

수서곤충을 이용한 원주천 수서생태계 건강도 평가^{1a}

최준길^{2*} · 신현선³ · 오사무 미타무라³ · 김숙정⁴

Health Assessment of Aquatic Ecosystem for Wonju Stream Using the Composition of Aquatic Insects^{1a}

Jun-Kil Choi^{2*}, Hyun-Seon Shin³, Osamu Mitamura³, Sook-Jung Kim⁴

요 약

본 연구는 2004년 5월부터 2004년 11월까지 총 4회 조사를 실시하였으며, 수서곤충은 과별 생물지수(FBI)와 물리적 서식환경(PHA)을 이용하여 원주천의 건강도를 평가하였다. 원주천 9개 지점을 통해 출현한 수서곤충은 총 8목 37과 62속 92종이었다. 과별생물지수의 경우 지점 1, 2, 3에서 4.55~4.82로 가장 건강한 하천생태계를 유지하고 있는 것으로 확인되었다. 물리적 서식환경과 과별생물지수 간의 상관관계는 지점 2가 각각 100, 4.82의 값으로 가장 좋은 서식환경을 나타내었다. 그러나 지점 7과 9는 45, 6.17과 45, 6.97로 가장 낮은 서식환경을 나타내어 물리적 서식환경의 개선이 필요한 것으로 나타났다. 또한 물리적 서식환경과 과별생물지수는 서로 역의 상관성을 나타내었다.

주요어 : 과별생물지수, 물리적 서식환경, 하천생태계

ABSTRACT

This study conducted a survey on the ecosystem of Wonju stream from May until November in 2004 and made an health assessment of Wonju stream using family biotic indices(FBI) and physical habitat assessment(PHA) of the aquatic insects. Through this survey, aquatic insects covering 8 orders, 37 families, 62 genuses, and 92 species were observed at 9 stations along Wonju stream. In terms of family biotic indices, it was confirmed that station 1, 2 and 3 were maintaining the healthiest stream ecosystem with the value ranging from 4.55 to 4.82. In addition, station 2 was found to have the best habitat environment in the correlation between physical habitat assessment and family biotic indices with its value of 100 and 4.82, respectively. However, station 7 and 9 showed the lowest habitat environment with the value of 45, 6.17 and 45, 6.97, respectively. posing the need for improvement in PHA; further, station 7 and 9 showed inverted correlationship between PHA and FBI.

KEY WORDS : FAMILY BIOTIC INDEX, PHYSICAL HABITAT ASSESSMENT, STREAM ECOSYSTEM

1 접수 5월 30일 Received on May 30, 2008

2 상지대학교 생명과학과 Dept. of Biological Science, Sangji Univ., Wonju(220-702), Korea(jkilchoi@mail.sangji.ac.kr)

3 시가현립대학교 환경과학연구과 Limnological Laboratory, Univ. of Shiga Prefecture, Hassaka-cho 3165, Hikone, Shiga(522-0057), Japan

4 경북전문대학 보건행정과 Dept. of Health Administration, Kyungbuk College, Yeoungju(750-712), Korea

* 교신저자, Corresponding author(jkilchoi@sangji.ac.kr)

서론

최근 우리나라는 경제성장으로 물질적인 여유와 함께 환경에 대한 관심이 지속적으로 높아지고 있으며, 특히 오염된 도시하천에 대한 환경복원이 활발히 이루어지고 있다. 그러나 서식생물의 생태적 특성을 적극적으로 고려하지 않은 공학적 측면과 경관적 측면만이 강조된 하천을 조성함으로써(최재석과 김재구, 2004), 각종 동·식물 군집의 안정적 유지 및 종 다양성 증진을 위한 생태학적 복원은 이루어지지 않고 있다. Rutherford *et al.*(1987)의 연구에 의하면 하천생태계망의 먹이원인 유기물질의 변화를 유발할 수 있는 환경요인들은 인위적 간섭에 의한 환경변화가 가장 크게 작용하는 것으로 알려져 있다. 가장 대표적으로 각종 토목 공사에 따른 하상의 평탄화, 직강화, 수변의 단순화 등과 같은 물리적 서식환경의 변화를 들 수 있으며, 더불어 각종 산업폐수와 생활하수의 유입에 의한 수질의 악화 역시 환경 변화에 민감하게 반응하는 많은 종류의 저서성 대형무척추 동물과 어류에게 중의 멸절 및 다양성의 감소 등과 같은 군집구조의 심각한 변화를 유발하고 있는 실정이다(배연재 등, 1996; 최재석과 김재구, 2004). 특히 이들 생물군 중에서 저서성 대형무척추동물군은 매우 다양한 종 특성을 보여 주고 있으며, 양적으로도 풍부하고 이동성이 적어 정량채집이 용이하므로 훌륭한 생태학적 재료로 이용되고 있다(McCafferty, 1981; Ward, 1992; Williams and Feltnate, 1992). 그중 수서곤충류는 환경변화에 민감하고, 하천의 특성에 따른 독특한 군집구조와 비교적 뚜렷한 내성범위를 가지고 있어서 수서생태계의 환경을 평가하는 지표생물로서 매우 효과적으로 이용되고 있는 실정이다(Hynes, 1960; Wiederholm, 1984; 배연재 등, 2003).

