

Research Paper

제천시 농업용저수지의 어류상 및 생태건강성평가

한정호[†] · 김재환 · 이상보 · 백운기

국립중앙과학관 연구과

Freshwater Fish Fauna and Ecological Health Assessment of the Agricultural Reservoirs in Jecheon City, Korea

Jeong-Ho Han · Jae Hwan Kim · Sang-Bo Lee · Woon-Kee Paek

Research Division, National Science Museum

요약 : 2017년 5월부터 9월까지 제천시에 위치한 2개의 저수지인 의림지(Ur)와 솔방죽(Sr)을 대상으로 어류상 조사 및 호수생태건강성평가를 실시하였다. 조사기간 동안 채집된 어류는 7과 16속 21종이 출현하였다. 그 중 잉어과 어류가 11종(52.4%), 318개체(46.2%)가 출현하여 우점하는 것으로 나타났고, 검정우럭과(2종, 264개체, 38.4%)가 아우점하는 것으로 나타났다. 전체 출현종 중 참몰개(RA 22.7%, 156개체)가 우점종으로 나타났으며, 아우점종은 파랑볼우럭(19.5%, 134개체), 큰입배스(18.9%, 130개체)로 외래종이 차지하는 것으로 나타났다. 화학적산소요구량(COD), 총인(TP)과 엽록소-a(CHL)를 이용한 부영양화지수(TSI_{KO}) 분석결과, 두 저수지는 중영양상태를 보이는 것으로 분석되었다. 두 저수지의 수환경영향평가를 위해 LEHA(Lentic Ecosystem Health Assessment) 다변수 모델을 적용하였고, 생태 건강도 모델 값을 산정하였다. 생태건강성평가 결과, 내성종이 각각 56.8%(Ur), 98.3%(Sr)로 나타났으며, 잡식종이 43.9%(Ur), 65.6%(Sr)로 나타나 섭식구조의 단순화로 인하여 내성종과 잡식종의 우점현상을 보였으며, 특히 큰입배스의 상대풍부도가 16.3%(Ur), 31.1%(Sr)로 나타나 생태계가 교란되어 생태건강성이 크게 약화된 것으로 나타났다. 상기 LEHA 다변수 모델을 이용한 의림지(Ur)와 솔방죽(Sr)의 생태건강성 지수 값은 각각 22(의림지), 12(솔방죽)으로서 환경부(2014)의 등급에 의거하였을 때 “악화상태(의림지)”, “최악상태(솔방죽)”인 것으로 평가되었다.

주요어 : 의림지, 솔방죽, 호수생태건강성평가모델, 부영양화지수

Abstract : Fish fauna and lentic ecosystem health assessment in freshwater were analyzed in the two reservoirs (Uirim Reservoir (Ur) and Solbangjuk Reservoir (Sr)) of the Jecheon City during May-September 2017. Total numbers of the species and genus (7 family) sampled were 21 and 16,

Fist Author: Jeong-Ho Han, Research Division, National Science Museum, Daejeon 34143, KOREA, Tel: +82-42-601-7755, E-mail: yhorisa@hanmail.net

Corresponding Author: Woon-Kee Paek, Research Division, National Science Museum, Daejeon 34143, KOREA, Tel: +82-42-601-7961, E-mail: paekwk@naver.com

Co-Authors: Jae Hwan Kim, Research Division, National Science Museum, Daejeon 34143, KOREA, E-mail: kjh88@nsm.kr
Sang-Bo Lee, Research Division, National Science Museum, Daejeon 34143, KOREA, E-mail: leesb@nsm.kr

Received: 13 February, 2018. Revised: 10 April, 2018. Accepted: 5 June, 2018.

respectively. Cyprinidae was most dominant taxa, which accounted for 11 species (52.4%) of the total species, and the relative abundance, based on the number of individuals, was 318 individuals (46.2%). Subdominant families were taxa of Centrachidae (2 species; 264 ind. (38.4%). The dominant species, based on the relative abundance, were *Squalidus chankaensis tsuchigae* (22.7%). Subdominant species were *Lepomis macrochirus* (19.5%, 134 ind.) and *Micropterus salmoides* (18.9%, 134 ind.). Trophic state index of Korea (TSI_{KO}), based on chemical oxygen demand (COD), total phosphorus (TP) and chlorophyll-a (CHL), ranged mesotrophic state. The purpose of this study was to apply a multi-metric model of Lentic Ecosystem Health Assessments (LEHA) for environmental impact assessments of two reservoirs and assessed the ecological health model values. Trophic composition's metrics showed that tolerant species (56.8%, 98.3%) and omnivore species (43.9%, 65.6%) dominated the fish fauna in the two reservoirs (Ur and Sr) of Jecheon City, indicating a biological degradation in the aquatic ecosystem. The relative proportions of *Micropterus salmoides*, also showed greater than 16.3% (Ur), 31.1% (Sr) of the total, indicating a ecological disturbance. The average value of LEHA model was 22 (Ur) and 12 (Sr) in the reservoirs, indicating a "poor condition (Ur)" and "very poor condition (Sr)" by the criteria of MOE (2014).

Keywords : Uirim Reservoir, Solbangjuk Reservoir, Lentic Ecosystem Health Assessment Model, Trophic State Index

I. 서론

저수지, 댐 등을 포함하여 우리나라에 존재하는 호소들은 19,036개가 존재하며 이 중, 다목적댐은 총 21개, 용수전용댐은 54개, 발전용댐은 12개, 하구둑 및 담수호는 12개, 홍수전용댐 2개, 다기능호는 16개가 있으며, 이외 중·소형 농업용저수지가 17,310개, 방조제가 1,609개 존재한다(MOLIT 2016). 현재 농업용으로 이용되는 저수지 중 농어촌공사에서 3,394개가 관리되고 있으며, 나머지 13,916개는 각 시군별 지방자치단체에서 관리되고 있다(KRCC 2016). 이러한 저수지들은 대부분의 용수공급을 목적으로 만들어진 인공호들로 1970년대 이후, 급속한 산업발달 및 도시화와 더불어, 과다한 농약 및 비료의 사용으로 인해 발생하는 영양염류 및 오염물질 유입으로 다양한 사회적 문제가 야기되고 있다. 그 중에서도 특히 농업용수 공급을 주목적으로 하는 저수지들은 그 특성상 소규모 축조되었으며, 전국적으로 분산되어 있다 보니 일부 주요 저수지를 제외하고는 대부분 지방자치단체 자체적으로 관리되고 있는 실정이다. 또한 농업용저수지 대부분이 농업용수 공급이라는 단일목적뿐만 아니라 이용되고 있어서 수질오염이나 생태계

교란현상이 다목적댐이나 용수댐에 비해 더 빈번히 발생되고 있다(Wilcock et al. 1999; Niyogi et al. 2003; Lee et al. 2007).

일반적으로 저수지의 수질상태를 평가하는 방법 중 인공호의 영양상태를 평가하는 부영양화지수(trophic state index, TSI)가 전 세계적으로 사용되고 있는데 이 부영양화지수(TSI)는 Carlson(1977)에 의하여 개발된 수질평가 방법으로, 투명도(secchi depth), 엽록소-a(chlorophyll-a), 총인(total phosphorus)을 이용한 방법, 총질소(total nitrogen)를 이용한 방법(Kratzer & Brezonik 1981) 등이 개발되어 세계 여러 인공호에서 나타나는 부영양도 평가에 널리 이용되고 있다(Yun et al. 2014). 그러나 인공호에서의 수생태계에 발생하는 다양한 문제점을 효율적으로 평가하기 위해서는 이·화학적 수질 척도 이외에도 생물학적 건강성 평가가 반드시 이루어져야 종합적인 평가를 할 수 있다. 최근 연구에 따르면, 수체의 영양상태(N, P)는 어류 종조성 및 생태적 길드에 영향을 주는 것으로 보고하고 있으며(An et al. 2013), 어류의 조성 및 생체량이 이·화학적 수질과 영양단계(trophic level)의 하위생물군에 의해 직·간접적으로 영향을 받는 것으로 보고하고 있다(Ryder et al. 1974; Ranta

& Lindström 1993; Drenner et al. 1996).

