

연구논문

증춘 도랑의 생태환경 조사와 평가

한정호 · 안광국

충남대학교 생명시스템과학대학 생명과학과
(2012년 8월 28일 접수, 2012년 10월 15일 승인)

Preliminary Ecological Environmental Assessments of a Brooklet in Jeungchon

Jeong-Ho Han · Kwang-Guk An

Department of Biological Sciences, College of Biosciences and Biotechnology, Chungnam National University,
Daejeon 305-764, Korea

(Manuscript received 28 August 2012; accepted 15 October 2012)

Abstract

Preliminary ecological environmental assessments including physico-chemical constituents, water quality, fish fauna analysis, physical habitat health, and ecological health assessment were conducted as a primary step for Jeungchon micro-habitat ecosystem restoration in 2012. Water chemistry analysis of conductivity, dissolved oxygen, chlorophyll-a and etc. indicated that there were no significant differences ($p < 0.05$) among 6 sites between the headwaters and downstream. Multi-metric model analysis of Qualitative Habitat Evaluation Index(QHEI) showed that brooklets were at "good condition" as a mean QHEI of 158.7($n = 6$) and the longitudinal differences of the model values between the sites were minor(QHEI range: 153 - 165). Total fish species and the number of individuals were 12 and 481, respectively, and dominant species were *Zacco platypus*(49.5%) and *Zacco koreanus*(36.8%). Tolerance guild analysis showed that the proportion of sensitive species(S_S) had a negative linear function [$S_S = 86.35 - 0.31(D_H)$; $R^2 = 0.892$, $p < 0.01$] with a distance from the headwaters, while the proportion of tolerant species(T_S) had a positive linear function ($R^2 = 0.950$, $F = 90.28$, $p < 0.001$) with the distance. Trophic feeding guild analysis showed that the proportion of insectivore species(I_n) had a negative linear function ($R^2 = 0.934$, $p < 0.01$) with a distance from the headwaters, while the proportion of omnivore species(O_n) had a positive linear function ($R^2 = 0.958$, $p < 0.001$) with the distance. Index of Biological Integrity(IBM) model, based on fish assemblages, showed a "fair condition" as a mean IBM of 23($n = 6$), and there was a distinct differences of ecological

health between the headwaters($S_1 = 30$; “good condition”) and the downstreams($S_6 = 14$; “poor condition”). Overall, the preliminary environmental impact assessments suggest that water quality, physical habitat conditions(QHEI model), and ecological health(IBM model) were maintained well, even if the state was not an excellent conditions.

Keywords : Brooklet, environmental impact assessment, Fish, Chemical quality, Physical habitat, Ecological health

1. 서론

도랑은 일반적으로 소하천에 유입되기 전에 존재하는 실개천으로서 소하천 생태계 보존 및 생물 보존에 중요한 시스템으로 작용하고 있다(Harding *et al.*, 1999; Muotka and Laasonen, 2002; Alexander *et al.*, 2007; Johnson *et al.*, 2008). 도랑은 빗물이 모여 처음으로 하천의 형태를 나타내는 곳으로 하천이 시작되는 곳이라 할 수 있기 때문에 상류의 깨끗한 도랑이 하류에 해당하는 지방 하천 또는 국가하천 수질을 결정하는데 생태적으로 매우 중요한 가치를 가지고 있으며(Haigh *et al.*, 2004; Wipfli *et al.*, 2007), 수생태계의 생존을 위한 다양한 영양원의 제공처(Pozo *et al.*, 1997)로 작용되고 있다.

일반적으로 도랑은 마을을 낀 작은 개울을 의미하며, 보통 폭이 2~3 m 이하, 길이는 500 m 정도 규모로서 하천법이나 소하천 정비법에서 따로 규정하여 관리가 되지 않고 있어 체계적으로 관리할 법적 근거 없이 소하천, 실개천 등으로 혼용되고 있는 실정이다(이상훈과 조옥상, 2001). 이로 인해서 도랑은 마을의 생활하수, 축산농가의 가축분뇨, 농경지로부터 비료 및 농약 등이 유입되어 수질오염 및 악취가 발생되고 있으며(양인태와 최영재, 2001), 일부 복개나 콘크리트 제방 등의 인공구조물 설치로 인하여 서식지 파괴 및 지표수 고갈은 도랑의 건천화 및 서식지 파괴를 유발하여 생물이 서식할 수 없는 실정이다(한국환경정책평가연구원, 2008; 경남발전연구원, 2011). 특히, 대부분 도랑의 수생태계는 상당수가 하절기 문순기나 우천 시에 수위가 상승하여 많은 물이 흐르다가, 시간이 지나면 빠르게 수위하강이 일어나며, 건천으로 변해가는 수생

태계로서 생태계의 지속적 유지를 위해 다양한 수생생물조사 및 생태계의 사전 환경영향평가가 요구된다(농어촌공사, 2006).

환경부는 실개천, 도랑 및 하천의 과거 및 현재 동·식물 분포현황 및 고유종, 희귀종, 법적보호종의 서식현황 등 하천 생태계에 대한 기초조사를 대대적으로 실시할 계획을 한 바 있다(환경부, 2008). 특히, 하천복원의 지표가 될 수 있는 ‘깃대종(Flag species)’을 선정하고 깃대종을 보전·복원하기 위한 목표 및 복원방법을 강구하고 있다(국립환경과학원, 2007). 최근, 도랑 복원사업에서는 이러한 깃대종을 분석하고 있고, 존재하지 않거나 이미 소실된 경우에는 ‘깃대종 복원’ 여부 등을 통해 도랑 복원의 효과를 확인하고, 지속적인 모니터링을 통해 생물종 변화, 서식지 훼손 실태 등을 파악하는 시스템을 구축하고 있어서 도랑의 생태계조사 및 사전환경평가는 중요한 위치에 있다(환경부, 2010a, b; 환경부, 2011).

환경 선진국인 미국 환경부(US. EPA)에서는 총체적 수생태 건강성을 파악하기 위한 일환으로 어류를 이용한 “신속한 생물평가 개념”(Barbour *et al.*, 1999)을 확립하였고, 하천생태계 건강성 평가 기법으로 생물통합지수(Index of biological Integrity, IBI) 산정법을 제시하고 있으며(US. EPA, 1993), 현재 우리나라에서도 국내 여건에 맞게 수정·보완되어 4대강을 포함한 전 수계의 하천에 생태건강성 평가가 진행되고 있다(국립환경과학원, 2007). 어류 분류군을 이용하는 방식들은 Karr (1981), Karr *et al.*(1986)에서 제시된 바와 같이 다양한 장점을 지니고 있어 소위 환경선진국들에서 생물학적 수질평가에 널리 활용하고 있기 때문에 본 연구에서도 IBI 모델을 사용하였다.

본 연구는 소하천 생태계와 연결고리 역할을 하

는 도랑의 미소생태계(Micro-habitat)에서 1) 어류 분포 및 종 특성 분석, 2) 물리적 서식지 건강도 평가, 3) 어류 군집특성 평가, 4) 생태건강도 평가 및 하천 건강도 등급 도출, 최종적으로는 이를 바탕으로 도랑의 생태관리방안 마련 및 대책 수립에 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 조사대상지 개황

본 연구지점은 대전광역시 서구 평촌동에 위치하고 있으며, 갑천 상류부에서 합류되는 작은 소하천이다. 도랑 주변에 테마마을 조성 및 농수로 및 도랑 복구사업에 의해 일부 구간의 물리적 서식지 변화가 진행되고 있는 상태이다. 본 연구의 대상 구간인 증촌 도랑은 인근에 위치한 우명동 야산(270 m)에서 발원하여 평촌동을 관류하는 갑천과 합류되는

총 연장 1.1 km미만인 도랑이다. 도랑의 상류는 주로 산간 계곡형의 지리적 특징을 보이는 반면, 하류는 갑천 인근의 평야지대로 인하여 주변에 농경지가 많이 발달되어 있는 특징을 보여주고 있다. 도랑의 유로를 부분적으로 바꾸었으며, 산간분지 말단부 구릉지나 산록완사면에 부분적으로 구유로의 흔적을 보이고 있다. 또한 주변 농경지 수로의 직강화 공사로 인해 기존의 도랑에 과다한 퇴적물이 공급되면서 수심이 0.6 - 3.0 m로 얕아져 있으며, 하상 구조는 농업용수가 유입되는 부분에는 저질이나 모래가 형성되어 있었다. 하류로 갈수록 바위 및 자갈의 구성비가 증가되었고, 하천 내에 식생이 정착한 구간 특성을 보였다. 본 조사는 도랑 유량이 존재하는 중류구간에서 갑천 유입부까지 약 100 m 구간을 대상으로 물리적 서식지 특성을 고려하여 6개 지점을 선정하여 실시하였다(Fig. 1).

