

황폐계류의 사방공작물 시공에 따른 저서성 대형무척추동물상의 변화^{1a} - 시공 직후의 변화를 중심으로 -

이도형² · 이기환² · 이현호^{2*} · 마호섭³ · 배관호⁴ · 김종현⁵

The Variation of Benthic Macroinvertebrates Caused by Erosion Control Works in a Torrential Stream^{1a}

- Focused on Variation of Benthic Macroinvertebrates Analyzed
immediately after Construction Works -

Do-Hyung Lee², Ki-Hwan Lee², Heon-Ho Lee^{2*}, Ho-Seop Ma³
Kwan-Ho Bae⁴, Jong-Hyon Kim⁵

요 약

본 연구는 산지황폐계류에 시공한 사방공작물이 계곡생태계에 미치는 영향을 분석하고자 시공 전후를 기준으로 조사지점별로 저서성 대형무척추동물의 출현종의 변화분석 및 생물학적 수질평가를 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 시공 전 출현한 저서성 대형무척추동물의 총 수는 4문 6강 11목 22과 25종 3,086개체였으나 시공 후 조사에서는 4문 6강 10목 17과 19종 1,208개체로 감소하였다. 특히, 직접적인 사방공작물의 시공이 이루어진 조사지점에서는 시공 후 생물종이 전혀 출현하지 않거나, 극소량만이 채집되어 서식종의 현존량을 기초로 하는 다양도 지수, 풍부도 지수, 균등도 지수가 감소 또는 산출되지 않았다. 저서생물의 군집분석 결과 및 저서성 대형무척추동물의 생태점수(ESB)는 모든 조사지점에서 시공전보다 시공 후에 오수생물계열, 환경상태, 수질등급과 같은 계곡환경질이 저하된 것으로 나타났다. 즉, 시공전 상류는 양호 및 다소 양호, 중류는 다소 불량, 하류는 불량 및 매우 불량으로 분석되었으나, 시공 후 상류 일부 지역을 제외한 나머지 수역은 매우 불량으로 분석되었다. 또한 대상 계류의 수질등급의 경우 시공 전에는 I~III등급 사이로 분류되었으나, 시공 후 대조군을 제외하고는 모두 IV~V등급으로 악화되었다. 이와 같이 사방공작물의 시공후 모든 조사지점에서 발생한 저서성 대형무척추동물의 서식 환경 파괴는 개체수의 감소와 수질악화로 이어졌다. 이 결과는 사방공작물의 시공 직후에 조사 분석한 것이므로, 향후 장기간의 모니터링을 통하여 시공한 사방공작물의 재해방지 효과와 함께 계류 생태계의 회복과정에 대한 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

주요어 : 산지황폐계류, 사방사업, 저서생물, 수질분석, 계곡생태환경

1 접수 2009년 8월 7일, 수정(1차: 2009년 8월 26일), 게재확정 2009년 8월 28일

Received 7 August 2009; Revised(1st 26 August 2009); Accepted 28 August 2009

2 영남대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Yeungnam Univ., Gyungsan(712-749), Korea

3 경상대학교 산림과학부 Division of Environment Forest Science, Gyeongsang Nat'l Univ., Jinju(660-701), Korea

4 경북대학교 상주캠퍼스 산림환경자원학과 Dept. of Forest Resources and Environment, Kyungpook Nat'l Univ., Sangju 742-711, Korea

5 (주)엔에이피 Nap Co., Ltd, Daegu 701-024, Korea

a 본 연구는 산림청 '산림과학기술개발사업(과제번호 : S120606L0301104)' 의 지원을 받았음

* 교신저자, Corresponding author(hhlee@ynu.ac.kr)

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effect of erosion control works on the stream ecosystem in a mountain torrential stream. The species composition of benthic macroinvertebrates and biological water quality were investigated before and after construction of erosion control works at 5 sites. The total number of benthic macroinvertebrates before construction was 3,086 individuals including 4 phyla, 6 classes, 11 orders, 22 families, and 25 species, but after construction it has decreased to 1,208 individuals including 4 phyla, 6 classes, 10 orders, 17 families, and 19 species. Especially, the diversity, richness, and evenness indices, which were calculated based on existing number of biological species, have decreased or not produced at the erosion control sites, where biological species were not found or the minimum number of species were found. The results of community analysis of benthic macroinvertebrates and ESB(Ecological Score of Benthic macroinvertebrate community) indicated that the environmental qualities of the stream based on saprobity, environmental condition, and water quality decreased after the construction at all sites: before construction, the top of the stream was satisfactory and some satisfactory, the middle was some defectiveness, and the lower was defectiveness and very defectiveness; after construction, all parts of the stream except some parts of the top were very defectiveness. Moreover, the water quality of torrential stream was rated between I to III before construction, but after construction, it declined to IV~V except control. The habitat damage of benthic macroinvertebrates occurred at all investigation sites after the construction of erosion control works led to reduction of the number of biological species and water quality deterioration. The results reported in this study were collected directly after the construction of erosion control works. Therefore, additional studies are needed to further explore the effect of disaster-prevention of erosion control works and the recovery process of stream ecosystem through long term monitoring.

KEY WORDS : MOUNTAINOUS TORRENTIAL STREAM, EROSION CONTROL WORK, BENTHOS, WATER ANALYSIS, STREAM ECOSYSTEM

서론

산지토사재해로부터 지역주민의 생명과 재산을 보호하고자 시행되고 있는 사방사업은, 환경에 대한 국민적 요구도가 높아짐에 따라 생태·환경친화적 사방사업이라는 새로운 패러다임을 맞고 있다.

특히, 산지계류에서의 사방사업은 과거 방재위주의 획일화된 시공이 유역생태계의 다양성을 저해함으로써 자생 곤충 및 어류의 소멸, 주변경관의 훼손 등 많은 환경문제를 낳고 있다. 이 때문에 정부에서는 1990년대 중반이후부터 ‘환경친화적 사방사업’이라는 정책 슬로건 아래, 산림유역을 다양한 생물이 공존하며 살아가는 하나의 유기체로 판단하고 어도 설치의 의무화와 친환경 시공재료의 사용 등 다각적인 노력을 하고 있다(Woo *et al.*, 2006). 그러나 아직까지는 현행 사업의 대다수가 계곡생태계의 안정성을 고려하

기 보다는 재해예방을 중심으로 시행되고 있으며, 사방사업 전후에 있어서 산지 생태계의 보전 및 복원에 관한 사항들을 면밀히 검토한 예는 찾아보기 힘들다(Ma *et al.*, 2008a; 2008b).

사방댐, 바닥막이, 기슭막이 등과 같은 계곡사방공작물은 계류수의 흐름을 단절함으로써 유역내 육역과 수역의 교차점이자 상류와 하류의 이동로인 산지계류의 기능을 약화시킨다. 따라서 근래에 대다수 사방사업에서는 유역생태계에 대한 사전 조사와 분석을 통하여 친환경적인 설계 및 시공기준을 마련함으로써 시공 이후 계곡생태계의 빠른 회복을 유도함이 요구된다(Park *et al.*, 2000; Park, 2002; 2003).

