

금강본류의 건강성 평가를 위한 어류생태 및 수질 특성분석¹

박윤정²·이상재³·안광국^{4*}

Analysis of Fish Ecology and Water Quality for Health Assessments of Geum - River Watershed

Yun-Jeong Park², Sang-Jae Lee³, Kwang Guk An^{4*}

요약

본 연구에서는 2008년 6월과 2009년 5월 조사기간 동안 금강의 상·중·하류부의 14개 지점을 선정해서 이·화학적 수질의 특성을 파악하였으며 어류군집의 분포 및 길드 분석과 어류생물통합지수(Fish Assessment Index, FAI)의 다변수 8개 메트릭을 이용해 금강 수계의 건강도를 평가하였다. 수질 변수 평균 변화를 분석해 본 결과 중상류지점은 수질변수의 변이양상이 크게 없었고 갑천과 미호천이 합류되는 지점부터 유기물질이 축적되어 수질 변수가 급격한 변이양상을 보였다. 이·화학적 수질 특성을 분석한 결과, 미호천과 갑천이 합류되는 하류지점부터 BOD, COD, TN, TP, Cond, Chl-a는 증가하는 경향을 보였고 DO는 감소하여 부영양화와 녹조현상이 진행되고 있는 것으로 사료된다. 어류 군집 분석 결과, 중 풍부도지수와 중 다양도 지수는 중상류지점에서는 증가한 양상을 보인 반면 하류구간에서는 감소하는 양상을 보여 상류는 생태적 안정성은 양호하고 하류는 생태적으로 비교적 불안정한 것으로 보였다. 어류종 분포 분석결과 우점종은 피라미(*Zacco platypus*)이며 전체 어종의 20.9%를 차지하였고 아우점종은 참갈겨니(*Zacco koreanus*)가 13.1%를 차지했다. 어류 내성도 및 섭식길드 특성 분석에 따르면, 중상류지점에는 민감종, 충식성 그리고 여울성 어종이 우점한 반면 미호천이 유입되면서 하수종말처리장 오염원으로 영향을 받는 하류구간부터 내성종, 잡식성 그리고 정수성 어종 우점에 결정적인 영향을 준 것으로 나타났다. 따라서 우리는 수질 상태를 개선하기 위해 특히 도심 오염원의 부하량을 줄이도록 노력해야 하며 수생태계 보존과 복원에 관심이 필요한 것으로 요구된다.

주요어: 생물통합지수, 오염부하량, 우점종, 오염원

ABSTRACT

This study examined the physicochemical water quality and evaluated the ecological health in 14 sites of Geum River (upstream, mid-stream, and downstream) using the fish community distribution and guilds and eight multi-variable matrices of FAI (Fish Assessment Index) during June 2008-May 2009. The analysis of the water quality variables showed no significant variation in the upstream and mid-stream but a sharp variation due to the accumulation of organic matter from the point where the treated water of Gap and Miho streams flew. The analysis of physicochemical water properties showed that BOD, COD, TN, TP, Cond, and Chl-a tended

1 접수 2018년 8월 7일, 수정 (1차: 2019년 2월 23일), 게재확정 2019년 2월 26일

Received 7 August 2018; Revised (1st: 23 February 2019); Accepted 26 February 2019

2 충남대학교 교육대학원 교육학과(생물교육 전공) 석사 Education Graduate Course Chungnam National Univ., Daejeon 34134, Korea

3 환경부 새만금지방환경청 박사 Saemangeum Regional Environmental Office, Jeonju 54872, Korea

4 충남대학교 생명시스템과학대학 생명과학과 교수 Dept. of Biological Science, College of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National Univ., Daejeon 34134, Korea

* 교신저자 Corresponding author: kgan@cnu.ac.kr

to increase while DO decreased to cause eutrophication and algae development from the downstream where Miho and Gap stream merged. The analysis of fish community showed that the species richness index and species diversity index increased in the mid-stream area but decreased in the downstream area, indicating the stable ecosystem in the upper stream and the relatively unstable ecosystem in the downstream. The analysis of the species distribution showed that the dominant species were *Zacco platypus* that accounted for 20.9% of all fish species and *Zacco koreanus* that accounted for 13.1%. The analysis of the fish tolerance and feeding guild characteristics showed that the sensitive species, the insectivore species, and the aquatic species were dominant in the mid-stream point. On the other hand, contaminants from the sewage water treatment plant of Miho stream had a profound effect in the downstream to show the dominance of tolerant species, omnivorous species, and lentic species. Therefore, it is necessary to improve water quality by reducing the load of urban pollutants and to pay attention to the conservation and restoration of aquatic ecosystems.

KEY WORDS: INDEX BIOLOGICAL INTEGRITY, POLLUTIONAL LOADING AMOUNTS, DOMINANT SPECIES, POLLUTION SOURCE

서론

본 연구대상 수계인 금강은 전라북도에서 발원해 충청남 북도를 거쳐서 강경에서부터 충청남도과 전라북도를 따라 서해로 흘러 들어가는 강이다. 본 수계의 유역면적은 9,912km²이고 길이는 394km, 옥천 동쪽에서부터 보청천, 미호천 그리고 갑천 등 20개의 이상의 물이 합류하여 총 468개의 하천이 존재한다. 그러나 환경부에 따르면 4대강 중 금강수계의 수질이 해가 갈수록 점점 악화되고 있는 것으로 보고되었다. 현재 이상기후 영향으로 인해 지구온난 화와 자연재해가 잇따라 발생하고 있다. 물론 기후 온난화 의 환경적인 요인도 있지만 산업혁명 이후로 인구가 증가 하고 산업 및 농업 활동으로 각종 폐기물, 농약, 화학비료 등을 토양에 투기되고 유해물질이 수중에 축적되어 수질오 염이 가중되고 있는 인위적인 요인도 고려해야할 만큼 면 밀한 검토와 수질개선의 대책 수립이 필요하다. 현재 금강 수계에서 생활하수, 축산폐수, 유기물질이 지속적으로 배 출되어 부영양화와 녹조현상이 점점 확산되고 있고 장래 홍수피해와 가뭄에 대비 및 농업용수를 확보하기 위해 2011년에 4대강 사업의 핵심인 보가 부설되었다. 그러나 2011~2014년도의 연구 결과에 따르면 금강은 4대강 정비 사업의 일환으로 보(공주보, 세종보, 백제보)가 건설되어 물의 흐름이 정체되거나 하천, 호소 등의 부영양화를 나타 내는 지표인 총인(TP)과 총질소(TN)가 수중에 많아져 수질 이 점점 악화되고 있다고 보고되고 있다(Han *et al.*, 2013, Ko *et al.*, 2016)

이렇듯 훼손된 하천생태계를 보존하고 복원하기 위해서 수질오염의 이·화학적인 수질특성 뿐만 아니라 생물지표특

성을 분석해서 종합적인 평가와 요구되고 있다. 수질에 대 한 생물학적 평가는 오염이 되는 물질이 무엇인지 알고 수 생 생태계와 생물학적 군집이 얼마나 건강한지를 아는 중요 한 측정이다(Kim *et al.*, 2004). 미국 환경청(EPA)과 유럽 환경청(EEA)에서 제안했던 수중 생태계 건강 평가기법을 미국뿐만 아니라 캐나다, 영국, 호주에서 하천의 조류와 저 서생물들의 서식환경, 수변 공간 등의 요소들을 활용해 하 천의 생태학적 건강성을 종합적으로 평가하고 있다. 어류를 이용한 평가기법은 미국에서 1981년 IBI(Index of Biotic Integrity)의 개념이 도입되어 많은 정부에서 하천을 평가하 는 것에 비중을 두고 있다. 지금 우리나라에서도 생물통합 지수를 국내 하천 특성에 적합하도록 수정하고 보완해서 하천의 건강도를 평가하고 있다(An and Kim, 2005). IBI 생태건강도 평가기법은 다변수 메트릭을 이용해서 하천을 평 가하는 기법으로 수중에서 서식하는 어류의 하천의 건강도, 어류의 영양길드 및 내성도를 정량화하고 분석하는데 사용 된다.

2011년 이전의 환경부 연구결과에 의하면 4대강 사업 준설 이전으로 물이 정체되지 않고 여울이 있는 광범위한 유수역으로 존재하기 때문에 금강에서 2010년 전체어류 는 1910개체로 여울성 어종이 우점하였고 정수성 어종은 적게 발견되었다. 주로 참갈겨니(*Zacco koreanus*), 감돌 고기(*Pseudopungtungia nigra*), 돌고기(*Pungtungia herzi*) 인 유수성 어종이 많이 채집되었다. 또한 민감종과 충식성 어종이 풍부한 반면 내성종과 잡식성 어종의 빈도는 적었 다. 그리고 유속이 빨라서 유수역을 선호하는 고유종도 높 은 비율로 출현하며 체류시간이 감소해 수온과 pH는 낮은 경향을 보이고 있고, 사업이 준설되기 전 일반 수질 모니

