

# 하천 규모와 서식지에 따른 저서성 대형무척추동물의 생태특성 - 생태·경관보전 지역을 중심으로 -

황인철·권순직\*·박영준\*\*·박진영\*\*\*

한서대학교 생명공학과  
\*(사)생태계조사평가협회  
\*\*국립생태원

## Ecological Characteristics of Benthic Macroinvertebrates according to Stream Order and Habitat - Focused on the Ecological Landscape Conservation Area -

In Chul Hwang·Soon Jik Kwon\*·Young Jun Park\*\*·Jin Young Park\*\*\*

Dept. of Biotechnology, Hanseo University 31962, Korea

\*The Korean association for survey and assessment ecosystem, Anyang 14059, Korea

\*\*National Institute of Ecology, Korea

(Received : 10 June 2022, Revised : 15 July 2022, Accepted : 21 July 2022)

### 요약

본 연구는 생태·경관보전지역을 중심으로 하천의 규모와 서식지에 따른 생태특성을 확인하기 위하여 2014년부터 2020년까지 봄과 가을에 걸쳐 조사를 수행하였다. 전체 조사지역을 통하여 출현한 저서성 대형무척추동물은 총 5문 8강 25목 105과 256종이 출현하였다. 출현한 분류군 중에서 유수역으로 이루어진 지역에서는 하루살이목과 날도래목의 출현율이 높게 나타났고, 정수역으로 이루어진 지역에서는 딱정벌레목과 잠자리목의 출현율이 높게 나타났다. 지역별로 EPT(하루살이목, 강도래목, 날도래목)그룹의 개체수를 비교하였을 때, 상류지역, 본류지역, 정수지역으로 분류되었고, 상류에서 하류로 이동할수록 EPT의 개체수비율이 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 생태·경관보전지역 내의 하천은 하천 차수가 증가할수록 출현하는 종수와 개체수가 증가하는 경향을 보였다. 떨어먹는 무리(SH)는 하천 차수가 증가하여 하천의 규모가 커지면 감소하는 경향을 보였고( $r=0.9925$ ), 걸러먹는 무리(CF)는 하천 차수가 증가하여 하천의 규모가 커지면 증가하는 경향을 보였다( $r=0.9319$ ). 굵어먹는 무리(SC)는 상류에서 하류로 내려갈수록 유사한 생태학적 지위를 갖는 종들로 대체되어 하천 차수에 따른 변화를 찾기 어려웠다. 생태·경관보전지역의 지정 및 관리에 있어서 건강한 생태계를 유지하기 위하여 생물 간의 경쟁 등 생태학적 요인과 수질 및 하상상태 등 이화학적인 요인 등을 고려할 필요가 있다. 따라서, 다양한 규모의 하천과 물리적 서식지를 포함하는 완충지역을 확보하고, 인위적 교란 요인을 제거하는 등 관리를 강화하는 것은 생태·경관보전지역의 건강성 및 생물자원의 확보에 유리할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 생태·경관보전지역, 저서성 대형무척추동물, 하천차수, 섭식기능군

### Abstract

This study conducted a survey over spring and autumn from 2014 to 2020 to confirm the ecological characteristics of the size of streams and habitats, centering on the ecological landscape conservation area, and a total 256 species of benthic macroinvertebrates in 105 families, 25 orders, 8 classes, and 5 phyla appeared. In terms of appearance species, by region, the rate of appearance of Ephemeroptera and Trichoptera was high in regions consisting of lotic area and the rate of appearance of Coleoptera and Odonata was high in regions consisting of lentic areas. When comparing the population of Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera (EPT) groups by region, they were classified into three groups: upstream area, mainstream area, and lentic areas, and it was confirmed that the

\*To whom correspondence should be addressed.  
National Institute of Ecology, Korea  
E-mail: entopark@nie.re.kr

• In Chul Hwang Dept. of Biotechnology, Hanseo University / Research Scientist Ph.D(inchurs@naver.com)  
• Soon Jik Kwon The Korean association for survey and assessment ecosystem / Research Scientist Ph.D(triopsidae@naver.com)  
• Young Jun Park Dept. of Research Planning National Institute of Ecology / Senior Researcher Ph.D(aquatic@nie.re.kr)  
• Jin Young Park Team of Protected Area Research National Institute of Ecology / Team Manager Ph.D(entopark@nie.re.kr)

population ratio of EPT changed as it moved from upstream to downstream. As the stream order increased, the number of species and populations increased. The Shredder group (SH) tended to decrease as the size of stream increased( $r=0.9925$ ), and the Collector-Filtering (CF) tended to increase as the size of stream increased( $r=0.9319$ ). It was confirmed that the Scraper (SC) replaced each other between species with the same ecological status as it went downstream from upstream, and it is thought that the SC did not differ significantly by stream order. In order to maintain a healthy ecosystem in the designation and management of ecological landscape conservation areas, it is necessary to consider ecological factors such as competition and physico-chemistry factors such as water quality and substrate conditions. Therefore, if the competent authority designated survey areas including buffer areas that include streams and physical habitats of various sizes, it will be advantageous to the conservative area and securing more biological resources.

**Key words** : Ecological Landscape Conservation Area, Benthic Macroinvertebrate, Stream Order, Functional Feeding Groups

## 1. 서 론

생태·경관 보전지역은 생물다양성이 풍부하거나 생태적으로 중요하거나 자연경관이 수려하여 특별히 보전할 가치가 큰 지역을 환경부에서 지정하여 관리하고 있다(NECA, 2022). 환경부 지정 생태·경관보전지역은 구상나무군락 및 극상원시림을 보호하기 위하여 1989년에 최초로 지리산 일대를 지정하였고, 이후에 섬진강 수달서식지, 고산봉 붉은박쥐서식지, 동강 유역, 왕피천 유역, 소항사구, 하시동·안인사구, 운문산, 거금도 적대봉 등 9개소를 지정하여 관리하고 있다(ME, 2021).

하천은 수변과의 횡적 연결성을 가지고 있을 뿐만 아니라 발원지에서 하구부까지 종적으로 연결된 연속체로 규모(차수)에 따라 하폭, 수폭, 유속, 수심, 하상 등 물리적 환경요인과 외부에서 유입되는 물질과 에너지의 양과 형태가 다른(Park, et al. 2011) 매우 역동적인 생태계이다. 이러한 하천 규모(차수)에 따라 서식지 유형과 먹이조건 등 환경요인에 적응한 수서곤충 군집 특성과 섭식기능군(Functional Feeding Groups: FFGs)의 조성차를 이용하여 하천 생태계의 기능을 파악하는 연구가 수행되고 있다(Moon, et al. 2018).

국내의 경우도 경기도 가평천의 하천 차수에 따른 수서곤충 군집조성과 섭식기능군 연구를 시작으로(Bae et al., 2003) 유사한 연구들이 수행되고 있지만, 조사대상지역인 생태·경관보전지역을 대상으로 한 하천차수와 섭식기능군에 대한 연구는 왕피천 유역 외에는 매우 미흡한 실정이다(Park et al., 2010, 2013). 국내하천의 경우 하천차수는 8차까지 구분되고, 일반적으로 1~3차는 상류하천으로 대부분이 산간계류로 구분하고 있으며, 차수에 따라 4차에서 6차 하천을 중류 하천으로 구분한다(Kim, et al. 2013). 조사대상 지역인 생태·경관보전지역에 내의 하천은 1차 하천에서부터 5차 하천까지 다양한 규모로 이루어져 있다.