유역생태계 또는 계곡생태환경의 변화를 파악하기 위한 조사방법으로는 첫째, 계곡형태와 수문학적 특성 위주의 물리적 평가방법과 둘째, 서식생물종들의 개체수와 군집도를 평가 기준으로 하는 생물학적 조사방법이 있으며 셋째, 수

온, 탁도, 용존산소 및 영양 염류 등 계류수질에 영향을 주는 인자들에 기인한 이화학적 조사방법이 있다(Jung, 2002). 이 가운데 생물학적 조사방법은 채집된 동식물에 나타나는 변화를 통해 계곡환경의 장기적인 변화를 분석하는 것으로(Wilhm, 1972), 최근 이화학적 수질평가를 보완할 수 있는 중요한 환경평가 인자로 각광받고 있다(Kim, 2004).

저서성 대형무척추동물은 앞서 말한 생물학적 조사방법의 대표적인 대상 생물종 중 하나로 계류생태계의 약 95%를 구성하며 가장 많은 종수를 차지한다. 또한 영양단계의 저차소비자이며, 서식처 및 기능이 고도로 분화되어 있고, 수환경에 따른 특정 종의 유무, 종수와 개체수의 분포 등 군집구조의 차이가 뚜렷하다. 따라서 인위적 교란에 따른 계곡생태환경의 변화를 판단하기 위한 생물학적 지표로서 적합하다(Hynes, 1963; Yoon *et al.*, 1992). 국내에서 저서성 대형무척추동물 군집에 관한 연구는 소금강과 오대산 계곡내 수서곤충류의 분석을 시작으로(Yoon, 1971) 지금까지 주로 한강 및 낙동강, 영산강, 황강 등의 주요 하천을 대상으로 이루어져 왔으나(Yoon, 1980; Yoon *et al.*, 1986; Park *et al.*, 1991; Bae *et al.*, 1996), 근래에는 계곡사방공사로 인해 야기되는 환경피해 정도를 파악하고 예방하기 위하여 시공 전 생물학적 조사방법에 관한 정립(Chun *et al.*, 2003a; 2003b)과 사방공작물의 이격거리와 구조적 특성에 따른 저서생물군집의 변화를 분석한 연구가 이루어진 바 있다(Ma *et al.*, 2008b). 하천에서의 시설물의 시공 및 철거에 따른 저서성 대형무척추동물의 군집 변화에 관한 연구로서는 하천의 준설 이후에 저서성 대형무척추동물의 변화를 분석한 연구(Bae *et al.*, 1996), 하천에서의 소형보의 철거 이후에 저서성 대형무척추동물의 변화를 분석한 연구(Kil *et al.*, 2007a)와 댐이 저서성 대형무척추동물의 군집에 미치는 영향을 조사한 연구(Kil *et al.*, 2007b) 등이 있다.

본 연구는 황폐계류에 시공한 사방공작물의 시공직후에 있어서 저서성 대형무척추동물의 변화를 분석한 자료를 이용하여 사방공작물이 계류생태계에 미치는 영향을 파악하고자 수행하였으며, 나아가 연구 성과는 다양한 계류환경 중요한 기초자료를 제공할 것이다.

재료 및 방법

1. 조사 대상지 선정

연구 대상지는 경상북도 포항시 연일읍 옥여봉에서 발원하여 형산강으로 유입되는 산지계류로서(동경 129°19'35"~129°19'15", 북위 35°58'48"~35°58'31") 유수와 토사력의 작용에 따른 계곡의 황폐화가 진행 중인 지역이었다. 이에 본 연구에서는 2007년 7월 18일부터 10월 24일까지 약 4개

월 동안 계안붕괴 또는 계상세굴이 발생한 주요침식지점 5개소에 사방댐, 골막이, 바닥막이, 통나무수제의 4개 공종을 시공하였다. 그리고 공사과정에서 수서 생태계의 교란이 발생하였을 것으로 예상되는 각 시공지점(Site 1~Site 5)을 대상으로 저서성 대형무척추동물을 채집 및 분석하고, 인위적 교란이 발생하지 않은 계곡 상류 지점과의 비교를 통해, 사방공작물의 시공에 따른 계곡생태환경의 변화를 판단하였다(Figure 1).

Figure 2에 조사지점별 사방공작물의 시공 전후 모습을 나타내었으며, 각 시설물의 위치 및 규모는 다음과 같다.

1) 통나무수제(Site 1)

격자형 통나무 구조물에 잡석을 채운 형태이며, 유심방향의 급격한 변화에 따른 유수의 침식작용으로 계안붕괴가 발생한 Site 1의 지점에 시공하였다. 또한 수제의 높이는 계상으로부터 50cm 내외, 길이는 계곡 폭의 1/3 미만인 5m이다.

2) 사방댐(Site 2)

사방댐의 규모는 댐 유효고 2m, 상장 11m, 하장 9m로서 호우시 상류로부터 이동하는 토사력을 저지하고자 지류의

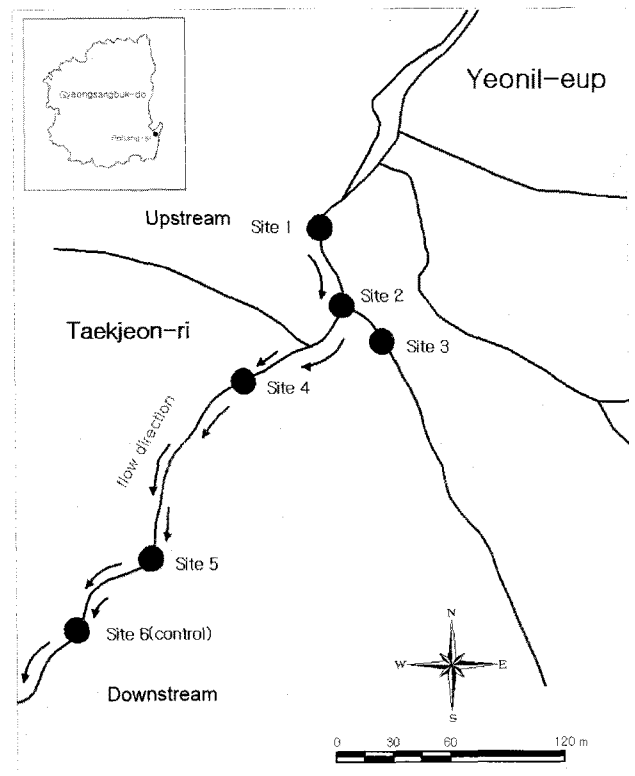


Figure 1. Geographic location of six study sites including control.

합류점인 Site 2의 지점에 시공하였다. 또한, 생태경관기능을 고려하여 콘크리트 본체에 전석붙이기로 시공하였으며, 반수면은 전석을 이용한 계단으로 시공하여 그 기능을 강화하였다.