터링을 분석한 결과 BOD, COD, TN, TP, Chl-a는 낮은 경향을 보이기 때문에 수질향상을 보여주는 것으로 나타났다

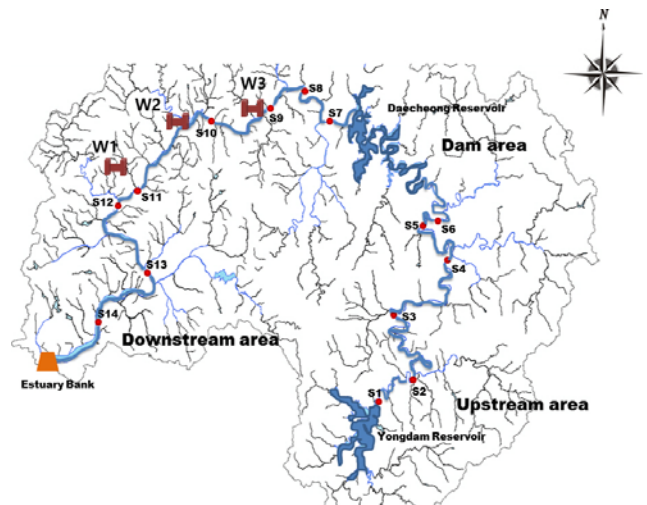
4대강 사업 이후의 연구결과에 따르면 백제보, 공주보, 세종보가 건설되면서 유수에서 정수생태계로 변해가며 유기물 오염에 내성이 강한 붕어(*Carassius auratus*), 피라미(*Zacco platypus*), 누치(*Hemibarbus labeo*)와 같은종이 우점하였다. 환경부 수생태건강성 조사에 따르면 4대강 사업 이전과 비교해봤을 때 2014년 전체어류는 1910개체에서 978개체로 급격히 감소했으며 내성종과 잡식성이 우점한 반면 민감종과 충식성 어종은 감소하였다. 그리고 외래종이자 정수역을 선호하는 파랑볼우렁과 큰입배스가 점점 늘어나면서 멸종위기종과 고유종 및 생태계에 치명적인 교란과 생물다양성에도 위협을 받고 있어 먹이사슬의 균형이 무너지고 있는 실정이다(Choi *et al.*, 2016). 보 설치 이후 2012년 10월에 금강에서 처음 30만 마리의 이상의 물고기가 금강의 백제보 상·하류에서 폐사되는 사건이 발생했다. 4대강 사업으로 인해 물이 정체된 구역에서 주로 서식하는 큰뺨이끼벌레가 대규모로 출몰하였고, 용존산소의 급감으로 발생한 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 보가 건설되기 전과 반대로 하천의 흐름이 정체되어 수온은 증가하고 부유물이 고여져 녹조와 부영양화 현상의 기간은 점점 길어져 수생생물의 개체수와 종수는 점점 감소하고 있다. 앞으로 보가 더 건설되고 계속 존재하는 한 변화하는 속도가 가속화될 전망이다. 기존 연구에 따르면, 보 (weir) 혹은 댐의 건설은 수질 및 수생태계의 전반적인 특성에 영향을 끼치기 때문에 지속적인 수질 및 어류 모니터링이 요구된다.

최근, 어류를 이용한 다변수 메트릭 변수를 사용해 Karr이 제안한 IBI 생물학적 평가기법을 가지고 금강수계, 낙동강수계, 한강수계, 영산강수계 등 많은 연구에 사용되었다(Yang *et al.*, 1998; Huh *et al.*, 2011; Gho *et al.*, 2012; Kwon *et al.*, 2013). 본 연구에서 Barbour *et al* (1999)이 제시한 생태학적 특성에 대한 척도의 IBI 평가기법을 국내 실정에 맞게 수정보완한 FAI 기법을 이용하여 국내 하천 생태학적 특성에 맞게 금강수계의 건강도를 파악하고자 한다. 환경부에서 분석한 2008~2009년 이화학적 수질 자료를 이용해서 건강성을 비교하고 분석하는데 중점을 둔다. 본 연구의 최종 목적은 금강 수계에서 이화학적 수질 특성인 총질소(TN), 총인(TP), 생물학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD) 등으로 수질상태를 분석하고 어류 다변수 메트릭을 개발해서 금강 수계의 수질 등급을 결정하고 진단 및 예방에 목적을 두고자 한다. 본 연구는 금강 본류의 수질 및 생물서식처 관리에 기초자료를 제공 할 수 있을 것으로 사료된다.

재료 및 방법

1. 조사 시기 및 조사지점 선정

본 연구를 위해서 아래와 같이 금강 수계 하천의 환경부에서 운영 중인 금강수계의 수질측정망 대표지점과 주요지점으로 14개의 조사지점을 선정하였고(Figure 1), 현장에서 2008년 6월과 2009년 5월에 2회 실시하였다.



- St.1 : 전라북도 진안군 안천면 삼락리
- St.2 : 전라북도 무주군 무주읍 용포리
- St.3 : 충청남도 금산군 제원면 저곡리
- St.4 : 충청북도 영동군 심천면 고당리
- St.5 : 충청북도 옥천군 동이면 적하리
- St.6 : 충청북도 옥천군 동이면 우산리
- St.7 : 충청북도 옥천군 청성면 고당리
- St.8 : 충청남도 연기군 금남면 봉기리
- St.9 : 충청남도 연기군 남면 나성리
- St.10 : 충청남도 공주시 금성동 금강교
- St.11 : 충청남도 공주시 탄천면 분강리
- St.12 : 충청남도 부여군 규암면 호암리
- St.13 : 충청남도 논산시 성동면 개척리
- St.14 : 충청남도 부여군 양화면 내성리

Figure 1. The sampling sites(S1~S14) in Geum-River Watershed.(W1=Sejong Weir, W2=Gongju Weir, W3=Baekje Weir).

2. 일반 수질항목 분석

본 연구대상으로 선정된 14개 지역에서 이·화학적 수질 자료를 분석하기 위해 2008년 6월과 2009년 5월에 환경부에서 운영하는 물환경정보시스템의 월별 자료를 이용하였다. 이용된 수질항목은 용존산소량(Dissolved oxygen, DO),

생물학적 산소요구량(Biological oxygen demand, BOD), 화학적 산소요구량(Chemical oxygen demand, COD), 총질소(Total nitrogen, TN), 총인(Total phosphorus, TP), 부유물(Suspended solids, SS), 전기전도도(Conductivity), 클로로필-a(Chlorophyll-a)로 총 9개 항목을 선정해서 각 조사지점과 연별로 시간의 흐름에 따른 변화를 양상 분석하였다.

3. 어류 현장조사 방법

어류의 현장조사는 환경부의 “물환경종합평가개발 조사 연구” 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, 채집자가 가슴장화의 착용으로 접근이 가능한 장소에서 조사를 실시하였다. 각 지점의 조사거리는200m, 조사시간은 50분으로 한정하였다. 하천차수(Stream order)는 1:120,000 축적의 지도를 이용하여 Strahler(1957) 방법에 따라 결정하였다. 조사도구는 주로 투망(망목 7×7 mm)과 족대 (5×5 mm)를 이용하였고, 조사 인원은 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 모호한종은 10% 포르말린 용액으로 고정하여 실험실로 옮긴 후 Kim and Park(2002)와 Son and 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 군집 분석법

어류 군집 구조분석을 위해 아래와 같이 종 풍부도 지수(Margalef, 1958), 종 균등도 지수(Pielou, 1975), 종 다양도 지수(Shannon and Weaver, 1949) 및 군집 우점도 지수(Simpson, 1949)를 산정하였다.

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

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

[N=총 출현 개체수, N_i =i종의 개체수, S=종 출현 종수]

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

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

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

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

$$[P_i = N_i/N]$$

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

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

5. 어류 다변수 모델 분석

본 연구에서는 Karr(1981)와 Barbour *et al.*(1999)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 외래도입종은 본 항목에 포함하지 않는다.본 조사에서 사용된 어류를 이용한 하천 생태건강도 모델은 매트릭이 8개이며 계급구간을 “12.5”, “6.25”, “0”로 구분하여, 이에 대한 최대 점수는 8 x 12.5=100점으로서 산정된다. 세부등급은 매우 좋음 (A), 좋음 (B), 보통 (C), 나쁨 (D) 및 매우나쁨(E) 으로 5등급 체계로 대별하였다. 매트릭 1, 2, 3, 7의 점수산정은 하천의 규모 (Stream order)에 따라 차등을 두는데, 이때 하천차수는 하천의 규모가 증가할수록 출현종과 채집개체수가 늘어나 종 다양도 및 풍부도가 증가하는 것에 대응하기 위하여 고려되었다.

어류 평가지수의 등급구분에 있어 매우좋음 상태는 80 ≤ ~ ≤ 100의 모델값의 범위로서, 민감종의 개체수가 풍부한 상태, 좋음상태는 60 ≤ ~ < 80의 모델값의 범위로서 민감종이 존재하며 내성종이 일부 출현하는 상태, 보통상태는 40 ≤ ~ < 60의 모델값의 범위로서 민감종과 잡식 종의 상대풍부도가 비슷한 상태, 나쁨상태는 20 ≤ ~ < 40의 모델값의 범위로서 민감종이 희박하고, 잡식어종의 상대풍부도 및 내성종이 증가하는 상태, 매우나쁨상태는 20미만의 모델값의 범위로서 어류가 거의 출현하지 않으며, 내성종이나 비정상성 어종의 개체수 비율이 증가하는 상태로 어류를 이용한 하천 생태 건강도를 산출하였다. 각 매트릭에 대한 점수구분 및 기준산정은 Karr *et al.*(1986) 및 Ohio EPA(1989)에 의거하였다.

