

## 만경강 본류의 어류 트로픽 길드, 오염 내성도 및 다변수 생태건강도에 대한 화학적 수질영향

나현희, 이상재<sup>1</sup>, 안광국\*

충남대학교 생명시스템과학대학 생물과학과, <sup>1</sup>새만금지방환경청

### The influence of chemical water quality on fish trophic guilds, pollution tolerance, and multi-metric ecological health in the main streams of Mangyeong River

Hyun-Hee Na, Sang-Jae Lee<sup>1</sup> and Kwang-Guk An\*

Department of Biological Science, College of Biological Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

<sup>1</sup>Chemical Safety Division, Saemangeum Regional Environmental Office, Jeonju 54872, Republic of Korea

**\*Corresponding author**

Kwang-Guk An  
Tel. 042-821-9690  
E-mail. kgan@cnu.ac.kr

**Received:** 22 November 2018

**Revised:** 25 December 2018

**Revision accepted:** 15 February 2019

**Abstract:** The objectives of this study were to analyze the influence of chemical water quality on fish guilds, pollution tolerance and the multi-metric ecological health, based on the Fish Assessment Index (FAI) in the main stream of Mangyeong River between 2009–2016. The quality of water with specific conductivity, TP, and NH<sub>4</sub>-N got worse dramatically in the down region. During the study, a total of 50 species were collected and the most dominant species was *Zacco platypus*. Also known as tolerant species, accounted 22.9% of the total abundances, thus indicating a trophic degradation. The downstream region (S5) had the highest number of fish external abnormalities, indicating a degradation of ecological health, based on the fish assemblages. Pearson correlation analysis indicated that relative abundance of tolerant fish species and omnivore fish species had a significant positive correlation ( $r > 0.30$ ,  $p < 0.05$ ) with values of BOD, conductivity and NH<sub>4</sub>-N. Whereas, the relative abundance of the sensitive species and insectivore species had a significant negative relations ( $r < -0.30$ ,  $p < 0.001$ ) with the parameters. The mean obtained from the multi-metric fish model, based on the FAI of all sites was 47 ( $n = 40$ ). This indicated a “fair condition” in the ecological health, and the downstream regions (S3–S5) were judged as “bad condition”, indicating an influence of the chemical degradation on the ecological health.

**Keywords:** chemical water quality, fish guild, pollution tolerance, ecological health

## 서 론

만경강은 전라북도에 위치한 농업용수 등의 수자원 공

급을 위한 중요한 수체로서 유역면적 1,527.1 km<sup>2</sup>, 유로연장 77.4 km을 가지고 있고, 고산천, 소양천, 전주천 등의 주요한 지류를 가지고 있으며, 최종적으로는 새만금으로 유

입되는 하천이다. 만경강 유역은 전북의 주요 농업생산지대로서, 농경지 및 산림이 유역면적의 대부분을 차지하고 있을 뿐 아니라, 만경강의 중류부와 전주천의 중·상류부에 도시와 공업단지가 밀집되어 있고, 익산천의 상류역에 대규모 축산단지가 형성되어 있어 비점오염원 및 점 오염원이 수질특성에 영향을 주는 것으로 보고되고 있다(Yun *et al.* 2002).

이 유역내의 오염원인 생활하수, 축산폐수 및 농업배수 등의 유입은 만경강의 수질저하의 주요 원인으로 평가되어 왔으며, 특히 전주천과 익산천의 합류 이후에 수질이 급격하게 악화되고 있는 것으로 보고되어 왔다(Yun *et al.* 2002; Lee *et al.* 2005). 최근 새만금 유역의 수질개선을 위해 만경강의 수질에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이에 따라 정부에서는 수질을 향상시키기 위해 다양한 노력들이 진행되어 왔다. 특히, 최근 수질개선 뿐만 아니라 인간과 자연생태계가 공존할 수 있는 친수공간의 조성을 목적으로 만경강의 8개 지구에 하천환경정비사업이 진행되고 있어 공사 이전 및 공사단계에서의 지속적인 모니터링이 필요한 실정이다.

본 연구대상 수계에서의 선행연구는 주로, 녹조문제, 오염부하평가, 수질평가, 생물상 평가 및 군집분석 등에 대한 연구가 수행된 바 있다. 특히, 만경강의 본류 및 지류에서의 이·화학적 수질변화(Yun *et al.* 2002; Oh *et al.* 2004; Lee *et al.* 2004; Lee and Park 2008) 및 오염부하량 평가(Cho 2003; Lee *et al.* 2005; Kim *et al.* 2013; Ryu and Lee 2013; Kim *et al.* 2017) 등이 집중적으로 연구되며, 인(P), 질소(N)와 같은 수질오염 및 부영양화의 문제를 주로 다루어 오고 있다. 또한, 본 유역에 서식하고 있는 담수어류 및 저서무척추동물에 대해서도 생물상 및 군집분석(Kim and Lee 1998; Hwang 2006; Lee *et al.* 2008; Park *et al.* 2009; Jeon 2010; Kim *et al.* 2015)에 대한 연구가 여러 차례 보고되어 왔다. 그러나 이런 다양한 연구에도 불구하고 대부분의 연구가 수질 분석 및 군집분석에만 초점을 맞추고 있어, 수계의 트로픽길드, 생물 내성도 등에 대한 수질 영향 및 수생태 건강도에 대한 화학적 수질영향에 대한 연구는 극히 미미한 실정이다. Jeon (2010)에 의해 저서동물을 이용한 KSI(Korean saprobic index) 값을 산정하여 수생태계 건강성이 평가된 바 있지만, 조사기간이 단기간에 그쳐 장기간 생태학적 건강도를 평가하기 위한 장기연구가 절실히 요구되고 있다.

대부분의 생태계에서 단기간의 연구를 통해 나타나는 결과는 장기간의 연구를 통해 나타나는 결과에 비해 과장되어 나타나는 경우가 많기 때문에, 단기적인 연구는 생태계 내에서 일어나는 변화를 합리적으로 파악하기에 불충분하다고 할 수 있다. 특히, 생물군집과 같이 복잡한 구조를 가지는 생태계 내에서 일어나는 상호작용은 단기적인 연구를 통해서만 파악할 수 없으므로, 반드시 장기적인 연구가 진행되어야 한다(Spellerberg 1991; Lee 2006). 한편, 어류는 다른 지표 생물종에 비해 한 세대가 길어 장기간의 환경변화를 반영하고 있을 뿐 아니라 이동성을 가지고 있어 다양한 서식조건을 대변한다. 또한, 어류는 하천생태계 내의 최상위 소비자로서, 먹이사슬을 통한 오염의 최종적인 영향을 반영하고 있을 뿐 아니라 실제 채집현장에서 비교적 동정이 용이해 생물학적 통합수질 평가를 위한 모델생물로 널리 인정받아왔다(Jones *et al.* 2005; An and Lee 2006). 따라서 이러한 어류를 이용한 생태건강도 평가모델인 생물통합지수(Index of Biological Integrity; IBI, Karr 1981)는 Yeom *et al.* (2000)에 의해 국내실정에 맞게 수정 및 보완되어 금호강(Yeom *et al.* 2000), 평창강(An *et al.* 2001a), 갑천(Bae and An 2006) 등 다양하게 적용되어 왔으며, 최근 환경부의 국가 수생태계 건강성 평가 프로그램의 어류평가지수(Fish Assessment Index; FAI, ME 2016a)로 보완되어 적벽강의 생태건강도 평가(Lee *et al.* 2017) 등에 적용되었다.

