

왕피천 저서성 대형무척추동물의 섭식기능군을 이용한 군집분석^{1a}

박영준² · 임현명² · 김기동² · 조영호³ · 남상호³ · 권오석^{4*}

Community Analysis Based on Functional Feeding Groups of Benthic Macro Invertebrate in Wangpi-cheon^{1a}

Young-Jun Park², Heon-Myong Lim², Ki-Dong Kim², Young-Ho Cho³, Sang-Ho Nam³, Oh-Seok Kwon^{4*}

요 약

본 연구는 왕피천의 섭식기능군을 이용해 군집분석을 실시하기 위한 것으로 2007년 10월부터 2008년 5월까지 총 4회에 걸쳐 조사를 수행하고 그 결과를 분석하였다. 조사시기동안 출현한 저서성 대형무척추동물은 총 4문 6강 16목 58과 138종이었으며, EPT index 값은 61.59%로 매우 높게 나타나 왕피천의 하천생태계는 매우 청정하고 건강한 것으로 분석되었다. 왕피천의 하천지점별 섭식기능군을 살펴본 결과 굵어먹는 무리와 주위먹는 무리가 지류에 비해 우점하고 있는 일반적인 하천 종류의 특징을 보이는 그룹과 찢어먹는 무리가 본류에 비해 높은 비율을 차지하고 있는 상류 특성을 보이는 지류의 그룹인 두 개의 그룹으로 나뉘어졌다. 유사도 지수를 근거로 각 지점별 클러스터 분석을 실시해 본 결과, 자연 상태의 비교란 지역(A그룹)과 제방 및 보 등에 의한 인위적 교란지역(B그룹; 지점 8, 11)으로 그룹화 되었다. 또한 비교란 지역은 본류(지점 1, 2, 3, 4, 7) 및 지류(지점 5, 6, 9, 10)의 특성을 갖는 두개의 그룹으로 분류됨을 확인 할 수 있었다.

주요어: 생태-경관보전지역, 유사도 지수, EPT index

ABSTRACT

Community analysis based on functional feeding groups of benthic macro invertebrates at Wangpi-cheon was assessed with the result of four field survey from October, 2007 to May, 2008. A total 138 species of benthic macro invertebrates in 58 families, 16 orders, 6 classes, and 4 phyla were collected during the field surveys. The result of EPT index value showed high value of 61.59% and it means that the stream ecosystem of Wangpi-cheon is very clear and healthy. In this study the functional feeding groups in Wangpi-cheon were divided into two groups. First, Scrapers and Collectors-Gathering group which is normally dominant in midstream showed higher dominance in main stream than tributary. Second, shredders group showed higher dominance in tributary than main stream like as the general characteristics of upriver. With the result of cluster analysis based on the similarity index, the study areas could be grouped into a natural area(A group) and an artificial disturbance

1 접수 2010년 5월 31일, 수정(1차: 2010년 8월 27일, 2차: 2010년 10월 22일), 게재확정 2010년 10월 23일

Received 31 May 2010; Revised(1st: 27 August 2010, 2nd: 22 October 2010); Accepted 23 October 2010

2 국립환경과학원 자연자원연구과 Nature Conservation Research Division of NIER, Incheon(404-708), Korea

3 대전대학교 생명과학과 Dept. of Biological Science Daejeon Univ., Daejeon(300-716), Korea

4 경북대학교 농업생명과학대학 응용생명과학부 School of Applied Biosciences, College of Agriculture and Life Sciences, Kyungpook National Univ. Daegu(702-701), Korea

a 이 논문은 2007년도 대구지방환경청의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

* 교신저자 Corresponding author(ecoento@paran.com)

area(B group; site 8 and 11) where embankment, bank and levee had been built near by. And also, the natural area(A group) was classified into two groups which had the characteristic of main(site 1, 2, 3, 4 and 7) stream and tributary(site 5, 6, 9 and 10) respectively.

KEY WORDS: CONSERVATION AREAS OF LANDSCAPE AND ECOSYSTEM, SIMILARITY INDEX, EPT INDEX

서론

하천생태계에서 생물군집은 자연적인 환경 변화뿐만 아니라 수질 오염 등의 인위적인 변화 정도에 따라 생물 개체나 집단의 구조와 기능의 차이를 나타내기 때문에 이들에 대한 분석은 수계에 대한 환경변화의 영향을 평가하는데 매우 유용하다고 할 수 있다(Power *et al.*, 1988; Resh *et al.*, 1988). 이러한 하천생태계내 구조에 대한 생물군집의 생물학적 조사는 이미 18C 중엽부터 유럽을 중심으로 연구되어 왔으며, 하천내의 생물은 생산자인 조류(algae)에서부터 1차 또는 2차 소비자인 대형무척추동물, 최종소비자인 어류나 다른 대형무척추동물, 그리고 분해자인 미생물로 구성되어 있다. 이들 중 특히 저서성 대형무척추동물의 대부분을 차지하고 있는 수서곤충은 종 수와 개체수가 풍부하여 하천생태계의 생물다양성을 대표하고 있다(Allan, 1995). 또한, 수환경으로부터 유입되는 물질의 영향을 직접 받아 서식 장소를 선택하고 이동성이 약하기 때문에 수계의 환경 상태를 평가하는데 적합한 지표생물군(Wilhm and Dorris, 1968; Wilhm, 1972)으로서 수질오염의 정도를 파악하는데 있어 생태학적인 연구소재로 많은 관심과 연구가 이루어지고 있다.