이에 전 세계적으로 하천과 같은 유수생태계에서 생물을 이용한 수환경 평가가 대두되고 있으며, 이 중 어류를 이용한 생물학적 수질평가법은 미국(US EPA 1998)을 비롯한 여러 나라(Oberdorff & Hughes 1992; Lyons et al. 1995; Harris 1995; Huguency et al. 1996; Didier et al. 1996; Koizumi & Matsumiya 1997)에서 수환경 평가 및 관리를 위하여 이미 국가적으로 도입하였으며, 이를 이용하여 각 나라별 하천 생태계 건강성평가를 실시하고 있다. 호수와 같은 정수생태계에서도 건강성평가에 대한 관심이 고조되면서 미국(Simon et al. 2000; Drake & Pereira 2002)을 비롯하여 오스트레일리아(Gassner et al. 2003), 프랑스(Belpaire et al. 2000), 멕시코(Lyons et al. 2000), 브라질(Pettesse et al. 2007) 등 여러 나라에서 다변수 메트릭 모델을 이용한 생태계 건강성 평가를 실시하고 있으며, 이와 관련된 많은 연구가 진행되었다. 그 중에서도 환경분야 선진국인 미국에서는 이미 1998년에 “정수 생태계 평가 기법(Lake and Reservoir Bioassessment and Biocriteria)”이라는 호수생태계 건강성 평가 기법을 앞서 개발하여(US EPA 1998), 국가적 차원에서 정수생태계 건강성 평가를 실시하여 관리하는 등 생태계 평가 및 관련 분야에서 견인차 역할을 하고 있다.

우리나라 환경부에서도 호수생태계의 건강성을 평가하기 위해 우리나라 인공호 특이성 및 생태적 여건을 고려한 “호수생태계 건강성 평가기법”을 개발하였으며(MOE 2014), 이를 활용한 국가적 차원의 인공호 평가 및 관리를 실시할 계획이다. 개발된 평가기법은 정수생태계에 서식하는 다양한 분류군을 이용한 평가모델로 구성되어 있는데, 본 연구에서는 어류를 이용한 호수생태건강성평가(Lentic Ecosystem Health Assessment, LEHA) 모델을 적용하여 연구대상지인 의림지와 솔방죽의 생태건강성평가를 실시하였다. 어류군집을 이용한 생태계 건강성평가의 장점은 어류 지표종 혹은 군집이 수환경의 물리적, 화학적 변화에 매우 민감하게 반응할 뿐만 아니라, 생물군집간의 물질순환 및 에너지 흐름을 직접적으로 반영하고 있으며(Karr 1981; Karr et al. 1986; Karr

& Dionne 1991), 조사 시 비용 절감효과(Ohio EPA 1987), 또한 수질 진단 및 오염된 수환경 복원 시 핵심기술로 이용된다는 점에서 생물학적 통합평가법으로 널리 인정 받아오고 있다.

연구대상지인 의림지와 솔방죽은 현존하는 농업용저수지들 중 삼한시대에 만들어진 최초의 농업용저수지(Kim 2013)라는 역사적으로 의미를 갖고 있으며, 국가지정문화재 명승 20호로 지정된 영호정이 위치한 저수지로서 문화적인 가치가 매우 높은 저수지임에도 불구하고 현재까지 저수지 내의 생물상 및 수질에 대한 연구는 매우 미미한 실정이다. 의림지와 솔방죽에 관련된 연구는 주로 저수지 관리를 위한 구조적인 문제와 수질 등에 관련된 연구가 주를 이루고 있으며, 특히 연구대상지인 의림지나 솔방죽에 서식하는 생물상에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다(Yoo & Park 2007; Kim et al. 2014). 그 중 의림지는 제천시에서 주력하는 관광자원 중 그 경제적 가치가 매우 높은 곳으로, 의림지 수변식생(Kang et al. 2009; Seo & Park 2011), 의림지 퇴적물(Kim et al. 2000)에 관한 연구는 있으나, 수생생물에 관련된 특히 어류에 관한 연구는 전무한 상황이다.

따라서 본 연구는 두 저수지의 어류상 및 수질변수를 이용한 부영양화 특성을 분석하고, 둘째, 호수생태 건강성평가(Lentic Ecosystem Health Assessment) 모델을 적용하여 2개의 농업용저수지 생태건강성 평가하고자 하였다. 마지막으로 도출된 결과를 바탕으로 제천시나 관련 기관들이 의림지와 솔방죽의 생태계를 효율적으로 관리하는데 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 대상저수지 개황

본 연구 대상지인 의림지는 삼국시대에 최초로 농업용수 공급을 목적으로 축조되었으며, 현재까지 유지되고 있는 농업용저수지로 충청북도 북동부에 위치한 제천시에 위치하고 있다. 의림지는 제천시 용두삼(871 m)에서 발원하는 계곡이 모여 만들어진 하소천이 흘러들어 만들어진 저수지로서 과거문헌에 의

하면 의림지 축조는 삼한시대인 5세기 후반기에 이루어졌다가, 조선 세종 이후 여러 차례 개축된 이래 일제 강점기인 1949년 다시 개축되었다고 보고되었다(KIGAM 2009). 이러한 역사적 가치 이외에 의림지 주위에 위치한 유서 깊은 누정인 영호정과, 아름다운 호수의 경치로 인해 2006년 12월 4일 국가지정문화재 명승 20호로 지정되어 관리되고 있어 저수지로서의 기능 이외에도 문화적인 가치가 매우 높은 저수지이다. 현재 의림지는 총 유역면적은 7.5 km², 만수면

적은 0.153 km², 수해면적 1.97 km² 규모이며, 과거 1949년부터 서류상 영호지라는 공식 명칭을 사용하였으나 2017년에 제천시가 유네스코 세계유산 등재를 위해 의림지라고 공식명칭이 변경되었다. 현재 제천시의 현대화 및 도시화로 인한 농지면적의 축소에도 불구하고 아직까지 의림지 하류부의 관개 농지의 25% 농경지에 농업용수를 공급해주고 있다.