결과 및 고찰

1. 이·화학적 수질 특성

최상류지점부터 최하류지점까지 총 14개 지점의 이화학적 수질특성 분석결과에 따르면 최상류지점은 수질이 안정한 반면 중상류지점부터 미호천과 갑천이 합류하면서 유기물질이 유입되고 축적되어 이화학적 수질 기준이 급격하게 증가해 심각한 오염도와 부영양화가 진행되는 양상을 보이고 있다(Figure 2). 합류하는 미호천은 금강으로 흘러드는 지류들 가운데 가장 유역면적이 큰 하천으로 하천정비사업과 공업용수 배출로 수질이 악화된 현재 수질 개선을 위한 미호천 관리 모니터링과 프로젝트를 진행하고 있다. 금강수계에서 2008~2009년의 이화학적 수질 특성 분석에 따르면 BOD 평균값은 2.9 mg L^{-1} (범위: $0.8\sim 5.7 \text{ mg L}^{-1}$)로 하천수질 기준은 II 등급(약간 좋음)으로 나타났다. BOD 지수의 최저치는 S2에서 0.8 mg L^{-1} 최고치는 S11에서는 5.7 mg L^{-1} 로 7배 이상 증가했다. COD 평균값은 6.2 mg L^{-1} (범위: $2.5\sim 10.4 \text{ mg L}^{-1}$)로 하천수질 기준은 III 등급(보통)으로 나타났다. S1지점에서 S7지점의 COD 범위는 $2.5\sim 4.3 \text{ mg L}^{-1}$ 에 있다가 S8지점에서부터 6.5 mg L^{-1} 로 급증했다. COD는 BOD와 마찬가지로 상류에서 하류로 갈수록 수질이 악화되는 동일한 양상을 보였으며 중류지점에서 최하류지점(S8~S14)의 BOD와 COD의 범위는 각각 $2.9\sim 5.7 \text{ mg L}^{-1}$, $6.5\sim 10.4 \text{ mg L}^{-1}$ 로 상류지점의 각각 7배, 4배 이상 증가하였다(Figure 2). 부유물질(Suspended solid)의 평균값은 9.5 mg L^{-1} (범위: $1.3\sim 19.7 \text{ mg L}^{-1}$)로 환경기준치 25 mg L^{-1} 보다 모두 낮은 것으로 나타났고, 전기전도도(Conductivity)의 평균은 236.1 uS cm^{-1} (범위: $83.2\sim 388.2 \text{ uS cm}^{-1}$)이며 상류지점에서 $83.2\sim 163.5 \text{ uS cm}^{-1}$ 범위로 유지되다가 S8에서 271.1 uS cm^{-1} 로 급증하였다. 즉 부유물질과 전기전도도의 변화양상은 서로 동일한 것으로 나타났다(Figure 2).

하천 부영양화의 핵심지표에 이용되는 총질소(TN)의 평균은 3.2 mg L^{-1} (범위: $1.4\sim 6.2 \text{ mg L}^{-1}$)이며 S7에서 1.4 mg L^{-1} , S8에서 6.2 mg L^{-1} 로 4배 이상 증가했다. 총인(TP)의 평균값은 116.4 ug L^{-1} (범위: $6.0\sim 279.0 \text{ ug L}^{-1}$)로 하천수질 기준으로 III 등급(보통)으로 나타났으며 S7에서 18 ug L^{-1} , S8에서 279.0 ug L^{-1} 로 16배 이상 증가하였다. 즉 하류지점으로 갈수록 총질소와 총인도 증가하는 양상을 보여 수질에 영향을 미치고 있다(Figure 2). 따라서 중상류지점의 총질소는 $1.3\sim 1.8 \text{ mg L}^{-1}$ TP는 $0.0\sim 0.01 \text{ ug L}^{-1}$ 로 낮은 비율로 나타났지만 최하류지점으로 갈수록 총질소와 총인은 4배, 0.3배 증가하였다(Figure 2). 이러한 양상을 보인 이유는 도심하천인 미호천이 합류하여 농업용수와 공업용수가 그대

로 흘러들어가 수질이 점점 악화된 것으로 사료된다. 암모니아성질소($\text{NH}_4\text{-N}$)의 평균은 0.15 mg L^{-1} (범위: $0.0\sim 0.5 \text{ mg L}^{-1}$)이며 S14지점이 0.5로 가장 높은 수치를 나타내었고 질산성질소($\text{NO}_3\text{-N}$)의 평균은 1.8 mg L^{-1} (범위: $0.7\sim 3.8 \text{ mg L}^{-1}$)로 암모니아성질소가 증가할수록 질산성질소도 증가하는 동일한 변화양상을 나타내었다(Figure 2). 식물성 플랑크톤의 양을 측정하는 Chl-a의 평균값은 38.10 ug L^{-1} (범위: $1.7\sim 116.0 \text{ ug L}^{-1}$)이며 S7에서 3.3 ug L^{-1} , S8에서 26.8 ug L^{-1} 로 급격한 변이양상을 보이고 있다. 조류농도인 Chl-a 농도가 높아질 때 발생하는 녹조 및 적조현상이 점점 확산되어 수질에 악영향을 미친 것으로 사료된다.

결과를 종합해 분석하면, S8지점에서 최하류지점으로 내려갈수록 금강 수계의 수질이 급격하게 나빠지는 경향을 보였다, 이는 대부분의 하천에서와 마찬가지로 하류로 갈수록 유기물 함량이 많아지면서 수질이 나빠지는 현상으로 다른수계에서도 나타나는 일반적인 현상으로 사료된다. 수질오염을 측정하는 지표인 BOD와 COD는 S8지점에서부터 각각 2.9 mg L^{-1} , 6.5 mg L^{-1} 로 상류지점의 각각 2배 이상 증가했다. 하천부영양화의 핵심 지표에 사용되는 총질소, 총인도 S8지점에서 각각 6.2 mg L^{-1} , 279 ug L^{-1} 로 상류지점의 각각 4배 이상, 15배 이상 증가했고 부유물질과 전기전도도도 마찬가지로 동일하게 증가하는 양상을 보였다(Figure 2). 이는 S7지점과 S8지점 사이에서 국가하천인 미호천이 합류하며 이 지역에 가축분뇨시설과 폐수처리 시설 등이 신설되면서 수질오염원들이 금강수계로 배출되고 축적되어 금강본류의 수질이 산업단지의 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.

2. 어류상 및 종분포 특성

본 어류상 및 종 분포 분석 결과에 따르면 상류지점에서는 참갈겨니(*Zacco koreanus*), 감돌고기(*pseudopungtungia nigra*), 대농갱이(*pseudobagrus emarginatus*), 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*)인 어종이 우점한 반면 하류지점에서는 피라미(*Zacco platypus*), 치리(*Hemiculter eigenmanni*), 눈불개(*Squaliobarbus curriculus*)인 어종이 우점하였을 뿐만 아니라 외래 도입종인 파랑볼우럭(*Lepomis macrochirus*)과 큰입배스(*Micropterus salmoides*)도 출현하였다. 조사기간 동안 금강수계를 대상으로 14개 지점에서 어류를 채집하고 관찰한 결과로 확인된 종은 12과 6목 52종으로 조사되었다(Table 1). 그중 우점종은 피라미(*Zacco platypus*, 20.64%), 아우점종은 참갈겨니(*Zacco koreanus*, 13.05%)로 확인되었고, 그 이외에도 모래무지(*Pseudogobio esocinus*, 5.66%), 민물점검망둑(*Tridentiger brevispinis*, 5.59%)순으로 출현하였다. 우점종 피라미(*Zacco platypus*)는 S9에서 141개체로 가장 많이 발견되었고, 아우점종 참갈겨니(*Zacco koreanus*)는 S1에서