따라서 본 연구는 장기 모니터링을 통해 만경강 본류의 이·화학적 수질 변화 및 담수 어류상의 변화를 파악하고 FAI모델을 적용하여 만경강 본류의 생태건강도를 진단하는데 목적이 있다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사시기 및 조사지점 현황

본 연구는 만경강 본류 5개 지점을 선정하여 2009~2016년까지 8년 동안 매년 1회에 걸쳐 어류 현장조사 및 하천 생태건강도 평가를 실시하였다(Fig. 1). 우리나라의 장마기에 해당하는 7~8월은 유량증가 및 유속변화 등에 의해 어류군이 이동할 가능성이 있기 때문에, 어류 채집 및 하천 생태건강도 평가는 장마 전 수체가 안정되는 시기인 4월~6월에 실시하였다.

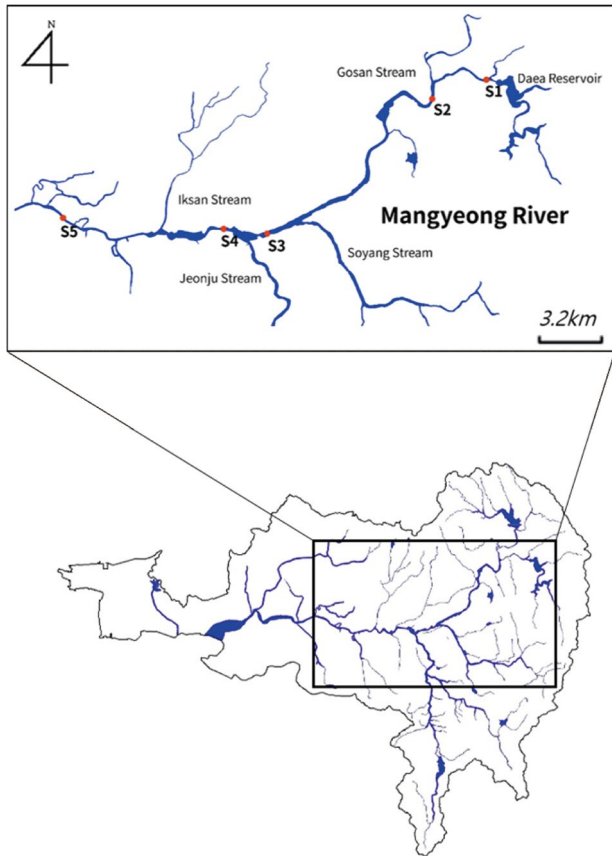


Fig. 1. The map showing the sampling sites in Mangyeong River.

본 연구에서 조사지점은 상류에서 최하류역까지 5개 지점을 선정하였다. 조사지점 중 최상류에 위치한 S1지점은 Strahler (1957)에 의거할 때 3차 하천으로, 대아저수지 수문 하류에 위치해 있는 지점으로서 하류구간이 인공제방으로 이루어져 있으나 수변식생이 매우 발달해있어 주변 오염원으로부터 완충작용이 잘 이루어지고 있어 맑고 깨끗한 상태를 유지하고 있다. S2지점은 4차 하천으로 고산천이 합류한 후에 위치한 수체로서, 하상이 주로 크고 작은 돌과 자갈로 이루어져 있으며 자연 하천의 형태가 잘 보존되어 있는 지점이다. 하천 수변부와 하천 내중도에 자연식생이 잘 발달되어 있으며, 상·하류 구간 모두 여울부가 잘 발달되어 있다. S3지점은 5차 하천으로 전주시의 생활하수 및 공단폐수로 인한 수질 악화된 전주천이 합류되기 전에 위치한 수체로서, 하폭이 넓고 하상이 주로 자갈과 모래로 이루어져 있으며, 인근에 전미평야가 위치하고 있어, 제내지의 농경지가 오염원으로 작용할 것으로 사료되는 지점이다. S4지점은 5차 하천으로 전주천이 합류한

후에 위치한 지점이다. 하상이 주로 자갈과 모래로 이루어져 있으며, 하도 내 하중도가 잘 발달되어 있다. 전주천의 유입으로 인한 수질악화가 예상되며, 특히 전주하수종말처리장 방류수로 인한 수질악화가 우려된다. S5지점은 조사지점 중 최하류에 해당하는 지점으로 5차 하천에 해당하며, 백구제수문 앞에 위치한 지점이다. 이 지점은 왕궁가축분뇨처리장의 방류수로 인해 수질이 악화된 익산천이 합류한 후에 위치해 있어 가축분뇨처리수 유입으로 인한 수질악화가 우려된다. 세부 조사지점은 다음과 같다.

- S1: 전라북도 완주군 동산면 대아리(가세기교)
- S2: 전라북도 완주군 고산면 성내리(오성교)
- S3: 전라북도 전주시 덕진구 전미동 1가(하리교)
- S4: 전라북도 완주군 삼례읍(삼례교)
- S5: 전라북도 김제시 백구리(백구제수문앞)

## 2. 화학적 수질 자료 분석

만경강 본류 수계의 화학적 수질상태를 분석하기 위하여 2009년에서 2016년까지 측정된 환경부의 수질자료를 물환경정보시스템 (<http://water.nier.go.kr>)에서 획득하여 분석하였다. 현재 환경부에서 측정하고 있는 여러 일반 수질 항목 중 하천의 수질특성을 가장 잘 반영할 수 있는 6개 항목을 선정하여 분석에 이용하였다. 선정된 6개 항목은 생물화학적 산소요구량 (biochemical oxygen demand; BOD), 전기전도도 (conductivity), 총질소 (total nitrogen; TN), 총인 (total phosphorus; TP), 용존산소 (dissolved oxygen; DO), 암모니아성-질소 (ammonia nitrogen; NH<sub>4</sub>-N)로서 각각의 수질 값을 지점별로 변화양상을 분석하였다.

