

Original article

4대강 보에 서식하는 삼지창무늬깔따구 (*Polypedilum scalaenum*) 위 내용물 분석

나영권 · 조현빈¹ · 박재원 · 장광현² · 곽인실*

전남대학교 해양융합학과, ¹전남대학교 수산과학연구소, ²경희대학교 환경학 및 환경공학과

The Gut Content Analysis of *Polypedilum scalaenum* in the Large-scale Weirs of 4 Major River Ecosystems.

Young-Kwon Na (0000-0002-8327-1054), Hyunbin Jo¹ (0000-0001-8064-7880), Jae-Won Park (0000-0002-4067-7089), Kwang-Hyeon Chang² (0000-0002-7952-4047) and Ihn-Sil Kwak* (0000-0002-1010-3965) (Department of Fisheries and Ocean Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; ¹Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; ²Department of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University, Yongin 17104, Republic of Korea)

Abstract Chironomidae widely utilize as a biological indicator that has various types of feeding pattern such as omnivorous, herbivorous and carnivorous. *Polypedilum scalaenum* is known as omnivorous, it plays an important role in the food chain of freshwater ecosystems in Korea. Nevertheless, detailed information about diet items of *P. scalaenum* is still lacking. The purpose of this study is to identify the gut and intestine contents of items on *P. scalaenum* inhabiting the large-scale weirs of the four major river ecosystems (Ipoh Weir, Sejong Weir, Juksan Weir, Gangjeong-Goryeong Weir, and Dalseong Weir). Phytoplankton was dominant diet items among the study sites. However, zooplankton (i.e. appendages, setae) only found in Ipoh Weir. The phytoplankton species composition in the study sites was correspond to the diet items in the gut and intestine contents of *P. scalaenum*. In summary, analysis of *P. scalaenum* gut and intestine contents in this study was able to identify the feeding characteristics of omnivorous Chironomidae, and in particular, it was possible to study the species composition of basic producers in the surrounding aquatic environment by analyzing the contents of the digestive tracts.

Key words: diet items, *Polypedilum scalaenum*, large-scale weirs, four major river ecosystems

서론

최근 4대강 정비사업으로 16개의 대형 보 (large-scale weir)가 4대강 본류를 따라 건설이 되었다(Chae, 2018). 이로 인해 4대강 본류에 건설된 보 상류는 물이 흐르는 우수

생태계에서 물이 흐르지 않고 정체되어 있는 정수 생태계로 전환되었다. 이러한 인위적 영향(anthropogenic impact)은 대상 생태계에 탁수 발생이나 준설에 의한 오염물질 유입으로 인한 먹이연쇄의 구조 (food chain structure), 생물상(biota)의 변화와 그에 따른 생태적 기능(ecological functions)의 변화 등에 영향을 미친다고 알려졌다(Park *et al.*, 2005; Chang *et al.*, 2008; Lee, 2010; Jo *et al.*, 2018). 또한, 보와 보 사이 생태계에서만 국한적으로 작용하는 것이 아니라, 보 상류와 하류의 생태계에도 영향을 주기 때문에

Manuscript received 25 January 2020, revised 18 March 2020,
revision accepted 18 March 2020

* Corresponding author: Tel: +82-61-659-6744, Fax: 82-61-659-6749
E-mail: iskwak@chonnam.ac.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

이러한 영향 파악은 중요하다(Lee *et al.*, 2008).

깔따구(Chironomidae)는 전 세계에 걸쳐서 8,000~20,000종의 보고가 되어 있는 종 다양성이 높은 저서무척추 동물이다(Armitage *et al.*, 2012). 깔따구 성체의 경우 수변 부, 유충의 경우 수생에서 서식하며, 다양한 서식지에서 발견된다(Pinder, 1995). 깔따구는 알(Egg mass)에서 부화 후 1st instar larva는 바닥에 정착하기 시작하여(Walker, 2001) 3rd, 4th instar에서 딱딱한 head capsule을 가지게 되는데(Oliver and Roussel, 1983), 이는 필터를 통해 플랑크톤을 섭취하거나 다른 생물을 포식하는 먹이 습성과 관련 있다(Wallace and Merritt, 1980; James *et al.*, 2008; Dézerald *et al.*, 2013). 깔따구 유충의 이러한 생활사는 수질의 화학적 요인이나 인위적 작용에 민감하며, 어류나 조류에게 중요 먹이원(Nilsson, 1972; Byeon, 2012)이 되는 것으로 알려져 있어 유충 단계의 깔따구의 먹이원에 대한 연구는 중요하다.

기존 연구는 생태학과 생리학으로 나누어 볼 수 있으며, 생태학적으로는 생활사 및 head capsule에 따른 먹이 섭취 방법(Walker, 2001), 먹이 연쇄의 역할과 그 영향 및 분포(Batzer *et al.*, 2000; Porinchu and MacDonald, 2003; Armitage *et al.*, 2012), 생리학적으로는 온도에 따른 발달 속도(Park and Kwak, 2014), 독성물질에 따른 반응성(Bang *et al.*, 2008), 유기물 분해능(Sim *et al.*, 2009), 알레르기와 천식(Park *et al.*, 1991) 등이 보고되어 있다. 하지만 깔따구 먹이원에 관련한 학술적인 연구는 그 중요성에 비해 상대적으로 적으며, 국내에서 서식하는 깔따구 종에 대한 보고는 없다. 본 연구는 4대강 보에서 우점하여 서식하고 있는 삼지창 무늬깔따구(*Polypedium scalaenum*) 소화기관(위, 장)의 내용물을 국내 최초로 분석하여 보고하고, 조사지점 간의 먹이원 구성 차이를 파악하였다. 또한 대상 환경의 잠재적 먹이원 군집과 소화기관의 먹이원 구성과 비교하였다.

