

T0004639

최 종
연구보고서

새로운 치산 구조물 철강재 사방댐의 개발 및
환경 친화적 적용 체계에 관한 연구
Development of New Soil Conservation Steel
Erosion Control Dam & Research on
Environment-Friendly Application System

연구기관

포항산업과학연구원
한국산지환경조사연구회
서울대학교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “새로운 치산 구조물 철강재 사방댐의 개발 및 환경 친화적 적용 체계에 관한 연구” 과제 (세부과제 “환경친화적 철강재 사방댐 구조개발”, “철강재 사방댐 설계,관리를 위한 실무지원 시스템의 개발”, “산림경관 보전을 위한 철강재 사방댐의 경관향상 기법개발”)의 최종보고서로 제출합니다.

2003 년 9 월 10 일

주관연구기관명 : 포항산업과학연구원

총괄연구책임자 : 윤 태 양

세부연구책임자 : 윤 태 양

연 구 원 : 나 승 민

연 구 원 : 김 성 태

연 구 원 : 사 공 명

연 구 원 : 정 중 섭

협동연구기관명 : 서울대학교

협동연구책임자 : 정 주 상

연구원 : 이병두, 김형호, 덕통티엔, 권대순

위탁연구기관명 : 한국산지환경조사연구회

위탁연구책임자 : 안 병 영

연구원 : 오중환, 홍한표, 연정수, 김정환

장영기, 임용호

요 약 문

I. 제 목

새로운 치산 구조물 철강재 사방댐의 개발 및 환경 친화적 적용 체계에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

우리나라의 산림은 대체로 산세가 험준한 산지에 위치하고 있어 급격한 계상 구배에 의해 유속이 빠르고 여름철 집중호우에 취약하다. 집중강우로 인해 산지로부터 흙이나 모래가 많이 유실될 수 있고, 홍수, 급경사지 붕괴 등에 의한 재해 및 토석류 유출로 산지계류 환경에 심각한 영향을 줄 수 있다. 이러한 피해는 추가적인 자연환경 혹은 생태계의 훼손이나 막대한 재산과 인명 피해의 주요 원인이 될 수 있다.

이러한 문제를 예방하거나 복구하기 위한 목적으로 우리나라에서는 荒廢溪流상에서 돌, 자갈, 모래, 흙 및 그 밖의 다른 침식이나 붕괴물을 억제하기 위한 치산구조물로 사방댐을 설치하고 있다. 특히 우리나라와 같은 산악지형에서 사방댐은 설치 개소당 연간 약 $5,000\text{m}^3$ 의 貯砂효과 및 약 $3,000\text{m}^3$ 의 貯水효과가 있는 것으로 조사되고 있어 집중호우시 계곡물의 유속완화와 산사태로 흘러내리는 토석류를 미리 차단, 하류농경지 및 주택을 보호함으로써 재해예방에 크게 기여하고 있다.

사방댐의 설계시공은 계류의 크기나 입지여건에 따라 다양한 소재를 활용할 수 있으나 일반적으로 내구성이나 제반 기능적 측면을 고려하여 콘크리트댐을 선호하였다. 그러나 콘크리트댐은 견고하고, 시공이 간편하며, 품질이 균일하여 작업의 표준화가 가능하다는 장점이 있는 반면 주변 환경경관과의 부조화, 동절기 공사로 인한 시멘트 콘크리트의 양생불량 및 시민단체에서의 환경문제 제기 등 여러 가지 문제점들이 제기되고 있다. 또한 시공기간

이 길어 국내의 계절적 특성에 맞춰 시공계획을 수립하기 어렵고, 산불이나 산사태 등의 재해에 긴급대처 방안으로 적합하지 못하다.

최근 이러한 콘크리트댐의 단점을 보완하기 위한 방안으로 철강구조물을 이용하는 강재틀댐이 제시되고 있다. 강재틀댐은 철구조물 조립 및 돌체움 작업에 의한 시공을 하여 상대적으로 짧은 시공기간이 소요되어 응급복구에도 적합하며, 기초지반에 대한 요구도가 낮아 연약지반에서도 시공이 간편하다. 취급과 조립에 특수한 기술력을 요구하지 않고 시공단가가 낮다. 이러한 특성을 살려 이미 2000년도 강원도 산불지역 등의 응급복구 사방구조물로 활용되는 등 최근 강재틀댐 설치에 관한 관심이 증대되고 있어 향후 그 용도가 크게 늘어날 것으로 판단된다.

2. 연구개발의 필요성

첫째, 강재틀댐은 집중호우시 토석류 및 수압을 견디기 위한 구조적 안정성, 부식에 따른 열화현상 그리고 산림경관이나 생태보전의 문제를 야기할 가능성이 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 강재틀 댐의 구조개선이나 새로운 유형의 구조개발, 시공 설계기준의 표준화, 자동화 분석 및 설계체계 그리고 설계시공을 위한 환경생태적 실무지침 등에 관한 연구가 요구된다.

또한 공학적으로 적정한 위치에 적정한 규모의 구조물을 설계시공 함으로써 예산 절감효과 및 기능제고가 가능하다. 또한 2차 재해 등에 대한 응급방재 대책을 뒷받침하는 신속한 구조물 설치가 필요한 경우 효율적인 기술관리체계가 요구된다. 이를 위해서는 수질·수문 환경 관리를 위한 유역 특성 파악 및 유출량 해석과 유역 특성에 맞는 설계시공을 쉽고 체계적으로 처리할 수 있는 software 형태의 실무적 지원체계의 개발이 요구된다. 이러한 지원체계에서는 GIS 응용에 의한 공간정보 구축 및 분석체계가 매우 효과적인 수단이 될 수 있으며, 특히 최근 국가사업으로 추진되고 있는 국가정보화/사업의 일환으로 구축되고 있는 FGIS체계와 연계되어 개발될 필요가 있다.

둘째, 강재틀댐은 기존의 소재인 콘크리트댐에 비해 시공단가가 저렴하고, 강재의 부품조립에 의해 시공이 되므로 특수한 기술이 요구되거나 콘크리트의 경우처럼 양생기간이 소요되지 않으며, 특히 레미콘 차량의 접근성이 요구되지 않으므로 산악지 접근로에 대한 요구가 상대적으로 낮다. 따라서 비용 및 시공효율측면에서 매우 유리한 편이므로 다량의 사방

댐 설치가 요구되는 우리 나라 실정에 매우 유리한 측면이 있다.

그러나 우리 나라에서는 콘크리트댐에 관해서는 많은 경험을 지니고 있는 반면 철강재를 활용하는 강재틀댐의 경우에는 아직까지 경험이 부족하고 특히 관련된 연구가 거의 전무한 실정이다. 이러한 관점에서 강재틀댐의 구조개선 및 효율성 증진을 위한 접근이 필요하며 이를 위해 전문업체를 중점적으로 육성하기 위한 노력이 산·학·관·연의 협동연구를 통해 이루어져야 할 것이다. 즉, 산·학·관·연이 유기적으로 연계되어 저투자 고효율의 기술을 개발함으로써 철강산업이 고도로 발전한 국내의 유리한 산업적 여건을 치산구조물 개발에 효과적으로 활용할 수 있고, 환경·경제적으로 유리한 새로운 공법의 개발이 가능할 것이다. 또한 산업적 측면에서 철제부품관련 중소기업들로 하여금 산림환경산업에 진출할 수 있는 기회를 제공함으로써 장기적으로 강재틀댐 외에도 강재옹벽, 강재책, 철선 망태공, 강재 낙석방지공 등의 품목을 전문적으로 취급할 수 있는 업체를 육성할 수 있는 기회가 될 수 있을 것으로 판단된다.

셋째, 최근 국민들의 생활 수준이 높아지면서 주위 환경과 산림이 가지는 공익적 기능에 대한 국민들의 기대가 증대하고 있다. 그로 인해 사회적으로 매우 민감한 환경, 생태, 재해 문제가 국민의 주요 관심사 중 하나로 되고 있다. 이러한 문제들과 관련하여 그 특성상 쉽게 황폐될 수 있는 계류를 상류에서부터 보호함으로써 여러 가지 집중호우로부터 발생할 수 있는 환경, 생태 및 재해문제를 예방 혹은 복구하기 위한 방안으로 치산목적의 사방댐의 중요성이 더욱 커지고 있다.

그러나 기존의 사방댐 설계시공에서는 치산목적에만 초점이 맞춰졌으며 사회·문화적 측면에서의 환경·생태적 측면이나 저사·저수 등의 다목적 이용에 관한 측면이 상당부분 간과되었던 것이 사실이다. 이것은 광대하고 복잡한 유역계곡을 조사하고, 자료를 취득하기가 어렵다는 점이 1차적 원인이 될 수 있고, 이러한 자료들이 수집되어도 방대한 자료를 다각적인 관점에서 종합적으로 검토할 수 있는 효율적 기법이 제시되지 못한 것에 기인한다. 따라서 GIS 응용에 의해 유역 분석 및 시뮬레이션 기법의 적용을 통하여 유역내 수문 해석과 응급 예방/복구 구조물의 설계 등 일련의 분석 및 설계의 실무과정을 통해 종합적 검토를 가능하게 할 수 있는 실무적 전산지원체계의 개발이 요구된다.

한편 최근 국내에서 시공되기 시작한 강재틀댐의 경우 경관효과를 증진하거나 생태적 단절을 줄이기 위한 방안들이 제시되지 못하고, 일률적인 육면체형태의 틀로 국한되어 있다. 이러한 틀을 구조적 안정성을 유지 혹은 증진시키면서 경관적 가치를 증진하기 위한 식생 도입이나 경사틀 형태의 도입 등을 통해 친환경적인 형태로 개선할 필요가 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

새로운 환경친화적 사방구조물의 개발 및 현장적용의 가능성을 높이기 위하여 본 연구는 크게 세 개 세부과제로 구성된다. 즉, (1) 환경친화적 철강재 사방댐 구조개발 (2) 산림경관 보전을 위한 철강재 사방댐의 경관향상 기법 개발 (3) 철강재 사방댐 설계·관리를 위한 실무지원 체계의 개발이다. 각 세부과제 목표달성을 통하여 산촌유역의 치산구조물 설치시 철강재 사방댐의 재해방지 효과증진 및 환경친화적인 방법으로의 치산구조물을 개발·적용함으로써 산촌유역의 환경을 보호하고 생물과 자원을 관리할 수 있는 지속 가능한 임산자원 관리기반을 마련하는 기술로 이용하고자 한다.

가. 환경친화적 철강재 사방댐 구조 개발

- 제작성 및 경제성 향상을 목표로 경사형 강재틀 사방댐의 구조상세를 결정한다. 사용부재의 종류 및 볼트의 사양을 결정한다.
- 개발된 구조사양에 대한 검증을 위하여 유한요소해석을 수행하고 필요시 구조사양을 보완하여 최적의 구조 단면을 결정한다.
- 개발된 사방댐의 구조상세를 바탕으로 세부도면을 작성하고, 사방댐의 구조 표준화 작업을 수행한다.
- 현장 지반상황에 적절하게 대응하여 구조물의 시공성 향상 및 불필요한 구조를 배제할 수 있는 Pin 구조와 같은 접합부를 검토하고 적절한 접합부를 개발한다.
- 구조시험체를 제작하여 접합부와 같은 주요부분 및 취약부분에 대한 구조시험을 수행하며 또한 접합부의 유한요소해석을 통해서 접합부의 성능 및 적절성을 평가한다.
- 사방댐의 설계흐름도를 작성하고 기존의 직립형 사방댐 설계 프로그램을 토대로 경사형 사방댐에 적용할 수 있는 설계 프로그램을 개발, 안전성 검토 등의 설계기술을 정립한다.
- 사방댐의 시공순서도를 작성하고 시공에 대한 전반적인 시공기술들을 정립한다.
- 기존의 방식방법들에 대한 자료를 수집하고 이를 토대로 사방구조물에 적합한 방식방법을 개발 적용한다.
- 기존의 콘크리트 사방댐 대체설계를 통해 경제성을 비교/분석하여 철강재 사방댐의 경제성 우위를 입증한다.

나. 산림경관 보전을 위한 철강재 사방댐의 경관향상 기법 개발

○ 철강재 사방댐에 적용가능한 식생에 대한 기초자료 조사를 수행하고, 환경여건별 적용가능 식생의 분류, 경제성 비교, 식생별 특징조사 및 각 식생별 유지관리기법을 정립하여 철강재 사방댐의 녹화기법을 위한 기초자료를 준비한다.

○ 철강재 사방댐에 적용가능한 유망식생을 선발하고 철강재 사방댐의 녹화기법을 개발한다.

○ 철강재 사방댐에 식생부착 가능 토사함유량을 결정한다. 그리고 식생의 성장을 촉진시킬 수 있는 식생가능 매트를 선정하고 기재(基材)를 개발함으로써 녹화기법 향상기술을 개발한다.

○ 녹화기법을 고려한 철강재 사방댐의 시공순서도를 작성하고 시공에 대한 전반적인 시공기술들을 정립한다. 그리고 시공시 주의사항 및 검토사항들을 정리한다.

○ 개발된 철강재 사방댐 구조의 현장적용시 더불어 녹화기법의 현장적용 시험을 실시하고 문제점을 도출, 보완한다.

다. 철강재 사방댐 설계·관리를 위한 실무지원 체계의 개발

○ 연구 대상지 자료 수집 및 GIS 자료 관리 체계 개발

○ 유역 입지 해석 및 응용 분석 체계 개발

○ 주제도 작성

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

연구개발 결과 강재 사방댐의 재해방지 효과증진 및 환경친화적인 방법으로의 치산구조물을 개발 하였으며, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

가. 환경친화적 철강재 사방댐 구조 개발

○ 기존의 강재틀 사방댐이 부재의 중복사용 등으로 인해 경제성이 떨어지므로 이를 보완하기 위해 경사형 강재틀 사방댐 구조를 개발하였다.

○ 개발된 구조사양에 대한 검증을 위하여 유한요소해석을 수행하고 필요시 구조사양을

보완하여 최적의 구조 단면을 결정하였다.

○ 내부채움재의 하중분담율을 설계에 반영하였으며, 최적단면을 적용하여 기존의 직립형에 비하여 약 35% 경제성 있는 경사형 강재틀 사방댐을 개발하였다.

○ 소단에 식생을 적용함으로써 환경친화적인 구조물이 되도록 하였다.

○ Parametric Study를 통하여 스크린 강재댐(버트리스 강재댐)의 단면과 형식을 결정하여 최소의 부재로 최대의 하중에 견디도록 개발하였다.

○ 경제성을 분석한 결과 기존의 형식에 비하여 38%의 경제성을 확보하였으며, 제작 및 시공성도 향상시켰다.

○ 강재틀 사방댐과 버트리스 사방댐 모두 구조해석 및 실물구조시험을 수행하여 성능을 평가하였다.

나. 산림경관 보전을 위한 철강재 사방댐의 경관향상 기법 개발

○ Green top공법은 ㉔댐체내에 식재기반조성이 가능하나 ㉓식재상의 토양두께가 얇아서(22cm)건조피해가 심하며, 파종종자의 발아상태가 고루지 못한 것이 단점이다.

○ Green 마대 공법(I,II,III)은 ㉔댐체내에 식재기반 조성이 가능하며, ㉓건조피해도 거의 없는 것으로 나타나고 있으며, ㉔Green 마대공법(III)을 제외하면 식재 및 파종(종자부착 률생백)식생의 성장상태는 양호한 편이다.

○ 벽면걸이 녹화시험은 ㉔댐체내에 식재기반 조성이 가능하며 댐체에 화분걸이 형태로 부착이 가능하다. 그러나 이 공법은 댐체내에 설치할 경우 강우시 직접적으로 강우를 접하지 못하기 때문에 ㉓건조피해가 심하여 식생이 고사하기 쉽다. 식재수종으로는 인동덩굴이 효과적이다.

○ 댐 독마루 녹화시험은 ㉔댐 독마루 댐체내에 식재기반(식재상)을 조성할 수 있으며 댐의 규모에 따라 식재상의 크기를 충분히 조정할 수 있다. 이 공법은 식재상의 토심과 길이(제방둑과 연결시키므로 Biotope를 형성할 수 있다)를 자연사면(제방둑)과 연결시킬 수 있기 때문에 식재기반이 타 공법에 비하여 유리한 조건을 가지고 있다. ㉓하수형(下垂型) 녹화식생으로서 침이 가장 효과적이며 인동덩굴도 생장이 양호하였다.

○ 댐독마루 하단부 녹화시험은 ㉔ 식재기반은 자연사면(제방)에 식재상 조성이 가능하다. ㉓ 하수형(下垂型)및 등반형(登攀型)녹화식생으로 침, 담쟁이, 등나무의 생장이 양호하며 특히 이들 수종은 식재 1년차에 비하여 2년차부터 생장이 급격히 상승세를 보이고 있어

빠른시일내에 댐체벽면이 완전 녹화되리라 확신한다.

○ 기슭막이(철강재 기슭막이)벽면녹화 시험에서 기슭막이 하단부는 수위변동구간으로 식재상의 유실피해가 우려되므로 Geo-web공법시험을 실시한바 ㉞식재상 조성이 가능하며, ㉞식재수종의 성장량도 양호하였다.

다. 철강재 사방댐 설계,관리를 위한 실무지원 시스템의 개발

○ 철강재 사방댐을 시공하는 산림토목 기술자들을 지원하기 위한 GIS 기반의 전산 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 서로 다른 기능을 하는 두 가지 모듈로 구성되었다. 하나는 공학적 설계를 지원하기 위한 설계 지원 모듈이고, 다른 하나는 철강재 사방댐을 관리하기 위한 관리 지원 모듈이다.

○ GIS에 기반하여 개발된 설계 지원 모듈은 소유역의 지리적 특성을 분석하여 사방댐을 설계하기 위해 요구되는 유역의 공간적 분포, 경사, 향, 하천망, 임상 등의 지리정보를 제공한다. 설계 지원 모듈을 구성하는 세부 모듈로는 지형분석 모듈, 산림유역 입지해석 모듈, 그리고 하천을 따라 사방댐 시공적지를 판정하는 사방댐 시공 후보지 선정 모듈이 있다.

○ 관리 지원 모듈은 유역에 위치한 사방댐의 관리를 위해 GIS와 연계하여 사방댐에 관련된 데이터베이스를 관리하는 모듈이다. 데이터베이스에 저장되는 정보로는 위치정보, 사방사업에 관련된 사방지 지정 및 사방댐 사업설명, 이미지 정보, 그리고 사방댐 유지보수 내역 등이다.

○ 이러한 모듈은 상업용 GIS인 ESRI 사의 ArcGIS 환경에서 독립적으로 운용될 수 있는 Component로 개발되었다. 사용자의 선택에 따라 각 모듈별 고유의 기능을 활용하여 주제를 생성하기 위해 이용하거나 통합 시스템의 하부 구성요소로 사용할 수 있다.

○ 다만, 이번 연구에서 연구기간 및 예산의 한계로 사방댐 시공설계과정을 전 자동화할 수 있는 통합 시뮬레이션 모듈 개발 부분이 제외되어 있다. 차후의 연구에서 사방댐 시공설계를 자동화 할 수 있는 시뮬레이션 모듈을 개발할 필요가 있으며, 이를 통해 철강재 사방댐의 후보지 선정에서부터 사방댐 설계 그리고 사방댐 관리에 이르는 모든 과정을 동시에 자동화할 수 있는 통합적 체계가 가능할 것으로 판단된다.

SUMMARY

Erosion control dams (ECD) are built in order to protect the lives and properties of residents under the threat of flood disasters. Since Korea has a fairly long monsoon season along with maximum rainfall intensity upto 100mm/hr, the threat of flood disasters are always in existence.

The Korea Forest Service has been building ECD since 1986 as a precautionary measure against the disasters using concrete and rock dams. These precedent construction methods are still quite useful for sites, where easy access, fairly-good bearing capacity and plenty of construction period are allowed. But for the site conditions unfavorable for the concrete and rock dams, a more effective ECD construction method are required.

The object of this research is to develop the optimum structural design for steel ECD's. Structural performance was improved based on analysis and investigation of existing steel dams and concrete ECD's

In this respect, two types of steel ECD profile and specification were developed. One is inclined steel frame ECD and the other buttress steel ECD. The developed specification were numerically analyzed using Midas Civil for structural evaluation. Also laboratory testings were carried out using a 300 ton UTM and 50ton Actuator testing machine to check the structural integrity of the specifications.

The structural performance of the prefabricated was determined by structural analysis and load testing of real size structures. The results of the study showed that deformation of the steel frames depends upon the existence of rock fill. It was determined that the rock fill takes approximately 30% of the total load.

Buttress steel ECD built to intercept driftwood and rock is simple in manufacturing and construction because it is placed briefly on concrete basis and normalized by standard heights of 3m, 4m, 5m, 6m. Also, from the analysis and load

test, it was shown that the developed section members behaved well and in allowable stress range.

From economic analysis, it was determined that the developed inclined steel frame ECD costs up to 35% less than straight steel dam. In case of developed buttress steel ECD costs up to 38% less than the existing buttress steel dam.

A computer system to support forest field engineers working for steel-frame ECD's was developed. The GIS-based system consists of two separate functional units of modules: one for supporting engineering-design and the other for handling database to support management of steel-frame ECD's.

The GIS-based engineering-design supporting modules unit analyzes the geographic characteristics of small-scale watersheds and provides the forest engineer with the needed geographic information for designing ECD. The geographic information includes spatial distribution of water catchment area, slopes, aspects, stream channels, vegetation, etc.. The modules unit consists of such sub-units as the spatial analysis module, the forest watershed analysis module and the stream channel analysis module to determine the appropriate location for constructing ECD along the stream channel.

The GIS-based database management system handles comprehensive ECD-related data sets to manage erosion control dams on a certain area of small-scale or large-scale watershed area as an option. The database set includes the information on locations, history, specifications and photos of the erosion control dams. Also the data set includes the records of maintenance and repairs over time.

The modules of the system was developed as independent components to be synthesized under the environment of ArcGIS, a commercial product of ESRI. In the system, subject to the user's choice, each module has its own function to work separately in order to produce a thematic map or to work as a component of a integrated subsystem.

In the future study, recommended is to develop a subsystem to automate engineering drawing procedures in order to develop a comprehensive engineering

designing system for steel-frame erosion control dam. In this research project, however, development of the automated engineering drawing module for the steel-frame erosion control dam was not able to be intended because of limited time and budget of this project.

This Study was supported by technology Development Program for Agriculture and Forestry, Ministry of Agriculture and Forestry, Republic of Korea

CONTENTS

Chapter 1.	Overview	15
Chapter 2	Development of Environment-Friendly Steel Erosion Control Dam	26
1.	General of Steel Erosion Control Dam	26
2.	Development of Inclined Steel Frame Erosion Control Dam	38
3.	Development of Screen form Steel Erosion Control Dam	82
4.	Corrosion Prevention Method of Steel Erosion Control Dam	97
5.	Conclusions	104
Chapter 3.	Greening Methods of Steel Erosion Control Structures for Forest Landscape Conservation	106
1.	Introduction	106
2.	Materials & Methods	108
3.	Results & Investigation	128
5.	Conclusions	179
Chapter 4.	Development of An Engineering-Supporting System for Designing and Maintaining Steel-Frame Erosion Control Dams	182
1.	Introduction	182
2.	Research Trends	185
3.	Development of An Engineering-Supporting System for Designing and Maintaining Steel-Frame Erosion Control Dams	189
4.	Field Applications	222
5.	Conclusions	256
Chapter 5.	Bibliography	258

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	15	
제 1절	연구개발의 목적	15	
제 2절	연구개발의 필요성	16	
제 3절	연구개발의 범위	21	
제 4절	국내·외 기술개발현황 및 분석	23	
제 2 장	환경친화적 철강재 사방댐 구조개발	26	
제 1절	강재 사방댐의 개요	26	
1	강재틀 사방댐의 개요	26	
2	강재틀 사방댐의 계획	30	
제 2절	경사형 강재틀 사방댐 구조개발	38	
1	경사형 강재틀 사방댐의 구성	38	
2	경사형 강재틀 사방댐의 부재개발	41	
3	경사형 강재틀 사방댐의 성능시험	48	
4	경사형 강재틀 사방댐의 경제성분석	63	
5	경사형 강재틀 사방댐의 설계 및 시공법	65	
제 3절	스크린형 강재 사방댐 구조개발	82	
1	버트러스 강재사방댐의 구성	82	
2	버트러스 강재사방댐의 부재개발	85	
3	버트러스 강재사방댐의 성능시험	88	
4	버트러스 강재사방댐의 경제성분석	92	
5	버트러스 강재사방댐의 설계 및 시공법	93	
제 4절	강재 사방댐의 방식방법	97	
제 5절	결론	104	

제 3 장	산림경관 보전을 위한 철강재 사방댐의 경관향상 기법 개발	106
제 1절	서론	106
제 2절	재료 및 방법	108
1	철강재 사방댐의 녹화적용가능 식생 및 녹화공법 조사	108
2	철강재 사방댐의 녹화시험	108
제 3절	결과 및 고찰	128
1	철강재 사방댐의 녹화 적용가능 식생 및 녹화공법	128
2	철강재 사방댐의 녹화시험	147
제 4절	결론	179
제 4 장	철강재 사방댐 설계,관리를 위한 실무지원 체계의 개발	182
제 1절	서론	182
1	연구배경 및 필요성	182
2	연구목적	184
제 2절	연구동향	185
1	지리정보 체계의 기술개발 및 응용현황	185
2	프로그램 개발 방법론	186
제 3절	철강재 사방댐 설계,관리 지원 시스템 개발	189
1	연구진행 체계 및 시스템 개발환경	190
2	철강재 사방댐 설계 지원 모델	192
3	철강재 사방댐 관리 지원 모델	213
제 4절	적용성 검토	222
1	연구 대상지 및 연구 자료	222
2	모델의 적용결과 및 고찰	224
제 5절	결론	256
제 5 장	참고문헌	258

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

1. 연구개발의 목적

우리나라의 산림은 대체로 산세가 험준한 산지에 위치하고 있어 급격한 계상 구배에 의해 유속이 빠르고 여름철 집중호우에 취약하다. 집중강우로 인해 산지로부터 흙이나 모래가 많이 유실될 수 있고, 홍수, 급경사지 붕괴 등에 의한 재해 및 토석류 유출로 산지계류 환경에 심각한 영향을 줄 수 있다. 이러한 피해는 추가적인 자연환경 혹은 생태계의 훼손이나 막대한 재산과 인명 피해의 주요 원인이 될 수 있다.

이러한 문제를 예방하거나 복구하기 위한 목적으로 우리나라에서는 荒廢溪流상에서 돌, 자갈, 모래, 흙 및 그 밖의 다른 침식이나 붕괴물을 억제하기 위한 치산구조물로 사방댐을 설치하고 있다. 특히 우리나라와 같은 산악지형에서 사방댐은 설치 개소당 연간 약 5,000m³의 貯砂효과 및 약 3,000m³의 貯水효과가 있는 것으로 조사되고 있어 집중호우시 계곡물의 유속완화와 산사태로 흘러내리는 토석류를 미리 차단, 하류농경지 및 주택을 보호함으로써 재해예방에 크게 기여하고 있다.

이러한 사방댐의 재해 예방기능은 과거의 재해 경험으로도 확인이 된다. 98년 경북 상주의 경우 사방댐이 설치되지 않은 유역에서 집중호우로 인한 재산피해액이 1,350억원, 인명피해 42명으로 집계된 반면 사방댐 설치 유역에는 별 피해가 없었던 것으로 보고되었다. 또한 집중호우로 대규모 인명피해가 발생한 경기도 송추 유원지나 지리산 계곡의 경우에도 상류에 사방댐이 설치되지 않아 그 피해규모가 컸던 대표적 사례지역으로 꼽히고 있다.

한편 국내의 산림정책은 80년대 중반까지는 치산녹화사업에 집중되었고, 86년 이후 사방댐이 집중적으로 설치되기 시작하여 2000년도 현재 전국에 약 900개의 사방댐이 설치되었다. 산림청 자료에 의하면 잠정적으로 전국에 3,500개소의 사방댐을 설치할 목표로 향후에도 매년 약 130~200개의 사방댐을 설치할 예정이다. 그러나 그 숫자는 복잡하고 험준한 국내 산악지형을 고려할 때 실제 수요에 비해 크게 부족한 것으로 판단된다.

사방댐의 설계시공은 계류의 크기나 입지여건에 따라 다양한 소재를 활용할 수 있으나 일반적으로 내구성이나 제반 기능적 측면을 고려하여 콘크리트댐을 선호하였다. 그러나 콘

크리트댐은 견고하고, 시공이 간편하며, 품질이 균일하여 작업의 표준화가 가능하다는 장점이 있는 반면 주변 환경경관과의 부조화, 동절기 공사로 인한 시멘트 콘크리트의 양생불량 및 시민단체에서의 환경문제 제기 등 여러 가지 문제점들이 제기되고 있다. 또한 시공기간이 길어 국내의 계절적 특성에 맞춰 시공계획을 수립하기 어렵고, 산불이나 산사태 등의 재해에 긴급대처 방안으로 적합하지 못하다.

최근 이러한 콘크리트댐의 단점을 보완하기 위한 방안으로 철강구조물을 이용하는 강재틀댐이 제시되고 있다. 강재틀댐은 철구조물 조립 및 돌체움 작업에 의한 시공을 하여 상대적으로 짧은 시공기간이 소요되어 응급복구에도 적합하며, 기초지반에 대한 요구도가 낮아 연약지반에서도 시공이 간편하다. 취급과 조립에 특수한 기술력을 요구하지 않고 시공단가가 낮다. 이러한 특성을 살려 이미 2000년도 강원도 산불지역 등의 응급복구 사방구조물로 활용되는 등 최근 강재틀댐 설치에 관한 관심이 증대되고 있어 향후 그 용도가 크게 늘어날 것으로 판단된다.

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 연구개발의 필요성

강재틀댐 설계 시공의 기술력 향상을 위한 관한 연구의 필요성은 다음과 같이 기술적 측면, 경제·산업적 측면, 사회·문화적 측면으로 나누어 정리하면 다음과 같다.

가. 기술적 측면

일반적으로 철강구조물 강재틀댐은 재질적으로는 가요성(쉽게 구부러지는 성질)과 구조적으로는 투과성이 뛰어나고, 시공면에서도 공기 단축, 통년시공, 생력화등이 용이하여 종래의 콘크리트구조물에서는 얻기 어려운 장점들을 지니고 있다. 강재틀댐은 이러한 특성으로 인하여 신속한 복구가 요구되는 재해복구지나 사방사업지에 적합한 것으로 알려져 있으며, 시공단가가 일반 콘크리트댐에 비해 저렴하다는 장점이 있어 다량의 사방댐이 요구되는 현실 여건에 부합된다고 할 수 있다.

반면 강재틀댐은 집중호우시 토석류 및 수압을 견디기 위한 구조적 안정성, 부식에 따른 열화현상 그리고 산림경관이나 생태보전의 문제를 야기할 가능성이 있다. 따라서 이러한

문제를 해결하기 위해 강재틀 댐의 구조개선이나 새로운 유형의 구조개발, 시공 설계기준의 표준화, 자동화 분석 및 설계체계 그리고 설계시공을 위한 환경생태적 실무지침 등에 관한 연구가 요구된다. 즉,

첫째, 강재틀댐은 강재를 조립하여 시공하므로 설계시공 표준화 작업과 조립시공에 나타나는 문제점 해결이 선행될 필요가 있다. 즉, 표준화 작업을 통해 구조물의 형태나 규격이 정해지면 표준화된 부품제원에 대한 선택과 수량이 쉽게 결정될 수 있어야 한다. 특히 댐의 공학적 안정성과 관련된 설계시공 표준화 작업은 댐의 기능성과 내구성을 좌우할 수 있으며 시공비용에 직접적 영향을 줄 수 있기 때문에 매우 중요한 문제가 된다. 또한 강재틀 댐의 시공에서 빗어지는 문제는 돌채움 작업에 의해 틀의 형체변형이 불가피한 점이 있으며 이 경우 볼트에 의한 연결작업이 쉽지 않아 부실시공의 염려가 있다. 이와 같은 설계·시공상의 문제를 해결하기 위한 설계구조 및 시공의 표준화작업에 대한 연구가 우선적으로 요구된다.

둘째, 강재틀댐은 물과 흙에 접하는 구조물이므로 부식에 대한 저항이 약한 철강재에 녹이 슬게되어 열화가 발생하여 내구성에 대한 문제가 제기될 수 있다. 또한 이러한 열화현상과 아연처리된 강재가 수중에서 수질오염을 야기할 수 있다는 우려도 제기되고 있다. 열화현상에 의한 내구성의 문제는 아연처리 및 강재의 판두께를 충분히 크게 함으로써 해결될 수 있는 것으로 알려져 있으나 결국 시공단가와 밀접한 연관이 있으므로, 강재의 여유 두께 혹은 최소 판의 두께 등 열화에 의한 내구성 문제를 해결하기 위한 기준이 설정될 필요가 있고, 급류에 휩쓸리는 토석류의 충격 하중에 대한 대책과 안전에 대한 공학적 설계 기준을 시급히 설정해야 할 것이다.

셋째, 산림유역의 경관환경 및 구조적 안정성을 평가하거나 설계하기 위한 기준이 요구된다. 즉, 산림유역 계곡부에서의 강재틀댐은 빛을 반사하므로 멀리서도 쉽게 눈에 띄고, 실제보다 큰 구조물로 보여 유역경관을 해치게 된다. 이러한 점을 개선하기 위한 방안은 크게 두 가지로 요약될 수 있다. 우선 강재에 수지처리를 하여 환경친화적 색상처리를 하는 방법을 도입할 필요가 있고, 그 외에 유역수문해석 및 구조해석을 통해 계곡의 집수처리를 가능하게 할 수 있는 적정한 폭과 높이의 댐을 설치하되 기존의 육면체 틀의 구조를 경사구조의 틀 등 설계구조를 변형함으로써 구조물의 안정성과 경관을 동시에 향상시키기 위한 노력이 필요하다. 그 외에 식생 도입에 의한 경관개선 효과를 높이기 위한 생태적 설계시공기술을 연구할 필요가 있다.

네째, 강재틀댐은 현재 투수댐으로만 시공설계 되고 있으나, 응급복구를 위한 시공기간

단축과 저수 및 저사 등 다목적 기능을 동시에 지닐 수 있는 원형 Cell 댐을 개발하여 그 효과를 검토할 필요가 있다. 특히 이러한 종류의 댐은 콘크리트 기초보강에 의해 세굴현상을 줄일 수 있고, 기존 강재틀댐의 시공에 나타날 수 있는 조립상의 문제를 상당부분 경감할 수 있을 것으로 판단된다.

마지막으로, 사방댐은 공학적으로 적정한 위치에 적정한 규모의 구조물을 설계시공함으로써 예산 절감효과 및 기능제고가 가능하다. 또한 2차 재해 등에 대한 응급방재 대책을 뒷받침하는 신속한 구조물 설치가 필요한 경우 효율적인 기술관리체계가 요구된다. 이를 위해서는 수질·수문 환경 관리를 위한 유역 특성 파악 및 유출량 해석과 유역 특성에 맞는 설계시공을 쉽고 체계적으로 처리할 수 있는 software 형태의 실무적 지원체계의 개발이 요구된다. 이러한 지원체계에서는 GIS 응용에 의한 공간정보 구축 및 분석체계가 매우 효과적인 수단이 될 수 있으며, 특히 최근 국가사업으로 추진되고 있는 국가정보화사업의 일환으로 구축되고 있는 FGIS체계와 연계되어 개발될 필요가 있다.

나. 경제·산업적 측면

전술한 바와 같이 산악형 국가인 우리나라에서는 여름철 집중호우로 인한 산사태나 홍수 등의 산지재해는 많은 재산상의 피해와 인명의 손실을 초래하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 산림청 당국에서는 집중호우에 취약한 산지계곡을 선정하고 해당 계곡에 1개소씩의 사방댐을 설치할 계획을 수립해 두고 있으며, 매년 전국에 연간 100~200개소에 사방댐을 설치하도록 되어 있다. 따라서 사방댐 설치사업은 국고 및 지방비에 의해 이루어지는 국책사업의 성격을 지니며 연간예산도 개소당 약 1억5천 정도가 되므로 약 150~300억 정도의 예산사업이 된다.

그러나 이러한 예산사업은 대개 집중호우로 인한 산지재해 빈발지역에 응급복구의 성격을 지니는 사방댐 설치로 제한되고 있는 실정으로 현실적 산지재해를 고려하여 복합적인 예방차원의 다각적인 노력이 필요하다. 이를 위해서는 저비용 고효율의 사방댐 설치 방안에 관한 노력이 요구되며, 재해지역 응급복구용으로 설계시공기간을 최대한 단축할 수 있는 기술적 개선이 요구된다.

사방댐의 유형중 강재틀댐은 기존의 소재인 콘크리트댐에 비해 시공단가가 저렴하고, 강재의 부품조립에 의해 시공이 되므로 특수한 기술이 요구되거나 콘크리트의 경우처럼 양생기간이 소요되지 않으며, 특히 레미콘 차량의 접근성이 요구되지 않으므로 산악지 접근로

에 대한 요구가 상대적으로 낮다. 따라서 비용 및 시공효율측면에서 매우 유리한 편이므로 다량의 사방댐 설치가 요구되는 우리 나라 실정에 매우 유리한 측면이 있다.

그러나 우리 나라에서는 콘크리트댐에 관해서는 많은 경험을 지니고 있는 반면 철강재를 활용하는 강재틀댐의 경우에는 아직까지 경험이 부족하고 특히 관련된 연구가 거의 전무한 실정이다. 이러한 관점에서 경제·산업적 측면에서 강재틀댐의 구조개선 및 효율성 증진을 위한 접근이 필요하며 이를 위해 전문업체를 중점적으로 육성하기 위한 노력이 산·학·관·연의 협동연구를 통해 이루어져야 할 것이다. 즉, 산·학·관·연이 유기적으로 연계되어 저투자 고효율의 기술력을 개발함으로써 철강산업이 고도로 발전한 국내의 유리한 산업적 여건을 치산구조물 개발에 효과적으로 활용할 수 있고, 환경·경제적으로 유리한 새로운 공법의 개발이 가능할 것이다. 또한 산업적 측면에서 철제부품관련 중소기업들로 하여금 산림환경산업에 진출할 수 있는 기회를 제공함으로써 장기적으로 강재틀댐 외에도 강재옹벽, 강재책, 철선 망태공, 강재 낙석방지공 등의 품목을 전문적으로 취급할 수 있는 업체를 육성할 수 있는 기회가 될 수 있을 것으로 판단된다.

한편 이러한 새로운 공법의 개발 및 관련 연구는 공학적 설계시공을 위한 기초 토대를 구축함으로써 사방댐 설계시공에 대한 안전성에 대한 기술적 수준을 높일 수 있는 동시에 홍수, 수질 오염 등의 2차 재해를 예방하는 효과가 있어 경제·산업적 관점에서 매우 중요하다. 즉, 기존의 사방구조물 설계시공은 경험에 많이 의존함으로써 제한된 수의 사방댐 설치에 그 위치의 선정이나 그 입지에 적절한 효과적인 자재 수급 및 시공계획 등 어떻게 하는 것이 투자효율성을 높일 수 있을 것인가에 대한 과학적 타당성 검토가 충분히 고려될 수 없었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 유역별 현황 파악과 예방 대책, 재해 피해지에 대한 적절한 복구 방안을 효율적으로 계획하고 경제적·공학적 타당성을 검토함으로써 투자 효율을 증진시킬 수 있는 방안의 모색이 필수적이다. 즉, GIS 및 시뮬레이션기법의 응용에 의해 유역내 수문 해석과 응급 예방/복구 구조물의 설계 및 예산 산출 과정 등 일련의 분석 및 설계과정을 효율적으로 지원하기 위한 자동화 전산시스템의 개발이 필요하다.

이러한 전산 시스템은 대면적의 산림유역 환경을 종합적으로 파악함으로써 산지재해 방재에 불필요한 중복 투자 혹은 과잉 투자를 미연에 방지할 수 있는 의사 결정 지원 체계로 활용될 수 있고, 토사 유출이나 산사태 및 홍수 등으로 인한 2차 재해를 최대한 예방하기 위한 타당성 검토를 통해 인명살상이나 재산피해를 줄이고, 유역 하류에서 이루어지는 농산업을 보호하기 위한 투자 절감 효과를 극대화하기 위한 방안이 될 수 있다. 또한 사방댐

설계 및 시공과 관련된 비용 절감 및 투자효율 증진을 극대화할 수 있는 방안으로 활용될 수 있다.

다. 사회·문화적 측면

최근 국민들의 생활 수준이 높아지면서 주위 환경과 산림이 가지는 공익적 기능에 대한 국민들의 기대가 증대하고 있다. 그로 인해 사회적으로 매우 민감한 환경, 생태, 재해 문제가 국민의 주요 관심사 중 하나로 되고 있다. 이러한 문제들과 관련하여 그 특성상 쉽게 황폐될 수 있는 계류를 상류에서부터 보호함으로써 여러 가지 집중호우로부터 발생할 수 있는 환경, 생태 및 재해문제를 예방 혹은 복구하기 위한 방안으로 치산목적의 사방댐의 중요성이 더욱 커지고 있다.

한편 대부분의 사방댐은 비교적 큰 유역 혹은 계곡의 집수지에 위치하고 있으며 특히 사람들이 많이 찾는 계곡 상류에 위치하기 쉽다. 그 외에도 사방댐이 계류의 상하를 단절하는 효과가 있는 등 산지의 환경이나 생태와 밀접한 연관이 있으므로 사회적으로 삶의 질 향상을 위한 생태계를 고려한 친 환경적 대안이 요구된다. 따라서 사방댐은 치산역할이 가장 기본적인 기능인 동시에 계곡의 경관이나 생태적 측면에 대한 훼손을 최소화 할 수 있도록 환경친화적 설계시공이 전제되어야 한다. 이와 같은 친환경적 공법을 적용할 수 있을 때 일반 국민들에 의한 지속적인 관심을 유도하는 공감대를 형성할 수 있을 것이며, 이를 통해 안정적이고 항구적인 재해 관리로 이어질 수 있을 것이다.

그러나 기존의 사방댐 설계시공에서는 치산목적에 초점이 맞춰졌으며 사회·문화적 측면에서의 환경·생태적 측면이나 저사·저수 등의 다목적 이용에 관한 측면이 상당부분 간과되었던 것이 사실이다. 이것은 광대하고 복잡한 유역계곡을 조사하고, 자료를 취득하기가 어렵다는 점이 1차적 원인이 될 수 있고, 이러한 자료들이 수집되어도 방대한 자료를 다각적인 관점에서 종합적으로 검토할 수 있는 효율적 기법이 제시되지 못한 것에 기인한다. 따라서 GIS 응용에 의해 유역 분석 및 시뮬레이션 기법의 적용을 통하여 유역내 수문 해석과 응급 예방/복구 구조물의 설계 등 일련의 분석 및 설계의 실무과정을 통해 종합적 검토를 가능하게 할 수 있는 실무적 전산지원체계의 개발이 요구된다.

한편 최근 국내에서 시공되기 시작한 강재틀댐의 경우 경관효과를 증진하거나 생태적 단절을 줄이기 위한 방안들이 제시되지 못하고, 일률적인 육면체형태의 틀로 국한되어 있다. 이러한 틀을 구조적 안정성을 유지 혹은 증진시키면서 경관적 가치를 증진하기 위한 식생

도입이나 경사틀 형태의 도입 등을 통해 친환경적인 형태로 개선할 필요가 있다.

그 외에 기존의 강재틀댐은 투수형으로 주로 토석류에 의한 하천 황폐화를 저감하기 위한 효과가 기본 기능으로 되어 있다. 한편 원형셀댐은 강재틀댐의 부류에 속하지만 조립에 의해 원통형의 틀을 설치한 후 흙을 채워 넣는 불투수댐으로 저사효과 증진은 물론 저수효과까지 다목적 이용이 가능한 동시에 기존의 강재틀댐에 비해 식생도입에 따른 경관향상 효과가 클 것으로 판단된다. 아직 국내에서는 시도된 바 없는 공법이지만 기존의 강재틀댐에 비해 시공기간이 짧을 것으로 판단되며, 기초보강을 통한 공법의 적용으로 pin 구조 접합부 등 현장 조립이 상대적으로 간편하고, 현장의 흙을 이용하여 강재틀 채우기 작업을 손쉽게 할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 구조물의 환경적·경제적 타당성 검토를 하기 위한 시제품 제작 및 실연 연구가 절실한 실정이다.

아울러 사방댐 설계시공에 철강재를 활용하는 경우 여러 가지 장점이 있는 반면 철강재의 열화작용이나 독성물질의 침출로 인해 수질을 오염시키거나, 주변 경관을 훼손할 우려가 있는지 혹은 과도한 저수유역을 훼손하는 등 환경적 피해가 없는지에 대한 검토가 필요하다. 특히 현장 실무의 입장에서 사방댐 설치계획에 적용할 수 있는 설계시공 지침이나 기법의 개발이 필히 요구되는 것으로 판단된다.

제 3 절 연구개발의 범위

1. 제 1세부과제(환경친화적 철강재 사방댐 구조개발)

가. 연구개발의 목표

경사형 강재틀 사방댐 구조개발

나. 연구개발의 범위

1) 구조상세개발

가) 최적 구조단면 개발

나) 접합부 상세 개발

다) 구조 표준화

라) 세부도면 작성

- 2) 설계/시공기술 정립
 - 가) 설계 기술 정립
 - 나) 시공 기술 정립
- 3) 설계프로그램 개발
- 4) 시험시공
 - 가) 개발 구조의 현장 적용 유도
- 5) 방식방법 연구
 - 가) 방식방법에 대한 기초자료 조사
 - 나) 사방구조물에 적합한 방식방법 개발
- 6) 경제성 분석

2. 제2세부과제(산림경관 보전을 위한 철강재 사방댐의 경관향상 기법 개발)

가. 연구개발의 목표

식생법에 의한 철강재 사방댐의 경관향상 기법 개발

나. 연구개발의 범위

- 1) 적용가능 식생에 대한 기초자료 조사
 - 가) 환경여건별 적용가능 식생의 분류
 - 나) 식생별 특징조사 및 경제성 조사
 - 다) 유지관리 기법의 정립
- 2) 철강재 사방댐의 녹화기법 개발
 - 가) 적용가능한 식생조사 및 유망식생 선발
 - 나) 식생가능 매트와 기재선발
- 3) 시공기술 정립
- 4) 시험시공 및 현장적용

3. 제3세부과제(철강재 사방댐 설계■관리를 위한 실무지원 체계의 개발)

가. 연구개발의 목표

GIS 응용 산림유역 입지 해석 체계 개발

나. 연구개발의 범위

- 1) 연구대상지 자료수집 및 GIS 자료관리 체계 개발
 - 가) 기초자료 수집 및 구축
 - 나) GIS 자료관리 및 해석 알고리즘 연구
- 2) 유역 입지 해석 및 응용 분석 체계 개발
 - 가) 지형, 수계, 임상분포 등의 유역입지 해석모듈 개발
 - 나) 유역입지에 따른 토사/강우 유출량 추정모듈 개발
 - 다) 주요 재해예방지역 공간분포 분석모듈 개발
 - 라) 종합적 유역입지 분석을 통한 구조물 위치선정 알고리즘 및 모듈 개발
- 3) 주제도 작성
 - 가) 정보 검색, 지도 중첩 등에 의한 주제도 작성
 - 나) 현장 실무 중심의 기본 주제도의 표준화 작업 및 범용성 검토

제 4 절 국내의 기술개발 현황

1. 국내■의 기술개발 현황

일본이나 프랑스 등의 해외선진국에서는 환경친화적 강재틀댐 등의 사방댐의 설계제작을 위한 다각적인 연구개발이 일반화되어 있으며, 친환경적 공법 실용화를 위한 연구투자가 이루어지고 있다. 특히 사방댐과 같은 사방구조물 설치에는 반드시 산림유역의 환경·생태에 관한 기초조사가 면밀하게 진행되고, 공학적 안정성 및 경제성에 관한 종합적 검토를 토대로 투수댐 혹은 불투수댐 등 여러 가지 형태의 설계시공이 이루어지고 있다. 사방댐의 기능적 측면과 경관이나 산림생태적 측면을 충분히 고려하여 그 목적에 적합한 구조물을 선정하여 설계시공하기 위한 노력을 하고 있다. 이러한 종합적 검토를 위한 노력에는 산림유역 특성을 파악하고, 적정 규모의 환경친화적 댐 설계를 위한 GIS를 응용하는 자동화 분석체계가 설계자동화 모델과 연계된 종합적 타당성의 검토체계가 실무적으로 자리를 잡고 있다.

반면 국내에서는 아직까지 철강구조물을 조립하여 설치하는 강재틀댐에 대한 연구는 물론 기존의 사방댐의 설계 및 시공에 관한 연구까지도 매우 미흡하여 현장에서는 대개 경험

에 의한 설계시공이 주류를 이루고 있는 실정이다. 특히 강재틀댐의 경우 이제 시제품제작 및 현장 적용의 초기에 진입해 있어 누적된 경험이나 자료가 미비하여 앞으로 보다 환경친화적인 기능성 제고를 위하여 환경적·공학적·경제적 관점의 평가 및 개선작업이 시급히 요구되는 단계이다. 또한 대부분의 사방댐 설계/시공 시 과학적·기술적 접근체계가 요구되지만 이를 수용하기 위한 분석체계나 표준화 그리고 실무적 활용도구가 체계적으로 개발되지 못하고 있다. 또한 사방댐과 관련된 제반 환경·생태적 기초 자료에 관한 연구도 매우 미비한 실정이다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 산·학·연·관의 종합적인 접근체계가 요구된다. 즉, 강재틀댐의 구조 안정과 경관 향상을 위한 계획 및 설계제작 기술 개발, 환경친화적 사방댐 설치를 위한 유역환경평가기법의 개발, 종합적 유역입지해석 및 설계지원을 위한 실무 자동화 개발이 시급히 요구된다.

2. 앞으로의 전망

현재 국내에는 사방댐에 대한 수요가 급증하고 있다. 이것은 매년 집중호우시 발생하는 산사태 및 홍수에 의한 인명피해, 재산피해 및 계곡하류의 산업적 피해 등의 재해방재와 관련된 사회·경제적 수요가 늘고 있고, 토석류에 의한 유역 계류의 황폐화나 수질 오염 등을 예방 혹은 복구하기 위한 환경·생태적 수요에 대한 국민의 공감대가 형성되어 있기 때문이다. 이와 같은 국민적 관심은 결국 환경친화형 기술력을 기반으로 하는 사방댐 설계시공 기술력에 대한 수요를 크게 진작 시킬 것으로 판단된다.

산림청 계획에 따르면 우선 전국에 분포한 약 3,000개소의 계곡에 연간 100~200 개소씩 사방댐을 설치할 계획이다. 그러나 국내 산림의 지형적 특성상 그 수요는 크게 늘어날 수 있을 것으로 판단되며 영속적인 사업수요가 있을 것으로 판단되며, 특히 앞으로 시간이 갈수록 여러 가지 사방댐의 유형중 강재틀댐의 수요가 차지하는 비중이 크게 상승할 것으로 판단된다. 이것은 영구구조물로서 강재틀댐이 콘크리트댐 등 다른 유형에 비해 앞 절에서 설명한 여러 가지 장점이 부각되기 때문이며, 특히 응급복구지에 대한 강재틀댐의 수요가 크게 증대될 것에 기인한다.

한편 최근 전세계에서 지구온난화현상에 따른 이상기후 난동으로 재해 방재 대책에 대한 수요가 급증하고 있다. 특히 중국, 베트남 등 산악지형의 열대우림 국가들이 우기의 집중호우에 의한 유역관리가 취약하여 산사태나 홍수 등의 대형 재해가 빈발하고 있으나 기술력

이 부진하여 효과적인 대응을 하지 못하고 있다. 장기적으로 산업기술 이전에 따른 수출효과가 크게 늘어날 것으로 기대된다. 이런 점에서 국내의 철강산업 기술력이 세계 최고의 해외경쟁력을 지니고 있으므로 산학협동에 의한 환경친화적 강재틀댐 설계시공의 기술력 향상이 이루어지면 강재틀댐 분야의 해외경쟁력이 크게 증진될 것으로 판단된다.

제 2 장 환경친화적 철강재 사방댐 구조개발

제 1 절 강재 사방댐의 개요

1. 강재 사방댐의 개요

철강재 사방댐은 평상시의 유출토사에 대하여 저사 또는 투과의 관점에서 기능적으로 불투과형과 투과형으로 분류된다. 이들의 종류 및 각 형상은 다음 그림 2.1.1과 2.1.2와 같다. 불투과형 철강재 사방댐은 계획상 유출토사의 투과를 기대할 수 없으며 그 종류로는 강재틀댐, 이중벽댐, 파형강판댐, 스크린댐 등이 있다. 한편 투과형 철강재 사방댐은 대홍수를 대비하여 평상시에는 퇴적된 토사를 서서히 유하시키고 홍수시에는 급격한 유목 및 토사의 유출을 방지하기 위해서 설치하며 그 종류로는 슬릿댐, 격자형댐 등이 있다.

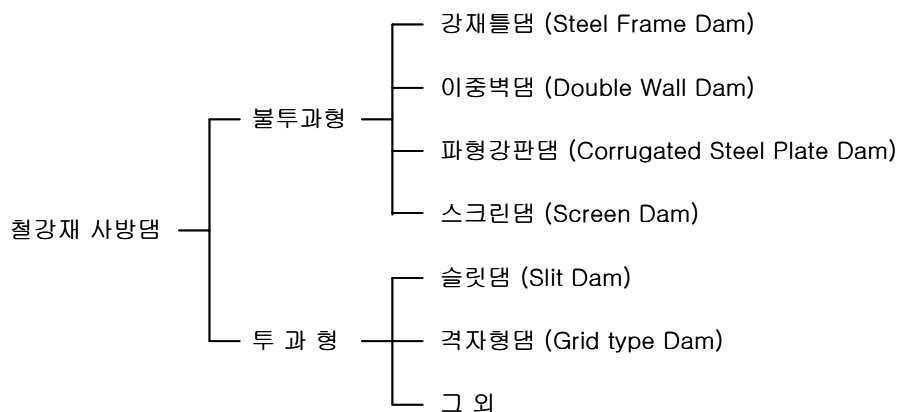


그림 2.1.1 철강재 사방댐의 종류

이들을 각각 살펴보면 다음과 같다.

- 강재틀댐 : 강재틀 구조는 각형강관, H형강, L형강 등의 강재를 사용하여 형성된 틀구조에 스크린을 설치하고 내부를 호박돌과 같은 내부채움재로 채우는 형태이다. 부재들의 강도가 크기 때문에 집합부의 강도 또한 크고, 외부하중에 대하여 내부채움재의 전단강도 외에 틀구조의 단저항으로 저항하는 구조이다.

- 이중벽댐 : 이중벽 구조는 강재로 구성된 틀구조에 내부채움을 하는 면에서 강재틀 구조와 비슷하나 외부하중에 대하여 강재부분에서 저항하지 않는 것이 강재틀 구조와 다르다. 그러므로, 내부채움재의 전단강도가 외부하중에 대하여 충분한 저항강도를 나타내도록 설계하는 것이 중요하다. 내부채움재로는 토사를 사용하며 시공시 내부채움재의 다짐에 대한 철저한 관리가 필요하다.

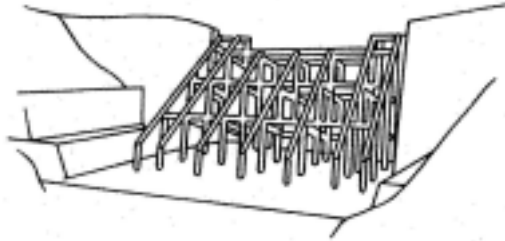
- 과형강판댐 : 과형강판 구조는 일반 강판에 과형을 주어 강판의 강성을 증가시키고 내부채움재를 설치하는 구조로써 이중벽 구조와 마찬가지로 강판자체의 저항력은 기대할 수 없다. 그러나 이음부와 전체 안정에 대한 충분한 고려가 있을 경우에는 시공성이 우수하며 내부채움재로 토사를 사용할 수 있다.

- 스크린댐 : 스크린 구조는 물은 투과시키며 호박돌 등을 저사할 목적으로 15~30cm 도의 간격으로 벽체에 틈을 준 구조이다. 부재간의 틈을 더욱 크게 하여 중소홍수시에 토사를 통과시키는 것으로 계획할 경우에는 투과형 사방댐에 분류된다.

- 그 외 투과형댐 : 투과형 구조는 토석류의 포착 또는 이의 속도를 감소시켜 물과 토사의 분리 및 유목의 포착을 목적으로 하는 형태이다. 대홍수시의 저사용량을 확보하는 것도 또한 중요한 목적이다. 예를 들어 스크린댐(스크린 간격을 조정하였을 경우)과 슬릿댐의 경우에는 토석류를 포착 또는 감속하여 유속감소, 물과 토사의 분리 및 유목의 포착을 그 목적으로 한다. 대부분의 경우, 황폐산지에서 유출되는 토사와 굴러내려온 돌이 혼입되어 있을 경우 토사를 서서히 유출시킴으로써 전석에 의한 재해를 방지하기 위하여 시공한다. 그러므로, 개구부의 치수는 중소홍수시에 유하하는 유목 및 토석류 등을 폐색하지 않고 통과시키고 대홍수시에는 폐색되어 유목 및 토사의 유출을 방지할 수 있도록 설계되어야 하며, 댐 전체의 안정은 토사 및 전석의 급격한 유출을 고려하여 설계되어야 한다.



(1) 강재틀댐



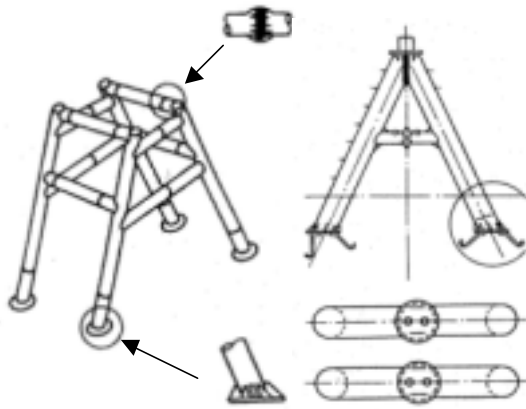
(2) 격자형댐



(3) 스크린댐



(4) 이중벽댐



(5) 슬릿댐 A형, B형



(6) 파형강관댐

그림 2.1.2 철강재 사방댐의 종류별 형상

가. 철강재 사방댐에 사용되는 강재

철강재 사방댐에 쓰이는 강재는 KS 규격에 의해 필요한 강도와 재질을 만족하여야 하며 치수들이 허용오차내에 있는 것이어야 한다. 기본사양으로는 SM400 강종을 사용하며 더 큰 하중이나 구조물의 높이가 큰 경우에는 별도의 강종을 현장여건에 맞게 선택하여 적용할 수 있다. 철강재 사방댐에 사용되는 강재의 기준 항복점과 안전율은 다음 표 2.1.1¹⁾과 같다.

표 2.1.1 구조용 강재의 항복점, 허용 축방향 인장응력, 허용 휨인장응력

강종	SS 400 SM 400 SMA 41	SWS 490	SWS 490 Y SWS 520 SMA 50	SWS 570 SMA 58
기준항복점 (kg/cm ²)	2,400	3,200	3,600	4,600
허용 축방향 인장응력 (kg/cm ²)	1,400	1,900	2,100	2,600
허용 휨 인장응력 (kg/cm ²)	1,400	1,900	2,100	2,600
안전율	1.71	1.68	1.71	1.77

철강재 사방댐의 사용되는 볼트는 기본사양으로 F10T M16을 사용하며 현장조건, 구조물 규모에 따라 적절한 것을 설계에 반영하면 된다. 고장력 볼트의 장기응력에 대한 허용 내력은 다음 표 2.1.2와 같다.

1) 도로교표준시방서 강교편 2.2.1 구조용 강재의 허용응력

표 2.1.2 고장력 볼트의 장기응력에 대한 허용내력

고장력 볼트의 종류	볼트의 호칭 지름	설계볼트 장력 (톤)	허용전단력(톤)		허용인장력 (톤)
			1면 마찰	2면 마찰	
F8T	M16	8.52	2.41	4.82	5.03
	M20	13.30	3.77	7.54	7.85
F10T	M16	10.60	3.02	6.03	6.23
	M20	16.50	4.71	9.42	9.73

여러종류의 외력을 조합하여 설계를 하는 경우에는 표 2.1.3의 할증계수로 할증한 허용응력도를 사용한다.

표 2.1.3 허용응력도 할증계수

하중, 외력 등의 조합	할증계수
온도변화 또는 건조수축을 고려할 때	1.15
지진의 영향을 고려할 때	1.50
온도변화, 건조수축 또는 지진의 영향을 고려할 때	1.65

2. 강재 사방댐의 계획

가. 철강재 사방댐 계획을 위한 기본 검토사항

철강재 사방댐을 사방계획상 어떻게 다루며 그 배치하는 장소와 활용방안 등은 매우 중요한 문제이다. 사방계획 측면에서 철강재 사방댐의 종류 및 설치위치 등을 결정하기 위한 검토사항은 대상 지역의 특성에 따라 다르며 토사이동 현상과 함께 일반지역(토석류지역 및 소류(掃流)지역²⁾, 사면활동지역으로 분류하여 철강재 사방댐을 계획할 수 있다. 이와 같은 분류에 의한 철강재 사방댐 구조형식의 선택기준은 다음 표 2.1.4와 같다.

2) 소류(掃流)지역이란, 소류력에 의해 하상변화가 발생하는 지역을 의미한다.

소류력(掃流力, Tractive Force)이란, 수로 또는 하천에서 물의 흐름이 수로바닥에 있는 토사를 움직이게 하는 힘을 말한다. 소류력의 크기에 따라 유사량이 변화하며 자연하천에서 세굴과 퇴적이 일어나고 단면의 변화가 생긴다.

표 2.1.4 토사의 이동형태별 철강재 사방댐 구조형식 선택기준

구역	토사의 이동형태	목적	철강재 사방댐의 형식
일반지역	토석류지역	계곡 상류의 토석류 발생 방지	강재틀댐, 이중벽댐, 스크린댐
		토사류의 저사, 감속, 토사와 물의 분리	슬릿댐, 격자형댐
		계안 및 계상의 침식방지	강재틀댐, 이중벽댐, 스크린댐
	소류지역	계안 및 계상의 세굴방지, 저사지역 하류의 하상 저하 방지	강재틀댐, 이중벽댐, 스크린댐, 슬릿댐, 격자형댐
사면활동지역	사면활동	사면활동의 방지 및 억제	강재틀댐, 이중벽댐

나. 토석류 지역에 적용되는 철강재 사방댐

토석류 구역은 토석류가 발생해 유하되적할 가능성이 있는 구역이다. 토석류 구역에 시공되는 사방시설은 그 시공 목적에 따라서 토석류 발생 방지를 위한 설비, 유하하는 토석류의 저사·감속 및 물과 토사를 분리하기 위한 설비, 토석류를 정지·퇴적시키기 위한 설비로 나눌 수 있다. 각 지역별 철강재 사방댐을 적용하기 위한 고려사항을 정리하면 다음과 같다.

1) 토석류 발생 방지를 위한 시설

토석류의 발생은 크게 다음과 같이 분류할 수 있다.³⁾

① 호우 때 발생하는 산사태의 붕괴토는 다량의 수분이 함유되어 있으며 이러한 붕괴토가 급경사면을 하강하면서 발생하는 토석류.

② 급경사면 산악지대의 계류에 비 또는 녹은 눈에 의해 급격하게 물이 흐를 경우, 계류 측면에 대규모의 산사태가 발생할 수 있으며 이러한 붕괴토가 일시적으로 계류를 멈추게 한다. 이렇게 퇴적된 붕괴토는 다량의 수분을 함유하고 있어 전단강도가 약하기 때문에 스스로의 힘으로 활동하기 시작하거나 배면측(상류측) 저수의 수압에 의해 이러한 천연댐이

3) 遠藤, 1958

붕괴해서 물과 함께 다량의 흙과 돌이 급격하게 유하하는 경우 발생하는 토석류.

③ 급격한 물의 흐름에 의해서 계안이나 계상의 흙과 돌이 침식되어 흐르는 물은 한꺼번에 다량의 흙과 돌을 함유하게 된다. 이러한 물이 흐르면서 흙과 돌이 함께 유하는 경우의 토석류.

