Land & Transport and Maritime Affairs R&D Report

2005강원권지역특성화 연구개발사업 최종 연구보고서

R&D / 05 지역특성화 강원권역

낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발 연구보고서

2010. 11. 3.

주관연구기관 / 상지대학교 산학협력단

협동연구기관 / 강원대학교 산학협력단

(주) 이 산

공동연구기관 / 한국건설기술연구원

한국시설안전공단

한국지질자원연구원

연세대학교 산학협력단

관동대학교 산학협력단

한국도로공사

(주)희송지오텍

극동엔지니어링(주)

(주)삼보기술단

(주)유경기술단

국 토 해 양 부

한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술개발”의 최종보고서로 제출합니다.

2010. 11. 3

주관연구기관명 : 상지대학교 산학협력단
산학협력단장 : 최준길

협동연구기관명 : 강원대학교 산학협력단
산학협력단장 : 김형종
협동연구기관명 : (주)이산
대표이사 : 이원찬

공동연구기관 : 한국건설기술연구원
원장 : 조용주
공동연구기관 : 한국시설안전공단
이사장 : 김경수
공동연구기관 : 한국지질자원연구원
원장 : 장호원
공동연구기관 : 연세대학교 산학협력단
산학협력단장 : 홍대식
공동연구기관 : 관동대학교 산학협력단
산학협력단장 : 김규한
공동연구기관 : 한국도로공사
대표이사 : 류철호
공동연구기관 : (주)희송지오텍
대표이사 : 김기석

공동연구기관 : 극동엔지니어링(주)
대표이사 : 이철준
공동연구기관 : 삼보기술단(주)
대표이사 : 이계화
공동연구기관 : (주)유경기술단
대표이사 : 김석천

주관연구책임자 : 이승호
수석연구원 : 황영철
연구원 : 지영환, 설진성, 조광현
연구원 : 김진구
연구원보 : 허완용, 김성호, 임현아
연구원보 : 조형진, 김재호, 이경진
연구원보 : 허인영, 이범규, 김동호
연구원보 : 진현우, 유필선, 홍선표
연구원보 : 이동혁, 황석민, 오명주

협동연구책임자 : 전근우
책임연구원 : 이상용, 차두송, 박완근
연구원 : 김민식, 염규진, 김홍식
연구원 : 최병구, 예상길, 이진호
연구원 : 김윤진, 양인태, 천기선
연구원 : 유영걸, 신문승, 박 건
연구원 : 김재철, 박재국, 전우현
연구원 : 김태환, 김준석, 임영협
연구원 : 남수연, 최영준, 최태섭
연구원 : 송명근, 최준형, 박요한
연구원 : 박지훈, 카리모프

협동연구기관명 : (주)이산
대표이사 : 이원찬
협동연구책임자 : 천성열, 이승환, 정지수
연구원 : 안경훈, 길응식, 황희승
: 김효철, 최돈근, 변경수
: 김상국, 김의성, 손영식
: 신성균, 부준성, 신동오
: 김용국, 민태원, 정달영
: 오상규, 박광부

공동연구기관명 : 한국건설기술연구원
원장 : 조용주
공동연구책임자 : 백용
연구원 : 신휴성, 권오일, 김규식
연구원 : 박철일

공동연구기관명 : 한국시설안전공단
이사장 : 김경수
공동연구책임자 : 김용수
연구원 : 안상로, 장범수, 정규정
연구원 : 이종우, 신창건, 성주현
연구원 : 정수정

공동연구기관명 : 한국지질자원연구원
원장 : 장호완
공동연구책임자 : 송원경
연구원 : 신희순, 이병주, 선우춘
연구원 : 정용복

공동연구기관명 : 관동대학교 산학협력단
공동연구책임자 : 최승필
연구원 : 김문섭, 이재성, 김준성

공동연구기관명 : 연세대학교 산학협력단
공동연구책임자 : 손홍규
연구원 : 김성삼, 김성훈, 정재훈
연구원 : 한수희

공동연구기관명 : 한국도로공사
대표이사 : 류철호
공동연구책임자 : 유병옥
연구원 : 김낙영, 김경석, 나원준
연구원 : 장현익, 나광희

공동연구기관명 : (주)희송지오텍
대표이사 : 김기석
공동연구책임자 : 김기석
연구원 : 박용도, 김종훈, 최시영
연구원 : 이재욱, 안희윤, 김종성
연구원 : 박근억, 권순달, 박병일
연구원 : 정래철, 정완순, 김종성

공동연구기관명 : 극동엔지니어링(주)
대표이사 : 이철준
공동연구책임자 : 박근태
연구원 : 곽창진, 곽정열, 유선준
연구원 : 최칩성, 임주현, 조중식
연구원 : 신성윤, 목진호

공동연구기관명 : 삼보기술단(주)
대표이사 : 이계화

공동연구책임자 : 최창림, 김기환, 박준석
연구원 : 임학수, 신승봉

공동연구기관명 : (주)유경기술단
대표이사 : 김석천
공동연구책임자 : 김대황, 손만길, 이봉희
연구원 : 김남일, 정찬호

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>05지역특성화
강원권역</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2009.6.30 ~
2010.11.3</td><td>단 계 구 분</td><td>5차년/
5차년</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4">국토해양부 지역기술혁신사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">2005년 강원권지역특성화 연구개발사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">이승호</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 :116명
내부 :101명
외부 :15명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부 : 1,462,000천원
기업 : 862,834천원
계 : 2,324,834천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 :298명
내부 :241명
외부 :57명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 7,420,000천원
기업 : 3,674,491천원
계 : 11,094,491천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">상지대학교
산학협력단</td><td>참여기업명</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명 :</td><td colspan="3">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="2">연구기관명 :</td><td colspan="3">연구책임자 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
</table>

본 연구는 사계절 낙석과 산사태의 위험에 노출되어 있는 강원지역에서 낙석과 산사태로 인한 재해를 저감하기 위하여 USN(Ubiquitous Sensor Network) 환경을 기반으로한 통합 사면관리기술, 광역산사태 저감기술, 사면안정성증대기술을 개발하는 것으로 실용화와 사업화를 위주로 낙후된 지역 건설 방재 산업 육성과 건설 전문 인력 양성을 위한 지역특성화 연구개발 사업이다.

1세부 과제인 통합 사면관리기술 개발은 체계적이고 과학적인 유지관리차원의 핵심기술을 개발과 첨단 통합 사면관리기술 구축으로 첨단 유지관리 관련 기술을 개발하여 기술수출 및 기업화 하고 낙석 및 산사태 전문교육센터를 설립 운영하여 낙석 및 산사태 방재 전문가를 양성 하는 것이다.

2세부 과제의 광역 산사태 저감기술을 개발하기 위해 공간정보 구축 및 Web 지원 서비스 개발, 산사태 예방을 위한 조기수림화 기술 개발, 간섭 SAR 영상처리를 위한 시스템 구축 및 시계열 라이다 정보에 의한 산사태 모니터링 기술 개발을 하여 광역적으로 산사태 발생 가능성 여부를 예측한다. 또한 낙석 및 산사태 전문센터를 지원함으로써 낙석 및 산사태 저감에 기여한다.

3세부 과제인 사면안정성증대기술을 개발은 사면 보강 및 보호 기술로써 인위적, 기술적으로 사면의 안정성을 증대시키는 차세대계측기술 등을 개발하여 사면안정성을 증대시키는 기술개발을 수행하였다.

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	낙석, 산사태, 사면연구 전문센터, 조사차량, 이동장비, 유지관리, 조기수림화, 지리정보시스템, Web 지도, 라이다,
	영 어	Rockfall, Landslides, Disaster management system, Investigation Vehicle, Maintenance management, woody plants for the quick-coverage, GIS, Web 2.0, LiDAR, Slope, Stability

요 약 문

Ⅰ. 제 목

낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

전체 국토의 70%가 산지로 이루어진 우리나라는 여러 대규모 택지조성, 도로개설 및 산업기지 건설, 대규모 주택단지 개발 등으로 자연사면을 변형시키는 규모나 빈도가 증가하고 있으며 국내의 지형 및 지질적 특성과 기존도로의 확장 등으로 인해 현재 우리나라는 필연적으로 절•성토 사면 등이 증가하는 추세에 있다. 이로 인하여 기상 이변으로 인한 국지성 호우가 잦아지면서 붕괴 또는 토지 유출이 발생하여 매년 큰 인명 및 재산 피해를 발생시키고 있으며 사회문제로까지 대두되고 있다.

특히, 산악지형이 발달한 강원 지역의 경우 도로 및 철도 노선에 다수의 자연사면 및 암반사면이 형성되어 사계절 사면 붕괴 및 낙석으로 인한 피해가 크다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 사면을 조사하여 얻는 정보를 보다 효율적이고 정확히 얻어내기 위해 조사 및 자료의 정보화 기술 개발과 현장 정보관리 기술을 디지털화 하고 이를 관리하는 통합사면 관리 기술의 개발, 광범위한 산사태 위험 지역을 지속적으로 감지하고 신속한 대처가 이루어 질 수 있도록 하기 위한 공간정보 구축 및 Web 지원서비스 개발과 산사태 데이터베이스 구축 및 모니터링 기술 그리고 산사태 예방을 위한 조기수림화 기술 개발 등의 광역 산사태 저감 기술 개발, 사면재해를 저감하기 위한 현장 기술과 계측기술의 개발로 사면안정성증대를 위한 적극적인 재해저감기술을 개발하고 해외 기술을 국산화함으로써 막대한 해외 기술료를 절감하는 실용화 연구개발 사업이 필요하다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구개발은 “낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발”을 목표로 사계절 낙석과 산사태의 위험에 노출되어 있는 강원지역의 재해를 저감하기 위하여 Database 시스템, 유비쿼터스 시스템을 이용하여 위험지역에 대한 지속적인 관리와 정보제공이 가능한 통합 사면관리기술 개발과 낙석 및 산사태 전문교육센터를 설립 운영하여 낙석 및 산사태 방재 전문가를 양성하고 위성 및 측량을 통하여 취득한 자료를 구축하여 데이터베이스화 할 수 있는 기반을 설계함으로써 이를 기반으로 산사태를 체계적으로 관리하고, 해외기술에 의존하고 있는 국내 사면 안전 보강기술의 개발과 차세대 계측기술 등을 개발함으로서 지역기술혁신 연구개발사업의 일

환으로 국내 실정에 적합한 보강 시설 및 계측 기술을 개발하여 경제적이고 효율적인 재해방지에 이바지 하고자 한다.

Ⅳ. 연구개발 결과

○ 소형 및 중대형 모형토조를 제작하여 실내 시험을 실시함으로써 강우침투로 인한 사면 붕괴시 지하수위의 변화를 분석하여 사면설계의 기준을 제시
○ 낙석성능평가 시험장을 시험을 통해 건교부 지침상의 표준낙석방지울타리에 대한 성능평가와 향후 새로운 낙석방지울타리의 성능을 비교·평가하는데 이용될 수 있는 평가 방안을 제시
○ KSMR 시스템과 사면조사용 PDA 프로그램 통합하여 웹기반 사면 정보공유 시스템을 개발하였고, 스마트폰 환경의 사면조사 프로그램을 개발
○ 웹브라우저 기반의 운영시스템 및 통합운영시스템 연계하여 개발기술의 경제성을 확보
○ 조기수림화 자료 수집 및 분석을 통한 조기수림화 기술 개발 및 매뉴얼 작성
○ 산사태 위험지도 제작을 위한 공간분석체계 개발 및 위험지도제작기술 개발
○ 공간영상정보를 활용한 산사태 위험성평가시스템 개발
○ 산사태 관리를 위한 웹 지도서비스 운용
○ 기존 간섭 SAR 시스템점검 및 자체시스템 개발
○ LiDAR 측량의 산사태 적용 모델개발을 통한 항공 및 지상 LiDAR의 데이터 융합기술 개발
○ 시범지역에 대한 시계 실측데이터구축
○ 시계열 LiDAR 정보에 의한 산사태 모니터링기술 개발
○ LiDAR 정보를 이용한 산사태 관리를 위한 3차원 데이터 모델표준 및 시각화 프로그램 개발
○ 사면 수평 배수공 성능 시험을 통한 문제점을 수정 및 보안하여 수평배수공 개발
○ 미소 파괴음을 이용한 사면 계측기준 수립 및 연구 종료 후의 실용화 방안을 수립
○ 절리정보를 추출함에 있어 반자동 영상동조 기법을 개선 추가함으로서 작업효율을 증진
○ 낙석방지망의 변형 특성을 파악하기 위하여 국내 도로 현장에서 사용되고 있는 낙석방지망과 동일한 제품을 대상으로 인발 실험을 수행하여 Expanded Metal을 이용한 포켓식 낙석방지망을 개발

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

○ 낙석 및 산사태 발생에 대한 적극적인 대응체계 구축 및 대책방안을 제시
○ 신속하고 효율적이며 경제적인 유지관리업무가 수행될 수 있도록 지원할 것이며, 낙석 및 산사태 등의 지반재해 방지기술 및 국가적 차원의 재해예방 정책결정 등에 기초 자료로 활용
○ 사면 유지관리에 직접적으로 관여하는 현장 관리인 또는 도로관리 공무원 등 상대적으로 비전문가에 속하는 인력이 손쉽게 유지관리에 필요한 객관적인 자료를 수집하고 동시에 DB화됨으로써 유지관리 업무에 효율을 극대화
○ 낙석 및 산사태 방지를 위한 유지관리 분야에 유비쿼터스 시스템 기술을 적극적으로 접목하여 국가 기술경쟁력을 향상
○ 현장 정보관리 기능을 디지털화 하고 위치 추적을 통하여 센터 내에서 즉각적으로 반응할 수 있도록 정보의 중앙 집중체제를 구축
○ 환경친화적 산사태 저감기술이 정립되면 우리나라의 실정에 알맞은 산사태 예방 및 복구사업의 시행하는 데에 기초자료로 충분히 활용할 수 있을 뿐 만 아니라 녹화, 사방 및 산림토목 관련 기술자를 대상으로 하여 환경 친화적인 토목사업이 현장에 적용되는 실무교육 자료로 활용
○ 산사태 관리가 GIS의 공간정보와 종합적으로 분석되어 보다 신속하고 광역적인 산사태 예측 및 분석에 활용될 수 있으며, 웹을 통한 산사태 지도서비스를 일반인이 쉽게 자료에 접근하고 공유하여 산사태로 인한 피해를 예방하고 최소화 하는데 활용
○ SAR 영상을 이용한 지반 변위 탐측은 차후 강원도 지역을 대상으로 다양한 산사태 변위를 조사하여 적용성을 향상시키고, 다년간의 자료 분석을 통해 데이터베이스를 구축하여 웹기반 시스템을 통해 제공됨으로써, 산사태 피해지역 탐측과 더불어 향후 취약 지구 선정을 위한 중요한 자료로서 활용
○ 산사태 관리 메인 프로그램에서의 3차원 시각화 서브프로그램을 구현함으로써 산사태 관리를 시각적으로 적용, 산사태 발생에 대한 상세정보를 파악, 시계열 LiDAR 데이터를 이용한, 산사태 발생에 대한 모니터링 실시 및 산사태 발생에 대한 거동을 예측
○ 강원지역의 재해로부터 안전화로 각종 관광산업유치 및 해외투자 유치 활성화
○ 정부의 통합적 재난관리 체제 운영 가능
○ 위험 사면 관리 기준 도출에 의한 경제적 유지 관리 가능
○ 사면수평배수공법 개발을 통한 대외 기술경쟁력 강화 및 수출로 인한 경제적 가치 창출
○ 특수섬유 제조산업과의 지속적인 연계 및 연구를 통한 우수한 필터링 재료 개발
○ 자연재해로 인한 물류비용 소모 최소화로 유통 및 전반적인 제조업들의 생산 활성화

요 약 문

[제1세부]

Ⅰ. 제 목

통합 사면관리 기술 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

낙석 및 산사태는 일차적으로 귀중한 인명피해를 일으키고 이차적으로는 도로 및 농작물 파손 등의 재산피해와 같이 사회적으로 큰 경제적 손실을 야기하며, 특히 집중강우에 의해 발생하는 붕괴 또는 토지 유출은 매년 큰 피해를 발생시키고 있으며 사회문제로까지 대두되고 있다.

산악지형이 발달한 강원 지역의 경우 도로 및 철도 노선에 다수의 자연사면 및 암반사면이 형성되어 있으며 각 기관별로 유지관리되고 있다. 다수의 암반사면에 대해서 모두 정밀조사를 수행하기에는 전문 인력과 예산 면에서 거의 불가능하므로 현장 실무자가 일차적으로 암반사면의 위험도를 평가하여 암반사면의 기본적인 정보를 관리하는 한편 추가 정밀조사가 요구되는 사면을 결정할 수 있는 간편한 암반사면 위험도평가방법의 개발이 필요하다.

본 연구는 IT기술을 접목한 첨단기법을 이용하여 현장 절토사면 조사의 효율성을 극대화하는 조사 및 자료 정보화 기술 개발에 해당하며, 낙석 및 산사태 방지기술 분야에 유비쿼터스 시스템 기술을 적극적으로 접목하여 국가 기술경쟁력을 향상시키고 이를 통한 국가차원의 유지관리 예산을 절감하기 위하여 현장 정보관리 기능을 디지털화 하고 위치추적을 통하여 중앙관리센터 내에서 즉각적으로 반응할 수 있도록 정보의 중앙집중 체계를 구축할 필요가 있으며, 이를 본 연구의 최종목표로 설정하였다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 사계절 낙석과 산사태의 위험에 노출되어 있는 강원지역에 낙석과 산사태로 인한 재해를 저감하기 위하여 Database 시스템, 유비쿼터스 시스템을 이용하여 위험지역에 대한 지속적인 관리와 정보제공이 가능한 통합 사면관리기술 개발을 목적으로 하였다. 통합 사면관리기술 개발은 체계적이고 과학적인 유지관리차원의 핵심기술을 개발하여 기술 수출 및 기업화의 기반을 마련하고 낙석 및 산사태

전문교육센터를 설립 운영하여 낙석 및 산사태 방재 전문가를 양성 하는 것이다.

Ⅳ. 연구개발 결과

○ 효율적인 유지관리 시스템을 개발하여 사면연구 전문센터를 운영함으로써 강원도 지역의 낙석 및 산사태 발생을 최대한 억제하고 발생빈도 및 피해를 점차적으로 감소시키는 재난관리체제를 구축하고자 하였으며, 소형 및 중대형 모형토조를 제작하여 실내 시험을 실시함으로써 강우침투로 인한 사면 붕괴시 지하수위의 변화를 분석하여 사면설계의 기준을 제시하였다.

○ 낙석성능평가 시험장을 건설하고 시험함으로서 건교부 지침상의 표준낙석방지울타리에 대한 일관된 성능평가와 향후 새로운 낙석방지울타리의 성능을 비교·평가하는데 이용될 수 있는 평가 방안을 제시하였다.

○ 대표현장 시범지구 선정 및 현황조사를 수행하여 일반용 및 전문가용 절토사면 산태평가 배점표를 개발, 절토사면 유지관리자용 점검주기 산정기법을 개발하였다.

○ KSMR 시스템과 사면조사용 PDA 프로그램 통합하여 웹기반 사면 정보공유 시스템을 개발하였고, 스마트폰 환경의 사면조사 프로그램을 개발하였다.

○ 통신장치를 개선하여 수집데이터 송수신의 안정성을 도모하고 실제 현장에서 성능시험을 실시하고 결과를 분석하여 실무활용성을 검토하였다.

○ 웹브라우저 기반의 운영시스템 및 통합운영시스템 연계하여 개발기술의 경제성을 확보하였다.

○ SMR에 근거하여 현장실무자가 암반사면에 대하여 개략적인 평가를 수행할 수 있도록 단순하며 신뢰성을 가지는 암반사면 위험도 평가법을 개발하였으며 일차적으로 전문가에 의해 타당성을 검토하였다.

○ 현장적용을 위해 PDA기반 평가프로그램을 개발하였으며 현장 테스트 결과 효과적으로 암반사면위험도평가에 사용될 수 있는 것을 확인하였다.

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

○ 낙석 및 산사태 발생에 대한 적극적인 대응체계 구축 및 대책방안을 제시한다.

○ 신속하고 효율적이며 경제적인 유지관리업무가 수행될 수 있도록 지원할 것이며, 낙석 및 산사태 등의 지반재해 방지기술 및 국가적 차원의 재해예방 정책결정 등에 기초 자료로 활용 될 수 있다.

○ 비탈면의 안정성을 평가하여 우기시 합리적이고 경제적인 비탈면 설계방안을 제시한다.

○ 사면 유지관리에 직접적으로 관여하는 현장 관리인 또는 도로관리 공무원 등 상대적으로 비전문가에 속하는 인력이 손쉽게 유지관리에 필요한 객관적인 자료를 수집하고 동시에 DB화됨으로써 유지관리 업무에 효율을 극대화 할 수 있다.

○ 낙석 및 산사태 방지를 위한 유지관리 분야에 유비쿼터스 시스템 기술을 적극적으로 접목하여 국가 기술경쟁력을 향상시킨다.
○ 현장 정보관리 기능을 디지털화 하고 위치 추적을 통하여 센터 내에서 즉각적으로 반응할 수 있도록 정보의 중앙 집중체제를 구축한다.
○ 개발된 위험도평가법 및 PDA용 프로그램을 통합사면관리시스템의 모듈로 사용할 수 있다.

[제2세부]

Ⅰ. 제목

광역 산사태 저감 기술 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

따라서 이러한 광범위 산사태를 잘 감지하고 신속한 대처가 이루어 질 수 있도록 하기 위해 광역 산사태 관리를 위한 공간정보 구축 및 Web 지원서비스 개발과 산사태 예방을 위한 조기수림화 기술 개발과 항공측량이나 인공위성을 이용한 원격탐측 SAR 영상 자료 처리를 통한 산사태 데이터베이스 구축, 시계열 라이다 정보에 의한 산사태 모니터링 기술 개발등을 통하여 산사태의 특성을 보다 정밀하고 과학적인 방법으로 연구하고 산사태의 발생에 취약한 지역을 선정하여 산사태가 발생을 억제하거나 나아가 피해를 저감시킬 수 있는 연구가 필요하다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

지금까지의 자료 취득은 산사태 발생지역에의 접근성이 나쁘고 측량에 의한 자료의 취득이 어려워 취득이 어려울 뿐만 아니라 기존의 자료 또한 매우 빈약한 실정이며, 조사한 산사태 관련자료의 경우도 대부분 수작업으로 지도위에 표시하거나 붕괴형태에 대한 보고서 등에 그치고 있다. 따라서 산사태 발생지역에 대한 기존의 방식으로는 충분한 조사가 이루어질 수 없으며, 산사태 발생위치가 주로 접근하기 어려운 곳이 많아 이에 대한 새로운 개념의 조사기술이 필요하다. 특히 PDA, GPS,

LiDAR, 인공위성 영상자료 등은 산사태 발생위치, 면적, 피해규모 등을 추출할 수 있는 양질의 자료원이 될 수 있다. 따라서 이러한 신기술에 의해 산사태 발생지역을 조사할 수 있는 기술 개발을 통하여, 산사태 정보의 정확한 위치와 속성, 영상공간정보를 통합 구축하고 데이터베이스화할 수 있는 기반을 설계함으로써 이를 기반으로 산사태를 체계적으로 관리함으로서 산사태 관리의 과학화를 실현하고, 이를 통한 공간영상정보자료 활용의 극대화 도모는 물론 산사태 위험정보의 웹 제공을 통해 각종 재난사고를 사전에 예방할 수 있는 서비스 제공 했을 뿐만 아니라, 도시계획, 입지선정과 각종 토목공사에 따른 위험성 사전예방으로 인명, 재산피해 최소화 할 수 있는 조기수림화 기술 매뉴얼을 작성하여 제시하였다.

따라서 연구의 최종 목표인 “광역 산사태 저감기술 개발”을 위한 연구범위는 다음과 같다.

- ○ 광대역 산사태 관리를 위한 공간 정보 구축 및 WEB지원 서비스 개발
- ○ 산사태 예방을 위한 조기수림화 기술 개발
- ○ 간섭 SAR 영상처리를 위한 시스템 구축
- ○ 시계열 라이다 정보에 의한 산사태 모니터링 기술 개발

Ⅳ. 연구개발 결과

- ○ 조기수림화 자료 수집 및 분석을 통한 조기수림화 기술 개발
- ○ 개량형 조기수림화기술 현지적용 및 조기수림화 기술 매뉴얼 작성
- ○ 인공위성영상을 이용한 구조선 추출 기술 개발
- ○ 산사태 위험지도 제작을 위한 공간분석체계 개발 및 위험지도제작기술 개발
- ○ 공간영상정보를 활용한 산사태 위험성평가시스템 개발
- ○ 산사태 관리를 위한 웹 지도서비스 운용
- ○ 기존 간섭 SAR 시스템점검 및 자체시스템 개발
- ○ 간섭 SAR 상관도 분석 및 SAR 시스템 타당성조사
- ○ 간섭 SAR결과와 산사태 변위의 상관도 분석
- ○ 간섭 SAR 산사태 체계 구축
- ○ 항공 LiDAR 측량의 국내외 산사태 활용사례 조사/분석

○ LiDAR 측량의 산사태 적용 모델개발을 통한 항공 및 지상 LiDAR의 데이터 융합기술 개발
○ 시범지역에 대한 시계 실측데이터구축
○ 시계열 LiDAR 정보에 의한 산사태 모니터링기술 개발
○ LiDAR 정보를 이용한 산사태 관리를 위한 3차원 데이터 모델표준 및 시각화 프로그램 개발
○ 산사태 관리 메인 프로그램에서의 3차원 시각화 서브프로그램 구현

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

○ 산사태 예방을 위한 조기수림화 기술이 개발되어 환경친화적 산사태 저감기술이 정립되면 우리나라의 실정에 알맞은 산사태 예방 및 복구사업의 시행하는데에 기초자료로 충분히 활용할 수 있을 뿐 만 아니라 녹화, 사방 및 산림토목 관련 기술자를 대상으로 하여 환경 친화적인 토목사업이 현장에 적용되는 실무교육 자료로 활용할 수 있다.
○ 산사태 관리가 GIS의 공간정보와 종합적으로 분석되어 보다 신속하고 광역적인 산사태 예측 및 분석에 활용될 수 있으며, 웹을 통한 산사태 지도서비스를 일반인이 쉽게 자료에 접근하고 공유하여 산사태로 인한 피해를 예방하고 최소화 하는데 활용될 수 있을 뿐만 아니라 산사태 관리를 위한 웹 지도서비스 운용은 타 재해분야(풍수해, 지진 등)의 재해지도 서비스의 기술 수준 향상과 위험지도와 위성영상과의 매시업(Mashup)을 통해서 GIS의 웹 시각화 기술 발전에 기여하며, 방재기술의 선진화에 기여할 것으로 기대된다.
○ SAR 영상을 이용한 지반 변위 탐측은 차후 강원도 지역을 대상으로 다양한 산사태 변위를 조사하여 적용성을 향상시키고, 다년간의 자료 분석을 통해 데이터베이스를 구축하여 웹기반 시스템을 통해 제공됨으로써, 산사태 피해 지역 탐측과 더불어 향후 취약 지구 선정을 위한 중요한 자료로서 활용될 수 있을 것으로 예상된다.
○ 산사태 관리 메인 프로그램에서의 3차원 시각화 서브프로그램을 구현함으로써 산사태 관리를 를 시각적으로 적용, 산사태 발생에 대한 상세정보를 파악, 시계열 LiDAR 데이터를 이용한, 산사태 발생에 대한 모니터링 실시 및 산사태 발생에 대한 거동을 예측하고자 한다.

[제3세부]

Ⅰ. 제 목

사면 안정성 증대기술 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

국토의 대부분이 산악지형으로 이루어져 있기에 여러 대규모 택지조성, 도로개설 및 산업기지 건설, 대규모 주택단지 개발 등으로 자연사면을 변형시키는 규모나 빈도가 증가하고 있으며 국내의 지형 및 지질적 특성과 기존도로의 확장 등으로 인해 현재 우리나라는 필연적으로 절•성토 사면 등이 증가하는 추세에 있다. 이러한 대규모 절토사면은 집중호우, 지진, 풍화 등의 자연현상에 매우 취약한 실정이며 그로 인한 사면 붕괴 및 암괴의 낙반의 위험성에 상시 노출되어 있다고 할 수 있다.

사면 붕괴 및 암괴 낙반에 가장 큰 영향을 미치는 대표적 원인으로 강우를 들 수 있다. 특히 여름철 장마, 태풍 등으로 인한 집중호우로 사면 내 지하수위 상승과 그로 인한 간극수압의 증가는 지반강도 저하시키고 활동 토괴의 하중을 증가시켜 결국 붕괴에 이르게 되는데 이러한 사면 재해로 인한 인명피해 및 재산 피해가 매년 증가하고 있는 추세이다.

사계절 낙석의 위험에 노출되어 있는 강원지역에서 낙석으로 인한 재해를 저감하고, 해외 기술을 국산화 함으로서 낙반으로부터의 안전성 확보 및 막대한 기술료 절감을 할 수 있다. 그러나 현재 국내의 기술은 해외 기술에 의존하고 있는 경우가 많아 국내의 지형 및 지질적 특성에 맞지 않는 경우에 문제가 발생될 수 있어 이러한 문제를 해결하기 위해, 사면 안정 및 유지관리를 위한 기술의 국산화가 필요하다.

따라서 본 연구는 사계절 사면 재해의 위험에 노출되어 있는 강원지역에서 사면재해를 저감하기 위한 현장 기술과 계측기술의 개발로 사면안정성증대를 위한 적극적인 재해저감기술을 개발하고 해외 기술을 국산화함으로써 막대한 해외 기술료를 절감하는 실용화 연구개발 사업이다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구개발의 목표인 “사면 안정성 증대기술 개발”은 연구개발을 통해 해외기술에 의존하고 있는 분야에 대하여 국산화 기술 개발을 통한 실용화 및 사업화를 위한 기술개발이다. 그리하여 인위적, 기술적으로 사면의 안전성을 증대시키는 보강기술 개발과 차세대 계측기술등을 개발함으로서 지역기술혁신 연구개발사업의 일환으로 국내 실정에 적합한 보강 시설 및 계측 기술을 개발하여 경제적이고 효율적인

재해방지에 이바지 하고자 한다.

본 연구는 사면수평 배수공법 개발 및 적용을 위한 설계기준을 제안하고, 파괴음 측정을 이용한 계측기법을 개발, 디지털 영상을 이용한 암반사면 절리구조 맵핑 기법 및 장비개발, 포켓식 낙석방지망 국산화 기술 개발, 산악지형특성에 적합한 토석류 차단 모델개발, A.E.(Acoustic Emission)을 이용한 절토사면의 파괴위험 연구를 목표로 하고 있다.

Ⅳ. 연구개발 결과

○ 사면 수평 배수공 성능 시험을 통한 문제점을 수정 및 보안하여 수평배수공을 개발하였다.

○ 지하수위, 지반포화도등 세부조건 별 사면 안정성 영향 인자를 분석하여 안정성을 분석하여 배수공 설치에 따른 사면 안정성을 분석하여 개선된 배수공법에 대한 실내모형 실험을 장기적으로 실시하고 문제점을 분석하여 현장 배수성능 평가를 위한 적용 방안 수립 및 실제 현장에 적용하여 문제점을 분석하였다.

○ 미소 파괴음을 이용한 사면 계측기준 수립 및 연구 종료 후의 실용화 방안을 수립하였다.

○ 절리정보를 추출함에 있어 반자동 영상동조 기법을 개선 추가함으로서 작업효율을 증진시켰으며, 현장에서의 고해상·고정밀 디지털 정지영상과 고해상 동영상을 확보하여 통합사면 관리 시스템을 관리하는 전문기술자나 희사 결정권자들에게 현장에서 바로 전달하여 신속한 대응방안 수립과 의사결정이 가능하다.

○ 낙석방지망의 변형 특성을 파악하기 위하여 국내 도로 현장에서 사용되고 있는 낙석방지망과 동일한 제품을 대상으로 인발 실험을 수행하여 Expanded Metal을 이용한 포켓식 낙석방지망을 개발하였다.

○ 토석류관련 문헌자료와 토석류 기초실험 장치와 모형사방시설을 토대로 경사에 따른 토석류 확신 실험을 실시하였다.

○ AE를 이용한 위험사면 평가기법을 연구, 파괴에 동반되는 파라미터를 이용한 파괴평가에 대해 연구하였다.

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

○ 사면수평배수공법 개발을 통한 대외 기술경쟁력 강화 및 수출로 경제적 가치를 창출한다.

○ 첨단 시스템을 이용한 유지관리로 IT산업의 다방면화를 유도한다.

○ 미소파괴음 측정을 위한 장비와 프로그램을 개발하여 실내실험, 현장적용 등에 활용하여 미소파괴음을 사면계측에 이용할 수 있다.

○ 절리구조 정부를 디지털 영상을 이용하여 확보함으로서 전산화된 자료들을 체계적으로 수집 관리할 수 있다.
○ 국가적 차원의 재해예방 정택 결정 자료로 활용되어 우선 투자 대상 선정에 가장 정확하고 기본이 되는 자료제시와 위험 사면 관리 기준 도출에 의한 경제적 유지 관리가 가능하다.
○ 토석류 실험장치를 활용하여 실시한 실험결과를 토대로 이를 검토하여 여러 토석류 제어시설의 형태를 고안하여 토석류 확산범위를 최소화 할 수 있는 모델을 선정하는데 활용할 수 있다.
○ 비탈면 파괴의 전조현상을 파악하여 미리 방재할 수 있는 계측 시스템을 개발. 파괴의 가능성이 있는 암반사면에 설치하여 사면의 안정성을 증대시키다.

SUMMARY

Ⅰ. Title

Rockfall and landslide development of new technologies for the next generation

Ⅱ. The purpose and necessity of this study

Mountainous country mading up of 70% of the entire land increases scale and frequencu transforming natural slope by several large housing composition, road construction and industrial base construction, large-scale housing development

Through local topography and geological characteristics of the expansion of existing road, curent country is necessarily tending increase of cut·filled up ground etc. Thereby great casualties and property damage is caused each year and social problems are emerging due to collape or land runoff caused frequent extreme weather events

In particular, the case of Kangwon Province which is developed mountainous terrain, it has demage caused by landslide and rockfall at road and rail routes becouse of formation of rock slope and natural slope.

To solve this problem, gathering information by slope examination to gain more efficiently and exactly digitalize research and information technology development, field information management technology and development of integrated slope management techniques controling them, wide landslide threatened area continuously sense, spatial information establishment and Web support service development and landslide database establishment and monitoring technique for prompt action and the development of field technology and measuring technology for reduction of regional landslide and slope disaster improves disaster reduction technology for the increase of slope stability. Also, Practical research and development projects is needed to save huge overseas royalties through localization of foreign technologies.

Ⅲ. The substance and scope of this study

In this study, in the Gangwon area which faces the risk of four seasons rockfall

and landslide falling rocks and landslides caused by the disaster. To prevent the disasters, The purpose is to develop the Slope management technology using Database systems, ubiquitous systems. The development of integrated slope systematic developes the key technologies. And our purpose is to build Foundation of exports and industrialization and train landslide hazard mitigation specialists through establishing Professional Education Center. Also, It is based on the systematic management of landslides, and dependent on foreign technology and the development of a national amnesty safety reinforcement techniques such as measurement technology by developing the next generation of technology innovation in research and development projects. Development of reinforcement facilities and instrumentation skills being suitable for Korea is to contribute to economical and efficient disaster prevention.

Ⅳ. The results of this study

○ Development of the efficient maintenance management system, operation of anmesty researcher specializing center is to build management system for minimizing the incidence , damage and rockfall and landslide, Slope due to rainfall infiltration on the slope of the groundwater level changes designed to analyze the proposed standards.

○ Assessment were proposed which can be used to evaluate · compare the rockfall protection fence and consistent performance of standard rockfall protectin fence

○ District Representative demonstration site selection and performance review of the Standard and Professional Development slope of Table Mountain taepyeongga grading, slope maintenance, inspection intervals Edition was developed for estimating.

○ KSMR system and an amnesty program to integrate PDA use one trillion web-based information sharing system was developed for the slope, the slope of smart environment research program has been developed.

○ PDA based software KSMR was also developed for practical field application.

○ Improving communication devices promote the stability of the collected data transmission and real-world performance tests conducted on the practical use and analysis of the results was examined.

○ Development of the economy was secured through linking web based operating system and integrated operating system

○ SMR based on the practitioners in the field for the rock slope to allow a rough evaluation with a simple and reliable for the Rock Slope Risk Assessment was developed primarily by experts examined the feasibility.

○ Collection and analysis of the data on landslide prevention in and out of Korea:Collection and analysis of data from an advanced mountainous country (Japan) and Korea

○ Analysis of the landslide inspection technology trend and collection of actual landslide data using the advanced spatial information collection technology

○ Present condition of the study area: Quantitative analysis of damages and recoveries in the study area by year and work type

○ Development of the quick-planting technology (indoor test): Establishment of the criteria based on the inspection and planting purpose, e.g., the purpose, pattern and type selection for the introduced species

○ Research facility: Construction of the research facility for the field applicability test

○ Establishment of the structural lineament extraction technique and DB using satellite images

○ Field application of the quick-planting technology and troubleshooting: Identification of the problems in field work and quick-planting technology based on the indoor test

○ Improvement of the quick-planting technology (indoor test): Selection of introduced species for improved quick-planting technology and the establishment of criteria for that purpose

○ Development of the spatial analysis system and analysis of DB for manufacturing the landslide risk map

○ Development of the landslide risk map manufacturing technology based on GIS spatial analysis

○ Field application of the improved quick-planting technology Field work of the improved quick-planting technology and problem identification

○ Establishment of the quick-planting technology using native species: Quick-planting plans using native species and mycorrhizae

○ Development of the landslide risk evaluation system using the spatial image data

○ Development of the operation and evaluation guide for the landslide risk evaluation system

○ Manual production: Quick-planting manual and requirements for its application

○ Operation and inspection of the Web map service for landslide management
○ Development of the Web map service operation guide for landslide management
○ Find out advantages and disadvantages with reappraisaling the pre-SAR interferometry system for Landslides.
○ Develop the efficiency of progress of interferogram and phase unwrapping.
○ Save the time for computing with 'adapted filtering' in phase unwrapping.
○ Made the displacement map and coherence map about Kangwondo area with ALOS satellite data
○ 3D GIS analysis
○ 3D data model analysis
○ 3D data model presentation for landslide administration
○ Design for program development 3D Viewer
○ Program development 3D Viewer
○ horizontal slope baesugong fix problems with performance testing and security, development and horizontal drainage hole and underground water, soil and slope stability by saturating Guidance details the conditions to analyze the factors affecting the stability analysis of slope stability analysis based on baesugong install the improvements Drain the laboratory model tests carried out in the long term and analyze the problem and the field applied for the evaluation of multiple performance measures established and applied to real world problems are analyzed.
○ Using the slope measurement criteria that establish a smile destruction and practical measures were established after the end of the study.
○ joints as information extraction techniques to improve it by adding a semi-automatic video tuning has improved operational efficiency, high-resolution, high accuracy in the field of digital still images and high-definition video integrated slope control system by ensuring the professional management of technology decision-makers or huisa delivered on site to establish a rapid response and decision-making methods are available.
○ rockfall to identify the characteristics of the strain used in domestic road scene and the same product to target a rockfall pullout tests performed by the Expanded Metal poketsik rockfall was developed.
○ debris flows and debris flows based on the literature related to the experimental device and the model based on the slope by debris flows everywhere, sure facilities were tested.

○ AE evaluation method of using a dangerous slope, accompanied by the destruction of the parameters were studied using the destructive evaluation.

V. Utilization Plan of the R&D Results

○ When a falling rocks and landslide happen, presented are positive Response System and Response System.

○ Efficient and economical maintenance tasks to be performed will support, Ground disaster prevention technologies, such as rockfall and landslide disaster preparedness and national level policy decisions can be utilized as basic data.

○ To assess the stability of slopes during the rainy season is reasonable to suggest ways to design cost-effective slope.

○ Directly involved in slope maintenance on-site manager or officials, including the road belongs to the relatively non-technical personnel required to maintain easy to collect objective data while maintaining DB can maximize your business efficiency.

○ Maintenance for rockfall and landslide areas in ubiquitous systems by integrating technology to actively improve the national technological competitiveness.

○ Digitized field information management and tracking capabilities within the immediate response through the center of information to help to build a centralized system.

○ Developed Risk Assessment and Management System for PDA's amnesty program can be used to integrate the module.

○ If the quick-planting technology for preventing landslides is developed and eco-friendly landslide reduction technology is established, they can be used as basic data for the landslide prevention and recovery work in Korea, as well as field training data for the planting, erosion control and forest earthwork engineers, to apply the eco-friendly earthwork to the actual field.

○ The landslide management can be analyzed in combination with the GIS spatial information to ensure quick and wide landslide prediction and analysis. In addition, the landslide map service can be provided to individuals via Web and can be used to prevent and minimize the landslide damages.

○ If the Web map service is successfully linked with the integrated system of the research group, local governments and national disaster prevention institutions can collect the landslide data in a short time, and use the data

in recovery or damage calculation after the evacuation of residents or actual landslide. The Web map service operation for the landslide management will contribute to the development of the GIS Web visualization technology and advanced disaster prevention technology via the technical improvement of the disaster map service in other disaster areas (storm, flood, earthquake, etc.) and the mash-up of risk maps and satellite images.

○ Through this research, we suggested that the possibility of landslide detecting system by using SAR interferometry. In the next research, we are to apply SAR interferometry to various landslide cases in Kangwondo and construct database of it. Through the web system, this result will be provided for users to prevent landslide.

○ Developed 3d viewer sub program and apply in landslide administration

○ Apply program in landslide administration business and grasp details information about landslide occurrence

○ Forecast conduct about landslide occurrence because using time series LiDAR data

○ buy foreign technology through the development of horizontal drainage system, and export competitiveness is creating economic value.

○ Using high-tech system to maintain the domination of the IT industry's well-rounded.

○ Acoustic Emission measurement equipment for the laboratory to develop such a program, such as field application that leverages a smile destruction can be used for measuring slope.

○ digital images of fracture by the government by securing a computerized data collection can be managed systematically.

○ Disaster prevention of national data to determine jeongtaek been used in selecting the most preferred investment destination in the underlying data and provide accurate and risk management standards derived by the slope can be maintained economically.

○ debris flow experiments conducted using the experimental device, based on the results of this review the various forms of debris flow control facility designed to minimize the debris flow spread range can be used in selecting a model.

○ Slope bangjaehal a precursor phenomenon to identify in advance the development of a measurement system. To destroy the possibility of installing a rock slope stability of the slope we consume.

SUMMARY

[The 1st Detailed Subject]

Ⅰ. Title

The development of unity management technique on slope

Ⅱ. The purpose and necessity of this study

The first a rock falling and landslide has originated from valuable loss of casualty, the second brings a great economical loss like damages of property that are breakage of the load and the crops. moreover occurred the collapse or outflow of soil by a localized torrential rainfall cause much damage every year. Like this result is on the rise by the social problems.

Hundreds of rock slopes are created along the road, highway and railroad in mountainous Kangwon province and managed by each authorities concerned. It is practically not possible to carry out detailed rock slope investigation owing to the tremendous number of slopes and budgetary limit. Therefore, it is a reasonable to perform a staged investigation consisted of rough and detailed survey program and practical and simple rock slope hazard assesment method for person in charge is strongly required. Therefore, the objective of this study is set as 'development of practical rock slope hazard assesment method'.

In this study, the combination of IT technology field slope using advanced techniques to maximize the efficiency of the survey research and data available for information technology development and technology to prevent falling rocks and landslides ubiquitous systems by integrating technology to actively National Technological Competitiveness This improves the national level through the maintenance of the field in order to reduce the budget for information management and tracking through digitization in the central administrative center for immediate response to the information you need to build a centralized system, and it The ultimate goal of this study was set.

Ⅲ. The substance and scope of this study

In this study, in the Gangwon area which faces the risk of four seasons rockfall and landslide falling rocks and landslides caused by the disaster. To prevent the disasters, The purpose is to develop the Slope management technology using Database systems, ubiquitous systems. The development of integrated slope systematic developes the key technologies. And our purpose is to build Foundation of exports and industrialization and train landslide hazard mitigation specialists through establishing Professional Education Center

Ⅳ. The results of this study

○ Development of the efficient maintenance management system, operation of anmesty researcher specializing center is to build management system for minimizing the incidence , damage and rockfall and landslide, Slope due to rainfall infiltration on the slope of the groundwater level changes designed to analyze the proposed standards.

○ Assessment were proposed which can be used to evaluate · compare the rockfall protection fence and consistent performance of standard rockfall protectin fence

○ District Representative demonstration site selection and performance review of the Standard and Professional Development slope of Table Mountain taepyeongga grading, slope maintenance, inspection intervals Edition was developed for estimating.

○ KSMR system and an amnesty program to integrate PDA use one trillion web-based information sharing system was developed for the slope, the slope of smart environment research program has been developed.

○ PDA based software KSMR was also developed for practical field application.

○ Improving communication devices promote the stability of the collected data transmission and real-world performance tests conducted on the practical use and analysis of the results was examined.

○ Development of the economy was secured through linking web based operating system and integrated operating system

○ SMR based on the practitioners in the field for the rock slope to allow a rough evaluation with a simple and reliable for the Rock Slope Risk Assessment was developed primarily by experts examined the feasibility.

v. The practical plan of product

○ When a falling rocks and landslide happen, presented are positive Response System and Response System.

○ Efficient and economical maintenance tasks to be performed will support, Ground disaster prevention technologies, such as rockfall and landslide disaster preparedness and national level policy decisions can be utilized as basic data.

○ To assess the stability of slopes during the rainy season is reasonable to suggest ways to design cost-effective slope.

○ Directly involved in slope maintenance on-site manager or officials, including the road belongs to the relatively non-technical personnel required to maintain easy to collect objective data while maintaining DB can maximize your business efficiency.

○ Maintenance for rockfall and landslide areas in ubiquitous systems by integrating technology to actively improve the national technological competitiveness.

○ Digitized field information management and tracking capabilities within the immediate response through the center of information to help to build a centralized system.

○ Developed Risk Assessment and Management System for PDA's amnesty program can be used to integrate the module.

[The 2nd Detailed Subject]

Ⅰ. Title

Development of the wide-area landslide reduction technology

Ⅱ. The purpose and necessity of this study

In recent days, climatic change cause abnormal weather all over the world and we have a great loss of life and property every year. In Korea, we suffer from landslide problem because large regions of Korea Peninsula are composed of mountain.

Therefore, rapid detection and to take follow-up measures of disaster, development of the spatial information DB and Web service for the wide-area landslide management, Construction of InSAR image processing system, Development of a landslide monitoring technique by a time series LiDAR information.

In this study, we aimed to estimate the vulnerable mountain area for landslide in Kangwondo and this results will be used for construction of landslide detecting system.

Ⅲ. The substance and scope of this study

The spatial analysis system for the landslide risk map and the map-making technology based on DB analysis and GIS spatial analysis were developed as the spatial analysis system for the landslide risk map to develop the risk map manufacturing technology.

The developments of the landslide risk evaluation system based on spatial image information included the development of operation and evaluation guides and Web map service module for landslide management.

The requirements for making and applying the quick-planting manual were defined. The Web map service operation guide was developed for the operation, inspection and management of the service.

Interferometric SAR (InSAR) is the process extracting information from the phase data. If two observations of the same region from very similar position are available, aperture synthesis can be performed to provide the resolution performance which would be given by a RADAR system with dimensions equal to the separation of the two measurement. If the two samples are obtained simultaneously by two antennas on the same aircraft, some distance apart, then the phase difference can contain the information about the angle from which the radar echo returned. Combining this with the distance information, we can get the position in the three dimensions of the image pixel. i.e. we could extract

terrain altitude as well as radar reflectivity, producing a digital elevation model (DEM). In case two samples are separated in time by two flights covering the same terrain, there are two kinds of phase shift available, terrain altitude and motion. If the terrain has shifted between observations, it will return a different phase and the amount of shift can be seen by the order of the wavelength used. The interferometric phase is sensitive to both, surface topography and coherent displacement in between the acquisition of an image pair. The basic idea of differential interferometric processing is to separate the two effects and retrieve a differential displacement map. This goal may be achieved by subtracting the topography related phase. The topography related phase can either be calculated from a conventional DEM or from an independent interferometric pair without phase component from differential displacement. There are three kinds of common methods in differential interferometry, 2-pass, 3-pass, and 4-pass. In this study, we aimed to estimate the vulnerable mountain area for landslide by 2-Pass DInSAR which uses the conventional DEM for subtracting topography phase.

Development of macro land monitoring technology about the potential landslide area using airborne LiDAR.

Developed 3 dimension data model standard and viewer program for landslide administration that use LiDAR data.

Therefore, the final goal of the study "Development of the wide-area landslide reduction technology" for the scope of the study are as follows.

- ○ Development of the spatial information DB and Web service for the wide-area landslide management
- ○ Construction of InSAR image processing system
- ○ Development of a landslide monitoring technique by a time series LiDAR

Ⅳ. The results of this study

○ Collection and analysis of the data on landslide prevention in and out of Korea:Collection and analysis of data from an advanced mountainous country (Japan) and Korea

○ Analysis of the landslide inspection technology trend and collection of actual landslide data using the advanced spatial information collection technology

○ Present condition of the study area: Quantitative analysis of damages and recoveries in the study area by year and work type

○ Development of the quick-planting technology (indoor test): Establishment of the criteria based on the inspection and planting purpose, e.g., the purpose, pattern and type selection for the introduced species

○ Research facility: Construction of the research facility for the field applicability test

○ Establishment of the structural lineament extraction technique and DB using satellite images

○ Field application of the quick-planting technology and troubleshooting: Identification of the problems in field work and quick-planting technology based on the indoor test

○ Improvement of the quick-planting technology (indoor test): Selection of introduced species for improved quick-planting technology and the establishment of criteria for that purpose

○ Development of the spatial analysis system and analysis of DB for manufacturing the landslide risk map

○ Development of the landslide risk map manufacturing technology based on GIS spatial analysis

○ Field application of the improved quick-planting technology Field work of the improved quick-planting technology and problem identification

○ Establishment of the quick-planting technology using native species: Quick-planting plans using native species and mycorrhizae

○ Development of the landslide risk evaluation system using the spatial image data

○ Development of the operation and evaluation guide for the landslide risk evaluation system

○ Manual production: Quick-planting manual and requirements for its application

○ Operation and inspection of the Web map service for landslide management

○ Development of the Web map service operation guide for landslide management
○ Find out advantages and disadvantages with reappraisaling the pre-SAR interferometry system for Landslides.
○ Develop the efficiency of progress of interferogram and phase unwrapping.
○ Save the time for computing with 'adapted filtering' in phase unwrapping.
○ Made the displacement map and coherence map about Kangwondo area with ALOS satellite data
○ 3D GIS analysis
○ 3D data model analysis
○ 3D data model presentation for landslide administration
○ Design for program development 3D Viewer
○ Program development 3D Viewer

V. Utilization Plan of the R&D Results

○ If the quick-planting technology for preventing landslides is developed and eco-friendly landslide reduction technology is established, they can be used as basic data for the landslide prevention and recovery work in Korea, as well as field training data for the planting, erosion control and forest earthwork engineers, to apply the eco-friendly earthwork to the actual field.
○ The landslide management can be analyzed in combination with the GIS spatial information to ensure quick and wide landslide prediction and analysis. In addition, the landslide map service can be provided to individuals via Web and can be used to prevent and minimize the landslide damages.
○ If the Web map service is successfully linked with the integrated system of the research group, local governments and national disaster prevention institutions can collect the landslide data in a short time, and use the data in recovery or damage calculation after the evacuation of residents or actual landslide. The Web map service operation for the landslide management will contribute to the development of the GIS Web visualization technology and advanced disaster prevention technology via the technical improvement of the disaster map service in other disaster areas (storm, flood, earthquake, etc.) and the mash-up of risk maps and satellite images.
○ Through this research, we suggested that the possibility of landslide detecting system by using SAR interferometry. In the next research, we

are to apply SAR interferometry to various landslide cases in Kangwondo and construct database of it. Through the web system, this result will be provided for users to prevent landslide.

○ Developed 3d viewer sub program and apply in landslide administration

○ Apply program in landslide administration business and grasp details information about landslide occurrence

○ Forecast conduct about landslide occurrence because using time series LiDAR data

[The 3rd Detailed Subject]

Ⅰ. Title

Increased skills development and slope stability

Ⅱ. The purpose and necessity of this study

Most of the country consists of mountainous terrain, because the composition of several large housing, road construction and industrial base construction, large-scale housing development to transform the scale and frequency due to natural increase and local topography and geological characteristics of the existing road Consequently, due to expansion and the current Korea · embankment section and are on the rise. The large cut slope torrential rains, earthquakes, weathering and other natural phenomena is a very vulnerable situation and the resulting slope amgoeui nakbanui always exposed to risks that may be.

Slope, and the biggest impact amgoe nakbane representative of rainfall can cause. Especially during the summer rainy season, hurricanes due to rising groundwater levels in the slope by heavy rainfall and the resulting increase in pore pressure decreases the strength of the soil by increasing the activity load togoeui which eventually led to the collapse of these slopes casualties and property damage caused by natural disasters The trend is increasing each year.

Seasons are at risk of rockfall in Gangwon Province, and in the reduction of accidents caused by falling rocks, by localization of international technology nakbaneurobuteoui safety and can reduce a huge royalties. However, the current domestic and foreign technologies that rely on technology a lot of the local topography and geological characteristics of the case does not fit can cause

problems to solve these problems, slope stability and localization of technology for maintenance is required.

In this study, four seasons, the slope of the disaster risk reduction in the Kangwon region for the slope to disaster sites to the development of technology and measuring technology for improving slope stability and development of proactive disaster reduction technologies, domestic and foreign technology hwahameurosseo huge offshore royalties is reduced to a practical research and development projects.

Ⅲ. The substance and scope of this study

The goal of this research, "Development of slope stability, increase" the dependence on foreign technology through research and development and localization of the field for the practical use through technology development and commercialization is the development of technology. Thus, human and technical reinforcement to increase the safety of the slope and the next generation of technology and by developing measurement technology innovation research and development areas as part of the domestic conditions for business facilities and instrumentation technology and reinforce geongjejeokyigo contribute to effective disaster prevention should want to.

This study developed and applied for amnesty for the horizontal drainage system design criteria are proposed and developed pagoeeum measurement method using the instruments, rock slope using digital imaging techniques and equipment, development of joint structure mapping, localization technology poketsik rockfall, Blocking characteristics of debris flow in mountainous terrain suitable model, AE (Acoustic Emission) using the slope of the fracture risk research is aimed.

Ⅳ. The results of this study

○ horizontal slope baesugong fix problems with performance testing and security, development and horizontal drainage hole and underground water, soil and slope stability by saturating Guidance details the conditions to analyze the factors affecting the stability analysis of slope stability analysis based on baesugong install the improvements Drain the laboratory model tests carried out in the long term and analyze the problem and the field applied for the evaluation of multiple performance measures established and applied to real world problems are analyzed.

○ Using the slope measurement criteria that establish a smile destruction and practical measures were established after the end of the study.

○ joints as information extraction techniques to improve it by adding a semi-automatic video tuning has improved operational efficiency, high-resolution, high accuracy in the field of digital still images and high-definition video integrated slope control system by ensuring the professional management of technology decision-makers or huisa delivered on site to establish a rapid response and decision-making methods are available.
○ rockfall to identify the characteristics of the strain used in domestic road scene and the same product to target a rockfall pullout tests performed by the Expanded Metal poketsik rockfall was developed.
○ debris flows and debris flows based on the literature related to the experimental device and the model based on the slope by debris flows everywhere, sure facilities were tested.
○ AE evaluation method of using a dangerous slope, accompanied by the destruction of the parameters were studied using the destructive evaluation.

Ⅴ. The practical plan of products

○ buy foreign technology through the development of horizontal drainage system, and export competitiveness is creating economic value.
○ Using high-tech system to maintain the domination of the IT industry's well-rounded.
○ Acoustic Emission measurement equipment for the laboratory to develop such a program, such as field application that leverages a smile destruction can be used for measuring slope.
○ digital images of fracture by the government by securing a computerized data collection can be managed systematically.
○ Disaster prevention of national data to determine jeongtaek been used in selecting the most preferred investment destination in the underlying data and provide accurate and risk management standards derived by the slope can be maintained economically.
○ debris flow experiments conducted using the experimental device, based on the results of this review the various forms of debris flow control facility designed to minimize the debris flow spread range can be used in selecting a model.
○ Slope bangjaehal a precursor phenomenon to identify in advance the development of a measurement system. To destroy the possibility of installing a rock slope stability of the slope we consume.

