

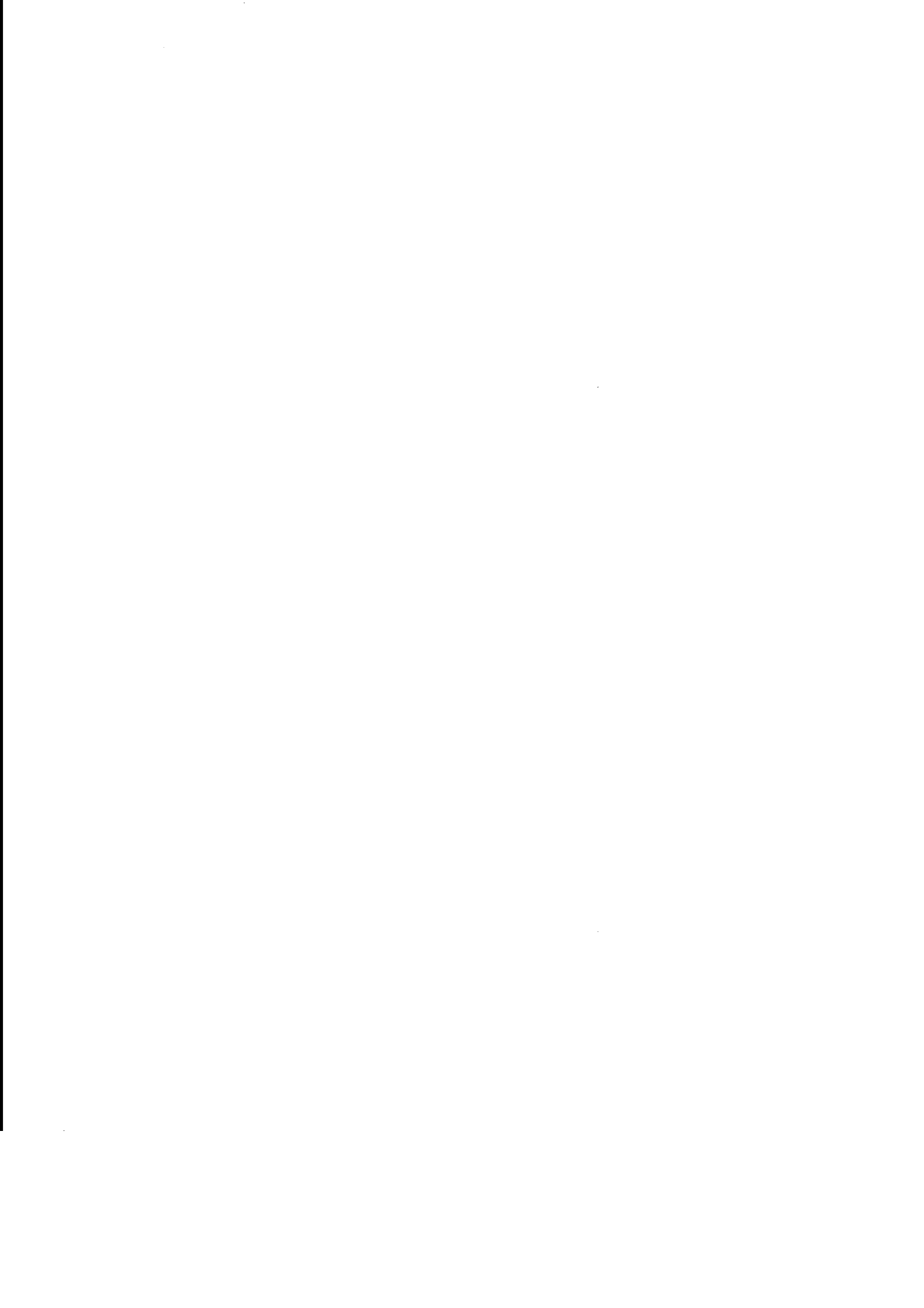
최 종
연구보고서

친환경적 공법을 이용한 용배수로 개보수 기술 개발

Development of Rehabilitation and Upgrading
Technique for the Irrigation and Drainage Canal
Utilizing Environment-friendly Construction Method

연구 기관
농업 기반 공사

농림부



제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “친환경적 공법을 이용한 용배수로 개보수 기술개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004년 8월 2일

주관연구기관명 : 농업기반공사

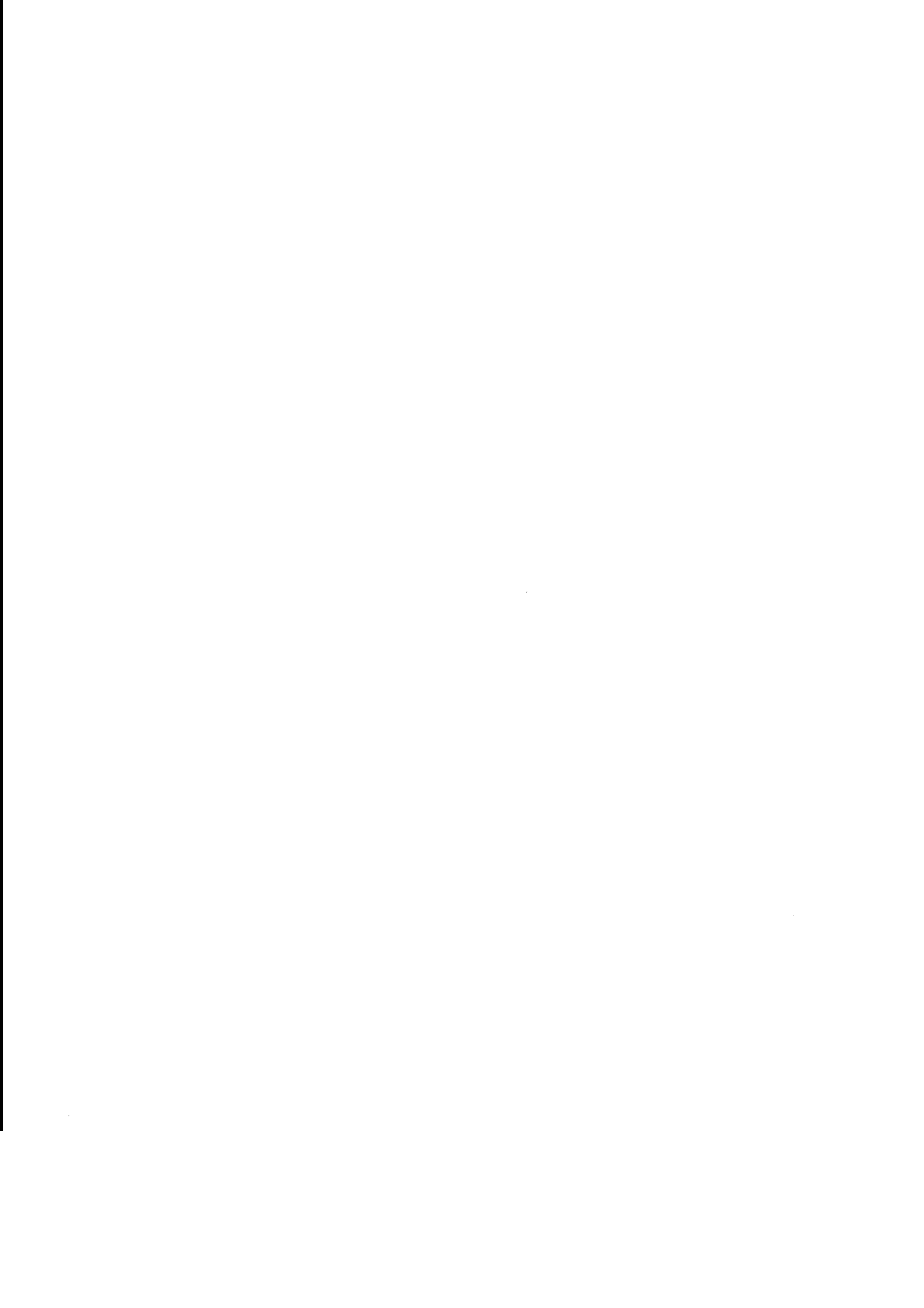
총괄연구책임자 : 김채수

협동연구기관명 : 건국대학교

협동연구책임자 : 김성준

협동연구기관명 : (주)자연과환경

협동연구책임자 : 최경영



요 약 문

I. 제 목 : 친환경적 공법을 이용한 용배수로 개보수 기술개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 기존의 친환경적 하천정비기법은 기본적으로 중·대규모의 하천을 대상으로 개발되어 용배수로의 통수능 저하 및 수로의 안전성 등에 문제점이 노출되고, 현재까지 친환경적인 공법에 주로 사용되고 있는 재료는 돌, 목재 등의 자연 재료 또는 부분적인 식생의 도입이 가능한 식생콘크리트 등에 한정되어 있어 원활한 친환경적 용배수로정비가 추진되지 못하고 있음.
- 친환경적인 공법 도입에 있어서 적절한 식생도입은 수로의 경관적인 기능 향상, 공학적 안전성, 수질개선 등에 상당한 영향을 주므로 이에 대한 정량적인 규명을 위한 연구가 필요함
- 이미 시공되었거나 시공중인 친환경적인 정비기법은 전통적인 하천정비사업에 비해 상대적으로 높은 사업비가 요구되고 있으므로 시공비를 절감할 수 있는 경제성 있는 친환경 제품 및 공법의 개발이 요구됨.
- 따라서, 본 연구에서는 친환경적 정비와 관련된 국내외 설계 및 시공기술 자료의 수집과 현장사례조사, 친환경적인 기술이 적용된 지역에 대한 모니터링 및 분석을 통하여 용배수로 및 주변공간의 친환경적 정비기술 구축과 친환경정비 대상지역 선정기준 정립과 용배수로 특성을 반영한 경제적 효용이 있는 친환경 용배수로 개보수에 적합한 친환경 공법·제품 및 활용모델 개발을 목적으로 함.

III. 연구개발 내용 및 범위

- 친환경적 정비와 관련된 국내외 설계 및 시공기술 자료 수집
 - 용배수로의 친환경적 정비에 대한 국내외 자료 수집
 - 친환경적 공법을 적용한 하천 및 수리시설물에 대한 사례조사
- 친환경적 정비의 대상이 되는 용배수로의 현황 파악
 - 용배수로의 기능, 규모별 현황을 파악함
 - 최근에 개보수가 이루어진 용배수로를 조사하여 현황을 파악함

- 친환경정비사업 대상지역 선정기준 연구
 - 정비 대상지구의 종합적 환경조건을 검토
 - 친환경적 용배수로 개보수 기술의 적용을 위한 지역 선정기준 연구

- 용배수로 및 주변공간의 친환경적 정비 기술 구축
 - 정비 대상지구의 지역적 조건을 고려한 정비 기술 개발
 - 지역주민들의 참여가 가능한 용배수로 주변공간 정비 기술개발
 - 정비가 이루어진 용배수로에 대한 유지관리 기술검토
 - 친환경공법 적용에 따른 용배수로의 기능에 미치는 영향과 대책 검토
 - 용배수로 정비지구의 종합적인 환경조건을 고려한 정비기술 구축
 - 용배수로 정비에 적합한 식물선정 및 식재방법 연구
 - 토질특성을 고려한 친환경공법 적용성 검토

- 친환경적 기술이 적용된 지역에 대한 모니터링
 - 대상지역에 대한 모니터링 실시
 - 적용된 공법에 대한 공학적 안전성 검토
 - 용배수로 개보수 전후의 생태계 변화특성 검토
 - 수리시설물 개보수와 관련된 지역사회의 인문·사회적 변화 양상 검토
 - 용수로와 배수로의 공법 적용상 차이점 분석
 - 용수통과 및 배수배제 능력에 미치는 영향분석
 - 홍수 및 가뭄시 특성변화 연구

- 용배수로 정비에 대한 평가기술 개발
 - 공학적 안전성 평가방법 제시
 - 용배수로와 주변지역의 자연도 평가 방법 개발
 - 용배수로 개보수와 관련된 지역사회의 인문·사회적 변화를 정량화

- 친환경적 용배수로 개보수에 적합한 제품 설계
 - 친환경적인 용배수로에 적합한 시공재료의 요구특성 검토
 - 친환경적인 용배수로에 적합한 제품 설계

- 용배수로 개보수에 적합한 시공재료의 개발
 - 용수로 및 배수로의 제반 특성을 파악
 - 수로 고유의 통수 및 배수 기능을 고려한 재료의 개발
 - 생태적으로 유리한 기능을 가진 재료의 개발

- 친환경적 정비기술의 활용모델 개발
 - 시험수로 시험시공 결과제시 및 적용공법의 지속 모니터링 연구
 - 개발제품의 문제점 개선 및 시공법 연구

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1) 친환경적 수로정비사업의 대상지역 선정기준

친환경적 수로정비사업의 대상지역 선정기준을 마련하기 위해 수로의 특성과 주변 지역의 특성의 특성으로 구분하여 기준을 선정하였고, 수로의 특성을 고려한 기준으로는 수로의 기능적 요소와 생태적 요소를 구분하여 13개, 주변지역의 특성을 고려한 기준으로는 주민의 친수활동적 요소와 개발의 용이성으로 구분하여 13개의 기준을 제시하였다.

친환경적 수로정비를 위한 우선지역을 선정하기 위하여 단순점수부여방법, 주관적 평가접근법, 체크리스트 기법을 사용하여 지역의 우선순위를 결정하였으며, 친환경적 정비대상지역에 대해서 우선순위를 정하여 장기계획에 의거 효율적인 정비가 되도록 중요도에 따라 최우선 정비지역이 15%, 우선 정비지역35%, 기타 정비지역을 50%의 비율로 구분하였다.

2) 용배수로 주변공간 정비기술 구축

가) 정비대상지구의 지역적 조건을 고려한 설계

친환경 용배수로 정비를 위한 설계는 생태공원, 휴식공간 등의 설계목표를 정리하고, 친수성, 지역활동, 수로조건 등의 상세조사를 실시하며, 대상지구의 수리, 수문과 필요 조도조건 등을 고려하며, 수변 생태공간 확보를 위한 탈출로, 피난처, 서식공간 등의 조사와 계획이 병행되어야 한다.

나) 지역주민 참여가 가능한 용배수로 주변공간 개발

수로 정비계획 수립 시에 수로를 중심으로 지역주민이 활용 가능한 용배수로 주변 공간 개발에는 주변의 팜폰드, 쌈지공원, 휴식공간, 다목적 도로조성 등은 수로의 고유기능이 유지되는 범위 내에서 설치되어야 하며, 수로의 생태적 영역, 이용행위를 포함하는 영역, 정서적 영역과 같은 수로환경조사에서 얻은 정보를 바탕으로 검토되어야 한다.

다) 정비가 이루어진 용배수로의 유지관리 기술검토

친환경수로의 유지관리 기술 검토는 토사의 침전 및 퇴적, 마을하수 유입에 따른 수질오염, 사면붕괴 등 유지관리상 고려되어 할 기술을 검토하였으며, 토사침전 방지와 마을하수에 포함된 오염물질 제거를 위해서는 수로 상류부와 마을하수 유입부에 침사지를 설치하는 기술과 사면붕괴 방지를 위한 사면안정성 검토 방법을 제시하였다.

라) 친환경공법 적용에 따른 용배수로 기능에 미치는 영향과 대책

친환경공법 적용지구를 조사한 결과 수로 사면의 식생이 정착하기 이전에 수로사면 붕괴로 인한 사면의 붕괴로 인한 수로 자체의 안정성 확보와 수로바닥 토사퇴적이 수로 기능유지에 많은 어려움이 발견되었으며, 그 대책으로는 구조적으로 안전한 단면형성과 침사지를 설치하는 계획을 검토하였다.

마) 배수로의 토질 특성을 고려한 안전성 검토

친환경배수로 공법 선정에 토질에 따른 문제점 분석과 공법 적용성에 대하여 검토하였으며, 배수로의 사면붕괴 양상과 친환경공법 재료의 사면기울기 기준 등을 제시하였다.

바) 토질 안정성과 유속을 고려한 친환경 호안공법 검토

토질 안정성과 유속의 영향, 비탈면의 기울기 등을 검토하여 친환경 호안공법별로 적용하여야 할 적용범위를 제시하였다.

사) 용배수로 정비에 적합한 식물선정 및 식재방법

친환경수로의 공학적 안전과 생태 기능을 고려한 우수 식물종 선정, 식재위치 및 방법, 그리고 정비형태별 적용가능한 식물 및 식재방법을 검토하였다.

3) 친환경적 정비수로에 대한 모니터링

가) 호안모니터링

자연재 적용에 의한 장기적 경제성 확보 및 생태기능 개선, 치수안전도 확보 및 유지관리가 거의 필요 없는 호안의 도입에 있어서 자연석재는 유리한 것으로 조사 분석되었다.

돌망태 부분의 갯버들 꺾꽂이는 생육이 왕성하여 적용이 바람직하며, 저수호안의 거석은 수질 및 저질 개선과 수생생물 서식에 유리한 것으로 조사 분석되었다.

매트스톤을 적용한 것은 식생성장이 어려운 곳에서의 적용성이 뛰어나며, 유속의 완충 효과가 뛰어나 수충부에 적합한 공법이다.

식생콘크리트 공법에서 식생피복시 갈대의 선정은 신중을 기해야 하며, 과밀성장으로 인한 통수능의 영향을 미치는 부분이나 수로의 폭이 협소한 부분에 대해서는 식재를 지양해야 할 것으로 판단된다.

코어어롤이 시공되어 있는 사면에서는 공법의 단독적용 보다는 잠석 또는 사석의 부분 반영이나 혼합시공이 필요할 것으로 판단된다.

말뚝 소재로 시공된 부분에서는 방부목을 적용하기 보다 장기적으로 볼 때 미방부 처리 되고 미가공된 원주목 생목사용이 효과적인 것으로 판단된다.

돌망태는 철선 부식후에 형상 유지가 어렵고 수직이므로 생물이동이 어렵고 기하학적이므로 자연미가 없으며, 갯버들의 자생이 곤란하므로 수로 수충부 일부에 부분적으로 적용하며, 주변 생태와의 연결을 위한 시설이 필요할 것으로 판단된다.

나) 생태계 모니터링

친환경 수로인 경기여주 송삼지구를 대상으로 생태 모니터링을 실시하였으며 그 결과, 수로 전체 식물상은 정비전 19과 32종에서 정비 후 35과 82종으로 증가하였다가 2004년7월 현재 23과 60종으로 줄어들었다. 이는 조사기간 중 극심한 가뭄에 의한 것으로 판단되고 발생이 저조한 식재종의 관리가 요구된다.

수질의 경우 2000년에는 식물의 활착이 늦어졌고, 마무리 작업이 진행 중이었으므로 이 구간에서 아직 하상 및 호안이 안정되지 않았기 때문에 수로내 각 수질 항목이 불안한 상태를 보였으나, 수변부에 식재된 식물들의 활착으로 인해 영양염의 흡수가 수질의 안정화에 영향을 준 것으로 판단된다.

어류와 파충류는 시공이전의 종들이 모두 재생되었고, 수로내 웅덩이와 수변초지의 형성으로 인해 개체수가 증가하였다.

다) 구조물 수로 내에서의 양서류 이동

구조물화된 수로 내에서 비 급수시의 뱀과 개구리 같은 양서류와 고라니, 오소리 등의 소동물은 탈출경로가 없어 고사함에 따른 주변 생태계의 부정적인 영향을 최소화하기 위해서는 다양한 형태의 탈출 통로를 설치하여야 한다.

구조물 수로 내에서의 양서류 탈출을 위한 등선로는 등선로 바닥상태에 따라 탈출의 용이성이 다르게 조사되었는데, 등선로 바닥이 거치른 상태가 되도록 하며, 그 간격은 개구리와 뱀의 이동 가능거리를 고려한다면 약 20m 이상으로 설치되어도 효과적이라 판단되며, 각 종의 특징에 대해서는 추가적인 연구가 요구된다.

4) 친환경적 수로정비에 대한 평가기술 개발

가) 친환경적 정비수로에 대한 자연도 평가기준 도출

수로 자연도 평가기준으로 평가부분은 수로특성을 고려하여 종단면과 횡단면 등 2개부분과 부문별 특성을 고려한 11개의 세부항목이 선정되었다. 종단면은 4개의 항목, 횡단면은 7개 항목으로 이루어 졌다. 제시된 수로평가기준은 가설적인 모형이라고 할 수 있으며 평가기준에 적합한 평가단위 및 척도를 개발하여 사례수로에 적용시켜 다른 평가기준과의 비교분석을 통한 수정 및 보완의 여지가 있다. 또한, 사례수로수, 수로유형의 범위를 확대하여 평가결과의 비교분석을 따른 평가부분 및 항목을 보완해 나갈 필요가 있다.

나) 친환경적 정비수로의 안전성 평가

여주 배수로의 경우 식생콘크리트와 다공성 옹벽블록이 혼합 시공된 식생호안공법 적용 구간은 혼적수위에 의한 홍수량 $17.32\text{m}^3/\text{s}$ 와 설계홍수량 $12.70\text{m}^3/\text{s}$ 에 대한 모의 결과 $1.53\sim 1.22\text{m}/\text{s}$ 로 허용유속 범위 $1.54\text{m}/\text{s}$ 내에 있었으며, 모니터링 결과 공법에 대한 문제점이 발생하지 않은 것으로 조사되어 식생호안공법에 대해 안전한 것으로 판단된다.

단면 및 수리특성이 유사한 여주 배수로 식생콘크리트 적용구간에 대하여 동막천의 설계홍수량 $13.24\text{m}^3/\text{s}$ 를 모의한 결과, 여주배수로의 경우 $1.27\sim 1.43\text{m}/\text{s}$ 의 유속범위와 $22.68\sim 43.61\text{N}/\text{m}^2$ 의 소류력 범위로 동막천의 $1.10\sim 1.53\text{m}/\text{s}$ 의 유속범위와 $31.09\sim 37.43\text{N}/\text{m}^2$ 소류력 범위와 유사하게 분석 되었으며, 하천 적용 공법에 대한 배수로 모의결과 비교적 유사한 수리특성을 나타내었다.

공법별 유속, 소류력을 비교 분석한 결과 식생호안 공법에 비해 매트스톤 공법의 경우 빠른 유속과 소류력 에서도 사면의 붕괴나 유실이 발생하지 않은 것으로 조사되어, 수중부에 적용이 가능한 환경친화적이며 공학적으로 안전한 공법이라 판단된다.

나무말뚝과 섯단을 이용한 공법과 자연석을 이용한 공법(매트스톤 공법)에서의 평균유속이 다른 단면에 비해 높게 분석되었으며, 홍수 후 각각의 단면들에 대해서 모니터링 한 결과 유속이 빠르게 나타난 부분에 대해서 유실이나 제방 붕괴가 발생한 것으로 조사되어 모형에 의한 모의 결과와 유사하게 나타는 것으로 분석되었다.

저수호안의 유속 저감효과를 분석한 결과 저수호안에 식생콘크리트 옹벽블록이 시공된 구간의 유속범위는 0.41~0.66m/s로 나타났으며, 옹벽블록이 시공되지 않은 구간의 유속 범위 0.68~1.02m/s 보다 약 10~15%의 유속 저감 효과가 있는 것으로 분석되었으며, 저수호안공법이 세굴에 대한 안전성에 기여하는 것으로 판단된다.

다) 친환경 정비수로 설치에 따른 지역사회의 인문·사회적 변화양상 검토

친환경 정비수로 설치에 따른 지역사회의 인문·사회적 변화양상을 검토하기 위해 친환경 정비수로에 대한 만족도를 살펴본 결과 전체적으로 3.0이상으로 긍정적 성향이 나타났고 휴식편의시설의 평균 점수가 가장 높았으며, 친수시설에 대한 만족도 평균 점수가 가장 낮게 나타났다.

회귀분석을 이용하여 전체 만족도에 영향을 미치는 요인을 분석한 결과 치수목적의 배수로의 경우에는 수량 및 수질, 수로의 기능적인 측면이 전체만족도에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이수목적의 용수로의 경우에는 휴식편의시설과 수로의 기능 만족이 전체 만족도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 향후 용수로의 정비시 휴식편의시설에 대한 부분을 효과적으로 반영해야 할 것으로 생각된다.

5) 친환경 용배수로 개보수에 적합한 기술개발

친환경 용배수로 개보수에 적합한 기술개발 연구부문에서는 사전조사연구를 통하여 친환경 용배수로에 적합한 요구특성을 선정하고 이를 바탕으로 선정된 다공성 황토블록을 이용하여 친환경 수로용 제품을 개발하였다. 또한, 개발 제품을 이용한 친환경 시험수로의 설계 및 시공을 실시하고 2년간의 모니터링을 통하여 그 적용성을 분석하였다.

친환경 시공재료인 다공성 황토블록을 이용하여 친환경 수로의 사면부, 바닥부, 기초부 및 천단부에 적용되는 제품으로 에코셀(A형), 에코셀(B형), 황토지오그린셀, 지오그린 황토옹벽블록, 지오그린 황토어소블록, 황토기초블록, 황토수질정화블록, 황토 경계석재블록 등의 제품을 개발하였다.

상기의 개발 제품을 이용하여 친환경 시험수로에 적용할 공법을 설계하고 시험 시공을 통하여 각각의 적용공법별로 제조 및 시공방법을 정립하였다.

개발제품을 이용하여 농어촌연구원 내 수로구간에 조성한 친환경 시험수로를 대상으로 2년동안 식생 모니터링을 실시하여 그 결과를 바탕으로 공법 적용 전후의 변화를 비교 분석하였다.

본 개발공법(에코셀공법, 황토옹벽/어소블록공법)을 기존의 공법(콘크리트 호안블록공법, 개거공법, 환경생태블록공법, 바구니형블록공법)과 비교하여 경제성 분석을 수행한 결과, 동등 수준 이상의 가격 경쟁력을 확보함에 따라 앞으로 수로조성 및 개보수사업에 그 활용성이 우수할 것으로 판단된다.

본 개발제품 및 공법은 그 특성 및 용도에 비추어 볼때 용베수로 이외의 수리시설물인 보와 낙차공, 그리고 이외에도 소하천의 호안정비 등에 그 활용성이 우수할 것으로 판단된다.

SUMMARY

When the existing environment-friendly method is used in irrigation and drainage canal, many problems can be arise. Therefore, it is necessary that environment-friendly canal method which is stable when water pass through canal and isn't disturbed, should be developed.

The environment-friendly method which we developed are as follows ;

We collected data design and construction related to environment-friendly improvement and investigated samples of environment friendly method which were constructed and developed by environment-friendly improvement method.

And selection criteria which can be applied in environment-friendly improvement site were presented, environment-friendly arrangement technique of circumstances space were developed, valuation method on environment friendly arrangement technique was developed by site monitoring, environment-friendly canal product and construction method were developed. Its application of site was verified, according to these results, canal is stable when flood occurred and isn't disturbed when water is passing, and control of vegetation is possible and is suited to its purpose.

These methods were applied in the design of completion 4(four) sites. Another 4(four) sites are under design. Application of these method will be increased.

The important research results of this study are as follows.

For selection of environment-friendly canal improvement project, simple score method and subjective valuation approach method and checklist method were adapted and its application which considered canal

characteristic are valuated, and guidelines on functional element of canal and ecological element were presented.

Environment-friendly improvement method of canal circumstances space which reflected regional design conditions was developed, which rural people participation is possible, and its social influence and countermeasure, vegetation selection and planting method, environment friendly method protecting the banks which were considered soil characteristic and velocity on canal are presented.

For project valuation, ecology monitoring was carried out, analysis of method protecting the banks by monitoring was carried out, hydraulic stability valuation method on existing environment-friendly method and natural characteristic valuation method were developed.

Environment-friendly manufactures which were reflected demand characteristic of drainage and irrigation canal were developed.

This method is focused on scenery, ecology, stability and deliver a vegetation's distribution and improve soil properties and hydraulic safety of bank.

Experiment canal was constructed and its application was analyzed.

According to the results, this method has economical efficiency, water smoothly passing, stability and natural characteristic, and will contribute to environment-friendly canal construction.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	1
Section 1. Objectives of Research	3
Section 2. Necessity of Research	3
Section 3. Scopes of Research	5
Section 4. Status of Technological development in domestic & abroad	9
Section 5. Period and Research	11
Chapter 2. Status of Environment friendly canals consolidation	13
Section 1. Status of general bank revetment consolidation methods	15
Section 2. Status of Environment friendly bank revetment methods	18
Section 3. Construction cases of Environment friendly bank revetment methods in domestic	44
Section 4. Trends and cases of Environment friendly consolidation in abroad	68
Chapter 3. Selection criteria of object area for Environment friendly canals consolidation	81
Section 1. Status of Irrigation and Drainage canal consolidation	83
Section 2. Criteria establishment for the selection of object area	89
Section 3. Data research and analysis for the selection of object area	91
Chapter 4. Construction of consolidation technique on the circumference of Irrigation and Drainage canal	111
Section 1. Design considering local condition of consolidation object area	113
Section 2. Development of canals circumference for residents participation	117
Section 3. Technical investigation for the maintenance of consolidated Irrigation and Drainage canal	121
Section 4. Influence and countermeasure of Irrigation and Drainage canal function after applying environment friendly methods	151
Section 5. Stability examination thinking over soil characteristics of Drainage canal	154
Section 6. Investigation of stability considering soil characteristics of drainage channels	167

Chapter 5. Monitoring for the Environment friendly consolidation canals	195
Section 1. Summary of monitoring	197
Section 2. Plan of monitoring	200
Section 3. Results of monitoring	204
Section 4. Ecological migration in the structural channels	218
Chapter 6. Evaluation on the Environment friendly canals consolidation	223
Section 1. Naturalness evaluation methods of the existing stream	225
Section 2. Inducement of naturalness evaluation criteria for the Environment friendly consolidation canals	237
Section 3. Safety analysis on the Environment friendly consolidation canals	239
Section 4. Investigation of cultural and social change according to the establishment of Environment friendly consolidation channels	278
Section 5. Consciousness investigation of engineers for the Environment friendly consolidation of irrigation facilities	285
Chapter 7. Development of improvable technique for the Environment friendly irrigation and drainage canal	293
Section 1. Design of improvable product for the Environment Friendly irrigation and drainage canal	295
Section 2. Testing canals preparation and monitoring on the Environment Friendly drainage canal methods	326
Section 3. Adjustment of suitable construction method for the Environment Friendly drainage canal method consolidation	346
Section 4. Presentation of application when irrigation facilities and small stream are consolidated besides Irrigation and Drainage canal	392
Chapter 8. Attainment of the goal and contribution in the related field	395
Section 1. Construction of the Environment Friendly consolidation method for the irrigation and drainage canal and the circumference	397
Section 2. Development of selection criteria of object area and prior precedence determination criteria	397
Section 3. Monitoring for the Environment friendly consolidation channels	397
Section 4. Development of suitable product for the improvement of Environment Friendly irrigation and drainage canal	398

Chapter 9. Plan of utilization for the research result	399
Section 1. Commercial propulsion of patented article	401
Section 2. Using the design and construction of developed technique	401
Section 3. Using as the determination data of policy in the related Environment friendly project	402
Section 4. Application as the data of future development of technique	402
 Chapter 10. Collected foreign scientific technique information in the process of research development	 403
 Chapter 11. References	 407

목 차

요 약 문	i
SUMMARY	iv
CONTENTS	xi
목 차	xiv
표 목 차	xix
그 립 목 차	xxiii
제 1 장 연구개발과제의 개요	1
1절 연구개발의 목적	3
2절 연구개발의 필요성	3
1. 기술적 측면	3
2. 경제·산업적 측면	4
3. 사회·문화적 측면	4
3절 연구개발의 범위	5
4절 국내외 기술개발 현황 및 문제점	9
1. 국내·외 연구동향	9
2. 문제점	9
3. 앞으로의 전망	10
4. 기술도입의 타당성	10
5절 연구기간 및 참여 연구원	11
제 2 장 국내외 친환경 수로정비 현황	13
1절 일반적인 수로호안공법 현황	15
1. 콘크리트 라이닝	15
2. 아스팔트 라이닝	16
3. 섬유대 호안공	16
4. 콘크리트 블록쌓기	16
5. 돌쌓기, 돌붙임	16

6. 떼붙임	17
7. 사석공	17
8. 돌망태공	17
2절 친환경 호안공법 현황	18
1. 설치위치에 따른 분류	19
2. 설치목적에 따른 분류	19
3. 사용재료에 따른 분류	20
3절 국내 친환경 호안공법 시공사례	44
1. 수도권 도시하천의 자연형 하천정비의 현황	44
2. 농업용 수로의 친환경 정비 사례	46
3. 소하천에서의 친환경 정비 사례	57
4절 해외 친환경적 정비 동향 및 사례	68
1. 스위스	69
2. 미국	71
3. 독일	73
4. 일본	75
5. 캐나다	80
제3장 친환경적 수로정비사업의 대상지역 선정 기준	81
1절 용배수로 정비 현황	83
1. 현행 용배수로의 정비 현황	83
2. 현행 용배수로의 정비 추진방향	84
2절 대상지역 선정을 위한 기준 설정	89
1. 수로특성에 따른 선정 기준	89
2. 주변지역의 특성에 따른 선정 기준	90
3절 지역선정을 위한 자료수집 및 분석	91
1. 예비 조사	91
2. 자료수집 및 분석방법	96
3. 지역선정 우선순위 결정	103
4장 용배수로 주변공간 정비기술 구축	111
1절 정비대상지구의 지역적 조건을 고려한 설계	113

1. 친환경 용배수로의 설계과정	113
2. 대상지구의 수리·수문, 생태적인 특성에 적합한 설계	115
2절 지역주민들의 참여가 가능한 용배수로 주변공간 개발	117
1. 지역주민들이 이용가능한 주변공간 구축 방안	117
2. 수로공간이용의 허용	119
3. 용배수로의 다각적 이용시설	120
3절 정비된 용배수로 유지관리 기술검토	121
1. 유지관리 기술검토를 위한 현장조사	121
2. 현장조사 결과	122
3. 친환경정비지구의 유지관리 방안 검토	131
4절 친환경공법 적용에 따른 용배수로 기능에 미치는 영향과 대책	151
1. 용배수로 기능을 고려한 친환경 수로정비 방향	151
2. 친환경 재료 및 제품의 개발방안	153
5절 배수로의 토질특성을 고려한 안정성 검토	154
1. 개요	154
2. 배수로의 사면붕괴 양상	154
3. 조사 대상지구 선정	158
4. 토질특성	159
5. 배수로 호안공법의 사면기울기 적용성 검토	163
6. 토질안정성과 유속을 고려한 친환경 호안공법 검토	164
6절 용배수로 정비에 적합한 식물선정 및 식재방법	167
1. 공학적으로 안전하며 생태적 기능도 우수한 식물 선정	167
2. 정비 형태별 적용 가능한 식물 및 식재방법	171
제5장 친환경적 정비수로에 대한 모니터링	195
1절 모니터링 개요	197
1. 의의 및 필요성	197
2. 목적	198
3. 기능 및 범위	199
2절 모니터링 계획	200
1. 계획 수립	200
2. 평가 변수	202

3절 모니터링 결과	204
1. 호안 특성 조사	204
2. 생태계 특성 변화 양상 조사	205
4절 구조물 수로 내에서의 생태이동	218
1. 생태수로관 설치 내역	218
2. 양서류 이동 모니터링	220
6장 친환경적 수로정비에 대한 평가	223
1절 기존 하천 자연도 평가 방법	225
1. 하천환경의 평가	225
2. 하천환경 평가기준 설정	227
3. 하천환경 평가사례	227
2절 친환경 정비수로에 대한 자연도 평가 기준 도출	237
1. 평가기준의 개념적 틀	237
2. 평가 항목 선정	237
3절 친환경 정비수로의 안전성 평가	239
1. 대상지역 특성	239
2. 모형의 적용	245
3. 안전성 해석	266
4절 친환경 정비수로의 설치에 따른 지역사회인문 ·	278
1. 조사방법 및 내용	278
2. 설문조사 분석 결과	280
5절 수리시설물의 친환경적 정비에 관한 기술자들의 의식조사	285
1. 조사방법 및 내용	285
2. 설문조사 분석 결과	286
7장 친환경 용배수로 개보수에 적합한 기술개발	293
1절 친환경적 용배수로 개보수에 적합한 제품설계	295
1. 용배수로에 적용된 기존제품의 현황 및 사례조사	295
2. 친환경 용배수로에 적합한 시공재료의 요구특성 검토	305
3. 친환경 용배수로에 적합한 시공재료의 선정 및 물성평가	306
4. 친환경적인 용배수로에 적합한 제품설계	313

2절 친환경 배수로공법 시험수로 조성 및 모니터링	326
1. 친환경 배수로공법 시험수로 조성계획	326
2. 친환경 배수로공법 시험수로 시공	332
3. 친환경 시험수로의 생태학적 모니터링	335
3절 친환경 배수로공법에 적합한 시공법 정립	346
1. 적용제품별 제조 및 시공방법 정립	346
2. 적용제품의 시공방법별 경제성 검토	390
4절 용배수로 이외의 수리시설물, 소하천 정비시 활용성 제시	392
1. 용배수로 이외의 수리시설물, 소하천 정비시 활용성 제시	392
2. 생태공원, 자연학습장 조성시 활용방안 제시	393
제8장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	395
1절 용배수로 및 주변공간의 친환경적 정비기술 구축	397
2절 친환경적 수로정비사업의 대상지역 선정기준 및 지역선정 우선순위 결정 기법 개발	397
3절 친환경적 정비 수로에 대한 모니터링	397
4절 친환경 용배수로 개보수에 적합한 제품개발	398
제9장 연구개발결과의 활용계획	399
1절 특허등록 제품의 상품화 추진	401
2절 개발기술의 설계 및 시공에 직접 이용	401
3절 친환경 관련사업 정책결정 판단자료로 이용	402
4절 향후 기술개발의 자료로 활용	402
제10장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	403
제11장 참고문헌	407

표 목 차

<표 2-1> 일반적인 호안 정비공법 현황	15
<표 2-2> 친환경호안의 구분	18
<표 2-3> 식생 기반재를 이용한 공법의 재료	27
<표 2-4> 목재계 호안 공법의 부재료	32
<표 2-5> 목재계 공법의 사례	33
<표 2-6> 목재계호안의 채움돌 입경	34
<표 2-7> 바구니계 호안공법의 종류	37
<표 2-8> 자연석 호안의 필요입경	39
<표 2-9> 다공성 식생 호안블록의 종류	42
<표 2-10> 수도권 도시하천의 자연형 하천정비현황	45
<표 3-1> 용배수로 현황	83
<표 3-2> 평야부의 개보수 대상시설물 및 추정사업비 현황	86
<표 3-3> 용수로 종·횡단 구조물의 개보수 공종 내역	87
<표 3-4> 시도별 용수 간·지선 현황	87
<표 3-5> 수로의 기능 및 규모에 대한 설문 결과	92
<표 3-6> 수로의 생태계 및 경관에 대한 설문 결과	93
<표 3-7> 선호하는 개보수 재료	94
<표 3-8> 선정된 수로와 수로의 특성	95
<표 3-9> 대상지역선정 평가항목	97
<표 3-10> 기능적 요소	101
<표 3-11> 생태적 요소	101
<표 3-12> 친수활동적 요소	102
<표 3-13> 사업 시행적 요소	102
<표 3-14> 체크리스트 기법에 부여된 가중치	103
<표 3-15> 분석방법에 따른 순위변동	105
<표 3-16> 평가항목에 따른 순위	106
<표 4-1> 조사세부 항목	114
<표 4-2> 조사지역 선정 내역	122
<표 4-3> 용배수로 친환경정비지구 개요	122
<표 4-4> 하천 친환경정비지구 개요	127

<표 4-5>	송삼지구 침투유입량	135
<표 4-6>	침투유입량	136
<표 4-7>	토사입자별 침전속도	137
<표 4-8>	침사지 최소 표면적	138
<표 4-9>	경사도 범위에 따른 m 지수	141
<표 4-10>	식생피복인자, C	142
<표 4-11>	식생피복인자, C	143
<표 4-12>	척식조절방법인자, P	143
<표 4-13>	토양침식성인자, K	145
<표 4-14>	연 토사퇴적량	149
<표 4-15>	침사지 부피 및 깊이	149
<표 4-16>	침사지 적정규모 비교	150
<표 4-17>	선정지구	159
<표 4-18>	조사지구에 대한 배수로별 토질특성	159
<표 4-19>	사면기울기의 표준	163
<표 4-20>	미국 토양보전국의 사면기울기에 대한 규정	164
<표 4-21>	일본 토지개량사업 표준설계(제6편 배수로) 규정	164
<표 4-22>	대표유속에 대응하는 각종 호안공법(사면의 경사가 1:1.5보다 느린 경우) ..	165
<표 4-23>	대표유속에 대응하는 각종 호안공법(사면의 경사가 1:1.5보다 급한 경우) ...	166
<표 4-24>	내한성 정도에 따른 분류	171
<표 5-1>	모니터링 방법	203
<표 5-2>	수질항목별 분석방법	203
<표 5-3>	호안공법의 특성비교	204
<표 5-4>	전반적 호안 특성	204
<표 5-5>	홍수 및 가뭄시 호안 특성 분석	205
<표 5-6>	식물상 변화	214
<표 6-1>	일본의 하천 자연도 평가를 위한 항목과 조사내용	229
<표 6-2>	뉴질랜드의 하천자연도 평가목록	231
<표 6-3>	미국에서 하천 분류 및 평가를 위한 조사내용	232
<표 6-4>	수로에 사용된 자연친화적 저수로 호안 공법	240
<표 6-5>	여주지구 유역 특성	246
<표 6-6>	여주지구 홍수량	248

<표 6-7> 유역의 평면적 특성	250
<표 6-8> 원증지구 홍수량	250
<표 6-9> 동막천 유역의 특성	252
<표 6-10> 동막지구 홍수량	253
<표 6-11> 하천상황별 조도계수	255
<표 6-12> 하천 및 수로의 조도계수	256
<표 6-13> 조도계수 값	256
<표 6-14> 비점성토의 허용평균 유속	262
<표 6-15> 점성토의 허용평균 유속	263
<표 6-16> 식생피복수로에 대한 허용유속	264
<표 6-17> 호안 안전성에 대한 기준	265
<표 6-18> 대상지의 허용유속지표 범위	266
<표 6-19> 조도계수 변화에 따른 사면부 유속과 소류력 (여주 배수로)	267
<표 6-20> 조도계수 변화에 따른 사면부 유속과 소류력 (동막천)	267
<표 6-21> 조도계수 변화에 따른 사면부 유속과 소류력 (원증천)	268
<표 6-22> 조성공법에 따른 실측값과 모의 값의 비교	269
<표 6-23> 공법별 사면부 최대유속과 소류력(여주배수로)	270
<표 6-24> 공법별 사면부 최대유속과 소류력(원증천)	270
<표 6-25> 대상지역별 식생콘크리트공법 수리특성 비교	271
<표 6-26> 저수호안 공법 유무에 따른 유속 비교	272
<표 6-27> 허용유속 기준 비교 값 (원증천)	273
<표 6-28> 허용유속 기준 비교 값 (여주배수로)	274
<표 6-29> 2000년 7월 홍수량에 대한 모의	275
<표 6-30> 친환경 정비수로에 대한 만족도 설문지 문항 구성표	280
<표 6-31> 조사대상자의 성별현황	281
<표 6-32> 조사대상자의 연령별 현황	281
<표 6-33> 전체 만족도	282
<표 6-34> 수로특성에 따른 만족도의 t검정 결과	282
<표 6-35> 여주 배수로 단계적 회귀분석 결과	283
<표 6-36> 영광 용수로 단계적 회귀분석 결과	283
<표 6-37> 친환경 수로 정비 후 유지관리현황 및 주민참여	284
<표 6-38> 설문조사 내용	286

<표 6-39> 조사대상자의 개인특성	286
<표 6-40> 환경친화적 정비의 필요성과 적용정도	287
<표 6-41> 수리시설물의 환경친화적 정비시 애로사항	288
<표 6-42> 수리시설물의 환경친화적 정비 활성화 방안	288
<표 6-43> 수리시설물의 환경친화적 정비 우선순위	289
<표 6-44> 수리시설물의 환경친화적 정비에 대한 관심도와 실천견해	290
<표 6-45> 용·배수로 정비시 선호하는 재료	290
<표 6-46> 수리시설물의 설계시 고려사항 우선순위	291
<표 7-1> 하천의 호안공사별 비교표	298
<표 7-2> 기존의 친자연형 하천에 적용된 시공재료 현황	300
<표 7-3> 시공재료의 배합표	307
<표 7-4> 시공재료 시험결과	313
<표 7-5> 개발제품의 제원 및 물성	325
<표 7-6> 시험수로 조성계획	327
<표 7-7> 에코셀의 치수 및 허용차	349
<표 7-8> 에코셀의 품질규준값	349
<표 7-9> 황토셀의 치수 및 허용차	357
<표 7-10> 황토셀의 품질규준값	358
<표 7-11> 황토옹벽(어소)블럭의 치수 및 허용차	366
<표 7-12> 황토 옹벽/어소블럭의 품질규준값	366
<표 7-13> 지오그리드의 규격 및 강도	369
<표 7-14> 황토 수질정화블럭의 치수 및 허용차	376
<표 7-15> 황토 수질정화블럭의 품질 규준값	377
<표 7-16> 황토 경계식재블럭의 치수 및 허용차	385
<표 7-17> 황토 경계식재블럭의 품질규준값	385
<표 7-18> 개발공법 및 기존공법의 경제성 검토	391
<표 9-1> 본 개발제품의 현장적용 추진사례	401

그림 목 차

<그림 2-1> 석재 부착 필름	40
<그림 2-2> 석재 부착 필름의 시공 전·후 전경	40
<그림 2-3> 대상수로 설계도	48
<그림 2-4> 대상수로(오동지구 제2호 용수간선) 상류 전경	49
<그림 2-5> 대상수로(오동지구 제2호 용수간선) 중류 전경	50
<그림 2-6> 반딧불이 블록에 의한 시공 후 사면경사 변화	53
<그림 2-7> 여주 구양지구 용수로 시공직후와 현재(2004년 5월)	53
<그림 2-8> 용은지구 생태이동 통로	54
<그림 2-9> 수로내에 자라고 있는 울챙이	54
<그림 2-10> 여주 용은지구 시공직후와 현재(2004년 5월)	54
<그림 2-11> 생태이동을 위한 수로복개 사례	55
<그림 2-12> 효지지구 생태이동통로	55
<그림 2-13> 수로바닥에 저류홈 및 탈출로에 식생이 활착한 모습	56
<그림 2-14> 현장타설로 시공한 생태이동통로	56
<그림 2-15> 자연친화적 하천공법이 적용된 서호천 전경	58
<그림 2-16> 자연친화적 공법이 적용된 오수천 전경	59
<그림 2-17> 자연친화적 공법이 적용된 당월천 전경	60
<그림 2-18> 해반천 어도전경	60
<그림 2-19> 해반천 수생식물 전경	61
<그림 2-20> 자전거 도로 및 사면식생	62
<그림 2-21> 전경징검다리 및 친수계단 전경	62
<그림 2-22> 물놀이장 전경	63
<그림 2-23> 실개천 및 수변데크 전경	63
<그림 2-24> 원사면 전경 (호안블럭)	63
<그림 2-25> 식생호안전경(돌,나무,갈대, 갯버들)	63
<그림 2-26> 수질정화시설	64
<그림 2-27> 저습지 전경	64
<그림 2-28> 오산천 친환경 정비시설	65
<그림 2-29> 소하천가의 주민쉼터	66
<그림 2-30> 주민의 건강을 위한 발지압 보도	66

<그림 2-31> 화분식 식생블럭	66
<그림 2-32> 환경블럭 자연석	66
<그림 2-33> 징검다리 전경	67
<그림 2-34> 지오그린 옹벽블럭 및 어소블럭	67
<그림 2-35> 자연친화적 공법이 적용된 Strawberry Creek 전경	72
<그림 2-36> 자연친화적 공법이 적용된 라인강 전경	74
<그림 2-37> 가노천 통나무 쌓기공 시공 사례	76
<그림 2-38> 토생천 사석쌓기 호안 시공 사례	77
<그림 2-39> 이찌노나까천 석축호안 시공 사례	78
<그림 2-40> 이따지천의 저수로 조성 시공 사례	79
<그림 2-41> Don river의 자연형 하천정비 사례	80
<그림 3-1> 최근 용배수로 정비추진현황	84
<그림 4-1> 수생곤충의 비오톱 이미지도	117
<그림 4-2> 친수광장 이미지도	118
<그림 4-3> 산책로 이미지도	118
<그림 4-4> 친수공원 이미지도	120
<그림 4-5> 하류부 전경	123
<그림 4-6> 상류부 전경	123
<그림 4-7> 침사지 토사퇴적 전경	124
<그림 4-8> 중상류부의 토사퇴적 전경	124
<그림 4-9> 마을 진입도로와 곤충서식 블록	124
<그림 4-10> 곤충서식블록과 H형 블록	124
<그림 4-11> 정비구간 시점에서 수로 전경	125
<그림 4-12> H형 블록 전경	125
<그림 4-13> 마을하수가 유입되는 지점에 설치된 침사지	125
<그림 4-14> 마을과 용수로 주변에 설치된 휴식공간	126
<그림 4-15> 식생호안 및 그린매트 구간과 H형 블록	126
<그림 4-16> 수로내에서 수집한 생물	127
<그림 4-17> 옹벽블럭+지오그린셀 공법	128
<그림 4-18> 하상에 자연석으로 조성된 폭기 시설	128
<그림 4-19> 토사의 퇴적 상황	128
<그림 4-20> 일부 파괴된 옹벽블럭	128

<그림 4-21> 정비구간 전경(2003년 5월)	129
<그림 4-22> 정비구간 전경(2003년 11월)	129
<그림 4-23> 식생도입전(좌)과 자연적으로 식생이 활착(우)한 전경	129
<그림 4-24> 어소블록+옹벽블록 조합 시공(좌)과 시공후 식생이 활착한 전경(우) ..	130
<그림 4-25> 유채꽃 식재	130
<그림 4-26> 양잔디 식재	130
<그림 4-27> 소류력에 의한 자연석 이동 개념도	132
<그림 4-28> 자연석등 부재의 일체성을 통한 이동 억제 방안 개념도	133
<그림 4-29> 시점부 파괴원인 및 형태	133
<그림 4-30> 시점부 보호공 개념도	133
<그림 4-31> 침사지 적정규모 계산과정(Chen, 1975)	135
<그림 4-32> 침사지 설계 모형(Goldman, 1986)	136
<그림 4-33> 토양침식성 인자 K의 계산도표	140
<그림 4-34> 사면장 및 경사도별 LS인자	141
<그림 4-35> K 값	145
<그림 4-36> LS 값	146
<그림 4-37> C 값	147
<그림 4-38> P 값	147
<그림 4-39> 토양유실량(ton/ha/yr)	148
<그림 4-40> 유사운송비-배수유역 곡선	148
<그림 4-41> 와이어를 이용한 블록 연결 개요도	153
<그림 4-42> 표층박리로 인한 붕괴	155
<그림 4-43> 평면활동에 의한 붕괴	156
<그림 4-44> 원호활동에 의한 붕괴	157
<그림 4-45> 연약층을 통한 붕괴	157
<그림 4-46> 입도곡선도(송삼지구)	160
<그림 4-47> 시화지구 대표적인 입도분포곡선(관입공 D-1-2)	161
<그림 4-48> 콘관입저항곡선도(시화지구)	162
<그림 4-49> 수변지역의 식물에 따른 구역도	175
<그림 5-1> 본 연구의 모니터링 수행절차	201
<그림 5-2> 1구간 경관변화	206
<그림 5-3> 2구간 경관변화	207

<그림 5-4> 3구간 경관변화	208
<그림 5-5> 조사시기별 수질변화	212
<그림 5-8> 생태 수로관 공사 전경	219
<그림 5-9> 저류홈 부근의 개구리	220
<그림 5-10> 수로내에서 이동하는 뱀	220
<그림 5-11> 탈출을 시도하다가 포기한 뱀	221
<그림 5-12> 미끄러지는 개구리	221
<그림 5-13> 흙의 마찰력을 이용하여 쉽게 탈출하는 모습	221
<그림 5-14> 현장타설로 시공한 등선로	222
<그림 6-1> 1구간 단면측량 지점	241
<그림 6-2> 2구간 단면측량 지점	242
<그림 6-3> 3구간 단면측량 지점	242
<그림 6-4> 원증천 친환경적 정비 구간	243
<그림 6-5> 원증천 1구간 단면측량 지점	244
<그림 6-6> 원증천 2구간 단면측량 지점	244
<그림 6-7> 여주 지구 소유역 구분도	246
<그림 6-8> 원증천 소유역 구분도	249
<그림 6-9> 동막천 유역 구분도	251
<그림 6-10> 홍수위/식생고 비에 따른 조도계수	259
<그림 6-11> 식생거동과 상대수심에 따른 조도계수 관계	260
<그림 6-12> 공법에 따른 사면의 피도변화(2000년-2003년 월 평균값)	261
<그림 6-13> 조도계수 변화에 따른 유속과 소류력 특성 변화(원증천)	268
<그림 6-14> 실측값과 모의값의 비교	269
<그림 6-15> 저수호안 공법	272
<그림 6-16> 2000년 7월 22일 Section No. 6구간의 사면 유실	275
<그림 6-17> Section No. 21구간 제방 상단부 측면 세굴	276
<그림 6-18> Section No. 9단면 홍수위 변화	276
<그림 6-19> Section No. 10단면 홍수위 변화	277
<그림 6-20> Section No. 11단면 홍수위 변화	277
<그림 7-1> 투수시험장치	310
<그림 7-2> 용수로 설계결과-1	314
<그림 7-3> 용수로 설계결과-2	314

<그림 7-4> 배수로 설계결과-1	315
<그림 7-5> 배수로 설계결과-2	316
<그림 7-6> 사면 안정용 블록(에코셀)	318
<그림 7-7> 사면 안정용 블록(황토 지오그린셀)	319
<그림 7-8> 수충부 안정용 블록(지오그린 황토옹벽/어소블록)	321
<그림 7-9> 기초 대응블록(황토기초블록)	322
<그림 7-10> 세굴방지용 황토수질정화블록	323
<그림 7-11> 천단용 다공성 황토경계식재블록(U형 황토경계식재블록)	324
<그림 7-12> 황토옹벽/어소블록 공법	328
<그림 7-13> 황토지오그린셀 공법	329
<그림 7-14> 에코셀(20-25mm) 공법	330
<그림 7-15> 에코셀(8-13mm) 공법	331
<그림 7-16> 에코셀(8-13mm/20-25mm 혼합) 공법	332
<그림 7-17> 시험수로 기초 토공사	332
<그림 7-18> 시험수로 블록 깔기공사	333
<그림 7-19> 시험수로 천단 마무리공사	334
<그림 7-20> 시험수로 블록충진 및 복토공사	334
<그림 7-21> 시험수로 식물식재 및 녹화공사	334
<그림 7-22> 시험수로 조성전경	335
<그림 7-23> 황토옹벽 식재 공법 출현종의 현존량 변화	336
<그림 7-24> 황토지오그린셀 녹화 공법 출현종의 현존량 변화	337
<그림 7-25> 황토블록(20-25mm) 녹화 공법 출현종의 현존량 변화	338
<그림 7-26> 황토블록(8-13mm) 녹화 공법 출현종의 현존량 변화	338
<그림 7-27> 황토블록(20-25mm) 무녹화 공법 출현종의 현존량 변화	339
<그림 7-28> 황토블록(8-13mm) 무녹화 공법 출현종의 현존량 변화	340
<그림 7-29> 무녹화 처리 구간의 식생 도입전경	341
<그림 7-30> 공법 적용 구간의 하상에 식물 생육 조절효과(앞/뒤 비교)	341
<그림 7-31> 시험수로 조성 전후 비교	342
<그림 7-32> 공법 처리별 현존량 변화	343
<그림 7-33> 공법 처리별 종다양성의 변화	344
<그림 7-34> 에코셀	346
<그림 7-35> 황토 지오그린셀	355

<그림 7-36> 황토옹벽블럭	363
<그림 7-37> 황토어소블럭	363
<그림 7-38> 황토수질정화블럭	374
<그림 7-39> 황토수질정화블럭 제원도	378
<그림 7-40> 황토수질정화블럭 연결용 부속철물	379
<그림 7-41> 황토수질정화블럭 조립도(1M*1M)	379
<그림 7-42> 황토 경계식재블럭	382

제 1 장 연구개발과제의 개요

1절 연구개발의 목적

2절 연구개발의 필요성

3절 연구개발의 범위

4절 국내외 기술개발 현황 및 문제점

5절 연구기간 및 참여 연구원



제 1 장 연구개발과제의 개요

1절 연구개발의 목적

본 연구에서는 친환경적 정비와 관련된 국내외 설계 및 시공기술 자료의 수집과 현장사례조사, 친환경적인 기술이 적용된 지역에 대한 모니터링 및 분석을 통하여 용배수로 및 주변공간의 친환경적 정비기술 구축과 친환경정비 대상지역 선정기준 정립과 용배수로 특성을 반영한 경제적 효용이 있는 친환경 용배수로 개보수에 적합한 친환경 공법·제품 및 활용모델 개발을 목적으로 함.

2절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

- 기존의 친환경적 하천정비기법은 기본적으로 중·대규모의 하천을 대상으로 개발되어 용배수로에는 적합하지 않은 측면이 있음. 따라서 용수로 및 배수로에 적합한 친환경적 정비기법의 도입이 필요한 실정임.
- 공학적 안전성에 대한 검증이 이루어지지 못한 기존의 친환경적 공법들을 대상으로 공학적 거동을 파악하여 친환경적 공법의 적용에 따른 용배수로의 통수능력 저하 및 수로의 안전성 등 기술적 문제점을 해결한 새로운 개보수 기술의 개발이 요구됨.
- 현재까지 친환경적인 공법에 주로 사용되고 있는 재료는 돌, 목재 등의 자연재료 또는 부분적으로 식생의 도입이 가능한 식생콘크리트 등에 한정되어 있는 실정이며, 용배수로 개보수 기술의 개발을 위해서는 용수로 및 배수로의 특성에 적합한 새로운 시공재료의 개발이 중요함.
- 용배수로 및 그 주변공간에 대한 정비는 앞으로도 지속적으로 추진되어야 할 사업이며, 개보수 기법과 기술의 향상을 위해서는 현재까지 개발된 개보수 기술에 대한 적절한 평가지표 및 평가기술이 필요함.
- 자연친화적으로 용수로나 배수로 등을 정비하는데 있어서 식생의 도입은 수로의 경관적 기능 향상은 물론 공학적 안전성 및 수질개선 측면에도 상당한 영향을 주고 있으며 이에 대한 정량적인 구멍이 필요함.

2. 경제·산업적 측면

- 이미 시공되었거나 시공중인 친환경적 정비기법은 전통적인 하천 정비사업에 비해 상대적으로 높은 사업비를 요구하고 있으며, 이는 친환경적인 수로정비사업이 앞으로 확대되는 것에 큰 장애가 되고 있으므로 용배수로를 환경친화적으로 정비하는데 있어서 시공비를 절감할 수 있는 공법의 개발이 필수적이라고 판단되며, 이를 위하여 공법의 표준화 및 경제성이 있는 시공재료의 개발 등을 통한 비용절감이 절실히 요청되고 있음.
- 용배수로의 친환경적인 정비사업을 지속적으로 수행하기 위해서는 개보수를 위한 우선순위를 부여하는 것이 효율적이며, 이를 위해서는 개보수 대상지역선정을 위한 기준의 정립이 필요함.

3. 사회·문화적 측면

- 과거의 수로 정비사업은 이수 및 치수 기능을 위주로 하여 시행되어왔으며 수로의 환경적 기능은 상대적으로 무시되어 왔음. 그러나 환경보전에 대한 국민적인 관심고조와 농촌지역 주민들의 생활환경 개선요구가 대두되고 수로나 하천을 정비하는데 있어서 자연 친화적인 기법을 도입하는 사례가 늘고 있으므로 이에 대한 체계적인 연구가 필요한 실정임.
- 기존에 시행된 친환경적 정비사업들은 공법 및 시공재료가 다양하지 못한 이유로 해서 지역적 특성이 무시된 획일적인 공법을 적용함으로써 사업에 대한 지역주민들의 호응을 얻지 못하고 있으므로 지역주민들의 지속적인 참여와 관심을 유도할 수 있는 사업이 되기 위해서는 지역의 문화적, 사회적, 역사적 특성이 충분히 고려됨과 동시에 보다 다양한 공법과 재료를 이용한 설계가 이루어져야 함.

3절 연구개발의 범위

1. 1차년도

- 친환경적 정비와 관련된 국내외 설계 및 시공기술 자료 수집
 - 용배수로의 친환경적 정비에 대한 국내외 자료를 수집
 - 유럽 및 일본에서 연구된 자료 수집
 - 국내에서 연구된 자료 수집
 - 친환경적 공법을 적용한 하천 및 수리시설물에 대한 사례조사
 - 참고문헌 및 수집된 자료를 통해 외국 시공사례 조사
 - 친환경적 공법을 적용한 하천 및 수리시설물에 대한 국내 사례조사
 - 배수로의 토질특성별 안정성 검토
 - 토질별 배수로 조사 및 시료채취
 - 채취된 시료에 대한 분석

- 친환경적 정비의 대상이 되는 용배수로의 현황 파악
 - 친환경적 개보수의 대상이 될 수 있는 용배수로의 현황을 조사
 - 전국적으로 산재되어있는 용배수로를 조사하여 자료를 구축
 - 용배수로의 기능, 규모별 현황을 파악함
 - 최근에 개보수가 이루어진 용배수로를 조사하여 현황을 파악함
 - 노후로 인해 개보수가 요구되는 용배수로는 별도 분류하여 자료를 구축함

- 친환경적 기술이 적용된 지역에 대한 모니터링 (1차년도)
 - 모니터링을 위한 기본계획 수립
 - 기존 모니터링 자료 분석
 - 모니터링 대상 및 방법 확정
 - 선정 대상에 대한 모니터링 실시

- 친환경적 용배수로 개보수에 적합한 제품 설계
 - 친환경적 용배수로 개보수에 적합한 제품 설계
 - 용배수로에 적용된 기존제품의 현황 및 사례조사
 - 친환경적인 용배수로에 적합한 시공재료의 요구특성 검토
 - 친환경적인 용배수로에 적합한 제품 설계

2. 2차년도

- 용배수로 및 주변공간의 친환경적 정비 기술 구축
 - 정비 대상지구의 지역적 조건을 고려한 설계
 - 대상지역의 수리, 수문, 생태적인 특성에 적합한 기술의 개발
 - 지역의 인문·사회적 특성에 적합한 기술 개발
 - 지역주민들의 참여가 가능한 용배수로 주변공간 개발에 대한 연구
 - 시설물 개보수시 지역주민들의 공동이용공간 개선방법을 연구
 - 지역의 사회, 문화적 특성을 파악하여 적합한 개발이 되도록 함
 - 정비가 이루어진 용배수로에 대한 유지관리 기술검토
 - 배수로의 토질특성별 안정성검토
 - 토질특성별 적용할 수 있는 친환경공법 검토
 - 친환경공법 적용에 따른 용배수로의 기능에 미치는 영향과 대책 검토

- 정비사업 대상지역 선정기준 연구
 - 정비 대상지구의 종합적 환경조건을 검토
 - 수로의 특성에 따른 선정기준
 - 주변지역의 특성에 따른 선정기준
 - 타사업과의 연계성 검토
 - 친환경적 용배수로 개보수 기술의 적용을 위한 지역 선정기준 연구
 - 지역의 특성을 정량화
 - 정량화된 특성에 대한 비교방법 연구

- 친환경적 기술이 적용된 지역에 대한 모니터링 (2차년도)
 - 적용된 공법에 대한 공학적 안전성 검토
 - 용배수로 개보수 전후의 생태계 변화특성 검토
 - 수리시설물 개보수와 관련된 지역사회의 인문·사회적 변화 양상 검토
 - 용수로와 배수로의 공법 적용상 차이점 분석
 - 용수통과 및 배수배제 능력에 미치는 영향분석
 - 홍수 및 가뭄시 특성변화 연구

- 용배수로 개보수에 적합한 시공재료의 개발
 - 용수로 및 배수로의 특성에 적합한 시공재료 개발을 위한 연구
 - 용수로 및 배수로의 제반 특성을 파악

- 수로 고유의 통수 및 배수 기능을 고려한 재료의 개발
- 생태적으로 유리한 기능을 가진 재료의 개발

3. 3차년도

- 용배수로 및 주변공간의 친환경적 정비 기술 구축
 - 용배수로 정비지구의 종합적인 환경조건을 고려한 정비기술 구축
 - 기존 시행지구의 문제점 분석을 통한 용배수로의 기능, 규모에 따른 개보수 기술 개발
 - 지역의 종합적인 특성을 고려한 정비기술 개발
 - 침사지 유지관리비 절감 방안 검토
 - 용배수로 정비에 적합한 식물선정 및 식재방법 연구
 - 공학적으로 안전하며 생태적 기능도 우수한 식물의 선정
 - 정비 형태별 적용 가능한 식물 및 식재방법 연구
- 친환경적 기술이 적용된 지역에 대한 모니터링 (3차년도)
 - 적용된 공법에 대한 공학적 안전성 검토
 - 용배수로 개보수 전후의 생태계 변화특성 검토
 - 수리시설물 개보수와 관련된 지역사회의 인문·사회적 변화 양상 검토
 - 용수로와 배수로의 공법 적용상 차이점 분석
 - 평가기술 개발에 이용
- 환경과 유지관리의 조화
 - 친환경적 정비와 유지관리의 양면성 조화 연구
 - 논 주변 생물의 서식공간 제공 검토
 - 배수로 내부의 토사퇴적 처리 방안 검토
- 용배수로 정비에 대한 평가기술 개발
 - 공학적 안전성 평가방법 제시
 - 용배수로와 주변지역의 자연도 평가 방법 개발
 - 개보수된 지역의 경관변화를 통한 평가
 - 식생의 활착도에 따른 평가
 - 어류 및 곤충류의 증감에 따른 평가

- 수질의 변화양상에 따른 평가
- 용배수로 개보수와 관련된 지역사회의 인문·사회적 변화를 정량화

- 친환경적 정비기술의 활용모델 개발
- 시험수로 시험시공 결과제시 및 적용공법의 지속 모니터링 연구
- 개발제품의 문제점 개선 및 시공법 연구
- 용배수로 이외의 수리시설물, 소하천 정비시 활용성 검토
- 생태공원, 자연학습장 조성시 활용방안 검토

4절 국내외 기술개발 현황 및 문제점

1. 국내·외 연구동향

- 환경부는 1995년에 하천복원공법을 위한 3개년 연구사업에 착수하였고 수문학자, 생태학자, 조경가로 구성된 연구팀들이 기초조사, 공법개발, 시험적용, 모니터링 등을 수행하였음. 1996년 말 시험대상지로 양재천 과천구간(과천9단지앞)이 선정되었고, 저수로복원과 사행곡류수로(蛇行曲流水路)를 조성하기 위해 다양한 복원기법이 적용되었음.
- 한국수자원학회(1996)는 자연친화적 하천정비기법에 대한 특집기사로서 독일, 스위스, 일본 등의 연구사례를 소개한 바 있으며 박중화, 조용현 “자연형 하천계획의 하천형태학적 기초”, 윤세의 “하천식수의 수리학”, 정동향 “독일·스위스의 근자연형 하천계획”, 이삼희 “일본의 다자연형 하천정비” 그리고 임충수 “자연형 하천계획 및 정비방향” 등이 발표되었음.
- 대한토목학회 학술발표회(1996)에서 이두한, 우권규, 우효섭은 “자연형 저수로호안의 개발 및 시험적용”에서 저수로호안공법에 대한 연구성과를 발표하였고 조홍제, 이준용(1996)은 “식생에 의한 자연친화적 하천계획”에서 고수부지에 대한 인위적 식생으로써 도시하천의 친수공간 확보와 자연친화적 하천정비기법의 적용 가능성을 제안한 바 있음.

2. 문제점

- 기존의 친환경적 정비기법은 기본적으로 중·대규모의 하천을 대상으로 개발되어 용배수로에는 적합하지 않은 측면이 있음.
- 현재까지 우리나라에서는 친환경적인 공법 및 재료에 대한 연구개발이 미진하여 친환경적인 수로정비가 본격적으로 시행되지 못하고 있으며, 환경친화적인 공법이 적용된 시범구간에서는 붕괴, 식생의 활착불량 등 많은 문제점이 발견되고 있는 실정임.
- 기존의 친환경적 공법들은 공학적 안전성에 대한 명확한 검증이 이루어지지 않고 있어 용배수로의 통수능력 저하 및 수로의 안전성 등 기술적 문제점을 내재

하고 있음.

- 환경을 고려한 수로 정비 사업을 위해서는 수로 내 식생, 만곡 등에 의한 홍수 위 상승 문제와 홍수 지장물에 의한 수로 내의 국부적인 세굴과 퇴적 문제가 고려되어야 하나 이에대한 연구가 부족한 실정임.

3. 앞으로의 전망

- 지금까지 우리나라의 용배수로 개보수는 이수 및 치수 관리를 위해 환경기능의 희생을 가져왔으나 이제는 효율과 경제성만을 강조한 종래의 수로정비 관행은 더 이상 설득력이 없어지고 있음. 따라서 향후 수로의 환경기능이 고려되면서 치수 기능을 유지하기 위한 친환경적 개보수 기술에 대한 수요가 증가할 것으로 여겨짐.
- 용배수로를 친환경적으로 개보수 하기 위해 필요한 높은 사업비는 사업 대상지의 확대에 많은 부담을 주고있으며 현재까지 대부분의 정비가 연구사업이나 시범사업으로 수행되고 있는 현실임. 하지만 앞으로 공법 및 재료에 대한 표준화가 이루어지고 시공대상 수로가 확대되면 경제성으로 인한 장애는 상당 부분 해소될 수 있을 것이며, 이와 같은 성과를 토대로 친환경적인 용배수로 개보수 사업이 본격적으로 시행될 수 있을 것으로 기대됨.

4. 기술도입의 타당성

- 유럽이나 일본에서 개발된 친환경적 공법은 용지매수의 용이성이나 하상계수를 고려한 치수의 기능적 측면에서 국내 실정과 부합되지 않는 면이 많이 발견되고 있으므로 국내 용배수로의 특성에 적합한 기술을 독자적으로 개발하는 것이 유리함.
- 국내에 도입된 친환경적 정비기법은 기본적으로 중·대규모의 하천을 대상으로 하고 있어 용배수로에는 적합하지 않은 측면이 있으므로 농업용 수로에 적합한 친환경적 개보수 기술의 개발이 필요함.

5절 연구기간 및 참여 연구원

1. 연구기간 : 2001년 8월 2일 ~ 2004년 8월 1일

2. 연구책임자

구분	세부과제명	소속기관	성명 및 직위
총괄	용배수로 및 주변공간의 친환경적 정비기술 개발	농업기반공사 농어촌연구원	김채수 실장
협동	정비사업 대상지역의 선정기준 및 평가기술 개발	건국대학교	김성준 교수
협동	친환경적 정비 기술의 활용모델 개발	(주)자연과 환경	최경영 소장

3. 분야별 참여연구원

세부과제	세부내용	참여연구원
용배수로 및 주변공간의 친환경적 정비 기술 개발	○친환경 정비와 관련된 국내외 설계 및 시공기 술 자료수집	농어촌연구원 엄대호 한경수 전택기 이석주 임상봉 김영화
	○친환경적 정비의 대상이 되는 용배수로이 현황 파악	농어촌연구원 김현수 한경수 전택기 홍찬선
	○용배수로 및 주변공간의 친환경적 정비 기술 구축	농어촌연구원 이영일 김석열 엄대호 김현수 한경수 전택기

세부과제	세부내용	참여연구원
정비사업 대상지역의 선정기준 및 평가기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 친환경적 기술의 적용된 지역에 대한 모니터링 ○ 용배수로 정비에 대한 평가 기술 	건국대학교 원종필 황순진 고재선 조용진 서정민 신문호 지용근 이주용 박근애 이미선 농어촌연구원 엄대호 김현수 한경수 전택기
친환경 용배수로 개보수에 적합한 제품 및 활용모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 친환경 용배수로 개보수에 적합한 제품 설계 ○ 용배수로 개보수에 적합한 시공 재료 개발 ○ 친환경 정비의 활용모델 개발 	농어촌연구원 엄대호 한경수 전택기 (주)자연과환경 성현재 양영철 은재기 권태영

제 2 장 국내외 친환경 수로정비 현황

1절 일반적인 수로호안공법 현황

2절 친환경 호안공법 현황

3절 국내 친환경 호안공법 시공사례

4절 해외 친환경적 정비 동향 및 사례



제 2 장 국내외 친환경 수로정비 현황

1절 일반적인 수로호안공법 현황

수로 정비시 적용되는 호안공의 종류는 현장타설식과 조립식으로 분류할 수 있으며, 현장타설식은 세굴방지를 위한 라이닝 호안과 토압에 대응하는 옹벽형 및 널말뚝형 호안으로 나눌 수 있다. 형식별 호안공법은 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> 일반적인 호안 정비공법 현황

현장타설식 호안공			조립식 호안공	기타
라이닝	옹벽형	널말뚝형		
개거	콘크리트 블록쌓기	콘크리트널말뚝	철근콘크리트벤치폴름	매붙임
콘크리트라이닝	돌쌓기, 돌붙임	강널말뚝	조립식배수폴름 (책거식 호안공)	사석공
아스팔트라이닝			호안블록	돌망태공
섬유대 호안공				

1. 콘크리트 라이닝

수리적으로나 지형적 또는 용지매수에 문제가 있을 때 일반적으로 채택되는 공법으로서 최근에는 쏘일시멘트나 RCC(roller compacted concrete)로 대체되는 경향이 있다. 콘크리트 라이닝은 유수가 상류로 흐르든 사류로 흐르든 라이닝을 열화시키고 비라이닝부를 침식시키는 어떠한 힘이나 작용에 견딜 수 있도록 설계되어야 한다. 일반적으로 콘크리트 라이닝수로가 통수량이 크기는 하지만 침하나 균열, 이음부에 잡초가 생기는 등 시간이 흐를수록 유지관리 비용이 많이 든다.

2. 아스팔트 라이닝

아스팔트 혼합물로써 모래와 자갈을 섞어 콘크리트 라이닝과 같은 방법으로 사면을 덮어서 불투수성 라이닝으로 사용된다. 내구성은 콘크리트 라이닝 보다 짧아서 10~15년 정도이며, 최대허용유속은 1.0m/sec정도이고 라이닝 위로 잡초가 자라는 것을 방지하기 위해서는 시공시 기초지반 처리를 잘 하여야 한다. 사면경사가 너무 급하면 충분한 다짐을 하기가 곤란하므로 시공경사는 1 : 1.5가 적당하다. 콘크리트 라이닝보다 유리한 점은 동절기 시공이 가능하고 굴요성이 좋으며 골재가 어느 정도 좋지 않아도 사용할 수 있는 점등을 들 수 있다.

3. 섬유대 호안공

섬유대 호안공이란 폴리에스테르나 나일론 등과 같은 고강도의 토목섬유로 짠 두 겹의 섬유 포(布)거푸집 사이에 유동상태의 굳지 않은 콘크리트나 모르터를 고압의 콘크리트펌프로 주입하여 콘크리트 매트를 형성시키는 공법이다. 육상은 물론 수중에서도 가물막이, 물푸기가 없어도 시공이 가능하고 굴요성이 있어 지면과의 밀착성이 좋아서 현재 국내에서 많이 사용되고 있으며 내구연한은 약 10년 정도이다.

4. 콘크리트 블록쌓기

콘크리트블록은 하천이나 도로 등의 사면에 널리 이용되고 있으며 그 종류 또한 다양하다. 사용방법에 따라서 블록적용의 목적이 다르고 또 높이나 사면경사 등에 따라서 계획조건이 다르기 때문에 제품의 형식이 극히 다양하여 현재 그 종류는 수 백종에 이르는 것으로 알려져 있지만, 공통적으로 적용되는 블록의 목표는 블록 상호간의 맞물림과 블록과 그 배면과의 접착성의 개선에 있으며 안정된 구조를 얻는데 있다. 블록 시공은 규격품의 배열이므로 공기가 단축되고 나름대로의 미관을 갖는 장점도 있으나 블록에 따라서는 임의의 사면길이를 처리하기가 곤란하고 곡선부에 사용이 어려운 점도 있으므로 구조계획시에는 여러 가지 조건을 고려해야 한다.

5. 돌쌓기, 돌붙임

돌쌓기 호안공은 배수로 사면에 석재를 쌓아 올려 사면을 보호하는 공법으로서 사용하는 석재의 형상에 따라서 견치돌쌓기, 깎돌쌓기, 호박돌쌓기 등으로 분류할 수 있으며, 모르터, 콘크리트와 같은 교착재료를 석재사이에 채우는 것을 찰쌓기, 교착재를 사용하지 않은 것을 메쌓기라 한다. 비교적 시공이 느리고 노임이 공사비의 큰 몫을 차지한다. 급류부 호안이나 경사가 1 : 1.0이상인 경우에 이 공법을 적용할 수

있으며 수로 전구간에 대하여 돌쌓기를 하는 경우에는 수세가 약하고 경사가 완만한
완류에서는 메쌓기를 하고, 수세가 크고 경사가 급한 경우에는 찰쌓기를 한다.

6. 떼붙임

떼붙임은 비수충부의 완만한 경사면과 홍수위선 이상의 사면, 제내측 사면부분 및
고수부지 등에 사용되며, 떼붙임에는 줄떼붙임, 평떼붙임과 떼종자과종의 방법이 있
다. 성토면에는 줄떼붙임, 절토면에는 평떼붙임으로 하고 떼의 구입이 어렵거나 불가
능할 때에는 종자과종의 방법으로 할 수 있다. 떼의 생존에 알맞는 토양 및 토질을
얻기 위하여 필요한 경우 배토사면의 치환도 고려해야 하며 사면에 시공되는 점을
고려하여 양호한 떼를 선정하고 적절한 근입과 다짐 및 확실한 고정이 필요하다.

7. 사석공

가장 널리 사용되는 공법으로서 공사비도 타공법에 비하여 저렴하고 시공도 간단
하다. 석재는 그 부근 하상의 구성재료보다 큰 것 및 무거운 것을 적절히 사용하면
되고 특히 배수로 바닥이 저하될 우려가 있는 곳에 적합한 것으로 생각된다. 사석은
크고 작은 입경이 잘 혼합된 쇄석을 투입하는 것이므로 큰 것일수록 밑으로 처져서
침식에 대의 기초가 세굴되는 경우에는 돌의 자중으로 밑으로 내려가 세굴을 방지하
므로 안정성이 높고 보수가 용이하여 안정도를 가질 수 있게 되며, 조도가 충분히
크게 되므로 유속 감쇄 효과가 있다. 또한 호안 시공시 터파기 등의 수중공사를 할
필요가 없어 공사비를 절약할 수 있게 되며 공기도 단축된다. 사석은 인위적인 훼손
방지와 원활한 유지관리를 고려하여 어느 정도 중량을 조정하여 최소 안정중량을 결
정하는 것이 좋다.

8. 돌망태공

돌망태공은 아연도금철선 또는 합성수지 피복철선으로 망태를 짜서 그 속에 호박
돌 크기의 석재를 채우는 공법으로서 최근에는 피복철선망태가 널리 사용되고 있다.
돌망태공은 유속이 세고 석재가 너무 작아서 사석으로 사용할 수 없는 곳, 사면경사
를 보다 급하게 할 필요가 있는 곳, 석재가 구하기 힘든 곳 또는 응급복구용이나 미
관이 필요 없는 곳에 사용이 적합하지만 비닐 등의 호안의 미관을 저해하는 물질이
많이 걸리는 단점이 있다. 보통 비탈덮기를 연장하여 밑다짐과 겸용하여 사용한다.

2절 친환경 호안공법 현황

과거의 호안공법은 수로의 치수기능만을 고려하여 제방 비탈면의 경사에 맞추어 블록쌓기, 블록쌓기 등 견고한 콘크리트 재료를 이용하여 시공하는 경우를 많이 볼 수 있었지만, 최근에는 치수목적은 달성하면서 생태계와 경관을 동시에 고려하는 친환경적 공법으로 시공하는 사례를 많이 볼 수 있다.

호안은 설치될 수로 및 유역의 특성, 호안의 기능 및 설치목적, 주변경관 특성, 생태계, 경제성, 시공성 등을 고려하여 계획·시공되어야 하며, 이를 위해서는 호안의 종류별 특성을 충분히 파악할 필요가 있다.

친환경호안은 하천의 이수 및 치수기능을 유지하면서 도시환경 개선 및 생태계 보전, 경관창출, 친수성을 부여하기 위한 것으로 다음과 같이 구분할 수 있다.

〈표 2-2〉 친환경호안의 구분

구분	형태	설치위치	이용목적	주변현황	비고
친수호안	계단블록	고수, 저수, 제방호안	저수계단, 제방계단, 친수계단, 경관보전, 완경사	주거지역, 공원, 관광지, 고수부지 유·무	
생태계보전호안	어소블록	저수로 수중	어류보전, 자연식생보전, 야생조류보존	어류보전, 친수목적, 경관보전	
환경보전호안	CON'C나무 수림, 방틀, 자연석, 모자이크	제방 및 고수부지	녹화 및 조경에 의한 경관창출	녹화블럭, 방틀식재, 자연석, 칼라블럭, 모자이크 타일, 나무 말뚝 돌심기	

또한, 호안은 설치위치, 설치목적 및 기능, 사용재료, 시공방법 등에 따라 여러 가지로 분류할 수 있으며 그 내용은 다음과 같다.

1. 설치위치에 따른 분류

호안을 설치위치에 따라 분류하면 고수호안, 저수호안, 제방호안으로 분류할 수 있다.

고수호안은 홍수시 앞비탈을 보호하기 위해 설치하는 호안이며, 저수호안은 저수로에 발생하는 난류를 방지하고 세굴을 방지하기 위해 저수로 하안에 설치하는데 일반적으로 수중에 잠기므로 세굴에 대한 세심한 배려가 필요하다.

제방호안은 고수호안 중 제방에 설치하는 것을 말하며, 제방을 직접보호하기 위해 설치하는 것으로 저수로가 제방에 접해있는 경우 홍수시 수층부로 되는 요안부, 과거에 파괴되었던 부분, 급류하천, 고수부지가 없는 부분 등에 설치한다.

수로의 경우 횡단단면이 단단면의 형태이기 때문에 고수호안 또는 제방호안의 형태가 대부분이라 할 수 있다.

2. 설치목적에 따른 분류

호안은 설치목적에 따라 치수 안정성 확보를 위한 치수호안, 수로환경 및 생태계 보호를 위한 환경호안 등으로 분류하여 왔다. 그러나 최근 환경호안은 치수 안정성 확보 기능을 기본으로 하고, 수로환경 및 생태계 보호기능 확보를 동시에 목표로 하기 때문에 치수호안과 환경호안은 그 기능 및 목적이 통합되어 가는 추세이다.

따라서 치수일변도의 수로정비가 지양되고 친환경적 호안공법의 적용이 일반화되는 추세에서 치수호안을 따로 분류할 필요는 없다고 판단되며, 인간의 활동을 주체로 표현한 환경호안이라는 용어보다는 자연과 일체를 목표로 하고 인간의 부차적인 활동에 편리성을 부여하는 친환경적 호안이란 용어로 통칭하여 그 세부 목적별로 분류하는 것이 타당하다고 할 수 있다.

가. 친수/수로이용 호안

친수/수로이용 호안은 물놀이를 위해 물가에 쉽게 접근할 수 있는 형태의 호안과 둔치 등의 공간을 편리하게 이용할 수 있도록 만들어진 호안을 말하며, 완경사 호안, 계단호안 등이 있다.

나. 생태계 보전 호안

생태계 보전 호안은 수중생물의 산란과 생육, 홍수시 대피장소 제공 등을 고려하여 설치한 호안을 말하며 어류보전호안, 곤충보전호안 등이 있다.

다. 경관 보전 호안

경관 보전 호안은 주변 환경과의 조화, 외견상의 아름다움 등을 고려한 호안을 말하며, 녹화호안, 조경호안 등이 있다. 녹화호안은 콘크리트 호안이 지닌 무미건조함을 호안의 일부에 식물을 식재함으로써 해소하려는 목적으로 설치되며 주로 이용되는 식물은 잔디, 버드나무, 억새풀, 갈대 등이다. 또 조경호안은 식물은 심지 않지만 조경을 목적으로 디자인, 소재 등을 고려하여 설치한 호안이다.

3. 사용재료에 따른 분류

가. 식생계 호안공법

식생계 호안공법은 스스로를 보호하는 식생의 자생력을 이용하는 것으로 일단 식생의 안정화가 구축되면 자기 유지가 가능하다. 살아있는 식생은 외력(홍수나 유사 퇴적에 의한 상태변화 등)에 의해 충격을 받았을 때, 재생과 적응력이 있기 때문에 오랜 옛날부터 식생의 안정화 특성을 이용한 보호공법들이 사용되어 왔다.

또한 살아있는 식생재료는 다른 토목재료나 천연재료와는 달리 시간의 경과에 따라 내구성이 증가하고 자연성과 친수성을 겸비하고 있기 때문에 다른 친환경 하천공법이 적용된 경우에도 병행하여야 할 공법으로 인정되고 있다. 대표적인 식생계 호안공법으로는 때심기와 식재표면에 지오텍스타일, 매트 등으로 보강하는 방법 등이 있다.

식생 녹화공법은 사면에 식생을 도입하여 녹화시키는 공법이므로 식물의 생육기반이 되는 사면의 토양조건과 시공시기, 환경조건(경사형, 경사도, 강우특성 등) 등의 인자를 고려할 필요가 있다. 또한 과중할 식물의 배합, 사용할 공법의 종류 등을 충분히 검토한 후에 목적에 알맞은 공사방법을 결정하여야 한다.

때심기는 뿌리가 활착하게 되면 비탈면의 안정을 도모할 수 있으나 큰 유속에는 견디기 어렵다. 따라서 비탈면 경사가 완만한 곳에 적용되고 있으며, 지오텍스타일 시트나 블록매트 등으로 식생의 뿌리를 보강하고 표토의 유실을 방지하는 공법이 병행되고 있다. 최근에는 야자섬유 등 천연섬유를 이용한 식생공법들이 많이 개발되어 사용되고 있으며, 매트형식 뿐만아니라 롤형태의 제품을 이용하기도 한다.

식생계 호안공법은 기존의 치수, 이수 중심의 획일적인 하천정비 관념에서 탈피하여 맑은 물이 흐르고 옛 정취가 깃들인 자연에 가까운 하천으로의 재생 및 수생 식물이 서식할 수 있는 건강한 하천환경의 회복을 통해 자연생태계로의 기능회복과 하천 경관을 개선하기 위하여 적용된다. 유속, 수심 등 유수의 특성, 하상경사, 하상토의 재료 등을 고려하여 공법의 종류, 사용재료 및 조합방식 등이 결정되어야 한다.

식생계의 다른 모든 호안공법도 궁극적으로는 수변식물과 동물의 서식처 및 생육 환경 개선을 목적으로 하고 있고, 식생계 공법과 조합하여 시공되는 사례가 많으므로 국내외의 적용사례를 보면 그 종류가 아주 다양하다.

국내 식생계 호안이 적용된 하천으로는 양재천, 안양천, 여의천, 오수천, 임실천, 우이천, 당월천, 중랑천, 내회암천 등이 있으며, 사용되는 재료로는 나무말뚝, 자연석, 천연섬유 롤, 천연섬유 네트, 고정핀, 갯버들, 갈대, 부들, 창포, 달뿌리풀, 키버들 등 각종 수변식물 등 다양한 재료가 이용된다.

식생계 재료를 사용한 공법은 식생 및 가공된 자연재료를 사용한 식생호안공법과 자연재료를 그대로 사용한 공법으로 분류할 수 있다. 식생계 공법은 대체적으로 자연도가 높은 수로를 조성할 수 있다는 장점이 있는 반면 수로의 침식이나 세굴에 취약하다는 단점이 있다.

식생호안공법의 경우에는 돌망태나 황마망, 나무말뚝 등을 보강재로 사용하여 단점을 보완하고 있다. 자연재료를 그대로 사용한 공법은 버드나무가지나 갈대 줄기를 그대로 수로에 식재함으로써 시공시기가 매우 제한적이며 뿌리 활착이 느리므로 단기간내에 사면의 보호가 어렵고 웅덩진 곳에 적용이 되지 않는 단점이 있다.

호안녹화를 위하여 원지반에 직접 식재하는 녹화공법과 코아네트, 쥬트네트 등과 같이 식생의 활착을 돕고 초기 침식을 방지하기 위해 자연적으로 분해가 될 수 있는 천연소재의 기반재를 식생녹화공법과 병행하여 시공하는 식생기반재 혼용 공법으로 구분하였다.

1) 원지반 식생 녹화공법

식생 녹화공법은 호안에 때나 수목류 등을 심는 녹화식재공법과 비탈면에 씨앗을 직접 파종하는 파종녹화공법으로 구분할 수 있다.

가) 식생식재공법

비탈면 녹화식재공법은 때를 심는 초식공법(草植工法)과 수목류를 심는 식재공법으로 구분할 수 있다. 식재공법은 양묘방법에 따라 일반묘 녹화식재공법과 분묘녹화식재공법, 분묘심기공법으로 나누어지며, 비탈에 직접 식재하여 식생을 조성하는 식생공법으로서 식재지의 토양 및 식재분수를 결정하여 계획·시공하는 공법으로 초본류의 근주이식, 수목의 이식, 삼목 등의 방법으로 시공하며 녹화수종 선정시 뿌리 뻗음이 좋고 토양의 적응력이 우수하고 척박지, 한해, 충해, 등에 대한 적응성, 저항성이 커서 성장력이 왕성하여 잘 성장하는 수종을 선정토록 한다.

나) 파종녹화공법

비탈면 녹화파종공법은 파종방법에 따라 기계에 의한 종자뿌어붙이기 공법과 인력에 의한 인력파종공법으로 구분된다. 또한 인력파종공법은 씨를 뿌리는 방식에 따라 줄씨뿌리기공법, 흩어씨뿌리기공법, 비탈점씨뿌리기공법으로 구분된다.

파종녹화공법은 호안에 식생을 도입하여 경관적으로 주변환경과의 일체감을 주고 세굴에 의한 붕괴를 방지하며 생태계의 안정을 줄 수 있는 식물 종을 선택하여 실시한다.

다) 식생 녹화 공법의 종류

(1) 평떼 녹화 공법

식생호안은 경사가 1:2.0으로 완만한 비탈면에 적용하도록 하고, 하천흐름의 유속이 2m/s 정도까지는 적용할 수 있다. 평수위 이상의 호안 및 여유고부에 적용하는 것을 원칙으로 하고 평수위 이하는 목책이나 모음돌 등의 밑다짐공을 조합하여 사용한다.

식생은 침식을 방지하기 위해 중요하므로 적절한 관리를 수행할 필요가 있다. 평떼, 종자뿌기 등은 홍수기 이전까지 활착가능한 시기에 시공하는 것이 바람직하며, 종자뿌기 등에 사용되는 종자는 현지의 재래종 또는 해당 하천의 생태환경에 악영향을 미치지 않는 것으로 할 필요가 있다.

(2) 평떼 붙이기 공법

비탈면 경사가 1:1이하인 성토비탈면 지역에 전면적으로 가로 30cm×세로 30cm×두께 3cm (흙 붙은 것)의 규격 때를 사용하여 평떼를 붙여 녹화시키는 평떼 붙이기 공법과 주로 평탄지에 평떼를 심는 평떼 심기 공법이 있으며 때 고정시 대나무 때꽃이를 일반적으로 사용하나 버드나무류 가지와 같은 발근력이 높은 목본류 가지를 20~25cm 가량 잘라서 사용하면 효과적이다.

① 평떼붙이기 공법

비탈면 표면을 다듬고 석력 및 초목 등의 유해물을 제거하고 모래나 양질의 흙을 깬후 평떼를 일정간격으로 붙인 후 모래나 양질의 흙으로 복토하고 다진다.

② 평떼심기

비탈면 표면을 다듬고 쇄석, 자갈 및 초목 등의 유해물을 제거하고 모래나 양질의 흙을 10cm 두께로 깔고 면고르기 작업을 실시하여 때를 수평면이 되도록 심은 후 잘 밟아주고 나서 복토 및 관수·시비하는 공법이다.

③ 네트(net) 잔디공법

시공비탈면에 빗물에 의한 토사의 유실을 방지하고 지열보온 효과가 있는 부직포와 합성섬유네트를 고정시키고 48cm×48cm의 규격화된 재배한 잔디제품을 비탈면에 부착시킨 후 철근못으로 고정하여 시공하는 방법으로 잔디의 활착에 의해 비탈면을 피복시키며, 비탈면 상태나 자연조건 및 잔디종류에 상관없이 시공가능하나 풍화암, 경질암에는 적용에 어려움이 있다.

평때붙이기공법과 네트잔디공법은 토사구간의 시공에 적합하며 경사도는 45°이하의 비교적 완만한 곳에 적용할 경우 효과적이며 평때붙이기공법은 초본식물에 의한 조기식생이 이루어지므로 마사토질 비탈면에 격자붙이기공법과 병행하여 시공하면 효과적이다.

또한 절·성토면은 잡석과 잡초를 제거하여 가급적 평탄성을 유지해야하며 시공시기는 현장여건과 기후조건을 감안하여 봄·가을 중에 최적기를 선택하여 시공한다. 식재 후에는 3개월 내에 활착이 이루어져야 하며 그 이후 활착이 되지 않고 고사된 비탈면에 대해서는 추가로 보완 식재를 하도록 한다.

이 공법은 시공 즉시 녹화효과가 발휘되고 균일하게 피복이 되며 피복율이 높으며 네트잔디공법은 뗏장붙이기공법에 비해 잔디 및 토사유출, 슬라이딩 방지효과가 크지만 활착 이전까지 토양고정력 및 지지력이 거의 없으며 식물의 뿌리가 활착되지 않은 초기상태에서는 남향, 서향 비탈면에서 건조에 의한 피해가 발생되므로 이에 대한 대책이 필요하다. 또한 기계시공이 불가능하므로 인건비가 과다 소요되고 숙련된 시공기술이 필요하며 시간이 경과함에 따라 식생이 쇠퇴하여 잔디판이 노출되어 토사가 유실되어 비탈면이 붕괴 될 수 있으므로 지속적인 유지관리가 필요하다.

(3) 줄떼공법

① 줄떼다지기공법

줄떼다지기공법(線芝工, strip-sod tamping works)은 주로 흙쌓기 비탈을 일정한 물매로 유지하며, 비탈을 보호·녹화하기 위하여 수직 높이 20~30cm, 간격 및 수평 너비 10~15cm 정도의 수평꼴을 파고, 가급적 흙이 털어지지 않은 반떼(半芝: 너비 10~15cm, 길이 20~30cm 정도)를 한 줄로 수평으로 놓고 흙덮기(복토)한 후 달구판

으로 다지는데 비탈 밑에서 비탈 어깨 방향으로 공사를 진행한다.

근래에는 쉽게 시공하기 위하여 비탈 어깨 윗부분에서부터 아래로 향하는 편법을 쓰기도 하는데, 이렇게 하면 다지기 공사를 소홀히 할 우려가 높다.

② 줄떼 붙이기공법

줄떼 붙이기 공법(線芝長工, strip-sod pitching works)은 주로 땅각기 비탈에 흙이 떨어지지 않은 반떼를 수평 방향으로 줄로 붙여서 활착·녹화하는 땅각기 비탈에 주로 이용되는 녹화공법으로, 흙쌓기 비탈에서는 그다지 사용하지 않는다. 줄떼(線芝)는 땅각기 비탈의 상부에서부터 하부로 향하여 붙여 내려가면서 시공한 후 떼꽃이로 고정한다.

③ 줄떼 심기공법

줄떼 심기공법(線芝 植栽工, strip-sod planting works)은 주로 평탄지에서 줄간격 20~30cm 정도로 줄뜨기를 하고 줄에 따라 골을 판 후 줄떼를 놓고 흙덮기를 한 후 고루 밟아서 마무리하는 평탄지 전용의 녹화공법이다. 줄떼 심기공사에서는 흙이 떨어진 때도 사용할 수 있으나, 때의 뿌리가 마르거나 노출되지 않도록 주의해야 한다.

(4) 종자뿌어붙이기 (Seed spray measures, Hydroseeding measures)

시공이 어려운 급경사지나 다른 공법으로 파종이 부적절한 경우, 토양조건이 열악한 경우, 종자와 비료의 정착이 곤란한 경우, 식생콘크리트를 이용한 호안 공법의 표면 녹화의 경우 기계를 사용하여 압축공기나 압축수에 의해 종자를 파종하는 공법이다. 이 공법은 노동력이 절감되고 균역과 요철이 많은 지형에 종자가 유입되어 발아할 수 있으며 대면적을 단기간에 시공할 수 있으나 특별한 기계가 필요하여 소면적 시공에는 적합하지 않다.

침식방지제(진착제)를 사용하여 시공 후 토양 표층부를 고결시켜서 피막을 형성하므로써 종자 및 식물성 섬유류, 비료 등의 유실을 방지하고 토양의 침식을 억제한다.

종자뿌어붙이기공법에 도입되는 종자는 대부분 수입에 의존하므로 품질보증서 및 종자검정서가 있어야 하며 최소 2년 이내 채취된 종자로 평균 발아율 60% 이상, 순량율 95% 이상의 종자를 사용해야한다. 종자의 발아 생립분수는 1.0㎡당 2,100분을 표준으로 하며(초본2,000분/㎡, 목본 100분/㎡) 파종 2개월 후 발아가 불량할 경우 재파종을 실시토록 한다. 또한 시공시 종자 산포지역과 미산포지역을 구분하여 작업이 용이하도록 하기 위하여 주로 마아카이드 그린 등의 색소를 혼합하여 살포한다.

종자뿔어붙이기공법은 비교적 토질조건의 제약을 적게 받으며 성·절토 비탈면 모두 적용이 가능하나 60°이상의 급경사비탈면에서는 종자의 정착, 생육공간이 부족하여 적용시 녹화효과가 불량하다.

이 공법은 공사비가 저렴하고 기계화 시공으로 공기와 인력이 절감되고, 하자보수가 용이하며 다른 녹화공법과 병행하여 사용할 수 있을 뿐만 아니라 기계를 이용하여 시공하므로 대단위 면적을 빠른 시간 내에 시공할 수 있는 반면, 종자의 완전 발아, 활착 이전에 유수에 의한 세굴 및 유실에 대한 저항성이 거의 없으며, 시드스프레이 살포작업시 종자가 시공 비탈면 하단부로 많이 떨어지므로 시공 후 하단부에 집중적으로 잔디가 발아되며 상부로 갈수록 잔디의 생육밀도가 떨어지고 초기발아가 원활하지 못할 경우 2차 식생유도에 어려움이 따른다.

(5) NGR공법

NGR공법(Native Groundcovers Restoration)은 자생식물을 이용하여 훼손된 환경을 단기간에 본래의 환경으로 복원하는 공법이다. 다양한 식생형태(seed, spring, plug, pot, mat)를 이용하여 대상지에 첨단 식생조성기술을 활용하여 시공함으로써 식생의 조기정착기반을 확보하는 순수 국내 개발 녹화공법이다.

계절적으로 다양하고 아름다운 경관을 제공해 주며 자생식물 및 종자를 활용한 환경 친화적 공법이고 다양한 유기물 재료의 혼합으로 조기 식생조성에 효과적이다.

국내 유일의 환경복원을 위한 종자은행(Seed bank)을 가지고 있어 다양한 목·초본종자의 생리·생태적 특성의 자료를 가지고 있어 비탈면의 환경에 적합한 식물을 선정하여 시공할 수 있다. 또한 종자를 이용한 것뿐만 아니라 녹화식물을 들나물, 쭉썩바귀 등을 삽수형태로 종자와 함께 취부하여 시공기술의 다양화를 추구하였다.

재료는 건조파해를 방지하기 위한 고흡수성 수지와 침식 및 토사유출의 방지를 위한 식물용 접착제 및 멀칭제, 완효성 복합비료가 첨가되어 식물생육에 필요한 적절한 환경을 만들어 준다. 단점은 자생식물을 이용하여 시공하므로 공기에 제한을 받고, 시공단가가 높으며, 식생콘크리트와 같은 무토양척박지의 경우 관수 및 차광망 등을 설치하여 지속적인 관리를 해 주어야 한다.

2) 식생기반재 혼용 공법

가) 식생기반재의 종류

식생기반재 호안이란 유수의 지속적 또는 간헐적인 영향으로 식물이 서식하기 어려운 하안에 도입하여 식물의 조기활착과 지속적인 식물성장기반을 형성하는데 도움

을 주는 자연소재에 의해 녹화된 호안을 의미한다.

유속이 완만한 하천 및 수로 하류의 저수호안 및 습지에 도입가능한 매트나 롤형태의 기반재를 이용한 식생 조성공법으로 뿌리의 생장이 활발한 매트형태로 시공함으로써 토양의 유실을 완화하고 식물의 기반환경을 보호하여 기존의 식재방식에 비해 활착률을 개선한 식생호안 조성공법이다. 다음과 같은 재료를 이용하여 변형, 가공하여 호안공법에 적용된다.

(1) 쥬트네트

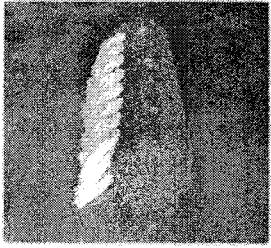
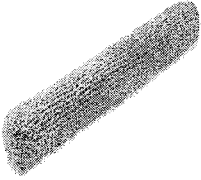


황마로 짠 내구성 강한 천연섬유질 그물망으로써 특유의 유연성이 있어 흠과 잘 밀착하고 침식, 유실방지는 물론 보온, 보습효과가 좋으며 식물의 발아 및 성장을 촉진시키는 역할을 한다. 경량성으로 시공이 간편하고 가격이 저렴한 기반자재이다.

Jute 섬유는 갈대류의 일년생 초본에서 채취한 섬유로서 섬유세포의 내공이 불규칙하게 배열되어 있어서 흡수성, 보온성, 부식성, 수분의 증산방지, 한해방지 등 재료로서의 특성을 나타낸다.

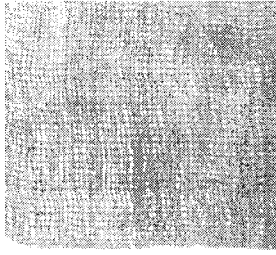
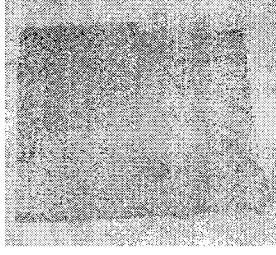
(2) 코이어 롤(Coirl Roll)

갯버들, 갈대, 부들, 창포 등의 수변 식물이 완전히 활착할 때까지 뿌리를 고정시켜 주는 역할과 함께 뛰어난 탄력성으로 유수의 충격을 흡수하여 호안을 유지시키며, 식물이 성장할 수 있는 여건을 조성해 준다. 천연섬유망은 5~7년 후 자연적으로 썩게 되며, 식생의 성장을 돕게 된다. 경사가 작은 호안이나 세굴에 저항할 수 있는 곳에 적용하며, 공사직후 하천변이 세굴되는 것을 방지하여 자연식생이 잘 활착되도록 한다.

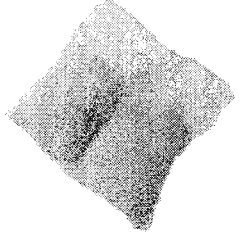
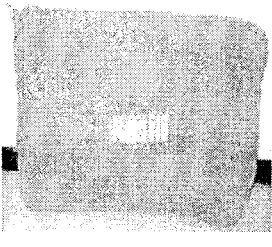
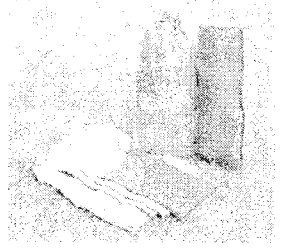
<표 2-3> 식생 기반재를 이용한 공법의 재료

형태	종류	특징
롤형	 <p>정화용 Coir Roll</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 자연형 호안 정비는 수변경계부의 종 다양성을 증가 - 식물의 활착력이 좋아져 식생 안정 - 주변과 어울리는 경관 형성. - 자연소재를 사용하여 2차오염이 없다. - 미생물보유량이 커서 오염정화능력이 높다.
	 <p>야자섬유두루마리</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 호안 유수의 충격흡수, 사면보호 및 식물뿌리 고정 - 공극에 의한 유수의 여과 및 정수 - 저수호안 적용시 사면 보호 및 수변식물의 조기녹화
	 <p>포트Coir Roll</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 호안 유수의 충격흡수, 사면보호 및 식물뿌리 고정 - 공극에 의한 유수의 여과 및 정수 - 저수호안 적용시 사면 보호 및 수변식물의 조기녹화 - 롤상부 식재 적용 용이 - pot로 재배된 수생식물(갈대등)을 구멍에 삽입하여 사용
	 <p>식생롤</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 호안 유수의 충격흡수, 사면보호 및 식물뿌리 고정 - 공극에 의한 유수의 여과 및 정수 - 저수호안 적용시 사면 보호 및 수변식물의 조기녹화 - 롤과 식물이 일체화함으로써 활착률 증대

<표 2-3> 식생 기반재를 이용한 공법의 재료(계속)

형태	종류	특징
네트형		<ul style="list-style-type: none"> - 하천 주변의 식물을 위해 식생지지대로 사용(코이어네트보다 기능강화) - 호안블럭 설치시 토사유출방지를 위해 설치 - 수질정화를 위한 필터기능 - 합성섬유 부직포 대용
	जू트 네트(황마망)	<ul style="list-style-type: none"> - 법면보호 및 녹화자재 - 토사의 세굴 및 유실방지 - 안정성이 크게 요구되는 가파른 절개지(법면)공사에 사용 - 사면유실 위험이 있는 하천주변(식생지지대)공사에 사용
	코이어네트(코코넛섬유망)	<ul style="list-style-type: none"> - 일반 합성섬유네트 보다 인장강도가 월등히 높음
		<ul style="list-style-type: none"> - 하천변 조기 녹화 - 호안의 침식 및 세굴방지 - 귀화식물의 침입억제
	갈대매트	

<표 2-3> 식생 기반재를 이용한 공법의 재료(계속)

형태	종류	특징
자루(Bag)형	 코이어백	- 코이어백에 토사와 비료 또는 코코넛섬유나 더스트를 채우고 초종이나 뿌리를 넣어 호수, 하천변 또는 사방공사에 설치 - 수생식물의 근경을 흙과 함께 놓아 호수, 하천주변에 초본류 및 관목 식재 가능
	 코이어 매트	- 내부에 미리 식생을 재배, 어느정도 성장시켜 기반재로 사용 - 하천, 호수등의 주변에 설치, 외부의 영향(비, 바람, 유속등)으로 식생이 쉽게 활착하기 힘든 지역에 설치
	 황마백	- 백에 토사와 비료 또는 코코넛섬유나 더스트를 채우고 식물 뿌리를 호수, 하천변 또는 사방공사에 설치 - 결속끈이 달려 사용 용이함

나) 식생기반재 혼용 공법의 종류

(1) 지오텍스타일

지오텍스타일 표면을 통해 식생의 뿌리를 통과시켜 배면의 토사와 연결함으로써 보강효과를 얻게 되며, 지오텍스타일 시트 표면에 식생의 활착을 위해 10cm 정도로 복토를 시행한다. 지오텍스타일로 보강된 식생공법은 유속 3m/s 까지 적용할 수 있으며, 1:2.0정도의 완만한 비탈경사에 적용한다. 내화성에 유의할 필요가 있으나 복토를 시행함으로써 방지할 수 있다. 수제부는 나무울타리 및 바구니호안 등으로 보호

한다. 이때, 연결부 대책이 중요하며, 특히 상하류 끝단부의 처리를 확실하게 수행하여야 한다.

(2) 천연섬유망+스프레이 공법

토사, 경질토사의 절·성토비탈면에 적용한다. 종자뿔어붙이기를 한 다음 사면의 침식과 종자의 유출을 막기 위해 코코넛 및 황마껍질로 만든 천연섬유망을 설치하고 고정핀으로 고정한 다음 다시 종자뿔어붙이기를 한다. 천연 섬유망 중에서 일반적으로 가장 널리 적용되고 있는 코아네트 및 쥘트네트의 특징은 보온, 보습성이 있어 식물종자의 발아 및 생육에 효과적이며, 자연부식되어 토양오염이 안되고, 유연성 및 경량성으로 시공이 용이하고 경제적이다. 천연섬유망의 내구성은 약 1~5년 정도이다.

(3) 녹화용 식생자루공법

종자, 비료, 흙 등을 혼합해서 황마나 코이어 백에 채운 후 비탈에 관 수평구 속에 넣어 붙이는 것이 일반적이다. 네트 형태로 구성된 식생자루는 부착종자가 발아하여 네트사이로 비집고나와 생육할 수 있는 공간을 제공한다.

녹화용 식생자루공법은 경사지에서 자연배수로 조성시에 적용이 가능하고 다양한 경사각으로 쌓아올릴 수 있는 장점이 있으나 자루간의 접촉부위의 파손 및 유실에 약한 문제점이 있다.

(4) 종자부착 매트피복공법

종자부착 매트피복공법은 코아네트를 원료로 제작한 매트를 이용하여 비탈면의 침식과 토사유출을 방지하고 녹화하기 위한 공중으로서 기계화 시공이 곤란하고 침식 발생이 높게 예상되는 수층부 및 비탈에 적용 가능하다. 녹화용 매트의 입체적인 얽힘 구조가 지반의 흩과 성장한 식물의 뿌리를 확실하게 고정시켜 주어 수류나 빗물 등에 의한 유실 방지는 물론 식물의 성장을 촉진시키며, 식물의 뿌리보호, 용이한 작업성, 내구성에서 특징적이다.

이 공법은 종자 및 비료의 유실이 적고 녹화속도가 빠르며 균일하게 녹화가 이루어진다. 또한, 매트내에 완효성 비료의 부착으로 인해 지속적인 유기질 공급이 이루어진다.

종자를 부착한 쥘트네트와 코코넛매트, 펄프, 종자와 비료층이 혼합된 녹화매트를 이용, 호안에 적용하는 공법으로 100% 천연소재를 매트형태로 가공했기 때문에 3~4년 동안 땅에 밀착되어 보존되면서 서서히 유기질 퇴비로 돌아가게 된다.

(5) 코이어, 쥬트 네트(Coир, Jute net) 녹화공법

네트형태의 침식방지망을 이용하여 침식방지 및 발아촉진, 활착을 도모하는 녹화 공법으로 배수처리 및 지반정리가 완료된 비탈면에 종자뿌어붙이기(Seed Spray)를 실시한 후 코코넛열매껍질(Coир net)에서 추출한 섬유질과 황마(Jute net)를 재료로 한 천연섬유를 재료로한 네트를 덮어 시공하며 시공비가 저렴하고 수분흡수율, 보온, 방부, 방충, 인장강도가 좋으며 7~8년 경과 후 네트가 부식하여 유기질 비료 역할하여 식물발아, 생장에 도움을 준다.

코이어네트의 규격은 5mm×20mm×20mm, W2m×L20m, 평균중량은 400g/m'으로 쥬드(Jute)네트 보다 경량이며 수분함유량도 적다. 쥬드네트는 부식 기간이 2~3년 정도로 코아네트에 비해 부식이 빠르며 규격은 0.5mm×5mm×5mm, W3.81m×L180m 이다.

절·성토면의 시공부위에 잔돌 및 비탈면을 정리하고 종자혼합 및 투입자재를 설계물량에 맞추어 적절하게 물탱크에 혼합 후 종자 살포기로 1차 시드스프레이 실시한 후 비탈면 길이에 맞게 절단한 네트를 좌우 10~20cm씩 겹쳐서 고정핀으로 비탈면에 고정한 후 혼합비에 맞춰 혼합한 종자로 2차 시드스프레이를 실시하며 가뭄으로 인한 발아율 저조시 즉시 관수작업을 실시하여야고 지속적인 관리가 필요하다. 환경여건이 불량하여 시공이 어려울 경우 결속선을 이용하여 시공하며 네트 포설시에 네트가 팽팽하지 않게 주의해야 한다.

코아(쥬드)네트 공법은 단순 종자뿌어붙이기공법에 비해 수분흡수율이 높으므로 다른 공법에 비해 30% 정도의 세굴방지 효과가 높으나 재료의 내에서는 녹화효과 없으며 경화토질, 미사토, 사질토 구간에서는 녹화율이 낮다. 또한 건조, 습윤상태에 따라 재료의 수축·팽창이 발생하므로 시공시기 및 기후에 따라 시공효과가 달라진다. 재료의 중량이 무거우므로 시공인력이 많이 소요되어 시공성이 떨어지며 굴곡이 있는 비탈구간에는 적용하기 어렵고 비탈면 하단부 붕괴시 네트의 일체화 연결로 인해 비탈 상단부의 네트까지 영향을 미치는 문제점이 있다.

나. 목재계 호안

목재계 호안은 자연석, 사석 등 석재, 식생 등과 조합한 하안을 보호하는 공법이다. 이 공법은 완만한 비탈경사와 유속이 크지 않은 곳에 일반적으로 많이 사용되며, 전석이 적은 하천에 적용하도록 해야 한다.

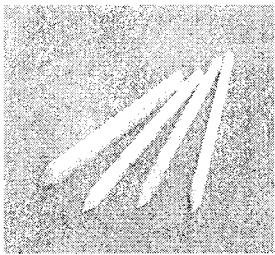
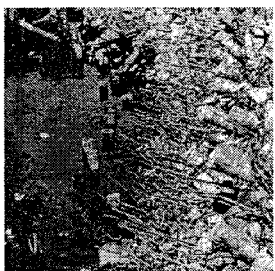
목재계 공법은 나무틀 또는 상자에 돌을 채우는 방법과 쉼다발, 나무말뚝, 나무널 울타리공 등 다양하게 적용되고 있으며, 중완류하천의 세굴이 우려되지 않은 직선호안부 등에는 비탈면에 윗가지를 깔고 식생을 병행하는 방법이 있다. 이러한 목재계

호안은 경관성이 있고 생물의 서식처 제공 등 생태학적으로도 양호한 특성을 가지고 있으므로 일반 하천에 많이 적용되고 있는 공법이다.

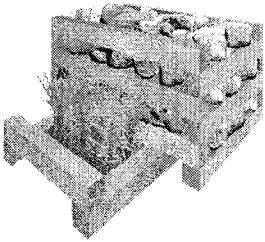
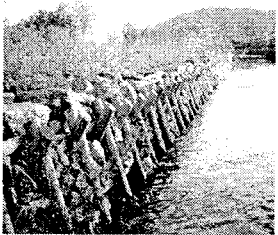
목재계 호안공법은 석재와 식생재료를 조합하여 많이 적용되고 있으며, 특히 식생계 호안의 기초부의 세굴방지 공법으로 널리 이용되고 있다. 또한 바닥다짐공으로도 그 적용사례가 많으며, 일본의 경우 목재재료의 공장제품화에 의해 경제성도 갖추고 있고, 기계 시공에 의해 대폭적인 공사기간도 단축되고 있다. 우리나라의 경우에도 수요가 많이 발생하고 간벌재 등을 유용하게 활용하면 충분히 경제성이 있는 공법이 될 수 있다. 시공에 있어서도 특수한 기술을 요구하지 않으며 여러 종류의 경관형상을 조성할 수 있다.

목재계호안을 적용하는 경우 호안 비탈경사를 가능한 완만하게(1:0.6이상)하고 계단은 가능한 작게하는 것이 좋다. 수제부는 말뚝 울타리, 바구니계 등의 호안으로 보호하고, 채움돌이 아래로 흡출하는 것을 방지하도록 한다. 목재는 가능한 간벌재 및 그 지역의 것을 사용하고 방부제는 유해한 것을 사용하지 않도록 하여야 한다.

<표 2-4> 목재계 호안 공법의 부재료

사용 형태	종류	특징
재료자체의 독립적 사용보다는 식생 공법이나 망태계와 혼합하여 혼합재료로 사용		<ul style="list-style-type: none"> - 저수지 주변을 자연학습장 등으로 활용시 데크, 전망대 관찰로, 산책로 등을 나무로 지지 할 때 사용 - 수변경계용으로 사용하여 호안의 침식을 보호 - 환경친화적인 방부처리로 목재의 수명 연장
	방부목	
		<ul style="list-style-type: none"> - 토사를 고정시켜 호안 사면의 붕괴를 방지한다. - 나무의 증발산으로 호안의 함수량을 감소시킨다. - 뿌리의 성장으로 호안을 보강한다. - 호안 부의 조도를 증가시켜 호안 부의 유속을 저하시킨다. - 유속의 저하로 유사의 퇴적을 유도한다.
	버드나무 생말뚝	

〈표 2-5〉 목재계 공법의 사례

공법의 종류	공법 사례	특징
목재계 공법		<ul style="list-style-type: none"> - 급경사면에 적용 가능하다. - 유수에 의한 침식 및 세굴 방지로 수충부 사면안정에 효과적이다. - 돌 틈 사이로 물이 통과하면서 접촉산화작용을 함으로써 수질정화, 여과 효과가 뛰어나다.
	나무방틀과 식생혼용 공법	<ul style="list-style-type: none"> - 방틀 내의 공극은 어류의 서식처를 제공한다.
		<ul style="list-style-type: none"> - 시공이 간편하다. - 급경사면에 적용 가능하다. - 돌 틈에 토사가 퇴적되면서 자연적으로 초본류가 자라서 수려한 수변공간을 창출한다. - 시공이 간편하며, 부분보수가 가능하다. - 사석의 공극은 어류의 서식처를 제공한다.
	삼각방틀과 사석혼용 공법	<ul style="list-style-type: none"> - 한다.

1) 목재계 공법의 종류

가) 나무방틀과 식생조합 호안 공법

나무방틀 공법은 통나무로 틀을 만들고 그 안에 틈이 많은 사석을 넣어 조성하는 호안으로 돌틈에 토사가 채워지면 식생이 활착되고 식생이 성장할수록 더욱 튼튼해지게 된다. 바구니계 공법과 같이 비교적 안정된 공법으로 침식이 많이 일어나는 곳에도 적용할 수 있다. 돌틈에서 미생물과 물고기들이 서식할 수 있으며, 홍수시 토사가 퇴적되면 식물의 성장기반이 마련되며, 개비온에 비해 좀더 자연스러운 경관을 연출할 수 있다.

나) 나무말뚝 울타리 호안 공법

이 공법은 나무말뚝으로 울타리를 설치하고 갭삽석으로 채우고, 하상보호를 위해 하상바닥에도 나무방틀 밀다짐공을 시공한 것이다.

다) 버드나무 생(生)말뚝 호안 공법

자연형 저수로 호안 공법을 적용하여 하천 정비를 하는 경우, 비교적 유속이 강하여 호안의 유실 우려가 있는 지점에는 현재까지 사석이나 거석을 이용한 호안 공법을 적용하여 왔다.