산복붕괴⁴⁾에 기인하는 토석류에 대해서 사방계획을 하고자 한다면 일차적으로 산복붕괴가 생길 위험이 있는 장소에 사방시설을 마련해서 붕괴발생을 방지하는 것이 바람직하다. 그러나 실제로는 지형조건, 공사의 시공조건 등 현장조건 때문에 사방시설을 마련하는 것이 매우 어려울 때가 많다. 다만 골짜기 상부 부근에 용수가 많은 지역에서는 스크린댐이나 강재틀댐 등의 투수성이 좋은 구조물을 골막이 시설로서 계획하는 것은 하나의 좋은 대책방안이 될 것이다.

붕괴토에 의해서 천연댐이 형성된 경우의 대책으로는 응급 조치가 이루어지는 경우가 많다. 응급 조치는 현지의 사정에 의하기도 하지만 시공기간이 단축되고 시공이 용이한 공법이 요구된다. 이런 의미에선 강재틀댐과 같은 구조물이 좋은 대책방안이 될 것이다.

계안이나 계상의 침식에 의한 토석류 방생에 대해서는 사방댐이나 바닥막이를 방지대책으로 사용할 수 있으나 토석류가 보다 상류구역에서 발생해서 유하하는 가능성도 있으므로 설계를 수행할 때 설계조건으로 토석류의 충격하중을 고려하거나 성토 등의 완충재를 설치하므로 충격에 대한 대책을 마련할 필요가 있다.

2) 유하하는 토석류의 저사·감속 및 물과 자갈을 분리하기 위한 시설

이러한 시설은 토석류가 발생한다는 진제하에 유하하는 토석류를 저사 또는 감속(속도 및 물의 세력을 완화)시키는 대책 및 질적인 변화로서 토석류의 물과 자갈을 분리시키는 대책 등을 위해서 마련된 것이다. 양적인 대책으로는 유하하는 토석류량에 맞는 저사 공간이 필요하다. 이를 위해선 평상시의 흐르는 물에 의해 저사 공간이 감소하면 토석류가 발생할 경우 곤란하게 되므로 평상시에 저사 공간을 확보하는 것이 중요하다. 그러므로 평상시의 유수량 또는 중소 규모의 호우에 대해서는 유출토사가 하류로 통과하도록 하며 예상 규모 이상의 토석류가 발생할 때 토사를 저사할 수 있는 투과형(슬릿댐, 격자형댐 등)의 구조가 적용된다.

투과형댐을 설계할 경우에는 현장주변 토석류의 종류에 대한 검토가 수행되지 않는다면

4) 산복붕괴(山腹崩壞) : 지표면의 불연속 또는 토양단면상의 불연속이 원인이 되어 일어나는 산사태로 산복부에서 발생한다.

양적·질적인 대책으로서의 투과형댐은 그 효과에 대하여 불확실해지므로 현장주변 토석류의 종류, 유하거리 등 종합적인 검토가 필요하다. 또한 설계시에는 토석류의 충격하중에 대하여 충분히 검토하여야 한다.

3) 토석류를 정지, 퇴적시키기 위한 설비

대상지역 최하류 부분에 있어서 토석류를 완전히 정지, 퇴적시키는 목적으로 시공되는 시설을 뜻하며 보호 대상의 직상류에 위치하는 경우가 대부분이다. 그러므로 가장 안전하게 중력식 구조물을 설치해서 인근 주민들의 재산과 생명을 보호할 수 있다.

다. 소류지역에 적용되는 철강재 사방댐

계상, 계안 침식방지를 위해서는 스크린댐 또는 강재틀댐을 사용하여 바닥막이에 적용할 수 있다. 또한 평상시에는 토사의 유출이 적지만 하부의 세굴이 심한 하천이 있다. 이러한 경우, 평상시에 또는 중소호우에 대해서는 일정 크기 이하의 토사에 대해서는 그냥 유하시키고 어느 일정 수준 이상의 토사량에 대해서 대응할 수 있는 구조물이 바람직하다. 하류 보호 대상의 중요성, 보호 대상의 위치 등의 요소를 고려해서 가장 적당한 장소에 투과형 구조물의 설치를 검토하여야 한다.



그림 2.1.3 유목 포착공에 사용된 슬릿댐(A형)

라. 사면활동 지역에 적용되는 철강재 사방댐

사면활동에 의한 재해를 방지하기 위한 계획에 있어서는 철강재 구조물을 어떻게 설치하는냐에 대한 검토가 필요하다. 사면활동 방지공의 기능적 측면에서 본 사면활동의 주요 원인은 다음과 같다.⁵⁾

- ① 하류지역에서의 하천에 의한 중회 침식이나 절토공, 상류지역에서의 성토공에 의한 지형 변화.
- ② 우수, 표면수의 지하침투에 의한 지하수위의 증가.
- ③ 천층 지하수위의 증가 또는 타지역 지표수의 유입.
- ④ 심층 지하수위의 증가.

5) 渡, 1983



그림 2.1.4 강재틀댐이 사면활동 지역에 사용된 예

①의 경우, 하천의 중형 침식대책에 대해서는 사면활동의 형태에 관계없이 사방댐 등의 하천 구조물이 가장 많이 사용된다. 특히 하천 유수의 침식을 방지하기 위해선 유수에 저항하기 위해 자중이 있고 현장적용성(예를 들면, 강재의 연성 등)이 좋고 동시에 지하수위를 상승시키지 않는 구조물이 바람직하므로 강재틀댐이나 블록을 사용한 사방구조물이 적절하다. 또한 ②의 경우와 같이 지하수위 상승에 의한 사면활동에는 투수성이 높고 사면활동에 저항하는 힘이 있는 구조물로서 강재틀댐 등의 사방구조물이 많이 사용된다. 그러나 ③이나 ④에 관해서는 지하수 배수공, 지하수 차단공 등이 많이 사용된다.

마. 철강재 사방댐의 계획·설계를 위한 조사

철강재 사방댐의 계획, 설계에 있어서 구조물의 안정성, 내구성, 시공성 및 유지관리 등의 관련사항에 대한 조사를 실시할 필요가 있다.

1) 조사항목

사방계획에 필요한 조사 및 사면활동 기존 콘크리트 구조물의 경우와 기본적으로 같다. 그러나 철강재 사방댐의 경우에는 그 외에도 하천의 산성도 조사나 강재틀댐의 경우에는 내부채움재에 대한 조사 등 다음 항목에 대해서도 추가적으로 조사하여야 된다.

- ① 유수 또는 지하수의 pH수치 및 흙의 비저항 수치
- ② 강재틀댐의 경우, 내부채움재에 관한 조사
- ③ 투과형댐 및 토석류 대책 댐의 경우, 최대역경 조사

2) 조사내용

2.1에 나온 대로 철강재 사방댐에는 여러 종류가 있으며 설치장소나 목적에 맞추어 사용하지 않으면 안된다. 또한 철강재 사방댐의 부식에 관해서서 pH 5 미만의 산성하천이나 흙의 비저항수치가 $20\Omega \cdot m$ 미만인 장소에 적용하는 것은 충분한 검토가 필요하다. 이를 위해서 그러한 위험이 있는 경우는 유수나 지하수의 pH수치나 비저항치의 조사가 필요하다. 흙의 비저항치는 일반적으로 표 2.1.5와 같으며 이에 관련된 흙의 부식성과의 관계는 표 2.1.6과 같다.

표 2.1.5 흙의 비저항치

흙의 종류	점토	모래	자갈
비저항치($\Omega \cdot m$)	1~100	1~1000	100~1000

표 2.1.6 흙의 비저항치와 부식성

비저항치($\Omega \cdot m$)	부식성
0~10	매우 크다
10~20	크다
20~50	중간 정도
50~100	작다
100이상	매우 작다

또한 강재틀댐에 있어서 외력에 저항하는 가장 중요한 요소인 내부채움재의 재질이나 공학적 성질에 대하여 조사를 해 두는 것이 바람직하다. 중력으로 외부하중에 대하여 저항하는 경우로 설계되었을 때는 내부채움재의 단위체적중량과 간극비에 대해 조사하며 내부채움재의 전단변형에 의해 외부하중에 저항하는 경우에는 내부마찰각 등의 역학적 성질이 조사되

어야 한다.

철강재 사방댐은 콘크리트 중력식 구조물보다 저폭이 넓고 기초에 작용하는 하중강도가 작아지는 것이 보통이며 연성이 뛰어나기 때문에 기초지반의 지지력과 변형에 대해서는 다소 괜찮은 경우가 많다. 그럼에도 불구하고 기본적으로 중력식 구조물이며 세굴이나 파이프에 의한 국부적인 변형에 대한 저항성은 작으므로 기초가 사질토 지반일 경우에는 이러한 점들에 관한 조사가 필요하다.

투과형댐 개구부 크기의 결정이나 충격력 산정을 위한 최대역경은 댐 건설 예정지점보다 상류의 계상 및 댐 양측 하류의 각각 200m 사이의 계상 퇴적물을 답사해서 약 100개 이상의 거력의 빈도분포를 조사해서 누가곡선의 95%정도를 최대역경으로 한다. 또한 누가곡선의 50% 정도를 평균역경으로 한다.

제 2 절 경사형 강재틀 사방댐 구조개발

본 연구에 의해 개발된 경사형 철강재 사방댐은 강재틀을 구성하는 각각의 부재를 현장에서 직접 볼트로 접합하여 조립하므로써 우수하고 균일한 품질의 시공이 가능하며 중장비를 사용하여 쉽게 내부채움을 실시하므로 시공성이 매우 빠르다는 등의 여러 가지 장점을 가지고 있다. 주부재로서 H형강을 사용하며 이에 접합부를 설치하여 ㄷ형 채널의 이음부재와 하중전달을 위한 브레이싱재를 볼트체결하고 배면측과 앞측에도 ㄷ형의 스크린재와 상하부의 띠강판을 볼트체결 하여 시공하는 형식이다. 이로써 강재틀과 내부채움재의 전단 저항으로써 외부하중을 저항하는 구조이다. 구조형식은 원칙적으로 불투과형으로서 토사유출은 계획상 기대할 수 없다. 초기 단계에서는 내부채움재의 간극사이로 어느 정도의 토사 및 유수의 유출이 예상되나 일정시기가 지난 이후에는 불투과 구조물이 된다. 그러나 내부채움재의 투수계수가 콘크리트댐, 전석댐 등과 비교하여 월등히 크므로 수압에 의한 외부하중이 작고 주변 지하수위의 변동을 가져다주지 않으므로 기타 구조물 대비 안정성이 향상되는 구조이다. 본 장은 경사형 철강재 사방댐을 구성하는 각각의 재료의 특성과 역할 및 구조형식에 관하여 설명한다.

1. 경사형 강재틀 사방댐의 구성

강재틀 사방댐의 구성부재로는 주부재와 이음부재, 스크린부재, 브레이싱재로 구성된 강재틀과 내부채움재로 구성되어 있다. 각 부재의 강종은 SS400을 기준으로 생산하였으며 적용 규격은 KS D 3502, KS D 3503, KS D 3515에 의거 하였다. 부재의 상세와 조립도는 그림 2.2.1과 같다.

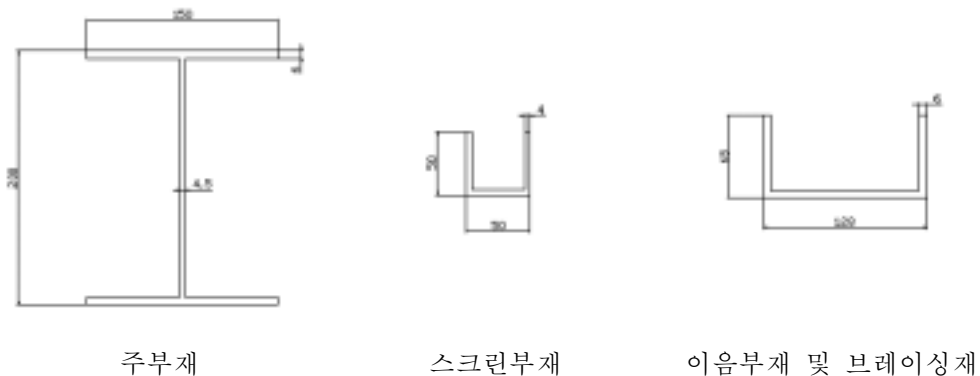




그림 2.2.1 강재틀 사방댐의 구성

경사형 강재틀 사방댐은 직립형 강재틀 사방댐에서 기초되어 연구가 수행되어왔다. 직립형 사방댐의 경우 주부재는 각형강관을 사용하여 조립하였으나 각형강관을 주부재로 사용할 경우 주부재와 이음부재 및 스크린재를 이어주기 위해서는 각각의 여러 가지 접합부가 필요하였다. 접합부란 부재와 부재를 이어주는 고리와 같은 역할을 수행하는 부재로써, 주부재 또는 이음부재에 볼트로 체결하여 각각의 부재를 접합시켜 줄 수 있도록 고안한 것이었다.

본 연구의 경사형 강재틀 사방댐의 주부재는 균일한 단면성능을 유지할 수 있는 H형강을 사용하며, 시공 및 제작의 편리성을 고려하여 균일한 접합부를 새롭게 고안하였다. 이는 각각의 접합부를 없애고 주부재와 이음부재, 브레이싱재를 동시에 직접 연결하는 형태를 가지므로써 부재에 가해지는 하중이 직접 부재에 재하되므로 부재성능의 최적화를 이룰수 있고 경제성 향상에도 도움이 될 수 있는 형태이다. 이러한 형상을 가진 경사형 강재틀 사방댐은 현장에서 뛰어난 시공성을 바탕으로 하는 강재틀 사방댐의 장점을 더욱 살릴 수 있을 것으로 판단된다.

이러한 경사형 강재틀 사방댐의 형식은 표 2.2.1 과 같이 특허 출원중에 있다.

표 2.2.1 강재틀 사방댐과 관련된 특허 목록

접수번호	출원번호	출원일자	발명의 명칭
2002NR0125	2002-0052058	2002-08-30	조립식 강재틀을 이용한 사방댐의 시공방법
2002NR0126	2002-0052057	2002-08-30	형강 연결부재를 구비한 강재틀
2002NR0128	2002-0052056	2002-08-30	형강 연결부재를 구비한 강재틀
2002NR0129	2002-0052055	2002-08-30	조립식 강재틀의 형강 및 이를 이용한 사방댐용 조립식 강재틀
2002NR0131	2002-0052054	2002-08-30	고정부재를 구비한 조립식 강재틀
2002NR0133	2002-0052053	2002-08-30	사방댐용 조립식 강재틀

그림 2.2.2는 조립식 강재 울벽의 주부재와 이음부재 및 스크린부재가 어떤 형상으로 집합되는지를 나타내었다.

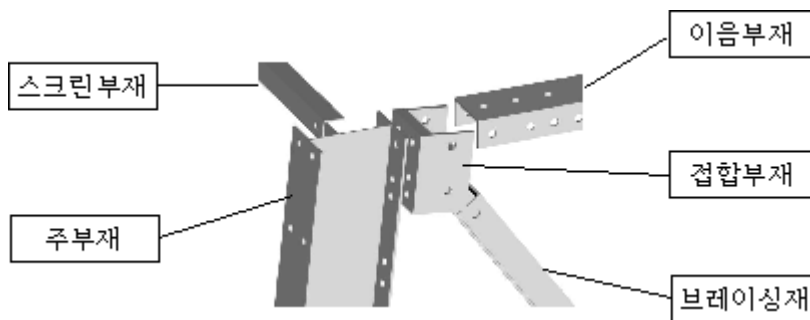


그림 2.2.2 주부재와 각각의 부재 이음 형상 개념도

위와 같이 부재를 조립한 강재 사방댐은 기본타입을 형성하여 적층하는 타입으로 완성한다. 여기서 말하는 기본타입이란 경사형 강재틀 사방댐을 형성하는 부재들을 집합한 최소의 단위를 말하며 본 연구의 경사형 강재틀 사방댐은 2가지 종류가 있다. 그림 2.2.3은 측면에서 바라본 시점으로 사다리꼴형상의 기본타입이며, 또 다른 형상의 기본타입으로 평행 사변형꼴의 기본타입이 있다.

앞에서 말한 두가지 형태의 기본타입의 조합으로 사방댐의 높이를 결정하며 각각의 기본타입을 적층할 때마다 높이가 달라진다. 그림 2.2.3은 기본타입을 나타낸 그림이며 그림 2.2.4은 기본타입을 적층하여 사방댐을 형성한 그림이다.

경사형 강재틀 사방댐의 높이는 기본타입을 몇 단을 적층할 것인가에 따라 높이가 결정된다. 그림 2.2.5는 기본타입을 2단 적층하여 사방댐을 구성한 그림이다.



<기본타입 I>



<기본 타입II>

그림 2.2.3 측면에서 바라본 조립식 강재 옹벽의 기본타입

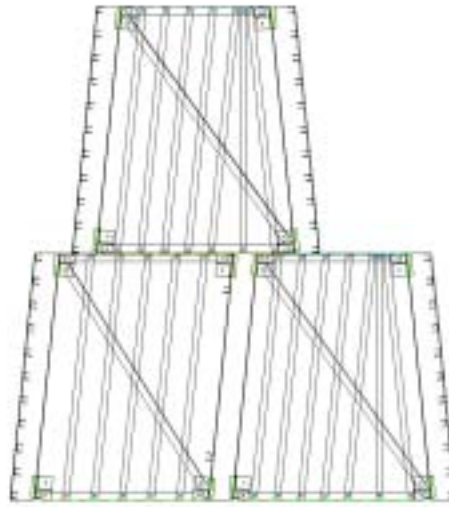
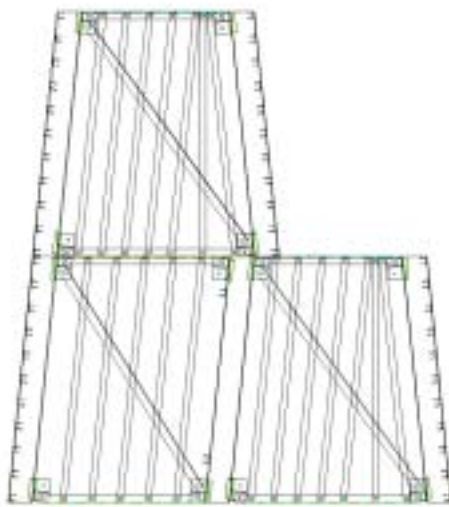


그림 2.2.4 기본타입을 적층한 조립식 강재 옹벽(2단 적층시)

2. 경사형 강재틀 사방댐의 부재 개발

경사형 강재틀 사방댐의 각 부재들 사양 선정 및 적합성 검토와 역학적 거동을 분석하기 위하여 범용화된 구조해석 프로그램인 MIDAS CIVIL을 사용하였다. 배면지반의 경사는 6° 로 가정하고 외부하중으로 토압(퇴사압), 수압을 구하여 구조해석을 수행하였다.

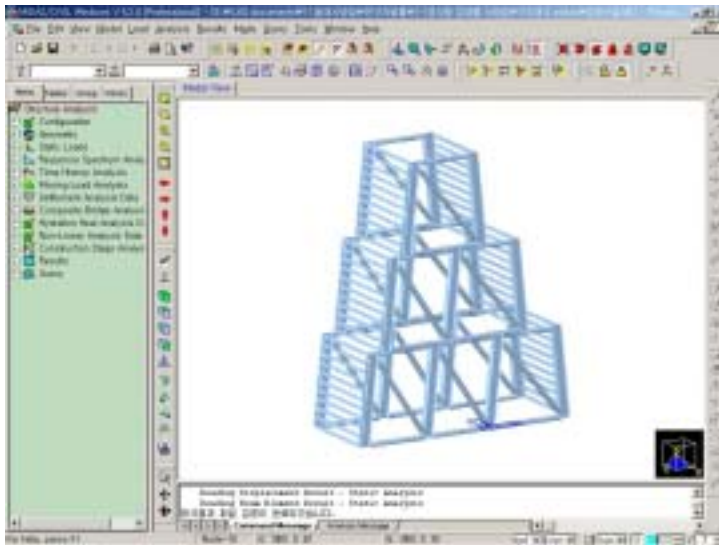


그림 2.2.5 MIDAS CIVIL 구조해석 화면

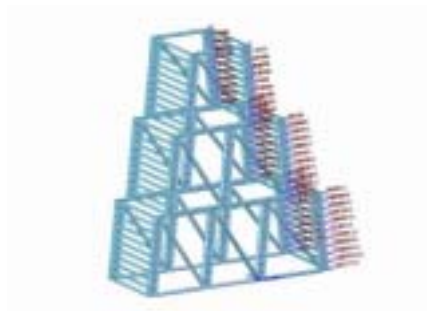


그림 2.2.6 토압과 수압 재하 모습



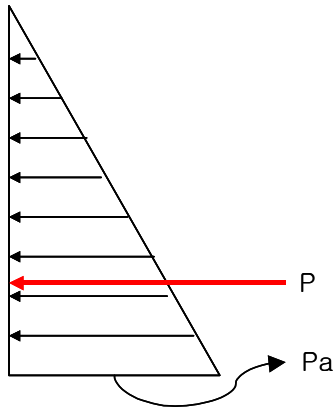
그림 2.2.7 하중재하시의 변형모습



가. 스크린부재

스크린을 해석하기 위해 토압을 먼저 산정하였다. 토압은 스크린을 밀치는 형상으로 주동으로 고려하였고, 스크린에 작용하는 적절한 토압을 산정하기 위해 여러 가지 토압 산정 방식을 도입하였다. 각각의 토압 산정시 지반의 물성치는 단위중량 γ , 내부 마찰각 35° , 점착력 0 로 고정시켜 구하였다.

1) Rankine 토압



Rankine 주동토압 분포도

Rankine의 주동토압

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) = 0.271$$

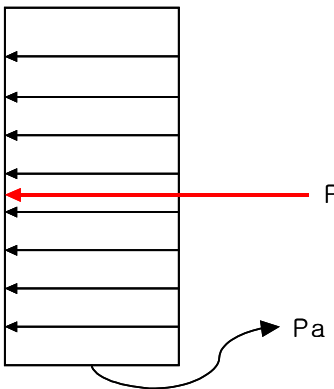
$$P = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_a = 0.9756 \text{ t/m}$$

$$P_a = \gamma \cdot H \cdot K_a = 0.09756 \text{ kg/cm}^2$$

여기서, 스크린은 20cm 간격으로 설치되어 있으므로 2차원 구조해석시 한 개의 스크린에 작용하는 는 1.9512kg/cm 이다.

$$P_a = 1.9512 \text{ kg/cm}$$

2) Terzaghi - Peck 토압



Terzaghi-Peck 토압 분포도

Terzaghi - Peck 토압

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) = 0.271$$

$$P = 0.65 \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_a = 1.2683 \text{ t/m}$$

$$P_a = 0.65 \cdot \gamma \cdot H \cdot K_a = 0.06342 \text{ kg/cm}^2$$

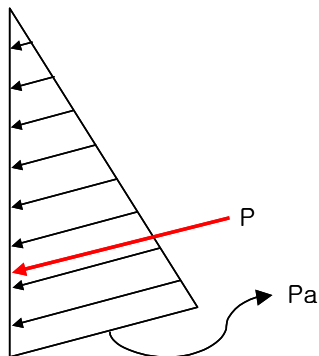
여기서, 스크린은 20cm 간격으로 설치되어 있으므로 2차원 구조해석시 한 개의 스크린에 작용하는 는 1.2683kg/cm 이다.

$$P_a = 1.2683 \text{ kg/cm}$$

3) Coulomb 토압

Coulomb 토압은 벽마찰각과 경사를 고려할 수 있으므로 스크린에 벽마찰각과 경사를 4가지 Case를 적용하여 토압을 산정하였다. 보통 설계시 RC옹벽에 작용하는 벽마찰각은 $\frac{\phi}{2} \sim \frac{\phi}{3}$ 를 적용하고 있으나 조립식 강재 옹벽의 스크린의 경우에는 강재이므로 이보다 약간 작게 15. 를 적용하였다. 또한 경사는 조립식 강재 옹벽의 중력식 Type을 고려하여 1:2의 경사로 적용하였다. 각 Case 별 물성치는 표1에 나타내었으며 각 Case를 적용하여

K_a 와 P , 그리고 P_a 는 표2에 각각 나타냈다.



Coulomb 토압의 분포도

Coulomb 토압의 주동토압 계수

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2\alpha \cdot \sin(\alpha - \delta) \cdot \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right\}^2}$$

- 여기서, ϕ : 흙의 마찰저항각
 ϕ : 뒤채움 흙의 벽면 마찰각
 δ : 옹벽배면의 경사각
 α : 뒤채움 표면의 경사각
 β

표 8.2.2 Coulomb 토압 산정시 고려한 각 Case

Case	ϕ	δ	α	β
Case 1	35	0	0	90
Case 2	35	15	0	90
Case 3	35	0	0	101.3(1:2경사)
Case 4	35	15	0	101.3(1:2경사)

표 2.2.3 벽마찰각과 경사면에 따른 주동 토압

Case	K	P (ton/m)	P (ton/m ²)
Case 1	0.271	0.9756	1.9512
Case 2	0.248	0.8928	1.7856
Case 3	0.202	0.7272	1.4544
Case 4	0.199	0.7164	1.4328

4) Culmann 토압

가) Culmann 토압의 개요

Culmann 토압은 Coulomb 토압 이론에 대한 도해적 해석 방법으로 상재하중이나 뒤채움

의 불규칙성에도 임의의 벽마찰에 이용할 수 있어 수평토압을 측정하는데 있어 매우 유용하다.. 본 스크린 해석에서는 조립식 강제옹벽은 2×2×2m 가 한 개의 Unit으로 구성되므로 뒷채움의 길이가 긴 일반적인 해석방법과 차별성을 위해 채택하였다(그림 2.2.8 a,b 참조).

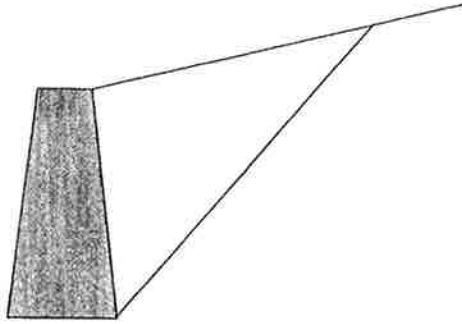


그림 2.2.8(a) 일반적인 토압 산정시
예상 파괴흙체기

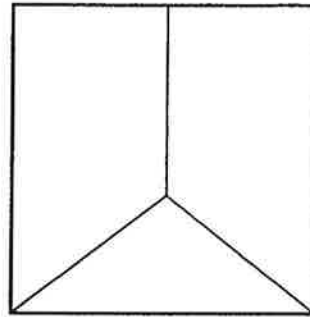


그림 2.2.8(b) 조립식
강제옹벽의 예상 파괴흙체기

Culmann 토압의 산정에 관한 도해법의 절차는 다음과 같다.

- 적당한 축척으로 뒷채움과 옹벽의 형태를 그린다.
- $\phi = 90 - \theta - \delta$ 를 결정한다. 여기서 θ 는 옹벽 배면과 연직선과의 경사이고, δ 는 벽마찰 각이다.
- 수평선과 ϕ 의 각을 이루는 BD선을 긋는다.
- BD선과 ϕ 의 각을 이루는 BE선을 긋는다.
- 어떤 가상 파괴면을 고려하여 선 BC_1, BC_2, \dots, BC_n 을 긋는다.
- $ABC_1, ABC_2, \dots, ABC_n$ 의 면적을 구한다.
- 각 가상파괴 흙체기의 단위 폭당 흙의 무게를 정한다.

$$W_1 = (\text{면적 } ABC_1) \times \gamma \times (1)$$

$$W_2 = (\text{면적 } ABC_2) \times \gamma \times (1)$$

$$W_3 = (\text{면적 } ABC_3) \times \gamma \times (1)$$

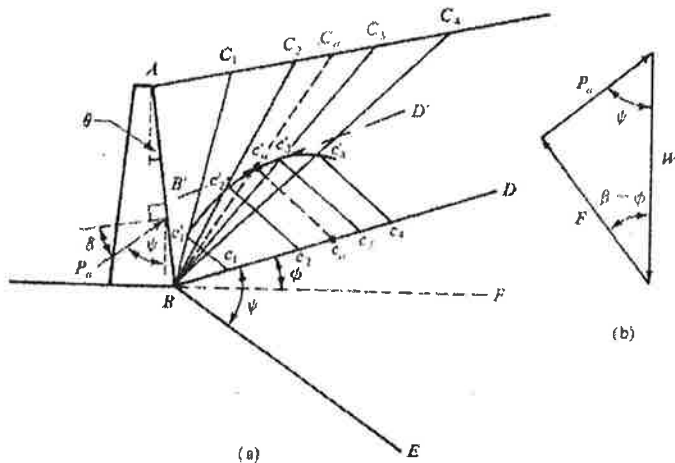
⋮

$$W_n = (\text{면적 } ABC_n) \times \gamma \times (1)$$

- 편리한 하중 축척으로 7단계에서 정한 $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ 을 선 BD위에 긋는다.
- 선 BE에 평행하게 $c_1 c'_1, c_2 c'_2, c_3 c'_3, \dots, c_n c'_n$ 를 긋는다.(주의 : $c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_n$ 은 선 BC_1, BC_2, \dots, BC_n 위에 각각 위치)
- $c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_n$ 를 지나는 원활한 곡선을 작도한다. 이것을 "Culmann의 선"이라 한다.
- 10단계에서 구한 원활한 곡선에 선 BD와 평행한 접선 B'D'를 긋는다. c'_n 는 접점이다.
- 선 BE에 평행한 $c_n c'_n$ 를 긋는다.
- 다음과 같이 벽의 단위 폭당 주동력을 구한다.

$$P_a = (c_a c'_a \text{의 길이}) \times (\text{하중 축척})$$

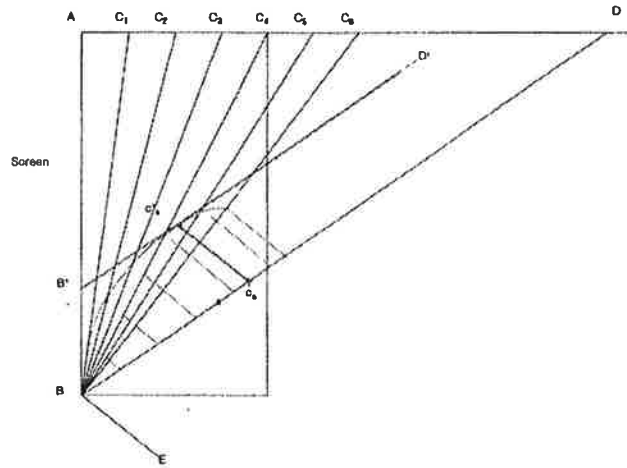
여기서, P_a 는 벽에 대한 주동 토압이다.



Culmann의 도해법

나) Screen에서 Culmann 도해법의 적용

본 연구에서는 조립식 강재 옹벽의 Screen에 작용하는 적정 토압을 알아보기 위하여 Culmann 도해법을 적용하였다. 다음 그림은 Culmann의 도해법을 Screen에 적용한 개요도를 나타내었으며 도해법의 도해 결과 스크린에 작용하는 P_a 를 $0.9kg/cm$ 로 나타냈다.



Screen에서 Culmann 도해법의 적용

5) 결과 분석

앞의 토압 산정을 통하여 최대 토압인 Rankine 토압하중을 적용하여 스크린의 수평 처짐을 계산하였다. L/500은 스크린의 모니터링 측정결과 수평 처짐의 육안식별 가능 한계 기준치이며 스크린의 길이를 2m로 하였을 때 스크린의 한계기준치는 4mm이다. 해석 결과 최대변위는 2.3mm 로 한계기준치인 4mm 이내로서 적합하였으며, 응력은 1318kgf/cm² 으로서 허용응력인 1400kgf/cm² 에 적합하였다.

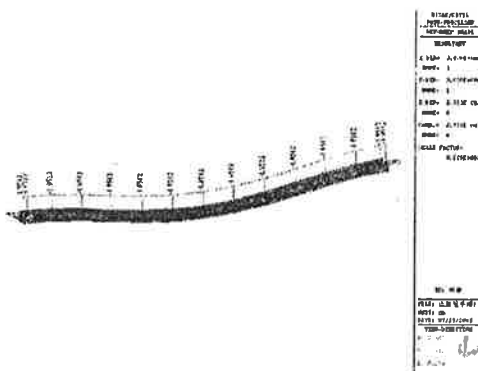


그림 2.2.9 하중재하 및 변위값

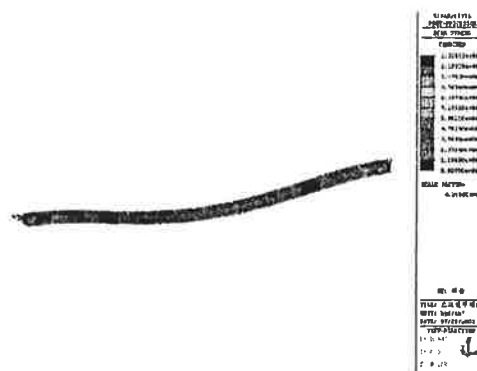


그림 2.2.10 응력분포

5) 결과 분석

앞의 토압 산정을 통하여 최대 토압인 Rankine 토압하중을 적용하여 스크린의 수평 처짐을 계산하였다. L/500은 스크린의 모니터링 측정결과 수평 처짐의 육안식별 가능 한계 기준치이며 스크린의 길이를 2m로 하였을 때 스크린의 한계기준치는 4mm이다. 해석 결과 최대변위는 2.3mm 로 한계기준치인 4mm 이내로서 적합하였으며, 응력은 1318kgf/cm² 으로서 허용응력인 1400kgf/cm² 에 적합하였다.

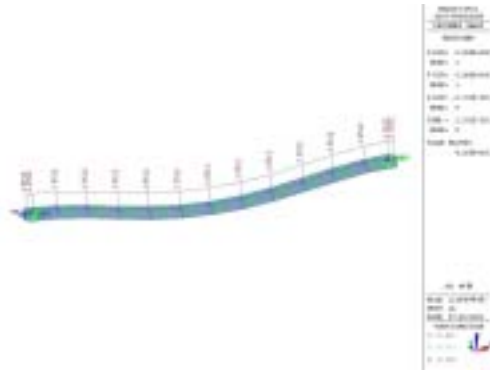


그림 2.2.9 하중재하 및 변위값



그림 2.2.10 응력분포

나. 브레이싱재 및 이음부재

브레이싱재는 강재틀 구조에서 가장 중요한 역할을 하는 인장부재이며, 이음부재는 압축부재이다. Midas Civil 의 플레이트 요소로 모델링 하였으며, 응력 및 변위를 검토하여 적합한 단면을 산정하였다. 한쪽에서 하중을 주었으며, 다른 한쪽의 경계조건은 Ry 만 풀어 주었다. 응력을 검토한 경과 브레이싱재의 경우 약 1310kg/cm² 이 나왔으며, 이음부재의 경우 약 1320kg/cm² 로서 허용응력 1400kg/cm²에 만족한 결과를 보였다.



그림 2.2.11 브레이싱재 모델링과 응력검토

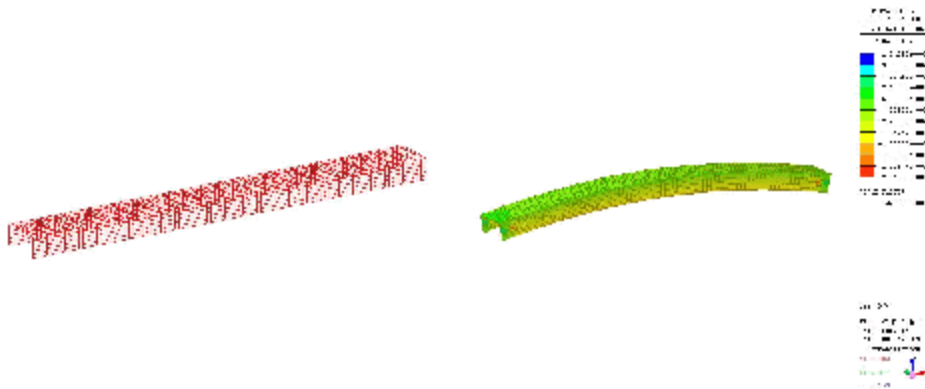


그림 2.2.12 이음부재 모델링과 응력검토

3. 경사형 강재틀 사방댐의 성능시험

경사형 강재틀 사방댐은 다음 그림 2.2.13과 같은 흐름으로 개발하였다. 스크린재는 내부 채움재의 이탈방지 역할을 수행하며 이는 기존 직립형 사방댐 결과를 참조하여 배부름 현상과 같이 과다변형이 일어나지 않는 수준의 부재 단면성능을 갖추도록 설정하고 이를 해석과 실험을 통하여 검증하였다. 이와 더불어 각 부재단면들이 새로운 형태 고안되었으므로 각각에 대한 성능분석 시험 및 해석을 수행하였다. 조립식 강재옹벽은 강재틀과 내부 채움재의 상호작용에 의해 외부하중에 대하여 저항하는 구조이기 때문에 강재틀 자체의 성능을 분석하고 이에 내부채움을 수행한 후에 내부채움재와 합성거동시의 성능을 분석하였다.

이를 토대로 제시하는 표준형태의 적절성을 분석하여 구조형식을 개발하였다. 본 장에서는 이러한 개발과정에 대하여 소개한다.

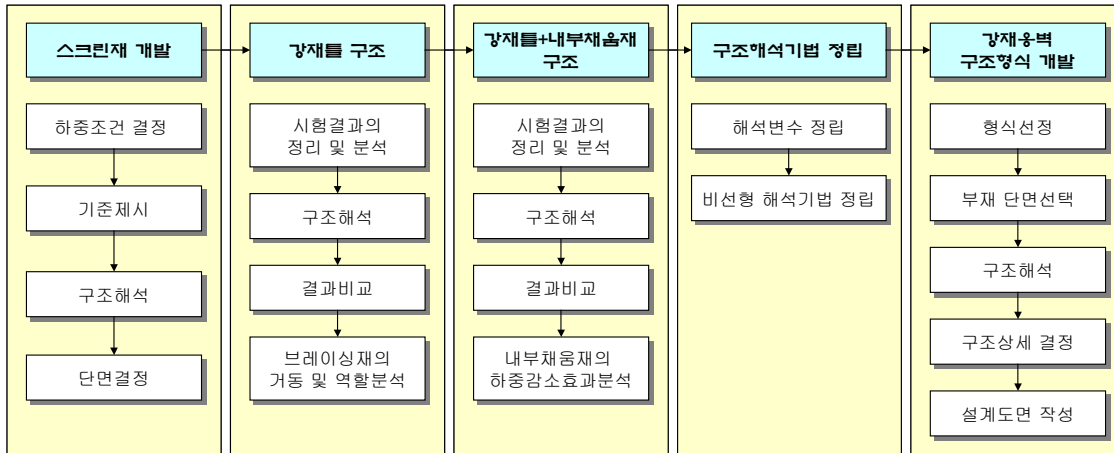


그림 2.2.13 경사형 강재틀 사방댐 설계 흐름

가. 부재시험

1) 시험의 개요

경사형 강재틀 사방댐의 부재들은 경제성을 향상시키고 구조성능을 최적화하기 위하여 새로운 단면형상을 개발하여 적용하였다. 더불어 주부재와 이음부재, 브레이싱재를 한번에 연결할 수 있도록 새롭게 고안된 접합부를 개발하여 제작 및 시공시 추가업무발생을 최소화 하였다.

새롭게 개발된 각각의 부재는 제작과정을 거치며 변형이 가해지는 것과 실제 예상하는 단면성능에 대하여 실제 얼마만큼의 하중에 견딜 수 있는지를 검증하기 위하여 각 부재의 성능검증 시험을 실시하였다. 300ton UTM에서 수행하였으며, 압축력을 받는 이음부재의 경우 실제 강재틀 구조의 크기로 제작하여 주부재와 접합부로 연결된 이음부재에 대하여 압축시험을 수행하였으며, 인장력을 받는 브레이싱재의 경우도 실제 크기로 시험체를 제작하여 인장시험을 수행하여 성능을 평가하였다.

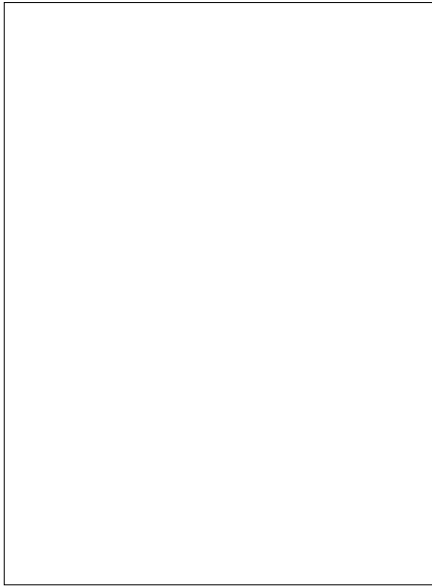


그림 2.2.14 300ton UTM 시험기

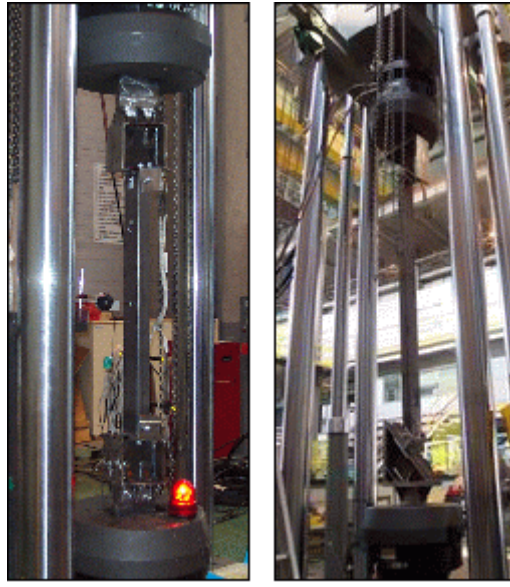


그림 2.2.15 이음부재, 브레이싱재 설치

2) 시험결과 분석

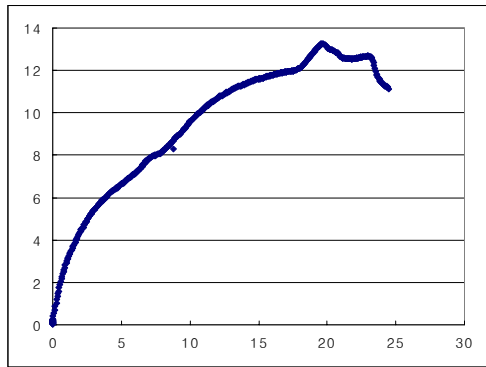


그림 2.2.16 이음부재 시험결과

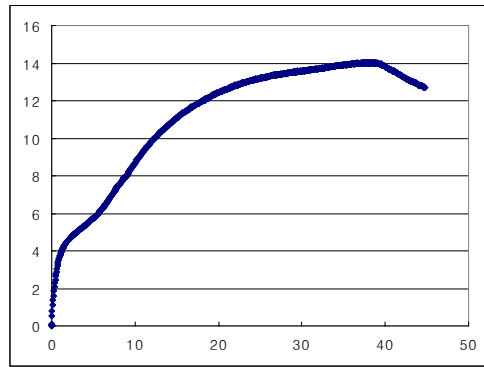


그림 2.2.17 브레이싱재 시험결과

시험결과 압축부재인 이음부재는 약 13.25ton에서 국부좌굴이 일어났으며, 인장부재인 브레이싱재는 약 14.45ton에서 볼트접합부위가 파단되었다. 점선-탄성법에 의하면 이음부재와 브레이싱재 모두 약 9ton 의 하중에 충분히 만족한다고 볼 수 있으며, 해석상으로는 8ton 에 견디게끔 단면을 선정하였으나 더 안정적인 결과가 나왔다.

나. 실물시험

1) 배경이론

가)셀 구조물의 거동에 관한 기존의 연구

셀식 구조물이란 "외각체 속에 속채움재를 넣어서 구성되는 구조물"을 말하며, 셀과 내부 채움재가 과압 또는 배면토압등의 외력에 일체로 저항함으로써 안벽, 호안, 물막이제, 방파제등의 벽체로 사용된다. 이론을 적용할 강관셀 공법은 개발 초기에는 강재널말뚝을 원통

형으로 연결된 구조에서부터 적용되었으며 현재에는 육상에서 강판을 용접하여 제작한 원통형상의 셀을 기중기선등을 사용하여 시공 현장까지 운반하여 소정의 위치에 설치한 후 셀의 내부에 속채움을 하여 구조물을 시공하는 공법이다(그림 2.2.18 참조) . 강널말뚝 셀을 대상으로 한 셀식 구조물의 거동에 관한 연구는 Pennoyer, Terzaghi등에 의해 계속 진행되어 왔다. 이들은 셀의 전단 변형에 대한 속채움 재료의 저항력에 대한 연구를 하여 각각의 제안식을 발표하였다.

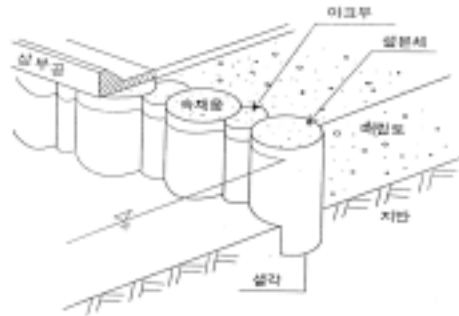


그림 2.2.18 근입식 강판셀에 의한 호안 개념도

(1)Terzaghi 의 제안식

Terzaghi(1945)는 그림 2.2.19에 표시한 것과 같이 수평외력 P가 작용하면 속채움재료 내의 연직면을 따라 전단 파괴가 발생하며 그 결과로서 최초 직사각형인 셀 단면이 점차 평행사변형으로 변해가는 것으로 생각하였다. 전체의 파괴는 g-h 면에서 전단력이 최대전단강도에 달한 경우라고 정의했다.

셀에 작용하는 수평외력에 의해 셀의 저면에 발생하는 반력의 분포를 사다리꼴 abnm이라 하면 그 반력의 평균치q는 속채움 재료의 자중에 의한 하중강도와 같다. 사다리꼴의 반력 분포에서 평균 하중강도 q를 뺀 면적은 삼각형 모양이 되며 이 중에서 한 쪽 부분의 삼각형의 합력을 S라 하면 점 g에 대한 모멘트는 다음과 같다.

$$M = \frac{2}{3} B S \tag{2-1}$$

여기서, B : 환산벽체폭 , S : g-h면위의 전단력

그런데, 전단저항력 Sf 는 그 면에 작용하는 전 수평토압 PA로부터 식 (2-2)와 같다.

$$S_f = P_A \tan \phi \tag{2-2}$$

여기서, ϕ 는 연직면에서의 마찰각이며 g-h 면을 활동면으로 가정했으므로 속채움 재료의 내부 마찰각과 같다.

전수평토압 P_A 를 주동토압이라고 하면,

$$S_f = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A \tan \phi \quad (2-3)$$

여기서, K_A : 주동토압계수, γ : 단위체적중량, H : 셀체체의 높이

속채움 재료의 전단변형에 대한 저항모멘트는 식 (2-3)의 S_f 를 식 (2-1)의 S 에 대입하여 다음과 같이 구해진다.

$$M_{rd} = \frac{1}{3} B \gamma \gamma^2 K_A \tan \phi \quad (2-4)$$

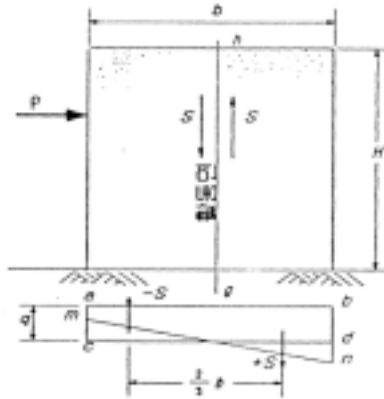


그림 2.2.19 Terzaghi의 활동면

(2) Hansen의 제안식

Hansen은 Terzaghi의 방법에 대한 반론을 제기하였다. 그것은 파괴면의 방향이 역학적으로 일어날 수 없는 방향이라는 것이다. Hansen은 파괴면은 두 벽사이의 단순한 원형 파괴면이라고 가정하였다.(그림 2.2.20 참조)

셀구조는 파괴시 이 선을 기준으로 하여 아래쪽의 흙은 움직이지 않으며 위쪽의 흙은 하나의 강체로써 원의 중심을 따라 회전을 하며 구조의 안정성은 소성이론과 평형방정식에 의해서 구해진다. 그림과 같은 셀에서 높이는 h, 폭은 w, 그리고 수평외력 Q가 작용하고 있다. 하중의 작용점은 아래에서부터 q 이다. 내부채움재의 단위중량과 내부마찰각은 γ_m 과 ϕ 로 표현한다.

댐은 상당히 폭이 크며 파괴상태에서 일반적인 주동, 수동토압에 의한 소성영역이 생길 수 있으며 파괴선은 그림에서 보이는 것처럼 두 벽체사이에서 생길 것이다. 그림처럼 불룩한 형상의 파괴가 생기는 것을 X-파괴라고 한다. 파괴원의 아래쪽부분은 정지 상태로 있고 위쪽 부분은 하나의 강체로써 파괴원의 중심을 기준으로 회전을 한다. 벽체가 이런 회전을 하는 동안 벽과 내부채움 사이에서 활동이 일어날 것이다. 셀의 안정성을 해석하는데 있어서 파괴원 위 부분 강체의 평형방정식을 고려할 필요가 있다. 벽과 내부채움재로 구성된 이부분은 아래와 같은 힘을 받는다.

$\gamma_m wh + G$: G는 파괴원과 암반면 사이 흙의 자중으로 음의 값을 취한다.

여기서, G^w : 벽체의자중

S_v and S_h : 벽체와 암반사이에 생기는 수평, 수직 반력

K : 파괴선의 아래쪽에 위치한 움직이지 않는 내부채움재의 부분인 cofferdam의 가로부분벽에 작용하는 접선력

Q : 댐에 작용하는 외력

파괴 상태에서 이러한 힘들의 합력은 파괴원 안의 내부 힘들의 합력과 균형을 이룬다. Hansen에 따르면 내부힘들의 합력은 현과 수직을 이루는 성분(N), 현과 평행을 이루는 성분(T), 그리고 현의 중점을 중심으로 하는 우력(M)으로 나타낼수 있다. 마찰력이 없는 흙의 파괴원을 따라 생기는 식으로부터 N, T, M을 유도해 낼 수 있다.

$$N = \gamma k^2 (N^x \sin \omega + N^y \cos \omega) + \tau_0 k N^z \quad (2-5)$$

$$T = \gamma k^2 (T^x \sin \omega + T^y \cos \omega) + \tau_0 k T^z \quad (2-6)$$

$$M = \gamma k^2 (M^x \sin \omega + M^y \cos \omega) + \tau_0 k M^z \quad (2-7)$$

여기서 k : 파괴원에서 현의 길이

w : 현과 수평과의 각도

τ_0 : 파괴선의 시작점(0)의 전단응력

N, M, T는 파괴원에서 내부마찰각(1)과 중앙에서의 각도(2)와의 함수로 무차원이다.

수평방향, 수직방향 그리고 현의 중앙점에서 모멘트를 취함으로써 우리는 이동하는 흙체에

대한 다음 3가지 방정식을 얻을 수 있다.

$$Q = \bar{\gamma} w^2 T^y + \tau_0 w T^z \quad (2-8)$$

$$\gamma_m w h + \bar{\gamma} w^2 N_0^y = \bar{\gamma} w^2 N^y + \tau_0 w N^z \quad (2-9)$$

$$Q_q = \bar{\gamma} w^3 M^y + \tau_0 w N^z \quad (2-10)$$

$\bar{\gamma}$ 는 내부채움재의 파괴원 아래부분의 단위중량을 나타낸다. G는 파괴선과 암반표면사이의 흙의 중량을 나타내며 여기서는 $\bar{\gamma} w^2 N_0^y$ 로 나타났으며, 이중에서 N_0^y 는 무차원양이다. 설계의 주 목적은 cofferdam의 최적폭 w를 결정하는 것이다.

- ① 를 가정하여 식 (2-9)에서 τ_0 를 찾는다.
- ② 와 τ_0 가 (2-8)과 (2-10)에서 같은 Q값을 갖는지 검토한다.
- ③ 만족할때까지 반복한다.

비슷한 방법으로 암반표면이나 외력의 경사가 있을때도 문제를 풀수가 있다. 우리가 벽마찰각의 크기와 방향을 알고 Hansen의 경계조건을 적용하면 벽의 기초안쪽에 작용하는 하중을 알아낼 수 있지만 두벽에 작용하는 떨어진 토압을 결정할 수는 없다.

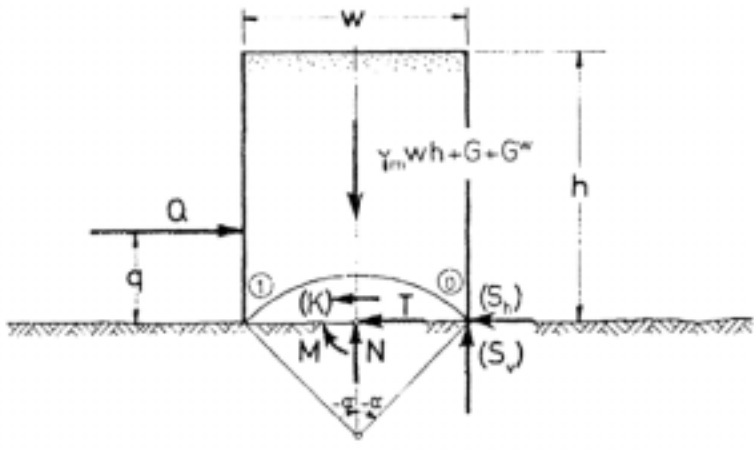


그림 2.2.20 Hansen의 활동면

(3) Cummings의 제안식

Cummings(1957)는 그림 2.2.21에 표시한 것과 같이 수평하중을 재하한 벽면보다 앞에 위치한 셀의 하단에 대하여 수평면과 만큼 기울어진 면(AB면)을 가정한 다음, AB면보다 위에 있는 속채움 재료는 하중으로만 작용하고 내부마찰은 없는 것으로 가정하였다. 그림 2.2.21에 표시한 DE면에 작용하는 전단력은 최대전단력을 초과하지 않으며 이때의 최대전단력은 다음과 같다.

$$F_y = W_y \tan \phi \quad (2-11)$$

$$W_y = \gamma (a + y) y \cot \phi \quad (2-12)$$

$$\therefore F_y = \gamma (ay + y^2) \quad (2-13)$$

셀 전체의 최대 전단 저항력은 $y=c$ 인 면에서 발휘되기 때문에

$$F = \gamma (ac + c^2) \quad (2-14)$$

활동면위에 작용하는 힘은 다음과 같으며, 이중 a 구간에서는 등분포로 작용하고 그 아래 구간에 대해서는 삼각형 하중으로 작용하므로, 전단 변형에 대한 저항 모멘트는 다음과 같다.

$$M_{rd} = \gamma \left(\frac{ac^2}{2} + \frac{c^3}{3} \right) = \frac{1}{6} \gamma H^3 (3 - v \tan \phi) (\tan \phi)^2 \quad (2-15)$$

$$\text{여기서, } v = \frac{B}{H}$$

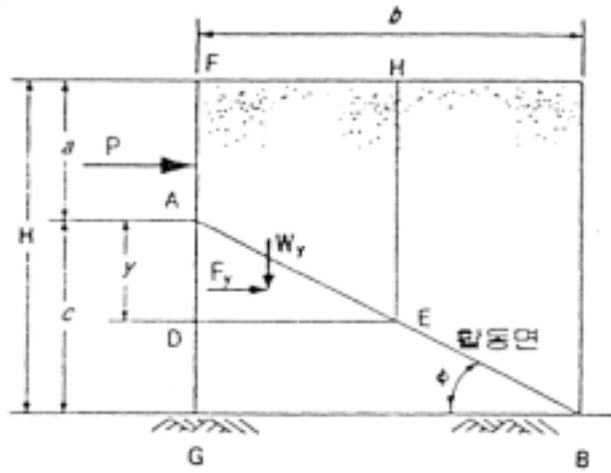


그림 2.2.21 Cummings의 활동면

(4) Kitajima(北島)의 제안식

Kitajima(1962)는 모형실험의 결과로부터 그림 2.2.22와 같이 강널말뚝 셀의 전벽(前壁)과 후벽(後壁)의 선단에서 각각 직선의 주동 및 수동 파괴면이 발생하는 것으로 가정하여 다음과 같은 속채움 재료의 저항모멘트를 나타내는 식을 제안하였다.

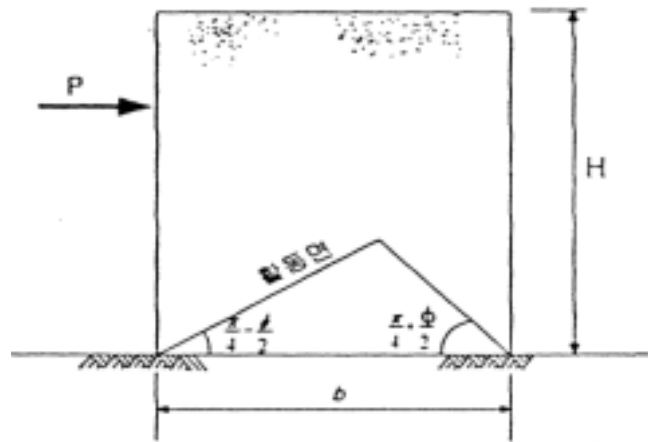


그림 2.2.22 北島의 활동면

$$M_{rd} = \frac{1}{6} \gamma H^3 R_d \quad (2-16)$$

여기서, $R_d = v^2 (3 - v \cos \phi) \sin \phi$ (변형을 허용하는 경우)

$$= \frac{2}{3} v^2 (3 - v \cos \phi) \tan \phi \sin \phi \quad (\text{변형을 허용하지 않는 경우})$$

(2) 강재틀 구조물의 기존의 연구

강재틀 구조물에서 내부채움재의 전단저항력에 관한 연구는 1988년을 기점으로 일본을 위주로 수행되어졌으며 여기서는 1991년 일본 방위대학교에서 수행한 실험결과를 소개하고자 한다. 이 연구는 사방 구조물의 전단저항력과 내부채움재의 압력을 추정하는 수법에 관하여 연구한 것으로 실험은 그림 2.2.23와 같은 0.95m 1m0.3m 크기의 단위 강재틀(강관 12t, 힌지접합) 속에 4 종류의 내부채움재 및 상재하중 3 종류 각각에 대해서 단위틀 상단에 하중을 가력하여 그 전단 저항력과 변위와의 관계, 변위와 토압분포의 관계를 실험적으로 구하였다. 이 연구에서는 실험 결과에 대해서 내부채움재가 갖는 전단저항력-변위관계에 대한 분석을 위해 실험적인 무차원화 전단저항력을 이용하였으며 이러한 전단 저항력은 다음과 같은 요인에 의해 결정된다.

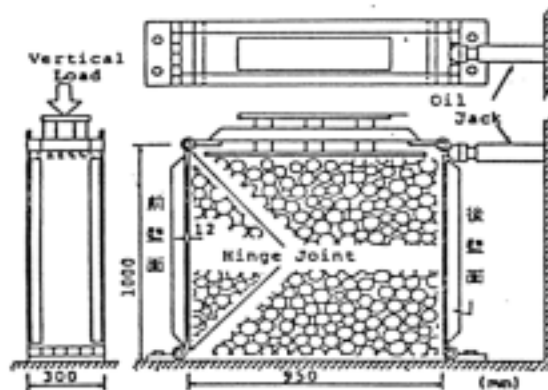


圖-1 矩形單純せん断枠実験装置

그림 2.2.23 실험 장비

- ① 내부채움재 및 상재하중에 의한 수직방향의 구속력이 강해지면 전단저항력이 커진다.
- ② 전단저항력에 큰 영향을 미치는 요인은 내부마찰각이며, 내부마찰각이 커지면 전단저항력도 큰 값을 가진다.

③ 전단저항력은 단일 수평하중인 P의 재하 높이에 의해 다른 값을 가진다. 위의 ①, ②, ③의 영향 중에서 비례하는 요인은 분모측에, 반비례하는 요인은 분자측이 되도록 고려하였다. 따라서 ①과 ②는 분모측에, ③은 분자측으로 사용한 무차원화 전단 저항력 \overline{M} (실험식)을 다음과 같이 구했다.

$$\overline{M} = \frac{P h_1 / B}{\sigma_v h_2^2 \tan \phi} \quad (2-17)$$

여기서, \overline{M} : 무차원화된 전단 저항력, P : 계측된 전단 저항력

h1 : P를 계측한 높이, B : 폭

σ_v : 저면의 수직응력(= $W + P_u$)/A), W : 내부 채움재의 전 자중

Pu : 상재 하중, A: 저면적

h2 : 내부채움재의, 높이 ϕ : 내부채움재의 마찰각

이와 함께 상재하중 및 내부채움재의 종류 각각에 의한 전단저항력-변위 관계의 영향, 변형에 따른 내부채움재의 압력 변화를 살펴보았으며 다음과 같다.

(1) 내부채움재의 전단저항력-변위 관계에 대한 상재하중의 영향

내부채움재의 전단저항력-변위 관계는 경화형 탄소성 거동을 보이며 동일 변위에 있어서의 전단저항력의 크기는 상재하중과 내부채움재 자중의 합에 비례하여 증가한다. (그림 2.2.24 참조)

(2) 내부채움재의 전단저항력-변위 관계에 대한 석재 종류의 영향

내부채움재의 입경이 커짐에 따라 전단저항력이 커진다. 단지 입경이 30mm인 채움재의 저항력이 25mm인 채움재의 저항력보다 작은 것은 채움재의 종류가 미끄러짐 저항이 작고, 내부 마찰각이 작은 옥돌이기 때문이다. (그림 2.2.25 참조)

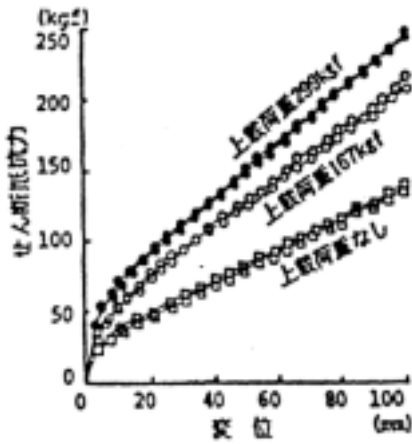


그림 2.2.24 토압 변위 관계도

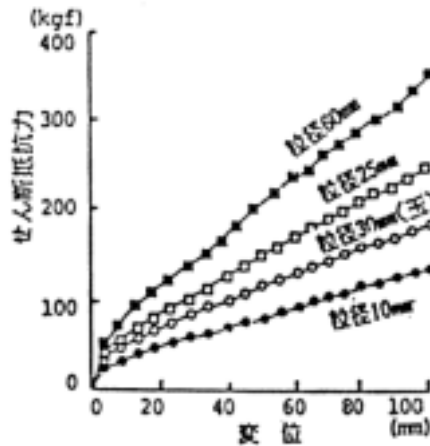


그림 2.2.25 토압 변위 관계도

이러한 경화형 탄소성 거동을 보이는 이유는 초기 하중재하에 따른 내부채움재의 재배열시에는 내부채움재의 전단저항력이 작게 나타나고 강재의 저항력에 의해 외부하중에 대응하지만 이후 재배열에 의해 내부채움재의 강도가 외부하중에 대응하는 저항을 지배하게 되면서 경화형 탄소성 거동을 나타내는 것으로 사료된다.

(3) 변형에 따르는 내부채움재 압력 분포의 영향

변위가 증가함에 따라 그림 2.2.26과 같은 압력분포의 변화를 나타낸다. 즉, 변위가 증가함에 따라 전벽면의 상부는 미소 증가를 하지만 하부에서는 압력이 급격히 증가한다. 후벽면에서는 변위의 증가에 따라 압력이 확연히 커진다. 각 변위마다의 전벽면과 후벽면의 토압 분포는 후벽면이 확연히 큰 것을 알 수 있으며 전벽면과 후벽면 내부채움재 압력 차이의 합계가 수평 외력에 상당하는 것을 의미하고 이 불균형이 내부채움재의 전단저항력을 의미한다.

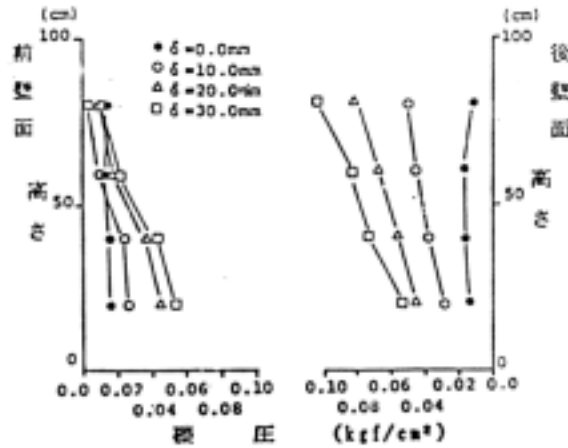


그림 2.2.26 벽체 압력 분포

2) 강재틀 및 내부채움재를 채운 강재틀 시험

강재틀 사방땀은 강재틀과 내부채움재의 상호작용에 의하여 외부하중에 대해 저항하는 구조로서, 강재틀의 저항외에 내부채움재의 전단강도에 의해 외부하중에 대해 저항하므로 보다 효과적인 부재사양을 개발하고 구조물을 설계하기 위해서는 이러한 내부채움재의 저항력을 파악해야 한다.