국내에서 섭식기능군에 관한 연구는 경기도 가평천의 하천 차수에 따른 수서곤충 군집조성과 섭식기능군을 통하여 걸러먹는 무리(Collector-Filterer, CF)는 하류 유역에서 증가하고, 긁어먹는 무리(Scraper, SC)는 유역에 고르게 분포하였으며, 잡아먹는 무리(Predator-Engulfer, PE)는 하천의

상류 유역에서 많은 종 및 개체수가 서식한다고 보고하였다(Bae et al., 2003). 생태·경관보전지역에 대한 저서성 대형무척추동물에 관한 연구로는 왕피천 유역에 대한 연구에서 썰어먹는 무리(Shredder, SH)가 상류 지역에서 높게 나타나고, 중류 지역의 경우 긁어먹는 무리(Scraper, SC)와 주워먹는 무리(Collector-Gatherer, CG)의 비중이 높게 나타난다고 보고하였다(Park et al., 2010). 왕피천 유역의 저서성 대형무척추동물의 군집과 생태점수(Ecological Score of Benthic macroinvertebrate community, ESB)와 한국오수생물지수(Korean Saprobic Index, KSI)를 이용하여 환경상태 및 생물학적 수질 평가 연구(Park et al., 2013)가 있으나, 저서성 대형무척추동물을 이용한 생태·경관보전지역의 생태학적 연구는 아직 미흡한 실정이다.

본 연구는 8개소 생태·경관보전지역을 중심으로 서식지 유형과 하천 규모에 따른 저서성 대형무척추동물의 섭식기능군과 서식 특성을 파악하여 생태·경관보전지역 지정 시 기초자료로 활용하고, 보호지역의 확대 및 하천의 효율적 관리를 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 조사지점 및 시기

저서성 대형무척추동물의 하천 차수에 따른 서식지 유형별 생태학적 특성을 확인하기 위하여 외부로부터 교란이 적은 생태·경관 보전지역(Fig. 1)을 대상으로 조사를 수행하였다. 우수역은 지리산(JR) 4개 지점, 거금도 적대봉(JD) 3개 지점, 고산봉 붉은박쥐서식지(GS) 5개 지점, 왕피천 유역(WP) 7개 지점, 동강 유역(DG) 7개 지점, 섬진강 수달서식지(SJ) 3개 지점, 운문산(UM) 5개 지점을 선정하여 실시하였으며, 정수역은 하시동·안인사구(AI) 1개 지점을 조사하였다. 사구 서식지 특성을 파악하기 위하여 하시동 안인사구(AI)와 인접한 풍호(석호) 1개 지점과 사구습지인 두웅습지(DU) 1개 지점을 추가하였다(Table 1).

조사시기는 2014년부터 2020년까지 저서성 대형무척추동물의 서식 환경요인이 안정적인 봄(4월~6월)과 가을(9월~11월)에 2회 현장조사를 수행하였다. 서식지 유형 및

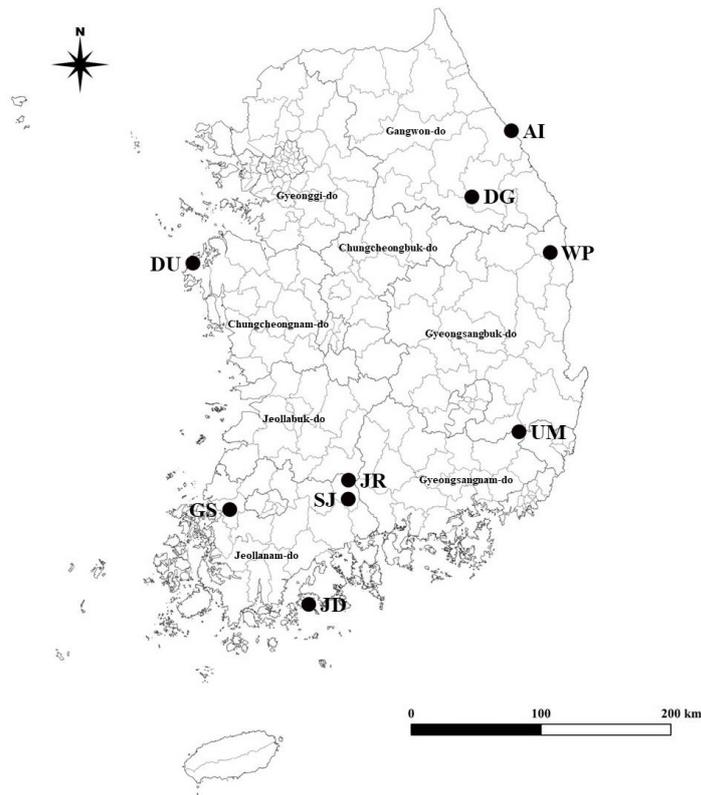


Fig. 1. A Map of study sites in Ecological Landscape Conservation Area, Korea. The abbreviations of study site are: DG, Donggang; GS, Gosanbong; JD, Jeokdaebong; JR, Jirisan; SJ, Seomjingang; UM, Unmunsan; WP, Wangpicheon; AI, Aninsagu; DU, Duungseubji.

Table 1. Stream order latitude and longitude by survey sites

Area	Site	Stream order	Latitude	Longitude
Donggang (DG)	DG01	5	37° 21' 22.66"	128° 37' 21.03"
	DG02	5	37° 18' 48.23"	128° 37' 36.34"
	DG03	5	37° 17' 30.90"	128° 36' 56.08"
	DG04	5	37° 16' 18.11"	128° 36' 04.94"
	DG05	5	37° 16' 44.95"	128° 34' 29.59"
	DG06	5	37° 16' 15.92"	128° 31' 27.21"
	DG07	2	37° 16' 10.35"	128° 30' 54.35"
Gosanbong (GS)	GS01	3	35° 08' 09.26"	126° 32' 00.64"
	GS02	3	35° 06' 47.08"	126° 31' 29.01"
	GS03	1	35° 07' 49.80"	126° 32' 08.59"
	GS04	2	35° 07' 06.28"	126° 32' 21.53"
	GS05	2	35° 06' 07.82"	126° 31' 59.17"
Jeokdaebong (JD)	JD01	1	34° 27' 07.28"	127° 11' 07.72"
	JD02	2	34° 26' 59.66"	127° 11' 25.76"
	JD03	2	34° 26' 50.08"	127° 11' 36.32"
Jirisan (JR)	JR01	1	35° 19' 03.62"	127° 31' 45.45"
	JR02	3	35° 19' 07.15"	127° 31' 46.86"
	JR03	1	35° 17' 28.30"	127° 33' 29.04"
	JR04	2	35° 17' 08.52"	127° 33' 24.79"
Seomjingang (SJ)	SJ01	5	35° 11' 38.10"	127° 30' 12.00"
	SJ02	5	35° 11' 08.90"	127° 31' 36.70"
	SJ03	5	35° 11' 26.40"	127° 32' 32.70"
Unmunsan (UM)	UM01	2	35° 38' 24.41"	129° 00' 03.46"
	UM02	3	35° 38' 30.24"	128° 59' 29.11"
	UM03	4	35° 38' 32.32"	128° 58' 57.56"
	UM04	4	35° 38' 50.01"	128° 58' 23.51"
	UM05	4	35° 39' 13.47"	128° 57' 53.49"

Table 1. Continue

Area	Site	Stream order	Latitude	Longitude
Wangpicheon (WP)	WP01	4	36° 51' 52.25"	129° 16' 45.85"
	WP02	4	36° 53' 31.65"	129° 17' 05.77"
	WP03	4	36° 53' 36.96"	129° 17' 56.20"
	WP04	4	36° 54' 09.15"	129° 18' 35.23"
	WP05	2	36° 51' 32.90"	129° 12' 51.85"
	WP06	2	36° 53' 50.60"	129° 13' 33.30"
	WP07	1	36° 54' 31.65"	129° 14' 07.71"
Aninsagu (AI)	AI01	-	37° 44' 57.55"	128° 58' 14.76"
	AI02	-	37° 44' 35.69"	128° 57' 41.06"
Duungseubji (DU)	DU01	-	36° 50' 11.14"	126° 11' 45.18"

규모를 구분하기 위하여 Strahler(1952)가 제시한 방법으로 하천 차수(Stream order)를 구분하였으며, 하천 차수는 우리 가람길라잡이(1:75,000)를 기준으로 하였다(MOLIT, 2014).