하천생태계내 기능에 대한 대표적인 연구로는 다양한 먹이 자원의 획득방법에 따른 영양단계를 설명할 수 있는 섭식기능군(Functional feeding groups; FFGs)의 분류가 제시된 바 있고(Cummins, 1973), 이를 체계화하려는 일련의 연구가 시도되었다(Cummins, 1974; Cummins and Klug, 1979; Merritt and Cummins, 1984; 1996). 또한 각 분류군 별로 섭식기능군의 세분화 작업을 수행한 바 있다(Behmer and Hawkins, 1986; Beisser *et al.*, 1991; Bunn, 1986; Grown and Davis, 1994; Hawkins and Sedell, 1981; Wallace and Merritt, 1980). 국내의 경우 Ro(2002)는 Merritt-Cummins의 체계를 토대로 다양한 선행 조사자료와 문헌자료로 한국산 수서곤충류 섭식기능군의 유형 분류 및 생태적 중요성을 체계적으로 정리하였으며, 수서곤충 군집구조와 섭식기능군 구성에 따른 하수의 분석과 섭식기능군이 생태계 내 군집 안정성에 기여하는 정도를 규명하려는 등의 연구가 매우

다각적인 방법으로 진행되고 있다(Bae *et al.*, 2003; Park *et al.*, 2006; Ro and Chun, 2004; Shin *et al.*, 2006; Won *et al.*, 2005).

인간의 문명은 물과 함께 시작되어 발전해 왔다고 해도 과언이 아니다. 이렇게 인간에게 매우 필수적이며 유익한 수자원의 중요성을 간과하여, 최근의 수자원은 산업화와 도시화에 의한 무분별한 개발과 허술한 보전으로 환경이 크게 훼손되었다. 정도의 차이는 있지만 국내에 인위적인 영향을 받지 않은 하천이나 강은 거의 없는 실정이며, 이러한 인위적인 교란에 몸살을 앓고 있는 하천이나 강의 보존과 보전은 인간의 문명을 지속시키기 위한 필연적인 일이라고 할 수 있다. 국내에서도 최근에 삶의 질이 향상됨과 동시에 자연환경의 보존과 보전에 대한 인식이 보편화되면서 환경에 대한 관심이 날로 증가하고 있다. 이것에 힘입어 국가나 지방자치체 및 여러 환경단체들이 힘을 모아 인위적인 영향을 가장 덜 받은 지역을 지정하여 보전하려는 노력을 기울이고 있다. 1989년 이래로 지정된 생태·경관보전지역 29개소 중에는 1989년 낙동강 하구와 2002년 동강유역 그리고 2005년 왕피천 유역이 수계를 중심으로 형성된 생태계보전지역으로 지정·관리되고 있다. 특히 왕피천 유역은 2006년에 범위가 확대 지정되어 생태·경관보전지역 29개소의 전체 면적의 40%에 달하는 국내에서 가장 큰 생태계보전지역으로 지정·관리되고 있어 그 중요성이 더욱 크다고 할 수 있다(The Ministry of Environment, 2006).

따라서 본 연구에서는 하천생태계의 생물다양성을 대표하는 저서성 대형무척추동물의 군집구조 및 섭식기능군을 통해 왕피천 수계의 구조와 기능을 분석함으로써 하천 고유의 서식환경 및 먹이자원 특성과 인위적 간섭 정도와 같은 관리현황을 파악함과 동시에 향후 생태·경관보전지역 설정 시 활용될 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황 및 조사 시기

본 연구의 조사지역인 왕피천은 총 길이가 60.95km이고

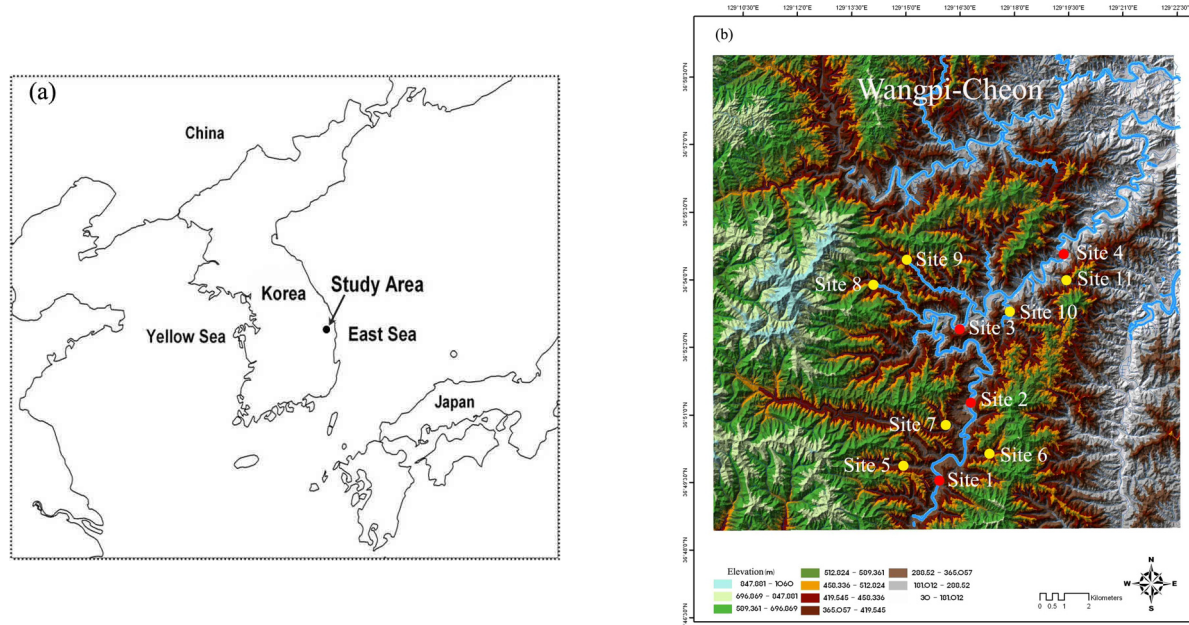


Figure 1. Map of the study area(a) with survey sites(b)