이러한 강재틀-내부채움재의 상호거동법을 보다 자세히 밝히기 위해서 실물시험을 수행하였다. 실물시험은 50Ton Actuator 2기를 사용하고 하부 힌지를 설치하여 변위를 제어하고 회전을 풀어주어 수행했으며 부재 각각의 응력과 변위 그리고 내부채움재의 토압을 측정하기 위해서 Strain Gauge, 변위계, 토압계를 부재에 설치하여 거동을 파악하였다. 시험은 크게 강재틀만을 설치한후 가력한 경우와 강재틀 내부에 내부채움재를 설치하였을 경우의 2종류를 수행하였다. 직립형 시험체는 기존에 사용하던 실 구조물 이며, 경사형 시험체는 경제성 확보를 위한 최적 부재 산정을 위하여 상대적으로 강성의 크기가 작은 시험체를 별도로 제작하여 하중분담율을 각각 검토하였다. 각 설치한 전경은 다음 그림 2.2.27~2.30과 같다. 시험결과 각 부재에 발생한 응력과 수평변위를 구할 수 있었으며 직립형과 경사형의 두 번의 시험으로부터 내부채움재의 하중분담율을 파악할 수 있었다. 전체적인 하중-변위 곡선을 다음 그림 2.2.31, 2.32 에 나타내었다



그림 2.2.27 직립형 강재틀



그림 2.2.28 직립형 내부채움



그림 2.2.29 경사형 강재틀



그림 2.2.30 경사형 내부채움

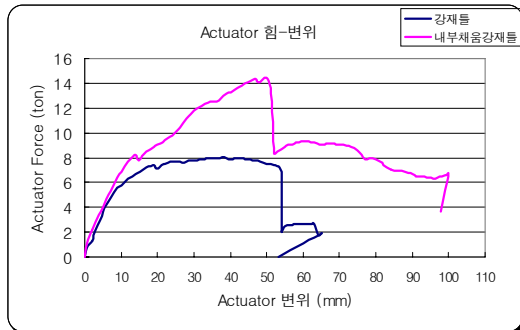


그림 2.2.31 직립형 비교곡선

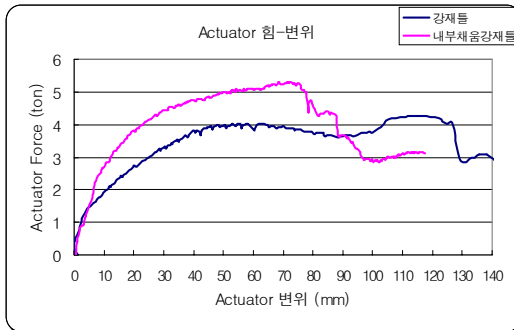


그림 2.2.32 시험용 경사형 비교곡선

시험결과를 정리해 보면 다음 표 2.2.4와 같다. 강재틀만의 시험결과와 내부채움을 한 후의 시험결과에서 직립형 강재틀 사방탐의 경우 내부채움재의 하중분담율은 약 34%, 경사

형의 경우 약 29%가 도출되었다. 하중분담을 값은 탄성거동영역과 최대하중과의 평균으로 정하였다.

표 2.2.4 구조시험 결과

	직립형 강재틀	내부채움 직립형 강재틀	경사형 강재틀 (시험용)	내부채움 경사형 강재틀(시험용)
탄성거동영역	6ton(10mm)	8ton(10mm)	1.8ton(10mm)	2.7ton(10mm)
최대하중	8ton	14.2ton	4ton	5.3ton
최대변위	54mm	50mm	55mm	60mm
하중분담율	34%		29%	

3) 경제성 향상 경사형 강재틀 사방댐 개발

위의 해석 및 시험결과를 토대로 경제성을 향상시킨 경사형 강재틀 사방댐을 개발하여, 실물 크기의 구조물을 제작 및 조립하여 제작시와 조립시의 어려움을 분석하고 개선하였다. 실물시험으로는 50ton actuator 2개를 사용하여 블록 상단에 집중하중을 제하하는 방식으로 변위제어를 하였다. 변위제어를 하는 이유는 제작 및 설치시 오차에 의해 편심이 발생하는 것을 최대한 억제해 주기 위해서와 강재틀 구조에서 한계범위를 넘어설 경우의 갑작스럽게 발생할 수 있는 변위에 대한 안전을 대비해서 이다. 하부 경계조건은 기둥에 맞는 특수 힌지를 제작하여 변위를 제어하고 회전을 풀어주었다.



그림 2.2.33 개발된 경사형 강재틀 사방댐

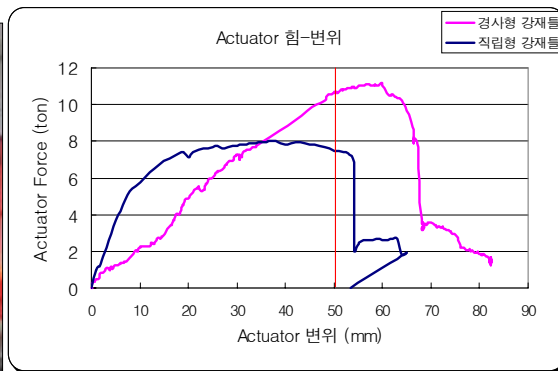


그림 2.2.34 경사형과 기존 직립형의 비교

그림 2.2.34 의 그래프를 보면 직립형 사방댐은 bi-linear 형태의 거동을 볼 수 있으나, 경사형 사방댐은 최대하중까지 탄성거동을 한다는 것을 알 수 있다. 이것은 직립형 사방댐의 경우 브레이싱재가 그 역할을 충분히 한다고 볼 수 없고, 강재틀 구조 자체가 변형하며 인장을 받는 것을 의미한다. 그러나 경사형의 경우 인장을 받는 부재인 브레이싱재의 역할이 충분했으며, 이러한 강재틀의 종합거동은 약 26%의 강도향상을 도출하였다. 표 2.2.5는 기존의 직립형 강재틀 사방댐과 새로운 형식의 경사형 강재틀 사방댐에 대한 실제구조물 시험을 수행하여 최대 변위 50mm를 기준으로 비교한 것이다.

표 2.2.5 실물구조시험 결과

	직립형 강재틀	개발 경사형 강재틀
탄성거동영역	6ton(10mm)	11.2ton(55mm)
50mm 최대하중	8ton	10.8ton
변위 형상	bi-linear	linear
비 교	26%의 강도향상	

4. 경사형 강재틀 사방댐의 경제성 분석

경사형 강재틀 사방댐은 높이별로 기본타입의 적층으로 시공을 실시한다. 기존의 직립형 강재틀 사방댐은 콘크리트 사방댐과 비교하여 재료비의 비율이 높게 나타났다. 경사형 강재틀 사방댐은 직립형 강재틀 사방댐의 재료비를 낮춤으로 경제성 있는 사방댐으로 개발하였다. 다음에서 동일규모의 지역을 대상으로 설계를 실시하여 경제성을 비교하였다. 본 단가는 설계단가로서 실행단가와 차이가 있을 수 있다.

가. 경사형 강재틀 사방댐의 경제성 분석

동일규모의 지역을 대상으로 설계를 실시한 결과, 철강재 사방댐의 경우 아연도금을 포함한 자재비가 콘크리트 사방댐에 사용되는 자재비보다 훨씬 많은 부분을 차지하고 있으며, 노무비는 콘크리트 사방댐이 철강재 사방댐보다 콘크리트의 특성상 거푸집의 조립, 해체하는 인건비가 강재의 조립비보다 많이 소요되는 것으로 나타났다.(그림 2.2.35 참조) 또한 철강재 사방댐은 착공시부터 완공시까지 작업장비가 병행되어야 하는 특성이 있기에 콘크리트 사방댐보다 과도한 기계경비가 소요되는 경향이 있다. 결과적으로, 직립형 철강재 사방

댐은 무근 콘크리트 사방댐 대비 30~50%정도 경제성이 떨어지는 것으로 나타났으며, 세부적으로 살펴보면, 본댐에서는 약 10~15%, 측벽 및 물받이에서는 약 30~50%정도 경제성이 떨어지는 것으로 나타났다.

그러므로 철강재 사방댐 공사비중 가장 큰 비중을 차지하는 자재비를 감소시킬 수 있는 경사형 철강재 사방댐은 약 35%의 경제성을 향상시킬 수 있었다. 먼저 부재들 중 중량이 가장 큰 각형강관을 H형강 단면으로 교체하였고, 이음부재도 H형강에서 ㄷ형강으로 교체하여 무거운 자재의 소운반에 투입된 인력을 감소시킴으로써 설치비 등의 노무비 절감효과도 기대할 수 있다. 이 결과를 바탕으로 공사비 비율을 다시 책정한다면 경사형 강재를 사방댐은 콘크리트 사방댐과 거의 같은 경비가 들 것이며, 만약 본댐만을 비교한다면 오히려 경사형 강재를 사방댐이 약 10% 이상의 공사비를 절감할 수 있다고 판단된다.

표 2.2.6 사방댐 종류별 경제성 비교 (단위 원)

	콘크리트 사방댐	직립형 철강재 사방댐	경사형 철강재 사방댐
재료비	9,872,536	183,287	119,137
노무비	33,401,894	26,023,669	20,818,935
경비	14,761,854	44,198,359	35,358,687
일반관리비	3,487,177	1,768,642	1,591,778
이윤	5,021,281	5,088,864	4,834,421
부가세	1,534,600	1,605,836	1,525,544
관급자재대	44,894,423	81,397,467	52,908,354
총원가	112,973,765	160,266,124	117,156,855
백분율(%)	100	142	104

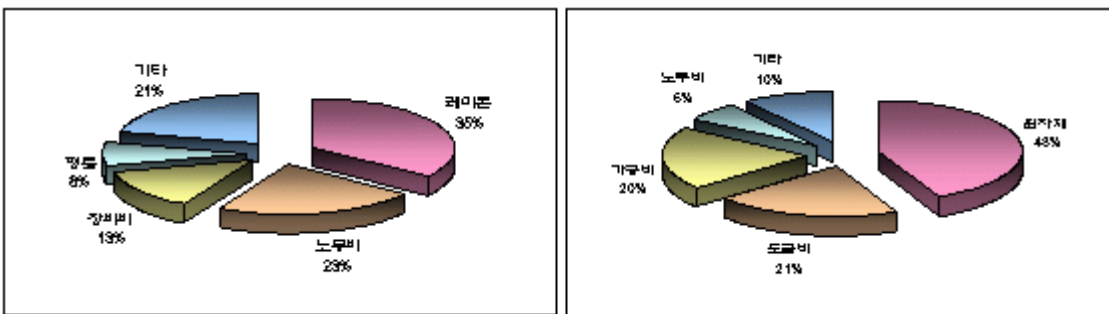


그림 2.2.35 콘크리트 사방댐(좌)과 직립형 강재를 사방댐(우)의 공사비 비율

5. 경사형 강재틀 사방댐의 설계 및 시공법

가. 경사형 강재틀 사방댐의 설계법

1) 설계순서

강재틀 사방댐의 설계는 기본적으로 콘크리트 중력식 댐과 같은 순서로 수행되지만 크게 다른 점으로는 각 부재의 안정성이 확보되어 부분파손이 구조물 전체의 안정성에 영향이 미치지 않도록 설계되어야 한다는 점이다. 그러므로 설치장소의 유출토사량 및 종류, 댐의 구조형식 등에 의해 설계조건을 검토하여 부재와 구조형식을 결정하여야 한다. 경사형 철강재 사방댐의 설계순서는 다음 그림 2.2.36과 같다.

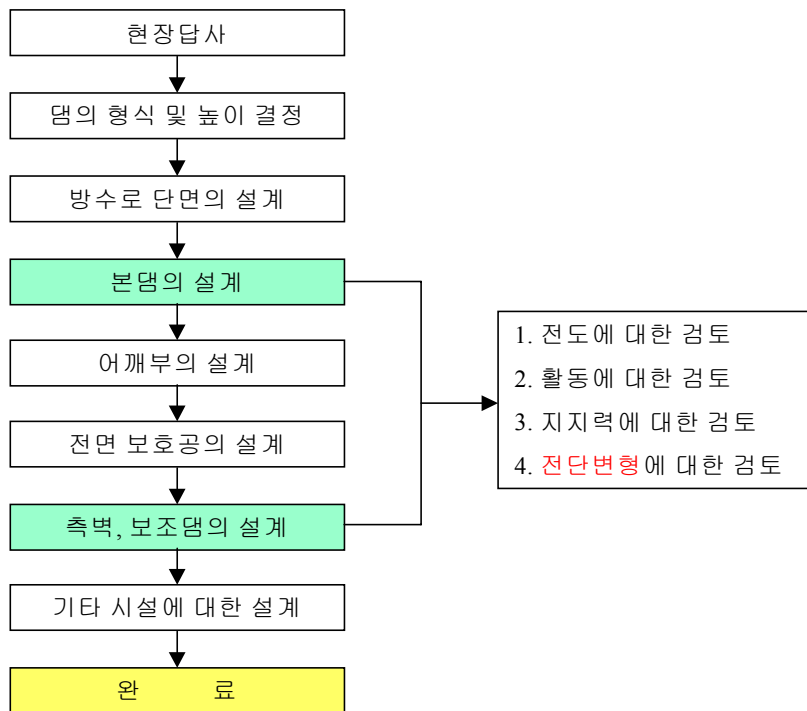


그림 2.2.36 철강재 사방댐의 설계 순서

철강재 사방댐의 설계에 있어서 주의하여야 할 주된 사항은 다음과 같다.

- 강재의 부식에 대해서는 부식두께를 추가하거나 아연도금 등의 방법을 강구하여 대처

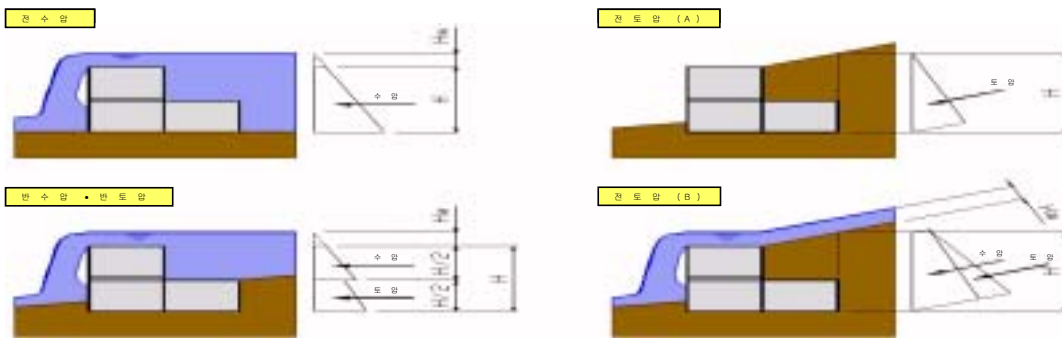
해야 한다.

- 부식과 동시에, 토석류 및 유수에 의한 마모가 우려되는 현장에 대해서는 별도의 대책을 검토해야 한다.

- 철강재 사방댐은 콘크리트댐의 경우와 같이 그 중량을 이용하는 것이 아니고 재료의 내하력을 이용하는 구조물이기 때문에 국부적으로 예상 이상의 하중, 예를 들면 대구경 암석과 충돌하중 등이 작용하면, 큰 변형이 발생하여 구조물 전체의 안정성에 우려가 없도록 각 부재들을 선정하며 그 피해가 클 것으로 예상되는 경우에는 완충재와 같은 구조를 상류에 설치하여 보호하는 것이 바람직하다. 이와 같은 완충재로는 대홍수시를 대비하는 투과형 구조를 사용하여 유목 또는 대구경 암반에 의해 불투과형 구조가 파손될 것을 대비한 보호공으로 사용될 수 있다.

2) 설계하중

철강재 사방댐에는 다음 그림 2.2.37과 같은 외력들의 조합들에 따른 하중조건들이 있다. 여기서, 각 하중조합을 살펴보면 다음과 같다.



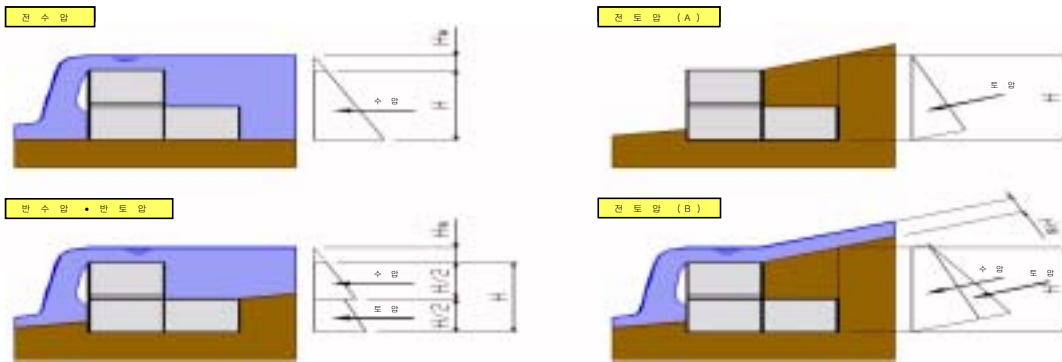


그림 2.2.37 작용 외력의 조합에 따른 하중조건

- 전수압 : 댐의 완성시까지 거의 퇴사되지 않아 수압의 작용만이 예상되는 경우이다.
- 반수압·반토압 : 댐의 완성시까지 흐트러진 상태의 토사가 어느 정도 높이로 퇴적되어 이 부분의 수중토압과 수압이 작용하는 경우이다.
- 전토압(A) : 댐의 높이까지 퇴사가 완료되고 건조한 시기에 댐 벽체에 토압만이 작용하는 경우이다.
- 전토압(B) : 전토압(A)와 비슷한 상태로써 퇴사는 댐의 높이까지 진행되고 수압 또한 작용하는 경우이며 이때 토압에는 수중 단위체적중량을 이용한다.

철강재 사방댐에 작용하는 외력은 댐의 중량, 토압(퇴사압), 수압, 지진력, 양압력 등이 있으며 구조물의 높이별 고려해야 되는 설계하중은 다음 표 2.2.7과 같다.

표 2.2.7 댐의 높이별 고려하는 설계하중

댐의 높이	설계하중	추가 고려하중 1	추가 고려하중 2
5m 미만	홍수시 정수압, 자중		
5m ~ 8m	홍수시 정수압, 자중	퇴사압	
8m 이상	홍수시 정수압, 자중	양압력, 퇴사압	상시 정수압, 양압력, 퇴사압, 지진시 관성력, 지진시 동수압,

높이 5m 미만의 구조물에 대해서는 콘크리트 중력식 댐과 마찬가지로 자중과 정수압에 대해서 고려하며 댐의 높이에 따라 이것들 외에 토압(퇴사압), 양압력, 지진의 영향 등에 대해서 검토하여야 한다. 또한 추가 고려하중에 대해서 검토하는 경우 구조형식에 따라 가장 위험한 하중의 조합이 다른 경우가 있으므로 심분 주의를 해야 한다. 높이 8m 이상의 구조에서 추가 고려하중의 양압력에 대해서 검토할 경우에는 침윤선 이하의 내부채움재의 양압력에 대해서도 검토할 필요가 있다.

가) 자중

본댐의 자중은 구조물 안정에 가장 중요한 인자로서 수압, 토압(퇴사압) 등의 외력에 대하여 저항력으로 작용한다. 직립형 철강재 사방댐의 자중은 내부채움재의 종류에 따라 상이하며 내부채움재의 종류별 단위중량 및 내부마찰각은 다음 표 2.2.8과 같다.

표 2.2.8 내부채움재의 종류별 물성치

종 류	단위체적중량 (t/m ³)	내부마찰각 (。)
잘라서 일정모양인 쇠석	1.8	40
잘 깨지는 재질의 쇠석	1.6	35
쇠석, 잡석	1.8	40
흙과 모래를 알맞게 섞은 자갈	1.8	30
호박돌	1.8	35
조약돌	1.6	30

철강재 사방댐의 중량은 구조물의 내부채움재 및 가상배면과 상부단 사이의 토사의 중량도 포함하여 산출한다. 실제로는 월류수의 자중과 철강재의 중량도 있으나 이는 일반적으로 안정측으로 보기 위하여 생략한다. 댐의 중량은 다음 식 2.18과 같이 산출한다.

(2-18)

$$W = \gamma_f \cdot A_f + \gamma_s \cdot A_s \quad (t/m)$$

- 여기서, γ_f : 내부채움재의 단위체적중량 (t/m^3)
- A_f : 댐 체체의 단위 폭당 면적 (m^2)
- γ_s : 가상배면과 댐 상단 사이 토사의 단위체적중량 (t/m^3)
- A_s : 가상배면과 댐 상단 사이 토사의 단위 폭당 면적 (m^2)

나) 수압

여기서 수압은 정수압을 의미하며 방수로의 설계로부터 얻은 월류수심을 고려하여 산정한다. 여기서의 유수는 토석류를 포함하고 있어 체체에 충격을 가하게 되므로 물의 단위중량보다 크게 취하며 일반적으로는 1.2t/m³을 사용하나 토석류의 혼합량에 따른 유수의 단위중량은 다음 표 2.2.9와 같다.

표 2.2.9 토석류의 혼합량에 따른 유수의 단위중량

토석류의 혼합량(%)	0	10	13	20	25	38
유수의 단위중량(t/m ³)	1.00	1.16	1.20	1.32	1.40	1.60

배면측 지반이 경사가 있을 경우에는 수압을 수직과 수평성분으로 나누어서 외력으로 작용하며 가상배면의 높이를 기준으로 산출한다. 각 하중조건별 수압조건은 상이하나 일반적으로 월류수심이 있는 수압력은 다음과 같이 구할 수 있다.

(2-19)

$$P_w = \frac{1}{2} \gamma_w h_w^2 - \frac{1}{2} \gamma_w h_t^2 \quad (t/m)$$

- 여기서, γ_w : 유수의 단위체적중량 (t/m^3)
- h_w : 수압작용 높이(가상배면의 높이) (m)
- h_t : 월류수심 (m)

다) 토압(퇴사압)

철강재 사방법에 작용하는 토압은 일반적으로 퇴사되는 사질토에 의한 것이며 원지반은 구조물의 근입깊이 만큼을 고려해 주면 된다. 사질토 지반에서 벽면에 작용하는 주동 및

수동 토압력은 다음 식 2.20과 식 2.21와 같다.

$$\nu : \text{퇴사공극률}, \nu = \frac{\dots}{\dots} \quad (2-20)$$

여기서, γ : 수중퇴사 단위체적중량 (t/m³)
 $\cos \alpha = \frac{\dots}{\dots}$ (2-21)

여기서 율류수심을 고려한 퇴사압을 구할 경우에는 식 2.20과 식 2.21에서 지반의 단위체적중량에 수중퇴사 단위체적중량을 다음 식 2.22와 같이 적용하면 된다. (단위체적중량)

$$\dots \quad (2-22)$$

퇴사 결보기 단위체적중량은 통상 1.5~1.8t/m³의 값을 사용한다. 일반적으로 토사의 입경이 클수록 또한 퇴사후 경과년수가 클수록 이 값에 크게 영향을 미치며 또한 점토함유량도 크게 영향을 미친다. 미국 Bureau of Reclamation에서는 호박돌·조약돌 등이 함유된 경우 1.67~1.83t/m³의 값을 사용하며 일본에서 퇴적토사밀도의 수직분포를 실측한 자료는 다음 표 2.2.10⁶⁾과 같다.

표 2.2.10 퇴적토사밀도의 수직분포

심도	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
밀도(g/cm ³)	1.74	1.73	1.96	1.88	2.00	1.94	1.94	1.93	2.04	1.93	1.91	1.84	1.68
심도	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5
밀도(g/cm ³)	1.79	1.97	1.35	1.62	1.60	1.63	1.59	1.59	1.59	1.61	1.60	1.60	1.55

퇴사공극률은 0.3~0.45의 값을 사용한다. 상기 일본에서 측정한 지역의 퇴사공극률은 0.3~0.4 정도로 나타났다.

6) 芦田和男編：ダム堆砂文獻資料集成，河鍋書店，1976

라) 양압력

체내 침윤선 이하의 내부채움재에는 부력이 작용한다. 또한 콘크리트 기초를 사용하여 강합성 구조일 경우에는 저면부인 콘크리트 기초에 콘크리트 사방댐과 동일하게 양압력이 작용한다.

양압력은 암반 기초의 경우에 균열된 곳에서 분출하는 압력수의 변화 또는 조약돌 기초의 경우에 퇴사 후 토중수압이 변화하여 체체를 상방으로 들어올리려는 것이다. 사방댐 저면의 임의 점에 작용하는 양압력은 다음 식 2.23과 같이 구하며 저면 전체에 대한 합계를 전체 양압력이라 볼 수 있다.

(2-23)

$$u_x = \left[h_2 + \mu \cdot \Delta h \left(1 - \frac{x}{l} \right) \right] W_0$$

- 여기서, u_x : X 지점의 양압력 (t/m^3)
 h_2 : 댐 하류측 수심 (m)
 μ : 양압력 계수
 Δh : 댐의 상류측 수심과 하류측 수심의 차 (m)
 $\Delta h = h_1 - h_2$
 h_1 : 댐 상류측 수심 (m)
 x : 상류단에서 X 지점까지의 침윤선의 길이 (m)
 l : 전체 침윤선의 길이 (m)
 b_2 : 저폭 (m)
 d : 지수벽의 길이 (m)
 W_0 : 물의 단위체적중량 (t/m^3)

댐 상하류단의 양압력의 크기는 다음 표 2.2.11과 같다.

표 2.2.11 양압력의 크기

기초지반의 종류	상류단 (t/m^2)	하류단 (t/m^2)
암지반	$(h_2 + \mu \cdot \Delta h) W_0$	$h_2 \cdot W_0$
조약돌 지반	$h_1 \cdot W_0$	$h_2 \cdot W_0$

마) 지진시 관성력 및 지진시 동수압

철강재 사방댐에 작용하는 지진시 관성력 및 지진시 동수압은 콘크리트 사방댐 동일하게 산정한다. 지진시에는 댐 본체의 자중에 대하여 수평방향의 관성력이 작용한다. 또한 실제에서는 수직방향에도 관성력이 작용하는 것이 일반적이며 이 힘은 안정에 대하여 악영향을 미치지 않기 때문에 계상상에서는 무시한다. 지진시 관성력은 다음 식 2.24와 같이 산정한다. 여기서, 설계진도는 지진활동도의 지역분포, 기초지반의 상태 등을 고려해서 결정한다.

$$I = K \cdot W \quad (2-24)$$

여기서, I : 댐체체에 수평방향에 작용하는 지진시 관성력 (t/m)
 K : 설계진도
 W : 단위폭당 댐의 자중 (t/m)

지진시 동수압은 사방댐 제체와 저수의 접촉면에 대하여 수직방향으로 작용한다. 사방댐의 상류면의 경사가 있을 경우에는 Zanger의 식에 의해 지진시 동수압을 구하며 경사가 없을 경우에는 Westergaard의 근사식을 이용한다. 직립형 철강재 사방댐에서는 Westergaard의 근사식을 사용하며 이는 다음 공식 2.25와 같다.

$$p_x = \frac{7}{8} \gamma_0 \cdot K \sqrt{h_0 \cdot h_x} \quad (2-25)$$

$$P_d = \frac{7}{12} \gamma_0 \cdot K \cdot h_0^{\frac{1}{2}} \cdot h_x^{\frac{3}{2}}$$

$$h_d = \frac{2}{5} h_x$$

여기서, p_x : X 지점의 지진시 동수압 (t/m^2)
 P_d : 저수면에서 X 지점까지의 전 지진시 동수압력 (t/m)
 h_x : 저수면에서 X 지점까지의 수심 (m)
 h_0 : 저수면부터 기초지반까지의 수심 (m)
 h_d : X 지점에서 P_d 의 작용점까지의 높이 (m)
 K : 설계진도
 γ_0 : 저수의 단위체적중량 (t/m^3)

3) 구조물의 안정검토

사방댐에 작용하는 외력인 수압력, 토압력, 양압력, 지진시 관성력 및 동수압력에 대하여 댐의 자중이 저항력으로 작용하며 각각 하중의 합계와 각 하중과 그 하중의 모멘트팔(길

이)을 구하여 댐의 선단(toe)에서의 모멘트를 취하여 철강재 사방댐의 안전율을 구할 수 있다. 실제로는 저항력에 수동토압도 있으나 구조물을 안전측으로 설계하기 위하여 통상적으로 이를 무시하고 설계한다.

직립형 철강재 사방댐에 대해서는 전도(Overturning), 활동(Sliding), 지지력(Bearing Capacity) 외에 내적안정에 대한 검토인 전단변형(Excessive Tilting or Base Rotation)에 대해 검토하며 각각은 다음과 같다.

가) 전도에 대한 안정

배면측 지반이 경사졌을 경우에는 철강재 사방댐을 전도시키려는 힘은 주동토압, 수압 등의 수평성분이며 이의 저항하는 힘은 댐의 자중과 주동토압, 수압 등의 수직성분이다. 전도에 대한 안전율은 다음 식 2.26으로부터 구하며 1.5~2.0보다 더 작아서는 안된다.

$$\dots \dots \dots (2-26)$$

또는 다음 식 2.27과 같이 편심을 구하여 기초폭의 1/6이하가 되게하여 기초 저판에 인장력이 발생하지 않도록 하는 방법을 사용할 수 있다.

원점F에서 합력작용위치 XF는 다음과 같다.

$$\dots \dots \dots (2-27)$$

나) 활동에 대한 안정

사방댐을 전방으로 활동시키려고 하는 힘은 주동토압, 수압 등의 수평성분이며, 이것에 저항하는 힘은 기초지면과 지지지반 사이에 작용하는 마찰력, 수동토압 등이다. 활동에 대한 안전율은 다음 식 2.28과 같다. 안전율은 1.5 이상이 되어야 하며 만약 소요의 안전율이 확보되지 않을 경우에는 기초폭을 넓게 하는 방법, 돌기를 설치하는 방법, 각형강관에 활동 방지공을 설치하는 방법 등을 사용하여 안전율을 높일 수 있다.

(2-28)

마찰계수 $\tan\delta$, 부착력 c_B 는 다음 표 2.2.12에 의해 구할 수 있으며 약식으로는 점성토지반의 경우 $\mu=0.5$, 사질토지반의 경우 $\mu=0.6$ 으로 하며 점착력은 무시하는 방법도 있다.

표 2.2.12 마찰각과 부착력

조 건	마찰각 δ (마찰계수 $\tan\delta$)	부착력 c_B
흙과 콘크리트	$\delta=(2/3)\phi$	$c_B = 0$
흙과 콘크리트 사이에 자갈을 부설하는 경우	$\tan\delta=0.6$ $\delta=\phi$ 중 작은쪽	$c_B = 0$
암과 콘크리트	$\tan\delta=0.6$	$c_B = 0$
흙과 흙 또는 암과 암	$\delta=\phi$	$c_B = c$

단, ϕ : 지지지반의 전단저항각(deg), c : 지지지반의 점착력(t/m^2)

다) 지지력에 대한 안정

직접기초의 경우 기초 지반의 지지력에 대한 안정은 기초의 지반반력도가 지반의 허용지력도 이하인가 여부에 따라 결정된다.

(2-29)

$$\frac{q_{v1}}{q_{v2}} \leq q_a = \frac{q_u}{F_s}$$

여기서, q_{v1}, q_{v2} : 지반반력도(내측, 외측) (t/m^2)

q_a : 지반의 허용지지력 (t/m^2)

q_u : 지반의 극한지지력 (t/m^2)

지반의 지지력에 대한 안전율은 통상 평상시에 $FS = 3$, 지진시에 $FS = 2$ 로 하며 지반반력도는 다음 식 2.30으로부터 구한다.

(2-30)

$$q_{v1} = \frac{V_F}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \quad (t/m^2)$$

$$q_{v2} = \frac{V_F}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \quad (t/m^2)$$

지지지반의 허용지지력도는 평판재하시험에 의해 구하는 것이 일반적이지만, 설계에 사용할 극한지지력은 Meyerhof의 공식(식 2.31 참조)으로부터 구한다.

(2-31)

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (t/m^2)$$

여기서, c : 점착력 (t/m^2)
 q : 구조물 저면에서의 유효응력 (t/m^2)
 $q = \gamma D_f$, D_f : 구조물의 깊이 (m)
 γ : 지반의 단위중량 (t/m^3)
 B : 기초의 폭 (m)
 F_{cs} , F_{qs} , $F_{\gamma s}$: 형상계수
 F_{cd} , F_{qd} , $F_{\gamma d}$: 깊이계수
 F_{ci} , F_{qi} , $F_{\gamma i}$: 경사계수
 N_c , N_q , N_γ : 지지력계수

표 2.2.13 지반의 극한지지력을 구하는데 사용되는 각각의 계수들

구 분	공 식
형상계수	$F_{cs} = 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}$ $F_{qs} = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$ $F_{\gamma s} = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$
깊이계수	<p style="text-align: center;">단면적, L: 밑면의 총면적 (단면적) ($L > B$)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p>조건(a): $\frac{D_f}{B} \leq 1$</p> $F_{cd} = 1 + 0.4 \frac{D_f}{B}$ $F_{qs} = 1 + 2 \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2 \frac{D_f}{B}$ $F_{\gamma d} = 1$ </div> <div style="width: 45%;"> <p>조건(b): $\frac{D_f}{B} > 1$</p> $F_{cd} = 1 + (0.4) \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right)$ $F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right)$ $F_{\gamma d} = 1$ </div> </div>
경사계수	$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta}{90^\circ} \right)^2$ $F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{\phi} \right)^2$ <p style="text-align: center;">단면적, β: 밑면의 면적 (단면적) (단면적)</p>
지지력계수	$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi}$ $N_c = (N_q - 1) \cot \phi$ $N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$

여러 실험 및 실측에 의한 기초지반의 종류별 허용지지력은 다음 표 2.2.14와 같다. 그러나 이러한 값은 대략치로서 설계에서는 Meyerhof의 공식을 이용한다.

표 2.2.14 기초지반의 허용지지력의 예

기초지반의 종류		장기허용지지력 (t/m ²)	비 고	
			N치	q _u (kg/cm ²)
암반	균열이 적은 균일한 경암	100	-	
	균열이 많은 경암	50	-	
	연암·풍화토	30	-	
자갈층	조밀한 것	60	-	
	조밀하지 않은 것	30	-	
사질토지반	매우 조밀한 것	30	30~50	
	조밀한 것	20	20~30	
	중간	10	10~20	
	느슨한 것	5	5~10	
	매우 느슨한 것	0	5 이하	
점성토지반	매우 단단한 것	20	15~30	2.5이상
	단단한 것	10	8~15	1.0~2.5
	중간	5	4~8	0.5~1.0
	무른 것	2	2~4	0.25~0.5
	매우 무른 것	0	0~2	0.25 이하

라) 전단변형에 대한 안정

철강재 사방댐의 내부채움재는 전단변형 저항모멘트는 강관셀식 안벽의 설계계산법 중에서 변형을 허용하는 경우로써 일반적으로 다음 식 2.32에 의해 구한다.

(2-32)

$$M_r = \frac{1}{6} \gamma R_0 H_0^3$$

여기서, M_r : 저항모멘트 ($t \cdot m/m$)

R_0 : $\frac{2}{3} \nu^2 (3 - \nu_0 \cos \phi) \tan \phi \sin \phi$ (변형을 허용하지 않는 경우)

: $\nu^2 (3 - \nu_0 \cos \phi) \cdot \sin \phi$ (변형을 허용하는 경우)

γ : 내부채움재의 환산단위체적중량
(내부채움재의 단위체적이 일정한 경우의 단위체적중량)

H_0 : 환산벽체의 높이 (내부채움재의 환산단위체적중량을 적용한 경우의 내부채움재에 의한 저항모멘트를 계산하기 위한 가상 벽체고 (m))

$$\nu_0 = \frac{B}{H}$$

B : 환산벽체폭 (m)

ϕ : 내부채움재의 내부마찰각 ($^\circ$)

전단변형에 대한 저항의 안전율은 다음 식 2.33으로부터 구할 수 있다.

(2-33)

여

안전율은 표 2.2.7의 설계하중에 대해서는 1.2 이상, 추가 고려하중 1과 2에 대해서는 1.1 이상으로 하는 경우가 많다. 단, 구조물의 높이가 10m 이상인 경우에는 변형을 허용하지 않는 식에 의해 저항모멘트를 산정한다.

나. 경사형 강재틀 사방댐의 시공법

철강재 사방댐은 원칙적으로 현장볼트체결에 의해 조립되는 시공방법을 사용한다. 이는 아연도금, 도장 등과 같은 방식처리를 보호하는 동시에 현장에서 인력에 의해 간편하게 조립을 수행하기 위한 것이다. 철강재 사방댐의 시공순서는 다음 그림 2.2.38과 같으며 구조물의 규모에 따라 같은 과정을 반복한다.

F

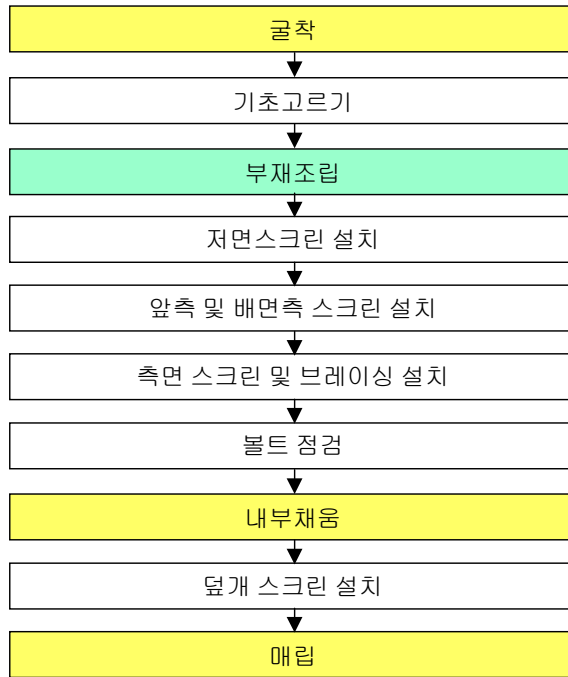


그림 2.2.38 철강재 사방댐의 시공순서

1) 기초지반의 굴착 및 기초 고르기

기초지반의 굴착은 원지반의 종류에 따라 다른 방법에 의해 수행되어지며 사방댐의 규모에 따라 굴착하되 작업공간을 고려하여 구조물의 위치로부터 0.5m의 여유를 두면 된다. 또한 굴착사면은 지반의 종류에 따라 다르나 일반 사질토 지반일 경우에는 1:1.5의 기울기를 원칙으로 한다. 굴착시에는 현장조건에 따라 암석을 일부 파쇄 및 보관하여 내부채움재로 재활용할 수 있다. 원지반이 브레이크에 의해 파쇄가 불가능한 단단한 풍화암 또는 연암일 경우에는 그 정도에 따라 콘크리트 기초의 사용을 고려할 필요가 있으며 이때에는 콘크리트 기초와 철강재 사방댐의 주부재를 강결하여야 한다. 그러나, 평탄한 지반이 불가능하나 근입깊이의 확보가 가능할 경우에는 현장조건에 맞게 각형강관 주부재를 제작하여 구조물 전체의 평탄성을 확보할 수도 있다.

원지반에 콘크리트 기초와 같은 기초를 별도로 시공하지 않고 철강재 사방댐을 시공할 경우에는 레벨측량을 실시하여 어느정도의 평탄성을 유지해야 한다. 이는 구조물의 초기변

형에 의해 생기는 응력을 최소화하기 위한 것과 미관을 확보하기 위해서이다. 원지반이 연약지반일 경우에는 구조물 하부로부터 0.6m 이상으로 모래, 자갈 등의 좋은 재료를 이용하여 일정두께의 베딩을 설치하고 어느 정도의 지지력을 확보한 후에 철강재 사방땀을 설치하면 된다. 평탄한 지반이 불가능하나 근입깊이의 확보가 가능할 경우에는 현장조건에 맞게 각형강관 주부재를 제작하여 구조물 전체의 평탄성을 확보할 수도 있다.

2) 자재운반 및 부재조립

경사형 강재 사방땀은 각 기본규격을 현장에서 현장체결에 의해 완성되는 구조로써 중장비의 출입이 난이한 현장여건에서도 시공될 수 있는 장점이 있다. 기초작업을 위한 기계장비의 출입이 가능한 지역에서는 쉽게 자재를 운반할 수 있으므로 사방땀의 설치위치에 대한 제약이 적다.

부재의 조립에 앞서 구조물의 설치 위치에 줄과 같은 것으로 표시를 하고 각 부재들을 각각의 설치위치로 소운반한 후 조립을 수행한다. 부재들은 한쪽 끝에서 구조물의 길이방향으로 조립해 나가는 것을 원칙으로 하여 직진도를 유지한다. 조립순서는 평지에서 강재틀의 한 면을 조립한 뒤 세운 후 먼저 내부스크린부재를 다른 면과 볼트체결하고, 외부스크린부재를 조립하여 한 개의 블록을 만든다. 볼트 체결시에는 임팩트 렌치의 사용을 원칙으로 하며 각 볼트는 25~30kg·m의 토크로 조이면 된다.

3) 스크린 설치

저면 스크린재는 구조물 하부의 세굴로 인한 내부채움재의 이탈을 방지하기 위하여 설치하며 유수의 방향에 수직이며 직접적으로 하중을 받는 앞측 및 배면측 스크린재로는 ㄷ형강을 사용하여 최외곽 주부재(H형강)의 플랜지부에 볼트체결한다. 현장재료에 의해 내부채움재가 변경될 경우에는 이에 적절하게 스크린 간격 및 종류를 변경할 수 있다.

4) 내부채움

내부채움은 백호우에 의해 수행하며 이때 너무 높은 위치에서 내부채움재를 투하하지 않도록 조심할 필요가 있으며 미관을 위하여 부분적으로 인력에 의해 내부채움재를 골라주면서 진행한다. 또한 내부채움에 의한 도금 및 도장의 손상이 최소화할 수 있도록 주의한다. 내부채움재 이후 덮개 스크린 및 다음단의 설치를 위하여 인력에 의해서 어느정도의 마무리를 수행한다. 내부채움재로는 원칙적으로 150~300mm 크기의 호박돌을 사용하나 현장여

건에 의해 보다 작은 직경의 재료를 사용할 경우에는 일체식 스크린재의 설치, 강관스크린과 expanded metal의 병행, 스크린재 간격 조정 등의 방법을 사용할 수 있다. 너무 큰 직경의 내부채움재를 사용할 경우에는 내부채움재의 간극이 증가하여 토사유실의 염려가 있으므로 이는 피해야 한다.

기계장비에 의한 내부채움 작업과 병행하여 인력에 의한 걸표면 정리 작업을 수행하면 경사형 철강재 사방댐의 미관을 향상시킬 수 있으며 내부채움 작업에 의한 강관 스크린재의 과대변형을 방지할 수 있다.

5) 덮개스크린재의 설치

경사형 강재 사방댐은 구조물의 높이에 따라 규격 블록을 쌓아 시공하며 이때 블록 상부에 추가 블록이 올라가지 않을 경우에는 내부채움재의 이탈을 방지하기 위하여 덮개 스크린을 조립한다. 덮개 스크린재로는 저면 스크린과 마찬가지로 띠강판이 사용되며 수평부재의 플랜지부에 볼트체결된다.

6) 되메우기

구조물 최하단 부재들의 조립 및 내부채움이 끝났을 경우에는 철강재 사방댐과 기존 지반간의 틈새를 매립한다. 배면측의 뒷채움에서는 어깨부의 근입깊이가 확보될 수 있도록 하며 하천의 만곡에 의한 횡침식이 우려되는 경우에는 이에 대한 적절한 보호공을 추가로 시공한다.

제 3 절 스크린형 강재 사방댐 구조개발

스크린형 강재 사방댐은 각각의 부재를 현장에서 직접 볼트로 접합하여 조립하므로써 우수하고 균일한 품질의 시공이 가능하며 시공성이 매우 빠르다는 등의 여러 가지 장점을 가지고 있다. main부재와 buttress부재, strut부재 모두 H형강을 사용하며, 각 부재의 조합으로 외부하중에 저항하는 구조이다. 구조형식은 투과형 으로서 계류의 상류측에 설치하여 유목 및 암석을 차단하는 역할을 수행한다. 상류에서 이러한 부유물을 차단하지 않는다면 그 양이 몇 배로 불어나 하류에서는 상당한 규모의 사방댐을 설치하여야 한다. 그러므로 그 지역의 특성상 저류가 필요 없고, 유목 및 암석이 많은 지역을 위한 댐이라고 할 수 있다. 특히 집중호우 때 송전탑과 임도시설의 산사태로 막대한 수해를 당했던 홍천과 회성 지역에 산간계곡형 사방공법인 스크린(Buttress)댐을 설치한 결과 300mm 이상이 내린 집중호우 속에서도 전혀 수해를 입지 않았으며, 강원도의 경우 대부분의 수해가 계곡에 쌓이는 나무와 토석에 의해 발생되고 있어 계속 설치해 나갈 계획이라고 보도되기도 하였다. 본 장은 스크린형(버트러스) 강재 사방댐을 구성하는 각각의 재료의 특성과 역할 및 구조형식에 관하여 설명한다.

1. 버트러스 강재 사방댐의 구성

버트러스 강재 사방댐의 구성부재로는 주부재와 버트러스부재, 스트럿부재, 스크린부재로 구성되어 있으며, 다음과 같이 검토 후 단면과 형식을 결정한다.

가. 스크린댐의 요건

- 1) 유목 및 암석을 차단하는 기능을 수행해야 함으로 충분한 강성이 요구된다.
- 2) 좌굴 및 충돌하중에 대한 영향을 고려해야 한다.
- 3) 변형된 부재에 대한 보수보강이 용이해야 한다.
- 4) 시공성 및 제작성이 우수해야 한다.

나. 스크린댐의 Type 결정 인자

- 1) 주부재와 버트러스부재와의 거리 (그림 2.3.1 참조)
- 2) 지면과 주부재와의 각도 (그림 2.3.2 참조)

3) 지면과 버트리스부재와의 각도 (그림 2.3.3 참조)

4) 스트럿 부재의 위치 (그림 2.3.4 참조)

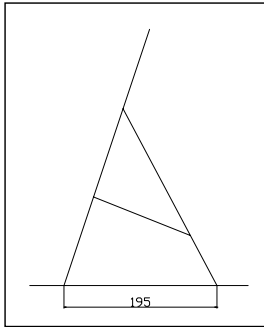


그림 2.3.1

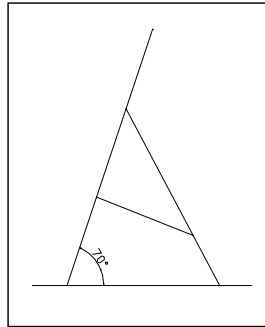


그림 2.3.2

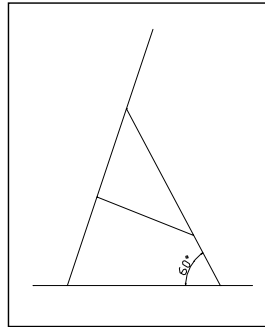


그림 2.3.3

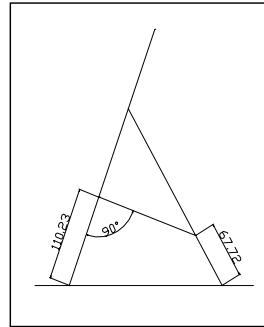


그림 2.3.4

다. 스크린댐의 Type 결정

- 1) 주부재와 버트리스부재와의 거리(높이의 65%) : 기존의 스크린댐의 평균으로 결정
- 2) 지면과 주부재와의 각도(70도) : 각도별 응력, 변위, 힘 검토
- 3) 지면과 버트리스부재와의 각도(60도) : 각도별 응력, 변위, 힘 검토
- 4) 스트럿 부재의 위치(주부재의 높이 1/3 지점) : 위치별, 각도별 응력, 변위, 힘 검토
- 5) 크기별 부재의 종류 및 제원 : Frame = 형강 Screen = 각관

Screen 에서 충격을 흡수, 변형시 Screen 만 교체

6) 각 부재의 강종은 SS400을 기준으로 생산하였으며 부재의 구성과 조립도는 그림 2.3.5와 같다.

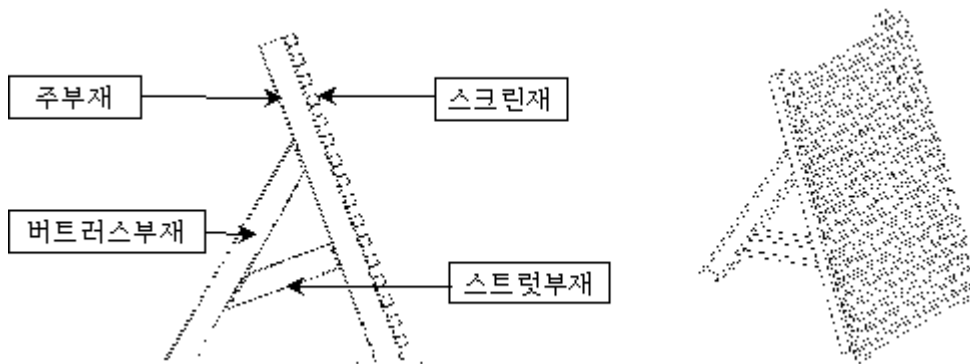


그림 2.3.5,6 버트리스 강재 사방댐의 구성 및 조립도

라. 개발된 스크린댐과 기존 댐과의 비교

1) 가정 : 높이 = 4m, 하중 = 토압, 수압, 자중, 지점조건 : 고정지점

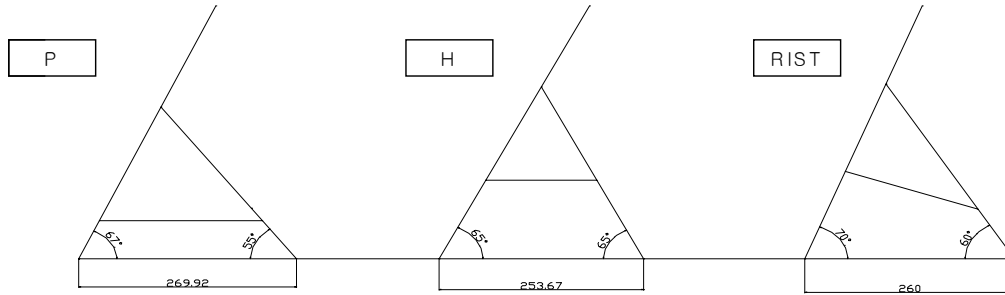


그림 2.3.7 기존 형식과의 구성 비교

2) 해석결과

Main 부재 : 인장과 모멘트를 동시에 받는 부재로서 검토항목은 다음과 같다.

$$f_t + f_{btv} + f_{btz} \leq f_{ta} (1400 \text{ kgf/cm}^2)$$

$$- f_t/f_{ta} + f_{bcy}/f_{bagy} + f_{bcz}/f_{bao} \leq 1.0$$

$$(l = \beta L)/b \leq 4.5$$

$$\tau = VQ/It \leq 800 \text{ kgf/cm}^2$$

Buttress, strut 부재 : 압축과 모멘트를 동시에 받는 부재로서 검토항목은 다음과 같다.

$$f_c/f_{caz} + f_{bcy}/(f_{bagy}(1-f_c/f_{Ey})) + f_{bcz}/(f_{bao}(1-f_c/f_{Ez})) \leq 1.0$$

$$l/r_y \leq 20 \quad l/r_z \leq 20 \quad (l = \beta L)/b \leq 4.5$$

$$\tau = VQ/It \leq 800 \text{ kgf/cm}^2$$

표 2.3.1 기존 버트러스 댐과 개발된 RIST 형식 댐과의 비교

		P	H	RIST	
Main		607	783	627	1400kg/cm ²
		518	649	573	800kg/cm ²
Butress		0.315	0.384	0.368	1
		219	220	258	800kg/cm ²
Strut		0.184	0.208	0.176	1
		78	150	63	800kg/cm ²
		0.1858	0.0956	0.1028	cm
		30	35	30	ton
		30	27	28	ton

2. 스크린형 강재 사방댐의 부재개발

버트러스 강재 사방댐의 각 부재들 사양 선정 및 적합성 검토와 역학적 거동을 분석하기 위하여 범용화된 구조해석 프로그램인 MIDAS CIVIL을 사용하였다. 배면지반의 경사는 6°로 가정하고 외부하중으로 토압(퇴사압), 수압, 충돌하중을 구하여 구조해석을 수행하였다. 기존의 버트러스 강재 사방댐의 높이를 분석한 결과, 대부분 3m - 6m 수준으로 평가되었고 이에 따라 3m, 4m, 5m, 6m 높이의 강재 사방댐을 표준화 하여 높이별 부재 사양을 결정하였다.

가. 3m 버트러스 강재사방댐 표준화

1) 적용하중

- 자중은 프로그램 상에서 고려
- 수압 6ton, 토압 2.94ton, 충돌하중 0.5ton(수면에서 적용)

2) 해석 및 결과

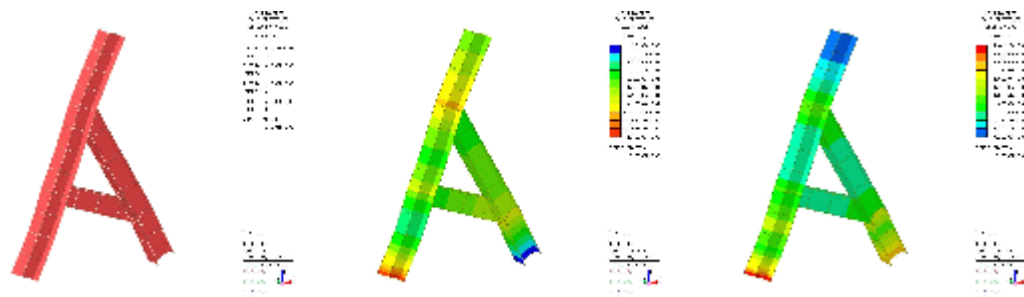


그림 2.3.9(a)변위

2.3.9(b)모멘트

2.3.9(c)응력

표 2.3.2 해석결과

단면력 집계	전단력(tonf)	모멘트(tonf-m)	축력(tonf)
MAIN	-8.99332	-2.38832	15.24977
BUTTRESS	3.90046	1.3963	-16.20292
STRUT	-0.97097	-0.68376	-8.01238

3) 부재선정

주요부재 : 250x250x9x14, 프레임 설치간격 2m 이하

스크린부재 : 100x100x4, 스크린 설치간격 25cm 이하

나. 4m 버트레스 강제사방댐 표준화

1) 적용하중

- 자중은 프로그램 상에서 고려
- 수압 8ton, 토압 3.92ton, 충돌하중 0.5ton(수면에서 적용)

2) 해석 및 결과

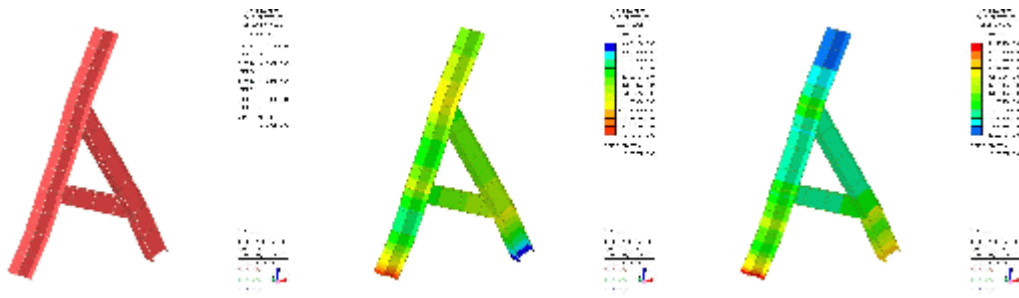


그림 2.3.10(a)변위

2.3.10(b)모멘트

2.3.10(c)응력

표 2.3.3 해석결과

단면력 집계	전단력(tonf)	모멘트(tonf-m)	축력(tonf)
MAIN	-15.98	-5.57	26.05
BUTTRESS	7.19	3.87	-27.76
STRUT	-1.77	-1.71	-14.49

3) 부재선정

- 주요부재 : 250x250x9x14, 프레임 설치간격 2m 이하
- 하부스크린부재 : 100x100x6, 상부스크린부재 : 100x100x4
- 스크린 설치간격 25cm 이하

다. 5m 버트레스 강제사방댐 표준화

1) 적용하중

- 자중은 프로그램 상에서 고려
- 수압 10ton, 토압 4.9ton, 충돌하중 0.5ton(수면에서 적용)

2) 해석 및 결과

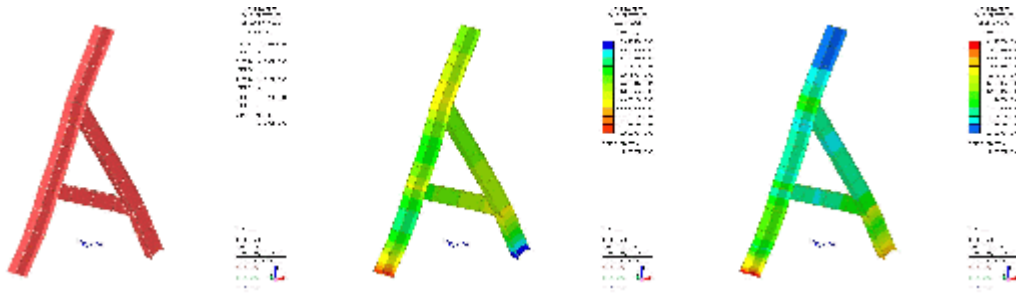


그림 2.3.11(a)변위

2.3.11(b)모멘트

2.3.11(c)응력

표 2.3.4 해석결과

단면력 집계	전단력 (tonf)	모멘트 (tonf-m)	축력 (tonf)
MAIN	-24.68	-10.43	39.64
BUTTRESS	11.61	7.65	-42.64
STRUT	-2.78	-3.44	-23.13

3) 부재선정

- 주요부재 : 300x305x15x15, 프레임 설치간격 2m 이하
- 하부스크린부재 : 100x100x6, 상부스크린부재 : 100x100x4
- 스크린 설치간격 25cm 이하

라. 6m 버트레스 강제사방댐 표준화

1) 적용하중

- 자중은 프로그램 상에서 고려

- 수압 12ton, 토압 5.88ton, 충돌하중 0.5ton(수면에서 적용)

2) 해석 및 결과

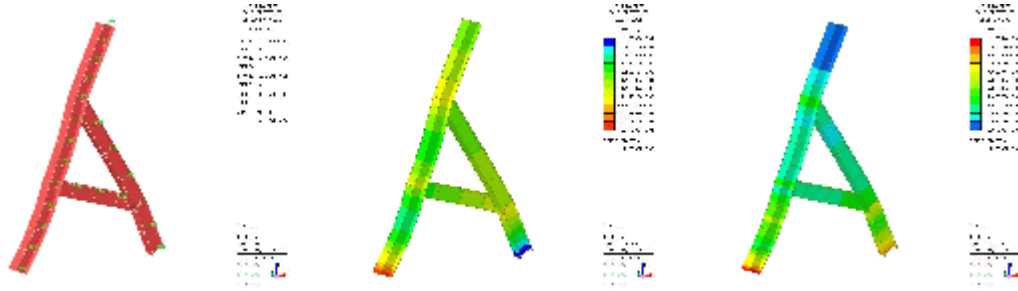


그림 2.3.12(a) 변위

2.3.12(b) 모멘트

2.3.12(c) 응력

표 2.3.5 해석결과

단면력 집계	전단력(tonf)	모멘트(tonf-m)	축력(tonf)
MAIN	-35.52	-17.92	56.95
BUTTRESS	16.88	13.29	-61.12
STRUT	-4.02	-6.05	-33.57

3) 부재선정

- 주요부재 : 350x350x12x19, 프레임 설치간격 2m 이하
- 하부스크린부재 : 100x100x9, 상부스크린부재 : 100x100x6, 100x100x4
- 스크린 설치간격 25cm 이하

3. 스크린형 강재사방댐의 성능시험

버트레스 강재 사방댐에 대한 성능시험으로 50ton actuator 2기를 사용하였으며, 두 종류의 시험을 수행하였다.

가. 스크린의 하중흡수능력 및 주부재의 영향분석

1) 시험 개요

해석결과에 의해 개발된 높이 3m, 폭 6m의 실물크기 사방댐을 제작하였고, 50ton actuator 두개를 특수 제작한 가력부로 연결시켜 스크린 부재에 동시에 하중을 전달할 수 있도록 설계하였다.(그림 2.3.13 참고)



그림 2.3.13 가력부 체결 모습

버트러스 강재 사방댐은 형강을 이용한 프레임 구조와 프레임 구조를 이어주며 동시에 유목 및 암석을 차단하는 역할을 수행하는 스크린 구조로 이루어져 있다. 본 스크린댐은 외부 하중을 스크린부재가 담당하도록 설계되어 변형이 생겼을 시 교체시공이 용이하도록 하였다. 즉 스크린부재에 외력을 가하여 프레임 구조에 어느 정도의 영향을 미치는지 알아 보며, 전체적인 거동을 분석하기 위한 시험을 수행하였다.

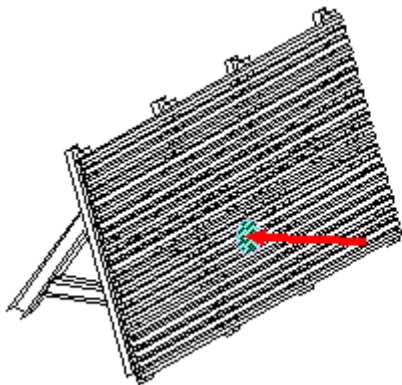


그림 2.3.14 하중 적용위치와 시험체 설치 모습

2) 시험 결과

그래프(그림 2.3.16)를 보면 선형으로 변형을 보이다가 약 20톤에서 스크린부재에 급격한

좌굴이 발생하는 것을 볼 수 있으며, 이때 주부재의 응력 및 변위를 검토한 결과 평균 700kg/cm²의 응력값(그림 2.3.17)을 보였으며, 변위는 수직으로 0.2mm 정도로 미미하였다. 스크린부재에 집중하중을 가하였을 때 주부재에는 큰 영향 없이 스크린 부재만에 응력 집중을 보이며 좌굴이 일어난 시험 결과를 보면 유목 및 암석의 충돌시 스크린 부재에서 충격을 흡수한다고 판단 할 수 있다.

