

저서동물 군집분석에 의한 하천 건강성 연구 - 곡릉천의 보를 중심으로 -

음용용수팀, *수환경 생태팀, **고려대학교 생명과학대학

길혜경 · 김광래 · 김현국 · 고한성 · 손여준 · 홍주희
정숙녀 · 김정연 · 이만호 · 배경석* · 엄석원 · 김민영 · 배연재**

Benthic Macroinvertebrate Communities as Indicator of Stream Health: Analysis in Gokneung Stream

*Drinking and Ground Water Team, *Aquatic Ecology Team
**Korea University*

**Hye-kyung Kil, Kwang-rae Kim, Hyun-kook Kim, Han-seong Ko,
Yeo-joon Son, Joo-hee Hong, Sook-nye Chung, Jeong-yeon Kim,
Man-ho Lee, Kyung-seok Bae*, Seok-won Eom,
Min-yeoung Kim and Yeon-jae Bae****

Abstract

This study evaluated the stream health by benthic macroinvertebrate communities as an indicator of stream health. The study sites were above and below a low head dam in Gokneung stream and at control site. Sampling was carried out from April 2006 to April 2007. Silt and sand occupied more than 30% of the substrate composition at the upper site and the lower site contained numerous boulders and various microhabitats. Speciation revealed 912 benthic macroinvertebrate species at the upper site and 2,832 at the lower site. Dominance indices also differed at the two sites (0.650.85 at the upper site and 0.370.61 at the lower site) indicative of a polysaprobic and oligosaprobic area at the upper and lower site, respectively. Group pollution indices were higher at the upper site. Ecological scoring of benthic macroinvertebrate was 'poor' or 'fairly poor' at the upper site and 'good' at the lower site. The collective results indicated that low head dam has adversely affected benthos habitat. The lower site had a better environment compared with the control site.

Key words : stream health, benthic macroinvertebrate, Gokneung stream, low head dam, ecological score of benthic macroinvertebrate(ESB)

서론

하천은 과거부터 운송수로, 용수공급 등 인류의 역사발전에 공헌해 왔다. 이러한 하천에는 하천수위유지, 관개용수공급 등을 위해 주로 수중 구조물인 보가 설치되어 왔으며 온대지방에서는 일반적인 형태라 할 수 있다(1). 그러나 최근 이러한 인공구조물은 물의 흐름과 퇴적물, 영양염류의 흐름을 방해하고 서식처를 변화시켜 생물의 분포와 조성에 부정적인 영향을 주며, 하천생태계의 구조와 기능을 방해한다. 저수량이 적은 보의 경우 큰 댐과 같이 유출형태를 근본적으로 변화시키지는 않으나 유속과 퇴적물 조성에 영향을 주며 이러한 유속, 하상물질 등 서식처 환경은 생물의 분포를 변화시키며 또한 저서성 대형무척추동물 군집에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(2~4).

저서성 대형무척추동물은 하천의 먹이그물(food webs)에서 중추적인 역할을 하고 있으며 이동성이 적고 정량채집이 용이하며 서식환경조건과 수질에 따라 출현하는 종류가 서로 다르므로 이들 군집과 지표종의 조사를 통하여 대상 수역의 환경변화를 평가하는 생태학적 모니터링에 유용하게 이용되고 있다(5~6). 현재 우리나라에는 약 33,000여개 정도의 크고 작은 보나 댐이 설치되어 있다(7). 그러나 이러한 보가 저서동물에 미치는 영향에 대해서는 조사가 미흡하며, 최근 탄천에서 수질에 대한 영향이 일부 조사된 바 있다(8).

본 연구에서는 보의 상류와 하류지점에서 저서성 대형무척추동물 군집을 조사함으로써 보에 의한 하천의 건강성을 평가하고자 하였다.

연구 대상 및 방법

본 연구는 서울의 북쪽 약 30 km 지점의 도시근교 농촌에 위치한 곡릉천을 대상으로 하였다. 곡릉천은 경기도 양주군 장흥면 부곡리 개명산 첼봉(516 m)에서 발원하여 주로 동쪽에서 서쪽으로 흐르는 한강의 제1 지류로서 총 유로연장 45.7 km, 유역면적은 253.1 km²이며 유역은 경작지이다. 대상지점은 그림 1과 같이 경기도 고양시 오

금동에 위치한 곡릉1보이며 인근에 농업용수 공급을 위해 축조되었다. 조사지점은 보 상류 저수역을 상류지점, 보 직하류의 유수역을 하류지점, 보의 영향을 받지 않는 500 m 상류지점을 대조지점으로 선정하였다.