- * Site 1: Suha-ri, Subi-myeon, Yeongyang-gun, Gyeongsangbuk-do (N36°49' 32.1" , E129°15' 33.7")
- Site 2: Wangpi-ri, Seo-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do (N36°50' 49.6" , E129°16' 38.1")
- Site 3: Wangpi-ri, Seo-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do (N36°51' 37.7" , E129°16' 51.6")
- Site 4: Wangpi-ri, Seo-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do (N36°53' 38.3" , E129°18' 46.8")
- Site 5: Suha-ri, Subi-myeon, Yeongyang-gun, Gyeongsangbuk-do (N36°49' 49.8" , E129°15' 21.5")
- Site 6: Suha-ri, Subi-myeon, Yeongyang-gun, Gyeongsangbuk-do (N36°49' 49.5" , E129°16' 31.7")
- Site 7: Suha-ri, Subi-myeon, Yeongyang-gun, Gyeongsangbuk-do (N36°50' 06.9" , E129°16' 26.6")
- Site 8: Wangpi-ri, Seo-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do (N36°54' 05.2" , E129°15' 02.4")
- Site 9: Wangpi-ri, Seo-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do (N36°53' 26.2" , E129°17' 19.102.4")
- Site 10: Wangpi-ri, Seo-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do (N36°53' 14.7" , E129°17' 40.6")
- Site 11: Wangpi-ri, Seo-myeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do (N36°53' 30.3" , E129°18' 27.8")

면적이 513.71km²인 하천으로 경북 영양군 수비면 일대에서 발원하여 경북 울진군 서면-근남면 수곡리에서 동해를 향해 동류하다 노음리에서 지류인 광천과 매화천이 합류하는 하천으로, 동해로 유입되는 하천 중에서 비교적 규모가 큰 하천에 속한다(The Ministry of Environment, 2006).

조사지점은 상류인 경상북도 영양군 수비면 수하리에서 하류인 경상북도 울진군 서면 왕피리까지 총 11개 지점(본류 4지점, 지류 7지점)을 선정하였으며(Figure 1), 조사 시기는 2007년 10월과 11월 그리고 2008년 3월과 5월로 총 4회에 걸쳐 저서성 대형무척추동물의 조사를 실시하였다.

2. 조사방법 및 분석방법

야외 조사 시 정량채집 위주로 하였고, 정성채집을 병행하였다. 정량채집은 계류용 정량채집 장비인 Surber net(30 cm×30cm; 망목지름 0.25mm)을 사용하여 주로 여울을 대상

으로 총 3회 실시하였다. 정성채집은 주로 Scoop net(망목 지름 0.25mm)를 이용하여, 정량채집 장비로 채집이 어려운 수변이나 소에 대한 조사를 실시하였고, 근집분석은 정량채집의 자료만을 이용하였다. 물리적 환경 조사 중 하폭, 수폭, 수심 및 하상물질의 경우 실측자료를 사용하여 평균값을 제시하였고, 기타 하천 총 길이 등의 지형적 환경정보는 1/25,000 지형도를 바탕으로 ArcGIS ver9.3을 통하여 분석하였다. 조사된 저서성 대형무척추동물의 섭식기능군 분류는 문헌(Cummins, 1973; 1974; Cummins and Klug, 1979; Merritt and Cummins, 1996; Ro, 2002)을 사용하였으며, 분류된 섭식기능군을 근거로 지점간의 구분을 위해 클러스터 분석을 실시하였다. 클러스터 분석에는 각 조사지점에서 분류된 섭식기능군별 자료를 통해 Bray & Curtis(1957)의 유사도 지수를 구한 후 가중평균 결합법을 사용하여 수지도를 작성하였다.

결과 및 고찰

1. 물리적 수환경

왕피천의 물리적 수환경을 조사한 결과 하천의 횡단면을 살펴보면, 하천폭의 경우 본류 평균 38.25m, 지류 평균 11.14m로 27.1m 차이를 보였고, 유수폭은 본류 평균 12m, 지류 평균 3.36m로 8.6m의 차이를 나타내었다. 또한 수심의 경우 본류 평균 0.3m, 지류 평균 0.21m로 0.09m의 차이를 보였고, 유속의 경우 본류 평균 0.98m/s, 지류 평균 1.07m/s로 0.09m/s의 차이로 조사되었다. 하상구조의 경우 본류는 큰 자갈(Cobble) 40%, 자갈(Pebble) 25%, 작은 자갈(Gravel)과 모래(sand)가 15%, 큰돌(Boulder) 5%의 순으로 나타났으며, 지류는 자갈 32.85%, 큰 자갈과 작은 자갈이 25.71%, 모래 11.43%, 큰돌 4.29%의 순으로 조사되었다 (Table 1). 또한 왕피천의 종단면을 살펴보면 최상류 지점의 해발고도가 약 720m이고, 하천의 총 길이는 60.95km로 하천구배(River Slope)는 1/84의 큰 값을 보여 하천의 길이에 비해 전체 하천의 경사가 매우 급한 전형적인 동해 유입 하천의 특징을 잘 나타내고 있다고 판단된다.

2. 종구성 및 현존량

국내에서 수계를 중심으로 한 가장 큰 “생태계보전지역”으로 지정·관리되고 있는 왕피천의 전 조사지점에서 출현한 저서성 대형무척추동물은 총 4문 6강 16목 58과 138종 8,073개체로 나타났으며, 종구성은 비곤충류 중 편형동물문 1종, 연체동물문 7종, 환형동물문 4종, 절지동물문 갑각강 2종으로 총 14종이(10.14%) 출현하였고, 수서곤충은 하루살이목 37종(26.81%), 잠자리목 8종(5.80%), 강도래목

16종(11.59%), 노린재목 10종(7.25%), 뱀잠자리목 2종(1.45%), 딱정벌레목 6종(4.35%), 파리목 13종(9.42%) 그리고 날도래목 32종(23.19%)으로 총 124종이 출현하여 89.86%의 높은 비율을 차지하는 것으로 조사되었다. 일반적으로 청정한 하천생태계에서는 하루살이목과 날도래목 및 강도래목의 점유율(EPT index)이 높게 나타나게 되는데 (Ward, 1992), 왕피천의 경우 하루살이목 26.81%, 강도래목 11.59%, 날도래목 23.19%로 이들 종의 EPT index 값은 61.59%의 매우 높은 값을 나타내어 매우 청정하고 건강한 하천생태계를 유지하고 있다는 것을 간접적으로 확인하였다(Figure 2).

