

## 길안천 저서성대형무척추동물의 군집안정성 및 유사도 분석

장명성<sup>1</sup>, 서울원<sup>1,2</sup>, 이종은<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>안동대학교 생명공학부, <sup>2</sup>안동대학교 환경연구소

## Analysis of benthic macroinvertebrates community stability and similarity in the Giran stream

Myeong Seong Jang<sup>1</sup>, Eul Won Seo<sup>1,2</sup> and Jong Eun Lee<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Biological Science and Biotechnology, Andong National University, Andong 36729, Republic of Korea

<sup>2</sup>Environment Research Center, Andong National University, Andong 36729, Republic of Korea

### \*Corresponding author

Jong Eun Lee

Tel. 054-820-5618

E-mail. jelee@anu.ac.kr

Received: 9 December 2020

First Revised: 18 December 2020

Second Revised: 23 December 2020

Revision accepted: 24 December 2020

**Abstract:** This study was conducted to investigate the community stability and similarity of benthic macroinvertebrates in the Giran stream between August and September 2018, and compare results to those reported by Lee (2004). As relates to the total number of species in each taxon in 2018, 45 species were additionally discovered compared to the 2003 study; the number of EPT taxa increased by 14 species and OCH taxa increased by 18 species. The diversity and richness indexes increased while the dominance index tended to decrease. According to analysis of functional feeding groups, 11 more Gathering-collector species were found, making it the highest functional feeding group with 24 species. According to analysis of functional habitat groups, 15 more clinger species were found than in the past, making it the highest functional habitat group with 41 species. A community stability comparison showed that species belonging to 'Stability Group I' had the highest stability rate at 57.1% in 2003 and 61.5% in 2018. According to the biological water quality assessment, in 2018, the average water quality level at each survey site was 'la' and 'Very Good' in terms of environmental conditions. As a result of the similarity analysis between the survey points for the species that appeared, two large groups of similarities were classified (similarity group 1: 2003 sites, similarity group 2: 2018 sites).

**Keywords:** benthic macroinvertebrates, community stability and similarity, Giran stream

## 서 론

길안천은 경상북도 청송군 현서면 월정리에서 발원하여 안동시 임하면의 반변천(국가하천)과 합류하는 반변천의 지류로 속하는 유로연장 75 km, 유역면적 519.56 km<sup>2</sup>의 지

방2급 하천이다. 또한 안동시민의 식수원이며, 생물다양성이 큰 하천으로 알려져 있으나, 취수댐과 한밤보 설치계획 등으로 끊임없이 민원이 제기된 하천이기도 하다. 길안천에 대한 과거의 조사(하천정비사업 이전)에서는 하천주변에 산재한 과수원과 밭 등 비점오염원과 길안천을 찾아오

는 많은 행락객의 물놀이와 낚시 및 취사행위 등으로 인한 수질오염에 대한 우려가 지적되었다(Lee 2004). 이러한 문제점이 지역사회 현안문제로 부상하면서 안동시와 NGO 단체에 의한 길안천 수계 환경보호 활동이 전개되어, '길안천 취수시설' 및 '길안천 고향의 강 정비 사업(2016년 준공)'과 금소생태공원과 천지생태공원 등 친수공간이 조성(2017년 준공)이 길안천 하천정비 사업의 일환으로 실시되었다.

하천정비사업이나 취수장 조성 사업 등은 하천의 수심, 유속, 하상 구조 및 기질 조성 등 물리적 변화는 물론 수생태계에 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Chapple 2002; Kim *et al.* 2013). 또한 하천생태계에 있어서 물리적 교란은 저서성대형무척추동물의 군집구조에 직접적인 영향을 미친다. 특히 수변 생태공원조성사업 및 하천정비공사와 같은 규모가 큰 공사는 저서생물들의 서식환경을 일시적으로 그리고 급격하게 변화시키는 것으로도 알려져 있다(Lee *et al.* 2013). 또한 하천에서의 인위적 교란은 종적, 횡적인 서식환경을 훼손시켜 저서성대형무척추동물의 다양성을 감소시키고 장기적으로는 육상생태계와 하천생태계의 에너지의 상호이동을 제한하는 요인이 될 수 있다(Urban *et al.* 2006; Yoshimura 2008). 저서성대형무척추동물은 어류 및 동식물 플랑크톤의 먹이사슬 연결에 중간자 역할을 하는 분류군으로, 물리·화학적 서식처 교란에 매우 민감하게 반응하기 때문에 중요한 생물학적 지표로 이용된다(Hynes 1963; Kehde and Wilhm 1972). 따라서 과거 비점오염원에 의한 수질오염이 가중되는 상황에서의 조사 결과와 최근의 하천정비사업 등 일시적인 교란이 수환경 변화에 민감한 저서성대형무척추동물에 어떤 영향을 미쳤는지에 대한 결과를 규명할 필요성이 대두되었다. 안동 시민의 식수원인 길안천에 대한 생물학적 조사는 Lee (2004) 이후 전무한 상태이며, 15년이 경과된 현시점에서 이화학적 및 생물학적 수질평가와 저서생물상 등에 대한 종합적이고 체계적인 정밀조사가 필요하다.

