설악산 양사면 하천에서의 고도차에 따른 저서성 대형무척추동물 군집의 공간 분포

최아름 · 김아름 · 손세환 · 양희정* · 공동수†

경기대학교 생명과학과

*한강물환경연구소

Spatial Distribution of Benthic Macroinvertebrate Community by Altitude in Streams Located in Both Facing Slopes of the Mt. Seorak, Korea

Ah Reum Choi · Ah Reum Kim · Se-Hwan Son · Hee Jung Yang* · Dongsoo Kong†

Department of Life Science, Kyonggi University

*Han River Environment Research Center, National Institute of Environment Research

(Received 15 October 2013, Revised 27 January 2014, Accepted 27 January 2014)

Abstract

There are marked differences in climate condition between east-facing slopes and west-facing slopes in Mt. Seorak (1,708 m). This study was conducted to find out the differences of benthic macroinvertebrate communities between both slopes of Mt. Seorak. Quantitative (Surber net; 30 cm × 30 cm, mesh: 1mm) and qualitative (Hand net; mesh: 1mm) samplings were carried out seasonally in each site which had 100-meter-high difference from November 2010 to November 2011. Most of the survey sites showed sound environmental conditions because they were located in the protection area of the national park. The benthic macroinvertebrates collected from all survey sites were composed of 158 species, 62 families, 17 orders, 7 classes and 5 phyla. DCA (Detrended Correspondence Analysis) ordination based on the abundance of benthic macroinvertebrates showed that altitude was a major factor governing the structure of benthic macroinvertebrate community. There was no significant difference of the communities between both slopes.

Key words : Altitude, Benthic macroinvertebrates, DCA Ordination, Mt. Seorak, Slope

1. Introduction

설악산은 한반도의 중심산맥인 백두대간의 중앙부에 위치하며 행정구역상 강원도 인제군의 인제읍과 북면, 고성군 토성면, 양양군의 강현면과 서면, 속초시에 걸쳐 있다. 해발 고도는 1,708 m로 남한에서 한라산(1,950 m), 지리산(1,915 m)에 이어 세 번째로 높은 산이다. 또한 경관이 수려하여 제 2의 금강산이라 불리며, 수많은 동식물들이 함께 살고 있는 자연생태계의 보고로서 1965년 천연기념물 제 171호의 천연보호구역으로 지정되었고, 1970년 국립공원으로 지정되었을 뿐만 아니라 1982년 유네스코에 의해 우리나라 최초로 생물권 보존지역으로 설정되어 그 가치를 인정받고 있다. 설악산은 백두대간을 경계로 영동사면과 영서사면으로 구분될 수 있으며, 두 지역의 기후는 전혀 다른 특성을 지니고 있다. 산맥의 급한 경사면을 따라 내려와 바다로 연결되는 영동지방은 해양성기후의 특성을 보이고 있는 반면에 영서지방은 대륙성기후의 특성을 나타낸다(METRI, 2002).

저서성 대형무척추동물은 편형동물, 환형동물, 갑각류, 수서곤충 및 패류가 포함되는 큰 분류군으로서 하천생물 중

에서 가장 다양하고 풍부한 무리일 뿐만 아니라(Rosenberg and Resh, 1993) 영양단계의 저차소비자의 역할을 하기 때문에 하천생태계의 구성원으로서 매우 중요한 분류군이다(Ward, 1992; William and Feltmate, 1992). 이들은 하천생태계의 다양한 환경요인과 서식처에 따라 적응방식이 다양하고(Vannote et al., 1980) 수질환경에 대하여 민감하게 반응하는 종이 많으므로 순수생태학적 연구뿐만 아니라, 지표종으로 이용되는 등 응용연구에 많은 도움이 되어 왔다(Morse et al., 2007).

이처럼 환경에 영향을 받는 저서성 대형무척추동물에게 설악산의 동서 사면간 기후의 차이와 오랫동안 지속된 지리적 격리는 이들 군집의 차이를 야기할 것이라 예상된다. 이러한 가설을 검증하기 위하여 본 연구에서는 설악산의 영동사면과 영서사면에서 저서성 대형무척추동물의 채집을 실시한 후 조사지점간 종 분포의 유사성을 파악하기 위하여 유사도 분석을 실시하였다. 또한 군집 분포에 미치는 환경요인을 파악하기 위해서 Ordination 방법 중 하나인 Detrended correspondence analysis (DCA) (Hill and Gauch, 1980)를 수행한 후 상관분석을 실시하였다.

국내에서 산맥의 양사면에 위치한 하천의 저서성 대형무척추동물 군집구조의 차이를 통계적으로 분석한 사례는 없었다. 본 연구는 한반도의 중부 이하의 내륙에서 가장 고

† To whom correspondence should be addressed.

dskong@kgu.ac.kr

도가 높은 설악산 일대의 양사면에 위치한 주요 하천을 대상으로 저서성 대형무척추동물물을 조사하여 분포 특성을 통계적으로 비교분석하고 이에 미치는 주요 인자를 파악하기 위해 수행되었다.

2. Materials and Methods

2.1. 조사지점

조사지점은 설악산의 영동사면인 쌍천 4지점(S1~S4)과 오색천 5지점(O1~O5), 영서사면의 북천 7지점(B1~B7)과 한계천 7지점(H1~H7)이었다(Fig. 1).

주요 분석 대상인 환경요인은 사면의 위치 및 준령에서부터(Distance=0) 떨어진 거리와 고도였으며, 고도가 저서성 대형무척추동물의 분포에 미치는 영향을 파악하기 위하여 상류로부터 고도 100여 m 간격으로 지점을 선정하였다(Table 1). 이 지점들은 국립공원 내에 위치하여 유역에 인위적인 오염원이 거의 없고 육안으로 볼 때 수질이 양호한 상태였다.