한편, 솔방죽은 의림지 하부에 위치하고 있는 소규모 농업용 저수지로서 1872년 고종 9년경에 축조된

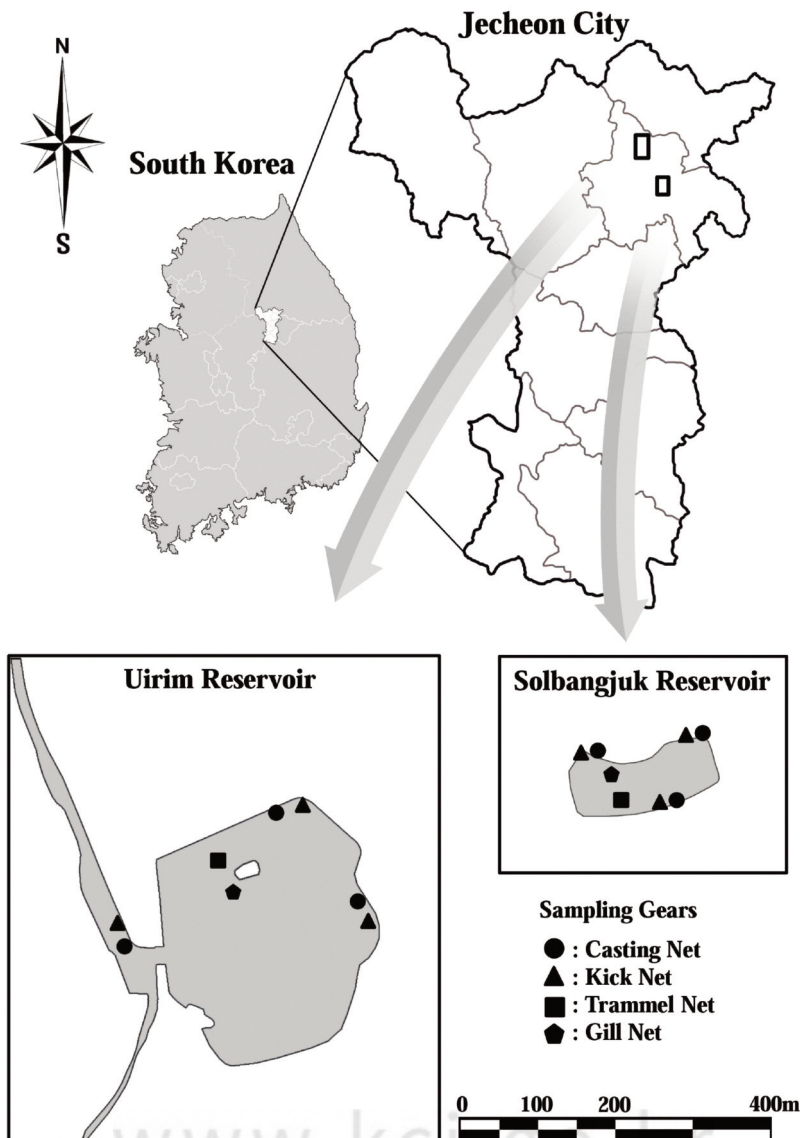


Figure 1. Map showing the sampling sites in two reservoirs (Uirim and Solbangjuk) of Jecheon City.

것으로 보고되었다(Kim et al. 2014). 솔방죽의 총 유역면적은 0.5 km², 만수면적은 28.1 m², 수혜면적은 0.09 km² 규모로 주변으로 논과 밭으로 둘러싸여 있으며, 약 200 m 반경에 주거지역이 밀집되어 있다. 솔방죽은 의림지에서 공급받은 물을 중간에서 저장하여 주변 농지로 공급하는 역할로 축조되었으나, 최근에 토지 및 관개수로가 정비되면서 의림지의 농업용수가 솔방죽을 경유하지 않고 주변 농경지로 용수를 직접 공급되고 있어 용수 유입이 단절되어 있다. 현재 솔방죽은 농업용수 저장과 공급 역할로서 장기간 사용되지 않아 저수지 내 퇴적물이 증가된 상태이며, 이로 인해 일부 구간을 제외한 대부분 지역이 수생식물로 덮여 있어 습지화가 초래되고 있다.

2. 조사시기 및 조사방법

조사시기는 2017년 5월부터 2017년 10월까지 총 2회에 걸쳐서 현장조사를 실시하였고, 어류조사는 “호수생태계 건강성 평가기법”의 개발의 일환으로 확립된 어류조사 지침서(MOE 2014)에 의거하여 실시하였다. 조사시기는 집중강우의 영향으로 수체가 불안정해지는 장마기(7~8월)를 제외한 장마전기(5~6월)와 장마후기(9~10월)로 구분하여 총 2회 조사를 실시하였다. 환경부 어류조사 지침서(MOE, 2014)에 의하면 최적의 생물학적 상태를 평가하기 위해서 조사시기를 장마전기와 장마후기에 2회 조사한 통합된 결과를 바탕으로 평가하고 있는데, 이는 어류군집의 상대풍부도에서 계절적인 변화(초봄 산란기, 늦가을 산소결핍으로 인한 환경적 스트레스)가 큰 시기를 제외하기 위해서라고 명시하고 있다. 어류 조사에 사용된 어획 도구는 catch per unit of effort(CPUE)에 따라 족대(망목 : 4 × 4 mm)와 투망(망목 : 7 × 7 mm), 삼중자망(망목 : 12 × 12 mm, 길이 : 50 m), 자망(망목 : 45 × 45 mm, 길이 : 100 m)을 어류 포획에 이용하였다. 이 중 족대와 투망을 이용한 어류 조사는 의림지와 솔방죽의 연안부를 따라 200 m 내의 범위를 60분 동안 조사를 실시하였으며, 지침서에 의거하여 소형호에 해당하는 의림지와 솔방죽에 대하여 총 3개의 연안부 조사를 실시하였다. 한편, 자망, 삼중자망은 지침서에 의거하여 저수지 연안부

에서 중앙부 방향으로 설치하였으며, 설치시간은 일몰과 일출 시간이 포함되도록 오전에 설치한 후 익일 오전에 수거하였다. 조사인원은 어류채집에 대한 전문적 훈련을 받았거나 현장경험이 최소한 3년 이상인 전문가를 1인 이상 포함하여 조사를 실시하였다. 채집한 어류는 현장에서 Kim & Park(2002) 및 Lee & Rho(2006)에 의거해 동정 및 계수 후 바로 풀어주는 것을 원칙으로 하되 현장에서 동정이 모호한 종은 10% 포르말린 용액으로 고정하여 실험실로 옮긴 후 동정하였다. 채집된 어류의 개체 수 산정은 어류체장의 길이가 20 mm 이하의 동정이 불가능한 치어의 경우 개체수 산정에서 제외하였다. 어류의 분류체계는 Nelson(2006)의 분류체계에 따라 목록을 정리하였다.

3. 이·화학적 수질 및 한국호수의 부영양화지수(TSI_{ko}) 분석

의림지와 솔방죽의 부영양화 상태를 분석하기 위해 2012년 10월부터 2017년 10월까지 5년간 계절별 수질자료(농어촌공사 농어촌알리미, <https://www.alimi.or.kr>)를 이용하여 수질자료를 분석하였다. 분석에 이용된 수질항목은 화학적산소요구량(chemical oxygen demand, COD), 총질소(total nitrogen, TN), 총인(total phosphorus, TP), 엽록소-a(chlorophyll-a, CHL), 부유물질(suspended solids, SS)이다. COD, TP, CHL의 부영양화지수는 한국형 호수의 부영양화지수인 TSI_{ko}(trophic state index of Korea)를 분석에 사용하였으며(Lee 2014), 부영양화지수 등급은 Lee(2014)의 방법에 의거하였다. 산출된 TSI_{ko} 값의 등급은 TSI_{ko} 값이 30 이하는 빈영양, 30-50은 중영양, 50-70은 부영양, 70을 초과 할 시에는 과영양 상태로 평가하였다(Table 3). TN의 부영양화지수 산정은 Kratzer & Brezonik(1981)의 방법에 의거하였다. 산출된 TSI 값의 등급은 TSI 값이 20 미만은 극빈영양, 30-40은 빈영양, 45-50은 중영양, 53-60은 부영양, 70을 초과 할 시에는 과영양 상태로 평가하였다(Kratzer & Brezonik 1981). 투명도(secchi depth, SD)는 부유물질(suspended solids, SS)의 자료를 이용하여 Log₁₀(SD) = 0.76-