본 연구의 목적은 15년 전의 길안천 조사와 금번 조사 결과를 통해 시공간적인 측면에서, 길안천 저서성대형무척추동물의 군집구조, 군집변동, 군집안정성, 섭식 및 서식기능 분석과 유사도 분석을 통해 길안천의 과거와 현재의 종 다양성 군집지수 및 하천건전성을 재조명해 보고자 한다. 또한 이화학적 및 생물학적 수질 평가 결과를 바탕으로 각각의 주요인 간의 상관분석을 실시하여 하천정비공사가

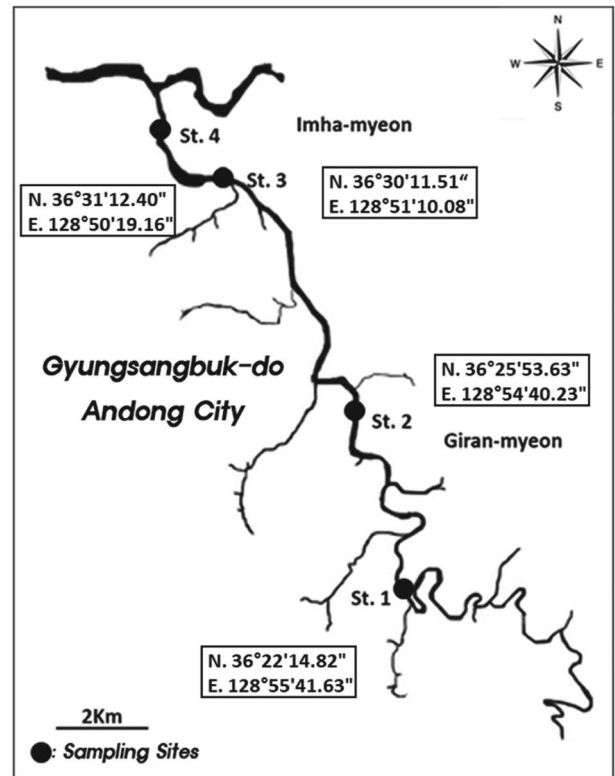


Fig. 1. Map of sampling sites in the Giran stream, Andong city, South Korea.

저서성대형무척추동물에 미치는 영향에 대해 고찰하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지점 및 조사시기

길안천의 과거 문헌자료와의 비교를 위하여 Lee (2004)의 조사지점과 동일한 지점(St. 1~St. 4)에서 조사를 진행하였으며, 1차 조사는 2018년 8월 2일(과거 2003년 8월 5일), 2차 조사는 2018년 9월 30일(과거 2003년 9월 27일) 총 2회 조사를 실시하였다(Fig. 1).

### 2. 현장조사 및 분석

#### 1) 채집방법

채집은 정량적인 방법과 정성적인 방법을 병행하여 실시하였다. 정량적인 방법은 유수역(riffle)에서 Surber

sampler (30 cm × 30 cm, mesh 1 mm)로 하상의 구조와 유속 등을 고려하여 3회씩 채집을 하였으며, 정성적인 방법은 주로 Hand net (지름 25 cm, mesh 1 mm)과 핀셋을 이용하여 수변부의 돌이나 수초에 부착하는 서식형과 저질이나 부유물 등 퇴적층에 서식하는 저서성대형무척추동물의 습성에 유의하여 채집을 실시하였다. 채집된 표본은 현장에서 94% Ethyl alcohol에 고정 후 연구실로 운반하였다.

## 2) 동정 및 분류

채집된 표본의 동정에는 Yoon (1995), Won *et al.* (2005), Kwon *et al.* (1993), Song (1995), Jung (2011) 등을 참고하였으며, 동정된 표본은 안동대학교 생명공학부 동물분류학연구실에 액침보관하였다.

## 3. 자료분석

### 1) 군집분석

군집지수로는 우점도지수 (*DI*: McNaughton 1967), 다양도지수 (*H'*: Shannon and Weaver 1949), 풍부도지수 (*R'*: Margalef 1958), 균등도지수 (*J'*: Pielou 1975)를 사용하였다.

$$DI (\text{Dominance Index}) = (N_1 + N_2) / N$$

$$H' (\text{Diversity Index}) = - \sum_{i=1}^S P_i \cdot \ln(P_i), P_i = N_i / N$$

$$R' (\text{Richness Index}) = (S - 1) / \ln(N)$$

$$J' (\text{Evenness Index}) = H' / \ln(S)$$

(*N*<sub>1</sub>: 우점종의 개체수, *N*<sub>2</sub>: 아우점종의 개체수, *N*: 총 개체수, *N*<sub>*i*</sub>: *i*종의 개체수, *S*: 전체 종수)

군집분석은 조사구간별로 정량적으로 채집된 자료로부터 출현한 분류군의 수를 비교하여 출현개체수 및 우점종 등을 분석하였으며, 모든 개체수는 지점별 단위면적당 개체수 (ind. m<sup>-2</sup>)를 산출하여 분석하였다.

### 2) 기능군 및 군집안정성 분석

저서성대형무척추동물의 출현종의 섭식방법 및 서식형태의 특징을 기준으로 각 조사지점의 수환경을 파악하기 위해 섭식기능군 (FFGs; Functional Feeding Groups) 및 서식기능군 (FHGs; Functional Habitat Groups)을 분석하였다 (Ro and Chun 2004; Merritt and Cummins 2008). 또한 각 조사지점에서 출현한 종을 바탕으로 상대적인 저항력과 회복력에 따라 그룹 I~그룹 IV로 나누어 군집안정성을 분석하였다 (Ro and Chun 2004).

### 3) 생물학적 수질평가, 상관분석 및 유사도 분석

환경질의 평가와 생태환경 관리기준의 판정은 Kong (2018)의 저서성대형무척추동물 총생태정수 (TESB; Total Ecological Score of Benthic Macroinvertebrate Community)를 적용하였다.

