적이며 건강한 하천생태계를 유지하는 것으로 나타났다.

1차 조사기간 동안 적벽강 상류에서 하류에 이르기까지 총 5개 지점을 조사한 결과 총 7과 24종 641개체가 채집되었다(Table 2). 이 중 우점종으로는 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*, 18.1%), 돌고기(*Pungtungia herzi*, 16.4%), 피라미(*Zacco platypus*, 15.4%), 참갈겨니(*Zacco koreanus*, 8.7%), 칼납자루(*Acheilognathus koreensis*, 6.2%), 감돌고기(*Pseudopungtungia nigra*, 6.1%) 등의 순으로 출현하였다. 5개 지점 모두 여울이 굉장히 발달하여 여울성저서(Riffle-Benthic) 대표어종인 쉬리가 서식하기 최적의 조건을 갖추고 있었다. 쉬리 외에도 참종개(*Iksookimia koreensis*), 눈동자개(*Pseudobagrus koreanus*) 등 여울성 저서종이 총 5종 출현하였다. 또한 물 흐름이 완만하고 바닥의 자갈이 많은 하천에 주로 서식하는 돌고기(*Pungtungia herzi*), 칼납자루(*Acheilognathus koreensis*) 등도 전지점에서 채집되었다. 이는 적벽강의 모든 지점이 다양한 어류가 산란할 수 있는 바위나 큰 돌이 형성되어있으며, 이들의 먹이가 되는 수서곤충 서식 때문인 것으로 사료된다. 한편 지점별로 어류 종조성 특성을 살펴보면 지점 4에서 19종으로 가장 많은 종이 출현하였으며, 지점 1에서 8종으로 가장 적은 종이 출현했다. 개체수 측면에서도 지점 4에서 총 163개체로 가장 많은 개체가 확인되었고, 지점 2에서 88개체로 가장 적은 개체수가 출현하였다.

본 연구기간 중 적벽강에서 조사된 법적보호종은 3종 43개체였으며 이는 전체 641개체의 6.7%에 해당되었다. 천연기념물은 출현하지 않았으며, 멸종위기종은 멸종위기 1급인 감돌고기(*Pseudopungtungia nigra*) 1종 39개체가 채집되었고, II급인 돌상어(*Gobiobotia breviparba*) 2개체, 꾸구리(*Gobiobotia macrocephala*) 2개체가 채집되었다(Table 2). 한편 국내 하천 및 호수에 널리 분포하는 큰입배스(*Micropterus salmoides*)와 파랑볼우럭(*Lepomis macrochirus*)과 같은 생태계교란어류의 출현은 전 조사지점에서 전무하였다.

2차 조사는 1차 조사 5개 지점을 포함하여, 적벽강 상류에 위치한 소수력발전소의 영향을 파악하기 위해 최상류지점을 추가하여 총 6개 지점에서 어류 조사를 실시하였다. 조사한 결과 총 7과 22종 545개체가 채집되었다(Table 2). 이 중 우점종으로는 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*, 15.2%), 돌고기(*Pungtungia herzi*, 14.1%), 참갈겨니(*Zacco koreanus*, 11.6%), 칼납자루(*Acheilognathus koreensis*, 10.1%), 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*, 9.0%), 피라미(*Zacco platypus*, 8.8%) 순으로 출현하였다. 조사지역 전역에 발달한 여울의 영향으로 쉬리와 같은 여울성 저서종이 빈번하게 출현하였다. 쉬리 외에도 참종개(*Iksookimia koreensis*), 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*) 등이 출현 하였으며, 새롭게 추가된 지점 6과 기존의 지점인 지점 1에서 자가사리(*Liobagrus mediadiposalis*)가 2차 조사에서 출현하였다. 1차 조사와 비교하여 가물치(*Channa argus*), 메기(*Silurus asotus*), 쏘가리(*Siniperca scherzeri*)와 같은 육식성 어류가 채집되지 않았다. 일반적으로 가물치와 메기의 서식지는 물이 천천히 흐르는 하천과 저수지의 진흙이 깔리고 수초가 많은 깊이 1m 내외에서 서식한다(Han et al., 2015). 2차 조사 당시 유량감소와 수온 하락으로 어류의 중요 서식처인 수변식생대의 감소로 인해 상기종이 출현하지 않은 것으로 사료된다. 한편 지점별로 어류 종조성 특성을 살펴보면 지점 1과 지점 6에서 각각 14종으로 가장 많은 종이 출현하였으며, 지점 5에서 11종으로 가장 적은 종이 출현했다. 개체수 측면에서는 참갈겨니가 우점한 지점 5에서 총 116개체로 가장 많은 개체가 확인되었고, 지점 1에서 63개체로 가장 적은 개체수가 출현하였다.

