

## 월악산국립공원의 서식지에 따른 어류군집 분석<sup>1a</sup>

박승철<sup>2\*</sup>

### Analysis of Fish Community according to Habitat in the Woraksan National Park, Korea<sup>1a</sup>

Seung-Chul Park<sup>2\*</sup>

#### 요약

본 연구는 월악산국립공원의 서식지에 따른 어류상 현황 및 어류군집의 특성을 분석하기 위하여 수행되었다. 월악산국립공원의 주요 하천에서 공간균등계층추출법으로 총 20개의 지점을 선정하였으며, 계절별로 3회 조사를 실시하였다. 서식지의 물리적 환경은 대부분 산간계류형(Aa) 하천이었으며, 하상구조는 큰돌과 자갈이 산재되어 있는 형태였다. 서식지의 평균고도는 304.4m, 평균 수심은 40.3cm로 대부분 1m를 넘지 않았으며, 하천 차수는 3~5차하천까지 분포하였다. 서식지별 물리적 환경요인에 대하여 주성분 분석을 실시한 결과 고도에 따라 하상물질 특성이 달라지는 것으로 나타났다. 조사 결과 출현한 어종은 총 7과 16종 2,183개체가 확인되었으며, 우점종은 참갈겨니(86.2%), 아우점종은 버들치(3.8%)였다. 범정보호종으로는 멸종위기 야생생물 II 급 가는돌고기가 본 조사에서 처음 출현하였다. 어류군집의 순위풍부도 곡선의 모형을 분석한 결과 20개 지점중 9개 지점에서 Zipf 모형이 도출되었으며, 대수정규 모형 3개 지점, 선점 모형 4개 지점, 그밖에 4개 지점은 1종만이 출현하여 분석이 불가능하였다. 환경요인에 따른 어류군집의 특성을 파악하기 위해 20개 지점과 출현종을 대상으로 정준상관분석을 실시한 결과 고도에 따른 서식환경의 차이로 인하여 어류군집이 나뉘는 것으로 파악되었다.

주요어: 주성분 분석, 순위풍부도 곡선, 정준상관분석

#### ABSTRACT

This study was conducted to analyze the current status of fish fauna and characteristics of the fish community according to the habitat of Woraksan National Park, Korea. The spatially balanced sampling selected 20 stations from major streams of Woraksan National Park, and three surveys were conducted in each season. The physical environments of the habitat were mostly mountain streams (Aa), with large stones and gravels scattered over the stream. The average altitude of the habitat was 304.4 m, and the average depth of water was 40.3 cm, being less than 1 m in most cases, and the river water level was distributed from 3rd to 5th streams. The principal component analysis of the physical environmental factors by habitat showed that the substrate properties differed according to the altitude. The survey identified a total of 2,183 individuals in 16 species belonging to 7 families.

1 접수 2021년 7월 21일, 수정 (1차: 2021년 9월 16일), 게재확정 2021년 9월 27일

Received 21 July 2021; Revised (1st: 16 September 2021); Accepted 27 September 2021

2 국립공원연구원 생태조사부 책임연구원 Ecological Survey Division, National Park Research Institute, Wonju 26441, Korea (bong82@knps.or.kr)

a 이 논문은 국립공원연구원 '2020년 국립공원 공원자원조사'의 일환으로 연구되었음.

\* 교신저자 Corresponding author: bong82@knps.or.kr

The dominant species was *Zacco koreanus*(86.2%), and the subdominant species was *Rhynchocypris oxycephalus*(3.8%). *Pseudopungtungia tenuicorpa*, classified as the endangered wildlife II, was the first endangered legally protected species found in this survey. Analysis of the rank abundance curve model in the fish community showed the Zipf model at 9 out of 20 points, the Lognormal model in 3 points, and the Preemption model in 4 points. The remaining 4 habitats showed only one species and were not analyzed. The canonical correspondence analysis of 20 stations and fish species was performed to understand the characteristics of the fish community according to environmental factors. The fish communities were divided according to differences in habitat environment by the altitude.

**KEY WORDS: PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS, RANK ABUNDANCE CURVE, CANONICAL CORRESPONDENCE ANALYSIS**

## 서론

국립공원 공원자원조사는 자연공원법 제36조 및 동법 시행령 제27조에 의거한 법정조사이며, 국립공원의 현황(자연생태계, 경관 및 문화자원, 지속가능한 이용 등)을 조사평가하여 법정계획, 공원정책 수립 등 공원관리 기초자료를 제공하고 2019년부터 매 5년마다 시행되고 있다(NPRI, 2019). 2020년 국립공원 공원자원조사는 그 두 번째 조사이며, 월악산국립공원을 포함하여 설악산국립공원, 덕유산국립공원, 한려해상국립공원 등 4개 국립공원이 해당된다.

월악산국립공원은 1984년 12월 31일 치악산과 함께 지정된 국립공원으로서, 소백산국립공원을 지나 속리산국립공원으로 연결되는 백두대간의 중간에 위치하며 행정구역

상 충청북도 충주시, 제천시, 충주시, 단양군, 그리고 경상북도 문경시 일부에 걸쳐 있고 공원면적은 287.571km<sup>2</sup>이다(KNPS, 2020). 하천유역은 거의 대부분 한강 수계에 속해 있으며, 백두대간을 경계로 남쪽에 일부 낙동강 수계에 속해 있으나, 그 규모가 매우 작다. 한편 월악산국립공원 동북쪽에는 남한강 본류가 지나는데 충주댐 축조로 형성된 충주호 일부가 위치해 있다. 이와 같이 계곡과 하천, 호수 등 월악산국립공원은 다양한 어류가 서식할 수 있는 많은 조건을 가지고 있다고 볼 수 있다.

담수어류는 지형변화와 같은 물리적 변경이 없는 한, 제한된 수역에 서식하기 때문에 서로 다른 환경 조건에 적응

Table 1. Addresses and locations of each surveyed stations in Woraksan National Park, Korea

Stations	Address	Location
R1	Worak-ri, Deoksan-myeon, Jecheon-si, Chungcheongbuk-do	128.185928E 36.849506N
R2	Gasan-ri, Danseong-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	128.294662E 36.876804N
R3	Myeongjeon-ri, Dongno-myeon, Mungyeong-si, Gyeongsangbuk-do	128.269073E 36.843464N
R4	Songgye-ri, Hansu-myeon, Jecheon-si, Chungcheongbuk-do	128.082047E 36.874840N
R5	Myeongjeon-ri, Dongno-myeon, Mungyeong-si, Gyeongsangbuk-do	128.257568E 36.843449N
R6	Mireuk-ri, Suanbo-myeon, Chungju-si, Chungcheongbuk-do	128.089340E 36.820904N
R7	Worak-ri, Deoksan-myeon, Jecheon-si, Chungcheongbuk-do	128.161087E 36.860661N
R8	Beolcheon-ri, Danseong-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	128.287506E 36.853592N
R9	Gasan-ri, Danseong-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	128.309128E 36.908199N
R10	Myeongjeon-ri, Dongno-myeon, Mungyeong-si, Gyeongsangbuk-do	128.278946E 36.845852N
R11	Worak-ri, Deoksan-myeon, Jecheon-si, Chungcheongbuk-do	128.182785E 36.851501N
R12	Gasan-ri, Danseong-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	128.286697E 36.869797N
R13	Worak-ri, Deoksan-myeon, Jecheon-si, Chungcheongbuk-do	128.132568E 36.896687N
R14	Susan-ri, Deoksan-myeon, Jecheon-si, Chungcheongbuk-do	128.117874E 36.906441N