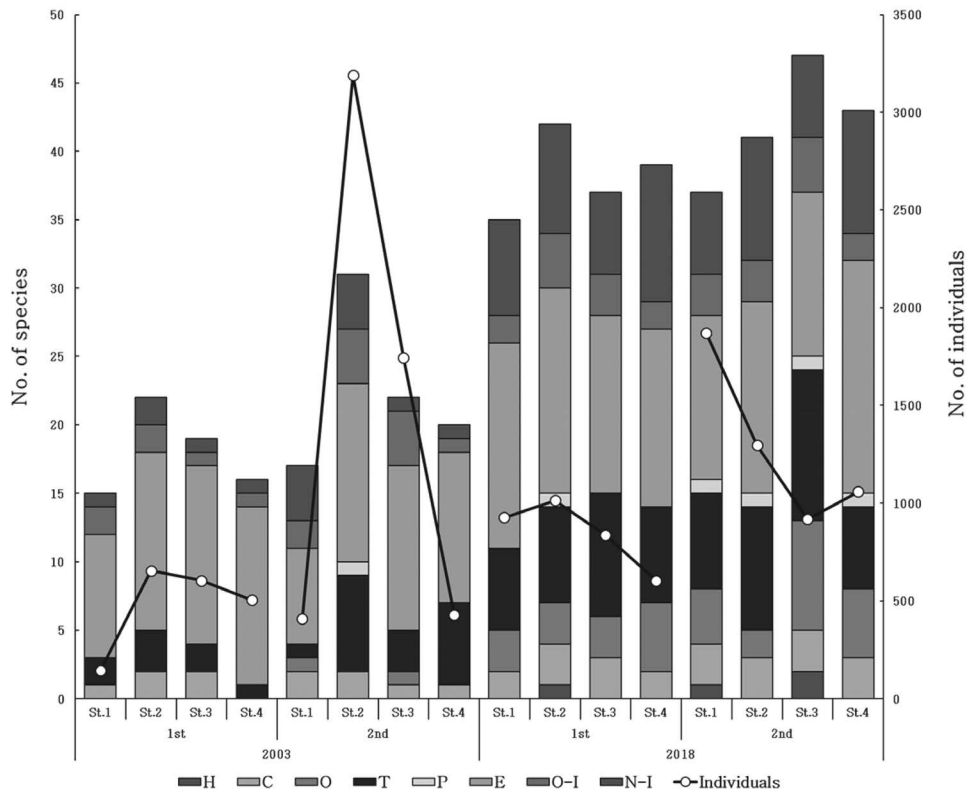
본 연구에서는 조사된 생물학적 요인과 이화학적 요소와의 상관관계를 알아보기 위해 상관분석을 실시하였다. 이화학적 수질평가에 대한 조사는 2018년에만 실시되어 2003년의 자료는 사용하지 않았다. 상관분석은 SPSS (Ver. 26.0)를 사용하여 Pearson의 방식을 따라 상관계수 (*r*)를 구하고 유의확률 (*p*-value)을 산출하여 유의수준을 판단하였다. 또한 지점별 출현종에 대한 지점 간 유사성을 Jaccard (1908)를 통해 유사도지수를 구했다.

## 결과 및 고찰

### 1. 저서성대형무척추동물상 변화

2018년에 조사된 저서성대형무척추동물은 총 4문 7강 21목 53과 86종 8,517.4개체 (inds. m<sup>-2</sup>)였다. 출현분류군 조성은 하루살이목 22종 (25.6%), 날도래목 17종 (19.8%), 잠자리목 12종 (14.0%), 연체동물문 9종 (10.5%), 딱정벌레목 8종 (9.3%) 등의 순으로 출현하였다. 2018년도 저서성대형무척추동물상은 2003년에 비해 잠자리목 11종, 날도래목 8종, 하루살이목 6종, 연체동물문 6종, 딱정벌레목 5종, 갑각강 3종, 노린재목 2종, 파리목 1종이 추가로 조사되어 총 45종이 증가하였다.

EPT 분류군은 우수생태계의 주요 그룹으로 하루살이목 (Ephemeroptera)과 강도래목 (Plecoptera), 날도래목 (Trichoptera)이 속하며, 청정한 하천에서 출현도가 높고 (Lenat 1988), 차지하는 비율이 높을수록 해당 수계의 환경이 양호한 것으로 알려져 있다 (Davis *et al.* 2003; Peitz 2003; Sin *et al.* 2008). 정수역이 잘 발달된 환경에는 잠자리목 (Odonata), 딱정벌레목 (Coleoptera), 노린재목 (Hemiptera)과 같은 OCH 분류군이 선호하는 경향이 있다 (Lawrence *et al.* 2014). EPT 분류군과 OCH 분류군을 조사한 결과, 2003년 EPT 분류군은 26종, 2018년에는 40종으로 종수가 24종 증가하였다. 단위면적당 개체수에서는 2003년이 6,941.2개체 (inds. m<sup>-2</sup>), 2018년은 5,842.3개체 (inds. m<sup>-2</sup>)로 종수에 비해 단위면적당 개체밀도에 큰 차이는 없었다. OCH 분



**Fig. 2.** The number of species and individuals of benthic macroinvertebrates in each surveyed site (H: Hemiptera, C: Coleoptera, O: Odonata, T: Trichoptera, P: Plecoptera, E: Ephemeroptera, O-I: Other Insecta, N-I: Non Insecta).

류군은 2003년 조사 시 4종 70.3개체 ( $\text{inds. m}^{-2}$ )가 조사되었고, 2018년에는 22종, 1772.3개체 ( $\text{inds. m}^{-2}$ )가 조사되었다. 2003년과 2018년을 비교하였을 때 18종이 추가로 발견되었고 개체수는 약 1,700개체 ( $\text{inds. m}^{-2}$ )가량 증가하였다 (Fig. 2). EPT 분류군과 OCH 분류군 모두 종수가 크게 증가하였으며, 특히 OCH 분류군에서 딱정벌레목 (Coleoptera) 과 잠자리목 (Odonata)이 높은 종 증가율을 보였다. 또한 전 조사지점에서 여울벌레류 (Elmidae sp.)가 새롭게 출현하였고, 개체수가 크게 증가하였다. 이는 길안천 수계의 하천정비공사 등으로 인한 일시적인 교란 후, 상류로부터 알과 약충의 유하 및 비행이 가능한 성충에 의한 산란처 확대로 종의 회복이 빠르게 진행되었으며, 시간이 지남에 따라 수변식생의 형성으로 다양한 미소서식처가 회복되어 종 다양성이 증가된 것으로 판단된다.

