

최 종  
연구보고서

황폐계류의 생태계보전을 위한 자연친화적  
야계사방기술 개발

Development of Environment-Friendly Erosion  
Control Techniques for Ecosystem Conservation  
in Torrent

연구기관  
경상대학교

농림부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “황폐계류의 생태계보전을 위한 자연친화적 야계사방기술 개발”  
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007년 5월 24 일

주관연구기관명 : 경상대학교  
총괄연구책임자 : 마 호 섭(경상대학교)  
세부연구책임자 : 마 호 섭(경상대학교)  
연 구 원 : 박 진 원(경상대학교)  
연 구 원 : 정 수 영(경상대학교)  
연 구 원 : 성 문 기(경상대학교)  
연 구 원 : 강 원 석(경상대학교)  
연 구 원 : 이 봉 찬(경상대학교)  
연 구 원 : 이 성 재(경상대학교)  
연 구 원 : 조 용 숙(경상대학교)

위탁연구기관명 : (주)생태조사단 부설  
                  두희자연환경연구소  
협동연구책임자 : 원 두 회 (두희자연환경연구소)  
연 구 원 : 백 문 기 (두희자연환경연구소)  
연 구 원 : 전 영 철 (두희자연환경연구소)  
연 구 원 : 권 순 직 (두희자연환경연구소)  
연 구 원 : 진 영 현 (두희자연환경연구소)

협동연구기관명 : 진주산업대학교  
협동연구책임자 : 박 재 현(진주산업대학교)  
연 구 원 : 김 주 호(진주산업대학교)  
연 구 원 : 추 재 진(진주산업대학교)  
연 구 원 : 강 기 태(진주산업대학교)  
연 구 원 : 임 흥 근(진주산업대학교)  
연 구 원 : 강 찬 중(진주산업대학교)

# 요 약 문

## I. 제 목

황폐계류의 생태계보전을 위한 자연친화적 야계사방기술 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

황폐계류 내에서 효과적인 계류생태계의 복원을 위해서는 과거 수행해왔던 치수만을 위한 사방을 지양하고, 환경을 위한 치산·사방, 지역·유역 또는 공원 계곡의 생태계복원을 위한 치산·사방이 이루어져야 한다. 산지 및 공원 계곡 내 치산·사방 사업에 있어서는 장래 실시되는 치산·사방사업계획을 계류생태계복원사업계획으로 전환해야 할 필요가 있다. 즉, 하천계획도 이전에는 대부분이 홍수를 경감하거나 방지하기 위한 계획이었지만, 현재는 합리적인 물의 이용계획이나 하천환경보전계획을 포함한 하천의 종합관리계획으로 발전되고 있기 때문에 현대의 치산 사방사업도 계류 혹은 선상지와 연결되는 하천의 종합관리사업으로 간주해야 할 필요가 있다.

아울러 치산·사방사업계획은 계류생태계복원사업계획으로 적극적으로 전환하여야 하고, 그 부가적인 계획도 종래의 치산·사방사업계획을 계류환경보전계획이나 계류지역이용계획으로 발전시키는 계류생태계복원사업계획으로의 전환이 필요하다.

치산·사방사업 등 산지에서의 공사와 원생생태계의 보전이라는 문제를 모두 만족하게 하는 것은 어려운 문제이나 꾸준한 노력을 통하여 합의점을 찾을 필요가 있다. 방재적인 측면에서 치산·사방사업은 현재까지 그 기초적인 관점에서 지형, 지질, 수문, 수리, 토사수리, 토질역학, 구조역학, 조림, 산림생태 등에 대한 충분한 고려를 하지 않고 시행하였으나, 앞으로는 이들에 대한 충분한 고려를 통하여 사업을 수행할 필요가 있어 계류생태계의 효과적인 복원을 위해서는 자연경관에 관한 충분한 검토를 통해 수행되어야 한다. 뿐만 아니라 계류생태계 복원을 위한 호안공법 등 치산 사방구조물의 최적 관리 전략 모델을 개발하여 적정하게 이용하여야 할 필요가 있다.

치수적 안정성과 생태적 건강성, 하천의 상류, 중류, 하류의 생태적 특성을 고려한 다양한 공법 등 사방사업에 따른 야계의 환경기능을 평가할 수 있는 계류환경평가 기법과 계곡 내에 설치된 치산 사방구조물은 황폐계류 내 수량·수질에 미치는 영향이 크고, 궁극적으로는 계곡의 생태계에 영향을 미치게 될 뿐만 아니라 사회적, 문화적으로 영향을 미치고 있으므로 야계 또는 야계적 하천에 대한 자연친화적 하천복원 및 관리 전략은 매우 시급하게 필요하다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

#### 1. 황폐계류의 자연친화적 생태호안 모델 개발

##### 가. 야계사방 현황 및 황폐계류의 특성 분석

- 1) 야계사방 현황조사
  - 가) 야계사방사업의 발전과정
  - 나) 관련법 · 제도 검토
  - 다) 야계사방 추진방향 수립
  - 라) 국내외 공법 및 공중조사
- 2) 야계의 특성 분석
  - 가) 황폐계류의 형상별 분석
  - 나) 유역의 특성별 분석
  - 다) 유역구분에 의한 분석
  - 라) 하천법에 따른 분석

##### 나. 황폐계류의 생태호안 기법 개발

- 1) 야계현황 조사 및 측량(중단 및 횡단)
- 2) 야계 및 호안의 특성에 따른 모델제시
  - 가) 돌쌓기 : 식생전석, 식생자연석, 식생괘돌
  - 나) 콘크리트제품 : 식생블록
- 3) 재료별 시공기법 제시
- 4) 설치에 따른 문제점 분석

##### 다. 생태호안의 호안 녹화 및 기능평가

- 1) 야계 호안녹화기법 제시
- 2) 생태호안 기능 평가
  - 가) 생태호안의 기능 평가지표 개발
  - 나) 생태호안의 기능평가 항목 조사
- 3) 평가계량화 지표 개발
  - 가) 시공된 생태호안에 대하여 구조적 안정성, 식생대 조성효과, 생물서식지 조성, 경관개선 및 경제성 등을 중심으로 점수화 하여 계량평가

## 2. 야계사방사업이 계곡생태계에 미치는 영향 평가

### 가. 사방공작물이 계곡생태계에 미치는 영향 분석

- 1) 저서성 대형무척추동물에 미치는 영향
  - 가) 사방공작물의 유형에 따른 저서성 대형무척추동물 군집 변화 파악
  - 나) 각 사방공작물의 유형별 영향권 파악
  - 다) 사방공작물이 출현종수 및 출현개체수에 미치는 영향 파악
  - 라) 사방공작물이 군집구조에 미치는 영향 파악
- 2) 어류에 미치는 영향
  - 가) 어류에 대한 주요 분포역 조사
  - 나) 사방공작물 유형이 어류에 미치는 영향 파악
  - 다) 사방공작물의 구조에 따른 어류의 이동력 파악
- 3) 양서류에 미치는 영향
  - 가) 양서류의 주요 서식지 조사
  - 나) 사방공작물 유형이 양서류에 미치는 영향 파악

### 나. 생물학적 평가기법의 개발

- 1) 자료 수집 분석
  - 가) 국외의 생물학적 평가기법에 대한 문헌자료 수집 분석
  - 나) 국내의 저서성 대형무척추동물 조사 자료 수집 분석
- 2) 평가기법 개발
  - 가) 사방공작물의 영향을 평가할 수 있는 평가모델 선정
  - 나) 국내에 적용가능한 평가모델 및 metrics 선정
  - 다) 생물학적 평가모델의 개발
- 3) 평가기법의 적용
  - 가) 개발된 평가기법을 조사대상지에 적용하여 타당성 검토

### 다. 사방공작물의 영향 및 개선방향

- 1) 사방공작물의 유형에 따른 영향 파악
  - 가) 사방공작물의 재료, 설치방법 등에 의한 영향을 파악
  - 나) 사방공작물의 개선방향 제시

다) 계곡생태계에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 방향 제시

### 3. 야계사방공작물의 기능별 유형화 및 수질보전 영향 분석

#### 가. 야계사방공작물의 기능 분석 및 평가

- 1) 야계사방 공법별 기능 분석
- 2) 야계사방 공법별 기능분석 시범지 선정
  - 가) 토사유출 방지기능
  - 나) 횡침식 방지기능
  - 다) 종침식 방지기능
  - 라) 계안붕괴 방지기능
- 3) 야계사방공작물의 기능 평가

#### 나. 야계사방공작물의 기능별 유형화

- 1) 야계사방공작물의 자연경관과의 조화성 평가인자 선정 및 평가
- 2) 야계사방공작물의 치수, 이수기능과의 조화성 평가
- 3) 야계사방공작물의 순기능 및 역기능 평가
- 4) 야계사방공작물의 기능별 유형화

#### 다. 야계사방사업에 의한 계류수질 평가

- 1) 야계수질 분석
- 2) 야계특성을 고려한 수질도 작성

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

### 1. 연구개발 결과

#### 가. 황폐계류의 자연친화적 생태호안 모델 개발

우리나라의 산지야계에서의 정비는 주로 강수량의 계절별 집중에 따른 수문학적 특성을 감안하여 구조물에 의한 야계사방 및 하천정비에 중점을 두었다

산지야계에 설치된 사방공작물은 토사유출, 계간침식 측면에서는 많은 기여를 하였으나 계류생태계 측면에서는 많은 문제점이 노출이 되고 있으므로 앞으로 개선할 수 있는 방안을 찾아야 할 것으로 사료된다. 특히, 야계사방 공작물은 산지야계에 시공하는 사업이므로 야계의 특성을 고려하여 설치할 수 있어야 할 것이다. 즉, 야계의 하류부는 하천과 연계되는 야계적 하천의 성격을 가지고 있는 반면 상부 계류는 계곡의 형태를 갖추고 있으므로 황폐계천이라 해도 야계 또는 야계적 하천에 시설하는 사방공작물과 산지계곡에 적용하는 사방공작물이 다른 것이다.

이와 같이 야계의 특성 및 사방계획을 고려하여 사방구조물의 명칭은 같다고 하더라도 하천의 위치에 따라 사방공작물의 정비 및 환경친화적 사방구조물 설치기준을 마련해야 할 것이다.

특히 야계의 특성을 고려하여 계류의 치수적 안정성을 확보하면서 식물의 생장이 가능한 야계사방 기법이 개발되어야 하며, 계류의 상류, 중류, 하류의 특성을 배려함으로써 정비 및 복원을 필요로 하는 구간에 가장 적합한 공법이 선정되어야 한다. 기존의 야계사방 사업은 산사태로 인한 토사유실 방지를 위하여 사방댐, 구곡막이 및 바닥막이 등을 시설하였으며, 또한 홍수 시 계류수를 하류로 빠르게 이송시켜 범람을 방지하기 위하여 물의 흐름을 방해하는 하도내의 모든 요소들을 제거하면서 저수로와 호안을 석축, 옹벽 및 기슭막이공작물을 쌓는 것이 종래의 방법이었다. 그러나 가로공작물과 세로공작물 등으로 직선화된 인공하천은 하천고유의 물리적 구조와 기능을 잃고 계류생태계가 훼손되면서 자정능력상실에 의한 수질악화, 서식처 파괴로 인한 생물 종 다양성 감소 등 생태적 문제와 더불어 하류부의 집중류에 의한 범람을 유발하는 등 치수적, 생태적으로도 많은 문제점이 나타나게 되었다. 미국의 경우 현재 대규모 인공구조물인 댐의 제거를 통한 야계 및 하천복원사업을 시행하고



있으며, 일본의 경우 환경 보전과 조화되지 않는 산지 또는 계곡 내에 설치되는 치산·사방구조물의 설치는 불가능하다는 인식 속에 각종 사업을 시행하고 있다.

따라서 야계사방 현황 및 황폐계류의 특성 분석하고 치수적 안정성과 생태적기능을 유지할 수 있는 황폐계류의 생태호안 모델 개발을 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 황폐계류의 특성이 조사된 지역은 경기도 안양천 유역으로서 유역특성별 분석은 안양천을 상류 6개 유역(삼성천, 삼막천, 수암천, 호계천, 당정천, 박달천)으로 나누었다. 조사결과 본 조사 유역중 황폐계곡이 많은 삼성천, 삼막천, 수암천에서는 유역의 평균 물매가 7~9%로서 다른 소유역보다 급하여 사면의 식생밀도는 조밀하게 되고 토양은 침식이 많이 진행되고 있었다.

유역의 구분에 의한 분석은 삼성천, 삼막천, 수암천의 토사유과구역은 80~150m, 청계사천은 80~200m이다. 그리고 토사퇴적구역은 삼성천, 삼막천, 수암천 모두 80m이하로 사료되며 안양천 전체로 보면 토사생산구역은 200m이상, 토사유과구역 80~200m, 토사퇴적구역 80m이하로 판단된다. 이러한 유역구분을 사방공사적 입장에서 보면 토사생산구역에서는 산복공사와 계간공사를 유과구역과 퇴적구역에서는 야계사방 공사가 시행돼야 될 장소라고 생각된다.

- 2) 또한, 거제시 신현읍 삼거리지역을 중심으로 야계사방 생태호안 모델적용을 실시하였으며, 유역면적은 72ha, 평균유속은 9.44m/sec이며 유량은 18m<sup>3</sup>/sec, 최대시우량은 112.5mm, 유출계수는 0.8을 적용하여 가정최대홍수량은 77.86m<sup>3</sup>/sec이다. 그리고 조도계수는 석축수로 및 장석수로의 값인 0.00024와 0.00006을 사용하여 시공하였다. 야계사방 생태호안 모델은 시대의 변화에 따라 자연생태계의 보전과 환경창출을 위하여 자연친화적인 사방시설에 관심을 가지게 되어 돌을 이용한 단순한 돌쌓기 보다도 식생을 도입하여 야계 및 호안의 특성에 따라 4개의 식생전석, 식생자연석, 식생켄돌, 식생블록모델을 시공하였으며, 그 장단점을 분석 하였다.
- 3) 생태호안 기능평가는 구조적 안정성, 식생대 조성 효과, 경관개선, 생물서식처조성, 현장적용성, 경제성 등 총 6개 항목을 선정하였다. 평가지표의 점수체계는 5등급 체제를 사용하였다. 평가 등급의 분류범주는 최소치 1과 최대치 5범위에서 나누었으며, I등급은 1~1.8 II등급은 1.9~2.6, III등급은 2.7~3.4, IV등급은 3.5~4.2 V등급은 4.3~5로 하였다.

- 4) I등급을 받은 식생블록호안의 경우 식생대 조성효과는 2점을 받았으나 나머지 4부분에서 1점을 받아 가장 우수한 생태호안으로 평가되었다. 또한 식생전석호안의 경우도 구조적 안정성과 경관개선, 경제성에서 높게 평가되었다.
- 5) 자연석 식생호안과 식생갯돌호안의 경우 식생대 조성효과에서 자연석과 갯돌의 틈새에 식생대가 조성됨으로서 상대적으로 피복율이 낮아 평가점수가 낮게 평가되었으나 경제성에서는 모두 우수한 평가를 받았다.
- 6) 개발된 식생호안의 평가점수는 각각 식생전석호안 1.7, 자연석식생호안 2.5, 식생갯돌호안 2.5, 식생블록호안 1.2로서 식생전석호안과 식생블록호안은 I 등급, 자연석식생호안과 식생갯돌호안은 II등급으로서 4가지 모델 모두 매우 우수한 공법으로 평가되었다.
- 7) 식생전석 및 자연석 식생호안은 근처 채석장의 파쇄석을 이용하였으며, 하폭이 좁은 하천에서 전석호안을 시공하게 되면 단면적 축소로 인해 심각한 문제를 야기할 수 있으므로 전석호안을 적용할 때는 대상 산지야계의 통수능을 고려하여 시공한다.
- 8) 규격 제품 및 부설시공을 방지하여 식생 갯돌 호안은 유수력이 강하게 발생될 우려가 있는 지점의 제방보호나 제방의 일부분으로 적용되며, 안정성을 확보하기 위해서는 적절한 하단부의 보호공법이 필요하다. 또한, 완공된 후에도 지속적인 유지·보수(석재의 위치변동이나 유실등)를 실시하여 호안이 유수의 충격에 의하여 무너지는 현상을 사전에 예방하여야 한다. 식생블록 호안은 블록 사이에 식재를 하여 동식물의 서식과 세굴을 방지함으로써 하천호안, 법면 등에 다양하게 활용되어 시공 후 자연친화적인 경관을 연출하므로 앞으로 많은 응용이 기대된다.
- 9) 지속적인 모니터링은 계획의 성과검증, 야계사업의 홍보, 대상지 적응관리를 위한 근거, 후속사업시 기술실행가능성 제고, 사업과정의 현장기록 제공 등을 위해 필요하며 이를 바탕으로 지속적으로 관리를 실시할 수 있을 것이다. 따라서 시설이나 생태계의 특성에 따라 관리방식을 유지관리, 순응관리 및 적응관리 방식으로 구분 적용할 필요성이 있다.

10) 앞으로 야계사방 사업은 야계의 특성을 고려하여 치수적 안정성을 확보하면서 식물의 생장이 가능하도록 개발된 연구기술을 중심으로 생태계나 경관과 같은 환경기능을 증진시킬 수 있는 식생호안 기술을 많이 시공하여 자연친화적인 야계사방기술이 학술적 및 산업적으로 많은 이용이 있어야 할 것이다.

#### 나. 야계사방사업이 계곡생태계에 미치는 영향 평가

야계사방사업이 계곡생태계에 미치는 영향을 분석하기 위하여 야계사방공작물의 유형에 따른 생물군집-저서성 대형무척추동물, 어류, 양서류의 변화를 파악하였다. 야계사방공작물은 북한산국립공원을 중심으로 선정하였는데, 특히 일정 이상의 유량을 유지하고 있는 지역에 설치된 사방공작물을 선정하여 계곡생태계에 미치는 영향을 분석하였다. 아울러 이러한 공작물이 계곡생태계에 미치는 영향을 평가할 수 있는 평가지수를 도출하여 그 적용가능성을 검토하였으며, 사방공작물이 계곡생태계에 미치는 영향 및 이의 개선방향을 제안하였다. 이를 연구한 결과들을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 야계사방공작물, 특히 계곡을 횡적으로 완전히 차단하는 공작물은 계곡의 자연성을 훼손시킬 뿐만 아니라 하천생물의 서식지인 물리적 서식환경을 변화시키기 때문에 각 생물군집에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 즉 상류부의 평탄화 및 하류부의 인공적인 소의 형성, 유량 및 유속의 변화, 그리고 하상구조의 변화 등으로 인하여 서식하고 있는 생물종의 구성 및 다양성을 감소시키고 있었다.
- 2) 돌낙차공의 경우 공작물의 규모 및 낙차가 클수록 비영향권의 지점들과 비교하였을 때 영향권은 단순한 물리적 서식환경을 보였으며, 저서성 대형무척추동물의 출현종수 및 개체수 현존량도 크게 감소하는 것으로 나타났다. 저서성 대형무척추동물의 섭식특성의 측면에서는 비영향권의 경우 굵어먹는무리 및 걸러먹는무리의 출현비율이 매우 높았으나, 영향권의 경우 주워먹는무리 및 썰어먹는무리의 특성을 보이는 종이 상대적으로 높았다. 또한 행동습성의 측면에서는 비영향권의 경우 붙는무리가, 영향권의 경우 기는무리 및 굴파는 무리가 우점하고 있어 공작물의 영향에 따라 그 종구성이 큰 차이를 보이고 있었다. 한편 어류, 버들치의 돌낙차공을 중심으로 한 이동성에 대한 조사결과 공작물의 유형과 규모에 따라 일

부 상부에서 하부로 이동이 조사되기도 하였으나 대부분의 경우 돌낙차공은 어류의 이동에 장애요인으로 작용하는 것으로 나타났다.

- 3) 돌바닥막이의 경우 공작물 중심부로 계곡수가 흐르도록 설계되어 있는 형태적인 특성을 보이고 있으며, 조사결과 영향권과 비영향권 사이 저서성 대형무척추동물의 출현종수는 크게 다르지 않았으나, 개체수현존량은 현저히 감소한 것으로 확인되었다. 이러한 영향은 돌낙차공의 경우와 마찬가지로 공작물의 규모와 낙차가 클수록 더욱 두드러졌다.
- 4) 한편 콘크리트낙차공의 경우 공작물과 인접한 영향권에서 저서성 대형무척추동물의 종다양성 및 풍부성이 현저히 감소하였다. 또한 낙차공에 의하여 상류부와 하류부에 형성된 소는 유속을 감소시키고 입자가 작은 하상이 퇴적되게 함으로써 미소서식공간을 더욱 단순하게 하는 것으로 확인되었다. 돌낙차공의 조사결과와 마찬가지로 전체적으로 비영향권에서는 굵어먹는 무리와 붙는무리의 특성을 보이는 분류군의 점유율이 높았으나, 영향권에서는 주워먹는무리, 썰어먹는 무리 및 기는무리, 굴파는무리 등의 특성을 갖는 분류군의 개체수 점유율이 매우 높아 대조적이었다. 한편 조사대상인 우이동계곡에 위치한 콘크리트낙차공에서의 어류 이동성에 대한 조사결과 상·하부 간에 이동한 개체가 발견되기도 하였는데, 이것은 구조물의 높이가 낮아 강우로 인한 유량 증가에 의한 것으로 보인다.
- 5) 버트레스댐은 하상의 차이에 의한 영향보다는 유량변동에 의하여 비영향권 및 영향권의 차이가 더욱 심한 것으로 나타났다. 다른 사방공작물의 경우와 마찬가지로 비영향권에서는 출현종수 및 개체수현존량, 특히 여울을 선호하는 저서성 대형무척추동물의 출현비율이 매우 높았다. 그러나 영향권에서는 공작물에 의한 미소서식처의 감소로 인하여 반대의 경향을 보였다.
- 6) 사방공작물은 독립적으로 설치되어 있는 것보다 연속적으로 배열되어 있는 경우 공작물의 하류부에 지속적으로 영향을 미치기 때문에 생물군집의 회복을 더욱 지연시키는 것으로 확인되었다. 그러나 사방공작물이 설치되어 있는 계곡생태계는 경사도가 큰 계곡부에 설치되어 있기 때문에 이와 같은 인위적인 영향 이외에도 평상시의 적은 유량 및 암반에 의한 서식처의 단순화, 강우에 의한 하천유지수의

절대적 의존 등의 자연적인 요인에 의하여도 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

- 7) 산개구리류에 영향을 주는 사방공작물은 횡적공작물보다는 종적인 공작물로서, 수직의 기슭막이가 있는 곳에서는 이동이 거의 불가능하였으며, 횡적공작물의 경우에도 그 유형보다도 설치된 구조물의 높이가 이동에 제한요인으로 작용하는 것으로 나타났다.
- 8) 사방공작물이 계곡생태계에 미치는 영향을 평가하기 위하여 미국에서 이용하고 있는 RBPs(Rapid Bioassessment Protocols)의 개념을 도입하였으며 저서성 대형 무척추동물 군집을 이용한 평가지수를 도출하였다. 조사결과 사방공작물의 유형에 관계없이 비영향권에서는 ‘교란없음’ 또는 ‘약간 교란’으로 평가되었으나 영향권에서는 ‘다소 교란’ 및 ‘심한 교란’ 등으로 평가되어 사방공작물에 의한 서식처의 물리적인 교란이 다소 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 조사대상지에서 각 공작물에 대한 적용성 및 이용가능성이 큰 것으로 판단된다.
- 9) 저서성 대형무척추동물, 어류, 양서류에 대한 야계사방공작물의 영향을 파악한 결과 조사대상지에 설치된 공작물들은 그 유형 및 설치 구조에 따라 정도의 차이는 있지만 생태적인 측면에서 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 또한 현재 신규 공법으로 설치되고 있는 공작물, 특히 버트레스담의 경우에도 원래의 목적을 도외시한 시공이 이루어지고 있는 것이 현실이다.
- 10) 계곡생태계의 생태적 측면과의 조화를 위하여 계획 단계에서부터 생태계 현황을 파악하여 영향을 최소화할 수 있는 방향으로 설계, 시공이 이루어져야만 생태계 보전에 역행하지 않는 사방공작물이 설치될 수 있을 것으로 판단된다.

다. 야계사방공작물의 기능별 유형화 및 수질보전 영향 분석

- 1) 야계사방공법별 선정대상지는 ① 계곡이 여러 유역으로 구분되어 연결되어 있어 야 하며, 접근성이 용이하고, ② 계곡에 기존 야계사방공작물이 설치되어 있으며, 이러한 공작물은 야계사방공작물의 토사유출방지기능(사방댐 등), 횡침식 방지기능(기슭막이 등), 종침식 방지기능(바닥막이 등), 계안붕괴방지기능(옹벽, 기슭막이 등) 등을 수행할 수 있는 모든 공작물이 설치되어 있는 계곡 또는 야계를 선정하되, ③ 추후 야계사방공작물의 기능별 유형화를 위하여 이러한 공작물의 이용성이 제고되어야 하는 지역이라야 한다.
  
- 2) 북한산국립공원내 계곡에 설치되어 있는 야계사방공작물은 35개 계곡에 대하여 총 37종으로 나타났으며, 야계사방공작물은 전석(자연석, 조경석)기슭막이, 돌기슭막이, 콘크리트기슭막이, 돌망태기슭막이, 콘크리트의목기슭막이, FRP기슭막이, 돌옹벽, 콘크리트옹벽, 돌다리, 철제다리, 콘크리트다리, 세월교, 콘크리트의목다리, 목재다리, 통나무다리, 돌바닥막이, 콘크리트바닥막이, 돌망태바닥막이, 돌낙차공, 콘크리트낙차공, 돌망태낙차공, 돌구곡막이, 돌망태구곡막이, 돌사방댐, 콘크리트사방댐, 콘크리트집수조, 콘크리트도수로, 돌도수로, 철문, 콘크리트수영장, 콘크리트흙관배수로, PVC배수로, 철조망, 철제계단, 콘크리트바닥치기, 철제간간 등이다. 공종별, 공법별로 구분한 목적은 계안침식방지 및 계안고정, 교량역할, 계상의 종침식방지 및 유속감쇠, 산지침식토사억지 및 계상안정, 계곡의 종·횡침식방지 및 계상안정, 오페수 수집배수 등이다.
  
- 3) 야계사방공작물의 자연경관과의 조화성 평가인자 및 치수, 이수기능평가를 위하여 총 30개의 설문항목을 선정하여 설문조사 분석 결과, 바닥막이 공작물을 계곡 경관과 비교했을 때 전문가집단은 철거한 후의 경관을, 탐방객 집단은 바닥막이 반수면 하단부에 덩굴류를 식재하여 녹화한 후의 계곡 경관에 대하여 가장 높은 점수로 응답하여 전문가 집단과 탐방객 집단은 인식패턴에 차이가 나타나는 것으로 분석되었다. 기슭막이 공작물을 계곡 경관과 비교했을 때 전문가 집단은 콘크리트기슭막이를 돌기슭막이로 변경한 후 녹화한 경관, 탐방객 집단은 기슭막이 상단부에 덩굴류를 식재한 후 녹화한 경관에 대하여 가장 높은 점수로 응답하여 전문가 집단과 탐방객 집단은 인식패턴에 차이가 나타나는 것으로 분석되었다. 낙차공 공

작물에 대하여 계곡 경관과 비교했을 때 전문가 집단과 탐방객 집단은 모두 낙차공 철거 후의 계곡 경관에 대하여 가장 높은 점수로 응답하였다. 경관 분석 결과 계상에 설치되는 야계사방공작물은 주변 경관과 조화되게 하거나, 콘크리트 구조물은 철거하며, 낙차공과 같은 인공구조물은 계상의 물매를 고려하여 설치해야 하는 것으로 분석되었다.

- 4) 야계사방공작물이 직면하는 환경과 치수 이수기능간의 문제를 해결하기 위해서는 생태학적인 식견을 개별 기술에 활용하는 것도 필요하지만, 그 전에 야계사방공작물 설치에 따른 이상적인 자세 그 자체가 환경문제화 되고 있음을 인지해야 한다. 또한, 현행 야계사방공작물 설치계획이나 사업량을 변경시키지 않고 사방과 환경의 조화를 꾀하는 것은 불가능하며, 사방의 개념을 근본적으로 고쳐 생각할 필요가 있다. 즉, 야계에 시설하는 공작물만으로 토사재해에 대처하겠다는 것은 경관성과 조화를 이루어야 하며, 더욱이 종합적인 방재의 시각에서 유역의 토지이용·관리계획을 책정하고, 난개발의 금지, 파괴적인 산업 활동의 제한 등 하천 이외의 산림과 같은 주변환경을 보전·정비하는 것으로 토사재해의 위험성을 경감해야 하는 것으로 설문 조사되었다. 또한, 하류지역의 위험지대에 있어서는 토지이용을 제한하고, 개발을 금지하는 등 방재상 사방사업이 필요한 최소한의 개소에 야계사방공작물을 설치해야 하는 것으로 분석되었다.
- 5) 국립공원 계곡 내에 설치된 각종 야계사방공작물 각각에 대한 설치장소, 설치 필요성, 설치 효과, 주변 계곡생태계에 미치는 영향 등을 면밀히 분석·평가하여 필요하지 않다는 결론에 도달한 야계사방공작물에 대해서는 과감히 철거하거나 친환경적인 구조물로 대체하는 방안을 강구해야 하는 것으로 분석되었다.
- 6) 야계사방공작물은 이수 및 치수 기능상 중요한 순기능을 하는 공작물과 국립공원 내에서 설치되는 경관성에서 어긋나는 공작물로 구분될 수 있다. 그러나 엄밀하게 기능이 양분되는 공작물은 드물기 때문에 그에 대한 종합적인 기능을 분석 평가하여 철거 또는 유지 등 자연친화적 구조물로의 대처 등을 결정해야 한다. 예를 들면, 콘크리트기슭막이는 조경석·돌기슭막이보다 주변 자연경관과 조화되지 않는 대표적인 인공구조물로 자연적인 재료 전환, 계단 또는 완경사형으로 시공하는 것이 필요하다.

- 7) 야계사방공작물이 설치되어 있지 않은 상류계곡의 평균 pH는 6.50(6.03~6.61)로 보건복지부 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급수의 범위 내였으며, 하류유역의 평균 pH도 6.56(6.49~6.62)으로 보건복지부 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급수의 범위 내였으나 상류유역보다는 비교적 높은 값이었다.
- 8) 조사기간 중 계류수의 전기전도도(Electrical conductivity, uS/cm)는 상류계곡에서 평균 59.4(55.3~69.3)uS/cm이었으나, 하류계곡에서는 125.3(78.4~205.2)uS/cm로 나타나 상류계곡보다 약 2.1배에 달하는 값을 나타내었는데, 이는 상류계곡으로부터 유입되는 낙엽 낙지, 침식토사 그리고 하류에 연접해 있는 인근 야영장 및 음식점 등에서의 영향 때문인 것으로 생각된다
- 9) 조사기간 동안 계류변 비탈면에서 동결융해침식 되어 유출된 토사량은 2006년에 상류유역에서 0.26~0.33kg/m<sup>2</sup>이었으며, 하류유역에서는 0.44~0.68kg/m<sup>2</sup>이었다. 아울러 동결융해침식 되어 유출된 토사량은 하류유역이 상류유역에서 보다 약 1.3~2.6배 많았는데, 이는 하류유역에서 용설수에 의한 유량이 많고 이로 인하여 계류변에서 동결융해침식 된 토사가 계류로 쓸려 내려갔기 때문으로 생각된다.
- 10) 동결융해기간 동안 동결침식토사의 전기전도도와 유량과의 관계를 회귀분석한 결과 회귀식은, 계류수의 전기전도도 = 607.74 x 유량 - 60.328(R<sup>2</sup> = 0.94)이었다. 즉, 전기전도도는 유량의 증가와 함께 증가하였고, 유량감소 시에는 감소하였다.
- 11) 유역특성 및 침식특성 그리고 계류수의 수질을 분석한 결과, 계류수질 특성에 따른 수질도를 지형도에 제작 완성하였다.



## 2. 활용계획

- 가. 일반적인 자연하천 복원에 자연친화적 생태호안 공법과 야계사방공법을 적용하여 산지계류 및 산림행정 발전에 많은 기여가 있을 것이다.
- 나. 수질오염 저감을 위한 자연친화적 치산 사방구조물로 활용하는것이 가능하다
- 다. 생태기능의 복원을 위한 치산 사방구조물로 활용이 가능하다
- 라. 야생동물과 수생생물의 서식환경 개선으로 자연친화적인 치산 사방구조물 복원에 활용한다
- 마. 어류의 소상력을 복원할 수 있는 치산 사방구조물로 활용이 가능하다.
- 바. 수서곤충, 어류, 양서류, 파충류 등에 미치는 영향을 최소화하는 치산 사방구조물로 활용이 가능하다.
- 사. 식생대 조성으로 계류경관 및 수질개선에 기여할 것이다
- 아. 야계사방 사업에 따른 계류환경평가 모델 개발로 산림행정기관에서 계류환경평가 지침서로 활용한다.
- 자. 행정기관에서의 치산 사방구조물 관리 계획 수립에 효과적으로 활용한다

## SUMMARY

## 1. Model development for nature-befitting ecological revetment of torrential streams

### 1) Status of wild stream revetment and characteristic analysis for torrential streams

Watershed characteristics around An-yang river, Kyunggi Province has been investigated and according to characteristic analysis, this river was divided into 6 upper watersheds (Sam-sung river, Sammak river, Suam river, Hogye river, Dangjung river and Bakdal river). As a result of such investigation, average water gradient of Samsung, Sammak, Suam rivers containing considerable torrential valleys reveals 7-9%, showing more rapid gradients than other areas, comparatively. Vegetation density of hillside of these areas is thick and soil condition is easily erosional and thus possibility of being developed to torrential streams is high. These areas are consequently judged to be torrential stream-abundant areas.

According to analysis as per watershed classification, sediment flowing sections of Samsung, Sammak and Suam rivers is 150-80m, Chunggye river 200-80m, respectively. Sediment piling section of Samsung, Sammak and Suam rivers are thought to be below 80m equally and as a whole Anyang river, sediment generation section is judged to be over 200m, sediment flowing section 200-80m, sediment piling section below 80m. When considering this section classification in terms of erosion control

work, hillside and valley works are necessary in the sediment generation sections and erosion control works in the sediment flowing, piling sections.

Subjected sections as a model case is 3-way junction, Shinhyuneub, Geoje City and its watershed space is 72ha. Adopting average current speed of 9.44m/sec, flux 18m<sup>3</sup>/sec. max. water volume 112.5mm, outflow coefficient 0.8, imagined max. flooding volume is calculated to be 77.86m<sup>3</sup>/sec. And 조도coefficient of 0.0024 and 0.00006 which is based on stonewall waterway and waterway value is

employed.

## 2) Technique development for ecological revetment of torrential streams

As time passes, wild stream revetment works need nature-befitting revetment facilities in order to ensure conservation of natural ecological spheres and environmental creation and rather than simple stonewalling works, vegetation-stone masonry works become necessary to be adopted. As per characteristics of wild stream and revetment, 4 kinds of models including vegetation-stone masonry, vegetation-riprap masonry, vegetation-quarry masonry and vegetation-block masonry are suggested, respectively.

For vegetation-stone masonry and vegetation-riprap masonry revetment, nearby crushed quarry stones are used and stone-masonry revetment in the narrow streams may create serious problems owing to section space reduction and therefore when applying stone-masonry revetment, water flowing capabilities of hillside wild streams will be considered. Vegetation-quarry stone revetment works shall be carried out in the area as a part of revetment where rapid current is expected and revetment protection is required. In order to ensure safety, suitable protection methods for the lower part are required. After completion, through continuous maintenance and repairs (relocation of stone-masonry and washing away, etc.),

rapid collapse of revetment should be avoided in advance.

Vegetation-block masonry shall be carried out with planting between each blocks to avoid wildlife habitation and digging and this method could be widely used in river revetment, slope protection and etc. and after completion, nature-befitting scenery could be created.

Wild stream erosion control works entails problems in terms of various technical, administrative and managerial aspects and as a result of these problem analysis, technical development for vegetational revetment and erosion control works are required to be made in order to enhance environmental functions like ecological spheres and scenery and comprehensive standard suggestion and

monitoring through this analysis are required.

In terms of administration and management, positive support on the governmental level, cooperation among the departments concerned and continuous resources provisions are required.

### 3) Functional assessment of ecological revetment and revegetation revetment

Functional assessment of ecological revetment is based on total 6 items including structural stability, vegetation belt creation effect, scenery improvement, wildlife habitation creation,

site application and economy. Assessment marking system is based on 5 grades. Classified categories spread over from min. 1 through max. 5 and 1st grade is 1-1.8, 2nd grade 1.9-2.6, 3rd 2.7-3.4, 4th 3.5-4.2 and 5th 4.3-5, respectively. In case of vegetation-block masonry that received 1st grade,

it received 2 points in vegetation creation effect, each 1 point in other items and it was assessed as the best ecological revetment. In case of vegetation-stone masonry, it was highly assessed in terms of structural stability, scenery improvement and economy. In case of natural stone vegetation revetment and vegetation-quarry revetment, assessment marks are comparatively low owing to low protection ratio resulting from vegetation-belt creation between natural stones and crushed stones in terms of vegetation creation effects but in terms of economy, both methods received excellent marks. Assessment marks of vegetation revetment is 1.7 for vegetation-stone masonry, 2.5 for vegetation-natural stone revetment, 2.5 for vegetation-quarry stone revetment, 1.2 for vegetation-block masonry revetment, respectively and vegetation-stone masonry revetment and vegetation-block masonry revetment received 1st grade, vegetation-natural stone revetment and vegetation-quarry stone revetment 2nd grade. All four methods are assessed as very excellent methods.

Monitoring is required for proving scheduled results, wild stream project publicity, ground for subjected area adaptation, enhancement of technical achievement possibilities for future projects and for site recording of project

process and based on this, continuous management can be carried out. And according to each characteristics of facilities or ecological spheres, managerial method could be adopted classified by maintenance, adjustment and adaptation.

## 2. Assessment of effects of erosion control work on stream ecosystem

Samples of benthic macroinvertebrates, fish, and frogs were taken to understand effects of erosion control structures on montane streams in Mt. Bukhan National Park. Furthermore bioassessment metrics were derived and tested for their ability of detecting physical disturbances.

Erosion control structures which transversely block stream ecosystems had great effects on not only landscape view but biodiversity and abundances of aquatic animals. The major physical alterations caused by erosion control structures were flattening of streambed, formation of pools, changing of flux and water velocity, and simplification of substrates. These physical disturbances indeed affected habitats of aquatic animals, especially on benthic macroinvertebrates. Both species and individual numbers of benthic macroinvertebrates of affected points around structures were fewer than those of non-affected points. Besides feeding and behavior habits of benthic macroinvertebrates were quite different between affected and non-affected points. Those artificial structures also interrupted migration ability of fish and frogs between upstream and downstream, depending on type, elevation, and scale of structures.

The introduction of bioassessment metrics indicate the development of an empirical relationship between habitat quality and biological condition. We derive some metrics based on RBPs(Rapid Bioassessment Protocols) of U.S.EPA, using our results of benthic macroinvertebrates. After application of bioassessment the affected points around artificial structures were ranked from moderately impaired to severely impaired biological condition, and non-affected points from

nonimpaired to slightly impaired. Although there is no difference of water quality between affected and non-affected points, affected points were severely disturbed by physical alterations. Therefore this bioassessment metrics were very available and applicable to understanding the effects of erosion control work on stream ecosystems.

### 3. The type of each skill and analysis of influences for conservation of stream water quality of structure for erosion control in torrent

#### 1) The analysis and estimation of each skill of structure for erosion control in torrent

This study was conducted to analyse and estimate of each skill was affected by the of structure for erosion control in torrent along the stream valley in Bughansan National Park. Thirty-seven kinds of artificial structures were found from 35 streams in the park. Those of artificial structures were forest conservation dam, check dam, stream grade stabilization structures, stream bed rocks, revetment, drain, water collecting well, fall works, water channel works in valley, etc. To restore stream valley ecosystem, we should establish restoration plans to keep the original shape of stream. It is necessary to use environmentally sound materials with conservation of valley stability. Valley construction for erosion control works should be evaluated continuously based on concepts of conservation and development of stream valley ecology. It is categorized in point of the important of class of stream valley conservation ahead planning and constructure. We suggest that the development of stream valley construction needs to prevent mass movement of soil sediments. In addition, it is established the basal strategy to protect macro and micro aquatic organisms in stream valley ecosystem.

#### 2) The type of each skill and analysis of structure for erosion control in

torrent

Questionnaire survey from 101 visitors and 77 specialists was carried out to establish the management plan on landscapes of the artificial structure constructed in valley within Bughansan National Park. When comparison was made between ground sill work structure and valley landscape, visitor group responded to the highest scores in valley landscape after planting of vine species in the bottom of the constructure, while specialist group responded to valley landscape after the removal of the constructure. When it made a comparison between revetment work constructure and valley landscape, visitor group responded to highest scores in valley landscape after planting of vine species in the top of the constructure, while specialist group responded to valley landscape after replacing concrete revetment by stone revetment constructure. When it made a comparison between fall work constructure and valley landscape, both groups responded to the highest scores in valley landscape after the removal of the constructure. According to the valley landscape analysis, artificial constructs built in water channel should be matched to adjacent landscape with the removal of concrete constructure. The slope of water channel should be considered to build fall work constructure. A questionnaire survey from 200 visitors and 100 residents was carried out to establish the management plan of the artificial structures constructed in valley within Bughansan National Park. According to the result of the survey, respondents realized that the valley ecosystem could be damaged by artificial structures, but not pollutants of stream water. About 60% of the respondents felt uncomfortable by artificial cement constructs and about 22% was concerned about negative effect of valley ecosystem by the constructs. The results categorized by management body, management system and management cost indicate that the artificial constructs should be managed in terms of the safety and conservation of valley ecosystem. In order to change the recent direction of the forest conservation and erosion control projects which are focused on the restoration of stream side ecology, we have to quit the past erosion control policy such as

water control purpose, and establish new plans regarding on the forest conservation and erosion control which is considered the regional environmental restoration of watershed.

3) The analysis of stream water quality for erosion control in torrent

This research was conducted to investigate the seasonal changes in physicochemical characteristics of stream water at the four points in the northeastern part of the Puk'ansan National Park from March of 2006 to November of 2006. The average pH of stream water was 6.50(6.03~6.61) which indicated that the water quality could be categorized in the first class for the quality of river water quality standard. The average electrical conductivity of stream water was 59.4(55.3~69.3)uS/cm. The amount of anion( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) which indicates the pollution index in downstream was higher than that in upstream. In addition, the seasonal impacts of pollution on stream water were higher in Autumn than in Spring or Summer. To prevent the pollution of stream water in the northeastern part of Mt. Bughansan National Park, it is recommended that the number of visitors in the park should be managed and rehabilitated rapidly by measure to eco-friendly during the spring season. The results of this study were summarized as follows; During the investigation period, the amounts of sediment caused by solifluction on stream side slopes in the downstream were 1.3~2.6 times as large as those in the upstream. The pH of sediment caused by solifluction was a potential influence on the pH of stream water. The electrical conductivity and the amount of anion( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) in downstream were higher than those in upstream. As a result of regression analyses, the linear and exponential equation of EC and water quantity was  $\text{EC} = 607.74 \times \text{stream water quantity} + 60.328$  ( $R^2 = 0.94$ ).

## CONTENTS



Chapter 1. Outline of Research .....	29
Para. 1. Object of research .....	29
Para. 2. Necessity of research .....	31
1. Technological aspect .....	31
2. Economic and industrial aspect .....	32
3. Social and cultural aspect .....	32
Para. 3. Range of the research study .....	33
1. Model development for nature-befitting ecological revetment of torrential streams .....	33
2. Assessment of effects of erosion control work on stream ecosystem .....	34
3. The type of each skill and analysis of influences for conservation of stream water quality of structure for erosion control in torrent .....	35
 Chapter 2. Technological Innovation Present Condition of Korea and Foreign Nation .....	 36
 Chapter 3. Scope and Result of the Study and Development .....	 47
 Para. 1. Model development for nature-befitting ecological revetment of torrential streams .....	 47
1. Status of wild stream revetment and characteristical analysis for torrential streams .....	47
2. Technique development for ecological revetment of torrential streams	84
3. Functional assessment of ecological revetment and revegetation revetment .....	103
 Para. 2. Assessment of effects of erosion control work on	

stream ecosystem .....	147
1. Assessment of effects of erosion control structures on stream ecosystem .....	147
2. Development of biological assessment technique .....	216
3. Improvement and effects of erosion control structure .....	242
Para. 3. The type of each skill and analysis of influences for conservation of stream water quality of structure for erosion control in torrent .....	247
1. The analysis and estimation of each skill of structure for erosion control in torrent .....	247
2. The type of each skill and analysis of structure for erosion control in torrent .....	266
3. The analysis of stream water quality for erosion control in torrent .....	297
Chapter 4. Objection Performance and Contribution of Relevance Field .....	338
Para. 1. Model development for nature-befitting ecological revetment of torrential streams .....	338
Para. 2. Assessment of effects of erosion control work on stream ecosystem .....	339
Para. 3. The type of each skill and analysis of influences for conservation of stream water quality of structure for erosion control in torrent .....	341
Chapter 5. Application Plan of study Result .....	342

Chapter 6. Science Technology Knowledge in Study Course .....	343
Chapter 7. Reference .....	370

## 목 차

제 1장. 연구개발과제의 개요 .....	29
제 1절. 연구개발의 목적 .....	29
제 2절. 연구개발의 필요성 .....	31
1. 기술적 측면 .....	31
2. 경제·산업적 측면 .....	32
3. 사회·문화적 측면 .....	32
제 3절. 연구개발의 범위 .....	33
1. 황폐계류의 자연친화적 생태호안 모델 개발 .....	33
2. 야계사방사업이 계곡생태계에 미치는 영향 평가 .....	34
3. 야계사방공작물의 기능별 유형화 및 수질보전 영향 분석 .....	35
제 2장. 국내외 기술개발 현황 .....	36
제 1절. 국외의 자연친화적인 치산사방구조물의 설치 .....	36
제 2절. 국내·외의 생물학적 평가 .....	39
제 3장. 연구개발 수행 내용 및 결과 .....	47
제 1절. 황폐계류의 자연친화적 생태호안 모델 개발 .....	47
1. 야계사방 현황 및 황폐계류의 특성 분석 .....	47
2. 황폐계류의 생태호안 기법 개발 .....	84
3. 생태호안의 호안녹화 및 기능평가 .....	103
제 2절. 야계사방사업이 계곡생태계에 미치는 영향 평가 .....	147
1. 사방공작물이 계곡생태계에 미치는 영향 분석 .....	147
2. 생물학적 평가기법의 개발 .....	216
3. 야계사방공작물의 영향 및 개선방향 .....	242
제 3절. 야계사방공작물의 기능별 유형화 및 수질보전 영향 분석 .....	247

1. 야계사방공작물의 기능 분석 및 평가 .....	247
2. 야계사방공작물의 기능별 유형화 .....	266
3. 야계사방사업에 의한 계류수질 평가 .....	297
<b>제 4장. 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도 .....</b>	<b>338</b>
제 1절. 황폐계류의 자연친화적 생태호안 모델 개발 .....	338
제 2절. 야계사방사업이 계곡생태계에 미치는 영향 평가 .....	339
제 3절. 야계사방공작물의 기능별 유형화 및 수질보전 영향 분석 .....	341
<b>제 5장. 연구개발결과의 활용계획 .....</b>	<b>342</b>
<b>제 6장. 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....</b>	<b>343</b>
<b>제 7장. 참고문헌 .....</b>	<b>370</b>

## 제 1장. 연구개발과제의 개요

## 제 1절. 연구개발의 목적

우리나라는 야계의 특성을 고려하여 계류의 치수적 안정성을 확보하면서 식물의 생장이 가능한 야계사방 기법이 개발되어야 하며, 특히 계류의 상류, 중류, 하류의 특성을 배려함으로써 정비 및 복원을 필요로 하는 구간에 가장 적합한 공법이 선정되어야 한다. 기존의 야계사방 사업은 산사태로 인한 토사유실 방지를 위하여 사방댐, 구곡막이 및 바닥막이 등을 시설하였으며, 또한 홍수시 계류수를 하류로 빠르게 이송시켜 범람을 방지하기 위하여 물의 흐름을 방해하는 하도내의 모든 요소들을 제거하면서 저수로와 호안을 석축 및 돌망태를 쌓는 것이 종래의 방법이었다. 그러나 가로공작물과 세로공작물 등으로 직선화된 인공하천은 하천고유의 물리적 구조와 기능을 잃고 계류생태계가 훼손되면서 자정능력상실에 의한 수질악화, 서식처 파괴로 인한 생물 종 다양성 감소 등 생태적 문제와 더불어 하류부의 집중류에 의한 범람을 유발하는 등 치수적으로도 많은 문제점이 나타나게 되었다.

따라서, 황폐계류 내에서 효과적인 계류생태계의 복원을 위해서는 과거 수행해왔던 치수만을 위한 사방을 지양하고, 환경을 위한 치산·사방, 지역·유역 또는 공원 계곡의 생태계복원을 위한 치산·사방이 이루어져야 할 것이다. 산지 및 공원 계곡 내 치산·사방사업에 있어서는 장래 실시되는 치산·사방사업계획을 계류생태계복원사업계획으로 전환해야 할 필요가 있다. 즉, 하천계획도 이전에는 대부분이 홍수를 경감하거나 방지하기 위한 계획이었지만, 현재는 합리적인 물의 이용계획이나 하천 환경보전계획을 포함한 하천의 종합관리계획으로 발전되고 있기 때문에 현대의 치산 사방사업도 계류 혹은 선상지와 연결되는 하천의 종합관리사업으로 간주해야 할 필요가 있다. 아울러 치산·사방사업계획은 계류생태계복원사업계획으로 적극적으로 전환하여야 하고, 그 부가적인 계획도 종래의 치산·사방사업계획을 계류환경보전계획이나 계류지역이용계획으로 발전시키는 계류생태계복원사업계획으로의 전환이 필요하다. 치산·사방사업 등 산지에서의 공사와 원생생태계의 보전이라는 문제를 모두 만족하게 하는 것은 어려운 문제이나 꾸준한 노력을 통하여 합의점을 찾을 필요가 있다. 방재적인 측면에서 치산·사방사업은 현재까지 그 기초적인 관점에서 지형, 지질, 수문, 수리, 토사수리, 토질역학, 구조역학, 조립, 산림생태 등에 대한 충분한 고려를 하지 않고 시행하였으나, 앞으로는 이들에 대한 충분한 고려를 통하여 사업을 수행할 필요가 있다. 더욱이 계류생태계의 효과적인 복원을 위해서는 자연경관에 관한 충분한 검토를 통해 수행되어야 하며, 뿐만 아니라 계류생태계 복원을 위한 호

안공법 등 치산 사방구조물의 최적 관리 전략 모델을 개발하여 적정하게 이용하여야 할 필요가 있다.

## 제 2절. 연구개발의 필요성

## 1. 기술적 측면

야계사방은 야계의 특성을 고려하여 계류의 치수적 안정성을 확보하면서 식물의 생장이 가능한 공법으로 개발되어야 하며, 특히 계류의 상류, 중류, 하류의 특성을 배려함으로써 정비 및 복원을 필요로 하는 구간에 가장 적합한 공법이 선정되어야 한다. 기존의 야계사방 사업은 산사태로 인한 토사유실 방지를 위하여 사방댐, 구곡막이 및 바닥막이 등을 시설하였으며, 또한 홍수시 계류수를 하류로 빠르게 이송시켜 범람을 방지하기 위하여 물의 흐름을 방해하는 하도내의 모든 요소들을 제거하면서 저수로와 호안을 석축 및 돌망태를 쌓는 것이 종래의 방법이었다. 가로공작물과 세로공작물 등으로 직선화된 인공하천은 하천고유의 물리적 구조와 기능을 잃고 계류생태계가 훼손되면서 자정능력상실에 의한 수질악화, 서식처 파괴로 인한 생물 다양성 감소 등 생태적 문제와 더불어 하류부의 집중류에 의한 범람을 유발하는 등 치수적으로도 많은 문제점이 나타나게 되었다.

수중과 수변생태계를 포함하는 계곡생태계는 동·식물 서식에 필요한 다양한 미소환경을 가지고 있어 타 지역보다 종 다양성이 매우 높고, 어름치, 금강모치, 수달 등의 멸종위기 및 보호야생동물, 희귀종, 천연기념물이 다수 서식하는 지역으로 계곡 내 생물다양성 보존 및 유지에 매우 중요한 역할을 하고 있다. 황폐계류 내에 설치된 인공구조물은 석축, 옹벽, 보(수중보), 배수로, 도수로, 사방댐, 바닥막이, 기슭막이, 교량(교대, 교각) 등으로 다양하며, 설치 수도 매우 많으나, 계곡 생태계의 안전성을 고려한 친환경적 시설물이기보다는 계곡 내 자연재해 예방, 이수·치수기능과 탐방객 편이·안전시설 목적으로 설치된 것이 대부분이다. 설치자가 지자체, 군부대, 사찰, 거주민 등으로 다양하여 친환경적인 계곡 및 야계 관리에 적지 않은 문제점을 주고 있으나, 계곡 내 인공구조물이 자연생태계에 미치는 영향에 대한 체계적인 연구가 없어 현장에서 적정관리를 하기에 심각한 어려움이 있다. 황폐계류 내 인공구조물의 현황 파악과 아울러 생태계 교란 등 자연생태계에 미치는 영향에 대한 조사·분석이 필요하며, 이를 통한 친환경적 적정관리 방안과 개선방안 수립 및 적용을 위한 최적 관리 모델의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정에 있다.

## 2. 경제·산업적 측면

황폐계류 내 인공구조물의 친환경적 관리를 위해 매년 막대한 관리비가 들어가고



있으며, 특히 산사태 등 토석류로 인해 파괴되었을 경우 복구비가 막대하게 투입되고 있다. 예를 들면 2002년 태풍 루사로 인한 피해는 인명 246명, 5조 1천억원 이상의 재산피해가 발생하여 전액 국고지원이 불가피한 실정이었다. 한편, 산사태와 토석류와 같은 산지재해는 매몰 등으로 35명의 인명을 앗아가고 엄청난 재산피해를 끼쳤으므로 국가방재체계와 산림관리정책을 재검토해야 할 필요를 가지게 하였으며, 특히 황폐계류 내에 설치되는 치산 사방구조물에 대한 자연친화적 관리체계를 구축할 필요가 있다. 이러한 실정으로 치산사업 특히 사방사업에 미치는 영향이 크고, 향후 지속적인 관리를 위하여 투입되는 비용은 기하급수적으로 증가하고 있으며, 2003년 태풍 매미로 인한 피해가 가중되어 산업 전반에 미치는 영향이 막대하게 증가하고 있다.

### 3. 사회·문화적 측면

유역의 집중적인 도시화와 같이 인간의 활동에 의해 영향을 받는 계류 및 하천은 유출형태와 유출량에 있어 큰 변화를 경험했고, 그 결과 수로의 침식, 피복 식생의 손실 그리고 하상절개 등의 변화가 있어 왔음. 이러한 요소는 수로의 안정성에 영향을 미치는 요소들이며, 이러한 변화의 결과로 수로여건의 변화와 안정조건 등이 없어짐으로 인해 수로는 불안정해졌고 이것들이 인간생활에 영향을 미치고 있음. 이러한 시스템의 문제점이 증가하는 것을 방지하기 위한 과거의 전형적인 공학적 행위에는 보호제방, 하상조절 구조물 등 국부적 수로화와 댐과 바닥막이 등 상류 흐름조절 등이 있어 왔으나, 계곡 내 치산 사방구조물은 계곡의 생태계를 변화시키는 심각한 영향 요인으로 작용하고 있다. 산림관리에 기본이 되는 임도의 붕괴, 대형산불에 의한 산림소실로 황폐화된 임지, 산업사회의 발달에 따라 개발된 폐광지·채석장, 도로 건설 등에 따른 인위적 훼손지에 대한 산지관리방향의 재정립과 함께 계곡 내에 설치되는 치산 사방구조물의 사회적, 생태문화적 영향에 대한 연구가 시급한 실정이다.

## 제 3절. 연구개발의 범위

## 1. 황폐계류의 자연친화적 생태호안 모델 개발

### 가. 야계사방 현황 및 황폐계류의 특성 분석

- 1) 야계사방 현황조사
  - 가) 야계사방사업의 발전과정
  - 나) 관련법 · 제도 검토
  - 다) 야계사방 추진방향 수립
  - 라) 국내외 공법 및 공중조사
- 2) 야계의 특성 분석
  - 가) 황폐계류의 형상별 분석
  - 나) 유역의 특성별 분석
  - 다) 유역구분에 의한 분석
  - 라) 하천법에 따른 분석

### 나. 황폐계류의 생태호안 기법 개발

- 1) 야계현황 조사 및 측량(중단 및 횡단)
- 2) 야계 및 호안의 특성에 따른 모델제시
  - 가) 돌쌓기 : 식생전석, 식생자연석, 식생괘돌
  - 나) 콘크리트제품 : 식생블록
- 3) 재료별 시공기법 제시
- 4) 설치에 따른 문제점 분석

### 다. 생태호안의 호안녹화 및 기능평가

- 1) 야계 호안녹화기법 제시
- 2) 생태호안 기능 평가
  - 가) 생태호안의 기능 평가지표 개발
  - 나) 생태호안의 기능평가 항목 조사
- 3) 평가계량화 지표 개발
  - 가) 황폐계류의 호안에 시공된 생태호안에 대하여 구조적 안정성, 식생대 조성 효과, 생물서식지 조성, 경관개선 및 경제성 등을 중심으로 점수화 하여 계량 평가

## 2. 야계사방사업이 계곡생태계에 미치는 영향 평가

### 가. 사방공작물이 계곡생태계에 미치는 영향 분석

#### 1) 저서성 대형무척추동물에 미치는 영향

가) 사방공작물의 유형에 따른 저서성 대형무척추동물 군집 변화 파악

나) 각 사방공작물의 유형별 영향권 파악

다) 사방공작물이 출현종수 및 출현개체수에 미치는 영향 파악

라) 사방공작물이 군집구조에 미치는 영향 파악

#### 2) 어류에 미치는 영향

가) 어류에 대한 주요 분포역 조사

나) 사방공작물 유형이 어류에 미치는 영향 파악

다) 사방공작물의 구조에 따른 어류의 이동력 파악

#### 3) 양서류에 미치는 영향

가) 양서류의 주요 서식지 조사

나) 사방공작물 유형이 양서류에 미치는 영향 파악

### 나. 생물학적 평가기법의 개발

#### 1) 자료 수집 분석

가) 국외의 생물학적 평가기법에 대한 문헌자료 수집 분석

나) 국내의 저서성 대형무척추동물 조사 자료 수집 분석

#### 2) 평가기법 개발

가) 사방공작물의 영향을 평가할 수 있는 평가모델 선정

나) 국내에 적용가능한 평가모델 및 metrics 선정

다) 생물학적 평가모델의 개발

#### 3) 평가기법의 적용

가) 개발된 평가기법을 조사대상지에 적용하여 타당성 검토

### 다. 사방공작물의 영향 및 개선방향

#### 1) 사방공작물의 유형에 따른 영향 파악

가) 사방공작물의 재료, 설치방법 등에 의한 영향을 파악

나) 사방공작물의 개선방향 제시

다) 계곡생태계에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 방향 제시

### 3. 야계사방공작물의 기능별 유형화 및 수질보전 영향 분석

가. 야계사방공작물의 기능 분석 및 평가

- 1) 야계사방 공법별 기능 분석
- 2) 야계사방 공법별 기능분석 시범지 선정
  - 가) 토사유출 방지기능
  - 나) 횡침식 방지기능
  - 다) 종침식 방지기능
  - 라) 계안붕괴 방지기능
- 3) 야계사방공작물의 기능 평가

나. 야계사방공작물의 기능별 유형화

- 1) 야계사방공작물의 자연경관과의 조화성 평가인자 선정 및 평가
- 2) 야계사방공작물의 치수, 이수기능과의 조화성 평가
- 3) 야계사방공작물의 순기능 및 역기능 평가
- 4) 야계사방공작물의 기능별 유형화

다. 야계사방사업에 의한 계류수질 평가

- 1) 야계수질 분석
- 2) 야계특성을 고려한 수질도 작성

## 제 2장. 국내외 기술개발 현황

## 제 1절. 국외의 자연친화적인 치산사방구조물의 설치

### 1. 미국의 자연친화적 치산 사방구조물 설치 전략

우리나라에서 계곡, 하천에 설치된 치산 사방구조물의 자연친화적 구조물로의 대체 등 하천복원에 대한 관리방안을 수립하기 위해서는 선진국에서의 적용 사례를 검토하는 것이 중요한데, 특히 계곡 및 야계에 설치된 치산 사방구조물의 자연친화적 대체사업이 활발한 미국의 하천환경보전 사례 검토가 필요하다. 미국은 다양한 기후와 넓은 면적을 가지고 있어 농업, 도시, 산업전반에 걸친 개발에 매우 큰 차이를 나타내고 있고, 국토이용관리에 있어서도 매우 다양한 형태를 나타내고 있다. 따라서 국토 전반에 걸쳐 적용 가능한 야계 및 하천복원의 필요성, 기술과 적용방법이 단일한 방법으로만 적용되는 것은 아니며, 지역적 환경특성과 야계 및 하천조건에 알맞은 지역적 프로젝트가 급속도로 개발되고 있다.

미국에서 과거 수십 년간 시행된 야계 및 하천복원사업의 형태는, 1950년대에 들어서면서 치수 및 인공구조물의 건설(댐, 저수지, 제방 등), 댐에서의 어도 설치, 부화장 기능을 갖는 완속지 조성 등이 주된 사업이었음. 이 후 1960년대에는 이들의 추가건설, 치수 및 인공구조물이 생태계에 미치는 영향을 인식하게 되었고, 1970년대 들어서야 치수 및 인공구조물 건설사업의 완성, 생태계에 대한 악영향을 줄이기 위한 초기 방안을 수립하게 되었다. 이 후 1980년대에는 치수사업의 평가 및 개정, 국부적인 생물서식지 개선사업을 주된 목표로 하였고, 1990년대에는 치수 및 인공구조물 변경을 통한 야계 및 하천 그리고 유역개선사업을 시도하였으며, 현재에 이르러 대규모 인공구조물인 댐의 제거를 통한 야계 및 하천복원사업을 시행하고 있다. 또한, 미국정부 내 몇몇 기관이 야계 및 하천복원사업에 관심을 가지고 사업을 진행해 오고 있는데, 이들은 하천복원사업에 대한 조정과 협의를 위해 관련기관 내에 공동그룹을 구성하였고, 이 그룹은 수변복원·원리, 과정, 실무라는 제목의 지침서를 마련하였으며, 이 공동그룹은 15개의 연방기관으로 구성되어 있으며, 미국 농무부의 산하기관인 천연자원보존국이 이끌고 있다. 과거에는 야계 및 하천을 인간의 필요에 의해 개발해 왔으나 점차 미국은 생태적, 환경적으로 건강한 강과 계곡, 야계 및 하천을 복원시키는데 노력을 기울이고 있음. 왜냐 하면 인간의 필요성을 만족시키기 위한 계곡, 야계 및 하천의 지속적인 이용으로 인해 과거보다 더 큰 야계 및 하천생태보호가 필요하게 되었기 때문이다. 최근 많은 창조적 생각과 테마들이 미국의 계

곡, 야계 및 하천복원사업의 본질을 구성하고 있고, 오늘날 계곡, 야계 및 하천복원 사업에 대한 폭 넓은 분야를 형성하고 있다. 미국에서는 과거보다 훨씬 복잡한 계곡, 야계 및 하천복원사업이 이루어지고 있다. 이는 과거에 이루어졌던 단순한 서식지 개선 사업을 교체하는 작업들이다. 이 사업의 초기과정에서는 보통 생물서식지의 물리적인 특성을 관리하는 것으로 설계되어 있었으며, 이 작업들은 대개 물리적인 과정이고, 계곡, 야계 및 하천 서식지 조사에 근거하여 수립된 생물학적 목표를 만족시키는 목적을 가지고 제한된 수문·수리학적 자료만을 가진 어류 생물학자들에 의해 설계되었다. 이 사업에서는 종종 자연적인 계곡, 야계 및 하천과 교란된 계곡, 야계 및 하천간 조건의 차이를 만족시키기 위해 계곡, 야계 및 하천구간 내의 물리적 환경을 변화시켰다. 미국의 경우 전체 야계의 44%가 생태적으로 안정된 기능을 상실하였으며, 이를 체계적으로 복원하기 위해 1998년부터 농림부, 환경부, 내무부 등 8개 부처 산하 16개 기관에서 합동으로 야계복원 지침서를 2001년에 발간·적용하고 있다.

## 2. 일본의 자연친화적 치산 사방구조물 설치 전략

최근 일본 고유의 생태계와 경관은 원시적인 산지와 국립공원 내 계류·하천변 등 한정된 부분에 남게 되었고, 도시 거주민들은 그들 주변뿐만 아니라 산지와 계류변의 자연생태계와 자연경관의 보전에 관심을 두게 되어 계류에서 시행되고 있는 환경복원적 치산·사방사업 즉, 인공구조물의 설치에 대한 관심이 증대되었다. 그러나 치산·사방사업은 산지와 계류변의 자연생태계, 경관보전 문제와 상치되는 문제를 안고 있다. 따라서 국민의 생명과 재산을 지키는 과정인 이수 및 치수를 위한 방재사업이라도 자연환경의 보전과 조화된 사업의 실시는 시대적 요청이 되었다. 또한, 개개 사업현장에서의 환경보전이 곧 지구환경의 보전과 직결됨을 고려한다면 치산·사방기술자가 사업실행에 있어 환경보전을 고려하는 것은 필수 조건이라 할 수 있다. 일본은 建設省, 林野廳, 道都府縣에서 환경을 배려한 각종사업을 전개하고 있고, 하천사업도 환경복원을 위한 치산·사방사업과 같이 근대 치수사업으로써 홍수범람 방지와 수자원의 개발에 큰 공헌을 해 왔으나, 최근 들어 대규모의 인공댐과 견고한 계안의 건설 그리고 국립공원 계곡 내에 설치되는 인공구조물이 결국 계류생태계는 물론 하천생태계와 친수성의 파괴로 이어지고 있다는 사실이 판명되어 각종 건설 사업은 환경을 고려하지 않고는 어렵게 되었다. 19세기 후반 河川法, 森林法, 砂防法이

공포되어 근대적인 치산·사방사업이 시작될 때 일본의 산림은 현재 중국, 북한, 필리핀, 네팔 등의 산지나 계류변과 같이 민둥산이나 황폐산지가 전국에 존재하였고, 토사재해와 수해가 빈발하게 발생하였다. 당시 산지에서 침식된 토사는 계속적으로 유출되어 선상지에 과도하게 퇴적되고, 평지의 하천에도 토사가 증가하였다. 또한, 태풍으로 인한 침식토사의 증가로 하천이 범람하는 사태가 많이 발생하였다. 따라서 산복에는 나무를 심고, 계류에는 그곳이 도부현에서 관리하거나 국가에서 관리하는 공원이라고 하더라도 그 지역의 계곡 내에 시공하여 토사가 유출되는 것을 방지하고자 하였다. 이것이 국토보전사업의 추진법으로써 공포된 당시의 森林法 및 砂防法の 사상이었다. 최근에는 산지의 표층붕괴도 감소하고 있어, 산림의 수원함양기능에도 유리한 영향이 나타나고 있다. 그러나 갈수기에는 유량이 감소하는 사태도 발생하고 있으며, 계류와 하천으로 유입되는 유출토사량도 감소하고 있음. 따라서 건설된 사방댐에 토사가 퇴적되지 않는 곳이 증가하고 있다. 이는 산지 및 계곡 내 계류 및 하천의 수변림 복원 및 보전의 결과이다.

## 제 2절. 국내·외의 생물학적 평가

자연적, 물리·화학적 총체성을 구성하는 많은 인자들은 생물학적 총체성에 직접

적으로 영향을 미친다. 그러므로 생물학적 총체성을 달성하는 것은 양호한 수체의 건강성을 반영한다. 인간의 활동이 물리·화학적 총체성을 교란할 때 생물학적 총체성도 영향을 받으며 결국 생태계의 건강성이 저하된다. 생물학적 평가는 생물학적 상태를 평가하기 위한 도구이며, 1) 상태에 대한 초기평가 또는 스크리닝, 2) 손상과 진단에 대한 특징화, 3) 개선 또는 질적 저하를 평가하는 모니터링을 포함하는 세 가지 기능을 부여한다. 따라서 생물학적 평가는 복잡한 생태계의 문제를 관리하는데 중요한 정보를 제공한다. 표 1은 미국의 생물학적 평가현황을 보여주고 있다.

표 1. 미국의 생물학적 평가 현황(자료: US EPA, 2002)

주정부	생물평가 기준형식	내 용
Idaho	서술적 생물기준	개천과 하천 모니터링; 3개의 생물학적 지역(bioregion) 평가; 생물 지수와 손상의 역치(threshold) 설정; 손상된 물의 list/de-list 이용; 최적관리 프로그램을 찾아내고 효율성을 평가하는데 이용
Oregon	서술적 생물기준	개천(stream) 모니터링; 저서성 대형무척추동물 이용; 지역적인 reference 상태 설정; 다변량 분석 및 생물학적 metric 요소에 의해 평가; 손상된 물을 목록화하기 위해 이용
Arizona	서술적 생물기준	개천 모니터링; 저서성 대형무척추동물 이용; 생물학적 및 물리적 자료의 종합; Montane & Plains 지수 이용
Vermont	(서술적 생물기준)	일련의 수준별(tiered) 수서생물의 이용; 개천 모니터링, 강과 호수는 개발 중; 복수의 군집이용; 3개로 개천을 그룹화(고도/경사); 물의 list/de-list에 이용
Maine	정량적 생물기준	층별(tiered) 수서생물의 이용; 개천과 강의 모니터링; 저서성 대형무척추동물 이용; 다변량 예측모델; 수서생물을 이용한 reference 상태 설정; 수준별 이용(tiered use)에 기초한 교란의 역치 설정
Maryland	서술적 생물기준	개천 모니터링; 복수의 군집이용; coastal 및 non-coastal 생물지역; 생물지수 및 생물지역에 의한 손상역치 설정; 손상된 물에 대한 목록화 및 평가에 이용
Ohio	정량적 생물기준	수준별(tiered) 수서생물의 이용; 생태지역적 reference 상태 설정; 개천, 강, 습지 모니터링; 생물학적, 물리적, 화학적 및 독성자료의 종합; tiered 이용을 위한 생물지수; 수질기준에 채택
Florida	정량적 생물기준	강 유역 모니터링; 개천, 강, 호수, 만, 습지 모니터링; 생물학적, 물리적, 화학적 및 독성자료의 종합; 평가를 위한 4개 생물지역 설정; 생물지수 및 생물지역에 의한 손상역치 설정; 손상된 물에 대한 list/de-list에 이용

생물학적 평가 이용의 하나는 국가나 지방정부가 수용 가능한 생물학적 상태를 확보하기 위한 기대치를 발전시키도록 도와주는 것이다. 이것은 수서생물의 이용(aquatic life use)을 의미하며, 수서생물에 대한 목표를 확립하는 기술적인 과정을 통해 수행된다. 생물학적 평가는 다양한 종류의 수서생물을 이용할 수 있다. 따라서



한 set의 기준은 수체내의 깨끗한 군집을 유지시키며 다른 set는 시골 또는 도시하천 또는 다른 변경된 생태계 복원을 위한 목표를 설정한다. 수서생물의 몇 가지 형태나 이들의 조합은 국가나 지방정부가 생태계보전을 위한 요구와 비례하여 해당 수체에 대한 한정된 자원을 할당하도록 허용한다. 그림 1과 그림 2는 이러한 접근방법을 보여준다.

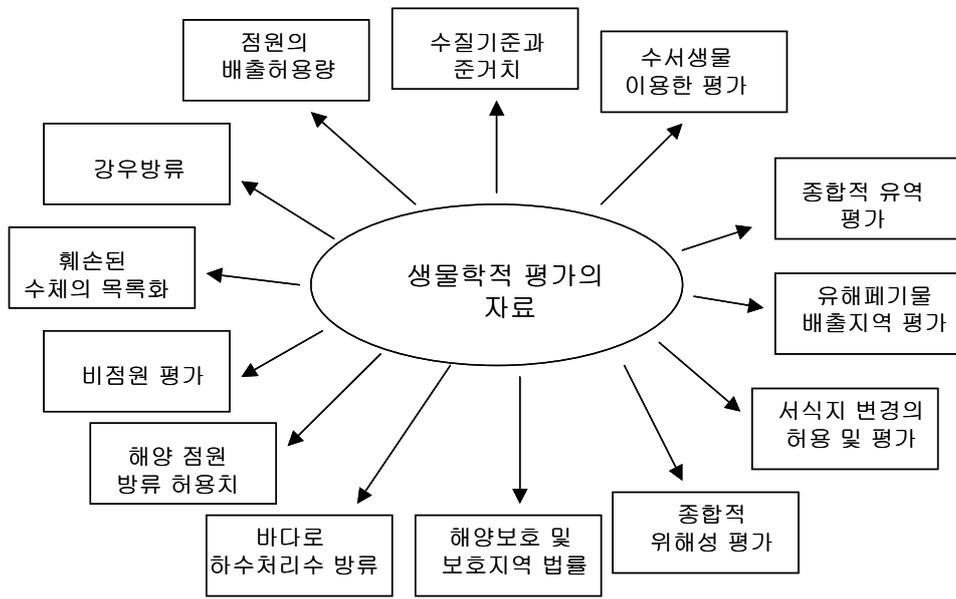


그림 1. 생물학적 평가의 이용(미국 EPA, 2002)

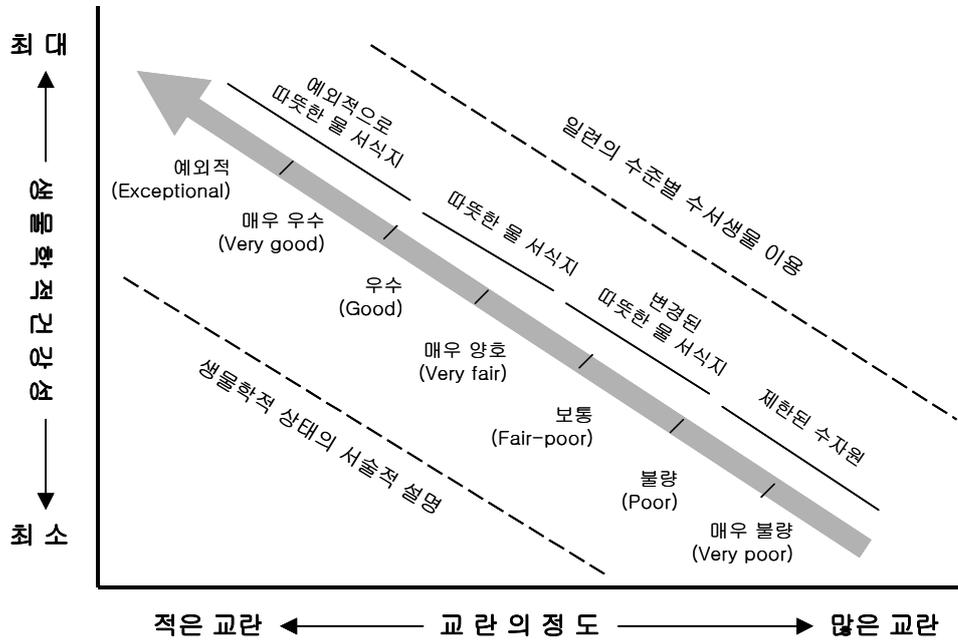


그림 2. 수서생물 이용을 결정하는 생물평가 및 기준이용을 위한 체계(미국 EPA, 2002)

하천생태계의 건강성 평가(bioassessment of ecosystem health) 기법을 위하여 외국의 자료, 특히 미국에서 실시하고 있는 RBPs (Rapid Bioassessment Protocols), IBI (Index of Biotic Integrity), ICI (Invertebrate Community Index), 유럽의 AQEM (an Integrated Assessment System for the Ecological Quality of Streams and Rivers throughout Europe using Benthic Macroinvertebrates) 등에 관련된 문헌을 수집·분석하여 국내의 야계사방사업에의 적용가능성을 검토하였다.

### 1. 국외의 사례 분석

현재 미국을 비롯한 환경 선진국들에서는 생물을 이용한 수생태계 건강성 파악을 위한 기반연구가 활발히 진행되고 있다. 미국의 오하이오 환경부에서는 수체 내 생물을 이용하여 생태건강성모델(Ecological Health Model)을 이용하여 생물학적 평가를 하고 있고, 미국 전역에 대해 생물학적 평가 네트워크 구축을 수행하여 생물에 바탕을 둔 등급을 세분하여 구분하고 있다. 심하게 훼손된 수계는 이런 생물학적 평가를 핵심자료로 이용하여 친환경적 복원을 기획하고 있다. 또한 미국 내 수계관리

동향에 따르면, USGS 및 USDA에서는 수계관리프로그램 (Watershed Management Program, WMP), 수계정보네트워크(Watershed Information Network, WIN), 수계연구단(Watershed Initiative, WI), 수질모니터링·평가프로그램 (Water Quality Monitoring & Assessment Program, WQMAP)을 산하 기관에서 운영하면서 생물학적 평가기법을 확립하고 있고, 이는 수생태계 보전 및 종다양성 확보에 실효를 거두고 있다. 특히 생물학적 평가기법으로서 미국 환경부 주도하에 확립된 Barbour et al.(1999)의 "신속한 생물학적 평가법(Rapid Bioassessment Protocol, RBP)"은 "생태위해성 평가법(ERC)"등과 함께 이미 표준화된 지침서로 작성되어 수생태계 관리에 미국전역에서 광범위하게 이용하고 있다.

일반적으로 수체의 생물학적 평가법(Biological assessment)은 생물학적 통합지수(Index of Biological Integrity) 및 생태 건강성 평가 모델 (Ecological Health Assessment Model, EHA)의 개념에 기초를 두고 있는데, 이는 1981년 미국 중부의 하천에서의 조사자료를 기반으로 한 다변수 모델(Multimetric model) 개발에 의해 최초로 도입되었다. 그 후 1986년까지 각 지역의 생태적 특성을 고려한 다각적인 모델 수정작업이 12개 주 정부에서 실행되었고 (Karr et al. 1986), 4년 뒤인 1991년에는 이미 35개 이상의 미국 주정부 (Karr & Dionne 1991)에서 생물학적 평가 지침서로 채택되어 하천생태계 건강성 평가에 실효를 거두고 있다. 본 평가기법은 미국 외에 캐나다(Lyons et al. 1995), 영국(Oberdorff and Hughes 1992), 호주(Harris 1995), 일본(Koizumi and Matsumiya, 1997), 독일(Huguency et al., 1996), 프랑스(Didier et al., 1996)와 같은 선진국들에도 생물학적 평가법을 도입하여 이미 생태계 보전, 종다양성 보전 및 지역적 수환경 종합평가에 크게 기여하고 있다. 아울러 최근에는 아프리카(Hocutt et al. 1994), 인도(Ganasan and Hughes, 1998), 남미(Gutierrez, 1994) 등에서 본 기법에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다.

환경 선진국인 호주 및 뉴질랜드의 육상·수계보전부서(DLWC)에서는 국가하천 건강성 프로그램 (National River Health Program), 총체적 유역관리체제 (Total Catchment Management) 및 국가수질관리(National Water Quality Management) 프로그램들과 같은 다양한 기법을 통해 생태네트워크 구축 작업을 마련하고 있다. 특히, 어류 및 수서 무척추동물을 이용하여 생태계 안전성을 평가하는 "신속생물정량법" (Rapid Biological Assessment, RBA) 및 하천평가법 (Australian River Assessment Scheme, AUSRIVAS)은 수생태계 보전 및 관리에 체계적으로 활용되고 있다. 또한, 영국의 스코틀랜드 환경부에서는 수생태계 건강관리 프로그램 (AEHMP)

을 운영하여 수계내 생물 다양성 파악 및 생태계 모니터링에 효율적으로 대처하고 있다. 특히, 수계의 생물학적 평가를 위한 생물학적 모니터링기법(BMWP), 무척추동물을 이용하여 수계건강성을 예측하는 RIVPACS기법, 지표생물을 이용한 생태학적 지표법 (EQD)과 같은 다양한 선진기술을 이용하여 생태계 건강성을 평가하고 있다. 또한, 캐나다에서는 수환경연구부 산하에 수생태계연구관리 프로그램(AEMRP) 및 이와 유사한 UWMP, LMRP, EMAAP, AER의 프로그램들에서는 하천생태계 건강성 평가기법으로 널리 알려진 생물통합지수(Index of Biological Index)를 이용하여 수생태계를 과학적이고 체계적으로 평가하고 관리하는데 활용되고 있다.

다양한 환경선진국에서 검토·개발·이용되고 있는 다양한 생물학적 평가모델의 주 대상은 저서성 대형무척추동물, 어류 및 부착조류를 이용하고 있다. 특히 야계사방사업과 같이 주로 계곡생태계를 대상으로 하는 경우에는 어류의 경우 매우 적은 종수가 출현하여 생물학적 평가로의 이용에 많은 제한이 따른다. 이 연구에서는 계곡생태계에서도 비교적 풍부한 종수와 개체수를 유지하고 있는 저서성 대형무척추동물을 주로 이용할 예정이다(표 2~3).

표 2. 저서성 대형무척추동물을 이용한 주요 수질 평가지표

구분	지수	국가	비고
Saprobic Indices	Biologically Effective Organic Loading (BEOL)	독일	Knöpp (1954)
	Saprobic Index	독일	Pantle & Buck (1955)
	Saprobic Valency	독일	Zelinka & Marvan (1961)
	Coupling Analysis	독일	Buck (1974)
	Saprobic Valency	일본	Gose (1978)
	DIN system	독일	Friedrich (1990)
	Saprobic Index	한국	윤등 (1992)
	Integrated Saprobic System	오스트리아	ÖNORM M 6232 (1995)
Simplified Indices	Family Biotic Index	미국	Hilsenhoff (1988)
	Group Pollution Index	한국	윤등 (1992)
	Higher Taxa Biotic Index	한국	공등 (1995)
Biotic Indices (formula based)	Biotic Index	미국	Beck (1954, 1955)
	Biotic Index	일본	Tsuda (1964)
	Biotic Index	남아프리카	Chutter (1972)
	Biotic Index	미국	Hilsenhoff (1977)
	Quality Index	네덜란드	Tolkamp & Gardeniers (1977)
	Improved Biotic Index	미국	Hilsenhoff (1987)
	RIVAUD	스위스	Lang et al. (1989)
	Improved RIVAUD	스위스	Lang & Reymond (1995)
Biotic Indices (based on standard tables)	Trent Biotic Index (TBI)	영국	Woodwiss(1964)
	Extended Trent Biotic Index (EBI)	영국	Woodwiss(1967)
Biotic Scores	Biotic Score	영국	Chandler(1970)
	Biological Monitoring Working Party Score (BMWP)	영국	Hellawell(1978)
	BMWP/Average Score Per Taxon (ASPT)	영국	Armitage <i>et al.</i> (1983)
	Total Biotic Score	한국	윤등 (1992)
	Macroinvertebrates Community Index (MCI)	뉴질랜드	Stark (1993)

표 3. 저서성 대형무척추동물을 이용한 주요 생태질 평가지표

구분	지수	국가	비고
empirical model	River InVertebrate Prediction And Classification Scheme (RIVPAS)	영국	Wright et al. (1993)
	AUStralian RIVER Assessment System (AUSRIVAS)	호주	Norris (1995)
Integrated Assessment System	The Development and Testing of an Integrated Assessment System for the Ecological Quality of Streams and Rivers throughout Europe using Benthic Macroinvertebrates (AQEM)	유럽연합	
Multiple Metric Index	Rapid Bioassessment Protocols (RBPs)	미국	Shackleford (1988), Barbour et al. (1992, 1995, 1996b), Hayslip (1993), Smith & Voshell (1997)
	Invertebrate Community Index (ICI)	미국	DeShon (1995)

## 2. 국내의 사례 분석

우리나라에서 생물학적 평가는 주로 수서곤충이나 저서성 대형무척추동물의 수리적 군집분석에 의존한 수리군집지수의 방법이 양적으로 주종을 이루어왔다고 할 수 있는데, 1970년대 말부터 김등(1979, 1980), 윤등(1972, 1975, 1981, 1982, 1984, 1985, 1986, 1987, 1990, 1992d, 1992e), 위등(1983, 1991) 등에 의해 거의 전국의 주요 하천들이 비교적 자세히 연구되었다. 이는 군집의 다양성에 기초를 두어 하천의 오수생물계열을 나누는 방법으로 일본의 경향과 유사하다.

한편 우리나라에 있어서 지표군집지수를 도출하기 위한 지표종 및 지표군집에 관한 연구는 안(1973)이 만경강에서 저서생물을 대상으로 한 것을 시작으로, 위(1974)와 위등(1983)은 각각 영산강과 탐진강 수계에서 수서곤충을 대상으로 Beck-Tsuda (1964)의 방법을 도입하였고, 이(1976, 1977)는 한강 유역에서 미생물과 무척추동물을 대상으로 Sramek-Husek(1956)의 방법을 초보적인 수준에서 도입하였다. 나등(1986)은 영산강 유역의 수서곤충에 대한 이화학적 내성조사를 실시하였으며, 위등(1991)은 영산강 유역의 수서곤충을 대상으로 Hilsenhoff의 방법을 도입하였다. 또한 오와 전(1991)은 낙동강 지류인 배내천의 저서성 대형무척추동물을 대상으로 Trent biotic

index, Biotic score, Monitoring working party score 등의 방법을 다양하게 도입하여 시도하였다.

윤 등(1992a, 1992b, 1992c)은 지금까지 조사되어온 우리나라의 저서성 대형무척추동물의 군집에 관한 자료를 이용하여 오타계급치를 밝히고 오타계급치를 dots로한 단위오타지수의 분산도분석을 통하여 지표가중치를 도입함으로써 Zelinka and Marvan(1961)의 방법을 개량한 Saprobic Index(SI), Total Biotic Score(TBS) 및 간이수질평가지수인 Group Pollution Index(GPI)를 제안한 바 있다. 공 등(1995)은 국내에 출현하는 저서성 대형무척추동물을 일부 분류군을 제외하곤 과(Family) 이상의 수준에서 총 29개의 분류군으로 대별하고 윤 등(1992a)의 오타지수를 기준으로 지표군의 단위오타지수를 산정함과 아울러 종의 출현도를 고려하여 상위분류군 생물지수(Higher Taxa Biotic Index, HTBI)를 제안하였다. 또한 환경부에서는 2003년도부터 “물환경종합평가방법 개발 조사연구“의 과제를 통하여 생물학적 수환경 평가방법을 포함하여 수생태 건강성 평가방법을 시험 적용할 예정으로 있다.

## 제 3장. 연구개발 수행 내용 및 결과

### 제 1절. 황폐계류의 자연친화적 생태호안 모델 개발

#### 1. 야계사방 현황 및 황폐계류의 특성 분석

##### 가. 야계사방 현황조사

##### 1) 야계사방사업의 발전과정

한국의 사방은 1907년 서울 창의문내 국유임야에 시행한 것이 산지사방의 효시이며, 1933년 조선사방사업령이 제정된 이후 야계공사의 태동은 1933년, 1934년과 1937년의 3개년에 걸쳐 각도에 매우 심각한 수해가 야기되었는데 이것에 대한 항구적인 대책수립을 위하여 정부에서는 임시치수조사위원회를 발족하여 그 방면에 권위자를 참석케하고 연구하도록 한 것이 그 시작이다. 특히, 일본인 임학계 백택(白擇)박사가 조선임야의 황폐상황을 상세히 시찰하고 수원지가 되는 계류하천 즉 야계 및 야계적하천의 황폐가 심하기 때문에 이러한 곳들의 복구가 필요하다고 역설하였다. 이와 같이 황폐한 계천을 개수 정비하는 것이 치산치수의 만전을 기하는 것이 될 것이라고 한 백택위원의 주장이 채택되어 야계공사 태동의 시대를 맞이하게 되었다. 그 당시 야계공사실시의 필요한 요지를 「산복보호공사의 효과를 안전하게 하기 위하여 서로 관련되는 소하천상류부에 대하여 속히 야계공사를 실시하는 것이 요망 된다」라고 기록하고 있다.

야계사방은 correction des torrents, correction torrentille, wildbachverbauung, torrent erosion control, 또는 gully erosion control 이라고도 한다. 최근 우리나라에서 야계사방은 치산녹화 10개년 계획이 수립되면서 본격적으로 발전을 하게되었다. 제 1차 치산녹화 10개년 계획이 1978년에 종료됨과 동시에 제 2차 치산녹화 10개년 계획(1979-1988)이 수립되었다. 그 계획은 지구완결원칙에 입각한 계통사방녹화, 즉 산정→산복→야계의 순으로 집단 및 특정지역을 우선으로 복구할 방침으로 되어있다. 이 기간 중 83년까지는 시급한 황폐산지에 중점을 두어 유추한 결과 산지사방은 거의 완료단계에 있으므로 84년부터는 잔여 산지사방의 마무리와 함께 야계사방을 확대 실시하는 시책 하에서 야계사방교육과 야계사방도 30km를 시범 실시하였다.



사방사업의 지원체계는 국고 70%, 지방비 30%(국유림은 국고 100%)로 되어 있다. 우리나라의 사방사업은 황폐산지를 우선 복구하고, 녹화시책을 적극 추진한 결과, 대단위 황폐산지 727ha는 1990년대 초까지 대부분 복구, 완료되었다. 즉 1970~1980년대 치산녹화시대의 국토녹화사업으로 산림을 복구하였으며, 특히 경상북도 영일지구의 사방사업은 불모의 황폐척약지 4,538ha를 1973년~1977까지 5년 동안 완전히 복구하였다. 1945년부터 2001년까지 사방사업 추진실적을 살펴보면, 산지사방 727,058ha, 야계사방 4,145km, 해안사방 3,748ha, 사방댐 1,013개소, 예방사방 388ha, 해안침식지복구 15km로 투자된 사업비는 약 4,800억원에 달하였다.

그 당시 야계사방공사가 가장 모범적으로 실시되고 있는 충청북도지방의 10년동안 야계사방사업의 시공지 127개소를 대상으로 물매, 하천폭, 계상의 구성인자인 사력의 크기에 따른 분석을 보면, 물매에 있어서는 약 1~3% 범위에서 주로 야계사방이 실시되었다. 이것은 1970년대 중반까지 야계사방의 목적이 농경지보호를 우선으로 하고 있었기 때문인 것으로 생각되며 최근 1984년부터는 차츰 산림에 연결한 산각의 보호를 목적으로 그 물매가 더 높아져감을 볼 수가 있다. 그리고 하천 폭에서는 1~10m의 범위에서 야계사방공사가 가장 많이 실시가 되었다.

또한 계상을 구성하는 사력의 크기에서는 주로 0.9cm 이하로 미장의 사력의 크기에 따른 황폐계류의 분류에 의하면 화강암여과지천정천의 퇴적지에서 많이 분포하는 사천 혹은 사이천에 해당하고 있다. 그리고 유출계수는 대부분 0.70이하로 토사퇴적구역에서 야계공사가 이루어졌으며, 지질은 화강암을 모암으로 하는 사질양토가 거의 대부분이었다.

한편, 초창기에는 황폐산림녹화를 위한 산지사방이, 그리고 이후는 산지와 접속된 황폐계류를 정비하는 야계사방이 주로 실시되었으며, 1986년부터는 산사태, 토사유출 재해지역을 중심으로 사방댐이 시공되었다. 현재는 사방의 최우선 목적을 재해예방에 두어 농업 및 생활용수의 공급, 환경기능 제공, 주민의 편익증진 및 연평균 434ha에 달하는 산사태 복구와 대형산불피해지에 대한 토사유출 등 2차피해 방지사업까지 포함하여 추진하고 있다.

사방사업의 발전과제는 ① 사방사업의 필요성과 효용성에 대한 적극적인 홍보, ② 사방전문조직과 인력의 확충, 사방기술 개발과 승계, ③ 유역관리 및 사방사업 평가를 민·관·학으로 구성된 협력체제 구성, ④ 생태계 및 경관을 배려한 환경친화적 사방으로의 전환과 시공재료의 개선 등이다.

사방사업의 기본방향은 지역완결원칙에 의한 계통적 사방실시로 효과를 제고(산정

→산복→계간→주거권·해안)하고, 적지공법에 의한 합리적 설계와 견실한 시공을 실시하며, 산사태 등 산림재해예방에 역점을 두어 국민의 생명과 재산보호와 함께 지역사회발전과 주민편익증진·환경개선을 고려하여 추진하였다.

중점추진사항은 ① 사방댐·야계사방은 자연생태 및 주변환경에 조화롭게 시공한다. 즉 어류가 서식하는 계천에는 우회수로·계단식 낙차공 등 어도를 설계에 반영하여 어류 생태계를 보전하고, 계류는 직선화보다는 가급적 자연선형을 유지하며, 시공재료는 콘크리트보다는 가급적 전석 등을 이용한다. ② 사방댐은 집중호우로 인한 산사태 발생지와 하류의 마을·농경지 등에 재해발생이 우려되는 지역에 우선 시공하는 등 마을권의 재해 우려지와 연계하여 시공한다. ③ 여름철 집중호우로 인한 산사태 및 임도피해지 등의 복구는 장마기(6월 하순)이전에 완료하며, 특히, 피해가 집중된 지역은 개량복구비를 투입하여 항구복구를 실시하고 피해재발 방지를 위한 사후관리를 철저히 실시한다.

야계사방을 실시하기 위한 예정지 선정은 대상지가 야계시행지로서 적합여부, 집수구역, 그 야계로 인한 피해정도와 지역주민 반응도, 공사규모 및 경제성여부를 개략조사하여 예정지로 선정하는 것이 일반적이나 정치성을 띠고 시행한 경우도 적지 않다. 이의 일관성있는 행정을 기하기 위해 산림청에서 마련한 “산림행정편람”에서도 야계사방예정지 선정기준은 시대에 따라 그 시행 구역의 우선순위가 변천되고 있음을 알 수 있다.

앞으로 야계사방지의 대상지역도 황폐한 상류산지로 부터의 토사유출이나 산사태 등 계류의 피해를 줄이고 하류농경지 유실방지와 타 산업시설등을 재해로부터 예방할 수 있는 장소가 많이 선정될 것으로 보인다.

## 2) 관련법 및 제도검토

우리나라의 근대사방은 1907년 서울 북한산에서 처음 사업이 실시된 이래 1925년에는 「사방사업 실시지침」을 제정하였고, 1962년에는 독립법률인 「사방사업법」을 제정하여 본격적인 사방사업을 실시해 왔다. 사방사업의 법적 근거는 사방사업법 제5조의 「사방사업은 이를 국가의 사업으로 한다」와 사방사업법 제13조의 「누구든지 사방사업을 시행하거나 사방시설을 관리하는 것을 거부 또는 방해하여서는 아니된다」이다.

일반적으로 산지 소하천 상류부에서는 하상의 침식작용이 심하고 하류부에서는 토사의 퇴적작용이 나타난다. 즉, 산지 소계류는 지형, 지질, 토사유송의 특성, 강수의

지역분포 및 시간적인 변동등 여러 가지 복잡한 영향을 받아서 하도는 항상 변화해 간다. 특히 산지의 붕괴가 쉽게 일어나는 황폐지대에 있어서는 토사가 쉽게 유출되어 산지계간 및 하천에 이동되는 토사량은 대단히 많다. 이 토사를 이동시키는 것은 주로 중력과 유수의 작용이며 전자에 의한 토사이동이 중력침식이고 후자에 의한 것은 유수의 침식과 운반작용이다.

산지가 풍화, 중력침식 및 유수침식의 3작용에 의해서 침식되어 토사가 생산유출되면 그 결과로 산복지표면에 요장의 침식곡이 발달하여 상대적으로 지대의 체적은 감소해져 산지는 황폐해지며 산지재해가 발생한다고 볼 수 있다. 뿐만 아니라 문화가 발달하고, 토지이용이 점점 증대되면서 인간의 생활공간은 도시하천 깊은 계곡까지 확대되어 있으므로 그 재해정도도 점점 커가고 있다.

따라서 인류의 생활을 보다 윤택하게 하고 계류환경을 보호하기 위해서는 다른 무엇보다도 산지재해나 토사의 이동을 방지하기 위한 사방기술이 필요하게 된다.

일반적으로 산림청에서의 사방사업은 건설교통부에서의 하천사업과는 별도로 실시하고 있지만 실제로는 하천공학분야와 밀접한 관계가 있다. 즉 하천은 그 유역에 내린 강수에 의한 최대우량과 그 유역산지에서 생산된 최대홍수량들을 수원에서 바다까지 피해없이 유송하도록 해야한다. 이중 최대 유량을 받아들이기 위해서 하천의 고수공사에 의하여 방수로 단면을 높인다든지, 홍수 조절용 댐을 건설하여 유량을 조절하므로써 가능하게 되지만 최대홍수유량에 있어서는 하천공사만으로는 불가능하기 때문에 사방사업의 필요성이 대두되는 것이다. 따라서 하천계획시에는 반드시 사방계획이 고려되어야 한다. 이러한 경우 먼저 최대홍수량을 안전하게 유송시키는 것이 선결문제인데, 그것은 오로지 사방에서 실시하는 사방댐, 구곡막이, 바닥막이 등의 횡단공작물을 야계나 계간에 설치함으로써 목적을 달성할 수 있을 것이다. 그러나 이 양자는 서로의 주관이 다른 관계로 상호 유기적인 관련이 맺어지지 않고 선후의 순서가 규정됨이 없이 각각 달리 실시되어 그 양자의 실효도 크게 올리지 못하게 되는 경우가 많이 있다. 특히, 하천은 하천법의 적용을 받는 법정하천(국가하천, 지방1급1하천, 지방2급하천)과 비법정하천인 「소하천」 과 산림청의 사방사업법에 의해서 야계사방지로 선정되는 야계와의 사이에 서로의 주관이 다른 관계로 상호 유기적인 하천관리가 잘 이루어지지 않는 현상이므로 앞으로 합리적인 치산 치수사업의 수행과 나아가서 효과적인 유역관리계획의 수립을 위해 하천과 「소하천」 상의 야계 사방사업의 대상이 되는 곳에 대하여 야계의 개념을 정성 및 정량적인 차원에서 보다 합리적으로 정립하여 종합적인 치수대책이 필요하다.

이러한 현실에 비추어 볼 때 하천내 하천공작물의 사명을 영구히 보전함에는 그의 근원이 되는 유역내의 사방이 급선무라는 것을 부정할 수 없는 사실이며, 또 수원함양의 모체인 상유지대와는 불가분의 관계에 놓여 있으므로 서로 유기적이고 합리적인 시책을 펴 나가야 할 것이다.

### 3) 야계사방 추진방향

산지야계에서 생태적으로 안정된 경관을 유지하는 것은 야계사방사업을 추진하는 측면에서 대단히 중요하다. 이를 위해서는 산지계곡을 친환경적으로 시설해야 하는데, 자연친화적 계안 주변부 복원사업은 기본적으로 대상 지역의 식물생태와 야계 또는 계곡부 생태 그리고 입지환경을 고려하여 대상지역에 가장 적합한 공법과 유지관리 방법을 선정해야 한다.

미국에서 야계 또는 국립공원 계곡 유역의 복원공법으로는 침사지를 조성하여 하도 내에서 자연스럽게 어류의 산란처를 조성하거나 유출량 조절지를 조성하여 갈수기 때와 홍수기때 유출량을 조절하고, 계안으로부터 유입되는 질소오염원 등 계류수질 오염을 방지하기 위하여 완충수림대 또는 수목 울타리를 조성하거나 수변구역 보호림을 조성하는 방법을 이용하고 있다. 또한 유역 단위에서 최적 산림관리기법을 적용하여 계류수량 수리오염 방지를 위하여 유역을 통합적으로 관리하고 있고, 계류의 수온을 조절하기 위하여 상류 유역에서 수변림이 조성되어 있지 않은 곳에는 하류유역에서 수변림을 조성하고 있다. 미국에서 시행되고 있는 공법들은 우리나라에서의 경향과 많이 다르기 때문에 바로 우리나라에서 적용하는데는 다소 무리가 있을 수 있으며, 일부공법은 과거 우리나라에서 많이 적용하였던 야계사방공법들이다. 그러나 우리나라의 경우 과거 황폐했던 야계 또는 야계적하천의 계곡부는 30년 동안의 집중적인 투자에 힘입어 거의 대부분 황폐단계를 벗어나 안정화되었다. 그러나 아직도 산지야계 및 계곡에는 많은 사방구조물들이 시설되어 있으나 산지의 계류환경과는 상치되는 경관을 이루고 있다.

치산·사방사업을 계획하는 경우 어떤 공종·공법을 채용하는 것이 적당한가? 해당 지역에서 치산·사방공사를 실시해야 하는가, 하지 말아야 하는가? 등에 대해서 검토할 때에는 해당 지역의 생태계를 어떠한 상태로 보전해야 하는가 하는 등 생태계보전의 개념을 명확하게 정립하지 않으면 안된다. 즉, 생태계보전을 고려한 치산·사방공사는 산지 및 계곡내에서의 계류 및 하천생태계 또는 수변림의 보전을 위하여 대단히 중요한 문제이다.

따라서 산지 계류내의 아름다운 경관을 조성하여 주변지역의 생태계와 균형을 이루어야만 의미가 있다. 즉 외국에서 시행하고 있는 공법들에 대하여 보다 면밀한 검토를 통해 과거 침식방지 위주의 공법을 대체 또는 보완하여 개발되어야만 산지야계의 아름다운 경관조성 및 계곡 생태계의 보전 및 안정화를 도모할 수 있을 것이다.

#### 가) 생태계보전을 고려한 치산 및 야계사방사업

사방사업이나 계류생태계 복원사업도 아직 계류생태계의 보전과 계류의 치산·사방사업등 계류에서의 총체적인 문제를 합리적으로 해결하기에 충분한 정보를 가지고 있는 것은 아니다. 특히 사방사업은 방재사업이라 할 수 있으며, 본질적으로 방재대책은 반드시 합리적이고도 정확한 이론이 확립되어 있지 않다고 하더라도 긴급한 경우 시행하지 않으면 안되는 경우가 있기 때문에(太田과 高橋, 1999) 생태적으로 역작용을 하는 경우도 있다. 즉 국립공원과 같이 원생적인 생태계를 보존해야 하는 지역뿐만 아니라 생태계보전 문제에 있어 해당 생태계의 학문적 지식이 충분하게 마련되어 있지 않은 상태에서 지속적으로 자연이 훼손되고 파괴되는 현실을 볼때 그 자연생태계의 보전이 중요하다고 인식됨은 당연한 일이다. 치산·사방사업을 계획하는 경우 어떤 공종·공법을 채용하는 것이 적당한가? 해당 지역에서 치산·사방공사를 실시해야 하는가, 하지 말아야 하는가? 등에 대해서 검토할 때에는 해당 지역의 생태계를 어떠한 상태로 보전해야 하는가 하는 등 생태계보전의 개념을 명확하게 정립하지 않으면 안된다. 즉, 생태계보전을 고려한 치산·사방공사는 산지 및 계곡내에서의 계류 및 하천생태계 또는 수변림의 보전을 위하여 대단히 중요한 문제이다.

따라서 치산·사방사업은 산지에서의 공사와 원생생태계의 보전이라는 문제를 모두 만족하게 하는 것은 어려운 문제이나 꾸준한 노력을 통하여 합의점을 찾을 필요가 있다. 더욱 계류생태계의 효과적인 복원을 위해서는 자연경관에 관한 충분한 검토를 통해 수행되어야 하며, 계류는 물과 토사의 이동통로인 동시에 생물군집이 서식하고, 왕래하는 곳이라는 사실을 치산·사방기술자는 명확하게 인식해야 한다. 그 예로 비오토프의 개념이 생태적으로는 널리 보급되어 있지만, 계안지역의 중요성에 대해서는 아직도 충분히 인식되고 있지 않다는 점을 들 수 있다. 또한, 산지 및 계곡내 치산·사방사업에 있어서는 장래 실시되는 치산·사방사업은 계류생태계 복원사업 개념으로 전환해야 할 것으로 생각된다. 즉 하천계획도 이전에는 대부분이 홍수를 경감하거나 방지하기 위한 계획이었지만, 현재는 합리적인 물의 이용계획이나 하천환경보전계획을 포함한 하천의 종합관리계획으로 발전되고 있기 때문이다.

현대의 사방사업은 계류 혹은 선상지와 연결되는 하천의 종합관리사업으로 간주해야 할 필요성이 있다. 치산·사방사업계획은 계류생태복원사업계획으로 적극적으로 전환하여야 하고, 그 부가적인 계획도 종래의 치산·사방사업계획을 계류환경보전계획이나 계류지역 이용계획으로 발전시키는 계류생태계 복원사업계획으로의 전환이 필요하다. 계류는 산지 및 계곡 내를 포함하여 토사재해가 발생될 위험성이 크므로 계류의 관리는 부가계획으로써 사방사업계획이 기초가 된다고 할 수 있다. 그러나 다른 부가적인 계획도 중요하다고 볼 수 있다.

따라서 산지 및 계곡 내에서 효과적인 계류생태계의 복원을 위해서는 과거 수행해 왔던 치수만을 위한 사방을 지양하고 환경을 위한 치산·사방, 지역·유역 또는 계곡의 생태계복원을 위한 치산·사방으로 이루어져야 할 것이다.

#### 나) 야계사방 기본계획 수립

산지 유역을 이·치수 및 환경측면 즉 수환경과 공간환경 등을 서로 연관성 있게 계획하여 유역의 홍수피해를 경감시키고, 유수와 유로의 이용도를 향상시키며, 유역의 수자원개발 및 이용을 위해서는 각종 관련 자료 등을 참고하고 해당 하천의 자연조건, 사회조건, 경제적 조건, 기술적 조건 등을 고려하여 해당 하천의 종합적인 정비 및 이용에 관한 기본방향을 설정한다. 대상하천의 야계사방기본계획을 수립하기 위해서는 하천 유역전체에 대한 체계적인 검토를 통한 계획수립이 필수적이다. 따라서 자연적, 사회적 조건에 따른 유역의 바람직한 하천모습의 설정 후 유역전체에 대한 유출계획, 유사계획 등과 같은 하천공사 시행에 관한 사항이 수립되는 것이 바람직하다. 야계사방사업에 의한 바람직한 하천의 모습이라 함은 치수, 이수 및 환경을 고려한 하천의 각종 계획들이 일관성을 가지는 유역계획의 설정이라 할 수 있다. 따라서 해당 하천에 대한 충분한 조사와 평가를 통해 유역특성을 파악한 후, 해당 하천의 특성에 맞는 수량 및 수질, 생태계, 하천공간 측면에서의 실행가능성 높은 야계사방 기본계획을 설정해야 한다.

야계사방 기본계획은 당해 하천의 자연적인 특성, 지역사회의 성격을 감안한 공간환경계획과 수환경계획에 대한 기본방향을 설정한다. 공간환경계획은 당해 지역의 지형, 하천형태, 연안토지이용상황 및 생활환경, 자연생태계 등을 종합적으로 고려하여 하천을 보전, 복원, 친수지구로 구분하고, 각 지구에 대하여 정비 및 관리방향을 정한다. 하천환경의 계획 및 정비는 치수, 이수기능에 지장이 없어야 한다.

표 4. 야계사방 계획지구 구분 형태

구역명	내용
보전지구	생태계, 역사·문화, 경관이 우수하여 인위적인 정비 없이 보전이 필요하고 일상적인 유지관리가 중점적으로 필요한 지구
복원지구	직강화, 콘크리트호안, 석축, 복개 등으로 인해 파괴된 생태계, 역사·문화, 경관의 복원 또는 개선이 중점적으로 필요한 지구
친수지구	인구 밀집지역 및 도심지에 인접한 지구로 산책로, 생태공원, 체험학습장 등 자연친화적 주민이용시설 조성이 중점적으로 필요한 지구

- (1) 야계사방 계획을 수립함에 있어 가장 중요한 사항은 대상하천을 시점에서 종점까지 3개의 지구로 구분하여 각 지구에 대한 야계정비 및 관리계획을 설정하는 것이다. 이수, 치수, 환경의 비중에 따라 다음 표 1과 같이 3개 지구로 구분한다. 치수사업은 3개 지구에 대하여 자연친화적으로 모두 실시할 수 있으나 보전지구내의 치수사업은 다른 대안을 강구하는 등 최소화한다.
- (2) 상기 3개의 야계사방 계획지구에 대하여는 면적인 경계선을 삽입하여 평면도상에 표기한다.
- (3) 보전지구에 대하여는 생태계, 역사·문화, 경관 등이 잘 보전될 수 있도록 유지 관리방향을 제시한다.
- (4) 복원지구와 친수지구에 대하여는 하천의 생태환경복원 및 친수기능의 확보를 위한 기본설계 수준의 정비계획도를 제시하여 향후 실시설계시 활용할 수 있도록 하여야 한다.
- (5) 지구내 치수사업에 대하여는 구체적인 정비방향을 제시하여 향후 실시설계시 활용할 수 있도록 하여야 한다.