재료 및 방법

1. 조사 지점 및 수질조사

한강(이포보, IP), 금강(세종보, SJ), 영산강(죽산보, JW), 낙동강(달성보, DS; 강정고령보, GG)에서 2019년 3월부터 7월까지 매월 조사를(n=5) 실시하였다(Fig. 1). 수질 조사를 위한 시료 채취는 지점별로 보와 보 사이, 보 상방, 보 하방, 주요발생지점, 지류를 측정하였으며 수심 40~140 cm 깊이에서 이루어졌다. 환경부 “2중 환경영향 평가업 수질오염 공정시험 지침”을 참고하여 측정하였다(Cho, 2017). 수온(Temperature, Temp, °C), pH, 용존산소(Dissolved Oxygen, DO, mg L⁻¹), 전기전도도(Electrical

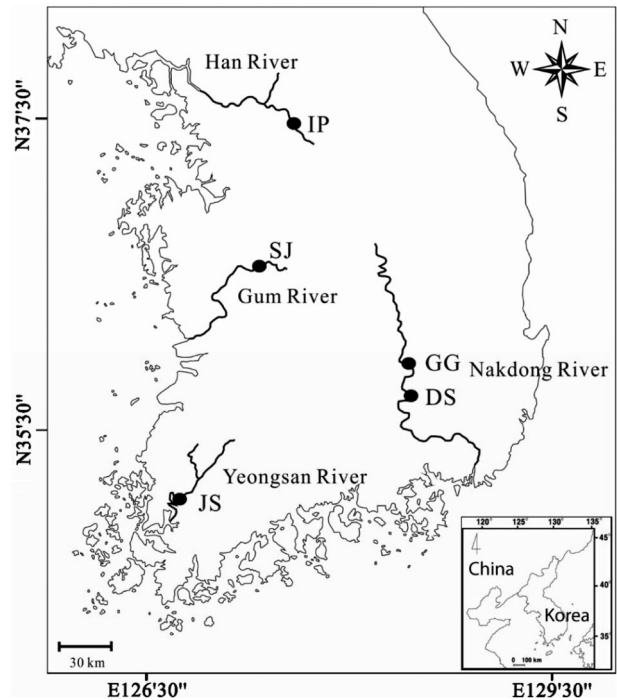


Fig. 1. Map showing the sampling sites in the Han River (IP: Ipoh Weir), Gum River (SJ: Sejong Weir), Yeongsan River (JS: Juksan Weir), and Nakdong River (GG: Gangjeong Goryeong Weir, DS: Dalseong Weir).

Conductivity, EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$), 탁도(Turbidity, NTU)는 현장에서 YSI pro plus를 이용하여 현장에서 측정하였고, 유기탄소(Dissolved Organic Carbon, DOC, mg L⁻¹), 총인(Total Phosphorus, TP, mg L⁻¹), 총 질소(Total Nitrogen, TN, mg L⁻¹), 총 유기 탄소량(Total Organic Carbon, TOC, mg L⁻¹), 엽록소-a(Chlorophyll-a, Chl-a, mg m⁻³)의 경우 현장에서 채수한 시료를 실험실로 운반 후 즉시 측정하였다.

2. 생물 시료 채집 방법

생물 시료(*P. scalaenum*)를 채집을 하기 위해 국내에서 사용되는 방법은 수심이 얇은 하천에서는 surber net (25 cm × 20 cm), 수심이 깊은 곳에서는 dredge (1 m × 1 m), Ekman grab, ponar grab 등(ME, 2013)을 사용하였다. 수심 0.5 m, 1.0 m는 ponar grab로, 하상 저층(±0.5 m)은 dredge net 방법으로 하여 채집을 하였다. Ponar grab은 0.5 m와 1 m 수심지역을 25 cm × 20 cm으로 3회 반복하였고 1 m × 1 m로 환산을 하였다. Dredge net 방법의 경우 하상을 끌어 그 범위가 1 m × 1 m의 범위가 될 수 있도록 1회 조사를 하였다.

저서성 무척추동물인 *P. scalaenum*는 두부의 하순기절(mentum)과 전대악(premandible)을 기준으로 실제 현미경

(LEICA LED2000, Germany)을 이용하여 동정하였다. 보에서 채집한 깔따구는 *P. scalaenum*로 동정된 시료만 실험에 사용하였다. 동정 시 참고문헌은 “수환경 오염지표인 깔따구과개론”(Kwak, 2015)을 사용하였다.