Fig. 1. A map showing study area of Gokneung stream.

야외조사는 2006년 4월, 6월, 9월, 12월, 2007년 4월 등 총 5회에 걸쳐 실시하였다. 하상물질은 surber sampler를 이용하여 무척추동물을 채집하고 난 뒤 그 범위 내에 있는 하상물질을 채취하였고 sieve를 이용하여 입경별로 boulder(128 mm 이상), cobble(64~128 mm), pebble(16~64 mm), gravel(2~16 mm), silt and sand(2 mm 이하)의 5단계로 구분하여 무게를 측정하여 조성비율을 산출하였다. 저서성 대형무척추동물은 정량채집과 정성채집을 실시하였으며 정량채집은 surber sampler(30 cm×30 cm, mesh size 0.2 mm)를 이용하여 각 지점에서 3회씩 채집하였으며 정성채집은 수초대, 돌 밑 등 다양한 미소서식처에서 실시하였다. 채집한 시료는 현장에서 Kahle's 용액에 고정하여 실험실로 옮겨와 무척추동물을 고른 후 80% ethanol에 보존하고 동정에 이용하였다. 동정과 분류는 기존의 검색표와 분류문헌을 이용하였다(5, 9). 군집분석은 정량자료를 이용하였으며 우점도지수는 McNaughton's species dominance index를 이용하여 산출하였으며, 다양지수는 Shannon species diversity index를 이용하였다(10). 수생태건강성 평가는 ESB(ecological

score benthic macroinvertebrates)(11) 및 간 이수질 판정법인 GPI(group pollution index)를 이용하였다(9).

결과 및 고찰

1. 환경요인

미소서식지를 구성하는 하상물질은 생활사 일부 또는 전부가 수중에서 이루어지는 저서성 대형무척추동물에게 중요한 서식처를 제공하며, 유속, 수온과 더불어 저서성 대형무척추동물의 서식에 매우 중요한 환경요인이다(12~13). 미세입자는 굴파는 무리인 하루살이류, 깔따구류에 다양한 서식처를 제공하며, boulder 등 다양한 입자로 구성된 하상은 표면성, 부착성인 대부분의 저서성 대형무척추동물이나 납작하루살이 등에게 다양한 서식처를 제공할 수 있다(14).

곡릉천에서 하상조성물질을 조사한 결과는 그림 2와 같다. 상류지점은 2 mm 이하의 미세입자가 30% 이상을 점유하고 있고 boulder의 조성 비율은 상대적으로 낮게 나타났다. 반면 하류지점과 대조지점은 silt와 sand 비율이 5% 이하, boulder의 비율이 50% 이상으로 매우 높았으며 상류지점에 비해 하상물질의 이질성이 더 높았다.

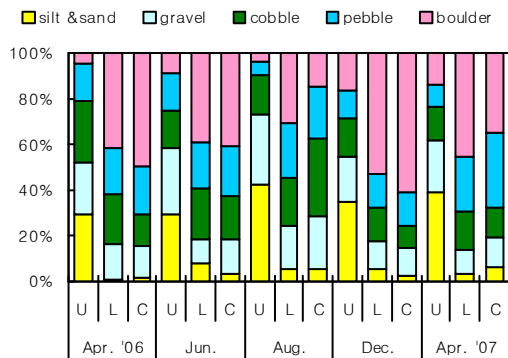


Fig. 2. Average relative composition of substrate size fractions at each site.

또한 상류지점은 pool 지역이 광범위하게 형성되어 있으며, 대조지점은 run, riffle 지역, 하류지

점은 run, riffle, pool 지역이 다양하게 형성되어 있어 다양한 미소서식처가 잘 발달되어 있었다.

2. 저서성 대형무척추동물 군집 평가

1) 종 풍부도

곡릉천 조사지점에서의 저서성 대형무척추동물상은 4문 8강 18목 44과 100종이 출현하였다. 종 풍부도는 유속, 하상물질조성의 이질성이 낮아 서식처가 단순한 상류지점이 가장 빈약한 것으로 나타났다. 4월 조사에서 상류지점은 7종으로 하류 및 대조지점의 23종, 28종에 비해 매우 낮았으며, 12월에도 대조지점과 하류지점이 각각 28종, 30종이었으나 상류지점은 14종으로 매우 낮았다. 하류지점은 대조지점에 비해 미소서식처가 상대적으로 더욱 다양하여 종 풍부도가 높게 나타났다. 일반적으로 미세입자가 적은 cobble 서식지는 silt 지역보다 종다양성이 높다고 알려져 있다. 또한 하상이 가는 모래나 점토로 덮여 있으면 곤충이 부착할 수 없기 때문에 하류로 이동되며(15) 미세 퇴적물질은 이들에게 부정적인 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다(16). 본 연구에서도 보는 상류지점에서의 저서성 대형무척추동물 서식에 불리하며 군집조성에 큰 변화를 주는 것으로 나타났다. 그러나 하류지점은 다양한 크기의 하상물질로 구성되어 입자상 유기물질이 돌 등에 부착되어 저서성 대형무척추동물의 서식처나 먹이원을 제공할 수 있는(2) 양호한 서식환경을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