이와 같은 돌을 이용한 호안 공법은 하천의 안정성 면에서는 콘크리트를 대신하면서 하천의 생태적 기능을 어느 정도 고려할 수 있다는 측면에서 장점을 가지고 있으나, 재료가 무생명 재료로서 하천의 생태적 기능을 고려하는데 한계가 있다는 단점도 있다. 이러한 한계를 극복하고자 석재계 공법과 병행하여 버드나무 생말뚝이나 잔가지를 시공하여, 생태적 측면과 호안의 안정성 측면에 기여할 수 있도록 하는 공법이다.

라) 나무울타리공법

말뚝은 홍수시 유출되지 않도록 충분한 근입깊이를 확보하며, 호안상부에 운하중이 관계된 경우 또는 건물 등이 있는 경우는 적용하지 않도록 하고, 유속 4.0m/s 이하의 하천에 적용한다. 채움돌의 입경은 일본의 재해복구 기본방침에서는 다음의 <표 2-6> 값을 참조하도록 하고 있다.

<표 2-6> 목재계호안의 채움돌 입경(1:1.0의 경우) (단위 cm)

설계수심 (m)	설계유속(m/s)			
	1.0	2.0	3.0	4.0
1.0	5	5	10	30
2.0	5	5	10	15
3.0	5	5	10	15
4.0	5	5	5	15
5.0	5	5	5	10

마) 통나무격자 호안

통나무 격자 사이는 흩으로 충분히 메우도록 하고, 간벌재 등의 천연소재를 사용하는 것이 식생의 회복이 빠르게 된다. 적당한 길이(통상 1.5m 정도)의 통나무를 약 15도 경사 하방으로 타입하고, 그 위 비탈면 전면에 통나무를 하천 흐름방향으로 설치한다. 설계유속 4.0m/s이하의 하천에 적용토록하고, 목재는 해당 지역의 것을 사용하는 것이 좋으며, 방부제를 사용할 때는 유해하지 않은 것을 사용한다.

다. 망태(바구니)계 호안

철선으로 짜여진 바구니에 돌을 채우거나 돌무더기를 철망으로 고정하는 방법 등으로 만들어지는 호안으로서 내구성과 굴요성이 크기 때문에 유속이 빠른 하천지역과 수공구조물의 상하류지역 등 흐름의 영향을 많이 받는 곳에서 제방과 하상의 보호공으로 적합하다. 그리고 사석, 자연석 쌓기 등 석재계 공법에서 사용되는 것보다 작은 치수의 돌을 사용하기 때문에 큰 치수의 돌을 구하기 어려운 곳에서도 적용할 수 있는 공법이다. 이러한 바구니계 호안은 그 자체로서 생물의 서식처 기능을 확보할 수 있으나, 경관성을 높이기 위해서는 시공 이후 복토 등을 수행하고 식생을 행하는 것이 좋다.

바구니계 호안은 굴요성이 있는 돌망태 등을 이용하기 때문에 어느 정도의 침하나 세굴에도 견딜 수 있으며, 철선이 부식되면 돌이 유출되므로 유지관리가 중요하다. 돌틈으로 토사가 퇴적되면 자연적으로 초본류가 성장하여 수변 경관을 창출할 수 있지만, 도시지역은 오염물질의 걸림이나 오염수에 의한 철선의 부식등이 우려되기 때문에 가급적 적용하지 않는 것이 좋다. 건조한 장소에는 식생이 빈약한 경우가 있으며, 식생의 성장을 유도하기 위하여 복토를 수행하고 식생을 식재하기도 한다. 유속이 빠른 수층부에도 적용할 수 있으며, 경제적으로도 유리하기 때문에 많이 사용되고 있는 공법이다.

1) 망태(바구니)계 호안 공법의 종류

가) 바구니 매트 공법

바구니계 호안은 굴요성이 있는 동시에 공극이 있어 바구니 위에 잔토처리를 수행함으로써 식생 복원이 빠르고 자연형 호안으로 적절한 공법으로, 비탈면 경사가 1:2.0 정도의 완만한 경사에 적용한다. 일본의 재해복구 기본방침(1997)에 의하면 pH5 이하의 하천수가 흐르는 구간, 염소이온농도가 년평균 450mg/l 이하의 하천수가 흐르는 구간, 흑색유기물니토, 이탄층 등의 토양에 전기저항율이 2,300Ω·cm 이하의 구간, 하상재료가 큰(사람 머리카락 정도 이상) 자갈 및 호박돌로 구성되어 있는 구간에서는 사용을 하지 않도록 하고 있다.

호안의 높이는 5.0m 이하로 하고, 기초지반 및 배후지반의 토질이 점토 또는 연약지반인 경우는 옹벽의 설계와 동일한 지지력, 활동, 전도에 대하여 검토하여야 한다.

나) 식생망태(식생물)

유연한 망태의 기능과 녹화기능을 겸비하고 있으며, 중간 채움재로는 현장발생토

를 이용하면 현지식생의 복원이 빠르다. 구조가 굴요성이 있으므로 다양한 경사의 비탈면에 조합하여 부설하는 것이 가능하며, 유속이 5.0m/s 이하인 하천구간에 사용한다. 경사 1:1.5 정도의 완만한 비탈경사에 사용하는 것이 바람직하며, 비탈면 경사가 큰 경우에는 활동방지 대책을 강구하도록 하여야 한다.

부설방향은 조도 조정, 시공성 및 기타 각종 현장상황을 종합적으로 고려하여 직각 또는 평행으로 설치할 수 있다. 연결부 대책이 중요하며 특히 상하류단 및 호안머리부, 하상부의 처리는 말뚝 등에 의해 적절하게 처리하도록 한다.

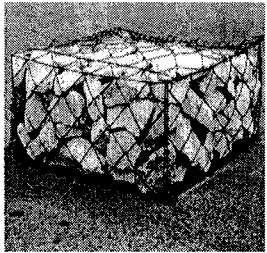

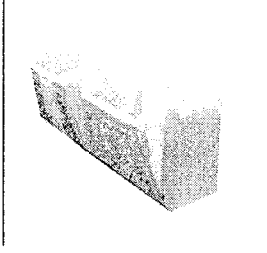
다) 평갈기 매트호안

이 호안공법은 비탈면에 사각방틀을 짜서 돌로 채우고, 그 위에 철망을 석위 돌의 유실을 방지하도록 한 것으로, 수중부에도 활용할 수 있다. 그대로 방치하더라도 홍수이후 퇴적된 토사로 인해 식생이 번성할 수 있으나, 적극적으로 복토를 실시하여 식생의 성장을 촉진할 수도 있다.

라) 콘크리트 바구니 호안

철선 망태계 호안 대신에 콘크리트 2차 제품을 이용한 바구니계 호안으로 바구니 공간에 자갈, 토사를 채움재로 사용하여 하천 비탈면을 보호하고자 하는 것이다. 철선 망태에 비해 작업이 용이하고 시공성이 뛰어나고, 식생의 복원이 가능한 공법이나, 철선 망태에 비해 인공색이 강한 단점이 있다.

<표 2-7> 바구니계 호안공법의 종류

공법	재료에 따른 분류	특징
바구니계 호안 공법		<ul style="list-style-type: none"> - 수리적인 안정성이 우수 - 다공성 재료로 생태계적인 측면에서도 콘크리트 호안보다 유리 - 하천선형의 변화가 심하고 호안경사가 1 : 1 정도로 비교적 급한 곳에 적용
	사각틀 돌망태	<ul style="list-style-type: none"> - 침하나 세굴에 강하며 굴요성이 있음
		<ul style="list-style-type: none"> - 호안 유수의 충격흡수, 사면보호 및 식물뿌리 고정 - 공극에 의한 유수의 여과 및 정수 - 저수호안 적용시 사면 보호 및 수변 식물의 조기녹화 - charcoal에 의한 수질정화효과
	식생틀(charcoal 틀)	
		<ul style="list-style-type: none"> - 블록 간 조립이 Key로 연결되어 구조적으로 안정함 - 수로에 인접하여 석축 및 옹벽 대응 가능 - 하폭과 고수부폭이 좁은 상류역에 적합하며 제방사면의 침식방지 효과가 뛰어나 - 블록의 기단부는 어소블럭기능, 상단부는 반딧불이 및 수서곤충의 서식공간으로 활용
	콘크리트 바구니 블록	

라. 석재계 호안

큰 유속 및 유수력에 저항력이 크고 재료의 취득이 용이하기 때문에 과거부터 널리 사용되어 오던 호안공법이며, 근래에도 하상경사가 급하고, 유속의 변화가 큰 소하천 등에서는 가장 많이 사용되고 있는 공법이다.

호안용 재료로 사용되는 돌은 자연석, 깬돌, 폐석, 가공석 등 다양하며, 제방비탈돌 깔기, 돌쌓기, 돌붙임 등 시공방법도 다양하고 적용범위도 넓다. 일반적으로 돌깔기는 비탈경사가 완만한곳, 돌쌓기는 비탈경사가 급한곳에서 적용되는 방법이며, 어류

의 산란 및 서식장소 등 양호한 생태환경을 조성하기 위해서는 가급적 모르타르의 사용을 지양하는 것이 바람직하다.

표층이 약력, 항력, 유수의 충격 및 침식작용에 견딜 수 있는 충분한 강도를 가지고 있다고 하더라도, 기초토양의 포화에 의한 강도의 약화, 표층과 기초토양의 경계면에서 발생하는 한계류의 흐름 등의 원인에 의해 기초토양이 유실되고, 표층의 공극을 통해 씻겨 나가게 된다. 석재계 호안에서 특히 유의하여야 할 사항은 이러한 흡출에 의한 호안 하층의 토양유실을 방지하는 것이다.

과도한 흡출은 호안을 파괴하게 되고 급기야는 제방의 파괴를 초래하게 되므로, 이러한 흡출에 대한 방지대책이 필요하다. 하천공학에서 주로 사용되는 흡출방지 대책은 토목섬유와 자갈필터이다. 토목섬유나 자갈필터의 수리학적 특성은 유사하기 때문에 재료와 공간의 유용성, 시공의 편리성, 위치 등과 같은 점을 고려하여 선택한다.

1) 석재계 호안공법의 종류

가) 자연석 붙임공

자연석을 이용한 호안공법은 내구성을 갖추고 있으며, 해당 하천에 자연석이 있는 경우에는 이를 활용하면 주변 경관과 조화를 이루는 훌륭한 공법이 된다. 하천경관 측면에서는 메붙임이 권장되나, 외력에 대한 안정성 검토가 필요하다.

찰붙임(찰쌓기) 시공시에는 깊은 줄눈으로 하여 식생 복원을 기대하도록 하고, 메붙임 시공시에는 돌의 맞물림을 충분하게 하여 유체력에 저항할 수 있도록 한다. 호안 머리부의 세굴을 방지할 필요가 있는 경우에는 호안머리보호공을 설치하고 메붙임의 경우는 흡출 방지재를 부설하도록 한다.

메붙임의 입경은 일본 재해복구 기본방침에서는 아래의 <표 2-8>을 참조하여 결정하도록 하고 있다.

<표 2-8> 자연석 호안의 필요입경(1:2.0)

(단위 : cm)

설계수심 (m)	설계유속(m/s)				
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
1.0	20	20	20	60	-
2.0	20	20	20	30	70
3.0	20	20	20	30	50
4.0	20	20	20	20	40
5.0	20	20	20	20	40

현장의 재료를 이용하는 것을 원칙으로 하고, 부득이 하게 다른 장소로부터 반입하는 경우에는 현지 하상재료와 이질되지 않도록 주변환경과 적합성을 검토하여 이용한다. 현장 재료를 유효하게 이용하는 계획에 있어서, 하상저하를 초래할 정도의 채취를 삼가고 하상의 변화에 유의하도록 하여야 한다. 메블임의 돌의 배치는 가능한 아래에 큰 돌을 사용하고 위에는 작은 돌을 배치하여 충분히 맞물리도록 하며, 시공 높이는 3m이하가 적절하다.

나) 연결 자연석 호안(메쌓기)

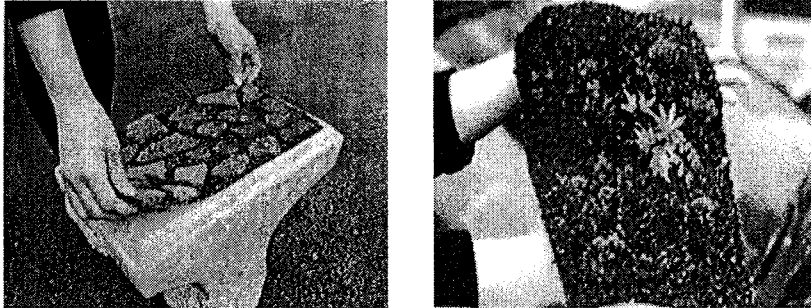
뒷길이(자연석의 전면에서 직각방향의 길이) 확보 및 연결부 대책을 확실하게 하여 유속 및 토압에 대하여 안전성을 갖도록 하고, 자연석의 배치 및 입경은 다공질 공극이 확보되도록 한다. 모듬돌 등을 이용하여 하단부를 보호하고 친단부와 상하류단의 연결부 대책을 수립하여 유체력에 안정하도록 한다.

다) 급경사 메쌓기 공법

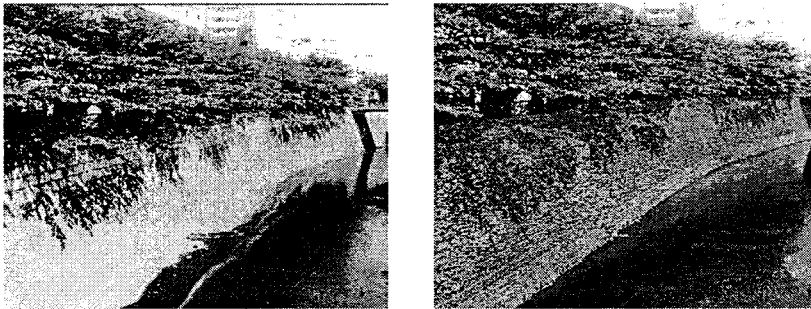
비탈경사가 급한 경우나 큰 유수력을 받는 수충부 같은 경우에 자연형 하천공법의 적용성이 매우 줄어들게 된다. 과거에는 이러한 곳에 콘크리트 옹벽이나 찰쌓기 등이 행해져 왔었다. 그러나 이러한 구조는 식생이 성장할 수 있는 공극과 어류의 서식공간을 없애는 등 수변환경에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서, 근래에 개발된 공법으로 메쌓기를 수행하면서 메쌓기의 강도를 보강하는 공법들이 많이 개발되고 있다. 메쌓기와 찰쌓기를 병행하는 방법도 한 일례이며, 다음과 같이 메쌓기 하는 호박돌에 앵커를 연결하여 앵커의 효과에 의하여 토압이 유수력을 저항하게 하는 구조도 있다.

라) 석재 부착 필름

기존의 콘크리트 옹벽이나 라이닝 수로에 부착할 수 있도록 개발된 필름으로 필름의 표면에 석재를 가공해 붙여 넣어 식생이 자랄 수 있도록 한 식생 부재 필름이다.



<그림 2-1> 석재 부착 필름



<그림 2-2> 석재 부착 필름의 시공 전·후 전경

마) 블록계 호안

블록계 재료를 사용한 공법은 다공성 식생호안블록을 사용한 공법과 콘크리트 호안블록을 사용한 공법으로 나누어 질 수 있으며, 두 공법은 많은 차이점을 가지고 있다. 다공성 식생호안블록을 사용한 공법은 구조물 자체에 식물의 생육활착이 가능하여 뿌리가 원지반에 정착함으로써 뿌리가 블록간을 결속하고 사면을 안전하게 보호한다는 장점이 있다. 또한 투수재질로 인해 옹벽부 토압을 경감시켜 안정성을 확보하는 측면도 있다. 반면 다공성 블록에 식생을 도입해 활착시키기 위해서는 숙련된 기술을 필요로 하며, 부실한 시공이 됐을 경우에는 식생의 도입으로 인한 효과를 기대할 수 없어 안정성에 위협을 받을 수 있다.

호안블럭은 과거에는 일반 콘크리트 재료를 이용하였으나 요즘은 일반 콘크리트블

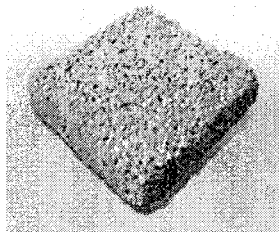
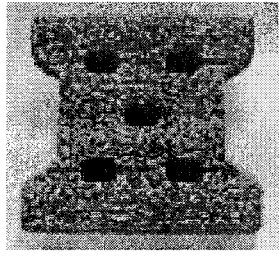
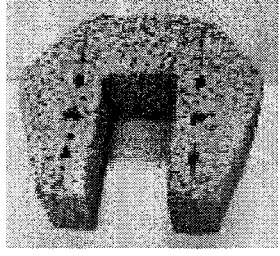
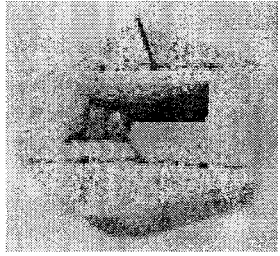
록과 동등한 내침식 강도를 갖는 환경블록과 식생블록을 많이 사용한다. 환경블록과 식생블록은 식재공간을 두어 식재도 가능하며, 큰 유속에도 견딜 수 있으므로 수층 부나 수공구조물 상 하류의 제방보호가 필요한 구간에 적용할 수 있어 치수적으로나 경관적으로도 양호한 호안의 형태이다.

근래에는 블록자체의 모양을 자연석과 같은 형태로 제작하여 자연석과 같은 경관을 창출하기도 하며, 블록사이의 공극에 채워진 객토는 지반과 연결되어 식물, 곤충, 미생물 등 생육가능한 수변생물의 서식공간을 제공할 수도 있다.

소하천은 하천의 중상류부에 위치하여 하도경사가 급하기 때문에 홍수시 큰 소류력이 발생하고, 또한 하폭이 협소하기 때문에 제방의 사면경사를 완만하게 할 수 없는 등 그 조건이 열악하다고 할 수 있다. 따라서, 국내에서도 각종 보강재를 사용하여 홍수에도 안전하게 호안이 유지되도록 하는 공법들이 개발되고 있다.

블록계 공법에는 이러한 형태의 환경블록 외에도 다양한 형상의 중공 호안블록들이 많이 개발되고 있다. 또한 인조석 및 자연석을 단위 블록화하여 2차 제품으로 개발된 경우도 많이 있다. 과거의 일반 블록과의 차이점은 다양한 방법으로 식생을 할 수 있는 공간을 제공하고 있다는 것이다. 경제적이며 자연스러운 모양을 갖는 연결 인공석 호안공법으로 여러개의 인공석을 서로 연결 일체화한 환경 보전형 블록형식으로서, 식생기능, 생태계 보호 기능, 수변경관 기능과 어소기능도 기대할 수 있다.

<표 2-9> 다공성 식생 호안블록의 종류

공법	재료에 따른 종류	특징
블록계 호안 공법		<ul style="list-style-type: none"> - 전체적인 사면에 식생의 도입 가능 - 공극의 크기가 작아 도입식생에 한계가 있음 - 식생이 정착되지 않았을 때 건조에 대한 피해가 큼 - 식생의 정착과 배수기능 확보로 사면의 안정성 확보
	다공성 식생블록	
		<ul style="list-style-type: none"> - 전체적인 사면에 식생의 도입 가능 - 공극의 크기를 키워 도입식생의 폭을 넓힘 - 공극 사이의 충전율을 높여 건조피해를 감소 - 식생의 정착과 배수기능 확보로 사면의 안정성 확보
	다공성 식생블록	
	<ul style="list-style-type: none"> - 물고기와 수서생물의 서식공간 확보 - 전체의 일체화를 통한 안정성 확보 - 배수성의 확보로 사면의 안정성 확보 	
다공성 어소블록		
	<ul style="list-style-type: none"> - 뿌리가 큰 목본류의 도입 가능 - 전체의 일체화를 통한 안정성 확보 - 배수성의 확보로 사면의 안정성 확보 	
다공성 웅벽블록		

6) 블록계 호안 공법의 종류

가) 블록매트공법

블록매트는 연결부 대책이 중요하며, 특히 하류단부의 마찰부의 처리 및 밑다짐 공·다짐돌 등을 확실하게 시공하여야 한다. 블록매트는 콘크리트블록을 강한 내구성이 있는 합성섬유로 만든 직물에 부착 고정된 제품으로 유속이 작은 하천·호소 등의 침식방지공법으로 사용된다.

설계유속은 4m/s 정도까지 적용되고 있으나, 자갈이 많은 하천 및 수층부에는 적용하지 않는 것이 좋다. 블록매트는 매트와 지면과의 마찰관계로부터 1:2.0이상의 비탈경사에 적용하고, 블록과 매트가 일체로 되어 있기 때문에 1:1.5~1:2.0에 사용하는 경우에는 말뚝 등에 의해 활동을 방지할 필요가 있다.

매트의 필요 강도 및 필요 부착강도는 시공시 최대로 된다. 내구성에 있어서는 내화성이 문제가 되나 복토에 의해 방지될 수 있고, 매트는 흡출을 방지하는 효과가 병행되므로 흡출방지에 적절한 매트를 사용할 필요가 있다. 블록매트는 블록형상에 공극이 많으므로 복토, 식생복원에 적절한 구조를 가지므로 블록 머리부분을 덮을 정도로 복토를 시공하여야 한다.

3절 국내 친환경 호안공법 시공사례

우리나라의 경우 친환경적 하천정비의 개념이 도입되기 시작한 것은 1990년도 중반이며 실제 수로에 대한 친환경적 공법의 적용시기는 1996년도 초반이라고 볼 수 있다. 그러나 대부분의 경우 수로의 종합적인 정비 차원이 아니라 시범구간이나 일부 공법을 특정 구간에 적용하는 정도이고, 국내의 수리·수문학적 특성, 환경특성 등을 고려하여 설계 적용된 친환경적 하천정비나 다양한 공법 등에 관한 설계도서 등의 자료가 아주 빈약한 상태이다.

그러므로 국내에서 친환경적인 공법을 이용하여 농업용 수로를 조성한 사례와 친환경적인 소하천정비 사례를 중심으로 조사하였다. 물론 친환경적으로 수로를 정비함에 있어 하천정비의 경우를 동일시하는 것에는 다소 문제가 있다. 그러나 중·대규모의 수로의 경우 자연하천 특히 소하천을 정비하는 개념이 적용되며 공법도 중복되는 경우가 많으므로 친환경적 소하천 정비사례도 조사를 하였다.

1. 수도권 도시하천의 자연형 하천정비의 현황

현재 우리 나라의 자연형 하천공법은 서울시를 비롯한 수도권 일원의 도시하천에서 주로 시험 적용되고 있고, 각급 지방자치단체에서는 관할구역 내의 도시하천에 대해 자연형 하천공법의 적용을 통한 수질, 수량, 경관, 친수기능 등의 문제해결을 도모하고 있으며, 수도권 도시하천에 대한 자연형 하천정비의 주요 사례는 표와 같다.

<표 2-10> 수도권 도시하천의 자연형 하천정비현황

하천	구간	길이(m)	복원유형	주요도입식생	시행청	년도
양재천	강남구 대치동	100	· 10종의 자연형 저수로호안 · 나무말뚝, 야자섬유 두루마리, 갯버들삼목, 자연석 등 사용	· 물억새, 갈대, 창포, 갯버들, 줄, 애기부들	· 강남구청 · 한국건설기술연구원	1995
	강남구 도곡동	2,340	· 저수로 사행 · 야자섬유 두루마리, 쇠석호안, 호안식재 · 역간점축산화법을 이용한 수질정화시설 · 하천변 공원화	· 애기부들, 갯버들, 미나리, 갈대 등	· 강남구청	1996-1997
	과천시 부림동	300	· 저수로 사행 · 다양한 호안공법 및 식재 · 둔치 및 제방 녹화	· 달뿌리풀, 줄창포, 털부처꽃, 갯버들	· 과천시 · 한국건설기술연구원	1996-1997
	서초구 우면동	600	· 저수로 사행 · 협수로, 천변습지, 중도 조성 · 사석 환경사 호안, 거석수제, 돌망태공, 야자섬유망 · 주머니 및 두루마리 활용 · 물억새 및 갈대 뗏장	· 물억새, 갈대, 갯버들, 미나리, 부들, 고랭이, 물옥잠 등	· 서초구청 · 한국건설기술연구원	1998
여의천	서초구 포이동	1,810	· 쇠석과 야자섬유 두루마리 식생호안공	· 갯버들, 갈대	· 서초구청	1995
성내천	송파구 오금동	400	· 기존 거석호안에 정수식물 식재 · 지하철 마천역의 지하수를 유지유량 (1,152t/일)으로 활용	· 갯버들, 꽃창포	· 송파구청 · 한국건설기술연구원	1997-1998
안양천	구로구 천왕동	150	· 미나리밭 시범설치 운영	· 미나리	· 구로구청	1999
	광명시 광명동	50	· 저수로 사행 · 야자섬유 두루마리, 식생호안공	· 갯버들	· 광명시	1995
학의천	의왕시 포일동	200	· 저수로호안 쇠석정비 및 식재		· 의왕시	1997

2. 농업용 수로의 친환경 정비 사례

가. 여주 배수로

1) 유역현황

경기도 여주군 가남면 삼승리에 위치하고 있으며 주변의 토지는 농경지로 이용되고 있으며 산과 접해있다. 수로연장은 490m, 면적 7,390㎡의 배수로이다.

2) 구간별 설계내용

가) 1구간(생태계보전형 구간)

1구간은 수로의 상류 부분으로서 수로연장은 170m이고, 자연친화적 식생호안공법으로 A-II타입은 110m, A-III타입은 97m, B-III타입은 95m를 각각 적용하였다. 1구간은 침사지를 설치한 것이 특징이다. 이 침사지는 토사를 침전시킴으로써 수로내의 토사 퇴적을 방지하고, 침사지내에 수생식물을 식재함으로써 오염된 물을 자연정화하여 수질을 개선하기 위해 설치하였다.

화학비료를 시비하는 경작지에서는 질소와 인이 많이 배출되는데, 질소와 인이 수계에 유입되면 부영양화현상이 발생할 수 있다.

따라서 침전지에 물옥잠이나 개구리밥을 식재함으로써 질소와 인과 같은 영양염류를 흡수 제거할 수 있고, 발달된 뿌리는 미생물이 부착하여 성장할 수 있는 서식처를 제공하므로 오염물질의 정화효과를 기대할 수 있다.

특히, 갈대와 같이 통기 조직이 발달된 습지식물의 뿌리 부분에는 호기성 미생물들이 서식할 수 있기 때문에 유입된 용해 상태의 영양물질을 흡수 분해, 정화하는 효과를 기대할 수 있고, 입자가 큰 부유물질은 뿌리에 접촉, 침전되므로 수질을 개선할 수 있다.

그러나 동절기에는 식물이 성장을 멈추기 때문에 정화능력이 상실된다는 단점이 있으나, 동절기에는 유량이 줄어들고, 비영농기간이므로 오염물의 유입이 적으며, 침전이나 흡착과 같은 물리적 작용은 지속되기 때문에 정화효율은 완전히 사라지지 않을 것으로 생각된다.

나) 2구간(친수공간형 구간)

2구간은 수로연장 180m이며, 자연친화적 식생호안공법으로는 A-II, A-III, B-III타입을 이용하였다. 2구간의 경우 현재 공사중인 중부내륙 고속도로의 교량과 교각이 위치하고 있는 구간으로서 식생호안이 필요로 하는 일사량이 충분히 확보되지 못한다. 따라서 일사량이 부족한 교각 아래 부분에는 매트스톤공법을 적용하여 사면의

안정이 유지되도록 하였다.

매트스톤공법의 특성상 매트위에 설치된 돌사이의 간격이 넓기 때문에 이 부분에는 적은 일사량에서도 성장이 가능한 식물을 식재했다. 또한 곡류부분이 많으므로 침식을 방지하기 위해 B-Ⅲ 타입의 식생호안공법을 다른 구간에 비하여 많이 사용하였다.

B-Ⅲ 타입의 식생호안공법으로 시공된 구간의 반대편 호안은 곤충류의 서식에 적합하게 설계된 곤충서식블록을 설치함으로써 곤충의 서식과 회귀가 가능하도록 하였다. 곤충서식블록은 콘크리트구조물로 제작되었기 때문에 홍수시 시설물을 보호하고, 침식을 방지할 수 있다. 2구간의 경우도 어류의 이동이 가능한 자연형보가 1개소 설계되어 있으며, 농작업기계의 이동을 위하여 교량을 설치하였다.

다) 3구간(이수 및 치수관리형 구간)

3구간은 수로의 하류부분으로 수로연장은 140m로서 자연친화적 식생콘크리트를 이용한 호안공법이 사용되었다. 1차 기본설계에서는 흙사면에 식물을 식재하는 자연식생을 이용한 호안공법을 사용할 예정이었으나, 1차 기본설계 이후 상류부분에 2개소의 개간사업이 시행됨에 따라 설계를 변경하였다.

개간으로 인하여 기초조사에서 조사된 유량보다 많은 유량이 유입될 것으로 예상되고, 유속이 증가될 것으로 분석되어 일반적인 식생호안공법 보다 내구성이 강하고, 큰 유속에 견딜 수 있는 식생콘크리트 제품으로 변경하였다.

3구간이 다른 구간과 다른 점은 본 수로의 위치변경에 따라 제 15호 배수지가 없어짐으로서 발생된 공간을 이용하여 지역주민들이 휴식과 모임장소로 이용할 수 있는 소공원을 조성한 점이다. 원래 설계에서는 소공원이 2구간의 곡류부에 위치하도록 설계되어 있었으나, 지역주민들과 담당행정기관 관계자들의 마을로부터의 접근의 용이성과 치안문제 등의 건의사항을 고려하여 현재의 위치로 변경하였다. 소공원 내에는 노년층의 휴식을 위한 팔각정 1개소와 벤치가 설치되었고, 족구장과 어린이들을 위한 놀이시설이 설치되었다.

나. 영광 용수로

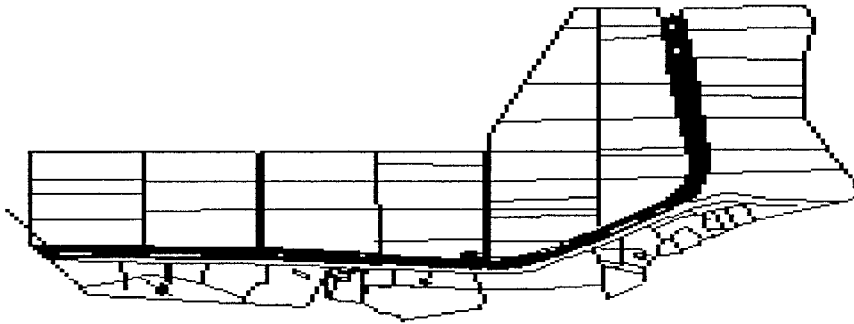
1) 현황

오동지구의 친환경 용수로 정비는 전남 영광군 염산면 상계리 일원의 '오동지구 수리시설 개보수 사업'의 일환으로 시행되고 있다. 이 사업은 오동지구 관내 제2호 용수간선을 친환경 용수로로 정비하는 것을 내용으로 하고 있으며 지역주민의 쾌적

한 생활문화권과 영농의 편의를 제공하는 것에 그 목적이 있다.

총 396,441,000원의 사업비가 책정되었고 2000년 11월 실시설계를 마치고 2001년 가을 시공에 들어가 2002년 11월 친환경 용수로 875m중 580m구간이 완료되었으며 2003년 11월 하류부 구간에 대하여 공사가 완료되었다.

제2호 용수간선의 상류에는 오동제가 자리잡고 있어 수로의 수원(水源)으로서 역할을 하고 있다. 수로의 폭은 상폭 4~6m, 저폭 2~3m 정도로 비교적 규모가 큰 용수로에 속하며, 총길이는 875m로 중류부에 이르러 배수로의 역할을 겸하다가 바다로 유출된다. 수로의 수혜면적은 502ha에 이르며 주변은 전형적인 농촌으로 수로의 중류부 주변에는 취락이, 저수지로부터 유입되는 수로 상류와 말단부 주변에는 농경지가 자리 잡고 있다.



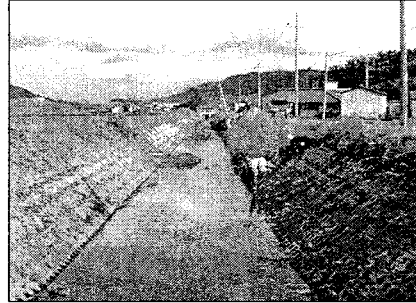
<그림 2-3> 대상수로 설계도

2) 세부설계 내용

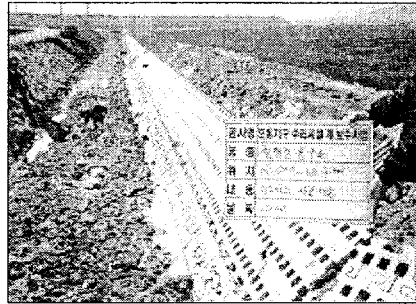
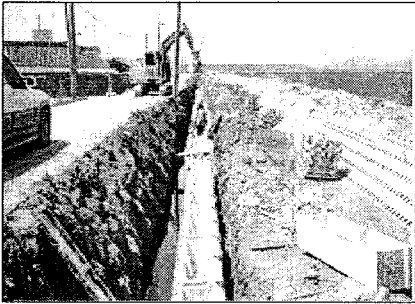
수로의 850m 구간을 3개 구간으로 나누어 상류부를 치수안정구간, 중류부를 친수 시설구간, 하류부를 자연친화구간으로 설계하였다.



a. 상류부 시공 전



b. 상류부 시공 후



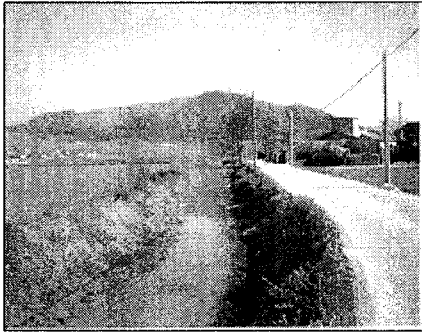
c. 시공 전경

<그림 2-4> 대상수로(오동지구 제2호 용수간선) 상류 전경

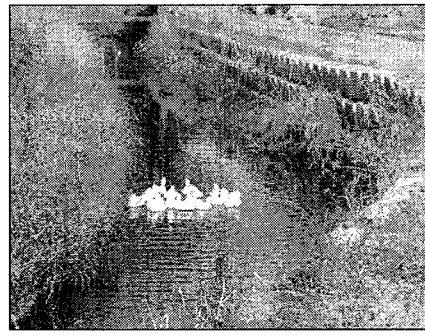
가) 상류부(치수안정구간)

상류부의 치수안정구간에는 저수지에서 유하되는 유입수로 인해 수로바닥이 쇠굴 되는 것을 방지하기 위해서 스톤바스켓을 설치하기로 하였으며 바스켓 안에 있는 돌 틈은 작은 물고기들이 서식할 수 있는 공간을 제공하기도 한다.

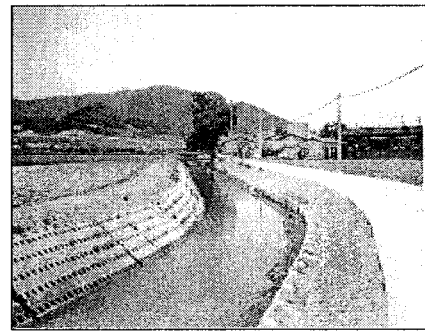
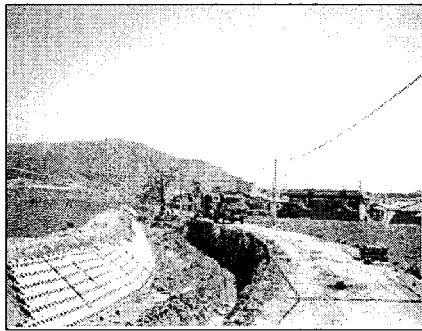
사면은 통수능력이 우수하며 블록 내부에 식생을 도입할 수 있는 환경블록을 사용하여 경관적으로도 아름답고 치수적인 측면에서도 안전한 수로 사면을 조성한다. 식생을 도입한 블록 내부의 공간은 곤충이나 미생물의 서식공간으로서의 기능도 가능하다.



a. 중류부 시공 전



b. 중류부 시공 후



c. 시공 전경

<그림 2-5> 대상수로(오동지구 제2호 용수간선) 중류 전경

나) 중류부(친수시설구간)

중류부의 친수시설구간은 취락이 인접해 있는 구간이다. 주민들의 친수활동이 기대되는 지역(2개소)과 주민들의 편의를 고려한 지역(1개소)에 징검다리를 설치한다.

징검다리는 여울을 형성하여 폭기현상이 일어나므로 물고기의 서식처를 제공하고 자연정화를 촉진시키는 기능도 기대된다. 또한 현재 주민들의 휴식공간으로 사용되고 있는 마을 정자 주변에 잔디 등의 식재가 가능한 에코블록 포장을 하며 주위에 꼬리조팝나무를 식재하여 경관적인 기능을 향상시킨다.

또한 정자 앞 약 20m구간을 복개함으로써 주민들이 보다 넓은 공간을 이용할 수 있도록 배려하였다. 이는 주민들이 친환경적 용수로정비사업으로 인해 직접적인 이익을 얻을 수 있게 하려는 목적을 지니고 있다. 사면에는 환경블록과 곤충서식블록을 적절히 배치했다.

곤충서식블록은 수로의 통수단면을 최대한 확보하면서 경관적인 기능까지 향상시

킬 수 있어 주민들의 친수활동이 기대되는 구간에 주로 시공한다. 곤충서식블록의 하부는 어소블록의 역할을 하고 상부는 반딧불이 등 곤충의 서식공간으로 활용될 수도 있다.

용수로 안으로 다량의 토사가 유입되는 지점에 간이 침사지를 설치하여 장마철에 수로의 통수능을 확보하도록 하였다. 침전조는 연 1회 준설함을 원칙으로 하여 수로의 기능이 저하되지 않도록 하였다.

다) 하류부(자연친화구간)

하류부의 자연친화구간은 치수상으로 문제가 없는 구간이므로 식생호안을 시공하여 최대한 원래 자연에 가까운 수로로 조성한다. 식생호안은 수생식물의 군락을 유도하며 그늘을 형성하여 어류 및 저서곤충의 서식공간을 제공하는 기능도 가지고 있다.

3) 식재 식물의 선정

가) 치수안정구간

저수지로부터의 유입이 있는 상류지역이라는 특성 때문에 수로기능 중 치수기능에 초점을 둔 치수안정구간으로 식재시 쇄굴방지를 위한 하천 사면의 안정 기능이 요구되는 구간이다. 뿌리가 강건하여 유속에 의한 토사의 유출을 방지할 수 있어야 하며 수위의 정도에 따라 습지와 건조지가 상충하는 지역이므로 내습성, 내건성을 동시에 지닌 달뿌리풀, 참억새, 갈대, 부들, 갯버들 등을 식재하도록 하였다.

나) 친수시설구간

취락과 인접해 있는 지역적 특성을 고려하여 물과 접촉할 수 있는 공간의 조성을 목표로 하는 친수시설구간으로 이용자들에게 쾌적한 공간을 제공하여야 하는 곳이다. 현재 주민들의 휴식공간으로 사용되는 마을 정자 주변에 경관적인 기능을 향상시키도록 하기 위해 토착종이면서, 식재가 용이하고 계절마다 꽃을 피울 수 있는 금불초, 구절초, 노랑머리연꽃, 노랑꽃창포, 솔채꽃, 솔패랭이 등을 선정하여 식재하도록 하였다.

다) 자연친화구간

이 구간의 식재설계 목적은 수로의 자연성을 최대한 살려서 생물의 다양성을 높일 수 있는 서식공간을 마련하는데 있다. 치수상의 문제가 없는 구간이므로 최대한 자연에 가깝게 수로를 조성하였으며 수생식물의 군락을 유도하며 그늘을 형성할 수 있

는 수크렁, 속새, 고마리, 미나리 등을 식재하도록 하였다.

4) 시공상 문제점 및 대책

가) 치수안정구간(상류)

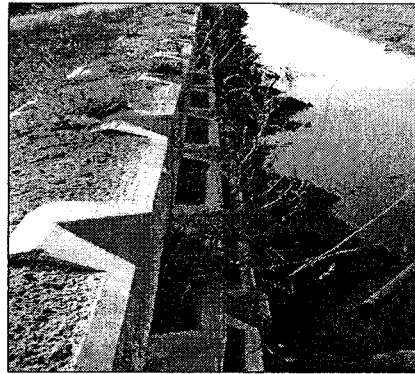
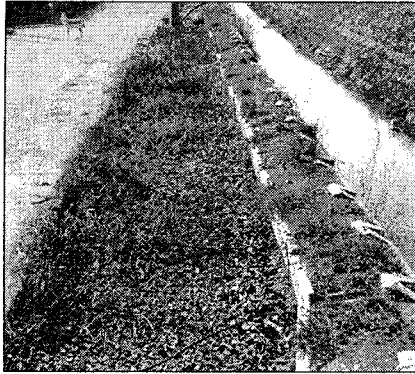
용수로 시점부를 기준으로 200m 구간까지 용수로 하단부에 어스박스Ⅲ형 블록을 2,3단 설치하고 내부에 자갈을 채운후 식물을 식재하고 어스박스 상단에 A,H형 블록을 시공하도록 계획하였다. 그러나 어스박스Ⅲ 블록 내부에 자갈을 채우고 박스내부에 식물 식재시 용수공급에 지장을 초래하며 본답 급수시 용수로 높이의 2/3되는 곳으로 용수가 공급되어 식물생장에 지장이 있다. 용수로 내부에 용수에 지장이 없는 초장이 짧은 식물로 식재 보완 또는 미식재가 요구된다.

나) 친수시설구간(중류)

정자를 기준으로 양안 30m 구간의 반딧불이 블록위에 꼬리조팝나무를 식재토록 설계하였으나 이 식재종은 추운지방에서 자라는 식물로 전남지방에는 적합하지 못한 식물로 지적되어 지방특성 및 수초식생에 맞도록 개나리, 철죽 등으로 변경보완이 요구된다. 또한 이 구간 3개소의 수로내부의 경사가 상이하어 설계대로 목계단블럭 시공시 농로의 1/2(약 2.5m) 잠식으로 현재농로(4.0~5.0m)의 통행이 불가능한 문제점이 발생하였다.

수로부지 또는 근접 이동로의 폭이 넓은 장소에 설치가 적합하나 오동제 2호 용수로는 수로 및 농로폭이 협소하여 설계상 시공시 통행에 막대한 지장이 예상되므로 목계단 경사 조정 또는 계획 변경이 요구된다.

이를 위해 <그림 2-6>과 같이 좌안에는 H형 블록을 사용하여 시공하였고 우안은 반딧불이 블록을 통하여 마을 이동로의 사면 경사를 조정하여 시공하였으며 이동로 폭의 협소 문제점을 어느 정도 해결한 것으로 판단된다.

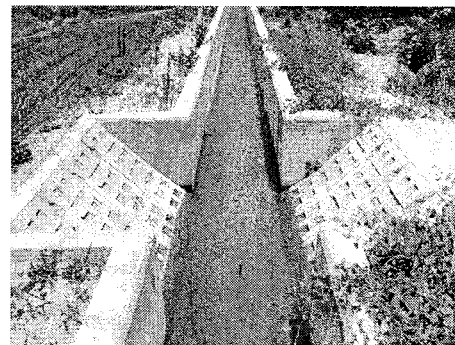
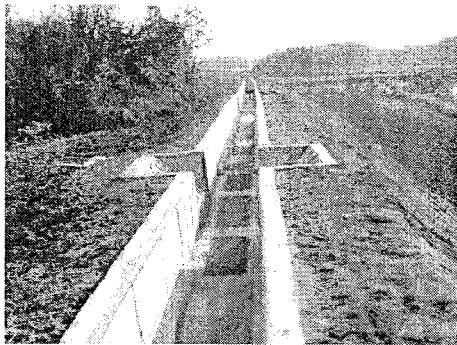


〈그림 2-6〉 반딧불이 블록에 의한 시공 후 사면경사 변화

다) 자연친화구간(하류)

설계상 이 구간 30m를 식생호안으로 계획하였으나 수로에 갯버들, 달뿌리풀을 포기 심기로 식재할 경우 영농 급수시 수로내 갯버들, 달뿌리 식생으로 인해 통수능력을 저하시켜 원활한 급수에 막대한 지장을 줄 것으로 예상되며 유지관리시 장비작업이 불가능하여 인력준설 및 수초제거를 실시해야하는 문제가 지적되어 식생호안 및 그 린매트 구간을 통수에 지장이 없는 시설(환경블록)로 보완이 요구된다.

다. 여주 용수로



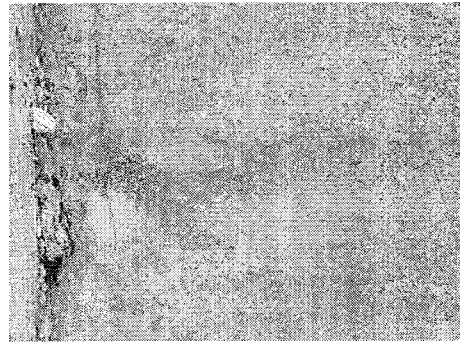
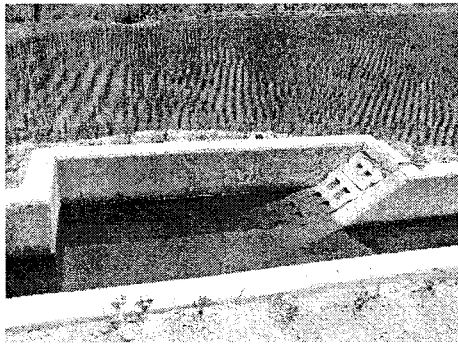
〈그림 2-7〉 여주 구양지구 용수로 시공직후와 현재(2004년 5월)

대부분의 콘크리트 구조의 용수로는 측벽이 수직으로 수로 내에 갇힌 양서류와 소

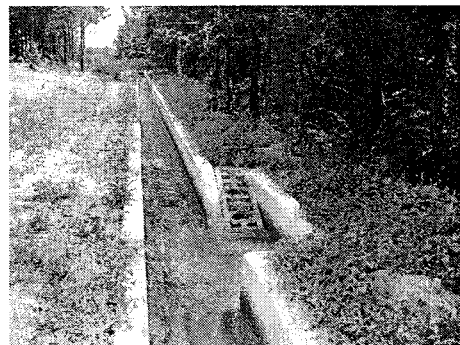
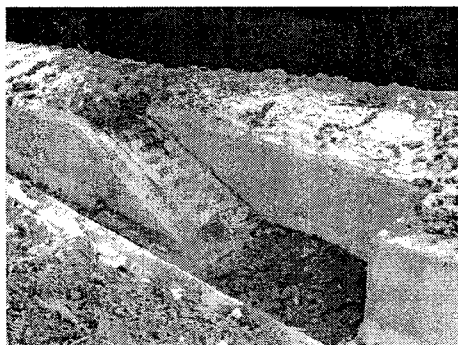
동물은 탈출이 불가능하게 되고, 비 급수 시 또는 동절기에는 고사(枯死)하거나 동사(凍死)하게 된다. 여주 구양지구는 용수손실과 효율적 유지관리를 위한 용수로 구조물화 개보수사업 지구로 개보수시 용수로 내로 들어온 개구리, 뱀과 같은 양서류와 너구리, 오소리 등의 소동물이 용수로에서 탈출 할 수 있는 다양한 형태의 탈출로를 설치하였다.

탈출로 바닥이 매끈하게 된 경우에는 마찰력이 없어 뱀 및 개구리가 탈출로를 찾아도 쉽게 오르지 못하는 경우가 있다.

이를 해결하기 위하여 시공된 구양지구의 탈출로 바닥은 흙이 있는 블록제품으로 시공함으로써 주위의 식생이 자연스럽게 활착토록 하였으며 이는 양서류 및 소동물들의 탈출을 용이하게 하였다. 현장조사시에는 시공된지 오래되지 않아 식생이 활착하지 못한 상태여서 지속적인 관찰을 통하여 탈출로의 유용성을 관찰할 필요가 있다.

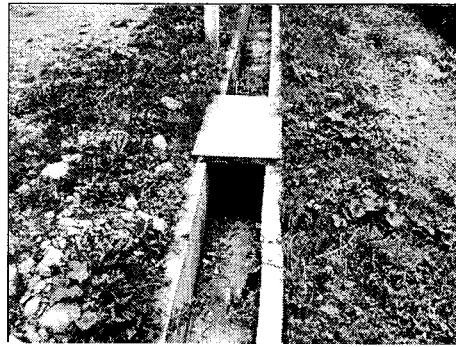


<그림 2-8> 용은지구 생태이동 통로 <그림 2-9> 수로내에 자라고 있는 올챙이



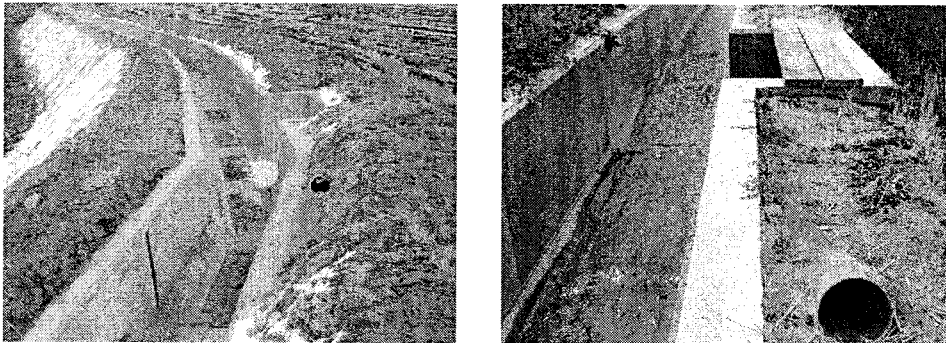
<그림 2-10> 여주 용은지구 시공직후와 현재(2004년 5월)

<그림 2-10>은 용수로 한쪽에 등선로를 설치한 것으로 양쪽에 설치한 구양지구보다 공사비가 적고 용지도 적게 차지한다. 그러나 이 구간은 산지를 통과하는 용수로 구간으로서 주변 부지의 확보가 비교적 용이한 구간이다. 이 구간은 소동물의 이동이 빈번하여 필요시 수로위를 복개하여 소동물의 서식처간 이동을 쉽게 할 수 있는 방법을 병행할 경우 더욱더 효과적일 것이라 판단된다.



<그림 2-11> 생태이동을 위한 수로복개 사례

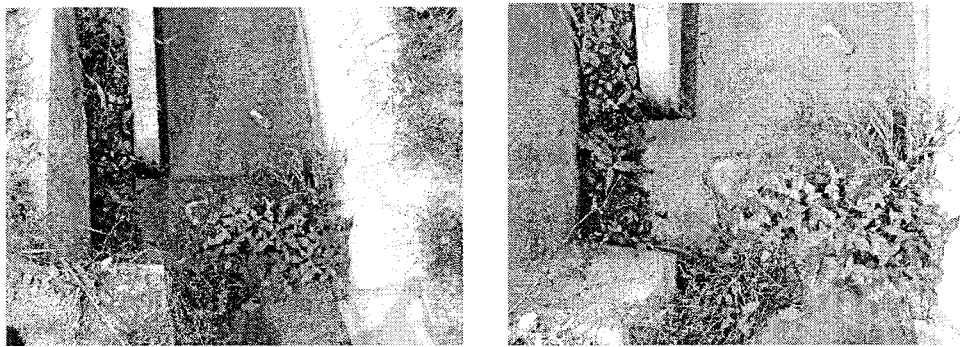
<그림 2-12>는 용수로 한쪽부분에 PVC파이프를 이용하여 탈출로를 설치한 사례이다. 파이프를 이용한 탈출로는 주변 부지를 적게 차지하는 장점이 있으며 양서류 및 파충류가 탈출여부에 대해서는 지속적인 모니터링이 요구된다.



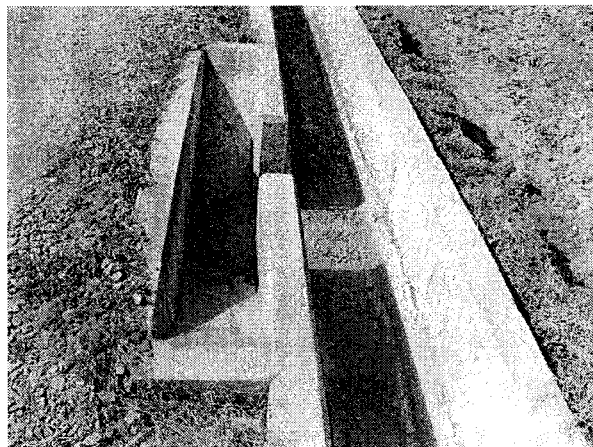
<그림 2-12> 효지지구 생태이동통로

라. 생태수로관

생태계 보호 및 어소겸용 수로관은 용수로에 벤치플룸(수로관)이 U자형으로 벽체가 수직으로 되어 있어 개구리, 뱀, 도롱뇽등의 양서류, 파충류 뿐만 아니라 오소리, 너구리, 족제비등의 작은 동물이 빠지게 되면 밖으로 탈출하지 못하는 문제점을 해결하기 위하여 수로관 외벽에 탈출통로가 있는 수로관이다. 또한 이 생태수로관 바닥에 저류홈을 설치하여 비급수기 일정기간동안 수로에 물이 없는 기간에 양서류 등의 수명을 연장시켜 주며 퇴적 토사로 인해 식생이 자랄 수 있는 공간을 제공하고 수로 밖으로의 탈출을 용이하게 한다. <그림 2-13>은 충북 괴산 조천지구 경지정리 사업으로 설치된 수로관 전경이다.



<그림 2-13> 수로바닥에 저류홈 및 탈출로에 식생이 활착한 모습



<그림 2-14> 현장타설로 시공한 생태이동통로

<그림 2-14>는 충북 청원 비룡지구의 생태 탈출로 전경으로 용수로에 현장타설로 양서류 및 소동물의 이동통로를 조성하였다. 탈출로 바닥은 매끈하게 시공되었으며 탈출로가 수로에 분리되어 있다. 이와같은 유형의 등선로는 농도의 일부를 침범하여 농기계 및 차량통행에 있어서 방해가 될 수 있어 시공시 차들의 통행이 있는 도로 반대쪽으로 설치하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

3. 소하천에서의 친환경 정비 사례

가. 서호천

1) 하천 및 유역현황

서호천은 장안구 파장동에서 권선구 평동에 이르는 총 11.52km의 하천으로 20년 전만 해도 물고기가 서식하는 등 낚시꾼과 시민들의 사랑을 받았으나 그후 생활하수와 인근 업체의 폐수 등으로 인해 오염이 심화돼 여름이면 악취가 진동하고 모기 등 병해충의 서식지로 눈총을 받아왔다. 인근에는 서울대 농업생명과학 대학과 농촌진흥청 작물 시험장이 있어 도시속의 농촌 풍경이 남아 있는 지역이나 인근에 정자지구, 천천지구 등의 대단위 아파트 단지가 건설되고 있다.

2) 하천정비 현황

서호천은 생활하수와 각종 오폐수로 병들었으며, 통수단면 부족으로 집중호우시 평동지역 평교교~수인철교 사이 구간의 가옥과 농경지가 상습적으로 침수되곤 했다.

서호천을 살리기 위한 처방전인 '서호천 환경하천 정비사업'은 이런 서호천을 되살려 홍수피해를 사전에 예방하고 맑은 물이 흐르는 생태 도심하천으로 복원해 시민들에게 휴식공간으로 제공하기 위한 목적으로 시행되었다.

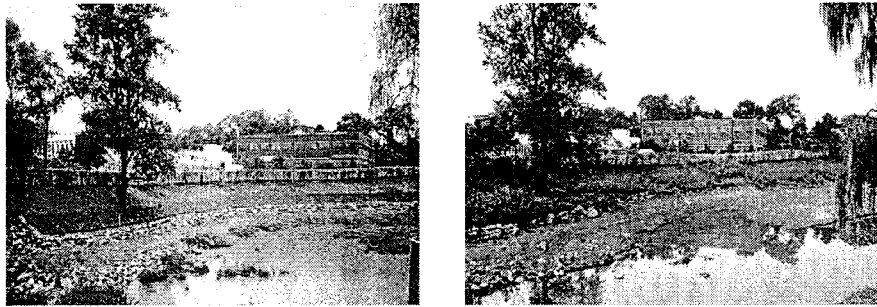
사업은 모두 7.65km, 구간에서 실시되었는데 98년 3월 실시설계 용역에 착수해 99년 2.4km, 2000년 1.63km, 2001년 3.62km 구간을 완료하는 등 연차적으로 추진된다. 한편 나머지 3.87km 구간중 선화교에서 화선교에 이르는 2.43km는 택지개발 사업자 부담으로 시공되며 화선교에서 수둔교에 이르는 1.44km는 공원내 하천으로서 공원조성과 함께 시행된다.

3) 자연친화적 하천공법의 적용

농촌 진흥청 담장을 따라 산책로가 조성되고 하천제방의 안정과 녹화를 위하여 자연석과 코이어를 이용한 공법으로 갯버들과 갈대를 혼합식재하여 주민의 휴식공간을 제공하고자 하였다.

'98년 홍수시 농촌진흥청내 우수가 집수정을 월류하여 제방쪽으로 몰려 웅스와 산책 포장 도로가 일부가 붕괴되어 제방일부가 침식 되었으나 곧 복구되어 유실된 갯버들 등은 재식제되었고 '99년 홍수에도 수문을 3개 개방하였으나 피해는 없었다.

공사전 환삼덩굴, 돼지풀, 흰여뀌, 돌피 등의 1년생 식물이 우점종 이었으나 1차 식생도입 결과 현재는 갯버들과 갈대 등의 다년생 식물과 고마리 등이 우점종이 되었다. 취로사업 등으로 인한 하천제방 잡초 제거시 갈대 등도 짧게 선정하여 성장은 크게 활발하지 않은 상태이다.



a) 시공 5개월 후 전경('98년 5월) b) 시공 1년반 후 전경('99년 9월)

<그림 2-15> 자연친화적 하천공법이 적용된 서호천 전경

나. 오수천

1) 하천 및 유역현황

오수천은 오수면과 순창군을 가로지른 뒤 적성강과 합류하여 섬진강으로 유입되는 하천으로 유역면적은 79.68km²에 달한다. 시공현장은 지방하천구간이며 오수면 중심부로 둔남천 합류부까지 시공되었다. 하폭은 100~120m이고 수질이 매우 좋아 매기, 참붕어 등이 서식하고 있으며, 하천내에 설치된 보는 농업용수를 인근 농경지에 공급하고 있는 전형적인 농촌지역이다.

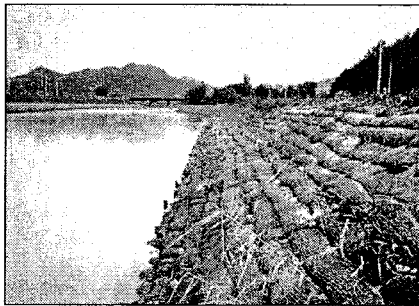
2) 자연친화적 하천공법의 적용

코이어롤 공법과 메쌓기 공법 위주로 시공되었으며 호박들을 이용한 만(bay)도 조성하여 다양한 수종의 식물을 식재하였다. 유량은 풍부하여 1m정도의 수심을 유지하고 있으며 수질은 2급수 정도이다. 제방은 호안블록으로 시공되어 있으며 고수부지 일부는 주차장으로 이용하고 있다.

준공이후 '98, '99년 홍수를 지냈으며 치수상의 문제는 발생하지 않았다. 하천환경

정비후 고수부지는 부분적으로 농경지로 이용되고 있으며 농업용수 공급을 위하여 곳곳에 취수보가 설치되어 있다.

시공구간의 기존 식생은 양호한 편으로 갈대, 고마리, 망초, 돌피 등이 우점종이며, 1차 도입식생은 갯버들, 갈대, 부들, 꽃창포, 수련 등이 도입되었다. 하도 준설시의 준설토를 고수부지 성토시에 사용하여 모래질이 주성분을 이룬 관계로 초기에 식생 활착에 어려움이 있었으나, 보식등 지속적인 유지관리로 상태가 좋아지고 있으며, '97년 준공이후 4년차로 다년생 위주의 1차 도입식물이 활착단계에 접어들고 있다.



a) 시공 후 오수천 전경시공



b) 2년 후 오수천 전경

<그림 2-16> 자연친화적 공법이 적용된 오수천 전경

다. 당월천

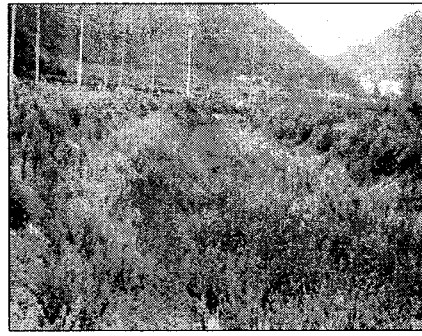
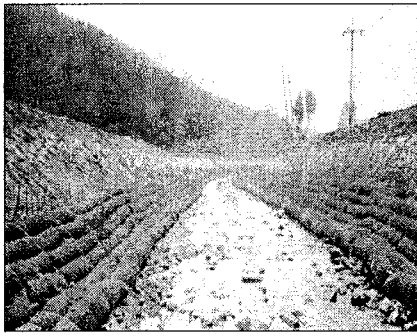
1) 하천 및 유역현황

당월천은 원평천 지류로 주변은 농경지이다. 공사현장은 하상구배가 1/80정도의 산지하천으로 낙차공이 많이 설치되어 있고 하폭은 15m 내외이며 하류에는 대울저수지가 위치해 있고 수질은 1-2급수이다.

2) 자연친화적 하천공법의 적용

저수호안에는 코이어롤 공법과 자연석 쌓기로 조성하였으며 제방에는 사석쌓기로 식재를 병행하는 공법으로 시행되었다. 하상구배가 심하여 자연석과 사석은 2~4목 이상의 돌로 메쌓기 하였다.

기존 식생은 고마리, 바랭이, 환삼덩굴등이 우점종이며 1차 도입 식생으로 갈대, 갯버들, 물억새가 식재되었고, '98년도 봄에 시행되어 식물의 천이가 진행중이다.



a) 시공 후 당월천 전경

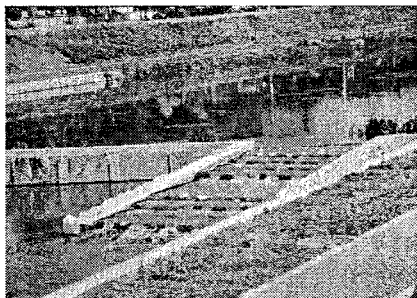
b) 시공 1년반 후 당월천 전경

<그림 2-17> 자연친화적 공법이 적용된 당월천 전경

라. 해반천

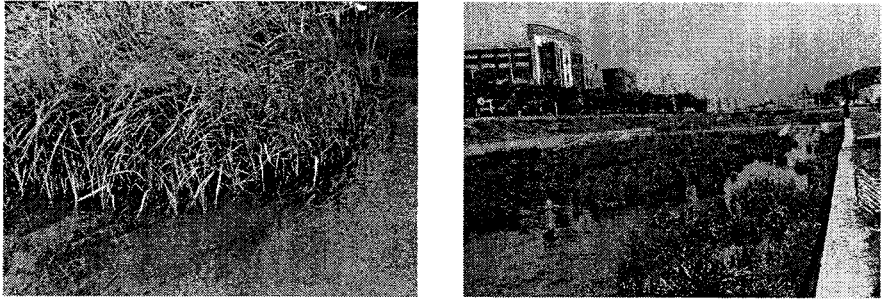
1) 일반현황

- 어도설치 : 어류의 이동 및 낙차를 이용한 수질정화 목적



<그림 2-18> 해반천 어도전경

○ 수생식물 식생 : 어류의 서식처 제공 및 수질정화 목적



<그림 2-19> 해반천 수생식물 전경

2) 검토 및 제안사항

어도의 설치는 어류의 이동뿐만 아니라 물의 낙차흐름에 의한 폭기현상으로 하천 수질을 정화하는 기능이 있다. 하지만, 농경지내 배수로의 경우 식생의 종류에 따라 차이는 있겠지만, 홍수시 배수에 장애를 유발할 수 있으므로 주의가 필요한 것으로 사료된다. 따라서, 농업배수의 수질정화를 위한 수생식물은 가능한 한 식생의 크기가 작은 것을 선정하여 물 흐름에 방해가 되지 않도록 하여 유지관리가 용이한 식생 종이 요구된다.

마. 양재천

1) 하천 및 유역현황

양재천은 탄천의 제1지류인 준용하천으로 서북쪽으로는 안양천 유역, 동북쪽으로는 탄천유역과 접해 있으며, 강남구 대치동에서 탄천 좌안으로 유입되는 하천이다.

수원은 경기도 과천시 갈현동 관악산에서 발원하여 과천 시가지를 통과한 후 과천시 갈현동에서 우안으로 유입되는 막계천과 합류한 다음 서울시 서초구 양재동에서 우안으로 유입하는 여의천과 합류한 후 강남구 대치동에서 탄천 좌안으로 유입한다.

양재천의 유로연장은 15.6km이며, 하천 시점과 종점간의 직선거리는 11.9km이다. 따라서 양재천의 사행도는 1.31로서 1.5보다 작아 직선하천으로 볼 수 있다.

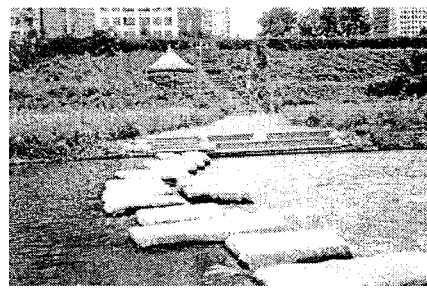
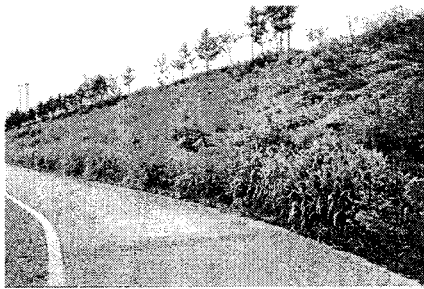
상류지역인 과천에 하수종말처리장이 있어 서울지역에서는 보기 드물게 하천내 유량이 풍부하며, 수질 또한 양호하여, 여러 종류의 물고기가 서식한다. 백로, 청둥오리, 왜가리, 해오라기 외 여러 종류의 조류가 상시 관찰되고 있는 자연친화적 하천 조성 사례 중 우리 나라의 대표적인 하천으로 꼽힌다. 주변에 산과 공원이 많아 주변 여건도 매우 좋은 지역이다.

2) 하천정비 현황

맑은 물이 흐르고 옛 정취가 깃들인 자연에 가까운 하천으로 재생시켜 생태계 학습의 시범교육장으로 활용하는 한편, 현대인들의 다양한 레크리에이션 욕구를 충족시키고, 옛 강의 모습을 회상토록 하여 시민의 정서함양에 기여를 목표로 하며 다음 세가지 기본 구상을 전제로 사업을 실시하였다.

- ① 수생식물이 서식할 수 있는 건강한 하천경관의 회복을 통해 하천이 본래의 자연생태계로서의 기능 회복
- ② 시가지와 하천 자연환경요소의 조화로운 조성으로 자연과 인공이 조화되는 도시경관의 창출 기대
- ③ 하천의 기본적인 기능인 친수기능 유지

이와 같은 구상을 통해 자연친화적인 식생호안을 도입하고 수변테크, 징검다리, 도넛지 등의 친수시설물을 설치하였으며 자전거길, 농구장, 배드민턴장 등의 근린체육시설을 주민들이 이용할 수 있도록 하였다.

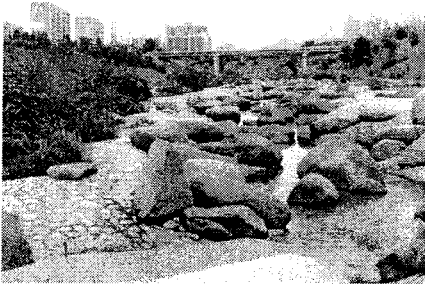


<그림 2-20> 자전거 도로 및 사면식생 <그림 2-21> 전경징검다리 및 친수계단 전경

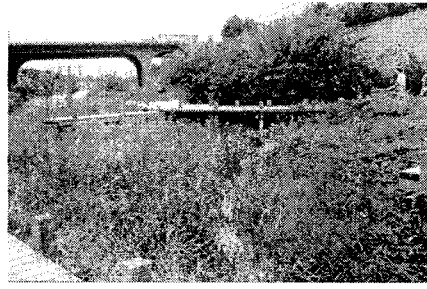
3) 자연친화적 하천공법의 적용

천연 야자섬유로 만들어진 코이어물을 이용한 공법이 본격적으로 적용된 첫 하천으로 하폭은 30~40m, 저수로 폭은 8~10m의 소하천으로 좌우의 양재 시민공원, 양재동 꽃시장과 좋은 조화를 이루고 있다.

코이어물 공법과 메쌓기 공법이 적용되었고 하상에는 자연석 징검다리와 호박돌을 깔아 어린이들의 친수활동을 고려하여 시공하였다.

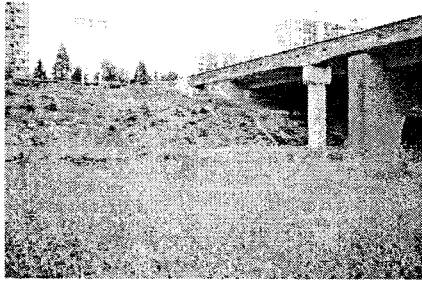


<그림 2-22> 물놀이장 전경

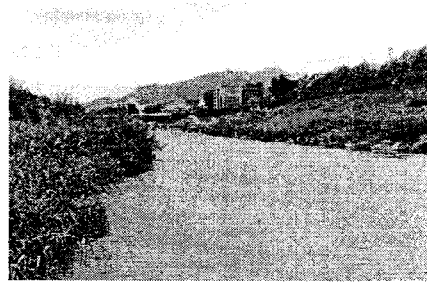


<그림 2-23> 실개천 및 수변데크 전경

시공이후 여러차례의 홍수를 겪으며 하상과 식생이 서서히 정착단계에 접어들고 있는데, 기존의 직선수로를 사행수로로 변경한 후 여러군데서 침식과 퇴적이 반복 진행중이며 이에 따라 식생도 변화되고 있다.



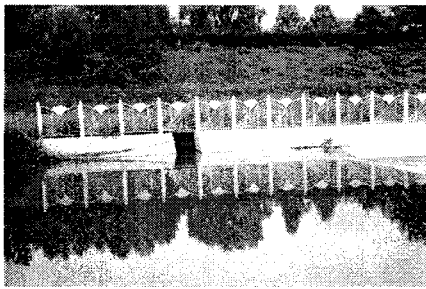
<그림 2-24> 원사면 전경 (호안블럭)



<그림 2-25> 식생호안전경(돌, 나무, 갈대, 갯버들)

기존 식생현황은 환삼덩굴과 흰여뀌, 소리쟁이, 쇠뜨기, 애기똥풀 등이 우점종인 지역으로 1차도입식생으로 갈대와 물억새, 갯버들을 파종, 삼복하였다. 현재는 갈대와 갯버들, 고마리등이 우점종으로 성공적으로 활착되었으며 초기에 갈대, 물억새에 대한 정보와 경험부족으로 파종을 실시하여 성과를 보지 못한 후, '96년, '97년의 2년에 걸쳐 갈대와 물억새 이식을 실시한 후 좋은 결과를 보이고 있다.

상류지역에 뚜렷한 오염원은 없으나 좋은 주변여건에 비해 수질은 좋지 않은 편으로 수질만 개선되면 어린이들에게도 좋은 물놀이의 장으로, 가족의 피크닉장으로 이용될 수 있는 충분한 잠재력을 지닌 곳이라 사료된다.



〈그림 2-26〉 수질정화시설
(자갈을 이용한 접촉산화법)



〈그림 2-27〉 저습지 전경
(야생조류원)

바. 오산천

1) 하천 및 유역개황

유역면적은 152.83km²이며, 총 유로연장 29.5km 중 14.2km에 대해서 하천개수 실시하였다. 주요산업으로는 상류지역의 용인시는 주로 공업, 중류인 화성군 및 하류 평택시는 주로 농업, 하류인 오산시는 농업 및 상업, 공업지역이다.

하천공간은 주로 오산시 구간에서 고수부지에 주차장 및 체육공간으로 이용하고 있다.

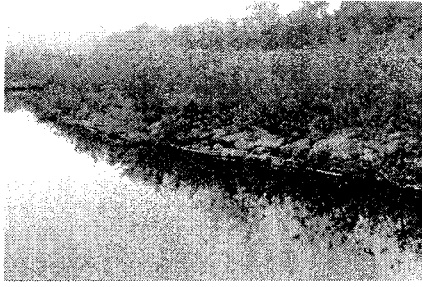
상류부에 골재채취 및 광역상수도 공사로 고수부지 훼손 심각하였으며, 중류부는 도심지에 접해있어 콘크리트 호안 및 고수부지의 주차장화로 하천공간이 훼손되고 수질오염이 심각하다. 하류부는 비교적 자연하천의 형상과 식생은 유지되고 있으나 수질오염 심각한 지역이다.

2) 하천정비 목표

- 기흥저수지의 자연유하량(0.8m³/s) 확보
- 자연하천으로의 기능회복 및 자연성 창출

3) 사업개요

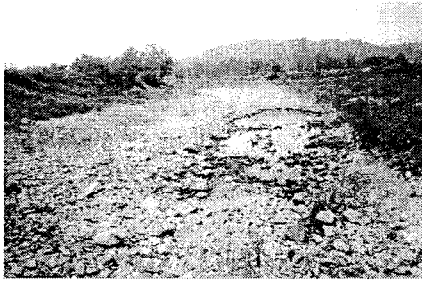
- 축제 및 자연형 고수호안 : 축제 3.194km(고수호안 : 3.037km)
- 자연형 저수호안 : 3.073km(14종 호안공법 채택)
- 여울 및 어도 : 10개소
- 수제 : 166m
- 운도(인공섬) : 1개소
- 고수부지 초지조성 : 4,180m²



a) 통나무돌채움 + Coir roll 공법



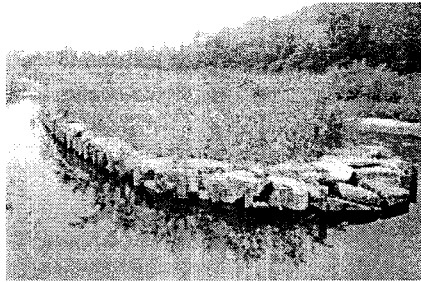
b) 어도 전경



c) 하천정비 배후지



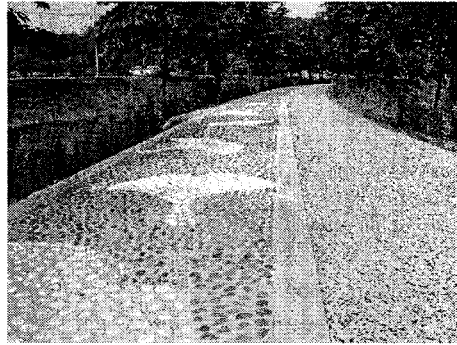
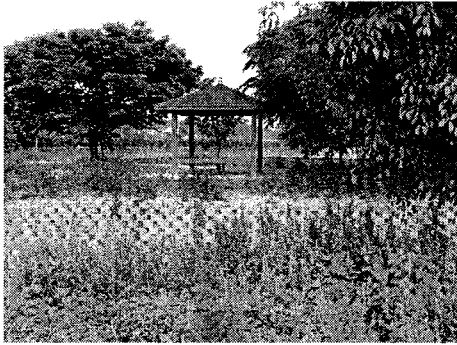
d) 돌망태 공법을 이용한 호안정비



e) 인공섬 조성
(거석+통나무말뚝+갈대)

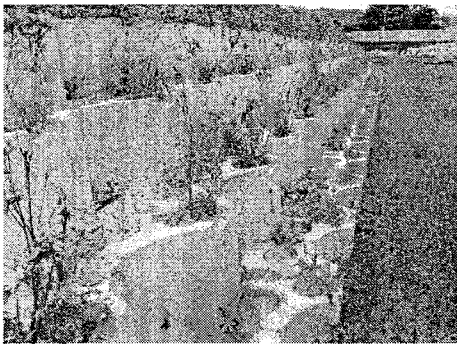
<그림 2-28> 오산천 친환경 정비시설

사. 청안2동 소하천



<그림 2-29> 소하천가의 주민쉼터 <그림 2-30> 주민의 건강을 위한 발지압 보도

수로 주변에 주민들을 위한 쉼터(정자)를 조성하고 발지압 보도를 설치하여 주민들의 복지 시설로 활용하고 있는 모습이다.

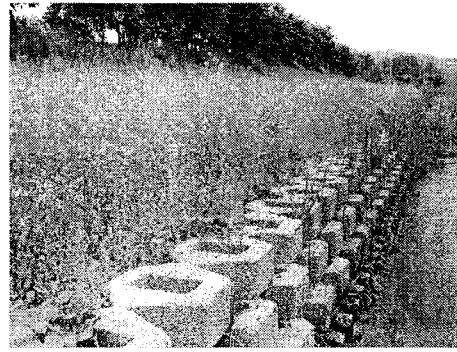
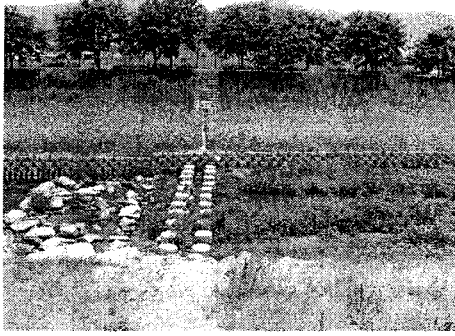


<그림 2-31> 화분식 식생블럭

<그림 2-32> 환경블럭 자연석

화분식 식생블럭은 화분모양의 블럭안에 흙을 채워 식재를 할 수 있도록 하는 블럭으로 높이 4~8m 정도의 사면보호에 적합한 식생 녹화 블럭이다. 단위 면적당 중량이 커 구조적 안정성이 높으며 사면보호 기능이 뛰어나다.

환경블럭 자연석은 블럭간 공극형성으로 식물발생을 촉진하는 자연석 모양의 블럭으로서 투수성이 양호하고 지반의 변형에 대한 신축성이 높아 수변환경과의 경관조화가 뛰어난 공법이다. 하천호안 및 인공호수 등에 사용되고 있는 제품이다.



<그림 2-33> 징검다리 전경 <그림 2-34> 지오그린 옹벽블럭 및 어소블럭

지오그린 공법은 굵은 쇠석골재와 시멘트를 혼화제와 함께 혼합한 제품으로 옹벽블럭은 블록간 강봉핀 연결로 구조적 안정을 시킨 공법이다. 위 사진에서 볼수 있듯이 주변에 유채꽃을 식재하여 아름다운 경관을 조성하였고 징검다리를 설치하여 친수활동을 할 수 있도록 시공한 모습이다.

4절 해외 친환경적 정비 동향 및 사례

자연형 하천정비는 하천의 이수, 치수, 환경기능 중 특히 환경적 기능을 증진시키는 하천환경관리의 한 수단이다. 환경기능 중에서도 특히, 하천 동식물의 서식처 기능과 수변경관 기능에 중점을 둔 것이다.

선진외국의 경우 '70년대부터 이러한 자연형 하천정비에 많은 연구가 있어 왔으며 특히 독일, 스위스 등지에서 '근자연형 하천공법(近自然型 河川工法)'이라는 이름으로 실용화되고 있다.

이러한 '근자연형 하천공법'에 의한 하천정비의 기본방침 중 하나가 "소하천에 연한 숲을 조성하고 야산과 도심을 연결하는 네트워크를 형성하여 휴식공간 조성"이라는 것이다. 현재 독일의 농촌지역에서 많이 시도하는 '자연화하는 하천공법'이라는 것은 하천개발에서 오는 하천의 형체적 변화로 인한 단점과 이에 수반되는 파괴된 생태계를 환원할 수 있도록 조치를 취하여 강·하천·실개천의 발달-진행과정을 통하여 추구하는 목표를 달성할 수 있도록 하는 공법을 뜻한다. 이 공법은 직선형의 하천 진로를 사행으로 바꾸는 것 외에 자연에 가까운 '생태·형태학상의 구조'라는 개념을 추가한 것이다. 이런 구조는 하천의 형태적 발달과 하천변이 재생할 수 있도록 기능적인 개선을 추구하는 것으로 전문가들은 우리나라 하천의 중·상류 지역에서 응용할 수 있을 것으로 보고 있다.

일본의 경우 '녹음이 우거진 구릉제방 정비사업', '고향의 하천모델사업', '다자연형 하천만들기' 사업, 하천 주변환경을 보전함과 동시에 사람과 자연이 교류할 수 있는 '자연을 살린 수질환경 정비' 등 여러 가지 사업을 추진하고 있으며, 특히 농림수산성(2001)은 농촌지역에서의 물 순환, 생태계 등 유역환경의 회복·보전기술 추진을 주요시책으로 하고 있다.

미국 농무성(USDA)의 "Stream Corridor Restoration계획"에 인용된 "Water is the most critical resource issue of our lifetime and our children's lifetime. The health of our water is the principal measure of how we live on the land"라는 문구는 건강한 (소)하천이 특히 어린이들의 행복 된 삶에 대단히 중요하다는 점을 강조하고 있는 것으로 풀이된다.

1. 스위스

스위스에서는 1983년에 와서 하천관리 주안점이 종래의 수질관리에서 하천의 생태적 복원으로 크게 전환되었다. 자연형 하천정비의 실시과정은 우선적으로 정비가 필요한 구간에 대해서 부분적으로 자연형 하천정비를 실시하고 있으며 도시 내에서는 과도한 토지매입 비용 때문에 자연형 하천정비가 곤란하여 자연형 하천정비는 주로 교외지역에 시도되고 있다. 이와 별도로 기존에 복개되었으나 오수가 섞이지 않아 수질이 양호한 복개 소하천의 경우를 이를 다시 지상으로 복원하는 사업이 실시되고 있다. 스위스 쥐리히주에 있어서는 보다 풍부한 자연을 형성하기 위해 공법의 선정에 있어서 우선 순위를 정하고 있는데 식물재료에 의한 공법, 혼합재료(식물과 나무 또는 석재의 병용)에 의한 공법, 견고한 재료(목재, 석재, 콘크리트)에 의한 공법의 순이다. 하안법면이나 제방을 지키는 호안도 이 우선 순위에 의해 공법이 선정되고 있다. 하천 홍수류가 심하고 하안의 침식 강도가 큰 경우에는 우선 순위가 낮은 공법도 선정되고 있으나 동시에 돌출수세나 낙차공 등을 이용하여 홍수류를 완화시켜 우선 순위가 높은 공법이 선정될 수 있게 하는 노력도 행해지고 있다.

스위스에서 행해지는 하천복원 조치는 식생과 거석을 이용하여 홍수류를 완화, 자연석 램프로 콘크리트 낙차공을 대체, 식생 호안, 제외지 녹화, 유로의 사행화 등으로 특징을 요약할 수 있으며 특히 식물재료를 활용한 하천공법을 생물 공학적 공법이라는 명칭으로 정하여 널리 적용하고 있다.

가. 레피쉬(Reppisch)천

1) 정비전 상태

홍수소통을 위해 직강화한 하천에서 자연생태계 파괴는 물론 오랜기간에 걸친 유사의 퇴적과 식생의 제거에 따른 과도한 유속으로 홍수시 오히려 하천공사 이전보다 더 큰 피해를 경험하였다.

2) 정비내용

하천선형이 과거의 선형으로 복원되었으며 식생호안이 조성되었다. 호안에는 기본적으로 식물만이 사용되었으나 부분적으로 하안의 기반부에 일정한 간격으로 나무말뚝을 박고, 여기에 버드나무 가지와 같이 잘 휘어지는 재료를 엮어서 담을 만들었다. 이렇게 하여 뒷면에 채워넣은 토사의 유실을 막으며 버드나무 가지가 활착을 하면 하안을 보호하게 된다.

3) 정비결과

레피쉬천에서는 공사직후 아직 버드나무의 뿌리가 충분히 성장하기 전에 2회에 걸쳐서 홍수(20m³/s와 40m³/s)를 받아 호안이 파괴되었으나, 인가들이 강에서 훨씬 떨어져 있어 곧 같은 방법으로 복구되었다. 생물을 사용한 공법에서는 식물이 성장하기까지 이러한 위험부담을 감수해야 하고 피해복구도 필요하지만, 식물성장에 동반하여 안정성은 더욱 강해진다. 공사의 개요는 인접지 소규모 습지 조성, 콘크리트 호안을 식생 호안으로 대체, 하도선형 변경, 콘크리트 보 제거 후 목재를 이용한 사행 수류 조성 등을 열거할 수 있다.

레피쉬천은 당초에는 자연선형을 유지하였지만 주민 등의 요구로 직선화로 정비되었으며 다시 평상시 유수의 흐름으로 자연선형 저수로가 형성되어 자연스럽게 정비가 이루어진 사례라고 볼 수 있다.

나. Shil 도시하천

Shil 도시하천은 쥐리히 호수에서 발원하여 Limmat강과 합류하는 하천이며 Limmat강의 제1지류이다. Limmat강과 합류하기 전 약 1km 구간은 중세시대에 운하로 건설하였는데 그림의 경우 이를 개조, 산책로와 휴식공간을 조성하여 아름다운 도시하천으로 조성된 모습이다.

과거부터 있던 건물쪽에는 석축과 콘크리트벽이 제방 역할을 하고 있는데 공간을 최대한 활용하여 물가와 벽에 홈을 파서 식생처리하였다. 특히 콘크리트 제방과 같은 인공구조물의 돌출을 최소화하고 경관을 고려하여 하안에 식생을 최대화하였다.

자연형 하천정비의 요소로는 도시 내를 흐르는 하천제방을 나무로 식재하고 수로를 정비하여 산책로를 조성, 하천의 자정작용을 고려한 인공여울 조성, 인공제방에 공간을 확보하여 식재의 실시 등을 들 수 있다.

다. Limmat 도시하천

Limmat 도시하천은 Shil 하천과 합류하여 쥐리히시를 관통하는 하천이다. 일찍이 스위스에서는 하천환경에 대한 관심을 가지고 하천을 개발하였는데 하천을 개발함에 있어 호안을 자연식생으로 개조하고 호안경사도 완만하게 조성하여 하천 주변의 생태계를 유지하였으며, 하천변 산책로와 휴식공간 및 레저 스포츠 공간으로 조성하여 사람들이 하천을 자유롭게 접근할 수 있도록 구성하였다.

하안을 야생풀로 조성하고 제방마루는 산책로로 조성하였으며 경사를 완만하게 하여 하천으로의 접근성을 도모한 모습이고 그림은 본류 하천의 우안제방 좌측에 어도

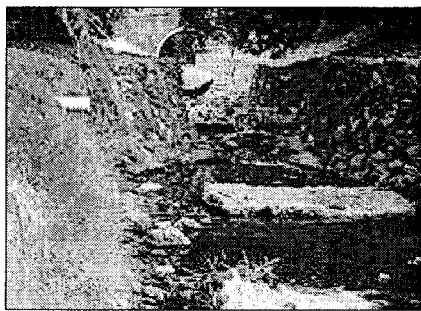
를 설치하여 하천에 건설되는 보 등에 의한 어류의 생태계 파괴를 최소화한 사례를 나타낸 것이다.

자연형 하천정비의 요소를 정리하면 제방의 침식방지를 위해 식생에 의한 하천제방 조성, 제방의 경사를 완만하게 조성, 하천제방둑에 산책로 조성, 자연수로를 활용한 수영장 등의 물놀이 시설 설치, 어도를 설치하여 하천 인공구조물에 의한 어류생태계 파괴의 최소화를 유도하였다.

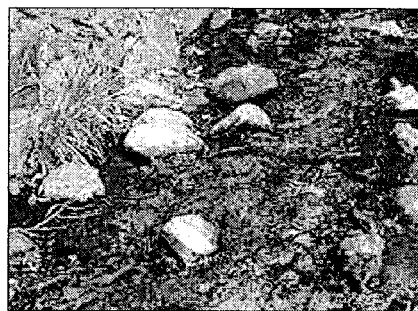
2. 미 국

가. Strawberry Creek Park

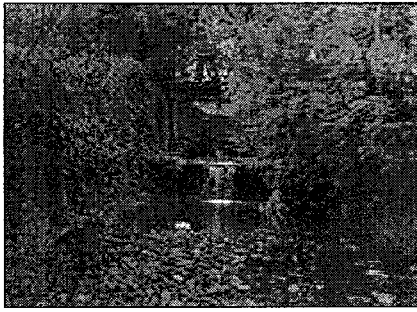
이 공원은 샌프란시스코 동쪽에 위치한 버클리시 중심부의 오래된 주거지역에 있으며, 1983년에 조성되었다. 이 공원은 4에이커의 조그만 공원으로서 정비하기 전에는 암거화 되었고 철도가 지나던 황량한 철도부지였는데 이 지역을 공원화 하기 위하여 우선적으로 암거를 부수고 개울을 열어서 원래의 곡류하천으로 복원시키고 주변을 녹화하였다. 특히 비용절감을 위한 개울의 호안축조를 위하여 과거 이 지역을 덮고 있었던 콘크리트 포장재료를 적당한 크기로 부수어 호안재료로 이용하였으며 개울주변에는 이 지역 토박이 식생중에서 가뭄에 잘 견디는 나무와 풀을 심었다. 이러한 개울과 잔디밭이 있는 이 공원은 주변 주민들의 훌륭한 휴식 및 운동장소로 이용되고 있다. 특히 도시의 한가운데 맑은 물속에 고기들이 뛰노는 개울이 있다는 것은 큰 매력으로 여겨지고 있으며, 650,000달러라는 비교적 적은 비용으로 도시하천을 복원시키고 주거지역을 활성화시킨 사업으로 모범적인 도시지역 복원사례로 인용되고 있다.



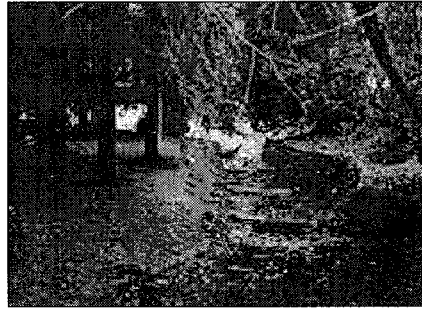
(a) 하천전경



(b) 자연석에 의한 어울조성



(c) 계단형 수로



(d) 낙차공 시설

<그림 2-35> 자연친화적 공법이 적용된 Strawberry Creek 전경

나. Adobe Creek

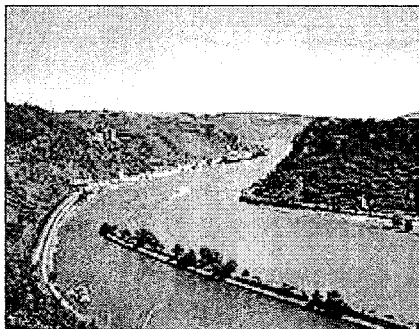
이 하천은 샌프란시스코 만 북쪽에 위치한 Petaluma강의 지류로서 만으로 유입한다. 주변지역은 농경지도 있지만 최근 도시화의 진전으로 거주지역이 확대되고 있다. 이 지역을 흐르는 Adobe Creek는 준건조지역에 위치한 관계로 하천변 물기가 있는 곳에서는 식생이 매우 왕성하다. 이러한 왕성한 식생으로 이 하천은 홍수소통 문제가 우려되고 있으며 일부 구역에서는 과거에 무분별하게 심은 수목을 벌채하고 있다. 이 곳의 녹화사업은 조경전문가의 지도 아래 지역주민들의 자원봉사 성격으로 추진되고 있다. 여기서 하천에 나무를 심는 것은 우리 상식으로 이해하기 어려운 식재장소 및 수종 등을 고려하여 선별적으로 식재하는 것은 캘리포니아주에서는 유행처럼 되고 있다. 이곳 하천식재의 전제조건은 식재장소는 유로 중심부를 피하여 강터이나 고수부지 혹은 제방으로 국한하며, 홍수시 유수소통에 지장을 줄 수 있는 고수부지 상의 식재는 교목을 피하고 개서들 등 크게 자라지 않는 수종으로 한정되고 있다. 특히, 제방 안쪽에 단풍나무, 전나무 등 그 지방의 고유수종을 심는 것을 장려하고 있는데 하천내에 어린나무를 심고 증발을 억제하기 위하여 뿌리주위를 비닐로 덮은 경우도 있으며 이러한 식목은 지역주민들로 구성된 자원봉사자들의 몫이다. 이러한 자원봉사들은 나무심기는 물론 쓰레기 줍기, 나무이름표 달기 등 각종 봉사활동을 통하여 하천생태계를 보전하고 복원하고 있다.

3. 독일

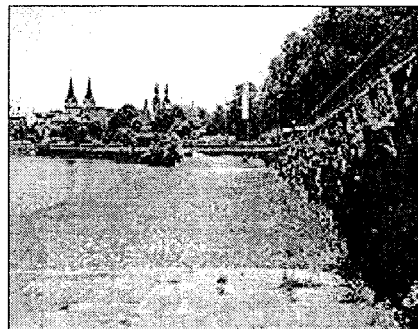
가. 라인강

라인강은 19세기 초 라인강 상류에 직강화 공사를 시작하게 되면서부터 모래더미가 강변 좌우에 쌓여 바지선 운행에 차질을 빚게 되었고 하상저하를 초래하여 급속한 배수가 발생되고 주변의 지하수위도 심하게 떨어졌다. 반대로 하류에는 토사가 쌓여 하상이 높아져 준설을 해야만 하였다. 따라서 1931~1977년까지 프랑스와 독일에서 9개의 종합형 가동보를 설치하였으며, 라인강의 마지막 보 아래에서 홍수가 지나가면 많은 하상물질이 네델란드쪽으로 흘러 내려감으로서 여기에 알맞은 골재량을 인공적으로 투입하여 자연적인 균형을 이루도록 함으로서 직강화공사로 인한 보완대책을 마련하기도 하였다.

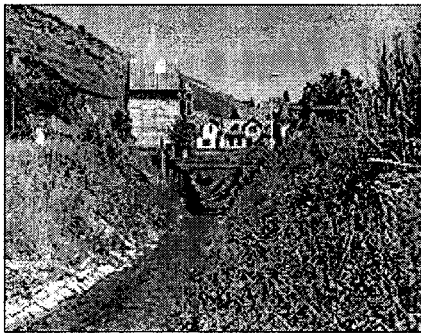
최근 라인강 하류에 홍수예방을 위하여 상류 26구간에 준비된 강둑 수문을 열어서 이용중인 초지, 농경지를 한시적으로 침수시킬 계획을 추진하여 현재 일부는 홍수때 가동중이다. 가동보의 낙차를 극복하고 사라진 연어가 도래하기 위하여 채래식 어도를 자연에 가깝게 재건설하고 있으며 스위스의 알프스산 계곡에 연어의 산란에 필요한 모래더미를 파악하고 있다. 이런 사업의 성공에는 한 나라에서도 이해관계가 얽혀서 잘 되지 않는 하천보호문제를 국제적으로 협력하여 풀어나가는 지혜가 뒤따랐다.



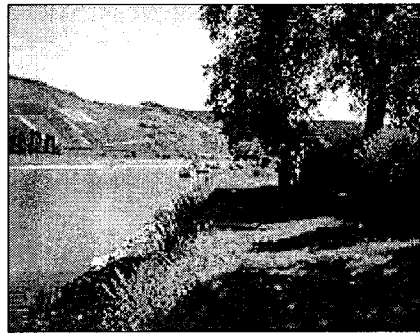
(a) 하천전경



(b) 수변공간활용



(c) 호안전경



(d) 강변조성

〈그림 2-36〉 자연친화적 공법이 적용된 라인강 전경

나. 다뉴브강

다뉴브강은 라인강과 근접하여 독일에서 발원하고 있다. 1872~1874년에 다뉴브강 지류에 직강화공사를 실시하였다. 지난 100여년 동안 이 구간에 하상이 심하게 저하되는 것이 관찰되었다. 그 당시 사행하천을 직선화하면서 하폭도 좁혀지고 경사도 높아진 것이 주원인이 된 것이다. 1972년에 직강화된 이 구간을 1993년 11월에 다시 사행하천으로 개발하였으며 지방관청에서는 25ha의 면적을 확보하여 하천의 진로와 생태계의 실험구간으로 설정하였다. 이 사업의 근본적인 목적으로는 하천의 발달을 위한 공간제공, 지속적인 하상침식 근절, 생태계의 활성화 등을 들 수 있다. 라인강의 경우, 인공적으로 골재를 투하하여 하상균형을 유지한 것과는 달리 다뉴브 강에서는 상류의 하안을 자연적으로 침식시켜 이로부터 발생한 유사를 사용해 하류의 하상저하 현상을 차단하여 하상균형을 유지한다는 의미가 내포되어 있다. 이런 효과를 얻기 위하여 하안이 자연적으로 고정된 것을 모두 헐어내고 홍수때 강물이 스스로 길을 찾도록 한다는 것이 이 사업의 특징이라고 볼 수 있다. 이 때 일어나는 하안 및 하상침식은 사행하천의 특성에 따라 자연스럽게 이루어지며 만곡부 외측에서 일정한 하상깊이를 유지하면서 외곡부 하안이 침식되어 사행하천이 평면선상의 좌우로 진동하듯 발달하게 된다. 이러한 발달과정에서 침식된 하안물질은 하류쪽으로 운반되면서 지난 100년 동안 깊어진 하상을 상승시키는 작업을 하게 된다. 이러한 문제에 접근함에 있어서 무엇보다도 먼저 제기되는 문제는 “사행하천의 진로를 어떻게 선정할 것인가” 하는 것이다. 담보상태인 하상물질 이동이 동결상태에 있던 사행하천 연구와 함께 다시 관심을 끄는 분야가 된 것도 이와 같은 상황의 연장이라고 볼 수 있다.

다. 베를린 실개천

베를린의 북쪽에 1963~1974년 동안 당시의 주택난을 해소하기 위해 주택 단지가 조성되었다. 여기에 약 50,000명의 인구가 살고 있으며 주변의 도로나 배수로 역시 직선형으로 배수로는 하상과 호안이 콘크리트로 처리되었고 생태계는 파괴되어 자정 능력도 상실된 하수도와 비슷한 상황이었다. 때마침 베를린 함브르그의 고속도로가 북쪽의 숲속을 지나가게 되어 많은 시민들이 고속도로 건설에 반대하고 나섰으며 소음과 식생의 분리로 인한 환경파괴를 줄이기 위해 숲을 지나는 고속도로를 대부분 터널화하고, 그로 인한 지하수 문제 및 훼손되는 환경문제를 일부 보완·대체하는 차원에서 베를린 실개천에 대해 자연에 가까운 재개발을 하게 되었다. 자금의 지원처는 독일 연방정부의 교통부였다. 이 사업의 목적을 살펴보면 다음과 같다.

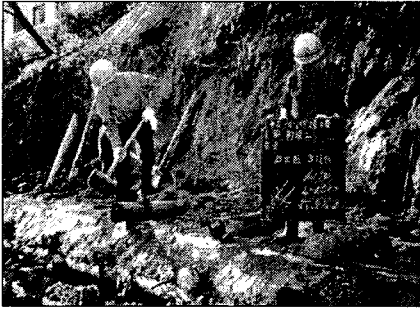
- ① 수질의 생태학적 재생을 위한 전제조건인 도출
- ② 현장조건이 허용하는 범위내에서 실개천 주변에 자연적인 조건을 갖추며
- ③ 파괴된 자연의 회복이 가능하도록 수면과 인접한 면적을 확대하고
- ④ 배수기능에 차질이 없도록 한다.

공사진행방법은 먼저 기존 식생조사, 설계, 시공, 관찰 및 비교 등으로 진행되었다. 개울의 가파른 호안경사를 낮추고 콘크리트 호안 및 하상을 철거하며 직선형의 배수로를 사행으로 바꾸고, 중간 중간 외길 흐름에 새강을 겸비하여 삼각주를 조성하였다. 개울을 따라 기존의 아스팔트 보행로도 모두 철거한 뒤 우수가 땅속으로 스며들게 되도록 구조를 변경하고 일률적인 덤불은 지양하고 간혹 녹지도 조성하였다.

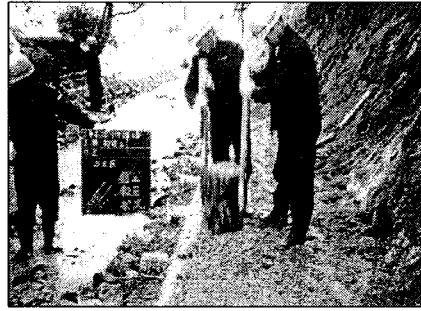
4. 일본

가. 가노천(加納川)

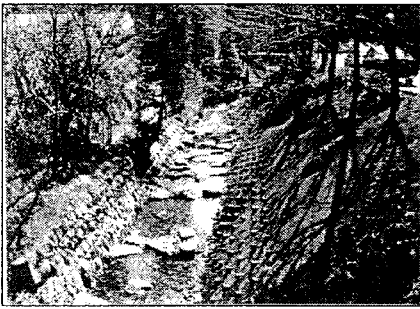
일본의 가노천의 시공사례로서 하폭 5m, 하상경사 1/45, 계획홍수량이 32cms, 하상재료는 모래와 자갈로 구성된 전형적인 소하천이다. 그림 (a)와 (b)는 시공중의 모습을 나타내며, (c)는 말뚝을 박고 가로격자를 만들어 그위에 토사를 채우고 기준의 바탈면과의 밀착을 위하여 버드나무가지를 삽목한다. 그림(d)는 시공후의 모습으로 수개월 내에 식생이 밀생하여 자연하천의 모습을 유지하게 된다.



(a) 시공중



(b) 시공중



(c) 시공후



(d) 시공후

〈그림 2-37〉 가노천 통나무 쌓기공 시공 사례

나. 하부천(土生川)

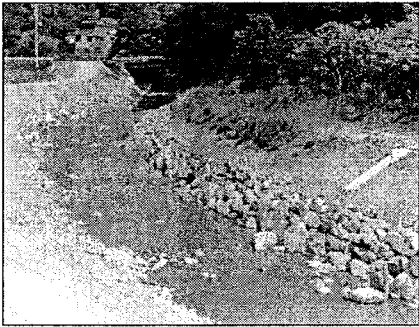
일본의 하부천 시공사례로서 계획홍수량이 80cms, 하천폭이 약 16.9m, 하상경사가 1/200인 자갈과 호박돌로 구성된 하천이다. 그림 (a)는 기존의 하도를 유지할 수 있도록 유의하면서 비탈기슭부에 거석을 배치하는 것이며, (b)는 기초부의 거석위 비탈면에 작은 돌을 순차적으로 쌓고 있는 모습으로 기계시공으로 불가능한 곳에 사람이 적절하게 돌을 배치하고 있는 모습을 나타내고 있다. 사용하는 자연석은 흰색을 사용하지 않도록 하고 가능한 현지의 하상재료와 유사한 색의 돌을 사용하는 것이 좋다. (c)는 시공완료 후의 모습으로 인공적인 모습이 남아 있다. (d)는 시공이후 3개월이 경과한 이후의 경관을 나타낸 것으로 돌 틈에 식재된 버드나무가 성장하고 있고, 비탈면 상단부에는 잡초가 무성하여 자연형상에 가까운 경관을 나타내고 있다.



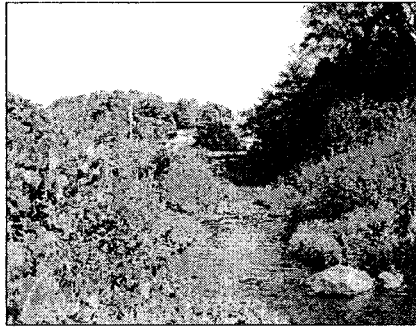
(a) 시공중



(b) 시공중



(c) 시공완료 후

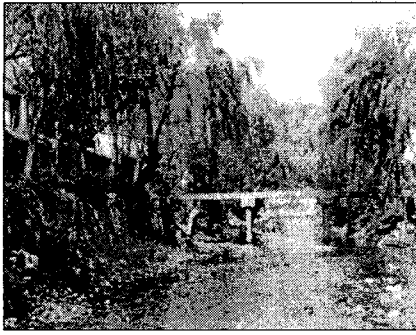


(d) 시공 3개월 후

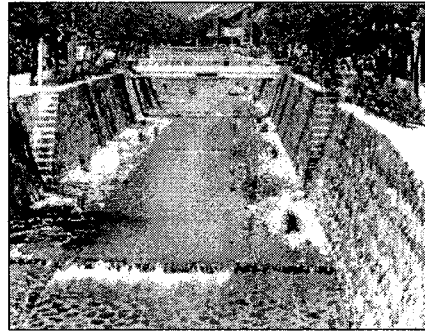
<그림 2-38> 토생천 사석쌓기 호안 시공 사례

다. 이찌노나까천(一の坂川)

일본의 이찌노나까천에 시공된 석축호안의 사례를 나타낸 것이다. (a)는 시공이전의 하천모습으로 호안은 돌쌓기로 구성되어 있으며, 버드나무 등의 식생과 반딧불이 서식하고 있었다. 재해방지의 목적으로 제방을增高하고 과거의 돌쌓기 호안을 보강할 필요가 있어 석축으로 시공을 하였으나 원래의 식생과 수변 곤충을 보호하도록 하는 계획을 수립하여 그림(b)와 같이 개수를 실시하였다. 저수로 반딧불이의 서식환경을 보전하기 위하여 나무말뚝으로 저수로부를 조성하고 쭉과 미나리 등이 둔치에 자랄 수 있게 하였다. (c)는 시공후 20년 이상이 경과한 모습으로 석축으로 호안을 조성하더라도 저수로부와 호안머리부의 식생에 의해 자연미가 있는 하천의 모습을 갖출 수 있음을 보여주고 있다.



(a) 시공전



(b) 시공후

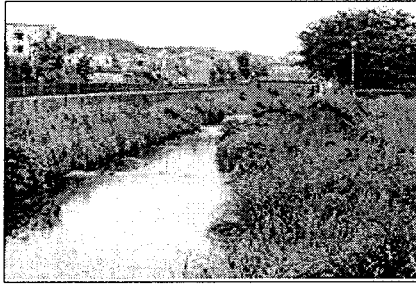


(c) 시공 20년 후

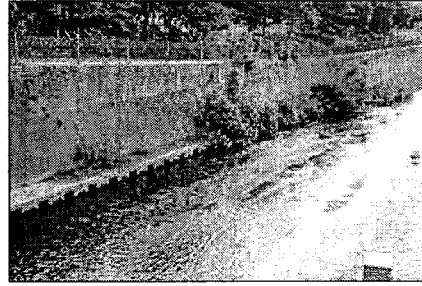
<그림 2-39> 이찌노나까천 석축호안 시공 사례

라. 이따지천(抽川)

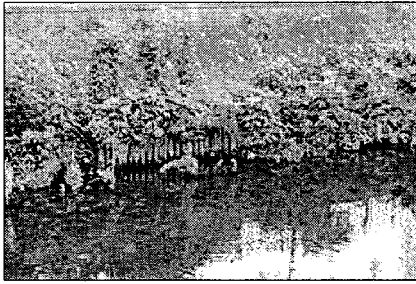
일본의 요코하마 시나가와 사카이천의 지류로서 하폭 30m, 유역면적 1.2km², 유로연장 7.2km의 하천이다. 기존의 직강화된 도시하천을 생태적으로 재생하기 위해서 소와 여울 등을 만들었고, 저수로 하안에 식생의 회복을 위해 직경 15~30cm의 자갈로 완만한 둔덕을 조성하였다. 또한 하도내 중도를 조성하여 야생 조류의 서식처도 조성하였으며 하수도 유입부에 나무말뚝을 박아 유속완화 및 토양유실을 방지하도록 하였다.



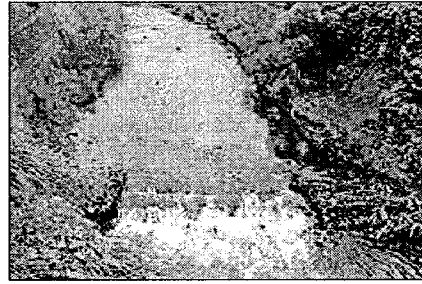
(a) 하천전경



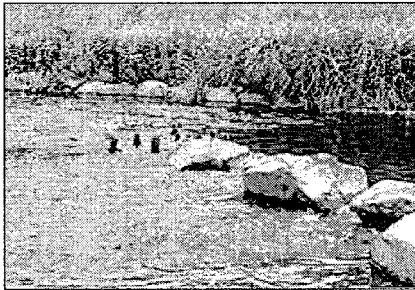
(b) 어도시설



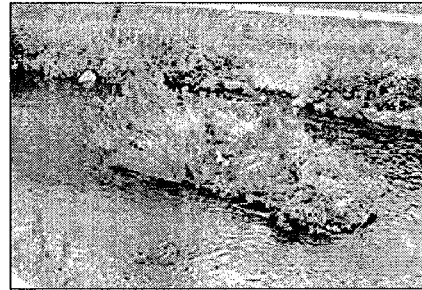
(c) 호안전경



(d) 낙차공 시설



(e) 여울조성

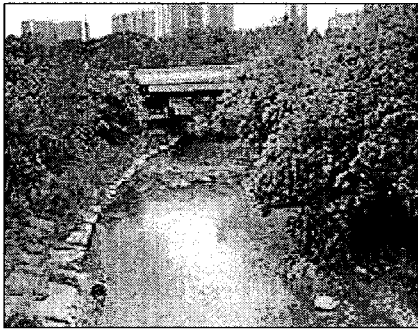


(f) 인공하중도

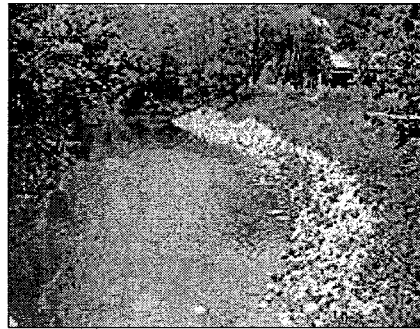
<그림 2-40> 이따지천의 저수로 조성 시공 사례

5. 캐나다

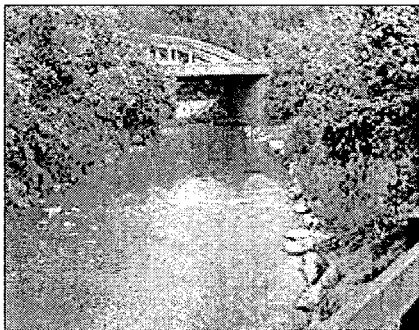
Don river는 토론토시 동북측 온타리오호로 유입되는 도시형 하천으로 유역면적 360km², 연장 35km이다. 이곳의 자연형 하천정비의 배경 및 목적은 훼손된 도시하천 환경을 재생하여 생태적으로 건강한 환경의 조성, 토목공학을 기초로 하는 관행적 도시하천이 아닌 하천의 지형적, 생태적 원칙에 기초한 도시하천의 대안적 방식을 선보임, 악화된 수질의 개선 등이다. 또한 주요 공법으로는 여울 과 소 그리고 어도를 조성하여 하구체계 복원을 복원하였다. 특히 여기의 자연형 하천 정비는 시민단체의 자발적 참여를 통해 진행되었다는데에 큰 의미가 있다.



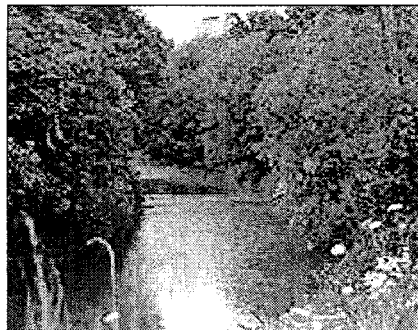
(a) 호안구조 현황



(b) 호안구조 현황



(c) 하천전경



(d) 낙차공 설치 전경

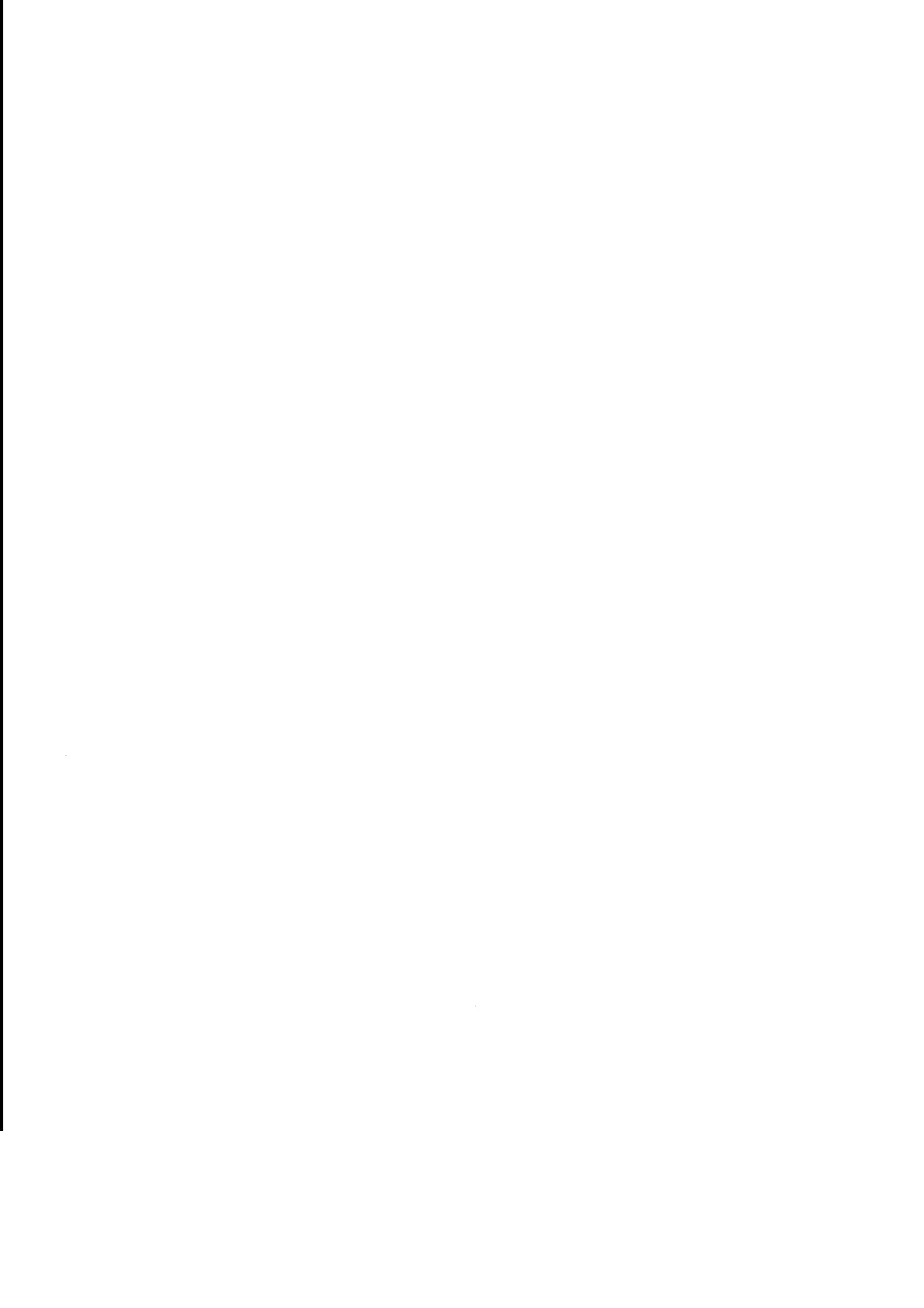
<그림 2-41> Don river의 자연형 하천정비 사례

제3장 친환경적 수로정비사업의 대상지역 선정 기준

1절 용배수로 정비 현황

2절 대상지역 선정을 위한 기준 설정

3절 지역선정을 위한 자료수집 및 분석



제3장 친환경적 수로정비사업의 대상지역 선정 기준

1절 용배수로 정비 현황

1. 현행 용배수로의 정비 현황

농업용수의 공급은 저수지, 양수장, 취입보 등의 수원공 시설로터 평야부 시설인 간선, 지선, 지거 등의 용수로 조직을 통해 농경지에 공급되고, 강우 및 영농관리 상의 잉여수 등은 지거, 지선, 간선으로 구성된 배수로 조직을 통해 배제된다.

이들 용배수로 조직의 대부분은 흙수로로 설치되어 합리적인 물관리 및 시설관리가 매우 어려운 실정이며, 용수로의 경우 총 연장 114,668km의 61%인 69,922km, 배수로는 총 연장 63,990km의 81%인 51,787km가 흙수로로서 기능별, 지역별 특성이 고려되는 정비유형으로 개보수가 필요한 대상이라 할 수 있다.

용배수로의 관리주체별로 보면, 농업기반공사와 시·군이 각각 52.7%, 47.3%를 관리하고 있으며, 세부사항은 <표 3-1>과 같다.

<표 3-1> 용배수로 현황

(단위 :km)

구 분	계	농업기반공사 관할			시·군 관할		
		소계	토공	공작물	소계	토공	공작물
합 계	178,659	94,512	60,644	33,508	84,507	61,064	23,443
용수로	114,669	60,534	32,749	27,785	54,135	37,173	16,962
간선	26,493	15,247	5,850	9,397	11,246	7,473	3,773
지선	36,433	18,056	8,961	9,095	18,377	12,265	6,112
지거	51,743	27,231	17,938	9,293	24,512	17,435	7,077
배수로	63,990	33,618	27,895	5,723	30,372	23,891	6,481
간선	8,977	3,681	2,847	834	5,296	4,036	1,260
지선	19,696	8,557	6,590	1,967	11,139	8,513	2,626
지거	35,317	21,380	18,458	2,922	13,937	11,342	2,595

※ 자료 : 2003년 농업생산기반정비사업 통계연보

2. 현행 용배수로의 정비 추진방향

가. 용배수로 정비 추진방향

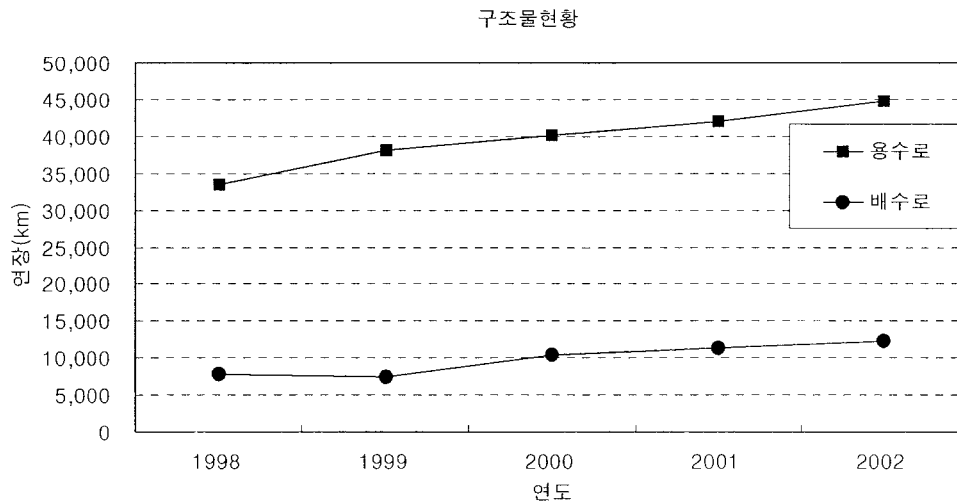
용배수로 정비는 농업용수개발사업, 배수개선사업, 수리시설개보수사업에서 주로 다루고 있다.