조사 구간인 도랑은 갑천 상류에 위치한 전형적

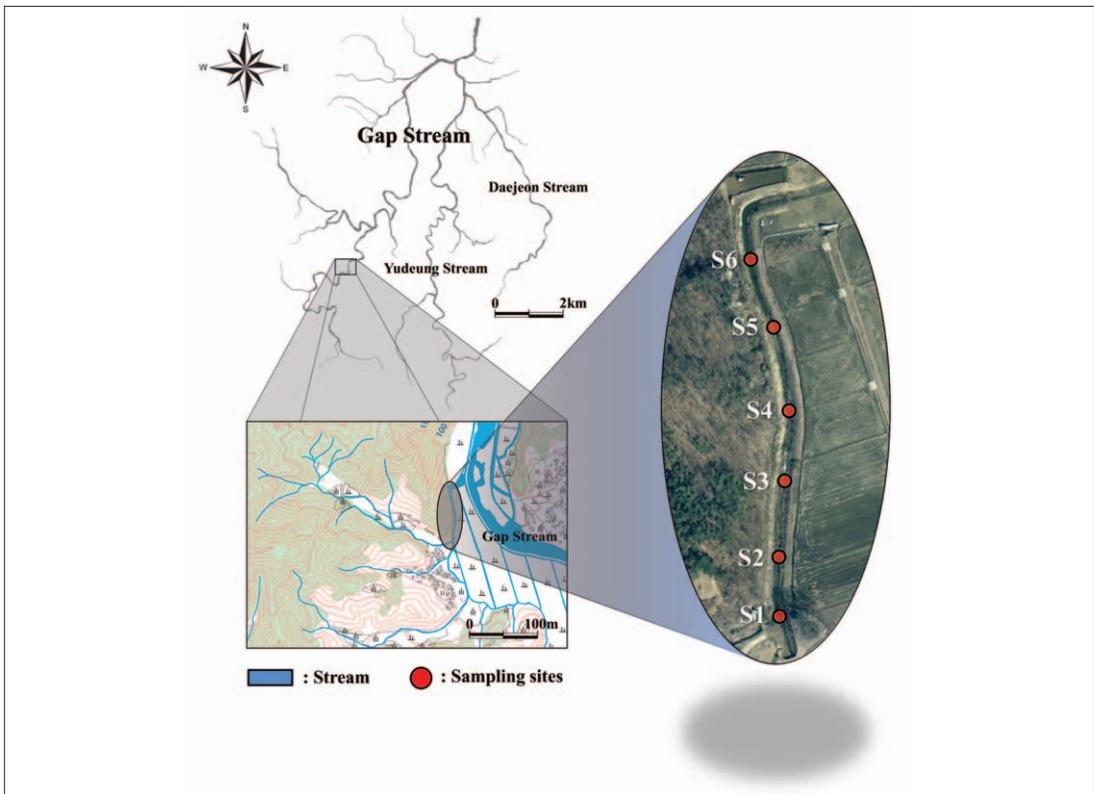


Fig. 1. Map showing sampling sites in Jeungchon brooklet

인 농촌 도랑으로서 좌안으로 산림지가 있으며, 우안에는 경작지와 들판등성 주거지들이 형성되어 있었다. 전반적으로 조사지점들은 식생들이 많이 자라고 있었으며, 하천이 흐르고 있는지 육안으로 파악하기 힘들었고, 식생관리가 충분히 이루어지지 않고 있는 것으로 파악되었으며 몇몇 종의 식물들이 우점종하여 서식하고 있는 것으로 나타났다. 도랑을 따라 이어져 있는 도로의 경우 침투가 가능한 포장인 일반 도로포장으로 되어 있어 소하천 내 물순환에 대한 고려가 부족한 것으로 파악되었다. 본 연구구간인 도랑의 경우 수로사면 안정도 및 수문학적인 상태는 매우 양호한 것으로 확인되었다. 도랑의 상류지역의 경우 전형적인 소하천으로서 일부 구간에서 친환경 공법들이 적용되어 있어 식생들이 안정적으로 서식하였으며, 수온은 낮고, 물의 투명도는 높은 것으로 나타났다. 이 구간에는 작은 소(Pool)가 형성되어 있어, 인근 마을에서 오수가 그대로 유입되고 도랑 인근 농경에서 용수가 그대로 유입되고 있어 전체적인 점 및 비점오염원의 유입 및 하천 유지유량 차원에서 문제점이 나타나고 있었다. 도랑의 중·하류지역은 도랑을 따라 형성된 식생들로 인하여 하천의 사행화는 나타나지 않았으며, 이러한 식생의 영향으로 하천 폭이 매우 좁은 것으로 나타났다.

2. 어류 조사방법

중촌의 도랑 살리기 사업을 위해 2012년 7월에 상류로부터 하류 6개 지점에서 어류를 채집하였다. 도랑은 일반적으로 하천과는 달리 상·하류 구간이 짧고, 하천 폭이 작아 기존의 하천생태건강도 평가법을 적용하되 조사 소요시간 및 구간을 달리 설정하여 현장 어류를 채집하였다. 현장 조사는 어류의 효율적인 채집을 위하여 하천 건강도 평가 시 3명이 소요되나, 본 연구에서는 하폭이 아주 좁은 도랑으로서 현장 채집 경험이 8년 이상인 조사원 2인 1조가 어류조사를 수행하였다. 모든 지점에 대한 채집 소요 시간은 120분으로서 지점 당 평균 소요시간은 20분으로서 각 지점당 소요시간 동안 어류채집은

이미 전수조사에 유사할 만큼 하게 충분한 시간으로 평가되었다. 제 1지점에서 제 5지점까지 구간에 대해 사용된 어구는 생태건강도 평가법에서 이용하는 방식과 동일하게 투망(Cast net) 및 족대(Kick net)를 이용하였다. 비교적 수심이 50 - 70 cm 이상이면서 하폭이 1 - 4 m 내외의 지점에서는 투망(망목: 7×7 mm)과 족대(망목: 4×4 mm)를 동시에 이용하였고, 하폭이 1 m 이하의 지점에서는 투망을 전혀 이용할 수 없어 족대로 채집을 실시하였다.

3. 물리적 서식지 평가

중촌의 도랑에 대한 물리적 서식지 평가를 위해 현장 조사는 2012년 7월 어류 채집과 동시에 실시하였다. 도랑의 상·하류 구간의 어류의 물리적 서식지 평가를 위해 다변수 서식지 평가모델(Multi-metric habitat model)을 적용하였다. 본 다변수 모델은 Plafkin *et al.*(1989)에 의해 도입된 서식지 평가 정성지수(Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI) 및 이를 수정한 Barbour *et al.*(1999)의 서식지평가지수를 바탕으로 하여 모델보정을 거친 안광국과 김자현(2005)의 평가모델을 적용하였다. 물리적 서식지 건강도 평가를 위한 메트릭 모델은 M₁ 하상구조 / 서식처 피복도(Substrate / Instream cover), M₂ 하상매몰도(Embeddedness), M₃ 유속 / 수심 조합(Flow velocity / depth combination), M₄ 하상유실 및 토사축적도(Bottom scouring & sediment deposition), M₅ 유량 상태(Channel flow status), M₆ 수로 변경도(Channel alteration), M₇ 여울 빈도 및 하천굴곡도(Frequency of riffles or bends), M₈ 제방 안정도(Bank stability), M₉ 제방식생 보호도(Bank vegetative protection), M₁₀ 천변 식생대 폭(Riparian vegetative zone width) 및 M₁₁ 소규모 댐의 존재유무의 11개 메트릭으로 구성되었다. 각 변수 값의 등급구분은 안광국과 김자현(2005)의 기준에 의거하였다.

4. 이·화학적 일반 수질 항목 분석

상기의 어류조사에 추가적으로 상류로부터 하류

까지 6개 지점에 대하여 간단한 이·화학적 수질 특성을 분석하였다. 측정 항목은 총 8가지 항목으로서, 다항목 수질측정기(YSI 650 MDS Model, YSI 6-series sonde, USA)를 이용하여 수온, 용존산소(Dissolved oxygen, DO)의 상대 포화도, DO농도, 수소이온농도(pH), 전기전도도(Conductivity), 탁도(Turbidity) 분석, 엽분 농도 및 엽록소-a(Chlorophyll-a)농도를 분석하였다. 추가적으로, 상류의 제 1지점에서는 1지점의 정규 지점 이외에도 동일 지점내의 유입 지류의 영향 및 미소 서식지의 수질 특성에 대한 차이 분석을 위해 수질측정을 실시하였다.

5. 어류의 종 동정 및 생태지표 특성 분석

증촌의 도랑에서 채집된 어류는 현장에서 어종을 동정하고 개체수를 기록한 후 방류하고, 정밀 종 동정을 실시하였다. 어종의 동정은 정문기(1977), 전상린(1980), 최기철(1987), 최기철 등(1990), 김익수와 강종연(1993), 손영목과 송호복(2006)에 의거하였다. 수체내 생태 지표종 분석 및 서식지 길드에 대한 검색표는 안광국 등(2006)의 환경부 연구에 의거하여 분석하였다. 특히, 피라미(*Zacco platypus*)의 종은 환경부에서 현재 중간종(Intermediate sp.)으로 분석하였으나, 최근 연구에 따르면 본 종은 내성종으로 평가되는 것이 합당하여 내성종(Tolerant sp.)으로 분류하여 평가하였다.