## 2. 군집 분석

2003년과 2018년에 출현한 저서성대형무척추동물에 대

상으로 조사지점별 우점종 및 아우점종을 분석한 결과, 과거에는 주로 하루살이류와 오염 내성범위가 넓은 깔따구류 (*Chironomus sp.*)가 우점 및 아우점하였고, 2018년에는 우수역 환경을 선호하는 여울벌레류 (Elmidae sp.), 넓은 물삿갓벌레 KUa (*Mataeopsephus KUa*), 하루살이류와 줄날도래류 등이 우점 및 아우점하였다 (Table 1). Song *et al.* (2016)에 의하면 우점종과 아우점종 및 종조성의 변화는 친환경적인 하천정비공사의 결과와 관련이 있는 것으로 보고하였다. 길안천의 경우도 하천정비 공사 이후 하상의 유기물 감소와 유속과 수질이 개선됨에 따라 이러한 수 환경에 서식이 적합한 우점종으로 대체된 것으로 판단된다. 정량적 데이터를 바탕으로 한 군집분석 결과, 평균 다양도지수 ( $H'$ )는  $2.95 (\pm 0.44)$ 에서  $3.54 (\pm 0.38)$ , 풍부도지수 ( $R'$ )는  $2.4 (\pm 0.49)$ 에서  $3.2 (\pm 0.5)$ 로 유의적인 변화 ( $p < 0.05$ )는 없었지만 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 반면 우점도지수 ( $DI$ )는  $0.52 (\pm 0.14)$ 에서  $0.39 (\pm 0.11)$ 로 약간 감소하였으며, 균등도지수 ( $J'$ )는  $0.74 (\pm 0.13)$ 에서  $0.78 (\pm 0.07)$ 로 유의미한 차이는 없었다 (Fig. 3, Table 1).

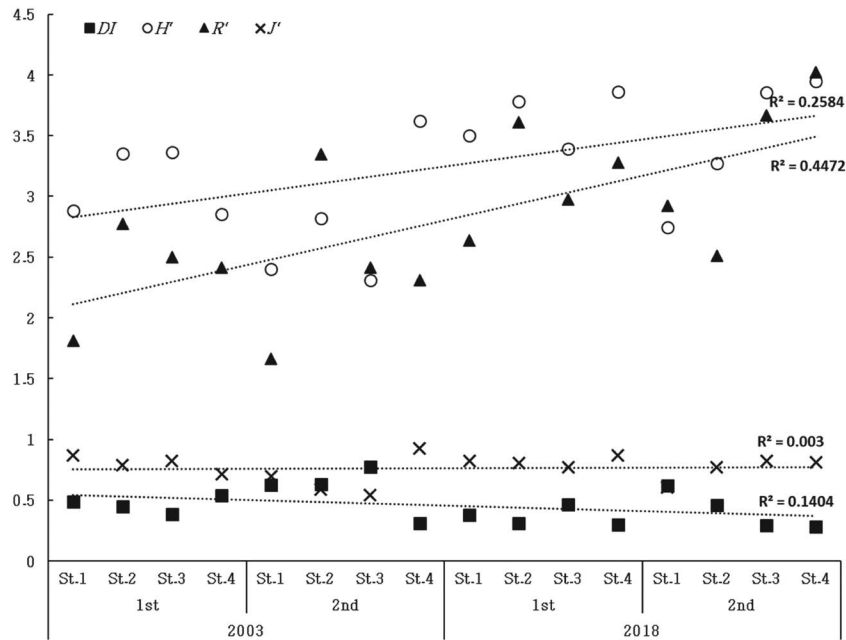


Fig. 3. Community indices of benthic macroinvertebrates in each surveyed site (DI: Dominance Index, H': Diversity Index, R': Richness Index, J': Evenness Index).

Table 1. Community index, dominant and subdominant species according to the surveyed sites in Giran stream

Year	Sites	DI	H'	R'	J'	Dominant species	Subdominant species
2003	St.1	0.56 (±0.07)	2.64 (±0.24)	1.74 (±0.07)	0.78 (±0.09)	<i>Ecdyonurus kibunensis</i>	<i>Chironomus</i> sp. (W)
	St.2	0.54 (±0.09)	3.09 (±0.27)	3.06 (±0.29)	0.69 (±0.1)	<i>Choroterpes altioculus</i>	<i>Hydropsyche orientalis</i>
	St.3	0.58 (±0.19)	2.84 (±0.53)	2.46 (±0.04)	0.68 (±0.14)	<i>Ecdyonurus kibunensis</i>	<i>Choroterpes altioculus</i>
	St.4	0.42 (±0.11)	3.24 (±0.38)	2.36 (±0.05)	0.82 (±0.11)	<i>Chironomus</i> sp.(W)	<i>Choroterpes altioculus</i>
	Mean	0.52 (±0.14)	2.95 (±0.44)	2.40 (±0.49)	0.74 (±0.13)		
2018	St.1	0.5 (±0.12)	3.12 (±0.38)	2.78 (±0.14)	0.72 (±0.11)	<i>Cheumatopsyche</i> KUa	<i>Mataeopsephus</i> KUa
	St.2	0.39 (±0.07)	3.53 (±0.25)	3.06 (±0.55)	0.79 (±0.02)	<i>Uracanthella rufa</i>	<i>Macronema radiatum</i>
	St.3	0.38 (±0.09)	3.63 (±0.23)	3.32 (±0.35)	0.8 (±0.02)	<i>Uracanthella rufa</i>	<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>
	St.4	0.29 (±0.01)	3.91 (±0.04)	3.65 (±0.37)	0.84 (±0.03)	<i>Mataeopsephus</i> KUa	<i>Cheumatopsyche</i> KUa
	Mean	0.39 (±0.11)	3.54 (±0.38)	3.20 (±0.50)	0.78 (±0.07)		

Community index values indicated Mean (±Standard deviation); DI: Dominance index, H': Diversity index, R': Richness index, J': Evenness index