Stations	Address	Location
R15	Worak-ri, Deoksan-myeon, Jecheon-si, Chungcheongbuk-do	128.170517E 36.855011N
R16	Mireuk-ri, Suanbo-myeon, Chungju-si, Chungcheongbuk-do	128.094559E 36.833309N
R17	Myeongjeon-ri, Dongno-myeon, Mungyeong-si, Gyeongsangbuk-do	128.249802E 36.841785N
R18	Gasan-ri, Danseong-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	128.300095E 36.886616N
R19	Gasan-ri, Danseong-myeon, Danyang-gun, Chungcheongbuk-do	128.305420E 36.904083N
R20	Myeongjeon-ri, Dongno-myeon, Mungyeong-si, Gyeongsangbuk-do	128.272614E 36.858822N

하는 과정에서 지역 고유종이 나타나며 이와 같은 고유종의 존재는 국내 담수어류의 유래와 분포구계 및 어류의 종 다양성을 이해하는 데 매우 중요하다고 할 수 있다(Kim, 1997). 따라서 어류의 서식지 환경 및 어류상의 주기적인 조사연구는 담수어류의 변화를 파악하고 수생태계 복원에 필요한 기초자료를 제공할 수 있으므로 매우 중요하다고 생각된다.

본 연구는 월악산국립공원 내 주요 서식지의 환경 및 어류조사를 통하여 서식환경에 따른 어류군집의 특성을 파악하고자 하였으며, 체계적이고 과학적인 공원관리 등을 위한 기초자료를 마련하고자 실시하였다.

## 연구방법

### 1. 조사기간 및 조사지점

월악산국립공원의 어류조사는 2020년 6월부터 11월까지 계절별로 3회에 걸쳐 실시하였다.

1차: 2020년 6월 3일 ~ 6월 5일

2차: 2020년 9월 9일 ~ 9월 11일

3차: 2020년 11월 11일 ~ 11월 13일

조사대상 지점은 월악산국립공원 내 전체 수계에 대하여 공간균등계층추출법(Spatially Balanced Sampling) 중 하나인 계층적 비균등확률 추출방법을 이용하였다(Stevens

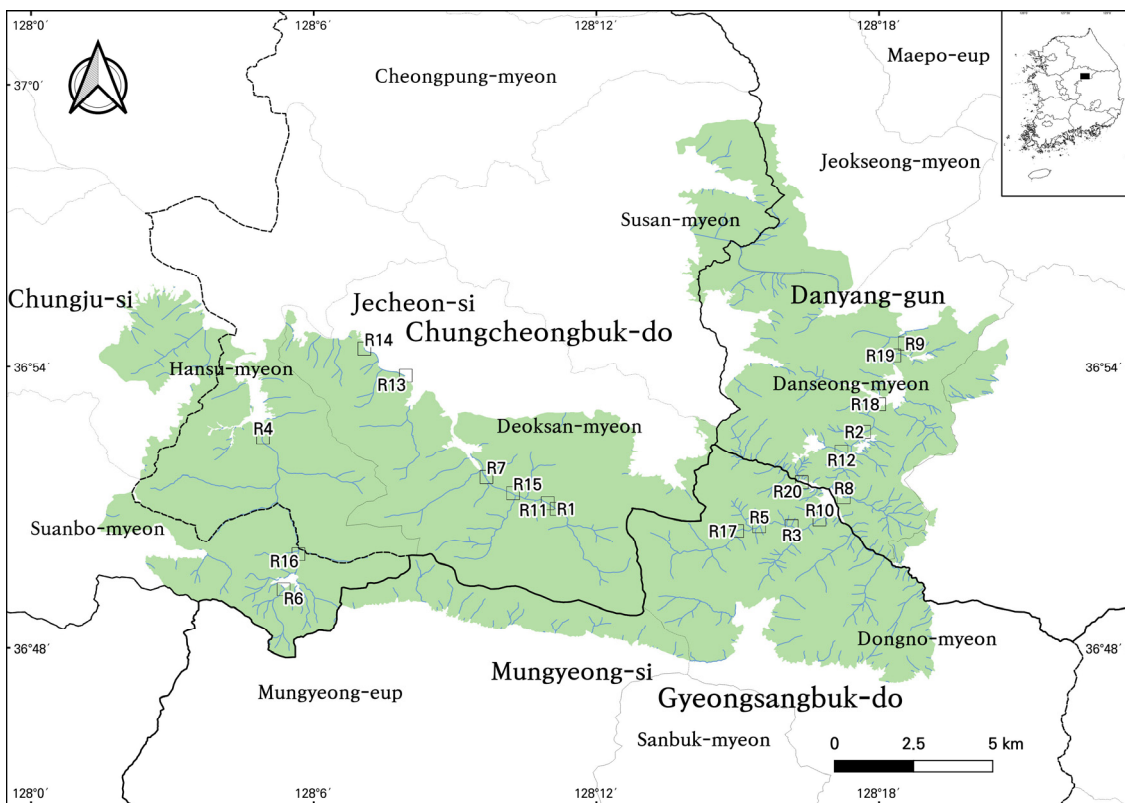


Figure 1. Map showed the surveyed stations in the Woraksan National Park, Korea.

and Olsen 2004). 다양성은 정밀식생도를, 접근성은 탐방로 정보를 이용하여 정량화하여 250×250m 크기의 격자로 선정하였다(Kim *et al.*, 2020). 이와 같은 방법을 통하여 월악산국립공원의 조사대상 지점수는 모두 20개가 선정되었으며 각 조사지점별 위치정보는 Table 1 및 Figure 1과 같다.

## 2. 조사 및 분석방법

### 1) 현지조사

#### (1) 서식지 환경

월악산국립공원의 서식지 환경은 유폭과 수심, 하천차수, 하천형, 하상구조, 주변 환경 등을 측정·기록하였다. 유폭은 50m 줄자 또는 레이저거리측정기를 이용하였으며, 수심은 1m 직자를 이용하였다. 하천차수는 국립공원공단 하천차수(KNPS STREAM ORDER 5181)를 이용하여 산출하였다. 하천형은 상류형(Aa), 중상류형(Aa-Bb), 중류형(Bb), 중하류형(Bb-Bc), 그리고 하류형(Bc)로 각각 구분하였다(Kani, 1944). 하상구조는 Cummins (1962)의 분류법을 응용하여 큰돌(>256mm), 작은돌(64~256mm), 조약돌(16~64mm), 자갈(2~16mm), 모래(0.1~2mm), 진흙(<0.1mm)으로 구분하였으며 그 비율을 %로 표시하였다. 고도는 GPS를 이용하여 현지조사 시 해당 위치좌표의 고도값을 측정하였으며, 이밖에도 주변환경, 교란요인, 기타 특이사항 등을 기록하였다.