본 연구기간 중 적벽강에서 조사된 법적보호종은 2종 43개체였으며 이는 전체 545개체의 7.9%에 해당되었다. 천연기념물의 출현은 전 지점 전무하였으며, 멸종위기종은 멸종위기 1급인 감돌고기(*Pseudopungtungia nigra*) 1종 40개체가 채집되었고, II급인 돌상어(*Gobiobotia breviparba*) 3개체가 채집되었다(Table 2). 한편 국내 하천 및 호수에 널리 분포하는 큰입배스(*Micropterus salmoides*)와 파

Table 2. Fish fauna and the various guilds of tolerance, trophic level and habitats in Jeokbyeok River.

Species name	Tol G	T _{ro} G	H G	Sampling Site												RA(%)					
				S1		S2		S3		S4		S5		S6		Total					
				1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd				
<i>Zacco temminckii</i>	SS	I			1	1						8	1				9	2	1.4	0.3	
<i>Carassius auratus</i>	TS	O															7		1.1		
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	SS	I															9			1.6	
<i>Rhodeus uyekii</i>	IS	O										6									
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	IS	O																			
<i>Pseudopungtungia nigra</i>	SS	I																			
<i>Gobiobotia macrocephala</i>	SS	I	RB																		
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	IS	O	RB																		
<i>Pungtungia herzi</i>	IS	I																			
<i>Gobiobotia brevibarba</i>	SS	I	RB																		
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	SS	I	RB																		
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>	IS	O																			
<i>Zacco koreanus</i>	SS	I																			
<i>Sarcocheilichthys variegatus wakiyae</i>	SS	I																			
<i>Acheilognathus koreensis</i>	IS	O																			
<i>Zacco platypus</i>	TS	O																			
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	TS	C																			
<i>Iksokimia koreensis</i>	IS	I	RB																		
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	TS	O																			
<i>Pseudobagrus koreanus</i>	SS	I	RB																		
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	TS	I																			
<i>Silurus asotus</i>	TS	C																			
<i>Libagrus mediatiposalis</i>	SS	I	RB																		
<i>Coreoperca herzi</i>	SS	C																			
<i>Siniperca scherzeri</i>	SS	C																			
<i>Odontobutis interrupta</i>	IS	C																			
<i>Odontobutis platycephala</i>	SS	C																			
<i>Channa argus</i>	TS	C																			
Total Number of Species				8	14	18	13	17	12	19	13	13	11	14	24	22					
Total Number of Individual				117	63	88	100	156	76	163	75	117	116	115	641	545					

랑볼우럭(*Lepomis macrochirus*)과 같은 생태계교란어류의 출현은 전 조사지점에서 전무하였다.

4. 어류 내성도 및 섭식특성 분석

본 연구기간 중 1차 조사기간 내성도(tolerance guilds) 분석에 따르면, 민감종(sensitive species)은 302개체(47.1%), 중간종(intermediate species)은 213개체(33.2%), 내성종(tolerance species)은 126개체(19.7%)로 나타나 민감종이 우세한 것으로 나타났다(Figure 4). 내성종 중 15.4%가 피라미(*Zacco platypus*)였으며, 중간종은 돌고기(*Pungtungia herzi*)가 16.4%, 민감종은 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*)가 18.1%로 각각의 대표어종으로 나타났다(Table 2).

한편, 섭식특성(trophic guilds) 분석에 따르면,

잡식종(omnivore species)이 198개체(30.9%), 충식종(insectivore species)이 369개체(57.6%), 육식종(carnivore species)이 74개체(11.5%), 초식성종이 0개체(0.0%)의 구성비를 보여 충식종의 우점현상을 보였다(Figure 4). 지점별 섭식구조 특성을 살펴보면, 지점 1에서만 잡식종(49.6%)의 우점하지만, 나머지 4개 지점 모두 충식종이 우점하는 것으로 나타났다. 섭식구조별 각각의 대표종으로는 잡식종에서 피라미(*Zacco platypus*)가 15.4%, 충식종에서 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*)가 18.1%, 육식종에서는 꺾지(*Coreoperca herzi*)와 동사리(*Odontobutis platycephala*)가 각각 4.55%를 차지하여 각각의 대표종으로 나타났다.