## 3. 어류 현장조사 방법

어류의 현장조사는 미국의 Wading method (Ohio EPA 1989)에 의거하여 한국에 맞게 개발한 An and Lee (2006)의 기법 (우리나라 환경부 조사기법은 이 기법에 기초함)에 의거하였다. 어류 채집의 정량화를 위하여 (Catch Per Unit of Effort; CPUE) 채집거리는 200 m, 조사 소요시간은 50분으로 한정하였고, 여울 (Riffle), 소 (Pool), 흐르는 곳 (Run)을 포함하여 조사를 실시하였다. 채집도구는 조사지점의 특징에 따라 투망 (망목: 5 × 5 mm)과 족대 (망목: 4 × 4 mm)를 이용하였다. 각 지점에서 채집된 어류는

현장에서 Kim and Park (2002)에 의거해 동정하였고 일부 현장에서의 분류가 어려운 경우 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실로 운반 후 동정을 수행하였다. 어류의 과(family)의 분류체계는 Nelson (1994)에 따라 분류하였으며, 비정상어종의 외형적 감별은 Sanders *et al.* (1999)의 방법에 따라 기형(Deformity; DE), 지느러미 손상(Erosion; EF), 피부손상(Lesions; LE) 및 종양(Tumors; TU) 등으로 구분하여 분석하였다.

#### 4. 어류 생태지표 특성 분석법

내성도 길드 분석은 US EPA (1993) 및 Barbour *et al.* (1999)에 기반을 두었으며, 이를 기반으로 한국의 어종에 맞게 길드를 분석한 An *et al.* (2001a, b)에 의거하여 민감종(Sensitive species; SS), 중간종(Intermediate species; IS), 내성종(Tolerant species; TS)으로 구분하였다. 민감종은 수질의 오염에 의해 쉽게 사라지는 어종으로 환경의 질적 변화에 민감하게 반응하는 어종이다. 그에 반해 내성종은 수질 오염에도 불구하고 종수 및 분포범위가 증가하는 종이며, 중간종은 민감종과 내성종 사이에 포함되지 않는 종으로 구분하였다.

섭식특성 길드 분석은 Ohio EPA (1989)의 기본 분류체계를 이용하였고, 이를 기반으로 한국의 어종에 맞게 섭식길드를 분석한 An *et al.* (2001a, b)에 의거하여 잡식종(Omnivores; O), 충식종(Insectivores; I), 육식종(Carnivores; C) 및 초식종(Herbivores; H)으로 구분하였다. 잡식종은 동·식물 모두를 지속적으로 섭취하며, 충식종은 주로 수서무척추곤충을 섭취한다. 육식종은 어류 및 다른 척추동물을 섭취하며, 초식종은 주로 수체 내 플랑크톤과 부착조류를 섭취하는 종이다. 식성의 분류는 다양한 먹이원이 동시에 존재할 때 1차적으로 이용하는 자원에 근거하여 분류하였다.

#### 5. 어류의 다변수 모델을 이용한 생태건강도 평가

본 연구에서는 Karr and 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 의거하여 하천 생태건강도를 평가하였다. 본 연구에서 이용한 메트릭의 속성 및 모델의 세부적 특성은 ME (2016a)에 자세히 기술되어 있다. 모델 분석에 이용된 메트릭은 M1 국내

종의 총 종수(Total number of native fish species), M2 여울성 저서종수(Number of riffle benthic species), M3 민감종수(Number of sensitive species), M4 내성종의 개체수 비율(Proportion of individuals as tolerant species), M5 잡식종의 개체수 비율(Proportion of individuals as omnivores), M6 충식종의 개체수 비율(Proportion of individuals as native insectivores) M7 채집된 국내종의 총 개체수(Total number of individuals) M8 비정상종의 개체수 비율(Proportion of individuals with disease, tumors, fin damage and other anomalies)의 총 8개이다. 계급구간은 “12.5”, “6.25”, “0”으로 구분하였으며, 이에 대한 최대 점수는  $8 \times 12.5 = 100$ 점으로 산정하였다. 생태건강도 등급은 매우 좋음(A, 100~80), 좋음(B, 80~60), 보통(C, 60~40), 나쁨(D, 40~20), 매우 나쁨(E, 20~0)의 5개 등급으로 대별하여 평가하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 화학적 수질특성

만경강 분류 구역에서의 지난 8년간 수질 자료를 분석한 결과, 생물화학적 산소요구량(BOD), 전기전도도(Conductivity), 총질소(TN), 총인(TP), 암모니아성 질소(NH<sub>4</sub>-N) 모두 상류에서 하류로 갈수록 뚜렷하게 악화되는 경향을 보였다. 특히, 전기전도도와 총인, 그리고 암모니아성 질소의 값은 하류역(S4, S5)에서 급격하게 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2). 각 지점별 평균 생물화학적 산소요구량(BOD)은 S1에서 0.9 mg L<sup>-1</sup>, S2에서 0.8 mg L<sup>-1</sup>, S3에서 1.9 mg L<sup>-1</sup>, S4에서 3.8 mg L<sup>-1</sup>, S5가 5.9 mg L<sup>-1</sup>으로 나타나, 환경정책기본법 하천생활환경 기준상 S1과 S2지점은 Ia등급(매우 좋음), S3지점은 Ib등급(좋음), S4지점은 III등급(보통), S5지점은 IV 등급(약간나쁨)상태에 해당하는 것으로 나타나 수질 구배현상이 지점별로 뚜렷하게 나타났다. 즉, S1~S3지점까지는 맑고 깨끗한 수질상태를 유지하고 있는 반면, S4~S5지점으로 갈수록 수질이 저하되고 있는 것으로 나타났다. 이는 각각 S4와 S5지점이 전주천과 익산천 합류 후에 위치한 지점으로, 전주천에서 유입되는 전주시의 공단폐수 및 하수종말처리장 방류수와 익산천에서 유입되는 가축분뇨처리장방류수의 영향으로 인해 수질이 급격하게 악화된 것으로 사료된다(Oh *et*

