

강원도 평창강 일대 저서성 대형무척추동물의 군집구조 및 수질의 생물학적 평가

박준우 · 황명기 · 어성준¹ · 최신석² · 정평림*

인하대학교 의과대학 기생충학교실, ¹배재고등학교, ²충남대학교 자연대 생물학과

Biological Evaluation of Water Quality and Community Structure of Benthic Macroinvertebrates in the Pyungchang River Water System, Gangwon-do, Korea

June-Woo Park, Myung-Ki Hwang, Sung-Joon Aw¹, Shin-Sok Choi² and Pyung-Rim Chung*

Department of Parasitology, Inha University College of Medicine, Incheon;

¹Pai-Chai High School, Seoul and ²Department of Biology, Chungnam National University College of Natural Sciences, Daejeon

Abstract - A biological assessment of water quality was carried out in the Pyungchang River water system, Gangwon-do, Korea from September 1999 through August 2000. The benthic macroinvertebrates collected seasonally from 15 field sites were identified mostly up to species level. Benthic macroinvertebrates composed of 109 species, 77 genera, 31 families, 10 orders, 4 classes in 4 phyla. Dominant species occurring in all the field sites were mostly ephemeropterans and trichopterans. On the basis of the values of species diversity and biological indices such as Trent Biotic Index (TBI) Modified Biological Monitoring Working Party Score System (BMWP) and Biotic Index (BI), the Pyungchang River Water system was generally regarded as showing oligosaprobic water quality.

Key words : Biological evaluation, Water quality, benthic macroinvertebrate, Pyungchang River Water system

서 론

수질오염도의 판정은 전통적으로 이화학적 방법을 응용하여 측정되어 왔으나 이화학적 방법의 수질판정은 측정 당시의 수질상태를 대표하는 것에 지나지 않는다. 환경오염이란 궁극적으로 어느 한 지역에 있어 생물학

적 및 생태학적 현황의 변화로 인하여 생태계의 이상을 초래할 때 문제가 됨으로 생물군집에 대한 시공간적 분석은 결국 환경변화의 영향을 감지할 수 있는 척도가 될 수 있다. 이런 시각을 바탕으로 북미 또는 유럽의 많은 나라에서는 환경오염에 따른 수생생태계의 변화를 파악하고자 생물학적 감시망 구축 기법들을 개발해 오고 있다 (Armitage *et al.* 1983; Merritt and Cummins 1984; Metcalfe 1989). 생물학적 수질판정 기법들의 응용은 현재의 오염상태 뿐만 아니라 과거의 오염원을 알

* Corresponding author: Pyung-Rim Chung, Tel. 032-890-0981, E-mail. chungpr@inha.ac.kr

수 있고 앞으로 발생될 수중환경을 예측할 수 있는 장점이 있어 이 분야에 대한 조사 연구는 필수적이다.

하천 생태계에서의 생물군집은 자연적인 환경변화 뿐만 아니라 인위적인 수질오염 정도에 따라 생물개체나 군집구조와 기능의 차이가 나타나고 있기 때문에 이들에 대한 분석은 수계에 대한 환경변화의 영향을 평가하는 지표가 될 수 있다. 그러나 생태학적으로 수질을 평가하고자 할 때 모든 생물군집을 조사할 수 없는 애로가 있으므로 대상군집을 선정하는 일이 우선되어야 한다. 현재에 이르기까지 수질오염의 생물학적 평가의 대상으로는 주로 박테리아, 부착조류, 원생생물, 수서곤충 및 어류 등이 이용되어 왔다. 그 중에서 수서곤충이 약 90% 이상을 차지하는 저서대형무척추동물은 비교적 운동성이 낮고 국지적으로 서식하는 특성상 예견치 못한 오염수나 생활하수, 농약 등의 유입으로 인한 수질 오염 현상에 대해 유수 생태계에서 수서 생물의 군집은 회복에 1년 이상이 소요되므로 수질이 호전되었다 하더라도 과거의 영향을 평가할 수 있는 이점이 있다. 특히 수서곤충류는 어느 수계이건 널리 분포되어 있고 쉽게 채집, 분류되며 수서생물 중에서도 가장 많은 종 수를 차지하고 있고 몸의 구조와 생활 습성 등이 다양하다. 그러므로 수중 환경에 따르는 특정종의 유무, 종수와 개체군의 분포 등 군집구조의 차이를 검정하기에 적합하여 수질 오염에 대한 생물학적 지표로서 중요시되고 있어 실제로 수서곤충은 하천 수계의 수질 평가 및 수질 변화를 감시하는데 오랫동안 이용되어 왔다 (Hilsenhoff 1977; Wilhm 1972). 일면, 저서동물은 퇴적물내의 유기물 함량이 높아지거나 독성물질에 의한 퇴적물 오염과 같은 서식처의 교란에 매우 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다 (Boesch and Rosenberg 1981; Gray 1981; Hartley 1982; Pearson and Rosenberg 1978). 따라서 저서동물의 분포 특성을 이용하면 어떤 주어진 수계에 대한 환경을 간접적으로 평가할 수 있게 되었다.

한편, 우리나라에서도 한강을 위시한 주요 5 대강 수계를 중심으로 생물학적 수질 평가의 일환으로 저서 무척추동물의 분포 특성, 계절적 변동, 군집구조, 종조성, 우점종, 우점도 지수, 우점종의 생태적 특성 등이 조사된 바 있었다 (Yoon 1978; Kim *et al.* 1979; 윤 등 1984, 1986, 1987, 1992a, b; Yoon and Byon 1981, 1982; Oh *et al.* 1983; Wui *et al.* 1983, 1991; 라와 조 1986; 오와 전 1991; Chung *et al.* 1992, 1998). 그러나 생물학적 지수들 (biological indices)을 이용한 수질평가 연구는 그리 오래되지 않았다. 다른 나라의 예를 보아도 Kolkwitz and Marsson (1967)이 갑각류를 이용하여 수질을 평가한 보고가 있고, Hilsenhoff (1977) 등이 저서 대형무척추동물