6. 어류 군집지수 분석 및 자료 분석법

증촌 도랑의 어류군집 분석을 위해 각 조사지점에서 채집된 어종의 개체수를 기준으로 아래와 같이 풍부도 지수(Richness index = d ; Margalef's, 1958), 우점도 지수(Dominance Index = λ ; Simpson, 1949), 다양도 지수(Diversity Index = H' ; Shannon-Weaver, 1949), 균등도 지수(Evenness Index = J' ; Pielou, 1975)를 산정하였으며, 각 군집지수의 산정식은 다음과 같다.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

7. 생태건강도 어류 평가 및 현장 평가

어류를 이용한 총체적 수환경 건강도 평가를 위해 최근 US. EPA의 Barbour *et al.*(1999)에 의해 개발된 RBP(Rapid Bioassessment Protocol) 및 Karr(1981)에 기반을 둔 어류를 이용한 수환경의 건강성 평가 모델(안광국 등, 2006)에 의거하여 평가하였다. 본 소규모 도랑의 생태건강도 평가를 위해 연구를 기존의 북미 및 유럽에서 이용된 모델을 수정·보완한 모델 메트릭인 Ecological Stream Health Index(ESHI)을 적용하여 평가하였다. 도랑의 하천 건강도 평가 등급은 4등급으로 분류하였고, 생태건강도 지수를 산정하여 도랑의 생태건강도를 진단하였다. 어류평가 모델에 이용된 생태 건강도 메트릭에 대한 단계별 분석법은 다음과 같다.

1) 1 단계: 수체내 종 풍부도 및 구성도 분석법

종 풍부도 및 구성도의 분석은 5개 메트릭으로 구성하며, 각 메트릭에 대한 서식은 US. EPA(1993)에서 제시한 기법을 따르되, 메트릭 속성은 다양한 외국 문헌에 의거하여 수정 후에 기존 메트릭을 대치하여 평가한다. 채집종의 특성 파악은 교육부(1997)에 의거하여 분류하며, 메트릭 선정기준은 다음과 같다.

M_1 : 본 메트릭은 본토종의 총 종수로서, 오염되거나 훼손된 생태계에서 종수가 감소하는 특성을 평가하였다.

M_2 : 본 메트릭은 여울성 저서종수로서 미환경부에서는 본 메트릭을 “Darter 종수” 혹은

“Cottidae의 종수”로 제시한 바 있으나, 우리나라의 실정에는 적절하지 않아 Harris (1995)가 제시한 항목으로 대체한 후 적용 평가하였다.

M₃: 본 메트릭은 민감종수로서 US. EPA에 의거하여 내성종, 민감종, 중간종으로 구분하였으며, 어종 구분은 최기철(1989)과 교육부(1997)의 기존 자료에 의거하였다. 부유물의 증가로 인한 서식지의 하상구조 변경, 낮은 용존산소량, 수온 상승 및 독성 물질로 인한 종의 감소가 기대되는 메트릭을 선정하여 평가하였다.

M₄: 본 메트릭은 내성종의 개체수 비율로서, 하천수질 저하, 각종 화학오염에 의해 상대풍부도가 증가하는 특성을 보이는 오염에 내성이 강한 종을 이용한 메트릭으로 이들의 특성을 고려하여 평가하였다.

2) 2 단계: 수체 내 트로픽 길드 특성 분석

아래 2개 메트릭은 유수생태계 내 군집의 먹이연쇄를 설명하는 영양단계의 역동성 및 에너지 흐름 관계를 평가하는 메트릭으로서 영양단계 길드는 잡식종(Omnivore sp.) 및 충식종(Insectivore sp.)으로 대별하여 분석하였으며, 메트릭 특성은 안광국 등(2006)의 기법에 의거하였다.

M₅: 본 메트릭은 잡식종의 개체수 비율로서, 동식물을 구분하지 않고 섭식하는 잡식종이 서식지의 물리·화학적 질적 하강에 따라 증가하는 특성을 반영하는 메트릭 선정한 후 평가하였다.

M₆: 수서곤충을 섭식하는 충식종의 개체수 비율 메트릭으로, 서식지의 질적 하강에 따라 풍부도가 감소하는 특성을 반영하는 메트릭 선정하여 평가하였다.

3) 3 단계: 어류 개체 풍부도 및 건강도 분석법

개체군의 풍부도 및 외형적인 건강상태를 판정하는 항목들로서, 안광국 등(2006)에 의거하여 분석을 실시하였다.

M₇: 채집된 국내종의 총 개체수 메트릭은 개체군의 풍부도를 평가하는 메트릭으로서, 대조군 하천조사에서 얻어지는 최대 종풍부도 산정에 의거하여 선정하였다

M₈: 비정상종(Anormalities)의 개체수 비율 메트릭은 어류의 외형적 건강상태를 대표하는 메트릭으로, 본 조사에서는 Sanders *et al.*(1999)의 방법에 따라 비정상성 분석을 실시하였다.

본 연구에서는 잠정적으로 각 조사지점의 보전지수의 등급은 8개 항목의 메트릭 점수를 합산하여 US. EPA(1993)에 의거하여 평가하되, 등급별 메트릭의 상위 및 하위기준은 우리나라 모델에 맞게 수정 변경한 후 적용하여 선정하였다. 각 메트릭의 변수값은 “1”, “3”, “5”점으로 점수 부여 후 합산하였으며, 최종적으로 생태 건강도 등급은 4등급으로 최적상태(Excellent; 36 - 40), 양호상태(Good; 26 - 35), 보통상태(Fair; 16 - 25), 악화상태(Poor; ≤15)로 대별하여 건강도를 진단하였다.

8. 통계자료 분석

중촌의 도랑 연구를 위해 조사지점간의 어류의 종 및 개체수에 대한 통계분석을 위해 SPSS (Version 12.0 KO for windows, 2004) 프로그램을 이용하였다. 미소서식지 내에서 어류군집 분포의 차이를 비교·분석하기 위하여 다변량분산분석(Multivariate analysis, MANOVA)을 실시하였으며, 도랑의 상·하류 간 물리적 서식지의 변화에 따른 어류군집의 연관성을 분석하기 위하여 회귀분석(Regression analysis)을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 어류 구성도 분석 및 분포특성

본 연구에서 출현한 어류는 총 12종 481개체로서 일반적으로 우리나라 도랑 생태계에서 기대되는 5 - 6종의 어류(문운기와 안광국, 2007)에 비해 아주 높은 종 다양도를 보였다. 주요 우점종은 피라미

Table 1. Fish fauna and its guild system of the brooklet in Jeungchon

Species	T _o	T _r	Sampling Sites						Total	RA
			S1	S2	S3	S4	S5	S6		
<i>Zacco platypus</i>	T _S	O _m	112	25	29	25	35	12	238	49.5%
<i>Zacco koreanus</i>	S _S	I _n	158	19					177	36.8%
<i>Squalidus gracilis majimae</i> *	S _S	I _n	4	2	2	2	4		14	2.91%
<i>Misgurnus mizolepis</i>	T _S	O _m	4	1	1			3	9	1.87%
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	S _S	I _n	7	2					9	1.87%
<i>Hemibarbus longirostris</i>	I _S	I _n	4	2	1				7	1.46%
<i>Odontobutis interrupta</i> *	I _S	C _a	3	1	1	1			6	1.25%
<i>Pseudogobio esocinus</i>	I _S	I _n	2	1	2				5	1.04%
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	T _S	O _m	2	2					4	0.83%
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	I _S	O _m	1	2					3	0.62%
<i>Silurus asotus</i>	T _S	C _a	2						2	0.42%
<i>Pungtungia herzi</i>	I _S	I _n	1						1	0.21%
Total number of species			12	10	7	4	2	2	12	
Total number of individuals			300	57	41	29	39	15	481	

T_o: Tolerance guilds, T_r: Trophic guilds, S_S: Sensitive species, I_S: Intermediate species, T_S: Tolerant species, O_m: Omnivores, I_n: Insectivores, C_a: Carnivores, *: Endemic species, RA: Relative abundance.