2.2. 현장조사

현장조사는 2010년 11월부터 2011년 11월까지 계절별로 1회씩 총 4회 실시되었으며, Surber net (30 cm × 30 cm, mesh size: 1 mm)를 이용하여 각 지점의 여울을 위주로 4회의 정량채집을 실시하였다. 또한 각 지점의 미소서식처에 대하여 휴대용 뜰채(mesh size: 1 mm)를 이용하여 정성채집을 실시하였다. 채집물은 플라스틱 병에 넣어 현장에서 Ethyl alcohol 95%에 고정하고, 실험실로 운반하여 생물시료를 골라 낸 후 동정하여 80% Ethyl alcohol에 보존하였다.

동정과 분류는 기존의 분류학적 문헌을 참고하였다(Bae et al., 1998; Kawai and Tanida, 2005; Kwon et al., 2006; Wiederholm, 1983; Won et al., 2005; Yoon, 1988, 1995). 동정된 학명 및 국명은 국립환경과학원에서 수립한 제4차

전국자연환경조사지침(MOE, 2012)의 분류체계를 따랐다.

수온은 현장에서 봉상온도계로 측정하였으며, 하상(Substrate) 구조는 각 조사지점에서 입자의 크기를 조사한 후 Wentworth (1922)의 체계에 따라 백분율로 표시하였다. 유속은 쇄자를 하천의 유하 방향과 직각방향으로 세워 물이 부딪혀 올라오는 높이와 수심을 측정할 때 얻어진 값 사이의 높이 차를 측정하여 산출하였다(Craig, 1987).

2.3. 통계 분석

저서성 대형무척추동물군집은 환경요인의 차이에 따라 그 분포가 달라진다(Vannote et al., 1980). 이를 정량적으로 분석하기 위하여 각 지점에서 채집된 저서성 대형무척추동물의 연평균 개체수로 Bray and Curtis (1957)의 유사도 지수를 산출하고 군 평균(Group average)연결법을 이용한 유사도 분석을 실시하였다.

또한 좌표상에 배열된 지점들의 유형을 밝히기 위하여 환경요인을 간접적으로 추적할 수 있는 Ordination을 수행하였다. 이러한 Ordination 기법에는 PO (Polar Ordination), PCA (Principal Component Analysis), RA (Reciprocal Averaging), DCA (Detrended Correspondence Analysis) 등 서로 보완적인 몇 가지 방법들이 있다. 이들 방법 중 Bray and Curtis (1957)의 PO를 보완한 DCA program을 사용하여 Ordination 분석을 실시하였다. 분석엔 PC-Ord (Ver. 4.25 for Windows; McCune and Mefford, 1999)를 사용하였다.

Ordination의 분석 목적이 환경요인에 의한 생물상의 분포를 밝히는 것이므로 DCA 결과와 환경요인과의 상관분석을 실시하였다. 사면이 저서성 대형무척추동물의 분포에 끼치는 영향을 파악함에 있어 그 정도를 정량화하기 위하여 준령(능선)에서부터 떨어진 거리를 지도상에서 평면적으로 측정하여 수치화하였으며, 영동 쪽 사면은 측정된 거리에 양(+)의 값을 주고 영서 쪽 사면은 음(-)의 값을 주었다(Table 1).

Fig. 1. Location of survey sites. Shaded area shows boundary of Seorak national park.

Table 1. Description of altitude, distance from mountain ridge and physicochemical factors of the survey sites

	Site code	Altitude (m)	Distance from mountain ridge (km)	Water Temperature (°C) ¹⁾	Water current (cm/sec) ²⁾	Substrate (B:C:P:G:S/S) ³⁾
Yeongdong slope Site (East-facing slope)	S1	430	2.82	21	89±19	4:3:2:1:0
	S2	355	2.47	21	68± 3	4:3:2:1:0
	S3	214	5.28	20	51± 0	2:4:3:1:0
	S4	138	7.58	21	51± 4	0:4:3:2:1
	O1	590	1.82	19	70±18	3:4:2:1:0
	O2	468	1.89	19	76±12	2:4:3:1:0
	O3	353	3.17	21	64±13	0:4:3:2:1
	O4	249	6.41	22	66±13	0:4:3:2:1
	O5	164	9.13	24	64±17	0:4:3:2:1
Yeongseo slope Site (West-facing slope)	B1	784	-1.87	19	76± 4	4:3:2:1:0
	B2	710	-2.13	20	68± 8	4:3:2:1:0
	B3	622	-3.01	20	79±18	4:2:2:1:1
	B4	573	-3.53	21	69±20	5:3:1:1:0
	B5	473	-5.41	21	46±18	1:1:5:3:0
	B6	355	-7.00	23	49±25	2:2:3:3:0
	B7	314	-9.48	25	39± 9	0:4:3:2:1
	H1	888	-0.64	-	47± 9	3:4:2:1:0
	H2	780	-1.46	18	42± 7	2:2:3:2:1
	H3	670	-3.15	19	48±11	2:4:3:1:0
	H4	511	-8.13	20	47±13	1:4:3:2:0
	H5	445	-10.63	22	49±20	0:3:4:2:1
	H6	351	-13.64	24	52±14	0:4:3:2:1
	H7	263	-17.58	27	44±11	0:2:3:2:3

1) Summer season (August 10~12, 2011)

2) Average ± Standard deviation

3) B: boulder (>256 mm), C: cobble (64 ~ 256 mm), P: pebble (16 ~ 64 mm), G: gravel (2 ~ 16 mm), S/S: sand/silt (<2 mm)

3. Results and Discussion

3.1. 물리적 환경

조사지점의 고도는 최소 138m (S4 지점)에서 최고 888m (H1 지점)의 범위를 보였다(Table 1). 수온은 고도차가 작은 쌍천을 제외하곤 고도가 낮아짐에 따라 증가하였으며, 유속은 지점간에 경사도의 차이가 적었던 한계천에서는 큰

차이를 보이지 않았으나 다른 모든 하천에서는 고도가 낮아짐에 따라 느려지는 경향을 보였다. 하상은 산악하천의 특성상 주로 호박돌과 큰자갈, 자갈 위주로 이루어진 조립질로 구성되어 있었으나 하류지점으로 갈수록 호박돌과 큰 자갈의 비율이 점차 줄어드는 경향을 보였다.