을 이용하여 하천수계의 수질을 생물학적으로 평가해온 바 있으며 비교적 근래에 생물학적 수질평가의 접근방법으로 여러 가지 생물학적 지수들이 개발되고 응용되어졌음을 알 수 있다 (Trent Biotic Index, Sladeczek 1973; Chandler's Score System, Sladeczek 1973; Modified Biological Monitoring Working Party Score System, Armitage *et al.* 1983; Hilsenhoff's Biotic Index, Hilsenhoff 1977; Family-level Biotic Index, Hilsenhoff 1988). 더욱이 이들의 연구는 주로 외국 수계에서 수행되었으며 우리나라 수환경에 적합한 지수를 취사선택한 연구까지도 그리 흔치 않다. 비교적 최근에 Chung *et al.* (1998)은 북한강 수계를 대상으로 생물학적 지수치들과 화학지수 치들을 비교 검토하여 수질평가를 한 바 있으며, 지수간의 상관관계를 비교분석 하였다. 또한 이들은 biotic index (BI) 모델이 우리나라 하천수계의 생물학적 수질평가에 적합하며, 단기간의 판정을 위하여서는 family-level biotic index (FBI)와 modified biological monitoring working party score system (BMWP) 지수 모델을 추천한 바 있다.

본 연구는 강원도 평창군 소재 평창강 일대를 중심으로 선정된 15개 조사지점을 대상으로 1년간 계절별로 수서곤충을 주요한 저서 대형무척추동물을 채집, 분류하고 각 분류군이 나타나는 지점에서의 수질을 생물학적 또는 생태학적 기준에 따라 평가하며 궁극적으로는 이들 수계의 생물학적 감시망 구축 가능성의 기초를 마련코자 한 것이다.

기간 및 지점

1. 조사 기간

본 조사의 기간은 1999년 9월부터 2000년 8월까지 1년간 계절별로 4회 조사되었다. 1차 조사는 1999년 10월 1일부터 3일까지 수행되었고 2차 조사는 2000년 2월 11일에서 13일까지 실시하였다. 3차 채집은 2000년 6월 4일에서 6일까지, 4차 조사는 2000년 8월 13일에서 15일까지 실시하였다.

2. 조사 지점

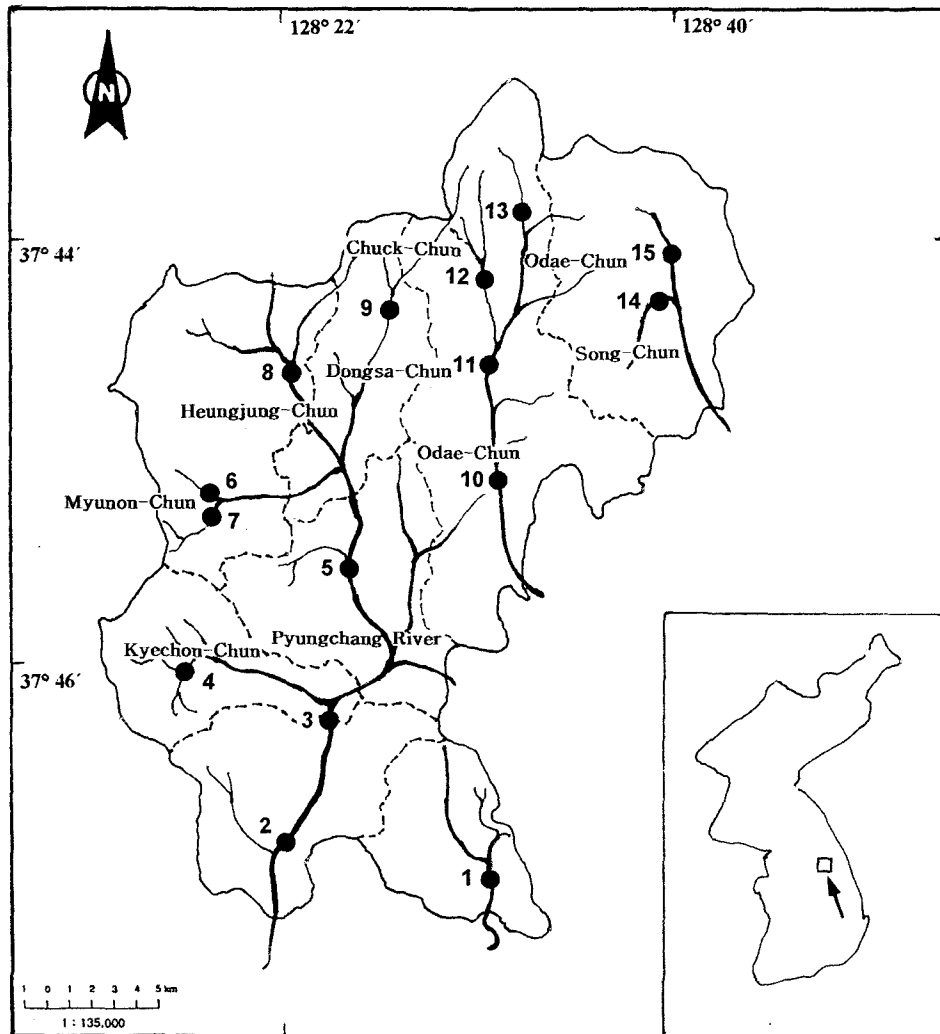
평창강 수계는 오대산에서 발원하는 오대천과 계방산에서 발원하여 평창읍으로 유입되는 평창강을 중심으로 되어 있으며 이들은 모두 영월에서 동강과 만나게 되고 이는 충주호를 거쳐 인구 이천만 이상이 거주하는 수도권으로 유입된다. 따라서 평창군 집수역의 하천수는 한강 수계의 최상류 유역의 발원지로서 하류수계의 수질

을 좌우하는 중요한 역할을 하는 것으로 볼 수 있다.

본 조사는 강원도 평창군내를 관통하는 동강 일부(지점 1)와 평창강(지점 2-9), 오대천(지점 10-13), 송천(지점 14, 15)을 대상으로 하였다. 각 채집지역은 평창강 중심의 하천수계를 기준으로 총 15개 지점에서 시료가 채집되었다(Fig. 1).