#### 4) 국내외 공법 및 공종조사

우리나라의 산지야계에서의 정비는 주로 강수량의 계절별 집중에 따른 수문학적 특성을 감안하여 구조물에 의한 야계사방 및 하천정비에 중점을 두었다. 하류구간에서는 홍수를 신속히 배제하는 것을 주목적으로 하천을 직강화하면서 시멘트블록 호안을 축조하였다. 하도상에는 하상의 세굴방지 목적의 낙차공과 취수용 혹은 하천경관 조성 목적의 보를 축조하여 회유성어류의 이동을 차단하고 있다. 또한 일본의 사례를 모방하여 하천을 저수로와 고수부지로 구분하는 복단면 조성기법을 적용하고, 고수부지에는 공원 및 녹지공간으로서의 이용과 하천변은 상업시설이나 주민의 주차공간과 같은 원래의 하천기능과 무관한 용도로 이용되고 있다. 이와 같은 인간본위의 하천정비 및 이용은 하천의 고유기능을 심각하게 훼손하게 되었다.

##### 가) 우리나라 야계사방 공법

우리나라에서 시공된 야계사방 구조물은 우선 기능면에서 보면 사방댐, 바닥막이, 구곡막이, 기슭막이, 수제 등이 있으며, 설치 목적에 따라 분류하면 계안 침식방지 및 고정, 계상 중침식 방지·유속 감쇠, 산지침식토사역지·계상안정, 계곡의 종·횡 침식방지용 계상안정 등 크게 4가지 유형으로 구분되며, 또한 재료에 따라 다양한 공종으로 분류된다. 시공목적 및 재료에 따라 야계사방 공작물을 나열하면 다음과 같다.

- (1) 계안 침식방지 및 고정 : 돌기슭막이, 전석기슭막이, 콘크리트기슭막이, 콘크리트블록기슭막이, 돌망태기슭막이, 바자기슭막이, 수제, 콘크리트의목기슭막이, 돌옹벽, 콘크리트옹벽 등
- (2) 계상 중침식 방지, 유속 감쇠 : 돌바닥막이, 콘크리트바닥막이, 콘크리트블록바닥막이, 돌망태바닥막이, 통나무바닥막이, 돌낙차공, 콘크리트낙차공, 돌망태낙차공 등
- (3) 산지침식토사역지 및 계상안정 : 돌구곡막이, 돌망태구곡막이, 흙구곡막이, 바자기구곡막이, 콘크리트구곡막이, 콘크리트블록구곡막이, 통나무구곡막이 등
- (4) 계곡의 종·횡침식방지 및 계상안정 : 돌사방댐, 호박돌사방댐, 돌망태댐, 콘크리트사방댐, 호박돌콘크리트사방댐, 통나무댐, 강제댐, 강제틀댐, 흙댐, Slit댐, 버트리스댐 등



이러한 사방공작물의 유형에 따른 장단점과 개선방향에 대하여 정리하면 다음과 같다.

◆ 돌기슭막이, 전석기슭막이 등 야계사방 구조물은 연결부위를 시멘트모르타르로 시공하여 견고도를 높이고 있으나 이부분이 노출되어 계곡 경관을 훼손하고 있으므로 장래 설계 시공시에는 메쌓기를 우선 시공하고, 특히 유속이 급한 구간 및 수층부 등은 찰쌓기를 하는 등 시공장소의 여건을 감안하여 시공하는 바람직하다. 기슭막이는 계안을 수직으로 차단하여 계류와 주변 생태계를 단절함으로써 어류생태계를 악화시키고, 계류의 직강화로 홍수를 유발할 수 있으므로 홍수량을 계산한 계안침식방지 및 안정을 고려하여 자연석을 이용한 계단형 또는 환경사형으로 대체할 필요가 있다. 기슭막이와 같은 종공작물은 야생동물 또는 양서류의 이동 통로를 유지하기 위하여 종공작물의 중간 중간에 터 놓는 방법도 고려할 만 하다. 그러나 현재 설치되어 있는 기슭막이의 철거(예를 들면 콘크리트기슭막이 등)는 현실적으로 사업비의 과대, 계안의 안정저해 등의 문제를 고려해 복토한 후 주변 식생과 조화되는 식생으로 복원하거나 자연석 붙이기 또는 전석 등 자연석을 경사지게 쌓아 경관을 저해하는 요소를 제거하도록 시공함으로써 계곡의 경관을 보호하거나 계안을 안정화시키는 방향으로 개선할 필요가 있다. 또한, 콘크리트기슭막이 및 콘크리트옹벽은 전석기슭막이나 돌기슭막이보다 주변 자연경관과 조화되지 않는 대표적인 인공구조물이므로 앞으로 산지야계에서의 설치는 지양해야 할 것으로 생각된다. 아울러 산사태 등으로 인하여 계곡화 된 지역에 설치된 돌망태기슭막이는 현재 내구성이 다 되어 철선이 녹이 슬고 상부 토압을 견디지 못해 허물어지고 있으므로 장래 발생될 돌발성 집중호우 등에 의한 피해가 가중될 수 있으므로 즉각적인 보수도 필요하다.

한편 돌수로는 계곡 주변에서 재료의 구득이 용이하는 등 환경친화적인 구조물로, 다른 인공구조물의 대체적인 공법으로 적용이 가능할 것으로 생각된다.

◆ 콘크리트바닥막이 : 콘크리트구조물은 계곡 주변과 조화되지 않는 등 매우 불량한 경관을 연출하나 계상의 안정, 산사태로 인한 토석류 등 홍수에 의한 황폐계천의 보호를 위해 중요한 인공구조물 재료이므로 계곡 경관도 보전하고 황폐계천의 안정성을 고려하여 콘크리트 구조물보다는 콘크리트의목구조물로 대체할 필요가 있을 것으로 생각된다.

◆ 돌망태바닥막이 구조물은 산사태로 인하여 계곡화 된 지역에 설치되었으나 이미 많이 파손되어 장래 발생할 수 있는 돌발성 집중 호우시 산사태의 재발생이 우려되므로 내구성이 요구되는 환경친화적 구조물로 변경하거나 보수가 필요할 것으로 생각된다. 또한, 돌망태구곡막이도 다수 파괴되어 있으므로 보수가 필요하며, 비탈면이 안정된 후에는 장기적으로 편책공법 등을 이용한 환경친화적인 구조물로 변경할 필요가 있을 것으로 생각된다. 그러나 목책 등을 이용하는 공법은 시공시 목재를 해머 등으로 타격했을 때 목재가 빠개지는 단점이 있으므로 시공시 주위가 필요하다.

◆ 돌·콘크리트사방댐 : 이들 공작물은 토사석력의 이동이 현저한 황폐한 계천(계곡, 계간)의 중침식 및 횡침식을 방지하여 계천바닥물매를 완화하고, 유출토석류를 저류하거나 조절하는 작용이 탁월하며, 계천바닥을 높여서 산각을 고정하고 난류지역에서의 유로 정리 등을 목적으로 시공하는 공작물이다. 또한, 사방댐은 산사태, 땅밀림 등으로 인한 토석류재해의 저지방법으로써 하류지역의 보전을 위하여 황폐한 계천을 횡단하여 구축하는 야계사방공작물으로써 대부분 계류 하단부에 설치되어 있고, 계곡과 연결된 등산로 초입부에서 조망됨으로써 불량한 경관을 연출하므로 돌붙임을 통하여 불량한 경관을 보완하거나 수생태계를 고려하여 장기적으로는 콘크리트사방댐보다는 투과형 사방댐이나 자연친화형 사방구조물로 변경할 필요가 있을 것으로 생각된다. 사방댐 반수면하류변에는 갈대, 부들, 갯버들 등 수질정화기능을 충분히 발휘할 수 있는 수변식물을 식재함으로써 계곡의 경관을 보호하고 수질을 정화할 수 있는 방법도 고려할 만 하다.

또한, 사방댐, 바닥막이, 낙차공 등 계천의 횡구조물은 계천에 서식하는 어류의 소상 기회를 차단하는 대표적 사방구조물이다. 특히 하류구간중 상수가 있는 구간에서의 이들 구조물의 시공은 어도를 설치할 필요가 있으며, 이때 어도의 방향은 주변의 산림식생이 우거진 곳에 설치하도록 함으로써 어류의 서식에 영향을 미치지 않도록 할 필요성이 있다. 즉, 최근 일본의 북해도 지방에서는 하천에 어도의 역할을 할 수 있도록 기존에 설치되어 있는 사방댐, 바닥막이, 낙차공 등 횡구조물에 대하여 이들 구조물을 절개하여 어류가 자유로이 소상할 수 있도록 하는 방법을 추구하고 있고, 차단형·비투과형 사방댐보다는 투과형 구조물로 전환하고 있다.

더욱이 사방댐의 방수로 어깨 부분은 경관적으로 위화감을 조성할 뿐 만 아니라 계안변의 환경훼손을 확대시키는 기능을 하고 있으므로 방수로 어깨 부분은 제거하거나 야계 또는 하천에서의 보막이와 같은 일자형 구조물로 설치하는 것도 바람직할 것으로 생각된다. 최근 경상남도에서 시공하는 사방댐이 이와 같은 구조물로 시공되고 있다. 또한, 반수면은 낙차를 주지 않고 경사형으로 전석 등을 시공함으로써 계류에 서식하는 어류의 소상기회를 제공함과 동시에 주변 경관과 어우러질 수 있도록 하고 있다. 특히 충청북도 단양에서 실시하고 있는 사방댐의 형상이 이와 같은 방법으로 시공되고 있는 좋은 예라 할 수 있다. 즉, 이와 같이 하였을 경우에는 시공비가 적게 들고 경관적으로도 주변 산림경관과 어우러질 수 있다는 장점이 있다. 최근 우리나라, 일본 및 미국에서 시공되고 있는 야계 사방공작물은 사진1과 같다.

따라서, 우리나라의 산지야계에 설치된 사방공작물은 토사유출, 계간침식 측면에서는 많은 기여를 하였으나 계류생태계 측면에서는 많은 문제점이 노출이 되고 있으므로 앞으로 개선할 수 있는 방안을 찾아야 할 것으로 생각된다. 특히, 야계사방 공작물은 산지야계에 시공하는 사업이므로 야계의 특성을 고려하여 설치할 수 있어야 할 것이다. 즉, 야계의 하류부는 하천과 연계되는 야계적 하천의 성격을 가지고 있는 반면 상부 계류는 계곡의 형태를 갖추고 있으므로 황폐계천이라 해도 야계 또는 야계적 하천에 시설하는 사방공작물과 계곡에 적용하는 사방공작물이 다른 것이다. 야계의 특성 및 사방계획을 고려하여 사방구조물의 명칭은 같다고 하더라도 하천의 위치에 따라 사방공작물의 정비 및 환경친화적 사방구조물 설치기준을 마련할 필요성이 있다.

명칭	경사형 전석 사방댐	바닥막이	바닥막이
장소	충북	충북	충북
사진			
구조 기능	전석이용 경사지계 설치, 어류의 소상기회 제공	계단식, 경관보전 및 어도 역활수행	계단식, 경관보전 및 어 도 역활수행

명칭	기슭막이	기슭막이	기슭막이
장소	충북	충북	충북
사진			
구조 기능	낙차공을 이용한 유속 감 소효과	계상정리, 콘크리트 호안	콘크리트 포석을 이용한 계상침식 방지

명칭	기슭막이	골막이 및 기슭막이	기슭막이
장소	전북	전북	전북
사진			
구조 기능	다소 직강화 되었으나 바 닥의 돌로 인해 유속감소 효과	전석을 계상에 깔아 유속 감소 효과 발휘	다소 직강화 되었으나 바 닥의 돌로 인해 유속감소 효과

명칭	블록 기슭막이	돌붙임 기슭막이	전석 기슭막이
장소	함양	함양	전북
사진			
구조 기능	블록을 이용하여 경관유지	계류면에 경사지게 돌붙여 경관 유지	돌낙차공 및 계상 침식 방지

명칭	전석 바닥막이 겸 기슭막이	전석 바닥막이 겸 기슭막이	전석 바닥막이 겸 기슭막이
장소	진해시 자은동	진해시 태백동	창녕군 창녕읍
사진			
구조 기능	전석을 이용하여 경관 유지 및 계상침식 방지	전석을 이용하여 경관 유지 및 계상침식 방지	전석을 이용하여 경관 유지 및 계상침식 방지

명칭	콘크리트 낙차공	자연석 바닥막이	사방댐 및 바닥막이
장소	일본	일본	일본
사진			
구조 기능	콘크리트 낙차공 중앙부에 계단식 어도 설치	자연석을 사용하여 경관 유지	계통 사방 시행

명칭	전석 낙차공과 기슭막이	유속감쇠용 자연석 수제	블록 기슭막이
장소	일본	일본	일본
사진			
구조 기능	하천 계상 정비	자연석을 이용하여 유속 의 감소효과	녹화를 하여 경관유지

명칭	사방댐과 돌기슭막이	콘크리트 낙차공	계통 야계사방
장소	일본	일본	일본
사진			
구조 기능	사방댐과 유로곡선부를 이용한 유속감소효과	경사형 낙차공으로 경관 보전 및 어도 역확수행	유로곡선부에 낙차공과 돌을 이용하여 유속감소

명칭	사행하천 보존	돌수제	유속 감쇄용 목재 수제
장소	미국	미국	미국
사진			
구조 기능	하천의 자연성 보존, 사 행의 형상 유지	유로곡선부에 돌수제 설 치하여 유속 감쇄 효과 발휘	목재 수제를 하도 내에 설치하여 유속을 감쇄

명칭	바닥막이	수초 및 버드나무 수제	유목 수제
장소	미국	미국	미국
사진			
구조 기능	바닥막이 우측면에 어도를 설치하여 수생태계 보호	수초 및 버드나무를 이용한 수질정화 및 유속 감소 효과 발휘	유목을 이용하여 유속 감소 효과 발휘

사진 1. 국내·외 주요 야계사방 시설

#### 나) 미국의 야계사방 공법

미국에서 과거 수십년간 시행된 야계 및 하천복원사업의 형태는, 1950년대에 들어서면서 치수 및 인공구조물의 건설(댐, 저수지, 제방 등), 댐에서의 어도 설치, 부화장 기능을 갖는 완속지 조성 등이 주된 사업이었다. 이후 1960년대에는 이들의 추가 건설, 치수 및 인공구조물이 생태계에 미치는 영향을 인식하게 되었고, 1970년대 들어서야 치수 및 인공구조물 건설사업의 완성, 생태계에 대한 악영향을 죽이기 위한 초기 방안을 수립하게 되었다. 이 후 1980년대에는 치수사업의 평가 및 개정, 국부적인 생물 서식지 개선사업을 주된 목표로 하였고, 1990년대에는 치수사업의 평가 및 개정, 국부적인 생물 서식지 개선사업을 주된 목표로 하였고, 1990년대에는 치수 및 인공구조물 변경을 통한 야계 및 하천, 그리고 유역개선사업을 시도 하였다. 그리고 현재에 이르러 대규모 인공구조물인 댐의 제거를 통한 야계 및 하천복원사업을 시행하고 있다. 또한, 미국정부 내 몇몇 기관이 야계 및 하천복원사업에 관심을 가지고 사업을 진행해오고 있는데, 이들은 하천복원사업에 대한 조정과 협의를 위해 관련기관내에 공동그룹을 구성하였고, 이 그룹은 수변복원·원리, 과정, 실무라는 제목의 지침서를 마련하였다. 이 공동그룹은 15개의 연방기관으로 구성되어 있으며, 미국 농무부의 산하기관인 천연자원보존국이 이끌고 있다.

과거에는 야계 및 하천을 인간의 필요에 의해 개발해 왔으나, 점차 미국은 생태적, 환경적으로 건강한 강과 야계 및 하천을 복원시키는데 노력을 기울이고 있다. 왜냐하면 인간의 필요성을 만족시키기 위한 야계 및 하천의 지속적인 이용으로 인해 과거보다 더 큰 야계 및 하천생태보호가 필요하게 되었기 때문이다. 미국 북서 태평양 연안지역에 존재하는 산지 야계 및 하천에서는 교란된 야계 및 하천과 자연적 야계 및 하천으로 구분하였다. 이러한 사업은 야계 및 하천의 생태계를 위협하는 관리방법을 수정하는 것과 밀접한 관련이 있다. 뿐만 아니라 최근에는 하천생태계를 보전하기 위한 서식지 개선 사업이 더 중요해지고 있다.

미국의 야계, 하천, 국립공원계곡부에서 계상의 안정을 도모하고, 유속을 완화시키며, 어류생태계를 보전하기 위해 많이 적용하는 복원 공법으로는 야계나 하천의 계상에 전석(자연석, 조경석, 돌)을 듬성듬성 깔거나, 야계와 계안을 전석이나 통나무 그리고 폐석을 이용하여 연결함으로써 돌다리의 역할 및 계상침식 방지, 유속완화 기능을 수행하도록 한다.

또한 계상에 자연적인 어도를 조성하여 어류생태계를 보전하고, 통나무, 수생식물, 전석 등을 이용하여 계안과 하도와의 생태계 연결 및 수생동물의 서식처를 마련해주



거나, 통나무 전석을 이용하여 계안에 목재침상 또는 목재침틀을 설치하여 어류의 피난처를 마련해주는 방법을 이용하고 있는데, 이러한 방법은 최근 우리나라에서 자연형 하천복원 시 많이 적용하고 있는 방법이다. 아울러 전석을 이용하여 상류 어류 생태계에 많은 문제를 발생시킬 수 있는 불필요한 어류의 상류 진입을 차단하거나 벌채목을 이용하여 계안에 배치함으로써 어류의 피난처를 조성해주거나 계안 침식을 방지하고 유속을 완화시키는 수제의 역할을 하고, 전석 수제를 계안에 조성하거나 전석, 통나무, 흙 등을 이용하여 계상에 횡공작물처럼 조성함으로써 계상 침식을 방지하고 유속을 완화시키는 방법을 적용하고 있다.

또한, 호안공법으로 많이 적용하는 것은 계안 사면을 정리한 후 초목을 식재하는 방법, 초본류를 심는 방법, 계안 하단부에는 자연석(전석, 조경석)을 깔고 그 위에 초본류를 도입하는 방법, 코어넷을 계안에 깔고 그 위에 초본류를 분사파종하거나 심는 방법, 버드나무나 버들 등 습기에 강한 식물을 계안에 심는 방법, 계안의 하단에 돌망태를 시공하고 돌망태 안에 초본류 등을 식재하는 방법, 계안에 전석(자연석, 조경석)을 깔고 그 사이 사이에 초본류를 식재하는 방법, 통나무를 계안에 설치한 후 그 안에 전석을 채취 넣으면서 초본류를 심는 방법, 계안에 초본류를 식재하는 방법, 계안의 하단부에는 전석을 깔고 그 위쪽으로 생울타리 또는 울짱 엮기공법(편책공법)을 이용하여 복원하는 방법, 유목이나 통나무 전석 등을 이용하여 계안침식이 발생되지 않도록 기슭막이를 조성하는 방법, 계안이 침식되거나 포락될 수 있는 지역에는 전석을 계안 전면에 깔아 기슭막이로 시공하는 방법, 전석을 이용하여 횡침식을 방지하도록 바닥막이를 설치하는 방법, 주변에서의 벌채목을 이용하여 유속을 방지하고 계안침식을 막도록 수제를 조성하는 방법, 식생지오그라드를 이용한 복원방법 등이 사용되고 있다.

#### 다) 일본의 야계사방 공법

19세기 후반 하천법, 산림법, 사방법이 공포되어 근대적인 치산·사방사업이 시작될 때 일본의 산림은 현재 중국, 북한, 필리핀, 네팔등의 산지나 계류변과 같이 민둥산이나 황폐산지가 전국에 존재하였고, 토사재해와 수해가 빈발했다. 당시 산지에서 침식된 토사는 계속적으로 유출되어 선상지에 과도하게 퇴적되고, 평지의 하천에도 토사가 증가하였다. 또한, 태풍으로 인한 침식토사의 증가로 하천이 범람하는 사태가 많이 발생하였다. 따라서 산복에는 나무를 심고, 계류에는 그곳이 도시부현에서 관리하거나 국가에서 관리하는 국립공원이라고 하더라도 그 지역의 계곡 내에 시공하여

토사가 유출되는 것을 방지하고자 하였다. 이것이 국토보전사업의 추진법으로써 공포된 당시의 산림법 및 사방법의 사상이었다.

현재까지 치산·사방사업의 대상이 되는 산지 및 계곡 내 지역에서 자연생태계의 상황을 어떻게 받아들일까. 또, 그것을 어떤 상태로 보전해야 하는가에 대한 문제는 생태계보전이라고 하는 문제로 논의되어 왔다. 그러한 측면에서 자연생태계의 보전을 염두에 둔 산지 계곡내 치산·사방사업대상지역에 대하여 그 자연도의 정도에 따라 구분하여 볼 때 다음 세 가지 기준으로 구분할 수 있다. 그러나 이러한 구분은 그 기초적인 문제를 충분히 논의할 것은 아니며, 다만 해당 지역에서의 법 규제, 생태계 그 자체의 현 상황, 치산·사방사업 등에 관련된 인공구조물 즉, 토목시설의 설치 유무, 지형의 변화 정도, 식생변화 등을 유발할 수 있는 인위적인 교란의 정도, 주변의 토지이용형태 등으로부터 종합적으로 판단되는 인위적인 영향 정도를 토대로 한 현실적인 구분이다(太田과 高橋, 1999). 우선 기준 1은, 일본에는 원생적인 자연이 남아 있는가 하는 점이며, 이에 해당하는 기준은 원생에 가까운 자연도를 유지하고, 이를 보전하는 것이 법률 등에 명확하게 보장되고 있는 지역을 가리킨다. 또한, 기준 2는 높은 자연도를 가지며, 현재의 자연생태계를 가능한 보전하는 것이 바람직하고, 또는 자연생태계로의 치산·사방사업의 영향을 가능한 한 적게 하는 것이 바람직한 지역을 나타낸다. 아울러 기준 3은 이미 자연생태계가 변화 또는 파괴되고, 치산·사방사업에 의해서 풍부한 생물상의 복구가 요구되는 지역을 나타낸다.

기준 1에 포함되는 지역은 국립공원 제 1종 특별지역 또는 원생보호지역 등이고, 이미 법률 등에 의해서 치산·사방사업을 실시할 수 없는 지역, 즉, 치산·사방사업 계획의 대상에서 제외되는 지역이다. 따라서 이 지역에서는 원칙적으로 생태계의 보전과 치산·사방사업은 관계를 갖지 않지만, 일반적으로는 어느 기준의 생태계까지 이와 같은 법률의 범위를 적용하는가 하는 점에서 자연보전과 개발행위 사이에서 논의의 대상이 되고 있다.

기준 2의 지역은 주로 계류상류부이지만 기준 1의 지역과 접해있는 지역도 있는, 아직까지 풍부한 자연이 남아있는 지역이지만, 법률적으로는 치산사업이나 사방사업을 실행할 수 있는 지역이다. 이 지역에서는 두 가지 문제가 발생되는 데, 그 첫 번째 문제로 사업의 실행은 허가될 수 있지만 실제로는 현재의 상태로 보존해야 한다는 점이다. 즉, 치산·사방사업을 실시해야 하는가, 하지 말아야 하는가를 결정해야 하는 문제점을 안고 있다. 이러한 문제는 기준 1에서의 문제와 유사한 문제이다. 아울러 두 번째 문제는 치산공사나 사방공사를 실시하는 경우, 어떤 공종·공법을 적

용하는가 하는 문제이다. 이 경우 현재의 치산·사방공법을 전제로 할 경우와 생태계보전이 가능하도록 하는 공법을 개발한다는 점에서는 실질적으로 상당히 다르다고 생각되지만, 새로운 공중·공법의 개발 가능성을 고려한다면 지속적인 논의와 노력이 필요하다. 그리고 이 문제는 첫 번째 문제에도 영향을 준다고 볼 수 있다. 즉 첫 번째 문제에 관해서는 생태학연구자의 입장에서는 치산·사방사업관계자가 스스로 사업을 삼가는 것이 바람직하다고 볼 수 있다. 실제로 일본 임야청에서는 산림생태계보호지역을 독자적으로 설정하여 벌채, 조림, 임도건설 등을 제한하고 있고, 치산사업의 실행에도 제한을 두고 있다. 그러나 대부분의 지역에서는 해당 지역에서 방재적 가치와 생태계 보전적 가치가 상반되게 논의되고 있고, 이러한 논의를 통하여 올바른 방향으로 최선의 선택이 되도록 노력하고 있다. 기준 3의 지역은 주로 계류의 중·하류지역으로, 이미 인위적 교란이 심한 지역이라 할 수 있다. 즉, 이 지역은 대부분의 원생적 자연은 이미 소실되고 있을 뿐만 아니라 경우 따라서는 생물 다양성도 현저하게 저하되고 있는 지역이다.

최근 일본 고유의 생태계와 경관은 원시적인 산지와 국립공원 내 계류·하천변 등 한정된 부분에 남게 되었고, 도시 거주민들은 그들 주변뿐만 아니라 산지와 계류변의 자연생태계와 자연경관의 보전에 관심을 두게 되어 계류에서 시행되고 있는 환경복원적 치산·사방사업 즉, 인공구조물의 설치에 대한 관심이 증대되었다. 또한, 개개 사업현장에서의 환경보전이 곧 지구환경의 보전과 직결됨을 고려한다면 치산·사방기술자가 사업실행에 있어 환경보전을 고려하는 것은 필수조건이라 할 수 있다. 따라서 환경 보전과 조화되지 않는 산지 또는 계곡 내에 설치되는 치산·사방구조물의 설치는 불가능하다고 해도 과언은 아니다. 실제 일본은 건설성, 임야청, 도시부현에서 환경을 배려한 각종사업을 전개하고 있고, 하천사업도 환경복원을 위한 치산·사방사업과 같이 근대 치수사업으로써 홍수범람 방지와 수자원의 개발에 큰 공헌을 해왔다. 그러나 최근 들어 대규모의 인공댐과 견고한 계안의 건설 그리고 계곡내에 설치되는 인공구조물이 결국 계류생태계는 물론 하천생태계와 친수성의 파괴로 이어지고 있다는 사실이 판명되어 각종 건설 사업은 환경을 고려하지 않고는 어렵게 되었다.

자연생태계와 자연 경관보전에 대한 국민적 관심의 증대는 대다수의 사람들이 살고 있는 평지에서 숲이나 수변 등 자연이 급속하게 사라지는 것이 원인이 되고 있고, 자연이 원형대로 남아있다고 생각되는 산지와 산림도 최근 현저하게 변화하고 있다. 이러한 시점에서 산지와 계류변에서의 생태계보전과 환경복원을 위한 치산·

사방사업과의 관계에 대해서 생각해 볼 필요가 있다.

일본의 야계사방은 우리나라에 많은 영향을 주었다. 당시 일본인 임학계 백택(白擇)박사가 조선임야의 황폐상황을 상세히 시찰하고 수원지가 되는 계류하천 즉 야계 및 야계적하천의 황폐가 심하기 때문에 이러한 곳들의 복구가 필요하다고 역설하였다. 이와 같이 황폐한 계천을 개수 정비하는 것이 치산치수의 만전을 기하는 것이 될 것이라고 한 백택위원의 주장이 채택되어 야계공사 태동의 시대를 맞이하게 되었다. 따라서 일본의 새로운 공법이 개발되면 우리나라에 적극적으로 도입되므로 일본의 야계사방 공법 및 공종은 우리나라의 것과 별 차이가 없다.

#### 나. 야계의 특성분석

##### 1) 황폐계류의 형상별 분석

조사지역은 지형도를 이용한 유역의 특성을 조사한 지역과 이미 야계사방이 실시되었던 야계사방 시공지역으로 구성된다. 유역특성이 조사된 지역은 경기도 안양천 유역이며, 야계사방시공지에 대한 조사가 이루어진 지역은 경기도, 충청남북도, 경상남북도, 전라남북도 등이다. 특히, 야계사방사업의 대상이 되는 야계의 개념을 정립하기 위하여 야계사방사업의 발달과정과 이미 야계사방사업을 실시한 지역들의 답사 즉, 야계사방설계 설명회와 담당기술자들의 현장소개를 통한 시공 상태분석과 비교적 황폐유역이라고 생각되는 안양천 6개 상류유역을 대상으로 조사·분석하였다. 본 연구에서는 주로 고도별 면적곡선, 경사, 하천폭, 하천차수 등의 유역특성인자를 분석하였으며, 또 하천법중에서 야계와 관련된 사항을 검토하여 야계의 개념설정에 활용하였다. 이들 분석을 위해 사용한 자료는 국립지리원에서 제작한 지형도(1/5,000, 1/25,000)로부터 직접 얻었으며 map measurer 와 planimeter(구적기)로서 하천연장과 유역면적을 측정하였다.

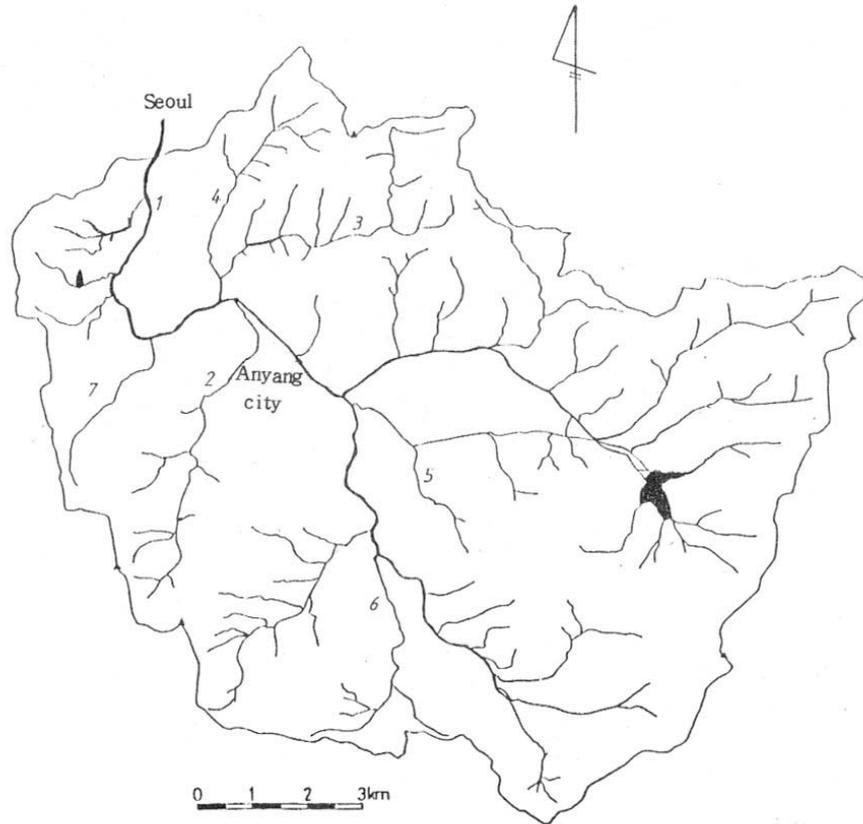
안양천은 한강에 유입되는 제1지천으로서 하천관리상으로 국가하천(시흥대교에서 한강까지 13.4km), 지방1급하천(안양철교에서 시흥대교까지 7.3km), 그리고 지방2급하천(안양철교에서 상류로 11.6km)로 구성되는 유로연장 32.3km의 법정하천구간외에도 「소하천」 구간이 상류로 연속되고 여기에 15개의 지방2급하천 지류가 유입된다. 본 조사에서 조사된 유역계는 시흥대교에서 상류 2.0 km, 안양철교에서 하류로 약 5.3km 지점인 서울시와 경기도가 경계되는 지점부터 상류유역이다. 주요 지천을 포함하는 배수조직 상태는 그림 3과 같다.

지형학상으로는 유역의 남동에 백운산(560m), 동에는 바라산, 국은봉(536m), 청계산(538m), 만경대(377m), 옥녀봉(618m)과 같은 높은 산으로 둘러싸이고, 북동에는 관악산(629m)과, 삼성산(480m)으로 이루어 졌다. 그리고 서남에는 수리산(478m)과 수암봉(398m)산계로 둘러싸여 하나의 분지로 되어있다.

관악산지대의 삼성천유역과 삼성산계의 삼막천유역의 산지는 대단히 황폐가 심하여 암반노출지가 많다. 수암봉과 수리산을 잇는 분수령산지는 비교적 침활혼효의 임상이 양호하지만 그 하류 산록지대의 임상은 불량하다. 남면지대는 비교적 구릉지로서 임상이 불량한 잡목림으로 구성되어 있다. 반면 의왕면의 모락산지대를 제외한 백운산에서 국사봉을 거쳐 청계산에 연결되는 큰 산맥지대의 임상은 침활혼효림으로 비교적 성림을 이루고 있다.

지질분포상태는 비교적 다양한 편으로 경기편마암복합체의 일부로서 주로 편마암류, 그 후기에 관입한 화성암류, 층적층으로 이루어졌다. 흑운모호상편마암이 약 41%를 점유하고, 그밖에 암상편마암 10.3%, 대보화강암 9.9%, 백운모편암 3.2%, 석회석 및 석회규산암 1.9%, 흑운모편암 1.5%, 우백질편마암 1.3%, 규암 1.2%, 그리고 액 30%의 층적층으로 구성되어 있다.

조사지역의 토지이용 현황은 임야면적이 약 63%로서 가장 많고 다음은 농경지로 약 24%이며, 그리고 택지 기타의 면적이 약 13%로 구성되어 있다.



① 안양천 본류 ② 수암천 ③ 삼성천 ④ 삼막천 ⑤ 호계천 ⑥ 당정천 ⑦ 박달천

그림 3. 안양천상류유역의 주요 배수조직

## 2) 유역의 특성별 분석

황폐계류는 유로연장이 비교적 짧고 계상물매가 급하며, 그 유량은 강우나 폭설 등으로 급격히 증가하여 유수는 계안과 계상을 침식하고 사력을 생산하여 하류부에 유출 또는 퇴적시킨다. 이와 같이 야계의 작용은 연속적인 것이 아니고 다만 호우시에 많은 유량을 유출시키고 유로를 변동시키는 특징을 지니고 있으며 하천으로 구성된 수계는 그 유역의 지상학적 인자와 기후학적 인자의 영향을 받아 변화하게 된다.

따라서 환경조건이 같은 유역의 상호간에는 수리기하학적인 상관성이 있기 때문에 유역의 특성을 비교하는 기준이 되고 있다. Horton에 의하여 지형발달의 과정을 정량적으로 추구하고 하는 연구가 시작됨에 따라 그 뒤 지형의 정량적 표현방법에 대한 연구가 많이 발달되어 왔다. 유역은 Watershed, Catchment area, Drainage

basin, River basin 등으로 인용되고 하나의 유역면적은 단지 4~5ha 일수도 있고 또 수만 ha일수도 있듯이 그 규모가 일정하지도 않고, 또 지형이라는 유로조건에 따라 그 특성도 심히 다양한 것이다.

안양천 6개 상류유역의 유역특성은 표 5에서 볼 수 있다. 하천의 유역면적(A)을 하천연장(L)으로 나눈 것을 유역평균폭(B)이라 하며 B가 L에 비해서 적으면 유역의 형상은 가늘고 긴 형상을 나타낸다. Horton 은 유역형상계수(F)를 다음과 같이 표시하였다.

$$F = B / L = A / L^2 \dots\dots\dots(1)$$

표 5. 안양천수계 상류 6개 유역의 지형인자

소유역	유역면적 (m <sup>2</sup> )(A)	유로연장(m)			유역 평균폭 (B)	유역형상 계수 (F)	배수밀도 (D)	기복량비 (R)
		본천(L)	소하천	계(L')				
삼성천	8,076,625	6,375	7,625	14,000	1,267	0.199	0.0017	0.09
삼막천	5,010,845	4,100	4,250	8,350	1,222	0.298	0.0017	0.09
수암천	8,157,500	5,900	5,250	11,150	1,388	0.235	0.0014	0.07
호계천	3,075,000	3,625	250	3,875	848	0.264	0.0013	0.09
당정천	4,387,500	3,650	3,250	6,900	1,202	0.329	0.0016	0.04
박달천	4,668,750	3,300	450	3,750	1,415	0.429	0.0008	0.08

안양천수계별 준용하천유역의 형상계수는 0.199~0.429의 범위에 있어 비교적 유역의 형상은 가늘고 긴 모양을 하고 있음을 보여주고 있다. 즉 이것은 유수가 집중되어 황폐되기 쉬운 형태임을 보이는 것이다.

배수밀도는 유역 내 수계의 소밀상태를 나타내는 것으로서 Neumann에 의해서 제의되었으며, R.E. Horton은 단위면적내을 흐르는 수류의 유로길이 즉 유역면적을  $A_w$ , 유역내의 수로총 길이를  $\sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^N L_{wi}$  로 하여 수계밀도 D를 다음과 같이 정의하였다.

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^N L_{wi}}{A_w} \dots\dots\dots (2)$$

본 조사지에서의 수계밀도의 범위는 0.0017~0.0008로서 대체로 삼성천, 삼막천, 수암천과 같은 산지소유역에서는 0.0014 이상으로 높게 나타났고, 박달천과 같은 구릉소유역에서는 0.0008로서 비교적 낮은 값을 보였다. 이러한 배수밀도는 하천차수와는 선형상을 나타내고 있으며 유역내 물의 유출시간을 결정하는 하나의 요소로서 중요한 역할을 하고 있어 삼성천, 삼막천, 수암천유역은 쉽게 황폐될수 있는 위험성을 지니고 있는 것으로 보인다.

유역의 크기에는 관계없이 유역의 경사도의 대략지는 기복량에 따라서 알 수 있는데 Schumm는 유역의 최고점과 최소점의 표고차 H를 본류의 길이 L로 나눈 것을 기복량비(R)라 하고 다음 식과 같이 표시 했다.

$$R = \frac{H}{L} \dots\dots\dots (3)$$

조사유역중 황폐계류가 많은 삼성천, 삼막천 및 수암천의 물매는 7~9%의 범위에 있으며, 그 외 비교적 안정상태에 있는 소유역의 물매는 1~4%로 나타났다. 유역의 안정상태의 조건은 배수밀도, 표고, 물매등의 유역특성인자들이 주로 유수의 작용에 의해서 상류부에서는 침식되고 하류부에서는 퇴적되어 점차 안정상태로 진행된다고 생각할 수 있는데 이것은 유출강도가 크고 침식에 대한 토양응집력이 약해질수록 커진다. 그 결과 유역은 새로운 곡이 발달되어 수계밀도 및 지표의 물매가 증가되어



지형변화를 가져온다. 일반적으로 야계의 물매는 6% 정도이나 지형이라는 유로조건에 따라 6%를 초과하는 경우가 많다.

따라서 본 조사 유역 중 황폐계곡이 많은 삼성천, 삼막천, 수암천에서는 유역의 평균 물매가 7~9%로서 다른 소유역보다 급하여 사면의 식생밀도는 조밀하게 되고 토양은 침식이 용이하므로 황폐계류로 발달될 영향이 높은 지역이기 때문에 황폐계곡이 많은 유역으로 판단된다.

본 조사유역의 수계망은 Horton-strahler 방식에 의하여 결정하였고 비교적 황폐계류가 많은 삼성천, 삼막천, 수암천을 대상으로 해석을 하였는데 그 결과는 표 6, 그림 4에 나타나 있다.

표 6에서 보면 삼성천의 평균낙차비는 1.03, 삼막천은 4.84, 수암천은 1.49정도로서 각 차수간의 낙차비에 차이가 있으므로 등낙차를 하고 있다고는 말할 수 없다. 1, 2차곡의 낙차는 1.33~3.20으로 안정 상태를 유지하고 있다고 보여지지만 2, 3차곡에서의 낙차는 0.43~0.83으로 비교적 안정하지 못한 상태에서 황폐가 진행되고 있는 것으로 사료된다.

또한, 삼막천 유역의 3, 4차곡의 낙차비가 타 유역보다 비교적 높은 것은 이 유역의 표고 60~150m 지점까지 채석장으로서 활발한 공사가 진행 중이기 때문에 하류로 그 토사가 쉽게 이동되어 나타난 결과라고 보여 진다. 이러한 결과들에서 보면 황폐가 진행되어 황폐계류로 성장될 수 있는 하천차수는 2차, 3차, 4차의 범위에서 황폐가 진행되고 있음을 알 수 있다.

표 6. 삼성천, 삼막천, 수암천 유역의 형태학적 특성인자

1) 삼성천

하천차수	하천수	곡평균장 (m)	곡평균 경사 (%)	분지비 (e <sup>B</sup> )	곡장비 (e <sup>D</sup> )	곡경사비 (e <sup>H</sup> )	낙차비 (e <sup>D</sup> · e <sup>H</sup> )
1	31	399.36	19.32	3.88	1.49	1.18	1.76
2	8	268.13	16.36				
3	2	467.50	22.86	4.57	0.57	0.72	0.43
4	1	4,355.00	2.76	2.00	0.11	8.28	0.91

2) 삼막천

하천차수	하천수	곡평균장 (m)	곡평균 경사 (%)	분지비 (e <sup>B</sup> )	곡장비 (e <sup>D</sup> )	곡경사비 (e <sup>H</sup> )	낙차비 (e <sup>D</sup> · e <sup>H</sup> )
1	30	274.33	23.42	4.29	0.64	2.07	1.33
2	7	430.00	11.30				
3	2	695.00	11.58	3.50	0.62	0.98	0.61
4	1	2,780.00	0.23	2.00	0.25	50.35	12.59

3) 수암천

하천차수	하천수	곡평균장 (m)	곡평균 경사 (%)	분지비 (e <sup>B</sup> )	곡장비 (e <sup>D</sup> )	곡경사비 (e <sup>H</sup> )	낙차비 (e <sup>D</sup> · e <sup>H</sup> )
1	22	385.23	21.23	3.14	1.04	3.08	3.20
2	7	371.43	6.89				
3	2	567.50	5.46	3.50	0.66	1.26	0.83
4	1	5,100.00	1.37	2.00	0.11	3.99	0.44

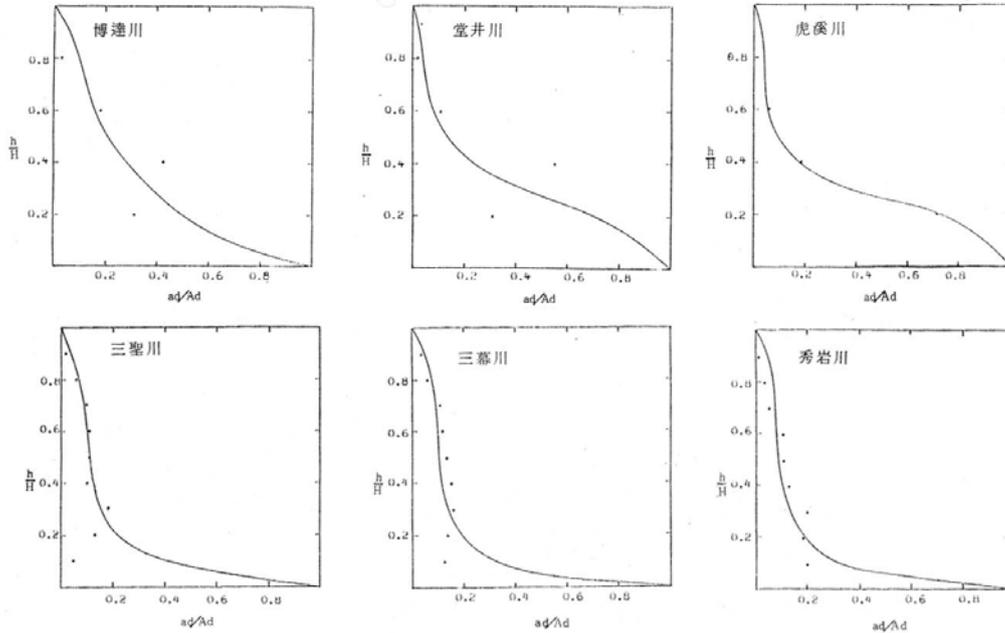


그림 4. 안양천 상류유역의 상대고도-상대면적곡선

상대고도-상대면적곡선은 지표면의 성립을 개관하기 위하여 만들어졌으나 한 유역의 지형에 대한 홍수효과나 지형침식을 연구하는데 매우 유효한 방법으로서, 최근 Langbein(1947)에 의해 처음으로 소개되었다. 상대고도-상대면적간의 관계분석은 어떤 유역의 임의 상대고도 상부의 수평면적이 전유역면적의 몇 %를 차지하는가를 표시하는 상대고도-상대면적곡선을 얻기 위한 방법으로서, 이들 분포상태가 유역의 지질학적 발달정도와 어떤 관계를 가지는가를 판단할 수 있는 방법이기도 하다.

중축에는 유역최저점으로부터 등고선고도의 전유역표고차에 대한 비율, 횡축에는 그 등고선보다 상부면적의 전 유역면적에 대한 비율 그리어, 무차원량 표시를 하고 이것을 백분율 면적-고도곡선(Percentage hypsometric curve)이라 부르며, 유역내 특히 저항력이 큰 암층이 분포되어 있으면 그 부분은 침식의 침체가 있으므로 이 부분에서는 변화를 할 것이다.

상대고도  $h/H$ 와 상대면적  $a_d/A_d$  사이에는 어떤 함수적 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 즉, 이것을 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$\frac{h}{H} = f\left(\frac{a_d}{A_d}\right) \dots\dots\dots (4)$$

여기서,

- H : 유역의 하구점을 포함하는 수평면(기저평면)으로부터 유역의 정점을 포함하는 수평면(정점평면)까지의 전표고차
- h : 기저평면으로부터 측정한 고도
- $A_d$  : 지형도상에서 측정한 유역면적 즉, 기저평면의 면적
- $a_d$  : 고도가 h인 등고선으로 둘러 쌓인 유역면적

본 조사 유역에서 측정한 고도별 유역면적과 상대고도-상대면적곡선은 표 7, 그림 4에 각각 표시하였다. Strahler의 유역의 지질학적 발달단계에 의한 분류법에 의하면 황폐계류가 많은 삼성천, 삼막천, 수암천, 청계사천은 비교적 모양이 비슷한 경향으로 이들 산지소유역은 장년기에서 노년기까지의 침식단계에 있는 것으로 판단되며, 호계천, 당정천은 비교적 안정한 유역으로 보이며, 안양천 전유역의 차원에서 보면 장년기에서 노년기형의 침식단계에 있는 것으로 생각된다. 따라서 안양천 분류는 노년기 상태로서 하천의 연안에는 토사가 두껍게 퇴적되어 유수의 일부가 스며드는 침식잔구의 상으로 사료된다. 그리고 황폐계류가 많이 조사된 삼성천, 삼막천, 수암천 이외의 소유역도 황폐계류로 점차 발달될 수 있는 위험성이 있는 것으로 보인다.

표 7. 안양천 유역의 고도별 면적 분포

소 유 역	고도 (m) 분류	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600 이상	합계
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
수 암 천	면적	161.875	146.875	158.125	101.250	87.500	86.875	40.000	23.125	11.25	1.875				818.750
	백분율	19.77	17.940	19.310	12.370	10.690	10.610	4.890	2.82	1.37	0.23				100.000
삼 성 천	면적	40.00	108.125	152.700	86.538	100.300	99.375	83.750	51.875	43.125	21.875	12.50	6.25	1.25	807.663
	백분율	4.95	13.390	18.910	10.710	12.420	12.300	10.370	6.42	5.34	2.71	1.55	0.77	0.16	100.000
삼 막 천	면적	60.00	66.875	77.300	73.462	67.200	58.125	53.750	28.750	15.625					501.087
	백분율	11.97	13.970	15.430	14.660	13.400	11.600	10.730	5.740	3.120					100.000
호 계 천	면적	218.750	56.875	18.750	6.250	2.50	4.375								307.500
	백분율	71.140	18.50	6.10	2.23	0.81	1.42								100.000
당 정 천	면적	136.250	242.500	49.375	10.625										438.750
	백분율	31.06	55.27	11.25	2.42										100.000
박 달 천	면적	145.000	188.125	85.000	30.000	15.000	3.125	0.625							466.875
	백분율	31.06	40.29	18.21	6.43	3.21	0.67	0.13							100.000

3) 유역 구분에 의한 분석

황폐계류의 산간부에서는 계류물매가 급하고 양안과 하상을 침식하고, 중간부에서는 토사와 모래·자갈 등을 운반하며, 하류부에서는 물매가 완하여 토사를 퇴적하면서 차츰 안정된 평형물매상태에 도달되고 있다. 이와 같이 황폐계류의 하곡은 토사생산구역, 토사유과구역, 토사퇴적구역으로 구분된다.

토사생산구역에서는 유량의 대부분 많은 양이 유출하여 풍화, 침식, 붕괴작용에 의해 협곡이 생기며 하상에는 홍수 시에 밀려 내려 온 암석이 산재하고 하도형상은 V

자형이 많다. 토사유과구역에서는 상류에서 퇴적한 모래, 자갈과 이 구역에서 생산되어 하류로 흘러가는 모래, 자갈 등이 평형을 유지하며 주로 횡침식이 왕성하여 하상에는 둥근 돌과 자갈이 주로 퇴적하게 된다. 또 토사퇴적구역에서는 계곡이 넓고 계상물매가 완만하여 유수가 사력의 유송력을 상실하여 이곳에 퇴적되어 보통 천정천, 선상지, 충적지 등을 형성하는 경우가 많으며, 또 측방침식이 진행되어 하천의 사행이 발달한다.

하천의 성장과 발달은 지형, 지질에 따라 다양하겠지만 본 조사 유역중 황폐계류가 많은 삼성천, 삼막천, 수암천의 유역구분은 표 7 및 그림 4의 상대고도 - 상대면적곡선에서 알 수 있다.

삼성천, 삼막천, 수암천의 토사유과구역은 80~150m, 청계사천은 80~200m이다. 그리고 토사퇴적구역은 삼성천, 삼막천, 수암천 모두 80m이하로 사료되며 안양천 전체로 보면 토사생산구역은 200m이상, 토사유과구역 80~200m, 토사퇴적구역 80m이하로 판단된다. 이러한 유역구분을 사방공사적 입장에서 보면 토사생산구역에서는 산복공사와 계간공사를 유과구역과 퇴적구역에서는 야계사방 공사가 시행돼야 될 장소라고 생각된다.

하천의 발전에 대해서는 M. A. Melton과 R. E. Horton 은 차수에 따라 설명했다. 지표면의 극히 얇은 부분이 빗방울의 튀김과 표토유출의 결과로서 일어나는 토양의 이동을 통해서 곡이 발전하게 된다. 이들의 발달단계는 비탈면 오목부에 표면유거수가 모여서 유하세력이 점차 증대됨에 따라 생기는 하나의 작은 물길인 누구로 시작해서 점점 더 침식이 진행되면 보다 깊고 넓은 침식구, 즉 구곡이 형성되어 점차 발전하게 된다.

야계는 산간계곡을 통하여 흐르는 계천중에서 유로가 비교적 짧고 물매가 급하여 6%를 초과하는 것이 보통이며 부분적으로 원만곳도 있으나 2%를 밑도는 것은 별로 없다. 유량은 평소에는 적으나 강우나 눈이 녹음으로서 급격히 증가하여 계안 및 계상을 침식함으로서 모래 및 자갈등을 생산하고 이것을 하류에 운반 및 퇴적시켜 홍수사람의 원인이 되는 계천을 보통 야계의 개념으로 설명하고 있다.

일차적으로 구곡이 발달하여 야계가 되며 야계를 “계류”라 부르기도 하는데 계류는 사방공사 시공상 야계와 동의어로서 일반적으로는 보다 광의적으로 즉, 황폐되지 않은 산간의 급류를 포함한 의미로 쓰이며 또 계류가 황폐되었을 때에는 황폐계류라 부르기도 하며, 황폐계류는 “야계”라고 한다. 또한 야계는 아니지만 야계적 특성을 가지는 야계적 하천과 단수식계의 구별은 곤란하다. 따라서 이들의 구분은 경험과

기술이 필요할 것 같다. 이상의 결과를 통하여 침식계류의 각 구분을 설명한다면 표 8과 같이 요약할 수 있다.

표 8. 침식계류의 발전에 따른 특성

침식계의 구분	하천차수	물매	수로의 폭	비고
하천	5차이상	1~5%	11m이상	법정하천
야계적 하천	4,5차	1.5~6%	”	”
야계	2,3,4차	2~9%	7~50m	법정하천, 비 법정하천
단수식계	2,3차	6~20%	2~11m	비법정하천
구곡	1,2차	10~50%	1~2m	”
누구	1,0차	2~10%	0~1m	”

특히, 황폐계류 즉, 야계는 지방 2급하천에서 일부와 소하천중 중천과 소천에서 많이 조사가 되고 있어 하천법적용구간과 행자부의 소하천구간에서도 사방공사 대상지가 많음을 알 수 있다.

#### 4) 하천법에 따른 분석

하천이란 하천구역과 그곳에 흐르고 있는 유수를 겸하여 총칭하는 것으로 지구상의 하천은 급완, 장지, 대소등 지역, 지활, 지질, 기타에 의해 천차만별이며, 또한 한국 국내의 완류, 대하도 대륙국에 있어서는 미세한 급류, 소하천 정도임으로 통일적인 분류기준을 결정하기는 곤란하다.

또 하천의 관리에 있어서도 각 국가에 따라 취급하는 것도 다양하다. 우리나라 하천법에 의한 하천의 분류와 관리는 표 9와 같다.

표 9. 하천법에 의한 하천의 분류와 관리

분류	분류 및 내용	관리자
국가하천	국토보전상 또는 국민경제상 중요한 하천으로서 국가가 관리하며, 대통령령에 의해 각 명칭과 구간이 지정된 하천	건설부장관
지방1급하천	국가하천이외에 지방의 공공이해와 밀접한 관계가 있는 하천으로서 특별·광역시장 및 도지사가 지정한 하천	특별·광역시장(서울, 부산, 대구, 인천, 울산) 도지사
지방2급하천	국가하천 또는 지방1급하천에 유입하거나 이에서 분기되는 수류로서 국가하천 또는 지방1급하천에 준하여 시·도지사가 관리하는 하천	시장(서울, 부산, 대구, 인천)도지사

하천법의 적용을 받지 않는 해, 하, 호, 치, 기타 공공용으로 사용되는 국유의 수류나 수면, 기타 빈지등을 공유수면이라 하며 이 구역의 모든 비 법정하천을 행정자치부에서는 「소하천」이라 규정했다. 이 「소하천」은 법정용어는 아니나 행정편의상 하천규모와 사후관리주체에 따라 표 10과 같이 세천, 소천, 중천으로 구분하였다.

표 10. 행정자치부의 소하천 구분

구분	하 폭 (m)	사후관리자	비고
세 천	2 ~ 5	리 단 위	비 법정하천
소 천	6 ~ 10	면 단 위	"
중 천	11 이상	군 단 위	"

하천법에 의한 하천이나 공유수면상에서의 모든 권리 설정은 하천법과 공유수면관리법의 적용을 받고 있다. 다른 법령에 의하여 이 하천구역 안에서 권리를 설정하거나 그 승인을 받아야 한다.



우리나라의 하천은 건설교통부 하천법의 적용을 받는 국가하천, 지방1급하천, 지방 2급하천과 행정자치부 소하천정비법의 적용을 받는 소하천이 있다. 하천중에서도 토사의 유출 등으로 계류가 황폐한 계곡은 사방사업법에 의하여 야계사방 사업이 이루어지며, 그 외의 작은 하천은 공유수면관리법의 적용을 받는다. 하천이 이렇게 서로 다른 법률적 적용을 받는 기준은 명확하지 않지만 하천법의 적용을 받는 국가하천 및 지방 1급하천은 하천법 제 2조와 같이 “국토보전상 또는 국민경제상 중요한 하천으로서 국가가 관리하는 하천 또는 지방의 공공이해에 밀접한 관계가 있는 하천으로서 특별시장, 광역시장 또는 도지사가 관리하는 하천으로 대통령령에 의하여 그 명칭과 구간이 지정된 것을 말하며, 지방 2급하천은 시장 또는 도지사가 그 명칭과 구간을 지정하여 국가하천 또는 지방 1급하천으로 유입하거나 이에서 분기(分岐)되는 수류로서 국가하천 또는 지방 1급하천에 준하여 시장 또는 도지사가 관리하는 하천을 말한다. 한편 소하천정비법에 의하여 적용받는 하천은 하천법에 적용받지 않거나 준용받지 않는 하천으로서 평균하폭이 2m이상, 하천길이가 500m이상인 하천을 시장, 군수, 구청장 등 지자체의 장이 지정한다. 그 외의 하천은 모두 공유수면관리법에 의하여 적용을 받게 된다.

이러한 하천의 구분은 직접 하천의 형태를 변경하는 사업이나 관리의 주체에 의하여 구분된 것이다. 이 외에도 하천의 3대 요소인 수량, 수질, 공간정비에 있어서 다른 관계 법령에서 규정하는 사항과 조정이 필요하게 되는데 환경부의 환경정책기본법, 자연환경보전법 등과 문화관광부의 문화재보호법, 건교부의 국토이용관리법, 자연공원법, 도시공원법, 도시계획법, 공유수면관리법, 산림청의 사방사업법(2000. 1. 21 법률 제 6187호)등에서도 각종 행위의 제한을 받아야 하므로 하천 정비 시에는 이들 법령을 잘 검토하여야 할 것이다.

특히, 야계사방사업을 시행할 지역은 산림청장이 지정하며, 이 경우 하천법의 적용을 받는 하천에 대하여 야계사방사업을 하고자 할 때는 미리 하천관리청과 협의하도록 되어 있다.

#### 가) 건교부의 하천법

우리나라의 하천법은 1961년 12월에 제정되어 2004. 1. 20(법률 제7101호)로 많은 개정을 거쳐 현재에 이르고 있으며, 일반적으로 하천의 정비와 관리에 대한 전반적인 사항을 규정하고 있다.

하천법 제 1조(목적)에는 하수(河水)로 인한 피해를 예방하고 하천 사용의 이익을

증진시키기 위한 것으로 하천의 지정, 관리, 사용 및 보전과 비용에 관한 사항을 규정함으로써 하천 관리의 적정을 기하며, 공공복리의 증진에 기여하게 함을 목적으로 한다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 하천법 제 15조(하천정비기본계획 등)에 따라 하천관리청은 ① 대통령이 정하는 바에 의하여 하천의 정비에 관한 기본계획(이하 '하천정비기본계획'이라 한다.)을 정하되, ② 하천관리위원회의 심의를 거치도록 하고 있다. 구체적으로 하천법시행령 제 10조(하천정비기본계획의 작성)에서는 하천정비계획을 국토건설종합계획에 따라 홍수, 고조 및 해일 키다 재해의 방지 또는 경감에 관한 사항에 대하여는 과거의 중요한 홍수, 고조 및 해일 기타 재해의 상황과 재해를 방지할 지역, 기상, 수문, 지형, 지질 및 개발의 상황, 기타 사항과 하천의 유효한 이용과 유수의 청결한 유지, 염해의 방지, 하구폐색의 방지, 하천부속물의 보호와 지하수위의 유지, 기타 사항 등을 종합적으로 고려하도록 하였다.

그리고 하천정비기본계획에는 해당 수계에 대한 종합적인 보전 및 이용의 기본방침과 하천공사시행의 기본이 되는 사항으로 기본홍수(홍수방어에 관한 계획의 기본이 되는 홍수를 말한다)와 그 홍수의 하도와 홍수조절용 댐에의 배분에 관한 사항, 하천공사의 실시에 관한 사항을 제시하도록 하고 있다. 하천정비공사와 관련해서는 주요한 지점에서의 계획홍수위, 계획횡단면 기타 하도계획에 관한 필요한 사항과 주요한 하천공사의 목적, 종류 및 시행 장소와 당해 하천공사의 시행에 따라 설치되는 하천부속물의 기능에 관한 사항을 제시하게 되어 있다.

하천법 시행령과 시행규칙에서 규정한 각종 하천 시설물의 계획과 설계를 위한 기술적 요소를 제시한 것이 하천시설기준으로 하천정비에 있어서 필요한 사항을 제시하고 있다. 또한 하천정비기본계획에서 치수와 이수를 위한 기본적인 사항을 설정함과 동시에 하천환경기능을 고려하기 위해서 '96년 건교부는 하천환경관리지침을 작성하여 하천환경관리계획 수립의 방향을 제시하였다. 하천환경관리기본계획은 하천정비기본계획의 일환으로 하천정비기본계획 수립 시 함께 수립하는 것이나 이미 하천정비기본계획이 수립되어 있는 곳에는 별도로 하천환경관리계획을 수립하도록 하고 있다. 그러나 법적 계획이 아니기 때문에 아직 활성화되지 못하고 있다. 그리고 97년 10월 하천법시행령을 개정하여 자연형 하천공법에서 이용되는 자연재료로서 수목을 심을 수 있도록 허용하고, 98년 6월 하천 구역 내 나무심기 및 관리에 관한 기준을 제시하여 자연재료로써의 나무뿐만 아니라 하천 생태적 관점에서 하천 내 자생수목의 보전이 가능하도록 하였다. 또한 공공적인 목적에 한정하지만 적극적으로 수리적 영향을 최소화할 수 있는 방안을 제시한다면 교목의 식재도 가능하게 되었다.

또한 하천공사에 있어서 일반적 기준이 되는 하천공사 표준시방서에는 하천정비 시 이용하는 호안을 친수 · 하천이용호안, 생태계보전호안, 경관보전호안 등으로 분류하고 있으며, 이에 따른 호안선정의 기준을 제시하고 있다.

#### 나) 행자부의 소하천 정비법

행자부의 소하천 정비법은 소하천의 정비, 이용, 관리 및 보전에 관한 사항을 규정함으로써 재해를 예방하고 생활환경의 개선에 기여함을 목적으로 1995년 제정되고, 1997, 1999, 2002년 2월, 12월, 2003년 6회에 걸쳐 개정되었다.

개발 사업을 시행함에 있어서 하천법에 의하여 관리되고 있는 하천에 대하여는 지구 지정시부터 조사 및 처리대책에 대하여 심도 있게 검토되고 있으나 이에 비하여 규모가 작은 소하천의 경우는 간과함으로써 시업시행 시 곤욕을 치르는 사례가 많다. 소하천은 정비구간이 균, 읍면동으로 제한되는 경우가 많아 하천개수가 균, 읍면동의 경제 및 행정상에 큰 영향을 미치고, 유역면적이 작고 유로연장이 짧으므로 홍수량이 급격히 증가하며 집중호우 시 많은 재해가 발생되고 하천정비 유무에 따른 영향을 받고 있다. 소하천정비사업의 추진을 위한 공사설계 지침에서는 소하천 구간 전체에 대한 실시 설계 후 사업비에 따라 연차적으로 정비를 추진하되, 하천의 복개와 콘크리트화는 절대 금지하고 이 · 치수와 환경기능을 조화시켜 자연생태계를 파괴하지 않는 자연형 하천공법을 채택 하도록 하고 있다. 또한 하천의 선형은 직강화를 지양하고 자연하천의 흐름 방향을 유지하도록 하였으며, 충분한 하폭과 단면이 유지되도록 설계하며, 하천시설물은 최소한으로 억제한다. 또한 과거 하천정비에서 체비지가 발생할 경우 처분하는 것을 원칙으로 하였으나 소하천 정비에서는 주민이 이용할 수 있는 다목적 공간으로 활용할 수 있도록 하였다. 전체적으로 하천의 환경기능인 친수성, 생태적 서식처 기능, 환경기능 등을 강조하고 있으나 아직까지 재정적, 기술적 한계로 적극적으로 반영되지 못하고 있다.

각 부처의 특성에 따라 마련된 법령의 특성을 요약하여 비교한 것은 표 11과 같다. 소하천정비법('95.1.5제정)은 일종의 촉진법으로 재해예방과 생활환경의 개선을 위한 “소하천 정비”에 중점을 두고 있고, 하천법은 하천에 관한 기본법으로 주된 내용이 효과적인 치수와 이수를 위한 “하천의 관리”에 중점을 두고 있으며, 사방사업법은 국토의 황폐화를 방지하고 이를 보전하는 데 목적을 두고 있다.

표 11. 사방사업법, 소하천법 및 하천법과 주요 차이점 비교

구분	사방사업법	소하천 정비법	하천법
기본성격	공공의 이익 증진법	정비촉진법	관리법
제정목적	국토의 황폐화를 방지하고 이를 보전하기 위함	소하천지역의 재해예방 주민의 생활환경 개선	하수로 인한 피해예방 하천사용의 이익증진
주요내용	황폐지 복구 및 황폐계류의 토사유출 방지	소하천의 정비 및 보전	하천의 관리 및 사용
지정권자	산림청장	시장 군수 또는 구청장	국가 또는 시 도지사
관리청	시장, 군수, 도지사, 지방산림관리청	시장 군수 또는 구청장	국가 또는 시 도지사
소유권의 귀속	국유 공유 또는 사유	국유 공유 또는 사유	국유 공유 또는 사유

본 조사 유역중 황폐계류 즉, 야계는 지방 2급하천에서 일부와 소하천 중 중천과 소천에서 많이 조사가 되고 있다. 특히, 야계사방은 초창기의 사방사업법에 의하면 하천법의 적용을 받지 않는 황폐계천에 시행하는 것으로 되어 있었다. 따라서 실제 야계사방사업이 하천법의 적용을 받는 구간에서도 많이 시공되어 감사시에 대상지 선정이 잘못되었다는 지적을 받는 등 많은 문제점이 노출되었다. 따라서 최근 사방사업법이 개정되면서 야계사방사업은 산지에 접속된 시내 또는 하천에 대하여 시행하는 사업으로 그 대상지를 확대하여 하천법의 적용을 받는 구역에 대해서도 시행할 수 있도록 하였다. 다만 하천법의 적용을 받는 구역에서의 야계사방사업은 사전에 하천관리청과 협의하도록 하고 있다. 이러한 제도적인 발전은 상호 보완적이면서 서로 유기적인 하천관리와 산지재해 예방을 위해서는 개선과 노력이 필요하다.

## 2. 황폐계류의 생태호안기법 개발

### 가. 야계현황 조사 및 설계

야계사방 사업은 치수나 불량한 유역 관리에 의해 훼손된 하천의 생물 서식처, 자정, 경관과 친수성 등 환경적 기능을 되살리기 위해 하도와 하천변을 원 자연 상태에 가깝게 되돌리는 것이므로 하천 생태계의 구조와 기능을 이해하고 그 생태계를 만드는 물리적, 화학적, 생물적 과정을 이해하는 것이 중요하다. 하천의 기능 중에서 가장 기본적인 것은 생태 서식처 기능이다. 진정한 의미의 야계사방 사업은 하천 서식처의 복원에 초점을 맞추어 하천을 공원화 하거나 놀이장으로 만드는 것이 아니라 다시 자연에 가깝게 되돌려 ‘자연형 하천’ 또는 ‘생태 하천’으로 조성하는 것이다. 그동안 야계사방 사업은 사방사업법에 의하여 토사석력의 이동이 현저한 황폐한 계천(계곡, 계간)의 종침식 및 횡침식을 방지하여 계류 물매를 완화하고, 유출토석류를 저류하거나 조절하였으며, 계천바닥을 높여서 산각을 고정하고 난류지역에서의 유로 정리 등을 목적으로 시공하여 과거 산지하천은 재해방지 차원에서 정비되어 ‘방재하천’이 되었다. 특히, 산지하천에 설치된 야계사방 공작물은 토사유출, 계간침식 측면에서는 많은 기여를 하였으나 계류생태계 측면에서는 많은 문제점이 노출이 되고 있으므로 앞으로 개선할 수 있는 방안을 찾아야 할 것으로 생각된다. 따라서 시공이 용이하고 부실에 따른 하자발생 등 문제점 해결을 위하여 전석, 자연석, 깎돌 및 블록을 이용하여 식생을 도입한 새로운 자연친화적인 생태호안 기술개발이 필요하다.

식생을 도입한 자연친화적인 새로운 야계사방공법을 개발하기 위하여 상류구역으로부터 토사생산이 많고 재해우려가 되거나 또한, 치수와 더불어 친수 및 환경기능을 함께 강조하기 위해서는 인근 주민들의 접근이 용이하여 반응을 쉽게 확인할 수 있는 곳으로서 향후 야계사방에 의한 효과가 탁월할 것으로 예상되며 유지관리, 모니터링의 편리성을 확보할 수 있는 지역을 선정하였다. 시범적으로 시공한 대상지역은 거제시 신현읍 삼거리지역이며, 이 지역의 산지유역을 중심으로 지질상태, 임상, 토지이용상태, 유역면적, 평균경사, 유역의 방향성, 유역평균고도, 하천폭 등 야계의 특성과 하상재료와 단면변화를 조사하여 황폐계류의 입지환경을 조사하였으며, 지역에 적용 가능한 야계사방 공법을 제시하고 야계사방 공작물을 설치하였다.

거제지역은 지형학적으로 매년 크고 작은 태풍이 많이 통과 하고 있으며, 근래 기상이변에 따라 집중호우를 동반하여 연 평균 1,797mm로서 우리나라의 연 평균 강수

량 1,271mm 보다 훨씬 높다. 특히, 2001년도 최대 시우량은 96.5mm, 2002년도 최대 시우량은 59.0mm, 2003년 태풍 “매미” 때는 1시간 최대 시우량 66.5mm, 2004년 “매기” 때는 1시간 최대 시우량 42.5mm가 내려 많은 피해가 발생하였다. 호우 및 태풍 피해는 산림에서부터 시작되어 산림, 농경지, 하천 및 도로 등 공공시설의 피해가 날로 증가하고 있어 산림에서부터 재해예방 대책이 필요하다.

현재까지 꾸준히 실시하여 온 야계 사방사업 지역은 태풍 및 집중호우로부터 보호 받고 있기 때문에 하류부의 피해가 없다는 사실을 이제 주민들이 알고 있다. 따라서 재해 예방시설로써 사방시설이 필수 시설임을 깊이 인식하고 있으므로 요구하는 지역이 점점 많아지고 있는 실정이므로 앞으로 많은 확충이 필요한 사업으로 자리매김 하고 있다.

자연 친화적 야계사방사업을 효율적으로 완성하기 위해서는 현지조사와 사업목표 설정, 계획수립, 설계와 그에 따른 시공, 더불어 수질보전 노력 등 야계사방 사업의 주안점은 치수기능의 활성화와 함과 산지계류의 자연 공간적 특성에 따른 다음과 같은 환경기능 개선과 연계하여 시공하였다.

- 자연의 유출 시스템 재구축, 구체적으로 지형학적 하천 보전과 복원 등
- 홍수 소통공간으로서의 기능 유지
- 하천특유의 생물서식공간 보전 및 창출
- 하천고유의 동적 특성 유지 및 재생
- 생태계를 고려한 수변 공간의 재생

#### (1) 생태호안 개발을 위한 검토사항

##### (가) 설계

- 현장여건 → 토지소유자, 지질, 지형, 집수구역, 접근로
- 정밀 측량 → 구배 횡 · 종단 안정성
- 설계빈도

치수대책에서 하도계획은 우선 현 하도의 통수능력이 기본이 되어야 한다. 하천 치수계획에 대한 설계지침 및 하천의 중요도에 대한 계획규모를 기준으로 야계에서의 계획 설계빈도를 50년으로 하였다.

표 12. 소하천 치수계획에 대한 설계지침

구 분	설 계 빈 도
도 시 지 역	50 ~ 100년
평 야 지 역	30 ~ 80년
산 지 지 역	30 ~ 50년(50년적용)

① 계획홍수위

야계사방 설계를 위하여 1/25,000 지형도를 이용하여 유역면적 72ha를 측정하였으며, 유속은 산지계류로서 평소에는 유량이 적어 경심과 물매를 측정하였다. 측정된 경심(R)은 0.97과 수로의 물매(I)는 2.77(약 3%) 값을 Bazin 구공식에 의하여 유속을 산정하였다. Bazin 구공식에 의한 평균유속은 9.44m/sec이며, 유량은 18m<sup>3</sup>/sec 산정되었다. 최대 시우량은 112.5mm, 유출계수는 0.8을 적용하였으며, 계획홍수위의 산정은 합리식에 의하여 하였다. 가정최대홍수량은 77.9m<sup>3</sup>/sec 로 계산되었다.

② 조도계수

하천에서 조도계수는 하도저항의 정도를 나타내는 계수로서 하도의 종 · 횡단적 하상변화, 인위적인 하상굴착 및 개수, 하상저하 및 상승, 유사량 등 많은 요인에 의해서 변화되며, 또한 동일계류, 동일 구간도 경년적으로 변화되므로 정도가 높은 값을 구하기가 상당히 어렵다. 특히, 본 지역도 산지 소유역이어서 기왕 실측유량 및 수위로써 조도계수를 역산할 수 있는 관측자료가 전무하다. 따라서 Bazin 구공식의 조도계수  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 값을 이용하였으며, 이때 적용된 조도계수는 석축수로 및 장석수로의 값인 0.00024와 0.00006을 사용하였다.

(나) 시공

현장에서 시공된 평면도와 시공사진은 그림 5, 사진 2와 같다.

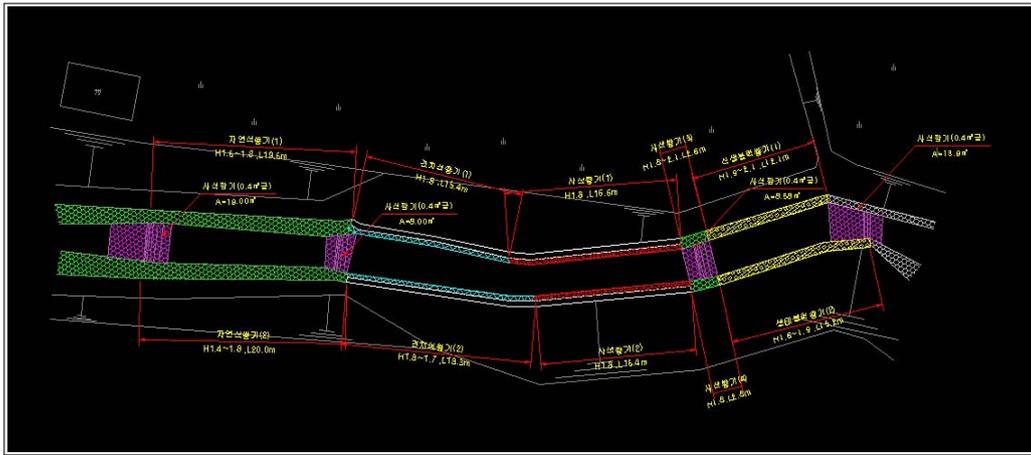


그림 5. 현장 시공 평면도



식생 전석호안			
진행 상황	시공 전 광경	시공 중 광경	시공 후 광경
사진			

식생 자연석호안			
진행 상황	시공 전 광경	시공 중 광경	시공 후 광경
사진			

식생 깎돌호안			
진행 상황	시공 전 광경	시공 중 광경	시공 후 광경
사진			

식생 블록호안			
진행 상황	시공 전 광경	시공 중 광경	시공 후 광경
사진			

사진 2. 현장 시공사진

나. 야계 및 호안의 특성에 따른 모델 제시

자연 친화적 야계사방사업은 과거와는 달리 보다 구체적으로 산지야계가 본래 지니고 있는 생물의 양호한 생육환경을 고려함은 물론 아름다운 자연경관을 보전 및 개선하는 것이라 할 수 있다. 현재 대부분의 하천법의 적용을 받는 건교부 소관의 하천과 행정자치부 소관의 하천은 하천공간이 매우 협소하고 취수보 등 중형단 시설물이 설치되어 있으며, 호안은 홍수 피해 방지 및 측방 침식을 방지한다는 미명아래 다양한 인공재료(콘크리트, 호안, 돌망태 등)를 설치하여 정형화 및 직선화하고 있다. 그러나 자연 친화적 야계사방사업은 치수 및 이수 능력을 고려함과 동시에 풍요로운 하천환경의 보전, 재생 및 복원을 위한 다양한 노력을 바탕으로 하여야 한다.

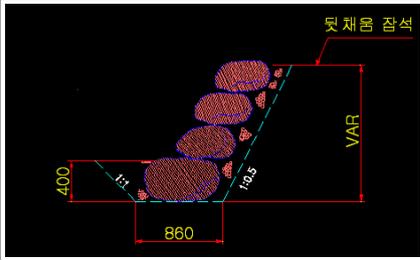
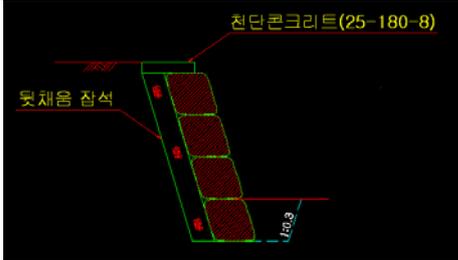
그동안 야계사방 사업은 훼손된 계류를 원래의 모습에 가깝게 되돌리기 위하여 나무, 풀, 돌, 흙 등 자연재료를 최대한 이용하여 하천의 자정능력 향상, 생태적 서식처 조성, 친수공간 조성 및 치수 등 방재목적으로 주로 시공하여 왔다. 가능한 콘크리트 제방을 최대한 지양하고 거석, 자연석 및 깎돌 등 자연재료를 이용하여 주로 찰쌓기로 호안을 만들고, 하천의 형태도 직선을 피하고 사행과 여울, 웅덩이 등을 적절히 조성하여 자연의 형태에 가깝게 정비되고 있다. 그러나 돌쌓기도 콘크리트 시공보다 과정이 복잡하고 양질의 자재 확보와 숙련된 작업인부와 중장비 동원 등으로 공정이 복잡하고 장기간 소요될 뿐 아니라 공법 부적정과 부실시공 시 하자가 발생하는 등 문제점이 많아 기피하는 경우도 있었다.

따라서 야계사방 사업도 시대의 변화에 따라 자연생태계의 보전과 환경창출을 위

하여 자연친화적인 사방시설에 관심을 가지게 되어 돌(전석, 자연석, 깎돌, 식생블록)을 이용한 단순한 돌쌓기 보다는 식생을 도입한 시공이 필요한 시점이 되었다.

황폐계류의 생태호안 개발의 목적은 홍수피해 최소화를 위한 치수측면을 고려함과 동시에 하천 생태계 시스템의 변화를 최소한으로 유도하기 위한 것이다. 또한 제내지(제방 밖) 제반시설 보호를 위한 치수적인 안정성을 확보하면서 수목 및 야생초화류의 부분적 도입을 통한 녹지 회랑기능의 회복과 하도내 접근을 위한 진입계단 및 보행 동선과의 자연스러운 연계를 도모하였다. 그리고 적용 가능한 야계사방공법 중 전석, 자연석, 깎돌 및 블록을 이용하여 식생을 도입한 새로운 자연친화적인 생태호안 기술개발을 시도하였다. 그 특성을 요약하면 표 13과 같다.

표 13. 개발된 식생호안 공법비교

구분	(1) 식생 전석호안	(2) 식생 자연석호안
개념도		
시공사례		
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 재료구입이 양호</li> <li>· 공사기간 단축 가능</li> <li>· 식생도입에 따른 생태복원 및 친환경적 자연형 하천 조성</li> <li>· 경관하천 및 친수하천 설계</li> <li>· 공사비 다소 저렴</li> <li>· 계단형태로 시공되어 접근이 용이 하고 친수공간 극대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 자연석에 의한 하안부 및 하상부 보호 기능</li> <li>· 자연석을 메쌓기하여 틈이 많아 어류나 수생곤충의 훌륭한 생식장 및 피난처 제공</li> <li>· 자연석 쌓기 틈새에 식생이 가능하여 자연경관 보전 창출 가능</li> <li>· 접근 및 친수성 양호</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 급류부에 적용할 경우 수류에 전도 유실될 위험 있음</li> <li>· 곡선구간에는 정밀시공 요구</li> <li>· 재료구득 곤란 및 또 다른 환경파괴</li> <li>· 일반 석축보다 공사비가 다소 고가</li> <li>· 홍수 및 동절기 시공불가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 재료구득 곤란 및 또 다른 환경파괴</li> <li>· 품질 관리 및 공정관리의 어려움</li> </ul>
생태적 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 어류, 수생 곤충 서식양호</li> <li>· 식생 양호</li> <li>· 호안경사 1 : 0.5이상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 어류, 수생곤충 서식양호</li> <li>· 식생에 양호</li> <li>· 호안경사 1 : 0.5이상</li> </ul>
단가	· 140,000원/m <sup>2</sup>	· 270,000원/m <sup>2</sup>

구 분	(3) 식생 깎돌호안	(4) 식생 블록호안
개 념 도		
시 공 사례		
장 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 돌쌓기틈새의 수초식재에 의한 유수의 수층 및 침식으로부터 호안 보호가능</li> <li>· 깎돌 돌쌓기로 사면 보호</li> <li>· 깎돌 틈새의 식생에 의한 자연경관 보전가능</li> <li>· 호안 급경사에 적용가능</li> <li>· 재료 구득이 용이한 지역은 공사비 저렴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 재료구득이 양호</li> <li>· 상하 좌우 맞물림고조로 배면 토압 및 수류에 안정적</li> <li>· 수면이하의 공간은 어소기능을 겸함</li> <li>· 하천공간 확보가 용이함</li> <li>· 공사기간 단축가능</li> <li>· 세굴 및 침식에 강함</li> <li>· 급류부 및 수층부 안정성이 큼</li> </ul>
단 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 연약지반 설치시 기초 및 시공이 어렵다.</li> <li>· 우수침투에 대한 배면토사 유출 우려</li> <li>· 타 공법에 비해 시공이 복잡</li> <li>· 공기가 길고 공사비가 고가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시공사례가 빈약함</li> <li>· 블록 중량이 350kg으로 설치시 굴삭기 등 장비를 이용하여 시공 하여야 함</li> <li>· 블록 사이 공간에 돌과 토석을 채우고 야생초를 식재하는 공종이 추가 됨</li> </ul>
생 태적 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 어류, 수생 곤충 서식 보통</li> <li>· 식생 양호</li> <li>· 호안경사 1 : 0.3 이상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 어류, 수생곤충 서식양호</li> <li>· 수초 등을 식재하여 양서류 등의 이동 통로가 있어 생태계 차단을 막을 수 있음</li> <li>· 호안경사 1 : 0.5이상</li> </ul>
단 가	· 100,000원/m <sup>2</sup>	· 120,000원/m <sup>2</sup>

#### 다. 재료별 시공기법 제시

생태호안 개발의 기본 방향은 계상 및 호안은 상류에서 발생한 홍수를 하류로 소통시키기 위한 치수목적으로 조성된 구조물로서, 산지야계에서 유발될 수 있는 자연재해에 대비해야 하므로 치수에 대한 안정성을 최우선적으로 검토해야 한 후 세굴 및 유실에 안정한 친환경적 돌(자연석, 전석), 콘크리트 블록이나 목재와 흙과 같은 자연재료를 이용한 공법을 선정하였다. 제내지의 제방 시설을 보호할 수 있게 안정성과 내구성이 보장된 형태와 재질로 구성되어야 한다. 평면적으로는 기존의 법선형태를 유지하며, 진입계단을 설치하는 곳에는 제방의 안정성과 침식에도 안정한 재료를 선택하고, 종단적으로는 제방형태의 연속성을 유지도록 하였다. 특히, 호안의 사면에는 토양층과 이를 기반으로 발생하는 초본식생을 유도하여 녹화가 자연적으로 형성되도록 하였다.

자연 친화적 야계사방 공법 중에는 일시적 보호(특별히 하안에 식재한 후의 초기 단계 보호)를 위해 대상하천의 자연 특성에 맞지 않는 재료를 적용하는 경우도 있다. 이 경우 주의하여야 할 점은 공법이 정착하는 기간 동안 하천에 미치는 영향을 극소화하고, 공법이 정착한 후에는 거의 소멸될 수 있는 재료를 사용하는 것이 바람직하다.

본 지역에서 시험적으로 적용한 야계사방 호안기법은 야계 및 호안특성에 따라 제시된 모델을 중심으로 시공기법 및 문제점을 정리하면 다음과 같다.

##### 1) 식생전석 및 자연석 식생호안(Riprap)

전석은 야계사방 사업이 수행되는 근처 채석장의 파쇄석을 이용한다. 이러한 전석을 이용한 전석호안은 널리 이용되고 있는 기법이지만, 식생을 전석과 전석 사이의 틈새에 유도하여 자연친화적으로 시공한 사례가 아직 없다. 전석호안은 다양한 형태의 호안에서 다음과 같은 일반적인 장점을 가지고 있다.

- 상대적으로 설치용이
- 자체적으로 수정되는 적응성
- 유지·보수 용이
- 내구성 우수
- 비교적 환경에 적합한 형태

전석호안은 내구성이 강한 석재를 이용하므로 대상지역의 유수력을 고려하여 크기 (일반적으로 1m정도)를 결정한다. 또한 전석호안에 사용되어지는 석재는 대략 30 - 300 kg정도의 중량을 가진다. 이러한 전석호안의 안정성은 석재의 크기나 중량 또는 형태, 분급(gradation)에 의해 좌우된다. 가장 안정한 형태는 정육면체에 가까운 형태이고 판형태의 석재는 피하도록 한다. 따라서 석재의 최대길이와 최소길이의 비는 1:3-4보다 작은 형태의 석재를 사용하도록 한다. 제방보호를 위해 사용되는 전석의 70%정도는 길이비가 1:2.5보다 작아야 하고, 80%정도는 1:3.0보다 작으며, 전체 전석에 대해서는 1:3.5보다 작아야 한다(Hemphill과 Bramley, 1989). 또한 전석호안의 단위 중량과 압축강도는 2.0 ton/m<sup>3</sup>과 40 MPa보다 큰 재료를 사용하도록 한다.

수면 아래 전석을 위치시킬 때에는 다양한 중장비(덤프트럭, 크레인 등)를 이용한다. 또한 흐르고 있는 하천 수중에 전석을 위치시킬 때는 위치시키고자 하는 장소에서부터 거리 L(m) 만큼 간격을 주어 위치시킨다. 전석시공 시에 하류로부터 간격 L(M)을 두는 이유는 완전히 맞물려 저항력을 발휘하기 전 단계에 있는 전석은 흐름의 영향으로 하류로 쓸려 내려가기 때문이다.

$$L = 0.25hVD^{0.5}(m)$$

여기서 h(m)는 평균 수심, V(m/s)는 평균유속, 그리고 D(m)는 포설한 전석의 평균 직경이다.

특히, 전석 수중포설시 주의사항으로는 가능한 전석의 최종위치에 근접할 수 있도록 포설하여 전석이 분리되지 않고 유수에 저항력을 가지게 하여야 한다. 전석의 날카로운 모서리부분과 각진 형상은 지오텍스타일에 손상을 줄 수 있다. 따라서 지오텍스타일 시공에는 국부적인 응력에 견딜 수 있는 지오텍스타일을 사용하거나, 보호막이나 완충역할을 할 수 있는 작은 석재를 이용하여 처리한다. 하폭이 좁은 하천에서 전석호안을 시공하게 되면 단면적 축소로 인해 심각한 문제를 야기할 수 있다. 따라서 전석호안을 적용할 때는 대상 산지야계의 통수능을 고려하여 시공한다.

### 2) 식생 깎돌 호안 공법

깎돌 쌓기 공법은 제방보호를 위해 사용되는 전통적인 기법이다. 산지야계에서는 일반적으로 1~1.5m 정도 높이를 유지하여 조성한다. 본 기법에 사용되는 재료는 입방체 형태를 가진 석재를 이용한다. 석재의 크기는 대략 30cm를 사용한다. 깎돌 쌓기의 시공 순서는 우선 가장 하단의 가로줄부터 석재를 위치시킨 다음 그 윗줄의 석재를 전 단계의 석재와 연결하여 고정한다. 흐름이 빠르거나( $V > 3\text{m/s}$ ) 파(wave)의 영향이 있는 지점에는 석재사이를 단단하게 고정시켜 주어야 한다. 마지막으로 석재를 모두 위치시킨 후에는 석재 사이의 공극을 잡석 등을 이용하여 채워주어야 한다.

깎돌 쌓기 공법은 유수력이 강하게 발생될 우려가 있는 지점의 제방보호나 제방의 일부분으로 적용된다. 또한 깎돌 쌓기 공법의 안정성을 확보하기 위해서는 적절한 하단부의 보호공법이 필요하며, 완공된 후에도 지속적인 유지·보수(석재의 위치변동이나 유실 등)를 실시하여 호안이 급격히 무너지는 현상을 사전에 예방하여야 한다.

### 3) 식생블록 호안

자연 친화적인 야계사방 공사를 시공하는 경우 블록 사이에 식재를 하여 동식물의 서식과 세굴을 방지함으로써 호안, 인공호수, 법면 등 생태공간 조성을 할 수 있다. 시공할 비탈면 또는 법면은 부식, 유해물질 등을 제거하고 평탄하게 시공될 수 있도록 면을 고르고 부직포는 블록 시공전 법면에 깔아주고 그 이음부는 20cm 이상 유지하도록 한다. 밀립 또는 세굴을 고려하여 1~1.5m 정도 지중시공 또는 기초콘크리트를 타설하고, 유속, 법면경사를 고려하여 시공한다. 블록은 횡으로 1단씩 차례로 설치하는데 이 때 블록의 반 정도가 지반에 묻혀지도록 설치하며, 블록간 이탈이 없고 전체가 일체가 되도록 체결구(샤클체인)로 견고하게 결속한다. 체결부분 공극처리 는 식생토 또는 몰탈마감으로 시행한다.

블록 자체의 형태가 식물이나 자연석을 넣을 수 있는 형태로 하천호안, 법면 등에 다양하게 활용되며 시공 후 자연친화적인 경관을 연출한다. 블록은 체결구와 채움몰탈에 의해 사방으로 상호 연결함으로써 구조적으로 안전하다. 블록 내부는 식재 외에 돌을 채워 배수기능을 높이고 다공질 구조를 형성하여 생물의 서식처 제공과 사면의 세굴방지를 기할 수 있다. 황폐계류의 호안 등 구조적 안전성을 확보한 생태공간 조성에 활용될 수 있다. 자연친화적 생태호안 모델은 다양성이 높은 하천생태계를 유지하면서 아름다운 하천경관의 보전 및 창출이 가능하여 지역주민들에게 친숙



해질 수공간의 창출이 가능하다. 특히, 단순한 콘크리트 블록 호안에 의한 하천정비로서는 얻을 수 없는 지역의 풍토에 적합한 아름다운 하천경관을 만드는 것이 가능하다. 식생전석 호안, 식생자연석 호안, 식생갯돌 호안 및 식생블록 호안은 계상정리 및 기초 등은 가급적 수면 하에 설치 하는 등 인간의 손이 부가한 것을 보이지 않도록 함으로써 자연 경관에 근접하여 인위적인 요소를 크게 억제할 수 있다. 따라서 식생이 정착하고 환경이 안정됨에 따라 다른 많은 종류의 식생이 자연발생 가능하게 되며, 생물에 의한 서식환경을 창출하게 된다.

자연친화적 야계사방사업은 홍수량의 감소, 유수의 외력이 한군데로 집중되지 않도록 공사를 계획 및 실시하므로 홍수의 외력을 분산 및 경감시키는 구역을 확대시켜 주므로 치수상 안전성을 확보한다고 할 수 있다. 수충부 등 홍수시 외력을 받기 쉬운 장소에 대해서는 전석, 자연석, 갯돌 및 콘크리트 블록 등의 재료로 법면을 견고하게 하며, 수충부에서의 침식을 방지하므로써 재해복구사업에 있어서도 종전의 생물의 양호한 서식환경과 자연경관의 보전 및 재창출이 기대된다.

수변은 유역과 수역 등 각각의 특징을 동시에 가지는 환경이며, 다양한 하천생태계의 잠재적인 서식환경이 되고 있어 하천생태계상 여러가지 효과가 기대된다. 회귀종의 서식 및 서식처, 산란 등 중요한 서식환경을 특별히 배려하여 공사를 하므로 하천생태계상 양호한 환경의 창출이 가능하다. 하천의 여울 및 소, 하상재료, 수변의 식생 등의 하천생태계를 배려하고 다양한 생물군이 서식가능 할 수 있다. 홍수에 의존해서 생활하고 있는 생물군의 존재도 이에 포함되어 고려되므로 생물의 다양성이 확보된다. 또한, 자연친화적 야계사방 사업이 창출된 수변공간에 대한 적극적인 활용 및 보전활동은 지자체 및 지역주민이 중심이 되어 행할 수 있어 유지관리가 매우 용이하다.

#### 라. 야계사방 공작물 계획 및 시공 매뉴얼

본 연구에서 우선 야계사방 사업에서 시공되고 있는 일반적인 공작물에 대한 자연친화적 야계사방 사업의 계획 및 유의사항을 검토하였으며, 그 내용은 아래와 같다.

##### 1) 기슭막이(護岸工, Revetment)

황폐계천에서 유수에 의한 계안의 횡침식을 방지하고 산각의 안정을 도모하기 위하여 유로의 만곡에 의하여 물의 충격을 받는 수충부(水衝部)나 凹岸 또는 붕괴위험성이 있는 수로변을 따라 축설하는 계천 사방공종으로서 사용재료에 따라서 돌, 콘크리트, 콘크리트 블록, 돌망태, 바자, 페타이어, 통나무 기슭막이 등이 있다.

##### ■ 시공요령

- 침식이 심하고 유수의 충돌이 심한 곳에서는 돌, 콘크리트 블록기슭막이를 채택한다.
- 충분히 바닥파기를 하는 것이 원칙이나 바닥막이의 하부천단보다 다소 낮게 축설하는 것이 안전하며 비탈은 1 : 0.3~0.5로 한다.
- 계폭이 비교적 넓고 계안(溪岸)비탈이 완하여 유수가 적고 水位가 낮게 흐르는 개소는 1 : 1.0~1.5 정도의 비탈로 돌붙임기슭막이를 시공한다.
- 모래나 자갈 유출이 적은 소계류에서는 바자기슭막이를 산복공사 바자얹기에 준하여 시공한다.
- 기슭막이 기초부의 세굴을 피하여야 하며, 기슭막이 반대편의 계안에 새로운 세굴이 발생하지 않도록 주의해야 한다.
- 기슭막이 독마루 두께는 0.3~0.5m, 독마루 기울기는 원칙적으로 계획계상기울기에 일치하도록 한다.
- 기슭막이 높이는 계획홍수위(계획고수위) 이상으로하여 홍수시에도 넘치지 않도록 해야 한다. 일반적으로 계획홍수위보다 0.5~0.7m 높게하며 계류 완곡부에서 凹안은 凸안에 비하여 수위가 상승하므로 높이를 더 높게 시공한다. 사방댐, 골막이 및 바닥막이의 상류에 계획하는 기슭막이 공작물의 마루(천단)는 댐, 골막이 및 바닥막이의 양 안쪽마루와 같은 높이로 하거나 또는 그 이상의 높이로 설정해야 하며 특히 계획기울기에 따라 상류부를 높게 해야 한다.
- 보호하는 구간의 전 길이에 적합하게 충분한 길이를 가져야 하며 공작물 양 끝의 접속부는 계안의 독 속으로 끼워 들도록 시공한다.

- 기슭막이 뒷채움 자갈의 두께는 0.3m 정도를 표준으로 한다.
- 기슭막이 기초의 『밑넣기(根入)』 깊이는 계획계상기울기, 계상의 상황 등을 고려해서 세굴되지 않는 안전한 깊이로 하여야 하며 유수에 의해서 세굴의 위험성이 있는 곳에서는 밑막이(根固工), 바닥막이(保床工), 수제(水制工) 등을 축설하여 피해를 방지하도록 하여야 한다.
- 밑막이는 현지의 상황에 따라서捨石, 콘크리트, 콘크리트 블록, 沈床 등 가장 적당한 것을 채용하여야 하며 기슭막이 기초지반이 연약한 경우에는, 그 상황에 따라서 말뚝박기공사 등으로 기초처리계획을 세워야 한다.
- 돌 기슭막이(Stone revetment) 축설시 돌쌓기의 기울기는 찰쌓기인 경우 1:0.3, 메쌓기의 경우는 1:0.5를 표준하며 메쌓기를 할 경우에는 돌쌓기한 틈으로 토사가 새어나오므로 충분한 뒷채움을 해야 한다.

■ 평면계획

- 기존의 법선은 가능한 직선화하지 않고, 자연적인 형태를 유지한다.
- 야계사방사업이 필요한 곳에는 원래하천의 연장과 비슷한 연장이 되도록 평면하도 계획을 수립한다.

■ 횡단계획

- 제방 천정부는 가급적 도로 등을 배제하고 경관 확보가 가능하도록 산책로나 관리용 도로로 국한하도록 한다.
- 제내지 법면 혹은 제방 어깨부분에서 제방의 형태와 식재의 특성을 고려하여 식재도 검토한다.

■ 종단계획

- 저수로의 하상변화에 충분히 대응할 수 있는 저수로 호안 및 비탈면축공 계획을 수립 한다.

2) 바닥막이 및 대공

바닥막이 및 대공은 종단경사를 완하하여 흐름을 제어하고, 하상세굴을 방지하기 위해 설치되는 야계 횡단 시설물이다. 횡단공작물인 바닥막이 및 대공은 상류 및 하류의 연속성을 단절함으로써 어류의 이동을 저해하게 된다. 따라서 이러한 공작물은 하천 주변을 포함한 하천경관이나 하천생태계의 서식환경 및 어류의 이동을 배려하여 시설물을 배치하고 적절한 구조와 재질을 선택하는 것이 중요하다.

■ 평면계획

- 하천횡단시설물인 바닥막이나 대공은 가급적 횡단시설물 전체가 어도화 되도록 계획하는 것이 바람직하다.
- 횡단 전체 어도의 설치가 곤란한 경우에 있어서도 낙차식 등 적절한 어도의 배치 및 구조를 계획한다.

■ 횡단계획

- 갈수시에도 일정유량이 유지되도록 설계하며 어류의 이동이 가능하도록 한다.

■ 종단계획

- 웅덩이(소 : 沼)의 조성이 가능하도록 하고, 갈수시에도 어류가 피난할 수 있는 수심이 확보되도록 계획한다.

3) 수제

수제의 설치 목적은 제방으로 향하는 유로의 방향을 하천중심부 방향으로 제어함으로써 제방의 국부적인 세굴을 방지하는데 있다. 그러나 최근 수제는 이와 같은 치수기능 외에 하천생태계에 유리한 유로의 사행 및 여울과 웅덩이의 조성이 가능하다. 최근 우리나라 야계사방 사업에 있어 수제를 도입하여 하도계획을 수립한 사례는 거의 전무한 실정이다. 앞으로 수제를 통한 하도의 다양한 변화를 유도하는 것이 필요하다.

■ 평면계획

- 제방세굴 방지 목적 외에 유로를 사행시켜 다양한 하도환경을 창출할 수 있도록 수제의 배치계획을 세울 필요가 있다.

■ 횡단계획

- 평균하상고를 기준으로 하면서 하상의 수심이 횡단적으로 다양한 변화를 가지는 구조를 검토한다.

■ 종단계획

- 하상경사의 변화를 예측하여 수제의 설치 위치, 형태를 결정한다.
- 하천생태계에 유리한 여울, 웅덩이의 형성을 위한 수제라면 홍수유출시 퇴사가 되지 않도록 계획한다.

#### 마. 설치에 따른 문제점 및 고려사항

물을 포함한 산지야계는 생태계를 보전하고 아름다운 풍경을 창출하며, 친수환경을 조성하는 등 다양한 매력을 갖고 있다. 그러나 막상 우리나라의 야계는 이와 같은 매력을 창출하기 위한 야계사방 기법들을 적용하기 위하여 여러 가지 사방기술을 사전에 충분한 검토를 거쳐야 하며, 불량한 공사를 시행하다 보면 홍수시 재해를 자초할 지도 모른다. 야계사방 사업에 따른 여러 가지 기술적 및 행정·관리적인 측면에서 문제점을 분석해 보면 다음과 같다.

##### 1) 기술적인 측면

###### 가) 식생호안 기술 개발

방재적 측면의 야계사방 사업을 위해서는 저수로의 역할이 무엇보다도 중요하지만, 하천공학적 관점보다는 조경이나 경관 공원에 치우쳐서 야계사방을 하는 경우도 많다. 저수로의 호안공법에 사용된 자연석 쌓기는 수리학적으로 안정적이며 식생과 어류보전에도 도움이 된다. 앞으로 식생마대, 나무다발, 식생매트, 식생옹벽 등 다양한 재료를 치수방재적인 측면에서 분석하여 활용한다면 돌이 갖고 있는 차가운 느낌과 흙이나 나무가 지니고 있는 부드러운 느낌의 조화가 적극적으로 반영될 수 있을 것으로 생각되며 지금과 같은 계류의 단조로움도 상당부분 극복할 수 있을 것이다.

###### 나) 야계사방 평가를 통한 종합적인 기준제시 및 모니터링 실시

야계사방 사업후의 성과를 정확히 분석하고 그 목표를 달성하였는가에 대한 평가가 국내에서는 미흡한 실정이다. 방재적 안전도와 하천 생태계간의 영향평가가 없으며, 시공후 홍수시 거동조사도 미비한 실정이다. 하천을 평가하는 기준은 하천형태, 하천수질 및 하천생태계 등의 종합적이고도 세부적인 기준으로 사방계획을 수립, 실시하여야 한다.

###### 다) 야계사방 기법의 개발

야계사방 계획에서 생태계 보존에 대한 조사와 계획이 매우 형식적 차원에 머무르며, 심지어 전무한 정도 많이 있다. 과거 사방사업을 실시하는데 생태계에 대한 고려의 필요성이 적었던 것이 지금까지 관행적으로 이어져 온 것도 한 원인이다. 또한 야계사방 사업은 하상굴착 및 호안의 불투수 처리 등을 수반하고 기존의 하천내 자

연식생 제거 등으로 자연생태계를 제거하고 인공화하는 사업도 많았었다. 또한 야계 사방 사업시 생태계나 경관과 같은 환경기능을 증진시킬 수 있는 사방기법을 개발하여 적극적으로 보급할 수 있는 체제의 정비가 필요하다.

## 2) 행정 · 관리적인 측면

### 가) 정부차원의 적극적인 지원

야계사방 공법은 초기단계이며, 자연성 회복에 대한 검증이 이루어진 상태가 아니기 때문에 지속적인 연구가 필요하다. 더구나 외국의 하천과 우리나라의 야계의 특성이 큰 차이가 있어 외국의 하천환경 공법을 직접 사용하기에는 어려움이 따른다. 야계사방 공법 시행에 있어서 방재적 측면, 생태적 측면, 환경적 측면 등에서 문제가 발생할 것이 예상되므로 시행착오를 최소화하기 위해 정부에서는 하천환경 공법의 연구에 대하여 적극적인 지원이 필요하다.

### 나) 관련 부처간 업무협조 부족

하천관리에는 여러 행정부처가 관련되어 있다. 하천관리 전반에 대해서는 건설교통부, 수질관리에는 환경부, 방재업무와 소하천관리는 행정자치부가 담당하고 있으며, 건설교통부는 홍수관리 및 수자원관리, 하천 정비 및 관리, 환경부는 하천생태계 보전, 수질관리, 상수도관리, 하천정화사업 등, 행정자치부는 소하천정비, 방재계획 등의 업무와 조사사업을 수행하고 있으며, 산림청은 사방사업법에 의하여 산지야계에 대하여 사방사업을 독자적으로 수행하고 있다. 이들의 사업은 독자적으로 수행되기 때문에 중복 문제와 일관성 문제가 제기된다. 치수, 이수, 친수를 종합적으로 조정하여 하천을 그 기능별로 구분하여 업무를 담당하더라도 관련부처와는 긴밀히 협조한다면 예산의 절약, 관리의 효율성, 계획의 일관성을 기할 수 있을 것이다.

### 다) 단기적인 성과주의

지금까지 야계사방 사업은 홍수의 위협에 대처하기 위한 것으로 단시간 내에 사업을 수행하여 왔으며, 그 사업의 결과를 제시해야만 했다. 이러한 사업은 치수위주의 하천정비에서는 그 타당성을 인정받을 수 있다. 그러나 아직까지 그 구조를 완벽하게 파악할 수 없는 생태계 등 하천의 환경기능을 증진하기 위해서는 면밀한 기초조

사와 관련 전문가와 협력하여 종합적으로 계획하여야 한다. 이와 같은 사업은 과거와 같이 당장 눈에 띄지 않지만 동식물 서식처로서의 기능과 수변경관 등 하천의 환경기능을 증진하기 위해서 요구되는 일이다. 따라서 야계사방 사업은 장기적 계획하에 기초조사를 충분히 실시한 후 하천환경에 미치는 영향을 최소화 할 수 있는 방안을 강구하여야 한다.

라) 지속적인 자료 구축

야계사방 공법의 수리적인 안정성 검토는 자연재료의 물성, 하천의 수리 · 수문학적 특성, 유사특성과 이들의 상호관계 등에 대한 분석이 요구되며, 이에 선행하여 분석에 이용되는 장기간의 충분한 수리, 수문, 수질 생태계 등에 관한 자료가 구축되어 있어야 한다.

### 3. 생태호안의 호안녹화 및 기능평가

#### 가. 야계 호안녹화기법 제시

생태호안 조성의 목적은 제내지(제방 바깥) 제반시설 보호를 위한 치수적 안정성을 확보하면서 수목 및 야생 초화류의 부분적 도입을 통한 녹지 회랑기능의 회복에 있다. 또한, 하도내 접근을 위한 진입계단 및 보행 동선과의 자연스러운 연계를 도모한다.

생태호안조성의 기본 방향은 우선 상류에서 발생한 홍수를 하류로 소통시키기 위한 치수목적으로 조성된 구조물로서, 황폐계류에서 유발될 수 있는 세굴 및 유실 등 자연재해에 대비해야 하므로 치수에 대하여 안정한 재료와 공법을 최우선적으로 선정해야 한다. 이는 제내지의 제반 시설을 보호할 수 있게 안정성과 내구성이 보장된 형태와 재질로 구성되어야 한다. 평면적으로는 기존의 범선형태를 유지하며, 진입계단을 설치하는 곳에는 제방의 안정성을 유지하면서 유실에도 안정한 재료와 공법을 채택한다. 종단적으로는 호안형태의 연속성을 유지한다. 호안의 사면에 형성되는 토양층과 이를 기반으로 발생하는 초본식생은 예초관리하지 않고 가급적 그대로 두어 녹화가 자연적으로 형성되도록 한다.

#### 1) 호안의 녹화계획

식생녹화 측면에서 황폐계류 호안의 물리적 환경은 식생의 형성기반과 사면의 안정으로 구분할 수 있다. 식생의 형성은 호안의 안정조건에 영향을 주며 호안에 식생이 형성되기 위해서는 생육기반의 안정이 전제 조건이다. 생육기반은 식물체의 근계가 신장하는 범위를 나타내고, 특히 토양입자와 관련해서는 표층토가 식물생육의 기반이 된다. 생육기반의 안정성은 사면붕괴와 침식으로 나누어 살펴볼 수 있다.

사면붕괴는 식물생육의 기반인 표층토가 붕괴되므로 문제가 된다. 생육기반의 하부에 우수의 급격한 침투로 지하수위가 표층토에서 발생하여 사면이 붕괴된다. 유수가 충돌하는 수층부는 함수비의 증가나 간극수압의 발생에 의해 전단저항력이 저하하여 표층토가 포락현상으로 붕괴되기도 한다. 또한 계류 내 유수의 이동으로 세굴 및 바닥침식 등으로 넓고 길게 패여서 토양 입자가 유실되거나 양쪽 호안의 표층토도 침식되면서 식생형성의 제한 요인이 된다. 중력에 의하여 미끄러지는 힘이 발생



하면 사면의 내부에 전단응력이 발생하고 이것이 전단저항력을 초과하면 슬라이딩이 발생한다.

식생은 토양을 발달시켜 침투능을 증가시키므로 토양층의 수분수지에 영향을 미치고 간극수압이 발생하기도 한다. 식생형성과 사면 안정에 대해서는 표 14를 참고할 수 있다.

