

Original article

국내 보구간의 환경요인 차이에 의한 깔따구의 군집 구성 변화

김원석¹ · 박재원¹ · 홍 철² · 최보형³ · 김호준⁴ · 박연정⁴ · 박정호⁵ · 송행섭⁵ · 곽인실^{1,3,*}

¹전남대학교 해양융합과학과, ²국립환경과학원 물환경연구부,
³전남대학교 수산과학연구소, ⁴K-Water, ⁵(주)케이에코

Changes in Community Structure of Chironomidae Caused by Variability of Environmental Factors among Weir Sections in Korean Rivers. Won-Seok Kim¹ (0000-0003-3368-3891), Jae-Won Park¹ (0000-0002-4067-7089), Cheol Hong² (0000-0002-5444-7743), Bohyung Choi³ (0000-0001-6998-400X), Ho-Joon Kim⁴ (0000-0002-5105-2279), Yeon-Jeong Park⁴ (0000-0003-3817-8341), Jung-Ho Park⁵ (0000-0003-1468-2877), Haeng-Seop Song⁵ (0000-0002-3259-8188) and Ihn-Sil Kwak^{1,3,*} (0000-0002-1010-3965) (¹Department of Ocean Integrated Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; ²National Institute Environmental Research, Incheon 22689, Republic of Korea; ³Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; ⁴K-Water Institute, Republic of Korea; ⁵K-ECO, Republic of Korea)

Abstract Artificial and natural changes such as weir construction and climate change often cause abnormal blooming of organism. Therefore, variations in species community of organisms have been actively investigated to identify influential environmental changes on the fresh water ecosystem. In this study, we investigated Chironomidae community and environmental factors at 5 representative weirs (Ipo, IP; Sejong, SJ; Juksan, JS; Gangjeong-goryung, GG; and Dalsung weir) in 4 Korean major rivers to figure out relationship between Chironomidae community and environmental factors. Environmental factors indicating organic matter (total organic carbon, TOC and Chlorophyll-*a*, Chl-*a*) showed lower concentration in IP and SJ compared with other sites (JS, GG and DS). 3 sub-family 18 genus 25 species of Chironomidae community were found in this study. Among them, Chironominae was dominant in JS (*Tanytarsus* sp.1), GG (*Polypedilum scalaenum*) and DS (*Polypedilum scalaenum*), while different sub-family were dominant in IP (Orthcladinae, *Tokunagayusurika akamushi*) and SJ (Tanypodinae, *Tanypus punctipennis*). Moreover, based on the dominant species of Chironomidae community and environmental factors, the cluster analysis classified our study sites into 3 groups. These results imply that the diet resource is the most important factor for dominance of Chironomidae in Korean rivers. We also suggest that further study on the identification of diet resources for each Chironomidae specie is required for better understating of distribution in species community of Chironomidae at various ecosystems.

Key words: Chironomidae, Community structure, Freshwater ecosystem, Environmental factor

서론

Manuscript received 21 January 2020, revised 14 March 2020,
revision accepted 16 March 2020
* Corresponding author: Tel: +82-61-659-7148, , Fax: +82-659-7149
E-mail: iskwak@chonnam.ac.kr

계절의 변동, 지리적 특성과 같은 자연적인 생태 특성
(Resh *et al.*, 1988; Kwak *et al.*, 2004; Hong *et al.*, 2017) 및

© 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.