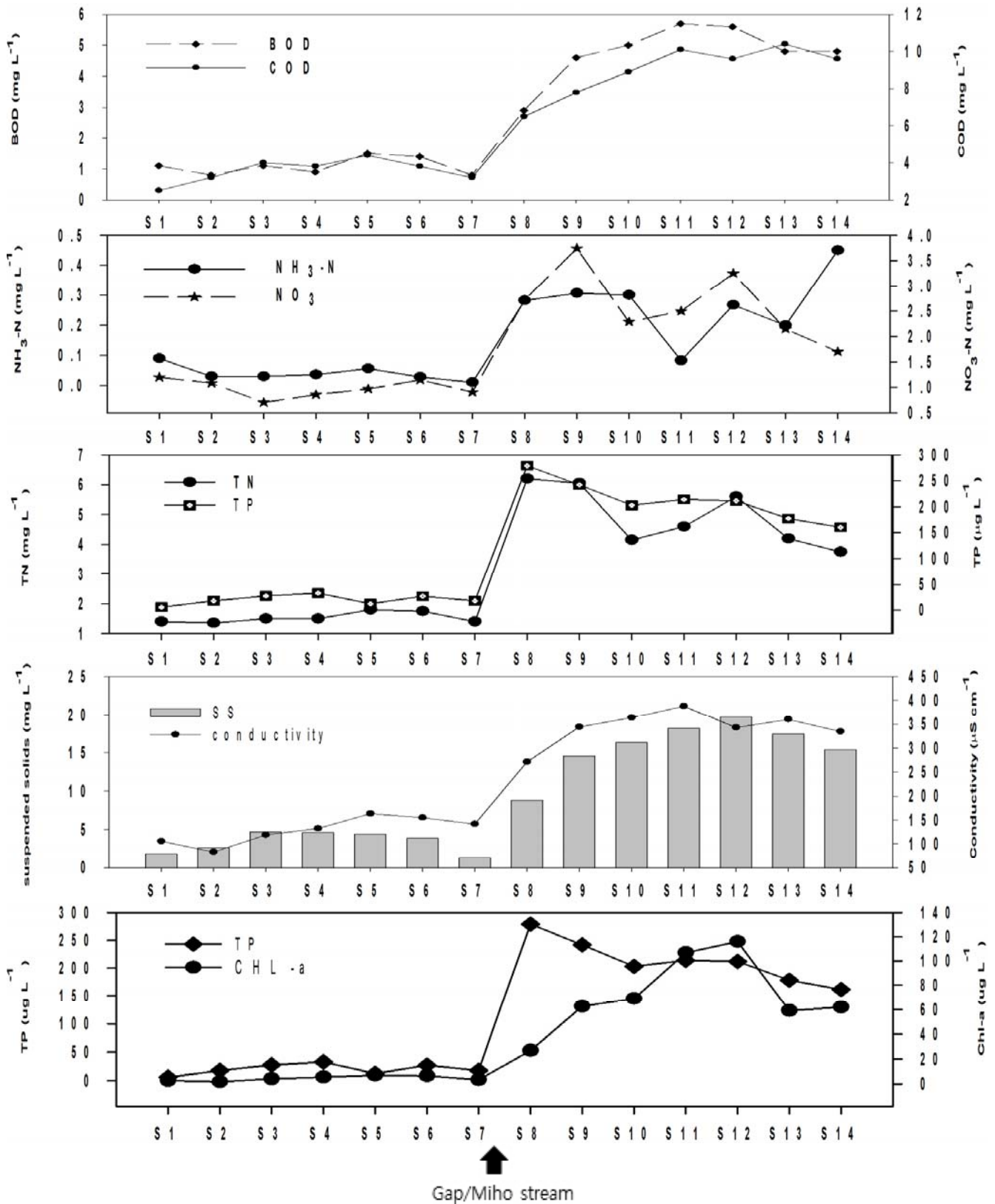


Figure 2. Changes in water quality parameters as an average of 2008~2009

Table 1. Types of fishes and various guilds of Tolerance, Trophic and habitats in the Guem-River Watershed(2008~2009)

Species	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	Total	T_o	T_r	H_a
<i>Zacco koreanus</i>	164	251	143	1	27	34				120					740	SS	I	
△ <i>Pseudopungtungia nigra</i>	6	6	27		4										43	SS	I	
<i>Pseudobagrus emarginatus</i>	1	1													2	IS	C	
<i>Pungtungia herzi</i>	22	4		8	3										37	IS	I	
△ <i>Odontobutis platycephala</i>	15	15	8	2	6	1									47	SS	C	
<i>Rhinogobius brunneus</i>	1				1	18		1		26		3			50	IS	I	RB
△ <i>Coreoleuciscus splendidus</i>	43	16	34		16	12									121	SS	I	RB
<i>Cyprinus carpio</i>	5							1	3		1		6		16	TS	O	
△ <i>Acheilognathus yamatsutae</i>	5	2	11		9					4					31	IS	O	
△ <i>Iksookimia koreensis</i>	2	7	2		9	1				1	1				23	IS	I	
△ <i>Acheilognathus koreensis</i>	4	30	1	1	3										39	IS	O	
<i>Zacco platypus</i>	102	22	41	29	69	21	15	56	141	27	61	16	12		612	TS	O	
<i>Pseudogobio esocinus</i>	2	22	15	29	8	6	7	12	16	11	24	2	12		166	IS	I	
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	10	1			2	15		3							31	TS	O	
△ <i>Coreoperca herzi</i>		2	3	12	2	1									20	SS	C	
△ <i>Pseudobagrus koreanus</i>	1	1		2	2					2					8	SS	I	RB
△ <i>Microphysogobio yaluensis</i>		20		1	4		4								29	IS	O	RB
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>		1	4				7	11	41	16	5				85	TS	O	
<i>Hemibarbus longirostris</i>		2	3	6	3	7	6	1	1						29	IS	I	
<i>Opsariichthys uncirostris</i>			1			9			5	6	15	5			41	TS	C	
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>			1	2	6	7	3		3	2	1				25	IS	O	
<i>Pungtungia herzi</i>			15				1			10					26	IS	I	
△ <i>Gobiobotia brevibarba</i>			1			1									2	SS	I	RB
▽ <i>Micropterus salmoides</i>			2	1		15	23	1				6	7		55	TS	C	
<i>Siniperca scherzeri</i>			1	6		1		1	1						10	SS	C	
△ <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>			5	1	9	7	1								23	IS	I	
△ <i>Sarcocheilichthys variegatus</i>			2	4	6										12	SS	I	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>			4												4	SS	I	
<i>Odontobutis interrupta</i>			1	12	3	1	2	9	2			2			32	IS	C	
<i>Hemibarbus labeo</i>				1			6		4	2		3	2		18	TS	I	
<i>Cobitis lutheri</i>				18	4	2									24	IS	I	
△ <i>Squalidus gracilis majimae</i>					3				28	2					33	SS	I	
△ <i>Rhodeus uyekii</i>					2						6				8	IS	O	
<i>Silurus asotus</i>					2		1								3	TS	C	
<i>Misgurnus mizolepis</i>					3	12	9								24	TS	O	
<i>Carassius auratus</i>					3	3	3	18	10	6		1	11	35	90	TS	O	
<i>Gnathopogon strigatus</i>					1	4									5	IS	I	
<i>Acanthorhodeus macropterus</i>					1				5						6	IS	O	

Species	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	Total	T_o	T_r	H_a
△ <i>Microphysogobio jeoni</i>						1				42					43	IS	I	
<i>Plecoglossus altivelis</i>						16									16	IS	H	
<i>Tridentiger brevispinis</i>							81	2	28	9	3			4	127	IS	I	RB
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>							1			9					10	TS	I	
▽ <i>Lepomis macrochirus</i>							8							6	14	TS	I	
△ <i>Acanthorhodeus gracilis</i>								1					23		24	IS	O	
<i>Pseudorasbora parva</i>								2	5					6	13	TS	O	
△ <i>Hemiculter eigenmanni</i>								1	49						25	TS	O	
<i>Squaliobarbus curriculus</i>									5	8	1			6	20	IS	O	
<i>Erythroculter erythropterus</i>									8	1			2	1	12	TS	C	
<i>Squalidus chankaensis</i>									16					18	34	IS	O	
<i>Rhodeus notatus</i>													2		2	IS	O	
<i>Squalidus japonicus</i>													2		2	IS	O	
Total Number of species	16	18	23	19	29	23	17	15	20	19	11	5	10	10	52			
Total Number of individuals	383	403	325	138	218	188	178	120	372	304	120	27	79	110	2965			

* T_o =Tolerance guilds, T_r =Trophic guilds, H_a =Habitat guilds, O=Omnivore, I=Insectivore, C=Carnivore, SS=Sensitivespecies, IS=Intermediate species, TS=Tolerant species, RB=Riffle-benthic species, △=Endemic species, ▽=Exotic species

162개체로 가장 많이 발견되었으며 S7부터 S14지점까지는 거의 발견되지 않았다. 또한 모래무지(*Pseudogobio esocinus*)는 S14지점만을 제외하고 모두 출현했고 S4에서 29개체, S1과 S12지점에서 2개체로 적은 출현빈도를 보였다. 떡납줄갱이(*Rhodeus notatus*)와 눈불개(*Squaliobarbus curriculus*)는 S1지점과 S9지점에서 각각 2개체와 49개체가 발견되었다(Table 1). 외래도입종이자 생태계 교란생물인 큰입배스(*Micropterus salmoides*)는 S7지점에서 23개체로 가장 높게 출현해 수질이 많이 악화된 상태인 것으로 보인다. 그리고 생태교란 생물로 알려진 파랑볼우럭(*Lepomis macrochirus*)도 조사기간을 걸쳐서 처음으로 발견되었다. 한편 전 지점중 초식종(Herbivores)인 은어(*Plecoglossus altivelis*)는 오직 유일하게 S6지점에서 16개체로 채집되었다.

우리나라 고유종 중 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*), 치리(*Hemiculter eigenmanni*), 동사리(*Odontobutis platycephala*) 등 총 19종이 출현하였으며, 채집된 어류개체의 21.9%를 차지하였다. 일반적으로 하천의 수질이 악화될수록 고유종의 수는 줄어든다고 보고되고 있다(Choi et al., 2000). 우리나라 고유종이며 특산종이자 멸종위기에 처해져 보호받고 있는 감돌고기(*Pseudopungtungia nigra*)는 S3지점에서 27개체로 비교적 출현하다가 하류지점(S6~S14)으로 갈수록 거의 출현하지 않았다. 하천바닥에 모래와 진흙, 자갈이 깔린 곳에 서식하는 대농갱이는(*Pseudobagrus emarginatus*) 최상류지점(S1, S2)만 유일하게 1개체로 발견되었다. 물 흐

름이 완만하며 바닥에 자갈이 있는 하천에 주로 서식하는 돌고기(*Pungtungia herzi*)는 S1지점에서 22개체로 많이 출현하였고 상류지점(S2, S4, S5)지점을 제외하고 발견되지 않았다. 한국고유종 동사리(*Odontobutis platycephala*)와 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*)도 S1지점에서 S6지점까지 종수의 범위는 1~43개체로 나타났으며 S8지점부터 발견되지 않았다. 한국고유종 민물고기인 칼납자루(*Acheilognathus koreensis*)는 S2지점에서 30개체와 1급수의 지표종인 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*)도 오직 유일하게 S3지점만 4개체로 발견되었다. 본 연구로 보아 한반도 고유종, 멸종위기종, 특산종들이 가장 많이 번식하여 서식하는 곳 지점은 14개 지점 중 비교적 상류에 해당하는 S5지점이다. 상류지점보다 하류지점으로 갈수록 한국 고유종의 개체수는 점점 줄어들고 외래어종도 점점 출현하는 경향을 보였다. 이는 외래어종에 의해 금강수계의 생태계 교란이 많이 진행되었다는 이전 연구들과 동일한 결과를 보였다.