3) 골막이(Site 3)

본류에 합류하는 지류의 종점인 Site 3에 높이 1.5m, 상장 3m, 하장 2m 규모의 골막이를 시공, 유수의 흐름으로 인한 인접사면의 침식을 방지하였다.

4) 바닥막이(Site 4, 5)

계곡의 중·하류침식으로 인하여 계상과 계안이 훼손된 Site 4, Site 5의 지점에 높이 1m, 길이 5m, 넓이 1.2m 규모의 바닥막이를 시공하였다. 시공한 바닥막이는 통나무 수제와 유사한 형태로 격자형 통나무 구조물에 잡석을 채웠으며 특히, 구조물 상부가 계상으로부터 50cm 이상 노출되지 않도록 유의하면서 시공하였다.

2. 조사방법

1) 조사시기와 동정

조사 시기는 사방공작물의 시공 전후에 있어서 저서성 대형무척추동물의 우화시기를 고려하여 결정하였으며 단, 정해진 조사일 전에 비가 오면 1~2주 후에 실시하였다. 1차 조사는 사방공작물을 시공하기 전인 2007년 6월 15일에 실시하였으며, 2차 조사는 사방공작물을 시공한 후인 2007년 10월 30일에 실시하였다.

저서성 대형무척추동물의 채집은 조사지점별로 계곡의 중앙부와 낙엽이 풍부한 곳을 중심으로 실시하였다. 정량채집은 망목 크기가 1mm인 surber net(30cm×30cm)이용, 약 10cm 깊이로 3회 반복 실시하였고, 정성채집은 hand-net, hard bottom scraper를 이용, 돌, 자갈에 부착하는 서식형과 부유물 등 퇴적층에 서식하는 저서성 대형무척추동물의 습성에 유의하여 채집하였다. 채집된 표본은 현장에서 80% Alcohol에 고정된 후, Kahle's solution에 옮겨 보관하였다. 채집된 종의 동정은 한국동식물도감(Yoon, 1988; Kwon, 1990)과 한국의 수서곤충(Won *et al.*, 2005)을 이용하였으며, 해부 현미경 40배 및 80배하에서 실시하였다.

2) 군집분석

분류별로 동정된 각 종의 개체수를 이용하여 다양도 지수, 풍부도 지수, 균등도 지수, 우점도 지수를 산출하고 사방공작물의 시공 전후에 있어서 조사지점별 변화를 분석하였다.

우점도 지수는 McNaughton의 우점도지수를 이용하였으

며 각 지점별로 채집된 개체수 현존량을 고려하여 우점종 2종을 선정 및 산출하였다(McNaughton, 1967). 다양도 지수는 정보이론에 의하여 유도된 Shannon-Weaver function(Shannon and Weaver, 1949)의 변형공식을 이용하여 산출하였으며(Pielou, 1969; 1975), 풍부도 지수 산출에는 Marglef(1958)의 방식을 이용하였다. 균등도 지수는 다양도 지수의 최대치에 대한 실제치의 비로써 Pielou(1975)의 방식을 이용하여 산출하였다.

3) 생물학적 수질평가

계곡생태환경의 변화를 판단하기 위해서 저서성 대형무척추동물을 이용한 생물학적 수질평가를 실시하였다. 생물학적 수질평가방법은 환경변화에 대한 저서생물의 반응을 수치화하여 해당 계곡생태환경을 평가할 수 있는 분석방법으로 전국자연환경 조사지침(Ministry of Environment Republic of Korea, 2001)에서 제시한 ESB(Ecological Score of Benthic macroinvertebrate community)를 적용하여 실시하였다.

지표군집 지수는 개체출현도(다양도 지수 등)를 무시한 두 가지 유형의 단순지수를 사용하였으며, 환경질 및 오수 생물계열에 대한 ESB 평가구간은 Ministry of Environment Republic of Korea(2001)에서 제시한 기준표를 기초로 하였다.

결과 및 고찰

1. 사방공작물의 시공 전후에 있어서 출현종의 분포상 변화

사방공작물의 시공 전 1차 조사에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 총 분류군수는 4문 6강 11목 22과 25종으로 가장 많이 출현한 분류군은 하루살이목(Ephemeroptera)이며, 전체 분류군 중 24%를 차지하였다. 그리고 날도래목(Trichoptera)이 20%, 잠자리목(Odonata) 및 노린재목(Hemiptera)이 각각 12%, 파리목(Diptera)이 8%를 차지하였으며, 이외 삼기장목(Tricladida), 연가시목(Gordea), 물지렁이목(Archiligochaeta), 부리거머리목(Rhynchobdellida), 턱거머리목(Arhynchobdellidae), 단각목(Amphipoda)이 각각 4%의 순으로 조사되었다.

반면, 사방공작물의 시공 후 실시한 2차 조사에서 출현한 총 분류군은 시공 전과 비교하여 6종이 감소한 4문 6강 10목 17과 19종으로 환형동물문(Annelida) 1종, 절지동물문(Arthropoda) 5종이 감소하였다. 가장 많이 출현한 분류군은 하루살이목이 아닌 날도래목 전체 분류군 중 26%를 차지하였으며, 이외 하루살이목 21%, 잠자리목과 노린재목이

Table 1. The number of species and families belong to major taxa of benthic macroinvertebrates collected before and after construction of erosion control works at five sites.

Phylum	Class	Order	Family		Species		
			Before	After	Before	After	
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	1	1	1	1	
Nematomorpha	Gordioida	Gordea	1	1	1	1	
Annelida	Oligochaeta	Archilogochaeta	1	1	1	1	
		Rhynchobdellida	1	0	1	0	
		Arhynchobdellidae	1	1	1	1	
Arthropoda	Crustacea	Amphipoda	1	1	1	1	
		Ephemeroptera	4	2	6	4	
		Odonata	3	3	3	3	
		Insecta	Hemiptera	3	1	3	1
			Diptera	1	1	2	1
			Trichoptera	5	5	5	5
Total			22	22	25	19	

각 16%, 12%를 차지하였고, 삼기장목, 연가시목, 물지렁이목, 턱거머리목, 단각목이 각 5%의 순으로 조사되었다 (Table 1).

각 조사지점에서 사방공작물의 시공 전후를 기준으로 채집한 저서성 대형무척추동물을 출현종에 따라 구분하여 Table 2에 나타내었다. 대다수 조사지점에서 시공 후 채집된 저서생물종의 개체수 및 현존량은 시공 전 조사와 비교하여 감소하였으며, 일부 우점종만이 출현하였다. 특히, 달팽이넙적거머리(*Alboglossiphonia heteroclita*), 피라미하루살이(*Ameletus costalis*), 갈고리하루살이(*Proclleon pennulatum*), 송장해엄치게(*Notonecta triguttata*), 소금쟁이(*Aquaris paludum*), 각다귀 KUb(*Tipula* KUb)의 6종은 시공 후 조사에서는 채집되지 않았다.