표 14. 식생형성과 사면안정

안정성	침식방지효과	식피율이 높은 초본류 식생
	말뚝 효과	심근성 목본류 식재
	그물 효과	근계가 발달한 초본식생
불안정성	토양 침투성 증대	식물생육에 의한 토양발달
	하중의 증대	큰 교목 군락 형성

황폐계류의 호안에는 목본류의 빈도는 낮으며, 초본식물 위주로 덮여있다. 호안의 식물상은 인위적인 교란의 정도에 따라 달라진다. 제초작업 등 교란의 빈도가 낮은 자연 상태에 가까울 경우에는 다년생 숙근초(宿根草)인 참억새, 쭉, 달맞이꽃 등이 우점한다. 한편 교란의 정도가 높은 호안에는 제초작업과 태우기 등의 교란에 내성이 강한 생활형을 가진 식물들이 주로 분포한다. 호안의 식물상은 계절별로 달리 나타난다. 봄철에는 쇠뜨기, 팽이밥 등 1년생 초본류가 우세하다. 한편 여름에서 가을철에는 띠, 참억새, 쭉 등 다년생 초본류의 빈도가 높아진다. 호안에 형성되는 식물군락은 초기에 조성된 식물종, 인접 주변의 식물군락, 제방축조 후의 경과년수에 많은 영향을 받게 된다.

주기적인 관리를 하는 중 하류구간의 호안 식생은 보통 연 1~3회 정도의 제초작업이 행하여진다. 제초 빈도 1회에 대응하는 식생으로는 참억새형, 연 2~3회 빈도에는 띠형, 연 3~4회 빈도에는 잔디형의 단경 초본류가 형성된다. 띠형 초본류 군락은 쇠뜨기, 명아주, 쭉을 포함한다.

관리를 하지 않고 그대로 놔두는 야계사방 사업지의 경우, 초기에는 물억새, 참억새, 달뿌리풀 등의 고경 초본과 덩굴 식물이 우점하고, 장기적으로 가면 초본 식물군락에서 목본식물로 천이하면서 갯버들, 싸리류, 포플러, 가중나무, 오리나무 등의 유목이 후속적으로 발생한다.

## 2) 호안의 녹화공법

호안의 녹화공법에 이용되는 식물의 도입 시에는 식물종의 선정이 우선적으로 이루어져야 한다. 식물종 선정시 일반적 고려사항은 물리적 환경조건으로 토양심도, 토양 비옥도, 호안사면의 경사 등이다. 그러나 녹화의 목적에 따라서 고려사항이 달라진다. 종의 적절한 선정은 식생피복의 지속성을 보장해 주고 유지관리를 용이하게 한다.

야생초본류의 종자는 상품화되어 시판되고 있지 않다. 따라서 시공하는 지역에 인접한 초지에서 직접 종자를 채취하는 것이 바람직하다. 이는 특정지역의 환경적 특성을 살리기 위한 방편이기도 하다. 한편 채종 시기가 극히 한정되어 있고 식물종에 따라 결실시기가 다르므로 세심한 채종계획이 마련되어야 한다. 더욱이 다량의 종자가 필요한 대규모 시공에는 본격적인 채종에 앞서 채종지와 채종시기 등의 확인이 필요하기 때문에 적어도 시공 2년 전에 도입하는 초본류의 종을 결정하는 것이 바람직하다. 그리고 발아특성, 파종방법, 파종효과 등이 밝혀져 있는 식물종류는 한정되어 있기 때문에 사전에 발아시험과 같은 기초자료를 수집하고 도입 식물종의 선정, 종자의 수량을 결정한다. 바람직한 종의 생육을 저해하는 밀생종은 가급적 피한다. 초장이 짧거나 생육형이 직립형인 식물은 다소 많게, 초장이 길거나 생육형이 총생형(叢生型), 로제트 형의 것은 조금 적게 하는 것이 좋다. 식물종에 따른 식재밀도는 다음 표 15와 같다. 실시설계와 실제 적응단계에 있어서는 식물종과 파종량, 식재밀도에 있어 다소간의 융통성이 요구된다.

표 15. 식물종에 따른 식재밀도

식재밀도	야생 초본류
고밀도 식재가 가능한 종 (5포기/m <sup>2</sup> 정도)	수크령, 솔새
중밀도 식재가 바람직한 종 (1-3포기/m <sup>2</sup> 정도)	띠, 용담, 솔패랭이, 이질풀
저밀도 식재가 바람직한 종 (0.3포기/m <sup>2</sup> 정도)	달뿌리풀, 참억새, 참나리, 마타리, 잔디 오이풀

표 16. 호안 녹화를 위한 파종공법과 식재공법의 비교

구 분	파 종 공 법	식 재 공 법
특 징	균일한 초지피복이 가능하다 경제적인 공법이다	활착율이 높다. 초기단계에서 조기 녹화 가능
식재적기	3월~6월	3월~6월
시 비	불필요	불필요
초기관리	발아단계에서 생육을 시작할 때 충분한 관수필요 2년차부터 제초작업	근경부가 활착할 때까지 충분한 관수 필요
초지경관 형성기간	2~3년	1~2년
주요공법	식생시트 공법 종자흠뿌림 공법	포기심기 공법 식생네트 공법

## 나. 생태호안 기능 평가

### 1) 생태호안의 기능 평가지표 개발

#### 가) 생태호안의 기능 평가 항목선정

황폐계류 내에서 효과적인 계류생태계의 복원을 위해서는 과거 수행해왔던 치수만을 위한 사방을 지양하고, 환경을 위한 치산·사방, 지역·유역 또는 공원 계곡의 생태계복원을 위한 치산·사방이 이루어져야 할 것이다. 따라서 산지 및 공원 계곡 내 치산·사방사업에 있어서는 장래 실시되는 치산·사방사업계획을 계류생태계복원사업계획으로 전환해야 할 필요가 있다. 즉, 하천계획도 이전에는 대부분이 홍수를 경감하거나 방지하기 위한 계획이었지만, 현재는 합리적인 물의 이용계획이나 하천환경보전계획을 포함한 하천의 종합관리계획으로 발전되고 있기 때문이며, 현대의 치산·사방사업도 계류 혹은 선상지와 연결되는 하천의 종합관리사업으로 간주해야 할 필요가 있다. 아울러 치산·사방사업계획은 계류생태계복원사업계획으로 적극적으로 전환하여야 하고, 그 부가적인 계획도 종래의 치산·사방사업계획을 계류환경보전계획이나 계류지역이용계획으로 발전시키는 계류생태계복원사업계획으로의 전환이 필요하다. 치산·사방사업 등 산지에서의 공사와 원생생태계의 보전이라는 문제를 모두 만족하게 하는 것은 어려운 문제이나 꾸준한 노력을 통하여 합의점을 찾을 필요가 있다. 방재적인 측면에서 치산·사방사업은 현재까지 그 기초적인 관점에서 지형, 지질, 수문, 수리, 토사수리, 토질역학, 구조역학, 조립, 산림생태 등에 대한 충분한 고려를 하지 않고 시행하였으나, 앞으로는 이들에 대한 충분한 고려를 통하여 사업을 수행할 필요가 있으며, 더욱이 계류생태계의 효과적인 복원을 위해서는 자연경관에 관한 충분한 검토를 통해 수행되어야 한다. 뿐만 아니라 계류생태계 복원을 위한 호안공법 등 치산·사방구조물의 최적 관리 전략 모델을 개발하여 적정하게 이용하여야 할 필요가 있다. 위와 같은 계류생태계의 효과적인 복원을 위해 실시되는 생태호안의 최적 관리전략을 수립하기 위해 생태호안의 기능평가가 필요하다. 생태호안의 기능평가항목의 선정은 합리적인 사방구조물의 이용관리와 계류의 종합적인 복원사업계획에 부합되는 각 부분들을 고려하여 항목을 선정하였다.

생태호안의 기능 평가는 표 17과 같이 구조적 안정성, 식생대 조성 효과, 경관개선, 생물서식처조성, 현장적용성, 경제성 등 총 6개 항목을 선정하였다.

구조적 안정성은 생태호안의 기능성중 호안구조물의 파손과 유실등에 대하여 평가한다. 식생대 조성 효과는 호안구조물이나 하상에 생육하고 있는 식물의 활착율을

기준으로 하여 피도를 조사한다. 경관개선은 시공전과 시공후의 사진촬영을 통해 심미적, 심리적인 경관의 개선효과를 평가한다. 생물서식처 조성은 생태호안의 중요한 기능중 하나인 자연스러운 수생물의 서식지 제공과 관련하여 항목으로 적용기준으로는 소생물의 관찰유무에 따라 평가한다. 현장적용성과 경제성은 생태호안의 시공시 문제점의 유무와 기존시공비의 비교 홍수피해저감효과를 비교하여 단기적 및 장기적인 측면을 고려하여 평가한다.

표 17. 생태호안의 기능 평가 항목과 평가기준

항목	평가내용	점수	평가기준	
구조적안정성	구조물의 파손, 유실 등	1	파손없음	
		2	1~2곳 파손	
		3	3~4곳 파손	
		4	5~6곳 파손	
		5	7곳 이상 파손	
식생대조성 효과	식생의 생육에 따른 피복율변화	1	피복율 90%이상	
		2	피복율 70~90%	
		3	피복율 30~70%	
		4	피복율 10~30%	
		5	피복율 10% 미만	
경관개선	분기별 촬영을 통해 시공전과 비교	1	매우 다양함	
		2	큼	
		3	적당함	
		4	경미함	
		5	없음	
생물서식처 조성	소생물관찰유무	1	7종이상	
		2	5종~6종	
		3	3종~4종	
		4	1종~2종	
		5	없음	
현장적용성	시공모니터링을 통한 시공시 문제점 유무	1	없음	
		2	1~2곳의 문제점발생	
		3	3~4곳의 문제점발생	
		4	5~6곳의 문제점발생	
		5	7곳 이상 문제점발생	
경제성	단기적 -기존시공비비교 장기적 -홍수피해저감 효과비교		단기적	장기적
		1	매우 경제적	매우 효과있음
		2	비교적	비교적
		3	경제적	효과있음
		4	약간 경제적	약간 효과있음
5	경제성없음	효과없음		

## 2) 생태호안의 기능평가 항목 조사

- 가) 구조적 안정성 - 생태호안의 구조적 안정성을 파악할 수 있는 항목으로서, 수로의 운동결과에 의하여 생성되는 수로의 굴곡이나, 유수의 진행정도를 나타내는 측방침식, 침식과 퇴적에 의한 복합적인 결과에 의하여 발생할 수 있는 생태호안 구조물의 파손과 유실을 평가한다.
- 나) 식생대조성효과 - 호안구조물에 조성되어 있는 식생대나 하상에 생육하고 있는 식물의 활착율과 그 피도에 따라 호안구조물의 식생대 조성효과를 파악하고자 하였다. 하상에 생육하는 식물의 경우 호안구조물에 삽입된 도입식물의 씨앗이 빗물이나 유수에 의해 하상으로 씻겨 내려가 하도내의 퇴적부분에서 생육할 수 있다.
- 다) 경관개선 - 시공전과 시공후의 사진촬영을 통해 생태호안 공법의 적용성을 경관적인 측면에서 파악하고자 하였다. 분기별 촬영을 통해 변화해가는 경관을 파악할 수 있으며 지속적인 모니터링이 가능하다.
- 라) 생물서식처 조성 - 생태하천은 특징적인 생물군집들이 생활하는 서식처들로 구성되어 있으므로 하천의 소생물권의 보전을 생각하는 경우 생물서식처 조성은 매우 중요하다. 생태호안이 적용된 구간에 서식하는 소생물을 관찰하여 평가하고자 한다.
- 마) 현장적용성 - 생태호안의 시공시 문제점의 유무에 따라 시공상의 모니터링에 따라 평가 한다. 생태호안이 적용될 구간에 시공상 문제점이 많이 발생할 경우 생태호안공법의 변경 및 설계 변경에 따른 막대한 비용이 소요되며, 또한 경관적인 측면, 생태적인 측면까지 고려해야 하는 경우가 발생하므로 생태호안의 시공시의 문제점에 따라 평가한다.
- 바) 경제성 - 기존시공비와의 비교와 홍수 피해저감 효과를 비교하여 생태호안의 단기적, 장기적인 경제성을 파악하고자 하였다.

생태호안의 구조적안정성, 현장적용성, 경제성을 파악하고 하천의 특성을 감안하여 지속적인 정비계획을 수립할 수 있다. 또한 식생대 조성효과, 경관개선, 생물서식처 조성 등을 판단하여 생태호안의 자연생태환경을 판단할 수 있다. 하천의 자연성 회복을 무시하고 인공적인 경관개선 위주로 정비하고 있고 자연성회복에 대한 검증도 거치지 않은 현재 상태에서 그 모습을 변경시키는 것은 하천의 원래기능을 회복시키는데 도움이 되지 않을 우려가 있다. 따라서 생태호안의 평가지표에 따라 이용성 판단한 후 재정비나 생태구조물을 도입하는 것이 바람직하다.

일반적으로 하천조사시의 한 구간 최대거리는 100m를 기준으로 하고 있으나, 생태호안의 경우 시공구간이 구조적안정성과 현장 적용성 등과 같이 구조성과 시공성을 포함시킴으로서 구간의 단위는 20m로 선정하였다. 이는 식생대 조성효과와 생물서식처의 조사에도 정확성을 기대할 수 있다.

생태호안의 기능 평가지표의 점수체계는 일본의 5등급 체제를 참고하여 평가등급을 가급적 축소하고, 간단 명료화하여 이해도를 높이고자 하였다. 따라서, 생태호안 기능평가에 대한 지표는 항목별 평가 기준에 따라 5점으로 구분하였으며 1점은 자연생태호안으로 생태적, 구조적, 경제적으로 안정되어진 생태호안이며, 2점은 자연상태를 유지하고 있으나 부분적인 제한요인이 있어 일반적인 생태호안으로 나타나며, 3점은 전반적으로 자연상태와 인공인 제한요인이 혼합된 상태의 생태호안이며, 생태호안의 구조성과 경제성, 경관성, 현장시공성에 많은 문제가 발생하는 생태호안과 매우 불안한 구조성과 경제성이 없는 생태호안의 경우 각각 4점과 5점을 부여 하였다.

생태호안의 기능평가의 산정방법은 다음과 같다.

- 1) 각 항목별로 지수의 단순평균을 계산하고
- 2) 총 6개의 항목을 다시 단순평균하여 총괄계산

$$(1) \text{항목지수} = \sum \frac{\text{지수}}{n} \quad (\text{단, } n = \text{조사구간수}) \quad \text{-----}<1>$$

$$(2) \text{총괄지수} = \sum \frac{\text{항목지수}}{6} \quad \text{-----}<2>$$

평가 등급의 분류범주는 최소치 1과 최대치 5범위에서 나누었으며 I등급은 1~1.8 II등급은 1.9~2.6, III등급은 2.7~3.4, IV등급은 3.5~4.2 V등급은 4.3~5로 하였다.

다. 평가계량화 지표 개발



1) 적응관리 방식에 의한 실험지역 모니터링

가) 식생전석 호안

전석은 야계사방 사업이 수행되는 근처 채석장의 파쇄석을 이용하며, 이러한 전석을 이용한 전석호안은 널리 이용되고 있는 기법이다. 전석호안은 다양한 형태의 호안에서 다음과 같은 일반적인 장점을 가지고 있다. 재료구입이 양호하며, 공사기간의 단축이 가능하고, 식생도입에 따른 생태복원 및 친환경적인 자연형 하천을 조성할 수 있다. 또한 계단형태로 시공이 가능하여 접근이 용이하고 자연적인 친수공간을 극대화 시킬 수 있다.



사진 3. 시공직후의 전석호안 (2006년 5월)

(1) 구조적 안정성

식생전석의 구조적 안정성은 내구성이 강한 석재의 이용과 대상지역의 유수력을 고려하여 크기(일반적으로 1m정도)가 결정되므로 구조적인 안정성은 매우 우수하여 파손이 발생되지 않았다. 식생전석의 안정성은 석재의 크기나 중량 또는 형태, 분급(gradation)에 의해 좌우되므로 대상지역의 전석호안에 사용되어진 석재는 대략 30 - 300kg정도의 중량을 가지고, 가장 안정한 형태인 정육면체에 가까운 형태로서 수로의 굴곡이나 유수의 진행정도에 의한 침식이나 퇴적에 안정되어 있다.



사진 4. 식생전석호안공법의 시기별 구조적 안정성

(좌상 : 시공직후, 우상 : 시공 1개월 후, 좌하 : 시공 3개월 후, 우하 : 시공 1년 후)

전석호안공법은 적용될 지역의 유수력을 고려하여 크기가 결정되므로 유수에 의해 발생될 수 있는 각종 침식과 퇴적에 의한 구조물의 안정성붕괴에 안정적이다. 사진 4에서 보듯이 유량의 증가와 감소에 의해 하상구조의 변화는 발생하였으나 전석호안의 구조적 안정성은 매우 안정화 되어 파손이 발생하지 않았다.

#### (2) 식생대 조성효과

지금까지 전석호안공법은 식생을 전석과 전석 사이의 틈새에 유도하여 자연친화적으로 시공한 사례가 아직 없었다. 식생전석호안공법은 사진 5에서 보는바와 같이 전석과 전석사이의 틈새에 식생이 생육할 수 있는 공간을 조성하여(좌상), 식생마대를 틈새에 넣어 식생을 자연적으로 유도 하였다(우상). 식생마대에 들어가는 토양은 주변의 산림토양을 사용하여 잠재종자의 발아로 주변식생이 자연스럽게 생육할수 있는 공간이 제공된다(좌하). 또한 식생마대에 부착되어 있는 종자의 조기 발아로 시공초기의 경관적인 측면 또한 고려하였다 (우하).



사진 5. 전석호안 틈새에 식생이 유도된 직후 모습



사진 6. 전석호안에 식생이 유도된 후 1달 후 모습



사진 7. 진석호안에 식생이 유도된 후 2달 후 모습



사진 8. 진석호안에 식생이 유도된 후 4달 후 모습



사진 9. 전석호안에 식생이 유도된 후 1년 후 모습

(3) 경관개선

사진 10은 전석호안이 적용된 구간의 시공직후 1개월후, 2개월후, 4개월후, 1년후의 경과 사진이다. 시공직후의 사진을 보면 유량이 부족하였으나 이후 시간이 경과할수록 자연스러운 하천유로형태를 보이고 있으며 주변 식생과 조화를 이루고 있다.

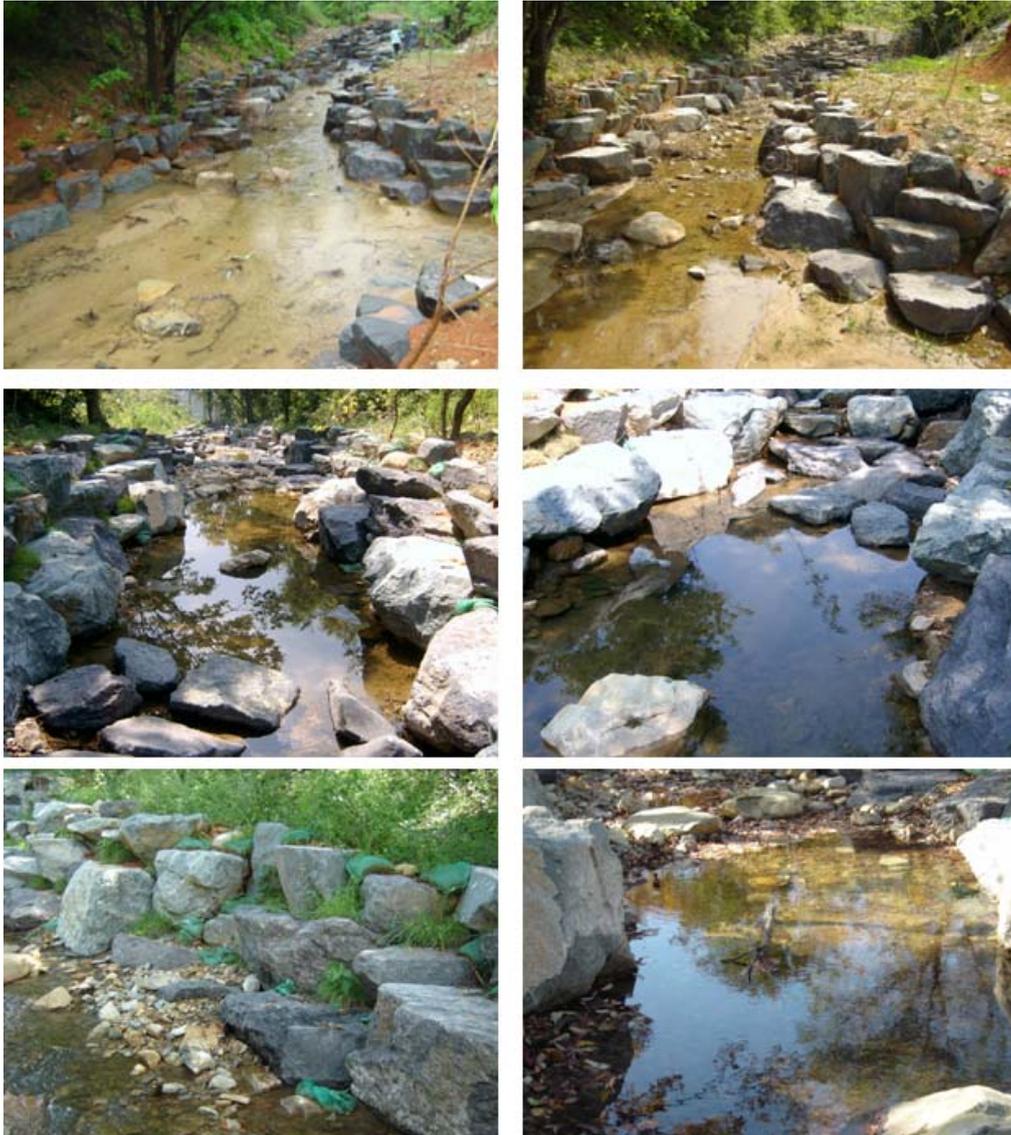


사진 10. 식생전석호안이 시공된 직후 부터 1년 후 모습

( 좌-우 상: 시공직후, 좌 중간 : 시공 1개월후 , 우 중간: 시공 2개월후 , 좌 하: 시공 4개월 후 , 우 하 : 시공 1년후)

#### (4) 생물서식처 조성

식생전석호안의 경우 생물서식처는 전석 틈새나 중간부분에 저류될수 있는 지역이다. 특히 하상의 중간에 전석을 둠으로서 소생물의 피난처와 서식처를 제공하며 유수의 흐름을 제어함과 동시에 물을 저류할 수 있는 형태를 가지고 있어 친수 공간을 극대화 시킬 수 있다.



사진 11. 식생전석호안공법에 의해 조성된 생물서식처

#### (5) 현장적용성

식생전석의 시공상의 문제점은 없었으며, 생태호안에 식생을 유도하기 위해 사용된 식생마대의 경우 전석 틈새의 경우 식생의 활착율은 우수 하였으나 전석의 상단부나 하단부의 경우 피해가 발생하였다. 상단부의 경우 식물이 생육할 수 있는 수분이 부족하여 식생의 발아에 문제가 발생하고 있으나 어류의 서식을 위한 그늘을 제공해 줄수 있으므로 가급적 주변경관과 조화될 수 있는 목본식물을 식재하는것이 좋을 것으로 생각된다. 전석 하단부의 식생마대는 홍수 시 유량의 증가로 인해 토양이 유실되는 경우가 발생하였다.



사진 12. 전석 상·하단부의 식생마대의 피해 모습

(6) 경제성

단기적으로 기존공법과의 단순 공사비의 비교는 다소 저렴하며, 식생의 도입과 접근성이 용이하고 친환경적인 하천을 조성할 수 있으며 친수공간이 극대화될 수 있어 경제성 또한 우수하게 나타났다. 단, 공사시기에 따라 식생전석호안공법의 적용가능성이 변하므로 주의 하여야 하겠다. 장기적으로 홍수의 피해저감 효과는 우수하였으며 좌우측 호안의 전석과 하천중간에 위치한 전석의 세굴은 발생하지 않았으며 보수가 필요 없었다.

나) 자연석 식생호안(Riprap)

자연석 또한 전석과 동일하게 야계사방 사업이 수행되는 근처 채석장의 파쇄석을 이용하며, 자연석에 의한 하안부와 하상부의 보호기능을 가지고 있으며, 자연석은 메쌓기 방법에 의해 어류나 수생곤충류의 생물서식처를 제공하며 자연석의 틈새에 식생을 도입할 수 있으며 접근성과 친수성이 양호하다. 시공직 후 하상재료는 토사로 이루어져있으며 수로 중간부분에 자연석을 두어 수생식물의 피난처를 제공해주었다.



사진 13. 시공직후의 자연석 식생호안 (2006년 5월)



(1) 구조적 안정성

자연석 식생호안의 구조적 안정성은 내구성이 강한 석재의 이용과 대상지역의 유수력을 고려하여 크기(일반적으로 1m정도)가 결정되므로 구조적인 안정성은 매우 우수하여 대부분 파손이 발생되지 않았으나 자연석 식생호안의 도입부분에서 자연석이 빠지는 현상이 발생하였다. 사진 17에서 보듯이 돌의 규격이 불량하여 메쌓기공사 후 우수에 의해 자연석의 좌우의 지지층이 약해져 틈새가 벌어져 자연석이 빠진 것으로 보인다. 이러한 문제점은 이후 재시공이 이루어져야 하며 돌의 크기가 중요하므로 규격자재를 사용하도록 주의해야 한다. 또한 하상 바닥의 시멘트보강 부분에 부분적이 세굴이 발생하였다. 하지만 수로 중간에 둔 자연석에 의해 유로의 변화가 자연스럽게 이루어져 자연하천과 같은 변화를 보여주고 있다.



사진 14. 자연석 식생호안공법의 시공 직·후 안정화된 모습



사진 15. 자연석 식생호안공법의 1~2개월 후 모습



사진 16. 자연석 식생호안공법의 4개월 후 구조적으로 안정된 구간 모습



사진 17. 자연석 식생호안공법의 구조물 파손(시공 4개월후)

자연석 식생호안공법은 시공시 돌의 규격, 자연석 간격에 유의해야 하며 현재 3군대의 파손부분이 발생하였다. 자연석 식생호안 공법의 앞부분에 바닥막이 형식의 자

연석을 설계하였으나 사진 16에서 보듯이 시공 4개월 후 유수에 의해 바닥막이 2개의 자연석이 수로중간부분으로 밀려 내려갔으며 자연석 식생호안의 하부에 토사의 퇴적이 이루어져 있어 자연적인 하도형성이 이루어지고 있다.

## (2) 식생대 조성효과

자연석 식생 호안의 식생대 조성은 자연석과 자연석 사이의 틈새에 식생을 유도하는 방법을 시행하였다. 전석 호안공법의 경우 식생마대를 사용하였으나 자연석식생 호안은 틈새가 적어 황마식생자루를 1/4로 잘라 토양과 함께 자연석 틈새에 넣어 식생의 생육환경을 조성하였다. 자연석 식생호안은 평소 하단부까지 유수가 흐르고 있으나 홍수 시 수위가 높아져 자연석 좌우측 벽면이 침수된다. 이때 유수가 자연석 생태호안의 틈새에 침투하게 되는데 황마식생자루를 틈새에 넣음으로써 피해를 최소화 할 수 있다. 자연석 생태호안은 사진 18에서 보는바와 같이 자연석과 자연석사이의 틈새에 식생이 생육할 수 있는 공간을 조성하여 틈새 크기에 맞게 잘라 만든 황마식생자루를 틈새에 넣어 식생을 자연적으로 유도 하였다. 토양은 전석호안에 사용한 주변의 산림토양을 사용하여 잠재종자의 발아로 주변식생이 자연스럽게 생육할 수 있게 하였다.



사진 18. 자연석 틈새에 황마식생자루를 설치한 모습



사진 19. 자연석 틈새의 황마색생자루 설치 4달 후 모습



사진 20. 자연석 틈새의 황마색생자루 설치 1년 후 모습

사진 19에서 자연석 틈새에 설치한 황마색생자루에서는 각 황마색생자루마다 생육이 이루어졌으나 자연석의 상단부의 음지쪽에서는 녹화가 잘 되고 있었으며, 하단부는 유수에 의해 생육이 극히 적었다. 사진 20과 같이 하단부에 퇴적층이 형성되면서 퇴적부분에 식생이 활착하여 생육하고 있다.

자연석 식생호안의 식생대조성 효과는 자연석 틈새의 식물의 생육은 극히 적었으며 1년 경과후 하상의 퇴적부에 식생이 유도되는 특징을 보였다.

### (3) 경관개선

자연석식생호안은 사진 21의 좌측 상단 사진에서 보듯이 하도상에 퇴적부분이 없이 인공적인 요소가 많이 보여지고 있으나 이후 시간이 경과함에 따라 침식과 퇴적 작용으로 변화가 매우 다양하였다. 이후 퇴적층에 식생이 유도되며 유수에 의해 밀려 내려간 자연석 또한 수생식물의 피난처 역할을 하게 되었다. 좌-우측 하단사진은 하도상에 퇴적이 이루어져 자연스러운 하천의 형태를 보이고 있다.



사진 21. 자연석 식생호안이 시공된 후부터 1년 후 모습

( 좌 상: 시공 1개월 후, 우 상 : 시공 2개월 후 , 우 중간: 시공 2개월 후 , 좌 하: 시공 4개월 후 , 우 하 : 시공 1년 후)

#### (4) 생물서식처 조성

자연석식생호안의 생물서식처는 자연석의 틈새나 중간부분에 저류 될 수 있는 지역이다. 사진 22와 같이 자연석에 의해 유수의 흐름이 약화되는 부분이 생물이 서식할수 있는 공간이 생겨 생물서식처를 조성하고 있다. 자연석 밑의 공간은 피난처 역할도 겸하고 있다.



사진 22. 자연석식생호안공법에 의해 조성된 생물서식처

#### (5) 현장적용성

자연석의 시공상의 문제점은 없었으나 유수에 의한 침식작용에 의해 사용된 돌의 규격 불량으로 자연석의 빠짐현상이 발생하였으며 하부의 받침대 역할을 하는 시멘트 부분의 세굴이 발생하는 피해가 발생하였다. 생태호안에 식생을 유도하기 위해 사용된 황마자루의 식생은 자연석 틈새의 모양이 일정하지 않아 가로로 삽입된 경우 유수에 의해 떠내려가는 피해가 발생하였으며 세로로 삽입된 경우는 식생의 생육환경의 제공보다는 자연석틈새를 막는 역할을 하여 자연석 틈새침식을 막는 역할을 하였다. 자연석 식생호안은 현장적용성은 3~4곳의 문제점이 발생하였다.

(6) 경제성

단기적으로 기존공법과의 단순 공사비의 비교는 다소 저렴하며, 자연석에 의한 하안부 및 하상부 보호기능이 있으며 자연석을 쌓아 올림으로서 생기는 틈새에 식생이나 수생식물의 서식처기능을 할수 있으며 자연경관의 보전과 접근성과 친수성이 우수하다. 장기적으로 홍수의 피해저감 효과는 자연석 틈새의 침식이 발생하지 않는 경우 우수하며, 하도상의 변화는 자연하천과 같은 변화를 보여주고 있다.

다) 식생 깐돌호안

깐돌 쌓기 공법은 제방보호를 위해 사용되는 전통적인 기법으로 식생 깐돌 호안은 깐돌의 틈에 식생을 도입한 공법이다. 일반적으로 산지야계에서는 입방체 형태를 가진 석재를 1 - 1.5m 정도 높이를 유지하여 조성한다. 석재의 크기는 대략 30cm를 사용한다. 깐돌 쌓기의 시공 순서는 우선 가장 하단의 가로줄부터 석재를 위치시킨 다음 그 윗줄의 석재를 전 단계의 석재와 연결하여 고정한다. 유속이 빠른 지점이나 커브 지점에서는 석재사이를 단단하게 고정시켜 주어 석재가 앞으로 빠져나오지 않도록 해야 한다. 완공된 후에도 지속적인 유지 · 보수(석재의 위치변동이나 유실등)를 실시하여 호안이 급격히 무너지는 현상을 사전에 예방하여야 한다.



사진 23. 시공직후의 식생 깐돌호안 (2006년 5월)

(1) 구조적 안정성

식생갯돌의 구조적 안정성은 일반적으로 시공되는 갯돌쌓기공법과 같은 구조적 안정성을 가진다. 사진 24와 같이 석재와 석재를 쌓아 올림으로서 제방을 보호하고 1 - 1.5m 정도 높이를 유지하여 제방보호나 제방의 일부분을 조성한다. 호안의 급경사 지역에 적용이 가능하며 안정화된 식생갯돌 쌓기 공법은 유수력이 급격하게 발생하는 지점에도 적용이 가능하다. 그러나 구조적 안정성을 확보하기 위해서는 적절한 하단부의 보호공법이 필요하며, 완공된 후에도 지속적인 유지·보수를 실시하여 호안이 급격히 무너지는 현상을 사전에 예방하여야 한다. 사진 29는 석축사이의 채움돌이 유수에 의해 유실됨으로 전체적으로 석축이 돌출되며 엇갈리고 있다.



사진 24. 식생 갯돌호안의 시공 직·후 안정화된 모습



사진 25. 식생 갯돌호안의 1개월 후 모습





사진 26. 식생 깎들호안의 3개월 후 구조적으로 안정된 구간 모습



사진 27. 식생 깎들호안의 4개월 후 구조적으로 안정된 구간 모습



사진 28. 식생 깎들호안의 1년 후 안정된 구간 모습



사진 29. 식생 깬돌호안의 구조물 파손(시공 4개월후)

## (2) 식생대 조성효과

식생깬돌 호안의 식생대 조성은 깬돌의 틈새에 식생을 유도하는 방법을 시행하였다. 깬돌의 틈새가 최대 2cm를 넘지 않음으로 틈새에 넣을 수 있게 삽입형으로 제작하였다. 또한 틈새는 토양이 없으므로 식생띠를 삽입하기 전 토양을 틈사이에 넣어 식생기반을 조성하였으며, 이후 식생띠를 삽입하고 유실을 막기 위해 황마 조각으로 피복, ㄷ자 모양의 철사로 고정한 후 토양으로 표면을 덮었다. 식생띠에 넣은 식생은 억새, 달뿌리, 갈대, 수크령, 구절초, 냥아, 참싸리를 사용하였다. 식생띠의 길이는 깬돌의 길이를 고려하여 3 X 20cm로 제작하였다. 사진 30은 식생띠를 제작하는 과정으로서 선택된 식물을 식생띠의 중간에 넣어 제작하였다.



사진 30. 식생띠 제작 과정과 완성된 식생띠



사진 31. 깬돌 틈새에 토양을 넣어 식생 생육기반을 조성하는 모습



사진 32. 채워진 틈새에 식생띠를 삽입



사진 33. 삽입된 식생띠 위에 황마조각으로 피복



사진 34. 깬돌 틈새에 식생띠의 삽입이 완료된 식생깬돌호안



사진 35. 깬돌 틈새에 식생띠 설치 3달 후 식생생육 모습



사진 36. 깬돌 틈새에 식생띠 설치 4달 후 식생생육 모습

깬돌 틈새의 식생생육환경이 열악하여 깬돌의 전면을 피복하지는 못하지만 틈새에 식물이 성장하면서 생태공간을 확보하고 있다. 피복율이 낮으나 틈새의 공간을 고려할 때 틈새에 식생이 정착하고 환경이 안정됨에 따라 다른 많은 종류의 식생이 자연 발생 가능하게 되며, 생물에 의한 서식환경을 창출하게 될 것이다.

### (3) 경관개선

식생갯돌 호안의 경과개선은 식생에 의한 경관의 변화는 극히 드물었으며 시간이 지날수록 하도상의 변화가 심하였으며 시공 4개월 후 부터는 안정화가 되었다.



사진 37. 식생 갯돌호안의 시간경과에 따른 경관변화

### (4) 생물서식처 조성

식생 갯돌호안은 갯돌의 틈새가 매우 적어 수서 동물이나 파충류보다는 곤충류의 서식처로서의 역할이 크다고 할 수 있다. 좌우 호안의 갯돌 보다는 하상의 퇴적물과 담수에 의한 서식처가 조성 될 수 있다.

### (5) 현장적용성

식생 갯돌 호안은 타공법에 비하여 시공이 복잡하고 갯돌의 수급여부에 따라 공사기간이 늘어날 수 있으며 공기가 길어진다. 또한 연약지반의 설치시 기초에 많은 공사시간이 소요되는 어려움이 있으나 공법상의 어려움은 없다. 또한 지속적인 관리가 필요하며 유수의 침식에 의해 뒷채움들이 빠짐으로서 갯돌의 쌓기불량으로 붕괴위험성이 있는 구간이 나타나고 있다.

### (6) 경제성

단기적으로 기존공법과의 단순 공사비의 비교는 재료수급에 따라 변화한다. 장기적으로 홍수의 피해저감 효과는 갯돌 유지 관리에 따라 우수한 효과를 기대할 수 있다.

라) 식생 블록호안

식생 블록은 형태가 가공되어 나오는 블록으로서 상하 좌우 맞물림구조로 배면의 토압 및 수류에 안정적인 특징을 가지고 있다. 또한 수면 이하의 공간은 어소기능도 겸할수 있어 자연스러운 하천공간 확보가 가능하며 세굴 및 침식에 강하고 급류부와 수층부에서의 안정성도 크다. 조립형으로 이루어져 공사기간의 단축이 가능하나 시공사례가 빈약하고 블록의 중량이 350kg으로서 중장비가 동원되어야 한다. 식생블록과 블록사이의 공간에 식생생육환경을 조성하여 식생과 어류, 수생곤충의 서식지, 이동통로의 역할을 함으로써 호안공사로 인한 수계생태계의 차단을 막을 수 있다.



사진 38. 시공직후의 식생블록호안 (2006년 5월)

(1) 구조적 안정성

식생블록호안은 시공시 비탈면 또는 법면의 부석이나 유해물질을 제거 한 후 평탄하게 시공될수 있도록 면을 고르는 작업을 수행한다. 또한 세굴과 밀림을 고려하여 지중시공과 기초콘크리트를 타설함으로써 블록간의 이탈이 없으며 블록간 체결구조 견고하게 결속하므로 전체가 하나의 거대한 블록으로서 이루어진다.



사진 39. 식생블록호안공법의 시공직 후 안정화된 모습



사진 40. 식생블록호안공법의 1~2개월 후 모습





사진 41. 식생블록호안공법의 4개월 후 안정된 구간 모습



사진 42. 식생블록호안공법의 1년 후 안정된 구간 모습

(2) 식생대 조성효과

식생블록은 블록 자체의 형태가 식물이나 자연석을 넣을 수 있는 형태로서 시공 후 자연친화적인 경관을 연출한다. 블록은 체결구와 채움물탈에 의해 사방으로 상호 연결함으로써 구조적으로 안전하며 블록 내부는 식재 외에 돌을 채워 배수기능을 높이고 다공질 구조를 형성하여 생물의 서식처 제공과 사면의 세굴방지를 기할 수 있다. 황폐계류의 호안 등 구조적 안전성을 확보한 생태공간 조성에 활용될 수 있다. 블록자체는 이질감을 줄수 있으나 식물과 조화를 이루어 하천생태계를 유지하면서 아름다운 하천경관의 보전 및 창출이 가능하다. 또한 기초가 수면 하에 설치됨으로써 수생 동·식물의 서식처 역할도 겸할 수 있으며 수면밑에 설치된 블록의 돌출된 부분이 수체의 역할도 함으로써 침식제어와 퇴적이 이루어져 자연스러운 하도형성에 기여할 수 있다. 블록의 틈새에 식생대의 조성은 틈새의 크기에 따라 황마식생자루를 잘라 토양과 함께 틈새에 넣어 식생의 생육환경을 조성하였다.

식생블록 생태호안은 사진 43에서 보는바와 같이 블록과 블록사이나 블록의 틈새에 크기에 맞게 잘라 만든 황마식생자루를 넣어 식생을 자연적으로 유도 하였다. 또한 토양은 주변의 산림토양을 사용하였다.



사진 43. 식생블록 틈새에 황마식생자루를 설치한 모습



사진 44. 자연석 틈새의 황마색생자루 설치 4달 후 모습



사진 45. 자연석 틈새의 황마색생자루 설치 1년 후 모습



사진 46. 블록 틈새에 식생이 생육하는 모습



사진 47. 블록 하단 퇴적부에 식생이 생육하는 모습

식생을 블록 틈새에 설치한 4개월후 사진을 보면 각 블록 틈새에 식물이 자라는 것을 볼 수 있다. 또한 블록 틈새의 식물 종자가 우수에 의해 씻겨 내려와 하천바닥의 퇴적부분에서 생육 하는 것을 볼 수 있다. 사진 46은 식생 블록의 틈새에 식물이 생육하고 있는 사진으로 좌우 위쪽의 사진은 틈새에 도입한 식생이 자라고 있으며 아래쪽 두 사진은 산림토양내의 잠재종자의 발아에 의해 식물이 식생블록의 틈새에 자라고 있다. 사진 47은 하단부 퇴적부분에 식생이 활착하여 생육하고 있다.

(3) 경관개선

블록식생호안은 아래 사진 48의 좌측 상단 사진에서 보듯이 하도상에 퇴적부분이 없이 인공적인 요소가 많이 보여지고 있으나 이후 시간이 경과 함에 따라 침식과 퇴적 작용으로 변화가 매우 다양하였다. 이후 퇴적층에 식생이 유도 자연스러운 하천의 경관을 보여주고 있다. 이후 블록의 틈새에 생육하는 식생이 블록의 전면을 피복할 시 매우 자연스러운 계류경관을 이룰 것으로 사료된다.



사진 48. 식생블록호안이 시공된 후 모습

( 좌 • 우 상: 시공 1개월후, 좌 • 우 중간: 시공 3개월후 , 좌 • 우 하: 시공 4개월 후 )

#### (4) 생물서식처 조성

식생블록의 생물서식처는 블록자체의 틈새나 블록과 블록의 이음부에 생기는 틈새에 생물의 서식처가 조성된다. 또한 블록의 틈새가 이동통로의 역할도 겸하고 있어 곤충류나 파충류의 피난처 역할도 할 수 있다. 수중의 블록 또한 그 형태에 따라 수서생물의 서식처를 제공하여 블록의 틈새는 피난처 역할도 겸하고 있다.



사진 49. 식생호안공법에 의해 조성된 생물서식처

(5) 현장적용성

식생블록의 시공상의 문제점은 없었으나 블록 자체의 무게가 350kg 정도 이므로 중장비의 동원이 불가피한 문제점이 있다. 이러한 시공상의 문제점을 제외하고는 식생블록은 현장 적용성이 우수하여 문제점이 발생하지 않았다.



사진 50. 식생블록시공시 중장비의 사용 사진

(6) 경제성

단기적으로 기존공법과의 단순 공사비의 비교는 다소 저렴하며, 식생블록에 의한 급류부나 수층부의 보호기능이 있으며 일체화된 블록은 견고하며 블록의 틈새 공간이식생이나 수생식물의 서식처기능을 할 수 있어 자연경관의 보전과 접근성과 친수성이 우수하다. 장기적으로 홍수의 피해저감 효과는 블록이 견고하게 일체형으로 조립되므로 블록자체의 파손이나 피해는 거의 없으며 블록의 돌출 부분이 임시 수체의 역할도 겸하고 있어 홍수의 피해저감 효과는 우수하다.

마) 생태호안의 기능 평가 적용 결과

생태호안의 기능 평가를 식생호안 공법에 적용한 결과는 표 18과 같다.

각 생태호안의 평가 등급은 식생전석 호안과 식생블록호안은 I 등급을 자연석식생 호안과 식생갯돌 호안은 II 등급으로 평가되었다.

I 등급을 받은 식생블록호안의 경우 식생대 조성효과는 2점을 받았으나 나머지 4 부분에서 1점을 받아 가장 우수한 생태호안으로 평가되었다. 또한 식생전석호안의 경우도 구조적 안정성과 경관개선, 경제성에서 높게 평가되었으며 자연석 식생호안과 식생 갯돌호안의 경우 구조적 안정성에서는 규격돌이 사용이 않거나 시공불량으로 타 공법에 비하여 비교적 낮게 평가되었고, 식생대 조성효과에서 자연석과 갯돌의 틈새에 식생대가 조성됨으로서 상대적으로 피복율이 낮아 평가점수가 낮게 평가되었으나 경제성에서는 모두 우수한 평가를 받았다.

4가지의 식생호안 공법 모두 I 등급과 II 등급으로 모두 우수한 것으로 평가 되었다.

표 18. 생태호안 기능 평가의 호안공법별 적용 결과

평가항목	식생전석호안	자연석 식생호안	식생갯돌호안	식생블록호안
구조적안정성	1	3	2	1
식생대 조성 효과	3	4	4	2
경관개선	1	2	3	1
생물서식처 조성	2	2	3	1
현장적응성	2	3	2	1
경제성	1	1	1	1
평가점수	1.7	2.5	2.5	1.2



## 2) 모니터링 결과의 평가

생태계 보전을 위한 야계사방 계획에 있어 사업 후 평가는 통상 긴 시간을 요하므로 소홀히 다루어지는 경향이 있다. 그러나 사업 후 모니터링 결과의 평가는 야계사방 계획의 성과를 검증할 수 있으며 향후 진행될 사업에 많은 도움을 줄 수 있다. 따라서 모니터링 결과에 따라 다음의 4가지의 후 실행 대안을 제시할 수 있다.

- 가) 야계사방 실시 후 계획된 목표보다 늦게 진행되고 목표 달성시까지 보다 긴 기간이 요구될 경우(방치보존)
- 나) 야계사방 실시 후 계획된 목표를 달성하기 위해서 물리적 관리를 필요로 할 경우(유지관리)
- 다) 야계사방 실시 후에 예상치 못한 현상이 발생하여 후속적인 보완을 요하거나 후속적인 보완으로도 복원목표 달성이 불가능 할 경우(후속 보완이나 포기)
- 라) 야계사방 실시 후 계획된 목표대로 복원이 진행되지 않을 경우(복원목적 수정)

모니터링 평가 후 작성된 보고서는 야계사방 사업의 홍보, 대상지의 적응관리를 위한 근거, 후속적인 사업 시 기술적 실행가능성 제고, 사업과정에 대한 현장기록 제공 등의 차원에서 다양하게 활용될 수 있다.

또한 야계사방은 황폐계류에서 발생하는 역동적인 자연형성과정을 고려하여 진행하여야 한다. 기슭막이, 바닥막이, 호안녹화 등을 조성하여 생태계의 서식기반이 안정되고 생태적 현상의 후속적 발생이 이루어질 때 비로소 사업의 성과를 기대할 수 있을 것이다. 따라서 토사유출 및 치수적 안정성이나 생물서식처의 복원이 된 이후에도 다음과 같은 지속적인 관리가 이루어져야 한다.

### (1) 기본방향

토사유출, 치수적 안정성 및 생물서식공간의 조성 후에도 자연적인 변화 과정을 모니터링하면서 후속적인 보완 및 관리를 지속적으로 실시한다.

가능한 한 추가비용의 소요를 줄일 수 있는 경제적인 관리방식을 도입한다.

야계사방 구역 내에 설치한 시설과 생태계를 대상으로 그 특성에 따라 관리방식을 유지관리, 순응관리, 적응관리 방식으로 구분 적용한다.

#### (2) 유지관리

황폐계류의 생물서식처 복원은 물리적 조건의 조성으로 특정 시점에 완성되는 것이 아니다. 조성 이후의 자연 형성 및 변화과정과 조화를 이루고 지속적인 유지관리가 행해질 때 비로소 건전한 계류로 복원될 수 있게 된다.

#### (3) 순응관리

순응관리란 생태계의 형성과정에 순응하여 관리하는 방식이다. 생태계 형성과정에 대한 모니터링을 지속적으로 시행하면서 인위적 교란을 원천적으로 방지한다.

순응관리 방식은 상류역의 종자 공급원이 풍부하고 상, 하류의 물질이동이 원활하며 자연형성 과정이 활발하여 자연적으로 계류생태계의 지속성을 유지할 수 있는 대상에 적용한다.

순응관리가 이루어지는 곳은 생태적으로 예민하며, 훼손 가능성이 높으므로 보전 지역으로 선정하여 이용자의 출입을 제한하고 생태계의 인위적인 교란을 최소화한다.

#### (4) 적응관리

적응관리란 인위적인 관리를 통하여 생태계 형성과정을 촉진시키고 생물종 다양성을 증진시키기 위한 관리방식이다.

적응관리 방식은 대체복원이 이루어진 곳으로 생태계의 발전과정을 모니터링 한 후 퇴행적 진행과정을 보이는 곳을 대상으로 한다.

야계사방 사업은 현장에 따라 복잡하므로 부분적 시행착오도 있을 수 있다. 이에 효율적으로 대처하기 위해서는 모니터링 등을 통해 중간에 새로운 정보가 들어오면 필요시 중간에 사업의 궤도 수정을 하는 것이 바람직하다.

야계사방 사업은 자연적인 재료를 이용하여 깎돌 및 전석 등 기슭막이 공법을 통하여 산림유역에 적용하고 있지만 현재까지 소류력이나 외력에 안전하고, 호안 녹화를 통한 공법은 개발되어 있지 않아 자연생태계 보전을 위한 야계사방공법의 개발은 필요하다고 판단된다.

사방공작물들은 그 유형 및 설치 구조에 따라 정도의 차이는 있지만 생태적인 측면에서 영향을 미치고 있는 것으로 판단되므로 공작물들의 생태적 측면과의 조화 및 친환경적인 측면이 필요하다. 생태호안의 기능평가를 통하여 4가지 모델 모두 우수한 공법으로 평가되었다. 이중 생태호안 기능평가에서 I 등급을 받은 식생블록호안과 식생전석호안은 종적인 공작물로서 대부분 계곡 내에서 월동하며 산란을 하는 양서류의 이동뿐만 아니라 계곡부의 물을 이용하는 많은 야생동물의 이동을 차단하는 경우가 많다. 그래서 생물들의 이동이 거의 불가능한 실정이다. 이러한 생물의 이동은 생태적인 관점에서 매우 중요한 역할을 한다. 1) 유전자를 공간적으로 다른 장소로 옮기는 역할을 하며, 2) 동종의 생물집단인 개체군에게 있어서 다른 개체군으로부터 새로운 개체가 이입함으로써 이루어지는 유전적인 교류는 근교약세를 막는 데에 필요하다. 3) 환경이 변화하여 생존에 적합하지 않게 된 경우, 그곳에서 도망치거나 다른 장소로 자손을 분산시키는 것도 개체군의 존속에 유리하게 작용하는 역할을 한다. 식생블록호안은 자연 친화적인 공사를 위해 블록 사이에 식재를 하여 동식물의 서식과 세굴을 방지함으로써 호안, 인공호수, 법면 등 생태공간 조성을 할 수 있다. 그리고 통과형 기슭막이의 설치로 인해 야생동물, 특히 양서류 등의 이동기회를 제공한다. 식생전석호안은 식생을 전석과 전석 사이의 틈새에 유도하며, 호안의 좌우측 전석기슭막이를 경사지게 하여 계곡 경관보전 및 동물이동통로 역할을 수행한다.

본 연구에서는 깎돌, 전석, 자연석 및 식생블록을 이용하여 치수적인 안정성과 다양한 수종의 식생이 가능하고 친환경성이 확보되는 측면에서 야계사방 사업지역에 적용하고 기술의 장단점을 평가하였다. 본 연구에서 제시된 연구가 현재 여러 지역에서 시행되고 있는 야계사방 사업지 및 수변구역의 정비방향 설정의 계기가 되기를 바라며, 향후 지속적인 사업과 모니터링을 통하여 기본적인 야계사방 방향뿐 아니라 공법이나 기법의 진보로 보다 쾌적하고 인간과 자연이 공존하는 계류환경을 조성하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 제 2절. 야계사방사업이 계곡생태계에 미치는 영향 평가

### 1. 사방공작물이 계곡생태계에 미치는 영향 분석

야계사방사업이 계곡생태계에 미치는 영향을 분석하기 위하여 북한산 국립공원 내에 설치된 야계 사방공작물의 유형에 따른 생물군집의 변화를 파악하기 위한 조사를 실시하였다. 주 대상은 북한산국립공원 계곡 중에서 일정 이상의 유량을 유지하고 있는 지역을 선정하고 야계 사방공작물 중 횡적공작물을 중심으로 생태계에 미치는 영향을 분석하였으며, 아울러 새로운 공법이 적용된 지역을 파악하여 그 영향을 파악하고자 하였다.

#### 가. 저서성 대형무척추동물에 미치는 영향

저서성 대형무척추동물 군집에 미치는 영향을 분석하기 위하여 계곡에 설치되어 있는 야계 사방공작물의 유형에 따라 수역(site)을 정하고, 각 야계사방공작물의 영향에 의하여 하천생태계의 변형에 따른 조사지점(point)을 선정하여 조사를 실시하였다. 또한 전체적으로 하천생태계의 자연성이 잘 유지되고 있는 수역을 선정하여 전체 조사지점의 대조구로 하였다. 조사지점은 각 야계사방공작물의 상·하류로 각 공작물의 영향권과 비영향권을 파악하고 공작물로부터의 거리에 따른 군집의 변동을 분석하였다. 채집은 계류형 정량채집망인 Surber net (30×30cm, 망목 1.0mm)을 이용하여 실시하였으며, 채집된 시료는 현장에서 Kahle's solution에 고정하여 실험실로 운반·sorting한 후 70% ethanol에 보존하였다.

동정은 수서곤충의 경우 윤(1988, 1995), McCafferty(1981), Kawai(1985), Merritt & Cummins(1984, 1996) 및 Peckarsky et al.(1990) 등을 참고로 하였다. 특히, 곤충류 중 꼬마하루살이류는 배 등(1998)을 참고하고, 갈따구류는 Wiederholm (1983)을 이용하여 외부형태, 특히 체장, 체색, mouth part 형태, abdominal tube의 유무, 강모의 형태 등의 특징을 고려하여 임의로 과 수준(family level)에서 동정하였다(윤 등, 1994). 연체동물의 경우는 권(1990), 권 등(1993, 2001)을 참고로 하고, 새우류는 김(1977)을 이용하며, 거머리류는 송(1995)을 이용하며, 기타 갑각류 및 환형동물류 등은 岡田要(1965a, b, c), Brinkhust(1986), Pennak(1989) 및 Peckarsky et al.(1990)을 이용하여 동정하였다. 동정된 학명의 체계 및 국명은 한국곤충명집(한국곤충학회,

1994)과 한국동물명집(한국동물분류학회, 1997)에 의거하여 작성하였다.

수환경 측정을 위하여 기온 및 수온은 봉상온도계를 이용하고, 수심은 채집시 각 채집 지점마다 길이 1.0m의 쇠자를 이용하여 측정하며, 유속은 쇠자를 하천의 유하 방향과 직각방향으로 세워 물이 부딪혀 올라오는 높이와 수심을 측정할 때 얻어진 값 사이의 높이차를 측정하여 Craig method(Craig, 1987)에 따라 계산하였다. 하폭, 수폭 및 야계사방공작물에서 조사지점까지의 거리는 50m 줄자를 이용하여 측정하였다.

Craig method:  $U = \sqrt{[2g(D2-D1)]}$

U: Water velocity (mm/sec)

g: Force due to gravity

D1: Water height when ruler parallel to the flow

D2: Water height when ruler right angle to the flow

군집구조의 분석은 조사지점별로 정량적으로 채집된 자료로부터 출현한 분류군의 수를 비교하여 출현종수, 출현개체수, 우점종, 군집지수 - 우점도지수, 다양도지수, 풍부도지수 및 균등도지수를 산출하였으며, 섭식기능군의 분류체계를 이용한 군집구조에 대한 분석도 실시하였다. 총출현개체수를 N, i 종의 개체수를  $N_i$ , 총출현종수를 S, 제1우점종의 개체수를  $N_1$ , 제2우점종의 개체수를  $N_2$ 라 할 때, 아래의 식으로 표현할 수 있다. 군집의 분석에는 정량채집을 통하여 얻어진 자료를 단위면적( $m^2$ )으로 환산하여 적용하였다.

$$\text{우점도지수(DI)} = \frac{N_1 + N_2}{N} \quad \text{McNaughton(1967)}$$

$$\text{종다양도지수(H')} = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i, \quad p_i = \frac{N_i}{N} \quad \text{Shannon-Weaver(1949)}$$

$$\text{풍부도지수(R1)} = \frac{S-1}{\ln N} \quad \text{Margalef(1958)}$$

$$\text{균등도지수(J')} = \frac{H'}{\log_2 S} \quad \text{Pielou(1975)}$$

## 1) 돌낙차공

돌낙차공은 북한산국립공원 정릉계곡의 두 지점과 우이동계곡의 한 지점을 선정하였다. 조사대상 공작물인 세 유형의 돌낙차공은 모두 하천의 흐름을 횡적으로 차단하기 때문에 유량의 차이에 따라 정도의 차이는 있으나, 상류부와 하류부에 소가 폭넓게 형성되어 있기 때문에 공작물의 영향을 받는 지점과 그렇지 않은 지점의 물리적인 서식환경이 뚜렷이 구별된다.

### 가) 돌낙차공 (유형 1)

정릉계곡에 위치한 공작물로 높이가 약 4.5m, 폭이 약 16.0m에 이르며, 공작물의 상류부와 하류부에 소(pool)가 형성되어 있으며, 특히 하류부에는 큰 낙차로 인하여 수심이 다소 깊다. 비영향권에 해당하는 지점(1A, 1D)은 호박돌 및 자갈 중심의 하상구조로 이루어져 있으나, 공작물의 영향권에 위치하는 지점(1B, 1C)은 잔자갈 및 모래의 비교적 균일한 하상구조로 이루어져 상대적으로 단순한 물리적 서식환경을 보이고 있다(그림 6).

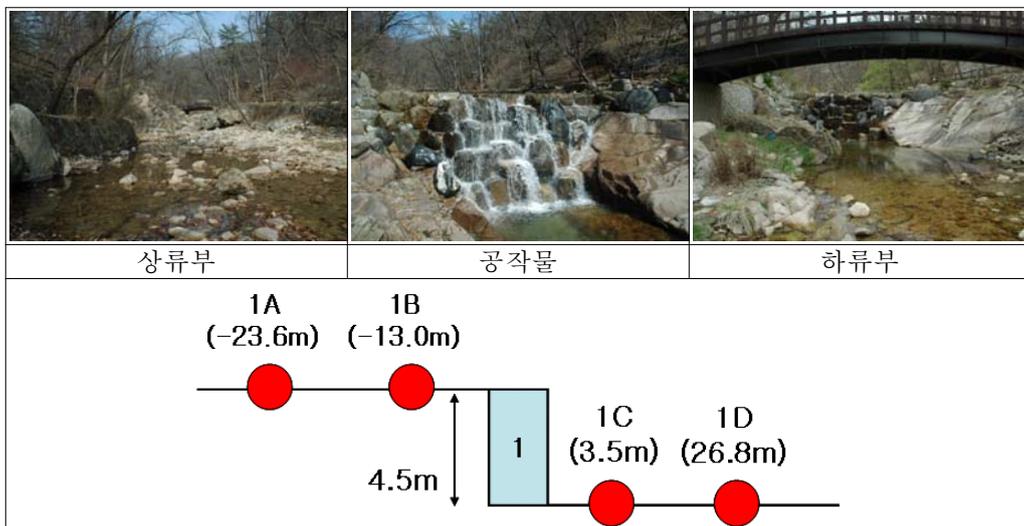


그림 6. 정릉계곡의 돌낙차공(유형 1)의 개황

이 지역의 돌낙차공(유형 1)을 기준으로 상·하류에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 출현종을 살펴보면, 비영향권이라 할 수 있는 1A와 1D에서 각각 평균 22.5(±3.5)종과 26.0(±2.8)종이 출현하여 영향권에 해당하는 두 지점(1B-18.5(±4.9)종, 1C-17.0(±5.7)종)과 큰 대조를 이루고 있다(표 19). 특히 영향권 내에 위치하는 지점 1C의 경우 낙차공에 의하여 형성된 소와 인근의 물리적 환경이 단순하게 나타나고 있었으며 일부 분류군이 제한적인 분포를 하고 있는 것으로 나타났다. 하지만 1A와 1D와 같이 공작물로부터 영향을 거의 받지 않는 지점의 경우 하루살이류와 줄날도래류 또는 물날도래류 등과 같이 여울을 주요 서식처로 하는 다양한 분류군이 출현하였다.

표 19. 돌낙차공(유형 1)에서 거리에 따른 주요 분류군의 출현종수

Taxa / Point	1A(-23.6)	1B(-13.0)	1C(3.5)	1D(26.8)
Non-insects	3.5(±0.7)	3.0(±1.4)	3.5(±0.7)	3.5(±0.7)
EPT	12.5(±0.7)	11.5(±3.5)	9.0(±1.4)	14.0(±2.8)
Other-Insects	6.5(±2.1)	4.0(±0.0)	4.5(±3.5)	8.5(±0.7)
Total	22.5(±3.5)	18.5(±4.9)	17.0(±5.7)	26.0(±2.8)

※ EPT : Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera

거리에 따른 주요 분류군의 개체수현존량을 살펴보면, 출현종수의 경우와 마찬가지로 사방공작물의 영향권 내에 위치하며 상·하류부로 소가 형성되어 있는 조사지점 1B 및 1C에서 각각 평균 969.4(±1,017.4)와 880.6(±396.8) inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수현존량을 보이고 있다(표 20). 또한 이 두 조사지점에서는 참다슬기(*Semisulcospira libertina*)와 세갈래하루살이(*Choroterpes altioculus*), 무늬하루살이(*Ephemera strigata*), 띠무늬우묵날도래(*Hydatophylax nigrovittatus*) 등과 같이 유속이 느린 미소서식처를 선호하는 종이 우점하는 양상을 보이고 있었다. 특히, 세갈래하루살이와 무늬하루살이는 전체 개체수현존량의 약 19.4%와 14.8%로 높았다. 그러나 돌낙차공의 영향을 받지 않는 지점이라 할 수 있는 1A와 1D 지점에서는 전체적으로 높은 개체수 점유율을 나타내고 있으며 특히, 여울지역을 선호하는 하루살이류(납작하루살이류와 알락하루살이류 등)의 점유율이 매우 높아 사방공작물의 영향에 따른 서식처의 차이가 크게 나타남을 알 수 있다. 실제로 비영향권의 지점에서는 민하루살이(*Cincticostella levanidovae*)와 빨하루살이(*Drunella aculea*)는 평균적으로 전 개체수현존량의 약 25.5%와 10.6%로 매우 높은 편이었다.

표 20. 돌낙차공(유형 1)에서 거리에 따른 주요 분류군의 개체수현존량(inds./m<sup>2</sup>)

Taxa / Point	1A(-23.6)	1B(-13.0)	1C(3.5)	1D(26.8)
Non-insects	230.6(±200.3)	80.6(±90.4)	219.4(±51.1)	500.0(±424.3)
EPT	1,219.4(±216.1)	725.0(±852.5)	558.3(±436.0)	1,108.3(±436.0)
Other-Insects	127.8(±86.4)	163.9(±74.6)	102.8(±11.8)	213.9(±51.1)
Total	1,577.8(±502.8)	969.4(±1,017.4)	880.6(±396.8)	1,822.2(±911.4)

※ EPT : Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera

돌낙차공의 상류부와 하류부에 대한 조사지점의 거리에 따른 출현종수와 개체수현존량의 변화를 보면 사방공작물과 인접한 지점에서 출현종수와 개체수현존량이 크게 감소하고 있으며, 이 공작물을 벗어날수록 점차 회복되고 있는 경향을 잘 나타내고 있다. 특히, 정릉계곡에 설치되어 있는 돌낙차공은 낙차가 크기 때문에 하류부에 소가 형성되고 상류부와 하류부에 모래 및 잔자갈이 퇴적되어 저서생물의 활용할 수 있는 미소서식처의 다양성을 감소시킨다. 이러한 사실은 그림 7에서 출현종과 개체수가 사방공작물 부근에서 현저히 감소함을 통하여 확인할 수 있다.

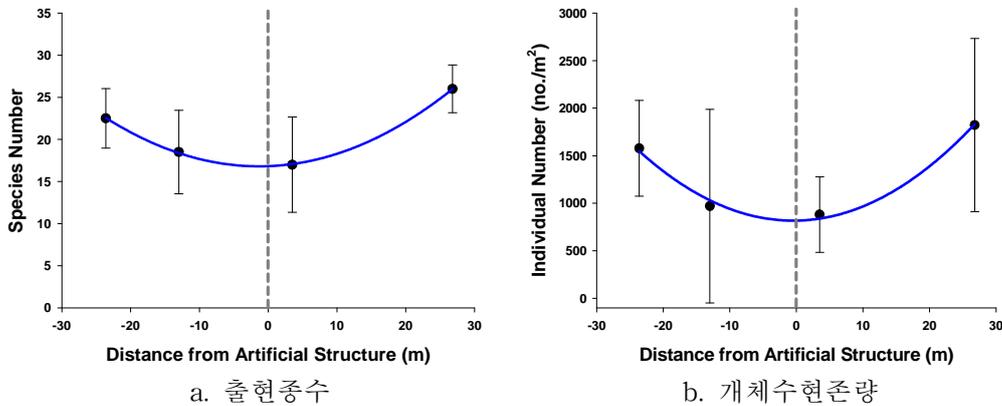


그림 7. 돌낙차공(유형1)에서의 거리에 따른 군집의 변화

우점도지수(DI)는 가장 근본적이고 고전적인 지수로서 군집 내에서 가장 높은 출현도를 보이는 두 종의 개체수에 대한 총 개체수의 상대적 구성 비율을 의미하며, 지수값이 높을수록 특정종이 차지하는 비율이 높음을 나타내는 지수이다. 즉 지수값



이 1에 가까울수록 생태계 내의 군집이 매우 단순함을 의미하며, 반대로 생물다양성과 안정성이 높은 생태계에서의 우점도지수는 낮게 나타난다. 우점도지수는 돌낙차공의 비영향권에서 평균 0.490(±0.157)로 나타났고, 영향권에서는 0.496(±0.107)로 상대적으로 높았다. 다양도지수(H')는 출현한 각 종의 개체수와 전체 출현개체수의 상대적인 출현도를 나타내는 것으로 지수값이 높을수록 다양한 종이 안정적으로 서식하고 있음을 의미한다. 돌낙차공의 영향권에서는 평균 3.080(±0.407)으로 빈부수성(oligosaprobic) 수역으로 나타났으며, 비영향권에서는 다소 높은 평균 3.397(±0.539)로 나타나 역시 빈부수성(oligodaprobic) 수역으로 평가되었다(표 21).

표 21. 돌낙차공(유형1)에서 거리에 따른 군집지수의 변화

Index/Point	1A(-23.6)	1B(-13.0)	1C(3.5)	1D(26.8)
우점도지수(DI)	0.558 (±0.233)	0.438 (±0.022)	0.555 (±0.143)	0.422 (±0.030)
다양도지수(H')	3.114 (±0.724)	3.355 (±0.074)	2.804 (±0.435)	3.680 (±0.164)
균등도지수(J')	0.691 (±0.126)	0.805 (±0.057)	0.705 (±0.193)	0.783 (±0.009)
풍부도지수(R1)	2.922 (±0.353)	2.681 (±0.205)	2.355 (±0.677)	3.355 (±0.144)

균등도지수(J')는 종 조성이 어느 정도 균일한가를 보여주는 것으로 안정적인 생태계에서는 높은 값을 나타낸다. 즉 어느 장소에서 분포하는 종들이 완전히 균등하다면 그 값은 1이 되며, 이는 하천생태계에 서식하고 있는 생물종이 이루고 있는 군집구조가 안정화된 것으로부터 기인한다고 볼 수 있다. 사방공작물의 영향권에서는 평균 0.755(±0.130)의 지수값을 나타냈으며, 비영향권에서는 평균 0.737(±0.090)로 나타나 군집의 안정성에서 다소 근소한 차이를 보여주고 있다. 돌낙차공의 영향권과 비영향권의 경우 종의 구성이나 개체수 현존량에서 차이가 발생하는 등 다른 형태의 군집구조를 가지는 것으로 판단된다. 풍부도지수(R1)는 출현한 생물의 총 종수와 총 개체수를 고려하여 존재하는 종의 구성이 어느 정도 높은가(또는 어느 정도 풍부한가)를 가늠하는 척도가 되는 지수로 다양도지수(H')와 마찬가지로 값이 높을수록 하천에 서식하는 생물종에 의한 생태적 안정성이 높음을 의미한다. 다양도지수와 비교할 때 민감도가 뛰어나 공간적으로 여러 곳에 위치하는 군집의 생물다양성을 상호 비교하는데에 매우 유용한 지수이다. 돌낙차공의 영향권에서는 평균 2.518을 나타내

고 있으며, 비영향권에서는 3.138( $\pm 0.333$ )로 나타났으며 공작물에서 멀어질수록 지수 값이 다소 증가하는 것으로 나타났다(표 21).

나) 돌낙차공 (유형 2)

높이가 약 3.8m, 폭이 약 19.7m에 이르고 정릉계곡에 위치한 돌낙차공(유형 1)의 하류부에 위치하며 약 56.1m의 이격거리를 두고 있다. 또한 두 공작물 사이는 구배가 적고 평탄화 되어있다. 다른 공작물과 마찬가지로 본 공작물의 상류부 및 하류부에 비교적 짧은 구간의 정체수역이 형성되어 있으나, 하류부의 경우 암반 중심의 하상구조로 인하여 공작물의 영향은 비교적 적은 것으로 판단된다(그림 8).

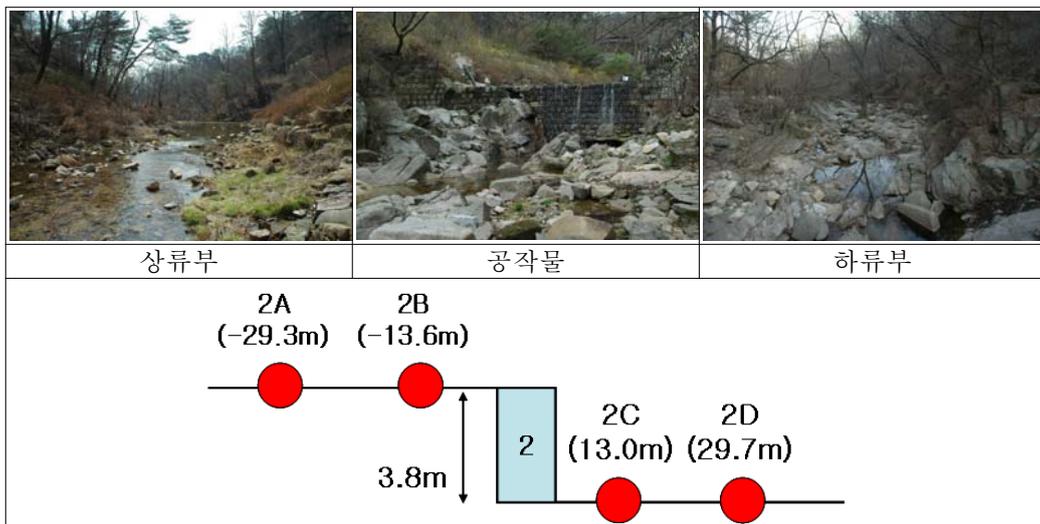


그림 8. 정릉계곡의 돌낙차공(유형 2)의 개황

이 조사지점에서의 상·하류에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 출현종수를 살펴보면, 비영향권이라 할 수 있는 지점 2A에서 평균 26.0( $\pm 2.8$ )종으로 가장 높은 출현종수를 보이고 있으며, 돌낙차공의 영향권인 지점 2B에서는 18.5( $\pm 6.4$ )종으로 가장 적었다(표 22). 그러나 공작물의 영향을 받지 않는 비영향권에 해당하는 지점이라 할 지라도 북한산국립공원과 같은 산간계류 특성, 즉 암반 및 호박돌 중심의 하상구조에 의한 미소서식처의 감소로 서식하는 저서성 대형무척추동물의 종수가 감소하는 경향을 보이기도 하였다.

표 22. 돌낙차공(유형 2)에서 거리에 따른 주요 분류군의 출현종수

Taxa / Point	2A(-29.3)	2B(-13.6)	3C(13.0)	3D(29.7)
Non-insects	3.5(±0.7)	2.5(±2.1)	3.0(±0.0)	3.0(±1.4)
EPT	14.0(±2.8)	10.5(±4.9)	14.5(±3.5)	11.5(±0.7)
Other-Insects	8.5(±0.7)	5.5(±0.7)	4.5(±0.7)	6.5(±2.1)
Total	26.0(±2.8)	18.5(±6.4)	22.0(±4.2)	21.0(±1.4)

※ EPT : Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera

공작물을 기준으로 구분한 거리에 따른 주요 분류군별 개체수현존량을 살펴보면 대체로 출현종수의 변화와 유사한 결과를 보이고 있다. 즉, 돌낙차공 상류부의 2B에서 가장 적은 1,113.9 inds./m<sup>2</sup>로 개체수현존량이 감소하다가, 하류부에서 공작물을 점차적으로 벗어날수록 증가하는 양상을 보이고 있으며, 이는 (유형 1)의 결과와 유사하다(표 23). 특히, 하루살이목·강도래목·날도래목(EPT taxa)의 개체수는 공작물의 영향을 받는 지점과 그렇지 않은 지점에서 두드러진 차이가 있었다. 다시 말해서 공작물에 의한 낙차로 형성된 소의 영향을 받는 2B와 2C 지점의 경우 전체 개체수현존량에 대하여 두갈래하루살이(*Paraleptophlebia chocolata*)와 깔따구류(Chironomidae)가 차지하는 점유율이 높는데 반하여 비영향권의 두 지점은 유수-침식성, 즉 납작하루살이류(Heptageniidae), 민하루살이(*Cincticostella levanidovae*), 검정날개각다귀류(*Hexatoma* sp.) 등의 여울을 선호하는 수서곤충류의 개체수현존량의 점유율이 매우 높아 미소서식환경에 따른 차이가 큰 것으로 나타났다.

표 23. 돌낙차공(유형 2)에서 거리에 따른 주요 분류군의 개체수현존량(inds./m<sup>2</sup>)

Taxa / Point	2A(-29.3)	2B(-13.6)	3C(13.0)	3D(29.7)
Non-insects	500.0 (±424.3)	458.3 (±616.8)	319.4 (±113.9)	338.9 (±70.7)
EPT	1108.3 (±436.0)	466.7 (±565.7)	797.2 (±805.3)	1100.0 (±1147.1)
Other-Insects	213.9 (±51.1)	188.9 (±31.4)	147.2 (±153.2)	525.0 (±671.8)
Total	1822.2 (±911.4)	1113.9 (±1151.0)	1263.9 (±1072.4)	1963.9 (±1889.5)

※ EPT : Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera

돌낙차공(유형 2)에서의 거리에 따른 출현종수 및 개체수현존량의 변화는 그림 9와 같다. 다른 두 유형의 돌낙차공의 결과와 마찬가지로 사방공작물을 중심으로 출현종수 및 개체수현존량이 감소하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 횡적공작물은 계곡부에 설치되어 있는 공작물의 특성상 낙차에 의한 물리적인 교란이 다소 크다는 것을 의미하는 것이다. 즉, 일반적으로 소가 형성됨으로써 유속이 감소하고 모래 및 잔자갈이 퇴적되어 생물서식공간을 단순화하기 때문이다. 더욱이 이러한 차이는 본 공작물과 같이 낙차가 큰 경우와 갈수기에 더욱 두드러지는 것으로 판단된다. 한편, 지점 2D와 같이 비영향권의 지점이라 하더라도 특정 구간에서 암반 중심의 서식처로 구성되어 있는 경우 공작물에 의한 영향과 상관없이 출현종수가 일시적으로 감소하기도 하였다.

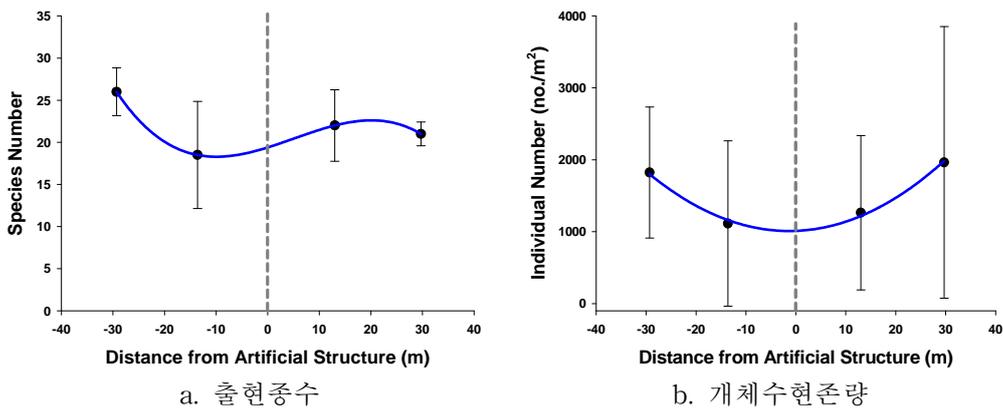


그림 9. 돌낙차공(유형 2)에서의 거리에 따른 군집의 변화

(유형 2)의 돌낙차공에서 2B와 2C 지점에서 특정 종이 차지하는 비율, 즉 군집의 복잡함을 의미하는 우점도지수(DI)가 높았고, 각 종의 개체수와 전체 출현개체수의 상대적인 출현도를 나타내는 다양도지수(H')는 상대적으로 낮았다. 특히 다양도지수와 함께 생태적 안정성이 우수할수록 높은 값으로 나타나는 풍부도지수(RI)은 그 값 감소하였다(표 24). 이와 같은 결과들은 전체적으로 각 조사지점은 돌낙차공이라는 사방공작물에 의하여 물리적인 환경요인의 차이에 의한 교란을 받는 것으로 확인되었다.

표 24. 돌낙차공(유형 2)에서 거리에 따른 군집지수의 변화

Index/Point	2A(-29.3)	2B(-13.6)	2C(13.0)	2D(29.7)
우점도지수(DI)	0.422 (±0.030)	0.557 (±0.050)	0.484 (±0.109)	0.444 (±0.023)
다양도지수(H')	3.680 (±0.164)	3.027 (±0.424)	3.372 (±0.321)	3.411 (±0.022)
균등도지수(J')	0.783 (±0.009)	0.726 (±0.014)	0.758 (±0.025)	0.777 (±0.012)
풍부도지수(R1)	3.355 (±0.144)	2.594 (±0.445)	3.022 (±0.185)	2.771 (±0.253)

다) 돌낙차공 (유형 3)

돌낙차공의 중점 조사지역으로 북한산국립공원 우이동계곡 중 한 곳을 택하였으며, 적절한 생물서식공간을 파악하여 공작물을 기준으로 거리에 따른 총 6개의 조사 지점을 선정하였다.

우이동 계곡에 위치한 사방공작물로 높이가 약 1.8m, 폭이 약 13.0m에 이르며 위의 두 공작물에 비하여 그 규모는 작았다(그림 10). 또한 하천의 구배가 크고 우이동 계곡의 전구간이 평상시 유량이 적기 때문에 본 공작물에 의한 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

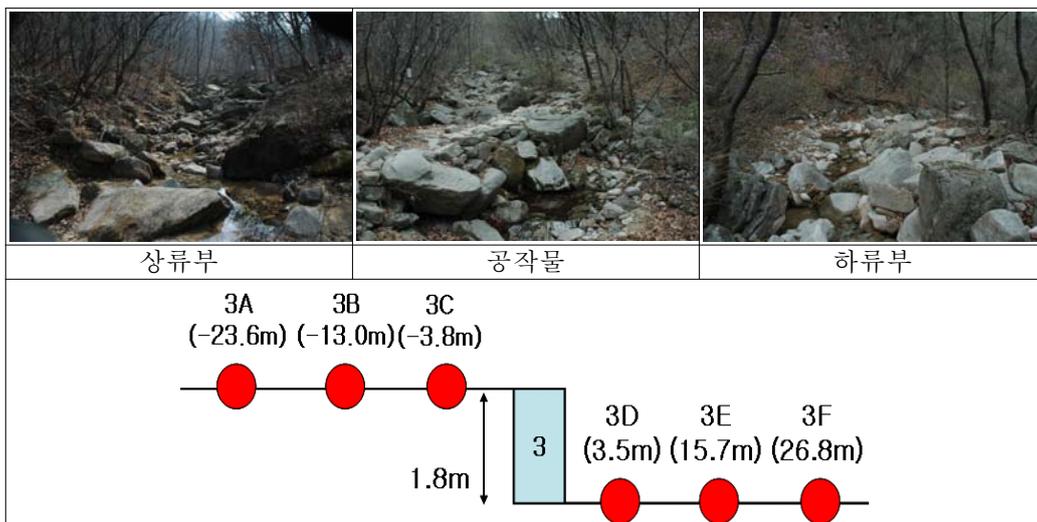


그림 10. 우이동계곡의 돌낙차공(유형 3)의 개황

우이동계곡의 돌낙차공을 중심으로 상류부와 하류부 각각 3개의 지점을 선정하여 저서성 대형무척추동물의 현장조사를 실시하였다. 아래의 표 25에서와 같이 3C 지점에서 총 16종으로 가장 적은 종이 출현하였으나, 3A 지점과 3E지점은 각각 25.0(±15.6)종과 36종으로 출현종수에 있어서 현저한 차이를 보이고 있었다. 그러나 우이동계곡과 같이 공작물의 높이가 약 1.8m 내외로 규모가 작고 형태적으로 인근 구간의 환경과 크게 다르지 않아 그 영향은 일시적인 것으로 판단된다.

표 25. 돌낙차공(유형 3)에서 거리에 따른 주요 분류군의 출현종수

Taxa / Site	3A (-23.6)	3B (-13.0)	3C (-3.8)	3D (3.5)	3E (15.7)	3F (26.8)
Non-insects	3.0 (±1.4)	2.2 (±1.0)	1	1.7 (±0.6)	3	2.3 (±1.2)
EPT	17.0 (±7.1)	17.8 (±3.9)	14	14.3 (±4.0)	24	15.0 (±5.2)
Other-Insects	5.0 (±7.1)	4.2 (±1.3)	1	4.3 (±3.2)	9	4.7 (±2.3)
Total	25.0 (±15.6)	24.2 (±3.9)	16	20.3 (±6.8)	36	22.0 (±7.5)

※ EPT : Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera

각 지점에서의 주요 분류군별 개체수현존량에서도 비영향권이라 할 수 있는 지점 3A와 3E 지점에서 각각 평균 3,800.0(±3,677.0) inds./m<sup>2</sup>와 3,822.2 inds./m<sup>2</sup>로 가장 높은 개체수현존량으로 나타났지만, 영향권 내의 두 지점 3C와 3D 지점에서는 683.4 inds./m<sup>2</sup>와 1,768.5 inds./m<sup>2</sup>로 개체수현존량의 급감을 확인할 수 있었다(표 26). 한편 지점 3C는 공작물의 영향으로 소가 형성되어 있는 지점으로 옆새우류(Gammarus sp.)와 민강도래류(Nemouridae) 등의 개체수현존량이 나머지 지점들에 비하여 매우 높았는데, 이와 같은 분류군은 유속의 영향이 적은 환경에서 낙엽 등의 퇴적되어 있는 부식물을 갉아먹고 사는 무리들이다. 이와는 달리 3A와 3E 지점에서는 하루살이류와 날도래류와 같은 주워먹는무리(collector-gatherer) 또는 긁어먹는무리(scraper)가 높은 개체수점유율로 나타났는데 이들은 유속이 빠른 서식처의 하상에 붙어 먹이를 획득하는 분류군이다. 이러한 점에서 볼 때 공작물에 의한 출현종수와 개체수현존량 뿐만 아니라 군집을 이루고 있는 저서성 대형무척추동물 구성원의 차이가 큼을 알 수 있다.

표 26. 돌낙차공(유형 3)에서 거리에 따른 주요 분류군의 개체수현존량(ind./m<sup>2</sup>)

Taxa / Site	3A (-23.6)	3B (-13.0)	3C (-3.8)	3D (3.5)	3E (15.7)	3F (26.8)
Non-insects	1,033.3 (±424.3)	436.1 (±327.6)	22.2	146.3 (±59.4)	477.8	513.0 (±470.0)
EPT	2,127.8 (±2,349.2)	1,077.8 (±689.9)	655.6	1,492.6 (±1,664.5)	2,166.7	964.8 (±620.2)
Other-Insects	638.9 (±903.5)	90.3 (±88.2)	5.6	129.6 (±186.1)	1,177.8	113.0 (±153.0)
Total	3,800.0 (±3,677.0)	1,604.2 (±1,011.3)	683.4	1,768.5 (±1,875.2)	3,822.2	1,590.7 (±1,230.7)

※ EPT : Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera

우이동계곡에 위치하고 있는 사방공작물을 기준으로 상류부와 하류부에서의 조사 지점의 거리에 따른 출현종수와 개체수현존량의 변화를 보면 앞서 언급한대로 공작물에 인접하고 있는 지점에서 멀어질수록 출현종수와 개체수현존량이 점차 증가하고 있음을 알 수 있다(그림 11). 또한 우이동계곡의 경우 돌낙차공이 발원지와 가까운 상류부에 위치하고 비교적 낮은 공작물임에도 불구하고 평상시 하천의 흐름을 단절 시킴으로써 일시적으로 공작물의 상류와 하류부의 종구성과 개체수의 큰 차이를 유발시키고 있으며, 하류부에는 유량의 확보를 지연시킴으로써 출현종과 개체수현존량의 회복이 다소 더디게 나타나고 있음을 알 수 있다.

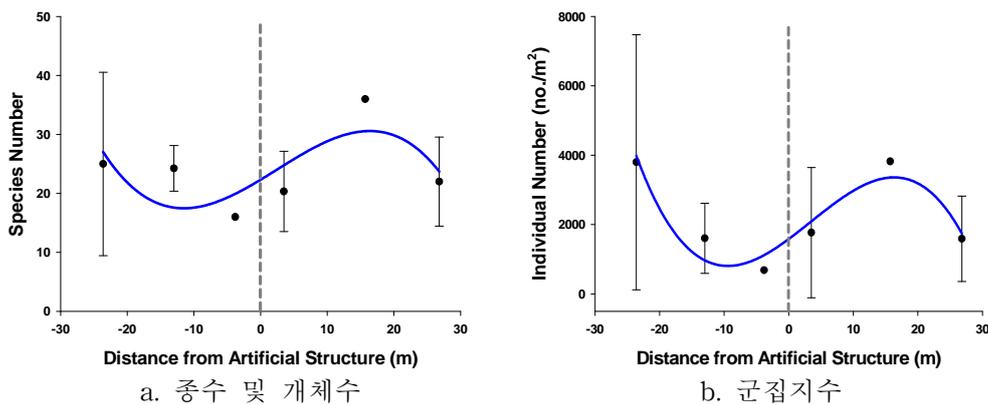


그림 11. 돌낙차공(유형 3)에서의 거리에 따른 군집의 변화

우이동계곡에 위치하는 돌낙차공을 기준으로 상류와 하류 각 조사지점에서의 평균 군집지수는 표 27과 같다. 우이동계곡의 상류는 하천의 구배가 큰 반면 평상시 유량이 매우 적다. 이러한 지역에 설치되어 있는 돌낙차공의 사방공작물은 하천의 흐름을 더욱 차단하기 때문에 상·하류로 소를 형성하게 된다. 따라서 계류구간과 달리 사방공작물과 인접한 일부 구간에서는 옆새우류(*Gammarus* sp.)와 민강도래류(Nemouridae), 녹색강도래(*Sweltsa nikkoensis*) 등과 같은 특정 분류군의 증식이 폭발적으로 이루어지므로 일반적으로 높은 우점도지수값과 낮은 다양도지수값으로 나타나게 된다. 그러나 봄 또는 늦은 가을과 같이 유량이 적어지는 갈수기에는 반대의 결과가 나타나기도 하였는데, 이는 돌낙차공의 영향권의 지점에 서식하는 저서생물의 출현종수와 개체수가 모두 적었기 때문으로 총 종수 및 총 개체수현존량으로 종의 구성이 어느 정도 풍부한가를 평가하는 지수인 풍부도 지수값을 통하여 확인할 수 있다.

표 27. 돌낙차공(유형 3)에서 거리에 따른 군집지수의 변화

Index / Points	3A (-23.6)	3B (-13.0)	3C (-3.8)	3D (3.5)	3E (15.7)	3F (26.8)
우점도지수(DI)	0.466 (±0.205)	0.464 (±0.084)	0.658	0.520 (±0.049)	0.344	0.542 (±0.076)
다양도지수(H')	3.243 (±0.841)	3.448 (±0.364)	2.557	3.088 (±0.370)	4.009	3.123 (±0.536)
균등도지수(J')	0.719 (±0.033)	0.751 (±0.047)	0.639	0.718 (±0.022)	0.775	0.707 (±0.054)
풍부도지수(R1)	2.914 (±1.527)	3.228 (±0.636)	2.298	2.669 (±0.554)	4.243	2.890 (±0.814)

#### 라) 고찰

돌낙차공의 유형에 따른 출현종수 및 개체수현존량은 영향권과 비영향권 사이에서 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 즉, 조사된 각 공작물 유형에 상관없이 공작물의 직접적인 영향을 받아 물리적인 서식환경이 단순해진 영향권의 출현종수 및 개체수현존량이 그렇지 않은 비영향권의 조사결과와 비교하였을 때 크게 감소한 것으로 나타났다(표 28). 이러한 결과는 공작물에 의한 낙차가 클수록 그 차이가 더욱 현저하였다. 다시 말하면, 유형 1(높이 4.5m, 폭 16m) > 유형 2(높이 3.8m, 폭 19.7m) > 유형 3



(높이 1.8m, 폭 13.0m)의 순으로 영향권과 비영향권 사이의 출현종수 및 개체수현존량의 차이가 컸다(그림 22).

표 28. 돌낙차공에서 유형에 따른 출현종수 및 개체수현존량(inds/m<sup>2</sup>)

구분	유형 1		유형 2		유형 3	
	종수	개체수	종수	개체수	종수	개체수
비영향권	24.3 (±3.3)	1,700.0 (±617.3)	23.5 (±3.4)	1,893.1 (±1,214.0)	25.3 (±9.7)	2,831.9 (±2,572.3)
영향권	17.8 (±4.4)	925.0 (±632.6)	20.3 (±4.9)	1,188.9 (±912.4)	22.0 (±6.1)	2,187.5 (±1,558.5)

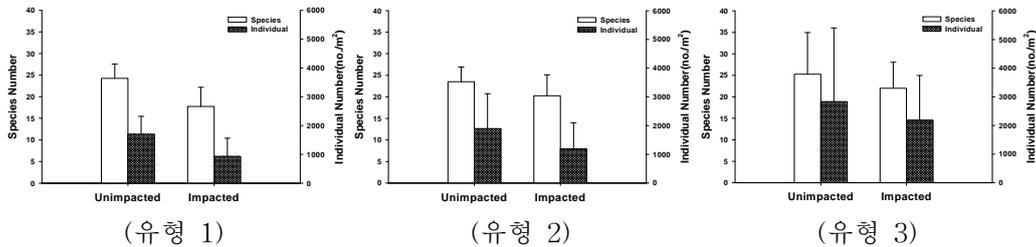


그림 22. 돌낙차공에서 유형에 따른 출현종수 및 개체수현존량의 변화

북한산국립공원에 소재하는 돌낙차공의 각 유형에 따른 주요 분류군의 출현종수 및 개체수현존량은 일부 조사시기를 제외하면 앞서 언급한 바와 같이 전체적으로 본래의 물리적 서식환경을 보이는 비영향권이 보다 다양한 출현종과 풍부한 개체수현존량을 보이고 있었다. 이러한 결과는 돌낙차공과 같이 하천을 횡적으로 완전히 차단하는 공작물에 의하여 하상구조가 단순해지고 유속이 감소할 뿐만 아니라 유량변동에 의한 서식처의 변화를 직접적으로 받기 때문이다. 특히 돌낙차공의 하류지점은 낙차에 의하여 형성된 소가 크고 넓게 형성되기 때문에 각 유형의 상류부보다 더욱 현저한 차이를 보이고 있었다.

한편 돌낙차공의 모든 유형에 있어서 비영향권의 경우 하루살이·강도래·날도래(EPT; Ephemeroptera·Plecoptera·Trichoptera)와 같이 일반적으로 청정한 하천의 지표종일 뿐만 아니라 유속이 빠른 여울의 서식처에서 출현하는 분류군의 출현종수 및 개체수현존량이 영향권의 경우보다 매우 높았다. 또한 비영향권에서는 하상에 고착하여 부착조류를 섭식하거나 떠내려가는 유기물을 걸러먹는 섭식특성을 보이는 중

의 출현비율 및 개체수현존량이 매우 높았으며, 반면 영향권에서는 하상에 굴을 파고 퇴적된 유기물을 주워 먹거나 낙엽과 같이 계곡 내로 유입된 유기물을 분쇄하는(썰어먹는) 특성을 보이는 종의 비율이 높게 나타나 공작물의 영향에 따른 저서성 대형무척추동물의 출현 양상도 매우 다른 것으로 확인되었다(표 29).

개체수현존량에 있어서도 돌낙차공의 각 유형별 차이를 살펴보면 더욱 두드러짐을 알 수 있다. (유형 1)의 경우 비영향권에서는 민하루살이(*C. levanidovae*)와 빨하루살이(*D. aculea*)가 평균 개체수현존량이 전체의 약 25.0%와 10.6%로 높았으며, 영향권에서는 세갈래하루살이(*C. altioculus*)와 무늬하루살이(*E. strigata*)의 평균 개체수현존량이 전체의 약 19.4%와 14.8%로 높았다. 마찬가지로 (유형 3)의 경우 비영향권에서는 납작하루살이류(Heptageniidae)와 녹색강도래(*S. nikkoensis*), 먹파리류(*Simulium* sp.)가, 영향권에서는 두점하루살이(*E. kibunensis*), 두갈래하루살이(*P. chocolata*), 민강도래류(Nemouridae)가 높은 점유율을 차지하였다. 그러나 (유형 2)와 같이 비영향권과 영향권에서 전체 출현종수 및 개체수현존량은 차이가 있음에도 불구하고 암반에 의한 서식처의 감소 및 제한이 있는 경우 우점하는 출현종 및 그 점유율은 두 구간에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(표 29).

표 29. 돌낙차공에서의 공작물의 영향에 따른 주요 출현종의 차이

비영향권			영향권		
출현종	섭식특성	행동습성	출현종	섭식특성	행동습성
흰부채하루살이	긁어먹는무리	붙는무리	무늬하루살이	주워먹는무리	굴파는무리
민하루살이	긁어먹는무리	붙는무리	민강도래류	썰어먹는무리	기는무리
빨하루살이	긁어먹는무리	붙는무리	갈따구류	주워먹는무리	굴파는무리
녹색강도래	잡아먹는무리	붙는무리	띠무늬우묵날도래	썰어먹는무리	기는무리
먹파리	걸러먹는무리	붙는무리	네모집날도래류	썰어먹는무리	기는무리
동양줄날도래	걸러먹는무리	붙는무리			

※ 섭식특성

- 긁어먹는무리: 부착조류 섭식
- 잡아먹는무리: 포식자
- 주워먹는무리: 하상에 퇴적된 유기물 섭식
- 걸러먹는무리: 물의 흐름을 따라 떠내려오는 가는 유기입자를 섭식
- 썰어먹는무리: 낙엽과 같은 하상에 퇴적된 굵은 유기입자 섭식

※ 행동습성

- 붙는무리: 유속이 빠른 여울지역에 서식
- 굴파는무리: 모래 하상에 굴을 파고 서식
- 기는무리: 하상을 기어다니며 먹이를 섭식하고 은신

한편 각 유형에 따른 비영향권과 영향권에서의 평균적인 군집지수의 값을 살펴보면 특정종이 차지하는 비율, 즉 군집의 복잡함을 의미하는 우점도지수(DI)는 영향권에서 높고, 각 종의 개체수와 전체 출현개체수의 상대적인 출현도를 나타내는 다양도지수(H')는 상대적으로 낮음을 확인할 수 있다. 특히 다양도지수와 함께 높은 값일수록 하천에 서식하는 생물종의 생태적 안정성이 높음을 의미하는 풍부도지수(R1)는 영향권에서 그 값이 크게 감소하였다(표 30). 이러한 결과들을 통하여 전체적으로 각 조사지점은 돌낙차공의 사방공작물에 의하여 일시적으로 물리적인 환경요인의 차이에 의한 교란을 받고 있는 것으로 나타났다.

표 30. 각 유형별 군집지수 평균값의 변화

지수/유형	유형 1		유형 2		유형 3	
	비영향권	영향권	비영향권	영향권	비영향권	영향권
우점도지수 (DI)	0.490 (±0.157)	0.496 (±0.107)	0.433 (±0.025)	0.520 (±0.081)	0.483 (±0.121)	0.522 (±0.045)
다양도지수 (H')	3.397 (±0.539)	3.080 (±0.407)	3.545 (±0.182)	3.199 (±0.366)	3.333 (±0.507)	3.136 (±0.346)
균등도지수 (J')	0.737 (±0.090)	0.755 (±0.130)	0.780 (±0.009)	0.742 (±0.024)	0.728 (±0.024)	0.709 (±0.012)
풍부도지수 (R1)	3.138 (±0.333)	2.518 (±0.450)	3.063 (±0.377)	2.808 (±0.372)	3.121 (±0.945)	2.776 (±0.507)

돌낙차공을 기준으로 조사지점의 거리에 따른 출현종수와 개체수현존량의 변화는 지금까지 언급한 바와 같이 영향권에서 점차 감소하지만 공작물의 영향을 벗어날수록 회복되어 가는 경향을 확인할 수 있었다. 그러나 북한산국립공원과 같이 하천의 경사도가 크고 단조로운 하상구조, 특히 암반 중심의 물리적인 환경요인을 보이는 계곡에 설치되어 있는 사방공작물의 경우 저서성 대형무척추동물의 서식공간에 큰 제한요인으로 작용하므로 그 결과는 비교적 유사한 것으로 나타났다.

2) 돌바닥막이

돌바닥막이는 북한산국립공원 북한산성 계곡의 두 지점과 우이동계곡의 한 지점을 선정하였다. 돌바닥막이는 돌낙차공과 달리 중앙부에 배수구가 있어 공작물 사이를 물이 유하하는 형태를 보이기 때문에 공작물의 상류부는 짧게나마 유속이 빠른 여울 구간이 형성되어 있는 양상을 보인다.

가) 돌바닥막이 (유형 4)

북한산성 계곡의 상류부에 위치하고 있으며, 공작물의 높이는 약 1.0m에 이른다. 공작물의 상류부에 위치하는 영향권에서는 모래 및 잔자갈 중심의 다소 짧은 구간의 소가 형성되어 있으나, 하류부는 호박돌 중심의 여울구간으로 물리적인 서식환경이 각기 다르다. 그러나 상류부에도 암반이 많고 자연적으로 이루어진 폭호가 많아 물리적인 서식처는 구간에 따라 다른 것으로 나타났다(그림 23).

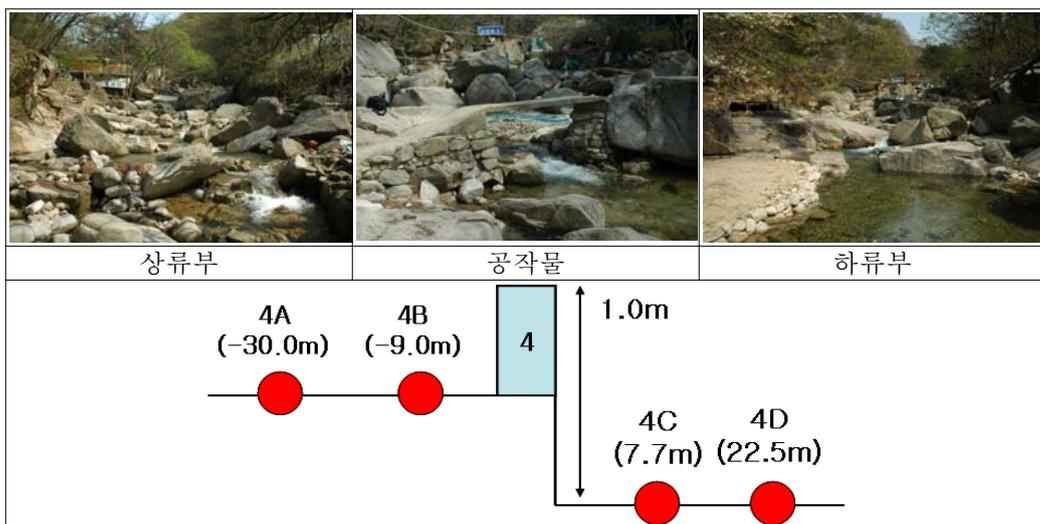


그림 23. 북한산성 계곡의 돌바닥막이(유형 4)의 개황

북한산성계곡의 돌바닥막이를 기준으로 상·하류 지점에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 출현종을 살펴보면, 비영향권이라 할 수 있는 두 지점 4A와 4D의 평균 출현종수가 20.0(±9.9)종과 18.5(±10.6)종이었고, 영향권 내에 위치하는 두 지점 4B와 4C에서의 평균 출현종수는 각각 17.0(±9.9)종 및 22.5(±9.2)종으로 나타나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다(표 31). 또한 공작물을 기준으로 하여 전체적인 분류군의 구성

도 유사하게 나타나 이 공작물에 의한 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

표 31. 돌바닥막이(유형4)에서 거리에 따른 주요 분류군의 출현종수

Taxa / Site	4A(-30.0)	4B(-9.0)	4C(7.7)	4D(22.5)
Non-insects	2.0 (±1.4)	2.0 (±0.0)	2.0 (±1.4)	2.0 (±0.0)
EPT	13.0 (±7.1)	11.0 (±5.7)	15.5 (±4.9)	11.0 (±9.9)
Other-Insects	5.0 (±1.4)	4.0 (±4.2)	5.0 (±2.8)	5.5 (±0.7)
Total	20.0 (±9.9)	17.0 (±9.9)	22.5 (±9.2)	18.5 (±10.6)

※ EPT : Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera

각 지점에서의 주요 분류군별 개체수현존량은 비영향권(4A 및 4D)에서 평균 1,958.3 inds./m<sup>2</sup>과 955.6(±950.7) inds./m<sup>2</sup>, 영향권(4B 및 4D)에서 평균 827.8 (±612.8)과 1,113.9(±828.9) inds./m<sup>2</sup>로 나타났으나, 전체적으로 4A 지점을 제외한 대부분의 지점에서의 결과값과 주요 분류군의 점유율은 크게 다르지 않은 것으로 나타났다(표 32). 또한 공작물과의 거리에 상관없이 모든 지점에서 녹색강도래(*S. nikkoensis*), 두점하루살이(*E. kibunensis*), 그리고 두갈래하루살이(*P. chocolata*) 등이 우점하고 있는 결과 역시 유사하였다. 이러한 결과는 이 지역에 설치되어 있는 돌바닥막이가 높이 약 1.1m 내외로 규모가 작고 수변부의 암반 위에 단지 석축을 쌓아 놓은 구조로 이루어져 있어 하천생태계 자체에 미치는 영향이 비교적 미미하기 때문으로 판단된다.

표 32. 돌바닥막이(유형4)에서 거리에 따른 주요 분류군의 개체수현존량(inds./m<sup>2</sup>)

Taxa / Site	4A(-30.0)	4B(-9.0)	4C(7.7)	4D(22.5)
Non-insects	347.2 (±271.1)	119.4 (±58.9)	97.2 (±3.9)	127.8 (±110.0)
EPT	1,355.6 (±1,461.4)	605.6 (±573.5)	847.2 (±734.6)	688.9 (±801.4)
Other-Insects	255.6 (±172.8)	102.8 (±98.2)	169.4 (±90.4)	138.9 (±39.3)
Total	1,958.3 (±1,017.4)	827.8 (±612.8)	1,113.9 (±828.9)	955.6 (±950.7)

※ EPT : Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera

북한산성계곡의 돌바닥막이(유형 4)를 기준으로 조사지점의 거리에 따른 출현종수와 개체수현존량의 전체적인 변화 양상은 공작물의 인근에서 감소하다 이후 회복되는 경향성을 보이고 있다(그림 24). 그러나 하류부에 위치한 또 다른 돌바닥막이(유형 5)의 영향에 의하여 다시 감소함을 알 수 있다. 그러나 전체적으로는 공작물의 위치와 낮은 구조로 인하여 상류부와 하류부의 물리적 환경차이가 크게 다르지 않기 때문에 출현종수의 변화에는 큰 차이는 없었다.

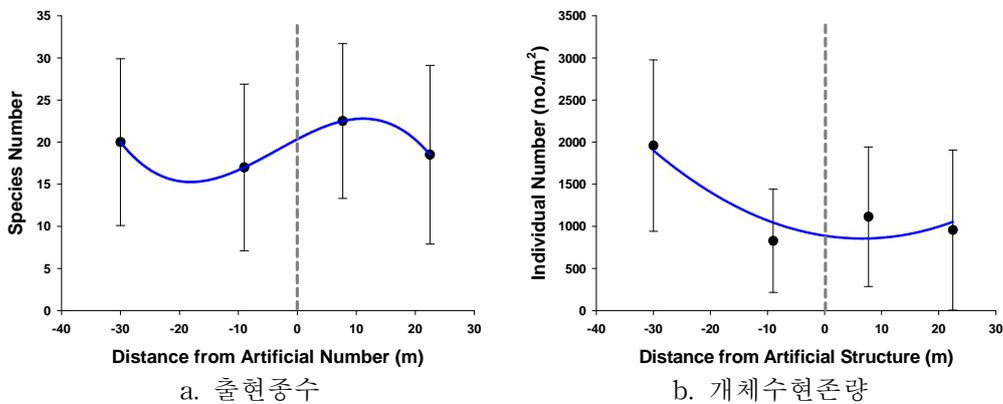


그림 24. 돌바닥막이(유형4)에서의 거리에 따른 균집의 변화

북한산성계곡의 상류부에 위치하는 돌바닥막이의 상류와 하류 조사지점의 균집지수는 표 33과 같다. 먼저 우점도지수는 사방공작물의 위치와 상관없이 하류 지점으로 갈수록 점차 낮아지고 있으며 다양도지수는 반대로 증가하는 양상을 보이는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 하천의 구배가 크고 유량이 상대적으로 적은 지점 4A에서는 녹색강도래(*S. nikkoensis*)와 두점하루살이(*E. kibunensis*)와 같은 특정 종의 점유율이 다른 종에 비하여 매우 높았으나, 하류부에서는 사방공작물에 의하여 유량이 확보되면서 비교적 다양한 서식환경을 포함하기 때문에 다양한 종이 비교적 고른 분포를 하기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 균등도지수값과 종풍부도지수값 또한 사방공작물의 존재와 상관없이 큰 차이가 없는 것으로 나타났는데, 이러한 결과들을 종합하였을 때 본 조사지역의 사방공작물은 저서생물의 서식공간에 교란요인으로서 비교적 영향이 적은 것으로 판단된다.

표 33. 돌바닥막이(유형4)에서 거리에 따른 균집지수의 변화

Index/Point	4A(-30.0)	4B(-9.0)	4C(7.7)	4D(22.5)
우점도지수(DI)	0.647 (±0.093)	0.577 (±0.100)	0.486 (±0.161)	0.374 (±0.085)
다양도지수(H')	2.671 (±0.556)	2.852 (±0.658)	3.188 (±0.735)	3.363 (±0.167)
균등도지수(J')	0.630 (±0.020)	0.721 (±0.004)	0.715 (±0.068)	0.839 (±0.140)
풍부도지수(R1)	2.490 (±1.138)	2.364 (±1.213)	3.079 (±0.970)	2.576 (±1.138)

나) 돌바닥막이 (유형 5)

북한산성 계곡에 위치하며, 두 개의 암반 사이에 설치된 사방공작물로 높이는 약 1.1m로 작지만 암반을 포함한 전체적인 높이는 약 4.3m에 이른다. 또한 돌바닥막이(유형 4)의 하류부에 설치되어 있으며 두 공작물은 약 30.8m의 이격거리를 두고 있다. 본 공작물에 의하여 상류부, 특히 큰 낙차로 인하여 하류부에 형성된 소는 다소 넓게 형성되어 있어 영향을 받는 구간이 다소 길게 나타났다(그림 25).