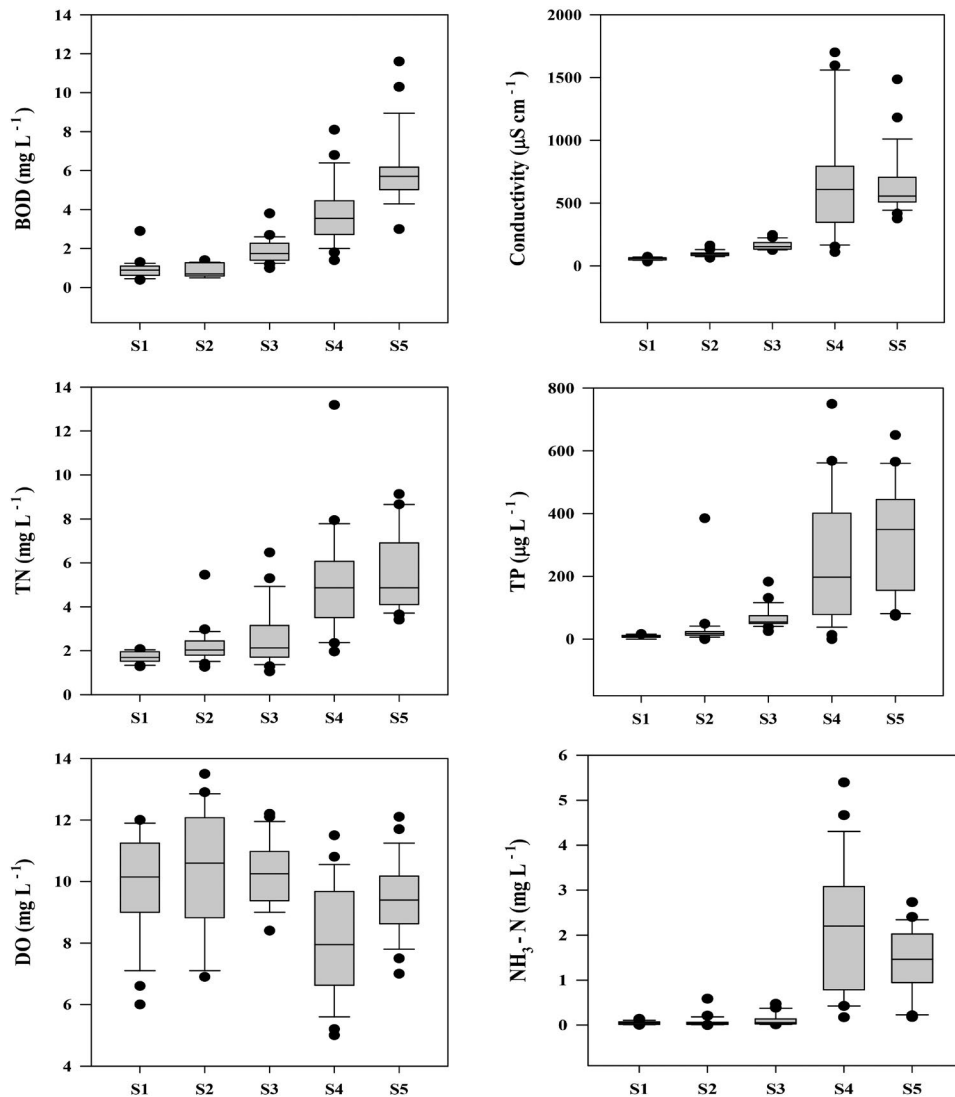


Fig. 2. Spatial variations of water parameters, based on biological oxygen demand (BOD), conductivity, total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), dissolved oxygen (DO) and ammonia nitrogen (NH<sub>4</sub>-N) in the sampling sites.

al. 2004; Kim 2016; Kim *et al.* 2017).

## 2. 어류의 종 조성 및 분포특성

어류 종 조성 분석은 2009~2016년의 8년간 분석되었고, 이 기간 동안 채집된 어류는 총 14개과 50종 총 3,200 개체로서, 잉어과(Cyprinidae)가 30종 60%로 가장 많이 채집되었고, 미꾸리과(Cobitidae)가 3종, 검정우럭과(Centrarchidae), 동사리과(Odontobutidae), 동자개과(Bagridae), 메기과(Siluridae), 통가리과(Amblycipitidae)

가 각각 2종, 망둑어과(Gobiidae), 송어과(Mugilidae), 꺾지과(Centropomidae), 연어과(Salmonidae), 뱀장어과(Anguillidae), 송사리과(Adrianichthyidae), 드렁허리과(Flutidae)가 각각 1종이 나타났다(Table 1). 일반적으로 하천 주변부에 점오염원이나 비점오염원과 같은 인위적 교란이 없으면, 하천차수가 증가할수록 어종 수와 개체수가 증가하는 경향이 나타나는데(An *et al.* 2001b), 본 조사 지점의 경우, 하천차수가 증가할수록 어종 수와 개체수가 감소하는 경향을 보여 점오염원 및 비점오염원에 의한 영향을 많이 받는 것으로 사료된다. 특히 전주천 합류 후에

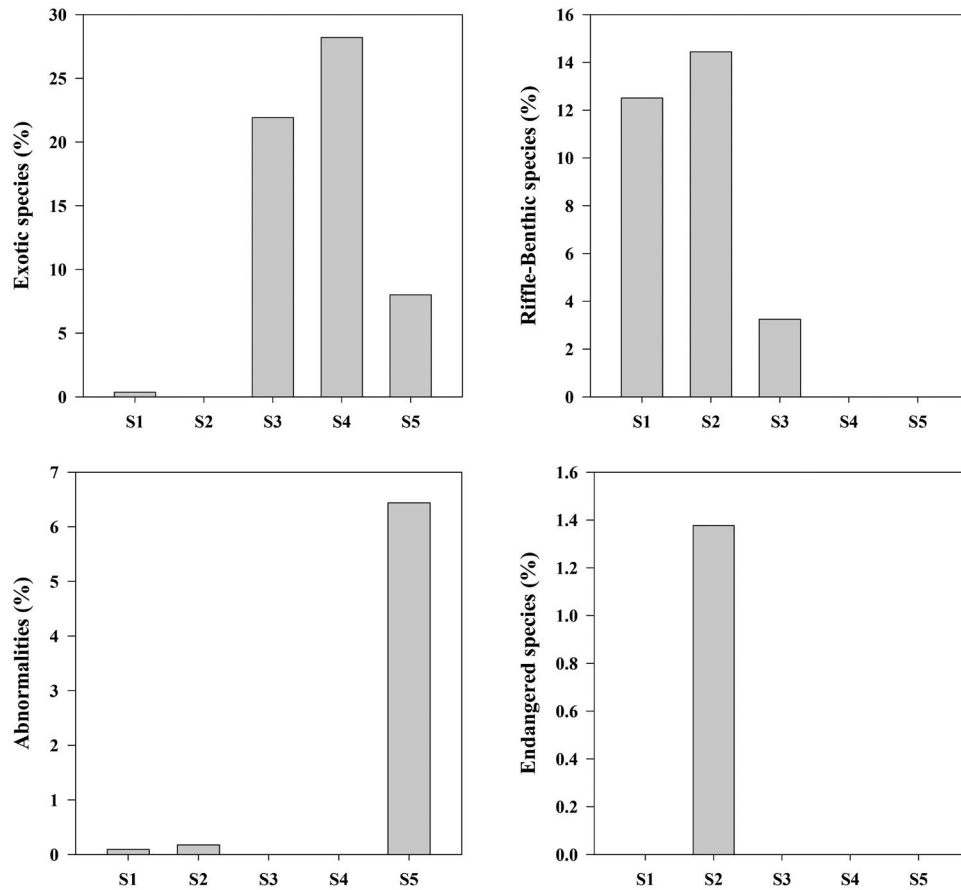


Fig. 3. Relative abundance of exotic species, riffle-benthic species, abnormalities and endangered species in the sampling sites.