1차조사 후 그에 따른 변이 특성을 분석하기 위해 2차 조사를 분석한 결과는 다음과 같다(Figure 5).

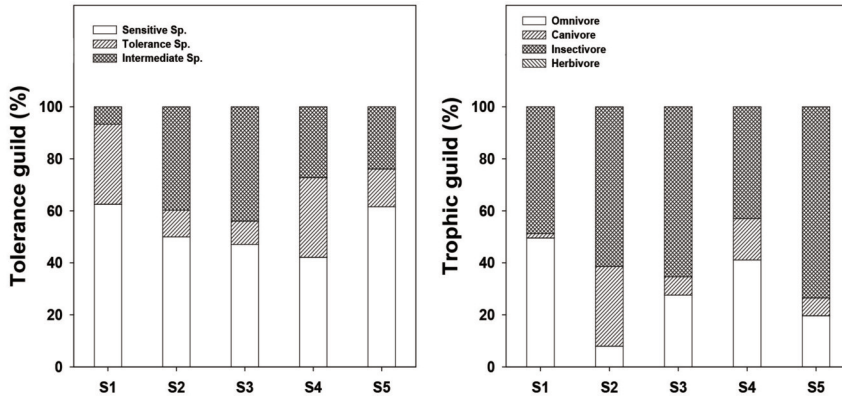


Figure 4. Relative proportions of trophic guilds(a) and tolerance guilds(b) in the sampling sites(1st Survey).

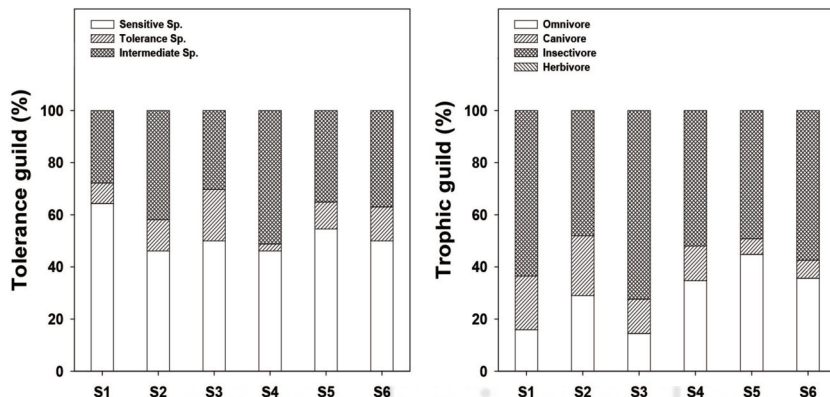


Figure 5. Relative proportions of trophic guilds(a) and tolerance guilds(b) in the sampling sites(2nd Survey).

모든 지점의 내성도 분석에 따르면, 민감종은 261개체(47.9%), 중간종은 223개체(40.9%), 내성종은 61개체(11.2%)로 나타나 민감종이 우세한 것으로 나타났다(Figure 5). 내성종 중 8.8%가 피라미(*Zacco platypus*)였으며, 중간종은 돌고기(*Pungtungia herzi*)가 14.1%, 민감종은 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*)가 15.2%로 각각의 대표어종으로 나타났다(Table 2).

한편, 섭식특성 분석에 따르면, 잡식종이 169개체(31.0%), 충식종이 305개체(56.0%), 육식종이 71개체(13.0%), 초식성종이 0개체(0.0%)의 구성비를 보여 충식종의 우점현상을 보였다(Figure 5). 지점별 섭식구조 특성을 살펴보면, 전 지점에서 충식종이 우점하는 것으로 나타났다. 섭식구조별 각각의 대표종으로는 잡식종에서 갈납자루(*Acheilognathus koreensis*)가 10.1%, 충식종에서 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*)가 15.2%, 육식종에서는 꺾지(*Coreoperca herzi*)가 7.2%를 차지하여 각각의 대표종으로 나타났다.