2.2 조사방법 및 분석

저서성 대형무척추동물의 현장조사는 각 조사지점을 대표할 수 있는 지점을 선정하여 유수역의 경우 계류형 정량채집망 Surber sampler(30 × 30cm, mesh size=0.5mm)를 이용하여 조사지점별 총 3회(riffle), 정수역의 경우 Dredge-sampler(30 × 30cm, mesh size=0.5mm)를 이용하여 0.5 m를 끄는 방법으로 조사지점별 총 2회씩 정량채집 하였다. 또한 저서성 대형무척추동물의 다양성을 파악하기 위해 유수역과 정수역 모두 저서성 대형무척추동물의 생태적 특성을 고려하여 뜰채(Scoop net, 망목 : 0.5mm)를 이용하여 정성채집을 병행하였으며, 미소서식처(돌 밑, 가장자리, 수초, 낙엽지역 등)에서 실시하였다. 채집된 저서성 대형무척추동물의 시료는 현장에서 95% Ethyl alcohol에 고정하여, 실험실로 운반해 해부현미경(Olympus SZX-TR30)을 이용하여

동정하였다. 채집된 표본은 도감을 참고하여 동정 하였다. 군집분석은 정량채집 자료만을 활용하였으며, 지형적 환경정보는 QGIS 3.16.8을 통하여 분석하였으며, 저서성 대형무척추동물의 기능적 다양성(Functional Diversity, FD)은 섭식기능군의 구성비율을 통해 분석하였다(Cummins, 1974; Ro and Chun, 2004; Merritt et al., 2008). PC-ORD 5.0을 사용하여 지점 간의 유사도를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 생태·경관보전지역별 저서성 대형무척추동물상

연구 대상 지역에서 출현한 저서성 대형무척추동물은 총 5문 8강 25목 105과 256종이 출현하였다. 각 조사지역별 출현 종수는 왕피천 유역(WP)에서 116종으로 가장 많은 종이 출현하였고, 동강 유역(DG)에서 82종, 고산봉 붉은박쥐서식지(GS) 81종, 섬진강 수달서식지(SJ) 77종, 지리산(JR) 70종, 운문산(UM) 63종, 하시동·안인사구(AI) 51종, 거금도 적대봉(JD) 50종, 두웅습지(DU) 48종의 순으로 출

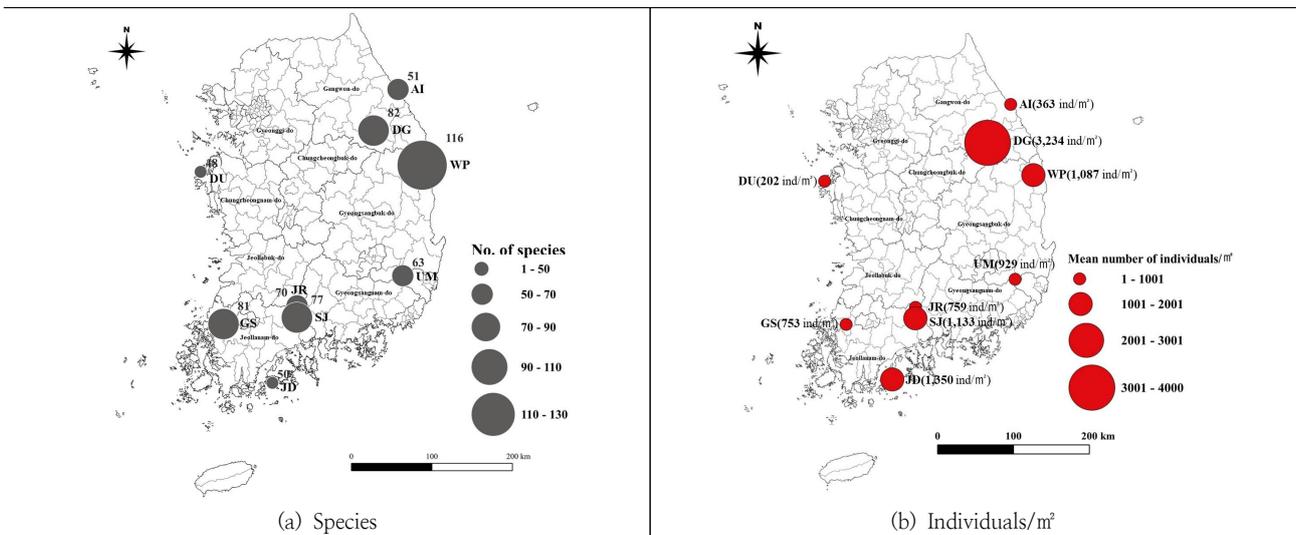


Fig. 2. The Number of Appearing Species and individuals/m<sup>2</sup> of Benthic Macroinvertebrates in Ecological Landscape Conservation Area, Korea. The abbreviations of study site are: DG, Donggang; GS, Gosanbong; JD, Jeokdaebong; JR, Jirisan; SJ, Seomjingang; UM, Unmunsan; WP, Wangpicheon; AI, Aninsagu; DU, Duungseubji.

Table 2. The mean number of individuals/m<sup>2</sup> by classification of benthic macroinvertebrate by ecological landscape conservation area

Taxa		Area	DG	GS	JD	JR	SJ	UM	WP	AI	DU	
Platyhelminthes			69	22	8	30	11	10	8	-	-	
Nematomorpha			-	1	-	-	-	-	-	-	-	
Mollusca			13	34	17	-	72	6	10	30	17	
Annelida			31	14	8	6	50	-	5	22	17	
A r t h r o p o d a	Branchiopoda		-	-	-	-	-	-	-	2	-	
	Malacostraca		133	85	460	16	-	26	5	25	6	
	I n s e c t a	Ephemeroptera		1,025	165	552	354	335	669	420	92	23
		Odonata		5	2	-	-	2	-	4	36	69
		Plecoptera		4	9	66	208	-	67	74	-	-
		Hemiptera		-	-	-	-	-	-	-	6	13
		Megaloptera		7	2	8	-	-	1	12	-	-
		Coleoptera		131	59	8	4	132	-	55	24	16
		Diptera		489	172	128	70	70	57	283	126	39
		Trichoptera		1,327	188	95	71	461	93	211	-	2
EPT		2,356	362	713	633	796	829	705	92	25		
Total			3,234	753	1,350	759	1,133	929	1,087	363	202	

\*The abbreviations of study site area : DG, Donggang; GS, Gosanbong; JD, Jeokdaebong; JR, Jirisan; SJ, Seomjingang; UM, Unmunsan; WP, Wangpicheon; AI, Aninsagu; DU, Duungeubji.