본 연구의 조사대상 하천인 원주천은 도심지역의 대표적 하천으로 상류에서 하류까지 약 40여개의 보가 설치되어 유기물의 축적에 따른 하상구조의 변화로써 하천의 기능 상실과 인근 도심유역으로부터 유입되는 생활하수, 산업폐수, 하수처리장의 방류수 등 주로 점오염원이 하천의 수질을 악화시키고 있으며, 환경부의 주산교 수질측정망자료에 의하면 원주천 최하류인 주산교의 하천수질 기준 IV 등급이 적용되고 있어 매우 오염된 하천으로 나타났다. 이와 같이 하천의 파괴와 수질오염의 가속화는 원주천에 서식하는 생물상에 직접 혹은 간접적인 영향을 줄 것으로 예상된다. 그러나 현재까지 원주천을 대상으로 이러한 생물지표를 이용한 하천의 건강도 평가는 매우 미흡한 실정이며 지속적인 원주천 모니터링은 매우 중대한 과제라 보여진다.

따라서 본 연구에서는 수 환경의 악화와 물리적 서식처가 파괴되고 있는 원주천에 서식하는 수서곤충을 대상으로 물리적 서식환경과 FBI(과별생물지수)를 이용하여 하천생태

계의 건강도를 평가하고, 나아가 도시 하천 생태계 복원을 위한 중요한 기초 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황 및 조사기간

본 연구의 조사수역인 원주천은 강원도 원주시 판부면 소재의 치악산과 백운계곡에서 발원하여 영랑천, 홍양천, 단계천, 화천, 신천 등 소하천이 합류된 후, 원주시 호저면 옥산리에서 섬강으로 유입되는 유로연장 24.8km, 유역면적 154.15km²의 도시하천이다. 조사지점은 원주천 최상류인 판부면 금대리에서 하류인 호저면 주산리까지 총 9개 지점을 선정하여 조사하였다. 각 지점의 행정구역 명칭은 다음과 같다(Figure 1).

- 지점 1 강원도 원주시 판부면 금대리 금대계곡
- 지점 2 강원도 원주시 판부면 금대리 가리과재
- 지점 3 강원도 원주시 판부면 금대리 금대교
- 지점 4 강원도 원주시 관설동 울미둑 하방
- 지점 5 강원도 원주시 관설동 관설교
- 지점 6 강원도 원주시 봉산동 삼광택지 뒤

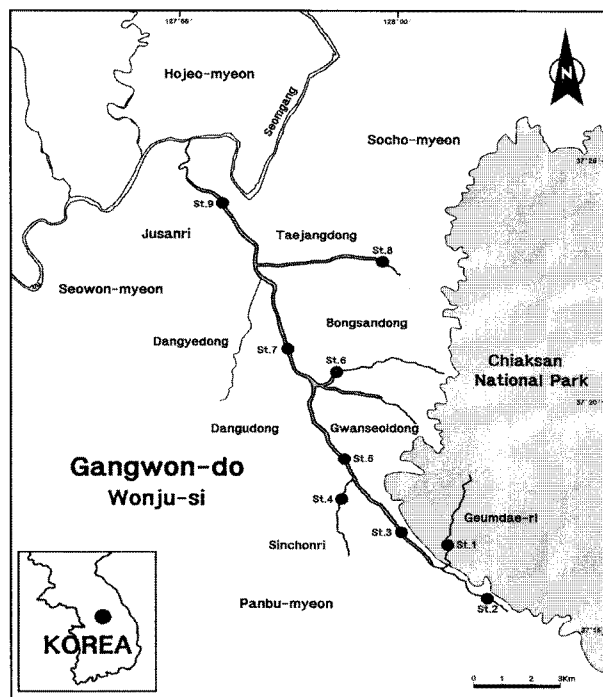


Figure 1. Map showing the studied area

지점 7 강원도 원주시 봉산동 봉평교

지점 8 강원도 원주시 태장동 36사단 위

지점 9 강원도 원주시 호저면 주산리

수서곤충의 조사는 2004년 5월부터 2004년 11월까지 총 4회에 걸쳐 실시하였으며 세부 일정은 다음과 같다.