각 조사지점별 출현종의 분포를 살펴보면 제 4지점에서 79종으로 가장 많은 종이 출현하였고, 제 11지점에서 46종으로 가장 적게 출현한 것으로 조사되었다. 본류에서 평균

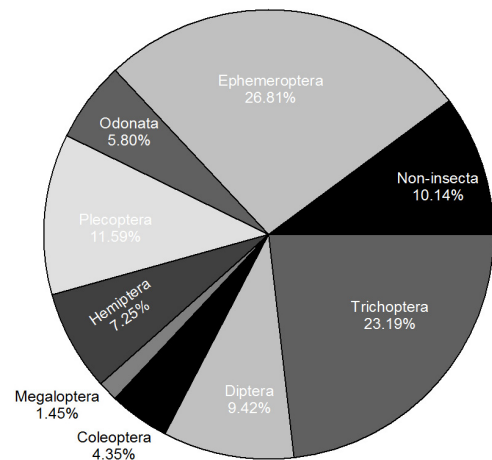


Figure 2. Accumulated species number of benthic macro invertebrates in Wangpi-cheon

Table 1. Habitat condition and general characteristics of 11 sampling sites

Sampling sites		Stream width(m)	Water width(m)	Water depth(m)	Water current(m/sec)	Substrate *B:C:P:G:S
Main stream	Site 1	34.50	10.25	0.28	0.93	B:C:P:G:S=0:4:3:2:1
	Site 2	48.20	11.75	0.29	0.83	B:C:P:G:S=0:5:2:1:2
	Site 3	31.20	10.52	0.27	0.98	B:C:P:G:S=1:4:2:1:2
	Site 4	39.10	15.54	0.36	1.20	B:C:P:G:S=1:3:3:2:1
Tributary	Site 5	16.70	6.25	0.23	1.15	B:C:P:G:S=0:1:5:3:1
	Site 6	14.60	3.25	0.17	0.68	B:C:P:G:S=1:2:3:3:1
	Site 7	13.10	2.75	0.19	0.90	B:C:P:G:S=1:3:3:2:1
	Site 8	5.70	2.25	0.21	1.10	B:C:P:G:S=1:3:2:3:1
	Site 9	8.20	3.52	0.23	1.40	B:C:P:G:S=0:4:3:2:1
	Site 10	11.40	2.75	0.28	1.83	B:C:P:G:S=0:2:4:3:1
	Site 11	8.30	2.75	0.21	0.43	B:C:P:G:S=0:3:3:2:2

*B: Boulder(>256mm), C: Cobble(64~256mm), P: Pebble(16~64mm), G: Gravel(2~16mm), S: Sand(0.1~2mm), by Cummins(1962)

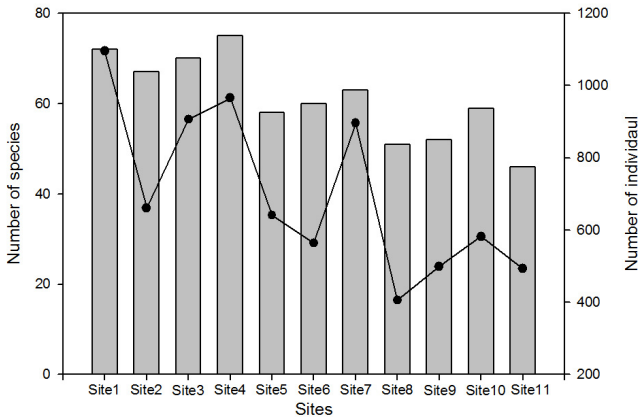


Figure 3. Comparison of number of species and individuals in 11 sites along Wangpi-cheon

71종으로 유입지류의 55.6종에 비해 15.4종의 차이를 보이고 있었으며, 개체수 역시 본류에서 평균 906.8개체로 유입지류의 583개체에 비해 323.8개체의 차이를 나타내었다. 이것은 본류의 경우 여울과 소가 연속적으로 교차되어 수중 서식처의 다양성이 유지되고, 수중의 일조량이 풍부하여 광합성에 의한 자체영양공급이 가능하기 때문에, 일반적으로 계곡천보다 평지천에 더 다양하고 많은 종이 서식하는 전형적인 하천생태계의 모습(Brönmark *et al.*, 1984a; Strayer, 1983)을 보여주고 있는 것이라 할 수 있다(Figure 3).

3. 섭식기능군

생태-경관보전지역으로 지정·관리되고 있는 왕피천 하천

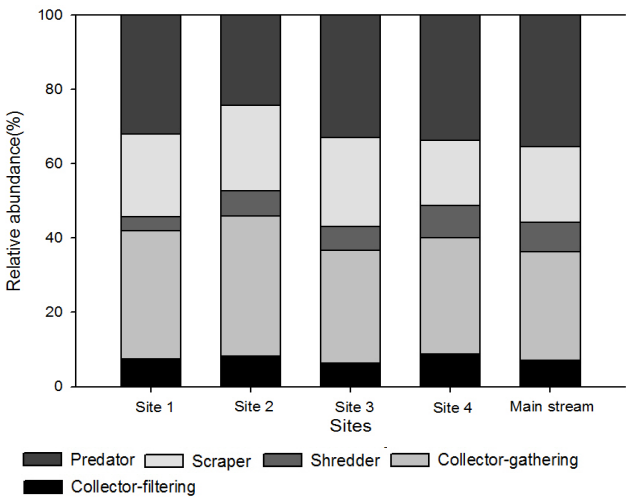


Figure 4. Composition of functional feeding groups of benthic macro invertebrates in main stream of Wangpi-cheon

생태계의 기능을 분석하기 위해서 하천연속성 개념(River Continuum Concept; RCC)과 섭식기능군(Functional Feeding Group; FFG)을 통하여 본류 및 그 유입지류를 비교·분석하였다(Appendix 1).