3. 먹이원 분석 방법

생물 시료(*P. scalaenum*)의 해부 방법은 Table 1과 같이 진행하였다. 진행 단계로는 세척, 무게 측정(g), 전장 측정(mm), 해부, 검경 전처리, 현미경 검경으로 진행이 되었다. 채집된 *P. scalaenum*는 실험실에서 개체별로 실제 현미경(LEICA LED2000, Germany)을 20배율을 사용하였으며, 전장(Total length, TL) 측정 후 소화기관인 위와 장을 적출하였다. 각 개체별로 위와 장을 조직에서 분리한 후 광학현미경(Olympus, USA) 하에서 식물성 플랑크톤과 동물성 플랑크톤을 600배율로 하여 속(genus) 수준까지 분류하였고, 분류가 어려울 경우 과(family) 또는 목(order) 수준으로 동정하였다. 분류 시 참고문헌은 “보 설치 전, 후 수생태계 영향평가 연구 2년차 최종 보고서”(Park *et al.*, 2011), “식물플랑크톤과 친해지기”(Kang *et al.*, 2013), “국가 생물종 목록집 「돌말류」”을 사용하였다(Kim, 2015). *P. scalaenum* 소화기관의 위와 장에서 관찰된 식물성 플랑크톤과 관련된 빈도수는 전체 지점장소별로 광학현미경 하에서 검정된 식물성 플랑크톤의 비율을 산출하여 80%와 20%의 환산하였다.

4. 문헌조사 및 데이터 분석

식물성 플랑크톤과 관련된 문헌 조사는 2018년 환경부와 국립환경과학원이 주관한 “보 구간 광역 조류 정밀 모니터링 결과보고서”(Lee *et al.*, 2018) 중 본 연구 조사지와 동일한 보에서 3월부터 7월까지 매달 조사된 결과를 사용하였다. 기초 수질과 Chl-*a* 간의 상관성을 파악하기 위하여 피어스 상관계수(Pearson correlation)를 이용하였으

며, 이는 XLSTAT (version 2018.6.54467, plug-in for the Microsoft Excel program)을 이용하여 평균값을 산출하였다(Addinsoft 2019).

결과 및 고찰

1. 보 서식처의 이화학적 수질 요인

조사기간 동안 5개의 보별로 각각 이화학적 환경요인에 대한 조사를 하였다(Fig. 2). 전체 조사기간 TN의 평균 농도는 영산강유역의 JS 지점이 5.7 mg L^{-1} 으로 가장 높았고, 가장 상류에 위치하고 있는 한강유역의 IP 지점이 3.2 mg L^{-1} 로 가장 낮았다. 반면 TP는 낙동강유역의 DS 지점이 0.24 mg L^{-1} 로 가장 높았고 GG 지점이 0.05 mg L^{-1} 로 가장 낮았다. TOC와 DOC는 JS 지점이 각각 4.6 mg L^{-1} , 4.5 mg L^{-1} 로 가장 높았고 한강유역의 IP 지점이 2.4 mg L^{-1} , 2.1 mg L^{-1} 이 가장 낮았다. 이러한 경향은 보 건설로 인해 유사하게 형성된 정수생태계도 지점에 따라 이화학적 수질의 차이가 있음을 나타낸다. 이러한 차이는 깔따구의 먹이원으로 알려진 식물플랑크톤의 생체량을 대변할 수 있는 Chl-*a*에(Choi *et al.*, 2019) 직-간접적인 영향을 미칠 수 있다.

Kim *et al.* (2013) 에 따르면, 식물플랑크톤 또는 부착 조류 등의 광합성 과정을 통해 내부 생성 유기물 생산이 이루어진다고 하였다. 뿐만 아니라, 식물플랑크톤의 생체량과 수중 유기물의 관계는 양의 상관관계를 보이며 Chl-*a* 농도가 높을수록 수중 유기물은 증가하며 수계의 유기탄소 농도 또한 증가한다고 하였다(Kim *et al.*, 1996). 본 연구 결과에 따르면, 달정보는 Chl-*a* 농도와 TOC는 양의 상관관계를 나타내었으며, 상관계수 *r*값이 0.899 ($p < 0.03$)로 유의하게 나타났다(Fig. 3). 수중 유기물 공급에 의해 식물플랑크톤의 생체량이 증가하고 그의 영향으로 유기탄소의 공급으로 TOC의 함량을 높아진 것으로 판단된다. TN

Table 1. Procedure of Anatomy for extraction of stomach contents in *Polypedium scalaenum*.

Step	Sequence of experiment
Wash	Remove impurities from the larva surface
Weigh measurement	Weighing by Electronic Balance (SHIMADZU, Japan)
Total length measurement	Observe the larva with a dissecting microscope (LEICA LED2000, Germany) and measure the length
Dissection	Grab the head of the larva and cut the tissue of the torso with a scalpel
Pretreatment	Intestines the stomach of the midget into a micro-tube, dispense 80 μL of distilled water and 20 μL of 10% sodium hypochlorite (NaClO) and pipetting
Microscope speculum	Samples of micro-tubes were observed under an optical microscope (Olympus, USA) to identify organisms and plankton