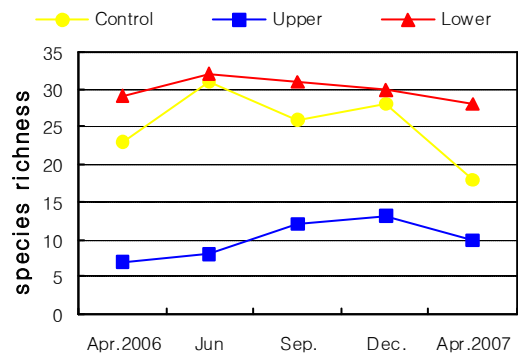


Fig. 3. Species richness of benthic macroinvertebrates at the study sites.

각 지점별 종조성을 보면 유수성이며 돌 등의 표면 고착성인 줄날도래류(Hydropsychidae)는 대조지점과 하류지점에서는 우세하게 출현하였으나 상류지점에서는 1~2개체만이 출현하였다. 꼬마하루살이류(Baetidae)는 대조지점과 하류지점에서는 4~7종 출현하였으나 상류지점에서는 1종이 출현하였으며 돌표면에 붙어 서식하는 무리인 납작하루살이류(Heptageniidae)도 상류지점에서는 출현하지 않았다. 그러나 모래 등 미세입자 사이를 파고들어 서식하는 동양하루살이(*Ephemera orientalis*)는 하류지점이나 대조지점에 비해 상류지점에서 비교적 우세하게 출현하여 이들 서식처의 특성을 잘 반영하고 있었다.

2) 생물지수에 의한 평가

곡릉천에서 보를 중심으로 한 각 지점별 우점종과 우점도 지수는 표 1과 같다. 상류지점에서는 비교적 수질 등 서식지 환경이 좋지 않은 곳에서도 광범위하게 서식하는 실지렁이류(Tubificidae

sp.)와 깔따구류(Chironomidae spp.)가 조사기간 전반에 걸쳐 우점종으로 출현하였다. 반면 하류지점과 대조지점에서는 봄철조사를 제외하고 6월과 12월 조사에서는 줄날도래(*Hydropsyche kozhantschikovi*)와 꼬마줄날도래(*Cheumatopsyche brevilineata*)가 우점하였고, 9월 조사에서는 꼬마하루살이(*Baetis fuscatus*)와 등줄하루살이(*Uracantella rufa*)가 우점종으로 출현함으로써 계절에 따른 다양한 변화를 나타내고 있었다. 따라서 보에 의해 상류와 하류의 서식처 환경이 변화됨으로써 출현하는 우점종도 지점간에 서로 상이하게 나타났으며 특히 상류지점의 경우 특정종의 서식에 유리한 단순한 서식처환경특성을 보여 주었다. 또한 이들에 의한 우점도지수는 상류지점이 0.65~0.85로 대조지점의 0.37~0.67, 하류지점의 0.37~0.61에 비해 특정종의 우점율이 높은 것으로 나타났다.

하천은 동적인 계이지만 종다양성은 하천의 자연상태를 반영하는 중요 척도가 될 수 있다. 일반

Table 1. Dominant species and McNaughton's dominance indices(DI) of benthic macroinvertebrates at the study sites

Term	Sites	Dominant species	DI
2006 Apr.	Control	Tubificidae sp., Chironimidae spp.	0.67
	Upper	Tubificidae sp., Chironimidae spp.	0.77
	Lower	Chironimidae spp., Tubificidae sp.	0.52
Jun.	Control	Chironimidae spp., <i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>	0.37
	Upper	chironimidae spp., Tubificidae sp.	0.77
	Lower	<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i> , <i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	0.37
Sep.	Control	<i>Baetis fuscatus</i> , Chironimidae spp.	0.49
	Upper	Chironimidae spp., Tubificidae sp.	0.65
	Lower	<i>Baetis fuscatus</i> , <i>Uracantella rufa</i>	0.61
Dec.	Control	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i> , <i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>	0.54
	Upper	<i>Chironimidae spp.</i> , <i>Tubificidae sp.</i>	0.76
	Lower	<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i> , <i>Cheumatopsyche brevilineata</i> , <i>Nigrobaetis bacillus</i>	0.42
2007 Apr.	Control	Chironimidae spp., Tubificidae sp.	0.64
	Upper	Tubificidae sp., Chironimidae spp.	0.85
	Lower	Chironimidae spp., Chironimidae spp.	0.49