미탄면에 흐르는 동강 지류를 지점 1(미탄면 마하리 마하본동), 평창강 하류지점을 지점 2(평창읍 도둔리 도둔교), 평창강 중류를 지점 3(방림면 방림 1리 방림 초등학교), 평창강 중류 지류를 지점 4(방림면 계촌 1리), 평창강 상류를 지점 5(대화면 개수리 개수교), 평창강으

로 유입되는 먼은천을 지점 6(봉평면 먼은리 스키장 하부 등매 초등학교 좌측), 봉평면 먼은리 등매초등학교 상부 우측을 지점 7, 평창강으로 유입되는 흥정천을 지점 8(봉평면 창동리 봉평교), 평창강으로 유입되는 동사천을 지점 9(용평면 속사 2리), 오대천 하류를 지점 10(진부면 수향리), 오대천 중류를 지점 11(진부면 송정리 송정교), 오대천의 중류로 유입되는 지류 척천을 지점 12(진부면 두일리 두일 초등학교 하부), 오대천의 최상류를 지점 13(진부면 간평리 월정 초등학교 하부), 송천의 중류로 유입되는 지류를 지점 14(도암면 수하리 스키장 하부), 송천의 상류를 지점 15(도암면 횡계 2리)로



지점 : 1=미탄면 마하리 마하본동, 2=평창읍 도둔리 도둔교, 3=방림면 방림 1리 방림초등학교, 4=방림면 계촌 1리, 5=대화면 개수리 개수교, 6=봉평면 먼은리 스키장 하부 등매초등학교 하부, 7=봉평면 먼은리 등매초등학교, 8=봉평면 창동리 봉평교, 9=용평면 속사 2리, 10=진부면 수향리, 11=진부면 송정리 송정교, 12=진부면 두일리 두일초등학교 하부, 13=진부면 간평리 월정초등학교 하부, 14=도암면 수하리 스키장 하부, 15=도암면 횡계 2리

Fig. 1. A map showing the field sites at the tributaries of Pyungchang River system, Gangwon-do, Korea where the benthic macroinvertebrates were collected.

나누어 조사하였다.

조 사 방 법

1. 저서 무척추동물의 채집 및 동정

저서생물(macroinvertebrates)의 채집은 정량적 채집을 하였고 때로는 정성적 채집을 겸하여 실시하였다. Hand net (90×60 cm), scoop (직경 25 cm) 및 D-frame net을 이용하여 자갈(cobble), 작은 돌(pebble), 아주 작은 돌(gravel/sand) 및 모래(sand) 등으로 구성된 다양한 서식 장소에서 광범위하게 우선 정성적으로 채집하였고, 정량적 방법이 필요할 시에는 계류용 정량 채집망인 Surber sampler (Wild Instruments Co., Saginaw, MI, USA; 30 cm×30 cm)를 이용하여 각 지점에서 2회씩 채집하였다. 수심이 깊은 채집지점에서는 Ponar grab (Wild Instrument Co., Saginaw, MI, USA)을 이용하여 채집하였다.

채집된 대형 무척추동물들은 현지에서 Kahle's fluid (Edmunds *et al.* 1976)로 1~2일 고정하였고, 70% 에탄올로 옮겨 보관하면서 해부 현미경하에서 분류, 동정하였다. 이들 대형 무척추동물의 분류는 주로 한국동식물도감 수서곤충편(윤 1988)을 참고하였고, 필요시에는 인하대 외대 기생충학교실 소장 분류문헌들이 이용되었다(Kawata 1962; Tsuda 1962; Kawai 1985; 권 1990; Yoon and Kim 1992). 특히, 빈모류, 깔따구류 및 scuds의 분류는 Simpson(1980)의 분류 방법에 준하였다. 수서곤충의 분석변수로는 각 지역의 계절별 출현종 및 개체수를 산정하였고, 이를 토대로 우점도 지수(dominance index)와 Shanon-Weaver의 종 다양도 지수(species diversity index: Wihlm 1972)를 지점별, 계절별로 산출하였다. 생물학적 판정 지수로는 Trent Biotic Index (TBI), Modified Biological Monitoring Working Party Score System (BMWP), Biotic Index (BI) 등의 지수를 산출하였다.

1. 군집분석

1) 우점도 지수 (dominance index, DI)

채집된 각 표본에서 종을 동정하고, 동정된 각 종에서 개체수가 가장 많은 2종을 각 지점에서 선별하여 우점도 지수 (DI)와 우점종을 산출하였다 (McNaughton, 1967).

2) 종 다양도 지수 (species diversity index)

종 다양도 지수치 (species diversity index) 산정은 Wilhm (1972)의 모델을 적용하였으며 Staub *et al.* (1970)의 수질등급에 따라 각 조사지점의 수질을 평가

하였다.

3) 생물학적 지수 (biological indices)

① Trent biotic index (TBI; Sladeczek, 1973)

TBI 지수는 영국의 Trent강 지역의 수질을 평가코자 처음으로 고안된 이래, 많은 나라에서 이용되어져 왔으며, 새로운 여러 가지 생물지수 및 계량법을 고안하는데 기초가 되어 왔다 (Persoone and De Pauw, 1979). 이 TBI 지수 모델은 개체수의 풍부성을 제외하고 수질의 오염정도에 따라 출현하는 특정생물군의 존재유무에 근거하고 있는데, 저서무척추동물의 대표 분류군(key group)에 따라 오염 등급이 나뉘며 비오염지역의 지수를 0~10으로 한 것이다.

② Modified Biological Monitoring Working Party Score System (BMWP; Armitage *et al.* 1983)

분류단계로서 과 수준에서의 점수가 주어지는 지수로써 각 지점내에서 해당되는 분류군의 점수를 합쳐서 총 분류군 별로 평균값이 산출되어졌으며, 1~10의 점수범위로 되어 있고 비오염지역을 10점으로 정한 것이다.

③ Biotic Index (BI; Hilsenhoff, 1977)

BI 지수는 Hilsenhoff(1977)의 모델에 준하여 계산하였다. 즉, 수식에서 각 분류군의 내성치(tolerance values, a_i)는 Pantle and Buck (1955)의 수질상태 등급(1955)에 기초하여 응용된 것이며 Chung(1994)의 방법을 이용하였다. 산출된 생물 지수치를 4등급으로 나누어 수질을 평가하였다.

결 과 및 고 찰

1. 채집 대형무척추동물 개요

본 연구는 1999년 9월부터 2000년 8월까지 1년간 강원도 평창군 소재 평창강 일대의 15개 지점을 대상으로 조사한 기초 환경조사 연구의 일환으로서 계절별로 수서 대형 무척추동물을 채집, 동정, 분류하고 현지 수질을 생태학적으로 평가한 것이다.