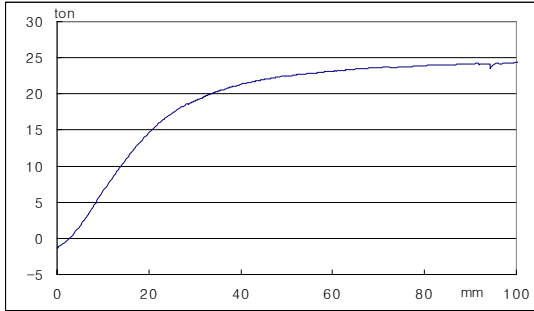


그림 2.3.15 actuator 변위

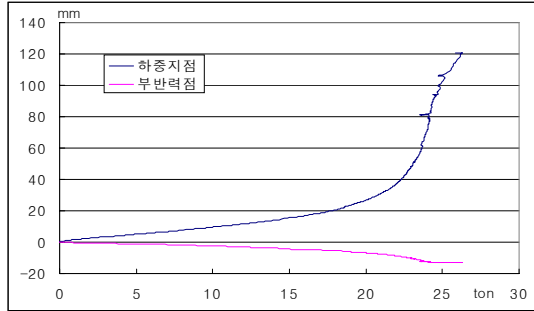


그림 2.3.16 스크린부재 변위

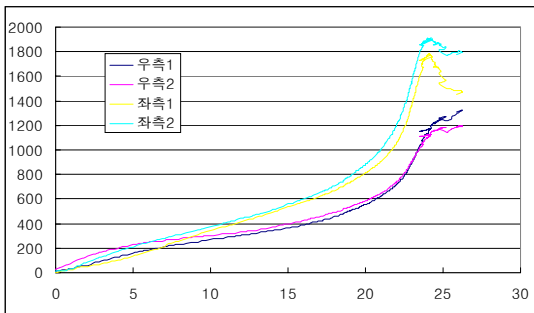


그림 2.3.17 주부재 응력분포

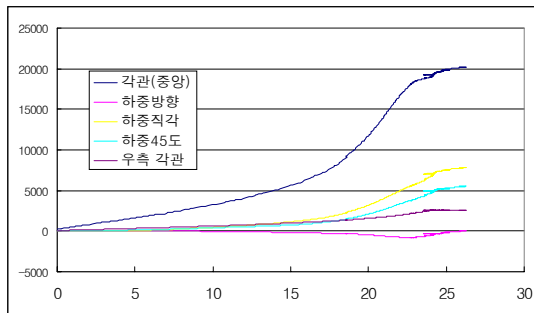


그림 2.3.18 스크린 부재의 응력분포



그림 2.3.19 스크린부재의 변형모습

나. 프레임구조의 성능평가

1) 시험 개요

해석결과에 의해 개발된 높이 3m, 폭 6m의 실물크기 사방댐을 제작하였고, 50ton actuator 두개를 특수 제작한 가력부로 연결시켜 프레임구조의 주부재에 동시에 하중을 전달할 수 있도록 설계하였다. (그림 2.3.20 참고)



그림 2.3.20 가력부 체결 모습

구조해석한 결과와 실구조물 시험과의 결과값이 같은지를 알아보기 위하여, 토압 및 수압에 대한 하중을 (높이 1/3) 지점에서의 집중하중으로 작용시키고 변위 및 응력값을 검토 분석하기 위한 시험을 수행하였다.(그림 2.3.21 참고)

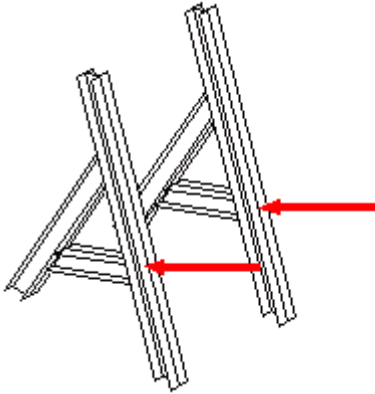


그림 2.3.21 하중 적용위치와 시험체 설치 모습

2) 시험 결과

표 2.3.6은 스트럿부재의 압축응력을 구조해석값과 실물구조시험값에 대하여 비교한 것이다. 표에서 보듯이 3ton에서 15ton 까지 점차적으로 하중을 늘렸을 경우 비교해본 결과 거의 비슷한 경향을 나타냈다. 이 결과로서 구조해석으로만으로도 버트리스스템의 성능을 평가할 수 있음을 확인했다.

표 2.3.6 해석값과 시험값의 비교

하 중	3ton	6ton	9ton	12ton	15ton
해석값 (kg/cm ²)	23.64	46.83	70.02	93.2	116.39
시험값 (kg/cm ²)	21	39.9	67.2	88.2	111.3

그림 을 보면 버트리스스템의 프레임 구조가 충분한 강성을 보유하고 있음을 보여주고 있다. 즉, 외부 하중에 대해 주부재를 비롯한 프레임구조는 큰 영향을 받지 않으므로 유지보수 측면에서 스크린 부재만 교환하면 되므로 뛰어난 유지보수성을 가진다. 그림 는 해석결과를 참조하여 프레임구조의 취약부위에 Strain Gage를 붙여 응력을 검토한 것이다.

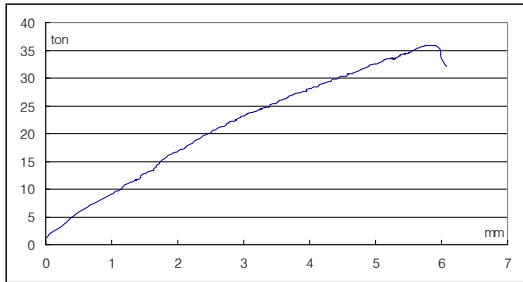


그림 2.3.22 하중-변위 곡선

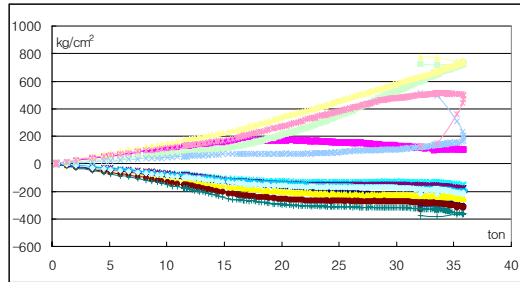


그림 2.3.23 취약부위의 응력값



그림 2.3.24 시험결과 계측 모습

4. 스크린형 강제사방댐의 경제성 분석

경제성 분석을 위하여 높이 3m, 폭 15m 규모의 크기를 대상으로 설계를 실시하여 경제성을 비교하였다. 본 단가는 설계단가로서 실행단가와 차이가 있을 수 있다.

표 2.3.7 개발된 버트러스댐의 경제성 비교

	개발 버트러스댐	기존 버트러스댐
재료비	6,228,590	10,536,164
노무비	23,373,577	40,976,648
경비	4,478,039	7,111,333
일반관리비	1,601,770	2,755,335
이윤	5,046,637	5,046,637
부가세	622,859	1,053,616
관급자재대	9,350,877	13,850,807
총원가	50,702,348	81,330,540
백분율	62%	100%

표 2.3.7에서 보듯이 새로 개발한 버트러스댐은 Parametric Study 로 구조형식을 결정하고, 구조해석과 실구조물 시험을 통하여 합리적인 단면을 선정하여 부재의 양과 수를 대폭 줄인 결과로서, 기존의 버트러스댐 대비 약 38%의 경제성을 확보하였다.

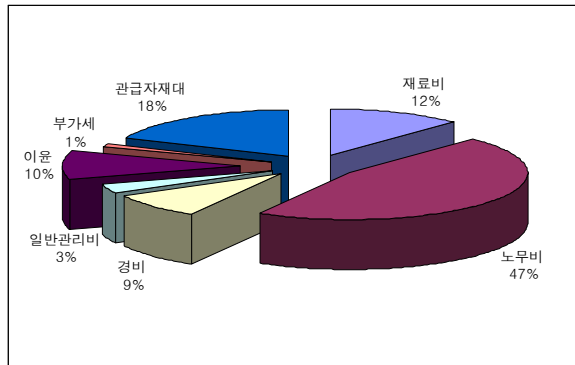


그림 2.3.25 버트러스 강제사방댐 공사비 분포

5. 스크린형 강제사방댐의 설계 및 시공법

가. 버트러스 강제 사방댐의 설계

설계순서 및 설계하중, 주의사항 등 기본적으로 강재틀 사방댐과 같다. 다만 버트러스 강제사방댐은 높이별로 표준화하였기 때문에 설계가 조금 단순화 된다.

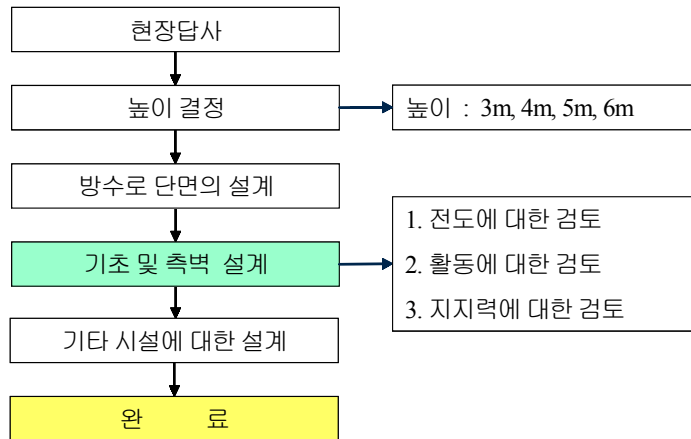


그림 2.3.26 설계순서

현장답사 후 높이 결정이 되면 높이별(3m, 4m, 5m, 6m) 표준화 되어있는 버트리스 강제 사방댐을 적용한다. 그 외의 설계법은 강재틀 사방댐과 유사하다.

나. 버트리스 강제 사방댐의 시공

버트리스 강제 사방댐은 콘크리트 사방댐의 방수로에 강재 프레임을 설치하는 형식이다. 즉, 방수로를 커다랗게 만들어 그 안에 유목 및 암석을 차단할 수 있는 강재프레임을 설치하여 기능성을 높인 사방댐이기에 간단하게 표현하면 콘크리트 사방댐 시공 후 강재프레임을 설치하면 된다. 그림 2.3.27은 개략적인 시공순서를 나타낸다.



그림 2.3.27 시공 순서

1) 기초지반의 굴착

기초지반의 굴착은 원지반의 종류에 따라 다른 방법에 의해 수행되어지며 사방댐의 규모에 따라 굴착하되 작업공간을 고려하여 구조물의 위치로부터 0.5m의 여유를 두면 된다. 또한 굴착사면은 지반의 종류에 따라 다르나 일반 사질토 지반일 경우에는 1:1.5의 기울기를 원칙으로 한다.

2) 기초콘크리트 및 앵커 설치

기초지반을 굴착 후 기초콘크리트를 타설한다. 앵커는 강재프레임 부재의 개수 및 위치에 맞게 설치하고 30cm 이상 근입한다.



그림 2.3.28 기초콘크리트 및 앵커설치

3) 프레임 부재조립 및 설치

프레임 구조를 평지에서 미리 조립한 후에 크레인을 이용하여 미리 설치한 앵커에 결합 후 콘크리트로 덮어 근입시킨다.



그림 2.3.29 크레인에 의한 설치모습

4) 스크린 부재 설치

ㄸ형의 프레임 구조 설치후 각형강관으로 제작된 스크린 부재를 주부재에 볼트로 체결한다. 스크린 부재는 설치가 간단하도록 주부재 체결부위의 밑면에 구멍을 뚫어 그 안으로 볼트를 체결한다. 이와 같은 형식은 외관으로는 볼트체결부위가 보이지 않아서 미관상으로 좋고, 부식에 가장 취약한 볼트, 너트를 보호할 수 있는 구조 형식이다.



그림 2.3.30 스크린 설치후의 모습

5) 물받이 및 기타시공

스크린 설치후 필요에 따라 물받이 및 주변 경관을 조성하며 마무리 한다.



그림 2.3.31 완공후 모습

제 4 절 강재 사방댐의 방식방법

본 연구의 경사형 강재틀 사방댐을 구성하는 부재는 부식을 방지하기 위해 기본적으로 용융아연도금을 실시한다. 국내의 강의 부식관련 시방규정에는 부식두께를 고려하여 부재의 두께를 정하긴 하나 경사형 강재틀 사방댐은 구조물의 특성상 사람들과 근접한 거리에 시공이 되므로 부식두께를 고려하는 것에 앞서 방청처리가 중요한 사항이라 판단된다. 따라서 용융아연도금의 아연도금량을 조절하고 코팅재와 칼라 용융아연도금 등의 방청처리를 적절히 사용함으로써 미관의 향상과 구조물의 수명을 개선시킬 수 있다고 사료된다. 본 연구는 경사형 강재틀 사방댐의 부재에 적용된 용융아연도금에 대하여 설명한다.

1. 용융아연도금(Galvanized Steel)

가. 용융아연도금의 개요

용융아연도금은 1714년 프랑스 화학자인Pall Jacgues Melouin이 아연을 녹여 철판표면에 도금함하여 시작되어 1836년 프랑스 Sorel씨와 영국의 H.W. crowford씨가 Flux 발명특허를 취득하면서 아연도금이 산업화 되었으며 1846년 Moerwood씨와 Roger씨가 도금가마에 물을 부착함으로써 산업도금이 본격화되었다. 생활수준 향상에 따라 강관에 대한 수요가 늘어나는 추세를 보이고 있으며 강의 최대 단점인 녹을 방지하고 철의 장점인 강성과 경제성을 최대한 살릴 수 있는 표면처리강관의 수요가 크게 늘어나고 있다. 그 중 용융아연도금은 경제성 있는 도금성과 뛰어난 희생 방식성을 갖고 있는 것으로 각광 받고 있으며 도금방식의 발전으로 과거의 절판식 도금방식에서 근래에는 연속용융아연도금방식으로 변천하여 왔다.

나. 용융아연도금의 특징 및 특성

용융아연도금의 특징은 우선 아연 특유의 희생방식 효과가 뛰어나 높은 내식성을 갖고 있으며 오랜 기간동안 사용해도 효과가 그대로 지속됨으로써 최고의 경제성을 지고 있다. 또한 각 용도에 따른 수요가들의 요구에 대응할 수 있는 다양한 종류의 제품개발이 가능한 특징도 가지고 있다. 특히, 희생적 방식특성이 있는 아연이 철과 합금층을 이루며 견고히 부착되기 때문에 치밀한 보호피막을 형성하여 이상적인 방식특성을 갖고 있다. 또한 용융

아연도금은 최근 건설비용에 못지않은 막대한 유지보수비를 감안한다면 내구성, 경제성, 작업성 등 그 우수성이 널리 인식되어 가고 있는 방식법중의 하나이다. 이러한 용융아연도금의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 도금표면에 형성된 치밀한 보호피막과 희생적 방식작용을 하므로 내식성이 매우 우수하다.
- 못과 같은 경량품 에서부터 10톤에 이르는 제품까지 용융아연도금 조에 침적 가능한 제품은 모두 도금이 가능하다.
- 철과 아연이 합금층을 이루므로 부착력이 매우 높다.
- 긴 내부, 가느다란 절곡형태 등 손이 닿지 않는 부위나 보이지 않는 부위에도 도금이 되므로 신뢰성 있는 완벽한 방식처리가 가능하다.
- 강재자체의 기계적 강도변화가 거의 없으므로 최초설계 그대로의 강재사용이 가능하다.

다. 용융아연도금 피막조직

용융아연도금의 내식성은 그 도금층의 조직구조에 기인한다. 도금층의 단면을 현미경으로 보면 용융아연도금과 철의 반응에 의해 형성된 금속간 화합물 합금층과 도금조에서 인양할 때 합금층 위에 부착된 아연층으로 되어 있다. 그림 2.4.1은 철에 부착된 용융아연도금막의 확대사진이다.

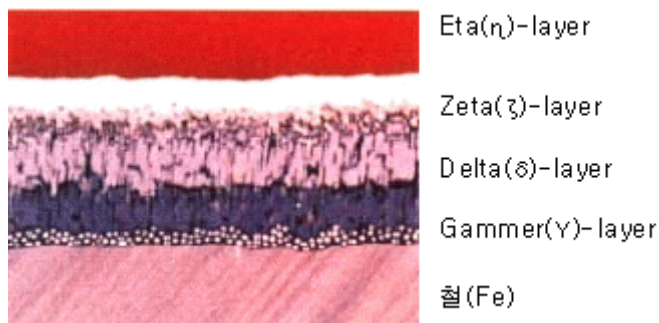


그림 2.4.1 용융아연도금의 확대사진

일반적인 도금조건으로 볼 수 있는 도금조직은 철소지에 가까운 방향으로부터 감마층(21~28% Fe), 델타층(7~11% Fe), 제타층(5.8~6.7% Fe)의 합금층과 순수아연층인 이타층(0.03% Fe)으로 형성되어 있다.

- 감마층 : 철소지에 접하는 층으로 보통 대단히 얇은 층이다. 결정은 입방정계로

Fe₃Zn₁₀의 화합물로 생각할 수 있으며, 단단하여 부서지기 쉬운 성질을 가지고 있다. 경도는 마이크로피커스 경도로 500 가까이 된다.(보통의 강재는 100~200) 다른 층과의 관계에서 이층은 식별되지 않는 것이 보통이다.

- 델타층 : 통상의 도금피막에서는 가장 내부에서 볼 수 있는 것으로 치밀한 조직을 가지며 인성이 풍부하다. 결정은 복잡한 육방정형으로 FeZn₇의 화합물로 생각할 수 있으며, 철의 함유량은 7~11%이다. 경도는 마이크로피커스로 250 이상으로 알려지고 있으며, 철의 함유량도 많기 때문에 이층까지 부식이 진행된다면 반점상태로 적갈색을 띠는 경우도 있지만 강재 자체의 붉은 녹과는 다른 것이다.

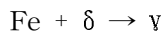
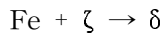
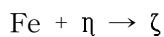
- 제타층 : 피막중에서 가장 현저한 결정을 가지며 주상조직이다. 도금의 부착두께가 많을 때는 이층이 두터울 경우가 많다. 이층은 다른 층과 비교하여 결정이 대칭성이 낮고 결합이 약하기 때문에 무르고 가공할 경우에 균열이 발생하기 쉽다. 경도는 마이크로피커스로 200 전후이다. 조성은 FeZn₁₃이며, 철의 함유량은 6% 정도이다.

- 이타층 : 이것은 용융아연욕으로부터 강재를 인양할 때 부착되는 것으로 결정은 순아연과 같은 조밀 육방정계에 속하고, 부드럽고 연성이 풍부하여 변형가공을 받아도 찢어지는 일이 없다. 아연순도가 98.5%이고, 도금로 성분 에 의한 Pb이 1%정도 포함되는 것이 보통이며 경도는 50 이하이다.

이상의 각 층이 철소지로부터 연속하여 형성되어 있기 때문에 밀착성이 대단히 우수하다. 또 도금한 제품의 외관은 오로지 가장 외층의 이타층에 의한 것이고, 도금 직후는 광택을 갖지만 수개월 경과하면 광택을 잃고 회색으로 변해가는 것이 보통이다. 이것은 염기성 탄산아연 등을 주 성분으로 하는 고내식성의 보호피막이 도금표면에 형성되어 있기 때문이고 성능상 전혀 문제가 되지 않는다.

위 그림에서 보듯이 철과 아연이 반응하면, 철과 아연의 함량, 반응온도 등의 조건에 따라 η, ζ, δ, γ, α 상 등이 나타난다.

상은 철이 거의 고용되어 있지 않은 순수한 아연이며 이 상이 철과 아래와 같은 여러 가지 반응을 하여, 1, 상 등이 생성된다.



1단계에서 소지철과 도금욕이 반응하여 Fe-Zn화합물인 ζ상이 생성된다고 사료된다. 2단계에서는 ζ상이 성장하면서 ζ - Fe 계면에 존재하는 ζ상의 Fe농도가 증가함에 따라 δ상이

출현한다. 3단계에서는 δ상에서 Zn이 Fe측으로 확산하여 γ상을 형성한다. 4단계에서는 γ상이 성장하면서 치밀한 δc와 δp상의 2층으로 관찰된다. 5단계에서는 δp상이 급성장하게 된다. 530℃ 이상의 온도에서는 짧은 시간동안 1-5단계를 완료하고, 침지시간이 증가함에 따라 δp상이 붕괴되면서 δc상과 아연이 혼합된 δd상이 생성 성장하는 6단계가 존재하게 된다. 특히 고온인 590℃에서는 δd상이 소멸되어 δc상과 γ상 만이 존재하는 최종단계가 있다.

라. 용융아연도금의 내식성

아연금속은 본래 대단히 활성인 양성금속으로 부식하기 쉬운 성질을 가지고 있지만 표면에 치밀한 Zn(OH)2나 ZnO의 부동태 피막을 형성하거나 불용성의 염기성 탄산아연 피막을 만들기 때문에 강한 내식성을 나타낸다. 그러나 이러한 피막의 생성을 방해하기도 하고 또 용해성 박막을 생성하는 환경하에서는 아연도금은 급속히 부식된다. 따라서 부식환경이 열악한 경우에는 아연도금위에 도장 등으로 2중 방식할 필요가 있다. 이처럼 아연도금은 사용되는 환경에 의해 내식성은 큰 변화를 갖게되며 아연도금제품을 사용하는 강구조물을 설계할 때 그 주변환경을 확인하는 것에 의해 각 환경하의 각지에서 실시된 폭로시험결과로부터 구조물의 내용년수를 추정하는 것이 가능하다.

대기중의 아연도금은 대기오염물질의 아황산가스, 산화 등에 의해 그 내식성이 크게 좌우되고 부식인자로 다음과 같은 것이 있다.

“습기와 접촉시간과 온도, 표면의 건조속도, 대기중의 공업오염물질 및 해수의 염분”

위와 같이 사용 환경이나 조건에 의해 내식성은 달라지지만 아연도금 부착량과 내식성과의 관계는 동일환경, 동일조건에서 또 동일환경 하에서 실내는 실외에 비해 3~5배의 내용년수를 기대할 수 있으며, 내용년수는 아연 부착량에 비례한다.

대기중의 내용년수를 예측하는 경우 사용환경에 의한 도금의 부식속도와 아연부착량으로부터 다음과 같이 계산한다.

$$\text{내용년수} = \frac{\text{아연부착량(g/cm}^2\text{)}}{\text{부식속도(g/m}^2\text{/년)}}$$

이 식은 아연피막이 10%가 남아있는 시점에서 철소지로부터 녹이 발생한다고 가정한 값이다.(JIS H 8641 용융아연도금 해설)

일본 도로공사의 자료에 의하면 교량의 경우 주요 부재의 년평균아연도금 부식막 두께 감

량은 약 $1.85\mu\text{m}/\text{년}$ 으로 동일한 속도로 부식이 진행될 경우 아연부착량 $600\text{g}/\text{m}^2(84\mu\text{m})$ 의 90%가 부식된 경우 41년($840.9/1.85=41\text{년}$)의 내용년수가 산출된다. 하지만 실제적으로 $200\mu\text{m}$ 이상의 아연도금 막두께로 작업이 가능하여 실제 교량은 상당한 내용년수를 가지고 있다. 일본 용융아연도금협회의 대기폭설 환경시험에 의한 추정 아연도금 내용년수는 아래표 2.4.1과 그림 2.4.2와 같다.

표 2.4.1 용융아연도금의 추정 내용년수

구 분	400g/m ² 부식량(g/m ² /년)	내용년수(년)	500g/m ²		부식량 (g/m ² /년)	내용년수(년)
			부식량 (g/m ² /년)	내용년수 (년)		
중공업 지대	31.1	11.6	32.8	13.7	31.1	17.4
해안 지대	12.4	29.0	12.5	36.0	12.3	43.9
교외 지대	7.1	50.7	7.2	62.5	6.7	80.6
도시 지대	15.7	22.9	16.0	28.1	15.9	34.0

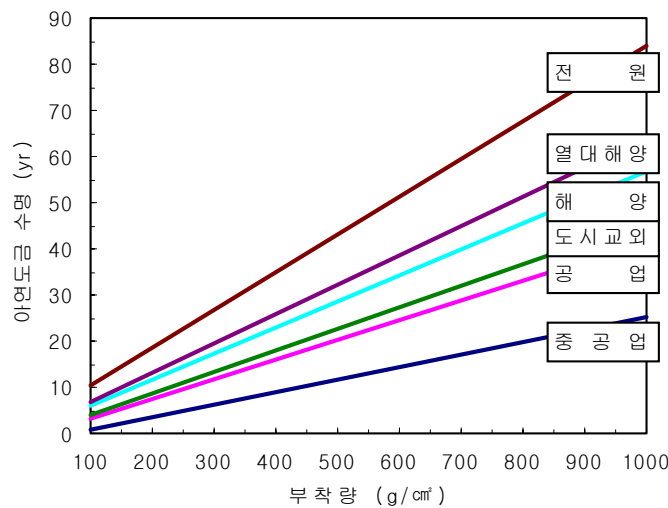


그림 2.4.2 용융아연도금의 아연부착량에 따른 환경별 수명

마. 다양한 부식환경에서의 내식성

1) 수중의 내식성

수중에 있어서의 내식성은 아연도금 표면과 물의 접촉으로 아연표면에 생성하는 수산화물에 대한 물의 영향에 의해 지배된다. 이 경우에 아연의 부식에 영향을 미치는 요인은 수중의 개스상 물질, 무기염류, pH, 침적시간, 온도, 정지수와 유수 등이다. 예를들면, 신선한 자연수 중에서의 아연의 부식속도는 아연과 그 내식성에 의하면 경수에서 2.5mg/dm²/일, 연수에서는 25mg/dm²/일이고 경수는 부식방지에 유효한 부착피막을 부착시키기 때문에 일반적으로 부식성은 좋지않다. 다른 일반금속과 같이 아연의 부식속도는 수중에의 통기에 의해 증가하고 수중에 용해하고 있는 산소와 이산화탄소는 부식속도를 증가시킨다. 도금의 내용연수를 일반적으로 표시하는 것은 곤란한 점이 있지만 여러 가지 요인을 감안하면 부식속도는 30~100g/m²/년으로 추정할 수 있다.

2)해수중의 내식성

해수 중에서의 내식성은 아래 표에 나타난 것처럼 침적시간이 길게 되면 부식속도는 감소하게 된다. 이것은 해수 중에 포함된 마그네슘, 칼슘염이 보호작용을 하기 때문이다. 이 시험으로부터 용융아연도금의 해수 중에서의 부식속도는 약 100g/m²/년 정도인 것을 알 수 있다. 표 2.4.2는 해수중에서 용융아연도금에 부식속도와 내용연수를 나타내었다.

표 2.4.2 해수중에서의 내식성(ASTM 시험결과에 의함)

용융아연도금 종류(g/m ²)	침적기간(년)	부식속도	
		μm/년	g/m ² /년
아연부착량 1,129	0.5	48	345
아연부착량 1,160	1	23	162
아연부착량 1,312	3.5	15	107
아연부착량 1,372	5	13	92

그러나 유동하는 해수에 계속 접촉되거나 비말에 의해 건조되지 않는 환경에서는 일반적인 해수중에서 보다 부식속도가 2~3배 빨라지고 이러한 열악한 부식환경에서는 용융아연도금에 의한 방식만이 아니라 용융아연도금위에 에폭시도장 등의 2중방식이 필요하다.

3) 토양중에서의 내식성

토양중에서 부식을 지배하는 주 인자는 통기성, 함유량, 용존물질의 종류와 전기전도도, pH 등이다. 일반적으로 통기성이 나쁘고 수분이 많고, 염분이 있으며, pH가 높거나 낮을 경우, 산소가 많을 경우 부식이 빠르고 미주전류도 마뻐 영향을 미친다. 토양중에서의 아연 피막의 내식성은 미국의 National Bureau of Standards에서의 광범위한 실험에 의하면 610g/m²의 피막은 무기질산화토양중에서 16년 이상의 방식능력이 있다. 915g/m²의 피막은 대부분의 무기질환원성 토양에서는 10~13년의 방식능능을 갖는 것으로 보고하고 있다. 이 토양중별은 초목이 덮여진 장소가 50% 미만일 경우를 무기질로 하고 또 농업용지와 같이 배수성이 좋고 일반적으로 밝은 색 토양을 산화성, 지표 바로 밑의 습윤한 토지로 밝은 색의 토양을 환원성이라 한다.

4) 콘크리트중에서의 내식성

콘크리트내는 통상 pH12~13으로 철근은 부동태의 상태에 있고 장기간 사용에 견디는 것이 가능하지만 근년 하천의 모래를 구하는 것이 곤란해 집에 따라 바다모래를 사용하는 빈도가 높아지는 것으로부터 염분을 함유하는 콘크리트가 많아지고 철근 콘크리트의 중성화에 무관하게 pH12의 상태에서도 조기에 철근의 부식이 발생하고 녹에 의한 체적의 팽창에 의해 콘크리트에 균열이 발생하여 더욱 부식이 진행되게 된다. 그러나 용융아연도금한 철근은 아연피막으로 보호되어 있기 때문에 녹의 발생이 없어 콘크리트를 손상하지 않는다. 콘크리트와 용융아연도금피막과는 부착성이 좋아서 송전철탑, 철강구조물의 기초부재, 도로 교의 철근 등 많은 용융아연도금제품이 콘크리트중에 사용되고 있다.

5) 용융아연도금과 페인트의 피막

유기질 피막이나 페인트의 방청원리는 단지 철 표면의 부식 원인인 물과 산소로부터 차단하는 것 뿐으로서 만약, 피막의 손상이나 결점으로 철소지가 노출된다면 노출되는 순간부터 부식이 진행되어 피막내부로 급속히 퍼져 나가기 때문에 결국에는 전체가 녹으로 뒤덮이게 된다. 하지만, 용융아연도금은 철과 아연이 접촉하여 두 금속간의 전위차에 의해 전지가 형성되고 양극으로 작용하는 아연으로부터 음극인 철로 계속적으로 전자가 공급되어 외부 반응으로부터 철을 완전히 보호하므로써 철의 부식을 방지한다. 만약, 아연 피막이 벗겨져 철 표면이 노출되어도 그 간격이 2mm를 넘지 않는다면 그 주위의 아연이 철에 대하여 음극 방식작용을 해주기 때문에 철은 부식되지 않는다

제 5 절 경제성 향상 강재 사방댐의 연구결과

본 연구는 농림부 산하 농림기술관리센터의 첨단기술 개발과제로서 다양한 사방시설을 국내에 도입함으로써 보다 효과적으로 국민의 생명과 재산을 보호하는 차원에서 시작되었다. 구조상세를 개발(6개의 특허출원)하였으며 개발된 상세에 대한 수치해석 및 구조성능 시험을 통해 구조물의 성능을 검증하였다. 기존의 강재사방댐에 대해 정기적으로 모니터링함으로써 구조물의 단점 및 성능을 분석, 개선하였다. 본 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 경사형 강재틀 사방댐의 개발 구조형식에 대하여 부재성능시험, 강재틀 및 내부채움과 병행한 합성구조에 대한 실내시험을 수행한 결과 개발 부재들의 단면성능이 예상강도 및 허용강도 범위내에 드는 것을 확인하였으며, 강재틀과 내부채움재간의 상호작용에 대한 연구결과 현 구조형식에서는 내부채움재는 강재틀이 부담하고 있는 하중의 약 30%를 분담하고 있는것으로 나타났다. 또한 구조상세에서 브레이싱재의 역할을 증가함으로써 전체적인 구조적 안정성이 향상되는 것으로 나타났다.

2. 기존의 강재틀 사방댐이 부재의 중복사용 및 내부채움재의 하중분담율을 설계에 반영하지 못한 점 등으로 인해 타형식의 사방댐보다 경제성이 떨어지는 것을 보완하기 위해 경제적인 구조형식을 도입하고, 최적단면을 개발하여 직립형 강재틀 사방댐 대비 35% 정도의 경제성을 확보하였다. 이를 토대로 무근 콘크리트 사방댐 대비 10% 정도의 경제성을 가질 것으로 판단된다.

3. 충북 단양지역에 본댐 높이 3m, 길이 10m의 콘크리트 혼합형 경사형 강재틀 사방댐을 시험시공한 결과, 강재틀 부분인 본댐의 경우 공사기간이 3일 소요되었으며 이는 시험시공에 따른 작업능률의 저하를 배제하더라도 상당히 빠르다는 것을 알 수 있었다. 콘크리트로 되어있는 측벽 및 어깨부도 경사형 강재틀 구조를 적용하였다면, 전체공정은 약 6일 소요되었을 것으로 판단된다. 이는 콘크리트 경화시간이 필요 없고 시공 직후에 바로 역할을 수행할 수 있는 장점을 나타낸 것으로 공정의 단축으로 인한 전체 공사일정을 크게 단축할 수 있는 것으로 나타났다.

4. 경사형 강재틀 사방댐은 미관향상 방안으로 식생을 적용했으며 강재틀 사방댐의 측벽과 어깨부 소단에 식생활 경우 식중에 따라 다소 차이는 있지만 전반적으로 강재틀 구조에 대한 식생이 가능한 것으로 나타났으며 이를 적용할 경우 주변여건과 친숙한 구조형태가 되어 수려한 미관을 얻을 수 있는 것으로 판단되었다.
5. 스크린형 강재 사방댐(버트리스 강재 사방댐)은 성능이 이미 입증된 것으로서 수요가 점점 늘어나고 있는 시점에서 경제성, 유지보수성, 미관 등을 고려하여 새로운 형식으로 개발하였다.
6. 기존의 버트리스 강재 사방댐은 정확한 해석 및 성능평가 없이 안전하게만 설계하려는 경향을 보여 왔으며, 유목 및 암석을 차단 후 강재의 변형에 대한 유지보수가 쉽지 않은 단점을 가지고 있었으나, 본 연구수행으로 개발한 버트리스 강재 사방댐은 해석기법 정립과 실무조물에 대한 성능평가를 수행하여 최적 구조형식과 단면을 선정하였다. 또한 외부 하중에 대한 변형을 스크린 부재에서 모두 흡수하는 구조로서 유지보수 측면에서 상당히 개선된 구조형식이다.
7. 개발된 버트리스 강재 사방댐에 대한 경제성 분석 결과 기존의 형식에 비해 약 38%의 경제성을 확보하였다. 이러한 경제성 확보 강재 사방댐의 적극적인 활용은 사방사업에 소요되는 국가 예산을 보다 효율적으로 사용하는 방법이 될 것으로 판단된다.

제 3 장 산림경관 보전을 위한 철강재 사방댐의 경관향상 기법 개발

제 1 절 서론

지형은 평형화작용에 의하여 계속적으로 변화한다. 과거 구한말과 왜정시대를 거치면서 산림의 무절제한 도·난벌로 전국의 산지는 황폐화 되어 매년 장마철이면 토양침식으로 인한 유출토사에 의하여 개울바닥이 평지보다 높아지는 현상(天井川)을 곳곳에서 발견 할수 있었다. 이러한 현상은 대부분이 산지 사면표토의 침식에 의한 것으로 이를 방지하기 위하여 1970년대부터 본격적인 산지사방공사가 실시되었다.

산지사방공사의 결과로 황폐산지는 푸르게 녹화되어 오늘에 이르렀으나 근래에 이르러서는 토석류에 의한 산사태 피해가 극심하게 나타나고 있다. 2002년 태풍“루사”에 의한 산지 재해는 대부분이 토석류에 의한 산사태 피해로 보고 되고있다(임업연구원,2002). 토석류 피해는 주 피해지역이 계류(凹지)가 된다. 과거 산지사방으로 사면이 안정되어 토층이 점차 깊게 형성되는데 산지계류 또는凹지에서는 붕적 또는 퇴적작용에 의하여 그 깊이가 더 깊게 형성된다. 이러한 계류에 집중호우가 내릴 경우 상류지역에서의 산사태 또는 계류의 중형 침식에 의하여 계상에 깊게 쌓여있던 토석이 일시에 유출되어 토석류가 발생하게 되는데 이를 방지하기 위해서는 사방댐 설치가 필수적이다.

우리나라에서의 사방댐은 산지사방사업이 마무리 단계에 이르는 1986년부터 본격적으로 설치되기 시작하였으며, 1986년부터 2002년까지 1,123개가 이미 설치되었고 2003년에는 250개가 신설될 계획(산림청, 2003)이며, 2004년에서 2007년 까지 4년동안 1,771개의 사방댐이 신설될 계획이다(산림청). 그러나 산지개발과 더불어 점차 증가 추세(최경,2001)에 있는 산지재해(토석류 피해) 방지를 위해서는 앞으로 이보다 훨씬 많은 사방댐의 신설이 시대적으로 요구되리라 사려된다.

사방댐의 소재로 과거에는 석재, 흙, 콘크리트를 주로 사용하여 왔으나 최근에는 입지조건에 따라 철강재, 블록(Block), 목재들이 이용되고 있다. 이들 사방댐 소재중 흙과 목재를 제외한 석재, 콘크리트, 철강재 등의 구조물은 재해 방지를 위한 안정성은 인정되나 주위 환경과의 조화가 잘 이루어지지 못하고 있기 때문에 이들 구조물에 대한 녹화기법과 같은 경관향상기법 개발이 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 1999년에 강원도 철원군 김화읍 청량4리에 설치한 직립형 철강재 사방댐 시공지에서 주위환경과 어울리지 않는 철골구조물을 주변 식생환경과 조화시킬수 있는 방법을 구명하기 위하여 2001년 9월부터 실시한 수목, 풀, 덩굴류등 식물의 식재를 통한 사방댐구조물 녹화기법 개발 연구를 실시하였다.

제 2 절 재 료 및 방 법

1. 철강재 사방댐의 녹화 적응가능식생 및 녹화공법 조사

적용가능식생은 기존 연구자료(한국종합조경공사, 1978; 한국도로공사, 1991, 1997; 농사원시험국, 1961; 윤국병등, 1988; 산림청, 1987; 산림청, 1998; 이창복, 1979) 와 현지조사에 의하여 검토하였으며 적정 녹화공법은 국내외의 기존연구 자료(堀江保夫, 1981; 増田拓朗, 1998; 건국대학교 농업자원개발연구소, 1995; 박재현외, 2000; 한국도로공사, 1994,1995; 우보명, 1983; 산림청, 1998)와 현지 경험을 참작하여 선정하였다.

2. 철강재 사방댐의 녹화시험

가. 시험지

1) 시험지 위치

시험지는 강원도 철원군 김화읍 청양 4리 삼막골에 위치한 직립형 철강재사방댐이다. 이 댐은 1999년 11월 20일에 착공하여 12월 24일 (35일만)에 준공한 것으로 이 지역위치와 댐체 규모는 다음과 같다(장상기, 2001).

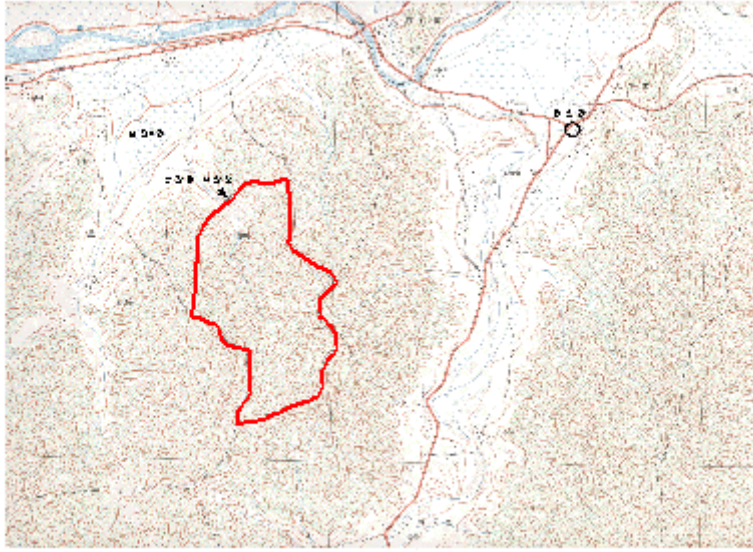


그림 3.2.1 시험지 위치 및 집수유역



그림 3.2.2 시험지 전경

표 3.2.1 댐체규모

댐체(m)				방수로(m)		
상장	하장	유효고	전고	상장	하장	깊이
48	34	1.3	8	21	18	1.5

*댐체부 중량: 1,467 ton(철강재 70 ,조약돌 1,397)

사업비 :162,563,000원 (인건비 24%, 자재비 61%, 기계장비 8% ,기타 7%)

2) 시험지 집수구역의 입지개황

가) 지 형

시험지의 지형은 비교적 규모가 작은 산악지로서 대체적으로 하강사면형을 이루며 경사도 15°~30°로서 철강재 사방댐 시공지 집수구역 면적은 232ha에 이른다.

나) 지질 및 모암

이지역에 분포하고 있는 지질은 백악기의 화강암류로서 모암은 대보화강암이 분포하고 있다.

화성암 주요 조암광물의 화학적 조성은 석영, 장석, 운모, 휘석, 등이 대부분이며 풍화순서는 휘석 < 운모 < 장석 < 석영 순서로 풍화가 진행된다. 화강암은 조립질로서 풍화가 어려운 석영질이 많이 함유하고 있기 때문에 사질양토가 많으며 배수가 빠르고 침식이 우려되는 토양을 생성하기 쉽다. 화강암류가 풍화되어 형성된 토양은 대체적으로 Fe, 염기함량이 부족하여 식물생육이 저조하다.

다) 토양 및 식생

토양의 생성발달에 영향을 끼치는 환경인자들은 그지역에 자생하는 식물군락의 형태에도 영향을 끼친다. 주어진 입지환경 조건하에서 생성된 토양의 성질은 식물의 천이, 성장에 큰 영향을 미치며 주요인자는 토성, 토양습도, 온도, 강수량, 토심, 토양의 양료함량 등이다.

암석과 이를 모재로 한 토양은 그지역에 형성된 산림군락과 밀접한 관계를 형성하고 있다. 본 조사지역은 화강암류의 대보화강암으로 토성은 대부분 사질양토를 형성하고 있으므로 3상(3相)중 수분과 양분의 보유량은 낮으나 공기의 함유량이 많아 통기성은 양호하다. 그러나 과거에 인위적인 피해(도·남벌)와 전란으로 인한 산림 피해 때문에 토양침식으로

안정적인 토양형성을 이룬 시기가 짧아 토심이 비교적 얇으며 강우시 토사유출이 심하여 철강재택을 시공한 지역이다. 토양은 A층이 0~10cm로 토색은 7.5YR 4/6의 갈색이며 토성은 사질양토로 건조하고 토양의 응집력이 적다. 심토층은 10~50cm 정도로 토색은 7.5YR 5/6의 황갈색이며 토성은 사질양토 및 사토로서 결합력이 약하고 건조하여 침식을 받기 쉬운 토양이다. 상층식생은 활엽수 및 중부지방소나무가 자생하고 있다.

하층식생의 관목류는 조팝나무, 싸리, 개암나무, 고추나무, 노린재나무, 국수나무, 음나무, 붉나무, 다래나무, 옷나무, 노간주나무, 산초, 매발톱, 병꽃나무, 아그배나무, 진달래, 인동, 칩, 쪽동백등이 자생한다. 초본류는 산겨울, 김의털, 기름새, 억새, 양고초, 실새, 뚜껑, 마타리, 호랑이발톱, 참취, 미역취, 차풀, 고사리, 까치수영, 맑은대쭉, 제비쭉, 도둑놈의지팡이, 구절초 등이 분포하고 있다.

사방댐 주위 초본류는 달맞이꽃, 기름새, 억새, 산겨울, 김의털, 맑은대쭉, 차풀, 명아주, 달뿌리풀, 개여뀌, 환삼덩굴, 인장쭉, 엉겅퀴, 개똥쭉, 더위지기, 돼지풀, 참쭉, 돌피, 망초, 솔새 등이 분포하고 있다.

관목류는 깃버들, 조팝나무, 국수나무, 용가시나무, 칩, 다래, 인동덩굴, 사위질빵 등이 자생하고 있다.



그림 3.2.3 중부지방소나무 임상 수고:11.2m 수령:20년생



토심 : A층 : 0 ~ 10cm
 B층 : 10 ~ 50cm

토색 : A층 : 7.5YR 4/6
 B층 : 7.5YR 5/6

토성 : A층 : SL(사양토)
 B층 : SL(사양토)

건습도 : 건조

경사 : 20~25°의 급경사로
 소나무 및 활엽수가 자생

방위 : 남동방향

그림 3.2.4 갈색 건조산림토양 (B₁ 형)



그림 3.2.5 낙엽송조림지 수고 : 12.5m 수령 : 18년생



토심 : A층 : 0 ~ 18cm
 B층 : 18 ~ 53cm

토색 : A층 : 10YR 2/2
 B층 : 10YR 4/6

토성 : A층 : SL(사양토)
 B층 : SL(사양토)

건밀도 : A층 : 0.5
 B층 : 0.75~1.0

건습도 : 약건

경사 : 15~20°의 완경사지로 활엽수와 경계한 낙엽송 조림지

방위 : 북서 방향

그림 3.2.6 갈색의 약건한 산림토양(B₂)



그림 3.2.7 활엽수(신갈 수고 : 11.2m 수령 : 20년생)



그림3.2.8 갈색의 약건~적윤한 산림토양(B₃ 형)

토심 : A층 : 0 ~ 21cm B층 : 21 ~ 63cm
토색 : A층 : 10YR 2/2 B층 : 10YR 4/4~4/6
토성 : A층 : SiL(미사질사양토) B층 : SL(사양토)
건밀도 : A층 : 0.5 B층 : 0.75~1.0
건습도 : 약건~적윤
경사 : 15~30°의 급경사지로대부분 활엽수지역
방위 : 남서 방향



그림 3.2.9 댐체 주변 자생초종

댐체주변에 쭉, 망초, 달맞이꽃 등이 군락으로 분포되고 있다.

그림상은 개똥쭉

그림중은 쭉, 돼지풀

그림하는 달맞이꽃 망초



썩과 달뿌리풀

버들과 달뿌리풀



개여뀌



조팝나무

용가시나무

그림 3.2.10 댐하부 개천변에 자생하고 있는 식생

나. 시험구배치 및 방법

1) 댐체사면 녹화시험

가) 그린톱(Green top)공법

(1) 이방법은 현재 댐체사면이 자갈로 채워져 있기 때문에 댐체사면 전면에 약 22cm 두께로 토양을 채우고 녹화하기 위한 공법으로 댐체전면에 가로 2.0m, 세로1.6m, 폭0.25m의 크기의 틀을 앵글로 짚후 채워진 토양이 중력에 의하여 하단부로 집중되어, 상단부에 생기는 공동(空洞)현상을 최소화 하기 위하여 높이 10cm 간격마다 폭 10cm의 판자를 틀 전단 3cm부위에 가로로 설치하여 식재상을 제작하였다.(그림3.2.11 참조)

(2) 틀의 좌우,하부,뒷면은 판자로 막고 각 판자 벽면을 반투과성 부직포 (GF40)로 막아서 실제사방법의 자갈틈 사이로 공기의 유통과 장마시 물의 흐름으로 인한 피해를 최소화 하였다.

(3) 식재상틀에 토양(표3의 시료 No.2의 토양)을 채우고 종자가 부착되어있는 코코넛매트(Coconut mat)와 5mm×5mm 크기의 격자형 철사망을 식재상 최전면에 부착시킨후 고정시켰다. 과종종자는 비수리, 벌노랑이, 향유, 도라지, 억새, 사방오리나무, 잔디류 [블루그라스류(Poa pratensis Newport, Poa pratensis Aware, Poa pratensis Bluemcon), 라이그라스류(Lolium perenne Aggcont, Lolium perenne Caddicshagk), 웨스크류(Festuca arundiancea Kv31, Festuca arundiancea Fawn, Festuca arundiancea Pixie)]8종 등 14종이다. 종자의 함량배합비는 블루그라스류가 30%, 라이그라스류가 20%, 웨스크류가 45%이며 그 밖의 종자는 5%로 하였으며 식재상 틀의 벽면기울기는 1:0.3 으로 설치하였다. 2003년에는 2002년에 설치한 시험구에서 종자Sheet(Coconut mat)를 사면 최전면에 설치하였기 때문에 종자와 토양이 잘 밀착되지 아니하여 이를 보완하기위하여 종자Sheet를 토양사면표면으로부터 2cm깊이에 위치토록 하여 2002년도와 동일한 규모로 동일한 식생을 사용하여 시험처리 하였다.



그림 3.2.11 그린톱 댐체사면녹화시험 녹화상 틀



그림 3.2.12 그린톱댐체사면 녹화시험 실시후 전경

나) 그린마대공법 (I)

이공법은 가로60cm,세로40cm 의 주머니 론생백(Lonseng bag)으로 주머니에는 종자가 부착된 종이가 붙어 있어서 흙을 채운후 쌓아올리면 종자가 자연발아되어 녹화된다. 철강재 사방댐 전면에 폭30-40cm의 공간을 확보하여 녹화하기 위한 시험이다. 쌓는 방법은 기울기 1:0.3으로 폭 2m,높이 2m로 쌓았다. [그림 3.2.13 오른쪽(녹색부분)] 과종종자는 싸리, 새 비수리, 양잔디류(Italian rygrass, Tall fescue) 등 4종류가 들어있다. 이들 종자의 함량 배합비는 재래종자인 싸리, 새, 비수리가 20~30%, 양잔디류는 70~80%이었다.



그림 3.2.13 그린마대공법 (I)(II)시공지 전경 (댐체사면전면)

다) 그린마대공법 (II)

이 공법은 그린마대공법 (I)와 동일한 목적으로 동일한 론생백 (단 종자가 부착되어있지 않음)을 사용하여 동일한 규모로 시험을 실시하였다. 과종 종자대용으로 부근 산야에서 흔히 자라는 쑥과 산거울의 분근을 채취하여 마대1개당 2개체를 중앙에 식재한후 그린마대공법 (I)과 동일한 방법으로 시험구를 설치하였다.[그림 3.2.13의 왼쪽 부분(갈색부분)]

라) 그린마대공법(III)

이공법은 그린마대공법 (I)(II)와 동일한 목적으로 시험하였다. 시험구 설치방법은 그린

마대공법(Ⅱ)와 같이 종자가 없는 마대에 흙을 채우고 쌓아올린후 마대 1개당 3개의 석혈을 뚫고 종자를 파종하였다. 파종 종자로 싸리, 들잔디(Korean lawngrass), 양잔디(Perennial ryegrass, Tall fescue), 켄터기블루그라스(Kentucky bluegrass), 오차드그라스(Orchard grss), 펜크로스 (Penncross)등으로 들잔디를 제외한 양잔디류는 도입종자이다. 파종방법은 점파식으로 10cm간격으로 혈(구덩이)당 5-6립(粒) 정도씩 파종하였다. 규모와 설치방법은 그린마대공법(Ⅱ)와 같다.



그림 3.2.14 그린마대공법(Ⅲ) 시험구 파종후 전경(2002년 5월 17일)

파종종자에 대한 실내발아시험(2002년4월9일-23일)결과 는 다음과 같다.

표 3.2.2 종별 발아율

종	참싸리	들잔디	양잔디	켄터키 블루그라스	오차드 그라스	펜크로스
발아율 (%)	33.0	3.8	12.1	39.7	73	81.0

들잔디 및 양잔디의 발아율이 매우 저조하다.

2003년에는 발아상태가 불량한 ①번 들잔디 과중구와 ⑤번 참싸리 시험구에 역시 우리나라 재래종인 족제비싸리와 비수리는 ①번 시험구의 상단부와 하단부에 참싸리와 낭이초는 ⑤번 시험구 상단부와 하단부에 각각 과중하였다(그림 3.2.14 참조)

마) 댐둑마루 녹화시험

댐둑마루 녹화시험은 댐둑은 물론이고 댐체사면을 녹화하기 위하여 실시하였다.

댐둑마루 댐체내부에 폭1m, 깊이60cm의 식재상을 조성할 계획으로 기존 댐둑마루상에 그린마대(론생백)를 이용하여 폭1m, 높이60cm, 길이 8m의 식재상을 댐 양쪽 둑 마루에 조성하였다(그림 3.2.15).

철강재 사방댐 오른쪽(그림 3.2.13의 상단부) 댐둑마루는 종자가 부착된 론생백을 이용하여 식재상을 조성하였으며 댐 왼쪽 (그림 3.2.15의 왼쪽 상단부) 댐둑마루는 종자가 부착되지 않는 론생백을 사용하였다. 종자가 부착되지 않는 론생백은 그린마대공법 (Ⅱ)에서와 같은 방법으로 썩과 산거울의 분근을 채취 식재하였다. 객토로 사용된 토양(시료No.1)은 시험지 주변 발열 구릉지 표토를 포크레인으로 채취한 것으로서 토성은 양토(L)로서 토양의 이화학적 성질은 다음 표 3.2.3과 같다

표 3.2.3 객토로 사용한 토양의 이화학성

시료 NO.	입도분석				산도 H ₂ O 1:5	유기물	전 질소	유효인 산 (mg/kg)	양이온 치환용 량(mol/kg)	치환성				석력함 량
	모래 (%)	미사 (%)	점토 (%)	토성						K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
1	49.32	42.01	8.67	L	5.99	2.11	2.049	140.44	10.56	0.88	0.20	5.18	1.00	20.88
2	61.46	27.62	10.92	SL	5.72	2.54	0.052	6.91	10.56	0.24	0.09	1.63	0.14	25.42
우리나라 화장암 산림토양의 평균치	-	-	-	SL	5.30	3.67	-	22.00	7.69	0.15	0.18	1.49	0.94	-



그림 3.2.15 댐둑마루 녹화시험지 전경

댐체사면을 피복하기 위한 식재수종으로는 칩 ,인동,담쟁이덩굴, 사위질빵 ,환삼덩굴등 덩굴류와 댐둑마루 녹화용으로 국수나무 ,조팝나무 ,개나리 달맞이꽃 망초,쑥등을 식재하였다.

바) 댐둑마루 하단부 녹화시험

댐둑마루 하단부 녹화시험은 댐체사면을 차폐하거나 덩굴류를 상부로 올려 피복녹화 시키기 위하여 댐체 하단부에 식재상을 조성한 후 차폐수중으로는 노간주나무, 조팝나무등을 식재하였으며 벽면피복을 위한 덩굴류로는 담쟁이덩굴, 칩, 인동, 등나무, 사위질빵 등을 식재하였다.

사)벽면걸이 (화분)녹화시험

본 시험은 댐체사면 철강재 틀 설계시 화분이 들어 갈 수 있도록 설계하여 화분을 설치 녹화하거나 댐체사면에 걸어놓아서 녹화효과를 추구하려는 시험이다. 댐체내 또는 댐체에 화분이 걸려있기 때문에 다른시험과 비교할 때 수분부족현상이 심하리라 예상되어 보습재 (테라코텀 또는 토양개량제)시험을 병행하여 실시하였다.

식재상 제작은 앵글을 이용하여 화분폭 40cm, 화분높이 35cm, 길이 100cm크기로 하였으며 화분과 화분사이 (수직높이)가 25cm되게끔 하여 화분이 2개 설치될 수 있도록 높이 1.2m,폭 0.4m,길이, 1.0m크기로 제작하였다 (그림 3.2.16 참조).

식재상 조성에 사용된 토양은 표 3의 시료 No.2와 같으며 보습재는 테라코텀 (Terra cottem)으로 화분1개당 (토양0.14m³당) 4kg을 화분바닥에서 10cm높이에 얇게 깔아주었다.

녹화 수종은 댐체벽면을 피복할 수 있는 덩굴류로서 칩, 인동덩굴, 사위질방을 식재하였다. 시험구 배치는 남동향과 북서향으로 나누어 대조구와 보습재 처리구등 2처리 2반복으로 8개의 화분시험구를 조성하였으며 2003년도에는 남서방향과 북동방향으로 나누어 대조구와 토양개량제 처리구등 4개의 화분 시험구를 추가 조성하였다.

식재수종은 칩, 인동덩굴이며 보습재로는 토양개량제(Bio-Gro soil I)로 화분1개 당(토양 0.14m³당) 5kg을 객토와 골고루 섞어서 식재하였다. 사용된 객토토양은 No2와 동일하다.



그림 3.2.16 벽면걸이 녹화시험 시험구 전경(보습재 시험구)

2) 기슭막이 벽면녹화

기슭막이는 사방댐 양쪽에 설치되는 “제방둑의 지지벽”으로서 본 시험지의 기슭막이는 자갈과 철강재를 이용한 수직벽으로 이루어져 있어 식생침입이 매우 어렵다.

이 시험은 기슭막이 지역을 녹화하기 위하여 홍수시 급류에 견디어 내고 토양이 유실되지 않는 녹화 방법을 규명하고자 녹화상 조성 재료로 Geo-web를 선정하였으며 식재수종으로는 건조에도 강하고 습지에서도 잘 견디는 갯버들, 조팝나무, 국수나무와 초본류로서 달뿌리풀, 쑥을 식재하였다. 특히 홍수시 침수가 우려되는 계상높이 50~70cm 부근에는 갯버들과 조팝나무, 국수나무를 쑥과함께 심어 쑥뿌리에 의하여 식재상의 토양이 유실되지 않도록 조치 하였다. Geo-web 식재상은 폭 1m, 길이 4m, 높이 1m로 그림 3.2.17과 같이 조성하였다.



그림 3.2.17 기슭막이 벽면 녹화시험지전경

3) 기슭막이 상단부 녹화시험

이 시험은 기슭막이 상단부의 녹화는 물론이고 기슭막이 하단부로 식생을 늘어뜨려 피복효과를 보기위하여 실시 하였다. 기슭막이 상단부(기슭막이 전면에서 약 70~120cm부근)에 식재상을 조성하여 조팝나무, 칩, 국수나무 및 개나리를 식재하였으며 초본류로는 환삼덩굴을 식재하였다.



그림 3.2.18 댐둑마루 하단부 차폐수종 식재구 전경



그림 3.2.19 기슭막이 상단부 녹화 시험지전경

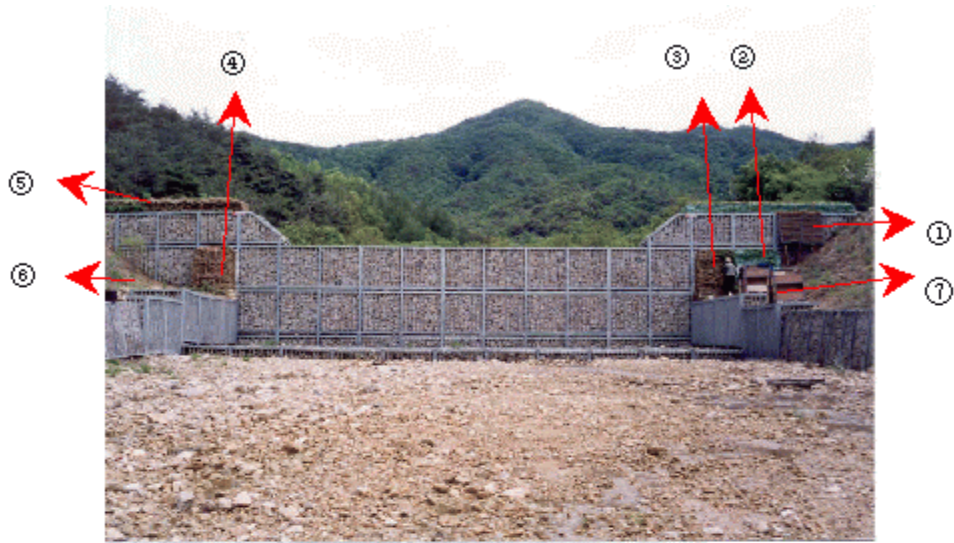


그림 3.2.20 시험구 배치도(2002년 3~4월 설치)

- | | |
|------------------|------------------|
| ①: 그린톱 공법시험 | ②: 그린마대공법(I) |
| ③: 그린마대공법(II) | ④: 그린마대공법(III) |
| ⑤: 댐둑마루 녹화시험 | ⑥: 댐둑마루 하단부 녹화시험 |
| ⑦: 벽면걸이 녹화(화분)시험 | ⑧: 기슭막이 벽면 녹화시험 |

⑨: 기슭막이 상단부 녹화시험

다. 조사내용 및 방법

1) 성장상황조사

과종식생에 대한 발아상태는 피도(%)에 의하여 조사하였으며 식재수종에 대하여는 활착률(%)을 조사하였다.

성장량(간장성장량)은 초본류는 평균간장(최저성장치, 최고성장치)을 cm단위로 조사하였으며 목본류는 신초성장량을 cm단위로 조사하였다.

2) 식재상의 토양습도 및 토양온도조사

각 공법시험구(植栽床)의 수분부족현상을 규명하기 위하여 TDR Soil moisture meters에 의하여 Centibar(Cb)단위로 토양습도를 측정하였다.

토양온도는 지표 및 지중(5cm깊이) 온도로 구분하여 곡간지중온도계로 측정하였다.

토양 습도(Cb)	수 분 상 태
0 ~ 10	완전침수 토양
10 ~ 20	적윤토양(모래땅 제외)
30 ~ 60	관수요망토양(점토질토양 제외)
60 ~ 100	점토질토양에서도 관수요망
100 ~ 200	과건상태로 위험수준

3) 경제성 분석

각 공법별 식재상 조성에 소요되는 재료비, 설치비를 조사하였다.

라. 시험지 관리

1) 시험처리 초기의 식생관리

가) 식재 및 파종 처리한 시험대상 식생의 유지관리를 위하여 매토종자 및 외부로부터 침입되고 있는 잡풀의 피해가 우려된다고 판단될시 잡초를 제거하여 주었다.

나) 식재목이 고사될 경우 보식을 하였다.

다) 기슭막이 벽면녹화 시험구에서 식재상의 토양유실과 식재한 식류의 피압현상을 방지하기 위하여 시공1년차 무성하게 자란 식재목을 전정하여 주었다.

2) 식생안정을 위한 유지관리

가) 수분부족현상이 나타나는 그린톱공법시험구와 벽면걸이 녹화시험구에 1~2회 관수하였다.

나) 담쟁이덩굴, 등나무 등 벽면올림수종의 등반을 도와주는 등반보조재(登攀補助材)로 그물망(網)을 담체벽면에 설치하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 철강재 사방댐의 녹화 적용가능 식생 및 녹화공법

콘크리트댐이나 철강재 틀댐과 같은 야계사방 구조물은 산지재해 방지에 안정성이 높다는 장점을 가지고 있으나 주위 환경에 이질감을 줄 뿐 아니라 시각적(경관적)으로도 아름다움을 주지 못하는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 인공구조물에 식생을 이용하여 경관미를 향상시키는 기술은 단순히 식생을 구조물에 이식 또는 부착시키는 경관문제라는 개념(조희두, 1999) 이외에 생태복원(Ecological restoration)이라는 환경문제 개념으로 접근하여 환경을 보전하는 것이 타당하리라 여겨진다. 왜냐하면 이들 구조물은 댐(Dam)체 뿐만이 아니라 댐체를 지지하고 있는 측벽과 기슭막이 등은 계류수변의 한 부분을 이루고 있기 때문에 생물의 소생활권인 바이오토프(Biotope)의 개념이 성립되기 때문이다.

특히 철강재 사방댐은 강재틀내에 식생기반을 조성할수 있는 공간을 형성할수 있기 때문에 양쪽 댐마루와 댐 어깨부분은 산지사면과 연결되는 Biotope의 선적(線的)인 유형으로 취급할 수 있다(五十嵐鐵朗, 2002). 친환경적인 생태복원의 녹화기술의 중요한 특징은 ①식물생태학의 관점에서 선정된 입지환경에 알맞은 식생의 이용, ②식재에 알맞은 녹화공법(기반 조성 방법) 선정, ③가급적 다양하고 풍부한 종을 이용하는것과 ④종자 또는 콘테이너 묘를 이용하여 식생활착에 효과를 기대하는데 있다.

가. 입지환경에 따른 녹화가능 식생

1) 적용가능식생 분류

식생은 기후조건과 수분, 토양등 입지환경조건에 따라서 종을 달리하고 생육상태도 다르다. 우리나라 산림기후대 구분에 의하면 남해안의 일부지역과 제주도를 포함하는 난대지역을 제외한 대부분의 지역이 온대지대에 포함된다. 따라서 온대지방에서 분포하는 식생으로서 식재기반이 불량한 철강재 댐체녹화에 가능한 목본류(주로 관목류와 만경류)와 초본류를 대상으로 내한성(耐寒性), 음양성(陰陽性), 수분조건, 성장속도, 맹아력(萌芽力), 토지요구도(肥沃度)등으로 구분분류 할 필요가 있다.

가) 목본류

(1) 내한성

○ 내한성이 강한 수종

우리나라 중부 이북지방에서도 한해(寒害)로 인하여 생육에 지장을 받지않는 수종으로서

- 상록침엽관목 : 개비자나무, 눈 주목, 눈 향나무, 둥근측백, 옥향
- 상록활엽관목 : 사철나무, 회양목
- 낙엽활엽관목 : 개나리, 개취땅나무, 까치박달, 가막살나무, 꼬리조팝나무, 싸리, 낭아초, 말발도리, 병꽃나무, 조팝나무, 진달래, 족제비싸리, 수수꽃다리, 해당화, 붉나무, 화살나무, 회양목, 오갈피나무, 쥐똥나무
- 만경목 : 노박덩굴, 담쟁이덩굴, 덩굴장미, 등나무, 보리장나무, 인동, 오미자, 으름, 칩, 땃덩이덩굴, 다래, 머루, 으아리, 청미래덩굴
- 죽류 : 조릿대

○ 내한성이 보통인 수종

우리나라 중부지방에서 한해로 인하여 잎 또는 줄기 일부가 피해를 받는 수종

- 상록활엽관목 : 광나무, 팽팡나무, 목서, 사철나무
- 낙엽활엽관목 : 남천, 무화과, 삼지닥나무, 수국
- 만경목 : 능소화, 마삭줄(백화등), 송악, 모람(남쪽해안 및 섬지방에 자생), 다래
- 죽류 : 오죽, 이대, 왕대

(2) 음양성

○ 양수

음지에서는 생육이 잘 안되지만 양지에서는 생육이 잘 되는 수종으로서 상대조도 100%에서 잘 생육한다(김장수등, 1982).

- 상록침엽관목 : 눈 향나무, 둥근측백나무, 실화백
- 상록활엽관목 : 다정큼나무, 돈나무, 사스레피나무, 호랑가시나무
- 낙엽활엽관목 : 까치박달, 고평나무, 골담초, 낭아초, 무궁화, 싸리, 족제비싸리, 해당화, 히어리, 장미, 나무수국, 박대기나무, 산철쭉, 영산홍, 풍년화, 때죽나무
- 만경목 : 능소화, 등나무, 보리장나무
- 죽류 : 오죽, 왕대

○ 중용수

음지 양지에서도 보통으로 생육하는 수종으로 상대조도 20~100%에서 생장이 무난하다(김장수등. 1982).