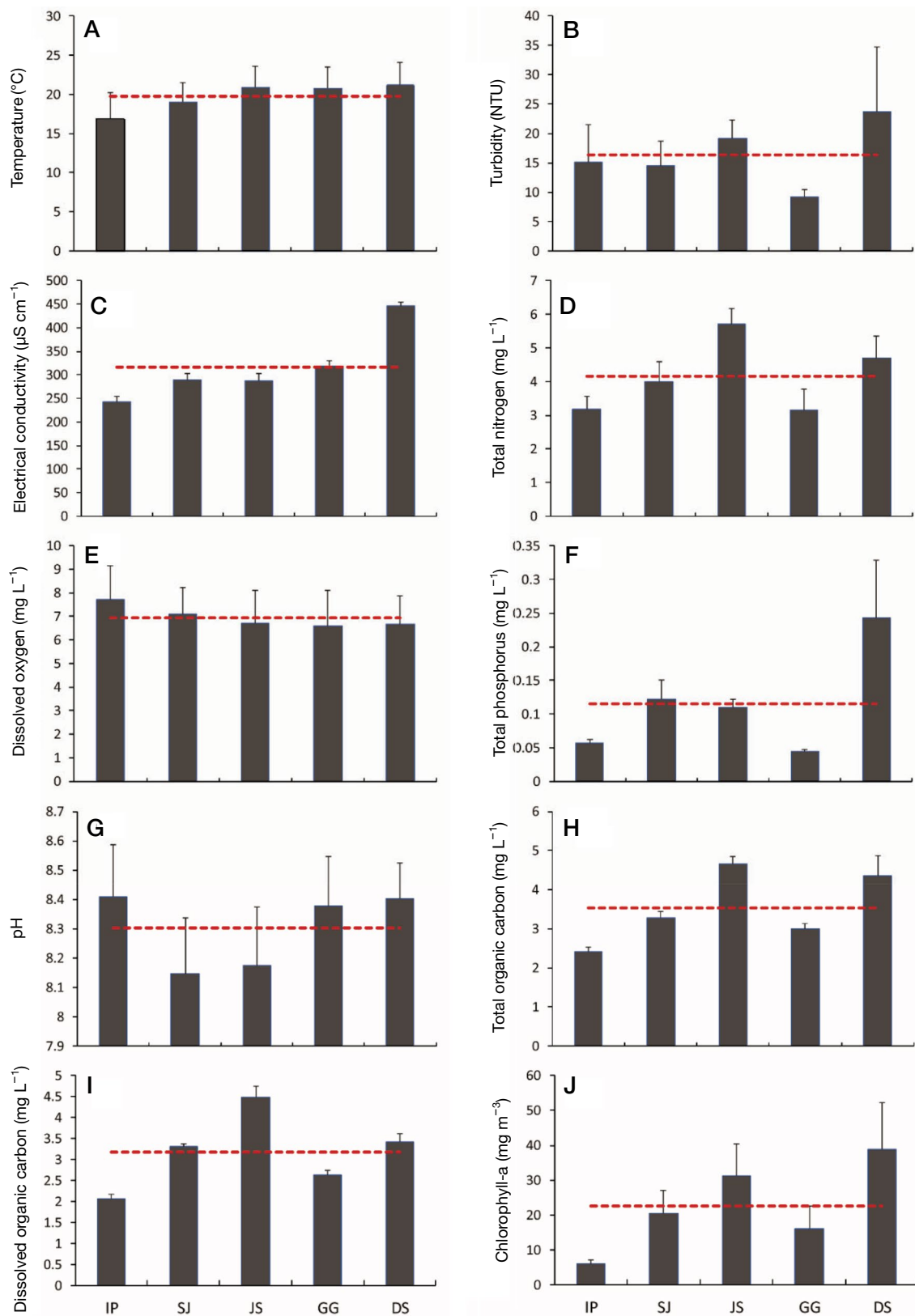


Fig. 2. Average (\pm S.D.) of water quality environmental factors at five locations from March to July 2019, IP: Ipoh Weir, SJ: Sejong Weir, JS: Juksan Weir, and GG: Gangjeong Goryeong Weir, DS: Dalseong Weir (dot line: total average).