0.69 Log₁₀(SS)의 경험적 회귀방정식(Yun et al. 2014)을 산정한 후 보조자료로 이용하였다. 적용된 부영양화지수의 공식은 다음과 같다.

$$TSI_{TN(mg L^{-1})} = 10 \left[6 - \left(\frac{1.47}{TN} \right) \times \ln 2 \right]$$

(Kratzer & brezonik 1981)

$$TSI_{SD(m)} = 10 \left[6 - \left(\frac{\ln SD}{\ln 2} \right) \right]$$

(Carlson 1977)

$$TSI_{KO}(TP) = 114.6 + 43.3 \log (TP \text{ mg } L^{-1})$$

$$TSI_{KO}(CHL) = 12.2 + 38.6 \log (CHL \text{ mg } m^{-3})$$

$$TSI_{KO}(COD) = 5.8 + 64.4 \log (COD \text{ mg } L^{-1})$$

$$\text{Mean } TSI_{KO} = 0.5TSI_{KO}(COD) + 0.25TSI_{KO}(CHL) + 0.25TSI_{KO}(TP)$$

(Lee 2014)

4. LEHA 모델 적용 및 등급산정

의림지와 솔방죽의 생태계 건강성평가를 위하여 우리나라 호수 생태 특성에 맞게 수정·보완한 모델인 LEHA 모델(MOE 2014)을 평가에 적용하였다. 적용된 LEHA 모델의 매트릭 속성 및 세부적 특징은 MOE(2014)에 자세히 기술되어 있다. LEHA 모델은 종 구성 특성을 반영한 매트릭들인 M₁(종 다양도지수, M₂(민감종 개체수 상대비율), M₃(내성종 개체수 상대비율)으로 구성되어 있으며, 수체 내 에너지 흐름인 영양단계를 반영하는 매트릭들인 M₄(잡식종 개체수 상대비율), M₅(충식종 개체수 상대비율)로 구성되어 있다. 또한 종 풍부도 및 건강성을 반영 매트릭들인 M₆(종 우점도지수), M₇(큰입배스 상대비율) 및 M₈(비정상개체 출현비율)으로 구성되어 총 8개의 다변수 매트릭을 호수 생태건강성평가에 적용하였다. 저수지에서 LEHA모델 값은 각 매트릭에 부여된 1, 3, 5의 수치값들을 합산하여 총 40점을 만점으로 점수가 산정되며, 모델 등급은 34-40는 최적 상태(Excellent), 28-33은 양호상태(Good), 22-27는 보통 상태(Fair), 16-22는 악화상태(Poor), 15 이하는 최악상태(Very poor)의 5개 범주로 구분하여 저수지 생태건강성평가를 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 어류상

의림지와 솔방죽에서 채집된 어류는 총 7과 21종 688개체로서, Yoon et al.(2006)의 연구에서 우리나라 농업용 저수지 평균 출현종(6.5±4.2종)보다 더 다양한 어종이 출현하였다. 출현한 어류 중 잉어과(Cyprinidae) 어종이 11종, 미꾸리과(Cobitidae), 검정우럭과(Centrachidae), 동사리과(Odontobutidae), 망둑어과(Gobiidae)는 각각 2종, 동자개과(Bagridae), 메기과(Siluridae)는 각각 1종씩 채집되어 잉어과 어종이 출현어종 중 52.4%의 비율을 차지하는 것으로 분석되었다(Table 1). 이와 같이 잉어과에 속하는 어류가 우세하게 분포하는 것은 우리나라 서·남해로 유입되는 하천의 담수어류상의 특징과 잘 일치하는 것으로 나타났다(Jeon 1980). 우점종은 참물개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*)로서 156개체가 채집되어 상대풍부도 22.7%로 나타났으며, 파랑볼우럭(*Lepomis macrochirus*)이 134개체(19.5%), 큰입배스(*Micropterus salmoides*)가 130개체(18.9%)로 아우점하는 것으로 나타났다. 특히, 생태계교란야생동물로 지정되어 있는 파랑볼우럭과 큰입배스의 우점현상은 인간에 의한 인위적 또는 우발적인 영향으로 이들이 유입되었을 것으로 사료된다(Yoon et al. 2006). 출현한 어종 중 한국고유종은 물개(*Squalidus japonicus coreanus*), 참물개, 눈동자개(*Pseudobagrus koreanus*), 동사리(*Odontobutis platycephala*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*)로 총 5종이 출현하였으며, 전체 출현 어종 중 23.8%를 차지하고 있는 것으로 나타나 우리나라 평균 고유종 비율(25.9%, Kim 1995)과 비슷한 출현율을 보였다(Table 1). 일반적으로 고유종들은 물이 맑은 하천의 중·상류에 주로 분포하며, 수환경 악화에 의해 급속히 감소하는 경향을 보이는데(Choi et al. 2000), 의림지가 산간에 위치하고 있어 일부 상류 수변공간에 관광지 및 대학시설을 제외하고는 집수역내 경작지 등 큰 오염원이 없고, 저수지 상류에 보조저수지인 비룡담저수지가 존재하여 1년 내내 유량이 풍부하기 때문에 고유종의 비율이 유지되는 것으로 판단된다. 의림지에서 법정보호종은 한 종도

Table 1. Fish fauna and the various guilds of tolerance and trophic in two Reservoir of Jecheon City

Species	Tol. G	Tro. G	Uirim Reservoir			Solbangjuk Reservoir			Total	R.A.
			1 st	2 nd	Total	1 st	2 nd	Total		
Cyprinidae										
<i>Cyprinus carpio</i>	TS	O	2	5	7	1	1	2	9	1.31%
<i>Carassius auratus</i>	TS	O	3	7	10	34	5	39	49	7.12%
<i>Carassius cuvieri</i> †	TS	O	1	–	1	–	–	–	1	0.15%
<i>Pungtungia herzi</i>	IS	I	4	–	4	–	–	–	4	0.58%
<i>Squalidus japonicus coreanus</i> *	TS	O	45	1	46	–	–	–	46	6.69%
<i>Squalidus chankaensis suchigae</i> *	IS	O	149	7	156	–	–	–	156	22.7%
<i>Hemibarbus labeo</i>	TS	I	3	–	3	–	–	–	3	0.44%
<i>Hemibarbus longirostris</i>	IS	I	16	4	20	–	–	–	20	2.91%
<i>Pseudogobio esocinus</i>	IS	I	11	1	12	–	–	–	12	1.74%
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	SS	I	4	–	4	–	–	–	4	0.58%
<i>Zacco platypus</i>	TS	O	13	1	14	–	–	–	14	2.03%
Cobitidae										
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	TS	O	12	–	12	5	6	11	23	3.34%
<i>Misgurnus mizolepis</i>	TS	O	4	–	4	11	15	26	30	4.36%
Bagridae										
<i>Pseudobagrus koreanus</i> *	SS	I	1	–	1	–	–	–	1	0.15%
Siluridae										
<i>Silurus asotus</i>	TS	C	1	–	1	–	–	–	1	0.15%
Centrarchidae										
<i>Lepomis macrochirus</i> †	TS	I	116	16	132	–	2	2	134	19.5%
<i>Micropterus salmoides</i> †	TS	C	37	56	93	23	14	37	130	18.9%
Odontobutidae										
<i>Odontobutis platycephala</i> *	SS	C	1	–	1	–	–	–	1	0.15%
<i>Odontobutis interrupta</i> *	IS	C	4	1	5	2	–	2	7	1.02%
Gobiidae										
<i>Rhinogobius brunneus</i>	IS	I	1	2	3	–	–	–	3	0.44%
<i>Tridentiger brevispinis</i>	IS	I	37	3	40	–	–	–	40	5.81%
Total number of species			21	12	21	6	6	7	21	
Total number of individuals			465	104	569	76	43	119	688	