농업용수개발사업에서는 수원공의 신규개발에 따른 평야부 개발을 위한 시설로 용수로 및 배수로를 설치 및 정비하고 있으며, 배수개선사업은 상습적으로 침수되는 농경지를 대상으로 홍수시 농작물 피해를 최소화하는 사업으로 대상지역에 배수장, 배수로, 배수문 및 승수로 등 홍수배제시설을 설치하는 사업이며, 배수로 기존 배수로 정비의 대부분은 이 사업으로 정비되고 있다.

수리시설개보수사업은 기존의 용수로를 대상으로 농업용수의 손실과 유지관리의 효율성을 고려하여 흙수로를 콘크리트 현장타설 및 벤치플롭 등으로 구조물화하고 있으며, 배수로는 재해대비 측면에서 정비하고 있으며, 그 대상지역은 매우 제한적이다.

최근 5개년간(1999년~2002년)의 용배수로 정비 추진사항은 <그림 3-1>과 같으며, 용수로는 주로 수리시설개보수사업으로 구조물화가 추진되고 있으며 1998년도를 기준으로 2002년도까지 4개년 동안 11,273km가 구조물화 되어진 것을 알 수 있다.

배수로는 4,360km가 구조물화가 되었으며 대부분 배수개선에서 추진되었다.



<그림 3-1> 최근 용배수로 정비추진현황

나. 현행 용수로 개보수 추진방향

수리시설개보수사업의 평야부 시설 인 용수로 개보수는 수로내에서의 용수손실을 최소화하고, 효율적 유지관리 측면의 개선을 주요목적으로 간선과 지선용수로를 대상으로 다음과 같은 개보수 방안을 기준으로 추진하고 있다.

1) 토공수로

토공수로는 토공수로의 100% 구조물화를 전제로 토공수로 전체가 개보수 대상이며 토공수로와 관련구조물은 그 분포가 광범위하고 설치후 오랜 시간이 경과한 것이 많고 수원공 시설에 비하여 유지관리가 일반적으로 부실하였기 때문에 개보수 수요가 많다. 즉, 토공수로의 개보수는 다음과 같은 측면에서 그 필요성이 인정되고 있다.

- ① 용수사용경쟁이 심화되어 물의 가치가 상승하고 따라서 용수손실의 억제가 필요
- ② 토지가격의 상승으로 흙수로를 개거나 관수로로 바꾸고 남은 토지와 관수로위의 토지를 활용할 필요
- ③ 물관리의 자동화 추세에 따라 용수로의 수준향상
- ④ 농촌 노동력의 감소 등에 따른 유지관리의 곤란으로 유지관리편의를 위해 토공수로를 구조물 수로로 교체
- ⑤ 용수의 수질문제가 심각해지면서 수질보진을 위해 수로의 수준을 향상
- ⑥ 경작방법이나 용수사용 패턴이 변하면서 달라지는 용수수요에 적응할 필요
- ⑦ 구조물시공기술 발달에 따른 구조물수로의 설치 용이

즉, 흙수로를 구조물 수로로 바꾸면 용수절약, 물관리편리, 유지관리편리, 수로변의 농도의 확장 등 많은 이익이 있으므로 용수로의 구조물화는 이제 타당성을 따질 필요도 없는 당연한 것으로 되어 있다.

2) 용수개거

개거는 비교적 안정된 구조물이지만 기간이 오래되면 콘크리트 표면이 열화되고 내부의 철근도 부식되어 토압에 견디지 못하고 안쪽으로 기우는 경우가 생긴다. 또한 토사유입이 많은 개수로는 토사의 퇴적으로 통수에 지장을 받으므로 침사지를 설치하여 토사의 유입을 방지하는 것이 개보수에 포함되어야 한다.

개거의 벽이 안쪽으로 기울어지는 단계에서는 통수단면의 축소가 허용되는 경우 개거의 내측에 버팀콘크리트를 타설하여 더 이상 기울어지지 않도록 보수할 수 있다.

개거의 단면을 확장해야하는 경우에는 기존 개거의 여유고 부분을 통수단면으로 활용하고 여유고를 흙수로 단면으로 더 확보하는 방법도 있다.

3) 용수로의 개보수 대상물량

2000년도에 시행한 수리시설개보수사업 대상지 일체조사는 농업기반공사 관할 수원공과 평야부 시설의 상태를 조사하고 현행 수리시설개보수 추진방향에 따라 그 대상물량과 사업비를 추정하였으며, 그 중 평야부 시설인 용수로의 대상물량 및 사업비는 다음 <표 3-2>와 같다.

<표 3-2> 평야부의 개보수 대상시설물 및 추정사업비 현황

(단 위 : km, %, 백만원)

구 분	공 종	연장			사업비	
		전체	대상	비율	금액	비율
합 계	계	27,440	14,096	51.4	4,961,520	100
	토공수로	10,633	10,633	100	3,562,912	71.8
	개 거	13,374	3,463	25.9	895,393	18.0
	구 조 물	3,433	-	-	503,215	10.2
용수간선	계	13,639	6,394	46.9	2,622,258	100
	토공수로	4,225	4,225	100	1,794,218	68.4
	개 거	7,131	2,169	30.4	448,917	17.1
	구 조 물	2,283	-	-	379,123	14.5
용수지선	계	13,801	7,702	55.8	2,339,262	100
	토공수로	6,408	6,408	100	1,768,694	75.6
	개 거	6,243	1,294	20.7	446,476	19.1
	구 조 물	1,150	-	-	124,092	5.3

<표 3-3> 용수로 중·횡단 구조물의 개보수 공종 내역

구 분	구조물별 개보수 대상수
용수간선	○ 종단구조물 : 수로교(445), 잠관(471), 수로터널(116), 기타(212) ○ 횡단구조물 : 교량(214), 암거(411), 낙차공(184), 제수문(217), 분수문(1,233), 방수문(3600, 기타(134)
용수지선	○ 종단구조물 : 수로교(269), 잠관(467), 수로터널(97), 기타(373) ○ 횡단구조물 : 교량(292), 암거(1,088), 낙차공(568), 제수문(105), 분수문(2,109), 방수문(432), 기타(308)

이들의 시·도별 분포현황은 <표 3-4>와 같으며, 광주·전남지역이 전체의 21%, 대구·경북지역 17%, 대전·충남지역 14%, 서울·인천·경기지역 14%, 전북지역 13%, 부산·울산·경남지역 11%, 충북지역 6%, 강원지역 4% 등의 순서이다.

<표 3-4> 시도별 용수 간·지선 현황

시·도	합 계			용수간선			용수지선			비고
	계	토공	구조물	소계	토공	구조물	소계	토공	구조물	
합계	27,440	10,633	16,807	13,639	4,225	9,414	13,801	6,408	7,393	
서울	22	7	15	5	-	5	17	7	10	
부산	156	116	40	65	48	17	91	68	23	
대구	422	152	270	162	23	139	260	129	131	
인천	218	80	138	84	25	59	134	55	79	
광주	260	159	101	-	-	-	260	159	101	
대전	29	3	26	19	1	18	10	2	8	
울산	204	40	164	100	9	91	104	31	73	
경기	3,560	1,856	1,650	1,825	808	1,017	1,681	1,048	633	
강원	1,041	319	722	615	128	487	426	191	235	
충북	1,738	758	980	1,169	464	705	569	294	275	
충남	3,876	1,613	2,263	2,203	841	1,362	1,673	772	901	
전북	3,631	1,517	2,114	1,183	483	700	2,448	1,034	1,414	
전남	5,492	2,119	3,373	1,951	432	1,519	3,541	1,687	1,854	
경북	4,128	1,262	2,866	2,605	669	1,936	1,523	593	930	
경남	2,668	618	2,050	1,645	292	1,353	1,023	326	697	
제주	49	14	35	8	2	6	41	12	29	

나. 배수로의 개보수 추진방향 및 대상범위

현행 배수로 정비는 주로 배수개선사업에서 추진되고 있으며, 홍수시 발생하는 침수피해를 고려하여 대상지역을 선정하여 추진하고 있다.

배수로는 용수손실을 고려하는 용수로와 달리 강우에 의해 발생하는 배수를 일정시간을 기준으로 배제하는 홍수배제능력이 고려되는 시설로 그 규모가 크고, 산간지, 중간지, 평야지 등 지형적 지역적 조건 등 용수로 보다 정비에 검토되어야 할 사항이 많고 복잡하다.

따라서, 배수로의 정비유형이 용수로와 같이 구조물화를 전제로 이루어지는 것이 아니어서 그 대상물량을 도출하는데 어려움이 있고, 정비 유형도 다양화되어 있어 본 연구에서는 이와 같은 다양한 인자를 고려한 친환경정비에 방안과 공법을 개발하는데 그 역점을 두고 있다.

2절 대상지역 선정을 위한 기준 설정

1. 수로특성에 따른 선정 기준

수로의 특성을 나타내는 목적에 따라 용수로와 배수로로 나눌 수 있으며, 물리적 특징으로는 종단과 횡단으로 구분할 수 있다. 따라서 이러한 수로의 특성을 고려하여 수로의 기능적 요소와 생태적 요소를 구분하여 13개의 선정기준을 제시하였다.

가. 수로의 기능적 요소

- ① 수로 바닥의 폭이 2m 이상이며, 사면경사가 1:1.5 이하인 수로
- ② 바닥경사는 평균 1/200~1/250을 유지고, 길이 1km 정도인 곡류수로
- ③ 상류지역에 일정유량 및 조절이 가능한 용수원이 확보된 수로
- ④ 기존에 홍수시 범람이 없었거나, 통수단면이 계획홍수량에도 안전성이 보장되는 수로
- ⑤ 인접마을의 오폐수가 별도의 배수로로 배제되는 수로
- ⑥ 가능한 한 흙수로이며 퇴적량이 적은 수로

나. 생태적 요소

- ① 기존의 수로에 갈대나 부들, 억새 등의 수질정화능력을 갖는 식물이 자라며, 제방부에 버드나무나 느티나무 등의 수종이 서식하는 수로
- ② 용수로의 상류지역에 자연습지나 인공연못이 있는 수로
- ③ 주변의 자연이 비교적 잘 보존되어 있거나 기존의 생태계와 연결성을 지닌 수로
- ④ 수로내의 유량이 비교적 일정하게 유지될 수 있는 수로
- ⑤ 기존의 수로 내에 어류가 서식하고 있거나, 상류나 하류부분에 어류가 서식하고 있는 자연하천이 위치한 수로
- ⑥ 차도로부터(농로제외) 30m 이상 떨어진 수로
- ⑦ 상류지역에 특정 오염원이 없는 수로

2. 주변지역의 특성에 따른 선정 기준

수로의 친환경적 정비에서는 단순히 수로의 기능 향상 뿐만 아니라 지역주민들의 휴식공간, 즉 친수활동을 할 수 있는 여러 가지 시설을 설치할 수 있다. 이에 따라 대상지역의 선정시에 주변지역의 특성을 고려해야 한다. 따라서 본 연구에서는 주변지역을 특성을 주민의 친수활동적 요소와 개발의 용이성으로 구분하여 13개의 선정 기준을 제시하였다.

가. 친수활동적 요소

- ① 인접마을에서 300m 이내에 위치하거나, 마을 내를 통과하는 수로
- ② 지역주민들의 주요 통행로와 인접한 수로
- ③ 마을의 가구수가 50가구 이상인 지역
- ④ 수변 및 수변시설에서 휴식을 취하며 원경을 감상할 수 있는 지역
- ⑤ 인근에 초등학교나 어린이 놀이시설이 있는 지역
- ⑥ 해당유역에 새로운 사업이나 공장이 신축되지 않을 지역
- ⑦ 주변에 약취나 다량의 오염물 발생시설이 없는 지역

나. 개발의 용이성

- ① 주민들의 대다수가 친환경적 수변공간 시설의 유치를 희망하는 지역
- ② 사업시행시 계획과 유지관리에 대한 지역주민의 참여의지가 높은 지역
- ③ 마을구성원 중 해당지역의 장기거주자가 많은 지역
- ④ 마을에 청년회나 마을발전추진위원회 기타 유사한 단체가 있거나
이미 마을단위의 사업을 시행한 경험이 있는 지역
- ⑤ 주민들간의 화합이 잘되며, 정기적인 마을행사가 있는 지역
- ⑥ 대상수로 부근에 개간 등의 신규개발이 없는 지역

3절 지역선정을 위한 자료수집 및 분석

1. 예비 조사

가. 설문조사

현재 운용되고 있는 용배수로의 친환경 정비지역의 우선순위를 조사 분석하기 위하여 농업기반공사 강진완도지부, 강화지부, 고창지부, 고흥지부, 곡성지부, 공주지부, 구례지부, 금강지부, 남원지부, 논산지부, 당진지부, 동진지부, 무안신안지부, 보령지부, 보성지부, 부여지부, 서천지부, 수화홍안지부, 순창지부, 순천광양여수지부, 서산지부, 안성지부, 연기대금지부, 연천포천지부, 영광지부, 영산강지부, 영암지부, 예당지부, 온양지부, 장흥지부, 전북지부, 전주지부, 진도지부, 천안지부, 청양지부, 한강지부, 해남지부, 홍성지부(가나다순) 총 38개 지부를 조사대상으로 설정하여 설문지를 할당하였다.

설문 항목에 대해서는 각 지부별로 관할 수로 중 단면이 크고, 마을 앞을 통과하거나 주변환경이 좋은 수로 2~3개를 선정하여 설문에 응답하도록 하였으며(총 172개 수로가 조사됨) 조사는 농업기반공사 본사가 설문지를 각 지부에 발송한 뒤, 다시 회수하는 방법으로 이루어 졌다.

설문지 작성 내용은 주관식과 객관식을 혼합한 형태로 총 21문항으로 구성하여 수로의 특성에 관한 문항 13개와 각 지부의 유지관리, 친환경적 정비에 관련된 사항 9문항으로 구성하였다.

나. 조사결과의 분석

1) 수로의 기능 및 규모에 대한 사항

조사대상 수로는 기능별로 용수로(A1) 86개, 배수로(A2) 81개, 용배수로(A3) 5개 소로 나타났으며 수로의 규모는 저폭 평균을 기준으로 하여 2m 이하(B1) 95개, 2m~4m(B2) 38개, 4m 이상(B3) 39개로 조사되었다. 또한 수로를 구성하고 있는 재료의 특성별 조사를 실시한 결과 구성재료는 흙수로(C1) 106개, 콘크리트수로(C2) 50개, 기타 수로관, 잠관 등(C3)이 16개로 조사되었으며 용수로, 배수로의 총 수에서 비해 정비가 이루어진 비율이 10%미만으로 조사되어 정비 가능 흙수로의 갯수가 많음을 나타내고 있다.

수로의 수심은 건천(D1) 29개, 1~10cm(D2) 62개, 10~20cm(D3) 26개, 20cm 이상(D4) 55개로 조사되었으며, 형태는 단단면(E1) 157개, 복단면(E2) 15개로 조사되어 대부분의 수로가 단단면 형태인 것으로 조사되었다. 또한 수로 바닥부의 구성재료에

대한 조사결과 자갈(F1) 10개, 모래(F2) 25개, 진흙(F3) 127개, 콘크리트(F4) 9개로 조사되어 대부분의 수로바닥이 진흙임을 나타내고 있다.

<표 3-5> 수로의 기능 및 규모에 대한 설문 결과

기 호	설 문 내 용	구 분	빈 도(개)	비 율(%)
A	기능	용수로 (A1)	86	50.00
		배수로 (A2)	81	47.09
		용배수로 (A3)	5	2.91
B	규모	저폭 평균 2m 이하 (B1)	95	55.23
		저폭 평균 2~4m (B2)	38	22.09
		저폭 평균 4m 이상 (B3)	39	22.67
C	구성재료	흙수로 (C1)	106	61.63
		콘크리트수로 (C2)	50	29.07
		기타 (C3)	16	9.30
D	수심	건천 (D1)	29	16.86
		1~10 cm (D2)	62	36.05
		10~20 cm (D3)	26	15.12
		20 cm 이상 (D4)	55	31.98
E	형태	단단면 (E1)	157	91.28
		복단면 (E2)	15	8.72
F	바닥	자갈 (F1)	10	5.81
		모래 (F2)	25	14.53
		진흙 (F3)	127	74.42
		콘크리트 (F4)	9	5.23

2) 수로의 생태계 및 경관에 대한 사항

수로의 수질은 매우 깨끗함(G1) 20개, 약간 깨끗함(G2) 69개, 약간 더러움(G3) 79개, 매우 더러움(G4) 4개로 조사되었으며, 수로내 생물 서식에 관한 설문 결과 어류의 경우 수로에서 발견되는 어류는 없다(H1) 57개, 1~2종(H2) 62개, 3종 이상(H3) 42개로 조사되었다. 종(種)별로는 붕어, 미꾸라지가 가장 많았으며, 피라미, 메기, 장어, 잉어 등도 보고되었으나 이는 용수원 특성상 인접 저수지에서의 유입에 따른 것으로 볼 수 있다. 수로주변에서 발견되는 조류(鳥類)의 유무에 대한 항목에 대해서는 없다(I1) 56개, 1~2종(I2) 62개, 3종 이상(I4) 53개로 조사되었다. 종(種)별로는 참새, 까치, 오리, 청둥오리 등이 많았으며, 꿩, 해

오라기, 까마귀, 두루미 등도 보고되었다. 조사 시기에 따라 종의 변화가 있을 것으로 판단되어 조사시기 이전 1년동안 발견되었던 조류에 대하여 조사하였다.

수로의 위치는 산간부(J1) 11개, 농경지(J2) 30개, 주택지(J3) 4개, 기타(J4) 13개로 조사되었고 수로주변의 시설물에 대해서는 중복체크를 허용하였으며 학교(K1) 29개, 놀이터(K2) 2개, 공장(K3) 9개, 농장(K4) 79개, 기타 주택, 과수원, 하천 등(K5)이 79개 조사되었다.

<표 3-6> 수로의 생태계 및 경관에 대한 설문 결과

기 호	설 문 내 용	구 분	빈 도(개)	비 율(%)
G	수질	매우 깨끗함 (G1)	20	11.63
		약간 깨끗함 (G2)	69	40.12
		약간 더러움 (G3)	79	45.93
		매우 더러움 (G4)	4	2.33
H	어류	없다 (H1)	57	33.14
		1~2종 (H2)	62	36.05
		3종 이상 (H3)	53	30.81
I	조류	없다 (I1)	56	32.56
		1~2종 (I2)	74	43.02
		3종 이상 (I3)	42	24.42
J	위치	산간부 (J1)	25	14.53
		농경지 (J2)	120	69.77
		주택지 (J3)	14	8.14
		기타 (J4)	13	7.56
K	주변시설	학교 (K1)	29	14.65
		놀이터 (K2)	2	1.01
		공장 (K3)	9	4.55
		농장 (K4)	79	39.90
		기타 (K5)	79	39.90

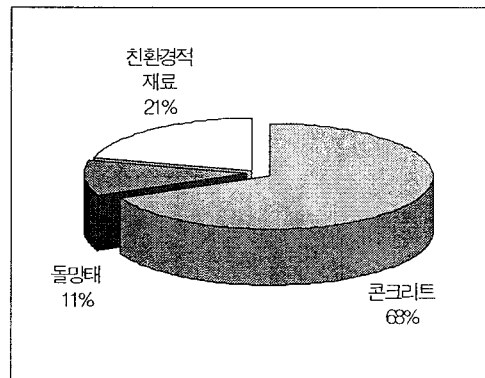
3) 수로의 친환경적 정비 관련 조사

각 지부별로 친환경적인 개념을 도입해서 설계 또는 시공한 수로가 있는가를 묻는 질문에 대해 38개 지부 중 9개 지부가 있다고 답했으며, 친환경적 수로의 장점으로 는 주변환경과의 조화, 생태계 보호 등을 꼽았으며, 반면 친환경적 수로를 도입할 때

의 단점으로는 시공비의 증가, 수로내 식생 과다생장 및 토사퇴적 등 유지관리의 문제점을 우려하고 있어 이를 보완할 수 있는 기술의 개발이 필요할 것으로 판단된다. 각 지부의 관할 수로를 개보수 할 때에 적합하다고 생각하는 재료를 묻는 질문에 대해서는 38개 지부중 26개 지부가 콘크리트 재료를 선호했으며, 4개 지부가 돌망태를, 8개 지부가 기타 친환경적 재료(식생콘크리트, 환경블록, 자연석, 나무, 식물 등)를 선호한 것으로 조사되었으며, 이는 유지관리나 개보수, 홍수에 의한 수리학적 안정성에 대하여 비교적 유리한 콘크리트 재료의 선호가 여전히 높음을 알 수 있으며, 생물 서식처 제공 및 생태계 보전성과 친수성 등 친환경적 정비 효과에 대한 홍보가 중요할 것으로 판단된다.

<표 3-7> 선호하는 개보수 재료

항 목	빈도	비율 (%)
콘크리트	26	68.42
돌망태	4	10.53
기타 친환경재료 (식생콘크리트, 자연석, 생물재료 등)	8	21.05



4) 지역선정 기초자료 활용

수로의 기능 및 규모에 대한 설문 결과를 이용하여 수로의 규모가 저폭 평균 4m 이상이고(B3), 흙수로이며(C1), 수심이 10cm 이상(D3, D4)인 것을 친환경적 공법을 적용할 수로의 기본조건으로 하였으며 수로의 생태계 및 경관에 대한 설문 결과중 수로의 수질(G), 어류(H)와 조류(I)의 서식여부, 촌락이나 학교 등의 유무를 수로 선정에 참고자료로 이용하여 조건을 검토하여 22개 수로를 친환경적 공법을 적용할 수로 후보로 선정하였으며, 수로가 위치한 지역에 대하여 지표를 설정, 자료의 통계 평가를 수행하는데 활용한다.

<표 3-8> 선정된 수로와 수로의 특성

지부명	수로명	규모(m) 저폭, 상폭	수심 (cm)	수질	어류	조류	주변환경	비고
금강	석봉배수로	6, 10	20이상	약간 더러움	3종 이상	3종 이상	농지	
논산	변곡 중앙배수로	11, 14	20이상	약간 깨끗함	3종 이상	3종 이상	농지, 학교	
	남산중앙배수로	4.5, 12.5	20이상	약간 깨끗함	3종 이상	2종	농지	
당진	진관1지구 중앙배수로	11, 21	20이상	약간 더러움	2종	없음	농지	
	조흥지구 배수지선	13, 20.5	20이상	약간 더러움	2종	없음	농지	
	초락지구 중앙배수로	10, 16	20이상	약간 더러움	2종	없음	농지	
무안신안	신촌배수로	6.5, 11.5	20이상	약간 깨끗함	3종 이상	3종 이상	농지, 마을	
	소포배수로	26, 29	20이상	약간 깨끗함	3종 이상	3종 이상	농지, 마을	
	영화배수로	27, 31	20이상	약간 깨끗함	3종 이상	3종 이상	농지, 마을	
보령	대천간척3호 배수간선	14, 19	20이상	약간 더러움	3종 이상	2종	농지	
	남포신간척지 배수로	9, 14	20이상	약간 더러움	3종 이상	2종	농지	
	수부배수로	7, 9	20이상	약간 더러움	2종	1종	농지	
서산	원북지구 배수로	19, 24	10~20	약간 더러움	1종	없음	농지, 학교	
	미포저수지 중앙배수로	8, 9	20이상	약간 더러움	없음	2종	농지, 주택	
예당	탄중 중앙배수로	15, -	10~20	약간 더러움	3종 이상	3종 이상	농지, 과수원	
	예당 용수간선	15, 28	20이상	약간 깨끗함	3종 이상	3종 이상	농지	용수로
온양	역리배수간선	6, 18.75	10~20	약간 깨끗함	2종	없음	농지	
장흥	월계지구 지천배수간선	6, 20	10~20	약간 더러움	3종 이상	3종 이상	농지, 주택	
	관산2지구 중앙배수간선	12, 35	20이상	약간 깨끗함	3종 이상	3종 이상	농지, 주택	
	관덕지구 중앙배수간선	15, 35	20이상	약간 더러움	3종 이상	3종 이상	농지, 주택	
전북	요곡1간선	9, 14	10~20	약간 더러움	3종 이상	1종	농지, 학교, 주택	용배수로
진도	창유제 중앙배수로	9, 9.5	10~20	약간 더러움	3종 이상	없음	농지	

2. 자료수집 및 분석방법

가. 자료수집

지역선정의 분석자료로서 사용하기 위하여 조사한 자료는 기초분석에 의해 선정된 농업기반공사에서 관리하고 있는 용배수로 22곳을 설문조사대상으로 하였다.

자료수집은 먼저 문헌조사와 전문가 토의를 거쳐 각각의 항목과 지표를 연구목적에 따라 분류하여 4개부분의 26개 항목으로 구성된 현장조사용 조사양식을 제작하였으며, 각각의 평가항목은 다음과 같다.

수로의 기능적인 요소는 해당수로가 수로의 기본기능인 이·치수기능을 원활히 수행할 수 있는지의 여부와 홍수시 수로의 안정성을 판단하기 위한 항목으로 구성되어 있으며, 생태적인 요소는 친환경적인 수변공간을 조성하기 위한 해당지역의 기존의 생태계현황과 친환경적인 수변공간의 조성 가능성을 알아보기 위한 항목으로 이루어져 있다.

그리고 친수활동적 요소는 친환경적 수변공간조성에 따른 지역주민들의 친수활동을 극대화시키기 위하여 수로의 위치나 주변의 시설들을 조사하기 위한 항목들로 구성되어 있으며, 사업시행을 판단하는 항목들은 수변공간조성에 따른 지역주민들의 참여도와 향후 자발적인 유지관리 가능성을 판단하기 위한 항목들로 이루어져 있다.

제작된 조사양식은 2002년 10월에 전국의 농업기반공사 지부에 발송하여 현지에서 수로의 관리를 담당하고 있는 실무자들에 의해 해당수로의 현장방문조사를 통하여 조사지의 항목에 답변하도록 하였다. 조사된 자료들은 발송에서 회수까지 30일이 소요되었다.

나. 조사결과에 따른 대상 지역의 평가항목 설정

평가부문은 수로의 기능성과 생태적 측면 그리고 친수활동성과 지역주민 참여도를 평가부문으로 선정하였다. 또한, 대상수로를 평가하기에는 기술적인 면도 많이 필요하겠지만 외형적으로 보이는 판단과 기록상의 자료를 활용하여 특별한 기술이 없는 사람도 가능하게 평가 항목을 선정하였다.

평가 세부항목은 객관성이 유지되고 단순하여 효율적이고, 경제적 항목 등 정량적으로 나타낼 수 있는 항목에 대하여 선정하였다.

<표 3-9> 대상지역선정 평가항목(지표)

평가부분	항목수	평가항목	비고
수로의 기능적 요소	6	<ul style="list-style-type: none"> - 수로의 하폭이 2m이상이며, 사면경사가 1:1.5이하인 수로 - 바닥경사는 평균 1/200 - 1/250를 유지하는 길이 1km정도인 곡류수로 - 상류지역에 일정유량 및 조절이 가능한 용수원이 확보된 수로 - 기존 홍수시 범람이 없었거나, 통수단면이 계획홍수량을 감안할 때 홍수로부터 안전성이 보장되는 수로 - 인접마을의 오폐수가 별도의 배수로로 배제되는 수로 - 수로의 형태가 되도록 흙수로이며 퇴적량이 적은 수로 	
생태적 요소	7	<ul style="list-style-type: none"> - 기존의 수로에 갈대나 부들, 억새 등의 수질정화능력을 지닌 식물이 자라며, 제방부에 버들나무나 느티나무 등의 수종이 서식하는 수로 - 용수로의 상류지역에 자연습지나 인공연못이 있는 수로 - 주변에 비교적 자연적인 보존상태가 양호하거나 기존의 생태계 연결성을 지닌 수로 - 수로내의 유량이 비교적 일정하게 유지될 수 있는 수로 - 기존의 수로내에 어류가 서식하고 있거나, 상류나 하류부분에 어류가 서식하고 있는 자연하천이 위치한 수로 - 차도로부터(농로제외) 30m 이상 떨어진 수로 - 상류지역에 특정 오염원이 없는 수로 	
친수 활동적 요소	7	<ul style="list-style-type: none"> - 인접마을에서 300m이내에 위치하거나, 마을내를 통과하는 수로 - 지역주민들의 주요 통행로와 인접한 수로 - 마을 호수가 50호 이상인 지역 - 수변 및 수변시설에서 휴식을 취하며 원경을 감상할 수 있는 지역 - 인근에 초등학교나 어린이 놀이시설이 있는 지역 - 해당유역에 새로운 사업이나 공장이 신축되지 않을 지역 - 주변에 악취발생시설이나 다량의 오염물발생시설이 없는 지역 	
사업시행 적요소	6	<ul style="list-style-type: none"> - 주민들의 대다수가 친환경적 수변공간 시설의 유치를 희망하는 지역 - 지역주민이 사업시행시 계획과 유지관리에 참여의지가 높은 지역 - 마을구성원 중 해당지역의 장기거주자가 많은 지역 - 마을에 청년회나 마을발전추진위원회 기타 유사한 단체가 있거나 이미 마을단위의 사업을 시행한 경험이 있는 지역 - 주민들간의 화합이 잘 되며, 정기적인 마을축제가 있는 지역 - 대상수로 부근에 개간 등의 신규개발이 없는 지역 	

다. 분석기법의 검토 및 선정

지금까지 국내에서 농촌지역의 수로를 대상으로 하여 친환경적으로 조성하기 위한 지역을 선정하는 방법에 대해서는 연구되어진 자료는 없다. 그러므로 현재 지역개발과 소하천정비를 위한 지역선정이나 투자우선순위를 결정하는데 사용되어온 방법들과 외국에서 사용되고 있는 방법들을 참고로 하여 지표선정과 분석을 실시하였다.

현재까지 개발되어 사용되고 있는 방법은 대략 주관적인 평가접근법, 경제적 접근법, 평가적도접근법 등으로 대별되고 대표적인 평가기법으로는 편익·비용분석, 계획대차대조표법, 목표성취행렬법 등이 있으나 평가되는 변수의 한계와 계량화 문제 등으로 모두 다소간의 기술적 문제가 있어 아직 완벽한 평가방법으로는 인정되지 않고 있다. 그리고 지금까지 사용된 분석방법은 대부분 광범위한 지역에서 복합적인 사업이 동시에 시행되는 경우에 사용되며 시행사업간의 비교와 상호연관관계에 대한 많은 분석을 수행하고 있어서 다량의 현장수집자료와 복잡한 분석기법을 필요로 하고 있다.

그러나 친환경적 수로정비사업의 경우는 국한된 지역에서의 독립적인 사업을 수행하는 사업적 성격과 현장 실무자들의 사용편의 등을 고려하여 사업의 규모·특성에 적합하다고 판단되는 방법을 선택하였다. 그 결과 단순점수부여법, 주관적 평가접근법, 체크리스트 기법의 3가지 방법을 선택하였으며, 보다 객관적이고 정확한 분석을 위하여 동일한 조사자료를 이용하여 분석하였으며 이들 방법간의 결과를 비교·검토하였다.

1) 단순점수부여법

단순히 조사항목의 유·무에 따라 점수를 부여하는 방법으로서, 조사항목에 해당하는 경우는 1점을 해당사항이 없을 경우는 0점을 부여하여 가능한 총 획득점수는 26점이다. 항목당 부여되는 가중치는 없으며, 결과 분석방법이 매우 간단하다. 그러나 항목별 중요도에 관계없이 동일점수를 획득하게 되므로 동일점수 획득지역이 많아 이 경우 지역선정에 다소 무리가 있다.

2) 주관적 평가접근방법

주관적 평가접근 방법의 경우 조사된 항목에 단순점수 부여방법에서 사용한 방법과 동일하게 1차 점수를 부여한 다음, 각각의 항목마다 중요도에 따라 가중치를 부여하여 순위를 결정하는 방법이다. 이경우도 1차적으로는 조사항목에 해당하는 항목이 많은 지역일수록 해당사항이 적은 지역에 비하여 높은 점수를 얻게되지만 동일한

점수를 획득한 지역간에도 항목의 중요도에 따라 부여되는 가중치가 다르게 적용되므로 총합산 점수는 서로 다르게 된다. 그러므로 동일한 해당 항목수를 가진 지역간에도 순위가 달라지므로 보다 적합한 지역을 선정할 수 있다는 장점이 있다.

3) 체크리스트 기법

체크리스트 기법은 지역간의 우선 순위를 결정할 때, 상위 기준을 설정하고 각 기준에 해당되는 하위 지표들을 채택한 다음, 각 부분에 대하여 각 기준별 지표의 평가치를 산정, 지표별 가중치에 의해 합산하여 이를 각 부분별 항목끼리 비교하여 우선 순위를 결정하는 방법이다. 이 기법은 개발사업의 우선 순위 결정에 있어 고려해야 할 요인이 여러 가지일 때 많이 이용되는 기법으로 편익·비용분석법에 비하여 다양한 우선 순위 결정기준이 고려되고 계산방법이 간편하다는 장점이 있는 반면 개발사업별로 상이한 결정기준이나 지표가 채택될 경우 서로 다른 개발사업간의 직접적인 우선 순위 비교는 곤란하다는 단점이 있다.

그러나 친환경적 수로조성사업의 경우, 타사업과의 연계성검토는 필요하나 이것이 비교대상은 아니므로 분석에 있어서 별다른 영향을 미치지 않으므로 별다른 문제가 되지는 않는다. 또한 체크리스트 기법을 이용할 때에는 평가척도를 일정 범위의 점수를 매김으로써 모든 지표에 대하여 단위가 동일하게 나타나도록 하는 것이 일반적이다.

일반적으로 널리 쓰이는 표준화점수로는 Z-Score와 T-Score가 있는데 두 가지는 서로 본질적으로는 같은 개념의 것으로 T-Score는 Z-Score에 합(尙)과 승(乘)을 통하여 보정한 측정치이다. 여기에서는 Z-Score를 이용하기로 한다. 각 사업의 우선 순위 결정기준으로 채택된 각 평가지표마다 동일 사업에 속한 모든 사업지구의 평가 지표값에 대한 평균값과 표준편차를 이용하여 각 사업지구들의 표준화점수(Z-Score)를 구한다.

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \mu_j}{\sigma_j}$$

여기에서, Z_{ij} = i 지구의 평가지표 j에 대한 표준화점수

X_{ij} = i 지구의 평가지표 j에 대한 측정치

μ_j = 평가지표 j에 대한 동일사업 지구들의 평균치

σ_j = 평가지표 j에 대한 동일사업 지구들의 표준편차

이 표준화점수에 평가 항목별로 설정된 가중치를 곱하여 합산한 것이 해당 사업지구의 총표준화점수가 되며 총표준화점수의 값이 높을수록 우선 순위가 높은 사업지구가 된다.

$$Z_i = \sum_{j=1}^n (W_j \times Z_{ji})$$

여기에서, $Z_i = i$ 지구에 대한 총표준화점수

W_j = 평가지표 j에 대한 가중치

라. 분석기법별 가중치 부여

해당수로의 조사를 위하여 제작된 조사양식의 항목은 친환경적 수로조성을 위하여 필요한 사항들로 구성되어 있으므로 조사항목을 모두 만족하는 조사지역일수록 친환경적 수로조성에 적합한 곳으로 나타나게 되는 것이다. 단지 각각의 항목은 중요도의 차이가 있을 뿐이며 현장 조사시 배열순서에 의해 조사에 미치는 영향을 배제하기 위하여 항목의 배열은 무작위순으로 하였다. 조사된 자료는 분석방법에 따라 다른 방법으로 가중치를 부여하였다.

1) 주관적 평가접근방법

주관적 평가접근방법의 경우는 대상수로를 조사하기 위한 조사양식을 제작시 미리 조사항목마다 중요도를 두어 이에 따라 가중치를 부여하였다. 그러나 아직까지 정선적인 방법에 가중치를 부여하는 방법은 대부분 전문가의 의견을 종합하거나 시행된 선례를 기초로 하여 부여하고 있다. 그러므로 본 연구에서도 이와 같은 방법을 이용하여 가중치를 부여하였다. 단순점수 부여방법에 의해 획득한 점수를 기준으로 하여 중요도에 따라 A, B, C로 나누어 등급에 따라 1.5, 1.0, 0.5점의 가중치를 부여하였다.

가중치에 따라 부여된 점수나 차이는 일반적으로 분석방법에서 3등급으로 분류하였을 때 사용되는 점수를 이용하였으며 점수나 차이에 따른 다른 의미는 없다. 등급을 나누는데 있어서는 각 요소에서의 중요도에 따른 평가를 하였으며 다른 요소들과의 비교나 중요도는 서로 상관관계가 없으며, 요소별 전체 가중치를 부여하지 않았으므로 요소별 문항수는 전체 합산점에 영향을 끼치지 않는다. 사용된 항목별 가중치와 부여근거는 <표 3-10>~<표 3-13>과 같다.

<표 3-10> 기능적 요소

항목번호	가중치	부여근거	비고
1	C	기존수로 이용이 유리하나 설계에 따른 변경가능	
2	C	기존수로 이용이 유리하나 설계에 따른 변경가능	
3	A	평상시·홍수시 유량조절능력을 고려함	
4	A	홍수시 수로의 안전성을 최우선으로 고려함	
5	B	수로의 수질을 고려함	
6	B	유지관리측면을 고려함	

<표 3-11> 생태적 요소

항목번호	가중치	부여근거	비고
7	C	기존수종을 이용하는 것이 유리하지만 필요에 따라 식재의 이식이 가능함	
8	B	기존에 자연습지가 조성되어 있는 경우 유리하나 필요에 따라 수로내 조성이 가능함	
9	A	보존상태가 우수한 기존의 생태계는 친환경적 수로 조성에 최우선 요소임	
10	B	생태계 유지에 필요하며 수리시설물 추가 등으로 유량조절이 가능함	
11	A	수로조성 이후 생태계 조성에 중요하게 작용함	
12	C	생태계 보존을 위하여 소음발생량이 적은 것이 유리하나 통행량에 따라 영향이 변함	
13	B	수질보존을 위하여 필수적이며 오염발생량에 따라 상류에서 배제가 가능함	

〈표 3-12〉 친수활동적 요소

항목번호	가중치	부여근거	비고
14	A	마을로부터 수로의 거리는 주민들의 친수활동에 결정적인 요소로 작용함	
15	B	수로의 자연스러운 접근이 가능하고 이용도를 높일 수 있으나 반드시 주요 통행로일 필요는 없음	
16	B	이용자 수가 일정인원 이상이 되어야 하지만 너무 많은 경우도 유지관리에 문제가 발생함	
17	C	휴식공간의 한 요소로 중요하지만 필수요소로는 작용하지 않음	
18	A	친환경적 수로조성 이후 놀이공간이나 자연학습장으로서 이용할 수 있는 연령층의 존재가 중요함	
19	C	수질악화에 따른 친수활동의 방해요소로 작용하지만 행정당국의 의지에 따라 조절이 가능하고 지역선정시 충분한 사전조사로 배제가 가능함	
20	A	친수활동에 있어서 탁도나 악취는 절대적인 방해요소로서 작용함	

〈표 3-13〉 사업 시행적 요소

항목번호	가중치	부여근거	비고
21	A	해당수로 지역주민들의 친환경적 수로조성에 대한 요구도는 매우 중요한 요소임	
22	A	사업수행의 원활한 추진과 민원발생의 감소가 가능하며 향후 유지관리측면에서도 유리함	
23	B	지역에 대한 애항심이 높아서 점차적인 시설물에 대한 관심도가 높아질 수 있음	
24	B	사업시행에 있어서 주민들의 의견수렴이 용이하고 참여도가 높음	
25	C	시설물 이용도를 높일 수 있으나 필수요소는 아님	
26	C	새로운 설계변경의 요소로서 작용하나 지역주민이나 행정관청의 조절이 가능함	

2) 체크리스트 기법

체크리스트 기법의 가중치 부여는 주관적 평가접근법에서 사용된 주관적인 가중치 부여방법과는 달리 조사된 항목들간의 빈도 분석을 통하여 빈도에 따른 가중치를 부여하였다.

이러한 가중치의 부여는 분석자의 주관이 배제된 가중치로서 단순히 조사된 해당 항목의 빈도에 따라 가중치를 부여하였으므로 항목마다 조사된 자료에 의한 객관적인 가중치를 부여 할 수 있다. 빈도분석은 SPSS 10.0버전을 사용하였으며, 가중치는 빈도의 역수로서 항목마다 부여되었다. 주어진 가중치는 <표 3-14>와 같다.

<표 3-14> 체크리스트 기법에 부여된 가중치

항목번호	빈도(%)	가중치	항목번호	빈도(%)	가중치
1	77.3	2.27	14	50	5.0
2	63.6	3.64	15	72.7	2.73
3	86.4	1.36	16	86.4	1.36
4	77.3	2.27	17	63.6	3.64
5	50	5.0	18	54.5	4.55
6	63.6	3.64	19	77.3	2.27
7	72.7	2.73	20	27.3	7.27
8	45.5	5.45	21	54.5	4.55
9	68.2	3.18	22	40.9	5.91
10	27.3	7.27	23	31.8	6.82
11	36.4	6.36	24	54.5	4.55
12	72.7	2.73	25	54.5	4.55
13	40.9	5.91	26	63.6	3.64

3. 지역선정 우선순위 결정

가. 주관적 평가접근법에 의한 지역순위

주관적 평가접근법을 대상수로별 순위를 계산해 본 결과 표 3-6과 같이 경남 의령 지부가 24점, 경남김해·양산지부가 23.5점을 획득하여 친환경적 수로정비사업에 가장 적합한 지역으로 선정되었다.

최하위점수를 받은 지역은 충남보령과 경기도 파주지역으로서 5점을 획득하여 점수차이가 18.5점의 차이를 보였다. 상위 30%에 드는 지역은 단순점수부여방법에서의 순위와 별다른 차이를 보이고 있지 않으며 이 지역들간의 점수차도 4점으로 근소한

차이를 보이고 있다. 이러한 결과는 가중치를 주기에 앞서서 1차적으로 기본조사사항의 유·무에 따라 주어진 기본점수에 영향을 받은 것으로 판단이 된다. 단순점수를 부가하였을 경우의 순위와 비교해보면 상위 30%에 해당하는 지역의 경우 순위에는 변동이 없는 것으로 나타났다.

평가항목에 따라 순위를 분석한 결과 경산지부의 경우는 다른 3가지 항목보다 생태계적으로 유리하기 때문에 친환경적으로 수로를 정비할 경우 최우선적으로 생태계를 고려한 공법을 선택하여야 한다. 그러나 사업 시행적요소가 부족하므로 친환경적 정비사업 이전에 공청회나 설명회를 고려해야 할 것으로 판단된다.

나. 체크리스트 기법에 의한 지역순위

체크리스트 기법에 의한 지역순위 결과 93.51점을 획득한 경남의령지부가 친환경적 수로조성에 가장 적합한 지역으로 나타났다.

가장 낮은 점수를 받은 지역은 경기도 파주로서 -91.94점으로 1위와의 점수 차이는 101.57점으로서 상당한 차이를 보이고 있는 것으로 나타나고 있으며, 상위 30%지역의 경우 경남의령, 경남김해, 경북고령, 전북동진, 경북경산, 경기한강, 전남장흥, 전남 무안·신안, 전남화순 순으로 나타나고 있다. 체크리스트 기법으로 분석한 결과를 주관적 평가접근법과 비교하여 보면 지역간의 점수차이도 상당히 차이가 나고 있다. 순위변화에 있어서도 상위 그룹뿐만 아니라 하위그룹에 대한 순위도 약간의 변동이 있는 것을 볼 수 있다.

이러한 순위의 변동이 발생하는 이유는 체크리스트 기법의 경우 단순점수부여방법이나 주관적 평가접근법과는 달리 주어진 가중치가 해당항목의 해당여부를 전체지역의 빈도로서 계산되어 주어지기 때문이다. 이는 앞의 두 가지 방법의 경우 가중치가 다른 지역의 영향을 받지 않고 조사대상지역의 여건만이 고려되지만 체크리스트 기법의 경우 지역간의 비교가 되므로서 전체 친환경적 수로정비사업을 하기 위한 조사대상지역간의 확실한 비교가 가능하기 때문이다.

또한 전체적인 점수의 차이도 순위별 차이가 뚜렷하여 두가지 방법과는 다른 양상을 보여주고 있다. 평가항목에 따라 분석한 결과 고령지부는 정비사업을 시행할 경우 지역주민들의 참여와 향후 자발적인 유지관리가 가능하리라 판단되나, 용수원 확보와 오폐수 배제를 위한 시설을 고려해야 하겠다. 앞으로 지속적인 연구를 통한 보다 세분화되고 표준적인 정량적 평가방법을 마련한다면 정확한 순위결정방법으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

<표 3-15> 분석방법에 따른 순위변동

단순점수 부여시			주관적 평가접근법			체크리스트 기법		
지부	순위	점수	지부	순위	점수	지부	순위	점수
의령	1	24	의령	1	24	의령	1	93.51
김해, 양산	2	23	김해, 양산	2	23.5	김해, 양산	2	86.84
고령(배)	3	22	고령(배)	3	20.5	고령(배)	3	66.45
동진	4	21	동진		20.5	동진	4	58.46
경산	5	20	경산	5	19	경산	5	54.09
장홍(배)	6	19	한강	6	18.5	한강	6	31.38
한강	7	18	장홍(배)	7	17	장홍(배)	7	21.77
포항(배)	8	16	포항(배)	8	16.5	무안, 신안(배)	8	15.22
진도(배)		16	진도(배)	9	16	화순	9	12.81
영천	10	15	화순	10	15	영천(배)	10	11.31
화순	11	15	무안, 신안(배)	11	14	진도	11	8.73
전북(배)		15	전북(배)		14	포항(배)	12	4.58
금강	13	15	금강		14	14	전북(배)	13
무안, 신안(배)	14	14	영천(배)	14	13.5	금강	14	-9.5
예당(배)		14	예천	15	11.5	예당(배)	15	-21.86
예천	16	12	예당(배)		11.5	예천	16	-37.13
구미(배)	17	11	구미(배)	17	10	구미(배)	17	-40.9
전주(배)	18	10	전주(배)	18	9.5	전주(배)	18	-48.92
남원		10	남원	19	7.5	남원	19	-50.61
서산(배)	20	7	서산(배)	20	5.5	서산(배)	20	-67.09
파주	21	5	파주	21	5	보령	21	-81.53
보령		5	보령	22	3.5	파주	22	-91.94

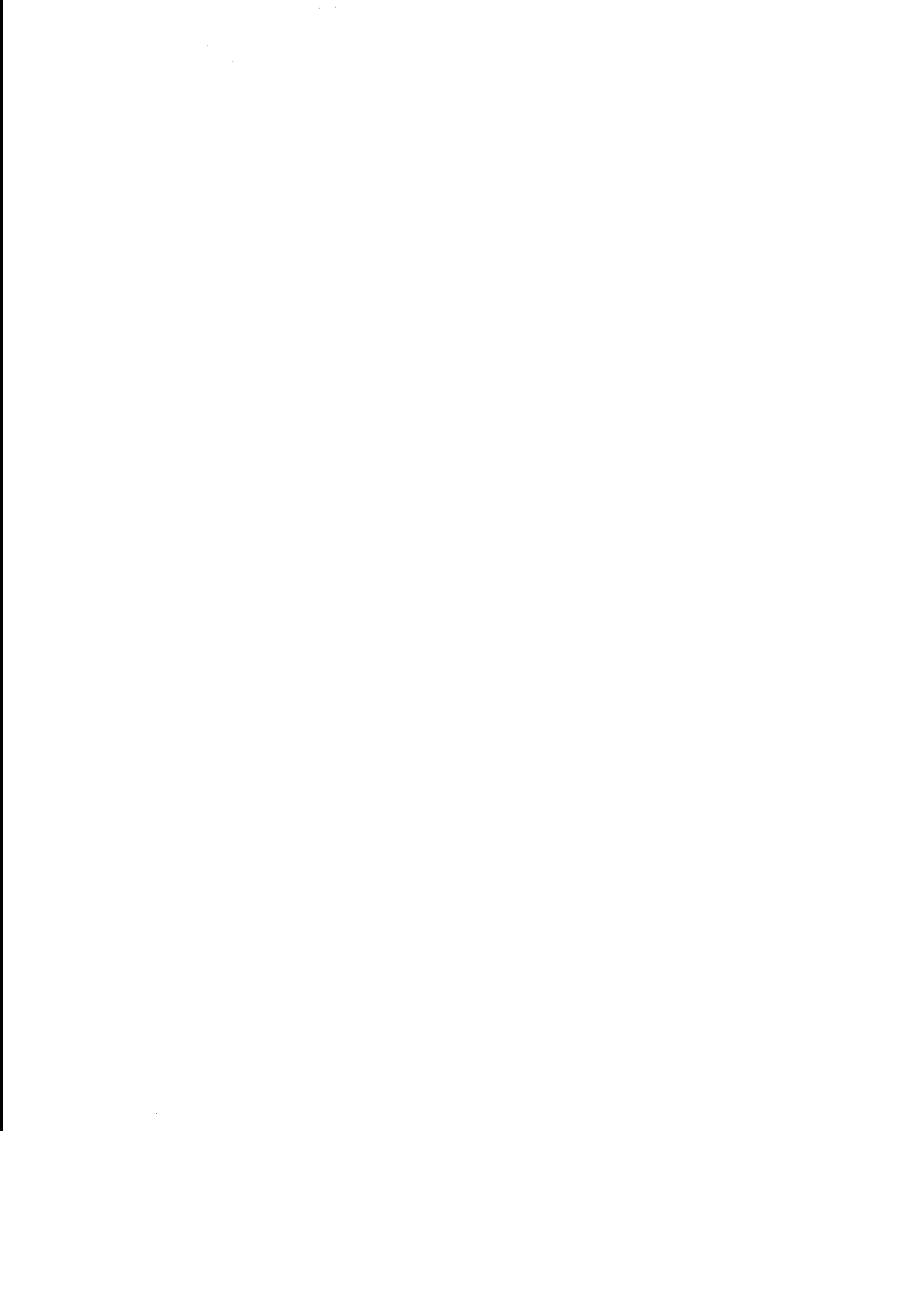
〈표 3-16〉 평가항목에 따른 순위

순위	단순점수부여법			
	기능적요소 (지부명)	생태적요소 (지부명)	친수활동적요소 (지부명)	사업시행적요소 (지부명)
1	동진	한강	동진	김해 양산
2	의령	김해 양산	의령	포항
3	서산	동진	파주	경산
4	예당	의령	예당	동진
5	화순	포항	화순	의령
6	포항	진도	진도	전북
7	진도	전북	경산	예천
8	한강	예천	구미	고령
9	경산	장흥	예천	서산
10	김해 양산	서산	고령	진도
11	예천	예당	김해 양산	한강
12	장흥	경산	영천	파주
13	고령	구미	금강	무안 신안
14	파주	금강	서산	장흥
15	무안 신안	고령	한강	영천
16	전북	화순	무안 신안	금강
17	금강	남원	전북	화순
18	보령	영천	장흥	예당
19	전주	무안 신안	포항	보령
20	남원	보령	전주	전주
21	구미	전주	보령	남원
22	영천	파주	남원	구미

순위	주관적 평가접근법			
	기능적요소 (지부명)	생태적요소 (지부명)	친수활동적요소 (지부명)	사업시행적요소 (지부명)
1	의령	경산	김해 양산	고령
2	동진	고령	의령	한강
3	한강	김해 양산	구미	김해 양산
4	김해 양산	의령	포항	의령
5	예천	한강	영천	동진
6	포항	무안 신안	동진	무안 신안
7	경산	장흥	장흥	금강
8	화순	포항	진도	영천
9	진도	금강	고령	경산
10	서산	영천	전북	화순
11	예당	화순	전주	전북
12	고령	동진	금강	장흥
13	장흥	전북	남원	구미
14	무안 신안	진도	예당	예천
15	전북	전주	경산	포항
16	전주	예당	한강	남원
17	파주	예천	무안 신안	예당
18	구미	보령	화순	진도
19	금강	남원	예천	파주
20	보령	서산	보령	전주
21	남원	파주	파주	보령
22	영천	구미	서산	서산

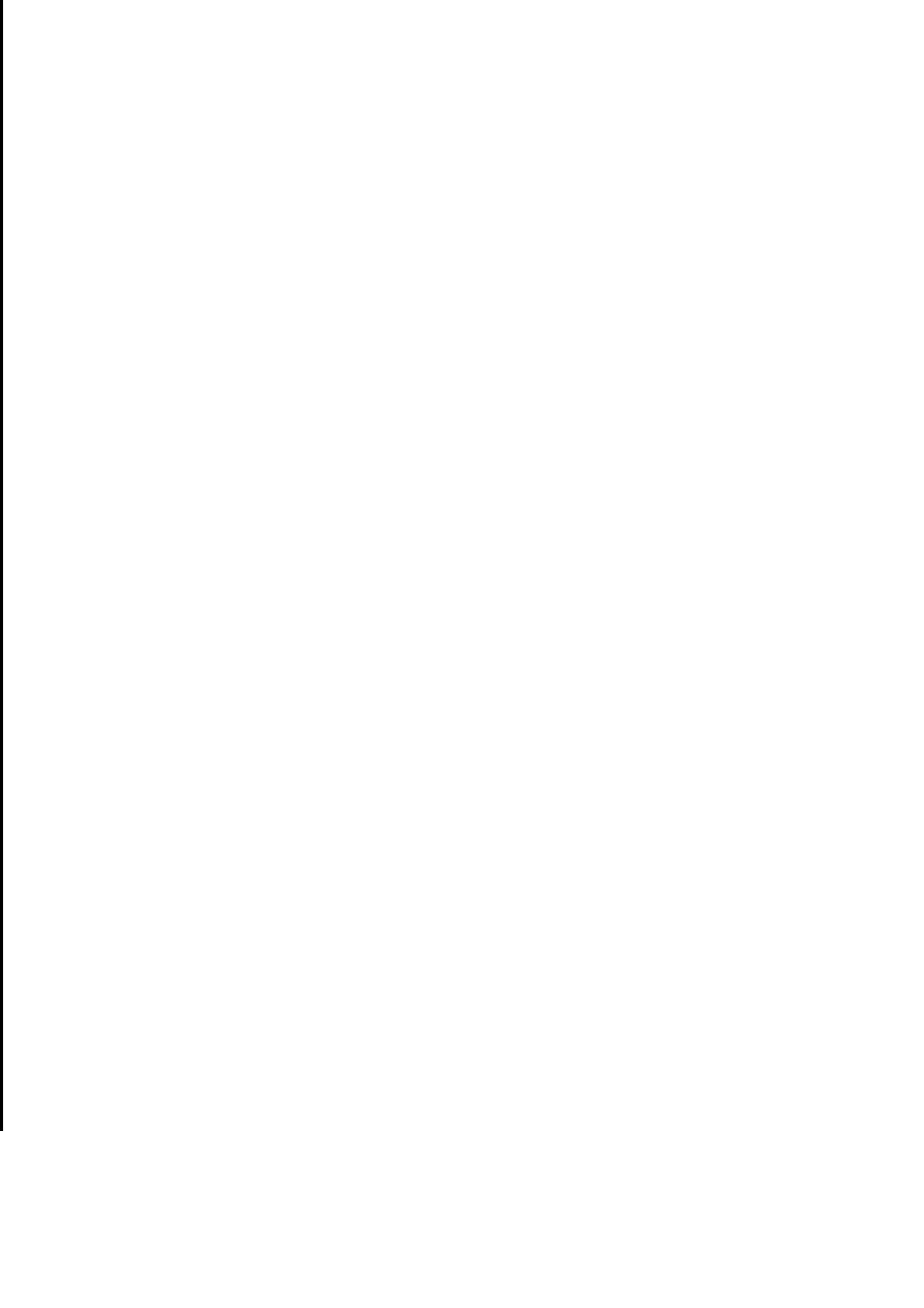
순위	체크리스트 기법			
	기능적요소 (지부명)	생태적요소 (지부명)	친수활동적요소 (지부명)	사업시행적요소 (지부명)
1	의령	경산	김해 양산	고령
2	동진	고령	의령	한강
3	화순	김해 양산	동진	동진
4	서산	의령	영천	김해 양산
5	예당	무안 신안	구미	의령
6	한강	한강	포항	경산
7	김해 양산	장흥	장흥	무안 신안
8	포항	포항	진도	금강
9	경산	화순	전북	영천
10	진도	금강	전주	전북
11	예천	영천	고령	장흥
12	고령	동진	무안 신안	화순
13	전북	진도	경산	구미
14	장흥	전북	화순	예천
15	무안 신안	전주	남원	진도
16	영천	예당	예당	남원
17	보령	예천	금강	예당
18	파주	남원	한강	포항
19	금강	서산	예천	파주
20	남원	보령	보령	전주
21	전주	파주	파주	보령
22	구미	구미	서산	서산

이상에서 살펴본 바와 같이 친환경 정비 대상수로를 선정하기 위한 기준을 마련하기 위하여 단순점수부여법, 주관적 평가접근법, 체크리스트 기법을 사용하여 지역의 순위를 결정하였다.



4장 용배수로 주변공간 정비기술 구축

- 1절 정비대상지구의 지역적 조건을 고려한 설계
- 2절 지역주민들의 참여가 가능한 용배수로 주변공간 개발
- 3절 정비된 용배수로 유지관리 기술검토
- 4절 친환경공법 적용에 따른 용배수로 기능에 미치는 영향과 대책
- 5절 배수로의 토질특성을 고려한 안정성 검토
- 6절 용배수로 정비에 적합한 식물선정 및 식재방법



4장 용배수로 주변공간 정비기술 구축

1절 정비대상지구의 지역적 조건을 고려한 설계

1. 친환경 용배수로의 설계과정

설계순서는 대체적으로 조건의 정리, 설계목표설정, 상세조사, 설계작업순으로 이루어진다.

가. 조건의 정리

상위계획, 관계되는 구역의 장·단기 계획, 영향을 미칠 수 있는 하위의 계획이나 요지의 취득, 치수상의 제약조건, 개발상황과 입지조건 등을 충분히 고려하여 그에 적절한 대책마련 및 사후에 야기될 수 있는 문제점들을 최소화하도록 강구한다.

나. 설계목표의 설정

조건정리가 진행되는 도중에 설계목표범위는 대략 정해진다. 공간의 여유 유무나 주변환경조건 등은 큰 제약이 되어 설계목표를 제한하게 된다. 제약이 심한 장소의 경우에는 당연히 조건을 제고하기도 하고, 경관은 생각하지 않는 것도 하나의 방법이기도 하다. 지역주민의 요구와 전문가의 타당성검토를 통하여 의견의 합일점을 얻은 후 정비방향을 설정한다. 예를들면, 자연환경보전, 생태공원조성, 주민의 휴식공간 마련, 지역의 문화적 배경을 고려한 정비 등을 설정하는 단계이다.

다. 상세조사

구역구분계획에서 조사한 내용을 근거로 하여 설계에 필요한 수로와 주변의 상세 조사를 실시한다. 조사항목은 장소상황에 의해 크게 다르지만 대략 구역 구분시의 항목으로 한다. 이 단계에서는 수로의 친수성에 관련된 현황특성뿐만 아니라, 지역주민의 친수활동과 지역과의 관계조사 및 지역요구와 수로조건에 관하여 면밀한 조사를 수행하게 된다.

예를 들면, 이용의 대상 및 방식, 미래에 이용 가능한 방식, 수로의 경계나 용지매수의 필요성과 가능성, 주민의 의식, 지역의 도로계획, 토지구획정리사업의 실시가능성 정보, 수위의 변화로서 홍수시의 흐름과 평수시의 흐름에 대한 정보 등 평수시의 데이터가 현실적이지 않은 경우도 많으므로 그 장소에서 간편한 측정이 가능하도록 해 두는 것도 필요하다.

<표 4-1> 조사세부 항목

조사항목	소분류	종류
친수성에 관련된 현황 특성 조사	하도형상	하도의 상태, 수로폭(하도폭, 저수로폭), 호안법면 경사(고수호안, 저수호안), 횡단면 형상(전체폭, 대상호안측면)
	유량·수질특성	상시유속, 상시수심, 흐름상황(평수, 저수, 갈수), 수질지정상황(pH,BOD,SS, 현황수질)
	생태계 특성	생물종(식생, 어류, 소동물, 조류), 서식장, 회귀종
	경관적 특성	전체적 이미지 파악, 개개의 대상파악(양호한 요소, 불량한 요소)
친수활동과 지역과의 관계조사	수변의 역사적 역할과 그 변천	
	현재 이루어지고 있는 활동	일상적 활동, 비일상적 활동, 기타 특기할 만한 활동
	친수지도	
지역요구조사	지역의 의향	
	지역전문가 의견	
	지역주민의 소리	
하천조건조사	하천환경관리 기본계획	주제, 기본이념, 구간구분, 공간 환경관리계획, 거점 정비계획
	하천개수계획	평면, 종횡단면 형상, 계획제원
	하도특성	계획 최고수의 유량, 하상경사, 하상재료, 최대유속, 고수부지 침수빈도, 하상변동상황, 수충부 상황등

라. 설계작업

설계작업은 「설계대체안 만들기」와 「경관의 예측 및 설계평가」로 이루어진다. 설계시에는 이 정도로 좋은지 자문자답하는 것이 필요하다. 여기서 중요한 것은 설계한 것이 계획도상에서 어떤 모양으로 그려지려면 그것이 완성되었을 때의 구체적인 이미지로서 이해할 수 있는 것이다. 도면에서 그은 선이 지상에서 어떻게 보이는가를 상상하며 설계하는 것이어야 한다.

마. 종합적인 사고

설계는 이러한 여러 가지 사항을 동시에 진행시키는 것이다. 현지의 상세조사를 하면서 대체안을 이미지하고 그 가능성을 피하고 있다. 설계목표를 설정하면서 구체적인 설계안을 의식하고 전제나 제약조건에서 없애는 것은 아닌가?, 덧붙이는 것은 아닌가? 등을 생각한다. 즉, 이러한 전망을 몇 번이나 반복하는 동시진행 작업인 것이다.

2. 대상지구의 수리·수문, 생태적인 특성에 적합한 설계

유역의 개략적인 특성을 총괄적으로 조사함으로써 유역 및 용배수로의 특성에 따른 강우-유출관계, 유출특성, 홍수특성 등을 추정한다. 조사항목으로 유역형상, 수로 형태, 토질 및 토양, 지표상황 및 시설물 등의 조사가 있고, 이러한 조사를 통하여 유역에 대한 지형인자의 정량적 특성을 유역의 형상계수, 형상비, 유역밀집도, 수계 빈도, 면적-고도곡선 등의 무차원량으로 표시함으로써 다른 유역과의 비교는 물론 유역의 지형특성을 파악할 수 있다.

가. 수리·수문량 조사

용배수로의 유량에 영향을 미치는 강수량 조사, 침투 및 증발량 조사, 수위조사, 유량조사, 지하수 조사, 유사조사, 이용수량조사, 하도조사를 통하여 홍수분석의 기본 자료로 활용한다.

나. 조도계수

유속산정에 적용하는 조도계수는 일반적으로 Manning의 조도계수를 사용한다. 이외에도 Chezy의 평균유속계수, 절대조도, 평형하상 이론의 관계식 등이 각 경우에 맞게 구분되어 사용되기도 하였다.

또한 조도계수는 저수 유량, 홍수유량 등에 대한 가급적 다수의 관측자료를 이용하여 검토하고 흐름이 부등류인 경우에 하도구간의 조도계수는 그 구간에서의 부등류 계산의 역산에 의해 구해진 값을 사용하는 것으로 한다. 그러나 비교적 짧은 단일하도구간의 조도계수는 그 구간에서의 등류계산의 역산에 의한 값을 사용해도 좋다. 단, 이 방법으로 구한 조도계수는 원칙적으로 그 구간에만 한하여 적용하여야 한다.

흐름이 부등류인 경우에는 보통 에너지선, 수면 및 하상의 경사가 모두 다르다. 이러한 경우 하도구간의 조도계수는 부등류 계산의 역산에 의해 계산되어 질 수 있다. 그러나 등류 계산에 의하여 역산되어진 조도계수는 그 한 구간의 실측 조도계수이긴 하지만 그 구간의 상하류에 걸쳐있는 긴 구간까지도 대표할 수 있을지가 의문스럽고 일반적으로 부등류 계산에 의하여 구한 n 값과는 달라지는 경우가 많다. 그러나 이 값외에 실측치가 없을 경우에는 이것이 보다 좋은 추정치가 될 수 있다.

조도계수의 검토를 위하여 홍수후 가급적 빠른 기간내에 혼적수위를 측정하여 비교적 정확도가 높다고 판단되는 혼적수위를 산정, 역산에 의하여 조도계수를 측정한다.

조도계수의 검토에는 발생된 유량의 혼적수위가 필요하다. 그 중에서도 부등류계산에 따라 침투유량에 대한 조도계수를 역산하기 위해서는 하도내의 각 지점에 대한 최고수위를 알아야 한다. 이를 위해서는 한정되어 설치되어 있는 자기수위관측소에서 관측된 시간수위기록만으로는 부족하며 수위혼적 이외에도 최고수위계의 기록 등이 이용된다. 수위혼적이나 부착부유물이 소실되기 전인 홍수직후에 조사측량을 실시하여야 한다.

혼적수위의 자료수가 적은 경우나 하도의 종횡단변화가 작은 장소에서는 흐름은 정상류이며 등류라는 가정하에 등류계산의 역산에 의하여 조도계수를 계산하고 이를 필요로 하는 구간에 적용하거나 상하류를 포함한 구간의 대략 조도계수로 추정할 수 있다.

수리 수문자료가 적은 지역에서는 하상재료로부터 조도계수를 추정하여도 좋다. 단지 그 추정치에 대해서는 다른 비슷한 지역과 비교하든가 또는 그 후의 관측에 의하여 정확도를 높이도록 한다. 조도계수를 역산한 값의 타당성을 확인하거나 자료가 적은 지역의 조도계수를 추정하기 위하여 해당 구간의 하상재료는 가장 큰 지표중의 하나가 된다.

다. 수변 생태공간 계획

용배수로에서 어류를 포함한 생태와 관련된 요소는 수리적 요소로서 유량, 유속, 수심, 수질적 요소로서 물의 온도, BOD(생물학적 산소요구량), 물이 함유된 무기물, 유기물의 농도, 형태적 요소로서 운반의 재료, 종·횡단상의 굴곡 등이다.

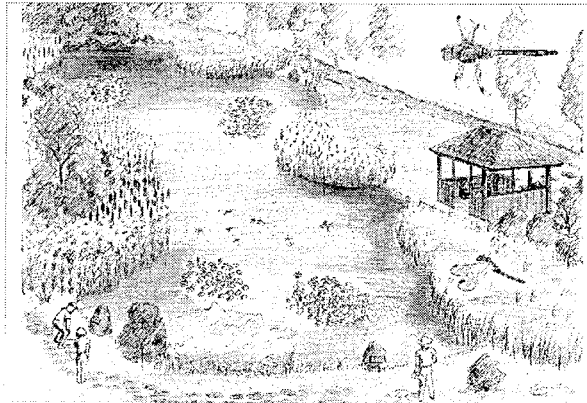
- ① 유량에 변동이 없도록 유속과 수심에 변화를 계획한다.
- ② 어류, 양서류 등의 휴식, 대피, 산란장소가 형성되도록 계획한다.
- ③ 수로쪽에 군데군데 나무를 심어 그늘지게 함으로서 수온의 상승을 방지하고 어류 등의 휴식, 대피, 산란장소가 형성되도록 한다.
- ④ 수로쪽에 잔디나 잡초가 성장토록 하여 곤충, 양서류, 조류 등의 서식 환경을 조성한다.
- ⑤ 수로내에 들어갔던 작은 동물(뱀, 개구리, 도롱뇽 등)들이 다시 나올 수 있도록 등선로(탈출로)를 계획한다.
- ⑥ 수로가 양분한 동물들의 서식환경을 이어주는 계획, 즉 작은 동물, 큰 동물들의 이동통로를 계획한다.
- ⑦ 비관개기 또는 단수시의 어류 피난장소(팜폰드, 수로와 연결된 웅덩이, 조정지 등)를 계획한다.

2절 지역주민들의 참여가 가능한 용배수로 주변공간 개발

1. 지역주민들이 이용가능한 주변공간 구축 방안

가. 팜 폰드 또는 조정지

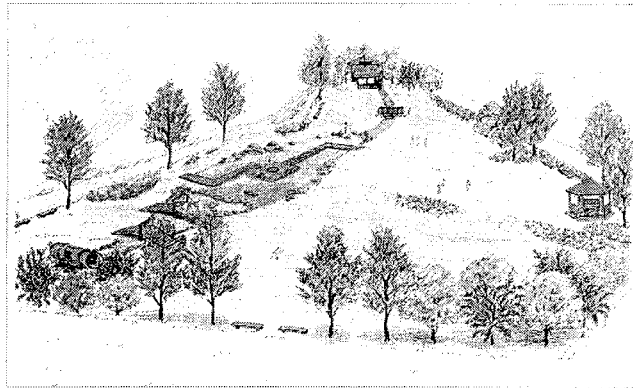
팜폰드의 기능이나 필요성과 더불어 환경적 측면에서 이들의 설치가 필요하고 바람직하다는 것을 인지할 필요는 있다. 특히 기왕에 설치하는 팜폰드를 이용하여 비오터를 형성하고 이를 발전시켜 생태공원 또는 자연학습장으로 활용하는 방안이 검토될 수 있다.



<그림 4-1> 수생곤충의 비오터 이미지도

나. 쌈지공원

마을과 가까운 용배수로 주변에 쌈지공원을 설치하여 마을사람들의 대화의 장을 마련하고 문화공간으로 활용 가능성을 검토한다.



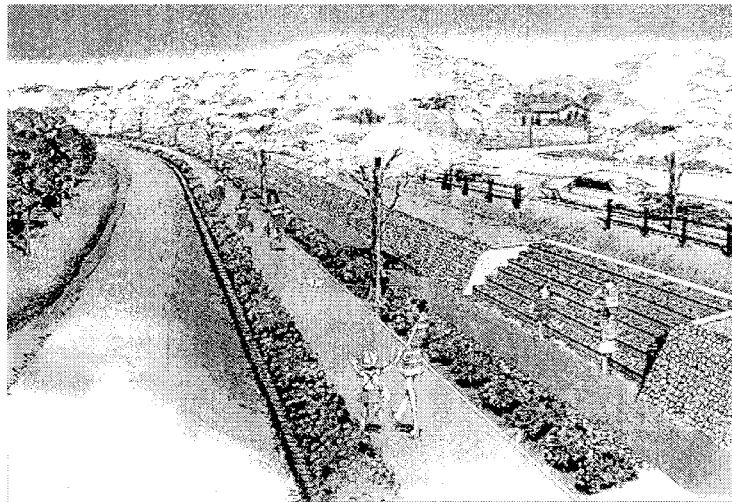
〈그림 4-2〉 친수광장 이미지도

다. 휴식공간조성

마을로의 진입로 인근에 도로와 용배수로가 교차하는 지점에는 휴게소 또는 대기소를 설치하고, 마을경관을 고려하여 지역에 맞는 식생을 식재하여 휴식공간으로 조성한다.

라. 다목적 도로조성

용배수로 둑을 이용한 산책로 또는 자전거도로를 설치하여 유지관리 및 주민이 활용 가능한 다목적 활용성을 검토한다.



〈그림 4-3〉 산책로 이미지도

마. 전망대조성

전체 들판을 바라볼 수 있는 곳 또는 아름다운 산과 하천을 바라볼 수 있는 곳에 주민들의 의견을 수렴하여 전망대(팔각정 등) 설치를 고려한다.

2. 수로공간이용의 허용

지역 주민들이 가능한 한 많은 효용을 얻을 수 있도록 수로를 설치하는 것이 필요하다. 수로의 효용을 깊이 인식하고 수로의 계획과 디자인을 하는 것이 필요하다. 수로환경조사에서 얻은 정보를 바탕으로 하여 3가지 영역으로 구분하여 효용을 이야기할 수 있다.

가. 생태적 영역

- ① 수로공간 주변지역에 존재하는 자연환경요소(토양, 식물, 수생식물, 곤충류, 어류등)를 활성화하는 작용
- ② 유수내의 중의 배설물을 씻어내리고 수질을 정화하는 작용
- ③ 통풍을 발생시켜 미생물이 살 수 있는 여건을 양호하게 하고 여름에는 찬바람을 이르는 효과가 있다.
- ④ 지중에 침투하여 지하수와 용수 함량기능의 효과가 있다.

나. 이용행위를 포함하는 영역

- ① 논밭의 관개, 양어, 산소생성, 발전, 관광산업의 이용
- ② 음용, 세정, 냉각, 방재, 제설등의 생활의 이용, 쾌적성을 높이는 작용
- ③ 하천의 어류를 방류하여 생태계 유지 및 친수공간 조성
- ④ 마을경관형성

다. 정서적영역

- ① 음악, 회화, 영상, 문학과 같은 문화예술 활동의 모티브역할
- ② 수변경관을 통한 자연과의 대화 공간제공
- ③ 수생식물, 곤충, 동물등의 관찰장소형성, 환경교육 및 학습의 장 제공
- ④ 수신에 대한 제사, 종교양식, 불꽃대회등의 물을 매개로 한 이벤트공간과 정신적인 성격이 풍부한 공간으로서의 이용

위에 열거한 각 항목의 효용을 많이 얻을 수 있는 수로의 유지와 관리를 통해 조

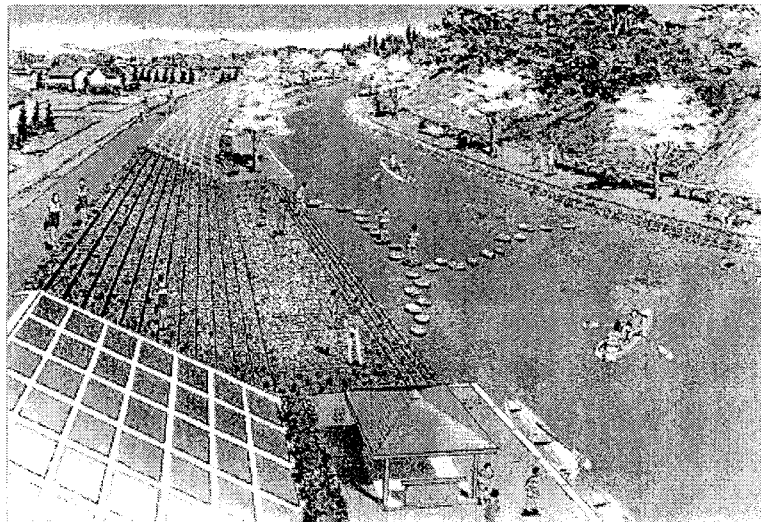
직체를 견고히 할 필요가 있으며, 수변공간을 유효하게 보존하고 활용함으로써 목적의식과 지역주민의 연대의식을 양성하는데 도움을 줄 수 있다. 수로의 존재는 농촌 지역내의 에메니티를 형성하고 물을 매개로 한 문화형성의 중요한 역할을 한다.

3. 용배수로의 다각적 이용시설

용배수로 주변에 주민들이 이용가능한 시설을 설치하여 복지향상 및 관광자원으로 활용할 수 있다. 시설물 개보수시 지역주민들이 공동으로 이용할 수 있고, 지역의 사회, 문화적 특성을 충분히 조사하여 그 지역에 맞는 수변공간의 정비를 하는 것은 최근 환경과 인간의 조화 추세에 대응할 수 있으며, 농촌지역 주민에 대한 삶의 질 향상과 도시자본의 농촌투자에 대한 한 부분으로서, 친환경 용배수로의 주변공간 개발은 더욱 의미가 있다.

용배수로와 주변 토지를 효과적으로 이용해서 주민들이 이용할 수 있는 시설은 다음과 같다.

- ① 주민생활과 관련된 이용시설로서 수로변의 농작업장 시설 등
- ② 산업관련 이용시설로서 수로와 연결된 양어장, 양식장 등
- ③ 농촌관광, 레크레이션 관련으로는 어린이 고기잡이 체험장, 물놀이장, 성인들을 위한 낚시터, 산책로, 수변 전망대 등
- ④ 기타 관련시설로서 어린이 학습을 위한 곤충 생육장, 자연학습장 등



<그림 4-4> 친수공원 이미지도

3절 정비된 용배수로 유지관리 기술검토

1. 유지관리 기술검토를 위한 현장조사

가. 현장조사 목적

- 친환경정비가 이루어진 지구에 대한 모니터링을 통해 문제점 및 개선방안 검토
 - 친환경공법별 유지관리 상태
- 수로의 유지관리 상태를 모니터링
 - 지리적·지형적·물리적 여건을 고려한 수로정비 방안 도출

나. 현장조사 대상

- 친환경정비가 이루어진 용배수로 및 하천(소하천 포함)
- 현장조사를 통하여 지속적으로 모니터링이 필요한 지구 선정

다. 현장조사 방법

1) 현장조사 방법론

- 조사방법 및 조사내용
 - 조사방법 : 조사시점의 유지관리상태에 초점을 맞춰 조사 실시 : 육안조사, 사진촬영
 - 조사내용 : 조사시점의 유지관리 상태를 점검(식생도입 상태, 붕괴원인, 수로 바닥 상태 등)
- 모니터링 대상지 선정
 - 대상지는 정기·비정기로 구분하여 모니터링 실시
 - 대상지구의 지형적·입지적 특성을 고려하여 선정하였으며, 가능한 한 토질 특성을 반영할 수 있도록 지구 선정

2) 조사지역 선정

최종적으로 선정된 조사지역은 다음 <표 4-2>와 같다. 조사지역은 친환경정비사업의 일환으로 사업이 실시된 지역을 우선 선정하였으며, 지역적 여건과 특성을 고려하여 평야지역, 산간지역, 도시근교지역, 그리고 토질특성(점토, 사질토 등)을 배려하여 지역을 선정하였다.

<표 4-2> 조사지역 선정 내역

지 구 명	용수로	배수로	하천
송삼지구		○	
오동지구	○		
장 록 천			○
가락골천			○
갑 천			○

조사지역은 조사의 효율성을 고려하여 연구기관에서의 거리와 현장 접근성 등을 검토하여, 정기조사지역으로 용배수로는 경기도 여주군의 송삼지구와 전남 영광군의 오동지구를 선정하였고, 일반하천의 경우 경기도 이천시의 장록천, 공주시의 가락골천, 대전시의 갑천을 선정하였다.

조사지구 선정의 주요 고려사항으로는 본 연구에서 개발중에 있는 친환경재료와 유사한 특성을 가진 재료와 공법으로 시공된 지역을 직접 방문·조사하며, 특히 용배수로 특성과 유사한 지구를 선정하는 것을 원칙으로 하였다.

본 연구를 통해 개발된 친환경 재료 및 제품에 대한 현장 적용성을 일정부분 평가할 수 있을 것이라는 점에 주안점을 두었다.

2. 현장조사 결과

가. 용배수로 정비지구

조사지역의 개요는 다음 <표 4-3>과 같다. 최근 3년 이내에 시공된 지구를 대상으로 사례지역을 선정하였다. 송삼과 오동지구는 친환경정비사업 시범지구로서 다양한 친환경 공법이 시공되어 있는 특성을 보유하고 있다.

<표 4-3> 용배수로 친환경정비지구 개요

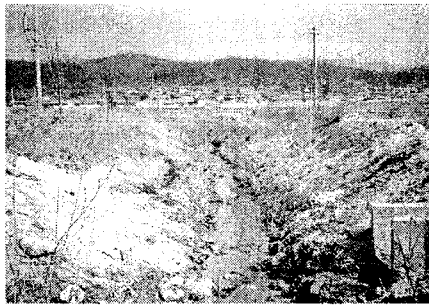
지구명	시군	사업명	시공연도	친환경공법
송삼	경기 여주 가남	경지정리사업	2000	자연식생, 곤충서식블록, 매트스톤, 지오그린셀
오동	전남 영광 염산	수리시설개보수	2002	곤충서식블록, H형블록

1) 송삼지구

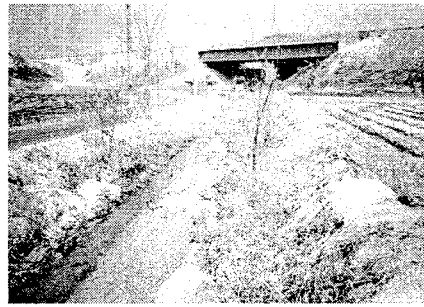
송삼지구의 경우 배수로를 대상으로 국내 최초로 친환경정비 시범사업이 실시된 지구로서 식생콘크리트 블록공법, 자연식생공법, 매트스톤공법, 반디불이블록공법, 침사지, 낙차공 등이 시공되어 있다.

본 지구의 특징은 상부로부터의 토사(마사토질, 모래질 등)유입과 도로사면, 산측 사면 및 필지사면으로부터의 토사유출이 극심한 지역적 특성을 가지고 있으며, 배수로 중앙부를 횡단하는 중부내륙고속도로를 중심으로 상류부는 마사질 지반이 주류를 이루고 있으며, 하류부는 일반 점토질이 주류를 이루고 있는 지구이다.

따라서 상류부와 하류부의 토사 퇴적 양에 있어 극명하게 대비되고 있다. 특히, 상류부는 지반 자체가 마사질 토양으로서 자연식생공법의 적용에 있어 세심한 배려가 필요할 것으로 판단된다. 적용 공법으로는 황마망을 포설한 뒤 복토와 식생을 도입 하였으나 식생이 도입되기 전에 사면이 붕괴되어 황마망과 사면이 이탈되는 등의 문제가 발생되기도 하였다.

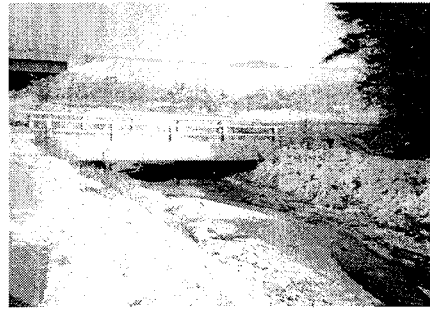
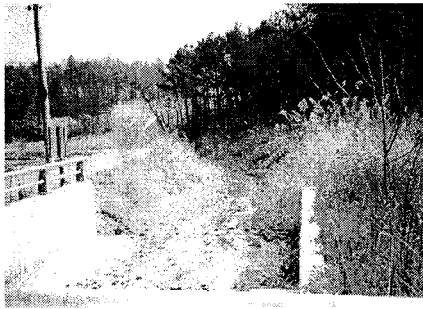


<그림 4-5> 하류부 전경



<그림 4-6> 상류부 전경

또한, 침사지는 시공초기에는 본래의 기능을 충분히 발휘하는 등 지역적 여건을 배려한 시설이었으나 유입된 토사에 대한 적절한 관리가 미흡하여 상류로부터 유입되는 토사가 침사지를 그대로 통과하여 하류로 유하되어 중하류부에 심각한 영향을 주었다.

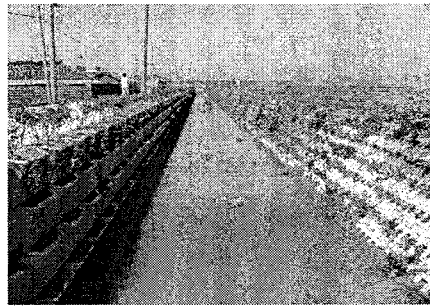
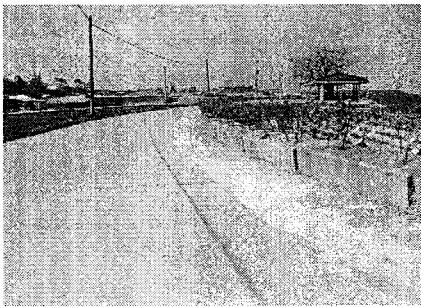


〈그림 4-7〉 침사지 토사퇴적 전경 〈그림 4-8〉 중상류부의 토사퇴적 전경

2) 오동지구

오동지구의 경우 용수로를 대상으로 국내 최초로 친환경정비 시범사업이 실시된 지구로서, 곤충서식블록, H형블록, 침사지 등이 시공되어 있다.

오동지구는 2001년 수리시설개보수사업으로 추진되어 2003년 12월 준공되었으며, 용수원은 상류부에 위치한 오동제이고, 취수문의 노후화로 연중 지속적으로 물이 유출되고 있으며, 마을 생활하수의 유입 등 평상시에도 일정 수위가 유지되고 있는 특징을 가지고 있다.

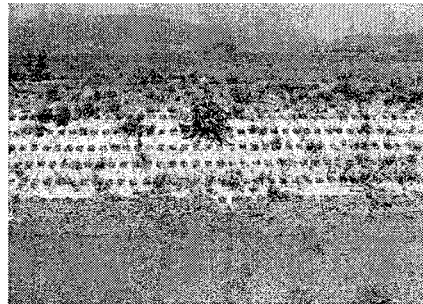
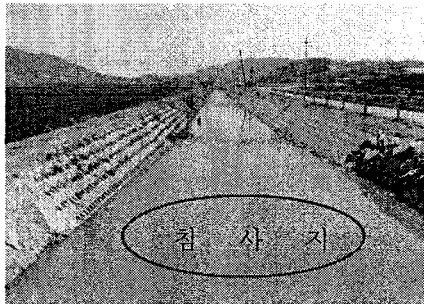


〈그림 4-9〉 마을 진입도로와 곤충서식블록 〈그림 4-10〉 곤충서식블록과 H형 블록

본 지구는 친환경정비지구로 지정된 후, 구간별 정비계획에 의거하여 기본설계가 이루어졌으며, 사면의 경사도 1:1.5~1:2.0의 경사를 유지하도록 설계되었으나 사면확보를 위해서는 마을진입로의 잠식이 우려됨에 따라 곤충서식블록과 H형블록을 양사면에 배치하도록 설계변경이 이루어졌다. 도로쪽에 곤충서식블록을 시공하여 도로와 수로의 경계석 역할을 담당할 수 있도록 배려됨으로서 진입로의 확장효과 등 지역여

건에 맞게 시공된 좋은 사례이다.

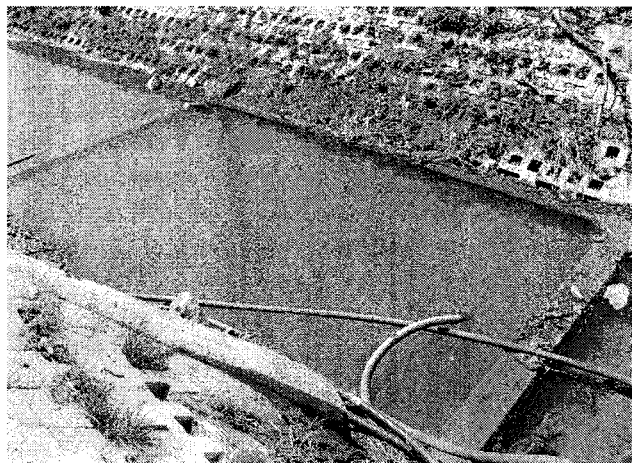
H형 블록의 경우 블록내 일정공간이 만들어져 있어 그 곳을 통해 식생이 도입되는 효과가 나타나는 장점이 있다.



<그림 4-11> 정비구간 시점에서 수로 전경 <그림 4-12> H형 블록 전경

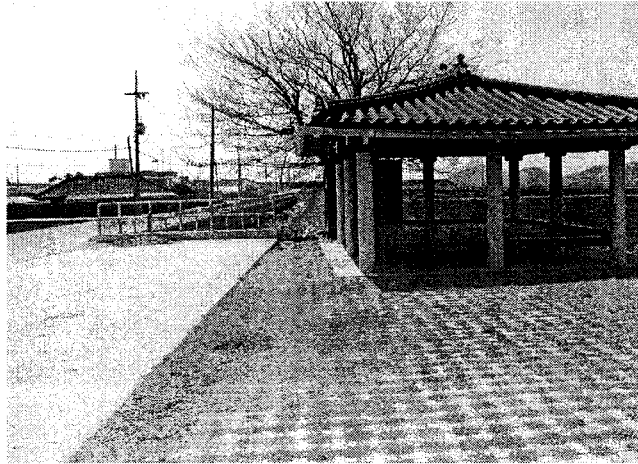
수로 시점과 마을하수가 유입되는 지점에 침사지 구간을 설치하는 등의 배려는 있으나 침사지에 퇴적될 토사를 제거하기 위한 작업기의 작업공간 확보에 대한 검토가 요구된다.

과거에는 대다수 수로정비를 인력에 의존하여 왔으나 최근에는 장비(포크레인)를 이용한 정비가 주류를 이루고 있음을 감안하여 침사지를 설치하면서 주변공간을 확보하여 장비가 쉽게 작업할 수 있도록 한다면 유지관리 측면에서 유리할 것이다.



<그림 4-13> 마을하수가 유입되는 지점에 설치된 침사지

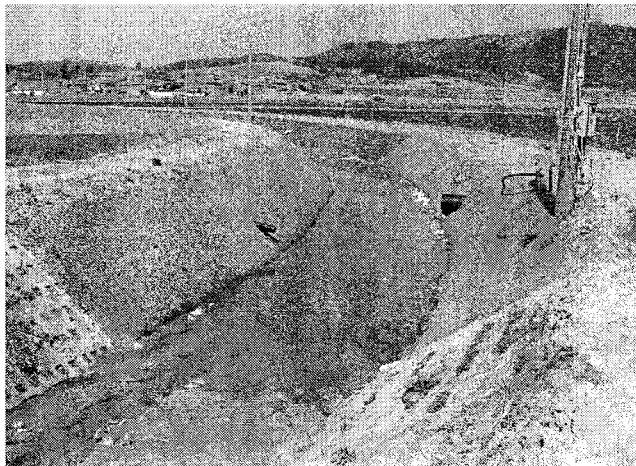
수로 중간부분에는 정자와 주차시설을 설치하여 마을 주민들이 쉴 수 있는 공간을 조성하였다.



<그림 4-14> 마을과 용수로 주변에 설치된 휴식공간

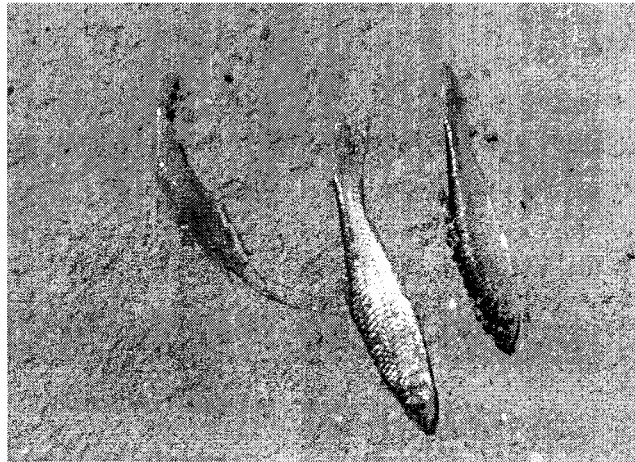
하류구간은 식생호안 및 그린매트 구간과 H형 블록으로 조성하였으며, 향후 유지 관리에 필요한 장비투입이 불가능하여 인력으로 준설 및 수초제거 작업을 할 수 밖에 없는 실정이다.

하류구간에 수로 상단부에 조팝나무로 식재하여 경관적인 측면을 고려하였으나 이 지역은 과거에 창포가 많이 났던 곳으로 기존 식생을 활용하는 방안 검토가 요구된다.



<그림 4-15> 식생호안 및 그린매트 구간과 H형 블록

수로 상류부분에서 채집한 민물새우 및 송사리는 용수로에 항상 물이 흐르는 결과라고 생각되며 이외에도 참붕어, 가물치, 양서류 등을 발견할 수 있었다.



<그림 4-16> 수로내에서 수집한 생물

2) 하천정비지구

조사지역 개요는 다음 표 4-4와 같다. 하천정비지구의 선정에 있어서는 가능한 한 지역적 특성과 토질특성을 반영하였다.

충남 공주의 가락골천은 중산간지역의 상류 하천으로 급류부 특성을 고려하여 선정하였으며, 경기 이천의 장록천은 일반 평야부 지역의 특성을 반영하면서 점토질 지반의 특성을 고려하였고, 대전 갑천의 경우 평야부 지역으로서 사질지반 특성에 대한 모니터링을 위하여 정기조사지역으로 선정하였다.

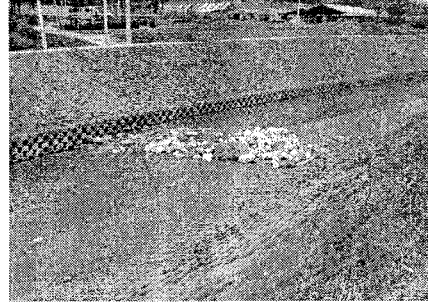
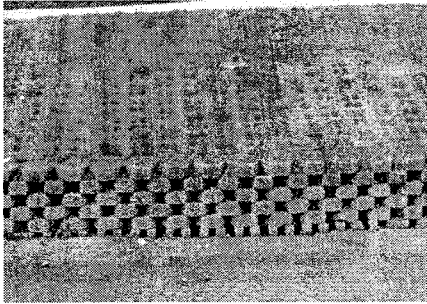
<표 4-4> 하천 친환경정비지구 개요

지 역	하천명		시공 연도	친환경공법
	일반하천	소하천		
경기 이천	-	장록천	2003	어소블록, 옹벽블록, 지오그린셀, 양잔디 식생
충남 공주	-	가락골천	2003	어소블록, 옹벽블록
대전 유성	갑 천	-	2003	지오그린셀, 어소블록, 옹벽블록, 수생식물 및 경관초목 식생

가) 장록천

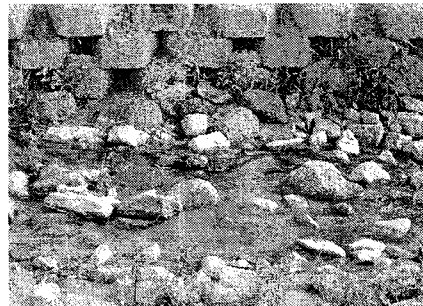
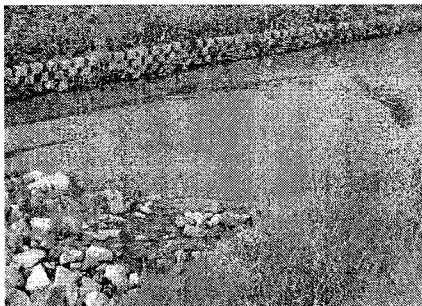
장록천에 적용된 공법은 하상에 어소블록을 설치하고 다시 옹벽블록을 설치하여 수로 단면을 확보하고 사면에 지오그린셀을 포설하고 셀상부를 복토한 후 식생을 도입한 공법이 적용되었다.

수층부에는 콘크리트 옹벽을 시공하여 유로를 보호하고 있다. 하상의 경우 주요부에 폭기를 위한 자연석이 포설되어 있으며, 두수공 설치후 하단부 세굴을 방지하기 위하여 콘크리트와 자연석을 연계한 하상보호공이 시공되어 있다.



<그림 4-17> 옹벽블록+지오그린셀 공법 <그림 4-18> 하상에 자연석으로 조성된 폭기 시설

집중호우가 있는 후에는 하상에 토사가 퇴적되어 있는 모습을 볼 수 있었고 일부 옹벽블록이 파괴되었다. 또한, 토사의 퇴적으로 하상이 높아짐을 알 수 있었는데 이에 대한 토사 처리에 대해서는 면밀한 검토가 요구된다.

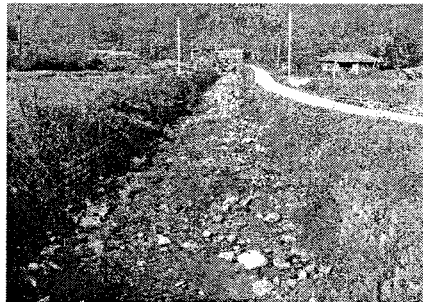
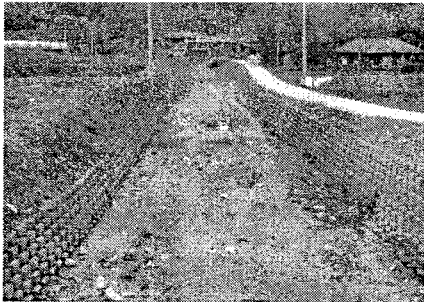


<그림 4-19> 토사의 퇴적 상황 <그림 4-20> 일부 파괴된 옹벽블럭

나) 가락골천

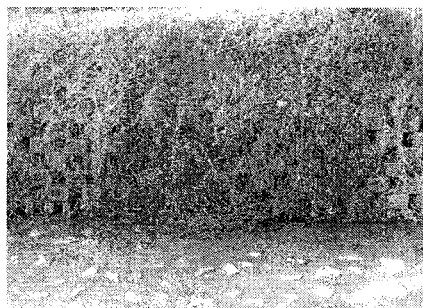
가락골천에 적용된 공법은 어소블록과 옹벽블록을 이용한 단일 공법이 적용된 지구이다. 옹벽블록의 경우 시공성이 용이할 뿐만 아니라 자연적 지형을 살릴 수 있는 장점을 가진 공법이라 할 수 있다.

당초 설계시에는 옹벽블록의 중앙부에 흙을 충전한 후 식재가 되도록 계획되었으나 식재에 많은 비용이 소요되는 관계로 옹벽블록만 시공하여 자연적으로 식생이 도입되었으며, 그림 4-22에서와 같이 자연적으로 주변식생의 도입이 이루어져 있는 것을 볼 수 있다.



<그림 4-21> 정비구간 전경(2003년 5월) <그림 4-22> 정비구간 전경(2003년 11월)

옹벽블록의 경우 중앙부에 흙을 충전하기 위한 공간이 마련되어 있는 구조인데, 흙채움이 부실할 경우 흐름에 의해 채움재의 누출이 우려되고, 옹벽블록 상부에서 사면 상단까지의 경사가 급하여 사면안정을 위해서는 충분한 다짐이 필요한 것으로 판단된다.

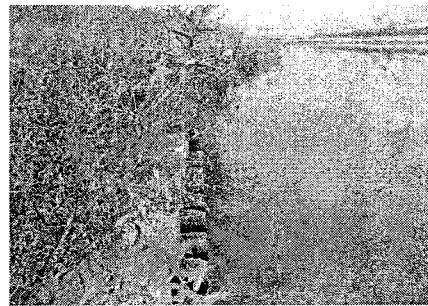
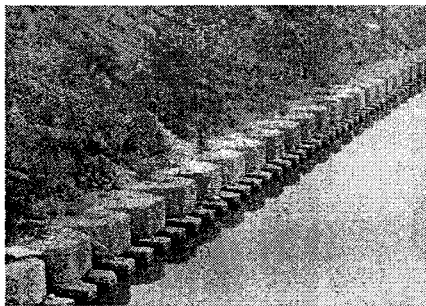


<그림 4-23> 식생도입전(좌)과 자연적으로 식생이 활착(우)한 전경

하천 상류부로 산간부 계곡과 바로 연결되는 구간 특성 상 홍수시 급류와 함께 일정크기 이하의 자연석을 포함한 토사 유출이 심할 것으로 판단되며, 급류시 사면유실 및 옹벽블록 상단부 사면의 안정성을 우려했으나 2004년 현재까지 별다른 문제가 없는 것을 확인하였고 이는 옹벽블록이 구조적으로 안전하다는 것을 알 수 있다.

다) 갑천

갑천에 적용된 공법은 하상에 어소블록을 설치하고 다시 옹벽블록을 설치하여 수로단면을 확보하고 사면에 지오그린셀을 포설하고 셀상부를 복토한 후 식생을 도입한 공법이 적용되었다. 식생은 고수부지를 활용한 수변생태공원 조성계획과 연계하여 양잔디와 유채꽃을 도입하였다.

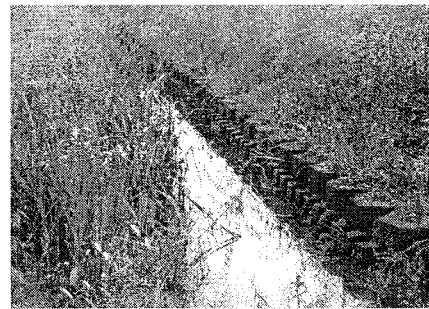


<그림 4-24> 어소블록+옹벽블록 조합 시공(좌)과 시공후 식생이 활착한 전경(우)

그림 4-25는 경관을 고려하여 유채꽃을 식재하였으며 좌측호안은 사면보호공을 하지 않아 세굴이되어 있음을 볼 수 있다. 그림 4-26은 6개월 경과 후의 모습으로 사면보호공을 하지 않은 곳에 식생이 활착하였으나 사면이 세굴되었음을 알 수 있다.



<그림 4-25> 유채꽃 식재



<그림 4-26> 양잔디 식재

3. 친환경정비지구의 유지관리 방안 검토

용배수로와 하천에 적용된 친환경공법 구간에 대한 현장조사 및 모니터링을 통해 향후 친환경정비지구에 대한 유지관리 방안을 검토하였다.

친환경공법이 적용되는 수로 구간은 경제적 측면을 고려할 때 일정구간으로 한정되어야 할 것으로 판단된다.

따라서 친환경공법이 적용되는 시점부와 종점부 처리에 대한 유지관리대책이 요구되며, 상류부로부터의 토사유입 가능성 및 차단방안, 수초처리방안, 설치구간내 토질 특성에 따른 사면유실 및 붕괴실태와 대책 등을 다양하게 분석하여 유지관리 방안을 검토하고자 한다.

현장조사 결과 및 관련문헌 분석을 통해 검토된 사항을 정리하면 다음과 같다.

가. 호안공의 파괴 원인

호안공의 파괴요인은 유체력 및 토압·수압에 의한 것으로 법면 구배에 의해 어느 쪽이 주요인인가를 분류할 수 있다. 성토사면 등에서는 법면을 1:1.5로 시공하는 것이 안전한 것으로 알려져 있다. 따라서 이보다 완만한 법면 구배를 가지고 있는 호안공에서는 토압에 의한 파괴를 고려하는 것이 일반적이다.

콘크리트 블록의 정지마찰계수시험 결과에 의하면 포화된 흙의 경우 정지마찰계수(μ)가 0.65정도인 것으로 나타났는데, 이 결과를 법면 구배로 환산하면 약 1:1.5의 구배가 된다. 따라서 이것보다 구배가 급한 경우에는 상부의 부재가 하부 부재에 하중을 가하는 상태, 또는 쌓기 상태가 된다. 이상태에서는 돌쌓기 등의 부재는 상하부재에 끼워져서 흐름에 저항하기 때문에 유체력에 대하여 일반적으로 강한 구조물이 된다. 단, 구배가 급한 배면의 토압이 호안의 안정성에 영향을 주게 된다. 이상에 의해 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 법면 구배가 1:1.5보다 완만한 경우 : 유체력이 파괴의 주요인
- 법면 구배가 1:1.5보다 급한 경우 : 토압·수압이 파괴의 주요인

나. 수로 상류부로부터 토사유입 가능성 높은 구간

1) 유입될 가능성이 높은 토사의 형태 파악

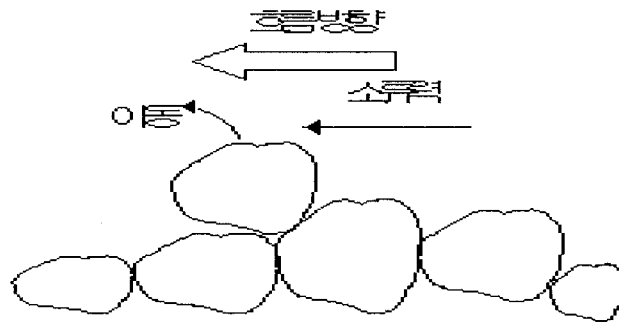
- 유역에 수리·수문학적 특성을 파악하고, 주요 토질특성 파악과 함께 기존 피해 사례 조사를 통해 친환경정비구간에 유입되는 주요 토사의 형태를 파악·분류한다.
- 토사종류별 대책을 강구한다. 점토 및 모재질의 경우 수로내 퇴적에 의한 유로

단면 축소로 인한 2차적 피해가 우려되고, 일정 크기 이상의 자연석이 유입될 경우 유입당시 유량 및 유속에 의해 충격에 의한 호안의 파괴가 우려된다.

- 점토 및 모래질과 같이 입자가 작은 토사의 경우 정비구간 시점부에 침사지 설치를 고려하며, 이때 작업기의 작업공간을 충분히 확보하도록 배려해야 할 것이다.
- 자갈 이상의 입자가 큰 자연석이 유입될 가능성이 높은 구간에는 가능하면 정비구간 시점부 이전에 계단식 단차공 등을 시공하여 유속을 저감하는 대책과 함께 근본적으로 수로 경사를 완화 할 수 있는 방안이 검토되어야 할 것이다.
- 이와 함께 토사발생의 원인이 되고 있는 상부구역에서의 개발행위 시 토사유실 방지가 요구되며, 밭갈기 등의 영농행위에 의한 토사의 수로유입을 줄이기 위한 사방댐과 침사지 같은 시설의 설치방안에 대한 검토가 필요하다.

2) 급류구간에서 사면에 가해지는 충격을 줄이기 위한 방안

- 유속이 빠른 급류 구간의 경우 소류력에 의한 법면 및 호안 세굴에 대한 우려와 함께 크기가 큰 자연석의 유입으로 호안에 충격이 가해져 호안파괴의 원인이 되고 있다. 이때 소류력은 자연석 등의 부재가 흐름의 작용에 의해 굴러(굴러가는 소규모 도약에 의해) 이동하는 현상으로 정의되고 있다.(그림 4-27 참고)



<그림 4-27> 소류력에 의한 자연석 이동 개념도

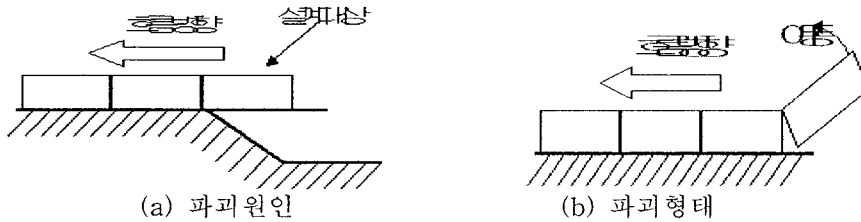
- 지역적 여건에 의해 자연석 등을 이용하는 구간 또는 정비구간 상부에 자연석이 존재하는 경우에는 흐름에 의하여 자연석이 이동되지 않도록 대책을 강구해야 하며, <그림 4-28>에 나타난 바와 같이 자연석 또는 부재간에 서로 맞물리게 함으로써 흐름에 저항할 수 있도록 계획·설계를 검토할 필요가 있을 것이다.



<그림 4-28> 자연석등 부재의 일체성을 통한 이동 억제 방안 개념도

다. 정비구간 시점부 처리의 파괴 원인과 대책

시점부 파괴 원인을 도식적으로 나타낸 것이 다음 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 정비구간 시점부에 기초지반 또는 법면과 부재사이에 공간이 발생되어 유체력에 의해 부재가 이동 또는 이탈되는 형태로 나타날 것이다.



<그림 4-29> 시점부 파괴원인 및 형태

따라서, 시점부의 경우 부재의 이동을 억제할 수 있는 대책이 요구되며, 블록형태의 부재일 경우 블록하부 지반침식에 의한 유로 형성을 통해 붕괴 우려가 기타 부재보다 클 것으로 예상되기 때문에 충분한 역학검토를 통해 보호공이 계획되어야 한다.



<그림 4-30> 시점부 보호공 개념도

라. 적정 침사지 규모산정 및 유지관리 방안 검토

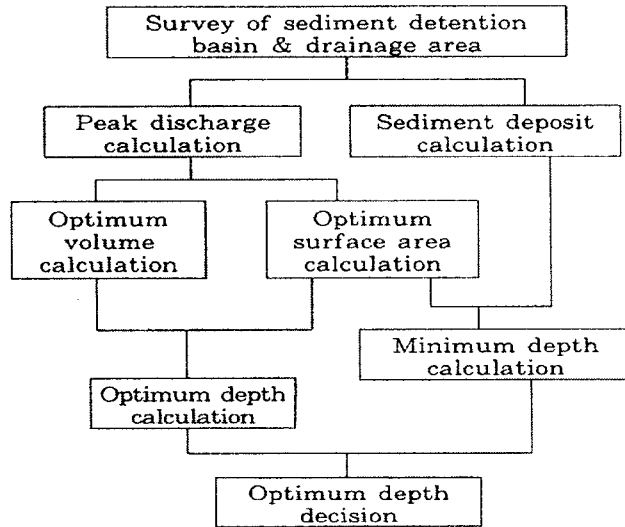
침사지는 상류지역의 토사의 유입이 있을 경우 반듯이 설치를 해야 하나, 쌓인 토사를 준설하여 침사지가 제 역할을 하는 것이 무엇보다도 중요하다. 침사지의 원활한 유지관리를 위해서는 백호, 덤프트럭등의 토사제거 장비의 진입이 용이하도록 진입도로가 설치되어야 하고, 장비의 작업이 용이한 구조로 설치하여야 한다.

또한 침사지의 규모는 강우 유입량, 토사유입량, 토사입자의 크기 등에 따라 침사지의 깊이와 폭을 적정하게 설치하여 자주 장비가 진입하여 침사지를 유지관리하기가 곤란하므로 적당한 기간을 두고 토사를 제거할 정도의 크기로 설치하여야 유지관리의 편의를 도모할 수 있다.

1) 침사지 규모 산정 개요

침사지 규모결정에 영향을 주는 물리적인 요소는 강우시 침사지로 유입되는 강우 유입량, 침사지 표면적, 토사입자의 크기, 침사지 깊이, 침사지 부피 등이 있다.(Chen, 1975) 따라서 침사지의 적정 규모를 결정하기 위한 계산과정은 다음과 같이 요약할 수 있고, 그림 4-31과 같다.

- 1단계 : 침사지로 유입되는 강우의 첨두유입량을 계산한다.
- 2단계 : 요구되는 침사지의 표준표면적을 구한다.
- 3단계 : 침사지에 침전되는 토사 퇴적량을 구한다.
- 4단계 : 침사지에 침전되는 토사 퇴적깊이를 구한다.
- 5단계 : 요구되는 침사지 정적부피를 구한다.
- 6단계 : 요구되는 침사지 적정깊이를 구한다.



<그림 4-31> 침사지 적정규모 계산과정(Chen, 1975)

2) 침사지 규모 산정을 위한 인자 값 결정

가) 침투유입량 산정

침투유입량은 유역내에 설치된 수위-유량 관측자료로부터 구하는 것이 정확도를 높일 수 있는 가장 좋은 방법이나 본 지구는 무계측지역이므로 강우량 및 유역특성으로부터 홍수량을 구하는 간접방법을 사용하였다.

침투유입량은 합리식, SCS삼각단위도법으로 산정하여 비교한 결과 합리식에 의한 값을 채택하였다.

<표 4-5> 송삼지구 침투유입량(20년, 50년 빈도)

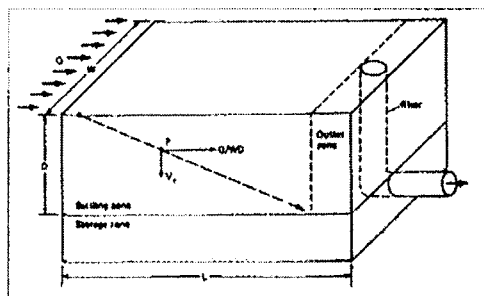
	20년 빈도	50년 빈도
합 리 식	11.76 m ³ /s	13.81 m ³ /s
SCS삼각단위도법	8.26 m ³ /s	10.06 m ³ /s

<표 4-6> 침투유입량

도달시간(min)	도달시간(hr)	강우강도(mm/hr)	Peak discharge(m ³ /s)
52.7	0.88	59.37	11.76

나) 침사지 최소 표면적 산정

토사입자의 밀도가 균일하다고 가정할 때, 침사지 설계 모형은 <그림 4-32>와 같다.



<그림 4-32> 침사지 설계 모형(Goldman, 1986)

침사지내에 유수의 흐름이 일정 방향으로 흐른다고 가정할 때, 깊이 D , 폭 W , 길이 L 의 침사지에 유입량 Q 가 유입된다면, 토사입자는 Q/WD 의 속도로 수평적으로 흐른다. 이때, 토사입자는 수직 속도 V_s 로 침전한다.

침사지내에서 토사입자가 길이방향으로 흐르는 시간(T_Q)은

$$T_Q = \frac{L}{Q/WD}$$

로 표현된다.

침사지내에서 토사입자의 침전시간(T_v)은

$$T_v = \frac{D}{V_s}$$

로 된다.

침사지에서 아주 미세한 토사입자는 침사지 출구 인접바닥에 침전한다. 그러므로

$T_Q = T_v$ 가 된다.

따라서, 침사지내에서의 토사입자의 흐름과 낙하시간은 다음과 같다.

$$WL = \frac{Q}{V_s}$$

여기서, WL은 침사지의 표면적이므로 유입수에 부유된 토사입자를 포착하는데 필요한 침사지 표면적은 유입량 Q 와 토사입자의 침전속도 V_s 로 계산된다.

이때 토사입자의 침전속도는 Pemberton이 제시한 계산도표에 의하여 구할 수 있다.

<표 4-7> 토사입자별 침전속도

Particle size(mm)		Settling velocity(m/sec)
Coarse sand	0.5	0.058
Medium sand	0.2	0.020
Fine sand	0.1	0.0070
Coarse silt	0.05	0.0019
Medium silt	0.02	0.00029
Fine silt	0.01	0.000073
Clay	0.005	0.000018

* Pemberton, 1971

침사지의 표면적은 침투유입량을 토사입자의 침전속도로 나누어 구하는데 <표 4-7>에서 제시한 바와 같이 침사지에 수용하고자 하는 토사입자의 종류에 따라 침전속도는 큰 차이를 보인다.

따라서 침사지의 표면적 역시 큰 차이를 가지게 되는데, 침사지의 크기와 토사입자 포착의 크기 결정은 침사지를 만드는 비용을 고려하여 결정되어야 한다. 대상지구의 토양 특성이 사양토이므로 0.01mm의 작은 실트질 입자까지 포착하려 한다면 침사지는 엄청난 규모의 표면적이 필요로 하므로 경제성을 고려하여 0.1mm의 토사입자를 기준으로하여 침사지 최소 표면적을 구하였다.

<표 4-8> 침사지 최소 표면적

Peak discharge(m ³ /s)	Settling velocity(m/sec)	Optimum surface area(m ²)
11.76	0.0070	1680

다) 토사퇴적량 산정

토사퇴적량은 토양유실량 산정공식 RUSLE를 GIS 프로그램인 IDRISI를 이용하여 값을 산출한 후 Roehl(1968)이 제시한 유역면적과 유사운송비의 관계를 이용하여 대상유역의 유사운송비를 구해 두 값을 곱하여 구하였다.

침사지로 유입되는 토사퇴적량은 유역에서의 토양유실량을 구하여 알 수 있다. 그러나 유역에서 발생한 모든 토양유실량이 침사지에서 퇴적된다고 볼 수는 없으므로 토양유실량에 유사운송정도를 감안하여 토사퇴적량을 구해야 할 것이다. 토양유실량은 RUSLE에 의하여 계산되어지는 연평균 토양유실량에 의하여 구할 수 있다.

(1) RUSLE 모형의 개요

RUSLE 인자들은 토양손실에 있어서 기상, 토양, 지형, 토지이용 등의 영향을 반영한다. 이런 인자들에 의해서 대상 지역의 토양 손실량을 구할 수 있고 그에 따른 토양보존 계획을 수립하는데 사용되기도 한다.

RUSLE는 1960년대 초부터 범용적으로 사용되던 USLE의 수정식이다. USLE의 첫 번째 버전은 1965년에 Wischmeier와 Smith가 강우에 의한 토립자의 이탈 및 운송에 의한 개념을 기초로 하여 만들어 졌으며 1978년에 수정식을 제안하였다. RUSLE는 Natural Resource Conservation Service(NRCS, 1995)에 의해서 개발되었으며 USLE의 세 번째 버전이라 할 수 있다. RUSLE는 USLE의 방정식 구조를 그대로 사용하고 있지만 토양 손실의 형태가 변화되면서 각 인자들의 관계도 갱신되었다. 이 모형은 모의 강우와 실제 유출 자료 및 침식 기작 이론으로부터 파생된 경험식이며, 다양한 시나리오 하에서 유역이라는 광범위한 지역에 적용될 수 있게 되었다.

(2) RUSLE 요소

(가) 강우침식능인자(R : Rainfall erosivity factor)

강우침식능 인자는 강우사상(Storm event)별 빗방울에 의한 타격에너지와 강우의 운동에너지(Kinetic) 그리고 최대강우강도(Maximum 30minute rainfall intensity)에

의해 결정되는 인자이며 다음 식으로 정의된다.

$$R = \frac{\sum EI_{30}}{100}$$

위 식에서 R : 강우침식능인자

E : 강우에너지($\text{kg} \cdot \text{m}/\text{m}^2 \cdot \text{mm}$)

I_{30} : 30분 최대 강우강도(mm/hr)

위 식에서 강우침식능인자는 연평균 침식능(Mean annual erosivity)에 근거하여 계산되며 강우에너지의 계산은 강우가 떨어질때의 힘, 즉 강우의 운동에너지와 30분 동안의 최대 강우강도의 곱으로 정의된다. 우리나라의 평균 R값은 438인 것으로 조사되었다.

(나) 토양침식성인자(K : Soil erodibility factor)

토양침식성인자는 어떤 토양의 고유한 침식성을 정량적으로 나타낸 것으로서 토양 침식에 영향을 주는 모든 인자가 동일한 경우 토양특성에 따른 유실량의 차이를 말한다.

토양침식성인자는 토양의 물리·화학적 성질에 따라 좌우되는데, K 값의 측정은 72.6ft(22.13meters) 길이와 9%의 경사도인 표준포가 기본모델(unit plot)이 되어 측정된다. 그 주용 요소는 이경분포, 토양구조, 투수성, 유기물함량 등이다. 특정한 토양에 대한 K 값은 표준포장으로부터 침식지수 1에 대한 침식률을 나타내는데, 토양 침식성인자 K 의 결정방법은 직접법과 간접법이 있다.

Wischmeier(1971)등은 토양침식성에 영향을 미치는 요소(토성, 유기물 함량, 토양 구조, 투수성)로부터 K 값을 구할 수 있는 계산도표(Nomograph)를 제시하였다.