(*Zacco platypus*, 49.5%) 및 참갈겨니(*Zacco koreanus*, 36.8%)로 나타났으며, 전체 어종 중 출현빈도가 86%를 상회하여 두 종의 균집우점 현상이 극명하게 나타났다. 참갈겨니는 특히 타 지점들에 비해 제 1지점(S1)에서 뚜렷한 우점현상을 보였다. 일반적으로 상류 계곡의 수온이 낮거나 맑은 물 혹은 오염되지 않는 곳에서 흔히 발견되는 민감종(Sensitive sp.)인 참갈겨니의 출현 빈도는 제 1지점에서 가장 높았으며(158개체, 전체 중 약 50%), 그 외에 제 2지점에서만 나타나 제 3지점으로부터 제 6지점까지는 전혀 출현하지 않았다. 상류부 지점(제 1, 2지점)과 그 외 지점의 어류군집 분포의 차이를 비교·분석하기 위한 다변량 분산분석(Multivariate analysis, MANOVA)에서도, 유의수준 $p < 0.01$ 로 분석되어 둠병(Pool)이 존재하는 상류구간과 둠병이 존재하지 않는 중·하류구간의 어류군집 분포에 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이는 수질 오염에 의한 급격한 지점별 변이가 아닌 미소서식지의 특성 및 수온 분포 차이에 의한 것으로 판단된다(Table 1). 한편, 오염에 대한 강한 내성을 보이며 분포범위가 넓고, 하천의 높은 수

온에도 잘 견디는 것으로 알려진 피라미는 제 1지점에서 제 6지점까지 출현하는 것으로 확인되었다. 피라미의 지점별 개체수 분석에 따르면, 최상류에서는 112개체, 2 - 5지점까지는 25 - 35개체로 나타났으며, 제 6지점에서는 12개체로서 일반적으로 하류부로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 상기 2종을 제외한 나머지 종들의 상대 풍부도 범위는 0.2 - 2.9%로서 급격히 감소하는 현상을 보였는데, 이는 수질의 악화로 인한 감소라기보다는 하천의 수심 및 하폭의 감소에 의한 유량감소로 인한 것으로 사료되었다. 즉, Fig. 2에서 나타난 결과에서 확인할 수 있듯이 제 1지점을 제외한 다른 지점에서는 수심이 30 cm 이하이며, 하천 폭이 1.5 m 이하로 유평하는 어류가 살아가기 불리한 조건은 가지고 있으며, 이러한 조건은 하류로 갈수록 악화되는 것으로 나타났다. 이는 하류로 갈수록 유속 감소 및 낮은 수심으로 인하여 호안의 식생이 증가하고, 증가된 식생은 하천폭에도 영향을 주기 때문에 어류들이 서식할 수 있는 미소서식지의 범위가 좁아졌기 때문에 나타난 결과로 판단된다(Fig. 2). 일반적으로 소하천은 좁은 하폭으로 인하여 흐름이 사행화 되

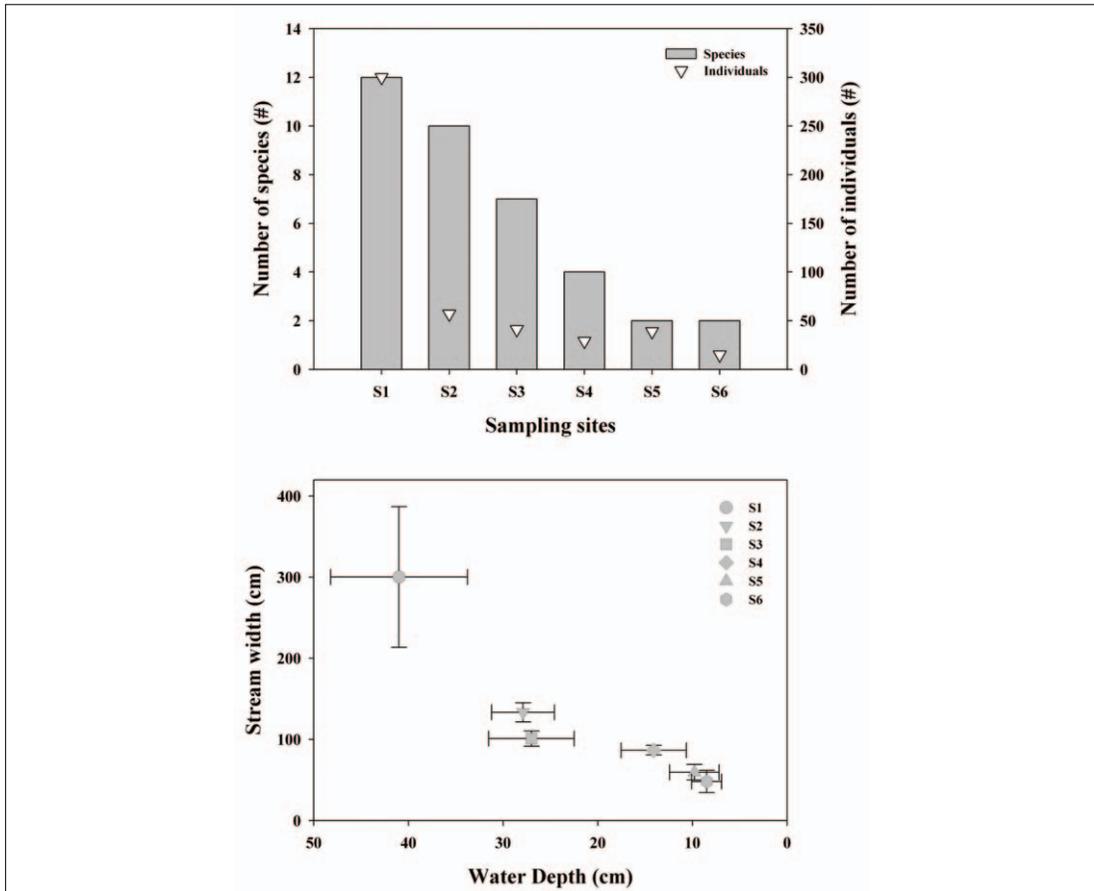


Fig. 2. Inter-site differences in fish compositions and habitat characteristics in Jeungchon brooklet

는데, 매우 좁은 하폭과 적은 유량으로 인하여 도랑의 흐름이 사행되는데 한계가 있는 것으로 판단되며, 하류로 갈수록 흐름의 다양성, 즉 여울과 소가 존재할 수 있는 물리적 여건이 감소되기 때문에 중수 및 개체수가 감소되는 것으로 판단되었다. 일반적으로 상류의 수온이 낮고, 맑은 상류계곡에서 출현빈도가 높고, 민감종으로 알려진 버들치는 제 1지점 및 제 2지점만 출현하여 참갈겨니와 유사한 분포 특성을 보였다. 즉, 3지점의 이후부터는 주변 초본류에 의해 부분적 그늘효과(Shading effect)가 있으나, 큰 나무 등과 같은 교목층의 부재로 인하여 수온 상승이 극명하게 나타났으며, 이런 미소서식지의 차이는 종 분포에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 한편, 본 연구구간에서 일반적으로 하천 생태계의 종적 단절을 초래하는 인공보와 같은 인공구

조물이 발견되지 않았는데, 이러한 인공구조물의 부재가 도랑과 갑천의 생태계를 연결해주고 있는 것으로 판단된다. 이처럼 도랑 호안의 식생 및 인근 산림에서 공급되는 유지유량이 계속적으로 유지되어야 본래 도랑 생태계의 기능을 유지할 수가 있을 것으로 판단된다.

2. 이·화학적 일반수질 특성 분석

이·화학적 수질분석결과에 따르면, 지점별 변이 특성에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 수온의 경우 제 1지점에서 21.9℃로 나타난 반면, 그 외 지점들에서는 23℃ 이상의 수온을 보여 지점간 차이를 보였는데, 이는 제 1지점에 분포하는 교목층에 의한 그늘효과(Shading effect)가 반영된 것으로 판단되며, 교목층이 없는 하류로 갈수록 수온은 상승하는