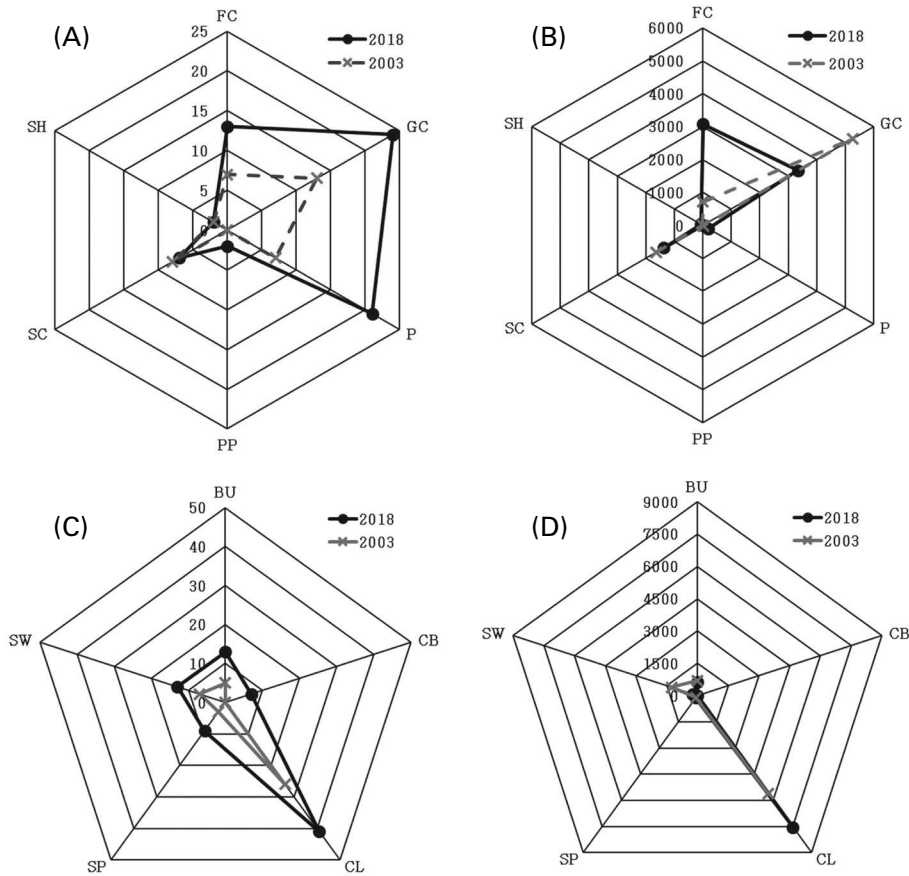
다양도지수와 풍부도지수의 증가 및 우점도지수가 감소한 결과를 보았을 때, 하천 건강성을 위해 생태하천 복원사업이 진행된 이후 다양한 물리·화학적 변화로 인해 종 다양성이 증가한 Han et al. (2018)의 결과와 유사하였다.

### 3. 기능군 분석

하천생태계에서 저서성대형무척추동물의 섭식기능군

(FFGs) 및 서식기능군(FHG)은 서식처 및 먹이자원의 특성에 따라 환경적 요인을 다르게 나타내며(Cummins 1973; Ward 1992; Williams and Feltmate 1992; Kil et al. 2010), 2003년과 2018년에 조사된 저서성대형무척추동물의 기능군 분석 결과는 다음과 같다(Fig. 4).

섭식기능군 분석 결과, 2018년에는 주위먹는무리(GC; Gathering Collectors)가 24종으로 가장 많은 종수를 나타



**Fig. 4.** Species (A, C) and individuals (B, D) proportion of functional feeding groups (A, B) and functional habitat groups (C, D) of benthic macroinvertebrates in each year (FC: Filtering Collector, GC: Gathering Collector, P: Predator, PP: Plant-piercer, SC: Scraper, SH: Shredder, BU: Burrower, CB: Climber, CL: Clinger, SP: Sprawler, SW: Swimmer).

내었으며 과거 대비 11종이 추가된 반면, 단위면적당 개체수는 과거에 비해 1,931.4개체( $\text{inds. m}^{-2}$ )가 적은 결과를 나타냈다. 이어서 잡아먹는무리(P; Predator)가 2018년에 21종으로 14종이 추가로 조사되었으며, 개체수는 2018년도에 159.1개체( $\text{inds. m}^{-2}$ )가 증가하여 188.7개체( $\text{inds. m}^{-2}$ )가 출현하였다. 걸러먹는무리(FC; Filtering Collector)의 경우 13종, 3,074.7개체( $\text{inds. m}^{-2}$ )가 조사되었으며, 과거 대비 6종, 2,360.6개체( $\text{inds. m}^{-2}$ )가 추가로 조사되었다. 그 외에 다른 기능군의 경우 유의한 차이를 보이지 않았다.

서식기능군의 경우 일반적으로 유수역에서는 미소서식체의 다양성이 상대적으로 높아 헤엄치는무리(SW; Swimmers), 붙는무리(CL; Clingers) 등의 기능군이 다양하게 분포하며(Ward 1992; Williams and Felmate 1992), 유속이 느리고 하상의 조성이 단순할 경우, 붙는무리(CL)는 감소하고 굴파는무리(BU; Burrowers)나 기는무리(SP;

Sprawlers)와 기어오르는무리(CB; Climbers)는 증가한다(Yoon *et al.* 1992). 본 연구조사 결과, 붙는무리(CL)에서 41종, 7,544.3개체( $\text{inds. m}^{-2}$ )가 출현했으며, 15종 1,946.2개체( $\text{inds. m}^{-2}$ )가 추가로 발견되어 가장 높은 증가수를 보였다. 붙는무리(CL)의 경우 수계의 미소서식체의 다양성에 따라 분포양상이 달라지는데(Ward 1992), 길안천 수계는 하천정비 후, 물 흐름 개선과 다양한 미소서식체 형성으로 붙는무리(CL)에 속하는 종 다양성이 높아진 것으로 사료된다. 굴파는무리(BU)와 기는무리(SP)의 경우, 종수는 각각 8종과 6종이 추가로 출현하였지만, 개체수에는 유의한 차이가 없었다. 헤엄치는무리(SW)에서는 6종이 추가로 발견되었으며, 2003년 우점했던 하루살이목의 전체적인 개체수는 감소한 것으로 나타났다. 그리고 기어오르는무리(CB)는 2018년에는 정성조사에서 잡자리목과 노린재목에서 7종이 추가로 출현하였다. 이는 과거 생태공원조성사업