Tol.G=Tolerance guilds, Tro.G=Trophic guilds, RA=Relative abundance, TS=Tolerant species, IS=Intermediate species, O=Omnivores, I=Insectivores, C=Carnivores, *=Korean endemic species, †=Exotic species

출현하지 않았으며, 외래도입종은 파랑볼우럭, 큰입 배스, 떡붕어(*Carassius cuvieri*) 등 3종 265개체 (38.5%)가 출현하였다(Table 1). 의림지에서 채집된 어종은 7과 21종 569개체로 1차 조사에서 21종 465 개체, 2차 조사에서는 12종 104개체가 채집되었는데, 장마전인 1차 조사에서 더 다양한 어종이 채집된 것으로 나타났다(Table 1). 반면 솔방죽은 총 4과 6종 119개체로 1차 조사에서 6종 76개체, 2차 조사에서

6종 43개체로 종과 개체수 측면에서 조사 시기별 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 1차 조사시기인 5월이 각종 어류의 산란기로서(Choi 2005), 우리나라 대부분의 담수어류가 호수보다 하천에 적응한 종들이기 때문에 산란기가 되면 대부분 어종이 산란 장소로 하천의 흐르는 장소를 선호하기 때문에(Hong & Son 2003), 하소천이 유입되는 의림지는 1차조사 시기인 5월에 연안부 및 하천유입부에서 더 많은 종

이 채집된 반면, 솔방죽은 하소천 등 주요 하천이 유입되지 않고 습지화가 진행되고 있기 때문에 시기별 어종의 차이가 거의 없는 것을 판단된다.

2. 저수지별 수질특성

의림지와 솔방죽에 대한 이·화학적 수질을 분석한 결과, 두 저수지에서 COD는 호소생활환경기준 7등급에 따라서 의림지는 4.6 mg L⁻¹으로 “보통”, 솔방죽은 3.6 mg L⁻¹으로 “약간 좋음” 상태인 것으로 나타났다. 총질소(TN)는 두 저수지 모두 1.5 mg L⁻¹ 초과하여 “매우나쁨”으로 나타났다(Table 2). 이는 강우로 인해 주변 유역에서 질소 등을 포함한 비점오염원이 함께 유입되기 때문으로 판단된다(Son et al. 2010). 총인(TP)은 의림지에서 26 µg L⁻¹으로 “약간 좋음”, 솔방죽에서 16 µg L⁻¹으로 “좋음” 상태인 것으로 분석되었다. 클로로필-a(CHL)는 의림지에서 11.45 mg m⁻³으로 “약간 좋음”으로 나타났고, 솔방죽에서 3.51 mg m⁻³으로 “매우 좋음”의 상태를 보였다. 부유물질(SS)는 의림지에서 5.89 mg L⁻¹으로 “보통”, 솔방죽에서 7.61 mg L⁻¹로 “나쁨” 상태인 것으로 나

타났다. 용존산소량(DO)은 의림지가 평균 7.92 mg L⁻¹으로 “매우 좋음”으로 나타난 반면, 솔방죽은 2.64 mg L⁻¹로 “나쁨”등급으로 나타났다. 두 저수지의 호소생활환경기준에 의거한 이·화학적 수질을 비교한 결과 평균 II~III등급의 수질특성을 보였으며, 일부 수질변수인 TP나 CHL은 솔방죽이 더 양호한 수질 상태를 보이는 것으로 나타났다(Table 2). 이는 습지의 특성을 보이는 솔방죽에서 총인(TP)은 안정화된 시스템으로 인해 주로 토양에 흡착되거나 수중의 입자성 물질에 결합되어 침강되기 때문에 표층수에서 인의 농도가 낮게 나타난 것으로 판단되며(Brix et al. 1993; Ham et al. 2005), 1차생산자인 식물플랑크톤(CHL) 역시 솔방죽에 넓게 발달되어 있는 수생 식물들로 인해 영양염의 경쟁 및 광량의 저해가 주원인으로 작용하여 낮은 농도를 보인 것으로 사료된다. 또한 DO 농도에서 큰 차이를 보였는데, 특히 솔방죽에서 용존산소가 평균 2.64 mg L⁻¹로 매우 낮은 것으로 나타났으며, 계절별 DO 농도에서도 차이가 없는 것으로 나타났다. 일반적으로 수생식물의 번성은 습지의 용존산소 농도에 크게 작용하기 때문에(Reed

Table 2. Water quality parameters and trophic status index of Korea (TSI_{KO}) of chemical oxygen demand (COD), total phosphorus (TP) and chlorophyll-a (CHL) in the two reservoirs

1. Water quality	Uirim	Water quality class	Solbangjuk	Water quality class
COD (mg L ⁻¹)	4.6	III	3.6	II
TN (mg L ⁻¹)	1.75	VI	1.88	VI
TP (µg L ⁻¹)	26.0	II	16.0	Ib
CHL (mg m ⁻³)	11.45	II	3.51	Ia
SS (mg L ⁻¹)	5.89	III	7.61	V
DO (mg L ⁻¹)	7.92	Ia	2.64	V
2. Trophic state index	Uirim		Solbangjuk	
TSI _{TN}	54.16		54.58	
TSI _{SD}	52.41		54.94	
TSI _{KO} (COD)	48.48		41.63	
TSI _{KO} (TP)	45.97		36.84	
TSI _{KO} (CHL)	53.07		33.25	
Mean TSI _{KO}	49 (Mesotrophic)		38.33 (Mesotrophic)	
3. Trophic state classification by using TSI _{KO}				
Oligotrophic	TSI _{KO} ≤ 30			
Mesotrophic	30 < TSI _{KO} ≤ 50			
Eutrophic	50 < TSI _{KO} ≤ 70			
Hypertrophic	TSI _{KO} > 70			

et al. 1988; Jang 2005; Kim et al. 2005; Lee et al. 2008), 솔방죽이 현재 습지화 되는 과정임을 간접적으로 나타내고 있으며, 이로 인해 증가된 퇴적층에서 활발한 유기물 분해가 반영된 결과로 판단된다.