3. 어류군집 분석

어류 군집분석에 따르면 생태적 안정성을 평가하는 종 풍부도 지수(Margalef's species richness index, d)의 범위는 1.21~5.2이다. 종 풍부도의 지수는 S5지점이 5.2로 가장 높았고 S12지점이 1.21로 가장 낮았다. 종 균등도 지수(Pielou's evenness index, J')의 범위는 0.27~0.38이다. 종의

균일성을 평가하는 종 균등도 지수는 S13지점이 0.38로 가장 높게 나타났고 S1지점이 0.27로 가장 낮게 나타났다. 군집의 안정성을 평가하는 종 다양도 지수(Shannon-Weaver diversity index, H')의 범위는 0.51~1.18이다. S6지점에서 1.18로 종 다양도가 가장 높게 나타났고 S12지점에서 0.51로 종 다양도가 가장 낮게 나타났다. 종의 우점도를 평가하는 군집 우점도의 지수(Simpson's Dominance Index, λ)의 범위는 0.10~0.57로 S9지점이 피라미가 우점하고 있어 0.572로 지수가 가장 높았고 S13지점이 0.105로 가장 낮았다 (Table 2).

Table 2. Fish community index along the sites in Geum-River watershed. (d =Margalef's species richness index, J' =Pielou's evenness index, H' =Shannon-Weaver diversity index, λ =Simpson's dominance index.)

Sites	Community index			
	d	J'	H'	λ
S1	2.522	0.273	0.740	0.335
S2	2.834	0.291	0.840	0.217
S3	3.804	0.303	0.949	0.131
S4	3.653	0.344	1.013	0.123
S5	5.200	0.347	1.158	0.130
S6	4.202	0.377	1.181	0.274
S7	3.088	0.318	0.882	0.338
S8	2.925	0.286	0.775	0.259
S9	3.211	0.312	0.934	0.572
S10	3.158	0.317	0.932	0.196
S11	2.089	0.276	0.662	0.314
S12	1.214	0.318	0.512	0.114
S13	2.06	0.377	0.868	0.105
S14	1.915	0.356	0.819	0.180

본 연구 근거로 총 14개 지점 중 S5지점이 많은 종(29종)이 채집되어 종 풍부도가 높게 나타났고 비교적 종 다양도도 1.14로 S6지점 다음으로 높아 안정한 군집의 서식 환경이 잘 갖추어져 있는 것으로 판단된다. 그 다음으로 종(23종)이 많이 잡힌 S3, S6지점에서는 각각 종 풍부도는 3.804, 4.202, 종 균등도는 0.30, 0.37, 종 다양도 지수는 0.94, 1.18로 비교적 안정된 상태를 보이고 있다. 반면 종수(5종)가 가장 적은 S12지점에서는 종 풍부도가 1.21, 종 다양도도 0.51로 가장 낮게 나타나 가장 악화되고 불안정한 군집 상태를 가지고 있다. 이는 축산폐수와 생활하수가 하천에 계

속 배출되고 쌓여 낮은 지수에 영향을 미친 것으로 사료된다. 어류출현 분석에서 S7지점에서 외래도입종인 파랑볼우럭(*Lepomis macrochirus*)은 8개체수, 큰입배스(*Micropterus salmoides*)는 23개체수로 상당히 많이 나타나 종 풍부도는 3.09, 종 균등도와 종 다양도는 0.32, 0.88로 비교적 낮은 값을 나타냈고 큰입배스와 파랑볼우럭이 우점하고 있어 종 우점도는 0.33으로 비교적 높았다.

이를 종합해 분석해보면 종 풍부도 지수는 최상류~상류 지점(S1~S5)에서는 종 풍부도 지수가 증가하지만 하류지점(S6~S14)으로 갈수록 점점 하락하는 양상을 보였다. 즉 종 풍부도가 높을수록 생태적으로 양호하고 안정하다는 것을 보여주고 있다. 종 균등도 지수는 균일하고 동등한 분포를 보이지만 종 다양도 지수는 종 풍부도 지수와 유사한 것으로 나타났다. 즉 종 풍부도와 종 다양도의 값이 높을수록 종의 서식환경과 생태적 안정성이 크다는 것을 알 수 있다.

4. 어류 내성도 및 섭식길드 특성

어류의 내성도(Tolerance guilds)를 분석한 결과, 내성종(Tolerant species)은 1091개체(37.2%), 중간종(Intermediate species)은 827개체(28.2%), 민감종(Sensitive species)은 1037개체(35.3%)로 확인되어 금강 수계에서는 중간종보다는 민감종과 내성종에 속하는 어종의 개체가 많이 출현하였고 비교적 내성종이 많이 출현했다. 내성종에서는 대부분이 피라미(*Zacco platypus*)가 대부분이었고, 중간종에서는 모래무지(*Pseudogobio esocinus*), 민감종에서는 참갈겨니(*Zacco koreanus*)가 가장 높은 출현율을 보였다(Table 1). 상류지점(S1~S3)에서 민감종 비율이 각각 59.7%, 72.2%, 68.6%의 높은 비율을 보였지만 도심하천인 미호천 합류로 비점오염원 유입에 영향을 받는 지점부터 비율이 점점 감소했다. S7, S11, S12, S13, S14지점에서는 민감종 비율이 0.73%로 민감종 어종이 많이 채집되지 않은 것으로 보아 수질이 상류지점보다 많이 악화된 것으로 판단된다. 중간종 비율은 모든 지점에서 동일한 분포를 보이고 있고 내성종 비율은 상류지점보다 하류지점이 상대적으로 비율이 증가한 경향을 보였다. S7지점에서는 내성종 비율이 41.9%에서 S8지점에서 77.5%로 급격하게 상승하였다. 즉 하류지점으로 갈수록 내성종 출현빈도가 민감종 출현빈도보다 높은 것은 수질오염이 많이 진행되고 있고 이화학적 인 수질이 질적으로 많이 저하가 되었으며 서식처 교란에 많이 영향을 받은 것으로 판단된다(Figure 3).

섭식특성(Trophic guilds) 분석에 따르면, 잡식종(Omnivores, O)은 1,169개체(39.4%), 충식종(Insectivores, I)은 1,558개체(52.5%), 육식종(Carnivores, C)은 222개체(7.6%) 비율로 나타나 내성종의 비율도 비교적 높지만 충식종이 더 우

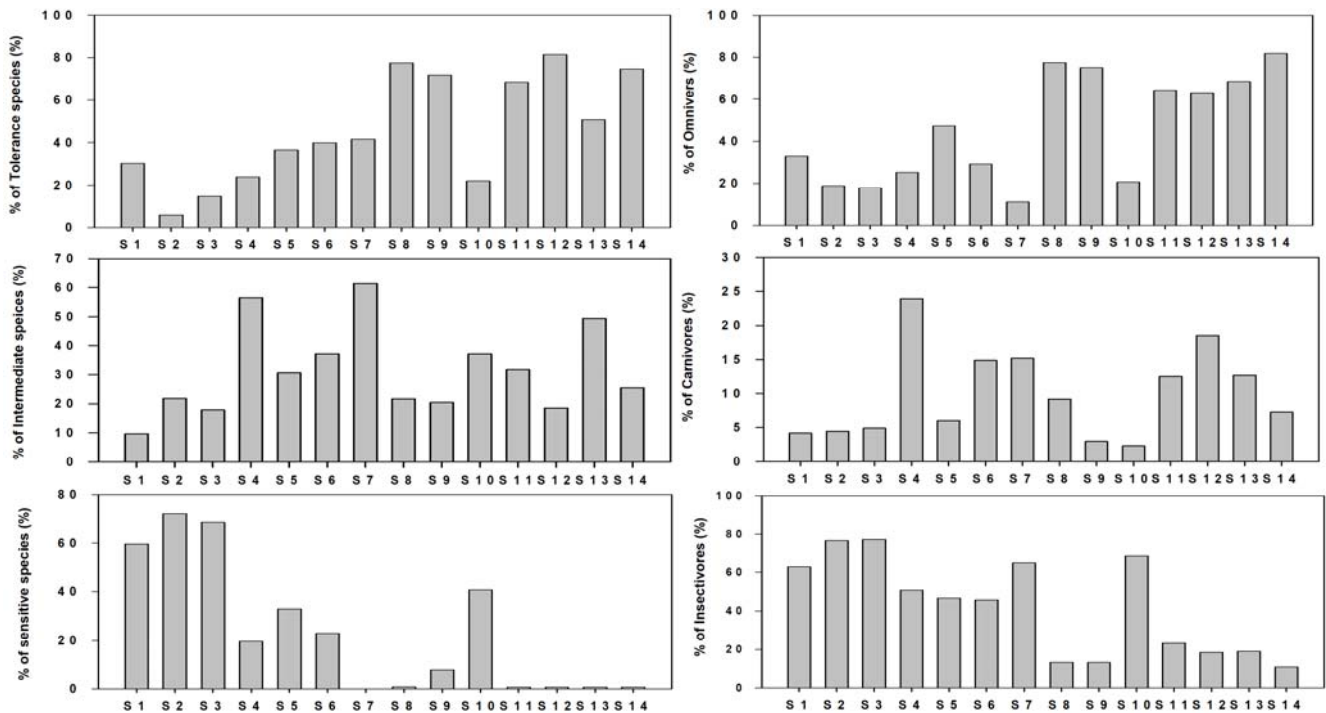


Figure 3. Tolerance and trophic guilds at 14 sampling sites in Geum-River watershed.