#### (2) 어류의 채집

어류의 채집은 서식지 환경에 적합하도록 투망(7×7mm)과 족대(4×4mm)를 이용하여 직접 채집을 하였으며, 유량이 매우 적어 채집도구의 사용이 어려운 경우 뜰채와 직접 관찰을 통하여 확인하기도 하였다. 포획횟수 및 조사시간은 유량에 따라 적절히 안배하였으나, 지점 간 편차가 크지 않은 범위(투망 7±3회, 족대 40±20분) 내에서 정량적으로 수행하였다.

#### (3) 분류 및 동정

채집된 어류는 현장에서 동정 및 방류를 원칙으로 하지만 일부 동정이 어려운 개체 또는 표본이 필요한 경우 10% 포르말린 용액에 고정된 다음 실험실로 운반하여 동정하였다. 현장에서 동정된 어류는 개체수를 기록하고 사진촬영 후 방류하였으며 실험실에서 동정한 개체는 확정표본을 제작, 국립공원연구원 표본실에 보관하였다.

어류의 동정 및 분포 구분은 국내에 발표된 검색표(Kim, 1997; Kim and Park, 2002; Kim *et al.*, 2005; Choi *et al.*, 2002)에 따랐으며, 학명은 국립생물자원관(NBRI, 2020)의

국가생물종목록(2019. 12. 31. 기준)을 적용하였고 어류목록의 배열은 Nelson(2006)의 분류체계를 참고하였다.

### 2) 서식지 환경 및 어류군집 분석

#### (1) 서식지 환경 분석

서식지별로 수집된 환경자료를 바탕으로 서식지 간 특성을 비교하고자 주성분 분석(principal components analysis, PCA)을 실시하였다. 자료의 분석은 'R console (ver. 3.6.1)' 상에서 분석하였으며(R core team, 2012), 'vegan' package의 'rda' 함수를 이용하였다(Oksanen *et al.*, 2012).

#### (2) 어류군집 분석

각 서식지에서 출현한 어류를 대상으로 ordination 분석을 하였다. 먼저 서식지별 어류군집구조를 분석하고자 출현종의 종수와 개체수를 이용하여 다양도지수(Shannon and Weaver, 1963)를 산출하였으며 'vegan' package의 'radfit' 함수(Oksanen, 2011)를 사용하여 순위풍부도곡선(rank abundance curve, RAC)을 분석하였다(Whittaker, 1965; Wilson, 1991). 순위풍부도 곡선의 유형은 무효(Null), 대수정규(Lognormal)(Preston, 1948), Mendelbrot(Mendelbrot, 1965), 선점(Premption)(Motomura, 1932), 그리고 Zipf (Zipf, 1949)의 5개의 모델 중에서 Akaike 정보기준(Akaike's information criteria, AIC)이 가장 낮은 것을 최적 모델로 선정하였다. 또한 순위풍부도 곡선의 평균 기울기(average slope, AS)는 다음의 식을 이용하여 산출하였다(Kim *et al.*, 2013).

$$AS = \frac{|\log S_n - \log S_1|}{N-1}$$

N: 전체 종수

S1: 우점종의 개체수

Sn: 'n'번째 종의 개체수

#### (3) 서식지 환경에 따른 어류군집 상관성 분석

어류군집 결과를 토대로 서식지 환경과의 상관성을 파악하기 위하여 어류군집의 개체수를 바탕으로 정준상관분석(canonical correspondence analysis, CCA)을 실시하였다(ter Braak, 1986; ter Braak and Verdonschot, 1995). 또한 CCA 축과 환경요인간의 상관관계는 'vegan' package의 함수 'envfit'으로 분석하였다(Oksanen, 2011).

## 결과 및 고찰

### 1. 서식지 환경 및 분석

월악산국립공원 20개 지점의 물리적 환경을 파악한 결과, 모두 남한강으로 유입되는 하천이었으며 동달천 3개 지점, 광천 6개 지점, 그리고 단양천 10개 지점으로 확인되었다. 하천형의 대부분은 산간계류형(Aa) 또는 중상류역(Aa-Ab)의 형태를 나타내었다. 서식지가 위치한 각 지점의 고도는 181~473m였으며, 평균 304.2m였다. 또한 유폭은 1.5~26.8m의 범위로 나타났고 평균 10m로 규모가 크지 않았다. 수심은 13.3~78.3cm였고 평균 43.1cm로 나타났으며, 하천차수는 3차 하천 13지점, 4차 하천 3지점, 5차 하천 4지점으로 각각 확인되었다. 하상구조는 대부분 큰돌과 작은돌로 구성되어 있었으며, 조약돌과 자갈이 산재해 있는 형태로 일부 지점에서는 모래와 진흙이 분포하였다(Table 2). 이는 하천의 유량 및 유속과 관계가 있는데 하천의 유량이 많지 않고 유속이 빠를 경우 호우와 같은 유량이 급격히

증가하여 입자가 작은 흙과 모래, 잔자갈 등은 하천에 쉽게 침식되어 하류로 이동하게 되기 때문으로 생각된다.

월악산국립공원 서식지별 물리적 환경요인인 고도, 유수폭, 수심, 하천차수, 그리고 7종류의 하상물질 등의 대표값을 산출한 다음, 11개 항목의 주성분 분석을 실시하였다. 그 결과 하상물질 중 모래와 진흙을 제외한 9개 항목에서 유의수준이 높은 것으로 나타났다. 특히 암반, 자갈, 잔자갈에서 매우 높게 나타났으며, 그밖에 물리적 환경요인인 고도, 유수폭, 수심, 하천차수에서 0.001로 높게 나타났다(Table 3).

주성분 분석 결과에서 각각의 물리적 환경요인의 상관관계를 분석한 결과 제1축의 고유값(eigenvalue, EV)은 3.534, 제2축의 고유값은 3.012로 나타나 전체의 약 60%를 반영하였다(Figure 2). 먼저 제1축을 기준으로 보았을 때, 하상물질과 유수폭, 하천차수, 수심, 고도에 의해 좌우로 위치하였다. 한편 제2축을 기준으로서는 역시 고도와 자갈, 모래, 진흙의 하상물질에 의해 상하로 분포하였다. 이는 고도별 위치에 따른 하상물질 구조의 차이와 관련 있을 것으로

Table 2. Morphological and physical environmental information of twenty stations in the Woraksan National Park, Korea