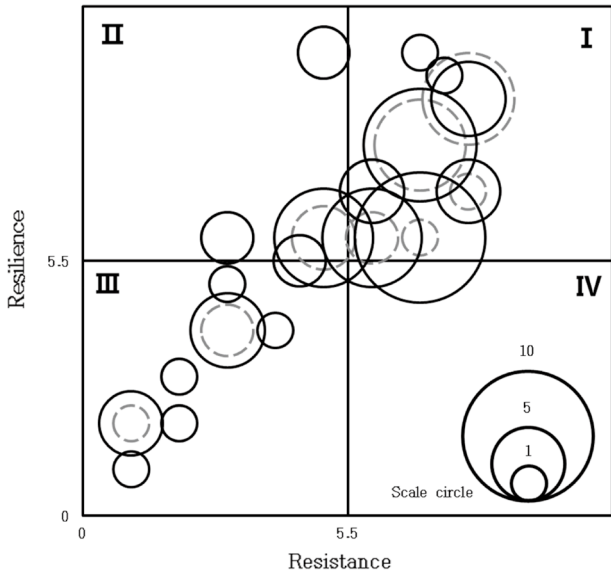


Fig. 5. Analysis of community stability by relative resistance and resilience in 2003 and 2018 (Dotted circle: 2003, Solid circle: 2018).

및 하천정비공사가 진행된 이후 일시적인 물리적 교란이 안정화되어 종 다양성이 증가한 결과로 사료된다. 이러한 결과는 하천의 유기물 및 영양물질 농도의 감소와 함께 하도복원과 부유물질 농도가 감소되어야 저서성대형무척추동물 군집의 다양성 및 건강성이 높아진다(Kim *et al.* 2016)는 결론과 유사하게 나타났다.

#### 4. 군집안정성 및 생물학적 수질평가

군집안정성분석 결과, 상대적 저항력과 회복력이 높아 인위적인 간섭 및 교란에 개체군을 유지하는 능력이 뛰어난 특성군 I그룹에 속하는 종들의 출현율이 2003년 57.1% (Lee 2004), 2018년 61.5%로 가장 높게 나타났다. 이는 Jo (2019)의 군집안정성 연구결과와 동일한 결과를 보인 것으로 나타났다. 또한 상대적 저항력은 낮고, 회복력이 좋은 특성군 II그룹은 2003년 25.7% (Lee 2004), 2018년 20.0%로 조사되었다. 상대적 저항력과 회복력이 낮고 비교적 수환경이 안정적인 종들이 속한 특성군 III그룹의 출현율은 2003년 17.1% (Lee 2004), 2018년 18.5%로 나타났으며, 상대적 저항력은 높고 회복력이 낮은 특성군 IV그룹은 출현하지 않았다(Fig. 5).

저서성대형무척추동물이 갖는 수환경에 대한 반응을 수치화하여 도출한 지수인 TESB 지수를 이용하여 각 지점의 생물학적 수질평가를 실시한 결과, 2003년에 조사한 지점

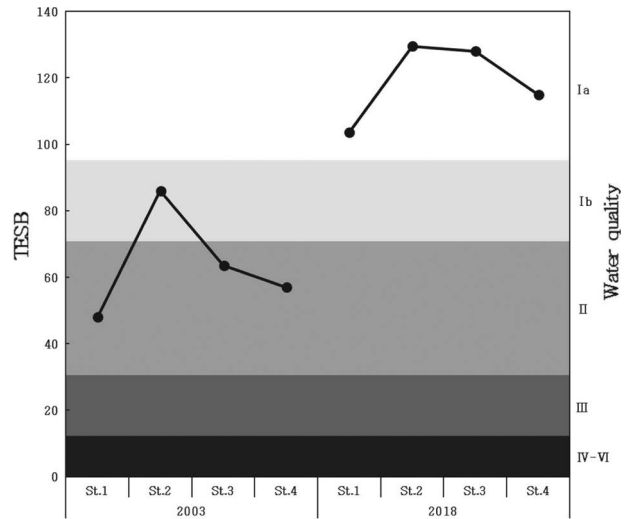


Fig. 6. TESB (Total Ecological Score of Benthic macroinvertebrate community) score of species at each surveyed site.

중 St. 2를 제외한 지점에서 'II'등급의 수질과 '보통'의 환경상태를 나타내고 있었으며, 2018년에 조사한 지점은 모두 'Ia'등급의 수질을 나타냈으며, '매우 양호'한 환경상태로 나타났다(Fig. 6). 이는 상수원보호구역인 길안천에 대한 지속적인 단속과 하천정비를 통한 물 흐름 증가와 유기물 제거 그리고 하천보호활동과 주민계몽활동 등이 복합적으로 작용한 결과로 판단된다. 이러한 결과는 장수천의 자연형 하천정비시행 후 종의 회복과 수서생태계 안정화까지 다소의 시간이 경과 후 안정화된다는 결론과 일치하는 것으로 나타났다(Song *et al.* 2016).