Wischmeier(1971)의 토양침식성인자를 계산하기 위한 계산도표의 유도식은 다음과 같이 정의된다.

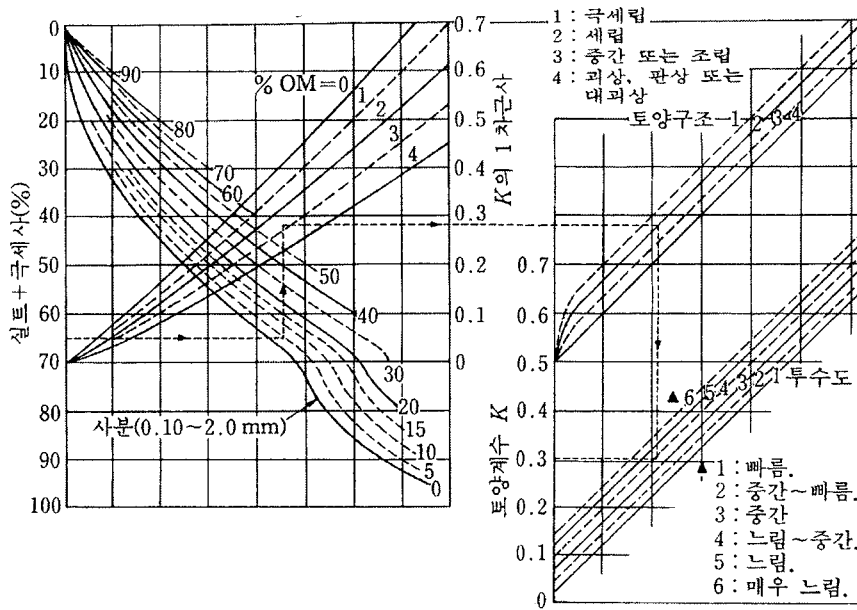
$$K = \frac{2.1M^{1.14}(10^{-4})(12-a)+3.25(b-2)+2.5(c-3)}{100}$$

위 식에서, M : silt 함량(%)+극세사함량%(100-점토함량(%))

a : 유기물함량(%)

b : 토양구성비 수준

c : 투수성 수준



<그림 4-33> 토양침식성 인자 K의 계산도표

(다) 지형인자(LS : Slope Length and Steepness)

지형인자는 경사장(L)과 경사도(S)인데, 경사장과 경사도에 따른 단위면적당 예상되는 투양유실의 비를 말한다. 이 인자 역시 72.6(22.13meters) 같이와 9% 경사도인 표준포의 표준경사(Standard reference slope)를 기준으로 하는데, 이때 표준경사의 LS값을 1로 한다. 그리고 표준경사와 비교하여 경사도와 경사장의 상대적인 차이에 의해서 LS값이 구해진다.

따라서 경사장(L)인자는 표준포의 길이 22.13m에 대한 비율로 결정되므로 다음과 같은 식을 표현된다.

$$L = \left(\frac{x}{22.13} \right)^m$$

여기서, L : 경사장인자

x : 사면장(m)

m : 지수

지수 m은 경사도(S)에 따라 변화하는데 추천 값은 다음과 같다

<표 4-9> 경사도 범위에 따른 m 지수

경사도의 범위	지수
$5\% \leq S$	$m = 0.5$
$3\% \leq S < 5\%$	$m = 0.4$
$1\% \leq S < 3\%$	$m = 0.3$
$S < 1\%$	$m = 0.2$

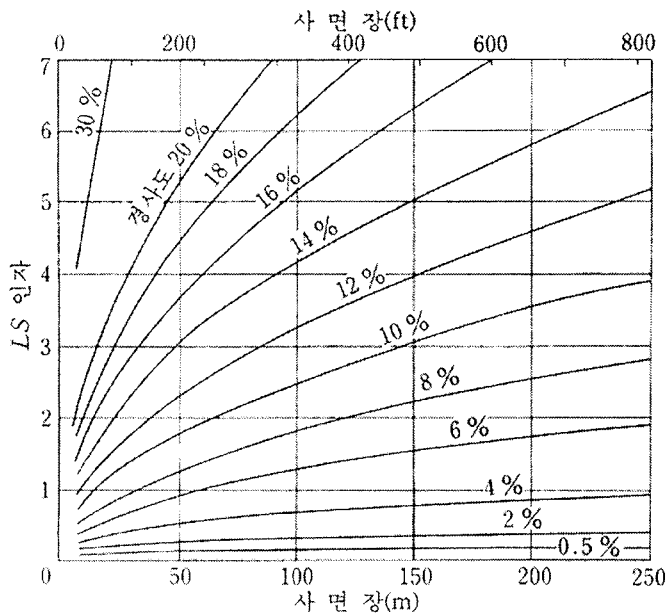
경사도(S)인자는 표준포인 9% 경사에 대한 상대비로서 결정되는데, 포장실험치의 회귀분석 결과 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$S = \frac{0.43 + 0.30S + 0.043S^2}{6.613}$$

위의 식으로부터 구하는 LS값의 추정을 위한 식은 다음과 같이 표현된다.

$$L = \left(\frac{x}{22.13}\right)^m \frac{0.43 + 0.30S + 0.043S^2}{6.613}$$

위의 식으로부터 구하는 LS인자의 추정을 위한 계산도표는 <그림 4-34>와 같다.



<그림 4-34> 사면장 및 경사도별 LS인자

(라) 식생피복인자(C : Cover-management factor)

식생피복인자는 강우, 토양, 지형조건이 동일한 경우에 특정한 식생피복상태에 따른 토양유실량과의 비로서 정의되는데, 지표면 식생의 피복상태, 종류, 생육정도 등의 복합적인 조건에 따른 토양유실량의 정도를 말한다. 미국 토양보전국이 제시한 산림지에서 C값은 <표 4-10>과 같다.

Wischmeier(1974)가 교란되지 않은 토양에서의 C값을 제안하였고, 미국 토양보전국(1975)에서는 미국의 동부 지역에서의 C값을 일반화하였으며, Wischmeier와 Smith(1978)는 미국의 곡물 지대에서의 C값을 제안하였는데 이는 모두 우리나라 실정에는 적합하지 못하다.

<표 4-10> 식생피복인자, C

Tree canopy (% of area)	% of area covered by > 2 inch of forest litter	Undergrowth	C
100 - 75	100-90	Grazing and burning controlled	0.001
		Heavily grazed and burned	0.003-0.001
70 - 40	80 - 75	Grazing and burning controlled	0.002-0.004
		Heavily grazed and burned	0.01-0.04
35 - 20	70 - 40	Grazing and burning controlled	0.003-0.009
		Heavily grazed and burned	0.02-0.09
< 20	Treated as grassland or cropland		

* U.S. Soil Conservation Service

농촌진흥청의 농업기술연구소(1977~1982)에서 각종 작부체계별 물 유출량 및 토양유실량을 조사하였는데, 이를 토대로 그 밖의 작물에 대한 C값을 발표하였다.

<표 4-11> 식생피복인자, C

작물	C값	작물	C값	작물	C값
콩	0.76	고구마 전작		고추	0.32
감자	0.75	후 옥수수	0.37	참깨	0.28
옥수수	0.47	밭벼 전작 후	0.34	감자·콩	0.26
콩 전작 후	0.42	옥수수	0.34	밀·콩	0.25
옥수수	0.40	고구마	0.34	밀·참깨	0.20
밀	0.19	잡초	0.18	목초지	0.08
보리·고추		보리·콩	0.10		
		보리·고구마			

* 농촌진흥청 농업기술연구소

(마) 침식조절방법인자(P: Erosion control practice factor)

침식조절방법인자는 어떤 토양 보전대책을 수립한 사면의 상하방향 경사지로부터의 토양 유실과 아무런 대책도 세우지 않은 사면에 대한 토양유실량의 비로 정의된다. 이 인자는 작물의 등고선 경작, 등경사 경작, 농경지의 조도 등의 효과가 토양침식에 미치는 영향을 평가하기 위하여 도입된 무차원 인자이다. 이러한 영향을 정량화하기 위해서는 다음 도표를 이용하여 P값을 추정한다.

<표 4-12> 침식조절방법인자, P

Land Slope(%)	Contouring	Contour Strip cropping and Irrigated Furrows	Terracing
0 - 7	0.55	0.27	0.10
7 - 11.3	0.60	0.30	0.12
11.3 - 17.6	0.80	0.40	0.16
17.6 - 26.8	0.90	0.45	0.18
26.8 <	1.00	0.50	0.20

* 농촌진흥청 농업기술연구소

(3) IDRISI 프로그램에 의한 인자값 산정

토양유실량은 대상구역의 1:50,000의 DEM자료와 토양도, 토지이용도를 이용, RUSLE식의 각각의 인자를 산출하여 구하였다.

(가) 강우침식능인자(R)

구역의 평균강우량을 구하는 방법으로는 산술평균법, Thiessin법, 보간법 등이 있으며 각각의 방법에 따른 장·단점이 있으나 대상구역이 면적이 매우 작음을 고려하여 가평1관측소와 가평2관측소의 1994년부터 2001년까지의 연평균 강우량으로부터 산술평균법을 적용하여 구역의 평균 강우량을 산정하였다.

강우침식능인자를 산출하는 방법은 여러 방법이 있으나 본 연구에서는 A. G. Toxopeus(1998)가 제안한 방정식을 사용하였다.

$$R = 3.85 + 0.35 \times P$$

여기서, R : 강우침식능인자

P : 연평균 강우량(mm/yr)

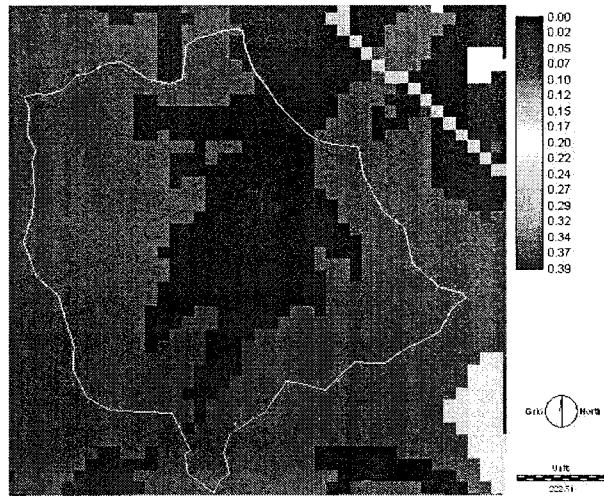
(나) 토양침식성인자(K)

대상구역에 대한 농촌진흥청의 1:50,000 개략토양도를 이용하여 미국 토양보전국(1975)가 제안한 <표 4-13>을 이용하여 K값을 추출하였다.

<표 4-13> 토양침식성인자, K

Texture class	Organic matter content		
	< 0.5%	2%	4%
	K	K	K
Sand	0.05	0.03	0.02
Find sand	0.16	0.14	0.10
Very fine sand	0.42	0.36	0.28
Loamy sand	0.12	0.10	0.08
Loamy fine sand	0.24	0.20	0.16
Loamy very fine sand	0.44	0.38	0.30
Sandy loam	0.27	0.24	0.19
Find sandy loam	0.35	0.30	0.24
Very find sandy loam	0.47	0.41	0.33
Loam	0.38	0.34	0.29
Silt loam	0.48	0.42	0.33
Silt	0.60	0.52	0.42
Sandy clay loam	0.27	0.25	0.21
Clay loam	0.28	0.25	0.21
Silty clay loam	0.37	0.32	0.26
Sandy clay	0.14	0.13	0.12
Silty clay	0.25	0.23	0.19
Clay	0.13 - 0.29		

* U.S. Soil Conservation Service



<그림 4-35> K 값

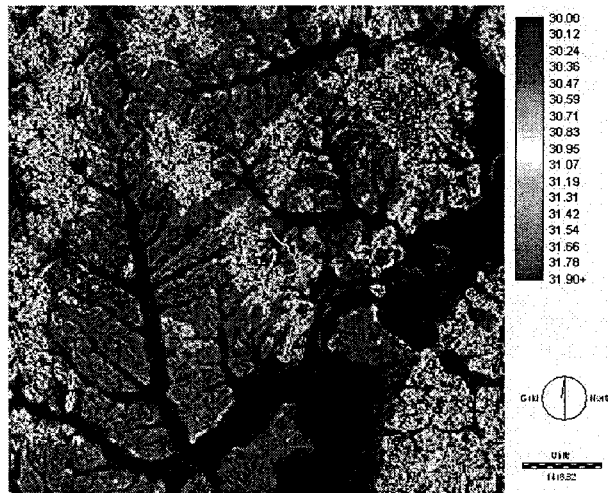
(다) 지형인자(LS)

지형인자를 구하기 위한 식은 다음과 같다

$$LS = \left(\frac{x}{22.13} \right)^m \frac{0.43 + 0.30S + 0.043S^2}{6.613}$$

LS 값을 계산하는 방정식에서 x 는 사면장으로서 사용된 DEM자료의 격자크기가 30m이므로 격자크기를 경사도의 cos 값으로 나누어 구할 수 있다.

지수 m 은 <표 4-9>를 이용하여 <그림 4-36>의 %경사도를 재분류하여 추출하였다.

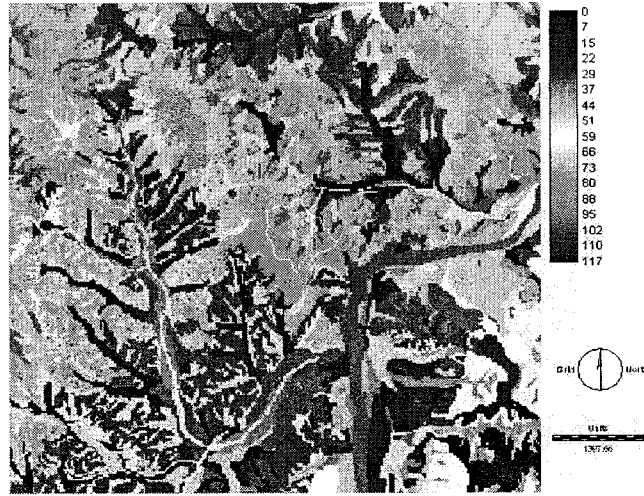


<그림 4-36> LS 값

(라) 식생피복인자(C)

식생피복인자는 2000년에 제작된 토지피복도를 식생피복인자로 재분류하여 추출하였다.

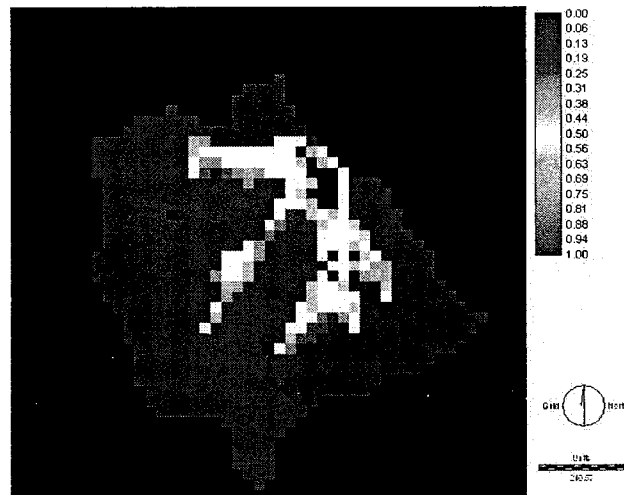
이 과정에서 미국 토양보존국(1974~1975)이나 Wischmeier와 Smith(1978)가 제안한 C값을 적용하기에는 우리나라의 작물이나 피복상태에 적합하지 못하여 본 연구에는 신(1999)등이 제시한 C값을 고려하여 논 0.30, 밭 0.40, 산림 0.10, 초지 0.20, 수계와 도시지역은 토양손실이 일어나는 요인이 없으므로 0으로 재분류하여 <그림 4-37>과 같은 C값을 추출하였다.



<그림 4-37> C 값

(마) 침식조절방법인자(P)

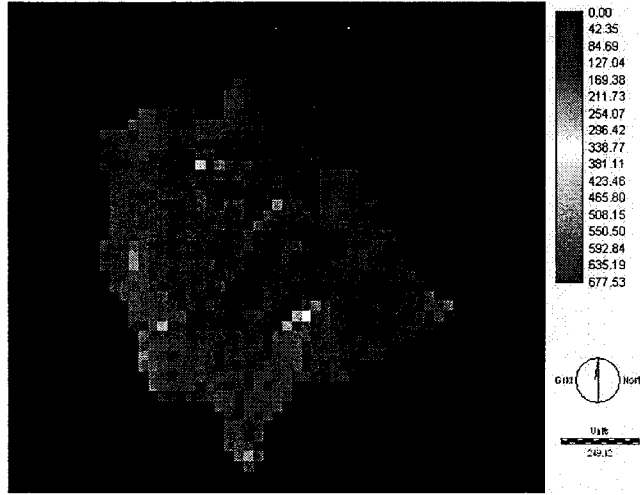
침식조절방법인자를 추출하기 위해서는 Wischmeier(1978)가 제안한 도표를 이용하여 P값을 추정하는데, 우리나라의 경우 과수원은 주로 등고선을 따라 경작하므로 등고선 경작으로 분류하고 논은 대부분 계단식 형태로 경작하므로 테라스공법에 속한다고 보고 DEM의 각 격자의 경사도에 따라서 P값을 부여하였다. 그리고 산림지역과 같은 토양을 보존하기 위한 특별한 대책을 수립하지 않은 곳에 대해서는 1을 부여하였다. 이렇게 재분류하여 추출한 P값은 <그림 4-38>과 같다.



<그림 4-38> P 값

(바) 토양유실량 산정

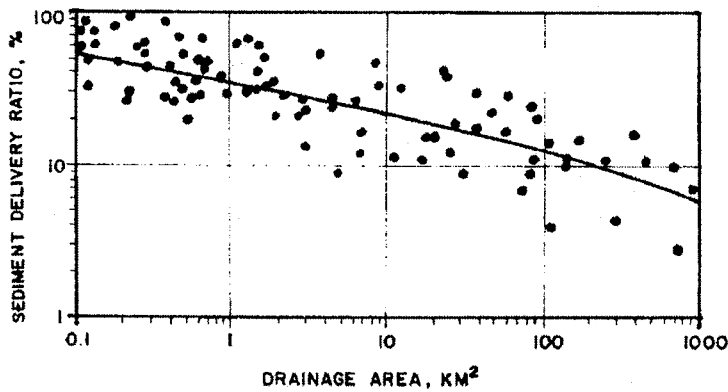
유역 출구점에서의 토양유실의 산정을 위하여 추출된 RUSLE 각 인자인 R, K, LS, C, P의 각 레이어를 곱하여 대상유역의 토양유실량을 추정하였다.



<그림 4-39> 토양유실량(ton/ha/yr)

라) 유산운송비 산정

상류에서 발생한 토양유실량이 유역의 출구로 운송되는 양을 추정하는 유사운송비 법(Sediment delivery ratio method, SDR)은 Roehl(1962)에 의하여 제시되었다.



<그림 4-40> 유사운송비-배수유역 곡선

유사운송비는 <그림 4-40>에 의해 유역면적 71.32ha 즉, 0.71km²에 해당하는 0.39로 하였다. 침사지 토사퇴적량은 토양유실량과 유사운송비를 곱하여 구하였다.

<표 4-14> 연 토사퇴적량

Soil loss(ton/yr)	Sediment delivery ratio	Deposit(ton/yr)
6544.54	0.39	2552.37

마) 침사지 퇴적깊이 산정

요구되는 침사지의 최소깊이는 대상지의 공사기간과 관련하여 설정될 수 있는데, 본 연구에서는 토사가 1년간 퇴적되는 깊이 이상이 되어야 한다고 가정하고, 이를 요구되는 최소깊이로 간주하였다. 침사지 퇴적깊이는 연간 퇴적되는 토사량을 부피로 환산하고, 이를 침사지 표면적으로 나누어 주어 구한다. 즉, 퇴적 토사량의 부피 환산계수를 C(ton/m³)라 하면, 퇴적부피(m³)는 퇴적량(ton)/C로 계산한다.

따라서 침사지 퇴적깊이는 다음 식으로 구한다.

$$\text{침사지퇴적깊이}(m) = \frac{\text{퇴적부피}(m^3)}{\text{침사지표면적}(m^2)}$$

이때 토사량 부피환산계수는 대상지의 토양구성이 사양토이므로 C = 1.8(ton/m³)으로 계산한다.

<표 4-15> 침사지 부피 및 깊이

Required surface area(m ²)	Deposit(ton/yr)	Deposit volume(m ³ /yr)	Deposit depth(m)
1680	2552.37	3635.856	1.5

3) 침사지 적정규모 결정

침사지 적정규모 산정이론으로 유추한 유역 침사지 규모와 대상유역에 기 설치된 침사지 규모를 비교하였다.

<표 4-16> 침사지 적정규모 비교

Surface Area(m ²)		Depth(m)		Volume(m ³)	
Existing	Proposed	Existing	Proposed	Existing	Proposed
32	1680	1	1.5	32	3696

<표 4-16>에 따르면 현재의 침사지와 유추된 침사지와의 모든 부분에서 상당히 큰 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다.

이는 침투유입량과 토사입자 침전속도를 고려하여 산출한 침사지 표면적값이 현재의 침사지 표면적과 1600m²이상의 차이에 의한 것인데, 침사지 표면적 산출과정에서 침전시키고자 하는 토사입자의 크기를 0.1mm의 작지 않은 sand를 대상으로 했음에도 불구하고 이러한 차이가 나는 것은 현재의 침사지가 적절하지 못함을 알 수 있다.

현재의 침사지의 부피가 연토사퇴적량의 80%도 안되는 것을 고려할 때 침사지의 기능을 전혀 수행하지 못하고 있었다고 평가된다.

침사지 적정규모를 산정하는 과정에서 합리식에 의해 산정되어진 침투유출량이 실측값보다 크게 산정될 가능성이 높고, RUSLE 또한 실제 발생하는 토양유실량보다 크게 산정되는 경향이 크다는 것은 앞선 많은 연구에서 밝혀져 있으나 현재 침사지 규모로서는 토사유출을 제어하기는 역부족이다.

따라서, 수로로 유입되는 토사를 막기 위해서는 침사지의 표면적과 부피를 늘일 필요가 있는 것으로 판단된다.

자연형 수로로의 토사유입을 제어하고자 설치된 침사지 규모의 적정성을 평가하고자 이와 관련된 이론을 검토하고 경기도 여주군 송삼지구 제2호 배수지선 상류부 침사지에 적용, 규모를 산정하고 현재의 침사지와 비교하였다.

비교결과 침사지의 표면적 및 부피에서 상당히 큰 차이를 보였으며 침사지 깊이 역시 차이를 나타내며 현재의 침사지 규모가 유입되는 토사를 침전시키기에 부족한 규모를 가지고 있음을 알 수 있으며, 유지관리를 위해서는 연 2회 준설하던 기존 방식에서 분기별 1회 이상 준설이 필요한 것으로 판단된다.

4절 친환경공법 적용에 따른 용배수로 기능에 미치는 영향과 대책

1. 용배수로 기능을 고려한 친환경수로정비 방향

가. 친환경 용배수로정비의 시사점

친환경공법에 많이 사용되는 재료로는 목재, 석재, 식생, 콘크리트 2차 제품 등이 주류를 이루고 있다. 이를 이용한 다양한 공법들이 최근 하천정비에 활용되는 사례가 늘고 있는 추세이다.

용배수로의 경우 소동물의 탈출로로 활용되고 있는 등선로를 적용한 친환경정비가 사례지구가 늘고 있으며, 여주 송삼지구와 영광 오동지구는 각기 배수로와 용수로를 대상으로 친환경정비가 이루어진 지구로서 하천에 적용되고 있는 친환경공법을 용배수로에 적용하였고, 시범사업 성격상 가능한 다양한 공법을 시공하여 그 적용성을 검증하는 것을 목적으로 하였다.

친환경정비지구에 대한 모니터링을 통해 친환경정비 대상지구 선정에 있어 주변 여건과 유역 여건 등에 대한 세심한 검토가 요구되며, 특히 사면안정을 위한 토질특성에 맞는 식생의 도입도 중요한 고려사항이다. 또한, 식생정착이 곤란한 토질특성을 지닌 경우에 대해서는 대안마련을 위한 여러 가지 검토가 요구된다.

친환경적 공법이 적용된 수로의 다양한 특성 상 모든 수로를 대상으로 사업이 이루어질 수 없음을 감안할 때, 친환경수로의 상·하류 처리에 대한 사항도 중요한 설계요소이다. 즉, 친환경으로 정비된 수로구간의 유지는 자체의 안정성과 함께 상류로부터 유입되는 토사에 의해 수로기능 자체에 손상을 초래하고 있음을 시범지구 조사에서 나타냈다.

오동지구의 경우 수로상부가 저수지와 바로 연계되어 있어 송삼지구와 같은 상류부에서 파급되는 악영향이 적었지만, 정비구간 중간지점과 말단부 2지점에 계곡 물과 함께 마을 생활하수가 유입되고 있고 이들 지점에 침사지가 설치된 것을 고려한다면, 토사유입에 대한 처리방안은 유지관리측면에서 중요한 사항이라 판단된다.

그러나 송삼지구와 오동지구는 정비대상이 수로에 한정되었고, 외부로부터의 영향에 대해서도 수로 내에서 처리하도록 계획·시공됨에 따라 근본적으로 외부영향에 대한 수용범위는 극히 한정되었다. 따라서, 친환경정비지구의 계획과 설계에 있어서 상부로부터 예상되는 문제사항을 어떻게 처리할 것인가를 우선적으로 고려해야 할 것으로 판단된다.

즉, 여러 가지 대안 중에서 침사지의 경우 정비구간 내에만 설치하는 것 보다 정비구간 이외라도 설치될 수 있도록 검토하고, 토사이동량을 고려하여 적합한 곳에 설치 할 수 있는 방안을 검토하여야 한다.

나. 친환경 용배수로 정비 방안

일반 용배수로의 유지관리 문제가 되고 있는 것은 토사퇴적, 수초 과밀, 세굴 및 사면붕괴에 대한 것이며, 친환경정비에 대한 관심이 증폭되면서 자연성, 심미성, 친수성을 고려한 계획·설계가 검토되고 있고, 주변 경관과 조화되는 수로정비에 초점이 맞춰지고 있다.

이와 함께 마을진입, 영농활동 및 기타활동을 위한 주요접근로 및 농도와 간선급 용배수로가 연결하여 위치한 경우 이동능의 개선을 위해 도로 확포장에 대한 요구가 증대되면서 구조적으로 안전한 콘크리트 라이닝 및 옹벽식 형태의 수로정비를 통해서 접근성을 개선하는 노력이 가시화되고 있는 실정이다.

그러나 도로와 연결한 수로의 도로와 수로를 차단하는 안전시설이 미흡하여 이에 대한 대책 역시 중요한 정비사항이라 할 수 있을 것이다. 농촌의 고령화와 부녀화가 가속되면서 영농방식 있어 일대 전환이 수반되었는데, 즉, 농기계를 이용한 영농이 일반화되어가고 있고 점차적으로 대형화되는 추세이다. 따라서 현 시점에서 제한된 도로 및 농도 폭내에서 안전을 배려하는 방안의 검토 역시 중요한 고려사항이 될 수 있을 것이다.

결론적으로, 친환경 용배수로 정비는 정비구간내 안정과 수로로서의 기능성 확보와 함께 이를 이용하는 주민의 안전성을 배려하면서 주변 경관과 조화되는 수로로 정비하는 것을 원칙으로 하여야 할 것이다.

2. 친환경 재료 및 제품의 개발방안

수로의 구조적 안정성 확보를 원칙으로 하고 부가적으로 흐름의 방해요소로 작용하고 있는 수초의 적절한 억제와 기존 방식과 유사한 세굴 방지효과를 달성할 수 있는 재료가 우선 검토 대상이 될 수 있을 것이다.

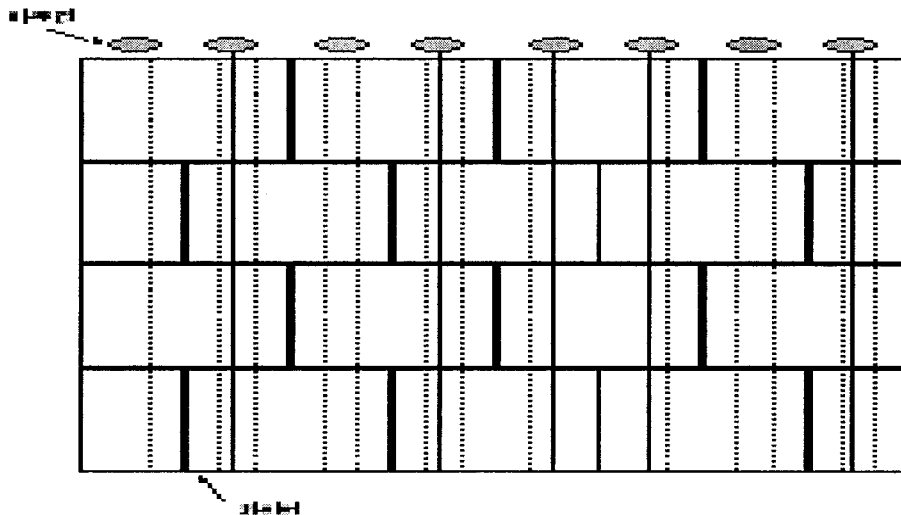
이와 함께 제품의 형상에 있어서는 주변 경관과 어울리는 색상과 모양이어야 하고, 시공성이 양호할 뿐만 아니라 구조적 안정성의 확보가 선행되어야 할 것이다.

이를 위해 본 연구에서 시공의 편의성을 고려하여 거푸집 형식을 지양함을 원칙으로 하였으며, 최근 많은 수로정비에 실제로 활용되고 있는 블록형 형식을 벤치마킹하는 것을 참여 연구진과의 협의를 통하여 결정하였다.

세부적으로 제품을 이루는 구성요소로서는 1차년도를 통해 다양한 재료의 조사·분석을 통해 최종적으로 황토를 기본재료로 선정하였으며, 구조적 안정성 확보를 위하여 골재 및 기타 혼화재를 이용한 블록형 제품을 개발하게 되었다.

블록의 모양은 시공성과 재료의 연결성을 확보하기 위하여 사각형 모양을 기본으로 하였고, 구조적 안정성 확보를 위한 방안으로서 단순히 각 블록을 연결하는 방식이 아닌 와이어로 각 블록을 연결하는 방안을 검토하였다.

또한 블록표면은 블록간의 마찰력을 확보하기 위하여 골재의 모양이 그대로 나타날 정도로 거칠게 하였는데, 이를 통해 블록의 미끄러짐 방지를 확보할 수 있으며, 다시 와이어를 통해 블록을 연결하여 구조적으로 안전한 단면을 형성할 수 있도록 계획하였다.



<그림 4-41> 와이어를 이용한 블록 연결 개요도

5절 배수로의 토질특성을 고려한 안정성 검토

1. 개요

본절에서는 친환경배수로 공법으로 지구를 선정하는데 있어 경제적 또는 사회적인 조건이외에 기술적인 조건 즉, 토질에 따른 사면안정에 관한 검토와 분석을 통하여 토질조건에 적합한 친환경배수로 공법을 적용하는데 그 목적이 있다.

이러한 목적에 의해 기설 배수로 지구를 조사하였으며 조사지구는 각 지구별로 특성이 있는 지구를 선정하여 토질조건에 따른 문제점을 분석하고 친환경 배수로 공법의 적용성에 대하여 검토하였다.

조사지구는 최적의 친환경배수로 공법의 적용 여부를 판단하기 위하여 4개지구를 선정하여 각 지구의 토질특성을 기술하고, 흙수위가 아닌 옹벽이나 블록, 나무말뚝 등의 공법적용에 대하여 적용성을 검토하였다.

2. 배수로의 사면붕괴 양상

배수로의 사면은 사면의 기울기 및 구성재료에 따라서 달라지지만 대부분의 붕괴는 집중호우 중이거나 높은 수위상승 또는 최고 수위에 도달한 직후에 자주 발생한다.

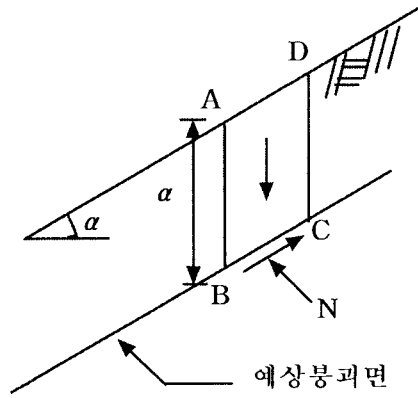
사면의 각종붕괴 양상을 유형별로 분류하면 다음과 같다.

- ① 표층박리로 인한 붕괴
- ② 평면 활동으로 인한 붕괴
- ③ 원호 활동으로 인한 붕괴
- ④ 연약층을 통한 붕괴

가. 표층박리로 인한 붕괴

지하수의 영향을 고려하지 않은 제방 비탈의 표층박리형 붕괴는 다음 <그림 4-42>의 미소체적(ABCD)에 작용하는 힘들의 관계로부터 그 안전율을 산정할 수 있다. 미소체적의 AB 및 CD면에 작용하는 수직력은 그 크기가 같고 방향이 반대이므로 상쇄된다고 보면 결국 BC면으로의 작용력과 저항력의 평형관계만 고려하게 된다. 즉, BC면에 수직으로 작용하는 응력 σ 는,

$$\sigma = \gamma s Z \cos \alpha$$



<그림 4-42> 표층박리로 인한 붕괴

이 면에 작용하는 전단응력 τ 는,

$$\tau = \gamma s Z \cos \alpha \sin \alpha$$

따라서, 이 경우에서의 안전율 F_s 는 다음과 같다.

$$F_s = \frac{\tan \phi}{\tan \alpha}$$

여기서, γs : 흙의 단위체적 중량

α : 사면 경사각

ϕ : 유효응력에 대한 내부마찰각(30 ~ 35)

위에서 유효응력의 크기는 간극수압의 정도에 직접 영향을 받으므로 지하수위의 분포가 추가적으로 고려된다.

나. 평면활동으로 인한 붕괴

평면활동에서의 작용력은 다음 <그림 4-43> 에서의 썩기형 흙덩어리의 자중(W)이며 붕괴면에 전단응력으로 작용하고, F는 이에 대응하는 흙의 저항력이다. 이때 안전율은 다음식으로 산정된다.

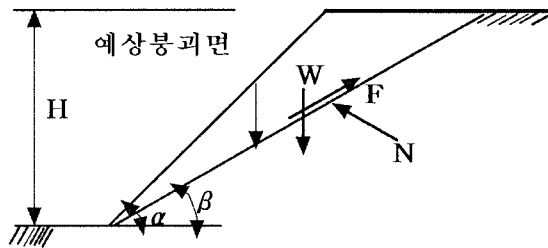
$$F_s = \frac{2c \sin \alpha}{\gamma_s H \sin(\alpha - \beta) \sin \beta} + \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$

여기서, c : 점착력

β : 붕괴사면의 경사각

퇴적토나 실트, 잔모래층의 경우에는 한계경사보다 급한 경우에서도 자연상태의 결합력과 점착력으로 오랜 기간동안 활동이 없는 경우도 있다. 점성토의 경우 ϕ 는 0이므로 안전율은 다음과 같다.

$$F_s = \frac{2c_u \sin \alpha}{\gamma_s H \sin(\alpha - \beta) \sin \beta}$$



<그림 4-43> 평면활동에 의한 붕괴

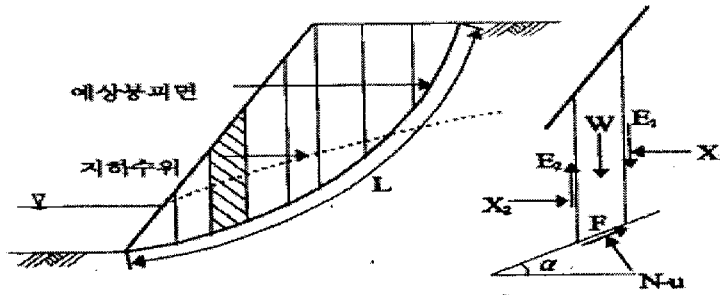
위의 식에서 c_u 는 비배수 상태에서의 점착력이다.

다. 원호 활동으로 인한 붕괴

원호활동으로 인한 붕괴는 활동토피가 배수로 사면이나 바닥의 어느 구역을 통하여 원호상으로 변형하는 경우로서 이와 같은 경우 안전율의 산정은 여러 가지 방법으로 계산할 수 있지만 여기서는 절편들에 의하여 계산하는 방법을 기술하고자 한다. <그림 4-44>에서 각 절편들 간에 상호 작용하는 힘(X_1, X_2, E_1, E_2)들은 상쇄된다고 보면 붕괴면에 작용하는 힘으로 자중(W)과 이에 저항하는 전단력(F)이며, 이때 각 절편에서의 흙의 특성, 간극수압 및 인장균열에 의한 영향을 고려한다. 활동에 영향을 주는 각 절편에서의 힘들을 모두 합하여 안전율을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F_s = \sum c'L + \sum (W \cos \alpha - uL) \tan \phi'$$

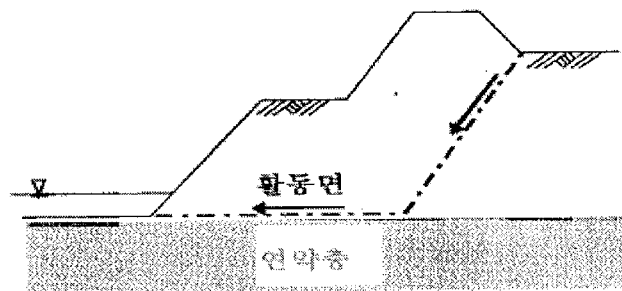
여기서, W : 각 절편의 자중
 u : 간극수압
 L : 붕괴면의 길이



<그림 4-44> 원호활동에 의한 붕괴

라. 연약층을 통한 붕괴

연약층을 붕괴하는 그림과 같이 사면이나 기초지반에 연약층이 있는 경우 토괴가 이 연약층을 통하여 활동을 일으키는 경우이다. 이러한 형태의 붕괴는 일반적으로 기초지반이나 사면에 연약점토층이 있거나 과도한 양압력이 작용하는 장소에서 발생한다.



<그림 4-45> 연약층을 통한 붕괴

3. 조사 대상지구 선정

가. 선정조건

친환경적 배수로 공법 적용을 위하여 지구의 선정조건으로 고려하여야 할 조건으로는 향후 시험시공이 가능한 지구, 기 친환경배수공법이 적용되어 타 공법과 비교 가능한 지구, 그리고 토질조건이 지역적으로 서로 달라 다양한 공법을 선택할 수 있는 가능한 지구, 관리가 용이한 지구 등 지역적인 특성과 토질적인 특성을 고려하여 선정하였다..

이러한 조건을 고려하였을 경우 먼저, 기 친환경배수공법이 시험시공된 지구로는 2000년에 시공이 완료된바 있는 경기도 여주군에 위치한 송삼지구가 고려될 수 있다. 특히, 송삼지구는 내륙지역에 위치하면서 시공한지 2년이 경과하고 있어 친환경 배수로에 적용된 공법의 문제점과 공법 적용성 등을 파악하기가 용이할 뿐만 아니라 타 공법 적용성에 대하여도 검토가 가능한 지역으로 판단된다.

그리고 연약지반과 일반지 등에 각각의 친환경 배수로의 공법 적용성을 검토하기 위하여 연약지반과 일반지로 구분하여 선정하였다. 이러한 선정 조건에 적합한 지구로 연약지반인 경우에는 전남 해남군 산이면에 위치한 영산강 산이 2-1공구 지역을 들 수 있다. 또한, 평야지의 일반지인 경우에는 충남 논산시에 위치한 신화지구를 들 수 있는데, 이 지구는 과거에 배수개선을 실시한 지구이다.

그리고, 토질특성별로 구별하기 위하여 지구를 선정하였는데, 우선 가장 보편적으로 구별되고 있는 흙의 종류 즉, 실트질, 점토질, 모래질로 대별할 수가 있다.

나. 선정지구

앞절에서 언급한 바와 같이 선정조건에 적합하다고 판단되는 5개지구를 조사 및 분석 대상으로 선정하였다.

송삼지구는 기 친환경배수공법이 적용된 지구로 배수로 구간중에서 아직까지 식생이 자라지 않은 모래지반인 배수로 구간만을 대상으로 하였다.

또한, 내륙지역 내 위치하고 있으면서 친환경배수로가 시험 시공된 지구로서 현재 까지 배수로의 기능적인 측면의 역할 검토와 토질특성을 고려한 공법이 선정되었는지 여부를 판단할 수 있다.

그리고, 논산의 신화지구는 평야지대에 위치하면서 배수개선지구로서 실트질이 우세한 토질특성을 가지고 있는데, 실트질 토질지반의 배수로가 친환경적으로 개발되기 위하여 필요한 공법은 어느 조건에서 적합 가능한지 여부를 판단하기 위함이다.

또한, 간척지인 시화지구, 대호지구를 선정하였는데 시화 및 대호지구 모두 실트질

이 우세한 지역으로 조사되었다.

선정된 지구를 요약하면 표와 같다.

<표 4-17> 선정지구

구 분	지 구 명	비 고
내륙지	송삼	모래질지반(친환경시험지구)
평야지	신화	실트질지반
간척지	시화 대호	실트질지반 실트질지반

4. 토질특성

선정된 지구에 대한 토질조사를 실시하고 토질특성을 파악하기 위하여 각지구별로 실내시험을 수행하였으며, 각 지구별 토질특성은 표 4-18과 같다.

<표 4-18> 조사지구에 대한 배수로별 토질특성

구 분	지구명	입 도(%)				액성한계 (LL)	소성지수 (PI)	통일후 분 류	
		자갈 (4.75mm 이상)	모래 (0.075~4.75mm)	실트 (0.005~0.075mm)	점토 (0.005mm 이하)				
내륙지 (모래질)	송 삼	4.9	80.5	11.2	3.3	-	-	SM	
평야지 (실트질)	신 화	-	10	75	15	-	-	ML	
간척지	시 화	D-1	-	19.2	62.8	18	34.5	20.7	CL
			-	11.6	73.9	14.6	25.5	11.2	CL
		D-2	-	0.9	63.0	36.1	34.2	19.5	CL
			-	9.1	84.1	6.7	NP		ML
		D-3	-	23.1	68.4	8.5	NP		ML
			-	8.8	81.6	9.6	NP		ML
		D-4	-	8.7	75.8	15.6	26.3	12.5	ML
	-	44.9	52.5	2.6	NP		ML		
간척지 (실트질)	대 호	-	2	63.8	34.2	35.0	20.2	CL	

<표 4-18>에서 보는바와 같이 송삼지구는 기 친환경 배수로 공법을 시험시공한 지구로서 배수로의 사질토 구간에서 교란시료 1점을 채취하여 물리성시험을 실시하

었다. 또한, 신화지구는 기존의 배수개선사업시 토질시험자료가 있어 기존자료를 활용하였다.

시화지구는 현재 내부개답 설계지구로서 실트질이 매우 우세하여 콘관입시험(더치 콘관입시험)의 토질조사와 샘플링을 실시하여 불교란시료 8점을 채취하였으며, 채취한 시료는 실내로 운반하여 물리성시험을 실시하였다.

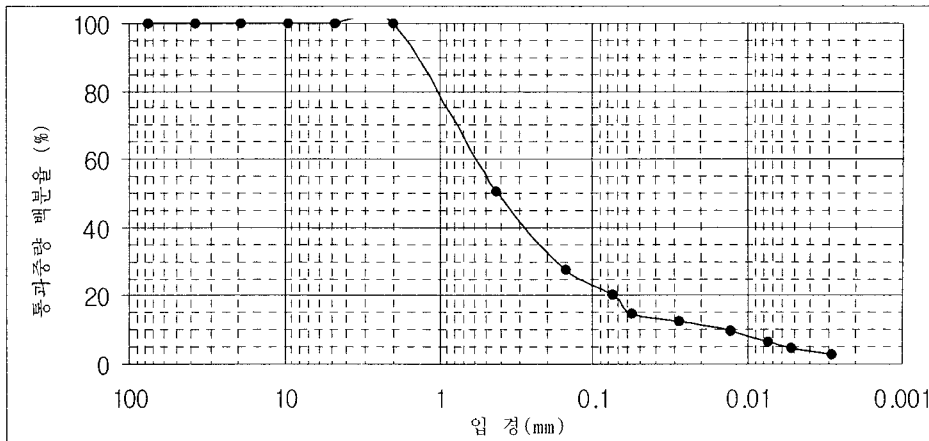
대호지구는 과거 토질조사한 자료가 있어 그 자료를 그대로 활용하였다.

각 지구별 상세한 토질특성은 다음과 같다.

가. 송삼지구

본 지구는 1조의 배수간선에 대하여 여러 종류의 공법을 적용하였다. 이런 연유로 토질 특성을 고려하여 적용된 공법은 현재에는 사면등이 안정되어 있지만, 약 2년이 지난 현재에도 배수로 사면에 식생이 활착되지 않아 사면의 흩이 흘러내려 배수로에 퇴적되고 있는 구간이 발견되었다. 따라서, 이 구간에 대하여 토질조사를 실시하고 교란시료 1점을 채취하였다. 이 구간은 토질이 대부분 화강풍화토로 수로 단면이 형성되어 있는데, 현재에도 식생이 잘어나지 않고 있으며, 사면을 발로 밟았을 때 사면이 붕괴될 정도이다.

이곳의 토질은 모래가 80.5%를 차지하고 있으며, 다음 그림 4-46은 본 지구의 입도곡선을 나타내고 있다.



나. 신화지구

본 지구는 배수개선지구로서 토질특성은 실트질이 매우 우세한 지구이다. 그러나 연약지반이 지구전체에 넓게 분포되어 있으며, 배수로 굴착시 사면형성이 어려워 히빙과 사면활동이 많이 발생하여 섬유대 호안공으로 배수로 사면을 보강하였으나, 시공이 매우 어려워 섬유대 포설후 히빙과 사면활동이 발생하였다. 이로 인해 시공면이 매끈하지 못하고 요철이 심한 편이다. 현재는 섬유대 이음부 사이에 잡초가 자라나 사면을 유지하고 있다. 이곳의 토질 입도 분포는 실트가 약75%를 차지하고 있다.

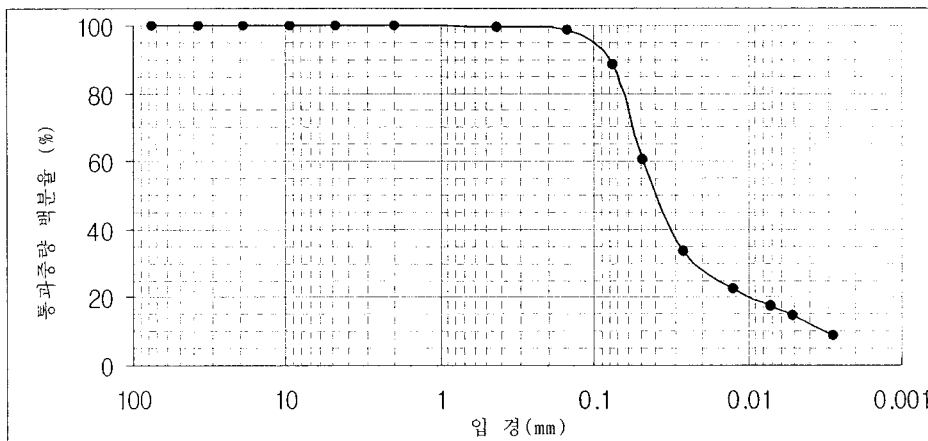
다. 시화지구

본 지구는 실트질이 우세한 지반으로 초기에는 수로 형성이 용이하나 시일이 경과함에 따라 물과 접촉하면 수로가 쉽게 훼손되거나 파손되는 경우가 많다. 따라서, 수로를 형성하기 까지는 별 문제가 없으나, 수로 형성 후 효율적 유지관리를 위하여 강우나 배수시에 사면침식을 최소화 할 수 있는 공법이 요구된다.

또한, 간척지의 수로로 어느 정도의 체염이 된 후에는 갈대가 자라나고 있으며, 이로 인해 배수로의 기능을 크게 저해하고 있으므로 적절한 공법의 대책이 요망된다.

이곳의 토질 입도분포는 실트가 52.5 ~ 84.1 %, 모래가 0.9 ~ 44.9 %로 실트질 이상의 입도분포가 80%이상을 상회하고 있다.

<그림 4-47>은 관입공 D-1의 2번째 시료의 대표적인 입도분포 곡선을 나타낸 것이다.



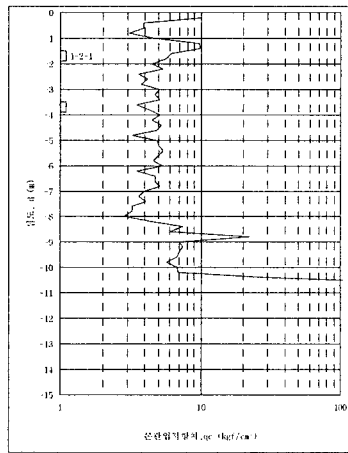
<그림 4-47> 시화지구 대표적인 입도분포곡선(관입공 D-1-2)

이 그림에서 입도가 균등한 즉, 0.05mm이상의 입경이 약 85%이상을 나타내고 있는 입도가 불량한 상태를 보여주고 있다.

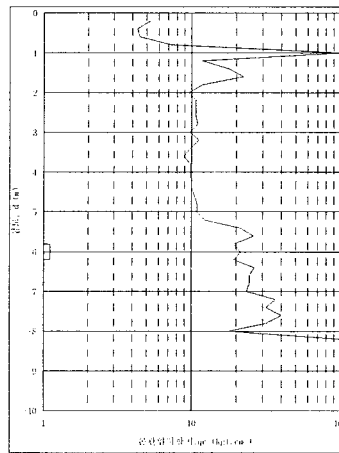
콘관입저항곡선도로부터 연약지반의 토층 깊이를 알 수 있는데, 관입공-1인 경우 표층으로부터 약 8m까지는 콘관입저항치(qc)가 3~5kgf/cm²의 값을 나타내고 있다.

이로부터 배수로의 사면 기울기와 높이 등을 개략적으로 결정할 수 있다.

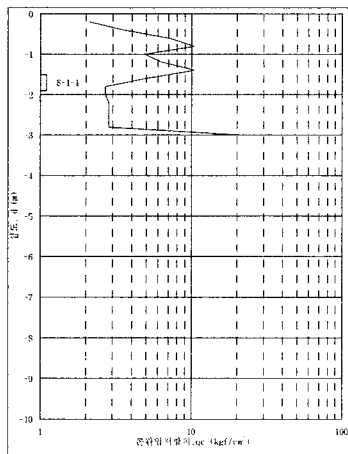
따라서, 콘관입시험을 통하여 시험한 값과 이 시험을 통하여 부수적으로 실시되는 샘플링으로부터 불교란 시료를 채취하여 토질강도 등을 측정할 수 있는 역학시험을 수행할 수 있고, 따라서 이런 일련의 시험으로부터 공법선정에 필요한 설계의 토질 정보를 제공받을 수 있다.



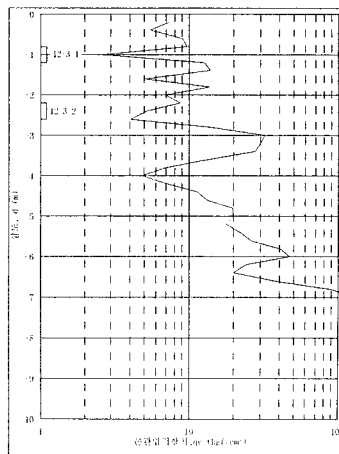
관입공-1



관입공-2



관입공-3



관입공-4

<그림 4-48> 콘관입저항곡선도(시화지구)

라. 대호지구

본 지구도 시화지구와 마찬가지로 실트질이 우세한 간척지이다. 이 지구의 배수로 는 대부분 토공수로로 형성되어 있지만, 앞에서 언급한바와 같이 간척지인 특성으로 배수로의 바닥에 자연적으로 자라난 갈대가 원활한 배수의 역할을 저해하고 있는 실정이다. 이곳의 토질 입도분포는 실트가 63.8%, 점토가 34.2%이다.

5. 배수로 호안공법의 사면기울기 적용성 검토

배수로의 사면기울기는 구성재료의 안정성과 유지관리 방법에 의하여 결정되는데 흙수로인 경우 기울기가 1 : 2 보다 완만하면 사면도 안정되고 시공도 쉬우나 사면이 완만해짐에 따라 용지폭과 공사비가 증가하게 된다. 또, 기울기가 급하면 사면보호공의 안정을 고려하여 두께를 증가시켜야 하고 소단을 두어야 하는등 시공이 어렵게 된다.

사면 기울기가 1 : 1.5보다 완만한 경우에 사면보호공은 사면에 직접 지지되어 기초는 주로 사면보호공의 자중을 지지하는 기능을 하게 된다. 사면기울기는 배수로의 구조와 높이에 따라 다르지만 <표 4-19>에 제시된 값을 기준으로 완만하게 하는 것이 좋다.

<표 4-19> 사면기울기의 표준

사면보호공의 구조		사면기울기연직높이(m)	사면기울기
돌쌓기 콘크리트블럭쌓기	찰쌓기	3이상 5미만	1 : 0.5
	매쌓기	3미만	1 : 1.0
돌붙임 콘크리트블럭붙임	찰쌓기		1 : 2.0
	매쌓기	3미만	1 : 2.0
콘크리트 방틀			1 : 1.5
돌망태붙임 콘크리트 붙임		3이상	1 : 2.0
		3미만	1 : 1.5

(하천공사표준시방서, 건설부, 1994)

<표 4-20> 미국 토양보전국의 사면기울기에 대한 규정

토질	사면기울기
흙	1 : 2.0
점토	1 : 1.5
피트, 사질토	1 : 1.0

<표 4-21> 일본 토지개량사업 표준설계(제6편 배수로) 규정

토질	사면기울기
경암	1 : 0.25
균열이 있는 풍화암	1 : 0.50
점토질 역토(礫土)의 단단한 지반	1 : 0.5 ~ 1 : 1.5
조밀한 역질 점토	1 : 1.0 ~ 1 : 1.5
모래섞인 점토질흙	1 : 1.5 ~ 1 : 2.0
자갈섞인 사질흙	1 : 2.0
사질흙, 느슨한 점토	1 : 3.0

그러나, <표 4-21>은 표준설계를 위한 규정이므로 연약지반인 경우에는 사면기울기에 대한 해석을 반드시 실시하여야 할 것이다.

6. 토질안정성과 유속을 고려한 친환경 호안공법 검토

친환경 호안공법 적용시 토질의 안정성은 적용 비탈면의 기울기와 유속에 밀접한 영향이 있으므로 토질별 특성, 즉 점착력, 전단강도, 토질구조등에 대한 공법을 검토하여 적용해야 할 것이다.

또한, 토질안정성, 유속의 영향, 비탈면의 기울기 등을 검토하여 친환경 호안공법을 적용해야 할 것이며, 토질특성은 수로의 비탈면 경사를 결정하는 주요인자이며 비탈면 경사와 유속의 영향을 고려한 각종 호안공법의 적용범위를 제시하면 <표 4-22, 23>과 같다.

<표 4-22> 대표유속에 대응하는 각종 호안공법 (사면의 경사가 1:1.5보다 느린 경우)

공 법		대 표 유 속(m/s)							적 용 조 건
		2	3	4	5	6	7		
식생 콘크리트계	현장타설 식생콘크리트								· 적용시 대표유속에 의한 호안의 역학적 설계에 기초해서 적용. 강도, 공극률을 고려해서 조정.
	프리캐스트 식생콘크리트								
식생계	떼입힘								· 평수에는 침수되지 않고 확실히 활착할 때까지 유수에 노출되지 않는 부분에 적용 · 평수위 이하에는 돌, 나무울타리, 망태계 근고공과 조합해서 사용
시트계	지오텍스타일								· 전석이 적은 하천이나 수층부 이외의 장소에 적용 · 배후에 주책이나 중요시설이 없는 경우에 적용
	블록매트								· 전석이 적은 하천이나 수층부 이외의 장소에 적용 · 배후에 주책이나 중요시설이 없는 경우에 적용
목재계	통나무격자								· 세굴하도에 적용 · 고수부지가 넓은 저수하도에 적용 · 배후에 주책이나 중요시설이 없는 경우에 적용
	갯버들								· 세굴하도에 적용 · 전석에 적용 · 고수부지가 넓은 저수하도에 적용 · 배후에 주책이나 중요시설이 없는 경우에 적용
	말뚝울타리								· 세굴하도에 적용 · 전석에 적용 · 고수부지가 넓은 저수하도에 적용 · 배후에 주책이나 중요시설이 없는 경우에 적용
자연석계	자연석(배쌓기)								· 현지 주변에서 재료의 입수가 용이한 경우에 적용
	자연석(찰쌓기)								· 현지 주변에서 재료의 입수가 용이한 경우에 적용 · 이음콘크리트는 표면이 노출되지 않도록 함
망태계	식생망태								· 세굴하도에 적용 · 배후에 주책이나 중요시설이 없는 경우에 적용
	망태매트								· 세굴하도에 적용 · 제방 정규단면을 침해하지 않도록 함
블록계	연결블록								· 연결재로 농선을 사용하는 경우 강한 산성 혹은 염분농도가 높은 장소에서는 사용하지 않음
	환경블록								· 여러 가지 형식이 있으므로 현지 환경에 적합한 것으로 선택
	콘크리트블록								· 원칙적으로 사용하지 않는 것으로 하고 다른 호안 공법을 적용할 수 없는 경우에만 적용

범례 ——— 적용가능범위

..... 기본적으로 사용하지 않음 (다른 공법으로 사용할 수 없는 경우에 사용)

- 피해 원인에 대한 대책을 강구함으로써 표의 범위 외에서도 공법의 적용이 가능한 경우가 있음
- 대표유속이란 계획 고수위 이하의 수심인 설계수심을 이용해서 그 조건에서의 조도계수, 에너지 기울기를 적절히 평가해서 얻은 평균유속에 대해서 하도 만곡률, 하도 횡단형상, 최심 하도 깊이 등에 대한 보정을 고려한 것임.
- 수층부는 대표유속 산정시 하도의 만곡률을 고려하지만, 실제 계획시에는 현지점의 유황을 충분히 파악해서 검토할 필요가 있음.

<표 4-23> 대표유속에 대응하는 각종 호안공법(사면의 경사가 1:1.5보다 급한 경우)

공 법		대 표 유 속(m/s)							적 용 조 건
		2	3	4	5	6	7		
식생 콘크리트계	현장타설 식생콘크리트								· 적용시 대표유속에 의한 호안의 역학적 설계에 기초 해서 적용. 강도, 공극율을 고려해서 조정.
	프리캐스트 식생콘크리트								
	통나무격자								
목재계	목재블록								· 사면 경사가 1:1.0 보다 급한 경우에 적용 · 쇄굴하도에 적용 · 전석에 적용 · 배후에 주택이나 중요시설이 없는 경우에 적용
	말뚝울타리								· 쇄굴하도에 적용 · 전석에 적용 · 배후에 주택이나 중요시설이 없는 경우에 적용
	연결자연석 (베쌓기)								· 쇄굴하도에 적용 · 재료를 충분히 확보할 수 있으면 유속은 고려하지 않고 적용할 수 있다. · 현지주변에서 재료의 입수가 용이한 경우에 적용
자연석계	자연석(찰쌓기)								· 현지주변에서 재료의 입수가 용이한 경우에 적용 · 이음콘크리트는 표면이 노출되지 않도록 함
	식생망태								· 쇄굴하도에 적용 · 배후에 주택이나 중요시설이 없는 경우에 적용
망태계	망태매트(다단)								· 쇄굴하도에 적용 · 강한 산성 혹은 염분농도가 높은 장소, 전석이 많은 구간에서는 적용하지 않음 · 제방 정규단면을 침해하지 않도록 함
	환경블록								· 여러 가지 형식이 있으므로 현지 환경에 적합한 것 으로 선택
블록계	콘크리트블록								· 원칙적으로 사용하지 않는 것으로 하고 다른 호안공 법을 적용할 수 없는 경우에만 적용
	보강토공법								· 쇄굴하도에 적용
기타	식생콘크리트 옹벽								· 쇄굴하도에 적용 · 재료를 충분히 확보할 수 있으면 유속은 고려하지 않고 적용할 수 있다.

범례 ——— 적용가능범위

----- 기본적으로 사용하지 않음 (다른 공법으로 사용할 수 없는 경우에 사용)

- 피해 원인에 대한 대책을 강구함으로써 표의 범위 외에서도 공법의 적용이 가능한 경우가 있음
- 대표유속이란 계획 고수위 이하의 수십인 설계수심을 이용해서 그 조건에서의 조도계수, 에너지 기울기를 적절히 평가해서 얻은 평균유속에 대해서 하도 만곡률, 하도 횡단형상, 최심 하도 깊이 등에 대한 보정을 고려한 것임.
- 수충부는 대표유속 산정시 하도의 만곡률을 고려하지만, 실제 계획시에는 현지점의 유흥을 충분히 파악해서 검토할 필요가 있음.

6절 용배수로 정비에 적합한 식물선정 및 식재방법

1. 공학적으로 안전하며 생태적 기능도 우수한 식물 선정

가. 식물 선정시 고려사항

일반적으로 식물선정시 고려해야할 사항은 첫째 적용 대상지의 생태계를 재생하는 목표에 적합한 식물이어야 한다. 특히 식생공법은 수로의 식생 구조를 반영해 주어야 하므로 물과 직접 맞닿는 부위에서 제방역에 이르기까지 정수식물대, 습생식물대에 출현하는 식물, 천변초지, 수립대에 이르기까지 기반환경에 부합되는 식물을 도입한다.

둘째 대상지의 환경조건에 잘 적응하는 식물로서 지역내에 자생하는 식물이어야 한다. 외래식물은 현지의 식생과 조화를 이루지 못할 뿐만 아니라 기존의 생태계에 대한 교란의 가능성이 있기 때문이다.

셋째 환경 형성작용이 뛰어난 식물로서 토양내 유기물 형성을 촉진하는 식물, 근계가 치밀하여 토양안정효과가 높은 식물을 선정한다.

넷째 번식이 용이하며 유묘의 대량생산이 가능한 식물이어야 한다.

다섯째 미적 효과가 높아 경관 형성효과가 높고 생태적 특성에 대한 교육적 가치가 높은 식물이어야 하며 수로생태계를 구성하는 다양한 구성요소의 발생을 촉진하는 식물이어야 한다.

나. 수로의 환경특성과 식물종

수로의 환경특성은 유황에 따라 달리 나타난다. 특히 배수로는 수위의 변동, 수류의 특성, 지하수위, 토양 토성 등에 있어 다양한 면을 보인다. 따라서 배수로에 도입할 식물종은 이들 환경특성을 감안하여 선정되어야 한다. 주요 환경특성에 따른 식물종 도입시 고려할 사항은 첫째, 배수로는 수위가 높아지면 침수되므로 관수 상태에서 내성이 있는 식생위주로 식물종이 선정되어야 한다.

둘째, 배수되는 상황에서 수위가 낮아지면서 다량의 토사가 발생하므로 토사에 묻힌 상태에서 재생이 가능한 식물종 이어야 한다.

셋째, 자연수로에 있어 토성과 하상재료의 입경에 따라 식물종 조성이 달라지므로 호안부의 특정구간에 식물종을 도입할 때에는 이러한 특성을 고려해 주어야 한다.

넷째, 수로의 지형 높낮이의 차이에 따라 습생식물과 건생 식물의 분포역이 달라지므로 이러한 특성을 고려해 주어야 한다. 또한 이 밖에도 일반적으로 각 식물종별로 특별한 내성과 선호도를 가지는데 이들에 대해서는 기존의 자료를 참고할 수 있다.

토양비옥도, 특히 장기적인 토양 비옥도는 비료 등으로 조절할 수 있으며, 기후는 변경시킬 수 없으나 적절한 설계와 관리를 통해 영향을 줄 수는 있다. 종의 선정과 관련해서는 추위, 가뭄, 노출, 단기생장 인자들의 내성에 대한 배려가 중요하다.

다. 식물 종의 혼합 및 혼식

어떤 특별한 목적을 달성하기 위해서는 하나의 종만으로 모든 요구를 충족시킬 수는 없으며, 바람직하지도 않다. 보완적인 특징을 가지는 종들을 혼합함으로써 당초의 식물기능을 충족시키도록 해야하며, 이로서 바뀌는 환경조건에 대한 반응에서 종의 균형을 이룰 수 있고 생존율도 높일 수 있다.

종의 혼합시에는 식물군집의 속성과 자연적 기능을 고려하여 설계되어야 하고 비용과 이용 측면도 함께 고려되어야 한다. 장기간의 종구성은 생물공학적 지식으로 항상 예측되는 것은 아니므로 종구성을 유지하기 위해서는 특별한 관리가 요구된다.

라. 식재 위치별 식물의 이용

1) 상록수 아래 식재

소나무 식재지역은 건조하고 비교적 척박한 지역이므로 강건한 낙엽성 화종을 선택한다. 적용 식물로는 벌개미취, 붓꽃, 원추리, 비비추, 옥잠화, 맥문동, 매발톱꽃, 구절초, 섬초롱꽃, 줄사철, 관중, 춘란, 등이 있다.

2) 낙엽 활엽수 아래 식재

늦가을에서 이듬해 봄까지는 양지이지만 초여름에서 가을까지는 녹음이 짙은 음지이므로 개화기에는 양지성, 개화 후엔 음지성의 화종을 선택한다. 적용 식물로는 원추리, 비비추, 옥잠화, 맥문동, 속새, 범부채, 매발톱꽃, 금낭화, 앵초, 매미꽃, 피나무, 은방울꽃, 동의나물, 등이 있다.

3) 도로분리대 및 녹지대 식재

차량통행이 많아 분진·매연·바람에 강한 화종을 선택하여야 하며 음지와 양지가 공존하는 지역이므로 화종을 신축성 있게 선택한다. 양지지역 적용 식물로는 왜성술 패랭이, 용머리, 벌개미취, 붓꽃, 원추리, 수크령, 섬기린초, 돌나물 등을 들 수 있으며 반음지 및 음지 적용 식물로는 비비추, 범부채, 옥잠화, 맥문동, 꽃창포, 마삭줄, 송악 등이 있다.

4) 방음벽, 담장, 철조망, 헨스 등 입면 녹화

일반적으로 덩굴성 식물들 중에 선별하여 식재를 한다. 방음벽, 담장 등 입면에는 담쟁이덩굴, 줄사철, 마삭줄, 능소화, 송악 등을 철조망, 철구조물, 헨스 등에는 인동, 멀꿀, 으름덩굴, 노박덩굴, 땃덩이덩굴, 오미자, 머루, 개머루, 등, 칩, 다래 등을 식재한다.

5) 보행섬, 공한지, 잔디밭 등 넓은 장소 식재

양지식물로서 건조에 강하고 개화기간이 길며 하고현상이 없이 오래도록 잎이 유지되는 화종과 교통량이 많아 운전자에게 시각적 장애를 주지 않는 키가 작으며 도로의 복사열로 인한 무더위 건조에도 강한 화종을 선택한다. 적용 식물로는 용머리, 원추리, 섬기린초, 붓꽃, 구절초, 쑥부쟁이, 왜성솔패랭이, 꽃잔디, 상록패랭이, 돌나물 등이 있다.

6) 절개지면의 식재

건조지·적습지·습지가 공존하는 지역으로 위치별로 적용 화종을 선택해야 하며 자생식물 종자를 Seed spray하여 자연스런 경관을 연출 할 수 있다. 일반적으로 건조지 구절초류, 쑥부쟁이류, 층꽃, 감국, 꽃향유, 기린초, 왜성솔패랭이, 용머리, 수크령 등이 적용 가능하고 적습지에는 원추리, 붓꽃, 인동, 까치수염, 범부채, 옥잠화, 비비추 등을 사용하며, 습지에는 꽃창포, 벌개미취, 부처꽃, 금불초 등이 적합하다.

7) 제방길 및 고수부지 식재

제방길은 비교적 건조하며 척박한 토양이므로 건조에 강한 양지식물을 식재하도록 한다. 적용 식물로는 벌개미취, 왜성솔패랭이, 용머리, 구절초, 쑥부쟁이, 원추리, 섬기린초, 할미꽃, 상록패랭이, 꽃잔디, 해국 등이 있으며 고수부지는 강물의 범람으로 침수가 우려되며 건조시 심한 가뭄으로 습해와 건조피해가 공존하는 지역이므로 식물 선택에 유의한다. 적용 식물로는 벌개미취, 부처꽃, 노랑꽃창포, 꽃창포, 원추리, 금불초, 붓꽃, 수크령 등이 있다.

마. 한해 특성에 대한 식물의 분류

온도가 떨어지게 되면 식물체는 스스로 추위에 대비하게 되는데 종에 따라 내한성의 차이가 있기 때문에 식재위치, 토양, 기후 등에 따라 겨울철 관리를 철저히 하여야만 봄이 되었을 때 본래의 형태 또는 그 이상의 생육상태를 기대할 수 있다. 식물체의 내한성 정도를 이해하지 않고 일률적으로 관리를 하게 되면 저온에 약한 개체는

봄이 되었을 때 그 피해가 크게 나타난다.

특히 인위적인 식재지의 경우 여러 종류들이 한꺼번에 식재 되어있는 경우가 많기 때문에 월동불가능개체나, 약간의 관리를 요하는 개체에 대해서는 반드시 11월 중순부터는 짚이나 낙엽, 거적, 목재칩 등으로 피복을 하여주거나 보온시설을 해주어야 한다. 그리고 10월 중순경 채종이 끝나고 지상부가 고사하고 나면 고사부를 제거하고 휴면기 완숙퇴비를 m^2 당 5kg내외로 뿌려주어야 영양부족이 일어나지 않고 겨울의 저온에 대한 내성도 좋아진다.

일반적으로 앵초, 할미꽃, 금낭화, 메발톱꽃 종류, 붓꽃, 돌단풍, 패랭이류, 기린초, 하늘 나리, 원추리, 금불초, 용머리, 비비추, 꽃범의꼬리, 벌개미취 등은 대체로 내한성이 강하기 때문에 특별한 관리를 하지 않아도 월동이 가능하지만 수선화, 은방울꽃 등은 겨울철 관리를 소홀히 하게되면 동해를 입기 쉬워 지표면 피복 등을 통하여 겨울철 탈수와 지나친 결빙과 해동에 대비하는 것이 안전하다. 특히, 영하 $10^{\circ}C$ 이하로 내려가는 중부지방 이상 위쪽지방에서는 짚 등으로 피복을 하여야 월동이 가능하다.

자금우의 경우도 남쪽지방에서는 월동이 가능하지만 중부지방 이상에서는 노지 월동이 불가능하므로 따뜻한 곳으로 이식을 하거나 보온시설을 하여야만 한다. 동절기 토양의 물리적 상태, 적당한 퇴비 사용은 익년 개화와 식물체의 성장에 도움을 줄 뿐만 아니라, 토양개량 역할을 하여 토양 환경개선과 식물체의 내한성을 증가시키는 중요한 역할을 한다.

< 표 4-24 > 내한성 정도에 따른 분류

내한성 월동형태	강	중	약
비상록성 속근류	복수초, 노루귀, 할미꽃, 긴병꽃풀, 동의나물, 무늬등굴레, 앵초, 은방울꽃, 민들레, 골무꽃, 금낭화, 꽃잔디, 돌나물, 돌단풍, 매발톱꽃, 붓꽃, 삿갓채, 왜성솔패랭이, 작약, 장구채, 줍쌈바귀, 피나물, 뱀풀, 우산나물, 까치수염, 꽃창포, 둥근잎꿩의비름, 매미꽃, 비비추, 삿갓나리, 솔나물, 원추리, 패랭이, 박하, 금불초, 노루오줌, 동자꽃, 애기범부채, 수련, 백리향, 옥잠화, 별개미취, 감국, 매자기, 창포, 용머리, 관중, 바위채송화, 돌나물, 부들, 섬초롱꽃, 쑥부쟁이, 부채붓꽃, 부처꽃 등	갯취, 왕해국, 왕갯쑥부쟁이, 땅채송화, 갯강활 등	
상록성	맥문동, 조릿대, 빈카, 줄사철, 수호초, 상록패랭이, 석창포, 애란 문수조릿대, 족제비고사리, 애기석위 등	보춘화, 털머위, 자금우, 마삭줄, 도깨비고비, 송악, 맥문아재비 등	파초일엽, 백량금, 죽절초, 모란 등

2. 정비 형태별 적용 가능한 식물 및 식재방법

가. 하천의 유역별 구분

1) 하천의 상류역

지형적 특성은 사행의 반파장(1개의 굴곡)내에 여울과 소가 여러번 반복되어 나타나며 하상 및 수면이 불연속 상태가 많고 평균하상 경사가 1/100 이상이다. 하상재료는 암반, 굵은 자갈, 옥석, 자갈, 모래가 다양하게 출현한다.

상류역의 하상은 일반적으로 암반과 큰 자갈로 구성되어 있고 하천의 흐름이 급하기 때문에 물 흐름에 적응력이 강해 홍수시 유속에 의해 쓰러졌다가 쉽게 재생할 수 있는 식생, 자갈이 많은 곳에서도 자랄 수 있도록 길게 땅을 기는 피목형의 식생 등이 서식하고 이 피목형은 토사의 유출을 방지하기도 한다.

목본류로는 갯버들과 키버들처럼 가지가 부드럽고 물 흐름에 저항력이 강한 수종이 곡류 수층부에 군락을 형성하고 있고 초본류로는 달뿌리가 갯버들의 배후지역인 곡류 사주부에 분포하며 단시간의 관수에 내성이 있는 식물종이 군락을 유지하고 있다.

2) 하천의 중류역

사행의 반파장을 기준으로 대개 여울과 소가 각각 1개씩 존재한다. 단위 구간에서 하상경사, 수심, 하폭이 다양하게 변하므로 수면 경사도 일정하지 않으며 평균하상경사가 1/100-1/500 정도이다. 하상재료는 주로 자갈, 모래, 실트로 구성되어 있다.

중류역에서는 하상경사가 완만해짐에 따라 유속이 느려지고 하폭이 넓어지는 지점이 발견된다. 중류역의 토양은 진흙을 포함하지 않고 작은 자갈이나 모래로 구성된 사력지인 경우가 많다. 그러므로 보습성이 낮아 호안 고수부지가 무척 건조한 상태로 영양이 빈약해 건생 식생과 건천화에 적응할 수 있는 다년생 초본류가 군락을 이루고 있다. 이러한 지형에서는 관수로 인한 양분 공급이 따르지 않으면 식생의 천이가 진행되거나 토양이 부영양화 되어 건생 식생의 침입을 받게 될 우려가 있다.

3) 하천의 하류역

수심이 깊거나 유속이 빠른 부분도 있지만 여울과 소가 깊은 수심 가운데에 있으므로 수면상에는 불명확하다. 유속 및 하폭의 변화는 거의 없고 수면 경사가 일정하며 평균하상 경사는 1/1000 이하이다. 파상 재료는 주로 가는 자갈, 모래, 실트, 점토로 구성되어 있다.

하류에서는 유속이 급격히 느려지고 모래와 점토질 토양이 퇴적되어 수변에 습지대가 형성된다. 이러한 장소에는 수심과 유속 등에 적응하여 다양한 식물 군락이 형성되는데 불안정대의 점토질 토양에 갈대 군락과 그보다 건조한 곳에 물억새 등 습지에 적응하는 식물의 생육이 보인다. 그러나 저수로의 직강화 이후에 고수부지는 물억새 외에는 이렇다 할 습생 식생을 발견할 수가 없고 나머지 식생도 지하 수위와 홍수기의 관수 받은것에 의해 부분적으로 유지되고 있다.

관수의 빈도에 따라서 토양이 반안정대로 접어들면 선버들 군락과 같은 저목부터 중목성의 목분 군락이 출현하고 안정될수록 왕버들 같은 고목성의 버드나무 군락이 형성된다.

인공화된 저수로의 하류부는 홍수이후 퇴적된 토양에 의해 일시적으로 다양한 식생상을 보이나 쉽게 건천화가 이루어져 곧 환삼덩굴이나 돼지풀 같은 건생 식생이 우점종을 이루게 되며 간간히 내버들 유목이 출현하기도 한다.

나. 하천의 식생구조

자연 생태계에서 식생의 중요성은 식물들이 생태계에서 일부적인 생산자로서의 역할 뿐만 아니라 토양과 지질 등 여러 가지 환경요인이 달라짐에 따라 변화한다는 데에서 찾아볼 수 있다. 이런 지역의 식물상과 식생 형태는 그 지역의 환경 요인과 밀

접하게 연관되어 있는 것이며 환경 요인이 변하게 됨에 따라 식물상과 식생도 따라서 영향을 받게 된다고 볼 수 있다(최정권, 1995).

하천 식생구조는 주위환경의 변화와 과정들을 담아내는 거울이라고 할 수 있다. 그러므로 하천 생태계의 상황을 파악하기 위해서는 현재 강이나 하천의 주변에 생육하고 있는 식물상과 식생 및 녹지의 특성을 아는 것이 매우 중요하며 식물의 선택은 그 지역의 환경조건과 특히 자연 잠재식생을 그 곳의 최종목로 삼고 그에 맞는 식물을 선택하도록 한다. 만약 자연 잠재식생이 알려져 있지 않은 경우에는 시공할 장소의 식물 생육조건(토질, pH, 온도)을 고려하는 것이 원칙이다(김혜주, 1997).

하천생태계에서 식생의 분포를 결정하는 주요인자는 유수, 기층토양(미사의 양), 양분, 수심, 산소의 양, 그리고 광선 등이다. Haslem(1978)은 그 중에서 유수를 지배적인 요인을 강조하였고, Seibert(1968)는 식생의 공간적 분포역(Zonation)과 식물상을 결정하는 인자로서 유수와 수위변동 그리고 지하수위의 수직적 변화(Fluctuation of watertable)를 들었으며, Bittmann(1965)과 Schlueter(1986)는 하천변에서 식물의 군락형성은 침수기간과 밀접하게 관계가 있으므로 이를 근거로 식생대를 결정하게 된다고 하였다.

환경요인의 변화에 따라 나타나는 하천식생의 공간적 분포역은 수류의 특성에 따라 일정한 흐름을 갖는 수로와 흐름이 일정치 않은 저수로 나누어 이해 할 수 있다.

1) 일정한 흐름을 갖는 저수로(Watercourses : Continunous flow)

저수로에 생태공학적 공법이 적용될 때에는 하천의 배수 기능이 기본적으로 고려되어야 한다. 그런데 호안부의 밀식된 색생은 배수 기능을 저해하므로 식생의 도입을 기피해왔다. 그러나 하천의 환경기능을 중시하게 되면서, 배수기능을 유지하면서 식생이 갖는 공학적 기능과 생태적 기능을 활성화 시킬 수 있는 식생호안 공법에 대해 많은 연구가 진행되어 왔다.

가) 수생 식물역(aquatic plant zone)

수생 식물역은 개방수면과 육상수 중간지대인 연안대에 형성되며, 대략 평균 저수위보다 낮은 수위 선에서부터 3(5)m의 수심이 되는 구간으로 침수기간은 1년중 약 360일 이상이며 생물공학적 공법적용이 불필요한 수역이다. 일반적으로 관속이 있는 고등식물로 물 속 또는 물 위에서 성장하거나 경엽부의 일부가 항상 물에 담겨있는 식물을 말하며 생활형과 생육지에 따라 유근성 수생식물, 부유성 수생식물로 나누고 유근성 수생식물은 부엽식물, 침수식물로 세분한다. 이곳의 대표적인 식물군락은 개구리밥과, 가래과, 붕어마름과, 수련과, 마름과 등이다.

나) 정수식물역(emergent plant zone)

정수 식물역은 하안이 직접 맞는 하안선을 중심으로 형성되며 계절적 수위 변동에 따라 간헐적으로 물에 잠기는 지역이다. 침수기간은 약 150-360일 이다. 이 지역에 출현하는 정수 식물은 분류학적으로 대형 수생 관속식물이 대부분이다. 뿌리와 줄기의 하부는 수중이나 포화된 토양층 속에 있으나 줄기와 잎의 대부분은 수면위에 나와 있다. 대표적인 정수 식물종은 갈대, 줄, 부들, 보풀, 텍사, 세모고랭이 등이다.

다) 하원식물역(riparian meadow zone)

하원 식물역은 계절적 홍수에 의해 범람 되면서 생성된 테라스상의 지반위에 주로 초본류에 의해 피복되어 있다. 높은 지하수위에 따른 습한 토양수분 조건과 주기적인 범람에 내성이 있는 식물종으로 구성되며 미지형의 변화에 따라 종의 조성이 달라진다. 이 구역을 연수목 구역이라 하기도 하고 침수기간은 30-150일 이다.

갯버들 등 관목성 목본류도 출현하나 계절적 주기적 침수에 의하여 안정상태를 이루지 못하고 반안정 상태에 머무르게 된다. 자연 상태로 완전히 성장한 수목의 경우 근경의 뿌리 뻗음에 의해 토양 보호 효과는 있으나 호안 보호효과는 떨어진다. 수위가 높고 유속이 빠른 홍수에 의해 뿌리채 유실될 우려가 있으므로 지상 성장부위는 주기적으로 줄기를 잘라 관목 덩불 상태를 유지하는 것이 바람직하다. 가늘고 쉽게 휘 수 있는 줄기는 홍수 수류에 저항하지 않으므로 장애물로 작용치 않는다.

라) 하반림(riparian woodland)

하반림은 하천의 영향을 받는 범위내에 형성된 수림을 말한다. 하반림을 구성하고 있는 수종은 주로 버드나무과의 버드나무류와 사시나무류로서 성장이 빠른 속성수이면서 수명이 짧다. 대략 평균 고수위구역에서 최고 홍수위에 해당하는 구역으로 경수목 구역이라고 하며 이곳은 수위의 변동에 내성이 적은 식물의 군락이 발달하며 침수기간은 약 30일 미만이다.

2) 흐름이 일정치 않은 저수로(Waterways : Discontinuous flow)

수위의 변동폭이 크고 유속이 일정하지 않아 수시로 침수되는 저수로 호안에도 초본류 위주의 식생을 도입할 수 있다. 그러나 초본류만의 식재로는 높은 강도의 일시적 유수에 위해 유실의 우려가 있으므로 호안 보호 효과를 달성하지 못한다. 이를 보완하는 재료로서는 경제성이 있으며 시공이 용이한 토양 지지 섬유나 다공성 콘크리트 제품이 사용된다.

식생 재료의 도입으로 장기간의 호안 보호 효과를 달성하기 위해서는 침수기간 동

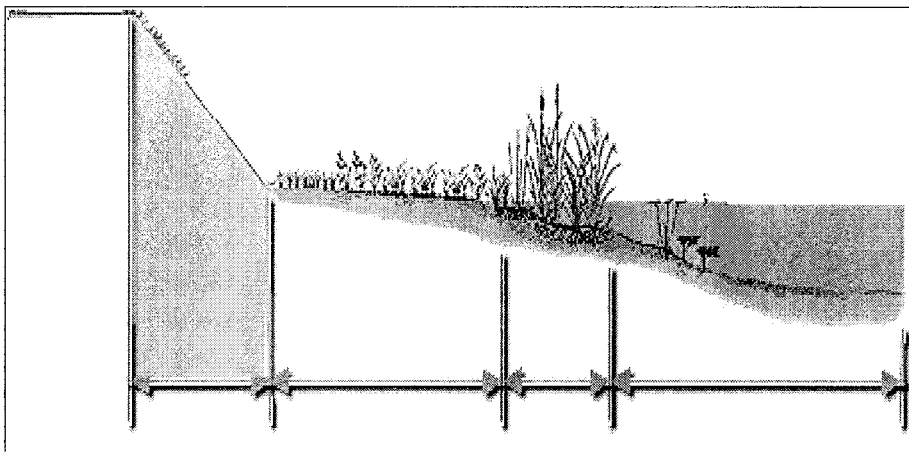
안 도입 식물종의 근경부가 생육 가능해야 한다. 식물 근경부의 생육 기간은 주기적으로 발생하는 침수기간에 따라 결정된다. 따라서 식생 호안재의 도입시에는 예상침수 기간에 대한 고려와 함께 초본류의 통수능과 침식에 대한 내성을 검토해 보아야 한다. 수공학적 통수능은 통상 매닝 방정식을 적용하여 검토하고 이 때 조도계수는 초장과 유출강도(단위폭 당 유출, 깊이, 유속)에 따라 정해진다.

일정한 유출강도에 있어 침식 정도는 초본류의 길이에 따라 달라진다. 초장이 가장 길 때 최저속도와 최고 깊이가 형성된다. 풀베기 후나 겨울철과 같이 초장이 짧을 때 최고 속도가 발생한다.

호안부에 자생하거나 식재된 초본류는 통상 하천 단면의 축소와 식피에 의한 저항력 때문에 통수능을 저해하고 물의 흐름에 휩쓸려 뽑혀질 경우 세굴에도 영향을 미친다고 여겨져 왔으나 Hewlett 등(1987)은 유속이 빠를 때 초본류의 경엽부가 수류의 방향에 따라 누워 오히려 호안을 보호한다고 보고하고 있다.

비교적 응집력이 높은 토양층에서 초본류 피복 침식 내성은 수리적 변수인 유속과 초본류의 길이와 식피밀도, 침수기간에 따라 달라지므로 보조재료와 함께 식재된 식생 호안에서도 유사한 기준을 적용할 수 있으며 수로의 경사진 사면에 강한 집중류가 발행할 경우 식생 재료로만 지탱하기 어렵고 보조재료가 보완되어야 수류에 상당 기간동안 유지될 수 있을 것이다.

3) 수변 지역의 식물의 분류



<제방부> <고수부지> <정수식물지역> <침수식물지역>

<그림 4-49> 수변지역의 식물에 따른 구역도

1) 제방부

일반적인 제방부의 특성은 수변부에 위치하지만 실제로는 건조한 지역으로 분류되며 적용 가능한 초종은 띠, 억새, 수크령, 쑥부쟁이 등의 식물이다.

2) 고수부지

고수부지의 특성은 홍수시만 물이 차고 평시에는 물이 없는 지역으로 수분조건이 양호한 지역으로 적용 가능한 초종은 원추리, 물억새, 꽃창포, 붓꽃, 부처꽃, 사초류, 부처꽃, 패랭이류 등의 식물이다.

3) 정수식물지역

정수식물 지역은 물과 지면이 맞닿는 지역으로 뿌리가 물에 잠길 수 있는 지역으로 어류의 서식을 고려해야 하는 지역으로 적용가능한 수종은 갈대, 부들, 줄, 세모고랭이, 창포, 달뿌리풀 등의 식물이다.

4) 침수지역

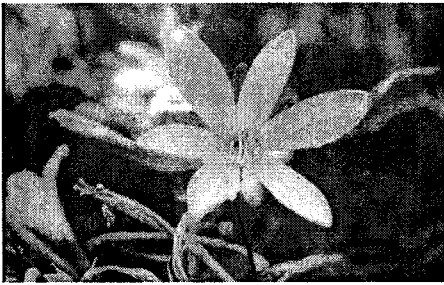
항상 일정하게 물이 있는 지역으로 마름, 수련, 노랑어리연꽃, 연꽃 등과 부유식물인 개구리밥, 생이가래 등 및 침수 식물인 물수세미, 붕어마른, 검정말 등을 들 수 있으나 물의 흐름이 강한 지역에는 식물을 적용하기 어렵다.

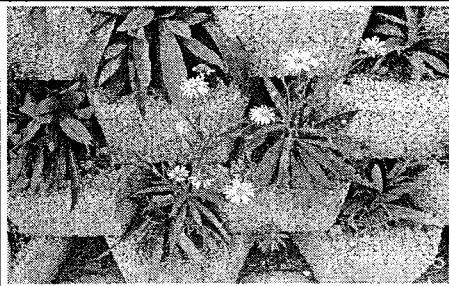
라. 수변 적용 가능한 식물의 식재 방법 및 특성


1) 수변 적용 가능한 식물종의 식재 적지


No	식물종	수 변		연 못 (정수 및 침수)		
		제방	고수부지	외곽	물가	물속
1	원 추 리	○	○	○		
2	벌개미취	○	○	○		
3	비 비 추	○	○			
4	옥 잠 화		○	○		
5	갯 버 들		○	○	○	
6	붓 꽃	○	○			
7	범 부 채	○	○			
8	꼬리조팝		○	○		
9	쭈부쟁이	○	○	○		
10	섬기린초	○				
11	매발톱꽃	○				
12	돌 단 풍	○		○	○	
13	도 라 지	○	○			
14	돌 나 물	○	○			
15	수 크 령	○	○	○		
16	왜성솔패랭이	○	○			
17	갈 대		○	○	○	○
18	물 억 새		○	○	○	○
19	억 새		○	○	○	○
20	꽃 창 포	○	○	○	○	
21	부 들		○	○	○	○
22	꽃 잔 디	○				
23	상록패랭이	○				
24	금 불 초		○	○		
25	띠	○	○	○		
26	부 처 꽃			○	○	
27	줄				○	○
28	달 뿌 리		○	○	○	○
29	동의나물		○	○		
30	창 포		○	○	○	
31	택 사			○	○	○
32	세모고랭이			○	○	○


2) 수변 적용 가능한 식물종의 식재 방법 및 특성


식물종	원 추 리	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 노랑(다년초) • 초 장 : 30~40cm • 개화시기 : 6~7월 • 개화기간 : 7~14일(1花 1日) • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 35본 		
식재적지	<ul style="list-style-type: none"> • 양지식물로 척박한 토양에서 잘자라나 너무 과습하거나 통기성이 없는 곳은 적합하지 못하다 		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 환경적응력이 뛰어나고 꽃이 아름다우며 이른봄 새싹은 나물로 식용한다 		
기 타	<ul style="list-style-type: none"> • 포기가 커지고 과번무하면 세력이 떨어지므로 포기나누기를 하거나 솜아주기를 하고 퇴비를 사용하여 세력이 떨어지지 않도록 한다. 		


식물종	벌 개 미 취	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 보라(다년초) • 초 장 : 15~40cm • 개화시기 : 8~10월 • 개화기간 : 7~14일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 35본 		
식재적지	<ul style="list-style-type: none"> • 양지식물로 뿌리가 강건하고 습지 및 건조지 구분 없이 적응력이 뛰어나 		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 꽃대가 튼튼하여 도복의 염려가 없으며 수림아래 식재하면 독특한 지피효과를 창출한다. 		
기 타	<ul style="list-style-type: none"> • 6월 10~15일경 적심(순자르기)을 하면 포기의 세력이 왕성해지고 키를 작게 유지시키며 꽃대의 발생을 많게 한다 • 식재 3년차에는 분얼수가 과밀하므로 적정 간격의 솜음질이 필요 		


식물종	비 비 추	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 연보라(다년초) • 초 장 : 15~20cm • 개화시기 : 6~7월 • 개화기간 : 7~14일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 40본 		
식재적지	<ul style="list-style-type: none"> • 반음지 식물로 한여름 직사광선으로 인해 잎끝이 말라 들어가는 경향이 있으며 양지에 식재한 경우에도 그늘지게 관리해주는 것이 좋다 		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 비교적 강건한 식물이나 여름철에 하고현상이 발생되므로 잎의 하고시기가 다른 꽃과 혼식하여 식재하면 지피효과를 한층 더 높일 수 있다. 		
기 타	<ul style="list-style-type: none"> • 반음지 지피식물로 좋고 잎은 식용한다. 번식은 분주나 실생으로 한다. 		

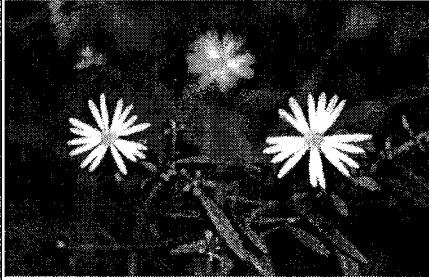
식물종	옥 잠 화	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 흰색(다년초) • 초 장 : 25~50cm • 개화시기 : 7~8월 • 개화기간 : 7~10일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 45본 		
식재적지	<ul style="list-style-type: none"> • 음지, 반음지 식물로 배수가 잘 되고 부식질이 많은 사질 양토가 적지이다. 		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 여름철 직사광선을 피해야 하므로 키 큰 나무 아래 그늘에 식재하는 것이 좋다. 		
기 타	<ul style="list-style-type: none"> • 화단에 독립수로 식재하여도 효과가 좋다. 		

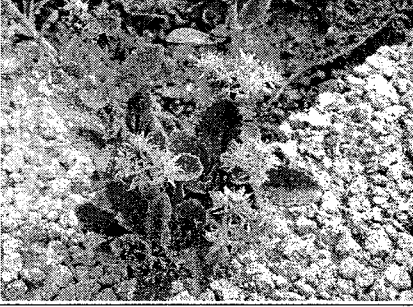
식물종	갯 버 들	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 회색(다년초) • 초 장 : 100~200cm • 개화시기 : 3~5월 • 개화기간 : 15~30일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 2본 		
식재적지	• 유속이 강한 하상 및 고수부지 등 서식지가 다양하다.		
특 징	• 가지 꺾꽂이를 해도 생육이 잘된다.		
기 타	• 너무 밀식해서 식재 할 경우 통수 단면이 좁아지는 문제 발생		


식물종	붓 꽃	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 보라(다년초) • 초 장 : 20~30cm • 개화시기 : 5~6월 • 개화기간 : 10~20일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 40본 		
식재적지	• 양지식물로 습지나 건조지역 등 토양적응력이 매우 뛰어나며 배수를 양호하게 하고 습도를 유지시키는 것이 생육에 좋음		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 생육중에 땅속 줄기가 노출될 경우 복토를 실시하면 생육이 왕성하여 착화력이 증진된다. • 식재후 포기가 떨어지고 착화력이 저하되는 경우 적당한 간격을 두고 솟아내어 이식한다. 		
기 타	• 식재 후 3년 이상이 되면 세력이 약해질 수도 있으므로 솟아주기를 하고 퇴비를 시용한다		

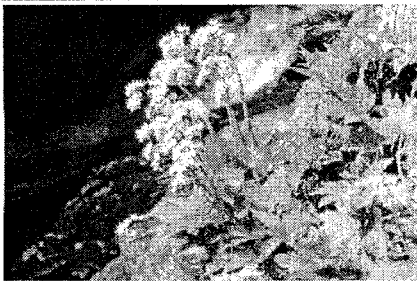
식물종	범 부 채	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 황적색(다년초) • 초 장 : 30~70cm • 개화시기 : 7~8월 • 개화기간 : 7~15일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 40본 		
식재적지	<ul style="list-style-type: none"> • 양지식물로 배수가 양호하고 너무 비옥하지 않는 토양에 식재하며 다소 척박한 토양에 식재 시 식물을 작고 아담하게 키울 수 있다. 		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 가을철 결실기에 맺히는 까만 열매는 관상가치가 있으며 소량보다는 균락으로 식재하는 것이 효과적이다. 		
기 타	<ul style="list-style-type: none"> • 조금만 비옥하면 도장하여 도복되므로 척박한 토양에서 키를 작게 키우는 것이 중요하다. 		


식물종	꼬리조팝	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 분홍색(다년초) • 초 장 : 100~150cm • 개화시기 : 6~7월 • 개화기간 : 10~20일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 5본 		
식재적지	<ul style="list-style-type: none"> • 양지식물로 햇볕이 잘 들며, 관목류 중 수변 공간에 식재가 가능 		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 맹아력이 뛰어나다 		
기 타	<ul style="list-style-type: none"> • 고속도로 법면 및 생울타리 용으로도 적당함 		


식물종	쑥 부쟁이	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 보라(다년초) • 초 장 : 30~50cm • 개화시기 : 9~11월 • 개화기간 : 7~14일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 45본 		
식재적지	<ul style="list-style-type: none"> • 양지쪽의 습기가 많은 습윤지를 좋아하며 균식하여 식재하는 것이 좋다 		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 생육이 매우 강건하며 잡초를 능가하는 피복효과가 있다. 		
기 타	<ul style="list-style-type: none"> • 3년 이상이 되면 숙음과 퇴비시용을 하고, 적심을 하여 키를 낮추어 도장으로 인한 쓰러짐과 세력불균형을 방지하는 것이 중요하다. 		


식물종	섬기린초	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 노랑(다년초) • 초 장 : 10~20cm • 개화시기 : 6~7월 • 개화기간 : 7~10일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 55본 		
식재적지	<ul style="list-style-type: none"> • 양지식물. 건조지에 잘 적응한다. 		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 다육질의 잎과 노란색의 꽃이 주관상 대상임 • 절개지, 바위틈, 돌이 많은 건조지에 식재하면 효과가 크다 		
기 타	<ul style="list-style-type: none"> • 5월경 줄기 윗부분을 적심하면 포기가 넓어지고 꽃대 형성이 왕성해짐 		

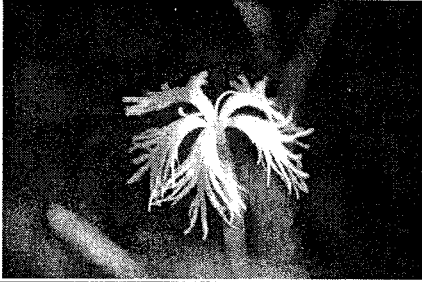
식물종	매 발 튼 꽃	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 흰/자갈색(다년초) • 초 장 : 15~30cm • 개화시기 : 5~6월 • 개화기간 : 7~10일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 45본 		
식재적지	• 양지 및 반음지에서 생육이 양호하며 배수관리를 철저히 하여야 함		
특 징	• 고온다습으로 생육이 불량할 수 있으므로 여름철에 시원하게 관리		
기 타	• 특히 개화 후 고온다습에 매우 약하여 고사하는 경우가 많으므로 배수와 통풍이 잘 되고 시원하게 관리하는 것이 중요함		


식물종	돌 단 풍	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 백색(다년초) • 초 장 : 15~25cm • 개화시기 : 5~6월 • 개화기간 : 7~14일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 45본 		
식재적지	• 양지식물로 토양의 건조에 비교적 강하나 공중습도를 잘 유지하여야 신선한 잎을 오래동안 감상할 수 있다.		
특 징	• 뿌리가 강건하여 정원석 틈이나 경관석 주위에 소규모로 식재함		
기 타	• 일반노지에서 잘 자라지만 자생지에서는 대부분 돌에 붙어 살므로 돌틈이나 암석지, 정원석 사이에 식재하는 것이 식물특성과 잘 어울려 보기 좋다.		


식물종	도라지	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 흰/자주색(다년초) • 초 장 : 30~60cm • 개화시기 : 5~6월 • 개화기간 : 10~20일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 45본 		
식재적지	<ul style="list-style-type: none"> • 양지식물로 햇빛이 잘 들고, 배수가 잘 되는 곳이 적합하며 토심이 깊고 비옥한 토양에 식재시 뿌리 발육이 좋다. 		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 따뜻하고 습윤한 기후를 좋아한다. 		
기 타	<ul style="list-style-type: none"> • 맹아력이 뛰어나므로 적심을 통해 개화기를 조절한다. 		


식물종	돌나물	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 노랑(다년초) • 초 장 : 5~10cm • 개화시기 : 5~6월 • 개화기간 : 7~10일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 60본 		
식재적지	<ul style="list-style-type: none"> • 토심이 낮아 식물 생육이 불가능한 곳에 식재 가능하다. (옥상정원 등) 		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 마디마다 뿌리가 나와 포기나누기를 하면 번식력이 대단히 좋으며 건조에 강하다. 		
기 타	<ul style="list-style-type: none"> • 과밀하게 되면 통기불량으로 생육이 부진해지므로 솟음작업을 해준다. 		


식물종	수 크 령	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 암적(다년초) • 초 장 : 30~40cm • 개화시기 : 8~10월 • 개화기간 : 10~20일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 45본 		
식재적지	• 양지식물로 습지, 건조지 및 척박지에 잘 적응한다.		
특 징	• 강건한 식물이므로 제방길, 고수부지, 토사유출지역 등의 피복용으로 식재한다.		
기 타	• 개화기인 8~10월에 식재 지역의 훼손이나 통행을 제한함으로써 늦가을까지 관상할 수 있다.		


식물종	왜 성 슬 패 랭 이	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 연홍(다년초) • 초 장 : 20~25cm • 개화시기 : 5~6월 • 개화기간 : 7~12일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 45본 		
식재적지	• 양지식물로 척박지에서도 잘 성장하나 배수를 좋게 하여야 하며 사질토가 적지임		
특 징	• 내한성 및 여름철 더위에도 강하다 향기가 좋고 초강이 짧으며 겨울철에도 잎이 지지 않는다.		
기 타	• 10cm정도 자랐을 때 줄기를 적심하면 많은 꽃대를 분지시킴		

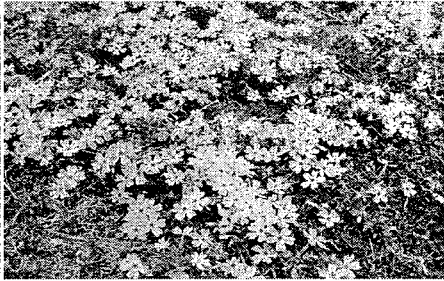
식물종	갈 대	적요지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 흰색(다년초) • 초 장 : 100~150cm • 개화시기 : 9~11월 • 개화기간 : 7~10일 • 분포지역 : 전국 • 1m²당 식재본수 : 35본 		
식재적지	<ul style="list-style-type: none"> • 벼과 양지식물로서 물기가 많은 습지나 수변 등 수심이 10cm 이하인 곳에서 잘 자란다. 		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 고수부지나 제방길 하층에 대 군락으로 식재하면 가을철 분위기를 한층 더 느낄 수 있다. 		
기 타	<ul style="list-style-type: none"> • 수심이 깊거나 장기적인 침수지역은 생육이 쇠퇴한다. 		

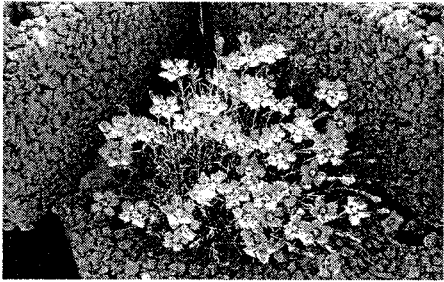
식물종	물 억 새	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 은빛(다년초) • 초 장 : 100~150cm • 개화시기 : 9~11월 • 개화기간 : 7~14일 • 분포지역 : 전국 • 1m²당 식재본수 : 40본 		
식재적지	<ul style="list-style-type: none"> • 양지식물로 강가나 습지에 자생함 • 자연하천 주변이나 제방길 하층, 고수부지에 군식하면 피복력이 좋다. 		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 가을철 은빛나는 비단털이 매우 아름답다. 		
기 타	<ul style="list-style-type: none"> • 생육을 고르게하기 위해서 고사한 지상부를 2월초·중순경에 제거하는 것이 좋다. 		


식물종	억새	적용지	
특성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 은빛(다년초) • 초 장 : 100~150cm • 개화시기 : 9~11월 • 개화기간 : 7~14일 • 분포지역 : 전국 • 1m²당 식재본수 : 40본 		
식재적지	• 자연하천 주변이나 제방길 하층, 고수부지에 군식하면 피복력이 좋다.		
특징	• 뿌리의 블록이 견고해 토양유실, 침하방지 효과가 좋음		
기타	• 생육을 고르게하기 위해서 고사한 지상부를 2월초·중순경에 제거하는 것이 좋다.		


식물종	꽃창포	적용지	
특성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 보라(다년초) • 초 장 : 30~60cm • 개화시기 : 6~7월 • 개화기간 : 7~10일 • 분포지역 : 전국 • 1m²당 식재본수 : 45본 		
식재적지	• 양지식물로 습지나 물가에 자생하는 식물이지만 일반토양에서도 잘 적응한다.		
특징	• 양지성 식물이지만 건조하고 강한 햇볕아래 식재하면 잎 끝부분이 말라 들어가므로 그늘지게 관리하는 것이 좋다.		
기타	• 지나친 시비나 음지에서의 생육은 식물체가 도장하고 약해져서 잎이 쉽게 꺾이는 경우가 많으므로 주의한다.		


식물종	부 들	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 갈색(다년초) • 초 장 : 50~100cm • 개화시기 : 7~8월 • 개화기간 : 7~10일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 45본 		
식재적지	• 양지식물로 해가 잘 드는 강변이나 늪, 호수가 좋다.		
특 징	• 수변에 심으면 토양유실을 막을 수 있으며, 칼 같은 잎은 그 자체로도 아름답다.		
기 타	• 번식은 종자나 근경을 잘라서 번식한다.		


식물종	꽃잔디	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 보라(다년초) • 초 장 : 20~30cm • 개화시기 : 3~5월 • 개화기간 : 15~30일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 50본 		
식재적지	• 양지식물로 척박한 토양에서 잘자라나 너무 과습하거나 통기성이 없는 곳은 적합하지 못하다		
특 징	• 환경적응력이 뛰어나고 꽃이 아름답다		
기 타	• 포기가 커지고 과번무하면 세력이 떨어지므로 포기나누기를 하거나 솟아주기를 하고 퇴비를 사용하여 세력이 떨어지지 않도록 한다.		


식물종	상록패랭이	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 연보라(다년초) • 초 장 : 15~20cm • 개화시기 : 4~6월 • 개화기간 : 10~20일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 55본 		
식재적지	<ul style="list-style-type: none"> • 양지식물로 척박한 토양에서 잘자라나 너무 과습하거나 통기성이 없는 곳은 적합하지 못하다 		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 환경적응력이 뛰어나고 꽃이 아름다우며 상록성이다 		
기 타	<ul style="list-style-type: none"> • 식물의 분얼이 잘되지 않으므로 어느 정도 피복되기 전까지 잡초관리를 해주어야 한다. 		

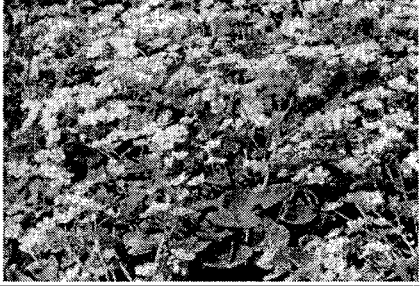
식물종	금 불 초	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 노랑색(다년초) • 초 장 : 30~70cm • 개화시기 : 7~9월 • 개화기간 : 10~15일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 45본 		
식재적지	<ul style="list-style-type: none"> • 어떤 지역도 가리지 않으며 극 건조지를 제외하고는 생육이 양호하다 		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 생육이 강건하고 피복효과가 높다 		
기 타	<ul style="list-style-type: none"> • 초기 지피녹화가 빠르며 수변 녹화용으로 적당하다 		


식물종	띠	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 은색(다년초) • 초 장 : 30~80cm • 개화시기 : 4~5월 • 개화기간 : 15~30일 • 분포지역 : 전국 • 1m²당 식재본수 : 45본 		
식재적지	• 양지식물로 습지나 건조지역 등 토양 적응력이 높다		
특 징	• 초기 이식시 활착이 느린 단점이 있다		
기 타	• 뿌리가 밀실해 토양유실, 침하방지 효과가 좋다		


식물종	부 처 꽃	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 보라(다년초) • 초 장 : 80~100cm • 개화시기 : 7~8월 • 개화기간 : 10~20일 • 분포지역 : 전국 • 1m²당 식재본수 : 45본 		
식재적지	• 양지식물로 습지나 건조지역 등 토양적응력이 매우 뛰어나나 토양수분요구도가 높은 곳에 생육이 양호하다		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 종자의 산포량이 많아 습한 곳에 생육이 양호하다. • 너무 비옥한 토양에 재배하면 식물체가 도장하여 관상가치가 떨어진다. 		
기 타	• 봄에 발아한 묘를 식재하면 이식 당년에 개화 한다.		

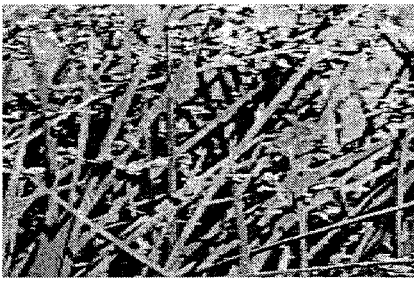
식물종	줄	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 황록색(다년초) • 초 장 : 100~200cm • 개화시기 : 8~9월 • 개화기간 : 7~15일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 35본 		
식재적지	• 양지식물로 해가 잘 드는 강변이나 늪, 호수가 좋다.		
특 징	• 수변에 심으면 토양유실을 막을 수 있으며, 그 자체로도 경관을 형성해 아름답다.		
기 타	• 뺨는 줄기가 총생한다.		

식물종	달 뿌 리	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 자주색(다년초) • 초 장 : 100~150cm • 개화시기 : 8~9월 • 개화기간 : 7~15일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 40본 		
식재적지	<ul style="list-style-type: none"> • 벼과 양지식물로서 물기가 많은 습지나 수변 등 수심이 10cm 이하인 곳에서 잘 자란다. • 분포지역이 넓고 대군락을 이룬다 		
특 징	• 줄기가 비어 있으며 근경이 지상으로 뻗고 마디에서 뿌리가 내린다		
기 타	• 일반적으로 하천의 상류부에 많이 분포한다.		

식물종	동 의 나 물	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 노랑(다년초) • 초 장 : 30~50cm • 개화시기 : 4~5월 • 개화기간 : 7~14일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 45본 		
식재적지	• 양지쪽의 습기가 많은 습윤지를 좋아하며 균식하여 식재하는 것이 좋다		
특 정	• 보습성이 양호한 식양토를 좋아하며 적당한 시비관리가 식물체 생육을 좋게 한다.		
기 타	• 식물체에 약간의 독성이 있으므로 생식은 금한다.		

식물종	창 포	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 황녹색(다년초) • 초 장 : 50~70cm • 개화시기 : 6~8월 • 개화기간 : 7~14일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 50본 		
식재적지	• 햇볕이 잘드는 30cm 미만의 얇은 물속이나 물가, 습지 등에서 자란다.		
특 정	• 종자번식은 불가능하며 좋은 환경에서 증식율이 좋으므로 겨울철을 제외하고는 언제나 분주가 가능하다.		
기 타	• 생태공원의 습지 및 수변 조경에 알맞다.		

식물종	택 사	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 흰색(다년초) • 초 장 : 50~70cm • 개화시기 : 7~8월 • 개화기간 : 7~14일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 40본 		
식재적지	• 양지 및 반음지의 습지 및 소택지 주변		
특 징	• 근경에 수염뿌리가 많다.		
기 타	• 엽심이 피침형으로 잎은 뿌리에서 총생한다.		

식물종	세모고랭이	적용지	
특 성	<ul style="list-style-type: none"> • 화 색 : 갈색(다년초) • 초 장 : 50~120cm • 개화시기 : 7~10월 • 개화기간 : 7~14일 • 분포지역 : 전국 • 1㎡당 식재본수 : 40본 		
식재적지	• 양지 및 반음비의 습지 및 소택지 주변		
특 징	• 지하경이 굵게 발달하며 지하경 마디에서 대가 한개씩 나온다.		
기 타	• 식생호안 재료로서 사용 가능하다.		

위의 분류에 따른 결과를 보면 다양한 식물을 식재설계에서 많이 사용할 수 있을 것으로 보이나 실제로는 식물의 식재에 있어 가장 많이 가장 흔히 사용하는 것이 갈대와 달뿌리풀로 알려져 있다.

갈대는 수중~수재에 걸쳐 식재설계가 되고 있는데 갈대는 생태적으로 수중군락은 어류 등의 산란과 서식처를 제공하고 수질의 정화에 기여한다. 또한 경관적으로 하천의 중류로부터 하류, 호안 등의 수변에 다양한 경관을 만들어 주고, 인공습지에서도 초본식물의 주요 역할을 하기 때문으로 결론지을 수 있다.

달뿌리풀은 수변부~육상에 식재가 되고 있는데 생태적으로 수중군락은 어류 등의

산란과 서식처를 제공하고 수질의 정화에 기여한다. 또한 수로의 상류로부터 중류부의 수변변 경관을 만드는 초본식물의 주역이다. 치수상으로는 고수부의 침식방지의 작용이 있다. 갈대에 비해 급류수로의 하안 및 하천의 상류부에 생육하고 있다.

이는 우리나라에 친환경적 수로설계를 위한 식재설계가 시작단계에 있고, 이를 검증하기 위해서는 보다 다양한 수종의 식재를 설계한 후 모니터링을 하고 결과를 도출하는데 많은 시간이 소요되고 또한 하나의 결론으로 그 타당성을 인정받기 힘들기 때문이라 본다.

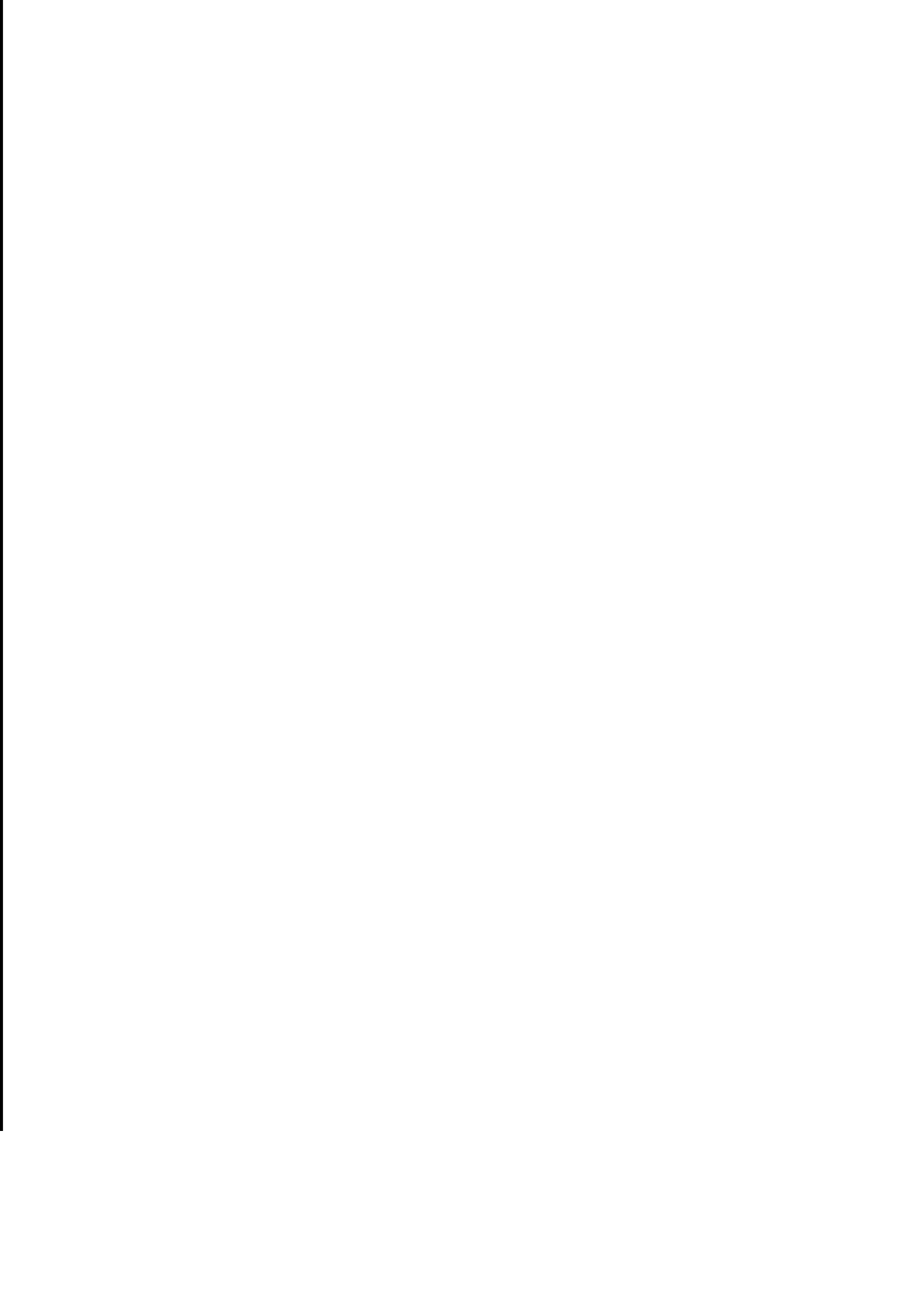
제5장 친환경적 정비수로에 대한 모니터링

1절 모니터링 개요

2절 모니터링 계획

3절 모니터링 결과

4절 구조물 수로 내에서의 생태이동



제5장 친환경적 정비수로에 대한 모니터링

1절 모니터링 개요

수로의 생태계를 보전하거나 교란된 수변을 성공적으로 복원하기 위해서는 수로 및 인근 소하천의 물리, 화학 및 생물학적 과정간의 관계를 과학적으로 이해할 필요가 있다. 인간 활동이 이러한 과정의 진행속도를 가속화하거나 불안정한 상태로 진행하게 되면, 수로 Corridor의 생물적 구조와 기능은 변화된다. 특히 하천이나 수로 변 동·식물의 군집은 생태복원에 대한 조건, 취약성, 잠재력을 결정하는데 중요한 역할을 수행한다(FISRWG, 1998). 생물의 보전이나 복원사업의 평가와 이에 따른 계획의 중도 수정을 위하여 대조 하천, 복원 전 수로 및 복원 후 수로에 대한 모니터링을 지속적으로 수행할 필요가 있다.

1. 의의 및 필요성

오늘날 하천이나 수로는 이수 및 치수 중심의 관행적인 정비 방식에 의해 수변 고유의 환경기반을 상실해 가고 있다. 자연하천의 사행 저수로는 직강화되었고 제방 및 호안은 콘크리트 블록으로 획일화 된 수로 정비가 이루어졌다. 이러한 토목공사 위주의 정비는 수로의 치수적 기능에는 도움을 줄 수 있으나 논주변 생물들의 서식 기반이 되는 수로미지형, 즉 저수호안, 여울과 소, 하상구조 등을 위협하고 변화시켜 수로나 하천 생물의 서식처를 훼손함으로써 생태계를 심각하게 위협하고 있다.

인간의 과도한 개발은 흐름 영역과 수질을 변형시키고 수로내 서식처 여건을 변화시켜 곧바로 생물상 및 서식처의 변화를 초래한다. 어류의 산란처와 피난처, 그리고 성장단계별 서식 조건과 같은 구조적 특성이 변화되어 어류상의 변화가 발생한다. 그리고 자연유량이 아닌 조절된 유량과 유사이송영역 변화 또는 직강화 같은 하도의 수리특성과 하상재료 특성, 그리고 가용한 공간과 피난처를 변화시킨다. 생물종 자원은 시간적으로 고정되어 있지 않고 계절적으로 그리고 연도 별로 천이 과정을 통해 변화한다.

생태계 모니터링은 이러한 변화과정을 측정, 기록하여 재생, 복원현상을 이해하고 나아가 생물종 자원 및 생태계 관리방안수립의 기준선역할을 할 수 있다. 또한 모니터링을 통하여 수로내의 생태계 변화를 지속적으로 조사·관찰하는 것은 향후 수로에 적합한 공법을 개발·적용하고 생태계를 복원하는데 중요한 자료가 될 것이다.