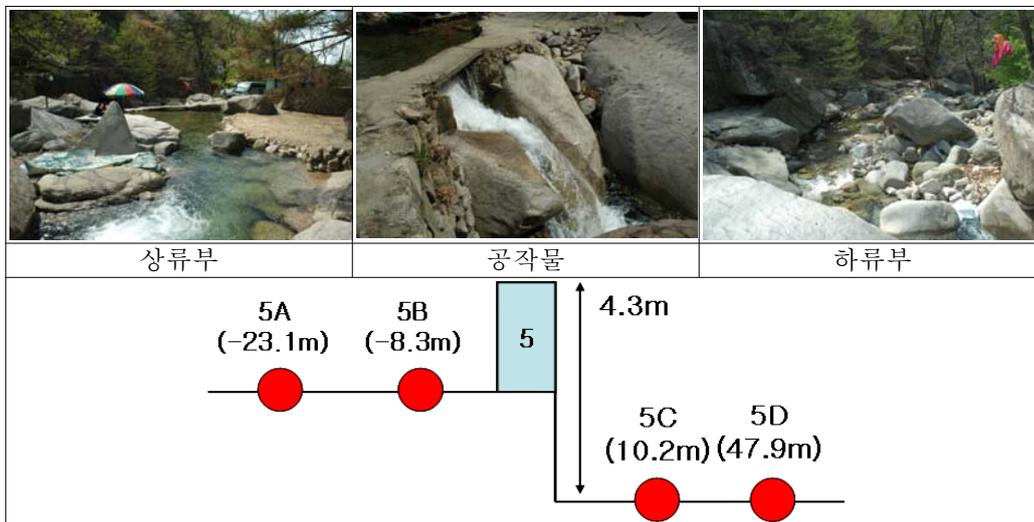


그림 25. 북한산성 계곡의 돌바닥막이(유형5)의 개황

돌바닥막이(유형 5)의 조사구간은 일반적으로 공작물 부근에서 수폭이 좁아지고 유속이 빨라지며, 하류부에 낙차에 의한 소가 폭넓게 형성되는 경향을 보인다. 이러한 경향은 (유형 4)와 같이 공작물의 높이가 낮은 경우에는 하천생태계에 미치는 영향이 비교적 적으나, (유형 5)와 같이 낙차가 4.3m 내외로 큰 경우 공작물은 물리적 서식처의 단순화에 직접적인 영향을 주는 것으로 판단된다. 이러한 영향은 유량변동에 의한 저서성 대형무척추동물의 서식처 감소에도 큰 영향을 미치는 것으로 보인다. 더욱이 정릉계곡의 돌낙차공(유형 1 및 유형 2)과 마찬가지로 북한산성계곡의 돌바닥막이(유형 4 및 유형 5)처럼 공작물이 연속적으로 배열되어 있는 경우 하류부에 위치한 지점은 회복이 지연되어 나타난다(표 34).

표 34. 돌바닥막이(유형5)에서 거리에 따른 주요 분류군의 출현종수

Taxa / Point	5A(-23.1)	5B(-8.3)	5C(10.2)	5D(47.9)
Non-insects	2.0 (±1.4)	2.0 (±0.0)	2.0 (±0.0)	3.0 (±0.0)
EPT	15.5 (±4.9)	11.0 (±9.9)	12.0 (±4.2)	11.0 (±8.5)
Other-Insects	5.0 (±2.8)	5.5 (±0.7)	6.0 (±2.8)	3.5 (±2.1)
Total	22.5 (±9.2)	18.5 (±10.6)	20.0 (±7.1)	17.5 (±6.4)

※ EPT : Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera

각 조사지점에서의 주요 분류군별 개체수현존량은 비영향권에 해당하는 상류부의 5A 지점 이후 대체로 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 출현종수에서와 마찬가지로 하류부의 돌낙차공에 의하여 직접적인 영향을 받는 5D 지점에서 가장 낮은 930.6(±302.5) inds./m<sup>2</sup>의 개체수현존량을 보이고 있었다(표 35).



표 35. 돌바닥막이(유형5)에서 거리에 따른 주요 분류군의 개체수현존량(inds./m<sup>2</sup>)

Taxa / Point	5A(-23.1)	5B(-8.3)	5C(10.2)	5D(47.9)
Non-insects	97.2 (±3.9)	127.8 (±110.0)	91.7 (±74.6)	163.9 (±90.4)
EPT	847.2 (±734.6)	688.9 (±801.4)	886.1 (±907.5)	616.7 (±392.8)
Other-Insects	169.4 (±90.4)	138.9 (±39.3)	261.1 (±243.6)	150.0 (±0.0)
Total	1,113.9 (±828.9)	955.6 (±950.7)	1,238.9 (±1,225.7)	930.6 (±302.5)

※ EPT : Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera

본 사방공작물은 하류방향으로 돌낙차공이 연속적으로 설치되어 있어 두 공작물이 출현종수와 개체수현존량에 영향을 주고 있음을 알 수 있다(그림 26). 특히 이 공작물은 (유형 4)의 경우와 달리 낙차가 매우 크고 하천의 수로를 완전히 차단하고 있는 모습을 보이고 있기 때문에 돌바닥막이 중심부에서 유속이 증가할 뿐만 아니라 상류와 하류부에 형성된 소에서는 유기물의 퇴적이 다른 지역보다 두드러지게 나타나고 있었다. 이는 종구성과 개체수현존량이 비교적 균일하게 나타나는 일반적인 현상과 달리 일부 분류군이 높은 밀도로 서식하는 결과로 나타난다. 여기서는 두점하루살이(*E. kibunensis*), 갈따구류(Chironomidae), 녹색강도래(*S. nikkoensis*)의 개체수 점유율이 매우 높았다.

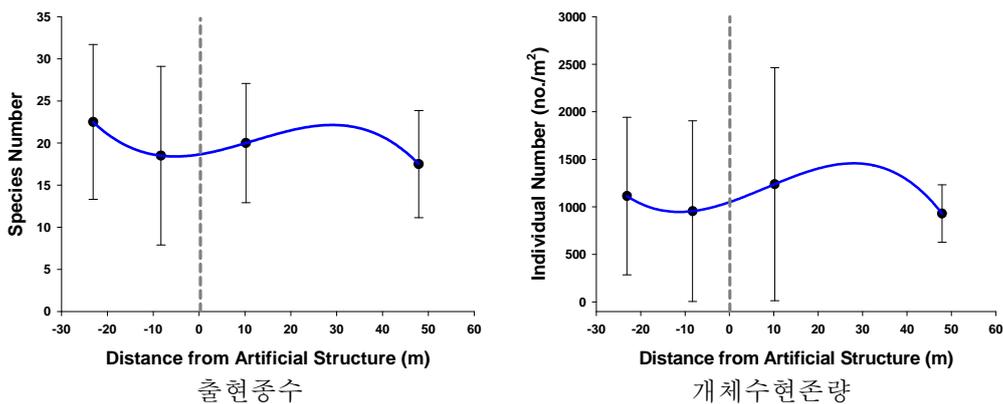


그림 26. 돌바닥막이(유형5)에서의 거리에 따른 저서생물의 변화

돌바닥막이(유형 5)를 기준으로 상류와 하류 조사지점의 균집지수는 표 36과 같다. 여기에서 우점도지수는 사방공작물의 비영향권에 해당하는 두 지점(5A 및 5D)에서 영향권의 값보다 다소 높았다. 또한 다양도지수는 돌바닥막이의 영향권(5B 및 5C)에서 각각 평균 3.363( $\pm 0.167$ ) 및 3.168( $\pm 0.288$ )로 빈부수성(oligosaprobic) 수역으로 나타났고 비영향권에서는 각각 3.188( $\pm 0.735$ )와 3.091( $\pm 0.565$ )로 역시 빈부수성(oligosaprobic)으로 평가되었다. 오수생물계열상 영향권과 비영향권이 동일한 빈부수성 수역으로 평가되기는 하였으나 그 질적인 차이는 있다.

표 36. 돌바닥막이(유형5)에서 거리에 따른 균집지수의 변화

Index / Point	5A(-23.1)	5B(-8.3)	5C(10.2)	5D(47.9)
우점도지수(DI)	0.486 ( $\pm 0.161$ )	0.374 ( $\pm 0.085$ )	0.482 ( $\pm 0.036$ )	0.502 ( $\pm 0.079$ )
다양도지수(H')	3.188 ( $\pm 0.735$ )	3.363 ( $\pm 0.167$ )	3.168 ( $\pm 0.288$ )	3.091 ( $\pm 0.565$ )
균등도지수(J')	0.715 ( $\pm 0.068$ )	0.839 ( $\pm 0.140$ )	0.742 ( $\pm 0.023$ )	0.755 ( $\pm 0.039$ )
풍부도지수(R1)	3.079 ( $\pm 0.970$ )	2.576 ( $\pm 1.138$ )	2.751 ( $\pm 0.545$ )	2.404 ( $\pm 0.818$ )

#### 다) 돌바닥막이 (유형 6)

돌바닥막이 사방공작물의 중점 조사지역으로 북한산국립공원 우이동계곡 중 한 곳을 택하였으며, 적절한 생물서식공간을 파악하여 공작물을 기준으로 거리에 따른 총 9개의 조사지점을 선정하였다.

우이동계곡의 돌바닥막이는 높이가 약 3.1m, 길이가 15.6m에 이르는 공작물이다. 상류부는 비교적 여울구간이 잘 발달하여 있으나 하류부는 본 공작물의 낙차에 의하여 소가 폭넓게 형성되어 있으며 암반과 잔자갈 중심의 하상구조를 보이고 있다. 한편 이 소의 하류부에도 자연적으로 형성된 폭호가 폭넓게 형성되어 있어서 이러한 소의 영향으로 공작물의 상류부와 하류부의 저서생물의 물리적 서식환경은 크게 차이가 있는 것으로 나타났다(그림 27).

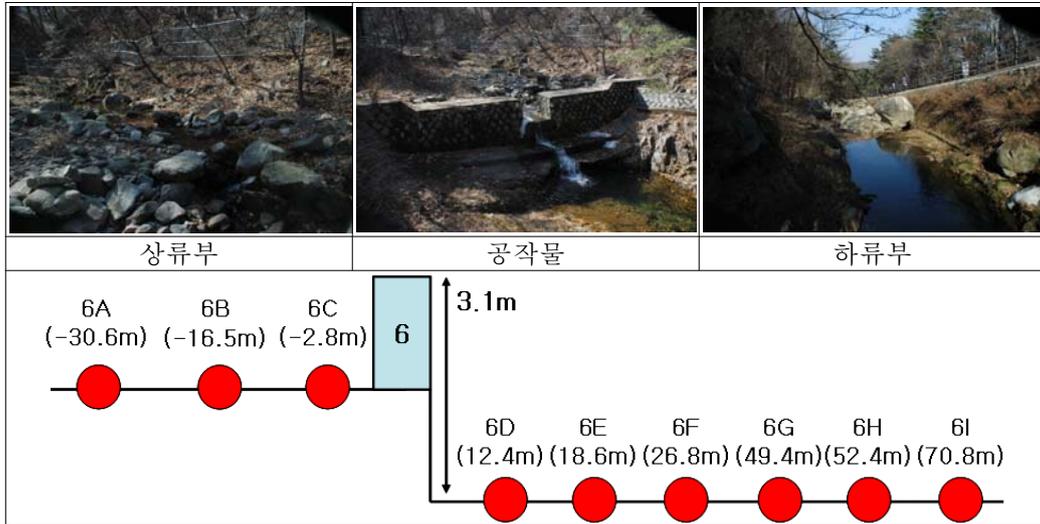


그림 27. 우이동계곡의 돌바닥막이(유형6)의 개황

돌바닥막이를 기준으로 상류와 하류에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 출현종은 공작물의 영향권에 해당하는 6D 지점에서 총 19.0종으로 가장 적었다. 이 후 영향권에서 벗어날수록 점차 출현종이 증가하다가 다시 6F~6G 구간에서 다소 감소하였다(표 37). 이러한 결과는 6C 및 6D의 지점과 같이 공작물에 의한 인위적인 교란 외에 지형적으로 자연적으로 형성된 낙차, 즉 폭포에 의한 영향을 받기 때문에 일시적으로 출현종수가 감소한 것이다. 이처럼 북한산국립공원의 경우와 같이 이화학적 수질 상태는 양호하다 할지라도 인위적 및 자연적으로 야기되는 물리적인 서식환경의 변화, 즉 소의 형성에 의하여 저서성 대형무척추동물의 생물상 또는 다양성이 단순화되기도 한다.

표 37. 돌바닥막이(유형6)에서 거리에 따른 주요 분류군의 출현종수

Taxa/ Points	6A (-30.6)	6B (-16.5)	6C (-2.8)	6D (12.4)	6E (18.6)	6F (26.8)	6G (49.4)	6H (52.4)	6I (70.8)
Non- Insects	4.0 (±0.0)	3.0	4.0 (±0.0)	3.0	3.0	4.0	3.0	3.0	4.0
EPT	18.5 (±2.1)	22.0	13.5 (±2.1)	11.0	18.0	12.0	10.0	15.0	21.0
Other- Insects	6.0 (±0.0)	7.0	2.5 (±0.7)	5.0	9.0	3.0	4.0	3.0	7.0
Total	28.5 (±2.1)	32.0	20.0 (±2.8)	19.0	30.0	19.0	17.0	21.0	32.0

※ EPT : Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera

출현한 개체수현존량의 경우 사방공작물의 영향권 내의 지점인 6C~6D 구간과 자연적으로 형성된 폭호에 의한 영향을 받는 6F~6G 구간에서 개체수현존량이 감소하여 그 외 비영향권의 지점과 대조를 이루고 있다(표 38). 전체적으로 공작물 및 폭호는 하천의 균일한 구조적인 연속성을 저해하고, 상류부 및 하류부에 수심이 깊고 단조로운 소를 형성함으로써 저서성 대형무척추동물의 서식공간을 제한한다. 또한 이러한 현상은 강우에 의하여 유량이 증가되는 시기에 더욱 두드러지는 차이를 보이는 것이 일반적이다.

표 38. 돌바닥막이(유형6)에서 거리에 따른 주요 분류군의 개체수현존량(inds./m<sup>2</sup>)

Taxa/ Points	6A (-30.6)	6B (-16.5)	6C (-2.8)	6D (12.4)	6E (18.6)	6F (26.8)	6G (49.4)	6H (52.4)	6I (70.8)
Non- insects	425.0 (±247.5)	111.1	252.8 (±74.6)	638.9	411.1	200.0	227.8	466.7	327.8
EPT	3,261.1 (±675.7)	2,016.7	1,175.0 (±200.4)	227.8	2,572.2	261.1	388.9	744.4	2,483.3
Other- Insects	647.2 (±711.0)	344.4	266.7 (±330.0)	116.7	527.8	38.9	238.9	927.8	244.4
Total	4,333.3 (±282.8)	2,472.2	1,694.4 (±605.0)	983.3	3,511.1	500.0	855.6	2,138.9	3,055.6

※ EPT : Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera

우이동계곡의 돌바닥막이를 기준으로 각 조사지점의 거리에 따른 출현종수와 개체수현존량의 변화를 보면 앞서 언급한 바와 같이 사방공작물의 영향권인 지점과 폭호가 있는 구간에서 출현종수와 개체수현존량이 지속적으로 크게 감소하는 것을 알 수 있다(그림 28). 먼저 인위적인 교란요인으로 작용하는 바닥막이는 설치목적상 하상의 종적인 침식을 막고 유속을 감소시키는 것이기 때문에 공작물의 상류부에 하상의 퇴적과 강우시 유량증가에 의한 낙차로 소가 만들어지는 것은 당연한 결과로 판단된다. 결국 이러한 결과는 생물의 미소서식처의 다양성을 감소시킴으로써 결과적으로 종과 개체수의 감소를 유발시키며 군집구조를 단순화하는 요인으로 작용한다. 또한 자연적으로 형성된 폭호의 경우에 있어서도 바닥막이와 동일한 원인에 의하여 저서성 대형무척추동물의 다양성이 감소하는 것으로 나타났으며, 이러한 두 공작물은 하천의 수환경과는 상관없이 하천생태계의 종적인 흐름을 억제하여 종다양성과 개체수현존량에 크게 영향을 주고 있는 것으로 파악되었다.

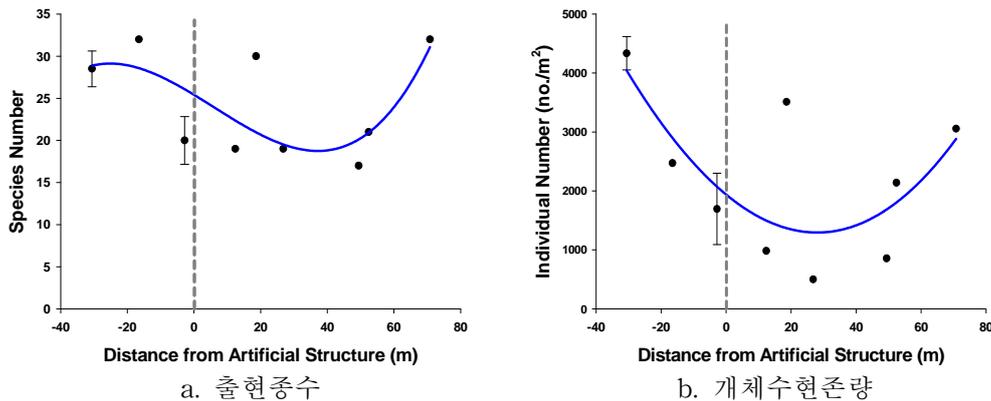


그림 28. 돌바닥막이(유형6)에서의 거리에 따른 군집의 변화

우이동계곡의 돌바닥막이를 기준으로 하는 상류와 하류 지점의 군집지수는 표 39와 같다. 전체적으로 돌바닥막이의 영향을 받는 6C 지점이 출현종수는 적은 반면 민하루살이(*C. levanidovae*), 열새우류(*Gammarus* sp.), 먹파리(*Simulium* sp.)의 개체수현존량이 매우 높게 나타났기 때문에 우점도지수가 증가하고 다양도지수가 감소하였다. 또한 폭호의 영향을 받는 6G의 지점에서는 반대의 양상을 보이고 있는데, 이는 단지 출현한 저서성 대형무척추동물의 출현종수 및 개체수현존량이 모두 적었기 때문이며, 이는 총 종수 및 총 개체수현존량으로 종의 구성이 어느 정도 풍부한지를

평가하는 지수인 풍부도지수를 통하여 확인할 수 있다. 실제로 6G 지점의 경우 총 17종, 855.6 inds./m<sup>2</sup> 중에서 다슬기(*S. libertina*), 가시날도래(*G. japonica*), 깔따구류 sp.1(Chironomidae sp.1) 세 종의 점유율이 약 50.6%를 차지하였다.

균등도지수는 돌바닥막이와 폭호의 영향권 내 지점에서 높은 값을 보이는 것으로 나타났는데 이는 단순히 높은 다양도지수에 비하여 출현종수가 적었기 때문으로 판단된다. 풍부도지수는 출현한 생물의 총 종수와 총 개체수를 고려하여 존재하는 종의 구성이 어느 정도 높은가(또는 어느 정도 풍부한가)를 가늠하는 척도가 되는 지수로 사방공작물의 인근 지점에서 감소하다가 이 공작물에서 멀어질수록 다소 증가하는 경향을 보이고 있으나 상기한 결과와 마찬가지로 폭호의 영향에 의하여 다시 큰 폭으로 떨어짐을 확인할 수 있다.

표 39. 돌바닥막이(유형 6)에서 거리에 따른 군집지수의 변화

Index/ Point	6A (-30.6)	6B (-16.5)	6C (-2.8)	6D (12.4)	6E (18.6)	6F (26.8)	6G (49.4)	6H (52.4)	6I (70.8)
DI	0.619 (±0.120)	0.344	0.501 (±0.123)	0.582	0.446	0.411	0.377	0.600	0.515
H'	2.857 (±0.217)	3.806	3.102 (±0.286)	2.841	3.519	3.633	3.475	2.831	3.556
J'	0.592 (±0.058)	0.761	0.718 (±0.032)	0.669	0.717	0.855	0.850	0.645	0.711
R1	3.285 (±0.279)	3.968	2.561 (±0.256)	2.612	3.552	2.896	2.370	2.608	3.863

#### 라) 고찰

돌바닥막이의 각 유형에 따른 비영향권 및 영향권에서의 출현종수 및 개체수현존량을 살펴보면, 출현종수에 있어서는 서로 큰 차이가 없었으나, 공작물의 영향을 받는 지점의 평균 개체수현존량은 크게 감소한 것으로 나타났다(표 40 및 그림 29). 이는 공작물 사이로 하천수가 흐르도록 설계된 형태적인 특성상 영향권 내의 두 지점은 다른 미소서식처를 포함하기 때문이다. 즉, 영향권의 경우 유량이 증가되는 강우시기를 제외하면 평상시 상류부(각 유형의 B지점)의 유속이 빠른 여울성 서식처와 하류부(각 유형의 C지점)의 정체수역을 모두 포함하기 때문에 전체적인 평균 출현종수에 있어서 큰 차이는 없는 것으로 판단된다. 그러나 저서성 대형무척추동물의 미소서식처가 다소 제한적이고 유량변동에 의한 변화폭이 크기 때문에 개체수현존량에

있어서는 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다.

표 40. 돌바닥막이 유형에 따른 출현종수 및 개체수현존량(inds/m<sup>2</sup>)

구분	유형 4		유형 5		유형 6	
	종수	개체수	종수	개체수	종수	개체수
비영향권	19.3 (±8.4)	1,456.9 (±990.7)	20.0 (±7.1)	1,022.2 (±520.3)	24.0 (±4.2)	3,336.1 (±1,693.1)
영향권	19.8 (±8.4)	970.8 (±617.6)	19.3 (±7.4)	1,097.2 (±910.4)	26.0 (±5.7)	2,816.7 (±982.1)

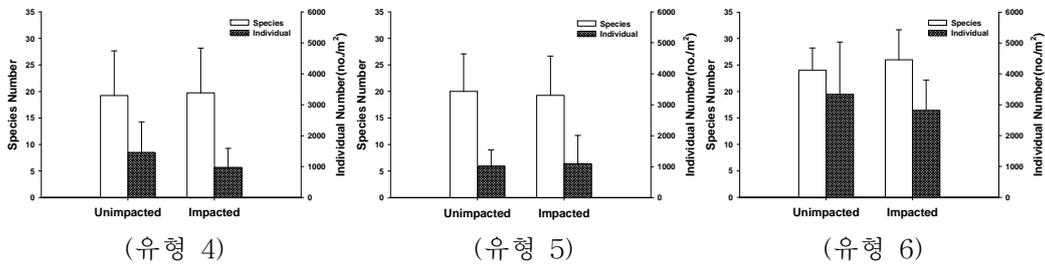


그림 29. 돌바닥막이 유형에 따른 출현종수 및 개체수현존량의 변화

북한산국립공원에 소재하는 돌바닥막이의 조사구간은 일반적으로 공작물 근처에서 수폭이 좁아지고 유속이 빨라지며, 하류부에 낙차에 의한 소가 폭넓게 형성되는 경향을 보인다. 이러한 경향은 (유형 4)와 같이 공작물의 높이가 1.0m 내외로 그 규모가 작은 경우에는 비교적 영향이 적으나, (유형 5) 및 (유형 6)과 같이 낙차가 4.0m 내외로 큰 경우 영향권 내의 물리적 서식처의 단순화에 직접적인 영향을 주는 것으로 판단된다. 또한 이러한 영향은 유량변동에 의한 저서성 대형무척추동물의 서식처의 감소에도 큰 영향을 미치는 것으로 보인다. 더욱이 정릉계곡의 돌낙차공(유형 1 및 유형 2)과 마찬가지로 북한산성 계곡의 돌바닥막이(유형 4 및 유형 5)처럼 공작물이 연속적으로 배열되어 있는 경우 하류부에서 지속적인 영향에 의하여 회복이 지연되기도 한다. 또한 (유형 5) 및 (유형 6)의 경우와 같이 하천의 경사도가 큰 계곡부에 설치되어 있는 사방공작물의 경우 공작물에 의한 영향 이외에도 자연적인 영향, 즉 암반에 의한 서식처의 단순화 및 평상시 적은 유량에 의한 제한된 서식처, 강우에 의한 하천유지수의 절대적 의존 등의 원인에 의하여도 큰 영향을 받는다. 그러나 돌바닥막이 이외의 사방공작물 유형에서도 나타나듯이 계곡부에 설치된 각각의

사방공작물은 수질에 의한 영향은 주지 않는다 하더라도 하천연속성을 단절시킴으로써 물리적인 서식환경을 변화시키는 주요 원인이므로 이러한 현상들을 더욱 악화시키는 것으로 판단된다.

한편 각 유형에 따른 비영향권과 영향권에서의 평균적인 군집지수의 값을 살펴보면 평균적인 각 지수는 대체로 차이가 적은 것으로 나타났다(표 41). 오히려 앞서 언급한 돌나차공의 결과와는 반대로 공작물의 영향을 받는 지점이 비영향권의 지점보다 우점도지수가 높고, 다양도지수·균등도지수·풍부도지수가 감소하는 결과를 보이고 있었다. 이는 공작물에 의한 긍정적인 영향이 의미하는 것이 아니라 공작물을 포함한 자연적인 교란도 함께 고려해야 함을 의미하는 것이다.

표 41. 각 유형별 군집지수 평균값의 변화

지수/유형	유형 4		유형 5		유형 6	
	비영향권	영향권	비영향권	영향권	비영향권	영향권
우점도지수 (DI)	0.510 (±0.174)	0.532 (±0.121)	0.494 (±0.104)	0.428 (±0.082)	0.567 (±0.046)	0.430 (±0.023)
다양도지수 (H')	3.017 (±0.521)	3.020 (±0.602)	3.140 (±0.538)	3.265 (±0.223)	2.921 (±0.126)	3.412 (±0.152)
균등도지수 (J')	0.735 (±0.146)	0.718 (±0.039)	0.735 (±0.051)	0.791 (±0.099)	0.639 (±0.008)	0.729 (±0.017)
풍부도지수 (R1)	2.533 (±0.931)	2.721 (±0.987)	2.741 (±0.830)	2.663 (±0.736)	2.848 (±0.339)	3.147 (±0.573)

돌바닥막이를 기준으로 조사지점의 거리에 따른 출현종수와 개체수현존량의 변화는 영향권에 근접할수록 점차 그 수가 감소하며 공작물의 영향을 벗어날수록 회복되어 가는 경향을 보이는 것으로 나타나는데, 이러한 경향은 앞서 언급한 바와 같이 (유형 5) 및 (유형 6)과 같이 낙차가 큰 경우 더욱 뚜렷하였다. 그러나 아래의 그림에서와 같이 하류부에 공작물이 연속적으로 배열되어 있는 경우(유형 4)와 암반성 하상에 의한 열악한 물리적 서식환경이 조성(유형 5 및 유형 6)되어 있는 경우는 저서성 대형무척추동물 군집의 회복을 감소 또는 지연시키는 것으로 조사되었다.



### 3) 콘크리트낙차공 (유형 7)

콘크리트낙차공의 중점 조사지역으로 북한산국립공원 우이동계곡의 한 곳을 택하였으며, 적절한 생물서식공간을 파악하여 총 9개의 조사지점을 선정하였다. 콘크리트낙차공은 돌낙차공과 유사한 형태, 즉 하천의 흐름을 완전히 차단하는 횡적 공작물이기 때문에 상류부와 하류부에 소가 폭넓게 형성되어 있다. 본 공작물은 높이 약 0.6m, 길이 약 9.8m에 이르는 공작물로 낙차공의 상부로만 물이 유하하는 구조로 이루어져 있다. 본 공작물의 상류부로는 암반 위주의 단순한 하상구조로 비교적 저서성 대형무척추동물의 서식처로서 극히 제한적이었으며, 특히 하류부는 잔자갈 및 모래 중심의 단순한 하상구조로 공작물의 영향을 큰 것으로 나타났다(그림 30).

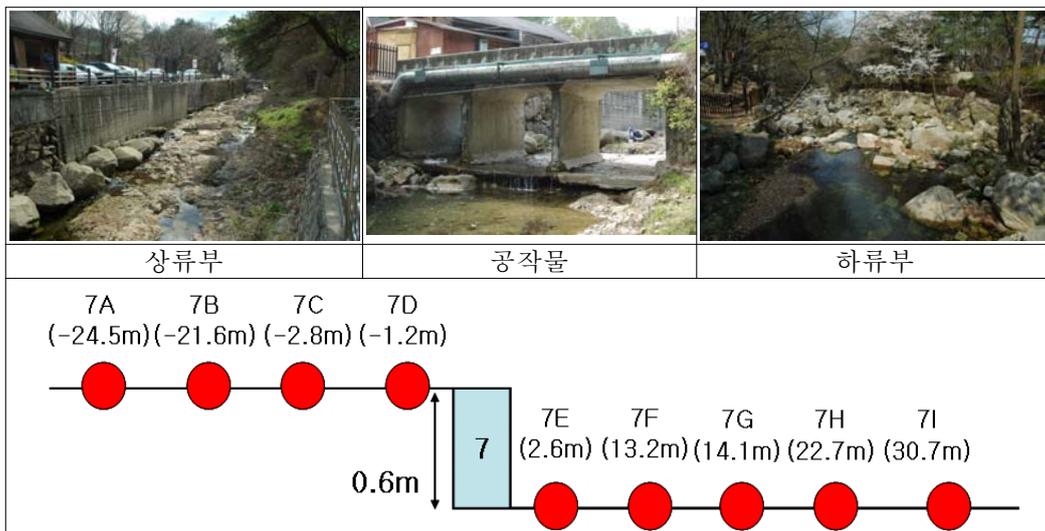


그림 30. 우이동계곡의 콘크리트낙차공(유형 7)의 개황

콘크리트낙차공을 기준으로 상류와 하류에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 출현종수는 상류부의 경우 사방공작물에 의하여 형성된 소의 영향을 받는 7D 지점에서 가장 적은 14.0종이 출현하였으며 하류부에서도 역시 사방공작물에 의하여 형성된 소인 7E 지점에서 가장 적은 17.0종이 출현하였다. 그러나 공작물에서 멀리 떨어진 7A와 7H 지점에서 각각 33.0종과 25.0종으로 점차 증가하였다(표 42). 그러나 북한산국립공원 일대의 지형적인 영향에 의하여 하상이 암반으로 구성되어 있는 경우 일시적으로 출현종이 감소하기도 하였다.

표 42. 콘크리트낙차공(유형 7)에서 거리에 따른 주요 분류군의 출현종수

Taxa/ Points	7A (-24.5)	7B (-21.6)	7C (-2.8)	7D (-1.2)	7E (2.6)	7F (13.2)	7G (14.1)	7H (22.7)	7I (30.7)
Non- insects	3.0	4.0 (±1.4)	4.0 (±1.4)	4.0	4.0	3.5 (±0.7)	4.0	4.0	4.5 (±0.7)
EPT	23.0	9.0 (±4.2)	7.5 (±2.1)	6.0	9.0	10.5 (±0.7)	17.0	18.0	10.5 (±4.9)
Other- Insects	7.0	2.5 (±3.5)	1.5 (±2.1)	4.0	4.0	5.0 (±0.0)	2.0	3.0	6.5 (±0.7)
Total	33.0	15.5 (±9.2)	13.0 (±5.7)	14.0	17.0	19.0 (±1.4)	23.0	25.0	21.5 (±6.4)

※ EPT : Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera

한편, 콘크리트낙차공을 중심으로 한 각 조사지점의 개체수현존량은 사방공작물의 영향권 내의 지점에서 현저히 감소되어 있었으며, 공작물에서 떨어진 지점에서 점차 회복되는 것으로 나타났다(표 43). 그러나 비영향권의 지점이라 하더라도 물리적인 하상구조가 단순하거나 유속이 느리고 유기물의 퇴적이 많은 지점에서는 비곤충류와 가시날도래(*Goera japonica*), 깔따구류 spp.(Chironomidae spp.)와 같이 분류군의 개체수 점유율이 매우 높게 나타났다.

표 43. 콘크리트낙차공(유형 7)에서 거리에 따른 주요 분류군의 개체수현존량(inds./m<sup>2</sup>)

Taxa/ Points	7A (-24.5)	7B (-21.6)	7C (-2.8)	7D (-1.2)	7E (2.6)	7F (13.2)	7G (14.1)	7H (22.7)	7I (30.7)
Non- insects	77.8	94.4 (±86.4)	102.8 (±11.8)	305.6	261.1	144.4 (±165.0)	183.3	544.4	141.7 (±27.5)
EPT	1244.4	280.6 (±161.1)	225.0 (±51.1)	122.2	100.0	155.6 (±39.3)	833.3	1477.8	469.4 (±200.3)
Other- Insects	222.2	88.9 (±125.7)	25.0 (±35.4)	22.2	50.0	444.4 (±487.1)	61.1	566.7	719.4 (±121.8)
Total	1544.4	463.9 (±373.2)	352.8 (±74.6)	450.0	411.1	744.4 (±691.4)	1077.8	2588.9	1330.6 (±51.1)

※ EPT : Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera

콘크리트낙차공(유형 7)을 중심으로 상류와 하류 각 조사지점의 거리에 따른 출현종수와 개체수현존량의 변화를 살펴보면, 암반성 하상에 의하여 서식처의 제한을 받는 지점 7B를 제외하면 전반적으로 사방공작물의 비영향권에 해당하는 지점에서 출현종수와 개체수현존량이 높게 나타났다(그림 31). 그러나 공작물과 인접한 지점의 경우 저서성 대형무척추동물의 다양성과 풍부성이 낮아짐을 알 수 있는데, 이는 낙차공에 의하여 상류부와 하류부에 소가 폭넓게 형성됨으로써 유속이 감소하고 입자가 작은 하상이 퇴적되기 때문으로, 즉 저서성 대형무척추동물의 미소서식처를 단순하게 하는 요인으로 작용하기 때문이다.

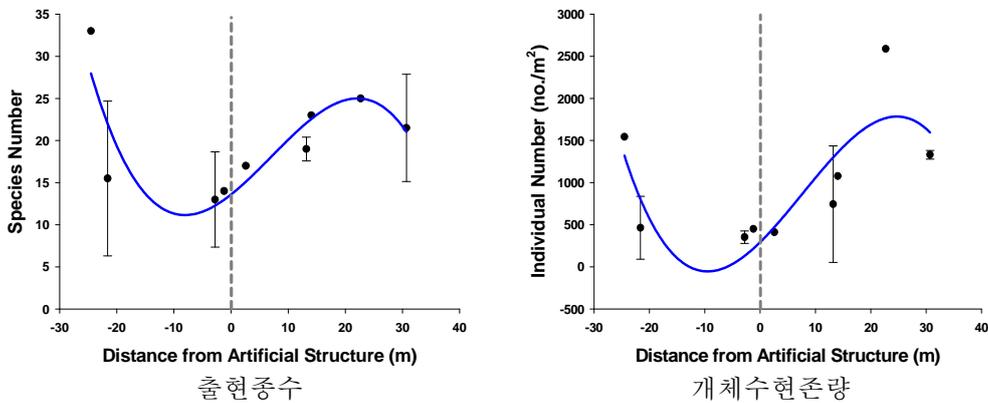


그림 31. 콘크리트낙차공(유형 7)에서 거리에 따른 군집의 변화

콘크리트낙차공(유형 7)에서 사방공작물을 중심으로 한 상류와 하류 각 조사지점에서의 군집지수는 표 44와 같다. 암반의 하상으로 서식처가 단순하여 출현하는 종이 제한적이었던 7B를 제외하면 낙차공의 영향을 받지 않는 지점에서는 비교적 낮은 우점도지수와 높은 다양도지수·균등도지수·풍부도지수를 보이는 것으로 나타나 상대적으로 안정된 군집구조를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 사방공작물에 점차 근접할수록 각 군집지수의 값은 반대의 경향으로 나타나고 있으며 특정 종에 의한 의존율, 즉 점유율이 상대적으로 높게 나타났다.

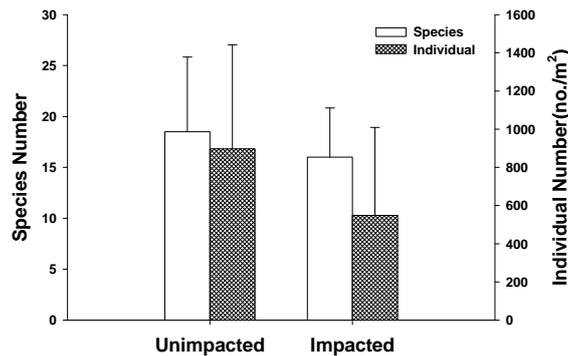
표 44. 콘크리트낙차공(유형 7)에서 거리에 따른 주요 분류군의 군집지수

Index/ Point	7A (-24.5)	7B (-21.6)	7C (-2.8)	7D (-1.2)	7E (2.6)	7F (13.2)	7G (14.1)	7H (22.7)	7I (30.7)
DI	0.414	0.477 (±0.189)	0.440 (±0.216)	0.543	0.500	0.389 (±0.119)	0.381	0.300	0.460 (±0.139)
H'	3.854	3.118 (±0.942)	3.146 (±0.735)	2.811	3.321	3.569 (±0.330)	3.613	3.655	3.320 (±0.631)
J'	0.764	0.811 (±0.053)	0.863 (±0.048)	0.738	0.813	0.842 (±0.099)	0.799	0.787	0.752 (±0.069)
R1	4.358	2.348 (±1.186)	2.033 (±0.892)	2.128	2.658	2.868 (±0.281)	3.151	3.054	2.848 (±0.870)

콘크리트낙차공의 경우에서도 영향권이 비영향권 보다 출현종수 및 개체수현존량이 감소하는 것으로 나타났다. 즉 비영향권의 두 지점(7A 및 7D)의 평균 출현종수와 개체수현존량은 각각 18.5(±7.3) 종과 897.2(545.6) inds/m<sup>2</sup> 으로 영향권에 비하여 상대적으로 높았다(표 45).

표 45. 콘크리트낙차공에서 출현종수 및 개체수현존량(개체/m<sup>2</sup>)의 변화

구분	출현종수	개체수현존량
비영향권	18.5 (±7.3)	897.2 (±545.6)
영향권	16.0 (±4.8)	548.6 (±460.8)



북한산국립공원 소재의 콘크리트낙차공은 높이 약 0.6m, 폭 9.8m 정도의 비교적 작은 규모이지만 돌낙차공과 마찬가지로 하천을 횡적으로 완전히 차단하는 형태적

특징을 보이고 있다. 따라서 공작물의 상류부에는 수폭이 넓혀진 소가 형성되어 있고, 하류부에도 낙차에 의한 소가 10m 내외의 일정구간에 형성되어 있었으며 그 하류부는 본래 하천의 형태인 여울-흐름-소(riffle-run-pool sequence)가 잘 발달되어 있었다. 그러나 본 공작물의 상류부로는 약 50m 정도의 이격거리를 두고 돌바닥막이가 위치하여 사방공작물이 연속적인 배치되어 있다. 또한 두 공작물 사이는 암반 중심의 하상으로 저서성 대형무척추동물의 미소서식처는 극히 제한적이었으며, 공작물 위·아래의 소는 잔자갈 및 모래 중심의 단순한 구조를 보이고 있다. 따라서 호박돌 및 자갈로 구성된 비교적 양호한 물리적 서식환경을 보이는 비영향권의 7D 지점에서 높은 출현종수와 개체수현존량을 보이는 것은 당연하다고 할 수 있다.

전체적으로 콘크리트낙차공에 의하여 영향권의 두 지점(7B 및 7C)보다 비영향권의 두 지점(7A 및 7D)에서 높은 출현종수와 개체수현존량을 보이고 있다. 즉, 비영향권의 7A의 평균 출현종수와 개체수현존량은 각각 15.5( $\pm 9.2$ )종 및 463.9( $\pm 373.2$ ) 개체/m<sup>2</sup>, 7D는 21.5( $\pm 6.4$ )종 및 1,330.6( $\pm 51.1$ ) 개체/m<sup>2</sup>로, 영향권의 지점인 7B(13.0( $\pm 5.7$ )종 및 352.8( $\pm 74.6$ ) 개체/m<sup>2</sup>)와 7C(19.0( $\pm 1.4$ )종 및 744.4( $\pm 691.4$ ) 개체/m<sup>2</sup>)보다 매우 높은 것으로 나타났다. 이는 암반성 하상구조로 이루어진 상류부의 7A와 7B 지점을 제외한 하류부의 두 지점(7C와 7D)만을 비교하였을 때에도 현저하게 나타난다. 이러한 결과는 비록 이화학적인 수질상태는 조사지점에 상관없이 청정성을 유지하고는 있으나 공작물에 의한 물리적 서식환경의 변화로 저서성 대형무척추동물의 다양한 미소서식처가 교란을 받았기 때문으로, 영향권의 소와 같이 정체되어 있는 수역보다는 보다 다양한 미소서식처를 포함하는 여울이 다양성 및 풍부성을 확보하기 때문이다.

한편, 콘크리트낙차공의 비영향권 및 영향권에서 출현한 주요 종의 섭식 및 행동 습성을 살펴보면, 공통적으로 개체수현존량이 높은 갈따구류(Chironomidae)를 제외하였을 때 비영향권의 경우 여울지역을 선호하며 부착조류를 섭식하는 긁어먹는무리(scraper)와 붙는무리(clinger)가 비교적 높은 점유율로 나타나고 있었다. 반면에 영향권의 경우 일반적으로 유속이 빠른 서식처를 기피하는 씹어먹는무리(shredder) 및 주워먹는무리(collector-gatherer)와 기는무리(sprawler) 및 굴파는무리(burrower)가 높은 개체수 점유율로 나타나고 있었다(표 46).

표 46. 콘크리트낙차공의 영향에 따른 주요 출현종 및 점유율의 변화

주요 출현종			개체수 점유율(%)	
출현종	섭식특성	행동습성	비영향권	영향권
다슬기	긴어먹는무리	기는무리	2.4	7.8
옆새우류	썰어먹는무리	기는무리	1.6	7.3
부채하루살이	긴어먹는무리	붙는무리	3.6	1.7
민강도래류	썰어먹는무리	기의무리	5.4	9.6
녹색강도래	잡아먹는무리	붙는무리	12.2	3.9
먹파리류	걸러먹는무리	붙는무리	6.8	0.9
갈따구류	주워먹는무리	굴파는무리	27.7	32.1
가시날도래	긴어먹는무리	붙는무리	5.5	1.7

※ 섭식특성

- 긴어먹는무리: 부착조류 섭식
- 잡아먹는무리: 포식자
- 주워먹는무리: 하상에 퇴적된 유기물 섭식
- 걸러먹는무리: 물의 흐름을 따라 떠내려오는 가는 유기입자를 섭식
- 썰어먹는무리: 낙엽과 같은 하상에 퇴적된 굵은 유기입자 섭식

※ 행동습성

- 붙는무리: 유속이 빠른 여울지역에 서식
- 굴파는무리: 모래 하상에 굴을 파고 서식
- 기는무리: 하상을 기어다니며 먹이를 섭식하고 은신

돌낙차공을 기준으로 조사지점의 거리에 따른 출현종수와 개체수현존량의 변화는 다른 공작물의 일반적인 경향과 마찬가지로 영향권에 인접할수록 점차 낮은 값을 보이지만, 그 영향권을 벗어날 경우 점차 회복되는 것으로 나타났다. 이것은 콘크리트 낙차공에 의한 물리적인 환경의 변화에 의한 결과, 즉 공작물에 의한 하도의 일시적인 확장 및 유속의 저하, 유기물 및 모래 등의 퇴적에 의한 생물서식공간의 감소 등에 의한 것으로 볼 수 있다.

콘크리트낙차공에서의 각 조사지점별 군집지수는 일반적으로 공작물에 의한 영향을 받는 지점에서 높은 우점도지수와 낮은 다양도지수·균등도지수·풍부도지수의 값을 나타내고 있으나, 비영향권 내 7A 지점의 경우 열악한 물리적 서식환경(암반)에 의한 영향으로 그 반대의 결과를 보이기도 하였다(표 47). 하지만 전체적으로 산간계류에 위치하고 있는 지역적 특성상 청정한 상태의 이화학적인 수질은 유지된다 하더라도 공작물에 의한 생물서식공간의 단순화는 결과적으로 종의 다양성을 감소시키는 주요 원인이 될 수 있다.

표 47. 콘크리트낙차공에서의 균집지수의 변화

구분	우점도지수 (DI)	다양도지수 (H')	균등도지수 (J')	풍부도지수 (R1)
비영향권	0.416(±0.110)	3.460(±0.488)	0.796(±0.058)	2.966(±0.793)
영향권	0.481(±0.134)	3.106(±0.475)	0.819(±0.065)	2.213(±0.596)

4) 버트레스댐 (유형 8)

버트레스댐(Buttress dam)은 강원도 인제군 상남면 상남리에 소재하고 있으며, 높이가 약 7.5m, 길이 약 40m에 이른다. 철제 공작물과 이를 지탱하기 위한 콘크리트 공작물로 이루어져 있으며, 역시 하천을 횡적으로 완전히 차단하고 있는 형태이다. 북한산국립공원에 설치된 공작물과는 다르게 공작물의 상류부와 하류부의 하상은 호박돌 및 자갈로 큰 차이가 없었으나, 원래의 하도보다 다소 높게 설치되어 있으므로 유량이 적은 갈수기에는 공작물을 기준으로 물이 흐르는 구간이 불연속적인 것으로 확인되었다(그림 32).

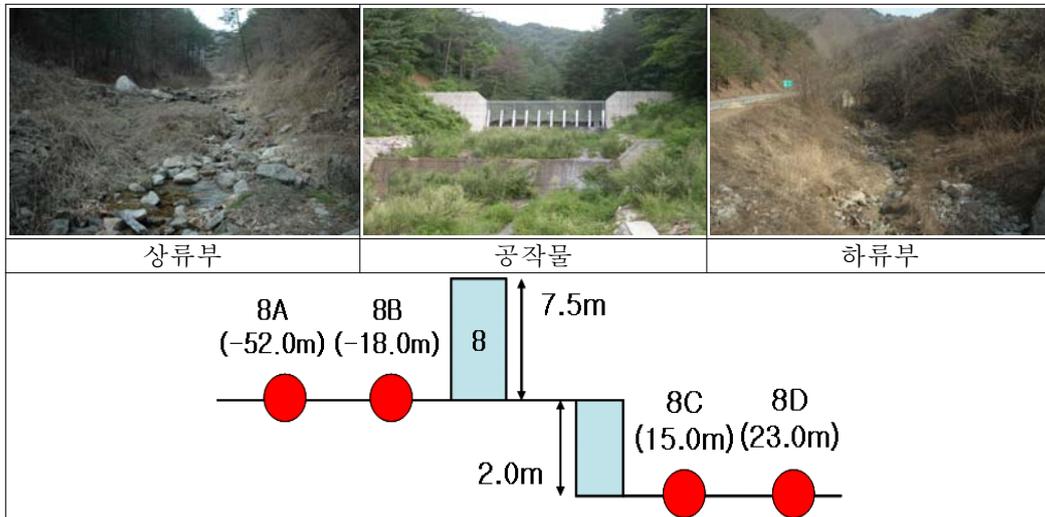


그림 32. 강원도 인제군 상남면 상남리의 버트레스댐(유형 8)의 개황

본 공작물의 상·하류에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 출현종수를 살펴보면, 비영향권이라 할 수 있는 지점 8A와 8D에서 각각 29종 및 27종이 출현하여 공작물의 직접적인 영향을 받는 두 지점, 즉 8B(11종)와 8C(18종)에 비하여 높은 출현종수를 보이고 있었다. 특히 공작물의 특성상 공작물과 인접한 지점의 경우 하천수의 복류에 의한 생물서식공간의 감소로 출현종수가 급격히 감소하는 것으로 나타났다(표 48).

표 48. 버트레스댐(유형 8)에서 거리에 따른 주요 분류군의 출현종수

Taxa / Site	8A(-52.0)	8B(-18.0)	8C(15.0)	8D(23.0)
Non-insects	2	0	2	4
EPT	20	9	13	18
Other-Insects	7	2	3	5
Total	29	11	18	27

※ EPT : Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera

주요 분류군의 개체수현존량을 살펴보면, 출현종수에서와 마찬가지로 사방공작물의 영향권 내에 위치하는 조사지점이라 할 수 있는 8B와 8C 지점에서 각각 644.4 및 1,644.4 inds./m<sup>2</sup>로 매우 낮은 개체수현존량을 보이고 있다(표 49). 또한 생물서식공간의 감소에 따른 특정 종의 개체수 점유율이 매우 높게 나타났다. 그 예로 8B 지점에서는 흰부채하루살이(*E. curvatulus*)가 전체 개체수현존량의 약 41.4%를, 감초하루살이(*B. silvaticus*)가 약 19.0%를 차지하였고, 8C 지점에서는 민하루살이(*C. levanidovae*)가 전체 개체수현존량의 약 52.7%를 차지하였다.

표 49. 버트레스댐(유형 8)에서 거리에 따른 주요 분류군의 개체수현존량(inds./m<sup>2</sup>)

Taxa / Site	8A(-52.0)	8B(-18.0)	8C(15.0)	8D(23.0)
Non-insects	22.2	-	22.2	66.7
EPT	1677.8	588.9	1355.6	911.1
Other-Insects	322.2	55.6	266.7	177.8
Total	2022.2	644.4	1644.4	1155.6

※ EPT : Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera



버트레스담에서의 조사지점의 거리에 따른 출현종수 및 개체수현존량의 변화를 보면 사방공작물과 인접한 지점에서 출현종수와 개체수현존량이 현저히 감소하고 있으며, 이 공작물을 벗어날수록 점차 회복되고 있는 경향을 잘 나타내고 있다(그림 33). 그러나 개체수현존량의 경우 8D 지점에서처럼 조사지점의 자연적인 서식환경의 차이에 따라 다소 감소하기도 하지만, 전체적으로 공작물에 의한 출현종수 및 개체수현존량은 공작물을 중심으로 한 조사지점의 거리에 따라 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

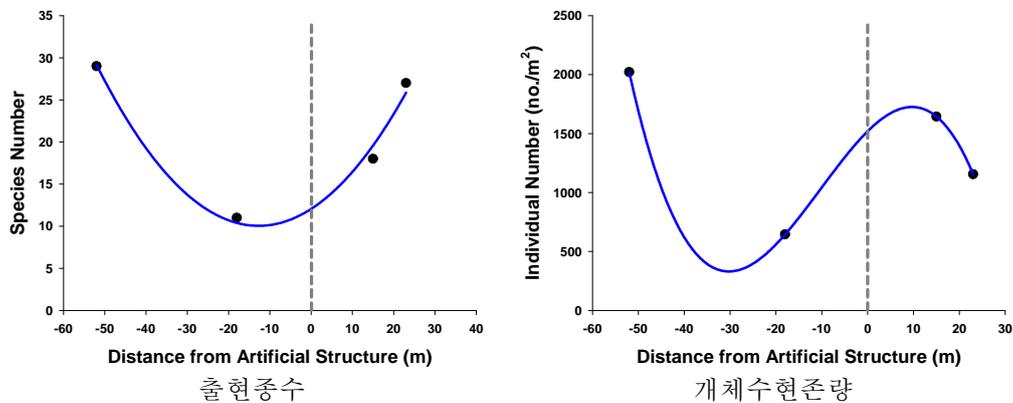


그림 33. 버트레스담(유형 8)에서 거리에 따른 군집의 변화

군집지수의 경우 공작물에 의한 영향을 받지 않는다고 할 수 있는 8A와 8D의 두 지점에서 낮은 우점도지수값과 높은 다양도지수·균등도지수·풍부도지수로 나타나고 있어 영향을 받는 8B와 8C 지점에 비하여 상대적으로 안정된 군집을 이루고 있다(표 50).

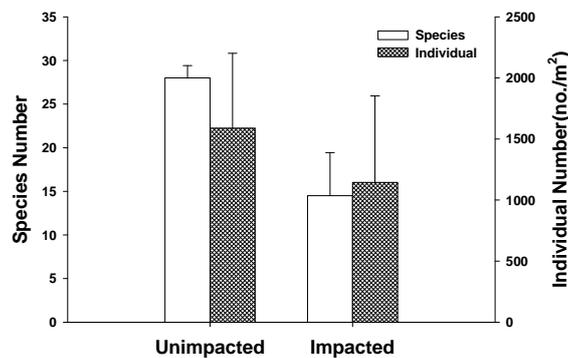
표 50. 버트레스담(유형8)에서 거리에 따른 군집지수의 변화

Index/Point	8A(-52.0)	8B(-18.0)	8C(15.0)	8D(23.0)
우점도지수(DI)	0.429	0.603	0.649	0.404
다양도지수(H')	3.547	2.558	2.562	3.838
균등도지수(J')	0.730	0.740	0.614	0.807
풍부도지수(R1)	3.678	1.546	2.296	3.687

다른 유형의 사방공작물과 마찬가지로 버트레스댐의 경우에도 비영향권과 영향권에서의 출현종수 및 개체수현존량은 큰 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, 비영향권에 해당하는 두 지점(8A와 8D)의 평균 출현종수는 28.0(±1.4) 종으로 영향권의 두 지점(8B와 8C)보다 두 배 정도 다양한 저서성 대형무척추동물이 서식하고 있었다. 마찬가지로 개체수현존량은 1,588.9(±612.8) inds/m<sup>2</sup> 으로 영향권보다 높았다(표 51).

표 51. 콘크리트낙차공에서 출현종수 및 개체수현존량(inds/m<sup>2</sup>)의 변화

구분	출현종수	개체수현존량
비영향권	28.0 (±1.4)	1,588.9 (±612.8)
영향권	14.5 (±4.9)	1,144.4 (±707.1)



버트레스댐은 홍수시 유목에 의한 피해를 방지하기 위한 목적으로 계곡부에 설치되는 공작물이지만 본 조사 대상물과 같이 철제 공작물을 지탱하기 위하여 하부에 콘크리트 공작물을 별도로 설치한 경우에는 돌낙차공과 유사한 역할을 하는 것으로 판단된다. 즉, 유량이 증가하면 콘크리트 공작물에 의하여 상류부에 폭넓게 소가 형성되고 마찬가지로 하류부에는 낙차에 의하여 폭호가 형성될 가능성이 크다.

북한산국립공원의 사방공작물과 달리 본 공작물은 하상의 차이에 의한 영향보다는 유량의 차이에 따른 영향이 큰 것으로 나타났다. 다시 말해서 본 공작물을 중심으로 상류부와 하류부는 기본적으로 하상이 호박돌 및 자갈 중심의 구조로 구성되어 있기 때문에 비영향권 및 영향권에서의 출현종은 다소 유사하였다. 그러나 공작물에 인접한 지점의 경우 복류현상에 의하여 유량이 감소하기 때문에 저서성 대형무척추동물의 미소서식처가 매우 제한적이었다. 따라서 풍부한 유량과 여울-흐름(riffle-run

sequence)에 의한 다양한 미소서식처가 확보되어 있는 비영향권(8A 및 8D)의 지점에서 출현종수 및 개체수현존량이 매우 높았다. 이러한 사실은 비영향권의 두 지점에서 영향권의 지점과의 공통 출현종 외에 감초하루살이(*Baetis silvaticus*), 알락하루살이(*Ephemerella dentata*), 먹파리류(*Simulium* sp.), 동양줄날도래(*Hydropsyche orientalis*), 물날도래류(*Rhyacophilidae*) 등의 출현종과 같이 여울지역을 선호하는 저서성 대형무척추동물의 높은 출현비율을 통하여 확인할 수 있었다(표 52).

표 52. 버트레스댐 공작물의 영향에 따른 주요 출현종의 차이 및 점유율

주요 출현종			개체수 점유율(%)	
출현종	섭식특성	행동습성	비영향권	영향권
감초하루살이	주워먹는무리	헤엄치는무리	17.1	5.3
민하루살이	끓어먹는무리	붙는무리	15.7	38.3
알락하루살이	주워먹는무리	붙는무리	9.8	-
민강도래류	썰어먹는무리	기는무리	2.1	13.6
먹파리류	걸러먹는무리	붙는무리	2.1	-
갈따구류	주워먹는무리	굴파는무리	10.8	12.6
동양줄날도래	걸러먹는무리	붙는무리	12.9	2.4
물날도래류	잡아먹는무리	붙는무리	4.9	-

※ 섭식특성

- 끓어먹는무리: 부착조류 섭식
- 잡아먹는무리: 포식자
- 주워먹는무리: 하상에 퇴적된 유기물 섭식
- 걸러먹는무리: 물의 흐름을 따라 떠내려오는 가는 유기입자를 섭식
- 썰어먹는무리: 낙엽과 같은 하상에 퇴적된 굵은 유기입자 섭식

※ 행동습성

- 헤엄치는무리: 짧은 시간 헤엄을 친 후 하상에 몸을 고착하는 습성
- 붙는무리: 유속이 빠른 여울지역에 서식
- 굴파는무리: 모래 하상에 굴을 파고 서식
- 기는무리: 하상을 기어다니며 먹이를 섭식하고 은신

한편 각 유형에 따른 비영향권과 영향권에서의 군집지수의 평균값을 살펴보면 전체적으로 영향권에서 높은 우점도지수와 낮은 다양도지수·균등도지수·풍부도지수를 보이고 있었다. 이는 영향권의 두 지점은 평상시 적은 유량에 의하여 흰부채하루살이(*Epeorus curvatulus*), 민하루살이(*Cincticostella levanidovae*) 등의 일부 특정 종이 차지하는 비율이 매우 높고 비교적 균일한 서식환경에 의하여 저서성 대형무척추동물의 다양성 확보가 어렵다는 것을 의미하는 것이다.

표 53. 비영향권 및 영향권에서의 군집지수 평균값의 변화

구분	우점도지수 (DI)	다양도지수 (H')	균등도지수 (J')	종풍부도지수 (R1)
비영향권	0.416 (±0.017)	3.692 (±0.206)	0.769 (±0.055)	3.683 (±0.006)
영향권	0.626 (±0.032)	2.560 (±0.003)	0.677 (±0.088)	1.921 (±0.530)

나. 어류에 미치는 영향

북한산은 계류가 잘 발달되어 있는 국립공원 지역으로 주 계곡으로 북한산성계곡, 우이동계곡, 정릉계곡, 평창계곡, 삼천사계곡 등 많은 계곡이 분포하고 있다. 북한산 국립공원내 분포하고 있는 계곡중 실험대상지로는 일반인의 등산로가 계곡과 나란히 위치하고 있어 비교적 하천정비목적의 사방공작물이 다수 설치되어 있으며, 유량이 어느 정도 확보되는 정릉계곡, 우이동계곡 및 북한산성계곡을 선정하였다.

조사 대상지인 북한산국립공원에서 최근까지 알려진 어류의 종수는 총 4종으로 버들치, 피라미, 꺾지 및 모래무지이며, 버들치 이외의 종은 개체수가 매우 적거나 제한된 분포를 가지는 것으로 알려져 있다(국립공원관리공단, 2004). 따라서, 본 연구에서의 대상종은 대상지역내 어류의 우점종이고 공원 내 중요 계류에 폭 넓게 분포하고 있는 버들치로 한정하였다.

개 계곡에 있는 사방공작물을 돌낙차공, 콘크리트낙차공, 돌바닥막이+콘크리트낙차공 복합공작물로 구분하여 capture-recapture method를 이용한 어류의 이동가능성에 대한 실험을 진행하였다. 버들치의 산란기를 전후하여 부화된 치어가 물리적인 요인에 의하여 하류로 이동하고 유영력을 갖춘 후 소상하는 것과 생식가능개체의 산란장소로의 이동을 위한 소상의 행동학적 생태를 감안하여 봄철 갈수가 시작되기전 산란기를 전후하여 강우가 있기 전에 표지를 위한 목적의 조사와 강우 후 재포획 개체 확인 목적의 조사로 구분하여 시행하였고, 표지된 개체의 사방공작물 소상능력을 확인하는 것을 주 조사 목적으로 하였으며, 각 조사 시 포획개체 및 표지 방사된 개체수는 누적되므로 이러한 속성을 감안하여 정량화하였다.

1) 낙차공

조사 대상지의 어류 우점종인 버들치의 낙차공에 대한 이동조사는 2005년도에는 장마 전과 수량이 풍부한 장마 후 시기를 대상으로 실시하였으며, 조사 대상의 낙차공은 북한산성계곡의 돌낙차공 1개소, 우이동계곡의 콘크리트낙차공 1개소 및 정릉계곡의 돌낙차공 2개소 등 총 4개소를 조사대상으로 하였다(사진 51). 어류의 소상능력을 파악하기 위하여 공작물에서 포획된 버들치를 표 54와 같이 표지를 한 이후 방사하였다.



사진 51. 낙차공의 공작물 현황

표 54. 낙차공에서 머들치의 이동 조사를 위한 표지

지역	표지 방법	표지기호
공작물 상부		F
공작물 하부		H

가) 북한산성계곡 - 돌낙차공

북한산성계곡 돌낙차공의 높이는 약 0.4m 내외, 폭은 약 1m 정도이다. 장마 전 1차 조사에서는 공작물 상부에서 13개체(13F)를 채집하여 꼬리지느러미 위 3mm를 절단하여 방사하였으며, 공작물 하부에서는 24개체(24H)를 채집하여 꼬리지느러미 아래 3mm를 절단하여 동일한 장소에 방사하였다. 유량이 풍부한 장마 후 2차 조사 시 공작물 상부에서 10개체를 채집하였는데, 장마 전에 상부에서 방사한 개체(F)중 2개체(2F)가 재포획 되었으나, 하부에서 방사한 개체는 상부에서 확인되지 않았다. 장마 후 공작물 하부에서는 장마 전에 하부에서 방사한 24개체(24H)중 7개체(7H)가 재포획 되었으며, 상부에서 표지 방사한 13개체(13F) 중 1개체(1F)가 하부에서 재포획 되었다.

또한 이후 3차조사시 상부에 표지한 개체가 하부에서 재포획 되어 공작물 상부에서 하부로 이동이 가능한 것으로 파악되었다(표 55). 이는 자연적인 이동에 의한 것 이기 보다 빠른 유속 및 풍부한 유량 등 물리적인 요인에 의해 하부로 이동된 것으로, 유량에 상관없이 하부에서 상부로는 이동은 어려울 것으로 판단된다.

표 55. 북한산성계곡(돌낙차공)에서의 버들치 이동 조사 결과

구분		채집 개체수		방사 개체수		재포획 개체수	
		상부(F)	하부(H)	상부(F)	하부(H)	상부(F)	하부(H)
2005	1차	13	24	13F	24H	-	-
	2차	10	37	10F	37H	2F	1F 7H
	3차	11	29	-	-	2F	1F 4H

나) 정릉계곡 - 돌낙차공

정릉 계곡의 조사 대상은 정릉계곡의 청수폭포 상부에 위치한 돌낙차공(A)과 청수 폭포 하부에 위치한 돌낙차공(B)을 대상으로 하였다.

(1) 정릉계곡-돌낙차공(A)

돌낙차공(A)의 높이는 약 3.1m, 폭은 약 20.5m의 공작물로 이 공작물에 대한 버들치의 이동 조사를 2005년도에 실시하였다. 1차시기는 봄 시기 비가 온 후 사방댐 위로 계류가 흐르는 시점에서 조사를 실시하였으며, 2차와 3차의 조사시기는 장마 후 수량이 비교적 풍부할 때 실시하였다.

1차 조사에서는 상부에서 25개체(25F)를 채집하여 꼬리지느러미 위 3mm를 절단하여 방사하였으며, 공작물 하부에서는 36개체(36H)를 채집하여 꼬리지느러미 아래 3mm를 절단하여 동일한 장소에 방성한 후 3일 후 재포획을 실시하였다. 공작물 상부에서 재포획 된 개체는 상부에서 방성한 13개체(13F)만 포획되어 하부에서 상부로 이동한 개체는 확인되지 않았다.

장마 직후 2차 조사에서는 상부에서 23개체(23F)를 채집하여 꼬리지느러미 위 3mm를 절단하여 방사하였으며, 공작물 하부에서는 32개체(32H)를 채집하여 꼬리지느러미 아래 3mm를 절단하여 동일한 장소에 방성한 후 3일 후 재포획을 실시하였다. 공작물 하부에서 재포획 된 개체는 하부에서 방성한 3개체(3H)만 포획되어 상부에서 하부로 이동한 개체는 확인되지 않았다.

장마 후 3차 조사에서는 상부에서 8개체(8F)를 채집하여 꼬리지느러미 위 3mm를 절단하여 방사하였으며, 공작물 하부에서는 15개체(15H)를 채집하여 꼬리지느러미 아래 3mm를 절단하여 동일한 장소에 방사한 후 3일 후 재포획을 실시하였다. 공작물 상부에서 재포획 된 개체는 상부에서 방사한 4개체(4F)만 포획되어 상부에서 하부로 이동한 개체는 확인되지 않았다(표 56).

표 56. 정릉계곡-돌낙차공(A)에서의 버들치 이동 조사 결과 (2005년도)

구분		채집 개체수		방사 개체수		재포획 개체수	
		상부(F)	하부(H)	상부(F)	하부(H)	상부(F)	하부(H)
2005	1차	25	36	25F	36H	13F	12H
	2차	23	32	23F	32H	9F	3H
	3차	8	15	8F	15H	4F	1H

(2) 정릉계곡-돌낙차공(B)

돌낙차공(B)은 높이 약 3.8m, 폭 약 19.7m 정도인 공작물로, 돌낙차공(A)에서와 동일하게 상부 방사된 9개체(9F)와 하부 방사된 12개체(12H)에 대해서 동일한 방법으로 재포획한 결과, 상·하부에서 서로 이동한 개체는 확인되지 않았다. 장마 직후 2차 조사에서도 상부 방사된 13개체(13F)와 하부 방사된 21개체(12H)에 대해서도 동일한 방법으로 재포획한 결과, 상·하부에서 서로 이동한 개체는 확인되지 않았다. 장마 후 3차 조사에서도 상부 방사된 10개체(10F)와 하부 방사된 11개체(11H)에 대해서도 동일한 방법으로 재포획한 결과, 상·하부에서 서로 이동한 개체는 확인되지 않았다(표 57).



표 57. 정릉계곡-사방댐(2)에서의 버들치 이동 조사결과

구분		채집 개체수		방사 개체수		재포획 개체수	
		상부(F)	하부(H)	상부(F)	하부(H)	상부(F)	하부(H)
2005	1차	9	12	9F	12H	4F	2H
	2차	13	21	13F	21H	6F	3H
	3차	10	11	10F	11H	2F	1H

2006년도에는 공작물의 하부에서 상부로 이동 여부를 명확히 하기 위하여 포획된 개체를 모두 표지하여 공작물의 하부에 방사하였다. 시행된 시기는 유영능력을 갖춘 유어의 소상과 산란기의 생식능력을 갖춘 성어의 소상기이고 유수가 충분히 제공되는 시기에 시행하였다.

1차 조사에서 상부와 하부에 각기 2기의 어류채집용 어항트랩을 설치하여 모두 58개체를 포획하였으며, 개체의 평균 체장은 9cm 정도이었다. 채집된 개체 중에서 체장이 4cm이상인 되는 유영능력을 지닌 성어만을 계수하여 실험 대상으로 시행하였다. 포획된 개체는 모두 꼬리지느러미 아래 부분 약 3mm 정도를 절단하여 전수 하부에 방사하였다. 2차 조사는 강우 후 유량이 풍부한 시기에 시행하였으며, 상부에서 68개체, 하부에서 127개체를 포획하였다. 상부에서 포획된 개체에서는 표지된 개체가 포함되지 않았으며, 하부에서 포획된 127개체 중 표지된 5개체가 포함되었다. 58개체 중 5개체가 포함된 것은 8.6%의 재포획률을 나타낸다. 3차조사시 상부 135개체, 하부 98개체로 총 233개체가 포획되었으며, 이중 재포획된 개체는 상부에서는 포함되지 않았으며, 하부에서 16개체가 포함되었다. 전체개체군에 표지된 개체는 248개체로 16개체가 재포획된 것은 6.4%의 포획률을 나타낸다. 4차조사시 포획된 개체중 재포획된 개체는 포함되지 않았다(표 58).

이와 같은 결과로 정릉계곡의 들낙차공에서 버들치의 이동에 있어 하부에서 상부로 이동한 개체는 확인되지 않았으며 직관적인 생각과 결부되는 결과를 나타냈다. 상부에서 하부로 이동은 물리적인 요인인 유수의 양과 속도에 의해 의도적이지 않은 생태적인 특성에 의하여 일어난다고 사료된다(박 등, 2003). 정릉계곡의 낙차공은 규모와 유량 면에서 버들치의 생태적인 특성상 이동에 있어 제한요인으로 작용할 것으로 판단되며 소규모의 들낙차공에서의 다양한 조건에서 조사가 수행되어 실제적인 상부로의 이동 가능 한계에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

표 58. 정릉계곡-돌낙차공(B)에서의 버들치 이동 조사결과

구분	채집 개체수		방사 개체수		재포획 개체수		
	상부(F)	하부(H)	상부(F)	하부(H)	상부(F)	하부(H)	
2006	1차	28	30	-	58H	-	-
	2차	68	127	-	113H	0	5H
	3차	135	98	-	98H	0	16H
	4차	101	78	-	-	0	4H

다) 우이동계곡 - 콘크리트낙차공

우이동계곡 콘크리트낙차공의 높이는 약 0.6m 내외, 폭은 약 9.8m 이며, 월류되는 유량의 깊이는 강우기를 제외하고 5cm를 넘지 않는다. 상부와 하부에 소가 형성되어 있으며 상부에 위치한 소는 거석으로 하안이 구성되어있으며, 하상은 굽은 모래와 호박돌, 거석 등으로 다양하게 구성되어있다, 하부에 위치한 소는 하상이 모래로 구성되어있으며 하안은 거석 또는 초본류가 도포된 토양으로 되어있다.

2005년도 장마 전 1차 조사에서는 공작물 상부에서 35개체(35F)를 채집하여 꼬리지느러미 위 3mm를 절단하여 방사하였으며, 공작물 하부에서는 32개체(32H)를 채집하여 꼬리지느러미 아래 3mm를 절단하여 동일한 장소에 방사 하였다.

유량이 풍부한 장마 후 2차 조사에서는 공작물 상부에서는 28개체를 채집하였는데, 장마 전에 상부에서 방성한 개체(F)중 16개체(16F)가 재포획 되었으나, 하부에서 방성한 개체는 상부에서 확인되지 않았다. 장마 후 공작물 하부에서는 장마 전에 하부에서 방성한 32개체(32H)중 7개체(16H)가 재포획 되었으며, 상부에서 표지 방성한 35개체(35F) 중 3개체(3F)가 하부에서 재포획 되었다.

또한 이후 3차 조사에서도 상부에 표지한 개체가 하부에서 재포획 되어 유량 및 유속에 따라 공작물 상부에서는 하부로 이동 가능한 것으로 파악되었다(표 59).

표 59. 우이동계곡(콘크리트낙차공)에서의 버들치 이동 조사결과

구분		채집 개체수		방사 개체수		재포획 개체수	
		상부(F)	하부(H)	상부(F)	하부(H)	상부(F)	하부(H)
2005	1차	35	32	35F	32H	-	-
	2차	28	42	28F	42H	16F	3F 12H
	3차	11	29	-	-	2F	1F 5H

2006년도에는 공작물의 하부에서 상부로의 이동 여부를 명확히 하기 위하여 포획된 개체를 모두 표지하여 공작물의 하부에 방사하였다.

1차 조사시 상부와 하부에 각각 2기의 어류채집용 어항트랩을 설치하여 총 버들치 11개체를 포획하였으며, 뜰채를 이용하여 버들치 1개체를 포획하였으며, 체장 10cm 이상의 개체만 포획되었다. 소에서 유영하는 육안으로 확인된 버들치 개체들도 모두 성체들만 확인할 수 있었다. 포획된 개체는 모두 꼬리지느러미 하단부 3mm 정도를 절단하여 전수 하부에 방사하였다. 2차조사시 상부에서 버들치 13개체를 포획하였고, 하부에서 버들치 12개체를 포획하였다. 이중 상부에서 포획된 개체들은 표지된 개체가 포함되지 않았으며, 하부에서 1개체가 재포획 되었다. 이는 6.2%의 재포획률을 나타낸다. 3차 조사에서 포획된 개체는 총 43개체가 포획되었으며 상부에서 재포획 2개체 , 하부에서 재포획개체 3개체가 확인되었다. 이와 같은 결과는 재포획 5개체 중 2개체가 소상한 것으로 나타났으며, 재포획률은 43개체 중 5개체가 포획되어 11.6%의 재포획률을 나타내고 있다. 4차 조사에서는 상부에서 13개체가 포획되었으며 이중 2개체가 재포획 되었다(표 60).

본 대상지역에서는 공작물의 소상이 가능한 결과를 나타내었으며, 강우의 영향으로 유량이 늘어나고 낙차의 높이가 줄어드는 효과가 발생했을 것으로 예상된다. 이와 같은 조건은 버들치와 같은 유영성 어류에게 소상하는데 비교적 양호한 조건을 제공했을 것으로 판단된다.

표 60. 우이동계곡(콘크리트낙차공)에서의 버들치 이동 조사결과 (2006년도)

구분		채집 개체수		방사 개체수		재포획 개체수	
		상부(F)	하부(H)	상부(F)	하부(H)	상부(F)	하부(H)
2006	1차	3	9	-	12H	-	-
	2차	13	12	-	25H	0	1H
	3차	35	8	-	43H	2H	3H
	4차	13	11	-	-	2H	3H

라) 고찰

이와 같은 결과로 보아 조사대상 어종인 버들치는 낙차공에서 유량 및 유속에 따라 공작물 상부에서 하부로의 이동은 비교적 수월한 것으로 파악되었으며, 장마 전 뿐만 아니라 유량이 많은 장마 직후에 재포획한 결과 낙차공 하부에서 상부로 이동한 개체가 거의 없는 것으로 나타났다.

그러나 우이동계곡의 콘크리트낙차공의 경우와 같이 공작물의 높이가 하부의 수면 높이의 차가 크지 않을 경우에는 유량의 증가에 따라 일정 개체의 이동이 가능한 것으로 나타났다.

하지만 대부분의 낙차공의 경우 비교적 수위차를 나타내고 있어 어류, 특히 버들치의 소상에 많은 제한요인으로 작용할 것으로 판단된다. 박 등(2003)의 연구에서 버들치의 이동은 사방공작물과는 큰 관계가 없다고 하였으나, 버들치의 이동능력이 크지 않다는 생태를 고려하더라도 낙차공의 유형 및 구조 특성에 따라 버들치의 이동에 있어서 제한 요인으로 작용한다고 볼 수 있다.

2) 복합공작물

가) 우이동계곡 - 돌바닥막이와 콘크리트낙차공의 복합공작물

조사 대상지의 어류 우점종인 버들치에 대해 돌바닥막이와 콘크리트낙차공의 혼합 공작물에 대한 이동조사는 2005년도에 실시하였는데, 1차는 봄 시기로서 A, B, C지역(그림 34)에서 버들치를 채집하였는데, A지역에서는 꼬리지느러미 위 3mm 정도를 절단하여 방사하였고, B지역에서는 꼬리지느러미 아래 3mm 정도를 절단하여 방사하였다. 그리고 C지역에서는 꼬리지느러미 위·아래 3mm정도를 절단하여 방사하였다(표 61).

표 61. 우이동 계곡(돌바닥막이+콘크리트낙차공 복합공작물)의 버들치의 이동 조사 결과

지역	표지 방법	표지기호
A		F
B		H
C		FH

2차와 3차시기는 장마 후인 여름시기로서 1차시기에 각 지역 방사한 개체를 채포 회하여 본 공작물에 대해 상하 이동 여부를 파악하였다. 돌바닥막이+콘크리트낙차공(1)의 높이는 약 3.1m, 폭은 약 15.6m이며, 1차 조사인 봄시기 비온 후 상단에서 측정된 평균 유속은 은 약 11cm/s, 2차 조사인 장마 후 평균 유속은 18cm/s이었다. 돌바닥막이+콘크리트낙차공(2)의 높이는 약 2.7m, 폭은 약 16.2m이며, 1차 조사인 봄시기 비온 후 상단에서 측정된 평균 유속은 은 약 13cm/s, 2차 조사인 장마 후 평균 유속은 19cm/s이었다(그림 34).

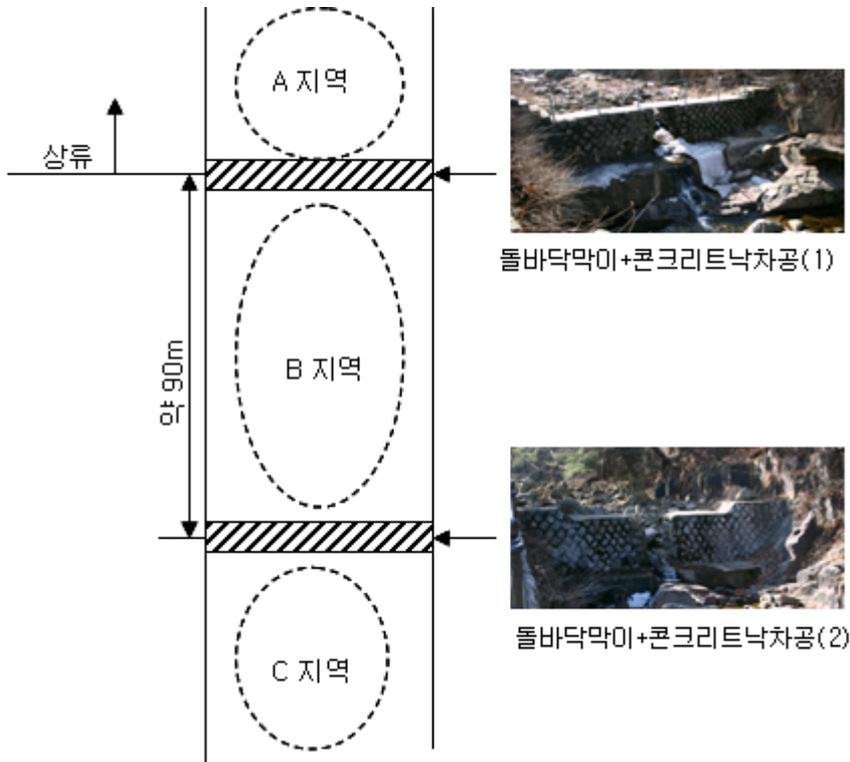


그림 34. 우이동계곡의 조사지점 및 공작물 위치도

2차 및 3차시기에 각 지역마다 1차시기의 표지 개체를 재포획한 결과, A지역에서는 A지역에서 방사한 개체만 10개체가 재포획되어 아래 지역인 B와 C지역에서 방사한 개체는 확인되지 않았다. 돌바닥막이+콘크리트낙차공(1)(2) 사이의 지역인 B지역에서는 상부 A지역에서 표지된 개체(F)가 1개체 확인되었으며, B지역의 방사 개체(H)는 9개체가 재포획 되었다. 그리고 C지역에서 표지된 개체는 확인되지 않았다. C지역에서는 2차시기 재포획한 결과, A지역에서 표지된 개체(F)가 1개체 재포획 되었으며, B지역에서 표지된 개체(H)도 3개체 확인되었다(표 62).

표 62. 북한산성계곡(콘크리트 낙차공+돌바닥막이 복합공작물)의 버들치 이동 조사결과 (2005년도)

구분	채집 개체수			방사 개체수			재포획 개체수			
	지역A (F)	지역B (H)	지역C (FH)	지역A (F)	지역B (H)	지역C (FH)	지역A (F)	지역B (H)	지역C (FH)	
2005	1차	25	38	21	25F	38H	21FH	-	-	-
	2차	45	52	46	45F	52H	46FH	10F	1F 9H	1F 3H 7FH
	3차	23	31	27	-	-	-	5F	3H	1H 4FH

이와 같은 결과로 보아 조사대상 어종인 버들치는 돌바닥막이+콘크리트낙차공 복합공작물에서는 유량이 풍부하여도 공작물 하부에서 상부로 이동을 못하는 것으로 나타났다. 따라서 바닥막이와 사방댐과 같이 본 공작물도 버들치에 있어서 이동의 제한 요인으로 작용하는 것으로 판단된다. 그러나 상부에서 표지한 개체가 하부에서 확인된 점으로 보아 장마시기 풍부한 유량 및 빠른 유속 등의 물리적 요인에 의해 상부에서 하부로 일부 개체는 이동 가능한 것으로 파악되었다.

나) 북한산성계곡 - 돌바닥막이+콘크리트낙차공 복합공작물

이중구조를 지니고 있는 북한산성 계곡의 콘크리트낙차공, 돌바닥막이의 복합물은 대부분의 시기 건천화 되어있으며 돌바닥막이 구간은 유량이 있는 시기에다 거석이 수면위로 노출되어있다. 상부에서 하부로 연결되는 낙차는 2중구조로 되어 있으며 계단과 같은 형태로 보인다. 또한 중간에 수심 1m 내외의 정체되는 구간이 있으며 이곳에 고립되어 있는 어류개체가 다수 확인된다. 낙차공의 규모는 높이 약 3m 이며 폭은 16m 내외가 된다(사진 52).



공작물 및 상부

공작물 하부

사진 52. 북한산성계곡(콘크리트 낙차공 + 돌바닥막이)의 공작물 전경

북한산성계곡의 복합공작물에 대한 어류의 이동능력 조사는 2006년도에 4회에 걸쳐 진행하였으며, 2차 조사 및 4차 조사는 소상할 수 있는 공간적인 여유를 제공하였다고 판단된, 강우로 유수가 형성된 후에 진행하여 실험 목적에 부합되는 행태를 취하였다. 실험에서 상부는 낙차공과 돌바닥막이 사이에 위치하고 있는 소를 대상으로 하였고 하부는 낙차공 하부에 위치한 소를 대상으로 진행하였다. 하상은 상부, 하부 공히 모래로 구성되어있으며, 하안은 상부는 콘크리트기슭막이이며, 하부는 거석으로 구성되어있다.

1차조사시 상부의 정체구간과 하부에 각각 2기의 어류채집용 어항트랩을 설치하여 포획하였다. 상부에서 33개체, 하부에서 38개체의 버들치를 채집하였다. 채집된 버들치는 평균체장이 9cm 이었으며 실험대상으로는 체장 4cm 이상이 되는 유영능력이 있다고 사료되는 개체만을 선정하여 시행하였다. 포획된 개체는 모두 꼬리지느러미 하단부를 3mm 정도 절단하여 전수 하부에 방사하였다.

2차 조사는 강우 후 유량이 일정량 유지되는 시기를 선정하여 진행하였으며 상부에서 19개체 하부에서 27개체를 포획하였다. 상부에서 포획된 개체 중 표지된 개체는 없었으며 하부에서 포획된 개체 중 3개체가 재포획개체였다. 71개체가 표지된 중에서 3개체가 재포획된 것은 4.2%의 재포획률을 나타낸다.

3차조사시 상부에서 15개체, 하부에서 29개체가 포획되었으며, 상부에서 포획된 개체 중 표지된 종은 포함되지 않았으며 하부에서 포획된 29개체 중 4개체가 표지된 개체로 재포획률은 13.8%로 확인되었다.



4차 조사는 강수 후에 진행하였으며 하부에서는 채집하지 않았으며 상부에서만 포획하여 22개체를 채집하였다. 이중에 표지된 개체는 포함되지 않았다.

돌바닥막이+콘크리트낙차공 복합공작물의 실험결과 하부에서 상부로 이동한 개체는 확인되지 않았다.

표 63. 북한산성계곡(돌바닥막이+콘크리트낙차공 복합공작물)의 버들치 이동 조사 결과 (2006년도)

구분		채집 개체수		방사 개체수		재포획 개체수	
		상부(F)	하부(H)	상부(F)	하부(H)	상부(F)	하부(H)
2006	1차	33	38	33F	38H	-	-
	2차	19	27	19F	27H	0	3H
	3차	15	29	15F	29H	0	4H
	4차	22	13	-	-	0	0

다. 양서류에 미치는 영향

북한산 국립공원은 계곡이 잘 발달되어있는 국립공원지역으로 이중에서 실험대상지는 등산로 주변에 위치한 북한산성계곡, 정릉계곡, 우이동계곡으로 선정하여 시행하였다. 북한산 국립공원의 양서류는 유미목의 도롱뇽, 꼬리치레도롱뇽의 2종과 무미목의 무당개구리, 두꺼비, 청개구리, 무당개구리, 참개구리, 아무르산개구리, 북방산개구리, 계곡산개구리 등 8종이 서식하고 있다. 계곡에서 주로 관찰되는 종은 북방산개구리, 계곡산개구리, 도롱뇽, 꼬리치레도롱뇽의 4종이며, 본 실험에서는 이동성이 가장 뛰어나고 봄철 집단으로 이동하여 산란하는 특성을 지니고 있는 북방산개구리, 계곡산개구리 2개종을 대상으로 하여 시행하였다. 대상종이 되는 북방산개구리와 계곡산개구리는 봄철 동면에서 깨어나 계곡수를 따라 계곡의 본류 쪽으로 이동하며, 산란기가 되면 소상하여 상류 쪽의 소를 찾아 이동하는 습성을 지니고 있다.

야계사방공작물이 양서류의 이동에 미치는 영향에 대하여 조사하기위하여 북한산 국립공원의 3개 유형의 사방공작물을 대상으로 포획-재포획 방법(capture- recapture method)을 이용하여 실험을 진행하였다(사진 53). 조사 및 실험은 총 4회 반복하여 시행하였으며 1차, 3차 조사 시에는 표지를 주된 목적으로 시행하였으며, 2차, 4차는 표지된 개체의 이동에 대한 사항을 확인하였다. 시행 시기는 양서류, 특히 실험대상이 되는 계곡산개구리, 북방산개구리의 집단이동이 있는 봄철을 택하여 진행하였으며, 확인 조사인 2차, 4차 조사는 우기가 지난 후에 시행하였다. 각 조사 시 포획되어 표지 방사되는 개체는 누적되므로 이러한 속성을 감안하여 정량화 하였다.

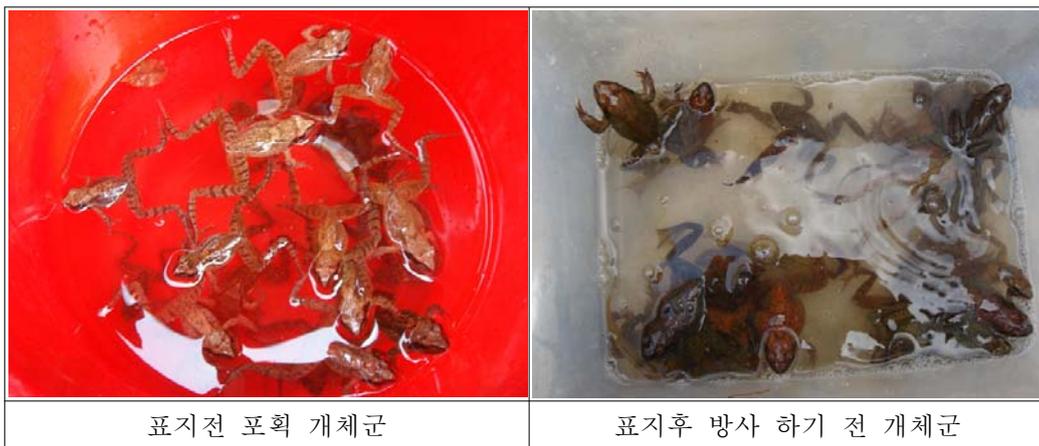


사진 53. 표지를 위한 산개구리류 포획

사방공작물이 양서류의 이동에 미치는 영향을 확인하기 위하여 실험대상 양서류를 대상지에서 포획하여 표지한 후 사방공작물 하부에 방사하였으며 일정기간 경과 후 대상지역의 실험 대상 양서류를 포획하여 표지된 개체의 이동에 관련된 사항에 대해 정량화 한다. 채집은 이동이 활발한 시기에 시행하여야 실험 목적에 부합된 결과를 얻을 수 있으므로 산란기를 전후한 봄철에 4차에 걸쳐 시행하였다.

양서류 채집에는 직접 채집법을 이용하여 포획하였으며 표지를 위한 1차, 3차 조사 시에는 계곡 주변과 계곡수 내에 있는 호박돌이나 자갈을 들추어 채집하였고 표지된 개체를 확인하기 위한 2차, 4차 조사에서는 수심이 비교적 깊은 곳은 낙엽이나 집단으로 산란된 난괴 아래 부분을 뜯체를 이용하여 걸러내어 채집하였다. 산란시기에는 직강화 된 직벽 아래에 집단으로 산란하는 특징을 보이므로 이러한 장소를 찾아 집중 채집하였다(사진 54). 채집된 개체들은 현지의 계곡수를 채운 양동이에 보관하였으며 표지한 후 사각의 케이지에 옮겨 계수한 후 동시에 목적 장소에 방사하였다.



사진 54. 산개구리류의 상부 산란장소

포획된 산개구리류의 앞다리 제4지를 절단하는 방법으로 표지하였으며 필요에 따라 제2지, 또는 제3지를 절단하여 구별 표지하였다(사진 55). 개구리류의 앞다리 제1지는 생식에 중요한 역할을 하므로 절단하지 않았다. 표지 시 도구는 해부가위를 이용하여 절단하였으며, 앞발가락을 절단할 시 끝에서 두 번째 마디를 절단하여 표지하고 표지 시 한 개체를 표지한 후에는 99% 에탄올 용액에 해부가위를 소독하여 다음 개체를 표지하는데 있어 개체간의 감염의 경우를 최소화 하였다. 채집된 개체들

은 표지된 개체, 비표지된 개체를 구별하였으며, 계수기를 이용하여 계수하여 개체수를 분석하였다. 4차 조사 시를 제외하고 포획된 개체 중 표지 안 된 모든 개체는 표지하여 방사하였다.



사진 55 . 실험대상 산개구리류의 표지 장면

개구리의 생태적인 특성상 계류를 이용한 이동은 크게 동면 직후의 상부에서 하부로 자연적 이동과 산란시기 하부에서 상부로의 이동이 있으며, 본 조사에서 파악하고자 하는 하부에서 상부로의 소상가능성을 파악하기 위하여 목적 사방공작물 상부와 하부에서 대상동물을 채집하여 표지하였으며, 표지한 대상동물을 계수한 후 대상 사방공작물 하부에 방사하였다. 일정기간 후에 강수 등의 유량차원의 이동가능 상황이 경과된 후 상부에서 포획하는 방법으로 이동률을 파악하여 분석하였다.

표지된 개체가 경쟁적으로 표지 안 된 개체에 비해 불리한 측면이 보고되고 있으나 본 조사에서 이러한 부분은 무시하였다. 2차, 3차, 4차 조사에서 채집된 모든 개체를 확인하여 채집 개체수 중 표지 개체수를 백분율로 환산하여 기록하였다.

#### 1) 우이동 계곡

우이동계곡은 등반로와 나란히 위치하여 비교적 인위적인 간섭과 관리가 심한 지역이다. 돌기슭막이와 콘크리트기슭막이 등의 하안을 정비한 사방공작물과 돌낙차공, 콘크리트 낙차공, 돌바닥막이 등의 횡적인 관리를 위한 공작물이 다양하게 관찰된다. 일부구간은 건천화되어 일반적으로 수서동물이 이동할 수 없는 상태로 유지되나 대부분의 구간은 안정된 유량이 제공되어 수서동물의 생식지와 이동통로의 역할을 하고 있다. 등반객의 출입을 제한하는 펜스가 계곡을 나란히 하여 설치되어 있다. 하상

은 주로 호박돌, 거석, 자갈, 모래 등으로 되어 있으며 미질로 되어 있는 곳은 관찰되지 않는다(그림 35, 사진 56).

확인된 양서류는 북방산개구리와 계곡산개구리인데, 이들 두 종은 매우 유사한 근연종(양 등, 2001)으로 알려져 있고, 성체 포획 개체수가 적은 점 등을 고려하여 각 종을 구분하지 않고 포획된 개체들을 산개구리류로 취급하여 지점별로 식별 가능하도록 발가락 일부를 절지하는 방법으로 표지하였다. 현지조사는 성체 확인이 용이한 산란시기 전후에 실시하였다.

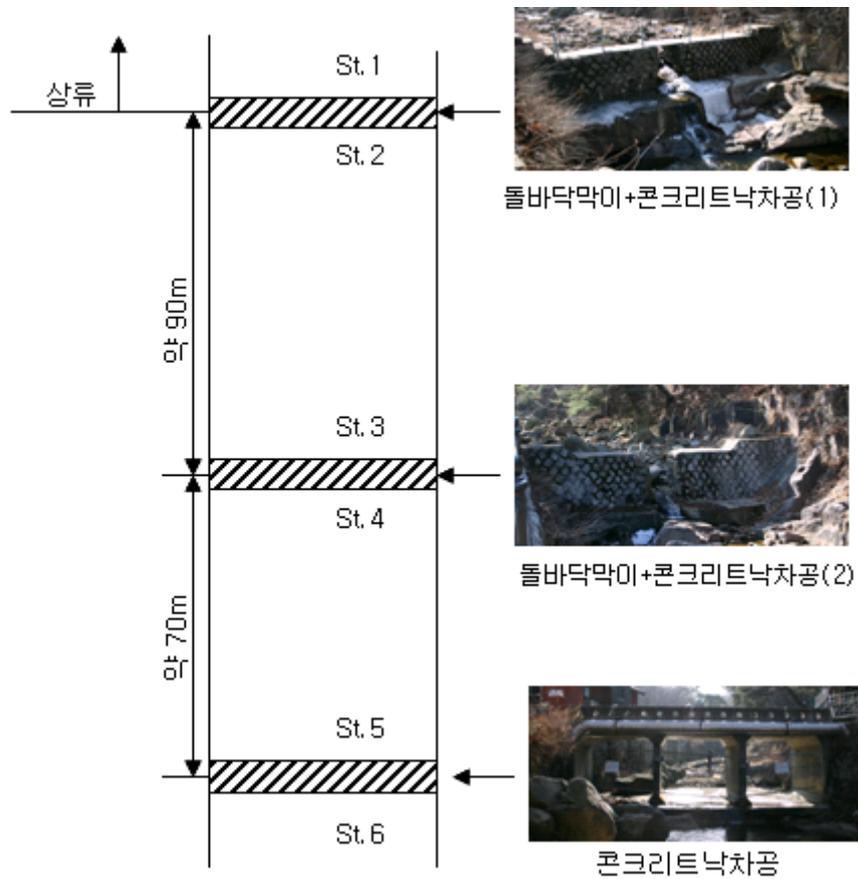


그림 35. 우이동계곡의 조사지점 및 사방공작물 위치도



사진 56. 각 사방공작물의 형태 및 상하부의 상태

조사 대상의 공작물은 그림 35와 사진 56에서 보는 바와 같이 st.1과 st.2사이에는 돌바닥막이+콘크리트낙차공 복합공작물이 조성되어 있고, 도로 쪽에는 거의 수직의 돌기슭막이, 산림 쪽에는 경사가 급한 암반이 형성되어 있다. st.3과 st.4사이에는 돌바닥막이+콘크리트낙차공이 조성되어 있고, 도로 쪽에는 거의 수직의 돌기슭막이, 산림 쪽에는 경사가 급한 암반이 형성되어 있어 상류의 st.1과 st.2의 환경과 유사하였다. st.4와 st.5지점 사이에는 rock pool이 여러 곳 형성되어 있어 산개구리류의 중요 산란처가 조성되어 있는 지점이다(사진 57). st.5와 st.6사이에는 교각 하단에 콘크리트낙차공이 조성되어 있으며, 양안은 거의 수직의 콘크리트기슭막이 형성되어 있어, 산개구리류 성체의 직접적인 이동 가능성이 있는 경로는 교각 하단의 콘크리트낙차공을 통과해야 하는 지역이다.



사진 57. st. 4의 rock pool 및 관찰된 계곡산개구리의 난괴

각 조사지점에서 포획된 개체는 표 64와 같이 표지한 후에 방사하였다. 즉, st.1 지점에서는 산개구리류 3개체를 포획하여 우측 뒷다리 첫째 발가락 절지로 지점 표지(HL1)를 하여 같은 지점에 방사하였고, st.2 지점에서는 산개구리류 4개체를 포획하여 우측 뒷다리 둘째 발가락 절지로 지점 표지(HL2)를 하여 같은 지점에 방사하였다. st.3 지점에서는 산개구리류 6개체를 포획하여 우측 뒷다리 넷째 발가락 절지로 지점 표지(HL4)를, st.4 지점에서는 산개구리류 11개체를 포획하여 우측 앞다리 둘째 발가락 절지로 지점 표지(FL2)를 하여 같은 지점에 방사하였다. st.5 지점에서는 산개구리류 5개체를 포획하여 우측 앞다리 셋째 발가락 절지로 지점 표지(FL3)를 하여 같은 지점에 방사하였으며, st.6 지점에서는 산개구리류 6개체를 포획하여 우측 앞다리 넷째 발가락 절지로 지점 표지(FL4)를 하여 같은 지점에 방사하였다.

위의 지점들에 대한 2005년도의 조사 결과(표 65), 총 35개체의 표지 성체 중 11개체가 재포획 되어 재포획률은 31.4%로 비교적 높게 나타났다. 표지된 성체가 가장 많이 확인된 지점은 여러 곳의 rock pool과 유속이 완만한 지역이 있는 st.4로서 6개체가 확인되었다. 특히 st.4 지점에서 재포획된 6개체 중에서는 그림 27의 콘크리트 낙차공 하부(st.6)에서 표지한 1개체와 돌바닥막이+콘크리트낙차공(2) 상부(st.3)에서 표지한 1개체가 포함되어 있어, 본 지역과 같이 콘크리트낙차공과 돌바닥막이+콘크리트낙차공(2), 사면 일부 지역에 기슭막이가 설치되어 있는 지역에 대해 양서류의 일부 이동이 가능한 것으로 확인되었다. 박 등(2003)의 연구에서도 사방공작물이 설치되어 있는 지역에서는 양서류는 수변부의 유속이 완만한 지역을 산란지역으로 이용한다고 조사된 점 등으로 보아 rock pool과 유속이 완만한 수변부가 많은 st.4지점을 산란처로 사용하기 위해 이동한 것으로 판단된다.

표 64. 우이동계곡의 양서류 표지방법

구역	지점	표지 방법	표지기호	비고
A	st.1		HL1	우측 뒷다리 첫째발가락 절지
B	st.2		HL2	우측 뒷다리 둘째발가락 절지
	st.3		HL4	우측 뒷다리 넷째발가락 절지
C	st.4		FL2	우측 앞다리 둘째발가락 절지
	st.5		FL3	우측 앞다리 셋째발가락 절지
D	st.6		FL4	우측 앞다리 넷째발가락 절지

A : 돌바닥막이+콘크리트낙차공(1) 상부

B : 돌바닥막이+콘크리트낙차공(1)과 돌바닥막이+콘크리트낙차공(2) 사이

C : 돌바닥막이+콘크리트낙차공(2)과 콘크리트낙차공 사이

D : 콘크리트낙차공 하부



표 65. 우이동계곡에서 산개구리류의 조사결과

구역	지점	표지	조사시기		채집 개체수	방사 개체수	재포획 표지(개체수)
A	st.1	HL1	2005	1차	3	3	-
				2차	3	-	0
B	st.2	HL2	2005	1차	4	4	-
				2차	3	-	HL2 (1)
	st.3	HL4	205	1차	6	6	-
				2차	7	-	HL4 (2)
C	st.4	FL2	2005	1차	11	11	-
				2차	14	-	HL4 (1) FL2 (3) FL3 (1)
	st.5	FL3	2005	1차	5	5	-
				2차	6	-	FL3 (1)
			2006	3차	7	7	-
				4차	13	-	FL3 (1) FL4 (1)
			2007	5차	8	8	-
				6차	7	-	FL4 (1)
D	st.6	FL4	2005	1차	6	6	-
				2차	5	-	FL4 (1)
			2006	3차	5	5	-
				4차	7	-	0
			2007	5차	11	11	-
				6차	8	-	FL (1)

A : 돌바닥막이+콘크리트낙차공(1) 상부

B : 돌바닥막이+콘크리트낙차공(1)과 돌바닥막이+콘크리트낙차공(2) 사이

C : 돌바닥막이+콘크리트낙차공(2)과 콘그리트낙차공 사이

D : 콘그리트낙차공 하부

2006년도에는 A~B 구역에서 산개구리류가 관찰되지 않아 C~D구간을 중심으로 조사를 실시하였다(표 65). 2006년 3차조사시 계곡내의 호박돌을 들추거나 하안에 있는 초본류 주변을 살피어 산개구리류 12개체를 채집하였으며, 모두 표지하여 방사하였다. 4차조사시 C구역에서 포획된 13개체 중 표지된 것이 2개체, D구역에서 7개체를 포획하였으며 이중에 표지된 개체는 포함되지 않았다.

2007년도 5차 조사는 상부에서 8개체, 하부에서 11개체를 포획하였으며, 이 중에는 이전에 표지하였던 개체가 C와 D구역에서 각각 1개체씩이 포함되어 있었다. 같은 방법으로 표지한 후에 방사하였다. 6차조사시에는 C 구역에서 7개체를 포획하여 이 중에서 1개체가 재포획 개체로 확인되었으며, D 구역에서는 포획된 8개체 중 1개가 표지된 것이었다(표 65).

이와 같은 결과에서 우이동 계곡은 비교적 하류에 위치한 사방공작물로 계류 상부에 서식하는 산개구리류가 타 지역의 사방공작물에서의 채집개체수에 비해 밀도가 낮게 조사되었다. 비율에 따른 상대적인 소상률(회귀율)은 비교적 양호한 것으로 나타났다. 우이동 계곡의 콘크리트낙차공은 낙차공 하부가 부식되어 양서류의 무미목이 소상하는데 적합한 물리적인 구조를 보이며 양안으로는 거석이 있으며 완만한 콘크리트경사를 지니고 있어 비교적 이동에 용이한 상태로 사료된다. 또한 st.4~5에 이르는 지점에 산개구리가 이용하기에 용이한 서식처가 형성되어 있어 이 구역에서의 재포획률이 비교적 높게 나타나고 있다.

## 2) 정릉 계곡

성체가 확인된 양서류는 계곡산개구리 이었으나(사진 58), 우이동계곡과 마찬가지로 근연종과 구분하지 않고 포획된 개체들을 산개구리류로 취급하여 지점별로 식별할 수 있도록 발가락 일부를 절지하는 방법으로 표지하였다. 현지조사는 성체 확인이 용이한 산란시기 전후에 실시하였다.



사진 58. 정릉계곡에서 관찰된 계곡산개구리

조사 대상의 공작물은 그림 36에서 보는 바와 같이 st.1과 st.2사이에는 돌사방댐이 구성되어 있고, 가운데 부분의 일부는 무너져 내려져 있다. 양안은 기슭막이 등의 사방공작물은 없으나 암반과 다소 급경사의 산림으로 구성되어 있다. st.3과 st.4사이에는 높이 약 3.5m의 자연석 낙차공이 구성되어 있고, 양안은 급경사의 암반으로 구성되어 있다. st.5와 st.6사이에는 높이 3.6m의 돌사방댐이 구성되어 있으며, st.5와 st.6의 양안은 급경사의 암반 또는 산림으로 구성되어 있다.

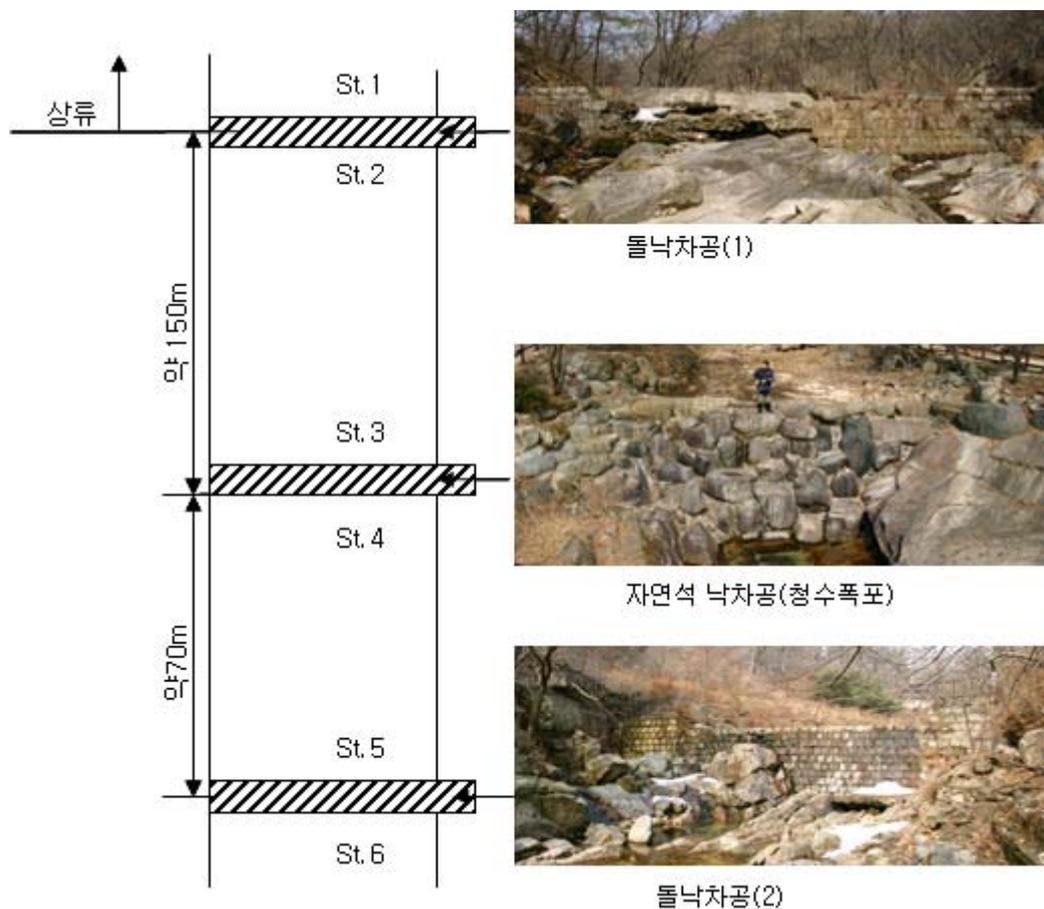


그림 36. 정릉계곡의 조사지점 및 야계사방공작물 위치도

정릉계곡에서 포획된 개체는 우이동계곡에서와 같이 표 64와 같은 방법으로 표지하였다. 2005년도 조사에서 돌낙차공(1) 상부인 st.1 지점에서는 산개구리류 2개체를 포획하여 우측 뒷다리 첫째발가락 절지로 지점 표지(HL1)를 하여 같은 지점에 방사

하였다. 돌낙차공(1) 하부인 st.2 지점에서는 산개구리류 9개체를 포획하여 우측 뒷다리 둘째 발가락 절지로 지점 표지(HL2)를 하여 같은 지점에 방사하였다. 자연석 낙차공 상부인 st.3 지점에서는 산개구리류 5개체를 포획하여 우측 뒷다리 넷째 발가락 절지로 지점 표지(HL4)를 하여 같은 지점에 방사하였다. 자연석 낙차공 하부인 st.4 지점에서는 산개구리류 28개체를 포획하여 우측 앞다리 첫째 발가락 절지로 지점 표지(FL1)를 하여 같은 지점에 방사하였다. 돌낙차공(2) 상부인 st.5 지점에서는 산개구리류 4개체를 포획하여 우측 앞다리 셋째 발가락 절지로 지점 표지(FL3)를 하여 같은 지점에 방사하였다. 돌낙차공(2) 하부인 st.6 지점에서는 산개구리류 7개체를 포획하여 우측 앞다리 넷째 발가락 절지로 지점 표지(FL4)를 하여 같은 지점에 방사하였다.

위의 지점들에 대한 2005년도의 조사 결과 총 55개체의 표지 성체 중 24개체가 재포획 되어 재포획률은 43.6%로 비교적 높게 나타났다(표 66). 표지된 성체가 가장 많이 확인된 지점은 유속이 완만하고 산지처가 넓은 st.4로서 15개체가 확인되었다. 본 정릉계곡에서 방사한 양서류 개체수가 우이동계곡 보다 많았으나 본 지역의 자연석 낙차공 또는 돌사방댐 상부 및 하부 상호간에 이동된 개체가 확인되지 않았다. 그리고 st.4와 st.5와 같이 횡단 사방공작물이 없는 구간에서도 이동 개체는 매우 적었다. 본 지역의 자연석 낙차공이나 돌사방댐의 높이가 3.5m 이상으로 매우 높고 봄철 산란시기를 중심으로 실시하였으므로 각 사방공작물의 영향으로 판단하기는 확실하지가 않다.

표 66. 정릉계곡에서 산개구리류의 조사결과

구역	지점	표지	조사시기		채집 개체수	방사 개체수	재포획 표지(개체수)
A	st.1	HL1	2005	1차	2	2	-
				2차	2	-	0
B	st.2	HL2	2005	1차	9	9	-
				2차	11	-	HL2 (3) HL4 (1)
	st.3	HL4	2005	1차	5	5	-
				2차	6	-	HL4 (1)
C	st.4	FL2	2005	1차	28	28	-
				2차	23	-	FL2 (11)
	st.5	FL3	2005	1차	4	4	-
				2차	3	-	0
			2006	3차	13	13	-
				4차	28	-	FL3 (2) FL4 (1)
			2007	5차	27	27	-
				6차	11	-	FL3 (2) FL4 (1)
D	st.6	FL4	2005	1차	7	7	-
				2차	8	-	FL4 (2)
			2006	3차	9	9	-
				4차	19	-	FL4 (3)
			2007	5차	35	35	-
				6차	17	-	FL4 (4)

A : 돌낙차공(1) 상부  
 B : 돌낙차공(1)과 자연석 낙차공 사이  
 C : 자연석 낙차공과 돌낙차공(2) 사이  
 D : 돌낙차공(2) 하부

2006년도에는 A~B 구역에서 산개구리류가 관찰되지 않아 C~D구간을 중심으로 조사를 실시하였다(표 66). 2006년도 3차 조사에서 산개구리류 22개체를 포획, 표지하여 방사하였다. 4차 조사는 시기적으로 산란기를 전후한 강우 1주일 후 유량이 풍부한 상태에서 실시하였으며, C 구역에서 28개체, D 구역에서 19개체를 채집하여 이 중에서 재포획개체는 각각 3개체씩 나타났다. 2007년도 5차조사시 C 구역에서 27개체, D 구역에서 35개체를 채집, 방사하였으며, 6차 조사에서 재포획개체는 각각 3개체와 4개체이었다.