세한 것을 볼 수 있다. 잡식종에서 피라미, 충식종에서 참갈겨니, 육식종에서는 큰입배스가 각각 높은 출현빈도에 영향을 미쳤다(Table 1). 잡식종의 비율은 최상류지점에서 S7지점까지는 큰 변화는 보이지 않지만 S8지점에서 77.5%로 3배 이상 급증했다. 이는 S7지점과 S8지점 주변의 공장폐수나 공업용수의 배출로 인해 하천이 오염되어 잡식종이 우점한 현상을 보인 것으로 판단된다. 충식종의 비율은 S3지점까지 77.2%로 증가하다가 S8지점에서 13.3%로 급격하게 하락하고 S10지점에서 68.4%로 증가하다 다시 S11지점에서 23.3%로 하락했다. 즉 상류에서 하류로 갈수록 충식종의 비율은 감소하고 잡식종의 비율은 증가하는 것을 알 수 있다. 육식종의 비율은 전 지점 중 S4지점이 23.9%로 가장 높은 빈도를 차지했다(Figure 3). 한편, 여울성 저서종(Riffle-benthic species)의 우점종은 민물검정망둑(*Tridentiger brevispinis*)으로 전체어종의 2.7%를 차지하였으며 아우점종은 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*)로 1.4%를 차지하여 그 이외의 5종이 발견되었으며 전체 어종의 12.1%를 차지했다(Table 1). 전 지점을 비교 분석해 본 결과 유일하게 S7지점에서 여울성 저서종의 상대빈도가 45%로 가장 높게 나타났다. 이는 민물검정망둑(*Tridentiger brevispinis*)이 81개체수로 다수 출현하여 나타난 결과로 사료되었다. 이는 S7지점이 다른 지점보다 여울과 소가 비교적 많이 발달해 있어 여울성 저서종이 서식할 수 있는 환경의 조건이 잘

갖추어져 있는 것으로 판단된다.

이·화학적인 수질은 어류의 분포 및 내성도와 섭식에 많은 영향을 끼친다. 섭식특성 분석에 따르면, 수질이 악화된 곳에 서식하는 내성종은 전체 범위가 0~90%이며 BOD(범위: 0.7~6.1 mg L⁻¹), COD(범위: 2.4~11.6 mg L⁻¹), TN(범위: 1.1~6.4 mg L⁻¹)과 TP(범위: 4.3~282.3 ug L⁻¹)가 증가할수록 내성종의 증가에 영향을 미쳤다. 민감종의 전체 범위는 0~93.6%이며 BOD, COD, TN, TP가 증가할수록 민감종의 비율은 감소했다. 이는 수질이 악화된 곳에서는 민감종은 감소하고 내성종은 증가하는 경향을 보이고 있다(Figure 4). 영양길드 분석에 따르면 충식종의 전체 범위는 0~90.8%이며 BOD, TN, TP가 증가할수록 충식종의 비율은 감소하였다. 이는 수질이 좋은 곳에서는 충식종은 증가하고 수질이 악화된 곳에서는 감소하는 것을 알 수 있다. 잡식종의 전체 범위는 0~84.9%이며 잡식종의 비율은 BOD, TN, TP가 증가할수록 비교적 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다(Figure 5). 즉 이·화학적인 수질 농도 증가할 때 내성종과 잡식성은 증가하고 민감종과 충식성은 감소하는 것을 볼 수 있다. 종합적으로 분석해 본 결과 상류 지점에서는 민감종 및 충식성이 우점한 반면 중·하류지점에서는 내성종, 잡식성 그리고 육식성들이 우점하였고 외래 도입종인 파랑볼우럭과 큰입배스도 우세한 양상의 분포를 보였다.

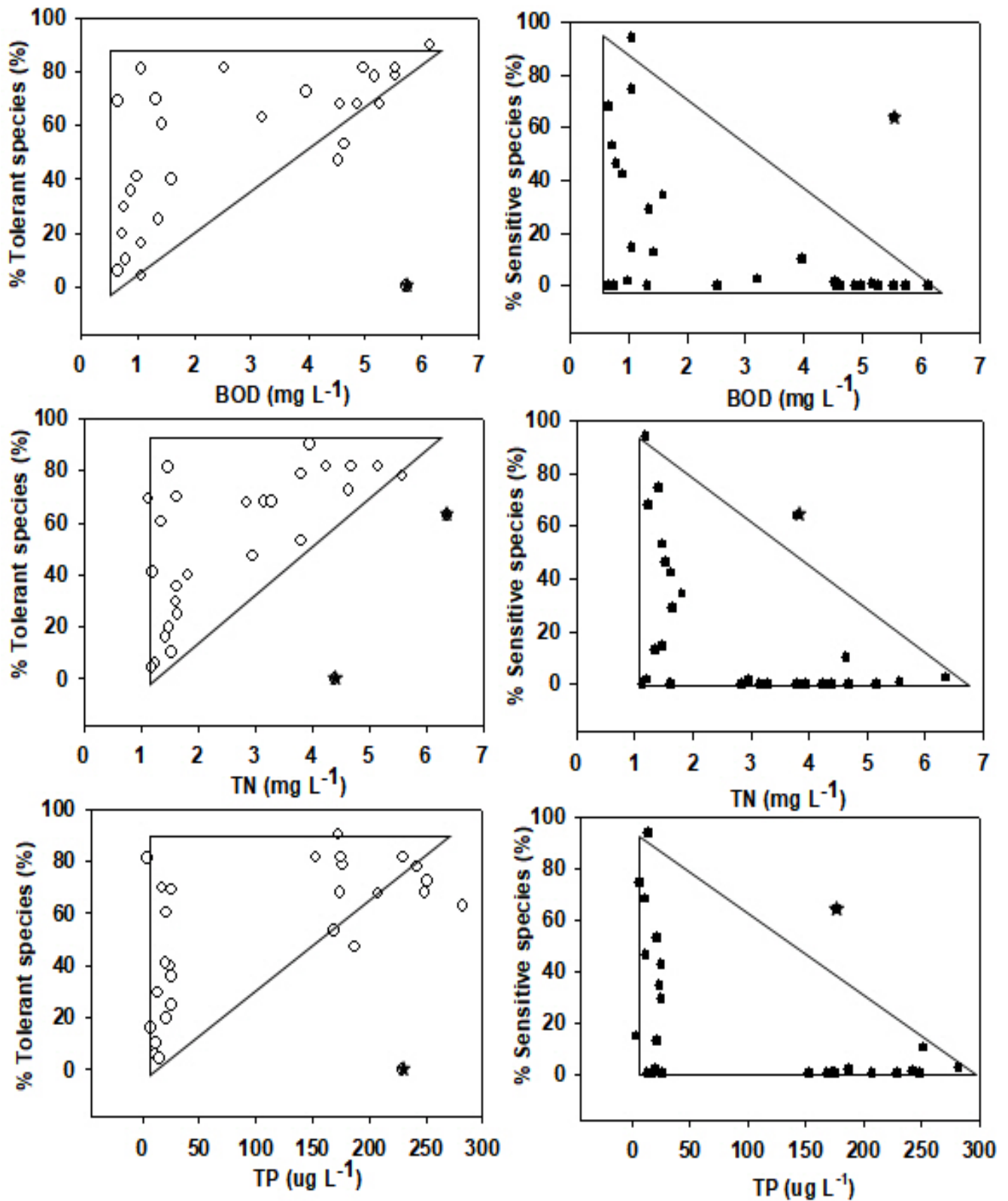


Figure 4. Relationship between water quality index (biochemical oxygen demand (BOD), total phosphorus (TP), total nitrogen (TN)) and tolerance guilds (tolerant species and sensitive species). ★=Outlier