이와 같은 결과는 소형 하천에 시공한 보를 철거하였을 경우, 저서성 대형무척추동물의 종수와 분류군의 조성이 점차 다양하게 나타난다는 연구 보고(Kil, 2007a)와 비교하여 볼 때, 시공한 사방공작물이 저서생물의 서식환경에 변화를 가져옴에 따라 저서성 대형무척추동물의 군집 변화에 영향을 준 것으로 판단된다.

2. 사방공작물의 시공 지점별 시공 전후에 있어서 출현종의 변화

사방댐, 바닥막이, 골막이, 그리고 통나무수제 시공지점을 대상으로 한 생물학적조사에서는 조사지점 모두, 개체수와 현존량이 크게 감소한 것으로 나타났다. 시공 전 조사에서 출현한 저서성 대형무척추동물은 총 25종 1,801개체로 단각목이 1,450개체로 가장 많았으며, 이외 하루살이목(263개체), 날도래목(28개체), 잠자리목(18개체), 삼기장목(12개체), 턱거머리목(10개체), 물지렁이목(8개체), 노린재목(6개체), 부리거머리목(3개체), 파리목(2개체), 연가시목(1개체)의 순으로 나타났다. 그러나 시공 후 채집된 종은 단각목, 잠자리목, 노린재목의 3종으로 시공 전과 비교하여 22종이 채집되지 않았으며, 개체수 역시 96% 이상 감소한 67개체가 채집되었다. 특히, 시공 전 1,450개체가 채집되어 해당 수계 저서생물군집에서 가장 높은 비율을 보였던 보통 옆새우(*Gammarus sobaegensis*)는 시공 후 95%가 감소한 60개체가 채집되었으며, 이밖에 다른 생물종은 거의 출현하지 않았다. 반면, 대조군인 최상류 조사지점은 시공 후에 실시한 조사에서도 시공 전과 비교하여 종수 및 개체수의 변화량에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

이는 하천의 준설 이후 급격하게 기존의 저서성 대형무척추동물 종수와 분류군이 소멸된다는 연구 보고(Bac et al., 1996)와 유사한 경향을 보였으며, 사방공작물의 시공으로 인한 부유물질의 증가와 계상형태의 변화가 출현종의 급격한 감소에 영향을 준 것으로 판단된다(Table 3).

Table 2. Species composition and the number of benthic macroinvertebrates collected before and after construction of erosion control works at six sites including control.

Scientific name, Korean name	Site						6 (Control)	Site						6 (Control)	Qi
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		
	Before							After							
<i>Dugesia japonica</i> 플라나리아	0	0	0	0	12	25		0	0	0	0	0	32	3	
<i>Gordius aquaticus</i> 연가시	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0	0	1	3	
<i>Chaetogaster limnaei</i> 물지렁이	3	0	0	0	5	10		0	0	0	0	0	12	3	
<i>Alboglossiphonia heteroclita</i> 달팽이넙적거머리	1	0	0	2	0	0		0	0	0	0	0	0	2	
<i>Erpobdella lineata</i> 돌거머리	5	0	1	2	2	12		0	0	0	0	0	9	1	
<i>Gammarus sobaegensis</i> 보통옆새우	214	250	126	340	520	980		0	1	59	0	0	920	4	
<i>Ameletus costalis</i> 피라미하루살이	3	10	15	4	22	16		0	0	0	0	0	0	4	
<i>Proclleon pennulatum</i> 갈고리하루살이	0	0	36	0	10	24		0	0	0	0	0	0	3	
<i>Ephemera orientalis</i> 동양하루살이	9	0	7	6	14	25		0	0	0	0	0	20	3	
<i>Ephemera strigata</i> 무늬하루살이	0	0	2	17	3	26		0	0	0	0	0	22	4	
<i>Ecdyonurus kibunensis</i> 두점하루살이	0	0	3	12	0	18		0	0	0	0	0	19	4	
<i>Ecdyonurus levis</i> 네점하루살이	32	25	0	14	19	36		0	0	0	0	0	24	3	
<i>Ischnura asiatica</i> 아시아실잠자리	0	0	12	0	0	6		0	0	2	0	0	1	2	
<i>Calopteryx japonica</i> 물잠자리	0	0	3	0	0	2		0	0	0	0	0	6	3	
<i>Davidius lunatus</i> 쇠측범잠자리	0	0	0	0	3	8		0	0	0	0	0	4	3	
<i>Notonecta triguttata</i> 송장헤엄치게	0	0	1	0	0	0		0	0	0	0	0	0	2	
<i>Nepa hoffmanni</i> 메추리장구애비	0	0	3	0	0	0		0	0	5	0	0	0	2	
<i>Aquaris paludum</i> 소금쟁이	0	0	2	0	0	16		0	0	0	0	0	0	2	
<i>Tipula</i> KUa 각다귀 KUa	0	0	0	0	2	19		0	0	0	0	0	22	3	
<i>Tipula</i> KUb 각다귀 KUb	0	0	0	0	0	3		0	0	0	0	0	0	3	
<i>Hydropsyche</i> KUc 줄날도래 KUc	0	0	0	0	12	15		0	0	0	0	0	12	3	
<i>Glossosoma</i> KUa 광택날도래 KUa	0	0	0	0	0	9		0	0	0	0	0	12	4	
<i>Phryganopsyche latipennis</i> 둥근날개날도래	0	0	0	0	0	3		0	0	0	0	0	9	3	
<i>Goerodes</i> KUa 네모집날도래 KUa	0	0	0	0	1	6		0	0	0	0	0	4	3	
<i>Psilotreta kisoensis</i> 바수염날도래	0	0	0	0	15	26		0	0	0	0	0	12	4	
Total	267	285	211	398	640	1,285		0	1	66	0	0	1,141		

1) 통나무수제 시공지(Site 1)

통나무수제 시공지점의 경우, 시공 전 조사에서는 보통옆새우, 피라미하루살이, 달팽이넙적거머리, 네점하루살이(*Ecdyonurus levis*), 동양하루살이(*Ephemera orientalis*), 돌거머리(*Erpobdella lineata*), 물지렁이(*Chaetogaster limnaei*)의 7종이 출현하였으나 시공 후 조사에서는 1종도 출현하지 않았다.

자연하천에서 준설 작업으로 인해 발생한 부유토사는 녹조류의 출현을 유도하여 수질을 악화시키는 것으로 알려져 있다(Bae et al., 1996). 공사기간 동안, 대상 계류의 최하류에 위치한 조사지점에는 상류에서 발생된 다량의 토사가 집중되었을 것으로 생각된다. 따라서 이송된 토사로 인해 저서생물의 서식공간은 매몰되고, 수질은 악화됨에 따라 저서성 대형무척추동물이 출현하지 않은 것으로 판단된다.