CONTENTS

Capt. 1 Introduction ····· 1

Section 1. The purpose and necessity of research & development ····· 1

Section 2. The objectives and content of research & development ····· 2

Capt. 2 Development Status ····· 4

Section 1. Internal Technology Development status ····· 4

Section 2. External Technology Development status ····· 7

Capt. 3 Research result ····· 11

Section 1. Web-based Integrated System Development and Establishment of Evaluation Planning ····· 11

Section 2. Development of Proto-Type Equipment ····· 50

Section 3. Development of next-generation field data collection vehicles ····· 57

Section 4. Development of the Rock slope risk Evaluation techniques ····· 70

Section 5. Development of the spatial information DB and Web service for the wide-area landslide management ····· 78

Section 6. Construction of InSAR image processing system ····· 97

Section 7. Development of a landslide monitoring technique by a time series LiDAR ·· 105

Section 8. Slope of horizontal drainage system development and application of design standards for the proposed ····· 125

Section 9. Development of measuring technique using acoustic emission measurement ··· 129

Section 10. Technology of mapping joint structure of rock-bed slope using digital images and developing equipment ····· 138

Section 11. Developing localized technology for a pocket-way net preventing rockfall ··· 150

Section 12. Development of blocking debris flow model for mountain area ····· 158

Section 13. A study of emission risk at a cut land using A.E. (acoustic emission) ···· 165

Capt. 4 Goals and the related contribution to the field ····· 172

Section 1. Achieve the goals of research and development ····· 172

Section 2. Relevant contribution to the field ····· 176

Capt. 5 Utilization of research results ····· 180

Capt. 6 International scientific and technical information ····· 185
Section 1. Web-based Integrated System Development and Establishment of Evaluation Planning ····· 185
Section 2. Development of Proto-Type Equipment ····· 187
Section 3. Development of next-generation field data collection vehicles ····· 190
Section 4. Development of the Rock slope risk Evaluation techniques ····· 191
Section 5. Development of the spatial information DB and Web service for the wide-area landslide management ····· 192
Section 6. Construction of InSAR image processing system ····· 193
Section 7. Development of a landslide monitoring technique by a time series LiDAR ··· 197
Section 8. Slope of horizontal drainage system development and application of design standards for the proposed ····· 197
Section 9. Development of measuring technique using acoustic emission measurement ·· 198
Section 10. Technology of mapping joint structure of rock-bed slope using digital images and developing equipment ····· 199
Section 11. Developing localized technology for a pocket-way net preventing rockfall ··· 202
Section 12. Development of blocking debris flow model for mountain area ····· 204

Capt. 7 Reference ····· 205

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 ····· 1

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 1

제 2 절 연구개발의 범위 및 목표 ····· 2

제 2 장 국내·외 기술개발 현황 ····· 4

제 1 절 국내 기술개발 현황 ····· 4

제 2 절 국외 기술개발 현황 ····· 7

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 11

제 1 절 WEB기반 낙석·산사태 통합시스템 개발 및 낙석 방호시설 성능평가방안 수립 ····· 11

1. 통합데이터 베이스 구축 ····· 11

2. 강우를 고려한 비탈면 설계기술 제안 ····· 13

3. 낙석방지시설 성능 평가 방안 수립 ····· 21

4. WEB기반 낙석 및 산사태 통합시스템 개발을 위한 요소기술 ····· 32

제 2 절 현장조사용 Proto-Type장비 개발 ····· 50

1. 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 50

2. 절토사면 유지관리 점검주기 산정기법 개발 ····· 51

3. PDA를 이용한 디지털 사면 조사장비 개발 ····· 54

제 3 절 차세대 현장정보 수집차량 개발 ····· 57

1. 이동형 모니터링 장비 ····· 57

2. 현장조사 차량 ····· 65

3. 조사차량 운영기반환경 개발 ····· 65

제 4 절 현장실무자용 암반사면 위험도 평가기법 개발 ····· 70

1. 현장실무자용 암반사면위험도 평가법 개발 ····· 70

2. 현장 적용 및 수정 ····· 72

3. 결론 ····· 78

제 5 절 광대역 산사태 관리를 위한 공간 정보 구축 및 WEB지원 서비스 개발 ····· 78

1. 산사태 예방을 위한 조기수림화 기술개발 ····· 78

2. 산사태 현황조사 및 유형별 분석 ····· 83

3. 인공위성영상을 이용한 구조선 추출 기술 개발 ····· 86

4. 산사태 위험지도 제작을 위한 공간분석 체계 개발 및 위험지도 제작 기술 ····· 88

5. 공간영상정보를 활용한 산사태 위험성 평가시스템 개발 ····· 91

6. 산사태 관리를 위한 Web 지도서비스 운용 ····· 92

제 6 절 간섭 SAR 영상처리를 위한 시스템 구축 ····· 97
1. 영상 레이더 기초이론 ····· 97
2. 연구개발결과 ····· 99
제 7 절 시계열 LiDAR 정보에 의한 산사태 모니터링 기술 개발 ····· 105
1. 라이다 측량의 산사태 적용 모델개발을 통한 항공 및 지상 라이다의 데이터융합기술 개발 · 105
2. 시계열 LiDAR 영상에 의한 지형 모니터링 기술개발 ····· 113
3. LiDAR 정보를 이용한 산사태 관리를 위한 3차원 데이터 모델 표준 및 시각화 프로그램 개발 및 구현 ····· 120
제 8 절 사면수평 배수공법 개발 및 적용을 위한 설계시준 제안 ····· 125
1. 연구의 배경 및 목적 ····· 125
2. 국내・외 비탈면 설치기준 ····· 125
3. 국외 설계반영 사례조사 ····· 125
4. 모형 토조 및 강우재현장치 제작 ····· 126
5. 연구결과 분석 ····· 126
6. 수평배수공 현장 적용 ····· 127
7. 배수공법 및 유지 관리 ····· 127
8. 산마루측구 미설치 및 부실시공에 따른 피해사례 ····· 128
9. 사면안정해석 ····· 128
제 9 절 파괴음 측정을 이용한 계측 기법 개발 ····· 129
1. 연구의 배경 및 목적 ····· 129
2. 미소파괴음 실험 ····· 130
3. 시험시공 ····· 134
4. 계측관리기준 ····· 136
5. 결론 ····· 137
제 10 절 디지털 영상을 이용한 암반사면 절리구조 맵핑기법 및 장비개발 ····· 138
1. 연구의 배경 및 목적 ····· 138
2. 통합사면관리시스템과의 유기적 연결 및 운영 ····· 139
3. 사면조사차량을 이용한 현장적용 ····· 140
4. 통합절리구조 분석 프로그램 보완 ····· 148
5. 사용자 편의를 고려한 매뉴얼 제작 ····· 149
제 11 절 포켓식 낙석방지망 국산화 기술 개발 ····· 150
1. 연구의 배경 및 목적 ····· 150
2. 기존 낙석방지망의 문제점 ····· 150
3. 낙석방지시설 적용을 위한 팽창메탈의 특성 평가 ····· 151
4. 결론 ····· 156

제 12 절 산악지형특성에 적합한 토석류 차단 모델개발 ····· 158
1. 연구의 배경 및 목적 ····· 158
2. 연구수행 내용 ····· 159
3. 결론 및 분석 ····· 164
제 13 절 A.E(Acoustic Emission)을 이용한 절토사면의 파괴위험 연구 ····· 165
1. 연구의 배경 및 목적 ····· 165
2. AE파라미터에 관한 연구 ····· 165
3. Grade 특성파라미터에 관한 연구 ····· 168
4. Ib-value 특성파라미터에 관한 연구 ····· 169
5. Ib-Value의 파형변형과 파괴와의 상관관계 분석 ····· 170

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 172
제 1 절 연구개발목표의 달성도 ····· 172
제 2 절 관련분야에의 기여도 ····· 176

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· 180

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 185
제 1 절 WEB기반 낙석·산사태 통합시스템 개발 및 낙석 방호시설 성능평가방안 수립 ··· 185
1. 일본 ····· 185
2. 홍콩 ····· 185
3. 미국 ····· 186
4. 유럽 ····· 186
제 2 절 현장조사용 Proto-Type장비 개발 ····· 187
1. 캐나다 ····· 187
2. 스위스 ····· 188
3. 미국 ····· 189
제 3 절 차세대 현장정보 수집차량 개발 ····· 190
1. 이탈리아 ····· 190
2. 오스트리아 ····· 191
제 4 절 현장실무자용 암반사면 위험도 평가기법 개발 ····· 191
제 5 절 광대역 산사태 관리를 위한 공간정보 구축 및 WEB지원 서비스 개발 ····· 192
1. 일본지역과학기술정보 ····· 192
제 6 절 간섭 SAR 영상처리를 위한 시스템 구축 ····· 193
제 7 절 시계열 라이다 정보에 의한 산사태 모니터링 기술 개발 ····· 197
제 8 절 사면수평 배수공법 개발 및 적용을 위한 설계기준 제안 ····· 197

제 9 절 디지털 영상을 이용한 암반사면 절리구조 맵핑기법 및 장비개발 ····· 198
제 10 절 포켓식 낙석방지망 국산화 기술개발 ····· 199
1. 국토교통성 중부지방정비국(2008) 일본,도로설계요령 ····· 199
2. U.S. Department of Transportation(1988), Highway Slope Maintenance and Slide Restoration workshop-Participant manual. ····· 200
제 11 절 산악지형특성에 적합한 토석류 차단 모델개발 ····· 202
제 12 절 AE를 이용한 절토사면의 파괴위험 연구 ····· 204
1. A.E를 이용한 사면계측기술 ····· 204
2. A.E를 이용한 비파괴검사기술 ····· 204

제 7 장 참고 문헌 ····· 205

표 목 차

<표 3.1> 주문진 표준사의 물리적 특성 ····· 18
<표 3.2> 대상 절토비탈면의 분류표 (304개소) ····· 23
<표 3.3> 다양한 낙석방지시설(낙석방지울타리)의 성능평가 시험방법 비교 ····· 24
<표 3.4> 표준낙석방지울타리 성능평가 제안내용 ····· 30
<표 3.5> 표준낙석방지망 성능평가 제안내용 ····· 31
<표 3.6> 사업단 성과를 측정하기 위한 BSC 모형 ····· 42
<표 3.7> 위기 확률 결정 ····· 46
<표 3.8> 위기 영향 ····· 47
<표 3.9> 위기수준 결정 ····· 47
<표 3.10> 휴대인터넷과 무선인터넷의 비교 ····· 59
<표 3.11> Classes and description of rock slope stability ····· 73
<표 3.12> Adjustment ranges and values for slope height in KSMR ····· 75
<표 3.13> 시공법에 따른 보정점수 ····· 76
<표 3.14> 파종목과 식재목의 비교 ····· 79
<표 3.15> 모래밭버섯 균근균과 질소고정균의 처리군별 묘목의 생중량, 건중량 및 T/R율 ····· 81
<표 3.16> 두릅나무의 뿌리 인발실험 측정결과 ····· 83
<표 3.17> 첨단공간정보수집 장비 ····· 85
<표 3.18> 산사태 위험성평가시스템 GIS DB 설계 ····· 91
<표 3.19> 산사태 관리를 위한 Web지도 DB ····· 94
<표 3.20> 위성 간 기선거리에 따른 Phase Error ····· 99
<표 3.21> JERS-1 영상정보 ····· 102
<표 3.22> ALOS 영상정보 ····· 103
<표 3.23> 토털스테이션과 지상라이다의 표고 값 비교 ····· 106
<표 3.24> 지상라이다와 항공라이다 표고 값 비교 ····· 107
<표 3.25> 항공라이다 DEM과 재배열된 DEM의 정확도 평과 ····· 110
<표 3.26> 지상라이다 DEM과 재배열된 DEM의 정확도 평과 ····· 111
<표 3.27> 융합된 DEM 정확도 평가 ····· 112
<표 3.28> 장마 전, 후 지상LiDAR자료의 이도리 A 지역 표정점에 대한 좌표정보 ···· 113
<표 3.29> 장마 전, 후 지상LiDAR 자료의 이도리 B 지역 표정점에 대한 좌표 정보 ····· 114
<표 3.30> 장마 전, 후 지상LiDAR 자료의 삼화동 지역 표정점에 대한 좌표 정보 ···· 114
<표 3.31> 지상LiDAR 측량의 이도리 A 지역 위치정확도 ····· 114
<표 3.32> 지상LiDAR 측량의 이도리 B 지역 위치정확도 ····· 115
<표 3.33> 지상LiDAR 측량의 삼화동 지역의 위치정확도 ····· 115

<표 3.34> 무 프리즘 토털스테이션과 지상LiDAR자료의 모니터링 정확 ····· 116
<표 3.35> 무 프리즘 토털스테이션과 지상LiDAR자료의 모니터링 정확 ····· 117
<표 3.36> 무 프리즘 토털스테이션과 지상LiDAR자료의 모니터링 정확 ····· 117
<표 3.37> 무 프리즘 토털스테이션과 지상LiDAR자료의 모니터링 정확 ····· 118
<표 3.38> 모니터링 분석 ····· 119
<표 3.39> 미소파괴음 사면계측 관리 기준 ····· 137
<표 3.40> Grade 파괴 ····· 168
<표 3.41> Ib-Value 파괴추정 ····· 171
<표 6.1> SAR 활용분야 ····· 195
<표 6.2> 현장 시뮬레이션 입력 파라미터 ····· 203

그 림 목 차

<그림 2.1> 한국도로공사 고속도로 건설유지관리 시스템(HCMS) 개요도 ····· 4
<그림 3.1> 사면 등록페이지 ····· 11
<그림 3.2> 아이폰 전용 홈페이지의 주요페이지 ····· 12
<그림 3.3> 지반재해 통합 상황실 (낙석 및 산사태 방재연구단 내) ····· 13
<그림 3.4> 강우로 인해 발생되는 사면의 붕괴 원인 ····· 15
<그림 3.5> 인공강우장치를 이용한 실내 모형토조 모식도 ····· 16
<그림 3.6> 중대형모형토조 실험장치 ····· 16
<그림 3.7> 대대형모형토조 실험장치 ····· 17
<그림 3.8> 계측기 설치 위치 모식도 ····· 18
<그림 3.9> 대대형모형토조 계측기 설치 위치도 ····· 19
<그림 3.10> 소형모형토조 붕괴 모습 ····· 20
<그림 3.11> 중대형모형토조 붕괴 모습 ····· 20
<그림 3.12> 대대형모형토조 붕괴 모습 ····· 20
<그림 3.13> 낙석방지울타리 설치 완료 ····· 25
<그림 3.14> 완성된 낙석방지망 인발시험장치 ····· 26
<그림 3.15> 와이어로프 인발시험 ····· 26
<그림 3.16> PVC코팅망 인발시험 결과 ····· 27
<그림 3.17> 낙석에 의한 망과 지주의 변형 ····· 29
<그림 3.19> 지중 사면계측센서 구성도 및 Board ····· 33
<그림 3.21> Kalamata 도시의 지진으로 인해 quay wall의 파괴패턴의 횡방향도 ····· 36
<그림 3.22> Newmark 법 ····· 37
<그림 3.23> Sarma 법 ····· 37
<그림 3.24> Nadim &Whitman 법 ····· 37
<그림 3.25> Ambrasey 법 ····· 37
<그림 3.26> 단계별 연구목표 ····· 38
<그림 3.27> 산사태 안정해석 프로그램의 기능 및 특징 개요 ····· 39
<그림 3.28> 산사태 안정해석 프로그램 개발 방향 ····· 40
<그림 3.29> 사업단 성과를 측정하기 위한 BSC 모형 ····· 43
<그림 3.30> 한국건설기술연구원의 절토사면 정밀조사 양식 ····· 51
<그림 3.31> 한국시설안전기술공단의 절토사면 일상점검 조사 양식 ····· 51
<그림 3.32> 절토사면 점검주기 배점결과 도표 ····· 53
<그림 3.33> 시간에 따른 암반의 안전율 변화 함수 그래프 분석 ····· 53
<그림 3.34> 기존 방식과 Web Service 개발 방식의 시스템 개념 비교 ····· 56
<그림 3.35> 현장정보 수집차량의 기본 모델 ····· 57

<그림 3.36> ZigBee 기반의 무선통신장치의 구성도 ····· 60
<그림 3.37> ZigBee 컨트롤러 외관 ····· 61
<그림 3.38> ZigBee 기반 무선통신장치 1차 시범테스트 ····· 62
<그림 3.39> ZigBee 기반 무선통신장치 2차 시범테스트 ····· 63
<그림 3.40> 주행속도와 측정거리 측정시험 결과 ····· 63
<그림 3.41> 전력공급 유무에 따른 측정값 및 전압측정값 ····· 64
<그림 3.42> 연계기관 개발기술 탑재 ····· 65
<그림 3.43> 통합시스템 웹사이트 ····· 67
<그림 3.44> 통합시스템 노드정보창 ····· 68
<그림 3.45> 통합시스템 계측기 관련 정보창 ····· 69
<그림 3.46> KSMR concept ····· 70
<그림 3.47> KSMR sheet for slope stability evaluation ····· 72
<그림 3.48> Maps and sites of field investigation (SP1 : 1st investigation, SP2 : 2nd investigation, SP3 : 3rd investigation, SP4 : 4th investigation) ····· 73
<그림 3.49> Results of regression analysis between KSMR and SMR ····· 74
<그림 3.50> Slope hazard class distribution by KSMR and experts (left : before slope height correction, right : after slope height correction) ····· 75
<그림 3.51> Software user interface ····· 77
<그림 3.52> Comparison of results between experts and novice. ····· 77
<그림 3.53> 파종목과 식재목의 근계·군락 차이 ····· 79
<그림 3.54> 살균 처리한 종자(A)와 시험관 WA배지에서 발아한 무균 실생 묘목(B) ···· 80
<그림 3.55> 모래밭버섯 균근균과 질소고정균)의 처리 방법에 따른 소나무 실생 묘목의 인공 토양에서의 생육 상태. A : 모래밭 버섯 균근균 + 질소 고정균 혼합 접종, B. 모래밭 버섯 균근균 단독 접종, C : 질소 고정균 단독 접종, D : 대조구(무처리)그림 ····· 81
<그림 3.56>모래밭버섯 균근균과 질소고정균의 처리군별 묘목의 생중량 및 건중량의 비교. P+A : 모래밭 버섯 균근균+질소 고정균 혼합 접종, P. 모래밭 버섯 균근균 단독 접종, A : 질소 고정균 단독 접종, C : 대조구(무처리) * : 5% 유의수준 Duncan 다중검정 ····· 82
<그림 3.57> 천연 하종 곰솔의 뿌리에 존재하는 다양한 균근의 종류 ····· 82
<그림 3.58> 인발시험장치 ····· 83
<그림 3.59> 인발실험의 데이터수집 시스템 ····· 83
<그림 3.60> 위성영상을 이용한 재해정보를 획득 ····· 84
<그림 3.61> 첨단공간정보수집 장비를 활용한 재해정보 수집 ····· 84
<그림 3.62> 산사태 발생 위치 현황도 ····· 85
<그림 3.63> 최근 3년간 강워도에서 발생한 산사태 현황 ····· 86
<그림 3.64> 선구조의 정의 ····· 86

<그림 3.65> 위성영상을 이용한 선구조 추출 알고리즘 ····· 87
<그림 3.66> 위성영상을 이용한 선구조 추출 ····· 87
<그림 3.67> 산사태 위험지역의 개념 ····· 88
<그림 3.68> 취약성도 ····· 89
<그림 3.69> 산사태 발생가능성도(주의보) ····· 89
<그림 3.70> 산사태 발생가능성도(경보) ····· 89
<그림 3.71> 산사태 발생가능성도(발생) ····· 89
<그림 3.72> 1/25,000 산사태 위험 지도 제작(안) : 산사태 경보시 ····· 90
<그림 3.73> 1/5,000 산사태 위험지도 제작(안) : 산사태 경보시 ····· 90
<그림 3.74> 3차원 산사태 재해지도 ····· 90
<그림 3.75> GIS 공간분석기술을 이용한 위험성 평가 및 분석 모델링 ····· 91
<그림 3.76> 산사태 위험성 평가시스템 ····· 92
<그림 3.77> 광역 산사태 관리를 위한 Web 지도 서비스의 시스템 운영 구성도 ····· 93
<그림 3.78> Flex 기반의 산사태 정보 관리시스템 화면구성(Ver 1.0) ····· 94
<그림 3.79> 산사태 DB의 다양한 Web 접근 채널 ····· 95
<그림 3.80> 낙석주의, 경보 지도서비스 ····· 95
<그림 3.81> 과거 산사태 발생이력 지도서비스 ····· 96
<그림 3.82> 산사태 위험등급 및 위험지도서비스 ····· 96
<그림 3.83> 강우별 산사태 발생가능성 지도서비스 ····· 96
<그림 3.84> 호주 서남부 지진 진앙지 ····· 100
<그림 3.85> 해외 연구사례 결과(Linlin et al., 2008) ····· 100
<그림 3.86> 호주남부지역 ALOS 영상 처리결과 ····· 101
<그림 3.87> 강원도 지역 지표변위도 ····· 102
<그림 3.88> 강원도 지역 지표변화도 ····· 102
<그림 3.89> ALOS 영상 지표변화도(좌), ALOS 영상 지표변위도(우) ····· 103
<그림 3.90> 간섭 SAR 기반 지표변위 및 지표변화 탐지 시스템 ····· 104
<그림 3.91> ArcGIS 웹시스템 ····· 105
<그림 3.92> 지상라이다 편차 ····· 106
<그림 3.93> 항공라이다 편차 ····· 107
<그림 3.94> 항공라이다에서 구축한 DEM ····· 108
<그림 3.95> 지상라이다에서 구축한 DEM ····· 109
<그림 3.96> 항공라이다의 재배열 DEM <그림 3.97>지상라이다의 재배열 DEM ··· 109
<그림 3.98> 항공라이다 편차 비교 ····· 110
<그림 3.99> 지상라이다 편차 비교 ····· 111
<그림 3.100> 1m 융합 DEM ····· 112
<그림 3.101> 2cm 융합 DEM ····· 112
<그림 3.102> 변위 전 후 3차원 가시화 ····· 119

<그림 3.103> 화면 설계 ····· 120
<그림 3.104> LiDAR Analyst - ASCII to Raster ····· 120
<그림 3.105> LiDAR Analyst - Point to Raster ····· 121
<그림 3.106> 3D Analyst - Slope ····· 121
<그림 3.107> 3D Analyst - Aspect ····· 121
<그림 3.108> 3D Analyst - Hillshade ····· 122
<그림 3.109> 3D Analyst - Curvature ····· 122
<그림 3.110> 3D Analyst - Contour ····· 122
<그림 3.111> 3D Analyst - Behavior Analysis ····· 123
<그림 3.112> Conversion - Save Layer File ····· 123
<그림 3.113> 3D Navigation ····· 123
<그림 3.114> 사태 지역정보 서비스 구현 ····· 124
<그림 3.115> 미소파괴음 측정 변수 ····· 129
<그림 3.116> 파괴이전 단축시료 ····· 130
<그림 3.117> 파괴이후 단축시료 ····· 130
<그림 3.118> 단축시료-U1의 미소파괴음 횟수와 하중 ····· 131
<그림 3.119> 초기와 파괴시의 파형 ····· 131
<그림 3.120> 초기와 파괴직전의 주파수 ····· 131
<그림 3.121> 단축시료-U4의 미소파괴음 횟수와 하중 ····· 132
<그림 3.122> 이면전단실험 장비 ····· 133
<그림 3.123> 이면전단실험 전후의 시료사진 ····· 133
<그림 3.124> 이면전단 시료의 하중-횟수 곡선 ····· 133
<그림 3.125> 시험시공지 1(춘천동홍천 4공구 송정1터널) ····· 135
<그림 3.126> 시험시공지 2(울산포항고속도로 양북터널) ····· 135
<그림 3.127> 시험시공지 1에서 측정된 누적횟수, 진폭 ····· 135
<그림 3.128> 누적횟수, 누적진폭 vs 변위 ····· 136
<그림 3.129> 하중과 b값의 관계 ····· 137
<그림 3.130> 낙석 및 산사태 방재 연구단의 통합관리시스템내 사면관리 인터넷창 ·· 140
<그림 3.131> 국도 56호선 Site 1 정지영상 ····· 141
<그림 3.132> Site1의 절리군 분포 특성 ····· 141
<그림 3.133> Site 1의 입체투영해석에 의한 안정 검토 ····· 142
<그림 3.134> Site 1의 절리의 기하학적 특성값 ····· 142
<그림 3.135> 국도 56호선 Site 2 정지영상 ····· 142
<그림 3.136> Site 2 절리군 분포 특성 ····· 143
<그림 3.137> Site 2의 암반절리의 경사각 차이(overhang, non-overhang 관계) 143
<그림 3.138> Site 2의 overhang과 non-overhang 관계에 따른 절리군 분포 ····· 144
<그림 3.139> Site 2의 입체투영해석에 의한 안정 검토 ····· 144

<그림 3.140> 국도 56호선 Site 3 정지영상 ····· 145
<그림 3.141> Site 3의 절리군 분포 및 기하학적 특성 ····· 145
<그림 3.142> Site 3의 입체투영해석에 의한 안정 검토 ····· 146
<그림 3.143> 국도 6호선 site 4 사면의 동영상모니터링 ····· 147
<그림 3.144> 국지도 70호선 도로확포장공사 현장사면 절리구조 분포 특성 ····· 147
<그림 3.145> 국지도 70호선 도로확포장공사 현장사면의 입체투영해석 ····· 148
<그림 3.146> JointeXtractor의 작업 순서도 ····· 148
<그림 3.147> 좌우영상 동일지점 지정 ····· 149
<그림 3.148> 국내 낙석방지망 피해 경향 ····· 150
<그림 3.149> 낙석방지망 인발시험 순서 ····· 151
<그림 3.150> PVC 코팅망과 팽창메탈의 인발시험 후 모습 ····· 152
<그림 3.151> Expanded Metal 인발시험 후의 변형폭 ····· 153
<그림 3.152> 현장시험 개요도 ····· 153
<그림 3.153> Expanded Metal 인발시험 후의 변형폭 ····· 154
<그림 3.154> Ex-Metal을 이용한 포켓식 낙석방지망 ····· 155
<그림 3.155> 기존 PVC망에서 사용되는 와이어그립 ····· 156
<그림 3.156> 실내 모형 토석류 흐름장치 및 수평계를 장착한 흐름 측정판 ····· 160
<그림 3.157> 경사각에 따른 함수비별 확산거리 ····· 160
<그림 3.158> 함수비에 따른 경사각별 확산거리 ····· 160
<그림 3.159> 경사각에 따른 함수비별 흐름속도 ····· 161
<그림 3.160> 함수비에 따른 경사각별 흐름속도 ····· 161
<그림 3.161> 경사각에 따른 함수비별 확산거리 ····· 162
<그림 3.162> 경사각에 따른 함수비별 흐름속도 ····· 163
<그림 3.163> AE센서 예비실험 ····· 166
<그림 3.164> AE 히트와 존표정 결과 ····· 167
<그림 3.165> Grade ····· 168
<그림 3.166> 휨 · 전단시험 결과 ····· 169
<그림 3.167> 휨 · 전단시험 결과 ····· 170
<그림 5.1> 연구개발 활용방안 ····· 181
<그림 5.2> 연구개발 기대효과 ····· 182
<그림 5.3> 사회경제적 기대효과 ····· 183
<그림 6.1> Yasuda 교수의 발표모습 ····· 187
<그림 6.2> 교량하부 사면붕괴 ····· 188
<그림 6.3> 현장실험을 위한 시설모습 ····· 189
<그림 6.4> GPS의 사용 ····· 190
<그림 6.5> 시차공식 적용시 개발시스템에서의 영상좌표와 공간좌표 사이의 관계 ··· 199
<그림 6.6> 현장 항공사진 ····· 202

<그림 6.7> 토사 유동 범위의 개략도 ····· 202
<그림 6.8> 해석 모델(흐름전, 바로 위, 옆) ····· 203
<그림 6.9> 해석 모델 ····· 203
<그림 6.10> 최종 시뮬레이션 결과 ····· 204

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라는 국토의 대부분은 산악지형으로 이루어져 있어 산업 및 도시의 발달에 따른 새로운 택지조성, 도로개설 및 산업기지 건설, 대규모 주택단지 개발 등으로 자연비탈면을 변형시키는 규모나 빈도가 증가하고 있으며, 이에 따라 필연적으로 절•성토 비탈면 등이 형성되어 비탈면 붕괴 및 암괴의 낙반이 발생되고 있다. 겨울철에 자주 발생하는 산불로 인한 지반강도 저하와 여름철 집중호우로 인한 산지의 간극수압 증가와 지반 유효응력 감소로 산사태가 자주 발생한다.

이러한 국내의 지형적·산업적 특성과 더불어 매년 반복되는 여름철 국지성 집중호우로 인해 발생하는 낙석 및 산사태 위험은 최근 들어 더욱 증가되고 있어, 국민의 재산 및 인명을 보호하기 위해 낙석 및 산사태지역에 대한 올바른 이해와 이에 대한 적절한 대책이 필요하다. 따라서 강원도 지역에 대한 낙석 및 산사태 위험지역을 사전에 인지하고 대처할 수 있는 구체적인 장치 및 보강대책 방안의 마련이 시급하다.

지금까지의 연구는 주로 유지관리시스템과 같은 시스템 개발에 관한 연구가 이루어졌으며, 실제 연구 성과가 현장에 보편적으로 적용되는 사례가 적다. 유지관리 시스템은 말 그대로 현황 파악을 하여 정보화하고 위험상황 알림과 같은 기능을 수행하는 것이지 실제 낙석 및 산사태를 억제하는 적극적인 실용화 기술 개발과는 거리가 있다. 광역적 지역에 혼재되어 있는 비탈면의 안전·유지관리에 적합한 일상점검을 하기 위한 시스템의 개발 및 운용 방안이 필요하다. 본 연구는 통합 사면관리기술개발의 측면에서 IT기술을 접목한 첨단기법을 이용하여 현장 절토사면 조사의 효율성을 극대화하는 조사 및 자료 정보화 기술 개발에 해당한다. 개발하고자 하는 장비는 기본적으로 사진촬영 기능, GPS 기능, 터치스크린 형식의 불연속면 속성자료 및 사면의 일반현황 자료 입력기능 등을 수행할 수 있도록 설계한다. 또한 설치비용면에서 상시 관리시스템과 같이 고가이지 않으면서 인적 오류 및 낮은 점검빈도 등에 따른 문제점을 보완한 객관적이고 효율적인 유지관리방안의 제시를 통해 원활한 유지관리를 수행할 수 있을 것이다. 또한 IT를 활용한 현장정보 수집기술이

필요하며, 광역적으로 혼재되어 있는 붕괴위험사면의 현장 데이터들을 축적하고 토합 관리 및 분석할 수 있도록 디지털 영상장비 및 자동화 분석 장비의 개발 및 이에 대한 실무 활용성 검증 등이 요구된다고 할 수 있다.

제 2 절 연구개발의 범위 및 목표

최근 국내에서는 다각적으로 위험 인공·자연비탈면에 대한 대책공법의 개발 및 시스템 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 또한 이러한 현실과 더불어 관련 정부기관에서도 위험비탈면에 대한 기술 개발과 유지관리에 대한 관심이 더해지고 있다. 하지만 국내 방재 기술력의 한계와 사회전반적인 인식 부족으로 인해 전문적인 기술력 개발과 이를 위한 교육이 제대로 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서 첨단기술의 개발과 함께 기존 기술력의 효용성을 증대시킬 수 있는 효율적이고 통합적인 운영 관리와 함께 지속적인 교육을 통해 방재참여의식을 고찰시킬 수 있는 체계가 필요하다. 본 연구에서는 우리나라의 지형 및 여건을 가장 효과적으로 반영할 수 있는 독자적인 조사기법 및 프로그램을 개발하고 실제 상황을 고려한 실물실험을 통해 국내의 지반설계정수를 정량화하며, 기존의 관리지침안을 수정•보완하여 국내 기술의 개선 및 보완을 통한 첨단공법 및 기술(장치)을 개발하고, 교육시스템을 구축하여 기술 및 노하우를 지속적으로 제공하고자 한다.

본 연구를 통해 강원도 전역에 대해 작성된 Hazard Map 또는 Risk Map을 이용하여 위험지역에 대한 지속적인 관리와 정보제공을 위한 자료를 Database시스템, 유비쿼터스 시스템을 이용한 현장조사용 program 개발, 사면위치정보 검색기술 개발, smartpole 이용한 신개념 붕괴 예측장치 개발, 신개념 사면배수공법 개발, 유지관리용 사면정보 수집차량 개발·운영, 신개념 낙석방호시설 개발 등을 실시하고, 이를 통합적이고 효율적으로 관리할 수 있는 사면연구 전문센터를 운영, 광역적으로 혼재되어 있는 낙석 및 산사태 위험사면의 현장데이터를 축적하고 통합관리 및 분석할 수 있도록 차세대 현장정보 수집차량을 개발함으로써 강원도 지역의 낙석 및 산사태 발생을 최대한 억제하고 발생빈도 및 피해를 점차적으로 감소시키는 재난관리체제를 구축하고자 한다.

또한 광역 산사태 저감기술을 개발하기 위해 광역산사태 관리를 위한 공간정보 구축 및 Web 지원 서비스 개발, 산사태 예방을 위한 조기수림화 기술 개발, 간섭

SAR 영상처리를 위한 시스템 구축, 시계열 라이다 정보에 의한 산사태 모니터링 기술 개발을 하여 사면연구 전문센터를 지원하며, 도시계획, 입지선정과 각종 토목공사에 따른 위험성 사전예방으로 인명 재산피해 최소화와 조기수림화 기술 매뉴얼을 작성하여 지역에 기여하고자 한다. 그리고 인위적, 기술적으로 사면의 안정성을 증대시키는 적극적 보호·보강 기술, 차세대계측기술 등을 개발하여 사면안정성을 증대시키는 기술개발을 수행하고자 한다.

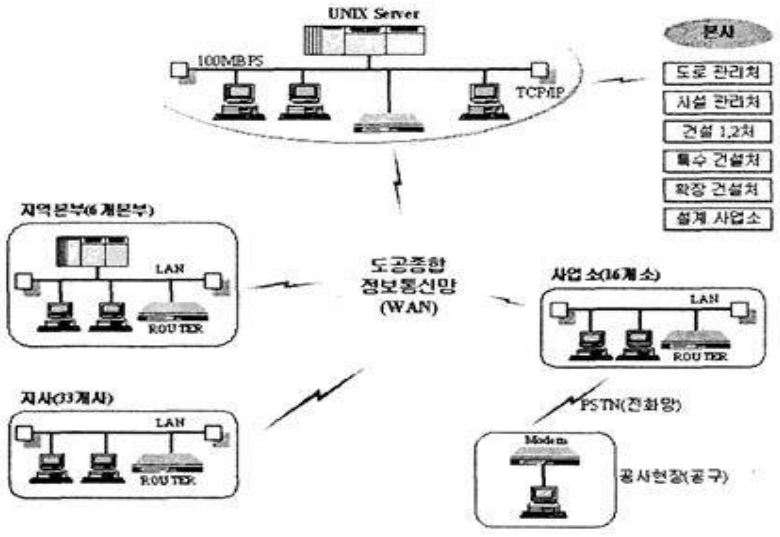
본 연구의 최종 목표인 “통합 사면관리기술 개발”을 위을 위한 연구범위는 다음과 같다.

○ WEB기반 낙석·산사태 통합시스템 개발
○ 강우를 고려한 사면 설계기술 개발
○ 낙석 방지시설 성능 평가 방안 수립
○ 현장 조사용 Proto-Type장비 개발
○ 차세대 현장정보 수집차량 개발
○ 현장실무자용 암반사면 위험도 평가기법 개발
○ 광대역 산사태 관리를 위한 공간 정보 구축 및 WEB지원 서비스 개발
○ 산사태 예방을 위한 조기수림화 기술 개발
○ 간섭 SAR 영상처리를 위한 시스템 구축
○ 시계열 라이다 정보에 의한 산사태 모니터링 기술 개발
○ 사면수평 배수공법 개발 및 적용을 위한 설계기준제안
○ 파괴음 측정을 이용한 계측 기법 개발
○ 디지털 영상을 이용한 암반사면 절리구조 맵핑기법 및 장비개발
○ 포켓식 낙석방지망 국산화 기술 개발
○ 산악지형특성에 적합한 토석류 차단 모델개발
○ A.E.(Acoustic Emission)을 이용한 절토사면의 파괴위험 연구

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

국내 사면붕괴와 관련된 연구는 사면붕괴와 관련된 연구는 단발적으로 한국지질자원연구원, 임업연구원에서 연구 중에 있으며 인공절취 사면에 대한 연구는 국내에서 유일하게 한국건설기술연구원에서 수행하고 있으나 관리체제가 다원화되어 있어 효율적인 종합 · 유지 관리가 어렵다. 국내사면 유지관리의 문제점은 체계적이지 못한 시스템에 의해 많은 부분이 있다고 판단된다. 인력 및 장비부족은 물론 사면을 담당하던 담당자가 인사이동 등을 하면 업무의 연계가 제대로 이루어 지지 않고 있으며 이를 보완하기 위한 인적 기술적 한계가 심각하게 나타나고 있다. 이러한 문제를 개선하기 위해 한국도로공사에서는 고속도로 건설유지관리시법(HCMS : Highway Construction & Maintenance System)을 구축하여 고속도로의 설계, 건설계획으로부터 공사, 유지관리까지 전 과정에서 다루어지는 각종 자료를 통합 관리하고 업무흐름에 따라 연계 활용할 수 있도록 통합화환 시스템을 활용하고 있다.



<그림 2.1> 한국도로공사 고속도로 건설유지관리 시스템 (HCMS) 개요도

자연재해방지기술개발사업 1, 2단계 연구에서는 산사태, 홍수, 해수침투 및 지질환경재해의 평가·예측을 위한 연구기술 개발 및 현장적용 연구수행, 산사태 관련

DB 구축, 각 지질재해 분야별 발생인자 분석 및 정량적 지질재해 발생확률 산정기법 등을 연구하고 있으며 한국시설안전기술공단과 한국건설기술연구원에서는 90년대 후반부터 국도 절토사면의 안전진단 및 보호공법 등의 연구 성과를 발표하고 국도사면관리 전담부서를 통하여 관련 연구를 수행하고 있다.

사면붕괴는 강우와 같은 외적인 조건 이외에도 지반특성과 지질특성에 따라 크게 영향을 받기 때문에 한국지질자원연구원(2003)은 “산사태발생 확률 예측시스템”을 개발하고 국내지질특성을 고려하여 산사태 예측모델을 개발하고 이를 이용하여 국내 주요지역을 대상으로 정량화 된 “산사태발생가능성도”를 작성하여 제시하였으며, 자연재해방재기술개발사업을 통하여 확률론적 산사태 예측기술과 산사태 예측도 작성기술 개발에 주력하고 있으며, GIS/RS 기법을 이용하여 산사태 발생 위치를 탐지해 낼 수 있는 기술을 개발하고 있다. 국내에서 이루어진 SAR관련 연구 현황을 살펴보면 우선 연세대학교에서는 측량 및 지형공간정보 연구실에서 간섭 SAR 기법을 통한 변위 탐측 및 경계선 보존 필터 알고리즘을 이용한 스펙클 제거, SAR 영상정합과 방사왜곡보정, 단일기준점 위성궤도결정을 통한 지형보정 등에 관한 연구가 이루어져 왔으며, 지구시스템과학 연구실에서도 SAR 영상을 이용한 가은 폐탄광 지역 지반침하 관측, Radarsat 위성의 궤도 결정과 자세결정을 이용한 SAR 영상의 지형보정 등의 연구가 진행되었다. 강원대에서는 이훈열 박사를 중심으로 SAR 시스템 현황 분석 및 SAR 산란계수에 관한 연구 등이 발표되었다.

구분 / 기관	국내 기술의 개발현황
한국지질 자원연구원	▪ 자연사면 및 절취사면 산사태 예측 연구 ▪ GIS/RS기법을 이용한 산사태 취약성지도 작성기술 개발
소방방재청	▪ 산사태 및 사면붕괴를 포함한 국내 자연재해 전반에 대한 대책, 복구 등을 총괄
국립방재 연구소	▪ 산사태 등의 지반재해에 대해서 국가적 차원의 종합대책 수립을 위한 연구 수행
국립산림 과학원	▪ 산림지에서 발생하는 산사태 현황, 원인규명 및 GIS를 이용한 산사태 예측도 작성 수행
한국건설 기술연구원	▪ 일반국도 절취사면의 안정성 해석 및 대책 연구와 유지관리 시스템 개발
건설교통부 국토관리청	▪ 일반국도의 유지보수사업계획 수립 총괄
한국도로 공사	▪ 고속도로 구간 절취사면의 구배결정 기준확립 및 유지·관리 시스템 구축을 위한 연구

사면 보강 공법 중 사면배수공에 대한 국내기술은 크게 두 가지 공법이 인공 절개지에 적용되고 있으나 두 가지 공법 모두 정량적인 검증이 뒷받침되지 못한 공법이라 할 수 있다. 현재 연약지반, 준설·매립지역 등에 대한 배수공법 개발 및 연구가 활발히 진행 중인 것에 반해 막대한 인명 및 재산 피해를 야기 시키는 인공 절개지 붕괴에 직접적 원인인 지하수위 증가를 저해하기 위한 사면배수공에 대한 연구는 매우 미진한 상태로 사면 재해 대책 분야에 있어 체계적 시스템을 갖춘 홍콩이나, 일본에 비해 매우 미흡한 실정이다.

계측 분야의 경우 지진파를 이용한 터널에서의 파괴음 측정에 대한 연구와 외국기술도입하려는 초기단계로 이 기술을 사면 적용한 예는 없다. 뿐만 아니라 암반의 안정성에 큰 영향을 미치는 절리의 기하학적 특성은 조사선 조사, 조사창 조사와 같이 사면에 접촉하여 절리조사를 수행하여 통계 분석을 거쳐 도출해 왔기 때문에 사면의 규모가 크거나 불안정한 경우 사람에 의한 접촉식 조사는 불가능한 경우가 빈번하여 대체 수단으로서 사진측량 기술을 응용하여 영상에 의한 비접촉식 조사 방법을 적용하기 시작하였다.

또한 국내의 경우 암석시편을 대상으로 Acoustic Emission 기법을 이용하여 파괴메커니즘을 분석하고자 하는 시험이 시도된 바 있으며, 인위적인 지진파를 이용한 터널에서의 파괴음 측정에 대한 연구 등이 진행되고 있는 실정이다. 이는 주로 파괴음측정을 위한 초보적인 단계로 파악되고 있으며 더구나, 실용화를 위한 체계적인 접근은 거의 이루어지고 있지 않은 상황이라 할 수 있다.

강점	없음	약점	기술, 인력 부족
기회 요인	사면계측에 대한 관심 고조	위협 요인	기술개발의 어려움

현재 낙석방호시설에 대한 규정은 국토해양부에서 발간한 “도로안전시설 설치 및 관리지침”에 표준낙석방지 시설의 규격과 에너지흡수능을 제시하고 있으나 이러한 낙석방지시설이 실제 낙석 발생 시 큰 파손 없이 낙석을 방어 할 수 있는지에 대해서 많은 의문점들이 제기되고 있으나 국내의 낙석방지망에 관한연구는 거의 진행되지 않았으며 낙석방지 울타리에 관한 연구만 부분적으로 진행되어 있어 전적으로 해외기술에 의존하고 있는 실정이다.

강점	Expanded Metal망을 이용한 낙석방지망의 개발로 경제적인 국내 공급가 가능할 것으로 판단됨	약점	기술 부족
기회 요인	Expanded Metal망을 이용한 낙석방지망의 개발이 미약함	위협 요인	기술 부족

강원도 산악지형이 산사태와 폭우, 태풍의 영향으로 토석류와 유송잡물로 인한 피해가 급증하면서 이에 대한 대비로 국가예산과 지방자치예산도 증가하고 시설계획도 늘고 있는 추세이다. 국내에서도 산악지형 토석류 특성의 연구를 기반으로 이뤄지기보다는 구조적인 접근에만 국한되어지고 있다. 국토의 70%가 산악지형임을 감안할 때 산사태 재해 방지의 목적으로 많은 수요가 예상된다. 또한 산림청에서 592억원을 투입하여 인제(97개소)와 평창(58개소)에 토석류 차단목적의 사방댐 건설을 계획하고 있다.

강점	국내 산악지형에 적합한 모델을 제시함으로써 국내 재해방지를 위한 시설물 신설시 많은 수요 예측	약점	토석류 흐름에 대한 국내 자료의 부족 및 국내 토석류피해에 대한 분석이 부족함
기회 요인	토석류에 대한 분석을 통하여 국내 차단시설 적용시 획일적인 신설에서 벗어날 수 있고 독자적 인 기술을 가지게 될 것을 판단됨	위협 요인	국내에서 토석류흐름에 대한 접근 이 많이 않아 정확한 분석 등이 이뤄져야 할 것으로 판단됨

제 2 절 국외 기술개발 현황

일본의 경우 급경사지 사면(경사가 30°이상)에 대한 대책과 완경사 사면이나 산사태에 대한 사면을 구분하여 국토관리 운영체계를 시행하고 있는데 1998년 5월 민생의 안전과 국토의 보전을 목적으로 급경사지 붕괴대책 5개년 계획을 수립하였으며, 1998년 이후 총 1조 1,900억엔을 투자하고 있는데 이중 급경사지에만 약 5,900억엔에 해당하는 사업을 수행하고 있다. 또한 정부에서 주도하는 산사태와 도로사면 붕괴의 일환으로 일본 독립행정법인 토목연구소에서 민간기업과 연계하여 도로사면에 광섬유 센서를 설치하여 재해를 대비하고자 연구를 수행하고 있다.

연구개발을 하고 있는 항목은 첫째, 사면붕괴 형태별의 예측방법과 광섬유센서 요구성능의 검토, 둘째, 광섬유센서에 의한 도로사면·사면감시·계측기술의 개발, 셋째, 실사면 현장실험에 의한 검증, 넷째, 감시·계측시스템 운용방법 구축 등을 연구하고 있다.

홍콩은 자치정부 내 토목공정서 토력공정처(Civil Engineering Department ; CED)에서 주관하여 산사태 방지대책(Landslip Preventive Measures ; LPM)프로그램을 운영하고 있는데, LPM프로그램의 목적은 사면붕괴에 의한 인명과 재산상의 손실을 저감함과 동시에 한정된 영역에서 도시개발 극대화를 위한 지반 안정성 확보, 사면 안정성 평가 및 보강을 위한 방법 표준화를 하는 것으로 연구기간은 1995년부터 2010년까지이며 총 24조원의 예산을 투자하였다.

미국의 산사태 관리는 미국지질조사소(United States Geological Survey, USGS)를 중심으로 미국내 일부 대학과 공동연구 과제로 수행되고 산사태 재해 프로그램(Landslide Hazard Program, LHP)을 개발하여 미국내 산사태를 관리하고 있다. 연구는 1990년부터 현재에 이르기까지 수행되고 있으며, 2000년의 경우 산사태 재해에만 26억불의 예산을 투자하고 있으며, 미국지질조사소에는 활화산의 원격감시를 위해 개발한 실시간 자료수집 및 전송시스템을 응용하여 대규모로 붕괴될 조짐이 있는 산사태의 활동 상태를 계속 감시하기 위한 실시간 산사태 감시 시스템을 개발하였다.

유럽에서는 산사태 발생에 대한 공간적이고 시간적인 자료를 데이터베이스로 구축하고 이를 이용하여 산사태 방지대책을 수립하고 하였고 자료의 분석과 저장의 효율성 및 정확도를 높이기 위해 데이터베이스나 GIS와 같은 컴퓨터를 이용한 분석을 수행 중에 있다.

GIS관련 기술개발로 인해 선진외국에서는 재해관련 DB구축 및 시스템 활용기술을 개발하고 있는 상태로 미국, 홍콩, 일본 등이 산사태 예방을 위한 일환으로 광역적인 산사태 예측 기술의 개발을 위해 주도적으로 노력하고 있다. 미국은 지질조사소(USGS)에서 산사태재해 프로그램을 수행하고 있으며, 미국 전역을 대상으로 광역적인 산사태 취약성 평가 및 산사태 발생 가능지역의 지도 작성에 대한 연구를 수행하고 있다. 캐나다 지질조사소(GSC)는 산사태 발생 모델을 개발하고, 확률론적 산사태 발생가능성을 연구하고 이를 공간정보와 연계하여 산사태 발생확률을 예측하고 있고, 일본은 주로 산사태 분포를 조사하고 이를 기초로 강우로 인한 산사태

발생가능성을 연구하고 있다.

홍콩은 산사태 방지 대책 프로그램을 수행하고 1995년부터 10년간 24조원의 예산을 투자해 54,000개 사면의 DB를 구축, 관리하고 있으며, 통계적 기법을 이용하여 산사태 유발인자와 산사태와의 공간적 상관성을 분석하고 수경의 변화에 따른 발생가능성을 연구하고 있다.

기관(국적)	국외 기술의 개발현황
USGS(미국) FEMA(미국)	▪ 산사태 재해프로그램 개발 ▪ 산사태 피해저감 프로그램(NLHMS) 개발 ▪ 산사태로 인한 인명 및 시설물에 대한 피해예측 지원을 위한 GIS 기반 프로그램 개발 운영
GEO(홍콩)	▪ 산사태 방지대책(LPM) 프로그램을 실시하여 홍콩 내 54,000개 사면의 DB구축 및 관리 ▪ 산사태 피해규모 산정 및 위험지역 지정을 위한 기반기술 개발 중
NIED(일본) DRPI(일본)	▪ 산사태 지형분포도 작성 ▪ 산사태 위험도 작성을 위한 기술 개발
NCDR(대만)	▪ 전국을 대상으로 산사태 DB 구축 및 산사태 발생가능성 평가 시스템 개발
GSC(캐나다)	▪ 공간정보 구축 표준화, 산사태 예측, 위험성 평가, 저감대책 마련에 대한 연구가 진행 중

사면배수공법 개발 분야에서 국외의 경우 다양한 실내외 실험을 통한 사면배수공법 개발은 물론 이를 설계 주요 인자로 정의하여 합리적인 인공 절개지 배수설계를 하고 있는데 특히 홍콩, 일본 등의 지역에서는 다양한 실내실험, 현장 적용 등을 통하여 우수한 배수성능을 지닌 신제품 개발은 물론 부수적인 유지관리 기술 개발에도 많은 노력을 기울이고 있다.

파괴음을 이용한 계측 분야에서 일본은 파괴음의 전달을 용이하게 하기 위한 웨이브가이드를 개발하였으며 이를 사면에 적용하여 사면의 파괴를 측정하기 위한 계측에 활용하고 있으며, 프랑스의 경우 지진파이용 측정법 센서의 개발이 매우 활발하게 진행되어 상용화 단계에 이르러 있다.

디지털 영상 촬영 분야에서 선진국의 경우 디지털 영상 촬영을 이용한 암반사면

절리구조 맵핑기법 및 장비개발은 사진측량과 컴퓨터 비전 기술의 발달로 인해 영상을 이용한 3차원 위치 측정 기술을 거대 댐 사면이나 터널내의 막장면 맵핑, 노천 광산에서의 대규모 사면의 안정 해석에 디지털 영상을 이용하여 절리조사를 수행하는 기법들이 적용되기 시작하였으며, 이미 건설된 도로사면, 철도사면 등 기존 사면들의 자연재해시의 유지관리를 위해 기존 기술자에 의한 접촉식 조사에 비해 다양한 장점을 지닌 디지털 영상 기반의 절리구조 측정 방법의 적용 및 관련 분야의 연구에 노력하고 있다.

토석류 기술의 경우 일본은 우리나라보다 산세가 험하고 지각활동이 매우 빈번하게 발생하여 산사태 및 토석류가 다발적으로 발생되고 있어 이에 대한 실내실험과 제어시설의 개발 사전 토석류 발생예측에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 미국의 경우는 미국지질조사소(United States Geological Survey, USGS)에서 실규모에 가까운 토석류실험장치를 개발하여 여러 토석류 흐름에 대한 실험을 통하여 재해발생시의 원인규명과 비슷한 지형의 대상으로 한 재해위험지도(Hazard Map)작성에 활용하고 있으며, 유럽과 그밖에 여러 지역에서는 해마다 증가하는 토석류 피해를 저감하기위하여 새로운 토석류 제어시설개발에 국가차원에서 많은 지원과 연구를 지원하고 있고 제품화하여 경제적 효과도 얻고 있다.

A.E.를 이용한 절토사면의 파괴위험 연구 분야에서 일본의 경우 토비시마 방재연구소를 중심으로 암반사면에의 A.E 적용을 위한 여러 가지 시도가 있었으며, 일본 건설성의 협력 아래 시험사면을 5개소 선정하여 약 5년간 측정이 진행된 바 있다. 그 결과 파괴메커니즘에 대한 A.E 기반기술이 어느 정도 확립된 상황이라 할 수 있으며, 거의 실용화 단계에 이르고 있다고 할 수 있다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 WEB기반 낙석·산사태 통합시스템 개발 및 낙석 방호시설 성능평가방안 수립

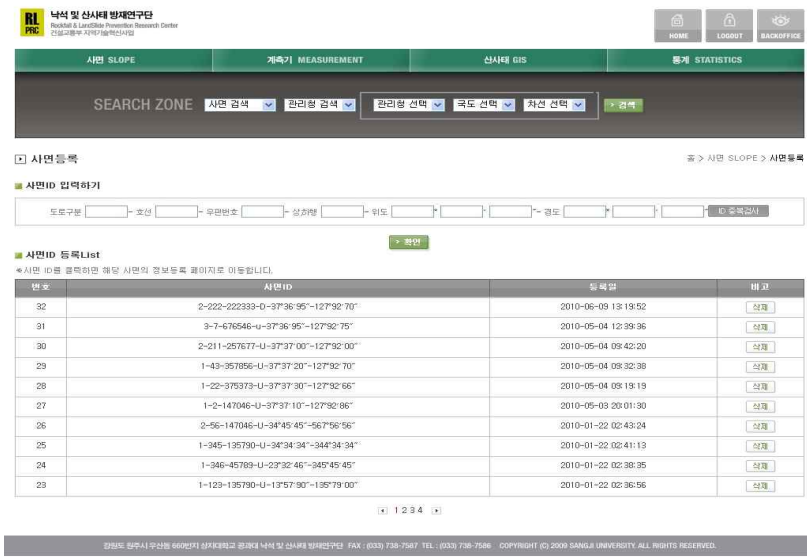
1. 통합데이터 베이스 구축

가. 과업의 배경 및 목적

본 과업은 낙석 및 산사태 방재연구단 총 5년 사업중 4차년도 사업으로, 연구 사업에 참여하고 있는 1세부 및 2세부 등의 8개 세세부 기관별로 산재하여 있는 사면정보 관련 DB를 통합 재구축함으로써, 인터넷 Web을 이용하여 연구단 및 세세부 기관에서 운영하는 이종기기-통합시스템간의 입력, 수정, 삭제 등의 관리에 필요한 통합운영관리 서버 및 운영관리자용 UI(user interface)를 구축하는 것이다.

나. 사면관리 통합시스템 서비스

Web기반 사면관리 통합 System은 확보할 수 있는 정보의 종류와 서비스 목적에 따라 그 기능이 결정되어 유비쿼터스 개념의 언제, 어디서나 인터넷이 연결된 곳에서는 해당 사면의 관리가 가능하다는 장점이 있다. 1세부 및 2세부 등에서 입력된 DB를 토대로 연구단에서 요구하는 사면관리 서비스를 개발하였다.



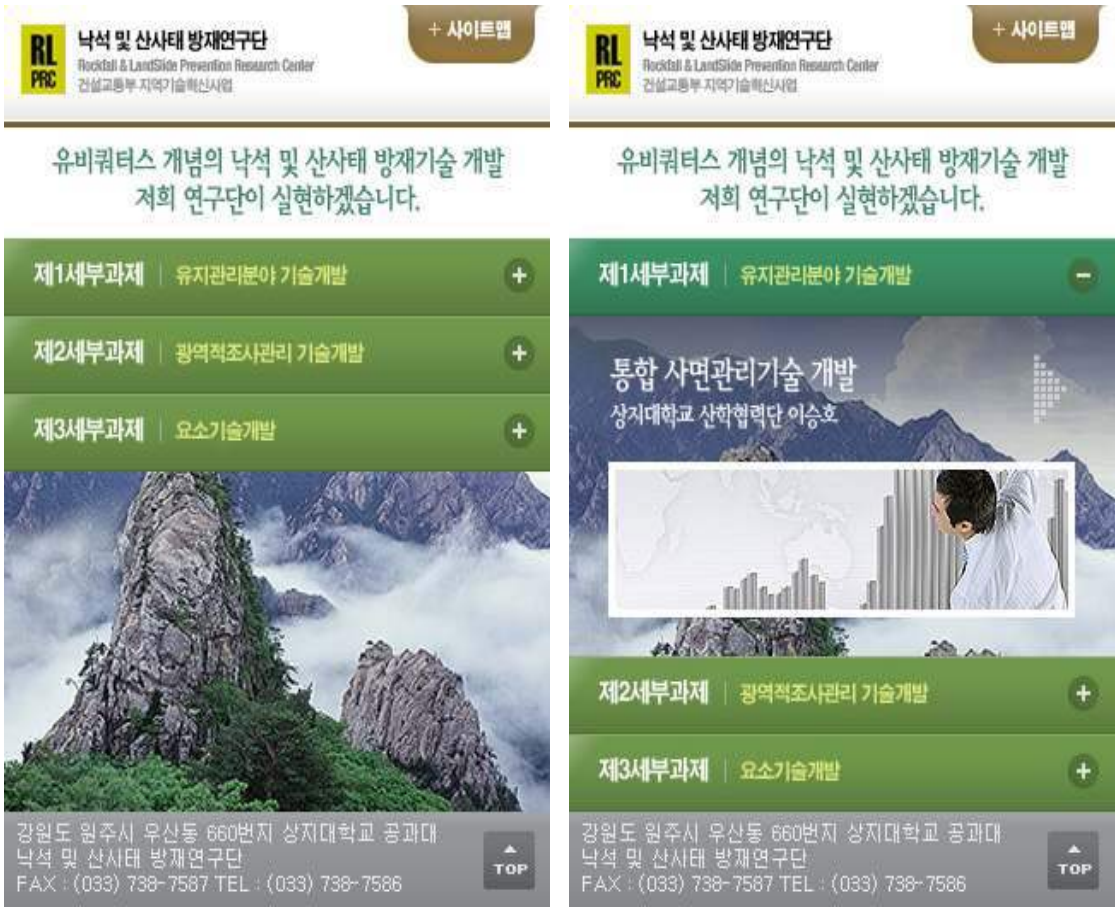
<그림 3.1> 사면 등록페이지

(1) 스마트폰 접근성을 고려한 개편

메인 메뉴 및 서비스 소개에 대한 동적요소를 구현하는 방법이 Adobe의 플래쉬를 사용하여, 스마트폰 및 일부 웹브라우저에서 정상적인 접근이 제한된다. 그리고 Flash가 HTML에 비하여 여러 가지 동적효과를 줄 수 있는 장점이 있으나 변경이나 갱신이 어렵고 접근성을 확보하기 어려운 단점이 있다. 이에 본 개편에서는 플래쉬 사용을 지양하고 스크립트를 이용하여 접근성을 획기적으로 개선하였다.

본 과업의 영역은 아니었지만, 웹 접근성을 좀 더 보완하기 위해 PC외 모바일 환경에서도 특히, 애플의 아이폰 환경에 최적화 된 페이지를 구축하여 PC환경과 모바일 환경을 완전히 분리하였습니다. 이는 표현과 구조를 분리한 철저한 W3C 웹 표준 환경이기 때문에 가능했다. 아이폰 전용홈페이지는 사면관리시스템 영역을 제외한 연구단 홍보를 위한 주요 페이지를 구현하였다.

아래 그림 3.2는 아이폰 전용 홈페이지의 주요페이지이다.



<그림 3.2> 아이폰 전용 홈페이지의 주요페이지

다. 지반재해 통합 상황실 구축



<그림 3.3> 지반재해 통합 상황실 (낙석 및 산사태 방재연구단 내)

낙석 및 산사태 방재연구단은 지반재해 통합 상황실을 구축하여 운영 계획에 있으며 통합시스템의 실시간 모니터링 및 원격제어가 가능하다. 강원도 지역의 낙석 및 산사태 발생을 최대한 억제하고 발생빈도 및 피해를 점차적으로 감소시킬 수 있는 재난관리체제의 구축을 위해 통합 사면관리기술, 광역산사태 저감기술, 사면안정 성증대기술 등의 기술을 WEB기반 낙석 및 산사태 통합관리시스템을 통하여 실시간으로 처리하고 조속한 의사결정을 할 수 있도록 기여한다. 또한 통합적이고 효율적 관리할 수 있는 사면연구 전문센터로 운영함으로써 강원도 지역의 낙석 및 산사태 발생을 최대한 억제하고 발생빈도 및 피해를 점차적으로 감소시키는 재난관리체제를 구축하고자 한다. 과학적이면서 체계적인 항구적 낙석 및 산사태 유지관리 기술개발 구축 할 수 있는 기점이 될 수 있다고 본다.

2. 강우를 고려한 비탈면 설계기술 제안

가. 연구개발 목적 및 필요성

강우에 의한 비탈면붕괴는 국내 지형특성과 부합하여 많은 인명 및 재산피해를 발생시키고 있다. 1963년부터 1996년까지 20명 이상이 사망한 대규모 비탈면붕괴가 15건 발생하였으며, 최근에는 집중호우를 동반한 루나(2002년), 매미(2003년)와 기상

이변으로 인한 지속적인 강우(2006년)와 같은 태풍 및 강우에 의해 전국적으로 196개소의 비탈면붕괴(장현식 외, 2004)가 발생되었다. 이러한 비탈면붕괴 사례를 볼 때 비탈면붕괴는 주로 강우가 내리는 동안 발생하고, 그 원인은 강우가 지표면으로 침투하여 비탈면안정성에 영향을 주었기 때문으로 평가하고 있다. 현재 강우시 비탈면붕괴에 대한 국내외 연구에 따르면 집중호우에 의한 비탈면붕괴는 주로 지표면 부근 2.0m이내에서 발생되며, 강우 발생전 비탈면내 지하수위가 높지 않다면 강우가 지하수위 상승에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 보고하고 있다. 그러나 국내 비탈면설계에 적용되고 있는 우기시 지하수위조건은 강우에 의해 지하수위가 지표면까지 상승하는 것으로 보고 있어, 비탈면의 활동파괴면이 지표부근보다는 비탈면 심부에서 발생되는 것으로 검토되고 있다. 또한 이를 바탕으로 보강범위를 결정하다보니 비탈면보강(soil nailing이나 earth anchor) 범위가 비탈면심부 파괴활동면 외부에 위치하도록 보강대책을 수립하여야 하는 불합리하고 비경제적인 과보강이 이루어지고 있다.

따라서, 본 과업에서는 우기시 지하수위 변화와 침투수에 의한 지표부근 토층의 간극수압의 분포를 파악하여 비탈면의 안정성을 평가하여 우기시 합리적이고 경제적인 비탈면설계방안을 제시하는 것으로 목표를 설정 하였다.

나. 국내외 비탈면 설계 기준

강우시 비탈면안정을 설계기술을 제시하기위해 현재의 국내외 여러 기관에서 제시하고 있는 비탈면 경사기준, 소단 적용기준, 건기 및 우기시 지하수위 적용기준 등을 조사하였다.

다. 인공강우장치를 이용한 산사태 모형토조 사면 붕괴특성에 관한 연구

강우가 산사태의 가장 중요한 요인이나 아직 강우강도, 강우지속시간 등에 따른 산사태 발생과의 상관관계에 대해서는 확실히 규명되어 있지 않다. 본 논문에서는 강우에 따른 산사태 발생 시 강우강도, 강우지속시간, 비탈면 경사, 지반조건에 따른 파괴 원인을 분석하여 산사태를 예측하기위한 산사태 붕괴특성을 알아보고자 인공강우장치를 이용한 산사태 모형토조실험을 수행하였다.

(1) 강우를 고려한 사면의 거동특성에 관한 이론적 고찰

① 강우 침투에 따른 지하수 흐름 특성

산악지역의 지하수의 흐름은 포화대를 통한 흐름과 불포화대를 통한 흐름으로 구분할 수 있다. 우기시 강우는 지표면을 통해 침투되어 불포화층으로 유입되거나 지표면을 따라 직접 유출된다. 불포화층에 유입된 강우는 시간이 흐름에 따라 포화층으로 유입되어 포화대를 증가시키고 수두경사에 의해 표고가 낮은 곳으로 이동한다.



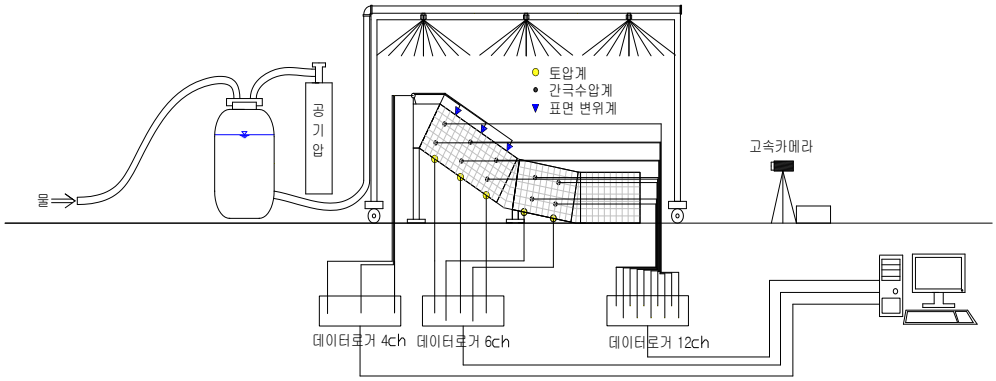
<그림 3.4> 강우로 인해 발생되는 사면의 붕괴 원인

현재 포화대를 통한 지하수 흐름은 많은 연구를 통해 실제 지하수의 거동과 유사한 결과를 보이고 있으나, 불포화대를 통한 지하수 흐름은 불포화층에 존재하는 불확실한 요소들에 의해 아직까지 지하수 거동을 명확히 파악하지 못한 관계로 불포화대의 실험식을 사용할 때에는 주의가 요구된다. 따라서 불포화대를 통한 지하수 흐름을 모델화할 때에는 강우 발생으로 인하여 생기는 수문과정 중 중요한 영향을 미치는 요소들만을 사용하여 지하수의 거동을 파악하는 것이 바람직하다.

(2) 모형토조실험

① 소형모형토

본 연구에서 제작한 산사태 모형토조실험장치는 크게 모형토조, 인공강우장치 등으로 구성되어 있다.. 모형토조는 내부에 흙을 채우는 부분으로 총길이 5.2m, 높이 2.3m, 폭 1m로 제작하였으며 조립식으로 제작하여 원하는 길이 및 높이로 추가 조립할 수 있다. 토조의 경사는 10°, 20°, 30°, 40°로 조절할 수 있도록 하였다.



<그림 3.5> 인공강우장치를 이용한 실내 모형토조 모식도

② 중대형모형토조

중대형모형토조는 내부에 흙을 채우는 부분으로 총길이7m, 높이 4m, 폭 1m로 제작하였으며 조립식으로 제작하여 원하는 길이를 추가 조립할 수 있다. 토조의 경사는 10°~40°로 조절할 수 있도록 각도조절 레바를 설치하였다. 또한 모형토조 측면에 투명강화아크릴판으로 구성하여 사면의 거동을 육안상으로 확인 할 수 있게 하였다.

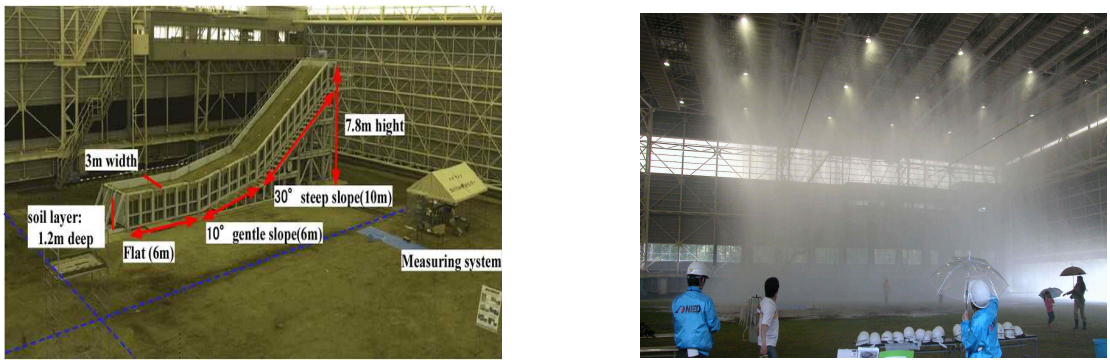


<그림 3.6> 중대형모형토조 실험장치

인공강우장치는 살수장치부, 강우량 조절장치부, 그리고 물탱크부로 구성되어 있다. 4.5m×9m 크기로 구성되어 있으며 살수장치부는 건물 최상부에 위치하여 실제 강우와 유사하게 제작되었으며, 강우량 조절장치부는 펌프장치로 압력밸브장치를 설치하여 강우강도를 20~300mm/hr의 범위에서 조절할 수 있도록 하여 강우강도별 영향을 충분히 고려할 수 있도록 하였고, 20ton 용량의 물탱크로 물공급을 하여 강우지속시간에 대한 영향을 고려하여 제작하였다.

③ 대대형모형토조

일본 방재과학기술연구소에 있는 대형 강우실험 설비 안에 대규모 사면 모형을 제작하고 실험을 행했다. 모형의 형상은, 총 사면 길이는 23m, 폭 3m, 깊이 1.6m, 흙층 깊이 1.2m, 높이 7.8m의 복합 사면형 모형 철제 모형 이다. 모형사면 끝 가장자리는 슬릿형 옹벽 모양의 축조물(침투수는 특수망을 통해 자연 배수)로 사면 흙층을 억제하고 있다. 수로 끝 가장자리 이외에는 배수를 하지 않는 조건이다.



<그림 3.7> 대대형모형토조 실험장치

④ 강우강도

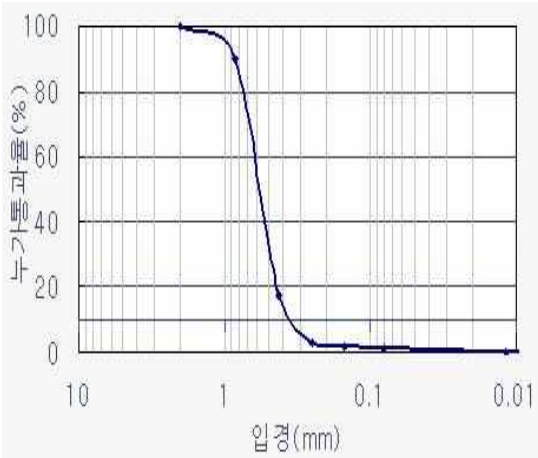
조사에 따르면 강우는 24시간 내에 200mm 이상의 강우가 지속되거나, 강우가 하루 이상 지속되고 시간당 평균 강우량이 10mm이상일 경우에 산사태가 발생할 위험이 크다. 우리나라의 지역적 강우특성을 살펴보면, 중부지역은 기압골 형성에 의한 집중호우의 누적강우량에 영향을 받아 산사태가 많이 발생되는 것으로 나타났다(홍원표 등 2000). 누적강우량의 적용을 고려하여 100mm/hr 강우강도를 지속적으로 유지하였다.