이와 같은 결과에서 돌낙차공은 개구리류의 상류로의 이동에 비교적 장애요인으로 작용하지 않는다는 결과를 보인다. 6차조사시 상부로 이동하여 재포획된 것은 타 수서동물이 보이는 소상에 관련된 결과에서 볼 수 없는 것으로서 양서류의 생태적인 특성상 육상을 이용해 이동할 수 있고 발가락을 이용하여 도약하지 않고도 수직면을 오를 수 있기 때문인 것으로 사료된다.

### 3) 북한산성 계곡

북한산성의 사방공작물은 돌낙차공, 콘크리트낙차공+돌바닥막이 복합공작물 등이 설치되어 있으며, 집중우기와 봄철 해빙기를 제외한 대부분의 시기 표토로 노출되는 수량이 거의 확인되지 않는 건천의 형태로 유지되며, 낙차공 하부의 소와 자연생성의 작은 소가 발달하여있다(사진 59)



사진 59. 북한산성계곡의 사방공작물 전경

북한산성계곡의 야계사방공작물은 돌낙차공, 콘크리트낙차공과 돌바닥막이의 복합체 등이 확인되며 돌낙차공은 조사시의 대부분 복류되거나 건천화되어 본 조사에서는 제외하였다. 대상공작물은 콘크리트낙차공+돌바닥막이 복합공작물로 상부에서 하

부로 연결되는 낙차는 중간에 턱이 있는 특이한 2중 구조로 되어 있으며 계단과 같은 형태로 보인다. 돌바닥막이와 낙차공 사이에 수심 1m, 폭 16m 내외의 정체되는 소가 있으며 이곳에 고립되어 서식하고 있는 어류개체가 다수 확인되었다. 하부 낙차공의 규모는 높이 약 3m 이며 폭은 16m 내외가 된다. 돌바닥막이는 호박돌을 바닥에 깔고 틈새를 시멘트로 마감한 형태로 수서동물의 서식처를 절대적으로 단순하게 만들고 있으며 열악한 서식조건을 보인다. 공작물 사이에 있는 소와 하부에 위치하고 있는 소는 하상이 자갈 또는 모래로 되어있으며 하안은 콘크리트 또는 거석으로 되어있다. 하부의 소 양안은 우현은 돌망태로 기슭막이가 되어있으며 좌현은 경사가 완만한 초본류가 도포된 자연토양이다.

상부로 선택하여 채집한 지점은 돌바닥막이와 낙차공사이의 소를 대상으로 하였으며, 하부는 낙차공 하부에 위치한 소가 대상이다. 2006년도 1차 조사에서 산개구리류의 29개체를 포획하였으며, 무당개구리가 다수 채집되었으나 생태특성상 상류로 이동하는 습성이 미약하여 본 실험에서는 제외하였다. 포획된 산개구리는 모두 앞다리 오른쪽 제 3지를 절단하여 표지한 후 하부에 방사하였다.

2차 조사에서는 상부에서 21개체 하부에서 11개체가 포획되어 32개체가 관찰되었으며 이중에서 재포획된 개체는 상부에서만 4개체가 관찰되었다. 하부에서는 재포획된 산개구리류가 한 개체도 관찰되어, 재포획률은 13.8%로 조사되었다(표 67).

2007년도 3차 조사에서는 상부에서 24개체 하부에서 9개체가, 4차조사시 상부에서 10개체, 하부에서 7개체를 포획하였고, 3, 4차조사에서 재포획 개체는 포함되지 않았다(표 67).

표 67. 북한산성계곡에서 산개구리류의 조사결과

지점	표지	조사시기		채집 개체수	방사 개체수	재포획 표지 (개체수)
상부	FL3	2006	1차	19	19	-
			2차	21	-	FL3 (2) FL4 (2)
		2007	3차	24	24	-
			4차	10	-	0
하부	FL4	2006	1차	10	10	-
			2차	11	-	0
		2007	3차	9	9	-
			4차	7	-	0

이러한 조사 결과는 북한산성계곡에 있는 콘크리트낙차공과 돌바닥막이 공작물이 산개구리류의 하부에서 상부로 이동하는 소상에 전혀 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. 이는 산란시기에 조사하여 소상하는 방향성이 뚜렷한 시기에 조사한 것과 양서류의 이동방법에 기인한 결과로 보여 진다.



## 2. 생물학적 평가기법의 개발

### 가. 자료의 수집 및 분석

야계사방 공작물이 영향을 미치는 계곡생태계 내에서 가장 풍부한 무리인 저서성 대형무척추동물 군집을 이용한 생물학적 평가기법의 도출을 위하여 국내에서 조사된 자료를 수집하여 분석하였다. 특히 우리나라의 상류 수계의 조사 자료를 바탕으로 이용가능성이 높은 지표종을 선정하였다. 어류의 경우는 조사대상지역의 계곡생태계 내에 거의 단일 우점종, 버들치만이 서식하는 경우가 많아 생물군집을 이용한 평가기법 개발에서는 제외하였으며, 양서·파충류의 경우에도 조사대상지역의 계곡생태계에서는 주로 산개구리류만이 출현하고 있으며, 종적 공작물 보다는 횡적 공작물에 의한 영향이 보다 높은 것으로 판단되어 역시 배제하였다.

기 조사된 자료 중에서 저서성 대형무척추동물 중 가장 풍부한 무리인 수서곤충의 분류체계가 확립된 1989년도 이후의 문헌 중에서 정량으로 채집된 자료만을 선별하여 정리하였으며, 이용된 문헌 자료는 표 68과 같다. 문헌자료를 통하여 정리된 자료는 총 1188개 조사단위(sampling unit, SU)였으며, 이 중에서 정량채집으로 이루어진 총 688개의 조사단위를 분석대상으로 선정하였다.

표 68. 저서성 대형무척추동물의 수계별 문헌

번호	조사 연도	수계	대상하천	유입 하천	제 목	지점 수	조사 횟수	종수 <sup>1</sup> (AI/BMI)
1	1982	낙동강	연곡천	연곡천	지리산 피아골 계류수계의 생물군집구조에 관한 연구 2) 수서곤충에 관하여	3	3	58/58
2	1982	한강	소양호지류	소양강	소양호의 유역환경의 식생과 유입 하천의 생물군집에 관하여	7	4	60/63
3	1983	동해 수계	오십천	오십천	오십천의 수서곤충군집에 관한 연구	11	1-2	85/85
4	1985	금강	금강하구	금강	금강하구의 저서성 대형무척추동물의 군집구조에 관한 연구	11	4	0/34
5	1985	임진강	도평천	영평천	백운산일대의 수서곤충군집 구조에 관한 연구	6	1	56/56
6	1985	한강	달천강	달천강	달천강 하류수계의 수서곤충군집 구조에 관한 연구	6	5	60/60
7	1986	한강	왕숙천	왕숙천	한강 지류인 왕숙천의 수서곤충 군집의 계절적 비교	4	5	53/53
8	1989	낙동강	낙동강	낙동강	Ecological Studies of Benthic Macroinvertebrates in Nakdong Estuary, Korea	11	10	?

번호	조사연도	수계	대상하천	유입하천	제 목	지점수	조사횟수	종수 <sup>1</sup> (AI/BMI)
9	1989	낙동강	낙동강	낙동강	낙동강 하구의 환경특성과 저서성 대형무척추동물의 동태에 관한 연구	13	23	-
10	1989	낙동강	보성강	보성강	보성강 본류에서 미소서식처에 따른 수서곤충 군집구조 및 생태학적 동태	1	1	43/43
11	1989	낙동강	보성강	보성강	보성강 본류의 수서곤충 군집구조에 관한 연구	7	1	45/45
12	1990	낙동강	가야천	안립천	가야산 국립공원일대의 수서곤충상에 관한 연구	4	1	46/46
13	1990	낙동강	소가천	회천	가야산 국립공원일대의 수서곤충상에 관한 연구	1	1	-
14	1990	낙동강	화죽천	대가천	가야산 국립공원일대의 수서곤충상에 관한 연구	2	1	-
15	1990	한강	가평천	가평천	가평천 수계의 수서곤충 군집에 관한 연구	5	4	75/75
16	1991	한강	경안천	경안천	한강 지천수계의 수서곤충 군집구조 및 생물학적 수질평가	5	1	28/28
17	1991	한강	곤지암천	경안천	한강 지천수계의 수서곤충 군집구조 및 생물학적 수질평가	3	1	32/32
18	1991	한강	안양천	안양천	한강 지천수계의 수서곤충 군집구조 및 생물학적 수질평가	2	1	2/2
19	1991	한강	양재천	탄천	한강 지천수계의 수서곤충 군집구조 및 생물학적 수질평가	1	1	2/2
20	1991	한강	왕숙천	왕숙천	한강 지천수계의 수서곤충 군집구조 및 생물학적 수질평가	3	1	13/13
21	1991	한강	조종천	조종천	조종천 상류 저서성 대형무척추동물	9	1	53/58
22	1991	한강	중랑천	중랑천	한강 지천수계의 수서곤충 군집구조 및 생물학적 수질평가	3	1	13/13
23	1991	한강	탄천	탄천	한강 지천수계의 수서곤충 군집구조 및 생물학적 수질평가	3	1	8/8
24	1991	한강	학의천	안양천	한강 지천수계의 수서곤충 군집구조 및 생물학적 수질평가	1	1	19/19
25	1992	금강	회인천	대청호	회인천의 저서성 대형무척추동물 군집	6	2	32/40
26	1992	낙동강	금호강	금호강	대구 금호강의 저서성 대형무척추동물 군집구조와 지점간의 유사성	16	13	77/111
27	1992	낙동강	금호강	금호강	저서성 대형무척추동물에 의한 금호강 수계의 생물학적 수질평가	16	13	-
28	1992	낙동강	금호강	금호강	금호강 수계 저서성 대형무척추동물 군집의 시공간적 분포	16	13	77/110
29	1992	한강	경안천	한강	경안천의 저서성 대형무척추동물 군집	4	1	26/27
30	1992	한강	경안천	경안천	한강 중, 하류 지천생태계의 저서성 무척추동물군집 및 환경요인과의 관계	2	1	29/38
31	1992	한강	곤지암천	경안천	한강 중, 하류 지천생태계의 저서성 무척추동물군집 및 환경요인과의 관계	2	1	31/33
32	1992	한강	변천	경안천	남한산성 변천의 수서곤충 군집	5	4	62/62

번호	조사연도	수계	대상하천	유입하천	제 목	지점수	조사횟수	종수 <sup>1</sup> (AI/BMI)
33	1992	한강	북하천	북하천	한강 중, 하류 지천생태계의 저서성 무척추동물군집 및 환경요인과의 관계	2	1	17/20
34	1992	한강	안양천	안양천	한강 중, 하류 지천생태계의 저서성 무척추동물군집 및 환경요인과의 관계	2	1	2/3
35	1992	한강	양재천	탄천	한강 중, 하류 지천생태계의 저서성 무척추동물군집 및 환경요인과의 관계	2	1	3/6
36	1992	한강	왕숙천	왕숙천	한강 중, 하류 지천생태계의 저서성 무척추동물군집 및 환경요인과의 관계	2	1	12/17
37	1992	한강	용문천	흑천	용문산 계류의 저서성 대형무척추동물 군집에 관한 연구	5	6	131/141
38	1992	한강	조종천	조종천	한강 중, 하류 지천생태계의 저서성 무척추동물군집 및 환경요인과의 관계	2	1	34/35
39	1992	한강	증랑천	증랑천	한강 중, 하류 지천생태계의 저서성 무척추동물군집 및 환경요인과의 관계	2	1	11/13
40	1992	한강	탄천	탄천	한강 중, 하류 지천생태계의 저서성 무척추동물군집 및 환경요인과의 관계	2	1	6/12
41	1992	한강	학의천	안양천	한강 중, 하류 지천생태계의 저서성 무척추동물군집 및 환경요인과의 관계	1	1	19/26
42	1993	한강	경안천	경안천	저서성 대형무척추동물에 의한 한강하류 일부 지천의 생물학적 수환경 평가	10	4-5	38/48
43	1993	한강	곡릉천	곡릉천	곡릉천에서 미소서식지에 따른 저서성 대형무척추동물의 군집구조와 생태학적 동태	4	4	66/78
44	1993	한강	수동천	구운천	남양주군 수동천의 저서성 대형무척추동물 군집에 관한 연구	4	1	43/48
45	1993	한강	왕숙천	왕숙천	서울 근교 왕숙천의 유역 환경변화에 따른 수서곤충 군집의 장기변동	4	4	28/28
46	1993	한강	우이천	증랑천	우이천의 수환경과 수서동물 군집의 생태학적 동태	4	5	54/66
47	1993	한강	조종천	조종천	저서성 대형무척추동물에 의한 한강하류 일부 지천의 생물학적 수환경 평가	10	4-5	68/73
48	1993	한강	증랑천	증랑천	저서성 대형무척추동물에 의한 한강하류 일부 지천의 생물학적 수환경 평가	7	4-5	33/39 ?
49	1993	한강	청계천	증랑천	저서성 대형무척추동물에 의한 한강하류 일부 지천의 생물학적 수환경 평가	1	4-5	?
50	1994	임진강	남대천	남대천	자연생태계 지역정밀조사 보고서(1994) - 포천 광덕산	2	1	20/20
51	1994	임진강	도평천	영평천	자연생태계 지역정밀조사 보고서(1994) - 포천 광덕산	1	1	19/19

번호	조사연도	수계	대상하천	유입하천	제 목	지점수	조사횟수	종수 <sup>1</sup> (AI/BMI)
52	1994	한강	경안천	한강	경안천의 저서성 대형무척추동물 군집	4	1	50/59
53	1994	한강	곡릉천	곡릉천	곡릉천 생태계의 오염부하량과 계절에 따른 자정능의 변화	5	1	18/25
54	1994	한강	사창천	사내천	자연생태계 지역정밀조사 보고서(1994) - 포천 광덕산	3	1	48/48
55	1995	한강	동강	동강	한강 수계의 저서성 대형무척추동물 분포특성	5	1	40/42
56	1995	한강	방태천	내린천	강원도 방태천 수서곤충 군집의 생태학적 특성	7	6	151/151
57	1995	한강	방태천	내린천	방태산 북사면 일대 수계의 수서곤충군집에 대하여	10	1	76/76
58	1995	한강	주천강	서강	한강 수계의 저서성 대형무척추동물 분포특성	5	1	53/55
59	1995	한강	평창강	서강	한강 수계의 저서성 대형무척추동물 분포특성	5	1	53/57
60	1995	한강	한강	한강	한강 수계의 저서성 대형무척추동물 분포특성	5	2	33/52
61	1996	한강	내린천	소양강	방태산 남사면 일대 수계의 수서곤충군집에 대하여	7	1	77/77
62	1996	한강	왕숙천	왕숙천	왕숙천 준설구간의 저서성 대형무척추동물의 군집변동	3	4	35/40
63	1997	한강	왕숙천	왕숙천	명지산 생태계 보전지역 관리 기본계획 - 저서성 대형무척추동물 분야	14	4	34/44
64	1998	낙동강	연곡천	연곡천	지리산 피아골 계류의 수서곤충 군집구조	5	1	74/74
65	1998	한강	계방천	내린천	오대산국립공원 서북사면 일대 수계의 수서곤충군집	9	1	71/71
66	1998	한강	증랑천	증랑천	한강 지류천 생태계 조사연구 - III.1 저서성 대형무척추동물	4	4	21/30
67	1998	한강	청계천	증랑천	한강 지류천 생태계 조사연구 - III.1 저서성 대형무척추동물	1	4	5/7
68	1998	한강	탄천	탄천	한강 지류천 생태계 조사연구 - III.1 저서성 대형무척추동물	4	4	37/46
69	1999	한강	가평천	가평천	명지산 생태계 보전지역 관리 기본계획 - 저서성 대형무척추동물 분야	5	1	45/47
70	1999	한강	남대천	옥동천	선달산, 아래산 일대 수계의 수서곤충 군집구조	6	1	38/38
71	1999	한강	마석천	마석천	Temporal Changes of Community Structure of Benthic Macroinvertebrates in the North Branch of Han River System, Korea	3	12	-
72	1999	한강	사기막천	사기막천	Temporal Changes of Community Structure of Benthic Macroinvertebrates in the North Branch of Han River System, Korea	1	12	-

번호	조사연도	수계	대상하천	유입하천	제 목	지점수	조사횟수	종수 <sup>1</sup> (AI/BMI)
73	1999	한강	사기막천	사기막천	Substrate Composition and Benthic Macroinvertebrate Community in the Streams of the North Branch of Han River	1	12	-
74	1999	한강	조종천	조종천	Substrate Composition and Benthic Macroinvertebrate Community in the Streams of the North Branch of Han River	3	12	-
75	1999	한강	조종천	조종천	Temporal Changes of Community Structure of Benthic Macroinvertebrates in the North Branch of Han River System, Korea	3	12	-
76	1999	한강	조종천	조종천	명지산 생태계 보전지역 관리 기본계획 - 저서성 대형무척추동물 분야	3	1	66/69
77	2000	한강	중랑천	중랑천	저서성 대형무척추동물조사 및 중랑천 수질환경개선 대안제시	4	2	5/9
78	2002	동해수계	면옥치천	남대천	오대산 북사면 부연계곡의 저서무척추동물 군집구조 및 종다양성의 특성	4	1	79/81
79	2003	금강	금강	금강	금강수계의 오염지표생물 분포조사 - 저서성 대형무척추동물	27	1	118/139
80	2003	한강	사탄천	사탄천	사탄천 일대의 저서성 대형무척추동물의 군집변동 및 생물학적 수질평가에 관한 연구	5	4	62/66

<sup>1</sup>(AI/BMI) : ( Aquatic Insects / Benthic MacroInvertebrates )

한편 저서성 대형무척추동물의 각 종에 대한 생태적 특성, 즉 섭식기능군(functional feeding groups), 서식처(habitat) 및 습성(habit)은 표 69에 정리하였다. 기본적인 생태 정보는 Merritt and Cummins(1996), Pennak(1989) 및 Peckarsky et al.(1990) 등의 자료를 이용하였고, 이들 문헌에서 확인되지 않는 종의 경우에는 과거의 현장 경험을 통한 정보를 입력하였다. 아직 확인되지 않은 종들의 특성은 추후 자료 및 현장조사를 통하여 확인되어야 할 것이다.

표 69. 저서성 대형무척추동물 각 생물종의 생태학적 특성

Scientific Name	Qi <sup>1)</sup>	FFG <sup>2)</sup>		Habita <sup>3)</sup>		Habit <sup>4)</sup>	
		Pri <sup>5)</sup>	Sec <sup>6)</sup>	LO	LE	Pri	Sec
Phylum Platyhelminthes							
Class Turbellaria							
Order Tricladida							
Family Planariidae		OM					
<i>Dugesia</i> sp.	3	OM	-	dep.		?	?
<i>Phagocata</i> sp.	4	?	?	dep.		?	?
Phylum Mollusca							
Class Gastropoda							
Order Archaeogastropoda							
Family Viviparidae							
<i>Cipangopaludina chinensis malleata</i>	2	SC	-		lit	?	?
Order Mesogastropoda							
Family Bithyniidae							
<i>Gabbia misella</i>	2	SC	-	dep	lit	CN	
<i>Parafossarulus manchouricus</i>	2	SC	-	dep	lit	?	?
Family Pleuroceridae							
<i>Semisulcospira coreana</i>	3	SC	-	ero, dep		?	?
<i>Semisulcospira forticosta</i>	3	SC	-	ero, dep		?	?
<i>Semisulcospira gottschei</i>	2	SC	-	dep, ero		?	?
<i>Semisulcospira libertina</i>	4	SC	-	ero, dep		?	?
<i>Semisulcospira tegulata</i>	3	SC	-	ero, dep		?	?
Order Basommatophora							
Family Lymnaeidae							
<i>Austropeplea ollula</i>	2	SC	-	dep		?	?
<i>Radix auricularia</i>	1	SC	-	drp		?	?
Family Physidae							
<i>Physa acuta</i>	1	SC	-	dep	lit	?	?
Family Planorbidae							
<i>Gyraulus convexiusculus</i>	2	SC	-	?		?	?
<i>Hippeutis cantori</i>	2	SC	-	?		?	?
Class Bivalvia							
Order Mytiloida							
Family Mytilidae							
<i>Limnoperna fortunei</i>	3	CF	-	?		BU	?
Order Unionoida							
Family Unionidae							
<i>Anodonta arcaiformis</i>	2	CF	-	?		BU	?
<i>Lanceolaria grayana</i>	3	CF	-	?		BU	?
<i>Unio douglasiae</i>	2	CF	-	?		BU	?
<i>Unio douglasiae sinuolatus</i>	3	CF	-	?		BU	?
Order Veneroida							
Family Corbiculidae							
<i>Corbicula fluminea</i>	3	CF	-	?		BU	?

Scientific Name	Qi <sup>1)</sup>	FFG <sup>2)</sup>		Habita <sup>3)</sup>		Habit <sup>4)</sup>	
		Pri <sup>5)</sup>	Sec <sup>6)</sup>	LO	LE	Pri	Sec
<i>Corbicula leana</i>	3	CF	-	?		BU	?
Phylum Annelida							
Class Oligochaeta							
Order Neoligochaeta							
Family Lumbricidae							
<i>Eisenia</i> sp.		CG	-	dep.	lit, pro	BU	
Order Archioloigochaeta							
Family Naididae							
<i>Chaetogaster limnaei</i>	3	CG	-	dep.	lit, pro	BU	
Family Tubificidae							
<i>Branchiura sowerbyi</i>	1	CG	-	dep.	lit, pro	BU	
<i>Limnodrilus gotoi</i>	1	CG	-	dep.	lit, pro	BU	
Class Hirudinia							
Order Rhynchobdellida							
Family Glossiponidae		PI		dep.		CN	
<i>Alboglossiphonia lata</i>	2	PI	-	dep.		CN	
<i>Glossiphonia complanata</i>	2	PI		dep.		CN	
Genus <i>Helobdella</i>	3	PI		dep.		CN	
<i>Helobdella stagnalis</i>	3	PI		dep.		CN	
<i>Helobdella striata</i>	?	?	?	?		?	?
Genus <i>Toryx</i>	2	PI		dep.		CN	
<i>Toryx tagoi</i>	2	PI		dep.		CN	
Family Pisciolidae							
<i>Trachelobdella livanovi</i>	3	?	?	dep.		?	?
Order Arhycobdellida							
Family Haemopidae							
<i>Whitmania edentula</i>	2	?	?	?		?	?
<i>Whitmania pigra</i>	2	?	?	?		?	?
Family Hirudinidae							
<i>Hirudo nipponia</i>	2	PR	-	?		?	?
Family Erpobdellidae							
<i>Erpobdella lineata</i>	1	PR	-	?		?	?
<i>Erpobdella</i> sp.	1	PR	-	?		?	?
Family Salifidae							
<i>Barbronia weberi</i>	2	?	?	?		?	?
Phylum Arthropoda							
Class Crustacea							
Order Isopoda							
Family Asellidae							
<i>Asellus</i> sp.	2	CG	-	?		?	?
Order Amphipoda							
Family Gammaridae							

Scientific Name	Qi <sup>1)</sup>	FFG <sup>2)</sup>		Habita <sup>3)</sup>		Habit <sup>4)</sup>	
		Pri <sup>5)</sup>	Sec <sup>6)</sup>	LO	LE	Pri	Sec
<i>Gammarus</i> sp.	4	OM	–	?		?	?
Order Decapoda							
Family Atyidae							
<i>Cardinia denticulata sinensis</i>	2	?	?	?		?	?
<i>Cardinia denticulata denticulata</i>	2	?	?	?		?	?
Family Palaemonidae							
<i>Macrobrachium</i> sp.	2	?	?	?		?	?
<i>Palaemon paucidens</i>	2	?	?	?		?	?
Family Cambaridae							
<i>Cambaroides similis</i>	4	OM	CG	?		?	?
Class Insecta							
Order Ephemeroptera							
Family Siphonuridae							
<i>Siphonurus chankae</i>	4	CG	SC	dep.	lit.	SW	CB
Family Ameletidae							
<i>Ameletus costalis</i>	4	CG	SC	ero., dep.		SW	CB
<i>Ameletus montanus</i>	4	CG	SC	ero., dep.		SW	CB
Family Baetidae							
<i>Acentrella gnom</i>	3	CG	–	ero.		SW	CN
<i>Acentrella sibirica</i>	3	CG		ero.		SW	CN
<i>Alanites muticus</i>	2	?	?	?		?	?
<i>Baetiella tuberculata</i>	4	?	?	?		?	?
<i>Baetis fuscatus</i>	2	CG	SC	ero., dep.,	lit.	SW	CB
<i>Baetis pseudothermicus</i>	4	CG	SC	ero., dep.,	lit.	SW	CB
<i>Baetis silvaticus</i>	3	CG	SC	ero., dep.,	lit.	SW	CB
<i>Baetis ursinus</i>	3	CG	SC	ero., dep.,	lit.	SW	CB
<i>Cloeon dipterum</i>	2	OM	–		vh	SW	CN
<i>Labiobaetis atrebatinus</i>	3	CG	–	dep.		SW	CN
<i>Nigrobaetis acinaciger</i>	3	?	?	?		?	?
<i>Nigrobaetis bacillus</i>	3	?	?	?		?	?
<i>Procloeon halla</i>	3	OM	CG	dep.	lit.	SW	CN
<i>Procloeon maritimum</i>	3	OM	CG	dep.	lit.	SW	CN
<i>Procloeon pennulatum</i>	3	OM	CG	dep.	lit.	SW	CN
Family Isonychiidae							
<i>Isonychia japonica</i>	4	CF	PR	ero.		SW	CN
<i>Isonychia ussurica</i>	4	CF	PR	ero.		SW	CN
Family Heptageniidae			SC	CG	ero	CN	
<i>Bleptus fasciatus</i>	4	SC	–	ero		CN	–
<i>Cinygmula grandifolia</i>	4	SC	–	ero.		CN	–
<i>Cinygmula hirasana</i>	4	SC	–	ero.		CN	–
<i>Cinygmula</i> KUa	4	SC	–	ero.		CN	–
<i>Cinygmula</i> na	4	SC	–	ero.		CN	–
<i>Ecdyonurus baekovae</i>	4	SC	CG	ero.		CN	–
<i>Ecdyonurus dracon</i>	4	SC	CG	ero.		CN	–



Scientific Name	Qi <sup>1)</sup>	FFG <sup>2)</sup>		Habita <sup>3)</sup>		Habit <sup>4)</sup>	
		Pri <sup>5)</sup>	Sec <sup>6)</sup>	LO	LE	Pri	Sec
<i>Ecdyonurus joernensis</i>	4	SC	CG	ero.		CN	-
<i>Ecdyonurus kibunensis</i>	4	SC	CG	ero.		CN	-
<i>Ecdyonurus</i> KUb	4	SC	CG	ero.		CN	-
<i>Ecdyonurus levis</i>	3	SC	CG	ero.		CN	-
<i>Ecdyonurus</i> na	4	SC	CG	ero.		CN	-
<i>Ecdyonurus scalaris</i>	4	SC	CG	ero.		CN	-
<i>Ecdyonurus subspinosa</i>	4	SC	CG	ero.		CN	-
<i>Epeorus curvatulus</i>	4	SC	CG	ero.		CN	-
<i>Epeorus latifolium</i>	4	SC	CG	ero.		CN	-
<i>Epeorus pellucidus</i>	4	SC	CG	ero.		CN	-
<i>Heptagenia guranica</i>	4	SC	CG	ero.		CN	SW
<i>Heptagenia kihada</i>	4	SC	CG	ero.		CN	SW
<i>Heptagenia kyotoensis</i>	4	SC	CG	ero.		CN	SW
<i>Iron aesculus</i>	3	SC	CG	ero.		CN	-
<i>Iron maculatus</i>	3	SC	CG	ero.		CN	-
<i>Rhithrogena japonica</i>	4	SC	CG	ero.		CN	-
<i>Rhithrogena</i> na	4	SC	CG	ero.		CN	-
Family Leptophlebiidae							
<i>Choroterpes altioculus</i>	3	CG	SC	ero., dep.	LE lit.	CN	SP
<i>Paraleptophlebia chocorata</i>	4	CG	-	ero.		SW	CN
Family Potamanthidae							
<i>Potamanthus(Potamanthodes) formosus</i>	3	CG	-	dep		BU	CN
<i>Potamanthus(Potamanthodes) yooni</i>	3	CG	-	dep		BU	CN
<i>Potamanthus(Potamanthus) luteus oriens</i>	3	CG	-	dep		BU	CN
<i>Rhoenanthus(Potamanthindus) coreanus</i>	3	CF	-	dep		BU	CN
Family Polymitarcyidae							
<i>Ephoron shigae</i>	4	CG	-	dep.		BU	-
Family Ephemeridae							
<i>Ephemera orientalis</i>	3	CG	-	dep.		BU	-
<i>Ephemera separigata</i>	4	CG	-	dep.		BU	-
<i>Ephemera strigata</i>	4	CG	-	dep.		BU	-
Family Ephemerellidae							
<i>Cincticostella levanidovae</i>	4	SC		ero		CN	
<i>Cincticostella tshernovae</i>	4	SC		ero		CN	
<i>Drunella aculea</i>	4	SC		ero		CN	
<i>Drunella cryptomeria</i>	4	SC		ero		CN	
<i>Drunella lepnevae</i>	4	SC		ero		CN	
<i>Drunella triacantha</i>	4	SC		ero		CN	
<i>Ephacerella longicaudata</i>	4	?	?	?		?	?
<i>Ephemerella dentata</i>	4	CG	SC	ero., dep.		CN	SW
<i>Ephemerella imanishii</i>	4	CG	SC	ero., dep.		CN	SW
<i>Ephemerella kozhoni</i>	4	CG	SC	ero., dep.		CN	SW
<i>Serratella setigera</i>	4	CG	-	ero., dep.		CN	-
<i>Uracanthella rufa</i>	3	CG	-	ero, dep.		CN	-
Family Neoephemeridae							

Scientific Name	Qi <sup>1)</sup>	FFG <sup>2)</sup>		Habita <sup>3)</sup>		Habit <sup>4)</sup>	
		Pri <sup>5)</sup>	Sec <sup>6)</sup>	LO	LE	Pri	Sec
<i>Potamanthellus chinensis</i>	3	CG	-	dep.		SP	CN
Family Caenidae							
<i>Brachycercus</i> KUa	2	CG	-	dep.		SP	-
<i>Caenis nishinoae</i>	2	CG	-	dep.,	lit.	SP	CB
Order Odonata							
Family Coenagrionidae							
<i>Cercion calamorum</i>	2	PR	-	mag, dep		?	?
<i>Cercion hieroglyphicum</i>	2	PR	-	mag, dep		?	?
<i>Ceriagrion melanurum</i>	2	PR	-			?	?
<i>Coenagrion</i> sp.		PR	-	ero., dep.	vh.	CB	-
<i>Enallagma cyathigerum</i>	2	PR	-	dep.	vh.,	CB	-
<i>Ischnura asiatica</i>	2	PR	-	mag, dep.	vh.,	CB	-
<i>Mortonagrion selenion</i>	2	PR	-	?		?	?
<i>Nehalena speiciens</i>	2	PR	-		vh.	CB	-
Family Platycnemididae							
<i>Copera annulata</i>	3	PR	-	?		?	?
<i>Platycnemis phillopoda</i>	3	PR	-	?		?	?
Family Lestidae							
<i>Indolestes gracilis peregrinus</i>	2	PR	-	?		?	?
<i>Lestes japonicus</i>	2	PR	-	dep.	vh.,	CB	-
<i>Lestes sponsa</i>	2	PR	-	dep.	vh.,	CB	-
<i>Sympecma paedisca</i>	2	PR	-			?	?
Family Calopterygidae							
<i>Calopteryx japonica</i>	3	PR	-	dep, mag		CB	-
<i>Calopteryx atrata</i>	3	PR	-	dep, mag		CB	-
<i>Mnais strigsata</i>	?	PR	-	?		?	?
Family Gomphidae							
<i>Anisogomphus maacki</i>	3	PR	-	?		?	?
<i>Anisogomphus melanopsoides</i>	3	PR	-	?		?	?
<i>Burmagomphus</i> KUa	3	PR	-	?		?	?
<i>Davidius lunatus</i>	3	PR	-	?		?	?
<i>Gomphidia confluens</i>	2	PR	-	?		?	?
<i>Gomphus postacularis</i>	2	PR	-	dep.,	lit.	BU	-
<i>Ictinogomphus clavatus</i>	2	PR	-	?		?	?
<i>Nihonogomphus</i> KUa	4	PR	-	?		?	?
<i>Onychogomphus ringens</i>	4	PR	-	?		?	?
<i>Ophiogomphus obscura</i>	2	PR	-	ero., dep.		BU	-
<i>Sieboldius albardae</i>	3	PR	-	?		?	?
<i>Stylurus annulata</i>	2	PR	-	dep.,	lit.	BU	-
<i>Trigomphus citimus</i>	2	PR	-	?		?	?
<i>Trigomphus melampus</i>	2	PR	-	?		?	?
<i>Trigomphus nigripes</i>	2	PR	-	?		?	?
Family Aeshnidae							
<i>Gynacantha japonica</i>	2	PR	-		vh.	CB	SP

Scientific Name	Qi <sup>1)</sup>	FFG <sup>2)</sup>		Habita <sup>3)</sup>		Habit <sup>4)</sup>	
		Pri <sup>5)</sup>	Sec <sup>6)</sup>	LO	LE	Pri	Sec
<i>Boyeria maclachlani</i>	2	PR	-	ero., dep.		CB	SP
<i>Aeschnophlebia anisoptera</i>	2	PR	-	?		?	?
<i>Aeschnophlebia longistigma</i>	2	PR	-	?		?	?
<i>Anax parthenope julius</i>	2	PR	-		vh.	CB	-
<i>Anax nigrofasciatus</i>	2	PR	-		vh.	CB	-
<i>Anax</i> KUa	2	PR	-		vh.	CB	-
<i>Aeshna crenata</i>	2	PR	-		vh.	CB	-
<i>Aeshna</i> KUa	2	PR	-		vh.	CB	-
<i>Aeshna nigroflava</i>	2	PR	-		vh.	CB	-
<i>Aeshna coerulea</i>	2	PR	-		vh.	CB	-
<i>Aeshna juncea</i>	2	PR	-		vh.	CB	-
Family Cordulegastridae							
<i>Anotogaster sieboldii</i>	2	PR	-	?		?	?
Family Corduliidae							
<i>Cordulia aenea amurensis</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Epitheca marginata</i>	3	PR	-	dep.,		CB	-
<i>Epophthalmia elegans yagasakii</i>	2	PR	-	?		?	?
<i>Macromia amphigena fraenata</i>	2	PR	-	dep.	lit.	SP	-
<i>Macromia daimoji</i>	2	PR	-	dep.	lit.	SP	-
<i>Macromia manchuria</i>	2	PR	-	dep.	lit.	SP	-
<i>Smmatochlora graeseri</i>	2	PR	-	dep.	lit.	CB	SP
<i>Somatochlora alpestris</i>	2	PR	-	dep.	lit.	CB	SP
<i>Somatochlora arctica</i>	2	PR	-	dep.	lit.	CB	SP
Family Libellulidae							
<i>Crocothemis servilia</i>	2	PR	-	?		?	?
<i>Deielia phaon</i>	2	PR	-	?		?	?
<i>Leucorrhinia dubia orientalis</i>	2	PR	-		vh.	CB	-
<i>Libellula angelina</i>	2	PR	-	dep.	lit.,	SP	-
<i>Libellula quadrimaculata</i>	2	PR	-	dep.	lit.,	SP	-
<i>Lyriothemis pachygastra</i>	2	PR	-	?		?	?
<i>Nannophya pygmaea</i>	2	PR	-	?		?	?
<i>Orthetrum albistylum speciosum</i>	2	PR	-	dep, mag	lit	?	?
<i>Orthetrum</i> KUa	2	PR	-	dep, mag	lit	?	?
<i>Orthetrum lineostigma</i>	2	PR	-	dep, mag	lit	?	?
<i>Orthetrum triangulare melania</i>	2	PR	-	dep, mag	lit	?	?
<i>Pantala flavescens</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Pseudothemis zonata</i>	2	PR	-	?		?	?
<i>Rhyothemis fuliginosa</i>	2	PR	-	?		?	?
<i>Sympetrum baccha matutinum</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Sympetrum cordulegaster</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Sympetrum croceolum</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Sympetrum danae</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Sympetrum darwinianum</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Sympetrum depressiusculum</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Sympetrum eroticum</i>	2	PR	-		lit.	SP	-

Scientific Name	Qi <sup>1)</sup>	FFG <sup>2)</sup>		Habita <sup>3)</sup>		Habit <sup>4)</sup>	
		Pri <sup>5)</sup>	Sec <sup>6)</sup>	LO	LE	Pri	Sec
<i>Sympetrum flaveolum</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Sympetrum infuscatum</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Sympetrum kunkeli</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Sympetrum parvulum</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Sympetrum pedemontanum elatum</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Sympetrum pedemontanum pedemontanum</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Sympetrum striolatum imitoides</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Sympetrum uniforme</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Sympetrum vulgatam imitans</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
<i>Tramea virginia</i>	2	PR	-		lit.	SP	-
Order Plecoptera							
Family Scopuridae	4	SH	-	dep, ero		SP	-
Genus <i>Scopura</i>	4	SH	-	dep, ero		SP	-
<i>Scopura laminata</i>	4	SH	-	dep, ero		SP	-
<i>Scopura</i> sp.	4	SH	-	dep, ero		SP	-
Family Taeniopterygidae							
<i>Taenionema</i> KUa	4	SH	-	ero.		?	?
<i>Taenionema</i> KUb	4	SH	-	ero.		?	?
<i>Taenionema</i> KUc	4	SH	-	ero.		?	?
Family Nemouridae							
<i>Amphinemura coreana</i>	4	SH	CG	ero., dep.		SP	CN
<i>Amphinemura</i> KUa	4	SH	CG	ero., dep.		SP	CN
<i>Amphinemura</i> KUb	4	SH	CG	ero., dep.		SP	CN
<i>Nemoura</i> KUa	4	SH	-	ero.		SP	CN
<i>Nemoura</i> KUb	4	SH	-	ero.		SP	CN
<i>Nemoura tau</i>	4	SH	-	ero.		SP	CN
<i>Protonemura</i> KUa	4	SH	-	ero.		SP	CN
Family Capniidae							
<i>Capnia</i> KUa	4	SH	-	ero.		SP	CN
<i>Eucapnopsis</i> KUa	4	SH	-	ero.		SP	CN
Family Leuctridae							
<i>Rhopalopsale mahunkai</i>	4	SH	-	ero		SP	CN
Family Peltoperlidae							
<i>Yoraperla</i> KUa	4	SH	SC	ero., dep.		SP	CN
Family Pteronarcidae							
<i>Pteronarcys sachalina</i>	4	SH	-	ero., dep.		CN	SP
<i>Pteronarcys macra</i>	4	SH	-	ero., dep.		CN	SP
Family Perlodidae							
<i>Archynopteryx</i> KUa	4	PR	-	?		?	?
<i>Isoperla</i> KUa	4	PR	-	ero., dep.		CN	SP
<i>Megarcys ochracea</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Perlodes</i> KUa	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Stavsolus</i> KUa	4	PR	-	ero.		CN	-

Scientific Name	Qi <sup>1)</sup>	FFG <sup>2)</sup>		Habita <sup>3)</sup>		Habit <sup>4)</sup>	
		Pri <sup>5)</sup>	Sec <sup>6)</sup>	LO	LE	Pri	Sec
Family Perlidae	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Kamimuria coreana</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Kiotina decorata</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Neoperla quadrata</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Oyamia nigrobasis</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Oyamia coreana</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Paragnetina flavotincta</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
Family Chloroperlidae	4	PR	-	ero.		CN	-
Genus <i>Sweltsa</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Sweltsa</i> KUa	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Sweltsa nikkoensis</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
Order Hemiptera							
Family Corixidae							
<i>Cymatia</i> sp.	2	PI	-	?		SW	CB
<i>Hesperocorixa distanti</i>	2	PI	-	dep.		SW	-
<i>Micronecta sedula</i>	2	?	?	?		?	?
<i>Sigara substriata</i>	2	PI	-	dep.		SW	CB
Family Notonectidae							
<i>Anisops ogasawarensis</i>	2	?	?	?		?	?
<i>Notonecta amplifica</i>	2	PI	-	dep.	lit.	SW	CB
<i>Notonecta kiangsis</i>	2	PI	-	dep.	lit.,	SW	CB
<i>Notonecta reuteri</i>	2	PI	-	dep.	lit.,	SW	CB
<i>Notonecta triguttata</i>	2	PI	-	dep.	lit.,	SW	CB
Family Pleidae							
<i>Plea</i> sp.	2	?	?	?		?	?
Family Naucoridae							
<i>Ilyocoris</i> sp.	2	?	?	?		?	?
Family Aphelocheiridae							
<i>Aphelocheirus navae</i>	2	?		?		?	
Family Belostomatidae							
<i>Diplonychus</i> sp.	2	PI	-		lit., lim.	SW	CB
<i>Lethocerus</i> sp.	2	PI	-	dep.	lit.	SW	CB
Genus <i>Muljarus</i>		PI	-		lit., lim.	SW	CB
<i>Muljarus esakii</i>	2	PI	-		lit., lim.	SW	CB
<i>Muljarus japonicus</i>	2	PI	-		lit., lim.	SW	CB
<i>Muljarus major</i>	2	PI	-		lit., lim.	SW	CB
Family Nepidae							
<i>Laccotrephes japonensis</i>	2	PI	-	dep.	lit.,	CB	
<i>Nepa hoffmanni</i>	2	PI	-		vh.	CB	-
<i>Ranatra chinensis</i>	2	PI	-	dep	lit.,	CB	-
<i>Ranatra unicolor</i>	2	PI	-	dep	lit.,	CB	-
Family Ochteridae							
<i>Ochterus marginatus</i>	2	PI	-	mag	vh.,	CB	CN
Family Gerridae							

Scientific Name	Qi <sup>1)</sup>	FFG <sup>2)</sup>		Habita <sup>3)</sup>		Habit <sup>4)</sup>	
		Pri <sup>5)</sup>	Sec <sup>6)</sup>	LO	LE	Pri	Sec
<i>Aquaris elongtus</i>	2	PI	-	dep.,	lim., lit.	SK	-
<i>Aquaris paludum</i>	2	PI	-	dep.	lim., lit.	SK	-
<i>Asclepios</i> sp.	2	?	?	?		?	?
<i>Gerris gracilicornis</i>	2	PI	-	dep	., lim., lit.	SK	-
<i>Gerris latiabdominus</i>	2	PI	-	dep.,	lim., lit.	SK	-
<i>Gerris nepalensis</i>	2	PI	-	dep.,	lim., lit.	SK	-
<i>Gerris</i> sp.	2	PI	-	dep.,	lim., lit.	SK	-
<i>Rhyacobates</i> sp.	2	?	?	?		?	?
Family Veliidae							
<i>Microvelia</i> sp.	2	PI	-	dep.	LE lim.,	SK	-
<i>Pseudovelia</i> sp.	2	?	?	?		?	?
Family Hydrometridae							
<i>Hydrometra</i> sp.	2	PI	-		lim.,	SK	-
Family Hebridae							
<i>Hebrus</i> sp.	2	PI	-		lit.-vh.	SK	CB
Family Mesoveliidae							
<i>Mesovelia</i> sp.	2	PI			vh.	SK	CB
Family Saldidae							
<i>Chiloxanthus</i> sp.	2	PI	-	mag	lit.	CB	-
<i>Saldula</i> sp.	2	PI	-	mag	lit.	CB	-
Order Megaloptera							
Family Sialidae							
<i>Sialis</i> KUa	4	PR	-	ero., dep.	lit.	CN	CB
Family Corydalidae							
<i>Parachauliodes continentalis</i>	4	PR	-	ero., dep.		CN	CB
<i>Protohermes grandis</i>	4	PR	-	ero., dep.		CN	CB
Order Coleoptera							
Family Dytiscidae							
<i>Agabus browni</i>	2	PI	-	ero., dep.	vh.	SW	DV
<i>Agabus adpressus</i>	2	PI	-	ero., dep.	vh.	SW	DV
<i>Agabus optatus</i>	2	PI	-	ero., dep.	vh.	SW	DV
<i>Agabus conspicuus</i>	2	PI	-	ero., dep.	vh.	SW	DV
<i>Agabus japonicus</i>	2	PI	-	ero., dep.	vh.	SW	DV
<i>Copelatus koreanus</i>	3	PI	-	dep.	vh.	SW	DV
<i>Coelambus chinensis</i>	2	?	?	?		?	?
<i>Cybister brevis</i>	2	PI	-		vh.	SW	DV
<i>Cybister japonicus</i>	2	PI	-		vh.	SW	DV
<i>Cybister tripunctatus orientalis</i>	2	PI	-		vh.	SW	DV
<i>Cybister</i> sp. (larva)	2	PR	-	dep.	vh.,	CB	SW
<i>Dytiscus dauricus</i>	2	PI	-	dep.	vh.,	SW	DV
<i>Eretes stricticus</i>	3	?	?		vh.	SW	DV
<i>Guignotus japonicus</i>	2	?	?	?		?	?
<i>Guignotus</i> sp. (larva)	2	?	?	?		?	?

Scientific Name	Qi <sup>1)</sup>	FFG <sup>2)</sup>		Habita <sup>3)</sup>		Habit <sup>4)</sup>	
		Pri <sup>5)</sup>	Sec <sup>6)</sup>	LO	LE	Pri	Sec
<i>Graphoderus adamsii</i>	2	PI	-		vh.	SW	DV
<i>Hydaticus grammicus</i>	2	PI	-	, dep.	vh.	SW	DV
<i>Hydaticus(Guignotites) pacificus</i>	2	PI	-	dep.	vh.,	SW	DV
<i>Hydaticus bowringi</i>	2	PI	-	dep.	vh.,	SW	DV
<i>Hydaticus satoi</i>	2	PI	-	dep.	vh.,	SW	DV
<i>Hydaticus</i> sp. (larva)	2	PR	-	dep.	vh.,	CB	SW
<i>Hyphydrus japonicus</i>	2	?	?	?		?	?
<i>Ilybius apicalis</i>	2	PI	-	dep.,	vh.	SW	DV
<i>Laccophilus difficilis</i>	2	PI	-	dep.,	vh.	SW	DV
<i>Laccophilus lewisius</i>	2	PI	-	dep.,	vh.	SW	DV
<i>Laccophilus sharpi</i>	2	PI	-	dep.,	vh.	SW	DV
<i>Laccophilus</i> sp. 1 (larva)	2	PR	-	dep.	vh.,	CB	SW
<i>Laccophilus</i> sp. 2 (larva)	2	PR	-	dep.	vh.,	CB	SW
<i>Neonectes natrix</i>	2	?	?	?		?	?
<i>Platambus fimbriatus</i>	2	?	?	?		?	?
<i>Platambus pictipennis</i>	2	?	?	?		?	?
<i>Potamonectes hostilis</i>	2	?	?	?		?	?
<i>Potamonectes simplicipes</i>	2	?	?	?		?	?
<i>Potamonectes</i> sp. (larva)	2	?	?	?		?	?
<i>Rhantus pulverosus</i>	2	PI	-	dep.	vh.,	SW	DV
Family Noteridae							
Noteridae sp. (larva)	2	PR	-		vh.	BU	CB
Family Gyridae							
<i>Gyrinus japonicus</i>	3	PR	-			SW	DV
Family Haliplidae							
<i>Peltodytes sinensis</i>	2	PI	-	ero.	vh.,	SW	CB
<i>Peltodytes sinensis</i> (larva)	2	SH	-	ero.	vh.,	CB	CN
Family Hydrophilidae							
<i>Amphiops mater</i>	2	?	?	?		?	?
<i>Cercyon apatus</i>	2	?	?	?		?	?
<i>Enochrus simulans umbratus</i>	2	PI	-		lit.	BU	SP
<i>Helochares striatus</i>	2	OM	-	?		?	?
<i>Hydrophilus accuminatus</i>	2	CG	PI	dep.	lit.	SW	DV
<i>Laccobius bedeli</i>	2	PI	-	?		?	?
<i>Sternolophus</i> sp.(larva)	2	?	?	?		?	?
<i>Sternolophus rufipes</i>	2	?	?	?		?	?
Family Helodidae							
Helodidae sp.(larva)	2	SC	CG		vh.	CB	SP
Family Elmidae							
Elmidae sp. (larva)	4	CG	SC	ero.	vh.	CN	BU
<i>Optioservus variabilis</i>	4	SC	CG	ero., dep.		CN	-
<i>Optioservus</i> sp. (larva)	4	CG	SC	ero.	vh.	CN	-
<i>Stenelmis</i> sp.	4	SC	CG	ero.		CN	-
<i>Stenelmis</i> sp. (larva)	4	CG	SC	ero.	vh.	CN	-
<i>Zaitzevia nitida</i>		CG	-	ero.		CN	-

Scientific Name	Qi <sup>1)</sup>	FFG <sup>2)</sup>		Habita <sup>3)</sup>		Habit <sup>4)</sup>	
		Pri <sup>5)</sup>	Sec <sup>6)</sup>	LO	LE	Pri	Sec
Family Psephenidae							
<i>Eubrianax</i> KUa (larvae)	4	SC	-	ero.		CN	-
<i>Mataeopsephus</i> KUa (larvae)	3	SC	-	ero.		CN	-
<i>Psephenoides</i> KUa (larvae)	4	SC	-	ero.		CN	-
Family Chrysomelidae							
<i>Galerucella nipponensis</i> (larvae)	2	SH	-		vh.	CN	-
<i>Galerucella</i> KUa (larvae)	2	SH	-		vh.	CN	-
Order Diptera							
Family Tipulidae							
<i>Antocha</i> KUa	4	CG	-	ero.		CN	-
<i>Dicranomyia</i> KUa	3	?				?	
<i>Dicranota</i> KUa	4	PR	-	ero., dep.	lit.	SP	BU
<i>Hexatoma</i> KUa	3	PR	-	ero., dep.	lit.	BU	SP
<i>Hexatoma</i> KUb	3	PR	-	ero., dep.	lit.	BU	SP
<i>Hexatoma</i> KUc	3	PR	-	ero., dep.	lit.	BU	SP
<i>Pedica</i> KUa	4	PR	-	mag	lit.	BU	-
<i>Tipula</i> KUa	3	SH	CG	ero., dep.	lit.	BU	-
<i>Tipula</i> KUb	3	SH	CG	ero., dep.	lit.	BU	-
<i>Tipula</i> KUc	3	SH	CG	ero., dep.	lit.	BU	-
<i>Tipula</i> KUd	3	SH	CG	ero., dep.	lit.	BU	-
<i>Tipula</i> KUE	3	SH	CG	ero., dep.	lit.	BU	-
<i>Tipula</i> KUf	3	SH	CG	ero., dep.	lit.	BU	-
<i>Tipula</i> KUG	3	SH	CG	ero., dep.	lit.	BU	-
<i>Tipula</i> KUh	3	SH	CG	ero., dep.	lit.	BU	-
<i>Tipula</i> KUi	3	SH	CG	ero., dep.	lit.	BU	-
Family Psychodidae							
<i>Psychoda</i> KUa	2	CG	-	dep.	lit.,	BU	-
Family Dixidae							
Dixidae sp.	4	CG		ero., dep.	lit.	SW	CB
Family Chaoboridae							
<i>Chaoborus</i> KUa	2	PI	PR		lim., lit.	SP	-
Family Culicidae							
<i>Anopheles sinensis</i>	1	CF	-	dep.	lit.,	?	?
<i>Culex</i> sp.	1	CF	-		lim.	SW	-
Family Simuliidae							
<i>Simulium</i> sp. (larva)	4	CF	-	ero.		CN	-
Family Ceratopogonidae							
Ceratopogonidae sp.	3	PR	CG	dep.	lit.	SP	BU
Family Chironomidae	1	CG	PR	dep., ero.	all	BU	-
Family Blepharoceridae							
<i>Philorus</i> KUa	4	SC	-	ero.		CN	-
Family Athericidae							
<i>Atherix</i> KUa	4	PI	-	ero., dep.		SP	BU
<i>Suragina</i> KUa	4	PI	-	ero., dep.		SP	BU



Scientific Name	Q1 <sup>1)</sup>	FFG <sup>2)</sup>		Habita <sup>3)</sup>		Habit <sup>4)</sup>	
		Pri <sup>5)</sup>	Sec <sup>6)</sup>	LO	LE	Pri	Sec
<i>Suragina</i> KUb	4	PI	-	ero., dep.		SP	BU
Family Stratiomyiidae							
<i>Stratiomyia</i> KUa	2	CG	CF	ero., dep.,	lit.	SP	BU
Family Empididae							
<i>Empididae</i> sp.	3	PR	-	ero., dep.	lit.	SP	BU
Family Dolichopodidae							
<i>Dolichopodidae</i> sp.	2	PR	-	mag	lit.	SP	BU
Family Tabanidae							
<i>Chrysops suavis</i>	3	PI	CG	dep.	lit.,	SP	BU
<i>Tabanus kinoshitai</i>	3	PI	-	ero., dep.	lit.	SP	BU
Family Syrphidae							
<i>Eristalis</i> sp.		CG	-	dep.	lit.	BU	-
<i>Syrphidae</i> sp.	1	CG	-	?		?	?
Family Ephydriidae							
<i>Ephydriidae</i> sp.	2	CG	SH		lit.	BU	SP
Family Mucidae							
<i>Mucidae</i> sp.	2	PI	-	dep., ero.	lit.	SP	-
Order Trichoptera							
Family Stenopsychidae							
<i>Stenopsyche marmorata</i>		CF	-	ero.		CN	-
<i>Stenopsyche bergeri</i>	4	CF	-	ero.		CN	-
Family Philopotamidae							
<i>Dolophilodes</i> KUa	4	CG	-	ero.		CN	-
<i>Wormaldia</i> KUa	4	CF	-	ero.		CN	-
Family Psychomyiidae							
<i>Psychomyia</i> KUa	4	SC	CG	ero.		CN	-
Family Polycentropodidae							
<i>Plectrocnemia</i> KUa	3	?	?	?		?	?
Family Ecnomidae							
<i>Ecnomus tenellus</i>	2	?	?	?		?	?
Family Hydropsychidae							
<i>Aethaloptera</i> KUa	3	?		?		?	
<i>Arctopsyche ladogensis</i>	4	CF	-	ero.		CN	-
<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	3	CF	-	ero.		CN	-
<i>Cheumatopsyche</i> KUa	4	CF	-	ero.		CN	-
<i>Cheumatopsyche</i> KUb	4	CF	-	ero.		CN	-
<i>Diplectrona</i> KUa	4	CF	-	ero.		CN	-
<i>Hydropsyche</i> KD	4	CF	-	ero.		CN	-
<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>	4	CF	-	ero.		CN	-
<i>Hydropsyche</i> KUb	3	CF	-	ero.		CN	-
<i>Hydropsyche</i> KUd	4	CF	-	ero.		CN	-
<i>Hydropsyche orientalis</i>	4	CF	-	ero.		CN	-
<i>Hydropsyche valvata</i>	4	CF	-	ero.		CN	-
<i>Macrostemum radiatum</i>	3	CF	-	ero.		CN	-

Scientific Name	Qi <sup>1)</sup>	FFG <sup>2)</sup>		Habita <sup>3)</sup>		Habit <sup>4)</sup>	
		Pri <sup>5)</sup>	Sec <sup>6)</sup>	LO	LE	Pri	Sec
Family Rhyacophilidae							
<i>Apsilochorema</i> KUa	4	?	?	?		?	?
<i>Rhyacophila articulata</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Rhyacophila bilobata</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Rhyacophila brevicephala</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Rhyacophila clemens</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Rhyacophila impar</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Rhyacophila</i> KUa	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Rhyacophila</i> KUb	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Rhyacophila kuramana</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Rhyacophila narvae</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Rhyacophila retracta</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Rhyacophila shikotsuensis</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Rhyacophila sibirica</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
<i>Rhyacophila yamanakensis</i>	4	PR	-	ero.		CN	-
Family Glossosomatidae							
<i>Agapetus</i> KUa	4	SC	CG	ero.		CN	-
<i>Glossosoma</i> KUa	4	SC	-	ero.		CN	-
Family Hydroptilidae							
<i>Hydroptila</i> KUa	3	SC	PR	ero., dep.		CN	-
Family Phryganeidae							
<i>Agrypnia pagetana</i>	3	SH	-	dep.	lit.	CB	-
<i>Semblis phalaenoides</i>	3	?		?		?	
Family Phryganopsychidae							
<i>Phryganopsyche latipennis</i>	3	?		?		?	
Family Brachycentridae							
<i>Micrasema</i> KUa	3	SH	CG	ero.		CN	SP
Family Limnephilidae							
<i>Apatania</i> KUa	4	SC	CG	ero.,		CN	SP
<i>Apatania</i> KUb	4	SC	CG	ero.,		CN	SP
<i>Asynarchus</i> KUa	4	?	?	dep.		CB	-
<i>Goera japonica</i>	3	SC	-	ero.		CN	-
<i>Hydatophylax nigrovittatus</i>	4	SH	CG	dep.		SP	CB
<i>Hydatophylax</i> sp.	4	SH	CG	dep.		SP	CB
<i>Limnephilus</i> KUa	4	SH	-	dep., ero.		SP	CB
<i>Nemotaulius</i> Sa	4	SH	-	dep.		SP	-
<i>Nemotaulius</i> Sb	4	SH	-	dep.		SP	-
<i>Neophylax ussuriensis</i>	4	SC	-	ero.		CN	-
<i>Notopsyche</i> KUa	4	?	?	?		?	?
<i>Notopsyche</i> KUb	4	?	?	?		?	?
Family Lepidostomatidae		SH	-	ero., dep.		CB	SP
<i>Goerodes</i> KUa	3	?	?	?		?	?
<i>Goerodes</i> KUb	3	?	?	?		?	?
<i>Goerodes</i> sp.	3	?	?	?		?	?

Scientific Name	Qi <sup>1)</sup>	FFG <sup>2)</sup>		Habita <sup>3)</sup>		Habit <sup>4)</sup>	
		Pri <sup>5)</sup>	Sec <sup>6)</sup>	LO	LE	Pri	Sec
Family Sericostomatidae							
<i>Gumaga</i> KUa	4	SH	-	ero.		SP	-
Family Odontoceridae							
<i>Psilotreta kisoensis</i>	4	SC	CG	ero., dep.		SP	-
Family Molannidae							
<i>Molanna moesta</i>	3	SC	CG	dep.		CP	CN
Family Helicopsychidae							
<i>Helicopsyche yamadai</i>	3	SC	-	ero.		CN	-
Family Calamoceratidae							
<i>Ganonema</i> KUa	4	?	?	?		?	?
Family Leptoceridae							
Genus <i>Ceraclea</i> KUa	4	CG	SH			CN	SP
<i>Ceraclea</i> KUa	4	CG	SH			CN	SP
<i>Ceraclea</i> KUb	4	CG	SH			CN	SP
<i>Ceraclea</i> KUC	4	CG	SH			CN	SP
Genus <i>Mystacides</i>	4	CG	SH	dep.	vh.	CN	SP
<i>Mystacides</i> KUa	4	CG	SH	dep.	vh.	CN	SP
1) 저서성 대형무척추동물의 각 분류군의 환경질 점수(공 등, 1999) 2) Functional Feeding Groups (섭식기능군) - SH : shredder (찢어먹는무리) - CG : collector-gatherer (주워먹는무리) - CF : collector-filterer (걸러먹는 무리) - SC : scraper (긁어먹는무리) - PR : predator (잡아먹는무리, 포식자) - PI : piercer (찢러먹는무리) - PA : parasite (기생하는무리) - OM : omnivore (잡식하는무리) 3) Habitat (서식처) - LO : lotic (유수성) · ero : erosional (침식성) · dep : depositional (퇴적성) · mag : margine (수변성)		- LE : lentic (정수성) · lit : littoral (수변성) · lim : limnetic (수중성) · pro : profundal (심수성) · vh : vesicular hydrophyte (관속수생식물성) 4) Habit (습성) - SP : sprawlers - CN : clingers (붙는무리) - CB : climbers - SW : swimmers (헤엄치는무리) - BU : burrowers - DV : divers (잠수하는무리) - SK : skaters (지치는무리) 5) Pri : Primary 6) Sec : Scondary					

#### 나. 생물학적 평가지수 산정

1차년도에는 수생태건강성 평가기법의 개발을 위한 선행요건으로 국내에서 주로 출현하는 저서성 대형무척추동물에 대한 각 생물종의 생태학적인 정보 및 문헌자료의 분석을 통하여 고려할 수 있는 다양한 metric을 모아놓은 것이다(표 70). 생물학적 평가기법의 개발을 위해 표 70에 제시되었던 metric을 분석하여 계곡생태계에 적용이 가능한 metric 및 생물학적 상태를 나타내는 기준점수를 표 71에 제시하였다. 기준점수의 산정을 위한 reference의 값은 Barbour et al.(1999)에 의하여 제안된 방법 중의 하나인 대조하천을 포함한 각 조사지점의 값의 분포를 이용하여 각 메트릭의 점수산정기준을 설정하는 방식이다. 여기에서 제안되었던 95 백분위수를 이용하여 설정하였다. 이 기준을 통하여 산정된 점수값을 이용한 생물학적 상태를 평가하기 위한 등급은 표 72에 나타내었다.

표 70. 생물학적 평가기준에서 고려될 수 있는 metrics

Category / Metric	Rationale
A. Richness : 군집구조의 구성과 평가	
<i>taxa richness</i>	교란이 심하면 감소
<i>EPT richness</i>	교란민감군
<i>family richness</i>	교란이 심하면 감소
<i>Ephemera taxa richness</i>	교란이 심하면 감소
<i>Plecoptera taxa richness</i>	교란이 심하면 감소
<i>Trichoptera taxa richness</i>	교란이 심하면 감소
B. Compositon : 다른 분류군의 상대 풍부도를 평가	
<i>total abundances</i>	교란의 종류에 따라 증가 또는 감소
<i>Ratio of EPT abundance to Chironomidae</i>	교란내성군과 교란민감군의 비
<i>% dominant taxa</i>	몇 종이 우점하는 군집은 환경교란을 의미. 단일종의 높은 우점은 군집의 비균형을 나타냄
<i>% non-dipteran</i>	비파리군은 낮은 교란정도를 의미
<i>% EPT</i>	교란이 심하면 감소
<i>% Epemeroptera</i>	교란이 심하면 감소
C. Community diversity : richness & enumeration의 요약 통계	
<i>Dominance index(DI)</i>	교란이 심하면 증가
<i>Diversity index (H')</i>	교란이 심하면 감소
<i>Evenness index (J')</i>	교란이 심하면 감소
<i>Species richness index (RI)</i>	교란이 심하면 감소
D. Biotic indices : 분류군에 미리설정된 내성치를 이용	
<i>Saprobic Index</i>	오탁계급치는 종이 다양한 오염구간에서 출현한다는 사실에 기초. 지표가중치는 좋은 지표종은 높게 설정. 교란이 심하면 증가
E. Functional Feeding Groups : 군집의 기능을 반영	
<i>Ratio of shredders to total number of individuals</i>	shredder는 수변의 교란에 민감
<i>Ratio of scrapers to collector-filterers</i>	이들 섭식기능군은 이용되는 먹이자원을 반영. CF의 우점은 유기물질이 풍부함을 의미
<i>% Collector-Filterers</i>	
<i>% Grazers and Scraper</i>	교란이 심하면 감소
F. Habit measure	
<i>No. Clinger Taxa</i>	교란이 심하면 감소
<i>% Clinger</i>	교란이 심하면 감소
G. Combination indices	
<i>Invertebrate Community Index</i>	10개 항목 측정.
<i>Mean Biometric Score</i>	7개 항목 측정. 군집 다양성, 지표생물 및 섭식기능군적 접근의 결합
<i>Biological Condition Score</i>	8개 항목 측정. 군내성, 군집구조와 기능 등을 반영

표 71. 생물학적 평가지수를 위한 metric과 criteria

Metric	Biological Condition Scoring Criteria			
	6	4	2	0
A. Richness : 군집구조의 구성과 평가				
1. Taxa richness	> 80%	60-80%	40-60%	< 40%
2. EPT richness	> 80%	65-80%	50-65%	< 50%
B. Compositon : 다른 분류군의 상대 풍부도를 평가				
3. Total abundances	> 80%	60-80%	40-60%	< 40%
4. Ratio of EPT abundance to Chironomidae	> 75%	50-75%	25-50%	< 25%
C. Community diversity : richness & enumeration의 요약 통계				
5. Diversity index (H')	> 3	2-3	1-2	< 1
6. Species richness index (R1)	> 3	2-3	1-2	< 1
D. Biotic indices : 분류군에 미리 설정된 내성치를 이용				
7. ESB index	> 80	60-80	40-60	< 40
E. Functional Feeding Groups : 군집의 기능을 반영				
8. Ratio of Scrapers to total abundance	> 50%	35-50%	20-35%	< 20%

표 72. 평가지수를 위한 생물학적 조건

점수	생물학적 조건	속 성
> 40	교란 없음 (Nonimpaired)	-가장 우수한 환경질을 나타내는 단계로 저서생물의 영양구조가 균형을 이루고 있으며 하천의 규모와 서식처의 질에 대한 군집구조가 매우 이상적임
26-38	약간 교란 (Slightly impaired)	-군집구조와 종구성이 기대치 이하로 다소 감소할 뿐만 아니라 내성이 강한 분류군의 점유율이 점차 높아짐
10-24	다소 교란 (Moderately impaire)	-출현종수 뿐만 아니라 환경변화에 민감한 종의 감소함. 특히 EPT index가 감소함
< 8	심한 교란 (Severely impaired)	-존재하는 종이 거의 없음. 특정 생물이 높은 밀도로 출현하는 경우 하나 또는 두 분류군에 의하여 우점하는 것임

다. 평가기법의 적용

1) 돌낙차공

돌낙차공의 각 유형에 따른 평가지수의 적용 결과를 살펴보면 영향권 내의 사방공작물에 근접할수록 ‘약간 교란(slightly impaired)’에서 ‘다소 교란(moderately impaired)’의 상태로 낮게 평가됨을 알 수 있다(그림 37). 이러한 결과는 공작물에 의한 물리적인 서식처의 변형이 주요한 원인으로 공작물 낙차에 의한 소의 형성은 생물서식공간의 다양성을 크게 감소시킨다는 것을 의미하는 것이다. 그러나 공작물에서 떨어진 이전 또는 이후의 조사지점에서는 하천 본래의 특성이 잘 나타나 전체적으로 양호한, 즉 ‘교란 없음(non-impaired)’ 또는 ‘약간 교란’의 상태로 회복되는 경향이 잘 나타나 있다. 그러나 (유형 3)과 같이 공작물의 영향을 받지 않는 지점이라 하더라도 산간계류의 특성상 하상구조가 암반 또는 호박돌 위주의 단순한 서식환경을 포함하는 경우 다소 낮게 평가되기도 하였다.

한편 공작물이 연속적으로 배열되어 있어 공작물에 의한 교란을 지속적으로 받기 때문에 회복이 지연되기도 한다. 즉, (유형 1)과 그 하류부의 (유형 2)를 살펴보았을 때 1D 지점에서 ‘약간 교란’으로 다소 회복되는 것으로 보였으나, 공작물 (유형 2)의 영향이 다시 작용하기 때문에 2A와 2B 지점에서 점차 ‘다소 교란’으로 낮게 평가됨을 알 수 있다.

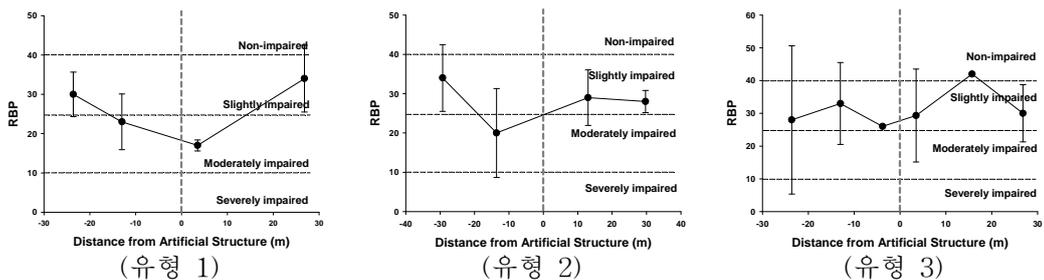


그림 37. 돌낙차공의 각 유형별 평가지수의 적용

## 2) 돌바닥막이

돌바닥막이 각 유형에 대한 개발된 평가지수의 적용 결과도 앞의 돌낙차공과 유사한 결과를 보이고 있다. 즉, 공작물의 영향권에서는 생태건강성이 ‘약간 교란’에서 ‘다소 교란’의 상태로 낮게 평가되다가 공작물의 영향권을 벗어나면서 점차 ‘약간 교란’ 또는 ‘교란 없음’으로 회복됨을 알 수 있다(그림 38). 이처럼 돌바닥막이가 하천 생태계의 건강성에 미치는 주요 영향은 다음과 같이 설명할 수 있다.

첫째, 돌바닥막이는 수폭을 좁히고 유속을 빠르게 하는 형태적인 특징에 의하여 낙차가 클수록 하류부에 형성되는 소(pool)의 정체수역이 폭넓게 형성되는 경향이 나타난다. 이는 저서성 대형무척추동물을 포함한 하천생물의 다양한 서식공간을 저해하는 요인이기 때문에 생물다양성, 나아가 하천생태계의 건강성이 악화되는 것은 자명한 일이다. 이러한 현상은 (유형 4)의 경우와 같이 공작물에 의한 낙차가 작은 경우보다 (유형 5) 및 (유형 6)에서처럼 낙차가 큰 경우에 더욱 뚜렷하다.

둘째, 앞의 돌낙차공에서 언급한 바와 같이 돌바닥막이를 포함한 사방공작물이 연속적으로 배열되어 있는 경우 하천의 회복력을 지연시키는 작용을 한다. 이는 북한산성계곡의 (유형 4)와 (유형 5)에서 확인할 수 있다. 즉 (유형 4)에서 공작물을 벗어난 지점에서 점차적으로 생태건강성이 회복되는 것으로 보였으나, 약 31m의 이격거리를 두고 놓여 있는 (유형 5)의 영향을 다시 받기 때문에 ‘다소 교란’으로 낮게 평가되었다. 그러나 이 공작물을 벗어난 5D 지점의 경우 (유형 5)와 약 45m의 이격거리를 두고 있는 돌낙차공의 영향을 받기 때문에 5D 지점의 경우 가장 열악한 생태건강성을 보이는 것으로 나타났다.

셋째, 사방공작물이 아닌 산간계류의 구조적인 특성 중 하나로 자연적인 하천구조에 의한 영향으로 생태건강성이 낮게 평가되는 경우를 들 수 있다. (유형 6)의 경우 사방공작물 외에 암반에 의하여 자연적으로 형성된 낙차로 생태건강성이 ‘다소 교란’으로 주변의 지점보다 매우 낮게 평가되었으며 이는 사방공작물에 의한 결과와 유사하다. 즉 6D 및 6G 지점은 각각 돌바닥막이와 폭호의 영향을 직접적으로 받는 지점으로서 소의 형성으로 인하여 물리적인 서식환경이 단순해지기 때문에 결국 열악한 생태건강성으로 평가된 것이다. 그러나 이러한 영향은 일시적으로 나타나는 현상으로 영향권을 벗어날수록 점차 하천의 생태건강성을 회복하는 것으로 나타났다.



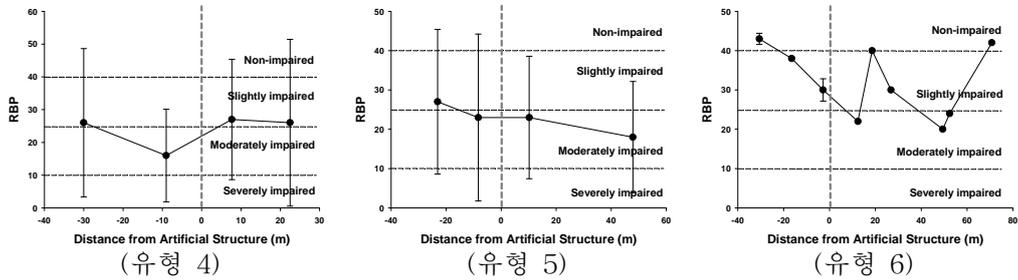


그림 38. 돌바닥막이의 각 유형별 평가지수의 적용

### 3) 콘크리트낙차공

콘크리트낙차공의 생태건강성 평가 결과에서도 다른 공작물에서와 마찬가지로 유사한 경향성을 보이고 있다. 비영향권의 조사지점에서는 모두 ‘약간 교란’으로 평가되었으나 공작물의 영향권인 7C~7E 구간에서는 모두 ‘다소 교란’으로 낮게 평가되었으며 이후 영향권을 벗어나면서 ‘약간 교란’으로 다시 점차적으로 회복되는 것을 알 수 있다(그림 39). 그러나 비영향권의 지점이라 하더라도 7B와 7I 지점과 같이 단순한 하상구조로 인하여 저서생물의 미소서식처가 제한적으로 나타나는 경우 생태건강성이 낮게 평가되기도 하였다.

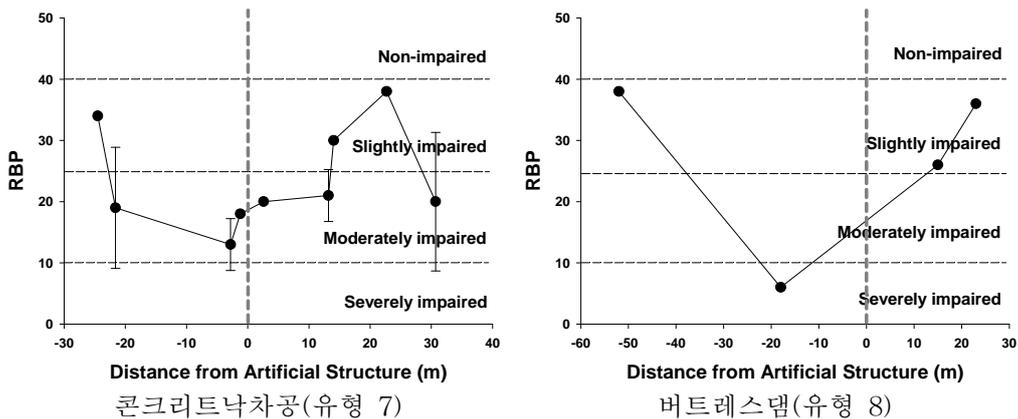


그림 39. 콘크리트낙차공과 버트레스댐에 대한 평가지수의 적용

#### 4) 버트레스댐

버트레스댐에서 선정된 네 지점에서에 대한 평가지수의 적용 결과는 그림 39와 같다. 비영향권의 두 지점인 8A 및 8D에서는 모두 ‘약간 교란’으로 평가되었으며 공작물의 영향을 직접적으로 받는 8B 지점은 ‘심한 교란(severely impaired)’로 평가되었다. 이후 점차 공작물의 영향권을 벗어나면서 ‘약간 교란’의 상태로 회복되었다. 버트레스댐 공작물의 상류부와 하류부의 하상구조가 호박돌 및 자갈 구조로 비교적 유사함에도 불구하고 8B 지점은 하천수의 복류현상에 의한 유량감소로 인하여 생물서식공간이 극히 제한적이기 때문인 것으로 풍부한 유량과 여울 및 흐름의 다양한 미소서식처가 확보되어 있는 비영향권의 두 지점(8A 및 8D)에 비하여 생태건강성이 매우 열악한 것으로 평가된 것이다.

### 3. 야계사방공작물의 영향 및 개선방안

북한산 일대의 계곡에 설치된 야계 사방공작물의 유형은 표 73과 같다. 일반적으로 저서성 대형무척추동물과 어류는 하천생태계에 설치된 횡적공작물, 특히 바닥막이, 낙차공, 사방댐과 같이 하천의 유로를 차단하고 있는 공작물에 의하여 직접적으로 영향을 받는 것으로 조사·분석결과 나타났으며, 양서류(여기서는 산개구리류)의 경우 계곡 내에서 월동을 하고 산란 후의 이동에서 하천생태계에 설치된 종적공작물, 특히 콘크리트옹벽이나 콘크리트기슭막이 등에 직접적인 영향을 받는 것으로 나타났다.

표 73. 북한산 일대의 계곡에 설치된 야계사방공작물의 유형

구분	유형	세부유형
종적공작물	기슭막이	- 전석기슭막이 - 돌기슭막이 - 콘크리트기슭막이 - 돌망태기슭막이 - 콘크리트의목기슭막이 - FRP기슭막이 - 돌옹벽 - 콘크리트옹벽
	구곡막이	- 돌구곡막이 - 돌망태구곡막이
횡적공작물	교량	- 돌다리 - 철재다리 - 콘크리트다리 - 세월교 - 콘크리트의목다리 - 목재다리 - 통나무다리
	바닥막이	- 돌바닥막이 - 콘크리트바닥막이 - 돌망태바닥막이
	낙차공	- 돌낙차공 - 콘크리트낙차공 - 돌망태낙차공
	사방댐	- 돌사방댐 - 콘크리트사방댐
기타 공작물	오폐수 집·배수 공작물	- 콘크리트집수조 - 콘크리트도수로 - 돌도수로 - 돌수로 - 콘크리트흡관배수로

횡적공작물이 하천생태계에 미치는 영향은 몇 가지로 구분할 수 있는데, 1) 공작물에 의한 하천 유로의 변경, 2) 공작물 상류구간에서 퇴적에 의한 물리적 환경, 특히 유속, 하상구조 등의 변화, 3) 공작물 하류구간에서는 낙차로 인한 소(pool)의 형성, 4) 공작물 높이에 의한 하천의 단절, 특히 어류 이동 차단 등으로 파악할 수 있다.

종적공작물의 경우에는 공작물에 의한 양서류의 이동 차단, 특히 콘크리트에 의한 수직옹벽이나 수직 기슭막이는 양서류뿐만 아니라 다른 야생동물의 유입을 상당부분 제한하는 것으로 파악할 수 있는데, 양서류, 여기서는 산개구리류의 알이 종적공작물이 없는 수역에서 주로 발견된다는 점에서 추정할 수 있다.

사진 60의 버트레스댐은 2004. 8월 현재 경기도 가평군 도마치 고개에 시공 중인 것으로 물이 흐른 흔적이 없는 것으로 보아 계곡생태계가 형성되지 않은 곳에 위치하며, 단지 강우시를 대비한 사방댐으로 파악되었다. 사진 61의 경우에도 인제군 상남면에 2002. 5. 30일에 완공된 것이나 유량이 매우 적어 계곡생태계에 서식하고 있는 생물이 거의 없었다. 단지 댐 하류부의 기슭막이와 같은 종적 공작물이 없는 곳에서 산개구리류의 난피가 관찰된 것으로 보아 현 시설물은 생태계를 고려하지 않은 횡·종적 공작물로 볼 수 있다. 그러나 조사시 발견된 버트레스댐은 그 취지와 달리 철제 공작물을 지지하기 위한 콘크리트 낙차공과 같은 공작물을 포함하고 있어 실제 계곡의 유지수가 충분한 곳에 설치할 경우 기존에 설치된 바닥막이나 낙차공과 같이 하천생태계에 영향을 크게 미칠 것으로 판단된다.



사진 60. 가평군 도마치고개에 시공 중인 Buttress 사방댐



사진 61. 인제군 상남면에 설치된 Buttress 사방댐을 포함한 야계사방공작물



사진 62. 자연친화적 횡적공작물의 예



사진 63. 자연친화적 종적공작물의 예

우리나라의 경우 계곡생태계에 설치되는 야계사방공작물의 경우 대부분이 계곡생태계에 미치는 영향을 고려하지 않고 사방사업 만을 우선적으로 고려하여 설치되어 있어 생태계에 영향을 미치고 있다. 따라서 향후 생태계의 건강성을 고려하여 야계사방공작물을 설치에 필요한 사항 몇 가지를 제안하고자 한다.

횡적 공작물의 경우 계곡생태계에서 물의 흐름을 차단하지 않는 방향으로 설계 및 시공되어야 한다(사진 60). 버트레스댐과 같은 공작물의 경우 철제(혹은 자연친화적 소재) 공작물의 지지를 위한 바닥의 콘크리트 공작물이 없도록 하여 계곡생태계 상·하류를 차단하지 않도록 설계·시공하여, 유로의 차단 및 어류 이동의 방해요인으로 작용하지 않도록 한다.

또한 계곡생태계에 설치된 종적 공작물의 경우는 대부분 계곡 내에서 월동하며 산란을 하는 양서류의 이동뿐만 아니라 계곡부의 물을 이용하는 많은 야생동물의 이동을 차단하는 경우가 대부분이므로 이들의 이동을 차단하지 않는 생태적인 측면이 고려된 방향으로 가능한 계획되어야 하며, 상황이 불가피할 경우에는 사진 61과 같이 자연친화 소재를 경사지게 시공하거나 경사진 시공이 불가능할 경우에는 이동을 위한 통로를 적정한 위치에 설치할 수 있도록 한다.

그러나 이러한 제안사항은 일반적인 것으로 야계사방공작물을 설치하고자 하는 대상지역의 계곡생태계 현황을 파악하고, 주요 서식종들의 특성을 반영하여 계획이 이루어진 후에 설계·시공을 하는 것이 바람직하다.

## 제 3절 야계사방공작물의 기능별 유형화 및 계류수질영향 분석

### 1. 야계사방공작물의 기능 분석 및 평가

가. 야계사방공법별 대상지 선정을 위한 선정기준 마련, 시범지 선정

야계사방공법별 대상지 선정을 위하여 선정기준을 마련하기 위하여 선정대상지는 ① 계곡이 여러 유역으로 구분되되 연결되어 있어야 하며, 접근성이 용이하고, ② 계곡에 기존 야계사방공작물이 설치되어 있으며, 이러한 공작물은 야계사방공작물의 토사유출방지기능(사방댐 등), 횡침식 방지기능(기슭막이 등), 종침식 방지기능(바닥막이 등), 계안붕괴방지기능(옹벽, 기슭막이 등) 등을 수행할 수 있는 모든 공작물이 설치되어 있는 계곡 또는 야계를 선정하되, ③ 추후 야계사방공작물의 기능별 유형화를 위하여 이러한 공작물의 이용성이 제고되어야 하는 지역을 선정하도록 하였다. 따라서 이러한 조건을 만족하는 계류 및 하천을 조사한 결과 북한산국립공원 내에 위치하는 계곡이 가장 합당한 지역으로 판정되어 선정되었으며, 그 특성은 다음과 같다.

#### 1) 야계사방공법별 대상지의 특성

- 가) 북한산국립공원은 세계적으로 드문 도심 속의 자연공원으로 수려한 자연경관과 문화자연을 온전히 보전한 지역으로 용이한 교통체계와 거대한 배후도시로 연평균 탐방객이 500만 명에 이르고 있어 다양한 계곡내 야계사방공법의 적용이 실시되어 있음.
- 나) 북한산국립공원내 계곡은 우리나라의 중부지역의 대표적인 산림지역으로 평균 강수량은 1,344.2mm로 대체적으로 6월부터 9월까지의 총강수량의 70.4%를 차지해 이 기간 중에 강우가 집중되고 있고, 이로 인해 야계사방공작물의 필요성이 긴급해 목적에 따라 야계사방공작물이 다양하게 설치되어 있음.
- 다) 북한산국립공원내 계곡은 표고 600m 이상 능선은 대부분 암벽으로 기복 및 굴곡이 매우 심하며, 산세가 험준하고 경사가 심하며 20% 이상이 전체 면적의 67%를 차지하고, 전 지역이 급경사를 이루어 계곡 주변에서 발생하는 산사태 등으로 인한 황폐계류 형성이 빈번한 실정임(표 74).



표 74. 북한산국립공원의 표고 및 경사

구분	표고(m)	구성비(%)
고도	계	100
	~ 100	9.5
	100 ~ 200	31.5
	200 ~ 300	21.0
	300 ~ 400	17.7
	400 ~ 500	12.4
	500 ~ 600	5.9
	600 ~ 700	1.8
	700 이상	0.2
경사도	계	100
	10% 이하	16.6
	10 ~ 20%	15.7
	20 ~ 30%	36.6
	30% 이상	31.1

라) 북한산국립공원 일대는 중생대 말에 관입한 화강암 등 화성암류로 타 지역에서 보기 드문 담도색이 주를 이루며, 암석지가 약 70%로 과반수 이상이고, 평탄지 및 산록의 완경사지대인 I 급지가 1.5%로 우이계곡, 송추계곡, 육모정계곡, 회룡계곡, 도봉계곡, 원도봉계곡, 구기계곡 등 다수의 계곡이 있어 야계사방공작물의 설치가 많이 되어 있으며, 특히 산복이나 산정은 험준지로 조림사업이 극히 제한된 지역이거나 묘사방지로 국토보전 및 수원함양을 위해 산림사업을 제한시킬 필요가 있는 지역인 척박임지가 16.4%, 암석지가 69.6%로 가장 높아 식생, 토양 등 자연환경적 측면에서 볼 때 암석 나출도가 높다는 것은 자연환경의 파괴 위험성이 높다는 것을 의미하고, 실제 여름철 홍수기 때의 집중호우와 이로 인한 붕괴 - 산사태 - 토석류의 위험이 상시 내재하고 있고, 또 실제적으로 이러한 현상이 빈번하여 야계사방공작물의 필수적으로 설치되어야 하는 지역임(표 75 참조). 따라서 북한산국립공원은 이용과 보존이라는 양면적인 필요성이 타 지역에 비하여 상대적으로 높게 요구되는 지역이라 할 수 있고, 특히 산림토양의 토양산도는 pH 4.4~5.3(1987), pH 4.1~5.2(1993), pH 4.6~6.2(2001), pH 4.4~6.3(2002)을 나타내었으며, pH 5.5 이상인 곳에서는 중부 온대림의 극상수종인 서어나무, 층층나무 등이 분포하고 있다. 또한, 단단한 우윳빛 화강암이 장구한 세월을 걸친 풍화침식 작용을 통하여 형성되어 있음.

표 75. 북한산국립공원의 토양구분

구 분	내 용	면 적		구성비 (%)
		km <sup>2</sup>	천평	
계		78.45	23,731.1	100
I 급지	평탄지 및 산록의 환경사지대이며, 토심이 깊고 침식이 없는 사양토이다. I 급지에서는 속성수 및 유실수 식재가 적합하며, 온대중부지방에서는 낙엽송, 단풍나무 등의 식재가 적합하다.	0.4	121.0	1.5
II 급지	산록, 완구릉지 및 산복의 환경사지 또는 경사지대로 토심이 깊은 편이며, 집약적인 임업경영이 적합한 지역으로 경제수종인 낙엽송 및 밤나무 등 유실수 재배에 적합하다.	0.23	69.6	0.3
III 급지	완구릉지 및 산복의 경사지 또는 급경사지로 유실수 재배는 불가능하며, 해송, 편백, 참나무류 식재가 적합하다.	3.76	1,137.6	4.8
IV 급지	완구릉지, 산복 산정의 급경사지대, 임업경영이 적합한 지역으로 임지의 지력보존개량이 요구되는 지역이다.	6.59	1,993.5	8.4
V 급지	산복 산정이 험준지로 조림사업이 극히 제한된 지역이거나 요사방지로 국토보전 및 수원함양을 위해 산림사업을 제한시킬 필요가 있는 지역으로 척악임지이다.	12.87	3,893.2	16.4
암석지	임목육성에 쓰이지 않는 임지와 석력 및 암석노출 면적이 70% 이상인 지역이다.	54.60	16,516.1	69.6

마) 북한산국립공원내 계곡의 수문, 수계상황을 분석해 본 결과, 이 지역은 백운대를 중심으로 남북의 연봉들로 분수령이 형성되어 자연 유하되고, 집수시설이 전무하며 평시에는 수량이 매우 적은 특성을 나타내고 있다. 또한, 상직동, 안골, 회룡골, 원도봉, 도봉, 무수골계곡에서 흐르는 하천은 중랑천으로 유입되고, 우이동, 구천계곡에서 흐르는 하천은 우이천으로 유입되며, 북한산성, 진관사, 삼천사, 불광계곡에서 흐르는 하천은 창릉천으로 유입된다. 또한, 송추, 사패산계곡에서 흐르는 하천은 곡릉천으로 유입되어 각각의 하천은 최종적으로 한강 본류로 유입된다. 북한산국립공원의 계곡 내에 야계사방구조물이 설치되어 있는 크고 작은 35개의 계곡에 대한 수

문상향을 분석해 보면(표 76), 하천차수는 우이동계곡, 무수골계곡, 도봉계곡, 송추계곡, 효자리계곡, 북한산성계곡, 구기계곡, 구천계곡이 3차하천으로 구성되어 있고, 덕천사계곡, 인강초교2계곡, 호암사계곡, 상직2계곡, 불광계곡, 비봉계곡, 빨래골계곡은 1차하천으로 이루어져 있으며, 나머지 20개 계곡은 2차하천으로 이루어져 있음.

표 76. 북한산국립공원내 계곡의 수문자료 분석 결과

하천명	하천차수	평균유량 (m <sup>3</sup> /sec)	유로연장 (km, L)	유역면적 (km <sup>2</sup> , A)
우이동계곡	3차하천	0.38	4.95	3.53
천주교묘계곡	2차하천	0.01	1.15	0.37
법화사계곡	2차하천	0.08	1.40	0.61
사슴약수계곡	2차하천	0.03	0.20	0.16
육모정계곡	2차하천	0.26	7.70	3.33
무수골계곡	3차하천	0.21	8.00	3.64
도봉 계곡	3차하천	0.07	9.00	3.71
다락원계곡	2차하천	0.02	0.60	0.20
덕천사계곡	1차하천	0.00	0.30	0.10
인강초교1	2차하천	0.02	0.80	0.20
인강초교2	1차하천	0.00	1.40	0.43
원도봉계곡	2차하천	0.07	4.00	1.64
안말 계곡	2차하천	0.01	0.90	0.57
호암사계곡	1차하천	0.01	0.22	0.21
회룡골계곡	2차하천	0.03	7.80	2.00
안골 계곡	2차하천	0.03	5.20	1.63
상직1 계곡	2차하천	0.00	0.30	0.06
상직2 계곡	1차하천	0.00	1.45	0.33
올대 계곡	2차하천	0.00	0.80	0.30
원각사계곡	2차하천	0.03	4.80	1.06
송추 계곡	3차하천	0.08	2.50	4.27
효자리계곡	3차하천	0.15	8.10	4.54
밤골 계곡	2차하천	0.07	2.05	0.87
북한산성계곡	3차하천	0.08	6.80	4.46
백화사계곡	2차하천	0.01	2.50	1.53
삼천사계곡	2차하천	0.07	2.40	2.35
진관사계곡	2차하천	0.05	3.10	1.78
불광 계곡	1차하천	0.21	1.50	0.52
비봉 계곡	1차하천	0.20	0.80	0.58
구기 계곡	3차하천	0.25	3.40	1.89
평창 계곡	2차하천	0.21	1.50	1.19
정릉 계곡	2차하천	0.28	3.50	2.60
빨래골계곡	1차하천	0.01	0.41	0.40
구천 계곡	3차하천	0.31	1.80	1.30
백련사계곡	2차하천	0.19	1.35	0.40

아울러 평균유량은 우이동계곡이 0.38m<sup>3</sup>/sec로 가장 많았으며, 다음으로는 구천계곡(0.31m<sup>3</sup>/sec), 정릉계곡(0.28m<sup>3</sup>/sec), 육모정계곡(0.26m<sup>3</sup>/sec), 구기계곡(0.25m<sup>3</sup>/sec)의 순이었다. 그러나 대부분의 평균유량 조사시기가 갈수기(4월, 5월)와 홍수기(6월, 7월, 8월)에 따라 유량이 달랐기 때문에 실제 계곡의 유로연장이 길고 유역면적이 크다고 하더라도 갈수기에 조사된 값과 홍수기에 조사된 값이 달랐다. 따라서 평균유량의 차이는 유로연장과 유역면적과는 비교적 상이한 결과를 나타내었다. 유로연장은 도봉계곡이 9.0km로 가장 길었고, 다음으로는 효자리계곡(8.1km), 무수골계곡(8.0km), 회룡골계곡(7.8km), 육모정계곡(7.7km), 북한산성계곡(6.8km), 안골계곡(5.2km), 우이동계곡(4.9km), 원도봉계곡(4.0km), 정릉계곡(3.5km), 구기계곡(3.4km), 진관사계곡(3.1km) 순이었다. 그러나 사슴약수계곡(0.2km), 다락원계곡(0.6km), 덕천사계곡(0.3km), 인강초교1계곡(0.8km), 안말계곡(0.9km), 호암사계곡(0.2km), 상직1계곡(0.3km), 울대계곡(0.8km), 비봉계곡(0.8km), 빨래골계곡(0.4km) 등은 유로연장이 1km 이내인 계곡으로 북한산국립공원 내에 산재해 있는 다른 계곡보다는 비교적 유로연장이 짧은 계곡이었음.

## 2) 북한산국립공원내 계곡에 설치되어 있는 야계사방공작물 분류

### 가) 토사유출방지기능을 수행하는 야계사방공작물



콘크리트사방댐

### 나) 횡침식 방지 및 계안붕괴 등 계안보호를 수행하는 야계사방공작물



돌기슭막이



콘크리트기슭막이



돌망태기슭막이



전석 기슭막이



돌기슭막이 + 콘크리트 옹벽



방가로



돌기슭막이(우이분소 위)



콘크리트기슭막이(우이분소 위)

다) 종침식 방지를 수행하는 야계사방공작물



콘크리트바닥막이



콘크리트낙차공



낮은 바닥막이(帶工)

라) 각 기능별 야계사방공작물의 실태(북한산국립공원 계곡내) 및 기능평가

(1) 계류변 경관

명칭	북한산국립공원의 계류변
사진	
구조 기능	· 건물과 인공구조물이 복 합된 국립공원의 계류

(2) 바닥막이를 이용한 어도 설치

명칭	돌바닥막이
사진	
구조 기능	· 돌바닥막이의 낙차가 커 어도로의 이용 곤란, 하단 부 세굴

- 황폐계류가 존재하는 북한산국립공원 계곡과 야계가 연결되는 부분은 대부분 직강화 되어 하상침식이 많이 발생되고 있으며, 야계에서 어류생태계를 고려한 어도의 설치가 바닥막이의 물유출부를 이용하여 실시하고 있으나 낙차가 커서 어도로써의 기능을 수행하지 못하고 있음.

(3) 호박돌을 이용한 유속감쇠공

명칭	전석활용 유속 감쇠
사진	
구조 기능	· 계곡 내 전석 활용 낙차 공 유속감쇠 효과 발휘

(4) 탐방객 이동통로 다리(교량)

명칭	콘크리트의목다리
사진	
구조 기능	· 콘크리트의목 이용 교량 설치로 철제 또는 콘크리 트보다 경관 양호

- 야계내 유속을 감쇄하기 위하여 전석을 활용하고 있으며, 탐방객의 이동을 위해 콘크리트의목 및 교량을 이용하고 있음.

(5) 계안침식 방지 기슭막이+옹벽

명칭	돌기슭막이+콘크리트옹벽
사진	
구조 기능	· 돌기슭막이, 콘크리트옹벽을 이용하여 유속 감쇠 효과 발휘

(6) 유속 감쇠용 목재 수제

명칭	자연석 이용 유속 감쇠
사진	
구조 기능	· 자연석을 하도 내에 배치하여 유속을 감쇠

- 계안침식을 방지하기 위하여 기슭막이+콘크리트옹벽공법을 이용하고, 야계사방 공작물설치가 곤란한 지역에서는 자연석을 이용한 유속감쇄공법을 적용하고 있음.

(7) 계안침식방지 및 유속쇄공법

명칭	돌기슭막이+콘크리트옹벽
사진	
구조 기능	· 돌기슭막이 + 콘크리트옹벽 설치로 계류변의 자연 변화 및 어류피난처 상실

(8) 배수로를 이용한 수질정화

명칭	콘크리트옹벽 배수로 이용
사진	
구조 기능	· 콘크리트옹벽을 배수로로 활용 오폐수 배출

(9) 계안붕괴 방지 및 보호

명칭	계류변 산각부 돌기슭막이
사진	
구조 기능	· 계류변 산지 연결부에 돌기슭막이 채용 산각 보호

(10) 계안붕괴 방지 및 호안보호공

명칭	돌기슭막이+콘크리트옹벽
사진	
구조 기능	· 계안보호를 위해 돌기슭막이 + 콘크리트옹벽 일관

- 계안붕괴방지를 위한 산각부 돌기슭막이를 이용하되 대부분은 강도를 높이기 위해 찰쌓기 공법을 채용하고 있음.

(11) 계안침식방지 및 휴식터 이용

명칭	콘크리트바닥 - 휴식터이용
사진	
구조 기능	· 콘크리트바닥치기를 이용 계류변 휴식터로 이용

(12) 돌수로를 이용한 유속조절

명칭	돌기슭막이 + 돌수로 채용 유속조절
사진	
구조 기능	· 돌기슭막이, 돌수로를 이용하여 유속 조절



(13) 중침식방지를 위한 낙차공

명칭	낙차공
사진	
구조 기능	· 콘크리트바닥막이(낙차공) 이용 계곡 경관 저해

(14) 계안 침식 방지 및 보호 공법

명칭	돌기슭막이
사진	
구조 기능	· 계안에 돌기슭막이를 채용하여 침식방지 및 보호

- 중침식방지를 위하여 콘크리트낙차공을 이용하거나 바닥막이를 이용하고 있으며, 횡침식방지를 위해서는 돌기슭막이 또는 콘크리트기슭막이를 사용하고 있음.

(15) 유로 내 토사유출 방지 시설

명칭	자연 식생 이용
사진	
구조 기능	· 계안의 자연식생을 이용하여 유출토사 억지

(16) 수변 침식방지 방법

명칭	돌쌓기 이용 침식방지
사진	
구조 기능	· 계안에 돌쌓기 시공하여 침식토사 억지

- 유로 내의 토사유출을 방지하고 유출된 토사의 유입을 방지하기 위하여 자연식생을 이용하거나, 돌쌓기공법을 이용하여 계안침식을 방지하고 있음.

(17) 하천의 자연성 보존

명칭	하천 직강화
사진	
구조 기능	· 하천직강화 계안 콘크리트 보호, 자연하상 유지

(18) 배수로 시설

명칭	콘크리트 홈관 이용 배수
사진	
구조 기능	· 콘크리트 홈관을 이용한 배수, 도수로와 연계 시공

(19) 산사태로 인한 토사유출 방지

명칭	산사태 발생지 계통 사방
사진	
구조 기능	· 산사태지에 사방댐, 돌망태 낙차공 등 계통 사방

(19) 계안침식 방지

명칭	돌+콘크리트처리
사진	
구조 기능	· 돌과 콘크리트 찰쌓기로 경관불량

- 계안 및 산복에서 발생된 산사태로 인하여 야계에서의 토석류로의 진행을 방지하기 위하여 계통사방공법을 이용하고 있으며, 계안침식을 방지하기 위하여 콘크리트로 처리한 흔적이 있으나, 이는 경관을 훼손하는 것으로 평가됨.

3) 북한산국립공원내 계곡에 설치되어 있는 야계사방공작물 현황 및 기능 평가

- 야계사방공작물 현황 : 35개 계곡에 대하여 총 37종으로 나타났다(표 77). 북한산국립공원 계곡 내에 설치되어 있는 야계사방공작물은 전석(자연석, 조경석)기슭막이, 돌기슭막이, 콘크리트기슭막이, 돌망태기슭막이, 콘크리트의목기슭막이, FRP기슭막이, 돌옹벽, 콘크리트옹벽, 돌다리, 철제다리, 콘크리트다리, 세월교, 콘크리트의목다리, 목재다리, 통나무다리, 돌바닥막이, 콘크리트바닥막이, 돌망태바닥막이, 돌낙차공, 콘크리트낙차공, 돌망태낙차공, 돌구곡막이, 돌망태구곡막이, 돌사방댐, 콘크리트사방댐, 콘크리트집수조, 콘크리트도수로, 돌도수로, 철문, 콘크리트수영장, 콘크리트흡관배수로, PVC배수로, 철조망, 철제계단, 콘크리트바닥치기, 철제난간 등이다.

- 계안침식방지 및 계안고정 : 이를 위하여 시공된 기슭막이는 사용한 재료에 따라 전석기슭막이, 돌기슭막이, 콘크리트기슭막이, 돌망태기슭막이, 콘크리트의목기슭막이 등 6개의 공법으로 구분할 수 있으며, 옹벽은 돌옹벽, 콘크리트옹벽으로 구분할 수 있다. 이 가운데 전석기슭막이는 송추계곡이 3,219.8m로 가장 길었고, 다음으로는 안골계곡(1,313.6m), 원도봉산계곡(1,032.5m), 무수골계곡(725.8m), 회룡계곡(658.0m), 우이동계곡(477.5m), 도봉산계곡(441.9m), 북한산성계곡(385.8m), 육모정계곡(373.6m) 순이었다. 전석기슭막이는 우이동계곡 등 19개 계곡에서 출현하였고, 그 길이도 최하 40.8m에서 최고 3,219.8m의 범위에 있었으며, 북한산국립공원에 설치된 전석기슭막이 공작물의 총길이는 10,238.1m에 달한다. 돌기슭막이는 무수골계곡이 1,401.2m로 가장 길었고, 다음으로는 송추계곡(1,297.5m), 백화사계곡(1,251.0m), 북한산성계곡(1,219.1m), 육모정계곡(1,115.9m), 도봉산계곡(1,042.4m), 우이동계곡(953.6m), 원도봉산계곡(949.5m), 사기막골계곡(808.5m), 정릉계곡(801.0m) 순이었고, 돌기슭막이는 30개 계곡에서 출현하였으며, 그 길이도 최하 5.1m에서 최고 1,401.2m의 범위에 있었다. 북한산국립공원에 설치된 돌기슭막이 공작물의 총길이는 15,237.8m에 달해 북한산국립공원 계곡 내에 설치한 야계사방공작물 가운데 가장 길게 설치된 공작물이었다. 특히, 돌기슭막이는 대부분이 찰쌍기로 시공되어 있고 계안을 수직으로 차단하고 있어 계곡경관을 해치는 요인으로 작용하고 있다. 콘크리트기슭막이는 백화사계곡(535.0m), 북한산성계곡(341.2m), 회룡계곡(259.3m), 정릉계곡(124.9m), 육모정계곡(102.5m), 원도봉산계곡(97.7m), 송추계곡(94.6m), 다락원계곡(81.8m), 삼천사계곡(66.0m), 평창계곡(38.2m), 무수골계곡(22.2m), 도봉산계곡(10.4m), 비봉계곡(10.0m)으로 전체 계곡 가운데 13개 계곡에 시공되어 있으며, 총 길이는 1,783.8m로 전석기슭막이와 돌기슭막이보다는 시공길이가 비교적 짧은 구조물이었다. 그러나 콘크리트기

습막이는 전석기습막이 또는 돌기습막이보다 경관적으로 대단히 불량하고 주변 자연 경관과 조화되지 않는 대표적인 야계사방공작물이다. 돌망태기습막이는 북한산성계곡(212.3m), 안골계곡(73.8m), 원도봉산계곡(23.1m)으로 전체 계곡 가운데 3개 계곡에만 시공되어 있었다. 특히, 돌망태기습막이는 돌망태의 내구성이 다 되어 철선이 녹이 슬고 돌이나 상부의 하중을 견디지 못해 허물어지고 있으므로 즉각적인 관리가 요구되고 있는 실정이다. 콘크리트의목기습막이는 전체 계곡 가운데 2개 계곡 즉, 도봉산계곡(14.5m), 백련사계곡(5.0m)에 시공되었으며, 총길이는 19.5m로 비교적 길이는 짧다. 그러나 이 구조물은 콘크리트기습막이, 돌기습막이와 같이 계안을 계류변과 수직으로 차단하기 때문에 경관적으로 불량하고, 계류변과 계류와의 차단 역할을 하기 때문에 수생태계에는 불리하게 작용하는 것으로 분석되었다. FRP기습막이는 북한산국립공원의 계곡에서 유일하게 도봉산계곡에 시공되어 있었으며, 그 길이는 20.7m이었다. 이 공작물은 등산로와 연결된 계류변이 낙석 등으로 인하여 붕괴될 우려가 있어 시공한 것으로 보이나 현재는 약 40% 정도가 노후로 인하여 파손되어 있고, 또한 계곡에서 보았을 때는 경관적으로 매우 불량하여 즉각적인 철거가 필요한 실정이다. 돌옹벽은 북한산국립공원의 계곡에서 유일하게 백련사계곡에 시공되어 있으나, 그 길이는 10.7m로 비교적 짧은 편이었다. 이 돌옹벽은 계류변에 상가 및 인가의 옹벽으로 이용되고 있는 실정이다. 콘크리트옹벽은 전체 길이가 2,535.3m로 가장 길게 시공된 계곡은 무수골계곡(1,561.3m)으로, 이 계곡의 콘크리트옹벽은 계곡 인근의 상점, 가옥으로부터 유출되는 오폐수의 배수로로 이용되고 있었다. 그 다음으로는 육모정계곡(476.0m), 우이동계곡(151.6m), 안말계곡(135.7m), 구천계곡(75.0m), 안골계곡(56.9m), 도봉산계곡(42.0m), 원도봉산계곡(36.8m)으로 나타났다. 또한, 콘크리트옹벽은 콘크리트기습막이, 돌기습막이보다는 시공길이가 짧은 것이 특징이다.