Stations	Altitude (m)	Flow width (m)	Depth (cm)	Stream order	Substrates on streambed						
					Rock	Boulder	Cobble	Pebble	Gravel	Sand	Silt
R1	357	5.3	40.0	3	30	25	20	10	10	5	0
R2	258	17.5	43.3	5	5	10	40	20	15	10	0
R3	398	7.2	40.0	3	40	20	20	10	5	5	0
R4	181	18.5	60.0	4	10	30	25	15	10	10	0
R5	448	5.3	41.7	3	15	35	25	15	5	5	0
R6	404	1.7	13.3	3	10	30	30	20	5	5	0
R7	272	10.0	48.3	3	10	30	30	15	10	5	0
R8	333	7.5	21.7	3	5	20	15	10	15	35	0
R9	213	13.5	78.3	5	40	30	15	5	5	5	0
R10	342	8.5	45.0	4	40	25	20	10	5	0	0
R11	346	10.0	46.7	3	35	30	15	10	5	5	0
R12	328	1.5	33.3	3	15	25	15	25	15	5	0
R13	194	14.7	48.3	3	10	20	30	20	10	10	0
R14	185	11.5	51.7	3	10	30	30	20	5	5	0
R15	303	10.8	55.0	3	35	30	15	10	5	5	0
R16	302	6.2	40.0	4	10	20	30	20	10	10	0
R17	473	5.5	25.0	3	20	20	20	25	10	5	0
R18	226	26.8	50.0	5	0	20	30	20	20	10	0
R19	196	10.7	55.0	5	10	30	30	15	10	5	0
R20	325	6.8	25.0	3	5	20	25	30	10	5	5

Table 3. The direction of nine morphological and physical environmental vectors of principal component analysis (PCA). The coefficient of determinations ( $r^2$ ) and significant level (P value) by permutation tests

Variables	Axis 1	Axis 2	$r^2$	Pr(>r)
Altitude	0.65087	-0.75919	0.7187	0.001***
Flow width	-0.71599	0.69811	0.7982	0.001***
Depth	-0.00866	0.99996	0.8919	0.001***
Stream order	-0.65389	0.75659	0.6641	0.001***
Rock	0.91416	0.40535	0.7835	0.001***
Boulder	0.87496	0.48419	0.4496	0.010**
Cobble	-0.99988	-0.01525	0.4797	0.004**
Pebble	-0.61282	-0.79022	0.6724	0.001***
Gravel	-0.9773	-0.21186	0.6753	0.001***
Sand	-0.89823	-0.43952	0.1723	0.188
Silt	-0.29999	-0.95394	0.2405	0.138

\*\*\*:  $P < 0.001$ , \*\*:  $P < 0.01$  (P values based on 999 permutations)

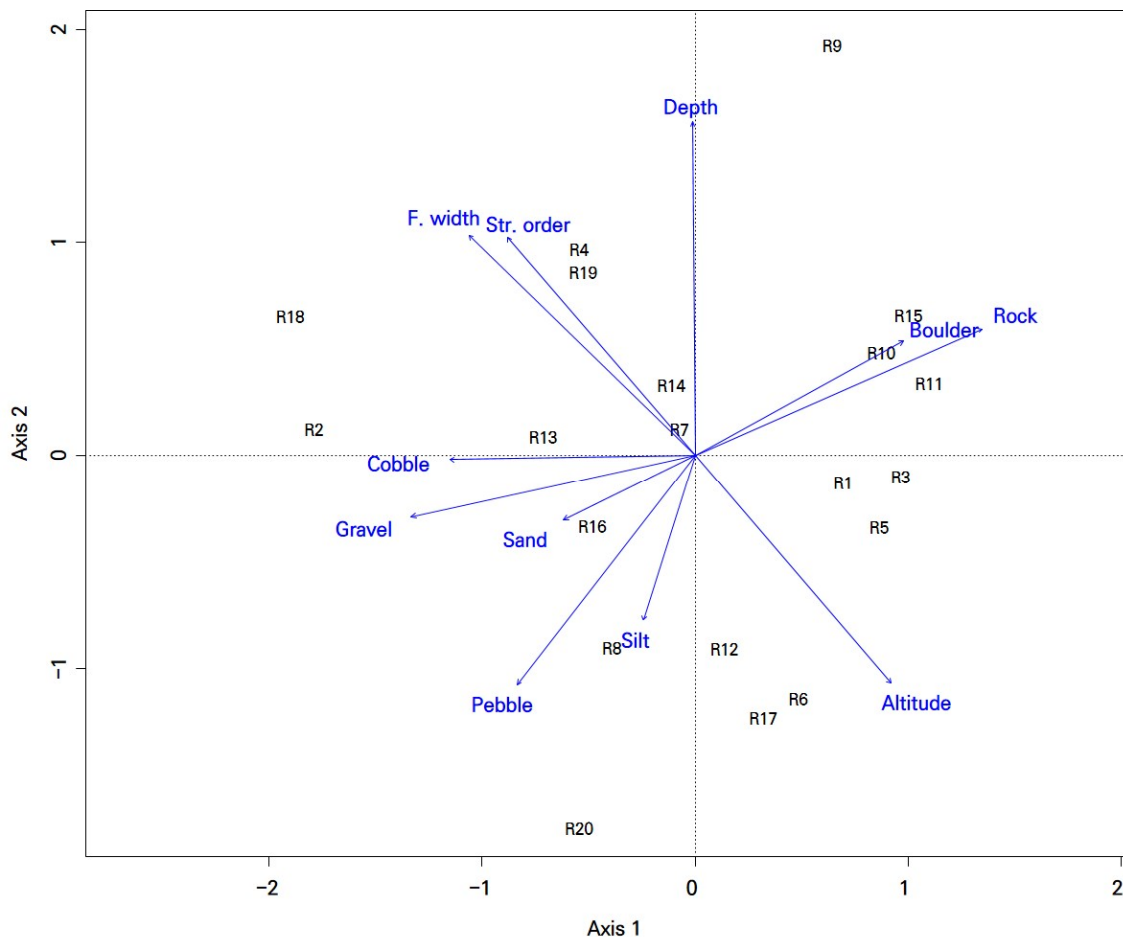


Figure 2. Ordination biplot derived from the first two axes of principal component analysis(PCA) of parameters of morphological and physical factors in habitats. Eigenvalues of both axes are that is 3.534, 3.012, explained 60.0% of total variables.

판단되는데, 즉 고도가 높은 상류역일수록 하천차수와 유수 폭이 작고, 하상은 주로 암반과 큰돌이 분포하며, 고도가 낮아짐에 따라 하천차수와 유수폭이 증가하고 하상물질은 주로 자갈, 모래, 진흙 등이 분포하는 것으로 볼 수 있다.

## 2. 어류상 및 군집분석

월악산국립공원에서 서식이 확인된 어류는 총 7과 16종이 2,183개체가 확인되었다(Table 4). 먼저 과별 어종을 살펴보면 잉어과 어류가 56.3%(9종)으로 가장 많았으며, 미꾸리과 어류가 12.5%(2종)이었다. 그밖에 메기과, 통가리과, 바다빙어과, 꺾지과, 그리고 동사리과 어류는 각각 6.3%(1종)으로 확인되었다(Figure 3). 이와 같이 잉어과와 미꾸리과 어류가 높은 비율을 차지하는 것은 한반도의 서·남해안으로 유입되는 하천에서 공통적으로 나타나는 현상으로, 우리나라의 주된 어류군집이 중국대륙으로부터 유래했음을 보여주는 근거가 된다(Jeon, 1980). 또한 출현한 어종별로 살펴보면 참갈겨니가 86.2%(1,881개체)로 우점종, 벵들치가 3.8%(84개체)로 아우점종을 각각 차지하였으며 이밖에도 돌고기 2.9%(63개체), 쉬리 1.6%(36개체), 동사리 1.5%(33개체) 등의 순으로 나타났다. 이와 반대로 개체수가 10개체 미만으로 희소하게 출현한 어종으로는 배가사리, 어름치, 참종개, 통가리, 가는돌고기, 은어, 돌마자 등 7종이었다(Figure 4).