현하였다(Fig. 2a). 지역별 평균 출현개체수는 동강 유역(DG) 3,234개체/m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 거금도 적대봉(JD) 1,350개체/m<sup>2</sup>, 섬진강 수달서식지(SJ) 1,133개체/m<sup>2</sup>, 왕피천 유역(WP) 1,087개체/m<sup>2</sup> 운문산(UM) 929개체/m<sup>2</sup>, 지리산(JR) 759개체/m<sup>2</sup>, 고산봉 붉은박쥐서식지(GS) 753개체/m<sup>2</sup>, 하시동·안인사구(AI) 363개체/m<sup>2</sup>, 두웅습지(DU) 202개체/m<sup>2</sup>의 순으로 출현하였다(Fig. 2b). 지역별 평균 출현개체수는 상류에 위치한 계류보다 하류에 위치한 본류에서 출현개체수가 높게 나타났다.

조사 지역별로 E.P.T.(Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) 분류군의 개체수 비율은 운문산(UM) 89.2%로 가장 높은 비율로 나타났으며, 지리산(JR) 83.4%, 동강 유역(DG) 72.9%, 섬진강 수달서식지(SJ) 70.3%, 왕피천 유역(WP) 64.9%, 거금도 적대봉(JD) 52.8%, 고산봉 붉은박쥐서식지(GS) 48.1%, 하시동·안인사구(AI) 25.3%, 두웅습지(DU) 12.4%의 순으로 나타났다(Table 2).

### 3.2 생태·경관보전지역별 저서성 대형무척추동물 섭식 기능군 구성

출현한 저서성 대형무척추동물을 이용한 섭식기능군 분석 결과, 외부로부터 하천생태계 내로 유입되는 낙엽과 같은 굵은입자유기물(Coarse Particulate Organic Matter, CPOM: > 1.0mm)을 주요 섭식원으로 하는 썰어먹는 무리(Shredder, SH)의 출현종수는 지리산(JR) 16종(22.9%), 왕피천 유역(WP) 16종(13.8%), 운문산(UM) 7종(11.1%), 거금도 적대봉(JD) 5종(10.0%), 고산봉 붉은박쥐서식지(GS) 7종(8.6%), 동강 유역(DG) 5종(6.1%), 두웅습지(DU) 2종(4.2%), 섬진강 수달서식지(SJ) 3종(3.9%), 하시동·안

인사구(AI) 1종(2.0%)의 순으로 나타났으며(Fig. 3a). 유수의 물리적 특성을 이용하여 가는입자유기물(Fine Particulate Organic Matter, FPOM: 0.5µm ~ 1.0mm) 주요 먹이원으로 선호하는 걸러먹는 무리(Collectors-Filtering, CF)의 출현종수는 동강 유역(DG)이 16종(19.5%), 섬진강 수달서식지(SJ)이 15종(19.5%), 왕피천 유역(WP) 16종(13.8%), 고산봉 붉은박쥐서식지(GS) 10종(12.3%), 거금도 적대봉(JD) 6종(12.0%), 운문산(UM) 7종(11.1%), 지리산(JR) 7종(10.0%), 하시동·안인사구(AI) 3종(5.9%), 두웅습지(DU) 1종(2.1%)의 순으로 나타났으며(Fig. 3b), 돌이나 저질의 부착된 조류, 이끼 및 유기물 등을 섭식하는 긁어먹는 무리(Scrapers, SC)의 출현종수는 운문산(UM) 19종(30.2%), 거금도 적대봉(JD) 14종(28.0%), 왕피천 유역(WP) 29종(25.0%), 지리산(JR) 17종(24.3%), 동강 유역(DG)이 19종(23.2%), 섬진강 수달서식지(SJ)이 15종(19.5%), 고산봉 붉은박쥐서식지(GS) 13종(16.0%), 두웅습지(DU) 4종(8.3%), 하시동·안인사구(AI) 4종(7.8%)의 순으로 나타났으며(Fig. 3c).

발원지에 가까운 상류지역에서 썰어먹는 무리(SH)는 출현 종수와 개체수가 증가하는 것으로 알려져 있으며(Kwon et al., 2012), 하천 차수가 증가할수록 수서곤충의 개체수는 증가하고, 강도래목은 감소하였으며, 날도래목은 증가하였다(Bae et al., 2003). 본 연구를 통하여 하천의 상류역에 위치한 지리산, 왕피천 유역, 운문산, 거금도 적대봉, 고산봉 붉은박쥐서식지 지역과 같이 발원지를 포함된 지역에서는 썰어먹는 무리(SH)가 종수와 개체수가 상대적으로 높게 나타났으며, 걸러먹는 무리(CF)의 경우 상류지역에 위치한 지리산, 운문산, 거금도 적대봉, 고산봉