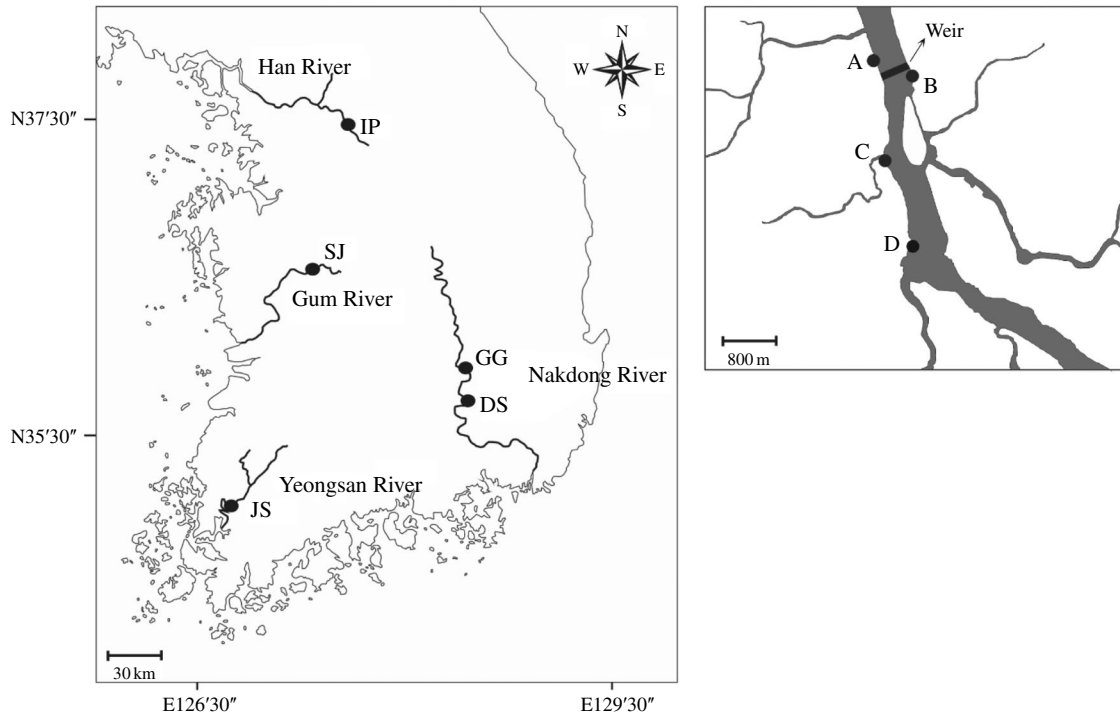


Fig. 1. Location of the survey area (IP: Ipo weir, Han river; SJ: Sejong weir, Gum river; JS: Juksan weir, Yeongsan river; GG: Gangjeong-goryung weir, Nakdong river, DS: Dalsung weir, Nakdong river, A: upper part of weir, B: lower part of weir, C: main point of outbreak, D: between weir to weir).

보나 댐 건설 등으로 인한 수질의 변화와 같은 인위적인 교란 (Park *et al.*, 2006; Driscoll *et al.*, 2016; George *et al.*, 2018)은 하천생태계 내 서식하는 생물 군집 구성에 영향을 미친다. 특히, 보와 댐 같은 대형 구조물의 건설로 인한 하천의 종적 및 횡적 연속성의 차단은 하천 내 생물상과 군집 기능에 영향을 주게된다 (Kim *et al.*, 2018). 최근 국내 4대강에서 대규모로 발생한 깔따구, 실지렁이, 큰빗이끼벌레 등의 생물들은 인간의 생활에 직접적으로 영향을 주고 있으나 현재 이에 대한 연구는 미미한 실정이다.

깔따구(파리목)는 온도, pH, 용존산소 등 다양한 환경 조건의 변화에도 잘 서식하며 (Rosenberg, 1993; Helson *et al.*, 2006), 생활사가 짧고 성체를 제외한 유충 시기를 저서에서 서식하는 특징으로 인해 실내 독성 실험 및 위해성 평가에 활발하게 이용되고 있다 (Park *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2015, 2017). 또한 서식 환경의 특성에 따른 깔따구 종 분포의 차이가 확인되어 왔으며 (Merritt and Cummins, 1996; Vallenduuk and Pillot, 2007; Pillot, 2014; Nava *et al.*, 2015), 따라서 깔따구의 군집 조성은 서식지 환경 평가에 활용이 가능한 것으로 알려져 있다. 예를 들어, Malaysia의 Juru 강에서 총 유기 물질, 질소, 탄소 등의 유기물 및 퇴적물 내 중금속 농도에 따른 깔따구 군집 조성의 시공간적

차이를 이용하여 하천 생태계의 건강성을 파악하는 연구가 진행된 바 있다 (Al-Shami *et al.*, 2010).

국내에서는 하천에 서식하는 저서성 대형무척추동물을 대상으로 보, 댐, 수질 오염 등으로 인한 군집 분포에 대한 다양한 연구가 보고되고 있다 (Choi *et al.*, 2012; Shin *et al.*, 2013; Hong *et al.*, 2017). 그러나 깔따구를 대상으로 한 연구는 주로 유해물질에 따른 생물학적, 분자적 반응에 대한 연구가 진행되고 있는 반면 (Park and Kwak, 2008; Park and Kwak, 2018; Kim *et al.*, 2019), 분류학적 어려움으로 인해 군집 조성에 대한 연구는 제한적으로 진행되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내 4대강 보를 중심으로 서식하는 깔따구의 종조성과 수환경의 이화학적 요인들의 상관성 분석을 통해 각 서식 환경 차이에 의한 깔따구 군집 조성의 변화를 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사 지역 및 조사 시기