본 조사에서 출현한 법정보호종으로는 환경부지정 멸종위기 야생생물 II 급으로 지정된 가는돌고기 1종과 문화재청지정 천연기념물 제259호 어름치 1종 등 모두 2종이 확인되었다. 가는돌고기는 1개 지점(R9) 3개체, 어름치는 2개 지점(R9, R19)에서 8개체만이 출현하여 그 분포지역과 개체수가 빈약한 실정이다. 월악산국립공원 일대에서 출현한 16종의 어류 중 한국고유종은 돌마자, 가는돌고기, 통가리, 참종개, 어름치, 배가사리, 새코미꾸리, 미유기, 꺾지, 동사리, 쉬리, 참갈겨니 등 12종으로 전체 75.0%를 차지하여

우리나라 평균 고유화 빈도인 28.8%(Kim *et al.*, 2005)보다 약 2.5배 이상 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 고유종의 빈도가 높게 나타난 것은 현재 월악산국립공원 내 하천 서식지의 물리적인 변화가 매우 적고 수환경 보전이 양호하다는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

한편 조사된 서식지별로 출현한 어류를 살펴보면 R9에서 10종으로 가장 많은 어종이 확인되었으며, R19에서 9종이 출현하였다. 이밖에도 R13, R10, R20에서 각각 5종, R4, R11, R7, R18에서 각각 4종, R14, R17, R5에서 각각 3종, R16, R15, R3, R2에서 각각 2종, R6, R1, R8, R12에서 각각 1종씩 확인되었고 어류가 출현하지 않은 지점은 없었다. 그리고 하천의 수계별 어류군집을 비교한 결과 먼저 동달천 3지점에서 출현한 어종은 모두 3과 5종 560개체였으며, 광천 6지점에서는 5과 8종 525개체, 그리고 단양천 11지점에서는 7과 15종 1,098개체로 단양천에서 종수와 개체수가 가장 많았으며, 동달천에서 종수가 가장 적었고 광천에서 개체수가 가장 적은 것으로 확인되었는데 이는 조사된 서식지 지점의 수와 하천의 길이, 규모 등에서 차이가 나는 것으로 생각된다(Table 5).

월악산국립공원 서식지별 순위풍부도 곡선에 대한 모형의 적합성 판단여부를 위한 Akaike의 정보기준 값과 그에 따라 유도된 순위풍부도와 다양도지수 및 곡선의 평균기울기는 Table 6 및 Figure 5과 같다. 순위풍부도 곡선 또는 순위 수도 분포는 종 다양성을 의미하는 구성요소 중 풍부도와 균등도를 동시에 표현할 수 있는 방법이다(Kim *et al.*, 2013; Whittaker, 1965; Magurran, 2004). 서식지별 어류군집의 순위풍부도 곡선의 모형을 비교·분석한 결과 먼저 1종만이 출현하여 분석이 불가능한 서식지는 R1, R12, R6, R8이었다. 또한 2종이 출현한 지점은 R15, R16, R2, R3이었으며 이중 R15, R16, R3의 경우 대수정규(Lognormal) 모형, R2은 선점(Premption) 모형이 적합한 것으로 나타났다. 그밖에도 선점 모형이 적합한 지점은 R17, R20, R5으로,

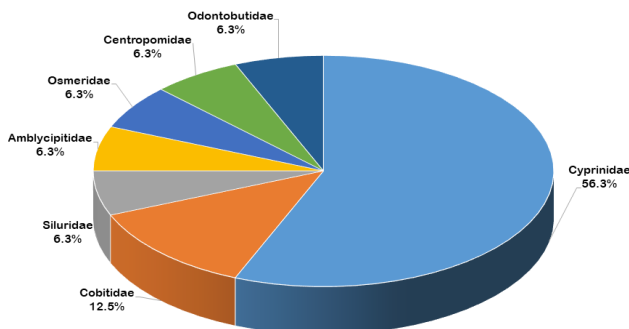


Figure 3. Composition ratio of fish a kinds of the families in the Woraksan National Park, Korea.

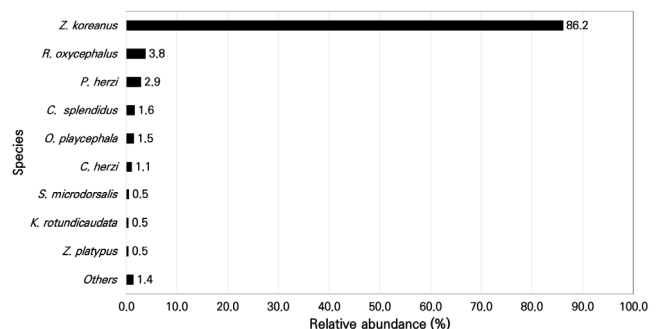


Figure 4. Relative abundance(%) of fish species collected in the Woraksan National Park, Korea.

Table 4. A list and individual numbers of fishes collected at the surveyed habitats from June to November 2020 in the Woraksan National Park, Korea

Scientific name	Korean name	Station																				Total
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20	
Cyprinidae	잉어과																					
<i>Pungtungia herzi</i>	돌고기				23				18	5		6				5	6					63
<i>Pseudopungtungia tenuicorpa</i>	가늌돌고기							3														3
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	쉬리					3		6	7	2	4	4	1									36
<i>Hemibarbus mylodon</i>	어름치							6										2				8
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	돌마자																	2				2
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	배가사리							4												4		8
<i>Rhynchoypris oxycephalus</i>	버들치					41					13				30							84
<i>Zacco koreanus</i>	참갈겨니	33	155	83	438	55	64	39	187	81	38	161	71	113	23	100	82	122	36			1,881
<i>Zacco platypus</i>	피라미							7			3											10
Cobitidae	미꾸리과																					
<i>Iksookimia koreensis</i>	참중개				3			2														5
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>	세코미꾸리																				10	10
Siluridae	메기과																					
<i>Silurus microdorsalis</i>	미유기					1					1					4						11
Amblycipitidae	통가리과																					
<i>Liobagrus andersoni</i>	통가리																2		1			3
Osmeridae	바다방어과																					
<i>Plecoglossus altivelis</i>	은어								1										1			2
Centropomidae	꼭지과																					
<i>Coreoperca herzi</i>	꼭지				3	2	4		3	6	1									1		24
Odontobutidae	동사리과																					
<i>Odontobutis playcephala</i>	동사리								2	1		8	7									33
Number of species		1	2	2	4	3	1	4	1	10	5	4	1	5	3	2	2	3	4	9	5	16
Number of individuals		33	163	86	466	60	41	72	39	237	100	42	13	182	82	114	53	105	95	144	56	2,183