2) 사방댐 시공지(Site 2)

사방댐공작물의 시공 과정에서 포클레인과 같은 중장비의 진입은 계상을 훼손하고, 계곡에 서식하고 있던 미소생물의

생육환경을 파괴한다(Bae et al., 1996). 사방댐 시공지점은 시설물의 물리적 안정을 위해 계상 및 양안의 터파기 작업과 측벽공사를 실시한 곳으로, 시공 후 계곡원형은 변형되었고, 계상에는 사면으로부터 유입된 토사가 퇴적되었다. 그 결과, 시공 전 조사에서 출현하였던 피라미하루살이, 네점하루살이의 2종은 시공 후 조사에서는 나타나지 않았고, 보통옆새우 1종만이 출현하였다. 이는 소형 댐이 저서성 대형무척추동물의 군집 변화에 크게 영향을 미친다는 연구 결과(Kil, 2007b)와도 유사한 경향을 나타내었다.

3) 골막이 시공지(Site 3)

시공 전 돌거머리, 보통옆새우, 피라미하루살이, 무늬하루살이(*Ephemera strigata*), 두점하루살이(*Ecdyonurus kibunensis*), 아시아실잠자리(*Ischnura asiatica*), 송장헤엄치게(*Notonecta triguttata*), 메추리장구애비(*Nepa hoffmanni*) 등 12종이 분류된 골막이 시공지점은 시공 후 조사에서 9종이 감소한 3종만이 채집되었으며, 개체수는 총 211개체에서 66개체로 감소하였다.

Table 3. The number of benthic macroinvertebrates collected before and after construction of erosion control works at six sites including control.

Site	Texa	Non insecta	Insecta					Number of species	Number of individual
			Ephemeroptera	Odonata	Hemiptera	Diptera	Trichoptera		
1	Before	4	3	0	0	0	0	7	267
	After	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Before	1	2	0	0	0	0	3	285
	After	1	0	0	0	0	0	1	1
3	Before	2	5	2	3	0	0	12	211
	After	1	0	1	1	0	0	3	66
4	Before	4	5	0	0	0	0	9	398
	After	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Before	4	5	1	0	1	3	14	640
	After	0	0	0	0	0	0	0	0
6 (Control)	Before	4	6	3	1	2	5	21	1,285
	After	5	4	3	0	1	5	18	1,141
Total	Before	6	6	3	3	2	5	25	3,086
	After	5	4	3	1	1	5	19	1,208

이는 사방댐, 바닥막이와 같은 계곡황공작물은 계류수의 흐름을 단절하고, 저서생물의 이동을 저해하여 저서성 대형 무척추동물의 종다양성 및 풍부성 감소에 주요 원인으로 작용한다는 기존의 연구결과와 유사한 경향을 나타내었다 (Ma *et al.*, 2008b).

4) 바닥막이 시공지(Site 4, 5)

시공 전과 시공 후 조사결과를 비교하였을 때, 저서생물의 출현 종 및 개체수의 감소가 가장 크게 나타난 바닥막이 시공지점에서의 조사결과이다. 시공 전 조사에서 각 9종 398개체, 14종 640개체가 채집되며 비교적 다양한 종구성을 나타낸 바닥막이 시공지점은 시공 후 조사에서는 저서생물이 전혀 채집되지 않는 것으로 나타나 큰 차이를 보였다. 이는 다른 조사지점과 마찬가지로 시공과정에 발생한 부유토사와 계상구조의 급격한 변화가 원인인 것으로 생각되며 특히, 계곡의 정비를 위해 불규칙한 계상형태를 굴삭 및 복토작업으로 균일하게 하고 혼재하던 암석과 유목들을 제거한 결과, 저서생물이 급격히 감소한 것으로 판단된다.

5) 비시공지(Site 6)

대조군인 비시공지에서 채집된 저서 생물종은 시공 전 조사에서 총 19종, 1285개체이었다. 그리고 시공 후 조사에서는 시공 전과 비교하여 피라미하루살이, 갈고리하루살이,

소금쟁이를 제외한 총 16종, 1,141개체가 채집되었다. 비시공지의 경우, 다른 조사지점과 비교하였을 때 시공 전후의 변화가 큰 차이를 나타내지 않았으며, 이는 조사지점 중 유일하게 인위적 교란이 없었던 곳이기 때문으로 판단된다.

3. 사방공작물의 시공 전후에 있어서 조사 계류의 생물군집 분석

다양도 지수와 풍부도 지수, 균등도 지수와 우점도 지수는 저서생물의 분포 특성을 수치화한 것으로 해당 계곡생태 환경의 질적 평가기준이 된다(Lim, 2006). 본 연구에서는 사방공작물의 시공 전후를 기준으로 조사한, 저서성 대형 무척추동물의 종수와 개체수를 기초로 하여 이들 지수값을 산출하였으며 결과는 다음과 같다(Table 5).

다양도 지수는 시공 전 조사에서 최소 0.446(Site 2), 최대 1.394(Site 3)의 값을 나타내었으나 시공 후 조사에서는 최소 0.402(Site 3), 최대 0.994(Site 6)로 감소하였다. 종 풍부도 지수 또한, 시공 전후 조사에서 각 최소 0.354(Site 2), 0.477(Site 3), 그리고 최대 2.794(Site 6), 2.415(Site 6)의 낮은 값을 나타내었다. 그리고 시공 전 조사에서 최소 0.305(Site 4), 최대 0.561(Site 3)의 값을 나타내었던 균등도 지수는, 시공 후 조사에서 최소 0.344(Site 6), 최대