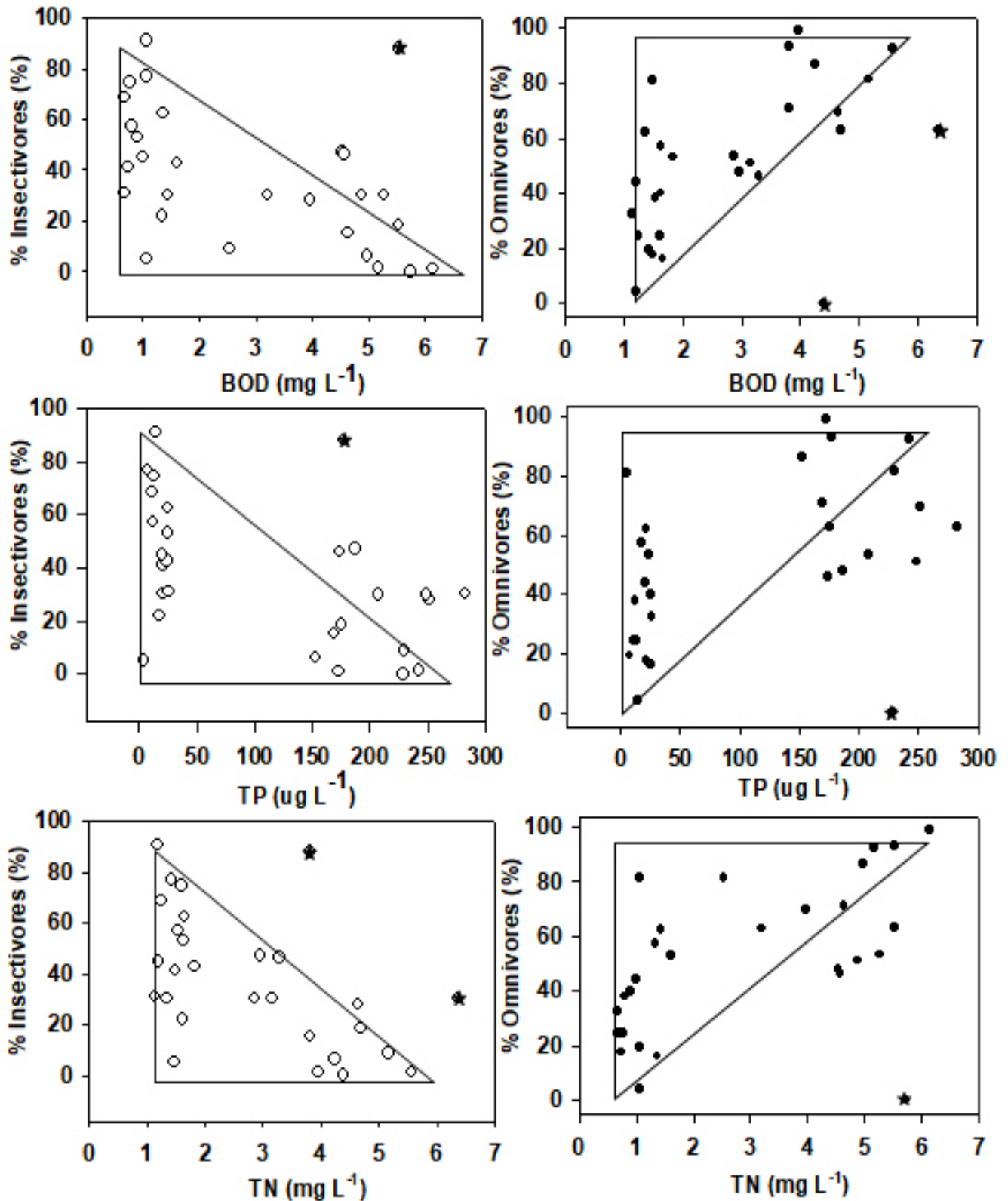


Figure 5. Relationships between water quality index (biochemical oxygen demand (BOD), total phosphorus (TP), total nitrogen (TN)) and trophic guilds (insectivores and omnivores). ★=Outlier

5. 하천 생태건강도 및 평가

각 지점별 생물학적 건강도를 평가하기 위한 어류 다변수 분석에 따르면, M1의 국내종의 총 종수의 평균은 16종(범위: 5~29종)으로서 S3, S8, S12지점에서 각각 22종, 14종, 5종으로 점점 줄어들어 S8지점에 미호천이 합류해 오염원 물질들이 유입되어 국내 총 종수에 영향을 받은 것으로 판단된다. M2의 여울성 저서종수의 평균은 2종(범위: 0~3종)으로 상류에는 0~3종이고 하류로 갈수록 0~1종의 낮은 수치로 발견되었다. M3의 민감종수의 평균은 4종(범위: 0~10종)이고 S3지점에서 10종으로 가장 높은 수치를 나타냈고 S7, S11, S12, S13, S14 다섯 지점에서 0종으로 거의 나타나지 않았다. 결국 상류이면서 수질이 좋은 곳은 민감종이 많고, 하류이면서 수질이 악화된 지점은 민감종이 점점 감소하는 경향을 보였다. M4의 총 국내종 개체수의 평균은 207개체(범위: 27~403개체)로 상류지점 S2지점에서 403개체로 가장 높은 개체수로 출현하였으며 S8지점에서 119개체로 큰 폭으로 감소하다가 S9지점에서 372개체로 증가하였고 다시 S12지점에서 27개체로 감소했다. M5의 내성종 개체수 상대빈도의 평균은 45.6%(범위: 6.0~81.5%)이며 S2지점에서 6.0%로 가장 낮고 S12지점에서 81.5%로 가장 높았으며 이는 S12지점에서 폐수의 지속적인 유출로 인해

수질에 악영향을 미친 것으로 사료된다. 즉, 상류의 수질이 깨끗한 지점에서는 내성종이 낮은 수치를 보였고 수질이 악화된 하류에서는 내성종이 높은 수치를 보인 것을 알 수 있다. M6의 총식종 개체수 상대빈도의 평균은 42.2%(범위: 10.9~77.2%)로 S1지점에서 S7지점까지 범위는 45~77%이고 S8지점 이후로 10~68%로 급격하게 감소했다. M7의 잡식종 개체수의 상대빈도의 평균은 45.2%(범위: 11.1~81.8%)로 하류지점인 S7지점에서 11.1%로 낮은 비율을 나타냈고 S8지점에서 77.5%로 급증했다. 이는 미호천 폐수 유입과 시멘트 공장이 지속적인 폐수를 방출함으로써 이 빈도에 막대한 영향을 미친 것으로 판단된다. M8의 비정상종 개체수 상대빈도의 평균은 1.8%(범위: 0~15.4%)이며 상류에서는 0%로 출현하지 않았고 최하류 지점인 S13지점과 S14지점에서 각각 10%, 15.4%로 비정상 개체수가 출현하였다.

어류를 이용한 생물학적 건강도를 분석한 결과, FAI지수는 평균 65.0로 B등급(좋음)이 나왔다. 상류에 위치한 S1지점에서 S7지점까지의 FAI 범위는 S6 2차조사를 제외한 나머지 13번 조사기간 모두 A등급~B등급을 보여 어류건강성이 좋음으로 평가되었다. 반면 하류에 위치한 7지점에서는 주로 C등급 전후로 나타나, 어류생태건강성이 낮게 평가되었다. 특히 S12지점에서 민감성 지표 메트릭에서 0점을 받는 등 전체지수가 12.5로 가장 악화된 상태를 보였다 (Table 3).

Table 3. Fish metric assessments along the upstream to the downstream of Geum-river watershed(S1~S14).

Sampling sites	Model Metrics								IBI (Criteria)
	TNS	RBS	SS	TS	OS	IS	TNI	AI	
St 1	6.25	6.25~12.5	6.25	12.5	6.25~12.5	12.5	12.5	12.5	87.5~75.0(A~B)
St 2	6.25	6.25~12.5	12.5	12.5	6.25~12.5	12.5	6.25~12.5	12.5	93.8~75.0(A~B)
St 3	12.5	6.25~12.5	12.5	12.5	6.25	6.25~12.5	12.5	12.5	87.5(A)
St 4	6.25	6.25	6.25	12.5	6.25~12.5	6.25	0~6.25	12.5	62.5(B)
St 5	6.25	12.5	12.5	12.5	6.25	6.25~12.5	6.25~12.5	12.5	87.5~75.0(A~B)
St 6	6.25	6.25~12.5	6.25~12.5	12.5	0~12.5	6.25~12.5	6.25	12.5	87.5~56.3(A~C)
St 7	12.5	12.5	12.5	12.5	6.25~12.5	12.5	6.25	12.5	93.8~87.5(A~B)
St 8	0~6.25	6.25~12.5	0	12.5	0~6.25	0~6.25	0~6.25	12.5	56.3~37.5(C~D)
St 9	6.25	6.25	0	6.25~12.5	0~6.25	0~6.25	12.5	12.5	62.5~43.8(B~C)
St 10	6.25	0~6.25	0	6.25~12.5	6.25	6.25~12.5	6.25	12.5	62.5~43.8(B~C)
St 11	0~6.25	6.25	0	6.25~12.5	6.25	6.25~12.5	0~6.25	12.5	56.3~43.8(C)
St 12	0~6.25	0~6.25	0	0~12.5	6.25~12.5	6.25~12.5	0~6.25	0~12.5	68.8~12.5(B~E)
St 13	0	6.25	0~6.25	12.5	6.25~12.5	12.5	0~12.5	12.5	75.0~50.0(B~C)
St 14	0	6.25	0	12.5	6.25~12.5	6.25~12.5	0	0~12.5	50.0~37.5(C~D)

* TNS=Total of native species, RBS=Riffle benthic species, SS=Sensitive species, TS=% individuals as tolerant species, OS=% individuals as omnivores, IS=% individuals as native insectivores, TNI=Total number of individual, AI=% individuals with anomales.

상류에서 하류로 갈수록 악화된 상태는 생활하수를 배출하거나 미호천의 정화되지 않은 생활폐수의 유입으로 인해 생태계 교란이 진행 중인 것으로 사료된다. 결국 상류에서 하류로 갈수록 S7지점부터 생물보전지수가 낮아지면서 생태 건강도가 점차적으로 악화되고 있다. Hungueny *et al* (1996), U.S. EPA (1993)의 연구에 따르면 상류에서 하류로 갈수록 비점오염원과 영양염류의 증가로 생물보전지수가 낮아진 이전연구와 동일한 결과를 보였다.