⑤ 사용시료

실험에서 사용된 지반재료로는 주문진 표준사를 사용하였다. 체분석 시험과 비중시험, 단위중량시험결과 주문진 표준사의 물성실험 결과는 표 3.5와 같다. 표 3.5에 나타낸 바와 같이 주문진표준사의 비중은 2.61이며 균등계수와 곡률계수는 각각 1.8 및 1.04로 나타났다. 체분석을 실시한 주문진 표준사의 입도분포곡선을 나타낸 것으로서 입도분포가 매우 균등함을 알 수 있다. 실험에서는 최적의 다짐효과를 주기위해 표준사의 평균함수비를 10%로 하여 실험하였다.

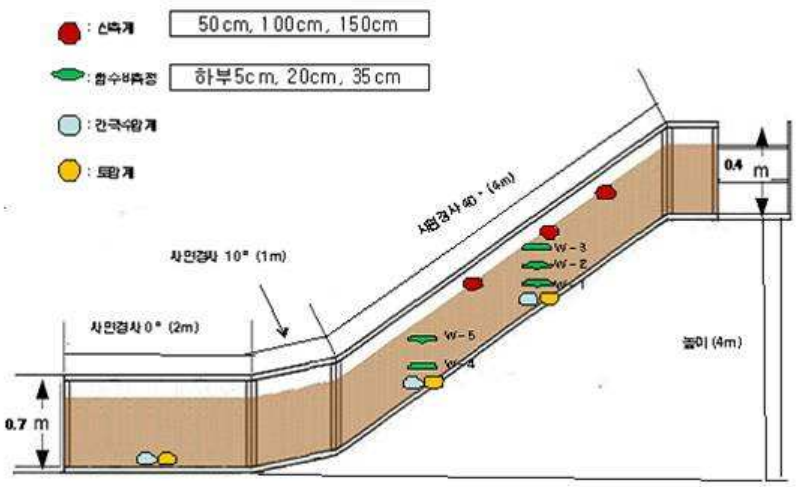
<표 3.1> 주문진 표준사의 물리적 특성

체 분 석	D_{10}	0.3
	D_{30}	0.41
	D_{60}	0.54
	C_u	1.8
	C_c	1.04
비중(Gs)	2.61	



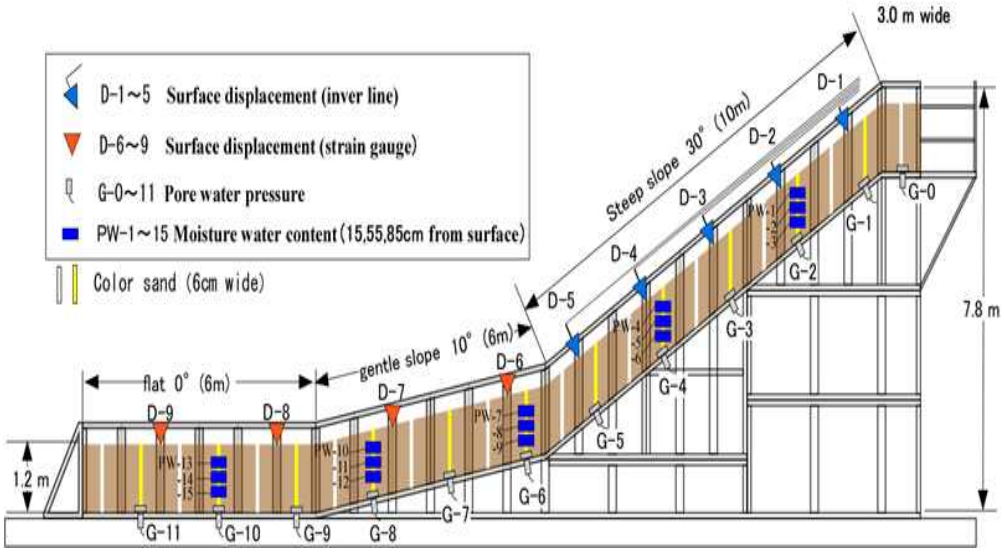
⑥ 계측장치

사용된 계측장치는 소형 · 중대형모형토조 지반내 간극수압을 측정하기 위한 간극수압계와 강우강도에 따른 산사태 붕괴 현상의 파악을 위한 토압계, 그리고 측정한 계측값을 컴퓨터에 기록하기 위한 데이터 로거이다. 간극수압계는 모형토조 기저부를 따라 상단, 중단, 하단에 3개소에 설치하여 1초당 50개의 자료를 측정하여 정밀한 측정을 수행하였다. 함수비 센서는 상단과 중단에 3개씩 바닥면으로부터 15, 30 cm의 높이로 설치하였다. 또한 산사태 발생 시 표면의 거동을 가시적으로 확인할 수 있게 표적계를 설치하였다.



<그림 3.8> 계측기 설치 위치 모식도

대대형모형토는 사면의 변동을 계측하기 위해, 지표면 변위계(D1～D9), 토양수분계(PW1～PW15), 간극수압계(G0～11) 를 그림에 표시된 위치에 설치했다. 지표면 변위계는, D1～D5는 사면위에 추를 고정하고, 신축계를 사용해 계측했다.



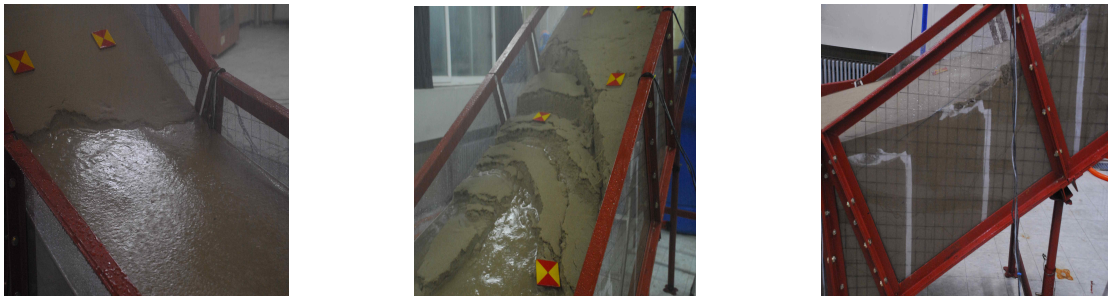
<그림 3.9> 대대형모형토조 계측기 설치 위치도

D6～D9에는, 사면표층에 타겟을 설치하였다. 함수비계측은, 표면에서 15cm, 55cm, 85cm의 위치에 설치하고, ADR식을 사용해 체적(부피) 함수율을 계측하고, 사면 흙고유의 밀도를 사용해 포화도를 산출했다.

(3) 붕괴형태 분석

소형・중대형・대대형모형토조 모두 사면경사 30°와 강우강도 100mm/h의 동일조건으로 실험을 실시하였다.

소형모형토조는 실험시작 약 33분부터 시간에 따라 붕괴가 발생했으며, 붕괴형태는 상단 부 균열에 이어 사면의 1/3정도 되는 부분에서 파괴가 발생하고 이어서 점차적으로 파괴되는 형태를 나타내었다. 중대형모형토조는 실험시작 약 41분 부터 시간에 따라 붕괴가 발생했으며, 붕괴형태는 상단 부 균열에 이어 사면의 사면의 50cm 되는 부분에서 2차균열이 발생하고 이어서 점차적으로 파괴되는 형태를 나타내었다. 대대형모형토조는 상부붕괴를 시작으로 140분에 완전한 붕괴가 발생하였다.



<그림 3.10> 소형모형토조 붕괴 모습



<그림 3.11> 중대형모형토조 붕괴 모습



<그림 3.12> 대대형모형토조 붕괴 모습

라. 결론

소형·중대형·대대형모형토조 비교를 통한 산사태 메커니즘 특성에 관한 연구 결과 다음과 같은 결과를 얻었다. 소형모형토조는 대대형모형토조의 약1/3크기로써, 강우강도 100mm/hr일때 33분 후 붕괴되었고, 중대형모형토조는 41분 후에, 대대형모형토조는 140분에 붕괴가 발생하였다. 소형·중대형·대대형모형토조 모두 붕괴 전에 상부 균열 후 붕괴에 도달하는 형태를 보였다. 소형·중대형·대대형모형토조는 강우침투와 더불어 포화도가 상승하지만, 완전한 포화(100%)는 되지 않고 증가

하다 붕괴에 도달한 후에도 각각 약 65% ~ 72%로 유지하였으며 최대 80%의 함수비를 나타내었다. 강우강도에 따른 토압의 변화량은 소형모형토조는 최초 토고에 의한 8000Pa에서 점차적으로 토압이 증가하다 일정하게 평균 12000Pa에서 일정하게 유지되고, 중대형모형토조는 9000Pa에서 점차적으로 토압이 증가하다 일정하게 평균 10000Pa에서 일정하게 유지되었으며, 대대형모형토조 또한 17000Pa에서 평균 18000pa에서 일정하게 유지됨을 확인 하였다.강우 침투에 따라 토압이 점차적으로 증가되며 급격한 변화는 사면 붕괴 당시에 관찰되었다.

소형모형토조 간극수압은 실험시작 후 파괴시점 2000sec에서 약 6000pa로, 중대형모형토조는 파괴시점 2500sec에서 약 6800pa로, 대대형모형토조는 붕괴시점 8500sec에서 약 10000Pa로 수렴함을 확인 하였다. 대대형모형토조 지하수위 비교결과 강우가 지속 됨으로 인해 일정시간 변화가 없으나 파괴가 발생하기 직전까지 급격한 증가를 보였다. 이는 지하수의 급격한 증가가 사면 붕괴에 중요한 인자인 것으로 판단된다.

소형·중대형·대대형모형토조 모두 지하수의 상승에 대응해서 변위가 증가 진행되었고, 더욱이 동시에 경과와 더불어 변위는 가속도적으로 증가해서 붕괴에 도달하고 있다. 소형모형토조는 파괴가 되기 전까지 전변위 약 10mm를 나타 냈고, 중대형모형토조는 1.8mm, 대대형모형토조는 파괴가 되기 전까지 전구간 20mm의 붕괴전 움직임을 보였다. 현재까지의 실내시험결과 강우침투로 인한 사면 붕괴시 지하수위를 지표면에 두는 설계기준과 달리 토층은 완전한 포화를 이루지 않았다. 비탈면의 높이와 현재 지하수위 및 대상지반의 투수계수에 따라 달라질 수 있으니 실험결과 반영시 기존 설계 기준보다 최대 20%이하로 지하수위를 하향하여 해석하는 것이 보다 합리적일 것이라 판단된다.

3. 낙석방지시설 성능 평가 방안 수립

가. 연구개발 목적 및 필요성

낙석방지시설은 크게 낙석 예방공과 낙석 보호공으로 구분된다. 낙석 예방공은 절개면 안정해석에 의한 안전율이 절개면 설치 기준에 미달될 때 안전율 증대를 목적으로 상재하중제거, 절개면내 보강재 삽입 등을 시행하는 공법으로 절취, 락 앵커, 락 볼트 등을 들 수 있다. 낙석 보호공은 안전율이 기준에 상회하나 암반풍화에

의한 열화(deterioration), 소규모 낙석 재해 등을 차단하는 것으로 낙석방지망, 낙석방지울타리 등이 있다. 현재 국내에서 주로 사용되는 낙석 방호시설은 낙석방지망과 낙석방지울타리로 크게 구분되며 특히 낙석방지울타리의 경우, 소규모의 낙석에 효과적인 대책으로 전체 국도 절개면 대책 적용 공법 중 70% 이상을 차지고 있다(한국건설기술연구원,1999). 낙석방호시설은 소규모의 낙석에 효과적인 대책으로 국내에서 보편적으로 사용되고 있으나 절개면의 특성에 상관없이 표준도에 의한 단일 모델이 시공되고 있어 시설의 효용성에 자주 의문이 제기되어 왔다. 또한 낙석방지시설이 흡수할 수 있는 에너지 규모에 대한 기준이 부족하고, 낙석방지방의 성능에 대한 분석 및 현장시험자료가 부족한 상태이다. 현행 낙석방지시설의 설치는 현행 설치기준에 의해 시행되고 있으나, 구성요소 전체의 조합에 의한 낙석에너지 흡수능력 평가방법은 아직 표준화되어 있지 못한 실정이다. 이에 본 연구를 통해 기존 낙석방지방의 객관적인 낙석지지능력 평가방안을 개발하였다.

나. 낙석방지시설 설치 현황

(1) 낙석방지시설 기능

낙석방지시설은 낙석예방과 함께 예측하지 못한 낙석의 도로유입을 막기 위하여 낙석이 예상되는 구간의 절개면 전체 또는 일부에 설치하여 낙석으로 인한 재해로부터 도로이용자들의 인명피해와 재산손실을 방지하는 기능을 가진다.

낙석방지시설의 주요 기능은 다음과 같다.

○ 낙석의 충격에 저항하여 낙석운동을 억제한다.

○ 낙석의 에너지를 흡수하여 낙석이 도로에 유입되는 것을 막는다.

○ 낙석의 낙하 진행방향을 바꾸어 피해 위험이 없는 곳으로 유도한다.

낙석방지시설은 종류에 따라 그 기능이 다르므로 현장특성을 고려하여 필요한 시설을 기능에 맞게 선정하여 설치하여야 한다. 낙석방지망은 주로 낙석을 포획하거나 낙석의 진행방향을 바꾸는 기능을 하는 반면 낙석방지울타리와 옹벽은 낙석의 충격에 저항하거나 에너지를 흡수하여 도로로 유입됨을 막는 기능을 한다.

낙석방지망(Rockfall Protection Net)은 강우나 풍화, 나무뿌리의 작용 등에 의해 불연속면의 이완이 심화되어 낙석 발생 가능성이 있는 부분을 철제망으로 덮어 낙석을 예방하는 공법으로 방지망의 자중과 이완된 암석의 포획효과에 의해 암석의 운동에너지를 억제하는 시설이다.

(2) 낙석방지시설의 설치현황

2002년~2004년 강릉, 정선국도유지건설사무소 관내의 304개소의 비탈면을 조사, 절토비탈면의 외형적 특성과 수립되는 대책공법과의 관계를 검토하였다.

<표 3.2> 대상 절토비탈면의 분류표 (304개소)

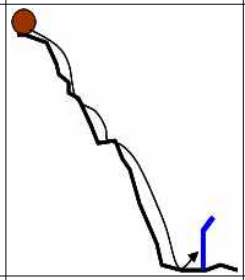
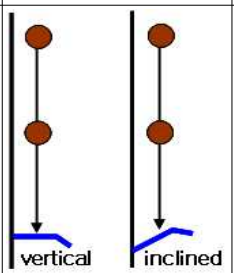
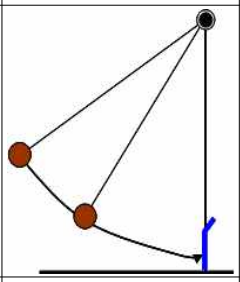
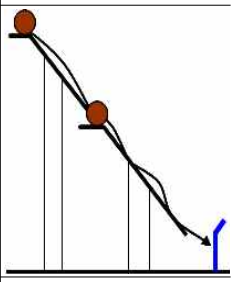
대분류	개소수	평균최대높이	평균총연장	평균경사	평균이격거리	평균상부비탈면
활동하중 경감공법	108	21.9	108.9	61.5	1.25	21.5
활동억제공법	68	24.6	123.3	65.2	1.26	30.4
낙석제어공법	**91**	**23.8**	**144.8**	**66.4**	**1.36**	**28.5**
표면보호공법	26	28.4	116.6	56.1	1.43	28.5
수리제어공법	6	30.2	131.8	55	1.45	13.2
기타공법	5	34.2	80.4	68.4	0.9	41.6

그 결과 절토비탈면의 연장의 증가에 따라 활동하중경감법, 표면보호공법은 그 적용 비율이 낮아지고 있으며 낙석제어공법은 비탈면의 높이, 연장, 평균 이격거리, 상부 자연비탈면의 경사도 변화 없이 전반적으로 비율이 일정한 것으로 나타나고 있다. 이를 통하여 현재 절토비탈면의 낙석에 대한 보호•방지시설로 상당히 많은 비율을 차지하고 있음을 알 수 있다.

다. 성능평가 방안 개선 방향

건설교통부에서 발간한 “도로안전시설 설치 및 관리지침”에는 표준낙석방지시설의 규격과 에너지흡수능을 제시하고 있어 국내의 도로사면에는 대부분 이에 근거한 표준 낙석방지시설을 사용하고 있는 실정이다. 하지만 이러한 낙석방지시설이 실제 낙석 발생 시 큰 파손 없이 낙석을 방어할 수 있는지에 대해서는 여전히 의문점이 남아있다, 최근 국내 연구자들은 낙석시험을 통하여 표준낙석방지울타리가 50kJ을 견디지 못하거나 또는 부재의 파손이 발생하기 전에 연결부가 먼저 파손되는 등 에너지 흡수성능이 기준 값에 미달되는 경우가 있다고 보고하고 있다.

<표 3.3> 다양한 낙석방지시설(낙석방지울타리)의 성능평가 시험방법 비교

구 분		사면낙석시험	수직낙하시험	펜둘럼시험	론칭시험
개략단면					
현실성		◎(실제사면)	△	△	○
반복성		×(무작위성)	◎	◎	×(무작위성)
시험조건	타격속도	×(제어어려움)	◎	○(크레인 높이한계)	×
	타격위치	×(제어안됨)	◎	○	×
	타격각도	×(제어안됨)	○(울타리 각도조절)	△	×
장치비용		◎(저가)	○	○	×(고가)
시험비용		△	○	○	○

◎:우수, ○:양호, △:보통, ×:불량

또한 박혁진 등 (2000), 권호진 등(2005)은 국내 도로 절토사면에서 발생하는 크고 작은 낙석들을 효과적으로 방어하기 위해서는90~100kJ의 에너지 흡수능을 가진 효율적인 낙석방지울타리가 설치되어야 한다고 보고하고 있다. 따라서, 기존낙석방지시설의 성능 평가 및 새로운 낙석방지시설의 개발이 필요하며 이를 위한 합리적인 에너지 흡수능의 평가방법이 요구된다.

표 3.3에 나타난 실험들은 낙석방지울타리를 기준으로 성능평가 방안을 제시한 것이나 낙석방지망 또한 위와 같은 방법으로 시험을 통한 성능평가를 시행 할 수 있을 것이라 판단된다. 시험의 목적은 최대에너지 흡수성능을 평가하거나 또는 임의 에너지를 갖는 낙석을 방어할 수 있을 것인가를 확인하는 것이며, 시험방법은 낙석에너지(높이×중량)를 조절할 수 있어야 한다. 수직낙하시험은 높이와 중량을 임의로 변경할 수 있지만 두 변수를 모두 변화시키기보다는 현실적인 조건을 맞추는 것이 필요하다.

(1) 실물낙석시험장 개요

실물 수직낙석시험을 위해 상지대학교 교내에 현장시험이 가능한 부지를 확보하였으며, 부지 내에 낙석방지울타리의 설치가 가능하도록 콘크리트로 거치대를 제작하였다.



<그림 3.13> 낙석방지울타리 설치 완료

설치한 지주(H-Beam)의 사이를 와이어로프로 연결하고 PVC코팅망을 체결함으로서 현장시험을 위한 낙석방지울타리의 설치가 완료되었다.

(2) 현장시험방법 및 측정방법

현장 낙석시험을 통한 낙석방지울타리의 성능평가는 시험방법은 R.M.Spang(2002)에 의해 제시된 바 있으며, 낙석시험시 다음의 사항이 고려되어야 할 것을 제안하고 있다.

○현장시험을 위해 설치된 지주의 개수

○낙석방지울타리의 낙석 충돌위치

○낙석방지울타리의 규격 및 에너지 흡수능력

○낙석의 충돌 시 충돌각속도 등

따라서 본 연구수행을 위한 시험표준화를 위하여, 현장시험에서는 현행 낙석방지울타리(와이어로프+지주+PVC코팅망)를 3경간 설치(경간 C.T.C 3.0m)하고, 콘크리트 볼을 제작하여 연직낙하하는 방법을 이용하였으며, 낙석의 충돌위치는 여러 경우에 대하여 실험하고 그 결과를 얻고자 하였다.

라. 낙석방지망 성능평가

(1) 낙석방지망 인발시험 시험장치

낙석방지망 인발시험장치는 와이어 설치간격 문제를 고려하여 이동 가능한 H형강을 양쪽에 설치 후 가로 최대 4m, 세로 최대 7m까지 다양한 규격에 대한 시험이 가능하도록 설계하였으며, H형강 제원으로는 H-300×300×10×15를 사용하였다.



<그림 3.14> 완성된 낙석방지망
인발시험장치

(2) 낙석방지망 성능평가

① 와이어로프 인발시험

실험에 앞서 낙석방지망에 와이어로프를 체결하여 예비실험을 실시하였으나 낙석방지망에 하중이 전달되기 전 와이어로프가 파괴되어 정확한 데이터 값을 얻을 수 없어 일차적으로 와이어로프에 대한 인발시험을 실시하였다.

와이어로프 대한 인발시험은 와이어로프를 엮어 I형볼트 양쪽에 볼트로 단단히 고정한 후 유압실린더를 이용하여 수직으로 인발력을 가하였으며 데이터로거로 와이어로프의 강도를 확인하였다. 본 실험에서는 와이어로프 2매듭과 4매듭에 대해서 인발시험을 실시하였다.

시험 결과 와이어로프 2매듭의 경우 약 7초에서 1.75ton의 인장하중을 견디지 못하고 파괴되었으며, 4매듭의 경우 약 10초에서 2.9ton의 인장하중으로 인해 와이어로프가 파괴되었다.

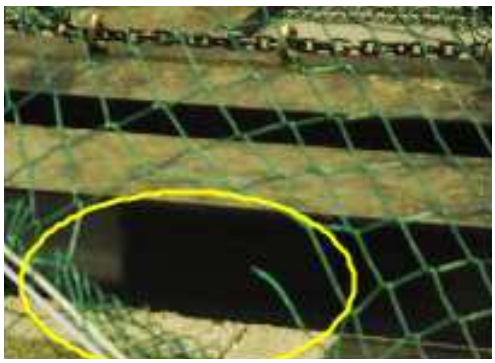


(a) 와이어로프 인발시험-2줄 (b) 와이어로프 인발시험-4줄

<그림 3.15> 와이어로프 인발시험

② PVC 코팅망

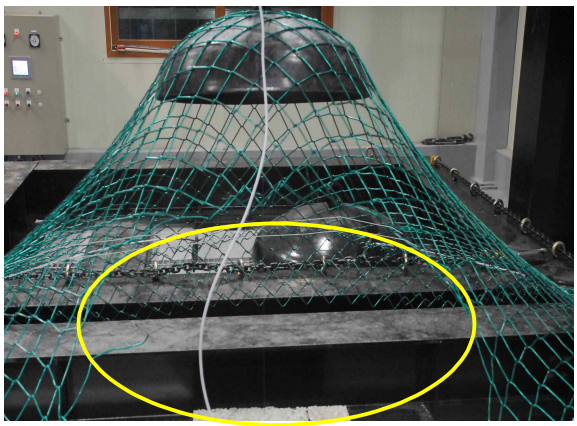
시험재료로는 국내에서 낙석방지망으로 보편적으로 사용되고 있는 PVC코팅망을 선택하여 사용하였다. PVC코팅망은 연강선으로 인장강도가 약 290~540MPa이며 소선지름은 ∅4.0mm, 망눈은 마름모형 58x58mm인 PVC코팅망을 선택하여 시험을 실시하였다. 망의 크기는 Expanded Metal과의 동일한 시험조건을 고려하여 가로(3000mm)×세로(2100mm)으로 제작되었으며 PVC코팅망에 와이어로프를 체결하여 인발시험을 실시하였다. 시험결과 인발시험 ①에서는 약 3.7ton 하중에서 육각형 모양으로 38cm×47cm크기의 파괴가 발생하였으며, 변위는 920mm정도 발생한 것으로 나타났다. 또한 인발시험 ②에 대한 시험결과 약 4.4ton 하중에서 육각형 모양으로 34cm×30cm크기의 파괴가 발생하는 것으로 나타났으며, 변위는 1070mm정도 발생한 것으로 나타났다. 마지막으로 인발시험 ③에서는 약 4.7ton 하중에서 실험①~②의 파괴형태와 비슷하게 육각형 모양으로 약 100cm×48cm크기의 파괴가 발생하였으며, 이때 변위는 990mm정도 발생한 것으로 나타났다.



(a) PVC코팅망 인발시험-①



(b) PVC코팅망 인발시험-②



(c) PVC코팅망 인발시험-③

<그림 3.16> PVC코팅망 인발시험 결과

마. 수치해석을 위한 모델링

(1) 해석을 위한 요소재료의 선택

역학적기반의 연구뿐만 아니라 실험적 자료 등에 의한 기존 문헌에 의하면, 큰 하중이 작용할 경우 발생하는 구조물의 대변형이라 하더라도 구조체의 실질적인 하중-변형곡선이 묘사될 수 있다면, 변형정도를 계산하는 것은 충분히 가능한 것으로 보고되었다. 또한 많은 연구자들에 의해 이러한 대변형 문제는 전통적인 빔 구조해석 이론의 수정을 통하여 접근할 수 있을 것이고, 그 결과 또한 신뢰할 수 있는 것으로 연구되었다(Pak and Stauffer, 1994).

(2) Wire mesh와 ExMetal 해석을 위한 역학적 모형

본 연구에서는 제안된 요소모델을 이용하여 낙석지지망을 모델링하였다. PVC 코팅망은 초기의 평면기하에서 2차원 구조로 고려되었고 이를 지지하고 있는 지주는 꽤 큰 정도의 변형을 고려하기 확장될 수 있는 기존의 구조적 판요소 이론을 이용하였다(Ugural, 1981; Wang and El-Sheikh, 2005).

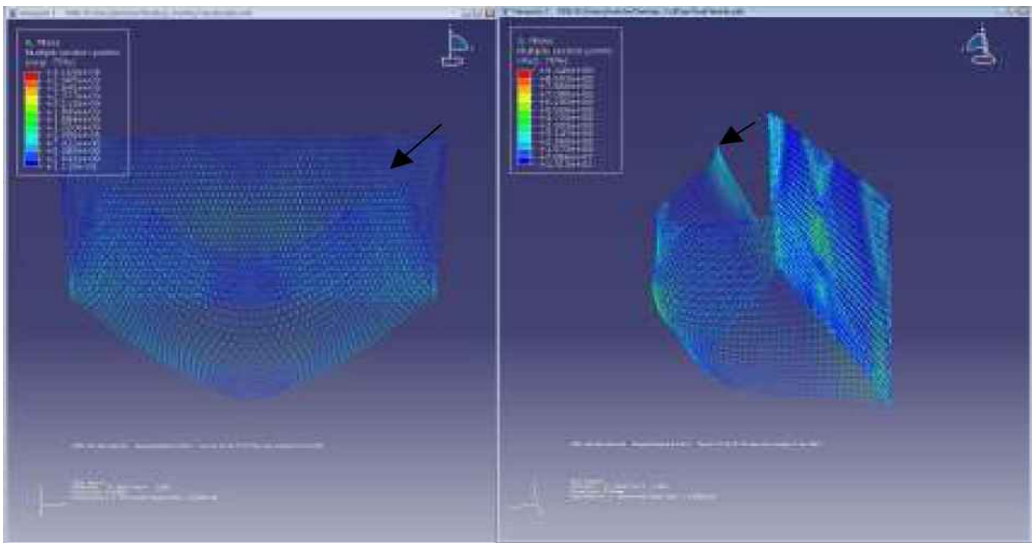
이러한 이론을 이용하더라도, 해석에 필요한 수식과 방정식을 개발하기 위해서는 몇 가지의 가정이 뒤따라야 하고, 또한 실제값과 비교하고 조절하는 기술이 필요하다.

(3) 지주의 변형과 응력분배

실내시험과 같이 1.2m×2.4m 크기의 망을 전체가 고정된 지주에 연결시킨 상태에서의 PVC 코팅망과 ExMetal의 하중에 따른 변형정도를 해석 한 후, 지주의 응력-변형특성을 고려하여 낙석에 따른 구조체의 변형정도를 해석하였다. 망에 작용하는 하중은 점하중으로 작용하지 않고, 낙석의 크기에 따라서 가해지는 하중범위가 달라지므로 본 해석에서는 이를 고려하여 낙석에 접하는 절점에 하중을 주어 해석하였다. 기존의 현장 실물 낙석시험결과에 의하면 과도한 변형은 망에서만 발생하는 것이 아니라, 망을 지지하고 있는 지주의 변형도 유발하게 된다(그림 3.17 참조). 그림 3.18은 지주에 ExMetal을 설치하고 지주를 현장과 같은 캔틸레버 조건으로 지지시킨 후 낙석이 발생하였을 경우의 변형된 그림이다.



<그림 3.17> 낙석에 의한 망과 지주의 변형



<그림 3.18> Deformation of fence with flexible side support posts

이러한 영향을 고려한 지주와 망이 결합된 구조체의 해석 결과는 그림 3.16와 같이 나타났다. 본 해석에서는 결과값의 크기 보다는 실내시험과 현장시험 조건에 따른 지주와 망의 변형형태를 시뮬레이션 할 수 있는 방법에 초점을 두어 진행되었다. 그림에서 보는 바와 같이 큰 낙석하중에 따라 망의 변형뿐만 아니라 지주의 변형이 발생하여 지금까지와는 다른 좀 더 현실적인 해석적 접근이 이루어졌다고 판단된다.

바. 표준성능평가 방법 제안

(1) 낙석방지울타리의 성능 평가 방법

시험의 목적은 최대에너지 흡수성능을 평가하거나 또는 임의 에너지를 갖는 낙석을 방어할 수 있을 것인가를 확인하는 것이며, 시험방법은 낙석에너지(높이x중량)를 조절할 수 있어야 한다. 수직낙하시험은 높이와 중량을 임의로 변경할 수 있지만 두 변수를 모두 변화시키기보다는 현실적인 조건을 맞추는 것이 필요하다. 국내 고속도로 사면 형상은 대체적으로 약 20m마다 3.0m 폭의 소단을 두고 있다. 낙석에너지를 조절하기 위해서는 높이 및 중량 두 가지 조건을 조절할 수 있지만 낙석을 단일 형상으로 하고 낙석 높이를 조절하여 낙석에너지를 결정하는 것이 시험 결과 평가하는데 유리하다고 판단된다. 따라서 단일 낙석인 400kg의 낙석을 사용하여 약 5~25m로 높이를 조절하여 수직낙하 하는 방법으로 낙석에너지를 조절하는 방법을 채택하였다. 경간 수에 따른 낙석에너지에 대한영향은 성능평가방법의 경제성 및 시험의 간편화를 위해 3경간으로 결정하였다. 경간이 많아지면 좀 더 정확한 시험결과를 얻을 수 있지만 모든 부속부재들이 설치될 수 있는 여건이 갖춰지는 3경간으로 설치함으로써 시험이 수월할 수 있도록 하였다. 이외에도 낙석의 규격과 시험대상 울타리의 설치방법, 타격위치 및 각도 성능기준을 표 3.4에 요약하였다.

<표 3.4> 표준낙석방지울타리 성능평가 제안내용

구 분		내 용	비 고
목 적		최대 에너지흡수성능 측정 및 낙석방어능력 평가	
시험방법		수직낙석시험	
설치방법		3경간 현장설치조건과 동일(지주는 시험대에 수직 체결)	지주의 이탈은 미발생으로 가정
낙석	낙석규격	재 질: 콘크리트/암석, 형상: 원형과 육면체의 중간 형상 단위중량: ≒ 2.5t/m3	단일 낙석 형상
	낙석중량	400kg	단일 형상으로 결과 분석양호
	낙석높이	5~25m	높이 조절하여 낙석에너지 조절
울타리규격		3경간	모든 부속부재 설치 조건
타격위치		중앙경간 중앙부 2회, 중앙경간 상단부 1회	총3회
타격각도		수직(90°)~경사(3.70°)	낙석방지울타리 특성에 기인하여
성능기준		성공: 낙석 방어, 최종변형량 1m이내	도로 오른쪽 길어께의 최소폭
측정내용		고속카메라 촬영 : 변형측정, 낙석속도	

(2) 낙석방지망의 성능 평가 방법

시험의 목적은 지지하중-변위 측정 및 낙석방어능력 평가를 하는데 목적이 있다. 낙석방지망의 현장설치 특성과 구조특성상 현장실물시험이 어려운 실정이다. 이에 낙석방지망 인발시험 장치를 이용하여 평가하는 방법을 제안하였다.

낙석방지망은 사면에 부착시켜 이완되는 암을 방어 및 낙석에너지 완화를 목적으로 설치됨으로 유사한 설치조건으로 인발시험기에 설치한 후 유압잭을 이용하여 인발하는 방법으로 수행된다.

시험대상의 크기는 시험기설치조건과 낙석방지망의 설계조건을 고려하여 결정하며, 망과 부속부재와 결속되는 경계조건을 고려하여 1경간을 결정하여 시험기에 경계조건을 유사하게 시공한다. 구조적 특징 때문에 모든 부속부재를 설치하기에는 어려움이 있다. 따라서 와이어와 락볼트의 이탈은 미발생 조건으로 고정하여 현장여건과 유사하게 설치한다. 인발속도, 낙석볼 규격, 인발높이 등에 대한 내용은 다음 표 3.5에 요약하였다.

<표 3.5> 표준낙석방지망 성능평가 제안내용

구 분		내 용	비 고
목 적		지지하중-변위 측정 및 낙석방어능력평가	
시험방법		수직 인발 시험	
설치방법		설계 한경간에 대하여 현장조건과 유사한 경계조건 (락볼트와 와이어는 강결)	락볼트와 와이어 결속부의 파손은 미발생으로 가정
낙석	낙석볼 규격	재 질: 철/ 형상 : 반구 크기 : 지름 60cm 높이 30cm	단일 낙석 형상으로 결과 분석 양호
	인발속도	600mm/60sce	
	낙석높이	120cm	
울타리규격		1경간	낙석방지망의 경계조건 고려
타격위치		중앙부 2회	실험결과의 신뢰성을 고려하여 2회
타격각도		수직(90°)	
성능기준		성공: 낙석볼 미통과, 최종변형량 1m이내	최대지지하중의 평가를 위한 변위량 제한
측정내용		하중-변위측정, 파손여부	

낙석방지울타리 성능평가는 현실적으로 실물시험을 통한 평가가 필요하며, 여러 연구자들에 의해 다양한 시험방법들이 적용되었다. 그러나 시험방법 간 역학적 메커니즘과 시험조건 차이로 인하여 결과 비교가 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 시험방법 차이로 인한 문제를 최소화시키기 위하여 낙석방지울타리의 성능평가를 위해서 수직낙석시험을, 낙석방지망에 대한 성능평가를 위해 인발시험을 이용한 표준시험방법을 제안하였다. 표준낙석방지시설에 대한 획일적인 성능평가와 향후 새로운 낙석방지시설의 성능을 평가하는데 이용될 수 있을 것이다.

사. 결론

국내 낙석방호시설의 성능평가 기준을 분석한 결과 성능평가는 현실적으로 실물시험을 통한 평가가 필요하며, 여러 연구자들에 의해 다양한 시험방법들이 적용되었다. 그러나 시험방법간 역학적 메커니즘과 시험조건 차이로 인하여 결과 비교가 어려운 실정이다. 본 연구에서는 시험방법 차이로 인한 문제를 최소화시키기 위하여 수직낙석시험을 이용한 표준시험방법을 제안하여 차년도에 낙석성능평가 시험장을 건설하고 시험함으로써 건교부 지침상의 표준낙석방지울타리에 대한 일관된 성능평가와 향후 새로운 낙석방지울타리의 성능을 비교·평가하는데 이용될 수 있을 것이다.

4. WEB기반 낙석 및 산사태 통합시스템 개발을 위한 요소기술

가. 자이로를 활용한 USN 사면 계측 기술 개발

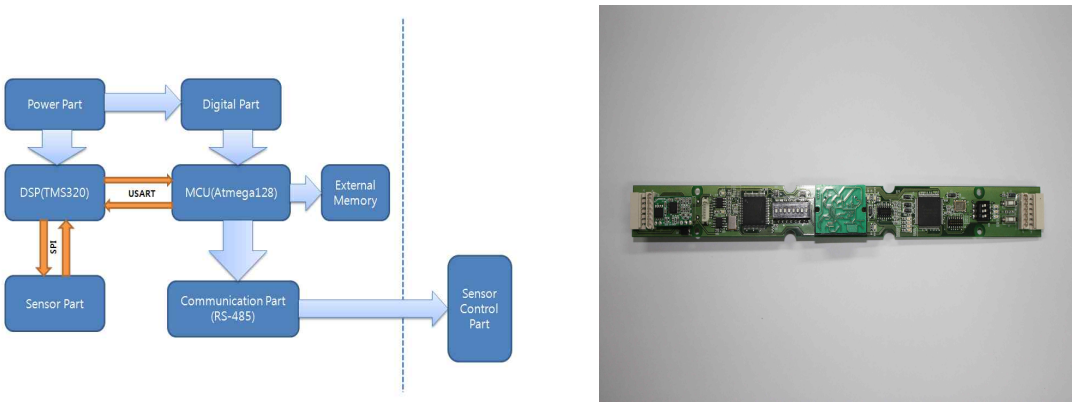
본 연구에서는 MEMS기반 자이로센서 기반으로 가속도, 진동, 경사, 변위를 복합측정 가능한 센서개발과 무선랜을 이용한 데이터전송프로토콜을 개발하여 암반사면계측시스템에 적용하기 위한 “자이로를 활용한 USN 사면 계측 기술 개발에 대해 전체적인 사항과 세부적인 사항을 구분하여 기술한다.

(1) 계측 시스템 H/W 개발

① 지중 사면계측센서 H/W 모듈 개발

계측의 연산 능력과 Floating 연산의 오차를 최소화하기 위하여 DSP를 활용하고 있으며, 연산 함수를 내장 시켜 실행에 대한 능력(Performance)을 향상 시키고자 하였다. 센서는 검측 값이 외에도 검측과 상관관계에 영향을 미치는 요소를 동

시에 같은 센서에서 검출이 가능한 센서 모듈을 선택하여 계측 값과의 상관성을 일치시키고자 하였으며, 이를 이용한 온도와 변위 및 온도와 진동들을 동시에 검측하여 진단을 할 수 있는 복합 알고리즘을 개발하고자 하였다.



<그림 3.19> 지중 사면계측센서 구성도 및 Board

(2) 연구 개발 기여도

① 기술적 측면

○ 사면 및 시설물 모니터링 변위 계측을 위한 6자유도계측센서 기술 확보로 계측기술 발달에 기여

○ 센서일체형 무선 모니터링 데이터로거 개발을 통한 USN 계측기술 진보

위험 사면 관리 기준 도출을 위한 자동화된 데이터 수집 기술 향상

○ 선진국 방재관련 기술 수준 이상으로의 기술향상 기대

② 경제, 산업적 측면

○ 세계 최초로 USN 기술과 Smart 센서기술을 접목한 무선모니터링 기술 개발로 무선변위시장 선점 및 시스템 구축비용 절감 효과 기대

○ 토목, 건축기술과 융.복합을 통한 원가절감 효과(IT-건설 컨버전스 모델화)

○ 독자적이고 선도적인 기술 확보로 세계시장에서의 우위선점 기회확보 및 외국기술 도입 비용 절감 효과 기대

(3) 방재분야에서의 계측기로서의 활용방안

① 유지관리 분야

사면 방재를 위한 상시계측시스템 구축재해우려 사면에 관한 무인상시 계측시스템에 대하여 계측현장, 중앙 데이터베이스 및 분석시스템 웹 어플리케이션 및 웹서비

스 등으로 분류하여 설정하고 모든 설계방법은 UML(Unified Modeling Language)방식을 따름으로써 시스템 설계에 보다 체계적이고 확장성이 용이하도록 하였다.

○ 현장계측 자동화 시스템

○ 중앙데이터베이스 및 분석시스템

○ 웹 어플리케이션 및 웹 서비스

나. 스마트 예측기술 개발

(1) 연구개발 개요

산사태는 집중호우가 내리는 경우 많이 발생되는데 이를 사전에 예방하기란 현실적으로 불가능하고, 암반사면에서는 붕괴까지의 변형이 작고 종래 부터 일반적으로 쓰이고 있는 변위계측에서는 그 전조현상을 포착하기 어려워 붕괴의 사전 예지가 거의 불가능하다. 뿐만 아니라, 지반의 불균질로 인해 지반성상의 완벽한 파악이 현실적으로 불가능하여, 설계 및 시공의 불확실성 인자의 포함은 피할 수 없다. 그러므로, 사면에 발생할 수 있는 돌발 상황 및 사면거동을 지속적/상시적으로 파악하기 위하여 사면의 정기적인 점검 외에도 실시간 모니터링을 통한 상시감지 및 안전진단 시스템의 구축이 필요하다.

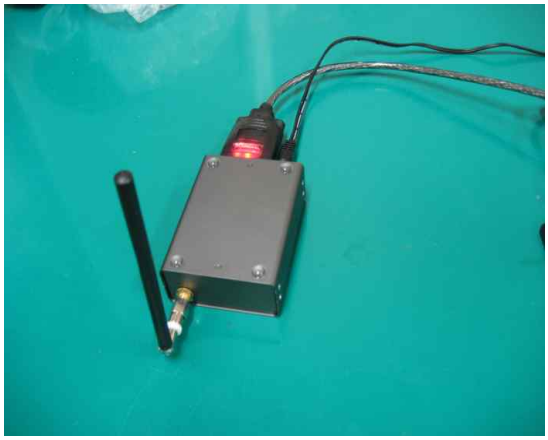
(2) 기술개발 목표

본 연구는 강원지역 산사태 감지에 적합한 센서 타입을 선정하여 장기적인 안정성 및 기능성을 확보하기위해 기존의 범용적으로 사용되고 있는 센서를 개선함으로서 중장기적인 관리를 가능토록 하는 것이다.

기존의 지중 활동 깊이 측정에 사용되던 지중경사계를 대체할 수 있는 저비용, 고효율 센서를 활용하여 시공에도 용이한 지중변곡 감지센서를 개발하는 것을 최종 목표로 한다.

(3) 기술개발 내용

초기 실내 시험용 데이터 로거의 불편함(각각의 센서를 개별적인 기판에 유선으로 연결)을 해소하기 위하여 통합 데이터로거 기판을 사용하여 사용되는 기판의 수를 줄일수 있으며, 기판에 장착되어 있는 무선 모듈방식으로 데이터를 전송하여 데이터로거에 여러 가닥의 연결선이 필요치 않도록 업그레이드시켜 제작 하였다.




<그림 3.20> 최종 데이터로거 및 무선 모뎀

(4) 연구계발 계획의 활용 방안

○ 사면 붕괴 메커니즘 규명을 위한 과학적, 정량적 data base 구축(국도변 도로 계측결과)

○ 사면붕괴에 즉시 대처할 수 있는 실시간 계측시스템의 구현

○ 재래식 계측시스템 및 고가의 외제계측기의 대체효과로 인한 비용절감효과

다. 지진동에 대한 사면안정해석 시뮬레이터 개발

(1) 연구개발 개요

1989년에 발생한 미국 캘리포니아 Loma Prieta 지진으로 인하여 7억불이상의 경제적 피해가 발생되었고 1995년 일본 고베시 인근 효고현남부 지진으로 인하여 5000여명의 사상자와 7조원이상의 경제적 손실이 발생하였다. 한국에서도 다양한 역사문헌을 통해 과거에 지진에 의한 피해가 수차례 있었다는 사실이 밝혀졌다. 또한 20세기 이후에도 지속적으로 발생하는 중소규모의 지진은 한국도 지진 안전지대가 아니라는 사실을 입증하였다. 2005년 3월 20일 일본 후쿠오카 북서쪽 해상에서 발생한 지진은 부산, 경남, 제주는 물론, 광주, 전남에서까지 건물이 흔들리는 진동을 발생 시켰으며, 최근 2007년 1월 강원도에서 발생한 지진은 전국적으로 지반이 흔들리는 진동을 발생시켜 지진의 피해에 대한 우려를 크게 증폭하였다.

지진동에 의하여 다양한 형태의 피해가 발생하며, 이 중 낙석 및 사면붕괴는 전체 피해 중 상당부분을 차지한다. 낙석과 사면붕괴는 인명 및 구조물에 직접적인 피해를 유발할 뿐 아니라 도로, 다리 등의 기능을 상실케 하여 사회시스템을 마비시킬 수 있으며 이로 인한 심각한 인적 및 물적 피해가 발생할 수 있다.

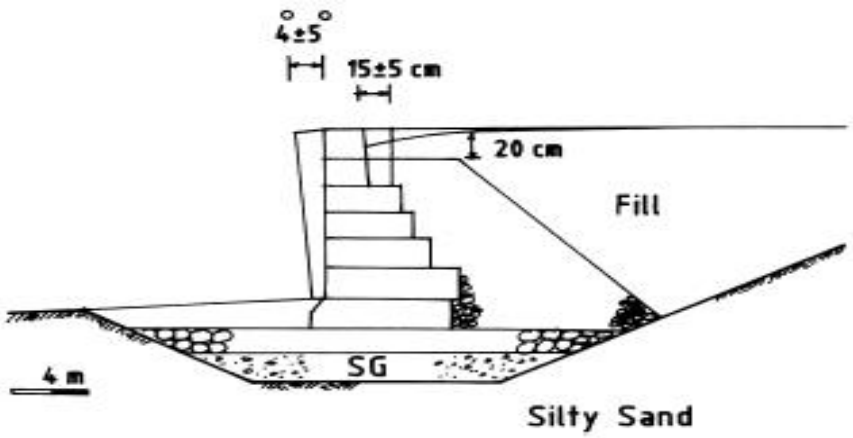
(2) 국내외 기술개발 현황

① 국내외 피해사례

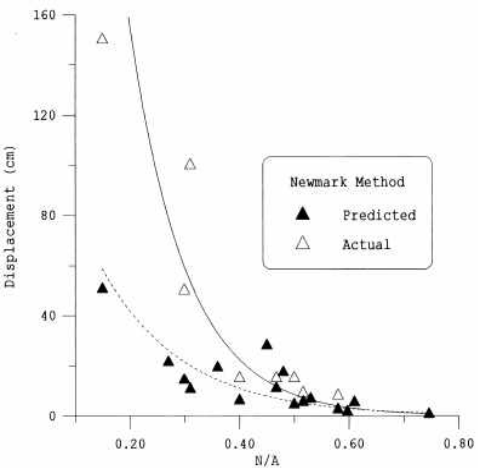
○ 국외 지진사면 피해 분석

국내에서는 지진동에 의한 사면피해가 제한적인 반면 국외에서는 많은 사례가 발생하였다. 기록된 오래된 사례로는 기원전 1789 중국, 기원전 373 그리스 등이 있다. 하지만 200년 이전의 기록들은 내용이 매우 불충분하다. 1783년 이태리에서 발생한 지진 이후 사면피해에 대한 과학적인 기록이 시작되었다. 1930년대 항공사진이 개발되면서부터 사면피해가 더욱 정밀하게 기록되었다. 이 중 매우 중요한 사례는 1957 캘리포니아(Daly City, 규모 = 5.3)에서 발생한 지진에 의하여 유발된 23개의 사면붕괴이며 이는 총 10 km2에 걸쳐서 발생하였다. 1964년 알라스카 지진(규모 = 9.2)에서는 269,000 km2에 이르는 대규모의 사면붕괴가 발생하였다. 페루에서 발생한 규모 7.9의 지진은 아마도 역사상 가장 파괴적인 사면붕괴를 유발하였다. 이로 인하여 발생한 대규모 낙석으로 인하여 18,000 이상의 사망자가 발생하였으며 30,000 km2에 걸쳐서 수천개의 사면붕괴로 이어졌다. 이외에도 수많은 지진동에 의한 사면피해가 발생하였으며 이를 모두 나열하는 것은 불가능하다.

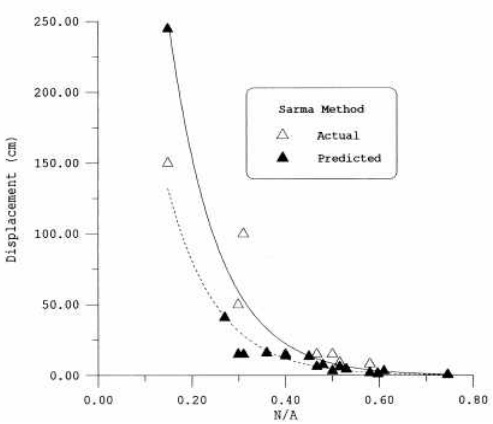
○ 해석사례 분석을 통한 변위 비교 변위해석의 기본원리는 Newmark Sliding Block 법을 기준으로 하여 과거 피해를 통해 경험적으로 식을 도출하였다. 다음은 1986년 9월에 강도 6.2의 그리스 Peloponssus 지역에서 발생한 지진을 통한 변위 예측의 실제 변위와의 비교의 대표적인 사례이다. 이 지진은 칼라마타 도시에 큰 지진 피해를 주었는데 측정된 최대지반가속도(PGA)값은 0.38 (g) 이다.



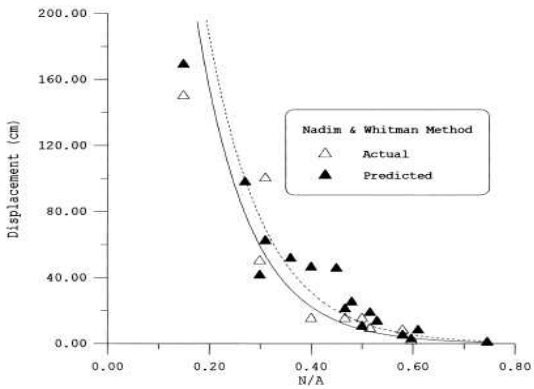
<그림 3.21> Kalamata 도시의 지진으로 인해 quay wall의 파괴패턴의 횡방향도



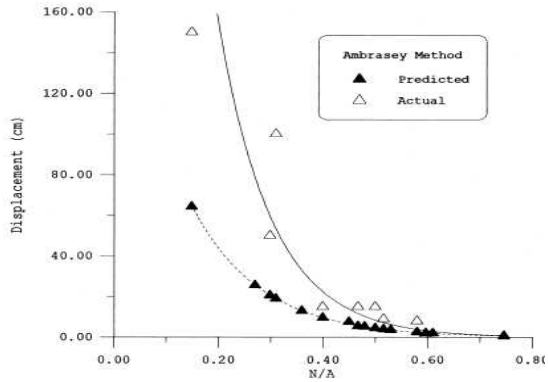
<그림 3.22> Newmark 법



<그림 3.23> Sarma 법



<그림 3.24> Nadim &Whitman 법



<그림 3.25> Ambrasey 법

변위 해석사례의 그림 3.22 부터 그림 3.25 까지 실제변위와 비교된 결과를 분석해보면 Nadim &Whitman 법에 의하여 계산된 결과가 실제 변위량과 95%정도의 일치성을 보이면서 제일 근접한 방법으로 알 수 있다. 하지만 quay wall은 사면과 다르게 적용이 될 수 있다.

② 결론

지진동에 대한 사면의 안정성을 평가를 위해 안전율을 계산하는 방법 본 연구에서는 한계평형해석, 유사정적 유한요소해석법, 그리고 동적해석법 등이 있다. 해석기법간 예측된 안전율의 차이를 규명하고자 다양한 해석사례를 비교·분석하였다. 비교 결과, 해석대상 및 특성에 따라서 예측된 안전율에는 큰 편차가 발생하는 것으로 나타났다. 한계평형법과 유사정적 유한요소해석법은 거의 일치하는 경우도 있으니 최대 50 % 의 차이가 발생한 경우도 조사되었다. 동적해석법과 정적해석법의 차

이에도 일정한 경향이 발견되지 않았다. 안전율은 동적해석의 경우 더욱 크게 예측된 경우가 있는 반면 정적해석의 20 % 이하로 예측된 사례도 조사되었다. 이와 같은 분석 결과, 제한된 해석사례만으로 해석기법의 차이를 규명하는 것은 불가능한 것으로 판단되었다.

지진 사면은 안전율 또는 허용변위 초과여부를 기준으로 설계된다. 지진동에 의한 사면의 변위는 한계평형법으로는 예측할 수 없으며 일반적으로 Newmark 법을 비롯한 다양한 변위예측식이 이용된다. 계측변위와 변위예측식과의 차이는 이를 비교한 사례가 매우 제한적이므로 명확하게 규명하기 어렵다. 따라서, 설계시 다양한 변위 예측식의 분산정도를 고려한 설계가 필요하다고 판단된다.

라. 통합시스템 사면 안정성 검토

(1) 산사태 안정해석 프로그램 개발

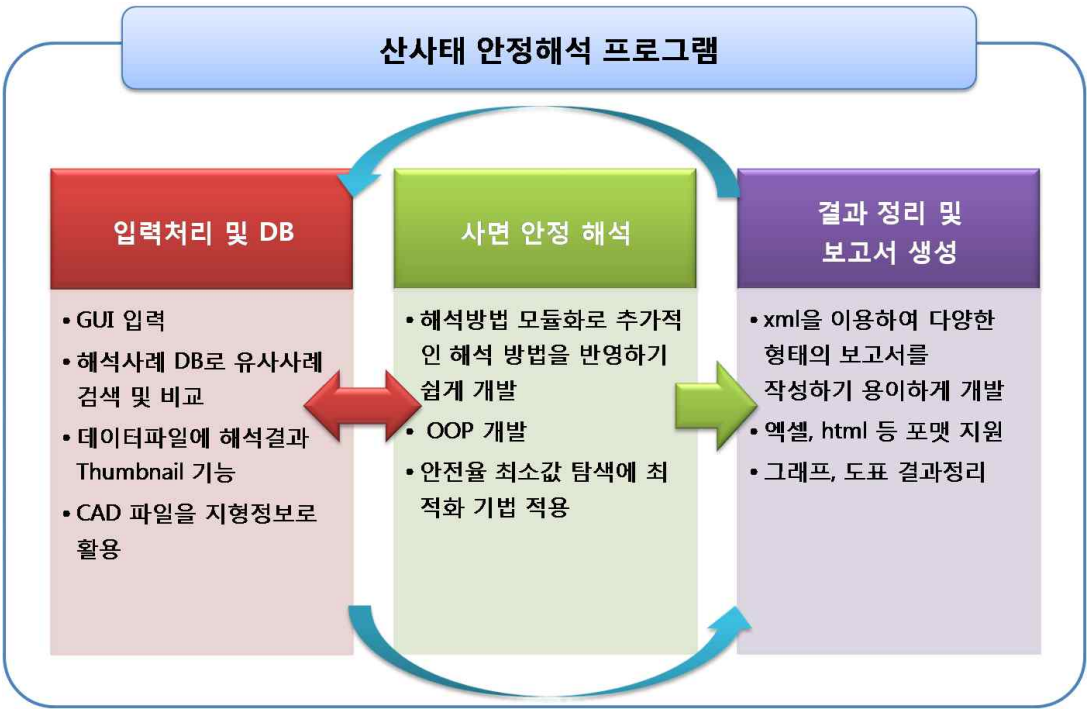
사면안정해석을 위한 수치해석 방법으로 많이 쓰이는 한계평형해석을 바탕으로 산사태 안정해석에 적합한 사면안정해석 프로그램을 개발한다. 기존 사면 해석 프로그램의 조사를 통해 사용성을 높인 사면안정해석 프로그램을 개발한다. 최종적으로 낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발과제 결과물인 사면해석시 수리조건 및 내진해석 연구결과를 반영한 사면안정해석 프로그램을 개발한다.

이를 위해 기존 프로그램들을 분석하여, 간편하고 정확한 각종 물성치 입력방법 및 사면 형상 정의 방법을 갖춘 프로그램을 개발한다. 사면해석에 대한 다른 세부연구 성과물을 본 연구결과물에 반영할 수 있도록 프로그램 구성을 객체지향 프로그래밍 기법을 도입하여 유연하고, 확장성있게 설계하고 개발한다.



<그림 3.26> 단계별 연구목표

연구수행은 프로그램의 입력부분, 계산부분, 결과처리부분으로 나누어 수행되었다. 입력부분은 데이터베이스 설계와 사면해석에 필요한 각종 물성치를 입력하는 부분으로 구성되어 있다. 또한 프로그램을 구성하는 메뉴와 입력창의 텍스트는 리소스로 관리하여, 용어의 교체나 영어나 일본어 같은 외국어로도 교체가 용이하도록 개발하였다. 계산부분은 STABL 소스를 바탕으로 보강재 해석이 가능하도록 수정 보완하여 계산모듈을 개발하였다. 결과처리부분은 계산모듈에 의해 처리된 결과를 다양한 형태의 보고서로 재가공이 가능하도록 결과 데이터 부분과 결과 데이터 처리부분을 분리하여 개발하였다.



<그림 3.27> 산사태 안정해석 프로그램의 기능 및 특징 개요

(2) 산사태 안정 해석 프로그램의 개발 방향

사면 안정 해석 이론과 해석 알고리즘의 조사 및 분석을 통해, 향후 개발할 프로그램의 해석 기능을 설계하였다. 또한 기존에 개발된 프로그램과 현재 많이 사용되고 있는 사면안정 해석 프로그램의 특징을 조사하여 개발할 프로그램의 주요 기능을 결정하고, 각 주요 기능에 따른 세부 기능 및 모듈을 결정, 설계하였다. 향후 프로그램 개발의 전체적인 방향과 주요 기능은 다음과 같다.

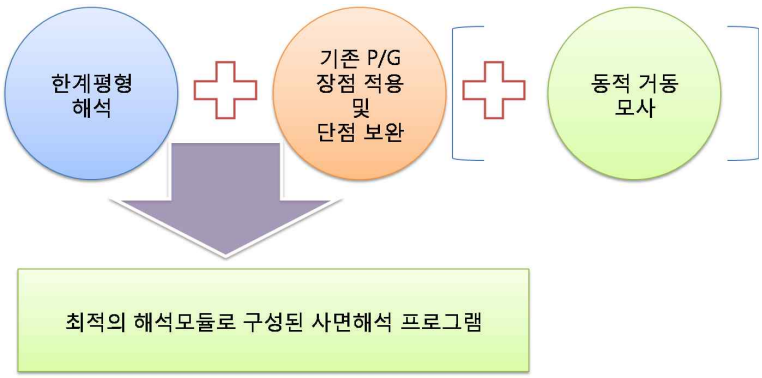
○ 기존 상용 프로그램의 사용 기능 포함

○ 내진설계 기능 연결

○ 물 관련 특성고려 기능 연결

○ 사용자 편의 기능 제공

계산결과를 결과의 종류에 따라 적합한 처리를 거쳐 그래프, 보고서 형식으로 출력하는 기능을 구축한다. 텍스트 형식의 결과물을 윈도우상에 계산 결과 바로 확인할 수 있는 기능을 제공한다. 또한, CAD 등 도면관련 프로그램과의 호환성을 제공한다.



<그림 3.28> 산사태 안정해석 프로그램 개발 방향

(3) 결론

2000년대 중반이후 불연속변형해석 연구분야에서 새롭게 조명되고 있는 3차원 접촉문제에 관한 연구를 종합하고, 점-점 접촉을 내접구(inscribed sphere)를 이용한 접촉으로 치환하여 접촉의 안정성 및 계산속도를 향상시킬 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 특히 내접구를 이용한 점-점 접촉 처리 알고리즘은 현재 국제적으로 그 연구 결과가 보고된바 없는 새로운 알고리즘으로써 국제적으로 선도적인 개발결과라 할 수 있다. 내접구 접촉해석 기법으로 인해 발생하는 장점은 크게 3가지로 정리할 수 있다.

○ 접촉의 안정성을 높일 수 있다.

○ 해석 시간이 단축된다.

○ 접촉계산 효율이 증가한다.

기존의 3차원 불연속변형해석법에 내접구 접촉알고리즘을 적용한 이론 연구를 바탕

으로 3차원 불연속변형해석 프로그램인 SNDD를 개발하였다. C# 언어를 이용하여 개발된 SNDD 프로그램은 다음과 같은 3가지의 모듈로 구성되어 있다.

○ SNDD PROFILE - 전처리 프로그램

○ SNDD ANALYSIS - 메인 해석 엔진

○ SNDD VIEW - 결과 가시화 프로그램

개발된 프로그램을 접촉찾기, 접촉처리기법, 블록내부의 응력분포 등에 관해 검증을 수행하여 본 프로그램의 적용성을 검토하였다. 그 결과 접촉찾기 알고리즘을 통해 접촉의 종류와 개수를 정확히 추적하였으며, 내접구를 이용한 새로운 접촉알고리즘은 계산의 정확성를 유지한 가운데 접촉계산의 효율을 높임을 확인하였다. 또한 석판 쌓기 해석을 통해 블록들 간의 상호작용에 의해 발생하는 응력발생을 살펴본 결과 이론적으로 예측한 수치들과 매우 근접함을 확인했으며, 이를 가상의 절리 암반에 적용하여 조건에 따른 응력분포의 변화를 확인하여 보았다. 끝으로 인공절리 사면을 생성하여 개발된 프로그램을 통해 해석을 수행하여 향후 실제 암반사면에의 적용 가능성을 확인하였다.

마. 통합시스템 증대를 위한 요소 개발

(1) BSC 연구모형 및 자료 분석

낙석 및 산사태 연구단의 성과 및 경제성을 측정하기 위해서 공공프로젝트에 적합한 BSC 연구모형을 다음과 같이 정립하였다. BSC의 기본 관점을 비즈니스 프로세스 관점, 재무적 관점, 수요자 관점, 혁신 및 기술개발 관점으로 구분하고 성과영역을 정책성과와 사업단 성과, 프로젝트 만족도, 프로젝트 목표대비 실적 성과로 구분하였다. 정책 성과의 경우 국가 경쟁력 성과와 산업 경쟁력 성과로 구분하였고, 사업단 성과의 경우 대내적 성과와 대외적 성과, 조직 및 경영 성과로 구분하였다. 특히 사업단의 경우 건설 관련 공공 프로젝트이므로 이와 관련된 성과 측정이 필요할 것으로 판단된다.

재무적 관점의 지표는 영리기업과 공공 및 비영리 부문 모두에 있어 BSC의 중요한 요소이다. 영리 부분에 있어서는 재무지표를 통해 비용을 최소화 하면서 효과적인 방법으로 결과를 달성했는지를 확인할 수 있다.

BSC에서 수요자 관점과 관련된 성과지표를 선택하고자 할 때 두 가지 중요한 질문에 봉착하게 된다. 그것은 우리의 목표고객이 누구이며, 그들에게 우리가 전달해야 하는 가치명제는 무엇인가이다. 대부분의 조직들이 목표고객을 가지고 있다고

하지만 실제로 그들의 전략은 “모든 고객들에게 모든 것을 제공하는 것”으로 나타나고 있다.

본 사업단의 경우에는 수요자 관점은 기술개발로 인해 제품생산이 안된 상태가 대부분이므로 향후 제품의 양산화 이후 시장 판매 관련해서 고려해야 하는 사항이다. 본 사업단의 경우 2009년 현재 5차년도 사업이 마무리 되고 있는 사항이므로 수요자 관점의 경우 추후에 심도있는 요인 및 기준을 설정해야 할 것이다.

BSC의 비즈니스 프로세스의 관점에서는 고객에게 지속적으로 가치를 제공하기 위해서 조직이 남보다 뛰어나야 하는 주요 프로세스를 정의한다. 위에서 언급한 각각의 고객 관련 원칙들은 기업의 가치명제 충족과 고객만족을 위해서 특정 내부 프로세스를 어떻게 효율적으로 운영해야 하는가의 문제를 수반한다. 내부프로세스 관점에서 우리가 해야 할 일은 이러한 프로세스를 규정하고 조직의 상태를 측정할 수 있는 최적의 성과지표를 개발하는 것이다 .