위치한 S4지점에서 가장 적은 종과 개체수가 채집되어 공단폐수 및 하수처리장방류수와 같은 점 오염원에 의해 수질악화 및 수생태계 교란이 심화된 것으로 사료된다.

각 조사 지점별 외래종 (Exotic species), 여울성저서종 (Riffle-Benthic species), 비정상종 (Abnormalities) 및 멸종위기종 (Endangered species)의 상대빈도를 분석한 결과에 따르면, 상류에서 하류로 갈수록 비정상어종의 비율이 증가하고 여울성저서종의 비율이 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타났다 (Fig. 3). S1과 S2지점은 외래종 및 비정상어종의 상대빈도가 아주 낮게 나타나고 여울성저서종의 상대빈도가 높게 나타나 수생태계 교란이 아주 적은 안정된 수생태계에 해당하는 것으로 사료된다. 특히 S2지점의 경우, 외래종의 서식이 확인되지 않고 (Table 1), 여울성저서종의 상대빈도가 조사 지점 중 가장 높게 나타나 수생태계 건강성이 아주 우수한 것으로 사료된다. 뿐만 아니라, 멸종위기종에 해당하는 통사리 (*Liobagrus obesus*) 및 감돌고

기 (*Pseudopungtungia nigra*)의 서식이 확인되어, 향후 이들의 보존을 위한 대책이 필요할 것으로 사료된다. 반면, S4 지점은 외래종의 상대빈도가 조사 지점 중 가장 높게 나타나 외래종에 인한 수생태계 교란이 아주 심한 것으로 사료되며, S5지점은 외래종의 상대빈도는 낮지만 조사지점 중 비정상어종의 상대빈도가 가장 높게 나타나 수생태계 교란이 아주 심각한 것으로 나타났다. 암모니아성 질소 농도는 pH가 과도하게 높을 때 (특히, 녹조의 과도한 번성 시기) 강한 어독성을 나타내기 때문에, 수층 내에 암모니아성 질소의 농도가 높아지게 되면 어류는 지느러미와 아가미가 손상될 수 있고, 병원균에 대한 저항성이 감소하게 되어 집단폐사의 가능성을 가진 것으로 알려져 있다 (ME 2016b). 또한 S5지점은 2011년에 어류의 집단폐사가 나타났는데, 이는 가축분뇨 처리수의 유입에 의한 것으로 사료되므로 향후 축산폐수의 유입 방지를 위한 방안 마련이 필요할 것으로 사료된다.

**Table 1.** Fish tolerance guilds, trophic guilds, and habitat guilds in Mangyeong River.

Species	Fish guilds			Sampling sites					TNI	RA (%)
	Tol.G	Tro.G	Hab.G	S1	S2	S3	S4	S5		
<i>Zacco platypus</i>	TS	O	-	183	362	126	62		733	22.9
<i>Zacco koreanus</i> *	SS	I	-	343	326				669	20.9
<i>Zacco temminckii</i>	SS	I	-		178				178	5.6
<i>Pungtungia herzi</i>	IS	I	-	46	99	15	5	1	166	5.2
<i>Acheilognathus yamatsutae</i> *	IS	O	-	4	102				106	3.3
<i>Squalidus dankaensis tsuchigae</i> *	IS	O	-			51	51	1	103	3.2
<i>Carassius auratus</i>	TS	O	-			2	27	69	98	3.1
<i>Coreoleuciscus splendidus</i> *	SS	I	RB	14	80				94	2.9
<i>Pseudogobio esocinus</i>	IS	I	-	4	15	37	20	17	93	2.9
<i>Iksookimia koreensis</i> *	IS	I	RB	41	32	4			77	2.4
<i>Micropterus salmoides</i> ‡	TS	C	-	4		14	28	23	69	2.2
<i>Rhinogobius brunneus</i>	IS	I	RB	47	12	6			65	2.0
<i>Lepomis macrochirus</i> ‡	TS	I	-			45	18	2	65	2.0
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	IS	O	-	27	31	4			62	1.9
<i>Hemibarbus labeo</i>	TS	I	-			1	19	42	62	1.9
<i>Hemiculter eigenmanni</i> *	TS	O	-				1	52	53	1.7
<i>Erythroculter erythropterus</i>	TS	C	-				1	47	48	1.5
<i>Mugil cephalus</i>	TS	H	-					47	47	1.5
<i>Odontobutis platycephala</i> *	SS	C	-	8	34				42	1.3
<i>Squaliobarbus curriculus</i>	IS	O	-				1	40	41	1.3
<i>Squalidus japonicus coreanus</i> *	TS	O	-					41	41	1.3
<i>Squalidus gracilis majimae</i> *	SS	I	-		34				34	1.1
<i>Pseudobagrus koreanus</i> *	SS	I	RB	8	20				28	0.9
<i>Microphysogobio yaluensis</i> *	IS	O	RB		25				25	0.8
<i>Cobitis lutheri</i>	IS	I	-	13	1	5			19	0.6
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	TS	C	-	1	2	6	7	3	19	0.6
<i>Cyprinus carpio</i>	TS	O	-				1	16	17	0.5
<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i> *	IS	I	-		5	5	6		16	0.5
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	SS	I	-	14					14	0.4
<i>Coreoperca herzi</i> *	SS	C	-	1	12	1			14	0.4
<i>Liobagrus obesus</i> *†	SS	I	RB		13				13	0.4
<i>Liobagrus mediadiposalis</i> *	SS	I	RB	9	3				12	0.4
<i>Sarcocheilichthys variegata wakiyae</i> *	SS	I	-		11				11	0.3
<i>Odontobutis interrupta</i> *	IS	C	-			11			11	0.3
<i>Microphysogobio jeoni</i> *	IS	I	-					8	8	0.3
<i>Pseudopungtungia nigra</i> *†	SS	I	-		7				7	0.2
<i>Hemibarbus longirostris</i>	IS	I	-	1		5			6	0.2
<i>Oncorhynchus masou masou</i>	SS	C	-	5					5	0.2
<i>Anguilla japonica</i>	IS	C	-					4	4	0.1
<i>Rhodeus uyekii</i> *	IS	O	-	1	3				4	0.1
<i>Pseudorasbora parva</i>	TS	O	-	2			2		4	0.1
<i>Rhodeus notatus</i>	IS	O	-	3					3	0.1
<i>Carassius cuvieri</i> ‡	TS	O	-					3	3	0.1
<i>Abbottina springeri</i> *	TS	O	-			3			3	0.1
<i>Oryzias latipes</i>	TS	O	-				2		2	0.1
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	TS	I	-	1				1	2	0.1
<i>Silurus microdorsalis</i> *	SS	C	RB		1				1	0.0
<i>Silurus asotus</i>	TS	C	-			1			1	0.0
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	TS	O	-			1			1	0.0
<i>Monopterus albus</i>	TS	C	-			1			1	0.0
Total number of species				23	24	21	16	18		50
Total number of individualals				780	1408	344	251	417		3200

Tol.G = Tolerance guild, Tro.G = Trophic guild, Hab.G = Habitat guild, SS = Sensitive species, IS = Intermediate species, TS = Tolerant species, O = omnivores, I = Insectivores, C = Carnivores, RB = Riffle-benthic species, \*: Endemic species, †: Endangered species, ‡: Exotic species, TNI: Total number of individuals, RA: Relative abundance.