3.2. 저서성 대형무척추동물상

Fig. 2. Species composition of macroinvertebrate taxa at (a) east-facing slope site and (b) west-facing slope survey site.

조사기간 동안 정량 및 정성 채집을 통해 채집된 저서성 대형무척추동물은 총 5문 7강 17목 62과 158종이었다. 영동인 쌍천과 오색천에서 총 5문 6강 12목 47과 118종이 출현하였다. 하루살이류, 강도래류, 날도래류 세 분류군(Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera: E.P.T)이 71%로 대부분을 차지하였으며, 파리류(Diptera)가 15%, 딱정벌레류(Coleoptera)가 4%, 잠자리류(Odonata)와 환형동물류(Annelida)는 각각 2% 순으로 나타났다. 영서인 북천과 한계천에서는 총 5문 6강 15목 55과 143종이 출현하였다. 영동과 마찬가지로 E.P.T가 72%로 대부분을 차지하였으며, 그 외에 파리류가 16%, 딱정벌레류와 환형동물류, 잠자리류가 모두 3%를 차지하였다(Fig. 2). 과(Family)이상의 상위분류군(higher category) 수준에서 출현종수의 구성비는 양사면간에 거의 차이가 없었다.

해당 조사지점의 하상은 대부분 호박돌 또는 큰자갈로 이루어진 조립질의 상태이며 유속이 빠르고(Table 1) 수온이 낮아 강도래류나 날도래류의 출현도가 높은 반면 깔다구류나 환형동물류는 상대적으로 출현도가 낮았다. 양사면 모두에서 E.P.T가 70%이상으로 대부분을 차지하였는데, 이러한 수서곤충의 분류군 조성비는 상류하천의 일반적인 양상이라 할 수 있다(Bae et al., 2003). 일반적으로 E.P.T 비율과 풍부도는 수환경질이 양호할수록 높게 나타나기 때문에(Davis et al., 2003; Peitz, 2003) 각 수계는 양호한 수환경을 보유한 것으로 판단된다.

3.3. 유사도 분석

유사도 분석 결과 크게 Group I과 Group II로 나뉘었다(Fig. 3). Group I에는 사면에 관계없이 대부분 높은 고도에 위치한 지점들이 속하였다. 영서의 북천 지점들(B1~4)이 같은 사면인 한계천 H1 지점보다 영동의 쌍천 지점들(S1~3)과 유사도가 높은 결과를 보였다. 쌍천의 지점들은 상대적으로 고도가 낮지만 Group I에 속해있는데, 이는 저서성 대형무척추동물의 서식에 영향을 주는 하상구성과 유속, 수온(Edgington, 1968; Ward, 1992)이 고도가 높은 지점들과 유사하여 함께 묶인 것으로 판단된다.

Group II에는 사면의 위치에 상관없이 호박돌의 비율이 적고 유속이 비교적 느린 지점들이 속하였으며, 대부분 낮은 고도에 위치한 지점들이었다. 영서의 한계천 지점들(H3~6)은 같은 사면에 위치한 북천 지점들보다 영동의 오색천 지점들(O3~5)과 유사도가 높았다. 유사도 분석 결과 그룹 내에서 같은 사면의 지점들보다 상류, 중류, 하류의 특성을 나타내는 지점들끼리의 유사도가 높았다. 이는 저서성 대형무척추동물의 군집구조 형성 및 분포를 결정하는데 있어 사면보다는 고도의 영향을 받는 하상구조와 유속 및 수온이 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이외에 고도에 따른 먹이원의 크기조성의 변화도 군집구조에 영향을 미치는 요인이 될 수 있으나 본 연구에서는 이를 고려하지 못하였다.

3.4. Ordination

분석된 DCA ordination diagram에서 제1축(Axis I)과 제2

Fig. 3. Dendrogram (hierarchical cluster analysis) of the benthic macroinvertebrate community using the group average.

축(Axis II)의 고유치(eigenvalue)는 각각 0.508과 0.210이었다(Fig. 4).

Axis I에 대하여 우측방향으로 고도가 높은 지점들이 배치되었다. 그래프에서 Sec1과, Sec2는 각각 영서와 영동 조사지점의 Axis I, Axis II 평균값이며 Alt1은 고도 700m 이상, Alt2는 고도 500~700m 사이, Alt3은 고도 300~500m 사이, Alt4는 고도 300m 이하 조사지점의 Axis I, Axis II 평균값을 그래프에 나타낸 결과이다. 상대적으로 고도가 높은 지점들이 많았던 영서 조사지점의 Axis I 평균값(Sec1)이 영동 조사지점의 평균값(Sec2)보다 Axis I의 우측에 위치하였다. 또한 Alt1의 Axis I 평균값이 가장 높았으며 Alt2, Alt3, Alt4의 순서로 고도가 낮아질수록 더 낮은 Axis I score를 가져 고도가 Axis I의 차이를 결정짓는 환경요인임을 파악할 수 있었다. Axis II에 대해서는 고유치가 0.210으로 비교적 낮았지만 북천과 한계천의 지점들이 같은 수계끼리 비슷한 score대에 배치되는 경향을 나타내어 Axis II를 결정짓는 다른 환경요인이 작용하고 있는 것으로 판단되었다.