3. TSI_{KO}에 따른 부영양도 평가

의림지와 솔방죽의 TSI_{KO}에 따른 영양도 평가는 Lee(2014)가 제시한 기준에 의거하여 분석하였다. TSI_{KO}는 우리나라 자연환경 특성을 고려하여 외부기원 유기물을 특성을 고려하여 COD, 내부생성 유기물로 식물플랑크톤의 현존량을 대신하는 CHL 농도, 그리고 부영양화의 중요한 원인이 되는 제한요인인 TP농도 등 세 항목을 이용하여 호수의 부영양화 상태를 평가하였다. 분석결과 수질요인 간 부영양화도 지수는 차이를 보이는 것으로 나타났지만 의림지와 솔방죽 모두 “중영양상태”를 보이는 것으로 평가되었으며, 솔방죽에 비해 의림지의 부영양상태가 더 심각한 것으로 분석되었다(Table 2). 외부기원 유기물의 특성을 반영하는 TSI_{KO}(COD)에서 의림지가 솔방죽에 비하여 더 높은 값을 보이는 것으로 평가되었는데, 이는 의림지는 수체내로 유입되는 지류하천의 크기가 큰 반면, 솔방죽은 수체 내로 유입되는 지류하천이 없거나 미미하기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

또한 담수생태계에서 1차생산력의 제한요인으로 잘 알려진 TP(An 2000; An 2001)를 이용한 TSI_{KO}(TP) 내부생성 유기물의 특성을 직접적으로 반영하는 TSI_{KO}(CHL)에서 의림지가 솔방죽에 비하여 상대적으로 높은 값을 보였는데, 이는 일반적으로 저수지보다 습지 시스템이 더 안정화된 수체 특성을 보이고 있어 이로 인해 더 활발한 퇴적작용이 TP 농도 감소에 영향을 준 것으로 판단되며, 이와 더불어 CHL 농도 역시 감소된 TP에 대한 수생식물과의 경쟁으로 인해 성장이 저해된 것으로 판단된다. 부양양화 지수 중 TN을 이용한 TSI_{TN} 값은 두 저수지 모두 “부영양상태”인 것으로 분석되었는데, 이는 우리나라 담수호 및 저수지 수체 내 질소(TN)의 양은 풍부하다는 기존 연구와도 일치하는 것으로 나타났다(An 2000; Park et al. 2009; Han et al. 2014; Yun et al. 2014). 한편, SD를 이용한 TSI_{SD}는 두 저수지에서 모두 “부영양상태”를 보이는 것으로 분석되었으며, 두 저수지에서 큰 차이는 없는 것으로 분석되었다.

4. LEHA 모델에 따른 호수생태건강성평가

어류군집을 이용한 의림지와 솔방죽의 생태건강성 평가는 우리나라 호수생태계 어류군집에 맞게 개발된 LEHA 모델(MOE 2014)을 이용하여 평가하였다.

Table 3. The Lentic Ecosystem Health Assessments (LEHA), based on the 8 metric models, of two reservoirs in Jecheon City. The values of parenthesis indicate model metric values of 1, 3, and 5, respectively

Metric Component	Sampling Reservoir	
	Uirim	Solbanguk
I. Species Composition		
M ₁ Shannon-weaver diversity index	0.92% (5)	0.65% (1)
M ₂ Percent individuals as sensitive species	14.3% (1)	0% (1)
M ₃ Percent individuals as tolerant species	56.8% (3)	98.3% (1)
II. Trophic Composition		
M ₄ Percent individuals as omnivores	43.9% (1)	65.5% (1)
M ₅ Percent individuals as insectivores	15.3% (3)	0% (1)
III. Fish abundance & Fish health		
M ₆ Dominance index	16.9% (5)	25.5% (5)
M ₇ Percent individuals as Largemouth bass	16.3% (1)	31.1% (1)
M ₈ Percent individuals with anomalies	0.35% (3)	3.36% (1)
LEHA Score	22	12
Criteria	Poor Condition	Very Poor Condition

분석 결과, LEHA 모델값은 의림지에서 “22”으로 생태건강도 등급 중 “보통상태(Fair)”인 것으로 평가되었으며, 솔방죽은 “12”으로 생태건강도 등급 중 최하 등급인 “매우 악화상태(very poor)”인 것으로 평가되었다(Table 3). 각 메트릭별 분석 결과, 종다양도지수(M_1)는 21종이 출현한 의림지에서 높게 나타난 반면, 7종만 출현한 솔방죽에서 낮은 값을 보이는 것으로 평가되었다. 의림지는 어류의 수질저하 및 오염에 상대적으로 내성이 강한 “내성종의 상대비율(M_3)”이 높게 나타난 반면, 수질변화에 민감하게 반응하는 “민감종의 상대비율(M_2)”은 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 의림지에서 부양양화로 인한 수생태계의 교란이 발생된 것을 간접적으로 나타내고 있다. 또한 영양단계 구조를 반영하는 트로픽길드 분석에서 서식지의 물리·화학적인 질적 저하에 따라 증가하는 “잡식종의 상대비율(M_4)”이 높은 반면, 이와는 반대로 서식지 질적 저하에 따라 감소하는 “충식종의 상대비율(M_5)”은 낮은 것으로 분석되어 의림지 서식환경에 있어서도 교란이 발생된 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 종풍부도 및 개체 건강도를 반영하는 메트릭들에서도 나타났는데, 생물에 의한 교란상태 반영하는 “중우점도 지수(M_6)”와 담수생태계에서 토종 어류 개체군 감소에 큰 영향을 미치는 “큰입배스의 상대비율(M_7)”에서 높은 값을 보여 생물학적 교란도 진행된 것으로 평가되었다. 또한 화학적 수환경의 질은 반영하는 “비정상개체의 출현비율(M_8)”에서도 일부 비정상적인 개체가 출현하여 수질오염에 대한 어류가 영향을 받은 것으로 평가되었다(Table 3). 한편 솔방죽에서의 각 메트릭별 분석에 따르면, 내성종과 잡식성 종의 우점현상이 의림지에 비하여 극명하게 나타난 반면, 민감종과 충식종은 한 개체도 출현하지 않아 솔방죽 수생태계의 교란이 의림지보다 더 심각한 것으로 평가되었다. 또한 종풍부도 및 개체건강도를 평가하는 메트릭에서도 의림지에 비해 상대적으로 높게 나타나 의림지보다 낮은 건강성을 나타내는 것으로 분석되었다. 이는 솔방죽의 수환경이 저수지보다는 습지로 서식환경의 변화가 진행되고 있음을 간접적으로 시사하고 있으며, 이러한 솔방죽의 습지화는 향후 어류 서식처 기능에 있어서 다양한 어종이

서식하기 보다는 일부 특정종의 우점화 등으로 인한 어류군집 구조의 심한 불균형 현상이 초래될 것으로 판단된다(Choi et al. 2015).

IV. 결론

계천시에 위치한 의림지와 솔방죽은 주거지역과 인접한 농업용 저수지로 과거 농업용수 공급을 목적으로 하였으나, 근래에는 농업용수 공급 기능이 미약해져 생물서식공간으로 자연생태계의 개념을 도입하여 생태공원이나 습지공원으로 새롭게 조성하여 시민들의 휴식공간으로 활용되고 있다(Kim et al. 2014). 이와 같이 보존과 이용이라는 상충된 이념 속에서 의림지와 솔방죽은 주거지역과 인접한 농업용 저수지라는 조건으로 인해 현재는 친환경 여가활동이 가능한 저수지라는 잠재력을 갖고 있어 도시민의 욕구를 충족시키고 있다. 그러나 이처럼 기능이 변화된 저수지들은 수변공간 관광자원화 및 활용에 대한 높은 요구도로 인하여 개발되고 있으나, 기존의 생물 서식처로서의 기능도 매우 중요하기 때문에(Shim 2001; Lee 2006; Kim & Choe 2011), 저수지 이용 측면과 생태계 보전 측면을 동시에 고려되어야 한다. 현재 의림지와 솔방죽은 수변구역에서의 생태공원화 등 인간의 인위적인 간섭이 증가되고 있어 이로 인하여 수변환경의 변화가 초래되고 있고, 이러한 변화들은 수환경 및 수체 내 이·화학적인 수질에도 영향을 미친다. 의림지와 솔방죽은 부양양화지수(TSI)에서 “중영양상태”를 보이는 것으로 나타났으나, 의림지의 경우 평균 TSI_{IKO} 값이 49로 부영양상태에 가까운 것으로 나타나 수생태계의 질적 저하가 진행되고 있음을 간접적으로 나타내고 있다. 어류군집을 이용한 생태건강성 평가에서도 다른 인공호들(Han & An 2008, 2012)에 비하여 종 및 개체수에 있어서 낮은 풍부도를 보였다. 특히 의림지의 경우 외부기원 유기물로 인한 수질오염, 인간의 인위적인 활동(낚시, 레저활동)과 우발적인 생물유입(방생) 등으로 인한 생물학적 스트레스 등 복합적인 원인으로 인해 야기된 생태계 교란이 현재 의림지 생태건강성 악화에 영향을 미친 것으로 판단된다. 일반적으로 생태건강성은