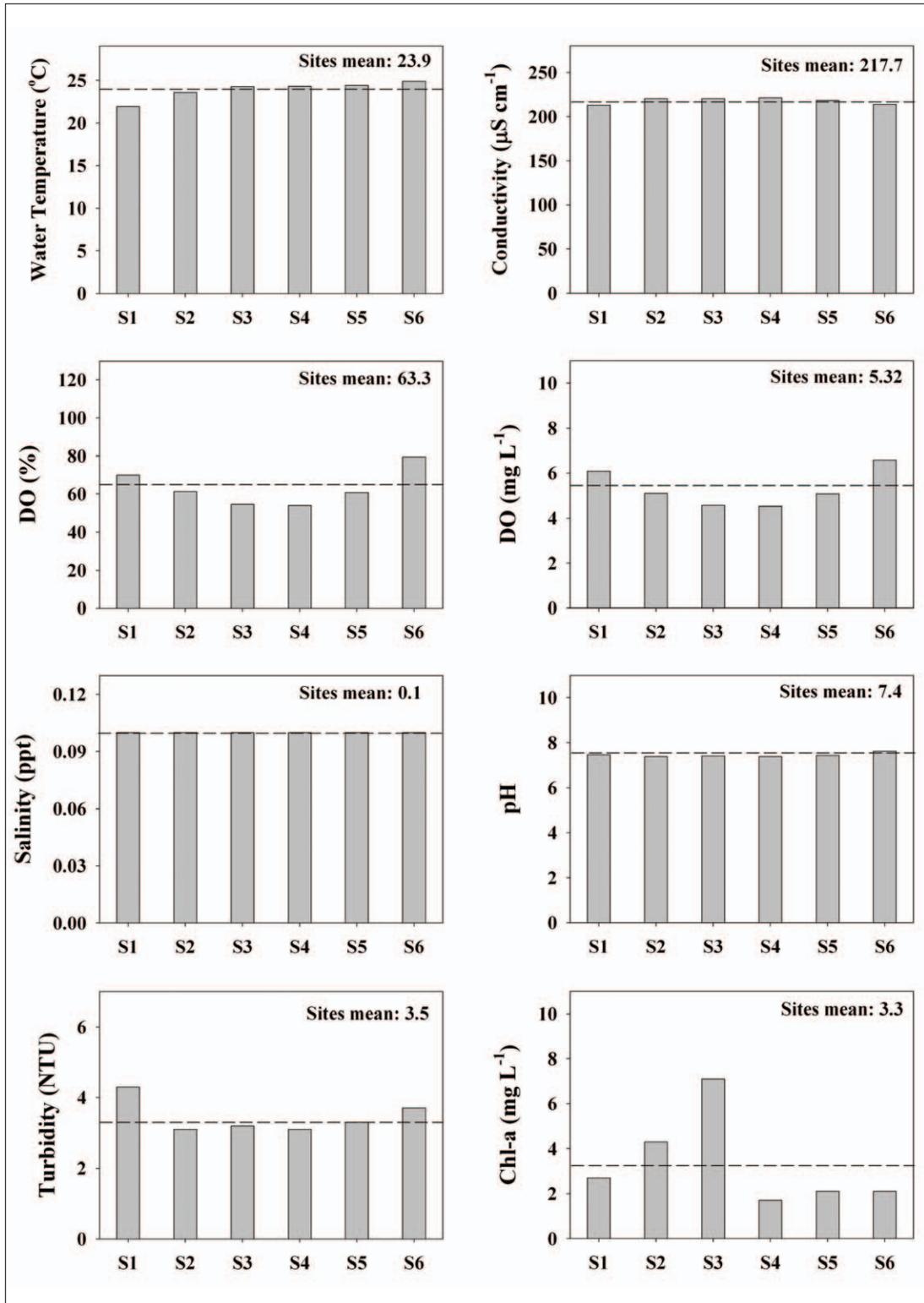


Fig. 3. Physico-chemical water quality parameters in Jeungchon brooklet. DO: Dissolved Oxygen, Chl-a: Chlorophyll-a.

양상을 보였다. 전기전도도는 일반적으로 이온화되어있는 오염물의 증가와 양의 상관관계를 갖는데 전 지점에서 비슷한 양상을 보였으며, 평균 $217.7 \mu\text{S cm}^{-1}$ 로 일반적으로 오염이 덜 진행된 레퍼런스 소하천($40 \mu\text{S cm}^{-1}$)에 비하여 약간 높은 값을 보였는데(배대열 등, 2008), 이는 도랑 주변의 마을과 농경지등에서 유입되는 유입수의 영향으로 인하여 높은 값을 보였다. 전 지점 DO의 평균 농도는 5.32 mg L^{-1} 로 약간의 오염물질은 있으나 용존산소가 많은 상태로 나타났으며, 제 1지점과 6지점을 제외한 지점에서 모두 평균 이하의 농도를 보이는 것으로 나타났다. 1 지점을 제외한 전 지점에서 다소 낮은 수치를 보였는데, 이는 유기물 분해로 인한 감소보다는 낮은 수심과 더불어 증가된 수심, 흐름의 단순화로 인한 여울의 부재가 더 많은 영향을 준 것으로 판단되었다. 염분도(Salinity)와 pH의 경우, 조사 지점별 큰 변이가 없는 것으로 나타났다. 탁도(Turbidity)와 엽록소-a(Chlorophyll-a)의 경우도 지점간 큰 차이를 보이지 않았으며, 엽록소-a의 경우, 제 3지점에서 7.1 mg L^{-1} 로 다소 높은 농도를 보였는데, 이는 제 3지점이 흐름이 거의 없는 정체된 특성과 더불어 수온의 증가가 영향을 미친 것으로 판단된다(Fig. 3). 도랑의 상·하류간의 6개 지점에 대한 일반 항목의 수질분석 결과, 이·화학적 수질특성은 지점간 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 최상류의 1지점 내에서 미소서식지(Microhabitat)는 수온 분포 및 용존산소의 포화도에서 다른 지점들보다는 상대적으로 높은 값을 보여 참갈겨니(*Zacco koreanus*) 및 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*)와 같은 냉수성 어류에 적합한 장소를 제공하는 것으로 사료되었다. 제 1지점에서 수온은 21°C 으로서, 동일 지점내의 나무그늘에 의해 광투과가 차단되는 지점에서는 0.9°C 의 온도 차이를 보였으며, 동시에 포화 용존 산소량은 제 1지점내의 미소서식지들 사이에 26%의 차이를 보여, 나무에 의한 그늘효과 및 그 지점의 상류수 유입은 민감종 서식에 좋은 물리적 요인을 제공하는 것으로 사료되었다.

3. 어류 내성도 특성 분석 및 트로픽 길드 분석

1) 어류 내성도 분석

내성도 특성(Tolerance guilds) 분석에 따르면, 민감종(S_S)은 전체 4.6%, 중간종(I_S)은 전체 53.3%, 내성종(T_S)은 전체 42.1%로 각각 나타나 중간종의 상대비율이 높은 것으로 나타났다. 상류로부터 하류구간에 대한 어류의 민감종 분석에 따르면, 민감종의 상대빈도는 하류로 내려갈수록 거리에 따라 1차 함수적 감소추세(기울기 = -0.31)를 보였다. 반면, 상류로부터 하류구간에 대한 내성종 분석에 따르면, 내성종의 상대 풍부도는 하류로 내려갈수록 거리에 따라 1차 함수적으로 뚜렷하게 증가하는 추세를 보였다. 즉, 내성종(T_S)은 민감종에 비해 더 빠르게 하류로 갈수록 증가율(기울기 = 0.36)이 크게 나타났다(Fig. 4a). 상류로부터 하류까지의 거리에 대한 민감종과 내성종의 1차 회귀분석 결과는 다음과 같다.

$$\text{민감종의 상대빈도}(S_S) = 86.35 - 0.31(D_H) \\ (R^2 = 0.892, F = 56.21, p < 0.01)$$

$$\text{내성종의 상대빈도}(T_S) = 6.47 + 0.36(D_H) \\ (R^2 = 0.950, F = 90.28, p < 0.001)$$

즉, 이런 결과는 일반 하천에서 하류로 내려갈수록 오염되어 상류에 비해 하류에서의 내성종 증가, 민감종 감소 현상과 동일했으나 본 연구에서는 일반 수질 특성이 제시하는 바와 같이 이러한 내성도의 차이는 이·화학적 수질 악화 혹은 서식지 질의 감소에 의한 현상이 아니라 도랑의 유량 감소에 의한 현상으로 나타났다.

2) 어류 트로픽 길드 분석

섭식특성(Trophic guilds) 분석에 따르면, 잡식종(O_m)이 53.5%, 충식종(I_n)이 44.8%, 육식종(C_a)이 1.7%의 구성비를 보여 잡식종의 상대 비율이 높은 것으로 나타났다. 상류로부터 하류구간에 대한 어류의 충식종 분석에 따르면, 충식종(I_n)의 상대빈도는 하류로 내려갈수록 거리에 따라 1차 함수적 감소추세(기울기 = -0.34)를 보였다. 반면, 상류로부터 하류구간에 대한 잡식종 분석에 따르면, 잡식종