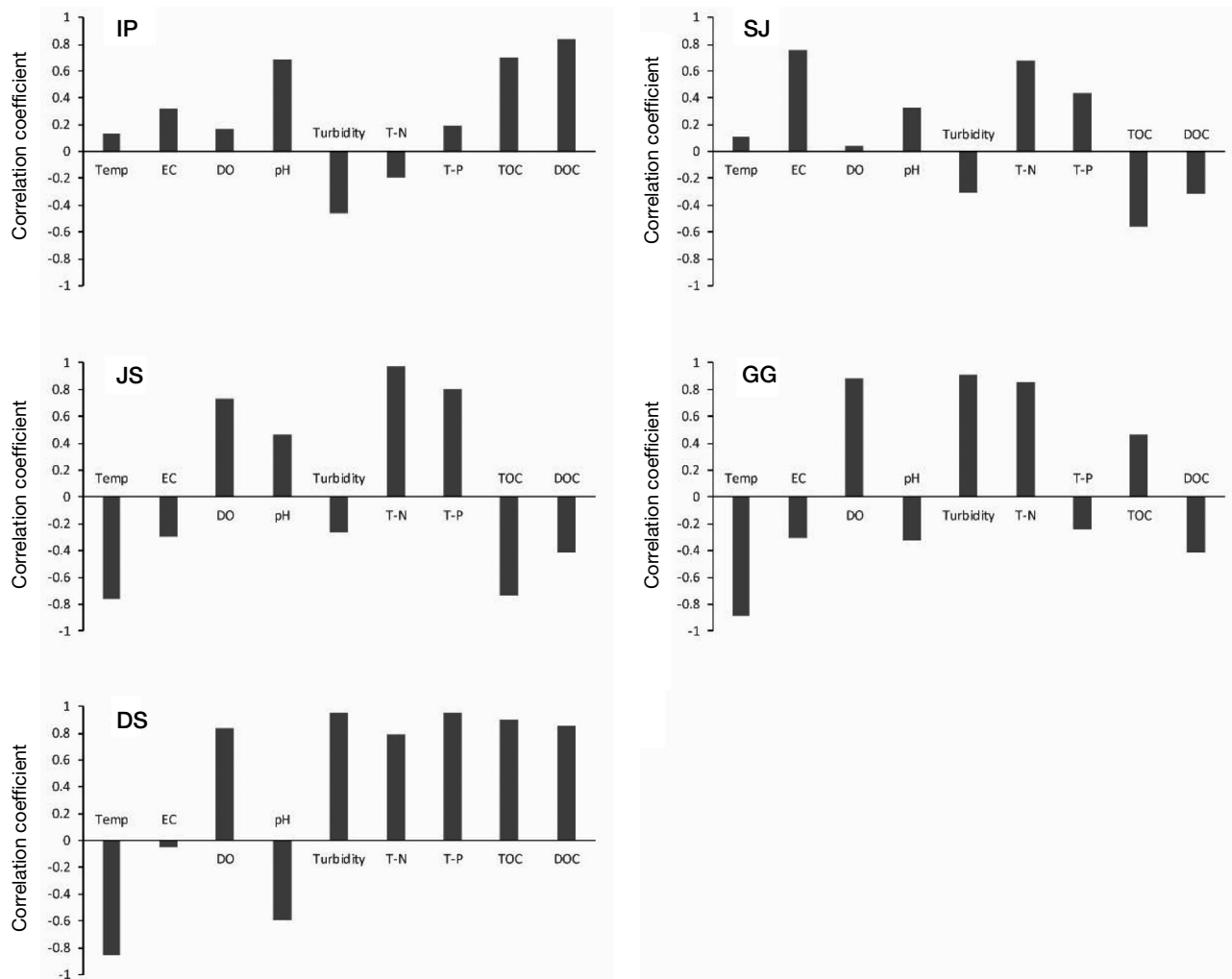


Fig. 3. Correlation coefficient between Chl-*a* and environmental factors at five sites during the study.

는 죽산보의 Chl-*a* 농도와 양의 상관관계를 나타내었으며 상관계수 r 값이 0.970 ($p < 0.006$)으로 유의하게 나타났다. 또한 TP의 경우 달성보의 Chl-*a* 농도와 양의 상관관계를 나타냈으며, 상관계수 r 값이 0.954 ($p < 0.01$)로 유의하게 나타났다. TOC와 마찬가지로 식물플랑크톤의 성장에 필수적인 영양소로 작용을 하는 TN과 TP는 Chl-*a*와 밀접한 상관관계를 가지는 것으로 판단된다.

2. *P. scalaenum*의 소화기관 내 먹이원 조성

본 연구에서 *P. scalaenum* 먹이원 조성을 파악하기 위하여 각 보별로 15개체, 총 75개체를 해부하여 소화기관을 검경하였다. 전체 개체의 전장은 3~14 mm (평균 8.0 mm \pm 0.02)의 범위로 나타났다. 소화기관 검경 결과 먹이 생물

은 식물성 플랑크톤에 속하는 규조류(Bacillariophyta), 녹조류(Chlorophyta), 동물성 플랑크톤, 식물체와 식물 씨앗, 식물뿌리, 화분 등이 관찰되었다. 이 중 식물성 플랑크톤은 총 3문 4강 8과 9속이 출현하였다. Henriques-Oliveira *et al.* (2003)과 Galizzi *et al.* (2012)이 열대성 기후에 서식하는 같은 속(*Polypedilum*)의 깔따구를 이용한 먹이원 연구와 유사한 식물성 플랑크톤 조성이 나타났다. *P. scalaenum*의 섭식이 온대성을 띠는 국내의 4대강과 열대성을 띠는 브라질 Rio da Fazenda River과 아르헨티나의 Tiradero River과 Paraná River에 기후와 상관없이 종 특이적으로 섭식 성향을 나타내는 것을 의미한다.