5. 하천 생태건강도 평가 및 등급 산정

적벽강의 하천 생태계 건강성 평가를 위해 1차 조사시 이용된 어류평가지수(FAI, Fish Assessment Index)는 모델값은 평균 85.0 “양호상태(B)”로 나타났다(Table 3). 조사 지점별 모델 값은 지점 3에서 93.8 “최상상태(A)”로 가장 높게 나타났다. 반면 지

점 1에서의 모델 값은 68.8 “보통상태(C)”로 가장 낮게 나타났다. 지점 1에서는 다양하지 못한 서식지 및 깊은 수심 등의 환경적인 요인과 조사자의 접근, 채집의 용이성 및 효율성 문제가 영향을 미쳐 여울성 저서종수, 총 국내종 개체수는 적은 반면 내성종과 잡식종의 비율이 상대적으로 높게 나타났다. 한편 5개 지점 모두 비정상종은 출현은 전무하였다(Figure 6).

적벽강 2차 조사결과 어류평가지수 모델 값은 평균 80.3 “양호상태(B)”로 1차조사 보다 소폭 낮은 수치를 보였다(Table 3). 조사 지점별 모델 값은 지점 2에서 87.5 “최상상태(A)”로 가장 높게 나타났다. 반면 지점 4의 모델값은 68.8 “양호상태(B)”로 가장 낮게 나타났다(Figure 6). 적벽강 전역에서 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), 참갈겨니(*Zacco koreanus*)와 같은 충식종의 비율이 전반적으로 높게 나타나 6개지점 모두 충식종 비율 메트릭에서 만점을 받았으며, 비정상개체의 출현도 전무하였다. 반면 지점1, 지점3, 지점4에서 채집된 총 국내종 개체수는 모두 80개체 미만으로 나타나 최하점수를 부여받았다. 이는 어류의 주요서식처인 수중 식물 및 식생대가 2차 조사시 수온감소로 인해 감소한 것이 주된 원인으로 사료된다.

IV. 고찰

본 연구에서는 금강 상류에 위치한 방우리, 수통리

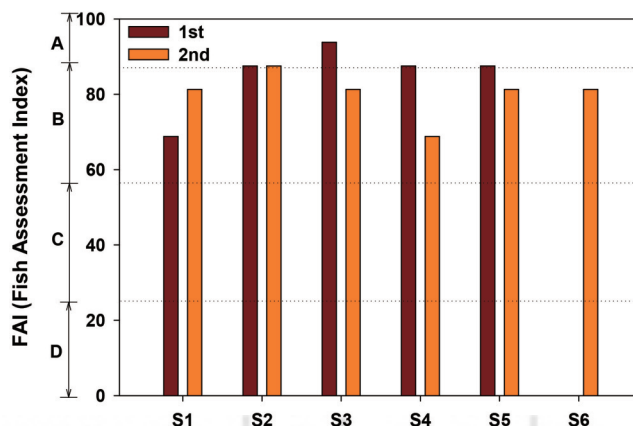


Figure 6. Ecological health assessments, based on the Fish Assessment Index(FAI) in Jeokbyeok River

Table 3. The metric attributes analysis of eight metric FAI model during the study.

(a) 1st survey									
Sampling site	Species composition				Trophic composition		Fish abundance and condition in sample		FAI (Criteria)
	TNS	RBS	SS	TS(%)	OM(%)	IN(%)	TNI	AN(%)	
S1	8	1	4	0.0	49.6	48.7	117	0.0	68.8(B)
S2	18	2	7	6.8	8.0	61.4	88	0.0	87.5(A)
S3	17	5	7	5.8	27.6	65.4	156	0.0	93.8(A)
S4	19	4	7	7.4	41.1	42.9	163	0.0	87.5(A)
S5	13	3	5	0.0	19.7	73.5	117	0.0	87.5(A)
(b) 2nd survey									
Sampling site	Species composition				Trophic composition		Fish abundance and condition in sample		FAI (Criteria)
	TNS	RBS	SS	TS(%)	OM(%)	IN(%)	TNI	AN(%)	
S1	14	4	7	0.0	15.9	63.5	63	0.0	81.3(B)
S2	13	4	5	5.0	29.0	48.0	100	0.0	87.5(A)
S3	12	3	5	9.2	14.5	72.4	76	0.0	81.3(B)
S4	13	1	6	1.3	34.7	52.0	75	0.0	68.8(B)
S5	11	3	6	0.0	44.8	49.1	116	0.0	81.3(B)
S6	14	3	6	0.0	35.7	57.4	115	0.0	81.3(B)