산출된 Axis I의 score와 고도 및 준령으로부터 떨어진 거리와의 단순선형회귀 상관분석결과 Axis I의 score와 고도간에 $R^2 = 0.64$, $p = 5.10 \times 10^{-6}$ 수준의 유의한 상관관계를 보였다(Fig. 5(a)). 반면 Axis I의 score와 준령으로부터의 거리와는 유의한 상관관계는 나타나지 않았다(Fig. 5(b)). 하지만 Fig. 5(b)의 산점도가 준령에서부터(Distance=0) 양쪽 사면으로 거리가 멀어질수록 S2 지점을 제외한 각 수계의

Fig. 4. Ordination diagram of 23 sites for benthic macroinvertebrate communities using the DCA method. The symbols refer to the different sites; ○, Each west-facing slop site; ●, Each east-facing slop site; △Sec1, west-facing slop sites; △Sec2, east-facing slop sites; Alt1▨, altitude >700 sites; Alt2▨, altitude 500-700 sites; Alt3▨, altitude 300-500 sites; Alt4▨, altitude <300 sites.

(a)

(b)

Fig. 5. Linear regression analysis between (a) altitude and Axis I score and (b) distance and Axis I.

지점들이 상류부터 하류까지 순차적으로 낮은 score를 갖게 됨을 알 수 있었다. 이는 조사지점인 산이 지나는 특성상 준령에서 멀어질수록 고도가 함께 낮아지기 때문에, 마찬가지로 고도가 저서성 대형무척추동물의 분포에 영향을 미친다는 결과를 뒷받침하는 것으로 해석할 수 있다. Axis I의 Score와 고도 및 거리를 동시에 다중회귀분석 시 결정계수 (R^2)는 0.78로, 고도만 상관분석을 했을 때의 0.64 보다 더 높은 설명력을 가졌으나, 이때 고도와 거리의 기여도는 각각 88%, 12%로 고도가 결정적인 역할을 하는 것을 알 수 있었다. 또한 Axis II와 고도 및 준령과의 상관관계는 이번 연구에서 특별한 상관관계를 나타내지 않았다.

4. Conclusion

본 연구는 기후, 지리적으로 서로 다른 특성을 나타내는 설악산 양사면에서 저서성 대형무척추동물의 군집차이를 파악하고, 이들의 분포에 영향을 주는 주요 환경요인을 찾는 것을 목적으로 하였다.

연구결과 양사면은 분류군별로 종 조성비가 유사하였으며, 유사도 분석결과 같은 사면에 위치한 지점끼리가 아니라 고도에 영향을 받는 하상구조와 수온 및 유속이 유사한 지점끼리 묶였다. 또한 DCA 및 상관분석을 통해서도 사면 보다는 고도에 의해 영향이 크다는 결과가 도출되었으며,

최종적으로 저서성 대형무척추동물의 공간적 분포에 결정적인 영향을 미치는 환경요인은 고도에 따라 변화하는 물리적 요인이라는 결론을 얻을 수 있었다.

또한 보존가치가 높은 설악산 국립공원의 저서성 대형무척추동물상을 기록함으로써 향후 생물다양성 보존과 수환경 관리에 필요한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 2010, 2011년 한강수계관리위원회의 환경기초조사사업 중 하나인 「기후변화가 수생태계에 미치는 영향과 대응전략」의 일환으로 수행되었습니다.

References

- Bae, Y. J., Won, D. H., Hoang, D. H., Jin, Y. H., and Hwang, J. M. (2003). Community Composition and Functional Feeding Groups of Aquatic Insects According to Stream Order from the Gapyeong Creek in Gyeonggi-Do, Korea, *Korean Journal of Limnology*, 36(1), pp. 21-28. [Korean Literature]
- Bae, Y. J., Park, S. Y., and Hwang, J. M. (1998). Description of Larval Nigrobaetis Bacillus (Kluge)(Ephemeroptera: Baetidae) with a Key to the Larvae of the Baetidae in Korea, *Korean Journal of Limnology*, 31, pp. 282-286.
- Bray, J. R. and Curtis, J. T. (1957). An Ordination of the Upland Forest Communities of Southern Wisconsin, *Ecological Monographs*, 27, pp. 325-349.
- Craig, D. A. (1987). Some of What You Should Know about Water or, K.I.S.S.* for Hydrodynamics (*Keeping it Stupidly Simple), *Bulletin of the North American Benthological Society*, 4(2), pp. 178-182.
- Davis, S. D., Golladay, S. W., Vellidis, G., and Pringle, C. M. (2003). Macroinvertebrate Biomonitoring in Intermittent Coastal Plain Stream Impacted by Animal Agriculture, *Journal of Environmental Quality*, 32, pp. 1036-1043.
- Edington, J. M. (1968). Habitat Preferences in Net Spinning Caddis Larvae with Special Reference to the Influence of Water Velocity, *Journal of Animal Ecology*, 37, pp. 675-692.
- Hill, M. O. and Gauch, H. G. (1980). Detrended Correspondence Analysis: an Improved Ordination Technique, *Vegetatio*, 42, pp. 47-58.
- Kawai, T. and Tanida, K. (2005). *Aquatic Insects of Japan: Manual with Keys and Illustrations*, Tokai University Press, Kanagawa, In Japanese.
- Kwon, O. K., Park, G. M., and Lee, J. S. (2006). *Coloured Shells of Korea*, Academic Press, Seoul, Korea. [Korean Literature]
- McCune, B. and Mefford M. J. (1999). *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 4.25. MjM Software Design*, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- Meteorological Research Institute (METRI). (2002). *Study on Regional Climatic Characteristics of Gang-Won*, Meteorological Research Institute Korea Meteorological Administration. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2012). *4th Survey Methods and Classification Criteria of National Environment*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Morse, J. C., Bae, Y. J., Munkhjargal, G., Sangpradub, N., Tanida, K., Shivkova, T. S., Wang, B. X., Yang, L. F., and Yules, C. M. (2007). Freshwater Biomonitoring with Macroinvertebrates in East Asia, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5, pp. 33-42.
- Peitz, D. G. (2003). *Macroinvertebrate Monitoring as an Indicator of Water Quality: Status Report for Pipestone Creek*, Pipestone National Monument, 1989-2002, pp. 1-13.
- Rosenberg, D. M. and Resh, V. H. (1993). *Freshwater Bio-monitoring and Benthic Macroinvertebrates*, Chapman and Hall, New York, pp. 488.
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., and Cushing, C. E. (1980). The River Continuum Concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, pp. 130-137.
- Ward, J. V. (1992). *Aquatic Insect Ecology*, John Wiley & Sons, Interscience, New York, pp. 438.
- Wentworth, C. K. (1922). A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments, *The Journal of Geology*, 30, pp. 377-392.
- Wiederholm, T. (1983). *Chironomidae of the Holarctic Region Keys and diagnose. Part I-Larvae*, Fauna Entomologica Scandinavica, Supplement, 19, pp. 457.
- Williams, D. D. and Feltmate, B. W. (1992). *Aquatic Insects*, C.A.B. International, Wallingford, Oxon, UK.
- Won, D. H., Kwon, S. J., and Jun, Y. C. (2005). *Aquatic Insects of Korea*, Korea Ecosystem Service, Seoul, pp. 410. [Korean Literature]
- Yoon, I. B. (1988). *Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea, Vol. 30 Aquatic Insects*, Ministry of Education Republic of Korea. [Korean Literature]
- Yoon, I. B. (1995). *Aquatic Insects of Korea*, Jeonghaengsa, Seoul. [Korean Literature]