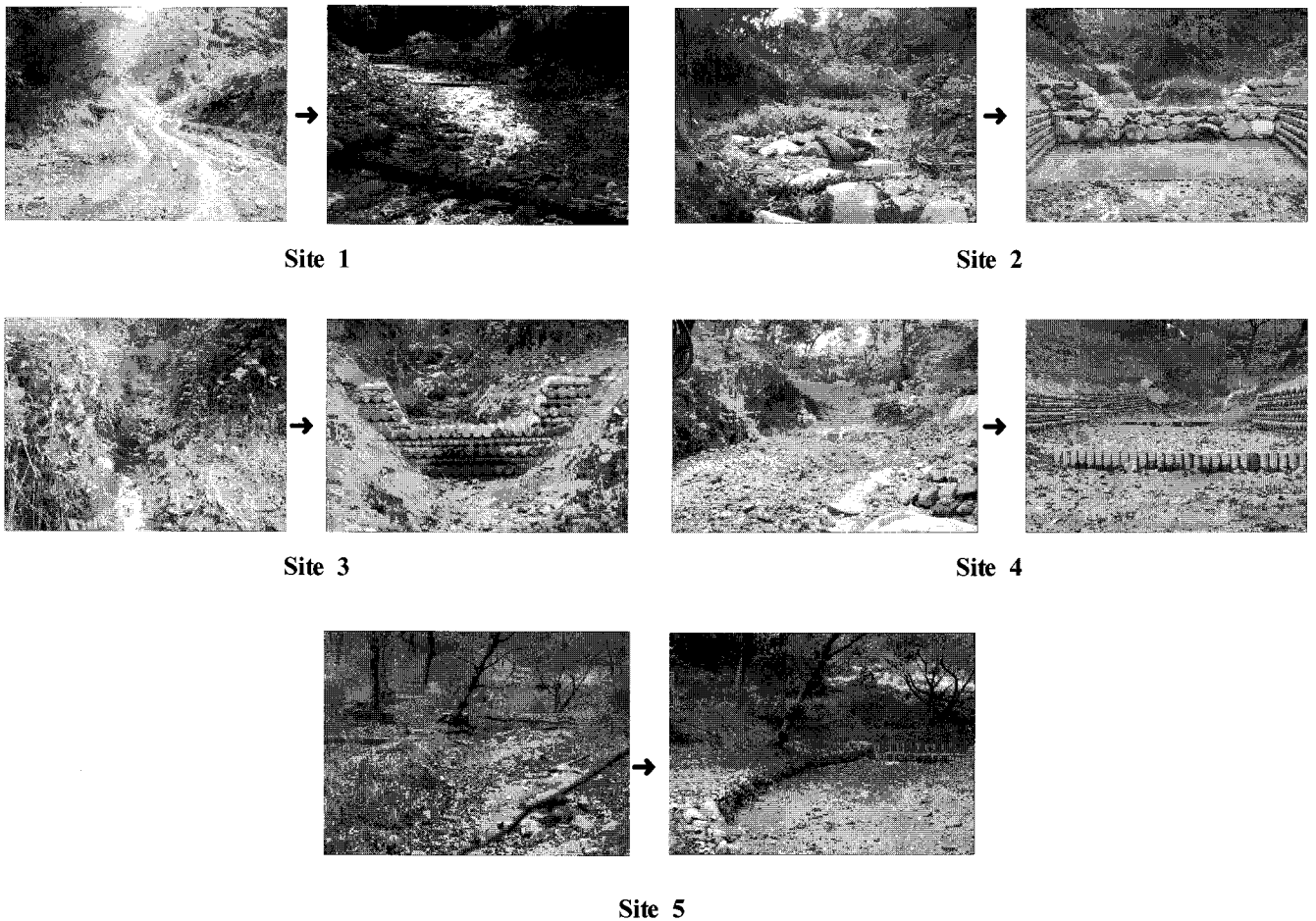


Figure 2. The view of five sites before and after construction of erosion control works in a mountain torrential stream.

0.366(Site 3)으로 감소하였다. 한편, 시공 후 조사에서는 대조군인 비시공지(Site 6)와 골막이 시공지점(Site 3)을 제외한 모든 조사지점에서 저서성 대형무척추동물이 출현하지 않음으로 인해 다양도 지수, 풍부도 지수, 균등도 지수를 산출할 수 없었다.

시공 전 조사에서 분류된 조사 계류의 제 1 우점종은 모든 조사지점에서 보통옆새우로 나타났다. 그리고 네점하루살이가 통나무 수제 시공지점(Site 1), 사방댐 시공지점(Site 2), 비시공지(Site 6)에서 제 2 우점하였으며, 이외 골막이 시공지점(Site 3)에서는 갈고리하루살이, 바닥막이 시공지점(Site 4, 5)에서는 무늬하루살이와 피라미하루살이가 제 2 우점하였다.

시공 후 조사에서 분류된 조사 계류의 제 1 우점종은 시공 전과 같은 보통옆새우로 나타났다. 그리고 메추리장구애비가 골막이 시공지점에서 제 2 우점하였으며, 비시공지(Site 6)에서는 플라나리아(*Dugesia japonica*)가 제 2 우점

하였다. 그러나 통나무 수제 시공지점(Site 1)과 바닥막이 시공지점(Site 4, 5)의 경우, 시공 후 조사에서는 저서생물이 채집되지 않음에 따라 우점종을 분류할 수 없었다. 조사 지점별 우점도 지수는 시공 전 조사에서 최소 0.768(Site 3), 최대 0.965(Site 2)의 값을 나타내었고, 시공 후 조사에서는 최소 0.834(Site 6), 최대 1.000(Site 2)의 값을 나타내었다 (Table 4).

Figure 3은 조사지점별로 산출한 다양도 지수와 우점도 지수를 함께 나타낸 것이다. 시공 전 조사에서 우점도 지수와 다양도 지수는 모든 조사지점에서 유사한 값을 보이며, 대상 계류의 계곡생태환경이 비교적 안정되어 있음을 보여준다. 그러나 시공 후 조사에서 우점도 지수와 다양도 지수는 모든 조사지점에서 불규칙한 값을 나타내었고, 일부 조사지점에서는 지수값이 산출되지 않았다. 이는 사방공작물의 시공이 저서생물의 서식환경을 파괴함에 따라 계곡생태환경이 불안정한 상태로 변화하였기 때문인 것으로 판단된다.

일반적으로 저서생물의 서식환경이 악화되면 다양도 지수 및 풍부도 지수는 감소하고 우점도 지수는 높아진다(Park et al., 1998). 군집분석 결과, 사방공작물의 시공과정에서 발생한 수서 생태계의 교란으로 서식종이 감소함에 따라 저서생물의 종수 및 개체수를 기초로 하는 다양도 지수 및 풍부도 지수, 균등도 지수값이 감소하거나 산출되지 않았고, 종수의 감소는 생물군집의 다양성을 저해함으로써 우점도 지수는 높은 값을 나타내었다.

4. 저서성 대형무척추동물을 이용한 사방공작물의 시공전후에 있어서 대상계류의 수질평가

시공 전후 채집된 오수생물계열을 대상으로 ESB지수를 산출하여 환경질 평가를 실시한 결과, 시공 전 통나무 수제 시공지점(Site 1)과 사방댐 시공지점(Site)은 α-중부수성(α-mesosaprobity), 골막이 시공지점(Sites 3), 바닥막이 시공 지점(Site 4, 5)은 β-중부수성(β-mesosaprobity), 비시공지

Table 4. Dominant and subdominant species and ecological indices of benthic macroinvertebrates collected before and after construction of erosion control works at six sites including control(DI : Dominance Index, H' : Diversity Index, RI : Richness Index, EI : Evenness Index)

Site	Dominant species	Subdominant species	DI	H'	RI	EI	
Before	1	<i>Gammarus sobaegensis</i>	<i>Ecdyonurus levis</i>	0.921	0.742	1.253	60.357
	2	<i>Gammarus sobaegensis</i>	<i>Ecdyonurus levis</i>	0.965	0.446	0.354	0.406
	3	<i>Gammarus sobaegensis</i>	<i>Procladius pennulatum</i>	0.768	1.394	2.055	0.561
	4	<i>Gammarus sobaegensis</i>	<i>Ephemera strigata</i>	0.897	0.670	1.336	0.305
	5	<i>Gammarus sobaegensis</i>	<i>Ameletus costalis</i>	0.847	0.909	2.012	0.344
	6	<i>Gammarus sobaegensis</i>	<i>Ecdyonurus levis</i>	0.791	1.212	2.794	0.398
After	1	-	-	-	-	-	-
	2	<i>Gammarus sobaegensis</i>	-	1.000	-	-	-
	3	<i>Gammarus sobaegensis</i>	<i>Nepa hoffmanni</i>	0.970	0.402	0.477	0.366
	4	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-
	6	<i>Gammarus sobaegensis</i>	<i>Dugesia japonica</i>	0.834	0.994	2.415	0.344