TNS=Total number of native species, RBS=number of riffle benthic species, SS=number of sensitive species, TS=Proportion individuals as tolerant species, OM=Proportion individuals as omnivores, IN=Proportion individuals as native insectivores, TNI=Total number of individual, AN=Proportion individuals with anomalies, A=Excellent, B=Good, C=Fair, D=Poor

지역의 낙후된 교통·통행시설로 인해 주민불편 해소를 위하여 연결노선 건설 및 기반시설확충에 따른 환경영향성을 검토하여 지역 주민의 삶의 질 향상과 자원을 보전하는 목적으로 수질 및 수생태계의 핵심인 어류의 현장조사를 실시하였다. 본 조사에서는 공사 구간으로 예상되는 상류 및 하류구간의 모든 구간을 포함하여 적벽강의 지점별 물리적 하상구조 특성, 어류 종조성, 분포특성, 법적보호종 서식 현황 및 생태건강도(Ecological River Health)평가를 실시하여 현재의 수환경 상태를 진단 평가하였다. 따라서 본 연구 결과는 적벽강수계 종합발전계획 수립 및 생태적 가이드라인 제시를 위한 기초자료로 활용 할 수 있을 것으로 사료된다.

하천의 물리적 하상특성 분석에 따르면, 대부분의 하상기질은 자갈과 바위로 이루어져 전형적인 국내 상류에 위치한 맑고 교란이 적은 하천으로 분석되었다. 6개 지점 모두 여울(riffle)과 소(pool)가 골고루 발달되어있으며 식생이 고루 발달하여 다양한 어류 서식 및 산란에 적합하였다. 한편, 적벽강 인근에 위

치한 소수력 발전소, 대형보, 캠핑장 등과 같은 인공 시설물에 의한 영향은 영양염류 및 수질변동이 예상됨으로 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 사료되었다.

수질특성 분석에 따르면, 조사항목에 있어서 일부 제한되어 있긴 하지만 상·하류간 종적구배를 보이는 않았고, 수온, 용존산소량, 전기전도도, pH 및 탁도 모든 항목에서 생물서식에 적합한 수준을 보였다. 그러나 지점 5주변에서는 가축분뇨 악취가 발생하기도 하여 탁도 및 전기전도도의 수치도 일부 증가 하였으나 수질에는 큰 문제가 없는 것으로 분석되었다.

본 조사 구간의 어류상 분석에 따르면, 1차 및 2차의 총 2회 조사 결과 어류는 28종 1186개체가 채집되었다. 쉬리가 전체의 17%로 가장 우점하였고, 돌고기, 피라미가 12-15% 범위에 있었다. 조사지점 내 여울이 굉장히 발달하여 참종개(*Iksookimia koreensis*), 눈동자개(*Pseudobagrus koreanus*), 돌마자(*Microphysogobio yaluensis*) 등 여울성 저서

종이 총 7종 239개체가 채집되었다. 특히 지점 4에서 물이 맑고 바닥에 자갈이 많이 깔린 여울이 발달하여 쉬리의 출현이 빈번하였다. 전반적으로 1-2급수의 수질에 해당하는 어종출현이 주류를 이루는 것으로 평가되었다. 본 연구기간 중 적벽강에서 조사된 법적보호종은 총 3종 86개체였으며 이는 전체의 7.3%에 해당되었다. 천연기념물의 출현은 전 지점 전무하였으며, 멸종위기종은 멸종위기 1급인 감돌고기(*Pseudopungtungia nigra*) 1종 79개체가 채집되었고, II급인 돌상어(*Gobiobotia brevibarba*)와 꾸구리(*Gobiobotia macrocephala*)가 각각 5개체, 2개체가 채집되었다. 지점별 보호어종의 현황분석에 따르면, 지점1은 감돌고기(멸종위기 1급), 지점2는 감돌고기(1급), 돌상어(멸종위기 2급), 지점3는 감돌고기(1급), 꾸구리(2급), 돌상어(멸종위기 2급), 지점4는 감돌고기(1급), 지점5는 감돌고기(1급), 돌상어(2급), 지점6은 감돌고기(1급)가 출현하였으며, 본 연구기간에는 출현하지 않았지만 멸종위기 2급 어류인 다묵장어(*Lampetra reissneri*)의 서식도 보고된바 있다(Ko et al, 2013). 따라서 어류 서식처 보존 및 증보존이 필요한 구간으로 평가되었다. 한편 국내 하천 및 호수에 널리 분포하는 큰입배스(*Micropterus salmoides*)와 파랑볼우럭(*Lepomis macrochirus*)과 같은 생태계교란어종이 출현하지 않아 외래어종에 의한 생태계교란 현상은 나타나지 않아 생태계가 잘 보존된 지역으로 나타났다.