Appendix. Average abundance of surveyed benthic macroinvertebrates (Ind./m²).

Scientific name (Inds./m ²)	O1	O2	O3	O4	O5	S1	S2	S3	S4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
Phylum Platyhelminthes																							
Class Turbellaria																							
Order Tricladida																							
Family Planariidae																							
<i>Dugesia</i> sp.	6.3	11.1	2.1	2.8	3.5			0.7	0.7		1.9		2.1		●	2.1		5.6	1.4	0.7			
Phylum Nematomorpha																							
Class Gordioida																							
Order Gordea																							
Family Gordiidae																							
<i>Gordius aquaticus</i>																		0.7					
Phylum Mollusca																							
Class Gastropoda																							
Order Mesogastropoda																							
Family Pleuroceridae																							
<i>Semisulcospira gottschei</i>															●	0.7							
Order Basommatophora																							
Family Physidae																							
<i>Physa acuta</i>																							
Phylum Annelida																							
Class Oligochaeta																							
Order Neoligochaeta																							
Family Lumbricidae																							
<i>Eisenia</i> sp.																							
Order Archiologochaeta																							
Family Naididae									0.7			0.7			2.1			0.7					
<i>Chaetogaster limnaei</i>										3.7	1.9	1.4			2.8								
Family Tubificidae																							
<i>Limnodrilus gotoi</i>															1.4	●	0.7	1.4	11.1	0.7			
Class Hirudinia																							
Order Rhynchobdellida																							
Family Glossiponidae																							
<i>Helobdella stagnalis</i>																							
Phylum Arthropoda																							
Class Crustacea																							
Order Decapoda																							
Family Cambaridae																							
<i>Cambaroides similis</i>																		0.7					
Class Insecta																							
Order Ephemeroptera																							
Family Siphonuridae																							
<i>Siphonurus chankae</i>																●							
Family Ameletidae																							
<i>Ameletus costalis</i>	1.4	8.3	●	0.7	●	8.3	5.6	1.4	1.9	2.8			2.1	●			1.4	8.3	6.3	7.6	2.1	●	
<i>Ameletus montanus</i>	●								●				2.1	0.7					●				

Appendix. Continued.