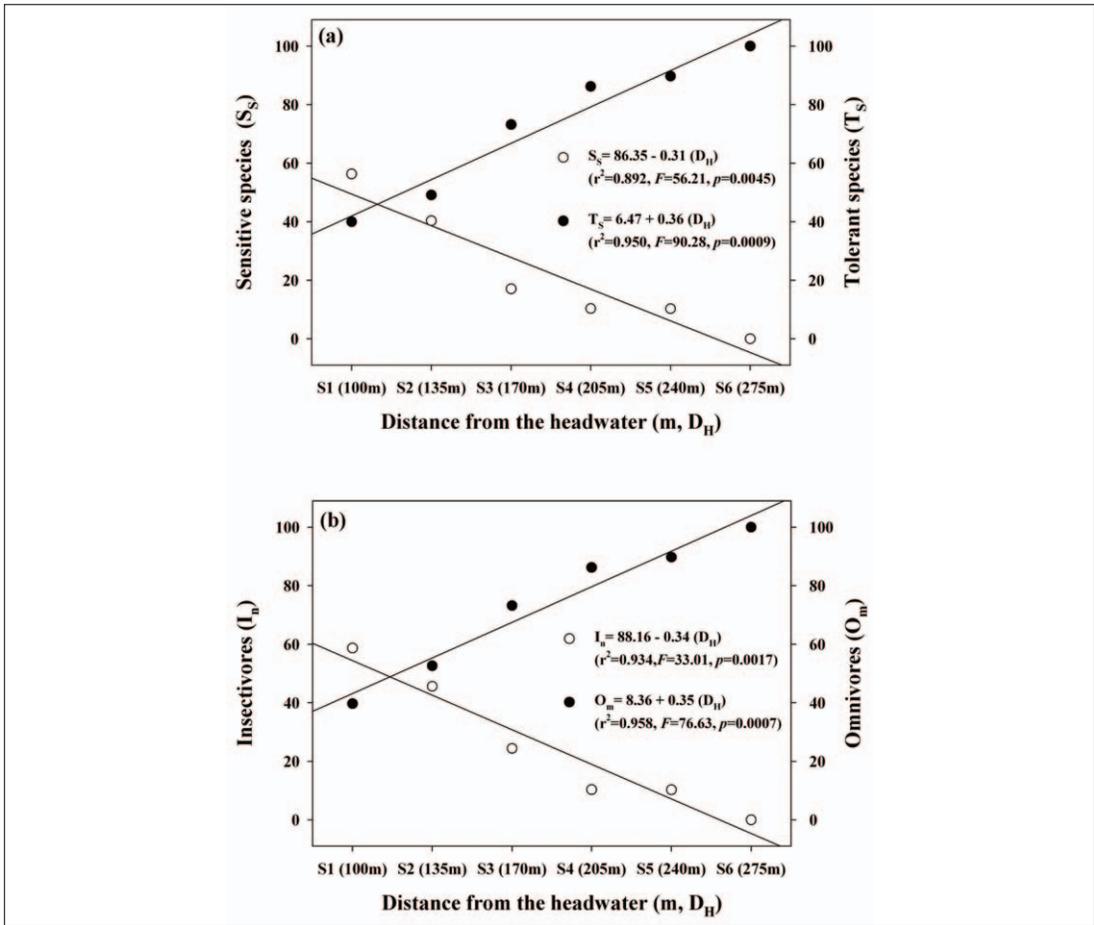


Fig. 4. Tolerance(a) and trophic(b) guilds analyses along with the distance in Jeunghon brooklet.

의 상대 풍부도는 하류로 내려갈수록 거리에 따라 1차 함수적으로 뚜렷하게 증가하는 추세를 보였다. 즉, 잡식종(O_m)은 민감종에 비해 더 빠르게 하류로 갈수록 증가율(기울기 = 0.35)이 크게 나타났다 (Fig. 4b). 상류로부터 하류까지의 거리에 대한 충식종 및 잡식종의 1차 회귀분석 결과는 다음과 같다.

충식종의 상대빈도(I_n) = $88.16 - 0.34(D_H)$
 $(R^2 = 0.934, F = 33.01, p < 0.01)$

잡식종의 상대빈도(O_m) = $8.36 + 0.36(D_H)$
 $(R^2 = 0.958, F = 76.63, p < 0.001)$

US. EPA(1993)에 의하면 오염도가 높아질수록 잡식종의 상대빈도가 증가하며, 서식지의 질적저하로 충식종이 감소하여 하류로 내려갈수록 잡식종 증가 및 충식종이 감소한다고 보고된 바 있다. 그러

나 본 연구에서는 수질보다는 미소서식지의 단순화 및 유지유량 감소가 이와 같은 결과를 초래한 것으로 판단된다.

4. 물리학적 서식지의 다변수 모델 평가

물리적 서식지 평가를 위해 QHEI 모델 분석에 따르면, 물리적 서식지 구조는 지점별로 큰 차이를 보이지 않았다. 즉, 제 1지점에서 제 6지점 까지 QHEI 평균값은 158.7($n = 6$)이었고, 모델값은 153 - 165 사이에서 변화하였다. 물리적 서식지 평가지수 (Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI)에 따르면, 본 도랑의 모든 서식지는 동일하게 4개의 등급(최적, 양호, 보통, 악화)중 “양호상태”로 평가되었다. 지점별 물리적 서식지 평가는 상·하류

Table 2. Metric attributes and model values of Qualitative Habitat Evaluation Index(QHEI) in the sampling sites

QHEI Groups & Metrics	Sampling sites						
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Mean
Substrate structure & vegetation cover							
M ₁ : Substrate/Instream cover	13	13	10	10	10	10	11
M ₂ : Embeddedness	11	15	15	13	13	13	13.3
M ₃ : Flow velocity/depth combination	11	8	6	5	5	5	6.7
M ₄ : Bottom scouring & sediment deposition	18	13	11	10	10	10	12
M ₅ : Channel flow status	15	10	8	8	8	5	9
Channel characteristics							
M ₆ : Channel alteration	11	20	20	20	20	20	18.5
M ₇ : Frequency of riffles or bends	10	11	11	11	11	11	10.8
M ₈ : Bank stability	18	20	20	20	20	20	19.7
Bank characteristics and structure							
M ₉ : Bank vegetative protection	18	20	20	20	20	20	19.7
M ₁₀ : Riparian vegetative zone width	13	20	20	20	20	20	18.8
M ₁₁ : Artificial barrier impact	15	15	20	20	20	20	19.2
Total Model Score	153	165	161	157	157	154	158.7
Criteria	G	G	G	G	G	G	G

Criteria: 'Ex'- excellent, scores (182-220); 'G'- good, scores (124-168); 'F'- fair, scores (66-110); 'P'- poor, scores (8-52).

간 평가값에 있어서 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다(Table 2). 제 1지점은 전형적인 도랑의 형태를 갖추고 있고, 유량이 풍부하여 어류가 서식지 환경은 가장 좋게 나타났지만, 흐름이 거의 없는 정수역으로 M₂가 낮은 값을 보였다. 제 2지점 이후부터는 M₃ - M₅의 메트릭 지수가 낮게 나왔는데, 특히 흐름유형을 나타내는 M₃가 특히 낮게 나타났다. 이는 제 2지점 이후부터 적은 유량과 유속으로 인하여 유입부로부터 멀어질수록 자갈이나 모래가 거의 없었고, 대부분 진흙으로 이루어져 있어 이러한 결과가 나타난 것으로 판단되었다. 도랑의 수량을 나타내는 M₅와 더불어 여울의 빈도를 나타내는 M₇ 메트릭 지수에서도 동일한 결과를 보였다. 이는 도랑의 특성상 도랑 폭이 좁고, 적은 수량으로 인하여 여울의 빈도가 낮아 이러한 결과를 보였다(Table 2). 또한, 하류로 갈수록 도랑 하상에 서식하는 식생의 증가로 인하여 어류가 유영할 수 있는 면적이 감소하였기 때문에 서식하는 어류 풍부도의 급격한 하락을 불러왔다. 실제로 조사구간 중 하류 구간에서는 수층성 어종 중 피라미(*Zacco platypus*)만 적은 개체가 채집되었고, 하상의 퇴적물에 서식하는

저서성 어종인 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*)등 적은 유량에 대하여 내성이 강한 종만 서식할 수 있는 것으로 판단된다. 일반적으로 서식지의 질이 감소하면 하천건강도 역시 감소하는 양상을 보이거나 도랑의 경우 상대적으로 유량 및 하폭이 적어 일부 출현종의 특성에 따라 하천건강도가 영향을 받는 것으로 판단되었다.

5. 어류의 군집구조분석

어류 군집특성 분석 결과에 따르면, 상류부 지점에서는 다양한 종이 출현하여 안정된 군집구조를 보였으나 하류부로 갈수록 불안정한 군집특성을 보였다. 군집우점도 지수(범위: 0.298 - 0.811)의 경우 하류부로 내려갈수록 증가하였으며, 종 풍부도 지수(범위: 0.273 - 2.226)는 감소하였다. 종 다양도 지수(범위: 0.331 - 1.528) 경우도 하류로 갈수록 낮아진 반면, 종 균등도 지수(범위: 0.372 - 0.722)는 특정 패턴을 보이지 않았으며, 제 2지점과 제 3지점을 제외한 다른 지점들에서는 유사한 양상을 보였다. 전반적으로 상류구간의 어류들이 안정된 군집구조를 보이고 있는 것으로 분석되었으