- 상록활엽관목 : 광나무, 팽팽나무, 차나무, 팔손이, 회양목, 금목서, 사철나무, 줄사철나무
- 낙엽활엽관목 : 개나리, 조팝나무, 말발도리나무, 보리수나무, 병꽃나무, 꽃아까시나무, 수수꽃다리, 진달래, 탕자나무, 괴불나무, 노린재나무, 고추나무, 땃강나무, 딱총나무, 누리장나무, 명자나무, 산초나무, 단풍나무, 오갈피나무, 수국, 앵도나무, 쥐똥나무
- 만경목 : 노박덩굴, 덩굴장미, 인동, 담쟁이덩굴, 멀꿀, 땃땃이덩굴
- 죽류 : 이대

○ 음수

양지에서는 생육이 잘 안되지만 음지에서는 생육이 잘되는 수종으로 상대조도 5~70%에서 생장이 무난하다(김장수등. 1982).

- 상록침엽관목 : 개비자나무, 눈주목
- 상록활엽관목 : 만병초, 백량금, 사철나무, 서향, 식나무, 자금우
- 낙엽활엽관목 : 개쉬땅나무, 남천, 매발톱나무, 매자나무, 삼지닥나무, 생강나무, 붉나무, 철쭉나무, 화살나무
- 만경목 : 담쟁이덩굴, 마삭줄, 송악, 모람, 다래, 으름덩굴, 칩, 줄사철나무(내한성이 강하여 내륙지역에도 월동)
- 죽류 : 조릿대

(3) 수분요구도

○ 내건성수종

건조지에 잘건디는 수종

- 상록침엽관목 : 눈 향나무, 둥근측백
- 상록활엽관목 : 돈나무, 우묵사스레피, 사스레피나무, 회양목, 다정큼나무
- 낙엽활엽관목 : 고향나무, 낭아초, 누리장나무, 땃강나무, 말발도리나무, 병꽃나무, 싸리, 조팝나무, 화살나무, 붉나무
- 만경목 : 마삭줄, 모람, 인동덩굴, 칩

○ 내습성 수종

습지에서 생육에 지장을 거의 받지 않는 수종

- 낙엽활엽교목 : 수양버들, 버드나무, 오리나무, 가래나무, 물푸레나무, 느티나무
- 낙엽활엽관목 : 호랑버들, 키버들(고지버들), 갯버들, 오갈피나무
- 만경목 : 으아리(돌이 많고 습기많은 하천변), 다래

○ 건·습에 모두 강한 수종

수위 변동 구간(Waterlevel fluctation areas)에서와 같이 일정기간동안 습지에서도 생육이 가능하며 건조지에서도 생육이 가능한 수종으로 오리나무, 버들류(갯버들, 키버들, 호랑버들), 버드나무류, 용가시나무, 조팝나무

(4) 성장속도

○ 성장속도가 빠른 수종

- 상록활엽관목 : 광나무, 금테사철, 목서, 사철나무, 우묵사스레피, 치자나무
- 낙엽활엽관목 : 개나리, 개쉬땅나무, 낭아초, 무궁화, 삼지닥나무, 싸리, 족제비싸리, 쥐똥나무, 조팝나무, 골담초, 말발도리, 병꽃나무, 수수꽃다리, 작살나무, 해당화, 까치발달, 고팡나무, 남천, 누리장나무, 명자나무, 모란, 보리수나무, 산초나무, 수국, 앵도나무, 황매화
- 만경목 : 덩굴장미, 위령선(으아리와 유사종), 칩, 노박덩굴, 담쟁이덩굴, 으름, 인동
- 죽류 : 오죽, 이대, 왕대, 조릿대

(5) 맹아력

○ 맹아력이 강한 수종

- 상록침엽관목 : 눈 향나무, 눈 주목, 둥근측백, 옥향
- 상록활엽관목 : 광나무, 팡팡나무, 차나무, 피라칸사스, 사철나무, 우묵사스레피, 호랑가시나무, 회양목
- 낙엽활엽관목 : 개나리, 개쉬땅나무, 고팡나무, 골담초, 조팝나무, 꽃아까시나무, 병꽃나무, 삼지닥나무, 수수꽃다리, 싸리, 족제비싸리, 쥐똥나무, 탕자나무, 해당화, 낭아초, 나무수국, 남천, 노린재나무, 누리장나무, 딱총나무, 맹강나무, 말발도리, 모란, 무궁화, 매자나무, 명자나무, 보리수나무, 산철쭉, 산초나무, 수국, 앵도나무, 연산홍, 오갈피나무, 장미, 작살나무, 진달래, 화살나무, 황매화, 말채나무

- 만경목 : 능소화, 담쟁이덩굴, 덩굴장미, 등나무, 모란, 마삭줄, 송악, 오미자, 으름, 보리장나무, 인동, 칩, 멀꿀(경남, 전남, 충남지역, 음지, 양지 모두자람)

- 죽류 : 조릿대, 오죽, 왕대, 이대, 갈대

○ 맹아력이 보통인 수종

- 상록활엽관목 : 다정큼나무, 돈나무, 만병초, 사스레피나무, 서향, 식나무, 치자나무, 팔손이, 협죽도

- 낙엽활엽관목 : 가막살나무, 고추나무, 괴불나무, 까치막달, 말채나무, 박태기나무, 생강나무, 풍년화, 황철쭉, 히어리, 오갈피나무

- 만경목 : 노박덩굴

(6) 비옥도

○ 척악지에 잘 자라는 수종

- 상록활엽관목 : 사스레피나무, 산호수

- 낙엽활엽관목 : 고추나무, 고평나무, 골담초, 꽃아까시나무, 낭아초, 누리장나무, 말발도리, 보리수나무, 병꽃나무, 산초나무, 싸리나무, 생강나무, 족제비싸리, 붉나무

- 만경목 : 보리장나무, 인동덩굴

(7) 차폐(울타리)용으로 적당한 수종

○ 가장 좋은 수종 : 주목, 노간주나무, 측백나무, 편백, 족제비싸리, 탱자나무, 개쉬땅나무, 팡팡나무, 호랑가시나무, 회양목, 화살나무, 무궁화, 쥐똥나무, 사철나무, 붉가시나무

○ 좋은 수종 : 잣나무, 리기다소나무, 향나무, 연필향나무, 참싸리, 풀싸리, 때죽나무, 향나무, 갯대추, 개나리, 비자나무, 눈향나무, 노란해당화, 찔레꽃

(8) 비료목(肥料木)으로 쓰이는 수종

○ 교목류 : 아까시나무, 자귀나무, 오리나무, 소귀나무, 회화나무, 주엽나무, 다릅나무

○ 관목류 : 골담초, 땅비싸리, 박태기나무, 싸리, 족제비싸리, 삼지닥나무, 보리수나무, 소철, 꽃아까시나무

○ 만경목 : 등나무, 칩, 보리장나무

나) 초본류

(1) 내한성

○ 내한성이 강한 초종

새, 억새, 솔새, 개솔새, 기름새, 산거울, 김의털, 쭉류(이상 숙근류) 맥문동, 복수초, 비비추, 피나무, 잔디, 바위떡풀, 벤투그라스(Bent grass), 왕포아풀, 웨스큐(목장개미털)

(2) 음양성

○ 양성초종

억새, 새, 솔새, 김의털, 망초, 차풀, 매듭풀, 쭉류, 능수귀엽풀, 지팽이풀, 벤투그라스, 잔디, 달맞이꽃, 환삼덩굴

○ 음성초종

기름새, 까치수영, 맑은대쭉, 왕포아풀, 바위떡풀, 피나무, 맥문동

(3) 수분요구도

○ 내건성 초종

새, 솔새, 개솔새, 김의털, 차풀, 매듭풀, 쭉류, 씌바귀, 달맞이꽃, 꽃머누리밥풀, 잔디

○ 내습성 초종

미꾸리뉘시, 왕포아풀, 잔디, 창포, 옥잠화, 미나리아제비, 꿩의다리, 속새, 부들, 물억새

○ 건조에 강한 초종

여뀌, 달뿌리풀, 골풀, 갈대

(4) 성장속도

○ 성장속도가 빠른 초종

맥문동, 바위떡풀, 벤투그라스, 복수초, 비비추, 피나무, 잔디, 웨스큐

(5) 맹아력

○ 맹아력이 강한 초종

맥문동, 바위떡풀, 벤투그라스, 비비추, 왕포아풀, 피나무, 잔디, 웨스큐

(6) 비옥도

○ 척악지에 잘 자라는 초종

씀바귀, 망초, 맑은대쭉, 새, 억새, 개솔새, 솔새, 산거울, 김의털, 차풀, 잔디, 능수귀엽풀

2) 녹화식생 선정

철강재 사방댐 녹화용 식생은 사방댐의 설치 목적과 철강재 사방댐을 구성하고 있는 재료의 특수성에 따라 녹화용식생 선정조건을 보면 ①목본 또는 다년생 초종으로서 항구적인 녹화가 가능하고, ②생육이 왕성하여 面的 피복이 빨라야 하며, ③식물의 형태(자태)와 녹화상태가 미(美)적이어야하며 ④녹화식생의 유지관리가 용이하며 ⑤병충해에 강해야하고, ⑥중식이 용이하고 시장성이 있어야하며 ⑦입지여건에 따라 내한성, 내건성, 내습성(유로변 녹화용식생)과 녹화위치에 따라 양성, 음성, 중용성의 식생이 선정되어야한다(龜山章등, 1989). 이들 특성을 고려한 유망식생은 다음과 같이 조사되었다.

가) 벽면 녹화식생

벽면에 식재기반을 조성하고 식재 및 파종할 수 있는 식생으로 키가 작은 관목류 또는 초본류가 적당하다. 벽면의 위치에 따라 양성, 중용성, 음성식생이 구분되어야 한다.

○ 목본류 : 싸리, 낭아초, 병꽃나무, 조팝나무, 줄사철

○ 초본류 : 억새, 새, 솔새, 김의털, 잔디, 산거울, 비수리, 차풀, 매듭풀, 쭉, 달맞이꽃, 쭉부쟁이, 능수귀엽풀, 지팽이풀, 등과 도입종으로 Weeping lovegrass, 오차드그라스, 기타 양잔디류

나) 벽면 피복식생

벽면하단부 또는 벽면상단부에 식재기반을 조성하고 식재 파종하여 만경류(덩굴류)를 벽면으로 내리거나 올리어 벽면을 피복가능한 식생이다.

○ 목본류 : 노박덩굴, 담쟁이덩굴, 등나무, 덩굴장미, 인동, 으름, 칩, 다래, 개다래, 땃땃이덩굴, 으아리, 능소화, 용가시나무, 짚레나무, 줄사철나무

○ 초본류 : 나팔꽃, 환삼덩굴, 닭의장풀

다) 댐 주변 식재식생

댐체 상단부 또는 하단부에 식재상을 만들어 식재·파종하여 벽면을 차폐하거나 피복할 수 있는 식생으로 차폐수종은 교목 또는 관목성이며 벽면피복식생은 덩굴류가 적당하다.

○ 댐체하부(차폐 및 등반형 녹화식생)

- 목본 : 갯버들, 키버들, 호랑버들, 버드나무, 수양버들, 용가시나무, 짚레나무, 담쟁이덩굴, 사위질빵, 인동, 땃덩이덩굴, 노간주나무, 능소화, 무궁화, 조팝나무, 국수나무

- 초본 : 달뿌리풀, 여뀌, 골풀, 갈대

○ 댐체상부(경관 및 하수형 녹화식생)

- 목본 : 칩, 사위질빵, 인동, 땃덩이덩굴, 개나리, 싸리, 족제비싸리, 수양버들, 병꽃나무, 풀지나무, 짚레나무, 국수나무

- 초본 : 새, 억새, 솔새, 개솔새, 김의털, 산거울, 잔디, 비수리, 차풀, 달맞이꽃, 쑥, 쑥부쟁이, 능수귀염풀, 지평이풀, 환삼덩굴

나. 철강재 사방댐의 녹화가능 공법

1) 녹화공법 분류

사면녹화는 비탈의 토질조건과 입지환경조건에 부합하는 공종·공법이 채택되고 그 지역 토양조건에 적합한 녹화식물의 선택되어야 한다.

환경보전을 위한 일반적인 사면녹화공법으로는 크게 파종공과 식재공으로 구분할 수 있다 (우보명, 1998).

표 3.3.1 사면녹화공법의 분류

녹화공법	방 법	공 법
식재녹화공법	초식공법	줄떼, 평떼, 선Ep붙이기, 식생반심기, 식생대심기 식생자루심기, 식생구멍심기
	묘목식재공법	묘목식재, Pot묘식재, 분근묘식재, 소단상객토식재 차폐수벽공법
과종녹화공법	인력과종공법	점과, 조과, 산과공법
	기계과종공법	종자뿌어 붙이기(Seed spray), 종비토 뿌어 붙이기 (Seed spray-net멀칭)
	녹화자재이용공법	식생반, 식생자루, 식생대, 식생구멍, 벧짚거적덮기 종자부착네트피복, 종자부착매트피복
	항공과종공법	항공과종공법

과종공은 양잔디를 살포해서 사면표면의 침식방지를 도모하는 것이 주된 방법이었지만 도입초종의 쇠퇴현상과 주변식생과의 이질감등이 문제점으로 최근에는 쑥, 비수리, 싸리, 벌노랑이, 남아초 등과 같은 재래종을 사용하고 있다. 기계과종공법으로는 단순히 종자 뿌어 붙이기 이외에 식물의 생육기반을 조성하기 위하여 객토취부공, 종비토 뿌어 붙이기 등 후층취부공이 있으며 녹화자재로서 식생매트(Vegetation mat)등이 널리 이용되고 있다.

식재공은 사면부에 전면객토 하는 방법과 식재부분만 객토하는 부분객토 방법이 있다. 전면객토공에서는 사면에 객토를 고정시키기 위하여 횡공작물(가로막이)을 설치하는 경우도 있으며 부분객토공으로는 식재부분만을 객토하는 식혈공과 자루에 객토를 채워 설치하는 방법, 사면의 일부분에 판재등으로 객토를 고정하는 식재상(Vegetation box)공법 등이 있다. 객토를 이용하는 식재공법으로 현지 표토를 이용하는 경우에는 표토중에는 많은 매토종자군과 Seed bank가 포함되어 있어 주위 현존식생의 복원방법으로는 가장 효과적이다. 또한 벽면녹화와 같이 식재기반을 벽면하단부 또는 상단부에 조성하고 벽면을 녹화(피복)하는 공법으로 흡착등반형 녹화(吸着登攀型 綠化), 권만등반형 녹화(卷蔓登攀型 綠化), 하수형 녹화(下垂型 綠化), 등반하수병용형 녹화 등이 있다(龜山章등, 1989)

상기 공법들중 중요한 공법들은 다음과 같으며 공법별 특성(김남춘, 2002)은 표3.3.2,

3.3.3과 같다.

○ 코아네트(Coair net) 및 주트네트(Jute net)공법

코코넛 열매껍질에서 추출한 섬유질과 황마를 재료로 한 천연섬유로 뛰어난 보온·보습성으로 한발과 냉해로부터 식물의 발아 및 생장을 보호해 주며, 우천시 절·성토비탈면의 세굴, 유실, 침식을 막아 준다. 즉 배수처리가 되어 있고, 원지반의 붕괴우려가 없는 비탈면에 지반정리가 완료된 후 종비토 뽑어붙이기를 하여 그 위에 메쉬나 네트를 설치하는 것으로 시공이 간편하고 시공비가 저렴하며, 단기간에 많은 면적을 피복 할 수 있다. 또한 척박한 곳에서 네트나 메쉬 자체가 썩어서 섬유질 비료 역할을 하여 식물의 발아 및 생장을 원활히 해준다. 단점은 일반토사, 풍화암에는 녹화가 가능하나 경질암에는 녹화율이 떨어진다는 점이다.

○ 론생벗집공법

토사 비탈면의 절·성토면에 벗짚을 이용하여 여름철의 고온, 겨울철의 한랭, 장마철의 유토방지, 가뭄시의 보습효과, 식생의 발아 및 발육촉진 등을 기대하는 공법이다. 즉 단열효과에 의하여 고온과 한냉으로부터 종자의 보호와 발육을 도우며, 토양개량, 토양수분 유지, 호우시의 토사유출, 토양침식의 효과적 방지는 물론 2차 식생인 향토종의 침입을 용이하게 함으로 주변 자연과 조화롭게 할 수 있다.

○ 다기능 휠터

다기능 휠터는 97~98%의 공극율을 가진 부드러운 휠터 구조의 부직포를 주체로 만들어졌고, 작업이 지표면에 접촉만 시키면 되기 때문에 단순하며, 그 독특한 섬유조직은 비, 바람, 동결이나 한발 등의 모든 장애로부터 토양을 우수하게 보호하는 공법이다. 더욱이 각종 배양자재나 균근을 조합하여 설치하면, 초본류로부터 목본류까지 자연형의 안정된 식생을 유도할 수 있다.

○ 묘목식재 + Spray공법

복토지역, 토사 및 풍화가 심한 비탈면에 적용하며, 비탈면에 묘목을 우선 식재하고 주변에 기계분사 파종하는 방법이 시도되고 있다. 비탈면에 의도하는 목본류를 확실하게 성립시킬 수 있으며, 시공직후에 초본류와의 경쟁을 피할 수 있어 목본류를 성립시키기가 용이한 장점이 있다.

○ 천연섬유망 + Spray 공법

토사, 경질토사의 절·성토비탈면에 적용한다. 종자뿌어붙이기를 한 다음 비탈의 침식과 유출을 막기 위해 코코넛 및 황마깍질로 만든 천연섬유망을 설치하고 고정핀으로 고정시킨 후 다시 종자 뿌어 붙이기를 한다. 일반적으로 가장 널리 적용되고 있는 코아네트(Coir net) 및 쥬트네트(Jute net)의 특징은 보온, 보습성이 있어 식물종자의 발아 및 생육에 효과적이며, 자연 부식되어 토양오염이 안되고, 유연성 및 경량성으로 시공이 용이하고 경제적이다.

○ 종자부착 네트피복공법

종자부착 네트피복공법은 물에 금방 녹는 식생용지에 종자와 비료를 부착시키고 한면에 벚짚거적이나 비닐망으로 피복시킨 롤(roll) 형태의 피복재를 비탈에 고정시키고 고운 흙을 얇게 덮어주는 공법으로 토사, 복토지역, 경질토사의 절·성토면에 적용한다. 관련 국내 기술인 론생벚짚공법은 주로 토사면의 절·성토면에 적용되며, 벚짚의 사용으로 특유의 단열 효과와 보습성 개량, 침식방지, 토양 개량효과가 크다. 식생용지에 종자가 부착되어 있어 수송 도중에 종자, 비료의 탈락이 없으며, 비교적 고른 종자발아를 기대할 수 있다.

○ 녹화용 식생자루(Vegetation sacks)공법

종자, 비료, 흙 등을 혼합해서 자루에 채운 후 비탈에 판 수평구 속에 넣어 붙이는 것이 일반적이다. 일반적으로 자루는 주로 합성섬유 및 폴리에틸렌(Polyethylene)망(網)으로 공장에서 제조된 것이 주로 사용된다. 관련 국내 기술의 제품인 론생백(Lonseng bag)은 씨앗 부착토낭으로서 식생용지, 종자·비료, 네트로 구성된 식생자루의 형태이나 종자가 자루에 부착되어 있는 것이 식생자루와 구별된다.

○ 식생대(Vegetation belts)공법

식생대공법은 종자와 비료등을 부착한 띠 모양(模樣)의 포나 자루로 만든 식생대를 비탈면에 수평상으로 일정한 간격으로 깔고 얇게 흙을 덮어주는 공법이다. 띠의 재료로 사용되는 것은 주로 합성섬유 및 폴리에틸렌 망(網)으로 공장에서 제조된 것이 주로 사용된다.

네트, 특수 식생용지의 복합적 효과로 종자의 유실이 억제되는 특징이 있다. 경량이고 시공이 용이하므로 산지에서 기계화시공이 곤란한 풍화암질 토양에 발아가 우수한 초·목본용 종자로 조기 녹화하는데 효과적이다.

○ 종자부착 매트(Mat) 피복공법

종자부착 매트피복공법은 코아네트를 원료로 제작한 매트를 이용하여 비탈면의 침식과 토사유출을 방지하고 녹화하기 위한 공중으로서 기계화시공이 곤란하고 침식발생이 높게 예상되는 비탈 주변 및 폐탄광지·채석지의 비탈에 적용 가능하다. 녹화용매트의 입체적인 얽힘 구조가 지반의 흡과 성장한 식물의 뿌리를 확실하게 고정시켜 주어 빗물이나 바람 등에 의한 유실 방지는 물론 식물의 성장을 촉진시키며, 식물의 뿌리보호, 용이한 작업성, 내구성에서 특징적이다.

○ 개량 Seed Spray 공법

토사, 경질토사, 풍화암 등에 얇은 층의 식생기반재를 부착시켜 녹화하는 공법으로 기존의 일반 종자분사파종공법을 개량한 것이다. 침식방지 효과가 있는 특수 접착제와 종자, 비료, 유기재 등을 혼합한 식생기반을 골곡이 있는 비탈에 고르게 뿌어 붙인다. 국내 기술로서 PEC식생기반재에 종자 등을 혼합한 후에 뿌어 붙이는 CODRA, PEC1,2,3,4공법 등이 있다. 비교적 시공이 간편하고 철망 등의 보조재료가 없이도 급경사 절토면에 직접 부착이 가능하다.

○ R/S 녹생토공법

경암의 채광·채석지 잔벽에 시공하는 공법으로 전면적인 속성 녹화를 목표로 한다. 암반 경사도 및 면적에 따라 취부 두께와 소요 경비가 산출되므로 사전조사를 철저히 하여야 한다. 비탈면의 불필요한 부분을 정리한 후 공장에서 배합된 토양자재와 미생물 혼합자재를 비탈면에 운반하여 현지에서 종자와 혼합하고 사람이 직접 비탈에 매달려 고압분사기에 정착된 노즐로 분사하는 건식 식생기반재 뿌어붙이기를 한다. 시공 후에 균열에 많이 생겨 붕락 및 붕괴의 우려를 보완한 R/S녹생토공법이 주로 이용되고 있다.

○ 연속장 섬유공법(Texol)

경암의 급경사 잔벽에 적용한다. 프랑스 국립도로 및 교량연구소에서 개발된 것을 국내 실정에 적합하도록 응용한 기술이다. 모래를 압축공기로 타설하면서 동시에 폴리에스터 화학 섬유를 고압수로 뿌린 후 잘 다지면 모래와 실이 뒤엉켜 모래입자들이 흐트러지지 않는 점착강도를 발휘하면서 택솔구조물이 형성된다.

○ 프로피아 그린(Propia Green)공법

유기질 부숙비료와 선별토양의 혼합배양토에 Propia Green(녹화토양안정제)를 혼합하여 고화 수화물생성과 포조란 반응을 일으켜 대상지의 녹화와 토양의 안정, 단립화, 침식방지를 꾀하는 공법으로 급속 녹화용으로 이용된다. Propia Green을 녹화기반토양인 혼합배양토에 첨가하면 보수성, 특수성의 효과 증대로 초화류의 발아조건이 우수해지고, 취부용토는 탄력이 증대되고 밀착성이 좋아진다.

○ PEC(Poly-Eco-control)공법

유기재 인공토양을 뿔어붙이기하는 공법으로 바크(Bark)퇴비, Coconut섬유, 점토와 황토를 주 식생기반재로 이용한다. 식물 생육을 위한 식생기반재를 부착시키기 위하여 PVC코팅 능형망을 앵커핀으로 고정한 후 PEC 식생기반재를 50~100mm 두께로 뿔어 붙인다. 능형망을 설치하여 낙석방지효과를 도모하고 식생의 생육기반이 없는 암반지역의 녹화도 가능하다. 염기 치환용량이 높아 질소, 칼륨 등의 비료성분을 정기적으로 결합하여 토양구조를 개선시키며, 토양중 유해물질 또는 수소 이온의 농도가 편중되어 있는 경우 식물의 생리장해를 완화하는 능력을 가지고 있다.

시공대상지의 지질조건에 따라 4가지 공법이 있다.

○ 한국형 암반녹화공법

절개된 암벽비탈면에 균열부나 홈 등을 이용하여 식생을 도입하는 공법으로 균열이 없는 경우에는 직경10cm 내외의 구멍을 천공하거나 폭약을 이용 발파하여 생긴 요철부를 식생 생육기반으로 하며, 암반 식생천이 후기에 나타나는 자생 암반수종의 종자 또는 파종립을 직파조립하는 부분녹화공법이다.

○ 자연표토 복원공법

산림토양의 토양단면을 층별로 재현함으로써 훼손된 자연지역을 주변식생과 생태적, 경관적으로 조화되게 복구하는 공법이다. 약간의 굴곡이 있는 암반이나 풍화암, 경질토사, 산성토지 등 녹화가 곤란한 지역에 식물의 생육에 가장 적합한 고차원의 단립구조를 지닌 자연표토를 유기질과 점토를 포함한 식양토를 이용해 재생하는 친환경적인 기술이다. 유사공법으로 SF 녹화공법과 ASNA공법이 있다.

○ SF(Soil flock)공법

산림토양의 토층별 복원조성을 목적으로 유기질과 점토를 함유한 자연의 표토와 매우 가까운 식양토를 이용하여 식물의 생육에 최적인 고차단립(團粒)구조를 형성시켜 적절한 녹화기반을 조성하여 자연산림의 고차단립구조를 복원하는 SF녹화공법과 예부터 농업에서 멀칭재로 사용하는 볏짚을 일정한 길이로 잘라 뽑아 붙이기하여 미생물, 소동물 및 여러식물들의 생육환경인 표토층을 보양하면서 영양분이며 단립화재료인 유기질을 공급하는 자연산림의 부식토양을 복원하는 SF멀칭공법으로 구성된 복합공법으로 자연산림계의 식물생육기반층을 구성층별로 복원하는 공법이다. 90년대 일본에서 특수녹화사업으로 이용하여왔다(산림청. 1996).

○ ASNA공법(비탈면 배토습식공법)

인조토양(Artificial Soil)에 식물성 접착제를 첨가하여 부착력을 도모하고 기존 지반의 침식붕괴에 장기간 견뎌낼 수 있도록 철망(Net)과 앵커로 지반을 안정시킨다.

○ 2중직(二重織)Net에 특수비료 벨트를 부착시킨 녹화공법

사면에 2중직 네트(식생매트)에 특수비료 벨트(비료주머니)를 부착시켜 녹화하는 공법이다. 2중직 네트에는 종자, 비료, 보습재와 접착제가 부착되어 있으며 특수비료벨트에는 일반적인 지효성 화학비료와 특수화학처리를 한 초 지효성 화학비료, 토양개량제가 함유되어 있어 시공 3~4년간 비료의 효과가 지속된다.

특수비료벨트는 등고선 방향으로 작은 벽을 만들기 때문에 표토의 유실과 종자유실을 방지하여 식생기반의 안정을 도모한다(산림청. 1996).

○ 자연표층토에 의한 녹화공법

산림표토층에는 많은 埋土種子群과 Seed bank가 포함되어 있다. 이러한 산림표토를 살포한후 그위에 후층기재에 혼합시켜 취부하는 방법으로 일반 파종공에서는 종자의 채취, 저장에 많은 노력을 필요로 하지만 산림표토에 함유되어 있는 매토종자를 사용하면 유전자교란의 문제없이 식생회복이 가능하다.

표 3.3.2 토사 및 암노출 사면에 적용가능한 공법별 특성

구 분	줄매, 평매 공법	덩굴성 식물식재	Seed Spray	Seed Spray +네트 멀칭	종자부착 네트피복	종자부착 매트피복	식생대
녹화개념	전면피복	시각적 저해요소 차폐	조기녹화	조기녹화	조기녹화	조기녹화	조기녹화 지속적 양분공급
적용토질	토사	발파암	토사 안식각 이내의 토사	토사,리핑 (Ripping)암	토사,리핑암	토사, 리핑암	토 사, 리 피 암 · 풍화암
안정효과	강우시 토양이 침식 됨	줄기끼리 얽혀 네트 화됨	외래도입초 종의 조기녹 화로 침식 방지	네트의 멀칭 효과로 토사 유출, 토양 침식 방지	벚짚의 멀칭 효과로 토사 강우시 토사 유출 토양침 식 방지	2,3중 네트 와 식생으로 인한 지표면 안정 효과	네트, 식생 으로 인한 토양침식 방지효과
사용식물	페	취 등나무, 담쟁이덩굴, 능소화	들잔디, 양잔디, 혼합종자	들잔디, 양잔디, 혼합종자	들잔디, 양잔디 및 초화류와 참싸리 등	들잔디, 양잔디 및 초화류, 참싸리 등	들잔디, 양잔디 및 초화류, 참 싸리, 비수 리등
종자배합 및사용량		1m당 1주 식재	25g/m ² 이상	25g/m ² 이상	25g/m ² 이상	25g+비료 20g/m ²	25g/m ² 이상
시공두께 및 횟수	1회 시공	1회 시공	약 0.2mm정 도 두께. 1회 이상 Spray	2회 이상 Spray	1회 시공	그린톱 1호: 3.95mm 그린톱 2호: 11.51mm 1회 시공	1회 시공
국내적용 공법	줄매 심기 평매 심기 스펀지 잔디	덩굴식물 식재공	종자분사 파종공	Coir Net, Jute Net 벚짚거적	론생네트 벚짚네트 Coir net (mesh) Jute net (mesh)	Coconut mat	론생 리핑 네트 론생 Bag

표 3.3.3 암(경암, 연암, 리핑·풍화암) 노출사면에 적용가능한 공법별 특성

구 분	새집공법	개량 Seed Spray	건식식생기반재 뿔어붙이기		습식식생기반재 뿔어붙이기	암반사면 부분 녹화공법
			하수·정수슬러지 뿔어붙이기	유기재인공토 양뿔어붙이기		
녹화개념	암반부분의 굴곡에 작은 새집용벽을 만들어 객토후 식재	주변 식생의 이입을 통한 자연스러운 경관 연출	조기녹화를 위해 하수·정수슬러지를 이용한 인공토양 부	천연소재를 이용한 환경친화적 복원	생태복원을 위한 산림표토의 복원	목본에 의한 부분녹화
적용토질	절리, 균열 요철있는 경암	마사토, 비탈면, 토사, 절리, 균열, 요철있는 연암	경암	경암	요철이 있는 경암	요철이 있는 경암
안정효과	비탈면의 안정보다는 암반의 부분녹화개념이 강함	특수접착제 이용 강우에 의한 재료의 유실 및 슬라이딩 방지	토양안정제, 앵커 와이어로프 등을 이용, 침식 방지 및 토양유실 방지	특수 접착제를 이용해 강우에 의한 침식 방지	목본 등 수목의 뿌리에 의한 네트화로 장기적인 비탈면 안정도모	식재후 1년 이내의 효과는 미진하나 시간이 경과할수록 목본류 근계가 활착되어 경관회복
사용식물	나무와 초종 혼합	혼합종자 (양잔디+야생화)	외국초종(양잔디 위주 혼합초종) 및 콩과 식물	양잔디 및 향토종자	재래향토종(자생초본, 목본식물 위주)	강건재배된 특수묘
종자배합 및사용량		10종 이상, 66g/m ² 이상	녹생토 : 5cm(6.0kg), 7cm(6.4kg), 15cm(12kg)/100m ²	100g/m ²	산림형:5kg/m ² 관목형:2kg/m ²	1m ² 당 상록수 2주, 활엽수 2주 식재
시공두께 및 회수	1회 시공	0.5~2cm	Propia green:5cm 1회 녹생토:5cm~15cm	8cm 내외	1cm~7cm	1회
국내 적용 공법		CODRA, PEC1,2,3,4 자연표토복원공법(1-2cm)	녹생토공법, 텍솔공법 Propia green공법	PEC공법	자연표토복원공법, ASNA공법, SF녹화공법	한국형 암반부분녹화공법

철강재 사방댐은 댐체가 강재와 조약돌로 이루어져 있어 장마철에는 벽면을 통하여 물이

흐르며 공기도 유통되기 때문에 댐체를 녹화하기 위해서는 식재기반조성이 필요하다. 또한 댐체의 위치에 따라서 입지환경 차이가 크게 나타난다. 즉 댐둑마루는 건조하며 댐체 하단부는 장마철에는 일정기간동안 물에 잠기게 되며 식재기반이 유실될 수 있기 때문에 댐체의 위치에 따라 녹화적용 식생을 달리해야 한다. 철강재 사방댐의 녹화공법은 도시 콘크리트 구조물, 방음벽, 석축등 인공구조물의 벽면을 녹화하는 벽면녹화(또는 立面녹화)공법과 유사하나 철강재 사방댐은 강우시 유수(流水)와 접하기 때문에 식재상 기반조성방법을 달리해야 한다. 철강재 틀댐의 녹화 공법은 녹화부위, 녹화기반의 종류, 녹화식생 및 댐설계시 식재기반(식재상)의 설계 반영여부에 따라 다음과 같이 구분할 수 있다.

댐 설계시 식재기반의 설계 반영 여부란 현재 시험대상지인 철강재 댐은 직립형으로 식재기반이 전혀 조성되어 있지 않기 때문에 현재의 입장에서 식재기반을 조성 녹화하는 방법과 앞으로는 강재틀 댐 설계시 식재기반 조성 부위를 댐체내에 설정하여 기반 조성에 소요되는 부대자재를 절약할 뿐 아니라 경관미를 증진시키기는 경우의 녹화방법을 구분한 것이다.

가) 녹화부위(댐체부위)에 의한 구분

- (1) 댐체벽면녹화
- (2) 댐둑마루녹화
- (3) 댐둑마루 하단부녹화
- (4) 기슭막이(댐측면)벽면녹화

나) 녹화기반(식재기반)의 종류에 의한 구분

식재기반(식재상)을 조성할 경우 녹화 위치와 식재기반의 층류에 따라 분류한 것이다.

- (1) 녹화기반이 수평으로 식재기반이 토양인 경우(댐 둑마루녹화, 댐둑마루 하단부 녹화, 기슭막이 하단부 녹화)
- (2) 녹화기반이 수평으로 식재기반이 토양+자갈인 경우(댐둑마루 녹화)
- (3) 녹화기반이 거의 수직으로 식재기반이 토양+피복재+첨가물인경우(댐체벽면녹화)
- (4) 녹화기반이 거의 수직이고 식재기반이 토양인 경우(댐체벽면 녹화)

녹화기반이 수평이고 식재기반이 토양+자갈인 경우(나)는 댐 둑마루 상단부의 일정깊이를 자갈(조약돌)과 토양(현지사질토양)을 혼합하여 식재상을 조성하는 경우이며 녹화기반이 거의 수직으로 식재기반이 토양+피복재+첨가물의 경우(다)는 종비토 뽑어 붙이기 또는

각종 녹화자재인 식생대(Vegetation belts), 식생매트(Vegetation mat)를 이용한 녹화 공법이다.

녹화 기반이 거의 수직이고 식재기반이 토양인 경우 (라)는 식생자루(Vegetation bag)를 이용한 공법이다.

다) 녹화식생의 종류에 의한 구분

(1) 관목류에 의한 녹화(땀독마루녹화, 땀독마루 하단부녹화, 땀체벽면 녹화, 기슭막이 벽면 녹화)

(2) 초본류에 의한 녹화(땀독마루 녹화, 땀독마루 하단부 녹화, 땀체벽면 녹화, 기슭막이 벽면녹화)

(3) 만경류(덩굴류)에 의한 녹화(땀독마루녹화, 땀체벽면 녹화, 땀체 하단부 녹화)

라) 땀 설계시 식재기반(식재상)의 설계반영 여부에 따른 구분

(1) 설계에 반영 된 경우

○ 파종공법(일반파종, 중비토 뽑어 붙이기등 취부공, 녹화자재를 이용한 녹화)

○ 식재공법(일반식재, 용기묘식재)

(2) 현재의 직립형 강재틀땀(철강재 사방땀)에 녹화하는 경우

○ 파종공법

- 파종기반 r 그린매대(식생자루)

└ 벽면걸이 - r 중비토 뽑어 붙이기, 녹화자재(식생대, 식생 Mat)를 이용한 파종

└ 화분걸이 파종

○ 식재공법

- 식재기반 r 그린매대(식생자루)

└ 식재상

└ 벽면걸이

2) 녹화공법 선정

현재의 철강재 사방땀 벽면 녹화시험은 기 설치되어 있는 사방땀상에서 실시하였기 때문에 상기 철강재 사방땀의 녹화부위에 의한 구분[가]의 (1),(2),(3),(4)항과 녹화기반 설치부위의 철강재 구조물 설계의 반영 여부에 따른 구분[라]항 중 철강재 구조물 설계에 반영

하지 않고 녹화하는 방법(2)항의 구분 방법을 절충하여 다음과 같이 구분 녹화공법을 선정하였다.

가) 댐체사면 녹화

(1) 댐체사면에 녹화기반 조성

- 그린톱(Green top)공법
- 그린마대 공법 I(과중)
- 그린마대 공법 II(분근식재)
- 그린마대 공법 III(과중)

(2) 댐둑마루에 녹화기반 조성

- 댐둑마루 녹화공법(과중 및 식재)

(3) 댐둑마루 하단부에 녹화기반 조성

- 댐 둑마루 하단부 녹화공법(식재)

나) 댐체주변 녹화

(1) 기슭막이 하단부 및 상단부에 녹화기반 조성

- 기슭막이 벽면녹화공법(Geo-web를 이용한 녹화공법)
- 기슭막이 상단부 녹화공법(식재공법)

(2) 벽면걸이(화분)녹화공법

※ 화분녹화시험결과는 댐체구조물내에 화분이 내포되도록 설계에 반영하여 벽면녹화에 활용가능

2. 철강재 사방댐의 녹화시험

가. 시험지 강수량

강수량은 식생의 활착과 생장에 관계가 매우 깊다. 시험지(철원지역)의 월별 강수량과 강수일수는 다음 표3.3.4, 3.3.5와 같다.

표 3.3.4 년차별 월별 강수량(철원)

단위 : mm

년차	월												계	비고
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
2000	50.8	8.1	9.1	33.6	84.7	116.5	114.2	478.6	162.8	16.6	17.4	25.5	1,117.9	
2001	25.2	15.9	11.9	12.0	13.5	213.6	612.8	229.2	10.7	103.6	20.4	14.7	1,282.6	
2002	70.0	3.0	54.1	179.6	55.5	68.0	273.5	554.8	43.0	45.3	2.1	13.6	1,362.5	
2003	14.1	4.3	14.5	109.5	55.5	148.0	317.0	-	-	-	-	-	662.9	7월31일 까지의 누계임

표 3.3.5 년차별 월별 강수일수(철원)

년차	월												계	비고
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
2000	6	5	4	6	8	8	11	16	8	5	4	9	90	
2001	4	4	5	4	5	13	15	7	5	6	4	4	76	
2002	10	2	6	5	8	7	12	14	6	9	2	3	84	
2003	3	4	5	9	4	11	11	-	-	-	-	-	47	7월31일 까지의 누계임

표 3.3.4에 의하면 파종과 식재가 시작된 2002년 4월 이후의 강수량은 전년도에 비하여 4

월과 8월에는 비교적 강수량이 많았으며 6월에는 비가 적어 다소간의 가뭄이 있었고 7월에는 식생생장에 피해를 줄만큼 과소하거나 과다하지 않은 강우상태를 보여주고 있다. 8월에는 많은 비가 내렸으나 댐의 물받이 파손을 제외하면 강수로 인한 식물생장 피해는 없었다. 9월과 10월에는 전년에 비해 비가 적어 식생에 건조피해가 있었으며 2003년에 들어와서도 1월과 2월에는 전년도에 비해 강수량이 현저히 적어서 건조피해가 나타났다. 3월~7월까지는 전년 평균과 거의 유사한 강우량을 보이고 있다. 표 3.3.5에서의 강수일수를 비교해보면 2002년 11월부터 2003년 2월까지 적은 것으로 나타나 보이고 있다.



그림 3.3.1 물받이 파손상황

(방수로에서 물이 떨어지는 부분의 자갈들이 패여서 전면(앞쪽)으로 밀려 철망이 위로 소아 올라오고 있다.)

나. 시험처리별 성장상황

1) 댐체사면 녹화시험

가) 그린톱(Green top) 공법시험

이공법은 종자부착 Coconut mat를 이용하여 댐체벽면을 녹화하기 위한 공법이다. 경사형 강재틀댐에 이용할 목적으로 댐체벽면 기울기를 1:0.3(약75°)으로 하였기 때문에 사면을 유지하기 위하여 철사망을 이용하여 고정시켰다.

식재기반재로서의 토양(표 3.2.3의 시료No.2)은 주위 절개면의 표층토양으로 토성이 사질양토이다. 토양의 이·화학적 성질은 우리나라 화강암 산림토양의 평균치와 비교할 때 유기물 함량은 다소 떨어지나 유효인산은 높은편이며 치환성 염기총량은 유사함을 알수있다(이수욱, 1981). Coconut mat에 부착시킨 종자는 비수리, 벌노랑이, 향유, 도라지, 억새 등 재래종 초본류와 블루그라스류(3종), 라이그라스류(2종), 웨스큐류(3종)등 도입초종과 목본류로서 재래종인 오리나무 등 18종이다.

(1) 성장상황

○ 발아상태

2002년 5월 2일 파종한 이후 발아상태를 식별할 수 있는 종으로는 사방오리나무, 비수리, 억새, 향유, 벌노랑이와 도라지는 발아가 확인되지 못하고 있다. 주로 도입초종인 잔디류의 발아상태가 가장 양호한 편이며 사방오리나무, 비수리, 억새 등은 몇몇개체에 지나지 않는다. 발아상태가 비교적 불량한 이유는 파종상이 거의 수직상태로 토양과 종자부착 Coconut mat와의 접촉면이 충분히 밀착되지 못하고 강수의 내부침투가 어렵기 때문으로 판단된다.

2003년에 파종한 시험구에서도 사방오리나무, 비수리, 억새, 향유, 벌노랑이, 도라지등 재래종자의 발아는 전무한 상태이며 외래초종인 잔디류만 국부적으로 발아 생육되고 있었다. 전체적으로 그린톱공법시험구의 발아상태는 고루지 못하여 발아된 부분과 발아되지 않은 부분등이 명확히 구분되고 있다. 발아상태가 고루지 못할뿐 아니라 불량한 이유는 건조한 탓(수분부족 현상)도 있겠으나 식재면이 거의 수직에 가까운 75°의 급사면으로 부착종자의 유실이 많았기 때문인 것으로 추정된다. 피도는 2002년 에는 40% 2003년 시험구에서는 60%정도를 보이고 있다(그림 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4참조)

○ 성장량

목본류인 사방오리나무는 발아후(2002년 11~2003. 3사이) 고사되었으며 그 외 초종은 모두가 겨울에 지상부가 말라죽고 지하부만이 월동하는 숙근성(宿根性)이기 때문에 년차적으로 성장량이 증가되지는 않는다.

다만 첫년도에는 발아, 성장하기 때문에 성장량이 떨어지나 과종 2년차에는 뿌리로부터 싹이 돌아나기 때문에 과종 1년차에 비하여 생장이 빠르다. 도입초종의 경우 과종 1년차인 2002년 9월에는 초장이 평균 15cm(10~40cm)이었던 것이 2003년 7월에는 23cm(11~37cm)로 다소 크게 자랐으며 2003년도에 과종한 시험구에서는 평균 23cm(7~38cm)로 과종당시 종자 부착 Mat가 사면표토 2cm 깊이에 위치하게끔 설치(2002년도에는 종자부착 Mat가 사면표토와 접하게 설치하였음)하여서 발아조건이 좋았기 때문에 생장이 양호하게 나타난 것으로 판단되어진다.

(2) 침입종

식재상 조성시 객토한 주변 토양내 함유되어 있는 매토종자에 의하여 발아되고 있는 침입종으로는 2002년 시험구에서는 닭의장풀, 메꽃, 쑥과, 싸리이였으며 2003년 시험구에서는 명아주, 망초, 냉이, 바랭이, 메꽃, 비름등 주위 식생이었다. 개체수는 대부분 1~3개체이였으나 명아주만은 많은 개체가 자라고 있었다.



그림 3.3.2 2002년 과종 식생발아 및 성장상황 ,그린툭공법 시험구(원경(좌), 근경(우))



그림 3.3.3 2003년 파종 식생발아 및 성장상황

(3) 토양습도 및 토양온도 조사

그린톱공법은 식재상의 토양두께가 22cm에 지나지 않기 때문에 토양내 수분이 결핍되기 쉽다. 토양 수분 변동상황을 조사한 결과(표 3.3.6) 강우 3일까지는 대체적으로 20Cb이하로 적윤상태를 보이나 4일이후부터는 20~30Cb로 건조상태에 이르는 것을 알수있다. 토양의 지표와 지중온도는 계절차이가 크게 나타나서 7월과 8월에 높게 나타나며 지표와 지중온도차이는 평균 4.4℃(최저1℃,최고7℃)로 지중온도가 낮게 나타나고 있다. 지표온도가 예상외로 낮게 나타나 보이는 것은 (2003년 7. 15일 37℃가 최고치) 시험구의 방향이 북서향으로 일조시간이 비교적 짧기때문인 것으로 판단된다.

표 3.3.6 시험구별 토양수분 및 토양온도 변화

조사시간	그린툽			그린마대(Ⅰ)			그린마대(Ⅱ)			비 고
	토양 습도 (Cb)	토양온도(℃)		토양 습도 (Cb)	토양온도(℃)		토양 습도 (Cb)	토양온도(℃)		
		지표	지중		지표	지중		지표	지중	
2002년 7. 8(흐림) 11:30~12:00 14:00~16:00	4 4	28 30	23 23							태풍 라마순 통과 후 (강우44.5mm) 2일째
7.29(맑음) 11:30~12:00	21	30	27	28	30	26				태풍 풍센 통과후 6일째
8.14(흐림) 10:30~	10	27	22	17	23	20				강우(1mm) 3일후
8.28(흐림) 14:00~	3	25	24		25	24	5	25	24	강우(65mm) 1일후
2003년 3.10(맑음) 14:00~										각 측정지점 모두 토층이 결빙되어 측정불가
4. 9(흐림) 14:00	8	20	14	6	18	16				강우(4mm) 1일후
4.14(맑음) 11:30~	28	24	20	18	22	19				강우(4.0mm) 6일후
4.28(흐림) 13:30~	20	22	18	18	20	18				강우 3일후 (4.25일 20mm강우)
5.12(맑음) 15:00~	26	27	20	22	26	25				강우((45.5mm) 5일후
5.26(맑음) 13:30~	6	24	18	4	26	18				강우((3.0mm) 1일후
6.10(맑음) 14:00~	24	28	20	20	27	24				강우((3.5mm) 4일후
7.15(흐림) 16:00~	26	37	34	24	33	31	20	썩29 산32	26 30	강우((17.1mm) 6일후

조사시간	땀뚝마루			화분걸이(상)			화분걸이(하)			비 고
	토양 습도 (Cb)	토양온도(℃)		토양 습도 (Cb)	토양온도(℃)		토양 습도 (Cb)	토양온도(℃)		
		지표	지중		지표	지중		지표	지중	
2002년										태풍 라마순 통과
7. 8(흐림)										후
11:30~12:00	1	29	25				2	20	19	(강우44.5mm)
14:00~16:00	2	30	25							2일째
7.29(맑음)										태풍 풍센
11:30~12:00	30	30	27	28	30	26	19	27	24	통과후 6일째
8.14(흐림)										강우(1mm)
10:30~	17	26	23	11	23	21	6	21	19	3일후
8.28(흐림)										강우(65mm)
14:00~	1	21	23	2	30	26	4	21	24	1일후
2003년										각 측정지점 모두
3.10(맑음)										토층이
14:00~										결빙되어
										측정불가
4. 9(흐림)										강우(4mm)
14:00	4	22	18	8	22	17	16	20	17	1일후
4.14(맑음)										강우(4.0mm)
11:30~	16	23	20	20	30	23	32	20	18	6일후
4.28(흐림)										강우 3일후
13:30~	16	24	19	24	24	20	28	22	19	(4.25일 20mm 강우)
5.12(맑음)										강우((45.5mm)
15:00~	18	28	24	24	27	24	28	24	20	5일후
5.26(맑음)										강우((3.0mm)
13:30~	5	29	25	8	29	24	14	26	17	1일후
6.10(맑음)										강우((3.5mm)
14:00~	20	30	24	28	32	26	24	28	24	4일후
7.15(흐림)										강우((17.1mm) 6
16:00~	18	25	24	30	30	25	28	32	26	일후

나) 그린마대 공법(I)시험

이 공법은 종자부착 그린마대(Lonseng bag)을 이용하여 댐체벽면을 녹화하기 위한 공법이다. 이 시험에서 댐체 벽면 기울기를 1:0.3으로 하였으며 식재기반재로서의 토양(표 3.2.3의 시료 No.1)은 주변에서 채취한 토양으로서 양질토양(L)이었으며 이 토양역시 지표토양으로서 화강암 산림토양의 평균치에 비하여 유기물함량은 다소 떨어지나 유효인산 함량을 비롯한 치환성 카리, 칼슘등은 높게 나타나 보이고 있다. 론생백에 부착된 종자는 싸리, 새, 비수리, 양잔디등 4종이다.

(1) 생장상황

○ 발아상태

2002년에는 싸리와 비수리는 몇 개체만 발아되었고 일부 새와 대부분을 양잔디가 점유하고 있었으며 2003년의 발아상황은 2002년에 비해 다소 쇠퇴한 것으로 나타나보인다. 이 시험구 역시 종자 유실이 많았다. 2002년에는 거의 100% 피복되었으나 2003년 7월말 전체 약 80%의 피도를 보이고 있다(그림 3.3.4참조)

○ 생장량

2002년 8월 14일에 새15cm, 양잔디는 60cm의 생장량을 보였으며 2003년도 7월 14일에는 새는 23cm, 양잔디는 51cm로 발아 2년차부터 도입종인 양잔디의 생장이 다소 떨어지고 있다.

(2) 침입종

식재상 조성시 객토에 포함된 매토종자에 의하여 2002년도에는 쑥, 명아주, 닭의장풀, 까마중, 강아지풀, 돼지풀등이 자생되고 있었으며 2003년 7월말 현재 쑥, 망초, 씩바귀, 양지꽃, 달맞이꽃, 명아주등이 자생하고 있으나 그 개체수는 매우 적다.

(3) 토양습도 및 토양온도 조사

그린마대 공법 식재상의 토양두께는 30cm정도에 이르며 마대를 포개 쌓았기 때문에 그린 톱공법에 비해 수분상태는 다소 양호하리라 고려된다. 표 9에 의하면 강우후 5일이 경과한 후 토양습도가 20Cb를 초과하는 것으로 미루어 그린 톱공법에 비하여 수분상태가 양호함을 보여주고있다. 지표 및 지중온도는 그린톱공법에서의 그것과 대체적으로 유사한 것으로 나타나고 있다.

다) 그린마대 공법(Ⅱ) 시험

이 공법은 종자가 부착되지 않은 그린마대를 이용하여 댐체벽면을 녹화하기 위한 공법으로 식재기반 조성방법은 그린마대공법(Ⅰ)과 같으며 객토 또한 동일한 토양을 이용하였다. 단 식재초종으로는 산거울과 쑥의 분근을 사용하였다.

(1) 성장상황

○ 활착상태

식재한 분근의 활착율(식재분근수에 대한 활착분근수의 비율)은 쑥 98%, 산거울 95%로 2개초종 공히 높게 나타났다. 쑥은 2002년, 2003년 공히 100% 피복상태를 보이며 산거울은 2002년 8월 14일 피도 40%이었으나 2003년 7월 14일 현재 60%이상을 보이고 있다.

○ 성장량

2002년 8월 14일 쑥의 간장 성장량은 평균 90cm(60cm~100cm이상)로 크게 자랐으며 산거울은 평균 30cm정도의 성장을 보였다.

2003년 7월 14일 현재 쑥은 평균 102cm(70~123cm), 산거울은 51cm(48~56cm)의 성장상태를 보이고 있어 2초종은 식재후 점점 생육이 양호해지는 것으로 나타났다.

특히 산거울의 생장이 빠르며 분얼수도 증가되었다. (그림 3.3.4 참조)

(2) 침입종

이 공법 시험구 역시 매토종자에 의하여 많은 초종이 자생되고 있는데 2002년에는 쑥 시험구에서는 명아주가, 산거울 시험구에서는 명아주, 솔나물, 환삼덩굴, 여뀌, 쑥, 달맞이꽃, 돼지풀, 벌꽃, 메꽃, 바랭이, 소리쟁이, 팽이밥등이 자생되고 있었다. 2003년 7월 14일 현재 쑥 시험구에서는 쓸바귀, 양지꽃, 망초등이 산거울 시험구에서는 닭의장풀, 달맞이꽃, 명아주등이 자생하고 있다. 산거울 시험구에 비해 쑥시험구에서 침입종의 수가 적은 것은 쑥의 왕성한 생장에 피압되기 때문인 것으로 관찰되며 산거울 시험구에서도 산거울의 생장이 왕성해 짐에 따라 침입종의 수가 줄어드는 것으로 고려된다.

(3) 토양습도 및 토양온도 조사

본 시험구의 토양습도나 토양온도 변화상태는 그린마대 공법(Ⅰ)시험지와 차이가 없을 것으로 판단된다(표 3.3.6 참조)



그림 3.3.4 그린마대공법(I), (II)시험구의 성장상황.

그림 상(2002년도), 그림 하(2003년도)

그림 상은 2002년도 8월 14일에, 그림 하는 2003년 7월 14일의 성장상태로 오른쪽부터 왼쪽으로 그린마대공법(I), (II)의 시험구이다. 2002년에 비교하여 2003년도에는 도입종자가 주를 이루고 있는 그린마대공법(I)의 성장상태는 떨어지고 있으나 재래초종인 쑥과 산겨울 시험구인 그린마대공법(II)에서의 성장량은 증가 되고 있어 외래 초류보다는 재래초종을 도입하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

라) 그린마대 공부법(III)시험

이 공법은 종자 무부착 그린마대를 이용하여 그린마대공법(II)와 같이 동일한 방법으로 식재상을 조성 한 후 그린마대에 사방 10cm간격으로 점파식으로 싸리, 들잔디, 양잔디, 켄터키블루그라스 오차드그라스, 펜크로스를 파종한 시험이다.

(1) 성장상황

○ 발아 및 성장량

파종종자의 실내실험결과는 표 2에서와 같이 펜크로스가 81.0%, 오차드그라스 74.3%, 켄터키블루그라스 39.7%, 참싸리 33%, 양잔디 12.1%, 들잔디 3.8%로 도입초층이 비교적 높고 도입초층중 양잔디와 재래종인 참싸리가 들잔디의 발아율이 매우 낮았다.

2002년에 현지 파종결과 오차드 그라스와 양잔디를 제외하고는 발아상태가 불량하였다. 8월 14일에 조사된 피도를 보면 들잔디가 5%미만, 오차드그라스 100%(발아율60%), 양잔디 40%, 켄터키블루그라스 20%, 참싸리 5%미만 펜크로스 20%(발아율5%)으로 나타나 역시 재래종의 발아생육상태가 가장 불량하였다.

2003년에는 발아상태가 제일 불량한 들잔디구와 참싸리구에 각각 상,하단부로 나누어 족제비싸리, 비수리와 참싸리, 낭아초를 각각 보파(補播)한 후 7월 14일 조사한 결과 2002년 파종한 종자에 대한 활착상태는 표 3.3.7과 같으며 2003년 파종한 종자의 발아율[파종한 혈(穴)에 대한 발아된 혈(穴)의 비율]은 표 3.3.8과 같다.

2002년도에 파종한 종자의 성장상태(8월 14일현재)를 2003년 성장상태(7월 14일 현재)와 비교해 보면 들잔디는 약간 생장이 촉진된 반면 오차드그라스는 파종 2년차에 완전 고사된 것으로 나타나고 있다. 이는 오차드 그라스는 내한성이 강하나 건조에는 약하기 때문인 것으로(농사원시험국, 1961) 판단된다(그림 3.3.5 참조). 양잔디와 켄터키 블루 그라스는 전년

표 3.3.7 2002년 파종 종자별 활착율과 성장상황(2003년 7월 14일 현재)

파종종자	활착율(%)	평균 성장량(cm)		비 고
		2002년	2003년	
들잔디	13	15	26(14~37)	15개 혈(穴)중 2개혈 활착
오차드그라스	17	32	0	2002년 완전고사
양잔디	100	22	26(21~32)	15개 혈중 15개혈 활착
켄터키블루그라스	100	16	22(7~31)	"
참싸리	7	17	55	15개 혈중 1개혈 활착
펜크로스	30	12	23	30개혈중 9개혈 활착

도에 비해 생장이 상당히 촉진되었으며 참싸리는 침체상태를 보이고 있다.

펜크로스는 전년도에 비하여 점차 생장이 촉진되고 있었으며 많은 종자가 하부로 유실되어 많은 개체가 발아 생육하고 있었다. 2003년도에 파종한 족제비싸리, 비수리, 참싸리, 낭아초 등의 콩과 식물의 발아율은 족제비싸리와, 참싸리가 다소 양호한 편이고 낭아초는 낮은 편이며 비수리는 무슨 이유에서인지 전혀 발아가 이루어지지 않았다.

표 3.3.8 2003년 파종 종자별 발아율과 성장상황(2003년 7월 14일 현재)

파종 종자	발아율(%)	성장량(cm)	비 고
족제비싸리	63	5(3~7)	24개 혈중 15개혈 발아
비수리	0	0	미 발아
참싸리	54	12(7~18)	24개혈중 13개혈 발아
낭아초	33	7(5~11)	18개혈중 6개혈 발아

(2) 침입종

이 시험구 역시 매토종자에 의하여 2002년(8월 14일 현재)에는 돌피, 바랭이, 크로바, 쑥등이 개체별로 침입자생하고 있었으며 2003년(7월 14일 현재)에는 망초, 개망초, 바랭이, 민바랭이, 쑥, 크로바 등이 침입되고 있었다.



그림 3.3.5 그린마대 공법(Ⅲ) 시험구의 성장상황 좌(2002도), 우(2003년도)
그림 왼쪽은 2002년 8월 14일. 그림 오른쪽은 2003년 7월 14일의 식생성장 상태이다.

마) 댐둑마루 녹화시험

이 공법은 댐 둑마루 내부에 식재상을 조성할 계획으로 기존 댐 둑마루에 그린마대를 이용, 식재상을 조성하여 댐체사면(벽면)을 피복하기 위하여 만경류로서 칩, 인동, 담쟁이덩굴, 사위질빵과 환삼덩굴을 식재하였으며 댐 둑마루 조경용으로 국수나무, 조팝나무, 개나리의 목본류나 주위 초종인 망초, 달맞이꽃, 쑥 등 초본류를 식재한 시험이다.

(1) 활착 및 성장 상황

식재상 조성용 론생마대 자체에서 발아 및 활착된 식생(새,양잔디등)의 성장상태는 종자 부착마대 시험구에서는 그린마대공법(Ⅰ)에서와 유사하였으며 산거울, 쑥 식재구에서는 그린마대공법(Ⅱ)에서와 유사한 피도와 성장상태를 보였다. 식재상(植栽床)에 식재된 목본류는 평균 70%이상 활착율을 보이고 있으나 칩과 사위질빵의 활착율이 저조하였으며 환삼덩굴, 달맞이꽃, 쑥, 망초 등 초본류는 생장이 너무 왕성해 숨아낼 정도였다. 식생별 성장상황은 다음 표3.3.9와 같았다.

표 3.3.9 시험구 성장상황

시험구	식재 수종	식재본수	활착율(%)	평균신초성장량(cm)		비고
				2002년8월	2003년7월	
덤체좌측	쑥	5	30	175	260	쑥은 개체에따라 생장이 왕성 하여 2m~5m까지 성장하고 있다. 인동덩굴의 활착상태는 매우 양호(100%)하나 생장이 담쟁이 덩굴과 함께 초기 생장이 빠르지 못하다. 환삼덩굴은 2002년도에 너무 무성하여 2003년에는 제거하였다.
	담쟁이덩굴	3	100	52	37	
	인동덩굴	11	100	63	68	
	조팝나무	2	67	59	21	
	국수나무	2	100	42	56	
	개나리	3	100	21	9	
	환삼덩굴	3포기	-	200~300	-	
덤체우측	쑥	7	63	250	210	사위질빵은 고사 되었으며 쑥은 너무 무성하여 제거하였다.
	인동덩굴	5	100	58	74	
	사위질빵	1	0	14	0	
	망초	1포기	-	195	63	
	쑥	1포기	-	110	-	
	달맞이꽃	1포기	-	153	88	

식재수종 중 쑥의 생장이 가장 양호하며 재래 초본류는 모두 생장이 왕성하나 그중에서도 환삼덩굴이 가장 무성하게 자라고 있다.

(2) 침입종

식재식생 이외의 침입종이 다양하여 명아주, 민바랭이, 크로바, 개똥쑥, 그렁, 참비름, 까마중, 새, 소리쟁이, 닭의장풀, 바랭이, 여뀌, 환삼덩굴, 망초, 비수리, 까치수염, 쑥, 달맞이꽃, 머누리밀씻개, 냉이, 돌피등이 자생하고 있다

(3) 토양습도 및 토양온도 조사

식재상의 토양습도는 표3에 의하면 강우 경과일수에 따라 변화가 있으나 건조현상을 거의 보이지 않고 있으며 토양온도 변화도 일기에 따른 변화이외에는 큰 변화가 없는 것으로 관찰된다.



그림 3.3.6 뎀독마루 녹화시험구 성장상황(뎀체좌측 반수면 방향에서 바라본 전경)

그림 상은 2002년 8월 14일당시, 그림 하는 2002년 9월 14일 당시의 전경으로 그린마대에 부착되었던 도입초종의 성장상태는 2002년 과종당년도에 왕성하였으며, 식재목 칩, 인동덩굴, 조팝나무, 국수나무, 개나리등은 2003년도에 생장이 왕성함을 보인다.



◀ 환삼덩굴 ▶



◀ 침 ▶

그림 3.3.7 댐둑마루 녹화시험지의 식생성장 상황

바) 댐 둑마루 하단부 녹화시험

본 시험은 댐 둑마루 하단부 비탈면에 덩굴류와 차폐수종을 식재하여 댐체벽면을 피복 또는 차폐하기 위한 시험이다.

덩굴 올림(등반형) 수종으로서 침, 인동, 담쟁이덩굴, 등나무, 사위질빵을 식재하였고 차폐 수종으로는 노간주나무, 조팝나무를 식재하였다.

(1) 활착 및 성장상황

2002년 7월에 식재한 사위질빵을 제외하면 식재수종의 대부분은 활착상태는 양호한 편이나 기존 토양이 척박하여 성장상태는 비교적 불량한 편이다. 수종별 성장상황은 다음 표 2.13과 같다. 식재 2년차에 조팝나무, 등나무, 침의 일부개체가 고사되었는데 이는 무성하게 자란 달맞이꽃, 망초, 쭉, 명아주와 같은 주위 식생에 의해 피압되어 고사된 것으로 판단된다.

식재 1년차에 생육이 불량하던 침, 담쟁이덩굴등 우리나라 고유의 피복용 만경류가 2년 차부터는 생육이 촉진되는 것으로 보아 2~3년 내로 댐벽면을 완전히 피복할것으로 기대된다.

표 3.3.10 수종별 성장상황

식재상	식재 수종	본수	활착율(%)		평균신초성장량(cm)	
			2002년	2003년	2002년	2003년
땀체좌측	노간주나무	8	100	100	5	12
	조팝나무	5	100	83	13	33
	담쟁이덩굴	4	75	75	52	20-30
	쑤	14	93	93	174	300이상
땀체우측	등나무	10	100	80	86	98
	사위질빵	2	50	50	5	48
	쑤	1	100	79	62	500이상
	담쟁이덩굴	1	100	100	121	20



그림 3.3.8 땀독마루 하단부 녹화시험

그림 좌는 만경류의 담쟁이 덩굴, 쑤(덩굴올림)과 차폐수종인 노간주나무, 조팝나무 식재 시험구이며 그림 우는 등나무, 사위질빵, 쑤, 담쟁이 덩굴(덩굴 올림) 식재 시험구의 성장상태임.