그러나 국내의 4대강의 각 지점별로 *P. scalaenum*의 소화기관 내용물을 보면 식물플랑크톤 조성이 달랐다(Fig. 4). 죽산보에서는 식물성 플랑크톤 중 규조류 *Navicula* sp.,

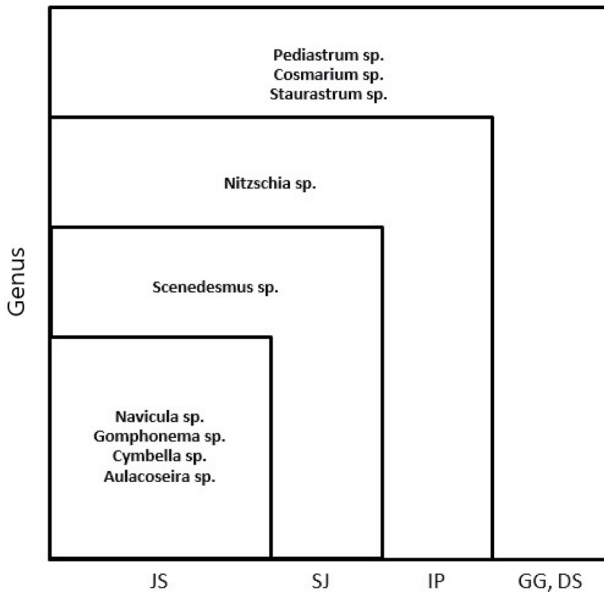


Fig. 4. Comparison of differences and similarities after microscopic examination of the contents of the stomach and intestine of the *Polypedium scalaenum* by sites, IP: Ipoh Weir, SJ: Sejong Weir, JS: Juksan Weir, and GG: Gangjeong Goryeong Weir, DS: Dalseong Weir.

Cymbella sp., *Gomphonema* sp., *Aulacoseira* sp.의 출현 빈도가 상대적으로 높았으며, 전체 조사지역에서 공통적으로 발견이 되었다. 세종보에서는 *Scenedesmus* sp., 이포보는 *Scenedesmus* sp., *Nitzschia* sp.로 추가된 형태로 나타났으며 달성보, 강정고령보에서는 *Scenedesmus* sp., *Nitzschia* sp., *Pediatrum* sp., *Cosmarium* sp., *Staurastrum* sp.이 우점종으로 나타났다(Fig. 4).

달성보와 강정고령보에서 식물플랑크톤의 다양성이 높게 나타난 이유는 이들 보에 비해 죽산보의 Chl-*a*의 농도와 TOC, T-N의 높았기 때문으로 판단된다. 2018년 환경부와 국립환경과학원이 주관한 “보 구간 광역 조류 정밀 모니터링” (Lee *et al.*, 2018) 자료에서는 각 보별 3월부터 7월까지 매달 조사된 식물성 플랑크톤 군집 중 빈도수가 높은 6회에서 12회 이상 출현한 식물성 플랑크톤은 19속이었으며, 그중 공통된 것은 9속이었다(Fig. 5). 이 중 *P. scalaenum*의 위장 내용물과 비교하였을 때 공통된 4속이 일치하였다(Fig. 4). 각 보별 수질환경에 빈도가 높은 식물플랑크톤을 *P. scalaenum*이 섭식하였음을 의미한다. 본 연구는 *P. scalaenum* 위 내용물을 육안으로 동정하여 정량적인 데이터를 얻기 힘들어 대상 먹이원에 대한 선호성을 확인하기 어려웠으나, 향후 상대풍부도 데이터 산출이 가능한 NGS 플랫폼을 이용한 meta-barcoding 분석방법을 적용한다면 대상 먹이원에 대한 선호도를 산출할 수 있을 것으

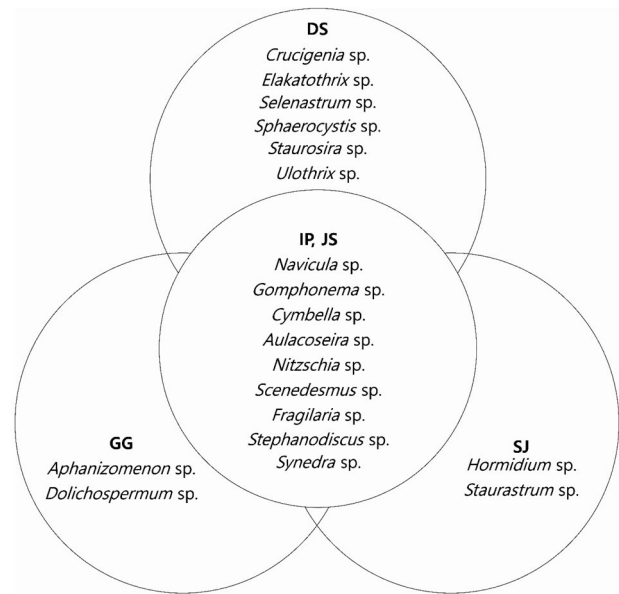


Fig. 5. Comparison of Similarities and Differences of Phytoplankton among the sites, IP: Ipoh Weir, SJ: Sejong Weir, JS: Juksan Weir, and GG: Gangjeong Goryeong Weir, DS: Dalseong Weir (Precise Monitoring of the Phytoplankton in Weir Area, 2018).

로 판단된다.