- 교량역할 : 이러한 구조물은 돌다리, 철제다리, 콘크리트다리, 세월교, 콘크리트의목다리, 목재다리, 통나무다리 등으로 구분할 수 있는데, 이 가운데 돌다리는 산지 주변에서 쉽게 구득할 수 있는 화강석을 다듬어 시설한 구조물로 콘크리트다리, 철제다리보다는 구조물의 규모가 작고 또한 주변 경관 즉, 북한산국립공원의 대부분 지역이 화강암 노출지대라는 특성과도 배치되지 않아 경관적으로 안정한 형태를 나타내고 있는 것으로 분석되었다. 북한산국립공원 계곡 내에 시설한 돌다리는 우이동계곡의 1개소, 천주교공동묘지계곡에 1개소, 비봉계곡에 3개소로 나타났다. 철제다리는 구조적으로는 안정적인 구조물로 평가할 수 있으나 경관적으로는 철제의 비자연성에서 느껴지는 딱딱함 때문에 국립공원 계곡에 설치되는 구조물 가운데 콘크리트

다리와 마찬가지로 불량한 경관을 나타내고 있는데, 북한산국립공원의 계곡 내에 설치된 철제다리는 총 59개소로 돌다리보다는 많이 시설되어 있었다. 철제다리가 가장 많이 시설되어 있는 계곡은 북한산성계곡으로 18개소에 달하는데, 이는 대부분이 계곡 주변의 상가나 음식점에서 임의로 가설한 소규모의 다리가 대부분이었다. 다음으로는 육모정계곡(7개소), 송추계곡(7개소), 도봉산계곡(4개소), 회룡계곡(4개소), 삼천사계곡(4개소), 진관사계곡(4개소), 무수골계곡(1개소)의 순이었다. 콘크리트다리는 구조적으로는 안정하다고 평가할 수 있으나, 국립공원에 설치되는 인공구조물로서는 경관적으로 대단히 불량하고 자연이 잘 보존된 지역과 상반되는 경관을 구성하고 있어 소규모 다리의 경우에는 친환경적인 구조물 또는 목재다리로 바꿀 필요가 있을 것으로 생각된다. 즉, 상판은 철제로 하되, 난간 및 바닥은 목재를 사용하여 시설한다면 구조적으로나 경관적으로 주변 자연경관과 어우러지는 경관을 조성할 수 있을 것이다. 북한산국립공원에 시설한 콘크리트다리는 총 63개소로 백화사 계곡에 10개소 설치되어 있어 하나의 계곡에 설치된 개소수로는 가장 많고, 다음으로는 육모정계곡(9개소), 원도봉산계곡(8개소), 안골계곡(6개소), 송추계곡(6개소), 북한산성계곡(5개소), 무수골계곡(5개소), 우이동계곡(4개소), 회룡계곡(4개소)의 순이었다. 평수시에는 다리의 역할을 하면서도 홍수시에는 계곡에 침식을 방지하고 계류가 원활히 흐를 수 있도록 시설한 세월교는 북한산국립공원 계곡 내에서 총 8개소가 시설되어 있으며, 송추계곡과 백화사계곡이 각각 2개소로 많이 시설되어 있고, 도봉산계곡, 천주교 공동묘지계곡, 밤골계곡, 무수골계곡은 각기 1개소가 설치되어 있는 것으로 나타났다. 콘크리트의목다리는 콘크리트구조물에서 느껴지는 딱딱함과 비자연성을 보완하기 위하여 시설한 구조물로 내구성에 있어서나 경관에 있어 콘크리트다리나 목재다리에 버금갈 만한 구조물로 생각된다. 또한, 콘크리트의목다리는 콘크리트의목기슭막이와 같이 콘크리트의목의 용처가 다양하다는 것을 의미한다. 북한산국립공원의 계곡에 시설한 콘크리트의목다리는 총 2개소로 백련사계곡과 구천계곡에 각각 1개소가 설치되어 있는 것으로 나타났다. 목재다리는 자연이 잘 보존된 국립공원의 계곡에 설치되는 인공구조물로는 돌다리와 마찬가지로 경관적으로 안정한 구조물이라 생각되며, 내구성에 있어서는 콘크리트다리, 콘크리트의목다리보다는 비교적 약하다고 생각할 수 있지만 목재다리도 상판과 교각 등을 철제구조로 사용한다면 그러한 단점은 해결할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 목재다리는 주변 자연경관과 조화롭고 목재다리를 이용하는 탐방객들로 하여금 이질적인 느낌을 가지게 하지 않아 국립공원 계곡에 시설하는 구조물로는 보다 자연성에 가까운 구조물이라 생각된다. 북한산국립

공원의 계곡에 설치되어 있는 목재다리는 총 33개소로 구기계곡(9개소)이 가장 많았으며, 다음으로는 송추계곡(7개소), 북한산성계곡(5개소), 정릉계곡(4개소), 원도봉산계곡(4개소), 구천계곡(1개소), 육모정계곡(1개소), 빨래골계곡(1개소)에 설치되어 있는 것으로 나타났다. 따라서 가능하면 현재 시설되어 있는 콘크리트다리는 목재다리로 변경하는 것이 국립공원의 자연성을 살리는데 도움이 될 것으로 생각된다. 자연스럽게 통나무로 계곡을 통과하도록 시설한 통나무다리는 북한산국립공원에서 육모정계곡의 1개소가 시설되어 있는 것으로 나타났는데, 이 통나무다리는 통나무 2개를 포개놓고 그 상부에 콘크리트를 부어 놓은 형태를 취하고 있다.

- 계상의 침식방지 및 유속감쇠 : 이를 목적으로 시설한 구조물로 북한산국립공원 계곡 내에 시설한 구조물은 사용하는 재료에 따라 크게 돌바닥막이, 콘크리트바닥막이, 돌망태바닥막이, 돌낙차공, 콘크리트낙차공, 돌망태낙차공 등 6종류로 나눌 수 있다. 돌바닥막이는 총 78개소이었으며, 육모정계곡이 37개소로 가장 많았고, 다음으로는 우이동계곡이 8개소, 도봉산계곡과 정릉계곡이 각각 5개소, 빨래골계곡이 각각 4개소, 무수골계곡이 3개소, 구천계곡, 천주교공동묘지계곡, 다락원계곡1, 삼천사계곡, 진관사계곡, 구기계곡이 각각 2개소 설치되어 있는 것으로 조사되었다. 돌바닥막이는 시공한 시기가 오래되었거나 관리부족으로 파괴정도가 적게는 5%, 크게는 40%이상이 파괴되어 있어 그 기능을 다했다고 생각되는 부분이 많았다. 특히 바닥막이 대수면에는 토사와 석력이 쌓여 있고, 또 파손된 부분으로 쌓인 토사나 석력이 자연스레 유하하여 계곡의 자연성을 유지하는데 도움을 주고 있으므로 파손된 돌바닥막이 등 구조물은 원래의 계상 구조를 고려해 철거하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이는 파손된 형태로 방치했을 경우 계곡과 연계되어 있는 등산로를 따라 계곡경관을 조망하는 많은 탐방객들에게 좋지 않은 경관을 노출시키게 되기 때문이다. 또한, 그 동안 돌바닥막이 공작물로 인해 계곡의 안정화가 이루어졌기 때문에 이를 방치하기보다는 계안에 침식된 토사로 인해 매몰된 부분은 존치시키고 파손되어 노출된 부분은 철거하는 등 부분적인 철거가 필요할 것으로 생각된다. 우이동계곡에 시설되어 있는 돌바닥막이는 과거 수영장으로 사용하던 곳으로 바닥막이의 역할 뿐 아니라 수영장의 바깥 구조물 역할도 하는 것으로 현재까지 반수면에 수영장 명칭과 돌바닥막이 벽면에 페인트가 칠해져 있어 주변 자연경관과 배치되는 경관을 형성하고 있다. 또한, 이 돌바닥막이가 설치되어 있는 곳은 현재 자연휴식년제 구간에 포함되어 있어 탐방객의 출입은 금지되어 있지만 장래 자연휴식년제가 풀리게 되고 많은 탐방객이 수영장 인근 등산로를 이용하게 되었을 경우에는 경관적으로 불량한 모습

을 나타낼 수 있으므로 수영장의 철거 및 보완이 필요할 것으로 생각된다. 그런데 이 돌바닥막이 구조물은 전형적인 돌바닥막이의 변형으로 현재 중국에도 시공되어 있는 구조물이다. 북한산국립공원의 계곡 내에 시설한 콘크리트바닥막이는 총 26개소로 송추계곡(8개소)이 가장 많았고, 다음으로는 육모정계곡(6개소), 북한산성계곡(3개소), 정릉계곡(2개소), 우이동계곡, 법화사계곡, 도봉산계곡, 원각사계곡, 인강초계곡2, 삼천사계곡, 진관사계곡이 각기 1개소 설치되어 있는 것으로 조사되었다. 북한산국립공원의 계곡 내에 시설한 돌망태바닥막이는 총 11개소인데, 상직동계곡2가 10개소로 가장 많이 시설되어 있었고, 회룡계곡에 1개소 설치되어 있는 것으로 조사되었다. 특히 상직동계곡2에 시설한 돌망태바닥막이는 수년 전 산사태로 인해 계곡화된 부분으로 주변에서 쉽게 구득하기 쉬운 전석(자연석)을 이용해 시설해 놓은 곳으로 대부분의 파괴정도가 약 30% 이상이 되므로 집중호우시 산사태가 재발생할 우려가 있으므로 보다 내구성이 요구되는 구조물로 변경할 필요가 있다고 생각된다. 북한산국립공원의 계곡 내에 종침식을 방지하고 유하속도를 낮추기 위해 시설한 낙차공은 크게 사용하는 재료에 따라 돌낙차공과 콘크리트낙차공, 돌망태낙차공으로 대별할 수 있는데, 돌낙차공은 총 58개소가 시설되어 있었고, 법화사계곡이 10개소로 가장 많았으며, 다음으로는 빨래골계곡(8개소), 구천계곡(6개소), 회룡계곡(6개소), 무수골계곡(6개소), 천주교공동묘지계곡(5개소), 원도봉산계곡(3개소), 백화사계곡(3개소), 비봉계곡(3개소)의 순이었다. 특히 무수골계곡에 설치되어 있는 돌낙차공은 80% 이상이 전석(자연석, 조경석)으로 설치되어 있어 경관상 콘크리트낙차공보다는 우위에 있는 것으로 분석되었다. 콘크리트낙차공은 총 35개소이었으며, 가장 많이 시공된 계곡은 백화산계곡으로 16개소에 시공되었으며, 다음으로는 북한산성계곡(10개소), 다락원계곡1(2개소), 송추계곡(2개소), 무수골계곡(2개소)의 순이었다. 한편, 돌망태낙차공은 총 40개소가 시설되어 있으며, 가장 많이 시공되어 있는 계곡은 안골계곡(27개소)이었고, 다음으로는 원각사계곡(7개소), 상직동계곡1(5개소), 회룡계곡(1개소) 순이었다. 특히 안골계곡은 최근 집중호우로 인해 산사태가 발생한 계곡에 설치한 구조물로 돌망태에 넣은 돌이 빠져나오고 파괴된 부분이 약 30% 이상 되어 이 구조물에 대한 보수가 필요할 것으로 생각된다.

- 산지침식토사역지 및 계상안정 : 이를 위하여 설치되는 구조물인 구곡막이는 북한산국립공원 계곡부 사면에 돌구곡막이, 돌망태구곡막이가 시설되어 있는 것으로 나타났다. 돌구곡막이는 총 12개소이었으며, 육모정계곡이 7개소로 가장 많았고, 우이동계곡, 사슴약수계곡, 도봉산계곡, 빨래골계곡, 무수골계곡이 각기 1개소 설치되어

있었다. 돌망태구곡막이는 안골계곡에만 13개소가 설치되어 있는데, 이는 수년 전 산사태로 인해 형성된 계곡에 설치되어 있는 것으로 대부분 30~40% 정도의 파괴를 나타내 보수 및 편책공법 등 친환경적인 구조물로의 변경이 필요한 것으로 생각된다.

- 계곡의 종·횡침식방지 및 계상안정 : 이를 위하여 저사를 목적으로 하는 인공구조물인 사방댐은 북한산국립공원에서 돌사방댐과 콘크리트사방댐이 시공되어 있는데, 돌사방댐은 총 2개소로 법화사계곡, 도봉산계곡이 각기 1개소 시설되어 있다.

- 오폐수 수집 배수 : 북한산국립공원에서 계류와 계류변 상가 및 음식점에서 배출하는 오폐수를 수집·배수하는 구조물로는 콘크리트집수조, 콘크리트도수로, 돌도수로, 돌수로가 있다. 이 가운데 콘크리트집수조는 총 3개소가 육모정계곡에 집중되어 있고, 콘크리트도수로는 총 29개소가 시설되어 있었으며, 원각사계곡이 5개소로 가장 많았고, 육모정계곡, 도봉산계곡, 무수골계곡이 각각 4개소 설치되어 있었으며, 법화사계곡이 3개소, 그리고 우이동계곡, 백련사계곡, 천주교공동묘지계곡, 회룡계곡, 원도봉산계곡, 밤골계곡, 삼천사계곡, 정릉계곡, 비봉계곡에 각기 1개소 설치되어 있는 것으로 조사되었다. 특히 콘크리트도수로는 일종의 교량 역할도 하고 등산로 또는 차량이 다니는 도로의 역할을 하고 있기도 하다. 돌도수로는 천주교공동묘지계곡에 1개소 설치되어 있고, 주변 경관에 저해되지 않는 돌수로는 육모정계곡에 32.0m, 빨래골계곡에 13.0m가 시공되어 있다. 이는 소계류 주변의 체육시설을 중심으로 배수로의 역할을 하는 것으로 자연친화형으로 규모가 크지 않기 때문에 국립공원의 경관에 배치되지 않는 것으로 생각된다. 배수를 위한 콘크리트흡관배수로는 북한산국립공원에 총 40개소가 설치되어 있었고, 대부분이 기슭막이에 설치되어 있고 등산로에서 조망되는 부분에 노출되어 있다. 콘크리트흡관배수수와 같이 배수를 목적으로 한 구조물인 PVC배수로는 총 26개소가 설치되어 있고, 이 구조물도 콘크리트흡관배수수와 같이 계곡에서 노출되어 있어 계곡경관과는 어울리지 않는 구조물로써 계곡에서 노출되지 않도록 시공하는 것이 필요하다. 갑문과 같이 도수로의 출입구 역할을 하는 철문도 우이동계곡에는 1개소가 설치되어 있어 계곡 경관을 저해하므로 이는 철거하는 것이 계곡경관을 위해 필요할 것으로 생각된다. 계곡 내에 설치한 콘크리트수영장은 우이동계곡에 1개소, 도봉산계곡에 3개소, 삼천사계곡에 1개소, 무수골계곡에 1개소가 있는데, 대부분 계곡의 하부 국립공원 입구에 위치하고 있어 계곡 경관을 저해하는 대표적인 인공구조물로 생각된다. 특히 삼천사계곡의 경우에는 상류 군부대에 설치되어 있는 수영장으로 이용되고 있어 계곡 경관을 고려한다면 장기



적으로는 철거가 필요하나, 현실적으로 콘크리트수영장 설치지가 사유지이거나 군부대 내에 있어 철거가 용이하지 않으므로 이 구조물은 외벽의 색이나 모양 등을 고려해 지속적인 관리가 필요할 것으로 생각된다.

표 77. 야계사방공작물의 현황 및 규모

구분	용도구분	우이동 계구	백련사 계구	구천 계구	법화사 계구	사슴 약수 계구	육모정 계구	도봉산 계구	원주교 묘지 계구	팔래골 계구	안골 계구	원각사 계구	올대고 계구	상지동 계구1	상지동 계구2	호암사 계구	회룡 계구	안반 계구	원도봉 산계구	덕원사 계구	다락원 계구1	인장초교 계구1
철석기습막이(m)	공원 관리용	477.5	-	283.9	-	-	373.6	441.9	-	95.4	1,313.6	210.6	-	-	-	110.1	658.0	82.2	1,032.5	-	40.8	-
돌기습막이(m)	"	953.6	209.1	231.0	230.4	111.2	1,115.9	1,042.4	260.2	283.9	103.5	89.5	-	-	-	73.8	379.2	-	949.5	5.1	246.8	256.4
콘크리트기습막이(m)	"	-	-	-	-	-	102.5	10.4	-	-	-	-	-	-	-	-	259.3	-	97.7	-	81.8	-
돌망태기습막이(m)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73.8	-	-	-	-	-	-	-	23.1	-	-	-
콘크리트외곽기습막이(m)	"	-	5.0	-	-	-	-	14.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FRP기습막이(m)	"	-	-	-	-	-	-	20.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
돌옹벽(m)	"	-	10.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
콘크리트옹벽(m)	"	151.6	-	75.0	-	-	476.0	42.0	-	-	56.9	-	-	-	-	-	-	135.7	36.8	-	-	-
돌다리(개소)	"	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
철제다리(개소)	"	1	1	2	2	-	7	4	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	3	-	-	-
콘크리트다리(개소)	"	4	1	1	1	1	9	3	-	1	6	-	-	-	-	-	4	2	8	-	3	-
세월교(콘크리트)	"	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
콘크리트외곽다리(개소)	"	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
목제다리(개소)	"	-	-	1	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	4	-	-	-
돌나무다리(개소)	"	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
돌바닥막이(개소)	"	8	-	2	-	-	37	5	2	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
콘크리트바닥막이(개소)	"	1	-	-	1	-	6	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
돌망태바닥막이(개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	1	-	-	-	-	-
낙차공(돌, 개소)	"	-	-	6	10	-	1	2	5	8	2	-	-	-	-	-	6	-	3	-	-	-
낙차공(콘크리트, 개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
낙차공(돌망태, 개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	7	-	5	-	-	1	-	-	-	-	-
구곡막이(돌, 개소)	"	1	-	-	-	1	7	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
구곡막이(돌망태, 개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
사행댐(동맹, 개소)	"	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
사행댐(콘크리트, 개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	1	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-
콘크리트침수조(개소)	"	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
도수로(콘크리트, 개소)	"	1	1	3	-	-	4	4	1	-	-	5	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-
도수로(돌, 개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
돌수로(m)	"	-	-	-	-	-	32.0	-	-	13.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
철문(개소)	"	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
콘크리트수영장(개소)	"	1	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
콘크리트흡관배수로(개소)	"	3	-	-	-	-	1	6	1	2	1	-	-	-	-	1	-	-	3	-	-	-
PVC배수로	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
철조망(개소)	지역주 민용	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-

표 77. 계속

구분	용도구분	인강초교 계곡2	송추 계곡	사기 막골 계곡	밭골 계곡	복관산 성계곡	백화사 계곡	삼천사 계곡	진관사계 곡	정동 계곡	평광 계곡	구기 계곡	비봉계곡	불광 계곡	무수골 계곡
전석기습막이(m)	공원관리 용	-	3,219.8	-	130.8	385.8	-	343.1	162.8	149.9	-	-	-	-	725.8
돌기습막이(m)	"	200.0	1,297.5	808.5	47.3	1,219.1	1,251	354.0	796.4	801.0	-	214.7	254.0	41.6	1,401.2
콘크리트기습막이(m)	"	-	94.6	-	-	341.2	535.0	66.0	-	124.9	38.2	-	10.0	-	22.2
돌망태기습막이(m)	"	-	-	-	-	212.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
콘크리트의목기습막 이 (m)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FRP기습막이(m)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
돌옹벽(m)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
콘크리트옹벽(m)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,561.3
돌다리(개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-
철재다리(개소)	"	-	7	-	-	18	-	4	4	-	-	1	-	-	1
콘크리트다리(개소)	"	-	6	1	1	5	10	-	1	2	-	-	1	1	5
세월교(콘크리트)	"	-	2	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	1
콘크리트의목다리 (개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
목재다리(개소)	"	-	7	-	-	5	-	-	-	4	-	9	-	-	-
돌나무다리(개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
돌바닥막이(개소)	"	1	-	-	-	-	-	2	2	5	1	2	1	-	3
콘크리트바닥막이 (개소)	"	1	8	-	-	3	-	1	1	2	-	-	-	-	-
돌망태바닥막이(개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
낙차공(돌, 개소)	"	-	1	-	-	-	3	1	-	1	-	-	3	-	6
낙차공 (콘크리트, 개소)	"	-	2	-	-	10	16	-	1	1	-	-	-	-	2
낙차공(돌망태, 개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
구곡막이(돌, 개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
구곡막이 (돌망태, 개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
사방댐(돌댐, 개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
사방댐 (콘크리트, 개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
콘크리트집수조(개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
도수로 (콘크리트, 개소)	"	-	-	-	1	-	-	1	-	1	-	-	1	-	4
도수로(돌, 개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
돌수로(m)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
철문(개소)	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
콘크리트수영장(개소)	"	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
콘크리트흡관배수로 (개소)	"	-	7	-	-	1	2	1	2	3	-	-	-	-	6
PVC배수로	"	-	9	-	-	2	5	4	-	-	-	-	-	-	5
철조망(개소)	지역주민 용	-	1	1	-	1	1	1	-	-	-	-	1	-	3
철계단(m)	공원관리 용	-	32.9	-	-	134.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
콘크리트바닥치기(m <sup>2</sup> )	지역주민 용	-	-	-	-	107.3	1,281.3	-	-	-	-	-	-	-	123.42
철난간(m)	공원관리 용	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.1	100.0	25.8	-

## 2. 야계사방공작물의 기능별 유형화

가) 야계사방공작물의 자연경관과의 조화성 평가인자 선정 및 설문조사인자 설정  
야계사방공작물의 자연경관과의 조화성 평가인자 및 치수, 이수기능평가를 위하여 총 30개의 설문항목을 선정하였으며, 성별, 거주지, 연령, 학력, 직업 등 일반사항, 국립공원탐방횟수, 탐방목적, 탐방시 계곡에서의 행태, 계류수질에 대한 인식, 하천 및 호소와의 수질비교인식 및 평가, 계류수질오염원인, 수질보존시 필요시 주요사항, 계곡생태계 보존상태 인식상황, 계곡에 설치된 야계사방공작물에 대한 인식, 필요성과 그에 대한 인식, 계곡생태계 보전시 중요인자 인식, 관리필요사항, 중요도 인식, 탐방객 편의사항 인식, 계곡휴식년제에 대한 인식 및 경관성과의 관계, 야계사방공작물과 계곡생태계 및 계곡경관과의 관계 등을 설문항목으로 작성 설문조사 하였다. 분석 결과, 바닥막이 공작물을 계곡 경관과 비교했을 때 전문가집단은 철거한 후의 경관을, 탐방객 집단은 바닥막이 반수면 하단부에 덩굴류를 식재하여 녹화한 후의 계곡 경관에 대하여 가장 높은 점수로 응답하여 전문가 집단과 탐방객 집단은 인식패턴에 차이가 나타나는 것으로 분석되었다. 기슭막이 공작물을 계곡 경관과 비교했을 때 전문가 집단은 콘크리트기슭막이를 돌기슭막이로 변경한 후 녹화한 경관, 탐방객 집단은 기슭막이 상단부에 덩굴류를 식재한 후 녹화한 경관에 대하여 가장 높은 점수로 응답하여 전문가 집단과 탐방객 집단은 인식패턴에 차이가 나타나는 것으로 분석되었다. 낙차공 공작물에 대하여 계곡 경관과 비교했을 때 전문가 집단과 탐방객 집단은 모두 낙차공 철거 후의 계곡 경관에 대하여 가장 높은 점수로 응답하였다. 경관 분석 결과 계상에 설치되는 야계사방공작물은 주변 경관과 조화되게 하거나, 콘크리트 구조물은 철거하며, 낙차공과 같은 인공구조물은 계상의 물매를 고려하여 설치해야 하는 것으로 분석되었다.

바닥막이(돌바닥막이)에 대하여는 현재 시공되어 있는 상태의 모습(사진 64)에 바닥막이 천단부에 식생매트를 깔고 녹화시킨 후의 모습(사진 65), 바닥막이 반수면에 페인트(위장공법)를 칠한 후의 모습(사진 66), 바닥막이 반수면 하단부에 덩굴류를 식재하여 녹화한 후의 모습(사진 67), 바닥막이를 철거한 후의 모습(사진 68)을 Image capture Technology 방법을 이용하여 경관사진을 합성한 후에 전문가 그룹과 탐방객 그룹으로 하여금 각각 1순위로부터 5순위까지 점수를 매겨 점수화하였다.

기슭막이(콘크리트기슭막이)는 현재 시공되어 있는 상태의 모습(사진 69), 기슭막이 상단부에 덩굴류를 식재한 후 녹화한 후의 모습(사진 70), 콘크리트기슭막이를 돌

기슭막이로 변경한 후 녹화한 후의 모습(사진 71)으로 구분 사진 합성한 후에 전문가 그룹과 탐방객 그룹으로 하여금 각각 1순위로부터 3순위까지 점수를 매겨 산술 평균한 후 가장 좋은 점수를 받은 방법을 강구하였다. 낙차공(콘크리트낙차공)은 기존에 시설되어 있는 모습(사진 72), 낙차공을 환경사형으로 변경한 후의 모습(사진 73), 낙차공 및 현수교 철거 후의 모습(사진 74, 현수교는 낙차공과 연결하여 바로 위에 설치가 되어 있어 부득이 사진합성 시 제거하였음), 으로 구분하여 사진 합성한 후에 전문가 그룹과 탐방객 그룹으로 하여금 1순위로부터 3순위까지 점수를 매겨 가장 좋은 방법에 대하여 추후 국립공원관리공단에서 계곡 내에 설치되어 있는 인공구조물의 관리 방법으로 강구하도록 분석하였다. 이때 바닥막이와 기슭막이, 낙차공의 설문 점수를 5등급, 3등급으로 차등화 한 것은 각각의 공법 적용 개수와 점수를 일치화 하여 점수 평가를 용이하도록 하기 위해서였다.

상기에 설명한 것처럼 각각의 합성 사진을 가지고 전문가 그룹(77명, 산림자원학 및 국립공원의 계곡 경관에 대하여 교육을 받은 전문 지식을 가진 산림자원학과 졸업자, 관련 전문 연구기관에 근무하는 자 등)과 북한산국립공원을 이용하는 탐방객그룹(101명)으로 구분하여 설문지를 배포, 점수를 평가한 후 수거하여 분석에 사용하였다. 설문항목은 주변 경관, 치수 · 이수 기능, 관리 그리고 기타 사항으로 분류하였으며, 설문대상자들이 응답한 평균점수는,

$$MR_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n R_{ij} \text{로 계산하였다.}$$

이때,  $MR_i$ 는 사진  $i$ 에 배열된 평균점수,  $R_{ij}$ 는  $j$ 번째 응답자가 사진  $i$ 에 대하여 응답한 점수,  $n$ 은 응답자의 수를 나타낸다.

(1) 바닥막이 인공구조물의 경관사진



사진 64. 현재 시공되어 있는 바닥막이 경관(좌)

사진 65. 바닥막이 천단부에 식생매트를 깔고 녹화시킨 후의 계곡 경관(중)

사진 66. 바닥막이 반수면에 페인트를 칠한 후의 계곡 경관(우)



사진 67. 바닥막이 반수면 하단부에 덩굴류를 식재하여 녹화한 후의 계곡 경관(좌)

사진 68. 바닥막이를 철거한 후의 계곡 경관(우)

(2) 기슭막이 인공구조물의 경관사진



사진 69. 현재 시공되어 있는 콘크리트기슭막이 경관(좌)

사진 70. 기슭막이 상단부에 덩굴류를 식재한 후 녹화한 경관(중)

사진 71. 콘크리트기슭막이를 돌기슭막이로 변경한 후 녹화한 경관(우)

(3) 낙차공 인공구조물의 경관사진



사진 72. 현재 시공되어 있는 낙차공 모습(좌)

사진 73. 낙차공을 완경사형으로 변경한 후의 계곡 경관(중)

사진 74. 낙차공 철거 및 현수교 철거 후의 계곡 경관(우)

(4) 바닥막이 인공구조물의 경관분석

바닥막이 인공구조물이 경관에 미치는 영향에 대하여 전문가 집단(77명)의 설문 조사 결과를 분석한 결과(표 78), 주변 경관과 조화되는 사진이 「매우 양호」 하였고 응답한 사람은 49명(전체 응답자의 64%, 평균 3.18점)으로 철거한 뒤의 경관이었으며, 「양호」 하였다고 응답한 사람은 45명으로 전체 응답자의 58%(평균 2.34점)를 나타낸 바닥막이 반수면 하단부에 덩굴류를 식재하여 녹화한 후의 계곡 경관이였다. 「보통」 이라고 응답한 사람은 56명으로 전체 응답자의 73%(평균 2.18점)를 차지한 바닥이 천단부에 식생매트를 깔고 녹화시킨 후의 계곡 경관이었으며, 「불량」 하였다고 응답한 사람은 41명으로 전체 응답자의 53%(평균 1.06점)를 차지한 현재 계곡에 설치되어 있는 인공구조물이였다.

표 78. 바닥막이 인공구조물에 여러 가지 처리한 사진을 주변 계곡 경관과 비교했을 때 분석 결과(전문가 집단)

사진 번호	1. 매우 양호	2. 양호	3. 보통	4. 불량	5. 매우 불량
1	-	7(9, 0.36)	6(8, 0.23)	41(53, 1.06)	23(30, 0.30)
2	1(1, 0.06)	6(8, 0.31)	56(43, 2.18)	15(20, 0.39)	-
3	1(1, 0.06)	4(5, 0.21)	8(10, 0.31)	14(18, 0.36)	49(64, 0.64)
4	26(34, 1.69)	45(58, 2.34)	4(5, 0.16)	2(3, 0.05)	-
5	49(64, 3.18)	15(20, 0.78)	3(4, 0.12)	5(6, 0.13)	5(6, 0.06)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

「매우 불량」이라고 응답한 사람은 49명으로 전체 응답자의 64%(평균 0.64점)를 차지한 바닥막이 반수면에 페인트를 칠한 후의 계곡 경관이였다. 즉, 바닥막이 인공구조물을 계곡 경관과 비교했을 때 주변 경관과 조화되는 순서는 철거한 후의 경관 - 바닥막이 반수면 하단부에 덩굴류를 식재하여 녹화한 후의 계곡 경관 - 바닥막이 천단부에 식생매트를 깔고 녹화시킨 후의 계곡 경관 - 현재의 바닥막이 인공구조물 경관 - 바닥막이 반수면에 페인트를 칠한 후의 계곡 경관 순이었다.

한편, 북한산국립공원 탐방객 집단을 대상으로 설문조사 분석한 결과(표 79) 주변 경관과 조화되는 사진이 「매우 양호」 하였다고 응답한 사람은 50명(전체 응답자의 50%, 평균 2.48점)으로 바닥막이 반수면 하단부에 덩굴류를 식재하여 녹화한 후의 계곡 경관이었으며, 「양호」 하였다고 응답한 사람은 39명으로 전체 응답자의 38%(평균 1.54점)를 나타낸 바닥막이 철거한 후의 계곡 경관이였다. 「보통」이라고 응답한 사람은 43명으로 전체 응답자의 42%를 차지한 바닥막이 천단부에 식생매트를 깔고 녹화시킨 후의 계곡 경관이었으며, 「불량」 하였다고 응답한 사람은 36명으로 전체 응답자의 36%(평균 0.71점)를 차지한 바닥막이 반수면에 페인트를 칠한 후의 계곡 경관이였다. 「매우 불량」이라고 응답한 사람은 67명으로 전체 응답자의 66%(평균 0.66점)를 차지한 현재 시공되어 있는 바닥막이 경관이였다. 즉, 바닥막이 인공구조물을 계곡 경관과 비교했을 때 주변 경관과 조화되는 순서는 바닥막이 반수면 하단부에 덩굴류를 식재하여 녹화한 후의 계곡 경관 - 철거한 후의 경관 - 바닥막이 천단부에 식생매트를 깔고 녹화시킨 후의 계곡 경관 - 바닥막이 반수면에 페인트를 칠한 후의 계곡 경관 - 현재 바닥막이 인공구조물의 계곡 경관의 순이었다.

표 79. 바닥막이 인공구조물에 여러 가지 처리를 한 후 주변 계곡 경관과 비교했을 때의 분석 결과(탐방객 집단)

사진 번호	1. 매우 양호	2. 양호	3. 보통	4. 불량	5. 매우 불량
1	-	3(3, 0.12)	10(10, 0.30)	31(30, 0.61)	67(66, 0.66)
2	4(4, 0.20)	9(9, 0.36)	43(42, 1.28)	26(26, 0.51)	10(10, 0.10)
3	3(3, 0.15)	16(16, 0.63)	36(36, 1.07)	36(36, 0.71)	20(20, 0.20)
4	50(50, 2.48)	34(34, 1.35)	5(5, 0.15)	5(5, 0.10)	1(1, 0.01)
5	44(43, 2.18)	39(38, 1.54)	7(7, 0.21)	3(3, 0.06)	3(3, 0.03)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

바닥막이 인공구조물에서 치수 · 이수 기능상 비교했을 때의 등급을 전문가 집단에서 설문 의뢰, 분석한 결과(표 80), 「매우 양호」 하였다고 응답한 사람은 28명(전체 응답자의 36%, 평균 1.81점)으로 바닥막이 하단부에 덩굴류를 식재하여 녹화한 모습이었으며, 「양호」 하였다고 응답한 사람은 27명으로 전체 응답자의 35%(평균 1.40점)를 나타낸 바닥막이 천단부에 식생매트를 깔고 녹화시킨 후의 계곡 경관이였다. 「보통」 이라고 응답한 사람은 38명으로 전체 응답자의 49%(평균 1.48점)를 차지한 바닥막이 반수면에 페인트를 칠한 후의 계곡 경관이였으며, 「불량」 하였다고 응답한 사람은 21명으로 전체 응답자의 27%(평균 0.55점)를 차지한 현재 계곡에 설치되어 있는 인공구조물이었다. 「매우불량」 이라고 응답한 사람은 29명으로 전체 응답자의 38%(평균 0.38점)를 차지한 바닥막이를 철거했을 때의 사진이었다. 즉, 바닥막이 인공구조물을 치수 · 이수 기능상 비교했을 때 계곡 주변 경관과 조화되는 순서는 하단부에 덩굴류를 식재하여 녹화한 경관 - 바닥막이 천단부에 식생매트를 깔고 녹화시킨 후의 계곡 경관 - 바닥막이 반수면에 페인트를 칠한 후의 계곡 경관 - 현재 설치되어 있는 바닥막이 인공구조물 경관 - 바닥막이 인공구조물을 철거한 후의 계곡 순이었다. 따라서 주변 경관을 고려했을 때는 바닥막이 인공구조물을 철거하는 것이 필요하다고 한 반면, 치수·이수 기능을 위해서는 바닥막이 인공구조물이 필요한 것으로 분석되어 목적에 따라 인식패턴에 차이가 나타나는 것으로 분석되었다.

표 80. 바닥막이 인공구조물에 대하여 치수 · 이수 기능상 비교했을 때의 경관 분석 결과(전문가 집단)

사진 번호	1. 매우 양호	2. 양호	3. 보통	4. 불량	5. 매우 불량
1	26(34, 1.69)	6(8, 0.31)	4(5, 0.16)	21(27, 0.55)	20(26, 0.26)
2	2(3, 0.13)	27(35, 1.40)	29(38, 1.13)	17(22, 0.44)	3(4, 0.04)
3	2(3, 0.13)	3(4, 0.16)	38(49, 1.48)	17(22, 0.44)	17(22, 0.22)
4	28(36, 1.81)	26(34, 1.35)	5(7, 0.19)	18(23, 0.47)	8(10, 0.10)
5	19(24, 1.23)	15(19, 0.78)	1(1, 0.04)	4(6, 0.10)	29(38, 0.38)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.



한편, 탐방객 집단에 대한 설문 분석 결과 치수 · 이수 기능상 비교했을 때의 사진이 「매우 양호」 하였다고 응답한 사람은 67명(전체 응답자의 66%, 평균 3.32점)으로 바닥막이를 철거한 후의 계곡 경관이었으며, 「양호」 하였다고 응답한 사람은 67명으로 전체 응답자의 66%(평균 2.65점)를 나타낸 바닥막이 반수면 하단부에 덩굴류를 식재하여 녹화한 후의 계곡 경관이었다. 「보통」 이라고 응답한 사람은 37명으로 전체 응답자의 37%(1.10점)를 차지한 바닥막이 천단부에 식생매트를 깔고 녹화시킨 후의 계곡 경관이었으며, 「불량」 하였다고 응답한 사람은 36명으로 전체 응답자의 36%(평균 0.71점)를 차지한 바닥막이 반수면에 페인트를 칠한 후의 계곡 경관이었다. 「매우 불량」 이라고 응답한 사람은 61명으로 전체 응답자의 60%(0.60점)를 차지한 현재 시공되어 있는 바닥막이 경관이었다. 즉, 바닥막이 인공구조물을 치수 · 이수 기능상 비교했을 때에는 바닥막이 주변 경관과 조화되는 순서는 바닥막이를 철거한 후의 계곡 경관 - 바닥막이 반수면 하단부에 덩굴류를 식재하여 녹화한 후의 계곡 경관 - 바닥막이 천단부에 식생매트를 깔고 녹화시킨 후의 계곡 경관 - 바닥막이 반수면에 페인트를 칠한 후의 계곡 경관 - 현재 설치되어 있는 바닥막이 인공구조물의 계곡 경관의 순이었다.

표 81. 바닥막이 인공구조물에 대하여 치수 · 이수 기능상 비교했을 때의 경관 분석 결과(탐방객 집단)

사진 번호	1. 매우 양호	2. 양호	3. 보통	4. 불량	5. 매우 불량
1	3(3, 0.15)	3(3, 0.12)	12(12, 0.36)	22(22, 0.44)	61(60, 0.60)
2	4(4, 0.20)	6(6, 0.24)	37(37, 1.10)	36(36, 0.71)	8(8, 0.08)
3	9(9, 0.45)	14(14, 0.55)	37(37, 1.10)	36(36, 0.71)	15(15, 0.15)
4	18(18, 0.89)	67(66, 2.65)	9(9, 0.27)	6(5, 0.12)	1(1, 0.01)
5	67(66, 3.32)	11(11, 0.44)	6(5, 0.18)	1(0, 0.02)	16(16, 0.16)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

바닥막이 인공구조물의 관리적 측면을 전문가 집단에서 비교했을 때(표 82), 「매우 양호」 하였다고 설문 응답한 사람은 43명(전체 응답자의 56%, 평균 2.79점)으로 바닥막이 인공구조물을 철거하였을 때의 사진이었으며, 「양호」 하였다고 응답한 사람은 33명으로 전체 응답자의 43%(평균 1.71점)를 나타낸 바닥막이 하단부에 덩굴류를 식재하여 녹화한 사진이었다. 「보통」 이라고 응답한 사람은 31명으로 전체 응답자의

40%(평균 1.21점)를 차지한 바닥막이 천단부에 식생매트를 깔고 녹화시킨 사진이었으며, 「불량」 하였다고 응답한 사람은 33명으로 전체 응답자의 43%(평균 0.86점)를 차지한 현재 계곡에 설치되어 있는 인공구조물의 사진이었다. 「매우 불량」 이라고 응답한 사람은 38명으로 전체 응답자의 49%(평균0.49점)를 차지한 바닥막이 반수면에 페인트를 칠한 후의 사진이었다. 즉, 전문가 집단에 대하여 사진 합성한 바닥막이 인공구조물에 대하여 관리상 비교했을 때에는 주변 경관을 고려했을 때와 유사한 결과를 나타내어 관리에 있어서도 주변 계곡 경관을 고려하여 관리하는 것이 타당한 것으로 분석되었다.

표 82. 바닥막이 인공구조물에 대하여 관리상 비교했을 때의 경관 분석 결과(전문가 집단)

사진번호	1. 매우 양호	2. 양호	3. 보통	4. 불량	5. 매우 불량
1	14(18, 0.91)	13(17, 0.68)	8(10, 0.31)	33(43, 0.86)	9(12, 0.12)
2	5(7, 0.32)	16(21, 0.86)	31(40, 1.21)	17(22, 0.44)	4(5, 0.05)
3	4(5, 0.26)	8(10, 0.42)	16(21, 0.62)	11(14, 0.29)	38(49, 0.49)
4	11(14, 0.71)	33(43, 1.71)	15(20, 0.58)	13(17, 0.34)	9(12, 0.12)
5	43(56, 2.79)	7(9, 0.36)	7(9, 0.27)	3(4, 0.08)	17(22, 0.22)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

또한, 바닥막이 인공구조물의 관리적 측면을 탐방객 집단에서 비교했을 때(표 83) 「매우 양호」 하였다고 설문 응답한 사람은 42명(전체 응답자의 42%, 평균 2.08점)으로 현재 시공되어 있는 바닥막이 경관이었으며, 「양호」 하였다고 응답한 사람은 31명으로 전체 응답자의 30%(평균 1.23점)를 나타낸 바닥막이 반수면에 페인트를 칠한 후의 계곡 경관이였다. 「보통」 이라고 응답한 사람은 40명으로 전체 응답자의 40%(평균 1.19점)를 차지한 바닥막이 천단부에 식생매트를 깔로 녹화시킨 경관이었으며, 「불량」 하였다고 응답한 사람은 26명으로 전체 응답자의 26%(평균 0.51점)를 차지한 바닥막이 반수면 하단부에 덩굴류를 식재하여 녹화한 후의 계곡 경관이였다. 「매우 불량」 이라고 응답한 사람은 31명으로 전체 응답자의 31%(평균 0.31점)를 차지한 바닥막이 철거 후의 계곡 경관이였다. 즉, 전문가 집단과 탐방객 집단은 바닥막이 인공구조물의 관리에 다른 인식패턴을 나타내는 것으로 분석되었다.

표 83. 바닥막이 인공구조물에 대하여 관리상 비교했을 때의 경관 분석 결과(탐방객 집단)

사진 번호	1. 매우 양호	2. 양호	3. 보통	4. 불량	5. 매우 불량
1	42(42, 2.08)	7(7, 0.28)	5(5, 0.15)	16(16, 0.32)	27(27, 0.27)
2	6(6, 0.30)	27(27, 1.07)	40(40, 1.19)	24(24, 0.48)	8(8, 0.08)
3	3(3, 0.15)	31(30, 1.23)	36(36, 1.07)	12(12, 0.24)	15(14, 0.15)
4	16(16, 0.79)	26(26, 1.03)	15(14, 0.45)	26(26, 0.51)	20(20, 0.20)
5	34(33, 1.68)	10(10, 0.40)	5(5, 0.15)	23(23, 0.46)	31(31, 0.31)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

(5) 기슭막이 인공구조물의 경관 분석

기슭막이 인공구조물에 대하여 주변의 계곡 경관과 비교했을 때 양호에서 불량까지의 순위를 분석한 결과는 전문가 집단에서는 표 84와 같다.

표 84. 기슭막이 인공구조물에 대하여 주변의 계곡 경관과 비교했을 때의 경관분석 결과(전문가 집단)

사진 번호	1. 양호	2. 보통	3. 불량
6	1(1, 0.04)	-	76(99, 0.99)
7	35(45, 1.36)	42(55, 1.09)	-
8	41(54, 1.60)	35(45, 0.91)	1(1, 0.01)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

전문가 집단에 대한 설문 분석 결과 주변 경관과 조화되는 사진이 「양호」 하였고 응답한 사람은 41명(전체 응답자의 54%, 평균 1.60점)으로 콘크리트기슭막이를 돌기슭막이로 변경한 후 녹화한 경관이었으며, 「보통」 이었다고 응답한 사람은 42명으로 전체 응답자의 55%(평균 1.09점)를 나타낸 기슭막이 상단부에 덩굴류를 식재한 후 녹화한 경관이었다. 「불량」 하였다고 응답한 사람은 76명으로 전체 응답자의 99%(평균 0.99점)를 차지한 현재 계곡에 설치되어 있는 기슭막이 인공구조물이었다. 즉, 전문가 집단에 대하여 사진 합성한 기슭막이 인공구조물을 계곡 경관과 비교했을 때 주변 경관과 조화되는 순서는 콘크리트기슭막이를 돌기슭막이로 변경한 후 녹화한 경관 - 기슭막이 상단부에 덩굴류를 식재한 후 녹화한 경관 - 현재의 기슭막이 인공구조물 경관의 순이었다.

한편, 탐방객 집단에서의 설문 분석 결과(표 85), 주변 경관과 조화가 되는 사진이 「양호」 하였다고 설문 응답한 사람은 61명(전체 응답자의 60%, 평균 1.81점)으로 기슭막이 상단부에 덩굴류를 식재한 후 녹화한 경관이었으며, 「보통」 이었다고 응답한 사람은 49명으로 전체 응답자의 48%(평균 0.97점)를 나타낸 콘크리트기슭막이를 돌기슭막이로 변경한 후 녹화한 경관이었다. 「불량」 하였다고 응답한 사람은 68명으로 전체 응답자의 67%(평균 0.67점)를 차지한 현재 계곡에 설치되어 있는 기슭막이 인공구조물이었다. 즉, 탐방객 집단에 대하여 사진 합성한 기슭막이 인공구조물을 계곡 경관과 비교했을 때 주변 경관과 조화되는 순서는 기슭막이 상단부에 덩굴류를 식재한 후 녹화한 경관 - 콘크리트기슭막이를 돌기슭막이로 변경한 후 녹화한 경관 - 현재의 기슭막이 인공구조물 경관의 순이었다.

표 85. 기슭막이 인공구조물에 대하여 주변의 계곡 경관과 비교했을 때의 경관분석 결과(탐방객 집단)

사진 번호	1. 양호	2. 보통	3. 불량
6	13(13, 0.39)	20(20, 0.40)	68(67, 0.67)
7	61(60, 1.81)	32(32, 0.63)	8(8, 0.08)
8	27(27, 0.80)	49(48, 0.97)	25(25, 0.25)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

치수 · 이수 기능상 비교했을 때 전문가 집단에서는(표 86) 현재 설치되어 있는 기슭막이 인공구조물이 양호하였다고 분석되었으며, 다음 순으로는 기슭막이 상단부에 덩굴류를 식재한 후 녹화한 경관, 콘크리트기슭막이를 돌기슭막이로 변경한 후 녹화한 경관으로 주변 경관과는 다른 인식패턴을 나타내는 것으로 분석되었다.

표 86. 기슭막이 인공구조물에 대하여 치수 · 이수 기능상 비교했을 때의 분석 결과(전문가집단)

사진 번호	1. 양호	2. 보통	3. 불량
6	34(44, 1.32)	7(9, 0.18)	35(46, 0.45)
7	22(29, 0.86)	49(64, 1.27)	6(8, 0.08)
8	21(27, 0.82)	21(27, 0.55)	36(47, 0.47)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

한편, 탐방객 집단에서는(표 87) 콘크리트기슭막이를 돌기슭막이로 변경한 후 녹화한 경관이 양호하였다고 분석되었으며, 다음 순으로는 기슭막이 상단부에 덩굴류를 식재한 후 녹화한 경관, 현재 시공되어 있는 콘크리트기슭막이 경관으로 주변 경관에 대한 설문 응답 결과와 유사한 인식패턴을 나타내는 것으로 분석되었다.

표 87. 기슭막이 인공구조물에 대하여 치수·이수 기능상 비교했을 때의 경관 분석 결과(탐방객 집단)

사진 번호	1. 양호	2. 보통	3. 불량
6	17(17, 0.50)	23(23, 0.46)	61(60, 0.60)
7	41(40, 1.22)	40(40, 0.79)	20(20, 0.20)
8	43(43, 1.28)	38(37, 0.75)	20(20, 0.20)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

관리상 비교했을 때 전문가 집단에서는(표 88) 콘크리트기슭막이를 돌기슭막이로 변경한 후 녹화한 경관 - 기슭막이 상단부에 덩굴류를 식재한 후 녹화한 경관 - 현재의 기슭막이 인공구조물 경관의 순으로 점수가 낮아지는 것으로 분석되었다. 즉, 전문가 집단은 계곡에 설치한 기슭막이 인공구조물의 관리를 위하여 계곡의 주변 경관과 조화되는 것이 중요하다고 인식하는 것으로 나타났다.

표 88. 기슭막이 인공구조물에 대하여 관리상 비교했을 때의 경관 분석 결과(전문가 집단)

사진 번호	1. 양호	2. 보통	3. 불량
6	25(33, 0.97)	2(3, 0.05)	50(65, 0.65)
7	16(21, 0.62)	41(53, 1.06)	20(26, 0.26)
8	36(46, 1.40)	34(44, 0.88)	7(9, 0.09)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

또한, 탐방객 집단에서는(표 89) 현재의 기슭막이 인공구조물 경관 - 기슭막이 상단부에 덩굴류를 식재한 후 녹화한 경관 - 콘크리트기슭막이를 돌기슭막이로 변경한 후 녹화한 경관의 순으로 점수가 낮아지는 것으로 분석되었다. 즉, 탐방객 집단은 계곡에 설치한 기슭막이 인공구조물의 관리를 위하여 현재 설치된 인공구조물을 변경하는 것은 관리상 어려움이 있는 것으로 인식하고 있었다.

표 89. 기슭막이 인공구조물에 대하여 관리상 비교했을 때의 경관 분석 결과(탐방객 집단)

사진 번호	1. 양호	2. 보통	3. 불량
6	43(43, 1.28)	19(19, 0.38)	39(38, 0.39)
7	25(25, 0.74)	57(56, 1.13)	19(19, 0.19)
8	33(32, 0.98)	25(25, 0.50)	43(43, 0.43)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

(6) 낙차공 인공구조물의 경관 분석

낙차공 인공구조물에 대하여 주변의 계곡 경관과 비교했을 때 양호에서 불량까지의 순위를 분석한 결과 전문가 집단에서는 표 90과 같다.

표 90. 낙차공 인공구조물에 대하여 주변의 계곡 경관과 비교했을 때의 경관 분석 결과(전문가 집단)

사진 번호	1. 양호	2. 보통	3. 불량
9	12(16, 0.47)	5(7, 0.13)	60(78, 0.78)
10	5(7, 0.19)	69(90, 1.79)	3(4, 0.04)
11	60(77, 2.34)	3(3, 0.08)	14(18, 0.18)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

전문가 집단에 대한 분석 결과 주변 경관과 조화되는 사진이 「양호」 하였다고 응답한 사람은 60명(전체 응답자의 77%, 평균 2.34점)으로 낙차공 및 현수교 철거 후의 계곡 경관이었으며, 「보통」 이었다고 응답한 사람은 69명으로 전체 응답자의 90%(평균 1.79점)를 나타낸 낙차공을 완경사형으로 변형한 후의 계곡 경관이었다. 「불량」 하였다고 응답한 사람은 60명으로 전체 응답자의 78%(평균 0.78점)를 차지한 현재 계곡에 설치되어 있는 낙차공 인공구조물이었다. 즉, 전문가 집단에 대하여 사진 합성한 낙차공 인공구조물에 대하여 계곡 경관과 비교했을 때 주변 경관과 조화되는 순서는 낙차공 철거 후의 계곡 경관 - 낙차공을 완경사형으로 변형한 후의 계곡 경관 - 현재 계곡에 설치되어 있는 낙차공 경관의 순이었다.

한편, 탐방객 집단에 대한 분석 결과(표 91) 주변 경관과 조화되는 사진이 「양호」 하였다고 응답한 사람은 56명(전체 응답자의 56%, 평균 1.66점)으로 낙차공 및 현수교 철거 후의 계곡 경관이었으며, 「보통」 이었다고 응답한 사람은 69명으로 전

체 응답자의 68%(평균 1.37점)를 나타낸 낙차공을 환경사형으로 변경한 후의 계곡 경관이었다. 「불량」 하였다고 응답한 사람은 70명으로 전체 응답자의 70명으로 전체 응답자의 70%(평균 0.69점)를 차지한 현재 계곡에 설치되어 있는 낙차공 인공구조물이었다. 즉, 탐방객 집단에 대하여 사진 합성한 기슭막이 인공구조물에 대하여 계곡 경관과 비교했을 때 주변 경관과 조화되는 순서는 낙차공 철거 후의 계곡 경관 - 낙차공을 환경사형으로 변형한 후의 계곡 경관 - 현재 계곡에 설치되어 있는 낙차공 경관의 순이었다.

표 91. 낙차공 인공구조물에 대하여 주변의 계곡 경관과 비교했을 때의 분석 결과(탐방객 집단)

사진 번호	1. 양호	2. 보통	3. 불량
9	16(16, 0.48)	14(14, 0.28)	70(70, 0.69)
10	29(28, 0.86)	69(68, 1.37)	3(3, 0.03)
11	56(56, 1.66)	18(18, 0.36)	28(27, 0.28)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

치수 · 이수 기능상 비교했을 때 전문가 집단에서는(표 92) 현재 설치되어 있는 낙차공 인공구조물이 양호하였다고 응답하였으며, 다음 순으로는 낙차공을 환경사형으로 변형하였을 때의 경관, 낙차공 및 현수교를 철거하였을 때도 주변 경관에 대한 설문 응답 결과와는 다른 인식 패턴을 나타내는 것으로 분석되었다.

표 92. 낙차공 인공구조물에 대하여 치수 · 이수 기능상 비교했을 때의 경관 분석 결과(전문가 집단)

사진 번호	1. 양호	2. 보통	3. 불량
9	47(61, 1.83)	4(5, 0.10)	26(34, 0.34)
10	11(14, 0.43)	64(83, 1.66)	2(3, 0.03)
11	19(25, 0.74)	9(12, 0.23)	49(63, 0.64)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

한편, 탐방객 집단에서는(표 93) 현재 설치되어 있는 낙차공 인공구조물이 양호하였다고 응답하였으며, 다음 순으로는 낙차공을 환경사형으로 변형하였을 때의 경관, 낙차공 및 현수교를 철거하였을 때로 전문가 집단과 같은 인식패턴을 나타내는 것으로

로 분석되었다.

표 93. 낙차공 인공구조물에 대하여 치수·이수 기능상 비교했을 때의 경관 분석 결과(탐방객 집단)

사진 번호	1. 양호	2. 보통	3. 불량
9	45(45, 1.34)	19(19, 0.38)	37(37, 0.37)
10	24(23, 0.71)	64(63, 1.27)	13(12, 0.13)
11	32(32, 0.95)	18(18, 0.36)	51(51, 0.50)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

관리상 비교했을 때 전문가 집단에서는(표 94) 낙차공 및 현수교 철거 후의 계곡 경관 - 낙차공을 환경사형으로 변형한 후의 계곡 경관 - 현재 계곡에 설치되어 있는 낙차공 경관의 순으로 점수가 낮아지는 것으로 분석되었다. 즉, 전문가 집단은 계곡에 설치한 낙차공 인공구조물의 관리를 위하여 계곡의 주변 경관과 조화되는 것이 중요하다고 인식하는 것으로 나타났다.

표 94. 낙차공 인공구조물에 대하여 관리상 비교했을 때의 경관 분석 결과(전문가 집단)

사진번호	1. 양호	2. 보통	3. 불량
9	25(32, 0.97)	3(4, 0.08)	49(64, 0.64)
10	4(5, 0.16)	69(90, 1.79)	4(5, 0.05)
11	48(63, 1.87)	5(6, 0.13)	24(31, 0.31)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

한편, 탐방객 집단에서는(표 95) 낙차공 및 현수교 철거 후의 계곡 경관 - 낙차공을 환경사형으로 변형한 후의 계곡 경관 - 현재 계곡에 설치되어 있는 낙차공 경관의 순으로 점수가 낮아지는 것으로 분석되었다. 즉, 탐방객 집단은 전문가 집단과 같이 계곡에 설치한 낙차공 인공구조물의 관리를 위하여 계곡의 주변 경관과 조화되는 것이 중요하다고 인식하는 것으로 나타났다.



표 95. 낙차공 인공구조물에 대하여 관리상 비교했을 때의 경관 분석 결과(탐방객 집단)

사진 번호	1. 양호	2. 보통	3. 불량
9	36(36, 1.07)	18(18, 0.36)	47(46, 0.47)
10	16(16, 0.48)	71(70, 1.41)	14(14, 0.14)
11	49(48, 1.46)	12(12, 0.24)	40(40, 0.40)

\* ( , )는 백분율과 평균점수를 나타낸다.

또한, 전문가 집단과 탐방객 집단에 대하여 바닥막이, 기슭막이, 낙차공 등 인공구조물에 대한 관리 방안에 대한 의견을 설문 분석한 결과(표 96), 전문가 집단에서는 바닥막이의 관리 방안으로는 주변 경관을 고려할 때 완전 철거가 필요하며, 자연석을 이용한 구조물로 변경하여야 한다고 하였다. 기슭막이의 경우에는 피복 녹화시 화분과 식물을 녹화에 이용하고, 야생동물 이동을 위한 계단을 설치해야 하며, 기슭막이 하단부에는 수변식생을 조성하여 피복 녹화해야 한다고 하였다. 낙차공의 경우에는 평탄한 계상에선 철거하여야 하고, 어류의 이동을 고려하여 설치하며, 환경사형으로 설치할 필요가 있다고 하였다. 탐방객 집단은 바닥막이의 경우 주변 경관과 조화될 수 있는 구조물을 설치해야 하고, 반수면에 물이 고이지 않도록 설치해야 한다고 하였다. 기슭막이의 경우 기슭막이 벽체부는 덩굴류를 이용하여 녹화하여야 하며, 콘크리트 부분은 철거해야 한다고 하였다(국립공원관리공단, 2002). 또한, 낙차공의 경우에는 계상의 물매를 고려하여 적절한 구조물을 설치해야 한다고 하였다. 이와 같은 결과를 요약하면, 계상에 설치되는 인공구조물은 주변 경관과 조화되게 하거나, 콘크리트 구조물은 철거하며, 낙차공과 같은 인공구조물은 계상의 물매를 고려하여 설치해야 하는 것으로 분석되었다.

그러나 이러한 바닥막이, 기슭막이, 낙차공 등 인공구조물은 설계 당시 치수 및 이수 기능을 고려하여 설치하였으나, 시간이 경과함에 따라 그 기능을 완료하였다고 판단되는 공작물에 대해서는 철거할 수도 있을 것으로 사료된다. 따라서 이 연구에서는 전문가 및 탐방객의 설문에 의한 각 공작물의 선호도를 분석한 결과이며, 추후 각 공작물에 대한 치수 이수기능에 대한 수리계산 그리고 최근 강조되고 있는 국립공원에서의 경관 및 관리기능을 고려하여 철거 등의 문제에 대해서는 재평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

표 96. 전문가 집단과 탐방객 집단에 대하여 바닥막이, 기슭막이, 낙차공 등 인공구조물의 관리 방안에 대한 의견 결과

관리 방안	전문가 집단	탐방객 집단
바닥 막이	<ul style="list-style-type: none"> <li>·경관상 완전 철거 필요</li> <li>·자연석을 이용한 구조물로 변경</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·주변 경관과 조화될 수 있는 구조물 설치</li> <li>·반수면에 물이 고이지 않도록 설치</li> </ul>
기슭 막이	<ul style="list-style-type: none"> <li>·화분과 식물을 녹화에 이용</li> <li>·야생동물 이동을 위한 계단식 설치</li> <li>·기슭막이 하단부 수변식생 조성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·기슭막이 벽체부는 덩굴류 이용 녹화 필요</li> <li>·콘크리트 구조부분의 철거 및 덩굴류를 이용한 피복 녹화</li> </ul>
낙차공	<ul style="list-style-type: none"> <li>·평탄한 계상에선 철거</li> <li>·어류의 이동을 고려하여 설치</li> <li>·완경사형으로 설치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·계상의 물매를 고려한 적절한 구조물의 설치 필요</li> </ul>

나) 야계사방공작물의 치수, 이수기능과의 조화성 평가

야계사방공작물이 직면하는 환경과 치수 이수기능간의 문제를 해결하기 위해서는 생태학적인 식견을 개별 기술에 활용하는 것도 필요하지만, 그 전에 야계사방공작물 설치에 따른 이상적인 자세 그 자체가 환경문제화 되고 있음을 인지해야 한다. 또한, 현행 야계사방공작물 설치계획이나 사업량을 변경시키지 않고 사방과 환경의 조화를 꾀하는 것은 불가능하며, 사방의 개념을 근본적으로 고쳐 생각할 필요가 있다. 즉, 야계에 시설하는 공작물만으로 토사재해에 대처하겠다는 것은 경관성과 조화를 이루어야 하며, 더욱이 종합적인 방재의 시각에서 유역의 토지이용·관리계획을 책정하고, 난개발의 금지, 파괴적인 산업 활동의 제한 등 하천 이외의 산림과 같은 주변환경을 보전·정비하는 것으로 토사재해의 위험성을 경감해야 하는 것으로 설문 조사되었다. 또한, 하류지역의 위험지대에 있어서는 토지이용을 제한하고, 개발을 금지하는 등 방재상 사방사업이 필요한 최소한의 개소에 야계사방공작물을 설치해야 하는 것으로 분석되었다. 또한, 국립공원 계곡 내에 설치된 각종 야계사방공작물 각각에 대한 설치장소, 설치 필요성, 설치 효과, 주변 계곡생태계에 미치는 영향 등을 면밀히 분석·평가하여 필요하지 않다는 결론에 도달한 야계사방공작물에 대해서는 과감히 철거하거나 친환경적인 구조물로 대체하는 방안을 강구해야 하는 것으로 분석되

었다. 특히, 계곡부 주변 상가에서 상행위를 위해 계곡 주변에 설치한 콘크리트구조물 등은 완전 철거하고 계곡부의 생태 및 경관을 자연 그대로 회복시키며, 여름철 이용객 및 잡상인들의 계곡부 출입 및 점유를 엄격히 금지 관리하여 탐방객들에게 계곡경관을 감상할 수 있도록 설문조사결과 나타났다.

다) 야계사방공작물의 순기능 및 역기능 평가

(1) 야계사방공작물의 순기능

야계에 설치되는 공작물 가운데 사방댐은 토사석력의 이동이 현저한 황폐한 계천(계곡, 계간)의 종침식 및 횡침식을 방지하여 계천바닥물매의 완화, 유출 토석류의 저류 및 조절, 계천바닥을 높여서 산각을 고정하고 난류지역에서의 유로의 정리 등을 목적으로 또한, 산사태, 땅밀림 등으로 인한 토석류재해 저지로써 하류지역의 보전을 위하여 황폐한 계천을 횡단하여 구축하는 계천사방공종으로써 주로 콘크리트댐, 철근콘크리트댐, 돌 댐공사를 한다. 또한, 바닥막이는 황폐계류나 야계의 바닥침식을 방지하고 현재의 바닥을 유지하기 위해 계류를 횡단하여 축설하는 계간사방공작물로 바닥막이공작물은 댐처럼 계류바닥으로부터 현저히 돌출되어 있지 않으며, 바닥막이의 설계요인은 대체로 사방댐에 준한다. 특히 저수호안 공법은 치수안정성을 만족시키기 위해 시설한다. 즉, 유속이 빠른 유수에 의해 계안이 침식되거나 세굴되는 것을 방지해 줄 수 있다. 아울러 제방(둑, 보)은 치수 안전성을 고려해 설치하는데, 급격한 강수량에 따른 홍수시 유속을 감쇄시키고 하상의 세굴을 방지하는 역할을 한다. 또한, 홍수를 방지하기 위해 하도조작을 하게 되는데, 이는 댐이나 보 등 인공구조물을 축조하는 것이 가장 잘 알려진 방법이지만 또 다른 직접적인 방법으로는 하도정비를 들 수 있다. 이러한 하도정비는 홍수를 방지하기 위해 제방 등을 설치하는 방법과 도로의 직강화, 하폭확장, 하상평탄지 등으로 하도의 담수력을 증대시켜 홍수를 쉽게 유출시키기 위해서 필요시 설치한다. 유량이 많고 빠른 야계의 하상을 보존하기 위해 콘크리트로 하상을 포장하는데, 이는 하상의 침식작용이 억제되므로 계류의 탁도를 감소시키는 기능을 한다. 또한, 야계의 홍수 등을 줄이기 위해 하도를 직선화하거나 하폭을 증대시키는 방법을 사용하는데, 이는 유속을 빠르게 하여 홍수시 증대된 유량을 하천으로 빠르게 유출시킴으로써 계류변의 포락이나 붕괴를 방지하기 위한 방법이다. 유로경사가 급하고 산지사면에 점토질 성분이 많은 토양 그리고 이러한 유역에서 토양층 하부에 암반이 연속되어 있는 지역에서는 산사태가 급격하게 발생할 가능성이 높다. 또한, 대규모 산사태로 인하여 계곡이 형성되는 부

분이 나타나고 실제로 북한산국립공원 내 육모정계곡은 대규모 산사태로 인하여 발생한 계곡으로 산사태 발원지의 규모는 가로 세로가 2m x 2m 폭의 소규모이지만 하류 방향으로 밀려 내려간 산사태의 폭이 5m, 10m, 15m로 점차 커져 하류에 인명 및 재산에 피해가 발생할 소지가 크다. 뿐만 아니라 산사태가 발생한 지역은 산지경사가 40% 이상인 매우 급한 경사이고, 산지 하부에는 음식점 등 유동인구가 밀집된 지역이므로 인명피해 등 피해발생이 우려되는 지역으로 이들 지역에서의 인공구조물 설치는 경관보다 우선하는 면이 있다. 따라서 산지경사가 급하고 점토질 성분이 많으며, 강수에 의하여 산지 토양의 포화가 빠르게 이루어지는 지역에 설치되는 돌구곡막이, 돌기슭막이, 돌망태구곡막이, 돌망태기슭막이, 사방댐 등 인공구조물은 산사태예방 차원에서 필요한 사방공작물이라 할 수 있다.

## (2) 야계사방공작물의 역기능

야계 및 하천 계곡과 홍수터를 개발하는 것은 생태학적으로 역효과를 갖는 잘 알려진 변화를 야기한다. 이러한 변화 중 중요한 것은 홍수터 잠식, 습지와 홍수조절용량의 감소, 저지대 홍수를 야기하는 배수효과, 수로의 협소화, 제방의 국부적 단단화, 수로선형의 단순화, 2차 수로, 수로흔적, 측수로, 계절적 홍수수로의 막힘, 퇴사와 없어짐, 수로형태와 수로조건의 다양성 감소, 유속과 수심, 서식 종 형태의 수, 각 서식구역에서 살고 있는 서식 종의 총수에 미치는 영향 등 다양하다. 이러한 변화는 자연식물과 동물에 중요한 자연하천생태 기능의 변화를 야기했다. 또한 깨지지 않는 나머지 생태적 평형상태도 종의 감소와 개체 종의 침입으로 인해 계속해서 위협을 받는다. 이러한 경향에도 불구하고 많은 야계나 하천은 여전히 자연상태를 유지하거나 복원할 기회를 가지면서 인간의 욕망을 충족시키고 있다. 또한, 각종 치산사업은 치산댐에 의한 수생생물의 소상저해, 댐 하상·하류의 분단, 유로공에 의한 수생생물의 서식 저해, 산복공의 외래종 도입에 의한 식생변화 등을 가져와 어류의 생육조건에 악영향을 미치고 있다. 특히 하천개수는 하도의 직선화에 의해 진흙, 사질대, 계안 식물대, 물 웅덩이 등의 감소와 평탄화의 증대를 가져올 뿐 아니라 하상재료를 감소시켜 하상면이 단순화되므로 개수 전의 사행부를 직선화 한 구간을 중심으로 어류의 생육에 악영향을 미치고 있다. 한편, 치산사업의 시공대상지는 일반적으로 상류 산지유역인 원류부이므로 상수가 적고 어류가 살지 않는 곳이 있어 어도를 만들 필요가 없는 구간도 있으나 상수가 많고 물고기가 서식하고 있는 장소에는 반드시 어도를 설치하여 수생동물의 서식공간 및 이동로를 제공해야 한다. 이러한 면에서 어

도 확보는 사방시설의 큰 과제이다. 아울러 야계나 하도잠식은 홍수터 개발에서 비롯된다. 수상 상업과 취수를 위한 야계접근, 임도, 그리고 송수관의 횡단 공사와 주거를 위한 토지의 사용, 수로와 홍수터 연결부에서의 인공구조물 설치 등 야계나 하천에서의 이러한 잠식의 추가적인 영향은 하도공간의 심각한 손실, 보호공, 교대 그리고 벽체 등에 의한 수많은 하도의 제약 등이다. 홍수, 제방침식, 그리고 수로의 변화는 중요한 문제가 되고 있다. 또한, 야계에 설치된 인공구조물은 계류수의 자연스런 유하를 방해하고 특히 갈수기에 사방댐이나 보 등은 상류로부터 유하하는 물을 고이게 함으로써 물이 썩거나 오염되는 문제를 유발하고 있다. 이를 방지하기 위해 개방형과 폐쇄형 비오톱을 조성하고 있고, 수질정화시설로는 상향유식 자갈접촉산화시설, 수질정화 자유수면 습지, 수질정화 자갈여과 습지가 적용될 수 있다. 특히 이러한 공작물은 야계 흐름의 속도에 변화를 주기가 약하기 때문에 야계 내에 서식하는 생물이 살아갈 수 있는 다양한 공간을 제공하기 어려운 상황이다. 또한, 규모가 작은 낙차공이나 보부터 규모가 매우 큰 다목적 댐에 이르기까지 하천을 가로막는 댐은 수변에 가장 큰 직접적인 영향을 미친다. 댐에 의한 수변의 물리, 화학적 변화는 크게 야계의 연속성(흐름, 유사, 유기물 등) 차단, 저수지 수몰, 하류 유량 변화, 상·하류 하상 재료, 또는 기능의 변화, 그리고 수질변화를 일으킨다. 이에 따른 생태적 변화는 주로 서식처의 물리, 화학적 변화에 의한 것이다. 이수과 치수를 위한 야계 정비의 야계의 여울과 소를 교란시키고, 유속을 증가시켜 수중 서식처의 다양성을 감소시킨다. 특히 치수 측면만을 고려하는 하천 개수는 사실상 야계의 인공화를 의미한다. 도시화에 따른 국립공원 계류변에 미치는 댐, 보 등 인공구조물의 영향은 수문특성의 변화, 야계 형태의 변화, 유사와 오염, 서식처와 수중생태계 변화 등으로 나눌 수 있다. 수변을 낀 도시화는 물론 야계 상류지역의 도시화도 야계변에 직접적인 영향을 미친다. 즉, 국립공원 야계변이 탐방로 등 등산로의 과도한 이용으로 답압되면 불투수층의 증가 및 침투 유출량의 증가, 연 총유출량의 감소로 이는 특히 야계 침식을 증가시켜 하상을 저하시키거나 강턱을 침식시킨다. 특히 이용객의 증가로 인하여 수변생태계가 교란을 받게 되고, 수변생태 서식처는 수질저하, 직강화, 인공화, 여울과 소의 제거, 통나무 등 수중 피난처의 제거, 기층의 오염, 평상시 얕은 수심과 홍수시 깊고 빠른 유속, 교량, 낙차공, 보, 하수관거 등 빈번한 하도 횡단 구조물, 수변식생의 빈약 등으로 매우 불량해진다. 이러한 곳에 서식하는 생물종은 단순해지고, 불량한 서식 환경에 경쟁하는 일부 외래종이 번식하게 된다.

### (3) 각종 야계사방공작물의 사례를 통한 순기능 및 역기능 평가

#### (가) 사방댐 공사

하천상류지역에는 풍부한 자연환경이 남아 있고, 그 곳을 흐르는 계류·소하천 주변에는 자연도가 높은 수변림이 연속적으로 존재하고 있다. 따라서 이와 같은 장소에는 사방댐을 하나 건설하는 것만으로도 그 유역에 남겨진 자연경관을 파괴시킬 수 있다. 즉, 자연적인 자연하천 그리고 계안식생이 점차 사라지는 현실 속에서 이의 상징적 의미는 매우 크다고 할 수 있다.

사방댐 건설이 주변 산림 및 산림환경에 미치는 영향은 사방공사를 위한 공사용 도로나 자재반입시설의 부설, 댐 본체의 건설 등으로 인해 하천주변의 좁은 범위를 대상으로 성립하는 수변림이 광범위하게 벌채된다. 즉, 산림식생은 수령이 많고 단면적이 큰 수목으로 구성되고 종다양성도 높다. 그러한 식생이 한순간에 없어지면 그 수목을 복원하기 위해서는 많은 시간을 필요로 한다. 이는 동시에 수변의 경관파괴도 의미한다. 또, 공사용 도로에 대해서는 사람이나 자동차의 통행으로 인한 쓰레기의 투기, 수목·초본식생의 도벌이나 남획 등 주변식생에 적지 않은 영향을 미치게 된다. 또한, 사방댐 시공시 본체 시설의 완성에 따라 하천에 의한 교란체계가 변화하고, 그 결과 시설의 상류부분이나 하류지역 수변식생의 수몰, 물 유입, 토사퇴적으로 인한 다양한 영향이 나타나게 된다. 즉, 토사가 채워지지 않은 댐에서 수발공이 막혔을 경우 등 수심이 얇은 저습지를 만들어 냈으므로써 초본군락이 형성되어 산지의 수변식물을 교란시키게 된다. 시설공사 완료 후에도 댐이나 공사용 도로로 인해 조기에 식생회복이 어렵기 때문에 침식이나 비탈면붕괴를 방지하기 위해서는 외래 녹화수종·초본류를 도입하는 녹화공사가 행해져 이로 인해 주변의 자연식생이 영향을 받게 된다. 그러나 이러한 조치에 의해서도 댐 양쪽 끝부분이나 작업 도로 지역에서는 식생이 회복되지 않고, 장기적으로도 무립목지가 계속 존재하는 경우가 있다. 이와 같이 한번 파괴되어 버린 수변림을 원래의 모습으로 복원시키기에는 많은 노력과 장시간이 필요하게 된다. 한편, 본체 시설의 완성에 따라 하천에 의한 교란체계가 변화하고, 그 결과 시설의 상류측이나 하류측 수변식생의 수몰, 물 유입, 토사퇴적으로 인한 여러 가지 영향이 미치게 된다. 대규모 사방댐의 넓고 개방적인 퇴사부(堆砂敷)에서는 원래 협곡부에는 성립하지 않는 산오리나무 등으로 구성된 임분이 성립하고, 또, 아직 토사가 채워지지 않은 댐에서 수발공이 막혔을 경우 등 수심이 얇은 저습지를 만들어 냈으므로써 초본군락이 형성되어 산지의 수변식물을 교란시키게 된다.

뿐만 아니라 시설공사 완료 후에도 댐이나 공사용 도로로 인해 조기에 식생회복이

곤란하기 때문에 절·성토지 침식이나 비탈면붕괴를 막기 위해서는 위핑러브그라스, 켄터키31웬스큐 등 천연적으로 분포하지 않는 수종이나 외래 녹화수종·초본류를 도입하는 녹화공사가 행해져 이로 인해 주변의 자연식생이 영향을 받게 된다. 그러나 이러한 조치에 의해서도 댐 양쪽 끝부분이나 작업 도로 지역에서는 식생이 회복되지 않고, 장기적으로도 무립목지가 계속 존재하는 경우가 있다. 이와 같이 한번 파괴되어 버린 수변림을 원래의 모습으로 복원시키기에는 많은 노력과 장구한 세월이 필요하게 된다.

또한, 사방댐 등 낙차를 요하는 인공구조물은 동물의 이동에 장애를 발생시킨다. 특히 생활사 중에서 상·하류, 계류와 해양을 왕복하는 회유어에게 있어서는 상류로 이동하는데 장애가 되어 댐의 상류에서는 이들 개체군의 소멸을 야기하기도 한다. 또한, 상류지역에서만 생존하는 개체군도 댐 등으로 인해 분단되면 개체군이 쇠퇴하고, 심한 경우에는 멸종으로 이어질 우려도 있다. 즉, 대규모 사방댐의 축설은 하천 지표수의 연속성을 단절시킬 뿐만 아니라 하상공극수역도 분단하게 된다. 그 결과 수생곤충 등 생물군집에게 영향을 미치고 지상으로 이동하는 동물들에게도 댐으로 인해 회유하는 거리가 길어져 그 영향이 나타난다. 더구나 치산·사방공작물이 설치되는 장소나 그 인근 지역은 식생이 제거되기에 수변림의 보전에 문제가 발생되고 있다. 특히 선상지에서는 유로를 따라 설치되는 유로공(流路工)에 의해서 수변림이 연속적으로 제거되고 있다. 아직까지 우리나라에서 이 부분에 대한 연구는 본격적으로 이루어지지 않고 있지만 하천에서의 구조물 설치로 인한 이러한 피해는 잠정적으로 나타나 있기도 하다. 아울러 우리나라에서 실시하고 있는 사방댐은 대부분이 중력식 사방댐이며, 비투과형이므로 하천 및 계류생태계의 연속성을 유지하기 위한 시설의 개발이 필요하다. 따라서 사방댐은 입지조건에 따른 시공위치를 객관적 기준에 따라 적, 부를 검토하여 사방댐을 기능별로 저사댐 및 이수사방겸용댐으로 구분하여 시공하되 저사댐은 계상물매 완화, 중침식 방지 및 산각을 고정하여 붕괴방지 등 저사기능을 수행하게 하고, 이수사방겸용댐은 산불진화취수원 및 용수공급, 수원함양 등을 위해 가장 효율적인 저수식사방댐 시공방안으로 기존의 방수로를 월류수의 처리 및 어류이동에 적합하게 개량하고 댐방수면을 자연석을 이용하거나 계단식 낙차공을 이용하는 등 환경친화적으로 설계할 필요가 있다.

사방댐 축설에 따른 퇴사지의 발달이나 콘크리트계안은 이와 같은 횡단방향의 연속성을 단절하게 되고, 계류생태계가 사방댐이나 콘크리트계안에 의해서 분단되고 있다. 즉, 사방댐은 단순히 저사·퇴사조절뿐만이 아니라 계상경사의 완화와 중·횡

침식 방지, 유로조정에 의한 횡침식방지, 계상을 높이는 데 따른 산복고정 등도 그 기능이라 할 수 있다. 따라서 확폭부 내에 사방댐을 설치하고 본래의 퇴사역을 저류 장소로 선택하는 것은 합리적이지만, 댐의 폭이 넓어지기 때문에 비경제적이므로 자연히 낮은 댐으로 시공하여야 한다. 따라서 외관상으로는 현재의 계상유지를 목적으로 하는 상고공 또는 대공인 저댐을 배치하고, 계상의 고정, 토사유출 억지를 꾀하는 저댐군공법이 각 지역에서 효과를 발휘하고 있다. 그러나 계류에 서식하는 어류생태계 보전을 위한 환경보전적 측면에서 저댐군 공법이 종래의 유로공과 같이 불안정한 재료로 시공될 우려가 있다. 더욱이 짧은 간격마다 댐을 설치하는 것은 계안의 콘크리트화를 의미하고, 일련의 수평구조물 설치는 전면적, 광역적인 하상의 평탄화를 의미하게 되므로 짧은 간격으로의 댐 설치에 충분한 검토를 통해 시공해야 할 것이다.

#### (나) 유로·계안공사, 사방공사

하천이 산간지역에서 평야지역으로 흘러내리는 지역에서는 유로의 고정이나 범람 방지, 세굴로 인한 토지·가옥 등의 유실방지를 목적으로 하는 유로·계안공사 등의 하천개수가 왕성하게 실시되고 있다. 또한, 이와 같은 장소에서는 하천 주변의 토지이용도 진전되어 경지·택지 등이 하천에까지 이르러 하천 주변의 자연환경도 손상되고, 수변림에 대해서도 거의가 2차림화 되거나 단편화되는 현상이 두드러지게 나타난다. 이러한 선상지 주변에서 실시되고 있는 현재의 유로·계안공사 등의 하천개수사업은 수백 m에서 수 km 범위에서 육상생태계와 하천생태계의 상호작용을 단절하고, 수변의 생태적 기능을 파손하는 결과가 된다. 즉, 유로공사는 기본적으로 하천의 방수화를 의미하고, 유로를 좁게 만들며, 고정해서 육지지역과의 사이에 큰 낙차를 만들어 낸다. 따라서 건설시에는 하천 주변의 식생이 파괴되고, 수변림도 별채되는 경우가 많다. 그 결과 수변을 서식지로 하는 야생식물의 지역개체군이 절멸하는 위험성이 생기고, 수변림은 생태적 회랑의 기능을 잃게 된다.

유로·계안공사는 시설 완공 후 주변에서의 식수나 자연력에 의해 식생 회복이 진행되지만 유로가 좁혀지고, 고정됨으로 인해 범람원이 좁아지거나 소멸해서 다양한 식물종의 서식지가 파괴되거나 소멸되고, 본래의 식생 회복은 곤란하게 된다. 특히, 야계사방을 수행하는 과정도 이러한 하천에서의 유로공사와 마찬가지로 직선화됨으로써 자연스런 주변식생이 파괴되고 2차림화 되는 현상이 발생되고 있다. 또한, 사방 시설을 보호하기 위해서 제방 위 또는 유로 내의 식생 회복, 특히 수림대의 성립을 방지하지 않으면 안 되는데, 이는 수변지역에 고목성의 수림대가 존재할 수 없게 되



기 때문이다. 즉, 제방 위 혹은 후배지에 수변림이 남아 있을 경우에도 하천에 의한 증수나 범람 등 영향을 받지 못하게 되고, 수분환경도 변화하기 때문에 그 조성·구조를 유지하는 것은 어렵게 된다. 뿐만 아니라 미이용지의 유효한 이용을 도모하기 위해 시설 내·외 범람원에서의 공원이나 스포츠시설의 정비가 진척되면, 그나마 남아있던 수변의 자연식생, 수변림조차도 파괴되어 그 복원 장소를 잃게 된다.

특히 유로공은 홍수시에 유수의 파괴력이 증가하여 하상변동이 발생하는 것을 방지하기 위해 하상면을 홍수유량에 대응하여 산정하고 있으나, 갈수·평수와 홍수의 유량차가 크기 때문에 유수가 하폭 전체를 유하하는 경우는 몇 년에 한 번 발생하는 정도이다. 따라서 측안의 일부 구간을 중심으로 친수공법, 친자연공법에 대한 연구가 진행되어 자연적으로 저수로를 만들거나 자연스럽게 사행시키기도 한다. 아울러 유로공은 호안이 급물매인 비탈면은 위화감이 있으므로 환경사인 치산담 계단형 호안을 조성하면 안정감이 있고, 동물, 인간이 수변에 접근하기 쉬운 장점을 가진다. 그러나 이 경우에는 곡류부의 토석류나 홍수에 의한 월류와 수위상승 등을 검토할 필요가 있다.

한편, 토사이동이나 유로변동은 그 시점에 그 곳에서 서식하는 동물에 있어서는 치명적인 교란요인으로 작용하지만, 동시에 그 생물에 있어서 필요 불가결한 서식지를 형성, 유지하는데 도움을 주기도 한다. 그러나 계안 및 유로공사는 이와 같은 동적인 구조를 억지하고, 오히려 토사나 유로를 고정화하는 것을 목적으로 하기 때문에 이러한 야생동·식물 서식지의 근본적인 변화를 가져오는 원인이 된다. 또한, 유로에서 횡단방향의 연속성도 문제가 된다.

사방공사가 계류생태계에 미치는 영향은 다양한데, 그 핵심을 이루는 것은 사방공사가 토사이동이나 유로변동을 발생시킨다는 것이다. 즉, 토사가 이동해서 계류의 모양이 변한다고 하는 환경구조의 동적변화로, 그 구조에 적응하고 있는 생물이 영향을 받는다.

특히 수생곤충에의 영향이 큰 데, 예를 들면 수생곤충의 서식에 있어서는 웅덩이 바닥의 얇은 둔덕·웅덩이로 흘러 들어오는 곳 등 특정 공간이 중요한 서식환경이 되고 있다. 이들 미서식장소는 강의 얇은 곳이나 웅덩이와 같은 곳 사력퇴(砂礫堆)의 특정한 부위에 있다. 강의 얇은 곳, 웅덩이나 사력퇴, 그 자체가 토사이동이나 유로변동에 의존하는 구조이기 때문에 토사이동이나 유로변동의 억제가 군집의 변화에 연결된다. 예를 들면 부유로(副流路)가 형성되도록 유로변동이 관계하고 있다. 복열(複列)사력퇴의 형성영역에서 유로는 복수 형성되는데, 단열(單列)사력퇴와의 경계영

역에서는 명료하게 복수의 유로가 아닌 즉, 홍수시에는 유로가 되지만 평수시에는 오목한 땅(凹地)에 물이 가득 채워지는 부분이 생긴다. 이와 같은 영역은 어느 정도 토사의 공급이나 유송(流送)이 생기는 장소이다. 또한, 수생곤충의 서식장소로 중요한 하상공극수역에서는 땅속이라도 물이 흐르기 쉬워서 간극에 풍부한 퇴적구조를 보전하는 것이 필요하다. 이와 같은 조건은 토사이동이나 유로변동을 통해서 형성된다. 이와 같이 수생곤충의 미서식장소가 형성·유지되기 위해서는 토사의 침식이나 퇴적이 필요하다. 그런데 유로공사와 같은 시설은 유로의 직선화, 호안이나 강바닥의 경화 등에 의해 토사의 침식이나 퇴적을 억지하고, 사행(蛇行)이나 부유로의 형성을 억지하게 된다.

수변림에 대해서도 역시 토사이동이 그 특성의 중요한 요인이 되고 있다. 토사의 침식, 운반, 퇴적이나 비탈면에서의 토사의 공급 등에 의하여 미지형의 파괴와 복원되는 수중, 수령의 복잡한 모자이크형 구조가 만들어진다. 어류에 대해서는 강의 얕은 곳이나 웅덩이 구조는 물론 그것보다도 작은 미서식장소 조건으로서 유속이나 수심의 차이에 따라서 규정되는 다양한 흐름, 수면이나 수중으로 퍼지는 식물체에 의한 피복 등 각각이 발육단계에 따른 서식환경으로서 큰 의미를 가지고 있다. 그리고 산란장소로서 중요한 웅덩이 바닥의 얕은 둔덕에 위치하는 사력저(砂礫低)나 치어의 서식장소로 이용되는 웅덩이 등에 대해서는 토사의 이동에 의해서 형성·유지되는 것이 확실하다.

양서류, 조류나 포유류 등에서는 서식장소의 주요 부분이 계류의 어떤 장소에서도 서식지역 전체는 육지지역과 겹치고 있다. 그들의 계류에의 의존 방식이나 정도는 어류, 수생곤충, 수변식생과는 다르다. 더구나 그들의 생활과 계류 환경구조와의 대응관계에 대해서는 아직 충분하게 연구되지 않았기 때문에 실증적인 인과관계에 근거해서 토목공사의 영향을 명확하게 파악할 수는 없다.

토사이동이나 유로변동은 그 시점에, 그 곳에서 생식하는 동물 개체에 있어서는 치명적인 교란으로 작용하는 면도 있지만, 동시에 그 생물에 있어서 필요 불가결한 서식장소 자체를 형성·유지하는 면이 있다. 그러나 사방댐이나 유로공사는 이와 같은 동적인 구조를 저지하고, 오히려 토사나 유로를 고정화하는 것을 목적으로 하고 있다. 그 때문에 서식장소의 근본적인 변모를 가져오고 있다.

아울러 유로근방에서는 하상공극수역이라는 지하수와 하천수의 중간적인 수역이 있다. 선상지, 범람원, 협곡의 확폭부 등에서는 이와 같은 하상공극수역이 특유의 동물상을 가짐과 동시에 하천수와 지하수 사이의 물질순환에 중요한 역할을 담당하고

있고, 수변에서는 특유한 식생이 분포하고 있어 양자의 사이에서는 애추의 형성이나 세굴에 의한 토사의 제거 등을 통한 상호관계가 존재한다. 즉, 비탈면은 그 바닥이 토사, 유기물, 무기영양염의 공급원이 되고, 유수는 이들을 하류로 운반하고 비탈면 기부를 세굴함으로써 그 상부비탈면의 발달과정에 영향을 미치고 있다. 따라서 유로 및 계안공사가 이러한 생태적 기작을 파괴함으로써 계류 및 하천생태계를 파괴하는 역기능을 하므로 이러한 기능을 보전·복원하기 위한 기술의 개발은 시급하고도 절실하다고 할 수 있다. 따라서 이들 치수 및 이수사업 그리고 사방댐, 유로 및 계안공사 등의 영향은 상류·중류·하류지역에 영향을 미치게 된다.

특히 수변림에 의한 일사차단은 여름철에도 하천수온을 낮게 유지하는 효과가 있다. 하도폭(河道幅)이 좁은 계류역에 있어서는 그 효과가 보다 현저하다. 이 점에서 유로공의 시공에 의해서 유로 부근의 식생이 제거되면 일사에 쏘이는 정도가 증대해 수온상승을 초래한다. 더구나 시공 이전의 수심이나 유로폭의 풍부했던 변화가 한결 같이 평탄하고 얇게 흐르게 된 것도 수온상승의 원인이 된다. 또한, 사방댐 상류의 퇴사면에 있어서는 얇고 넓은 평탄지가 출현한 결과 유로가 일사에 쏘이는 정도를 증대해 수온상승을 초래하게 된다.

결국 계류에서 서식하는 생물에게 수온은 기본적인 환경요소의 하나이고, 이 변화가 생태계에 미치는 영향은 크다. 예를 들어 냉수성 어류들에 있어 수온의 상승은 사활이 걸린 문제이고, 수온변화가 곧 분포지역의 증감으로 이어진다.

뿐만 아니라 사방시설의 설치는 본체 공사만이 아닌 부대적인 토목공사가 행해지는 경우가 많다. 대표적인 것이 인근 도로에서 시공지까지의 설치 도로이다. 때때로 시공지 부근에 자재를 부려놓는 곳이나 간단한 작업장 등이 설치되는 경우도 있다. 이들 공사에 따라 부주의하게 버려지는 흙, 벌채, 중장비에 의한 토양경화 등으로 인해서 계류나 그 부근의 식생, 토양, 소동물의 서식장소가 파괴되는 일이 종종 발생되고 있다. 또한, 비탈면의 조기피복을 위해서 외래식물을 도입하는 경우가 있고, 이로 인한 자연환경의 파괴는 사방공작물 그 자체에 의한 환경파괴와는 다르지만 공사에 수반해서 발생된다는 점에서는 사방공사의 영향이라고도 할 수 있다.

더구나 사방공사의 현장이 깊은 산 속에 있을 경우에는 사방공사에 선행해서 공사 현장에까지 도로를 개설하게 된다. 이 도로개설에 수반하는 계류로의 토사 투기나 민둥산의 확대 등은 사방공사 그 자체의 영향보다도 중대하다. 따라서 계곡에 인공 구조물을 축설할 경우에는 사람이 역지로 진입함에 따라 토양이나 임상(林床)식생의 짓밟힘, 쓰레기 투기, 산채나 산야초(山野草)의 채취·남획, 희소동물·곤충의 채취·

남획, 토석채취, 어류 남획, 인식 부족으로 외래어의 방류나 다른 지역 개체군으로부터의 이입 등 계류생태계의 변화를 초래할 수 있다.

#### ① 상류지역의 변화

상류지역에서 환경에 미치는 영향은 치산사업, 사방사업, 댐사업, 도로사업 그리고 산림의 벌채 등에 따른 변화이다. 특히 사방사업, 치산사업, 도로사업 등은 계곡 주변 산림의 벌채를 동반하기 때문에 수변림으로부터 떨어지는 낙엽·낙지 등은 계류생태계에 영향을 크게 미친다. 즉, 수변림에서 떨어지는 낙엽·낙지는 계류생태계 대부분의 에너지를 공급한다. 또한, 수변림의 그림자는 수온의 상승을 억제해 어류의 은신처를 공급한다. 따라서 이러한 공사로 인한 수변림의 벌채는 어류생태계에 있어 수온의 상승과 먹이 감소를 초래하고 결국 계류생태계에 영향을 미친다.

특히 댐은 계류에서의 직접적인 변화를 가져오고 저수지 생성에 의한 간접적인 영향을 미친다. 직접적인 영향은 서식지의 소실, 새로운 댐저수지의 출현으로 상류와 하류의 분단을 초래한다. 아울러 간접적인 영향은 수온의 변화, 탁수의 장기화, 유량의 안정화, 토사이동량의 변화를 들 수 있다. 또한 생물의 영향에 대해서는 산란장의 감소, 부착염류의 질의 변화, 하도 내의 수림화를 저해하는 요소 등이 있다.

#### ② 중류지역의 변화

중류지역은 하상저하, 하도의 고정화, 유역의 도시화, 포장정비에 대한 영향이 있다. 이들의 변화와 병행하여 생물에 대한 영향이 있는데, 어류의 감소는 도시화가 급속하게 진행되는 일본 동경의 예를 보면 각종 어류가 감소하고, 산란에 지장을 주고 있다. 즉, 치수·이수를 위한 각종 하천사업에 따라 범람원이 소실되고 있다. 즉, 범람원은 산란의 서식장으로써 중요한데, 급격한 도시화로 인하여 범람원이 논이나 각종 개발사업의 장으로 변하게 되고, 포장 정비한 하천은 다른 지천과의 연결성이 단절되어 범람원의 특징을 잃고 있다. 또 하나의 변화는 저류유역 및 여울의 감소를 들 수 있다. 하천개수에 의한 저수로의 고정 및 하도의 수정으로 하안역의 식물대가 사라지게 되어 저류유역의 감소를 초래하고, 이러한 저류유역의 감소는 어류의 서식지를 파괴함으로써 하도의 직선화 및 확폭으로 인해 어류 산란장의 파괴를 초래하고 있다. 즉, 하도 내의 수심이 깊어지는 장소에서는 여울이 사라지게 된다.

용수의 감소도 이러한 영향의 결과인데, 도시화에 따른 비침투역의 증대는 지하수위의 감소 및 호안공작물의 영향에 기인한다. 뿐만 아니라 산지로부터 평야로 연결

되는 하천은 유속이 감소하고 많은 양의 토사가 떨어져 누상지가 발달하는데, 누상지의 하천에는 많은 양의 사력이 퇴적하여 거대한 퇴적지를 형성하는데, 이러한 퇴적지의 감소는 산림과 하천이 만들어내는 고유한 생태계를 변화시키는 요인이 되어 하천생태계에 불리한 영향을 미치게 된다. 즉, 하천 직강화에 따른 이들의 감소는 하천의 안정화에 기반을 둔 치수사업, 이수사업에 따른 영향이라 할 수 있으며, 장기적으로 볼 때는 유량의 안정화 및 하상저하의 원인이 되고, 퇴적지를 서식처로 하는 식물생육환경의 감소를 의미한다.

### ③ 하류지역의 변화

바다에 영향을 미치는 하류지역의 영향은 하상 저하에 의한 염수의 유입, 하구지역의 도시 또는 공업, 항만 개발에 의한 염성습지 및 간조의 감소 등이며, 유하능력 증대에 따른 하도의 수정, 하구역의 환경변화의 영향은 하구역에 영향을 미친다. 또한, 하상 저하에 의한 염수의 역상은 산란장의 감소를 가져오고, 염성습지 및 간조의 감소는 서식지에 의한 동식물 서식지의 감소를 가져올 뿐만 아니라 수질의 변화를 초래한다.

한편, 우리나라의 산림청에서는 매년 50 km이상의 야계사방사업과 70개소이상의 사방댐을 시공하고 있지만, 주요 공법이 과거 황폐한 야계의 침식방지를 위한 공학적 방법에 치중하고 있는 경향이 있다. 물론 아직까지도 일부 야계의 경우 침식이 활발하게 발생하여 침식을 방지하기 위해서는 돌 또는 콘크리트 기슭막이나 콘크리트바닥막이 등과 같은 공학적 구조물이 필요하다. 그러나 과거 사방 시공지로서 안정된 야계나 상류 산림이 울창하여 심각한 침식이 발생할 우려가 없는 야계는 공학적 구조물보다는 그 지역의 생태적 특성을 고려한 생물공학적 시공법을 적용하는 자연친화적 복원기법이 바람직 할 것이다. 생물공학적 시공법은 자연친화적 야계복원 기법의 부분이기 때문이다. 즉, 시공소재를 인공물이 아닌 자연소재를 이용하는 것이 자연친화적 복원기법의 전부는 아니기 때문이다.

궁극적으로 모든 인공구조물은 내구연한이 있기 때문에 야계사방 구조물을 설치하는 것은 항구적인 복원(restoration)이 아니라 한시적인 복구(rehabilitation)에 불과하다. 진정한 의미의 복원은 인위적 또는 자연적으로 훼손된 야계를 그 이전 상태로 완전히 돌려놓는 것이지만 현실적으로 이러한 의미의 복원은 거의 불가능하며, 안정된 생태계와 가능한 자연 상태와 가장 가까운 상태로 복원시킬 뿐이다. 이는 국립공원 계곡 내에 시설한 인공구조물의 경우가 특히 그러하다고 할 수 있다.

(다) 하천의 직선화 공사

자연하천은 수로가 뱀이 기어가는 모양으로 구불구불하게 되어 있어서 riffle-run-pool 및 사주 등의 지형변화가 다양하게 존재한다. 그러나 도시하천은 홍수소통의 치수 목적으로 하도를 직선화시킴으로써 하천 고유의 지형변화가 사라지게 되었다. 여름철 장마 때면 어김없이 대중매체를 통해 도시하천 주변역의 홍수피해 소식을 접하게 되는데, 이는 하도를 직선화시킨다고 해서 홍수방지 효과가 커지게 되는 것이 아님을 의미한다. 오히려 하도의 직선화는 하천의 건천화를 유발하는 요인으로 작용하게 된다. 또한, 다양한 수서생물의 미소서식처가 획일화됨으로써 하천 생태계를 구성하는 생물종이 단순화되는 현상을 유발하게 된다.

(라) 수중보 및 하도시설물 공사

수중보는 홍수 때 상류로부터 급격한 물의 흐름을 일시적으로 정체시키고, 용수를 확보하기 위하여 하천의 중, 하류에 설치하는 구조물이다. 낙차공은 물의 흐름을 정체시키고 하상의 세굴을 방지하기 위해 주로 상류에 설치하는 구조물로 보와 비슷하다. 수중보는 하상구조를 변화시키고, 유속을 저하시킴으로써 서식식생의 변화를 유발한다. 또한, 보의 상류에는 물의 정체와 함께 유기퇴적물이 쌓이게 됨으로써 수질이 악화된다. 무엇보다도 수중보는 수로를 따라 이동성이 강한 생물에 가장 큰 장애요인이 된다. 특히, 산란을 위해 상류로 이동하는 어류에는 치명적인 영향을 미친다. 이와 같은 하천의 횡적 장애물은 유수계에 있어서 가장 중요한 하천의 연속성을 단절시킴으로써 하천생태계의 단편화를 유발하게 된다.

더욱이 도시하천에서는 하도 내에 고가도로나 철로 구조물이 설치되어 있는데, 교각에는 나뭇가지나 비닐, 쓰레기 등이 다량 걸려있어 하천경관을 해치는 요인임은 말할 필요도 없거니와 이들은 또한 물의 흐름을 방해한다. 그리고 수역과 수변역으로 이어지는 생태적 구배가 사라지게 됨으로써 단속적인 생태계가 형성되어 전반적인 생태계의 안정성이 저하되고 있다. 뿐만 아니라 제방은 홍수를 하도 내로 국한시켜서 제내지로의 범람을 방지하는 기능을 가진다. 자연 하천의 제방은 목본식물과 초본식물 그리고 돌이나 바위 등이 어우러진 상태로 여러 곤충과 야생조류 등이 서식하게 된다. 제방의 식생은 하천 둔치의 식생과 유사한 역할을 수행하며, 또한, 하천 상류에서는 나무 그늘로 인해 수온이 낮게 유지되므로 용존산소량을 높게 유지시켜 준다. 그러나 도시하천은 시멘트나 콘크리트를 재료로 축조된 인공제방이 대부분이다. 이러한 인공제방을 따라 도시고속도로가 건설되어 운영되고 있다. 이로 인해

도로에 유류찌꺼기, 자동차 배기가스 등의 유해물질이 누적되어 우기 하천에 유입되어 수질을 악화시키는 요인으로 작용하게 된다. 그리고 도로를 경계로 하천생태계가 단절되는 현상을 겪게 되며, 사람을 포함하여 이동생 생물들의 하천으로의 접근을 제한하게 된다.

또한, 도시하천에서 하천법이나 소하천정비법에 의하여 이루어지고 있는 하천정비공사나 비정기적인 소규모 수변공사 등은 하천생태계에 악영향을 미칠 수 있다. 하천부지나 제방에서의 흐름에 지장을 주는 장애물을 제거하거나 저수로의 장애물을 제거하는 공사 등은 자칫 식생을 제거할 수 있어서 하천의 수질과 서식처에 부정적인 영향을 가져올 수 있다. 하도를 직선화하거나 하폭을 증대시키는 공사는 식생 및 서식처의 파괴를 유발하고 하천의 하상이나 유속 등의 변화를 일으킨다. 하천정비공사시 하천 내로 토사가 유입되어 하천의 투명도를 감소시키거나 부유물질의 증가로 생산자의 광합성 활동에 악영향을 미칠 수도 있다. 이러한 하천정비공사는 치수나 이수 목적의 강하여 하천생태에 대한 고려가 매우 미약하다는 문제점이 내재되어 있다.

#### 라) 야계사방공작물의 기능별 유형화

상기와 같이 야계사방공작물의 경관과의 조화성 평가인자 및 설문조사를 통해 기능별로 유형화 한 결과, 표 97과 같은 기능별 유형화 표를 작성하였다.

표 97. 북한산국립공원 계곡 내에 설치된 야계사방공작물의 유형화를 통한 계류생태계에 미치는 영향, 문제점 및 개선방안

유형	공법	북한산국립공원의 계류생태계에 미치는 영향 (순기능, 역기능), 문제점 및 개선방안
계안 침식 방지 및 고정	조경석기습막이, 돌기습막이, 콘크리트기습막이, 돌망태기습막이, 콘크리트의목기습막이, 돌옹벽, 콘크리트옹벽	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 조경석(자연석, 전석)· 돌기습막이 : 시멘트모르타르로 시공 계곡 경관 훼손 → 자연적인 재료로 메쌓기 시공</li> <li>· 기습막이 : 계안을 수직으로 차단, 계류와 주변 생태계와의 단절로 어류 생태계 악화 → 계단형 또는 완경사형으로 대체</li> <li>· 콘크리트기습막이 : 조경석· 돌기습막이보다 주변 자연경관과 조화되지 않는 대표적인 인공구조물 → 자연적인 재료 전환, 계단 또는 완경사형으로 시공</li> <li>· 돌망태기습막이 : 내구성이 다 되어 철선이 녹이 슬고 상부의 하중을 견디지 못해 허물어지고 있음 → 즉각 보수</li> <li>· FRP기습막이 : 약 40% 정도 노후로 파손되어 계곡경관 저해 → 즉각 철거</li> <li>· 돌옹벽 : 계류변에 상가 및 인가의 옹벽으로 이용 → 장기적으로 북한산국립공원 내에 시설되어 있는 인가 및 상가가 철거될 경우 돌옹벽도 철거</li> <li>· 콘크리트옹벽 : 오페수의 배수로로 이용, 계곡 경관 저해, 계류변과의 차단 → 친환경적 구조물로 대체</li> </ul>
교량 역할 및 홍수 시 하상 침식 방지	콘크리트세월교	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 콘크리트세월교 : 완경사형 전석(자연석, 조경석, 돌)낙차공으로 전환 필요</li> </ul>
계상 종침식 방지, 유속 감쇄	돌바닥막이, 콘크리트바닥막이, 돌망태바닥막이, 돌낙차공, 콘크리트낙차공, 돌망태낙차공	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 돌바닥막이 : 파괴정도 5~40% → 메쌓기로 보수 및 관리</li> <li>· 콘크리트바닥막이 : 계곡경관 저해 → 자연친화적 구조물로 변경</li> <li>· 돌망태바닥막이· 돌망태낙차공 : 산사태 계곡화된 부분에 설치했으나 30% 이상 파손 → 집중호우시 산사태 재발생 우려, 내구성이 요구되는 환경친화적 구조물로 변경</li> <li>· 돌· 콘크리트낙차공 : 경관저해, 상· 하류생태계 차단 → 자연석 이용 경사지게 시공, 친환경적 구조물로 개량(예; 조계산 선암사계곡)</li> </ul>



표 97. 계속

유형	공법	북한산국립공원의 계류생태계에 미치는 영향 (순기능, 역기능), 문제점 및 개선방안
산지 침식 토사역지, 계상안정	돌구곡막이, 돌망태구곡막이	· 돌·돌망태구곡막이 : 산사태로 인해 형성된 계곡에 설치 현재 30~40% 파괴 → 보수 및 편책공법 등 친환경적인 구조물로 변경
계곡의 종·횡침식 방지, 계상안정	돌사방댐, 콘크리트사방댐	· 돌·콘크리트사방댐 : 계곡 하단부에 설치, 계곡과 연결된 등산로 초입부에서 탐방객들에게 조망 불량한 경관 연출 → 어류생태계 고려 콘크리트사방댐보다는 투과형 사방댐, 자연친화형 사방구조물로 변경
계류 변오 폐수수집·배수	콘크리트집수조, 콘크리트도수로, 돌도수로, 돌수로, 콘크리트흡관배수로, PVC배수로	· 돌수로 : 재료 구득 용이, 환경친화적인 구조물로 타 인공구조물의 대체적인 공법으로 적용 가능 · 콘크리트흡관·PVC배수로 : 계곡으로 노출되어 주변 자연경관 저해 → 계곡에서 노출되지 않도록 시공, 암거로 대체

### 3. 야계사방사업에 의한 계류수질 평가

#### 가. 야계수질 분석

조사대상지인 북한산국립공원을 중심으로 야계사방공작물에 의한 수질 변화를 파악하기 위하여 야계사방공작물이 수질변화에 미치는 영향을 파악하고, 자연생태계와의 상호 관계에서 야계사방공작물의 설치 지역에 대한 타당성 조사를 수행하여 계곡 내 야계사방공작물에 따른 수질변화를 조사하고, 각 조사결과를 상호 비교함으로써 종합결과를 도출하였다.

계류변 토양침식 및 유출 특성에 따른 수질의 영향을 분석하기 위하여 상시 계류수가 흐르는 각 계류의 하류 1개 지점을 수질조사지점으로 선정하였다. 또한, 침식토사의 유출특성을 분석하기 위하여 우이동계곡을 표본 대상으로 상시 계류수가 흐르는 상류유역 2개 지점, 하류유역 2개 지점을 선정 2006년 동결융해침식토사가 유출하는 3, 4, 5월에 각기 1회 각 조사지점에서 계류수를 1ℓ씩 채수하여 수질 분석하였다. 용설수의 화학성에 영향이 큰 상주로 인해 동결융해 침식되는 계류변 토양의 화학적 특성을 분석하기 위하여 계류로부터 좌·우측사면으로 구분하였다. 아울러 산지사면의 경사가 변하는 지점까지의 거리를 평균하여 계류 유하 방향으로부터 좌·우 각각 1m, 2m, 3m 총 6개 지점에서 동결융해침식토사를 500g 채취하여 원심분리한 후 채취한 용액을 이온 분석하였다. 한편, 계류변에서 상주로 인한 동결융해침식된 토사가 계류로 유출되는 유출토사량은 각각의 수질조사지점에서 채수된 물에 포함되어 있는 부유토사를 무게를 측정된 거름종이에 걸러 건조시킨 후 전자식 정밀저울로 무게를 측정하여 단위 ℓ당 평균유출토사량으로 계산하였다.

계류수의 수질분석은 2006년 계절별로 조사·분석하였으며 갈수기인 2006년 11월부터 2007년 3월에는 수량부족 및 동결로 수질분석이 불가능하여 제외하였다. 또한, 선행연구결과 계류수질 평가인자라 판단되는 pH(HI 8314 Membrane pH meter), 전기전도도(Conductivity meter)는 현장에서 측정하였으며, 양이온( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) 5개 항목, 음이온( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) 3개 항목 등 총 8개 항목에 대하여는 시료를 Ice Box에 보관한 후 실험실에 가져와 0.45 $\mu\text{m}$ 의 필터에 각각 2회 통과시킨 후 Ion Chromatography로 분석하였다. 토양용액은 계류수질과 동일한 방법으로 동일한 항목에 대하여 분석하였다. 또한, 계곡 내 야계사방공작물에 의한 수질변동 조사결과를 상호 비교하기 위하여 각 계류에서의 계류수질 분석 결과를 spss/pc+를 이용하여 회귀 분석하였으며, 야계사방사업지에 대하여 분석된 전기전도도를 기준으

로 1 : 25,000 지형도에 수질도를 작성하였다.

1) 유역개황

북한산국립공원의 계곡 내에 야계사방공작물이 설치되어 있는 크고 작은 35개의 계곡에 대한 수문상황을 분석해 보면(표 98), 하천차수는 무수골계곡 등 8개 계곡이 3차하천으로 구성되어 있고, 불광계곡 등 7개 계곡이 1차하천으로 이루어져 있으며, 나머지 20개 계곡은 2차하천으로 이루어져 있다.

표 98. 북한산국립공원의 유역 개황

계곡명	하천차수	평균유량 (m <sup>3</sup> /sec)	유로연장 (km, L)	유역면적 (km <sup>2</sup> , A)
우이동계곡	3차하천	0.38	4.95	3.53
천주교묘계곡	2차하천	0.01	1.15	0.37
법화사계곡	2차하천	0.08	1.40	0.61
사슴약수계곡	2차하천	0.03	0.20	0.16
육모정계곡	2차하천	0.26	7.70	3.33
무수골계곡	3차하천	0.21	8.00	3.64
도봉 계곡	3차하천	0.07	9.00	3.71
다락원계곡	2차하천	0.02	0.60	0.20
덕천사계곡	1차하천	0.00	0.30	0.10
인강초교1	2차하천	0.02	0.80	0.20
인강초교2	1차하천	0.00	1.40	0.43
원도봉계곡	2차하천	0.07	4.00	1.64
안말 계곡	2차하천	0.01	0.90	0.57
호암사계곡	1차하천	0.01	0.22	0.21
회룡골계곡	2차하천	0.03	7.80	2.00
안골 계곡	2차하천	0.03	5.20	1.63
상직1 계곡	2차하천	0.00	0.30	0.06
상직2 계곡	1차하천	0.00	1.45	0.33
울대 계곡	2차하천	0.00	0.80	0.30
원각사계곡	2차하천	0.03	4.80	1.06
송추 계곡	3차하천	0.08	2.50	4.27
효자리계곡	3차하천	0.15	8.10	4.54
밤골 계곡	2차하천	0.07	2.05	0.87
북한산성계곡	3차하천	0.08	6.80	4.46
백화사계곡	2차하천	0.01	2.50	1.53
삼천사계곡	2차하천	0.07	2.40	2.35
진관사계곡	2차하천	0.05	3.10	1.78
불광 계곡	1차하천	0.21	1.50	0.52
비봉 계곡	1차하천	0.20	0.80	0.58
구기 계곡	3차하천	0.25	3.40	1.89
평창 계곡	2차하천	0.21	1.50	1.19
정릉 계곡	2차하천	0.28	3.50	2.60
빨래골계곡	1차하천	0.01	0.41	0.40
구천 계곡	3차하천	0.31	1.80	1.30
백련사계곡	2차하천	0.19	1.35	0.40

평균유량은 우이동계곡이 0.38m<sup>3</sup>/sec로 가장 많았으며, 다음으로는 구천계곡(0.31m<sup>3</sup>/sec), 정릉계곡(0.28m<sup>3</sup>/sec), 육모정계곡(0.26m<sup>3</sup>/sec), 구기계곡(0.25m<sup>3</sup>/sec)의 순이었다. 그러나 대부분의 평균유량 조사시기가 갈수기와 홍수기에 따라 유량이 달랐기 때문에 실제 계곡의 유로연장이 길고 유역면적이 크다고 하더라도 갈수기에 조사된

값과 홍수기에 조사된 값이 달랐다. 따라서 평균유량의 차이는 유로연장과 유역면적과는 비교적 상이한 결과를 나타내었다. 유로연장은 도봉계곡이 9.0km로 가장 길었고, 다음으로는 효자리계곡(8.1km), 무수골계곡(8.0km), 회룡골계곡(7.8km), 육모정계곡(7.7km), 북한산성계곡(6.8km), 안골계곡(5.20km), 우이동계곡(4.9km), 원도봉계곡(4.0km), 정릉계곡(3.5km), 구기계곡(3.4km), 진관사계곡(3.1km) 순이었다. 그러나 사슴약수계곡(0.2km), 다락원계곡(0.6km), 덕천사계곡(0.3km), 인강초교1계곡(0.8km), 안말계곡(0.9km), 호암사계곡(0.2km), 상직1계곡(0.3km), 울대계곡(0.8km), 비봉계곡(0.8km), 빨래골계곡(0.4km) 등은 유로연장이 1km 이내인 계곡으로 북한산국립공원 내에 산재해 있는 다른 계곡보다는 비교적 유로연장이 짧은 계곡이었다.