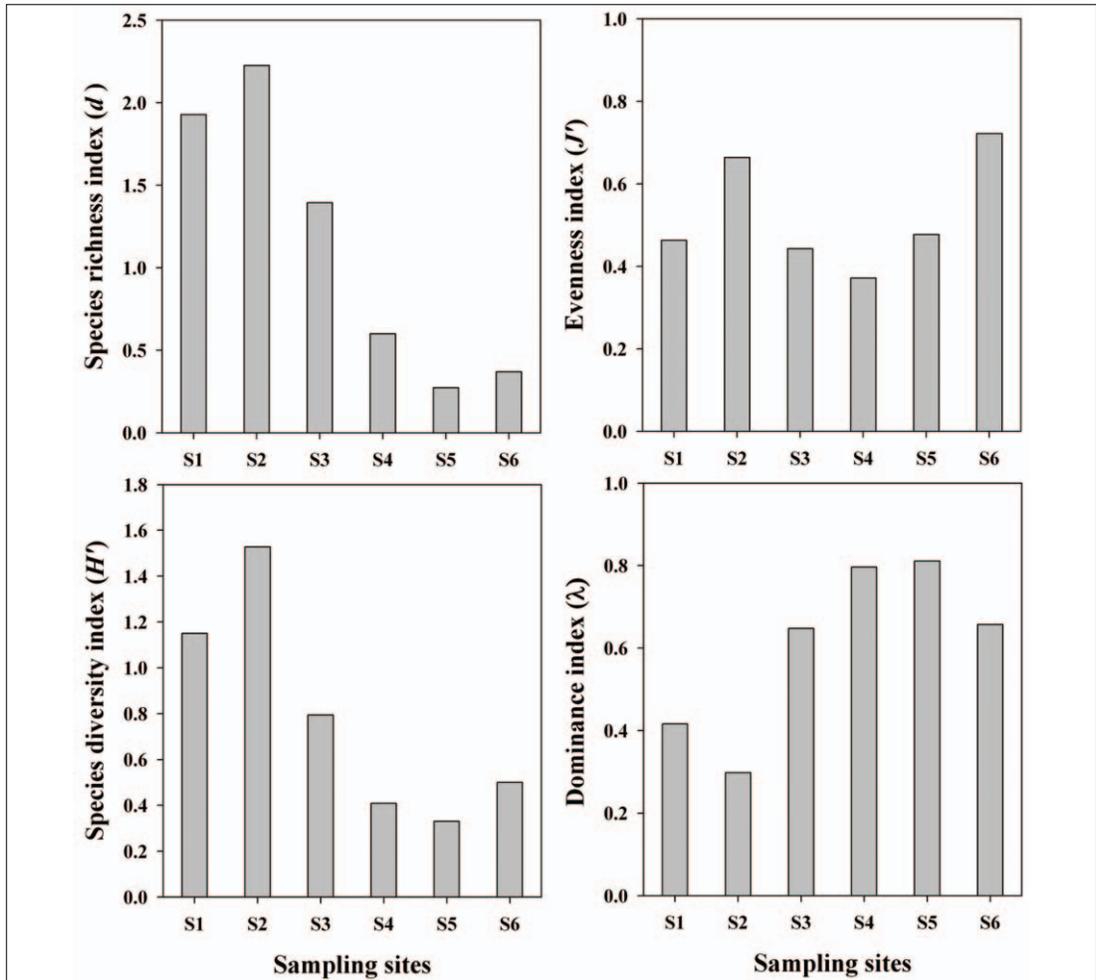


Fig. 5. Community analyses, based on the species richness index(d), evenness index(J'), species diversity index(H'), and dominance index(λ) in the Jeungchon brooklet

며, 하류로 갈수록 불안정한 군집구조를 보이는 것으로 나타났다. 이는 도랑 상류부 지점의 물리적 서식지 특성상 유량이 충분하지 않은 갈수기에도 상류에서 공급되는 유량과 더불어 둠벙(Pool)이 형성되어 있어, 다양한 어류들이 서식할 수 있는 환경이 조성되었기 때문에, 서식 환경 및 유지유량이 적은 하류구간 보다는 안정된 군집구조를 보이는 것으로 판단된다(Fig. 5).

6. 어류의 다변수 평가모델에 의한 생태건강도 분석

도랑의 6지점에 대한 생물학적 건강도 지수(ABI)는 평균 23($n = 6$)로 생태건강도 등급에서 “보통상

태”(Fair)를 보였다(Table 3). 지점별 모델 값의 분석결과에 따르면, 제 1지점은 30으로 평가되었으며, 제 2지점은 28, 제 3지점은 26으로 나타나 상류부 지점의 건강도는 “양호상태”(Good)로 평가되었다. 반면, 제 4지점과 제 5지점은 20으로 생태 건강도가 “보통상태”(Fair)로 평가되었다. 최하류 지점인 제 6지점에서는 14로 생태건강도가 “악화상태”(Poor)로 평가되어 하류로 갈수록 생태건강성은 낮아지는 것으로 평가되었다. 이와 같은 결과는 총 채집 개체수와 출현 종수가 하류로 갈수록 감소하고, 이와 더불어 민감성종인 동시에 충식성 어종인 버들치와 참갈겨니의 개체수 감소가 영향을 미친 것

Table 3. Model values and criteria of the Index of Biological Integrity(IBM) in Jeungchon brooklet in Gap stream watershed. The values of parenthesis indicate metric values from the ranges of 1, 3, and 5, respectively

Sampling location	Model Metrics								IBM (Criteria)
	TNS	RBS _s	S _s	% T _s	% O _m	% I _n	TNI	% A _f	
S1	12(5)	0(1)	3(5)	40.0(1)	39.7(3)	58.7(5)	300(5)	0(5)	30(II)
S2	10(5)	0(1)	3(5)	49.1(1)	52.6(1)	45.6(5)	57(5)	0(5)	28(II)
S3	7(5)	0(1)	2(5)	73.2(1)	73.2(1)	24.4(3)	41(5)	0(5)	26(II)
S4	4(5)	0(1)	2(5)	86.2(1)	86.2(1)	10.3(1)	29(5)	3.5(1)	20(III)
S5	2(3)	0(1)	1(3)	89.7(1)	89.7(1)	10.3(1)	39(5)	0(5)	20(III)
S6	2(3)	0(1)	0(1)	100(1)	100(1)	0(1)	15(1)	0(5)	14(IV)

TNS: Total number of native species, RBS: Total number of riffle benthic species, S_s: Total number of sensitive species, % T_s: % individuals as tolerant species, % O_m: % individuals as omnivores, % I_n: % individuals as native insectivores, TNI: Total number of individual, % A_f: % individuals with anomalies, I: Excellent, II: Good, III: Fair, IV: Poor

으로 사료되었다. 제 6지점의 IBM 모델 값이 낮은 이유는 도랑의 폭과 유량이 적어 단 2종만이 출현하여 건강도 점수가 좌우되는 모델의 특성 때문에 기인한 것으로 판단된다. 제 1지점과 제 2지점은 최상류 구간임에도 불구하고 다른 도랑에 비하여 도랑 폭이 넓고, 수심이 깊은 서식지 특성과 더불어 상류 계곡에서 지속적으로 유입되는 유입수로 인하여 일정하게 유지되는 유량이 도랑 주변 농경지와 마을 등의 오염원 증가에도 불구하고 도랑생태계의 높은 건강성을 유지시키는 것으로 분석되었다. 한 차례의 조사로 단정 짓기는 어렵지만 전체적으로 도랑의 생태건강도는 주변의 다른 소하천들과는 다르게 주변의 이·화학적 수질 오염 및 서식지의 질적 하락으로 인한 영향보다는 기본적으로 어류가 생존할 수 있는 서식환경(유지유량, 도랑 폭, 수심 등)이 생태건강성에 더 많은 영향을 주는 것으로 판단된다. 향후 이와 같은 결과가 갈수기 유량감소로 인하여 발생하는 어류 이동 단절의 영향인지는 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료되었다.

IV. 결론

본 조사는 도랑을 대상으로 생태건강성 평가를 통해 현 상태를 진단하고자 하였다. 서식지 평가지수(QHEI)를 통해 분석한 결과, 6개의 전지점에서 QHEI 평균값 158.7 “양호-보통상태(Good-Fair)”인 것으로 나타나 양호한 것으로 평가되어 1차 하천

으로 이루어진 상류성 소하천 특성을 잘 반영하고 있었으며, 최 상류부인 제 1지점의 물리적 서식지 상태가 비교적 낮은 값을 보였는데, 이는 제 1지점이 인위적인 석축과 바위로 구성되어 있는 하안 특성을 보이고 있으며, 소(Pool)의 존재로 인한 침전물 증가가 하상 서식지를 교란시키는 원인으로 작용하고 있었다. 이·화학적 수질특성에 대한 영향 평가에서는 전기전도도는 인간의 인위적인 영향이 없는 대조군 하천(배대열 등, 2008)에 비교하였을 때 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 주변의 존재하는 농경지와 같은 비점오염원에서 유입수로 인하여 다소 높은 전기전도도 값을 보이는 것으로 판단된다. 이는 S1 지점 인근 농경지 및 과수원등으로부터의 유기물 유입이 일어나고 있으며, S2 지점의 경우는 도랑주변의 주택가로부터 오염원의 유입이 예상되고 있어 영양염류의 유입으로 인한 이·화학적 수질악화가 하류부로 가면서 다소 증가하는데 이는 하류로 갈수록 수체가 좁아지는 특징과도 연계된다.

도랑의 상류부 지점(S1, S2)은 다른 레퍼런스 하천(문운기와 안광국, 2007)과 비교·분석에서도 많은 종과 개체수가 출현하는 것으로 나타났다. 이는 갈수기에 도랑이 건조해지면서 어류 서식처가 감소하여 다수의 어류가 물이 고여 있는 둠병(Pool)으로 이동하는 특성이 반영된 결과로 판단된다. 도랑에서 둠병은 어류의 서식처와 피난처 역할을 하며, 그로 인하여 어류 개체군의 안정성이 확보된다고 할

려져 있다(Harding *et al.*, 2007). 또한 도랑에 물이 빠지는 갈수기에 미꾸리, 붕어, 피라미 등의 어류는 도랑의 물 웅덩이에 다량 채집되었다는 연구 결과(Kusuda and Noboru, 2009)에서도 알 수 있듯이 도랑에서 뚝방의 역할은 매우 중요한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구지역의 도랑은 상류부 뚝방의 존재가 안정된 어류군집 구조를 유지시키는 것으로 판단된다. 또한 전조사 지점에서 여울성 저서어종의 부재 및 제 3지점 이후에서 민감종이 출현하지 않고 있어 서식지 상태가 어류군집에 있어서 얼마나 중요한 요인으로 작용하고 있는지를 보여주고 있다.