채집된 대형 무척추동물은 10목, 31과, 77속, 109종이었으며, 조사지점 중 진부면 간평리(지점 13)에서 53종(48.6%)이 채집되어 가장 많은 종들이 출현하였고, 마하리(지점 1)와 창동리(지점 8)에서 각각 51종(46.7%), 50종(45.8%)이 채집되어 상대적으로 많은 종들이 출현하고 있음을 알 수 있었다. 그러나, 수하리 스키장 하부(지점 14)에서는 13종(11.9%)이 채집되어 전 조사지점 중 가장 적은 종들이 출현하였다. 한편, 조사지점 전역에 걸쳐 하루살이류(ephemeropterans)가 가장 풍부하게 서식하고 있었으며, 다음으로 날도래류(trichopterans), 파

Table 1. Species numbers of benthic macroinvertebrates collected at 15 field sites of Pyungchang River system during one-year survey period (1999~2000)

Taxa	No. of field sites														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ephemeroptera	22	18	16	15	23	21	19	25	25	16	12	13	22	2	15
Odonata	3	2	-	1	-	-	2	1	1	-	-	1	1	-	3
Plecoptera	1	1	-	1	3	-	-	3	2	-	1	2	5	-	1
Megaloptera	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trichoptera	13	15	15	8	15	10	13	15	12	9	7	11	16	3	8
Coleoptera	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Diptera	6	4	3	4	5	5	2	5	6	3	5	8	8	7	4
Horsehair worm	-	-	1	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	-	1
Gnathobdellida	-	1	-	1	1	1	1	1	-	1	1	1	-	1	-
Mesogastropoda	3	2	-	1	-	1	1	-	1	-	1	-	-	-	-
Total (%) [*]	51 (46.7)	47 (43.1)	35 (32.1)	31 (28.4)	47 (43.1)	38 (34.8)	38 (34.8)	50 (45.8)	48 (44.0)	30 (27.5)	28 (25.6)	37 (33.9)	53 (48.6)	13 (11.9)	33 (30.2)

^{*}Percentages in the parenthesis were calculated with total number of species collected (109 species).

리류(dipterans)의 순서로 서식하고 있음을 알 수 있었다(Table 1).

각 지점에서 계절별 출현종 및 개체수 산출치를 보면 창동리(지점 8), 간평리(지점 13), 속사리(지점 9)에서 총 개체수가 각각 1,308, 1,214, 1,193으로 높게 나타났고, 수하리 스키장 하부(지점 14)에서 총 개체수 127로 가장 낮게 나타났으며, 계절별로는 겨울철(5,827)에 특히 많은 개체수가 출현하였고 봄(2,693), 가을(1,652), 여름(1,384)철의 순으로 나타났다(Fig. 2).

일반적으로 청정지표종들이 많은 날도래류와 하루살이류가 조사지점 전체에서 가장 풍부하게 나타났다. 일반적인 국내 산간수계는 계절적으로 여름에 중수와 개체수가 낮아졌다가 점차 증가하여 겨울철에 가장 높은 종 조성율과 개체의 풍부도를 볼 수 있는데(Park and Chung, 2000) 이는 이들의 생활사적 변동에 기인한 것이다. 그러나 지점 14(횡계 용평스키장 하부)와 지점 6(면은리 스키장 하부)에서와 같이 지역적 특성상 상류에 위탁시설이 위치하고 있는 곳은 사계절 모두에서 오염물질의 유입으로 종조성의 계절적 변동은 확인할 수 없었다.

2. 군집분석

1) 우점종과 우점도 지수 (dominance index, DI)

각 조사지점에서의 제1 및 제2 우점종들과 우점도 지수를 계절별로 산출하였다(Table 2). 봄에는 수하리(지점 14)에서는 내성이 있는 하루살이류인 *Baetis thermicus*와 소형의 날도래인 *Glossosoma* KUa가 0.77로 가장 높게 나타났고, 개수리(지점 5)에서 청정계류에 서식하는 하루살이류인 *Drunella cryptomeria*와 날도래류

인 *Neophylax ussuriensis*가 0.31의 낮은 우점도로 조사되었다. 여름에는 방림리(지점 3)에서 *Epeorus latifolium*과 *Hydropsyche* KUa가 0.84와 도둔리(지점 2)에서 *Hydropsyche* KUa와 *Epeorus pellucidus*가 0.35, 가을에는 수항리(지점 10)에서 *Hydropsyche* KUa와 *Epeorus latifolium*이 0.87과 간평리(지점 13)에서 *Epeorus latifolium*과 *Cincticostella levanidovae*이 0.29, 겨울에는 면은리(지점 6)에서 *Hydropsyche* KUa와 *Epeorus latifolium*이 0.86과 속사리(지점 9)에서 *Cincticostella tshernovae*와 *Drunella aculea*가 0.39로 조사되었다. 몇 개 지점을 제외한 대부분의 조사지점에서 비교적 청정 지역에 서식한다고 알려져 있는 날도래류와 하루살이류가 제1 또는 제2 우점종으로 출현하였으며 우점도 지수치를 감안할 때 아직은 평창강 일대가 청정지역임을 알 수 있었다.

특히 오염 지점으로 추정되는 수하리(지점 14)에서는 하루살이류 중 오염물질에 내성이 강하다고 알려진 꼬마하루살이(*Baetis thermicus*)가 봄과 여름에 제1 우점종으로 나타났으며 그 지수도 각각 0.77과 0.73으로 산정되었다.