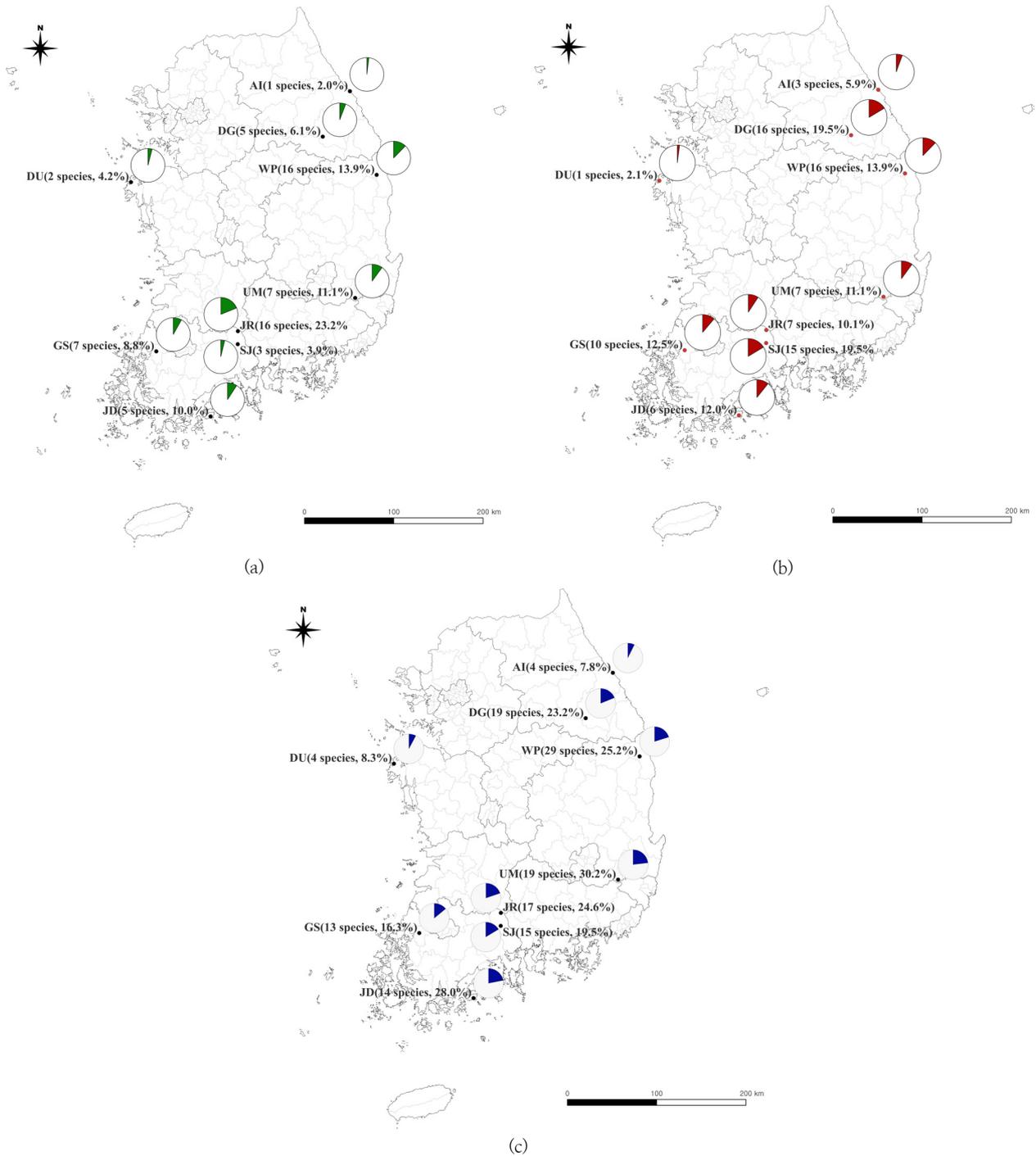


Fig. 3. The number of functional feeding groups (FFGs) species by Ecological Landscape Conservation Area, Korea. (a) Sh, Shredder, (b) CF, Collector-Filtering, (c) SC, Scraper. The abbreviations of study site are: DG, Donggang; GS, Gosanbong; JD, Jeokdaebong; JR, Jirisan; SJ, Seomjingang; UM, Unmunsan; WP, Wangpicheon; AI, Aninsagu; DU, Duungseubji.

붉은박쥐서식지 보다 하류지역에 위치한 섬진강 수달서식지, 동강 유역, 왕피천 유역 지점에서 출현 종수와 개체수가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 상류지역에서는 낙엽과 같은 CPOM을 썰어먹는 무리(SH)들의 영향을 받아 하류로 이동할수록 유기물의 크기는 작아지고, FPOM을 먹이로 이용하는 걸러먹는 무리(CF)가 증가하고, 반대로 하류로 내려갈수록 썰어먹는 무리는 감소하는 경향을 나타

냈다. 이러한 결과는 섭식기능군의 구성비에 따라 상류와 하류의 특성이 분류될 수 있음을 확인할 수 있었다. 그리고, 왕피천 유역은 썰어먹는 무리(SH)와 걸러먹는 무리(CF)가 모두 높게 나타났는데, 이것은 왕피천 유역이 본류에서부터 지류까지 다양한 물리적 환경을 포함하는데 기인한 것으로 판단된다.

하천 차수에 따라 섭식기능군 중에 썰어먹는 무리에 속하

는 강도래류와 걸러먹는 무리에 속하는 줄날도래류의 출현 종수 및 개체수에 차이가 나타났는데, 강도래류는 상류에서 하류로 이동할수록 감소하고, 잠자리류와 줄날도래류는 증가하는 것으로 확인되었다. 굵어먹는 무리(SC)에 속하는 납작하루살이과의 출현종이 변화하는 것을 확인할 수 있었는데 특히 상류지역에서 주로 출현빈도가 높은 흰부채하루살이(*Epeorus nipponicus*)와 두점하루살이(*Ecdyonurus kibunensis*)는 하류지역으로 내려갈수록 출현빈도는 낮아지고, 상류지역에 주로 출현하지 않던 부채하루살이(*Epeorus pellucidus*)와 꼬리치레하루살이(*Ecdyonurus joernensis*)는 하류지역으로 내려갈수록 출현빈도가 높아졌다. 이러한 결과는 상류에서 하류로 내려갈수록 동일한 생태학적 지위가 있는 종들로 대체되는 것을 확인할 수 있었다. 조사지역에 따라 섭식기능군에 따른 종 조성이 다소 차이가 있는 것으로 확인되었는데, 이는 조사지점 수, 지역과 면적 등에 따른 차이로 인한 영향으로 판단된다.

**3.3 하천 규모에 따른 저서성 대형무척추동물상 생태 특성**

하천 차수별로 출현 종의 변화는 1차 하천은 16종~31종의 범위를 보였고, 평균 24.7(±5.0)종으로 나타났으며, 2

차 하천은 13종~42종의 범위에 평균 26.2(±8.6)종, 3차 하천은 14종~36종의 범위에 평균 24.4(±7.2)종, 4차 하천은 12종~37종의 범위에 평균 30.8(±8.6)종, 5차 하천은 28종~50종의 범위에 평균 39.7(±6.8)종으로 나타났다. 하천 차수와 출현 종수는 하천 규모가 커질수록 출현 종수가 증가하는 양의 상관관계로 나타났고( $r=0.8512$ )(Fig. 4a), 출현 개체수의 경우 1차 하천은 230~1,454개체/m<sup>2</sup>의 범위에 평균 873.4(±344.3)개체/m<sup>2</sup>, 2차 하천은 217~2,313개체/m<sup>2</sup>의 범위에 평균 1,002.2(±622.4)개체/m<sup>2</sup>, 3차 하천은 307~1,574개체/m<sup>2</sup>의 범위에 평균 756.8(±467.6)개체/m<sup>2</sup>, 4차 하천은 316~2,813개체/m<sup>2</sup>의 범위에 평균 1,172.9(±636.1)개체/m<sup>2</sup>, 5차 하천은 148~5,961개체/m<sup>2</sup>의 범위에 평균 2,610.1(±1,757.3)개체/m<sup>2</sup>로 나타났다. 하천 차수와 출현 개체수의 관계에서도 하천 규모가 커질수록 개체밀도가 증가하는 양의 상관관계를 나타냈다( $r=0.7604$ )(Fig. 4b).

일반적으로 상류의 계곡보다는 평지형 하천에서 더 많은 종이 서식하는 것으로 알려져 있다(Strayer, 1983; Brönmark et al., 1984). 생태·경관보전지역 내의 위치한 하천의 경우에는 하천 차수가 증가할수록 유입되는 지류들이 늘어나 종과 개체밀도가 증가하는 것으로 나타났으나, 하천공사로 인

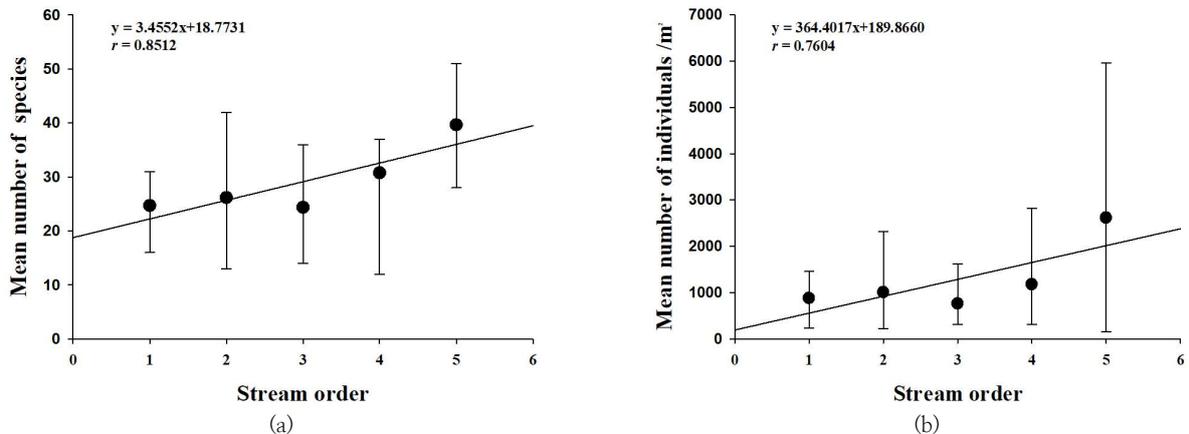


Fig. 4. The mean number of appearing (a) species and (b) individuals of benthic macroinvertebrate by stream order.