2. 목적

생태복원은 일단 계획된 복원설계가 실행되었다 하더라도 완성되었다고 말할 수 없다. 성공적인 생태계 복원을 달성하기 위해서는 반드시 생태복원 및 보전 사업의 시행전, 시행중, 시행 후 모니터링, 평가 및 적응관리가 수행되어야 한다. 모니터링은 복원설계의 성공도를 결정하는데 필수적이며, 모니터링을 통해 생태계의 구조와 기능을 완전히 이해하여야 한다. 모니터링은 복원 과정에서 시계열 및 기타 다른 정보와 자료를 제공하고, 향후 유사 사업에 적용할 교훈을 준다.

생태 복원에서 친환경 사업 평가와 적응관리는 모니터링과 밀접히 관련되어 있다. 모니터링 과정에서 얻은 정보를 이용하면 사업이 계획된 기능의 달성여부와 복원 목표와 목적이 달성되었는지를 평가할 수 있다. 최적의 복원 계획과 실행을 수행하더라도 평가과정에서 예측하지 못한 문제를 빈번히 발견할 수 있으며, 사업 도중 혹은 직후에 중도수정을 할 필요가 있다. 대부분의 복원 사업에서는 어느 정도의 감시와 현장 적응관리가 요구된다. 모니터링의 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 성과 평가 : 현장 자료 수집에 의하여 사업 시행과 생태적 유효성에 대한 평가
- 동향 평가 : 장기 채집에 의한 생태 조건 변화의 평가
- 위험 평가 : 생태계 손상 요인과 원인의 규명
- 기초선 특성 규명 : 특정 지역에서 생태적 과정의 계량화

모니터링은 복원 전, 후 및 사업 중 모니터링을 포함하며, 목적에 따라서 다음과 같이 구분할 수 있다.

- 실행 모니터링(implementation monitoring) : 계획된 복원 공법의 적용 여부와 올바르게 적용되었는지를 검토한다. 복원의 물리적, 생물적, 화학적 유효성을 평가하기 앞서 잠정적인 평가 방법으로 활용된다.
- 유효성 모니터링(effectiveness monitoring) : 복원 사업이 의도한 효과를 얻었는지를 평가한다. 원하는 생태 조건을 달성하였는지를 평가할 수 있고 계획 목적과 밀접히 관련된 지표(indicator)를 선정하는 것이 매우 중요하다.
- 검증 모니터링(validation monitoring) : 복원 설계에서 사용된 가정과 인과 관계가 옳았는지를 검증하는 모니터링으로써 비용이 많이 들고 과학적 기술을 요구한다.

가. 조사의 목적

모니터링의 목적을 크게 4가지로 나누면 다음과 같다.

- 치수·이수, 환경(생태)등 모든 측면에서 사업의 성과평가
- 공간적, 시간적 환경변화 평가
- 치수·이수, 환경(생태)등 모든 측면에서 사업에 위험을 주는 요인의 평가
- 기준선(baseline)에서 변화과정의 정량화

본 생태계 모니터링의 목적은 시험수로인 경기도 여주군 가남면 송삼지구 친환경 배수로정비 구간에서 생물 상황을 조사·분석하여 자연 친화적 수로정비사업 시행하 전에 적용하기 위한 생물 모니터링 기법을 확립하고, 생물 모니터링에 따른 사업평가를 실시하여 수로의 보전과 관리 지침에 필요한 기초 자료를 제공하는데 있다.

또한 농어촌연구원 내 생태수로를 설치하여 뱀과 개구리의 수로내 이동과 탈출경로를 모니터링함으로써 수로정비시 양서류 및 소동물의 탈출로(등선로)설치 기준정립에 필요한 기초자료를 도출하였다.

3. 기능 및 범위

모니터링의 기능으로는 첫째, 지속 가능한 개발과 자원의 평가를 통한 생물학적 자원관리방안을 제시하며, 둘째, 생태계와 개체군의 관리 및 효율적 보전을 위한 기능을 수행하며 토지이용과 경관 자원의 효율적인 활용에 도움을 줄 수 있는 정보를 제공한다. 셋째, 보전계획과의 조화와 환경의 질적 평가를 위해서도 다양한 모니터링 방법의 개발 및 적용이 필요하며 특히, 역동적인 수로생태계에 대한 지속적인 자료의 축적을 위해 필수적인 과정이다.

생물상의 조사 및 평가에는 다양한 전문성이 요구될 뿐만 아니라 넓은 공간적 범위를 포함하는 자세한 조사 및 평가에는 시간과 비용상의 어려움이 따른다. 이를 감안하여 생물상의 조사 및 평가는 식물상에 국한하여 전문성이 없이도 조사가 가능한 항목으로 대체하여 간접 측정하는 것으로 하였다. 전체 유역의 여건과 수로생태계와 밀접한 관련이 있지만 일반 수로에서 전체를 복원조치의 대상으로 하는 것은 현실적으로 곤란하므로, 평가 대상의 범위를 수로의 생태적 복원과 직접 연계시킬 수 있는 제방선으로부터 20m 범위 이내로 국한하였다.

2절 모니터링 계획

모니터링은 장기간 지속적으로 시행될 수 있어야 한다. 그렇지 못하면 모니터링 계획은 실효성이 낮아질 수 있으며, 기록과 반복된 기록의 연속성, 조사구의 위치표식 및 조사지 관리를 위한 고정시설이 필요하다. 또한 주기적인 반복기록이 필요하며, 반드시 정기적이지는 않더라도 추가적인 기록이 특정사건을 전후해서 측정되어야 한다. 무엇보다도 현황은 복잡하게 서술하는 것 보다 체계적으로 간단하게 기록하는 것이 유용하며, 또한 사소한 것이라도 일단 기록하는 것이 훨씬 바람직하다.

1. 계획 수립

가. 1단계 : 복원의 전망, 목표 및 목표의 설정

명확하고 복원의 전망과 직접 연관되며 측정할 수 있는 목표를 설정한다.

나. 2단계 : 개념 모형의 수립

개념 모형은 계획된 목표와 사업성과 평가의 변수 사이의 관계를 설정하는데 유용하다.

이를 위한 기초선 조사(baseline study)는 사업 전 생태 현황을 파악하고 복원에 필요한 조치를 확인하고 복원 설계와 모니터링 계획을 수립하는데 필수적이다.

다. 3단계 : 평가 기준의 선정

복원 목표를 평가할 수 있는 기준을 실제 측정 가능한 변수로서 선정한다. 복원 대상 하천과 더불어 비교 지소로서 대조지역을 모니터링하여야 한다. 대조지소는 복원의 모형으로 이용할 수 있고, 사업의 성패를 판단하는 기준을 마련하며, 복원 사업과 관련이 없는 환경영향을 평가할 수 있는 대조구간을 제공한다.

라. 4단계 : 모니터링 변수와 방법의 설정

효과적인 모니터링 변수를 선정하기 위하여, 사업의 성패를 직접 확인할 수 있고 비교적 쉽게 측정할 수 있는 물리적, 수문적 및 생태적 요인을 선정한다. 모니터링 방법은 주어진 시간과 비용 안에서 정확하고 합리적이며 재현성 있는 자료를 제공하는 방법을 선택한다.

마. 5단계 : 비용 산정

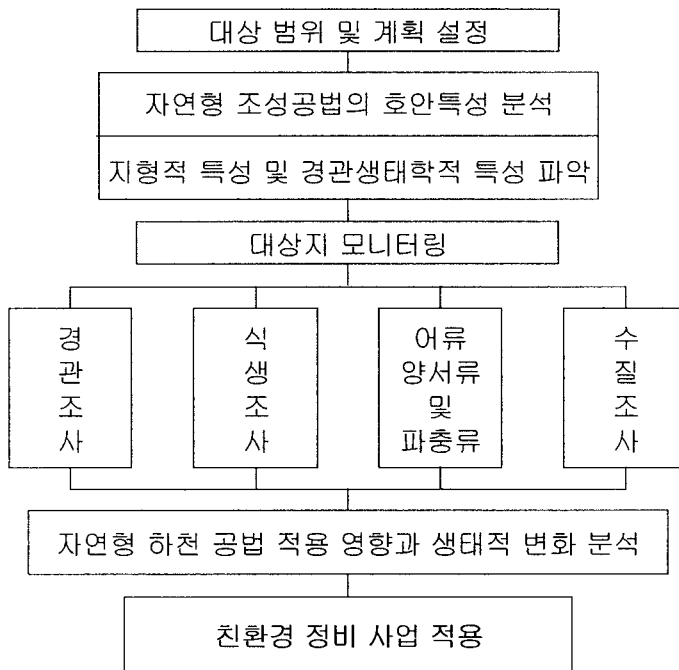
모니터링 계획 수립, 자료 관리, 야외조사, 실내 자료 분석, 자료 분석과 해석, 보고서 작성과 발표에 필요한 비용을 산출한다.

바. 6단계 : 자료 형태의 유형화

전문가, 시민환경단체, 주민 등으로부터 다양한 정보를 수집하여 체계적으로 정리한다.

사. 7단계 : 모니터링 수준과 기간의 결정

모니터링의 수준은 대상 생태계의 유형 및 복원의 목표와 평가기준에 따라서 결정된다. 모니터링 시기, 빈도, 기간은 생태계의 유형, 복잡성, 불확실성에 따라서 달라진다. 또한 모니터링 조사는 반복수, 표본 크기, 표본의 위치, 통계 처리방법을 고려하여 계획되어야 한다.



<그림 5-1> 본 연구의 모니터링 수행절차

2. 평가 변수

복원 사업의 평가는 계획에서 설정된 특정 목표의 성취 여부에 따라서 결정한다. 평가는 주로 생물적, 물리적 특성에 의하여 결정된다. 예를 들면 지표생물로서 목표종의 생육지가 회복되었는지, 혹은 수로와 하안대의 물리적 특성이 의도한 것과 같이 변경되었는지를 평가한다.

가. 물리 변수

하천의 유형과 형태는 폭, 깊이, 수로 경사, 하상 조도, 유량, 유속, 퇴적물 부하량, 퇴적물 크기 등 측정 가능한 변수에 의하여 결정된다. 하천의 횡단형, 종단형, 수문 유황 분석, 하도 진화, 인접 하안 조건, 유역 추이에 대하여 모니터링을 수행한다.

나. 생물 변수

모니터링의 주요 지표는 부착조류를 포함하는 일차생산자, 동물플랑크톤, 무척추동물, 어류, 하안대 야생동물 및 하안식생 등이다.

다. 화학 변수

화학 변수는 주로 수질과 관련되며 복원의 목표가 수질 개선인 경우에 특히 중요하다. 화학 변수에 의한 모니터링은 지표생물을 이용한 생물적 변수의 모니터링과 병행하는 것이 유용하다.

라. 모니터링 결과에 대한 대응

모니터링의 결과는 복원 사업의 진행을 평가하고 사업에 대한 대안을 마련하는 데 필요한 정보를 제공한다. 자연 생태계를 대상으로 하는 복원에서는 예상치 못한 결과가 빈번히 발생한다. 모니터링의 결과에 따라서, 1) 무실행, 2) 유지관리, 3) 계획인자의 보완 또는 삭제, 4) 복원 목적의 수정의 대안을 마련한다. 수변 생태 복원은 불확실성이 크므로 모니터링 중간에 수집된 정보를 활용하여 중도에 사업을 수정하는 적응관리가 바람직하다.

3. 분석방법

모니터링의 내용은 식물 상 및 식생조사에서는 분포하고 있는 식물종 명세를 작성하고, 식생호안 재생, 발생 여부를 모니터링 하였으며, 수생동물종 조사에서는 분류군별 동물종명세를 작성하였다.

<표 5-1> 모니터링 방법

구분	성분	분석방법	비고
안정성 모니터링	호안	공법별 호안 안정성 육안 관찰	홍수시 조사
생태변화 모니터링	경관	수로 전체 3개의 구간으로 구분 육안 관찰, 사진촬영	월별 조사
	식생	1m×1m 방형구를 사면과 수변에 설치 Braun-Blanquet 방법 이용	월별 조사
	어류, 양서류 및 파충류	직접확인방법(direct survey)과 간접확인방법(indirect survey)	월별 조사

환경 분야의 경우 수질과 경관을 모니터링 하여, 수질은 BOD, DO, SS, pH, TN, TP를 조사하였고, 경관은 전경관 및 호안경관의 시계열별 변화과정을 관찰하였다. 또한 조사된 자료를 항목별로 분석하여 대상 지내 생태적 변화 및 환경적 변화를 고찰하고 공법 적용으로 인한 영향을 판단하였다.

어류, 양서류 조사방법의 경우 족대와 투망을 활용하여 성체 및 유생의 실제적인 채집을 시도하였고, 청음 및 허물, 흔적과 주변 인물을 통한 청문을 통해서 간접적인 종의 존재 여부를 인식하였다. 채집된 분류군은 강영선과 윤일병(1975)의 「한국동식물도감 동물편 제17권(양서·파충류)」과 양서영(2000)의 「한국산 양서류 총설」,을 참조하여 학명을 확인하였다.

<표 5-2> 수질항목별 분석방법

구분	성분	분석방법	비고
온도	수온	온도계	현장 분석
pH	pH	pH meter	실험실 분석
DO	DO	Azide Modification(SM 4500-OC)법	실험실 분석
BOD	BOD	5-Day BOD Test(SM 5210-B)법	실험실 분석
SS	SS	Total Suspended Solids Dried at 103-105°C(SM 2540-D)법	실험실 분석
질소	TN Org-N NH ₄ ⁺ NO ₂ NO ₃	Kjeldahl distillation	실험실 분석
		Semi-Micro-Kjeldahl Method(SM 4500-N _{org} C)	
		Phenate Method(SM 4500-NH ₄ ⁺ F)법	
		Colorimetric Method(SM4500-NO ₂ ⁻ B)법	
		Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method(4500-NO ₃ B)	
인	TP	Persulfate digestion method(SM 4500-PB.5) Stannous Chloride Method(4500-PD)	실험실 분석

3절 모니터링 결과

1. 호안 특성 조사

모니터링된 호안 분석은 친환경적으로 조성된 수로에서 호안에 적용된 공법에 대한 긍정적인 부분과 개선되어야 할 문제점을 분석하여 향후 사업시행에 필요한 공법의 적용시 효과적으로 활용할 수 있는 기초자료로 이용하고자 하였다.

〈표 5-3〉 호안공법의 특성비교

구분	자연형 하천 공법	콘크리트 공법
주요기능	자연에 가까운 수제부를 조성하여 하천생태계 재생	일정 지역내의 홍수배수와 상시 배수 기능 위주
내용	유수의 특성을 반영하여 수로의 선형을 결정, 수제부에 정수식물 군락으로 조성	저수로의 선형을 직강화하고 수제부는 콘크리트 처리
주요재료	자연석, 나무말뚝, 썰단, 윗가지, 야자섬유 두루마리, 황마섬유, 갈대, 갯버들 등의 정수식물	콘크리트 블록 콘크리트 옹벽

한국건설기술연구원, 1995, 하천심포지엄

〈표 5-4〉 전반적 호안 특성

긍정적인 내용	개선할 내용
<ul style="list-style-type: none"> · 다양한 호안 종류의 도입 · 생태 기능과 치수 기능을 고려 (급류부)한 호안 종류의 선정 	<ul style="list-style-type: none"> · 환경사 저수호안 도입 · 단편적인 호안재질의 다양화 필요 · 과도한 갯버들, 갈대의 일률적인 적용 지양

<표 5-5> 홍수 및 가뭄시 호안 특성 분석

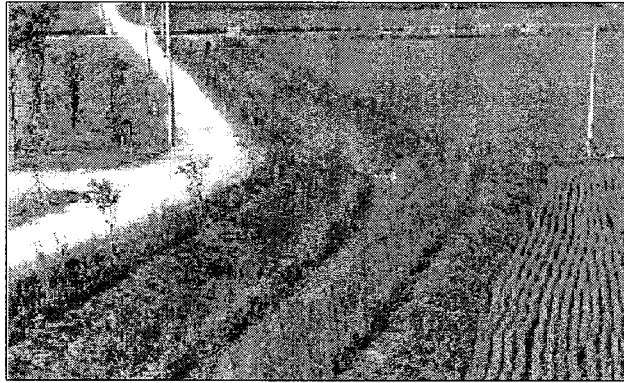
긍정적인 내용	개선할 내용
<ul style="list-style-type: none"> · 자연재 적용에 의한 장기적 경 제성 확보 및 생태기능 개선 · 치수안전도가 확보되는 호안의 도입 · 유지관리가 거의 필요 없는 호 안의 도입(자연석재) · 돌망태 부분의 갯벌들 꺾꽂이 는 생육이 왕성하여 적용이 바 람직함 · 돌망태의 환경사 유지는 생태 계 유지에 바람직함 · 사석은 굴요성과 공극이 많아 큰 유속부가 아니면 유리함 · 수제형 저수호안의 거석은 수질 및 저질 개선과 수생생물 서식 에 유리함 · 매트스톤을 적용한 것은 식생 성장이 어려운 곳에서의 적용 성이 뛰어나며, 유속의 완충 효 과가 뛰어나 수충부에 적합한 공법이다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 코어어를 반영보다 잡석 또는 사석의 부분 반영 필요 · 말뚝 소재로 방부목을 적용하기 보다 미방 부처리 되고 미가공된 원주목(생목)사용이 효과적임 · 천연코어어네트를 활용한 돌쌈지 적용 검 토 필요 · 돌망태 형상이 곡선이므로 유수력에 의해 유실 우려가 크므로 사각형인 친환경 돌망 태 적용 검토필요 · 환경사 저수호안 도입 · 단편적인 호안 재질의 다양화 필요 · 과도한 갯벌들의 일률적인 적용을 지양하고 습한 곳은 유세가 약한 부분에 1/2 높이 이상 근입 적용필요 · 돌망태는 철선 부식후에 형상 유지가 어렵 고 수직이므로 생물이동이 어렵고 기하학 적이므로 자연미가 없으며, 갯벌들의 자생 이 곤란하므로 수로에 적용이 바람직하지 못함

2. 생태계 특성 변화 양상 조사

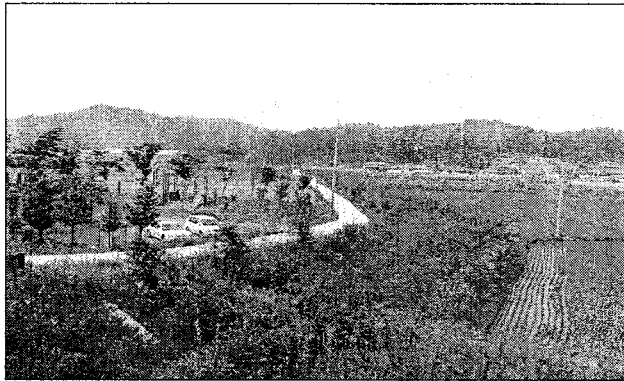
농업생태계는 산림과 수생생태계의 중간에 위치하며, 생물학적 다양성의 유지 등 환경보전기능을 가지고 있다. 실제로 이러한 환경보전 기능만으로도 농업생산량에 못지 않은 중요한 역할을 담당하고 있다. 이러한 농업생태계는 인간간섭에 의한 생 태 변화 가능성이 자연적인 변화에 비하여 훨씬 크며, 변화된 생태계는 쉽게 회복되 지 않는다. 이 때, 생태계의 변화 관찰을 주기적으로 파악하여 필요시 적절한 대응조 치를 취하면 생태계가 회복될 수 없는 상태로까지 훼손되는 것을 미리 막을 수 있으 며, 생태변화모니터링은 경관, 수질, 식생은 월별로 조사하였으며 어류·양서류 및 파충류는 여름철에만 조사하였다.

가. 경관

친환경적 기술을 적용한 농수로의 시간적, 공간적 변화를 파악하고, 고찰하기 위해 수로 전체를 3개의 구간으로 구분하여 모니터링 하였다.



2001.7월 1구간 전경

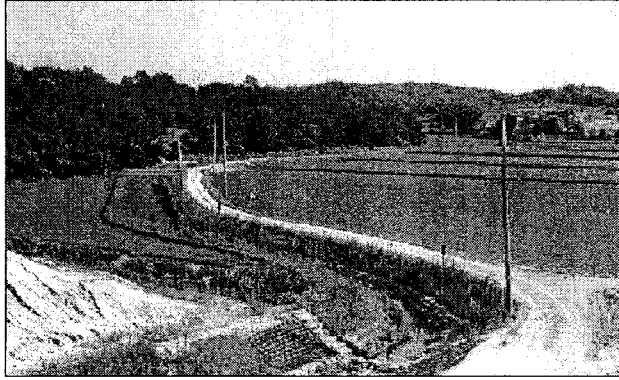


2004.6월 1구간 전경

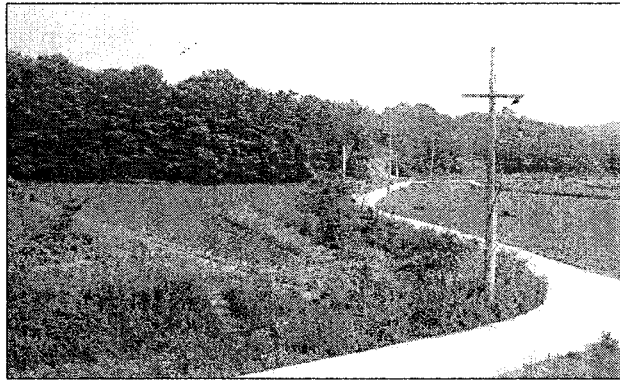
<그림 5-2> 1구간 경관변화

1구간은 수로의 하류 부분이다. 시공전의 수로에는 잡목이 우거져 있었으며, 통수 단면적이 많이 축소된 상태였다. 특히, 이 구간은 배수로의 모든 유량이 집중되는 곳으로서 신속하게 홍수를 유하시킬 수 있어야 하는 것은 물론 수로의 안전성이 최대한 확보되어야 하는 곳이었다. 이와 같은 이유로 이 구간은 비교적 견고한 재료인 식생콘크리트 블록을 이용하여 시공되었다. 시공 후 식물이 발아되어 수로경관이 자연에 가깝게 진행되고 있는 모습이다. 종래의 좁고 답답하며 작은 통수단면을 가졌던 수로가 시원한 조망이 확보되면서도 자연성이 풍부한 수로로 조성되었다.

<그림 5-2>는 2001년 7월 시공 11개월 후 와 2004년 6월 시공 46개월 후의 경관 변화를 나타내고 있다. 식재 식물의 개체수의 증가와 생태적으로 안정화 된 것으로 보여지며, 시공 후 4년간 모니터링 결과 침식이나 세굴 등이 발생하지 않은 수리학적 으로 안정된 단면으로서 수로의 유지관리에 있어서도 유리한 공법으로 판단된다.



2001.7월 2구간 전경



2004.6월 2구간 전경

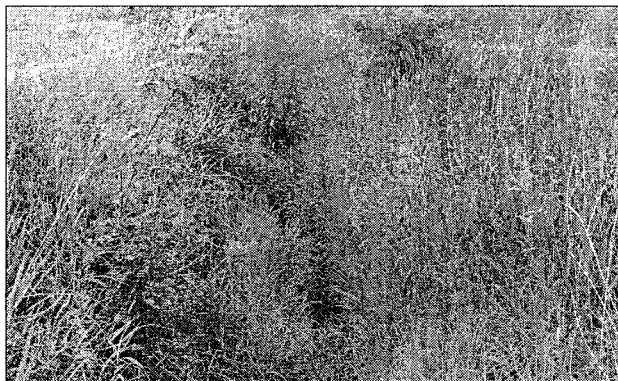
<그림 5-3> 2구간 경관변화

2구간은 고속도로 교각의 상류구간으로 사행형 수로가 형성되어 부분적으로 침식과 퇴적이 우려되는 구간이다. 이 구간에는 침식과 퇴적을 최대한 억제할 수 있는 돌망태와 자연석을 이용한 공법을 사용하여 유수에 대한 저항성을 보강하였으나 교량공사로 인한 사면의 많은 호박석이 탈석되어 사면 붕괴가 발생하였다. 수로내부 준설토의 사면 성토로 인해 식생의 회복이 억제되었으며, 이로 인한 침식, 세굴, 붕

괴 등 공학적 안전성이 우려된다. 또한 이 구간에는 콘크리트 구조물로 제작된 낙차공이 설치되어 있으며 2000년 가을철의 집중호우로 인해 흙 사면과의 연결부가 부분적으로 훼손되는 사고가 있었지만, 사면의 안정에 큰 문제가 발생하지 않았다. 2002년 조사결과 유수 단면내 갈대의 번성으로 인해 홍수 배제의 문제점이 발생한 구간으로서 수로의 유지관리를 위한 식생 제거나 준설에 있어 보다 철저한 계획이 이루어져야 할 것으로 판단된다.



2001.7월 3구간 전경



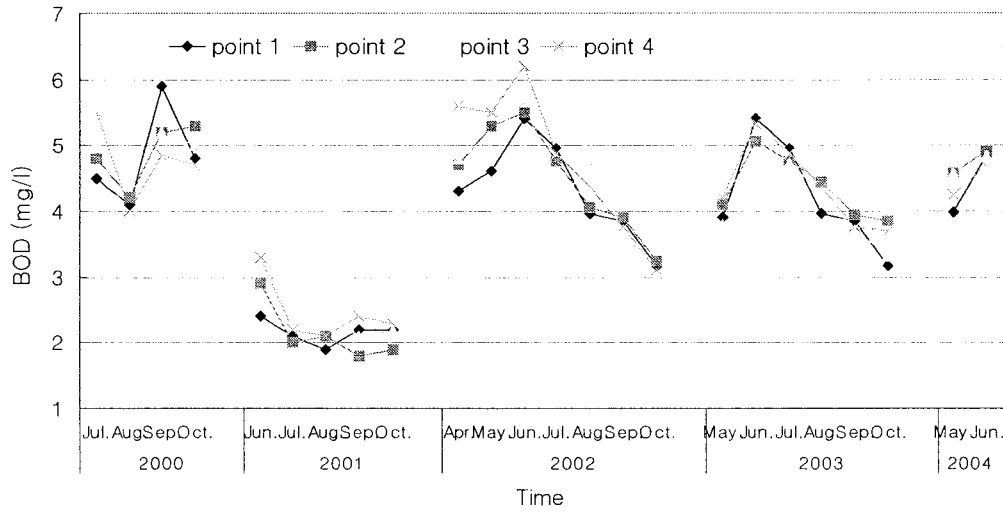
2004.6월 3구간 전경

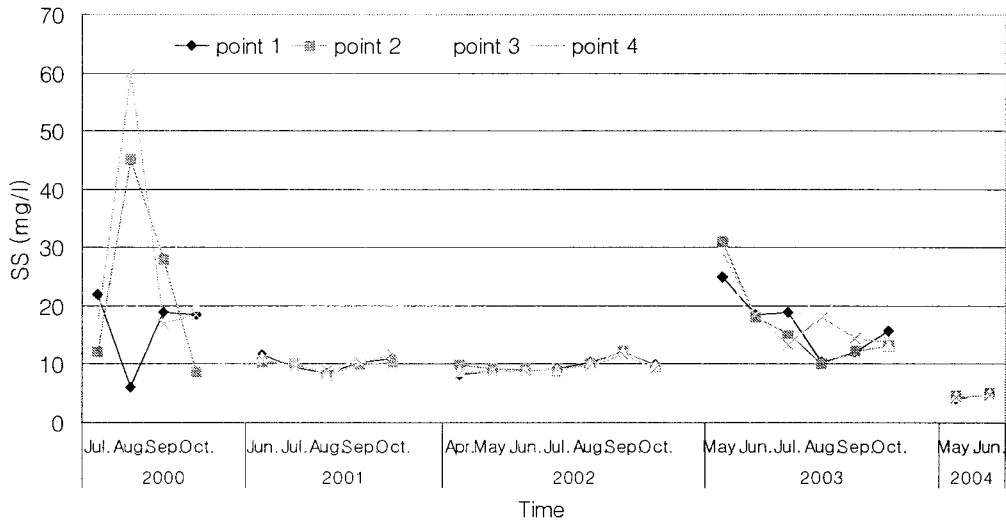
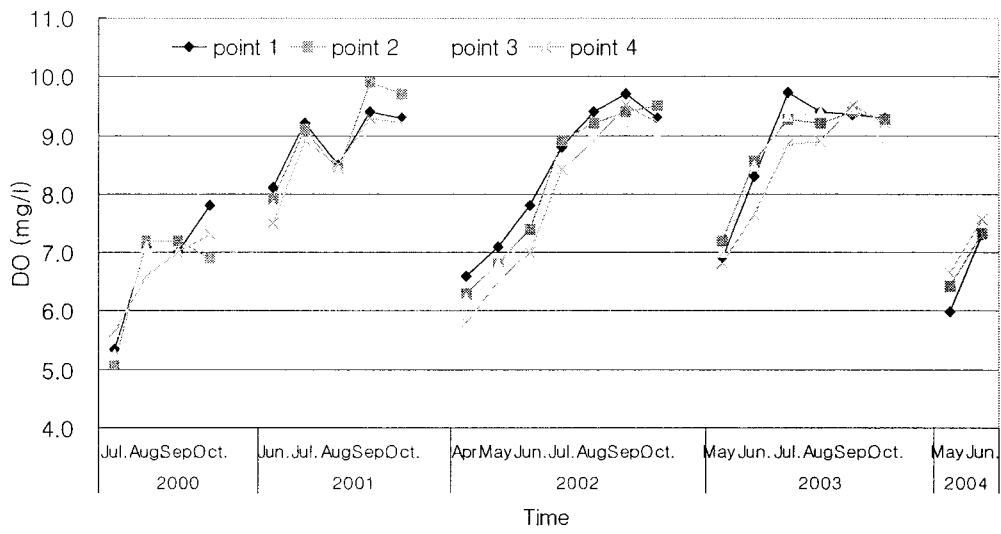
<그림 5-4> 3구간 경관변화

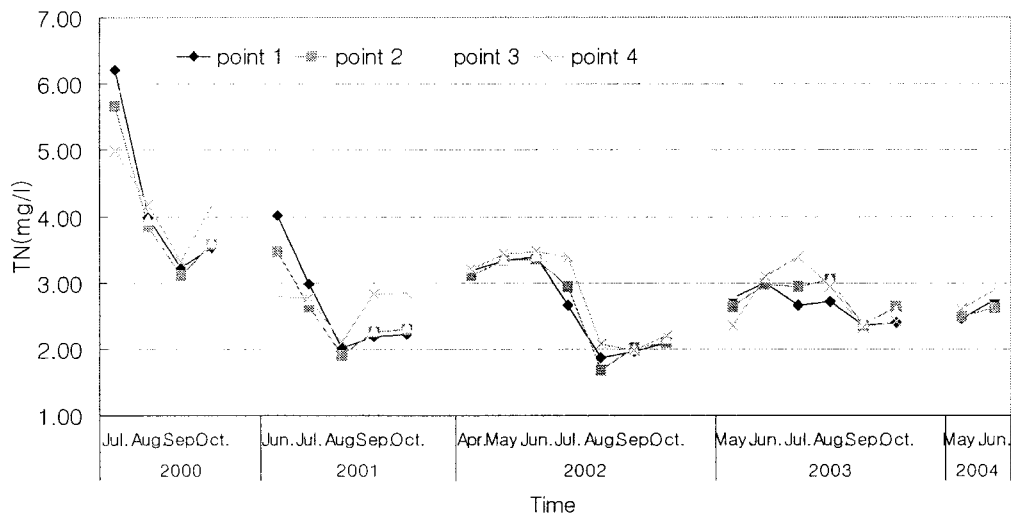
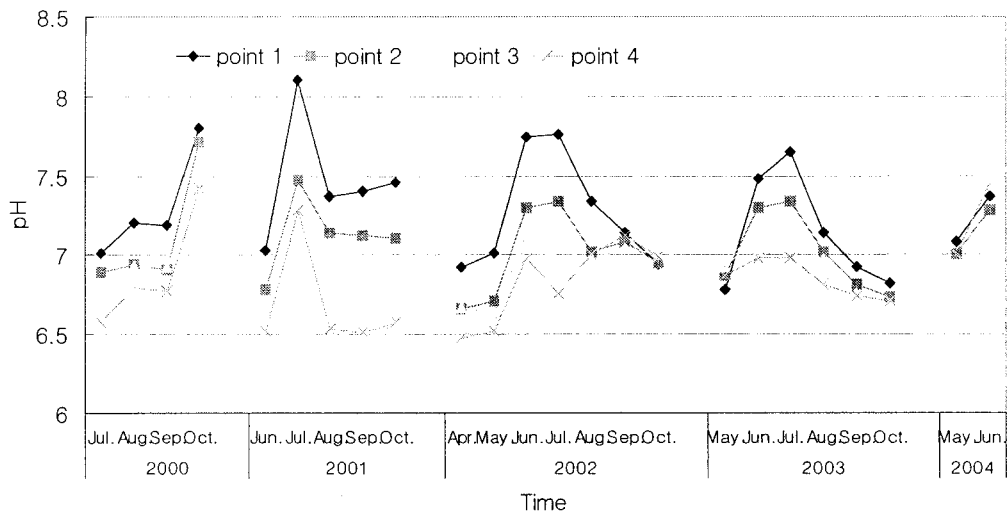
3구간은 생태계보전형 구간으로 시간이 경과함에 따라 식물의 성장이 왕성하여 자연스러운 모습을 형성, 생태계의 복원이 이루어 졌다고 판단되었으나 친환경 공법중 일부만 남아있는 상태며 대부분이 토사에 매립되어 있는 상태로 남아있다.

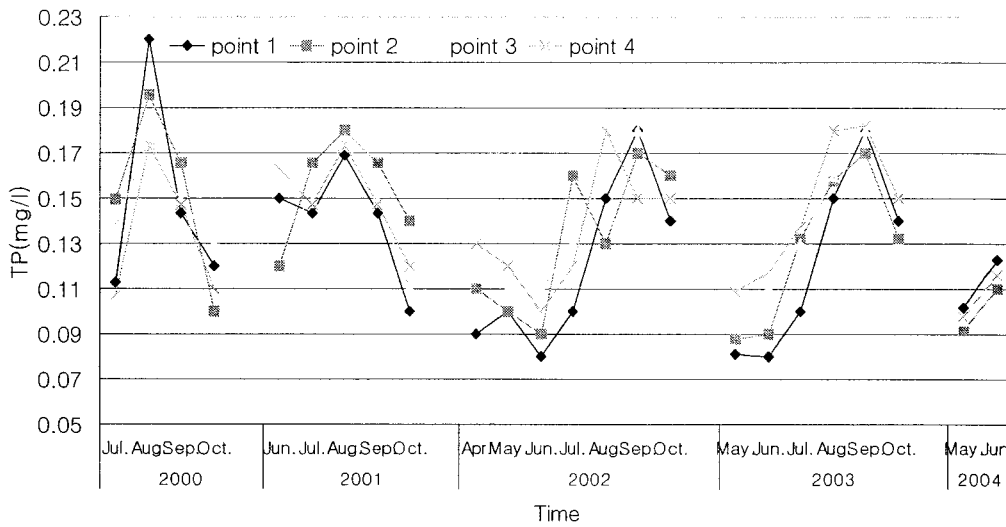
나. 수질

농업 내외적 수질오염과 과도한 농업화학물질의 사용에 의한 농경지의 토양오염과 함께 비점오염 등 수질오염 피해의 확산 등으로 농경지의 지속적인 생산을 보장하는 생태계의 안정성에 위협을 받고 있으며, 인간의 건강에도 위협을 초래하고 있다. 따라서 농업 소유역의 배수로 수질변화를 4년간 모니터링 하여 기초자료를 구축하며, 농경지에서 배수로로 유입되는 유입수가 수질에 미치는 영향 및 수질의 계절적 변화 양상을 분석하기 위한 것이다.









〈그림 5-5〉 조사시기별 수질변화

연구대상수로의 수질검사는 2000년 7월부터 2003년 5월까지 실시하였다. 시공기간 중에는 공사에 따른 유량의 변화가 심하고 탁도와 각종 공사자재 때문에 정확한 자료수집이 불가능하여 정밀한 조사를 실시하지 못하였다. 또한 2001년 3월부터 5월까지 수로의 건천화로 인해서 시료를 채수하지 못하였다. 시료의 채수지점은 출구(point 1), 자연식생 및 식생콘크리트 호안구간의 입구(point 2), 침사지 유출구(point 3)와 상류 지점(point 4)으로 설정하고, 하류 지점에서부터 상류방향으로 진행하면서 각각 채수하여 pH, SS, DO, BOD, T-N, T-P 6가지 항목에 대해서 분석하였다.

pH는 2001년 7월 No.1 채수지점의 측정치는 8.1이상으로 다른 구간에 비해 높게 나타났으며 현장에서의 특이사항을 발견하지 못하여 실험실 분석오차로 가정하여 이 값을 무시하였다. 측정치의 평균범위는 6.6~7.8로서 오염되지 않은 자연하천의 일반적인 pH값인 중성상태를 나타내고 있어 수로가 생태적으로 안정적인 환경을 제공하고 있는 것으로 판단된다.

SS는 2000년 7월에 3, 4구간에서 급격히 증가되었는데, 이는 시공이 완공된 것이 아니고 마무리 작업이 진행 중이었으므로 이 구간에서 아직 하상 및 호안이 안정되지 않았기 때문으로 판단된다. 시공 완료 후 뚜렷한 SS의 변화는 발견되지 않았으며 2003년 수로내부 준설과 준설토의 사면 복토로 인한 수로내부 토사유입으로 측정 구간에서 높은 수치를 나타내었다.

DO농도는 구간별 일정한 경향을 발견할 수 없었으나, 농업용수 수질기준인

2.0mg/ℓ 이상을 만족시킬 뿐만 아니라 물고기가 살아가기 위해서 필요한 DO농도로 알려진 5.0mg/ℓ 도 상회하였다. BOD의 경우 농업용수 수질기준인 8.0mg/ℓ 을 만족하고 있었다. T-N의 농도는 6.2 ~ 1.65mg/ℓ 였고, T-P농도는 0.1 ~ 0.2mg/ℓ 로 구간별 일정한 경향은 나타나지 않았지만, 질소의 경우는 시공 후 연도에 저감 효과를 보였으며, 인의 경우는 집중강우기간인 7, 8월에 안정화되는 경향을 보였으며 주변 농업에 의한 수질 영향의 상관관계는 나타나지 않았다. 자연친화적 수로정비 공법이 적용된 2000년에는 수질에 많은 영향을 주는 식물의 활착이 늦어졌고, 마무리 작업이 진행 중이었으므로 이 구간에서 아직 하상 및 호안이 안정되지 않았기 때문에 수로내 각 수질 항목이 불안한 상태를 보였으나, 2001년 이후에는 식재된 식물들이 수변부에 활착되었고 통수 단면내에 갈대의 번성으로 인한 영양염의 흡수가 수질의 안정화에 영향을 준 것으로 판단된다.

다. 식생

조사 대상지인 경기도 여주군 가남면 배수로에 출현하는 식물은 1999년 정비전 기본조사에서 19과 29속 32종으로 나타났다. 특히 하천변 습지나 수로주변에 출현하는 벼과나 국화과 식물이 많은 부분을 차지하였다. 1999년부터 2002년까지 현지 조사한 결과 모두 36과 73종인 것으로 나타났으나 2003년 수로 준설 이외의 일부 구간에서만 조사되어 전체적인 식물종을 파악할 수 없었으며 준설구간은 식생의 미활착에 의한 생태적 교란을 보일 것으로 판단되며, 2004년 7월 현재 23과 60종이 출현한 것으로 조사되었다.

정비대상수로에서 2000~2002년까지 3년간 계속적으로 출현한 식물로는 한련초, 망초, 쑥, 개망초, 구절초, 쑥부쟁이, 벌개미취, 금불초, 미국가막사리, 갈대, 강아지풀, 왕바랭이, 수크령, 줄, 미국개기장, 돌피, 억새, 바랭이, 달뿌리풀, 깨풀, 명아주여뀌, 고마리, 며느리배꼽, 개여뀌, 쇠방동사니, 금방동사니, 나도방동사니, 샷갯사초, 쇠별꽃, 점나도나물, 차풀, 아카시, 비수리, 겹달맞이, 여뀌바늘, 개비름, 쫄레, 꼬리조팝, 환삼덩굴, 나팔꽃, 부들, 명아주여뀌, 질경이, 쇠뜨기, 애기똥풀, 부처꽃, 맥문동, 주름잎, 갯버들, 개나리, 털비름, 수박, 까마중, 닭의장풀, 개구리밥, 길골풀, 쇠비름, 박주가리, 꼭두서니 59종이 나타났다. 2004년까지 5년간 나타난 식물종은 3년간 지속적으로 출현한 식물종 중 털비름, 수박, 까마중, 닭의장풀, 개구리밥, 길골풀, 쇠비름, 박주가리, 꼭두서니, 까마중, 부들, 부처꽃, 비수리, 개갯냉이 15종이 감소한 44종이 자생하고 있는 것으로 조사되었으며, 종의 감소는 준설토의 사면 성토로 고사하였거나 미식별로 인한 감소로 판단된다.

<표 5-6> 식물상 변화

과 명	한국명	학 명	조성진	00년	01년	02년	03년	04년
국화과	한련초	<i>Eclipta prostrata</i>		○	○	○	○	○
	진득찰	<i>Siegesbeckia glabrescens</i>			○	○		
	망초	<i>Erigeron canadensis</i>	○	○	○	○	○	○
	왕고들빼이	<i>Lactuca indica</i> var. <i>laciniata</i>			○	○	○	○
	빛자루국화	<i>Aster subulatus</i> Michx.			○	○	○	○
	쑥	<i>Artemisia princeps</i> var	○	○	○	○	○	○
	개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) <i>Pers.</i>	○	○	○	○	○	○
	구질초	<i>Chrysanthemum</i> <i>zawadskii</i> var. <i>latilo</i>		○	○	○	○	○
	쑥부쟁이	<i>Aster yomena</i>		○	○	○	○	○
	별개미취	<i>Aster koraiensis</i>		○	○	○	○	○
	중대가리	<i>Centipeda minima</i> (L.)			○	○	○	○
	금불초	<i>Inula britannica</i> var. <i>chinensis</i>		○	○	○	○	○
	가막사리	<i>Bidens tripartita</i> L.			○	○	○	○
	미국가막사리	<i>Bidens frondosa</i> L.	○	○	○	○	○	○
	돼지풀	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.			○	○		○
	도꼬마리	<i>Xanthium strumarium</i> L.		○	○			○
벼과	갈대	<i>Phragmites communis</i> <i>Trinius</i>	○	○	○	○	○	○
	강아지풀	<i>Setaria viridis</i>	○	○	○	○	○	○
	왕바랭이	<i>Eleusine indica</i>	○	○	○	○	○	○
	수크렁	<i>Pennisetum</i> <i>alopecuroides</i> (L.)		○	○	○	○	○
	줄	<i>Zizania latifolia</i>		○	○	○	○	○
	미국개기장	<i>Fall panicum,</i> <i>Panicum dichotomiflorum</i>	○	○	○	○	○	○
	돌피	<i>Echinochloa crus-galli</i>	○	○	○	○	○	○
	억새	<i>Miscanthussinesis</i> AanerSS	○	○	○	○	○	○
	바랭이	finger grass, <i>Digitaria sa</i>	○	○	○	○	○	○
달뿌리풀	<i>Phragmites japonica</i>	○	○	○	○	○	○	

<표 5-6>식물상 변화 (계속)

과 명	한국명	학 명	조성전	00년	01년	02년	03년	04년
대극과	망빈대	<i>Euphorbia humifusa</i>			○	○		
	깨풀	<i>Acalypha australis</i>		○	○	○	○	○
마디풀과	명아주여뀌	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>		○	○	○	○	○
	고마리	<i>Persicaria thunbergii</i>	○	○	○	○	○	○
	머느리배꼽	<i>Persicaria perfoliata</i>	○	○	○	○	○	○
	개여뀌	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Spach	○	○	○	○	○	○
	소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.			○	○		○
	마디풀	<i>Polygonum aviculare</i> L.			○	○		○
사초과	쇠방동사니	<i>Cyperus orthostachyus</i>		○	○	○	○	○
	금방동사니	<i>Cyperus microiria</i> Steud.	○	○	○	○	○	○
	나도방동사니	<i>Cyperus nipponicus</i> Fr. et Sav	○	○	○	○	○	○
	삿갓사초	<i>Craex dispalata</i> Boott.		○	○	○	○	○
	알방동사니	<i>Cyperus amuricus</i>			○	○	○	○
	하늘지기	<i>Fimbristylis dichotoma</i> Vahl			○			
석죽과	쇠별꽃	<i>Stellaria aquatica</i> Scop.	○	○	○	○	○	○
	짐나도나물	<i>Cerastium holosteoides</i> var. <i>hallaisanense</i>		○	○	○	○	○
	장구채	<i>Melandryum firmum</i>			○			
콩과	차풀	<i>Senna, Cassia mimosoides</i> var	○	○	○	○	○	○
	아카시	<i>Decurrens</i> var. <i>dealbata</i>	○	○	○		○	○
	새팻	<i>Phaseolus nipponensis</i>		○	○			
	돌콩	<i>Glycine soja</i> Sieb. et Zucc			○	○	○	○
	토끼풀	<i>Trifolium repens</i> L.			○	○	○	○
	비수리	<i>Lespedeza cuneata</i>		○	○	○		
바늘꽃과	검달맞이	<i>Oenothera erythrosepala</i> Bo	○	○	○	○	○	○
	여뀌바늘	<i>Ludwigia prostrata</i>		○	○	○	○	○
붓꽃과	노랑꽃창포	<i>Iris pseudoacorus</i>		○	○			
	꽃창포	<i>Iris ensata</i> var. <i>spontanea</i>		○	○			

<표 5-6>식물상 변화 (계속)

과 명	한국명	학 명	조성전	00년	01년	02년	03년	04년
비름과	털비름	<i>Amaranthus retroflexus</i>		○	○	○		
	개비름	<i>Amaranthus lividus</i>	○	○	○	○	○	○
장미과	찔레	<i>Rosa multiflora</i>	○	○	○	○	○	○
	꼬리조팝	<i>Spiraea salicifolia</i> Linnnaeus		○	○	○	○	○
박과	수박	<i>Watermelon, Citrullus vulgaris</i>		○	○	○		
가지과	까마중	<i>Solanum nigrum</i>	○	○	○	○		
닭의장풀과	닭의장풀	<i>Dayflower, Commelina communis</i>		○	○	○		
삼과	환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> S.	○	○	○	○	○	○
개구리박과	개구리밥	<i>Spirodela polyrhiza</i>		○	○	○		○
십자화과	개갯냉이	<i>Rorippa indica</i> (L.)	○	○	○	○		
베꽃과	나팔꽃	<i>Pharbitis nil</i>		○	○	○	○	○
부들과	부들	<i>Typha orientalis</i>	○	○	○	○	○	
명아주과	명아주	<i>Goosefoot, Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	○	○	○	○	○	○
질경이과	질경이	<i>asian plantain, Plantago asiatica</i>	○	○	○	○	○	○
속새과	쇠뜨기	<i>Equisetum palustre</i> L.	○	○	○	○	○	○
양귀비과	애기똥풀	<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i>	○	○	○	○	○	○
관풀과	길관풀	<i>Juncus tenuis</i>		○	○	○		
쇠비름과	쇠비름	<i>Portulaca oleracea</i>		○	○	○		
박주가리과	박주가리	<i>Metaplexis japonica</i>		○	○	○		
부처꽃과	부처꽃	<i>loosestrife, Lythrum anceps</i>		○	○	○	○	
백합과	맥문동	<i>Liliaceae</i>		○	○	○	○	
현삼과	주름잎	<i>Mazus japonicus</i>		○	○	○	○	○
괭이밥과	괭이밥	<i>Oxlis corniculata</i> L.			○	○		
골풀과	들깨풀	<i>Mosla punctulata</i>			○	○	○	○
봉선화과	봉선화	<i>Impatiens balsamina</i> L.			○			
꼭두서니과	꼭두서니	<i>Rubia cordifolia</i> L. var. <i>partensis</i> Maxim		○	○	○		
버드나무과	갯버들	<i>Virgularia gustaviana</i>		○	○	○	○	○
물푸레나무과	개나리	<i>korean forsythia</i>		○	○	○	○	○
마과	마	<i>Dioscorea batatas</i>	○	○	○			○
전체 82종			32	65	82	73	57	70

라. 어류, 양서류 및 파충류

어류는 수생 식물역이 양호하게 발달함에 따라 기본조사시 미꾸라지, 송사리 2종이었던 것이 시공해인 2000년에는 미꾸라지만 채집되었고, 2001년, 2002년도에는 송사리 치어와 미꾸라지 모두 채집되는 것으로 보아 공법 적용에 의한 미세지형의 발달로 산란장소가 복원 및 확충된 것으로 판단되었으나, 2003년 해당 항목 중 어류는 준설로 인하여 생태 조사가 불가능하였다. 2004년에는 송사리 치어와 미꾸라지가 모두 채집되었으며, 가제도 일부에서 발견되었다.

양서류 및 파충류의 경우 1999년 3종이었던 것이 2000년 2종이, 2001년 참개구리를 비롯한 청개구리, 황소 개구리, 두꺼비, 도롱뇽, 뱀 등의 6종이 확인되었으며, 자연친화적 수로정비 이후 환경에 적응하여 번식하는 것으로 판단되었으나, 2004년 참개구리를 비롯한 청개구리, 황소개구리, 두꺼비, 뱀 5종이 사면이나 수로 인접지역에서 확인되었으며 도롱뇽은 확인되지 않았다.

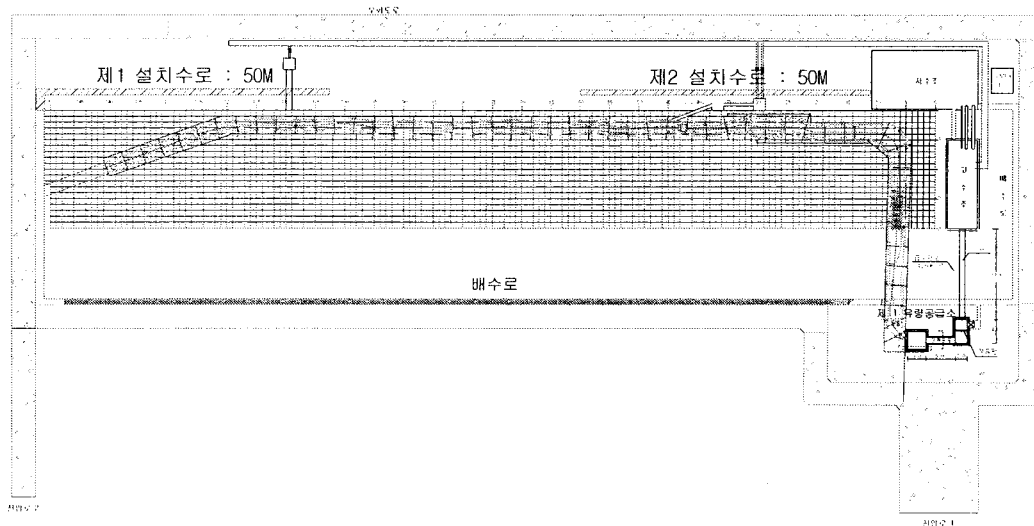
4절 구조물 수로 내에서의 생태이동

현행 용수로의 설치 및 개보수는 수로손실을 줄이고 유지관리의 효율성을 높이기 위해 콘크리트 현장타설 및 수로관으로의 구조물화에 역점을 두고 있으며, 이에 따른 양서류 및 파충류 등이 수로내에서의 탈출이 어려워 비 급수기에는 고사하는 경우가 빈번히 발생하고 있다.

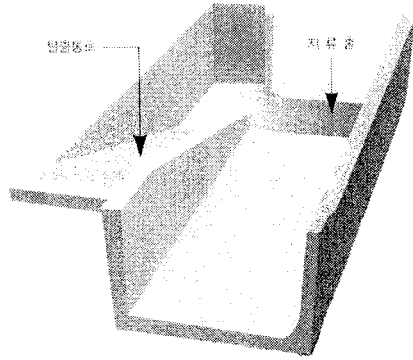
본 연구에서는 구조물화된 수로에서의 양서류 및 파충류 등과 소동물의 이동 또는 탈출 유형을 조사하여 구조물 수로의 생태이동 통로 설치의 필요성과 개선방안을 도출하고자 농어촌연구원 내에 생태수로(2조 100M)를 설치하여 뱀과 개구리의 탈출경로를 모니터링하였다.

1. 생태수로관 설치 내역

- 설치위치 : 농어촌연구원 내 야외 수리시험장(그림 5-6 참조)
- 설치구간 : 2조 100M
- 수로규격 및 재료 : 600mm×600mm U자 형 철근 콘크리트 벤치플름 38개 생태수로관 12개
- 생태수로 설치간격 : 시점~중간부까지 6M ~8M, 중간부~종점까지 4M
- 생태수로 설치유형 : 제1수로는 생태수로관을 양쪽면에 번갈아 설치 제2수로는 한쪽면으로 설치



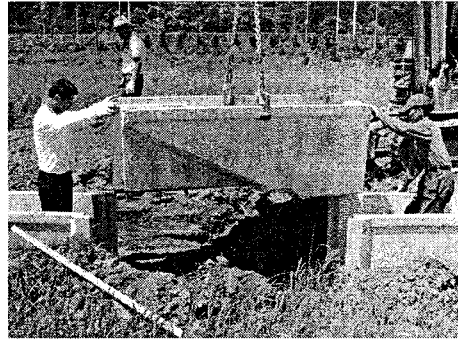
<그림 5-6> 생태수로 설치 위치



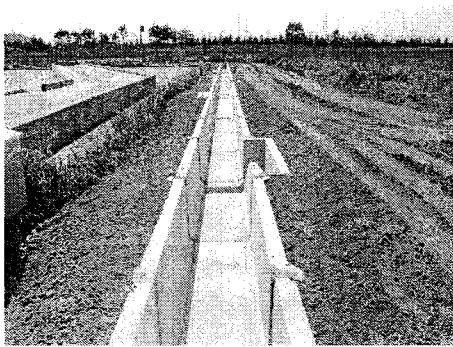
<그림 5-7> 생태수로관



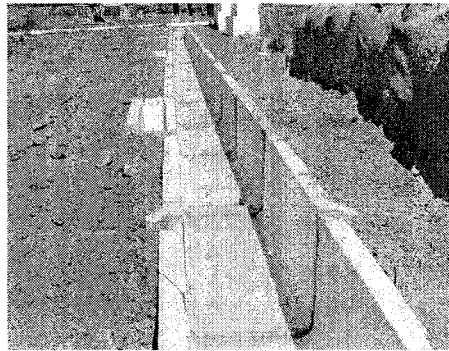
기초공사(토공사)



생태수로관 조립



제1 수로 전경(양쪽설치)



제2 수로 전경(한쪽 설치)

<그림 5-8> 생태 수로관 공사 전경

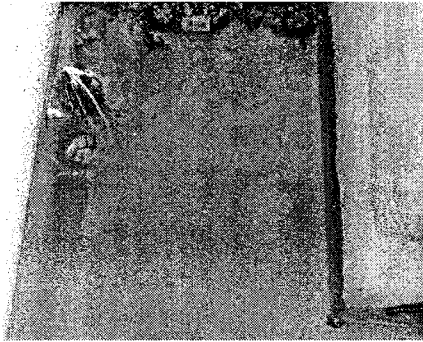
2. 양서류 이동 모니터링

구조물 수로의 대부분은 측벽이 수직으로 되어있어 뱀과 개구리 등의 양서류와 오소리, 너구리 등 소동물은 측벽의 높이가 일정 이상(양서류는 20cm, 소동물은 50cm로 판단)일 경우 수로 밖으로 탈출이 어렵다.

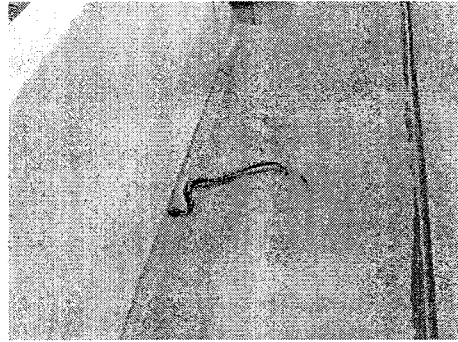
특히, 구조물화된 용수로는 비 급수기에 양서류를 비롯한 소동물이 용수로 내에 들어오게 된 경우에는 장기간 탈출이 불가능하여 고사 할 가능성이 높다.

본 연구에서는 개구리와 뱀을 대상으로 구조물 수로에서의 탈출경로를 모니터링하였다.

개구리와 뱀은 물이 고여있는 생태수로관의 저류 홈으로 잘 접근하여 머무는 경향이 있었다. 특히, 수로내에서 뱀은 수로 측벽을 따라 이동하여 비교적 쉽게 생태수로관의 등선로로 접근하였으나, 개구리는 생태수로의 저류 홈까지의 이동은 뚜렷한 특징이 없었다.

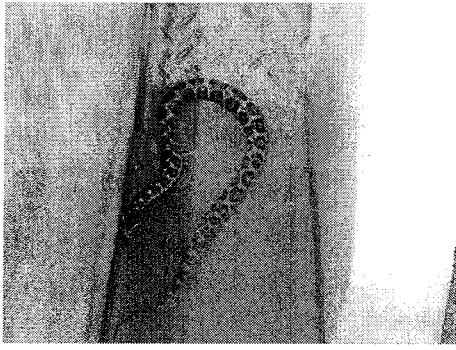


<그림 5-9> 저류홈 부근의 개구리

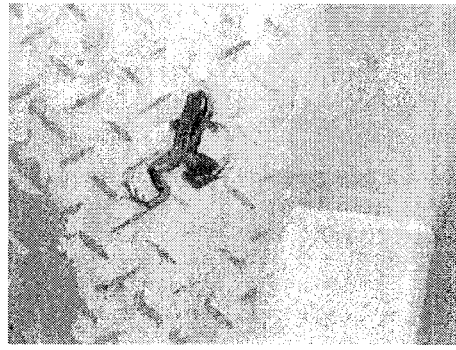


<그림 5-10> 수로내에서 이동하는 뱀

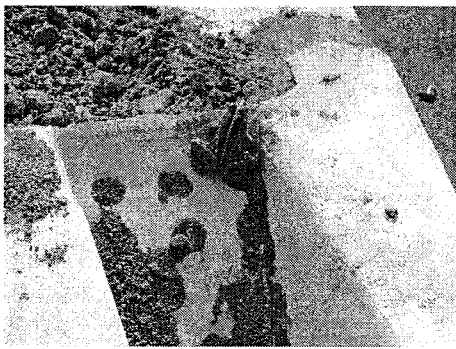
생태수로관 등선로에서의 뱀과 개구리의 이동은 등선로 바닥 상태에 많은 영향이 있었다. 예를 들면, 시험수로에 설치된 생로수로관의 등선로 부분은 콘크리트로 바닥이 미끄러워 뱀과 개구리가 등선로를 통하여 탈출하는데 5분가량 시간이 소요되었다. 개구리는 힘겹게 수로 밖으로 탈출에 성공하였지만 뱀은 여러차례 시도 끝에 탈출하지 못했다. 그래서 등선로 바닥에 축축한 흙을 뿌려 실험한 결과 비교적 쉽게 등선로를 통하여 수로 바깥으로 탈출하였다.



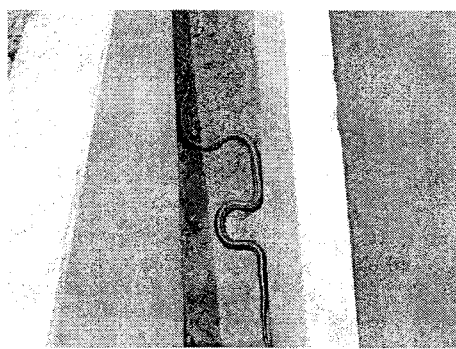
<그림 5-11> 탈출을 시도하다가 포기한 뱀



<그림 5-12> 미끄러지는 개구리



<그림 5-13> 흠의 마찰력을 이용하여 쉽게 탈출하는 모습



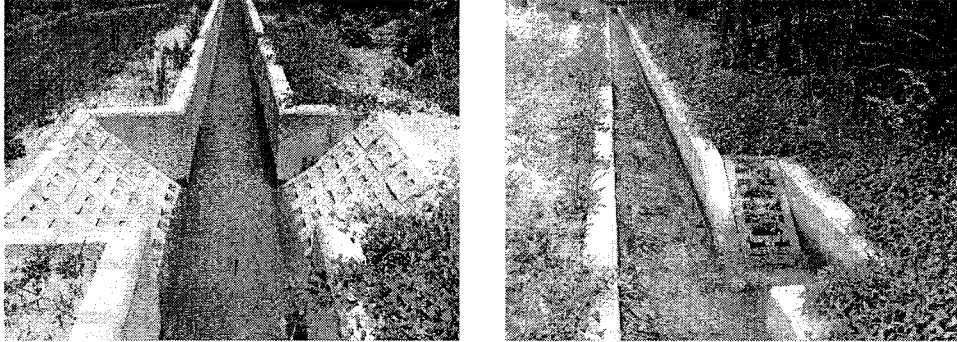
이상의 내용을 요약하면, 구조물화 된 수로의 등선로 간격은 개구리와 뱀이 이동할 수 거리를 고려한다면 20m 이상으로 설치하여도 될 것으로 판단되며, 개구리와 뱀이 뛰어 넘거나 기어올라 갈 수 있는 측벽의 높이는 약 25cm 이내라 판단된다.

그리고 등선로의 규격과 상태를 보면, 등선로의 폭은 10cm~15cm 정도이면 소동물까지 탈출이 가능할 것으로 판단되며, 등선로 경사보다는 바닥의 매끈한 정도에 따라 탈출여부에 큰 영향이 있는 것으로 나타났다.

등선로 바닥 상태가 매끈하거나 오목형태로는 쉽게 탈출 할 수 없으므로 자갈이 섞여 있거나 돌출형태로 제작·시공되는 것이 양서류나 소동물의 구조물 수로내 탈출이 용이 할 것으로 판단된다.

또한, 수로바닥과 약 5cm~10cm 정도의 저류 홈은 비 급수시 용수로 내의 개구리가 등선로로 유도되는데 중요한 역할을 하고 있는 것으로 조사되었다.

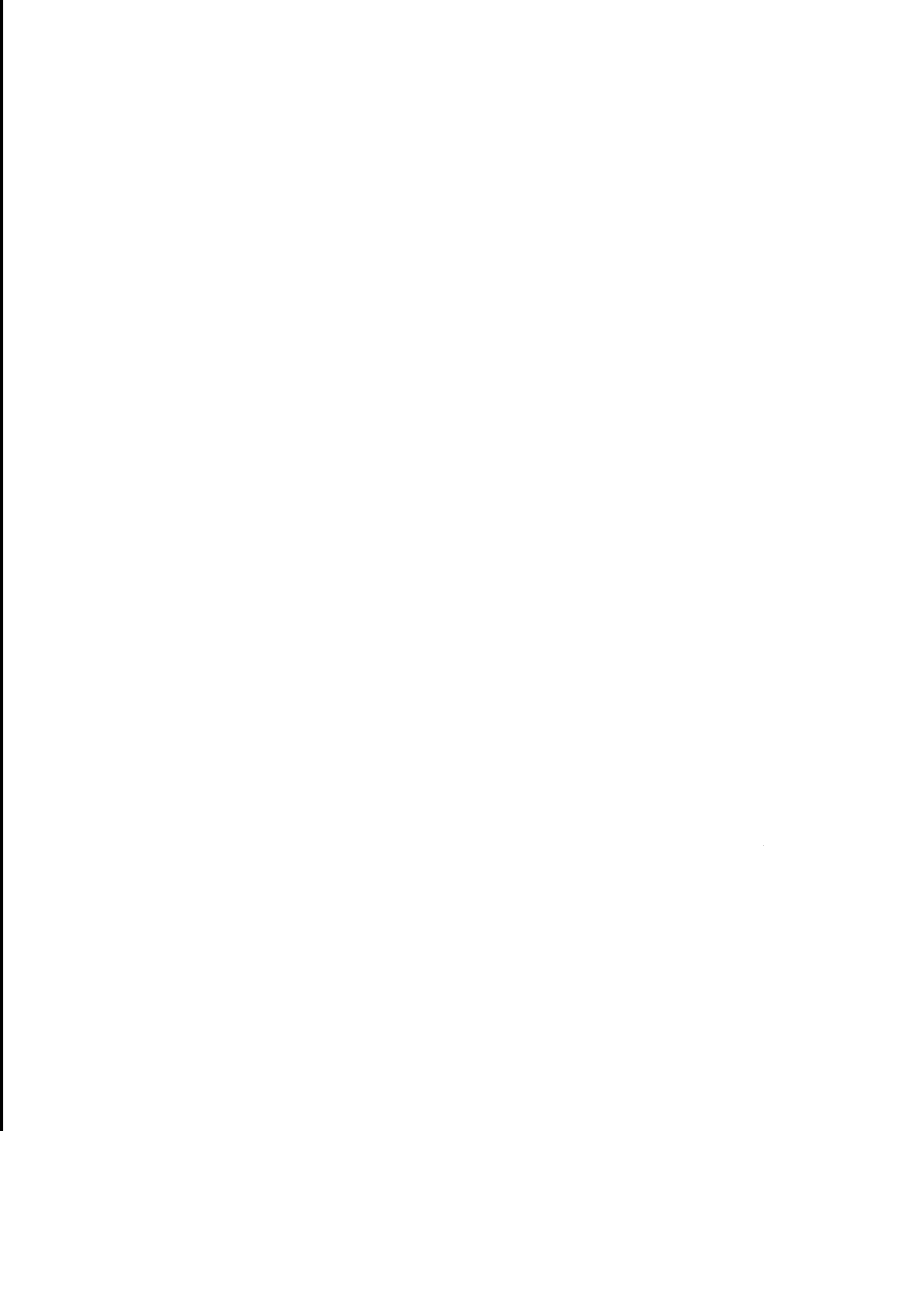
뱀과 개구리 같은 양서류 뿐만 아니라 고라니, 오소리와 같은 소동물이 구조물 수로내에서의 탈출을 위해서는 경기도 여주에 시공된 유형의 등선로가 유효 할 것으로 판단된다.



<그림 5-14> 현장타설로 시공한 등선로

6장 친환경적 수로정비에 대한 평가

- 1절 기존 하천 자연도 평가 방법
- 2절 친환경 정비수로에 대한 자연도 평가 기준 도출
- 3절 친환경 정비수로의 안전성 평가
- 4절 친환경 정비수로의 설치에 따른 지역사회의 인문·
사회적 변화 양상 검토
- 5절 수리시설물의 친환경적 정비에 관한 기술자들의
의식조사



6장 친환경적 수로정비에 대한 평가

친환경적 수로정비는 궁극적으로 치수 및 이수 목적상 수로정비가 필요한 수로에서 가급적 환경이 크게 훼손되지 않고 자연상태의 수로모습에 가깝게 유지되도록 정비하는 계획을 의미하며, 최근에 와서야 환경문제의 사회적 부각과 함께 이에 대한 반성으로 수로생태계를 파괴하는 수로정비방식의 문제점을 지적하는 연구가 부분적으로 행해진 바 있으며(김선주, 2000), 생태 파괴적인 수로정비방식에 대한 대안으로 외국의 자연형 수로환경 개선 기법에 대한 소개가 이루어진 바 있다. 국내에서 수로평가를 포함한 수로의 생태적 복원 관련기술 개발은 아직 초기 단계이며, 그 필요성이 인식되면서, 외국의 선례나 기법들이 소개되고 시범사업의 추진으로 범용화 단계에 있다.

수로환경 개선의 필요성이 인식되는 단계에서 취해져야 할 최우선 행위는 수로환경 상태의 현황을 파악하는 것이지만, 아직 수로환경의 상태를 파악하고, 진단할 수 있는 방법에 대한 연구가 미흡하여, 이에 관한 연구가 시급하다.

이러한 관점에서 수로를 원래의 자연적인 모습으로 되돌리려는 최근의 시도는 자연을 바라보는 시각이 인간본위에서 자연중심으로 전환되고 있음을 보여준다. 따라서 지금이 수로를 진단, 평가하고 궁극적으로 하천을 자연스러운 모습으로 바꾸는 일련의 과정에 과학적, 사회적 타당성을 부여하는 첫 단추로써의 잣대가 필요한 시점이 아닌가 한다. 수로 평가의 목적은 수로이용과 보전, 나아가 복원계획에 대한 잠재적인 적합성의 근거를 파악하고 이에 가치를 부여하기 위함이다.

1절 기존 하천 자연도 평가 방법

1. 하천환경의 평가

하천환경의 평가는 하천의 안정성, 자연성, 친수성 등 다양한 목적을 위해 수행될 수 있다. 이러한 하천환경의 다양한 평가목적 가운데 하나로 하천의 자연성 평가를 위한 하천자연도 평가기법을 들 수 있다. 하천자연도(Degree of River Naturality : D.R.N)란 하천 구역의 생태학적 접근을 위한 하나의 단계로 기존의 녹지 자연도에서 파생된 개념이라 할 수 있다. 녹지자연도(Degree of Green Naturality : D.G.N)는 녹지 보호에 대한 요구 및 중요성, 혹은 필요성의 가치를 자연성이 높은 토지 자연을

식생이 증시되어야 하는 관점에서 파악하고자 한 것이다.

현존 식생의 종 조성을 기본으로 하는 군락의 특성을 기초로 그 식생에 가해진 인간 간섭의 정도에 따라 지피 공간의 자연성을 구분하는 방법으로 활용될 수 있으며 더 나아가서 잔존 자연의 양과 질에 의한 경관의 구조와 기능 그리고 자연에 대한 인위적인 개변 현황에 따른 경관의 변화를 이해하고 예측하는데 유효한 지표이다. 이에 비해 하천자연도는 녹지 자연도 평가에서 제외되거나 녹지의 개념으로 자연도가 평가되어진 하천 공간에 자연성을 나타내는 지표로서 지형, 식생, 수질, 어류·조류 등 생물서식지, 토지 이용, 인공 구조물 등을 자연도 평가의 기준으로 삼아 등급화한 결과이며 인간의 이용 중심이 아닌 하천을 구성하는 생태적 인자들의 서식환경에 기준을 두었다.

특히 가변 요소가 많은 생태적 자원은 단순히 시각적, 경관적인 차원에서 인지적인 자연도가 평가되어지기 이전에 환경적 변화의 원인이 되는 각 항목에 대한 다각적 평가 기준을 선정하고 수집되어진 정보를 지속적으로 정량화 할 수 있는 공간 환경 정보의 데이터베이스를 구축함으로써 보다 효율적인 자연도의 평가에 근접할 수 있을 것이다.

그러나 현재의 경관 연구 분석, 평가 결과만으로는 생태계 구성 요소의 다변성으로 인하여 보편적인 자연도의 평가 및 재생을 위한 변화 인자를 유출하기에 어려움이 따른다. 광역 또는 국소 지역의 토지 이용 계획을 수립함에 있어서 지형, 식생 등 자연적 환경 인자에 관한 사항은 계획가의 주관적 판단에 의존하게 되어있어 객관적이며 계량적인 평면적 정보화에 어려움이 있다. 그러므로 하천을 비롯한 자연 자원에 대해 데이터베이스를 이용한 총체적 평가 지표는 토지 자원의 개발과 보전이라는 첨예한 대립의 문제를 극복하고 한계 효용(Marginal utility)의 극대화로 효율적 토지 이용을 취하는 도구로서 활용성이 높다고 본다.

하천환경 평가기준의 설정은 인간의 간섭을 최소화한 원 자연 상태의 하천 환경을 근거로 한 보전적 가치에 중점을 두었기 때문에 보전적 가치를 제외한 인문, 경제, 사회 행태적 가치의 영향력에 대한 고려가 자연도 평가와 더불어 이루어져야 할 것이다. 또한 그동안 우리나라의 도시 하천이 급속도로 인공화되어진 원인이 '이용적 가치 중심의 개발'이라는 판단에 기인하여 잠재 자연 상태를 모델로 한 하천 생태 환경의 자연도 평가를 통해 '보전적 가치 중심의 복원'을 시도하려는 의미를 내포하고 있다.

2. 하천환경 평가기준 설정

하천의 공간구역에 대한 환경평가기준은 야생성, 수질, 친수성, 물의 흐름, 하천과 지역사회의 관계 등을 고려하고 있다. 기존의 기준들의 내용은 녹지자연도, 법적 보호종 및 희귀종 서식처, 상수원보호구역, 이화학적 수질평가, 자연경관, 보존가치 지형·지질, 문화재 분포 등에 관한 것들이다. 그러나 이러한 기준에는 하천환경 평가시 하천유역의 자연환경 및 생태적 특성을 평가할 수 있는 기준이 매우 부족한 상태이므로 이를 충분히 보완할 수 있도록 평가기준이 바뀌어야 할 것이다. 특히 최근의 환경영향평가서 및 환경성 검토서에서는 생물학적 수질평가에 관한 내용이 크게 강화되고 있는 추세인 바, 이화학적수질 평가를 보완할 수 있는 방안으로서 생물학적 수질평가에 대한 기준 도입이 필요하다.

이화학적 수질평가 방법은 제한된 조사항목에 대한 측정당시의 결과에 의존하므로 조사시기 이외의 오염물질 유출이나 무생물 요인 상호간의 상승작용에 따른 영향은 반영되기 힘들다는 한계를 지닌다 이에 비해 생물학적인 수질 평가는 유기물질의 분해과정과 수서생물의 종조성 변화간의 상관관계에 대한 경험적 분석을 기초로 각 지표종의 오타계급치와 지표가중치를 선정하여 지수를 계량화하는 방식이다.

이미 해외의 환경선진국에서는 다양한 방법의 하천자연도 평가기준이 계량화되어 지속적으로 하천생태정보를 수집하고 평가, 분석함으로써 사업대상하천이 지니고 있는 고유한 특성을 기본계획 및 설계에 반영할 수 있도록 배려하고 있다. 국내에서는 1996년부터 일부 연구자에 의해 국내 여건에 맞는 하천자연도 평가기법이 개발되었고 논의된 바 있으나 평가의 객관성과 실무에 적용하는 과정 등에서 여전히 많은 보완의 필요성을 안고 있는 상태이다.

3. 하천환경 평가사례

가. 일본

일본의 다자연 하천가꾸기 사업은 치수 기능의 정비를 중심으로 풍요로운 자연과 하천 경관의 보전, 재생, 창출을 위해 '다양하고 풍요로운 자연 환경 조건의 창출'을 기본 이념으로 하고 있다. 이것은 치수 기능을 배제한 자연 보호적 의미가 아니라 치수 기능을 유지하고 증진시키면서 최대한으로 자연 환경의 보전, 재생, 창출을 도모해 나가는 것이다.

일본에서 체계적인 하천 공간의 정비는 64년 동경 올림픽을 계기로 이루어졌다. 69년 도시 하천 환경 정비사업의 착수를 시작으로 79년 하천 환경 관리 기본 계획이

다마천에 처음 수립되었다. 이후 81년 건설성은 제6차 치수사업 5개년 계획(82~86년)에 이어 제7차(87~91년), 제8차(92~96년) 치수 사업 5개년 계획을 진행하며 물과 푸르름이 있는 풍요로운 생활 환경의 창조를 중점 과제로 삼아 하천이 생태적으로 생물들의 중요한 서식처가 되고 문화, 역사적으로 지역의 상징이며 지역 문화의 창달과 정서적인 풍요로움을 줄 수 있는 곳이 되도록 노력을 기울이고있다.

건설성은 90년 「다자연형 하천가꾸기」 사업을 확정짓고 하천 환경 정비 사업을 추진해 오고 있다. 92년 다양한 공법을 적용하여 추진한 사례는 전국 약 1,200개소에 달하며 향후 추진할 하천 공사에 다자연 하천 공법 설계 시공 요령에 따라 적극 도입하고 있다.

다자연하천공법이라 불리는 하천 정비 기법은 스위스/독일의 근자연 하천 공법에 영향을 받아 1990년 건설성을 중심으로 다자연하천공법으로 바꾸어 부르게 되었다.

다자연형 하천 공법은 하천과 하천 생태계의 특성과 지역주민의 요구에 대해 조사하고 이를 종합적으로 평가하여 대상 하천 구간에 적절히 적용하고 있다. 일반적으로 다자연형 하천 가꾸기는 기본적인 하도 계획 단계에서부터 자연특성을 배려하여 계획하고 시설 설치시에도 하천 생태계를 배려하고 있다. 그리고 유지 및 관리상에 있어서도 하천 환경 요소가 보전 및 창출될 수 있도록 계획하고 있으며 1)홍수시 외력 경감 문제, 2)자연 하천의 동적 특성 고려, 3)기초 하천 시설물에 하천 생태계를 배려, 4)하천 생태계를 고려한 하천 공사, 5)하천 생태계를 고려한 하천 유지 및 관리 등에 대해 신중히 고려하고 있다.

다자연형 하천 가꾸기는 하천의 치수 기능을 유지하면서 본래 가지고 있는 생물서식의 환경을 고려함과 동시에 아름다운 자연 경관 보전 및 창출하는 하천 정비에 기본적 이념을 가지고 있으며 어류 서식에 필요한 여울과 소의 조성, 나무와 돌을 이용한 다양한 수환경의 조성, 호안의 녹화, 어도 조성, 수서 곤충의 생식을 고려한 호안의 조성 등 다양한 방식을 통해 자연과의 공생을 위해 노력하고 있다. 일본의 하천 자연도 평가를 위한 항목과 조사내용은 다음과 같다.

<표 6-1> 일본의 하천 자연도 평가를 위한 항목과 조사내용

구역	구분	조사항목	구역별 조사범위			조사내용
			자연	중간	인공	
자연 구역	하천 생태계 조사	식물조사	◎	◎	△	육상 : 양치류이상의 고등동물 수중 : 육안으로 구분되는 크기의 식물
		저생동물	●	△	▲	수생곤충이 주가 되며 패류, 갑각류, 다모류, 빈모류 등을 포함
		육상곤충류	◎	△	▲	육상곤충류가 주가 되며 다모류, 다족류, 육생 패류를 포함
		어패류	●	●	△	어류 및 패류, 갑각류
		조류	◎	◎	△	조류
		소동물	●	△	▲	포유류, 파충류, 양서류
중간 구역	하천수변 문화사적 조사	문화사적지	▲	△	●	하천 주변의 문화사적지 등의 분포
		수변녹지 경관	▲	●	◎	하천 주변의 수목, 하안의 수목, 초지 등과의 일체화된 경관
		친수 및 하천이용실 태조사	△	◎	◎	수영, 산책, 휴양, 구수부지 등에서 레크리에이션, 이벤트 등의 다양한 친수활동
		하천상 조사	▲	●	●	하천에 대한 지역 주민의 느낌 및 요구를 조사
인공 구역	하천기초 조사	여울, 소 및 하안	●	●	●	하천경사, 하상재료, 흐름의 형태, 소, 여울의 분포, 하안의 형태
		수문 및 수질특성	◎	◎	◎	수질, 수위, 유량 등
		자연 경관조사	◎	◎	◎	자연 경관 구조 조사

◎ : 사계를 통해서 조사하는 등, 엄밀한 조사를 실시

● : 조사를 적기에 연 1회 이상, 상세조사를 실시

△ : 개략 조사를 실시

▲ : 필요에 따라 조사

나. 뉴질랜드

뉴질랜드의 자연 자원에 대한 접근은 뉴질랜드에 특성을 부여하는 경관을 지켜야 한다는 차원에서 그 지역 고유의 생태계들을 보호지역 연결망에 의해 관리하는 자연 보호 구역 계획(PNAP)에서 잘 나타난다. 이 계획은 여러 유형의 생태 요소들에 대해 보존 지역을 설정하고 네트워크화하는 것에 중점을 두고 있으며 하천생태계에 대해서도 자연적 가치 평가를 위한 현대적인 기준을 적용시키기 위한 연구가 진행 중이다.

뉴질랜드에서 하천의 자연적 가치를 평가해 나가는 과정은 뉴질랜드 하천의 지형적 특성과 고유의 생물상을 파악하는 것으로부터 시작된다. 그러므로 하천의 인위적 개변으로 인한 변화의 정도를 특정 종의 개체수 감소나 지역 고유의 산림의 표면적 감소, 대표종의 출현 빈도 등 구체적인 생태 비율로 측정이 가능하다. 예를 들면 하천을 따라 자생하며 그늘을 제공하던 고유의 산림이 훼손되면서 강한 햇빛에 내성이 있는 외래종에 비해 고유의 습생, 수생식물들은 치명적 영향을 받게 되었고 이러한 고유 식생의 멸종은 청둥오리 분포 상태의 쇠퇴를 가져오고 고유 어종의 구조에도 변화를 가져오게 된다는 정도의 결과를 얻을 수 있을 것이다. 인위적 개변에 대한 영향을 파악한 후에 잔존 자연에 대해 평가가 이루어지게 되는데 이를 얻기 위한 기초적인 자료와 기술적인 장치는 이미 마련되어 있는 상태로 생태학적 대표성이나 회귀성, 생태계 변경정도, 종다양성과 유형, 장기간의 생존 능력 등의 기준을 통해 평가하게 된다.

외래종이나 회귀종 또는 멸종 위기에 처한 고유종에 대한 정보는 지역적인 정보나 국가적 정보들로부터 얻는 물리적 속성표에 바탕을 두고 있다는 점에서 뉴질랜드의 자연 하천 관리는 근본적으로 다양하고 광범위한 생태적 기초 자료가 전제되어 있음을 알 수 있다. 뉴질랜드의 하천자연도 평가목록은 다음과 같다.

<표 6-2> 뉴질랜드의 하천자연도 평가목록

하천 생태계 변화도 평가를 위한 목록	하천의 변천과 유형분류를 위한 목록	희귀성자 독특성을 나타내는 생물종 평가 목록
고유식물 분포역의 집수량(%) 고유식물 분포역의 길이 보호울타리의 길이 어류이동의 방해 요소 하천상류로부터 최초의 자연 적 방해물까지의 거리 가장 가까운 도심과의 도로 상의 거 리 수로의 길이 집수구역내의 노천광산 현황 다리와 철교 강하류의 둑 강하류의 댐 하수 유입구 쓰레기 방출 지점 수중생물 외래종	강의 분류상의 위계 표고의 범위 하천의 식물 유형 암석의 유형 불연속선(폭포,함류점 등) 변경이 있는 지류들 웅덩이와 여울의 반복 출현 여부 하상재료의 이질 성분 하상의 안정도 어류를 위한 피난처 수생식물 유형	거대한 폭포들 특별한 암석 유형들 특별한 강기슭에 사는 식물유형 특별한 지형학적 형태 강 또는 소류역의 길이 희귀종 또는 멸종의 위 기에 처한 종

잔존 자연에 대한 평가가 끝나면 잠재 자연을 기준으로 하여 보호를 위한 지역의 선택에 있어서 우선 순위를 결정하게 되며 효과적인 방법으로 자원 관리와 연관된 법률을 통합하는 방향으로 환경 법규를 검토해 나감으로서 유역 분지 관리계획을 위한 배경을 제시하게 된다. 보호 대상지가 높은 경제적 가치를 지닌 사유지인 경우 지원과 협상을 통해 계획을 수행하며 최종적으로 관련 분야의 전문가들의 토론과 합의를 통해 결정된 보호 추천 허가서는 중앙, 지역, 지방 정부 승인의 단계를 거치게 된다.

다. 미국

미국에서의 하천 계획 및 평가는 하천의 분류 체계에 대해서 다각적으로 연구함으

로서 부지의 보존 및 관리, 응용과 개발을 보다 효과적으로 수행하고 하천의 보존적 가치 평가를 생태적으로 잠재력과 교란에 대한 민감성으로 정의하여 하천의 유형을 신중하게 고찰하고자 하는 노력에서부터 시작되고 있다. 초기의 분류 체계는 침식유형에 따라 유년기, 성숙기, 노년기로 구분하였고 하천 차수와 유역 밀도 등으로 분류하기도 하였다.

또한 구간 유형의 지표로서 한가지 또는 그 이상의 어류나 무척추 생물을 이용하여 생물학적 지역 구분의 유형으로 사용하기도 하였다. 이러한 생물학적 분류 방식에 있어서 지표가 되는 종들에 의존하는 것은 동물지리학적 (Zoogeography), 지리학적 (Geology), 기후적 (Climate) 바탕에서 만 유효하다는 점에서 기타 물리적 요소를 생물학적 유형에 연관시켰음에도 불구하고 개념적인 하천 분류 체계를 구축하는데 효과적이지 못했다.

전문가들은 이러한 단점을 보완하고자 기 구축된 자료를 바탕으로 수온, 유속, 저니질, 표고 등 물리, 화학적 변수들을 포함시키는 새로운 유형의 하천 분류 체계는 하천의 물리적, 생물학적 특성의 변화를 예견할 수 있게 했으며 교란의 과정과 토지이용의 영향 등을 평가하는데 도움을 주었다.

북미에서는 최근 하천 분류 체계에 있어서 유역 분지 단위의 광역적 규모와 작은 미서식처 단위의 자료를 연결시키는 방법에 관심을 두고 있으며 이러한 접근은 하천의 변천이 시간적, 공간적 규모에 따라 상이하게 이루어지며 이에 따라 서식처를 다루는 과정이 변화해야 한다는 것을 의미한다. 미국에서 하천 분류 및 평가를 위해 사용된 조사 내용은 다음과 같다.

<표 6-3> 미국에서 하천 분류 및 평가를 위한 조사내용

유역 (집수역)	하도의 지형적 특성	서식처의 생물, 화학, 물리적 구조
유역 밀도	유수량	어류의 피난처
하천 차수, 하천 등급	하천 폭	하천 제방의 안정성
유역 평균표고	수심	수심과 유속의 관련성
총 하천의 길이	평균 유속	무척추 생물군의 분포
하천 경사도	저습지	저니질면
	웅덩이의 체적	온도
	경사도	하천의 화학적 성분(수질)
	서식처 유형	

이외에도 수면부와 고수부지 사이의 교량적인 역할을 하는 하천의 식생 유형을 통한 분류 체계는 군락의 유형을 기초 단위로 하여 하층(관목과 초본)식생의 분포율 등을 조사하여 생태적 잠재력이나 보존 가치를 평가하는 기준으로 삼기도 하였다.

라. 영국

식생의 구조는 주변 환경의 특성을 대변한다. 그러므로 식물생태 연구의 주안점은 식물종과 군락이 환경적 조절에 적응해가고 또 환경 변화가 식생에 미치는 영향의 정도를 판단하는데 있으며 이러한 조사는 하천 유역의 관리 및 연구에 적절히 이용된다.

영국에서는 식생을 하천 수로의 구성요소 중 가장 쉽게 조작할 수 있는 요소의 하나이며 하천의 환경적인 형성 과정의 지표가 될 수 있다고 보고 천변과 수로 내에 서식하는 종들을 다각적으로 정리, 분류하여 하천의 공간 유형을 제시하고 환경 등급을 선정하며 환경 요소들과의 관련성을 파악하고자 노력하였다. 하천 수변 조사(R.C.S) 방법을 시도하고 있는 영국에서는 기존의 R.C.S 방법외에 정보를 보다 적극적으로 이용할 수 있는 보충적인 방법을 개발 중에 있으며 이를 통해서 얻어진 결과를 기반으로 전체 유역의 환경적 특성을 조사하는데 이용하고 있다. 그리고 위와 같은 방대한 데이터를 효과적으로 저장, 분석하기 위해서 GIS의 통한 데이터베이스의 결합을 시도하고 있으며 자료의 저장과 복구, 통합, 모델링의 시각화 등에서 많은 효과를 나타내고 있다.

영국의 블랙워터강 사례는 식물 종 정보로부터 하천 환경 등급을 얻어내기 위해 시험적인 방법을 제시하고 있다. 블랙워터강은 인위적인 교란으로 심하게 영향을 받은 하천으로 유역면적은 146km², 하천 길이는 약 30km이며 제3기층 정도와 모래의 제한적인 토양구조로 지형적인 다양성이 부족한 하천임을 알 수 있다.

블랙워터강의 유역 계획에 있어서 기초자료는 국립 하천 관리 당국에서 수행된 두 차례의 하천 수변 조사(R.C.S)를 기술적인 자료원으로 이용하고 조사된 각 식물종과 서식처 특성을 연관시켜 표고(저지대, 전이지대, 고지대), 토양, 하상저니질, 유속(빠름, 평이함, 느림), 수로길이와 폭, 그들이 제공되는 수로, 교란에 대한 내성 등과 식생종의 관련성을 파악하였다.

하천의 범위를 59개 구간별로 세분화하고 각구간을 호안 식생과 수생 식생으로 구분하여 조사하였고, 이와 같이 모여진 데이터들은 하천 환경의 3가지 측면을 조사하는데 사용되었다.

- 다각적인 생태학적 분석에 의해 정의되는 식물군락의 공간적 유형
- 식물종의 내성으로 인한 분포역

- 공간 특성에 맞는 환경적 조정행위

마. 스위스

전 국토가 전반적으로 급경사를 이루고 있는 스위스의 지형은 수세기 동안 홍수피해를 가져왔으며 산업 발전에 따른 목재 수요의 증가로 인한 광대한 삼림 벌채는 삼림 생태계의 급격한 파괴를 초래했다. 이에 1871년 스위스 연방의회는 유역의 하천 개수 등 치수, 치산사업에 적극적 경제 지원을 결정했다. 그러나 자연적 하천을 매립하고 경관과 동·식물에 대한 배려가 결여된 기하학적 건설 공법은 수질의 오염과 더불어 하천의 다양성을 상실하게 하였다

그 결과 쾰리히주를 중심으로 하천 재활성화 계획이 검토되었고 하천 보호 건설국에서 직강화된 하천이나 암거된 소하천을 가능한 자연에 가까운 상태로 되돌리는 사업을 수년간 실시하였다. 그들의 사업 목표는 "하천 · 호소의 건설에 있어서 마치 자연을 설계하듯 어울리는 방법으로 유연하게 대응하는 것"이며, "계획된 개량 기술은 자연에 있어 필요한 것인가, 지향하는 목적은 더 작은 개량기술로 달성 할 수 없는가, 자연에 미치는 부담은 어떤 방법과 재료에 의해 경감할 수 있는가" 등을 고려하게 되었다.

쾰리히 시내의 소하천은 도시화에 따라 대부분이 콘크리트화 또는 암거화되어 많은 수량이 합류식 하수도로 유입되었다. 그러나 80년대 후반부터 수로의 콘크리트를 부수거나 암거된 소하천은 지표로 노출시켜 자연적 형태의 소하천으로 재생시키는 시도가 시작되었고 쾰리히시의 모든 소하천에 대한 시기별(홍수시, 평수시, 갈수시) 유량, 인접 토지 이용 및 소유 현황, 소하천 재활성화 방안 및 기술적 과제 등 면밀한 조사가 선행되었다.

스위스 하천 정비의 의의 및 기본적 사고방식은 시 전체의 환경의 질을 높이고 친수 환경을 조성하며 상류에서 흘러오는 깨끗한 물은 하수도에 넣지 않고 직접하천에 유입시켜 하수 처리장 부담을 경감하고 하천 수질도 향상시키는데 있다고 하겠다.

스위스의 자연형 하천 공법은 수년간의 충분한 기간의 사전 조사에 의한 사업의 성공적인 성과를 거둔 후 법률로 규정되었으며 1987년초 쾰리히 주내의 하천 재활성화 프로그램을 위해 조경가, 토목기술자, 생물학자, 경관설계가 등으로 구성된 15개 그룹을 조직, 생태적·경관적으로 마을과 어울리지 않는 하천을 재활성화 우선 대상 하천으로 선정(628개소, 563km)하여 지속적이고 다각적인 차원의 하천 재활성화 사업을 확장시켜나가고 있다.

바. 독일

“자신이 가담한 대형 토목 공사의 결과나 후유증은 본인이 경험하지 못한다”는 독일의 속담은 토목 공사의 후유증은 장시간이 지난 후에 나타나며, 바로 치유되지 않고 엄청난 재투자가 뒤따른다는 것을 의미한다. 이러한 사고 방식을 기본적으로 가지고 있는 독일에서는 자연의 모습이 급격히 감소하게된 1960년대부터 자연의 재생 및 복원에 관한 기술을 축적해 오기 시작했으며 자연 생태계 보호와 경관에 관한 법률을 내용으로 하는 ‘연방자연보호법’이 1976년 제정되었다. 연이어 하천법과 토지개발법 등 토목적 개발에 관련된 자연자원의 중요성과 보전 및 활용 방안에 관한 방향을 설정하고 법제화함으로써 각주에서 개별적인 기초조사 및 연구 사업이 시행되었다. 생태계를 고려한 자연스런 모습의 하천 환경 정비는 스위스/독일에서 처음 시도된 만큼 다양한 개발사례를 가지고 있으며 또한 오랜기간 축적된 정밀한 시공 기술은 DIN과 같은 시공시방서에서도 쉽게 접할 수 있다.

근자연형 하천공법은 연방수문연구소(Bundesanstalt für Gewässerkunde)를 중심으로 연구 조사가 진행되어 왔으며 라인강, 모젤강, 엘베강, 도나우강 등 수운활동이 활발한 하천과 다목적 댐이 건설되는 지천을 구분하여 하천 정비를 실시해오고 있다.

독일의 하천 관리는 하천의 직선화를 배제하고, 하천의 자연적 형태를 최대한고려하며, 우수지 및 홍수지를 적절히 배분하여 배치한다. 도시내 중소하천의 자연 복원 사업은 하천을 중심으로 한 도시의 종합적 자연 복원 사업이 되도록 추진하며 하상의 변화에 관련한 충분한 자료를 확보하기 위한 기초사업을 실시하여 장래 하상 변화를 예측함으로써 자연적 하상 복원이 되도록 한다. 독일에 있어 자연 재생 및 복원 기술인 근자연형하천공법(Naturnaherwasserbau)는 저수역 확보와 수변의 자연 경관과의 조화, 하천 고수부지의 경관보전적 측면에서 하천 공학 기술의 개선, 저수역에서의 하천 공학, 경관 및 자연생태계 기초조사, 자연 공간의 보전 및 복원에 대한 기술적인 대응 등을 기본 이념으로 하고 있다.

독일 내에서 근자연형 하천 공법이 급속도로 확산될 수 있었던 원인 중 하나는 독일의 경제력 외에 자연 보전에 대한 국민의 지대한 관심을 꼽을 수 있다. 자연환경의 재생이 가져다주는 다양한 소득에 우선적 가치를 두는 독일인의 사고 방식과 모험에 의한 반복 실험과 생물, 생태학적인 방대한 기초 자료, 정확한 과학적 근거를 통한 법제화 등이 근자연형 하천 공법의 성공적인 보급의 원인으로 본다. 독일은 주로 중소 하천변 및 호변에서 모래층에 의한 여과 방법으로 지하수를 취수하여 생, 공용수를 확보하고 있다. 따라서 그 동안 추진해 왔던 하천 개수에 의한 직선의 콘크리트 호안화는 하상의 침식을 가속화시켜 결과적으로 수위 저하를 초래하게 되었

다. 결국 주변 농경지에서 작물의 생육 및 수확량의 감소 원인이 되었음은 물론 하천변 및 호변에서 취수하는 생, 공용수의 확보에 문제점으로 대두하게 되었다. 이에 따라 하천변 취수에 필요한 저수위 확보와 홍수시 일시 저류를 위해 하천 본류 혹은 제내지에 큰 저수지를 만들게 되었는데 이때 댐에 적용했던 기본 개념을 응용하게 되었다. 그 결과 저류지 부근에 치수 및 이수 효과는 물론 자연 생태계에 매우 도움이 된 것으로 평가되었다.

2절 친환경 정비수로에 대한 자연도 평가 기준 도출

1. 평가기준의 개념적 틀

하천관리의 목표는 생태적 복원 즉, 불가피하게 물리적인 구조가 부족하거나 훼손된 인공하천을 구조가 풍부한 자연스러운 하천으로 보완하는데 놓아져야 한다.

하천의 생태적 복원을 위하여 생태적 현황과 물리적 구조를 진단하고 복원조치를 위한 평가방법의 개발이 별도로 개발되어야 하고, 이를 최적화하기 위한 객관적이고 명료한 평가부문과 항목을 가지는 평가기준이 필요하다.

하천을 평가하는 목적의 특성에 따라 평가부문과 항목들의 구성이 달라질 수 있다. 이러한 평가기준은 국내외 사례에서도 알 수 있듯이 각 평가방법별로 고유의 특성을 가지는 평가목적에 규정하고 이를 구체화시키기 위하여 평가부문 및 항목을 제시하고 있다. 그리고 단순하면서도 명료한 평가목적은 평가방법 개발을 도울 뿐 아니라 평가결과 해석상 오해의 소지를 줄일 수 있을 것이다. 따라서 평가의 목적을 제시하고 이에 따라 하천의 생태적 복원을 전제로 하는 평가항목을 산정함에 있어서 추상적인 것이 아니라 하천의 자연성을 구체적으로 파악할 수 있어야 하며, 생태적 복원조치의 대상이 되고, 인위적으로 조작 및 활용 가능한 것이어야 한다. 이러한 부문 및 항목 도출을 위해서는 평가목적에 부합되는 개념적 틀이 필요하다.

2. 평가 항목 선정

평가항목의 선정으로는 수로환경을 고려하고 수로환경요소를 중심으로 부문별 특성을 구체화시킬 수 있는 항목으로 선정하였다.

가. 종단면

수로의 평가부문으로 종단면으로는 수로의 굴곡, 수로경사, 횡구조물, 수심 등 4개의 항목을 선정하였다.

수로의 굴곡은 수로의 운동결과인 사행정도를 나타내는데, 수로내 생물서식지의 환경 및 결관 측면에서 긍정적이고 다양한 수로 구조를 창출케 하는 자연수로의 기본적인 구조이다. 횡구조물로는 낙차공, 보 등이 대표적인데 물의 흐름의 장애를 유발하는 항목으로서 평가한다. 수심은 하안 재질이 노출되면 경관이 훼손되고 어류의 서식을 위한 최소수심의 확보는 어류의 보호를 위해서 평가가 필요하다.

나. 횡단면

횡단면은 횡단면 유형, 제방재료, 저수로폭, 호안공, 수로주변 식생구조, 인접토지 이용 7개의 항목으로 선정하였다.

횡단면 유형은 수로정비시 자연수로의 횡단면을 크게 변형시켜 기존의 지형, 토양, 식생구조 등을 크게 훼손하는 경향이 있으므로 수로 전체 횡단면 형태의 변형정도를 평가한다.

제방은 수로의 수리적 안정성을 위해서 설치되는 인공적인 구조물로서 자연수로에서 생물서식환경으로 중요하다. 이러한 제방의 자연소재활용정도를 평가한다. 자연수로에서는 침식과 퇴적, 장애물 등에 의해 수로의 폭이 다양하게 나타나고 이로 인하여 횡방향 수심변화, 유속변화 등 다양한 생물서식환경을 유발하기 때문에 저수로폭을 평가한다.

교량 등의 상부구조물은 수로에서 흔히 설치되는 인공구조물로 설치공법에 따라 수로생태계에 영향을 끼칠 수 있으며 수로변 지지물에 의하여 하천의 횡단면을 변화시킬 수 있다.

수로주변 식생구조는 소생물권의 기능을 맡은 기초구조로서 수로의 다양한 기능을 수행한다. 인접토지이용은 지배적인 토지이용으로서 인공화 정도를 평가한다.

본 연구의 목적은 국내 수로의 생태적 복원 및 우선순위 선정시 활용할 수 있는 수로의 구조적 특성을 고려하며, 수로생태계 특성과 다양한 속성 및 환경요소들을 고려한 평가부분 및 항목을 가지는 수로자연도 평가기준을 도출하는데 있다. 이를 위해서 수로와 특성이 유사한 국내외하천 자연도 평가사례들을 비교·분석하여 각 평가기준별 특성과 장단점을 파악하여 연구목적에 부합되는 특성들을 고려하였다.

수로 자연도 평가기준으로 평가부분은 수로특성을 고려하여 종단면과 횡단면 등 2개부분이 선정되었고 부문별 특성을 고려한 11개의 세부항목이 선정되었다. 종단면은 수로의 굴곡, 수로경사, 횡구조물, 수심 등 4개의 항목으로 구성되었고, 횡단면은 횡단면 유형, 제방재료, 저수로폭, 수로구조물, 호안공, 수로주변 식생구조, 인접토지 이용 등 7개 항목으로 이루어 졌다. 본 연구에서 제시된 수로평가기준은 가설적인 모형이라고 할 수 있으며 평가기준에 적합한 평가단위 및 척도를 개발하여 사례수로에 적용시켜 다른 평가기준과의 비교분석을 통한 수정 및 보완의 여지가 있다.

또한, 사례수로수, 수로유형의 범위를 확대하여 평가결과와의 비교분석을 따른 평가부분 및 항목을 보완해 나갈 필요가 있다.

3절 친환경 정비수로의 안전성 평가

본 절에서는 경기도 여주군 송삼지구 제2호 배수로와 강원도 원주시에 위치한 소하천인 동막천, 원증천을 연구대상지역으로 선정하여, HEC-RAS 수리모형에 의해 조도계수와 소류력에 따른 공법별 수리학적 특성을 모의하였다. 이를 바탕으로 자연친화적 조성공법이 홍수 및 수로주변에 작용하는 상호관계를 파악하여 공법에 따른 치수 안전성을 정량적으로 평가하는데 있다.

1. 대상지역 특성

가. 친환경 정비 배수로(여주)

1) 일반현황

연구 대상수로인 송삼지구내 송삼 제2호 배수지선은 행정구역상 경기도 여주군 가남면 삼승리에 위치하고 있으며, 그 중 수로연장 490m, 면적 7,390m²에 이수 및 치수관리형, 친수공간형, 생태계보전형의 3개구간으로 나누어 자연친화적 공법으로 수로정비가 이루어져 있다.

연구대상수로의 제원은 폭 8~11m, 높이 2~4m, 기울기 1/300~500으로 구간에 따라서 약간의 차이를 보이고 있다. 또한 대상수로의 생태계 기본 조사 시 토착식물의 경우 돌피, 달뿌리풀, 부들 등 32종류가 서식하고 있는 것으로 파악되었다.

<표 6-4> 수로에 사용된 자연친화적 저수로 호안 공법

호안 공법	주요 식생	특징
큰말뚝과 황마주머니를 이용한 공법 (A-III)	달뿌리풀, 부처꽃, 갯버들, 금불초 등	유속이 빨라 세굴이 다소 우려되는 지점에 적용
잔말뚝과 쇠단을 이용한 공법 (A-II)	부처꽃, 꽃창포, 갈대, 부들 등	호안 침식 및 세굴방지 효과와 수로 생태계 재생의 역할
돌망태와 호박돌을 이용한 공법 (B-III)	갈대, 갯버들, 줄, 갈대 등	침식 및 토양유실을 완화하고 호안을 보호하고 안정된 자연식생을 조성
자연석을 이용한 공법 (매트스톤)	맥문동, 갈대, 달뿌리, 수크령 등	일사량이 부족하여 정상적인 식생의 도입이 불가능한 곳에 적용, 사면 안정 효과
식생콘크리트를 이용한 공법	개나리, 갈대, 쑥부쟁이, 갯버들, 큰김의털, 부들 등	블록소재 자체 공극에 식생착상을 용이하게 하여 어류먹이가 풍부한 피난처 산란 환경을 제공하고, 구조적인 문제가 있는 곳에 효과
곤충서식블록을 이용한 공법	별개미취, 부처꽃, 달뿌리, 새	곡류부분에 침식방지와 곤충이 서식하기에 최적의 조건을 마련하여 곤충류의 보전 및 회귀를 유도하는 효과

자연식생을 이용한 공법으로는 세 가지 타입의 공법이 있다. A-II공법은 정비대상 수로의 2-3구간에 적용되었으며 침식에 대한 저항성을 높인 공법으로 식생호안공법 중 완류부에 시공되었다. 기단부에는 버드나무 쇠단을 누이고 말뚝으로 고정시켰으며, 비탈면 피복면에 황마망이 설치되었다. 식재된 식물은 갈대, 달뿌리풀, 부들, 삿갓사초, 갯버들, 금불초, 등이다. A-III공법은 정비대상수로의 2~3구간에 설치되었으며 주로 중류나 유속이 빨라 세굴이 우려되는 지점에 적용하는 공법이다. 식재된 식물은 금불초, 달뿌리풀, 갈대, 노랑꽃창포, 쑥부쟁이 등이다. B-III공법은 침식 및 세굴방지에 우수한 공법으로서 자연석과 돌망태를 이용한 공법이다. 2~3구간에 모두 사용되었으며, 식재된 식물로는 갈대와 갯버들, 부처꽃 등이 있다.

식생콘크리트를 이용한 공법은 1구간에서만 시공되었으며, 본 연구 대상 수로에서는 4가지 Type이 사용되었다. 이 4가지 공법은 주로 식생콘크리트 블록과 옹벽블록을 사용하여 그 배열과 위치에 변형을 준 공법이다.

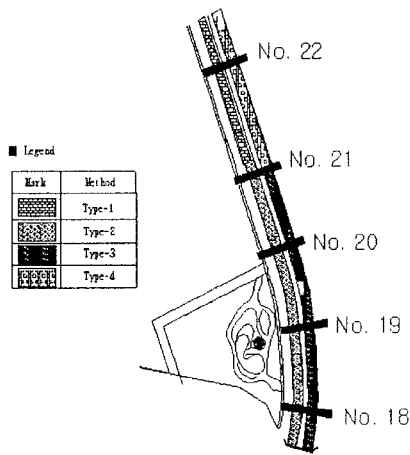
대상수로의 2구간에는 자연석을 철망에 접착하는 매트스톤공법을 시공함으로써 사면의 공학적 안전성을 높였다. 매트스톤공법은 양안을 합하여 총 106.19m가 시공되었다.

2구간의 중간부분 70m에 설치된 곤충 및 어류서식 블록은 콘크리트와 잔 자갈을

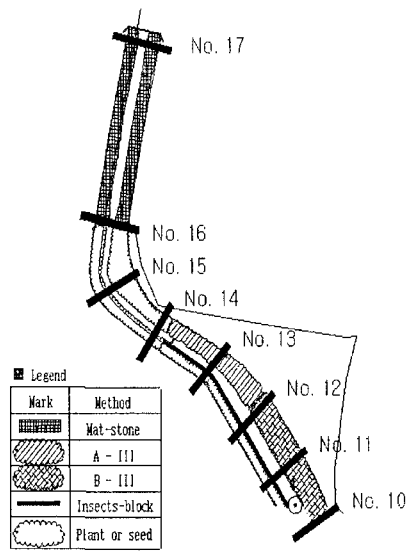
이용한 기본 구조물에 식생을 식재하여 곤충과 어류의 산란 및 서식이 용이하도록 설계된 구조물이다.

2) 적용구간

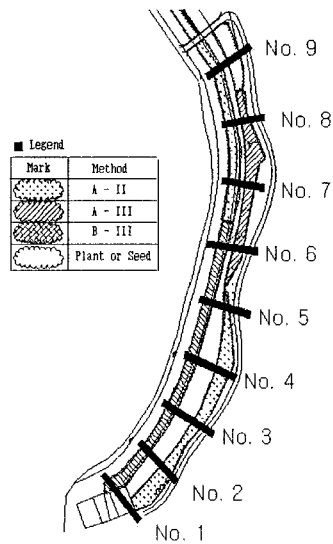
대상지역으로 선정된 송삼지구 제2호 배수로를 구간에 따라 공법별 단면특성을 알아보기 위해 상, 중, 하류 세 개구간으로 나누어 20m 간격으로 22개 지점 단면에 대하여 Level 측량하였으며 시뮬레이션의 편의를 위해서 배수로의 시작지점인 교량 아래 부분 침사지를 1번 지점으로 하고 하천과 합류하는 유말공 지점을 22번으로 하였다.



<그림 6-1> 1구간 단면측량 지점



<그림 6-2> 2구간 단면측량 지점



<그림 6-3> 3구간 단면측량 지점

나. 친환경적 정비 소규모 하천(원증천)

1) 일반현황

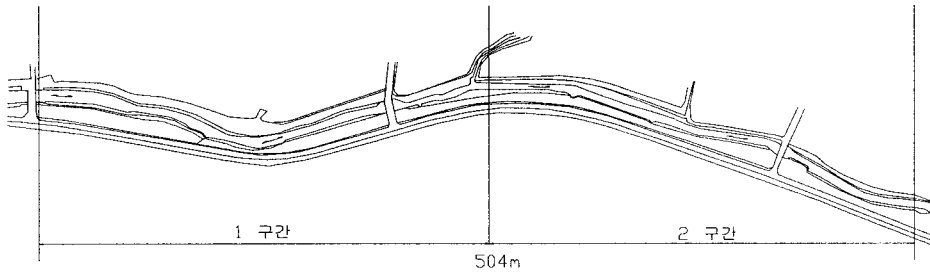
원증천은 원주시 소초면 수암리에 위치하며 장양천의 제 1지류로서 유역면적 2.88

km², 유역의 평균폭이 0.57km로써 유역의 서쪽은 소초면과 분수계를 이루고 대부분 산지 및 농경지로 형성된 산지하천이다. 유로연장 5.05km인 소하천으로 이중 504.8m에 대하여 식생콘크리트 공법으로 조성되어 있다.

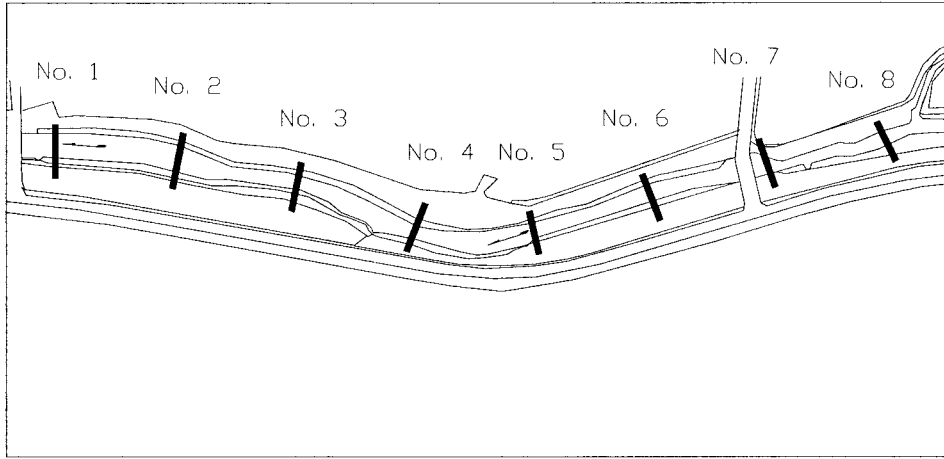
장양천의 지천으로서 유역이 작고 본천이 유역의 중앙을 관통하여 전체적으로 가늘고 긴 직사각형의 유역을 갖는 나뭇가지 모양으로 되어있다. 이 유역은 유수의 일시집중은 없으나 홍수위가 계속되는 특성을 나타낸다.

2) 적용구간

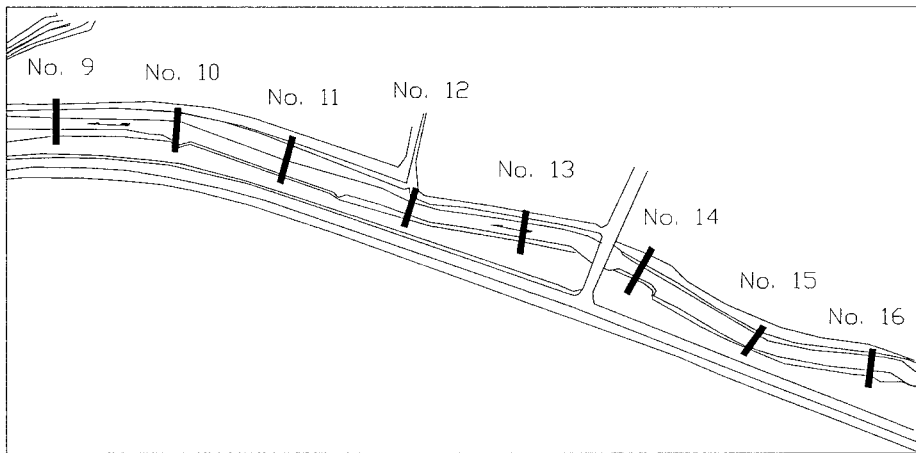
원증천은 <그림 6-8>에서 WJ-1지점에서부터 WJ-2지점까지 하천 양안 504.8m에 식생콘크리트 블록 공법이 적용된 친환경적 정비 하천을 대상으로 하였으며, <그림 6-5>와 <그림 6-6>과 같이 30m간격 16개 측점에 대하여 단면측량과 유량측정을 수행하였다. 또한 모형의 적용에 있어 모의결과와 비교검토를 통한 모형의 검증은 위해 프로펠러식 유속계를 사용하여 평·저수시 및 홍수시 단면지점의 유량을 측정하고 그 값을 모형에 입력하여 단면별 수위와 유속을 비교하였다.



<그림 6-4> 원증천 친환경적 정비 구간



<그림 6-5> 원증천 1구간 단면측량 지점



<그림 6-6> 원증천 2구간 단면측량 지점

다. 친환경적 정비 소규모 하천(동막천)

1) 일반현황

연구대상지역인 동막천은 원주시 호저면에 위치하며 유역 면적은 143,652m²의 소 유역으로 논과 산지가 인접하고 있어 생태적으로 유리한 지역적 특성을 나타낸다.

<그림 6-9> DM-1부터 DM-3까지 양안 490m를 옹벽블록과 식생콘크리트블록 공법을 적용하여 자연친화적으로 하천을 정비하였으며, 다공성 식생블록의 공극을 통하여 식물의 뿌리가 정착하기 위해서 골재의 입도를 20~40mm로 증대시켜 공극을 20% 확대 제작된 식생콘크리트공법이다. 일반 콘크리트 블록공법보다 압축강도가

낮아 유속이 빠른 곳에는 적용성이 낮아 주로 사면부에 적용된다.

저수로 호안부의 빠른 유속에 대한 세굴 및 이탈을 막기 위하여 주로 식생콘크리트 블록과 옹벽블록, 어소블록을 하단부에 사용하여 수류완충효과와 동·식물 생태에 유리하도록 조성되어 있다.

2) 적용구간

자연하천에서 흐름 분석을 위한 경계형상이 지면중단면도(단면)와 그사이의 측정된 거리(구간길이)의 향으로 구체화되는데 단면은 하천 구간을 통하는 대표지역과 유량, 경사, 모양, 조도 등이 변하는 위치, 제방이 시작하거나 끝나는 위치, 그리고 구조물의 위치 등이 요구되며, 동막천의 상류부에는 친환경적 정비구간과 흩제방 사이의 연결부분의 파괴를 막기 위해 콘크리트호안으로 조성되어있어 이 구간 아래부에서부터 단면 측량을 실시하여 지점을 구분하였다. 갑작스러운 변화가 예상되는 곳에서는 짧은 구간의 단면을 사용하여 하천흐름의 변화를 모의하여야 하며, 상류 3개 단면에 대해서 20m 간격으로 측량하였다. 단면의 배치는 하천크기, 경사, 단면 형상 등에 의한 함수이므로 하천의 형상변화와 경사가 심한 경우에는 단면의 수를 늘려야 한다.

동막천의 경우는 상류지점에서부터 3개 지점은 하천의 굴곡이 크게 나타나는 지점으로써 20m 간격으로 구간을 나누었으며, 그 아래 10개 지점의 단면은 30m에 대하여 Level 측량하였다.

2. 모형의 적용

가. 설계홍수량 산정

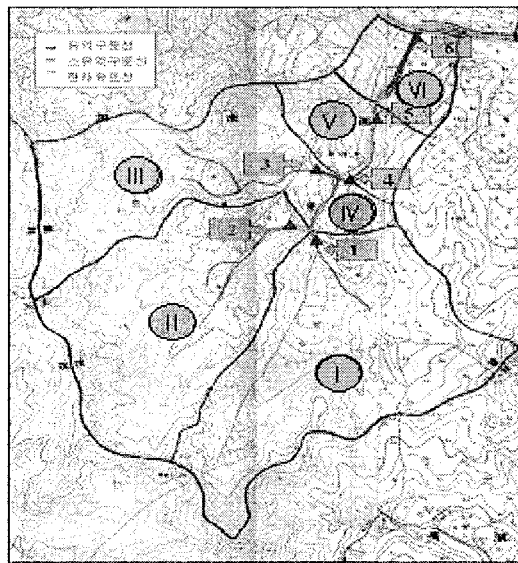
1) 여주 배수로

본 지구는 대부분 산지로 경사도가 크며 유역경계가 명확한 지구이다.

1:5,000지형도를 이용하여 유역경계와 유역면적을 계산하였으며 대상지구의 전체 유역면적을 나눈 후 다시 현재 형성되어있는 수로와 경작지의 배수로 등을 고려하여 I~VI의 6개 소유역으로 나누어 세부적으로 구분하였다 또한 각 소유역의 유출지점은 1~6으로 표시하였다.

홍수량은 유역 내에 설치된 수위-유량 관측 자료로부터 구하는 것이 정확도를 높일 수 있는 가장 좋은 방법이나 본 지구는 무계측 지역이므로 강우량 및 유역특성으로부터 홍수량을 구하는 간접방법을 사용하였다. 설계당시 설정된 50년도 빈도 홍수

량을 수로 설계에 고려하였으며, 이때의 조도계수는 0.025에 대해 수로에 적용이 되었다. 이는 일반 소하천 설계기준 빈도별 홍수량을 30년 빈도로 산정하는 것에 비교하면 해당지역의 중요도나 토지 이용현황, 현지조사에 의한 기술적 판단을 고려할 때 농업용 배수로에서 다소 과대하게 홍수량을 산정하였으며, 조도계수는 식생피복을 고려하지 않은 값으로 과소하게 적용되었다고 판단할 수 있다. 따라서 시공 후 현재의 상태에서 홍수에 의해 어떤 영향을 미칠 것인가에 대해 알아보고자 기본 홍수량 채택빈도는 30년 빈도의 설계홍수량을 결정하였다.



<그림 6-7> 여주 지구 소유역 구분도

<표 6-5> 여주지구 유역 특성

구간	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유역평균폭 (km)	유역형상 계수	하상경사 (%)
I	28.27	0.83	340	0.41	0.097
II	23.39	0.79	296	0.37	0.078
III	17.22	0.81	212	0.26	0.072
IV	2.44	0.98	727	0.74	0.060
V	7.97	1.22	649	0.53	0.036
VI	5.65	1.42	598	0.42	0.033

확률강우강도식은 강우지속시간별 확률강우강도 산정결과 편차 값이 적은 Japanese 식을 이용하여 계산하였다.

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} + c \quad (6-1)$$

여기서, I : 강우강도(mm/hr)

t : 도달시간(min)

a, b, c : 지역계수 (a=368.095, b=126.275, c=0.278)

유역추적법은 유역내 집중시간의 강우를 유입으로 보고 이것을 저류계수로 추적하여 어느 지점의 유출을 구하며 저류상수($K=aT_c$)는 실측수문자료에 의해서만 정량적 분석이 가능하나 본 유역에는 실측자료가 거의 없는 실정이므로 홍수도달시간(T_c)을 저류상수 K로 하였다. 홍수도달시간(T_c)은 기존에 제시된 경험공식 중 국내 적용 결과 양호한 결과를 나타내고 있는 SCS 지체시간 공식으로 산정하였다.