사) 벽면걸이(화분걸이) 녹화시험

본 시험은 땀체내에 화분이 들어갈 수 있는 공간을 확보하여 식재상을 조성, 녹화하거나

땀체벽면에 화분을 걸어서 녹화하기 위한 시험이다. 식재수종으로서 인동덩굴, 칩, 사위질빵을 이용하였다.

(1) 활착 및 성장상태

2002년 5월 2일 시험구 설치후 처리별 첫년도 2002. 8. 14일의 성장 상태는 다음 표 3.3.11, 3.3.12, 3.3.13, 3.3.14와 같으며 2차년도 2003. 7. 14의 성장 상태는 표 3.3.15, 3.3.16, 3.3.17, 3.3.18과 같다. 표에 의하면 처리 1차 년도에는 보습재, 방위 및 식재상(植栽床)의 층 위등 처리별 성장차이는 뚜렷하게 나타나지 않고 있으며 처리간 침입종은 큰 차이가 없으나 식재상의 상,하간에는 광량(光量), 통풍성 및 수분 상태(상층은 강우시 강우전량을 받을 수 있으나 하층은 극히 제한적으로 받기 때문에 상층에 비하 건조한 편이다)의 차이에 따라 하층에 비하여 상층에서 침입종의 피도가 월등하게 높게 나타나고 있다. 활착율에서는 칩이 고사율이 67%로 높게 나타났다.

표 3.3.11 보습재 처리별 성장상황(2002. 8. 14)

보습재처리	식재수종	본수	활착율 (%)	평균신초 성장량(cm)	침입종	
					피도(%)	종명
무처리구	인동덩굴	2	100	33	68	강이지풀, 명아주, 여뀌, 바랭이, 닭의장풀, 돼지풀
	칩	3	83	130		
처리구	인동덩굴	7	100	61	33	강아지풀, 바랭이, 명아주, 차풀, 달맞이꽃, 쑥, 박주가리, 여뀌
	칩	6	83	81		
	사위질빵	2	100	12		

표 3.3.12 방위별 성장상황(2002. 8. 14)

방위	식재수종	본수	활착율 (%)	평균신초 성장량(cm)	침입종	
					피도(%)	종명
남동향	인동덩굴	5	100	54	41	강이지풀, 명아주, 여뀌, 바랭이, 쑥, 닭의장풀, 돼지풀
	쑥	4	50	111		
	사위질빵	2	100	12		
북서향	인동덩굴	4	100	55	41	강이지풀, 바랭이, 명아주, 닭의장풀, 쑥, 박주가리, 차풀
	쑥	5	20	110		

표 3.3.13 방위별 성장상황(2002. 8. 14)

층구분	식재수종	본수	활착율 (%)	평균신초 성장량(cm)	침입종	
					피도(%)	종명
상	인동덩굴	3	100	30	76	강이지풀, 냉이, 여뀌, 명아주, 닭의장풀, 돼지풀, 쑥, 차풀, 돌피
	쑥	6	33	126		
하	인동덩굴	6	100	68	6	강이지풀, 명아주, 바랭이, 차풀, 달맞이꽃, 닭의장풀, 쑥, 박주가리, 돼지풀
	쑥	3	33	81		
	사위질빵	2	100	12		

표 3.3.14 식재수종별 평균성장 상황(2002. 8. 14)

식재수종	본수	활착율 (%)	평균성장량 (cm)	비 고
인동덩굴	9	100	55	쑥 6본고사하고 사위질빵 성장불량
쑥	9	67	111	
사위질빵	2	100	12	

표 3.3.15~3.3.18에서 처리 2차년도인 2003. 7. 14의 성장상태를 비교해 보면 처리간 성장 차이는 1차년도에서와 같이 큰 차이는 없으나 개체간의 성장차이가 크게 나타나고있다(성장기간인 9월 말까지는 많은 생장이 기대된다). 2차년도에는 식재상의 상층에서는 많은 침

입종이 무성하여 3회에 걸쳐 제조작업을 실시하였다.

시험 1년차 겨우내 사위질빵 2본 모두 고사하였으며 인동덩굴 3본, 칩 1본이 추가로 고사하였다.

처리 2차년도의 침입종은 남동향 처리구에서는 망초, 바랭이, 달맞이꽃, 매듭풀, 민바랭이, 여뀌, 돼지풀, 강아지풀, 까마중, 닭의장풀, 냉이, 비름등이며 북서향 처리구에서는 쑥, 돼지풀, 바랭이, 민바랭이, 달맞이꽃, 망초, 까마중, 비름, 냉이등이었다.

2003년에 새로이 처리한 시험구의 처리별 생장상황은 표 3.3.22, 3.3.23, 3.3.24, 3.3.25와 같다. 이 시험역시 2002년 시험처리구에서와 같이 토양개량제, 방위, 식재상의 층위간 생장 차이는 뚜렷하게 나타나지 않으나 침입식생의 차이가 층위간 현저하게 나타나서 식재상 상층에서 침입종이 무성하게 자라고 있었다.

침입종으로는 북동향에서 비름, 돌피, 민바랭이, 까마중, 명아주, 냉이, 망초등이며 남서향 처리구에서는 비름, 민바랭이, 명아주, 닭의장풀, 망초, 애기똥풀, 쑥, 돌피, 달맞이꽃, 까마중등 주위초분류와 같이 타나났다.

활착율은 인동덩굴 100%, 칩이 84%(1본고사)로 비교적 양호한 편이다.

(2) 토양습도 및 토양온도 조사

표 9에 의하면 그린톱 공법시험구에서와 같이 토양이 건조하며 강우 3일까지는 수분상태가 양호(적윤)한 편이나, 그 이후에는 점차 건조해지며 식재상 층위간에도 차이가 나타나서 전체적으로 상층에 비하여 하층에서 습도계수(Cb)가 높게 나타났으며 보다 건조함을 보여주나 토양온도는 수광량의 차이에 의하여 상층에 비하여 하층에서 낮게 나타남을 보인다.

표 3.3.20 **북서향 벽면걸이 식재(2002년 7월 14일)** (2003.7. 14)

두로형 벽면걸이 식재	신 개관 층 수	부 관 층 수	활 층 수	평균 생장률 (%)	평균 생장량 (cm)	비고
남동향	인동 1	2	3	100	90(78-100)	신 개관 2분 고사
북서향	인동 0	2	4	88	88(78-110)	활 1분 고사
	인동 1	2	3	100	90(78-100)	활 1분 고사
	인동 2	3	4	67	73(49-100)	활 1분 고사
	인동 3	4	5	100	85(78-100)	활 1분 고사
	인동 4	5	6	100	86(49-170)	활 1분 고사
	인동 5	6	7	100	86(49-170)	활 1분 고사
	인동 6	7	8	100	86(49-170)	활 1분 고사
	인동 7	8	9	100	86(49-170)	활 1분 고사
	인동 8	9	10	100	86(49-170)	활 1분 고사
	인동 9	10	11	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 10	11	12	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 11	12	13	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 12	13	14	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 13	14	15	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 14	15	16	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 15	16	17	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 16	17	18	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 17	18	19	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 18	19	20	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 19	20	21	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 20	21	22	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 21	22	23	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 22	23	24	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 23	24	25	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 24	25	26	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 25	26	27	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 26	27	28	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 27	28	29	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 28	29	30	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 29	30	31	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 30	31	32	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 31	32	33	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 32	33	34	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 33	34	35	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 34	35	36	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 35	36	37	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 36	37	38	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 37	38	39	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 38	39	40	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 39	40	41	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 40	41	42	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 41	42	43	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 42	43	44	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 43	44	45	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 44	45	46	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 45	46	47	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 46	47	48	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 47	48	49	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 48	49	50	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 49	50	51	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 50	51	52	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 51	52	53	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 52	53	54	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 53	54	55	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 54	55	56	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 55	56	57	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 56	57	58	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 57	58	59	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 58	59	60	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 59	60	61	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 60	61	62	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 61	62	63	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 62	63	64	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 63	64	65	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 64	65	66	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 65	66	67	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 66	67	68	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 67	68	69	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 68	69	70	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 69	70	71	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 70	71	72	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 71	72	73	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 72	73	74	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 73	74	75	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 74	75	76	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 75	76	77	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 76	77	78	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 77	78	79	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 78	79	80	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 79	80	81	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 80	81	82	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 81	82	83	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 82	83	84	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 83	84	85	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 84	85	86	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 85	86	87	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 86	87	88	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 87	88	89	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 88	89	90	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 89	90	91	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 90	91	92	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 91	92	93	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 92	93	94	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 93	94	95	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 94	95	96	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 95	96	97	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 96	97	98	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 97	98	99	75	80(49-100)	활 1분 고사
	인동 98	99	100	75	80(49-100)	활 1분 고사

○ 표 3.3.11 ~ 3.3.22에서 보면 짙은 1년차에는 발아후 생육이 양호하였으나 2년차에는 생육이 불량하거나 고사하는 것이 많았으며 인동덩굴 역시 짙보다는 덜하나 역시 생육이 불량한 것으로 보아 건조기에 건조피해를 받는 것으로 생각된다.



그림 3.3.9 2002 시험 처리한 벽면걸이 녹화시험구 식생 성장상황(2003. 7. 14)

왼쪽그림은 북서향 시험구, 오른쪽은 남동향 시험구의 전경, 식재상의 상층은 하층에 비해 두 시험구 공히 침입종이 무성하게 자라고 있으며 식생이 건조로 시들어 보이고 있다.



그림 3.3.10 2003년 시험처리한 벽면걸이 녹화시험구 전경(2003. 7. 14)

그림 왼쪽은 북동향, 그림 오른쪽은 남서향 시험구의 식생 성장상황으로 건조현상으로 식생이 시들어 보이고 있으며 이 시험구 역시 식재상 하층에 비해 상층에서 침입종이 무성하게 자라고있다.

2) 기슭막이 벽면녹화(Geo-Web공법)시험

본 시험은 철강재 기슭막이 벽면을 녹화하기 위한 시험이다. 철강재 기슭막이 자체로 사면의 안정성을 유지시키며 본 공법으로 식생을 도입하여 철강재 기슭막이의 경관미를 향상시키기 위한 시험이다. 자연 하천에서 친 자연적인 공법으로 이용되고 있는 맹아지 고정공법, 통나무 고정공법과 다공성 식생 콘크리트를 이용한 Geo-green공법, 유목, 통나무와 전식을 이용한 기슭막이 공법, 식생을 도입한 Geo-web공법등이 있으나(김경하 2002; 유호섭. 1998) 사방댐 설치지역은 강우시 유량이 많아서 사면붕괴에 대한 안정성이 우선되어야 한다. 본시험에서는 Geo-web자체만으로도 안정성이 유지되는 Geo-web 공법에 식생을 도입 시험하였다. 장마철 또는 집중강우시 유량이 증가되어 수위가 상승하게 되므로 일정기간 동안 특히 수위변동구간(Waterlevel fluctuation areas)으로 추정되는 부위에는 갯버들, 국수나무, 조팝나무를 식재하였으며 식재상의 토양유실을 방지하기 위하여 썩의 분근을 식재목과 함께 식재하였다.

(1) 활착 및 성장상황

식생수종의 활착상태는 85%이상으로 모두 높았으며 성장상태도 개나리를 제외하면 양호한 편이었다. 하천이 범람시 식재상의 토양유실을 방지하기 위하여 식재된 쭉은 시험처리 1년차에는 생장이 왕성하여 몇차례 줄기를 잘라주었으며 시험2년차에는 식재목에 피압되어 전부고사하였다. 수종별 활착 및 성장상태는 다음 표 3.3.23과 같다.

표 3.3.23 수종별 성장상황(2003. 7. 14)

식재 수종	본수	활착율(%)	평균 성장량(cm)
개나리	3	100	106(97-119)
조팝나무	36	89	121(114-132)
국수나무	20	85	118(100-140)
갯버들	37	98	138(124-150)
쭉	93	0	피압고사

시험구하단(Geo-web공법) 개천변에서 식재한 달뿌리풀은 쭉 또는 주위 잡풀의 피압으로 대부분 고사한 것으로 미루어 피압에 매우 약한 것으로 추정된다.

시험 2년차에는 갯버들의 생장이 가장양호하게 나타나고 있으며 조팝나무, 국수나무 개나리 순으로 개나리의 생장이 가장 불량하였다.

개울 바닥(기슭막이 하단부)에 식재한 갯버들과 조팝나무는 100% 활착되었으며 성장량도 왕성하여 갯버들이 평균 145cm 조팝나무 81cm로 크게 나타나고있다.

이상의 결과로 볼때 지오웹브공법을 도입하여 위에 열거한 수종을 식재하면 벽면의 피복은 물론 강우시 벽면보호에 큰 도움이 될것으로 사료된다.



그림 3.3.11 기슭막이 벽면녹화시험구 식생생장 상황

그림 왼쪽은 2002년 8. 14일 썩 및 잡풀제거후의 시험구 전경이며 그림 오른쪽은 2003년 7월 14일 현재 식재목 성장 상황이다.



그림 3.3.12 기슭막이 벽면 녹화시험지 식생 성장상황

그림 왼쪽은 철강재 기슭막이 하단부에 식재한 갯버들 성장진경이며 그림오른쪽은 댐 독마루 하단부 녹화시험에서 식재된 칩이 철강재 기슭막이 부분을 피복해 가고 있는 진경이다.

3) 기슭막이 상단부 녹화시험

본 시험은 기슭막이 상단부에 가지가 늘어지는 수형의 수종을 식재하여 철강재 기슭막이의 경관미를 증진시키기 위한 시험으로 조팝나무, 국수나무, 개나리를 식재하였다.

(1) 활착 및 성장상황

활착율은 개나리, 조팝나무, 국수나무 순으로 개나리가 가장 양호하게 나타났으며 신초생장량은 식재지의 토양조건이 토심이 얇고 척약지역이기 때문에 작은편이며 개체간에 차이가 심히 나타나 보인다. 주변의 달맞이꽃(120~184cm), 쭉(82~153cm), 망초(51~69cm)등의 자연초종의 생장이 왕성하여 생장에 지장을 받는 것으로 측정된다.

기슭막이 상단부는 석축위에 돌+자갈+흙이 복토된 곳으로 토심이 얇고 건조하기 쉬워 외부로부터의 식분류의 식생도입이 어려우므로 인접초분류의 천연도입에 의한 피복을 기대하는 것이 좋을 것이다.

표 3.3.24 식재목의 활착율과 성장상황(2003. 7. 14현재)

식재위치	식재수종	본수	활착율 (%)	평균신초생장량 (cm)	비 고
댐체좌측	조팝나무	10	70	32(20-42)	생장불량
	국수나무	7	29	34(28-40)	생장이 극히불량
	개나리	6	100	10(2-30)	생장불량
댐체우측	조팝나무	6	100	37(29-48)	생장불량
	국수나무	6	83	46(29-70)	"
	개나리	13	100	51(25-91)	"



그림 3.3.13 기슭막이 상단부 녹화 시험지 식재목생장 상황

다. 공중별 경제성

시험에 활용한 각 녹화 공법 시험들은 기존의 철강재댐상에서 실시하였기 때문에 식재상 조성을 위하여 여러 가지 재료가 많이 소요되었다. 그러나 식재상을 철강재 틀뎀 구조설계에 반영할 경우 식재상이 철강재 틀 뎀체내에 배치되기 때문에 식재상을 조성하기 위한 식재상들(예를 들면 앵글, 합판, 그린마대 등)등, 많은 재료가 줄어들게 될 뿐 아니라 철강재 틀 뎀에 채워지는 자갈의 양도 줄어들게 된다. 표 3.3.25는 현재 녹화 공중별 소요된 금액을 산출한 표로서 최종 녹화효과와 함께 적정녹화공법 선정에 중요한 기준이 될 것으로 사료된다. 표 3.3.25에 의하면 Green마대공법이 Green-top공법과 벽면걸이 녹화공법 및 뎀둑마루 녹화공법에 비하여 경제적인 것으로 나타나고 있으며 기슭막이 벽면녹화시험은 가장 많은 예산이 소요되는 것으로 나타나 보이나 이 공법은 철강재 기슭막이 대응으로 활용될 수 있기 때문에 추후 세밀한 효과분석이 이루어져야 하겠다.

표 3.3.25 주요 공법별 소요금액

※ 보통인부 노임단가는 현지가임

라. 적정녹화공법 및 유지관리

1) 적정 녹화공법

공 종	규 격	단위	수량	단 가	금 액	비 고
1. 그린툭공법 : 3.2m ² · 앵글 · coconut mat · 철사망 · 합판 · 토양 · 보통인부 계	두께 25cm 1cm×180cm×90cm 양토 및 사양토	m m ² m ² 매 m ² 인	60 4 4 3 0.9 3	1,100 11,000 7,500 22,200 30,000 50,000	66,000 44,000 30,000 66,000 27,000 150,000 383,000	식재상통제작, 흙채우 기, 시험구설치
2. 그린마대공법(I):4m ² · 론생마대 · 토양 · 보통인부 계	두께 30cm 40m×60m 양토 및 사양토	매 m ² 인	90 2.4 3.6	2,000 3,000 50,000	180,000 72,000 180,000 432,000	종자 부부착용마대 흙 소운반, 흙채우기 시험구설치
3. 그린마대공법(II):4m ² · 론생마대 · 토양 · 보통인부 계	두께 30cm 40m×60m 양토 및 사양토	매 m ² 인	90 2.4 4.6	800 30,000 50,000	72,000 72,000 230,000 374,000	종부 부부착용마대 흙 소운반, 흙채우기, 시험구설치
4. 그린마대공법(III):4m ² · 론마생대 · 토양 · 종자 · 보통인부 계	두께 30cm 40m×60m 양토 및 사양토 채래 및 도입종	매 m ² 중 인	90 2.4 6 3.6	800 30,000 1,000 50,000	72,000 72,000 6,000 180,000 330,000	종자 부부착용마대 흙 소운반, 흙채우기, 마대쌓기 및 파종
5. 댐둑마루녹화 :16m ² · 론생마대 · 토양 · Geos-filter · 보통인부 계	40m×60m 40m×60m 양토 및 사양토 부직포 (2.1m×100m)	ao ao m ² 롤 인	132 132 26 0.26 15.5	2,000 800 30,000 210,210 50,000	264,000 105,600 870,000 54,700 775,000 2,069,300	종자부착 종자부부착 흙 소운반, 마대흙채우 기, 쌓기, 식생채취, 조 제 및 식재.
6. 벽면걸이녹화:8개 · 론생마대 · 합판 · 토양 · 보습제 · 보통인부 계	폭40cm, 길이35cm 길이 100cm 양토 및 사양토 원타입(20kg)	3 ao m ² 포 인	80 188 1.12 2 4.32	1,000 22,200 30,000 11,000 50,000	88,000 199,800 33,600 22,000 216,000 559,400	틀제작, 흙 소운반 및 채우기
공 종	규 격	단위	수량	단 가	금 액	비 고

철강재 사방댐 녹화는 댐체가 반투과성으로 평상시에는 공기의 원활한 유통으로 건조하며 강우시에는 물의 통로가 되기 때문에 녹화가 어려울 뿐만 아니라 강우시 댐부위 [방수로와 최종적으로 토석으로 채워지는 대수면(對水面)] 에 따라 녹화가 불가능하다는 녹화부위의 제한성이라는 단점이 있으며 기반조성(식재상 조성)에 경제성이 떨어지고 시공성이 불리하다는 정도의 차이는 있겠으나 객토등 기반조성 공간을 충분히 확보할 수 있다는 장점이 있다.

때문에 녹화기반조성 공간이 극히 제한되어 있는 벽면녹화 보다는 오히려 조건이 유리하다 할 수 있다. 단지 댐체 벽면이 거의 수직에 가깝기 때문에 기반조성에 많은 부대시설(부직포, 각종 Mat 또는 Net, 철사망과 같은 토양지지 자재시설물)이 소요되고 또 그 설치기술이 개발되어야 한다.

본 연구에서는 과중시험에서는 종자부착 Mat공법은 기존 제품을 이용하였기 때문에 부착종자의 선택이 자유롭지 못하였으며 직파시험에서도 향토재래 초목종자의 확보가 어려워 향토재래종으로 싸리, 남아초, 새, 비수리 등의 발아율이 저조한 종자이외에는 도입초종을 이용하였기 때문에 몇몇 도입초종(Perennial ryegrass, Tall fescue, Italian ryegrass 등) 이외에는 발아상태가 고루지 못한 결과를 얻었다. 발아 상태가 양호한 도입종자들도 과중년차가 경과됨에 따라 쇠퇴현상이 발생되고(한국도로공사 1995, 한국도로공사 1997) 주위 재래식생과 조화를 이루지 못한다는 단점이 있기 때문에 추후에는 본시험에서 공시종자로 이용한 재래종자들 보다 발아율이 높고 종자확보가 용이한 재래식생을 개발할 필요가 있다. 분근 식재초종으로 산거울과 쑥의 생장이 양호하게 나타나 본 시험에서 가장 성공적이 초종으로 간주된다. 다만 쑥은 초장이 크게 자라기 때문에 타 침입초종을 피압 고사시키며 미관상으로도 별로 아름답지 못하다는 조경적인 측면에서 단점이 있다. 그러나 산거울은 초장이 길지 않고 광량(光量)요구도에 있어서 중용성으로 양지, 음지 어느쪽에서도 생활력이 강하며 경관적인 측면에서도 양호하기 때문에 철강재 사방댐 녹화용으로 산거울 분근이 가장 효과적인 초종으로 평가되며 식재상조성(기반조성)공법으로 Green 마대공법이 Green-top공법과 벽면걸이(화분걸이) 녹화공법보다 경제적이고 효과적인 것으로 나타나고 있다. 그러나 식재상 토양두께가 얇아 건조피해가 우려되므로 식재상의 규모(객토량 또는 객토두께)를 크게하고 관수등 적절한 관리가 이루어진다면 Green-top공법과 벽면걸이 녹화공법들도 활용 가능하다고 판단된다.

2) 유지관리

녹화된 철강재사방댐의 유지관리는 식생안정 유지관리와 구조물 유지관리로 구분할수있다.

가) 식생안정 유지관리

○ 등반보조재 설치

댐둑마루 하단부식재 만경류의 등반을 위하여 등반보조재(Mat, Net류, 철골, 목재, 밧줄 등)를 설치하여 준다.

○ 보식

고사목은 보식해 준다.

○ 제초 및 불량목 제거

자연천이 과정에서 타 식생을 피압할 정도로 무성하게 자라거나 물의 흐름을 방해하는 식생은 제거하여 준다.

○ 관수

벽면에 식재상을 조성하여 파식한 지역은 건조하기 쉬우므로 벽면이 완전 회복되어 녹화되기전 얼마기간 동안은 건조기에 관수하여 준다.

○ 진정

폭목 또는 필요없는 가지는 제거하여 준다.

○ 시비

생장촉진을 위하여 필요할시 추비를 실시한다.

○ 병충해 방제

병해충목에 대한 약제살포

나) 구조물 유지관리

철강재 댐에서 특히 변형(침하)되거나 파손되기 쉬운 댐둑마루, 측벽, 물받이 관리에 유의하여야 한다.

철강재 틀댐은 대부분 인가에서 떨어져 있는 산록부에 위치하고 있기 때문에 관리한다는 것은 어려운 일이다. 그러나 주위 식생으로부터 자연천이가 이루어질때까지 녹화초기에는 얼마 기간 동안은 식생유지 관리가 필요하다. 사방댐이나 구곡막이, 바닥막이 등과 같은 횡공작물이 설치되어 계상이 안정될 경우에는 황폐계안 일지라도 손쉽게 주위로부터 식생이 천이되어 녹화하게 한다(안영상등, 2003). 본 시험지에서도 댐 설치시기인 1999년에는 황폐

계류이었으나 현재에는 주변으로부터 달뿌리풀, 갯버들, 개여뀌, 펜크로스(본 시험을 위하여 파종한 종자가 유실되어 계상에 발아 활착함)등으로 급속히 녹화되고 있는 것으로 미루어(그림 3.3.15) 본 시험지인 철강재 사방댐의 녹화도 앞으로 1~2년후에는 완전 회복 되리라 여겨진다.



그림 3.3.14 도입종자의 발아 생육상태

Tall fescue(잎이 넓은 식생)와 Italian rygrass(잎이 좁은 식생)의 파종2년 차의 생장상태(2003. 7. 14)로 파종 1년차에 비교하여 생장이 쇠퇴되어 보인다.



그림3.3.15 계상의 침입식생

댐 신설시인 1999년에는 식생이 거의 없었던 계상에 철강재 사방댐 설치후에는 계상의 안정으로 갯버들, 달뿌리풀 등 식생이 침입 점차 그 세를 넓히고 있다.

제 4 절 결 론

산지재해 방지를 위하여 점차 증가 추세에 있는 철강재 사방댐의 단점이기도 한 비경관성을 개선하기 위하여 댐체내에 식재기반을 조성하거나 녹화공간이 부족한 도시내에서 건축물의 벽면, 각종울타리, 방음벽, 콘크리트 옹벽등과 같은 수직적인 立面에 녹화하는 벽면 녹화에서와 같이 댐체상·하단부에 식재상을 조성녹화하는 시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 댐체벽면 녹화시험

댐체벽면 녹화방법은 식재기반(식재상)을 댐체내에 조성하여 녹화하는 방법과 댐체상단부 또는 하단부(댐체하단부사면)에 식재상을 조성하여 사면을 피복 또는 차폐하는 2가지 방법을 고려할 수 있다.

댐체 사면내에 식재기반을 조성하는 방법으로 Green top공법과 Green마대(룬 생백)공법(I,II,III), 벽면결이 녹화시험을 실시하였으며 댐체사면 피복 또는 차폐 시험으로는 댐둑마루 녹화시험과 댐둑마루 하단부 녹화시험을 실시한바

가. Green top공법은

㉠댐체내에 식재기반조성이 가능하나 ㉡식재상의 토양두께가 얇아서(22cm)건조피해가 심하며, 과중종자의 발아상태가 고루지 못한 것이 단점이다. 또한 재래종(사방 오리나무, 비수리, 억새, 향유, 벌노랑이, 도라지등)의 발아가 도입종자에 비하여 매우 저조하므로 재래종자의 발아촉진 및 발아율이 높은 식생으로의 전환이 요구된다.

나. Green 마대 공법(I,II,III)은

㉠댐체내에 식재기반 조성이 가능하며, ㉡건조피해도 거의 없는 것으로 나타나고 있으며, ㉢Green 마대공법(III)을 제외하면 식재 및 과중(중자부착 룬생백)식생의 성장상태는 양호한 편이다.

본 공법에서 문제점으로 Green 마대공법(I)에서 부착종자(Tall fescue, Italian rygrass)의 발아상태는 처리 1차년도에는 양호하였으나 2차년도에는 전년도보다 생장이 쇠퇴 현상을 보이며(그림25) Green 마대공법(III)에서 역시 재래종인 참싸리와 들잔디의 발아상태가

저조하다는 것이다.

본 공법에서 파종종자로는 양잔디가, 식재 초종으로서는 산거울과 쑥이 가장 효과적이라 판단된다.

다. 벽면걸이 녹화시험은

㉔ 댐체내에 식재기반 조성이 가능하며 댐체에 화분걸이 형태로 부착이 가능하다. 그러나 이 공법은 댐체내에 설치할 경우 강우시 직접적으로 강우를 접하지 못하기 때문에 ㉓ 건조 피해가 심하여 식생이 고사하기 쉽다. 식재수종으로는 인동덩굴이 효과적이다.

라. 댐 독마루 녹화시험은

㉔ 댐 독마루 댐체내에 식재기반(식재상)을 조성할 수 있으며 댐의 규모에 따라 식재상의 크기를 충분히 조정할 수 있다. 이 공법은 식재상의 토심과 길이(제방둑과 연결시키므로 Biotope를 형성할 수 있다)를 자연사면(제방둑)과 연결시킬 수 있기 때문에 식재기반이 타 공법에 비하여 유리한 조건을 가지고 있다. ㉓ 하수형(下垂型) 녹화식생으로서 칩이 가장 효과적이며 인동덩굴도 생장이 양호하였다.

주위사면의 표토를 객토로 사용하였기 때문에 주변 식생 침입이 용이하여 자연친화적이었으나 망초, 달맞이꽃, 명아주, 쑥등의 침입종이 번무하여 식재목에 피해를 주기 때문에 제거하여 주었다.

경관용으로 식재한 개나리, 조팝나무, 국수나무의 생장도 양호하였으며 환삼덩굴은 피복 효과가 빨랐으나 주위 식재목을 피압고사 시키기 때문에 제거하여 주었다.

마. 댐독마루 하단부 녹화시험은

㉔ 식재기반은 자연사면(제방)에 식재상 조성이 가능하다.

㉓ 하수형(下垂型) 및 등반형(登攀型) 녹화식생으로 칩, 담쟁이, 등나무의 생장이 양호하며 특히 이들 수종은 식재 1년차에 비하여 2년차부터 생장이 급격히 상승세를 보이고 있어 빠른시일내에 댐체벽면이 완전 녹화되리라 확신한다.

차폐수종으로서 노간주 나무, 조팝나무의 생장이 양호한 편이나 성장속도가 보다 빠른 버드나무류도 좋을것으로 사료된다.

2. 기슭막이(철강재 기슭막이)벽면녹화 시험

기슭막이 하단부는 수위변동구간으로 식재상의 유실피해가 우려되므로 Geo-web공법시험을 실시한바 ㉞식재상 조성이 가능하며, ㉞식재수종의 성장량도 양호하였다. 특히 깃버들, 조팝나무의 생장이 가장 양호하였으며 국수나무 성장도 양호하였다. 토양유실 방지를 위하여 식재목과 함께 식재한 죽은 식재목에 피압되어 고사하였다.

3. 기슭막이 상단부 녹화시험

본 시험은 자연제방이 식재기반이 되기 때문에 입지조건에 따라 식재상의 조건이 결정된다. 본 시험구는 토심이 얇은 지역이어서 식재목의 생장이 왕성하지는 못하였다. 입지조건과 주변 침입식생의 활력에 따라 개체간 성장차이가 심하게 나타났으며(개나리), 국수나무, 조팝나무생장이 다소 양호하였다.

제 4 장 철강재 사방댐 설계 · 관리를 위한 실무지원 시스템의 개발

제 1 절 서 론

1. 연구배경 및 필요성

우리나라의 산림은 대체로 지리적, 지질적, 지형적 원인 등으로 인해 집중강우시 산지로 부터 흙이나 모래가 많이 유실될 수 있고, 홍수, 급경사지 붕괴 등에 의한 재해 및 토석류 유출로 산지계류 환경에 심각한 영향을 줄 수 있다. 이러한 피해는 추가적인 자연환경이나 생태계의 훼손 혹은 막대한 재산과 인명 피해의 주요 원인으로 작용하고 있다.

이와 같은 재해를 예방하거나 복구하기 위하여 황폐계류상에서 돌, 자갈, 모래, 흙 및 그 밖의 다른 침식이나 붕괴물을 억제하기 위한 치산구조물로 사방댐을 설치하고 있다. 특히 우리나라와 같은 산악지형에서 사방댐은 설치 개소당 연간 약 5,000m³의 貯砂효과 및 약 3,000m³의 貯水효과가 있는 것으로 조사되고 있어 집중호우시 계곡물의 유속을 완화하고 산사태로 흘러내리는 토석류를 미리 차단, 하류농경지 및 주택을 보호함으로써 재해예방에 크게 기여하고 있다(정원옥, 2001).

1998년 경북 상주의 경우 사방댐이 설치되지 않은 구역에서 집중호우로 인한 재산피해액이 1,350억원, 인명피해 42명으로 집계된 반면 사방댐 설치 구역에는 별 피해가 없었던 것으로 보고되었다. 또한 1998년 집중호우로 대규모 인명피해가 발생한 경기도 송추 유원지나 지리산 계곡의 경우에도 상류에 사방댐이 설치되지 않아 그 피해규모가 컸던 대표적 사례지역으로 꼽히고 있다(산림청, 1999). 2002년 태풍 '루사'와 집중호우로 인해 심각한 피해를 입은 강원도의 경우, 2001년 수해로 인해 버트레스 사방댐을 설치했던 홍천·횡성지역에서 산간계곡지역의 피해가 전혀 없었다고 보고되어 사방댐의 재해예방효과가 다시 한번 입증되었다(산림청, 2002).

한편, 국내의 산림정책은 80년대 중반까지는 치산녹화사업에 집중되었고, 86년 이후 사방댐이 집중적으로 설치되기 시작하여 2000년도 현재 전국에 약 900개의 사방댐이 설치되었다. 더불어 2002년 수해로 인해 산림청은 2002년 110개소에 머물던 건설물량을 2003년 200

개소로 증대하는 등 재해예방 및 복구에 관련하여 사방댐 건설물량을 계속적으로 늘려가는 추세에 있다(산림청, 2002).

특히 최근 태풍 ‘루사’의 경우에서와 같이 집중호우로 인한 피해지에 대한 긴급복구용으로 철강재 사방댐의 수요가 증대되고 있다. 이러한 긴급복구의 경우 철강재 사방댐은 설치에 소요되는 공기의 단축 그리고 내구연한이나 설치비용 등에 따른 장점이 크게 부각되어 그 잠재력이 인정되고 있다.

반면 새로운 소재로 개발된 철강재 사방댐의 경우는 물론 철근콘크리트 사방댐의 경우에도 설계·시공 및 관리에 관한 한 자동화체계가 도입되지 못하고 있다. 대개의 경우 산림토목 분야에 경험이 있는 기술자들에 많이 의존하고 있는 실정이다. 특히 그 면적이 넓고 복잡한 지형적 특성을 지니는 유역을 조사하거나 현장 자료를 취득하여 사방댐의 적지를 찾는 일은 매우 어렵다. 또한 유역내에서 사방댐을 설치하기 위해 지형적 특성을 체계적으로 분석하여 위치를 선정하거나 효과적인 자재 수급 및 시공계획 등에 대한 과학적 타당성 검토가 어려웠던 것이 사실이다.

이러한 관점에서 하나의 자동화 지원체계로 GIS, 데이터베이스, 시뮬레이션 기법 등을 응용한 공간정보 구축 및 분석체계가 매우 효과적인 수단이 될 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 유역내 수문 해석과 응급 예방/복구 구조물의 설계 및 예산 산출 과정 등 일련의 분석 및 설계과정을 효율적으로 지원하는 자동화 전산시스템을 개발함으로써 현장실무에 직접 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 유역에 관련된 정보를 종합적으로 관리하고 이를 바탕으로 사방댐 설계 및 관리 업무에 필요한 정보를 추출·저장할 수 있는 전산 시스템을 개발하고자 하였다.

2. 연구목적

이 연구의 목적은 철강재 사방댐의 설계 및 관리를 지원하는 전산시스템을 개발하는데 있으며, 연구목적을 성취하기 위한 세부적인 연구내용은 다음과 같다.

- 철강재 사방댐 설계 지원 모델 개발
 - GIS 응용 지형분석 및 산림유역 입지해석 모듈 개발
 - 산림유역 입지해석에 따른 철강재 사방댐 시공 후보지 선정 모듈 개발
- 철강재 사방댐 관리 지원 모델 개발
 - 데이터베이스를 이용한 사방댐 관련 제반 정보 관리 모듈 개발
- 통합환경 구축을 위한 사용자 인터페이스와 편의 프로그램 개발
- 개발된 철강재 사방댐 설계·관리 지원 시스템을 적용한 연구대상지 사례연구

제 2 절 연구동향

1. 지리정보체계의 기술개발 및 응용현황

최근 들어 컴퓨터의 발전과 이용가능한 지리정보의 축적으로 인해 자료의 분석과 저장을 위한 지리정보시스템이 많이 활용되고 있다. 미국에서는 1950년대에 워싱턴 대학으로부터 시작하여 1960년대에 들어 도시정보시스템이 출현하였다. Census Bureau에서 Geocoding System을 도입하여 주소로부터 위치를 추적하게됨으로써 지자체 실무에 대한 GIS 도입의 계기가 마련되었다. 이후 70년대에 들어와 지도화를 위한 정보처리방법이 민간 기관에 도입되어 일반화되는 과정을 거치게 되었다. 80년대에는 Intergraph, ESRI(Environmental Systems Research Institute) 등의 상업용 GIS 전문기업들이 등장하면서 GIS의 자료구축 및 software 개발이 활성화되었다.

캐나다에서는 Tomlinson가 1960년 지도관리를 위하여 제안한 세계 최초의 GIS인 CGIS(Canadian Geographic Information Systems)를 개발하였다. 이 시스템은 농지의 재생 회복을 위한 자료 해석용으로 이용되었으며, 1971년부터 본격적으로 가동하여 현재에도 이용 중에 있다.

일본에서는 1974년부터 국토수치정보 작성을 위하여 1:25,000 이나 1:200,000의 지형도에서 수집된 자료를 중심으로 Mesh형태의 정보체계를 구성하였다. 그 후 1975년 부터는 UIS(Urban Information Systems)를 개발하였고, 1980년대에 들어서면서 건설성 국토지리원 내 지도정보실 및 사진측량 기술개발실 등을 신설하여 GIS 도입을 추진하였다.

우리나라에서는 1990년대에 들어서면서 GIS가 본격적으로 소개되었다. 1995년부터 국립지리원을 중심으로 국가지리정보사업이 진행되면서 이용 가능한 수치지도들이 양산되었으며, 1997년 이후 비약적으로 발전한 정보통신기술의 도움으로 GIS의 도입이 활발해졌다. 2003년 현재 제2차 국가지리정보사업이 진행 중에 있으며 국가지리정보유통망을 통해 국립지리원, 환경부, 산림청, 농업과학기술원, 인천광역시, 대구광역시 등에서 제공하는 총 17종의 수치화 지리정보를 제공받을 수 있다.

임학분야에서도 국가지리정보사업의 일환으로 1995년부터 산림지리정보사업이 추진되면서 GIS 도입이 촉진되었다. 그 결과 산림관리에 이용될 수 있는 산림기본 주제도인 임상도, 산림기본이용도, 임도망도, 국유림 임소반도, 산림입지도 등의 수치지도가 제작되었으

며, 국유림 영림계획 프로그램(1998년), 임도노선 선정 및 평가 프로그램(1999년), 산사태 위험도 판정 프로그램(2000년) 등의 응용프로그램이 개발되었다.

2. 프로그램 개발 방법론

가. 객체지향 분석 및 설계 방법론

1970년대 이후 컴퓨터 공학분야에서는 소프트웨어를 효과적으로 개발하고, 유지·보수하기 위한 소프트웨어 개발론이 연구되었다. 소프트웨어 개발론은 크게 구조적 방법론과 객체지향적 방법론으로 나뉜다. 구조적 방법론은 DFD(Data Flow Diagram) 및 ERD(Entity-Relationship Diagram) 등을 이용하여 시스템을 설계하는 방법론으로 구조가 단순하여 이해가 쉽고, 하향식(Top-Down) 원리를 적용하여 분석의 중복성을 배제하며, 전체 시스템을 일관성 있게 이해할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 요구사항이 변하고 시스템이 커질 경우 유지보수가 어렵고, 건축 및 토목구조와 같이 복잡한 구조를 표현하기에는 적합하지 않다(김성락 등, 2000 ; Booch et al., 2000 ; 배연정, 2001).

반면, 객체지향 방법론은 기존의 방법론이 갖는 단점을 보완하여, 정보와 처리를 모두 모듈화하여 실세계의 객체를 소프트웨어로 구현, 모듈화 된 메시지를 통해 조작하게끔 함으로써 코드의 재사용성(Reuse)을 높이고, 개발기간을 단축하여 변화하는 소프트웨어 시장의 흐름에 맞추는 것이 가능한 방법론이다. 또한 개발단계에 참여하는 분석가, 의뢰인, 프로그래머 등이 이해하고 동의할 수 있는 설계수단인 UML(Unified Modeling Language)을 제공하여 설계과정을 조직화할 수 있도록 하고 있다(김성락 등, 2000 ; Booch et al., 2000). 뿐만 아니라 실세계의 객체를 소프트웨어로 구현하는 것이 용이하기 때문에 복잡한 구조물 정보를 생성하고 관리하기 위한 도구로 활용되고 있다.

건축 및 토목분야에서 객체지향 방법론이 적용된 사례를 살펴보면, 함성권(1991)은 철근 콘크리트와 철골구조 설계용 프로그램을 개발하여 활용할 수 있도록 하였다. 홍성목(1992)은 객체지향설계 기법을 응용하여 설계조건을 입력하면 구조계획, 예비설계, 구조해석, 부재설계 등의 작업을 일괄적으로 처리할 수 있는 건축구조설계 통합시스템을 개발하였다. 김치경과 홍성목(2001)은 객체-관계형 데이터베이스 설계 기법을 이용하여 건축구조설계 통합시스템에서 구조설계정보를 통합하여 관리할 수 있도록 데이터베이스를 모델링하고 구현하였다. 또한 배연정(2001)은 농업수리구조물 통합설계 시스템 개발을 위하여 객체지향을 도입, 효과적인 통합설계시스템을 구성할 수 있도록 MPC(Multi-layered Primitive

Composite) 모델을 개발하였고, 윤성수(2001)는 MPC 모델과 객체지향기법 그리고 점진적 최적화 기법 등을 이용하여 수리시설물 통합설계시스템의 원형인 IDSAF(The Integrated Design System for Agricultural irrigation Facility)를 개발하였다.

나. 프로그램 개발공정

프로그램 개발공정에서도 기존의 절차지향적 방법론들이 생산효율을 높이는 객체지향적 공정들로 대체되고 있다. 객체지향적 공정들의 공통적인 특징은 개발단계들이 서로 유기적이며 상호 보완적으로 운용되는 관계를 갖는다는 점이다. 대표적인 개발공정으로 UML의 개발한 Booch, Rumbaugh, Jacobson의 RUP(Rapid Unified Process)가 있다. RUP는 시스템을 그 쓰임새에 따라 동적인 면과 정적인 면으로 나누어 시스템을 구성하는 객체들을 설계하고 조합하는 공정이다. 따라서 RUP는 객체지향적 이론에 가장 충실한 공정인 반면 일관된 개발과정이 유지되지 않아 각 개발과정 사이의 유연성이 떨어지는 단점이 있다.

이에 반해 Schmuller(2002)는 UML을 적용하여 소프트웨어를 개발하는 GRAPPLE(Guidelines for Rapid APPLication Engineering)을 제시하였다. GRAPPLE은 RUP(Rapid Unified Process)에서와 같이 쓰임새에 따른 시스템 분석을 시도하고, 개발영역을 분명히 하여 일관된 과정이 유지되도록 하였다. 따라서 RUP에 비해 유연성이 높고, 개발목적에 따라 적절한 체계로 응용할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 설계자의 의도에 따라 개발과정을 비교적 쉽게 조절할 수 있고, 작업노하우를 추가할 수 있으며, 불필요한 단계를 제거할 수 있다.

그림 4.2.1과 표 4.2.1에 제시된 바와 같이 Schmuller가 제안한 GRAPPLE은 사용자의 요구를 파악하는 ‘요구사항 수집영역’, 시스템의 이해도를 높이는 ‘분석영역’, 시스템을 설계하는 ‘설계영역’, 코드를 작성하는 ‘개발영역’, 개발이 끝난 시스템을 최종적으로 배포하는 ‘배치영역’으로 이루어져 있다.

GRAPPLE에서 ‘단계’라는 용어대신 ‘영역’이라는 용어를 쓴 것은 GRAPPLE이 한 과정을 모두 마친 후에 다음으로 넘어가는 것이 아니라 각 영역에서 만들어진 결과물이 서로 맞물려 순환하면서 점진적으로 수정·보완하는 체계이다. 따라서 과정의 시작과 종료는 분명한 단계의 개념보다는 일정 부분의 교집합을 지닌 영역의 개념에 가깝다는 점을 반영한 것이다.

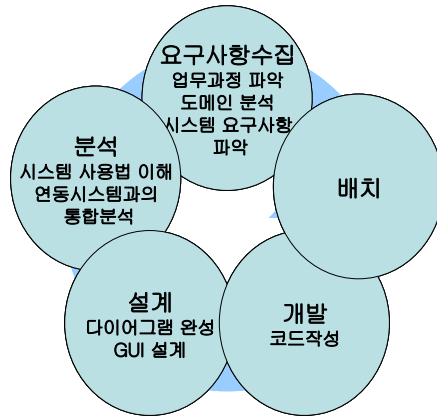


그림 4.2.1 GRAPPLE 각 영역 간의 관계

표 4.2.1 GRAPPLE의 진행영역별 세부과정

진행영역	세부과정
요구 사항 수집	① 업무과정분석 ② 도메인 분석 ③ 연동시스템 확인 ④ 시스템 요구사항 파악 ⑤ 요구사항 수집결과를 가지고 의뢰인과 의사교환
분석	① 시스템 사용법의 이해 ② 유스케이스에 살 붙이기 ③ 클래스 다이어그램 손질 ④ 객체의 상태변화 분석 ⑤ 객체간 교류정의 ⑥ 연동시스템과의 통합분석
설계	① 객체 다이어그램의 개발과 손질 ② 컴포넌트 다이어그램의 개발 ③ 배치 계획 ④ 사용자 인터페이스의 설계와 원형정의 ⑤ 시험설계 ⑥ 문서화 시작
개발	① 코드작성 ② 코드시험 ③ 사용자 인터페이스의 구축과 코드의 연결 및 시험 ④ 문서화 완료
배치	① 백업과 복구에 대한 계획 ② 적합한 하드웨어에 최종 시스템 설치하기 ③ 설치된 시스템의 시험 ④ 발표

제 3 절 철강재 사방댐 설계·관리 지원시스템 개발

본 연구에서 개발한 철강재 사방댐 설계·관리 지원 시스템은 지형분석 및 산림유역 입지분석을 통해 사방댐 설계 시에 이용될 수 있는 지형 및 유역정보를 분석하여 사방댐 시공 후보지를 선정하는 기능이 있다. 또한 사방댐 시공과 관리에 관련된 각종 정보처리를 실무적 관점에서 자동화할 수 있는 기능을 구현하도록 개발되었다. 이를 위하여 그림 4.3.1에서와 같이 공간분석과 이를 토대로 한 사방댐 시공 후보지 선정을 담당하는 GIS기반의 '철강재 사방댐 설계 지원 모델' 그리고 사방댐에 관련된 제반 정보를 생성·관리하는 DBMS 기반의 '철강재 사방댐 관리 지원 모델'로 크게 구분하여 설계되었다.

철강재 사방댐 설계 지원 모델은 기능별로 '지형분석 모듈', '산림유역 입지해석 모듈', '사방댐 시공 후보지 선정 모듈'로 구성된다. 지형분석 모듈은 DEM(Digital Elevation Model), 경사(Slope), 향(Aspect), 기복(Relief) 등 공간분석을 위한 기초정보를 추출하는 기능을 지닌다. 산림유역 입지해석 모듈은 지형분석 결과를 이용하여 유역 설정과 하천망 추출의 기능을 제공한다. 그 외에 사방댐 시공 후보지 선정 모듈은 추출된 하천 선을 일정간격으로 구분하여 각 지점의 횡단면 형상을 비교함으로써 사방댐 설치가 가능한 지점을 후보지로 선정한다.

철강재 사방댐 관리 지원 모델은 유역 내에 위치한 기존의 사방댐 외에도 이러한 과정을 거쳐 사방댐 후보 적지의 위치정보를 등록하고, 설계 및 시공 시에 생성되었던 제반 정보들을 관리할 수 있도록 설계되었다.

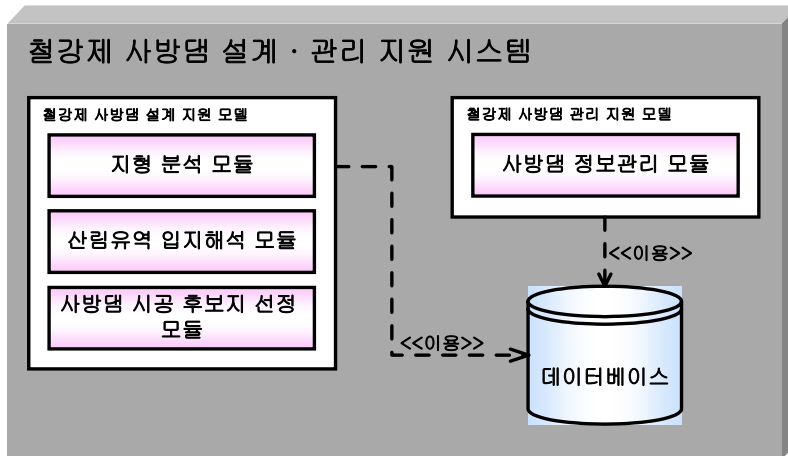


그림 4.3.1 철강제 사방댐 설계·관리 지원 시스템의 구성

1. 연구진행 체계 및 시스템 개발환경

가. 연구진행 체계

시스템 개발을 위한 개발공정으로 Schuller의 GRAPPLE을 적용하였다. 그러나 본 연구에서 개발되는 시스템은 stand alone 방식이므로 GRAPPLE에서 중시되는 외부 시스템과의 연동에 대해서는 고려하지 않았다. 따라서 외부 시스템과의 연동을 위해 요구되는 시스템 배포 및 배치 등의 과정을 제거 혹은 수정하였다. 그림 4.3.2은 그림 4.3.1의 각 영역간의 관계를 수정한 결과를 보여주고, 표 4.3.1은 각 영역의 수정된 세부내용을 보여준다.

나. 시스템 개발환경

공간자료의 분석 및 관리를 위한 GIS 엔진으로 Spatial Analyst와 3D Analyst가 장착된 ESRI사의 ArcGIS 8.1.2를 채택하였다. 이 시스템은 COM(Component Object Model)에 기반을 두고 개발되었다. 따라서 명령체계가 하나의 COM 객체로 지원되며 COM 기반 프로그래밍이 가능한 Visual Basic, Visual C++ 등의 언어를 이용하여 쉽게 자동화할 수 있다. 개발 언어는 Visual Basic을 이용하고, 철강제 사방댐의 각종 속성 데이터를 관리하는 DBMS(DataBase Management Systems)로 Microsoft사의 Access 2000을 채택하였다.

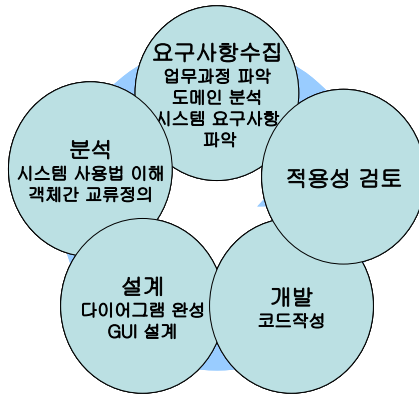


그림 4.3.2 수정 GRAPPLE

표 4.3.1 수정 GRAPPLE의 진행영역별 세부과정

진행영역	세부과정
요구사항수집	① 업무과정분석 ② 도메인 분석 ③ 시스템 요구사항 파악
분석	① 시스템 사용법의 이해 ② 유스케이스에 살 붙이기 ③ 클래스 다이어그램 손질 ④ 객체의 상태변화 분석 ⑤ 객체간 교류정의
설계	① 객체 다이어그램의 개발과 손질 ② 컴포넌트 다이어그램의 개발 ③ 사용자 인터페이스의 설계와 원형정의 ④ 시험설계
개발	① 코드작성 ② 코드시험 ③ 사용자 인터페이스의 구축과 코드의 연결 및 시험
적용성 검토	① 적용지역 선택 ② 사례 연구

2. 철강재 사방댐 설계 지원 모델

철강재 사방댐 설계 지원 모델은 공간분석을 통하여 사방댐 설계에 필요한 지형정보 및 유역정보를 분석하고 그 결과를 제공하는 기능을 가진다. 지형정보로는 DEM, 경사, 향, 기복 분석정보를 생성하고, 유역정보로 유역범위, 하천망, 한계유속, 가정최대유량 등의 정보를 산출하며, 더불어 방수로 단면결정 공수량을 출력하도록 설계되었다(그림 4.3.3).

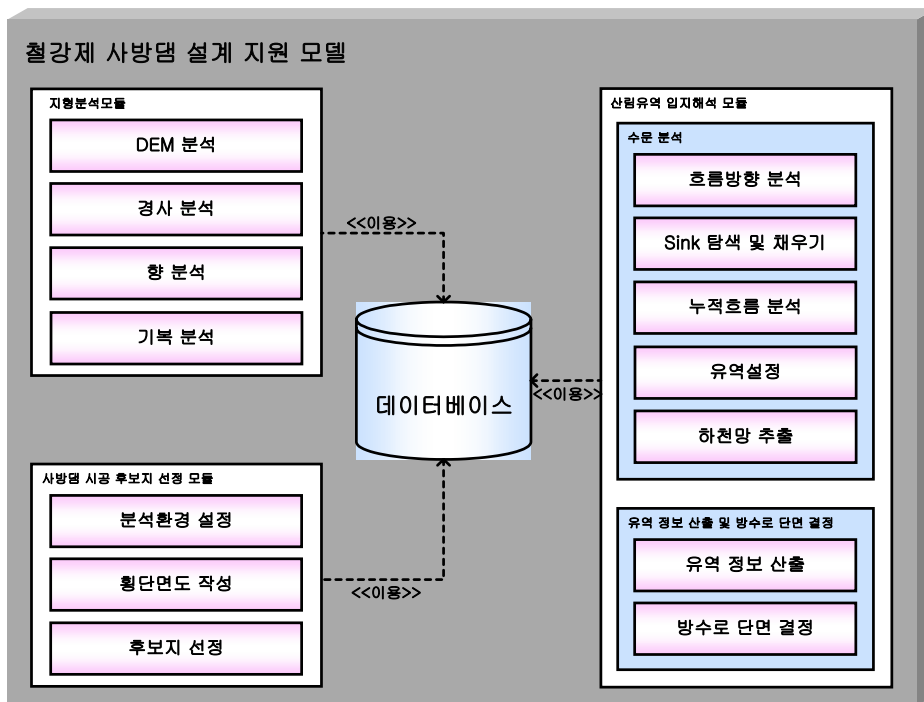


그림 4.3.3 사방댐 설계 지원 모델의 구성

가. 지형분석 모듈

지형분석 모듈은 공간분석에 이용되는 DEM, 경사, 향, 기복 등의 지형정보를 생성하는 기능을 담당한다. 생성된 분석도면은 모두 래스터 자료형으로 저장이 되고, 생성시에 격자(Cell)의 크기를 설정하도록 하여 추후 다른 분석에서 별다른 설정을 하지 않고 이용할 수 있도록 하였다.

본 모듈에서 제공하는 기능은 ArcGIS에서 지원하는 COM 명령을 이용하여 구현하였다. 이러한 개발방법은 요구되는 기능을 구현하기 위한 중복된 개발작업 비용을 줄일 수 있고, 이미 견고하게 사용되고 있는 기능을 그대로 이용함으로써 안정성을 높일 수 있다는 장점이 있다. 반면, COM 명령을 통해 나타나는 일부 대화창은 한글화가 되지 않아 사용자에게 부담을 줄 수 있다. 이러한 문제는 ArcGIS가 계속적으로 업그레이드되면서 한글화되는 추세에 있기 때문에 향후 해결이 가능할 것으로 전망하고 있다(그림 4.3.4).

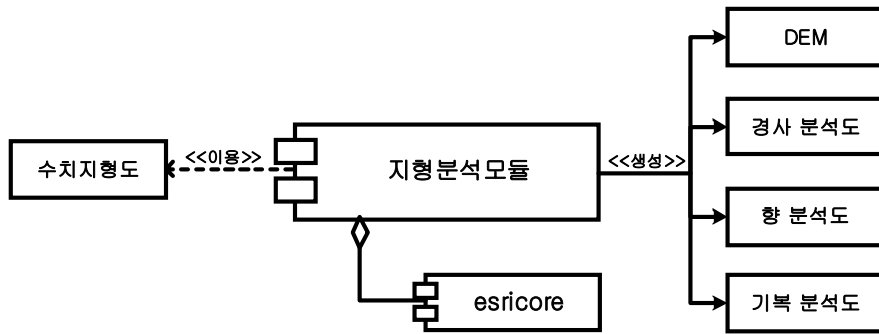


그림 4.3.4 지형분석 모듈의 기능

1) DEM 추출

공간분석을 하기 위한 전처리 단계로 Grid 분석을 통한 수치고도모형(Digital Elevation Model ; DEM)을 추출하도록 하였다. 수치고도모형은 경사분석, 향분석, 기복분석, 그리고 수문분석의 기본자료로 이용되기 때문에 DEM 추출 기능은 유역해석모듈의 필수요소라 할 수 있다.

DEM 추출 알고리즘은 임도노선선정 및 평가를 위한 연구(이병두, 2000), 산림기능평가 체계에 관한 연구(차재민, 2000), 산사태 위험도 판정 프로그램 개발에 관한 연구(이승기, 2001) 등에서 제시되었던 알고리즘을 토대로, 국립지리원에서 제공하는 수치지형도에서 등고선을 추출하고 TIN(Triangulated irregular networks)을 형성한 뒤, 래스터 형식의 고도 자료를 생성하도록 하였다(그림 4.3.5).

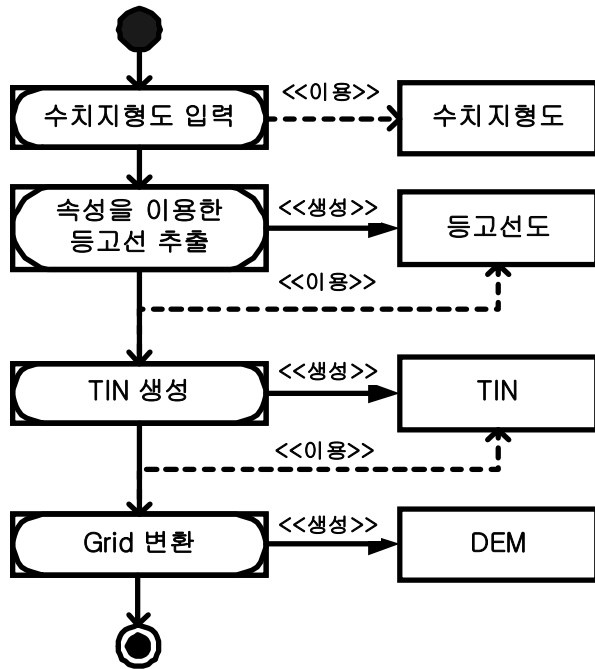


그림 4.3.5 DEM 추출과정

2) 경사 분석

경사(Slope)는 사면의 기울어진 정도를 의미하는 것으로 추출된 DEM을 이용하여 분석한다. 경사 분석도는 지역의 전체적인 경사 분포를 알기 위해 이용되며, DEM을 입력하고 분석목적에 따라 출력형식을 도(°)로 할 것인지 백분율(%)로 할 것인지를 결정 한 후, 산출물의 격자 크기를 설정하여 경사 분석도를 생성하게 된다(그림 4.3.6).

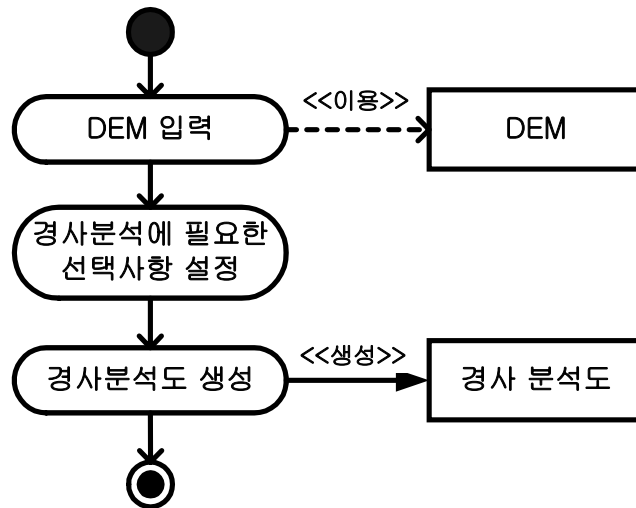


그림 4.3.6 경사 분석 과정

3) 향 분석

향(Asspect)은 사면의 방위를 의미하는 것으로, 분석 결과는 0°~ 360°로 표현된다. 향 분석도는 유역을 해석하는데 직접적으로 이용되기보다는 유역의 전체적인 지형 패턴을 보여주기 위한 참조자료로 활용될 수 있다. 향을 분석하기 위해서 우선 DEM을 입력하고, 출력 대상 격자의 크기를 입력하여 향 분석도가 생성되도록 하였다(그림 4.3.7).

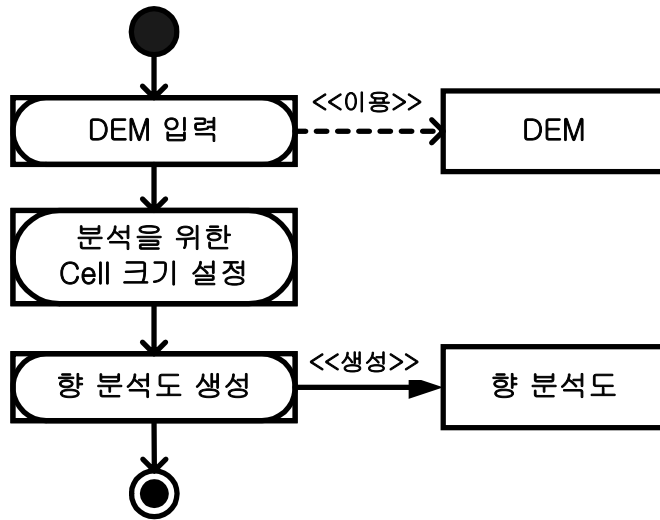


그림 4.3.7 향 분석 과정

4) 기복 분석

산지의 기복(Relief)를 음영으로 나타낸 것이 기복 분석도 또는 음영 분석도이다. 기복 분석도는 향 분석도처럼 지역의 지형 패턴을 보여주기 위한 참조자료로 활용될 수 있다. 기복 분석도 산출을 위해 DEM을 입력한 후, 산출되는 분석도의 격자의 크기를 설정하여 기복 분석도가 산출되도록 하였다(그림 4.3.8).

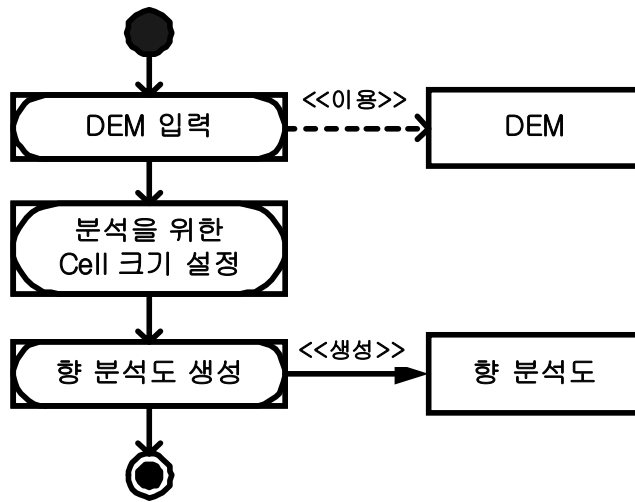


그림 4.3.7 향 분석 과정

나. 산림유역 입지해석 모듈

산림유역 입지해석 모듈은 유역경계도를 생성하여 사방댐 설계시 요구되는 유량을 계산하고 사방댐 시공 위치 선정시에 기준이 되는 하천망도를 작성하기 위하여 설계되었다. 이러한 기능을 수행하도록 모듈 하부는 유역설정 및 하천망 추출을 위한 수문분석 모듈과 한계유속 및 가정 최대 유량, 방수로 단면을 결정하는 유역정보 산출모듈로 구성된다.

수문분석 모듈은 Sink를 제거한 DEM을 입력하여 유수의 흐름방향을 분석하고, 누적집수량을 산출하여 유역경계도와 하천망도를 생성한다. 유역정보 산출모듈은 생성된 유역경계도를 이용하여 유역면적을 계산하고, 이를 이용하여 한계유속 및 가정 최대 유량 산출, 방수로 단면결정 등의 기능을 수행한다(그림 4.3.9).

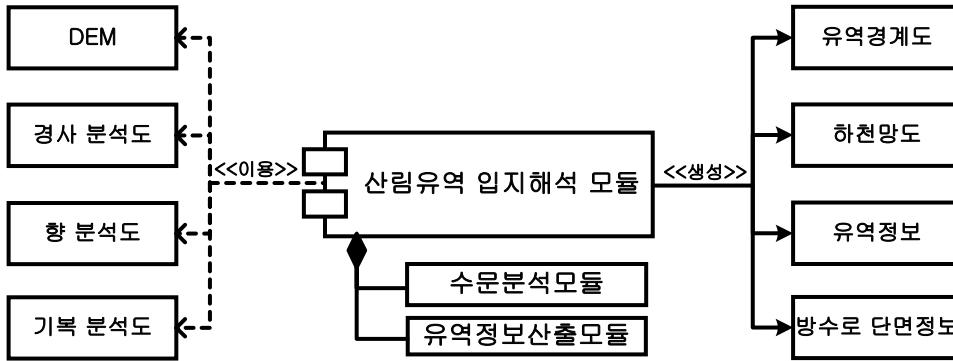


그림 4.3.9 산림유역 입지해석 모듈의 기능

1) 수문분석 모듈

수문분석 모듈은 DEM, 경사 분석도 등 지형분석을 통해 획득된 자료를 이용하여 유역경계 설정과 하천망 추출 등의 기능을 수행하기 위해 개발되었다. 제 기능으로 Sink 탐색 및 채우기, 흐름방향 분석, 누적집수량 분석, 그리고 유역경계 설정과 하천망 추출 등이 있으며, 흐름방향 분석과 누적집수량 분석을 통해 나온 분석도면을 근간으로 유역 경계도와 하천망도 등을 생성하게 된다.