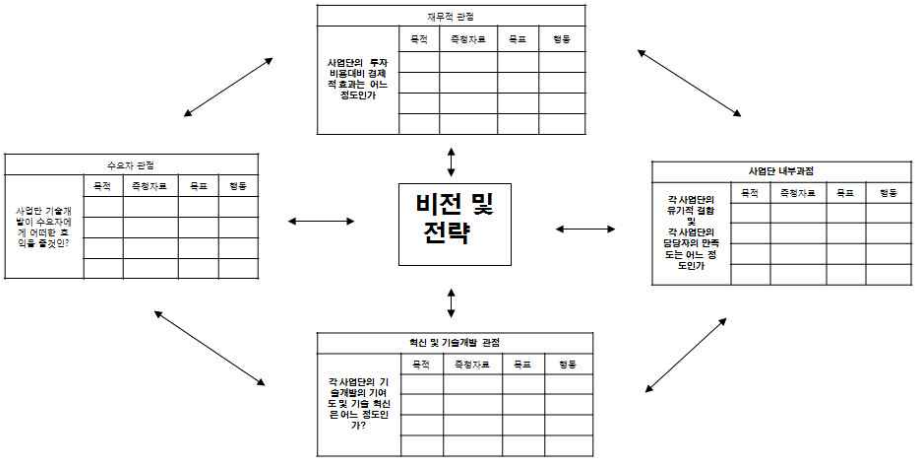
<표 3.6> 사업단 성과를 측정하기 위한 BSC 모형

관점 / 성과영역		관점(Perspectives)			
		비즈니스 프로세스 관점	재무적 관점	수요자관점	혁신 및 기술개발 관점
정책성과	국가 경쟁력성과	정량적 지표	정량적 지표	정량적 지표	정량적 지표
	산업 경재력성과	정량적 지표	정량적 지표	정량적 지표	정량적 지표
사업단성과	대내적 성과	정량적 지표	정량적 지표	정량적 지표	정량적 지표
	대외적 성과				
	조직 및 경영성과				
프로젝트 만족도		정성적 지표	정성적 지표	정성적 지표	정성적 지표
프로젝트 목표대비 실적 성과		정성적 지표	정성적 지표	정성적 지표	정성적 지표

본 연구진이 공공 프로젝트에 적합하게 변형한 BSC 모형을 각 관점 별로 내용을 그림으로 표시하였다. (그림 3.29참조)

재무적 관점은 사업단의 투자 비용 대비 경제적 효과는 어느 정도인가를 목표대

비 성과로 분석 한 것으로 정의할 수 있다.



<그림 3.29> 사업단 성과를 측정하기 위한 BSC 모형

수요자 관점은 사업단 기술개발이 수요자에게 어떠한 효익을 줄 것인가에 대한 분석이 이루어져야 할 것이다.

사업단의 비즈니스 프로세스 관점의 경우 각 사업단의 유기적 결합 및 각 사업단의 담당자의 만족도는 어느 정도인가에 대한 자료를 분석할 것이다.

혁신 및 기술개발 관점으로는 각 사업단의 기술 개발의 기여도 및 기술 혁신은 어느 정도인가에 대한 부분을 정리할 것이다.

(2) 결론

본 보고서가 경제성 및 성과를 평가하고 있는 낙석 및 산사태 방지를 위한 개발 프로젝트는 100억이 투자되는 프로젝트로서 관련 산업의 기술발전과 재해 발생률 감소를 통한 사회 간접비용의 저감 효과, 도로 건설 관련 투자비용, 보수 안전 관리 비용의 저감에 큰 영향을 주게 된다.

변수별 LCC 계산 시에는 물가인상률을 고려한 할인율을 기준으로 하여 비용 추정에 사용하였다. 도로 건설에 따른 LCC 분석에는 크게 초기공사비용, 사용자 비용, 유지관리비용, 해체 폐기 비용으로 구분하였고 이중에서도 초기공사비용과 유지관리비용이 본 프로젝트와 연관관계가 큰 변수로 판단하였다.

가장 관련이 있는 낙성 및 산사태 방지로 인한 피해 추정액의 경우 연구 개발 후 0.3% 만 비용감소를 시킬 수 있다면 이 변수만으로도 6년 이내에 프로젝트 투자

비용 100억의 손익분기점을 넘기게 되면 1%만 피해금액을 감소시킬 수 있다면 2년 이내에 손익 분기점을 넘기게 된다.

낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발 프로젝트는 프로젝트 성격 상 재해 예방과 관련 도로 유지 관리 부분에 큰 영향을 주기 때문에 프로젝트 결과물의 적용가능성, 신 기술개발의 산업화 등에 의해 년 간 경제적 효익의 증가율은 매우 클 것으로 예상 하였다. 이러한 경제적 성과를 기반으로 사업단 내부의 성과를 분석한 결과, 전체적인 사업 계획단계부터 실제 수행단계에 이르기 까지 전체 사업단의 전체적인 내부계획 및 기준에 대해 만족도가 높은 것으로 나타났다.

특히, 각 세부사업의 기술수행 능력의 향상 등은 높은 성과가 있는 것으로 나타났는데, 이는 세부사업 담당자등이 본 사업을 수행하면서 각 분야의 기술 향상에 대한 경험을 했던 것을 알 수 있다. 또한 자연재해를 줄이고 경제성이 높다고 여겨지는 과제 개발로 통합사면관리기술과 현장 실무자용 암반 사면 위험도 평가기법의 개발, 사면 안정성 증대기술의 개발, 디지털 영상을 이용한 암반 사면 절리 구조 맵핑기법 및 장비개발, 포켓식 낙석 방지망 국산화 기술개발 등이 평균 이상의 값을 가진 것으로 나타났다. 그러나 사업단의 경제적 증감분석을 한 결과, 매출액 증감정도는 설문응답에 응한 표본의 수가 매우 적기 때문에 경제성과 관련된 정량평가는 추후에 다시 보완이 이루어 져야 할 것이다.

바. 과제 위기관리 분석 및 비즈니스 지속계획

(1) 연구 개요

연구단의 '낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발' 과제는 기후변화로 야기되는 환경변화에 대응과 삶의 질을 추구하는 분위기 확산에 대응하고, 선진국들의 녹색기술을 이용한 녹색성장을 통한 국민들의 aminity 추구와 성장동력으로 활용하기 위하여 국력을 집중하는 조류에 대응하며, '녹색경쟁의 시대'를 맞이하여 세계적 조류에 합류하여 선진국가로의 진입의 토대를 구축하고, 기후변화에 대응, 녹색성장의 토대 하에서 우리의 삶의 질 향상을 위한 재난방재시스템의 지속적 구축의 필요성을 검토하고자 한다.

(2) 최종 목표

최근의 공학기술 발전으로 기술발전 속도는 매우 빠르게 진행되고 있으므로, 연구단에서 개발된 기술들은 주변의 기술발전에 따라 다양한 요구를 수용할 수 있도

록 유기적으로 대처하고 혹은 발전해야 하며, 개발된 관리시스템의 운영, 개발된 측정기술 및 보강기술의 활성화, 추적관리 및 개선, 개발된 해석프로그램의 상용화 등은 개발된 이후의 지속적인 투자관리가 필요한 실정임. 또한 많은 정부예산을 들여 개발된 최첨단의 기술들이 단기간만 빛을 발하고 사장되지 않기 위해서는 적절한 투자와 관리가 필요하다.

따라서 세계적 관심 사항인 산사태 관련 방지기술개발의 흐름에 적응하기 위한 '낙석 및 산사태 방재연구단'의 「낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발」 연구의 지속성과 확대 가능성을 검토하고, 이러한 기술이 녹색기술로서 지구적 관심사항인 기후변화에 어떻게 대응할 것이며, 국가경쟁력 제고를 위한 녹색성장의 토대 역할을 할 수 있는지는 검토하고자 한다.

본 과제는 주요목표는 다음과 같다.

○ 녹색기술로서의 낙석 및 산사태 방지기술 적용 가능성 검토

○ 낙석 및 산사태 방지기술의 기후변화 대응위한 역할 검토

○ 낙석 및 산사태 방지기술의 녹색성장에서의 역할 검토

○ 개발된 방지기술에 대한 지속적 연구와 확대 필요성 검토

(3) 전지구적 관심분야와 관련 법률

① 전지구적 관심분야

산사태 방지기술 분야는 세계적으로 관심있는 연구분야로써 제1차 세계 산사태 포럼이 2008년에 이미 개최되었고, 제2차 세계 산사태 포럼이 2011년에 개최될 예정에 있다.

○ The First World Landslide Forum(2008. 11. 18-21, Tokyo Japan)

○ The Second World Landslide Forum(2011. 9. 19-25, Rome Italy) 개최 예정

② 산사태 관련 법률

㉮ 국내

○ 사방사업법 : 1994.12 . 국토황폐화 방지, 보전

○ 시설물의 안전관리에 관한 특별법 : 시설물의 안전 점검과 적절한 유지관리를 위한 법, 높이 50m, 길이 200m이상 2종시설물로 관리

○ 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 : 국토개발의 계획 수립

○ 산지관리법 : 산지 보전과 이용, 입업의 발전을 위한 법

○ 자연재해 대책법 : 자연재해로부터 국토와 국민의 생명 보전

○ 재난 및 안전관리 기본법 : 재난으로부터 국민의 생명과 재산 보호

㈏ 국외

○ 일본: 산사태방지법(1958)

○ 급경사지의 붕괴로 인한 재해방지법(1969)

○ 홍콩: Geotechnical Engineering Office (GEO)

○ 미국: Title 42 The public health and welfare

○ 대만: 1999-2007년 재해경감을 위한 국가과학기술 프로그램 운영

○ 캐나다 : 캐나다 지질조사연구소(GSC)중심으로 국가지질재해 프로그램

(4) 세부과제별 위기분석

추가적인 후속 분석을 위해 위기의 발생확률 및 영향을 평가하고 결합하여 위기의 우선순위를 정하고, 필요시 정량적으로 식별된 위기의 전체 수행과제의 목표에 대한 영향을 수치로 분석하는 과정을 위기분석이라 하며, 위기분석은 위기에 대한 확률결정, 위기의 과제에 대한 영향 결정, 그리고 위기확률X위기영향 값에 의한 위기수준결정의 과정으로 이루어진다.

<표 3.7> 위기 확률 결정

위기 확률 결정		
위기 등급	**설명어**	**위기 사상의 확률**
5	거의 확실	60~99%
4	확실	40~59%
3	가능함	20~39%
2	거의 없는	10~19%
1	아주 드믄	1~9%

위기 영향 결정	
매우 높음	5
높음	4
보통	3
낮음	2
매우 낮음	1

여기서는 위기영향을 5개의 요인으로 구분하여 이들 위기요인의 합으로 위기영향을 결정한다.

<표 3.8> 위기 영향

위기 영향	
요인	**점수**
General impact(GI)	1
Timeliness(T)	1
Sustainable necessity(SN)	1
Enlargement necessity(EN)	1
Export possibility(EP)	1

○ General impact: 낙석 및 산사태 방지기술에 미치는 전체의 영향 정도

○ Timeliness: 과제 연구의 시기적절성 정도

○ Sustainable necessity: 과제 유지의 필요성 정도

○ Enlargement necessity: 과제 확대의 필요성 정도

○ Export possibility: 수출가능성 정도

<표 3.9> 위기수준 결정

확률X영향					
확률					
5	5	10	15	20	25
4	4	8	12	16	20
3	3	6	9	12	15
2	2	4	6	8	10
1	1	2	3	4	5
	1	2	3	4	5
	영향				

점수	위기
1-6	저
7-14	중
15-25	고

(5) 결론 및 제언

① 결론

(가) 「낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발」연구의 배경

○ 기후변화로 야기되는 환경변화에 대응과 삶의 질을 추구하는 분위기 확산

○ 선진국들은 녹색기술을 이용한 녹색성장을 통한 국민들의 aminity 추구와 성장동력으로 활용하기 위하여 국력 집중

○ '녹색경쟁의 시대'를 맞이하여 세계적 조류에 합류하여 선진국가로의 진입

○ 기후변화에 대응, 녹색성장의 토대하에서 우리의 삶의 질 향상을 위한 재난방재시스템의 지속적 구축의 필요성 제기

(나)「낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발」연구의 성과

'낙석 및 산사태 방재연구단'의「낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발」연구는 국토해양부에서 지역기술혁신개발 과제로 진행되어온 과제이며, 연구내용은 개발된 첨단관리기법을 적용함으로써 낙석 혹은 산사태의 붕괴가능성을 감소시키는 관리기술과 직접적으로 비탈면의 안정성을 증대시키기 위한 요소기술의 개발로 나눌 수 있고, 개발된 기술들은 정보수집방법, 해석방법, 측정방법 및 관리방법 등으로 구분할 수 있다.

낙석 및 산사태에 관한 유지관리분야 기술, 광역적 조사관리 기술, 그리고 요소기술을 통합시킨 방지기술 토대 구축하고 이를 토대로 낙석 및 산사태에 관한 과학적·예방적·통합적 방재 시스템구축 한다.

재해감소에 의해 인명과 재산 보호, 산림보호, 그리고 사회인프라 보호 가능 하다.

○ 녹색기술 확보와 관련기술 수출 가능성

○ 기후변화에 대응함으로서 국제협약에 대응 및 국토보전

○ 녹색성장의 토대 구축

○ 국민의 삶의 질 제고

○ 국가경쟁력 증대

○ 국가위상 제고

사. 쏘일네일링 공법

(1) 쏘일네일링 개요

보강재를 이용하여 사면을 보강하는 방법 중 쏘일네일링 공법은 사면보강 분야뿐만 아니라 지반굴착분야 등에서도 널리 사용하고 있는 방법이다. 록볼팅과 다단계 앵커 시스템에서 유래된 쏘일 네일링 공법은 굴착된 지역 내에 인장력과 전단력, 휨모멘트에 작용하는 네일을 설치함으로써 토체를 안정화시키는 공법이다. 쏘일네일링은 특히 지반굴착의 경우, 일반적인 버팀보 굴착공법에 비해 공사비가 저렴하고 경량의 시공장비를 사용하며 현장 및 지반조건에 대한 유연성이 큰 장점이 있

으며 동적하중의 경우에도 과다한 변위 발생 없이 저항능력을 충분히 발휘하는 공법으로 알려져있다.

최근에는 지반 천공 후 네일을 설치하면서 그라우팅으로 충진 할 때에 중력작용으로 그라우트를 채우는 중력식 쏘일네일링 뿐만 아니라, 그라우팅 두부에 패커를 설치하여 압력 그라우팅을 실시하는 압력식 쏘일네일링이 널리 사용되고 있다. 압력식 그라우팅을 실시하기 위한 패커시스템의 특허 및 신기술. 신공법이 관련업체를 중심으로 개발 되어왔다. 또한 수동저항체인 개념의 쏘일네일링의 특성 때문에 발생하는 변위를 제어하기 위해, 프리텐션을 적용한 프리텐션 쏘일네일링공법이 개발되어 사면안정과 지하굴착시의 가시설 또는 영구벽체등에 적용되고 있으며, 용지점유에 대한 문제를 해결하기 위하여 제거식 쏘일네일링 공법이 개발되어 있다. 쏘일네일링 공법은 적용의 편리성 및 다양성 때문에, 국내에서 사면안정 및 건축물의 가시설 벽체에 널리 적용되고 있으며 관련 특허 및 신기술 신공법이 계속하여 개발되고 있다.

(2) 쏘일네일링 시공법

쏘일네일공법의 시공은 지반조건, 시공방법, 장비 및 굴착 순서에 따라 상당히 차이가 있지만 시공단계별로 일반적인 시공 순서를 열거하면 아래와 같다. 아래에서 단계3의 네일의 설치와 단계4의 숏크리트 타설의 순서는 바뀔 수 있다.

단계1. 단계 굴착

단계2. 천공

단계3. 네일의 설치

단계4. 지오드래인 설치, 숏크리트 타설, 지압판 볼트 설치

단계5. 마지막 단계까지 위의 과정 반복

단계6. 옹벽설치

(3) 쏘일네일링 조사 및 시험

① 지반조사

지질 주상도는 쏘일네일 벽채의 면적이 약 200~600m²마다, 벽체 깊이보다 적어도 2m 정도 깊은 지점까지 작성하며 복잡하게 변화하는 장소에선 공사규모나 중요도에 따라 벽체 배면방향으로 벽체 높이의 1.5~3배 지점까지의 지질주상도를 작성한다. 지하수위계를 설치 지하수위의 경사 변화를 주의 깊게 관측하고 지질 주상도에는 지하수위를 반드시 기재하며 현장투수시험을 통해 지층별 투수계수를 도출하

기 위해, 굴착벽면을 따른 유수의 유출량을 추정한다. 보링, 샘플링 방법은 표준 시방서에 따라 실시하고 공내 재하시험이나 콘관입시험 기타 동적 관입시험이나 콘관입시험 기타 동적 관입시험등을 병행해도 무방하며 동적 관입시험 결과는 네일의 시공방법을 결정하는데 중요한 자료로 이용된다.

② 실내시험 및 현장시험

쏘일네일링 설계를 위해서 기본적으로 실시해야할 토질시험은, 토질분류(체분석, 200번체 통과량, 자연함수비, 애터버그 한계, 유기물함량 등), 토질의 강도정수의 결정 및 공내 재하시험결과 등을 실시한다. 시험결과로 해당지반이 쏘일네일링에 적합한 지반인지를 판단하고 쏘일과 네일의 극한주면 마찰저항력 산정에 사용한다.

③ 네일시험

네일에 대한 시험의 가장 중요한 목적은 주면만찰력(qs)의 결정이다. 주면마찰력 측정시에는 반드시 네일-지반 사이의 상대 변위량도 함께 측정해야 한다. 또한 천공방법과 그라우팅방법에 대한 적절성이 시공전 또는 시공중에 검증되어야 한다. 만약 설계조건과 달리 지반조건이나 네일의 시공방법이 달라진다면, 쏘일네일에 영향을 미치는 만큼 추가적인 시험과 검토가 필요하다. 아랫단의 굴착이나 네일 삽입전에 상부 네일의 시험이 완료되어야 한다. 만약 매우 긴 사면이라면 기술자의 판단에 따라서 시험이 상부네일에 대한 모든시험이 완료되지 않아도 된다. 시험결과가 설계하중에 미치지 못할때는 네일의 삽입방법이나 시공방법을 바꿔야 한다.

제 2 절 현장조사용 Proto-Type장비 개발

1. 연구개발의 목적 및 필요성

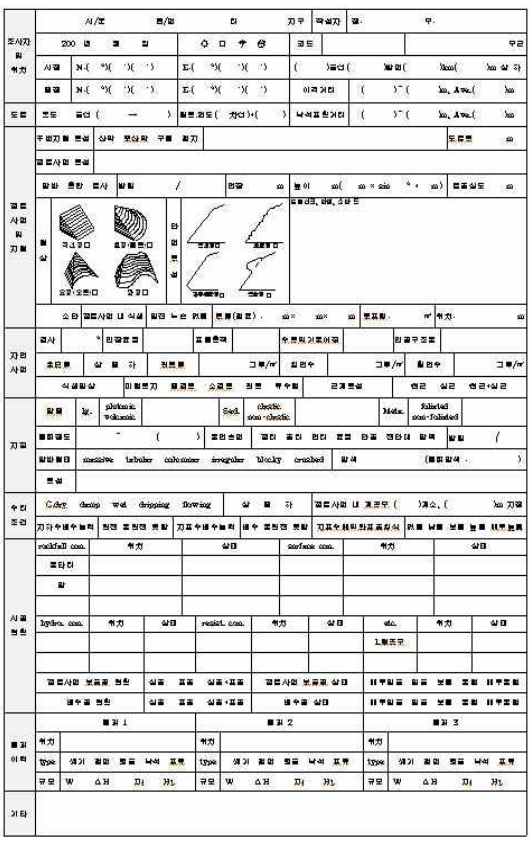
낙석 및 산사태는 일차적으로 귀중한 인명피해를 일으키고 이차적으로는 도로 및 농작물 파손 등의 재산피해와 같이 사회적으로 큰 경제적 손실을 야기하며, 특히 집중강우에 의해 발생하는 붕괴 또는 토지 유출은 매년 큰 피해를 발생시키고 있으며 사회문제로까지 대두되고 있다.

강원권 지역에는 매우 많은 산지가 분포하고 있어서 각종 건설공사로 인한 많은 비탈면이 발생하고 있으나 유지관리와 전문인력이 매우 부족한 실정이기 때문에 낙석 및 산사태 방지기술 분야에 유비쿼터스 시스템 기술을 적극적으로 접목하여 국

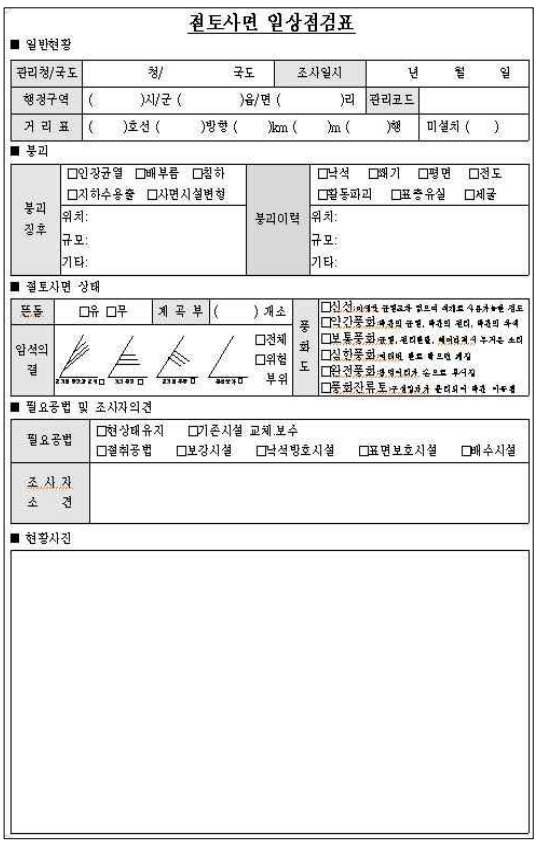
가 기술경쟁력을 향상시키고 이를 통한 국가차원의 유지관리 예산을 절감하기 위하여 현장 정보관리 기능을 디지털화 하고 위치추적을 통하여 중앙관리센터 내에서 즉각적으로 반응할 수 있도록 정보의 중앙집중 체계를 구축할 필요가 있으며, 이를 본 연구의 최종목표로 설정하였다.

2. 절토사면 유지관리 점검주기 산정기법 개발

국내 절토사면 유지관리 업무를 수행중인 대표적인 기관인 한국건설기술연구원, 한국시설안전기술공단, 한국도로공사 등의 현장조사 기법에 대하여 자료를 수집하였다. 다음은 기관이 사용하고 있는 절토사면 조사양식에 관한 자료를 수집한 것이다. 각 기관은 절토사면을 조사함에 있어서 조사 목적에 맞는 각각의 조사양식을 마련하여 업무를 수행하고 있다. 각 기관별로 사용하고 있는 조사시트를 이용하여 절토사면 조사 목적 및 유형별 조사 항목을 분석하고자 한다. 또한 그 결과를 활용하여 본 연구에 필요한 비전문가용 절토사면 조사항목을 최종 결정하고자 한다.



<그림 3.30> 한국건설기술연구원의
절토사면 정밀조사 양식



<그림 3.31> 한국시설안전기술공단의
절토사면 일상점검 조사 양식

절토사면의 적합한 현장 조사기법을 확립하는 과정에서 현장 적용성 문제를 해결하기 위하여 도로 유형별, 암종별, 지역별 특성에 부합되는 대표적인 현장 선정이 요구된다. 일반국도, 고속국도, 지방도로 구분하여 각각 3개소의 대표현장을 1차년도 과업 중 선정하였으며, 선정한 대표구간을 중심으로 2차년도 과업 기간 중 추가 현장 확인 작업을 통하여 최종적으로 대표현장을 결정하였다.

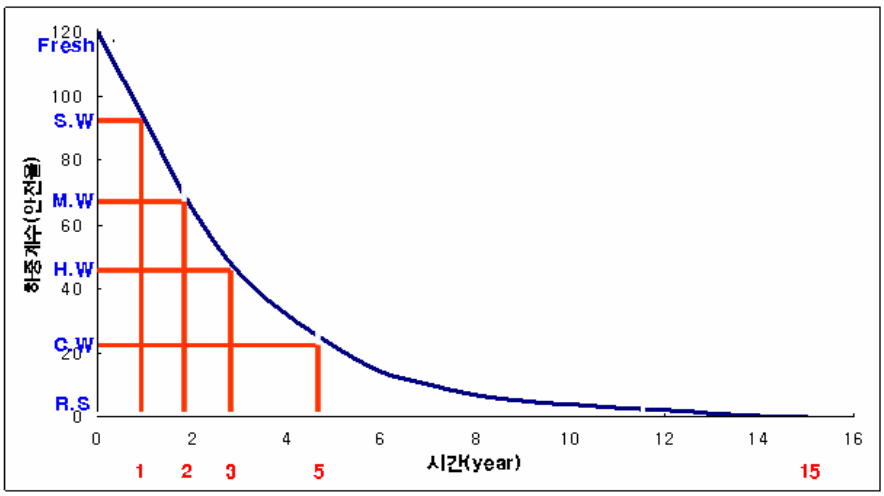
수량화방법(Quantification method)이란 질적인 외적기준(external criterion, outside variable)이나 질적인 설명변수의 각 범주에 적절한(최적의) 수량(Quantity)을 부여하는 것으로서, 수량화에 의하여 질적(범주형) 변수를 양적(연속형) 변수로 바꾼 것이다. 수량화 과정을 사면상태평가 자료에 적용하여 일반관측 항목과 전문관측 항목의 변수 중 각각 중요변수를 결정하기 위하여 수량화 분석이 실시하였다. 이는 등급분류에 중요한 영향을 미치는 변수를 일반관측 항목 17개 변수와 전문관측 항목 21개 변수 중에서 표층유실, 토사붕괴, 암반붕괴, 낙석의 연속형 변수를 제외한 17개 변수와 일반관측항목의 17개 변수를 포함한 34개의 항목에 대하여 각각 5개씩 선정하기 위해 시행되었다. 수량화분석 결과와 전문가의 견해를 바탕으로 중요변수를 결정하기로 한다.

사면 유지관리 점검주기 산정기법의 개발은 유지관리 대상 절토사면의 통상적인 점검에 해당하는 일상점검, 정기점검, 정밀점검, 정밀안전진단 등의 대상이 되는 사면현장이 무엇인지를 결정하여 각 사면 마다 점검주기를 결정할 수 있는 점수를 부여하는 것이 목적이다. 사면 점검주기 산정기법을 개발하기 위하여 우선 현황자료에 대한 상태평가 결과에 시간개념을 부여하였다. 시간개념이라 함은 사면의 상태가 시간이 변화함에 따라서 불안정한 상황으로 바뀌는 평가항목을 결정하여 그에 따른 가중치를 추가로 부여하는 것이다. 본 연구에서는 전문가적 판단에 의하여 풍화도가 가장 영향이 높은 것으로 결정하였다. 기존 연구결과 자료를 인용하여 시간에 따른 암반의 풍화도 변화 함수를 분석하고 전문가의 경험적 판단으로 최종적인 가중치를 부여하였다. 풍화도 보정값은 각각 Fresh(0점), SW(-1점), MW(-2점), HW(-3점), CW(-5점), RS(-15점)으로 결정하였다. 또한 조사시점의 최신 사면 상태를 반영하기 위하여 점검결과 상태가 변화되는 3가지 항목, 즉 풍화도, 붕괴이력, 누수위치 항목에 대해서는 재조사된 결과를 반영하는 것으로 하였다. 최종적으로 비탈면 유지관리지침을 반영하여 유지관리자용 절토사면 점검주기 배점표를 개발하였으며 아래의 그림은 배점결과에 대한 개념을 도표로 모식화한 것이다.



<그림 3.32> 절토사면 점검주기 배점결과 도표

절토사면 유지관리 점검주기를 산정하기 위하여 시간개념을 부여하는 데 있어서 앞서 설명한바와 같이 시간에 따른 암반의 안전율 변화 함수 그래프를 분석하였다. 시간 변화에 따른 안전율 변화곡선으로 1999년 백용에 의하여 연구된 박사학위 논문에 나오는 하중계수(안전율)-시간 곡선의 그래프를 인용하였다. 안전율 변화와 풍화도 변화는 비례하는 것으로 가정하고 경과 시간을 평가 시 보정값으로 배점화하였다. 상태평가 결과에 풍화도 항목에 따른 보정값을 적용하여 점검주기 산정용 배점을 계산한다.



<그림 3.33> 시간에 따른 암반의 안전율 변화 함수 그래프 분석

점검주기 산정에 있어서 반복적으로 수행되는 점검에 의한 결과를 반영하였다.

상태평가 항목 중 시간 경과에 따라서 속성이 변화하는 항목으로 풍화도, 누수위치, 붕괴이력 등 3개 항목을 결정하였다. 점검 시 이상의 3개 항목을 강제로 재조사하도록 하기 위하여 PDA 조사장비용 프로그램에 항목을 추가하였다. 최신 조사 결과를 반영하여 상태평가 계산을 재실행하고 상태평가 결과 및 점검주기 배점 결과를 최종적으로 도출하도록 프로그래밍 하였다.

3. PDA를 이용한 디지털 사면 조사장비 개발

본 연구는 IT기술을 접목한 첨단기법을 이용하여 현장 절토사면 조사의 효율성을 극대화하는 조사 및 자료 정보화 기술 개발에 해당한다. 현재 사면조사는 조사자의 정성적인 판단으로 취득된 자료를 수기 입력하고, 특징적인 현상을 사진 촬영으로 자료화 하고 있다. 또한 이러한 자료는 실내에서 추가적으로 전산화 작업을 수행하여 데이터베이스화된다. 이렇게 취합된 자료는 전문가 기관에 의해서 재평가하고 위험성을 판단하여 상위기관에 보고되는 등의 일련의 과정을 거치게 된다. 또한 최근 신설되는 절토사면은 그 규모가 대형화되고 표면보호공의 적용이 높아지고 있어서 기존의 조사기법으로는 자료의 취득이 어려운 상황이다. 이러한 현행 사면 조사기법은 전문가에 의해서 수행될 경우와 비전문가가 수행할 경우에 있어서 취득된 자료의 신뢰도의 차이가 있다. 조사항목의 체계적인 정립이 이루어지지 않은 상황에서 비전문가에 의해서 취득된 자료는 앞에서 언급한 유지관리 등급 구분의 기초자료로 활용시 정확도가 떨어질 수 있으며, 데이터의 기입 방법의 차이로 인하여 전혀 활용이 어려운 경우도 있다. 따라서 전문가는 물론이고 비전문가에 의해서 수집되는 현장자료의 신뢰도 및 활용도를 일정수준 이상으로 확보하기 위하여 정량화된 조사기법의 마련이 필수적이다. 아울러 복잡하고 비효율적인 조사 및 평가 체계를 혁신적으로 개선하기 위하여 무선통신, 디지털 영상 등 첨단기법을 접목하여 사면을 조사하고 평가하는 기술 및 장비의 개발이 요구되는 실정이다.

사면 조사 시 대상 사면을 정확히 인식하기 위한 방안 검토, 바코드 인식 방식, RFID 인식 방식, 내비게이션 위치정보 확인 방식 등에 대한 검토를 수행하였으며, 총괄연구단의 내비게이션 위치정보 학인 기능 개발 단계에 맞추어 재검토를 수행하기로 계획하였다.

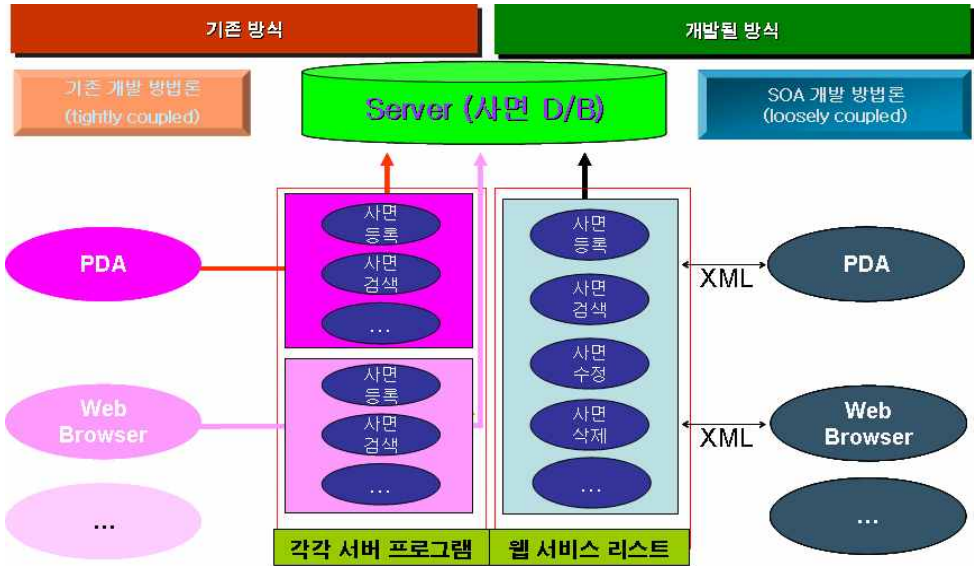
최종단계인 5차년도에는 절토사면의 현장조사 시 자료수집 및 정보화를 간편하고 효

율적으로 수행할 수 있도록 무선통신 기반의 PDA를 이용한 첨단 사면조사 장비를 개발하여 현장에서 취득된 자료를 통제센터 시스템에 자동으로 데이터베이스화하고 현장에서 입력된 자료의 열람이 가능한 소프트웨어 개발 연구를 수행하였다. 한국건설기술연구원(이하 건기연)이 개발한 현황조사 프로그램의 기능을 개선하고 한국지질자원연구원(이하 지자연)에서 개발한 암반평가 프로그램과 통합된 프로그램을 개발하고, 데이터베이스와 연동되도록 개발한다.

주요 연구내용으로는 건기연에서 기 개발한 절토사면 현황조사 프로그램의 기능을 개선하고, 신규 PDA에서 구동 가능하도록 지자연에서 개발한 암반평가 프로그램 KSMR의 버전을 업그레이드 하는 것이다. 건기연에서 개발한 현황조사 프로그램과 지자연에서 개발한 암반평가 프로그램을 통합하고, 이에 대응하는 통합 데이터베이스 시스템의 사면조사 영역 DB field 구성을 수정하였다. 마지막으로 PDA-데이터베이스-웹 프로그램이 상호 원활하게 연동하도록 환경을 구축하였다.

웹기반 사면 정보공유시스템 접근방법은 대부분 point-to-point 방식으로 tightly-coupled 접근 방식이다. 그러나 본 연구 개발에서 사용한 접근 방식은 Web Service 방식으로 loosely-coupled 접근 방식이다. 기존에 주로 사용하였던 point-to-point 개발 방식은 Client 종류에 따라 별도의 서버 프로그램이 중복적으로 개발되어야 한다. 이러한 단점으로 인하여 개발기간이 오래 걸리고, 개발비용이 고가이며, 소프트웨어의 재활용이 현실적으로 불가능하다. 따라서 최근에는 Web Service 방식으로 대체되고 있는 추세이다. 웹서비스가 일반화되면 PC/PDA 별로 필요한 소프트웨어를 구매, 설치할 필요 없이 언제 어디서나 인터넷을 통하여 어떤 장비에서도 일관된 내용의 웹서비스를 받을 수 있게 된다. 필요한 경우 여러 서버에서 서비스 제공이 가능하다. 미래 조직의 전산실은 고객을 위한 거대한 웹 서비스의 제공처 역할을 담당하게 될 것이다.

기존의 방식과 비교하여 Web Service 방식의 장점은 사용자 중심의 서비스 개념이고, 타 시스템과 통합할 때에도 사용자가 중심이 되어 통합이 이루어진다. 또한 사용자의 요구에 실시간으로 시스템을 변경할 수 있는 유연성과 용이성이 있고, 프레임 구성이 사용자와 시스템 간에 양방향으로 소통되기 때문에 사용자들이 쉽게 가공하고 변형이 가능하다. 아래의 그림은 웹서비스 방식 시스템을 기존 방식과 비교하여 정리한 것이다.



<그림 3.34> 기존 방식과 Web Service 개발 방식의 시스템 개념 비교

PDA-W데-DB 연동 통합시스템은 1차로 구축 완료된 건기연의 사면정보 DB관리 시스템을 기본 토대로 하여 시스템을 확장하는 방식으로 통합시스템을 구축하는 것으로 진행하였다. 기 구축된 건기연 DBMS 백업본을 연구단에 제공하여 각 기관별 개발환경을 통일화하였다. 또한 건기연 및 지자연의 DB 시스템 통합을 건기연에서 주도적으로 추진하였다. 사면 ID 부여와 관련하여 연구단이 방안을 결정하고 이후에 건기연 DB 시스템을 수정하였다.

스마트폰 환경의 사면조사 프로그램 개발도 이루어지고 있다. 최근 이동전화 시장은 급속도의 발전을 거듭하여 스마트폰은 언제 어디서나 인터넷에 접속할 수 있고 기존의 PDA 기종과 비교하여 네트워크 연결 환경도 매우 우수하여 많은 양의 데이터를 취급하더라도 프로그램의 구동이나 속도에 구애를 크게 받지 않는 장점이 있다. 본 연구가 처음으로 시작한 2005년에는 이동형 통신기기 중 가장 활용도가 높은 장치가 PDA이었지만 현재로써는 스마트폰이 사용 목적에 따라서 훨씬 우수한 성능을 제공한다. 이에 본 연구과제의 목표에는 스마트폰을 이용한 사면조사 프로그램 개발에 대한 가능성을 검토하였다. 낙석 및 산사태 방재 연구단 통합관리시스템 웹페이지 전체를 스마트폰 환경으로 구축하는 것은 고용량의 GIS Map 구현이 불가능하여 현실적으로 추진이 곤란하다. 이에 본 연구에서는 비용 대비 활용도가 높은 스마트폰 전용으로 사면조사 웹페이지를 개발하는 연구를 추진하였다.

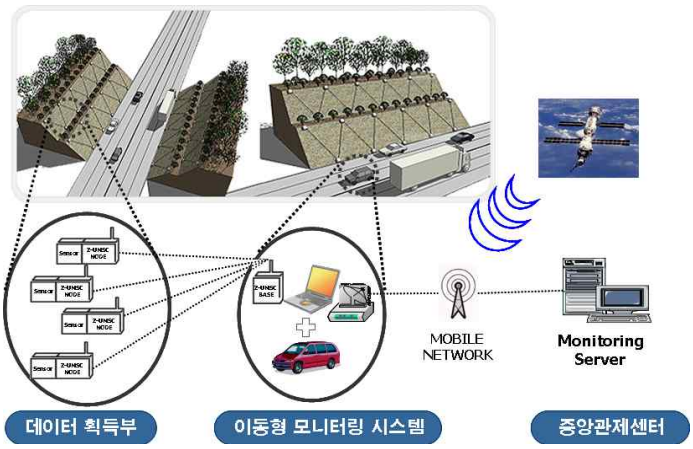
제 3 절 차세대 현장정보 수집차량 개발

1. 이동형 모니터링 장비

가. 세부장치별 개발모델의 요구사항 분석

(1) 이동형 모니터링 시스템

본 연구에서 개발하고자 하는 현장정보 수집차량의 기본 모델을 그림 3.35과 같이 설정하였다.



<그림 3.35> 현장정보 수집차량의 기본 모델

센터에서는 이동 중인 차량으로 조치사항을 전달할 수 있도록 양방향 통신이 가능하도록 한다. 뿐만 아니라 정보수집차량의 원활한 운영을 위하여 차량의 위치나 이동방향, 주행일정 등을 실시간으로 파악 가능하도록 하여 센터에서의 운영자와 차량운행자 모두의 편의를 도모하고자 한다.

① 데이터 획득부

이동형 모니터링시스템이란 현장정보 수집차량을 의미하는 것으로 사면부에 설치된 데이터획득부로부터 데이터를 전송받아 Operating program에 의해 분석한 후, 관리기준치의 허용범위를 초과한 이상데이터 발생 시 중앙관제센터로 전송하는 체계를 이루어야 한다. 사면정보를 수집하는 데이터로거는 추후 추가적인 센서 적용에 대비하여 다양한 형식의 다른 계측센서에서도 동일하게 작동 가능하며 센서 네트워크 모듈과의 통신을 위한 충분한 인터페이스가 지원 가능해야 한다.

또한 제어를 위한 Application program은 Microsoft Window 운영체제를 기반으로 제작하며 센서로부터 수신된 센싱데이터는 시간과 함께 자동으로 저장하고 분류하여 Microsoft Excel program에서 데이터를 쉽게 불러올 수 있으며 저장된 데이터는 그래프모드로 모니터링이 가능하여야 한다. 또한 이동형 모니터링시스템에서 사면에 설치된 센서의 상태를 파악할 수 있어야 하며 센싱주기를 조정·변경할 수 있어야 한다.

② 모니터링 프로그램

광역적 지역에 분포되어 있는 사면들을 점검하기 위한 정보수집차량은 많은 구간을 대상으로 자료를 수집하기 위하여 장시간 운행이 불가피하기 때문에 운영자가 장거리를 이동하더라도 불편함이 없도록 충분한 공간이 확보될 수 있는 차량이어야 한다. 또한 차량의 용도 및 점검 중임을 알리는 전광판이 차량외부에 장착되며 이 외에 제어를 위한 시스템은 차량의 진동, 온도와 습도에 대한 내구성이 갖추어져야 하고 차량에 부착되는 모든 물품은 고정되어 차량의 진동으로부터 영향을 최소한으로 해야 한다.

③ 중앙관제센터

중앙관제센터란 관리자가 수집된 사면데이터를 저장, 관리, 분석하며 정보수집차량의 현 위치정보와 진행 방향 등과 같은 운행 현황을 파악하여 판단·지시할 수 있도록 구성된 운영실이다.

(2) 수집정보 송수신 방식

① 데이터획득부에서 수집장치까지 소량의 정보를 저전력으로 전송 가능하며 가격이 저렴하여 광역적 지역에 다수의 센서노드 구축이 가능한 ZigBee방식이 적합하다고 판단하였다.

② 수집장치에서 중앙관제센터까지 이동 중인 차량에서는 이상데이터 및 차량의 위치정보를 센터로 전송해야 하며 센터에서는 이에 대한 지시사항들을 점검차량으로 전달 가능해야 한다.

○ WAP

WAP(Wireless Application Protocol)은 무선단말기와 기지국간의 무선 전파환경에서 데이터를 효율적으로 전송할 수 있는 프로토콜로서 망이나 단말기의 종류에 관계없이 다양한 무선 환경(GSM, TDMA, CDMA, CDPD)에서 동작이 가능하다.

○ ME

본 연구에서는 차량과 센터 간 통신은 양방향통신이 가능하고 이동성이 확보되며 적용지역이 강원지역이라는 것을 감안할 때 언제 어디서나 계측현황을 통보 및

모니터링 할 수 있는 이동통신환경(WAP)을 구성하는 것이 적합하다고 판단되었다.

<표 3.10> 휴대인터넷과 무선인터넷의 비교

구분	이동전화 무선인터넷	휴대인터넷 (2.3GHz)	무선 LAN
커버리지	전국	일부	특정구역
속도	Kbps	1[Mbps]	10[Mbps]
서비스구역	옥, 내외	좌동	옥내
사용료	고	중저	저
주파수	IMT2000용 주파수	2.3[GHz]	2.4[GHz]
이동중 서비스	고속(100[Km/h] 이상)	50[Km/h] 수준	고정
기지국당 가입자	수백명	수백명	수십명
표준화	유	무	진행 중

○ 계측 및 제어장치 인터페이스

마이크로프로세서와 주변 장치와의 연결을 위한 인터페이스 방법으로 대부분의 PC Parallel Port와 함께 가장 많이 사용하는 통신 Protocol로서 단거리 통신에 이용되는 RS232이 가장 적절한 것으로 판단된다.

○ 위치정보 획득장치

본 연구에서 개발하고자 하는 정보수집차량은 30km/h 내외의 저속의 주행속도로 운행하면서 위치정보를 취득하는 것이며 사면의 현장데이터의 좌표값을 나타내는 것이 아닌, 단순히 차량의 위치정보를 제공하기 위한 것으로 연속적이거나 정밀한 위치추적이 아닌 편리하고 넓은 지역에 간편하게 사용할 수 있는 GPS 수신기로 구성하여 도로상의 위치 정보를 획득하고자 한다.

○ 데이터 획득부

기후의 영향을 많이 받아 초기 설치시 Solar module의 비용이 비교적 고가이긴 하지만 유지관리비가 적게 들고 고갈될 염려가 없는 Solar cell type을 통한 센서노드의 전원공급이 가장 적합한 것으로 판단되었다. 또한 센서는 설정한 주기에 따라 정보를 센싱하지만 데이터전송은 Wake up mode/Sleep mode의 명령 지정에 따라 전송하도록 구현하였다.

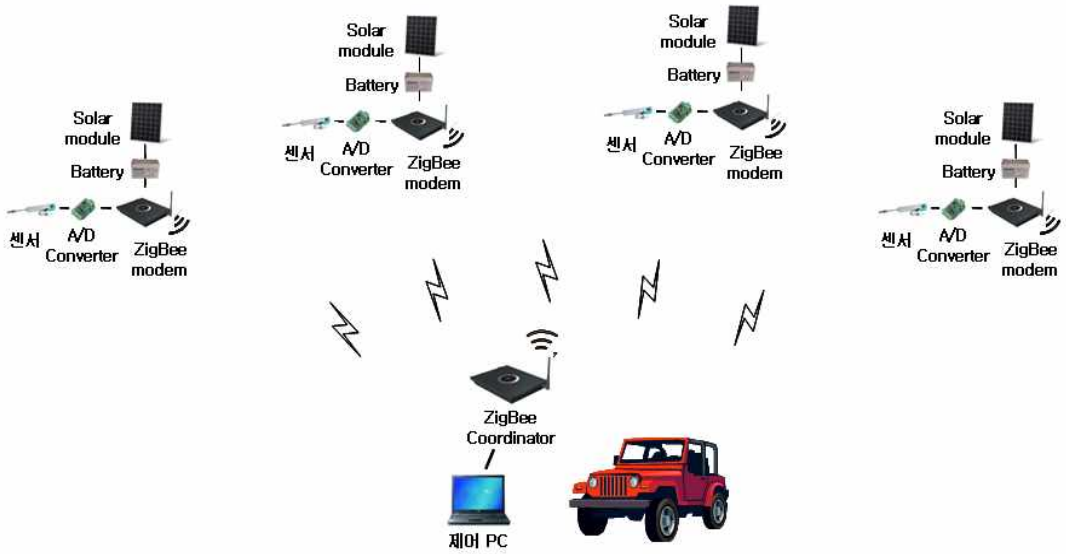
○ 차량의 전원공급

이동형 정보수집차량 내부 시스템의 전원장치는 차량으로부터 공급하며 UPS 장

비 연결을 통해 상시전원을 유지하도록 하였다. 또한 인버터를 사용하지 않고, DC to DC(직류 정전압장치)로 안전적 전원을 공급하고자 한다. Back up용 Battery에 의한 전원공급이 지원되어야 하며, 현장의 이상징후 발생시 차량의 시동이 정지된 상태에서 Data의 계속적 수집이 요구될 수 있으므로 충분한 전원공급을 위한 보조 Battery를 설치하는 것이 적정한 것으로 검토되었다.

나. 이동형 모니터링 장비 개발

시스템의 개발에 있어서 가장 핵심적인 역할을 하는 센서노드와 Access point node간의 원활한 데이터 통신 확보를 위하여 시작품을 설계·제작하여 시범테스트를 실시하였다.



<그림 3.36> ZigBee 기반의 무선통신장치의 구성도

그림 3.36는 본 연구에서 센서노드와 차량간의 센싱데이터 전송을 위해 제작한 ZigBee기반의 무선통신장치를 이용한 시스템의 개략도를 나타낸 것이다.



<그림 3.37> ZigBee 컨트롤러 외관

본 연구에서 무선통신장치 제작에 사용한 ZigBee 컨트롤러는 WiFA-1000 이다.

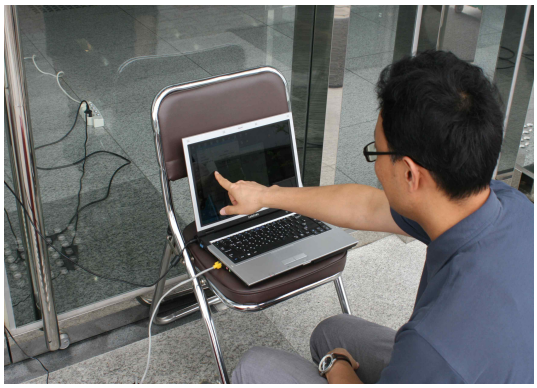
1차 시범테스트는 노트북 및 ZigBee 컨트롤러를 외부에 고정한 후 센서노드부를 차량에 탑재하여 차량을 저속으로 운행하면서 데이터를 전송하여 통신거리, 주행속도, 데이터의 신뢰성 등에 대하여 검증하는 방식으로 실시하였다.



(a) 차량에 탑재된 센서노드



(b) Access point node 시범테스트



(c) 전송 데이터 확인작업



(d) 데이터 프로그램 화면



(e) 데이터 통신가능 속도테스트

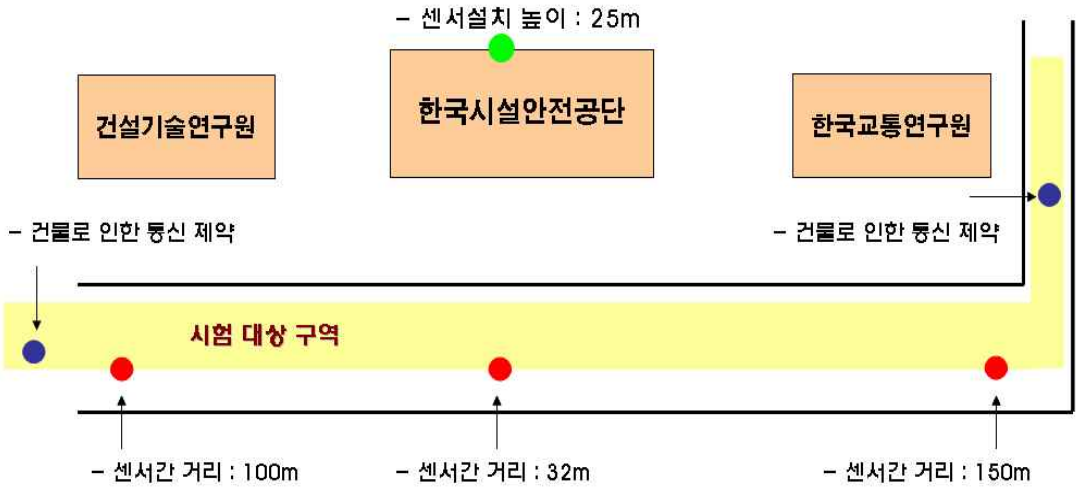


(f) 시범테스트를 위한 차량 운행 모습

<그림 3.38> ZigBee 기반 무선통신장치 1차 시범테스트

테스트 결과, 데이터 통신가능 주행속도는 초기 목표치였던 30km/h에서도 약 150m 정도 송수신이 원활히 이루어지는 것으로 확인하였다. 무선전파이기 때문에 날씨에 영향을 받아 데이터 간섭은 다소 있을 수 있지만 왜곡은 없는 것으로 확인되었으며 악천후에서도 통신 가능한 차량의 주행속도는 30km/h가 확보 가능하였다.

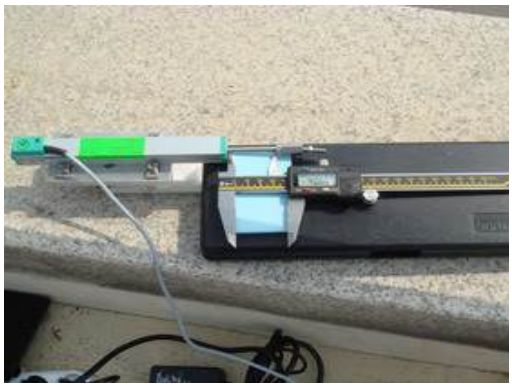
2차적으로 이동형 장비의 성능검증을 위하여 그림 3.39 (a)에서 나타낸 바와 같이 건설센터 내에서 변위측정시험을 실시하였다.



(a) 테스트 현장 개요도



(b) 변위계 설치위치
(공단 옥상)

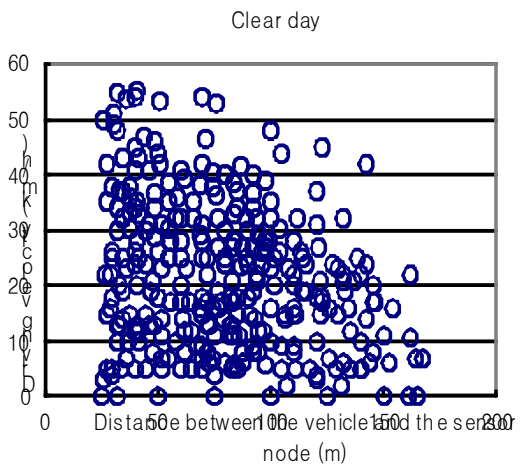


(c) 버니어캘리퍼스를 이용한
변위값 지정

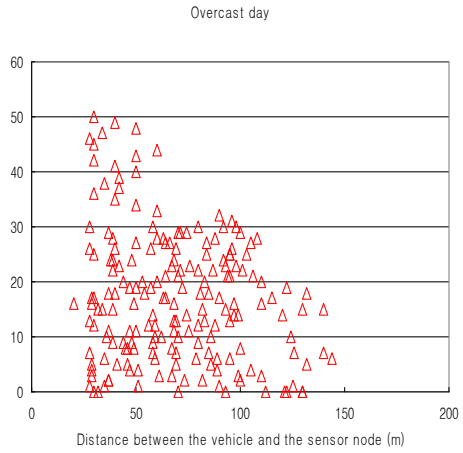
<그림 3.39> ZigBee 기반 무선통신장치 2차 시범테스트

시범테스트 결과, 1차 성능시험과 동일하게 이동하는 차량과 센서노드간 데이터 통신가능 거리가 150m 내외 확보되는 것으로 확인되었으며 차량이 최대 약 50km/h의 주행속도로 이동 중에도 원활한 데이터 전달이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

다만, 그림 3.40에서 보는 바와 같이 날씨에 영향을 받는 것으로 확인되어 맑은 날씨에는 약 40km/h, 흐린 날씨에는 약 30km/h 내외의 주행속도가 적정할 것으로 판단된다.



(a) 맑은 날씨

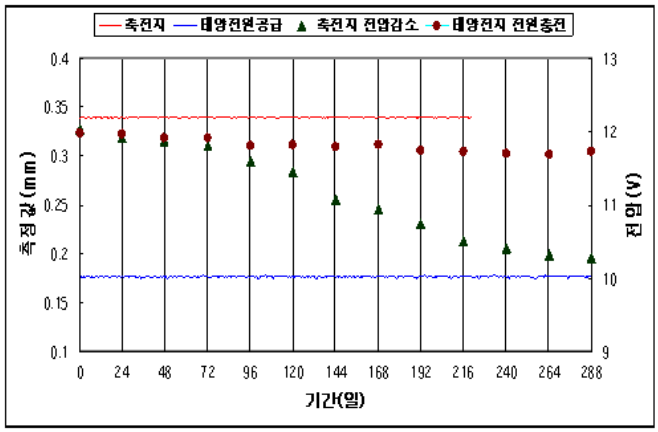


(b) 흐린 날씨

<그림 3.40> 주행속도와 측정거리 측정시험 결과

또한, 버니어캘리퍼스를 사용하여 변위계의 값을 임의의 값으로 지정하여 측정되도록 한 후, 수신된 측정데이터와 비교한 결과, 직선거리가 아닌 건물과 수풀 등이 존재하는 경우 데이터 전송 상에 제약은 다소 있었으나 값의 오류 및 왜곡 등의 현상은 없는 것으로 확인되었다.

전원부 성능유지기간은 약 9일로 나타났으며, 태양전력이 공급되는 조건에서는 유지기간 9일 이후의 전원성능이 당초 대비 90% 이상을 확보하는 것으로 확인되어, 우리나라 평균 기상 조건을 토대로 현장에서의 센서 및 송신부의 설치·운영은 충분할 것으로 검토되었다.



<그림 341> 전력공급 유무에 따른 측정값 및 전압측정값

다. 국부적 위험검지를 위한 센서 선정

(1) 현장답사 결과

본 개발차량은 상기에 언급한 바와 같이 기존 계측시스템과는 상이한 특징을 가진다. 이러한 개발품의 현장 활용성을 높이기 위하여 실제 사면의 점검 수행 시 본 차량을 이용하여 검지 가능한 사면의 국부적인 취약요소들을 결정하고자 삼척시 도계면, 정선군 정선읍, 제천시 송악면, 단양군 가곡면 등 실제 계측관리시스템이 구축된 사면 12개소의 현장답사를 실시하였다.

답사 결과, 기존의 실시간 계측시스템은 초기 설치시 측정하고자 했던 요소들을 제외하고 산마루 측구 변위, 대규모 암괴 탈락 등 추가적인 관찰이 어려워 한정된 요소들만이 관리되고 있음을 확인할 수 있었다.

본 개발차량을 활용하여 감지할 수 있는 사면의 국부적 취약요소를 크게 1)산마루 및 산어깨 배수구, 2)대형암괴 및 옹벽, 3)이격부 크게 3가지로 분류하였으며 이

와 같은 국부적인 요소의 이상감지를 위해 산마루 측구 및 사면 정상부에는 지표면 변위계를, 대형 암괴 및 옹벽에는 지표면 변위계 또는 경사계를 이격부에는 토압계를 우선 적용하도록 결정하였다.

2. 현장조사 차량

현장정보 수집차량은 공단의 개발장비인 정보수집장비 외에도 희송지오텍의 연구개발품인 절리분석용 디지털 영상장비 및 한국건설기술연구원의 휴대용 현장조사장비를 차량 내 탑재하여 상호 유기적으로 연계되어 활용할 수 있는 최종 합동 성과물로서 개발하는 것을 목표로 한다(그림 3.42 참조). 이를 위해 실제 정보수집차량을 제작하는 당해연도에는 관련 연구기관들과의 주기적인 협의를 통해 연구결과물 간의 연계방안 및 구체적인 탑재 방안 등을 수립하였다. 협동기관들과의 업무협의를 통해 차량 내·외부에 탑재되는 장비를 아래와 같이 제작하였다.



<그림 3.42> 연계기관 개발기술 탑재

3. 조사차량 운영기반환경 개발

기존에 개발된 이동형 무선통신장치 송수신 프로그램에 GPS 기반의 위치추적 및 경로 지정 등의 기능을 추가하고 CDMA Modem을 이용한 인터넷을 이용하여 센터와 차량 간의 양방향 통신을 구축하였으며 또한 운전자와 센터의 관리자와의 화상통신을 구현하여 의사전달이 원활하고 편리하게 이루어질 수 있도록 기 운영프로그램을 확장 · 개발하였다.

정보수집차량 운영시스템의 3단계 개발로서 기존의 1:1 통신 프로그램 및 하드웨어를 1:N 다중 통신이 가능하도록 업데이트하였으며 현장에 설치되는 Sensor node가 Access point의 접근여부에 따라 Wake up/Sleep mode로 자동변환이 가능하도록 추가 개발하였다. 또한 운영프로그램의 UI를 확장ㆍ개선하였으며 취득되는 모든 데이터를 통합 DB로 입력 가능하고 통합 DB에 저장된 다른 연계기관의 정보를 조회하기 위한 RPC Client를 개발하였다.

가. 웹기반 이동형 모니터링 운영시스템 개발

(1) 사면 ID 및 센서노드 ID 연동

RLPRC 사면관리 통합시스템의 사면 ID는 다음과 같이 체계적으로 세분화 하여 사면ID만으로 위치 및 상하행선 등을 파악할 수 있도록 설계되었다.

①	-	②	-	③	-	④	-	⑤	-	⑥	-	⑦

상기의 표는 도로구분, 호선, 행정구역(우편번호), 도로상·하행선, 사면 위치 XY 좌표 및 일련번호를 나타낸 것으로 각각을 설명하면 아래와 같다.

○ 도로구분 : 일반국도 1, 고속국도 2, 철도 3, 지방도 4, 국지도 5

○ 호선정의, : 각 번호 입력 예) 0059호선, 태백선

※ 참조 : 지방도인 경우 호선의 번호가 1000단위까지 있음. 철도 노선은 각 호선 명을 적어서 표시함 약 80개선 예) 태백선 등

○ 행정구역 : 우편번호를 입력 예) 220851 강원도 원주시 귀래면 귀래리

○ 도로상·하행선 구분 : 상행선 U, 하행선 D

○ 사면 위치 XY좌표 중 위도(WGS84좌표), 예) 38°12′15″

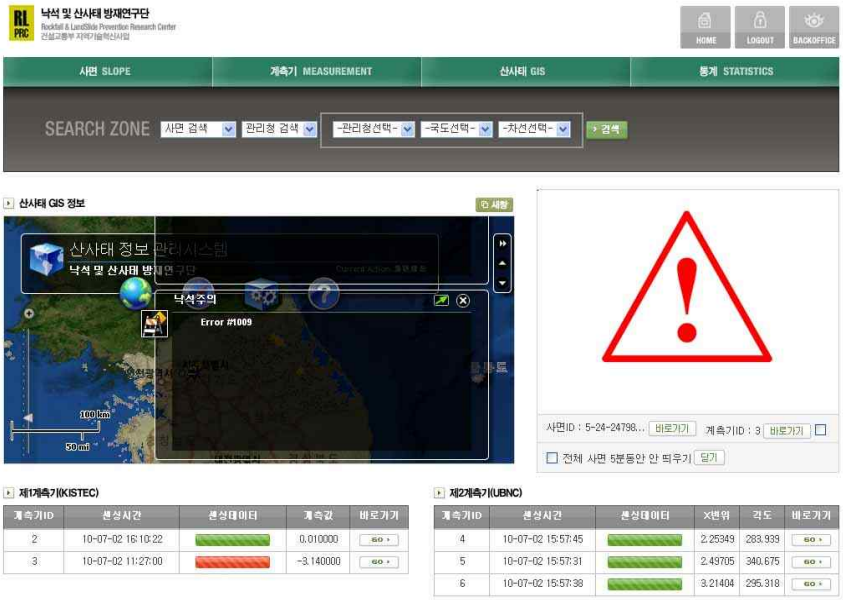
○ 사면 위치 XY좌표 중 경도(WGS84좌표), 예)128°26′16″

○ 사면일련번호(사면테이터 입력 개수 확인 가능) : 0001

○ 위의 각 요소를 조합한 샘플은 다음과 같다.