유역의 토양은 1:5,000 토양도를 이용하여 구분하였다. 토양은 SCS에서 제안한 침투능을 기준으로 한 A, B, C, D의 4개 토양군으로 분류하며, 대상 유역의 토양은 B, C군에 속한다.

유역의 유출곡선지수(CN)은 피복상태에 따라 경지와 산지로 구분하여 산정하였다.

SCS 지체시간 공식은 다음과 같이 산정 하였다.

$$T_c = 100L^{0.8}[(1000/CN)-9]^{0.7}/1900S^{0.5} \quad (6-2)$$

여기서, L : 유역의 수리학적 길이(ft)

CN : SCS 유출곡선지수

S : 유역평균경사(%)

유역추적법(Area Routing Method)에 의한 홍수량계산 과정은 다음과 같다.

$$S = K \cdot O \quad (6-3)$$

여기서, S : 저류량

K : 저류상수

O : 유출량

식 6-2를 저류방정식에 대입하여 정리하면 Muskingum 방법의 공식과 유사한 식을 얻는다.

$$O_2 = C_0I_2 + C_1I_1 + C_2O_1 \quad (6-4)$$

$$C_0 = \frac{0.5\Delta t}{K+0.5\Delta t}, \quad C_1 = \frac{0.5\Delta t}{K+0.5\Delta t},$$

$$C_2 = \frac{K-0.5\Delta t}{K+0.5\Delta t}, \quad C_0 + C_1 + C_2 = 1$$

식 6-3을 이용하여 유입수문곡선으로부터 유출수문곡선을 구할 수 있다. 이 식을 $I_1 = I_2$ 로 가정하여 사용할 경우

$$O_2 = C_3 I_1 + C_2 O_1 \quad (6-5)$$

식 4-3, 4-4는 순간단위유량도이므로 $\Delta t (\Delta t = \Delta t_i - \Delta t_{i-1})$ 인 단위유량도는 $U_i = 1/2 (O_i - O_{i-1})$ 이며, 지속시간이 $n\Delta t$ 인 단위도는

식 6-5를 이용하여 단위도를 유도한 후 홍수량산정을 하였다.

$$U_i = \frac{1}{n} (0.5 O_{i-n} + O_{i-n-1} + \dots + O_{i-1} + 0.5 O_i) \quad (6-6)$$

<표 6-6> 여주지구 홍수량(20년, 30년빈도)

(단위 : m³/s)

산정 지점	유역 면적(km ²)	유로연장 (km)	산정방법	빈도별 홍수량	
				20년	30년
I	28.27	0.83	유역추적법	4.6	5.1
			합리식	4.5	5.0
II	23.39	0.79	유역추적법	3.8	4.2
			합리식	3.7	4.1
III	17.22	0.81	유역추적법	2.8	3.1
			합리식	2.7	3.0
IV	2.44	0.98	유역추적법	10.6	11.9
			합리식	10.3	11.5
IV	7.97	1.22	유역추적법	11.1	12.4
			합리식	10.7	11.9
IV	5.65	1.42	유역추적법	11.4	12.7
			합리식	11.0	12.2

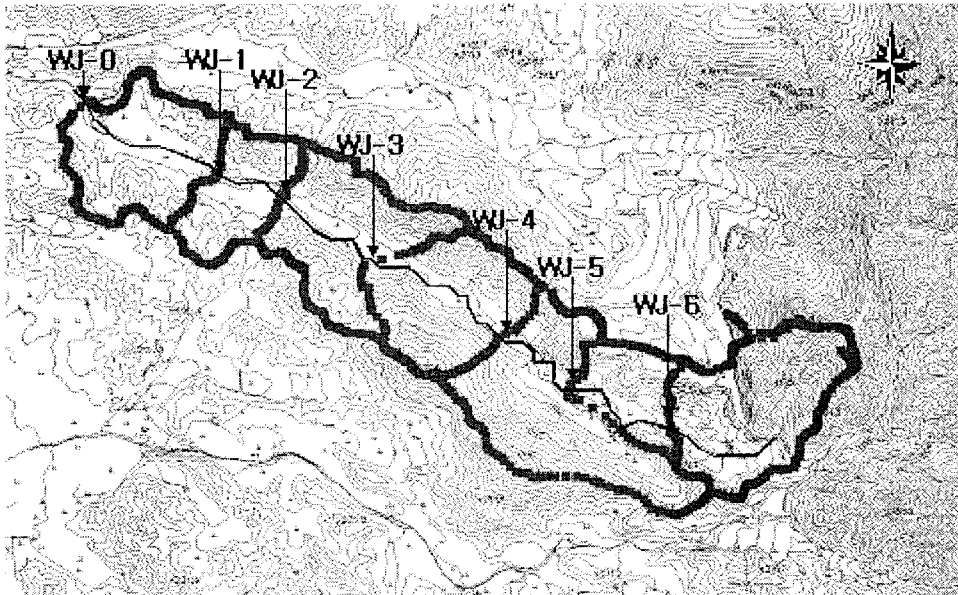
유역추적법에 의한 30년 빈도 홍수량 12.70m³/s를 산정하여 안전성 해석에 모의하였다. 또한 시공 직후 2000년 7월 22일 333.2mm의 집중호우에 대하여 계산한 홍수량 17.32m³/s에 대하여 모의한 결과와 이때의 모니터링에 의한 안전도 문제점을 비교 분석하였다.

2) 원주 원증천

원증천의 홍수량 산정은 소규모 하천인 유역특성을 고려하여 홍수량은 강우량에 좌우된다는 가정하에 강우량자료를 분석하고 홍수량산정 공식에 의하여 빈도별 홍수량을 산정하는 방법을 결정하였으며, 일반적 소하천 시설기준에 따라 30년 빈도의 홍수량을 산정하였다.

강우자료로부터 홍수량을 산정하는 방법은 유역추적법, 합리식에 의해 산정하였으며 유역의 특성에 적합한 유역추적법에 의해 계산된 30년빈도 설계WJ-1지점의 $36\text{m}^3/\text{s}$ 의 홍수량을 산정하였다.

원증천 유역내에는 홍수조절을 하기 위한 시설물이 없으므로 산정된 기본 홍수량을 전량 계획홍수량으로 결정하였다.



<그림 6-8> 원증천 소유역 구분도

<표 6-7> 유역의 평면적 특성

하천6	지점명	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유역평균폭 (km)	평균고도 (EL.m)	표면경사 (%)	하상경사 (%)
원증천	장양천 합류점	2.88	5.50	0.57	215.972	25.04	1/106
	원증1교	2.51	4.32	0.58	222.112	28.89	1/79

<표 6-8> 원증지구 홍수량(20년, 30년빈도)

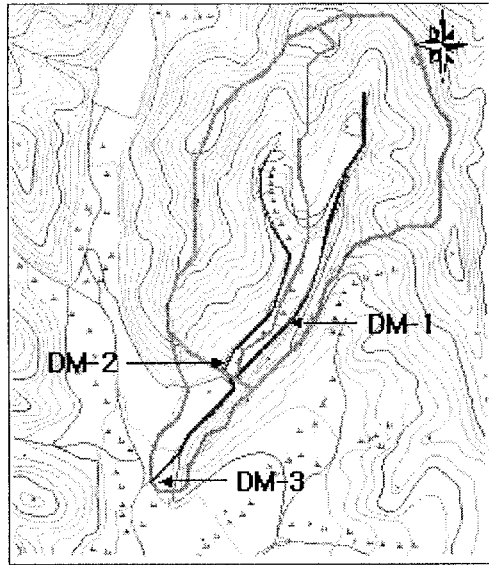
(단위 : m³/s)

하천명	산정 지점 부호	유역 면적	유로연장	산정방법	빈도별 홍수량	
					20년	30년
원증천	WJ-0	2.88	5.05	유역추적법	35	39
				합리식	34	37
	WJ-1	2.51	4.32	유역추적법	32	36
				합리식	32	35
	WJ-2	2.15	3.73	유역추적법	28	31
				합리식	29	32

3) 원주 동막천

동막천 유역에 대한 확률강우량은 유역인근에 위치한 원주, 부론관측소의 강우지속시간별 강우자료를 토대로 확률강우량을 산정하였다.

강우지속시간 10분, 1시간, 6시간에 해당하는 자료는 원주관측소의 1972년~2000년 29개년 자료를 이용하였으며, 강우지속시간 24시간 자료는 원주관측소의 1916년~2000년 63개년 자료와 부론관측소 1967년~1999년 34개년 자료를 이용하였다.



<그림 6-9> 동막천 유역 구분도

강우-유출모형 적용에 있어 「소하천 시설기준」(1999. 6.)에 수록되어 있는 한국 대표 확률강우강도식의 수정공식을 사용하였으며, 이 공식은 전국 20개 주요지점에 대해 1991년까지의 지속기간별 연최대치 강우량자료를 대상으로 빈도해석을 실시하여 GEV분포를 최적분포형으로 선정하고, 이로부터 구한 확률강우량을 선형화기법을 이용하여 유도한 식이다.

합리식에서는 1km²에 1mm/hr의 강우가 있고 전부 1시간에 유출한다고 가정하면 단위유출량 q는 다음과 같이 산출된다.

$$q = \frac{0.001m \times 1000m \times 1000m}{3600 \text{ sec}} = 0.2778m^3/\text{sec}$$

$$Q = 0.2778 \times f \times I \times A \quad (6-7)$$

여기에서, f : 유출계수(0.72~0.92)

A : 유역면적(km²)

I : 강우강도(mm/hr)

$$I = \frac{a+b \cdot \ln \frac{T}{t^{0.2}}}{c+d \cdot \ln \frac{\sqrt{T}}{t} + \sqrt{t}} \quad (6-8)$$

여기에서, I : 확률강우강도(mm/hr)

t : 강우지속시간(분)-1시간, 24시간

T : 재현기간(년)-10년, 20년, 30년, 40년, 50년

a, b, c, d : 지역계수(원주지역 : a=408.5, b=141.1, c=0.321, d=-0.603)

기본 홍수량 산정방법으로는 확률홍수량 산정식을 이용하는 방법과 과거 홍수기록을 통계적으로 분석하여 적당한 초과확률 홍수량을 지정하는 방법이 있으나, 유역의 과거 홍수기록이 전무하여 유역의 홍수 유출상황에 따른 빈도별 홍수량을 주요지점에 대하여 산정하였다. 등막천의 홍수량 산정은 합리식, 유역추적법에 의해 산정하였다.

빈도별 홍수량은 50년 빈도에 의해 계산한 결과 값을 모의하러 하였으나, 시공 후 5년 경과 후 설계초기와의 홍수에 대한 어떤 영향을 미치는지에 대한 영향을 알아보 고자, 유역의 특성에 적합한 것으로 분석된 유역추적법으로 계산된 30년 빈도 설계 홍수량 13.24m³/s를 산정하여 모형에 적용하였다.

<표 6-9> 등막천 유역의 특성

하천	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유역평균폭 (km)	평균고도 (EL.m)	표면경사 (%)	하상경사 (%)
등막천	2.89	3.31	0.63	218.385	32.15	1/102

<표 6-10> 동막지구 홍수량(20년, 30년빈도)

(단위 : m³/s)

하천명	산정 지점 부호	유역 면적	산정방법	빈도별 홍수량	
				20년	30년
동막천	DM-1	1.28	유역추적법	5.6	6.2
			합리식	5.4	6.0
	DM-2	1.12	유역추적법	4.9	5.4
			합리식	4.7	5.2
	DM-2	0.49	유역추적법	11.9	13.2
			합리식	11.4	12.8

나. 조도계수의 산정

최근에 하천의 자연환경에 대하여 관심이 고조되면서 하천계획을 수립할 때 자연 환경과의 조화를 도모하고, 가능한 하도내에 현존하는 식생을 존재를 반영하려는 움직임이 있다. 이는 지금까지의 하천계획에서 홍수의 신속한 배제 등 치수안전도를 향상시키기 위해서 표준단면에 따른 치수안전도를 평가하는 방안에서 탈피하여 치수 기능 뿐만 아니라 하도 유지관리가 쉽고 생태계의 서식환경이나 수변의 이용 등 하천환경을 염두에 둔 것이라 할 수 있다. 따라서 하천 계획시에 식생 등 하천환경 특성을 반영하기 위하여 하천에서 자연적/인위적인 작용에 의해 오랜 기간에 걸쳐 변하는 하천의 종횡단 형상, 조도상황의 변화특성을 파악하는 것이 매우 중요하다. 하천의 종횡단 형상, 조도상황을 나타내는 지표로서 조도계수는 하도 계획을 수립하는데 가장 중요한 매개 변수의 하나이다.

일반적용 하도의 조도는 Manning의 평균유속공식에서 사용되는 조도계수를 이용하여 나타낸다. 그러나 실질적으로 정확히 조도계수를 평가하기 위해서는 하천마다 하도 특성이 다르므로 해당 하천에서 오랜 기간에 걸친 현지조사와 홍수량 관측이 필요하다. 이는 과거 홍수기록에 의한 해석을 기본으로 선정하는 것이 가장 바람직하나 측정된 홍수자료가 적거나 자료가 있더라도 정확도가 떨어질 때는 경험적으로 제시된 조도계수를 이용한다. 특히 하도 계획 수립 시 고려하는 단면이 복단면 또는 복복단면일 경우는 지베면적을 충분히 고려하여 등가조도로 환산하여 이용한다.

지금까지 하천계획에 필요한 조도계수를 산정하기 위한 많은 연구가 수행되어 왔다. 이러한 연구 중에 현지 관측이나 수리모형실험을 통해 하상형태의 변화와 하도 특성의 관계를 명확히 규명하려는 다양한 방법이 시도되었지만, 하도내의 흐름에 의

한 조도상황의 변화를 고려할 수 있는 확실한 조도계수 설정방법은 없는 실정이다. 조도계수는 홍수시 하상을 구성하는 재료의 입도 특성이나 유하 하는 홍수량 규모, 피복(식생 등)의 특성 등에 의해 시시각각 변한다. 이는 수심의 변화에 따라 하상 재료의 입경, 하도내 지형의 요철에 의한 저항, 식생에 의한 저항뿐만 아니라 하상고의 거동특성 등에 의한 영향이 모두 포함되어 있기 때문이다.

장래의 하천계획을 수립하기 위하여 조도계수를 설정하는 방법으로 크게 다음과 같이 두 가지로 나눌 수 있다. 즉 ① 지피상황 및 하도형상 등을 근거로 하여 물리적인 조도계수 설정방법, ② 과거 홍수자료의 역산을 통한 역산조도계수 설정방법을 들 수 있다.

①의 물리적인 조도계수를 추정방법은 원리적으로 임의의 단면형상 및 홍수규모에 적용할 수 있다. 그리고 현황 하도와 다른 장래의 하도형상 및 홍수규모를 상정하여 조도계수를 설정할 수 있다. 그러나 조도계수의 추정정도나 추정범위에 한계가 있으며, 또한 설정방법에 불확실한 요소가 남아 있다.

②의 과거 홍수 자료로부터 얻어지는 역산조도계수 추정방법은 지금까지 널리 사용해온 방법이다. 이는 홍수자료에는 홍수발생시의 다양한 하도 정보가 집약되어 있으며, 실질적인 현황 자료라고 하는 의미에서 매우 중요하다. 따라서 조도계수 설정시 고려되는 조도상황이나 하도형상 그리고 상정하는 홍수규모 등과 비슷하다면 이 방법이 효과적이다.

그러나 하도의 조도, 형상, 홍수규모 등이 크게 다른 경우 이와 같은 설정방법을 적용하는 것은 전혀 다른 결과를 가져올 수 있다. 그리고 이 방법을 사용하는 경우에는 홍수자료의 정도가 좋아야 하며, 많은 자료를 이용하여 홍수위 재현성이 좋다는 전제가 있어야 한다.

위의 2가지 설정방법에는 각기 단점이 있으므로 조도계수 설정에는 2개의 설정방법을 병용해서 검토를 행하고, 단점을 보완해서 종합적으로 판단하는 것이 바람직하다.

1) 일반적인 조도계수 산정기준

대부분의 하천, 특히 중소하천에는 홍수기록에 대한 자료가 거의 없기 때문에 과거에 제시된 문헌과 경험을 참고하여 조도계수를 추정해 오고 있으며, 우리나라 하천 시설기준에서도 하천형태별 조도계수의 범위를 제시하고 있다.

우리나라에서는 하천시설기준 조사편 하도조사에는 하천상황별 조도계수의 범위를 <표 6-11>과 같이 제시하고 있다. 여기서는 하천을 크게 인공하천과 자연하천으로 나누고, 인공하천의 경우 정비재료를 중심으로 조도계수의 범위를 설정했으며, 자연

하천의 경우는 하천의 위치와 규모, 하상재료, 분포하고 있는 식생을 잡초와 관목의 유무에 따라 대표적인 조도계수의 범위를 제시하여 우리나라 하천의 정비계획을 수립할 때 이용할 수 있도록 제시하고 있다.

<표 6-11> 하천상황별 조도계수(하천시설기준 조사편 7장 하도조사 3절 조도계수)

하천 및 수로의 상황		조도계수 범위
인공수로 개수하천	콘크리트 인공수로	0.014~0.020
	나성형 반관 수로	0.021~0.030
	양안에 돌붙임이 적은수로	0.025(평균치)
	암간을 굴착하여 방치한 하상	0.035~0.050
	다음은 암반하상	0.025~0.040
	점성토 하상, 세굴이 일어나지않을 정도의 유속	0.016~0.022
	사질 및 점토질 립	0.020(평균치)
	도레그라인 굴착준설, 잡초 적음	0.025~0.033
자연하천	평야의 소하천,잡초적음	0.030~0.040
	평야의 소하천, 잡초에 관목이 있음	0.040~0.055
	평야의 소하천. 잡초많음. 잔자갈 하상	0.030~0.055
	산지하천, 골재 . 호박돌	0.030~0.050
	산지하천, 호박돌. 큰호박돌	0.040~이상
	큰하천, 점토.사질하상.사행이 적음	0.018~0.035
	큰하천, 자갈, 하상	0.025~0.040

그리고 식생의 종류에 따른 조도계수는 Chow(1959)가 <표 6-13>과 같이 제시해 놓고 있다. 여기서는 토지이용도와 식생의 특성에 따른 분류하고 있는데 토지 이용도로는 목초지와 경작지, 관목지역, 교목지역을 크게 나누고, 그것에 분포하는 식생이 특징에 따라 조도계수의 범위와 평균치를 제시하였다.

그러나 이러한 조도계수는 하천에 대한 일반적인 조도계수의 범위로서 대상하천의 특성을 조도계수에 적합하게 반영하지는 못하고 있다. 그 하천이 조도의 범위는 그 하천이 상황이 반영되어 있어야 하며, 식생의 물리적 특성만을 반영하는 것은 아니다.

<표 6-12> 하천 및 수로의 조도계수

하천 및 수로의 상황		n의 범위
자연하천	평야의 소하천, 잡초 없음	0.025~0.033
	평야의 소하천, 잡초와 관목 있음	0.030~0.040
	평야의 소하천, 잡초 많음, 잔자갈 하상	0.040~0.055
	산지하천, 골재, 호박돌	0.030~0.050
	산지하천, 호박돌, 큰 호박돌	0.040이상
인공수로개 수하천	양안에 돌붙임이 적은 수로	0.025(평균치)
	사질 Loam, 점토질 Loam	0.020(평균치)
	콘크리트 인공수로	0.014~0.020

(소하천시설기준, p105) 자연하천에서의 조도계수

<표 6-13> 조도계수 값(Chow, 1959)

Type of channel and description	Minimum	Normal	Maximum
Pasture, no brush			
1. Short grass	0.025	0.030	0.035
2. High grass	0.030	0.035	0.050
Cultivated areas			
1. No corp	0.020	0.030	0.040
2. Mature row corps	0.025	0.035	0.045
3. Mature field crops	0.030	0.040	0.050
Brush			
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.070
2. Light brush and trees, in winter	0.035	0.050	0.060
3. Light brush and trees, in summer	0.040	0.060	0.080
4. Medium to dense brush in winter	0.045	0.070	0.110
5. Medium to dense brush in summer	0.070	0.100	0.160
Trees			
1. Dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200
2. Cleared land with, three stumps, no sprouts	0.030	0.040	0.050
3. Same as above, but with heavy growth of sprouts	0.050	0.060	0.080
4. Heavy stand of timber, a few down trees, little undergrowth, flood stage below branches	0.080	0.100	0.120
5. Same as above, but with flood stage reaching branches	0.100	0.120	0.160

2) 식생을 고려한 조도계수 산정방법

하도 식생을 고려한 하천계획기술 개발을 위해서는 하도 특성이 전혀 다른 저수로

의 하상부, 고수부지, 제방부로 나누어 조도계수를 면밀히 파악하는 것이 필요하다.

따라서 저수로 조도계수 산정방법에 대해서 간략히 살펴본 후, 고수부지 조도계수 산정방법에 대해서 중점적으로 살펴본다. 여기서는 하도의 미지형 변화에 대한 연구를 비교적 활발하게 수행하고 있는 일본을 중심으로 조도계수 추정방법을 검토한다.

가) 저수로의 조도계수 산정 방법

일반적으로 이동상인 저수로 조도계수는 하상 구성재료의 입도 특성과 홍수가 발생하면 수위에 따라 변화하는 소규모 하상파에 의해 조도계수가 크게 달라지는 것으로 알려져 있다.

소규모 하상파에 의한 조도계수 변화는 특히 모래하천에서 현저히 나타나는데, 자갈하천에서도 나타나는 경우가 있다. 본 연구에서는 하상파의 거동에 따른 조도계수의 변화특성은 광범위와 다소 거리가 있어 논외로 하며, 하상 구성재료의 입도특성에 따른 조도계수 산정방법만을 기술한다. 일반적으로 하도의 종횡단 형상은 하상재료의 대표입경 2cm를 경계로 크게 달라지는 것으로 알려져 있으므로 이를 전후로 조도계수 산정방법을 달리 적용하고 있다.

(1) 하상재료 대표입경이 2cm보다 큰 경우

하상재료의 대표입경이 2cm보다 큰 경우 하상재료의 거동특성은 소류사의 거동특성이 지배하며, 사퇴가 잘 발달하지 않는다. 이런 경우 조도계수 산정방법은 다음과 같은 매닝-스트릭터식으로 산정한다.

$$n = \frac{K_s^{1/6}}{7.66\sqrt{g}} \quad (6-9)$$

여기서, g : 중력가속도

K_s : 상대조도(자갈하천에서는 하상재료의 대표입경을 채택한다.)

(2) 하상재료 대표 입경이 2cm보다 작은 경우

하상재료의 이동특성이 활발하며, 하상재료의 거동은 소류와 부유훈성이 모두 작용한다. 사퇴의 발달이 현저하며 하상재료의 대표입경이 2cm보다 작은 구간에서의 조도계수 산정방법은 다음과 같다.

$$n = \frac{H_d^{1/6}}{\phi \sqrt{g}}$$

여기서 ϕ (유속계수) : $\frac{u}{u_*} = 6.0 + 5.75 \log_{10} \frac{H_d}{2.5 \times K_s}$ (6-10)

u_* : 마찰속도

u : 평균속도

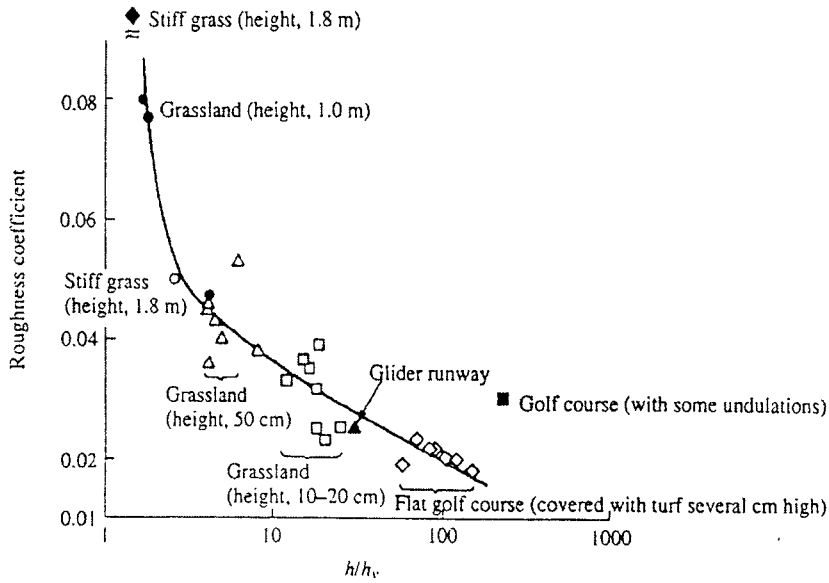
H_d : 수심

나) 고수부지에서의 조도계수

(1) 하도특성에 의한 고수부지의 조도계수 산정

고수부지 조도계수 고수부지에서의 수심과 지피상태(특히 수목의 높이)에 따라서 설정할 수 있다. 즉 <그림 6-10>에서 보는 바와 같이 고수부지 조도계수는 수심(h)/수목의 높이 비를 산정해서 관계곡선으로 설정한다. 한편 고수부지상의 유속이 1m/s 정도 이상이 되면 초본류는 도복하며, 이러한 경우에는 도복시의 조도계수인 $n=0.03$ 정도로 측정한다.

흐르는 물 속의 식생에 작용하는 유체력의 크기와 풀이 가지는 휨 정도에 따라서 대략 직립상태(통상 번성한 것과 같이 직립하고 있는 상태), 도복상태(유향에 따라 도복하고 있는 상태), 휨 상태(직립상태와 도복상태의 중간상태)로 분류 가능하다. 식생에 의한 조도는 식생의 거동 상태에 따라 변화하는데 유수 중의 풀의 상태에 대해 조사하기 곤란하므로 홍수 후 풀의 도복 상황을 조사하여 참고한다.



<그림 6-10> 홍수위/식생고 비에 따른 조도계수 (자료: 일본, 건설성 토목연구소)

(2) 고수부지의 흐름특성과 피복의 거동특성에 의한 조도계수 산정

(1)과 같은 현장조사 자료가 없는 경우에는 다음에 나타내는 고수부지상의 마찰속도 크기에 따라 풀의 상태를 판단하고, <그림 6-11>에 의해 조도계수를 구한다.

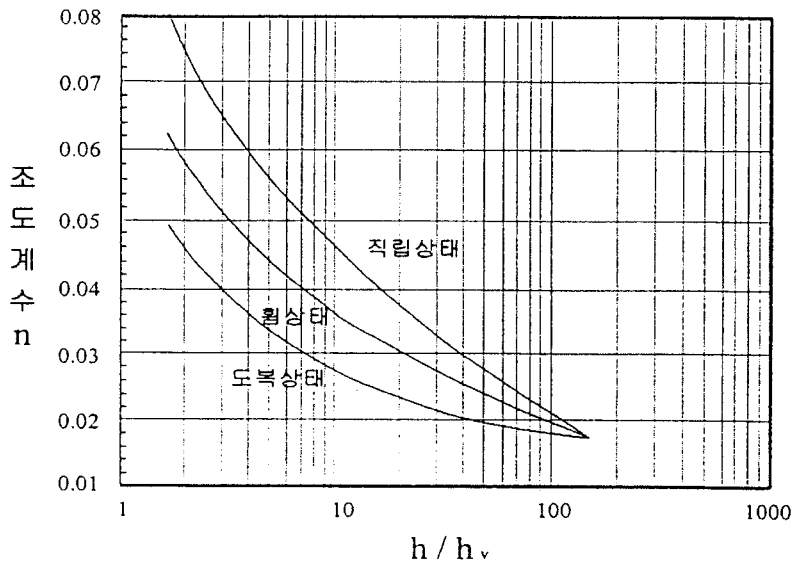
(가) 견고한 초분류가 번성하는 경우

갈대, 참억새 등으로 대표되며 높이 1-2m에 달하는 직립형 줄기형태의 초분류를 가르킨다. 유수중 견고한 풀의 상태는 마찰속도의 크기에 따라 다음과 같이 설정한다.

직립상태 $U^* \leq 0.12 \text{ m/s}$

휨상태 $0.12 \text{ m/s} < U^* \leq 0.22 \text{ m/s}$

도복상태 $0.22 \text{ m/s} < U^*$



<그림 6-11> 식생거동과 상대수심에 따른 조도계수 관계 (이삼희 등, 1999)

(나) 유연한 초본류가 번성하는 경우

강아지 풀과 같이 지표면 근방에서 다수의 잎이 나고 비교적 휘기 쉬운 줄기를 가지는 초본류를 가르킨다. 유수중 견고한 풀의 상태와 같이 마찰속도의 크기에 따라 다음과 같이 설정한다.

직립상태 $U^* \leq 0.07 \text{ m/s}$

휨 상태 $0.07 \text{ m/s} < U^* \leq 0.15 \text{ m/s}$

도복상태 $0.15 \text{ m/s} < U^*$

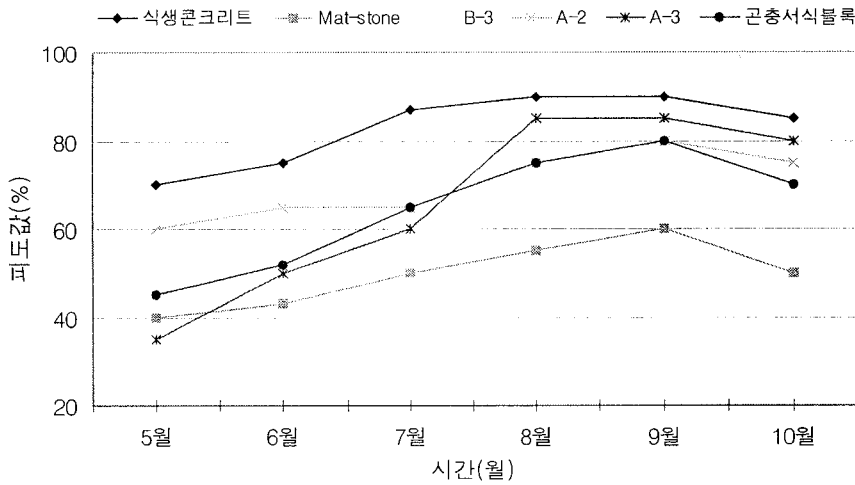
또한, 고수부지 위에 많은 풀이 번성하는 경우에는 각 풀의 번성면적으로 가중 평균하여 번성상태를 고려한다. 또한 고수부지의 요철이 심한 경우와 풀의 높이가 크고 여기 저기 산재해 있는 경우 등 고수부지 조도계수를 크게 하는 요인이 명확한 경우에는 예시한 것보다 크게 한다.

본 연구에서는 사용한 Manning의 조도계수는 <그림 6-11>의 홍수위와 식생의 높이에 따른 조도계수 결정 실험에 의해 나온 값을 모니터링에 의해 분석된 사면의 식생특성을 비교하여 조도 범위를 결정하였다.

<그림 6-12>는 여주 배수로의 공법별 식생변화를 모니터링한 것으로 홍수가 집중

되는 6, 7, 8월 식생의 피도나 종수가 크게 증가하며, 갈대가 식재된 일부 구간을 제외한 대부분 구간의 식생은 20-40cm의 식생고를 나타낸다.

결정된 조도 범위에서 하천시설기준 및 경험식과 이론식에서 제시한 조도계수 산정 기준을 분석하여 적용 대상지의 식생이나 단면특성에 가장 적합한 조도의 범위 0.03~0.045로 한정하였다. 구간에 대한 정확한 조도계수의 산정이 어렵기 때문에 조도의 범위를 한정 해놓은 상태에서 조도의 변화를 모의하여 영향을 분석하였다. 자연 친화적 공법이 적용된 지역 특성상 토사의 유입이 많고 식생공법에 의한 식생의 영향을 받는 부분을 고려하여 0.03의 값에서 0.005씩 점차 증가시켜 모의 발생하였으며, 공법, 하도부분, 사면부에 각각 다른 값을 주어 입력하였다.



<그림 6-12> 공법에 따른 사면의 피도변화 (2000년-2003년 월 평균값)

다. 호안안전성에 대한 최대허용유속 지표

자연하안 및 인공제방은 유수력에 의하여 침식 또는 세굴의 영향을 받기 때문에 호안의 필요성 여부를 결정하기 위해 허용유속 기준이 제시되어 왔다. 점착성과 비점착성 토양에 대한 허용유속의 기준은 Olsen과 Florey(1953), Mosonyi(1963), 미육군공병단(1970) 등에 의하여 제시된 바 있으며, Olsen 등과 Mosonyi의 기준은 유사한 재료에 대한 유사한 범위의 허용유속을 제시하고 있으며, 미육군공병단에서 제시하고 있는 허용유속은 다른 재료에 대한 허용유속을 제시하고 있다.

<표 6-14> 비점성토의 허용평균 유속

① Olsen과 Florey(1953)

재료	입경(mm)	평균유속(m/s)	재료	입경(mm)	평균유속(m/s)
실트	0.005	0.15	소조약돌	15.0	1.20
세사	0.05	0.20	중조약돌	25.0	1.50
중사	0.25	0.30	막조약돌	40.0	1.80
왕모래	1.00	0.55	호박돌	75.0	2.40
소자갈	2.50	0.65	호박돌	100.0	2.70
중자갈	5.00	0.80	호박돌	150.0	3.30
막자갈	10.00	1.00	호박돌	200.0	3.90

② Mosonyi(1963)

재료	입경(mm)	평균유속(m/s)	재료	입경(mm)	평균유속(m/s)
호박돌	200~150	3.9~3.3	자갈	10~5	1.0~0.8
	150~100	3.3~2.7		5~2	0.8~0.6
자갈	100~75	2.7~2.4	모래	2~0.5	0.6~0.4
	75~50	2.4~1.9		0.5~0.1	0.4~0.25
	50~25	1.9~1.4		0.1~0.02	0.25~0.2
	25~15	1.4~1.2		실트	0.02~0.002
	15~10	1.2~1.0			

<표 6-15> 점성토의 허용평균 유속

① Olsen과 Florey(1953)

하상다짐정도	다져지지 않음	약간 다져짐	보통	몹시 다져짐
간극비	2.0~1.2	1.6~0.6	0.6~0.3	0.3~0.2
사질점토	0.45	0.90	1.30	1.80
강점토질토	0.40	0.85	1.25	1.70
점토	0.35	0.80	1.20	1.65
약점토질토	0.32	0.70	1.05	1.35

주) 허용유속단위 : ‰

② Mosonyi(1963)의 기준

토양의 종류	허용유속(‰)	
느슨한 점토질 모래	0.7~0.8	동수반경 1m와 3m 사이에 적용하기 위한 표. 동수반경 $R_h > 3$ 인 경우 $(R_h/3)^{0.1}$ 에 의해 수정된다.
조밀한 점토질 모래	1.0	
느슨한 사질 점토	0.7~0.8	
중간 사질 점토	1.0	
조밀한 사질 점토	1.1~1.2	
연한 점토 (soft Clay)	0.7	
보통 점토 (ordinary clay)	1.2~1.4	
압밀 점토 (rolled clay)	1.5~1.8	
실트	0.5~0.6	

미육군공병단과 미토양보존국에서는 상기와는 다른 재료에 대한 허용유속의 기준을 제시하고 있으며, 다음 표와 같다. 자연에 적합한 공법의 적용시 제일 중요한 것은 수로나 하천의 동적특성으로 이는 자연에 가까운 하천의 무시할 수 없는 인자이며, 치수적 관점에서 무엇보다 보장되어야 할 고려요소이다. 친환경적 정비공법에 대한 국내의 지표는 제한된 적용 범위 정도만을 제시하고 있으며 종합적인 해석을 위한 기준이나 지표는 전무한 실정이다. 따라서, 기존의 공법에 대한 허용유속 기준과 재료에 대한 허용유속 기준을 지표로 하여, 점착성과 비점착성 토양에 대한 허용유속의 기준은 Olsen과 Florey(1953), Mosonyi(1963)에 제시된 지표와 M.Escameia(1988)의 호안 안전성 기준에 대하여 기준범위를 결정하였다. 모의결과에 대한 공법의 수리특성은 결정된 기준 범위에 대하여 안전성을 분석하였다.<표 6-18>

원증천과 동막천의 경우 식생콘크리트 공법에 의해 시공된 지역으로써 M.Escameia(1988)의 호안 안전성에 대한 허용유속 기준에 의해 분석하였으며, 식생콘크리트 사면에 피복된 식생의 유속에 대한 세굴에 대한 안전성 해석에 목적을 두어 분석하였다.

여주 배수로의 친환경적 정비 공법에 의해 시공된 구간에서 각 공법의 특징에 따라 나타나는 평균유속을 기준으로 지표분석을 하였으며, 식생을 이용한 공법의 경우 M.Escarameia(1988)의 호안 안전성에 대한 기준과 Chow(1959)가 제시한 식생라이닝 수로의 허용유속 기준을 지표로하여 해석하였으며, 자연석을 이용한 공법의 경우 Olsen과 Florey(1953), Mosonyi(1963)에 의한 재료에 대한 허용유속 기준을 비교해석하였다.

<표 6-16> 식생피복수로에 대한 허용유속

① 미육공병단

② 미토양보존국

재료	평균 유속 (m/s)	피복	경사 (%)	허용유속 (m/s)	
				침식 저항 토양	침식 토양
가는 모래	0.6	버뮤다 잔디	0-5	2.44	1.83
굵은 모래	1.2		5-10	2.13	1.52
토양			> 10	1.83	1.22
사질 실트	0.6	버팔로 잔디, 켄터키 푸른 잔디, 부드러운 brome, 푸른 grama	0-5	2.13	1.52
실트질 점토	1.1		5-10	1.83	1.22
점토	1.8		> 10	1.52	0.91
잔디로 덮힌 토양 (경사 5% 미만)		잡초(Grass mixture)	0-5	1.52	1.22
			5-10	1.22	0.91
버뮤다 잔디			10%보다 급한 경사에는 사용하지 않음.		
사질 실트	1.8				
실트질 점토	2.4	Lespedeza, Weeping love grass, ischaemum(yellow bluestem), kudzu, alfalfa, crabgrass	0-5	1.07	0.76
켄터키 푸른 잔디			복합수로에서의 측벽 경사를 제외하고, 5%보다 급한 경사에서는 사용하지 않음		
사질 실트	1.5				
실트질 점토	2.1				
연약 암석(퇴적암)		완만한 경사에서 매년 사용	0-5	1.07	0.76
연약 사암	2.4	되거나 또는 영구적인 피복	5%보다 급한 경사에서 사용되지만 추천되지 않음		
연약 혈암	1.1	이 만들어질때까지 일시적인			
굳은 암석 (화성암 또는 변성암)	6.1	보호공으로써 보통 lespedeza, 수단잔디			

자료출처 Open-Channel Hydraulics, 1959, Chow

<표 6-17> 호안 안전성에 대한 기준

평균유속 (m/s)	호안의 형식
≤ 1.0	생물공학적 호안 Filled sacks 50% 통과입경 20mm인 사석을 가지는 호안
≤ 1.5	Geomats plain 14-22mm 자갈을 채운 보강토법 느슨한 블록의 무게가 160kg/m ² 보다 작은 느슨한 콘크리트 블록
≤ 2.0	모래 아스팔트 38mm 자갈을 채운 보강토법 느슨한 블록의 무게가 160kg/m ² 보다 큰 느슨한 콘크리트 블록 Hand pitched stone 50% 통과입경 100mm인 사석을 가지는 호안
≤ 2.5	포대 돌망태공 Bitumen-bound 자갈로 채운 지오매트 모래채움 굴요성 침상공 50% 통과입경 150-200mm인 사석을 가지는 호안
≤ 3.0	50% 통과입경 250mm, 300mm, 400mm인 사석을 가지는 호안
≤ 3.5	적당한 잔디로 피복된 지오매트 150mm 자갈을 채운 보강토법 0.15-0.17m의 두께를 가지는 돌망태 침상공 50% 통과입경 500mm인 사석을 가지는 호안 50% 통과입경 600mm인 사석을 가지는 호안
≤ 4.0	잔디로 피복된 보강토법 잔디로 피복된 100mm이상의 두께에 맞먹는 느슨한 콘크리트 블록 0.23-0.3m의 두께를 가지는 돌망태 침상공

M.Escarameia(1998), River and Channel Revetments : A Design Manual

<표 6-18> 대상지의 허용유속지표 범위

대상지역 적용 지표	여주배수로			원증천	동막천
	식생호안 공법	석재계 공법	식생콘크리트 공법	식생콘크리트 공법	
Olsen, Florey의 허용유속범위	-	≤2.70	-	-	-
M. Escarameia 의 허용유속범위	≤1.50	≤2.50	≤1.0(식생) ≤4.0(블록)	≤1.0(식생) ≤4.0(블록)	≤1.0(식생) ≤4.0(블록)
Chow의 허용유속범위	≤1.23	-	≤1.54(식생)	≤0.93(식생)	≤1.54(식생)

3. 안전성 해석

가. 수리학적 안전성 해석

1) 대상지역별 수리특성

여주 배수로의 경우 제방과 저수로에 대해서 설계 시공시 사용된 50년 빈도 설계 홍수량 12.70 m³/s를 유하시켜 설계시 사용한 조도계수 0.025의 값과 0.03, 0.035, 0.04로 변화시켜가며 각각의 경우에 대한 단면별 유속과 소류력의 변화를 모의함으로써 지점별 식생으로 인하여 증가된 조도계수가 수로 단면에서의 흐름에 미치는 영향을 분석하였다 <표 6-19>.

동막천과 원증천의 경우는 작은 유역면적과 유로연장의 특성을 띠고있어 수문분석을 통해 계산된 빈도별 홍수량 13.24 m³/s와 36m³/s을 각각 유하시켜 조도계수를 변화시켜가며 흐름의 영향을 분석하였다 <표 6-20>, <표 6-21>.

<표 6-19>에서 호안에서의 최고 유속은 3.23 m/s로 나타났으며 소류력은 최고 112.54 N/m²로 나타났다. 단면별 조도계수 값은 수로내 하도의 경우 모든 Section에 대하여 0.03의 고정값을 입력하였으며 각각의 공법별 단면 특징에 따라 조도계수의 입력 값은 적용지에 적합한 조도계수를 입력하였으며 입력한 조도 값을 점차로 증가시켜 변화를 분석하였다.

여주 배수로와 동막천의 경우 유속과 소류력에 있어서 각 Section의 조도계수가 증가할수록 소류력과 유속은 감소하는 것을 볼 수 있다.

<표 6-19> 조도계수 변화에 따른 사면부 유속과 소류력 (여주 배수로)

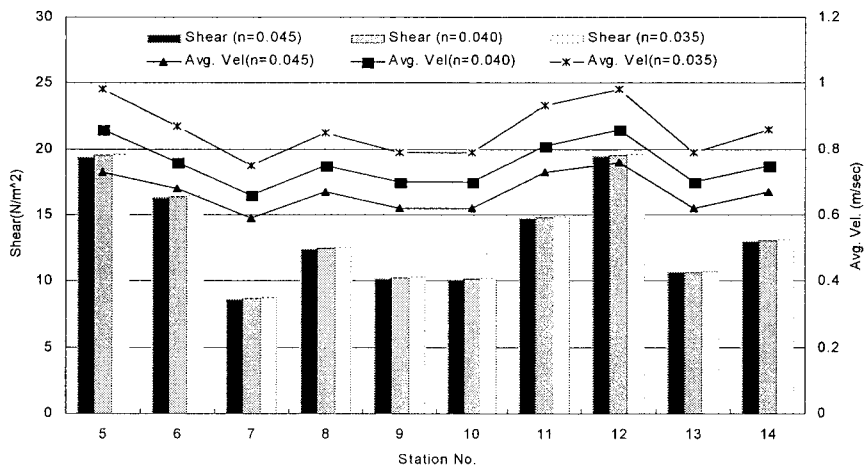
조도계수	적용공법 (Section No.)	평균유속(m/s)		소류력(N/m ²)	
		좌안	우안	좌안	우안
0.03	큰말뚝과 황마주머니 이용 공법(4)	1.36	1.26	20.54	18.18
	나무말뚝과 쇠단 이용 공법(6)	2.02	1.33	45.45	24.5
	곤충서식블록을 이용 공법(10)	1.38	1.33	23.32	21.45
	자연석을 이용한 공법(15)	2.27	1.84	53.17	38.85
	식생콘크리트를 이용한 공법(19)	1.34	1.44	21.06	23.47
0.035	큰말뚝과 황마주머니 이용 공법(4)	1.29	1.19	16.73	14.81
	나무말뚝과 쇠단 이용 공법(6)	1.77	1.17	43.58	23.34
	곤충서식블록을 이용 공법(10)	1.31	1.24	18.85	17.65
	자연석을 이용한 공법(15)	2.00	1.62	50.72	36.94
	식생콘크리트를 이용한 공법(19)	1.27	1.37	17.07	19.02
0.04	큰말뚝과 황마주머니 이용 공법(4)	1.24	1.14	13.19	11.67
	나무말뚝과 쇠단 이용 공법(6)	1.57	1.05	38.34	20.63
	곤충서식블록을 이용 공법(10)	1.22	1.27	15.06	14.26
	자연석을 이용한 공법(15)	1.78	1.45	47.06	34.15
	식생콘크리트를 이용한 공법(19)	1.22	1.31	13.43	14.96

<표 6-20> 조도계수 변화에 따른 사면부 유속과 소류력 (동막천)

식생호안공법 (Section No.)	수리특성 인자	조도계수							
		0.045	0.045	0.04	0.04	0.035	0.035	0.03	0.03
		좌안	우안	좌안	우안	좌안	우안	좌안	우안
상류 (4)	소류력	3.07	3.60	3.06	3.60	3.05	3.58	3.03	3.55
	평균유속	0.31	0.34	0.34	0.38	0.39	0.44	0.46	0.51
하류 (13)	소류력	30.25	35.41	31.09	36.25	31.71	36.84	32.3	37.43
	평균유속	1.10	1.22	1.23	1.36	1.39	1.53	1.59	1.77

<표 6-21> 조도계수 변화에 따른 사면부 유속과 소류력 (원증천)

Section No.	수리특성 인자	조도계수					
		0.045	0.045	0.040	0.040	0.035	0.035
		좌안	우안	좌안	우안	좌안	우안
5	소류력	13.02	12.99	13.09	13.05	13.14	13.10
	평균유속	0.67	0.67	0.75	0.75	0.86	0.85
6	소류력	10.65	10.66	10.72	10.73	10.78	10.79
	평균유속	0.62	0.62	0.70	0.70	0.79	0.79
8	소류력	14.73	14.73	14.82	14.81	14.88	14.88
	평균유속	0.73	0.73	0.81	0.81	0.93	0.93
9	소류력	10.1	10.1	10.18	10.18	10.24	10.24
	평균유속	0.62	0.62	0.70	0.70	0.79	0.79
10	소류력	10.18	10.17	10.26	10.25	10.32	10.31
	평균유속	0.62	0.62	0.70	0.70	0.79	0.79
11	소류력	12.44	12.43	12.52	12.52	12.59	12.59
	평균유속	0.67	0.67	0.75	0.75	0.85	0.85



<그림 6-13> 조도계수 변화에 따른 유속과 소류력 특성 변화(원증천)

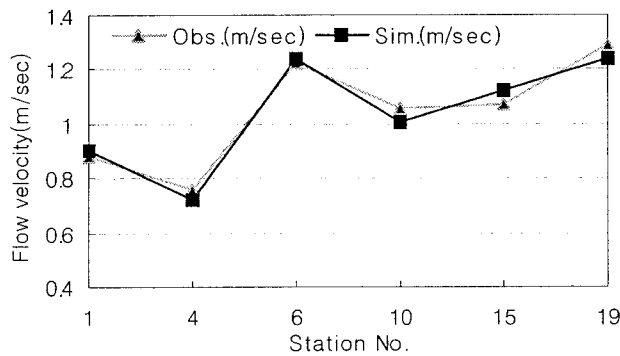
<그림 6-13>에서는 조도계수의 변화에 따른 Section 사이의 수리특성을 비교하였으며 특징적 경향은 나타나지 않았으나 각 각의 Section 에서 조도계수의 증가에 따

라 평균유속과 소류력은 감소하는 경향을 보이고 있다. <표 6-20>, <표 6-21>에서 식생콘크리트로 조성된 사면부의 평균유속은 소하천 별 단면 특성이 다르나, 홍수시 평균유속 범위는 각 각 0.31~1.77, 0.62~0.93 m/s 범위로 나타났다.

2) 정비 공법별 수리특성

가) 대상지 공법별 수리특성 분석

평수위 유량 측정을 통하여 단면별 유량을 계산하였다. 계산된 0.041 m³/s의 유량을 모형의 유량자료에 입력하여 모의하였으며, 모의 유속과 실측 유속에 대하여 비교 검토하였다<그림 6-14>, <표 6-22>.



<그림 6-14> 실측값과 모의값의 비교

실측 유속과 모의 유속은 Section No. 15에서 0.03 m/s의 차이를 나타내었으며 이외의 단면에서는 상대오차 5% 이내로 거의 일치하는 것으로 비교 분석되었다.

<표 6-22> 조성공법에 따른 실측값과 모의 값의 비교

조성공법 (Section No.)	평균유속 (m/s)	
	실측	모의
침사지, 양안 콘크리트 인공수로(1)	0.88	0.90
기단부 나무말뚝, 식생호안 공법(6)	1.22	1.24
곤충서식 블록 공법(10)	1.07	1.01
자연석을 이용한 공법(15)	1.07	1.12
식생콘크리트를 이용한 공법(19)	1.29	1.24

공법에 따른 조도계수, 유속, 소류력을 비교하였으며 <표 6-23>은 여주배수로에서의 모형에 의해 모의된 값을 나타낸다.

<표 6-23> 공법별 사면부 최대유속과 소류력(여주배수로)

호 안 공 법	주 요 식 생	조도계수 (n)	사면부 최대유속 (m/s)	사면부 최대소류력 (N/m ²)
자연석을 이용한 공법 (베트스톤:15 Section)	맥문동, 갈대 달뿌리, 수크령 등	0.035	2.00	50.72
		0.040	1.78	47.06
식생콘크리트를 이용한 공법 (19 Section)	개나리, 갈대 쑥부쟁이, 갯버들 큰김의털, 부들 등	0.035	1.27	19.02
		0.040	1.22	14.96
곤충서식블록을 이용한 공법(10 Section)	별개미취, 부처꽃 달뿌리, 억새	0.035	1.31	18.85
		0.040	1.22	15.06
나무말뚝과 쇠단을 이용 한 공법(6 Section)	갈대, 달뿌리풀, 부들, 삿갓사초, 갯버들, 금 불초	0.035	1.77	43.58
		0.040	1.57	38.34

설계 홍수량을 모의하여 조도계수의 변화에 따른 유속과 소류력에 대하여 하도내 유속과 소류력을 제외한 사면부의 최대값을 분석하였을 때 <표 6-16>에서 Chow에 의해 제시된 “식생으로 라이닝된 수로에서 세굴 저항성 토양이며, 풀혼합 일 경우의 허용유속” 1.23~1.54 m/s 범위 내에 있는 것으로 분석되었다.

<표 6-24>의 원증천은 “식생으로 라이닝된 수로에서 세굴 용이성 토양이며, 풀혼합 일 경우의 허용유속” 0.93m/s 범위 이내에 있는 것으로 분석되었다.

<표 6-24> 공법별 사면부 최대유속과 소류력(원증천)

호안공법	주 요 식 생	조도계수 (n)	사면부 최대유속 (m/s)	사면부 최대소류력 (N/m ²)
Section No. 5	맥문동, 양잔디, 달뿌리, 수크령 등	0.035	0.86	13.14
		0.040	0.75	13.09
Section No. 6	갈대, 쑥부쟁이, 양잔디, 부들 등	0.035	0.79	10.79
		0.040	0.70	10.73
Section No. 8	부처꽃, 달뿌리, 양잔디 등	0.035	0.93	14.08
		0.040	0.81	14.82
Section No. 9	달뿌리풀, 부들, 양잔디, 갯버들, 금불초	0.035	0.79	10.24
		0.040	0.70	10.18

나) 동일공법 적용지별 수리특성 분석

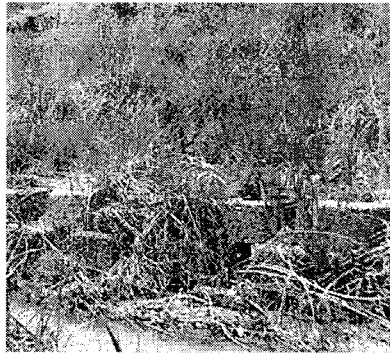
대상지역별 식생콘크리트공법 수리특성 비교는 단면 및 수리특성이 유사한 여주 배수로 식생콘크리트 적용구간에 동막천의 설계홍수량 12m³/s를 유하시켜 모의, 비교 분석한 결과를 나타내었다. 식생영향을 고려하여 조도계수 0.035부터 0.045를 적용한 결과 하도를 제외한 호안에 대하여 동막천은 1.10~1.53m/s의 유속범위와 31.09~37.43N/m² 소류력 값의 범위를 보여주며, 여주배수로의 경우 1.27~1.43m/s의 유속범위와 22.68~43.61N/m²의 소류력 범위로 모의되어 비교적 유사한 수리특성을 나타내는 것을 볼 수 있다.

<표 6-25> 대상지역별 식생콘크리트공법 수리특성 비교

적용 대상지	공법특성	식생	호안별 수리 인자		조도계수(n)		
					0.045	0.04	0.035
원주 동막천	- 적용공법 : 식생호안블록 - 위치 : 하류부 - 수로경사 : 1/300-1/500	식생종류 : 갈대, 부들, 개나리, 줄, 창포, 달뿌리풀 등 성장정도 : 양호 피도 : 조밀	유속 (m/s)	좌안	1.10	1.23	1.39
				우안	1.22	1.36	1.53
			소류력 (N/m ²)	좌안	32.30	31.71	31.09
				우안	37.43	36.34	36.25
여주 배수로	- 적용공법 : 식생호안블록 - 위치 : 하류부 - 수로경사 : 1/250-1/300	식생종류: 갈대, 쭉부쟁이, 갯버들, 양잔디, 부들 등 성장정도 : 양호 피도 : 조밀	유속 (m/s)	좌안	1.26	1.27	1.31
				우안	1.37	1.39	1.43
			소류력 (N/m ²)	좌안	22.68	29.31	41.05
				우안	25.77	33.31	43.61

다) 저수호안의 유속저감 효과 분석

모의결과 나타난 수리특성 자료를 통해 저수호안의 유속 저감효과를 분석한 결과 저수호안에 식생콘크리트 옹벽블록이 시공된 구간의 유속범위는 0.41~0.66m/s로 나타났으며, 옹벽블록이 시공되지 않은 구간의 유속 범위 0.68~1.02m/s 보다 약 10~15%의 유속 저감 효과가 있는 것으로 분석되었다 <표 6-26>.



식생콘크리트 옹벽블록공법



식생콘크리트 블록공법

<그림 6-15> 저수호안 공법

<표 6-26> 저수호안 공법 유무에 따른 유속 비교

대상지역	Section No.	저수호안공법	조도계수	유속	
				좌안	우안
동막천	7	식생콘크리트옹벽블록	0.040	0.66	0.66
			0.045	0.59	0.59
	8	식생콘크리트블록	0.040	0.76	0.76
			0.045	0.68	0.68
	9	식생콘크리트블록	0.040	0.86	0.86
			0.045	0.72	0.71
월증천	12	식생콘크리트옹벽블록	0.040	0.46	0.58
			0.045	0.41	0.52
	13	식생콘크리트옹벽블록	0.040	0.55	0.53
			0.045	0.50	0.48
	14	식생콘크리트블록	0.040	0.90	1.02
			0.045	0.81	0.91
	15	식생콘크리트블록	0.040	0.66	0.70
			0.045	0.59	0.63

나. 정비 공법별 안전성 해석

1) 허용유속 지표에 의한 안전성 해석

자연하안 및 인공제방은 침식 또는 세굴의 영향을 받기 때문에 허용유속 기준이 제시되고 있으나 친환경적 정비공법은 여러 가지 공법이 혼용되어 시공되고 있으며 이에 대한 기준이 명확히 마련되어 있지 않다. 따라서, 기존의 공법에 대한 허용유속 기준과 재료에 대한 허용유속 기준을 지표로 하여 허용유속에 대한 안전성을 분석하였다. 점착성과 비점착성 토양에 대한 허용유속의 기준은 Olsen과 Florey(1953),

Mosonyi(1963)<표 6-14, 15>, Chow(1970)<표 6-16> 등에 의하여 제시된 기준을 검토하였으며, Olsen 등과 Mosonyi의 기준은 유사한 재료에 대한 유사한 범위의 허용유속을 제시한 유속범위를, M.Escarameia(1988)의 호안안전성 기준에 대하여 비교 검토하였다.

원증천의 식생콘크리트 공법에 의해 시공된 구간에서의 평균유속은 <표 6-27>과 같이 분석되었으며, M.Escarameia(1988)의 호안 안전성에 대한 기준에 의해 분석하였다.

<표 6-27> 허용유속 기준 비교 값 (원증천)

Section No.	수리특성 인자	조도계수					
		0.045	0.045	0.040	0.040	0.035	0.035
		좌안	우안	좌안	우안	좌안	우안
5	소류력	13.02	12.99	13.09	13.05	13.14	13.10
	평균유속	0.67	0.67	0.75	0.75	0.86	0.85
6	소류력	10.65	10.66	10.72	10.73	10.78	10.79
	평균유속	0.62	0.62	0.7	0.7	0.79	0.79

식생콘크리트 공법에 의해 시공된 부분은 블록자체에 의한 이탈이 발생하지 않을 경우, M.Escarameia(1988)가 제시한 유속 기준에 대하여 허용범위 내에 있으며 대체로 유속에 의한 파괴에 있어 안전하나, 블록 상부에 식생으로 피복된 부분의 세굴에 의한 침식을 막는 것이 중요하며 유속의 영향을 많이 받는 부분에 대해서는 어소블록과 같은 옹벽블록의 시공이 이루어 져야 할 것으로 판단된다.

여주 배수로의 자연친화적 정비 공법에 의해 시공된 구간에서의 평균유속은 <표 6-28>과 같이 분석되었으며, M.Escarameia(1988)의 호안 안전성에 대한 기준 <표 6-14>과 재료에 대한 허용유속 기준 <표 6-15>, Chow(1959)가 제시한 식생라이닝수로의 허용유속 기준 <표 6-16>에 의해 분석하였다.

<표 6-28> 허용유속 기준 비교 값 (여주배수로)

조도계수	적용공법 (Section No.)	평균유속(m/s)	
		좌안	우안
0.035	큰말뚝과 황마주머니 이용 공법(4)	1.29	1.19
	나무말뚝과 섯단 이용 공법(6)	1.77	1.17
	곤충서식블록을 이용 공법(10)	1.31	1.24
	자연석을 이용한 공법(15)	2.00	1.62
	식생콘크리트를 이용한 공법(19)	1.27	1.37

자연석을 이용한 공법(매트스톤 공법)의 평균유속은 조도계수 0.035에서 1.62~2.0m/s 범위로 모의되었으며, M.Escarameia(1988)에 의해 제시된 호안 안전성에 대한 기준의 150-200mm 사석호안의 허용유속 2.5m/s와 Olsen과 Florey(1953)가 제시한 호박돌의 입경150mm일 때의 허용유속 3.3m/s 이내에 있는 것으로 분석되어 대상지역의 적용에 있어 안전한 것으로 판단된다.

저수호안부에 나무말뚝이나 곤충서식블록을 이용한 공법의 경우 명확한 허용유속 기준이 제시되어 있지 않으나, M.Escarameia(1988)의 호안 안전성 기준 항목인 굴요성 침상공, 자갈로 채운 지오매트에서의 허용유속 범위 2.5m/s보다 클 것으로 판단되며, 유속에 대해서 안전한 것으로 판단된다. 사면부 황마망과 섯단을 이용한 부분에서의 모의 결과 평균유속 1.17~1.77m/s범위로 제시된 Geomats plain으로 시공된 곳에서의 허용유속범위 1.5m/s를 초과하였으며 세굴에 대한 피해가 발생할 가능성이 있을 것으로 예상되며, 향후 홍수에 대한 사전 점검이 필요한 부분으로 판단된다.

Chow에 의해 제시된 “식생으로 라이닝된 수로에서 세굴 저항성 토양이며, 풀혼합일 경우의 허용유속” 1.23~1.54 m/s 범위 내에 있으며 사면부에 적용된 공법에 대하여 식생에 의한 유속 감소와 소류력 감소가 안전성에 기여하는 것으로 분석되었다.

2) 모니터링에 의한 안전성 해석

경기도 여주 배수로는 시공이 완료된 직후 2000년 7월 22일 1일 333.2mm의 집중호우가 발생하였으며 이 때의 홍수량 17.32m³/s를 모형에 적용하였다.

<표 6-29>는 설계초기 퇴적이 없는 상태에서의 시공 단면을 모형에 적용하여 조도계수 0.04를 사면부에 모의한 결과 값을 나타낸다.

<표 6-29> 2000년 7월 홍수량에 대한 모의

조도계수	Section No.	설계홍수량 (14.76m ³ /s)		모의유량(17.32m ³ /s)	
		평균유속(m/s)		평균유속(m/s)	
		좌안	우안	좌안	우안
0.04	4	1.24	1.14	1.28	1.18
	6	1.57	1.05	2.31	1.55
	10	1.22	1.27	1.5	1.45
	15	1.78	1.45	2.65	2.14
	19	1.22	1.31	1.25	1.35

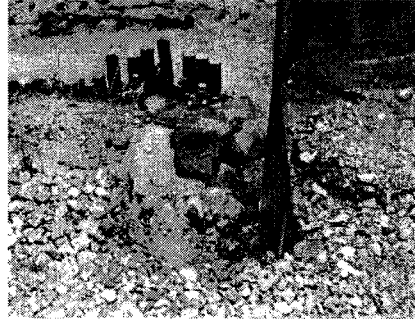
수로 상류 부분에 조성된 나무말뚝과 쇠단을 이용한 공법 Section No. 6과 자연석을 이용한 공법(매트스톤 공법) Section No. 15에서의 평균유속이 다른 곳에 비해 비교적 높게 분석되었으며, 실제 홍수 유하 후 각각의 단면들에 대해서 모니터링 결과 유속이 빠르게 나타난 부분에 대해서 유실이나 제방 붕괴가 발생한 것으로 조사되어 모형에 의한 모의 결과와 유사하게 나타나는 것으로 분석되었다.



<그림 6-16> 2000년 7월 22일 Section No. 6구간의 사면 유실

<그림 6-16>에서 Section No. 6은 낙차공이 있는 곳으로 시설물의 설치가 늦어져 사면식생의 식재가 늦어지게 되었으며, 식재종들이 충분히 사면에 활착되지 못한 상태에서 홍수시 2.31m/s의 빠른 유속에 의해 낙차공 날개부분과 사면 연결부의 제방 일부가 붕괴된 것으로 판단된다.

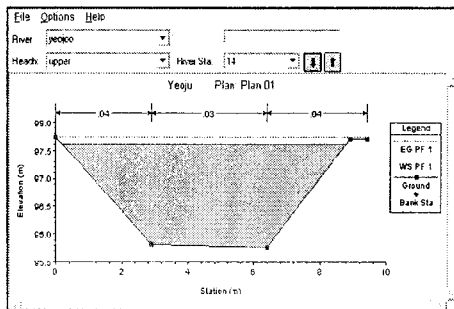
메트스톤 공법이 시공된 Section No. 15에서의 모니터링 결과 2.65m/s의 유속에도 사면의 붕괴나 유실이 발생하지 않아 사면 안전성에 적합한 공법으로 판단된다.



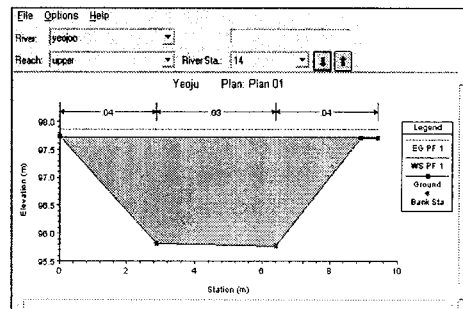
<그림 6-17> Section No. 21구간 제방 상단부 측면 세굴

<그림 6-17>은 제방 선단부 측구의 부재로 인해 제방을 통해 흘러 들어온 유입수에 의해 세굴 침식이 발생하였으나 홍수에 의한 직접적인 영향이 아닌 것으로 조사되었다.

모의되었던 다른 구간에 대한 모니터링 결과 홍수에 의한 세굴 발생 부분이 없는 것으로 조사되어 이 지역에 대해 친환경적으로 조성된 공법들은 홍수에 비교적 안전한 것으로 판단된다.



(a) 14.76m³/s에서의 홍수위



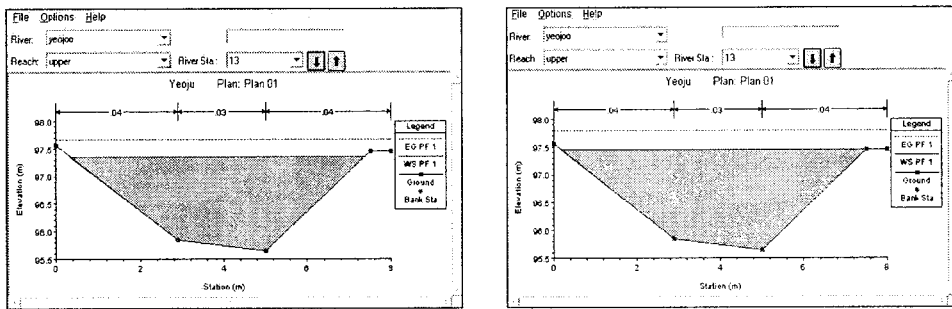
(b) 17.32m³/s에서의 홍수위

<그림 6-18> Section No. 9단면 홍수위 변화

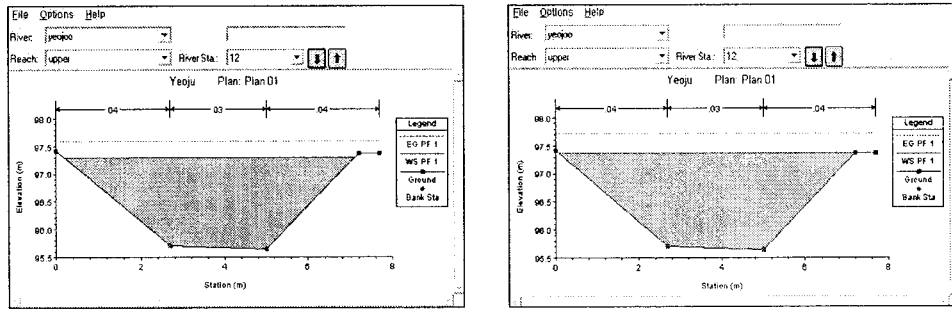
<그림 6-18>은 수로설계에 적용되었던 홍수량 14.76m³/s과 17.32m³/s를 각각 모형

에 적용한 결과 Section No. 9의 저수호안부의 나무말뚝공법과 사면부의 섯단을 이용한 공법이 시공된 부분에서 월류 직전의 위험 수위를 나타냈으며, 2000년 7월 모니터링 결과에서도 위험수위를 나타내고 있는 것으로 조사되었다.

<그림 6-19>, <그림 6-20>에서 Section No. 9의 나무말뚝과 섯단을 이용한 공법 부분과 연결되는 반딧불이블록으로 시공된 구간 Section No. 10과 Section No. 11의 홍수위를 보면 홍수량 $14.76\text{m}^3/\text{s}$ 에서 위험수위를 나타내며 $17.32\text{m}^3/\text{s}$ 에서는 월류하는 것으로 분석되었으며, 실제 모니터링에서도 약간의 월류가 발생한 것으로 조사되었으나, 공법의 안전성에는 문제가 발생하지 않았다. 기타 수로의 다른 구간에 대해서는 홍수위의 영향이 크지 않았으나 월류 구간에 대한 향후 보강이 필요한 것으로 판단된다.



<그림 6-19> Section No. 10단면 홍수위 변화



<그림 6-20> Section No. 11단면 홍수위 변화

4절 친환경 정비수로의 설치에 따른 지역사회 인문· 사회적 변화 양상 검토

본 절에서는 친환경적 정비수로의 설치에 따른 인문·사회적 변화양상을 검토하기 위해 국내에서 친환경적 수로 조성 사업이 완료된 수로 두 곳을 선정하여 친환경 정비수로에 대한 주민 만족도와 이에 영향을 미치는 요인을 분석하였다.

1. 조사방법 및 내용

가. 조사 대상지 선정

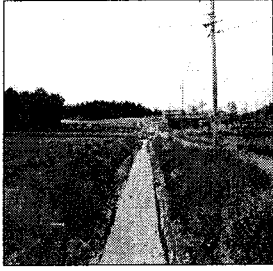
우리나라의 경우 친환경 수로정비의 개념이 도입되기 시작한 것은 1990년도 중반이며 실제 수로에 대한 친환경적 공법의 적용시기는 2000년 초반이라고 볼 수 있다. 그러나 대부분의 경우 일부 공법을 특정구간에 적용하는 정도이고, 수로의 종합적인 정비 차원이 이루어진 지역은 두 곳 정도이다.

그러므로 국내에서 친환경적 공법을 이용하여 수로의 종합적 정비가 이루어진 경기도 여주군 소재 배수로와 전라남도 영광군 소재 용수로를 연구대상지로 선정하였다.

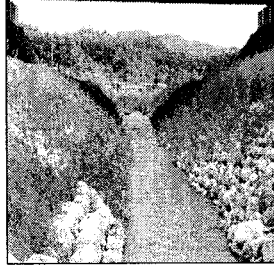
여주군 친환경 배수로는 1998년 친환경적 경지정리사업 사업의 일환으로 시범적으로 시행되었으며 2000년에 조성이 완료되었다. 수로연장은 490m, 면적 7,390㎡의 배수로이다.

수로의 전구간을 친환경적 공법과 자연소재를 이용하여 정비하였고 비대칭 횡단면 조성과 호안 경관 유형에 따른 식생호안을 설치하여 주변의 논과 연계된 생태통로를 확보하고 주민에게 친수공간을 제공하고 있다.

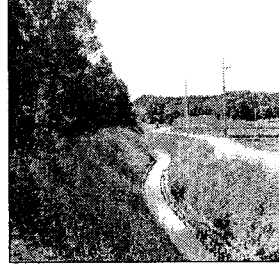
영광군 용수로는 2000년 '오동지구 수리시설 개보수 사업'의 일환으로 시행되고 있으며 수로연장은 875m이다. 이곳 역시 특성은 배수로와 다르지만 전 구간을 친환경적 공법과 자연소재를 이용하여 정비하였다. 또한, 마을 주민들의 편의시설을 조성하고, 토사의 퇴적을 방지하기 위해 침전조를 설치하였다.



(a) 상류

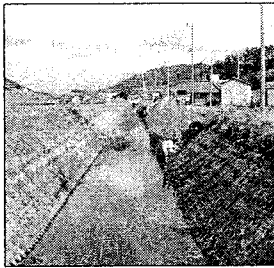


(b) 중류

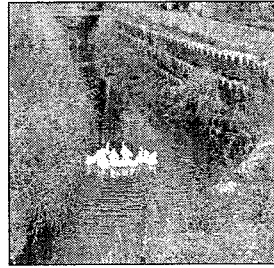


(c) 하류

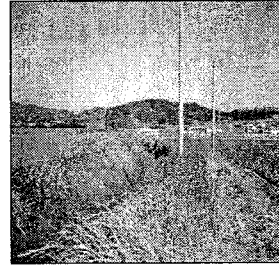
<그림 6-21> 배수로 전경(여주)



(a) 상류



(b) 중류



(c) 하류

<그림 6-22> 용수로 전경(영광)

나. 조사 방법

본 연구는 친환경 정비수로 이용 주민들의 만족도를 조사하기 위하여 면접조사법을 이용하였다. 설문조사는 2003년 10월2일부터 10월4일까지 3일간 수로를 이용하는 주민을 대상으로 실시하였으며, 조사자의 개인적인 성향이나 설문방법에 의한 편기(bias)를 최소화하기 위해 조사실시 전 조사방법에 대한 충분한 교육을 실시하였다. 설문방법은 한 명의 조사자가 한명의 조사대상자에게 질문하고, 이에 대한 응답을 조사자가 설문지에 기입하는 일대일 면접방식으로 수행되었다. 설문지는 지역별로 각각 70부씩 2개소 총 140부를 작성하여 128부 회수하였다.

설문내용은 크게 친환경 정비수로의 항목별 만족도, 전체 만족도, 이용자 개인특

성, 유지관리 실태와 주민참여 네부분으로 구성되어 있다.

만족도는 수로의 기능, 수량 및 수질, 경관, 친수시설, 휴식편의시설 등 5개 조사요소에 대한 항목별 만족도와 전체만족도로 나누어 매우 만족, 만족, 보통, 불만족, 매우 불만족 5단계 리커트 척도(Likert Scale)로 구성되었고, 매우 만족의 경우를 5로, 매우 불만족의 경우를 1로 표기토록 하였으며 매우 만족을 5점, 만족을 4점, 보통 3점, 불만족 2점, 매우 불만족 1점 척도로 재조정하여 통계수치로 처리하였다. 이용자 개인특성은 성별과 연령이다.

친환경 정비수로 만족도 설문지의 문항 구성은 <표 6-30>과 같다.

<표 6-30> 친환경 정비수로에 대한 만족도 설문지 문항 구성표

구 분	평가요소	평가항목에 대한 만족도	기입방법
항목별 만족도	1. 수로의 기능	수로의 이수 및 치수 기능에 대한 만족도	5단계 Likert Scale ① 매우만족 ② 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 매우불만족
	2. 수량 및 수질	친환경적 수로의 수량 및 수질 만족도	
	3. 경관	친환경적 수로의 경관 만족도	
	4. 친수시설	정검다리 등 친수시설 만족도	
	5. 휴식편의시설	놀이터, 벤치, 화장실 등 휴식편의시설 만족도	
전체 만족도	6. 전체 만족도	친환경적 수로의 전체적인 만족도	
유지관리 및 주민참여	7. 유지관리 실태	현재 수로 유지관리 현황과 문제점	①~⑤중 택일
	8. 유지관리방안	주민 참여가 가능한 방안	①~⑤중 택일
개인특성	9. 성별	① 남자 ② 여자	①~②중 택일
	10. 연령	()세	

2. 설문조사 분석 결과

가. 조사대상자의 특성

주민 만족도 조사대상지역별 특성은 <표 6-31>과 같다. 표집의 성비는 남녀 각각 50%로 동일하였으며, 지역별로는 여주 지역이 남자 51.6%, 여자 48.4%, 영광 지역은 남자 48.5%, 여자 51.5%로 표집 되었다.

<표 6-31> 조사대상자의 성별현황

구분	합계	남자	여자
전체	128(100%)	64(50%)	64(50%)
여주	62(100%)	32(51.6%)	30(48.4%)
영광	66(100%)	32(48.5%)	34(51.5%)

<표 6-32>는 조사대상자의 연령별 현황을 나타낸 것이다. 전체의 경우 연령분포는 60대가 59.3%로 가장 많고, 50대, 40대, 20대, 30대, 10대순으로 나타났다. 이는 현재 농촌사회가 고령화 되어가고 있는 현실을 단적으로 보여주고 있는 것이다.

<표 6-32> 조사대상자의 연령별 현황

구분	합계	10대	20대	30대	40대	50대	60대이상
전체	128	2(1.6%)	10(7.8%)	4(3.1%)	12(9.4%)	24(18.8%)	76(59.3%)
여주	62	2(3.2%)	10(16.1%)	4(6.5%)	10(16.1%)	12(19.4%)	24(38.7%)
영광	66				2(3.0%)	12(18.2)	52(78.8%)

나. 친환경 정비 수로에 대한 만족도

친환경 정비수로에 대한 항목별 만족도를 살펴본 결과는 <표 6-33>와 같다. <표 6-33>에서 제시한 바와 같이 전체적으로 3.0이상으로 긍정적 성향이 나타났다. 휴식편의시설의 평균(M=4.01) 점수가 가장 높았으며, 친수시설에 대한 만족도 평균(M=3.10) 점수가 가장 낮게 나타났다. 이는 친환경 정비수로에 대한 하위 항목 중 휴식편의시설 부분에 주민들이 가장 만족하고 있는 것으로 볼 수 있다.

<표 6-33> 전체 만족도

구분	항목	평균(M)	표준편차(SD)
전체	수로의 기능	3.39	0.79
	수량 및 수질	3.73	0.63
	경관	3.94	0.57
	친수시설	3.10	0.78
	휴식편의시설	4.01	0.80
	전체 만족도	3.65	0.45

지역(수로특성)에 따른 수로 정비의 만족도 점수를 비교 분석한 결과 <표 6-34>와 같이 영광 지역이 여주 지역에 비해 주민들의 전반적인 만족도가 높은 것으로 나타났다.

하위 항목별로는 수로의 기능, 수량 및 수질부분, 경관 등에서 영광 지역이, 친수시설, 편의시설에 대한 만족도에서는 여주 지역이 높은 것으로 분석되었다.

두 지역(수로특성)간의 차이 검정을 위해 실시한 t검정 결과는 다음 <표 6-34>와 같이 수로의 기능, 경관, 친수시설 등의 하위항목과 전체 만족도 등에서 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 휴식편의시설 부분은 비록 여주 지역의 평균점수가 높았지만 통계적으로는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 항목별로는 주민들이 수로에 쉽게 접근할 수 있는 친수시설에서 지역별로 가장 큰 차이를 보였다.

<표 6-34> 수로특성에 따른 만족도의 t검정 결과

항목	지역	t 검정 결과			
		평균(M)	표준편차(SD)	t 값	P-value
수로의 기능	배수로(여주)	2.91	0.81	-8.11**	<.0001
	용수로(영광)	3.84	0.43		
수량 및 수질	배수로(여주)	3.68	0.81	-0.86	0.39
	용수로(영광)	3.77	0.40		
경관	배수로(여주)	3.66	0.64	-6.04**	<.0001
	용수로(영광)	4.20	0.32		
친수시설	배수로(여주)	3.58	0.74	8.37**	<.0001
	용수로(영광)	2.66	0.49		
휴식편의시설	배수로(여주)	4.15	0.95	1.91	0.058
	용수로(영광)	3.88	0.60		
전체	배수로(여주)	3.42	1.27	-3.08**	<.0025
	용수로(영광)	3.94	0.50		

** P < .01

다. 친환경 정비수로 만족도에 영향을 미치는 요인

본 연구에서는 친환경 정비수로 이용자의 전반적인 만족도에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위하여 다중회귀분석을 실시하였다. 변수들의 선택 방식은 Stepwise 방식을 취하였다. 수로정비의 전반적인 만족도에 영향을 미칠 수 있는 변수로 수로기능, 수량 및 수질, 경관, 친수시설, 편의시설 등 5개의 독립변수를 지정하였고, 사례수가 많지 않은 관계로 다중공선성(Multicollinearity) 문제가 우려되어 단순상관관계와 Tolerance 값으로 확인한 결과 회귀분석을 수행하는데 무리가 없다고 판단되었다.

<표 6-35> 여주 배수로 단계적 회귀분석 결과

단계	독립변수	설명력	누적설명력	F	P
1	수량 및 수질	0.32	0.32	28.2	.0001
2	수로의 기능	0.05	0.37	17.0	.0428

여주군 친환경 정비수로에 영향을 미치는 요인을 분석한 결과 1단계의 회귀모형에는 수량 및 수질 변수만이 포함되어, 전체 만족도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 2단계에서는 1단계의 회귀모형에 수로의 기능 변수가 추가되었다. 결국, 마을과 어느 정도의 거리가 있는 배수로의 경우 수량 및 수질, 수로의 기능 등을 우선 순위로 고려하여 정비가 이루어져야 함이 타당한 것으로 분석되었다.

<표 6-36> 영광 용수로 단계적 회귀분석 결과

단계	독립변수	설명력(Sr^2)	누적 설명력	F	P
1	휴식편의시설	0.0554	0.0554	3.76	.0571
2	수로의 기능	0.1831	0.2385	15.15	.0002

영광 지역의 친환경 정비수로에 영향을 미치는 요인을 분석한 결과 1단계의 회귀모형에는 휴식편의시설 변수가 포함되었으며, 2단계에서는 1단계의 회귀모형에 수로의 기능 변수가 추가되었다. 이상의 분석 결과는 이수를 목적으로 한 용수로의 특성을 고려해 볼 때 배수로에 비해 용수로는 휴식편의시설에 대한 부분을 수로 정비시 효과적으로 반영해야 함을 시사하는 것이다. 또한 수로 정비의 궁극적인 목적인 농

촌 주민들의 수로 이용개선과 원활한 용수공급 기능을 배가시키는 것이므로 배수로나 용수로 등의 지역적 특성과 상관없이 수로의 기능 개선은 반드시 이루어져야 할 것으로 판단된다.

라. 유지관리 및 주민참여

수로 정비후 유지관리 현황과 주민참여의식을 파악하기 위해 빈도분석을 수행하였다. 유지관리 참여도를 묻는 항목에서는 응답자의 64%가 참여했다고 대답하였고 36%가 참여하지 않았다고 대답하였다. 참여하지 않았다고 의사를 밝힌 응답자는 참여자체를 꺼리는 것이 아니라 생업에 따른 시간적 여유가 없다와 노령화를 이유로 불참의사를 말했다. 만약 유지관리 위원회를 조직한다면 동참하겠다는 항목에서는 83.3%가 동참하겠다고 응답하였고 동참하지 않겠다는 응답자는 16.7%였다. 수로의 수초제거나 준설에 대한 항목에서는 6개월에 1번이 58.3%였고, 3개월에 1번이 20.8%로 응답하였다. 이상의 결과를 볼 때 마을주민 대부분이 유지관리의 필요성에 대해서 인식하고 있으며, 정부의 주도하에 마을자치위원회를 구성하여 주민들 스스로가 유지관리에 동참할 수 있는 계기를 마련해야 한다고 생각된다.

<표 6-37> 친환경 수로 정비 후 유지관리현황 및 주민참여

유지관리 및 주민참여	빈도수(백분율)	
	있다	없다
정비 후 유지관리 참여도	82(64%)	46(36%)
유지관리 위원회에 동참의지	106(82.8%)	22(17.2%)

5절 수리시설물의 친환경적 정비에 관한 기술자들의 의식조사

21세기는 문화와 자연이 공존하며 환경보전과 개발이 조화를 이루는 세계관으로의 발전이 불가피한 시점에 와있다. 이와 관련하여 농업용 수리시설물의 정비방향도 홍수 등 재해예방과 농업용수 확보의 중요성만 강조되던 것에서 주민이용의 편의와 여가공간기능, 자연환경교육기능 그리고 환경보전 등을 고려하는 다목적 기능이 부각되고 있다.

그러나 과거의 수리시설물 정비사업들은 주로 생산성의 향상과 효율 위주로 진행되었다. 특히 저수지와 용배수로의 경우 유지관리의 편의성, 공학적, 구조적 안정성을 얻고자 구조물화 되었다. 이로 인한 파급효과는 농촌의 생태계의 파괴를 초래하였으며, 주변 생태계에까지 영향을 미치고 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위하여 최근 수로의 형태와 기능을 다시 살리는 수로 정비를 친환경, 일본에서는 다자연형, 근자연형의 이름으로 연구되고 있으며, 단지개발시 환경친화적 개념을 도입한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

따라서 앞으로의 환경친화적 수리시설물의 정비의 활성화는 현장에서 일하는 기술자들에게 있다고 보아 농업기반공사의 기술자들의 수리시설물에 대한 환경친화적 정비에 대한 인식도와 관심도 그리고 선호도에 대해 조사·분석하여 바람직한 수리시설물의 환경친화적 정비 방향을 정립하고 기술자들의 환경친화적 정비에 대한 인식 전환의 계기가 되는 기초자료 제공에 그 목적이 있다.

1. 조사방법 및 내용

본 연구의 조사방법은 설문조사 위주로 실시하였다. 설문조사는 2004년 6월23일에서 6월 30일까지 수리시설물을 설계 또는 관리하고 기술자들을 대상으로 실시하였다. 설문조사는 농업기반공사 본사, 도본부, 지사, 연구원에 설문을 배포하여 총 150부를 회수하였다. 회수된 150부의 설문지 중 정확성이 떨어지는 3부의 설문을 분석에서 제외하여 분석대상으로는 총 147부의 설문지 사용되었다. 설문문항은 인식도, 관심도, 선호도 및 고려사항, 조사대상자의 특성 등 크게 4개의 파트로 구성되어있고, 총 문항수는 15개 문항으로 구성되어있다. 설문조사결과의 통계분석을 위해 Windows용 SAS(Statistics Analysis System) Version 8.0을 사용하여 빈도분석과 교차에 의한 분석을 사용하여 분석하였다. 다음 <표 6-38>은 설문조사 내용이다.

<표 6-38> 설문조사 내용

개인특성	- 나이 - 근무지 - 재직기간
수리시설물의 환경친화적 정비에 대한 의식 평가	- 인식도 평가 - 관심도 평가 - 선호도 평가

2. 설문조사 분석 결과

가. 조사대상자의 특성

설문응답자의 연령은 40대가 42.2%로 가장 많고, 근무지별로는 농업기반공사 지사가 76.9%로 큰 비중을 차지하고 있었다. 또한, 조사대상자의 재직기간은 6~15년 사이가 53.1%로 가장 높았다. 다음 <표 6-39>는 조사대상자의 개인특성을 나타낸 것이다.

<표 6-39> 조사대상자의 개인특성

구 분		인원수	백분율(%)
나이	40세이하	58	39.5
	41~49세	62	42.2
	50세이상	27	18.3
	합 계	147	100
근무지	본사	14	9.5
	도본부	11	7.5
	지사	113	76.9
	연구원	9	6.1
	합 계	147	100
재직기간	5년이하	7	4.8
	6~15년이하	78	53.1
	16년이상	62	42.1
	합 계	147	100

나. 수리시설물의 환경친화적 정비에 대한 인식도 평가

1) 환경친화적 정비의 필요성과 적용정도

수리시설물의 환경친화적 정비에 대한 기술자들의 의식조사에서는 환경친화적 정비의 필요성을 인식하는 응답자가 전체 99%로 높게 나타났고, 적용정도에서는 59.2%가 수리시설물 정비시 환경친화적 정비 개념이 적용되고 있다고 대답하였다. 결과적으로 조사대상자의 대부분은 환경친화적 정비에 대한 필요성을 인식하고 있었으며, 현재의 정비 실태도 양호한 것으로 나타났다.

<표 6-40> 환경친화적 정비의 필요성과 적용정도

구 분		인원	백분율(%)
필요성	매우 필요하다	59	40.1
	대체로 필요하다	55	37.4
	보통이다	32	21.8
	전혀 필요 없다	1	0.7
	모르겠다	0	0
합계		147	100

2) 애로사항 및 활성화 방안

수리시설물을 직접 설계하고 관리하는 기술자들이 호소하고 있는 애로사항 및 문제점과 활성화를 위한 방안에 관련한 설문 분석결과는 <표 6-41>에 제시되어있다. 수리시설물을 환경친화적으로 정비하기 위해서 기술자들이 겪는 애로사항에서는 공법의 단가가 너무 고가임이 42.2%로 가장 많고, 유지관리의 어려움과 경험이 없어서 순으로 나타났다. 이에 반해 공법을 신뢰할 수 없음은 5.4%로서 대체적으로 환경친화적 공법을 신뢰하고 있음을 나타내었다.

활성화 방안으로는 표준시방서 및 전문시방서의 작성이 44.2%로 가장 많았고, 지속적인 홍보와 계도도 32%를 나타내었다.

이상의 분석결과를 볼 때 기술자들이 가장 애로사항이라고 생각하는 부분은 환경친화적 공법의 경제성 문제이고 환경친화적 정비 활성화를 위해서는 설계시 환경친화적 개념을 제대로 적용할 수 있는 표준시방서 및 전문시방서의 작성이 시급한 것으로 판단된다.

<표 6-41> 수리시설물의 환경친화적 정비시 애로사항

구 분		인원	백분율(%)
애로사항	경험이 없음	32	21.8
	유지관리가 어려움	45	30.6
	공법을 신뢰할 수 없음	8	5.4
	공법의 단가가 고가임	52	42.2
합계		147	100

<표 6-42> 수리시설물의 환경친화적 정비 활성화 방안

구 분		인원	백분율(%)
활성화 방안	사내교육의 강화	11	7.5
	엄한 법제정과 집행	24	16.3
	지속적인 홍보와 계도	47	32
	표준시방서 및 전문시방서 작성	65	44.2
합계		147	100

3) 수리시설물의 환경친화적 정비에 대한 우선순위

기술자들의 경험에 비추어 정비시에 우선적으로 환경친화적 개념을 필요로 하는 것에 대하여 우선순위별로 조사한 결과는 <표 6-43>과 같다.

<표 6-43> 수리시설물의 환경친화적 정비 우선순위

정비지역	우선순위	1순위	2순위	3순위	4순위	5순위	6순위	가중치 부여시 총합 점수
		N(%)	N(%)	N(%)	N(%)	N(%)	N(%)	
저수지		38(25.9)	32(21.8)	27(18.4)	0(0)	29(19.7)	21(14.3)	575
용·배수로		27(18.4)	34(23.1)	27(18.4)	22(15.0)	23(15.7)	14(9.5)	566
취입보		34(23.1)	33(22.5)	34(23.1)	14(9.5)	16(10.9)	16(10.9)	595
관정		20(13.6)	19(12.9)	16(10.9)	34(23.1)	23(15.7)	35(23.8)	462
간척지		16(10.9)	14(9.5)	26(17.7)	26(17.7)	42(28.6)	23(15.7)	455
토석 채취장		12(8.2)	15(10.2)	17(11.6)	51(34.7)	14(9.5)	38(25.9)	434
합 계		147 (100.0)	147 (100.0)	147 (100.0)	147 (100.0)	147 (100.0)	147 (100.0)	3087

수리시설물 정비시에 기술자들이 1순위로 선택한 응답중 25.9%가 저수지를 환경친화적으로 정비해야한다고 지적하였으며, 2순위에서는 용배수로(23.1%)를 먼저 정비해야 한다고 응답하였다. 가중치를 부여한 총합점수를 살펴보면 147명의 모든 기술자가 1순위와 2순위에 취입보와 저수지를 가장 먼저 환경친화적으로 정비하여야 한다고 지적하였으며 용·배수로, 관정, 간척지, 토석채취장 순으로 응답하였다. 그러나 1순위로 지적된 취입보의 환경친화적 정비는 현실적으로 공법의 선정이나 설계시에 어려움이 예상되며, 이러한 결과를 볼 때 아직 기술자들이 환경친화적 수리시설물 정비 개념에 대해 확실하게 이해하지 못한 것으로 판단된다.

다. 수리시설물의 환경친화적 정비에 대한 관심도 평가

기술자들의 환경친화적 정비에 대한 평소의 관심도와 실천에 대한 견해를 살펴본 결과는 <표 6-44>와 같다.

<표 6-44> 수리시설물의 환경친화적 정비에 대한 관심도와 실천견해

구 분	평 균(M)	표준편차(SD)
관 심 도	2.84	0.75
실천견해	3.02	0.91

<표 6-44>에서 제시한 바와 같이 평상시 관심도의 경우 평균 2.84로 약간 부정적인 경향을 나타내었으나, 실천견해 부분에서는 평균 3.02로서 긍정적 성향이 나타났다. 결과적으로 평상시에는 많은 관심이 없지만 수리시설물 정비시에 환경친화적 개념을 적용하고자 하는 것으로 판단된다.

라. 수리시설물의 환경친화적 정비시 선호도 및 고려사항 평가

1) 용·배수로 정비시 선호하는 재료

용·배수로 정비시에 기술자들이 선호하는 재료를 조사한 결과 자연석쌓기(28.6%)를 가장 선호하는 것으로 나타났으며, 식생콘크리트, 콘크리트 옹벽 순으로 응답하였다. 그 이유로는 생물이 많이 서식할 수 있음, 홍수시 안전, 농업용수 확보 용이 순으로 나타났다.

<표 6-45> 용·배수로 정비시 선호하는 재료

구 분	인원	백분율(%)	
재료선호도	돌망태	13	8.8
	콘크리트옹벽	35	23.8
	콘크리트블록	6	4.1
	흙	10	6.8
	자연석쌓기	42	28.6
	식생콘크리트	41	27.9
합계	147	100	

2) 수리시설물 설계시 고려사항

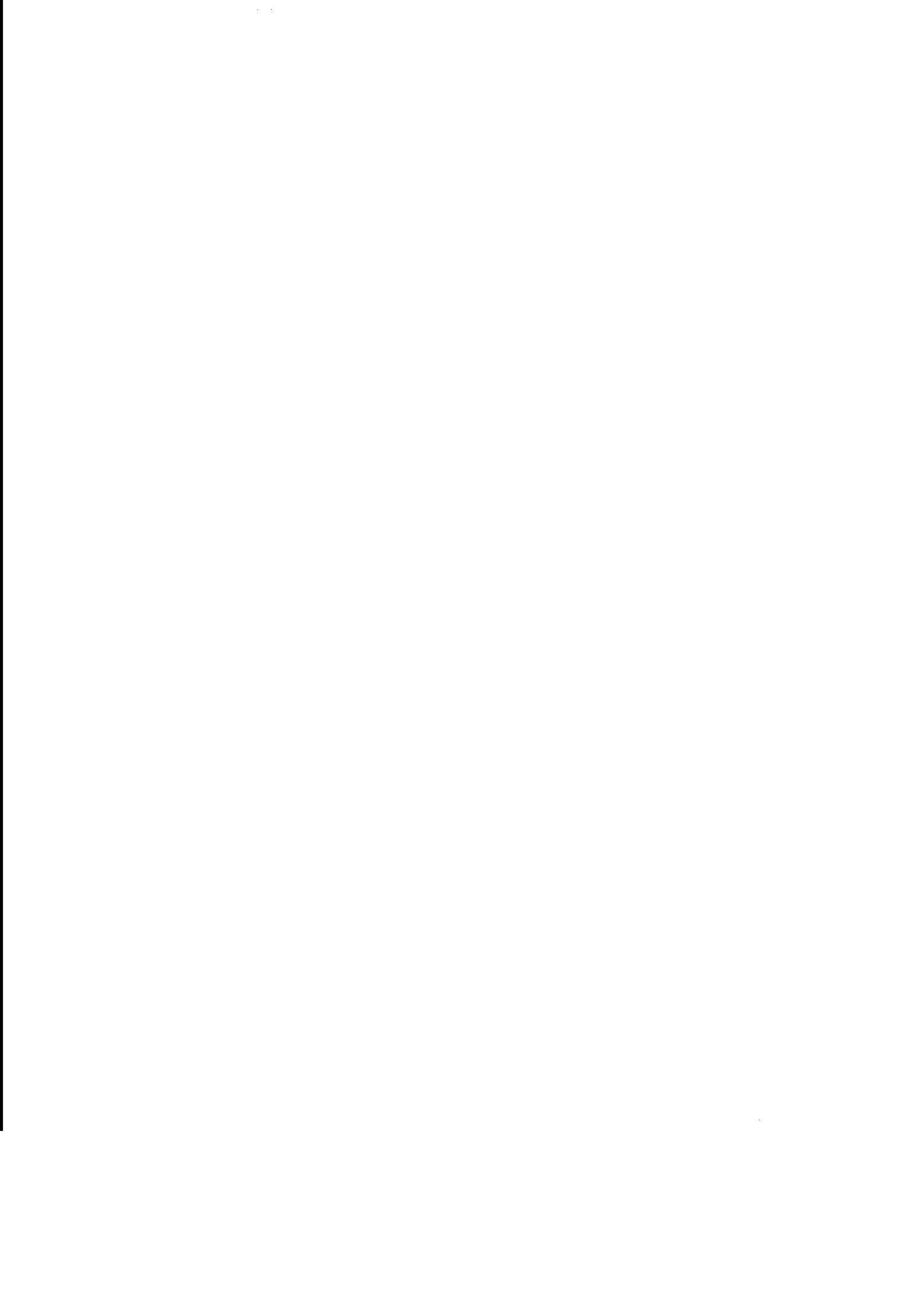
수리시설물의 환경친화적으로 설계시에 고려해야할 사항을 우선순위별로 조사한 결과는 <표 6-46>과 같다.

<표 6-46> 수리시설물의 설계시 고려사항 우선순위

	1순위	2순위	3순위	4순위	5순위	6순위	가중치 부여시 총합 점수
	N(%)	N(%)	N(%)	N(%)	N(%)	N(%)	
보기에 좋아야 한다	8(5.4)	6(4.1)	25(17.0)	53(36.1)	45(30.6)	10(6.8)	437
위생적이 어야 함	4(2.7)	13(8.8)	26(17.7)	38(25.9)	44(29.9)	22(15.0)	417
생물이 많이 서식	16(10.9)	9(6.1)	29(19.7)	23(15.7)	32(21.8)	38(25.9)	428
농업용수 확보 용이	20(13.6)	28(19.1)	35(23.8)	16(10.9)	12(8.2)	36(24.5)	508
홍수시 안전	28(19.1)	51(16)	16(10.9)	13(8.8)	10(6.8)	29(19.7)	575
주민들이 이용하기 에 편리	71(48.3)	40(27.2)	16(10.9)	4(2.7)	4(2.7)	12(8.2)	722
합 계	147 (100.0)	147 (100.0)	147 (100.0)	147 (100.0)	147 (100.0)	147 (100.0)	3087

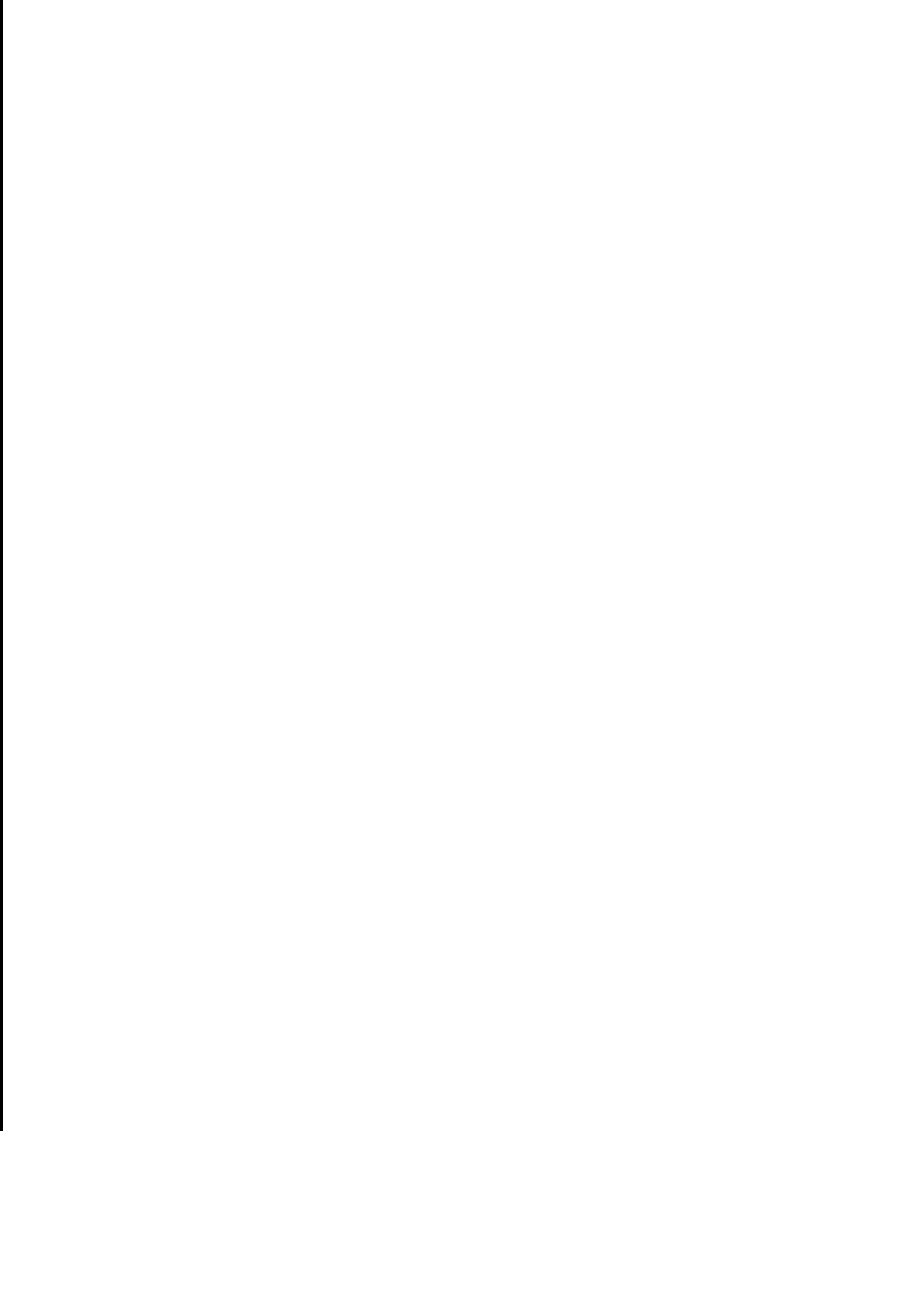
수리시설물 설계시에 기술자들이 1순위로 선택한 응답 중 48.3%가 주민들이 이용하기에 편리해야한다고 응답하였으며, 2순위에서는 홍수시에 안전(19.1%)을 고려하여야 한다고 지적하였다. 가중치를 부여한 총합점수를 살펴보면 147명의 모든 기술자가 1순위와 2순위에 주민들이 이용하기에 편리해야하고 홍수시에 안전해야한다고 응답하였으며, 농업용수확보가 용이, 보기에 좋아야 함, 생물이 많이 서식할 수 있어야 함, 위생적이어야 함, 순으로 응답하였다.

결과적으로 고려사항의 우선순위에는 차이가 있었지만 기술자들이 수리시설물 설계시에 기능과 환경도 고려하지만 우선적으로 주민의 편의를 먼저 고려하는 것으로 판단된다.



7장 친환경 용배수로 개보수에 적합한 기술개발

- 1절 친환경적 용배수로 개보수에 적합한 제품설계
- 2절 친환경 배수로공법 시험수로 조성 및 모니터링
- 3절 친환경 배수로공법에 적합한 시공법 정립
- 4절 용배수로 이외의 수리시설물, 소하천 정비시 활용성 제시



7장 친환경 용배수로 개보수에 적합한 기술개발

1절 친환경적 용배수로 개보수에 적합한 제품설계

1. 용배수로에 적용된 기존제품의 현황 및 사례조사

본 연구에서는 친환경적인 용배수로에 적합한 요구특성을 바탕으로 기존의 시공재료 및 제품에 대한 특성을 비교 분석함과 아울러 기존 재료 및 신규 재료의 특성을 평가하므로써 그 적용 가능성을 평가하였다.

가. 재료의 공법적 분류에 따른 조사결과

1) 다공성 식생블럭

다공성 식생블럭은 하남시에 소재한 M천에 시공되어진 사례를 바탕으로 현장 조사를 실시하고 관련 자료를 검토하여 분석하였으며, 그 장단점은 다음과 같다.

- 장 점

- 다공성의 콘크리트 생태구조물로서 식물의 생육 활착이 가능하다.
- 공법의 다양한 조합이 가능하며 경관하천 조성이 용이하다.
- 친환경적, 친수, 친수가 가능하며 구조적 안정성이 우수하다.
- 자생식물을 적용하여 환경생태복원이 가능하다.

- 단 점

- 일반 콘크리트에 비해서는 강도가 다소 불리하다.
- 일반적인 콘크리트 호안블럭 공사에 비해 공사비가 다소 고가이다.

2) 환경생태블럭

환경생태블럭은 음성군에 소재한 M천에 시공되어진 사례를 바탕으로 현장 조사를 실시하고 관련 자료를 검토하여 분석하였으며, 그 장단점은 다음과 같다.

- 장 점

- 사면 안정 및 기초부의 세굴을 억제 가능하다.
- 유수에 의한 토사 유출 및 유실을 방지할 수 있다.

- 단 점

- 시공실적이 적고 부분식생으로 생태복원기능이 약하다.
- 인공적인 경관을 형성하여 자연성이 약하다.
- 일반적인 콘크리트 호안블럭 공사에 비해 공사비가 다소 고가이다.

3) 돌망태

돌망태는 음성군에 소재한 M천에 시공되어진 사례를 바탕으로 현장조사를 실시하고 관련 자료를 검토하여 분석하였으며, 그 장단점은 다음과 같다.

- 장 점

- 비교적 유속이 빠른 하천에 적합하다.
- 굴요성이 양호하여 제방 안정에 유리하다.
- 시공성, 경제성 등이 양호하다.
- 급류하천이나 응급공사 또는 임시공사에 적합하다.

- 단 점

- 토사 세굴에 불리하다.
- 전체적으로 일체성이 없다.
- 수생식물 착상이 불가능하다.
- 철선 부위에 오물질, 쓰레기 등이 걸려 미관이 불량하다.
- 비친환경적인 공법이다.

4) 돌상자

돌상자는 대전광역시에 소재한 K천에 시공되어진 사례를 바탕으로 현장조사를 실시하고 관련 자료를 검토하여 분석하였으며, 그 장단점은 다음과 같다.

- 장 점

- 일체성으로 시공이 용이하다.
- 불안정한 지반에도 사용이 가능하다.

- 단 점

- 경관이 중압감을 주고 인공적으로 하천의 경관이 불량하다.
- 식생의 활착이 불가능하여 생태가 단절된다.
- 호안 등 경사지 적용이 어렵다.
- 비친환경적인 공법이다.

5) 콘크리트 호안블럭

콘크리트 호안블럭은 서울시에 소재한 Y천에 시공되어진 사례를 바탕으로 현장 조사를 실시하고 관련 자료를 검토하여 분석하였으며, 그 장단점은 다음과 같다.

- 장 점
 - 깨끗하게 정돈된 시공이 가능하다.
 - 낮은 조도계수로 통수성이 양호하다.
- 단 점
 - 비친환경적인 소재로 생태 단절을 야기한다.
 - 식생활착의 불가로 사막화를 야기한다.
 - 급류시 세굴에 의하여 탈락될 수 있다.

6) 자연석 쌓기

자연석 쌓기는 전주시에 소재한 J천에 시공되어진 사례를 바탕으로 현장조사를 실시하고 관련 자료를 검토하여 분석하였으며, 그 장단점은 다음과 같다.

- 장 점
 - 자연소재를 사용한 공법이다.
 - 시공이 보편화되어 시공이 용이하다.
- 단 점
 - 인위적인 자연석 쌓기의 경우 오히려 비친환경적인 공법이다.
 - 식생 도입이 어렵다.
 - 자연석 조달이 어려우며 타 환경을 해치는 부작용을 야기한다.

7) 콘크리트 매트

콘크리트 매트는 서울시에 소재한 J천에 시공되어진 사례를 바탕으로 현장조사를 실시하고 관련 자료를 검토하여 분석하였으며, 그 장단점은 다음과 같다.

- 장 점
 - 콘크리트를 일체화 된 매트로 사면 보호성이 우수하다.
 - 시공성이 양호하다.
- 단 점
 - 생태환경적으로 최악의 공법이다.
 - 토양호흡이 불가하여 미생물, 곤충 등이 서식할 수 없어 토양이 황폐화된다.
 - 하천의 생태 단절 및 사막화를 야기한다.

<표 7-1> 하천의 호안공사별 비교표

구 분	장 점	단 점	유 지 관 리
다공성 생태블록	<ul style="list-style-type: none"> · 다공성의 콘크리트 생태 구조물로서 식물의 생육 활착이 가능. · 공법의 다양한 조합 가능 · 친수, 치수, 자연형 하천 조성. · 경관하천 및 생태복원이 가능 · 자생식물을 적용한 환경생태복원 	<ul style="list-style-type: none"> · 일반 콘크리트에 비해 강도가 다소 불리 · 타 호안공사에 비해 공사비가 다소 비쌌 	<ul style="list-style-type: none"> · 탈석 및 좌굴, 균열에 부분적 유지보수가 가능. · 자생식물 도입 생태복원을 통한 자연형 하천으로 전환되어 유지 보수가 필요 없음.
돌망태	<ul style="list-style-type: none"> · 비교적 유속이 빠른 하천에 적합. · 굴요성이 양호하여 제방 안정에 유리. · 시공성, 경제성이 양호. · 급류하천이나 응급공사 또는 임시공사에 적합. 	<ul style="list-style-type: none"> · 도사세굴에 불리 · 전체적으로 일체성이 없음. · 수생식물 착상이 불가. · 철선 부위 공간에 이물질, 쓰레기 등이 걸려 미관 불량. · 비친환경적 공법 	<ul style="list-style-type: none"> · 철망의 부식 및 급류시 파간으로 돌이 유실되어 내구성 및 보수유지 불량.
돌상자	<ul style="list-style-type: none"> · 일체성으로 시공용이. · 불안정 지반에 사용 가능. 	<ul style="list-style-type: none"> · 경관 중압감 및 인공성으로 하천의 경관 불량. · 식생 활착이 불가능하여 생태가 단절됨. · 호안 등 경사지 적용이 어려움. · 비친수성 소재. 	<ul style="list-style-type: none"> · 유실시 유지보수 가능.
호안블럭	<ul style="list-style-type: none"> · 깨끗하게 정돈된 시공. · 낮은 조도계수로 통수성 양호 	<ul style="list-style-type: none"> · 비환경성 소재로 생태 단절. · 식생활착 불가로 사막화. · 급류시 세굴에 의한 탈락. 	<ul style="list-style-type: none"> · 탈락시 블록 이음부의 틈새를 몰탈로 채우고 수시로 점검하여 토사유출 방지
자연석 쌓기	<ul style="list-style-type: none"> · 자연소재 사용. · 시공이 보편화되어 시공 용이. 	<ul style="list-style-type: none"> · 인위적인 자연석 쌓기의 경우 오히려 비친환경적. · 식생이 제대로 도입되지 못함. · 자연석 조달이 어려움. 	<ul style="list-style-type: none"> · 메쌓기는 유실되므로 깔쌓기를 해야함. · 탈석시 보수 용이하나 구조적으로 불안정.
콘크리트 매트	<ul style="list-style-type: none"> · 콘크리트를 일체화한 매트로 보호성 우수. · 시공성 양호. 	<ul style="list-style-type: none"> · 생태환경적으로 최악의 공법. · 토양호흡이 불가능하여 미생물, 곤충 등이 서식할 수 없어 토양 황폐. · 하천의 사막화 	<ul style="list-style-type: none"> · 부분 보수가 불가능함.

나. 재료의 형태적 분류에 따른 조사결과

1) 콘크리트 화분블럭계

- 장 점

- 화분형 식생공간 확보로 다양한 식생의 도입이 가능하다.

- 단 점

- 생태통로의 단절을 야기시키거나 연결에 한계를 지닌다.
- 용수의 유실이 생기기 때문에 용수로에는 사용이 불가능하다.
- 식생빈도의 조절은 불가능하여 일정 폭 이상의 배수로에만 한정적으로 적용할 수 있다.

2) 식생 호안블럭계

- 장 점

- 부분적인 식생의 도입이 가능하다.
- 배수로에 일부 적용이 가능할 것으로 판단된다.

- 단 점

- 콘크리트 표면의 노출로 부자연스러운 경관을 연출한다.
- 오픈된 공간을 통하여 토사가 유출될 수 있는 위험이 존재한다.
- 용수의 유실이 생기기 때문에 용수로에는 사용이 불가능하다.

3) 자연석계

- 장 점

- 자연석의 표면 연출이 가능하다.
- 특별한 경우를 제외하고는 사면 안정성 양호하다.
- 배수로에 일부 적용이 가능할 것으로 판단된다.

- 단 점

- 식생의 도입이 불가능하여 생태의 단절을 야기한다.
- 돌망태의 경우 철망의 노출로 쓰레기 부착에 의한 경관이 불량하다.
- 용수의 유실이 생기기 때문에 용수로에는 사용이 불가능하다.

4) 다공성 식생블럭계

- 장 점

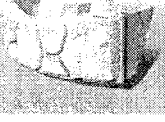
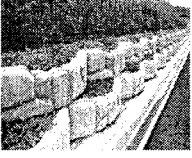

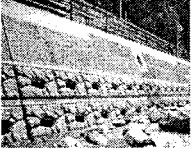
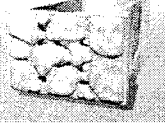


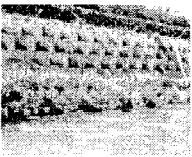


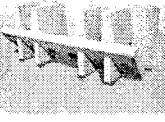
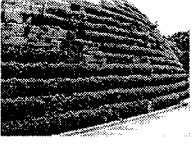
- 식생의 정착과 배수기능의 확보로 사면의 안정성을 확보할 수 있다.
- 공극의 크기를 조절하므로써 식생의 도입 및 식생빈도의 조절이 가능하다.
- 배수로에 적용성이 우수할 것으로 판단된다.

- 단 점

- 용수의 유실이 생기기 때문에 용수로에는 사용이 불가능하다.

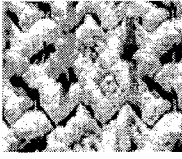
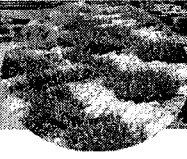

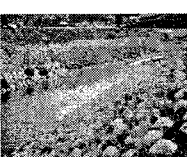
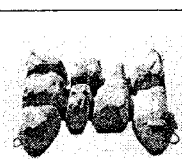

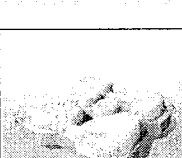

<표 7-2> 기존의 친자연형 하천에 적용된 시공재료 현황

① 콘크리트 화분블록계

제품군	제품사진	시공사진	특 성	비 고
콘 크 리 트 화 분 블 록 계			대형 콘크리트 화분 다양한 식생의 도입 가능 콘크리트 화분의 표면 노출 식생조절 불가능 생태통로의 연결에 한계	- 용수로 사용불가 - 배수로 사용시 일정 폭 이상의 배수로에 적용
			화분형 어소블록 물고기 및 수서곤충의 서식공간 확보 콘크리트 화분의 표면 노출 식생도입 불가능 생태통로의 단절	- 용수로 사용불가 - 배수로 사용불가
			화분 및 어소블록 일부 식물의 도입 물고기 및 수서곤충의 서식공간 확보 식생조절 불가능 생태통로의 단절	- 용수로 사용불가 - 배수로 사용불가
			콘크리트 화분블록 다양한 식생의 도입 가능 콘크리트 화분의 표면 노출 식생조절 불가능 생태통로의 단절	- 용수로 사용불가 - 배수로 사용시 일정 폭 이상의 배수로에 적용
			콘크리트 화분블록 다양한 식생의 도입 가능 콘크리트 화분의 표면 노출 식생조절 불가능 생태통로의 단절	- 용수로 사용불가 - 배수로 사용시 일정 폭 이상의 배수로에 적용
			콘크리트 화분블록 다양한 식생의 도입 가능 콘크리트 화분의 표면 노출 식생조절 불가능 생태통로의 단절 토사 유실의 위험성이 큼	- 용수로 사용불가 - 배수로 사용불가

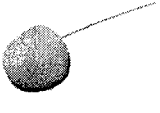



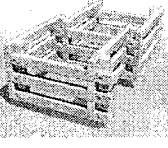
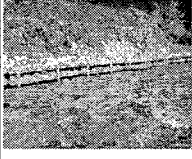


<표 7-2> 기존의 친자연형 하천에 적용된 시공재료 현황 (계속)

② 식생계 호안블럭

제품군	제품사진	시공사진	특 성	비 고
식 생 계 호 안 블 록			식재형 호안블럭 부분적인 식생 도입 콘크리트 표면의 노출 오픈된 공간을 통한 토사유출 위험 존재	- 용수로 사용불가 - 배수로 일부 사용
			식재형 호안블럭 부분적인 식생 도입 콘크리트 표면의 노출 부자연스러운 경관의 연출 오픈된 공간을 통한 토사유출 위험 존재	- 용수로 사용불가 - 배수로 일부 사용
			식재형 호안블럭 부분적인 식생 도입 콘크리트 표면의 노출 부자연스러운 경관의 연출 오픈된 공간을 통한 토사유출 위험 존재	- 용수로 사용불가 - 배수로 일부 사용
			식재형 호안블럭 부분적인 식생 도입 콘크리트 표면의 노출 부자연스러운 경관의 연출 오픈된 공간을 통한 토사유출 위험 존재	- 용수로 사용불가 - 배수로 일부 사용

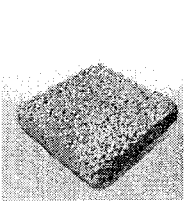

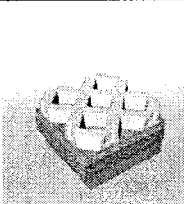

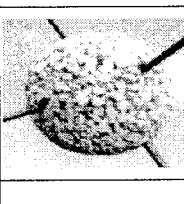
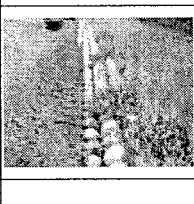
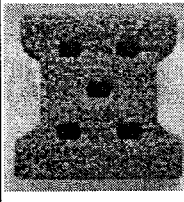
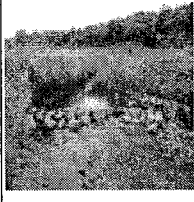
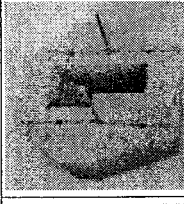
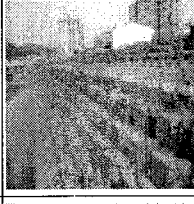
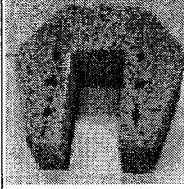

<표 7-2> 기존의 친자연형 하천에 적용된 시공재료 현황 (계속)

③ 자연석계

제품군	제품사진	시공사진	특 성	비 고
자 연 석 계			호박돌 보강토형 자연석의 표면 연출 식생도입 불가능(호박돌 뒷면에 자갈 채우기) 보강토 형식의 사면 안정성 확보	- 용수로 사용불가 - 배수로 일부 사용
			돌상자 철망의 노출로 쓰레기의 부착 우려 다공성의 확보로 수서생물의 서식공간 확보 가능 돌상자의 두께가 두꺼울수록 식생도입이 어려움 유속이 큰 곳에 안정성 확보	- 용수로 사용불가 - 배수로 일부 사용
			나무 돌상자 수서생물의 서식공간 확보 친수 접근로의 확보 식물의 정착 불가능	- 용수로 사용불가 - 배수로 사용시 일정 폭 이상의 배수로에 적용
			콘크리트 돌상자 흙의 충진을 통한 식생 도입 가능 수층부의 식생도입은 어려움 유속이 큰 곳은 유실 가능성 큼	- 용수로 사용불가 - 배수로 일부 사용

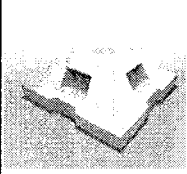

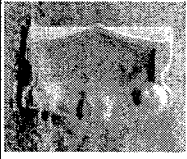

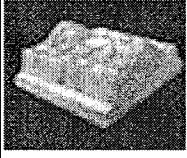
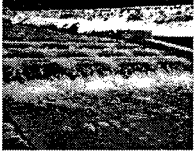
<표 7-2> 기존의 친자연형 하천에 적용된 시공재료 현황 (계속)

④ 다공성 식생블록

제품군	제품사진	시공사진	특 성	비 고
다 공 성 식 생 블 록			다공성 식재블록 전체적인 사면에 식생의 도입 가능 공극의 크기가 작아 도입식생에 한계가 있음 식생이 정착되지 않았을 때 건조에 대한 피해가 큼 식생의 정착과 배수기능 확보로 사면의 안정성 확보	- 용수로 사용 불가 - 배수로 사용 가능
			이형 다공성 식재블록 복토층을 보호 개구부를 통해서만 식생의 도입이 가능 배면 토양 유실의 방지 기능 수층부의 식생 도입 한계 공극의 크기가 작아 도입 식생에 한계가 있음	- 용수로 사용 불가 - 배수로 사용 가능
			다공성 콘크리트 구 물고기와 수서생물의 서식공간 확보 구면체 사이에서의 식생 도입 가능 구면체의 일체화를 통한 안정성 확보	- 용수로 사용 불가 - 배수로 사용 가능
			다공성 식재블록 전체적인 사면에 식생의 도입 가능 공극의 크기를 키워 도입식생의 폭을 넓힘 공극 사이의 충전율을 높여 건조피해를 감소 식생의 정착과 배수기능 확보로 사면의 안정성 확보	- 용수로 사용 불가 - 배수로 사용 가능
			다공성 용벽블록 뿌리가 큰 목본류의 도입 가능 전체의 일체화를 통한 안정성 확보 배수성의 확보로 사면의 안정성 확보	- 용수로 사용 불가 - 배수로 사용 가능
			다공성 어소블록 물고기와 수서생물의 서식공간 확보 전체의 일체화를 통한 안정성 확보 배수성의 확보로 사면의 안정성 확보	- 용수로 사용 불가 - 배수로 사용 가능

<표 7-2> 기존의 친자연형 하천에 적용된 시공재료 현황 (계속)

⑤ 어소 및 어도블록

제품군	제품사진	시공사진	특 성	비 고
어 소			어소블록 어소공간만의 존재로는 물고기가 이 용하기 어려움	- 용수로 사용불가 - 배수로 사용 가능
밧 어 도 블 록			어도블록 층계식 이동통로	- 용수로 사용 가능 - 배수로 사용 가능
			어도블록 층계식 이동통로	- 용수로 사용 가능 - 배수로 사용 가능

2. 친환경 용배수로에 적합한 시공재료의 요구특성 검토

본 연구에서는 기존의 문헌자료와 현장답사 등을 통하여 용배수로의 현황 및 차이점을 파악하고 이를 바탕으로 친환경적 용배수로의 공법 적용상에 필요한 시공재료의 요구특성 및 개발방향을 설정하였다.