1차조사: 2004년 5월 29일 ~ 5월 30일

2차조사: 2004년 7월 9일 ~ 7월 10일

3차조사: 2004년 9월 1일 ~ 9월 2일

4차조사: 2004년 11월 6일 ~ 11월 7일

2. 조사방법 및 내용

수서곤충의 정량채집은 surber net(30×30cm² mesh size 200 μ m)를 이용하여 급류대(riffle)에서 1회, 채수대(pool) 또는 완류대(run)에서 1회, 즉 지점당 2회(suber sampling) 실시하였다. 그 외에 정성채집을 목적으로 Modified D-frame dip net(mesh size 200 μ m)을 이용하여 다양한 미소서식처에서 지점당 2회 실시하였으며, 조사지역의 특성에 따라 다양한 서식처에서 채집한 것을 정량 및 정성시료로 하여 수서곤충상을 파악하였다. 수서곤충의 군집 분석은 정량채집의 자료만을 이용하였다. 종의 분류 및 분석은 기존의 문헌(Kawai, 1985; 윤일병, 1988; 윤일병, 1995; 윤일병 등, 1992a; 1992b)을 사용하였다. 하상구조는 50×50cm 방형구를 사용하여 무작위적으로 10개의 지소를 선정하여 측정하였으며 Cummins(1962)방법에 따라 돌의 크기를 분류하였다. 종의 기대값은 Huribert(1971)와 James and Rathbun(1981)의 방법에 의해 산출하였으며, 과별생물지수(Family level Biotic Index: FBI)는 생물 내성점수를 이용하여 변형한(Hilsenhoff, 1988; Barbour *et al.*, 1999; Bode *et al.*,

1996; Hauer and Resh, 1996)의 방법에 따라 산출하였고, 물리적 서식환경 평가방법은 Barbour와 Stribling(1991)에 의해 제안된 물리적 서식환경 평가방법(Physical Habitat Assessment: PHA)을 일부 변형하여 적용하였다. 각 조사지점간 이질성(Heterogeneity)을 파악하기 위하여 상관행렬(Correlation Matrix)을 이용한 주성분 분석(Principle Component Analysis: PCA)을 실시하였다. 또한 통계처리는 Rarefac. Bas와 Spdivers. Bas 프로그램(Ludwig and Reynolds, 1988), SPSSWIN 9.0(SPSS, 1999)을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 하상구조와 수환경

본 조사지역의 물리적 하상구조를 알아본 결과는 Table 1과 같다. 치악산 국립공원 내에 위치하고 있는 본류인 St. 1은 큰 돌(암반)로 이루어져 있는 전형적인 산간계류의 특징을 나타내고 있었으며, 유량도 풍부한 것으로 조사되었다. 수심은 20~80cm이며, 유속은 0.6~1.1m/sec로서 비교적 빠른 것으로 확인되었다. 반면, St. 3, 5, 7은 인공제방과 하상정비로 하천의 직강화가 이루어진 구간으로 하상구조는 주로 자갈과 모래로 구성되어 있었으며, 유속은 20m 이상이었다. 수심은 30~80cm로서 유속은 0.09~0.6m/sec정도이며, 곳곳에 부유성 유기물로 인하여 악취가 발생하였다. 원주천 최하류인 St. 9는 하상이 주로 자갈과 모래로 이루어진 전형적인 하류역의 특성을 나타내었다. 유속은 40m 이상으로서 유속은 0.05~0.2m/sec정도이며, 농경지와 산지를 통과하여 섬강으로 합류된다. 지류인 St. 2는 치악산 국립공원과 인접한 소규모 하천으로 본류인 St. 1과 유사하

Table 1. Habitat condition and general characteristics of 9 sampling site on May 29, 2004

Sampling sites	Stream width(m)	Water depth(cm)	Water current(m/sec)	Substrate * B:C:P:G:S	
Main stream	St. 1	10~15	20~80	0.6~1.1	B:C:P = 5:3:2
	St. 3	20~25	40~70	0.3~0.5	C:P:G:S = 3:4:2:1
	St. 5	20~23	40~80	0.1~0.6	C:P:G:S = 2:4:3:1
	St. 7	25~30	30~60	0.09~0.3	C:P:G:S = 1:4:3:2
	St. 9	40~45	50~160	0.05~0.2	C:P:G:S = 1:1:3:5
Sub stream	St. 2	7~10	20~50	0.7~1.2	B:C:P = 6:3:1
	St. 4	6~10	30~50	0.2~0.6	C:P:G:S = 4:3:2:1
	St. 6	7~13	20~50	0.1~0.3	C:P:G:S = 1:2:5:1
	St. 8	10~15	20~70	0.1~0.3	C:P:G:S = 1:2:5:2