복합적인 요인에 의한 영향이 크기 때문에(An 2001), 정확한 평가를 위해서는 더 정밀하고 정확한 이·화학 적 수질특성, 물리적 서식환경 특성, 그리고 생물학 적 특성이 종합적으로 평가되어야 한다. 한편, 솔방 죽은 수면적이 좁고, 수계(하소천)와 고립되어 독립 적인 생태계를 형성하고 있기 때문에 빠르게 습지화 가 진행된 것으로 판단된다. 따라서 솔방죽의 어류군 집의 유지를 위해서는 일부 구간을 저수지 환경이 유 지될 수 있도록 주기적인 준설이 실시되어야 하며, 일정 유량의 수위가 유지될 수 있도록 유량 공급 방 법을 개선하는 것이 반드시 필요하다. 또한 의림지와 솔방죽 모두 생태계교란야생동·식물로 지정된 큰입 배스와 파랑볼우렁이 높은 비율로 분포하고 있어 향 후 이들에 의한 토종 어류 개체군의 감소(Terachima 1980) 우려되기 때문에 이들을 효과적으로 관리할 수 있는 대책마련이 시급한 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 과학기술정보통신부의 특정연구과제 (NFR-2013M3A9A5047052; NFR-2017M3A9A50 48999)에 의하여 연구되었습니다.

References

- An KG. 2000. Monsoon inflow as a major source of in-lake phosphorus. *Korean Journal of Limnology*. 3: 222-229.
- An KG. 2001. Hydrological significance on interannual variability of cations, anions, and conductivity in a large reservoir ecosystem. *Korean Journal of Limnology*. 34(1): 1-8.
- An KG, Choi JW, Lee YJ. 2013. Modifications of ecological trophic structures on chemical gradients in lotic ecosystems and their relations to stream ecosystem health. *Animal Cells and Systems*. 17(1): 1-10.
- Belpaire C, Smolders R, Auweele IV, Ercken D, Breine J, Thuyne GV, Ollevier F. 2000. An index of biotic integrity characterizing fish populations and the ecological quality of Flandrian water bodies. *Hydrobiologia*. 434: 17-33.
- Brix H, Schieruop HH. 1993. Soil oxidation in constructed reed beds: The role of macrophyte and soil-atmosphere interface oxygen transport, Cooper, PE. and BC. Findlater(ed.). *Constructed Wetland for Water Quality Improvement*, Pergamon Press. Oxford. United Kingdom. pp. 53-65.
- Carlson RE. 1977. A trophic state index for lake. *Limnology Oceanogr*. 22: 361-369.
- 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]
- Choi JS. 2005. Ichthyofauna and fish community structure in Chuncheon Reservoir. *Korean journal of environmental biology*. 23(2): 173-183. [Korean Literature]
- Choi JY, Jo H, Kim SK, La GH, Joo GJ. 2015. Distribution dynamics of fish community in shallow wetland by environmental variables. *Korean Journal of Environment Ecology*. 29(3): 391-400. [Korean Literature]
- Didier J, Kestemont D, Micha JD. 1996. *IndiceBiotique d'Integrite Piscicole pour Evaluer la Qualite Ecologique des Ecosystemes Aquatiques*, Unite de Recherche en biologie des Organismes, Facultes Universitaires N.D.la Paix, Namur, Belgium report(No. 3) to the Ministere de la Region wallonne (MRWDGTRE).
- Drake MT, Pereira DL. 2002. Development of a fish-based index of biotic integrity for small inland lakes in Central Minnesota.

- North American Journal of Fisheries Management. 22: 1105-1123.
- Drenner RW, Smith JD, Threlkeld ST. 1996. Lake trophic state and the limnological effects of omnivorous fish. *Hydrobiologia*. 319: 213-223.
- Gassner H, Tischler G, Wanzenbock J. 2003. Ecological integrity assessment of lakes using fish communities suggestions of new metrics developed in two Austrian Prealpine lakes. *International Review of Hydrobiology*. 88(6): 635-652.
- Ham JH, Yoon CG, Kim HC, Koo WS, Shin HB. 2005. The effect of plant coverage on the constructed wetlands performance and development and management of macrophyte communities. *Korean Journal of Limnology*. 38(3): 393-402. [Korean Literature]
- Han JH, An KG. 2008. An applications and assessments of a multimetric model to Namyang Reservoir. *Korean Journal of Limnology*. 41: 228-236. [Korean Literature]
- Han JH, An KG. 2012. The applications of a multi-metric LEHA model for an environmental impact assessments of lake ecosystems and the ecological health assessments. *Journal of Environmental Impact Assessment*. 21(3): 483-501. [Korean Literature]
- Han JH, Kim B, Kim C, An KG. 2014. Ecosystem health evaluation of agricultural reservoirs using multi-metric lentic ecosystem health assessment(LEHA) model. *Paddy Water Environ*. 12(Supp. 1): S7-S18.
- Harris JH. 1995. The use of fish in ecological assessments, *Australian Journal of Ecology*. 20: 65-80.
- Hong YP, Son YM. 2003. Studies on the interspecific association of community including *Micropterus salmoides* population, introduced fish in Korea. *Korean Journal of Ichthyology*. 15(1): 8-68. [Korean Literature]
- Hugueny B, Camara S, Samoura B, Magassouba M. 1996. Applying an index of biotic integrity based on communities in a west african river. *Hydrobiologia*. 331: 71-78.
- Jang JY. 2005. Assessment of constructed wetland design parameters for the reduction of agricultural nonpoint source pollution. Ph. D Thesis, Seoul University, Korea. pp. 1-208. [Korean Literature]
- Jeon SR. 1980. Studies on the distributions of the Korean freshwater fishes, Ph. D Thesis, Chungang University, Korea. pp. 18-45. [Korean Literature]
- Kang SJ, Yi S, Kim JY. 2009. Late holocene environment and vegetation change of Eurimji Reservoir, Jecheon, Korea. *The Korean Journal of Quaternary Research*. 23(2): 34-47. [Korean Literature]
- Karr JR, Dionne M. 1991. Designing surveys to assess biological integrity in lakes and reservoirs, in biological criteria. EPA-440/5-91-005, USA. pp. 62-72.
- Karr JR. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*. 6: 21-27.
- 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: Spe. Pub 5., IL, USA.
- KIGAM(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources). 2009. Depositional environment and formation ages of Eurimji Lake sediments in Jaechon City, Korea. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources. [Korean Literature]