어류 군집분석에 따르면, 종풍부도지수, 균등도 지수, 종 다양도 지수가 1,2차 조사시기별 차이는 있었으나, 전반적으로 종다양도 지수는 모든 지점에서 높게 나타났으며(범위: 0.788 - 1.030), 우점도 지수는 아주 낮은 것(범위: 0.097 - 0.183)으로 나타나 군집은 특정 종에 의해 우점하지 않고 종이 고르게 다양하게 나타나는 것으로 평가되어 일부 환경교란에도 군집특성은 잘 유지될 것으로 사료되었다. 어류의 내성도 분석(Tolerance guilds)에 따르면 민감종, 중간종, 내성종의 순서를 나타냈으며, 섭식특성(Trophic guilds) 분석에 따르면 충식종, 잡식종, 육식종의 순서로 나타났다. Karr & Dudley(1981)와 US EPA (1991)의 기존연구에 따르면 내성종과 잡식종의 개체

수 및 종수는 유기물 오염, 서식지 파괴 등의 서식지의 물리·화학적 질적 하강에 딸 어종의 풍부도가 증가하는 경향을 보이는 것으로 보고하고 있는데 본 조사지점에서는 내성종에 비해 민감종의 비율이 상대적으로 높고 잡식종에 비해 충식종의 비율이 상대적으로 높은 것으로 보아 하천생태계의 어류군집이 비교적 안정적으로 유지되고 있는 것으로 사료되었다. 하지만 연결도로 건설에 따른 토사유출은 어류서식지에 직·간접적인 영향을 미쳐 어류뿐 만 아니라 다른 생물상의 변화에 영향을 미칠 것으로 사료된다. 따라서 건설에 의한 규제 및 대안 책을 마련해야만 적벽강의 생태적 가치를 유지 및 보존할 수 있을 것으로 사료된다.

적벽강에서 다변수어류평가모델(Multi-metric fish model)을 이용한 생태건강도 평가에 따르면, 어류평가지수(FAI 모델값)는 82.4으로서, 생태건강도 등급은 “양호상태(B등급)로 평가되었다. US EPA (1993)의 보고에 따르면, 하천차수가 증가할수록 혹은 하류로 갈수록, 특히 하천의 화학적 오염 증가에 의해서 생태건강도는 낮아지나(Hungueny et al. 1996; Oberdorff et al. 1992), 적벽강의 생물통합지수에 의한 생태건강도는 상·하류 간 종적구배특성이 나타나지 않고 비교적 안정적인 서식환경을 바탕으로 건강한 하천생태건강성을 보였다. 한편, 적벽강 인근에 위치한 대형보와 같은 인공구조물과 캠프장과 같은 친수시설의 영향으로 하천 흐름유형에 부정적인 영향을 미치며, 소수력 원자력발전소에 의한 영향을 지속적인 모니터링을 통해 파악하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 대전녹색환경지원센터의 2009년도 연구개발사업 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