Table 5. A list and individual numbers of fishes collected in each streams in the Woraksan National Park, Korea

Scientific name	Korean name	Stream name		
		Dongdalcheon	Gwangcheon	Danyangcheon
Cyprinidae	잉어과			
<i>Pungtungia herzi</i>	돌고기	23	6	34
<i>Pseudopungtungia tenuicorpa</i>	가는돌고기			3
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	쉬리		14	22
<i>Hemibarbus mylodon</i>	어름치			8
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	돌마자			2
<i>Microphysogobio longidorsalis</i>	배가사리			8
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	버들치	71		13
<i>Zacco koreanus</i>	참갈겨니	461	480	940
<i>Zacco platypus</i>	피라미		3	7
Cobitidae	미꾸리과			
<i>Iksookimia koreensis</i>	참종개	3	2	
<i>Koreocobitis rotundicaudata</i>	새코미꾸리			10
Siluridae	메기과			
<i>Silurus microdorsalis</i>	미유기		1	10
Amblycipitidae	통가리과			
<i>Liobagrus andersoni</i>	통가리			3
Osmeridae	바다빙어과			
<i>Plecoglossus altivelis</i>	은어			2
Centropomidae	꺼지과			
<i>Coreoperca herzi</i>	꺼지	2	4	18
Odontobutidae	동사리과			
<i>Odontobutis playcephala</i>	동사리		15	18
Number of species		5	8	15
Number of individuals		560	525	1,098

출현종이 3종인 지점이었다. 그밖에 9개 지점에서는 Zipf 모형이 적합한 것으로 나타났다. 대수정규 모형은 중간 경쟁에서 특별히 우세 또는 열세한 개체군이 많지 않고 군집 내 생태적 지위(ecological niche)에 적절히 서식하고있다는 것을 의미한다(Wilson *et al.*, 1996). 각 조사지점의 출현종

을 살펴보면 R15에서는 참갈겨니와 쉬리, R16에서는 버들치와 참갈겨니, R3에서는 참갈겨니와 꺼지가 출현하였는데, 각 중간에는 서식지 또는 먹이와 같은 중간 경쟁이 적은 집단인 것을 알 수 있다. 또한 선점 모형은 직선형으로서 단순한 환경 또는 표본의 크기가 작은 것으로 설명된다

Table 6. Akaike's information criteria (AIC) values of ranked abundance curve for each model. The best model was selected by the lowest AIC value ( $H'$  : diversity index, AS: average slope)

Station	Model					$H'$	AS
	Null	Preemption	Lognormal	Zipf	Mandelbrot		
R1	-	-	-	-	-	-	-
R2	4.75E+01	1.16E-03	-2.09E-14	-1.20E-14	0.00E+00	0.20	0.64
R3	3.00E+01	-	-1.18E-14	1.33E-15	0.00E+00	0.15	0.72
R4	4.09E+02	9.00E+00	6.56E+00	7.60E-01	7.60E-01	0.26	0.48
R5	2.94E+01	6.95E-01	6.95E-01	1.30E-02	1.30E-02	0.33	0.48
R6	-	-	-	-	-	-	-

Station	Model					$H'$	AS
	Null	Preemption	Lognormal	Zipf	Mandelbrot		
R7	4.64E+01	1.23E+01	1.03E+01	4.75E+00	4.75E+00	0.47	0.35
R8	-	-	-	-	-	-	-
R9	252.98	97.55	44.01	18.14	18.14	0.92	0.17
R10	5.45E+01	1.78E+01	1.19E+01	6.55E+00	6.55E+00	0.72	0.27
R11	2.95E+01	5.42E+00	4.56E+00	1.67E+00	1.67E+00	0.41	0.37
R12	-	-	-	-	-	-	-
R13	1.49E+02	3.71E+01	2.66E+01	1.12E+01	1.12E+01	0.51	0.30
R14	2.64E+01	3.82E+00	3.82E+00	1.03E+00	1.03E+00	0.48	0.38
R15	5.63E+01	-	6.66E-15	6.66E-15	0.00E+0	0.05	1.03
R16	8.48E+00	6.06E+00	-2.22E-15	5.33E-15	0.00E+00	0.68	0.06
R17	6.79E+01	1.44E+00	1.44E+00	1.43E-01	1.43E-01	0.22	0.57
R18	5.08E+01	1.07E+01	8.32E+00	3.43E+00	3.43E+00	0.54	0.33
R19	1.77E+02	5.88E+01	3.01E+01	1.44E+01	1.44E+01	0.71	0.19
R20	8.28E+00	2.40E+00	1.15E+00	9.28E-01	9.10E-01	1.07	0.20