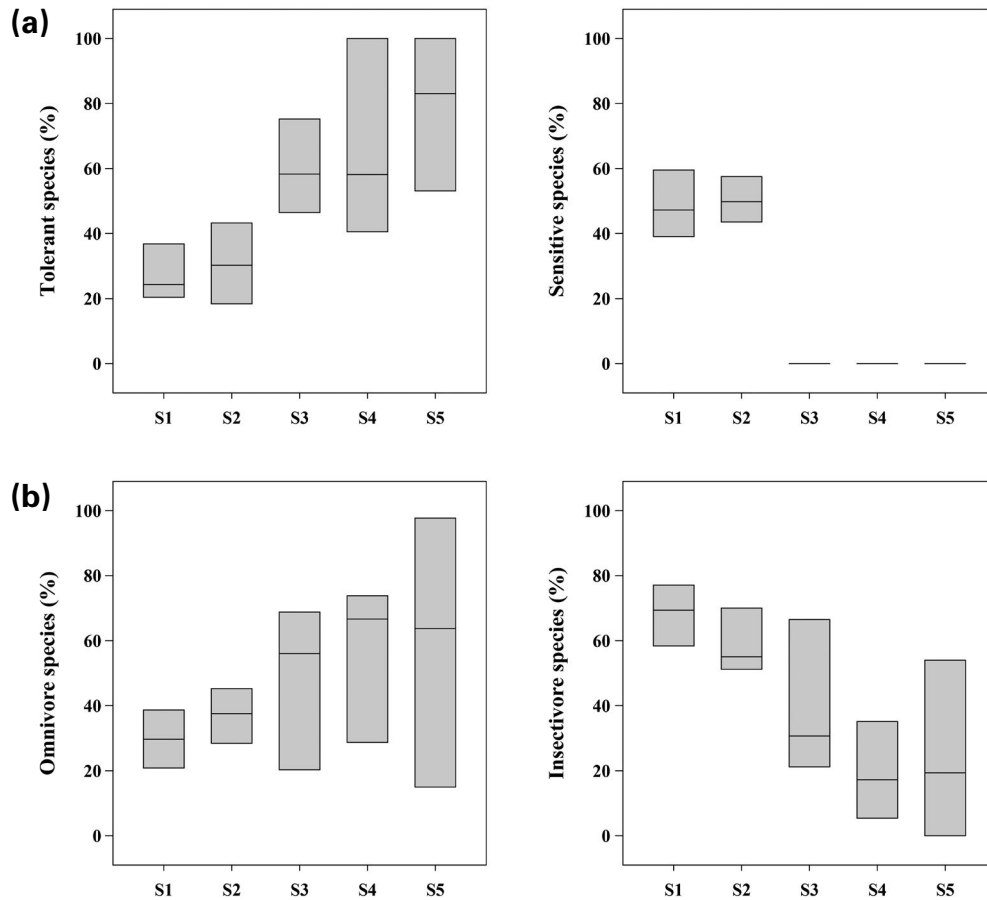


Fig. 4. Relative abundance of tolerant guilds (a) and trophic guilds (b) in the sampling sites.

### 3. 어류의 오염 내성도 및 트로픽 길드 분석

일반적으로 하천에서 유기물 오염 및 서식지 파괴 등에 의해 서식지의 질이 하강하게 되면 민감종의 종 수 및 개체수는 감소하고 내성종의 종 수 및 개체수는 증가하게 된다(Karr 1981; US EPA 1991). 각 지점별 내성종(Tolerant species)과 민감종(Sensitive species)의 상대빈도 분석 결과, 상류에서 하류로 갈수록 내성종이 증가하고, 민감종이 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타났다(Fig. 4) 특히, S3지점부터 내성종의 상대빈도가 급증하는 동시에 민감종이 거의 채집되지 않았을 뿐 아니라, S4와 S5지점에서는 민감종이 단 한 종도 채집되지 않았다. 이러한 경향은 S4~S5지점으로 갈수록 수질이 저하되고 있는 것으로 분석된 이·화학적 수질 결과와 일치하므로, 공단폐수 및 하수처리수와 가축분뇨처리수로 인한 수질 악화로 인하여 S4와 S5지점에서 내성종이 급증하고 민감종이 채집되지 않은 것으로 사료된다.

또한, 각 지점별 잡식어종(Omnivore species)과 충식어종(Insectivore species)의 상대빈도 분석 결과, 상류에서 하류로 갈수록 잡식종의 비율이 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타났으며, 충식종의 경우는 하류로 갈수록 감소하는 경향이 나타났다(Fig. 4). 하천의 자연성 및 서식환경이 악화되면 충식종의 상대비율이 감소하기 때문에 충식종의 상대비율을 이용해 하천의 서식환경 정도를 간접적으로 파악할 수 있다(Moon *et al.* 2010). 조사 결과, S4지점에서의 충식종의 상대빈도가 가장 낮게 나타나 S4지점에서 하천의 자연성 및 서식환경에의 교란이 가장 심한 것으로 사료된다.

### 4. 화학적 수질에 따른 어류분포 특성 분석

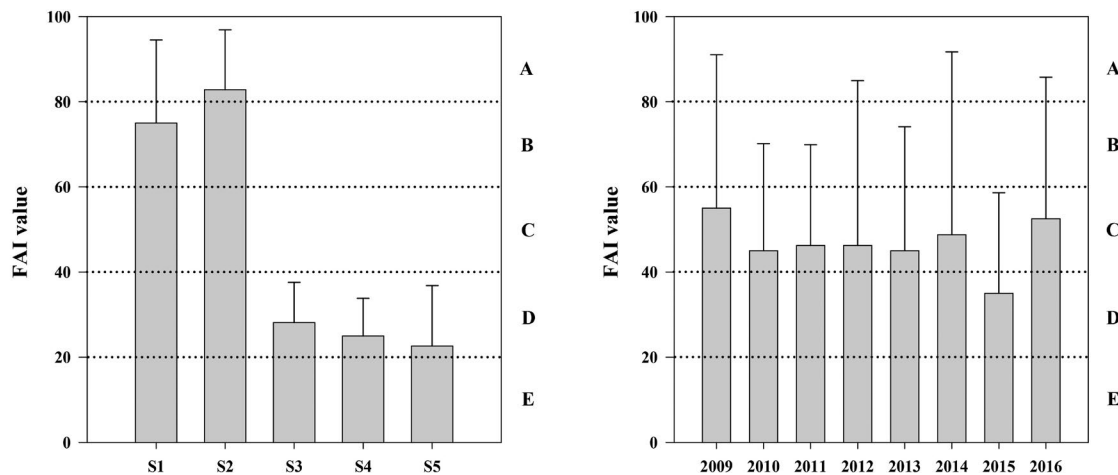
이·화학적 수질의 변화는 어류의 분포에 영향을 주는데, 일반적으로 수질이 악화될수록 내성종과 잡식종의 비율이 증가하고, 민감종과 충식종의 비율이 감소하게 된다. 이·화학적 수질변수와 내성·잡식길드 간의 Pearson 상