서식 환경에 따른 깔따구 군집 조성 및 수환경 측정은

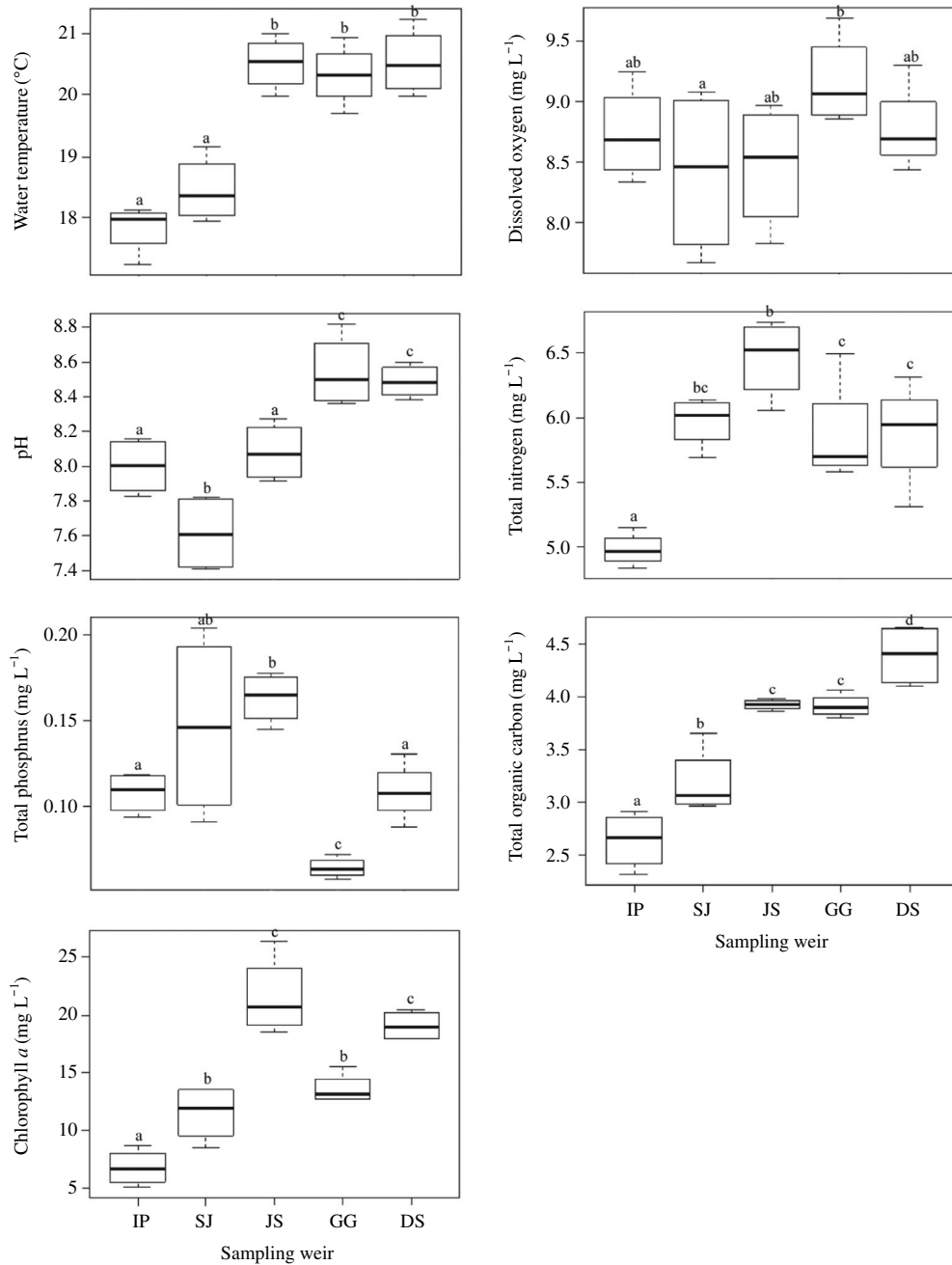


Fig. 2. Box plot of environmental factors level in survey weir (IP: Ipo weir, SJ: Sejong weir, JS: Juksan weir, GG: Gangjeonggoryung weir, DS: Dalsung weir). Horizontal line indicates the median, box the interquartile range (IQR), whiskers extend to upper adjacent value and lower adjacent value.

한강 상류에 위치한 이포보 (IP; 37°24'17.78"N, 127°32'21.86"E), 금강에 위치한 세종보 (SJ; 36°28'18.74"N, 127°15'40.90"E), 영산강에 위치한 죽산보 (JS; 34°58'19.29"N, 126°37'31.28"E), 낙동강에 위치한 강정고령보 (GG; 35°50'24.42"N, 128°27'37.09"E)와 달성보 (DS; 35°44'4.90"N,

128°25'2.06"E)에서 각 조사 수역의 보를 중심으로 보 상방, 보 하방, 보와 보 사이, 그리고 주요발생지점 등 4개 정점으로 구분하여 각각 진행하였다 (Fig. 1). 보와 보 사이는 조사 대상 보와 하류에 위치한 보의 중간지점으로, 조사 대상 보에서 약 1,000 m 이상 이격이 발생하는 지점으로

선정하였으며, 주요발생지점은 기존 문헌을 통해 선정하였다(NIER, 2015, 2016). 조사 시기는 2018년 3월부터 10월 까지 매월 1회씩, 총 8회 조사를 실시하였다.

2. 시료 채집과 수환경 측정

현장에서 깔따구 채집은 각 정점별 0.5 m, 1.0 m의 수심에서 Ponar Grab (20×25 cm)을 사용하여 3회 정량 채집하였다. 채집 후 Sieve (mesh size 0.5 mm)를 통해 포집하였으며, 현장에서 90% 에틸알코올로 고정 후 실험실로 이동하여 종 수준으로 “수환경오염지표인 깔따구과 개론(Kwak, 2015)”을 참고하여 동정하였다.

이화학 자료는 수온 (Water temperature, WT), 용존산소 (Dissolved oxygen, DO), pH, 총 질소 (Total nitrogen, TN), 총 인 (Total phosphorus, TP), 총 유기탄소 (Total organic carbon, TOC), Chlorophyll-*a* (Chl-*a*)를 분석하였다. WT, DO, pH는 각 조사 정점에서 휴대용 다항목측정기 (YSI Model 556MPS)를 통해 측정하였으며, 현장 표층수 (2 L)를 무균 채수병에 채수하여 실험실로 운반 후 수질오염 공정시험기준 (NIER, 2017)에 따라 TN, TP, TOC, 그리고 Chl-*a* 분석을 각각 실시하였다.

3. 생물지수 산출

종 수준으로 동정된 깔따구를 대상으로 McNaughton’s dominant index를 활용한 우점도 지수 (Dominant index, DI)와 Shannon-Weaner function을 이용한 다양도 지수 (H')를 각각 산출하였으며 (Shannon and Weaner, 1949), 종 풍부도 지수 (Species richness index, RI)와 균등도지수 (Evenness index, J')를 Margalef (1958)와 Pielou (1975)에 의해 정의된 방법을 각각 사용하여 산출하였다.