References

An KG, Jung SH, Choi SS. 2001. An Evaluation

- on Health Conditions of Pyong-Chang River using the Index of Biological Integrity(IBM) and Qualitative Habitat Evaluation Index(QHEI). Korean Journal of Limnology. 34(3): 153-165. [Korean Literature]
- An KG, Lee JY, Bae DY, Kim JH, Hwang SJ, Won DH, Lee JK, Kim CS. 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. [Korean Literature]
- An KG, Lee JY, Jang HN. 2005. Ecological Health Assessments and Water Quality Patterns in Youdeung Stream. Korean Journal of Limnology. 38(3): 341-351. [Korean Literature]
- Bae DY, An KG. 2006. Stream Ecosystem Assessments, based on a Biological Multimetric Parameter Model and Water Chemistry Analysis. Korean Journal of Limnology. 39(2): 198-208. [Korean Literature]
- Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD, Stribling JB. 1999. Rapid Bioassessment Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, 2nd Edition. EPA 841-B-99-002, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington DC.
- Choi JK, Byeon HK, Seok HK. 2000. Studies on the Dynamics of Fish Community in Wonju Stream. Korean Journal of Limnology. 33(3): 274-281. [Korean Literature]
- Han JH, Park CS, An Jw, An KG, Paek WK. 2015. Identification guide to freshwater fishes of Korea. Econature. Publishing. [Korean Literature]
- Hugueny B, Camara S, Samoura S, Magassouba M. 1996. Applying an index of biotic integrity based on communities in a west african river. Hydrobiologia. 331: 71-78.
- Hur JW, In DS, Jang MH, Kang HS, Kang KH. 2011. Assessment of Inhabitation and Species Diversity of Fish to Substrate Size in the Geum River Basin. Journal of Environmental Impact Assessment. 20(6): 845-856. [Korean Literature]
- Judy R.D. Seeley PNJr, Murray TM, Svirsky SC, Whitworth MR, Ischinger LS. 1984. National Fisheries Survey. Vol. 1. Technical report: initial findings. United States Fish and Wildlife Service. FWS/OBS-84/06.
- Karr JR, Dudley DR. 1981. Ecological perspectives on water quality goals. Environmental Management. 5: 55-68.
- Karr JR, Fausch KD, Angermeier PL, Yant PR, Schlosser IJ. 1986. Assessing biological integrity in running water: A method and its rationale. pp. 28, Illinois National History Survey, Special Publication 5, Champaign, IL.
- Kim IS, Park JY. 2002. Freshwater Fishes of Korea. Kyohak Publishing. [Korean Literature]
- Ko MH, Moon SJ, Hong YK, Lee GY, Bang IC. 2013. Distribution Status and Habitat Characteristics of the Endangered Species, *Lethenteron reissneri*(Petromyzontiformes: Petromyzontidae) in Korea. Ichthyological society of Korea. 25(4): 189-199. [Korean Literature]
- Kwon HH, Han JH, Woon JH, An KG. 2013. Influence of Fish Compositions and Trophic/Tolerance Guilds on the Fishkills

- in Geum-River Watershed(Backje Weir). Korean Journal of Environmental Biology. 31(4): 393-401. [Korean Literature]
- Kwon YS, An KG. 2006. Biological Stream Health and Physico-chemical Characteristics in the Keum-Ho River Watershed. Korean Journal of Limnology. 39(2): 145-156. [Korean Literature]
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. Generation System. 3: 36-71.
- Ministry of Environment, Korea. 2007. Researches for integrative assessment methodology of aquatic environments(III): development of aquatic ecosystem health assessment and evaluation system. National Institute of Environmental Research(NIER), Incheon.
- Ministry of Environment, Korea. 2008. The Survey and Evaluation of Aquatic Ecosystem Health in Korea. The Ministry of Environment/National Institute of Environmental Research(NIER). Incheon.
- Nelson JS. 1994. Fisheries of the world(3rd edition). John Wiley & Sons. New York. p.600.
- Oberdorff T, Hughes RM. 1992. Modification of an index of biotic integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin, France. Hydrobiologia. 228: 117-130.
- Ohio EPA. 1989. Biological criteria for the protection of aquatic life. Vol.III. Users manual for biological field assessment of Ohio surface water. Division of Water Quality Monitoring and Assessment, Surface Water Section, Columbus. OH.
- Pielou EC. 1975. Ecological diversity. Wiley. New York. p.165.
- Sanders RE, Milter RJ, Yondr CO, Rankin ET. 1999. The Use of external deformities, erosion, lesions, and tumors in fish assemblages for characterizing aquatic resources. Simon TP.(Eds), CRC Press. pp. 225-245.
- Shannon CE, Weaver W. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.
- Simpson EH. 1949. Measurement of diversity. Nature 163: p.688.
- Son YM, Song HB. 2006. Freshwater Fishes of Geum River, Korea. Jisungsa Publishing. [Korean Literature]
- Strahler AN. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. American Geophysical Union Transactions. 38: 913-920.
- U.S. EPA, 1991. Environmental Indicators: Politics, Programs, and Success Stories, Workshop Proceedings Office of Policy, Planning and Evaluation, Washington, DC.
- U.S. EPA. 1993. Fish field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. EPA 600-R-92-111. Cincinnati, Ohio 45268.
- Yeom DH, An KG, Hong YP, Lee SK. 2000. Assessment of an Index of Biological Integrity(IBM) using Fish Assemblages in Keum-Ho River, Korea. Korean Journal of Environmental Biology. 18: 215-226. [Korean Literature]