2) 종 다양도 지수 (species diversity, H')

종 다양도 지수치가 낮으면 오염되었음을 의미한다(Wilhm and Dorris, 1968)는 보고가 있는 후 종 다양도 지수에 의한 수질판정이 많이 시도되어 왔다. 종 다양도 지수를 각 조사 지점별로 산출해 본 결과, 종 다양도 지수가 가장 높게 나타난 지점은 대화면 개수리(지점 5)의 가을철이었으며 그 지수치는 3.91이었고, 다음으로 높은 지점은 동 지점의 봄으로 3.67의 지수를 보여 청정지역(clean water body)으로 분류되었으며, 지수가 가

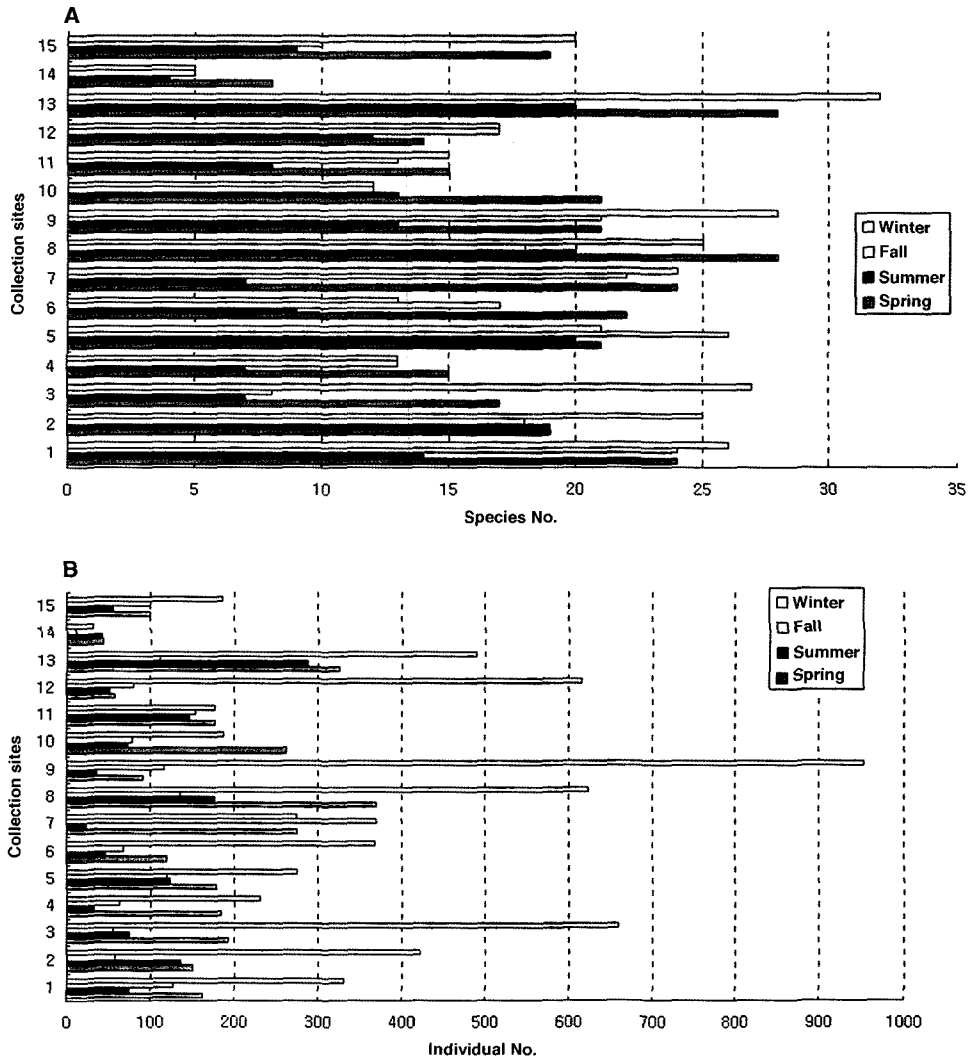


Fig. 2. Species numbers (A) and individual numbers (B) of benthic macroinvertebrates collected according to the four seasons at 15 field sites of Pyungchang River system.

장 낮게 나타난 지점은 방림리(지점 3)로서 지수치 1.38을 보여 그 수계에 서식하는 종들이 가장 적음을 알 수 있었다. 또한 수하리 스키장하부(지점 14)는 모든 계절에서 전체적으로 낮은 지수(1.68~2.05)를 보였다. 특히, 방림리(지점 3)는 지수치 1.38을 보여 α-중부수성 수질로 나타났지만 이는 수계로의 오염원 유입 등의 인위적인 오염이라 생각되지 않으며 오히려 비점원 오염 등의 자연적인 수환경 변화에서 온 원인이라고 생각된다. 그러나 위락시설을 갖춘 수하리 스키장하부(지점 14)지점은 모든 계절에서 전체적으로 낮은 지수치를 보인 바 (1.68~2.05) 이 지점은 방림리(지점 3)와는 달리 인위적인 오염원이 유입된 결과라고 판단되었다. 그 외의 전 조사지점에서는 전체적으로 높은 지수를 보이고 있었다

(Table 3). 지점 14에서는 우점도 지수와 종 다양도 지수 사이에 반비례적 상관성을 보이고 있었으며 이 두 지수 값이 수질오염의 정도에 따라 거의 동일하게 그 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 즉, 수질오염의 증가에 따라 군집의 단순도를 나타내는 DI가 높아질수록 군집의 복잡성을 나타내는 종 다양성(H')은 낮아지고 있음을 알 수 있었다(Bae and Park, 1992).

3) 생물지수

① Trent biotic index, TBI

지점 1, 지점 2, 지점 5, 지점 8, 지점 9, 지점 10에서는 4 계절 모두 지수값이 9 이상을 보여 우수한 수질로 유지됨을 알 수 있었고, 특히 수하리 스키장 하부인 지점 14에서는 역시 4 계절 모두 비교적 낮은 지수를 보였다