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

계 산간계류의 특징을 가지고 있으며, 유량이 풍부한 것으로 조사되었다. 하상은 대부분 큰 돌(암반)로 이루어져 있으며, 수심은 20~50cm로서 유속은 0.7~1.2m/sec로 나타났다. 반면, St. 4, 6, 8의 하상은 큰 돌, 작은 돌과 자갈 등으로 이루어져 있었다. 수심은 20~70cm이며, 유속은 0.1~0.6m/sec의 범위로 조사되었다. 이와 같이 원주천은 상류지역이 하류지역에 비해 유속이 빠르고 수심이 깊지 않은 전형적인 하천의 흐름을 보여주고 있었으나, 하류지역으로 갈수록 도시화에 의한 각종 토목공사(하상 및 제방 정비, 보의 설치 등)로 인해 하상에 작은 돌과 모래가 퇴적되면서 하천 고유의 특성을 상실한 곳이 상당부분 확인되었다. 또한 현재와 같은 수환경이 지속될 경우 생활하수 및 각종 산업폐수 등의 유입과 함께 일부 하천 환경이 변형된 즉 유수역이 아닌 정체 수역에서는 유기물 오염이 가중되어 수생태계의 심각한 교란을 초래할 것으로 판단된다.

2. 분류군

본 조사기간 동안 원주천 9개 지점을 통해 출현한 수서곤충은 총 8목 37과 62속 92종으로서 전체 수서곤충의 분류군별 조성을 살펴보면 하루살이목이 9과 16속 29종으로 전체 분류군의 약 31.52%를 차지하였다. 다음으로 날도래목 11과 16속 23종으로 25%, 파리목이 6과 9속 17종으로 18.48%, 잠자리목이 6과 11속 13종으로 14.13%, 강도래목이 2과 4속 4종으로 4.35%, 노린재목이 2과 3속 3종으로 3.26%, 뱀잠자리목이 1과 2속 2종으로 2.17%, 딱정벌레목이 1과 1속 1종으로 1.09%의 순으로 출현하여 하루살이-강도래-날도래군(EPT group)이 전체의 약 2/3에 해당하는

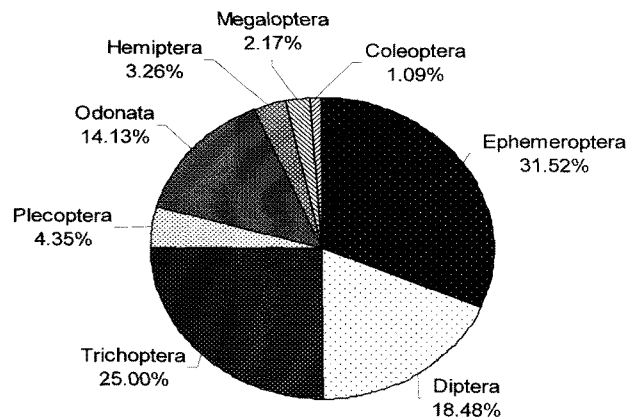


Figure 2. Order composition species number of aquatic insects in Wonju stream

60.87%를 차지하고 있음을 확인할 수 있었다(Figure 2). 이러한 수서곤충 분류군의 조성비는 국내 하천의 일반적인 양상이라 할 수 있으며, 박정호와 조규승(1995), 배연재 등(2003)의 결과와 유사한 결과를 보여준다. 또한 전체적으로 하루살이류, 날도래류 및 파리류가 전체의 대부분을 차지하는 일반적인 도시형 중소 하천의 생물상 모습이기도 하다.