*Polypedium scalaenum*의 소화기관 속의 동물성 플랑크톤은 1문 1강 1과 1속이었으며 이포보와 죽산보에서 발견이 되었다. 이러한 결과는 깔따구의 섭식이 대상 서식지 환경의 물리-화학적 차이와 생물학적 종 조성의 차이에 의해 달라질 수 있음을 의미한다. 향후 이에 대한 추가적인 연구로 세부적인 섭식기작에 대해 밝혀낸다면, 담수생태계 먹이망의 중요한 연결고리로서의 깔따구의 역할을 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

오염지표생물로서 널리 활용되고 있는 깔따구는 잡식, 초식, 육식성 등 종에 따라 다양한 섭식형태를 보이는 것으로 알려져 있다. 그중 잡식성으로 알려져 있는 삼지창무늬깔따구(*P. scalaenum*)는 국내의 다양한 하천 생태계에서 우점하기 때문에 하천 생태계 내 먹이 사슬에 있어 중요한 역할을 담당하고 있다. 그럼에도 불구하고 먹이원에 대한 자세한 정보가 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 국내 4대강의 대표적인 보(이포보, 세종보, 죽산보, 강정고령보, 달성보) 구간에 서식하는 삼지창무늬깔따구를 대상으로 소화관 내용물을 분석하여 먹이원을 파악하고자 하

었다. 이포보에서 채집된 깔따구 소화관에서 동물플랑크톤의 사체(부속지, 강모 등)가 다수 포함된 반면, 다른 4개보의 깔따구 소화관에서는 식물플랑크톤이 주를 이루고 있었다. 깔따구의 소화관 내용물과 환경에 식물플랑크톤 종 조성은 매우 유사하였으며, 정점 간 종 조성의 차이가 뚜렷하게 나타났다. 본 연구에서 수행된 삼지창무늬깔따구의 소화관 분석은 잡식성 깔따구의 섭식 특성을 파악할 수 있었으며, 특히 깔따구의 소화관 내용물 분석을 통한 주변 수환경 내 기초생산자의 종 조성 파악 연구의 가능성을 보였다.

저자정보 나영권(전남대학교 해양융합과학과 석사과정), 조현빈(전남대학교 수산과학연구소 학술연구교수), 박재원(전남대학교 수산과학연구소 학부과정), 장광현(경희대학교 환경공학과 교수), 곽인실(전남대학교 해양융합과학과 교수)

저자 기여도 개념설정: 모든 저자, 방법론 및 분석: 나영권 & 박재원 & 장광현, 원고 초안작성: 나영권 & 조현빈, 원고 교정: 모든 저자, 원고 편집: 조현빈 & 곽인실. 모든 저자들은 논문의 결과에 동의하였고, 출판될 최종본을 검토하고 동의하였습니다.

이해관계 본 논문에 포함된 모든 저자들은 연구에 있어서의 학술출판에 있어서 어떠한 이해충돌도 없음을 알려드립니다.

연구비 이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다 (NRF-2018R1A6A1A03024314).

REFERENCES

- Addinsoft. XLSTAT Statistical and Data Analysis Solution; Addinsoft, NY, USA, 2019.
- Armitage, P.D., L.C. Pinder and P.S. Cranston. 2012. The Chironomidae: biology and ecology of non-biting midges. Springer Science & Business Media.
- Bang, H.W., C.H. Lee, K.S. Jung and I.S. Kwak. 2008. Ecotoxicological responses and morphological abnormalities in *Chironomus plumosus* larvae exposed to 4-tert-octylphenol. *Korean Society of Environmental Health and Toxicology* **23**(4): 277-284.
- Batzer, D.P., C.R. Pusateri and R. Vetter. 2000. Impacts of fish predation on marsh invertebrates: direct and indirect effects. *Wetlands* **20**(2): 307-312.
- Byeon, H.K. 2012. Population ecology of *Squalidus japonicus coreanus* (Cyprinidae) in the Namhan River, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* **26**(3): 367-373.
- Chae, Y.G. 2018. A study concerning legal aspects on the use of water acquired by South Korea's Four Rivers Restoration Project. *Korean Public Law Association* **46**(3): 199-223.
- Chang, K.H., H. Doi, H. Imai, H. Gunji and S. Nakano. 2008. Longitudinal changes in zooplankton distribution below a reservoir outfall with reference to river planktivory. *Limnology* **9**: 125-133.
- Cho, K.J. and J.G. Shin. 1996. Bioassay for N-P nutrient demand by freshwater algae cultivation of the Nakdong River. *Korean Japanese Journal of Limnology* **29**(4): 263-273.
- Cho, M.R. 2017. Water pollution standard method. Ministry of Environment, Sejong, Korea. pp. 1-1507.
- Choi, J., J.O. Min, B. Choi, J.J. Kang, W. Choi, S.H. Lee and K.H. Shin. 2019. Variation of primary productivity and phytoplankton community in the weirs of mid and downstream of the Nakdong River during fall and Early winter: Application of phytoplankton pigments and CHEMTAX. *Korean Journal of Environment and Ecology* **52**(2): 81-93.
- Cranston, P.S. and D.D. Judd. 1987. *Metriocnemus* (Diptera: Chironomidae): an ecological survey and description of a new species. *Journal of the New York Entomological Society* **95**(4): 534-546.
- Dézerald, O., C. Leroy, B. Corbara, J.F. Carrias, L. Pelozuelo, A. Dejean and R. Céréghino. 2013. Food-web structure in relation to environmental gradients and predator-prey ratios in tank-bromeliad ecosystems. *PloS One* **8**(8): e71735.
- Galizzi, M.C., F. Zilli and M. Marchese. 2012. Diet and functional feeding groups of Chironomidae (Diptera) in the Middle Paraná River floodplain (Argentina). *Iheringia. Série Zoologia* **102**(2): 117-121.
- Henriques-Oliveira, A.L., J.L. Nessimian and L.F.M. Dorvillé. 2003. Feeding habits of chironomid larvae (Insecta: Diptera) from a stream in the Floresta da Tijuca, Rio de Janeiro, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* **63**(2): 269-281.
- James, A.B.W., Z.S. Dewson and R.G. Death. 2008. The effect of experimental flow reductions on macroinvertebrate drift in natural and streamside channels. *River Research and Applications* **24**(1): 22-35.
- Jo, H., E. Jeppesen, M. Ventura, T. Buchaca, J.S. Gim, J.D. Yoon and G.J. Joo. 2018. Responses of fish assemblage structure to large-scale weir construction in riverine ecosystems. *Science of The Total Environment* **657**(20): 1334-1342.
- Kang, P.G., Y.H. Jin, H.N. Kim, Y.S. Jea, S.J. Lee and S.A. Yoon. 2013. How to be familiar with phytoplankton Guide Book. National Institute of Environmental Research, Gwangju, Korea. pp. 1-42.
- Kim, B.C., D.S. Kim, G. Hwang, K.S. Choi, W.M. Heo and W.K.