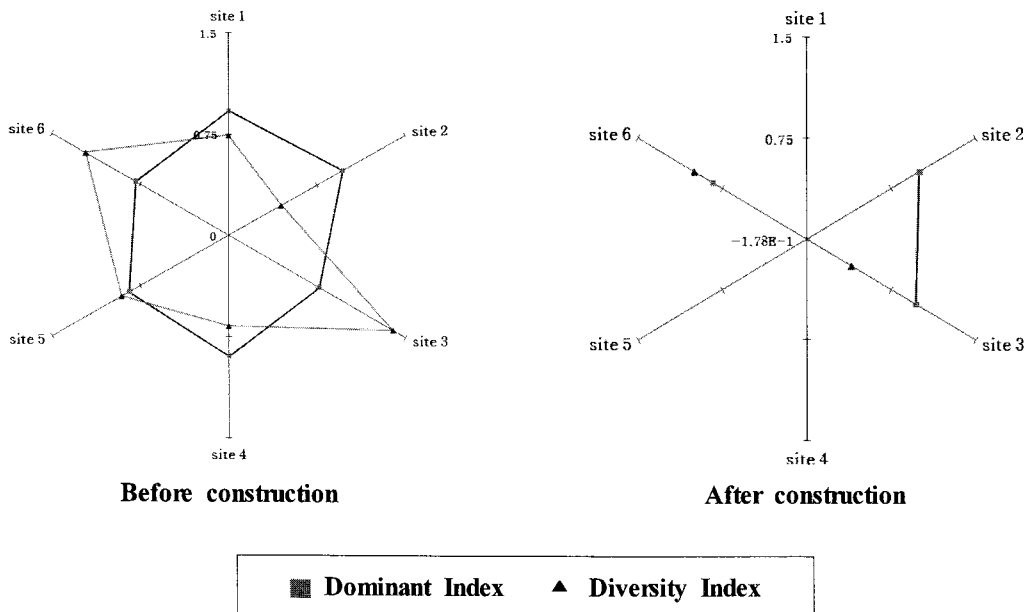


Figure 3. Dominant and diversity indices of benthic macroinvertebrates collected before and after construction of erosion control works at six sites including control.

는 빈부수성(Oligosaprobity)으로 상류로 올라감에 따라 수질이 양호한 일반적인 계류환경질을 나타내었다. 그러나 시공 후에는 대조군인 비시공지(Site 6)를 제외한 모든 조사지점의 환경질이 강부수성으로 악화되는 양상을 나타내었다. ESB분석 결과 역시 마찬가지로, 시공 전 매우불량, 불량, 다소양호, 양호로 구분된 하류에서 상류까지의 조사지점이 시공 후 비시공지(Site 6)를 제외한 모든 조사지점에서 매우불량으로 나타났다(Table 5).

환경질평가와 ESB분석 결과를 토대로 한 수질등급은 시공 전 모든 조사지점이 I~III등급에 분포하고 있었으나, 시공 후에는 대조군인 비시공지(Site 6)만이 변동 없이 I등급으로 나타났고 다른 조사지점은 IV~V으로 분석되었다.

결론

본 연구는 저서성 대형무척추동물상의 변화를 분석하여 황폐계류에 시공한 사방공작물이 계곡생태환경에 미치는 영향을 밝히고자 수행하였다. 시공 후 조사에서 분류된 종은 4문 6강 10목 17과 19종으로 시공 전 조사에서 분류된 4문 6강 11목 22과 25종과 비교했을 때 달팽이넙적거머리, 피라미하루살이, 갈고리하루살이, 송장헤엄치게, 소금쟁이, 각다귀 KUb의 6종이 채집되지 않았다. 개체수의 현존량 역시 시공 전 조사에서는 3,086개체가 채집되었으나 시공 후 조사에는 1,208개체로 감소하였으며, 직·간접적인 시공이 이루어진 지점의 경우 사멸 또는 극소수만이 채집되었다.

군집 분석 결과도 저서성 대형무척추동물의 생태점수(ESB)가 모든 조사지점에서 시공 전 보다 시공 후에 계곡환경질이 저하된 것으로 나타났다. 오수생물계열의 분석결과,

시공 전 상류는 빈부수성, 중류는 β-중부수성, 하류는 α-중부수성으로 분석되었으나, 시공 후에는 상류를 제외한 나머지 지역은 모두 강부수성으로 나타났다. 환경상태의 분석 결과 또한, 시공 전 조사에서 상류는 양호 및 다소 양호, 중류는 다소불량, 하류는 불량 및 매우불량으로 분석되었다. 그러나 시공 후 조사에서는 상류 일부 지역을 제외한 모든 조사지점이 매우 불량으로 나타났다.

수질등급의 분석 결과, 시공 전 조사에서는 상류가 I등급, 중류는 II등급, 하류지점은 III등급으로 나타났다. 그러나 시공 후 조사에서는 대조군을 제외한 모든 조사지점이 IV-V등급으로 나타났다. 이밖에 지역구분에서는 시공 전 조사에서 상류는 우선보호수역 및 보호수역, 중류는 개선수역, 하류는 최우선개선수역 및 우선개선수역으로 나타났다. 그러나 시공 후에는 상류 일부 지역을 제외한 모든 조사지점이 최우선개선수역으로 나타났다.

이와 같이 사방공작물의 시공에 따른 저서성 대형무척추동물의 서식환경 파괴는 모든 조사지점에서 수질오염 및 개체수의 감소로 이어졌다. 특히, 시공과정에서 발생한 다량의 토사는 계곡의 자정능력을 상실케 하였으며, 계상 및 계안정비 작업은 계곡원형을 변형시켜 저서생물의 서식환경에 큰 변화를 가져왔다. 따라서 향후 계류 사방사업시에는 사방사업의 시공 전후를 기준으로 한 계곡의 생태계 구조 및 현황 자료를 분석하는 과정은 반드시 필요한 것으로 판단된다. 또한, 이와 같은 과정을 통해 시공지역과 보존지역을 구분함으로써 불필요한 훼손을 최소화할 수 있을 뿐만 아니라 시공 후에 발생할 수 있는 문제점들을 사전에 예방할 수 있을 것이다.

한편, 본 연구 결과는 사방공작물의 시공 직후 조사 분석한 것이므로 향후, 장기간의 모니터링을 통하여 시공 공종

Table 5. Saprobic states of species diversity indices of benthic macroinvertebrates collected before and after construction of erosion control works at six sites including control.