## 2) 야계사방공작물이 계류수질에 미치는 영향

북한산국립공원 내 계곡에서 야계사방공작물이 계류수질에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 각 야계사방공작물의 위치에 따른 상·하류의 영향을 분석하여야 하는데 2006년 5월 우이동계곡을 대상으로 돌기습막이, 콘크리트옹벽 등의 개별 야계사방공작물의 상·하류에서 수질을 분석한 결과 상·하류간의 수질은 차이가 없었다. 이와 같은 결과는 각 개별 야계사방공작물이 수질에 크게 영향하지 않았기 때문인 것으로 해석된다. 그러나 각 계곡에 설치되어 있는 야계사방공작물은 공중·공법에 있어 다양하고, 그 영향은 개별 야계사방공작물에 의한 영향보다는 전체적인 영향이 미치는 것으로 생각된다. 따라서 이를 구별하기 위해서는 야계사방공작물이 설치되어 있지 않는 상류 계곡과 야계사방공작물이 집중적으로 배치되어 있는 하류지역으로 구분하여 조사할 필요가 있다.

우이동계곡의 상류유역(수질조사지점 3과 4)과 하류유역(수질조사지점 1과 2)으로 구분하여 동결융해침식과 계류수질과의 관계를 분석하기 위해 2006년 3월부터 5월까지 그리고 일반적인 계절별 계류수질 분석을 위해 2006년 5월부터 2006년 11월까지 수질 분석한 결과를 평균한 값을 분석하였다. 그러나 2006년 12월부터 2007년 3월까지의 동결기 및 갈수기로 계곡에서 수질 채수가 불가능하여 수질분석을 할 수 없었다. 야계사방공작물이 설치되어 있지 않은 상류계곡의 평균 pH는 6.50(6.03~6.61)로 보건복지부 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급수의 범위 내였으며, 하류유역의 평균 pH도 6.56(6.49~6.62)으로 보건복지부 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급수의 범위 내였으나 상류유역보다는 비교적 높은 값이었다. 특히 갈수기에 해당하는 3월의 경우 상류계곡의 pH는 6.03과 6.12 등 pH가 비교적 낮게 나타났는데, 이는 동

결융해침식토사의 유입 그리고 낙엽 낙지 등의 유입으로 인한 음이온성분의 용존량 증가, 계류수량의 감소 등에 기인한 결과로 판단된다. 그러나 계류수량이 증가하고 낙엽 낙지의 유입 영향이 적게 나타나는 여름철 홍수기에는 계류수의 pH가 높아지는 것으로 나타났다(표 99, 그림 40).

표 99. 조사기간 중 우이동계곡의 계류수의 pH

Distribution	site 1	site 2	site 3	site 4
2006. March	6.12	6.03	6.49	6.62
2006. May	6.45	6.48	6.54	6.53
2006. June	6.59	6.57	6.6	6.55
2006. September	6.6	6.61	6.57	6.6
2006. November	6.51	6.52	6.55	6.57

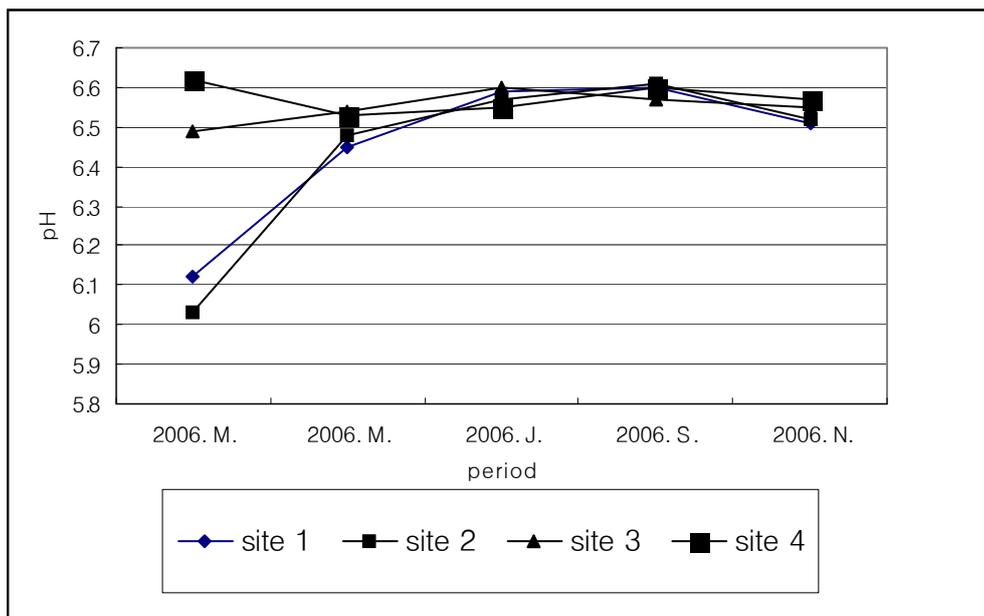


그림 40. 우이동계곡의 계류수의 pH 변화

한편, 조사기간 중 계류수의 전기전도도(Electrical conductivity, uS/cm)는 상류계곡에서 평균 59.4(55.3~69.3)uS/cm이었으나, 하류계곡에서는 125.3(78.4~205.2)uS/cm로 나타나 상류계곡보다 약 2.1배에 달하는 값을 나타내었는데, 이는 상류계곡으로부터 유입되는 낙엽 낙지, 침식토사 그리고 하류에 연결해 있는 인근 야

영장 및 음식점 등에서의 영향 때문인 것으로 생각된다(표 100, 그림 41).

표 100. 조사기간 중 계류수의 전기전도도

Distribution	site 1	site 2	site 3	site 4
2006. March	55.3	56.3	78.4	132.4
2006. May	69.3	65.5	205.2	160.5
2006. June	56.2	56.3	105.3	130.6
2006. September	55.3	56.3	120.1	145.3
2006. November	61.3	62.5	119.3	156.3

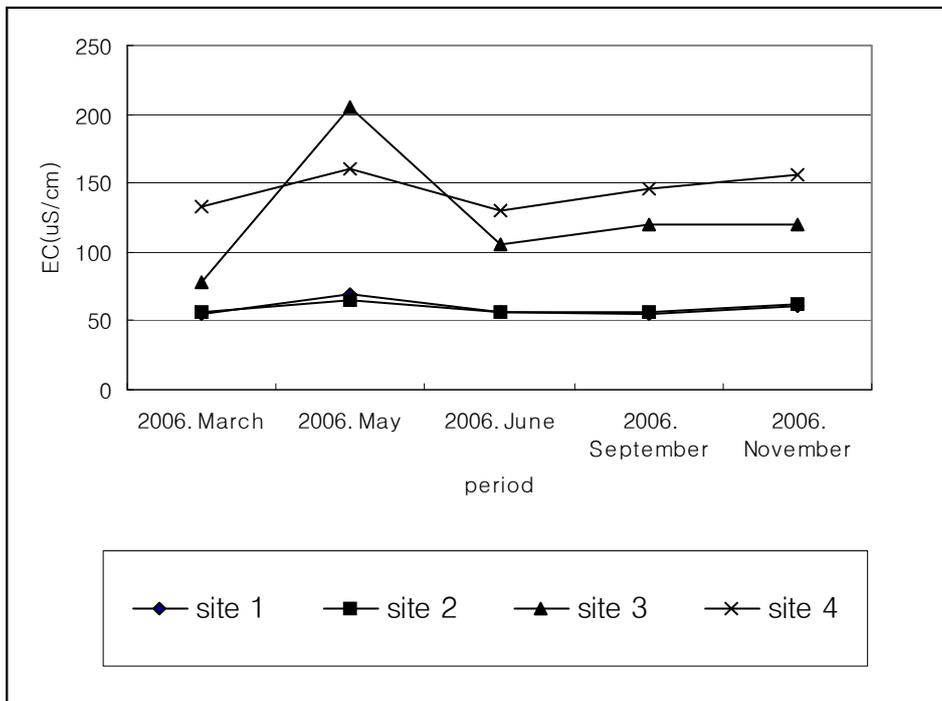


그림 41. 우이동계곡의 계류수의 전기전도도 변화

그러나 이렇게 상류와 하류에서의 전기전도도 값의 차이는 계곡 내에 설치되어 있는 야계사방공작물의 영향뿐만 아니라 계곡 주변에 위치하여 있는 휴게소, 음식점, 사찰 등에서 유출한 오폐수의 영향이 포함된 것으로 엄밀하게 계곡 내에 설치되어 있는 야계사방공작물의 영향이라고는 판단할 수 없다. 특히 계곡 내에 설치되어 있

는 야계사방공작물이 계류수질에 영향을 미칠 수 있다고 판단되는 부분은 대부분 시멘트콘크리트구조물이며, 이들 시멘트콘크리트구조물은 시공 후 약 3년이 경과하면 그 영향은 극히 미미하게 되고, 또한 북한산국립공원의 계곡 내에 설치되어 있는 시멘트콘크리트구조물은 시공 한 지 3년이 이미 경과한 구조물들이기 때문에 이들 야계사방공작물이 계류수질에 크게 영향을 미친 것은 아니라고 판단된다. 즉, 이와 같은 결과는 계곡 내에 설치된 야계사방공작물에서 유출된 이온성분 때문이라고 판단하기보다는 계곡 인근에 위치한 사찰, 음식점 등에서 유출한 오폐수의 영향이 큰 데기인한 결과 때문이라 생각된다. 따라서 장기적으로 계곡 내에 설치된 야계사방공작물이 수질에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 야계사방공작물 설치 전·후에 대한 정기적인 수질모니터링이 필요하며, 그에 앞서 계곡 인근에 위치한 사찰, 음식점 등에서의 오폐수 유출을 근절하는 것이 국립공원의 계류수질 보존을 위한 우선적인 방법이라 생각된다. 한편, 북한산국립공원 계곡 내에 야계사방공작물이 설치되어 있는 35개 크고 작은 계곡을 대상으로 계류수량이 충분하여 수질분석이 가능하고 또한, 갈수시에도 일정한 수심을 유지하고 있는 우이동계곡 등 26개 계곡에서 5월과 8월 2차례에 걸쳐 계류수질을 분석 평균한 결과는 표 101과 같다. 수질분석결과 평균 pH는 6.66(6.45~6.89)로 하천수질환경기준 상수원수 1급수의 범위 내였으며, 평균 전기전도도는 77.5(37.4~133.1) $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 인위적 오염이 없는 청정한 산림내 계류수인 지리산 칠선계곡, 백무동계곡, 뱀사골계곡의 전기전도도 19.7~73.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (전상린과 황종서, 1993), 소백산국립공원내 계류수의 전기전도도 27.0~40.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (전상린과 황종서, 1995)보다 높게 나타났는데, 이와 같은 결과는 전기전도도가 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$  이상으로 유원지화 되어 가는 육모정계곡, 도봉산계곡, 빨래골계곡, 회룡계곡, 원도봉산계곡, 송추계곡하류, 북한산성계곡, 백화사계곡, 진관사계곡 등의 하류유역이 영향한데 따른 결과라 생각된다. 즉, 이들 계곡은 대부분 야계사방공작물이 설치되어 있는 하류유역에 음식점, 사찰 등이 설치되어 있고 또한, 이들 지역에서 유출하는 오폐수로 인해 계류수질이 나빠지는 결과를 초래하고 있어 이들 계곡의 관리가 시급하다고 생각된다.

특히 전기전도도가 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$  이상으로 오염이 상당히 진행되고 있는 하류유역을 가지는 빨래골계곡, 진관사계곡 등은 계류수질보전을 위한 특별관리가 필요하다고 생각된다. 특히 송추계곡은 상류유역의 계곡휴식년제가 실시되고 있는 구간은 평균 전기전도도가 53.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 인위적 오염이 없는 청정한 산림유역 내 계류인 지리산 칠선계곡, 백무동계곡, 뱀사골계곡의 전기전도도 19.7~73.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (전상린과 황종서,



1993), 소백산국립공원 내 계류수의 전기전도도 27.0~40.0 $\mu$ S/cm(전상린과 황중서, 1995)와 유사한 결과를 나타내는 청정한 계류로 하류유역과는 대조적인 결과를 나타내고 있다. 이는 하류유역에 산재해 있는 음식점, 사찰 등의 영향이 큰 데 기인한 결과라 생각되며, 특히 여름철 행락객의 유입을 차단할 수 있는 대책이 필요한 계곡으로 사료된다. 또한, 환경부와 국립공원관리공단이 합동으로 2001, 2002년에 조사한 결과에 따르면(한국일보, 2002) 국립공원 81개 계곡에 대한 수질 측정 결과 북한산국립공원의 송추계곡은 생물화학적 산소요구량(BOD, ppm)이 0.13, 정릉계곡은 0.25, 우이동계곡은 0.28로 모두 보건복지부 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급수인 것으로 나타났는데, 이 결과는 모두 상류 인위적 오염이 없었던 지역에서 조사한 결과인 것으로 생각된다. 따라서 북한산국립공원의 계류수질 보존을 위해서는 하류지역에 대한 관리가 중요하며, 특히 하류지역에 산재해 있는 음식점 등의 오폐수 유출에 대한 관리가 중요하다고 생각된다.

표 101. 조사 지역내 각 계곡의 계류수질 비교

구분	pH	EC	Cl	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
		μS/cm	mg/ℓ							
백련사계곡	6.64	43.2	1.93	5.3	6.3	3.1	0.00	0.52	1.51	11.1
구천계곡	6.61	55.2	5.20	4.2	9.5	6.2	0.00	0.34	1.25	9.49
육모정계곡	6.78	111.3	8.51	6.24	12.2	9.6	0.00	1.3	1.31	13.2
도봉산계곡	6.45	121.2	8.00	4.63	11.4	9.5	0.00	1.54	1.10	22.2
빨래골계곡	6.67	133.1	10.0	6.32	13.8	14.4	0.00	1.53	1.38	24.7
안골계곡	6.66	53.3	2.65	1.24	4.5	4.6	0.00	0.30	1.34	15.4
원각사계곡	6.71	58.2	3.56	1.5	5.6	5.2	0.00	0.41	1.39	11.3
회룡계곡	6.89	111.1	6.95	4.05	9.6	6.1	0.00	1.27	1.62	19.5
안말계곡	6.67	81.7	5.73	4.62	6.23	7.2	0.00	1.04	1.23	11.2
원도봉산계곡	6.87	123.1	10.4	12.3	10.5	8.5	0.00	2.18	1.45	20.4
송추계곡 (하류)	6.89	111.5	18.6	5.5	10.2	12.1	0.00	2.50	2.14	25.3
송추계곡 (상류)	6.68	53.1	2.44	1.7	4.3	5.0	0.00	0.59	1.20	2.35
사기막골계곡	6.55	42.3	3.29	3.42	5.5	6.4	0.00	0.38	1.55	5.29
밤골계곡	6.56	55.1	2.59	2.35	4.54	4.5	0.00	0.35	1.34	5.22
북한산성계곡	6.58	101.4	12.6	12.5	7.23	9.6	0.00	1.29	1.62	11.3
백화사계곡	6.67	113.2	14.5	13.6	10.1	9.4	0.14	1.35	1.25	12.4
삼천사계곡	6.66	65.2	10.0	6.75	7.6	5.3	0.00	1.24	1.43	11.2
진관사계곡	6.72	133.1	11.2	14.2	8.3	10.7	0.00	1.29	2.25	20.5
정릉계곡	6.56	42.1	2.44	2.6	3.5	2.3	0.00	0.56	1.23	3.34
평창계곡	6.66	58.2	2.55	3.5	3.4	2.5	0.00	0.55	1.35	3.43
구기계곡	6.66	56.7	2.67	4.2	3.8	2.5	0.00	0.45	1.23	1.34
비봉계곡	6.57	53.2	2.51	3.6	3.1	2.2	0.00	0.34	0.48	1.50
불광계곡	6.54	45.6	2.1	2.7	3.6	2.1	0.00	0.34	0.49	1.35
무수골계곡	6.63	37.4	2.1	2.5	2.8	2.1	0.00	0.35	0.54	1.35

또한, 등산로에 설치되어 있는 방부 처리된 목책 및 목재다리에서 유출된 화학성분들이 근래에 들어 넓게는 지구환경, 좁게는 설치 지역 주변의 산림토양을 오염시켜 궁극적으로 계류수질을 오염시킨다는 우려 등으로 사회문제로 대두되는 기회가 많아졌다. 목재보존제의 경우 재료의 내구성을 증대시켜 재료의 수명이 연장되고, 궁극적으로는 산림자원의 보호 및 지구환경보전에 기여도가 막대함에도 불구하고 약제의 환경오염 위험성 때문에 그 사용이 매우 민감해져 있는 상황이다. 즉, 미국의 경우는 환경오염을 문제시하여 비소화합물, PCA, Creosote 등을 사용제한 약제로 분류하기는 하나 EPA(Environmental Protection Agency)의 기준에 적합한 산업체에서만 처리를 허락함으로써 안전 사용 지도에 주력하는 상황이다. 처리공장에서는 약제 누출이나 토양오염에 엄격한 기준을 세우고 있고, 그에 대응하기 위해 많은 재원을 들

여 안전성 확보에 노력하고 있다. 또한, CCA(Chromated Copper Arsenate; 크롬, 구리, 비소화합물계)처리제의 무해화 연구나 사용 중 약제의 용탈을 막기 위해 정착성을 높이고 처리에서 폐기까지의 책임을 철저히 관리함으로써 환경오염의 영향을 줄이는데 주력하고 있다. 미국시장에서 저독성 신규 약제는 실내시험은 물론 실제 장기간에 걸친 옥외노출시험에서 기준 이상의 품질인증을 받아야 하고, 최소 20년 또는 50년 정도의 내후성이 보장되도록 하는 것들이 그러한 노력의 한 예라 할 수 있다.

우리나라에서는 KS에 등록되어진 목재방부제가 12가지 있으며, 가장 많이 사용하고 있는 것은 크롬, 구리, 비소(또는 붕소)화합물계(CCA) 목재방부제와 Creosote이다. 즉, CCA가 주로 사용되고 있는 이유는 우선 처리제에서 냄새가 나지 않고, 처리시 증기압의 발생이 거의 없으며, 처리제의 표면에 도장이 쉽다는 점을 들 수 있다. 또 낮은 흡수량에서는 목재의 재색을 거의 변화시키지 않으며, 목재 내에 방부제의 유효성분이 목재조직과 결합하고 물불용해성으로 바뀌기 때문에 물이나 토양과 접하는 곳에 사용하여도 용탈이 거의 없다는 특징을 가지고 있다. 따라서 CCA처리제는 내장재에도 사용되고, 텍크의 받침목재, 마루 받침목 등에도 널리 사용되고 있다. 임업연구원(이동흡, 2001)의 연구결과에 의하면 CCA처리제의 유효성분 용탈농도는 환경부에서 제시한 오염물질배출허용기준 '가'지역(비소 0.5mg/l 이하, 크롬 2mg/l 이하, 구리 3mg/l 이하), 폐기물관리법용출시험기준(비소 1.5mg/l 이하, 크롬 1.5mg/l 이하, 구리 3.0mg/l 이하) 이하였고, 비소의 용탈은 환경부의 먹는물수질기준 및 검사에 관한 규칙(비소허용치 0.05mg/l) 이하의 농도였다. 또한, 용탈을 끝낸 시료의 토양을 상층, 중층, 하층부로 구분하여 토양 내에 축적되어진 유효성분을 검토한 결과, 축적되어진 유효성분의 양은 중간층(표토로부터 15cm안쪽)이 상층부나 하층부보다 높았고, 이는 환경부 토양환경보전법시행규칙에 의한 토양오염대책기준(비소 15mg/l 이하, 6가크롬 10mg/l 이하, 구리 125mg/l 이하)은 물론 토양오염우려기준 '가'지역(비소 6mg/l 이하, 6가크롬 4mg/l 이하, 구리 50mg/l 이하) 이하의 농도가 검출되어 CCA방부처리제를 토양과 접촉하는 곳에 사용하여도 방부처리제 사용으로 인한 환경오염을 유발할 가능성은 없는 것으로 나타났다. 더욱이 미국 환경보호청의 CCA방부처리제의 인체 안정성에 관한 각종 보고서에도 불구하고, CCA방부처리제를 어린이 놀이터 등 사람과 접촉이 잦은 곳에 사용할 때 인체에 유해하지 않느냐는 염려를 갖고 있는 것이 일반적이다. 이러한 염려에 배려하여 CCA방부처리제를 어린이놀이터에 사용할 때 혹시라도 어린아이들이 목재를 훔아먹을 수 있다는 가정과 피부에 땀이 난 상태에서 맨살

과 접촉하였을 때 신체에 방부제의 유효성분이 묻어날 수 있다는 가정에서 접촉안정성 시험을 실험실 조건에서 실시하였다. 또한, CCA방부처리제를 가축 등이 강하게 핥을 수 있다는 최악의 조건을 가정하여 연구한 결과 CCA방부처리제에서 용탈되어지는 유효성분의 농도는 비소 0.012mg/ℓ, 크롬 1.99mg/ℓ, 구리 2.81mg/ℓ로 여하한 경우에도 유효농도가 환경부의 오염물질배출허용 '가'지역기준(비소 0.5mg/ℓ 이하, 크롬 2mg/ℓ 이하, 구리 3mg/ℓ 이하)을 초과하지 않았다. 특히 비소의 용탈에 대해서도 환경부가 제시한 먹는 물 수질기준 및 검사에 관한 규칙 이하의 농도가 검출되었다. 따라서 장기적인 접촉 및 흡입에 대해서도 인축(人畜)에 대하여 안전하다고 판명되었다. 뿐만 아니라 CCA방부처리제는 약제의 유효성분이 고착반응을 일으킨 이후에는 거의 용탈되어지지 않기 때문에 물 또는 토양과 접하는 환경(H4-H5)에서 사용하도록 산림청고시 '목재의 방부·방충처리기준'을 설정하고 있다. 여기에서 CCA방부처리제는 다릿발로 사용하였을 때 방부제의 유효성분이 수생태계에 영향을 미치고, 수계 환경오염을 일으킬 수 있다는 가정에서 CCA방부처리제를 KS방부효력시험 중 내후 조작방법에 근거하여 유속이 있는 물에 24시간 침지하고, 그 물에서 수생생물의 급성독성 또는 생육저해정도를 측정하였다. 이 결과 용탈액에 대한 평균치사율이 무처리제 용탈액이나 대조구보다 낮았으며, 저니토 생물갈다구에 대한 독성은 전혀 없는 것으로 나타났다(이동흡, 2001). 더욱이 국립공원 지역 내에 설치된 목재난간, 목재다리 등으로 이용되는 목재에 처리한 CCA방부처리제는 사용 후 폐기하는 시점이 최소 20년 이상이 되고, 이 기간 중에 방부제의 유효성분이 매우 서서히 용탈되어 나온다. 따라서 폐기시점에서는 목재 중에 방부제의 유효성분이 거의 없어졌기 때문에 생물체의 공격을 받게 되고, 사용불능 상태가 되면 폐기처분되는 것이 일반적이다. 따라서 CCA처리 폐재를 가장 안정적으로 처리하기 위해서는 연소과정을 조심스럽게 조절하고, 방출물질을 적절히 취급하며, 회분을 환경에 완전히 안전하게 처분하도록 하고, 혼합시멘트 원료 내의 금속 안정성, 난연성과 경량재료로 요구되는 특별한 용도에서의 경제성 등을 고려하여 목질시멘트보드의 제조가 필요하다.

결국 완벽하게 방부 처리된 목재로부터 유출되는 화학 성분은 극히 미량이며, 인체에 유해한 영향을 미치지 않는 것으로 보고 되어 있고(Albuquerque and Cragg, 1995; Baldwin et al., 1996; Brown and Eaton, 2000; Brown et al., 2000; Cookson et al., 1996), Henningson과 Carlsson(1984)은 2~4년 정도 사용된 CCA 처리제 주변의 토양을 분석한 결과 방부제 성분들에 의한 토양오염은 발견하지 못하였다고 보고하였다. 아울러 김재진(1992)은 pH 4.0 이상의 산성수에 의한 CCA의 용탈은 큰 문

제가 되지 않았다고 보고하였다. 또한, 목재 다리에 설치한 타이어매트나 재생고무 깔판은 겨울 등반에 따른 아이징의 사용으로 목재가 찍히거나 파여 장기적으로는 목재가 노화되고 부후하는 것을 사전에 방지할 목적으로 사용되는데, 강수시 여기에서 유출되는 화학성분이 계류수질에 영향을 줄 것으로 생각되나 이도 역시 극히 미미할 것으로 생각된다. 그러나 이에 대한 영향에 대하여는 장기적인 관점에서 연구 검토 되어져야 할 것으로 생각된다.

가) 계류수의 수질특성에 영향하는 동결융해침식 토사 분석

(1) 유출토사량

동결융해침식에 영향하는 기간 동안 융설수에 동반하여 계류로 유입되는 동결융해 침식 토사량은 계류수질 변동에 큰 영향을 미친다(Soulsby et al., 1997; Stottlemeyer and Toczydlowski, 1999; 박재현, 2001). 조사기간 동안 북한산국립공원 계류변에서 동결융해침식 되어 계류로 유출된 토사량은 표 102와 같다.

표 102. 조사구역에서의 평균 유출토사량

No.	Year	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4
Quantity of runoff erosion soil (kg/m <sup>2</sup> )	2006	0.33	0.26	0.44	0.68

조사기간 동안 계류변 비탈면에서 동결융해침식 되어 유출된 토사량은 2006년에 상류구역에서 0.26~0.33kg/m<sup>2</sup>이었으며, 하류구역에서는 0.44~0.68kg/m<sup>2</sup>이었다. 아울러 동결융해침식 되어 유출된 토사량은 하류구역이 상류구역에서 보다 약 1.3~2.6배 많았는데, 이는 하류구역에서 융설수에 의한 유량이 많고 이로 인하여 계류변에서 동결융해침식 된 토사가 계류로 흘러 내려갔기 때문으로 생각된다.

(2) 동결융해침식 토사가 계류수질에 미치는 영향

동결융해기간 동안 계류수의 수질특성 중 산성화에 영향하는 동결융해침식 토사에 용존되어 있는 이온총량을 나타내는 전기전도도(Stottlemeyer and Toczydlowski, 1999; Heuer et al., 1999; Murdoch et al., 2000)를 분석한 결과는 표 103과 같다.

표 103. 동결융해침식토사에 의한 유출토사의 평균 pH, 전기전도도

조사지 번호	평균 pH			전기전도도 (μS/cm)		
	1	2	3	1	2	3
1	5.41	5.56	5.48	64.2	67.0	64.3
2	5.32	5.46	5.45	61.5	72.3	65.3
3	5.42	5.59	5.56	161.2	165.2	172.3
4	5.43	5.57	5.56	156.7	155.4	160.9

사면에서 동결융해침식 된 토사의 평균 pH는 상류유역과 하류유역에서 모두 5.32~5.59의 범위로 모두 약산성을 나타내었으며, 하류유역의 평균 pH는 상류유역보다 비교적 높은 pH를 나타내었는데, 이와 같은 결과는 하류유역에서의 유량의 증가, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 등 용존 양이온의 상대적인 증가 등에 기인하는 결과 때문이라 생각된다. 이와 같이 동결융해기간 동안 계류수의 pH가 약산성을 나타내는 것은 동결융해 침식 토사가 계류로 유출되면서 계류수의 pH에 영향함을 의미하는 것이다. 즉, Murdoch et al.(2000), Maeda et al.(1994)은 봄에 기온의 상승으로 인하여 유출된 용설수 및 동결융해침식토양이 계류로 유입되면 계류수질 저하에 영향을 미치고, 이로 인해 수생태계에 까지 좋지 않은 영향을 미친다고 하였는데, 이 연구에서도 그와 같은 결과를 나타내었다. 그림 8과 같이 동결융해침식 토사의 평균 pH와 계류수의 pH를 직선회귀 분석한 결과 계류수의 pH는 동결융해침식 토사의 평균 pH와는 정의 상관관계를 나타내었고, 88%의 설명력을 나타내었다. 이를 직선회귀식으로 나타내면, 계류수의 pH = 0.8321 x 동결융해침식 토사의 평균 pH + 1.9267(R<sup>2</sup> = 0.88)이었다.

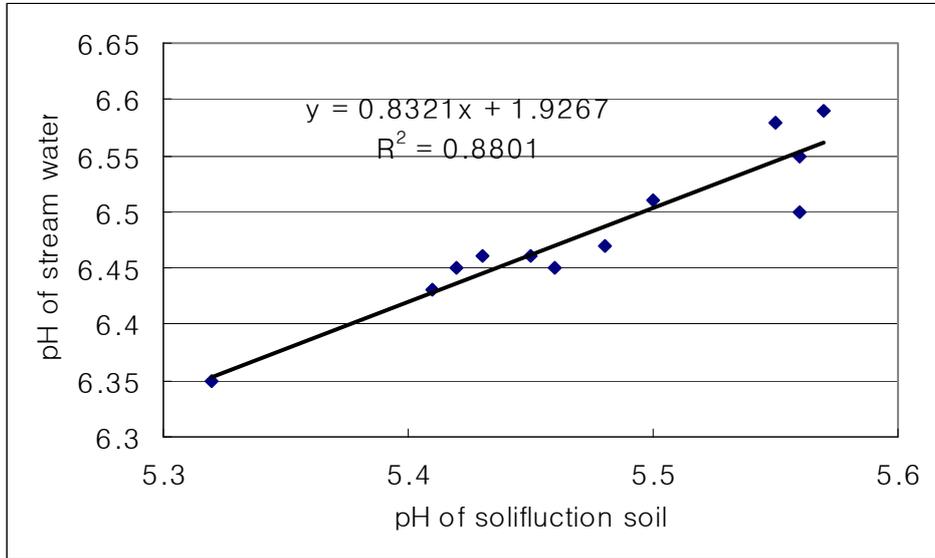


그림 42. 동결융해침식토사와 계류수의 pH에 관한 직선회귀분석 결과

나) 동결융해기간 동안 조사구역에서 계류수의 수질특성

(1) pH

각 수질조사지점에서 계류수의 pH 변화는 그림 43과 같다. I 구역과 II 구역 내 4 개 수질조사지점에서의 수질분석 결과 평균 pH는 pH 6.46(6.32~6.59)으로 그 변화 폭이 적고 보건복지부 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급수에 접근하는 약산성을 띠는 경향을 나타내었다.

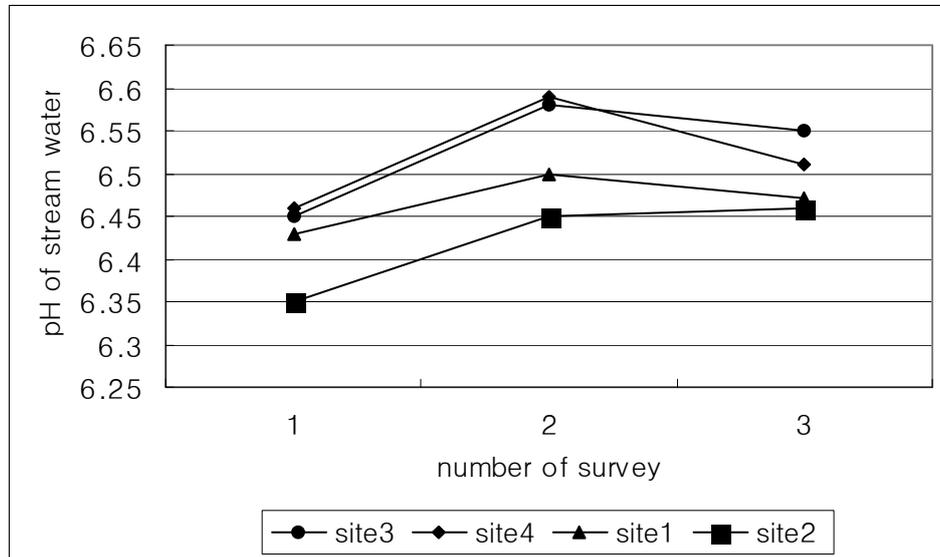


그림 43. 2006년 3월부터 5월까지 계류수의 pH 변화

이때 동결용해기간 동안 유량이 적고 고도가 높으며 음식점 등 인위적인 영향이 없는 상류유역에서의 평균 pH는 6.44(6.35~6.50)로, 유량이 많고 고도가 낮으며 음식점 등 인위적 영향이 있는 하류유역에서의 평균 pH의 값인 6.52(6.45~6.59)보다 비교적 낮은 값을 나타내 동결용해기간 동안에는 유량이 적고 인위적 오염이 없는 상류유역 계류수의 pH는 유량이 많고 인위적 오염이 발생하는 하류유역에서의 pH와 다른 양상을 나타내는 것으로 분석되었다. 즉, 상류유역에서는 이러한 결과가 선행연구결과(Johannessen et al., 1980; Peters and Leavesley, 1995; Soulsby et al., 1997)와 같이 지하수의 유출 및 동결용해침식 토사와 접촉하여  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  등 음이온이 계류로 유출되어 계류수의 pH를 낮추는데 기인한 것으로 생각되나, 하류유역에서는 이러한 작용을 억제하는  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$  등 양이온이 인근 대형 음식점에서 배출하는 오폐수 등에 다량 포함되는 등 그에 따른 영향으로 계류수의 pH가 상승된 것으로 생각된다.

#### (2) 전기전도도

동결용해기간 동안 상류유역에서 계류수에 용존되어 있는 이온총량을 나타내는(박재현, 1999) 평균 전기전도도( $\mu S/cm$ , 그림 44)는 65.8(61.5~72.3)로 하류유역의 값 162.0(155.4~172.3)보다는 작은 값이었다. 즉, 평균 전기전도도는 음식점 및 사찰에서



배출하는 유출수가 유입되는 하류유역이 인위적 오염이 없는 상류유역 보다 약 2.5 배 높은 값을 나타내어 계류의 상류보다 하류에서의 오염현상이 큰 것으로 나타났다. 즉, 이와 같이 하류유역에서의 전기전도도가 높게 나타난 것은 청정한 산림내 계류수인 지리산 칠선계곡, 백무동계곡, 뱀사골계곡의 전기전도도 19.7~73.4 $\mu$ S/cm(전상린과 황중서, 1993), 소백산국립공원 내 계류수의 전기전도도 27~40 $\mu$ S/cm(전상린과 황중서, 1995)보다 약 2.0~8.7배로 많았다. 이는 사찰과 음식점 등에서 배출하는 물에 용존된 각종 이온의 증가에 따른 결과로 북한산국립공원 우이동계곡 하류유역의 계류수는 오염이 진행되고 있음을 의미하는 것이다. 따라서 청정지역이라고 생각되는 국립공원에 대해서는 사찰 및 음식점에서 배출하는 유출수에 대한 정기적인 검사와 그에 따른 수질보전 대책을 강구할 필요가 있다고 생각된다(박재현, 2001).

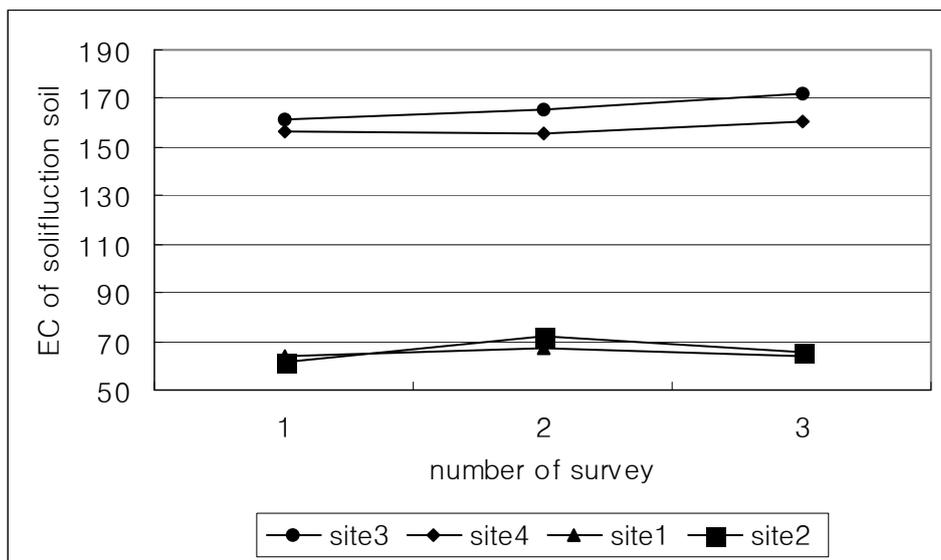


그림 10. 2006년 3월부터 5월까지 계류수의 전기전도도의 변화

다) 동결융해기간 동안 계류수의 pH, 전기전도도와 유량과의 관계 분석

(1) 계류수의 pH와 유량

동결융해기간 동안 계류수에서 pH와 유량과의 관계를 직선회귀 분석한 결과(그림 11), 직선회귀식은, 계류수의  $pH = 1.3251 \times \text{유량} + 6.054$  ( $R^2 = 0.64$ )이었다. 즉, 大類 등(1992)이 보고한 것처럼 계류수의 pH는 유량의 증가할수록 농도가 하강하고, 유량감소시에는 농도가 상승하는 관계를 나타내었다. 이 결과는 Hiraki 등(1985), 平

井 등(1990)의 보고와 일치하는 결과이었다. 그러나 박재철과 이현호(2000)는 유량이 증가하면 pH가 낮아지다가 침투유량을 전환점으로 유출량이 감소하면 pH가 높아졌다고 보고하여 이 연구결과와는 상반되는 결과이었다. 따라서 이와 같은 결과는 입지적, 계절적 특성 등에 따른 차이에 기인하는 결과로 생각되며, 보다 장기적인 자료의 수집으로 계류수의 pH와 유량과의 관계를 구명할 필요가 있을 것으로 생각된다.

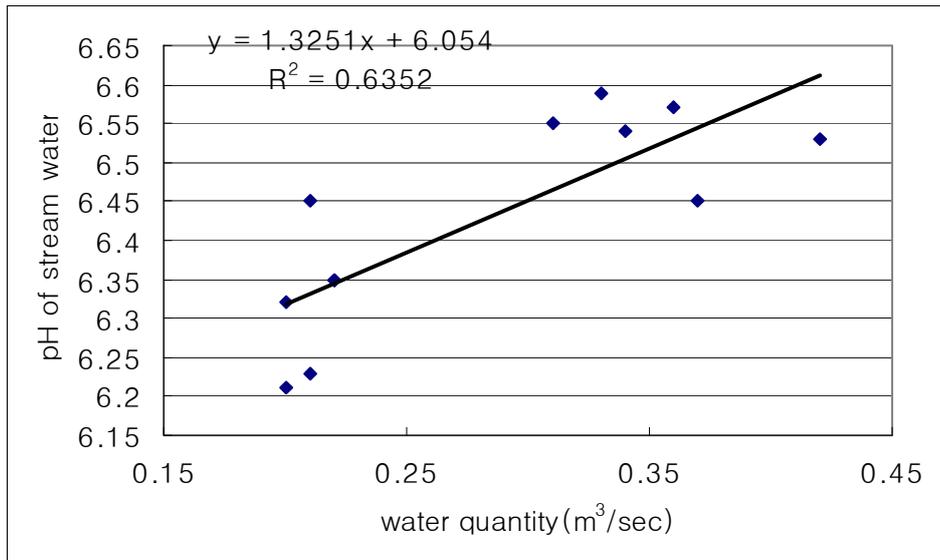


그림 45. 계류수의 pH와 유량과의 직선회귀분석 결과

(2) 계류수의 전기전도도와 유량

동결융해기간 동안 동결침식토사의 전기전도도와 유량과의 관계를 회귀분석한 결과(그림 46), 회귀식은, 계류수의 전기전도도 = 607.74 x 유량 - 60.328(R2 = 0.94)이었다. 즉, 大類 등(1992)이 보고한, 전기전도도는 유량의 증가와 함께 증가하였고, 유량감소시에는 감소한 결과와 일치하였다. 또한, 박재철(2000)이 보고한 유량이 증가할수록 전기전도도는 높아지고, 유량이 감소할수록 전기전도도는 낮아졌다는 결과와 일치하였다. 이와 같은 결과는 계류수질 오염의 지표인 전기전도도의 상승은 유량 증가에 따라 영향하며, 특히 동결융해기간 동안에는 동결융해침식 토사의 계류로의 유입에 의한 Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 등 음이온양의 증가에 기인하는 결과 때문이라 생각된다. 그러나 志水 등(1987)은 유량이 증가할 수록 전기전도도는 낮아지며, 유량이 감소할 수록 전기전도도는 높아진다고 하여 이 연구와는 다른 결과를 나타내었다. 또한, 이현호(1997)도 계류수의 pH, 용존산소량은 유출수량의 증가에 따라 값이 상승

하나, 전기전도도는 값이 낮아졌다고 하였는데, 이는 모암 등 입지적 요인, 지역적 요인, 계절적 요인에 따른 차이에 기인한 결과로 생각된다. 따라서 동결융해기간 동안 유량 변동에 따른 계류수에서의 전기전도도의 변화에 관한 연구는 장기적이고도 지속적인 모니터링을 통한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

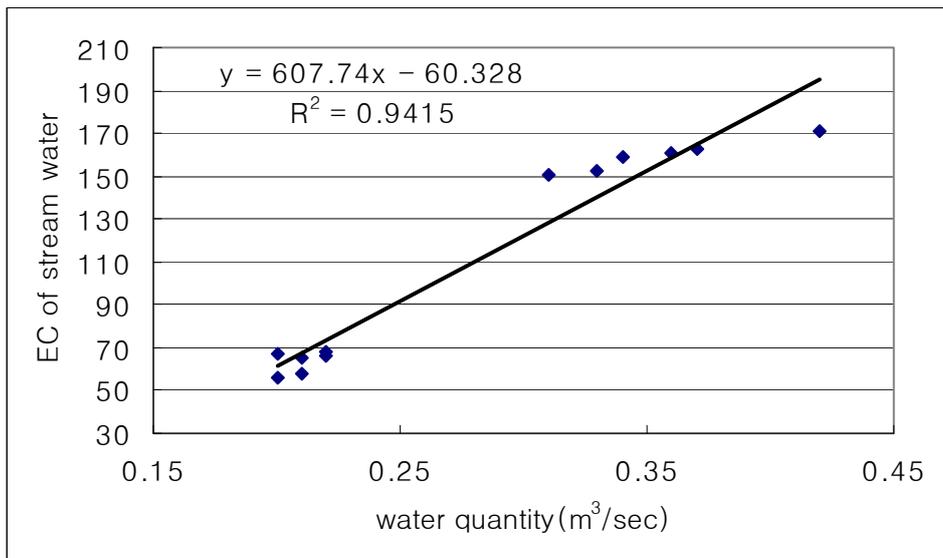


그림 46. 계류수의 전기전도도와 유량과의 직선회귀분석 결과

따라서 동결융해침식토사의 계류로의 유출은 대부분 계안으로부터 동결융해침식되어 유입되므로 가능하면 계안에 식생이 번무하도록 유도하여야 하며, 하류유역의 경우에는 야계사방공작물의 시설에 따른 계안의 파괴가 발생되고 있으므로 이를 고려한 침식방지시설의 설치 또는 계안의 식생복원이 필요할 것으로 생각된다. 특히 계곡 내에 야계사방공작물의 설치에 따라 계안이 훼손되지 않도록 하여야 하며, 훼손 시에는 즉각적으로 식생을 도입하거나 환경친화적인 구조물을 이용하여 계안을 보호하는 방법이 강구되어야 할 것이다.

#### 나. 계류수질 특성화의 도면화

상기에서 조사된 조사지역에서의 계류수질을 분석한 결과 그림 47에서와 같이 수질특성을 토대로 한 수질지도를 작성하였다. 이 지역에서는 모두 하천수질환경기준에 의한 수질등급 상 대부분 조사지역의 계류수는 1급수에 해당하나 송추계곡, 진관사계곡 등 하류의 수질등급은 하천수질기준 상 2급수에 해당하는 것으로 분석되었다. 즉, 지형도(1 : 25,000)에서 북한산국립공원 지역 경계는 노란색으로 표시하였고, 파란색은 1급수를 붉은 색은 2급수를 나타낸다. 아울러 계류수질기준은 법으로 정한 바가 아직 없기 때문에 부득이 하천수질기준에 의하여 기준을 나누었으며, 조사지역에서 3급수로 떨어지는 계류수는 없는 것으로 나타났다.

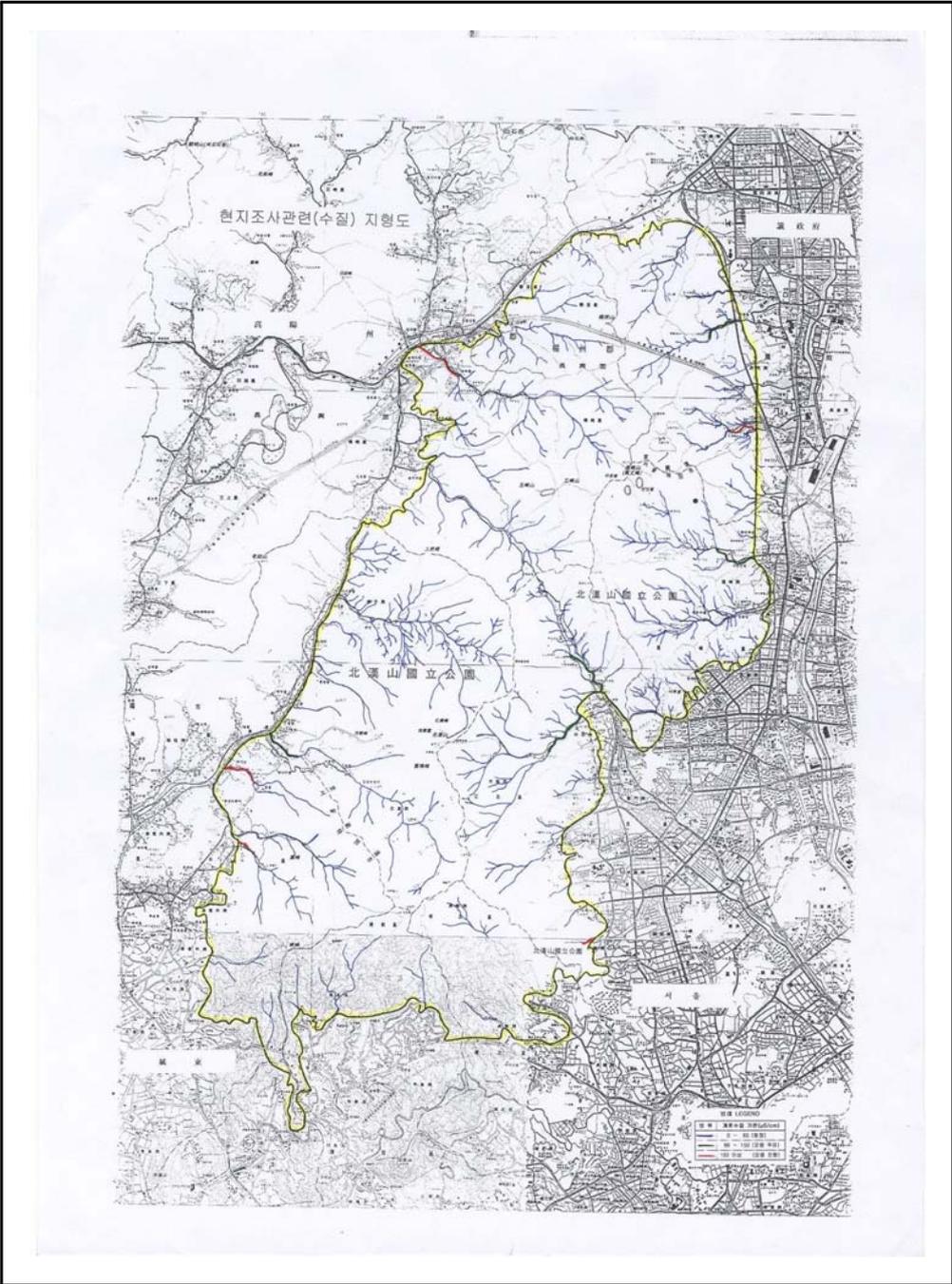


그림 47. 수질지도

#### 다. 계류수질 보전을 위한 자연친화적 수변관리 방법

##### 1) 계류수질보전을 위한 자연친화적 수변관리 방법

###### 가) 하안 완충대의 조성

하천에서 다양한 기능을 수행하는 식생완충대의 중요성이 잘 알려져 있지만 그 크기에 대한 기준은 확실하지 않다. 도시 하천에서 교란으로부터 하천 수로를 보호하기 위해 폭이 넓은 식생완충대가 요구되지만 경제적인 측면이 고려되어야 한다. 미국에서는 정상적인 완충기능을 수행하기 위하여 약 30m 폭의 완충대가 제안되는가 하면 조류에 따라 12~210m 폭의 완충대가 필요하다. 즉, 자연형 하천에서 광선대에 큰 영향을 주는 것은 하안의 식생인데, 뺄뺄하게 심겨진 하안의 침엽수림은 수면에 비쳐지는 광선 가운데 겨우 1~2%를 줄이는데 비해 활엽수림은 3월의 경우에 전체 광선의 70~95%를, 여름에는 약 38~57%의 빛을 받게 된다. 그러나 하안의 식생대가 하천의 광선대를 제한하는 경우는 하천의 크기에 따라 다른데, 큰 하천일수록 하안식생대의 광선제약은 약하다.

###### 나) 현존 식생의 유지 및 보전

복원 대상지에 자생식생, 목부 고사체, 그루터기 및 암석더미 등은 가능하면 남긴다. 이들은 동물의 생육지로서 이용될 수 있고, 침식과 퇴적을 조절하며, 종자공급원과 미생물 잠복원 등의 중요한 기능을 수행한다. 하안식생 복원은 원래 식생이 갖고 있는 생태계 회복력을 최대한 활용하는 것을 원칙으로 하여야 하며, 이러한 관점에서 자연식생자원을 유지하는 것이 바람직하다.

###### 다) 하천회랑의 연결성 유도

하천에서 연결성은 생육지, 통로 및 여과지, 장벽의 과정을 촉진하는 하천회랑 기능의 중요한 평가 지표성을 그대로 확보하여야 하며, 이러한 관점에서 식생이 연속적으로 피복된 길고 폭이 넓은 하천회랑이 좋다. 현실적으로는 하안식생의 연결성을 방해하는 틈이 많이 존재하므로 허용할 수 있는 틈의 크기와 수를 결정하고 필요에 따라서 동물이동을 허용하는 생태통로가 설계되어야 한다.

###### 라) 수직적 다양성의 확보

하안 식생을 복원할 때 식물군집의 종조성에서 종수도 중요하지만 초본, 관목 및

목본과 같은 식물 성장형을 증가시켜서 계층구조의 다양성을 유도하는 것이 필요하다. 계층구조가 복잡해지면 동물의 길드를 증가시켜 동물종수가 늘고, 엽량이 증가하여 식물생물량이 증가한다.

마) 식물 천이의 고려

하천복원을 시도할 때 자연천이를 이해하는 것이 매우 중요하다. 예를 들면 심하게 침식된 제방에 장기적으로 수명이 긴 천이 후기종을 정착시키기 위하여 일단 제방을 안정화시킬 수 있는 환경에 강한 천이 초기종을 식재하는 것이 유리할 수 있다.

바) 주변부를 고려한 서식처 보전 또는 복원

하안식생이 제한되어 있는 경우에는 생물종, 길드 또는 군집이 요구하는 최소면적이 중요하다. 하천회랑은 주변과 내부 생육지를 모두 포함하며, 이 양쪽 생육지가 포함되면 생육지 다양성이 증가한다. 우리나라에서는 식생의 단편화로 내부종이 감소되어 하천 복원시 이들 내부종이 주로 목표종으로 선정되고 있다. 그러므로 식생의 면적을 최대로 확보하여 주변 효과와 함께 내부종의 생육지를 조성하여야 한다.

사) 유역관리 정책 전환

수변이란 육상생태계와 수중생태계를 잇는 전이대로서 각 생태계의 특성과 함께 그 자체의 독특한 생태적 특성을 지니고 있다. 특히 호수의 연안대를 포함한 수변은 매우 생산성이 높은 다양한 생물의 서식처이자 수중으로 유입되는 오염물질의 완충대이다. 따라서 수변 훼손에 의한 수중환경 영향은 원거리 유역의 훼손에 비해 크고 직접적인 수박에 없으므로 많은 제외국에서 수변의 일정 구역을 완충지대로 보호하고 있다. 수질과 수생태 보존을 위한 수변의 중요성에도 불구하고 수변은 우리의 땅에서 개발압력에 가장 크게 노출되어 온 곳이다. 주요 간선도로는 수변을 따라 확충되었고, 친수활동의 증대에 따라 각종 요식업소 등 오염물질 배출시설이 수변에 집중되었으며, 하천부지 경작을 포함한 농경활동이 수변에서 일어나고 있다. 이에 따라 우리나라에서는 최근 들어 주요 상수원의 수변 가운데 일정 거리에 신규 오염원의 입지를 차단하고, 녹화를 통해 오염부하 완충 및 그들과 생물 서식처를 조성하는 수변구역 지정제도를 도입하였다. 아울러 수원함양림 조성, 인공습지 등 비점오염저감 시설 조성 등이 새로운 정책방향으로 추진되고 있다. 아울러 궁극적인 유역관리는

유역주민을 중심으로 한 이해관계자의 합의 속에서 추진되어야 한다. 따라서 유역관리 목표설정과 시행 및 평가의 절차와 결과는 모두 합리적이며, 효율적이어야 하고, 그 모든 것이 경험으로 축적되어야 한다.

아) 자연하천으로의 치수안정성 고려

자연하천은 스스로의 침식, 퇴적, 지체, 저류 그리고 범람 등을 통하여 지형을 형성하고 유지한다. 자연친화적 하도 설계 및 계획에서 지향하는 하천형상은 자연하천이 갖는 스스로 형성해 나가는 지형학적 특성을 최대한 보장한다. 자연친화적 하도 계획 및 설계 치수안전도 확보의 기본방향도 그에 맞도록 해야 한다. 즉, 인위적 구조물과 작용을 통하여 홍수를 배제시키는 것이 아니라 자연적인 하천 선형과 상호작용을 이용한 홍수피해 저감방법을 모색한다. 일률적인 홍수방어가 아닌 필요한 부분만을 정비하는 치수 단위구역 분할과 치수안전성 차별화 방안을 모색한다. 또한, 치수 중요성이 낮은 구간은 과감한 지형학적 복원을 통해 유역의 홍수피해를 저감하여야 한다. 이러한 기본 방향은 치수와 하천환경 향상을 동시에 고려할 수 있고, 이후 유지관리에도 효과적일 뿐만 아니라 경제적으로도 매우 유용한 방안이다. 특히, 목적하는 치수안전도를 보장하기 위해서는 적용되는 자연 친화적 하천계획 및 설계기법 역시 목표로 하는 홍수방어수준에 따라 차별화되어야 함을 의미한다. 즉, 하도계획에 적용될 자연친화적 계획 및 설계기법은 수변 조사결과를 배경으로 하천 현장상황과 Q<sub>용</sub> - 효과측면을 고려하여 해당 지역의 홍수보호수준 및 환경보전수준 등이 적절한 조화를 이룰 수 있도록 선정되어야 한다.

자) 하도 습지 및 여울, 소 조성

하도습지는 육상생물과 수중생물의 생존 장소이며, 생물 종류가 풍부하고 동시에 추이대를 형성하며, 미세입자의 퇴적 및 용해성무기염류를 흡수하거나 용해성유기물을 공급한다. 또한, 유속, 수심, 수온 등이 본류와 다른 환경을 형성하고 있으며, 특히 빠른 유속을 견딜 수 없는 하천생태계 서식처를 제공하기 위해 보전 또는 추가 설치한다. 고수부지내 하도습지를 보전 또는 복원함으로써 얻어지는 효과는 홍수류 완화기능, 하천수질정화기능, 갈수기 유량증대, 곤충 등 야생동식물의 서식지 제공 등이다. 또한, 여울과 소는 보존 및 복원하는 것을 기본원칙으로 해야 한다. 여울과 소는 계곡수와 같은 난류 등을 발생시켜 수중에 산소를 공급하여 주어 수질을 개선하고 어류 등의 수중생태계의 서식공간을 조성하기 위해 설치한다. 여울과 소의 특



정 가운데 하나는 연속하는 여울과 소는 통상 하폭의 5 ~ 7배의 다소 규칙적인 거리를 가지며, 유사공급이 적은 하천에서는 양호한 여울과 소가 형성되기 어렵다. 여울과 소를 조성할 때는 이러한 형태적 특성을 반영하여 위치를 결정하여야 하며, 유사공급이 적은 하천에 인위적으로 여울과 소를 조성할 때에는 해당 하천의 여울과 소의 특징을 사전에 파악하고 재료 선택에 있어서도 자연하천의 자갈 혼합사로 조성하도록 한다. 소는 최소한 30.5cm의 수심을 가져야 하고, 여울은 평균 하상에서 30.5~42.5cm 이상 되지 않게 한다. 아울러 거석은 서식처나 국부적 웅덩이 또는 흐름의 감소 및 교란을 위해 하도에 설치하는데, 하도 내에 배치되는 거석은 수제역의 침식작용을 유발할 우려가 있으므로 저수호안에 가깝게 배치하지 않도록 해야 한다. 배치되는 거석들은 물의 흐름에 저항을 최소화하고 안정성을 증대시키기 위해 유랑의 흐름에 평행하게 장축이 놓여져야 한다. 일반적으로 거석들은 보통 속도가 1m/sec를 초과하는 빠른 급류에 놓여질 때가 가장 좋다.

## 2) 자연친화적 수변관리를 위한 직접적인 침식방지 방법

중침식을 받아 생산된 사력을 하류로 유송하여 계상이 저하되면 양안의 안정이 상실되어 붕괴를 일으키게 된다. 이와 같은 경우에는 사방댐과 포장수로를 계단상으로 축조한다. 횡침식은 계안결괴포락과 산복붕괴를 일으키므로 사방댐, 기슭막이, 수제 등으로 방지한다. 이와 같은 붕괴하류의 저사댐은 유하토사를 억지 퇴적하고, 퇴사에 의하여 산각을 고정하는 역할을 하게 되어 붕괴확대를 방지하는 효과를 발휘하게 된다. 생산된 대량의 토사력이 하류에 유송되지 않도록 하기 위해서는 적절한 개소에 유출토사를 저사하고 조절하기 위한 사방댐을 시공한다. 집중호우 등에 의하여 발생되는 토석류의 세력을 저사댐과 계단상 댐군에 의하여 억지하고 감쇠해야 한다. 그 특수한 예로 토석류의 발생이 많은 지역에서는 산림지대에 방류하기 위한 말뚝공법을 이용하는 경우도 있다. 사방댐의 물구멍을 크게 하여 하류허용유량이 유과하는 단면에 대응하도록 하고, 이상출수일 경우 그 이상은 저류되도록 한다. 이와 같은 공법은 유수림사업의 사방댐 등에서 볼 수 있다. 특히, 산복에 수평구를 파고 강수를 저류하여 산복비탈면에서 단면에 유출되지 않도록 하는 등고선구공법은 홍수조절의 일조가 되며, 또한 이것은 보수공법 또는 확수공법이라는 면에서도 중요한 공법이다.

가) 종침식방지공법 - 계단댐공사

연속적인 사방댐군의 퇴사에 의하여 계상물매를 완화시키는 방법을 계단댐공사라 한다. 상당한 장거리에 걸쳐서 계단댐을 계획할 경우에는 중요 댐지점을 고려하여 계획물매에 따라 댐의 높이와 수를 결정한다. 댐의 간격은 일정하지 않으며, 댐의 목적과 조건에 대응하여 고저, 대소의 댐을 계류에 계단상으로 설치한다. 퇴사에 의하여 계상을 안정시키는 댐을 사방댐이라 하고, 계상의 침식방지를 주목적으로 하는 댐을 바닥막이공작물이라 한다. 일반적으로 저사댐과 같이 높이가 높은 댐을 사방댐이라 하고, 높이가 비교적 낮아 3m 이하의 것을 바닥막이라 하는 경우도 있다. 규모가 큰 저사댐의 경우는 단독으로도 대량의 유출토사를 억지하고 조절하지만 계단댐 공작물의 경우는 고저 수 개의 사방댐군이 전체가 상호 일관성있게 계상물매를 완화하고 유수의 세력을 감쇠하여 계상의 안정을 도모하게 되는 것이다.

나) 종침식방지공법 - 포장수로공사

계상의 저항을 강화시켜 침식을 방지하기 위한 방법으로는 두부가 계획하상보다 높이가 돌출되어 있지 않는 낮은바닥막이를 구축하거나, 계상을 부분적으로 또는 전면적으로 포장하는 포장수로공사를 실시해야 한다. 계류의 최상류 수원 부근은 물매가 급하고 유량이 적으므로 계단댐공사보다도 포장수로공사를 채택함이 경제적인 때가 많다. 수로는 가능한 한 직선으로 만곡을 피하고, 단면은 일반적으로 역사다리꼴로 한다. 수로연장이 길 때에는 도중에 낮은 바닥막이공작물을 넣고, 종단물매는 점변하도록 하며, 특히 말단에는 물방석이 있는 바닥막이를 설치하여 유수의 감속을 유도한다.

다) 횡침식방지공사

계류에 사방댐을 설치하면 퇴사에 의하여 계상이 상승되고 종침식을 방지함과 동시에 횡침식도 방지된다. 그러나 근본적으로는 횡침식이 일어나는 원인에 대응한 공법을 계획할 필요가 있는데, 수로의 만곡에 의하여 유선이 충돌할 경우에는 수로를 곧게 하며, 하도에 암석이 돌출하여 물흐름의 방향을 변경시킬 경우에는 암석을 파괴하여 제거하고, 계상에 사력이 퇴적하여 물흐름이 불규칙하게 되고, 이로 인하여 횡침식을 일으키는 경우에는 하상사력을 굴삭 제거하여야 하며, 계안의 비탈면이 연약한 토사로 되었을 때에는 기슭막이공작물을 설치하고, 직접 유수가 접촉되지 않도록 수제공사를 실시해야 한다. 산간부의 계류에서는 유로를 곧게 하기가 매우 어려

우므로 요안부에서 횡침식이 많이 일어난다. 횡침식은 계안침식으로부터 산봉으로 발전할 수도 있으므로 기슭막이나 수제를 설치한다. 기슭막이공작물의 계획시에 그 높이는 붕괴를 방지할 수 있는 충분한 높이여야 한다. 기슭막이공작물의 높이가 충분하지 않을 때에는 기슭막이로부터 붕괴지를 향하여 상향한 지지벽을 쌓아 보강해야 한다. 붕괴가 급할 때에는 기슭막이공작물을 붕괴 끝점으로부터 약간 앞으로 내어 설치하며, 그 뒤에 붕토를 저사하여 산복이 완경사가 되도록 하는 것이 좋다. 기슭막이공작물은 돌쌓기, 돌망태, 콘크리트 등이 많이 사용된다. 그러나 황폐가 경미할 때에는 구조물보다도 거적편책이나 섯덧기로 된 기슭막이를 설치하고, 버드나무와 같은 맹아력이 있는 나뭇가지를 꺾어서 자연호안으로 복구하는 것이 좋다.

산간부에 수제를 시공하는 것이 보다 효과적인 때도 있다. 계안의 한쪽이 암반으로 대안에서만 붕괴가 일어나는 경우에는 붕괴의 상류시점에 유수가 넘지 않도록 높은 하향수제를 도류제와 같이 설치하는 것이 좋다. 붕괴구간은 작지만 장거리까지 뻗어야 될 때에는 몇 개의 수제를 설치하며, 산쪽을 높이고 전체가 월류되지 않는 높은 상향수제로써 수제구에 퇴사되도록 하는 방법도 있다.

#### 라) 계류침식방지공법

비교적 짧은 구간의 침식을 방지하기 위해서는 하나의 사방댐으로도 충분히 그 역할을 수행할 수 있으며, 총침식구간이 비교적 긴 구간에서는 몇 개의 낮은 사방댐을 계단상으로 설치하거나 한 개의 높은 사방댐을 설치하는 공법을 적용한다. 즉, 높이가 높은 사방댐은 연속적인 낮은 사방댐군에 비하여 축조비가 많이 소요되는 경우가 많고, 완공 후의 유지비도 많이 소요된다. 또한, 공사기간도 짧은 사방댐공법이 더욱 빠른 경우가 많으며, 특히 산간지대의 교통이 불편한 지역에서는 노동력과 자재의 운반면에서도 낮은 댐군공법이 유리한 경우가 많다. 사방댐의 높이는 계곡의 횡단면 형상과 지질적 요인에 따라 결정된다. 계상에 암반이 노출되고 횡단면이 좁은 지점에서는 높은 사방댐을 설치하는 것이 유리한 경우가 많다. 한편, 총침식구간이 대단히 긴 경우에는 한 개의 사방댐으로서 전체를 지배할 수 없게 된다. 이 경우에는 대소 댐을 혼용하는데, 중요한 지점이나 조건이 좋은 장소에서는 높은 댐을 설치하며, 전 구역을 몇 개의 구역으로 구분하여 이 댐의 중간에 낮은 댐을 설치하는 것이다. 총침식 구간이 대단히 길기 때문에 어떤 부분에서는 계상의 침식방지 뿐만 아니라 산각의 고정을 주목적으로 하지 않으면 안 될 곳도 있다. 이와 같은 경우에는 비교적 높은 사방댐군에 의한 계단공법을 이용하는 것이 유리하게 된다. 퇴사선이 짧은

경우에는 새로운 계상물매의 추정이 비교적 용이하지만, 긴 경우에는 신중히 검토하여도 시공 후에 부분적으로 침식을 받는 경우가 있다.

마) 산각 고정 및 산복의 붕괴방지공법

산각 고정 및 산복의 붕괴 방지를 위해서는 유로를 직선화하는데 이는 만곡에 기인하는 횡침식을 방지하기 위해서다. 이때 유로의 직선화에 수반하여 유속의 증대현상이 나타나는 결과 계상의 중침식이 발생하게 되므로 이에 대한 횡공작물을 설치하여 어느 정도의 계상물매를 완화하도록 해야 한다. 그리고 계상 위의 돌출된 암석 및 퇴적된 사력을 제거하며, 기슭막이와 수제공사로 산각을 고정하는데, 이 경우에 계상의 세굴을 방지하기 위하여 붕괴지의 하류 끝부분에 낮은 횡공작물을 설치한다. 그러나 이러한 공법은 산각을 고정하고 산복의 붕괴를 방지하는 방법이지는 하지만 하천의 경우 자연형 하천공법과는 거리가 있는 방법으로 앞으로는 이러한 방법은 지양해야 할 것으로 생각된다. 또한, 불안정한 토사의 억지를 목적으로 할 경우, 특히 붕괴지의 직하에 사방댐을 계획하는 경우에는 상류의 붕괴지가 화산분출물의 붕괴에 서와 같이 큰 규모이거나 또는 붕토의 이동량이 절대적으로 많은 장소에서는 산복녹화를 위한 산복공사를 시행한다고 해도 완전하지 못한 경우가 많다. 이와 같은 경우에는 일보 후퇴하여 붕괴지의 직하에 사방댐을 계획하고 불안정한 토사를 억지하여 산복공사의 기초로 한다. 아울러 붕괴지의 직하에 적당한 사방댐의 계획장소가 없는 경우에는 하류에 다소 높은 사방댐을 계획하여 계상물매를 완화하고 유송토사를 억지한다. 이 경우에는 상류에 넓은 퇴사지가 있는 곳이 좋다. 사력퇴적지의 난류방지 및 계상고정을 목적으로 할 경우에는 바닥막이공작물을 계단상으로 배치하며, 기슭막이와 수제공작물에 의하여 난류를 방지해야 한다. 이때 사력퇴적지는 계폭이 넓고 물매가 완만하며, 여기에서 바닥막이공작물은 주로 유로를 고정하기 위해서 시공한다. 또한, 현재의 계상을 유지할 목적으로는 바닥막이공작물을 계단상으로 계획하고, 상류지대 사방공사의 완성에 의하여 상류로부터 토사의 유송이 없어지고, 하류의 계상이 급격히 저하하는 경우 등에 계획한다.

### 3) 자연친화적 수변관리를 위한 간접적인 침식방지 공법

간접적인 침식방지 공법은 구조물이 하천에 설치되어 흐름의 방향을 바꿈으로써 하천 경계에 미치는 수리학적 힘을 침식이 발생하지 않을 정도로 약화시키는 방법이다. 종류에는 수제, 감속제 및 굴절제 등이 있다.

수제는 제방에서 흐름 쪽으로 돌출된 구조물을 말한다. 수제를 뜻하는 groin, jetty, spur, wing dam 등의 용어가 혼용되기도 한다. 돌출길이가 매우 짧은 경우에는 hard point라고 부르기도 한다. 수제에는 투수성 수제와 불투수성 수제가 있다. 투수성 수제는 비용면에서 불투수성 수제보다 저렴하지만 유사 농도가 높은 곳에서는 비효율적이다. 또한 내구력이 약하다는 단점이 있다. 투수성 수제에는 망사울타리 수제와 판자울타리 수제가 대표적이다. 미연방도로국(Federal Highway Administration, 1985)의 설계지침에는 수제길이, 간격, 각도, 수제길이와 투수율과의 관계에 대한 내용이 자세히 수록되어 있다. 불투수성 수제는 사용재료에 따라 사석 수제, 돌망태 수제 및 모래나 흙으로 채워진 마대 수제로 나눌 수 있다. 사석 수제에 사용되는 돌은 하나의 무게가 0.1~2톤 정도이며, 수심이 깊고 유속이 빠를수록 무거운 돌이 사용된다. 사석 수제의 최소 폭은 60cm이며, 사용되는 돌의 입경이 커지면 수제폭도 이에 따라 증가되어야 한다. 사석 수제의 사면경사는 1 : 1.5가 일반적이나 돌의 입경 구성비에 따라 안식각을 이룰 수 있도록 경사를 조정할 수 있다.

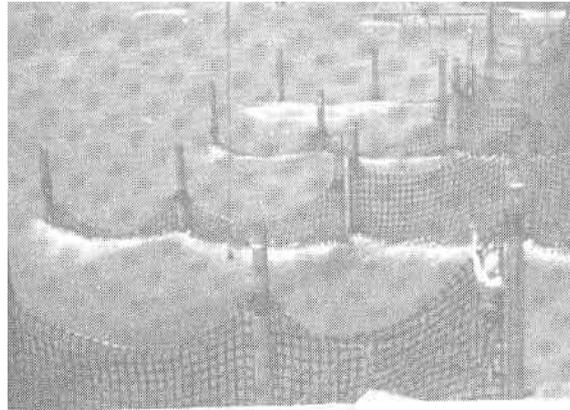


사진 75. 망사울타리 수제

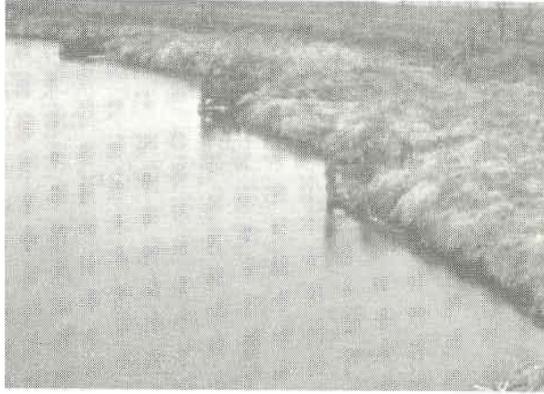


사진 76. 판자울타리 수제



사진 77. 사석 수제



사진 78. 판자울타리 감속제

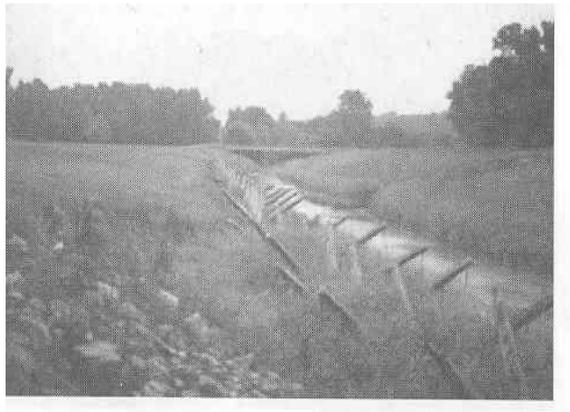


사진 79. Jack Field 감속제

감속제는 하천곡률, 제방침식성, 수리 특성상 수제가 적합하지 않은 곳에 적용된다. 특히 제방 법선의 변동을 원하지 않는 경우에 자주 이용된다. 감속제에는 투수성 감속제와 불투수성 감속제가 있다. 투수성 감속제에는 판자울타리 감속제와 Jack Field 감속제가 있다. 불투수성 감속제는 앞비탈 기슭 사석 호안과 거의 유사하다. 굴절제는 만곡부에서 발생하는 2차류를 제어하여 제방 앞비탈 기슭에서 발생하는 침식을 줄이는 것을 목적으로 한다. 특히 굴절제는 넓고 균등한 하천단면이 필요하거나, 얇은 최심선을 유지해야 하는 경우에 적합하다. 또한 최심선의 사행을 유도하기

위해서 제방 양쪽에 교차하는 굴절제를 연속적으로 설치하기도 한다. 굴절제에는 Iwoa vane와 Bendway weir가 있다. Iwoa vane은 홍수시에는 완전히 물에 잠기지만 저수시에는 일부가 물 밖에 드러난다. 특히 vane이 흐름과 이루는 각도가 매우 중요하다. Bendway weir는 미국육군공병단에서 만곡부 하폭 증가를 피하기 위해 개발한 것이다. 굴절제를 모래 하상에 설치하는 경우에는 굴절제 아래에 필터층이나 토목섬유 등을 설치하여 굴절제의 침하나 붕괴를 방지하여야 한다.

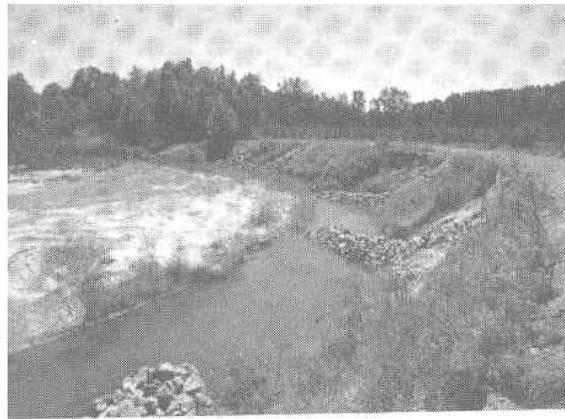


사진 80. Bendway weir

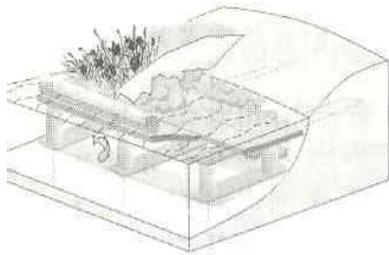


#### 4) 자연친화적 수변관리를 위한 식생 및 생물공법

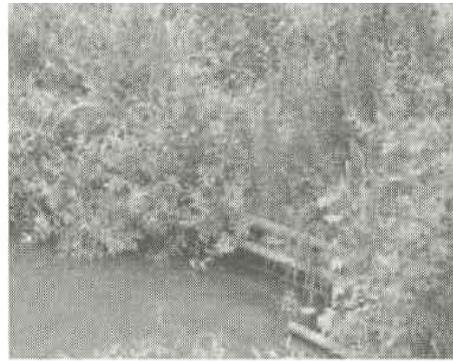
식생과 생물공법은 자연형 하천복구에 자주 사용되는 공법이다. 이 공법은 수목에 적합한 식재 방법 채택, 현장 조건에 따라 관찰 빈도와 심도를 조정, 완전 활착시까지 관개 등을 고려하는 등 세심한 배려가 필요하다. 생물공법의 종류에는 물고기 런커스, 관목 매트리스, 식생망태, 통나무 방틀벽, 통나무 호안, 야자섬유마리, 나무 뿌리 밀둥, 야자섬유매트, 관목 덩불갈기, 식생 지오그라드, 휴면수목 삽목, 활목 다발 묻기, 물분사 파종 및 덮기 등 다양한 방법이 있다.

##### 가) 물고기 런커스

런커스는 “Little Underwater Neighborhood Keepers Encompassing Rheotactic Salmonid”의 약자이다. 런커스는 물고기의 피난처 및 서식지를 제공할 뿐만 아니라 제방 앞비탈 기슭의 침식을 방지해 준다. 런커스는 주로 만곡부 바깥 쪽에 설치되며, 하상바닥에서 앞비탈 기슭 높이까지 시공되는 것이 일반적이다. 유사량이 큰 하천에서는 부적합하며, 자갈 하천에 주로 시공된다. 시공하는데 중장비가 소요되며 비용이 많이 소요되는 단점이 있다.



(a) 개념도

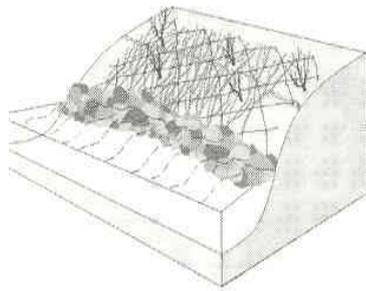


(b) 시공 사례

그림 48. 런커스의 개념도 및 시공사례

#### 나) 관목 침상

제방사면의 침식을 방지하기 위하여 살아 있는 관목으로 침상을 설치하는 공법이다. 홍수시에는 토사를 포착하여 유사농도를 경감시키는 부수적인 효과가 있다. 이 공법은 하안식생과 수변생태의 신속한 복원이 가능하며, 특히 토종 식생대로의 천이를 촉진시켜주는 특징이 있다. 평수위 이상에서 시공이 가능하고 앞비탈 기슭 봉우리 사석과 병행하여 설치하기도 한다. 식생이 완전히 활착하기 전에 홍수에 잠길 가능성이 있는 곳이 효과적이다.



(a) 개념도



(b) 시공 사례(철망 덮기 과정)

그림 49. 관목 침상의 개념도 및 시공사례

#### 다) 식생망태

직육면체 철망에 돌과 흙을 채운 망태를 좌우, 상하로 연결하면서 망태 사이에 활목을 채워넣은 공법이다. 이 공법은 급경사 제방사면의 보호에 적합하며, 특히 입경이 큰 돌을 구하기 어려워 사석보호공을 적용하기가 곤란할 때에 효과적이다. 망태를 설치하기 위해 튼튼한 기초가 필요하기 때문에 소류사의 비중이 커 하상변동이 심한 하천에는 부적합하다. 또한, 연직방향 토압에는 잘 견디나 횡방향 토압에는 취약한 단점이 있기 때문에 횡방향 토압을 줄이기 위한 제방 상단의 식생공법이 필요한 경우도 있다. 망태의 수명을 증대시키기 위하여 비닐로 코팅하거나 전기도금한 철망을 사용하기도 한다.

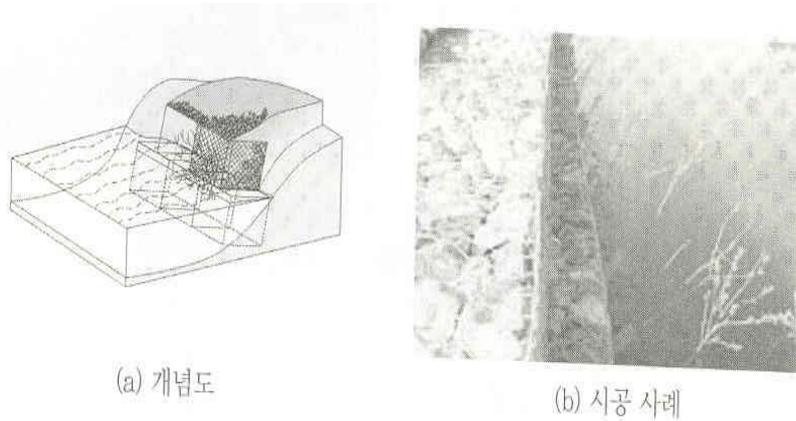


그림 50. 식생 망태의 개념도 및 시공사례

라) 통나무 방틀벽

표면처리하지 않은 목재나 통나무를 교차 연결하여 제방의 평수위 이상의 부분에 속이 비어 있는 큰 나무상자 형태의 벽을 설치하는 공법이다. 비어 있는 속은 흙과 활목으로 채운다. 이 공법은 제방 사면이 연직에 가까운 경우에 적합한 공법이며, 특히 만곡부 외측의 제방침식 방지에 적합하다. 자연스러운 경관을 제공할 뿐만 아니라 식생의 활착을 가속화시키는 장점이 있으나 비용이 많이 소요되는 단점도 있다.

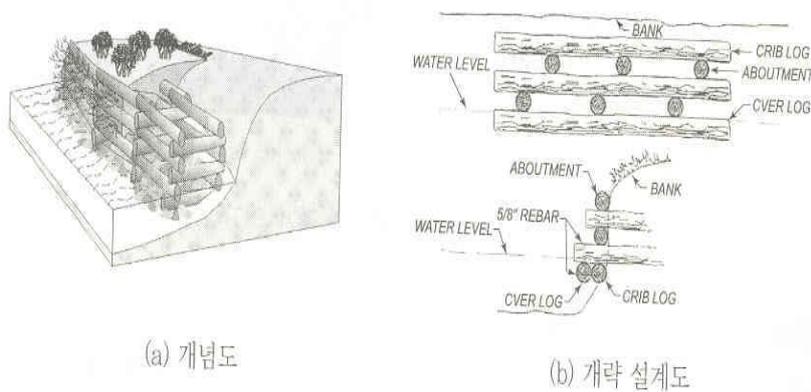
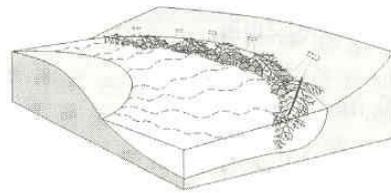


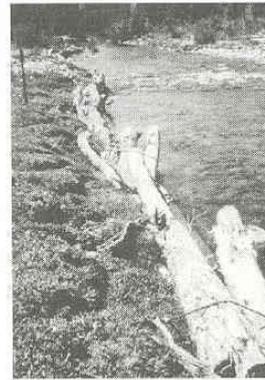
그림 51. 통나무 방틀벽의 개념도 및 시공사례

마) 통나무 호안

제방 앞비탈 기슭에 통나무를 흐름방향과 평행하게 설치하여 유속을 감소시키고 토사를 포착시키는 공법이다. 이 공법은 설치된 통나무가 흐름에 떠내려 가지 않도록 적절한 고정장치가 필요하다. 이 공법은 제방높이가 3.5m를 초과하지 않고 만제유량에 대한 유속이 2m/s 이내인 경우에 적합하다. 그러나 이탈된 통나무가 하류로 떠내려가 교각 사이에 걸려 통수능을 감소시킬 우려가 있는 곳에는 적용할 수 없다. 또한, 통나무 설치로 인한 통수능 감소가 만제유량을 기준으로 15%를 초과하지 않아야 한다는 제한사항도 있다. 통나무 사이에 포착된 토사가 토속종 식생의 활착을 촉진시키는 장점이 있지만, 통나무의 부식 및 훼손 등을 주기적으로 유지 관리해야 하는 단점도 있다.



(a) 개념도



(b) 시공 사례

그림 52. 통나무 호안의 개념도 및 시공사례

바) 야자섬유마리

야자섬유마리를 제방 앞비탈 기슭에 흐름방향과 평행하게 설치하여 침식을 방지하는 공법이다. 이 공법은 일반적으로 직경 30cm, 길이 6m짜리 야자섬유마리가 사용된다. 휴면 수목을 야자섬유마리 양쪽에 삽입하여 고정시킨다. 빠른 식생의 활착을 위하여 야자섬유마리를 약간 찢고 뿌리가 있는 수목을 삽입하기도 한다. 야자섬유마리는 부력에 의해 수면으로 떠오를 수 있기 때문에 반드시 고정장치가 필요하다. 이 공법의 수명은 6~10년 정도이며, 흐름이 빠른 경우에는 적용할 수 없다.

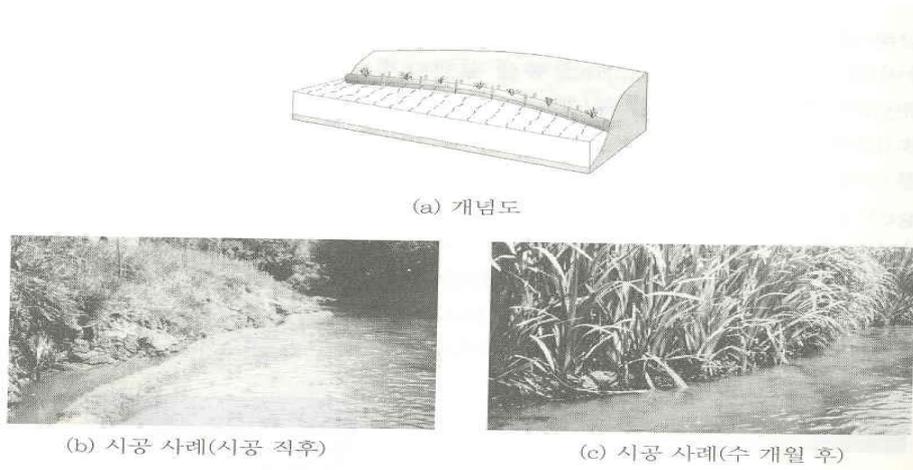


그림 53. 야자섬유마리의 개념도 및 시공사례

사) 나무뿌리 밀둥

나무뿌리의 밀둥을 제방에 삽입, 설치하여 침식을 방지하고 토사를 포착하며, 생태의 다양성을 확보하기 위한 공법이다. 이 공법은 나무뿌리 밀둥이 단단히 고정되면 유속이 매우 빠른 흐름의 전단력에도 견딜 수 있는 장점이 있다. 그러나 나무뿌리 밀둥 부근에 국부세굴이 발생할 수 있기 때문에 주의를 요한다. 이 공법의 적용은 재료의 가용 여부에 제한받으며, 수명은 기후와 사용된 나무의 종류에 따라 차이가 난다.

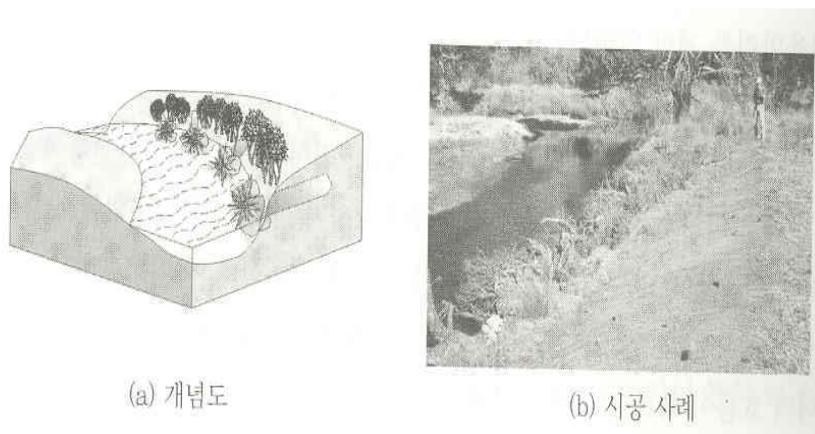


그림 54. 나무뿌리 밀둥의 개념도 및 시공사례

아) 야자섬유명석

배양실에서 야자섬유명석에 식생을 배양한 후 응급복구가 필요한 곳으로 수송하여 설치하는 공법이다. 이 공법은 식생을 활착시킬 시간적인 여유가 없는 응급복구에 적합한 방법이다. 야자섬유명석이 가벼워 수송에 편리하기 때문에 응급복구에 자주 이용되며, 수송수단에 따라 야자섬유명석의 크기를 조정할 수 있다.



그림 55. 야자섬유명석의 식생배양 및 포장사례

자) 관목 덩불 깔기

제방사면에 영양번식이 가능한 버드나무나 층층나무의 줄기를 여러 층으로 나누어 심고 다지는 공법이다. 이 공법은 일반적으로 제방 사면의 일부분이 세굴되었거나 침강하였을 때 적용한다. 제방사면이 전체적으로 침식되는 경우에는 적용하지 않는다. 이 공법은 여러 층으로 구성되고 각 층의 토양을 다지기 때문에 세굴이나 침식에 매우 강하며, 빠르게 식생이 활착하는 특징이 있다.

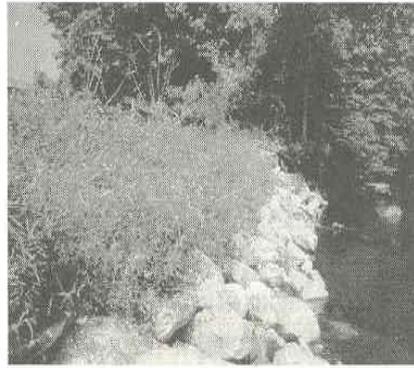


그림 56. 관목 덩굴 깔기의 개념도 및 시공사례

차) 식생 지오그라드

토목섬유 안에 흙을 다지고 그 위에 활목을 배치하고 다시 그 위에 반복하여 여러 층을 설치하는 공법이다. 이 공법은 식생이 빠르게 활착하는 장점이 있다. 또한, 급경사 제방사면에 적합하며, 비교적 높게 쌓을 수 있는 장점이 있는 반면에 시공이 까다롭고 식생 지오그라드를 축조할 기초가 필요하기 때문에 비용이 많이 소요되는 단점이 있다. 일반적으로 침식 문제가 심각한 만곡부 외측의 제방복구에 자주 사용된다.



그림 57. 식생 지오그라드의 개념도 및 시공사례

카) 휴면수목 삽목

휴면 중인 버드나무, 미루나무, 포플러 등의 가지나 줄기를 제방사면에 삽목하는 공법이다. 이 공법은 수목에 의한 조도 증가를 피하여 사면부근의 유속을 감소시키는데 그 목적이 있다. 이 공법은 버드나무 가지를 삽목하는 경우에는 약 20cm 정도의 가지를 이용하여 시공상 편리하다. 삽목된 수목이 과도하게 성장하는 경우에는 제방에 토사가 퇴적되는 문제가 발생할 수도 있다.

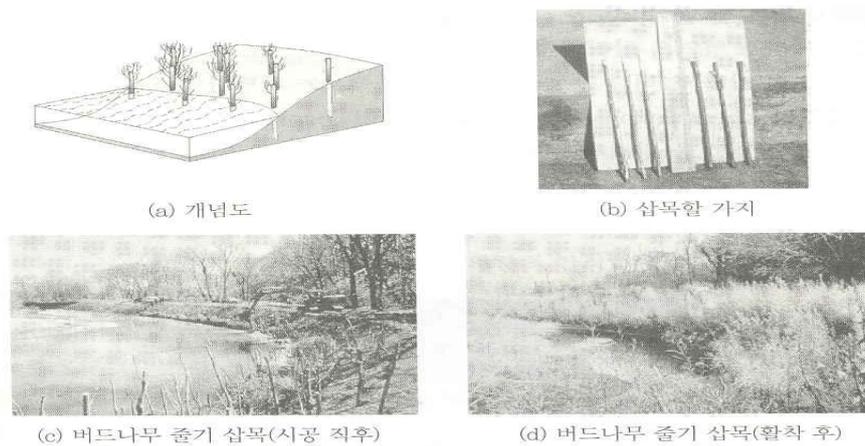


그림 58. 휴면수목 삽목 공법의 개념도 및 시공사례



타) 활목다발 묻기

제방사면에 얇은 도랑을 흐름방향과 평행하게 파고 활목다발을 묻는 공법이다. 일반적으로 휴면수목 가지 삼목과 병행하여 설치한다. 이 공법은 제방사면을 따라 흘러내리는 흐름에 의한 침식을 경감시킬 뿐만 아니라 사면의 활동현상도 경감시켜주는 특징이 있다. 이 공법은 평수위 이상에서 시공이 가능하고 앞비탈 기슭의 침식방지를 위하여 봉우리 사석과 병행하여 설치하기도 한다.

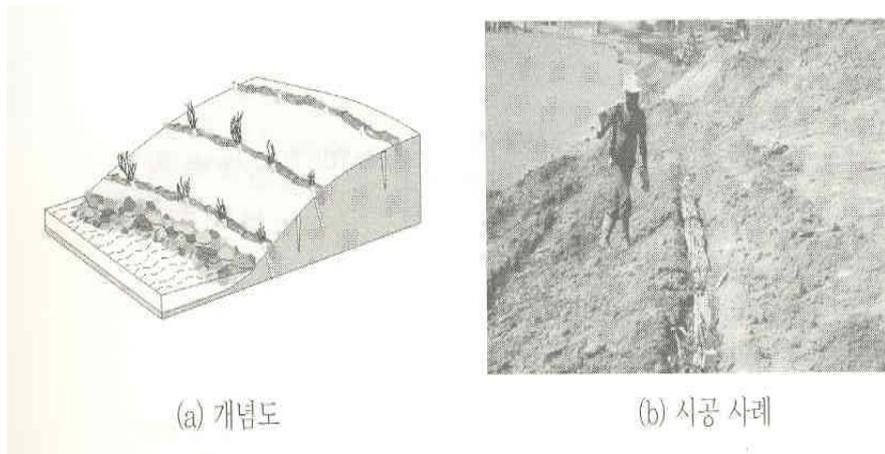


그림 59. 활목다발 묻기 공법의 개념도 및 시공사례

파) 물분사 파종 및 덮기 공법

이 공법은 테라스 영역의 침식방지에 적합하다. 일반적으로 테라스는 큰 홍수시에만 물에 잠기는 특징이 있다. 그러나 수문곡선의 하강부에서는 제방사면을 따라 형성된 흐름에 의해서 박층침식과 세류침식이 발생할 가능성이 크다. 따라서 이와 같은 침식을 방지하기 위하여 수풀로 피복하는 것이 필요하다. 식생공법 적용을 위한 기슭영역에는 기본적으로 사석호안, 돌마리 및 망태설치, 식생망태, 런커스, 통나무방틀, 통나무호안, 나무뿌리 밀동공법 등이 적합하다. 등락영역에는 야자섬유마리, 관목 침상, 식생 지오그라드, 휴면수목 가지 및 줄기 삼목, 활목 다발 묻기 공법 등이 적합하다. 제방영역에는 관목 덩불 깔기 공법이 적합하며, 테라스영역에는 물분사 파종 및 덮기 공법이 적합하다.

일반적으로 안정하천은 일반적으로 50년 이내인 공학적 시간대에서 하상의 상승, 저하 및 하천의 평면형상 변화가 두드러지지 않도록 하폭, 수심과 경사가 조정되는

하천을 말한다. 따라서 안정하천은 정적인 상태에 머물러 있는 것이 아니라 오히려 제방침식이나 사주 형성에 따라 종단적으로 변화하는 동적 평형상태에 있게 된다.

하천복구사업을 구상할 때에 여러 가지 요인에 의해 발생하는 불안정한 하천의 안정화에 하천진화모형의 개념을 활용하면 효율적인 하천안정화 대책의 수립이 가능할 것으로 판단된다. 하천안정화가 이루어지지 않으면 자연형 하천복원이나 하천복구는 그 의미를 상실할 수도 있다. 역으로 말하면 자연형 하천복원이나 복구사업의 시행 시에 반드시 고려해야 할 사항은 효율성, 환경적인 건전성, 경제성이다.

## 제 4장. 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제 1절. 황폐계류의 자연친화적 생태호안 모델 개발

#### 1. 야계사방 현황 및 황폐계류의 특성 분석 (달성도 100%)

##### 가. 야계사방 현황조사

- 1) 관련법 · 제도 검토
- 2) 야계사방 추진방향 수립
- 3) 국내외 공법 및 공중조사

##### 나. 야계의 특성 분석

- 1) 황폐계류의 형상별 분석
- 2) 유역의 특성별 분석
- 3) 유역구분에 의한 분석
- 4) 하천법에 따른 분석

#### 2. 황폐계류의 생태호안 기법 개발 (달성도 100%)

##### 가. 야계현황 조사 및 측량(종단 및 횡단)

##### 나. 야계 및 호안의 특성에 따른 모델제시

- 1) 돌쌓기 : 식생전석, 식생자연석, 식생괘돌
- 2) 콘크리트제품 : 식생블록

##### 다. 재료별 시공기법 제시

##### 라. 설치에 따른 문제점 분석

#### 3. 생태호안의 호안녹화 및 기능평가 (달성도 100%)

##### 가. 야계 호안녹화기법 제시

##### 나. 생태호안 기능 평가

- 1) 생태호안의 기능 평가지표 개발
- 2) 생태호안의 기능평가 항목 조사

##### 다. 평가계량화 지표 개발

- 1) 황폐계류의 호안에 시공된 생태호안에 대하여 구조적 안정성, 식생대 조성효과, 생물서식지 조성(어류, 양서류, 파충류), 경관개선 및 경제성 등을 중심으로 점수화 하여 계량평가

## 2절. 야계사방사업이 계곡생태계에 미치는 영향 평가

야계사방사업은 하천생태계, 특히 사방공작물이 주로 설치되는 계곡생태계에 많은 영향을 미치게 된다. 이러한 교란은 생태계 내 군집의 구조와 기능을 결정하는 중요한 요인 중의 하나인데, 군집은 안정적인 것이 아니라 천이를 하는 동안에 구조적, 기능적으로 변화하게 되므로 교란의 효과는 발달 상태에 따라 다양한 모습을 지닐 지도 모른다. 교란에 대한 군집의 반응은 공간적으로 매우 다양하게 나타나므로 생태계의 환경 구배는 저항성(resistance)을 강하게 또는 약하게 하거나 교란 후의 회복(resilience) 속도와 유형을 변형시키는 방법으로 군집의 구조와 기능에 영향을 미칠 지도 모른다(Peterson and Stevenson, 1992). 한편 하천 생태계에서 교란으로부터 회복하려고 저서성 대형무척추동물의 능력은 1) 각 생물의 생활사 특징, 2) 교란의 시기, 3) 교란지역 내의 생존자의 존재, 4) recolonization을 위한 source 개체군의 거리, 5) 교란의 성질 등 많은 요인에 영향을 받게 된다(Hutchens et al., 1998).

일반적으로 하천 생태계에서의 교란은 단기적 형태(pulse type)와 장기적 형태(press type) (sensu Bender et al., 1984)로 구분할 수 있다. 단기적 교란은 개체군 밀도나 군집구조에 일시적인 변화를 일으키는 것으로, 예를 들어 화학물질(e.g., pesticide; Hutchens et al. 1998)의 갑작스런 유입과 같은 것은 생태계의 일시적인 변화를 일으킨다. 이러한 교란을 재빨리 제거했을 때 생태계의 반응은 일시적인 것이 된다. 반대로 장기적 교란은 지속적이고 만성적인 간섭을 통하여 생태계에 장기적인 영향을 미치는 것으로 댐 및 수중보의 건설, 수로의 변형 등은 유속을 변화시키고 서식처의 물리적 특징을 변화시키게 되어 하류의 생태계에 영향을 줄지도 모른다(Underwood, 1996).

물론 이들 두 형태의 교란을 완전히 구분하기에는 어려움이 있다. 수중보 건설의 경우 저질의 교란 및 건설 도중의 여러 물질의 유입 등은 단기적 교란의 원인이 되겠지만 건설이 끝난 후에는 유속에 대하여 지속적인 장애물로 남아 하천 생태계에 대한 장기적 교란의 원인이 될 것이다. 또한 하천으로 오염물질의 유입이 지속된다면 하천 생태계에 장기적이고 만성적인 영향을 미치게 되어 장기적 교란으로 작용하게 될 것이다. 그러나 두 형태의 교란을 구별하는 것은 회복이 생물체에 대한 교란의 효과와 서식처에 대한 물리적인 장기적 변화에 영향을 받기 때문에 유수 생태계에서 저서성 대형무척추동물 군집의 회복 기작에 대한 이해를 촉진시킬 것이다(Resh et al., 1988).

장기적 형태의 교란요인인 사방공작물의 설치는 하천생태계에 미칠 영향을 신중히 고려하여 설계되어야 한다. 따라서 본 연구에서 북한산 계곡에 설치된 다양한 사방공작물이 계곡생태계에 미치는 영향을 일부의 수중동물을 통하여 분석하여보고 향후 이러한 교란을 생물학적으로 평가할 수 있는 기법의 개발은 향후 다양한 생태계의 보전 및 관리방안 수립에 기여하는 바가 클 것으로 본다.

## 1. 사방공작물이 계곡생태계에 미치는 영향 분석 (달성도 100%)

### 가. 저서성 대형무척추동물에 미치는 영향 (달성도 100%)

- 1) 사방공작물의 유형에 따른 저서성 대형무척추동물 군집 변화 파악
- 2) 각 사방공작물의 유형별 저서성 대형무척추동물 군집에 미치는 영향권 파악
- 3) 사방공작물이 출현종수 및 출현개체수에 미치는 영향 파악
- 4) 사방공작물이 군집구조에 미치는 영향 파악

### 나. 어류에 미치는 영향 (달성도 100%)

- 1) 조사대상지에서 어류에 대한 주요 분포역 파악
- 2) 사방공작물 유형이 어류에 미치는 영향 파악
- 3) 사방공작물의 구조에 따른 어류의 이동력 파악

### 다. 양서류에 미치는 영향 (달성도 100%)

- 1) 조사대상지에서 양서류의 주요 서식지 파악
- 2) 사방공작물 유형이 양서류에 미치는 영향 파악

## 2. 생물학적 평가기법의 개발 (달성도 100%)

### 가. 자료 수집 분석 (달성도 100%)

- 1) 국외의 생물학적 평가기법에 대한 문헌자료 수집 분석
- 2) 국내의 저서성 대형무척추동물 조사 자료 수집 분석

### 나. 평가기법 개발 (달성도 100%)

- 1) 사방공작물의 영향을 평가할 수 있는 평가모델 선정
- 2) 국내에 적용가능한 평가모델 및 metrics 선정
- 3) 생물학적 평가모델의 개발

다. 평가기법의 적용 (달성도 100%)

- 1) 개발된 평가기법을 조사대상지에 적용
- 2) 개발된 평가기법의 타당성 검토

3. 사방공작물의 영향 및 개선방향 (달성도 100%)

- 가. 사방공작물의 유형에 따른 영향 파악
- 나. 사방공작물의 개선방향 제시

### 3절. 야계사방공작물의 기능별 유형화 및 수질보전 영향 분석

1. 야계사방공작물의 기능분석 및 평가(달성도 100%)

- 가) 야계사방공법별 기능분석 시범지 선정
- 나) 야계사방 공법별 현황분석
- 다) 야계사방공작물의 기능 평가

2. 야계사방공작물의 기능별 유형화(달성도 100%)

- 가) 야계사방공작물의 자연경관과의 조화성 평가인자 선정 및 평가
- 나) 야계사방공작물의 치수, 이수기능과의 조화성 평가
- 다) 야계사방공작물의 순기능 및 역기능 평가
- 라) 야계사방공작물의 기능별 유형화

3. 야계사방공작물의 기능별 유형화 및 수질보전 영향 분석(달성도 100%)

- 가) 야계수질 분석
- 나) 야계수질 특성 도면화

## 제 5장. 연구개발결과의 활용계획

본 연구에서는 깻돌, 전석, 자연석 및 식생블록을 이용하여 치수적인 안정성과 다양한 수종의 식생이 가능하고 친환경성이 확보되는 측면에서 야계사방 사업지역에 적용하고 기술의 장단점을 평가하였다. 본 연구에서 제시된 연구가 현재 여러 지역에서 시행되고 있는 야계사방 사업지 및 수변구역의 정비방향 설정의 계기가 되기를 바라며, 향후 지속적인 사업과 모니터링을 통하여 기본적인 야계사방 방향뿐 아니라 공법이나 기법의 진보로 보다 쾌적하고 인간과 자연이 공존하는 계류환경을 조성하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

### 1. 기술적 측면

- 가. 계곡 내에 설치되어 있는 치산 사방구조물의 적용 타당성 검증
- 나. 수질오염저감을 위한 자연친화적 치산 사방구조물의 제시
- 다. 계곡 주변과 계곡과의 연계성을 고려한 자연친화적 기슭막이 공법 제시
- 라. 생태기능의 복원을 위한 치산사방구조물 제시
- 마. 일반 자연하천복원 기술 개발에 파급 효과 제공
- 바. 생태계 복원을 위한 생태호안 모델 제시
- 사. 수서곤충, 어류 양서파충류 등에 미치는 영향을 최소화하는 치산 사방구조물 제시
- 아. 어류의 소상력을 복원할 수 있는 호안기법 제시

### 2. 경제 · 산업적 측면

- 가. 계곡의 수질보전효과를 상승시킴으로써 상수원수의 수질개선 효과 증대
- 나. 야생동물과 수생생물의 서식 환경 개선으로 자연친화적 치산 사방구조물 복원
- 다. 합리적이고도 자연친화적인 계곡 내 치산사방구조물 관리전략 모델 개발로 관리비 저감 효과 증대
- 라. 일반적인 자연하천 복원에 자연친화적 치산 사방구조물 적용 가능
- 마. 계곡 내에 설치되는 치산 사방구조물의 관리 전략 모델 개발로 일선 행정기관에서의 치산 사방구조물 관리 계획 수립에 효과적으로 적용 가능
- 바. 치산 사방구조물의 구조적안정성 증대

## 제 6장. 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

### 1절. 황폐계류의 자연친화적 생태호안 모델 개발

#### 1. 미국의 야계사방 공법

미국에서 과거 수십년간 시행된 야계 및 하천복원사업의 형태는, 1950년대에 들어서면서 치수 및 인공구조물의 건설(댐, 저수지, 제방 등), 댐에서의 어도 설치, 부화장 기능을 갖는 완속지 조성 등이 주된 사업이었다. 이후 1960년대에는 이들의 추가 건설, 치수 및 인공구조물이 생태계에 미치는 영향을 인식하게 되었고, 1970년대 들어서야 치수 및 인공구조물 건설사업의 완성, 생태계에 대한 악영향을 줄이기 위한 초기 방편을 수립하게 되었다. 이 후 1980년대에는 치수사업의 평가 및 개정, 국부적인 생물 서식지 개선사업을 주된 목표로 하였고, 1990년대에는 치수사업의 평가 및 개정, 국부적인 생물 서식지 개선사업을 주된 목표로 하였고, 1990년대에는 치수 및 인공구조물 변경을 통한 야계 및 하천, 그리고 유역개선사업을 시도 하였다. 그리고 현재에 이르러 대규모 인공구조물인 댐의 제거를 통한 야계 및 하천복원사업을 시행하고 있다. 또한, 미국정부 내 몇몇 기관이 야계 및 하천복원사업에 관심을 가지고 사업을 진행해오고 있는데, 이들은 하천복원사업에 대한 조정과 협의를 위해 관련기관내 공동그룹을 구성하였고, 이 그룹은 수변복원·원리, 과정, 실무라는 제목의 지침서를 마련하였다. 이 공동그룹은 15개의 연방기관으로 구성되어 있으며, 미국 농무부의 산하기관인 천연자원보존국이 이끌고 있다.