4. 통계 분석

깔따구 군집과 환경요인에 대한 상관성 파악, 집괴 분석 (cluster analysis)은 R (ver. 3.6.1) 프로그램을 사용하였다. 상관성 분석은 Pearson’s method로 유의수준 (*p*-value) *P* < 0.05 이내에서 진행하였으며, 조사 정점별 특성 파악을 위한 집괴분석 (Cluster analysis)은 Ward’s linkage method와 Euclidean distance를 적용하였다. 분석을 위해 log + 1을 이용하여 자료변환 (data transformation)을 실시하였으며, 모든 데이터에 대한 정규성 검정 (test of normalize)을 진행하였다. 또한, 환경요인 집단 간의 비교를 위해 one-way ANOVA (analysis of variance)를 실시하고 Tuckey와 Duncan method를 통해 사후 검증하였다.

결 과

1. 환경요인

각 환경요인의 정점 간 유의성은 다양한 경향을 보이는 것으로 확인되었다 (Fig. 2). WT는 IP와 SJ에서 각각 평균 17.8°C, 18.5°C로 비슷한 수준을 보인 반면, JS, GG, DS에

Table 1. Number of Chironomidae species in sampling weir.

	Sampling weir				
	IP	SJ	JS	GG	DS
Chironominae	12	11	7	10	11
Orthocladinae	4	4	5	5	5
Tanypodinae	2	2	2	2	2

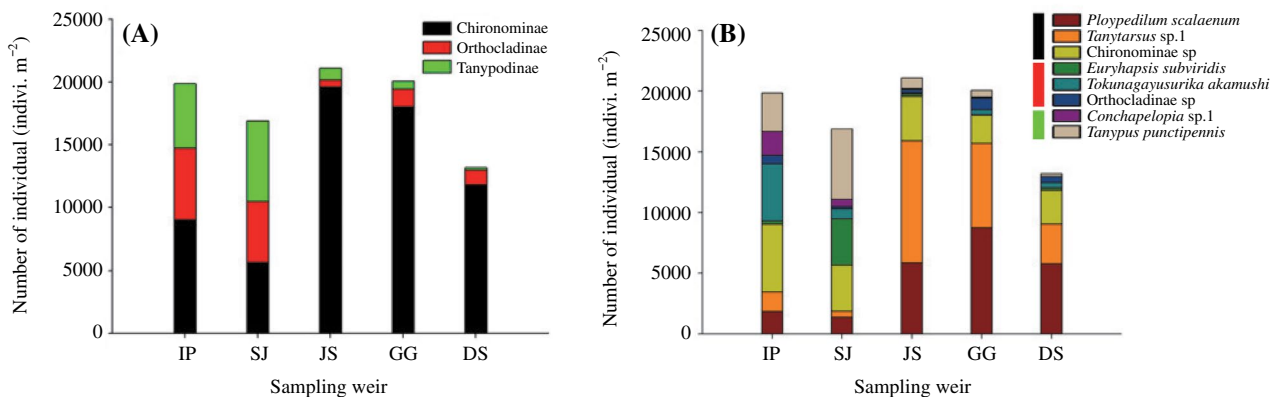


Fig. 3. The Number of individuals of Chironomidae communities based on subfamily (A) and dominant species of each subfamily (B) in survey weir (IP: Ipo weir, SJ: Sejong weir, JS: Juksan weir, GG: Gangjeonggoryung weir, DS: Dalsung weir).

Table 2. The percentage (%) of Dominant and sub-dominant species of Chironomidae in survey weir.

Site	Dominant species	Family	Percentage (%)	Sub-dominant species	Family	Percentage (%)
IP	<i>Tokunagayusurika akamushi</i>	Orthocladinae	25.8	<i>Tanypus punctipennis</i>	Tanypodinae	15.0
SJ	<i>Tanypus punctipennis</i>	Tanypodinae	34.1	<i>Euryhopsis subviridis</i>	Orthocladinae	22.7
JS	<i>Tanytarsus</i> sp.1	Chironominae	47.7	<i>Polypedilum scalaenum</i>	Chironominae	27.8
GG	<i>Polypedilum scalaenum</i>	Chironominae	43.6	<i>Tanytarsus</i> sp.1	Chironominae	34.7
DS	<i>Polypedilum scalaenum</i>	Chironominae	43.7	<i>Tanytarsus</i> sp.1	Chironominae	24.9

Table 3. Average of the community indices of Chironomidae in survey weir.

	IP	SJ	JS	GG	DS
Dominance (DI)	0.40 (±0.29)	0.52 (±0.19)	0.75 (±0.21)	0.78 (±0.26)	0.69 (±0.16)
Diversity (H')	2.28 (±0.35)	1.97 (±0.42)	1.45 (±0.32)	1.54 (±0.27)	1.75 (±0.22)
Richness (RI)	2.24 (±0.48)	2.15 (±0.35)	1.70 (±0.33)	2.10 (±0.62)	2.37 (±0.47)
Evenness (J')	0.79 (±0.32)	0.69 (±0.19)	0.55 (±0.25)	0.54 (±0.16)	0.61 (±0.23)

The numbers in parenthesis indicate standard deviation

*DI: McNaughton's dominance index, H': Shannon index, RI: Margalef species richness, J': Pielou evenness index

Table 4. The result of correlation analysis between Chironomidae subfamily and environment factor.

	WT	DO	pH	T-N	T-P	TOC	Chl-a
Chironominae	0.42	0.19	0.47	0.26	-0.09	-0.38	0.45
Orthocladinae	-0.86	-0.24	-0.45	-0.78	0.13	-0.84	-0.92
Tanypodinae	-0.94	-0.55	-0.76	-0.51	0.46	-0.91	-0.75

Numbers in bold indicate significant correlation at $P < 0.05$.