- Park. 1996. Contribution of primary production of phytoplankton to organic pollution in a eutrophic river, the Nakdong River. *Algae* **11**(2): 231-237.
- Kim, H.S., J.K. Seong, K.S. Choi and J.C. Park. 2013. Comparison of organic matter distribution in major tributaries of the Nakdong River. *Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference* **22**(1): 411-413.
- Kim, S.B. 2015. National list of species of Korea: marine algae. National Institute of Biological Resources, Korea. Incheon. pp. 1-293 (in Korean).
- Kwak, I.S. 2015. Introduction to Chironomidae, a water pollution indicator. Chonnam National University, Korea. Gwangju. p. 1-169 (in Korean).
- Lee, H.Y., H.S. Kim, J.H. Lee, Y.J. Kim, B.H. Kim, D.H. Won and J.S. Lee. 2018. Precise Monitoring of the Phytoplankton in Weir Area. Ministry of Environment, Sejong, Korea. pp. 1-90.
- Lee, S.C., J.H. Han and K.G. An. 2008. Functional modifications of Daechung Reservoir eutrophication by upper dam construction. *Korean Japanese Journal of Limnology* **41**: 348-359.
- Lee, S.J. 2010. A study on the Four Major River Rehabilitation Project & Related Institutions. *Environmental Law and Policy* **4**: 51-108.
- Ministry of Environment (ME). 2013. Water Environment Information System (WEIS), <http://water.nier.go.kr/waterMeasurement/selectWater.do> (The second half of the year. 2013).
- Nilsson, L. 1972. Local distribution, food choice and food consumption of diving ducks on a South Swedish lake. *Oikos* **23**(1): 82-91.
- Oliver, D.R. and M.E. Roussel. 1983. Redescription of *Brillia* Kieffer (Diptera: Chironomidae) with descriptions of nearctic species. *The Canadian Entomologist* **115**(3): 257-279.
- Park, H.S., N.S. Rhu, D.I. Cho and J.W. Kim. 1991. Two cases of bronchial asthma induced by *Chironomus plumosus* and *Tokunagayusurika akamusi*. *The Korean Academy of Asthma, Allergy and Clinical Immunology* **11**(3): 362-367.
- Park, J.H., H.W. Kim, S.H. Lee, D.O. Lim, C.S. Kim, K.H. Shin, K.H. Jung and H.K. Yang. 2011. Research of the effect of Weir Construction on Freshwater Ecosystem. National Institute of Environmental Research, Gwangju, Korea. pp. 68-70.
- Park, J.W., K.L. Lee, J.S. Choi and H.S. Kim. 2005. Dynamics of phytoplankton community after formation of turbid water in Lake Imha. *The Korean Society of Limnology* **38**(3): 429-434.
- Park, K. and I.S. Kwak. 2014. The effect of temperature gradients on endocrine signaling and antioxidant gene expression during *Chironomus riparius* development. *Science of the Total Environment* **470**: 1003-1011.
- Pinder, L.C.V. 1995. The habitats of chironomid larvae. In: *The Chironomidae*, p. 107-135. Springer, Dordrecht.
- Porinchi, D.F. and G.M. MacDonald. 2003. The use and application of freshwater midges (Chironomidae: Insecta: Diptera) in geographical research. *Progress in Physical Geography* **27**(3): 378-422.
- Sim, H.S., B.D. Park, Y.B. Lee, Y.C. Choi, J.G. Kim and H.C. Park. 2009. Species diversity of Chironomid midge and evaluation on removal capacity of organic matter using a dominant species, *Chironomus nipponensis* in Agroecosystem. *Korean Society Of Environmental Biology* **27**(1): 31-39.
- Walker, I.R. 2001. Midges: Chironomidae and related diptera. Tracking environmental change using lake sediments. Springer, Dordrecht. pp. 43-66.
- Wallace, J.B. and R.W. Merritt. 1980. Filter-feeding ecology of aquatic insects. *Annual Review of Entomology* **25**(1): 103-132.