본류의 경우 잡아먹는 무리(Predator) 35.4%, 주워먹는 무리(Collector-gathering) 29.2%, 긁어먹는 무리(Scraper) 20.4%, 찢어먹는 무리(Shredder) 7.9% 그리고 걸러먹는 무리(Collector-filtering) 7.2%의 순으로 나타났다. 그리고 상류에서 하류로 갈수록 주워먹는 무리와 긁어먹는 무리는 점차적으로 감소하고 있었으며, 잡아먹는 무리의 경우 제 2지점의 감소를 제외하고는 비슷한 수준으로 조사되었다. 또한 찢어먹는 무리와 걸러먹는 무리의 경우 점차적으로 증가하는 경향을 보이고 있었다(Figure 4).

왕피천 유입지류의 경우 잡아먹는 무리 30.2%, 주워먹는 무리 25.4%, 긁어먹는 무리 23.0%, 찢어먹는 무리 11.9% 그리고 걸러먹는 무리 9.5%의 순으로 나타났다. 잡아먹는 무리와 긁어먹는 무리 그리고 주워먹는 무리가 전체적으로 본류에 비해 낮게 조사되었고, 걸러먹는 무리와 찢어먹는 무리는 크게 변화되지 않았다(Figure 5).

왕피천의 본류지점은 일반적인 하천의 중류의 특성인 일조량의 증가로 인한 부착조류의 번성을 보이고 있어, 긁어먹는 무리와 유기물을 주워서 분해하는 주워먹는 무리가 지류에 비해 우점하고 있고, 낙엽을 분해하는 찢어먹는 무리의 경우 우점도가 감소하고 있다. 지류의 경우 외부로부터 유입되는 낙엽이나 나뭇가지처럼 큰 고형물질인 소립 유기물(coarse particulate organic material; CPOM)을 먹이원으로 사용하는 찢어먹는 무리가 본류에 비해 높은 비율을

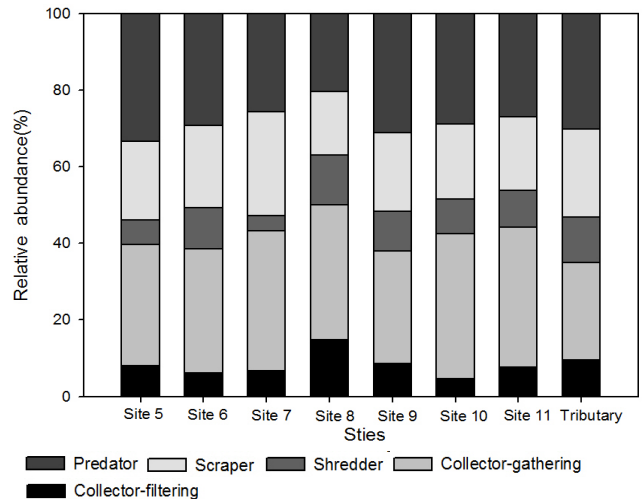


Figure 5. Composition of functional feeding groups of benthic macro invertebrates in tributaries of Wangpi-cheon

Table 2. Similarity indices between the sampling sites in the Wangpi-cheon

	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6	Site 7	Site 8	Site 9	Site 10	Site 11
Site 1	100.00										
Site 2	92.90	100.00									
Site 3	95.00	90.20	100.00								
Site 4	91.93	88.31	93.08	100.00							
Site 5	86.11	87.59	88.73	88.11	100.00						
Site 6	83.56	89.21	87.50	89.66	93.75	100.00					
Site 7	92.90	94.59	91.50	85.71	87.59	87.77	100.00				
Site 8	71.11	78.13	73.68	79.10	82.05	84.03	73.44	100.00			
Site 9	79.14	86.36	83.21	84.06	92.56	92.68	83.33	85.71	100.00		
Site10	85.71	91.43	88.28	90.41	91.47	94.66	90.00	80.00	90.32	100.00	
Site11	75.19	82.54	79.39	78.79	88.70	88.89	79.37	90.57	90.91	86.44	100.00

차지하고 있어 상류의 특성을 보이고 있다. 그러나 제 7지점의 경우 중류의 특징인 개방형하천에 의해 일조량의 증가로 썰어먹는 무리의 감소와 함께 주위먹는 무리와 굽어먹는 무리의 증가를 확인 할 수 있었다. 이러한 결과를 통해 볼 때 썰어먹는 무리와 굽어먹는 무리의 구성비에 따라 분류 및 지류의 특성이 분류될 수 있음을 확인하였다.

4. 유사도분석

각 조사지점에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 섭식기능군을 대상으로 지점간의 유사도 지수를 분석한 결과, 본류의 제 1지점과 3지점이 95%의 가장 높은 유사도를 보여 가장 비슷한 섭식기능군을 나타내는 것으로 분석되었다. 이외에도 지류의 제 6지점과 10지점이 94.66%, 본류 제 2지점과 지류 7지점이 94.59% 등으로 매우 높은 유사성을 보였다(Table 2). 이러한 이유는 앞서서도 언급했듯이 본류와 유사한 특징인 썰어먹는 무리의 감소와 굽어먹는 무리의 증가 등에 의해 다른 지류와 차이점을 보였기 때문으로 사료된다(Appendix 1).

각각의 유사도 지수를 근거로 각 지점별 클러스터 분석을 한 결과 비교란 지역(A group)과 제방 및 보 등에 의한 인위적 교란지역(B group)으로 나뉘어졌으며, 또한 비교란 지역은 본류 및 지류의 특성을 갖는 2개의 그룹으로 집단화됨을 확인 할 수 있었다. 그룹 A는 비교란 지역으로 본류의 특성을 나타내는 제 1, 2, 3, 4, 7(A-1 group)지점과 지류의 특성을 나타내는 제 5, 6, 9, 10(A-2 group)지점으로 나뉘었고, 그룹 B는 하류의 보에 의한 영향으로 상류의 지류임에도 불구하고 정수화와 같은 교란을 받는 8지점과 주변에 마을과 콘크리트 제방의 영향으로 교란을 받는 제 11지점으로 나뉘는 것을 확인 할 수 있었다(Figure 6).