가. 용배수로의 공법 적용상의 차이점 분석

1) 용수로의 특성

- 목표로 하는 시간내에 필요량의 농업용수를 목적지까지 보내야 한다.
- 용수의 유실을 가능한 적게 해야 한다.
- 용수의 흐름을 방해하는 요소가 적어야 한다.
- 용수를 공급시기 외에는 물이 거의 없다.
- 주변의 농지보다 높은 곳에 위치한다.
- 별도의 수질 문제와는 다소 무관하다.
- 홍수에 의한 직접적인 유량 증가가 적다.

2) 배수로의 특성

- 농지로 물이 역류되지 않도록 물의 배출능력을 확보해야 한다.
- 지하수로 충분히 물을 누수시켜도 좋다.
- 배수로의 흐름을 방해하는 요소가 적어야 한다.
- 주변의 농지보다 낮은 곳에 위치한다.
- 농약과 비료로 인한 수질오염을 정화할 수 있는 능력을 보유해야 한다.
- 일정한 유지수량의 확보가 어렵다.
- 홍수시 급격하게 유량이 증가한다.

나. 수로 고유의 통수, 배수기능 및 생태특성을 고려한 시공재료의 개발방향

1) 용수로 시공재료의 개발방향

- 일정한 유지수량을 확보해야 한다.
- 중간 중간에 바이오톱의 구성을 통하여 절수기에 수서생물의 서식공간을 확보해야 한다.
- 수로의 바닥부와 측면의 일정부분까지는 불투수성 재료를 사용해야 한다.
- 수로 측면부에 식물의 도입공간을 확보해야 한다.

- 식물의 종류와 빈도를 조절할 수 있는 재료를 선택해야 한다.

2) 배수로 시공재료의 개발방향

- 일정한 유지수량을 확보해야 한다.
- 중간 중간에 비오둑의 조성을 통하여 절수기에 수서생물의 서식공간을 확보해야 한다.
- 단면적이 적으므로 가능한 기초공사를 배제해야 한다.
- 수로의 바닥부와 측면부에 모두 투수성 재료를 사용 가능하다.
- 식물의 종류와 빈도를 조절할 수 있는 재료의 선택이 필요하다.(통수능력 확보)
- 논과 같은수로 주변에 생물의 서식공간을 제공할 수 있어야 한다.
- 홍수에 대한 제방의 보호능력을 보유해야 한다.

3. 친환경 용배수로에 적합한 시공재료의 선정 및 물성평가

가. 재료의 선정 및 배합

현재까지 농업용 용배수로에 사용되고 있는 재료는 시멘트 및 콘크리트 재질의 재료가 대부분이다. 하지만 이들 재료는 특성상 이수 및 치수 기능을 위주로 도입된 것으로 친환경적 기능을 가지지 못하는 단점이 있었다.

따라서 본 연구에서는 친자연형 하천에 적용되고 있는 재료를 대상으로 용배수로의 요구특성을 만족하는 재료를 검토하였다. 그 결과 앞서서도 언급하였듯이 기본적으로 용배수로에서 요구되는 특성과 아울러 이수 및 치수 기능을 갖춘 재료들을 선정하였으나 그 다양성은 매우 제한적이었다.

선정된 재료로는 기존의 시멘트 콘크리트 재료외에 시멘트 모르타르, 포러스 콘크리트, 황토 모르타르 및 황토투수콘크리트 등이 있었으며, 이들 재료들은 다음의 <표 7-3>에 나타낸 바와 같이 배합하여 제조하고 그 물성을 비교 분석하였다.

<표 7-3> 시공재료의 배합표

구 분		사 용 재 료					
No	명칭	결합제	골재	물	혼화제	혼화제	비고
1	시멘트콘크리트 (CC)	보통포틀랜드시멘트	굵은골재, 잔골재	일반수	-	고성능감수제	배합강도:250kg, 슬럼프:18cm
2	시멘트모르타르 (CM)	보통포틀랜드시멘트	잔골재	일반수	-	고성능감수제	플로우:110mm
3	포러스콘크리트 (BPC)	고로슬래그시멘트	굵은골재 (8-13mm)	일반수	-	고성능감수제	공극율:15%
4	황토모르타르 (RM)	소석회	잔골재	일반수	고로슬래그, 소성황토	고성능감수제	황토사용량:10%
5	황토투수콘크리트 (RPC)	소석회	굵은골재 (8-13mm)	일반수	고로슬래그, 소성황토	고성능감수제	공극율:15% 황토사용량:10%

나. 시험방법

상기와 같이 선정된 시공재료는 용배수로에 적용 가능한지를 평가하기 위하여 압축강도, 단위용적중량, 흡수율, 공극률, 투수계수 및 동결융해시험을 실시하여 그 물성 및 내구성을 평가하였다. 각 시험에 대한 세부 내용은 다음과 같다.

1) 압축강도 시험

재료의 압축강도를 측정하기 위하여 시험 공시체를 지름 10cm, 높이 20cm의 원주형 공시체로 제작하였으며, 양생은 2일 동안 습윤 양생, 이후 30일간 수중양생을 실시한 공시체를 사용하여 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 따라 공시체의 압축강도시험을 실시하였다.

공시체의 압축강도는 시험중에 공시체가 받은 최대 하중을 공시체의 단면적으로 나누어 계산하였다.

$$\text{압축강도(kgf/cm}^2\text{)} = \frac{P}{A}$$

P : 시험용 계기에 나타난 최대하중(kg)

A : 공시체의 가압 단면적(cm²)

2) 단위용적중량 시험

재료의 단위용적중량을 측정하기 위하여 KS F 2409(굳지 않은 콘크리트의 단위용적질량 측정방법)를 토대로 모르타르 재료는 10L, 콘크리트 재료는 30L의 용기를 사용하여 측정하였다.

각 재료의 단위용적중량은 용기중의 시료 중량을 용기의 부피로 나누어 계산하였다.

$$\text{단위용적중량}(M)(\text{kg}/\text{m}^3) = \frac{W}{V}$$

W : 용기중의 시료 중량(kg)

V : 용기의 부피(m³)

3) 흡수율 시험

재료의 흡수율을 측정하기 위한 시험 공시체는 지름 10cm, 높이 20cm의 원주형 공시체로 제작하였으며, 양생은 2일 동안 습윤 양생, 이후 30일간 수중양생을 실시한 공시체를 사용하여 KS F 2518(석재의 흡수율 및 비중시험방법)에 따라 시료의 흡수율 시험을 실시하여 다음의 식에 따라 계산하였다.

$$\text{흡수율}(\%) = \frac{B-A}{A} \times 100$$

A : 건조 공시체의 무게(g)

B : 침수 후의 공시체의 무게(g)

4) 공극률 시험

JCI 에코 콘크리트 연구위원회의 「포러스 콘크리트의 공극율 시험방법(안)」에 준하여 용적법에 의한 전공극율 및 연속공극율을 측정하였다. 아래의 식에 의해 전공극율 및 연속공극율을 산출하였다.

$$A. \text{전공극율}(\%) = \frac{1 - (W_2 - W_1)}{V_1} \times 100$$

V1 : 공시체의 용적

W1 : 공시체의 수중중량

W2 : 24시간 기중 방치후의 기중중량

$$B. \text{ 연속 공극율(\%)} = \frac{1 - (W_2' - W_1)}{V_1} \times 100$$

V1 : 공시체의 용적

W1 : 공시체의 수중중량

W2' : 공시체를 수중에서 건져낸 후의 일정중량

5) 투수성 시험

JCI(일본콘크리트공학협회) 에코 콘크리트 연구위원회의 「포러스 콘크리트의 투수시험 방법(안)」에 따라 투수성 시험을 실시하였다. 이 시험방법은 정수위 투수시험방법으로 한다. 이것은 일정 단면적과 길이를 갖는 공시체를 일정한 수위차로 일정 시간내에 침투하는 수량을 측정하는 것이다. 여기서 정수위 투수시험장치와 투수시험 공시체는 <그림 7-1>에 각각 나타내었다.

$$KT = (L / h) \times [Q / [A \times (t_2 - t_1)]]$$

KT : T℃에서의 투수계수(cm/sec)

L : 공시체 높이(cm)

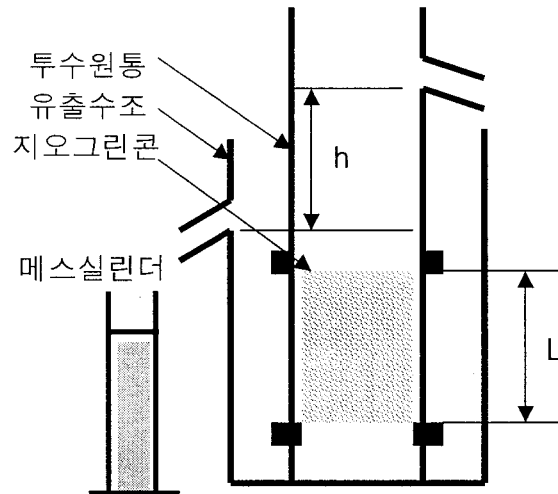
Q : 시간 t1에서 t2까지의 유출량(cm³)

h : 수위차(cm)

t1 : 측정개시시간(s)

t2 : 측정종료시간(s)

A : 공시체 단면적(cm²)



<그림 7-1> 투수시험장치

6) 내구성(동결융해성) 시험

ASTM C 666-92 (Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing) 및 KS F 2456-93 (급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 준하여 -17.8°C 에서 4.4°C 의 온도범위에서 공시체의 동결융해시험을 실시하였다. 동결융해 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270 및 300사이클에 있어서 공시체의 중량을 측정하였다. 더욱이 KS F 2437 (공명진동에 의한 콘크리트의 동탄성 계수, 동전단 탄성계수 및 동 포아송비의 시험방법)에 따라 처짐진동의 1차 공명진동수를 측정하였다. 공시체의 동탄성계수 및 상대동탄성계수를 다음 식에 의해 산출하였다.

$$\text{동탄성계수(N/mm}^2\text{)} = CWf_0^2 \text{ 또는 } CWf_n^2$$

$$\text{상대동탄성계수(\%)} = f_0^2/f_n^2 \times 100$$

$$\text{단, } C = 9.66 \times 10^{-4} \times L^3 T / b t^3 (\text{s}^2/\text{mm}^2)$$

여기서, W: 공시체의 질량(kg)

f_n : 동결융해 n사이클 후에 있어서 공시체의 처짐진동의 1차 공명진동수(Hz)

- f₀: 동결융해 0사이클에 있어서 공시체의 처짐진동의 1차 공명진동수(Hz)
- L: 공시체의 길이 (cm)
- b, t: b는 공시체 단면의 각변의 길이(cm), t는 진동방향 변의 길이(cm)
- T: 수정계수, 1.38]

동결융해 n 사이클에 있어서 공시체의 질량변화율은 다음 식에 의해 구하였다.

$$\text{질량변화율(\%)} = \frac{(W_o - W_n)}{W_o} \times 100$$

- 여기서, W_n: 동결융해 n사이클에 있어서 공시체의 질량(g)
- W_o: 동결융해 0사이클에 있어서 공시체의 질량(g)

동결융해 n 사이클에 있어서 공시체의 길이변화율은 다음 식에 의해 구하였다.

$$\text{길이변화율(\%)} = \frac{(x_{0_1} - x_{0_2}) - (x_{i_1} - x_{i_2})}{L_0} \times 100$$

- 여기에서, L₀ : 기준길이
- x₀₁, x₀₂ : 각각 기준으로 한 시점에서의 측정치
- x_{i1}, x_{i2} : 각각 시점 i에서의 측정치

그리고 ASTM C 666-92 및 KS F 2456-93에 규정되어 있는 급속동결융해시험에 대한 내구성지수를 다음 식에 의해 구하여 공시체의 내구성을 판정하였다.

$$\text{내구성지수} = \frac{P \times N}{M}$$

- 여기서, P: 동결융해 N사이클에 있어서의 공시체의 상대동탄성계수(%)
- N: P가 미리 정하여진 값(예를 들면, 60%)에 달하였을 때의 동결융해사이클수, 또는 P가 미리 정하여진 동결융해사이클수(예를 들면, 300)까지 P가 60%로 되지 않을 때는 그 때의 동결융해사이클수(예를 들면 300)
- M: 동결융해시험을 종료하는 소정의 동결융해 사이클수(예를 들면, 300)

7) pH 시험

재료의 pH 시험방법은 다음과 같이 여러 가지가 있다. 이중 본 연구에서는 세 번째 방법을 채택하여 시험하였으며, 이때 수중 침적기간은 7일간으로 실시하였다.

가) 물붓기에 의한 pH값 시험

다공성 콘크리트의 pH값을 측정하는 방법으로 주로 사용하는 방법이다. 물붓기에 의한 pH 측정하는 $\phi 10 \times 20 \text{cm}$ 공시체를 적정 재령으로 수중 양생한 후 상부에서 30ml의 증류수를 산포하여 하부에 흘러나온 증류수의 pH를 KS M 0011의 방법으로 측정하는 방법이다. 또한 $\phi 10 \times 20 \text{cm}$ 공시체를 사용하는 경우에는 60ml의 증류수를 산포한다.

나) 페이스트 분쇄에 의한 pH값 측정

다공성 콘크리트를 배합하는 때의 페이스트 만을 채취하여 얇은 판상으로 만들고(이때 골재를 코팅하고 있는 페이스트를 두께 정도로 만드는 것이 중요한데 만들기 어려움) 다공성 콘크리트와 똑같은 양생조건으로 양생을 시킨다. 그 후 측정 재령별로 굳은 페이스트 중 적당량을 떼어내어 분쇄한 후 페이스트 5~10g에 증류수 200ml를 혼합하여 잘 저은 후 pH를 측정한다.

다) 물속에 담그기에 의한 pH값 측정(토양산도 측정방법)

토양의 산도를 측정하는 방법과 같이 다공성 콘크리트와 증류수의 비율이 5~10g:200ml가 되도록 하여 약 1시간 동안 증류수 속에 다공성 콘크리트를 담근 후 pH를 측정하는 방법이다.

다. 시험결과

상기의 방법에 의하여 각 재료에 대하여 시험을 실시한 결과는 다음의 <표 7-4>에 나타내었다.

다음의 <표 7-4>에 나타낸 바와 같이 각 시공재료의 물성시험결과를 바탕으로 각 재료의 친환경적 특성 및 내구성 등을 평가한 결과, 기존의 시멘트 콘크리트 및 시멘트 모르타르 재료에 비교하여 포리스 콘크리트, 황토 모르타르 및 황토투수콘크리트 재료가 강도는 약간 떨어지나 내구성을 나타내는 동결융해시험에서는 거의 동등한 내구성을 지닐 수 있었다. 따라서 용배수로에 적용시 우려되었던 시공재료의 내구성은 문제되지 않을 것으로 판단되었다. 그리고 재료의 pH도

중성에 가까운 값을 나타내는 것으로 보아 식물의 생육에 적절한 조건을 제공해주므로써 보다 친환경적인 기반을 제공할 수 있을 것으로 판단되었다.

또한, 포러스 콘크리트 및 황토투수콘크리트 재료의 경우에는 기존의 다른 재료들과 비교하여 통수 및 통기가 가능한 재료로서 용배수구가 시공된 후 그 배면의 토양환경 개선에도 기여할 수 있을 것으로 판단되었다.

<표 7-4> 시공재료 시험결과

No	구분 명칭	시험결과					
		압축강도 (kgf/cm ²)	단위용적중량 (kg/m ³)	흡수율 (%)	공극율 및 투수계수 (%, cm/s)	내구성지수 (%) (동결융해시험:DF)	pH
1	시멘트콘크리트 (CC)	210	1885	5.5	-	82	13.2
2	시멘트모르타르 (CM)	210	2295	6.2	-	85	12.9
3	포러스콘크리트 (BPC)	185	2004	5.0	13.2%, 1.1cm/s	85	11.1
4	황토모르타르 (RM)	200	2251	5.8	-	83	9.2
5	황토투수콘크리트 (RPC)	180	1927	4.8	15.5%, 1.2cm/s	84	9.0

4. 친환경적인 용배수구에 적합한 제품설계

본 연구에서는 친환경적인 용배수구에 적합한 요구특성을 바탕으로 용수로 및 배수구에 각기 적용 가능한 재료를 선정하고 이를 이용한 제품 및 기초공법을 설계하였다.

가. 친환경적 설계 개요

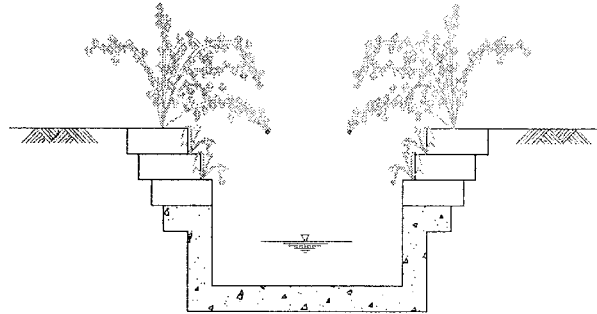
1) 친환경적 용수로 설계

가) 유량의 확보가 어려워 물의 손실을 허용해서는 안되며, 물을 공급하는 시기 이외의 기간에는 거의 물이 흐르지 않는 경우의 용수로

이 경우의 용수로는 친환경적인 측면에 대한 고려보다는 송수관로의 기능을 최우선으로 고려한 기존의 콘크리트 폴립관의 형태가 가장 바람직할 것으로 판단된다.

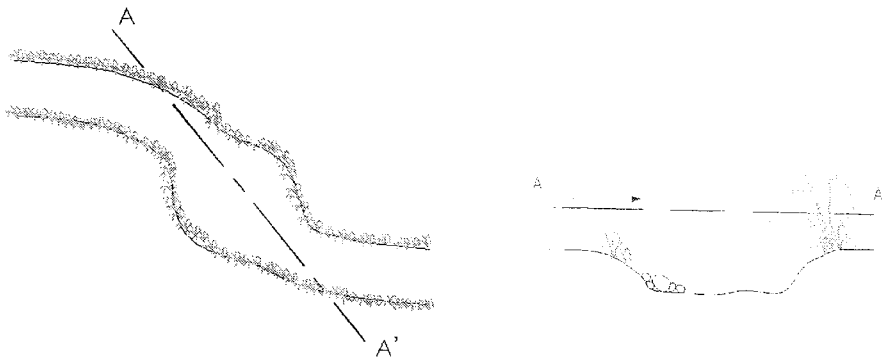
나) 어느 정도의 용수의 손실을 허용할 수 있으나 일정 시기 이외에는 물이 거의 흐르지 않는 경우의 용수로

- ☞ 용수로의 바닥부와 측면부의 일부까지는 불투수층을 조성하고, 수로의 측면부에 식물의 도입공간을 조성할 수 있다.



<그림 7-2> 용수로 설계결과-1

다) 어느 정도의 용수의 손실을 허용할 수 있고 물이 지속적으로 또는 간헐적으로 흘러서 수서생물이 생존할 수 있는 경우의 용수로



<그림 7-3> 용수로 설계결과-2

- ☞ 위 나)의 예와 같이 수로를 조성하며, 중간 중간에 Biotope을 조성하여 갈 수기에 수서생물이 생존할 수 있는 서식공간을 확보한다.

2) 친환경적 배수로 설계

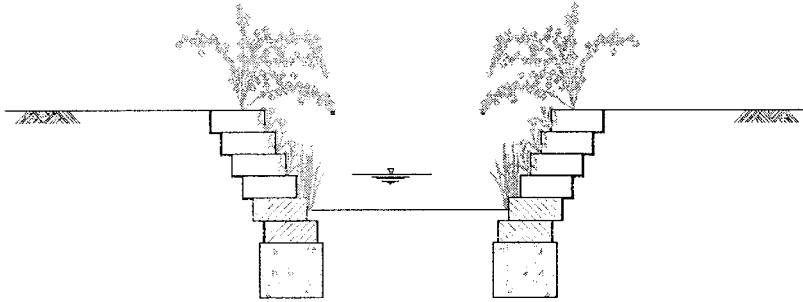
가) 제방사면의 기울기가 45도 이상의 급경사인 경우

(제방부지의 확보가 어렵거나 통수 단면적의 확보를 위하여 제방의 기울기를 45도 이상의 급경사 사면을 조성한 경우)

- 기존의 공법은 콘크리트 라이닝, 콘크리트 블록식 옹벽, 돌쌓기(찰쌓기), 풀림관 등의 공법을 주로 사용한다.
- 식물의 생육이 불가능하여 매우 삭막한 경관을 조성한다.
- 양서류, 파충류 등의 수서생물들의 이동통로가 차단되어 생태적 단절을 가져온다.

☞ 제안하고자 하는 공법

- 식재공간을 갖는 조립식 식생옹벽블록을 사용하여 수로 측면부에 식생 도입공간을 조성한다.



<그림 7-4> 배수로 설계결과-1

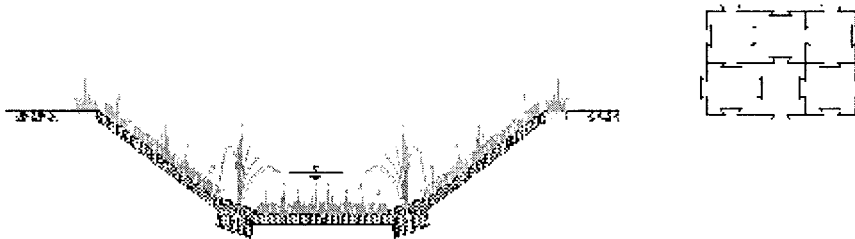
나) 제방사면의 기울기가 45도 이하의 완경사인 경우

(1) 수로의 폭이 2m 이내로 좁은 경우

- 거의 대부분의 경우 콘크리트 호안블록을 사용하여 시공한다.
- 콘크리트 줄기초를 해야 하므로 바닥 전체를 들어내어야 하며, 생태적 단절을 가져오게 할 뿐만 아니라 시공비도 많이 소요된다.

☞ 제안하고자 하는 공법

- 기초를 하지 않는 대신에 수로의 바닥을 투수성 재료(13-19mm)로 시공하여 과도한 식물의 번식을 방지한다.
- 사면부는 20-25mm의 골재를 사용한 다공성 황토블록을 사용하여 선택적으로 주변의 식물이 도입되도록 한다.
- 사면부와 바닥부가 만나는 곳은 두께가 두꺼운 다공성 황토블록을 사용하고 이곳에 한정적으로 고마리 등과 같은 수생식물이 도입되도록 하여 물고기의 서식공간을 확보하여 더불어 수질정화의 효과를 갖도록 한다.
- 바닥부와 사면부가 전체적으로 일체화 될 수 있게 블록간의 연결이 가능하도록 한다.
- 황토블록이므로 자연스러운 경관이 조성되며, 별도의 녹화를 하지 않으면 시간이 지나면서 공극이 충전되고 작은 식물들 위주로 정착이 이루어진다.



<그림 7-5> 배수로 설계결과-2

(2) 수로의 폭이 2m 이상으로 넓은 경우

수로의 폭이 충분히 확보된 배수로의 경우는 일반 소하천의 경우와 마찬가지로 자연형 하천공법을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 친환경적 배수로에 적합한 다공성 황토블록의 제품 설계 및 개발

본 연구에서는 친환경적 배수로에 적용하기 위한 제품을 설계, 개발하는 연구를

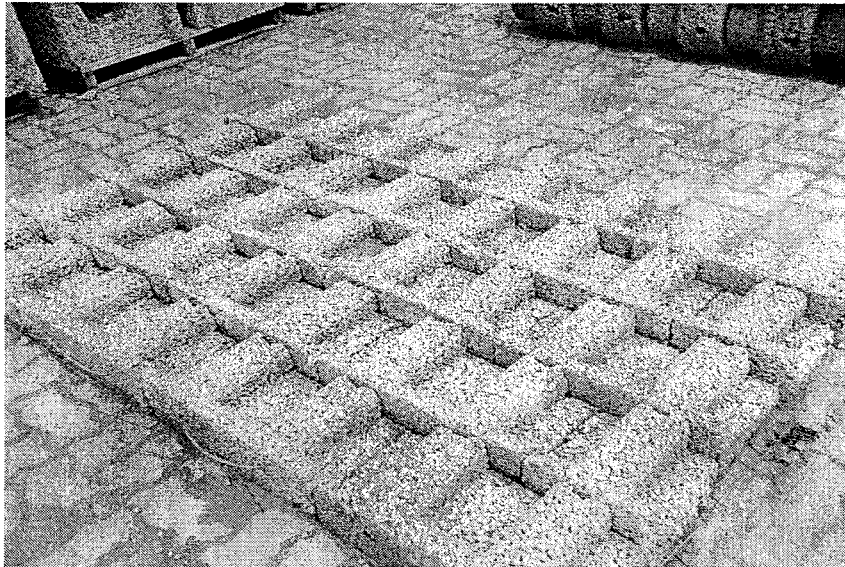
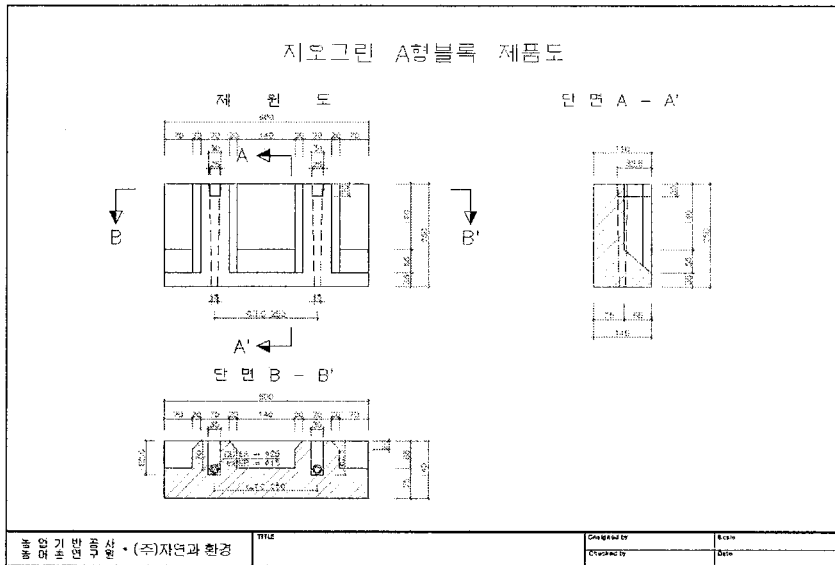
수행하였다. 그 대상으로는 수로의 사면부, 바닥부, 기초부 및 천단부에 적용되는 제품을 포함하여 총 8종류의 제품을 개발하였다.

각각의 제품에 대한 설계 및 개발방향으로 설정한 사안으로는 다음과 같은 것들을 충분히 고려하여 개발에 임하였다.

- 다공성 제품을 사용함으로써 친환경적인 효과를 증대시킨다.
- 사용골재의 입도 조절을 통하여 제품의 공극 크기를 변화시키므로써 식생의 빈도를 조절할 수 있도록 한다.
- 제품을 각면별로 철선으로 일체화시켜(사면부 및 바닥부 각각 철선으로 일체화) 수리학적 안정성을 확보한다.
- 기초 대응블럭을 서로 연결하여 일체화시키므로써 사면부와 바닥부의 연결부위를 처리하여 기존의 무근콘크리트 기초를 대신할 수 있도록 한다.
- 모든 제품을 시멘트를 사용하지 않고 천연황토를 사용하여 제조하므로써 친환경적인 소재로 개발한다.
- 배수로를 친환경적으로 조성하기 위하여 사면부에는 식생을 도입하고, 바닥부에는 식생의 도입을 억제할 수 있는 제품을 개발한다.

1) 사면 안정용 블럭(에코셀)

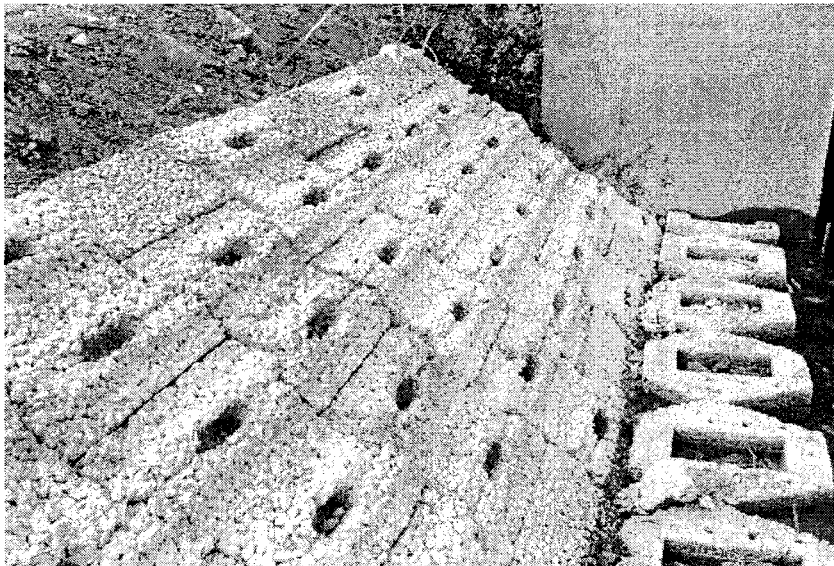
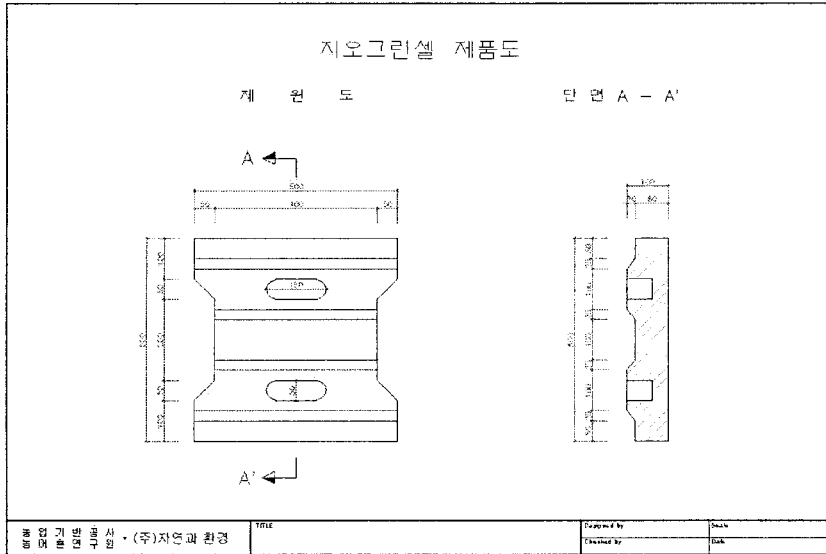
- 천연황토를 사용하여 제조하므로써 친환경적인 소재로 개발한 제품.
 - 철선을 끼워 블럭 상호간을 연결하여 일체화시킬 수 있도록 측면에 구멍이 형성되어 있는 제품.
 - 제품의 윗면에는 홈이 형성되어 있어서 시공후 복토를 하므로써 자연스럽게 식생의 도입이 가능하도록 한 제품.
 - 제조시 사용하는 골재의 입도를 변화시키므로써 식생의 조절이 가능하도록 한 제품(골재 입도 20-25mm는 식생 도입용, 골재 입도 8-13mm 식생 억제용).
- 따라서 식생 도입이 필요한 사면부와 식생이 억제되어야 하는 바닥부에 선택적으로 사용이 가능하다.



<그림 7-6> 사면 안정용 블록(에코셀)

2) 사면 안정용 블록(황토 지오그린셀)

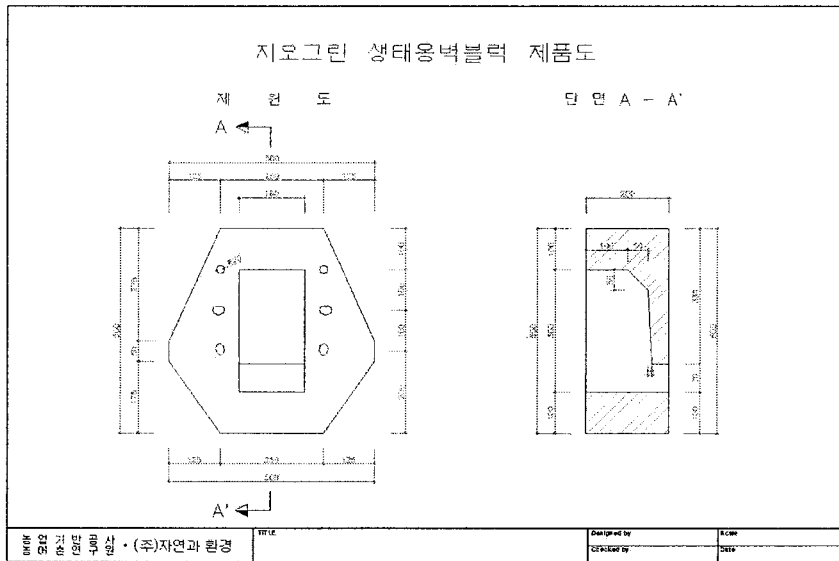
- 천연황토를 사용하여 제조하므로써 친환경적인 소재로 개발한 제품.
- 사면부에 시공하여 사면의 안정성을 확보하도록 제조된 I형 호안블록으로써 복토나 녹화시공을 통하여 식생의 도입이 가능함.
- 기존의 자연형 하천에 시공되었던 지오그린셀을 시멘트를 사용하지 않고 천연 황토를 사용한 황토바인더를 사용하여 보다 친환경적으로 개발한 제품.

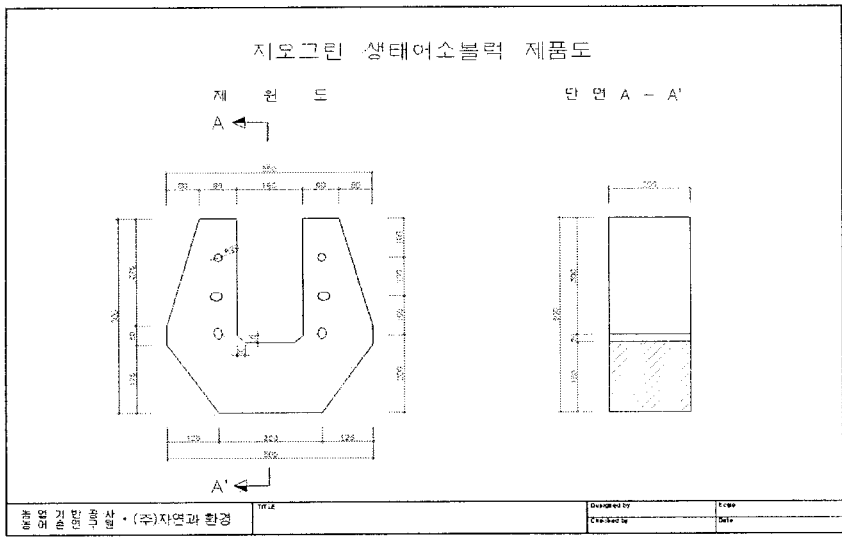


<그림 7-7> 사면 안정용 블록(황토 지오그린셀)

3) 수층부 안정용 블록(지오그린 황토옹벽/어소블록)

- 천연황토를 사용하여 제조하므로써 친환경적인 소재로 개발한 제품.
- 물의 흐름이 빠른 수층부의 안정성을 확보 가능하도록 제조된 제품으로 쌓기 후 아연도 강봉으로 전체를 일체화시켜 수리적인 안정성을 확보함. 또한 화분 모양의 식생공간을 가지므로 식생을 도입하여 친환경적인 경관을 형성할 수 있음.
- 바닥부에 시공되는 황토어소블록은 어소공간을 확보하도록 설계되어 있어 물 고기의 은신처 및 산란처 등을 제공할 수 있음.

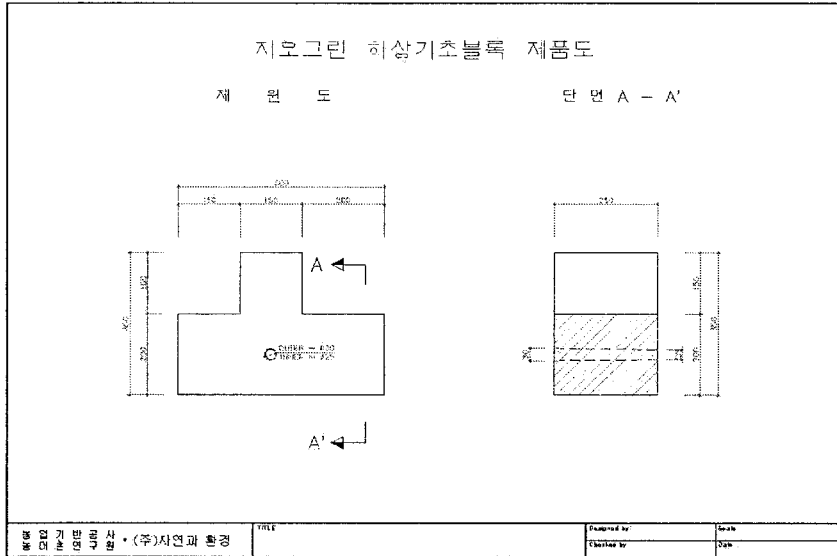




<그림 7-8> 수층부 안정용 블럭(지오그린 황토옹벽/어소블럭)

4) 기초 대응 블록(황토 기초블록)

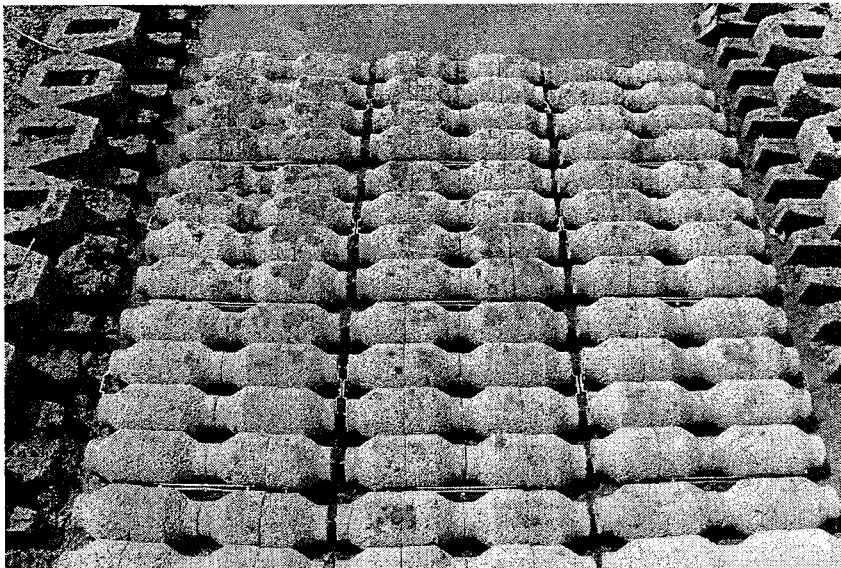
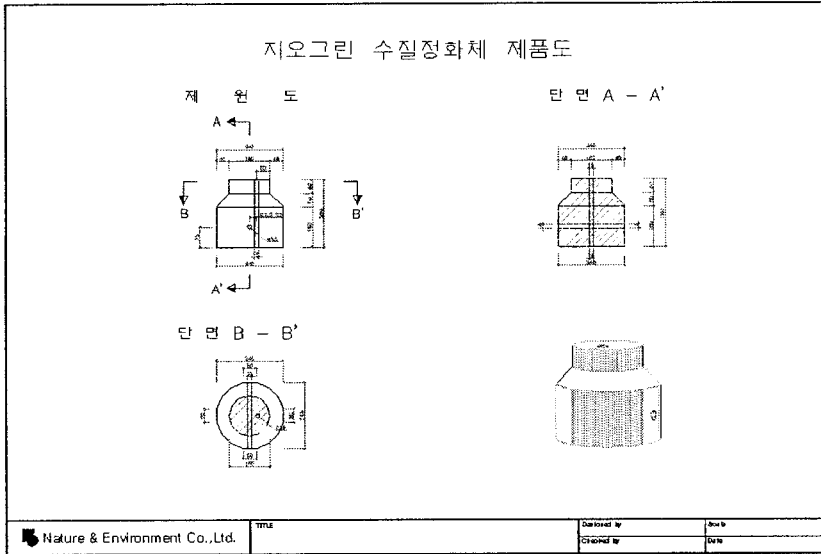
- 천연황토를 사용하여 제조하므로써 친환경적인 소재로 개발한 제품.
- 시공시 반드시 들어갈 수 밖에 없었던 무근 콘크리트 기초를 대신할 수 있도록 개발된 제품으로 측면부에 구멍을 형성하여 철근을 끼우므로써 전체를 일체화시켜 무근 콘크리트 기초 타설공정을 생략할 수 있음.
- 또한, 사면부와 바닥부에 시공되는 다공성 황토블록(사면 안정용 블록)을 연결 처리할 수 있어 수리학적 안정성을 더욱 확보할 수 있음.



<그림 7-9> 기초 대응블록(황토기초블록)

5) 세굴방지용 황토수질정화블록

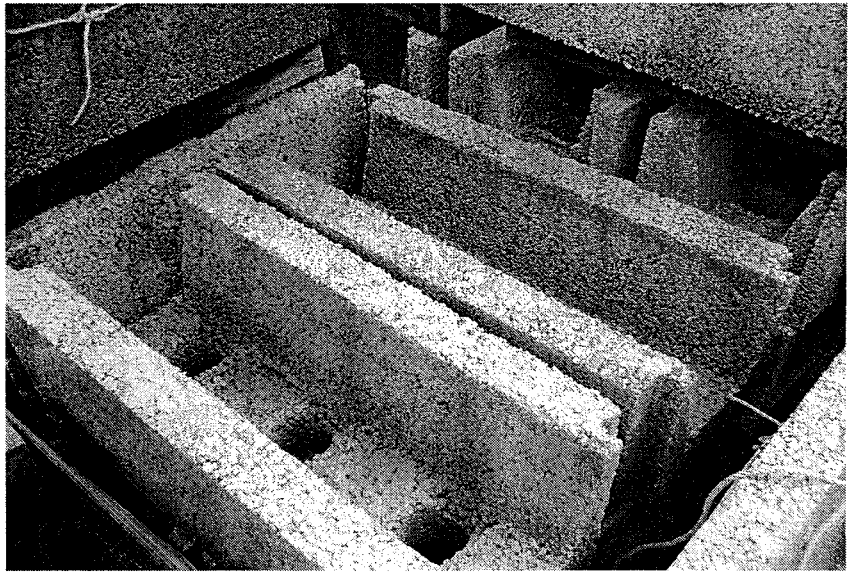
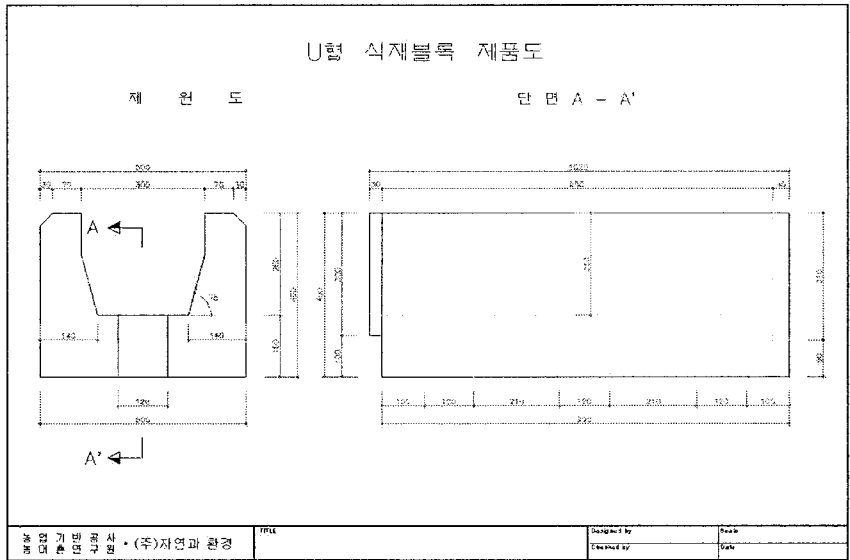
- 천연황토를 사용하여 제조하므로써 친환경적인 소재로 개발한 제품.
- 천연황토를 사용하고 다공질의 재질로 제조된 제품으로 조합 시공시 형성되는 간극으로 물의 흐름이 생기게 하여 다공질의 표면 및 내부 공극에서 서식하는 미생물에 의한 효과와 다공질 표면에서의 자연포기 효과에 의한 수질정화를 꾀할 수 있는 제품임.
- 또한, 철근 또는 와이어로 일체화시켜 시공하므로써 세굴이 우려되는 부분에 시공시 세굴방지효과를 이룰 수 있음.



<그림 7-10> 세굴방지용 황토수질정화블록

6) 천단용 다공성 황토경계식재블록(U형 황토경계식재블록)

- 천연황토를 사용하여 제조하므로써 친환경적인 소재로 개발한 제품.
- 사면부와 도로부의 경계에 시공하여 친환경적인 경관 조성용 경계블록으로의 역할을 하면서도 호안블록의 천단콘크리트를 대신할 수 있도록 개발된 제품임.



<그림 7-11> 천단용 다공성 황토경계식재블록(U형 황토경계식재블록)

상기에 설명한 8종류의 개발 제품들에 대한 제품 제원 및 물성은 다음의 <표 7-5>에 나타내었다.

<표 7-5> 개발제품의 제원 및 물성

제 품 명	규격 (mm)	중량 (kg/EA)	끌재입도 (mm)	전공극률 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)
황토 지오그린셀	500*500*100	35	20-25	20 이상	100 이상
지오그린 황토옹벽블록	500*500*200	50	8-13	15 이상	150 이상
지오그린 황토어소블록	500*500*200	50	8-13	15 이상	150 이상
에코셀 A형	500*250*140	30	8-13	15 이상	150 이상
에코셀 B형	500*250*140	30	20-25	20 이상	100 이상
황토 기초블록	500*250*350	60	잔갈래 사용	-	200 이상
황토 수질정화블록	300*300*300	30	8-13	15 이상	150 이상
황토경계식재블록	1000*500*400	300	8-13	15 이상	150 이상

2절 친환경 배수로공법 시험수로 조성 및 모니터링

현재까지 친환경적인 정비사업을 하기 위한 표준적인 시공방법이나 공법 및 재료 선정에 관한 기준이 마련되어있지 않아 시공현장에서 사용되고 있는 자연친화적 설계나 자연친화형 토목재료들은 대부분 외국에서 사용되고 있는 공법이나 재료를 그대로 사용하거나 모방하여 생산하고 있는 실정이다. 그 결과 국내의 수리수문학적 특성에 맞지 않아 시공 후 시설물이 파괴되거나 유지관리비가 공사비용을 초과하는 경우도 발생하고 있다.

국내에서 실시된 자연친화적 하천정비사업은 주로 도시지역의 하천을 대상으로 실시되었기 때문에 농촌지역의 배수로를 대상으로 한 사업은 전무한 실정이다. 따라서 도시지역의 하천을 대상으로 적용된 공법들을 그대로 배수로에 적용하는 것은 다소 무리가 있을 것이다. 또한 사용재료나 식생도 가능한 한 그 지역에서 구입할 수 있는 것을 사용하는 것이 바람직하다.

본 연구는 배수로의 성격을 띠는 농어촌연구원내 수로구간에 대해 친환경적 시험수로 공법 적용후의 식생현황을 2년간 모니터링한 결과로서 현존량과 우점종의 변화를 고찰하였고, 본 연구 결과는 공법을 적용한 배수로의 정량적인 자료로서 장래 친환경적 복원을 위한 배수로 정비 계획수립에 기초 자료로서 매우 유용할 것으로 판단된다.

1. 친환경 배수로공법 시험수로 조성계획

가. 시험수로 조성계획

본 연구에서는 상기한 개발 제품들을 대상으로 하여 각각의 제품의 시공성 및 가능성을 평가하기 위하여 시험수로를 설계하고, 이를 바탕으로 농어촌연구원 내 배수로에 약 45M 구간을 시험 시공하였다.

설계 및 시공된 구간은 크게 5구간으로 나뉘어 시공하였는데, 세부적으로는 다공성 황토옹벽/어소블록을 이용한 구간, 다공성 황토옹벽/어소블록 및 황토 지오그린셀을 이용한 구간, 골재입도를 달리한 다공성 황토블록을 이용한 3구간으로 구성되었다. 또한, 배수의 낙차가 이루어지는 수로의 바닥부 일부에는 세굴방지 및 수질개선을 위한 세굴방지용 황토수질정화블록을 설치하였다.

<표 7-6> 시험수로 조성계획

수로 시점부

수로 종점부

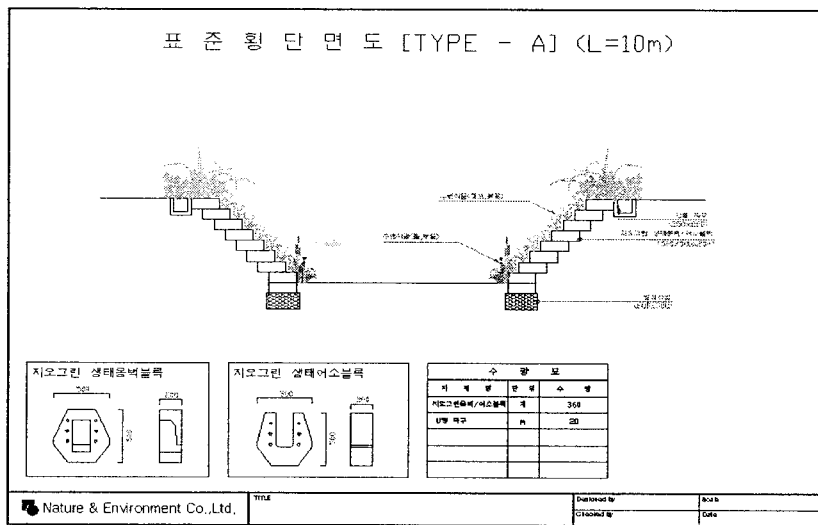
Type A (6M)	Type B (12M)	Type C (12M)	Type D (5M)	Type E (10M)
----------------	-----------------	-----------------	----------------	-----------------

구 분	Type A	Type B	Type C	Type D	Type E	
적 용 제 품	황토 지오그린셀				○	
	다공성 황토옹벽블록				○	○
	다공성 황토어소블록				○	○
	다공성 황토블록(8-13mm)	○	○			
	다공성 황토블록(20-25mm)	○		○		
	황토 기초블록	○	○	○		
	황토수질정화블록				○	
	황토경계식재블록	○	○	○		
녹화 및 식재계획	1. Plain 2. 충전 3. 충전+복토+녹화			옹벽:식물식재 셀:충진+복토+녹화	옹벽 식물식재	

나. 시범수로 조성단면 계획

1) 황토옹벽/어소블록 공법(Type A)

하상 바닥은 자연 상태로 유지하고 수층부 및 사면부만을 화분 모양의 식생공간을 지녀 식물 도입이 가능한 다공성 황토옹벽블럭을 설치하는 단면으로 천연황토를 이용한 황토 바인더를 이용하여 제조한 다공성 황토옹벽블럭을 사용하여 기존의 시멘트 제품들이 가지는 비환경친화적인 문제점들을 배제하였다. 또한 다공성 황토옹벽블럭은 기존의 옹벽블럭의 구조적 기능을 유지하면서 식재가 가능하도록 설계하여 수층부의 수리적인 안정성을 만족시키면서 식물 식재를 통하여 친환경적인 경관을 조성할 수 있다.

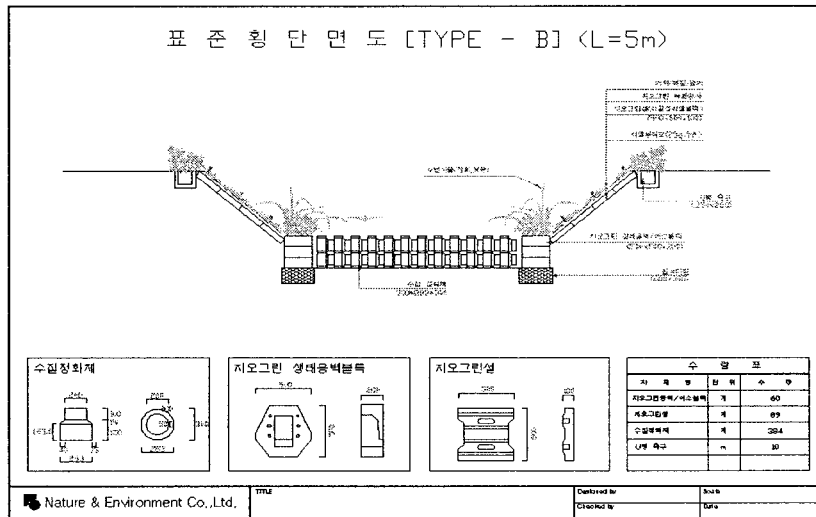


<그림 7-12> 황토옹벽/어소블록 공법

2) 황토지오그린셀 공법(Type B)

수질정화 및 세굴방지를 위한 다공성 황토수질정화블럭을 하상바닥에 설치하고 수층부 및 사면부에 다공성 황토옹벽블럭 및 황토 지오그린셀을 적용하고 녹화를 실시하는 단면으로 천연황토를 이용한 황토바인더를 이용하여 제조한 식생 및 수질정화블럭을 사용하여 기존의 시멘트 제품들이 가지는 비환경친화적인 문제점들을 배제하였다. 또한 황토 지오그린셀은 사면부에 깔기 공사가 끝나면 블록의 공극에 배양 충전제를 충전하고, 그 상부에 배양토양층을 조성한 후에 종자를 살포하므로써 식생이 활착하도록 하였다. 다공성 황토옹벽블럭은 기존의 옹벽블럭의 구조적 기능을 유지

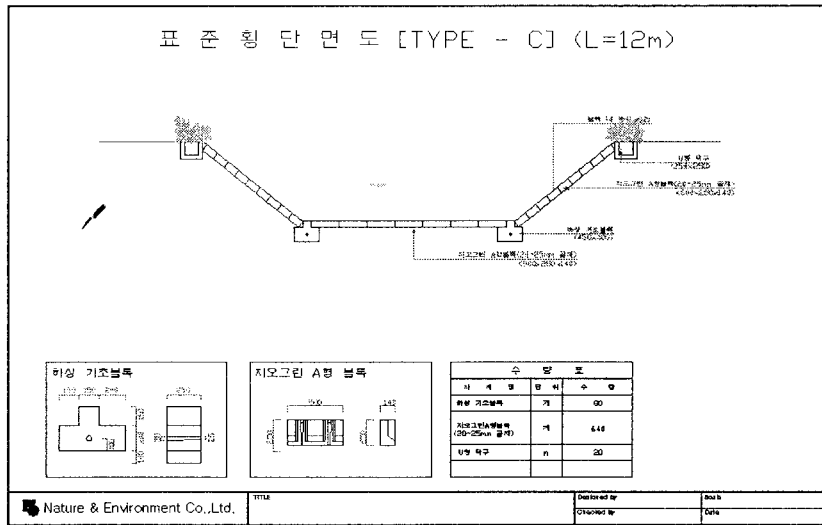
하면서 식재가 가능하도록 설계하여 수층부의 수리적인 안정성을 만족시키면서 식물 식재를 통하여 친환경적인 경관을 조성할 수 있다. 다공성 황토수질정화블록은 시공 후 조합 및 결합방법에 의하여 형성되는 간극의 작용으로 물의 흐름에 따라 여울이 조성되어 자연 포기 기능을 수행하고 다공질의 표면에서는 미생물 등에 의한 접촉산화 등의 기능을 수행하여 수질정화기능을 개선시키고, 궁극적으로는 전체의 블록들이 일체화 시공되므로써 낙차공 등에서는 세굴방지기능을 발휘할 수 있다.



〈그림 7-13〉 황토지오그린셀 공법

3) 에코셀(20-25mm) 공법(Type C)

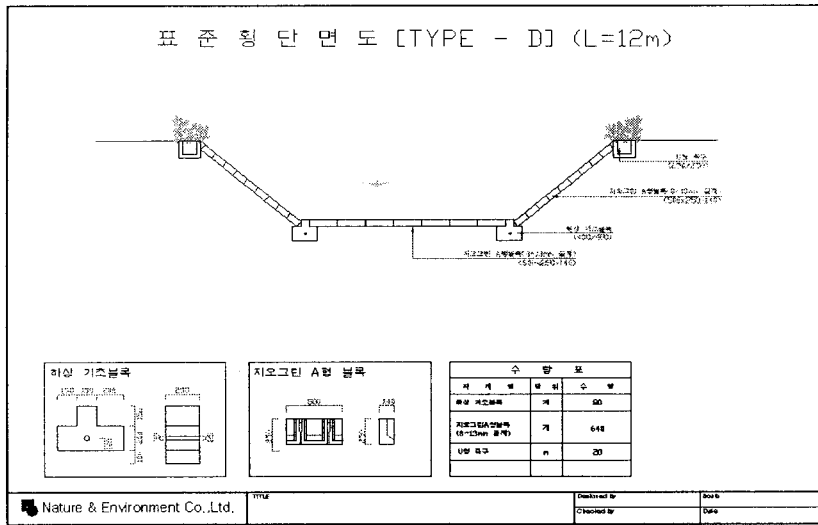
하상 및 사면부에 식물이 유입될 수 있는 20-25mm 입도의 골재를 사용하여 제조한 다공성 황토블록을 철선을 사용하여 일체화시켜 설치하고 무근 콘크리트 기초 타설 공정을 대신할 수 있는 황토기초블록을 적용하는 단면으로 천연황토를 이용한 황토바인더를 이용하여 제조한 다공성 황토블록을 사용하여 기존의 시멘트 제품들이 가지는 비환경친화적인 문제점들을 배제하였다. 또한 다공성 황토블록은 20-25mm의 큰 입도의 골재를 사용하여 공극의 크기가 크게 형성되도록 제조한 블록을 이용하므로써 자연스러운 식물의 유입을 유도할 수 있다. 그리고 식생유도를 위해 블록의 공극에 배양 충전제를 충전하고 그 상부에 배양토양층을 조성한 후에 종자를 살포하므로써 식생이 활착하도록 처리 하였으며 자연적인 유도를 위해 비처리한 구간으로 구분하였다.



〈그림 7-14〉 에코셀(20-25mm) 공법

4) 에코셀(8-13mm) 공법(Type D)

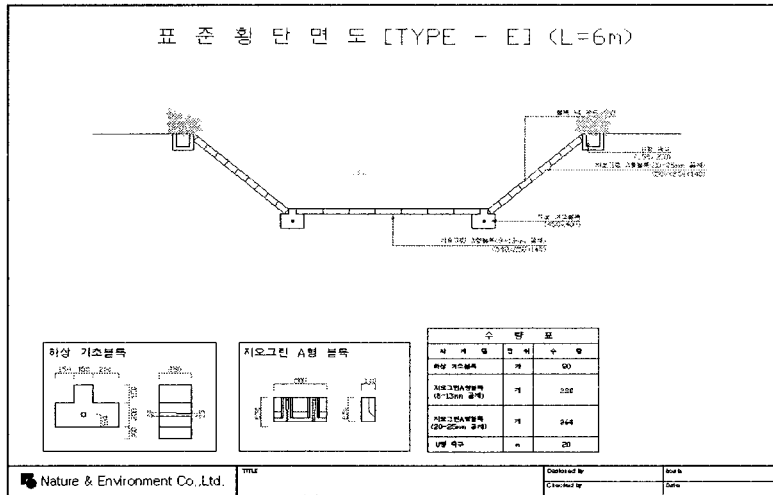
하상 및 사면부에 식물이 유입되기 어려운 8-13mm 입도의 골재를 사용하여 제조한 다공성 황토블록을 철선을 사용하여 일체화시켜 설치하고 기초를 대신할 수 있는 기초블록을 적용하는 단면으로 천연황토를 이용한 황토바인더를 이용하여 제조한 다공성 황토블록을 사용하여 기존의 시멘트 제품들이 가지는 비환경친화적인 문제점들을 배제하였다. 또한 다공성 황토블록은 8-13mm의 작은 입도의 골재를 사용하여 공극의 크기가 작게 형성되도록 제조한 블록을 이용함으로써 식물의 유입을 억제할 수 있다. 그리고 식생유도를 위해 블록의 공극에 배양 충전제를 충전하고 그 상부에 배양토양층을 조성한 후에 종자를 살포함으로써 식생이 활착하도록 처리하였으며 자연적인 유도를 위해 비처리한 구간으로 구분하였다.



〈그림 7-15〉 에코셀(8-13mm) 공법

5) 에코셀(8-13/20-25mm 혼합) 공법(Type E)

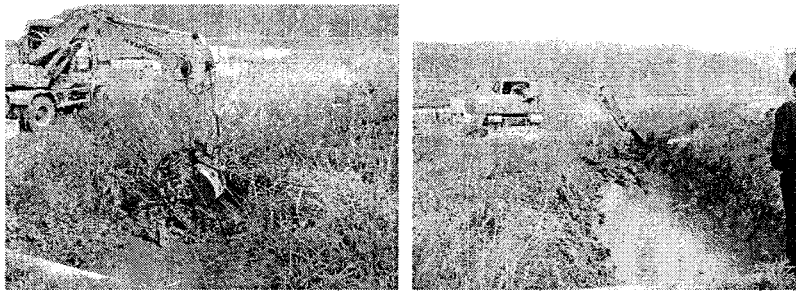
하상에는 식물이 유입되기 어려운 8-13mm 입도의 골재를 사용하여 제조한 다공성 황토블록을 철선을 사용하여 일체화시키고, 사면부에는 식물이 유입될 수 있는 20-25mm 입도의 골재를 사용하여 제조한 다공성 황토블록을 철선을 사용하여 일체화시켜 설치하며 기초를 대신할 수 있는 기초블록을 적용하는 단면으로 천연황토를 이용한 황토바인더를 이용하여 제조한 다공성 황토블록을 사용하여 기존의 시멘트 제품들이 가지는 비환경친화적인 문제점들을 배제하였다. 또한 바닥부에 시공되는 다공성 황토블록은 8-13mm의 작은 입도의 골재를 사용하여 공극의 크기가 작게 형성되도록 제조한 블록을 이용하므로써 식물의 유입을 억제할 수 있고, 사면부에 시공되는 다공성 황토블록은 20-25mm의 큰 입도의 골재를 사용하여 공극의 크기가 크게 형성되도록 제조한 블록을 이용하므로써 자연스러운 식물의 유입을 유도할 수 있다.



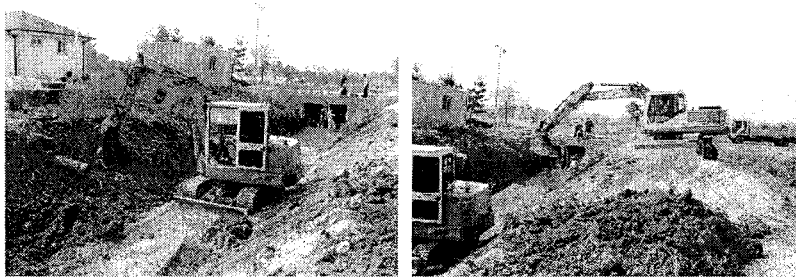
<그림 7-16> 에코셀(8-13mm/20-25mm 혼합) 공법

2. 친환경 배수로공법 시험수로 시공

가. 기초 토공사



배수로 단면 조성



사면 고르기 작업

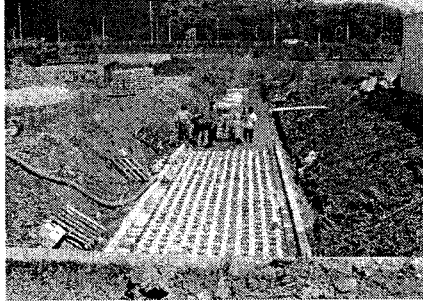
배수로 바닥 쇄석 포설

<그림 7-17> 시험수로 기초 토공사

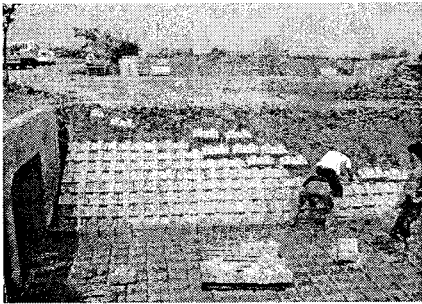
나. 블록 깔기 공사



기초블록 깔기



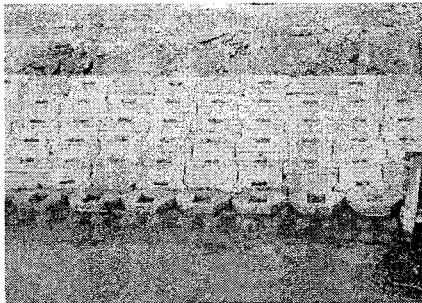
바닥용 다공성 황토블록 깔기



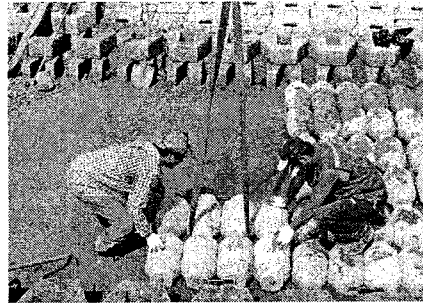
사면용 다공성 황토블록 깔기



다공성 황토옹벽/어소블럭 깔기



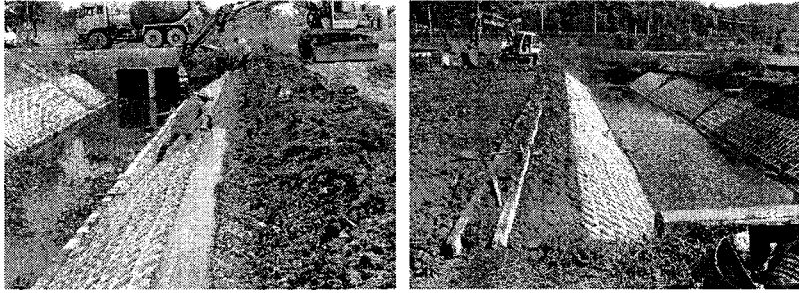
황토 지오그린셀 깔기



세굴방지용 황토수질정화블록 깔기

<그림 7-18> 시험수로 블록 깔기공사

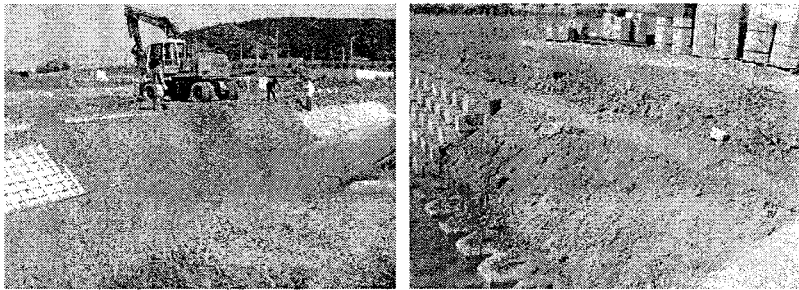
다. 수로 천단 마무리 공사



천단 콘크리트 타설 작업 다공성 황토경계식재블록 깔기

<그림 7-19> 시험수로 천단 마무리공사

라. 블록 충전 및 복토공사

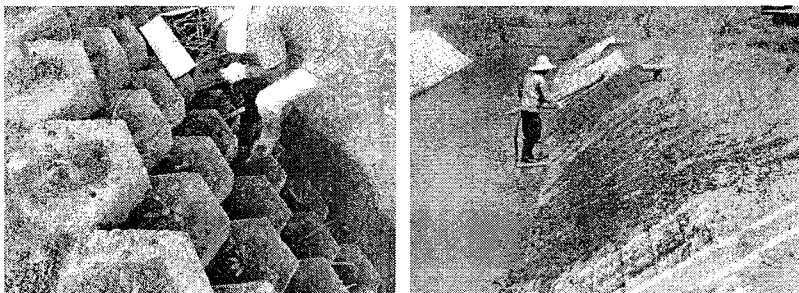


에코셀 충전 및 복토

황토지오그린셀 복토

<그림 7-20> 시험수로 블록충진 및 복토공사

마. 식물 식재 및 녹화공사

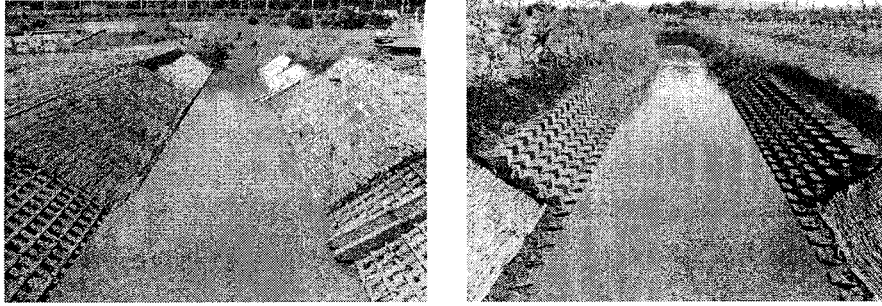


다공성 황토옹벽블록 식물 식재

에코셀 녹화 피복

<그림 7-21> 시험수로 식물식재 및 녹화공사

바. 시험수로 조성 전경



시험수로 조성 전경

<그림 7-22> 시험수로 조성전경

3. 친환경 시험수로의 생태학적 모니터링

가. 개요

본 연구의 다공성 황토블록을 이용한 배수로공법 시험수로는 2003년 5월말에 시공하였으며, 대상수로의 모니터링은 공법 적용구간에 방형구법을 이용하여 0.5m*0.5m 각각 2개씩 설치하고 2003년 9월과 2004년 6월에 식생부문을 중심으로 2회에 걸쳐 현재 출현하는 식물의 종류 및 우점도를 조사하였다. 방형구 내의 모든 식생은 지상부를 수확종 별로 분류한 다음 85℃에서 3일 이상 건조시킨 후 측정하여 종별 현존량으로 하여 조사하였으며, 식물의 동정 및 분류는 이창복의 대한식물도감을 참조하였다.

공법이 적용된 후 충진/녹화를 처리한 구간과 비처리구간 및 식재 구간에 대하여 2003년 및 2004년에 걸쳐 연도별 우점종과 현존량의 변화, 종다양성의 변화를 고찰하였다. 우점종은 조사지점의 개체별 현존량에서 선정하였으며 종다양성 계산을 위해 사용된 식은 아래와 같다.

$$\text{Shannon-weaver function : } H' = \sum P_i (\ln P_i)$$

H' : 다양도, P_i : I번째에 속하는 종의 개체수의 비율(n_i/N)

N : 군집내의 전 개체수, n_i : 각 종의 개체수

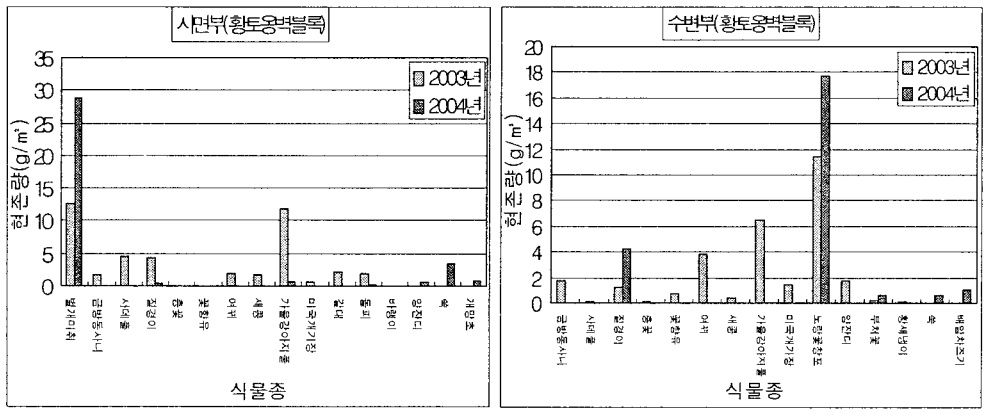
위의 식에 개체수에 해당되는 N을 본 조사에서는 지상부 현존량을 대입하여 계산하였다.

나. 결과 및 고찰

1) 공법 적용후 종의 분포 현황

가) 식재 공법 적용구간

친환경 배수로 공법 적용후 식재 구간인 황토옹벽블록 공법의 식생 자료를 살펴 보면 2003년 조사에서는 사면부에 벌개미취, 가을강아지풀, 사데풀, 질경이 등이 각각 12.74g/m², 11.76g/m², 4.57g/m², 4.38g/m²로 나타났고 같은 해 수변부에는 노랑꽃창포, 가을강아지풀, 여뀌, 양잔디 등이 각각 11.42g/m², 6.50g/m², 3.78g/m², 1.75g/m²로 나타났다. 2004년 사면부에서는 벌개미취, 쑥, 개망초, 가을강아지풀의 평균 현존 생물량이 각각 28.83g/m², 3.51g/m², 0.92g/m², 0.66g/m²로 나타났으며 수변부에서는 노랑꽃창포, 질경이, 배암차즈기, 부처꽃 등의 현존량이 각각 17.74g/m², 4.21g/m², 1.06g/m², 0.63g/m²로 나타났다. 상기의 조사결과를 <그림 7-23>에 log scale로 도시하였다.

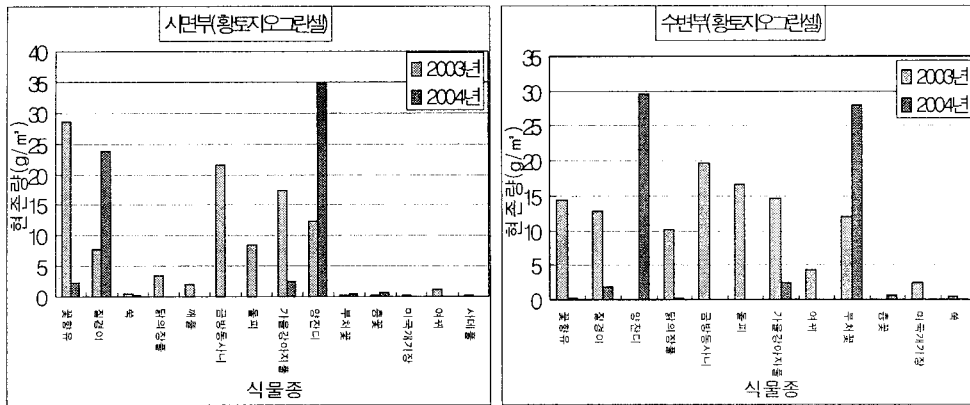


<그림 7-23> 황토옹벽 식재 공법 출현종의 현존량 변화

나) 녹화 공법 적용구간

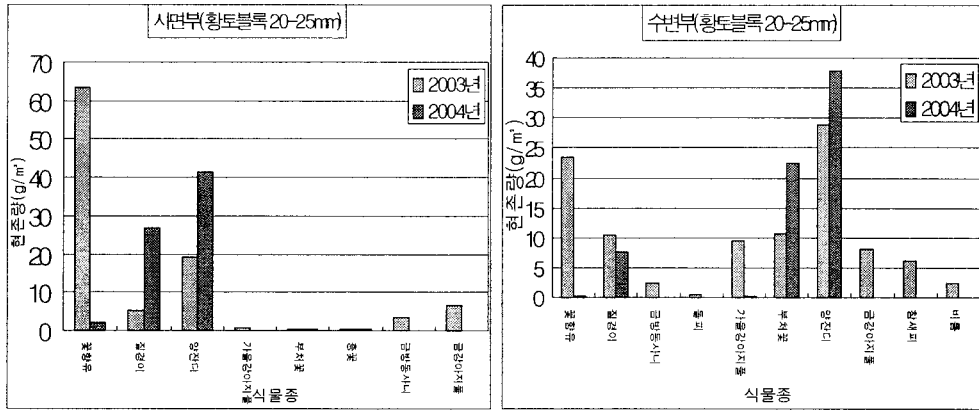
친환경 배수로 공법 적용 후 녹화공법 적용구간인 황토지오그린셀 공법, 황토블록(20-25mm) 공법 및 황토블록(8-13mm) 공법 구간 중에서 황토 지오그린셀과 녹화공법 적용 구간의 2003년 조사에서는 사면부에 꽃향유, 금방동사니, 가을강아지풀, 양잔디 등의 평균생물 현존량이 각각 28.56g/m², 21.53g/m², 17.43g/m², 12.35g/m²로 나타났고 같은 해 수변부에는 금방동사니, 돌피, 가을강아지풀, 꽃향유 등이 각각 19.61g/m², 16.58g/m², 14.63g/m², 14.39g/m²로 나타났다. 2004년 조사 사면부에서는 양잔디, 질경이, 가을강아지풀, 꽃향유 등의 평균 현존 생물량이 각각 34.78g/m²,

23.76g/m², 2.42g/m², 2.37g/m²로 나타났으며 수변부에서는 양잔디, 부처꽃, 가을강아지풀, 질경이 등의 현존량이 각각 29.46g/m², 27.95g/m², 2.40g/m², 1.81g/m²로 조사되었다(그림 7-24).



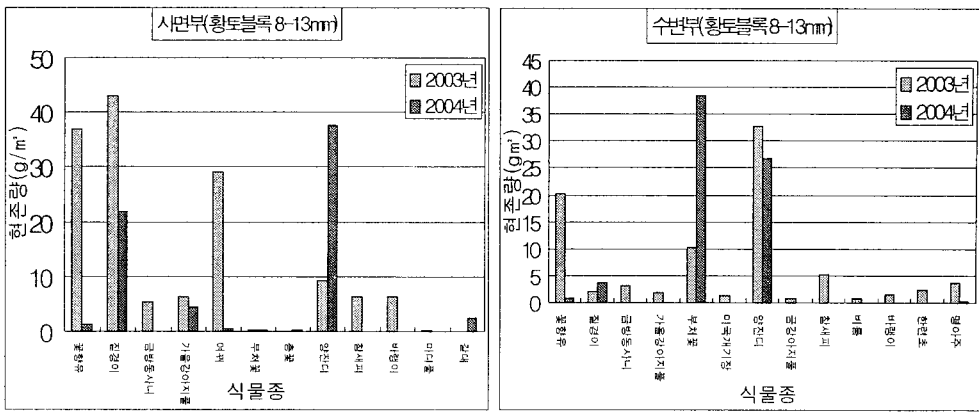
<그림 7-24> 황토지오그린셀 녹화 공법 출현종의 현존량 변화

황토블록(20-25mm) 공법중 녹화공법 적용 구간의 2003년 조사에서는 사면부에 꽃향유, 양잔디, 금강아지풀, 질경이 등의 현존량이 각각 63.36g/m², 19.04g/m², 6.78g/m², 5.36g/m²로 나타났고 같은 해 수변부에는 양잔디, 꽃향유, 부처꽃, 질경이 등이 각각 28.76g/m², 23.36g/m², 10.70g/m², 10.42g/m²로 나타났다. 또한, 2004년 조사 사면부에서 양잔디, 질경이, 꽃향유, 총꽃 등의 평균 현존 생물량이 각각 41.50g/m², 26.70g/m², 2.17g/m², 0.20g/m²로 나타났으며 수변부에서는 양잔디, 부처꽃, 질경이, 꽃향유 등의 평균 현존량이 각각 37.90g/m², 22.40g/m², 7.48g/m², 0.21g/m²로 조사되었다(그림 7-25).



<그림 7-25> 황토블록(20-25mm) 녹화 공법 출현종의 현존량 변화

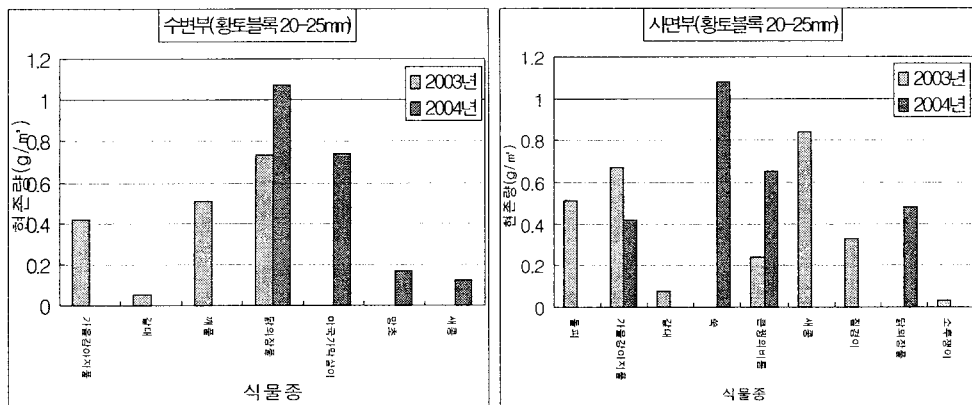
황토블록(8-13mm) 공법 녹화공법중 적용 구간의 2003년 조사에서는 사면부에 질경이, 꽃향유, 여뀌, 양잔디 등이 각각 43.00g/m², 36.86g/m², 29.18g/m², 9.18g/m²로 나타났고 같은 해 수변부에는 양잔디, 꽃향유, 부처꽃, 참새피 등의 평균 현존 생물량이 각각 32.64g/m², 20.24g/m², 10.12g/m², 5.32g/m²로 나타났다. 또한, 2004년 조사 사면부에서는 양잔디, 질경이, 가을강아지풀, 갈대 등의 현존량이 각각 37.60g/m², 21.90g/m², 4.35g/m², 2.47g/m²로 나타났으며 수변부에서는 부처꽃, 양잔디, 질경이, 꽃향유 등의 평균 현존 생물량이 각각 38.40g/m², 26.72g/m², 3.70g/m², 0.76g/m²로 나타났다(그림 7-26).



<그림 7-26> 황토블록(8-13mm) 녹화 공법 출현종의 현존량 변화

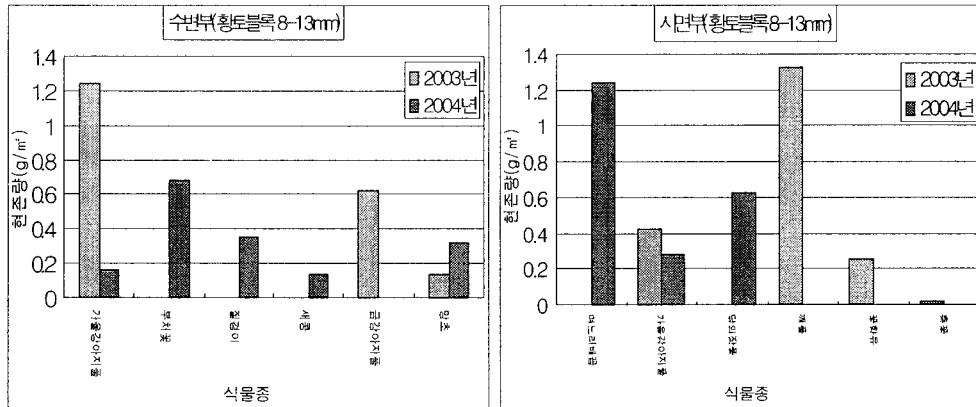
다) 무녹화 공법 적용구간

친환경 배수로 공법 적용후 무녹화 공법 적용구간은 황토블록(20-25mm) 공법 및 황토블록(8-13mm) 공법 구간으로 황토블록(20-25mm) 공법중 무녹화 적용 구간의 2003년 조사에서는 사면부에 새콩, 가을강아지풀 등의 현존량이 각각 0.84g/m², 0.67g/m²로 나타났고 같은 해 수변부에는 닭의장풀, 깨풀 등의 현존량이 각각 0.73g/m², 0.51g/m²로 나타났다. 그리고 2004년 사면부에서는 썩, 큰꿩의비름 등의 현존량이 각각 1.08g/m², 0.65g/m²로 나타났으며 수변부에서는 닭의장풀, 미국가막살이 등의 평균 현존량이 각각 1.07g/m², 0.74g/m²로 나타났다(그림 7-27).



<그림 7-27> 황토블록(20-25mm) 무녹화 공법 출현종의 현존량 변화

또한, 황토블록(8-13mm) 공법중 무녹화 적용 구간의 2003년 조사에서는 사면부에 깨풀, 가을강아지풀 등의 현존량이 각각 1.32g/m², 0.42g/m²로 나타났고 같은 해 수변부에는 가을강아지풀, 금강아지풀 등의 현존량이 각각 1.24g/m², 0.62g/m²로 나타났다. 그리고 2004년 사면부에서는 머느리배꼽, 닭의장풀 등의 현존량이 각각 1.24g/m², 0.62g/m²로 나타났으며 수변부에서는 부처꽃, 질경이 등의 평균 현존량이 각각 0.68g/m², 0.35g/m²로 조사되었다(그림 7-28).



〈그림 7-28〉 황토블록(8-13mm) 무녹화 공법 출현종의 현존량 변화

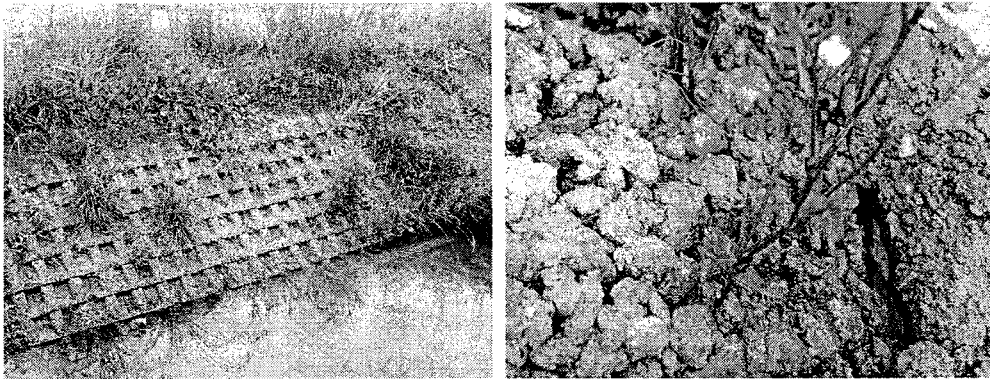
2) 공법 적용후 우점종의 변화

식생에 대한 연구는 주로 편의성을 위하여 주로 피도를 기준으로 조사되고 있어 자칫 주관적인 자료가 될 가능성이 있다. 그리고 현존량에 대한 조사는 조사지역의 1차 생산력에 대한 정량적인 자료로서 그 중요성이 있고 공법의 적용 전에 공법을 적용할 지역에 대한 종조성과 밀도, 피도와 함께 현존량에 대한 조사 자료는 복원 후에도 그 결과를 평가하는데 필요할 것으로 판단되어 본 연구에서는 현존량에 대한 조사를 실시하였다.

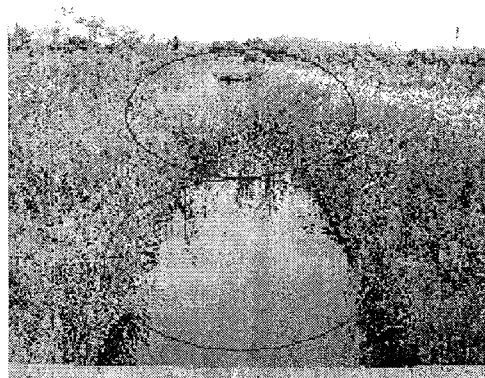
현존량 조사 자료로서 공법별 식재 및 녹화 유무에 따른 우점종의 변화를 살펴보면 식재 공법의 사면부에는 식재된 벌개미취 및 가을강아지풀이 우점 하였으며 수변부 역시 식재된 노랑꽃창포 및 가을강아지풀, 여뀌, 질경이 등이 우점하는 경향이 나타났다. 그리고 녹화 적용 구간의 사면부에는 녹화 초기에 꽃향유, 질경이, 양잔디, 금방동사니, 가을강아지풀, 여뀌, 금강아지풀 등의 우점하다가 2004년 조사에서는 녹화종인 양잔디, 질경이 등이 우점하는 경향을 보였으며, 수변부에서는 녹화초기 노방잡초인 금방동사니, 돌피, 가을강아지풀 및 꽃향유, 질경이, 부처꽃 등의 우점 하였다가 2004년 조사에서는 녹화종인 양잔디 및 부처꽃 등이 우점하게 되었다. 이와 같은 결과는 2003년과 2004년도의 조사시기가 차이가 나므로 같은 시기에 조사를 한다면 다른 경향을 보일 수도 있을 것으로 사료되나 녹화초종의 현존량이 점차적으로 증가하는 것으로 판단된다. 또한, 무녹화 적용 구간에서 특이적으로 우점하는 종이 나타나지는 않았으나 일반적으로 환경에 적응력이 강한 1년초 및 노방잡초가 점차적으로 도입되고 있음을 확인할 수 있었다.

현재까지의 모니터링 결과로 볼 때 하상 및 사면의 식생 제어 효과를 명확하게 규

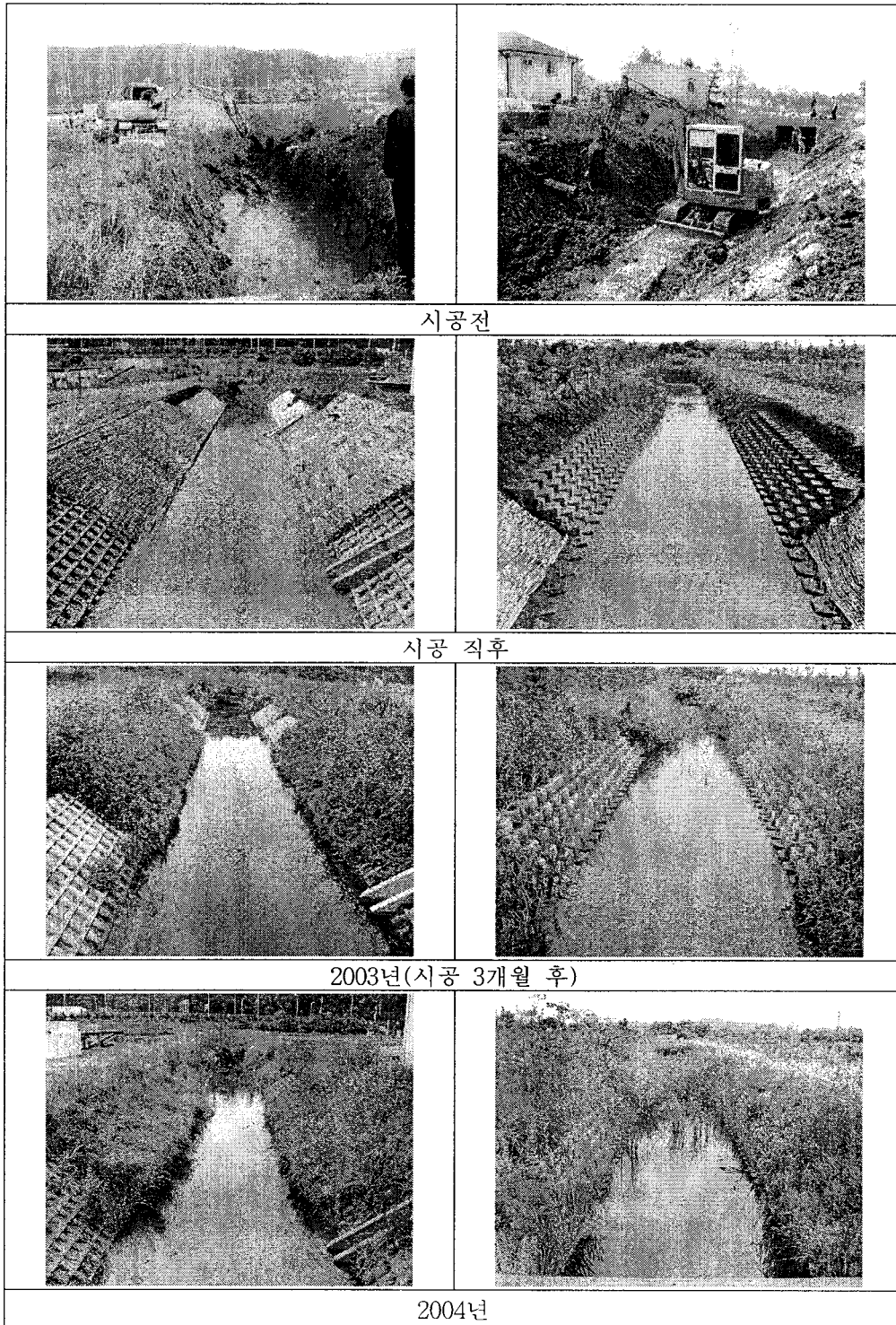
명하기에는 모니터링 기간이 너무 짧아 많은 어려운 점이 있으나 식생을 규제하는 측면에서는 어느 정도 식생의 발생을 억제하는 효과가 있다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 입도별, 처리별 제어 효과를 규명하기에는 공법을 적용한 후 몇 년의 조사 결과만으로서 효과를 판단하기에는 어려우므로 지속적인 모니터링과 평가가 행해져야 할 것으로 사료된다.



<그림 7-29> 무녹화 처리 구간의 식생 도입전경



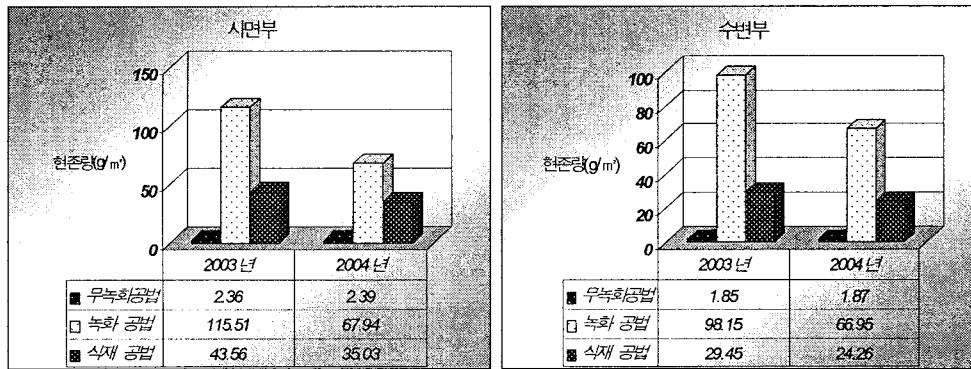
<그림 7-30> 공법 적용 구간의 하상에 식물 생육 조절효과(앞/뒤 비교)



<그림 7-31> 시험수로 조성 전후 비교

3) 공법 적용후 연도별 현존량과 종다양성의 변화

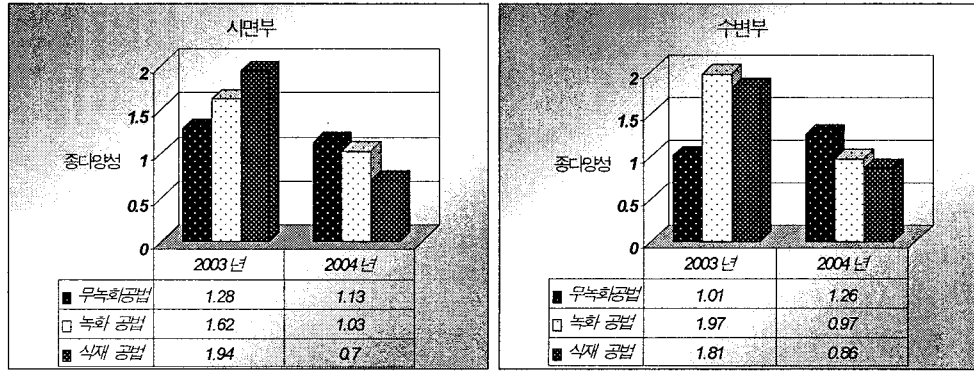
친환경 배수로 공법 구간의 현존량은 무녹화 공법에서는 2003년 조사에서는 사면부 2.36g/m², 수변부 1.85g/m²에서 2004년에는 각각 2.39g/m², 1.87g/m²로 거의 유사한 경향을 나타낸 반면 식재공법에서는 사면부 43.56g/m², 수변부 29.45g/m²에서 2004년에는 각각 35.03g/m², 24.26g/m²으로 다소 감소하는 경향을 보였으며, 녹화공법에서는 사면부 115.51g/m², 수변부 98.15g/m²에서 2004년에는 각각 67.94g/m², 66.95g/m²로 현존량이 크게 줄어들었다. 이는 2003년과 2004년의 조사시기가 차이가 나므로 같은 시기에 조사를 한다면 다른 경향을 보일 수 있을 것으로 생각되나 공법 적용 초기에는 교란된 군집에서 천이 초기에 발생하는 1, 2년생 초본의 발생량이 많아 현존량이 높게 나타난 것으로 판단된다.



〈그림 7-32〉 공법 처리별 현존량 변화

종다양성 지수와 식생군집의 안정성과의 관계는 현재까지도 많은 논란의 여지가 있는 것으로 안정된 군집에서는 오히려 종다양성이 낮아지는 경향과, 종다양성 지수가 높다는 것을 안정된 식생군집의 지표로 사용할 수 있는가 하는 것이다. 인위적인 오염원이 적어 비교적 건전한 생태계를 유지하고 있는 양평의 임천 식생조사 결과 종다양성 지수가 낮게 나타난 반면(건설기술연구원, 1999), 양재천 학여울 구간의 자연형 하천 공법 적용후 오히려 교란된 군집에서 천이 초기에 주변 노방잡초의 발생으로 종다양성 지수가 높게 나타난 것으로 볼 때(신정이, 1999) 종조성, 현존량, 종다양성지수 등 종합적인 평가가 요구된다. 친환경 배수로 공법 적용구간의 종다양성지수는 무녹화공법의 2003년 조사에서는 사면부 및 수변부의 종다양성 지수가 각각 1.28, 1.01에서 2004년에는 각각 1.13, 1.26으로 거의 유사한 경향을 보인 반면, 식재공법에서는 종다양도지수가 사면부 1.94에서 0.70으로 수변부에서는 1.81에서 0.86으

로 녹화 공법에서는 사면부 1.62에서 1.03으로 수변부 1.97에서 0.97로 종다양도지수가 낮게 나타나는 경향을 보였다. 따라서 이는 녹화 및 식재 공법 적용후 식물군집이 교란 되었다가 2004년도부터 어느 정도 안정화 되어가는 것으로 판단될 수 있다.



<그림 7-33> 공법 처리별 종다양성의 변화

다. 고 찰

2003년 친환경 배수로 공법을 적용한 구간에 대한 2003년 부터 2004년 까지의 식생 모니터링을 통한 우점종의 변화, 현존량의 변화, 종다양성 변화를 고찰한 결과는 아래와 같다.

- 1) 현존량 조사 자료로서 공법별 식재 및 녹화 유무에 따른 우점종의 변화를 살펴보면 식재 공법의 사면부에는 식재된 벌개미취 및 가을강아지풀의 우점 하였으며 수변부 역시 식재된 노랑꽃창포 및 가을강아지풀, 여뀌, 질경이 등의 우점하는 경향이 나타났다. 그리고 녹화 적용 구간의 사면부에는 녹화 초기에 꽃향유, 질경이, 양잔디, 금방동사니, 가을강아지풀, 여뀌, 금강아지풀 등이 우점하다가 2004년 조사에서는 녹화종인 양잔디, 질경이 등이 우점하는 경향을 보였으며, 수변부에서는 녹화초기에 노방잡초인 금방동사니, 돌피, 가을강아지풀 및 꽃향유, 질경이, 부처꽃 등이 우점 하였다가 2004년 조사에서는 녹화종인 양잔디 및 부처꽃 등이 우점하게 되었다. 이와 같은 결과는 2003년과 2004년도의 조사 시기가 차이가 나므로 같은 시기에 조사를 한다면 다른 경향을 보일 수도 있을 것으로 사료되나 녹화초종의 현존량이 점차적으로 증가하는 것으로 판단된다. 또한, 무녹화 적용 구간에서는 특이적으로 우점하는 종이 나타나지는 않았으나 일반적으로 환경에 적응력이 강한 1년초 및 노방잡초가 점차적으로 도입되고 있음을 확인할 수 있었다.

2) 친환경 배수로 적용 공법의 식생 제어 효과를 명확하게 규명하기에는 모니터링 기간이 너무 짧아 많은 어려운 점이 있으나 하상 및 사면의 식생을 규제하는 측면에서는 어느 정도 식생의 발생을 억제하는 효과가 있다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 입도별, 처리별 제어 효과를 규명하기에는 공법을 적용한 후 몇 년의 조사 결과만으로서 효과를 판단하기에는 어려우므로 지속적인 모니터링과 평가가 행해져야 할 것으로 사료된다.

3) 최근에 친환경 수로 정비에 관심이 높아지면서 인위적인 자생식물의 도입을 위한 시도가 이루어지고 있다. 하지만 바람직한 친환경 수로의 복원 및 안정화를 위해서는 공법 적용지역의 다양한 환경요인과 국내의 수리수문학적 특성에 맞는 자생식물에 대한 생육특성과 복원에 적합한 식물종의 선정 및 식생의 배합에 따른 관리방안 등에 대한 충분한 대안들을 세운 이후에 복원사업을 실시하여야만이 생태계의 파괴와 같은 우를 범하지 않을 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 친환경 수로에 적합한 식물의 생리, 생태학적인 연구가 기반이 되지 않는 친환경 조성은 자연성 회복에 큰 도움이 되지 않기 때문에 향후 식물에 대한 충분한 보완연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

3절 친환경 배수로공법에 적합한 시공법 정립

1. 적용제품별 제조 및 시공방법 정립

가. 에코셀

1) 일반사항

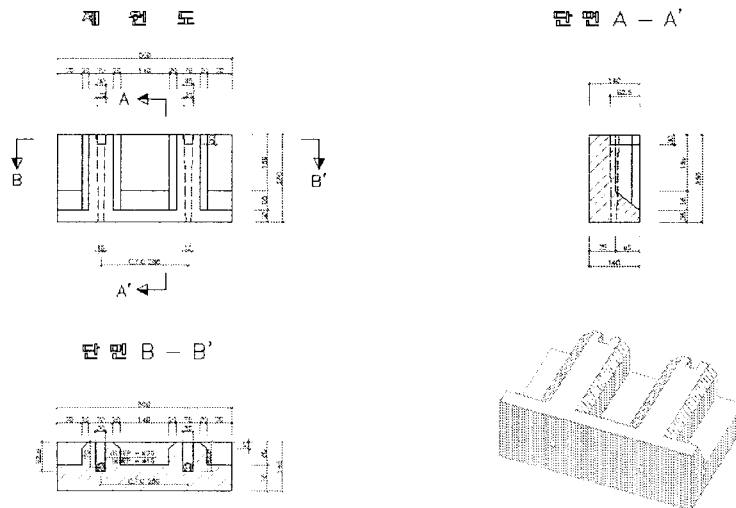
가) 적용 범위

하천 사면 및 도로절개지 사면 등에 식물이 생육 가능한 개다형 황토블록(이하 에코셀)을 시공함으로써 사면을 자연재해로부터 안전하게 보호하고 더불어 생태계를 복원시키고자 하는 목적으로 한다.

- 하천 저수 호안 및 고수 호안의 제방공사.
- 농업용 배수로의 제방공사.
- 무너짐이 예상되는 도로 법면의 사면공사.
- 철도의 측방 사면공사.

나) 제품 재원

본 연구에 의하여 생산, 시공되는 에코셀 블록의 모양, 치수, 겉모양을 <그림 7-34>에 나타내었다.



<그림 7-34> 에코셀

2) 재료

가) 개요

제조시 배합에 사용되는 재료들은 기본적으로 KS 뿐만 아니라 외국 규준에도 적합한 재료를 사용해야 하며 기본적으로 국가 및 공인기관 및 단체에서 제정된 성적서를 바탕으로 하되 사용시 재료에 대한 신뢰도가 의심될 때는 자체 실험을 통한 보완 및 검증을 실시하여 재료의 품질안전성을 확보하여야 한다.

나) 결합재

- (1) 결합재로는 무기성 재료인 고로슬래그 미분말을 주원료로하고 소성황토 및 기타 기능성 혼화제가 사용된다.
- (2) 결합재로 사용되는 재료들의 물리화학적 성질을 확인하기 위해서 제조회사의 품질인증서 및 시험기관의 시험성적서를 참고로하며 필요시 자체 시험을 행하여 품질의 균질성을 확보하도록 한다.

다) 골재

- (1) 포리스 콘크리트 제품을 제조하기 위하여 골재는 표준크기 13mm(구조용), 25mm(식생용)의 골재를 사용하며 사전골재 품질시험을 실시하여야 한다.
- (2) 골재의 품질은 깨끗하고, 강하고 내구적이며, 먼지, 흙, 유기불순물 등 해로운 물질을 함유하지 않아야 한다.

라) 혼화재료

- (1) 혼화제는 KS F 2560(콘크리트용 화학 혼화제)규격에 적합하여야 한다.
- (2) 화학혼화제의 시험성적서는 제품과 동시에 첨부 받아 그 성능을 반드시 검토한 후 적정사용량을 실제 배합에 적용한다.

마) 혼합수

물은 기름, 산, 유기불순물, 혼탁물 등 콘크리트 품질에 나쁜 영향을 미치는 물질의 유해량을 함유해서는 안 된다.

3) 제조

가) 개요

재료선정과 배합이 결정되면 재료계량 → 재료혼합 → 성형 → 양생의 단계를

거처 제품을 제조, 생산하게 된다.

나) 재료의 계량

계량작업은 배합계획대로 정확히 계량하는 정확도 문제와 가능한 단기간내에 빨리 계량하는 계량 신속도 문제를 기본원칙으로 한다. 재료 계량기는 로드셀을 이용한 중량계량으로 개발계량방식을 이용한다.

다) 재료의 혼합

재료 혼합방법은 강제식 믹서로서 혼합조 고정형 팬형 믹서이다. 혼합방법은 일괄방식 중 혼합시간 연장방식 $G \cdot B \cdot W \cdot \rightarrow 90$ 초으로 하며 콘크리트 표준시방서에 의해 비빔시간을 3배 이상(270초)으로 하지 않는다.

해설) B : 결합재, W : 물, G : 골재

라) 성형

성형은 콘크리트를 거푸집에 채워 넣은 후 소요품질의 공장 제품이 얻어지도록 적절한 진동 및 가압다지기에 의해 실시해야 한다.

마) 양생

- (1) 거푸집과 함께 증기양생에 넣어 양생실의 온도를 균등하게 올린다.
- (2) 비빔후 2~3시간 경과된 이후부터 증기양생을 실시한다.
- (3) 온도상승 속도는 1시간당 20°C 이하로 하고, 최고온도는 65°C 로 한다.
- (4) 양생실의 온도는 서서히 내려 외기의 온도와 크게 차이가 없도록 하고 나서 제품을 꺼낸다.

4) 다루기, 운반, 저장

성형 후 다루기 및 운반시 제품에 균열, 흠 등의 해로운 영향을 주지 않도록 충분히 유의할 필요가 있다.

가) 제품은 운반문제를 고려하여 파레트화 하여 야적 하며 출하 전까지는 보습 및 보양시설(차양막 및 비닐시트)을 설치하여 덮어주도록 한다.

나) 운반 및 취급 등을 위한 지지점이나 결합점 등을 표시하도록 한다.

5) 품질관리 및 검사

가) 겉모양

겉모양에는 해로운 흠, 균열 등의 결점이 없어야 한다. 탈형 후 또는 제품 출하 직전에 반드시 검사를 하고 문제가 있을 시에는 즉각 교체하여야 한다.

나) 치수 및 허용차

제품의 치수 및 허용차는 <표 7-7>에 따른다.

<표 7-7> 예코셀의 치수 및 허용차

단위 : mm

구 분	골재크기(mm)	치수			허용차
		가로	세로	두께	
식생용(A형)	20-25mm	500	250	140	가로,세로,두께: ±2
투수, 투기용(B형)	8-13mm	500	250	140	가로,세로,두께: ±2

다) 품질 기준

예코셀의 압축강도, 흡수율, 공극율 대한 품질기준값을 <표 7-8>에 나타내었다.

<표 7-8> 예코셀의 품질기준값

구분(골재입도)		A형	B형
		20-25mm	8-13mm
배합조건			
강도(재령 28일) N/mm ² {kgf/cm ² }	압축강도	1.0 {100} 이상	1.5 {150} 이상
	흡수율(%)	12%이내	12%이내
	공극율(Vol %)	20 이상	12이상

라) 시험 방법

(1) 압축강도 측정

(가) 압축강도시험은 공시체의 치수, 형상, 재하방법에 따라서 달라지므로 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 정해진 시험방법으로 구한다.

(나) KS F 2401(굳지않은 콘크리트 시료채취 방법), KS A 3151(랜덤 샘플링 방법), KS F 2403(콘크리트의 압축 시험용 공시체 방법)에 의해 공시체를 제작하여 제품과 동일한 양생을 실시한 후 재령 28일에 강도시험을 실시한다.

(2) 흡수율 측정

양생이 끝난후 건조기 내에서 100-115 ℃ 로 24시간이사 건조시킨다. 이때 2 시간 동안에 측정된 무게차가 0.2% 를 초과하지 않을 때까지 건조시킨후 실온에서 4시간이상 냉각시켜 무게를 측정한다. 그 후 시료를 15~30℃ 의 물에 시료 전체를 24시간 침수시킨후 꺼내어 형질으로 표면수를 닦은다음 무게를 측정한다. 이때 무게를 흡수시 무게로한다. 흡수율은 다음 식(2)에 따라 계산한다.

$$\text{흡수율(\%)} = (A - B) / B * 100 \quad \text{-----} \quad (2)$$

여기에서 A:시료의 포화무게. B:시료의 건조무게

(3) 공극율 측정

일본콘크리트공학협회(JCI) 에코콘크리트 연구위원회의 「포러스 콘크리트의 투수시험 방법(안)」에 따른 용적법에 의한 전공극율을 측정한다.

$$A. \text{ 전공극율(\%)} = [1 - (W2 - W1) / V1] \times 100$$

V1 : 공시체의 용적

W1 : 공시체의 수중중량

W2 : 24시간 기중방치 후의 기중중량

6) 에코셀의 시공

가) 공사 착수 전 검토사항

- (1) 현장에 반입되는 에코셀블럭은 치수가 정확하고, 파손이 없는 적정 품질인가를 확인 검수 후 반입한다.
- (2) 블록나누기도, 상세 부분 도면 등 시공도면을 작성 사전에 감독관의 승인을 득하여야 한다. 다만, 일반적이고 획일한 구획인 경우는 그러하지 아니한다.
- (3) 소운반을 최대한 줄일 수 있도록 현장 진입도로, 주변상황 파악 등 철저한 시공계획을 수립하여 소운반 거리가 최소가 되도록 적정하게 배분 하차 야 적 한다.
- (4) 타 공종과 중복작업이 있을 경우 자재의 파손이 우려되므로 전 공정인 복토

및 먼 고르기에 사 용된 자재 및 장비, 차량 등 장애물을 정리하고 작업에 임할 수 있도록 해야 한다.

(5) 에코셀 시공 전, 후 공정 작업자와 공사초기부터 업무협의를 실시하여 시공상의 문제점 및 재시공, 파손이 발생되지 않도록 철저히 사전에 명확히 해야 한다. 또한, 공사범위를 명확히 하여 이로 인한 공사지연이 없도록 하여야 한다.

(6) 그 외, 다음 요소를 확인한다.

(가) 용전, 용수(전압 및 용량검토)를 확인한다.

(나) 공사용 차량 및 장비 진입로 확인한다.

(다) 경사면이 급할 경우 붕괴가 예상되면 담당자와 협의 후 경사면 단을 형성할 수 있다. 또한 경사면 상단에는 계획시 예상한 것 이상의 하중이나 진동이 미치지 않도록 한다.

(라) 기초하단 및 천단(상단 마무리) 콘크리트 토목 구조물 도면을 확인하고 시공업무 구분을 명확히 한다.(호안 설계에 의해 결정된 콘크리트 기초는 기초지반 상태에 따라 호안을 완전히 지지할 수 있는 시공이 되어야 하며 기타 사항은 설계도서 및 관련 하천공사 표준 시방서 기준을 따른다.)

(마) 기초상단 및 측면 콘크리트 테두리 구조물은 수직, 수평이 정확한가를 확인한다.

(바) 성토, 복토, 객토 등에 사용하는 흙은 돌맹이 등 굵은 골재가 혼입되지 않고 식생에 유해한 이물질이 없는 양질의 토사를 사용하여야 하며 가능한 기름진 발흙 또는 자연토사로서 종자 발아 및 식물생육을 촉진시킬 수 있도록 한다. 별도로 토사가 부실하다고 판단되어 담당 감독관의 토양검사 요청이 있을 때에는 흙의 견본 품을 채취, 토양 분석시험을 시행하고 그 성적표를 제출해 담당 감독관의 승인을 받는다.

(사) 다짐은 장비 등을 사용, 충분한 다짐(상대다짐도:수정다짐의 95%)을 시행하여 블록의 설치후 토사의 처짐, 무너짐, 유실 등으로 인한 황토셀의 탈락, 유실이 발생하지 않아야 하며 사면의 경사가 일정하도록 표면을 인력으로 정교하게 고르고 경사면에 돌출된 돌등은 제거하여야 한다.

나) 에코셀 깔기 계획

- (1) 블록의 평면도, 입면도 작성.
- (2) 블록 나누기도 작성.
- (3) 설계도에 의한 기초하단, 측면(테두리), 천단 콘크리트 크기 및 위치검토.

다) 에코셀 깔기 준비

- (1) 반입된 블록의 모양, 치수, 강도의 검사.(필요한 경우)
- (2) 모서리가 심하게 파손되거나 균열이 있는 제품은 현장 외로 반출한다.
- (3) 절단이 최소화 되도록 블록 나누기를 한다.

라) 에코셀 깔기

(1) 현장반입

(가) 야적장의 위치선정 및 부지확보

현장 내로 18 - 25ton트럭이 진입할 수 있도록 현장 진입로를 확보해야 하며 소운반을 최소화하기 위해 적소 야적이 가능하도록 제방 상단도로 또는 하단에 지게차 진입이 용이하도록 평탄 하고 건조한 진입로가 확보되어 야적이 가능하도록 하여야 한다. (차량진입이 불가할 경우 경운기 및 기타장비는 현장 여건에 따라 이용한다.)

(나) 하차 및 야적 방법

- 차량 운반된 에코셀 블록은 파손방지를 위해 지게차 등 장비를 이용 항상 파렛트 상태로 하차하여 보관한다.
- 규격별로 적치하여 자재관리 및 소운반이 용이하게 한다.
- 야적 장소 바닥이 고르지 않거나 수분이 있는 곳은 피한다.
- 파렛트의 적재 제한높이는 2단 이하(그 높이는 2.5m이하로 한다)로 한다.

(다) 운반

- 소운반 : 파렛트에서 포장을 해체한 후 블록을 절대로 던지거나 굴러서는 아니 되며 유도파이프 등을 이용, 하단으로 자연 미끄러짐을 유도하여 제품이 깨지거나 모서리 파손 등이 일어나지 않도록 운반하여야 한다. 사면 길이가 짧거나 근거리인 경우 부득이 제품을 던지거나 굴릴시 안전사고에 유의하여야 한다.

(2) 에코셀 깔기

(가) 깔기 전 준비사항

전체적인 사면의 경사도가 잘 정리되었는가를 확인하고 실 등을 이용 기준선을 설치하여 시공의 정도를 피한다. 블록에 묻은 유해 물을 제거하고 모서리가 심하게 파손되거나 균열이 있는 제품은 장외로 반출한다.

(나) 식생기반 조성 및 바닥면 수평 고르기 (Leveling)

에코셀 블록 시공의 가장 중요한 점은 식물이 생육하도록 하는 것이므로 제방의 사면에 식물이 생육 가능한 조건을 충족시켜 주는 것이 중요하다. 사면에 토층이 충분할 경우 유기질 복합비료와 상토 및 보습제를 뿌려주며, 토층이 충분하지 않을 경우에는 현지토를 유기질 복합비료와 상토 및 보습제와 혼합하여 식물이 생육할 수 있는 환경을 조성하여 준다. 식생 부직포를 깔기 전에 바탕면을 정리하고 바닥에 요철 또는 돌출 물이 있는 경우 양질의 고른 흙으로 평활하게 수평을 잡고 식생 부직포를 깐다. (배면토사가 누출, 수축하여 공동이 생기는 경우, 표면에서 보는 것만으로 그 이상을 발견하기가 어려우므로 표면을 두드리거나 비탈면의 요부 등을 자세히 관찰하여 발견시 표면을 떼어내고 토사로 뒤 채움을 실시한다.)