적으로 안정된 생태계일수록 다양도지수가 높아진다. 종다양도지수는 그림 4와 같이 상류지점이 1.34~2.49로 낮았으며 하류지점은 2.94~3.67로 비교적 안정된 상태를 유지하고 있었다. 종다양도 지수에 따른 오수생물계열(17, 18)을 보면 하류지점의 경우 빈부수성을 나타내고 있으며 대조지점은 봄철에는 β -중부수성, 그 외에는 빈부수성을 나타내었고 상류지점은 중부수성을 나타내고 있어 보의 상류와 하류간의 수질환경에 많은 차이를 보이고 있었다. 이는 보에 의해 영양염류 등 퇴적물이 하류로 이동하지 못하고 상류지점에 퇴적되었기 때문인 것으로 사료된다.

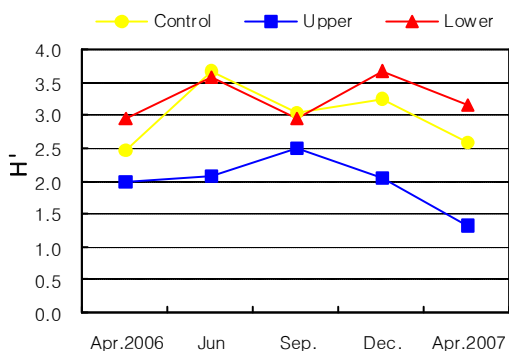


Fig. 4. Shannon's species diversity indices (H') of benthic macroinvertebrates at the study sites.

3) 수생태 건강성 평가

수생태 건강성 평가를 위해 군오염지수(GPI)를 분석하였다. 지표성이 높은 저서성 대형무척추동물군의 출현 여부로써 수환경을 평가하는 군오염지수는 0~4 사이의 수치로 나타내며 수치가 낮을수록 수질은 청정하고 오염이 덜 되었음을 나타낸다(9). 조사지점의 군오염지수는 그림 5에서와 같이 상류지점은 연중 군오염지수가 2.0이상으로 하류지점 및 대조지점에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 보가 상류지점의 수생태 건강성에는 영향을 미치나 하류지점에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

대상지역에 출현하는 모든 종의 상대적인 오염 내성치를 반영하여 수환경을 평가하는 수환경평가

지수(ESB)로 건강성을 평가한 결과는 그림 6과 같다. 보의 상류지점은 수환경상태가 겨울철을 제외하고는 24~35로 불량하거나 다소 불량한 수역으로 평가되었으며 하류지점은 80이상으로 연중 매우 양호한 수역으로 대조지점보다 높게 평가되었다.

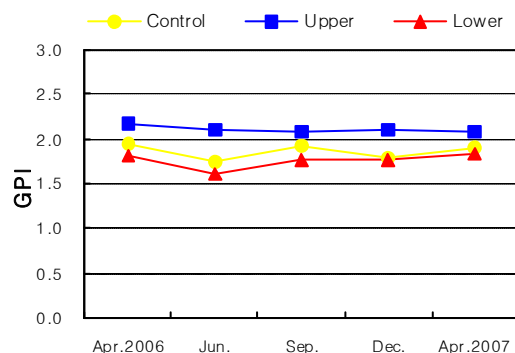


Fig. 5. Group pollution index of benthic invertebrates at the study sites.

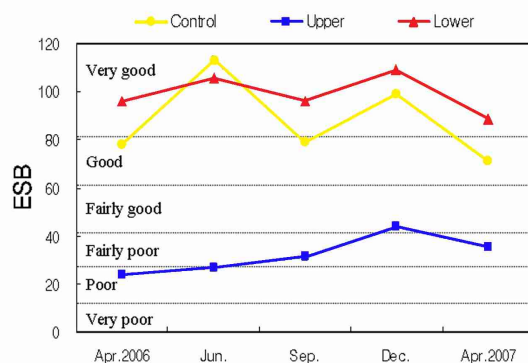


Fig. 6. Ecological score of benthic macroinvertebrates at the study sites.