1-0059-220851-U-381215-1282616-0001

(2) 메인 페이지

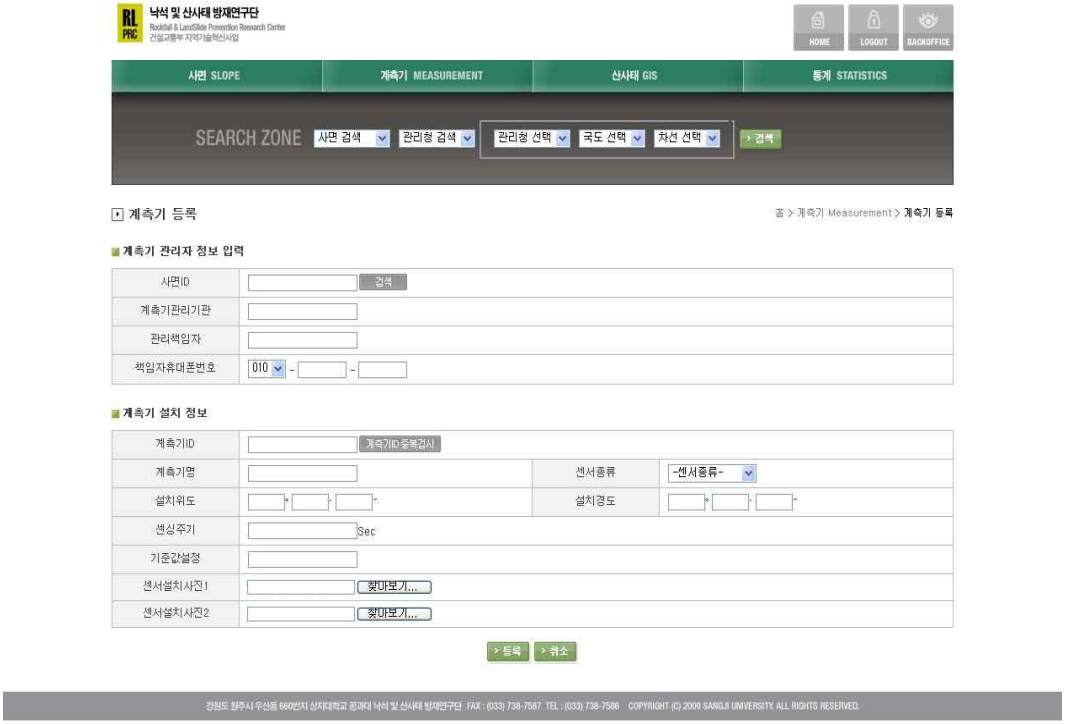


<그림 3.43> 통합시스템 웹사이트

그림에서 보는 바와 같이 이동형 모니터링 현황이 화면에서 차지하는 영역은 작지만 그 역할이 RLPRC 통합시스템에서도 가장 중요한 역할을 수행해야 하기 때문에 메인페이지 중앙에 배치하고, Event발생 시 경보창은 관리사면의 지도와 중첩되지 않도록 메인중앙 우측에 배열하였다. 경보창은 그 관리를 위해 “5분동안 안뜨기” 및 “창닫기” 기능을 부여하여 타 기능을 이용함에 불편함이 없도록 설계하였다.

(3) 노드정보창

계측기 등록은 RLPRC 통합시스템 설치 사면의 ID를 검색하여 등록할 수 있도록 설계하였으며, 센서 ID도 중복되지 않도록 관리하기 위해 센서 ID중복검사 기능을 두었다. 계측기의 안전 판단여부는 계측기의 관리 기준값을 두어 해당 계측기의 위험 판단의 기준으로 삼았으며 계측기 등록시 등록 내역 및 페이지는 다음 그림과 같다.



<그림 3.44> 통합시스템 노드정보창

(4) 이력데이터 및 이벤트데이터 팝업창

노드 ID 및 DB연동은 계측센서에 기 등록된 노드 ID 2번과 3번을 연동하였으며 아래 그림과 같이 노드3 및 전체 ID를 연동하여 해당 노드ID 및 DB를 검색/ 조회할 수 있다.

DB를 가공가여 개발한 내역은 없으며 기존 DB를 그대로 적용하여 개발 진행하였다. 단 GUI 구현함에 있어 CS프로그램 성격과 Web기반 성격의 차이를 고려하여 Web에서 관리하고자 하는 기능 위주로 개발하여 CS대비 불필요한 기능은 생략하여 Web으로의 기능을 수행하는데 편리성을 강화 하였다.

(5) 계측기 점검 현황





<그림 3.45> 통합시스템 계측기 관련 정보창

상기 그림은 계측기 점검대장을 개발한 페이지를 나타낸 것으로 계측기 점검대장 역시 사면 점검대장과 같이 중요한 관리항목으로 정기적인 계측기점검은 연구단이 구현하고자 하는 유비쿼터스개념의 사면관리 목적을 달성하기 위한 가장 기초적인 관리이다. 센서ID를 클릭하면 해당 계측기점검현황상세페이지로, 사면ID를 클릭하면 설치된 사면의 정보 페이지로 링크하여 관리의 편리성을 증대하였다.

(6) SMS 경보 연동

사면의 안전여부를 판단하는 것이 계측기라면 해당 계측기의 신호를 받아 Event가 발생한 사실을 실시간으로 관리자에게 전달하여 피해를 최소화 하는것은 SMS전송시스템이다. SMS전송대상은 등록된 STAFF정보에서 검색을 통해 등록되며 담당분야에 따라 일부 사면 또는 전체 사면에 발생한 Event정보를 SMS을 전송받는다.

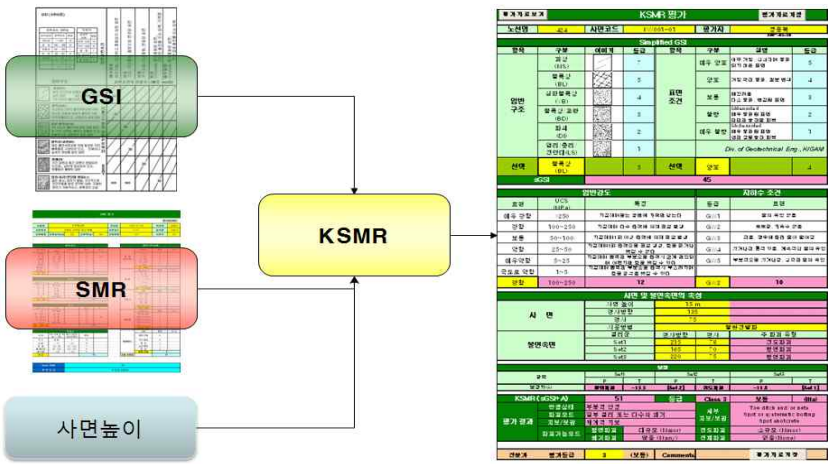
제 4 절 현장실무자용 암반사면 위험도 평가기법 개발

1. 현장실무자용 암반사면위험도 평가법 개발

가. 개요

사면의 위험도를 평가할 때 모든 암반사면에 대한 정밀조사를 수행하기에는 전문 인력과 예산 면에서 거의 불가능하다. 이러한 암반사면의 효율적 관리를 위해서는 1단계로 현장 실무자가 암반사면의 위험도를 개략적으로 평가하여 암반사면의 기본적인 정보를 관리하는 한편, 이를 바탕으로 위험사면을 선정하여 전문가에 의해 후속 정밀조사를 실시하도록 하는 2단계 평가가 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 기존 문헌 조사 및 전문가에 의한 정밀현장조사와 분석을 통하여 현장실무자가 손쉽게 사용할 수 있도록 단순화된 암반사면위험도평가법을 개발하였다. 또한 후속 연구를 통해 PDA나 테블릿 PC 등으로 현장에서 바로 사용할 수 있는 프로그램을 개발하였다.



<그림 3.46> KSMR concept

나. 실무자용 위험도평가법 개발

Romana(2003)의 최근 보고에 의하면 SMR이 각국에서 광범위하게 사용되고 있으며 특히 중국의 경우 국가적으로 사용하는 것으로 알려졌다. 다만 본 연구의 목적과 같이 현장실무자가 사용하기에는 입력값을 결정하는 데 어려움이 있으며 사면의 높이를 고려하지 않는다는 단점이 있다.

선우춘 외(2006)는 기존 암반분류법을 이용한 수정암반평가법을 개발하였으며 본 연구에서는 이를 적용하여 단순화 사면평가법을 개발하였고, 이를 KSMR (Korean Slope Mass Rating)로 명명하였다. 선우춘 등의 수정암반평가법은 RMR의 강도와 지하수조건을 제외한 나머지 부분을 GSI(Geological Strength Index)로 대체하는 것이며 이렇게 수정된 평가법의 결과와 RMR 값 사이에 좋은 상관관계가 형성됨을 밝혔다.

Sonmez 외(2000)도 GSI값을 좀 더 정량적으로 평가하는 방법을 제시하였으나 실무자 평가용으로 사용하는 데는 무리가 있어 본 연구에서는 제외하였다.
사면의 최대 높이와 사면각의 관계는 Hoek 외(1981)가 제시하였듯이 절취사면의 경사가 증가할수록 안정한 사면높이는 급격히 감소한다. 사면의 크기가 증가할수록 불연속면이나 연약대를 포함할 확률이 높아지므로 암반사면의 안정성 평가에 있어서는 사면높이가 반드시 포함되어야 한다. 본 연구에서는 KSMR과 사면높이, 그리고 3인의 전문가에 의한 사면안정 평가치를 통계적으로 분석하여 현장실무자용 암반사면 평가법을 개발하였다.

(1) GSI 수정

원래의 GSI는 암반의 구조와 표면조건을 고려하여 도식적으로 영역을 선택하여 범위로 값을 결정하게 되어 있다. 그러나 이 경우 원 자료를 보관하지 않으면 추후 해당 GSI값이 어느 부분을 선택하여 결정한 것인지 알 수 가 없다. 즉 블록상의 매우 양호한 암반 조건과 괴상의 양호한 암반 조건의 경우 GSI점수는 거의 같다. 따라서 본 연구에서는 원래의 GSI에서 제시한 암반구조 6등급 및 암반표면조건 5등급의 항목을 각각 선택하면 그에 따른 평균적인 GSI값을 결정하도록 하였으며 이러한 관계식을 얻기 위해 최적화 방법을 적용하였다. 또한 수정된 GSI 최대값은 암반강도와 지하수조건을 제외한 RMR 최고값인 70이 되도록 조정하였다.

(2) 실무자용 평가법 양식 개발

수정 GSI와 암반의 강도 및 지하수조건, 사면 높이를 적용한 평가법(KSMR)을 개발하였으며 자료처리의 용이성을 위해 엑셀 시트와 매크로를 사용하여 평가법 양식을 그림 3.47와 같이 개발하였다. 평가자료는 다른 시트에 데이터베이스 형식으로 저장되며 사면코드를 통해 검색 및 수정할 수 있도록 하였다.

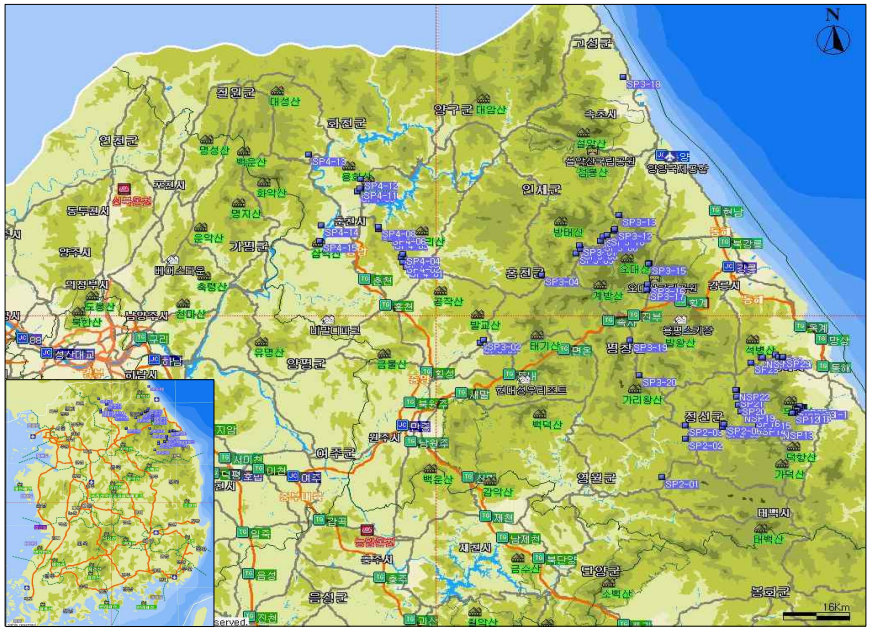


<그림 3.47> KSMR sheet for slope stability evaluation

2. 현장 적용 및 수정

가. 현장조사

본 연구는 2차년도에 강원도내 삼척, 하장, 영월 및 정선 지역의 국도 및 지방도에 형성된 암반사면을 대상으로 총 24개소 사면을, 당해연도에는 홍천, 평창, 동해 , 춘천, 화천 지역 국도 및 지방도 사면 35개소에 대하여 현장 조사를 수행하여 총 59건의 분석자료를 확보하였다. 각 조사 위치는 그림 3.48과 같다.



<그림 3.48> Maps and sites of field investigation (SP1 : 1st investigation, SP2 : 2nd investigation, SP3 : 3rd investigation, SP4 : 4th investigation)

각 사면에 대하여 SMR 평가, GSI 평가가 수행되었으며 암반강도는 슈미트해머를 사용하여 결정하였다. 그리고 기존평가법과 더불어 개발된 KSMR도 적용하였다. 또한 위의 세 가지 평가를 완료한 후, 암반사면 분야에서 5~10년 이상 연구를 수행해 온 각 3인의 전문가가 평가자료 및 평가에서 고려되지 않은 다른 요소 (사면 형상, 배후 사면, 암종 등)등을 종합적으로 고려하여 전체적인 사면의 위험도를 평가하도록 하였다. 이 위험도 평가는 blind test로 진행되었으며 위험도 평가값이 평가항목의 보정을 위한 목적값이 된다. 위험도는 서론에서 언급한 것과 같이 hazard에 대한 것이며 매우 안정한 것에서부터 매우 불안정한 등급까지 5단계로 나누고 각 단계 안에서 0.5단계 조정이 가능하도록 사전에 정하였다 (표 3.11).

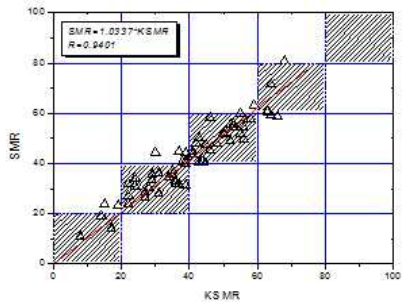
<표 3.11> Classes and description of rock slope stability

등급	5	4	3	2	1
상태	매우 불안정	불안정	부분적 안정	안정	매우 안정
정밀조사	필요	필요	필요	불필요	불필요
보호/보강	시급한 보강/재굴착	정밀평가에 따른 보강	일반 유지 관리	일반 유지 관리	일반 유지 관리

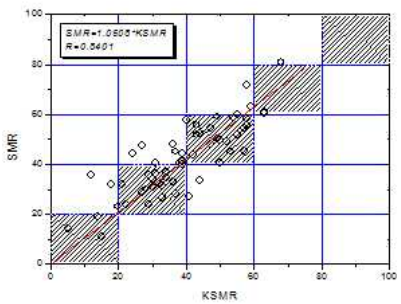
나. 분석 결과

(1) KSMR과 SMR 비교

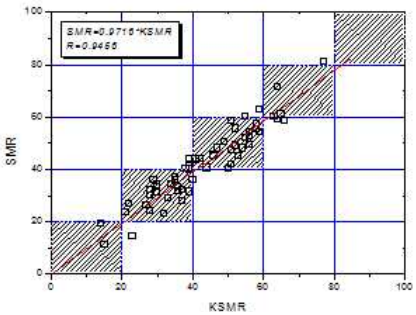
먼저 기존의 SMR 분석 결과와 사면높이를 고려하지 않은 KSMR 결과를 상호 비교하였다. 그림. 3.49는 3인의 전문가가 평가한 KSMR과 SMR 결과를 상호 비교한 것으로서 평가자에 따라서 약간의 차이를 보여주기는 하지만 상관계수가 0.9 이상으로 비교적 양호한 것을 알 수 있다. 기존 연구 사례(Hoek, 1999, 선우춘 외, 2006)에서도 GSI와 RMR이 높은 상관관계를 갖는 것으로 보고된 바 있으며 본 연구에서도 GSI와 RMR 사이의 상관성이 높음을 확인하였다. 따라서 높이를 고려하지 않은 KSMR은 SMR을 대체하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다.



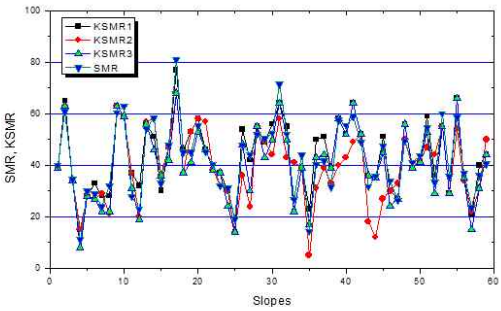
(a) Expert 1



(b) Expert 2



(c) Expert 3



(d) Distribution of SMR & KSMR values

<그림 3.49> Results of regression analysis between KSMR and SMR

(2) KSMR과 전문가 위험도평가값과의 비교

KSMR에 의한 평가등급을 전문가가 평가한 위험도 등급과 비교를 하였다. 일차적으로 사면의 높이에 의한 배점 조정을 목표로 하였기 때문에 사면높이를 고려하

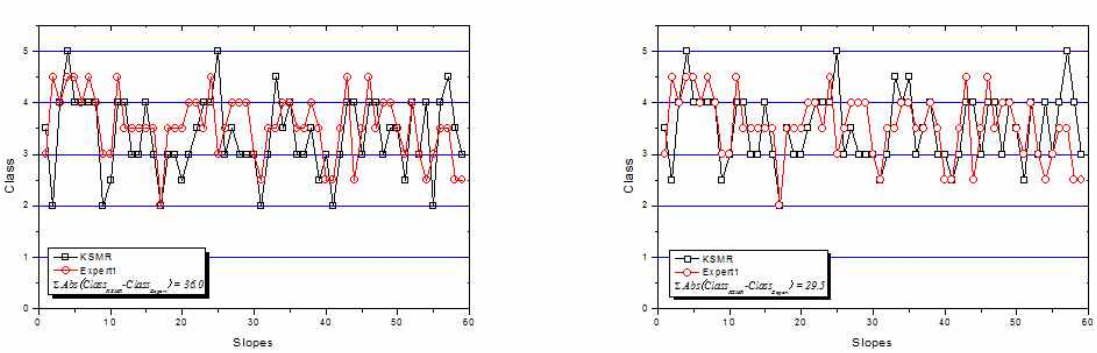
지 않은 단순비교 후 전문가에 의한 평가 결과를 목표값으로 하여 오차가 최소가 되도록 사면높이에 대한 인자수준 및 배점의 최적값을 유전자알고리즘을 이용하여 도출하였다. 전문가 각 3인에 의한 전체 오차가 최소가 되도록 하였으며 이를 다음과 같은 목적함수를 정의하여 최적화에 사용하였다.

$$Minimize \sum_{expert} \sum_{i=1}^{n} Abs(Class_{KSMR} - Class_{Expert}) \quad (1)$$

현재 조사,분석 및 평가자료에 근거한 최적화 결과 표 3.12과 같이 사면높이에 따른 조정점수를 얻게 되었다. 목적함수값은 초기 32.0(하나의 평가등급에 대한 평균 차이는 32/3/24=0.444등급)에서 최적화에 의해 27.0(하나의 평가등급에 대한 평균 차이값은 27/3/24=0.375등급)으로 감소하였으나 사면높이에 의한 보정만으로는 한계가 있는 것으로 나타났다.

<표 3.12> Adjustment ranges and values for slope height in KSMR

사면높이(m)	< 10	10~20	20~40	40 ~ 70	> 70
보정값	0	-1	-4	-9	-10



<그림 3.50> Slope hazard class distribution by KSMR and experts (left : before slope height correction, right : after slope height correction)

다. 시공법 보정

국내의 경우 Romana(2003)가 제시한 시공법에 따른 보정 적용이 어렵다. 이는

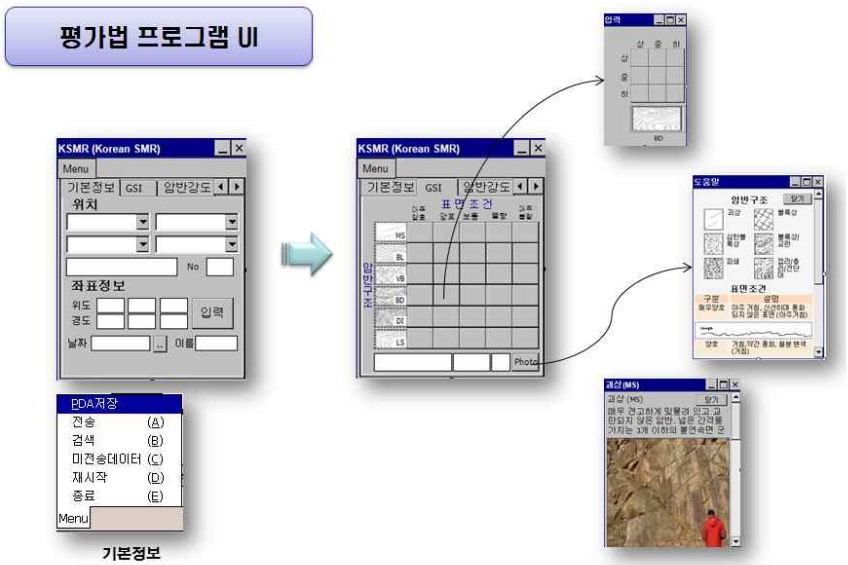
대부분의 절개사면이 제어발파에 의해 굴착되지 않고 불완전발파나 기계식 굴착이 이루어지고 있어서 그대로 적용하는데 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 현실에 맞게 시공법에 따른 보정점수를 현장조사자료에 근거하여 보정하였다. 여기서도 각 시공법에 따른 점수를 전문가결과와의 차이가 최소가 되도록 최적화를 통해 결정하였다. 이렇게 보정한 결과 오차가 11.8%(1-114/100.5) 감소하여 전문가에 의한 평가 결과에 더 근접하여 나타났다.

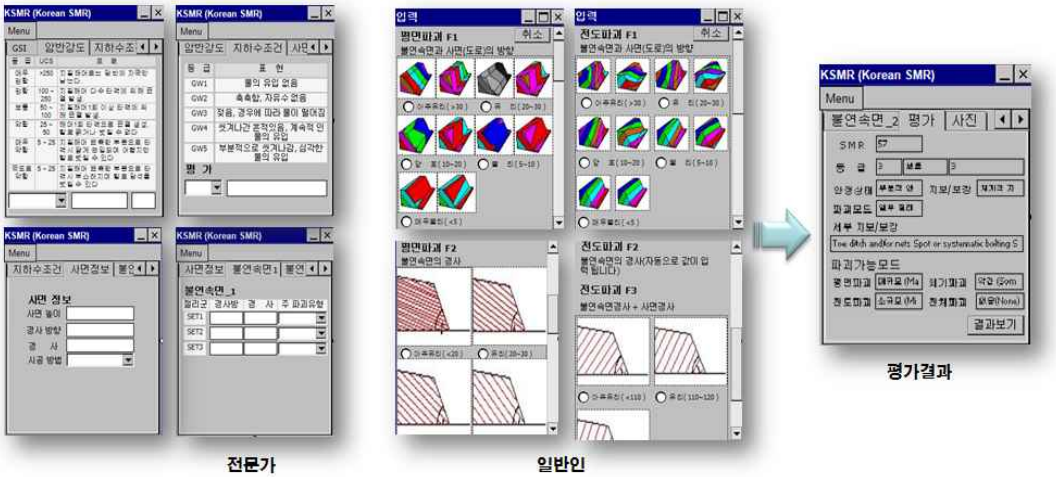
<표 3.13> 시공법에 따른 보정점수

명칭	설명	보정점수
NS	자연사면 Natural Slope	0
CB	제어발파 Controlled blasting	0
MR	기계굴착 Mechanical(Breaking)	-1
BL	일반발파 Blasting(Normal)	-5
BM	발파후 기계굴착 Blasting+Breaking	-7
BD	불완전 발파 Deficient Blasting	-10

라. 프로그램 개발 및 검증

(1) 프로그램 GUI





<그림 3.51> Software user interface

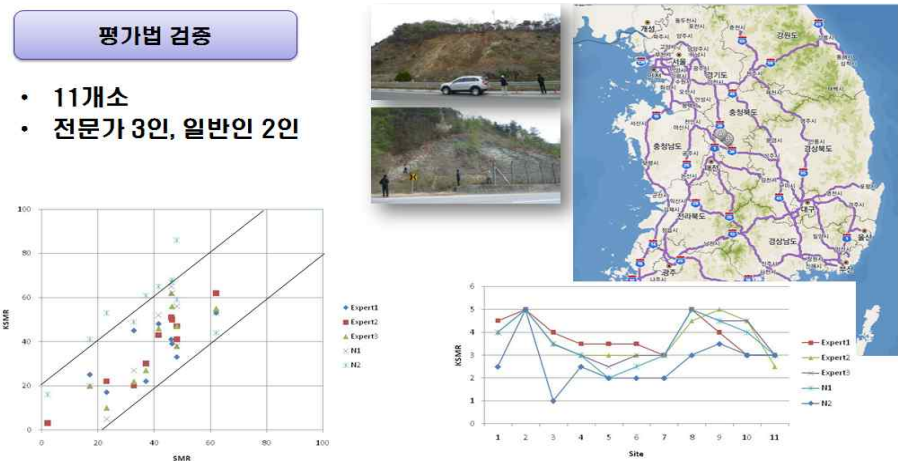
(2) 시스템 특징

○ 웹서비스 기법 사용으로 인한 확장의 용이성

○ 데이터 전송 시 XML문서 사용 및 XML의 확장성

마. 현장 검증

검증 수행 결과 자세한 설명을 듣고 조사를 수행한 결과는 전문가의 결과와 유사한 반면 간단한 설명을 듣고 평가를 수행한 경우는 차이가 많이 났다(그림 3.52). 따라서 현장 실무자들의 활용도 및 정확도 제고를 위해서는 사면관련 교육센터의 운영이 필수적으로 요구된다고 사료된다.



<그림 3.52> Comparison of results between experts and novice.

3. 결론

Romana가 제시한 SMR은 암반사면 평가에 있어서 국제적으로 널리 사용되고 있는 평가법이나 부분적으로 단점을 가지고 있으며 비전문가가 개략적인 방법으로 암반사면 평가를 수행하기에는 어려움이 있다. 본 연구에서는 SMR 근거하여 현장 실무자가 암반사면에 대하여 개략적인 평가를 수행할 수 있도록 단순하며 신뢰성을 가지는 암반사면위험도평가법을 개발하였으며 일차적으로 전문가에 의해 타당성을 검토하였다. 검토 결과 평가항목이 기존 SMR 비하여 좀더 단순화되었음에도 불구하고 SMR과 유사한 결과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 또한 KSMR에 의한 평가시 사면높이를 고려한 결과 전문가에 의한 위험도평가등급과의 오차가 약간 감소하는 것으로 나타났다. 개발된 평가법의 용이한 활용을 위해 PDA에서 작동하는 평가프로그램을 개발하였으며 이를 현장적용을 통해 프로그램 사용의 편의성과 평가법 결과의 검증을 수행하였다. 수행 결과 실무자에 대한 사전 교육 여부에 따라 편차가 큰 것으로 나타나 이에 대한 계획이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

제 5 절 광대역 산사태 관리를 위한 공간 정보 구축 및 WEB 지원 서비스 개발

광대역 산사태 관리를 위한 공간정보 구축 및 Web 지원서비스 개발과 산사태 예방을 위한 조기수림화 기술을 개발하며, 산사태 위험성 평가용 주제도 DB를 구축한다. 또한 고해상도 위성영상 구입 및 기술지원과 낙석 및 산사태 종합관리센터를 지원하며, 도시계획, 입지선정과 각종 토목공사에 따른 위험성 사전예방으로 인명 재산피해 최소화 조기수림화 기술 매뉴얼을 작성하여 지역에 기여한다.

1. 산사태 예방을 위한 조기수림화 기술개발

가. 산사태 조기수림화의 자료수집 및 분석

(1) 향토종에 의한 수림화공법

① 총칙

이 지침은 도로공사 등에 의해 발생하는 절토법면에 대하여 자연환경을 보전하

고, 경관 및 방재를 배려한 시공을 실시하는 것을 목적으로 하며, 식생기반재를 취부하여 「가능한 한 중·저목의 향토수종 목본식물에 의한 조기수림화」라는 녹화목표를 달성하기 위해 실시하는 공법의 설계로부터 시공·검수까지의 유의사항 등에 관한 기술상의 지침을 정한 것이다.

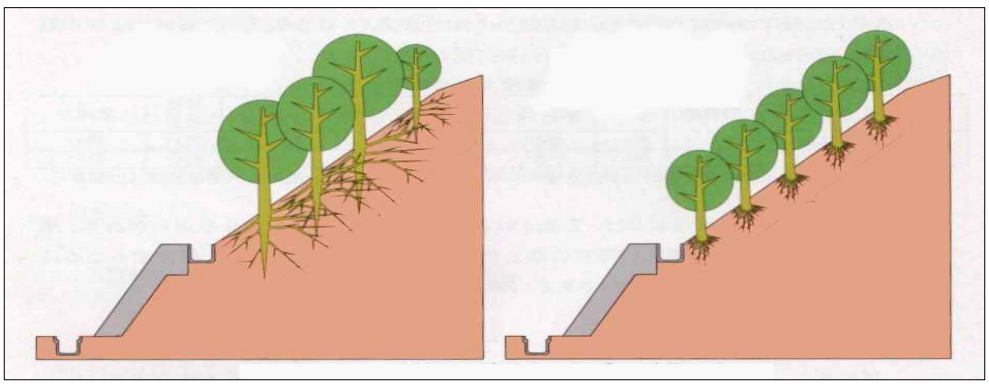
(2) 재래 목본류(파종)에 의한 법면녹화 안내(안) 분석

① 총칙

재래목본류에 의한 법면녹화 안내(안)은 신설 및 기존 도로의 법면에 재래목본류를 복원목표로 하는 녹화를 실시하기 위해 필요한 조사, 계획, 서례, 시공 및 유지관리의 순서 등을 나타낸 것으로 녹화사업의 수준유지와 향상을 도모하는 것을 목표로 한다.

<표 3.14> 파종목과 식재목의 비교

구분	뿌리	세근량	근장	수간장비	지상부	내건성	인발강도	군락강도	긴박력
파종목	굵다	적다	길다	크다	저	대	대	강	강
식재목	가늘다	많다	짧다	작다	고	소	소	강	약



<그림 3.53> 파종목과 식재목의 근계·군락 차이

(3) 토양화 촉진 및 식물의 생육증대를 위한 균근균 활용

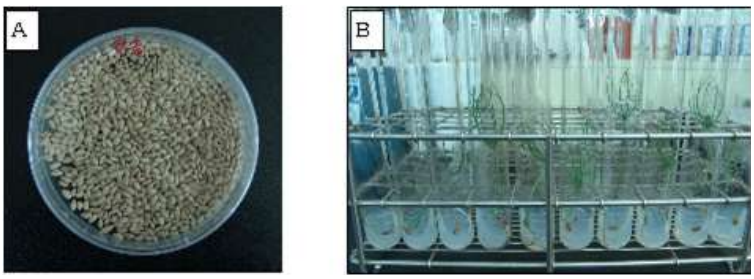
피복자재를 시용하면 토양의 수분조건이 향상되고, 토양미생물의 활성이 활발해지기 때문에 토양화의 진행되어 식물의 성장이 양호해 진다. 더욱이 이 효과를 향상·지속시키고 척악지인 황폐지를 녹화시키기 위해 균근을 이용하면 매우 효과적이다.

나. 산사태 예방을 위한 조기수림화 기술 개발

(1) 모래밭버섯(PT) 균근 소나무 묘목의 육성 및 특성 분석

① PT균근 소나무 묘목의 대량 육성

인공 접종용 실생묘목 육성 방법, 모래밭버섯(Pisolithus tinctorius) 균근균 및 질소고정균(Azotobacter vinelandii)의 인공 배양법 확립, 인공 접종 방법의 확립 및 PCR에 의한 균근균 및 질소 고정균 접종 유무의 확인 방법 확립 등을 실험의 목적으로 실시하였다.



<그림 3.54> 살균 처리한 종자(A)와 시험관 WA배지에서 발아한 무균 실생 묘목(B)

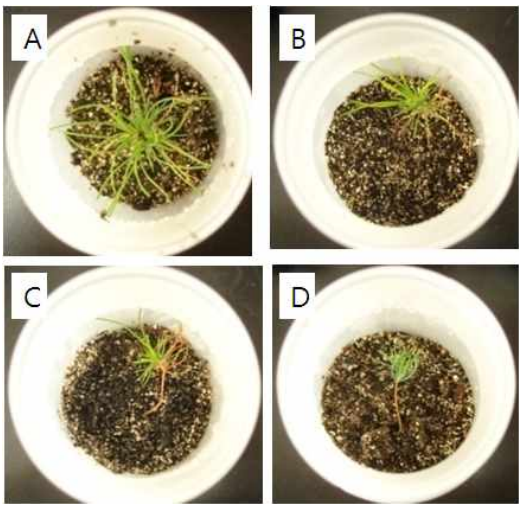
상술한 방법에 의하여 균근균 및 질소고정균 인공 접종을 위한 무균 소나무 종자의 살균법에 따라서 종자를 표면 살균한 후, 0.7% WA 시험관 배지에서 25℃ 식물생장상에서 광, 암 조건을 12시간씩 교대로 처리하여 발아를 유도시킨 결과, 약 1주 후부터 발아가 시작되었으며, 미생물에 의한 오염 및 기타 원인에 의한 미발아 종자는 약 20%에 달하였다. 즉, 균근 및 질소고정균 접종용 소나무 무균 종자의 발아율은 약 80%로서, 비교적 소나무 무균 실생 묘목의 효율적인 육성 기술을 확립하였으며, 대량으로 소나무 무균 실생 묘목 생산이 가능하였다(그림 3.54).

② PT균근 소나무 묘목의 생육 특성 분석

소나무 무균 실생 묘목에 균근균과 질소고정균의 혼합접종, 균근균 단독 접종 및 질소고정균 단독 접종이 소나무 실생 묘목의 생육에 미치는 영향을 비교 분석하여 가장 효율적인 접종 방법을 구명하고자 한다.

처리군별로 5개 묘목을 생중량, 건중량 및 T/R 율을 측정한 결과, 균근균과 질소고정균의 혼합접종 묘목의 생장량이 모래밭버섯 균근균의 단독 인공접종 묘목,

질소고정균 단독 인공접종 묘목 및 무처리 묘목보다 우수하였고(그림 3.55, 표 3.15), 균근 형성 수도 증가하였다



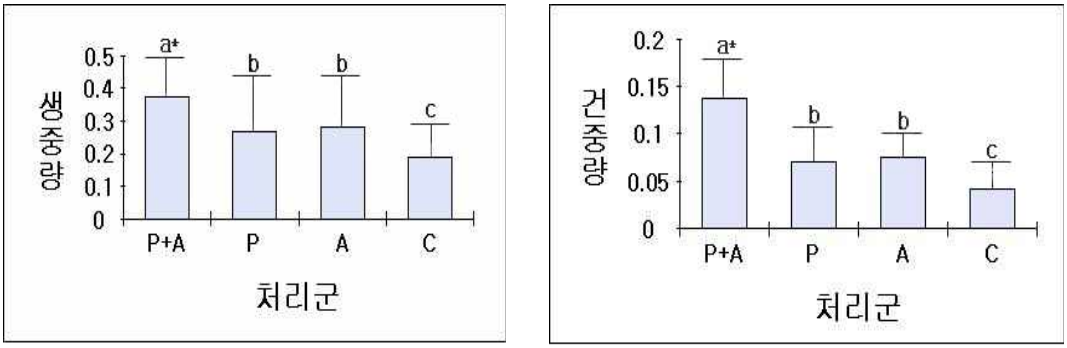
<그림 3.55> 모래밭버섯 균근균과 질소고정균)의 처리 방법에 따른 소나무 실생 묘목의 인공 토양에서의 생육 상태. A : 모래밭 버섯 균근균 + 질소 고정균 혼합 접종, B. 모래밭 버섯 균근균 단독 접종, C : 질소 고정균 단독 접종, D : 대조구(무처리)그림

<표 3.15> 모래밭버섯 균근균과 질소고정균의 처리군별 묘목의 생중량, 건중량 및 T/R율

접종처리군	생중량	건중량	T/R 율
	평균 (표준편차)	평균 (표준편차)	
P+A	0.374 (±0.077)	0.138 (±0.036)	3.26
P	0.266 (±0.113)	0.070 (±0.031)	1.9
A	0.282 (±0.104)	0.075 (±0.021)	0.4
C	0.188 (±0.073)	0.042 (±0.015)	1.3

또한 질소고정균 단독 인공접종 묘목은 균근균 단독 인공접종 묘목보다 생장량이 약간 우수하였으나, Duncan 다중검정에 의한 통계처리 결과 같은 그룹으로 분류되어 차이가 없는 것으로 나타났다 (그림 3.56). 균근균이 접종된 인공접종 묘목의 생존율은 99%로 생존율 또한 뛰어난 것으로 나타났다. 이 결과로, 모래밭버섯 균근균 뿐만아니라 질소고정균(A. vinelandii)의 인공 접종도 소나무 실생 묘목의 생육 증진에 효과가 있음이 인정되었으며, 질소 조정균은 소나무 실생묘목의 생육 증진 뿐 만아니라, 모래밭버섯 균근 형성의 증진에도 영향을 미친다는 사실을 알 수 있

었다. 따라서, 모래밭버섯 인공 접종 시에는 질소고정균을 동시에 접종하는 것이 유효함이 확인되었다.

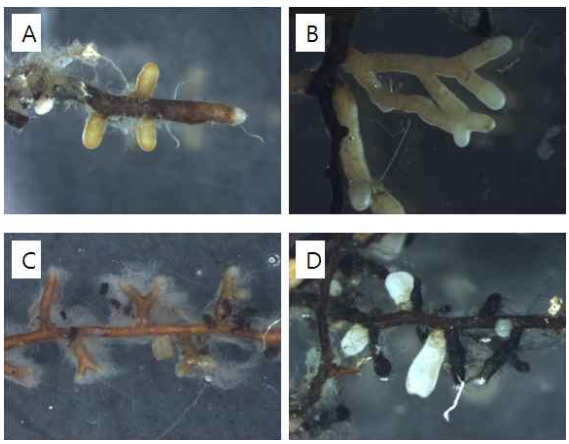


<그림 3.56> 모래밭버섯 균근균과 질소고정균의 처리군별 묘목의 생중량 및 건중량의 비교. P+A : 모래밭 버섯 균근균+질소 고정균 혼합 접종, P. 모래밭 버섯 균근균 단독 접종, A : 질소 고정균 단독 접종, C : 대조구(무처리) * : 5% 유의수준 Duncan 다중검정.

(2) 새로운 균근균의 선발 및 조기 수림화에의 이용

① Cenococuum geophilum의 생태적 특성 분석

균근균 분포 특성을 분석한 결과, 내륙과 해안에서 모두 다양한 균근균이 발견되었다(그림 3.56). 내륙의 경우 미동정된 균근균을 제외하고 Tomentella ellisii가 가장 많이 발견되었으며, Rhizopogon sp. 및 Cenococcum geophilum이 그 다음으로 많이 발견되었다. 해안의 경우 C. geophilum이 가장 많이 발견되었고 내륙에서 많이 발견되었던 T. ellisii 및 Rhizopogon sp.는 발견되지 않았다. 이와 같은 결과를 바탕으로 인공접종용 균근균으로서의 가능성을 확인하였고 내륙 및 해안에서 가장 많이 발견되었던 C. geophilum을 최종적으로 선발하였다.



<그림 3.57> 천연 하종 곰솔의 뿌리에 존재하는 다양한 균근의 종류

② 조기수림화 지역의 관목류 뿌리의 산사태 예방 기능 분석



<그림 3.58> 인발시험장치



<그림 3.59> 인발실험의 데이터수집 시스템

③ 두릅나무의 뿌리 측정결과

두릅나무 뿌리의 근원경, 체적 및 뿌리인발저항력을 측정한 결과는 표 3.16와 같다. 근원경은 최소 6.5mm에서 최대 18.91mm로서 평균 12.51mm(±3.97mm)인 것으로 나타났으며, 체적은 최소 11ml에서 최대 382ml이었으며 평균 107.42ml(±99.69ml)인 것으로 나타났다.

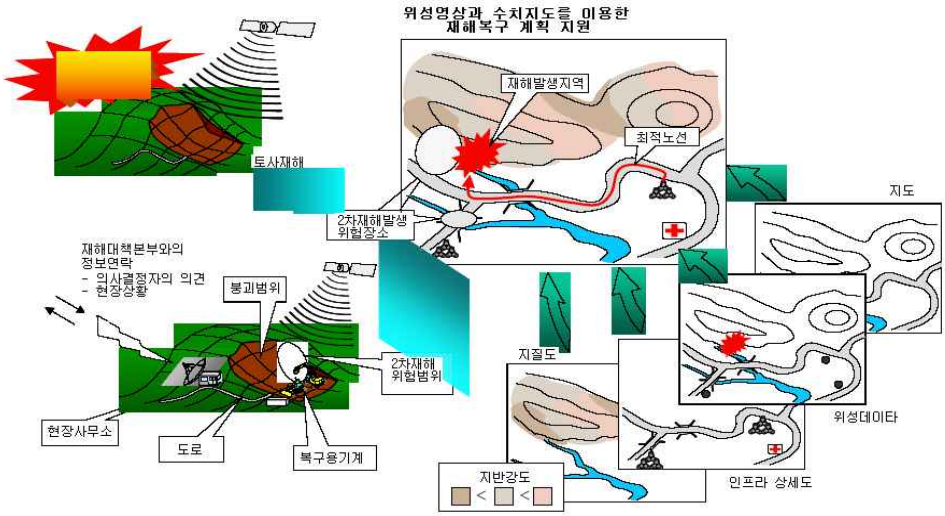
<표 3.16> 두릅나무의 뿌리 인발실험 측정결과

구분	근원경 (mm)	뿌리체적 (ml)	인발저항력 (kgf)	구분	근원경 (mm)	뿌리체적 (ml)	인발저항력 (kgf)
1	7.48	11.00	22.40	7	14.18	113.00	23.21
2	10.84	74.00	28.07	8	15.99	97.00	80.73
3	8.70	51.00	22.87	9	12.41	74.00	60.17
4	18.90	157.00	35.33	10	18.43	382.00	72.31
5	13.71	180.00	37.03	11	6.50	32.00	13.44
6	11.60	81.00	19.31	12	11.30	37.00	32.14

2. 산사태 현황조사 및 유형별 분석

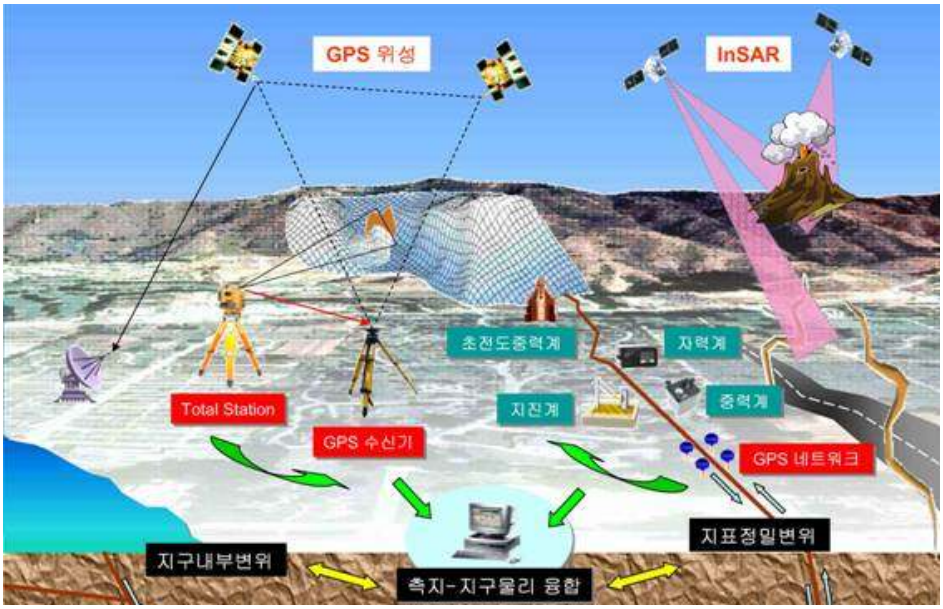
재해 관측을 위한 원격탐사 위성자료는 산사태 발생 위치, 면적, 피해규모 추출, 산사태 유발인자의 기초자료 추출 및 DB 구축, 피해지역 추출 및 피해액 산정, 등에 활용될 수 있다. 비록 자국의 고해상도 위성을 보유하지 않아도 수신에서부터 재해관리자에게까지 적기에 공급될 수 있는 효율적 자료수급 체계를 갖춘다면 산사

태 현황조사에 있어 위성자료의 활용가능성은 훨씬 높아질 것이다.



<그림 3.60> 위성영상을 이용한 재해정보를 획득

첨단공간정보수집 장비를 이용한 산사태 조사기술 동향 분석.

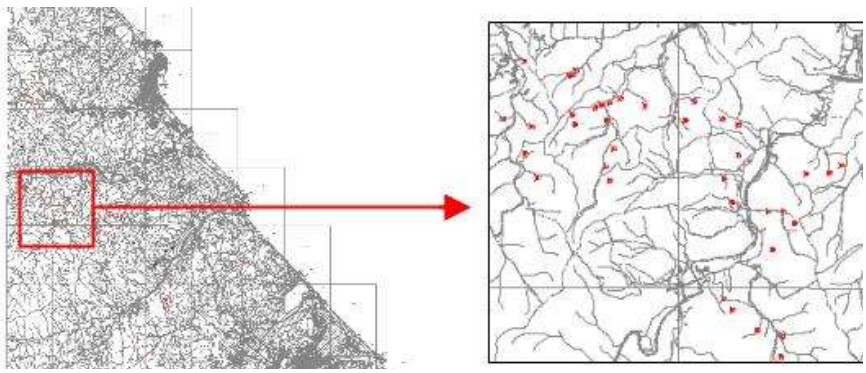


<그림 3.61> 첨단공간정보수집 장비를 활용한 재해정보 수집

<표 3.17> 첨단공간정보수집 장비

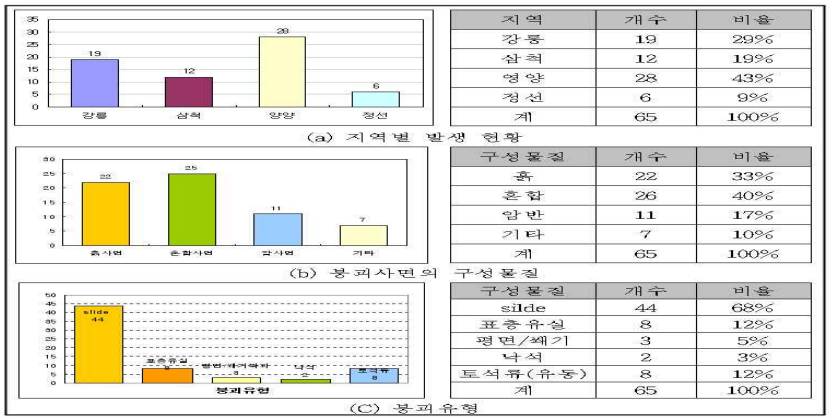
필 요 정 보	수 집 방 법	통 신 방 법	수 집 기 관
위 치 정 보	위성영상	위성통신	미국, 일본
	감시카메라 (CCTV)	유무선	일본
	GPS	유무선	미국, 일본
	GPS - VAN	유무선	국내, 국외
	헬리콥터 TV 시스템	위성통신	일본
	열기구	무선	미국, 일본
	Total Station	유무선	국내, 국외
현 장 정 보	위성영상	위성통신	미국, 일본
	감시카메라(CCTV)	유무선	일본
	GPS	유무선	미국, 일본
	GPS - VAN	유무선	국내, 국외
	헬리콥터 TV 시스템	위성통신	일본
	열기구	무선	미국, 일본

과거 산사태 발생지역에 대한 현황자료는 각 담당기관의 협조를 얻어 수집하였고 (산림연구원 종이지도, 시군구 재해대장, GPS 현장조사) 이를 디지털 형태의 자료로 변환하여 향후 지속적인 유지관리와 산사태 연구에 필요한 기초자료로 활용될 수 있도록 하였다.



<그림 3.62> 산사태 발생 위치 현황도

산사태 발생 유형의 경우는 slide 형태의 붕괴가 44개소로 가장 많이 발생하였으며, 우수에 의한 침식현상인 표층유실이 8개소, 계곡부에서의 토석류 발생이 8개소로 그 다음을 이었다. 반면 암반사면에서 주로 발생되는 평면파괴, 쐐기파괴, 낙석 등은 5개소로 매우 낮은 발생분포를 보였다. 이는 산사태 발생지역의 지반중 흙이나 혼합층이 차지하는 비중이 높은 것과 유사한 결과이며 강우시 발생되는 산사태는 암반붕괴 보다는 토사붕괴가 많이 일어나는 것으로 나타났다.



지역	개수	비율
강릉	19	29%
삼척	12	19%
양양	28	43%
정선	6	9%
계	65	100%

구성물질	개수	비율
흙	22	33%
혼합	26	40%
암반	11	17%
기타	7	10%
계	65	100%

구성물질	개수	비율
silde	44	68%
표층유실	8	12%
평면/쐐기	3	5%
낙석	2	3%
토석류(유동)	8	12%
계	65	100%

<그림 3.63> 최근 3년간 강원도에서 발생한 산사태 현황

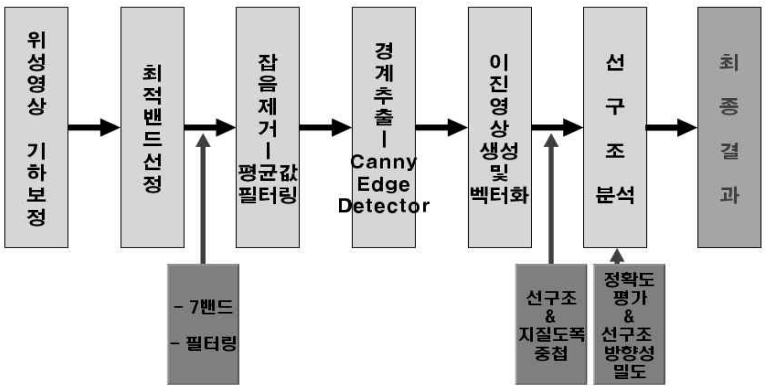
3. 인공위성영상을 이용한 구조선 추출 기술 개발

선구조(Lineament) 에 대한 연구는 1800년대에 미국인 Sedwick 등에 의하여 시작되었으며, 1900년 초에 W.H.Hobbs에 의하여 선구조의 판독과 관찰에 대한 이론이 정립되었다(주, 2002). 선구조에 대한 연구는 1972년 Landsat 인공위성이 발사된 이후 본격적인 연구가 수행되었으며, 항공사진, DEM 등을 이용하여 선구조를 추출하기 위한 연구도 수행되었다.



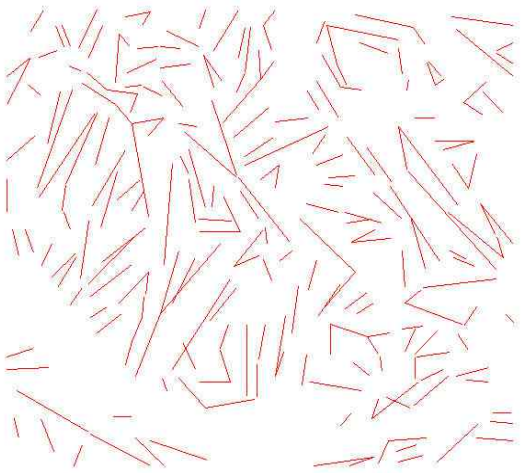
<그림 3.64> 선구조의 정의

선구조를 추출하기 위한 방법은 다양한 방법이 존재하며, 사용되는 기초자료에 따라 항공사진, 위성영상, 수치지형도, 항공사진 등으로 구분될 수 있다. 이와 같이 다양한 자료와 방법에 따라 선구조 추출결과가 상이하여 객관성이 떨어지는 것이 현실이다. 그러나 이 연구에서는 선구조를 추출 방법을 그림 3.65과 같이 정립함으로써 수치지형도와 항공라이다에서 추출된 선구조와 유사한 결과를 얻을 수 있었다.



<그림 3.65> 위성영상을 이용한 선구조 추출 알고리즘

위성영상을 이용한 선구조 추출은 Canny 경계추출 기법에 의해 추출된 윤곽선 영상을 이용하여 이진파일로 변환하고, 곡선추출 알고리즘을 이용하여 선구조를 추출하고 벡터화 하였다. 그림 3.66는 Landsat TM 영상에 의해 추출된 선구조를 나타낸 것이다.

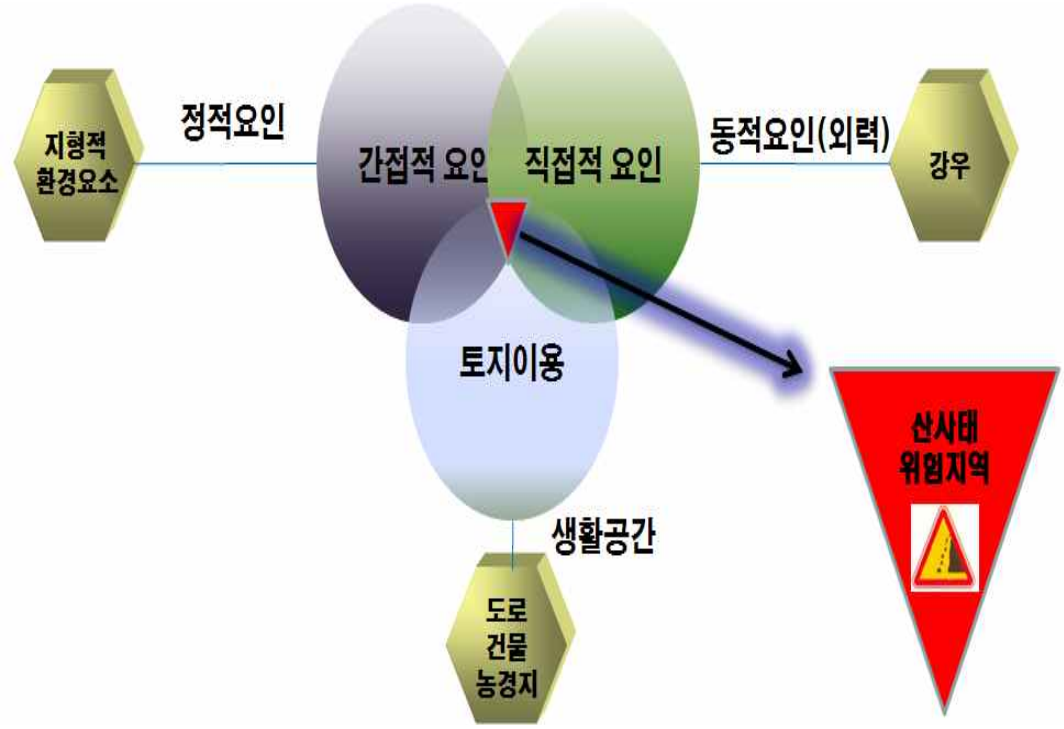


<그림 3.66> 위성영상을 이용한 선구조 추출

본 연구에서 개발된 선구조 추출 알고리즘을 이용하여 강원도 전 지역을 대상으로 선구조를 추출하고 DB를 구축하였다.

4. 산사태 위험지도 제작을 위한 공간분석 체계 개발 및 위험지도 제작 기술

산사태는 그림 3.67와 같이 간접적 요인과 직접적 요인에 의해 발생한다. 즉, 지형적 환경요소에 동적요인인 강우가 발생하면 산사태가 발생한다. 본 연구에서는 위험지도 제작기술을 개발을 위해 위험지역을 인간의 생활공간인 도로, 건물, 농경지 등 산사태로 인한 직접적 피해를 입을 수 있는 지역을 산사태 위험지역으로 정의하고 위험지도 제작 기술을 개발하였다.



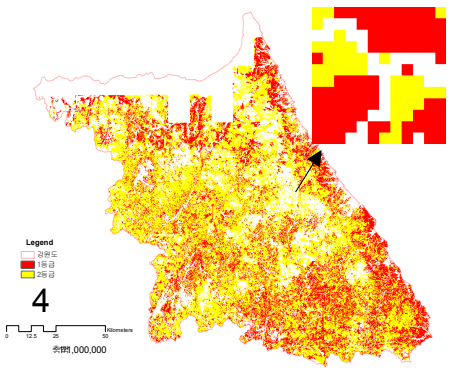
<그림 3.67> 산사태 위험지역의 개념

산사태 유발인자은 국내외 연구문헌을 통해 산사태 유발인자로 밝혀진 인자들을 본 연구의 산사태 유발인자로 정의하였다. 즉, 10개 항목의 간접적 요인과 1개의 직접적 요인을 선정하였다. 간접적 요인은 경사, 경사방향, 경사모양, 단층, 토양모암,

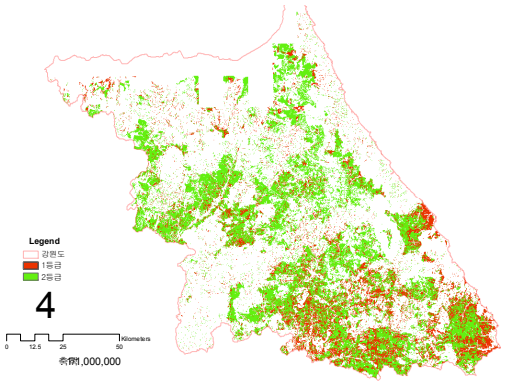
토양의 배수상태, 토양의 표토두께, 임상, 임상경급, 임상밀도 등 총 10개의 항목이며, 직접적 요인은 최대연속강우량으로 누적강우량과 일강우량으로 구성하였다.

이 연구에서는 5단계에 걸쳐 연구를 수행하였다. 1단계는 GIS 기술을 활용하여 산사태 유발인자 DB구축, 2단계는 취약성도 제작, 3단계는 발생가능성도 제작, 4단계는 위험성도 제작, 5단계는 위험지도 제작 및 배포이다.

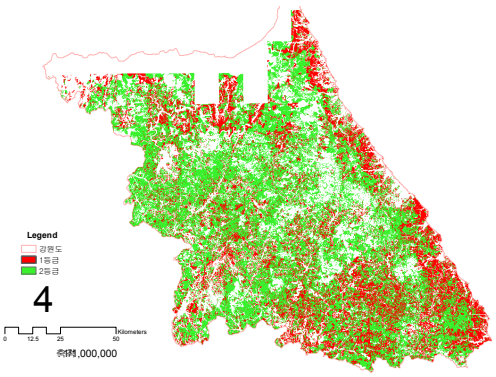
산사태 유발인자 DB를 이용하여 GIS 공간분석을 통해 산사태 취약성도, 발생가능성도, 위험성도를 제작하였다. 특히, 산사태 위험지도 제작을 위해서 산사태 발생가능성도에 수치지도에서 추출한 토지이용(도로, 건물) 정보를 중첩하여 위험지역 추출하였다. 그림 3.68에서 그림 3.74까지는 본 연구의 위험지도 제작기술에 의해 만들어진 취약성도, 발생가능성도, 위험지도를 각각 그림으로 나타낸 것이다.



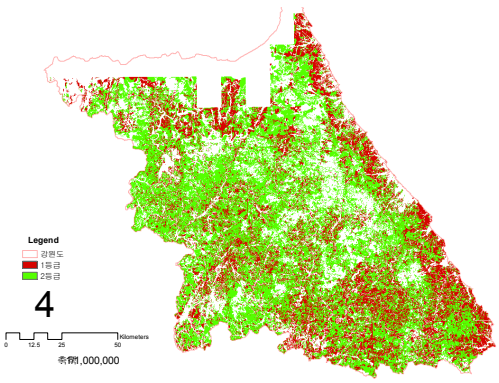
<그림 3.68> 취약성도



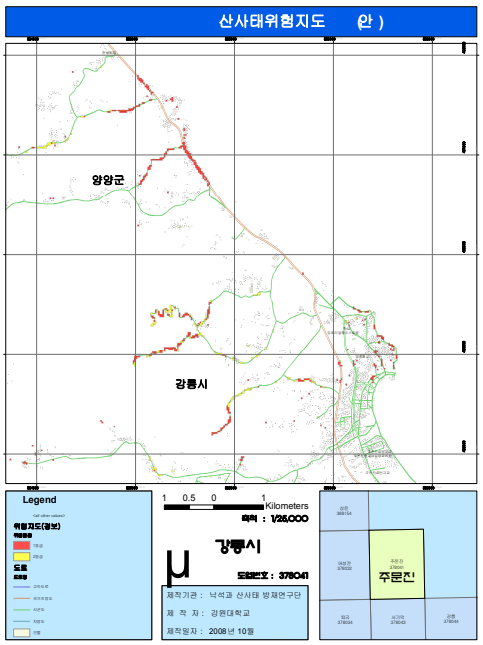
<그림 3.69> 산사태 발생가능성도(주의보)



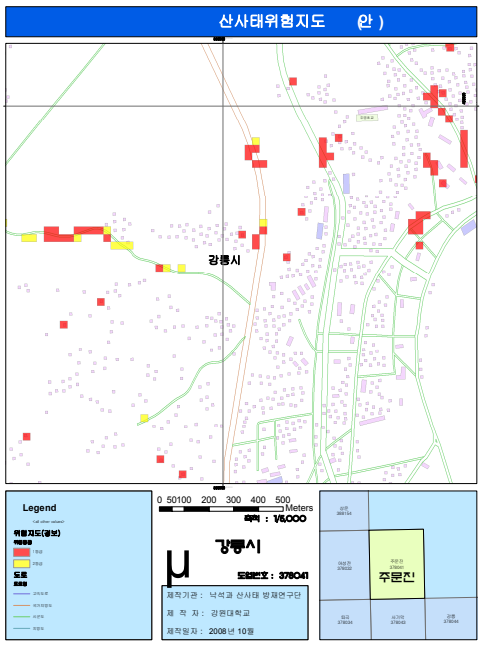
<그림 3.70> 산사태 발생가능성도(경보)



<그림 3.71> 산사태 발생가능성도(발생)



<그림 3.72> 1/25,000 산사태 위험지도 제작(안) : 산사태 경보시



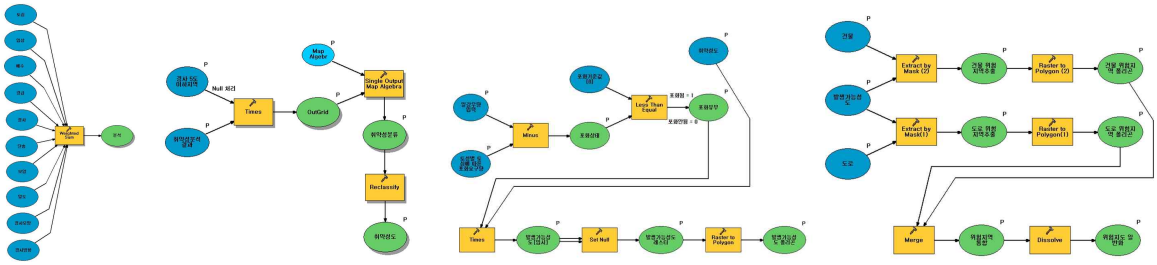
<그림 3.73> 1/5,000 산사태 위험지도 제작(안) : 산사태 경보시



<그림 3.74> 3차원 산사태 재해지도

5. 공간영상정보를 활용한 산사태 위험성 평가시스템 개발

위험성 평가시스템 개발을 위한 평가 모델링 정립하고, 정립된 산사태 위험성 평가용 GIS 모델링을 이용하여 DB설계, 구축, 시스템 개발을 수행하였다.