3. Rarefaction curve

실제 서식 중수에 대한 야외 관찰의 오차를 줄이기 위하여 실제 관찰값에서 개체군 크기에 따른 종수의 기대값 Rarefaction curve를 구하였다. Rarefaction curve는 n개체수의 표본에서 예상되는 종수를 나타내며, 표본 크기의 경향과 차이점을 나타낼 수 있고, 조사지역의 종 풍부도를 비교할 수 있다(James and Rathbun, 1981; 권기정, 1992; 이원호 등, 2004). 월별 관찰된 면적당 개체수를 187 Ind.cm-18개체로 동일하다고 예상하였을 때 종수의 기대치는 2004년 5월에 E(S 187 Ind.cm-18)=23종으로 가장 높게 나타났고, 9월은 E(S 187 Ind.cm-18)=20종, 7월 E(S 187 Ind.cm-18)=19종, 11월 E(S 187 Ind.cm-18)=18종의 순으로 나타나 봄에 많은 종수와 개체수가 나타나는 것으로 나타났다(Merritt and Cummins, 1984). 그러나 수서곤충의 조사시기에 3월이 포함되었더라면 더욱 충실한 자료를 얻을 수 있었을 것으로 판단된다. 또한 지점별 관찰된 개체수를 127 Ind.cm-8개체로 동일하다고 예상하였을 때 종수의 기대값은 2004년 지점 1, 4는 E(S 127 Ind.cm-8)=22종으로 가장 높게 나타났고, 지점 8은 E(S 127 Ind.cm-8)=21종, 지점 2는 E(S 127 Ind.cm-8)=20종, 지점 3 E(S 127 Ind.

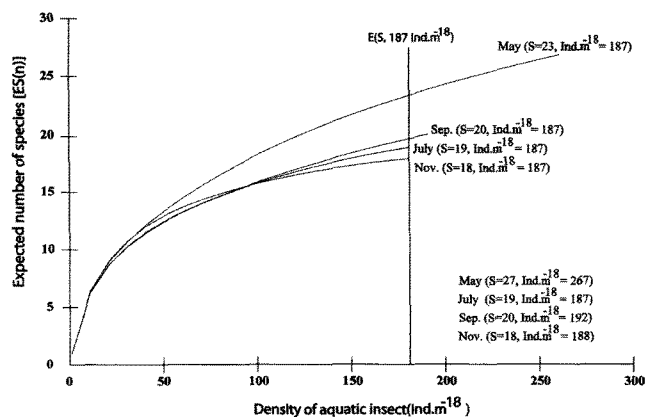


Figure 3. Rarefaction curves of seasonal variation in Wonju stream

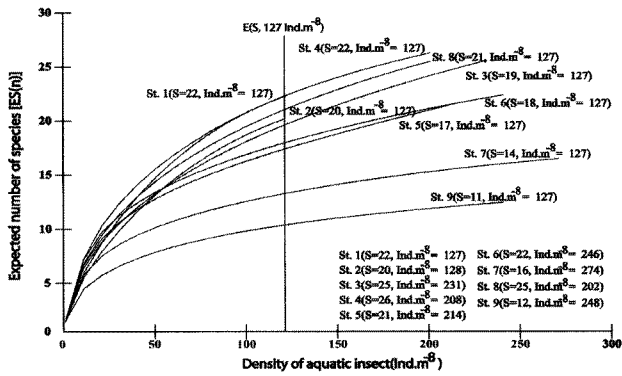


Figure 4. Rarefaction curves of each sites in Wonju stream

cm-8)=19종, 지점 6 E(S 127 Ind.cm-8)=18종, 지점 5 E(S 127 Ind.cm-8)=17종, 지점 7 E(S 127 Ind.cm-8)=14종, 지점 9 E(S 127 Ind.cm-8)=11종의 순으로 나타나 지점 1, 4에서 가장 높은 종 기대값을 보여 안정된 하천생물상을 보였으며, 지점 7, 9에서는 다른 지점에 비해 단위면적당 중수가 적게 출현하였다(Figure 4). 이는 인구부하 및 인구밀도에 따른 하천의 물리적 서식지의 변화와 더불어 대량의 오수유입과 하수종말처리장에서 발생하는 하수의 유입으로 인하여 일부 오염종인 파리류의 과밀번식 때문인 것으로 생각된다.

4. PCA분석

원주천에 출현하고 있는 총 92종에 대한 조사지점 간의 상관행렬을 이용한 주성분 분석 결과 2개의 주성분은 총 분산의 약 89.9%로 높은 상관관계를 설명하고 있으며, 전체 9개의 조사지점은 수서곤충의 특성에 따라 3개의 그룹으로 구분 되었다(Figure 5). 제 1주성분(PRIN I: 63.7%)은 종의 우점율을 의미하고, 제 2주성분(PRIN II: 26.2%)은 수서곤충의 종 다양성을 의미하고 있다.