수환경평가 결과, 보의 상류지점에서 저서성 대형무척추동물의 서식환경을 부정적으로 변화시키는 것으로 나타났다. 하류지점은 대조지점보다 오히려 환경질이 좋은 것으로 평가되었는데 이는 대상하천의 하류지점이 대조지점과 하상물질의 조성은 유사하나, 보에 의해 유속이 완만한 지점과 빠른 지점 등이 다양하게 형성되어 있고 완만한 지점에 수초대가 잘 형성되어 다양한 미소서식처가

상대적으로 잘 발달되어 있기 때문에 저서성 대형 무척추동물 서식에 유리한 환경을 제공하고 있는 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 하천에 설치된 보를 중심으로 저서성 대형무척추동물 군집에 의한 하천 건강성을 평가하고자 하였다. 대상하천은 곡릉천이며 보의 상류지점과 하류지점, 보의 영향을 받지 않는 대조지점을 선정하여 2006년 4월부터 2007년 4월까지 저서성 대형무척추동물군집을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

하상조성물질은 보의 상류지점은 silt와 sand의 비율이 30% 이상으로 높았고 하류지점은 boulder의 비율이 높고 이질성이 높으며 다양한 미소서식처를 형성하고 있었다. 저서성 대형무척추동물의 종풍부도는 상류지점은 9~13종이며, 하류지점은 28~32종으로 보에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다. 우점도지수와 다양도지수는 상류지점이 각각 0.65~0.85, 1.34~2.49, 하류지점이 각각 0.37~0.61, 2.94~3.67로 지점간 차이가 큰 것으로 나타났으며, 종다양도지수에 의한 오수생물 계열은 상류지점은 중부수성, 하류지점은 빈부수성으로 평가되었다. 군오염지수는 상류지점은 연중 2.0 이상으로 하류지점에 비해 높은 것으로 나타났다. 수생태 평가지수는 상류지점은 불량하거나 다소 불량한 수역, 하류지점은 양호한 수역으로 나타났다. 하천에 설치된 보는 상류지점에서 저서성 대형무척추동물의 서식환경을 부정적으로 변화시키는 것으로 나타나 하천의 건강성을 악화시켰으며, 하류지점은 대조지점에 비해 오히려 양호한 환경상태를 나타내고 있었다.

참고문헌

1. Benke AC : A perspective on America's vanishing streams. J. of North America Benthology Society, 9:77~88, 1990.
2. Doeg TJ and Koehn JD : Effects of draining and desilting a small weir on downstream fish and macroinvertebrates. Regulated River-research & Management, 9(4):263~277, 1994.
3. David DH, Thomas EJ, Karen LB, Richard JH, Angela TB, Donald FC, Daniel AK and Davd JV : Dam removal: Challenges and opportunities for ecological research and river restoration. Bioscience, 52(8):669~681, 2002.
4. Jermy ST, David PG, Mark LW and David RE : Effects of lowhead dam on riffle-dwelling fishes and macroinvertebrates in a Midwestern river. Transactions of the American Fisheries Society, 133:705~717, 2004.
5. Merritt RW and Cummins KW : An introduction to the aquatic insects of North America. 4th edition. Kendall/Hunt publishing Company, Dubuque, Iowa, USA, 2007.
6. Rosenberg DM and VH Resh(eds.) : Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman & Hall, London, 1993.
7. 농림부 : 농업생산기반정비사업통계연보. 농촌기반공사, 2007.
8. 조용모 : 수질특성과 수중보 제거를 통한 탄천 수질개선 방안. 서울특별시정개발연구원, 2007.
9. 윤일병 : 수서곤충검색도설. 정행사, 서울, 1995.
10. Smith RL and Smith TM : Ecology and Field Biology. 6th ed. Benjamin Cummings, San Francisco, 2001.
11. 환경부 : 제 2차 전국자연환경 조사 지침. 저서성 대형무척추동물. p85~143, 2000.
12. Hynes : The Ecology of running waters. University of Toronto Press, Toronto, 1970.

13. Wise DH and Molles MC : Colonization of artificial substrate by stream insects: Influence of substrate size and diversity. *Hydrobiologia*, 65:69~74, 1979.
14. Williams DD : Some relationship between stream benthos and substrate heterogeneity. *Limnology and Oceanography*, 25:166~172, 1980.
15. Newcombo CP and Mackonald DD : Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. *North American Journal of Fisheries management*, 11:72~82, 1991.
16. Wood PJ and PD Armitage : Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environmental Management*, 21:203~217, 1997.
17. Wilhm JL and TC Dorris : Biological parameters of water quality. *Bioscience*, 18:477~481, 1968.
18. Staub RJ, JW Appling AM Hofstetter and IJ Hass : The effects of industrial wastes of Memphis and Shelby county on primary plankton producers. *Biosciences*, 20:905~912, 1970.