본 연구결과로 하천생태계 생물군집의 특성은 하천연속성의 개념(RCC)을 이용하여 설명할 수 있다(Vannote *et*

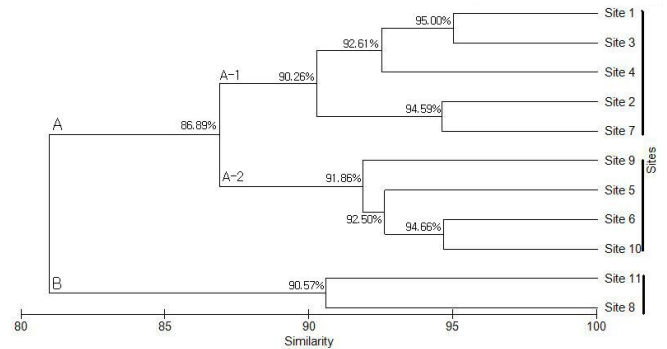


Figure 6. Cluster analysis based on benthic macro invertebrates assemblages collected at 11 sites in the Wangpi-cheon

al., 1980)는 기존의 보편적 이론을 확인할 수 있었고, 생물군집 중 하나인 저서성 대형무척추동물의 섭식기능군 특성을 통하여 생물군집의 변동 및 인위적 영향 그리고 하천생태계의 서식환경 및 먹이자원의 특성을 예측 할 수 있었다. 또한 섭식기능군의 분포예측이 가능함으로서 기존의 생태경관보전지역 평가와 설정 시에 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

인용문헌

- Allan, J.D.(1995) Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters. Chapman & Hall, London, 388pp.
- Bae, Y.J., D.H. Won, D.H. Hoang, Y.H. Jin and J.M. Hwang(2003) Community Composition and Functional Feeding Groups of Aquatic Insects According to Stream Order from the Gapyeong Creek in Gyeonggi-do, Korea. Korean J. Limnol. 36(1): 21-28.
- Behmer, D.J. and C.P. Hawkins(1986) Effects of overhead canopy on macroinvertebrate production in a Utah stream. Freshwater Biology. 16: 287-300.

- Beisser, M.C., S. Testa, III. and N.G. Aumen(1991) Macroinvertebrate trophic composition and processing of four leaf species in Mississippi stream. *J. Freshwat. Ecol.* 6: 23-33.
- Bray, J.R. and J.T. Curtis(1957) An ordination of the upland forest communities of south Wisconsin. *Eco. Monogr.* 27: 325-349.
- Brönmark, C., J. Hermann, B. Malmqvist, C. Otto and P. Sjöström(1984a) Animal community structure as a function of stream size. *Hydrobiologia.* 112: 73-79.
- Bunn, S.E.(1986) Spatial and temporal variation in the macroinvertebrate fauna of streams of the northern Jarrah forest, Western Australis: functional organization. *Freshwater Biology* 16: 621-632.
- Cummins, K.W. and M.J. Klug(1979) Feeding ecology of stream invertebrates. *Ann. Rev. Syst.* 10: 147-172.
- Cummins, K.W.(1962) An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic water. *Am. Midl. Nat.* 67: 477-504.
- Cummins, K.W.(1973) Trophic relations of aquatic insects. *Ann. Rev. Entomol.* 18: 183-206.
- Cummins, K.W.(1974) Structure and function of stream ecosystems. *Bioscience* 24(11): 631-641.
- Growns, I.O. and J.A. Davis(1994) Longitudinal changes in near-bed flows and macroinvertebrate communities in a Western Australian stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 13(4): 417-438.
- Hawkins, C.P. and J.R. Sedell(1981) Longitudinal and seasonal changes in functional organization of macroinvertebrate communities in four Oregon streams. *Ecology* 62(2): 387-397.
- Merritt, R.W. and K.W. Cummins(1984) An introduction to the aquatic insects of North America. 2nd. ed. Kendall/Hunt Publ. Co., Dubuque, Iowa.
- Merritt, R.W. and K.W. Cummins(1996) An Introduction to the Aquatic Insects or North America. 3rd. ed. Kendall/Hunt Publ. Co.
- Park, Y.J., Y.H. Cho, Y.G. Han, H.S. Oh, O.S. Kwon and S.H. Nam(2006) Fauna of Macro invertebrates and Composition of Functional Feeding Groups about the Aquatic Insects to Microhabitats from the Geum River. *J. Ecol. Field Biol.* 29(5): 415-424.
- Power, M.E., R.J. Stout, C.E. Cushing, P.P. Harper, F.R. Hauer, W.J. Matthews, P.B. Moyle, B. Statzner and I.R. Wais De Badgen(1988) Biotic and abiotic controls in river and stream communities. *Journal of the North American Benthological Society* 7: 456-479.
- Resh, V.H., H.V. Brown, A.P. Covich, M.E. Gurtz, H.W. Li, G.W. Minshall, S.R. Reice, A.L. Sheldon, J.B. Wallace and R.C. Wissmar(1988) The role of disturbance in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society* 7: 433-455.
- Ro, T.H. and D.J. Chun(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 Groups as Essential Units in Lotic Ecosystems. *Bulletin of the KACN*, No 21: 67-93.
- Shin, H.S, S.C. Park, J.K. Kim, S.J. Kim, J.H. Park, J.S. Choi and J.K. Choi(2006) Community Analysis based on Functional Feeding Groups of Aquatic Insects in Wonju Stream. *Kor. J. Env. Eco.* 20(2): 259-266.
- 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(2006) Change and Notice of Ecological Scenary Preservation Region in Wangpi-cheon. Nature Policy Division, Korea, 7pp.
- Vannote, R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell and C.E. Cushing(1980) The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137.
- Wallace, J.B. and R.W. Merritt(1980) Filter-feeding ecology of aquatic insects. *Ann. Rev. Entomol.* 25: 103-32.
- Ward, J.V.(1992) Aquatic insect ecology. John Wiley & Sons, Inc.
- Wilhm, J. and T.C. Dorris(1968) Biological parameters of water quality. *Bioscience* 18: 477-481.
- Wilhm, J.(1972) Graphic and mathematical analysis of biotic communities in polluted stream. *Annual Review of Entomology* 17: 233-252.
- Williams, D.D. and B.W. Feltmate(1992) Aquatic Insects. CBA International, Wallingford, UK.
- Won, D.H., S.J. Kwon and Y.C. Jun(2005) Aquatic insects of Korea. Korea Ecosystem Service Co., Ltd., Korea, 415pp.