Scientific name (Inds./m ²)	O1	O2	O3	O4	O5	S1	S2	S3	S4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
Family Baetidae																							
<i>Acentrella gnom</i>							2.1	1.4	1.4						3.5	2.8		18.1	54.2	0.7	4.2	3.5	1.4
<i>Acentrella sibirica</i>			0.7	6.3	7.6			1.4	1.4													6.9	46.5
<i>Baetiella tuberculata</i>	2.1		6.9	34	102.8	3.5	4.2	7.6	31.3		4.6	2.8	1.4	2.8	9.7			●	●			7.6	84
<i>Baetis fuscatus</i>	6.9	4.9	4.2	47.2	14.6	2.8	3.5	20.8	3.5	1.9	0.9	34	13.2	22.2	18.8	6.9	13.9	8.3	23.6	12.5	39.6	28.5	27.8
<i>Baetis silvaticus</i>	40.3	57.6	15.3	25.7	9	2.1	2.1	13.2	11.8	0.9	0.9	0.7	0.7	11.1			6.3	8.3	97.2	39.6	99.3	27.8	0.7
<i>Baetis ursinus</i>				0.7				0.7	2.1					0.7	4.2	8.3						27.1	
<i>Nigrobaetis acinaciger</i>																16						0.7	25.7
<i>Nigrobaetis bacillus</i>		●	3.5	1.4	1.4			7.6	0.7					10.4	2.1	4.2		0.7	0.7	1.4	0.7	2.1	
<i>Procladius maritimus</i>				●	●										●							●	●
<i>Procladius pennulatus</i>						●									●	0.7		0.7	0.7			●	●
Family Heptageniidae																							
<i>Cinygmula grandifolia</i>			1.4	8.3	33.3	●					●		2.8		9	11.8	2.8	●					4.2
<i>Ecdyonurus bajkovae</i>			●	●	2.1											3.5						●	
<i>Ecdyonurus dracon</i>		1.4	0.7	9.7	●	50.7	9						●						27.8	0.7			1.4
<i>Ecdyonurus joeneensis</i>																							
<i>Ecdyonurus kibunensis</i>	10.4	18.1	9	22.2	24.3	4.9	12.5	55.6	11.1	31.5	59.3	50.7	20.1	23.6	6.3	17.4	4.2	6.3	36.8	9.7	3.5	6.9	2.8
<i>Ecdyonurus levis</i>													0.7	●	●	●						●	
<i>Epeorus nipponicus</i>	0.7	3.5	0.7	14.6	20.8	6.9	0.7	●	4.2	●	0.9	4.2	12.5	11.1	6.9	0.7		2.1	32.6	13.2	18.1	9	●
<i>Epeorus pellucidus</i>	7.6	9	66.7	72.9	127.8	4.9	2.1	3.5	258.3					11.1	13.9	7.6		3.5	2.1	25	168.1	86.1	66.2
<i>Heptagenia kihada</i>			●							0.9		0.7	0.7				2.8	0.7	●				
<i>Epeorus aesculus</i>	3.5	9.7	2.8	5.6	15.3			1.4	2.1					9.7			6.3	1.4	4.9	11.8	77.8	15.3	
<i>Epeorus maculatus</i>																							
<i>Rhythrogena binotata</i>	1.4		1.4	7.6	13.2			0.7	4.2				0.7	54.2	13.9	0.7		●	●	0.7	42.4	1.4	39.6
Family Leptophlebiidae																							
<i>Choroterpes alticollis</i>				●		0.7								4.2	●	7.6						●	2.1
<i>Paraleptophlebia japonica</i>	4.2	0.7	10.4	12.5	11.1		0.7	2.8	●		2.8	1.4	0.7	38.2	17.4	4.9	0.7	0.7	2.1	0.7	6.9	3.5	5.6
Family Ephemeridae																							
<i>Ephemera orientalis</i>				0.7	●															●			
<i>Ephemera separigata</i>	●				●									●	●	0.7				●			
<i>Ephemera strigata</i>			●	●	1.4									●	●					●			
Family Ephemerellidae																							
<i>Cincticostella levantidovae</i>	8.3	23.6	19.4	108.3	24.3			2.8						27.1	3.5	37.5		●	1.9	29.9	34.7	11.1	16.7
<i>Cincticostella tshernovae</i>	0.7	2.1	4.2	11.8	6.3			1.4						2.1	24.3	13.9			43.1	44.4	56.9	26.4	
<i>Drunella aculea</i>	29.9	40.3	66.7	25	45.8			●	8.3					0.7	13.2	9.7		19.4	128.5	120.1	117.6	127.1	50.7
<i>Drunella latipes</i>	●	8.3		1.4	4.9			0.7	11.8					0.7	0.7	1.4		0.7				1.4	4.2
<i>Drunella lepnevae</i>			0.7	1.4	1.4													1.4	0.7	6.3	2.1	1.4	
<i>Drunella triacantha</i>																		5.6	0.7	5.6	3.5	0.7	
<i>Ephemerella dentata</i>				5.6	3.5			0.7	23.6										1.4		6.3	0.7	
<i>Ephemerella kozhovi</i>	●	0.7	●	2.1	●									0.7				2.1		●		●	0.7
<i>Ephemerella setigera</i>				0.7	2.8									●						1.4			
<i>Uracanthella punctisetae</i>				9	44.4				0.7					●	4.2	57.6						3.5	42.4
Family Caenidae																							
<i>Caenis nishinoae</i>															0.7								

Appendix. Continued.

Scientific name (Inds./m ²)	O1	O2	O3	O4	O5	S1	S2	S3	S4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
Order Odonata																							
Family Gomphidae																							
<i>Davidius lunatus</i>				●										●		●							●
<i>Nihonogomphus</i> KUa				●	0.7																		●
<i>Trigomphus melampus</i>																							
Family Libellulidae																							
<i>Sympetrum vulgatum imitans</i>						0.7																	
Order Plecoptera																							
Family Taeniopterygidae																							
<i>Taenionema</i> sp.		0.7		0.7		31.9		6.9	2.1			1.4	5.6	4.9	2.8			0.9	43.8	61.1	34.7	64.6	
Family Nemouridae																							
<i>Amphinemura coreana</i>	0.7	2.1		2.8	0.7	37.5	18.8	●	1.4	6.5	4.6	18.1	5.6	9.7	●		●	0.7	0.7		●		
<i>Amphinemura</i> KUa	1.4	1.4	2.8	0.7	0.7					0.9	3.7	4.2	3.5	6.3			2.1	19.4	24.3	7.6	13.2	0.7	
<i>Nemoura</i> KUa		0.7															13.9	2.1					
<i>Nemoura</i> KUb	0.7	10.4	9			1.4			●	10.2	13.9	14.6	9.7	10.4	0.7		13.9	2.1	2.1	3.5	2.8	1.4	
<i>Nemoura</i> tau			0.7			●	2.8					0.7	●	1.4			4.9	16.7	●	●	●	2.1	
<i>Protonemura</i> KUa	1.4	2.1			0.7	9	6.9	0.7	1.4	3.7	7.4	1.4	1.4	0.7			148.3	22.4	6.9		1.4	●	
Family Capniidae																							
<i>Capnia</i> KUa																							
<i>Paracapnia recta</i>											0.9	0.7		●	●		0.7	4.2	0.7		0.7	0.7	0.7
Family Leuctridae																							
<i>Rhopalopssole mahunkai</i>								●										3.5					
Family Perlodidae																							
<i>Yoraperla</i> KUa	●	0.7											1.4				1.4	2.8		0.7			
Family Perlodidae																							
<i>Archynopteryx</i> KUa		0.7	2.1		●														●	●	0.7		
<i>Isoperla</i> KUa			0.7															0.7	2.1	23.6	22.9	10.4	3.5
<i>Megarcys ochracea</i>		2.1												0.7				1.4	●	●	●		
<i>Perlodes</i> KUa																		●					
<i>Stavsolus</i> KUa	5.6	12.5	11.1	38.2	6.9			2.8	●			1.4		8.3	2.1	9.7	11.8	11.8	13.9	17.1	29.2	8.6	0.3
Family Perlidae																							
<i>Kamimuria coreana</i>	0.7	0.7	0.7	4.9	8.3	12.5	3.5	6.9	18.8	1.9	4.6	4.9	6.3	2.8	5.6	●		2.8	5.6	0.7	3.5	2.8	●
<i>Kiotina decorata</i>							0.7				1.9								●				
<i>Oyamia nigribasis</i>			●			0.7	6.3	15.3	3.5					8.3	10.4	1.4	0.7					1.4	
<i>Paragnetina flavotincta</i>				2.1	4.2	0.7	6.3								0.7			2.1	1.4		0.7	1.4	
Family Chloroperlidae																							
<i>Alloperla joosti</i>															0.7								
<i>Alloperla rostellata</i>														0.7									
<i>Sweltsa</i> KUa																							
<i>Sweltsa nikkoensis</i>	6.9	29.9	4.9	2.8	1.4	12.5	6.9	4.9	0.7	0.9	2.8	6.9	2.8	9.7	0.7		20.6	38.2	10.4	1.4	0.7	3.5	2.8
Order Hemiptera																							
Family Notonectidae																							
<i>Notonecta</i> sp.										●													
Family Gerridae																							