Table 2. Dominant species and dominance indices (DI) in 15 field sites of Pyungchang River system*

site	season	dominant sp.	DI	site	season	dominant sp.	DI
1	Sp.	<i>Limnephilus</i> KUe <i>Siphonurus chankae</i>	0.53	8	F	<i>Epeorus latifolium</i> <i>Hydropsyche</i> KUa	0.61
	Su.	<i>Epeorus latifolium</i> <i>Stenopsyche griseipennis</i>	0.52		W	<i>Drunella aculea</i> <i>Antocha</i> KUa	0.59
	F	<i>Stenopsyche griseipennis</i> <i>Hydatophylax nigrovittatus</i>	0.45	9	Sp.	<i>Drunella cryptomeria</i> <i>Cincticostella tshernovae</i>	0.43
	W	<i>Antocha</i> KUa <i>Stenopsyche griseipennis</i>	0.46		Su.	<i>Epeorus latifolium</i> <i>Ecdyonurus yoshidae</i>	0.43
2	Sp.	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Uracanthella rufa</i>	0.44	10	F	<i>Epeorus curvatus</i> <i>Epeorus latifolium</i>	0.49
	Su.	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Epeorus pellucidus</i>	0.35		W	<i>Cincticostella tshernovae</i> <i>Drunella aculea</i>	0.39
	F	<i>Ecdyonurus levis</i> <i>Burmagomphus</i> KUa	0.50	11	Sp.	<i>Uracanthella rufa</i> <i>Hydropsyche</i> KUa	0.62
	W	<i>Antocha</i> KUa <i>Chironomus</i> sp.	0.46		Su.	<i>Epeorus latifolium</i> <i>Hydropsyche</i> KUa	0.61
3	Sp.	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Drunella cryptomeria</i>	0.44	12	F	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Epeorus latifolium</i>	0.87
	Su.	<i>Epeorus latifolium</i> <i>Hydropsyche</i> KUa	0.84		W	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Cincticostella levanidovae</i>	0.56
	F	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Stenopsyche bergeri</i>	0.84	13	Sp.	<i>Serratella rufa</i> <i>Epeorus latifolium</i>	0.53
	W	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Antocha</i> KUa	0.56		Su.	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Epeorus latifolium</i>	0.69
4	Sp.	<i>Drunella cryptomeria</i> <i>Hydropsyche</i> KUa	0.67	14	F	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Epeorus latifolium</i>	0.61
	Su.	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Pseudocloeon japonica</i>	0.55		W	<i>Cincticostella castanea</i> <i>Hydropsyche</i> KUa	0.63
	F	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Semisulcospira gottschei</i>	0.68	15	Sp.	<i>Hydropsyche</i> KUe <i>Drunella lepnevae</i>	0.33
	W	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Antocha</i> KUa	0.67		Su.	<i>Epeorus latifolium</i> <i>Hydropsyche</i> KUa	0.62
5	Sp.	<i>Drunella cryptomeria</i> <i>Neophylax ussuriensis</i>	0.31	16	F	<i>Epeorus latifolium</i> <i>Tipula</i> KUa	0.61
	Su.	<i>Epeorus latifolium</i> <i>Hydropsyche</i> KUe	0.39		W	<i>Stavsolus</i> KUa <i>Cincticostella levanidovae</i>	0.81
	F	<i>Stenopsyche griseipennis</i> <i>Kamimuria coreana</i>	0.38	17	Sp.	<i>Epeorus latifolium</i> <i>Chironomus</i> sp.	0.52
	W	<i>Stenopsyche griseipennis</i> <i>Neophylax ussuriensis</i>	0.46		Su.	<i>Epeorus latifolium</i> <i>Epeorus aeschlus</i>	0.61
6	Sp.	<i>Ameletus montanus</i> <i>Hydropsyche</i> KUa	0.38	18	F	<i>Epeorus latifolium</i> <i>Cincticostella tshernovae</i>	0.29
	Su.	<i>Epeorus latifolium</i> <i>Hydropsyche</i> KUa	0.60		W	<i>Cincticostella tshernovae</i> <i>Drunella aculea</i>	0.42
	F	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Baetis thermicus</i>	0.68	19	Sp.	<i>Baetis thermicus</i> <i>Glossosoma</i> KUa	0.77
	W	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Antocha</i> KUa	0.86		Su.	<i>Baetis thermicus</i> <i>Hydropsyche</i> KUa	0.73
7	Sp.	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Drunella cryptomeria</i>	0.41	20	F	<i>Drunella aculea</i> <i>Baetis thermicus</i>	0.70
	Su.	<i>Epeorus latifolium</i> <i>Hydropsyche</i> KUa	0.67		W	<i>Antocha</i> KUa <i>Chironomus</i> sp.	0.85
	F	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Epeorus latifolium</i>	0.84	21	Sp.	<i>Drunella longipes</i> <i>Limnephilus</i> KUa	0.46
	W	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	0.58		Su.	<i>Hydropsyche</i> KUa <i>Hydropsyche</i> KUe	0.59
8	Sp.	<i>Hydropsyche</i> KUe <i>Glossosoma</i> KUa	0.35	22	F	<i>Hydatophylax nigrovittatus</i> <i>Davidius lunatus</i>	0.73
	Su.	<i>Epeorus latifolium</i> <i>Hydropsyche</i> KUa	0.52		W	<i>Stavsolus</i> KUa <i>Ephemerella dentata</i>	0.41

* Sp. = spring, Su. = summer, F = fall, W = winter

Table 3. Species diversity index values (H') in 15 field sites of Pyungchang River system

site	Spring	Summer	Fall	Winter
1	3.38	2.92	3.39	3.39
2	3.45	3.53	3.18	3.23
3	3.30	1.74	1.38	3.18
4	2.54	2.50	2.32	2.31
5	3.67	3.52	3.91	3.39
6	3.71	2.54	2.48	1.82
7	3.53	2.27	1.65	2.75
8	3.65	3.19	2.85	2.70
9	3.48	3.26	3.22	3.51
10	2.79	2.74	2.30	2.67
11	2.82	2.04	2.54	2.47
12	3.43	2.70	2.83	1.77
13	3.35	2.58	3.75	3.59
14	1.86	1.68	2.05	1.68
15	3.29	2.55	2.09	3.56

(Table 4). 기타 지점들에서도 대체로 높은 지수치를 보였고, 계절별로는 전 조사지점에서 겨울과 봄철이 여름과 가을철에 비해 다소 높은 지수치를 보이고 있었다. 이것은 여름과 가을철에 인간의 활동이 상대적으로 활발하여 수계오염에 일조하고 있을 것으로 간주되었다.

② Modified biological monitoring working party score system, BMWP

지점 5, 지점 13, 지점 15에서는 지수치가 사계절에 걸쳐 7.0 이상을 보여 청정지역임을 알 수 있었고, 지점 14의 낮은 지수치들(3.50~5.25)을 제외한 기타 채집지점에서는 대체로 양호한 지수치를 보이고 있었다(Table 4).