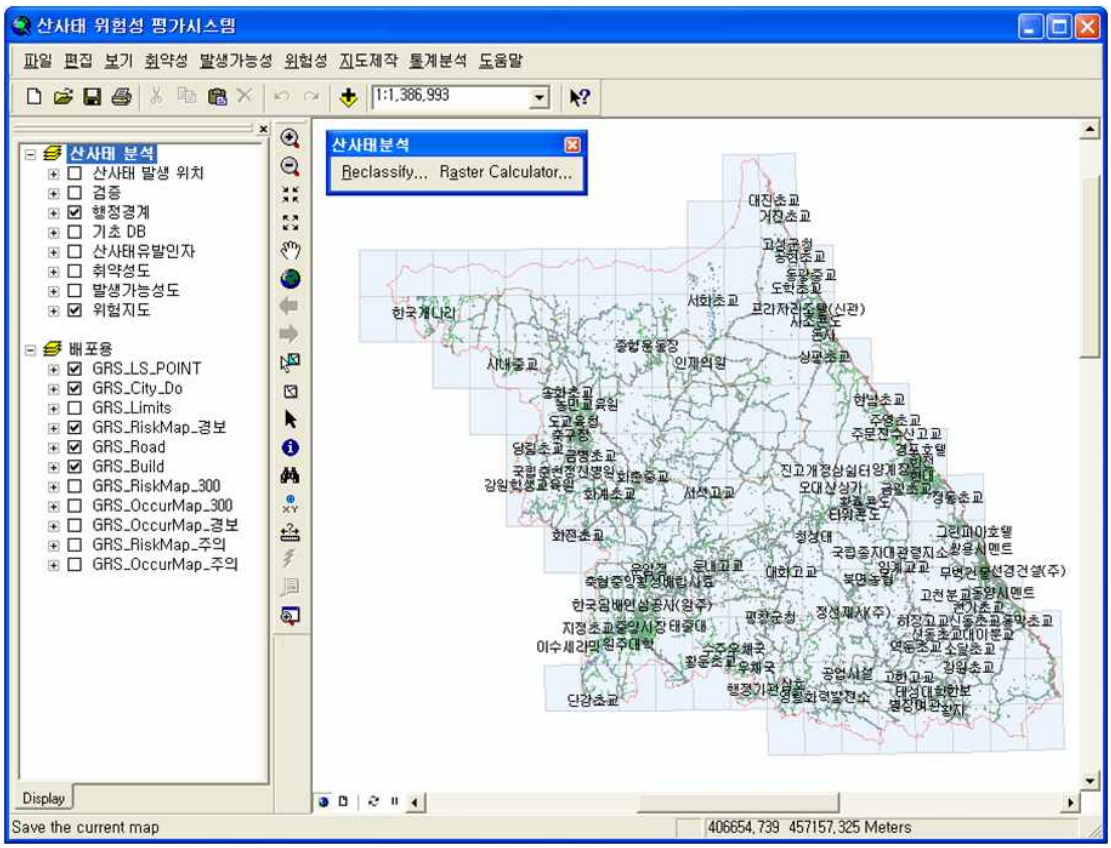


<그림 3.75> GIS 공간분석기술을 이용한 위험성 평가 및 분석 모델링

<표 3.18> 산사태 위험성평가시스템 GIS DB 설계

구분	DB 항목	자료유형	포맷	입출력
기초 DB 입력	DEM	그리드	TIF	입력자료
	토양도	벡터	SHP	입력자료
	임상도	벡터	SHP	입력자료
	지질도	벡터	SHP	입력자료
유발인자 DB 생성	경사	그리드	TIF	출력자료
	경사방향	그리드	TIF	출력자료
	경사모양	그리드	TIF	출력자료
	단층	그리드	TIF	출력자료
	배수	그리드	TIF	출력자료
	토심	그리드	TIF	출력자료
	임상	그리드	TIF	출력자료
	경급	그리드	TIF	출력자료
	밀도	그리드	TIF	출력자료
	토질	그리드	TIF	출력자료
	강우	그리드	TIF	출력자료
지형도	도로망도	벡터	SHP	입력자료
	건물도	벡터	SHP	입력자료
	토지이용도	벡터	SHP	입력자료
관리 및 검증	과거 산사태 발생위치도	벡터	SHP	입력자료
산사태 위험지도	취약성도	그리드	TIF	출력자료
	발생가능성도	그리드	TIF	출력자료
	위험성도	그리드	TIF	출력자료
	위험지도	벡터	SHP	출력자료
	통계자료	테이블	DBF	출력자료

평가시스템의 주요기능은 자료입력, 출력 및 저장, 공간 검색 및 조회, 속성조회 및 수정, 화면제어, 분석, 지도제작 및 통계작성 기능이고, 시스템의 화면구성은 그림 3.76와 같다.

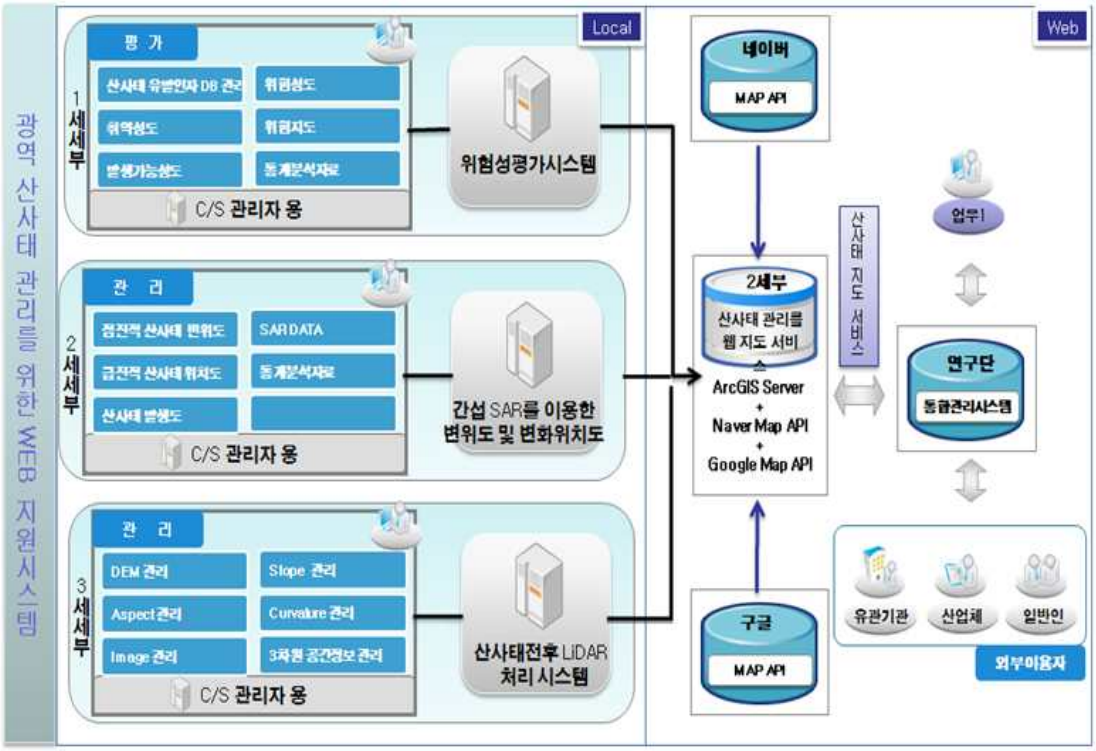


<그림 3.76> 산사태 위험성 평가시스템

6. 산사태 관리를 위한 Web 지도서비스 운용

IT와 GIS 기술의 발달로 위치기반의 지도서비스는 매우 급속히 발전해 왔고, 최근에는 일반인들도 쉽게 웹서비스 업체들의 Open API Map 서비스를 이용하여 다양한 주제의 지도서비스를 생성하고 정보를 공유하고 있다. 이에 본 연구에서는 Web 2.0 시대에 맡는 Web 지도서비스를 위해서 Open API Map 서비스와 화려한 인터페이스와 편리성을 제공하는 Flex 기술을 적용하여 산사태 관리를 위한 Web 지도서비스를 운용하고자 하였다.

산사태 관리를 Web 지도서비스의 시스템 운영 구성도는 그림 3.77와 같다.



<그림 3.77> 광역 산사태 관리를 위한 Web 지도 서비스의 시스템 운영 구성도

본 연구에는 ESRI의 ArcGIS Resource Center에서 다운받은 ArcGIS API for Flex Vesion 1.2를 사용하여 2009년에 제작된 산사태 정보를 기본 DB로하여 웹 지도서비스 구축하였다. 특히 본 산사태 관리를 위한 Web 지도서비스는 ArcGIS Server 리소스를 이용한 Flex 기반의 다이나믹한 RIA(Rich Internet Application) 기술을 적용함으로써 동적인 맵 표출과 빠른 응답속도, GIS 모델 실행, 정보검색, 화려한 인터페이스 등 Web 2.0을 지향하고 있다.

<표 3.19> 산사태 관리를 위한 Web지도 DB

지도정보		Format	Open API
과거 산사태 발생정보		Point	Rest API
위험지도	취약성도	Polygon	Rest API
	발생가능성도		
	위험지도		
지형정보	경사, 경사방향	Paster	Rest API
	임상, 모암, 토질		
	토심, 배수 등		
낙석 발생 위험지역		Point	Rest API
기본도(위성영상)		Raster	Rest API
날씨정보		Point	Soap API
Google Map		Raster	Google Map API
지형도	Road	Line	Rest API
	Building	Polygon	
	행정경계	Polygon	
	주석	Point	
사용자 인터페이스(UI)		Flash	Flex API

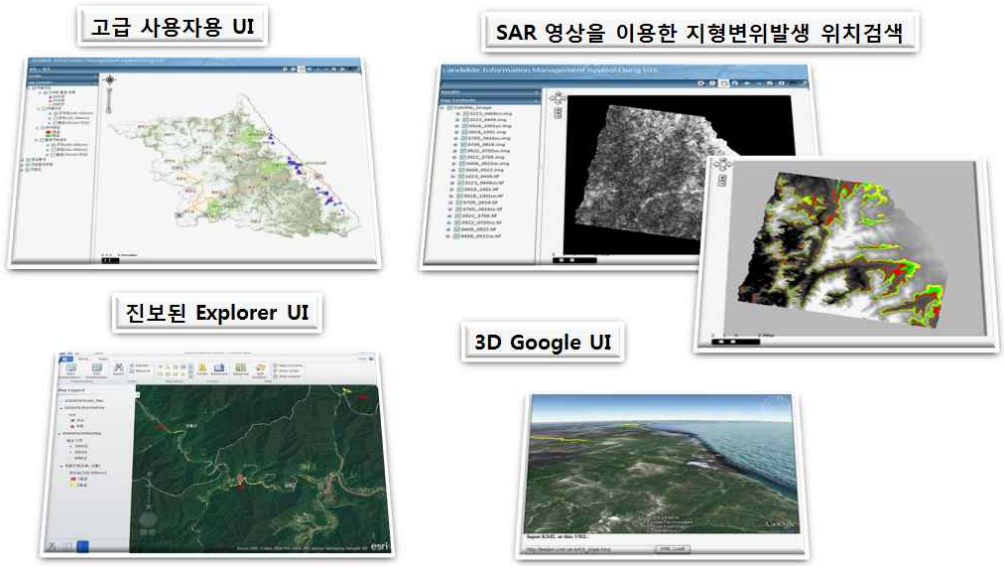
Web GIS 기술을 활용한 Flex 기반의 산사태 정보 관리시스템은 맵, 화면제어, 도구, 지도서비스, 도움말 등 5개로 웹 메뉴로 구성하였다.



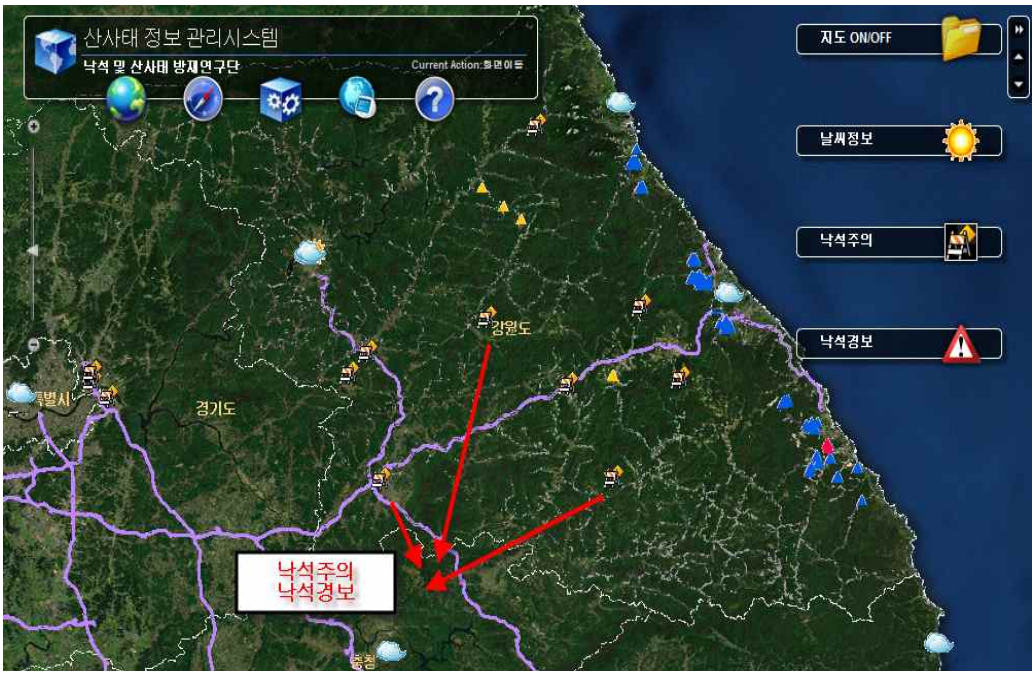
<그림 3.78> Flex 기반의 산사태 정보 관리시스템 화면구성(Ver 1.0)

본 서비스는 다양한 UI 제공을 통해 사용자에게 접근성 및 편리성 제공하고, 다

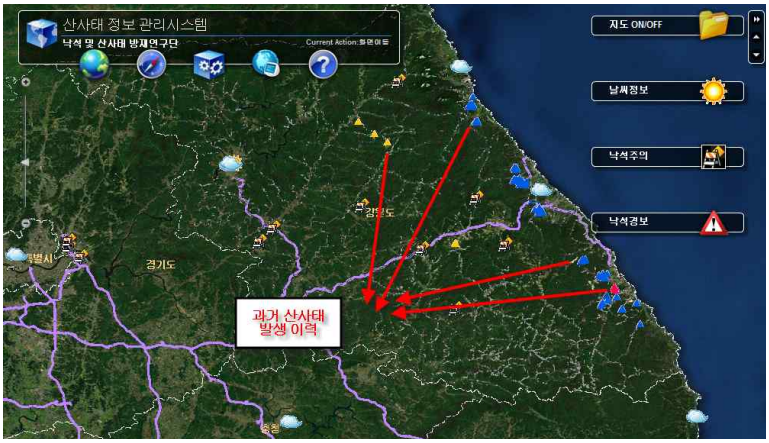
양한 자료 접근 채널을 통해 정보의 활용을 극대화할 수 있도록 유도하였다. 뿐만 아니라 사용자는 창조적이고 주도적으로 맵을 사용하고 배포할 수 있는 장점이 있다. 이는 본 시스템이 Web 2.0 기술흐름 지향하고 있기 때문이다.



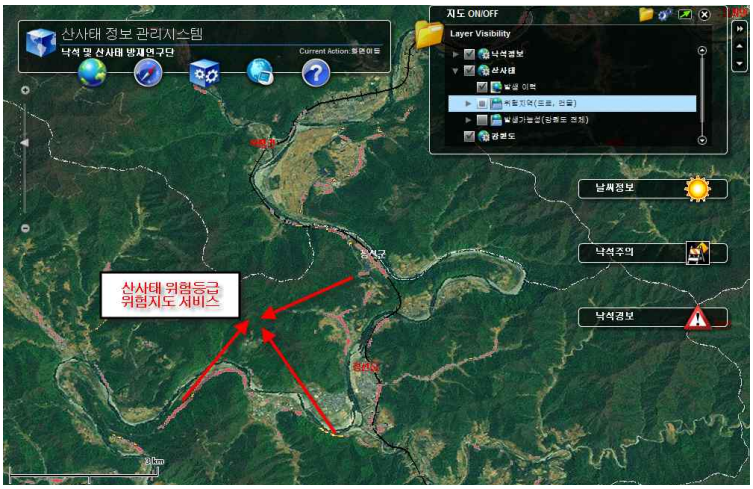
<그림 3.79> 산사태 DB의 다양한 Web 접근 채널



<그림 3.80> 낙석주의, 경보 지도서비스



<그림 3.81> 과거 산사태 발생이력 지도서비스



<그림 3.82> 산사태 위험등급 및 위험지도서비스



<그림 3.83> 강우별 산사태 발생가능성 지도서비스

제 6 절 간섭 SAR 영상처리를 위한 시스템 구축

전체 국토의 70%가 산지로 이루어진 우리나라의 경우 자연 재해중 산사태로 인한 피해가 심각한 상황이다. 이러한 원인으로는 산림 황폐화나 송전탑, 임도, 도로 건설 등 인위적인 개발과 더불어, 최근에는 기상 이변으로 인한 국지성 호우가 잦아지면서 광범위한 지역에 걸쳐 불규칙적으로 산사태가 발생하고 있는 상황이다. 하지만 현재 이루어지고 있는 직접측량은 지역적 접근성의 제한으로 인해 한계가 있을 수밖에 없다.

따라서 이러한 광범위 산사태를 잘 감지하고 신속한 대처가 이루어 질 수 있도록 하기 위해 최근 항공측량이나 인공위성을 이용한 원격탐측의 중요성이 대두되고 있다. SAR(Synthetic Aperture Radar, 고해상도 영상 레이더)는 공중에서 순차적으로 발사한 레이더파가 지상 굴곡 면에서 반사되어 돌아오는 미세한 시간차를 순차적으로 탐지한 후 합성해서 지상 지형도를 만들어 내는 레이더 시스템으로, 광학영상과 달리 레이더의 특성상 대기의 영향을 받지 않으며 긴 파장을 가진 L-band의 경우 물질 내부로 파고드는 성질을 이용해서 나뭇잎도 투과할 수 있기 때문에 강원도 같은 산림 지역에서도 정확한 지형 탐색이 가능하다는 장점이 있다. 또한 인공위성을 이용한 광범위 탐측은 넓은 지역에서 동시 다발적으로 발생하는 산사태를 효과적으로 감지할 수 있으므로 시간과 인력의 제한이 큰 기존의 직접 측량방식의 한계를 극복할 수 있고, 다년간 레이더 영상 자료 처리를 통한 산사태 데이터베이스 구축, 산사태 거동 및 분포 지역을 분석하여 취약 지구 선정을 통한 정책 결정 등에 활용될 수 있다. 이러한 산사태 정보는 웹 시스템을 통해 사용자에게 제공될 것이며, 산사태가 벌어지고 난 다음의 사후처리 뿐만이 아니라 궁극적으로 산사태 예방을 위한 기초 자료로서 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 영상 레이더 기초이론

SAR 시스템은 안테나가 탐사한 영역의 반사파를 관측하여 2차원 사진과 같은 영상을 제작하는데 사용된다. 이때의 SAR 영상은 안테나에 수신된 신호로부터 위상 정보는 무시하고 단지 크기 정보만을 이용한 영상이다. 이에 반해 레이더간섭기법(interferometry)은 두 개 이상의 안테나를 사용하거나 하나의 안테나로 동일 지

역을 2회 이상 관측함으로써 다수의 단일복소영상(Single Look Complex, SLC) 영상을 제작하고, 이로부터 수신되는 신호들의 위상차를 활용하여 표적의 3차원 고도 정보를 얻어내는 기법이다.

그 과정은 먼저 두 개의 SAR 영상에서 같은 표적이 동일한 위치에 위치하도록 영상위치보정을 해준다. 그리고 위상을 이용하여 고도 정보를 추출하기 위해 두 영상의 위상간의 켤레복소수 곱을 통해 간섭도(interferogram)를 생성한다. 하지만 이때의 위상 값은 $-\pi \sim +\pi$로 범위 내에서만 정의되므로 이 값을 실제 경로 차에 의해 생기는 위상 값으로 바꾸기 위해 절대위상 복원 과정(phase unwrapping)을 거친다.

절대위상 복원 과정을 통해 구한 위상은 이후 차분간섭기법(Differential INterferometry SAR, DInSAR)를 통한 이중차분 과정을 거쳐 지형에 의한 위상을 제거한 뒤 최종적으로 대상지역의 수평 혹은 수직 변위를 계산할 수 있다. 여러 차분 기법 중 특히 반복경로 간섭기법(2-Pass DInSAR) 과정에서는 지형의 위상을 제거하기 위해 정밀한 DEM(Digital Elevation Model, 수치표고모형)이 요구된다.

본 연구에서는 기존의 산사태를 점진적 산사태(progressive landslide)와 급진적 산사태(sporadic landslide)로 구분하고, 각기 다른 간섭 SAR 처리방식을 적용하여 효과적인 산사태 탐측을 시도하였다. 점진적 산사태는 화산 활동이나 지진 및 지하공동으로 인한 지반 침하 등으로 인해 광범위한 지역에서 점진적으로 진행되는 지형적 변화를 뜻하며, 지속적인 지반 약화를 초래하여 차후 급진적 산사태로의 발전 가능성이 높은 지역이다. 급진적 산사태는 국지성 호우 등으로 지반이 급격하게 함몰되며 발생한 산사태를 뜻하며, 특히 최근 기상이변과 더불어 빈번하게 발생하는 산사태이기도 하다.

이러한 산사태를 효과적으로 감지하기 위해 점진적 산사태의 경우 우선 차분간섭기법을 이용한 탐측을 적용하였다. 차분간섭기법은 광범위한 지역에서 cm단위의 정확한 지형 변위를 탐지할 수 있으며, 이후 Hagberg 등에 의해 유도된 정확도 분석을 통해 오차 범위 내의 영상을 제거하고 지표변위도를 제작하여 최종적으로 산사태 취약 지구를 결정하게 된다.

급진적 산사태의 경우 간섭 SAR 기법 중간에 생성되는 지표변화도 (혹은 긴밀도지도, coherence map)를 이용한다. 이는 두 영상관 상관관계 수치를 계산하여 영상 상에 표현한 것으로 0부터 1사이의 값을 가지며 두 영상이 촬영된 기간 사이 지형적 변화가 없을 경우 높은 수치를 가지고, 만약 지형적 변화가 생겼을 경우 낮은

수치를 나타낸다. 따라서 필터링을 통해 오차 요소를 제거하고 두 영상 간 상관관계를 계산하면 두 영상이 촬영된 시점 사이에 있었던 급진적 산사태의 위치를 탐지할 수 있다.

2. 연구개발결과

가. 데이터 취득 및 전처리

Phase error는 위성궤도 오차와 위성 간 기선 거리에 큰 영향을 받는다. 따라서 두 위성영상을 이용하여 변화도와 변위도를 생성하는데 있어 정확한 위성궤도 정보와 위성 간 짧은 기선거리를 확보하는 것이 Phase error를 최소화할 수 있다. 다음의 표 3.20은 기선거리 증가에 따른 phase error의 증가치를 나타내며, 본 연구에서는 위성 간 기선거리를 300m 이하의 영상을 선택하여 변화도와 변위도 생성에 발생하는 Phase error를 최소화했다.

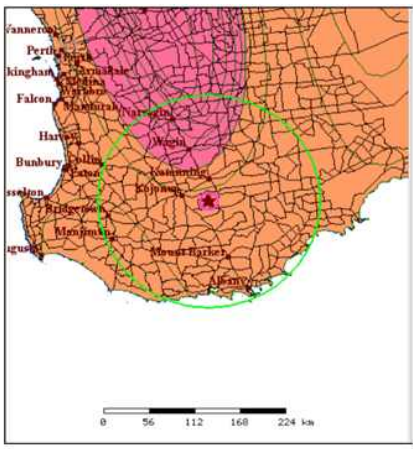
한편, SAR Interferometry를 생성하기 위해서는 동일 지역에 대해 시차를 갖는 두 장의 영상이 필요하다. 하지만 하나의 영상이 포함하는 지역은 매우 광범위하므로 결과를 얻고자 하는 지역에 대해 Subset 과정을 수행한 후 영상처리과정을 거치게 되면 처리과정에 소요되는 시간을 줄일 수 있다. 또한 두 영상 간 상관도를 높게하는 Adapted Filtering을 Phase Unwrapping 과정 중에 반복 수행하여 영상처리 시간을 감소시켰다.

<표 3.20> 위성 간 기선거리에 따른 Phase Error

기선거리 증가에 따른 phase error 증가량(m)	
10	0.056739
20	0.113478
50	0.283694
100	0.567388
200	1.134775
500	2.836938
1000	5.673877
2000	11.34775
5000	28.36938

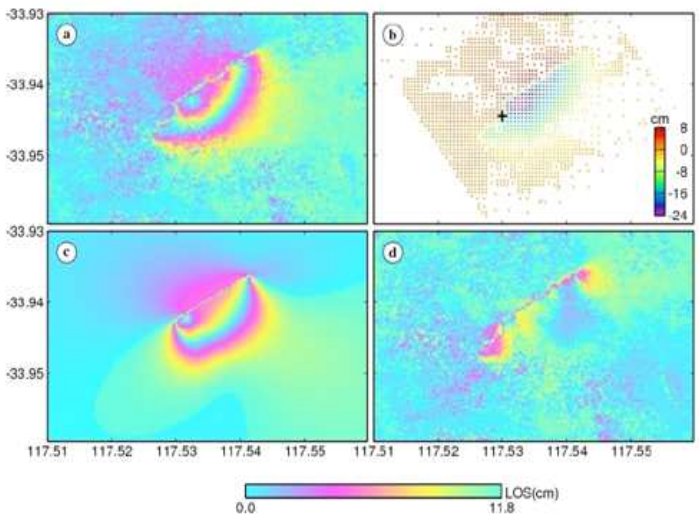
나. 해외연구사례 동일 테이터 처리를 통한 비교 및 검증

본 연구에서는 연구결과의 효용성 검증을 위해 호주 서남부(117.505°E, 33.946°S) 지역의 지진으로 인한 지표변위 관측사례(Linlin et al., 2008)와 동일한 지역을 대상으로 ALOS 영상을 이용한 변위탐측 연구를 실시하였다. 다음 그림 3.84은 2007년 10월 9일 호주 서남부(117.505°E, 33.946°S) 지역에서 발생한 지진의 진앙지를 표시한 것이다.

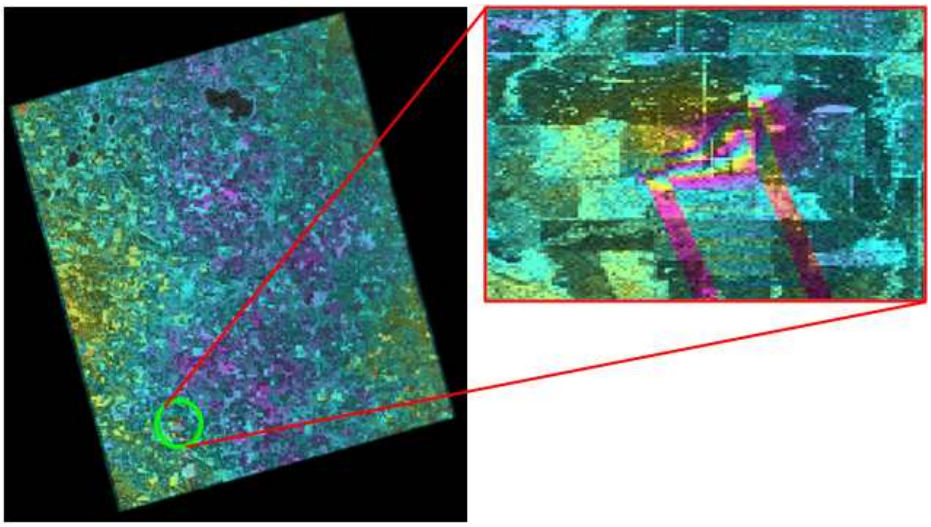


<그림 3.84> 호주 서남부 지진 진앙지

지진이 발생한 시점을 전후로 Master 영상과 Slave 영상을 결정하는데 Temporal 오차가 최소가 되게 하기 위하여 그 시간 간격이 짧으면서도 위성간 기선거리가 짧은 두 영상을 선별하여 Master영상은 2009년 9월 8일, Slave영상은 2009년 10월 24일의 영상을 사용하였다. 이 때 위성 간 기선거리는 421.8m이다.



<그림 3.85> 해외 연구사례 결과(Linlin et al., 2008)



<그림 3.86> 호주남부지역 ALOS 영상 처리결과

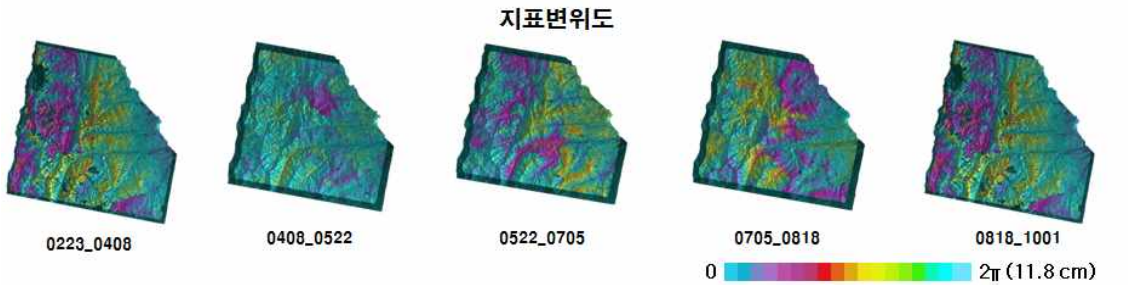
그림 3.85는 해외연구사례의 결과이고 그림 3.86은 연구사례와 동일한 지역을 대상으로 한 본 연구의 변위도이다. 그 결과 해외연구사례(Linlin et al., 2008)와 동일하게 진앙지로부터 북쪽으로 광범위한 미세 지표 변위가 관측되었고, 동일한 지점(117.530°E, 33.945°S)에서 32cm에 이르는 수직 지표변위가 관측되었다.

다. 국내지역 산사태 탐측 처리 결과 (JERS-1)

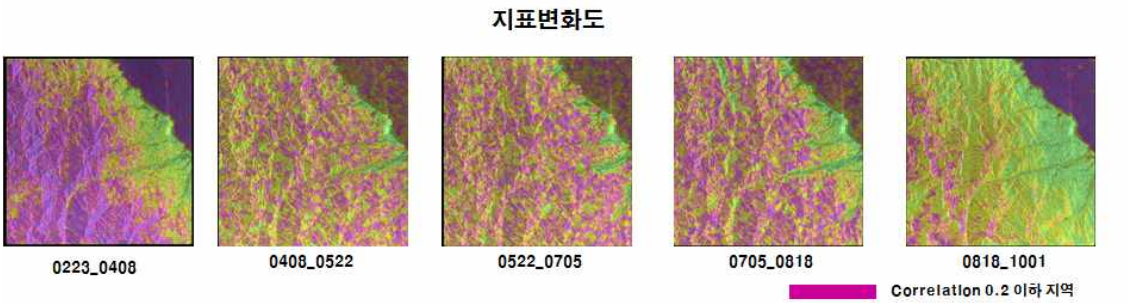
본 연구에서는 계절에 따른 강원도 지역의 산사태 변화 추이를 살펴보기 위해 1998년도에 취득된 여섯 장의 JERS-1 위성영상을 이용하여 강원도 지역의 계절별 지표변화도 및 지표변위도를 생성하였다. 다음의 표 3.21는 JERS-1 위성영상의 제원을 나타내고 있으며, 다음의 그림 3.87는 JERS-1 위성영상을 이용해 생성한 강원도 지역의 지표변위도를, 그림 3.88는 동일지역을 대상으로 취득된 지표변화도를 나타낸다. 분석결과, 지표변화도의 경우 해안지방 보다는 주로 내륙지역을 중심으로 3 ~ 7 cm 정도의 미세변위가 탐측되었으며, 지표변화도의 경우 0818_1001 자료를 제외한 대부분의 결과에서 Correlation 0.2 이하의 지형변화가 탐지되었다. 전체적으로 가장 큰 변화는 0223_0408 결과에서 탐측되었으며, 이는 겨울 내 얼어있던 지표면이 녹으면서 유발된 산사태의 영향이 큰 것으로 분석된다.

<표 3.21> JERS-1 영상정보

Data	fcomplex
Beam Mode	FBS
Mode	Single Polarization (HH)
Center Latitude	37° 90′
Center Longitude	128° 50′
Range Spacing	8.778m
Azimuth Spacing	4.489m



<그림 3.87> 강원도 지역 지표변위도



<그림 3.88> 강원도 지역 지표변화도

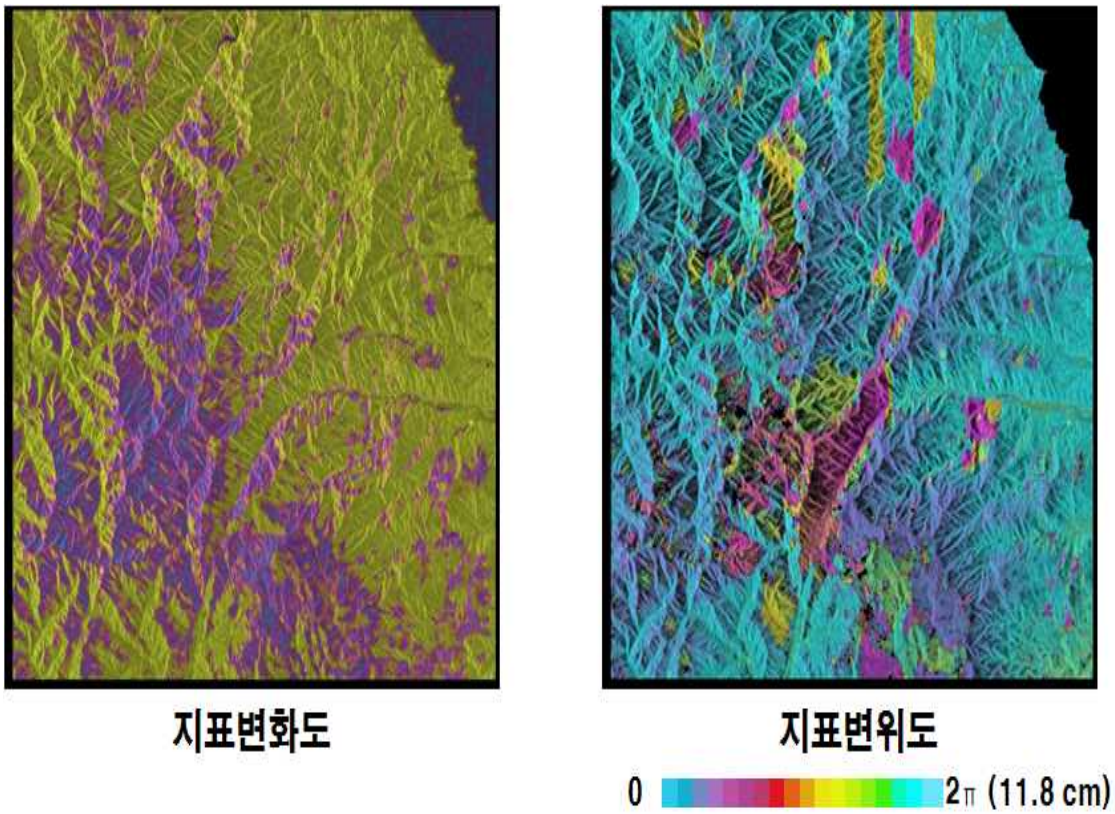
라. 국내지역 산사태 탐측 처리 결과 (ALOS)

한편, 본 연구에서는 2006년 발사된 최신 ALOS 위성영상을 이용해 강원도 지역에 대한 지표변화도와 지표변위도를 생성하였다. Master영상은 2008년 1월 31일,

Slave영상은 2008년 3월 17일 영상으로 시차는 46일이며 두 영상의 위성 간 기선거리는 145m 이다. 다음의 표 3.22는 ALOS 영상의 제원을 나타내며, 그림 3.89은 ALOS영상을 이용하여 생성한 지표변화도 및 지표변위도를 나타낸다.

<표 3.22> ALOS 영상정보

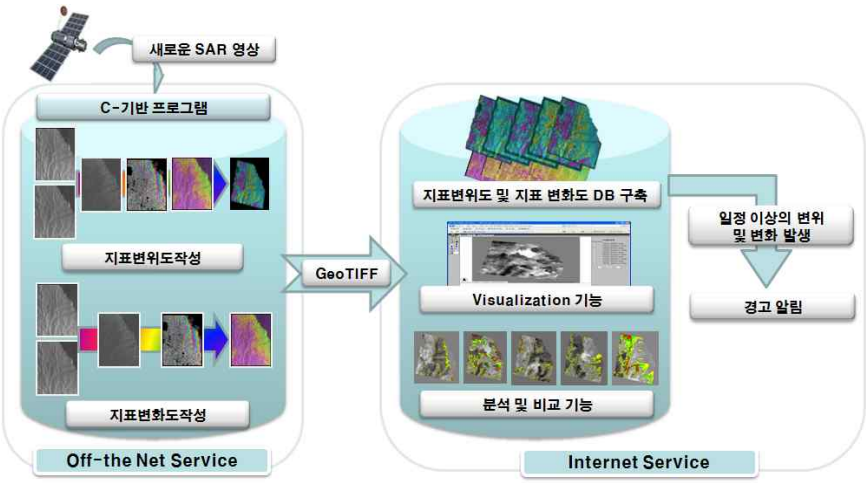
Data	scomplex
Beam Mode	FBS
Mode	Single Polarization (HH)
Center Latitude	37° 51 ′
Center Longitude	128° 36 ′
Range Spacing	4.685m
Azimuth Spacing	3.145m



<그림 3.89> ALOS 영상 지표변화도(좌), ALOS 영상 지표변위도(우)

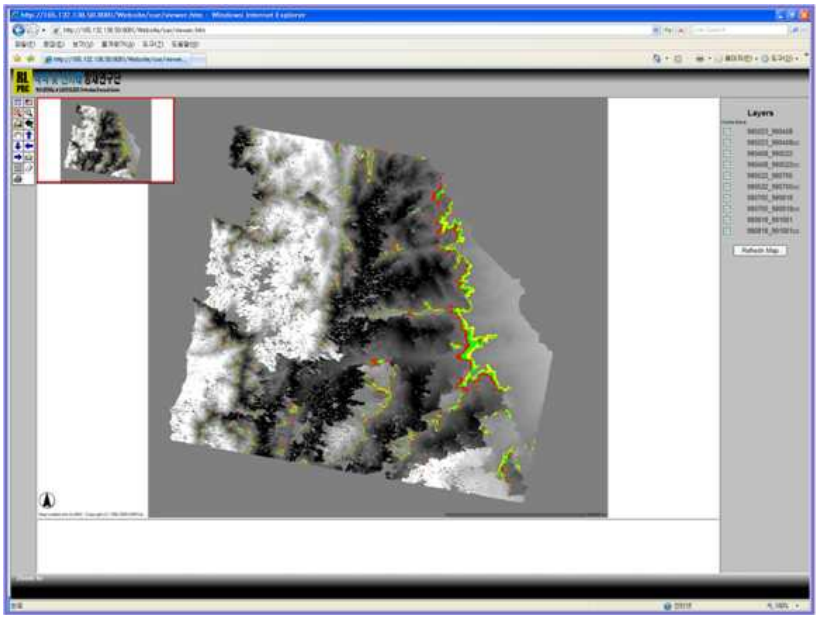
마. 산사태 정보의 제공

본 연구에서는 웹 시스템을 이용한 체계적인 산사태 정보 제공 방안을 연구했다. 이를 위해 우선 다양한 현장 적용을 통해 간섭 SAR 결과의 적용성 및 신뢰성을 향상시키고, 다년간의 영상 자료 분석을 통한 산사태 데이터베이스를 구축한다. 웹 시스템을 통해 제공될 자료는 두 가지로 차분간섭 기법을 통해 제작된 지표변위도와 산사태 피해 위치 정보를 담은 지표변화도이다. 지표변위도는 미소 변위 탐측을 통해 향후 급진적 산사태로의 발전 가능성이 있는 산사태 위험 예상 구간을 파악하는 데 사용되며, 지표변화도의 경우 다년간 자료의 중첩을 통해 산사태가 자주 일어나는 지역을 파악하고, 이로부터 산사태 취약 지구를 선정하게 된다. 그림 3.90은 웹시스템을 기반으로 제공될 SAR 기반 지표변화 및 지표변위 탐지 시스템의 개념도이다.



<그림 3.90> 간섭 SAR 기반 지표변위 및 지표변화 탐지 시스템

한편, 본 연구에서 통합시스템 구축을 위해 시범적으로 연구에서 수행되었던 JERS-1 위성영상을 이용해 DB를 구축하였다. ArcGIS 서버와의 호환성을 위해 ArcIMS에서 시범적으로 Web 시스템을 구축하여 시스템의 안정성을 검증했다. 다음 그림 3.91는 ArcGIS 기반으로 웹 시스템에 제공될 산사태 변위도를 나타내고 있으며, 실좌표계를 기반으로 산사태 지역의 자세한 현황 및 시각 정보를 제공하기 위해 속성정보와 더불어 화면 줌 인, 줌 아웃, 이동 등의 기능을 제공한다.



<그림 3.91> ArcGIS 웹시스템

제 7 절 시계열 LiDAR 정보에 의한 산사태 모니터링 기술 개발

산사태 징후 감시체계를 지원하기 위한 기술개발 연구로서, 시계열 LiDAR 영상을 취득하여 3차원 지형의 변화를 높은 정밀도로 모니터링 하는 기술을 개발하고, 개발된 기술은 전체 산사태 관리시스템 속에서의 산사태 광역감시체계 모듈을 구성하는 핵심기술에 포함되며, 지상스캐닝 데이터와 융합시키는 기술 및 3차원 뷰어를 개발하여, 산사태의 특성을 보다 정밀하고 과학적인 방법으로 연구하고 산사태의 발생에 취약한 지역을 선정하여 산사태가 발생을 억제하거나 나아가 피해를 저감시킬 수 있는 연구가 필요하다.

1. 라이다 측량의 산사태 적용 모델개발을 통한 항공 및 지상 라이다의 데이터융합기술 개발

가. 항공 및 지상 라이다 데이터의 정확도 측면에서의 산사태 분야 적용

본 연구에서는 해마다 집중호우 시 산사태가 빈번이 발생하고 산사태 발생 위험

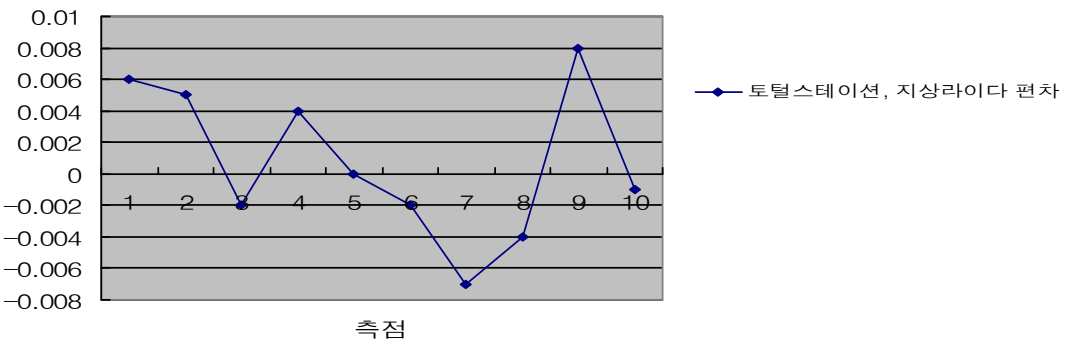
도가 높으며, 자료의 취득이 용이하고 2003년 집중호우로 산사태가 많이 발생한 강원도 동해 지역이 본 연구를 수행함에 있어서 최적의 적지로 판단된다.

(1) 항공 및 지상 라이다 측량의 자료의 정확도 검증

지상라이다 자료의 정확도를 평가하기 위해서 토털스테이션에서 획득된 포인트 정보와 지상라이다 2cm 간격으로 측량한 포인트를 중첩하였으며, 표 3.23은 중첩된 포인트의 해당위치에 해당하는 표고 값을 서로 비교하여 분석한 결과 최대+0.008m, 최소-0.007의 편차가 발생하였으며, 평균 오차는 오차의 절대 값에 대해서 평균한 값으로 0.004m의 평균오차를 보였다.

<표 3.23>토털스테이션과 지상라이다의 표고 값 비교 (단위:m)

토털스테이션 포인트 점	토털스테이션에 의한 표고 값	지상라이다	
		표고 값	오차
1	121.582	121.574	0.006
2	122.092	122.087	0.005
3	122.051	122.049	-0.002
4	120.324	120.320	0.004
5	120.183	120.183	0
6	120.728	120.730	-0.002
7	117.491	117.506	-0.007
8	117.654	117.659	-0.004
9	117.862	117.854	0.008
10	117.741	117.742	-0.001
평균오차			**0.004**

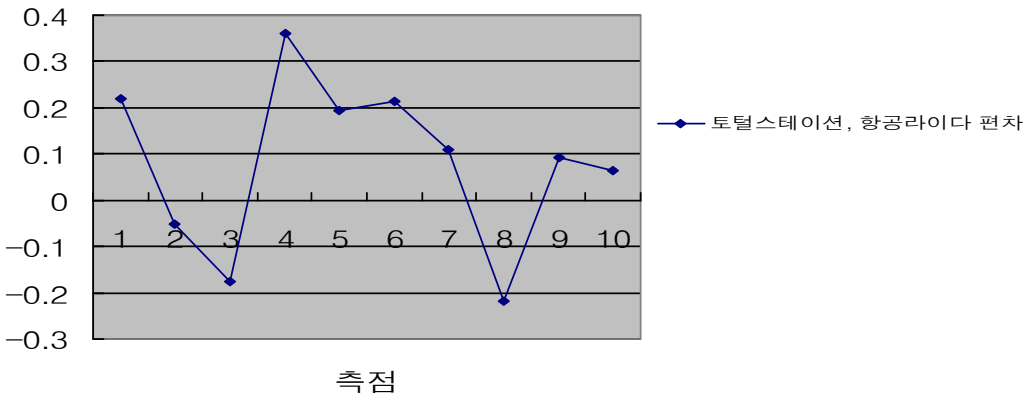


<그림 3.92> 지상라이다 편차

또한 지상라이다의 평균오차가 0.004m로 정확성이 입증이 되어, 표 3.24는 항공라이다 측량에서 구축한 포인트와 지상라이다의 포인트를 중첩하여 표고 값을 비교 분석한 결과 최대+0.36m, 최소-0.219m의 편차가 발생하였고, 0.169m의 평균오차를 보였다.

<표 3.24> 지상라이다와 항공라이다 표고 값 비교 (단위:m)

지상라이다 포인트 점	지상라이다에 의한 표고 값	항공라이다	
		표고 값	오차
1	136.652	136.432	0.22
2	135.936	136.987	-0.051
3	136.161	136.337	-0.176
4	127.728	127.368	0.36
5	126.432	126.239	0.193
6	129.964	129.751	0.213
7	125.276	125.168	0.108
8	119.981	120.2	-0.219
9	120.824	120.733	0.091
10	118.489	118.426	0.063
평균오차			0.169



<그림 3.93> 항공라이다 편차

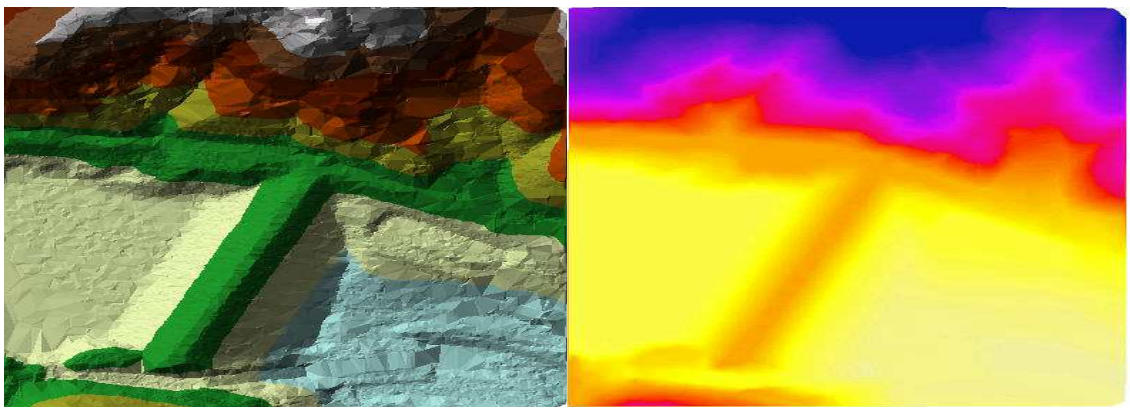
항공라이다와 지상라이다의 정확도를 검증한 결과 라이다의 평균 오차가 축척 1:1000, 1:5000에서 허용 범위이내 존재하였다. 따라서 본 연구에서는 시계열 라이다 측량의 모니터링 기술에 활용할 경우 그 정확도 면에서 매우 긍정적이라고 할 수 있다.

(2) 항공 및 지상 라이다 데이터의 융합

항공라이다와 지상라이다의 융합은 라이다의 포인트 데이터를 지표면과 그 표고 특성을 필요한 만큼 정확히 수치적으로 표현하고 이를 일정한 구조로 조직화하여 컴퓨터 시스템에서 수치적으로 지형을 표현하는 수치고도 모형(DEM)으로 만들어 융합하였다.

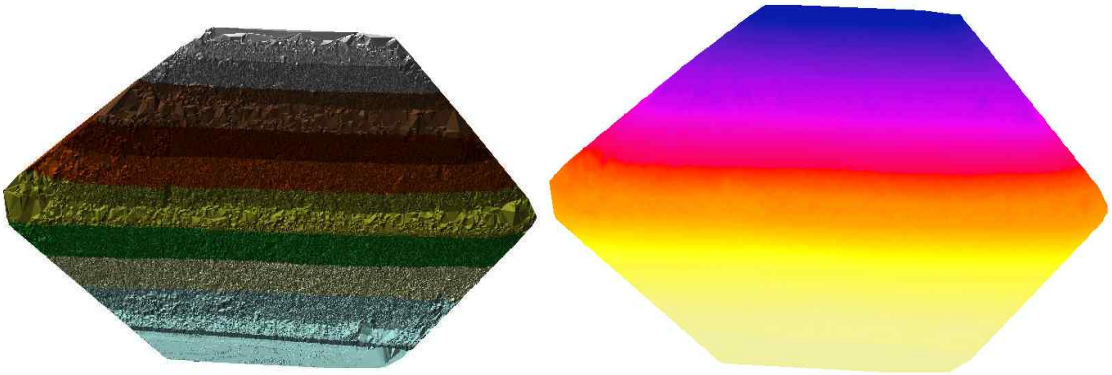
① DEM 제작

항공 및 지상라이다 자료에서 필터링을 통해 구축한 지면점만을 이용하여 ARC GIS에서 포인트 자료로부터 불규칙한 삼각망을 형성하고 일정한 간격의 데이터를 보간하는 방식을 이용하여 DEM을 구축하였다. 그림 3.94은 항공라이다에서 구축한 1m DEM을 표현한 결과이며, 그림 3.95은 지상라이다에서 구축한 2cm DEM을 표현한 결과이다.



TIN 보간 DEM

<그림 3.94> 항공라이다에서 구축한 DEM

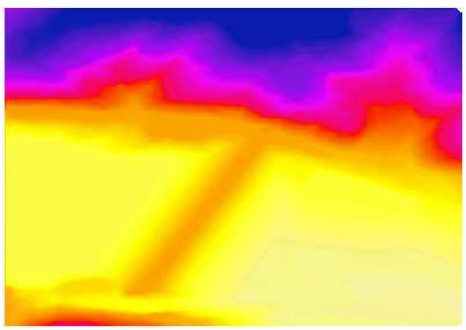


TIN 보간 DEM

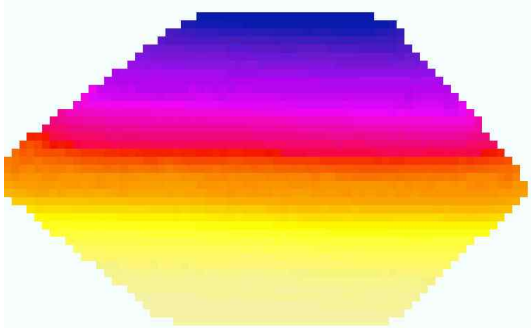
<그림 3.95> 지상라이다에서 구축한 DEM

② 항공 및 지상라이다의 재배열

모든 융합 기술 기본은 융합하는 두 DEM을 같은 격자로 맞추는 작업이 선행되어야 한다. 따라서 1m 격자를 갖는 항공라이다의 DEM을 2cm 격자를 갖는 지상라이다의 DEM과 같은 해상도로 재배열 하였다. 지상라이다 또한 1m DEM으로 재배열 하였다. 아래의 그림 3.96와 그림 3.97은 항공 라이다와 지상라이다의 재배열한 결과이다.



<그림 3.96> 항공라이다의 재배열 DEM



<그림 3.97>지상라이다의 재배열 DEM

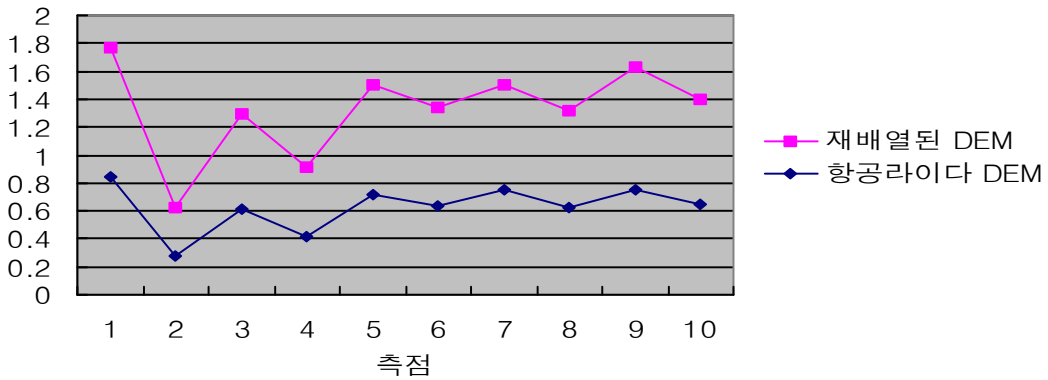
③ DEM의 정확도 검증

항공 및 지상라이다에서 구축한 DEM과 재배열한 DEM의 정확도 검증을 위해서 토털스테이션으로 측량한 10개의 포인트점과 항공라이다의 DEM, 항공라이다의 재배열된 DEM, 지상라이다의 DEM 및 지상라이다의 재배열된 DEM에 토털스테이

션 포인트 점과 중첩하여 정확도를 비교 한 결과 항공라이다의 DEM에서는 최대 +0.841m, 최소+0.278의 편차를 보이며 평균오차가 0.628m로 나타났으며, 2cm 격자로 항공라이다의 DEM을 재배열 하였을 때 최대+0.923, 최소+0.341의 편차를 보이며 평균오차가 0.701m나타났다. 또한 지상라이다의 DEM은 최대+0.013m, 최소 -0.008m의 편차를 보이며, 평균오차가 0.006m나타났으며, 재배열한 DEM은 최대 +0.426m, 최소-0.207m의 편차를 보이며 평균 오차가 0.367m로 나타났다 표 3.25은 항공라이다 DEM과 재배열된 DEM의 표 3.26는 지상라이다 DEM과 재배열된 DEM의 정확도 분석 값의 모습이다.

<표 3.25> 항공라이다 DEM과 재배열된 DEM의 정확도 평과 (단위:m)

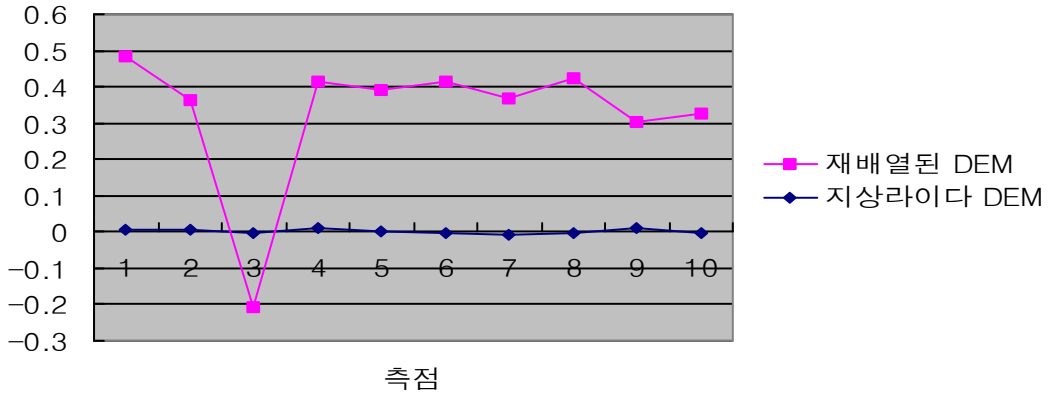
토털스테이션 포인트 점	토털스테이션에 의한 표고 값	항공라이다 DEM		재배열된 DEM	
		표고 값	오차	표고 값	오차
1	121.582	120.741	0.841	120.659	0.923
2	122.092	121.804	0.278	121.751	0.341
3	122.051	121.434	0.617	121.370	0.681
4	120.324	119.911	0.413	119.826	0.498
5	120.183	119.469	0.714	119.392	0.791
6	120.728	120.728	0.641	119.481	0.702
7	117.491	116.745	0.746	116.737	0.754
8	117.654	117.029	0.625	116.959	0.695
9	117.862	117.111	0.751	116.980	0.882
10	117.741	117.09	0.651	116.997	0.744
평균오차			0.628		0.701



<그림 3.98> 항공라이다 편차 비교

<표 3.26> 지상라이다 DEM과 재배열된 DEM의 정확도 평과 (단위:m)

토털스테이션 포인트 점	토털스테이션에 의한 표고 값	지상라이다 DEM		재배열된 DEM	
		표고 값	오차	표고 값	오차
1	121.582	121.575	0.007	121.207	0.475
2	122.092	122.086	0.006	121.734	0.358
3	122.051	122.053	-0.002	122.415	-0.207
4	120.324	120.337	0.013	119.924	0.401
5	120.183	120.182	0.001	119.791	0.392
6	120.728	120.726	-0.002	120.310	0.418
7	117.491	117.506	-0.008	117.116	0.375
8	117.654	117.650	-0.004	117.228	0.426
9	117.862	117.854	0.012	117.670	0.292
10	117.741	117.742	-0.001	117.416	0.325
평균오차			0.006		0.367



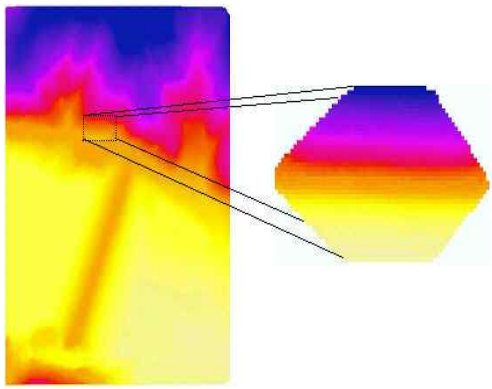
<그림 3.99> 지상라이다 편차 비교

위의 표를 분석한 결과 항공라이다에서 구축한 DEM과 재배열된 DEM이 지상라이다에서 구한 DEM과 재배열한 DEM보다 정확도가 많이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 그리하여 항공라이다의 DEM에 지상라이다의 DEM을 융합하였다.

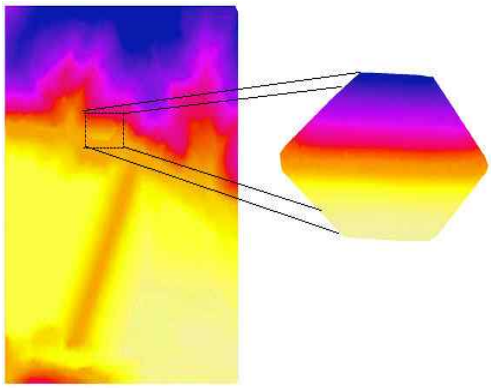
④ 융합

앞에서 구축한 항공라이다의 DEM과 지상라이다의 DEM을 융합하기 위해서 MOSAIC함수가 이용되는데. MOSAIC함수에서 중첩영역의 대상셀값을 처음 래스터 값으로 설정하는 FLRST함수, 중첩된 영역의 대상 셀의 마지막 래스터의 값으로 설정하는 LAST함수, 중첩된 영역에서 셀의 평균값을 의미하는 MEAN함수, 중첩된 영역의 대상 셀 값 중 최소값을 의미하는 MINMUM함수와 중첩된 영역 중 최대값을 의미하는 MAXMUM함수 중에 LAST함수를 선택하여 항공라이다의 DEM에 지상라

이다 DEM을 융해하여 융합을 실시하였다. 그림 3.100는 2cm 격자로 그림 3.101은 1m 격자로 융합한 DEM을 구축한 결과이다.



<그림 3.100> 1m 융합 DEM



<그림 3.101> 2cm 융합 DEM

⑤ 융합된 DEM 정확도 평가

앞에서 구축한 1m 격자로 융합된 DEM과 2cm 격자로 융합된 DEM과 정확도를 평가하기 위해 토털스테이션에서 획득된 포인트 정보를 중첩하여 포인트 정보와 이에 대응하는 항공라이다 및 융합된 항공라이다의 격자 표고를 표 3.27에 나타내었다. 아래의 표를 보면 2cm 격자로 융합된 DEM에 토털스테이션에 의해 얻어진 포인트의 표고 값과 비교 하였을 때 융합 전 항공라이다 DEM과의 평균오차는 0.701m이었으나, 융합 된 DEM과의 평균오차는 0.006m로 나타났다. 또한 1m 격자로 융합된 DEM도 융합 전에는 0.628m에서 0.367m로 DEM의 표고값의 정확도가 향상되었다.

<표 3.27> 융합된 DEM 정확도 평가 (단위:m)

토털스테이션 포인트 점	토털스테이션에 의한 표고 값	2cm 융합 DEM		1m 융합 DEM	
		표고 값	오차	표고 값	오차
1	121.582	121.575	0.007	121.207	0.375
2	122.092	122.086	0.006	121.734	0.358
3	122.051	122.053	-0.002	122.415	-0.405
4	120.324	120.337	0.013	119.924	0.401
5	120.183	120.182	0.001	119.791	0.392
6	120.728	120.726	-0.002	120.310	0.418
7	117.491	117.506	-0.008	117.116	0.375
8	117.654	117.650	-0.004	117.228	0.426
9	117.862	117.854	0.012	117.670	0.192
10	117.741	117.742	-0.001	117.416	0.325
평균오차			**0.006**		**0.367**

광범위지역에서는 항공라이다의 정확도를 갖는 DEM이 생성되었고 지상라이다가 포함된 부분에서는 정확도가 높은 DEM을 구축하여 하나의 데이터 포맷으로 만들 수 있었다.

2. 시계열 LiDAR 영상에 의한 지형 모니터링 기술개발

가. 시범지역에 대한 시계열 실측데이터 구축

(1) 연구대상지역

2세부 주간기관인 강원대학교에서 산사태위험 지역으로 분류한 지역 중 2차년도에 구축한 항공LiDAR자료에 포함된 지역을 중심으로 지상LiDAR측량을 실시하였다. 위험지역은 동해시 이도리 지역 두 곳과 동해시 삼화동지역으로 장마 전에 1차 지상LiDAR측량을 실시하였고, 장마 후 2차 지상LiDAR 측량을 실시하였다.

(2) 자료획득 및 처리

장마 전 후로 촬영된 지상LiDAR자료는 상대 좌표이다. 이를 절대 좌표로 변환하기 위해 3개소에 각각 2개의 기준점을 선정 후 신속 정지 GPS측량을 실시하여 기준점에 대한 절대좌표를 취득 하였다. 취득된 기준점 좌표를 이용하여 토털스테이션의 표정점에 대한 절대 좌표를 취득하고 이를 지상LiDAR자료의 표정점 좌표와 일치 시켜 지상LiDAR자료를 절대 좌표로 변환하였다. 표 3.28, 표 3.29, 표 3.30은 3개소의 토털스테이션 표정점 좌표를 이용하여 지상LiDAR자료의 좌표변환을 수행한 결과를 표로 나타내었다.