Appendix. Continued.

Scientific name (Inds./m ²)	O1	O2	O3	O4	O5	S1	S2	S3	S4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
Gerridae sp.																	●						
Order Megaloptera																							
Family Sialidae																							
<i>Sialis</i> KUa										●													
Order Coleoptera																							
Family Dytiscidae																							
<i>Guignotus</i> sp.				●					●								0.7						
<i>Laccophilus</i> sp.																							
<i>Neonectes natix</i>				●	1.4											●				0.7			
<i>Rhantus pulverosus</i>													●										
Family Hydrophilidae																							
<i>Helochaetes striatus</i>																	0.7						
Family Helodidae																							
<i>Helodidae</i> sp.			27.8			34.7	4.9		1.4	1.9	3.5	0.7	16	1.4									
Family Elmidae																	●	1.4					
Elmidae sp.																					0.7		
Family Psephenidae																							
<i>Eubrianax</i> KUa									●														
Order Diptera																							
Family Tipulidae																							
<i>Antocha</i> KUa	0.7	0.7	2.1	8.3	4.2			●	●							5.6	0.7	4.2	●			1.4	38.2
<i>Dicranomyia</i> KUa																	1.4						
<i>Dicranota</i> KUa	0.7	0.7								1.9							●	2.1	2.1	●			
<i>Hexatoma</i> KUa	0.7	2.8	7.6	31.9	18.1	0.7	0.7	4.9	3.5		0.7	●	4.9	1.4	2.1	2.1	0.7	3.5	5.6	4.9	3.5	15.3	2.8
<i>Hexatoma</i> KUc																			●				
<i>Pedica</i> KUa	●																						
<i>Tipula</i> KUa			0.7	0.7																			
<i>Tipula</i> KUc	●	0.7	7.6	●	●										●	●		2.1					
<i>Tipulidae</i> sp.															1.4								
Family Dixidae																							
<i>Dixidae</i> sp.																			0.7				
Family Simuliidae																							
<i>Simulium</i> sp.	7.6	2.1	1.4	17.4	2.8	7.6	2.1	●	0.7				0.7	1.4	0.7	●	1.4	4.9	2.1		9.7		2.8
Family Ceratopogonidae																							
<i>Ceratopogonidae</i> sp.														2.1	0.7					2.1		9	
Family Chironomidae																							
<i>Chironomidae</i> sp. 1	0.7	5.6	43.1	44.4	22.2	15.3	2.1	2.1	6.3	3.7	5.6	10.4	21.5	20.1	12.5	4.2	2.1	3.5	2.8	2.1	9	4.9	18.8
<i>Chironomidae</i> sp. 2	0.7	3.5	11.8	49.3	9.7		●	5.6	●			0.7				●	4.9	4.9	5.6	13.2	●	6.3	
<i>Chironomidae</i> sp. 3	1.4	2.8	3.5	7.6	2.1			2.1	2.1	0.9					0.7		4.9	8.3	4.2	0.7	6.3	1.6	16
<i>Chironomidae</i> sp. 4	1.4	2.8	6.9	13.9	2.1		2.8	0.7			2.8		2.1	1.4		0.7		1.4	1.4			4.9	0.7
<i>Chironomidae</i> sp. 5					0.7																		
<i>Chironomidae</i> sp. 6									2.1				●	2.1	36.8	2.8	1.4	0.7	13.9		9	54.2	47.9
<i>Tanypodinae</i> sp.	1.4	2.1	4.9	29.2	2.1	1.4	●	0.7	0.7			4.2	2.1	●		0.7			●	1.4	2.1	1.4	
Family Blepharoceridae																							

Appendix. Continued.