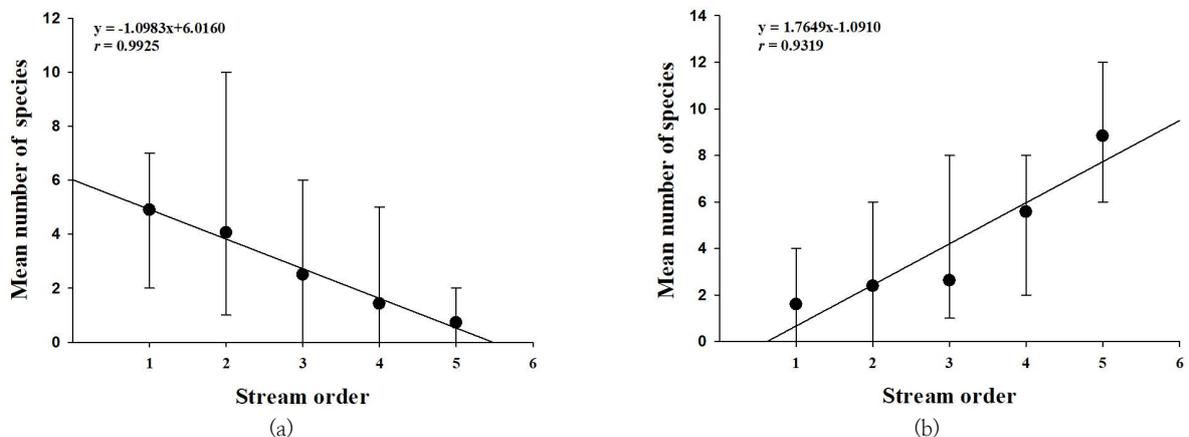


Fig. 5. The mean number of species appearing by (a) Shredder group and (b) Collector-Filtering group of benthic macroinvertebrate by stream order.

위적인 교란이 발생한 고산봉 붉은박쥐서식지(GS)의 3차 하천은 일부 본류 구간에 영향을 미쳐 출현 종수와 개체밀도에 큰 폭의 변화가 발생하기도 하였다.

섭식기능군의 경우 하천 규모에 따라 종의 구성비율(%)이 변화한다. 특히, 생태·경관보전지역 내의 위치한 하천에서 썰어먹는 무리(SH)는 1차 하천에서 평균 4.9종(±1.6), 2차 하천에서 4.1종(±2.4), 3차 하천에서 2.5종(±2.4), 4차 하천에서 1.4종(±2.0), 5차 하천에서 0.7종(±0.7)으로 확인되어, 하천 규모가 커질수록 출현 종수가 감소하는 양의 상관관계로 나타났다( $r=0.9925$ )(Fig. 5a).

하천 차수가 낮은 지류의 경우 외부에서 유입되는 CPOM을 썰어먹는 무리(Sh)의 비중이 높고, 썰어먹는 무리와 굵어먹는 무리의 서식하는 비율에 따라 본류와 지류의 특성이 구분되며(Park et al., 2010), 하천 차수로 서식지를 구분하였을 때, 하천의 상류역인 1~2차 하천에서는 썰어먹는 무리(SH)가 하류보다 풍부한 것으로 나타났다. 생태·경관보전지역의 상류지역은 온대활엽수림이 주를 이루고 있어 낙엽과 같은 큰 입자의 먹이원이 많이 유입되어 이와 같은 경향을 보이는 것으로 판단된다. 하류로 내려갈수록 CPOM이 분쇄되어 FPOM의 비중이 증가하여 걸러먹는 무리(CF)가 증가하는 경향을 보이는 것으로 판단된다.

**3.4 생태·경관보전지역별 및 하천규모에 따른 유사도 분석**

각 생태·경관보전지역에서 출현한 저서성 대형무척추동물 종을 그룹 평균 하였을 때, 크게 유수역(1,2,3그룹)과 정수역(4,5그룹)으로 구분되었다. 제1그룹은 교란이 적은 지역(JR, UM, WP), 제2그룹은 다소 교란이 발생하는 지역(JD, GS, SJ), 제3그룹은 큰 규모의 하천 지역(DG)으로 구

분되는 것으로 나타났다(Fig. 6). 지리산(JR)은 국립공원 내에 있고, 운문산(UM)은 군립공원 내에 있어 상대적으로 인위적 교란에 대한 보전·관리가 잘 이루어지고 있다. 또한, 왕피천 유역(WP)는 생태·경관보전지역 중에 완충지역을 포함하여 가장 넓은 면적(102.841km<sup>2</sup>)이 지정되어 있고, 인위적인 교란 요인이 적은 지역이다. 거금도 적대봉(JD)은 하류 지역에 상수원으로 이용되는 저수지와 과거에 이용하던 수중보 등에 의하여 일부 교란과 유역면적이 좁다. 고산봉 붉은박쥐서식지(GS)는 낮은 산지로 상류는 유량이 적고, 평지천의 경우 저수지와 하천공사 등이 인위적 교란 요인이 발생하는 지역이다. 섬진강 수달서식지(SJ)는 평지 하천으로 일부가 인공적인 수변으로 이루어져 있으며, 경작지와 주거밀집지역이 인접하여 이화학적 교란이 다소 발생하는 지역이다.

출현 종을 이용하여 조사지점별로 하천 차수로 구분하여 유사도 분석을 실시한 결과(Fig. 7), 지리산(JR), 운문산(UM), 거금도 적대봉(JD), 왕피천 유역(WP) 일부 구간(WP06, 07)과 같이 자연성이 높거나, 인위적 교란이 적은 지점들이 제4그룹으로 구분되었다. 또한, 동강 유역의 경우 5차 하천(DG01~DG06)은 동일한 집단으로 연결되었고, 2차 하천(DG07)과 다른 집단으로 분리되었다. 섬진강의 수달서식지(SJ)의 경우 같은 하천 차수로 규모는 유사하지만, SJ02와 같이 모래와 잔자갈 위주의 하상이 상·하류와 하상 재료가 다른 경우 서식하는 군집구조에 차이가 나타나 유사성이 낮아지는 것으로 나타났다. 고산봉 붉은박쥐서식지(GS)의 경우 인위적 교란이 적은 1~2차 하천(GS03, GS05)과 저수지에 의하여 교란이 발생하는 상·하류 지역과 주거지를 지나 교란이 발생하는 지점(GS01, GS02, GS04)과 분