그룹 I은 원주천의 상류역으로 *Ephemera separigata*, *Ephemera strigata*, *Ecdyonurus dracon*, *Nothopsyche* sp., *Psilotreta kisoensis*, *Goerodes* sp. 등이 우점 출현하였다. 그룹 II는 중류역의 특성을 보이는 지점 4, 5, 6, 8에서 *Baitis* sp., *Epeorus pellucidus*, *Hydropsyche* sp., *Chironomidae* sp. 등이 우점 출현하였고, 그룹 III은 원주천의 하류역 특성을 보이는 본류 지점(St. 7, 9)으로 출현종수가 다소 적고, *Baitis* sp., *Chironomidae* sp.등이 우점하는 경향을 나타내었다. 이는 상류에서 하류로 갈수록 하천의 인위적 환경변화 즉, 유역인구의 증가에 따른 하천 담수자원의 이용 및 유역 토지의 사용과 개발에 기인하며, 하천수로를 바꾸는

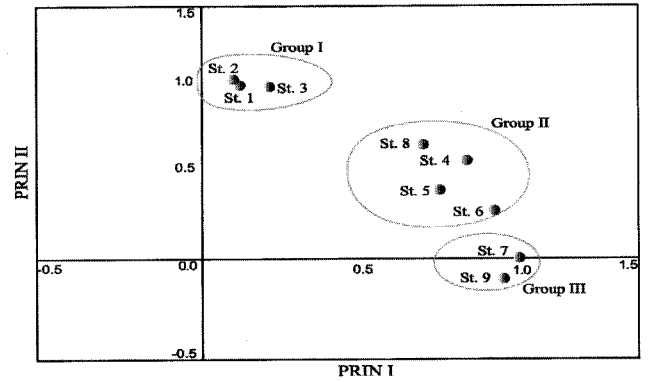


Figure 5. First two axes of principal components analysis 9 sampling sites in Wonju stream by PCA

직접적인 변화뿐만 아니라 유역의 자연환경을 훼손하는 간접적 변화를 포함하고(Simon, 1979; Prat and Ward, 1994), 농업용 보 및 인공제방 설치, 하천정비로 인한 하상 평탄화 및 하천의 직강화, 산업폐수, 생활하수 그리고 각종 토목공사 등에 의하여 하천 수체의 성격이 변하거나 또는 교란받기 때문인 것으로 판단된다(최재석과 김재구, 2004; 신현선 등, 2006).

5. 물리적 서식환경(PHA)과 과별생물지수(FBI)의 상관관계

원주천의 평균적인 물리적 하천 서식평가 결과 본류의 상류인 지점 1, 2가 각각 PHA(85, 100), FBI(4.68, 4.82)으로 비교적 양호한 서식환경을 나타냈으며, 본류 지점 3과 지류 지점 4는 각각 PHA(70, 60), FBI(4.55, 5.63), 지류 지점 6과 8은 PHA(55, 50), FBI(5.70, 5.56)를 나타냈으며, 본류인 지점 7과 9는 PHA(40, 35), FBI(6.17, 6.97)로 낮은 서식환경을 보여 원주천 하류의 특성을 잘 나타내고 있었다(Figure 6).

Quadrant 1에 위치한 본류 지점 2, 3과 지류 지점 1은 서식환경과 수서생물상이 양호한 것으로 나타났으며, 본류 지점 5와 지류 지점 4, 6, 8은 수서생물상은 다소양호 하였으나, 서식환경이 60 이하로 여울과 소의 비율, 제방 식생도, 수변피도 등 물리적 서식환경을 개선을 해야 하는 것으로 나타났다. 그리고 본류 지점 7과 9는 서식환경과 수서생물상이 모두 낮게 나타나 양호한 생물지수를 가지기 위해서는 하천의 하상구조, 서식지 다양성, 여울과 소의 비율, 제방 식생도, 수변피도 등 물리적 서식환경의 개선이 필요한 것으로 나타났다(Figure 6). 그리고 물리적 서식환경과 FBI는