- Kim DS, Kang JH, Lee SJ, Lim HS, Kim NR. 2014. The Fauna before and after Creating the Solbanguk Wetland Ecological Park Located in Jecheon-City were Compared. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*. 42(3): 35-49. [Korean Literature]
- Kim IJ, Choe HS. 2011. Environmental-friendly waterfront planning and development with regards to regional smart growth. Korea Environment Institute.
- Kim IS, Park JY. 2002. *Freshwater Fishes of Korea*. Kyohak Press Co., Seoul, pp. 1-465. [Korean Literature]
- Kim IS. 1995. Distribution status and conservation of endangered freshwater fish in Korea. *Korean Society of Ecology and Ichthyology Joint Symposium*, pp. 31-50. [Korean Literature]
- Kim JH. 2013. The Characteristics and Signification of Jecheon Uirimji's Irrigation and Drainage History. *Journal of Korean Folklore*. 32: 61-80 [Korean Literature]
- Kim JM, Roh HR, Hur SN, Yang HJ, Park JD. 2005. A study on the water quality affected by the rainfall and influent rivers in Paldang Reservoir, Korea. *Journal of Korean Society on Water Environment*. 21(3): 277-283. [Korean Literature]
- Kim JY, Yang DY, Lee JY, Kim JH, Lee SH. 2000. Depositional environment and formation ages of Eurimji Lake sediments in Jaechon City, Korea. *The Korean journal of quaternary research*. 14(1): 7-31. [Korean Literature]
- Koizumi N, Matsumiya Y. 1997. Assessment of stream fish habitat based on index of biotic integrity. *Bulletin of the Japanese Society of Oceanography*. 61: 144-156.
- Kratzer CR, Brezonik PL. 1981. A carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. *Water Resources Bullentin*. 17: 713-717.
- KRCC(Korea Rural Community Corporation). 2016. *Statistical yearbook of land and water development for agriculture*. Korea Rural Community Corporation. [Korean Literature]
- Lee GG. 2006. Ecotourism resource planning for Mulwang Reservoir in Siheung. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*. 34(4): 37-47. [Korean Literature]
- Lee HS, Chung SW, Choi JK, Shin SI. 2008. Evaluation of trophic state of a small-scale pond (Wonheung) in ecological park. *Journal of Korean Society on Water Quality*. 24(6): 741-749. [Korean Literature]
- Lee SB, Yoon CG, Jung KW, Jang JH, Jeon JH. 2007. Analysis of relationship between spatial distribution of land use and water quality in agricultural reservoirs. *Korean Journal of Limnology*. 40(3): 481-488. [Korean Literature]
- Lee WO, Rho SY. 2006. *Colored book of freshwater fish of Korea*. Jisung Press Co., Seoul, pp. 1-432. [Korean Literature]
- Lee Y. 2014. *Development of water quality index for lakes and reservoirs in Korea*. Ph. D Thesis, Kangwon National University, Korea. pp. 50-53. [Korean Literature]
- Lyons J, Altagracia GH, Edmundo DP, Eduardo SG, Martina MN, Raul PL. 2000. Development of a preliminary index of biotic integrity (IBI based on fish assemblages to assess ecosystem condition in the lakes of central Mexico. *Hydrobiologia*. 418: 57-72.
- Lyons JS, Navarro-Perez PA, Cochran E, Santana C, Guzman-Arroyo M. 1995. Index of biotic integrity based on fish assemblages

- for the conservation of streams and rivers in west-central Mexico. *Conservation Biology*. 9: 569-584.
- MOE(Ministry of Environment). 2014. Developing tools for assessing lake ecosystem integrity, Final Reports. Ministry of Environment. [Korean Literature]
- MOLIT(Ministry of Land, Infrastructure and Transport). 2016. Statistical yearbook of water resources in Korea. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. [Korean Literature]
- Nelson JS. 2006. *Fishes of The World*. 4th ed. New Jersey: John Wiley and Sons Inc. pp. 397-398.
- Niyogi DK, Simon KS, Townsend CR. 2003. Breakdown of tussock grass in streams along a gradient of agricultural development: implications for ecosystem functioning and ecosystem health. *Freshwater Biology*. 48: 1689-1708.
- Nurnberg KG. 1996. Trophic state of clear and colored, soft-and hardwater lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish. *Journal of Lake and Reservoir Management Society*. 12(4): 432-447.
- 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. 1987. Biological criteria for the protection of aquatic life. Vol. II, Users manual for biological field assessment of Ohio surface waters. Columbus, Ohio, USA.
- Park YM, Lee EH, Lee SJ, An KG. 2009. Trophic state characteristics in Topjeong reservoir and their relations among major quality parameters. *Korean Journal of Limnology*, 42(3): 382-393. [Korean Literature]
- Petesse ML, Petesse JRM, Spigolon RJ. 2007. Adaptation of the reservoir fish assemblage index(RFAI) for assessing the barra Bonita reservoir(Sao Paulo, Brazil). *River Research and Applications*. 23: 595-612.
- Ranta E, Lindstrom K. 1993. Theory on fish yield versus water quality in lakes. *Annales Zoologici Fennici*. 30: 71-75.
- Reed SC, Middlebrooks EJ, Critics RW. 1988. *Natural system for waste management and treatment*, New York, McGraw-Hill, USA.
- Ryder RA, Kerr SR, Loftus KH, Regier HA. 1974. The morphoedaphic index, a fish yield estimator-review and evaluation. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 31: 663-688.
- Seo JW, Park WK. 2011. Examination of death years and causes by the analysis of growth decline in tree rings of *Pinus densiflora* from the Euilimji Lake Park in Jecheon, Korea. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*. 14(2): 1-10. [Korean Literature]
- Shim SH. 2001. Water space and city marketing: London, Syracuse, Sophia-Antipolis, and Copenhagen. *Journal of the Korean Urban Geographical Society*. 4(2): 27-43. [Korean Literature]
- Simon TP, Jankowski R, Morris C. 2000. Modification of an index of biotic integrity for assessing vernal ponds and small palustrine wetlands using fish, crayfish, and amphibian assemblages along southern Lake Michigan. *Aquatic Ecosystem Health and Management*. 3: 407-418.

- Son JK, Kang B, Kim NC. 2010. The analysis of water and soil environment at farm pond depression. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*. 13(3): 46-62. [Korean Literature]
- Terashima A. 1980. Bluegill: a vacant ecological niche in Lake Biwa. In: Kawai T, Kawanabe H, Mizuno N. Editors, *Freshwater Organisms in Japan: Their Ecology of Invasion and Disturbance*, Tokai Univ. Press, Tokyo, pp. 63-70.
- US EPA. 1998. Lake and reservoir bioassessment and biocriteria. EPA 841-B-98-007. US EPA, Office of Water, Washington, D.C., USA.
- Wetzel EB. 1975. *Limnology*. W.B. Saunders Editors, Comp., Toronto, pp. 743.
- Wilcock RJ, Nagels JW, Rodda HJE, O'Connor MB, Thorrold BS, Barnett JW. 1999. Water quality of a lowland stream on a New Zealand dairy farming catchment. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 33: 683-696.
- Yoo CS, Park HG. 2007. Analysis of morphological characteristics of farm dams in Korea. *Journal of the Korean Geographical Society*. 42(6): 940-954. [Korean Literature]
- Yoon JD, Jang MH, Kim MC, Nam GS, Hwang SJ, Joo GJ. 2006. The characterization of fish communities in agricultural reservoirs. *Korean Journal of Limnology*. 39(1): 131-137. [Korean Literature]
- Yun YJ, Han JH, An KG. 2014. Influence of seasonal monsoon on Trophic State Index (TSI), empirical water quality model, and fish trophic structures in dam and agricultural reservoirs. *Journal of Environmental Science International*. 23(7): 1321-1332. [Korean Literature]