Appendix 1. The list of functional feeding groups in Wangpi-cheon

Scientific name	Site1	Site2	Site3	Site4	Site5	Site6	Site7	Site8	Site9	Site10	Site11	FFG*
Planariidae sp.	○	○	○			○					○	SC
<i>Semisulcospira libertina</i> (Gould)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	SC
<i>Semisulcospira forticosta</i> (Martens)	○		○	○			○			○		SC
<i>Semisulcospira tegulata</i> (Martens)							○					SC
<i>Lymnaea auricularia</i> (Linnaeus)	○	○			○	○	○			○	○	SC
<i>Austropeplea ollula</i> (Gould)	○	○	○				○					SC
<i>Hippeutis cantori</i> (Benson)	○		○				○	○	○	○		SC
<i>Polypylis hemisphaerula</i> (Benson)							○					SC
<i>Limnodrilus gotoi</i> Hatai	○	○	○		○	○	○		○	○	○	CG
Glossiphoniidae sp.			○				○		○	○		P
<i>Whitmania acranulata</i> Whitman	○	○	○	○			○					P
<i>Erpobdella lineata</i> Muller	○	○	○	○	○		○		○	○	○	P
<i>Asellus hilgendorffii</i> Bovalius								○				SH
<i>Gammarus sobaegensis</i> Uéno				○	○	○			○			SH
<i>Acentrella gnom</i> Kluge	○	○	○	○		○	○			○		CG
<i>Acentrella sibirica</i> Kazlauskas	○	○	○		○		○	○		○	○	CG
<i>Baetiella tuberculata</i> (Kazlauskas)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	CG
<i>Baetis fuscatus</i> Linnaeus	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	CG
<i>Cloeon dipterum</i> (Linnaeus)			○									CG
<i>Baetis silvaticus</i> Kluge	○			○	○	○		○	○	○	○	CG
<i>Baetis ursinus</i> Kazlauskas	○						○			○		CG
<i>Labiobaetis atrebatinus</i> (Eaton)	○	○	○	○	○		○	○			○	CG
<i>Procloeon pennulatum</i> (Eaton)	○	○	○	○			○		○			CG
<i>Nigrobaetis bacillus</i> (Kluge)	○	○	○	○	○	○				○		CG
<i>Caenis</i> KUa	○	○		○			○					CG
<i>Cincticostella levanidovae</i> (Tshernova)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	SC
<i>Cincticostella tshernovae</i> (Bajkova)	○	○	○	○			○	○	○	○		SC
<i>Drunella aculea</i> (Allen)	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	SC
<i>Drunella cryptomeria</i> (Imanishi)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		SC
<i>Ephemerella imanishii</i> Gose	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	CG
<i>Serratella setigera</i> (Bajkova)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		CG
<i>Uracanthella rufa</i> (Imanishi)	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	CG
<i>Ephemera orientalis</i> McLachlan		○			○		○					CG
<i>Ephemera separigata</i> Bae						○		○	○			CG
<i>Ephemera strigata</i> Eaton	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	CG
<i>Cinygmula grandifolia</i> Tshernova		○		○	○							SC
<i>Ecdyonurus bajkovae</i> Kluge	○	○	○	○		○	○	○		○		SC
<i>Ecdyonurus dracon</i> Kluge	○	○	○	○	○	○						SC
<i>Ecdyonurus joernensis</i> Bengtsson			○				○					SC
<i>Ecdyonurus kibunensis</i> Imanishi	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	SC
<i>Ecdyonurus levis</i> (Navás)	○	○	○	○	○	○	○					SC
<i>Epeorus curvatus</i> Matsumura	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	CG
<i>Epeorus pellucidus</i> (Brodsky)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	CG
<i>Heptagenia kyotoensis</i> Gose					○							SC
<i>Iron aesculus</i> (Imanishi)	○	○		○	○	○		○	○	○		CG
<i>Rhithrogena</i> na	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	CG
<i>Isonychia japonica</i> (Ulmer)			○	○								CG
<i>Choroterpes (Euthraulius) altiocus</i> Kluge	○	○	○	○		○	○		○	○		CG
<i>Paraleptophlebia chocolata</i> Imanishi	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	CG
<i>Potamanthus (Potamanthodes) formosus</i> Eaton	○	○	○				○					CG

Appendix 1. (Continued)