Scientific name (Inds./m ²)	O1	O2	O3	O4	O5	S1	S2	S3	S4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
<i>Bibiocephala</i> KUa														1.4			1.4			1.4		0.7	●
<i>Philorus</i> KUa																							
Family Athericidae																							
<i>Atherix</i> KUa				0.7																			
Family Stratiomyiidae																							
<i>Stratiomyia</i> KUa			0.7																				
Family Empididae																							
<i>Empididae</i> sp.			0.7			0.7															●		
Family Dolichopodidae																							
<i>Dolichopodidae</i> sp.			0.7															0.7			0.7	●	
Family Tabanidae																							
<i>Tabanus</i> sp.															●		0.7						
Order Trichoptera																							
Family Rhyacophilidae																							
<i>Rhyacophila articulata</i>	11.8	9.7	0.7	0.7	0.7	5.6	2.1	0.7	0.7	2.8	0.9	2.1	1.4	2.8			14.6	4.4	5.6	4.2	●	1.4	
<i>Rhyacophila bilobata</i>	●				●	●	0.7										1.4						
<i>Rhyacophila brevicephala</i>	0.7	●			0.7	0.7		0.7						2.1		1.4	0.7	2.1	6.9	2.1	5.6	4.9	2.1
<i>Rhyacophila clemens</i>	5.6	9.7				6.3	0.7					1.4	0.7	0.7				5.6	2.8	2.1	0.7	0.7	2.8
<i>Rhyacophila impar</i>				1.4																			
<i>Rhyacophila</i> KUa		1.4	0.7		●		0.7	0.7	0.7	1.9	0.9	0.7	1.4	2.1	0.7			0.7					
<i>Rhyacophila</i> KUb		1.4			0.7									0.7						4.2	●	0.7	0.7
<i>Rhyacophila narvae</i>					0.7			1.4	2.1							●			1.6	5.6	2.1	0.7	
<i>Rhyacophila nigrocephala</i>		0.7	4.9	12.5	5.6	1.4	4.9	2.1	3.5	1.9	0.9	0.7	0.7	2.1	1.4		2.8		0.7	2.8	7.6	13.2	20.8
<i>Rhyacophila retracta</i>		3.5		5.6	4.2	●		●								0.7			2.1	2.8	1.4	2.8	0.7
<i>Rhyacophila shikotsuensis</i>	0.7	0.7	1.4		0.7	3.5		0.7	8.3	3.7	1.4	2.8	0.7				3.5	8.3	2.1		0.7	1.4	2.8
<i>Rhyacophila yamanakensis</i>																							
Family Hydrobiosidae																							
<i>Apsilochorema</i> KUa	13.2	6.3	2.1	0.7	1.4	4.2						0.7	0.7				3.5	●		0.7	0.7		
Family Glossosomatidae																							
<i>Agapetus</i> KUa	0.7																		0.7	0.7			4.9
<i>Glossosoma</i> KUa	6.3	1.4	4.9	18.8	22.9	1.4		0.7	0.7			2.1				0.7			2.8	6.9	2.1	8.3	2.1
Family Philopotamidae																							
<i>Dolophilodes</i> KUa									1.4	●	1.9		0.7		●			2.1	1.4	2.1	1.4		
<i>Wormaldia</i> KUa																	1.4				2.8		
Family Stenopsychidae																							
<i>Stenopsyche bergeri</i>	2.1	0.7	1.4	1.4	9				0.7									●					17.4
<i>Stenopsyche marmorata</i>			2.8	0.7	1.4			0.7	2.1							4.9	19.4						
Family Arctopsychidae																1.4	13.9		●	4.9	7.6	12.5	39.6
<i>Arctopsyche ladogensis</i>																		●					
Family Hydropsychidae																							
<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>									●							5.6							4.9
<i>Cheumatopsyche</i> KUa																					●		
<i>Cheumatopsyche</i> KUb																					●		
<i>Diplectrona</i> KUa	0.7																						

Appendix. Continued.

Scientific name (Inds./m ²)	O1	O2	O3	O4	O5	S1	S2	S3	S4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
<i>Hydropsyche kozhantshikovi</i>	1.4				●										0.7	8.3						0.7	16.7
<i>Hydropsyche orientalis</i>	22.2	71.5	70.1	272.2	70.1	13.9	2.8	4.2	91.7		2.8	7.6	7.6	15.3	18.8	35.4		11.1	34	28.3	66.7	160.4	172.9
<i>Hydropsyche valvata</i>															0.7	2.8							
Family Polycentropodidae																							
<i>Plectrocnemia</i> KUa	●	0.7							●	●	0.9	0.7	0.7		●	1.4	●	●					
Family Psychomyiidae																							
<i>Psychomyia</i> KUa														0.7									
Family Limnephilidae																							
<i>Hydatophylax nigrovittatus</i>	5.6	6.9	●	2.8	6.3	0.7	0.7			20.4	3.7	4.9	7.6	2.1	0.7		35.4	3.5	3.5			●	
Limnephilidae sp. 1		0.7					●										0.7						
Limnephilidae sp. 2				●													●	2.8	0.7				
Limnephilidae sp. 3										●													
Limnephilidae sp. 4										●													
<i>Nothopsyche</i> KUa																●							
Family Goeridae																							
<i>Goera japonica</i>		0.7		●		●													●	0.7		●	0.7
Family Uenoidae																							
<i>Neophylax ussuriensis</i>		0.7			1.4																		
Family Apataniidae																							
<i>Apatania</i> KUa	0.7	2.8							0.7											●			
<i>Apatania</i> KUb																		●					
Family Lepidostomatidae																							
<i>Lepidostoma</i> KUa								1.4															
<i>Lepidostoma</i> KUb	46.5	72.9	2.1	13.2	●	3.5			3.5	●	5.6	0.7	3.5	12.5	2.1	4.9	0.7	6.3	4.9	5.6	13.2	2.8	
Family Odontoceridae																							
<i>Psilotreta kisoensis</i>				●			0.7		0.7		●			●		0.7							
Family Leptoceridae																							
Order Lepidoptera																							
<i>Lepidoptera</i> sp.											0.9												
Number of individuals	273.6	479.2	517.4	1036.1	752.1	293.8	129.9	181.9	536.8	106.5	148.1	189.6	153.5	385.4	268.8	352.8	337.6	308.3	661.9	524.6	970.3	826.9	913.6
Number of species	52	57	61	70	74	39	34	41	58	29	32	33	42	60	56	63	46	66	69	56	61	68	59

● Qualitative sampling