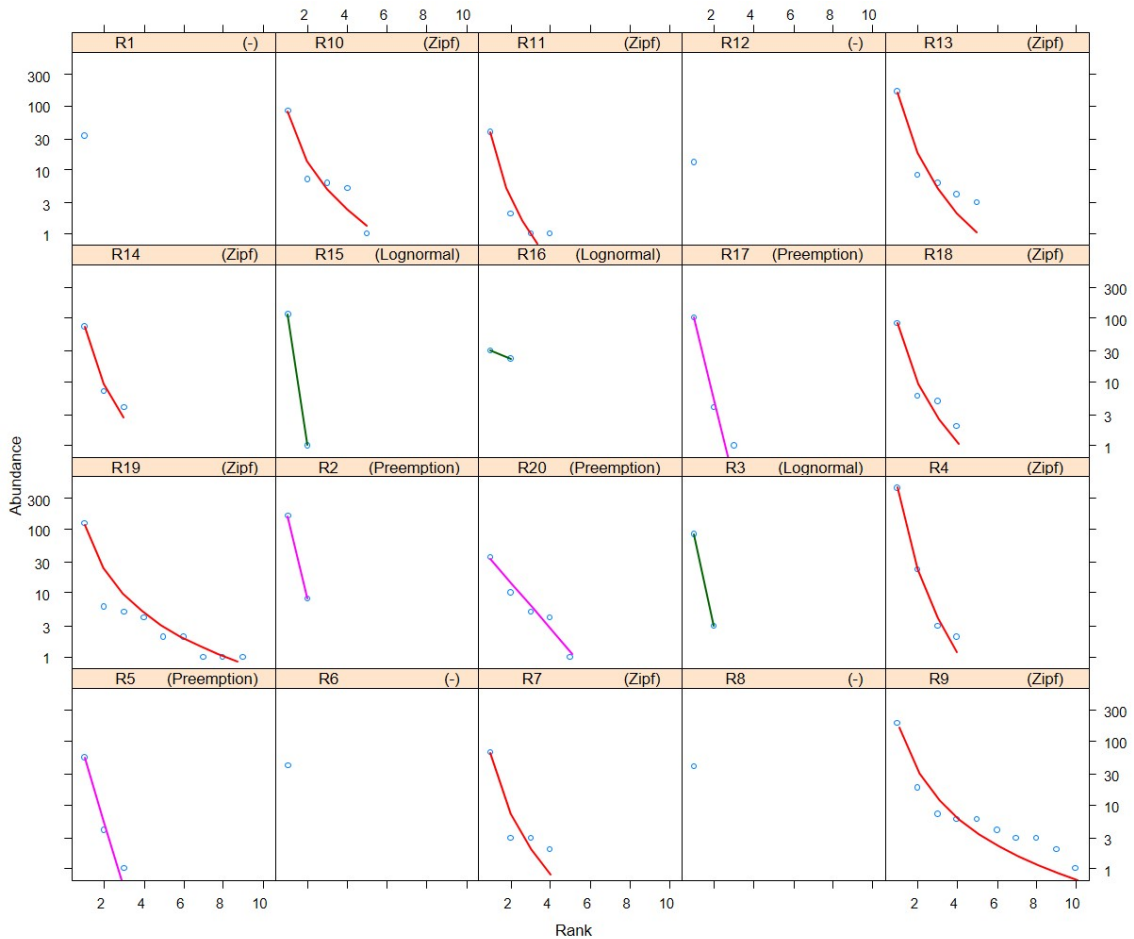


Figure 5. Rank abundance curve of fishes collected at the surveyed habitats. The horizon axis indicates rank and number of species, and the vertical axis indicates individual number of each ranked species by log-scale. The best fitted model was plotted into each surveyed habitats.

(Whittaker, 1965; Wilson, 1991). 따라서 본 조사 지역들은 빈약한 어류상을 나타내거나 서식환경이 상대적으로 단순하기 때문으로 생각된다. 다만 R2의 경우 서식환경을 고려했을 때 다양한 어류가 서식할 수 있는 조건임에도 참갈겨니와 동사리 2종만이 출현하였는데, 향후 면밀한 조사가 요구된다. 그밖에 Zipf 모형은 일반적으로 다양한 종들이 서식하고 있다는 것으로 설명할 수 있으며(Wilson, 1996), 선점 모형과는 상반되는 개념이다. 따라서 다양한 어류군집을 보인다고 볼 수 있으나, 참갈겨니가 다른 어종들보다 우세한 정도가 큰 것으로 보인다.

다양도지수는 0.05~1.07로 나타났으며 R15에서 가장 낮았고, R20에서 가장 높았고 전체 평균은 0.45로 확인되었다. 또한 각 모형의 평균기울기는 0.06~1.03의 범위를 나타내었으며 R16에서 가장 낮았고 R15에서 가장 높았으며, 전체 평균은 0.41로 확인되었다. 특히 R20의 다양도가 가장 높게

나타났는데, 다른 지점의 경우 참갈겨니의 우점율이 매우 높아 특정종이 우세한 정도와 반비례하는 다양도지수가 낮았기 때문에 상대적으로 높게 나타난 것으로 판단된다.

### 3. 환경요인에 따른 어류군집 분석

월악산국립공원 서식지별 어류군집과 환경요인 사이의 관계를 분석하기 위하여 20개 지점을 대상으로 정준상관분석(CCA)을 실시한 결과, 제1축과 제2축의 고유값(eigenvalue)은 각각 0.3266, 0.0729였으며, 두 축은 전체의 약 31%를 반영하였다(Figure 6). 서식지와 전체 16종의 어종의 배열을 살펴보면 제1축을 기준으로 크게 두 그룹으로 나누어졌다. 이는 크게 서식지의 고도와 유수폭, 하상물질 중 암반과 잔자갈, 모래 등에 따라 나누어진 것으로 나타났다. 반면 좌측에는 이와 반대의 서식지에 속하

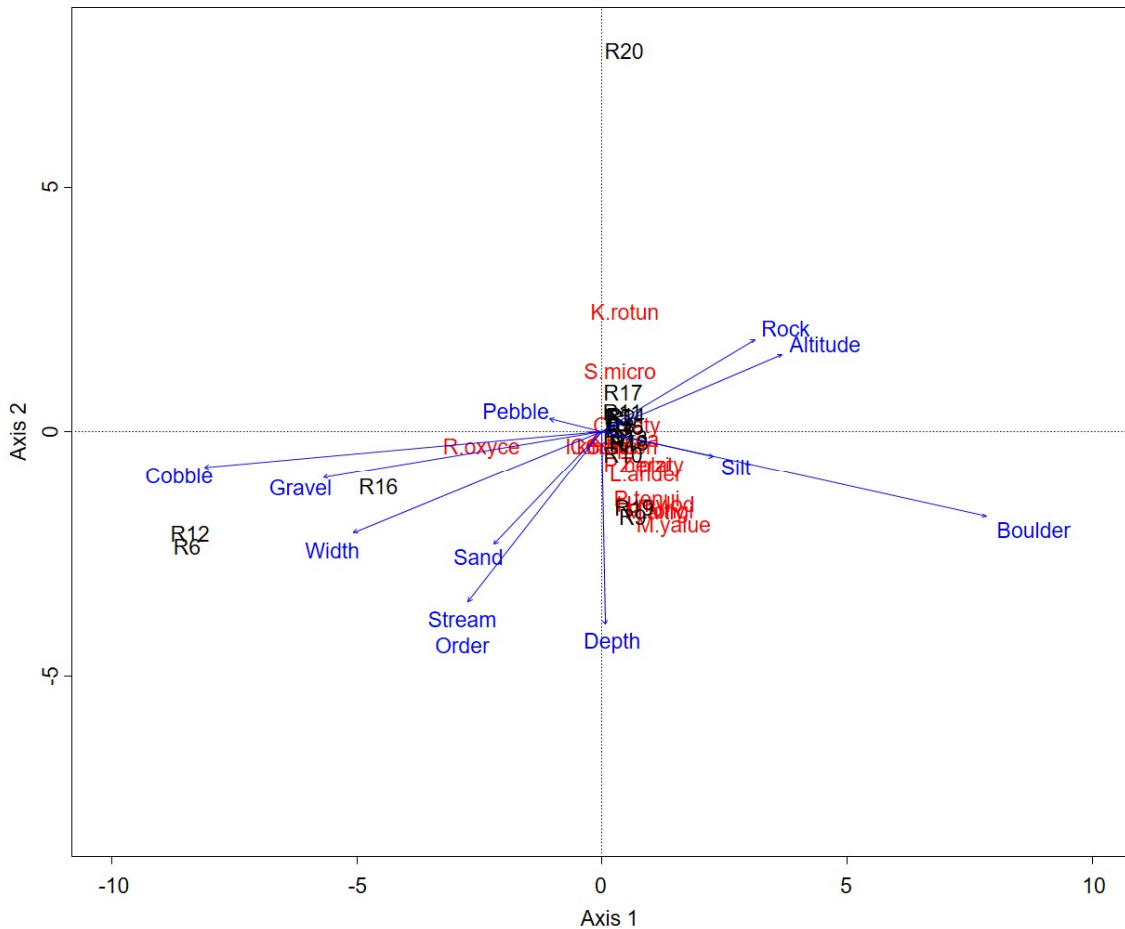


Figure 6. Ordination biplot derived from the two axes of canonical correspondence analysis (CCA) at the surveyed habitats. Eigenvalues of both axes are 0.3266 and 0.0729, explained 31% of total variation. The angles and lengths of the radiating arrows indicate the direction and strength of relationships of environmental factors with the ordination scores.