Scientific name	Site1	Site2	Site3	Site4	Site5	Site6	Site7	Site8	Site9	Site10	Site11	FFG*
<i>Siphonurus chankae</i> Tshernova	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	CG
<i>Ischnura asiatica</i> (Brauer)		○										P
<i>Calopteryx japonica</i> Selys	○	○	○	○	○		○					P
<i>Sieboldius albardae</i> Selys	○	○	○	○	○	○	○					P
<i>Davidius lunatus</i> Bartenef	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	P
<i>Anisogomphus maacki</i> Selys			○									P
<i>Macromia manchuria</i> Asahina	○	○	○	○			○					P
<i>Orthetrum albistylum speciosum</i> (Uhler)	○								○	○		P
<i>Orthetrum triangulare melania</i> (Selys)									○			P
<i>Taenionema</i> sp.	○			○	○	○		○	○	○		SH
<i>Nemoura tau</i> Zwick											○	SH
<i>Amphinemura coreana</i> Zwick				○		○		○	○			SH
<i>Amphinemura</i> KUa						○		○			○	SH
<i>Protonemura</i> KUa											○	SH
<i>Nemoura</i> KUa	○	○					○					SH
<i>Nemoura</i> KUb		○	○	○					○	○	○	SH
<i>Rhopalopsola mahunkai</i> Zwick								○				SH
<i>Stavsolus japonicus</i> (Okamoto)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		P
<i>Periodes</i> KUa	○	○	○	○								P
<i>Kamimuria coreana</i> Ra, Kim, Kang, and Ham	○			○		○	○	○	○	○		P
<i>Neoperla coreensis</i> Ra, Kim, Kang, and Ham	○	○	○	○		○	○		○			P
<i>Paragnetina flavotincta</i> (McLachlan)		○	○	○	○	○	○		○			P
<i>Kiotina decorata</i> (Zwick)				○	○	○				○	○	P
<i>Sweltsa nikkoensis</i> (Okamoto)			○	○	○	○	○	○	○	○	○	P
<i>Micronecta (Micronecta) guttata</i> Matsumura		○										P
<i>Notonecta (Paranecta) triguttata</i> Motschulsky	○											P
<i>Muljarus japonicus</i> (Vuillefroy)	○		○		○							P
<i>Muljarus major</i> Esaki			○									P
<i>Laccotrephes japonensis</i> Scott	○			○	○						○	P
<i>Ranatra chinensis</i> Mayr	○										○	P
<i>Microvelia douglasi</i> Scott	○											P
<i>Aquaris paludum</i> (Fabricius)	○		○		○		○					P
<i>Gerris (Gerris) latiabdominis</i> Miyamoto	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	P
<i>Metrocoris histrio</i> (White)				○	○	○		○	○	○		P
<i>Protohermes grandis</i> Thunberg	○	○	○	○	○		○					P
<i>Parachauliodes continentalis</i> Weele	○			○								P
<i>Neonectes natrix</i> (Sharp)		○	○	○	○	○	○		○		○	P
<i>Rhantus (Rhantus) Pulverosus</i> (Stephens)	○								○			P
Elmidae sp.							○					SC
<i>Helodes</i> KUa						○			○	○		SC
<i>Psephenoides</i> KUa	○		○	○								SC
<i>Eubrianax</i> KUa						○						SC
<i>Tipula</i> KUa							○		○			SH
<i>Tipula</i> KUb		○	○		○							SH
<i>Hexatoma</i> KUa	○	○	○	○	○	○			○	○	○	P
<i>Antocha</i> KUa		○	○				○	○		○		CG
<i>Simulium</i> sp.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	CF
Ceratopogonidae sp						○		○		○		P

Appendix 1. (Continued)

Scientific name	Site1	Site2	Site3	Site4	Site5	Site6	Site7	Site8	Site9	Site10	Site11	FFG*
<i>Chironomus</i> sp.1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	CG
<i>Chironomus</i> sp.2	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	CG
<i>Chironomus</i> sp.3	○	○				○	○			○	○	CG
<i>Chironomus</i> sp.4	○	○		○			○	○	○	○	○	CG
<i>Chironomus</i> sp.5		○								○		CG
<i>Philonus</i> KUa					○		○		○		○	SC
<i>Suragina</i> KUa	○			○	○	○				○		P
<i>Stenopsyche marmorata</i> Navas	○	○	○	○			○	○	○	○		CF
<i>Stenopsyche bergeri</i> Martynov		○		○					○		○	CF
<i>Wormaldia</i> KUa						○						CF
<i>Ecnomus tenellus</i> (Rambur)								○				CF
<i>Arctopsyche ladogensis</i> Kolenati								○				CF
<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i> Martynov	○	○	○	○	○		○					CF
<i>Hydropsyche valvata</i> Martynov	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	CF
<i>Hydropsycheorientalis</i> Martynov	○							○	○			CF
<i>Hydropsyche</i> KUD				○	○					○	○	CF
<i>Cheumatopsyche brevilineata</i> Iwata	○	○	○	○	○	○	○	○				CF
<i>Cheumatopsyche</i> KUa								○				CF
<i>Apsilochorema</i> KUa					○							P
<i>Rhyacophila</i> KUa	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	P
<i>Rhyacophila</i> KUb			○			○	○					P
<i>Rhyacophila retracta</i> Martynov			○	○						○	○	P
<i>Rhyacophila clemens</i> Tsuda			○	○				○				P
<i>Rhyacophila impar</i> Martynov										○		P
<i>Rhyacophila narvae</i> Navas										○		P
<i>Rhyacophila shikotsuensis</i> Iwata	○	○	○	○	○	○	○		○		○	P
<i>Rhyacophila nigrocephala</i> Iwata	○		○	○	○	○		○	○	○	○	P
<i>Rhyacophila brevicephala</i> Iwata						○						P
<i>Glossosoma</i> KUa			○						○			SC
<i>Phryganopsyche latipennis</i> Banks		○	○	○								SH
<i>Goera japonica</i> Banks	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	SC
<i>Neophylax ussuriensis</i> Martynov	○				○				○		○	SC
<i>Apatania</i> KUa		○	○	○							○	SC
<i>Hydatophylax nigrovittatus</i> McLachlan	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	SH
<i>Nothopsyche</i> KUa	○	○	○	○	○		○				○	CG
<i>Goerodes</i> KUa						○				○		SH
<i>Goerodes</i> KUb			○	○		○		○	○	○	○	SH
<i>Psilotreta kisoensis</i> Iwata	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		SC
<i>Molanna moesta</i> Banks		○					○					SC

*P:Predator, SC:Scraper, SH:Shredder, CG:Collector-Gathering, CF:Collector-Filtering, by Merritt-Cummins(1996)