서는 각각 평균 20.5°C, 20.3°C, 20.5°C로 상대적으로 높게 나타나 서로 뚜렷한 차이를 보였다 ($P < 0.001$). DO는 GG에서 9.2 mg L⁻¹로 가장 높게 나타났으나 조사 정점 간 통계적인 차이를 보이지는 않았다. pH는 정점 간 유의한 차이성을 보였으며 ($P < 0.001$), 특히 낙동강에 위치한 GG와 DS가 각각 8.55, 8.49로 다른 정점에 비해 높게 나타났다. TN과 TP의 정점 간 유의성은 통계적으로 나타나지 않았지만, TN은 IP (평균 4.98 mg L⁻¹), TP는 GG (평균 0.06 mg L⁻¹)에서 전체 조사 지점 중 각각 가장 낮은 농도를 보였다. TOC는 각 조사 지점별 농도 차이가 뚜렷하게 관찰되었으며 ($P < 0.001$), 특히 IP와 SJ에서 각각 평균 2.64 mg L⁻¹, 3.19 mg L⁻¹로 다른 조사 지점에 비해 상대적으로 낮은 농도를 보였다. 또한, JS, GG는 각각 평균 3.93 mg L⁻¹, 3.91 mg L⁻¹로 비슷한 수준을 보였으며, DS는 3.19 mg L⁻¹로 조사 지점 중 가장 높게 나타났다. Chl-a는 IP에서 평균 6.8 mg L⁻¹로 가장 낮게 나타났으며, JS에서 평균 21.6 mg L⁻¹로 가장 높게 나타났다.

2. 깔따구 군집 변화 및 생물지수

전체 조사 정점에서 관찰된 깔따구는 총 3아과 18속 25종이 출현하였다. Chironominae의 출현 종수는 IP에서 12종으로 가장 많은 종수를 보였으며 JS는 7종으로 가장 낮은 종수를 나타내었다. Orthocladinae와 Tanypodinae의 종수는 조사 정점별 큰 차이가 없었다 (Table 1). 조사 정점별 개체밀도는 IP, JS, GG에서 약 20,000 ind. m⁻²로 유사한 반면, SJ와 DS는 각각 16,870 ind. m⁻², 13,190 ind. m⁻²로 낮은 수준을 보였다 (Fig. 3). 또한, 조사 정점 간 우점종은 뚜렷한 차이를 나타냈다 (Table 2). IP는 *T. akamushi*가 25.8%로 Orthocladinae가 우점하였으며, SJ에선 *T. punctipennis*가 34.1%로 Tanypodinae가 우점함을 나타내었다. 그러나, JS, GG, DS는 Chironominae가 약 45% 비율로 조사 정점 내 우점을 보였다.

조사 지역별로 채집된 깔따구 개체수를 통해 산출한 생물지수에서 우점도 지수 (DI)는 GG와 JS가 높은 수준을

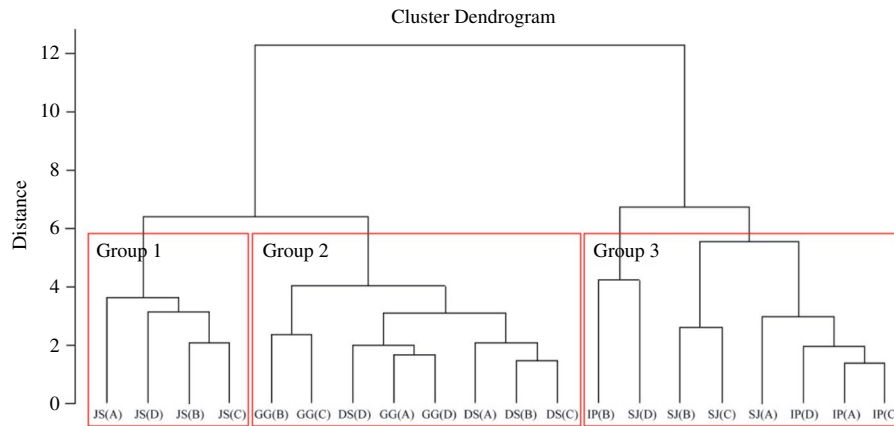


Fig. 4. A result of cluster analysis based on Chironomidae community and environment factors by Ward’s method. Each box indicates groups (IP: Ipo weir, SJ: Sejong weir, JS: Juksan weir, GG: Gangjeonggoryung weir, DS: Dalsung weir).

보인 반면, 다양도 지수(H')와 균등도(J')는 IP가 가장 높은 수준을 보이고 있었다(Table 3). 풍부도(RI)는 DS와 IP가 높은 것으로 확인되었다. 우점도 지수가 높은 JS는 균등도, 풍부도, 그리고 균등도 등에서 가장 낮은 값을 보이는 특징이 확인되었다.

Orthocladinae와 Tanypodinae가 비슷한 수준으로 출현하였다.

고찰

3. 깔따구와 환경요인 간 상관관계 및 집괴분석

1) 상관성 분석

각 정점에서 채집된 깔따구과 중 Chironominae는 본 연구에서 측정된 이화학 자료들과 통계적인 유의성이 확인되지 않았으나, WT, DO, pH, TN과는 양의 상관성을 보였으며, TP, TOC, Chl-a 등 유기물 관련 환경인자들과는 음의 상관성을 보이는 것으로 확인되었다(Table 4). Orthocladinae와 Tanypodinae는 TP를 제외한 대부분의 환경요소들과 음의 상관성을 가지고 있었으며, 특히 WT, TOC, 그리고 Chl-a와 모두 통계적으로 유의한 수준($P < 0.05$)의 상관성이 확인되었다.