며 버들치와 같은 계류역의 어종만이 분포하는 빈약한 어류상을 나타내었다. 한편 제2축을 기준으로 R20 하나의 그룹만이 분류되었는데 두 그룹과 또 다른 서식환경과 어류상을 나타내고 있었다. 즉 제1축을 기준으로 우측에는 고도와 암반의 영향을 많이 받고 있는 상류역으로서 대부분의 서식지가 해당되며 참갈겨니, 돌고기, 피라미, 가늌돌고기, 어름치 등 상류와 중상류까지 분포하는 어종들이 출현하였다. 이와 같이 월악산국립공원 내 서식지별 어류군집에 영향을 끼치는 주요 환경요인은 고도, 유수폭, 그리고 하상물질인 것으로 확인되었는데 이는 고도에 따른 하천의 규모와 하상물질이 변화하기 때문인 것으로 판단된다. 즉 고도가 높고 유량이 적은 상류역일수록 하천의 수환경과 어류군집이 빈약해지고 고도가 낮은 하류쪽으로 갈수록 유량이 풍부해지고 어류의 서식처와 군집이 다양해지는 것으로 생각된다. 또한 유수역인 하천과 정수역인 저수지의 서식지에 따른 어류군집의 차이도 명확히 구분되는 것으로 나타나 서식지에 따른 어류군집 역시 다른 양상을 보이는 것으로 확인되었다. 따라서 향후 고도에 따른 서식지의 환경과 어류군집에 대한 면밀한 조사를 실시한다면 국립공원 내 서식지에 따른 어류군집의 특성을 파악할 수 있을 것으로 판단되며, 물리적 환경요인뿐만 아니라 다양한 환경요인 조사를 통하여 비교·분석한다면 더욱 구체적이고 명확한 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 국립공원공단 국립공원연구원 「2020 월악산 국립공원 공원자원조사」의 일환으로 수행되었습니다. 도움을 주신 모든 분께 감사드립니다.

## REFERENCES

- Choi, K.C., S.R. Jeon, I.S. Kim and Y.M. Son(2002) Coloured illustrations of the freshwater fishes of Korea. Hyangmunsa, Seoul, 277pp. (in Korean)
- Cummins, K.W.(1962) An evolution of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. *American Midland Naturalist* 67(2): 477-504.
- Jeon, S.R.(1980) Studies on the distribution of freshwater fishes from Korea. Ph.D. dissertation, Univ. of Chungang, Seoul, 91pp. (in Korean with English abstract)
- Kani, T.(1944) Ecology of the aquatic insects inhabiting a mountain stream. In H. Furukawa(ed.), *Insects I. Kenkyu-sha*, Tokyo, pp.171-317. (in Japanese)
- Kim, I.S. and J.Y. Park(2002) *Freshwater fishes of Korea*. Kyohaksa Press Co., Seoul, 466pp. (in Korean)
- Kim, I.S.(1997) *Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea (Vol. 37 Freshwater Fishes)*. Ministry of Education, Seoul, 629pp. (in Korean)
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim(2005) *Illustrated book of Korean fishes*. Kyohaksa Press Co., Seoul, 615pp. (in Korean)
- Kim, J.P., T.G. Kim and H.Y. Chae(2020) Spatially balanced sampling for selecting a representative set of natural habitats over the Korea national park. *Proceedings of the Symposium on the Korean Institute of Forest Recreation and Welfare 2020*, Korean Institute of Forest Recreation and Welfare, 6pp. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.H., S.H. Lee, W.O. Lee and K.H. Cho(2013) Distribution of *Coreoperca kawamebari* and *C. herzi* and Fish Community Structure in Relation to Environmental Differences in Their Sympatric Area of the Boseong River, Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* 46(3): 367-379. (in Korean with English abstract)
- KNPS(Korea National Park Service)(2020) *2020 National Park basic statistics*. Korea National Park Service, Wonju, 225pp. (in Korean)
- Magurran, A.E.(2004) *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd., Oxford, 266pp.
- Mandelbrot, B.(1965) *Information theory and psycholinguistics*, In: B.A. Wolman and E.N. Nagel(eds.), *Scientific Psychology*. Basic Books Publishing Co., New York, pp.550-562.
- Motomura, I.(1932) A statistical treatment of association. *Japanese Journal of Zoology* 44: 379-383. (in Japanese)
- Nelson, J.S.(2006) *Fishes of the World* (4th ed.). John Wiley & Sons, New York, 601pp.
- NIBR(National Institute of Biological Resources)(2020) *The List of Korean Taxonomic*. National Institute of Biological Resources, Incheon. <https://species.nibr.go.kr/>
- NPRI(National Park Research Institute)(2019) *30 years of National Park natural resources research-Story book-*. National Park Research Institute, Wonju, 421pp. (in Korean)
- Oksanen, J.(2011) *Multivariate Analysis of Ecological Communities in R: Vegan Tutorial*. <http://cc.oulu.fi/~jarioksa/>
- Oksanen, J., F.G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P.R. Minchin, R.B. O'Hara, G.L. Simpson, P. Solymos, M.H.H. Stevens and H. Wagner(2012) *Package 'vegan'*, *Community Ecology Package*. <http://vegan.r-forge.r-project.org/>
- Preston, F.W.(1948) The Commonness, and rarity, of species. *Ecology* 29(3): 254-283.

- R Core Team(2012) R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>
- Shannon, C.E. and W.W. Weaver(1963) The mathematical theory of communications. University of Illinois Press, Urbana, 117pp.
- Stevens Jr, D.L. and A.R. Olsen(2004) Spatially balanced sampling of natural resource. *Journal of American Statistical Association* 99(465): 261-278.
- Ter Braak, C.J.F. and P.F.M. Verdonschot(1995) Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences* 57(3): 255-287.
- Ter Braak, C.J.F.(1986) Canonical correspondence analysis: A new eigen vector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67(5): 1167-1179.
- Whittaker, R.H.(1965) Dominance and diversity in land plant communities: Numerical relations of species express the importance of competition in community function and evolution. *Science* 147(3655): 250-260.
- Wilson, J.B.(1991) Methods for fitting dominance/diversity curves. *Journal of Vegetation Science* 2(1): 250-260.
- Wilson, J.B., T.C.E. Wells, I.C. Trueman, G. Jones, M.D. Atkinson, M.J. Crawly, M.E. Dodd and J. Silvertown(1996) Are there assembly rules for plant species abundance? An investigation in relation to soil resources and successional trends. *Journal of Ecology* 84(4): 527-538.
- Zipf, G.K.(1949) *Human Behaviour and the Principle of Least Effort*. Addison-Wesley Press, Cambridge, 588pp.