**Table 2.** Pearson's correlation coefficients (*r*) and its probability (*p*, *n* = 120) of water quality parameters to the fish tolerant guilds and trophic guilds.

		Tolerant fish species	Sensitive fish species	Omnivore fish species	Insectivore fish species
BOD	<i>r</i>	.623**	-.634**	.361*	-.572**
	<i>p</i>	<0.001	<0.001	0.022	<0.001
Conductivity	<i>r</i>	.614**	-.619**	.317*	-.619**
	<i>p</i>	<0.001	<0.001	0.046	<0.001
TN	<i>r</i>	.424**	-.483**	0.207	-0.309
	<i>p</i>	0.006	0.002	0.199	0.052
TP	<i>r</i>	.448**	-.463**	0.228	-.445**
	<i>p</i>	0.004	0.003	0.157	0.004
DO	<i>r</i>	-0.222	0.021	0.208	-0.028
	<i>p</i>	0.168	0.897	0.198	0.863
NH <sub>4</sub> -N	<i>r</i>	.390*	-.529**	.405**	-.567**
	<i>p</i>	0.013	<0.001	0.010	<0.001

\*significant at the 0.05 level, \*\*significant at the 0.01 level.



**Fig. 5.** Longitudinal (S1-S5) and inter-annual variation (2009-2016) of ecological health, based on the Fish Assessment Index (FAI) values in Mankyong River.

관도 분석에 따르면, 전기전도도 및 NH<sub>4</sub>-N은 내성종 및 잡식종의 상대빈도와 통계적으로 유의한 양의 상관관계 ( $r > 0.30, p < 0.05$ ) 나타낸 반면, 민감종 및 충식종의 상대빈도와는 통계적으로 유의한 음의 상관관계 ( $r < -0.30, p < 0.01$ )를 나타냈다 (Table 2). 이에 따라 유기물 및 암모니아성 질소에 의한 수질악화에 의해 환경강 하류구역에서 민감종 및 충식종의 비율이 감소한 것으로 사료된다. 특히 암모니아성 질소의 경우, 주로 가축분뇨 및 하수처리 폐수에 의해 유입되므로, 향후 전주천 및 익산천에서 유입되는 하수처리수 및 가축분뇨처리수 관리 대책이 필요할

것으로 사료된다. 하천의 부영양화 정도를 파악할 수 있는 TN과 TP 역시 내성종의 상대빈도와는 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 나타낸 반면, 민감종의 상대빈도와는 음의 상관관계를 나타냈다. 특히, TP의 경우 TN과 달리 충식종의 상대빈도와 통계적으로 유의한 뚜렷한 음의 상관관계를 나타냈다.

### 5. 어류 다변수 모델을 이용한 생태건강도 평가

어류 다변수 모델을 이용하여 환경강 본류의 생태건강

도를 평가한 결과, 어류평가지수(FAI)는 평균 47( $n=40$ )로 “보통상태(C)”에 해당하는 것으로 나타났다(Fig. 5). 한편, 2015년의 FAI 점수는 35로 “나쁨상태(D)”에 해당하는 것으로 나타나 본 연구기간 중 최저치를 나타냈다. 각 지점별 FAI 값을 비교한 결과, S1과 S2지점이 각각 “좋음상태(B)”, “매우좋음상태(A)”에 해당하는 것으로 나타나 생태건강도가 우수한 것으로 나타났다. 반면, S3지점부터는 FAI값이 급격히 낮아져 S3, S4 및 S5지점 모두 “나쁨상태(D)”에 해당하는 것으로 나타나 생태건강도가 심각하게 악화된 것으로 나타났다. 이는 S3~S4지점 사이에 유입되는 전주천과 S4~S5지점 사이에서 유입되는 익산천에 의한 수질악화 및 유기물 축적에 의한 하상 단순화 등의 서식지파괴에 의해 생태건강도가 악화된 것으로 사료된다.

## 적 요

본 연구에서는 만경강 본류에서 2009~2016년 동안 어류의 트로픽 길드, 오염도, 내성도 및 어류평가지수(Fish Assessment Index; FAI)에 기반을 둔 다변수 생태건강도에 대한 화학적 수질 영향을 분석하였다. 수질 지표로서 전기전도도, 총인(TP) 및 암모니아성 질소( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) 농도는 최하류지점에서 가장 악화되는 것으로 나타났다. 어류 현장 조사 결과, 8년간 만경강 본류에서는 총 14과 50종이 채집되었으며, 우점종은 내성종으로 잘 알려진 피라미(*Zacco platypus*)로서 22.9%를 차지하여 트로픽 특성의 악화현상을 보였고, 최류역에서는 비정상어종의 상대빈도가 가장 높게 나타나 생태교란이 아주 심각한 것으로 나타났다. Pearson 상관도 분석에 따르면, 내성어종 및 잡식어종의 상대빈도는 전기전도도, BOD 및  $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 통계적으로 유의한 상관관계( $r > 0.30, p < 0.05$ )를 보였고, 민감어종 및 충식어종의 상대빈도는 이들 변수들과 유의한 역상관계( $r < -0.3, p < 0.01$ )를 보였다. 어류 다변수 모델(FAI)을 이용한 생태건강도로서 평가된 FAI 모델 값은 평균 47( $n=40$ )로서 건강도는 “보통상태(C)”로서 나타났고, 하류역(S3~S5) 지역에서 모델값은 모두 “나쁨상태(D)”로 나타나 수질악화에 의한 영향으로 평가되었다.

## 사 사

본 연구 결과물은 2018 CNU 학술연구비에 의해 수행됨.