내성도 및 트로픽 분석에서는 하류로 갈수록 민감종 및 충식종이 감소하고 내성종 및 잡식종이 증가하는 특성을 보였는데 Karr(1981)와 US-EPA(1991)의 기존연구에 따르면 내성종의 개체수 및 종수는 유기물 오염, 서식지 파괴 등의 서식지의 물리·화학적 질적 하강에 따라 어종의 풍부도가 증가하는 경향을 보이는 것으로 보고하고 있는데, 본 조사지점에서는 화학적 수질악화보다는 도랑의 물리적 저하 현상이 도랑의 건강성을 낮추는 것으로 판단되었다. 도랑의 생태건강도 평가 결과, 생물통합지수(IBM)는 “보통상태”(Fair)를 보이고 있다. 그러나 하류로 갈수록 생태건강도는 매우 급격히 악화되는 것으로 분석되었는데 이는 화학적 수질 영향보다는 수심과 도랑 폭의 감소로 인한 서식공간의 부족 및 단순한 흐름유형이 어류가 서식할 수 있는 물리적 서식공간이 감소되었기 때문에 하류로 갈수록 IBM값이 낮아졌다고 판단된다. 이는 서식지의 변형이나 질적 하락은 하천 생물 군집 구조에 주요한 스트레스 요인으로 작용되며(Karr *et al.*, 1986), 서식지의 질의 변화에 따라 먹이질도 변하게 되기 때문에, 이러한 먹이를 섭취하는 어류는 서식지의 질에 따라 건강성에 직접적인 영향을 받게 된다(최명재 등, 2009). 따라서 도랑의 전체적인 건강성 향상을 위해서는 상·하류 간 어류의 자유로운 이동 및 서식공간을 제한하고 흐름 유형을 단순화시키는 하는 장애물(퇴적물, 인공구조물) 제거 및

주변 농경지와 주거지에서의 오·폐수 유입의 규제 등 적절한 대안책을 마련해야만 도랑의 생태적 가치가 더 높아질 수 있을 것으로 사료되었다.

사 사

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

참고 문헌

- 경남발전연구원, 2011, 경상남도 도랑살리기 현황과 과제, 1-18.
- 교육부, 1997, 한국동식물도감, 제37권 동물편(담수 어류), 교육부, 133-520.
- 국립환경과학원, 2007, 수생태 건강성 회복을 위한 하천복원 모델과 기준, 조사계획 수립 연구 최종보고서(III): 수생태 건강성 조사계획 수립 및 지침, 국립환경과학원, 37-46.
- 김익수, 강종언, 1993, 원색 한국 어류도감, 아카데미서적, 1-478.
- 김익수, 박종영, 2002, 한국의 민물고기, 교학사, 1-465.
- 문운기, 안광국, 2007, 1차 소하천의 환경특성 및 어류군집, 한국육수학회지, 40(1), 163-172.
- 배대열, 김유표, 안광국, 2008, 다변수 메트릭 모델을 이용한 식장산 계곡천의 생태 건강성 평가, 한국물환경학회지, 24(2), 156-163.
- 손영목, 송호복, 2006, 금강의 민물고기, 지성사, 1-239.
- 안광국, 김자현, 2005, 물리적 서식지평가기법 및 어류 다변수 평가모델에 의거한 대전천의 생태학적 건강도 진단, 한국육수학회지, 38(3), 361-371.
- 안광국, 이재연, 배대열, 김자현, 황순진, 원두희, 이재관, 김창수, 2006, 우리나라 주요하천 수계에서 다변수모델을 이용한 생태학적 수환

- 경 평가, 한국물환경학회지, 22(5), 796-804.
- 양인태, 최영재, 2001, GIS를 이용한 소하천 관리 시스템 개발, 대한토목학회지, 21(1-D), 105-114.
- 이상훈, 조옥상, 2001, 소하천의 오염부하량이 수질에 미치는 영향에 관한 연구, 한국환경영향평가학회지, 10(1), 9-19.
- 전상린, 1980, 한국산 담수어의 분포에 관하여, 중앙대학교 박사학위 논문, 1-91.
- 정문기, 1977, 한국어도보, 일지사, 서울, 1-727.
- 최기철, 1989, 한국의 민물고기, 서문당, 서울, 1-50.
- 최기철, 전상린, 김익수, 손영목, 1990, 원색 한국 담수어 도감, 향문사, 서울, 1-277.
- 최명재, 박혜경, 이상호, 윤석환, 2009, 어류 모델 메트릭과 물리적 서식지 변수를 이용한 팔당호 유입하천 하류부의 하천건강성 평가, 한국육수학회지, 42(3), 280-289.
- 한국농어촌공사, 2006, 농촌지역 소하천의 건천화 원인분석을 위한 실태 조사, 농어촌 연구원, 45-65.
- 한국환경정책평가연구원, 2008, 수생태계 보호를 위한 소하천 관리방안, 1-25.
- 환경부, 2008, 2008년도 전국 도랑 살리기 실태조사 결과, 환경부 수생태보전과, 1-6.
- 환경부, 2010a, 생태하천 복원사업 중장기 추진계획, 환경부 수생태보전과, 1-27.
- 환경부, 2010b, 셋강, 실개천을 살리기 위한 1사 1하천 운동 협약식 계획, 환경부 수생태보전과, 1-27.
- 환경부, 2011, 우리마을 도랑살리기 범 국민운동 추진계획, 낙동강유역환경청, 6-11.
- Alexander, R.B., E.W. Boyer, R.A. Smith, G.E. Schwarz, and R.B. Moore, 2007, The role of headwater streams in downstream water quality, Journal of The American Water Resources Association, 43(1), 41-59.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder, and J.B. Stribling, 1999, Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, second edition, EPA-841-B-99-002, pp. 162-180, US. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.
- Haigh, M.J., L. Jansky, and J. Hellin, 2004, Headwater deforestation: a challenge for environmental management, Global Environmental Change, 14, 51-61.
- Harding, J.S., D.A. Norton, and A.R. McIntosh, 2007, Persistence of a significant population of rare Canterbury mudfish (*Neobanna burrowsius*) in a hydrologically isolated catchment, New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 41, 309-316.
- Harding, J.S., R.G. Young, J.W. Hayes, K.A. Shearer, and J.D. Stark, 1999, Changes in agricultural intensity and river health along a river continuum, Freshwater Biology, 42(2), 345-357.
- Harris, J.H., 1995, The use of fish in ecological assessments, Australian Journal of Ecology, 20, 65-80.
- Johnson, B.R., K.M. Fritz, K.A. Blocksom, and D.M. Walters, 2008, Larval salamanders and channel geomorphology are indicators of hydrologic permanence in forested headwater streams, Ecological Indicator, 9(1), 150-159.
- 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, p. 28, Illinois National History Survey, Special Publication 5, Champaign, IL.
- Kusuda, S., and K. Noboru, 2009, Upstream-migrating loach in the fishway for a rice paddy, *Fish Water*, 45, 19-22.
- Margalef, R., 1958, Information theory in ecology, *Generation System*, 3, 36-71.
- Muotka, T., and P. Laasonen, 2002, Ecosystem recovery in restored headwater streams: the role of enhanced leaf retention, *Journal of Applied Ecology*, 39(1), 145-156.
- Pielou, E.C., 1975, *Ecological diversity*, Wiley, New York, 165.
- Plafkin, J.L., M.T. Barbour, K.D. Porter, S.K. Gross and R.M. Hughes, 1989, Rapid assessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish, EPA-444/4-89-001, Office of Water Regulations and Standards, US EPA, Washington DC, USA.
- Pozo, J., E. Gonzalez, J.R. Diez, J. Molinero, and A. Elosegui, 1997, Inputs of particulate organic matter to streams with different riparian vegetation, *Journal of the North American Benthological Society*, 16(3), 602-611.
- 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, T.P.(Eds), CRC Press., 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.
- US. EPA, 1991, Technical support document for water quality-based toxic control, pp. 29-45, EPA 505-2-90-001, US. EPA, Office of Water, Washington D.C. USA.
- US. EPA, 1993, Fish field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters, pp. 128-198, EPA-600-R-92-111, Environmental monitoring systems laboratory-Cincinnati office of modeling, monitoring systems, and quality assurance, Office of Research Development, USA.
- Wipfli, M.S., J.S. Richardson, and R.B. Naiman, 2007, Ecological linkages between headwaters and downstream ecosystems: transport of organic matter, invertebrates, and wood down headwater channels, *Journal of the American Water Resources Association*, 43(1), 72-85.