Site	ESB	Saprobity	Environmental quality evaluation			
			Environmental condition	Area determination	Water quality	
Before	1	20	α-mesosaprobic	Defectiveness	Priority improvement waters	III
	2	11	α-mesosaprobic	Very defectiveness	First priority improvement waters	III
	3	34	β-mesosaprobic	Some defectiveness	Improvement waters	II
	4	28	β-mesosaprobic	Some defectiveness	Improvement waters	II
	5	44	β-mesosaprobic	Some satisfactory	Protection waters	II
	6	65	Oligosaprobic	Satisfactory	Priority protection waters	I
After	1	0	Polysaprobic	Very defectiveness	First priority improvement waters	IV-V
	2	4	Polysaprobic	Very defectiveness	First priority improvement waters	IV-V
	3	8	Polysaprobic	Very defectiveness	First priority improvement waters	IV-V
	4	0	Polysaprobic	Very defectiveness	First priority improvement waters	IV-V
	5	0	Polysaprobic	Very defectiveness	First priority improvement waters	IV-V
	6	56	Oligosaprobic	Some satisfactory	Protection waters	I

의 재해방지효과와 함께 생태계 회복과정에 대한 지속적이고 체계적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

인용문헌

- Bae, Y.J., S.Y.Park, I.B.Yoon, J.H.Park and K.S.Bae(1996) Changes of Benthic macroinvertebrate Community from a Dredged Section in Wangsuk Creek. *The Korean Journal of Limnology* 29(4): 251-261.
- Chun, K.W., D.S.Cha, H.S.Ma, J.M.Park, J.W.Lee, K.N.Kim, J.I.Seo and J.S.Lee(2003a) Establishment of environment friendly erosion control works(I). *Jour. Korea Soc. For. Eng. Tech.* 1(1): 5-14.
- Chun, K.W., D.S.Cha, H.S.Ma, J.M.Park, J.W.Lee, K.N.Kim, J.I.Seo and J.S.Lee(2003b) Establishment of environment friendly erosion control works(II) *Jour. Korea Soc. For. Eng. Tech.* 1(2): 89-114.
- Hynes, H. B. N.(1963) *The biology of polluted waters.* University of Liverpool press pp. 202.
- Jung, J.W.(2002) *Development of Close-to-nature Creek Improvement Technique.* National Institute for Disaster Prevention, 146pp.
- Kil, H.K.(2007b) *Effects of dams on benthic macroinvertebrate communities in Korean streams.* Department of Biology Graduate school Seoul Women's University, 125pp.
- Kil, H.K., D.G.Kim, S.W.Jung, I.K.Shin, K.H.Cho, H.S.Woo and Y.J.Bae(2007a) Changes of Benthic Macroinvertebrate Communities after a Small Dam Removal from the Gyeongang Stream in Gyeonggi-do. *Korea. Korean J. Environ. Biol.* 25(4): 385-393.
- Kim, C.S.(2004) *Development of Rehabilitation and Upgrading Technique for the Irrigation and Drainage Canal Utilizing Environment-friendly Construction Method.* The Ministry of Agriculture and Forestry, 268pp.
- Kwon, O.G.(1990) *Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea Vol. 32 (Mollusca I).* Ministry of Education & Human Resources Development, 446pp.
- Lim, S.Y.(2006) *A Study on the biodiversity and community structure of freshwater invertebrates in the Mt. Girisan National Park.* Chosun University Graduate School of Education, 70pp.
- Ma, H.S., J.W.Park, B.C.Lee, W.S.Kang and D.H.Won(2008a) *Assessment of effects of erosion control structures on stream ecosystem.* Proceeding of the 2008 Annual Meeting of the Korean Forest Society: 303-306.
- Ma, H.S., J.W.Park, B.C.Lee, W.S.Kang and D.H.Won(2008b) *Change of Stream Ecosystem by spacing Erosion Control Structures.* Proceeding of the 2008 Annual Meeting of the Korean Forest Society, 307-310.
- Margalef, R.(1958) *Information theory in ecology.* *General Systematics* 3: 36-71.
- McNaughton, S.J.(1967) *Relationship among functional properties of California Grassland.* *Nature* 216: 168-169.
- Ministry of Environment Republic of Korea(2001) *the 3rd National Natural Environment Survey Guideline.* Ministry of Environment Republic of Korea. 58pp.
- Park, J.H.(2002) *Consideration on Environmentally Friendly Erosion Control Strategy for Conservation of Stream Valley Ecosystem(I).* The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology 5(5): 67-75.
- Park, J.H.(2003) *The influence of the artificial structures on the ecosystem in the Valley of National Park, Korea National Park service,* 155pp.
- Park, J.H., B.M.Woo and H.H.Lee(2000) *Strategic Prospects of Environmental Restoration of Stream Side in Japan.* The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology 3(4): 84-90.
- Park, S.B., S.H.Park, Y.K.Lee, S.K.Bae and C.E.Lee(1991) *Community Structure of Benthic Macroinvertebrates from Han River.* *The Korean Journal of Limnology* 24(4): 291-292.
- Park, T.H., M.E.Kim, E.W.Seo and J.E.Lee(1998) *The Evaluation of Water Quality by Biological Analysis and Community Fluctuation of Benthic Macroinvertebrates in Han Stream.* Andong University, 87-98.
- Pielou, E.C.(1969) *An introduction to mathematical ecology.* John Wiley and Sons, New York. pp. 286.
- Pielou, E.C.(1975) *Ecological Diversity.* John Wiley and Sons, New York. pp. 165.
- Ryu, S.M., J.W.Lee and J.Y.Cha(1996) *Study On the Biological Evaluation of Water Quality by Benthic Macroinvertebrates in Whang River.* *Institute of Natural Science* 16:253-275.
- Shannon, C.E. and W.Weaver(1949) *The Mathematical Theory of Communication.* University of Illinois Press, Urbana. pp. 233.
- Wilhm, J.I.(1972) *Graphic and mathematical analysis of biotic communities in polluted stream.* *Annual Review of Entomology* 17: 223-252.
- Won, D.H., S.J.Kwon and Y.C.Jeon(2005) *Aquatic Insect of Korea.* Ecology Research Group company, 415pp.
- Woo, B.M., G.W.Jeon, H.H.Lee, J.H.Park, S.J.Im and I.J.Im(2006) *A Century History for Soil Conservation of Korea.* Korea Forest Service, 838pp.
- Yoon, I.B.(1971) *Aquatic Insects of the So koem Kang and Odae Mountain.* The Korea Association for Conservation of Nature, 175-177.
- Yoon, I.B.(1980) *Analysis of the Aquatic Insects Community in the Han River System.* National Institute of Environmental

Research 1(2): 341-386.

Yoon, I.B. (1988) Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea VOL.30 (Aquatic Insects). Ministry of Education & Human Resources Development, 840pp.

Yoon, I.B., D.S. Kong and J.K. Yu (1992) Studies on the Biological Evaluation of Water Quality by Benthic Macroinvertebrates (I). Saprobic Valency and Indicative Value Korean Society

of Environmental Biology 10: 24-39.

Yoon, I.B., K.H. Kim and S.J. Ou (1986) A Study on the Benthic Macroinvertebrate Community Structure of Tongch'ang stream in Ch'ongdo-gun. The Korean Journal of Limnology 19(1): 97-108.