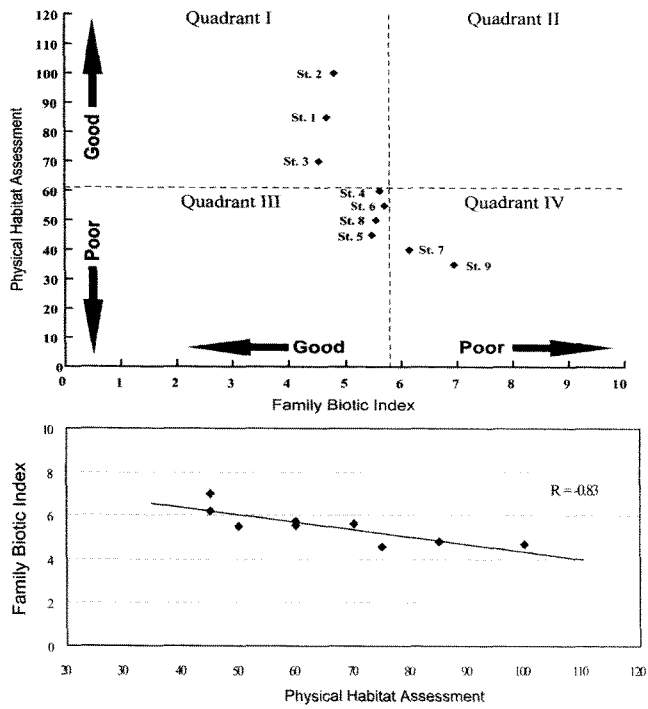


Figure 6. The relationship between the PHA and FBI Index

서로 역의 상관성을 보였으며, 이는 서식환경이 양호하고 수환경이 개선됨에 따라 FBI가 낮은 청수성생물의 서식이 증가하기 때문인 것으로 나타났다.

국내 하천의 인공화 공사는 도시하천의 효율적 관리를 위해 많은 예산을 들여 실시하고 있지만, 하천생물의 서식처 훼손에 따른 자정작용의 상실로 수질의 악화를 가속화 시켜주는 결과를 가져왔다. 왕숙천의 경우 하천 중류의 약 1km 구간에서 1994년에 이루어진 채널화 공사(하천바닥의 준설과 시멘트 블럭벽에 의한 직선화 및 고수부지 평탄화 공사)는 그 지역의 심각한 환경 파괴는 물론 특정 부착조류의 대발생으로 대부분 다른 저서생물의 사멸과 함께 군집 회복의 지연을 가져왔고, 궁극적으로 수질악화를 초래하였다(배연재 등, 1996). 그러므로 도시하천의 경우 생물다양성이 회복되기 위하여서는 자연서식처의 회복이 선행되어야 하며, 왕숙천 준설구간의 경우 큰 홍수가 있는 후에 오염물질이 씻겨 내려가고, 여울과 같은 자연상태의 미소서식처가 회복된 이후에 생물 군집이 대부분 회복되었다. 즉 국내 하천에서는 장마철의 정기적 홍수가 하천의 오염물질을 제거하고, 생물서식처를 회복하여 도시화로 훼손된 생물다양성을 회복하는데 가장 큰 기여를 하는 것으로 나타났다(배연재와 이병훈, 2001). 하지만 원주천의 경우 홍수로 인해 생물서식처가 회복된다 하더라도 물리적 서식처 즉 제방안 정도가 낮은 수역에서는 퇴적 및 토양의 유실로 인하여 수서곤충의 물리적 서식처가 교란될 것으로 보인다. 그러므로 물리적 서식처가 45 이하인 본류 지점 5, 7, 9의 관리가

Table 2. FBI Index and degree of organic pollution in Wonju stream

Index	Main stream					Sub stream			
	St. 1	St. 3	St. 5	St. 7	St. 9	St. 2	St. 4	St. 6	St. 8
Biotic Index	4.68	4.55	5.49	6.17	6.97	4.82	5.63	5.70	5.56
Water quality	Good	Good	Fair	Fairly poor	poor	Good	Fair	Fair	Fair

Table 3. Physical Habitat Assessment in 9 sites of Wonju stream

PHA	Site	St. 1	St. 3	St. 5	St. 7	St. 9	St. 2	St. 4	St. 6	St. 8
	Bottom substrate		15	15	10	10	5	20	15	10
Habitat complexity		20	15	10	10	5	20	10	10	10
Pool quality		15	10	5	5	5	20	10	10	5
Bank stability		15	15	10	10	10	20	15	10	15
Bank protection		10	10	5	5	5	10	10	10	10
Canopy		10	5	5	0	0	10	0	5	5
Total		85	70	45	40	30	100	60	55	55
		G	G	M	M	P	O	M	M	M

O: Optimal, G: Good, M: Moderate, P: Poor

선행되어야 하며(Table 3), 지류지점은 오염원관리가 선행되어야 할 것으로 보인다.

본 연구에서 수서곤충을 이용한 원주천의 수서생태계 건강도를 평가한 결과 하류로 갈수록 물리적 서식환경과 수서생태계의 건강성이 낮은 것으로 나타났으며, 지류의 오염원관리가 선행된다면 본류의 수서생태계의 건강성이 좋아질 것으로 보여지나 급속적인 하천주변의 도시화로 인해 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 보인다.