2) 집괴분석

깔따구 개체수와 환경요인 간 유사성을 파악하기 위한 집괴분석 결과는 조사 정점에 따라 총 3개의 그룹으로 나뉘었다(Fig. 4). 그룹 1은 영산강에 위치한 JS으로 환경요인 중 높은 WT, TN, Chl-a와 Chironominae가 우점하고 있는 특성을 보이고 있었으며, 그룹 2는 환경요인 중 WT, pH, TOC이 높으며 Chironominae가 다른 아과에 비해 높은 개체수가 확인된 낙동강에 위치한 GG와 DS로 형성되었다. 그룹 3은 한강에 위치한 IP와 금강에 위치한 SJ으로 환경요인 중 WT, TOC, Chl-a가 상대적으로 낮은 수준을 보였다. 깔따구 개체수는 Chironominae 뿐 아니라

깔따구는 하천 내 서식하는 생물 중 높은 우점성과 함께 하천생태계 내 저차소비자로 서식환경에 민감한 생물로 알려져 있다(Shearer *et al.*, 2015) 하지만, 국내에서는 아과별 분포, 서식 환경 등의 기초 연구에 대해 보고되지 않았다. 본 연구는 국내 4대강에 위치한 보 환경에서 서식하는 깔따구를 대상으로 군집 분포와 종조성, 환경요인들과의 관계에 대해 파악하고자 하였다. 본 연구에서 확인한 깔따구의 아과별 개체밀도, 우점종 및 군집지수는 IP와 SJ가 유사하며 JS, GG 그리고 DS에서 유사하게 나타나 지역별 뚜렷한 개체분포의 차이가 확인되었다.

Orthocladinae와 Tanypodinae의 서식환경은 Chironominae의 서식 환경과 차이가 있는 것으로 알려져 있다. 기존연구에 따르면 Orthocladinae와 Tanypodinae는 Chironominae에 비해 수질에 민감하게 반응하는 종으로 (Vallenduuk and Pillot, 2007; Pillot, 2014), 하천 상류에서 우점하며 용존산소가 풍부한 여울과 유수 지점을 선호하는 것으로 알려져 있는 반면, Chironominae는 유기물 오염이 높은 지역에서 높은 개체밀도가 확인된 바 있다(Merritt and Cummins 1996; Nava *et al.*, 2015). 본 연구에서 Chironomina가 우점하고 있던 JS, GG, DS는 TOC와 Chl-a의 농도가 높은 것으로 나타났으며, 이는 주변에 위치한 도시와 농경지에서 유입되는 다양한 유기물질에 의한 결과로 사료된다. 따라서 본 연구에서 확인된 깔따구

아과별 유의성을 보인 환경요인(WT, TOC, Chl-*a*)과 이러한 환경요인을 바탕으로 그룹이 나뉜 집괴 분석 결과는 조사 지역에 따른 환경적 특성과 깔따구의 아과별 서식 환경의 선호도가 잘 반영된 것으로 생각된다.

깔따구별 선호하는 먹이원의 차이 또한 군집 구성에 큰 영향을 미칠 수 있다. 깔따구 종 분류에 대한 주요한 형태적 판정점인 대악(mendible)과 하순기절(mentum)은 아과별로 먹이 섭식에 대한 직접적 차이를 나타낸다(Baker and McLachlan, 1979; Berg, 1995; Pillot, 2014). Chironominae는 주로 여과 섭식자로 저서에 있는 유기물 덩어리를 섭식하는 반면(Merritt and Cummins 1996), Orthocladinae와 Tanypodinae는 대부분 긁어먹는 무리(scraper + grazers)로 조류, 유기물, 식물 조각 등 상대적으로 부피가 큰 것들을 먹이원으로 한다(Sensolo *et al.*, 2012). 따라서 본 연구에서 조사 지점별로 뚜렷하게 나타난 환경요인인 TOC, Chl-*a*가 식물플랑크톤 혹은 유기 쇄설물 등 크기가 적은 유기물량을 지시할 수 있음을 고려할 때, 출현한 깔따구 분포의 차이는 섭식 형태의 차이에 의한 각 아과별 선호도가 높은 먹이원의 조성 차이가 잘 반영된 결과로 보여진다.

본 연구에서 확인된 기초생산자의 생체량(Chl-*a*) 및 유기물의 지표(TOC)와 아과별 깔따구의 군집 조성의 상관성은 추후 깔따구의 군집 조성을 활용한 서식지 평가를 위해서 각 아과별 먹이원에 대한 자세한 정보의 필요성을 제시하고 있다.