가) 흐름방향 분석

흐름방향(Flow Direction)은 각 격자에서 외부로 유출되는 물의 방향을 의미한다. GIS에서 유출방향을 탐지하기 위하여 DEM 상의 각 격자에 대해 그림 4.3.10 에서 보인 바와 같이 윈도우(Window)를 움직여 공간분석을 수행한다. DEM에서 분석의 대상이 되는 격자 주변의 고도를 비교하여 가장 낮은 고도를 갖는 방향의 값을 결과 값으로 부여하도록 하는 알고리즘을 이용하였다. 유수는 고도값이 30인 격자에서 29인 격자로 흘러나가기 때문에 30인 격자에 흐름방향을 나타내기 위해 부여되는 값은 8이 된다. 이와 같은 방법으로 분석을 수행하여 흐름방향 분석도를 완성하도록 설계되었다.

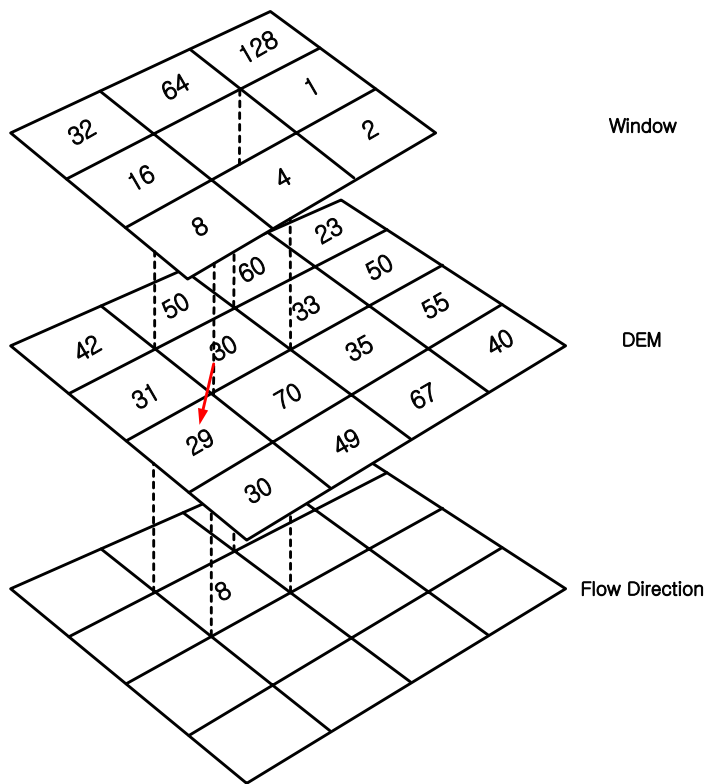


그림 4.3.10 흐름방향 분석 알고리즘

흐름방향 분석을 위해서 우선 DEM을 입력하고, 입력된 DEM 도면의 외곽부분도 흐름 방향 분석에 포함시킬 것인지를 결정한 후에 흐름방향 분석도가 출력되도록 설계하였다. (그림 4.3.11).

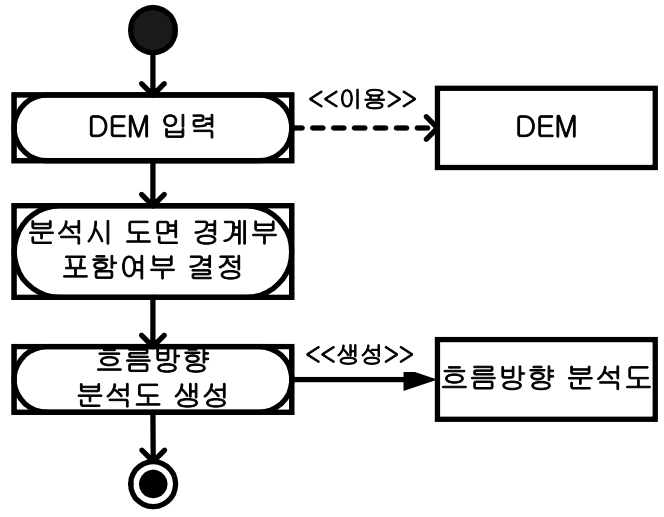


그림 4.3.11 흐름방향 분석과정

나) Sink 탐색 및 채우기

지형분석을 통해 최초로 생성된 DEM의 경우, 자료상의 오류 등으로 인해 주위보다 낮은 고도값을 갖는 격자인 Sink가 존재할 수 있다. Sink에서는 더 이상의 흐름방향이 발생하지 않기 때문에 흐름이 차단되는 지점으로 간주되어 흐름이 정지되고 누적집수량 분석시 비정상적인 누적량을 나타내게 된다. 따라서, 누적집수량 분석 이전에 Sink는 필히 제거되어야 한다(그림 4.3.12).

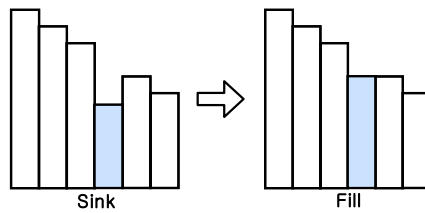


그림 4.3.12 Sink의 제거

Sink의 존재여부는 흐름방향 분석도를 이용하여 파악한다. Sink가 존재할 경우 Sink가 있는 DEM을 입력하고, Sink를 제거하여 누적집수량 분석시 생길 수 있는 오류를 제거하였다. Sink가 모두 제거된 DEM을 이용하여 흐름방향 분석을 재수행 함으로써 최종적인 흐름방향 분석도를 완성하도록 하였다(그림 4.3.13).

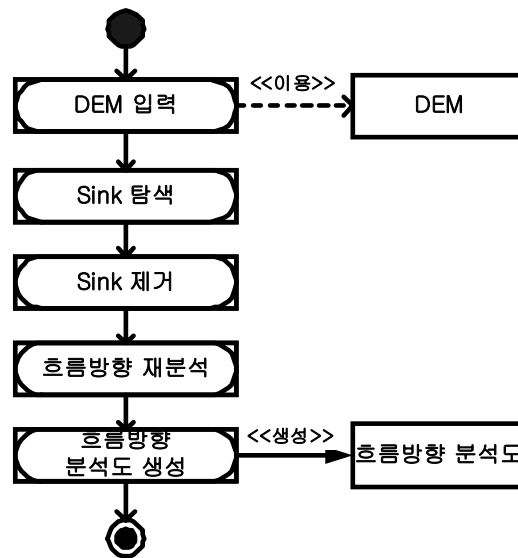


그림 4.3.13 흐름방향 분석과정

다) 누적집수량 분석

누적집수량(Flow Accumulation)은 각 격자에 모이는 유수의 누적량을 의미한다. 누적집수량을 산출하기 위한 공간분석을 통해 각 격자의 상태는 동일하며, 각 격자에서 유출되는 유량은 일정하다는 가정하에 흐름방향 분석결과를 토대로 각 격자의 유량에 기여하는 이웃 격자의 수를 누적하여 합산함으로써 유수의 흐름이 집중되어 유로를 형성하는 모습을 보여 주도록 하였다.

그림 4.3.14에서 사각테두리로 표시된 지역을 예로 들면, 누적집수량이 7로 할당되어 있다. 흐름방향(FLOW_DIR) 분석을 통해, 쇄선으로 표시된 세 격자에서 유출된 유수가 누적집수량에 기여하고 있음을 알 수 있다. 또한 세 격자의 누적집수량은 좌상단부터 1, 3, 0으로 주변 격자로부터 영향을 받고 있음을 보여준다. 따라서 사각테두리로 표시된 지역의 누적집수량에 영향을 미치는 격자는 좌측의 세 격자 뿐만 아니라 그것에 영향을 주는 주변의 격자 또한 포함된다. 이러한 점을 고려하면 누적집수량은 세 격자의 수 3에 각 격자의 누적집수량 1, 3, 0을 더한 값이 되므로, 7이 할당된다.

$$\text{누적집수량} = \text{유량에 영향을 주는 주변 격자의 수} + \text{주변 격자에 영향을 주는 격자의 수}$$

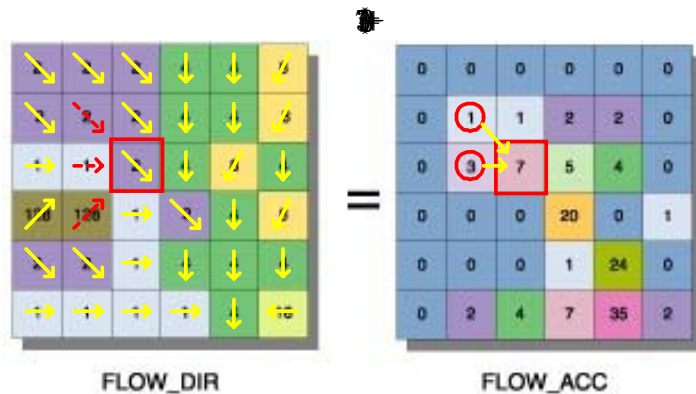


그림 4.3.14 흐름방향과 누적집수량의 관계

최종사용자는 흐름방향 분석도를 입력하고 분석을 수행함으로써 누적집수량 분석결과를 얻을 수 있다. 여기서 얻어진 누적집수량 분석도는 래스터 자료형태의 유역경계도와 하천망도를 생성하기 위한 공간분석의 원천자료로 이용된다(그림 4.3.15).

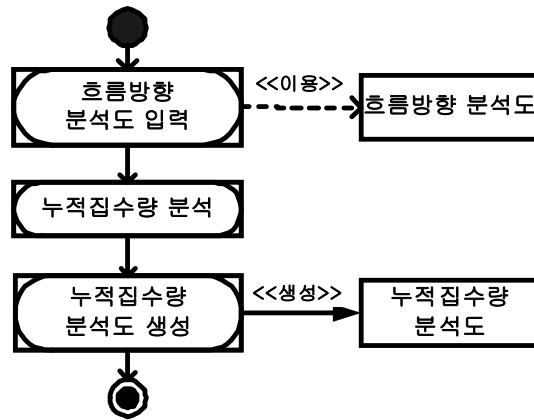


그림 4.3.15 누적집수량 분석과정

라) 유역경계 설정

유역은 하천이나 강의 한 점 즉, 유역출구에 집수되는 물의 분수령 내에 속하는 모든 산림을 포함하는 개념이다. 유역 내에 강우나 한발이 발생하면 유역출구에서 유출되는 유량에 변동이 발생하게 된다. 이러한 유출량의 변동은 유역출구에 위치한 사방댐의 구조와 안정성에 영향을 미치게 되고, 사방댐 설계시 안정성을 높이기 위해 최대유량을 추정하여 이를 견디어낼 수 있도록 설계한다.

최대유량을 추정하기 위해서 유역의 면적이 이용된다. 따라서 유역의 경계를 설정하고 그 면적을 산출하는 과정은 사방댐 설계시 필수적으로 요구된다. 기존의 방법은 사방댐이 시공될 위치를 정하고 그 위치를 기준으로 1:25,000 지형도 위에 유역의 경계를 그려 플라니미터 등을 이용하여 그 면적을 계산하였다.

본 모듈에서도 이러한 과정을 지원하기 위하여 유역 경계를 설정하고 유역의 면적을 계산할 수 있도록 유역설정 기능을 구현하였다. 유역의 경계를 결정하는 방법으로 두 가지 방법을 지원하고 있다.

첫 번째는, 유역출구를 지정하지 않고 누적집수량을 근거로 하천망을 형성한 후에 하천이 서로 만나는 곳을 유역출구로 하여 유역의 경계를 결정짓는 방법이다. 이 방법은 전체 지역에 대하여 유역을 분류할 때 이용할 수 있다.

두 번째는, 유역출구를 지정하여 유역의 경계를 설정하는 방법으로 기존의 사방댐 위치

를 이용하거나 새로 사방댐 위치 좌표를 입력하여 유역출구를 결정하면 정해진 바에 따라 유역의 경계를 도출한다. 또한 사용자가 임의로 유역출구를 마우스 등의 입력장치로 지정하면 그 점을 유역출구로 하여 유역 경계를 결정할 수도 있다.

유역 경계 설정을 위해서 기본적으로 흐름방향 분석도를 입력하고 유역출구를 계산하여 유역을 구분하는 Threshold를 이용할 것인지 유역출구를 지정해 주는 Shapefile을 이용할 것인지를 결정한다. 결정된 방식에 따라서 요구되는 조건을 설정한 다음 분석을 수행할 수 있다(그림 4.3.16).

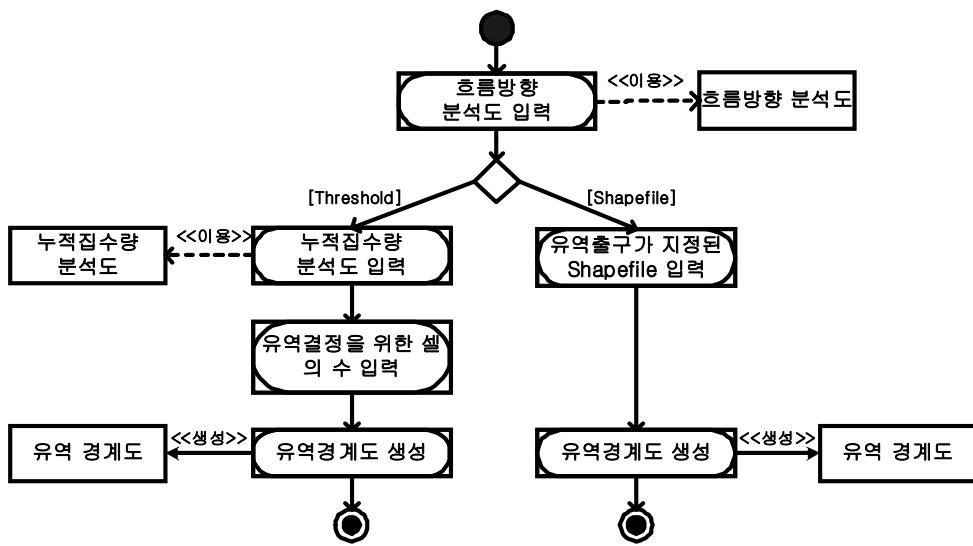


그림 4.3.16 유역경계 설정과정

마) 하천망 추출

하천망은 사방댐 시공 후보지 선정을 위한 기준 자료로 활용된다. 하천을 중심으로 횡단면을 분석하여 사방댐의 시공이 적합한지를 판정하게 된다. 따라서 하천을 추출하고 이를 벡터(Vector) 자료형으로 변환하여 이용가능한 자료로 가공하는 기능이 요구되었다. 하천망 추출 기능은 이러한 목적을 충족시키기 위하여 설계되었다. 흐름방향 분석도와 누적집수량 분석도를 설정하고 하천결정을 위한 셀의 개수를 결정한 뒤 분석을 수행함으로써 추출된다(그림 4.3.17).

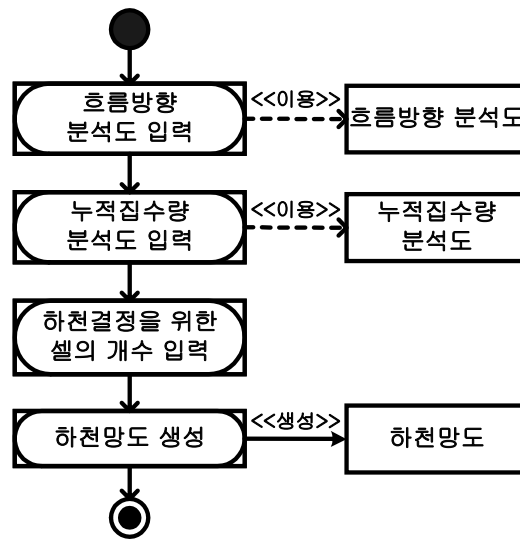


그림 4.3.17 하천망도 추출 과정

2) 유역정보 산출 및 방수로 단면결정 모듈

본 모듈은 수문분석을 통해 얻어진 결과들을 이용하여 사방댐 설계에 활용될 수 있는 유역정보와 방수로 단면정보 등을 관리하기 위하여 개발되었다. 최대시우량, 유출계수, 계상인자크기, K값 등을 입력하면 한계 유속과 가정 최대유량 등이 계산되어 데이터베이스에 저장되고, 일반적으로 사방댐 설계시에 이용되는 방수로 단면결정 방법을 이용하여 방수로 단면설계에 관련된 수량을 계산하도록 되어있다.

가) 유역정보 산출

수문분석을 통해 설정된 유역경계를 토대로 유역의 면적을 구하고 사용자에게 의해 입력된 최대 시우량, 유출계수, 계상인자크기, K값 등을 근거로 표 4.3.2에 제시된 식에 따라 한계 유속과 가정최대유량을 산출하도록 설계되었다. 산출 된 값들은 데이터베이스에 저장되도록 하였으며, 유역레이어를 선택하면 자동으로 유역면적이 계산되도록 하였다(그림 4.3.18).

표 4.3.2 한계유속 및 가정최대유량 산출식

종별		단위	식
가정최대유량	집수구역면적	ha	a
	유출계수		f
	최대시우량	mm/hr	H
	가정최대유량	m ³ /sec	$Q=0.002778 \times a \times f \times H$
계상구성인자의 크기		m	d
한계유속		m/sec	$V_1=K\sqrt{d}$

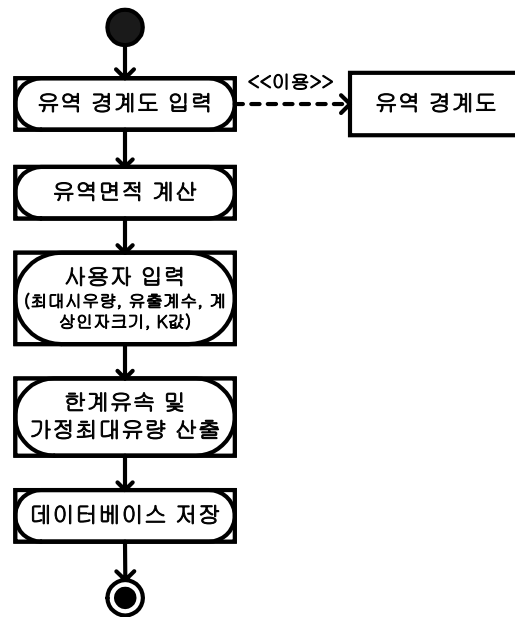


그림 4.3.18 유역정보 산출과정

나) 방수로 단면결정

방수로의 크기, 위치, 어깨의 구조 등은 댐의 유지면에서 대단히 중요한 사항으로 적절하게 방수로의 크기가 결정되지 않으면 월류 등으로 인해 방수로의 어깨가 파괴될 수 있다. 이는 곧 댐의 안정성에 치명적인 손상을 주기 때문에 댐 설계시에 이 점에 주의하여 방수로의 크기를 결정할 필요가 있다(그림 4.3.19). 그러나 철강재 사방댐의 경우에는 강제틀 댐을 제외한 스크린 댐이나 슬릿 댐에서는 방수로가 고려되지 않고 있기 때문에 방수로 단면을 결정하기 위한 수치계산은 콘크리트 댐과 강제틀 댐 설계시에 활용된다.

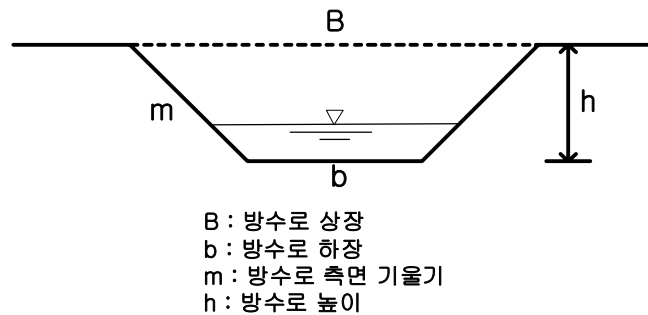


그림 4.3.19 방수로(Outlet)

방수로의 단면결정을 위해 사용자가 방수로의 하장, 방수로 측면경사, 방수로 높이 등을 판단하여 적절한 값을 설정하면, 앞서 구한 한계유속과 가정최대유량 값을 이용하여 방수로 상장, 방수로 단면적, 방수로 평균수심 등을 계산한다. 가정최대유량을 한계유속으로 나누어 수로단면적을 계산하고 방수로 단면적을 방수로 평균수심으로 나누어 유수의 평균수심 즉 경심을 결정하며, 한계유속과 경심을 이용하여 계상의 계획 기울기를 구하게 된다. 더불어 방수로를 개수로나 사다리꼴 축류웨어로 가정하고 계획홍수량과 계획홍수량에 대한 총유출량 비를 구하여 홍수시 방수로를 지나는 유량을 추정한다(그림 4.3.20). 방수로 단면결정에 이용되는 인자와 산출식을 표 4.3.3에 제시하였다.

표 4.3.3 방수로 단면 결정식

종별		단위	식
가정최대유량	집수구역면적	ha	a
	유출계수		f
	최대시우량	mm/hr	H
	가정최대유량	m ³ /sec	Q=0.002778×a×f×H
계상구성인자의 크기		m	d
한계유속		m/sec	V ₁ =K√d
방수로 단면적	방수로 측면경사		m
	방수로 하장	m	b
	방수로 높이	m	h
	방수로 상장	m	B=b+2mh
	방수로 면적	m ²	A=(b+mh)h
	방수로 평균수심	m	P=b+2h√(1+m ²)
수로단면적		m ²	A _c =Q/V ₁
유수 평균수심		m	R=A/P
계상 계획기울기		%	J=V ₁ ² /R ² (0.0004R+0.0007)
계획홍수위 유량	개수로	m ³ /sec	Q _o =V ₁ *A
	축류웨어	m ³ /sec	Q _w =(1.77b+1.42h)h ^{3/2}
계획홍수위 유량에 대한 총유출량의 비	개수로	m ³ /sec	Q _o /Q
	축류웨어	m ³ /sec	Q _w /Q

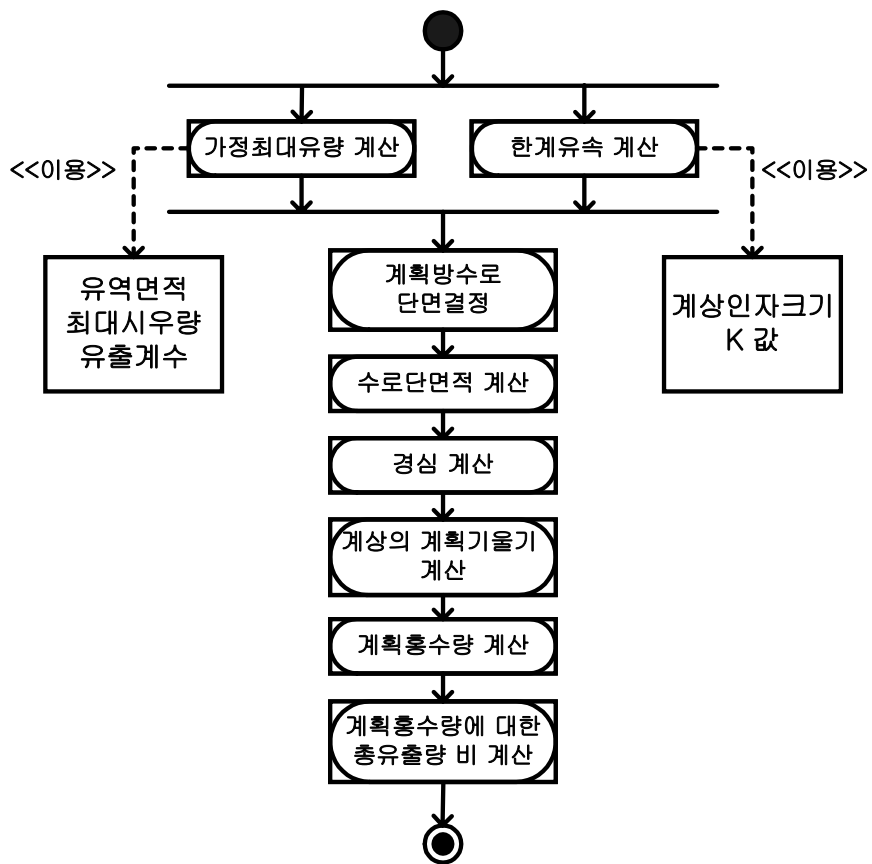


그림 4.3.20 방수로 단면 결정 과정

다. 사방댐 시공 후보지 선정 모듈

사방댐 시공 후보지 선정 모듈은 사방댐 시공지를 선정하기 전에 사방댐이 건설될 수 있는 지역을 가려내기 위한 것으로 하천을 중심으로 좌우로 일정한 폭 만큼의 횡단면을 분석하여 V자형 혹은 U자형 지형인지 여부를 검토하고 시공에 적합한 후보지를 제안하는 역할을 수행한다.

기본입력자료로 산림유역 입지해석 모듈을 이용하여 추출한 벡터 자료형인 하천망도와 3차원 지형을 모사한 TIN을 이용한다. 하천 중 한 지류를 선택해 일정 거리를 두어 분석지점을 결정하고, 분석지점에서 하천 지류에 수직한 선을 그어 횡단면도를 작성한 뒤, 각 횡단면의 형태를 분석하여 사방댐 시공 후보지를 선정하는 과정을 거쳐 사방댐 시공 후보지를 표시한 도면을 생성하게 된다(그림 4.3.21).

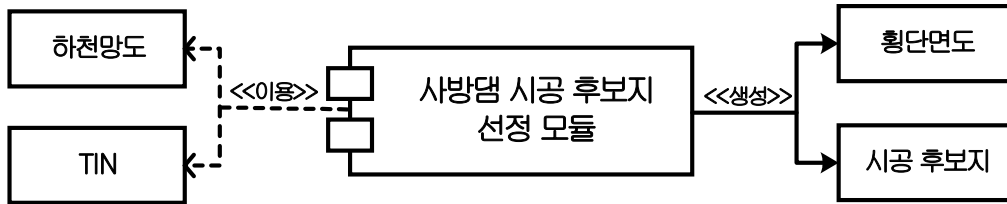


그림 4.3.21 사방댐 시공 후보지 선정 모듈의 기능

1) 분석환경 설정

사방댐 시공 후보지 선정을 위해서 공간분석이 수행될 범위를 설정하여야 한다. 공간분석의 범위는 분석지점간의 거리(L)와 횡단면의 폭(W) 그리고 횡단면의 형상이 분석될 유효고(H) 등이다(그림 4.3.22). 분석범위가 넓을 경우 시간과 이용자원의 소비가 많은 반면, 다량의 정보를 획득할 수 있다. 반대로 분석범위가 좁을 경우 시간과 이용자원의 소비는 적은 반면, 획득되는 정보의 양이 제한적이다. 또한 사용자의 분석 의도도 분석범위 결정에 영향을 미친다. 이러한 점을 고려하여 사용자가 자신의 판단에 의해 분석환경을 설정할 수 있도록 설계하였다. 일반적으로 횡단면의 폭과 유효고는 설치하려는 사방댐의 폭과 높이에 따라 달라질 수 있고, 분석지점 간의 거리는 설계자의 판단에 따라 결정될 수 있다.

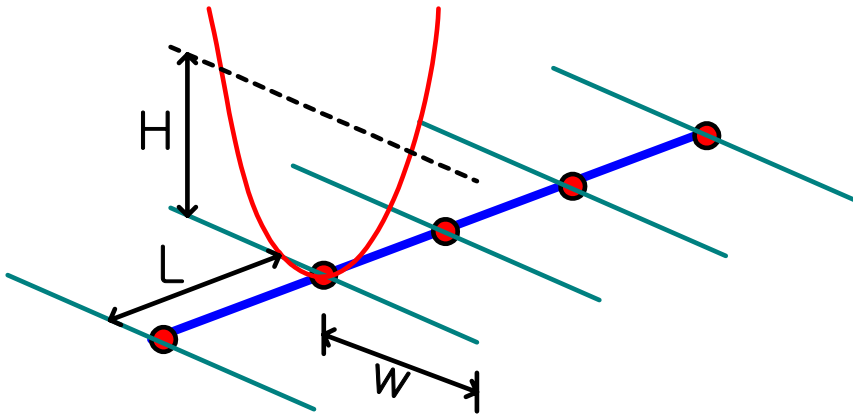


그림 4.3.22 분석 범위 설정

2) 횡단면도 작성 및 후보지의 선정

횡단면 정보를 제공해 줄 TIN을 선택하고 하천망도에서 사방댐이 놓일 지류를 결정하면, 분석범위에 따라 지형의 횡단면도가 추출되도록 설계하였다. 이는 후보지 선정을 위한 것으로 횡단면의 형상에 따라 사방댐 설치가능 여부를 가늠하기 위한 것이다. 그림 4.3.23에서 곡선형태로 나타난 것이 횡단면의 모습이다.

횡단면도가 작성되면, 분석범위 내에서 횡단면 형상이 V자 혹은 U자형인지 여부에 따라 사방댐 시공 후보지 선정여부가 결정된다. 즉, 사방댐이 시공될 수 있는 적지는 하천의 양안이 막혀있어서 물과 토사를 가둘 수 있는 환경이어야 한다. 이러한 점을 고려하여 공간 분석을 통해 이러한 지형을 가려내었다.

작성된 횡단면도를 이용하여 설정된 유효고에서 선을 그어 두 점에서 만나는 경우, 안정된 사방댐을 시공할 수 있는 적지로 판단할 수 있다. 한 점에서 만날 경우에는 한 면이 트여있는 경우로 저수 및 저사기능을 할 수 없고, 세 점 이상 만나는 경우에는 시공지의 지형이 복잡적으로 이루어져 있어 양안의 경계가 불분명한 지형이다. 이러한 지점에서는 토공사를 통해 양안의 경계를 분명히 하는 과정을 거쳐 댐의 안정성을 확보하므로 비용이 많이 들게 된다(그림 4.3.23).

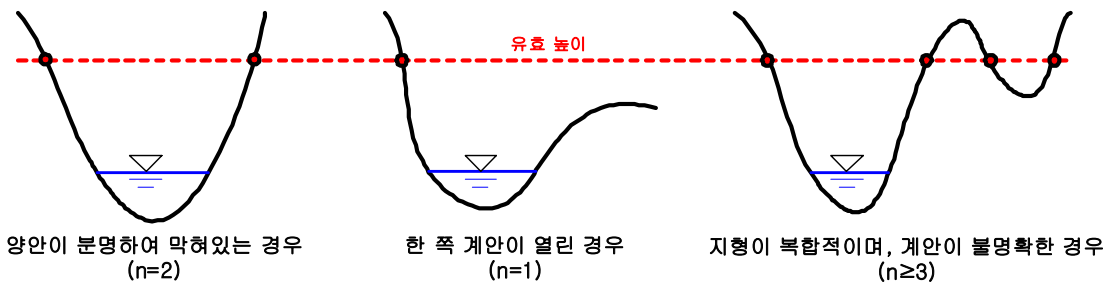


그림 4.3.23 횡단면의 형상

3. 철강재 사방댐 관리 지원 모델

철강재 사방댐 관리 지원 모델은 기존에 문서로 작성되어 유지되던 사방댐에 관련된 제반 정보를 관리하도록 설계되었다. GIS와 연계하여 사방댐의 위치를 등록할 수 있도록 하였고, 사방사업에 관련된 사방지 지정대장 및 사방댐 사업설계 설명서를 작성하여 관리할 수 있도록 하였다. 또한 사방댐 시공에 소요된 공사비용 정보를 입력하여 관리하도록 설계하였으며, 사방댐 유지보수 내역을 작성하여 사방댐 관리상황을 점검할 수 있도록 하였다. 더불어 사방댐에 관련된 이미지를 저장하여 볼 수 있도록 구현하였다(그림 4.3.24).

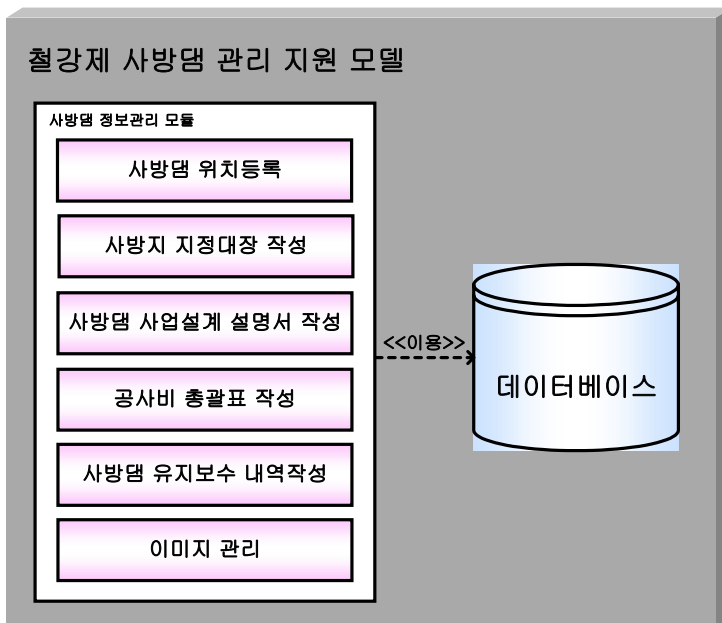


그림 4.3.24 사방댐 관리 지원 모델의 구성

가. 사방댐 정보관리 모듈

사방댐 정보관리 모듈은 사용자의 입력이나 혹은 시스템 내부에서 지원되는 내용을 데이터베이스에 저장하고 검색하는 기능을 제공한다. 사방지 지정대장 및 사방댐 사업설계 설명서, 그리고 사방댐 시공에 따른 공사비용을 정산한 공사비 총괄표 등을 작성·관리할 수 있다. 또한 사방댐 시공 후 유지보수내역을 기록하여 보관하도록 하였으며, 사방댐의 시공 전후에 생성된 사진 등의 이미지를 등록하여 볼 수 있도록 하였다.

본 모듈은 데이터베이스에 접근하여 제 기능을 수행할 수 있도록 하기 위해 데이터베이스 접속객체인 ADO(ActiveX Data Object)를 이용하였다. ADO는 마이크로소프트에서 개발한 데이터베이스 접속객체로 일관성 있는 인터페이스를 유지하고 다양한 데이터 원본에 접속할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 장점으로 인해 테이블 구조가 바뀌지 않는다면, Vendor가 다른 DBMS에 데이터베이스가 구현되었다 할지라도 개발된 코드를 수정하지 않아도 된다. 본 연구에서는 마이크로소프트 사의 Access 2000을 DBMS로 이용하였지만, 추후에 다른 오라클이나 MSSQL Server 등의 다른 DBMS로 확장되더라도 코드 수정의 폭이 최소가 되도록 하였다.

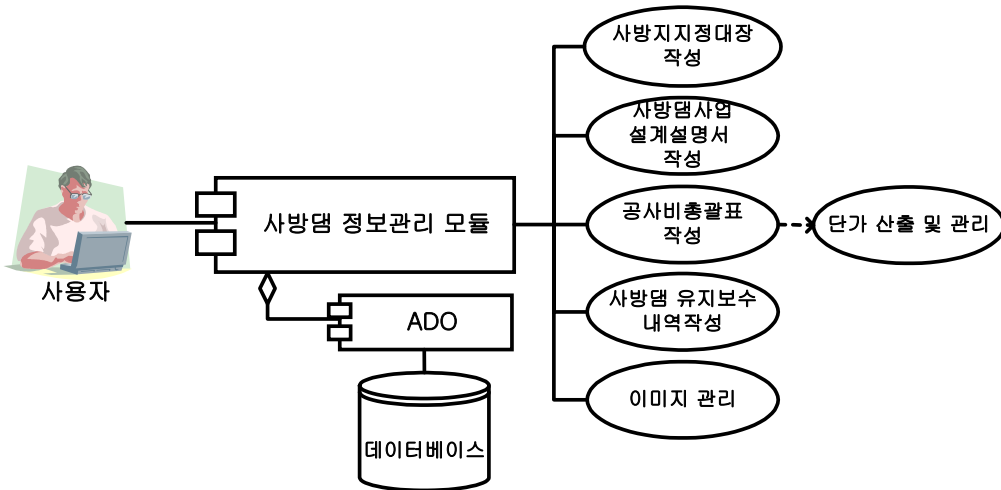


그림 4.3.25 사방댐 정보관리 모듈의 기능

1) 사방댐 위치등록

사방댐의 위치등록은 두 가지 경우로 나누어 생각할 수 있다. 하나는 기존의 사방댐 시공 후보지가 사방댐 시공지로 선정되어 설치가 된 경우로 기존의 사방댐 시공 후보지를 선택하여 사방댐 위치로 등록시킬 수 있으며, 다른 하나는 이미 설치된 사방댐의 위치를 등록시키는 경우로 새롭게 자료를 생성해야 한다(그림 4.3.26).

사방댐의 위치는 사방댐 위치도 상에 점자료로 저장되고 관련된 속성자료들은 데이터베이스에 저장된다. 두 자료 간의 연결은 사방댐에 부여된 임의의 ID를 이용하여 가능하도록 하였다.

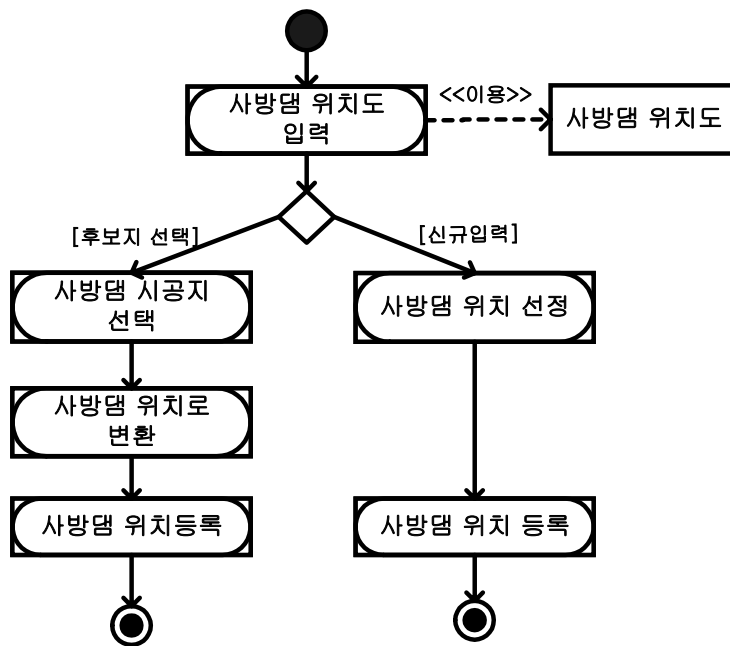


그림 4.3.26 사방댐 위치 등록 과정

2) 사방지 지정대장 작성

사방지 지정대장은 사방지 지정고시가 나온 후 사방댐이 설치될 지역에 대한 정보를 기록하는 대장으로 사방지의 주소, 지번, 지목 등의 토지소재지 정보와 사방지 지정 및 해제 지역의 면적, 지정 및 해제 사유, 고시번호 등의 사방지 정보, 그리고 대장정리자, 적요 등의 기타정보를 기록한다(표 4.3.4). 그리고 사방댐 지정대장을 작성하기 위해서는 사방댐의 이름을 선택하여 활성화시킨 후, 토지소재지 정보, 사방지 지정 및 해제 정보, 기타 정보 등을 입력하고 저장할 수 있도록 하였다.

표 4.3.4 사방지 지정대장 정보내역

구분	정보내역
사방지 지정대장	① 토지소재지 주소 및 지번
	② 지목
	③ 면적
	④ 사방지 지정면적, 사방종류, 고시번호 및 일자, 지정구역 도면번호
	⑤ 사방지 해제면적, 사유, 고시번호 및 일자
	⑥ 사방지 잔여면적
	⑦ 적요
	⑧ 대장정리자

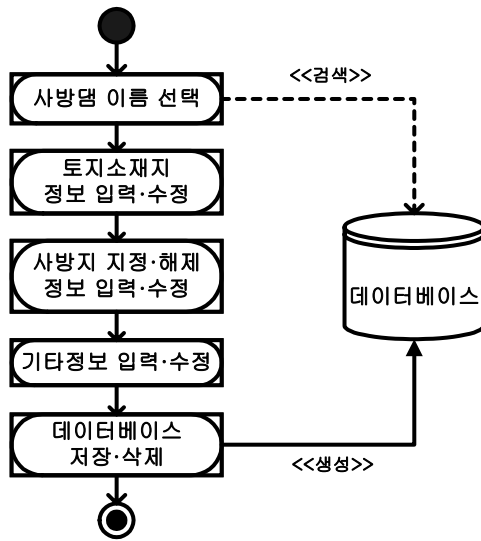


그림 4.3.27 사방댐 지정대장 작성 과정

3) 사방댐 사업 설계설명서 작성

사방댐 사업설계 설명서는 사방댐 설계서에 작성되는 것으로 유역의 현황과 댐이 위치한 주변의 상황 등을 기록하는 설계 내역서이다. 여기에는 유역현황, 계류현상, 댐자리 현황, 가정최대유량 등 4가지 부분에 대한 정보를 입력하도록 되어 있다(그림 4.3.28). 여기에 기록되는 정보 중 일부는 산림유역 입지해석 모듈에서 유역정보 산출 기능을 통해 생성된 정보를 이용할 수 있다(표 4.3.2). 그밖에 사방댐 사업 설계설명서에 기록되는 내용은 표 4.3.5에 제시된 바와 같다.

표 4.3.5 사방댐 사업 설계설명서 정보내역

구분	정보내역
사방댐 사업 설계설명서	유역현황 ① 유역면적 ② 계상의 상태 ③ 지질 ④ 침식붕괴의 정도 ⑤ 임황(산림지, 저수지, 미입목지, 황폐지 비율) ⑥ 사방시설면적 ⑦ 황폐임야면적 ⑧ 경사도 ⑨ 토심 ⑩ 유역의 형상 ⑪ K값 ⑫ 기타
	계류현상 ① 계류연장 ② 계류구배 ③ 계상 구성인자의 크기 ④ 폭
	댐자리현상 ① 계상폭 ② 지반상태 ③ 댐의 규모
	가정최대유량 ① 강수(최대시우량, 최대일우량, 년평균강수량) ② 수리량(유출계수, 가정최대유량, 한계유속) ③ 공정선정과 현황

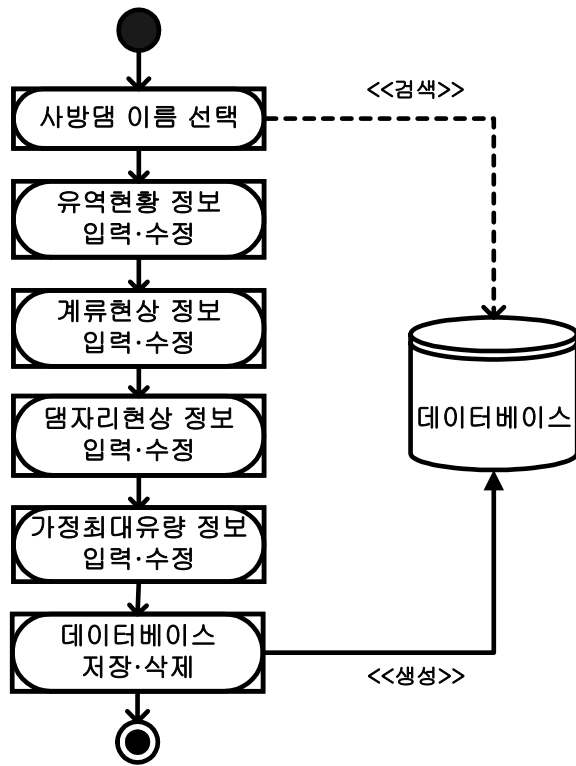


그림 4.3.28 사방댐 사업 설계설명서
작성 과정

4) 공사비 총괄표 작성

공사비 총괄표는 사방댐 시공에 이용된 자재비용과 시공에 투입된 노무비용 등의 단가와 투입된 수량에 따른 공사비용을 정산하여 정리한 문서이다. 본 모듈에서는 산출된 단가를 목록으로 작성하고 단가목록 테이블에 저장함으로써 유지·관리가 가능하도록 하였으며, 총 공사비용 계산시에 테이블에 저장된 단가 내역을 호출하여 공사비 총괄표를 완성할 수 있도록 하였다(그림 4.3.29).

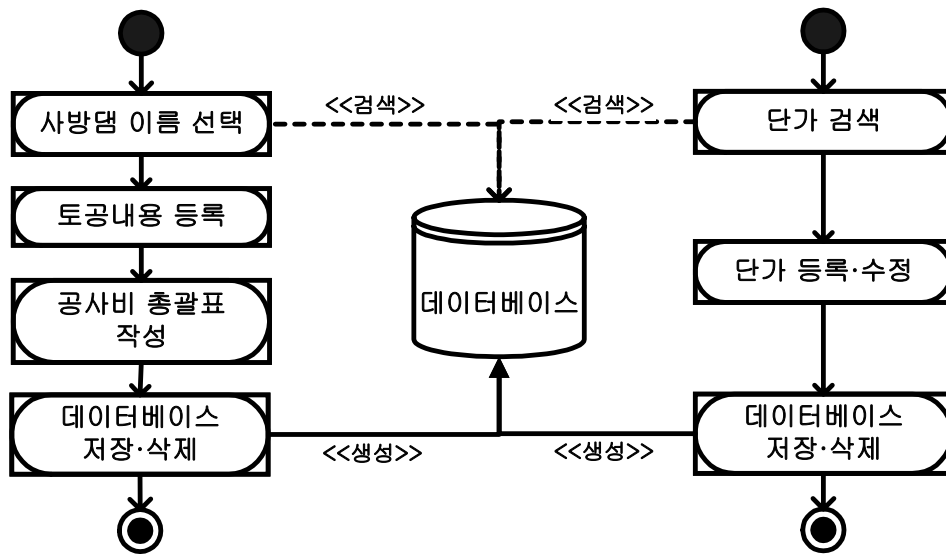


그림 4.3.29 공사비 총괄표 작성 과정

5) 사방댐 유지보수 내역작성

사방댐 유지보수 내역작성 기능을 이용하여 설치된 사방댐의 상태를 지속적으로 관리하면서 발생될 수 있는 각종 정보를 기록할 수 있도록 설계하였다. 기록되는 내용은 일자, 항목, 투자액, 그리고 적요 등으로 사용자가 직접 기입하도록 하였다.

사용자는 유지보수내역을 검색하여 목록을 작성하고 새로운 내용을 등록하거나 기존의 내용을 수정·삭제할 수 있다. 그리고 변화된 내용을 데이터베이스에 반영하는 체계로 구성되었다(그림 4.3.30).

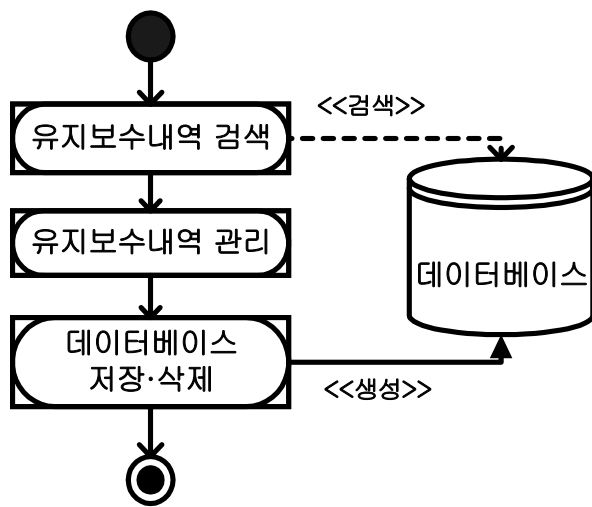


그림 4.3.30 사방댐 유지보수 내역 작성 과정

6) 이미지 관리

사방땀 시공 및 관리 과정에서 사진이나 그림 같은 이미지 자료들이 생성된다. 이러한 이미지들을 관리할 수 있도록 이미지 관리 기능을 구현하였다. 이미지 자료들은 파일 형태로 일정한 공간에 보관되고 데이터베이스는 그 파일들을 저장할 수 없기 때문에 그 경로만을 관리하도록 하였다.

사용자는 자신이 저장하고자 원하는 이미지 파일을 선택하면 데이터베이스에는 그 이미지 파일의 경로가 저장되고, 삭제 시에는 데이터베이스에 입력된 경로만이 제거된다. 만일 이미지 파일의 경로가 변경되었을 경우에는 그 경로는 다시 갱신시켜 주도록 하였다(그림 4.3.31).

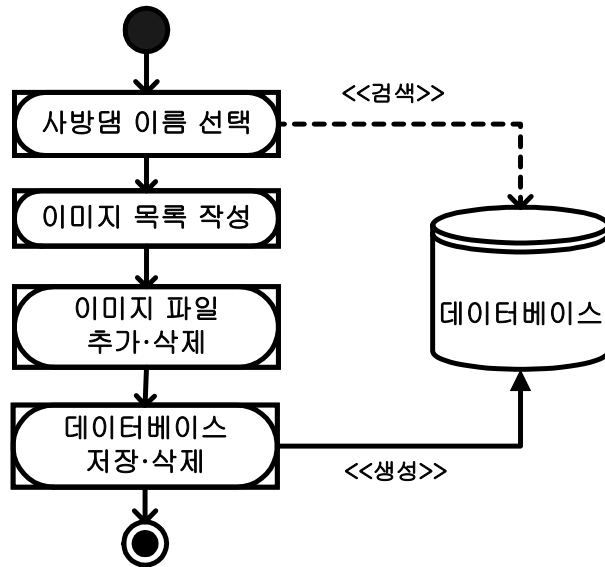


그림 4.3.31 이미지 관리 과정

제4절 적용성 검토

1. 연구 대상지 및 연구 자료

사례연구는 강원도 홍천군 동면 속초리 지역을 대상으로 하였다. 이 지역은 북부지방 산림관리청 산하 홍천 국유림관리소 관할 지역으로, 사방댐 시공에 관련된 자료가 비교적 잘 관리되어 있었으며, 홍천국유림 관리소로부터 적용성 검토에 필요한 자료를 쉽게 확보할 수 있었다.



그림 4.4.1 강원도 홍천군 동면 속초리 사방댐



그림 4.4.2 3차원 지형

지형도는 국립지리원에서 구축한 1/25,000 수치지형도를 이용하였고, 홍천국유림 관리소에서 획득한 사방댐 사업설계설명서와 시설공사도면을 가지고 적용성 검토를 실시하였다.

표 4.4.1 사례지역분석에 사용된 자료목록

자료형태	자료명	축척	출처
공간자료	수치지형도	1 : 25,000	국립지리원
문서자료	사방댐 사업설계내역서	-	홍천국유림관리소
	사방댐 시설공사도면	-	홍천국유림관리소

2. 모델의 적용결과 및 고찰

가. 철강재 사방댐 설계 지원

1) 지형분석

그림 4.4.3은 ArcGIS의 ArcMap에 등록된 지형분석 도구를 나타내고 있다. 전술된 바와 같이 이 도구는 지형분석을 통해 DEM과 경사, 향, 기복 등의 지형정보를 추출하도록 설계되었다. 지형분석 도구는 ArcMap을 실행한 후, 도구메뉴의 사용자 정의를 실행하고 파일에서 추가버튼을 눌러 TopoAnalysis.dll 파일을 불러오면 등록된다.



그림 4.4.3 지형분석 도구

가) DEM 추출

지형분석 도구에서 DEM 추출 메뉴를 선택하면, 그림 4.4.4에 보이는 바와 같은 메뉴가 나타난다. 이 메뉴는 DEM을 추출하기 위한 과정을 명령으로 처리할 수 있도록 순서대로 나열되어 있다.

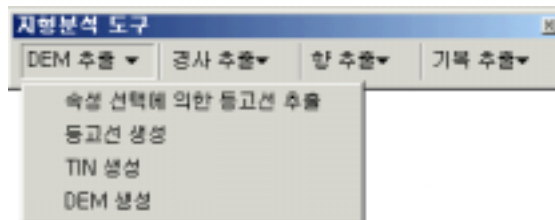


그림 4.4.4 DEM 추출 메뉴

DEM을 추출하기 위한 첫 번째로 수치지형도에서 등고선을 추출하는 과정이 필요하다. 수치지형도를 ArcMap에 등록한 후, 속성선택에 의한 등고선 추출을 클릭하면, 그림 4.4.5와 같은 대화창이 뜬다.

여기서 홍천군 동면 속초리에 해당하는 377082.dxf polyline레이어를 콤보박스에서 선택하고, 선택방식을 '새로운 선택객체 생성(Create a new selection)'으로 하여 수치지형도에서 등고선을 추출할 수 있도록 준비를 한다. 선택방식에는 여러 가지가 있는데, 여기서 이용하는 방식은 선택객체가 전혀 없는 도면에 질의에 따라 새로운 선택객체를 생성하는 방식이다.

필드를 "Layer"로 하고 고유값을 '7111'과 '7114'로 선택한다. 수치지형도에서 등고선을 나타내는 코드는 7111과 7114로 이 모두를 선택하면 등고선을 추출할 수 있다. 모두 더블클릭에 의해 이루어지며, 결과가 텍스트 박스에 나타난다. 이 과정을 마친 후에 적용 버튼을 누르면 등고선이 선택된다(그림 4.4.6).

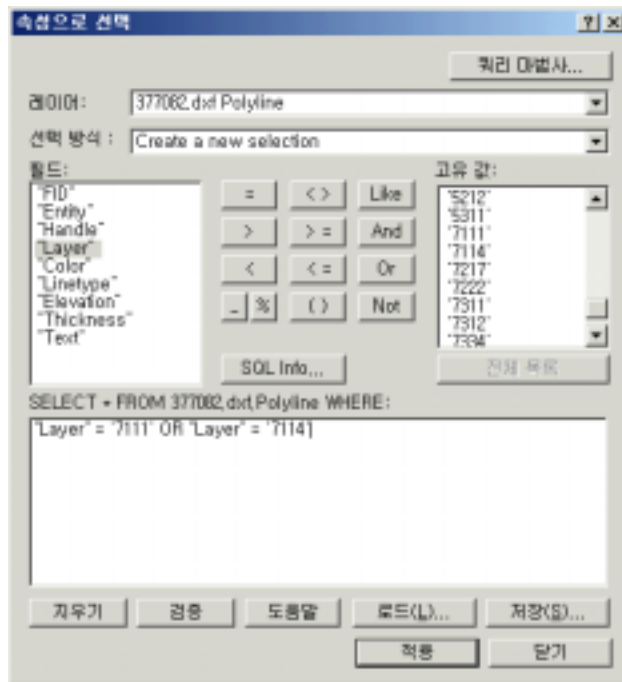


그림 4.4.5 속성선택에 의해 등고선을 추출하기 위한 대화창

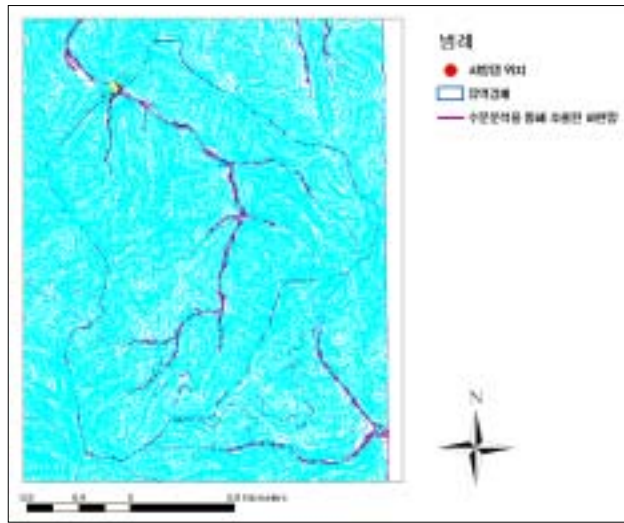


그림 4.4.6 등고선 선택

등고선이 선택된 후 등고선 생성을 클릭하면 선택되었던 지역이 새로운 Shapefile로 변환되면서 등고선 추출과정이 마쳐진다. 등고선 추출이 끝나면 TIN을 생성한다. 등고선은 TIN을 생성하기 위한 전처리 과정이며, 실제로 DEM을 생성하는데 이용되는 자료는 TIN이다.

TIN 생성을 클릭하면 그림 4.4.7과 같은 창이 나타난다. 앞서 언급된 바와 같이 ArcGIS의 COM 명령을 이용하여 지형분석 과정을 수행하기 때문에 한글화가 미진한 부분이 있을 경우 영문으로 된 대화창이 뜨게 된다. 이 대화창에서 등고선 레이어인 'c_377082'를 체크하고 높이값(Height source)을 ELEVATION으로, 등고선의 각 점을 이용하기 위하여 mass point 선택한다. 그리고 출력경로를 지정해 주면 TIN이 완성되고 그림 4.4.2와 같은 3차원 지형이 만들어지게 된다.

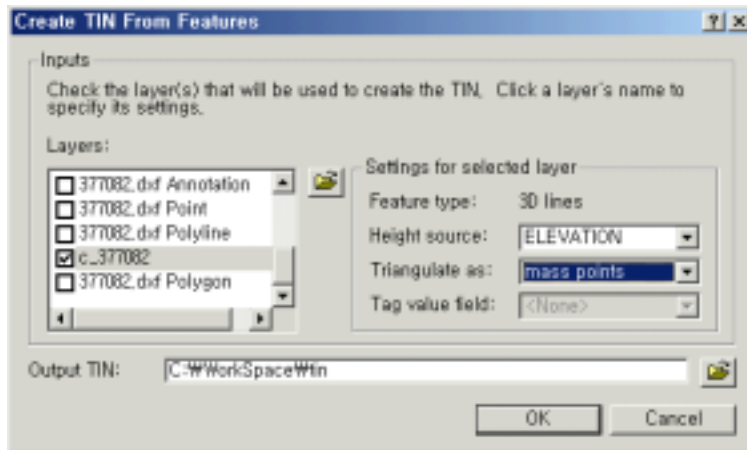


그림 4.4.7 TIN 생성 대화창

TIN이 만들어진 후, DEM 추출 메뉴를 클릭하면 그림 4.4.8과 같은 대화창이 나타난다. 이 대화창은 TIN을 래스터 자료형으로 변환하여 DEM을 생성하도록 도와준다. 이 대화창에서 TIN 자료를 입력하고, 속성(Attribute)을 Elevation으로 설정한 다음, 다른 값을 주어진 값으로 둔 상태에서 격자의 크기(Cell size)를 20으로 하여 OK 버튼을 클릭하면, 그림 4.4.9에서 보인 바와 같은 DEM이 생성된다.

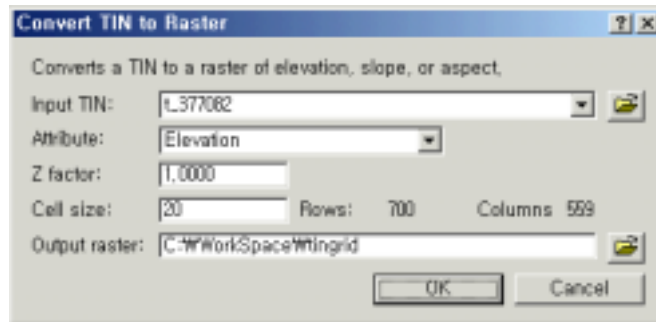


그림 4.4.8 래스터 변환 대화창

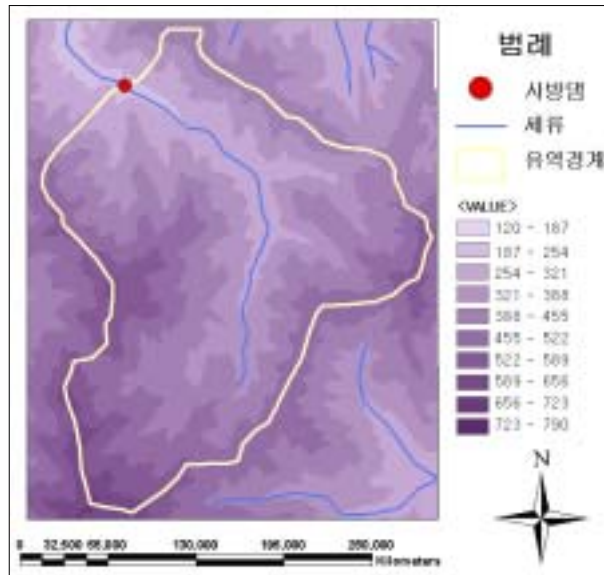


그림 4.4.9 DEM

나) 경사 추출

그림 4.4.10은 경사추출 메뉴를 보여주고 있다. 여기서 경사분석을 클릭하면, 그림 4.4.11과 같은 대화창이 나타나고 경사분석을 위해 설정치를 입력할 수 있도록 활성화가 된다.

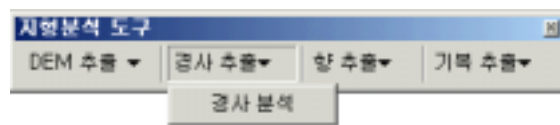


그림 4.4.10 경사분석 메뉴

대화창에서 입력자료로 DEM을 입력하고, 결과값을 도나 백분율 중 하나를 선택한 후 격자의 크기를 설정하여 실행하면, 그림 4.4.12와 같은 경사 분석도가 생성된다.

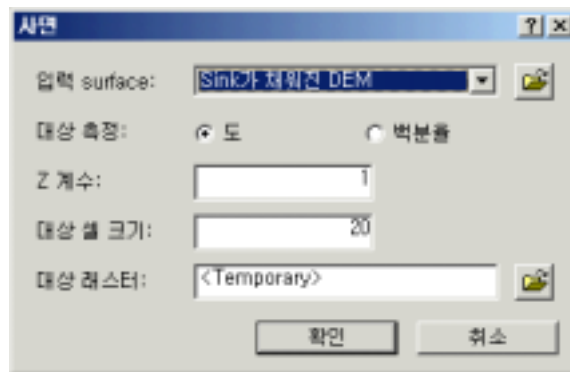


그림 4.4.11 경사분석을 위한 대화창

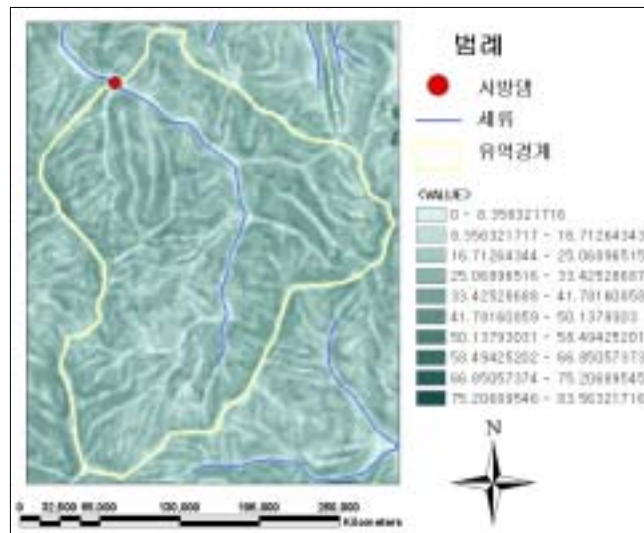


그림 4.4.12 경사분석도

다) 향 추출

향을 추출하기 위하여 그림 4.4.13에 보인 바와 같은 향 분석 메뉴를 클릭하면, 향 분석을 위한 대화창이 나타난다.



그림 4.4.13 향 분석 메뉴

그림 4.4.14는 향 분석을 위한 대화창으로 입력 자료와 격자의 크기 등을 설정하고 확인 버튼을 누르면 그림 4.4.15와 같은 향 분석도가 만들어지게 된다.