<표 3.28> 장마 전, 후 지상LiDAR자료의 이도리 A 지역 표정점에 대한 좌표정보

표정점	지상LiDAR(장마 전)			무 프리즘 토털스테이션((장마 전)		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	204670.827	444127.821	90.385	204670.827	444127.824	90.388
2	204696.209	444131.606	89.380	204696.210	444131.605	89.386
3	204665.833	444077.980	86.014	204665.837	444077.986	86.009
4	204684.485	444098.411	87.253	204684.483	444098.400	87.261
표정점	지상LiDAR(장마 후)			무 프리즘 토털스테이션(장마 후)		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	204671.941	444126.476	87.632	204671.945	444126.478	87.629
2	204659.111	444098.923	86.699	204659.105	444098.929	86.695
3	204693.8078	444122.907	88.697	204693.811	444122.899	88.704
4	204682.199	444098.961	86.951	204682.195	444098.960	86.957

<표 3.29> 장마 전, 후 지상LiDAR 자료의 이도리 B 지역 표정점에 대한 좌표 정보

표정점	지상LiDAR (장마 전)			무 프리즘 토털스테이션(장마 전)		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	205239.025	444846.651	171.884	205239.014	444846.629	171.865
2	205218.264	444852.125	158.903	205218.265	444852.131	158.916
3	205231.312	444777.459	170.803	205231.301	444777.462	170.808
4	205208.732	444783.907	156.068	205208.753	444783.921	156.068
표정점	지상LiDAR(장마 후)			무 프리즘 토털스테이션(장마 후)		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	205251.659	444891.278	173.038	205251.650	444891.271	173.027
2	205227.865	444894.405	161.880	205227.855	444894.499	161.872
3	205236.176	444781.210	172.684	205236.169	444781.205	172.687
4	205212.265	444783.037	156.082	205212.275	444783.044	156.077

<표 3.30> 장마 전, 후 지상LiDAR 자료의 삼화동 지역 표정점에 대한 좌표 정보

표정점	지상LiDAR(장마 전)			무 프리즘 토털스테이션(장마 전)		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	206129.256	443304.025	63.595	206129.238	443304.045	63.601
2	206151.251	443278.648	64.794	206151.237	443278.662	64.800
3	206084.319	443285.708	61.844	206084.307	443285.723	61.841
4	206130.371	443247.597	61.764	206130.387	443247.576	61.768
표정점	지상LiDAR(장마 전)			무 프리즘 토털스테이션(장마 전)		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	206116.058	443303.302	62.039	206116.049	443303.298	62.046
2	206074.153	443.293.798	61.789	206074.159	443.293.805	61.781
3	206157.690	443263.648	63.562	206157.698	443263.634	63.555
4	206130.816	443247.014	61.396	206130.808	443247.019	61.388

표 3.31, 표 3.32, 표 3.33은 토털스테이션의 표정점 좌표를 기준으로 지상LiDAR 자료의 좌표변환에 대한 X, Y, Z축의 편차와 표준 편차를 나타내었다.

<표 3.31> 지상LiDAR 측량의 이도리 A 지역 위치정확도

표정점	장마 전			장마 후		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	0.000	0.003	0.003	0.004	0.002	-0.003
2	0.001	-0.001	0.006	-0.006	0.006	-0.004
3	0.004	0.006	-0.005	0.003	0.008	0.007
4	-0.002	-0.011	0.008	-0.004	0.001	0.006
평균편차	0.002	0.005	0.005	0.004	0.004	0.005

<표 3.32> 지상LiDAR 측량의 이도리 B 지역 위치정확도

표정점	장마 전			장마 후		
	ΔX(m)	ΔY(m)	ΔZ(m)	ΔX(m)	ΔY(m)	ΔZ(m)
1	-0.011	-0.022	-0.019	-0.009	-0.007	-0.011
2	0.001	0.006	0.013	-0.010	-0.006	-0.008
3	-0.011	0.003	0.005	-0.007	-0.005	0.003
4	0.021	0.014	0.000	0.010	0.007	-0.005
평균편차	0.011	0.011	0.009	0.009	0.006	0.007

<표 3.33> 지상LiDAR 측량의 삼화동 지역의 위치정확도

표정점	장마 전			장마 후		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	-0.018	0.020	0.006	-0.009	-0.004	0.007
2	-0.014	-0.014	0.006	0.006	0.007	-0.008
3	-0.012	0.015	-0.003	0.008	-0.014	-0.007
4	0.016	-0.021	0.004	-0.008	0.005	-0.008
평균편차	0.015	0.017	0.005	0.008	0.008	0.008

나. 실내 시험을 통한 시계열 LiDAR정보에 의한 산사태 모니터링 기술개발

(1) 산사태 모형사면 제작 및 필드선정

① 산사태 모형사면 제작

산사태 발생 예상 지역에 대한 변위 모니터링을 위해 국내 산사태의 발생 및 붕괴 유형을 고려하여 실내 실험이 가능하도록 모형을 제작하였다. 모형사면은 1,230mm × 2,160mm 크기의 각재를 사용하여 만든 틀에 합판을 부착하여 제작하였다.

② 자료획득 및 처리

지상LiDAR자료의 변위 모니터링 정확도를 평과하기 위해 무 프리즘 토털스테이션에서 구한 모니터링 값인 변위 전-1차 변위 후, 변위 전-2차 변위 후, 변위 전- 3차 변위 후 높이 변위 값을 기준으로 하여 지상LiDAR자료의 모니터링 값인 변위 전-1차 변위 후, 변위 전-2차 변위 후, 변위 전- 3차 변위 후의 높이 변위 값의 편차와 평균 편차를 표 3.34, 표 3.35, 표 3.36, 표 3.37 에 나타내었다.

표에서 무 프리즘 토털스테이션과 3mm 격자 간격 지상LiDAR자료의 모니터링 정확도는 평균 0.007m, 0.006m, 0.006m편차로 나타났으며, 6mm, 9mm 및 12mm격자간격 모니터링 정확도는 각각 평균 0.008m, 0.010m, 0.009m 및 0.010m, 0.014m,

0.012m 및 0.015m, 0.011m, 0.0014m편차로 낮은 편차 범위 안에 있음을 알 수 있었다.

따라서 지상LiDAR자료를 이용하여 위험 사면을 모니터링 시 위험도가 높은 사면은 스캔 간격을 3mm와 6mm로 측량을 실시하고 위험도가 그리 높지 않은 곳에는 시간과 자료의 효율성을 위해 9mm 와 12mm로 스캔 간격을 하여도 산사태의 변위 검출에 충분이 효율적이라 판단된다.

<표 3.34> 무 프리즘 토털스테이션과 지상LiDAR자료의 모니터링 정확 (단위:m)

측점	변위전-1차변위 후 (3mm)	변위 전-2차변위 후 (3mm)	변위 전-3차변위 후 (3mm)
1	0.005	0.004	0.004
2	-0.003	-0.001	-0.006
3	0.002	0.003	-0.002
4	0.014	0.017	0.011
5	0.004	0.001	-0.001
6	0.003	-0.001	0.009
7	0.001	0.004	0.005
8	-0.003	0.001	0.02
9	-0.001	-0.014	-0.022
10	0.008	0.01	0.007
11	0.006	0.018	0.01
12	0.007	0.009	0.009
13	0.004	0.007	0.008
14	0.003	0.005	0.003
15	-0.005	0.004	-0.008
16	-0.002	0.001	-0.009
평균 편차	0.007	0.006	0.006

<표 3.35> 무 프리즘 토털스테이션과 지상LiDAR자료의 모니터링 정확 (단위:m)

측점	변위전-1차변위 후 (6mm)	변위전-2차변위 후 (6mm)	변위전-3차변위 후 (6mm)
1	0.015	0.036	0.015
2	0.002	-0.017	0.01
3	0.025	0.006	0.011
4	0.009	0.009	-0.006
5	-0.007	-0.02	-0.02
6	0.008	0.023	-0.005
7	-0.004	0.013	0.001
8	0.016	0.012	0.032
9	0.007	-0.031	-0.025
10	0.006	0.01	0.004
11	-0.011	-0.009	0.016
12	-0.004	0.004	0.003
13	-0.008	-0.011	0.008
14	0.007	-0.001	0.007
15	-0.004	-0.007	0.004
16	-0.011	-0.009	0.018
평균 편차	0.008	0.010	0.009

<표 3.36> 무 프리즘 토털스테이션과 지상LiDAR자료의 모니터링 정확 (단위:m)

측점	변위전-1차변위 후 (9mm)	변위 전-2차변위 후 (9mm)	변위 전-3차변위 후 (9mm)
1	0.018	-0.014	0.017
2	-0.022	0.02	0.022
3	0.015	-0.013	0.008
4	0.017	-0.018	-0.007
5	-0.001	-0.005	0.003
6	-0.005	-0.046	0.003
7	0.009	0.006	-0.002
8	-0.001	0.005	0.024
9	-0.014	-0.04	-0.028
10	0.01	0.025	0.021
11	-0.007	0.004	0.013
12	-0.004	0.014	0.025
13	-7E-15	0.013	0.019
14	-0.01	-0.007	-0.003
15	0.009	0.016	0.014
16	-0.005	0.018	0.026
평균 편차	0.01	0.014	0.012

<표 3.37> 무 프리즘 토털스테이션과 지상LiDAR자료의 모니터링 정확 (단위:m)

측점	변위전-1차변위 후 (12mm)	변위전-2차변위 후 (12mm)	변위전-3차변위 후 (12mm)
1	0.013	0.018	0.021
2	0.018	0.016	0.016
3	0.007	0.014	0.008
4	0.019	0.004	0.002
5	0.021	-0.021	-0.024
6	-0.005	0.006	-0.016
7	0.019	0.014	0.014
8	0.019	0.016	0.021
9	0.004	0.007	0.026
10	-0.004	-0.006	-0.006
11	0.01	0.008	0.021
12	0.02	0.011	0.009
13	0.003	0.005	-0.005
14	0.003	0.003	0.003
15	-0.015	-0.006	-0.012
16	-0.002	-0.015	-0.012
평균 편차	0.015	0.011	0.014

다. 변위 모니터링 기법을 이용한 실제 사면 적용

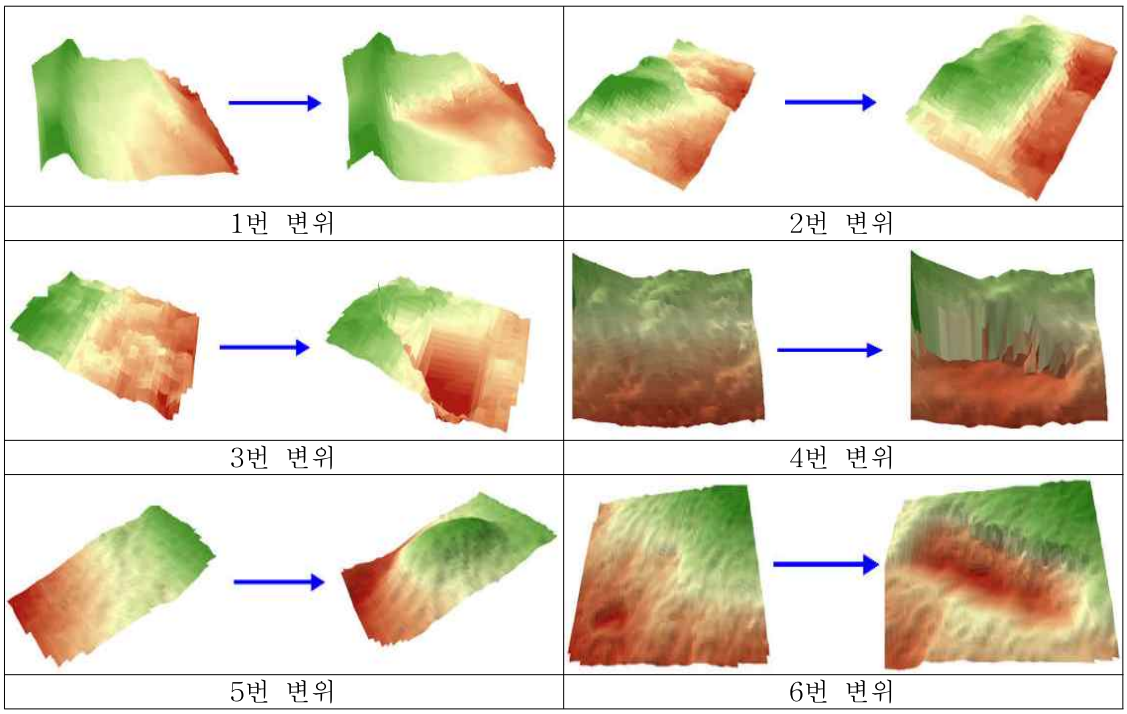
본 연구에서는 앞에서 개발된 변위 모니터링 기법을 실제 사면에 적용하기 위해 강원도 사천면 일대를 선정하였다. 실험은 지상LiDAR 장비를 이용하여 사면을 스캐닝한 후 사면의 6개 지점에 대하여 강제로 사면에 변위를 준 후 다시 스캐닝을 실시하고 변위 결과를 분석하여 실제 사면에서 지상LiDAR자료의 타당성 여부를 확인하고자 한다.

연구대상지역 6개 지점에 대하여 임의로 강제변위를 주어 20mm 간격으로 변위를 실측하여 평균한 값과 지상LiDAR자료에서 추출된 평균 변위 값을 비교하여 그 결과 0.004 ~ 0.013m의 편차를 나타내고 있으며, 이때 평균편차는 0.008m였다. 이것을 볼 때 변위 모니터링을 위한 기법으로 지상LiDAR자료의 적용이 유효할 것으로 판단된다.

<표 3.38> 모니터링 분석 (단위 : m)

변위 지역 (No)	실측 평균 변위 값	지상LiDAR 평균변위 값	편차
No. 1	-0.253	-0.257	0.004
No. 2	+0.108	+0.116	0.008
No. 3	-0.210	-0.205	0.005
No. 4	-0.329	-0.316	0.013
No. 5	+0.169	+0.178	0.009
No. 6	-0.149	-0.141	0.008
평균 편차			0.008

연구대상지역 6개 지점에 대하여 구축된 변위 전 후의 DEM을 이용하여 나타낸 3차원사면 변위정보를 그림 3.102에 나타내었다.



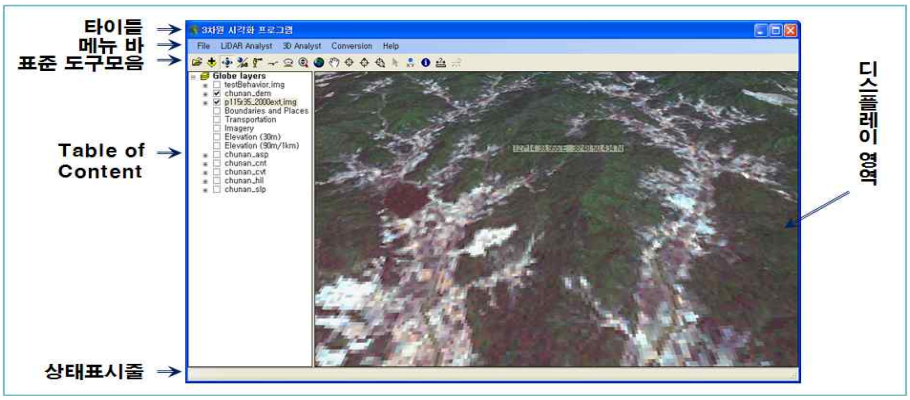
<그림 3.102> 변위 전 후 3차원 가시화

3. LiDAR 정보를 이용한 산사태 관리를 위한 3차원 데이터 모델 표준 및 시각화 프로그램 개발 및 구현

가. LiDAR 정보에 의한 산사태 관리용 3차원 시각화프로그램(뷰어) 개발

(1) 프로그램 개발

① 화면 설계

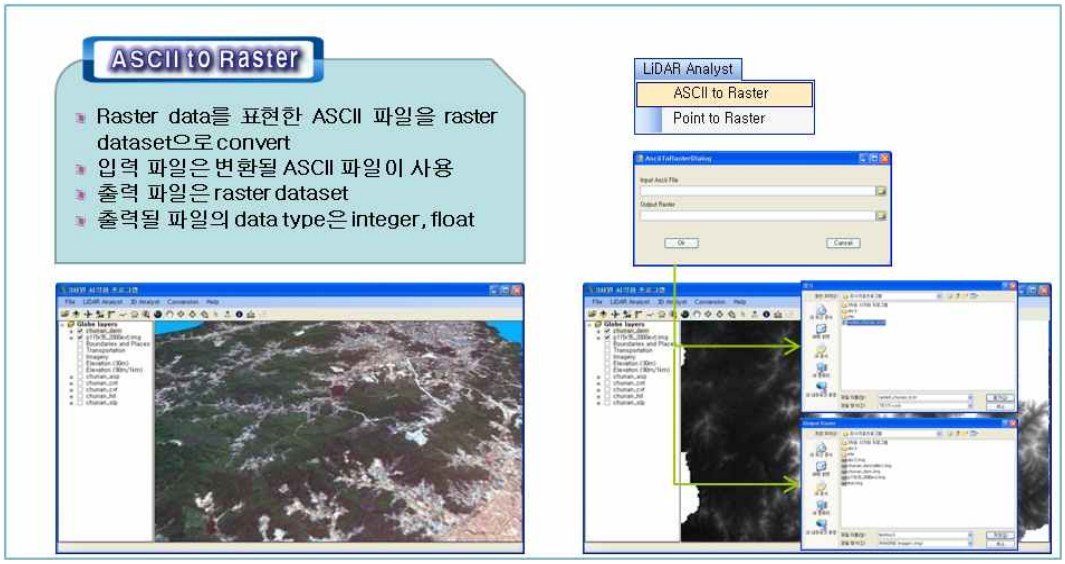


<그림 3.103> 화면 설계

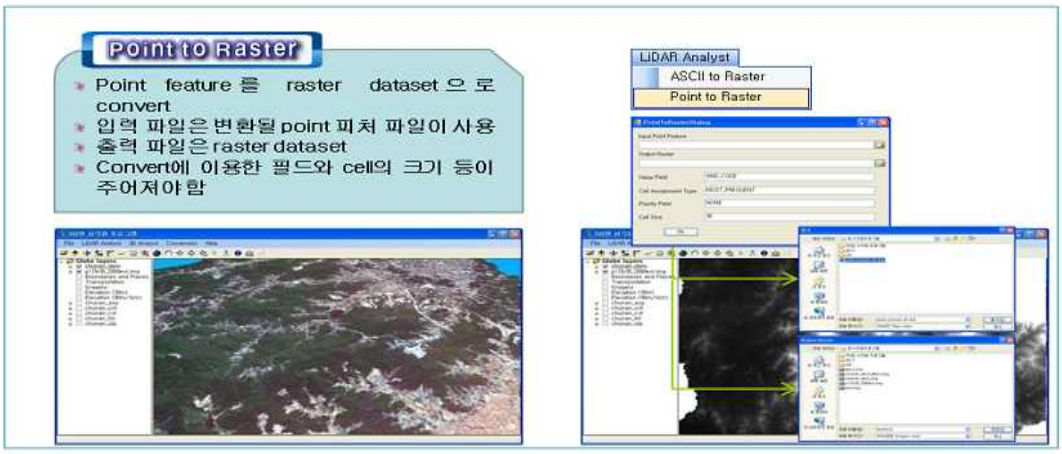
② User Interface 개발

㉮ LiDAR Analyst

▪ ASCII to Raster



<그림 3.104> LiDAR Analyst - ASCII to Raster



<그림 3.105> LiDAR Analyst - Point to Raster

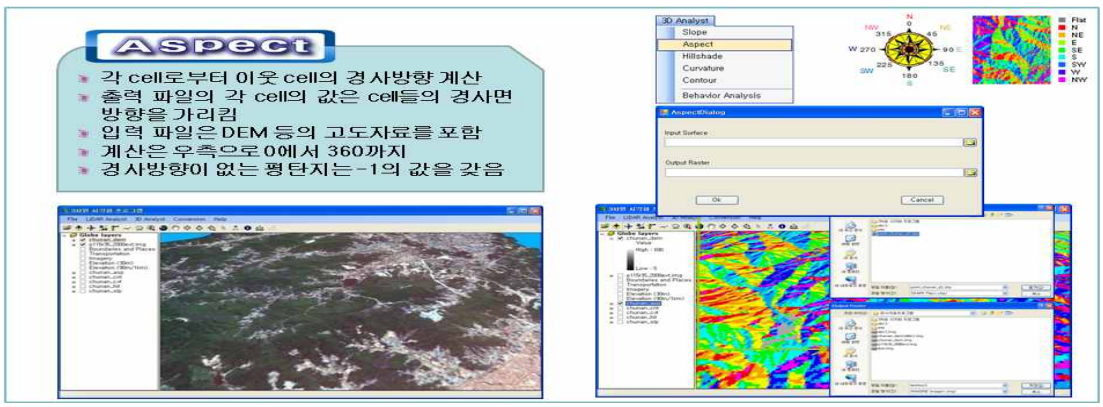
㉯ 3D Analyst

▪ Slope



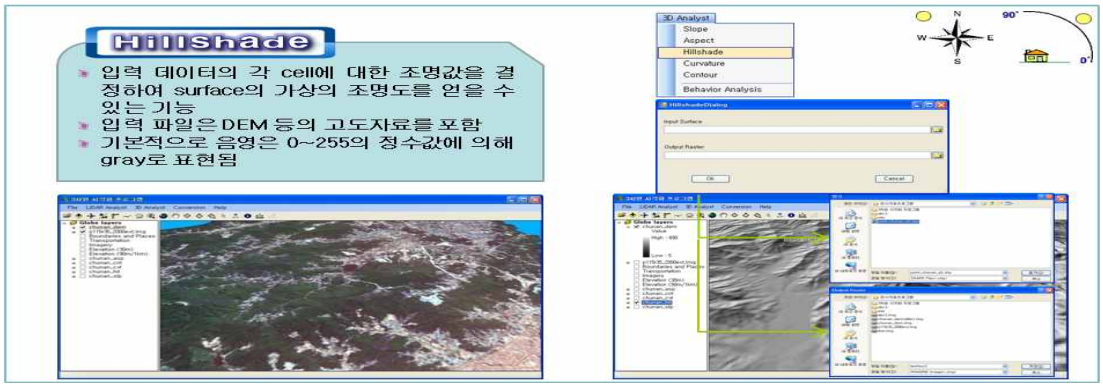
<그림 3.106> 3D Analyst - Slope

■ Aspect



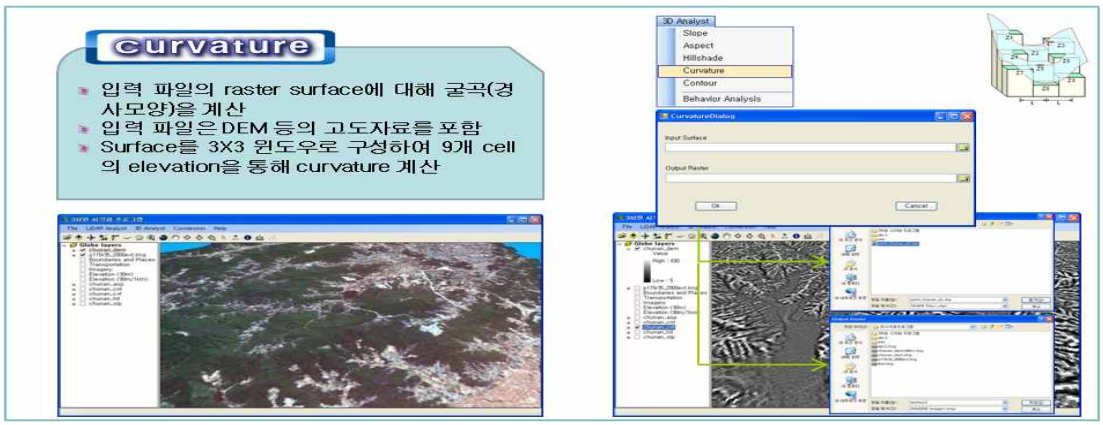
<그림 3.107> 3D Analyst - Aspect

■ Hillshade



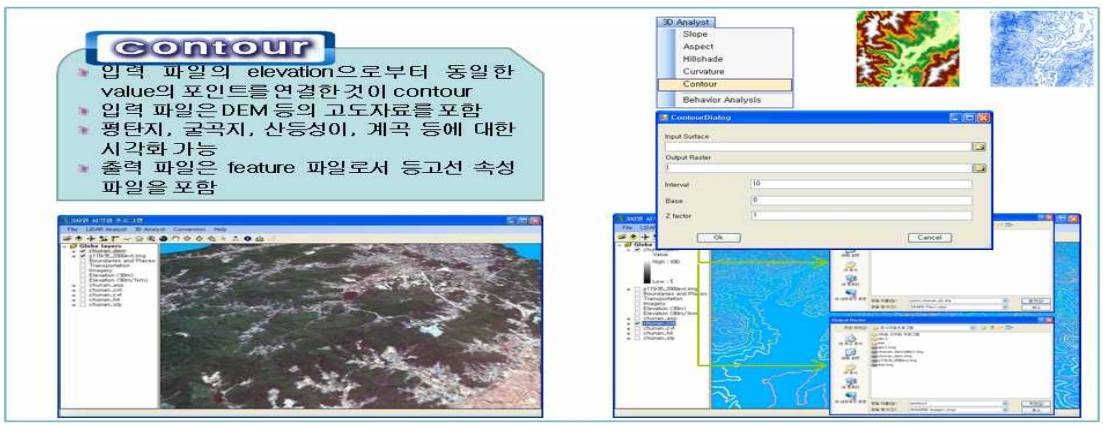
<그림 3.108> 3D Analyst - Hillshade

■ Curvature



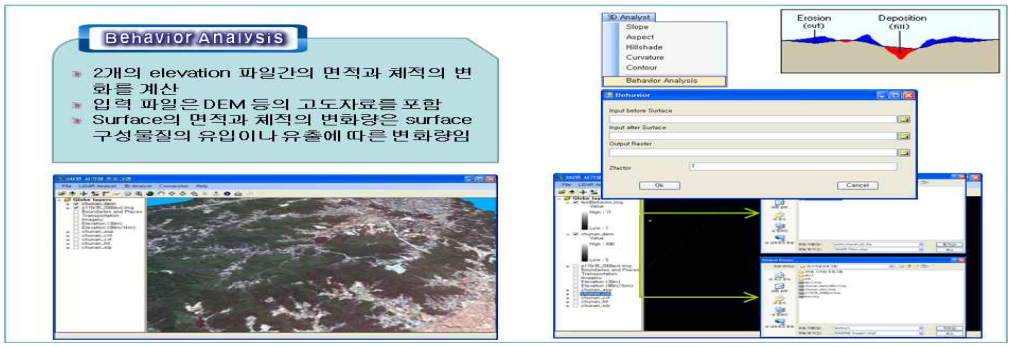
<그림 3.109> 3D Analyst - Curvature

■ Contour



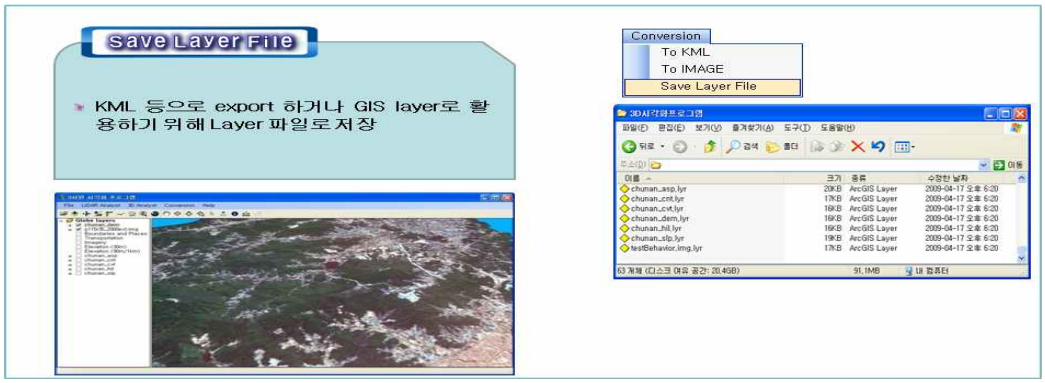
<그림 3.110> 3D Analyst - Contour

■ Behavior Analysis



<그림 3.111> 3D Analyst - Behavior Analysis

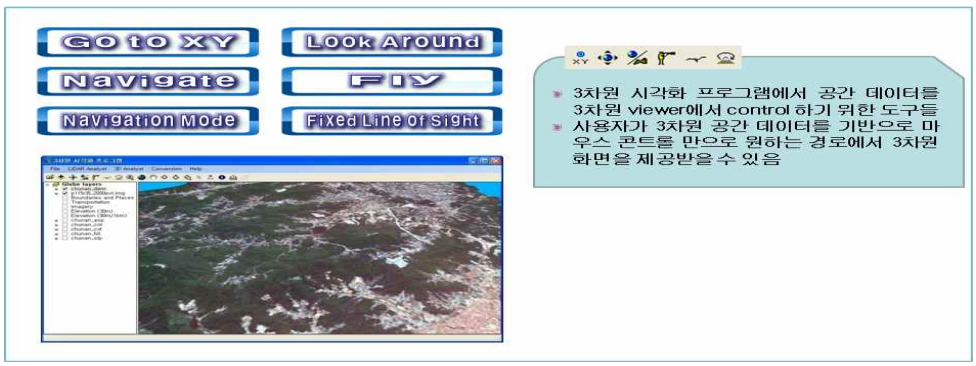
■ Save Layer File



<그림 3.112> Conversion - Save Layer File

■ 3D Navigation

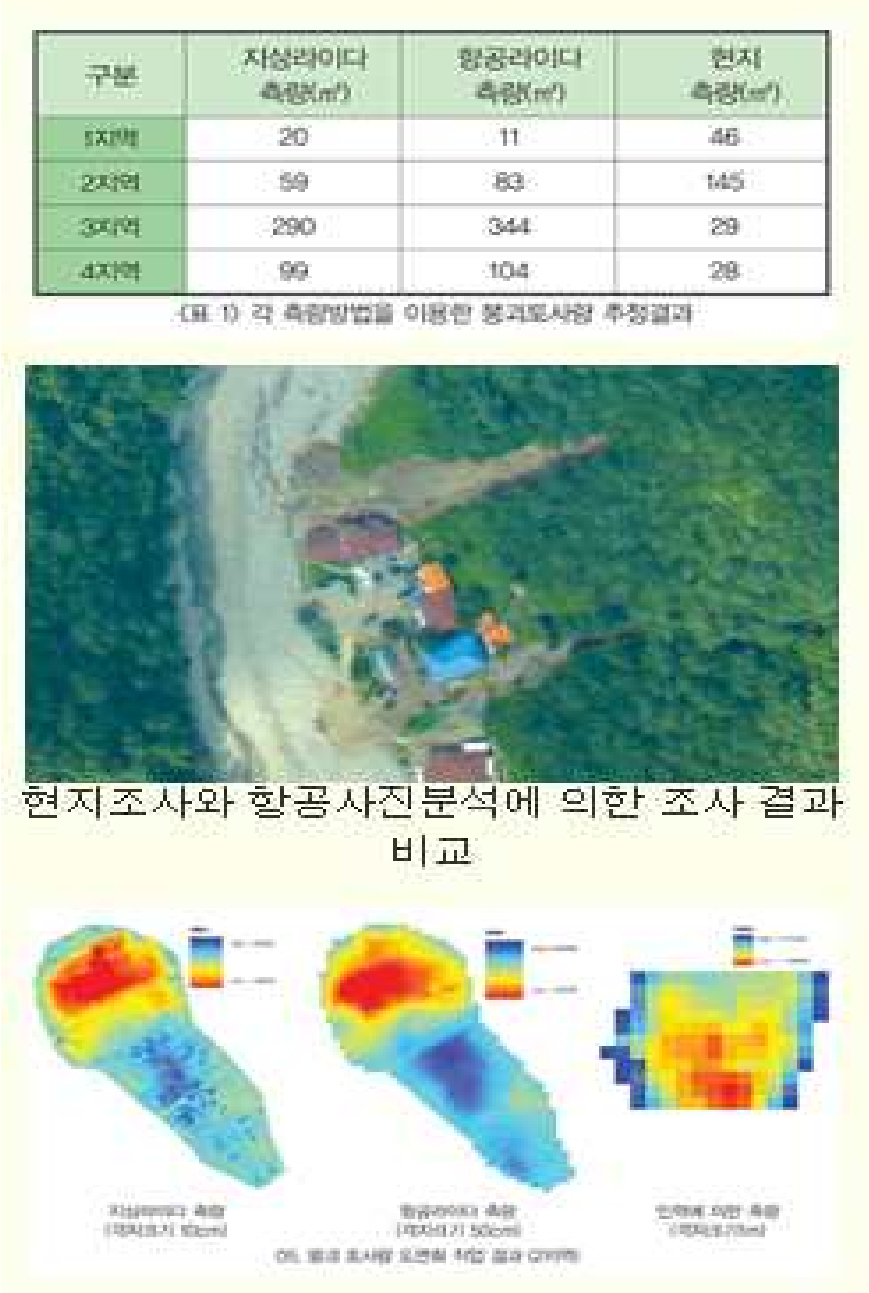
3D Navigation 기능은 3차원 시각화 프로그램에서 공간 데이터를 3차원 뷰어에서 콘트롤 하기 위한 도구들이다.



<그림 3.113> 3D Navigation

(2) 테스트 및 보완

사태 관리를 위한 3차원 시각화 프로그램의 테스트를 실시하여 각 기능별 문제점과 보완점을 분석하였으며, 이에 대한 보완을 통해 보다 완벽한 3차원 시각화 프로그램을 개발 할 수 있었고, 보완된 프로그램을 그림 3.114 같이 대상지역에 적용하여 산사태 지역정보의 서비스를 구현하였다.



<그림 3.114> 사태 지역정보 서비스 구현

제 8 절 사면수평 배수공법 개발 및 적용을 위한 설계시준 제안

1. 연구의 배경 및 목적

비탈면의 배수시설은 표면 수에 의한 표면 침식과 붕괴를 방지하도록 설계하여야 한다. 비탈면의 손상은 비탈면을 유하하는 표면 수에 의해 표면이 침식되며 세굴 및 침투수에 의해 비탈면을 구성하는 흙의 전단강도 감소 또는 간극수압 증가에 의해서 발생한다. 비탈면 침투수의 작용은 토질조사로 정확하게 파악하기 어렵고 시공 중에 지하구와 투수층 종재가 판명되는 경우도 있기 때문에 계획을 변경하여 유효한 배수 시설을 설치해 나가는 것이 중요하다.

따라서 본 연구에서는 인공 절개지에 지하수위 상승을 억제하기 위한 수평배수공에 대한 배수모형실험을 실시하고 문제점 및 배수능력을 분석하며 보다 개선된 수평배수공법개발은 물론 수평배수공이 합리적인 유지관리 방안을 제시하고자 한다.

2. 국내·외 비탈면 설치기준

가. 흙깎기 비탈면 표준기울기

깎기 비탈면은 쌓기 비탈면에 비하여 안정해석시 토질의 불균질성, 토질구성상태, 지하수의 변동, 용수의 유무, 기상, 지형 등 많은 요인을 포함하고 있어 흙의 강도특성에 대한 정확한 판단이 곤란하여 신뢰성이 떨어진다.

나. 흙쌓기 비탈면 표준기울기

쌓기 비탈면은 인위적인 조성이므로 지반조건, 쌓기 재료, 다짐방법 및 쌓기 높이에 따라 그 경사가 달라지며, 소단사이에 비탈면은 단일 경사로 시공하는 것이 합리적이다.

3. 국외 설계반영 사례조사

가. 미국의 배수공

미국은 지난 70년 동안 산사태 방지대책공법에 대한 연구를 AASHTO(미국 주

도로 교통기술관협회), FHWA(미국 연방도로국), FEMA(연방재난관리청), TRB(미국 교통연구소), NAVFAC(미해군 공병단)등과 같은 기관에서 진행을 해왔다.

나. 일본의 배수공

일본열도는 환태평양 지대의 일부이고, 지질학적으로 매우 불안정하며, 열도 전체가 몬순지대에 속하므로 많은 비가 내린다. 특히, 우기에 내리는 폭우와 태풍 등으로 크고 작은 산사태가 발생하여 많은 피해를 겪고 있는 실정이다.

다. 홍콩의 배수공

지하수 차수 및 지하수위 저하에 대한 공법으로는 Chunam공법, 수평 배수공법, 케이슨 배수공법이 있다. 이중 Chunam공법은 홍콩에서 오래 전부터 사용되어 온 산사태 대책공법으로써, 홍콩에 존재하는 대부분의 비탈면이 Chunam공법으로 시공되어 있다.

4. 모형 토조 및 강우재현장치 제작

가. 실험장치 개요

· 강우 재현 장치는 10mm/hr ~ 1,000mm/hr를 조절할 수 있도록 제작 예정
· 일정 펌프압을 이용하여 유량을 조절함으로써 강우강도를 재현
· 1단 3열로 열당 10개의 노즐을 설치하여 강우량 조절

5. 연구결과 분석

사면은 크게 자연사면과 인공사면으로 분류할 수 있는데, 성토사면을 포함하여 인공적으로 조성한 사면의 경우 사면을 구성하고 있는 흙이나 암반은 중력의 작용을 받아서 아래쪽으로 미끄러져 내려오려고 하는데, 사면을 구성하고 있는 재료의 강도에 의하여 이와 같은 변형에 저항하려고 한다. 이것이 사면안정문제이며, 이 경사면이 급구배로 변화되거나 또는 침투수의 영향으로 구성 재료의 상태가 약화되어 균형이 깨어지게 되면 사면에는 변위가 생기면서 붕괴가 발생하게 된다. 따라서 상지대학교에서 제작된 모형 토조 및 강우재현장치를 활용하여 실험을 통한 기존 사면수평배수공의 문제점을 분석하고, 수평배수공법 개발을 위한 다양한 모형 토조 실험방안을 수립, 실시할 것이다.

6. 수평배수공 현장 적용

측구 배면 Filter 설치 후 실험결과에 따라 Filter 설치여부 결정한다. 배면경사의 범위는 10°~50°까지 10°씩 변화를 주면서 측구배면의 비탈면 표면 수 침투범위 및 구조물의 거동 측정한다.

7. 배수공법 및 유지 관리

가. 배수공법

토사 등의 소규모 흐름을 고려하여, 배수 경사를 0.3%이상 확보하는 것이 바람직하다. 그러나 현지의 지형적 연건에 따라 적정의 배수경사 확보가 어려운 경우, 배수량을 계산하여 필요한 배수공 단면과 경사를 결정한다.

나. 비탈면 배수시설의 설계

비탈면 배수시설은 주로 물이 배수구내에서 흐르지 않고 외측과 하단측에서 흘러 주위의 흙이 세굴되어 손상을 입게 된다. 표면수를 처리하는 배수시설은 표면수를 비탈면에 충분히 침투 하도록 하거나 불투수성 재료로 깊게 되메우기를 통하여 시공한다.

다. 배수공 유지관리

도로배수 시설의 유지관리는 배수 시설의 제 기능을 유지하기 위하여 수시점검, 일상점검 및 정기점검 등을 통하여 사전에 유해오인을 제거하고, 손상된 부분을 원상 복구하여 당초 건설된 상태를 유지함과 동시에 경과시간에 따라 요구되는 시설물의 개량과 추가시설을 함으로서 이용자의 편의와 안정을 도모하기 위한 목적으로 시행하는 것이다

라. 비탈면 배수공 설계기준

(1) 도로설계 기준

① 표면수 및 용출수 처리

비탈면의 지하수위는 비탈면 안정에 큰 영향을 미치며, 지표수 및 용출수는 비탈면을 세굴시키고 붕괴를 초래할 가능성이 있으므로 표면수 및 용수처리대책을 설계에 반영한다.

② 비탈면 보호

용출수가 발생되는 비탈면에는 필터층, 맹암거등을 설치하여 용출수를 배수처리하고 그 상태에서 적합한 보호공을 선정하여야 한다.

③ 비탈면 배수

흙깎기부 비탈면 정상 끝단에서 2.0m 벗어난 지점에 설치하며 지형상 필요한 곳에만 설치하도록 한다. 도수로의 설치는 절대소단 연장이 100m를 넘을 때는 유량계산에 의해 도수로를 설치한다. 소단배수는 비탈면에서 흐르는 빗물이나 용수에 의한 비탈면의 침식을 방지하기 위해 설치하며 소단 배수구는 폭이 3m 이상인 넓은 소단에 설치한다.

④ 지하배수

맹암거의 설치위치는 깎기부의 길어깨, 쪽깎기, 쪽쌓기 및 깎기, 쌓기 경계부, 용수다발지역 등 으로 할 수 있다. 흙깎기 비탈면에 설치하는 맹암거는 비탈면에 용수가 있을 때 설치하며 부직포를 사용하지 않는 맹암거로 한다.

8. 산마루측구 미설치 및 부실시공에 따른 피해사례

낙석·산사태 위험지구 및 위험절개지 637개소를 관리하면서 점검 시 높이가 높아 접근하기 어려운 도로변 절개지의 산마루 측구는 8개소만 점검·준설하여 절재지 붕괴사고 14개소 중 5개소가 산마루 측구의 적정한 관리가 이루어지지 않아 절개지가 붕괴되어 63억 2,644만여 원의 복구비가 소요되었다.

9. 사면안정해석

사면안정해석의 해석단면은 그림 7.1과 같다. 해석 대상 사면의 높이는 15m이고, 국내 절토 비탈면 표준경사인 1:1.5에 대하여 해석을 수행하였다. 침투해석을 통하여 다양한 투수계수 조건에 대해서 결정된 사면 내 지하수위(간극수압 분포)와 모관흡수력을 적용하여 사면안정해석을 수행한 결과 사면 안전율의 변화도 어느 정도 차이가 나는 것으로 해석 할 수 있다. 또, 투수계수가 작으면 침투되는 양이 적기 때문에 안전율은 비교적 높지만 강우의 영향에서 벗어나는데 많은 시간을 필요로 한다. 대부분의 사면은 지하수위 위에 있기 때문에 불포화 상태에 놓이게 된다. 현행 지하수위 결정 기준은 비경제적, 과다보강의 문제점을 가지고 있다. 배수 효과를 고려한 현실적이고 합리적인 지하수위 기준을 적립하는데 본 연구 결과가 활용될

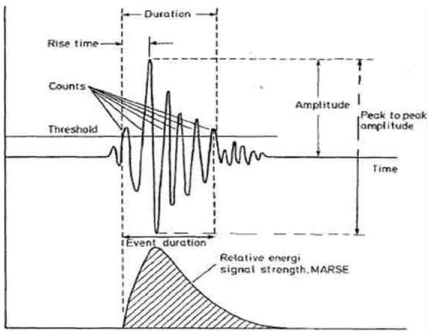
수 있을 것이며, 각 현장 적용한 사면 수평배수공 성능 결과를 도출하여, 향후 강원 지역의 다양한 비탈면 특성을 파악하여 현장적용 및 성능평가 실시 예정이다.

제 9 절 파괴음 측정을 이용한 계측 기법 개발

1. 연구의 배경 및 목적

많은 선각자들에 의하여 근대 지반공학이 태동된 이후 지반공학은 많은 발전을 하여왔다. 그러나 지반의 불균질성 및 이방성 등 지반 자체의 복잡한 특성으로 인하여 충분한 신뢰도를 갖는 이론적 접근은 한계가 있을 수 밖에 없는 실정이다. 이를 극복하기 위하여 많은 연구가 이루어져 왔으며 또 이루어지고 있으나 가장 현실적인 방법 중 하나가 계측관리로 인식되고 있다. 계측관리는 지반의 거동을 파악할 수 있는 계측기기를 지반에 설치하여 실제 지반의 거동을 파악하고 설계에 FEED BACK 하는 것으로서, 설계 및 시공의 신뢰성, 경제성 및 안정성을 도모하는 것이다.일반적으로 물체가 눈에 보일 정도로 파괴되는 경우에는 큰 파괴음이 들린다. 실제로는 최종적인 파괴에 이르기 이전에 있어서도, 물체의 내부에서도 미소한 레벨에서의 파괴가 진행되기 때문에 미소 파괴에 수반하여 변형 에너지가 개방되어 미약한 탄성파가 방출된다. 최근의 미소파괴음 감지장치와 기록장치의 발달로 인해 취득된 신호의 파형뿐만 아니라 얻어진 파형을 각종 미소파괴음 변수들로 변환하여 보다 효과적으로 계측, 분석할 수 있게 되는데, 미소파괴음 변수로는 미소파괴음 횟수 (AE count), 진폭 (amplitude), 지속시간 (duration), 오름시간 (rise time), 에너지 (AE energy) 등의 다섯 가지가 일반적으로 사용되며 그에 대한 정의는 그림 3.115에 설명되어 있다.

1) 미소파괴음 횟수
(AE count)
2) 진폭 (amplitude)
3) 지속시간
(duration)
4) 오름시간
(rise time)
5) 에너지
(AE energy)



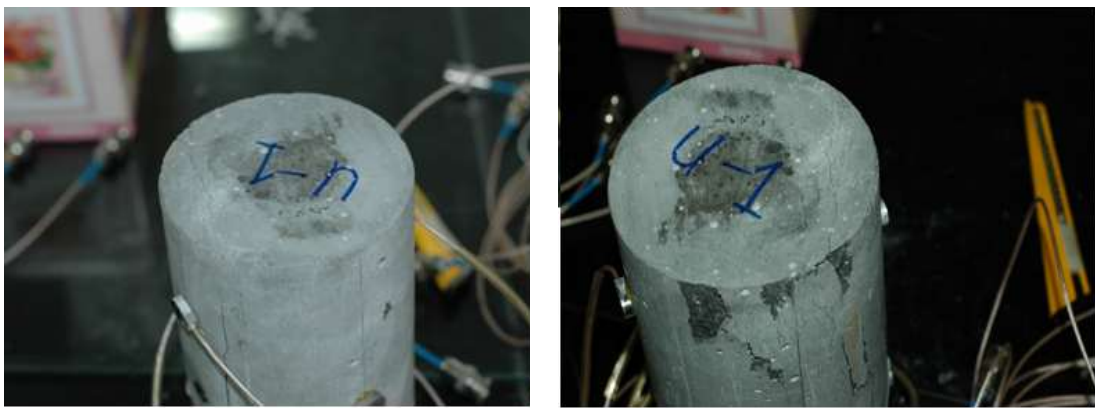
<그림 3.115> 미소파괴음 측정 변수

2. 미소파괴음 실험

가. 단축실험(Uniaxial Test) 결과



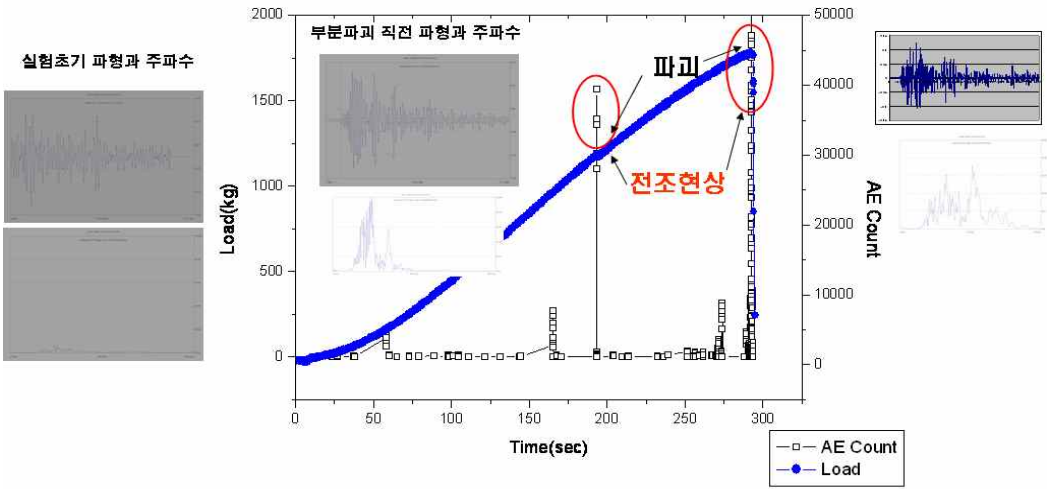
<그림 3.116> 파괴이전 단축시료



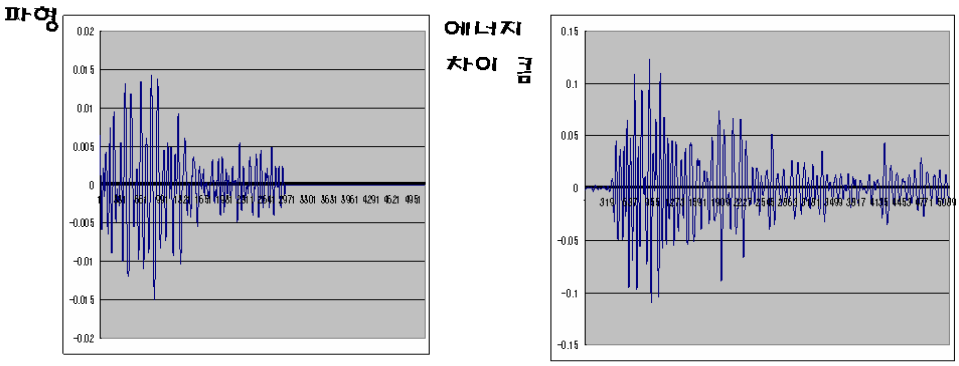
<그림 3.117> 파괴이후 단축시료

그림 3.116는 단축실험을 하기 위해 1개의 변형률 게이지와 6개의 센서가 부착되어 준비된 시료의 사진이다. 그림 3.117 는 시료가 파괴된 후의 모습이며 각 센서별로 미소파괴음은 고르게 나왔으나 시료의 표면정밀도가 부족하여 주로 세로 방향의 인장파괴가 발생하였다. 그림 3.118 은 단축 시료 U1의 시간이 증가함에 따라 미소파괴음 횟수와 하중의 변화를 단축실험시료에 대해서 표시한 것으로 하중이 증가하다가 190초 부근에서 세로 방향의 인장파괴로 인해 하중 저하가 있었으며 이 하중저하가 발생하기 바로 전 미소파괴음이 증가하는 전조현상을 보였다. 이 전조현상을 보인 시기에 파형이 가장 큰 진폭으로 발생되었으며 주파수 분석 결과 잡음의 신호는 125kHz부근인데 반해 파괴 시에는 200kHz이상의 주파수 영역이 주를 이루었다. 그림 3.119는 초기와 파괴 직전의 파형을 표시한 것으로 초기에는 에너지가

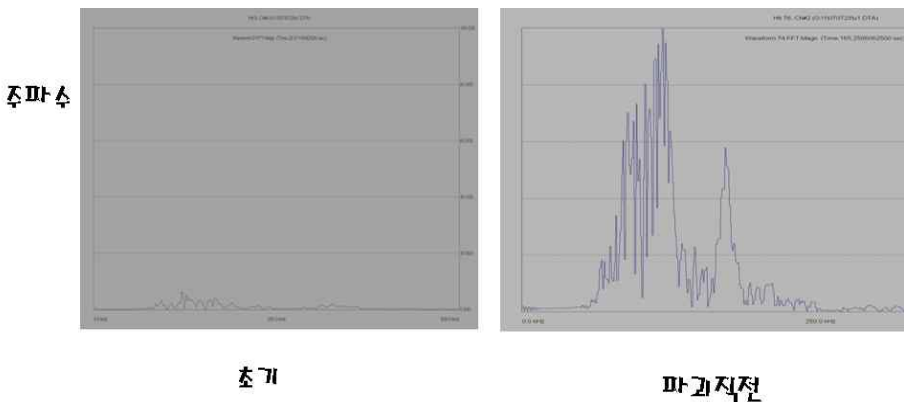
매우 작은 파형이 발생되고 파괴직전에는 사대적으로 큰 에너지의 파형이 발생된다. 그림 3.120는 초기와 파괴 직전의 주파수를 표시한 것으로 초기에는 100kHz의 대역이 주를 이루다가 파괴직전에는 200kHz 부근의 신호도 발생되었다.



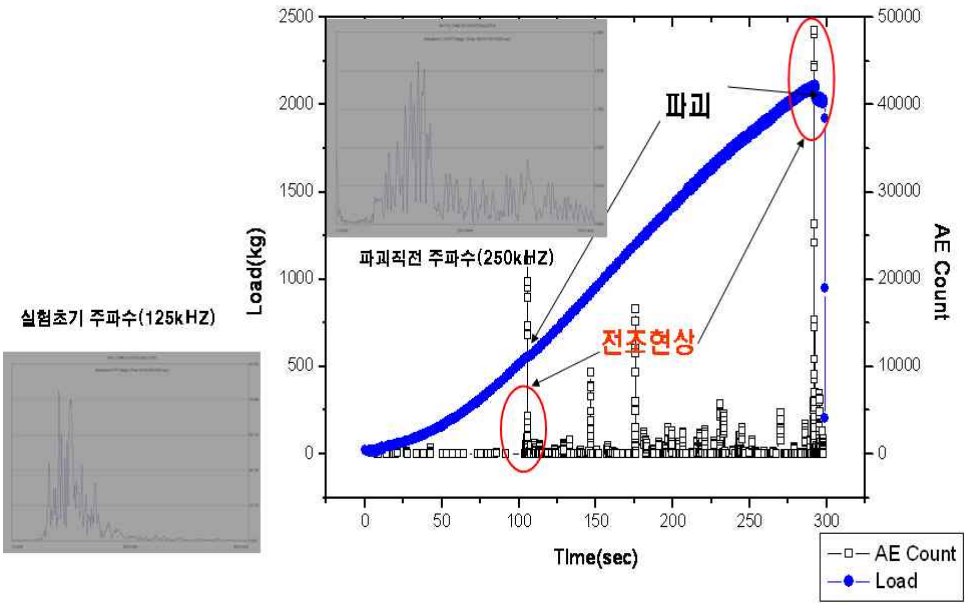
<그림 3.118> 단축시료-U1의 미소파괴음 횟수와 하중



<그림 3.119> 초기와 파괴시의 파형



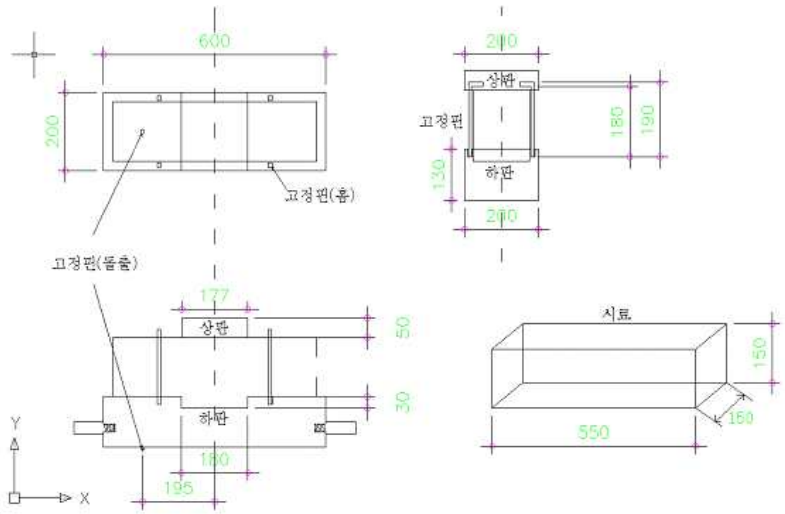
<그림 3.120> 초기와 파괴직전의 주파수



<그림 3.121> 단축시료-U4의 미소파괴음 횟수와 하중

그림 3.121은 단축 시료 U4의 시간이 증가함에 따라 미소파괴음 횟수와 하중의 변화를 단축실험시료에 대해서 표시한 것으로 역시 전조현상을 확인할 수 있었으며 파형과 주파수 모두 U1의 시료와 동일한 양상을 보였다.

나. 이면전단실험(Double Shear Test) 결과

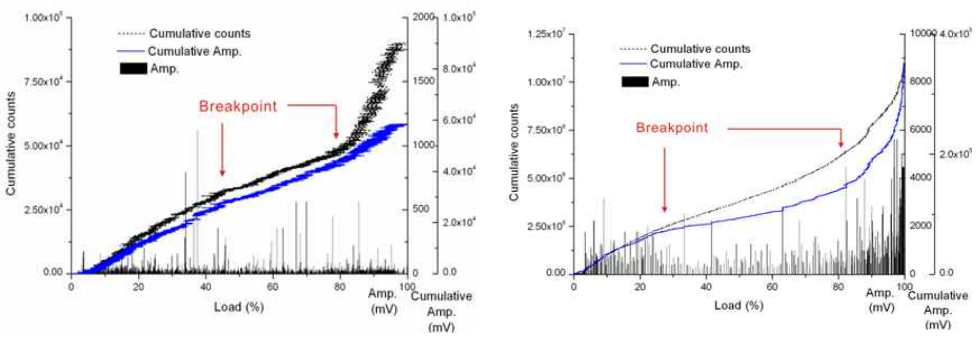




<그림 3.122> 이면전단실험 장비



<그림 3.123> 이면전단실험 전후의 시료사진



<그림 3.124> 이면전단 시료의 하중-횟수 곡선

그림 3.122은 이면전단실험을 수행하기 위한 장비를 보여주는 그림으로 우측의 제작된 장치 위에 45cm의 사각시료를 놓고 상부에서 177mm상판으로 하중을 가하면 상판의 양끝부분에서 전단이 발생하는 원리를 이용한다. 그림 3.123은 실험 전의 센서 부착과 파괴후의 사진을 보여준다. 그림 3.124은 하중증가에 따른 미소파괴음 누적횟수의 증가를 보여주는 그림으로 파괴시점에서 미소파괴음의 누적횟수가 증가하는 것을 볼 수 있다. 우측 그림은 파괴 직전에 측정된 파형과 주파수대역을 보여주는 그림으로 4kHz대의 주파수가 가장 우세한 값을 보이고 있다.

3. 시험시공

개발한 장비와 미소파괴음 계측기술의 현장적용성을 시험하기 위하여 현장시험시공을 실시하였다. 2개의 갱구부 사면에 시험시공을 하였는데 그림 3.125은 춘천동홍천고속도로 송정1터널 시점부이며 설치 당시 건설중이었으나 현재는 개통한 상태이다. 본 갱구사면은 시공중 파괴가 발생하여 앵커와 억지말뚝을 시공중이며 추가파괴의 가능성에 대비하여 표면계측기, 경사계가 앵커 시공과 동시에 상부에 설치되었다. 갱구 상부 3m 폭의 소단측구에 20m길이로 시추하여 알루미늄으로 제작된 봉에 센서를 설치하였다. 시공중에는 임시 전기를 사용하였으며 공용중에는 상지전원으로 교체하였다. 그림 3.126는 추가설치한 시험시공지 2인 울산포항고속도로의 양북터널이며 갱구부에 파괴가 발생하여 강관보강 그라우팅, 강지보재 등을 설치하였으며 1차시험시공과 같은 규격으로 설치하였다. 그림 3.127은 시험시공지 1에서 발생한 누적횟수와 진폭을 나타내며 강우시기에 맞추어서 파괴음의 측정이 가능하였다. 잡음제거를 위한 Threshold 설정을 달리하여 측정파의 횟수를 조정하여야 할 것이다. 현재 측정된 데이터를 살펴보면 특별한 이상치를 보이지 않아 사면이 안정한 상태인 것으로 판단된다.

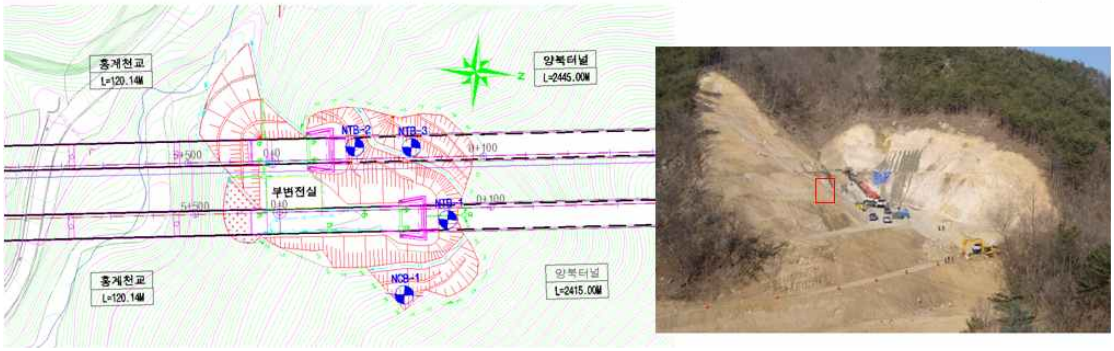
노 선	위 치	사면 높이	사면 연장	사면 경사	붕괴 및 보강유형
춘천-동홍천 4공구	송정1터널시점측 (양방향)	34m	58m	약 63°	· 단층파쇄대를 따른 대규모 파괴발생 · 앵커, 억지말뚝



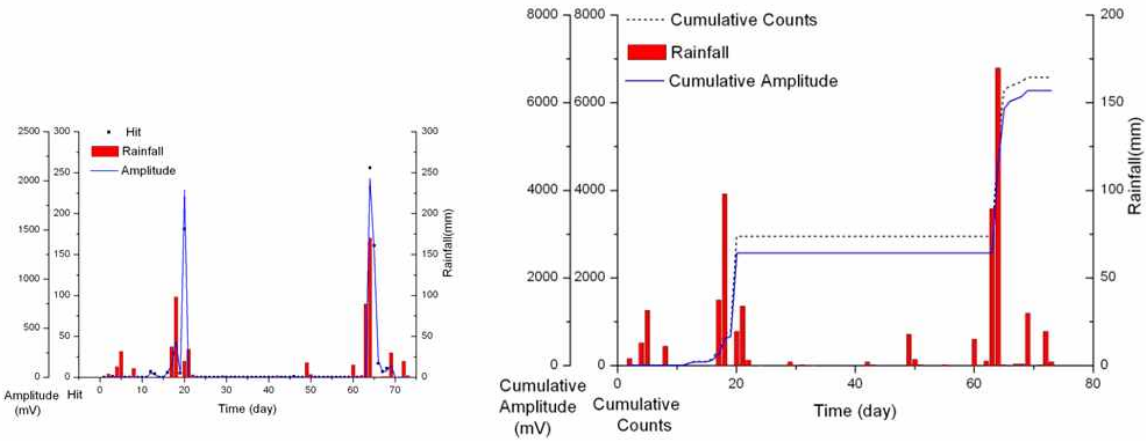
1. 시추공 : 20m
2. 공경 : 105mm
3. 알루미늄 봉 제작
4. 35mm방수 센서 2개
5. Source Location

<그림 3.125> 시험시공지 1(춘천동홍천 4공구 송정1터널)

노 선	위 치	사면 높이	사면 연장	사면 경사	붕괴 및 보강유형
울산-포항 10공구	양북터널시점측	55m	60m	약 63°	· 소규모 사면 파괴 -단층대를 따라 터널 막장 붕괴



<그림 3.126> 시험시공지 2(울산포항고속도로 양북터널)



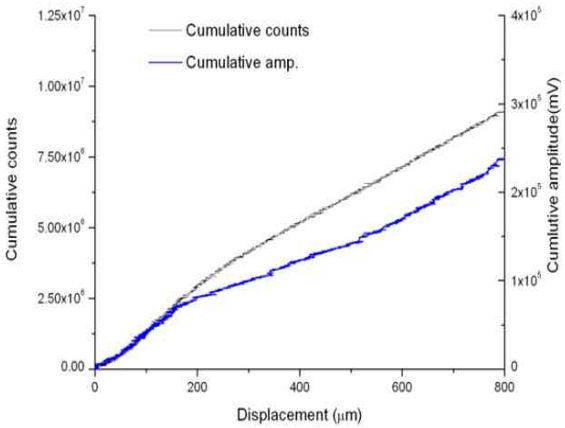
<그림 3.127> 시험시공지 1에서 측정된 누적횟수, 진폭

4. 계측관리기준

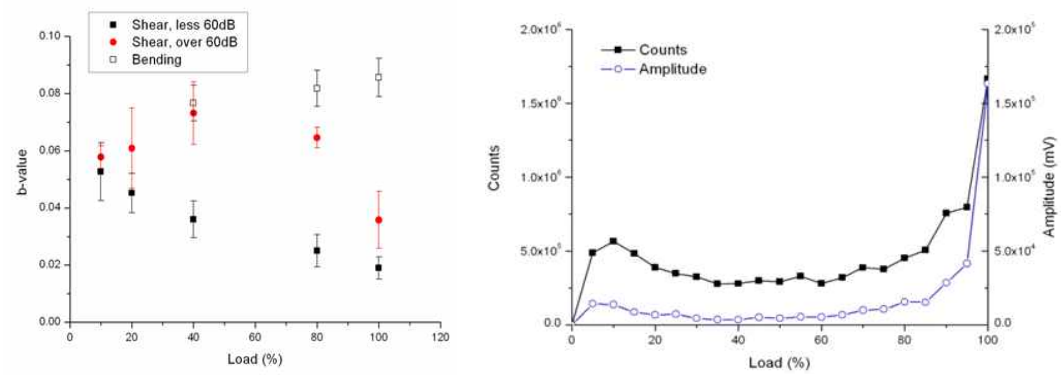
AE신호의 최대 진폭값은 AE발생원에서의 파괴규모에 따라 대소 진폭값이 얻어지는 것으로 알려져 있다. 얻어지는 진폭값에만 주목하여 파괴를 평가하는 것은 파의 종류가 명확하지 않으며, 일률적으로 판단할 수 없다. 그러나, 파의 종류가 뭐든 검출된 AE파의 진폭값은 여기(excited state: 들뜬 상태)시킨 실체파의 에너지에 의존한다는 점에서 상대적으로 최대 진폭값은 AE발생원의 규모를 대표하고 있는 파라미터로 생각할 수 있다. 단, 최대 진폭값 자체를 논의하여 AE를 발생시킨 계통의 파괴규모를 논하는 예는 적으며, 일반적으로는 "진폭규모별 빈도분포"로 불리는 진폭값별 빈도로써 다뤄지고 있다. 또한, 그 분포의 구배는 미분형 혹은 적분형으로 나뉘며, 각각 m값, b값으로써 알려져 있다.