적 요

국내 하천에서 발생하는 준설 및 보 건설은 하천 연속성 차단과 교란을 유도하여 수서 생물서식환경에 변화를 가져온다. 본 연구에서는 4대강 보(이포보, IP; 세종보, SJ; 죽산보, JS; 강정고령보, GG; 달성보, DS)에 서식하는 깔따구 군집 분포를 조사하고 서식환경에 영향을 주는 여러 환경인자를 측정하였다. 조사 지역 중 IP, SJ은 다른 조사 지역에 비해 WT, pH, TOC, Chl-*a*가 낮은 수준을 보였으며, 깔따구 개체 수 결과에서는 Chironominae, Orthocladinae, Tanypodinae가 비교적 균등한 수준으로 관찰되었다. 반면, JS, GG, DS는 Chironominae가 높은 비율로 우점하며, TOC와 Chl-*a*의 농도가 높게 나타났다. 각 조사 정점에 대한 깔따구 군집 조성의 특징과 환경요인을 반영한 집괴분석 결과 4대강 보는 3개의 그룹으로 구분되었으며, 이는 정점별 환경 차이와 깔따구의 대악 및 하순기절의 구조에 따른 먹이원 선호도 차이와 일치하였다. 따라서 본 연구에서는 연구 정점 간 먹이원의 차이에 의해 깔따구의 군집 구조의 차이가 나타나는 것을 확인

하였으며, 향후 각 깔따구 과 별 주 먹이원에 대한 연구에 대한 필요성을 제시한다.

저자정보 김원석(전남대학교 해양융합과학과 박사과정), 박재원(전남대학교 해양융합과학과 학부과정), 홍철(국립환경과학원 물환경연구부 전문위원), 최보형(전남대학교 수산과학연구소 학술연구교수), 김호준(K-water 수석연구원), 박연정(K-water 선임연구원), 박정호((주)케이에코 대표), 송행섭((주)케이에코 소장), 곽인실(전남대학교 해양융합과학과 교수)

저자기여도 개념설정: 곽인실, 방법론: 곽인실, 분석: 김원석, 박재원, 자료제공: 곽인실, 박재원, 박정호, 송행섭, 자료관리: 박재원, 원고 초안작성: 김원석, 원고 교정: 김원석, 홍철, 박재원, 최보형, 원고 편집 및 검토: 김원석, 최보형, 곽인실, 과제관리: 곽인실, 연구비 수주: 곽인실, 김호준, 박연정

이해관계 이 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음

연구비 본 연구는 한국수자원공사 과제(대하천 대발생 생물 발생원인 분석 및 관리기술개발 연구용역, M180046)와 한국연구재단 중점연구사업(NRF-2018-R1A6A1A-03024314)의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Al-shami, S., C.S.M. Rawi, A.H. Ahmad and S.A.M. Nor. 2010. Distribution of Chironomidae (Insecta: Diptera) in polluted rivers of the Juru river basin, Penang, Malaysia. *Journal of Environmental Sciences* **22**(11): 1718-1727.
- Baker, A.S. and A.J. McLachlan. 1979. Food preferences of tanypodinae larvae (Diptera: Chironomidae). *Hydrobiologia* **62**: 283-288.
- Berg, M.B. 1995. Larval food and feeding behavior. Springer, Dordrecht, pp. 136-168.
- Choi, A.R., S.J. Park, J.Y. Kim, M.Y. Song and D.S. Kong. 2012. The correlation between water quality and benthic macroinvertebrate community indices in the Jinwi stream. *Korean Journal of Limnology* **45**: 1-10.
- Driscoll, C.T., K.M. Driscoll, H. Fakhraei and K. Civerolo. 2016. Long-term temporal trends and spatial patterns in the acidbase chemistry of lakes in the Adirondack region of New York in response to decreases in acidic deposition. *Atmospheric Environment* **146**: 5-15.
- George, S.D., B.P. Baldigo, G.B. Lawrence and R.L. Fuller. 2018. Effects of watershed and in-stream liming on macroinvertebrate communities in acidified tributaries to an Adirondack