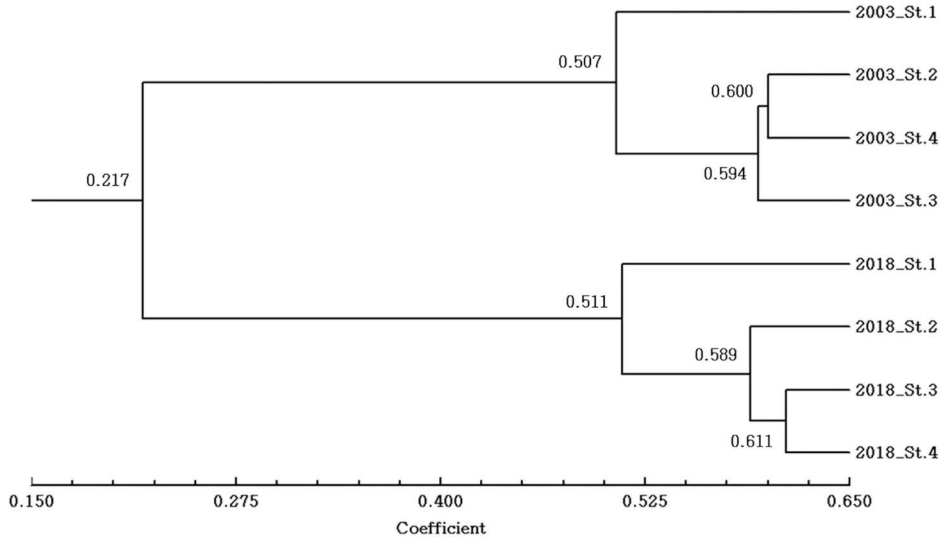
#### 5. 상관관계 및 유사도 분석

본 연구에서는 길안천의 생물학적 요인과 이화학적인 요인 간에 상관관계를 분석하기 위해 Pearson 상관계수를 사용하였으며, 데이터 분석은 이화학적 수질평가를 시행한 2018년도의 자료를 활용하였다. 상관관계 분석 결과, pH는 개체수에 매우 유의한 양의 상관관계( $r=0.953$ )를 보였으며, 풍부도지수( $r=-0.724$ )와 균등도지수( $r=-0.807$ )에 음의 상관관계를 보였다. BOD는 풍부도지수( $r=0.730$ )와 다양도지수( $r=0.747$ )에 양의 상관관계를 보였으며, 우점도지수( $r=-0.755$ )에는 음의 상관관계를 보였다(Table 2). 이러한 결과는 점오염원 및 비점오염원의 영향을 받은 이화학적 수질요인은 저서성대형무척추동물의 생물학적 요인에 부정적인 영향을 끼치는 것으로 사료된다(Jo *et al.*

**Table 2.** Pearson's correlation coefficients between biotic and physicochemical factors in the Giran Stream, 2018

Factors	Species	Individuals	<i>DI</i>	<i>H'</i>	<i>R'</i>	<i>J'</i>
WT	-0.233	-0.658	-0.284	-0.049	0.307	0.461
pH	-0.052	0.953**	0.687	-0.310	-0.724*	-0.807*
DO	-0.332	-0.048	-0.124	-0.336	0.023	0.191
EC	-0.045	-0.748*	-0.378	0.188	0.450	0.551
BOD	0.670	-0.357	-0.755*	0.747*	0.730*	0.521
TN	-0.004	-0.648	-0.376	0.213	0.431	0.517
TP	-0.463	-0.149	-0.025	-0.426	-0.045	0.190
SS	0.080	-0.451	-0.537	0.221	0.487	0.547
TOC	0.287	0.581	0.162	0.118	-0.212	-0.376

\*:  $p$ -value < 0.05, \*\*:  $p$ -value < 0.01 in the correlation analysis; *DI*: Dominance index, *H'*: Diversity index, *R'*: Richness index, *J'*: Evenness index, WT: Water temperature, pH: Hydrogen exponent, DO: Dissolved oxygen, EC: Electric conductivity, BOD: Biochemical oxygen demand, TN: Total nitrogen, TP: Total phosphorus, SS: Suspended solid, TOC: Total organic carbon



**Fig. 7.** The similarity between surveyed sites according to the collected species.

2019)는 결과와 일치하는 것으로 나타났다.

2003년과 2018년도에 조사된 출현종에 대한 지점별 유사성 분석 결과, 2003년과 2018년에 조사한 지점은 서로 유사성이 낮았으며, 각 연도별로 그룹이 나뉘었다. 제 1 유사군에서 가장 높은 유사성을 보인 지점은 2018년에 조사된 St. 3과 St. 4가 0.611의 유사성을 보였으며, 제 2 유사군에서는 St. 2와 St. 4가 0.600으로 가장 높은 유사성을 나타냈다 (Fig. 7). 일반적으로 조사지점의 저서상태와 유수, 정수역에 따라 유사도는 과거와 현재가 각각 유사하게 나타나는 것으로 알려져 있으나, 금번 조사 결과, 친환경적인 하천환경정비사업 등 종합적인 수환경관리 진행 전 후(2003

년, 2018년)에 따라 조사 시점별로 유사도가 극명하게 구분되는 결과가 나타났다.

### 적 요

본 연구는 길안천의 저서성대형무척추동물 군집구조를 과거와 비교하여 분석하고자, 2018년 총 2회 조사를 실시하여 Lee (2004)의 결과와 비교하였다. 2018년 출현종수는 2003년과 비교하여 총 45종이 증가하였으며, 그중 EPT 분류군이 24종, OCH 분류군이 18종이 추가로 조사되었다.



군집분석 결과, 다양도지수( $H'$ )와, 풍부도지수( $R'$ )는 증가하였고, 우점도지수( $DI$ )는 감소하는 경향을 보였다. 섭식기능군은 주워먹는무리( $GC$ )에 속하는 종이 과거대비 11종이 추가로 발견되어 가장 높게 나타났고, 서식기능군의 경우 붙는무리( $CL$ )가 41종으로 가장 많은 종이 출현하였다. 군집안정성에서는 특성군 I그룹이 2003년에 57.1%, 2018년에 61.5%로 가장 높은 출현율을 보였다. 생물학적 수질평가 결과, 과거 평균 'II등급'의 수질등급과 '보통'의 환경상태에서 2018년에는 평균 'Ia'등급의 수질과 '매우 양호'한 환경상태를 나타냈다. 2018년의 이화학적 요인과 생물학적 요인과의 상관관계 분석결과, pH 및 BOD는 개체수, 우점도지수( $DI$ ), 풍부도지수( $R'$ ), 다양도지수( $H'$ ), 균등도지수( $J'$ )에 유의한 상관관계를 나타냈다. 유사도 분석결과, 각 연도별로 두 개의 유사군으로 분류되었다.