과거에는 야계 및 하천을 인간의 필요에 의해 개발해 왔으나. 점차 미국은 생태적, 환경적으로 건강한 강과 야계 및 하천을 복원시키는데 노력을 기울이고 있다. 왜냐하면 인간의 필요성을 만족시키기 위한 야계 및 하천의 지속적인 이용으로 인해 과거보다 더 큰 야계 및 하천생태보호가 필요하게 되었기 때문이다. 미국 북서 태평양 연안지역에 존재하는 산지 야계 및 하천에서는 교란된 야계 및 하천과 자연적 야계 및 하천으로 구분하였다. 이러한 사업은 야계 및 하천의 생태계를 위협하는 관리방법을 수정하는 것과 밀접한 관련이 있다. 뿐만 아니라 최근에는 하천생태계를 보전하기 위한 서식지 개선 사업이 더 중요해지고 있다.

미국의 야계, 하천, 국립공원계곡부에서 계상의 안정을 도모하고, 유속을 완화시키며, 어류생태계를 보전하기 위해 많이 적용하는 복원 공법으로는 야계나 하천의 계



상에 전석(자연석, 조경석, 돌)을 듬성듬성 깔거나, 야계와 계안을 전석이나 통나무 그리고 폐석을 이용하여 연결함으로써 돌다리의 역할 및 계상침식 방지, 유속완화 기능을 수행하도록 한다.

또한 계상에 자연적인 어도를 조성하여 어류생태계를 보전하고, 통나무, 수생식물, 전석 등을 이용하여 계안과 하도와의 생태계 연결 및 수생동물의 서식처를 마련해주거나, 통나무 전석을 이용하여 계안에 목재침상 또는 목재침틀을 설치하여 어류의 피난처를 마련해주는 방법을 이용하고 있는데, 이러한 방법은 최근 우리나라에서 자연형 하천 복원시 많이 적용하고 있는 방법이다. 아울러 전석을 이용하여 상류 어류 생태계에 많은 문제를 발생시킬 수 있는 불필요한 어류의 상류 진입을 차단하거나 벌채목을 이용하여 계안에 배치함으로써 어류의 피난처를 조성해주거나 계안 침식을 방지하고 유속을 완화시키는 수제의 역할을 하게 하고, 전석 수제를 계안에 조성하거나 전석, 통나무, 흙 등을 이용하여 계상에 횡공작물처럼 조성함으로써 계상 침식을 방지하고 유속을 완화시키는 방법을 적용하고 있다.

또한, 호안공법으로 많이 적용하는 것은 계안 사면을 정리한 후 초목을 식재하는 방법, 초본류를 심는 방법, 계안 하단부에는 자연석(전석, 조경석)을 깔고 그 위에 초본류를 도입하는 방법, 코어넷을 계안에 깔고 그 위에 초본류를 분사파종하거나 심는 방법, 버드나무나 버들 등 습기에 강한 식물을 계안에 심는 방법, 계안의 하단에 돌망태를 시공하고 돌망태 안에 초본류 등을 식재하는 방법, 계안에 전석(자연석, 조경석)을 깔고 그 사이 사이에 초본류를 식재하는 방법, 통나무를 계안에 설치한 후 그 안에 전석을 채취 넣으면서 초본류를 심는 방법, 계안에 초본류를 식재하는 방법, 계안의 하단부에는 전석을 깔고 그 위쪽으로 생울타리 또는 울짱 엮기공법(편책공법)을 이용하여 복원하는 방법, 유목이나 통나무 전석 등을 이용하여 계안침식이 발생되지 않도록 기슭막이를 조성하는 방법, 계안이 침식되거나 포락될 수 있는 지역에는 전석을 계안 전면에 깔아 기슭막이로 시공하는 방법, 전석을 이용하여 횡침식을 방지하도록 바닥막이를 설치하는 방법, 주변에서의 벌채목을 이용하여 유속을 방지하고 계안침식을 막도록 수제를 조성하는 방법, 식생지오그라드를 이용한 복원방법 등이 사용되고 있다.

## 2. 일본의 야계사방 공법

19세기 후반 하천법, 산림법, 사방법이 공포되어 근대적인 치산·사방사업이 시작될 때 일본의 산림은 현재 중국, 북한, 필리핀, 네팔 등의 산지나 계류변과 같이 민등산이나 황폐산지가 전국에 존재하였고, 토사재해와 수해가 빈발했다. 당시 산지에서 침식된 토사는 계속적으로 유출되어 선상지에 과도하게 퇴적되고, 평지의 하천에도 토사가 증가하였다. 또한, 태풍으로 인한 침식토사의 증가로 하천이 범람하는 사태가 많이 발생하였다. 따라서 산복에는 나무를 심고, 계류에는 그곳이 도시부현에서 관리하거나 국가에서 관리하는 국립공원이라고 하더라도 그 지역의 계곡 내에 시공하여 토사가 유출되는 것을 방지하고자 하였다. 이것이 국토보전사업의 추진법으로써 공포된 당시의 산림법 및 사방법의 사상이었다.

현재까지 치산·사방사업의 대상이 되는 산지 및 계곡 내 지역에서 자연생태계의 상황을 어떻게 받아들일까. 또, 그것을 어떤 상태로 보전해야 하는가에 대한 문제는 생태계보전이라고 하는 문제로 논의되어 왔다. 그러한 측면에서 자연생태계의 보전을 염두에 둔 산지계곡내 치산·사방사업대상지역에 대하여 그 자연도의 정도에 따라 구분하여 볼 때 다음 세 가지 기준으로 구분할 수 있다. 그러나 이러한 구분은 그 기초적인 문제를 충분히 논의할 것은 아니며, 다만 해당 지역에서의 법 규제, 생태계 그 자체의 현상황, 치산·사방사업 등에 관련된 인공구조물 즉, 토목시설의 설치 유무, 지형의 변화 정도, 식생변화 등을 유발할 수 있는 인위적인 교란의 정도, 주변의 토지이용형태 등으로부터 종합적으로 판단되는 인위적인 영향 정도를 토대로 한 현실적인 구분이다.(太田과 高橋, 1999). 우선 기준 1은, 일본에는 원생적인 자연이 남아 있는가 하는 점이며, 이에 해당하는 기준은 원생에 가까운 자연도를 유지하고, 이를 보전하는 것이 법률 등에 명확하게 보장되고 있는 지역을 가리킨다. 또한, 기준 2는 높은 자연도를 가지며, 현재의 자연생태계를 가능한 보전하는 것이 바람직하고, 또는 자연생태계로의 치산·사방사업의 영향을 가능한 한 적게 하는 것이 바람직한 지역을 나타낸다. 아울러 기준 3은 이미 자연생태계가 변화 또는 파괴되고, 치산·사방사업에 의해서 풍부한 생물상의 복구가 요구되는 지역을 나타낸다.

최근 일본 고유의 생태계와 경관은 원시적인 산지와 국립공원 내 계류·하천변 등 한정된 부분에 남게 되었고, 도시 거주민들은 그들 주변뿐만 아니라 산지와 계류변의 자연생태계와 자연경관의 보전에 관심을 두게 되어 계류에서 시행되고 있는 환경복원적 치산·사방사업 즉, 인공구조물의 설치에 대한 관심이 증대되었다. 또한, 개

개 사업현장에서의 환경보전이 곧 지구환경의 보전과 직결됨을 고려한다면 치산·사방기술자가 사업실행에 있어 환경보전을 고려하는 것은 필수조건이라 할 수 있다. 따라서 환경 보전과 조화되지 않는 산지 또는 계곡 내에 설치되는 치산·사방구조물의 설치는 불가능하다고 해도 과언은 아니다. 실제 일본은 건설성, 임야청, 도시부현에서 환경을 배려한 각종사업을 전개하고 있고, 하천사업도 환경복원을 위한 치산·사방사업과 같이 근대 치수사업으로써 홍수범람 방지와 수자원의 개발에 큰 공헌을 해왔다. 그러나 최근 들어 대규모의 인공댐과 견고한 계안의 건설 그리고 계곡내에 설치되는 인공구조물이 결국 계류생태계는 물론 하천생태계와 친수성의 파괴로 이어지고 있다는 사실이 판명되어 각종 건설 사업은 환경을 고려하지 않고는 어렵게 되었다.

자연생태계와 자연 경관보전에 대한 국민적 관심의 증대는 대다수의 사람들이 살고 있는 평지에서 숲이나 수변 등 자연이 급속하게 사라지는 것이 원인이 되고 있고, 자연이 원형대로 남아있다고 생각되는 산지와 산림도 최근 현저하게 변화하고 있다. 이러한 시점에서 산지와 계류변에서의 생태계보전과 환경복원을 위한 치산·사방사업과의 관계에 대해서 생각해 볼 필요가 있다.

## 2절. 야계사방사업이 계곡생태계에 미치는 영향

저서성 대형무척추동물을 이용한 생물학적 평가는 지표성이 높은 개체군을 이용한 방법과 군집을 분석하는 방법으로 구분되나 다양한 조건에서 출현하는 저서성 대형 무척추동물의 지표성을 따지기 위해서는 군집단위에서의 분석이 일반적이다. 표 104와 표 105는 최근까지 개발된 다양한 지수의 유형을 분류해 놓은 것이다.

표 104. 저서성 대형무척추동물을 이용한 주요 수질 평가지표

구분	지수	국가	비고
Saprobic Indices	Biologically Effective Organic Loading (BEOL)	독일	Knöpp (1954)
	Saprobic Index	독일	Pantle & Buck (1955)
	Saprobic Valency	독일	Zelinka & Marvan (1961)
	Coupling Analysis	독일	Buck (1974)
	Saprobic Valency	일본	Gose (1978)
	DIN system	독일	Friedrich (1990)
	Saprobic Index	한국	윤등 (1992)
	Integrated Saprobic System	오스트리아	ÖNORM M 6232 (1995)
Simplified Indices	Family Biotic Index	미국	Hilsenhoff (1988)
	Group Pollution Index	한국	윤등 (1992)
	Higher Taxa Biotic Index	한국	공등 (1995)
Biotic Indices (formula based)	Biotic Index	미국	Beck (1954, 1955)
	Biotic Index	일본	Tsuda (1964)
	Biotic Index	남아프리카	Chutter (1972)
	Biotic Index	미국	Hilsenhoff (1977)
	Quality Index	네덜란드	Tolkamp & Gardeniers (1977)
	Improved Biotic Index	미국	Hilsenhoff (1987)
	RIVAUD	스위스	Lang et al. (1989)
	Improved RIVAUD	스위스	Lang & Reymond (1995)
Biotic Indices (based on standard tables)	Trent Biotic Index (TBI)	영국	Woodwiss(1964)
	Extended Trent Biotic Index (EBI)	영국	Woodwiss(1967)
Biotic Scores	Biotic Score	영국	Chandler(1970)
	Biological Monitoring Working Party Score (BMWP)	영국	Hellawell(1978)
	BMWP/Average Score Per Taxon (ASPT)	영국	Armitage <i>et al.</i> (1983)
	Total Biotic Score	한국	윤등 (1992)
	Macroinvertebrates Community Index (MCI)	뉴질랜드	Stark (1993)

표 105. 저서성 대형무척추동물을 이용한 주요 생태질 평가지표

구분	지수	국가	비고
empirical model	River InVertebrate Prediction And Classification Scheme (RIVPAS)	영국	Wright et al. (1993)
	AUStralian RIVER Assessment System (AUSRIVAS)	호주	Norris (1995)
Integrated Assessment System	The Development and Testing of an Integrated Assessment System for the Ecological Quality of Streams and Rivers throughout Europe using Benthic Macroinvertebrates (AQEM)	유럽연합	
Multiple Metric Index	Rapid Bioassessment Protocols (RBPs)	미국	Shackelford (1988), Barbour et al. (1992, 1995, 1996b), Hayslip (1993), Smith & Voshell (1997)
	Invertebrate Community Index (ICI)	미국	DeShon (1995)

생물학적 수질평가기법은 Kolkwitz and Marsson(1902, 1908, 1909)이 처음으로 하천생태계를 네 등급의 오수생물계열(Saprobic system)로 구분한 이후 BEOL(Knöpp 1954), Saprobic index(Pantle and Buck 1955), Saprobic valency(Zelinka and Marvan 1961), Indicative weight(Schwoerbel 1970), Trent biotic index(Woodiwiss 1964, 1978), Score system(Chandler 1970), Biotic index(Hilsenhoff 1977, 1982, 1988) 등 무수한 방법으로 세분되었다. Sladeczek(1973b)은 2,000여종에 달하는 지표 생물을 이용하여 오수생물계열을 8등급으로 더욱 세분하였고, Tuffery and Verneaux(1968)는 담수생태계를 유수 및 정수지역으로 구분하여 응용하는 방법을 고안하기도 하였다.

많은 종은 지역에 따라 분포가 다르므로 각 지역의 고유 생물군집을 중심으로 생물지수를 고안하고 있는데, 유럽에서는 영국(Sladeczek 1973a, Woodiwiss 1964, 1978), 독일(Knöpp 1954, Pantle and Buck 1955, Zelinka and Marvan 1961, DIN 1990), 프랑스(Tuffery and Verneaux 1968), 덴마크(Anderson et al. 1984), 네덜란드(Klapwijk 1988) 등을 들 수 있다. 북미의 경우는 Richardson(1928), Gaufin(1973b), Bartsch and Ingram(1959, 1966), Hynes(1960) 등에 의하여 이러한 연구가 시작되어 각 주 단위로 고유의 생물지수를 개발하는 작업이 진행되고 있다. 대표적으로 Wisconsin(Hilsenhoff 1977, 1982, 1988), Ohio(Olive and Smith 1975, Olive 1976),

Kansas(Chutter 1972), West Virginia(Wojcik & Butter 1977) 등의 주에서 활발히 연구되고 있다. 특히 이러한 작업은 US EPA에 의해 주도되어 일련의 Project로 진행되고도 있다(예, Gaufin 1973, Beck 1977, Harris & Lawrence 1978, Hubbard 1978, Surdick and Gaufin 1978, Horning 1984, Mount 1984). 최근 'RBP' 'IBI'의 개념을 이용한 수환경 평가지침서가 작성되어 이용되고 있다.

일본의 경우 생물지수에 의한 생물학적 수질평가 방법으로 Tsuda(1964, 1974)에 의하여 Beck-Tsuda법이 제안되었고, Gose(1978)에 의하여 Zelinka-Marvan(1961)의 방법이 수정되어 제안된 바 있다. 특히 일본은 환경청 수질보전국 주관으로 “전국수생생물조사”라는 과제로 1984년 이후부터 생물 모니터링을 계속하여 실시하고 있는데, 초반기에는 대상생물로 조류 등이 포함되어 있었으나, 현재는 그 지표성이 탁월함에 입각하여 저서성 대형무척추동물 단일 분류군만을 가지고 수질평가를 실시하고 있다. 수질평가에 사용되는 저서성 대형무척추동물의 분류군은 총 16개 군으로 그 원안은 각 연구기관의 용역연구로 이루어진 “수생생물에 의한 육안적 수질판정법”(수질보전국 발행)에 의하고 있다. 최근에는 하천생태계의 건강성 평가기법으로 영국과 호주에서는 예측모델(RIVPACS, AUSRIVAS)을, 미국에서는 multimetric index인 RBPs 및 ICI 등을 이용하고 있으며, 2002년 유럽연합에서는 하천의 자연도 평가기법으로 AQEM system을 개발하고 있다.

## 1. 유럽

### 가. 유럽연합

유럽연합에서는 최근 스웨덴, 독일, 네덜란드, 체코, 오스트리아, 이탈리아, 포르투갈, 그리스의 8개 연합으로 AQEM (The Development and Testing of an Integrated Assessment System for the Ecological Quality of Streams and Rivers throughout Europe using Benthic Macroinvertebrates) system을 개발하여 적용 중에 있다(그림 49). 이 시스템은 하천의 자연도 평가기법으로 5등급 체계로 되어있으며 아직 통합적인 기준은 없는 것으로 보인다. 그러나 이 시스템은 수질평가기법이라기 보다는 저서성 대형무척추동물을 이용한 하천 생태계를 평가하는 기법으로 볼 수 있다.



그림 60. AQEM 개발에 참여한 국가

AQEM은 EU Water Framework Directive의 요구를 이행하기 위하여 저서성 대형무척추동물을 기초로하여 8개 국가의 하천에 대한 평가시스템을 개발하는 데에 있다. 이 계획의 주된 성과물은 AQEM assessment system으로 다음과 같이 설명할 수 있다.

- AQEM system은 동일한 조사방법으로 얻어진 저서성 대형무척추동물 자료를 기초로 하천의 생태학적 질을 수준을 5단계로 구분하였다. - 5 (high; blue colour), 4 (good; green colour), 3 (moderate; yellow colour), 2 (poor; orange colour), 1 (bad; red colour). 더욱이 하천관리에 직접적인 도움이 될 수 있도록 교란의 다양한 원인에 관한 정보를 주고 있다.
- 이것은 하천생태계에 미치는 stressor-specific approach, 즉 각 하천 형태에 대하여 하천에 영향을 미치는 주된 교란 요인을 평가하는데, 이것은 주로 산성화(예, 스웨덴 북부), 하천형태의 훼손(예, 중앙유럽) 및 유기물 오염(예, 남유럽) 등이다. 어떤 경우에는 여러 개의 요인이 개별적으로 평가되어지는데, 여러 가지 연결된 최종 평가결과도 교란요인들은 항상 연결되어있기 때문에 일반적인

교란으로 간주될 수 있다.

- multimetric system은 각 하천의 형태에 대하여 계산법으로 지점의 교란 정도를 나타낼 수 있다. 개개의 계산법에 의한 결과는 "multimetric formula"에 연결된다.
- multimetric 결과는 5 (high quality)에서 1 (bad quality)까지의 최종 점수로 전환되며, 각 등급은 교란 상태에서 최고 상태까지를 나타낸다. AQEM program은 색을 이용하여 등급을 쉽게 구분할 수 있도록 하고 있다.

이외에도 AQEM 사업을 통하여 대중적으로 유용한 여러 개의 보고서와 부수적인 성과물을 얻었는데,

- 하천 형태에 대한 보고서: the "1st deliverable" of AQEM에서는 유럽국가와 다른 하천의 지형학적 접근법에도 적용할 수 있는 선별된 하천 평가기법을 기술하고 있다.
- 참조된 생물종에 대한 보고서-서술을 위한 구조와 도구: the "2nd deliverable" of AQEM에서는 자료 평가와 처음의 결과를 이용할 수 있는 방법을 설명하고 있다.
- 다른 하천평가기법에 대한 경험: the "3rd deliverable" of AQEM에서는 AQEM 평가방법의 일반적인 개발과정 내에서 저서성 대형무척추동물에 이용한 하천평가기법에 대하여 기술하고 있다.
- 비생물적 하천 특성에 대한 포괄적인 기술인 the AQEM site protocol and manual. 여기서는 유럽 전역에서 과학적, 응용적인 목적에 모두 적합한 하천 지형학, 화학 및 유역 특성에 대한 자료 기록의 절차를 서술하고 있다. 이 자료는 소프트웨어 AQEMdip에 저장할 수 있다.
- 유럽의 저서성 대형무척추동물에 대한 문헌 목록, 유럽 8개국의 축적된 문헌 목록을 제공한다. 이것은 AQEM 사업의 부수적인 성과물이다.
- 저서성 대형무척추동물 분류목록과 하천 특성자료를 저장하기 위한 도구인 software AQEMdip은 오스트리아의 software ECOPROF를 기초로 하였다. 이것은 AQEM site protocol에 기록된 모든 자료를 저장할 수 있으며, 많은 다양한 기능을 제공한다.



AQEM은 유럽 물관리지침(Water Framework Directive)에 따라 저서성 대형무척추동물을 이용하여 유럽 하천의 생태학적 질을 평가하기 위한 시스템으로 개발되었다. 대부분의 유럽국가에서 WFD의 준거치(criteria)를 이행하기 위하여 하천의 생태학적 질을 평가할 수 있는 기법에 대한 강한 요구가 있다. AQEM system은 WFD에 도움이 될 수 있는 도구로 28개 유럽 하천 형태에 대하여 과학적인 평가방법을 통하여 개발된 것이다. 비록 하천 형태의 차이를 평가하는 방법 간의 차이는 있지만 이 평가기법의 구조는 항상 동일하고, 같은 방법을 모든 하천 형태에 적용할 수 있다.

예로 오스트리아 하천에서 Multimetric indices는 서식처 교란평가에 매우 좋다. 물론 오수생물체계(saprobic system)에 의한 유기물 오염에 대한 평가도 계속 진행되고 있다. 그러나 최근에 WFD에 의거 AQEM과 오수생물지수의 등급을 연결하여 이용하려는 연구가 진행되고 있으며, 표 106은 이러한 시도의 일환으로 도출·제안된 것이다. 또한 독일, 이탈리아, 스웨덴 등에서도 AQEM에 대한 연구를 진행하고 있다.

표 106. 하천형태와 오수생물지수를 기초로 구분된 오스트리아 하천 형태에 따른 생태질 등급

Ecological quality class	Saprobic index			
I high (blue)	< 1.25	< 1.50	< 1.75	< 2.00
II good (green)	1.26 - 2.00	1.51 2.10	1.76 - 2.25	2.01 - 2.50
III moderate (yellow)	2.01 - 2.50	2.11 2.60	2.26 - 2.75	2.51 - 3.00
IV poor (orange)	2.51 - 3.00	2.61 3.10	2.76 - 3.25	3.01 - 3.50
V bad (red)	> 3.00	> 3.10	> 3.25	> 3.50

#### 나. 독일 / 우크라이나

독일의 수질기준 관계법령은 유럽연합의 75/440/EEC기준(음용수 원수로서 표류수 수질기준)을 적용한다. 다만 주간 물관리업무의 조화와 조정, 협조를 유지하려는 목적으로 주정부들의 물관련 전문가로 구성된 주간 물분야 협력위원회(LAWA)가 국민들의 수질이해를 쉽게 하려는 목적으로 수질지도를 1976년에 처음으로 작성하면서 정한 하천의 수질등급판정기준이 우리가 이해하는 수질환경기준에 가장 유사하며, 이는 7개의 등급으로 구분한다. 호소에 대하여는 수질등급판정기준을 아직 정하지 못하고 있다.

독일은 수량이 풍부하고 수량의 변화(하상계수)가 적어 우리나라와 같이 갈수기에 건천화되는 경우가 없을 정도로 하천유지용수가 연중 흘러 물이 없어 저서생물이 사멸하는 경우는 없으므로 측정당시의 수질만을 나타내줄 뿐인 이화학적 수질지표보다는 과거의 장기적인 수질변화를 총체적으로 대변해주는 저서성 대형무척추동물에 의한 수질등급 판정을 중시하고 있다. 따라서 표 107과 같이 수질등급은 저서성 대형무척추동물을 이용한 오수생물지수(saprobic index)에 의하여 판정하고 생물학적 산소요구량, 암모니아성 질소, 용존산소량 등과 같은 이화학적 지표는 보조적으로 이용하고 있다.

현재 개발 중인 저서성 대형무척추동물을 이용한 생물학적 평가기법은 독일의 수질평가기법을 이용하고 있다. 독일표준규격인 DIN 38410에서는 물에 대한 생물-생태학적 분석과 오수생물지수의 결정에 대한 사항을 규정하고 있다.

표 107. 독일 LAWA에 의한 수질등급 분류

수질 등급	유기오염도	오수생물계열	오수생물지수	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	DO최소 (mg/l)
I	청정 내지 극경미 오염	빈부수성	1.0- $<1.5$	1	많아야 혼적정도	$>8$
I-Ⅱ	경미한 오염	빈-β부수성 천이구역	1.5- $<1.8$	1-2	0.1내외	$>8$
Ⅱ	보통 오염	β-중부수성	1.8- $<2.3$	2-6	$<0.3$	$>6$
Ⅱ-Ⅲ	상당한 오염	β-α중부수성 천이구역	2.3- $<2.7$	5-10	$<1$	$>4$
Ⅲ	강한 오염	α-중부수성	2.7- $<3.2$	7-13	0.5내지 (mg/L)	$>2$
Ⅲ-Ⅳ	매우 강한오염	α-중부수성 내지 강부수성 천이구역	3.2- $<3.5$	10-20	(mg/L)	$<2$
Ⅳ	지나친 오염	강부수성	3.5- $<4.0$	$>15$	(mg/L)	$<2$

자료) 환경부, 2000, 수질환경기준 개선방안

※ saprobic index는 DIN 38410에 의거하여 산출함

한편 우크라이나에서는 표 108과 같이 독일의 저서성 대형무척추동물을 이용한 오수생물지수를 5개 등급으로 구분하여 적용하기 위한 시도가 진행되고 있다.

표 108. 우크라이나의 수질등급과 오수생물지수에 따른 수질등급의 제안

class	term	colour	saprobic index (proposal)	saprobic index (UA)
I	high	blue	1.0 - $<1.8$	
Ⅱ	good	green	1.8 - $<2.3(?)$	1.0-2.0
Ⅲ	moderate	yellow	2.3(?) - $<3.2$	2.1-3.0
Ⅳ	poor	orange	3.2 - $<3.5$	3.1-3.5
V	bad	red	3.5 - $<4.0$	$> 3.5$

다. 영국/호주

영국에서는 하천의 수질을 생물학, 영양염류, 심미적인 요소를 고려하여 종합적으로 평가(GQA, General Quality of Assessment)하고 있다. 이 중에서 하천의 생물학적 평가는 하천의 전반적인 “건강상태”를 나타내주는 지표로, 저서성 대형무척추동물 군집을 바탕으로 하고 있다. 거의 모든 담수에서 서식하는 저서성 대형무척추동물은 하천의 오염상태를 잘 대변하여 주는데, 과(科, family) 수준의 저서성 대형무척추동물을 관찰하여 그 수가 감소하면 오염에 의해 생태적인 피해를 받았다고 보는 것이다. 생물학적 평가에서는 유기오염물질에 민감한 정도를 기준으로 80개의 서로 다른 저서성 대형무척추동물 과(科)를 정하고, 시료에서 관찰된 각 과의 수와 각 과의 평균값(ASPT, Average Score Per Taxa)을, 하천이 오염되지 않고 생태학적 피해를 입지 않은 상태에서 발견될 수 있는 대형무척추동물의 수와 평균값을 컴퓨터로 예측(RIVPACS, River Invertebrate Prediction and Classification System)한 수치로 나누어 EQI(Ecological Quality Indices)를 구한다. 이렇게 구한 EQI를 중심으로 하천을 6등급으로 구분하고 있으며(표 109), 이를 영국의 하천에 도식화한 예는 그림 61과 같다.

표 109. 영국의 EQI에 의한 수생태계 평가기준

Grade	EQI for ASPT	EQI for number of taxa	Environmental Quality	하천의 상태
a	1.00	0.85	very good	- 오염되지 않은 상태와 유사 - 과(family)의 종류가 많고, 각 과 에서는 다수의 종이 함께 관찰됨. - 우점하는 과가 없음
b	0.90	0.70	good	- Garde “a”와 약간의 차이가 나고 오염이 없는 상태와 조금 차이가 있음 - 오염에 민감한 과의 수가 약간 줄고 각 과에서 오염에 견디는 개체수가 어느 정도 증가함. - 유기물에 의한 오염의 첫 신호
c	0.77	0.55	fairly good	- 오염이 없는 상태보다 악화된 경우 - 오염에 민감한 과가 사라지거나 그 과의 개체수가 줄고 오염에 견디는 과의 개체수가 현저히 증가한 상태
d	0.65	0.45	fair	- 오염이 없는 상태보다 상당히 차이가 남. - 오염에 민감한 과는 거의 사라지고 개체수도 매우 적은 상태 - 오염에 견디는 과가 많이 관찰되고 어떤 과에서는 그 개체수가 상당한 많은 상태
e	0.50	0.30	poor	- 오염에 강한 과의 개체가 우점하는 상태. - 오염에 민감한 과는 거의 없거나 사라짐
f	-	-	bad	- 오염에 매우 강한 과만 관찰되는 상태 - 이들 과가 매우 많이 보이지만 오염물질에 독성이 있는 경우 이들마저도 보이지 않음 - 최악의 경우 어떤 생명체도 존재하지 않는 상태

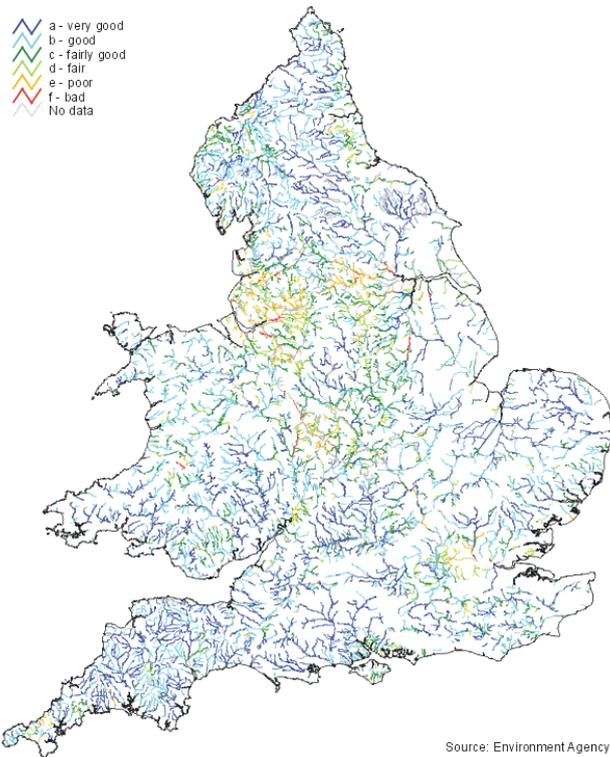


그림 61. 영국의 EGI 적용의 예(2003년)

영국에서는 stochastic model을 이용한 통계적 접근방법인 다변량적 분석(multivariate approaches)에 기초한 생태계 평가 모델 RIVPACS를 이용하고 있는데, 이 방법은 다양한 물리적, 화학적 요인을 독립변수로 하여 이에 따른 분류군의 내성의 한계를 이용한 출현도를 매개변수로 하여 변화 될 군집의 특성을 예측하는 방법이다. 이는 주요한 환경인자를 추출하여 제한적인 요소들로부터 우수생태계의 생물군집을 예측이 실현가능하다는 것을 입증한 성공사례로 평가되고 있다.

RIVPACS 모델은 변화된 환경하에서 출현이 가능한 분류군 수를 예측하고 또한 각 분류군(지표생물군)의 출현 가능성을 확률적으로 분석함으로써 교란 및 회복에 따라 변화하는 수환경에 반응하는 생물군집의 양상을 도출하는 내용을 주골격으로 하고 있다. 이 모델에 있어 중요한 예측기능 가운데 하나는 생물군의 “출현치 : 예상치” 비율(O/E Ratio)이다. O/E Ratio는 환경변화에 따른 영향의 범위를 파악하는데 매우 중요한 정보를 제공한다. 이러한 중요성은 호주의 AUSRIVAS 모델에도 동일하게 적용되고 있다(표 110~111). 이와 함께 AUSRIVAS 모델은 SIGNAL (Stream Invertebrate Grade Number - Average Level)을 적용하여 생태계의 교란적인 요소

에 대한 반응성을 고려하는 다목적성을 유도하고 있다. 현재 RIVPACS와 AUSRIVAS 모델은 상호호환성을 유지하는 등의 새로운 협력체계를 구성하고 있다.

표 110. AUSRIVAS/E-Ball banding 체계

Band	Band Name	Comments
X	richer than reference	<ul style="list-style-type: none"> <li>• More taxa found than expected.</li> <li>• Potential biodiversity "hot-spot"</li> <li>• Mild organic enrichment</li> <li>• Continuous irrigation flow in a normally intermittent stream</li> </ul>
A	reference	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Index value within range of central 80% of reference sites</li> </ul>
B	below reference	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fewer taxa than expected</li> <li>• Potential impact either on water quality or habitat quality or both resulting in a loss of taxa</li> </ul>
C	well below reference	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Many fewer taxa than expected</li> <li>• Loss of taxa due to substantial impacts on water and/or habitat quality</li> </ul>
D	impoverished	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Few of the expected taxa remain</li> <li>• Severe impairment</li> </ul>

표 111. AUSRIVAS.에서 사용되는 band에 대한 기술

Band	Condition labels for the Audit	Description
X	Not used	Above reference with about 20% or more of the different kinds of animals than expected
A	Reference	Equivalent to reference with similar numbers and types of animals expected
B	Significantly impaired	Below reference with a loss of between about 20 - 50% of the different kinds of animals expected
C	Severely impaired	Well below reference with a loss of between about 50 - 80% of the different kinds of animals expected
D	Extremely impaired	Impoverished with more than about 80% of the kinds of animals expected

표 112. 호주 각 주의 Bandwidth

State	Band X	Band A (reference)	Band B (significantly impaired)	Band C (severely impaired)	Band D (extremely impaired)
ACT	>1.14	0.86-1	0.55-0.86	0.28-0.55	0-0.28
NSW	>1.17	0.83-1	0.55-0.83	0.28-0.55	0-0.28
QLD	>1.19	0.81-1	0.55-0.81	0.28-0.55	0-0.28
TAS	>1.16	0.84-1	0.55-0.84	0.28-0.55	0-0.28
VIC	>1.16	0.84-1	0.55-0.84	0.28-0.55	0-0.28
SA	>1.18	0.82-1	0.55-0.82	0.28-0.55	0-0.28
WA	>1.17	0.83-1	0.55-0.83	0.28-0.55	0-0.28
NT	>1.15	0.85-1	0.55-0.85	0.28-0.55	0-0.28

ACT: Australian Capital Territory, NSW: New South Wales, QLD: Queensland,  
TAS: Tasmania, VIC: Victoria, SA: South Australia, WA: Western Australia,  
NT: Northern Territory

호주에서의 수서 생물지수(Aquatic biota index)는 환경의 변화에 따른 저서성 대형무척추동물 군집의 반응으로 나타난다. 이 지수는 국가하천건강프로그램(National River Health Program)을 기반으로 각 주에서 채집된 저서성 대형무척추동물을 기초로 하였으며, 모아진 자료는 표준화된 AUSRIVAS 방법에 의하여 분석되었다. 호주 전역 약 6,000개 지점에서 조사가 되었으며, 거의 대부분의 조사지점에서 두 서식처를 평가하였다. 1996년 이래로 지속적인 재평가를 하고 있다.

AUSRIVAS 모델은 참조 지점에서 예측된 생물상과 환경상태가 알려지지 않은 조사지점에서 출현한 저서성 대형무척추동물의 종류를 비교하는 것에 의하여 하천의 생물학적 상태를 평가하고 있다. 그림 62는 호주에서 하천 생태계를 평가한 결과를 도식화하여 나타낸 것이다.

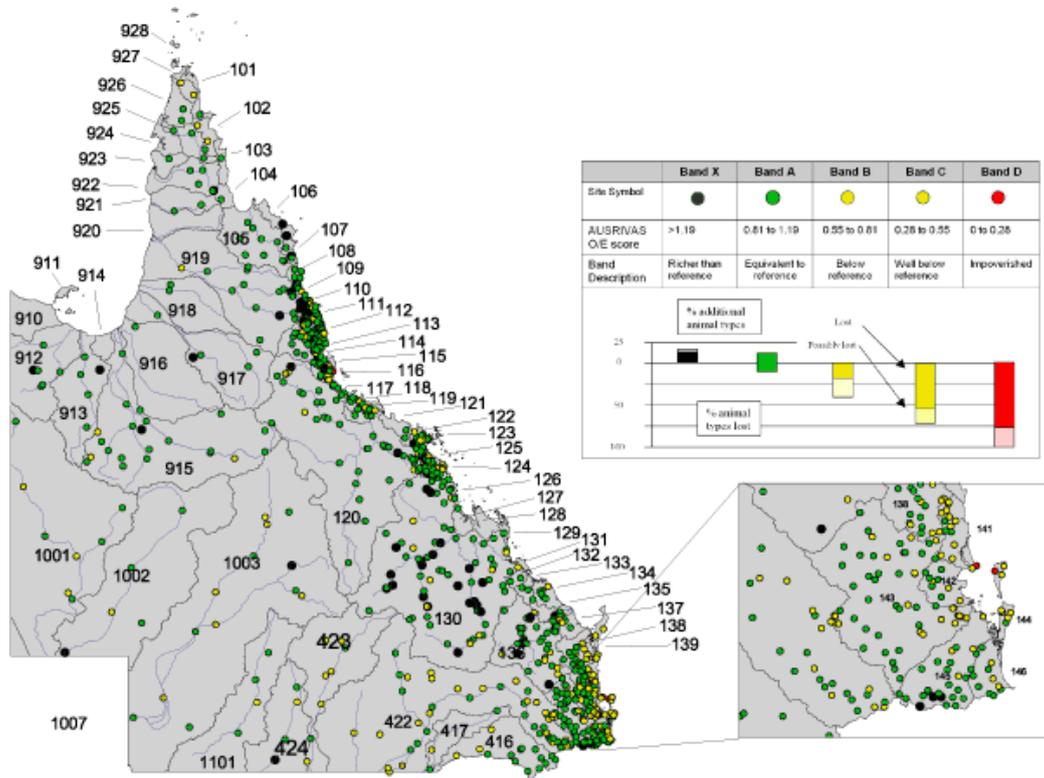


그림 62. 빅토리아주 하천 조사지점에 대한 AUSRIVAS 생물평가 결과의 도식 및 요약. (O=관찰치, E=기대치).

\* 출처 : Co-operative Research Centre for Freshwater Ecology 2001.



## 2. 미국(USA)

2001년도에 미국에서는 하천 관리프로그램의 일환으로 65개 지역(50개 주, 컬럼비아 특별지구, 4개의 보호령, 6개의 보호지역 및 4개의 주연합위원회)에 대하여 생물평가 및 생물모니터링과 평가에 대한 국가적인 현황을 파악한 결과를 표 113에 나타내었다.

표 113. 미국 하천에 대한 생물평가 프로그램의 국가적 현황, 2001.

PROGRAMMATIC ELEMENT	NUMBER OF ENTITIES			
	In place	Under development	None	Not applicable
Use of Bioassessments				
Water resource management	57	2	6	0
Interpret aquatic life use attainment	40	6	13	6
Narrative biocriteria in WQS	29	11	20	5
Narrative biocriteria in WQS with quantitative implementation procedures or translators	22	8	30	5
Numeric biocriteria in WQS	4	11	45	5
Assemblage Used				
Fish	41	0	16	8
Benthic macroinvertebrates	56	1	0	8
Algae (periphyton, diatoms)	20	5	32	8
More than one assemblage	45	5	7	8
Reference Conditions				
Ecoregional	42	2	12	9
Site specific	19	1	37	8
State wide or basin specific	7	1	46	11
Analysis				
Biological metrics	54	1	1	9
Multivariate	22	2	32	9
Assessment				
Multimetric index	41	3	12	9
Habitat assessment	57	0	0	8

생물학적 평가프로그램에 이용되는 주된 지표생물군은 어류, 저서성 대형무척추동물 및 부착조류이다. 이 중에서 저서성 대형무척추동물은 아직 개발단계에 있는 하와이를 제외한 전 지역의 수질관리청에서 사용하고 있는 일반적인 지표생물군이며 (그림 63), 어류와 부착조류의 순으로 생물학적 모니터링에 이용되고 있다. 또한 45개 지역에서 적어도 두 가지 이상의 지표생물군을 이용하며, 단지 5개 지역(알래스카, 하와이, 네바다, 유타, 와오밍)에서만 한 가지의 지표생물군을 이용하고 있지만 두 가지 이상의 지표생물군에 의한 평가를 위한 개발을 하고 있다.

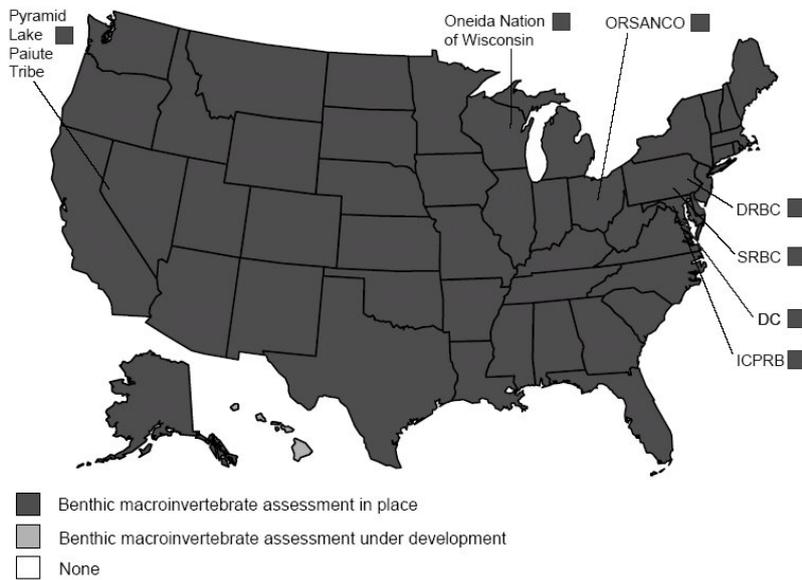


그림 63. 저서성 대형무척추동물 군집을 이용한 생물평가를 하는 지역도

생물 매트릭(biological metrics)과 다변량 분석(multivariate analysis)은 생물학적 상태에 이용될 수 있는 지표생물군에 대한 많은 자료를 손실없이 분석할 수 있는 방법이며, 미국에서는 대부분 생물평가 프로그램의 개발에 생물 매트릭을 이용하고 있다. 한편 41개 지역에서 multimetric index (e.g., fish of macroinvertebrate IBIs)를 이용하여 생물학적 상태와 수질을 평가하고, 교란정도를 판별하고 있다. 또한 전 지역에서 생물평가 프로그램과 더불어 다른 측정과 결합하여 시각적인 방법(e.g., QHEI, RBPs)을 채용함으로써 각 조사지점의 물리적 서식환경도 평가하고 있다.

한편 하천생태계에 이용될 수 있는 RBPs가 개발된 1989년에 미국 환경청에서는

각 주의 정규적인 생물평가(bioassessment)와 생물모니터링(biomonitoring)에 대한 현황을 파악하였다. 이때까지는 모든 주에서 생물평가의 실제적인 이용이 결정되지 않았다. 1995년의 자료를 기초로 물관리 프로그램에서 각 주의 생물평가와 생물준거치(biocriteria)의 이용 현황을 보다 많이 축적하였는데 6년 동안에 생물평가에 대한 많은 개선노력이 있었다.

1989년 이래로 최소한 세 개의 지표생물군 중 최소한 한 가지 생물군 이상을 조사한 지역의 수가 증가하였으며, 1995년에 조사된 거의 모든 지역은 저서성 대형무척추동물에 의한 생물평가를 수행하고 있다. 1989년부터 1995년까지 감소되었던 부착조류에 대한 조사도 1995년부터 2001년 사이에는 증가하였다. 단지 하나의 지표생물군을 이용한 평가는 수서 생물을 동정하는데 있어 대략 80~85%의 효율성으로 향상시킬 수 있다. 이와 같이 1995년이래로 US EPA는 특히 규모가 큰 하천에서 다중그룹의 사용을 추천해 왔다(15). 2001년에 하나 이상의 지표생물군을 사용하는 지역의 수는 41개에 이르며, 이러한 41개 지역 중 20개의 지역은 기본적인 지표생물군 이외에 식물성플랑크톤, 대형수생식물 및 동물성플랑크톤 등을 이용하여 적어도 셋 또는 네 개의 지표생물군에 대한 조사를 실시하고 있다.

1989년 이후(특히 1995년 이후)의 주요 발전 중 하나는 지역적인 비교와 교란을 감지하는 근간으로 지역적인 대조 상태의 이용이 증가하여 왔다는 것이다. 1989년에 단지 네 개의 주에서만 생태지역적인 대조상태(ecoregional reference condition)를 사용하고 있으며 1995년에는 15개 지역에 이른다. 그러나 2001년까지 39개의 지역에서 뚜렷한 생태지역 내에서 최소로 교란을 받은 지역의 조합을 이용하여 대조상태를 특정짓고 있다. 하지만 이와 반대로 11개의 지역에서 대조군을 구별하기 위하여 지점 특이적인 접근방법(site-specific approach)을 이용하였다(표 114).

끝으로 2001년의 조사에 있어서 수서생물상태를 배제시키기 위하여 어떠한 것이 WQS에서 협의의 생물준거치(narrative biocriteria)에 대한 정의를 내렸는데, 이것은 “주어진 수준의 환경에 서식하는 수서 군집의 생물학적 건강성을 묘사하는 서술식의 표현”으로 정의하였다.

표 114. 미국 하천에 대한 생물평가 프로그램의 1989년, 1995년 및 2001년 사이의 변화 요약

PROGRAMMATIC ELEMENT	NUMBER OF ENTITIES (see note below)											
	In-place				Under Development				None			
	1989	1995	2001	net change	1989	1995	2001	net change	1989	1995	2001	net change
<b>Use of Bioassessments</b>												
Water resource management	41	41 (+0)	52 (+11)	+11	3	8 (+5)	0(-8)	-3	8	3 (-5)	0(-3)	-8
Interpret aquatic life use attainment	unk	31	39 (+8)	+8	unk	8	6 (-2)	-2	unk	13	7 (-6)	-6
Narrative water quality standard	unk	29	28 (-1)	-1	unk	11	10 (-1)	-1	unk	12	14 (+2)	+2
Numeric water quality standard	1	2 (+1)	3 (+1)	+2	unk	15	10 (-5)	-7	49	35 (-14)	39 (+4)	-8
<b>Organism Group Used</b>												
Fish	22	29 (+7)	37 (+8)	+15	1	5 (+4)	0 (-5)	-1	28	18 (-10)	15 (-3)	-13
Benthic macroinvertebrates	39	44 (+5)	51 (+7)	+12	3	5 (+2)	1 (-4)	-2	10	3 (-7)	0 (-3)	-10
Algae (periphyton, diatoms)	7	4 (-3)	19 (+15)	+12	0	3 (+3)	5 (+2)	+5	44	45 (+1)	28 (-17)	-16
More than one assemblage	24	26 (+2)	41 (+15)	+17	4	10 (+6)	5 (-5)	+1	26	16 (-10)	6 (-10)	-20
<b>Reference Conditions</b>												
Ecoregional	4	15 (+11)	39 (+24)	+35	2	26 (+24)	2 (-24)	0	44	11 (-33)	11 <sup>no</sup> (0)	-33
Site-specific	unk	31	19 (-12)	-12	unk	0	1 (+1)	+1	unk	21	32 <sup>no</sup> (+11)	+11
State-wide or basin-specific	unk	6	6 (0)	0	unk	0	0	0	unk	46	46 <sup>no</sup> (0)	0
<b>Multiple Metrics for Data Analysis</b>												
Biology	3	42 (+39)	50 (+8)	+47	11	6 (-5)	1 (-5)	-10	35	4 (-31)	1 (-3)	-34

한편 미국에서는 하천생태계의 종합적 건강성 평가기법인 RBPs (Rapid Bioassessment Protocols), Benthic IBI (Benthic Index of Biological Integrity), ICI (Invertebrate Community Index) 등과 같은 multimetric index가 개발되어왔다. 많은 주의 자료의 통합을 기초로 한 EWH (Exceptional Warmwater Habitat)의 준거치는 오하이오 수질지침(Ohio Water Quality Standards)의 협의적 정의를 적절히 반영하여 여러 주에 동일하게 적용되고 있다(표 115). EWA에 의하면 민감한 대형무척추동물 분류군과 어류중에 의하여 하천생태계를 특징짓는다.

표 115. IBI, ICI에 대한 생물학적 수질평가기법의 범위

Index/Site type	Exceptional <sub>1</sub>	Good	Fair	Poor	Very Poor
Integrity of Biotic Integrity (IBI, Fish)					
Boat sites	48-60	47	26	16-25	<16
Wading sites	50-60	49	28	18-27	<18
Headwater sites	50-60	49	28	18-27	<18
Invertebrate Community Index (ICI)					
All sites	48-60	46	14	2-12	<2

미국에서 이용 중인 multimetric index에는 저서성 대형무척추동물 군집의 다양한 항목이 적용될 수 있다. 표 117에는 적용할 수 있는 최우선의 메트릭을 구분하여 나타내었고 표 117에는 표 116에서 제안된 것들 이외에 추가 적용될 수 있는 메트릭을 나타내고 각각의 정의 및 교란에 대한 예측된 반응 등을 서술하였다.

표 116. 교란에 반응하는 저서성 대형무척추동물의 최우선 적용 메트릭의 정의

Category	Metric	Definition	Predicted response to increasing perturbation
Richness measures	Total No. taxa	Measures the overall variety of the macroinvertebrate assemblage	Decrease
	No. EPT taxa	Number of taxa in the insect orders Ephemeroptera (mayflies), Plecoptera (stoneflies), and Trichoptera (caddisflies)	Decrease
	No. Ephemeroptera Taxa	Number of mayfly taxa (usually genus or species level)	Decrease
	No. Plecoptera Taxa	Number of stonefly taxa (usually genus of species level)	Decrease
	No. Trichoptera Taxa	Number of caddisfly taxa (usually genus or species level)	Decrease
Composition measures	% EPT	Percent of the composite of mayfly, stonefly, and caddisfly larvae	Decrease
	% Ephemeroptera	Percent of mayfly nymphs	Decrease
Tolerance/Intolerance measures	No. of Intolerant Taxa	Taxa richness of those organisms considered to be sensitive to perturbation	Decrease
	% Tolerant Organisms	Percent of macrobenthos considered to be tolerant of various types of perturbation	Increase
	% Dominant Taxon	Measures the dominance of the single most abundant taxon. Can be calculated as dominant 2, 3, 4, or 5 taxa.	Increase
Feeding measures	% Filterers	Percent of the macrobenthos that filter FPOM from either the water column or sediment	Variable
	% Grazers and Scrapers	Percent of the macrobenthos that scrape or graze upon periphyton	Decrease
Habit measures	Number of Clinger Taxa	Number of taxa of insects	Decrease
	% Clingers	Percent of insects having fixed retreats or adaptations for attachment to surfaces in flowing water.	Decrease

표 117. 교란에 반응하는 저서성 대형무척추동물에 대한 추가적인 메트릭의 정의

Category	Metric	Definition	Predicted response to increasing perturbation
Richness measures	No. <i>Pteronarcys</i> species	The presence or absence of a long lived stonefly genus (2-3 year life cycle)	Decrease
	No. Diptera taxa	Number of "true" fly taxa, which includes midges	Decrease
	No. Chironomidae taxa	Number of taxa of chironomid (midge) larvae	Decrease
Composition measures	% Plecoptera	Percent of stonefly nymphs	Decrease
	% Trichoptera	Percent of caddisfly larvae	Decrease
	% Diptera	Percent of all "true" fly larvae	Increase
	% Chironomidae	Percent of midge larvae	Increase
	% Tribe Tanytarsini	Percent of Tanytarsinid midges to total fauna	Decrease
	% Other Diptera and noninsects	Composite of those organisms generally considered to be tolerant to a wide range of environmental conditions	Increase
	% <i>Corbicula</i>	Percent of asiatic clam in the benthic assemblage	Increase
Tolerance/Intolerance measures	% Oligochaeta	Percent of aquatic worms	Variable
	No. Intol. Snail and Mussel species	Number of species of molluscs generally thought to be pollution intolerant	Decrease
	% Sediment Tolerant organisms	Percent of infaunal macrobenthos tolerant of perturbation	Increase
	Hilsenhoff Biotic Index	Uses tolerance values to weight abundance in an estimate of overall pollution. Originally designed to evaluate organic pollution	Increase
	Florida Index	Weighted sum of intolerant taxa, which are classed as 1 (least tolerant) or 2 (intolerant). Florida Index = 2 X Class 1 taxa + Class 2 taxa	Decrease
Feeding measures	% Hydropsychidae to Trichoptera	Relative abundance of pollution tolerant caddisflies (metric could also be regarded as a composition measure)	Increase
	% Omnivores and Scavengers	Percent of generalists in feeding strategies	Increase
	% Ind. Gatherers and Filterers	Percent of collector feeders of CPOM and FPOM	Variable
	% Gatherers	Percent of the macrobenthos that "gather"	Variable
	% Predators	Percent of the predator functional feeding group. Can be made restrictive to exclude omnivores	Variable
Life cycle measures	% Shredders	Percent of the macrobenthos that "shreds" leaf litter	Decrease
	% Multivoltine	Percent of organisms having short (several per year) life cycle	Increase
	% Univoltine	Percent of organisms relatively long lived (life cycles of 1 or more years)	Decrease

### 3절. 야계사방공작물의 기능별 유형화 및 수질보전 영향 분석

미국 및 오스트리아 등 유럽 선진국에서는 수변구역의 보전 및 녹화를 위하여 아래와 같은 공법을 적용하고 있는데, 이러한 방법은 우리나라에서 충분히 적용할 수 있는 공법이며, 앞으로도 계속적으로 발전시킬 수 있는 방법이라고 생각된다.

#### 1. 자연친화적 수변관리를 위한 간접적인 침식방지 공법

수제는 제방에서 흐름 쪽으로 돌출된 구조물을 말한다. 수제를 뜻하는 groin, jetty, spur, wing dam 등의 용어가 혼용되기도 한다. 돌출길이가 매우 짧은 경우에는 hard point라고 부르기도 한다. 수제에는 투수성 수제와 불투수성 수제가 있다. 투수성 수제는 비용면에서 불투수성 수제보다 저렴하지만 유사 농도가 높은 곳에서는 비효율적이다. 또한 내구력이 약하다는 단점이 있다. 투수성 수제에는 망사울타리 수제와 판자울타리 수제가 대표적이다. 미연방도로국(Federal Highway Administration, 1985)의 설계지침에는 수제길이, 간격, 각도, 수제길이와 투수율과의 관계에 대한 내용이 자세히 수록되어 있다. 불투수성 수제는 사용재료에 따라 사석 수제, 돌망태 수제 및 모래나 흙으로 채워진 마대 수제로 나눌 수 있다. 사석 수제에 사용되는 돌은 하나의 무게가 0.1 ~ 2톤 정도이며, 수심이 깊고 유속이 빠를수록 무거운 돌이 사용된다. 사석 수제의 최소 폭은 60cm이며, 사용되는 돌의 입경이 커지면 수제폭도 이에 따라 증가되어야 한다. 사석 수제의 사면경사는 1 : 1.5가 일반적이나 돌의 입경 구성비에 따라 안식각을 이룰 수 있도록 경사를 조정할 수 있다.

감속제는 하천곡률, 제방침식성, 수리 특성상 수제가 적합하지 않은 곳에 적용된다. 특히 제방 법선의 변동을 원하지 않는 경우에 자주 이용된다. 감속제에는 투수성 감속제와 불투수성 감속제가 있다. 투수성 감속제에는 판자울타리 감속제와 Jack Field 감속제가 있다. 불투수성 감속제는 앞비탈 기슭 사석 호안과 거의 유사하다. 굴절제는 만곡부에서 발생하는 2차류를 제어하여 제방 앞비탈 기슭에서 발생하는 침식을 줄이는 것을 목적으로 한다. 특히 굴절제는 넓고 균등한 하천단면이 필요하거나, 얕은 최심선을 유지해야 하는 경우에 적합하다. 또한 최심선의 사행을 유도하기 위해서 제방 양쪽에 교차하는 굴절제를 연속적으로 설치하기도 한다. 굴절제에는 Iwoa vane와 Bendway weir가 있다. Iwoa vane은 홍수시에는 완전히 물에 잠기지

만 저수시에는 일부가 물 밖에 드러난다. 특히 vane이 흐름과 이루는 각도가 매우 중요하다. Bendway weir는 미국육군공병단에서 만곡부 하폭 증가를 피하기 위해 개발한 것이다. 굴절제를 모래 하상에 설치하는 경우에는 굴절제 아래에 필터층이나 토목섬유 등을 설치하여 굴절제의 침하나 붕괴를 방지하여야 한다.

## 2. 자연친화적 수변관리를 위한 식생 및 생물공법

식생과 생물공법은 자연형 하천복구에 자주 사용되는 공법이다. 이 공법은 수목에 적합한 식재 방법 채택, 현장 조건에 따라 관찰 빈도와 심도를 조정, 완전 활착시까지 관개 등을 고려하는 등 세심한 배려가 필요하다. 생물공법의 종류에는 물고기 런커스, 관목 매트리스, 식생망태, 통나무 방틀벽, 통나무 호안, 야자섬유마리, 나무 뿌리 밀둥, 야자섬유매트, 관목 덩불갈기, 식생 지오그라드, 휴면수목 삽목, 활목 다발 묻기, 물분사 파종 및 덮기 등 다양한 방법이 있다.

### 가. 물고기 런커스

런커스는 “Little Underwater Neighborhood Keepers Encompassing Rheotactic Salmonid”의 약자이다. 런커스는 물고기의 피난처 및 서식지를 제공할 뿐만 아니라 제방 앞비탈 기슭의 침식을 방지해 준다. 런커스는 주로 만곡부 바깥 쪽에 설치되며, 하상바닥에서 앞비탈 기슭 높이까지 시공되는 것이 일반적이다. 유사량이 큰 하천에서는 부적합하며, 자갈 하천에 주로 시공된다. 시공하는데 중장비가 소요되며 비용이 많이 소요되는 단점이 있다.

### 나. 관목 침상

제방사면의 침식을 방지하기 위하여 살아 있는 관목으로 침상을 설치하는 공법이다. 홍수시에는 토사를 포착하여 유사농도를 경감시키는 부수적인 효과가 있다. 이 공법은 하안식생과 수변생태의 신속한 복원이 가능하며, 특히 토종 식생대로의 천이를 촉진시켜주는 특징이 있다. 평수위 이상에서 시공이 가능하고 앞비탈 기슭 봉우리 사석과 병행하여 설치하기도 한다. 식생이 완전히 활착하기 전에 홍수에 잠길 가능성이 있는 곳이 효과적이다.



#### 다. 식생망태

직육면체 철망에 돌과 흙을 채운 망태를 좌우, 상하로 연결하면서 망태 사이에 활목을 채워넣은 공법이다. 이 공법은 급경사 제방사면의 보호에 적합하며, 특히 입경이 큰 돌을 구하기 어려워 사석보호공을 적용하기가 곤란할 때에 효과적이다. 망태를 설치하기 위해 튼튼한 기초가 필요하기 때문에 소류사의 비중이 커 하상변동이 심한 하천에는 부적합하다. 또한, 연직방향 토압에는 잘 견디나 횡방향 토압에는 취약한 단점이 있기 때문에 횡방향 토압을 줄이기 위한 제방 상단의 식생공법이 필요한 경우도 있다. 망태의 수명을 증대시키기 위하여 비닐로 코팅하거나 전기도금한 철망을 사용하기도 한다.

#### 라. 통나무 방틀벽

표면처리하지 않은 목재나 통나무를 교차 연결하여 제방의 평수위 이상의 부분에 속이 비어 있는 큰 나무상자 형태의 벽을 설치하는 공법이다. 비어 있는 속은 흙과 활목으로 채운다. 이 공법은 제방 사면이 연직에 가까운 경우에 적합한 공법이며, 특히 만곡부 외측의 제방침식 방지에 적합하다. 자연스러운 경관을 제공할 뿐만 아니라 식생의 활착을 가속화시키는 장점이 있으나 비용이 많이 소요되는 단점도 있다.

#### 마. 통나무 호안

제방 앞비탈 시슥에 통나무를 흐름방향과 평행하게 설치하여 유속을 감소시키고 토사를 포착시키는 공법이다. 이 공법은 설치된 통나무가 흐름에 떠내려 가지 않도록 적절한 고정장치가 필요하다. 이 공법은 제방높이가 3.5m를 초과하지 않고 만제유량에 대한 유속이 2m/s 이내인 경우에 적합하다. 그러나 이탈된 통나무가 하류로 떠내려가 교각 사이에 걸려 통수능을 감소시킬 우려가 있는 곳에는 적용할 수 없다. 또한, 통나무 설치로 인한 통수능 감소가 만제유량을 기준으로 15%를 초과하지 않아야 한다는 제한사항도 있다. 통나무 사이에 포착된 토사가 토속종 식생의 활착을 촉진시키는 장점이 있지만, 통나무의 부식 및 훼손 등을 주기적으로 유지 관리해야 하는 단점도 있다.

#### 바. 야자섬유마리

야자섬유마리를 제방 앞비탈 기슭에 흐름방향과 평행하게 설치하여 침식을 방지하는 공법이다. 이 공법은 일반적으로 직경 30cm, 길이 6m 짜리 야자섬유마리가 사용된다. 휴면 수목을 야자섬유마리 양쪽에 삽입하여 고정시킨다. 빠른 식생의 활착을 위하여 야자섬유마리를 약간 짚고 뿌리가 있는 수목을 삽입하기도 한다. 야자섬유마리는 부력에 의해 수면으로 떠오를 수 있기 때문에 반드시 고정장치가 필요하다. 이 공법의 수명은 6 ~ 10년 정도이며, 흐름이 빠른 경우에는 적용할 수 없다.

#### 사. 나무뿌리 밀동

나무뿌리의 밀동을 제방에 삽입, 설치하여 침식을 방지하고 토사를 포착하며, 생태의 다양성을 확보하기 위한 공법이다. 이 공법은 나무뿌리 밀동이 단단히 고정되면 유속이 매우 빠른 흐름의 전단력에도 견딜 수 있는 장점이 있다. 그러나 나무뿌리 밀동 부근에 국부세굴이 발생할 수 있기 때문에 주의를 요한다. 이 공법의 적용은 재료의 가용 여부에 제한받으며, 수명은 기후와 사용된 나무의 종류에 따라 차이가 난다.

## 제 7장. 참고문헌

1. 건설부. 1982. 河川施設基準. 건설부. 504pp.
2. 건설부. 1994. 자연형 하천계획기법 및 하천유량과 수질의 상관성 조사·연구. 1994년도 하천환경관리기법개발연구·조사 보고서. 489pp.
3. 건설교통부. 1998. 하천구역내 나무심기 및 관리에 관한 기준. 건설교통부. 58pp.
4. 건설교통부. 1999. 하천법 법률 제5893호 전문개정.
5. 경남일보. 2002. 하천오염 서식지 훼손 토착어종 줄어 . . . . . 경남일보 3월 6일자 16면.
6. 공동수, 류재근, 윤일병. 1999. 저서생물에 의한 수환경 진단과 복원기법의 현황과 전망. 1999년도 환경변화와 곤충자원 심포지움. 고려대학교 한국곤충연구소. p.69-92.
7. 공동수, 류홍일, 류재근, 윤일병. 1995. 저서성 대형무척추동물 상위분류군 생물지수의 고안 및 적용. 한국환경독성학회 추계학술대회 요약집 11pp.
8. 국립공원관리공단. 1994. 지리산국립공원 훼손지 복구 환경조사 및 실시설계. 국립공원관리공단. 138pp.
9. 국립공원관리공단. 1999. 생태계 보전을 고려한 공원시설물의 정비 및 조성기법 개발에 관한 연구. 국립공원관리공단. 326pp.
10. 국립공원관리공단. 1999. 북한산국립공원. 한국의 국립공원:104-111.
11. 국립공원관리공단지리산관리사무소. 2000. 지리산 모니터링 보고서. 국립공원관리공단지리산관리사무소. 171pp.
12. 국립공원관리공단. 2001. 국립공원백서. 국립공원관리공단. 540pp.
13. 국립공원관리공단. 2001. 국립공원 산사태지 복구대책 수립을 위한 조사. 국립공원관리공단. 106pp.
14. 국립공원관리공단. 2001. 국립공원내 훼손지에 대한 환경친화적인 복구방안 세미나. 국립공원관리공단. 174pp.
15. 국립공원관리공단. 2001. 북한산국립공원 자연자원조사. 국립공원관리공단. 289pp.
16. 국립환경연구원. 2000. 정책결정자를 위한 수질관련기준 비교분석.
17. 권오길, 박갑만, 이준상. 1993. 원색한국패류도감. 아카데미서적.
18. 권오길. 1990. 한국동식물도감 제32권 동물편 (연체동물 I). 문교부. 446pp.
19. 김경하. 2002. 자연친화적 산지야계 복원 기법. 임업연구원. 68pp.
20. 김규호. 2002. 생태서식 환경을 위한 큰돌 군(boulder cluster)의 구조. 2001년도 한국수자원학회 기초과제 연구보고서. 125-156.
21. 김기홍, 신영철, 이형래. 2002. 산지 소하천 유역의 지형특성에 관한 조사 연구.

- 산업과학기술연구소보 제9호:53-58.
22. 김성일. 2001. 생태계 관리기법. 아름다운 국립공원 제28호:12-14.
  23. 김영숙. 2001. 목재보존제의 국제적 사용 동향. 제4회 한국목재공학회 2001산학연  
심포지엄 목재의 방부·방충 세미나. 한국목재공학회·임업연구원. 3-21pp.
  24. 김재진. 1992. 산성조건하에서 옥외용 목재의 성능저하. 석사학위논문. 고려대학  
교 대학원. 71pp.
  25. 김창환, 윤일병, 이종규. 1979. 한강수계에 있어서 수서곤충의 다양성에 의한 생  
물학적 수질관정에 관한 연구. I. 조종천. 자연보존연구보고서. 1:257-267.
  26. 김창환, 윤일병, 이종욱. 1980. 한강수계의 저서성 대형무척추동물에 의한 생물학  
적 수질관정에 관한 연구. 자연보존연구보고서 2:147-156.
  27. 김훈수. 1977. 한국동식물도감. 제19권. 동물편(새우류). 문교부.
  28. 나철호, 최충길, 백순기. 1986. 한국산 수서곤충의 환경오염물질에 대한 내성 및  
감수성 연구. 한국육수학회지 19:109-125.
  29. 낙동강환경관리청. 2002. 낙동강유역 환경지도 - 물관리 부문 중심으로 -. 낙동  
강환경관리청. 149pp.
  30. 마호섭. 2002. 사방사업의 발전방안 토론자료. 한국산림토목환경연구회보  
43:42-46.
  31. 박병상. 1994. 덕유산 국립공원의 양서류상 - 대형 건설 공사가 양서류 서식에  
미치는 영향 -. 응용생태연구 7(2) : 207 - 212.
  32. 박재철. 2000. 물순환모델에 의한 산지소유역의 유출특성 및 계류수의 수질변화  
분석. 영남대학교 대학원 석사학위논문. 74p.
  33. 박재철, 이현호. 2000. 유출량의 변화가 산지 계류수의 수질변화에 미치는 영향-  
팔공산유역을 대상으로-. 한국임학회지 89(3):342-355.
  34. 박재현, 우보명. 1989. 비탈면의 동결융해 침식에 관한 연구. 서울대 농학연구  
14(1):9-15.
  35. 박재현. 1996. 산림유역에 있어서 계류수질 평가기준 정립에 관한 고찰(II). 자연  
보존 95:38-52.
  36. 박재현. 2001. 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수질 특성(IV) - 이화학적 특성  
의 계절별 변화를 중심으로 -. 한국임학회지 90(1):146-154.
  37. 박재현. 2001. 북한산국립공원 북동사면에서 동결융해침식 및 토사유출이 계류수  
질에 미치는 영향. 한국임학회지 90(4):513-523.
  38. 박종관. 1997. 물환경조사법. 청문각. 186pp.
  39. 배연재, 박선영, 황정미. 1998. 감장하루살이(하루살이목: 꼬마하루살이과) 유충의  
기재 및 한국산 꼬마하루살이과 유충의 검색표. 한국육수학회지 31(4) : 282 -  
286.

40. 서규우. 2002. 국내 도시하천의 생태환경 조성을 위한 모형의 개발 및 적용 - 부산 온천천유역의 적용사례를 중심으로 -. 2001년도 한국수자원학회 기초과제 연구보고서. 157-204.
41. 송광래. 1995. 한국산 거머리강(환형동물문)의 분류. 고려대학교 석사학위논문 57pp.
42. 안상진. 2002. 바람직한 하천살리기 방향. 한국수자원학회지 35(4):7-8.
43. 안영근. 1973. 하천수질(만경강)의 오염과 저서생물에 관한 연구. 한국육수학회지 6:1-14.
44. 우보명. 1992. 신제사방공학. 향문사. 310pp.
45. 우효섭. 2001. 수변복원의 이해(Ⅰ) - 미국의 수변복원 가이드라인을 중심으로 -. 하천복원에 관한 국제 심포지엄:275-284.
46. 우효섭. 2001. 수변복원의 이해(Ⅱ) - 미국의 수변복원 가이드라인을 중심으로 -. 하천복원에 관한 국제 심포지엄:285-298.
47. 오용남, 전태수. 1991. 배내천 종류의 저서성 대형무척추동물에 관한 연구. I. 군집분석 및 생물학적 수질 판정. 한국생태학회지 14:345-360.
48. 원두희, 권순직, 전영철. 2005. 한국의 수서곤충. (주)생태조사단. 415pp.
49. 위인선, 나철호, 이종빈, 백순기. 1991. 수환경오염에 대한 수서곤충 지표종에 관한 연구. 한국환경생물학회지 9:42-54.
50. 위인선. 1974. 영산강의 저서생물에 의한 생물학적 수질판정. 한국육수학회지 7:29-35.
51. 윤일병, 1988. 한국동식물도감. 제30권. 동물편(수서곤충류). 문교부.
52. 윤일병, 1995. 수서곤충검색도설. 정행사. 서울.
53. 윤일병, 공동수, 유재근 1992a. 저서성 대형무척추동물에 의한 생물학적 수질평가 연구(Ⅰ) -오탁계급치 및 생물가중치 산정을 중심으로-. 한국환경생물학회지 10: 24-39.
54. 윤일병, 공동수, 유재근 1992b. 저서성 대형무척추동물에 의한 생물학적 수질평가 연구(Ⅱ) -생물군집에 대한 환경요인 영향을 중심으로-. 한국환경생물학회지 10: 40-55.
55. 윤일병, 공동수, 유재근 1992c. 저서성 대형무척추동물에 의한 생물학적 수질평가 연구(Ⅲ) -육안적 간략수질 평가방법을 중심으로-. 한국환경생물학회지 10: 77-84.
56. 윤일병, 공동수, 이상협 1992d. 저서성 대형무척추동물에 의한 금호강 수계의 생물학적 수질판정. 한국육수학회지 25: 177-183.
57. 윤일병, 박은병. 1972. 한강유역의 수서곤충의 현존량 및 생물학적 수질판정에 관한 연구. 과학기술처 연구보고서 R-72-81. p.103-114

58. 윤일병, 배경석, 공동수. 1987. 하구의 이화학적 요인과 저서성 대형무척추동물의 군집구조에 관한 연구. 한국육수학회지. 20(2):73-99
59. 윤일병, 변종욱. 1981. 한강 본류의 생물학적 및 이화학적 수질분석에 관한 비교 연구. 자연보존연구보고서. 3:391-411
60. 윤일병, 변종욱. 1982. 한강본류의 생물학적 및 이화학적 수질분석에 관한 비교연구(II). 자연보존연구보고서. 4:297-312
61. 이동흡. 2001. 방부처리재의 안전폐기 및 방부처리 공장관리. 제4회 한국목재공학회 2001산학연심포지엄 목재의 방부·방충 세미나. 한국목재공학회·임업연구원. 97-142pp.
62. 이명우, 김용식, 권영선. 1987. 북한산국립공원의 이용행태특성 및 등산패턴. 응용생태연구 1(1):66-82.
63. 이학동 1976. 오수생물학적지표생물에 의한 청계천의 오염도에 대한 연구. 한국육수학회지 9:49-53.
64. 이학동 1977. 한강수의 오염도에 따른 오수생물학적 연구. 한국육수학회지 10:47-51.
65. 임경빈, 이경재, 오구균, 이명우. 1987. 북한산국립공원의 관리개선방안. 응용생태연구 1(1):83-97.
66. 전상린, 황종서. 1993. 지리산의 칠선계곡, 백무동계곡 및 뱀사골계곡의 수환경과 담수어류상. 한국자연보존협회 조사보고서 제31호:141-151.
67. 전상린, 황종서. 1995. 소백산 국립공원 계류의 수환경 및 담수어류상. 한국자연보존협회 조사보고서 제33호:141-149.
68. 전재홍. 1995. 산지물순환소과정에서 산도, 전기전도도, 용존산소 및 수량 측정에 의한 수질변화의 분석. 영남대학교 대학원 석사학위논문. 44p.
69. 최승엽. 2002. 댐건설이 주변지역에 미치는 영향과 대책-소양강 다목적댐을 중심으로-. 한국수자원학회지 35(3):8-13.
70. 한국곤충학회. 1994. 한국곤충명집. 한국곤충학회 건국대 출판부.
71. 한국동물분류학회. 1997. 한국동물명집 아카데미서적.
72. 환경부. 2000. 수질환경기준 개선방안.
73. 杉原知加子, 水谷正一, 中村智幸, 後藤章. 2001. 河川と水田水域に連結する人工池が魚類の生息に果たす役割. 農業農村整備とビオトープ-3 69(9):937-940.
74. 上野幸一, 小原敏郎. 2001. ビオトープの保全に配慮した棚田地域の整備手法. 農業農村整備とビオトープ-5 69(9):945-949.
75. 建設省九州地方建設局河川部. 1994. 川づくり参考資料(案)(多自然型川づくりの理解のために).(財)建設工法研究所.
76. 中村太士, 百海琢司. 1989. 河畔林の河川水温への影響に関する考察. 日本林學會誌

- 71:387-394.
77. 佐藤冬樹, 野村 駿, 榎本浩志, 芦谷大太郎, 笹架一郎. 1999. 北海道北部における春期融雪時期の酸性積雪からのイオン溶出. 北海道大學農學部演習林研究報告 56(2):1-10.
  78. 志水俊夫, 藤枝基久, 吉野昭一. 1987. 融雪期における河川水質の變動特性. 日林論 98:561-564.
  79. 太田猛彦, 高橋剛一郎. 2000. 溪流生態砂防學. 東京大學出版會. 246pp.
  80. 崎尾 均, 鈴木和次郎. 1997. 水辺の森林植生(溪畔林・河畔林)の現状・構造・機能および砂防工事による影響. 砂防學會誌 49(6):40-48.
  81. 岡田要. 1965a. 신일본동물도감(상). 북릉관. 679pp.
  82. 岡田要. 1965b. 신일본동물도감(중). 북릉관. 803pp.
  83. 岡田要. 1965c. 신일본동물도감(하). 북릉관. 763pp.
  84. 日本生態學會 環境問題專門委員會. 1975. 環境と生物指標2, 310pp.
  85. 津田松笛, 渡邊仁治. 1972. 紀の川水系の汚水生物學的研究報告書. 和歌山縣企畫部 環境局 公害對策課. p.1-74.
  86. 津田松笛. 1964. 汚水生物學. 北隆館, 258pp.
  87. 津田松笛. 1974. 生物による水質調査法. 山海堂. 238pp.
  88. AFNOR (Association Francaise de Normalisation). 1992. Essais des eaux. Determination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). AFNOR, NF T90-350, Paris.
  89. ALBA-TERCEDOR, J. and SÁNCHEZ-ORTEGA, A. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). Limnética 4, 51-56.
  90. Albuquerque, R. M. and Cragg, S. M. 1995. Fouling organisms as indicators of the environmental impact of marine preservative-treated wood. International Research Group on Wood Preservation. IRG/WP/95-50063.
  91. Allan, J. D., 1995. Stream Ecology. Structure and function of running waters. Chapman & Hall, London.
  92. Allen, K. R. 1951. The Horokiwi stream. A study of a trout population. New Zealand Marine Department Fisheries Bulletin 10 : 1 - 238.
  93. Anderson, G. W. Graneli, and J. Sterson. 1988. The Influence of animals on P cycling in lake ecosystem. Hydrobiologia 170: 267-284.
  94. Anderson, M. M., F. F. Riget, and H. Sparholt. 1984. A modification of the Trent Index for use in Denmark. Wat. Res. 18: 145-151.
  95. Armitage, P. D., D. Moss, J. F. Wright and M. T. 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.
96. AWA (Anglian Water Authority). 1986. River Quality Objectives. Anglian Water, Huntingdon.
  97. Bain, D.C., A. Mellor, M.J. Wilson, and D.M.L. Duthie. 1994. Chemical and mineralogical weathering rates and processes in an upland granitic till catchment in Scotland. *Water Soil Air Pollut* 73:11-27.
  98. Baldwin, W. J., Pasek, E. A. and Osbourne, P. D. 1996. Sediment toxicity study of marine piles treated with CCA-C. *Proceedings American Wood Preservers Association* 90:300-316.
  99. Bartsch, A. F. and W. M. Ingram 1959. Stream life and the population environment. *Public Works*. 90: 104-110.
  100. Beck, W. M., Jr. 1955. Suggested method for reporting biotic data. *Sewage Industr. Wastes*, 27: 1193.
  101. Beck, W. N., Jr. 1977. Environmental requirements and pollution tolerance of common freshwater Chironomidae. EPA-600/4-77-024, Cincinnati, Ohio. pp.261.
  102. Boers, P., S. Ballegooijen, and J. Uunk 1991. Changes in phosphorus cycling in a shallow lake due to food web manipulations, *Freshwater Biology*, 25:9-20.
  103. Boon, P. J., 1988. The impacts of river regulation on invertebrate communities in the U.K. *Regulated Rivers: Research and Management* 2 : 389 - 409.
  104. Bothwell. 1985. Phosphate limitation of lotic periphyton growth rates: an intersite comparison using continuous-flow troughs(Thompson River system, British Columbia). *Limnol. Oceanogr.* 30:527-542.
  105. Bowman, T.E. and L.G. Abele. 1982. Classification of the recent crustacea. In:Abele, L.G.(ed), *The Biology of Crustacea: 1. Systematics, the fossil record, and biogeography*. Academic press, New York. 1-27
  106. Brinkhurst, R. O. and D. G. Cook. 1974. Aquatic Earthworms(Annelida: Oligochaeta). p.143-156. In: Harst, C. W. Jr. and S. L. H. Fuller (Eds.). *Pollution Ecology of Freshwater Invertebrates*. Academic Press, Inc.
  107. Brown, C. J. and Eaton, R. A. 2000. Toxicity of chromated copper arsenate (CCA)-treated wood to non-target marine fouling communities in Langstone



- Harbour, Portsmouth, UK. Marine Pollution Bulletin (in press).
108. Brown, C. J., Albuquerque, R. M., Cragg, S. M. and Eaton, R. A. 2000. Effects of CCA (copperchrome-arsenic) preservative treatment of wood on the settlement and recruitment of barnacles and tube building polychaete worms. Biofouling (in press).
  109. Buck, H. 1974. Die Kopplungsanalyse, ein rationelles ökologisches Verfahren zur Gütebewertung von Fließgewässern. Interner Kurzbericht Landesstelle für Gewässerkunde und Wasserwirtschaftliche Planung Baden-Württemberg, 1-10.
  110. Cairns, J. Jr. and K. L. Dickson (Eds.) 1974. Biological methods for the assessment of water quality. Spec. Tech. Publ. Am. Soc. for Testing and Materials. No. 528. Philadelphia. vii 256pp.
  111. Canfield, D.E. Jr., M.J. Maccina, and J.V. Shireman 1983. Effects of Hydrilla and grass carp on water quality in a Florida lake. Water Res Bull., 19:773-778.
  112. Catherine M.P. 1990. Nutrient spatial heterogeneity: Effects on community structure, physiogenomy, and diversity of stream algae. Ecology 71:905-920.
  113. Chandler, J. R. 1970. A biological approach to water quality management. Water Poll. Control., 69: 415-422.
  114. Chutter, F. M. 1972. An empirical biotic index of the quality of water in South African streams and rivers. Water Resour. 6:19-30.
  115. Cohn, F. 1853. Über lebendige Organismen im Trinkwasser. Z. klin. Medizin, 4: 229-237.
  116. Cookson, L. J., Scown, D. K. and Schmalzl, K. J. 1996. Pile surface coverage and copper, chromium and arsenic content of barnacles growing on experimental mooring piles. Presentation at the 25th Forest Products Research Conference, Clayton, Victoria. 18-21 November.
  117. Coring, E. and Küchenhoff, B. 1994. Vergleich verschiedener europäischer Untersuchungs und Bewertungsmethoden für Fließgewässer. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Nr. 18.
  118. Cornwell, D.A., J. Zolted, Jr., C.D. Patrinely, T. des Furman and J.I. Kim. 1977. Nutrient removal by water hyacinth. J. water Pollut. Control Fed. 49:57-65.
  119. Coysh, J. L., S. J. Nichols, J. C. Simpson, R. H. Norris, L. A. Barmuta, B. C. Chessman, and P. Blackman. 2000. AUStralian RIVer Assessment System

- (AUSRIVAS). National River Health Program Predictive Model Manual. Cooperative Centre for Freshwater Ecology, Building 15, University of Canberra, ACT, 2601.
120. Craig, D. A. 1987. Some of what you should know about water. *Bull. North Am. Benthol. Soc.* 4(2): 178-182.
  121. Cummins, K. W. and G. H. Lauff. 1969. The influence of substrate particle size on the microdistribution of stream macrobenthos. *Hydrobiologia* 34:145-181.
  122. Davis, W. S. and T. P. Simon. 1995. Biological assessment and criteria: tools for water resource planning and decision making. CRC Press. Inc.415pp.
  123. De Pauw, N. and Hawkes, H. A. 1993.: Biological monitoring of river water quality. Pages 87-111. In: W. J. Walley and S. Judd (Eds.), *River water quality monitoring and control*. Aston University, UK. 249 pp.
  124. De Pauw, N. and Vanhooren, G. 1983. Method for biological quality assessment of water courses in Belgium. *Hydrobiologia*, 100: 153-168.
  125. DeShon, J. E. 1995. Development and application of the invertebrate community index (ICI). Pages 217-243 in W. S. Davis and T. P. Simon (editors). *Biological assessment and criteria: Tools for water resource planning and decision making*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
  126. DIN 38410 Part 2. 1990. German standard methods for the examination of water, waste water and sludge: biological-ecological analysis of water(group M); determination of the saprobic index(M2)
  127. Dudgeon, D., 1994. Functional assessment of the effects of increased sediments loads resulting from riparian-zone modification of a Hong Kong stream. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25 : 1790 - 1792.
  128. Dudgeon, D., 1995. Environmental impacts of increased sediment loads caused by channelization: A case study of biomonitoring in a small river in Hong Kong. *Asian J. Environmental Management* 3(1) : 69 - 77.
  129. Edmondson, W.T., 1959. *Freshwater biology*, 2nd ed. John Wiley & Sons. Inc., 1248pp.
  130. EEA. 1996. *Surface Water Quality Monitoring*. European Environment Agency, Copenhagen. 82pp.
  131. Erman, D. C. and N. A. Erman. 1984. The response of stream macroinvertebrates to substrate size and heterogeneity. *Hydrobiologia* 108:75-82.

132. Extence, C. A. and Ferguson, A. J. D. 1989. Aquatic invertebrate surveys as a water quality management tool in the Anglian Water Region. *Regulated Rivers: Research and Management*, 4, 139-146
133. Fjerdingstad, E. 1964. Pollution of stream estimated by benthal phytomicro - organisms. I. A saprobic system based on communities of organisms and ecological factors. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 49:63-131.
134. Foster, N.W., J.A. Nicolson, and P.W. Hazlett. 1989. Temporal variation in nitrate and nutrient cations in drainage waters from a deciduous forest. *Journal of Environmental Quality* 18(2):238-244.
135. Friedrich, G. 1990. Eine Revision des Saprobien-systems. *Z. Wasser-Abwasser-Forsch.* 23, 141-152.
136. Fuller, S. L. H. 1974. Clams and Mussels (Mollusca: Bivalvia). p. 215-274. In: Harst, C. W. Jr. and S. L. H. Fuller (Eds.). *Pollution Ecology of Freshwater Invertebrates*. Academic Press, Inc.
137. Gaufin, A. R. 1973a. Water quality requirements of aquatic insects. EPA-660/3-73-004, Washington. D. C. pp.90.
138. Gaufin, A. R. 1973b. Use of aquatic invertebrates in the assessment of water quality. p.96-116. In: J. Cairns. Jr. and K. L. Dickson (Eds.). *Biological methods for the assessment of water quality*. Am. Soc. Tect. Mat., Spec. Tech. Publ. #528.
139. Ghetti, P. F. 1986. *Manuale di applicazione- I macroinvertebrati nell' analisi di qualita dei corsi d' aqua.- Provincia Autonoma di Trento*, 105 pp.
140. González Del Tanago, M. and D. Garcia Jalón. 1980. Evolución de los estudios sobre macroinvertebrados e índices biológicos en España. Pp. 13-16. Cit. ex.: PEREZ (1995) *Contribución al estudio de los macroinvertebrados bentonicos del alto Turia (Terverl)*. Tesina de licenciatura, 170 pp.
141. González Del Tanago, M. and D. Garcia Jalón. 1984. Desarrollo de un indice biologico para estimar la calidad de las aguas de la cuenca del Duero. *Limnetica* 1: 263-272.
142. Gophen, M., 1990. Biomanipulation:retrospective and future development. *Hydrobiologia* 200/201:1-11.
143. Gose, K. 1978. Trial to application of saprobic value and indicator value on macroscopic animals by Zelinka-Marvan. *Jap. J. Water Treat. Biol.* 14:9-17.
144. Graham, T. R. 1965. Annual Report. Lothians River Purification Board 1965. Lothians River Purification Board, Scotland.

145. Harman, W. N. 1974. Snails (Mollusca: Gastropoda). p. 275-313. In: Harst, C. W. Jr. and S. L. H. Fuller (Eds.). *Pollution Ecology of Freshwater Invertebrates*. Academic Press, Inc.
146. Harris, T. L. and T. M. Lawrence. 1978. Environmental requirements and pollution tolerance of Trichoptera. EPA-600/4-78-063.
147. Hassal, A. A. 1850. *A microscopic examination of the water supplied to the inhabitants of London and suburban districts*. London.
148. Hawkes, H. A. 1979. Invertebrates as indicators of river water quality. biological indicators of water quality. James, A. and L. Evison. (ed.). John Wiley and Sons.
149. Hazlett, P.W., M.C. English, and N.W. Foster. 1992. Ion enrichment of snowmelt water by processes within a podzolic soil. *Journal of Environmental Quality* 21:102-109.
150. Hegewald, E. and P.C. Silva. 1988. Annotated catalogue of Scenedesmus and nomenclaturally related Genera, including original descriptions and figures. J. Cramer. 587pp.
151. Hellawell, J. M. 1978. *Biological Surveillance of Rivers*. Water Research Center, Stevenage, England, 322 pp.
152. Hellawell, J. M. 1986. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Elsevier Applied Science Publishers, London, England 546pp.
153. Helliwell, R.C., C. Soulsby, R.C. Ferrier, A. Jenkins, and R. Harriman. 1998. Influence of snow on the hydrology and hydrochemistry of the Allt a' Mharcaidh, Cairngorm mountains, Scotland. *The Science of the Total Environment* 217:59-70.
154. Hilsenhoff, W. L. 1977. Use of arthropods to evaluate water quality of streams. Technical Bulletin No. 100, Department of National Resource, Madison Wisconsin. 15pp.
155. Hilsenhoff, W. L. 1982. Using a biotic index to evaluate water quality in streams. Tech. Bull. #132. Dept. Nat. Res. Madison, Wisconsin. 22pp.
156. Hilsenhoff, W. L. 1987. An improved biotic index of organic stream pollution. *Great Lakes Entomologist*, 20: 31-39.
157. Hilsenhoff, W. L. 1988a. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *J. NABS*. 7:65-68.
158. Hilsenhoff, W. L. 1988b. Seasonal correction factors for the biotic index. *The*

- Great Lakes Entomologist, 21, 9-13.
159. Hilsenhoff, W. L. 1998. A modification of the biotic index of organic stream pollution to remedy problems and to permit its use throughout the year. *Great Lakes Entomologist*, 31: 12pp.
  160. Hobbs, H. H. Jr. and E. T. Halls, Jr. 1974. Crayfishes (Decapoda: Astacidae). p. 195-214. In: Harst, C. W. Jr. and S. L. H. Fuller (Eds.). *Pollution Ecology of Freshwater Invertebrates*. Academic Press, Inc.
  161. Horne, A. J., and C. R. Goldman, 1994. *Limnology*. McGraw-Hill, Inc. 576pp.
  162. Horner R.R. and E.B. Welch. 1981. Stream periphyton development in relation to current velocity and nutrients. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38:449-457.
  163. Horning, C. E. 1984. Macroinvertebrate inventories of the White River, Colorado and Utah; Significance of annual, seasonal, and spatial variation in the design of biomonitoring networks for pollution detection. EPA-600/7-84-063. USEPA, EMSL, Las Vegas, Nevada.
  164. Horppila, J. and Kairesalo, 1990. A fading recovery: the role of roach in maintaining high phytoplankton productivity and biomass in Lake Vesijärvi, south Finland. *Hydrobiologia*, 200/201:153-165.
  165. Howmiller, R. P. and M. A. Scott. 1977. An environmental index based on relative abundance of oligochaete species. *J. Water Poll. Cont. Fed.* 49:809-815.
  166. Hubbard, M. D. and W. L. Peters. 1978. Environmental requirements and tolerance of Ephemeroptera. EPA-600/4-78-061, Cincinnati, Ohio. pp.461.
  167. Hynes, H. B. N. 1960. *The biology of polluted waters*. Liverpool Univ. Press. 202pp.
  168. Hynes, H. B. N., 1970. *The ecology of running waters*. Liverpool Univ. Press, Liverpool, U. K.
  169. Illies, J. and Schmitz, W. 1980. *Studien zum Gewässerschutz-5. Die Verfahren der biologischen Beurteilung des Gütezustandes der Fließgewässer*, Landesanstalt für Umweltschutz-Baden-Württemberg, Karlsruhe, 125 pp.
  170. Jensen, N.G. 1984. *The pennate diatoms; A translation of Hustedt's "Die Kieselalgen, 2. Teil"* published by Jensen, N.G. Strauss & Cramer GmbH. 918pp.
  171. Johannessen, M. A. Skartveit, and R.F. Wright. 1980. Streamwater chemistry before, during and after snowmelt. *Proceeding of the International Conference on Ecology and the Impact on Acid Precipitation, Norway SNSF project*.

172. Kawai, T., 1985. An illustrated book of aquatic insects of Japan. 東海大學出版會.
173. Klapwijk, S. P. 1988. Biological assessment of the water quality in South-Holland (the Wetherlands). *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* 73:481-510.
174. Knöpp, H. 1954. Ein neuer Weg zur Darstellung biologischer Vorfluteruntersuchungen, erläutert an einem Gütelängschnitt des Maines. *Die Wasserwirtschaft.* 45:9-15.
175. Knöpp, H., 1955. Grudsätzliches zur Frag biologischer Vortluteranter-schugen,erläutert an einem Grundsängschnitt des Maines. *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, 22,383-368.
176. Kolkwitz, R. 1935. *Pflanzenphysiologie*, 3rd ed., Jena. Fisher Verlag.
177. Kolkwitz, R. 1950. Ökologie der Saprobien. Über die Beziehungen der Wasserorganismen zur Umwelt. *Ver. Wa. Bo. Lu. Hyg.*, 4, 64 pp.
178. Kolkwitz, R. and M. Marsson. 1902. Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora and Fauna. *Mitt. Prüfungsanst. Wasserversorg. Abwasserreinig.* 1: 33-72.
179. Kolkwitz, R. and M. Marsson. 1908. Ökologie der pflanzlichen Saprobien. *Ber. dt. Bot. Ges.* 26A: 505-519.
180. Kolkwitz, R. and M. Marsson. 1909. Ökologie der tierischen Saprobien. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 2: 126-152.
181. Kothe, P. 1962. Der "Artenfehlbetrag", ein einfaches Gütekriterium und seine Anwendung bei biologischen Vorfluterunteruntersuchungen. *Dt. Gewässerkundl. Mittl.* 6:60-65.
182. Krebs, C. J. 1989. *Ecological Methodology*. Harper and Row, Publishers. New York. 654pp.
183. Kristensen, P. and J. Bøgestrand, 1996. Surface water quality nmonitoring. EEA. <http://reports.eea.eu.int/92-9167-001-4/en/page021.html>
184. Lamberti, G. A. and V. H. Resh. 1979. Substrate relationships, spatial distribution patterns, and sampling variability in a stream caddisfly population. *Envir. Ento.* 8: 561-567.
185. Lang, C. and Reymond, O. 1995. An improved index of environmental quality for Swiss rivers based on benthic invertebrates. *Aquatic Sciences*, 57(2): 172-180.
186. Lang, C., G. L'Eplattenier, and O. Reymond. 1989. Water quality in rivers of western Switzerland: Application of an adaptable index based on benthic

- invertebrates. *Aquatic Sciences*, 51(3): 224-234.
187. LAWA. 2000. Landerarbeitsgemeinschaft Wasser
  188. Lenat, D. R. 1988. Water quality assessment of streams using a qualitative collections method for benthic macroinvertebrates. *J. NABS*. 7:222-233.
  189. Liebmann, H. 1959. Methodik und Auswertung der biologischen Wassergute-Kartierung. *Munchner Beiträge z. Abwasser-, Fischerei - und Flubiologie*, 6, 134.
  190. Liebmann, H. 1960. *Handbuch der Frischwasser und Abwasserbiologie*, Band II. Oldenbourg Verlag, München.
  191. Liebmann, H. 1962. *Handbuch der Frischwasser und Abwasserbiologie*, Vol. I, 2nd edit., R. Oldenbourg, München, 588pp.
  192. Mackenthun, R. M. 1969. *The practice of water pollution biology*. FWPCA, Washington. 281 pp.
  193. Margalef, R., 1958. Information theory in ecology. *General Systematics* 3, 36-71.
  194. McCafferty, W. P. 1981. *Aquatic entomology*. Jones and Bartlett, Boston. pp. 448.
  195. McGlynn, B.L., J.J. McDonnell, J.B. Shanley, and C. Kendall. 1999. Riparian zone flowpath dynamics during snowmelt in a small headwater catchment. *Journal of Hydrology* 222:75-92.
  196. McNaughton, S. J. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature*, 216, 168-169.
  197. Menhinick, E. F. 1964. A comparison of some species-individuals diversity indices applied to samples of field insects. *Ecology* 45: 859-861.
  198. 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.
  199. Merritt, R. W., and K. W. Cummins, 1996. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. 3rd. ed. Kendall/Hunt Publ. Co.
  200. Metcalfe-Smith, J. L. 1996. Biological Water-quality Assessment of Rivers: Use of Macroinvertebrate Communities. p. 17-43. *River Restoration* (G. Petts and P. Calow, eds.). Blackwell Sci., p.231.
  201. Metcalfe, J. L. 1989. Biological water quality assessment of running water based on macroinvertebrate communities: History and present status in Europe. *Environ. Pollut.* 60: 101-139.
  202. Metcalfe, J. L. and T. B. Reynoldson. 1989. Special Section on the use of

- benthic macroinvertebrates in environmental assessment. *J. Great Lakes Res.* 15:537.
203. Metcalfe, J. L., M. E. Fox and J. H. Carey. 1984. Aquatic leeches (Hirudinea) as bio- indicators of organic chemical contaminants in freshwater ecosystems. *Chemosphere.* 13:143-150.
204. Minshall, G. W. 1984. Aquatic insect-substratum relationships. p. 358-400. In: Resh, V. H. and D. M. Rosenberg (Eds.). *The ecology of aquatic insects.* Praeger, O.V.Y. Publ.
205. Minshall, G. W., 1988. Stream ecosystem theory: a global perspective. *J. N. Benthol. Soc.* 7(4) : 263 - 288.
206. Moog, O. 1996. Biological river water quality assessment in Austria. In print.
207. Moog, O. and W. Graf. 1994. Biological river water quality assessment based on benthic invertebrate indication in Kenya. Tropical river ecology initiative, Egerton University, Kenya.
208. Mount, D. I. 1984 Scientific problems in using multispecies toxicity tests for regulatory purposes. EPA-600/D-84-142. USEPA. ERL. Duluth. MN 55804.
209. Murdoch, P.S., J.S. Baron, and T.L. Miller. 2000. Potential effects of climate change on surface-water quality in North America. *Journal of the American Water Resources Association* 36:347-366.
210. Norris, R. H., I. Prosser, B. Young, P. Liston, N. Bauer, N. Davies, F. Dyer, S. Linke, and M. Thoms. 2001. THE ASSESSMENT OF RIVER CONDITIONS (ARC). AN AUDIT OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF AUSTRALIAN RIVERS. National Land and Water, Resources Audit Office, CSIRO Land and Water.
211. Norris, R.H. 1995. Biological monitoring: The dilemma of data analysis. *Journal of North American Benthological Society* 14: 440-450.
212. Olive, J. H. 1976. Chemical, physical and biological assessment of water quality in the Cuychoga River, Ohio. 1973. 1973-1974. *Ohio J. Sci.* 76:5-15.
213. Olive, J. H. and K. R. Smith. 1975. Benthic macroinvertebrates as indexes of water quality in the Scioto River Basin, Ohio. *Ohio. Biol. Surv.* 5:1-124.
214. ONORM M 6232. 1995. Richtlinien für die ökologische Untersuchung und Bewertung von Fließgewässern. österr. Normungsinstitut, Wien
215. Pantle, R. and H. Buck. 1955a. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Bes. Mitt. Dtsch. Gewässerkundl.* 12, 135-143.



216. Pantle, R. and H. Buck. 1955b. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas and Wasserfach*. 96: 604.
217. Peckarsky, B. L., P. R. Fraissinet, M. A. Penton, and D. J. Conklin, Jr. 1990. *Freshwater Macroinvertebrates of Northeastern North America*. Cornell Univ. Press, Ithaca and London. 442pp.
218. Pennak, R. W. 1989. *Freshwater invertebrates of the United States*. 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York 628pp.
219. Persoone, G. and N. De Pauw. 1979. Systems of Biological Indicators for Water Quality assessment. In: O. Ravera (Ed.). *Biological aspects of freshwater pollution*. Pergamon Press. p. 39-75.
220. Persson, G. and M. Hasson, 1988. Empirical and theoretical models of Phosphorus loading, retention and concentration vs. lake trophic state. *Hydrobiologia*, 170: 285-303.
221. Petts, G. and P. Calow, (eds.). 1996. *River restoration: selected extracts from the Rivers handbook*. Blackwell Science.
222. Pielou, E. C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.* 13:131-144.
223. Pielou, E. C. 1975. *Ecological diversity*. Wiley. New York. 165pp.
224. Pittwell, L. R. 1976. Biological monitoring of rivers in the community, pp. 225-261. In: Amavis, R. and Smeets, J. (Eds), *Principles and methods for determining ecological criteria on hydrobiocenoses*. Pergamon Press, Oxford, 531 pp.
225. Prat, N., A. Puig, and G. Gonzalez. 1983. Predicció i Control de la qualitat de les aigües dels rius Besòs i Llobregat, II: El poblament Faunistic i la seva relació amb la qualitat de les aigües. *Estudis i Monografies del Servei del Medi Ambient*. Diputació de Barcelona, 184 pp.
226. Prokovovich, N.P., 1969. Deposition of clastic sediment by clams. *J. Sediment. Petrol.* 39:891-901.
227. Reeders, H.H. and A. Bij de Vaate, 1990. Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): a new perspective for water quality management. *Hydrobiologia* 200/201:437-450.
228. Reice, S. R. and M. Wohleberg, 1993. Monitoring freshwater benthic macroinvertebrates and benthic processes: measures for assessment of ecosystem health. p. 287-305 In: D. M. Rosenberg and V. H. Resh (Eds.) *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman & Hall,

- New York.
229. Resh, V. H. and D. M. Rosenberg 1984. The ecology of aquatic insects. Praeger, O.V.Y. Publ.
  230. Richardson, R. E. 1928. The bottom fauna of the middle Illinois River 1913-1925: its distribution, abundance, valuation and value in the study of stream pollution. Bull. Illinois State Nat. Hist. Survey. 17:387-475.
  231. Rigler, F.H., 1982. The relation between fisheries management and limnology. Trans. Am. Fish. Soc., 3:121-132.
  232. Roback, S. S. 1974. Chapter 10, Insects (Arthropoda: Insecta). pp. 313-376 in C. W. Hart, Jr. and L. M. Fuller. Eds. 1974. Pollution ecology of freshwater invertebrates. Acad. Press, N. Y., San Francisco, London. 389 pp.
  233. Robert S., A.T. Charles, and M. Dan. 1997. Change in snowpack, soil water, and streamwater chemistry with elevation during 1990, Fraser Experimental Forest, Colorado. Journal of Hydrology 195:114-136.
  234. Rosenberg, D. M., and V. H. Resh, 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman and Hall, New York. 488pp.
  235. Saether, O. A. 1979. Chironomid communities as water quality indicators. Holarctic Ecology 2:65-74.
  236. Sandin, L., D. Hering, A. Buffagni, A. Lorenz, O. Moog, P. Rolauuffs, and I. Stubauer. 2001. Experiences with different stream assessment methods and outlines of an integrated method for assessing streams using benthic macroinvertebrates. 3rd deliverable AQEM
  237. Sawyer, R. T. 1974. Leeches (Annelida: Hirudinea). p. 82-142. In: Harst, C. W. Jr. and S. L. H. Fuller (Eds.). Pollution Ecology of Freshwater Invertebrates. Academic Press, Inc.
  238. Schindler, D.W., 1977. Evolution of Phosphorus Limitation in Lakes. Science 195: 260-262.
  239. Schol, A.T., R.A. Soltero, K.O. McKee, E. Anderson, and J.K. Uehara, 1985. Biomaniplulation of a trout fishery and its effect on zooplankton composition, phytoplankton biovolume and water quality of Medical Lake, Spokane Co., Washington, USA. Proc.4th Annu.Conf.Int.Symp. N. Am. Lake Manage. Sco., 4:48-56.
  240. Schram, F.R., 1986. Crustacea. Oxford Univ. Press. New York. 606pp.
  241. Schwoerbel, J. 1970. Methods of Hydrobiology-Freshwater Biology. Pergamon. Press, London, 200pp.

242. Shannon, C. E. and W. Weaver, 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana.
243. Shapiro, J., V. Lamarra, and M. Lynch. 1975. Biomanipulation: an ecosystem approach to lake restoration. In: P.L. Brezonik and J.L. Fox (eds). *Proceedings of a Symposium on Water Quality Management through Biological Control*. Univ. Fla. Gainesville 85-96.
244. Simpson, J., and R. H. Norris. 2000. Biological assessment of water quality: development of AUSRIVAS models and outputs. Pages 125-142 in J. F. Wright, D. W. Sutcliffe, and M. T. Furse, eds. *RIVPACS and similar techniques for assessing the biological quality of freshwaters*. Freshwater Biological Association and Environment Agency, U.K., Ableside, Cumbria, U.K.
245. Skvortzow, B.W. 1932. Flagellaten aus Korea, Japan. *Journal of Chosen Nat. Hist. Soc.*, 14: 8-10.
246. Sladeczek, V. 1965. The future of the Saprobity System, *Hydrobiologia*. 25: 518-533.
247. Sladeczek, V. 1973a. The reality of three British biotic indices. *Wat. Res.* 7:995-1002.
248. Sladeczek, V. 1973b. System of Water Quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol. Beih.* (1-4): 1-218.
249. Soulsby, C., R.C. Helliwell, R.C. Ferrier, A. Jenkin, and Harriman, R. 1997. Seasonal snowpack influence on the hydrology of a subarctic catchment in Scotland. *Journal of Hydrology* 192:17-32.
250. Sramek-Husek, R. 1956. Zur biologischen charakteristik der hoheren saprobitatsstufen. *Arch. Hydrobiol.* 51: 376-390.
251. Stark, J. D. 1985. A macroinvertebrate community index of water quality for stony streams. *Water and Soil Miscellaneous Publication No.* 87.
252. Stark, J. D. 1993. Performance of the macroinvertebrate community index: Effects of sampling method, sample replication, water depth, current velocity, and substratum on index values. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 27, 463-478.
253. Staub, R., J. W. Appling, A. M. Hofstetter, and I. J. Haas. 1970. The effects of Memphis and Shelby County on primary plankton producers. *Bioscience* 20: 905-912.
254. Stottleyer, R. and D. Toczydlowski. 1999. Seasonal change in precipitation,

- snowpack, snowmelt, soil water and streamwater chemistry, northern Michigan. *Hydrological Processes* 13:14–15.
255. Straskraba, M. 1965. The effect of fish on the number of invertebrates in ponds and streams. *Mitt. int. Ver. Limnol.* 20:794–801.
256. Surdick, P. F. and A. R. Gauffin. 1978. Environmental requirements and pollution tolerance of Plecoptera. EPA-600/4-7-062, Cincinnati, Ohio. pp.417.
257. Tachibana, H., A. Moriguchi, T. Inoue, N. Kimura, and S. Omura. 1988. Composition and its water purification ability of biofilm on river bed—Examining urban rivers for instance—. *Proc. of Environ. & Sani. Eng. Res.* 24
258. The Federal Interagency Stream Restoration Working Group. 1998. *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices*. The Federal Interagency Stream Restoration Working Group.
259. Thomas, N.A. and R.L. O’Connell. 1966. A method for measuring primary production by stream benthos. *Limnol. Oceanogr.* 11:386–392.
260. Tittizer, T. 1981. Erläuterungen und Kommentare zu: “Resolutions of Meeting of ISO/TC 147/SC 5/WG 6/N 22.” Bundesanstalt für Gewässerkunde N2/826.3.
261. Tolkamp, H. and J. Gardeniers. 1977. Hydrobiological survey of lowland streams in the Achterhoek (The Netherlands) by means of a system for the assessment of water quality and stream character based on macro-invertebrates. *Mit. Inst.f. Wasserwirt. d. TH Hannover* 41, 215–237.
262. Tuffery, G. and J. Verneaux. 1968. *Methode de determination de la qualite biologique des eaux courantes. Exploitation codifiee des inventaires de la fauna de fond.* Ministere de l’agriculture (France), Centre National d’Etudes techniques et de recherches technologiques pour l’agriculture, les forets et l’equipement rural “C.E.R.A.F.E.R.”, Section Peche et Pisciculture, 23 pp.
263. Tuffery, G. and P. M. Davaine. 1970. Niveau faunistique le plus élevé et indice de deversite. *Diagnose Écologique en Cours D’Eau á Salamoidae.* CECPI 6e Session. Cracovie, Pologne EIFAC 70/sc. 191.6.3.70, 29 pp. From Woodiwiss F. S. (1976) op.cit.
264. U.S. EPA. 1989. *Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish.* EPA 440-4-89-001. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards, Washington, DC.

265. U.S. EPA. 1996. Summary of state biological assessment programs for streams and rivers. EPA 230-R-96-007. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Policy, Planning, and Evaluation, Washington, DC.
266. U.S. EPA. 1997. Volunteer Stream Monitoring: A Methods Manual. EPA 841-B-97-003. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.
267. U.S. EPA. 1999. Rapid Bioassessment Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton. 2nd eds. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C., USA.
268. U.S. EPA. 2002. Summary of Biological Assessment Programs and Biocriteria Development for States, Tribes, Territories, and Interstate Commissions: Streams and Wadeable Rivers. EPA-822-R-02-048. U.S. Environmental Protection Agency,
269. Underwood, A. J. 1996. 11. Spatial and temporal problems with monitoring. p.182-204. in G. Petts, and P. Calow, editors. River restoration: selected extracts from the Rivers handbook. Blackwell Science.
270. Verneaux, J., P. Galmiche, F. Janier and A. Monnot. 1982. Une nouvelle methode pratique d'évaluation de la qualité des esaux courantes-Un indice biologique de qualité généralé (I. B. G.). Ann. Sci. Univ. Besancon, Biol. Anim., 4 eme serie, fasc.3, Note No.2, 11-21.
271. Ward, J. V. 1992. Aquatic Insect Ecology. 1. Biology and habitat. John Wiley & Sons, Inc., N. Y., N. Y. 438 pp.
272. Wiederholm, T. 1980. Chironomids as indicatore of water quality in Swedish lakes. Acta Universitatis Carolinae-Biologica 1978:275-283.
273. Wiederholm, T., 1983. Chironomidae of the Holarctic region Keys and diagnose. Part I - Larvae. Ent. Scand. Suppl. 19. 457pp.
274. Wilhm, J. L. and T. C. Dorris. 1968. Biological parameters for water quality criteria. Bioscience 18:477-481.
275. Willams, D. D. and B. W. Feltmate, 1992. Aquatic Insects. C·A·B International. Wallingford, UK.
276. Wojcik, B. and L. Butler. 1977. Aquatic insects as indicators of stream environmental quality in northern West Virginia. WV Univ. Agr. For. Expt. Stat. Bull. 635T. 16p.
277. Woodiwiss, F. S. 1964. The biological system of stream classification used by the Trent River Board. Chemistry Industry. 14: 443-447.

278. Woodiwiss, F. S. 1978. Comparative study of Biological-ecological water quality assessment methods. Second practical demonstration, Nottingham(20 Sept. to 1 Okt., 1976). Summery Report. Commission of the European Communities, Environment and Consumer Protection Service.
279. Zar, J. H. 1996. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. 718pp.
280. Zelinka, M. and P. Marvan. 1961. Zur Präzisierung der biologischen klassifikation der Reinheid fliessender Gewässer. Arch. Hydrobiolog. 57:389-407.

## 주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.