③ Biotic index, BI

BI 지수는 수치가 낮을수록 청정지역임을 의미한다. 각 분류군에 따라 종 별 내성치(tolerance value)가 반영된 BI 지수치를 각 조사지점에서 산출한 결과는 Table 4에서와 같다. 지점 1, 지점 5, 지점 8, 지점 9, 지점 13, 지점 15에서는 BI 지수치가 전 계절에 걸쳐 1.5 이하의 낮은 지수를 보이는데, 이들은 0~1.5 범위 안에 들어 청정지역(clean unpolluted water)으로 분류되었다. 지점 4의 가을, 겨울, 지점 7의 가을, 지점 11의 여름, 가을, 지점 14의 겨울철의 BI 지수치들은 1.8 이상을 보여 BI 지수가 다소 높게 나타나 경오염수질(slightly polluted water) 계절에 속하였다. 또한, 계절간의 지수치에는 큰 차이를 보이지 않았으며, 전 계절을 통한 대상 조사지점들에서의 BI 지수치는 대체로 우수하게 나타나 전체적으로 청정한 수계됨을 알 수 있었다.

용평 스키장 하부의 지점 14와는 달리, 먼오리 스키장 하부 지점 6에서의 각 지수치가 양호하게 나타난 것은 이 지점이 채집지와 멀리 떨어져 있고 풍부한 수량이 빠른 유속으로 흐르고 있어 자연정화작용이 있었기 때문이라고 사료되었다. 또한 지점 14는 조사 당시 토목공사 하고 있어 공사장에서 유입되는 토사로 인하여 수중 생태계가 전면 파괴되고 있었으며, 수서곤충의 생태적 복원이 최소 1년 이상이 걸리는 것을 감안하면 그 수계의 수중생태계는 상당 기간 파괴된 상태로 남아있게 될 것으로 사료된다. 또한 지점 14는 생물지수 판정 결과, 3개 생물지수에서 사계절 모두 오염된 수질의 지수치를 보여 생물지수간의 연관성을 나타냈으며 이러한 생물지수간의 경향은 지점 14를 제외한 다른 지점에서도 대동소이하였다.

Table 4. Biological index values calculated with the data obtained during one-year survey period*

Site	TBI				BMWP				BI			
	Sp.	Su.	F	W	Sp.	Su.	F	W	Sp.	Su.	F	W
1	9	9	9	9	7.18	6.88	6.92	6.93	1.07	1.11	1.39	1.11
2	9	9	9	9	7.30	7.00	6.80	6.83	1.50	1.80	1.74	1.72
3	9	9	6	9	6.40	7.25	6.00	6.17	1.33	1.29	1.86	1.56
4	9	7	7	8	7.63	4.00	6.33	7.00	1.23	1.79	1.89	1.92
5	9	9	10	10	7.44	7.08	7.69	8.00	1.07	1.18	1.08	1.17
6	9	9	8	6	6.42	8.40	7.00	6.86	1.23	1.26	1.81	1.60
7	9	8	8	9	6.70	6.00	7.33	7.30	1.34	1.46	1.84	1.68
8	9	9	9	9	7.58	7.67	6.40	7.22	1.15	1.26	1.30	1.03
9	9	9	9	10	8.70	6.85	6.80	7.07	1.06	1.17	1.20	1.02
10	9	9	9	9	6.50	6.75	8.00	6.57	1.41	1.33	1.71	1.66
11	9	9	6	9	7.28	6.33	5.66	7.88	1.12	1.84	1.82	1.34
12	9	5	6	9	5.90	7.00	6.36	6.84	1.26	1.42	1.11	1.13
13	9	9	9	10	7.12	7.08	7.36	7.50	1.20	1.02	1.01	1.19
14	4	7	5	4	4.40	4.00	7.25	3.50	1.16	1.58	1.60	1.87
15	9	6	8	9	7.00	7.70	7.00	7.36	1.14	1.37	1.07	1.06

* Sp. = spring, Su. = summer, F = fall, W = winter

적 요

본 연구는 1999년 9월부터 2000년 8월까지 1년간 강원도 평창군 소재 평창강 일대의 15개 조사지점을 대상으로 계절별로 저서성 대형무척추동물들을 채집, 분류, 동정하고 현지 수질을 생태학적으로 평가한 것이다. 총 4문 4강 10목 31과 77속 109종이 채집되었으며, 조사지점 중 진부면 간평리에서 53종(48.6%)이 채집되어 가장 많은 종들이 출현하였고 마하리와 창동리에서도 각각 51종(46.7%), 50종(45.8%)이 채집되었다. 그러나 수하리 스키장 하부에서는 13종(11.9%)이 채집되어 전 조사지점 중 가장 적은 종들이 출현되었다. 한 편 조사지점 전역에 걸쳐 하루살이류가 가장 풍부하게 서식하고 있었으며, 우점종에 있어서는 하루살이류(ephemeropterans)와 날도래류(trichopterans)가 대부분을 차지하고 있었다. 종다양도 지수치(H')는 개수리 지역이 3.67로 가장 높고, 방림리가 1.38으로 가장 낮았다. TBI 지수치는 대다수 지점이 9 이상으로서 청정 지역으로 간주되나 수하리에서는 4~5로 낮은 수치를 나타내었다. BMWP 지수치에서는 대부분 지점이 7.0 이상이나 수하리 지역은 3.5~5.2로 역시 가장 낮은 수치를 나타내었다. BI 지수에서도 수하리 지역을 제외하고 모두 1.5 이하의 낮은 수치로 청정한 수역으로 판정되었다.