## REFERENCES

- An KG and EH Lee. 2006. Ecological health assessments of Yoogu Stream using a fish community metric model. Korean J. Limnol. 39:310-319.
- An KG, SH Jung and SS Choi. 2001a. An evaluation on health conditions of Pyong-Chang River using the Index of Biological Integrity (IBI) and Qualitative Habitat Evaluation Index. Korean J. Limnol. 34:153-165.
- An KG, DH Yeom and SK Lee. 2001b. Rapid bioassessments of Kap Stream using the Index of Biological Integrity. Korean J. Environ. Biol. 19:261-269.
- Bae DY and KG An. 2006. Stream ecosystem assessments, based on a biological multimetric parameter model and water chemistry analysis. Korean J. Limnol. 39:198-208.
- Barbour MT, J Gerritsen, BD Snyder and JB Stribling. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish. United States Environmental Protection Agency, Washington.
- Cho WH. 2003. A study on the water quality of agricultural effluent and pollution loadings in the Mankyung River basin. J. Korean Soc. Environ. Technol. 4:141-149.
- Hwang SW. 2006. Occurrence patterns and habitat use of fishes in the Geum River and the Mangyeong River estuaries. Ph.D. dissertation, Chungnam National University, Daejeon, Korea. pp. 1-144.
- Jeon YL. 2010. Biological evaluation of water quality of tributary stream to main course of Mankyong River based on community analysis of benthic macroinvertebrates. MD. dissertation, Wonkwang University, Iksan. pp. 1-85.
- Jones JPG, FB Andriahajaina and NJ Hockley. 2005. A multidisciplinary approach to assessing the sustainability of freshwater crayfish harvesting in Madagascar. Conserv. Biol. 19:1863-1871.
- Karr JR and DR Dudley. 1981. Ecological perspectives on water quality goals. Environ. Manage. 5:55-68.
- Karr JR. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries 6:21-27.
- Kim BM and CL Lee. 1998. A study on the fish community from the Mangyong River system. Korean J. Limnol. 31:191-203.
- Kim IS and JY Park. 2002. Freshwater Fishes of Korea. Kyohaksa Publishing Co., Seoul. pp. 30-428.
- Kim SA. 2016. Characteristics of physico-chemical water quality characteristics in Mankyung river watershed and stream ecosystem health assessments by a multimetric fish model and community analysis. MD. dissertation. Chungnam National University, Daejeon. pp. 1-28.
- Kim SH, HT Cheon and KH Cho. 2015. Fish community struc-

- ture of the former channel isolated by channelization in the Mangyeong River, Korea: Implications for connectivity restoration. *Ecol. Resil. Infrastruct.* 2:22-32.
- Kim SJ, GS Jeon, YT Jeon and CH Won. 2013. A study of GIS utilization for nonpoint source pollution management around Man-Gyoung Watershed. *J. Korean Soc. Environ. Technol.* 14:285-292.
- Kim SM, YR Yu and YK Park. 2017. Estimation of non-point source load by agricultural drainage system in Mankyung River basin. *J. Korean Soc. Environ. Technol.* 18:391-400.
- Lee DJ. 2006. Fundamental investigation for long-term ecological monitoring on community of benthic macroinvertebrates in Wetland Woopo. MD. dissertation. Changwon University, Chanwon. pp. 1-51.
- Lee HW and SS Park. 2008. Long-term trend analyses of water qualities in Mangyung Watershed. *J. Korean Soc. Water Qual.* 24:480-487.
- Lee JS, GB Jung, JH Kim, SG Yun, WI Kim and JD Shin. 2004. Evaluation of water quality with BOD at Mankyeong and Dongjin River basins. *Korean J. Environ. Agric.* 23:81-84.
- Lee KB, JC Kim, JG Kim, DB Lee, CW Park and JD Kim. 2005. Assessment of pollutant loads for water enhancement in the Mankyeong River. *Korean J. Environ. Agric.* 24:83-90.
- Lee SJ, HS Park and KG An. 2017. Preliminary environmental impact assessments on fish compositions and the ecological health of Jeokbyeok River on the road construction of Muju-Geumsan Region. *J. Environ. Impact Assess.* 26:27-43.
- Lee WO, KH Kim, JH Kim and KE Hong. 2008. Study of freshwater fish fauna and distribution of introduced species of Mankyeong River, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 20:198-209.
- ME. 2016a. Biomonitoring Survey and Assessment Manual. Ministry of Environment, Korea. pp. 67-80.
- ME. 2016b. Study on the freshwater fish kill at municipal stream. Watershed Ecology Research Team, Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research, Ministry of Environment, Korea. pp. 1-24.
- Moon WK, JH Han and KG An. 2010. Fish fauna and community analysis in Heuck Stream watershed. *Korean J. Limnol.* 43:69-81.
- Nelson JS. 1994. *Fishes of the World* (3rd ed.). John Wiley & Sons, New York. p. 600.
- Oh YC, ND Lee and JG Kim. 2004. The evaluation of water quality in the Mankyung River using multivariate analysis. *J. Environ. Sci.* 13:233-244.
- Ohio EPA. 1989. Biological criteria for the protection of aquatic life. Vol. III, Standardized biological field sampling and laboratory method for assessing fish and macroinvertebrate communities. Ohio Environmental Protection Agency, Columbus. pp. 1-66.
- Park HM, EH Lee and KG An. 2009. Analysis of fish guild compositions and total mercury contents of fish tissues in analysis in Mangyeong River. *Korean J. Limnol.* 42:172-182.
- Ryu BS and CY Lee. 2013. Prediction of water quality at the inlet of Saemangeum Bay by using non-point sources runoff simulation in the Mankyeong River watershed. *J. Korean Soc. Water Wastewater* 27:761-770.
- Sanders RE, RJ Milter, CO Yondr and ET Rankin. 1999. The use of external deformities, erosion, lesions, and tumors in fish assemblages for characterizing aquatic resources: a case study of seven Ohio streams. pp. 225-245. In *Assessing the Sustainability and Biological Integrity of Water Resources using Fish Communities*, Simon TP (ed.). CRC Press.
- Shin HS. 2009. Assessment of water quality in the Mangyeong-River watershed using livestock discharge load reduction. MD. dissertation. Jeonbuk National University, Jeonju. pp. 1-70.
- Spellerberg IF. 1991. *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press. pp. 334.
- Strahler AN. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. Am. Geophys. Union* 38:913-920.
- US EPA. 1991. Technical support document for water quality-based toxic control. EPA 505-2-90-001. Office of water, United States Environmental Protection Agency, Washington D.C. pp. 1-145.
- US EPA. 1993. Fish field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. EPA 600-R-92-111. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. pp. 1-368.
- Yeom DH, KG An, YP Hong and SK Lee. 2000. Assessment of an Index of Biological Integrity (IBI) using fish assemblages in Keum-Ho River, Korea. *Korean J. Environ Biol.* 18:215-226.
- Yun SG, JS Lee, GB Jung, MK Kim, SJ Kim, MH Koh and KC Eom. 2002. Evaluation of water quality characteristics on tributaries of Mankyeong River watershed. *Korean J. Environ. Agric.* 21:237-242.