(다) 식생 부직포 깔기

- ① 면이 평탄한가 확인 후 평평하게 상, 하를 맞춘 다음 깔기 시작한다.
- ② 이음 길이는 최소 10cm 정도 겹쳐 이어지도록 한다.
- ③ 제품기준
 - 구분 : 제품기준
 - 규격 : Cross Binding 032(OW) / 25g
 - 폭(W) : 1m

(라) 에코셀 블록 수평 및 수직 줄눈 나누기

- ① 바닥의 수직 및 수평 평활도를 위해 수직, 수평의 실을 놓는다.
- ② 시공 누적오차가 적도록 수평, 수직 줄눈을 수시 점검한다.

(마) 에코셀 블록 깔기

- ① 블록과 블록, 또는 이질재료와의 접합부위 및 보강부위는 도면에 따르며

도면에 없는 경우감독자와 협의, 승인후 시공한다.

- ② 블록은 깔기 후 최소 후속 공정인 충전재 충전 전까지 충격이 가해지지 않도록 보호해야 한다.
- ③ 첫 단과 마지막 단은 기초 및 테두리, 천단 콘크리트와 접착 될 수 있도록 일정 간격을 두며 모르타르로 충전 접착시킨다.
- ④ 하단면 및 상단부에 블록의 절단이 필요시 카트장비를 이용하여 정확한 절단을 통하여 시공한다.
- ⑤ 블록이 조립되는 돌출키와 요홈키가 교대로 정확하게 맞아야 하며 틈 및 유격이 발생하여선 안된다.
- ⑥ 블록과 블록이 서로 교차되도록 Ø8mm 이상의 아연도금철선이 정확히 삽입되도록 하여야 한다
- ⑦ 블록 깔기가 완료되면 배양토 살포를 위해 상부의 돌 및 이물질 등을 정리, 청소하여야 한다.

(바) 정리 및 청소

- ① 후속 녹화공사를 위해 블록상부를 청소하고 천단 기초를 시공한다.
- ② 잉여자재 및 파손품은 정리한 후 파렛트에 정리 반출한다.

나. 황토 지오그린셀

1) 일반사항

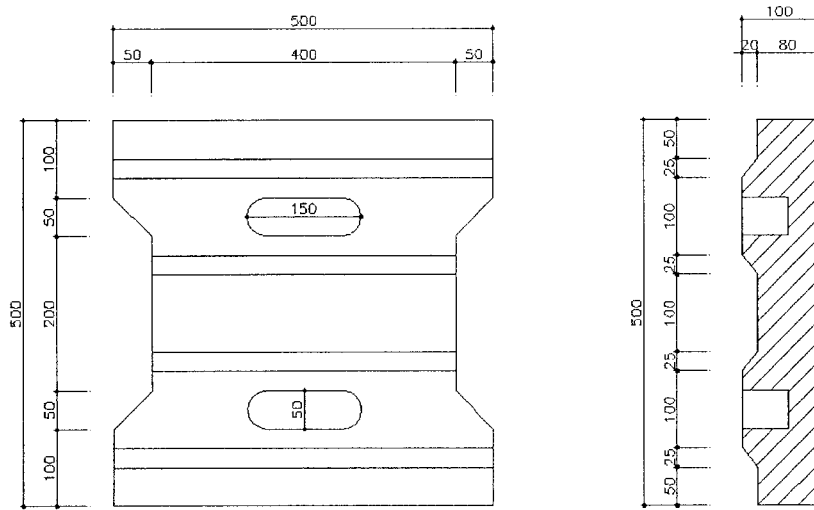
가) 적용 범위

하천 사면 및 도로절개지 사면 등에 식물이 생육 가능한 황토 포러스 식생블록 (이하 황토셀)을 시공함으로써 사면을 자연재해로부터 안전하게 보호하고 더불어 생태계를 복원시키고자 하는 목적으로 한다.

- 하천 저수 호안 및 고수 호안의 제방공사.
- 농업용 배수로의 제방공사.
- 무너짐이 예상되는 도로 법면의 사면공사.
- 철도의 측방 사면공사.

나) 제품 제원

본 연구에 의하여 생산, 시공되는 황토셀 블록의 모양, 치수, 겉모양을 <그림 7-35>에 나타내었다.



<그림 7-35> 황토 지오그린셀

2) 재료

가) 개요

제조시 배합에 사용되는 재료들은 기본적으로 KS 뿐만 아니라 외국 규준에도 적합한 재료를 사용해야 하며 기본적으로 국가 및 공인기관 및 단체에서 제정된 성적서를 바탕으로 하되 사용시 재료에 대한 신뢰도가 의심될 때는 자체 실험을 통한 보완 및 검증을 실시하여 재료의 품질안전성을 확보하여야 한다.

나) 결합재

- (1) 결합재로는 무기성 재료인 고로슬래그 미분말을 주원료로하고 소성황토 및 기타 기능성 혼화제가 사용된다.
- (2) 결합재로 사용되는 재료들의 물리화학적 성질을 확인하기 위해서 제조회사의 품질인증서 및 시험기관의 시험성적서를 참고로하며 필요시 자체 시험을 행하여 품질의 균질성을 확보하도록 한다.

다) 골재

- (1) 포러스 콘크리트 제품을 제조하기 위하여 골재는 표준크기 13mm(구조용), 25mm(식생용)의 골재를 사용하며 사전골재 품질시험을 실시하여야 한다.

(2) 골재의 품질은 깨끗하고, 강하고 내구적이며, 먼지, 흙, 유기불순물 등 해로운 물질을 함유하지 않아야 한다.

라) 혼화재료

- (1) 혼화제는 KS F 2560(콘크리트용 화학 혼화제)규격에 적합하여야 한다.
- (2) 화학혼화제의 시험성적서는 제품과 동시에 첨부 받아 그 성능을 반드시 검토 한 후 적정사용량을 실제 배합에 적용한다.

마) 혼합수

물은 기름, 산, 유기불순물, 혼탁물 등 콘크리트 품질에 나쁜 영향을 미치는 물질의 유해량을 함유해서는 안 된다.

3) 제조

가) 개요

재료선정과 배합이 결정되면 재료계량 → 재료혼합 → 성형 → 양생의 단계를 거쳐 제품을 제조, 생산하게 된다.

나) 재료의 계량

계량작업은 배합계획대로 정확히 계량하는 정확도 문제와 가능한 단기간내에 빨리 계량하는 계량 신속도 문제를 기본원칙으로 한다. 재료 계량기는 로드셀을 이용한 중량계량으로 개발계량방식을 이용한다.

다) 재료의 혼합

재료 혼합방법은 강제식 믹서로서 혼합조 고정형 팬형 믹서이다. 혼합방법은 일괄방식 중 혼합시간 연장방식 $G \cdot B \cdot W \cdot \rightarrow 90$ 초으로 하며 콘크리트 표준시방서에 의해 비빔시간을 3배 이상(270초)으로 하지 않는다.

해설) B : 결합재, W : 물, G : 골재

라) 성형

성형은 콘크리트를 거푸집에 채워 넣은 후 소요품질의 공장 제품이 얻어지도록 적절한 진동 및 가압다지기에 의해 실시해야 한다.

마) 양생

- (1) 거푸집과 함께 증기양생에 넣어 양생실의 온도를 균등하게 올린다.
- (2) 비빈후 2~3시간 경과된 이후부터 증기양생을 실시한다.
- (3) 온도상승 속도는 1시간당 20℃이하로 하고, 최고온도는 65℃로 한다.
- (4) 양생실의 온도는 서서히 내려 외기의 온도와 크게 차이가 없도록 하고 나서 제품을 꺼낸다.

4) 다루기, 운반, 저장

성형 후 다루기 및 운반시 제품에 균열, 흠 등의 해로운 영향을 주지 않도록 충분히 유의할 필요가 있다.

- 가) 제품은 운반문제를 고려하여 파레트화 하여 야적 하며 출하 전까지는 보습 및 보양시설(차양막 및 비닐시트)을 설치하여 덮어주도록 한다.
- 나) 운반 및 취급 등을 위한 지지점이나 결합점 등을 표시하도록 한다.

5) 품질관리 및 검사

가) 겉모양

겉모양에는 해로운 흠, 균열 등의 결점이 없어야 한다. 탈형 후 또는 제품 출하 직전에 반드시 검사를 하고 문제가 있을 시에는 즉각 교체하여야 한다.

나) 치수 및 허용차

제품의 치수 및 허용차는 <표 7-9>에 따른다.

<표 7-9> 황토셀의 치수 및 허용차

단위 : mm

구 분	치수			허용차
	가로	세로	두께	
식생용	500	500	100	가로,세로,두께: ±2

다) 품질 기준

황토셀의 압축강도, 흡수율, 공극율 대한 품질기준값을 <표 7-10>에 나타내었다.

<표 7-10> 황토셀의 품질규준값

배합조건		구분(골재입도)	20-25mm
		강도(재령 28일) N/mm ² {kgf/cm ² }	압축강도
		흡수율(%)	12% 이내
		공극율(Vol %)	20 이상

라) 시험 방법

(1) 압축강도 측정

- (가) 압축강도시험은 공시체의 치수, 형상, 재하방법에 따라서 달라지므로 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 정해진 시험방법으로 구한다.
- (나) KS F 2401(굳지않은 콘크리트 시료채취 방법), KS A 3151(랜덤 샘플링 방법), KS F 2403(콘크리트의 압축 시험용 공시체 방법)에 의해 공시체를 제작하여 제품과 동일한 양생을 실시한 후 재령 28일에 강도시험을 실시한다.

(2) 흡수율 측정

양생이 끝난후 건조기 내에서 100-115 °C 로 24시간이사 건조시킨다. 이때 2 시간 동안에 측정된 무게차가 0.2% 를 초과하지 않을 때까지 건조시킨후 실온에서 4시간이상 냉각시켜 무게를 측정한다. 그 후 시료를 15~30°C 의 물에 시료 전체를 24시간 침수시킨후 꺼내어 형겅으로 표면수를 닦은다음 무게를 측정한다. 이때 무게를 흡수시 무게로 한다. 흡수율은 다음 식(2)에 따라 계산한다.

$$\text{흡수율}(\%) = (A-B)/B \times 100 \quad \text{-----} \quad (2)$$

여기에서 A:시료의 포화무게. B:시료의 건조무게

(3) 공극율 측정

일본콘크리트공학협회(JCI) 에코콘크리트 연구위원회의 「포러스 콘크리트의 투수시험 방법(안)」에 따른 용적법에 의한 전공극율을 측정한다.

$$A. \text{전공극율}(\%) = [1 - (W2 - W1) / V1] \times 100$$

V1 : 공시체의 용적

W1 : 공시체의 수중중량

W2 : 24시간 기중방치 후의 기중중량

6) 황토셀의 시공

가) 공사 착수 전 검토사항

- (1) 현장에 반입되는 황토셀 블록은 치수가 정확하고, 파손이 없는 적정 품질인가를 확인 검수 후 반입한다.
- (2) 블록나누기도, 상세 부분 도면 등 시공도면을 작성 사전에 감독관의 승인을 득하여야 한다. 다만, 일반적이고 확실한 구획인 경우는 그러하지 아니한다.
- (3) 소운반을 최대한 줄일 수 있도록 현장 진입도로, 주변상황 파악 등 철저한 시공계획을 수립하여 소운반 거리가 최소가 되도록 적정하게 배분 하차 야 적 한다.
- (4) 타 공종과 중복작업이 있을 경우 자재의 파손이 우려되므로 전 공정인 복토 및 먼 고르기에 사 용된 자재 및 장비, 차량 등 장애물을 정리하고 작업에 입할 수 있도록 해야 한다.
- (5) 황토셀 시공 전, 후 공정 작업자와 공사초기부터 업무협의를 실시하여 시공 상의 문제점 및 재시공, 파손이 발생되지 않도록 철저히 사전에 명확히 해야 한다. 또한, 공사범위를 명확히 하여 이로 인한 공사지연이 없도록 하여야 한다.
- (6) 그 외, 다음 요소를 확인한다.
 - (가) 용전, 용수(전압 및 용량검토)를 확인한다.
 - (나) 공사용 차량 및 장비 진입로 확인한다.
 - (다) 경사면이 급할 경우 붕괴가 예상되면 담당자와 협의 후 경사면 단을 형성 할 수 있다. 또한 경사면 상단에는 계획시 예상한 것 이상의 하중이나 진 동이 미치지 않도록 한다.
 - (라) 기초하단 및 천단(상단 마무리) 콘크리트 토목 구조물 도면을 확인하고 시 공업무 구분을 명확히 한다.(호안 설계에 의해 결정된 콘크리트 기초는 기

초지반 상태에 따라 호안을 완전히 지지할 수 있는 시공이 되어야 하며 기타 사항은 설계도서 및 관련 하천공사 표준 시방서 기준을 따른다.)

- (마) 기초상단 및 측면 콘크리트 테두리 구조물은 수직, 수평이 정확한가를 확인한다.
- (바) 성토, 복토, 객토 등에 사용하는 흙은 돌멩이 등 굵은 골재가 혼입되지 않고 식생에 유해한 이물질이 없는 양질의 토사를 사용하여야 하며 가능한 기름진 밭흙 또는 자연토사로서 종자 밭아 및 식물생육을 촉진시킬 수 있도록 한다. 별도로 토사가 부실하다고 판단되어 담당 감독관의 토양검사 요청이 있을 때에는 흙의 견본 품을 채취, 토양 분석시험을 시행하고 그 성적표를 제출해 담당 감독관의 승인을 받는다.
- (사) 다짐은 장비 등을 사용, 충분한 다짐(상대다짐도:수정다짐의 95%)을 시행하여 블록의 설치후 토사의 처짐, 무너짐, 유실 등으로 인한 황토셀의 탈락, 유실이 발생하지 않아야 하며 사면의 경사가 일정하도록 표면을 인력으로 정교하게 고르고 경사면에 돌출된 돌등은 제거하여야 한다.

나) 황토셀 깔기 계획

- (1) 블록의 평면도, 입면도 작성.
- (2) 블록 나누기도 작성.
- (3) 설계도에 의한 기초하단, 측면(테두리), 천단 콘크리트 크기 및 위치검토.

다) 황토셀 깔기 준비

- (1) 반입된 블록의 모양, 치수, 강도의 검사.(필요한 경우)
- (2) 모서리가 심하게 파손되거나 균열이 있는 제품은 현장 외로 반출한다.
- (3) 절단이 최소화 되도록 블록 나누기를 한다.

라) 황토셀 깔기

(1) 현장반입

(가) 야적장의 위치선정 및 부지확보

현장 내로 18 - 25ton트럭이 진입할 수 있도록 현장 진입로를 확보해야 하며 소운반을 최소화하기 위해 적소 야적이 가능하도록 제방 상단도로 또는 하단에 지게차 진입이 용이하도록 평탄 하고 건조한 진입로가 확보되어 야적이 가능하도록 하여야 한다. (차량진입이 불가할 경우 경운기 및 기타장비는 현장 여건에 따라 이용한다.)

(나) 하차 및 야적 방법

- 차량 운반된 황토셀 블록은 파손방지를 위해 지게차 등 장비를 이용 항상 파렛트 상태로 하차하여 보관한다.
- 규격별로 적치하여 자재관리 및 소운반이 용이하게 한다.
- 야적 장소 바닥이 고르지 않거나 수분이 있는 곳은 피한다.
- 파렛트의 적재 제한높이는 2단 이하(그 높이는 2.5m이하로 한다)로 한다.

(다) 운반

- 소운반 : 파렛트에서 포장을 해체한 후 블록을 절대로 던지거나 굴러서는 아니 되며 유도파이프 등을 이용, 하단으로 자연 미끄러짐을 유도하여 제품이 깨지거나 모서리 파손 등이 일어나지 않도록 운반하여야 한다. 사면 길이가 짧거나 근거리인 경우 부득이 제품을 던지거나 굴릴 시 안전사고에 유의하여야 한다.

(2) 황토셀 깔기

(가) 깔기 전 준비사항

전체적인 사면의 경사도가 잘 정리되었는가를 확인하고 실 등을 이용 기준선을 설치하여 시공의 정도를 꾀한다. 블록에 묻은 유해 물을 제거하고 모서리가 심하게 파손되거나 균열이 있는 제품은 장외로 반출한다.

(나) 식생기반 조성 및 바닥면 수평 고르기 (Leveling)

황토셀 블록 시공의 가장 중요한 점은 식물이 생육하도록 하는 것이므로 제방의 사면에 식물이 생육 가능한 조건을 충족시켜 주는 것이 중요하다. 사면에 토층이 충분할 경우 유기질 복합비료와 상토 및 보습제를 뿌려주며, 토층이 충분하지 않을 경우에는 현지토를 유기질 복합비료와 상토 및 보습제와 혼합하여 식물이 생육할 수 있는 환경을 조성하여 준다. 식생 부직포를 깔기 전에 바탕면을 정리하고 바닥에 요철 또는 돌출 물이 있는 경우 양질의 고른 흙으로 평활 하게 수평을 잡고 식생 부직포를 깐다. (배면토사가 누출, 수축하여 공동이 생기는 경우, 표면에서 보는 것만으로 그 이상을 발견하기가 어려우므로 표면을 두드리거나 비탈면의 요부 등을 자세히 관찰하여 발견시 표면을 떼어내고 토사로 뒤 채움을 실시한다.)

(다) 식생 부직포 깔기

- ① 면이 평탄한가 확인 후 평평하게 상, 하를 맞춘 다음 깔기 시작한다.
- ② 이음 길이는 최소 10cm 정도 겹쳐 이어지도록 한다.
- ③ 제품기준
 - 구분 : 제품기준
 - 규격 : Cross Binding 032(OW) / 25g
 - 폭(W) : 1m

(라) 황토셀 블럭 수평 및 수직 줄눈 나누기

- ① 바닥의 수직 및 수평 평활도를 위해 수직, 수평의 실을 놓는다.
- ② 시공 누적오차가 적도록 수평, 수직 줄눈을 수시 점검한다.

(마) 황토셀 깔기

- ① 블럭과 블럭, 또는 이질재료와의 접합부위 및 보강부위는 도면에 따르며 도면에 없는 경우감독자와 협의, 승인후 시공한다.
- ② 블럭은 깔기 후 최소 후속 공정인 충전재 충전 전까지 충격이 가해지지 않도록 보호해야 한다.
- ③ 첫 단과 마지막 단은 기초 및 테두리, 천단 콘크리트와 접착 될 수 있도록 일정 간격을 두며 모르타르로 충전 접착시킨다.
- ④ 블럭 깔기가 완료되면 배양토 살포를 위해 상부의 돌 및 이물질 등을 정리, 청소하여야 한다.

(바) 정리 및 청소

- ① 후속 녹화공사를 위해 블럭상부를 청소하고 천단 기초를 시공한다.
- ② 잉여자재 및 파손품은 정리한 후 파렛트에 정리 반출한다.

다. 지오그린 황토옹벽/어소블럭

1) 일반사항

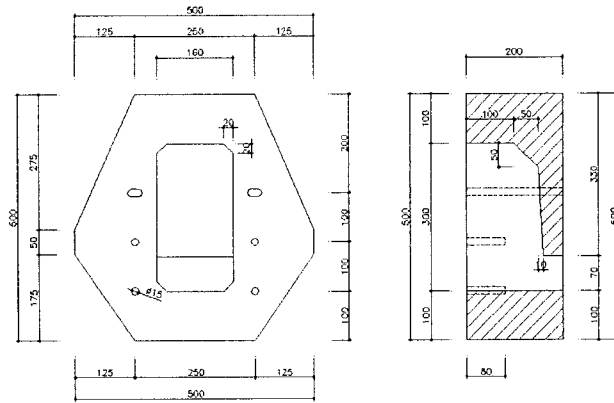
가) 적용 범위

하천 사면 및 도로절개지사면, 성토부위 등에 식물이 생육 가능한 지오그린 황토옹벽(어소)블럭 공사를 시공함으로써 사면을 자연재해로부터 안전하게 보호하고 더불어 생태계를 복원시키고자 하는 목적으로 한다.

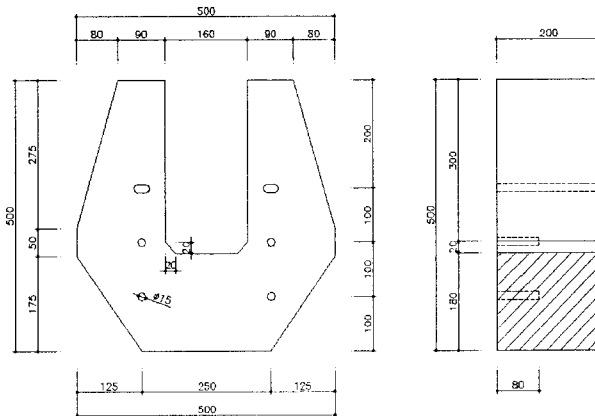
- 하천 저수 호안 및 고수 호안의 소규모 석축대용의 제방공사
 - 농업용 배수로의 제방공사
 - 무너짐이 예상되는 도로 범면의 사면공사
 - 철도의 측방 사면공사
- 아파트단지, 보도사이의 조경 담장 및 투수성 확보 및 식물의 생육이 가능한 자연 친화적인 조경구조물 적용
- 도로 방호벽(식물생육을 통한 방음 및 경관녹화 효과)

나) 제품 제원

본 연구에 의하여 생산, 시공되는 지오그린 황토옹벽(어소)블럭 제품의 모양, 치수, 겉모양을 <그림 7-36>과 <그림 7-37>에 나타내었다.



<그림 7-36> 황토옹벽블럭



<그림 7-37> 황토어소블럭

2) 재료

가) 개요

제조시 배합에 사용되는 재료들은 기본적으로 KS 뿐만 아니라 외국 기준에도 적합한 재료를 사용해야 하며 기본적으로 국가 및 공인기관 및 단체에서 제정된 성적서를 바탕으로 하되 사용시 재료에 대한 신뢰도가 의심될 때는 자체 실험을 통한 보완 및 검증을 실시하여 재료의 품질안전성을 확보하여야 한다.

나) 결합재

- (1) 결합재로는 무기성 재료인 고로슬래그 미분말을 주원료로하고 소성황토 및 기타 기능성 혼화제가 사용된다.
- (2) 결합재로 사용되는 재료들의 물리화학적 성질을 확인하기 위해서 제조회사의 품질인증서 및 시험기관의 시험성적서를 참고로 하며 필요시 자체 시험을 행하여 품질의 균질성을 확보하도록 한다.

다) 골재

- (1) 포러스 콘크리트 제품을 제조하기 위해 골재는 표준크기 13mm(구조용)의 골재를 사용하며 사전골재 품질시험을 실시하여야 한다.
- (2) 골재의 품질은 깨끗하고, 강하고 내구적이며, 먼지, 흙, 유기불순물 등 해로운 물질을 함유하지 않아야 한다.

라) 혼화재료

- (1) 혼화제는 KS F 2560(콘크리트용 화학 혼화제)규격에 적합하여야 한다.
- (2) 화학혼화제의 시험성적서는 제품과 동시에 첨부 받아 그 성능을 반드시 검토한 후 적정사용량을 실제 배합에 적용한다.

마) 혼합수

물은 기름, 산, 유기불순물, 혼탁물 등 콘크리트 품질에 나쁜 영향을 미치는 물질의 유해량을 함유해서는 안 된다.

3) 제조

가) 개요

재료선정과 배합이 결정되면 재료계량 → 재료혼합 → 성형 → 양생의 단계를

거쳐 제품을 제조, 생산하게 된다.

나) 재료의 계량

계량작업은 배합계획대로 정확히 계량하는 정확도 문제와 가능한 단기간내에 빨리 계량하는 계량 신속도 문제를 기본원칙으로 한다. 재료 계량기는 로드셀을 이용한 중량계량으로 개발계량방식을 이용한다.

다) 재료의 혼합

재료 혼합방법은 강제식 믹서로서 혼합조 고정형 팬형 믹서이다. 혼합방법은 일괄방식 중 혼합시간 연장방식 $G \cdot B \cdot W \cdot \rightarrow 90$ 초으로 하며 콘크리트 표준시방서에 의해 비빈시간을 3배 이상(270초)으로 하지 않는다.

해설) B : 결합재, W : 물, G : 골재

라) 성형

성형은 콘크리트를 거푸집에 채워 넣은 후 소요품질의 공장 제품이 얻어지도록 적절한 진동 및 가압다지기에 의해 실시해야 한다.

마) 양생

- (1) 거푸집과 함께 증기양생에 넣어 양생실의 온도를 균등하게 올린다.
- (2) 비빈후 2~3시간 경과된 이후부터 증기양생을 실시한다.
- (3) 온도상승 속도는 1시간당 20℃이하로 하고, 최고온도는 65℃로 한다.
- (4) 양생실의 온도는 서서히 내려 외기의 온도와 크게 차이가 없도록 하고 나서 제품을 꺼낸다.

4) 다루기, 운반, 저장

성형 후 다루기 및 운반시 제품에 균열, 흠 등의 해로운 영향을 주지 않도록 충분히 유의할 필요가 있다.

가) 제품은 운반문제를 고려하여 파레트화 하여 야적 하며 출하 전까지는 보습 및 보양시설(차양막 및 비닐시트)을 설치하여 덮어주도록 한다.

나) 운반 및 취급 등을 위한 지지점이나 결합점 등을 표시하도록 한다.

5) 품질관리 및 검사

가) 겉모양

겉모양에는 해로운 흠, 균열 등의 결점이 없어야 한다. 탈형 후 또는 제품 출하 직전에 반드시 검사를 하고 문제가 있을 시에는 즉각 교체하여야 한다.

나) 치수 및 허용차

제품의 치수 및 허용차는 <표 7-11>에 따른다.

<표 7-11> 황토옹벽(어소)블럭의 치수 및 허용차

단위 : mm

구 분	치수			허용차
	가로	세로	두께	
식생용	500	500	200	가로,세로,두께: ±2

다) 품질 기준

황토 옹벽(어소)블럭의 압축강도, 흡수율, 공극율 대한 품질기준값을 <표 7-12>에 나타내었다.

<표 7-12> 황토 옹벽/어소블럭의 품질기준값

구분(골재입도)		20-25mm
배합조건		
강도(재령 28일) N/mm ² {kgf/cm ² }	압축강도	1.8 {180} 이상
흡수율(%)		12% 이내
공극율(Vol %)		12 이상

라) 시험 방법

(1) 압축강도 측정

(가) 압축강도시험은 공시체의 치수, 형상, 재하방법에 따라서 달라지므로 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 정해진 시험방법으로 구한다.

(나) KS F 2401(굳지않은 콘크리트 시료채취 방법), KS A 3151(랜덤 샘플링 방법), KS F 2403(콘크리트의 압축 시험용 공시체 방법)에 의해 공시체를

제작하여 제품과 동일한 양생을 실시한 후 재령 28일에 강도시험을 실시한다.

(2) 흡수율 측정

양생이 끝난후 건조기 내에서 100-115 ℃ 로 24시간이사 건조시킨다. 이때 2시간 동안에 측정된 무게차가 0.2% 를 초과하지 않을 때까지 건조시킨후 실온에서 4시간이상 냉각시켜 무게를 측정한다. 그 후 시료를 15~30℃ 의 물에 시료 전체를 24시간 침수시킨후 꺼내어 형겅으로 표면수를 닦은다음 무게를 측정한다. 이때 무게를 흡수시 무게로 한다. 흡수율은 다음식(2)에 따라 계산한다.

$$\text{흡수율}(\%) = (A - B) / B * 100 \quad \text{-----} \quad (2)$$

여기에서 A:시료의 포화무게. B:시료의 건조무게

(3) 공극율 측정

일본콘크리트공학협회(JCI) 에코콘크리트 연구위원회의 「포러스 콘크리트의 투수시험 방법(안)」에 따른 용적법에 의한 전공극율을 측정한다.

$$A. \text{ 전공극율}(\%) = [1 - (W2 - W1) / V1] \times 100$$

V1 : 공시체의 용적

W1 : 공시체의 수중중량

W2 : 24시간 기중방치 후의 기중중량

6) 황토 옹벽(어소)블럭의 시공

가) 현장반입

(1) 야적장의 위치선정 및 부지확보

현장내로 18 - 25ton 트럭이 진입할 수 있도록 현장 진입로를 확보해야 하며 소운반을 최소화 하기 위해 적소 야적이 가능하도록 도로에 지게차 진입이 용이하도록 평탄하고 건조한 진입로가 확보되어 야적이 가능하도록 하여야 한다.(차량진입이 불가할 경우 경운기 및 기타장비는 현장 여건에 따라 한다.)

(2) 하차 및 야적 방법

(가) 차량 운반된 지오그린 생태옹벽(어소)블럭은 파손방지를 위해 지게차 등

장비를 이용하여 항상 파렛트 상태로 하차하여 보관한다.

- (나) 규격별로 적치하여 자재관리 및 소운반이 용이하게 한다.
- (다) 야적장소 바닥이 고르지 않거나 수분이 있는 곳은 피한다.
- (라) 파렛트의 적재 제한높이는 2단 이하(그 높이는 2.5m이하)로 한다.

나) 운반

(1) 소운반

파렛트에서 포장을 해체한 후 블럭을 절대로 던지거나 끌어서는 아니되며 제품이 깨지거나 모서리 파손 등이 일어나지 않도록 운반하여야 한다.

다) 지오그린 생태옹벽(어소)블럭 설치

(1) 토공사

- (가) 지질보고서 및 현장조사에 의한 토질량 산출
- (나) 지반이 암반인 경우 외부 토사 유입조건 검토(거리, 토량, 토질)
- (다) 다짐시 장비능력의 운용에 대한 검토
- (라) 토공사 중 작업기간 중 우기 및 기온 강하의 관계
- (마) 뒤 채움 토사의 운반거리, 토량 확인

(2) 지오그린 생태옹벽(어소)블럭 설치 공사 부자재 검토

(가) 부직포

- 기능 : 뒷채움토의 세굴 및 유실방지
- 이음 길이는 최소 15cm 정도 겹쳐 이어지도록 한다.
- 중량 : 200g/m²
- 폭(W): 1 m

(나) 지오그리드

- 보강재는 토압에 의한 인장 변형을 방지하기 위해 일축방향으로 사전에 인장된 구조로써 가로와 세로의 빗대가 용접 또는 기타 이음이 없는 일체형의 구조로써 PVC 등으로 표면코팅을 하지 않은 제품이어야 한다.
- 단순히 물리적 특성을 높이기 위한 섬유 또는 연철 등의 삽입제가 없는 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)제품 이어야 한다.
- 자외선에 영향을 받지 않도록 카본블랙을 함유 하여야 한다.

<표 7-13> 지오그리드의 규격 및 강도

구 분	인장강도(KN/m)				신장률(%)	규 격(mm)	
	최 대	5%신장	교차지점	허용설계	최 대	TD	MD
TT045	45이상	23이상	36이상	18.3	13.0이하	13~20	220~230
TT060	60이상	32이상	50이상	24.4	13.0이하	13~20	220~230
TT090	90이상	50이상	80이상	36.6	13.0이하	13~20	220~230
TT120	120이상	72이상	110이상	48.8	13.0이하	13~20	220~230

(다) 지오그린핀 (고정핀)

- 용벽쌓기의 형태에 따라 12~18개 사용
- 규격 : D13 mm 아연도 강봉 및 화이버글라스핀
- 길이 : 30 cm , 40 cm

(3) 시공 순서

(가) 기초 터파기 실시한다.

(나) 수평으로 면을 고른 후 잡석을 깔고 기초다짐을 한다.

(다) 기초콘크리트 구조물을 타설한다.

(라) 기초상단에 몰탈 (10mm)로 레벨을 확인한다.

(마) 첫 단 설치 시 첫 단의 수평과 선형은 용벽전체에 걸쳐 구조적 및 미관적으로 영향을 미치도록 도면을 검토하여 블럭 나누기를 통해 좌, 우 및 수평설치를 한다.(측량 재확인)

(바) 황토 용벽(어소)블럭을 1단을 쌓는다.

(사) 블럭 수평, 수직 확인 후 고정 연결핀인 ϕ 13 아연도금 환봉(30cm) 및 화이버글라스핀을 설치한다.

(아) 블럭에 부직포(200g)를 부착한다.

(자) 최상단의 블럭은 그 하단의 블럭과 몰탈 (10mm)로 부착, 이탈을 방지한다.

(차) 매 단의 다짐은 감리자의 감독과 승인을 받는다.

(카) 지오그리드 설치시는 구조 계산 된 도면에 의한다.

(타) 블럭 정면에 수변식물 식재 및 초화류 녹화 또는 Seed Spray 작업을 한다.

(파) 관수 작업은 현장여건, 외부조건인 기후, 계절에 따라 변할 수 있다.

(4) 뒷채움 다짐

(가) 한층의 시공두께는 블럭의 한단 높이를 기준으로 하되 20cm가 넘지 않도록 한다.

(나) 뒷채움은 전면블럭의 휨방지를 위해 전면블럭쪽에서 부터 시공하며 전면블럭과 평행한 방향으로 진행하고, 보강재 상부에 포설할 경우에는 보강재가 움직이거나 손상을 입지 않도록 주의해야 한다.

(다) 블럭 배면에서 1m 이내에 대한 다짐은 과도한 다짐에 의한 측방 응력의 발생과 전면 블럭의 변위를 억제하기 위해 소형 다짐방지(1ton Roller, Compactor, Tammer등)를 사용해야 한다.

(라) 다짐장비의 주행은 전면블럭과 평행이 되도록 하고 다짐도는 실내 다짐시험치의 95% 이상 이어야 한다.

(마) 보강재를 설치한 면을 다짐시에는 보강재 위를 다짐 장비가 직접 올라타서는 안되고 반드시 뒷채움재를 명시된 포설 두께 만큼 포설후 다짐을 하여야 한다.

(바) 뒷채움재의 포설과 다짐 작업은 구조물을 변형시키지 않도록 주의해서 시공해야 하며 만약 전면블럭에 변형이 생긴 경우에는 즉시 모든 작업을 중단하고 수정후 재시공하여야 한다.

(사) 타이어가 정착된 롤러(Roller)가 시속10km 이하의 속도로 다짐을 하여야 하며, 급제동이나 급회전을 삼가해야 한다.

(아) 블럭 정면에 수변식물 식재 및 초화류 녹화 또는 Seed Spray 작업을 한다.

7) 식재

가) 식물재료의 운반, 저장 및 취급

(1) 충격으로 뿌리분의 파손, 흠털림, 세근절단 등이 발생하지 않도록 조치하여야 한다.

(2) 식물재료는 식재직전에 현장으로 운반하여야 하며 식재될 때까지 양호한 상태를 유지하여야 한다.

- (3) 반입하여 당일 식재하지 못한 경우에는 잎, 뿌리 등의 건조방지를 위하여 강한 바람이 없고 햇볕이 차단되며, 배수가 양호하고 약간 습한 장소에 보관하여야 한다.

나) 황토 용벽 블럭내 충진토

- (1) 충진토는 양질의 현장발생 표토 또는 반입표토를 사용하되 토양시험결과 부적합 토양으로 판정된 경우에는 적정수준으로 개량하여 사용한다.
- (2) 충진토는 점토덩어리, 쓰레기, 기타 유해물질을 포함하지 않아야 한다.
- (3) 토양 및 현장상황에 따라 보습제 및 보수제가 혼합된 영양토를 충진하여 식물의 생육이 활발하도록 하여야 한다.

다) 식물 재료

- (1) 계약도면에 명시된 품종으로 한다.
- (2) 식재 예정지역과 유사한 기후조건에서 재배, 성장한 것이어야 한다.
- (3) 지정된 규격에 합당한 것으로서 발육이 양호하며, 수종별로 고유의 수형을 유지하여야 한다.
- (4) 모종은 지정된 규격에 고유의 성상을 유지하고 줄기, 잎, 꽃눈의 발달이 양호하며, 병충해·상해가 없고 근계가 충실히 보호되어 식재 후 건전한 생육을 유지할 수 있는 것이어야 한다.
- (5) 병충해의 피해나 손상이 없고 건전한 생육상태를 유지하여야 한다. 다만, 병충해의 감염정도가 미미하고 심각한 확산의 우려가 없는 경우에는 적절한 구제조치를 전제로 채택할 수 있다.

라) 규 격

- (1) 조형수목의 흉고 또는 근원직경 등이 지정 규격 이상이 경우는 담당원의 승인하에 수고 및 수관폭을 지정규격 이내로 할 수 있다.
- (2) 규격의 허용차는 -5~10% 이내로 한다. 단, 허용차에도 불구하고 규격미달의 수목이 각 수종별, 규격별 총수량의 20%를 초과할 수 없다.

마) 수종 및 규격의 변경

식재수목의 수종 또는 규격의 변경은 수급인이 관련증빙자료를 첨부, 서면으로 요구하여 담당원의 승인을 받지 않는 한 허용되지 않는다.

바) 시 공

- (1) 블럭이나 모르터 등의 건축잔재가 방치되어 있거나 또는 지나친 다짐 지역이나 배수가 불량한 지역이 없는지를 확인하여야 한다.
- (2) 운반을 위한 수목의 상하차는 인력에 의하거나 대형목의 경우에는 체인블록이나 크레인 등 중기를 사용하여 안전하게 다룬다.
- (3) 운반 중의 보호조치
 - 뿌리분의 보토를 철저히 한다.
 - 세근이 절단되지 않도록 충격을 주지 않아야 한다.
 - 차량의 용량과 수목의 무게 및 부피에 따라 적정수량만을 적재하여 이중적재를 금한다.
 - 비포장도로로 운반할 때에는 뿌리분이 충격을 받지 않도록 흙, 가마니, 짚 등의 완충 재료를 깐다.
 - 수송 도중 바람에 의한 증산을 억제하며 강우로 인한 뿌리분의 토양유실을 방지하기 위한 조치를 취한다.
 - 운반 중 회복불능한 손상을 입거나 가지가 부러져 원형이 심하게 손상된 수목은 동종 동품으로 보상하고, 경미한 가지부러짐 등에 대해서는 담당원의 지시에 따라 조치하여야 한다.

사) 식 재

- (1) 뿌리를 다듬고 주간을 정돈하여 식재하여야 한다.
- (2) 원래의 식재 높이와 방향을 유지시키되 경관, 기능 등의 이유로 조정이 필요한 경우에는 담당원과 협의·조정하여야 한다.
- (3) 물 조입시 침하를 고려하여 약간 상식하도록 한다.
- (4) 흙넣기 및 다짐은 수목의 생리적 특성에 따라 물다짐 또는 마른다짐으로 하며, 뿌리분 주위에 공극이 발생되지 않도록 면밀히 실시하여야 한다.
- (5) 초화류를 식재하는 경우에는 제조회사의 시공 지침을 따른다.
- (6) 덩굴성 식물은 식재후 주요 장소를 대나무 또는 지정재료로 고정한다.
- (7) 시공후 기후에 주의하고 담당원의 지시에 따라 지나치게 건조하지 않도록 양생·관리하여 발아를 촉진시킨다.
- (8) 특수한 식물의 식재와 파종에 대해서는 각 식물별 재식 및 파종방법 또는 특기 시방서를 따른다.

아) 유지관리

- (1) 혹서기에는 매일 관수를 1~2회/일 실시한다.
- (2) 전문적인 관리인이 토양의 보습상태를 점검하여 필요시 추가 관수한다.

자) 고사목의 처리

고사목의 발생위치와 상태를 점검하여 원인을 규명하고 사후대책을 수립하여야 한다.

차) 공사종료

식재, 관수 및 뒷정리가 끝난 상태에서 담당원의 승인을 받았을 때를 공사의 종료로 인정한다. 단, 계약조건에 일정기간의 유지관리가 포함되었을 경우에는 계약된 유지관리기간이 종료되는 때로 한다.

라. 지오그린 황토수질정화블록

1) 일반사항

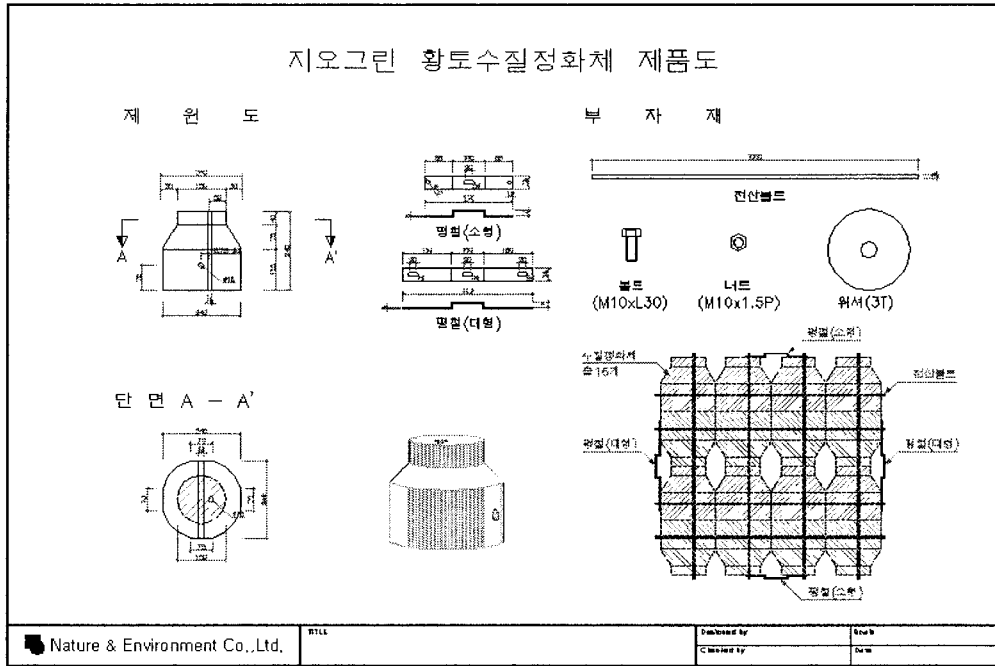
가) 적용 범위

하천과 호수 및 해안의 수변에 황토 포러스 수질정화 블록(이하 수질정화블록)을 조립 설치하여 표면 요철부와 내부 연속공극에 부착된 미생물에 의해 유기물의 제거율을 높이는 효과와 일체화를 통하여 구조적으로 세굴방지의 역할을 기대할 수 있도록 하는 것을 목적으로 한다.

- 하천 및 호안의 식생녹화
- 절토, 성토면의 종단부 지지공
- 산 복토 지역의 소규모 지지공
- 하천 및 호수수변부의 수질정화 및 세굴방지

나) 제품 제원

본 연구에 의하여 생산, 시공되는 수질정화블록의 모양, 치수, 겉모양을 <그림 7-38>에 나타내었다.



〈그림 7-38〉 황토수질정화블럭

2) 재료

가) 개요

블록 제조시 배합에 사용되는 재료들은 기본적으로 KS 뿐만 아니라 외국 규준에도 적합한 재료를 사용해야 하며 기본적으로 국가 및 공인기관 및 단체에서 제정된 성적서를 바탕으로 하되 사용시 재료에 대한 신뢰도가 의심될 때는 자체 실험을 통한 보완 및 검증을 실시하여 재료의 품질안전성을 확보하여야 한다.

나) 결합재

- (1) 결합재로는 무기성 재료인 고로슬래그 미분말을 주원료로 하고 소성황토 및 기타 기능성 혼화제가 사용된다.
- (2) 결합재로 사용되는 재료들의 물리화학적 성질을 확인하기 위해서 제조회사의 품질인증서 및 시험기관의 시험성적서를 참고로 하며 필요시 자체 실험을 행하여 품질의 균질성을 확보하도록 한다.

다) 골재

- (1) 포러스 콘크리트 제품을 제조하기 위해 골재는 표준크기13mm(구조용)의 골

재를 사용하며 사전골재 품질시험을 실시하여야 한다.

- (2) 골재의 품질은 깨끗하고, 강하고 내구적이며, 먼지, 흙, 유기불순물 등 해로운 물질을 함유하지 않아야 한다.

라) 혼화재료

- (1) 혼화제는 KS F 2560(콘크리트용 화학 혼화제)규격에 적합하여야 한다.
- (2) 화학혼화제의 시험성적서는 제품과 동시에 첨부 받아 그 성능을 반드시 검토 한 후 적정사용량을 실제 배합에 적용한다.

마) 혼합수

물은 기름, 산, 유기불순물, 혼탁물 등 콘크리트 품질에 나쁜 영향을 미치는 물질의 유해량을 함유해서는 안 된다.

3) 제조

가) 개요

재료 선정과 배합이 결정되면 재료계량 → 재료혼합 → 성형 → 양생의 단계를 거쳐 제품을 제조, 생산하게 된다.

나) 재료의 계량

계량작업은 배합계획대로 정확히 계량하는 정확도 문제와 가능한 단기간내에 빨리 계량하는 계량 신속도 문제를 기본원칙으로 한다. 재료 계량기는 로드셀을 이용한 중량계량으로 개별 계량방식을 이용한다.

다) 재료의 혼합

재료 혼합방법은 강제식 믹서로서 혼합조 고정형 팬형 믹서이다. 혼합방법은 일괄방식 중 혼합시간 연장방식 $G \cdot B \cdot W \cdot \rightarrow 90$ 초으로 하며 콘크리트 표준시방서에 의해 비빔시간을 3배 이상(270초)으로 하지 않는다.

해설) B : 결합재, W : 물, G : 골재

라) 성형

성형은 콘크리트를 금형 또는 거푸집에 채워 넣은 후 소요품질의 공장 제품이 얻어지도록 적절한 진동 및 가압다지기에 의해 실시해야 한다.

마) 양생

- (1) 거푸집과 함께 증기양생에 넣어 양생실의 온도를 균등하게 올린다.
- (2) 비빈후 2~3시간 경과된 이후부터 증기양생을 실시한다.
- (3) 온도상승 속도는 1시간당 20℃이하로 하고, 최고온도는 65℃로 한다.
- (4) 양생실의 온도는 서서히 내려 외기의 온도와 크게 차이가 없도록 하고 나서 제품을 꺼낸다.

4) 다루기, 운반, 저장

성형 후 다루기 및 운반시 제품에 균열, 흠 등의 해로운 영향을 주지 않도록 충분히 유의할 필요가 있다.

가) 제품은 운반문제를 고려하여 파레트화 하여 야적 하며 출하 전까지는 보습 및 보양시설(차양막 및 비닐시트)을 설치하여 덮어주도록 한다.

나) 운반 및 취급 등을 위한 지지점이나 결합점 등을 표시하도록 한다.

5) 품질관리 및 검사

가) 결모양

결모양에는 해로운 흠, 균열 등의 결점이 없어야 한다. 탈형 후 또는 제품 출하 직전에 반드시 검사를 하고 문제가 있을 시에는 즉각 교체하여야 한다.

나) 치수 및 허용차

제품의 치수 및 허용차는 <표 7-14>에 따른다.

<표 7-14> 황토 수질정화블럭의 치수 및 허용차

단위 : mm

치 수			허용차
가로	세로	높이	
240	240	250	가로,세로,높이: ±2

다) 품질 기준

황토 수질정화블럭의 압축강도, 흡수율, 공극율 대한 품질기준값을 <표 7-15>에 나타내었다.

<표 7-15> 황토 수질정화블럭의 품질 기준값

압축강도(재령 28일) N/mm ² {kgf/cm ² }	1.8 {180} 이상
흡수율(%)	12% 이내
공극율(Vol %)	12 이상

라) 시험 방법

(1) 압축강도 측정

(가) 압축강도시험은 공시체의 치수, 형상, 재하방법에 따라서 달라지므로 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 정해진 시험방법으로 구한다.

(나) KS F 2401(굳지않은 콘크리트 시료채취 방법), KS A 3151(랜덤 샘플링 방법), KS F 2403(콘크리트의 압축 시험용 공시체 방법)에 의해 공시체를 제작하여 제품과 동일한 양생을 실시한 후 재령 28일에 강도시험을 실시한다.

(2) 흡수율 측정

양생이 끝난후 건조기 내에서 100-115 °C 로 24시간이사 건조시킨다. 이때 2 시간 동안에 측정 한 무게차가 0.2% 를 초과하지 않을 때까지 건조시킨후 실온에서 4시간이상 냉각시켜 무게를 측정한다. 그 후 시료를 15~30°C 의 물에 시료 전체를 24시간 침수시킨후 꺼내어 형겼으로 표면수를 닦은다음 무게를 측정한다. 이때 무게를 흡수시 무게로 한다. 흡수율은 다음식(2)에 따라 계산한다.

$$\text{흡수율(\%)} = (A - B) / B * 100 \quad \text{-----} \quad (2)$$

여기에서 A:시료의 포화무게. B:시료의 건조무게

(3) 공극율 측정

일본콘크리트공학협회(JCI) 에코콘크리트 연구위원회의 「포러스 콘크리트의 투수시험 방법(안)」에 따른 용적법에 의한 전공극율을 측정한다.

$$A. \text{ 전공극율(\%)} = [1 - (W2 - W1) / V1] \times 100$$

V1 : 공시체의 용적

W1 : 공시체의 수중중량

W2 : 24시간 기중방치 후의 기중중량

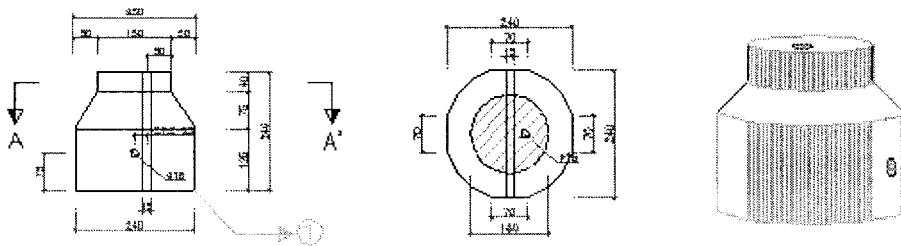
6) 조립

황토수질정화블록의 조립 및 설치는 공장조립에 의해 조립을 실시하여 현장에서 연결설치만을 행하는 방법과 현장에서 자재를 반입하여 직접조립 후 연결설치를 하는 방법이 있다. 따라서 조립 및 설치방법은 현장책임인원 및 감독관과 상의하여 결정하도록 하며 황토수질정화블록과 그 부속물을 이용한 1M*1M의 크기에 대한 조립방법은 다음과 같다.

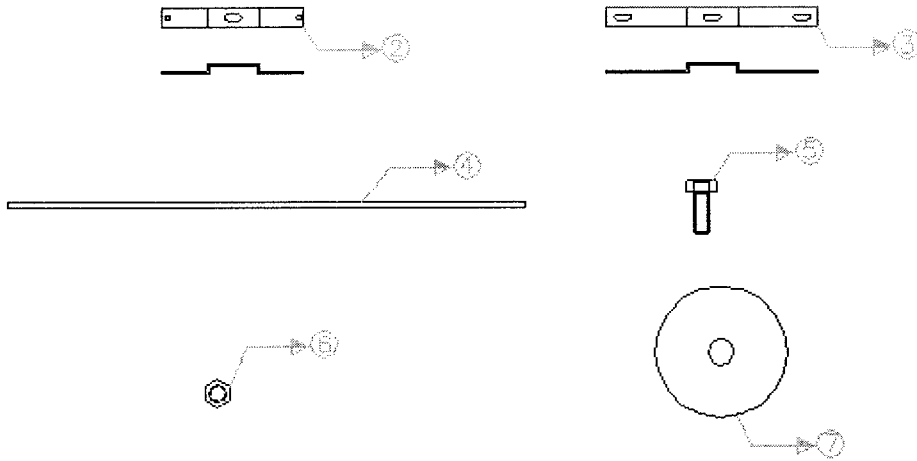
- 가) 그림 ①의 수질정화블록을 평평한 면에 가로방향과 세로방향의 구멍을 일치시킨다.
- 나) 가로, 세로방향으로 정렬되어 일치된 구멍에 그림 ④의 전산볼트를 삽입한 후 그림 ②와 그림 ③의 조립품 연결용 평철을 끼운다.
- 다) 평철을 전산볼트와 긴결시키기 위해 그림 ⑦의 와사를 끼운후 그림 ⑥의 너트 강하에 조여 일체화를 시키도록 한다.

<도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

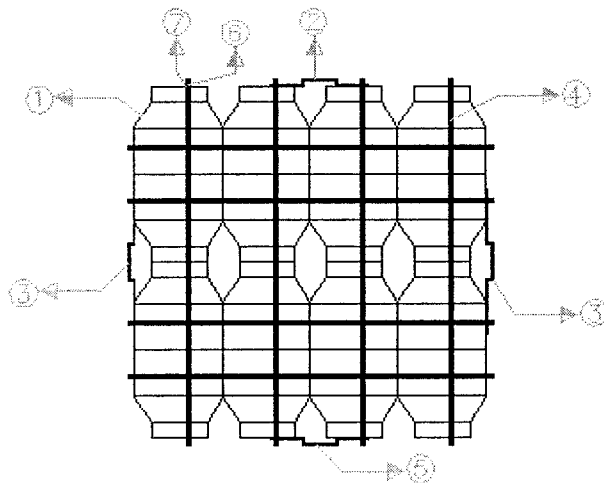
- ① : 황토수질정화 블록
- ②, ③ : 연결용 평철
- ④ : 전산볼트
- ⑤ : 연결용 볼트
- ⑥ : 연결용 너트
- ⑦ : 연결용 와사



<그림 7-39> 황토수질정화블록 제원도



<그림 7-40> 황토수질정화블록 연결용 부속철물



<그림 7-41> 황토수질정화블록 조립도(1M*1M)

7) 시공

가) 공사 착수 전 검토사항

- (1) 현장에 반입되는 수질정화블록 및 조립품은 치수가 정확하고, 파손이 없는 적정 품질인가를 확인 검수 후 반입한다.

- (2) 블록나누기도, 상세 부분 도면 등 시공도면을 작성 사전에 감독관의 승인을 득하여야 한다. 다만, 일반적이고 획일한 구획인 경우는 그러하지 아니한다.
- (3) 소운반을 최대한 줄일 수 있도록 현장 진입도로, 주변상황 파악 등 철저한 시공계획을 수립하여 소운반 거리가 최소가 되도록 적정하게 배분 하차 야 적 한다.
- (4) 시공 전, 후 공정 작업자와 공사초기부터 업무협의를 실시하여 시공상의 문제점 및 재시공, 파손이 발생되지 않도록 철저히 사전에 명확히 해야 한다. 또한, 공사범위를 명확히 하여 이로 인한 공사지연이 없도록 하여야 한다.
- (5) 공사용 차량 및 장비 진입로 확인한다.

나) 수질정화블럭 및 조립품의 설치 계획

- (1) 블록의 평면도, 입면도 작성.
- (2) 블록 나누기도 작성.

다) 수질 정화 블럭 및 조립품 설치 준비

- (1) 반입된 블록의 모양, 치수, 강도의 검사.(필요한 경우)
- (2) 심하게 파손되거나 균열이 있는 제품은 현장 외로 반출한다.

라) 수질정화블럭 및 조립품 설치

(1) 현장반입

(가) 야적장의 위치선정 및 부지확보

현장 내로 18 - 25ton트럭이 진입할 수 있도록 현장 진입로를 확보해야 하며 소운반을 최소화하기 위해 적소 야적이 가능하도록 제방 상단도로 또는 하단에 지게차 진입이 용이하도록 평탄 하고 건조한 진입로가 확보되어 야적이 가능하도록 하여야 한다. (차량진입이 불가할 경우 경운기 및 기타장비는 현장 여건에 따라 한다.)

(나) 하차 및 야적 방법

- 차량 운반된 제품은 파손방지를 위해 지게차 등 장비를 이용 항상 파렛트 상태로 하차하여 보관한다.
- 규격별로 적치하여 자재관리 및 소운반이 용이하게 한다.
- 야적 장소 바닥이 고르지 않거나 수분이 있는 곳은 피한다.
- 파렛트의 적재 제한높이는 2단 이하(그 높이는 2.5m이하로 한다)로 한다.

(다) 운반

- 소운반 : 파렛트에서 포장을 해체한 후 블록을 절대로 던지거나 굴러서는 아니 되며 유도파이프 등을 이용, 하단으로 자연 미끄러짐을 유도하여 제품이 깨지거나 모서리 파손 등이 일어나지 않도록 운반하여야 한다. 사면 길이가 짧거나 근거리인 경우 부득이 제품을 던지거나 굴릴 시 안전사고에 유의하여야 한다.

(2) 황토 수질정화블록 및 조립품 설치

(가) 설치 전 준비사항

시공면의 평탄성 및 마감성을 확인하고 실 등을 이용 기준선을 설치하여 시공의 정도를 꺾는다. 블록에 묻은 유해 물을 제거하고 심하게 파손되거나 균열이 있는 제품은 장외로 반출한다.

(3) 수질정화블럭 및 조립체의 수평 및 수직 줄눈 나누기

- (가) 바닥의 수직 및 수평 평활도를 위해 수직, 수평의 실을 놓는다.
- (나) 시공 누적오차가 적도록 수평, 수직 줄 눈을 수시 점검한다.

(4) 황토 수질정화블록 및 조립체 설치

- (가) 현장에서 수질정화블럭 조립을 실시할 경우 공장에서의 조립과 마찬가지로 그 부속물을 이용하여 실시하도록 한다.
- (나) 블록 및 조립체의 연결부위(평철)의 구멍이 정확하게 맞아야 하며 틈 및 유격이 발생하여선 안된다.
- (다) 일정단위로 조립된 조립체의 연결은 접합부위에 볼트 및 너트를 평철의 구멍에 삽입하여 강하여 조이도록 한다.
- (라) 블록 설치가 완료되면 상부의 돌 및 이물질 등을 정리, 청소하여야 한다.

마. 지오그린 황토경계식재블록

1) 일반사항

가) 적용 범위

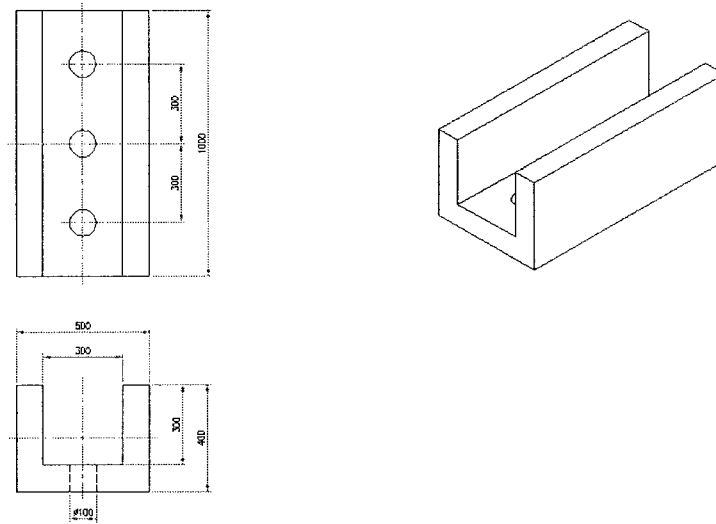
본 제품은 하천 호안사면의 천단 콘크리트와 같이 하천호안의 상단부와 고수부 지와의 접합을 확실하게 하여 호안이 우수 및 유수에 의해 파괴 및 유실되지 않도록 보호하며 식생을 적용하여 기존의 구조적 역할과 동시에 환경, 조경적인 역

할을 수행할 수 있도록 한다.

- 하천 저수 호안 및 고수 호안의 제방공사.
- 농업용수로의 제방공사.
- 무너짐이 예상되는 도로 법면의 사면공사.
- 철도의 측방 사면공사.

나) 제품 제원

본 연구에 의하여 생산, 시공되는 황토경계식재블럭의 모양, 치수, 겉모양을 <그림 7-42>에 나타내었다.



<그림 7-42> 황토 경계식재블럭

2) 재료

가) 개요

제조시 배합에 사용되는 재료들은 기본적으로 KS 뿐만 아니라 외국 기준에도 적합한 재료를 사용해야 하며 기본적으로 국가 및 공인기관 및 단체에서 제정된 성적서를 바탕으로 하되 사용시 재료에 대한 신뢰도가 의심될 때는 자체 실험을 통한 보완 및 검증을 실시하여 재료의 품질안전성을 확보하여야 한다.

나) 결합재

- (1) 결합재로는 무기성 재료인 고로슬래그 미분말을 주원료로하고 소성황토 및 기타 기능성 혼화제가 사용된다.
- (2) 결합재로 사용되는 재료들의 물리화학적 성질을 확인하기 위해서 제조회사의 품질인증서 및 시험기관의 시험성적서를 참고로 하며 필요시 자체 시험을 행하여 품질의 균질성을 확보하도록 한다.

다) 골재

- (1) 포리스 콘크리트 제품을 제조하기 위해 골재는 표준크기13mm의 골재를 사용하며 사전골재 품질시험을 실시하여야 한다.
- (2) 골재의 품질은 깨끗하고, 강하고 내구적이며, 먼지, 흙, 유기불순물 등 해로운 물질을 함유하지 않아야 한다.

라) 혼화재료

- (1) 혼화제는 KS F 2560(콘크리트용 화학 혼화제)규격에 적합하여야 한다.
- (2) 화학혼화제의 시험성적서는 제품과 동시에 첨부 받아 그 성능을 반드시 검토한 후 적정사용량을 실제 배합에 적용한다.

마) 혼합수

물은 기름, 산, 유기불순물, 혼탁물 등 콘크리트 품질에 나쁜 영향을 미치는 물질의 유해량을 함유해서는 안 된다.

3) 제조

가) 개요

재료선정과 배합이 결정되면 재료계량 → 재료혼합 → 성형 → 양생의 단계를 거쳐 제품을 제조, 생산하게 된다.

나) 재료의 계량

계량작업은 배합계획대로 정확히 계량하는 정확도 문제와 가능한 단기간내에 빨리 계량하는 계량 신속도 문제를 기본원칙으로 한다. 재료 계량기는 로드셀을 이용한 중량계량으로 개발계량방식을 이용한다.

다) 재료의 혼합

재료 혼합방법은 강제식 믹서로서 혼합조 고정형 팬형 믹서이다. 혼합방법은 일괄방식 중 혼합시간 연장방식 $G \cdot B \cdot W \cdot \rightarrow 90$ 초으로 하며 콘크리트 표준시방서에 의해 비빔시간을 3배 이상(270초)으로 하지 않는다.

해설) B : 결합재, W : 물, G : 골재

라) 성형

성형은 콘크리트를 거푸집에 채워 넣은 후 소요품질의 공장제품이 얻어지도록 적절한 진동 및 가압 다지기에 의해 실시해야 한다.

마) 양생

- (1) 거푸집과 함께 증기양생에 넣어 양생실의 온도를 균등하게 올린다.
- (2) 비빔후 2~3시간 경과된 이후부터 증기양생을 실시한다.
- (3) 온도상승 속도는 1시간당 20°C 이하로 하고, 최고온도는 65°C 로 한다.
- (4) 양생실의 온도는 서서히 내려 외기의 온도와 크게 차이가 없도록 하고 나서 제품을 꺼낸다.

4) 다루기, 운반, 저장

성형 후 다루기 및 운반시 제품에 균열, 흠 등의 해로운 영향을 주지 않도록 충분히 유의할 필요가 있다.

가) 제품은 운반문제를 고려하여 파레트화 하여 야적 하며 출하 전까지는 보습 및 보양시설(차양막 및 비닐시트)을 설치하여 덮어주도록 한다.

나) 운반 및 취급 등을 위한 지지점이나 결합점 등을 표시하도록 한다.

5) 품질관리 및 검사

가) 겉모양

겉모양에는 해로운 흠, 균열 등의 결점이 없어야 한다. 탈형 후 또는 제품 출하 직전에 반드시 검사를 하고 문제가 있을 시에는 즉각 교체하여야 한다.

나) 치수 및 허용차

제품의 치수 및 허용차는 <표 7-16>에 따른다.

<표 7-16> 황토 경계식재블럭의 치수 및 허용차

단위 : mm

구 분	치 수			허용차
	가로	세로	두께	
		1000	400	500

다) 품질 기준

황토경계식재블럭의 압축강도, 흡수율, 공극율 대한 품질기준값을 <표 7-17>에 나타내었다.

<표 7-17> 황토 경계식재블럭의 품질기준값

구분(골재입도)		20-25mm
배합조건		
강도(재령 28일) N/mm ² {kgf/cm ² }	압축강도	1.8 {180} 이상
흡수율(%)		12% 이내
공극율(Vol %)		12 이상

라) 시험 방법

(1) 압축강도 측정

(가) 압축강도시험은 공시체의 치수, 형상, 재하방법에 따라서 달라지므로 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 정해진 시험방법으로 구한다.

(나) KS F 2401(굳지않은 콘크리트 시료채취 방법), KS A 3151(랜덤 샘플링 방법), KS F 2403(콘크리트의 압축 시험용 공시체 방법)에 의해 공시체를 제작하여 제품과 동일한 양생을 거쳐 재령 28일에 강도시험을 실시한다.

(2) 흡수율 측정

양생이 끝난후 건조기 내에서 100-115 °C 로 24시간이사 건조시킨다. 이때 2 시간 동안에 측정된 무게차가 0.2% 를 초과하지 않을 때까지 건조시킨후 실온에서 4시간이상 냉각시켜 무게를 측정한다. 그 후 시료를 15~30°C 의 물에 시료 전체를 24시간 침수시킨후 꺼내어 형겅으로 표면수를 닦은다음 무게를 측정한다. 이때 무게를 흡수시 무게로 한다. 흡수율은 다음 식(2)에 따라 계산한다.

$$\text{흡수율(\%)} = (A - B) / B * 100 \quad \text{-----} \quad (2)$$

여기에서 A:시료의 포화무게, B:시료의 건조무게

(3) 공극율 측정

일본콘크리트공학협회(JCI) 에코콘크리트 연구위원회의 「포러스 콘크리트의 투수시험 방법(안)」에 따른 용적법에 의한 전공극율을 측정한다.

$$A. \text{전공극율(\%)} = [1 - (W2 - W1) / V1] \times 100$$

V1 : 공시체의 용적

W1 : 공시체의 수중중량

W2 : 24시간 기중방치 후의 기중중량

6) 시공

가) 공사 착수 전 검토사항

- (1) 현장에 반입되는 황토 경계 식재블럭은 치수가 정확하고, 파손이 없는 적정 품질인가를 확인 검수 후 반입한다.
- (2) 시공도면을 작성 사전에 감독관의 승인을 얻어야 한다. 다만, 일반적이고 획일한 구획인 경우는 그러하지 아니한다.
- (3) 소운반을 최대한 줄일 수 있도록 현장 진입도로, 주변상황 파악 등 철저한 시공계획을 수립하여 소운반 거리가 최소가 되도록 적정하게 배분 하차 야 적 한다.
- (4) 타 공종과 중복작업이 있을 경우 자재의 파손이 우려되므로 전 공정에 자재 및 장비, 차량 등 장애물을 정리하고 작업에 임할 수 있도록 해야 한다.
- (5) 시공 전, 후 공정 작업자와 업무협의를 실시하여 시공상의 문제점 및 재시공, 파손이 발생되지 않도록 철저히 사전에 명확히 해야 한다. 또한, 공사법위를 명확히 하여 이로 인한 공사지연이 없도록 하여야 한다.
- (6) 그 외, 다음 요소를 확인한다.
 - (가) 용전, 용수(전압 및 용량검토)를 확인한다.
 - (나) 공사용 차량 및 장비 진입로 확인한다.

나) 시공면 터파기

- (1) 굴착면이 안정된 형상으로 유지되도록 균형있게 잘 파나간다.

(2) 줄터파기는 설계 도면에 의하여 행하고 담당원의 지시에 따른다.

다) 시공면 바닥고르기

- (1) 시공면 터파기가 소정의 깊이까지 도달하면 기초바닥은 담당원의 검사, 승인을 받는다.
- (2) 시공면은 특기할 만한 지시사항이 없는 한 평탄하게 있는 그대로 둔다.

라) 황토 경계식재블럭의 설치

- (1) 황토 경계식재블럭은 미리 시공한 터파기면에 설치하여야 한다.
- (2) 황토 경계식재블럭의 접합부 줄눈 간격은 설계도에 정한 치수대로 하고 줄눈은 용적 배합비 1:2(시멘트:모래)의 줄눈 모르타르를 채워서 마무리한다.
- (3) 줄눈 모르타르 강도가 충분히 확보된 후가 아니면 황토 경계식재블럭 사이에 되메울 흙을 반입하여서는 안 된다. 되메우기의 개시 시기는 감독관의 지시에 의한다.

7) 식재

가) 식물재료의 운반, 저장 및 취급

- (1) 충격으로 뿌리분의 파손, 흠털림, 세근절단 등이 발생하지 않도록 조치하여야 한다.
- (2) 식물재료는 식재직전에 현장으로 운반하여야 하며 식재될 때까지 양호한 상태를 유지하여야 한다.
- (3) 반입하여 당일 식재하지 못한 경우에는 잎, 뿌리 등의 건조방지를 위하여 강한 바람이 없고 햇볕이 차단되며, 배수가 양호하고 약간 습한 장소에 보관하여야 한다.

나) 충진토

- (1) 충진토는 양질의 현장발생 표토 또는 반입표토를 사용하되 토양시험결과 부적합 토양으로 판정된 경우에는 적정수준으로 개량하여 사용한다.
- (2) 충진토는 점토덩어리, 쓰레기, 기타 유해물질을 포함하지 않아야 한다.
- (3) 토양 및 현장상황에 따라 보습제 및 보수제가 혼합된 영양토를 충진하여 식물의 생육이 활발하도록 하여야 한다.

다) 식물 재료

- (1) 계약도면에 명시된 품종으로 한다.
- (2) 식재 예정지역과 유사한 기후조건에서 재배, 성장한 것이어야 한다.
- (3) 지정된 규격에 합당한 것으로서 발육이 양호하며, 수종별로 고유의 수형을 유지하여야 한다.
- (4) 모종은 지정된 규격에 고유의 성상을 유지하고 줄기, 잎, 꽃눈의 발달이 양호하며, 병충해·상해가 없고 근계가 충실히 보호되어 식재 후 건전한 생육을 유지할 수 있는 것이어야 한다.
- (5) 병충해의 피해나 손상이 없고 건전한 생육상태를 유지하여야 한다. 다만, 병충해의 감염정도가 미미하고 심각한 확산의 우려가 없는 경우에는 적절한 구제조치를 전제로 채택할 수 있다.

라) 규격

- (1) 조형수목의 흉고 또는 근원직경 등이 지정 규격 이상이 경우는 담당원의 승인하에 수고 및 수관폭을 지정규격 이내로 할 수 있다.
- (2) 규격의 허용차는 -5~10% 이내로 한다. 단, 허용차에도 불구하고 규격미달의 수목이 각 수종별, 규격별 총수량의 20%를 초과할 수 없다.

마) 수종 및 규격의 변경

식재수목의 수종 또는 규격의 변경은 수급인이 관련증빙자료를 첨부, 서면으로 요구하여 담당원의 승인을 받지 않는 한 허용되지 않는다.

바) 시공

- (1) 블럭이나 모르터 등의 건축잔재가 방치되어 있거나 또는 지나친 다짐 지역이나 배수가 불량한 지역이 없는지를 확인하여야 한다.
- (2) 운반을 위한 수목의 상하차는 인력에 의하거나 대형목의 경우에는 체인블록이나 크레인 등 중기를 사용하여 안전하게 다룬다.
- (3) 운반 중의 보호조치
 - 뿌리분의 보토를 철저히 한다.
 - 세근이 절단되지 않도록 충격을 주지 않아야 한다.
 - 차량의 용량과 수목의 무게 및 부피에 따라 적정수량만을 적재하여 이중적재를 금한다.

- 비포장도로로 운반할 때에는 뿌리분이 충격을 받지 않도록 흙, 가마니, 짚 등의 완충 재료를 깐다.
- 수송 도중 바람에 의한 증산을 억제하며 강우로 인한 뿌리분의 토양유실을 방지하기 위한 조치를 취한다.
- 운반 중 회복불능한 손상을 입거나 가지가 부러져 원형이 심하게 손상된 수목은 동종 동품으로 보상하고, 경미한 가지부러짐 등에 대해서는 담당원의 지시에 따라 조치하여야 한다.

사) 식재

- (1) 뿌리를 다듬고 주간을 정돈하여 식재하여야 한다.
- (2) 원래의 식재 높이와 방향을 유지시키되 경관, 기능 등의 이유로 조정이 필요한 경우에는 담당원과 협의·조정하여야 한다.
- (3) 물 조임시 침하를 고려하여 약간 상식하도록 한다.
- (4) 흙넣기 및 다짐은 수목의 생리적 특성에 따라 물다짐 또는 마른다짐으로 하며, 뿌리분 주위에 공극이 발생되지 않도록 면밀히 실시하여야 한다.
- (5) 초화류를 식재하는 경우에는 제조회사의 시공 지침을 따른다.
- (6) 덩굴성 식물은 식재후 주요 장소를 대나무 또는 지정재료로 고정한다.
- (7) 시공후 기후에 주의하고 담당원의 지시에 따라 지나치게 건조하지 않도록 양생·관리하여 발아를 촉진시킨다.
- (8) 특수한 식물의 식재와 파종에 대해서는 각 식물별 재식 및 파종방법 또는 특기 시방서를 따른다.

아) 유지관리

- (1) 혹서기에는 매일 관수를 1~2회/일 실시한다.
- (2) 전문적인 관리인이 토양의 보습상태를 점검하여 필요시 추가 관수한다.

자) 고사목의 처리

고사목의 발생위치와 상태를 점검하여 원인을 규명하고 사후대책을 수립하여야 한다.

차) 공사종료

식재, 관수 및 뒷정리가 끝난 상태에서 담당원의 승인을 받았을 때를 공사의

종료로 인정한다. 단, 계약조건에 일정기간의 유지관리가 포함되었을 경우에는 계약된 유지관리기간이 종료되는 때로 한다.

2. 적용제품의 시공방법별 경제성 검토

본 절에서는 시공방법의 정립과 아울러 개발제품의 시공방법별 소요공사비를 산정하고, 이를 바탕으로 기존공법 및 타공법과 비교하여 경제성의 유무를 검토하였다.

가. 에코셀 공법(사면 안정용 다공성 황토블럭)

사면 안정용으로 개발된 에코셀 공법은 녹화를 실시한 경우와 녹화를 실시하지 않은 경우와 같이 두 가지의 형태로 적용이 이루어지게 된다. 따라서 본 연구팀에서는 상기의 두 가지의 경우로 분류하여 시공단가를 산출하였다. 그 결과, 녹화를 실시한 경우와 녹화를 실시하지 않은 경우가 각각 1M²의 사면을 구성하는데 45,000원과 34,000원이 소요되는 것으로 평가되었다.

이는 기존의 공법인 콘크리트호안블럭공법과 개거공법에 비교하여 약간 고가이거나 동등한 수준이며, 최근 친환경블럭으로 적용되고 있는 환경생태블럭에 비해서는 우수한 가격 경쟁력을 확보하는 것으로 판단되었다. 더구나 비친환경적인 기존의 공법들보다 크게 친환경성을 확보하면서도 거의 동등한 수준의 경제성을 확보하는 측면에서 볼때 앞으로 수로의 사면조성사업에 그 적용성이 우수할 것으로 판단된다.

나. 황토옹벽/어소블럭 공법(수충부 안정용 다공성 황토블럭)

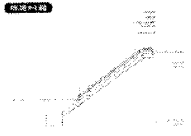
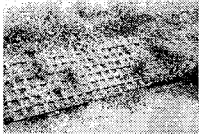
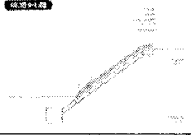

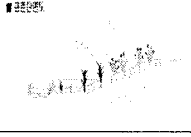

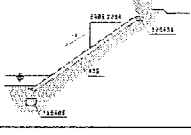

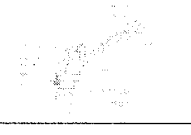

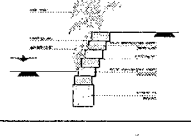



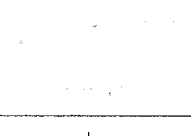

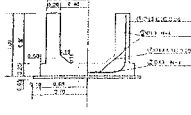

우천시 등과 같이 유속이나 유량이 급격히 증가할 경우 사면 또는 수충부의 안정성에 주안점을 둔 공법인 황토옹벽/어소블럭 공법은 황토옹벽/어소블럭 만으로 조성되는 경우와 황토옹벽/어소블럭 및 황토 지오그린셀을 조합하여 조성되는 경우와 같이 두 가지의 형태로 적용이 이루어지게 된다. 따라서 본 연구팀에서는 상기의 두 가지의 경우로 분류하여 시공단가를 산출하였다. 그 결과, 황토옹벽/어소블럭의 단독 조성공법과 조합조성공법이 각각 1M²의 사면을 구성하는데 140,000원과 100,000원이 소요되는 것으로 평가되었다.

이는 기존의 공법인 콘크리트옹벽공법과 비교하여 거의 동등 이상의 가격경쟁력을 확보하는 수준이며, 최근 친환경블럭으로 적용되고 있는 바구니형 콘크리트블럭에 비해서도 동등 이상의 우수한 가격경쟁력을 확보하는 것으로 판단되었다. 더구나 비친환경적인 기존의 공법들보다 월등하게 친환경성을 확보하면서도 훨씬 우수한 수준의 경제성을 확보하는 측면에서 볼때 앞으로 구조적 안정성을 요하는 수로의 사면조

성사업에 그 적용성이 우수할 것으로 판단된다.

<표 7-18> 개발공법 및 기존공법의 경제성 검토

(단위 : 원/M2)

구 분	단면도	시공전경	공사비	
호안블럭형	에코셀(녹화 無) (다공성 황토블럭)			34,000
	에코셀(녹화 有) (다공성 황토블럭)			45,000
	환경생태블럭			67,000
	콘크리트호안블럭			30,000
조합형	황토 지오그린셀 + 황토옹벽/어소블럭			100,000
옹벽형	황토옹벽/어소블럭			140,000
	바구니형 블럭			150,000
	콘크리트 옹벽			100,000 ~ 200,000
개거형	개거(콘크리트 타설)			36,000

4절 용배수로 이외의 수리시설물, 소하천 정비시 활용성 제시

1. 용배수로 이외의 수리시설물, 소하천 정비시 활용성 제시

본 연구에서 개발한 다공성 황토블록은 그 특성 및 용도에 비추어 볼때 용배수로 이외의 수리시설물인 보와 낙차공, 그리고 이외에도 소하천의 호안정비 등에 그 적용성이 우수할 것으로 판단된다.

가. 보와 낙차공

보와 낙차공은 횡단경사의 흐름을 제어하고 세굴을 방지하기 위해 설치되며, 경우에 따라서는 취수목적을 위한 수로 횡단시설물이다. 이에 따라 보와 낙차공은 수로의 상하류의 연속성을 단절함으로써 어류의 상하류 간의 이동성을 저해하게 된다. 따라서 이들은 수로주변을 포함한 수로경관이나 수로생태계의 서식환경 및 어류의 이동을 배려하여 시설물을 배치하고 적절한 구조와 재질을 선택해야 한다. 따라서 어류의 이동을 배려할 수 있는 보와 낙차공의 정비시에도 본 연구에서 개발한 친환경 황토블록을 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 소하천 호안정비

호안은 유수에 의한 세굴작용으로부터 하안 및 제방을 보호하는 치수 및 이수기능을 담당하고 수제부에서 하천생태계나 경관에 중요한 기능을 담당한다. 이러한 소하천의 호안은 구조적으로 안전해야 하며 하천생태계에 건전한 영향을 미칠 수 있어야 한다. 그러나 기존의 호안블록은 하천수가 토양층에 스며드는 것을 물리적으로 차단시켜 자연하천의 천변식생을 건조화시키며 천변식생이 제공하는 그늘을 제공하지 못함으로써 수온의 변화가 매우 커져 수중생물과 어류의 서식처 및 산란처로서의 기능을 상실하게 하고 나아가 천변식생지 및 주변생물들의 서식기반까지 손상시킨다. 따라서 투수성을 확보하여 토양층으로의 수분 공급을 원활히 함으로써 이러한 문제점을 보완한 친환경 황토블록은 홍수시에 구조적으로 안전하면서도 호안에 식생을 도입시켜 건전한 생태계를 조성할 수 있는 공법으로 소하천의 호안 정비시에 그 적용성이 매우 우수할 것으로 판단된다.

2. 생태공원, 자연학습장 조성시 활용방안 제시

가. 생태공원 조성시 활용방안 검토

생태공원 조성의 목적은 근린공원에 자연생태계와 유사한 환경조성을 유도하여 도시민과 농어민을 위한 휴식공간이나 관광지로써 활용할 수 있을 뿐만 아니라 야생동물의 서식공간이 될 수 있는 공원으로 조성하는데 있다. 조성방법을 보면 기본적으로 생태 수용력을 고려한 최소한의 시설물로 설치하되 시설물 위주가 아닌 자연숲의 보호 및 유지관리에 초점을 두어야 한다. 따라서 생태계의 악영향을 최소화 할 수 있는 수준으로 시설물의 면적은 축소하고, 숲을 가로지르는 필요 이상의 산책로는 통제하는 등 최소한의 필요시설만 입지시키도록 해야 한다.

따라서 대부분의 생태공원의 경우에는 본 개발제품을 생태공원을 조성시 활용하는 것은 많지 않을 것으로 판단된다. 하지만, 생태공원 내에 구조적 안정성을 요구하는 수로 사면이나 성토지반지역이 존재하는 경우에는 본 개발제품의 경우 친환경적이면서도 구조적 안정성을 확보하고 있기 때문에 그 적용성이 우수할 것으로 판단된다.

나. 농촌마을 내 친수공간의 조성

농촌지역에는 하천의 지류, 소수로, 우수로 등의 공간이 산재해 있으며, 이들 대부분은 지상에 설치되어 있으나 정비상태나 관리상태가 불량하여 시각적, 위생적으로 마을내의 환경을 악화시키고 있다. 그러므로 이러한 공간들을 정비하여 친수공간으로 조성함으로써 마을내의 환경과 경관을 향상시킬 필요가 있다.

이러한 친수공간 조성을 위한 소하천의 친환경적 정비는 지역의 특성, 친수공간계획 및 경관계획, 주변의 생태환경, 마을의 정체성을 고려하여 도입유형을 결정하여 시행되고 있기 때문에 주변식생과 어우러져 친환경적인 경관 및 기능을 확보하면서도 구조적인 안정성을 확보할 수 있는 정비기술의 일환으로써 본 개발제품의 활용도는 매우 높을 것으로 판단된다.

제8장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도



제8장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1절 용배수로 및 주변공간의 친환경적 정비기술 구축

친환경적 공법이 적용되어 계획·시공된 시범지구인 여주송삼지구, 영광 오동지구, 대단위 농업종합개발 사업지구 2개소, 일반 경지정리지구 3개소에 대한 현장자료, 친환경 공법 및 현장조사, 모니터링을 실시하여 문제점 및 공법을 분석하고, 친환경 정비기술을 개발하였으며, 본 연구과제에서 개발된 친환경 정비기술은 친환경 정비사업 시행시 가이드라인 역할을 충분히 할 수 있을 것으로 판단됨.

2절 친환경적 수로정비사업의 대상지역 선정기준 및 지역 선정 우선순위 결정 기법 개발

친환경적 수로정비사업의 대상지역 선정기준을 마련하기 위해 수로의 특성과 주변 지역의 특성을 고려하였으며, 수로의 특성은 수로의 기능적요소와 생태적 요소를 구분하여 13개, 주변지역의 특성은 주민의 친수활동적 요소와 개바르이 용이성으로 구분하여 13개의 기준을 제시하였다.

친환경적 수로정비를 위한 우선지역을 선정하기 위하여 단순점수 부여방법, 주관적 평가접근법, 체크리스트 기법을 사용하여 지역의 우선순위를 결정하는 기법을 개발하였다.

이러한 연구결과는 효율적인 친환경 정비를 위한 중요한 가이드라인이 됨과 동시에 그 지역의 환경에 적합한 설계모형을 개발하는데 토대가 될 것이라 판단된다.

3절 친환경적 정비 수로에 대한 모니터링

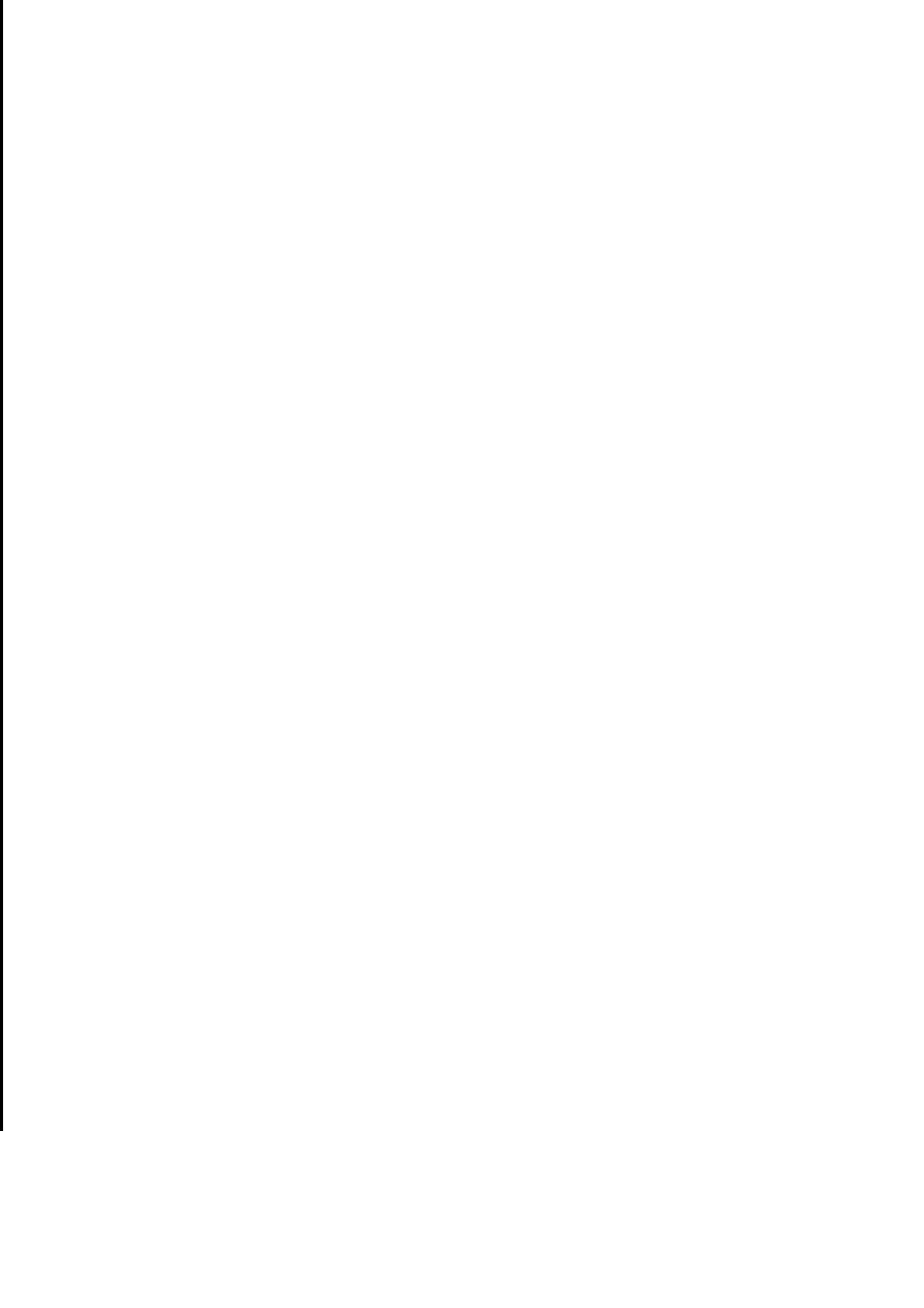
자연친화적 수로정비사업 시행하천에 적용하기 위한 모니터링 기법을 확립하고, 생물 모니터링에 따른 사업평가를 실시하여 수로의 보전과 관리에 필요한 기초자료를 확보하였으며, 모니터링된 호안 분석 결과는 향후 친환경적으로 조성될 수로에서 친환경 공법을 효과적으로 적용할 수 있는 기초자료로서 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

4절 친환경 용배수로 개보수에 적합한 제품개발

친환경 용배수로에 적합한 요구특성을 반영하여 개발된 다공성 황토블록을 이용한 친환경 수로용 제품은 기존의 공법(콘크리트 호안블록공법, 개거, 환경생태블록 공법, 바구니형 블록공법 등)과 비교하여 경제성 분석을 수행한 결과, 가격 경쟁력을 확보할 뿐만 아니라 수로 본래의 기능을 유지하면서도 친환경적인 기능을 확보함으로써 그 적용성이 우수한 것으로 판단된다.

또한 개발된 제품 및 공법은 그 특성 및 용도에 비추어 볼 때 용배수로 이외의 수리시설물인 보와 낙차공, 그리고 이외에도 소하천의 호안 정비 등에 그 적용성이 우수할 것으로 판단된다.

제9장 연구개발결과의 활용계획



제9장 연구개발결과의 활용계획

1절 특허등록 제품의 상품화 추진

본 연구에 의해 특허를 등록한 황토블록을 이용한 배수로 시공법은 기존의 친환경 제품이 하천에 적용할 수 있었다면 본 제품은 배수로의 특성인 홍수시 유수 소통이 원활하면서 식생 도입이 가능하고 배수로의 사면 안정성을 도모할 수 있으므로 상품화가 되어 현장에 적용성이 범용화가 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 개발된 제품을 이용한 배수로 시공법이 적용되었거나 설계중인 지구는 아래의 <표 9-1>과 같으며 이러한 지구 외에도 향후 많은 지구에서 설계되어 적용될 것으로 판단된다.

<표 9-1> 본 개발제품의 현장적용 추진사례

지역	사업명	시행처	적용제품	적용규모	비고
대흥지구	대흥지구배수개선사업	농기공	에코셀	5,225M ²	설계완료
도곡지구	도곡지구배수지개선사업	"	지오그린셀 옹벽/어소블록	3,500M ²	"
논산	논산배수로 조성사업	"	옹벽블록	1,100M ²	"
인천,김포	갈산지구 조성사업	"	-	배수로 1.2km	설계중
해남	금호지구 조성사업	"	-	-	"
서천군	서천군 택지개발사업	"	-	-	"

2절 개발기술의 설계 및 시공에 직접 이용

본 과제의 연구결과인 용배수로 친환경 정비기술과 친환경 정비지구 대상지역 선정기법등은 친환경 설계시 직접 이용되어 친환경 사업의 원활한 시행에 크게 도움이 될 것이라 판단됨.

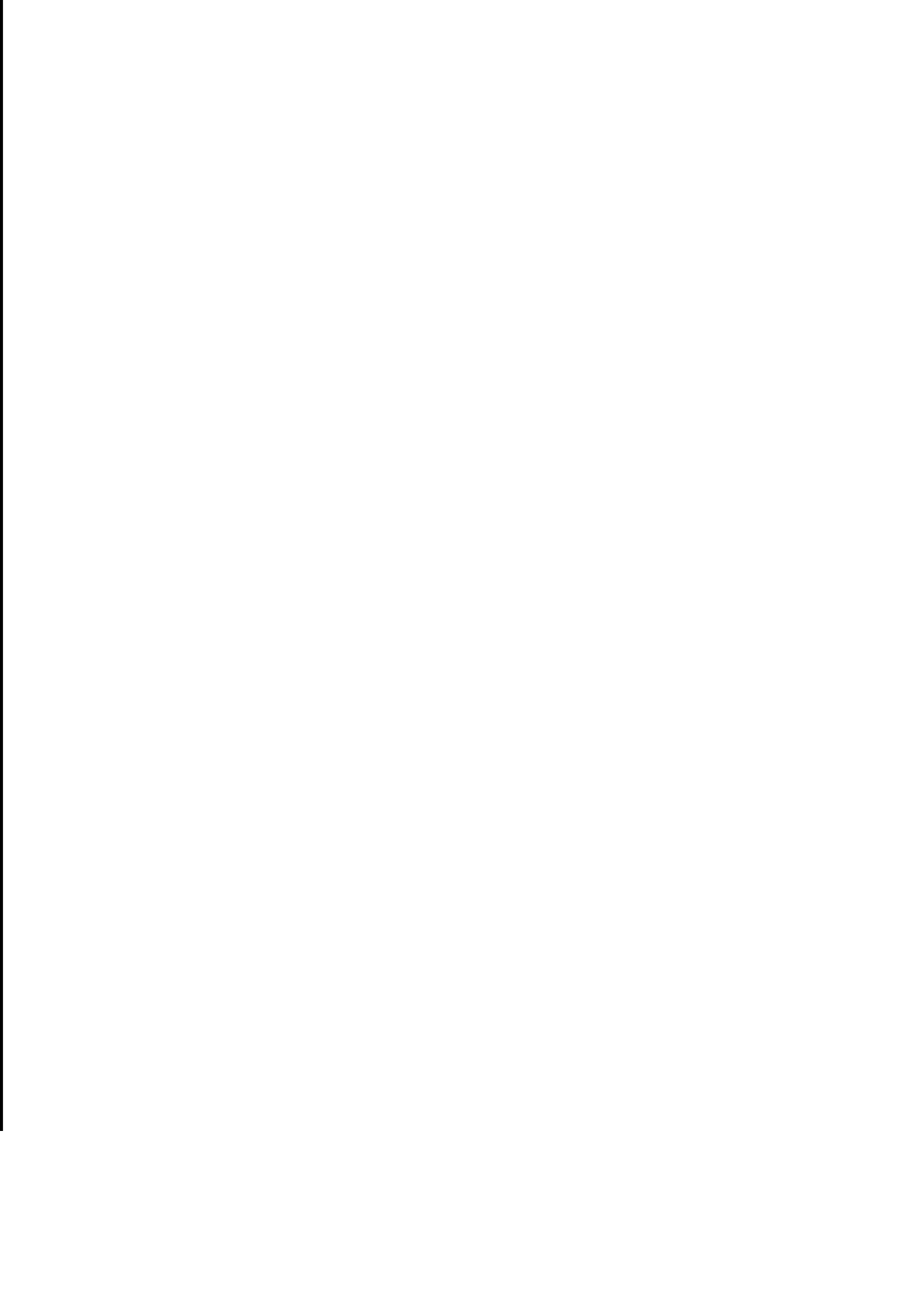
3절 친환경 관련사업 정책결정 판단자료로 이용

본 과제 의 연구결과인 친환경적 기술이 적용된 지역에 대한 모니터링 결과는 향후 친환경 관련 사업 정책결정을 뒷받침할 수 있는 좋은 자료로 이용될 것이라 판단됨.

4절 향후 기술개발의 자료로 활용

본 연구과제에서 개발된 기술은 친환경 정비사업의 설계에 큰 도움을 줄 뿐아니라 향후 친환경 용배수로 공법 개발의 기초자료가 됨과 동시에 다양한 친환경 공법이 개발되어 실용화가 추진되는데 큰 기여를 할 것이라 판단된다.

제10장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보



제10장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

○ 유럽 및 일본에서 연구된 기술정보 수집

유럽의 근자연형 공법 및 일본의 다자연형 공법에 대한 자료를 수집하여 참고자료로 구축하였음.

- 스위스

스위스에서 행해지는 하천복원 조치는 식생과 거석을 이용하여 홍수류를 완화, 자연석을 이용 콘크리트 낙차공을 대체하고, 식생호안, 제외지 녹화, 유로의 사행화등으로 특징을 요약할 수 있으며, 특히 식물재료를 활용한 하천공법을 생물공학적 공법이라는 명칭으로 정하여 널리 적용하고 있음.

- 독일

독일은 라인강, 다뉴브강, 베를린 실개천 등에서 친환경 정비개념을 도입하여 하천정비를 하였으며,

라인강에서는 가동보의 낙차를 극복하고 사라진 연어가 도래하기 위하여 재래식 여도를 자연에 가깝게 재건설 하였으며 하천의 호안과 고수부지를 수변공간으로 활용할 수 있도록 친환경적 정비기법을 도입하였으며

다뉴브강은 하천의 발달을 위한 공간제공, 지속적인 하상침식근절, 생태계의 활성화등의 목표를 달성하기 위해 사행하천의 발달을 위한 기법과 생태공간 조성을 위한 친호나경적 정비기법을 도입하여 친환경 하천정비를 하였음.

베를린 실개천에서는 수질의 생태학적 재생을 위한 전제조건인 도출, 현장조건이 허용하는 범위내에서 실개천 주변에 자연적인 조건을 갖추며, 파괴된 자연의 회복이 가능하도록 수변과 인접한 면적을 확대하고 배수기능에 차질이 없도록 개울의 가파른 호안 경사를 낮추고 콘크리트 호안 및 하상을 철거하며 직선형의 배수로는 사행으로 바꾸고 삼각주를 조성하고, 기존의 보행로는 투수성으로 바꾸고, 녹지를 조성하는 친환경 정비기법을 도입하였다.

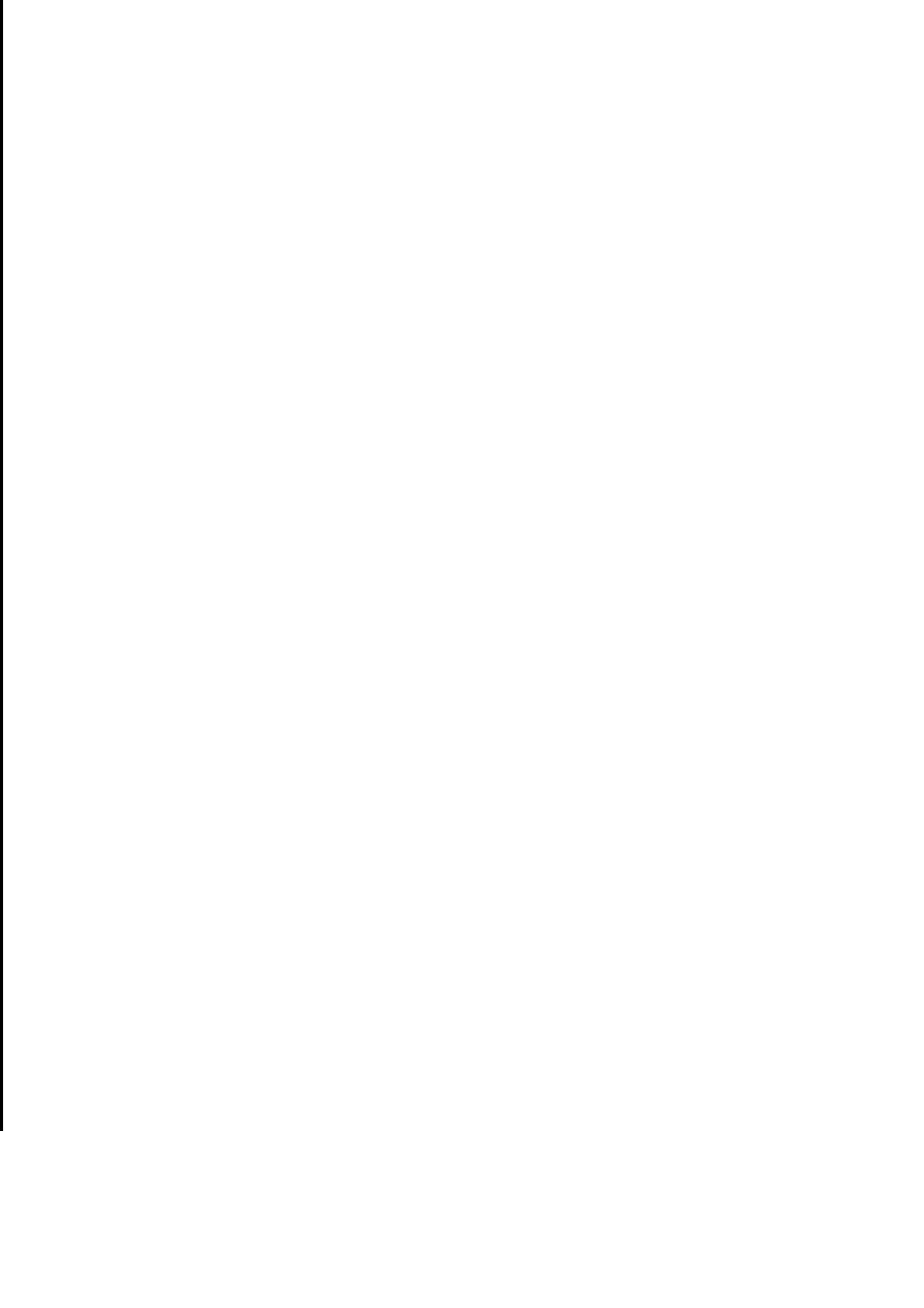
- 일본

일본은 버드나무 말뚝격자공법, 비탈기슭의 거석 배치, 비탈면의 버드나무등의 식재, 자연 돌쌓기, 다양한 식생공법, 하도내 야생조류 서식처 조성등의 공법을 사용하여, 자연형 하천 가꾸기 사업을 하였으며, 자연형 하천 조성기술이 발달되어 있다.

- 캐나다

캐나다는 도시근처 하천위주로 생태적으로 건강한 환경을 조성, 하천의 지형적, 생태적 원칙에 기초한 복원, 수질개선, 여울과 소 및 어도 조성에 의한 복원 등으로 자연형 하천정비를 하였으며, 시민단체의 자발적인 참여가 있었다.

제 11장 참고문헌



제11장 참고문헌

1. 강형식, 최성욱, 2000, 식생된 개수로에서 난류 구조와 부유사 이동현상의 수치해석, 한국수자원학회논문집 Vol.33(5), pp.581-592
2. 건설교통부, 1995, 도시하천의 하천환경 정비기법의 개발
3. 건설교통부, 1996, 하천공간 정비기법 개발 조사·연구
4. 건설기술연구원, 1999, “국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발” 중간보고서, 환경부
5. 건설부, 1992, 하천환경 정비기법 개발 기초 조사·연구.
6. 건설부, 1994, “자연형 하천계획기법 및 하천유량과 수질의 상관성 조사·연구”. 하천환경관리기법개발연구·조사 보고서.
7. 건설부, 1990, 소규모시설 설계지침
8. 건설부, 1992, 하천환경 정비기법 개발 기초 조사·연구
9. 건설부, 1993, 하도환경정비 기초 조사·연구
10. 건설부, 1994, 자연형 하천계획기법 및 하천유량과 수질의 상관성 조사·연구
11. 건설부, 1994, 하천시설기준
12. 경기도, 1994, 사기막천 수계 하천정비 기본정비계획
13. 고려대학교, 1997, 농촌지역에 생물서식공간 조성 정책 및 기법
14. 공동수 외 5인, 1996, 오소내 오염하천 유입부의 식물에 의한 정화처리 연구(II), 국립환경연구원, pp. 47~52.
15. 구진혁, 심우경, 1997, 농촌지역 생물서식공간 조성기술의 개발, 한국조경학회지 제25권 2호, pp. 100~111.
16. 권오준, 1995, 수변공간지역의 자연친화적 재생, 환경과 조경 제85호, pp.16~25
17. 권오택, 1992, 생물 교육자료 개발을 위한 조종천 어류상에 관한 연구, 서울대학교 과학교육과 석사학위논문, pp. 7~42.
18. 김귀곤, 조동길, 차영두, 황기현, 2000, 생태공원조성을 위한 식재설계방법의 개발, 한국조경학회지 제27권 5호, pp. 12~24.
19. 김기원, 1989, 설악산의 식물 조사 연구, 고려대학교 교육대학원 생물교육전공 학위논문, pp. 16~68.
20. 김명진, 1996, 환경정보체계를 이용한 환경영향평가, 서울대학교 환경대학원 박사학위논문, pp. 12~34.

21. 김봉찬, 1998, 수생식물을 이용한 연못조성. 서울시 산하 식물원 관련 심포지엄.
22. 김선주, 2000, 친환경적 경지정리기법 개발, 농림부, 연구보고서
23. 김선주, 2000, 자연친화적 하천 및 수리시설정비를 위한 토목용 신재료의 활용과 설계기법, 연구보고서
24. 김선주, 안민우, 2003, 용수로의 자연친화적 식재설계, 농자원개발논집 제25집, pp 1~8.
25. 김선주, 양용석, 안민우, 2002, 용수로의 자연친화적 설계, 한국농촌계획학회지 제 8권 2호, pp. 50~56.
26. 김선주, 윤경섭, 이광야, 박성삼 1998, 하천경관을 고려한 환경친화적 수변공간 정비기법, 한국 농공학회지 제40권 6호, pp. 57-69.
27. 김선주, 윤춘경, 김형중, 1997, 오염부하량 및 유하거리가 인공습지에 의한 폐수 처리효율에 미치는 영향, 한국 농공학회지 제39권 5호, pp. 97~108.
28. 김장민, 1998, 식생조사의 효율적 설계에 관한 연구, 광주대학교 석사학위논문, pp. 13~21.
29. 김종원 외 6인, 1997, 식생 평가 기법 해설, 계명대학교 생물학과 보전생태학연구실, pp. 44.
30. 김종원, 1993, 우리나라의 자연 환경 현황 연구 분석, 한국환경기술개발원, pp. 83.
31. 김종원, 이은진, 1997, 다항목 매트릭스 식생평가 기법 - 식생의 자연성 평가에 대한 새로운 기법과 그 적용 -, 한국생태학회지 20, pp. 303~313.
32. 김종원, 이은진, 1997, 식생의 자연성 평가에 대한 신기법과 그 적용, 한국생태학회지 20권 5호
33. 김중훈, 1998, 울산 정족산 무제치습원의 군락분류 및 군락생태, 계명대학교 대학원 생물학전공 석사학위논문, pp. 46~50.
34. 김태경, 1987, 지표생물을 이용한 우리나라 도시하천의 수질평가 방법에 관한 연구 - 탄천을 대상으로 -, 서울대학교 석사학위논문, pp. 8~42.
35. 김태정, 1994, 쉽게 찾는 우리꽃 봄, 여름, 가을, 겨울, 현암사.
36. 김혜주, 1997, 자연형 호안공법의 원리와 적용상의 문제. 한국수자원학회지. 30(4):56-67.
37. 김혜주, 2000, 자연형 하천에서 호안재료와 환경변화, 한국수자원학회지 제33호 6권, pp. 56~67.
38. 내무부, 1994, 소하천정비 방향과 모델

39. 내부부, 1995, 소하천현황
40. 농림부, 2000, 농촌환경정비의 과학(번역본)
41. 농림부, 2000, 환경친화적 농촌마을 정비시스템개발에 관한 연구
42. 농림부, 건국대학교, 2000, 자연친화적 경지정리기법 개발, pp. 101~113.
43. 농어촌연구원, 1996, “배수로 단면구조 및 호안공법에 관한 연구” 연구보고서
44. 농어촌연구원, 건국대학교, 1998, “농어촌지역 소하천의 환경정비기법 개발” 연구보고서, 농림부
45. 농어촌진흥공사, 1996, 농어촌지역 소하천 환경정비 사례 및 기술 자료집
46. 농어촌진흥공사, 1998, 송삼지구 경지정리사업 기본조사 계획서
47. 농업기반공사, 2000, 전남 오동지구 수리시설개보수 기본조사 계획서
48. 농업기반공사, 2000, 환경친화적 경지정리 계획설계지침연구, pp. 58~67.
49. 농업기반공사, 2001, 친환경적 농어촌정비사업 설계지침
50. 농업기반공사, 건국대학교, 2002, 유지관리 측면을 고려한 친환경 수로설치공법 개발, pp. 65~78.
51. 박도순, 1993, 교육연구방법론, 문음사
52. 박상준, 1997, 광릉숲 생물다양성 보전계획, 서울대학교 석사학위논문, pp. 12~36.
53. 박성삼, 1999, 하천경관을 고려한 환경친화적 수변공간 조성기법 연구, 건국대학교 석사학위논문, pp. 19~30.
54. 박익수, 2000, 자연형 하천 복원을 위한 도시중소하천의 하천자연도 평가에 관한 연구, 경희대학교 석사학위논문, pp. 68~78.
55. 박재홍, 김선주, 김필식, 2003, AHP기법에 의한 관개용수로 조직의 평가, 한국농공학회지 제45권 6호, pp 96~108.
56. 박종화, 1996, 생태계 보전형 하천으로의 한강정비, 터전 3권
57. 박종화, 1996, 자연형 하천계획의 하천생태학적 기초, 수자원학회지 29권 2호
58. 박종화, 1997, 우리나라 하천정비 현황 및 전망, 친환경적 하천복원을 위한 국제 심포지움
59. 백종식, 1999, 도시하천에서 자연형 저수로 호안공법의 적용 및 생태적 변화에 관한 연구. 경원대학교 석사학위논문.
60. 백종식, 2000, 도시하천에서 자연형 저수로 호안공법의 적용 및 생태적 변화에 관한 연구, 경원대학교 석사학위논문, pp. 20~28.
61. 서영기술단, 1996, 도시하천의 생태환경 조성기법에 관한 연구

62. 서울시정개발연구원, 1999, 도시하천 생태관리를 위한 기초조사 연구, pp. 75~81.
63. 서울특별시, 2001, 도시조경에 활용할 수 있는 우리꽃 식재 및 관리. 환경관리실
64. 성연주, 2000, 하천변 습지 복원을 위한 식생 모니터링에 관한 연구, 경원대학교 석사학위논문, pp. 31~36.
65. 성태제, 1998, 교육연구방법의 이해, 학지사
66. 송병화, 1996, 안양천 생태통로 기본계획, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, pp. 13~45.
67. 송종석, 1992, 안동댐 건설에 의한 식생변화와 그 요인, 한국생태학회지 15권 4호, pp. 411~431.
68. 송종석, 송승달, 1996, 낙동강 상류 한천 일대의 하천변 식생의 식물사회학적 연구, 한국생태학회지 19권 5호, pp. 431~451.
69. 신병철, 2001, 천연소재를 이용한 수로에서의 조도계수 및 수리특성, 홍익대학교 석사학위논문
70. 신정이, 1999, 자연형 하천공법 적용후의 식생변화 분석. 한국환경복원녹화기술학회지. 2(3) 10-17
71. 안민우, 2001, 수로의 자연친화적 정비와 생태변화, 건국대학교 석사학위논문
72. 안상진, 전계원, 2001, 소하천에서 유로변경에 따른 수리특성 분석 한국수자원학회논문집 제34권 제5호, pp. 561-566.
73. 양병이, 1995, 지속가능한 설계, 환경농촌 제33권
74. 양용석, 1999, 주민참여에 의한 경지정리지구내의 자연친화적 수변공간 조성, 건국대학교 석사학위논문, pp. 50~55.
75. 엄명진, 2001, 제방의 안전을 고려한 소규모 충적하천 횡단면의 설계기법, 연세대학교 석사학위논문
76. 우일석, 2000, 소유역 하천에서의 HEC-RAS 적용, 국민대학교 석사학위논문
77. 유대영, 박정환, 우효섭, 2002, V형 여울의 세굴 특성에 관한 실험적 연구, 한국수자원학회 학술발표회논문집(II), pp.837-842
78. 윤용남, 1997, 교량에서의 세굴깊이 산정 및 산정치와 실측치의 비교분석, 한국수자원학회논문집, Vol.30, No.5, pp.477-485
79. 이경렬, 1998, 양재천 자연형 하천 복원계획, 서울대학교 석사학위논문, pp. 7~10.
80. 이근배, 1998, 울산광역시 자연형 하천정비 방향과 하천계획관리시스템에 관한 연구, 울산대학교 석사학위논문, pp. 51~58.

81. 이삼희, 2000, 하천식생의 수리특성에 관한 연구, 한국수자원학회지, Vol. 33 No.1, pp. 63-71
82. 이삼희, 이진원, 옥기영, 1999, 하천식생에 의한 수리특성 예측모형 개발, 한국건설기술연구원, 연구보고서
83. 이상명, 1994, 자굴산 식생의 보존 및 관리에 관한 연구, 한국자연보전협회, 자연보전 연구보고서 제3집, pp. 121~166.
84. 이상호, 강신욱, 2001, 수위관측과 수리학적 하도추적에 의한 하천유량 간접추정, 한국수자원학회 논문집, Vol. 34(5), pp. 543-549
85. 이수길, 1991, 농촌지역에서의 비점원 오염물질이 하천수질에 미치는 영향에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, pp. 8~37.
86. 이영노, 2002, 한국식물도감, 교학사.
87. 이영노, 도봉산 일대의 식물자원에 관한 연구, 한국자연보전협회, 자연보전연구보고서 제3집, pp. 5~24.
88. 이용구, 2002, 통계학의 이해, 율곡출판사
89. 이윤희, 1999, 하천식생의 군락분류, 계명대학교 석사학위논문, pp. 9~16.
90. 이재준, 이상문, 2003, 지속가능한 농촌발전을 위한 주민참여 요인분석에 관한 연구, 대한민국토·도시계획학회지 제38권 3호, pp.39~55.
91. 이준용, 1998, 자연형 하천정비기법에 대한 연구, 울산대학교 석사학위논문, pp. 18~21.
92. 이진원, 이삼희, 백종식, 2000, 하도 특성과 식생의 상관관계 분석, 한국건설기술연구원, 연구보고서
93. 이창숙, 1995, 서울 중랑천변 환경변화에 따른 식물현황(귀화식물과 토착식물의 비교연구), 한국자연보전협회, 자연보전연구보고서 제14집, pp. 17~39.
94. 이창현, 2002, 수리학적 홍수추적 모형을 이용한 한강하류부의 조도계수 산정에 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문
95. 임양재, 1985, 계곡의 식생, 한국자연보전협회, Nature Conservation No. 50, pp. 26~30.
96. 장선영, 1997, 주남저수지 자연학습원 조성계획, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, pp. 12~25.
97. 전승훈, 현진이, 최정권(1999). 하천 미지형 및 하상저질에 따른 갯버들과 달뿌리풀 군락의 분포특성에 관한 연구. 한국조경학회지. 27(2):58-68.
98. 정경진, 1996, GIS를 활용한 하천자연도 평가에 관한 연구, 경원대 석사학위논문

- 문, pp. 12~32.
99. 조강현, 1992, 팔당호에서 대형수생식물에 의한 물질생산과 질소와 인의 순환, 서울대학교 박사학위논문, pp. 22~34.
 100. 조용현, 1997, 생태적 복원을 위한 중소하천 자연도 평가방법 개발, 서울대학교 박사학위논문, pp. 26~32
 101. (주)에코텍, 1999, 자연형하천공법총람
 102. (주)자연과 환경, 1999, 환경생태복원시스템
 103. 최기철, 1995, 하천 관리를 위한 어류서식처 구조에 관한 조사, 건설기술연구원
 104. 최정권, 1995, 자연형 저수로 호안정비공법. 하천환경심포지엄.
 105. 충남대학교, 1997, 하천정비와 생태계 보전, 세미나 자료
 106. 한국건설기술연구원, 1999, 환경친화적 암사면 녹화공법 개발연구, pp. 75~83.
 107. 한국토지공사, 1995, 친수형단지 설계가이드라인
 108. 한국토지공사, 1996, 환경친화적 단지계획기법
 109. 한림종합건설, 1995, 자연형 호안공법 연구개발 제안
 110. 황규원, 2003, HEC-RAS를 이용한 세굴에 관한 연구, 군산대학교 석사학위논문
 111. 황진희, 1998, 환경친화적 자연형 하천공법에 관한 연구, pp. 4~63.
 112. Arulanandan, K., Gillogley, E., and Tully, R., 1980, Development of a quantitative method to predict critical shear stress and rate of erosion of natural undisturbedcohesive soil., Tech. Res. GL-80-5, U.S.Army Engineering, Wtrwy. Experiment Station, Vicksburg, Miss.
 113. Chen, C. L., 1976, Flowresistance in broad shallow grassed channels., J. of Hydr. Div., ASCE, 102(3), pp. 307-320
 114. Chow, V. T. 1959. Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill. pp. 179-189
 115. Coppin, N.J. and Richards, I.G.(1990). Use of Vegetation in Civil Engineering. CIRIA, Butterworths.
 116. Flintham, T. P. and Carling, P. A., 1988, The prediction of mean bed and wall boundary shear in uniform and compositely roughened channels., International conference on river regime, W. P. White, ed., John Wiley & Sons, Inc., Chichester, England, pp. 273-287
 117. Grissinger, E. H., 1982, Bank erosion of cohesive materials., Gravels-bed rivers, R. D. Hey, J. C. Bathurst, and C. R. Thorne, eds., John Wiley & Sons, Inc., Chichester, England, pp. 273-287

118. HEC(Hydrologic Engineering Center)., 1997, HEC-RAS River Analysis System : User's Manual version 2.0
119. Hewlett,H.W., Boorman,L.A. and Bramley,M.E.(1987). Design of reinforced grass waterway. CIRIA Report 116. CIRIA. London.
120. Knight, D. W., 1981, Boundary shear in smooth and rough channels., Journal of Hydraulic Division, ASCE, 107(7), pp. 839-851
121. Knight, D. W., Demetrious, J. D., and Hamed, M. E., 1984, Boundary shear in smooth rectangular channels., Journal of Hydraulic Division, ASCE, 110(4), pp. 405-422
122. Kouwen. N. and Unny. T.E., 1973, Flexible roughness in open channels. Journal of Hydraulics Division, ASCE. 99(5). pp. 723-813
123. Li. R.M. and Shen. H.W. 1973, Effect of tall vegetations Division. ASCE. 99(5). pp. 793-813
124. M. Escarameia, 1998, River and Channel Revetments : A Design Manual, Redwood Book.
125. Petryk, s. and BosmajianIII, G., 1975, Analysis of flow through vegetation., J. Hydr. Div., ASCE, 101(7), pp. 871-884
126. Raudkivi, A. J., 1990, Loose boundary hydraulics, 3rd Edition, Pergamon Press, Inc., Tarrytown, New York.
127. Stevens, M. A., 1989, Width of straight alluvial channels., Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 115(3), pp. 309-326
128. Thorne, C. R. R. D. Hey, J. C. Bathurst, eds., 1982, Processes and mechanism of riverbank erosion., Gravels-bed rivers, John Wiley & Sons, Inc., Chichester, England, pp. 217-271
129. (社)土木學會, 1994, 水邊の 景觀設計, 技報堂出版
130. (社)土木學會, 1994, 水邊の 景觀設計, 技報堂出版
131. (財)日本生態系協會, 1999, ビオトープネットワーク(都市・農村・自然の新秩序), (株)ぎょうせい
132. リバーフロント整備センター, 1994, 多自然型川作りを考える, (株)山海堂
133. リバーフロント整備センター, 1997, 多自然型川作りの取組みとポイント, 山海堂
134. 江崎保男・田中哲夫, 1999, 水邊環境の保全(生物群集の観点から), 朝倉書店
135. 農村環境整備センター, 1995, 景觀に配慮した圃場整備のあり方, 農業境整備センター

136. 水野信彦, 1995, 魚にやさしい川のかたち, 信山社出版
137. 水質環境學編集委員會, 1998, 清らかな水のためのサイエンス
138. 水環境工學編集委員會, 1996, 人と自然の水環境をめざして, (社)農業土木學會
139. 玉井信行・水野信彦・中村俊六, 1995, 河川生態環境工學, 東京大學出版會
140. 自然環境復元研究會, 1993, ビオトープ(復元と創造), 信山社サイテック
141. 地域環境政策研究會, 1997, 地域環境計劃實務必携(計劃編), (株)ぎょうせい
141. 千田稔, 1993, 自然的河川計劃, 理工圖書