인 용 문 헌

- 권오길. 1990. 한국동식물도감. 제32권 동물편(연체동물), 문교부. 446pp.
- 라철호, 조영관. 1986. 광양천의 수서곤충에 대한 생물학적 연구. 한국육수학회지. 19(1-2):29-49.
- 오용남, 전태수. 1991. 배내천 종류의 저서성 대형무척추동물에 대한 연구 II. 북독상하에서의 군집 및 환경비교. 한국생태학회지. 14(4):399-413.
- 윤일병, 강옥철, 변중욱. 1984. 서귀포시내 하천의 수서곤충군집에 관한 연구. 한국육수학회지. 17(1-2):65-76.
- 윤일병, 배경석, 공동수. 1987. 낙동강 하구의 이화학적 요인과 저서성 대형무척추동물의 군집구조에 관한 연구. 한국육수학회지. 20(2):73-99.
- 윤일병, 어성준, 김기홍. 1986. 청도군 동창천 수계의 저서성 대형무척추동물 군집구조에 관한 연구. 한국육수학회지. 19(1-2):97-107.
- 윤일병. 1988. 한국동식물도감. 제30권 동물편(수서곤충류), 문교부. 850pp.
- 윤일병, 공동수, 류재근. 1992a. 저서성 대형무척추동물에 의한 생물학적 수질평가 연구(I) -오탁계급치 및 지표가중치 산정을 중심으로-. 한국환경생물학회지. 10(2):24-39.
- 윤일병, 공동수, 류재근. 1992b. 저서성 대형무척추동물에 의한 생물학적 수질평가 연구(II) -생물군집에 대한 환경요인 영향을 중심으로-. 한국환경생물학회지. 10(2):77-84.
- Armitage PD, D Moss, JF Wright and MT Furse. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Res.* 17(3): 333-347.
- Bae KS and SB Park. 1992. Benthic invertebrate community and relation with environmental factors at the ecosystem of tributary streams in Han River. *Korean J. Limnol.* 25(1):41-57.
- Boesch DF and R Rosenberg. 1981. Responses to stress in marine benthic communities. *In Stress effect on natural ecosystems.* (Barret GW and R Rosenberg ed.). John Wiley and Sons, New York. pp. 179-200.
- Chung PR. 1994. Biological evaluation of water quality in running waters of Republic of Korea. Research report, IDRC/Canada.
- Chung PR, CT Soh, YK Ahn, BL Choi and JK Chang. 1992. Biological assessment of water quality in Korean river systems. *Yonsei Rep. Trop. Med.* 23: 51-79.
- Chung PR, SJ Aw, YH Jung, JJ Kim and SK Choi. 1998. Biotic indices as assessment tools of water quality in the Han River system, Korea. *Korean J. Ecol.* 21(6):759-770.
- Edmunds GF Jr., SL Jensen and L Berner. 1976. The mayflies of North and Central America. Univ. Minnesota Press, Minneapolis. 330pp.
- Gray JS. 1981. Detecting pollution induced changes in communities using the log-normal distribution of individuals among species. *Mar. Pollut. Bull.* 12(5):173-176.
- Hartley JP. 1982. Methods for monitoring offshore macrobenthos. *Mar. Pollut. Bull.* 13:153-154.
- Hilsenhoff WL. 1977. Use of arthropods to evaluate water quality of streams. Technical Bulletin No. 100, Dept. of Natural Resources, Madison, Wisconsin.
- Hilsenhoff WL. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *J. of the North Amer. Benthol Soc.* 7:65-68.
- Kawai T. 1985. An illustrated book of aquatic insects of Japan. Tokai University Press.
- Kawata T. 1962. Illustrated insect larvae of Japan. Hokuryo-kan Publishing Co., Tokyo.
- Kim CH, IB Yoon and CK Lee. 1979. A study on the biological estimation of water pollution levels by the diversity of aquatic insects in Han River. I. Jojong stream. *Bulletin of the Korean Assoc. for conservation of Nature, series.* 1:257-267.

- Kolkowitz R and M Marsson. 1967. Ecology of animal saprobia (1909). *In* Biology of water pollution, U.S.D.I., Fed. Water Pollut. Control Admin., Cincinnati.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature*. 216:168-169.
- Merritt RW and KW Cummins. 1984. Introduction to the aquatic invertebrate of North America. Kendall/Hunt Publishing Co., Dubuque, Iowa. 729pp.
- Metcalf JL. 1989. Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status in Europe. *Environ. Pol.* 60:101-139.
- Oh YK, JW Won, BT Rhim and KC Shin. 1983. Study on the water pollution of the Han River and other streams in Seoul area (1972). *Abstracts on Environmental Sciences*. 1:200.
- Pantle R and H Buck. 1955. Die biologische uberwachung der gewasser und die darstellung der ergebnisse. *Gas and Wasserfach*. 96:604.
- Park JW and PR Chung. 2000. Biological evaluation of water quality with the macrobenthos collected in a freshwater stream, Muju, Korea. 10th International Symposium on River and Lake Environments. 10:105-109.
- Pearson TH and R Rosenberg. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 16:229-311.
- Persoone G and N De Pauw. 1979. Systems of biological indicators for water quality assessment. *In* Biological aspects of freshwater pollution (O. Ravera. ed.). Pergamon Press, Oxford. pp. 39-75.
- Simpson KW. 1980. Macroinvertebrate survey of the Buffalo River system-1976. NYS Dept. Health, Environ. Health Rep, Albany. 8:31.
- Sladeczek V. 1973. The reality of three British biotic indices. *Water Res.* 7:995-1002.
- Staub RJW, JW Appling, AM Hofstetter and IJ Hass. 1970. The effects of industrial waters of Memphis and Shelby County on primary plankton producers. *Biosciences*. 20:905-912.
- Tsuda M. 1962. Aquatic entomology. Hokuryo-kan Publishing Co., Tokyo.
- Wilhm JL. 1972. Graphic and mathematical analysis of biotic communities in polluted stream. *Ann. Rev. Ent.* 17:223-252.
- Wui IS, CH Ra, CG Choi and SK Baik. 1983. Studies on the aquatic insects of the Tamjin River. *Korean J. Limnol.* 16(1-2):33-52.
- Wui IS, CH Ra, JB Lee and SK Baik. 1991. Studies on the bioindicator of aquatic insects to the environmental pollution. *Korean J. Environ. Biol.* 9(1):42-54.
- Yoon IB and JL Kim. 1992. Systematics on the larvae of crane flies (Tipulidae : Diptera) in Korea. *Entomol. Res. Bull. (Korea)* 18:39-53.
- Yoon IB and JU Byun. 1981. Biological and chemical analyses of the Han River system. *Bulletin of the Korean Assoc. for Conservation of Nature*. III:391-411.
- Yoon IB and JU Byun. 1982. A comparative study on the biological and physicochemical analysis for water pollution in the main course of Han River. *Bulletin of the Korean Assoc. for Conservation of Nature. Series IV*: 297-312.
- Yoon IB. 1978. Aquatic insects in the Han River system. *Korean J. Environ. Protection*. 13:163-171.

(Received 7 March 2001, accepted 21 May 2001)