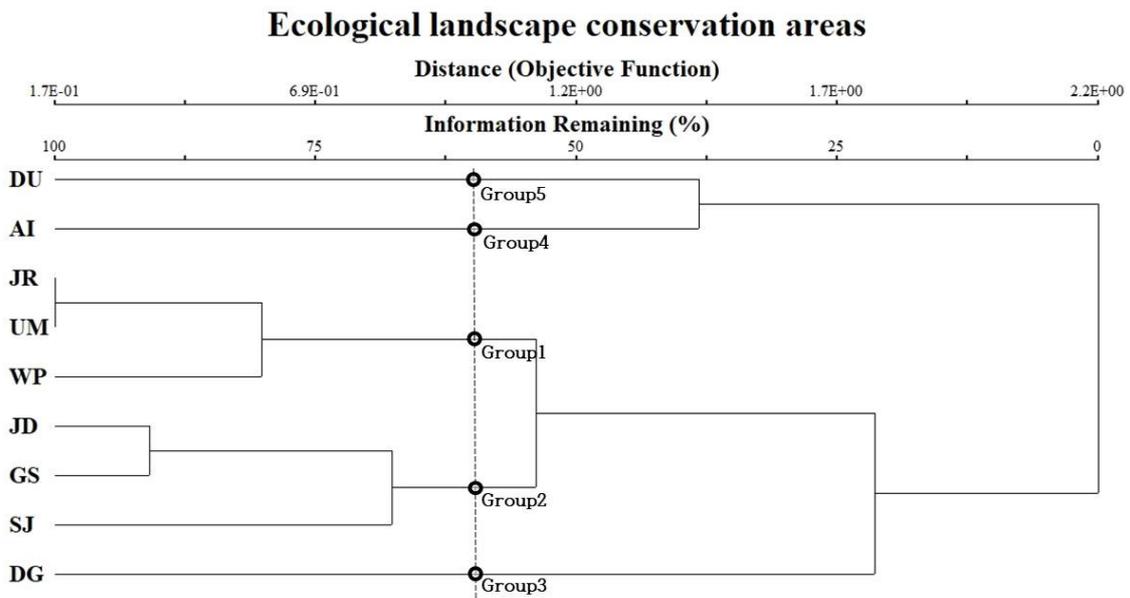


Fig. 6. Cluster analysis based on benthic macroinvertebrates assemblages in Ecological Landscape Conservation Area, Korea. The abbreviations of study site are: DG, Donggang; GS, Gosanbong; JD, Jeokdaebong; JR, Jirisan; SJ, Seomjingang; UM, Unmunsan; WP, Wangpicheon; AI, Aninsagu; DU, Duungseubji.

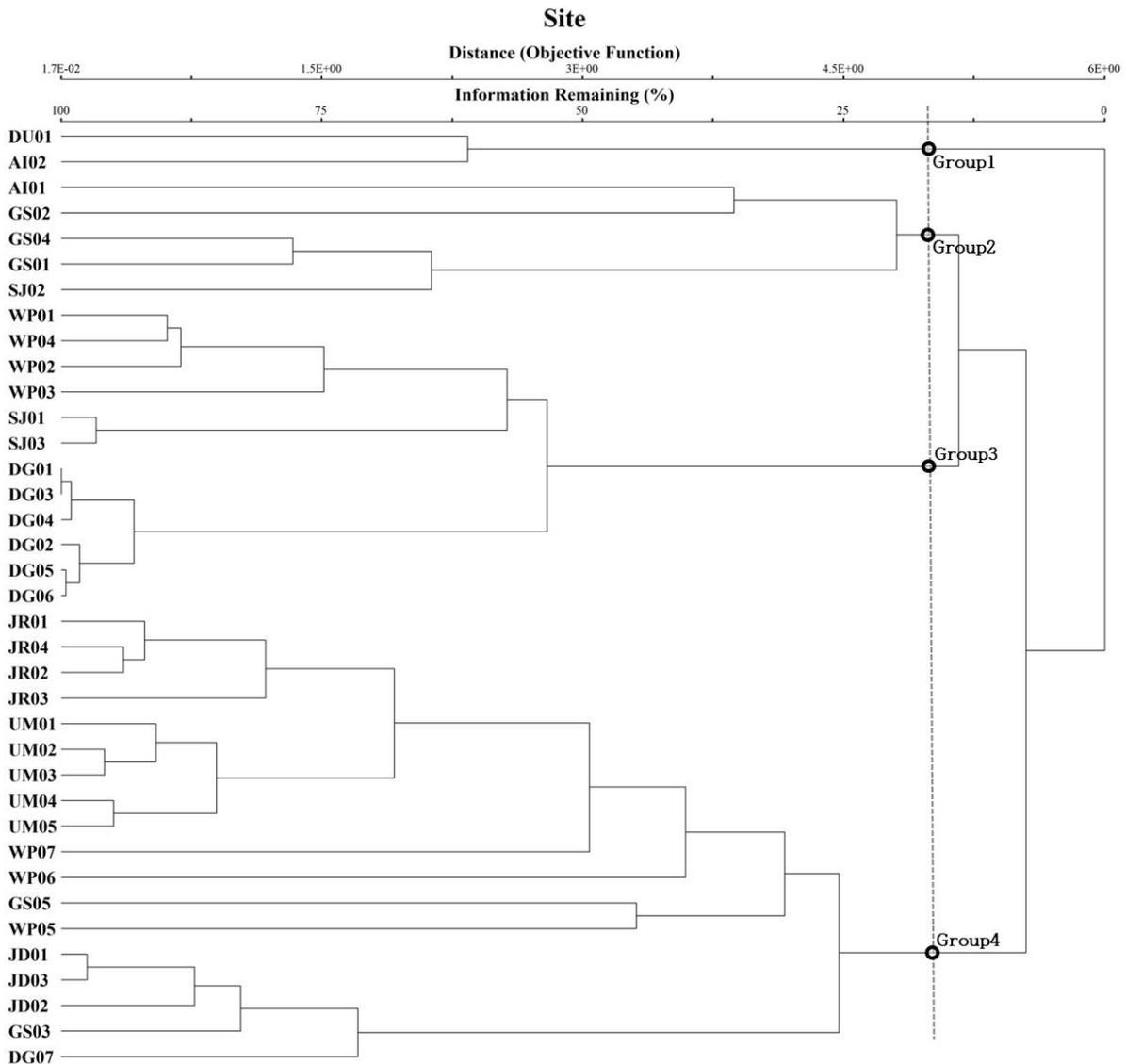


Fig. 7. Cluster analysis based on benthic macroinvertebrates assemblages in the survey sites. The abbreviations of study site are: DG, Donggang; GS, Gosanbong; JD, Jeokdaebong; JR, Jirisan; SJ, Seomjingang; UM, Unmunsan; WP, Wangpicheon; AI, Aninsagu; DU, Duungseubji.

리되어 구분되었다(Fig. 7).

#### 4. 결 론

생태·경관보전지역 8개소 및 두웅습지에 대하여 2014년부터 2020년까지 저서성 대형무척추동물의 서식현황, 섭식기능군의 분포 양상, 조사지점별 유사도 그리고 하천 차수와와의 상관성을 분석하였다. 그 결과 출현한 저서성 대형무척추동물은 총 5문 8강 25목 105과 256종이 확인되었으며, 섭식기능군은 하천의 상류역에 위치한 지리산, 왕피천 유역, 운문산, 거금도 적대봉, 고산봉 붉은박쥐서식지 지역과 같이 발원지를 포함한 지역에서는 썰어먹는 무리(SH)가 종수와 개체수가 상대적으로 높게 나타났으며, 걸러먹는 무리(CF)의 경우 하류지역에 위치한 섬진강, 동강 유역, 왕피천 유역 지점에서 출현 종수와 개체수가 증

가하는 것으로 나타났다. 썰어먹는 무리(SH)는 하천 규모가 커질수록 출현 종수가 감소하는 양의 상관관계로 나타났으며( $r=0.9925$ ), 걸러먹는 무리(CF) 하천 규모가 커질수록 출현 종수가 증가하는 양의 상관관계로 나타났다( $r=0.9319$ ). 출현 종을 이용하여 조사지점별로 하천 차수로 구분하여 유사도 분석 결과 생태·경관보전지역에서 동일한 지역에서도 하천 차수나 하상기질, 인위적 교란 정도 등에 따라 서식하는 저서성 대형무척추동물의 군집에 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 하천의 규모에 따라 서식하는 저서성 대형무척추동물의 군집구조에 차이가 있음을 알 수 있다. 또한, 유사한 여러 지점보다는 다양한 규모와 다양한 물리적 서식처를 포함하고 있는 지역이 생물다양성이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 하천의 차수가 증가할수록 수서곤충에 속하는 대부분의 분류

군의 개체밀도는 증가하였으며, 깔따구류(Chironomidae spp.), 등줄하루살이(*Teloganopsis punctisetae*), 줄날도래류(Hydropsychidae spp.)는 하천 차수가 늘어날수록 개체 밀도는 증가하는 것으로 나타났으며, 청정한 하천의 계류에 주로 서식하는 강도래류(Plecoptera spp.)는 하천의 차수가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다.