인용문헌

- 권기정(1992) 원자력발전소 주변의 조류상. 한국생태학회지 14: 471-481.
- 박정호, 조규송(1995) 강원도 방태천 수서곤충 군집의 생태학적 특성. 한국육수학회지 3: 309-322.
- 배연재, 박선영, 윤일병, 박재홍, 배경석(1996) 왕숙천 준설구간의 저서성 대형무척추동물 군집변동. 한국육수학회지 4: 251-261.
- 배연재, 이병훈(2001) 한국 하천생태계의 환경 훼손과 담수 절지동물의 생물다양성 피해 및 보전. 한국곤충학회지 2: 63-76.
- 배연재, 원두희, 황득휘, 진영현, 황정미(2003) 경기도 가평천의 하순에 따른 수서곤충 군집조성과 섭식기능군. 한국육수학회지 36: 21-28.
- 신현선, 박승철, 김재구, 김숙정, 박정호, 최재석, 최준길(2006) 원주천 수서곤충의 섭식기능군을 이용한 군집분석. 한국환경생태학회지 20: 259-266.
- 윤일병(1988) 한국동식물도감 제30권 동물편(수서곤충류). 문교부, 서울.
- 윤일병(1995) 수서곤충검색도설. 정행사, 서울.
- 윤일병, 공동수, 유재근(1992a) 저서성 대형무척추동물에 의한 생물학적 수질평가연구(II). 환경생물학회지 10: 77-84.
- 윤일병, 공동수, 유재근(1992b) 저서성 대형무척추동물에 의한 생물학적 수질평가연구(III). 환경생물학회지 25: 177-183.
- 이원호, 이찬우, 장지덕, 권기정(2004) 울산지역 모자의 경관에서의 조류 다양성. 한국생태학회지 27: 325-333.
- 최재석, 김재구(2004) 홍천강의 어류상 및 어류군집. 한국육수학회지 18(3): 446-455.
- Barbour, M.T. and J.B. Stribling(1991) Use of habitat assessment in evaluating the biological integrity of stream communities. In George Gibson, editor. Biological criteria: Research and regulation, proceedings of a symposium, 12-13 December 1990, Arlington, Virginia. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440-5-91-005.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder and J.B. Stribling(1999) Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish(Second Edition). EPA 841-B-99-002. US Environmental Protection Agency; Office of Water, Washington, D.C.
- Bode, R. W., M.A. Novak, L.A. Abele(1996) Quality assurance work plan for biological stream monitoring in New York State. NYS Department of Environmental Protection; Division of Water; Bureau of Monitoring and Assessment; Stream Biomonitoring Unit; Albany, NY.
- 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.
- Hauer, F.R. and V.H. Resh(1996) Benthic Macroinvertebrates. In: Hauer and Lamberti(Eds.), Methods in Stream Ecology. Academic Press, 339-365.
- Hilsenhoff, W.L.(1988) Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. J. North Am. Benthological Soc. 7(1): 65-68.
- Hurlbert, S.H.(1971) The non-concept of species diversity: a critique and alter native parameters. Ecology 52: 577-586.
- Hynes, H.B.N.(1960) The biology of polluted water: Liverpool Univ. Press, England.
- James, F.C and S. Rathbun(1981) Rarefaction, relative abundance, and diversity of avian communities. Auk. 98: 785-800.
- Kawai, T. (1985) An illustrated book of aquatic insects of Japan. Tokai University.
- Ludwig, J.A. and J.F.Reynolds(1988) Statistical ecology. pp. 67-106.
- McCafferty W.P.(1981) Aquatic entomology. John & Bartlett. Boston. pp. 448.
- Merritt, R.W. and K.W. Cummins(1984) An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall/Hunt Pub.Co. 722pp.
- Prat, N. and J.V. Ward(1994) The tamed river. pp. 219-236 In: Margalef, R. (ed.) Limnology Now: A Paradigm of Planetary Problems. Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Rutherford, D.A, A.A. Echell and O.E. Maughan(1987) Changes in the fauna of the little river drainage, south-eastern Oklahoma, 1948-1955 to 1981-1982: Test of the hypothesis of environmental degradation. Community and evolutionary ecology of north American stream fishes, Univ. of Oklahoma. 178-183pp.
- Simon, D.B.(1979) Effects of stream regulation on channel morphology. pp. 95-111 In: Ward, J.V. and J.A. Stanford(eds.), The Ecology of Regulated Streams. Plenum Press, New York.
- SPSS. Base 9.0 Application Guide(1999) SPSS Inc. Chicago.
- Ward, J. V.(1992) Aquatic Insect Ecology. John Wiley & Sons, New York.
- Wiederholm, I. (cd.)(1984) Chironomidae of the Holarctic region. Part I. larvae. Entomol. Scand. Suppl. No. 19.
- Williams, D. D. and B. W. Feltmate(1992) Aquatic Insects. CBA International, Oxon, UK.