이·화학적인 수질과 FAI지수를 비교한 결과를 분석해보면, FAI지수의 전체 범위는 12.5~93.8로 나타났다. SS(범위: 1.1~20.7 mg L^{-1})의 농도가 증가할수록 FAI값은 감소하였으며 BOD의 농도도 증가할수록 FAI지수는 감소하는 양상을 보였다. COD는 BOD와 동일한 양상을 보였다. 이는 BOD와 COD가 증가할수록 수질이 악화되어 FAI지수가 낮아지고 BOD와 COD가 감소할수록 수질이 좋아져 FAI지수가 높아지는 것으로 보인다. 즉, FAI 지수가 클수록 하

천의 건강도가 좋다. Chl-a(범위: 1.3~133.8 ug L^{-1})의 농도가 증가할수록 FAI지수가 낮아졌고 부영양화 지표인 TP의 농도도 증가할수록 FAI지수가 낮아지는 경향을 보였다. TP의 값이 230 ug L^{-1} 일 때 FAI지수가 12로 가장 낮았다. 마찬가지로 TN의 농도도 TP와 동일한 양상을 보였다. 즉 SS, BOD, COD, TN, TP가 증가할수록 FAI값은 낮아지는 경향을 보이고 있다(Figure 6).

본 결과는 인구증가와 도시화가 됨으로써 각종 오염물질의 지속적으로 유입되어 우리나라 고유종의 개체수는 감소하는 반면, 외래어종이자 내성종인 파랑볼우렁과 큰입배스가 우점하여 메트릭 값은 상당히 낮아져 생태계의 균형을 깨트리고 있다. 특히 갑천과 미호천이 유입이 됨으로써 금강하류부의 수질이 안정화되지 못하고, 유기오염물질들이 축적되어 수질이 더욱더 악화되는 것으로 나타나, 수생태계 보호를 위한 하천복원사업 등이 지속적으로 이루어져 관리가 필요할 것으로 사료된다.

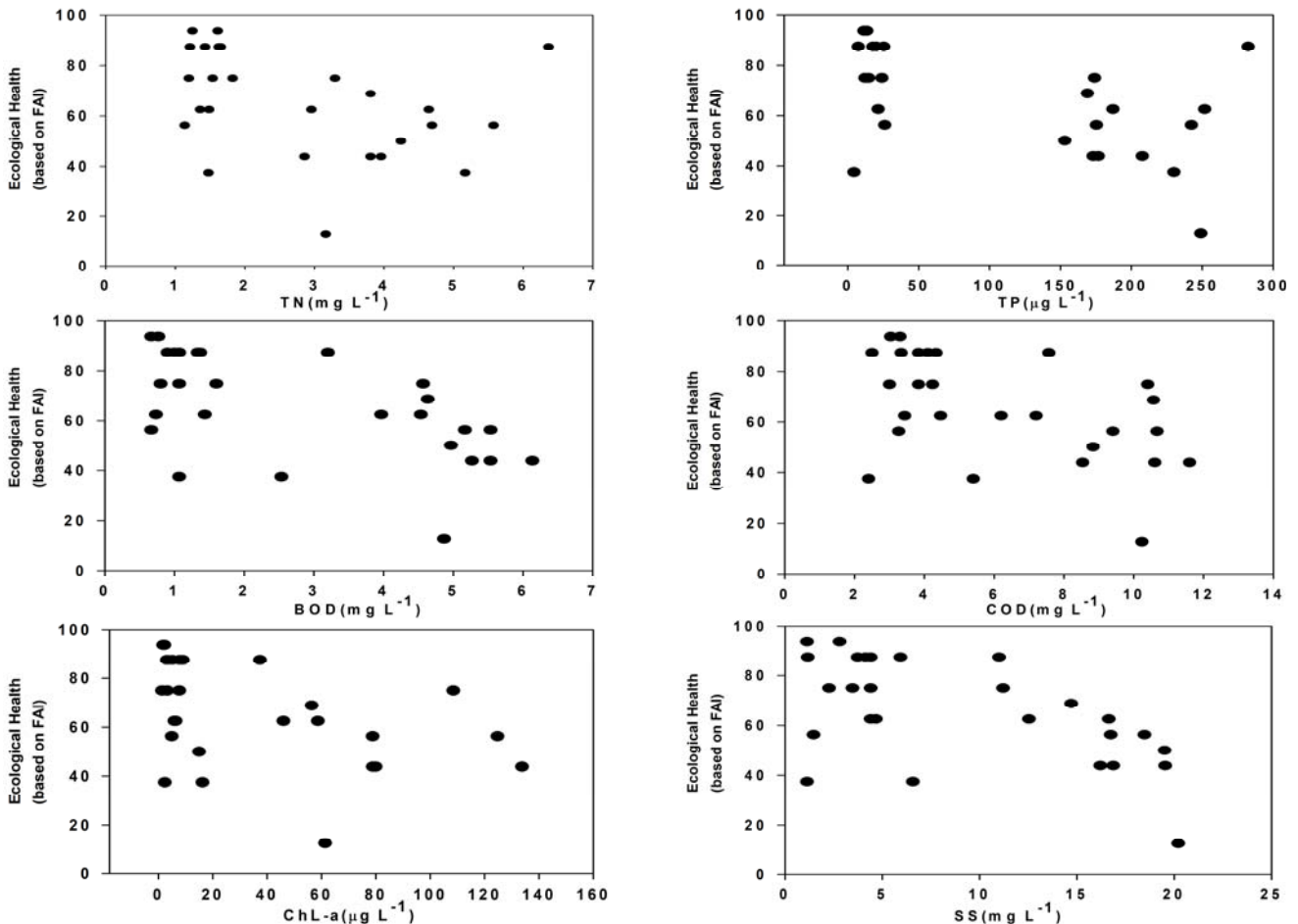


Figure 6. The relationship between water quality parameters and multimetric Fish Assessment Index(FAI) in Geum-river watershed.

사사

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

REFERENCES

- An, K.G. and J.H. Kim(2005) A diagnosis of ecological health using a physical habitat assessment and multimetric fish model in daejeon stream. *Kor. J. Limnol.* 34: 153-165. (in Korean with English abstract)
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Synder and J.B. Striblin(1999) Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish.
- Choi, J.K., H.K. Byeon and H.K. Seok(2000) Studies on the dynamics of fish community in Wonju stream. *Kor. J. Limnol.* 33: 274-281. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.W., C.S. Park and K.G. An(2016) Development of Fishway Assessment Model based on the Fishway Structure, Hydrology and Biological Characteristics in Lotic Ecosystem. *J. Ecol. Environ.* 39(1): 71-80.
- Gho, D.K., J.Y. Choi, B.J. Lim, J.H. Park and K.G. An(2012) Distribution, Species Composition and Community Structure Characteristics of Fishes in the Yusan River System at Juksan Construction Site. *Kor. J. Env. Bio.* 26(6): 892-901. (in Korean with English abstract)
- Han, J.H., H.M. Kim and K.G. An(2013) Evaluation of Chemical Water Quality and Multivariate Ecological Health Model of Baekma River. *Kor. J. Environ. Biol.* 31(2): 96-104. (in Korean with English abstract)
- Hugueny B.S., B.S. Camara and M. Magassouba(1996) Applying an index of biotic integrity based on communities in a west african river. *Hydrobiologia* 331: 71-78.
- Huh, J.W., H.S. Kang and M.H. Jang(2011) A Study on the Fish Species and Physical Habitat Condition of the Dalcheon of Han River System. *Kor. J. Environ. Engineering* 33(8): 564-571. (in Korean with English abstract)
- Karr, J.R.(1981) Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6: 21-27.
- Karr, J.R., K.D. Fausch, P.L. Angermeier, P.R. Yant and I.J. Schlosser(1986) Assessing biological integrity in running water: A method and its rationale. pp. 28, Illinois National History Survey, Special Publication 5, Champaign, IL.
- Kim, H.C., C.K. Yun, G.W. Jung and J.H. Jang(2004) Analysis of Correlation between Water Pollutants in the Streams in the Fresh Water Reservoir. *Water Environment Conference*, 62-71. (in Korean)
- Kim, I.S. and J.Y. Park(2002) *Freshwater Fishes of Korea*. KyoHak Publishing Co., Seoul. (in Korean)
- Ko, D.G., J.W. Choi and K.G. An(2016) Preliminary Ecological Assessments of Water Chemistry, Trophic Compositions, and the Ecosystem Health on Massive Constructions of Three Weirs in Geum-River Watershed. *J. Ecol. Environ.* 39(1): 61-70.
- Kwon, H.H., J.H. Han, J.H. Yun and K.G. An(2013) Analysis of the species composition and tropic / resistance degree guild effect on fish mortality in the Keum River system (white informant). *Kor. J. Env. Bio.* 31(4): 393-401. (in Korean with English abstract)
- 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.
- Nelson, J.S.(1994) *Fisheries of the world* (3rd edition). John Wiley & Sons, New York, 600pp.
- Ohio EPA(1989) *Biological criteria for the protection of aquatic life*. Vol. III, Columbus, Ohio Division of Water Quality Monitoring and Assessment, Surface Water Section.
- Pielou, E.C.(1975) *Ecological diversity*. Wiley, New York, 165pp.
- Sanders, R.E., R.J. Milner, C.O. Yondr and E.T. Rankin(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, C.E. and W. Weaver(1949) *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- Simpson, E.H.(1949) Measurement of diversity. *Nature* 163: 688.
- Son, Y.M. and H.B. Song(2006) *Freshwater Fishes of Geum River, Korea*. Jisungsa Publishing. (in Korean)
- Strahler, A.N.(1957) Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union Transactions* 38: 913-920.
- US EPA(1993) *Fish field and laboratory methods for evaluating 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.
- Yang, H.J., B.S. Che and Y.H. Kang(1998) Fish Community Structure in the Nakdong River Water System. *Kor. J. Lchthyology* 10(1): 77-86. (in Korean with English abstract)