길안천 수계가 취수시설 및 생태공원, 하천정비사업을 진행하면서 발생한 물리적 교란 이후 시간이 지남에 따라 물 흐름 개선과 다양한 미소서식처 형성을 통해 종 다양성 및 풍부도가 높게 나타난 것으로 판단되며, 향후, 제한적인 구간의 하천정비공사로 인한 하상 교란과 수질과의 상관관계가 저서성대형무척추동물의 군집구조와 군집안정성에 미치는 영향에 대해 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 2018년 경북녹색환경지원센터의 연구사업비 지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Chapple. CK. 2002. Jainism and Ecology: Nonviolence in the Web of Life. Harvard University Press. Cambridge, UK. p. 252.
- Cummins KW. 1973. Trophic relations of aquatic insects. *Ann. Rev. Entomol.* 18:183-206.
- Davis SD, SW Golladay, G Vellidis and CM Pringle. 2003. Macroinvertebrate biomonitoring in intermittent coastal plain stream impacted by animal agriculture. *J. Environ. Qual.* 32:1036-1043.
- Han JS, JK Choi, KH Won and HG Lee. 2018. Changes in aquatic insect community structure in Wonju stream based on a comparison of previous studies. *Korean J. Environ. Biol.* 36:400-411.
- Hynes HBN. 1963. Imported organic matter and secondary productivity in streams. *Proc. Int. Congr. Zool.* 5:324-329.
- Jaccard P. 1908. Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat.* 44:223.
- Jo MH, MJ Lee, EW Seo and JE Lee. 2019. Analysis of functional habitat groups and community stability of benthic macroinvertebrates before and after Yeongju Dam completion in Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 37:664-671.
- Jung KS. 2011. Odonata Larvae of Korea. *Eco & Nature.* Seoul. p. 399.
- Kehde PM and JL Wilhm. 1972. The effects of grazing by snails on community structure of periphyton in laboratory streams. *Am. Midl. Nat.* 16:8-24.
- Kil HK, DG Kim, SW Jung, YH Jin, JM Hwang, KS Bae and YJ Bae. 2010. Impacts of impoundments by low-head and large dams on benthic macroinvertebrate communities in Korean streams and rivers. *Korean J. Limnol.* 43:190-198.
- Kim BS, SH Kim, JE Lee, EW Seo, OC Kwon and KS Sim. 2013. The influence of artificial structures on benthic macroinvertebrate communities in stream. *J. Environ. Sci. Int.* 22:309-318.
- Kim PJ, JY Kim, SH Son, DH Won and DS Kong. 2016. Comparative analysis of benthic macroinvertebrate communities before and after the restoration project in the Kyoungan stream. *J. Korean Soc. Water Environ.* 32:15-22.
- Kong DS, YJ Park and YL Chun. 2018. Revision of ecological score of benthic macroinvertebrates community in Korea. *J. Korean Soc. Water Environ.* 34:251-269.
- Kwon OG, JS Lee and GM Park. 1993. Primary Color Shellfish Book in Korea. Academy books. Seoul. p. 445.
- Lawrence JE, MR Cover, CL May and VH Resh. 2014. Replacement of culvert styles has minimal impact on benthic macroinvertebrates in forested, mountainous streams of Northern California. *Limnologia* 47:7-20.
- Lee CJ, SJ Chung and SY Hwang. 2013. Study on the monitoring of the changes in landform and riparian vegetation of sand-bed stream before the dam construction: In the case of Naesung Stream before the dam construction. *Water future: J. Korea Water Resour. Assoc.* 46:120-127.
- Lee JE. 2004. The study about water quality improvement and ecosystem survey of Giran stream. Gyeongbuk Green Environment Center. Yeongcheon, Korea. p. 46.
- Lenat DR. 1988. Water quality assessment of streams using a qualitative collection method for benthic macroinvertebrates. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 7:222-233.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *General Sys-*

- tems 3:36–71.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature* 216:168–169.
- Merritt RW, KW Cummins and MB Berg. 2008. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. 4th eds. Kendall/Hunt Publishing Corporation. Dubuque, IA. p. 862.
- Petiz DG. 2003. Macroinvertebrate biomonitoring as an indicator of water quality: Status report for pipestone Creek. *Pip. Nat. Mon.* 13:1989–2002.
- Pielou EC. 1975. *Ecological Diversity*. John Wiley. New York. p. 165.
- Ro TH and DJ Chun. 2004. Functional feeding group categorization of Korean immature aquatic insects and community stability analysis. *Korean J. Limnol.* 11:137–148.
- Shannon CE and W Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press. Urbana, IL. p. 117.
- Sin HS, O Mitamura, SJ Kim and JK Choi. 2008. Characters of Musim stream by surveyed sites based on EPT-group of aquatic insects. *Korean J. Environ. Ecol.* 6:420–426.
- Song KL. 1995. *Korea Leech Classification*. Korea University. Seoul. p. 57.
- Song YJ, YD Ju, BS Park, JM Kim, EH Kwon, DY Chae, HJ Lee and YS Bae. 2016. Study on the community structure of benthic macroinvertebrates in Jangsu-cheon, an urban restoration stream of Incheon City. *J. Wetl. Res.* 18:32–38.
- Urban MC, K David, SD Burchsted, W Price and S Lowry. 2006. Stream communities across a rural-urban landscape gradient. *Divers. Distrib.* 12:337–350.
- Ward JV. 1992. *Aquatic Insect Ecology*. John Wiley & Sons. New York. p. 456.
- Williams DD and BW Feltmate. 1992. *Aquatic Insects*. CBA International. Oxon, UK. p. 358.
- Won DH, SJ Kwon and YC Jeon. 2005. *Aquatic Insect of Korea*. Korea Ecosystem Service Press. Seoul. p. 415.
- Yoon IB. 1995. *Explanatory Diagrams of Aquatic Insects*. Jeongheangsa Press. Seoul. p. 262.
- Yoon IB, DS Kong and JK Ryu. 1992. Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (1)-saprobic valency and indicative value. *Korean J. Environ. Biol.* 10:24–39.
- Yoshimura M. 2008. Longitudinal patterns of benthic invertebrates along a stream in the temperate forest in Japan: in relation to humans and tributaries. *Insect Conserv. Divers.* 1:95–107.