하천 생태계는 상류부터 하류에 이르기까지 하천 연속성 개념에 따라 하폭이 점차 증가하고, 이는 물리적으로 고도와 유속의 감소, 수심 증가, 하상의 변화와 밀접한 연관을 갖는다(Jiang et al., 2010; Ward, 1992; Williams and Feltmate, 1992). 저서성 대형무척추동물의 서식지 유형분류에 영향을 미치는 요인으로는 고도, 하폭, 수폭, 하상, 등이 있고, 하상을 구성하는 재료 중에 모래의 비율이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다(Park et al., 2011). 생태·경관보전지역별 저서성 대형무척추동물 군집 구조를 통하여 서식지 유형, 규모, 관리정도에 따라 저서성 대형무척추동물의 군집이 상이함을 확인할 수 있었으며, 생태·경관보전지역의 지정 및 관리에 있어 저서성 대형무척추동물 종간 및 종내경쟁 등 생태학적 요인과 수질 및 하상 상태 등 이화학적인 요인 등을 토대로 하천의 건강한 생태계를 유지할 수 있도록 하천 규모를 고려하여 지정 및 확대·관리할 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 환경부 지원을 받아 국립생태원에서 수행한 “생태·경관보전지역 정밀조사(NIE-2014-0017, NIE-수탁연구-2015-01, NIE-수탁연구-2016-01, NIE-수탁연구-2017-01, NIE-수탁연구-2018-01, NIE-수탁연구-2019-01, NIE-수탁연구-2020-01)”의 지원 및 자료를 활용하였음

## References

- Allan J.D. and Castillo M.M., 2007. Stream ecology: Structure and function of running waters. Springer Science & Business Media.
- Bae, YJ, Won, DH, Hoang DH, Jin YH, Hwang, JM (2003) Community Composition and Functional Feeding Groups of Aquatic Insects According to Stream Order from the Gapyeong Creek in Gyeonggi-do, Korean J. Limnol., 36(1):21-28.
- Bray, JR, and J.T. Curtis(1957) An ordination of the upland forest communities of south Wisconsin. Eco. Monoger, 27:325-349.
- Brönmark, C., Herrmann, J., Malmqvist, B. et al. (1984) Animal community structure as a function of stream size. Hydrobiologia. 112:73-79.
- Cummins, K.W.(1974) Structure and function of stream ecosystem. Bioscience 24(11):631-641.
- Jiang, X.M., Xiong, J., Qiu, J.W., Wu, J.M., Wang, J.W., Xie, Z.C.(2010) Structure of macroinvertebrate communities in relation to environmental variables in a subtropical Asian river system. Int. Rev. Hydrobiol. 95, pp. 42-57.
- Jun, YC, Kim, NY, Kim, SH, Park, YS, Kong, DS, Hwang, SJ (2016) Spatial distribution of benthic macroinvertebrate assemblages in relation to environmental variables in Korean nationwide streams. Water, 8, 27.
- Kim, M.C., Chun, C.P., Lee, J.G.(2013) Invertebrates in Korean freshwater ecosystem. 483pp.
- Kwon, O.S. and Park, Y.J.(2008) Natural environmental survey of ecology landscape conservation area in Wangpi-cheon watershed. Daegu Regional Environmental Office. pp. 95-144.
- Kwon S.J., Jun, Y.C., Jeong J.C., Han, S.C., Lee, J.E.(2012) Distribution of benthic macroinvertebrates according to altitude at Jirisan National Park.
- Merritt, R.W., Cummins, K.W., Berg, M.B.(Eds.), 2008. An Introduction to the Aquatic Insects of North America, Fourth ed. Kendall/Hunt, Dubuque, IA, USA.
- Ministry of Environment (ME) (2021) List of Ecosystem Landscape Conservation Area
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) 2014 우리가람길라잡이
- Moon, T.Y., An, M.S., Kim, H.G., Yoon, C.S., Cheong, S.W. (2018) Distribution of Functional Feeding and Habitat Trait Groups of Benthic Macroinvertebrates and Biological Evaluation of Water Quality in Gayasan National Park. Journal of environmental science international. 27(6):383-399.
- Natural Environment Conservation Act (NECA) (2022) Article 12 of the Conservation of Natural Environment Act. Ministry of Environment.
- Park, Y.J., Kim, K.D., Cho, Y.H., Han, Y.G., Kim, Y.J., Nam, S.H.(2011) Habitat classification and distribution characteristic of aquatic insect functional feeding group in the Geum River, Korea. Korean J. Environ. ecol. 25(5):691-709.
- Park, Y.J., Jeon, Y.L., Kim, K.D., Yoon, H.N., Nam, S.H.(2013) Community analysis and biological water quality evaluation of benthic macroinvertebrate in Wangpi-cheon watershed. Korean J. Environ. ecol. 27(3):327-343.
- Park, Y.J., Lim, H.M., Kim, K.D., Cho, Y.H., Nam, S.H., Kwon, O.S.(2010) Community analysis based on functional feeding group of benthic macro invertebrate in Wangpi-cheon. Korean J. Environ. ecol. 24(5): 556-565.

- Ro, T.H. and Chun, D.J.(2004) Functional feeding group categorization of Korean immature aquatic insects and community stability analysis. *Korean J. Limnol.* 37(2): 137-148.
- Ro, T.H.(2002) Categorization and Ecological Importance of Functional Feeding Group as Essential Units in Lotic Ecosystems. *Bulletin of the KACN*, No 21:67-93.
- Song, M.Y. and C.H. Park(2003) Application of an alternative management system on stream classification as a new measure in Gyeonggi Province. *Gyeonggi Research Institute*, 104pp. (in Korean)
- Strahler, A.N.(1952) Dynamic Basis of Geomorphology. *Geological Society of America Bulletin*, 63(9):923-938.
- Strayer, D.(1983) The effects of surface geology and stream size on freshwater mussel (*Bivalvia Unionidae*) distribution in south-eastern Michigan. USA, *Freshwater Biology*. 13:253-264.
- The Ministry of Environment(2020) Designated status of Ecological Landscape Conservation Area of Korea.
- Vanote RL, GW Minshall, KW Commins, JR Sedell, CE Cushing,. 1980 The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 37(1).
- Ward, J.V.(1992) Aquatic insect ecology. John Wiley and Sons, Inc, New York.
- Williams, D.D. and B.W. Feltmate.(1992) Aquatic insects. CBA International, Oxon, UK