- lake. *Ecological Indicators* **85**: 1058-1067.
- Helson, J.E., D.D. Williams and D. Turner. 2006. Larval chironomid community organization in four tropical rivers: human impacts and longitudinal zonation. *Hydrobiologia* **559**(1): 413-431.
- Hong, C., W.S. Kim and I.S. Kwak. 2017. Changes of benthic macroinvertebrate community composition following natural temperature and precipitation increase. *Korean Journal of Ecology and Environment* **50**(3): 275-285.
- Kim, J.Y., S.H. Lee, K.L. Lee, S.Y. Noh, Y.N. Shin, S.W. Lee, J.K. Lee, D.H. Won, S.H. Lim, Y.J. Kwon and D.S. Kong. 2018. Spatio-temporal Distribution Patterns of Lotic Benthic Macroinvertebrate Communities in Namhan-River Weir Section. *Korean Journal of Ecology and Environment* **51**(4): 331-334.
- Kim, W.S., B.H. Lim, C. Hong, S.W. Choi, K. Park and I.S. Kwak. 2017. Gene expression of *Chironomus riparius* heat shock protein 70 and developmental retardation exposure to salinity. *Korean Journal of Ecology and Environment* **50**: 305-313.
- Kim, W.S., K. Park and I.S. Kwak. 2019. Biological effects and mouthpart deformity on *Chironomus plumosus* exposed to chromium and copper. *Korean Journal of Ecology and Environment* **52**: 13-20.
- Kim, W.S., R. Kim, K. Park, N. Chamilani and I.S. Kwak. 2015. The molecular biomarker genes expressions of rearing species *Chironomus riparius* and field species *Chironomus plumosus* exposure to heavy metals. *Korean Journal of Ecology and Environment* **48**(2): 86-94.
- Kwak, I.S., M.Y. Song and T.S. Chon. 2004. The effects of natural disturbance on benthic macro-invertebrate. *Korean Journal of Ecology and Environment* **37**(1): 87-95.
- Kwak, I.S. 2015. Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera). Chonnam National University Press.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *General Systems* **3**: 36-71.
- Merritt, R.W. and K.W. Cummins. 1996. An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall Hunt.
- National Institute Environmental Research. 2015. *Pectinatella magnifica* distribution research and ecology characteristic study.
- National Institute Environmental Research. 2016. Biomonitoring survey and assessment manual. 2017-439.
- National Institute Environmental Research. 2017. Standard methods for the examination of environmental pollution.
- Nava, D., R.M. Restello and L.U. Hepp. 2015. Intra- and inter-annual variations in Chironomidae (Insecta: Diptera) communities in subtropical streams. *Zoologia* **32**(3): 207-214.
- Park, J.H., J.H. Lee, S.Y. Kang and S.Y. Kim. 2006. Hydroclimatic controls on dissolved organic matter (DOM) characteristics and implications for trace metal transport in Hwangryong River Watershed, Korea, during a summer monsoon period. *Hydrological Processes* **21**: 3025-3034.
- Park, K. and I.S. Kwak. 2008. Characterization of heat shock protein 40 and 90 in *Chironomus riparius* larvae: effects of di (2-ethylhexyl) phthalate exposure on gene expression and mouthpart deformities. *Chemosphere* **74**(1): 89-95.
- Park, K. and I.S. Kwak. 2018. Disrupting effects of antibiotic sulfathiazole on developmental process during sensitive life-cycle stage of *Chironomus riparius*. *Chemosphere* **190**: 25-34.
- Park, K., J. Park, J. Kim and I.S. Kwak. 2010. Biological and molecular responses of *Chironomus riparius* (Diptera, Chironomidae) to herbicide 2,4-D(2,4-dichlorophenoxyacetic acid). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* **151**(4): 439-446.
- Pielou, E.C. 1975. Ecological diversity. Wiley and Sons, New York, 165pp.
- Pillot, H.K.M. 2014. Chironomidae Larvae, Vol. 3: Orthocladinae: Biology and Ecology of the Aquatic Orthocladinae (Vol. 3). Hotei Publishing.
- Resh, V.H., A.V. Brown, A.P. Covich, M.E. Gurtz, H.W. Li, G.W. Minshall, S.R. Reice, A.L. Sheldon, J.B. Wallace and R.C. Wissmar. 1988. The role of disturbance in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society* **7**(4): 433-455.
- Rosenberg, D.M. and V.H. Resh. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York, 488pp.
- Rossaro, B. 1991. Chironomids and water temperature. *Aquatic Insects* **13**(2): 87-98.
- Sensolo, D., L.U. Hepp, V. Decian and R.M. Restello. 2012. Influence of landscape on assemblages of Chironomidae in Neotropical streams. *Annales de Limnologie-International of Limnology* **48**(4): 391-400.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana, 233pp.
- Shearer, K.A., J.W. Hayes, I.G. Jowett and D.A. Olsen. 2015. Habitat suitability curves for benthic macroinvertebrates from a small New Zealand river. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* **49**(2): 178-191.
- Shin, S.M., I.K. Choi, E.W. Seo and J.E. Lee. 2013. Community structure of benthic macroinvertebrate in the urban and nature stream. *Journal of Environmental Science International* **22**: 1551-1559.
- Vallenduuk, H.J. and H.K.M. Pillot. 2007. Chironomidae Larvae, Vol. 1: Tanypodinae: General Ecology and Tanypodinae. Brill.
- Ward, A.F. and D.D. Williams. 1986. Longitudinal zonation and food of larval chironomids (Insecta: Diptera) along the course of a river in temperate Canada. *Ecography* **9**(1): 48-57.

Appendix 1. list of Chironomidae species name in the study.

Sub family	Species name	Korean name	Sub family	Species name	Korean name	
Chironominae	<i>Chironomus kiiensis</i>	안개무늬깔따구	Orthocladinae	<i>Chaetocladius</i> sp.1	국명미정	
	<i>Chironomus samoensis</i>	국명미정		<i>Cricotopus bicinctus</i>	두흰마디아기깔따구	
	<i>Chironomus</i> sp.1	깔따구류		<i>Cricotopus oryzaphagos</i>	벼아기깔따구	
	<i>Cryptochironomus</i> sp.1	음깔따구류		<i>Cricotopus</i> sp.1	아기깔따구류	
	<i>Dicotendipes pelochloris</i>	검은꼬리갈래깔따구		<i>Cricotopus sylvestris</i>	숲아기깔따구	
	<i>Dicotendipes</i> sp.1	갈래깔따구류		<i>Diplocladius</i> sp.1	쌍깔따구류	
	<i>Einfeldia dissidens</i>	검은다모깔따구		<i>Euryhopsis subviridis</i>	국명미정	
	<i>Glyptotendipes</i> sp.1	조각깔따구류		<i>Euryhopsis</i> sp.1	국명미정	
	<i>Harnischia</i> sp.1	무깔따구류		<i>Orthocladius suspensus</i>	그네깃깔따구	
	<i>Polypedilum scalaenum</i>	삼지창무늬깔따구		<i>Tokunagayusurika akamushi</i>	빨간도꾸나가깔따구	
	<i>Stictochironomus akizukii</i>	얼룩다리반지깔따구		Tanypodinae	<i>Conchapelopia</i> sp.1	민다리깔따구류
	<i>Stictochironomus</i> sp.1	반지깔따구류			<i>Tanypus punctipennis</i>	점박이늪깔따구
	<i>Tanytarsus</i> sp.1	장부깔따구류				