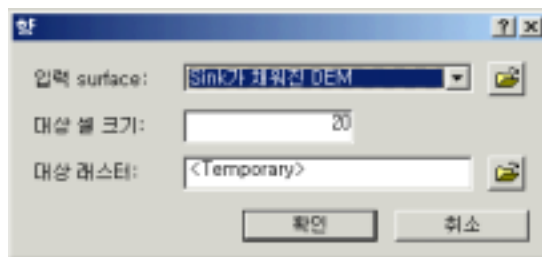


그림 4.4.14 향 분석을 위한 대화창

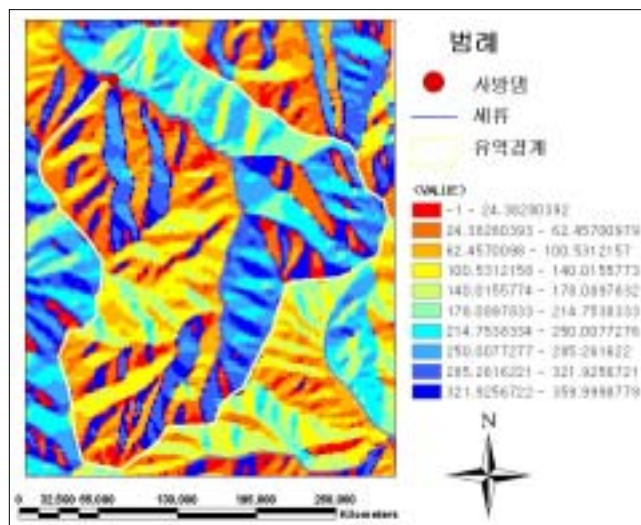


그림 4.4.15 향 분석도

라) 기복 추출

다른 지형분석과 마찬가지로 기복분석도 그림 4.4.16과 같은 메뉴에서 기복 분석을 클릭하면, 그림 4.4.17과 같은 대화창이 나타나게 된다.



그림 4.4.16 기복 분석 메뉴

기복 분석을 위한 대화창에서 입력자료를 선택한 뒤, 태양의 방위각과 고도를 설정하도록 되어 있다. 이것은 지형의 음영을 이용하여 기복을 표현하기 때문이다. 격자의 크기를 설정한 뒤 확인 버튼을 누르면 그림 4.4.18과 같은 음영기복도가 완성된다.

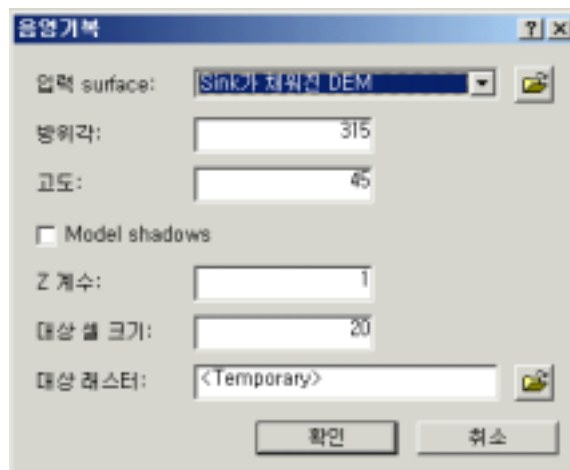


그림 4.4.17 음영기복 분석을 위한 대화창

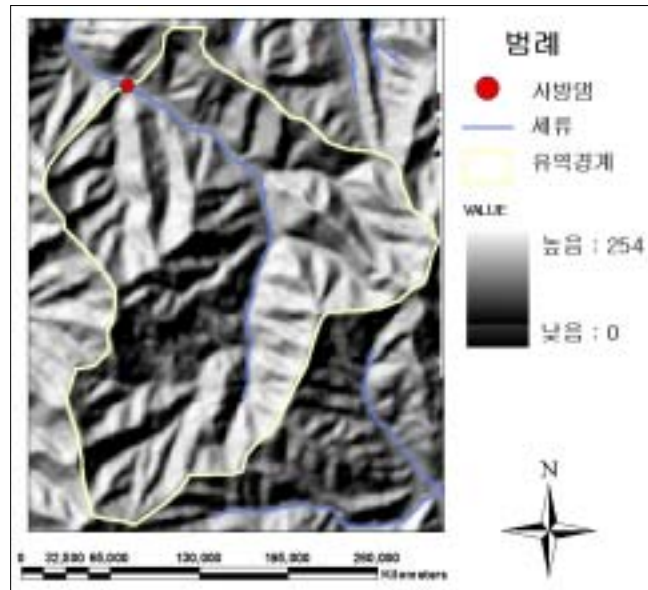


그림 4.4.18 음영기복도

2) 산림유역 입지해석

그림 4.4.19는 산림유역 입지해석을 위한 도구를 보여주고 있다. 수문분석 메뉴는 산림유역의 수문적 특성을 분석하여 유역 경계도 생성과 하천망도 생성 등의 기능을 수행하며, 유역정보 산출 메뉴는 한계유속이나 가정최대유량 등 설계에 이용되는 수량을 계산하여, 방수로의 규모를 결정할 수 있도록 돕는다.

오른편에 있는 두 개의 버튼은 각각 유역설정 버튼과 빗방울 추적 버튼이다. 유역설정 버튼은 마우스를 이용하여 도면상에 점을 클릭하여 주면, 그 점을 유역의 출구로 하는 유역경계를 그려준다. 빗방울 추적 버튼은 한 점에 빗방울이 떨어졌다고 가정했을 때 어느 곳으로 흘러갈지를 궤적으로 보여주는 역할을 한다.

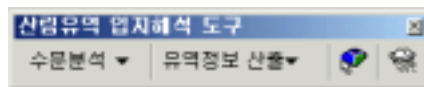


그림 4.4.19 산림유역 입지해석
도구

가) 수문분석

수문분석을 위해서는 가장 먼저 흐름방향을 분석하여야 한다. 흐름방향을 분석한 결과에 따라 누적흐름을 분석할 수 있고, 이것을 토대로 유역 경계 설정과 하천망 추출이 이루어 지기 때문이다.



그림 4.4.20 수문분석 메뉴

그림 4.4.20에서 흐름방향 분석을 클릭하면, 그림 4.4.21과 같은 흐름방향 분석창이 뜬다. 이 대화창에서 수치고도자료 즉 DEM을 입력하고 DEM의 경계부도 분석에 포함시킬지 여부를 결정한 다음 확인 버튼을 눌러 분석을 수행한다.

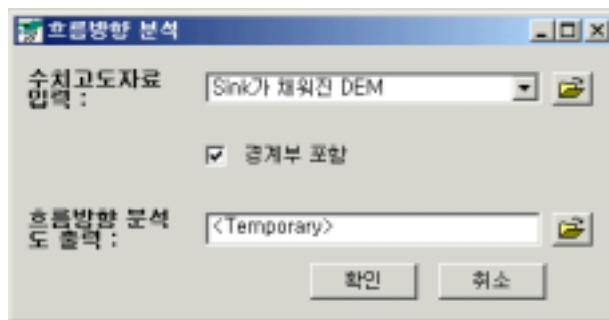


그림 4.4.21 흐름방향 분석을 위한 대화창

분석을 수행한 후 Sink를 탐색하여 Sink가 발견되지 않을 때까지 Sink를 채워 Sink가 없는 DEM을 생성한다. 그리고 다시 흐름방향 분석을 수행하여 Sink 오류가 없어진 흐름방향 분석도를 생성한다. 그림 4.4.22에 Sink가 없이 분석된 흐름방향 분석도를 제시하였다.

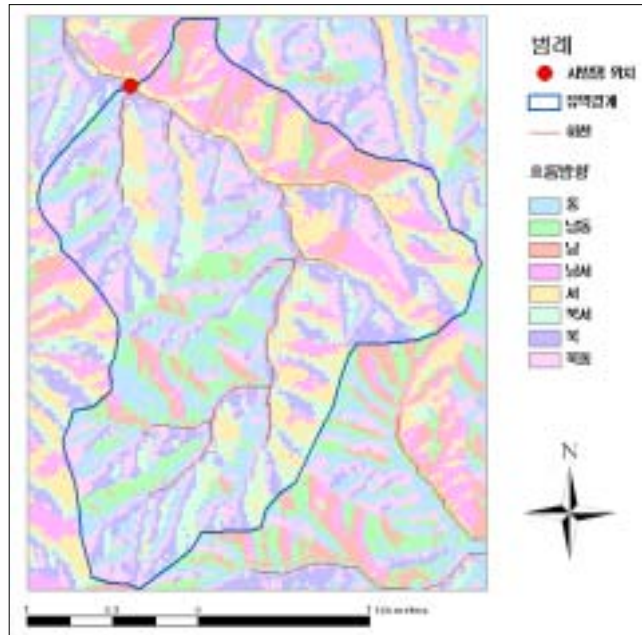


그림 4.4.22 흐름방향 분석도

흐름방향 분석이 마치면, 다음으로 누적흐름 분석을 수행한다. 누적흐름 분석은 누적집수량을 계산하는 분석으로 누적집수량 분석으로도 불린다. 누적집수량 분석을 위해 흐름방향 분석도를 입력하고 그림 4.4.23과 같이 분석을 수행하면, 그림 4.4.24와 같은 누적집수량 분석도가 생성된다.

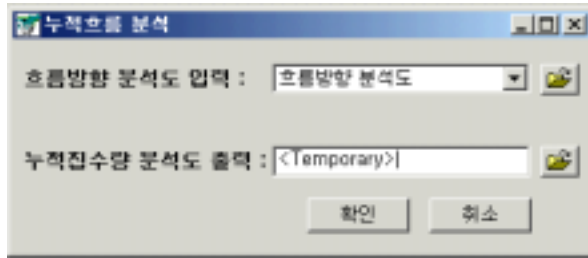


그림 4.4.23 누적집수량 분석창

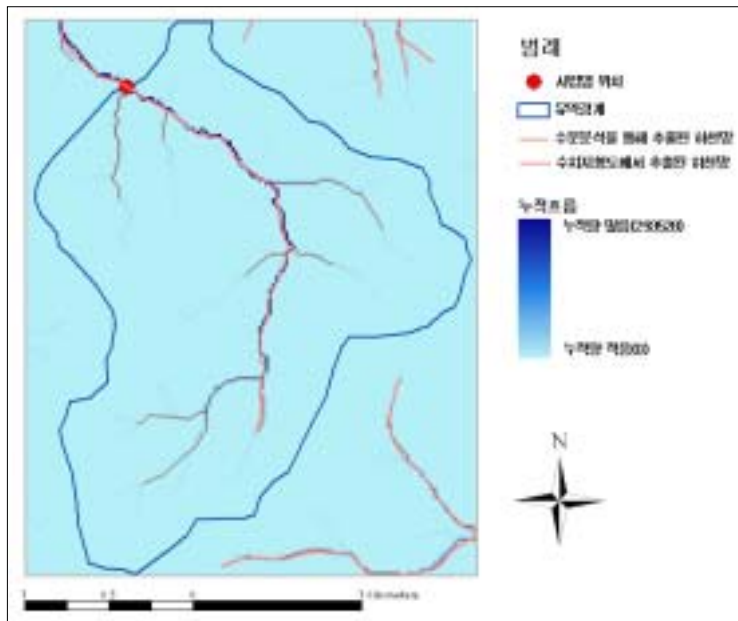


그림 4.4.24 누적집수량 분석도

누적집수량 분석 후에 유역 경계 설정과 하천망 추출 작업이 이루어지게 된다. 유역설정 메뉴를 클릭하면 그림 4.4.25나 그림 4.4.28과 같은 대화창이 나타난다. 유역 경계 설정 작업은 전술한 바와 같이 두 가지 방식으로 이루어지는데 하나는 유역출구를 설정해 주는 방식이고 다른 하나는 하천망 추출을 통해 유역출구를 선정한 후 유역 경계를 설정하는 방식이다.

그림 4.4.25는 유역출구를 설정해 주고 유역의 경계를 추출하기 위한 대화창을 보여주고 있다. 흐름방향 분석도를 입력하고 유역출구로 이용할 Shapefile을 지정해 주거나 그림 4.4.26과 같이 유역출구의 좌표를 직접 입력하여 유역 경계를 찾도록 하였다.

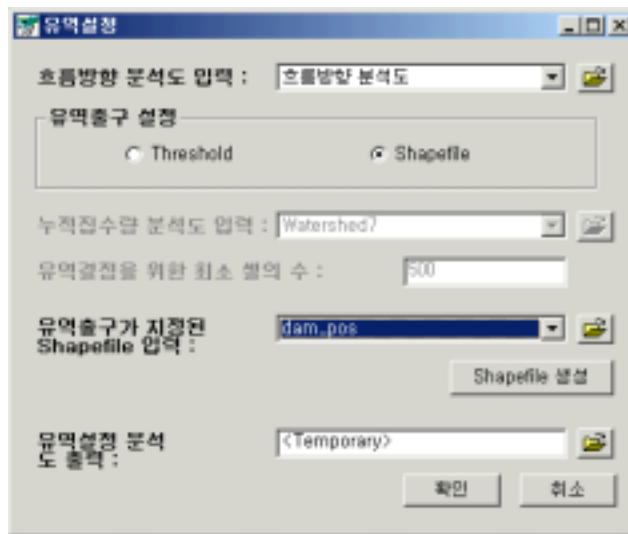


그림 4.4.25 유역 경계 설정을 위한 대화창



그림 4.4.26 Shapefile 생성을 위한 대화창

그림 4.4.27은 유역출구를 결정한 상태에서 유역의 경계를 추출한 모습이다. 실제로 지도 상에 표시되었던 유역의 경계와 유사한 것을 확인할 수 있다.

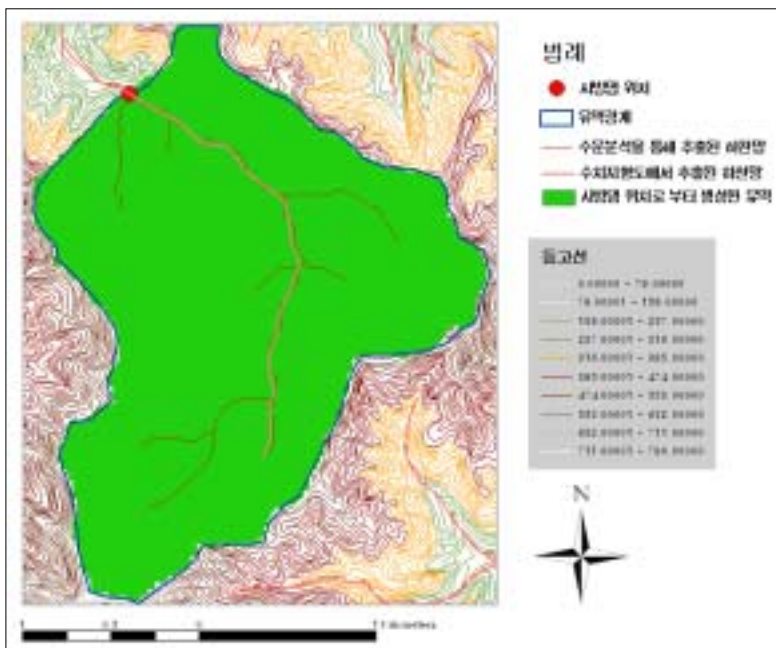


그림 4.4.27 유역출구 설정에 의한 유역 경계추출

유역의 경계를 탐색하는 다른 방법으로 Threshold를 설정하는 방법이 있다. 이것은 하천망을 분석하고 하천이 교차하는 곳을 유역의 출구로 하여 유역을 추출하는 방법으로 그림 4.4.28의 대화창에 제시된 바와 같이 흐름방향 분석도와 누적집수량 분석도를 입력하고, 하천으로 인정할 수 있는 누적셀의 개수를 결정한 뒤에 분석을 수행하면, 그림 4.4.29와 같은 유역 경계도가 생성된다.

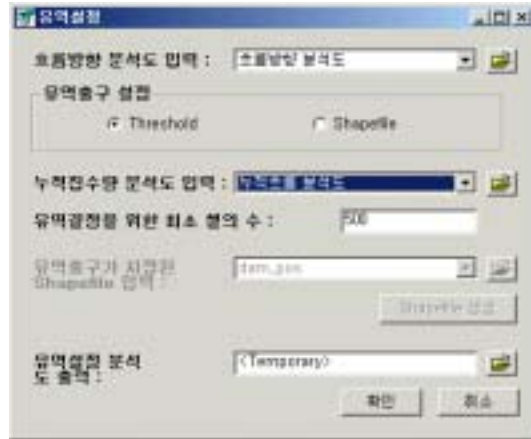


그림 4.4.28 유역 경계 설정을 위한 대화창

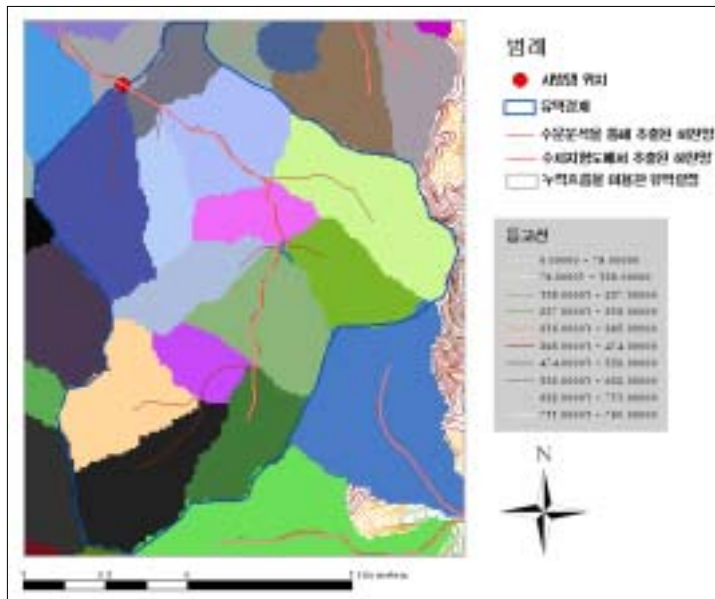


그림 4.4.29 유역 경계도

그림 4.4.30은 하천망 추출을 위한 대화창을 보여주고 있다. Threshold를 이용하여 유역 경계를 설정했을 때 입력하였던 것처럼 흐름방향 분석도와 누적집수량 분석도를 입력하고 하천결정을 위한 격자의 수를 정해준 다음, 분석을 수행하면, 그림 4.4.31과 같은 벡터 자료 형의 하천망도가 생성된다. 추출된 하천망을 보면 수치지형도에서 추출해 낸 하천망과 유사함을 알 수 있으며, 건천도 포함하여 추출이 됨을 알 수 있다.

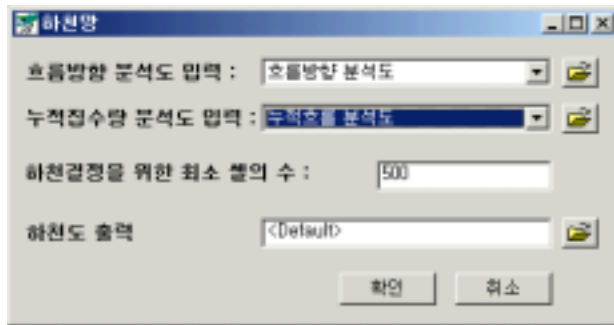


그림 4.4.30 하천망 추출을 위한 대화창

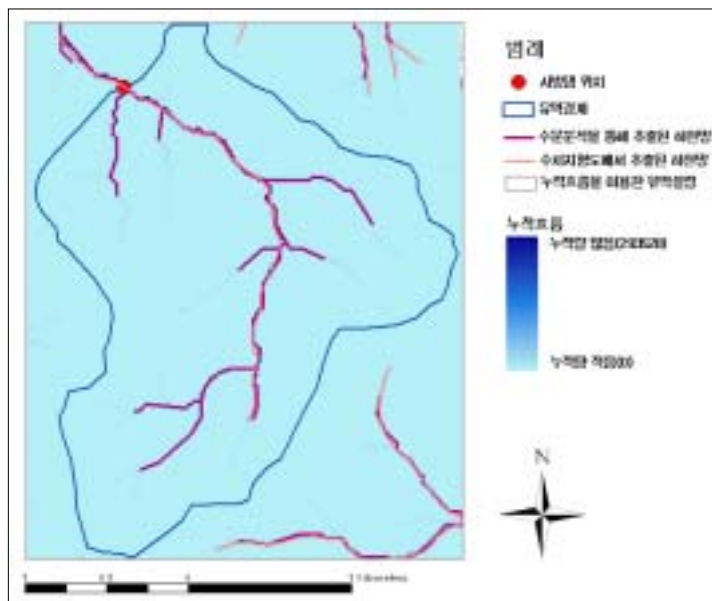


그림 4.4.31 하천망도

그림 4.4.32에 보인 것은 유역설정 버튼과 빗방울 추적버튼을 이용하기 위한 속성을 입력하는 창으로 흐름방향 분석도와 누적집수량 분석도를 입력하면 된다. 그림 4.4.33은 마우스를 통해 점을 입력하여 유역경계를 추출한 모습과 빗방울의 흐름을 추적한 모습이다.

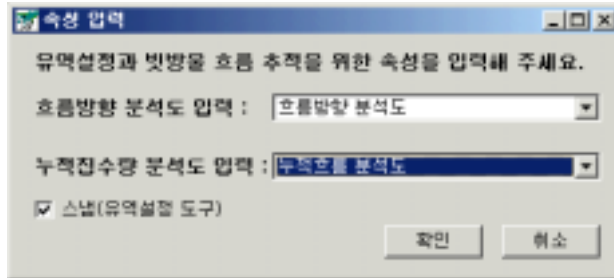


그림 4.4.32 속성입력창

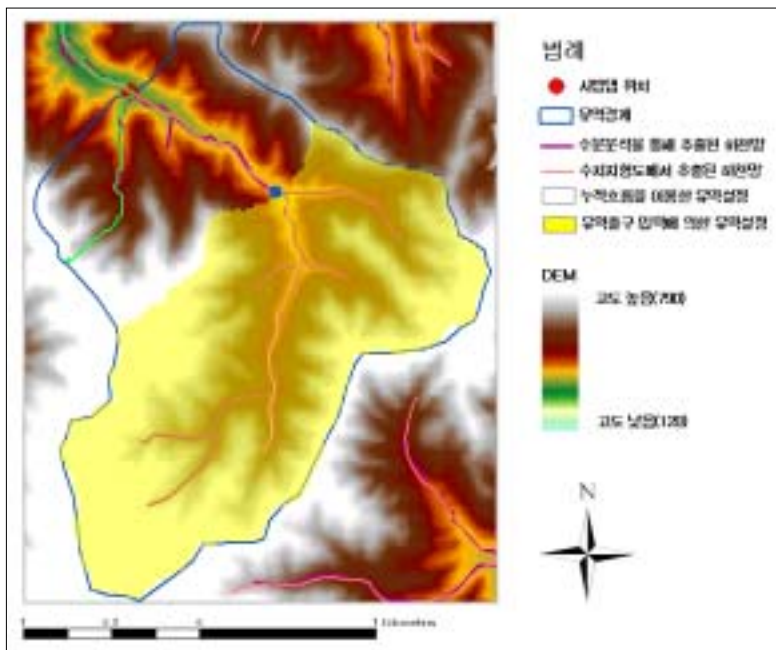


그림 4.4.33 유역설정 및 빗방울 추적

나) 유역정보 산출 및 방수로 단면 결정

유역정보 산출 메뉴는 수문분석을 통해 생성된 유역 경계도를 이용하여 유역의 면적을 구하고, 최대시우량, 유출계수, 계상인자크기, K값 등을 사용자가 입력하면, 한계유속과 가정최대유량을 계산하는 체계로 되어 있다. 또한 방수로 단면결정 메뉴는 산출된 유역정보를 이용하여 방수로의 규모를 산출하도록 하였다(그림 4.4.34).

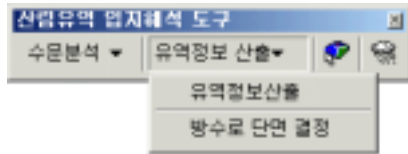


그림 4.4.34 유역정보 산출 메뉴

그림 4.4.35에서 보인 바와 같이 한계유속과 가정최대유량을 구하기 위하여 유역을 선택한 후, 최대시우량, 유출계수, 계상인자크기, K값 등을 입력한다. 그 결과 한계유속은 4.5 m/sec 였고, 가정최대유량은 86.5 m³/sec로 계산되었다. 이는 사방댐 사업설계 내역서의 내용과 일치하는 것으로 시스템이 적합하게 값을 산출하고 있음을 보여주었다.

방수로의 단면을 결정하기 위하여 그림 4.4.36의 대화창에서 기본입력자료를 입력하면, 방수로 상장, 방수로 면적, 방수로 평균수심 등의 자료들이 산출된다.



그림 4.4.35 유역정보 산출 대화창



그림 4.4.36 방수로 단면결정

3) 사방댐 시공 후보지 선정

그림 4.4.37은 사방댐 시공 후보지 선정을 위한 도구들을 보여주고 있다. 시공 후보지 선정 메뉴는 사방댐 시공 후보지를 선정하기 위한 과정들로 구성되어 있고, 가운데 버튼은 Feature 선택버튼이며, 오른쪽의 버튼은 Graphic 요소 선택버튼이다. Feature 선택버튼은 Shapefile에서 점, 선, 면 등의 Feature 요소를 선택할 때 이용되며, Graphic 요소 선택버튼은 임의의 그래픽 요소를 선택하기 위한 것이다.

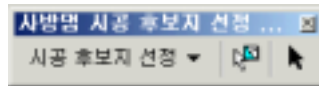


그림 4.4.37 사방댐 시공 후보지 선정 도구

시공 후보지 선정 메뉴를 보면, 그림 4.4.38과 같다. 분석환경을 설정할 수 있고, 환경이 설정되면 횡단면도 작성과 후보지 선정이 가능하다.

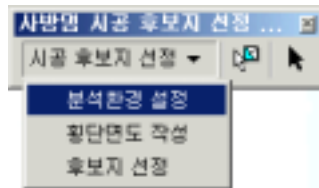


그림 4.4.38 시공 후보지 선정 메뉴

가) 분석환경 설정

사용자가 Feature 선택요소를 이용하여 하천망에서 원하는 지류를 선택한 후, 그림 4.4.38의 메뉴에서 분석환경 설정을 클릭하면 그림 4.4.39와 같은 대화창이 나타난다. 대화창에서 분석지점간의 거리와 횡단면의 폭, 그리고 유효고 등을 설정하고 확인 버튼을 누르면, 그림 4.4.40과 같이 분석에 필요한 환경이 활성화 된다.

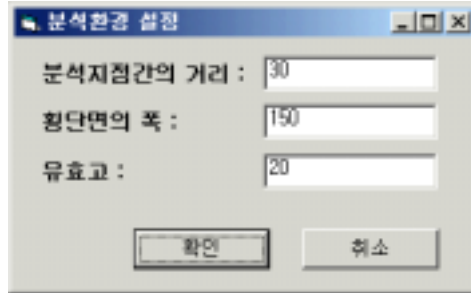


그림 4.4.39 분석환경 설정 대화창

그림 4.4.40은 홍천군 동면 속초리 사방댐이 있는 지점의 하천을 선택하여 분석환경을 활성화시킨 모습이다. 환경이 설정되면 시스템은 하천을 거리에 맞게 나누고, ①~④ 까지 하천에 직각인 횡단면선을 그리게 된다. 사방댐을 지나는 선은 실제 사방댐이 위치한 지점의 횡단면은 어떠한 형상인지를 파악하기 위해서 임의로 그려 넣은 것이다.

분석환경으로 설정된 수치를 보면 일반적으로 사방댐의 규모보다 크다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 사방댐은 폭이 20~30m이고 높이가 10m 내외의 소규모 댐이다. 이런 점을 반영하여 실제 사방댐의 규모를 기준으로 분석환경을 설정하면 횡단면의 형상이 직선으로 표현된다. 이는 사방댐 시설공사 도면에 있는 사방댐 위치도가 1:25,000 지형도를 기본으로 하고 있어 미세한 횡단면의 형상을 추출해낼 수 없기 때문이다. 따라서 본 시스템에서 공간분석을 할 때에는 1:5000이나 1:1000지형도를 이용하는 것이 바람직하다.

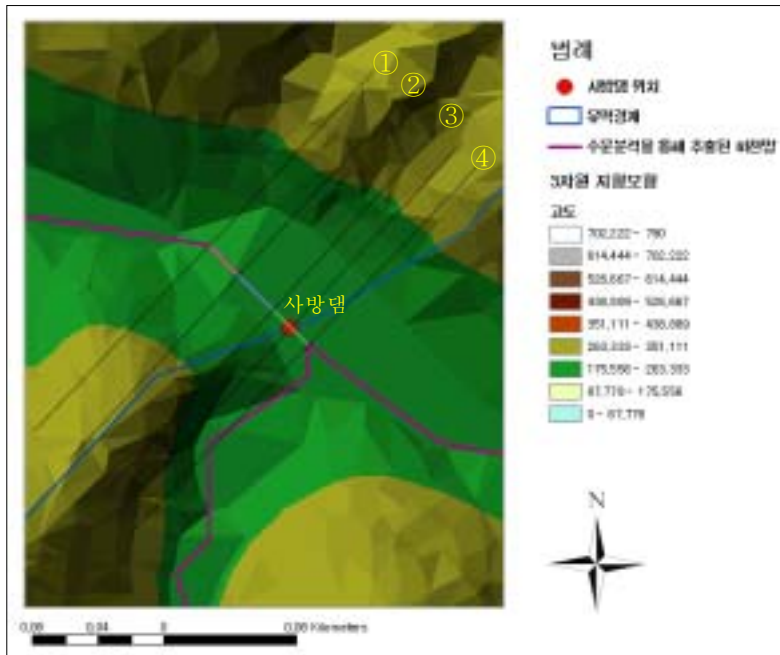


그림 4.4.40 분석환경 설정 모습

나) 횡단면도 작성

그림 4.4.40과 같이 분석환경이 활성화되면, 횡단면도 작성 메뉴를 클릭하여 횡단면도를 작성할 수 있다. 그 결과 그림 4.4.41과 같은 횡단면도를 얻게 된다. 횡단면도를 보면 분석 대상의 하천주변 지형은 대부분 U자형을 띄고 있음을 알 수 있고, 계곡의 폭이 점점 넓어지고 있음을 파악할 수 있다.

그림 4.4.42는 사방댐 주변의 횡단면도를 보여주고 있다. U자형 형상을 띄고 있지만, ②번이나 ③번의 경우보다는 폭이 넓어 ②, ③번 지점에 사방댐을 시공하는 것보다 사방댐의 규모가 커질 수 있어 시공에 소요되는 비용도 증가할 것으로 판단된다. 그러나, 경사도는 완만하여 접근성이 높아 인력이나 자재 운반이 용이할 것으로 생각된다.

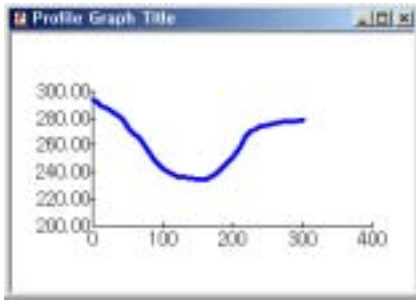


그림 4.4.41-① ①번의 횡단면도

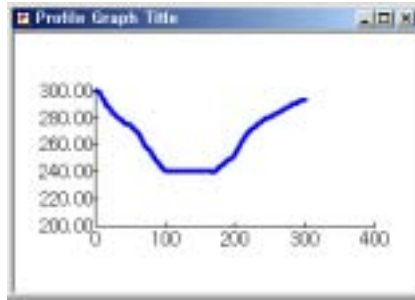


그림 4.4.41-② ②번의 횡단면도

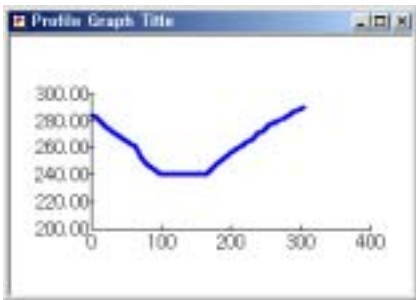


그림 4.4.41-③ ③번의 횡단면도

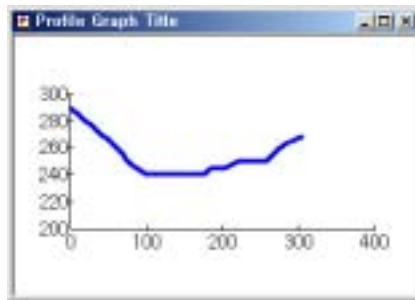


그림 4.4.41-④ ④번의 횡단면도

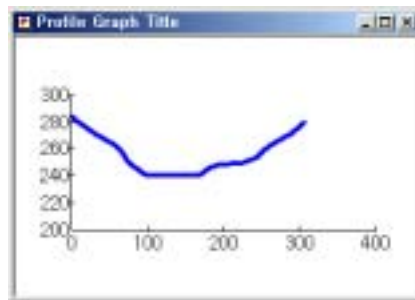


그림 4.4.42 사방댐 주변의
횡단면도

다) 후보지 선정

후보지 선정 메뉴를 클릭하면 그림 4.4.43와 같은 분석결과를 얻는다. 밝게 표시된 지점은 시스템이 선정한 시공 후보지로 유효고 20m에서는 사방댐 시공이 가능함을 의미한다.

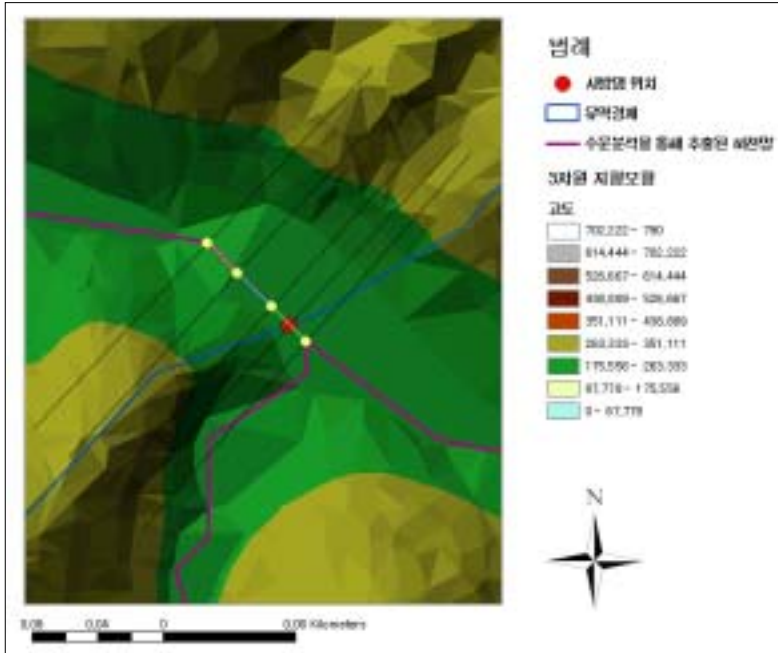


그림 4.4.43 유효고 20일 때의 분석결과

그러나, 유효고를 40m로 하였을 때에는 그림 4.4.44와 같이 시공지로 적합한 지점이 두 곳으로 압축되었다. 즉, ①, ④번 지점은 댐의 높이가 높아질 경우 주어진 횡단면 폭에서는 댐을 시공하기가 어렵다는 것을 의미한다. 앞서 작성한 횡단면도에서도 볼 수 있듯이 이 지점들은 계곡사이의 폭이 너무 넓어 사방댐을 설치하기에는 부적절할 것으로 판단된다. 반면, ②, ③번 지점은 계곡의 폭이 좁아 댐 시공시 저수에 유리하며, 시공비용도 절감될 것으로 생각된다.

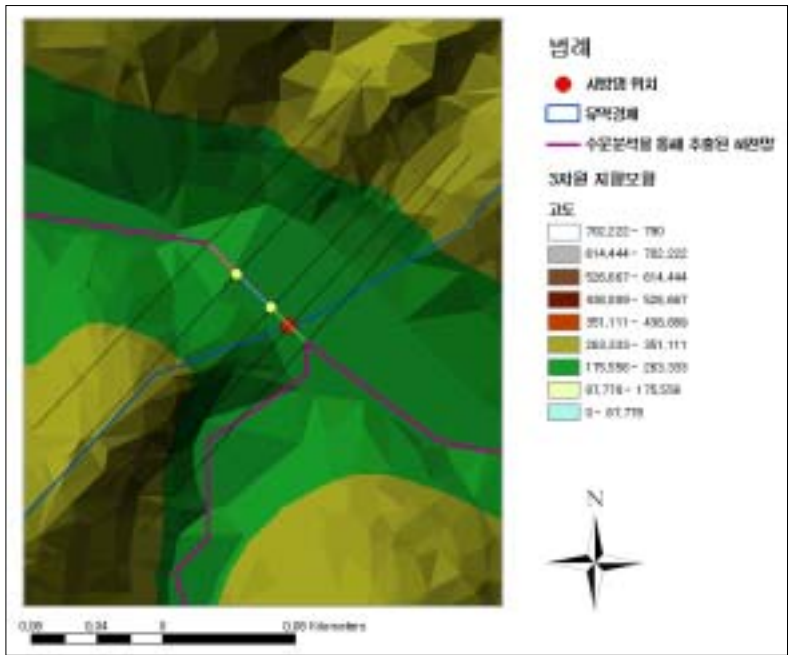


그림 4.4.44 유효고 40m일 때의 분석결과

나. 철강재 사방댐 관리 지원

그림 4.4.45는 사방댐에 관련된 제반 정보를 관리하기 위한 사방댐 정보관리 도구이다. 사방댐 시공 후보지 선정 도구와 마찬가지로 Feature 선택버튼과 Graphic 선택버튼을 포함하고 있으며, 사방댐 관리 메뉴는 사방댐에 관련된 정보를 관리할 수 있는 명령들로 구성되어 있다.

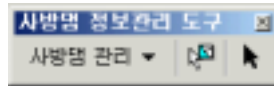


그림 4.4.45 사방댐
정보관리 도구

사방댐 관리 메뉴는 그림 4.4.46과 같이 사방댐 위치등록 메뉴, 사방지 지정대장 작성 메뉴, 사방댐 사업 설계설명서 작성 메뉴, 공사비 총괄표를 작성하기 위한 단가관리 메뉴와 공사비 총괄표 작성 메뉴, 사방댐 유지보수 내역 작성 메뉴, 그리고 이미지 파일 관리 메뉴로 구성되어 있다.

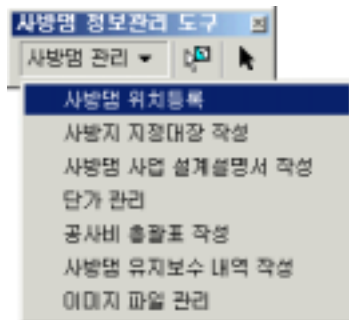


그림 4.4.46 사방댐 관리메뉴

1) 사방댐 위치등록

전술한 바와 같이 사방댐 위치를 등록하는 방법은 두 가지가 있다. 하나는 선정된 후보지 중 하나를 선택하는 방식이고, 다른 하나는 새로운 지점을 선택하는 방식이다. 전자의 경우에는 사방댐 위치등록 메뉴를 클릭한 후, Graphic 요소 선택버튼을 이용하여 시공 후보지중 한 곳을 선택하면, 사방댐 위치도에 추가된다.

후자의 경우에는 기존의 사방댐 위치를 추가할 때나 후보지가 아닌 다른 지점을 사방댐 시공지로 선정하였을 때, 사방댐 위치도에서 새로운 점을 선택하는 것으로 사방댐 위치등록 메뉴를 클릭하고 Graphic 요소 선택버튼을 이용하여 사방댐 위치도에 한 점을 선택하면 사방댐 위치도에 추가된다.

사방댐 위치도에 추가된 정보에 대한 조회와 수정은 ArcMap에서 지원하는 속성테이블을 이용하여 수행할 수 있다(그림 4.4.47).



그림 4.4.47 속성 테이블

2) 사방지 지정대장 작성

사방지 지정대장 작성 메뉴를 선택하면 그림 4.4.48과 같은 대화창이 나타난다. 사방댐의 이름을 선택하고, 필요한 정보를 작성한 뒤, 저장 버튼을 누르면 관련 정보가 데이터베이스에 저장된다. 사방댐 이름을 선택하였을 때 관련 정보가 있을 경우 저장 버튼이 수정 버튼으로 바뀐다.



그림 4.4.48 사방지 지정대장 작성

3) 사방댐 사업 설계설명서 작성

사방댐 사업 설계설명서에는 유역현황, 계류현상, 댐자리 현황, 가정최대유량 등 4가지 부분에 대한 정보를 기록하도록 되어 있다. 그림 4.4.49는 실제 문서에 바탕을 두고 사용자가 정보를 입력하고 수정·삭제할 수 있도록 설계된 대화창이다. 유역정보 산출기능을 통해 획득된 정보는 자동으로 보여지며 그 밖에 필요한 정보는 측량조사 등을 통해 사용자가 기입할 수 있도록 하였다.

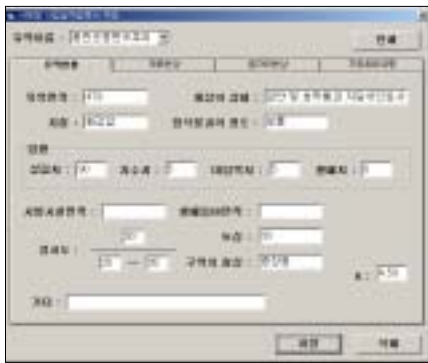


그림 4.4.49a 유역현황 정보작성

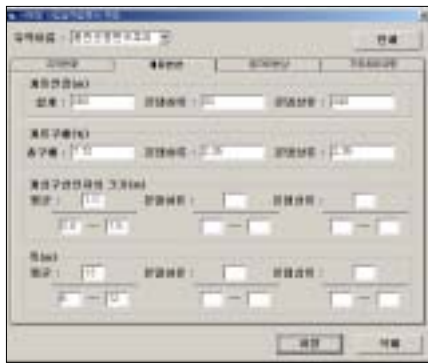


그림 4.4.49b 계류현상 정보작성

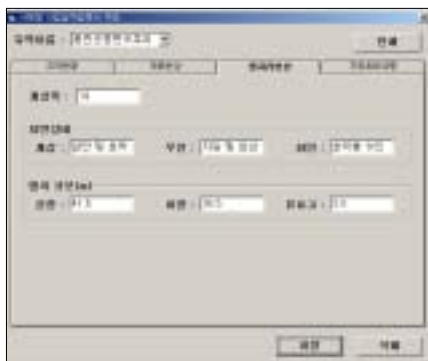


그림 4.4.49c 댐자리현상 정보작성

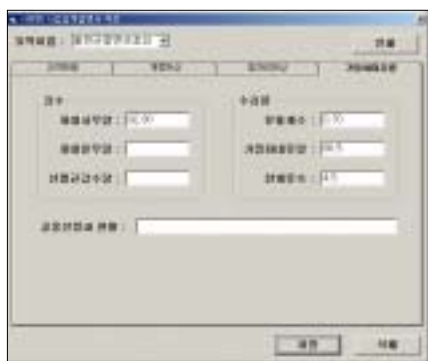


그림 4.4.49d 가정최대유량 정보작성

4) 공사비 총괄표 작성

그림 4.4.50부터 4.4.53까지는 단가목록을 보기와 단가 등록 및 관리를 위한 대화창이다. 단가목록 메뉴를 클릭하면 그림 4.4.50과 같은 창이 뜨고 검색하고자 하는 단어를 넣은 후 검색버튼을 누르면 그림 4.4.51에 보인 바와 같이 검색 결과가 나타난다.

그림 4.4.50에서 단가입력 버튼을 누르면 그림 4.4.52와 같은 단가입력 대화창이 나타난다. 공종명별로 정보를 입력하면 데이터베이스에 저장된다. 저장된 내용을 살펴보려면, 단가목록에서 검색을 해 보면 알 수 있다.

공종명	단위	수량	단가	합계
간토	㎡	1285	1200	1542000
시멘트모래	㎡	603	300	180900
철근망포설	㎡	1898	90	170820
철망단	㎡	1830	95	173850
양자기	㎡	600	234	140400
구조물(배수기)	㎡	603	500	301500
동원석교상	개소	2584201	3642800	9414000000
골짜기	개소	1000000	3000000	3000000000
콘크리트 울타리	구분	1174	11200	13152800
토목차량차	개소	98004	20000	1960080000
양방향통풍	㎡	400	4800	1920000
토기교상	㎡	7800	50000	390000000
철근교상	㎡	13445	204	2742780
가방사포	개소	2070	20800	43056000
가방사포	개소	1810	30000	54300000
합계	㎡	11	9999	110000

그림 4.4.50 단가목록

공종명	단위	수량	단가	합계
콘크리트 울타리	구분	1174	11200	13152800

그림 4.4.51 공종별 검색결과

공종명 : 콘크리트 울타리

단위 : 구분

노무비 : 147659

재료비 : 124654

값비 : 819

합계 : 273132

저장

그림 4.4.52 공종별 단가등록

공종명	단위	수량	단가	합계
콘크리트 울타리	구분	1174	11200	13152800

그림 4.4.53 저장내용 확인

공사비 총괄표는 앞에서 언급한 바와 같이 사방댐 시공에 이용된 자재비용 및 노무비용 등의 단가와 수량에 따른 공사비용을 정산하여 정리한 문서이다. 공사비 총괄표는 그림 4.4.54에서 보인 바와 같다. 토공내용을 등록하기 위하여 공사비 계산 버튼을 누르면, 그림 4.4.55에서 보인 토공별 단가계산 대화창이 뜬다. 이 대화창에서 토공명을 선택하면 단가목록에서 보였던 바와 같이 단가가 자동으로 입력되고 수량을 기록하여 토공에 들어간 비용을 계산한다. 계산이 마무리되어 저장버튼을 누르면 토공내용은 데이터베이스에 저장됨과 동시에 공사비 총괄표에 등록된다.

구분명	단위	수량	단가	단가	단가	합계
토공사		5,807,022	2,000,000	11,614,044	11,614,044	11,614,044
구조물공사		40,402,398	11,000,000	444,426,298	444,426,298	444,426,298
기타공사		100,000	100,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000
합계		6,309,420	2,100,000	16,060,342	16,060,342	16,060,342

그림 4.4.54 공사비 총괄표 작성

구분명	수량	단가	단가	노무	노무	노무	합계
장막기	100	100	100	100	100	100	100
구공물(노무)	100	100	100	100	100	100	100
노무(노무)	100	100	100	100	100	100	100
합계	100	100	100	100	100	100	100

그림 4.4.55 토공별 단가계산

5) 사망담 유지보수 내역 작성

사망담 유지보수 내역작성 메뉴를 클릭하면 그림 4.4.56에 보인 바와 같은 사망담 유지보수 내역 창이 뜬다. 사망담 이름을 선택하면 해당 사망담에 관련된 유지보수 내역이 나타난다. 추가 버튼을 누르면 그림 4.4.57에 보인 바와 같이 유지보수 항목을 추가할 수 있도록 하는 창이 뜨고 필요한 정보를 입력하고 확인 버튼을 누르면 그림 4.4.58에서 보듯 유지보수 내역이 추가된다.

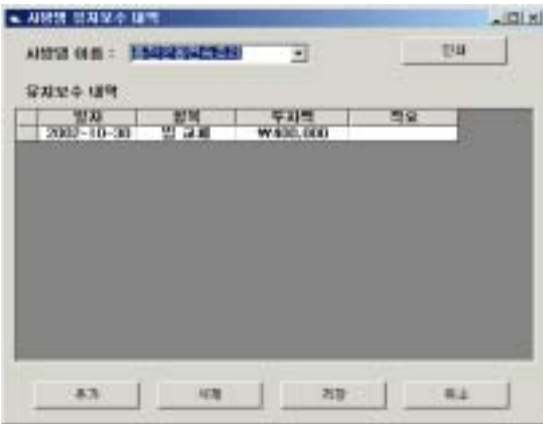


그림 4.4.56 사망담 유지보수 내역



그림 4.4.58 사망담 유지보수 내역 추가



그림 4.4.57 유지보수 항목
추가창

6) 이미지 파일 관리

이미지 파일 관리 메뉴를 클릭하면 그림 4.4.49에서 보인 바와 같은 이미지 관리 창이 뜬다. 이 창에서는 이미지의 이름과 이미지의 경로가 표시되고 추가버튼을 누르면 이미지를 등록할 수 있도록 그림 4.4.50과 같은 이미지 등록 창이 나타난다. 파일선택 버튼을 눌러 파일의 위치를 선택하고 확인 버튼을 누르면 그림 4.4.51에서 볼 수 있듯이 이미지 파일이 등록된다. 이미지 관리 창에서 보고자 원하는 이미지를 클릭하면 그림 4.4.52처럼 이미지를 볼 수 있다.



그림 4.4.59 이미지 관리 창



그림 4.4.61 이미지 등록

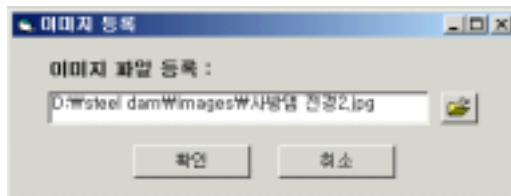


그림 4.4.60 이미지 등록 창



그림 4.4.62 이미지 보기

제 5 절 결 론

본 연구에서는 현행 사방댐 설계 및 관리체계를 검토하고 이를 바탕으로 GIS 및 데이터 베이스 체계를 도입하여 현장에서 설계 및 관리에 필요한 정보를 지원 받을 수 있는 전산 시스템을 개발하였다. 개발된 철강재 사방댐 설계·관리 지원 시스템은 설계를 지원하는 ‘설계지원 모델’과 관리를 지원하는 ‘관리지원 모델’로 구성된다. 설계 지원 모델은 세부적으로 지형분석 모듈과 산림유역 입지해석 모듈, 그리고 사방댐 시공 후보지 선정 모듈로 이루어져 있으며, 관리 지원 모델은 사방댐 정보관리 모듈로 구성되어 있다. 각 모듈은 개별적으로 운용될 수 있는 독립된 COM Component로 개발되어 ArcGIS의 ArcMap 상에서 각 모듈을 통합운용 함으로써 설계 및 관리에 필요한 정보를 제공받을 수 있다.

특히 이 시스템에서 제공하는 산림유역 입지해석 모듈은 여타의 GIS에서 제공하지 못하는 기능들을 제공할 뿐만 아니라 명확한 인터페이스를 제공하므로 개별 모듈만으로도 유역 해석에 관련된 작업들을 해 낼 수 있으리라 판단된다. 또한 사방댐 시공 후보지 선정에 이용된 알고리즘은 단순한 지형분석만으로 사방댐의 시공적지를 판별해 낼 수 있어 그 효용성이 대단히 클 것으로 기대된다.

즉, 현행체계에서 사방댐을 시공하고자 하면 현지 답사를 통해 적정한 장소를 찾았기 때문에 사전지식 없이 시공지를 선정하는 경우가 많았다. 그러나 본 연구에서 제시한 사방댐 시공 후보지 선정 알고리즘을 이용하면, 사방댐 설치가 가능한 장소를 찾은 후 현지 답사 및 측량을 할 수 있기 때문에 현장 조사에 드는 비용을 줄일 수 있다. 또한, 본 연구에서 개발된 사방댐 정보관리 모듈은 현행 사방댐 관리 업무에 기반을 두고 있으므로 현장의 실무적 관점에서 매우 유용한 분석도구가 될 것으로 예상된다.

다만 본 연구에서는 연구기간의 한계로 인해 사방댐 시공설계과정을 전 자동화 할 수 있는 시뮬레이션모듈의 개발부분이 제외되어 있다. 차후의 연구에서 사방댐 시공설계를 자동화 할 수 있는 시뮬레이션 모듈을 개발할 필요가 있으며, 이를 통해 철강재 사방댐의 후보지 선정에서부터 사방댐 설계 그리고 사방댐 관리에 이르는 모든 과정을 동시에 자동화 할 수 있는 통합적 체계가 가능할 것으로 판단된다.

이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 COM Component 기술을 도입하여 향후 사방댐 설계 시스템이 개발될 경우, 약간의 인터페이스 수정만으로 완성도 높은 통합적 체계가 만들어질 수 있도록 노력하였다.

제 5 장 참고문헌

1. 과학기술처. 1993. 지리정보시스템활용방안. p9-13
2. 강위평·촌정평(村井宏)·대촌관(大村寬)·마호섭. 수량화(Ⅱ)에 의한 산사태사면의 위험도 판별. 한국임학회지 75:32-37.
3. 김대중. 1995. 퍼지집합(Fussy sets)을 이용한 적지분석 의사결정에 관한 연구. 서울대 석사논문. p22-42.
4. 김성락·유현·이원용. 2000. 실무사례 중심의 시스템 분석 및 설계. 영진서관. 16-451pp.
5. 김치경·홍성목. 2001. 객체-관계형 구조설계정보 데이터베이스의 모델링과 구현. 대한건축학회지 17(2) : 3-12.
6. 김경하, 원형규, 이천용, 정용호. 산림 소유역의 수문특성(I) : 임상별 저류계수의 경시적 변화, 산림과학논문집 54:71-80. 1996
7. 김경하. 2002. 자연친화적 산지야계 복원기법. 임업연구원 단기훈련보고서. 7~8
8. 김남춘. 2002. 국내채광채석지의 훼손지 복원현황 및 문제점. 환경친화적인 광산개발 및 생태적 복원 모델 수립을 위한 세미나. 한국환경복원녹화기술학회 pp. 19~52
9. 김남춘. 2002. 우리나라 석회석 광산의 적정복구·복원 모델의 방향과 그의 사례.
10. 환경친화적인 석회석 광산의 생태적 복원방향 설정에 관한 국제세미나. 한국환경복원 녹화기술 학회. pp 34~78
11. 김장수, 김진수, 박용구, 윤일병, 이종운, 임양재, 한상섭. 1982. 생태학과 삼림. 향문사 34~58
12. 김호준, 박봉우, 임주훈, 하연. 1997. 경관수목학. pp 44~48
13. 건국대학교 농업자원개발연구소. 1995. 암반사면의 한국형 녹화공법 (주)금탑조경. 대원조경 pp. 40~91, 134~138
14. 구분학. 1996. 댐 저수지 비탈면 수위변동구간의 생태적 복구방안. 대전전문대학논문집 제 22집 355~378
15. 국립환경연구원, 과학기술처, 환경지표의 종합체계화기법 개발 및 활용방안에 관한 연구, 1990
16. 나승민 외, 철강재 사방댐 구조개발, 포항산업과학연구원, 2000
17. 농림부. 2001. 고로쇠나무 수액채취기술 및 조림경영관리체계 개선에 관한 연구. 농림

부. 142-251pp.

18. 농업자원개발연구소. 1995 암반사면의 한국형 녹화공법. pp1~136
19. 농사원시험국 임산부 임목육종과. 1961. 토양보전편람 pp 331~415
20. 마호섭. 1994. 산지사면의 붕괴위험도 예측모델의 개발 및 실용화방안. 한국임학회지 82(2) : 175-190.
21. 박은식·정주상. 1999. 국유림 관리 영림계획 운영을 위한 데이터베이스 프로그램의 개발. 한국임학회지 88(1) : 63-72.
22. 박은식. 1998. 다목적 산림경영을 위한 산림정보시스템의 개발과 적용. 서울대학교 박사 학위논문.
23. 박용명 외, 근입식 강관셀 공법의 실용화 연구, 포항산업과학연구원, 1996
24. 박재현, 우보명, 이현호. 2000. 일본에서 계류변의 환경복원 발전전략(Ⅲ)
- 임도 및 치산·사방을 중심으로 -, 환경복원녹화. 한국환경복원 녹화기술학회지 Vol 22. No. 3 : 113~125
25. 배연정. 2001. 농업수리구조물 통합설계시스템을 위한 P-C 모델을 적용과 개선. 서울대학교 석사논문.
26. 산림청. 1987. 한국수목도감.
27. 산림청. 1998. 사방기술교본
28. 산림청. 1998b. FGIS 현업활용지원 소프트웨어의 개발. 산림청. 1-133pp.
29. 산림청. 2000. GIS를 이용한 산사태 위험도 판정 프로그램 개발. 산림청보고서. 1-104 pp.
30. 산림청. 2002. 사방사업 법령편람. 산림청. 1-48pp.
31. 산림청. 2002. 산림청 보도자료. 산림청.
32. 산림청. 2003. 주요업무추진계획 pp17
33. 신계중·임경수. 2001. GIS를 이용한 산사태분석에 관한 연구. 산업과학논문집 9 : 341-351.
34. 성현찬, 전략환경평가제도에 관한 연구, 경기개발연구원, 1995
35. 성현찬, 외국의 전략환경평가 제도에 관한 연구, 경기개발연구원, 1995
36. 안영상, 조희두, 서정일, 김석우, 전근우. 2003. 河道内 달뿌리풀 서식에 대한 바닥막이의 영향분석. 한국임학회지 92(3) : 168~175
37. 우보명. 1983. 사방공학

38. 우보명. 1998. 한국의 비탈복원 및 녹화기술. 한국환경복원녹화기술학회. 한국환경복원 녹화기술학회 창립기념 한·일 심포지움 논문집 PP83~97.
39. 우보명의 18인. 1997. 산림공학. 광일문화사. pp. 119~150
40. 우효섭. 1998. 수변생태계 복원녹화기술. 한국환경복원 녹화기술학회 창립기념 한국환경 복원녹화기술학회 한·일 심포지움 pp 47~78
41. 윤국병, 장준근, 전길신. 1998. 산야초여행.
42. 윤호중. 1997. 사방댐 자동설계 프로그램의 개발. 산림과학논문집 55 : 25-31.
43. 윤성수. 2001. 객체지향기술과 점진적 구조최적화 기법을 이용한 수리시설물 통합설계 시스템 개발. 서울대학교 박사논문.
44. 이병두. 2000. GIS를 이용한 환경친화적 임도 노선 선정 및 평가 프로그램의 개발. 서울대학교 석사학위논문.
45. 이승기. 2001. 산사태 위험지 예측을 위한 GIS 응용소프트웨어의 개발. 서울대학교 석사학위논문.
46. 이수옥. 1981. 한국의 산림토양에 관한연구(II) 한국임학회지 54:25~35.
47. 이창복. 1979. 대한식물도감.
48. 이천용 등, 임지 조건이 토사유출에 미치는 영향. 임업연구원 시험연구 보고서 216-229, 1991
49. 임업연구원. 2002. 2002 태풍 “루사” 에 의한 산지재해원인과 복구대책. pp58~83
50. 임중석 외, 지반공학용어사전, 도서출판 엔지니어즈, 1996
51. 장상기, 나승민외 2인. 2001. 철강재(스틸프레임)사방공법 적용사례(강원), 철강재 사방댐의 현장 적용성분석 및 향후 개발방안(포항산업과학연구원). 산림청. 전국 사방실무교육 및 연찬회(27회) : 69~92, 245~270
52. 정원옥. 2001. 산림유역특성에 의한 사방댐의 적지선정에 관한 연구. 경상대학교 박사논문.
53. 정주상, 김성일. 1995. 산림환경정보시스템 구축을 위한 응용전산모델의 개발. 산림청.
54. 정주상·박은식·오동하. 1998. 지리정보시스템을 이용한 실무형 산림 경영전산 모델의 개발. 한국임학회지 87(2) : 300-307.
55. 정주상, GIS를 이용한 산사태 위험도 판정 프로그램의 개발, 산림청, pp.104. 2000
56. 정주상, 환경친화적 녹색임도 정책구현을 위한 임도노선 선정 및 평가프로그램의 개발, 산림청, pp153. 1999

57. 정태영. 2001. 고로쇠나무 경영관리 시스템의 개발과 적용. 서울대학교 석사학위논문.
58. 조희두, 1999. 환경문제에 대한 사방의 관점과 금후의 과제. 제26회 전국사방실무교육 및 세미나. 산림청 pp 19~24
59. 차재민. 2000. GIS를 이용한 산림기능평가체계에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문.
60. 최경. 1986. 한국의 산사태 발생요인과 예지에 관한 연구. 강원대학교 박사논문.
61. 최경. 2001. 한국의 산사태발생현황과 발생원인. 한국도시방재학회. 1(3). 7~14
62. 함성권. 1991. 철근콘크리트/철골구조설계 프로그램 개발과 그 활용화 방안연구. 대한건축학회지 7(6) : 197-206.
63. 함창학. 1996. 지형정보시스템(GIS)을 이용한 수문지형정보추출에 관한 기초적 연구. 충북대학교 박사학위논문.
64. 홍성목. 1992. 객체지향설계법에 의한 건축구조 통합시스템 개발에 관한 연구. 대한건축학회지 8(11) : 129-140.
65. 환경부, 환경영향평가서 작성에 관한 규정 (환경부 고시 제 1997-95호), 1997
66. 한국환경복원녹화기술학회. 2001. 생태복원녹화기술의 개발 방향에 관한 seminar. 2001 국제세미나. pp.177
67. 한국환경복원녹화기술학회. 1998. 일본의 환경복원 · 녹화. 한국 환경복원 녹화기술학회 창립기념 논문집. pp1~16, 83~102
68. 한국도로공사. 1995. 고속도로 절토비탈면녹화공법연구(Ⅱ). pp. 8~ 327
69. 한국도로공사. 1997. 도입수종이 극변식생에 미치는 영향에 관한연구 pp3~266
70. 한국도로공사. 1991. 고속도로 절 · 성토비탈면 녹화 잔디품종 선정연구. 23~30
71. 한국도로공사. 1994. 고속도로 절토비탈면 녹화공법연구(Ⅰ). 94~98
72. 한국도로공사. 1995. 고속도로 절토비탈면녹화공법연구 pp. 117~157
73. 한국도로공사. 1997. 도입초종이 주변식생에 미치는 영향에 관한 연구 pp. 25~50, 231~259
74. 한국종합조경공사. 1978. 조경용 소재도감. 309~332
75. 한국환경복원녹화기술학회. 2001. 생태복원 녹화기술의 개발 방향에 관한 seminar. 2001 국제세미나. pp. 1~77
76. 한국데이터베이스진흥센터. 1998. '98 데이터베이스 백서.
77. 토질안정재료위원회. 1994. 사면안정공법. 창우출판. pp163~186
78. Bernhardsen, Tor. 1992. Geographic Information System. VIAK IT. 8-10.

79. Borrough, P,A. 1986. Principles of Geographical information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press, New York, p50.
80. Diori, L.K., Environmental impact statement, John Wiley & Sons, USA, 1996
81. ESRI. 1996. Working with the ArcView Spatial Analyst.
82. Eastman, J. Ronald. 1997. Student Manual : System Basics.
83. Fuzzy Systems : Theory and Technique
<http://sirius.cie.cau.ac.kr/fuzzy/>
84. Kormondy, E J, Concept of Ecology, Prentice-Hall, 1976
85. K.Terzaghi 'Stability and Stiffness of Cellular Cofferdams' ASCE No.110, 1945
86. J.B.Hansen, Earth Pressure Calculation, The Danish Technical Press, 1953
87. N.K.Ovensen, Cellular Cofferdams, Calculation Methods & Model Tests, No.14, The
88. Danish Geotechnical Institute, 1962
89. Nishikawa, S., H. Aramaki, T. Mizuyama, S. Abe: Steel pipe made L-type sabo dams without concrete bases, Jour. of Jpn. Soc. of Erosion Control. Engineering, 48(5), 21-25, 1996 (in Japanese)
90. DeGraff. J. V. and P. Canuti. Using isopleth mapping to evaluate landslide activity in relation to agricultural practices, Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., 38:61-71. 1988
91. Genson, S. K. and J. O. Domingue. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. PERS 54(11):1593-1600. 1988
92. Seeley, M. W. and D. O. West. Approach to geologic hazard zoning for regional planning. Inyo National Forest, California and Nevada. Bull. Assoc. Eng. Geol. 27: 23-35. 1990
93. SmartForest - An interactive forest visualizer
<http://www.innovativegis.com/products/vforest/contents/vfoverpaper.htm>
94. Schmuller, Joseph 저 광용재 역. 2002. UML 객체지향설계. 인포북. 1-477pp.
95. (財)砂防・地すべり技術センター : 鋼製砂防構造物設計便覧, 山海堂, 1993.3
96. (財)砂防・地すべり技術センター (1993) : 鋼製砂防構造物設計便覧
97. 砂防學講座 第5卷 砂防災害對策 水系砂防(1), 社團法人 砂防學會監修, 山海堂
98. 砂防學講座 第5卷 砂防災害對策 水系砂防(2), 社團法人 砂防學會監修, 山海堂

99. 龜山章, 三澤彰, 近藤三雄, 興水肇. 1989. 最先端 の 緑化技術 7~94, 151~166
100. 五十嵐鐵朗. 2002. 석회석 광산의 환경복원에 대하여. 환경친화적인 석회석 광산의 생태적 복원 방향 설정에 관한 국제 세미나. 한국환경복원녹화기술학회. 1~32
101. 堀江保夫. 1981. 土木技術者 のための 緑化施工技術. 土木施工 22巻 1号 : 97~102
102. 増田拓朗 1998. 일본의 환경복원·녹화. 한국환경복원녹화기술학회 창립기념 한·일 심포지움. pp. 1~16, 83~102
103. 국가지리정보체계 표준화 분과 공식 홈페이지
<http://standard.nca.or.kr/NGIS/>