가. 계측관리기준 작성

앞 절에 설명된 b값과 누적횟수, 누적진폭를 실험시의 변위와 연관지어 시험체의 파괴모드를 정의하고 사면계측시 사용할 수 있는 계측관리기준을 작성하였다. 그림 3.128은 이면전단시험에서 측정된 누적횟수, 누적진폭과 변위와의 관계이며 그림 3.129는 하중과 b값과의 관계를 나타낸 그림이다. 이들의 관계를 분석하여 하중을 5단계로 나누고 파괴양상을 분류하였으며 이에 대하여 각각 누적횟수, 진폭, b값을 표 3.39에 제시하였다. 이 표를 이용하여 현재 계측중인 사면에 적용하여 계측을 수행할 수 있다. 다만 이들의 데이터는 각 사면의 암석의 강도에 따라 결정되므로 사면별로 다른 계측기준을 정의하여야 한다.



<그림 3.128> 누적횟수, 누적진폭 vs 변위



<그림 3.129> 하중과 b값의 관계

<표 3.39> 미소파괴음 사면계측 관리 기준

AE parameters						Damage Level	Failure type and Feature	Applied load (ton)
Cumulative Counts	Cumulative Amplitude (mV)	Whether considering trends of summed parameter		b-value <60dB	b-value > 60dB			
		Counts	Amp.					
< 3.5E4	-	Yes	No	< 0.077	-	T I or SI	Early stage in tensile and shear	1
3.5E4 - 8.5E4	-	Yes	No	0.077 - 0.082	-	T II or S I	Secondary stage in tensile or early in shear	2
8.5E4 <	-	Yes	No-	< 0.086	-	T III or S I	Tertiary stage in tensile or early in shear	2.5
< 2.3E6	< 6E4	Yes	Yes	0.036 <	0.067 <	S I	Early stage in shear	5 - 10
2.3E5 - 5.4E6	6E4 - 1.1E5	Yes	Yes	0.026 - 0.036	0.063 - 0.067	S II	Secondary stage in shear	20
5.4E6 <	1.1E5 <	Yes	Yes	0.020 <	0.039 <	S III	Tertiary stage in shear	25

5. 결론

미소파괴음을 사면 계측에 응용하기 위해서 그라우트재에 대한 단축, 사각휨, 원통휨 시료를 제작하여 미소파괴음 저장 양생기간에 따른 탄성파속도 증가 확인하였고 단축, 휨실험을 하여 인장파괴 주로 발생하였고 시료 파괴전 미소파괴음 횟수가 증가하는 전조현상 확인하였으며 초기 주파수 대역은 125kHZ, 파괴시 주파수 대역은 200-250kHZ으로 측정되었다. 파괴이전에 전조현상에서 측정되는 미소파괴음에서 가장 큰 에너지의 파형이 관찰되었다.

미소파괴음의 실험실 시험과 현장시험시공을 위하여 현장에 설치할 수 있는 장

비와 프로그램을 개발하였으며 2개소의 시험시공을 통하여 현장적용성을 검토하였다. 계측을 위한 관리기준 작성을 위하여 실내 이면전단시험을 통하여 얻어진 하중, 변위와 누적횟수, 진폭과의 관계 분석을 통하여 단계별로 파괴 상태를 구분하고 위험수준을 정하였다.

본 연구를 통해서 개발된 기술은 사면의 파괴를 사전에 인지하기 위한 계측기술로 파괴의 가능성이 있는 암반사면에 설치하여 사면의 안정성을 증대시키기 위해 사용될 수 있다. 경제성을 평가한 결과 개소당 설치 비용(3천만원 : 장비 - 2천만원, 설치 - 1천만원)로 경제성이 충분하나 다른 계측기술을 대체하는 기술이 아닌 보완하는 수준으로 설치되어야 할 것이며, 고속도로 및 국도사면에 설치할 예정(장비 전시 및 모니터링 결과를 학술지 기고를 통한 광고로 관심 유도, 추가적인 연구를 통하여 실무에 바로 적용가능하도록 노력 필요)이다.

제 10 절 디지털 영상을 이용한 암반사면 절리구조 맵핑기법 및 장비개발

1. 연구의 배경 및 목적

암반사면의 안정성 해석에 필수적인 암반 절리구조의 기하학적 분포 특성을 규명하기 위해 절리구조를 조사하는 방법은 주로 수작업에 의한 방식이 적용되어 왔다. 최근 들어 대규모 사면이 증가함에 따라 수작업에 의한 방식은 자료 획득의 효율성이 의문시 되어 왔다. 이에 사진측량기법 및 레이져 스캐너 방식 등을 이용한 원거리 조사 기법들에 대한 기대는 증대되어 왔으나 특정 개소에서의 고정식 방법이 대부분을 차지하고 있어 광범위한 지역에서의 유지관리 측면에서의 효율성은 제고되어야만 하는 실정이다. 특히 레이져 스캐닝 방식은 사면의 실시간 영상을 보여주지 못하는 단점을 가지고 있다. 사면의 유지관리 차원에서 현장조사결과와 통합관리 센터에서의 DB 구축 및 예·경보환경 구축에 필요한 자료획득의 효율성 제고 측면에서 차량탑재 디지털 동영상 획득 장치 및 동영상 처리와 분석 등에 의한 사면의 현재 상태 및 절리구조 특성 분석에 관한 연구가 필요한 실정이다.

2. 통합사면관리시스템과의 유기적 연결 및 운영

지난 5개년에 걸친 연구수행 결과의 산물인 차량탑재형 디지털 영상 기반의 절리조사 시스템은 디지털 정지 영상을 이용한 절리구조 맵핑 장치와 유지관리점검을 위한 동영상 모니터링 장치로 구성되어 있다. 조사차량은 사면의 각종 정보를 획득하는데 광범위하게 적용할 목적으로 개발되었으며 특히 본 세세부과제에서 중점적으로 개발한 디지털 영상을 이용한 절리구조 맵핑 장치 및 기법은 신규 사면의 절개시 나타나는 각종 정보를 영상으로 담아둘 수 있으며 안정해석에 필요한 절리구조의 기하학적 특성을 분석해 낼 수 있으며 사면의 유지관리점검시 육안판정시 효율적인 도구로 사용되어질 수 있다.

개발시스템은 전반적인 사면의 유지관리점검 단계에서 보다 효율적인 조사시스템으로 활용할 수 있는데 기존의 인력에 의한 유지관리점검을 이동형시스템을 보조도구로 활용함으로써 작업의 효율성을 극대화할 수 있는 장점이 있다. 특히 육안판정시 현장에서의 영상정보를 통합관리 시스템으로 전송이 가능하여 보다 전문적이고 경험이 많은 기술자들과 의사결정권자들과의 실시간 협의가 가능하여 신속한 대책수립과 방안을 모색할 수 있게 해준다. 따라서 당해 연도 연구에서는 현장에서 획득한 다양한 영상정보들을 통합관리시스템과 연계할 수 있는 방안을 모색하였는데 이는 개발시스템이 디지털 기반의 영상들을 조사차량에서 직접 획득하고 현장에서 직접 분석이 가능한 각종 디지털 기반의 시스템으로 구성하였기에 가능하였다. 통합관리 시스템은 웹기반에서 운영되는 관계로 상기에서 목표한 통합관리 시스템과 조사차량에서 얻어진 사면의 각종 영상정보들은 인터넷 네트워크로 연결시켜 현장정보를 전송할 수 있도록 구성하고자 하였다.

디지털영상을 포함하여 절리구조와 관련된 제반정보들은 무선인터넷 환경을 이용하여 통합관리시스템의 서버로 전송하도록 구성하였다. 그림 3.130은 주관연구기관인 상지대학교에서 개발하여 연구단에서 시범운영중인 통합관리시스템의 웹기반 데이터베이스를 나타낸 것이다. 현장에서 획득한 동영상과 정지영상은 통합관리 시스템의 준관리자 이상의 보안등급을 부여받은 뒤 인터넷에 접속하여 현장에서 바로 전송 가능하도록 구성되어 있다. 현재는 가격대비 성능이 우수한 HSDPA망을 이용하여 전송하고 있다. 현장에서는 인터넷 전송속도를 고려하여 적절한 수준의 화질과 용량을 선정하여 전송하여야 한다.



<그림 3.130> 낙석 및 산사태 방재 연구단의 통합관리시스템내 사면관리 인터넷창

3. 사면조사차량을 이용한 현장적용

본 연구를 통해 얻어진 성과인 차량탑재형 디지털 영상 기반의 절리구조 맵핑 장치 및 기법은 지난 4차년도 연구에서 알고리즘과 장치의 정확성과 정밀성에 대해 검증을 수행한 바 있다. 당해 연도에는 지난 4차년도에서 개발 시스템의 검증을 수행한 시범지구에서 계절적 변화에 따른 사면의 유지관리점검을 수행하고 안정성 검토를 수행하며 개발시스템의 기술적 성능적 향상을 도모하였다. 또한 현장적용시 얻어진 각종 문제점들을 개선하고 사면의 유지관리점검시 제반기준인 건설공사 비탈면 유지관리지침을 준용하여 현장 조사 및 점검 작업을 진행하였다.

가. Site 1

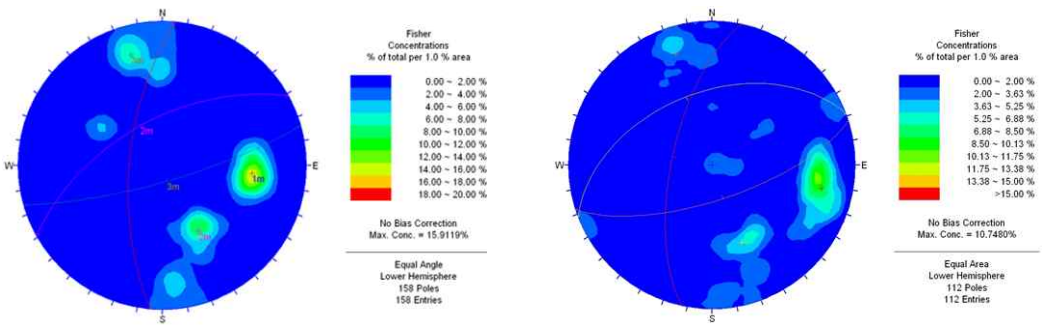
시범지구 Site 1은 국도 56호선 홍천에서 춘천방향으로 이동시 우측에 위치한 암반사면으로 사면의 높이는 약 10m, 폭 15m이며 보호공이 시공되지 않았다. 본 현장은 건기시에 암반절리구조가 잘 드러나 지난 4차년도 연구수행시 개발장치와 기법의 검증을 수행한 지역이기도 하다.



(a) 건기(2010년 3월) (b) 우기(2010년 8월)

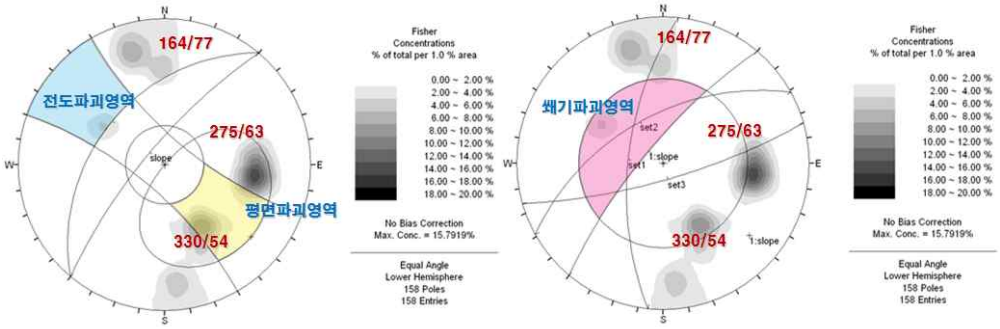
<그림 3.131> 국도 56호선 Site 1 정지영상

건기 및 우기시 분석 결과, site 1에서 계절변화에 따른 절리군의 방향성은 유사하게 나타났다. 이를 토대로 도식적 방법인 입체투영해석에 의하여 시범지역 사면 site 1의 안정성을 개략적으로 평가한 결과는 그림 3.133와 같다. 또한 개발한 절리통계처리프로그램 JointeXtractor를 통해 분석한 절리의 기하학적 특성값들의 분포상태를 나타낸 것이다.



(a) 건기(2010년 3월) (b) 우기(2010년 8월)

<그림 3.132> Site1의 절리군 분포 특성



(a) 평면 및 전도파괴 검토 (b) 쐐기파괴 검토

<그림 3.133> Site 1의 입체투영해석에 의한 안정 검토



<그림 3.134> Site 1의 절리의 기하학적 특성값

나. Site 2 (난접근 지역)

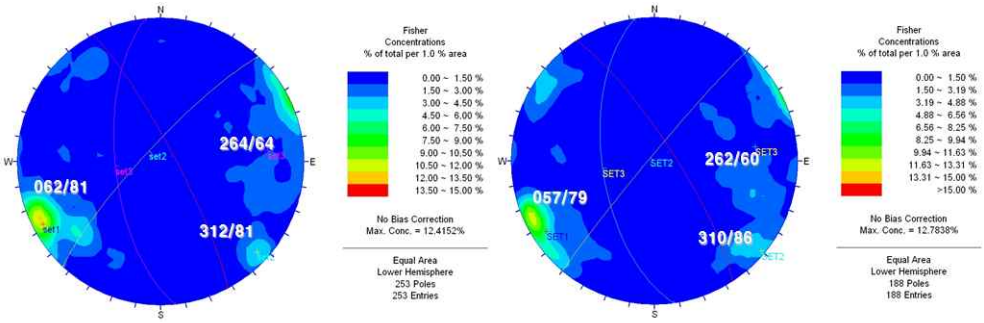
시범지구 site 2는 site 1과 같은 국도56호선 홍천에서 춘천방향에 좌측에 위치한 암반사면이다. 사면의 높이는 15m 이상이며 폭은 25m이며 보호공은 설치되지 않았으며 사면경사가 80°를 이루고 있는 곳이다. 낙석의 위험이 상존하고 있고 사면의 경사가 급하고 높아 조사자가 수작업을 수행하기에 다소 위험한 상태였다.



(a) 건기(2010년 3월) (b) 우기(2010년 8월)

<그림 3.135> 국도 56호선 Site 2 정지영상

시간적 변화후 각각의 방향성 분석 결과는 그림 3.136와 같이 나타났다. 건기와 우기시를 구분하여 절리군 분석을 수행하면서 우기에는 더 많은 절리면을 대상으로 측정결과를 도시하였다.



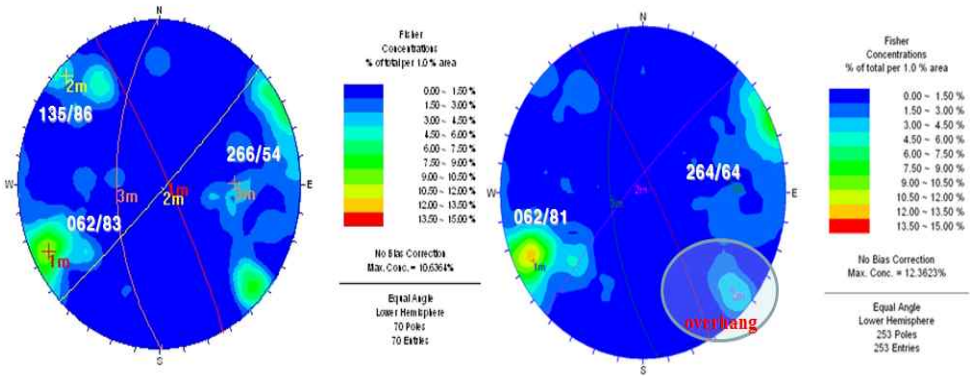
(a) 건기(2010년 3월) (b) 우기(2010년 8월)

<그림 3.136> Site 2 절리군 분포 특성

그 결과 절리군 2의 방향이 서로 반대가 되어 나타났다. 이는 절리면의 overhang과 non-overhang의 관계 때문에 발생한 것으로 나타났다. 그림 3.137은 이러한 overhang, non-overhang 절리면을 나타낸 것이다. 상대적으로 overhang된 절리면들이 측정자료수에 많이 포함되어 건기와는 다른 절리군 방향 분석이 나타났다. 그림 3.138는 이들 사이의 자료 측정 개수의 차이에 의한 방향분포 특성을 나타낸 것이다. Site 2의 입체투영해석에 의한 암반사면의 개략적 안정검토에는 overhang 절리면 자료까지 모두 포함하여 수행하였으며 그 결과는 그림 3.139와 같이 나타났다.

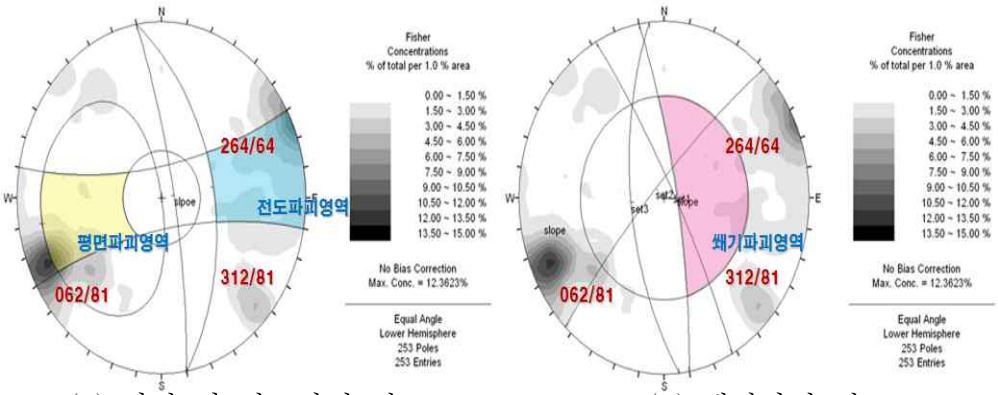


<그림 3.137> Site 2의 암반절리의 경사각 차이(overhang, non-overhang 관계)



(a) non-overhang (b) overhang 포함

<그림 3.138> Site 2의 overhang과 non-overhang 관계에 따른 절리군 분포



(a) 평면 및 전도파괴 검토 (b) 쐐기파괴 검토

<그림 3.139> Site 2의 입체투영해석에 의한 안정 검토

안정검토 결과, 062/81의 방향을 갖는 절리군의 일부 절리면들에서 평면파괴 가능성이 나타났으며 264/64의 방향을 갖는 절리군에 속하는 일부 절리면에서 전도파괴의 가능성이 보이는 것으로 검토되었다. 쐐기파괴 가능성을 검토한 결과에서는 모든 절리군들이 안정한 것으로 나타났다.

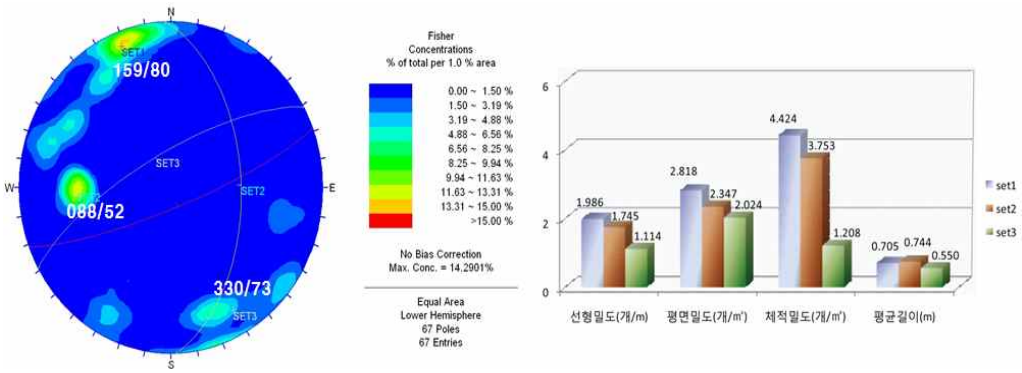
다. Site 3 (낙석방지망)

연구개발성과의 현장적용성 향상 목표는 Site 2에서와 같이 조사자가 접근하기 곤란한 지역에서의 조사 가능성을 확인하는 것과 같이 암반 절취면에 낙석 보호망과 같은 인공구조물이 그림 3.140과 같이 설치되어 있을 때 영상을 이용한 조사를 수행하여 비탈면 상태 및 암반비탈면의 절리구조를 파악하기 위한 방법을 모색하는 것도 포함된다.



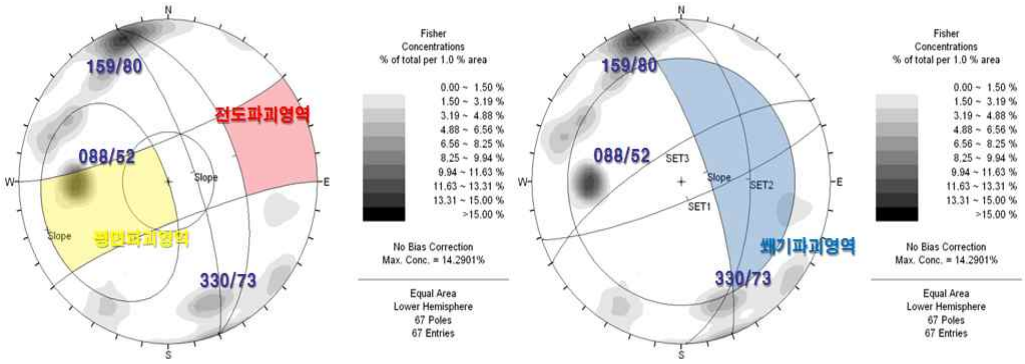
(a) 건기(2010년 3월) (b) 우기(2010년 8월)

<그림 3.140> 국도 56호선 Site 3 정지영상



<그림 3.141> Site 3의 절리군 분포 및 기하학적 특성

낙석보호망이 설치된 site 3의 입체투영해석에 의한 암반비탈면 개략 안정검토 결과는 그림 3.142과 같이 나타났다. 검토 결과, 088/52의 부절리군에 속하는 일부 절리면들에서 평면파괴의 가능성 보였으며 전도파괴 가능성은 없는 것으로 나타났으며, 쐐기파괴 가능성은 3개의 절리군들이 모두 불안정한 것으로 나타났다. 이러한 분석 결과는 해빙기이며 건기에 해당하는 2010년 3월의 결과와 유사하게 나타났으나 지속적인 관리점검이 필요한 사면으로 판단되었다.



(a) 평면 및 전도파괴 검토 (b) 쐐기파괴 검토

<그림 3.142> Site 3의 입체투영해석에 의한 안정 검토

라. 동영상 모니터링

동영상 모니터링은 기존 비탈면 유지관리점검시 육안판정을 조사차량에 탑재한 동영상 CCTV를 이용하여 수행하는 것으로 비탈면의 외형적인 상태 및 설치한 각종 보호 및 보강공의 상태를 원거리에서 확인하기 위한 것이다. 그림3.143 (a)와 (b)는 건기와 우기시 촬영한 시범지역 비탈면 Site 4의 전경을 나타낸 것이다. 해당비탈면은 사면의 높이가 약 50m, 폭은 약 150m, 사면경사는 약 75°이며 일부에 녹생토 보호공이 설치된 곳이다. 동영상촬영에 의한 모니터링 결과, 계절변화에 따른 이상징후는 발견되지 않았다. 특히 여름철 장마나 집중호우가 발생한 이후 배수시설의 상태나 비탈면의 상태는 양호한 것으로 나타났다.



(a) 건기(2010년 3월)



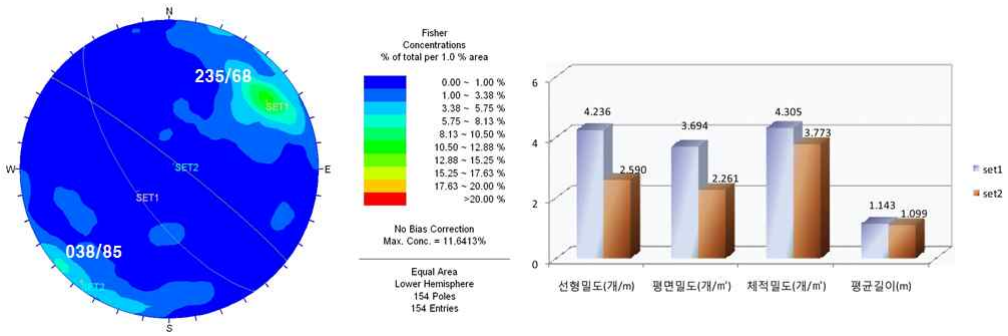
(b) 우기(2010년 8월)

<그림 3.143> 국도 6호선 site 4 사면의 동영상모니터링

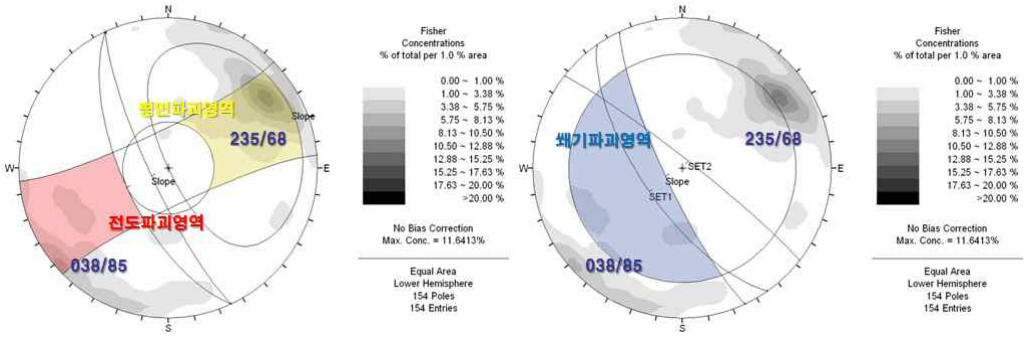
마. 시공 현장에서의 적용

본 연구과제의 최종 성과인 이동형 조사차량내 탑재한 디지털 영상을 이용한 암반사면 절리구조 맵핑 기법 및 장치는 공용중인 비탈면의 안정상태와 상태점검 뿐만 아니라 새로운 도로개설이나 토목공사시 발생되는 신규 비탈면의 시공단계에서 안정검토 및 현황도 작성에 활용가능하다. 이에 당해 연도에서는 신규로 생성되는 비탈면의 시공단계에서 노출된 암반비탈면의 안정검토를 위한 조사를 수행하였다. 시공현장에서의 적용은 국지도 70호선 도로확포장공사시 발생한 현장 암반비탈면을 대상으로 하였다.

비탈면은 높이 약 18m, 폭 70m로 풍화가 심하게 진행된 구역과 신선한 암반, 상부 토시층이 복합적으로 분포하는 복합사면인 것으로 나타났다. 또한 절리가 많이 분포하여 절리면을 따라 지하수의 유입과 유출됨으로 인해 절리면을 따라 풍화가 많이 진전된 것으로 나타났다.



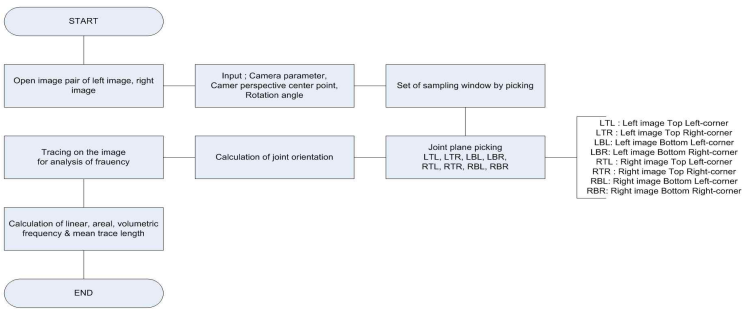
<그림 3.144> 국지도 70호선 도로확포장공사 현장사면 절리구조 분포 특성



<그림 3.145> 국지도 70호선 도로확포장공사 현장사면의 입체투영해석

4. 통합절리구조 분석 프로그램 보완

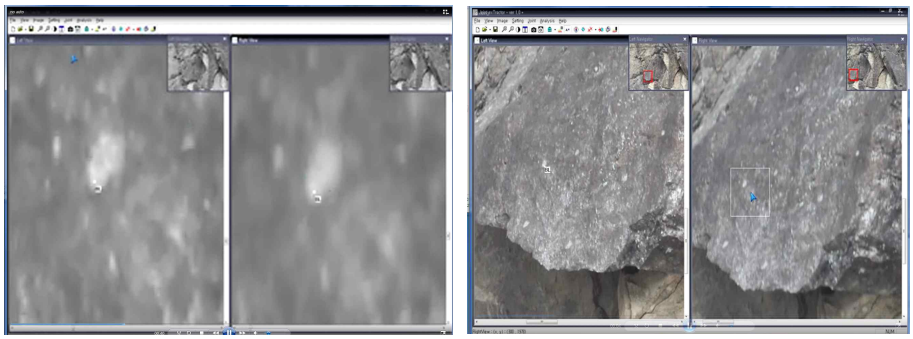
지난 4차년도 연구개발을 통해 하드웨어적인 시스템 운영과 관련하여 절리구조의 영상측정조사 및 통계처리를 위한 통합절리구조 분석 프로그램인 JointeXtractor V1.0을 개발한 바 있다. 다음은 개발프로그램을 이용하여 절리조사를 수행하는 일련의 과정이다.



<그림 3.146> JointeXtractor의 작업 순서도

개발 알고리즘은 좌우 영상의 동일지점의 2차원 영상좌표를 매칭한 후 매칭결과로부터 사진측량에서의 공선조건식이 일반화된 parallax 방정식에 의하여 3차원 공간좌표를 계산한 후 3차원 공간좌표가 구성한 절리면의 법선벡터 방향에 따라 절리면의 방향을 결정하고 2개의 디지털 영상의 조합으로부터 구성한 현장의 각종 정보들의 3차원 공간좌표들의 관계로부터 절리구조의 기하학적 분포 특성을 파악하는 것으로 구성되어 있다. 이때 가장 중요한 요소중에 하나는 2차원 영상좌표로부터 3차원공간상에 분포하는 절리구조의 3차원 공간좌표를 계산하는 과정인데 이는 좌우 스테레오 영상의 동일지점을 얼마나 정확하게 파악하느냐가 관건이다.

그림 3.147에서와 같이 기존 방식에서는 좌우영상에서의 동일점을 수작업으로 매칭시켜주었으나 프로그램을 보완하여 좌측영상 임의점이 속한 우측영상내 임의구역에 탐색창을 위치시키면 동일지점을 자동으로 매칭시켜 작업의 효율성을 높였다.



(a) 수작업 매칭 (b) 탐색창에 의한 반자동 매칭

<그림 3.147> 좌우영상 동일지점 지정

절리면을 사각형으로 구성한 후, 1개 절리면의 네 지점을 반자동매칭 시키는데 소요되는 시간은 20초미만으로 반자동매칭 기법의 프로그램 보완전인 수작업에 의한 매칭작업에 비해 약 50% 이상의 시간절약 효과를 확인할 수 있었다.

5. 사용자 편의를 고려한 매뉴얼 제작

5개년도 연구성과인 차량탑재형 디지털영상 기반의 절리구조 맵핑 및 장비 시스템 개발에 따른 운영 효과를 극대화하고자 장비운영조작 매뉴얼을 작성하고 개발시스템을 활용한 기존 비탈면 유지관리지침을 준용할 수 있도록 유지관리지침서를 작성하였다. 이는 관련학과를 졸업한 초급기술자를 대상으로 하여 보다 광범위하고 이해도를 증진시키기 위한 방편으로 작성한 것이다. 특히 국토해양부 제정, 건설공사 비탈면 유지관리지침[2006]의 최소 기준을 준수할 수 있도록 유지관리점검시 기존 작업을 개발시스템을 활용하여 대체하거나 보완할 수 있도록 해당부분에 대한 유지관리지침서를 제작하였다. 자세한 내용은 부록에 첨부하였다.

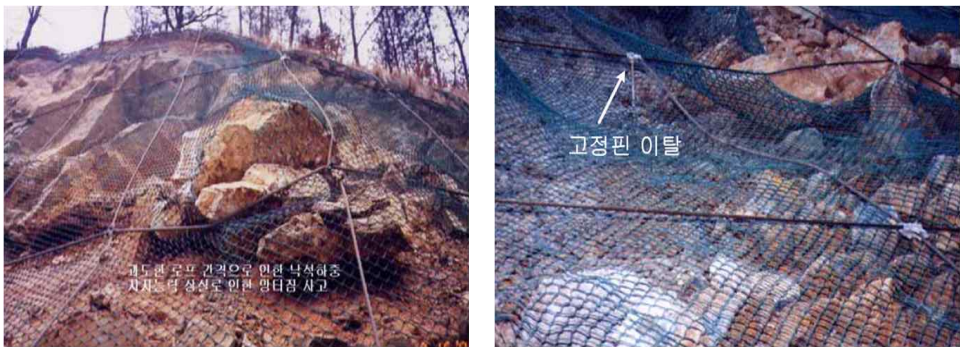
제 11 절 포켓식 낙석방지망 국산화 기술 개발

1. 연구의 배경 및 목적

본 연구의 최종목표는 전적으로 해외기술에 의존하고 있는 분야에 대하여 국산화 기술 개발을 통한 실용화 및 사업화를 위한 기술 개발이다. 총 연구내용은 국내외의 관련문헌을 조사하고, 낙석방지망의 설치현황을 조사한다. 현행낙석방호시설의 문제점 분석 및 개선방안을 제시하며, 성능평가를 통한 신개념 낙석방지망을 개발하여 신개념 낙석방지망의 실용화를 추진한다.

2. 기존 낙석방지망의 문제점

국내 낙석방지시설 관련 지침 조사결과 고속도로, 국도, 지방도 등에서 흔히 적용되고 있는 낙석방지망은 형식선정, 설계, 구조, 설치방법 등의 세부적인 사항에 대한 규정이 미비한 것으로 나타났다. 현재 적용되고 있는 낙석방지망은 와이어로프와 철망이 주 구성요소이며 철망을 절토사면에 씌우고 그 위에 2×5m 혹은 3×3m의 간격으로 종·횡와이어로프를 시공하도록 되어 있다. 그러나 구조적 특성상 낙석방지망으로서 요구되는 기능성을 확보하는데 많은 어려움이 있으며 이로 인해 크고 작은 망터짐 사고가 발생하여 낙석보호시설로서 기능을 상실하는 경우가 많이 보고되고 있다. 또한 기존 낙석방지망의 파괴는 대부분 낙석하중 지지능력이 상실됨에 따라 발생되는 철망 터짐과 낙석방지망 고정핀 이탈로 발생하고 있으며 와이어로프의 파손은 거의 없는 것으로 조사되었다.



(a) 낙석방지망 터짐　　(b) 낙석방지망 고정핀 이탈

<그림 3.148> 국내 낙석방지망 피해 경향

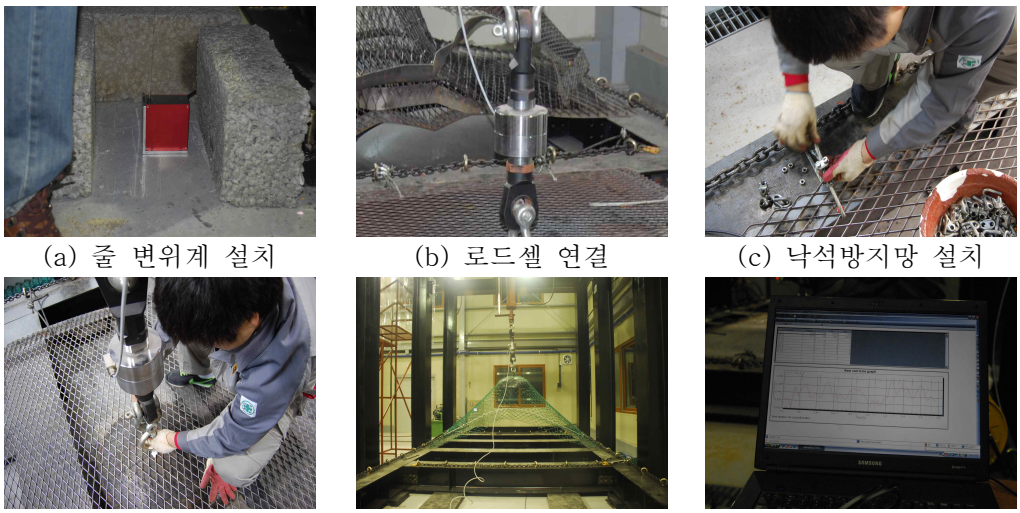
3. 낙석방지시설 적용을 위한 팽창메탈의 특성 평가

가. 인발시험을 통한 기존 PVC망과 팽창메탈의 특성 비교

시험체로 이용된 팽창메탈은 3.2T와 4.5T에 대하여 시험을 하였으며, 와이어로프 체결 후 3회씩 시험하였다. 또한 현행 낙석방지망으로 사용되는 PVC코팅망의 성능을 평가하기 위하여 PVC코팅망에 대해서도 동일한 방법으로 시험을 실시하였다.

(1) 낙석방지망 인발시험 시험재료 실험 방법

시험 장치는 크게 H-Beam으로 제작된 거치대와 유압실린더 그리고 낙석볼, 계측기, 줄 변위계 등으로 이루어져 있다.



(a) 줄 변위계 설치 (b) 로드셀 연결 (c) 낙석방지망 설치

(d) 낙석볼 체결 (e) 인발 (f) 데이터 측정

<그림 3.149> 낙석방지망 인발시험 순서

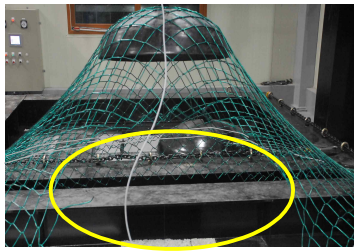
(2) PVC망과 팽창메탈에 대한 인발시험 결과

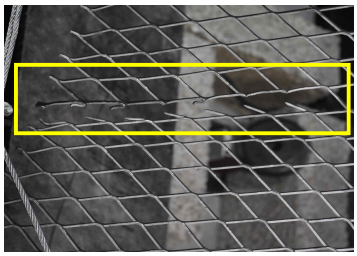
PVC 코팅망에 대한 인발시험 결과 파괴시점은 약 3.7~4.7ton으로 변위는 920~1070mm정도이며, Expanded Metal(XG-62) 3.2T에 대한 인발시험의 경우 파괴시점은 약 5.9~6.8ton으로 변위는 980~1030mm로 나타났다. 마지막으로 Expanded Metal(XS-21) 4.5T에 대한 인발시험 결과 파괴시점은 약 7.8~8.6ton으로 1040~1120mm정도의 변위가 나타났다. 최대 지지하중은 PVC코팅망보다 Expanded Metal 3.2T가 약 1.54배정도 우수한 것으로 나타났다.

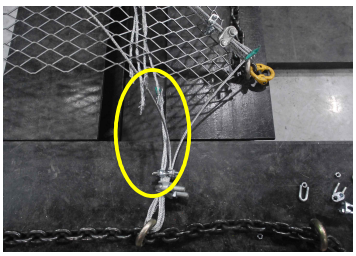
PVC코팅망과 Expanded Metal 4.5T를 비교·분석한 결과 변위 차이는 예상과 달리 거의 없었으나 최대 지지하중은 PVC코팅망보다 Expanded Metal 4.5T가 약 2배정도 우수한 것으로 나타났으며 Expanded Metal 4.5T의 최대지지하중은

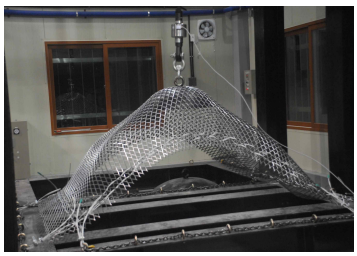
Expanded Metal 3.2T보다 약 1.3배정도 우수한 것으로 나타났다.

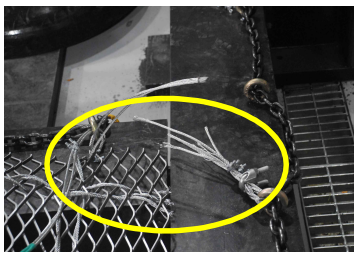

(a) PVC코팅망 2차 Test


(b) PVC코팅망 3차 Test


(c) XG-62 1차 Test


(d) XG-62 2차 Test


(e) XS-21 2차 Test


(f) XS-21 3차 Test

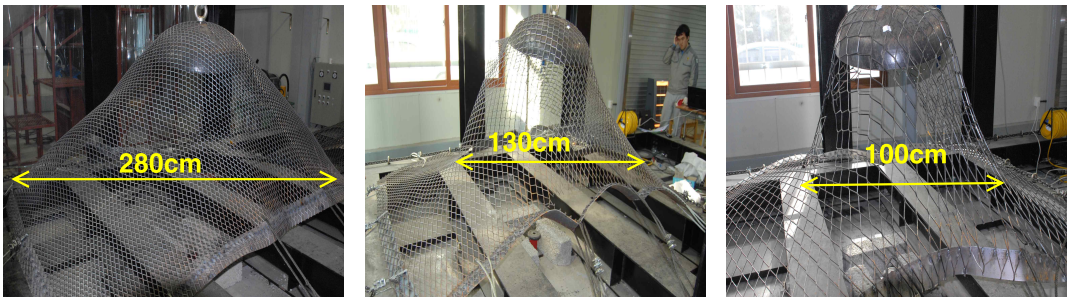
<그림 3.150> PVC 코팅망과 팽창메탈의 인발시험 후 모습

나. 팽창메탈의 메쉬크기별 인발시험

본 시험에서는 팽창메탈이 동일 환경에서 메쉬크기에 따라서 어떤 지지능력 효율 및 특성을 나타내는지 평가하고자 로 가장 작은 크기의 메쉬부터 3종(XG-43, XG-62, XG-72)을 선정하여 각 모델당 2회 총 6회의 시험을 실시하였다. 망의 크기는 시험기 조건을 고려하여 가로(2800mm)×세로(2100mm)로 제작되었으며 기 시험에서 시험기와 망의 와이어에 응력집중으로 인한 결속 와이어 파괴 문제를 개선하고자 Expanded Metal(XG-43) 가장자리에 폭 100mm의 철판을 용접하고 와이어로 체결함으로서 와어어 연결부의 응력집중으로 인한 Expanded Metal의 파괴를 줄여 팽창메탈의 인발특성을 연구하였다.

(1) 팽창메탈의 메쉬크기별 인발시험 결과

팽창 메탈 3.2T의 인발시험 결과 파괴형상은 XS-43의 극한하중은 10.4 ton 변위는 약 634 mm, XS-62의 극한하중은 7.7 ton 변위는 약 781 mm, XS-72의 극한하중은 3.7 ton 변위는 약 590 mm 정도로 나타났다. 팽창메탈의 메쉬크기별 인발시험결과 대부분의 시험에서 파괴 형태는 유사하게 나타났다. 최초파괴는 낙석볼과 최단거리의 와이어 결속부에서 시작되었으며 최초 파괴 부를 시작으로 망이 연속적으로 찢어져 최종 마름모꼴의 1500×1000mm이상의 파괴형태를 나타냈다.

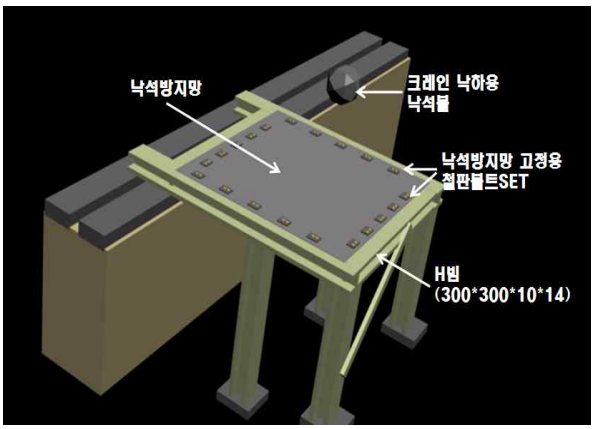


(A) XG-43 (B) XG-62 (C) XG-72

<그림 3.151> Expanded Metal 인발시험 후의 변형폭

팽창 메탈 메쉬크기별 인발시험 결과를 비교·분석한 결과 최초 파괴가 발생하는 상하 변위는 메쉬 크기가 클수록 낮은 변위에서 발생하는 것으로 나타났으며, 메쉬가 작을수록 지지력이 낮은 변형에서 발현된 것으로 나타났다.(그림 3.150 참조) 극한하중은 XS-43은 XS-72보다 약 2.8배정도 높게 나타났으며, XS-62는 XS-72보다 약 2.1배정도 높게 나타났다. 팽창 메탈의 무게에 비례하여 지지력도 증가하는 경향을 예상했으나 무게의 증가비(1.7:1.3:1)보다 지지력의 증가비(2.8:2.1:1)가 더 크게 나타났다. 이것은 망눈이 가장 큰 모델인 XS-72 모델에서 낮은 효율의 지지력을 나타낸 것인데 메쉬 크기가 클수록 강도가 낮음으로 응력분포 범위가 넓게 좁게 분포되고 망이 파괴되면서 지지력을 상실하게되 때문에 동일한 체결조건에서는 낮은 지지력 효율을 나타낸 것으로 판단된다.

다. 낙석방지망 성능 평가를 위한 현장시험



<그림 3.152> 현장시험 개요도

(1) 시험 재료 및 시험 항목

본 현장시험을 위한 낙석방지망 시험대상 재료로 기존 PVC망 (#5×58×58 ∅4.0㎜)과 팽창메탈 2종 (XS-62, XG-21)을 선정하였다. PVC 망의 경우 기존 낙석방지망의 지지능력을 평가하기 선정하였고, 팽창메탈2종은 기존 실내 인발시험에서 수행된 적이 있는 재료로 실내시험과의 비교·분석이 가능하고 두께별 거동 비교를 위하여 선정하였다. 콘크리트볼의 낙하 에너지는 낙석방지망의 손상여부에 따라 자유낙하 높이를 조정해 가며 수행하였다.

(2) 낙석방지망 성능 평가를 위한 현장시험 결과

현장시험결과, PVC망의 경우 일반적으로 낙석방지망이 저항할 수 있는 낙석 에너지 10kJ(도로안전시설 설치 및 관리지침, 국토해양부)에 미달되는 4kJ 결과로 망 자체의 낙석흡수 가능에너지는 매우 낮은 것으로 나타났다. 하지만 변위의 경우 체결부의 파손 없이 팽창메탈 상하변위의 약 2배인 83cm로 나타나 인신율은 매우 우수한 것으로 나타났다. 팽창메탈 XS-62의 시험에서는 체결부 볼트의 파손에 의한 망의 변형증가로 정확한 낙석 흡수 가능에너지를 산정하지는 못하였다. 하지만 본 시험결과를 바탕으로 예상해 볼 때 낙석흡수 가능에너지는 10kJ 이상이 될 것으로 판단되며, 상하변위는 45cm 내외로 판단된다.

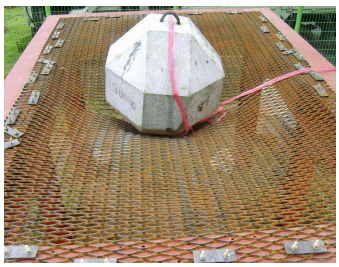
팽창메탈 XG-21의 시험결과 역시 20kJ의 시험 이상에서는 체결부 볼트의 파손이 발생하여 정확한 낙석흡수 가능에너지를 얻지는 못하였으나, 시험결과를 바탕으로 예상해 볼 때 낙석흡수 가능에너지는 25kJ내외, 상하변위는 35cm 내외로 판단된다.



(A) PVC-2차 낙석 방어



(B) 팽창메탈(XS-62)-2차 중앙부 관통(하부)



(C) 팽창메탈(XG-21)-1차 낙석 방어

<그림 3.153> Expanded Metal 인발시험 후의 변형폭

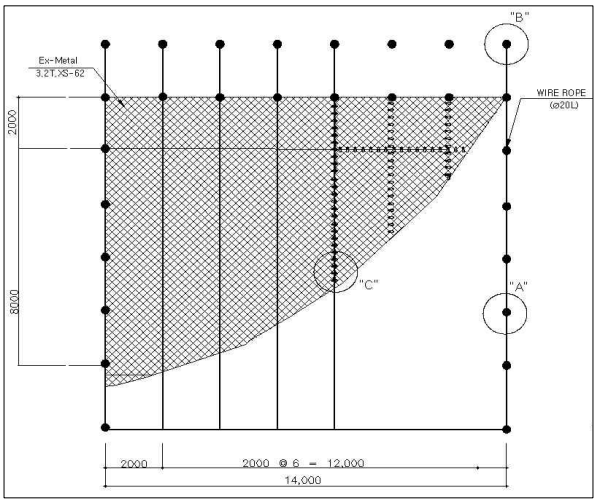
팽창메탈 XS-62의 시험결과 볼트와 지압판으로 1단체결 했을 때는 20kJ을 방어하였으나, 2단으로 체결했을 때는 20kJ을 방어하지 못하고 관통되는 결과가 나타났다. 이는 체결부의 파손으로 인하여 팽창메탈의 변형이 증가되어 충격흡수 가능량

이 증가되었기 때문인 것으로 판단된다.

라. Expanded Metal을 이용한 포켓식 낙석방지망의 설계

Expanded Metal의 강한강도와 일체화된 구조특성상 실제 현장에서는 사면과의 접촉이 어려운 점이있다. 이러한 특징 때문에 낙석이 가지는 에너지를 흡수하는 기능을 가지는 포켓식 낙석방지망에만 적용이 가능하다.

실험결과에서 Expanded Metal중 지지능력, 가격, 무게등을 고려하여 XS-62번 설계모델으로 선정하였다. 또한 시공방법, 지지능력, 두께, 변형량에 대하여 고려하여 결정하였다. 사용 Expanded Metal망의 크기는 Expanded Metal의 제작 가능 사이즈와 낙석방지망 설치 조건을 고려하여 2000x2000mm를 기본 사이즈로 적용하였다.

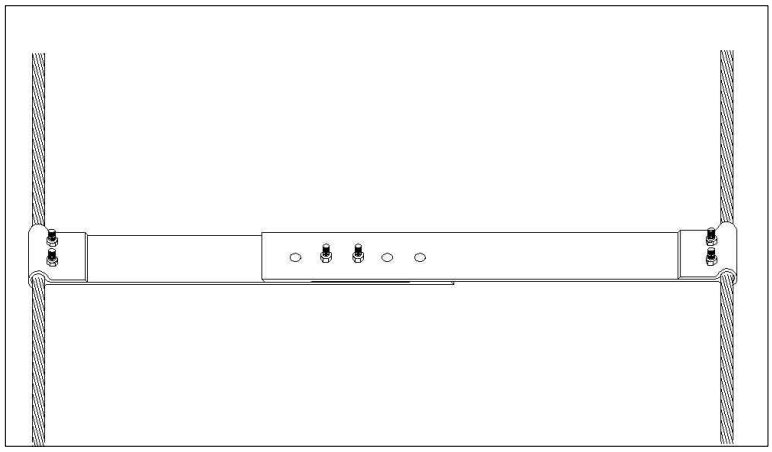


<그림 3.154> Ex-Metal을 이용한 포켓식 낙석방지망

기존 PVC망 보다 높은 무게를 가지는 Expanded Metal의 재료특성상 PVC망보다 시공이 어렵기 때문에 종방향으로 현장에서 설치되는 Expanded Metal을 사면하부에서 미리 조립하여 크레인으로 사면 상부에 올려 설치하는 방법을 고안하여 시공성을 높이는 방안을 고안하였다. Expanded Metal망과 Expanded Metal을 연결하는 부재로는 스냅 후크를 이용하여 각망눈 체결하는 방안으로 빠른 체결이 가능하도록 고안하였으며, Expanded Metal과 와이어를 연결하는 연결방법으로 망과 망을 연결한 스냅후크를 와이어와 연결된 퀵링크에 체결하는 방법을 고안하였다.

Expanded Metal을 이용한 포켓식 낙석방지망의 경우 망의 강도와 일체화된 재료특성을 활용하여 설치되는 앵커의 갯수를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 기존 PVC

포켓식 낙석방지망에서 간격제로 사용되는 와이어그립이 불필요하다.



<그림 3.155> 기존 PVC망에서 사용되는 와이어그립

시공성, 강도, 경제성을 고려하여 XS-62를 대상으로 설계를 수행하였으며, 기존 PVC 낙석방지망 보다 높은 지지능력을 발휘할 것으로 판단되며, 기존 PVC망보다 높은 낙석지지능력을 요하는 현장에 적용 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 낙석방지망의 대체재료로서 팽창메탈(Expanded Metal)의 적용성을 파악하고자 낙석방지망 인발시험장치를 이용하여 기존 낙석방지망 재료로 사용되는 PVC 코팅망과 팽창메탈(Expanded Metal)에 대해 시험을 수행하여 응력범위 및 변형특성을 파악하였다.

또한 현장시험을 통해 실제 낙석에 의한 충격에너지를 작용시켜 낙석방지망의 방어능력과 변형 특성을 평가하여 팽창메탈(Expanded Metal)의 현장 적용성을 검증하였으며, 시험 수행시 낙석방지망 체결부에 응력집중으로 인한 파괴가 발생하여 이를 최소화 할 수 있는 체결방법을 제안하였다.

이상의 연구결과를 요약·정리하면 다음과 같다.

○ 인발시험을 통한 기존 PVC망과 팽창메탈의 특성 비교결과 : PVC 코팅망과 팽창메탈(Expanded Metal) 3.2T, 4.5T 모두 변위 차이는 크지 않은 것으로 나타났으나, 최대지지하중은 Expanded Metal 3.2T가 PVC망의 1.5배, Expanded Metal 4.5T

가 PVC망의 약 2배정도 큰 것으로 나타났다.

○ 팽창메탈의 메쉬크기별 인발시험 결과 : 팽창메탈의 최초 파괴부는 응력이 집중되는 와이어 연결부에서 연속적으로 찢어지면서 약 1,000mm이상의 파괴를 나타냈다. 최대지지 하중비는 XS-43, XS-62, XS-72가 2.8 : 2.1 : 1.0로 나타났으며, 메쉬의 변화율은 XS-72 > XS-62 > XS-43의 순으로 나타났다. 이는 메쉬가 큰 XS-72가 강도와 변형에 약해 최대지지 하중은 작고, 낙석볼 주변에서 응력이 좁게 분포되어 낙석볼 주변의 메쉬 변형이 크게 나타난 것으로 판단된다. 따라서 향후 낙석방지망 설계시 부속부재와 망의크기 등을 고려하여 효과적인 하중분포가 가능하도록 설계해야 할 것으로 사료된다.

○ 현장시험을 통한 낙석방지망의 성능 평가 결과 : 기존 PVC망의 경우 일반적으로 낙석방지망이 저항할 수 있는 낙석에너지인 10kJ(도로안전시설 설치 및 관리지침, 국토해양부, 2009)에 미달되는 4kJ로 나타났다. Expanded Metal XS-62의 경우 1단 체결 했을 때는 20kJ을 방어하였으나, 2단으로 체결했을 경우는 20kJ을 방어하지 못하였다. XG-21의 경우 체결부 볼트의 파손으로 정확한 수치는 얻지 못했지만 낙석흡수 가능에너지는 25kJ내외로 예상된다. 이와 같이 Expanded Metal은 기존 PVC망에 비해 낙석하중 지지능력이 월등히 높은 것으로 나타났다.

○ 팽창메탈의 체결방법 제안 : 시험 수행시 낙석방지망 체결부에 응력집중으로 인한 파괴가 발생하여 이를 최소화 할 수 있는 체결방법으로 Quick Link와 스냅후크를 제안하였는 바, 본 제품들은 체결방법이 간편하여 시공성이 우수하고, 강도가 높아 연결재로서 활용성이 우수한 것으로 판단된다. 차후 시험에서는 체결방법에 대한 추가적인 연구도 필요할 것으로 사료된다.

○ 상기 시험결과를 종합하여 볼 때 Expanded Metal은 기존 PVC 코팅망에 비해 강도가 우수하고 일체화된 재료특성으로 하중지지능력이 매우 크게 나타났으며, 낙석방지망의 대체재료로서 활용성이 우수한 것으로 판단된다.

○ Expanded Metal의 높은 무게로 인하여 기존 PVC망보다 낮은 시공성이 예상되어 현장하부에서 횡방향으로 조립되는 Expanded Metal을 미리 좁립한 후 크레인을 이용하여 상부에 시공하면 높은 무게에도 시공이 가능할 것으로 판단된다.

○ 시공성, 강도, 경제성을 고려하여 XS-62를 대상으로 설계를 수행하였으며, 기존 PVC 낙석방지망 보다 높은 지지능력을 발휘할 것으로 판단되며, 기존 PVC망보다 높은 낙석지지능력을 요하는 현장에 적용 가능할 것으로 판단된다.

○ 향후 보다 현장 중심의 실험, 간접적인 적용을 통한 지지능력 및 실용성의 확인 등을 통한 점진적인 기술 적용과 KNOW-HOW의 습득을 통해 완성된 기술의 습득을 위해 연구 예정이다.

제 12 절 산악지형특성에 적합한 토석류 차단 모델개발

1. 연구의 배경 및 목적

최근 국내에서는 이상기온으로 인한 국지성 폭우와 여름철 태풍과 지진, 여름철 집중호우로 인한 다양한 재해 유형 중 산악지형을 중심으로 그 피해가 증가하고 있으며, 집중강우와 집수 지형적 원인에 의해 빨라진 유속으로 세립분 유실이 발생하고 순차적으로 밀도류 흐름의 증가에 의한 세굴 등으로 유출량이 증가하여 발생되고 있는 것으로 조사되고 있으나 정확한 메카니즘에 대한 규명이 이루어지고 있지 못한 실정이다. 이처럼 토석류 흐름에 대한 인식부족과 정보부족으로 정확한 이론적 이해 없이 경험적이며 주관적인 방재대책이 적용되고 있는 실정으로 2000년 이후 매년 발생되고 있는 대규모의 토석류로 인한 도로부(교량, 박스구조물, 국도, 제방) 및 농경지, 주택등의 손실로 사방댐에 대한 필요성이 부각되고 있으나 단순하며 획일적인 대책안이 매년 반복되어지고 있다. 국내의 사방댐은 1986년 31개소에 처음 도입한 후 2005년 까지 1,743개소에 설치되었으며 2001년 이후에 건설된 댐이 846개소로 최근 들어 그 사용성이 부각되고 있으며 최근의 사방댐이 건설되어 피해가 타지역에 비하여 적었던 강원도 인제군 인제읍 어두원리와 덕산리가 그 좋은 예라고 할 수 있다(2006년). 국내의 토석류 흐름에 대한 조사 및 자료부족으로 이를 방지하는 사방댐에 형태 및 형식이 경험적이고 획일적으로 설치되어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 토석류 차단시설 설치에 대한 고찰 및 효과를 검토하고 이에 토석류 확산을 최소화 하는 차단시설(사방댐)을 선정하고 차단시설의 설치 위치별 실내모형실험을 수행하여 토석류와 사방댐 상호거동특성을 분석하고자 한다. 분석결과를 활용하여 토석류 발생시 토석류의 확산범위를 최소화 하는 모형을 제시하고자 하며 나아가 실험결과를 토대로 사방댐 모델 선정 시 설계방향을 제시하고자 한다.

2. 연구수행 내용

가. 모형시험 개요

(1) 토석류 흐름 시험 목적

산사태에서 가장 많은 비중을 차지하고 있는 토석류에 대한 연구는 국외의 경우에는 토석류의 발생 메커니즘 규명과 토석류 재해 발생시 원인분석에 대한 체계적인 연구를 통하여 실 규모에 가까운 실험장치 등을 개발하고 실험을 토대로 토석류 특성과 지형에 적합한 제어 시설을 개발하는데 활용하고 있으며 실제로 현장에 토석류 재해를 최소화 할 수 있는 토석류 제어시설을 개발하여 국가재원과 인명피해를 줄이고 있다. 이웃 일본과 유럽의 경우 실제로 지형과 지질현황에 적합한 시설 등을 만들어 경제적이고 환경적인 제어시설을 설치 운영하고 있다. 반면 국내에서는 토석류 제어시설에 대한 명확한 규정 및 법규가 없어 획일적으로 설계와 시공이 이루어지고 있으며 유지관리는 전무한 상태이다.

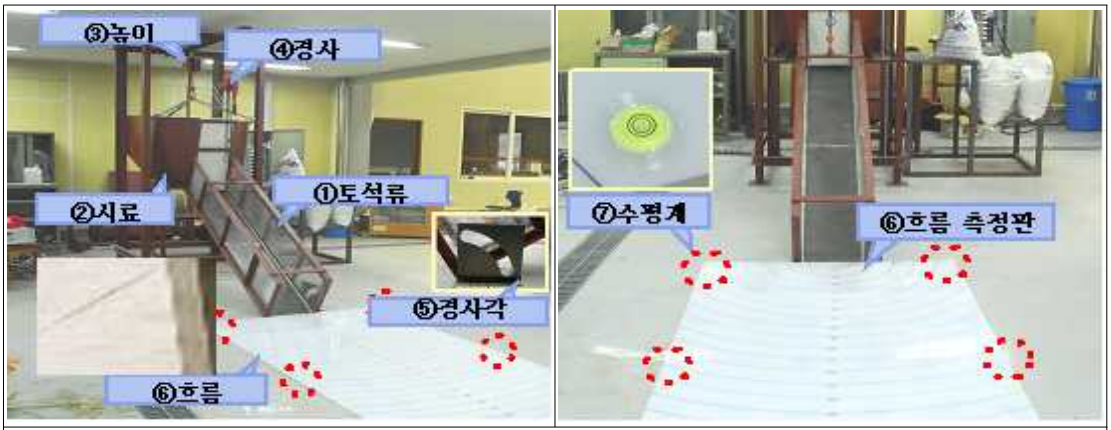
따라서 본 논문에서는 향후 토석류를 효과적으로 제어할 수 있는 사방시설에 대한 기초자료로 활용하기 위해, 실내 시험 장치를 제작하여 경사와 함수비에 따른 다양한 형태의 산사태 토석류 흐름 특성을 분석하는 것이다.

(2) 토석류 흐름 시험 장치

본 연구에서 제작한 실내 모형 산사태 흐름장치는 크게 산사태 흐름 박스, 시료 방류부, 흐름 관측판으로 구성되어 있다. 토석류 채널 장치(①)는 산사태가 방생하는 부분으로 총 길이 2m 로 제작하였으며, 흐름박스의 경사는 언제든지 원하는 경사로 조절할수 있도록 경사 조절장치(④)와 경사각 표시장치(⑤)를 설치하였다. 또한 흐름박스 측면을 강화 아크릴판으로 구성하여 산사태의 움직임을 눈으로 직접 확인 할수 있도록 하였다.

시료 방류부(②)는 높이조절 장치(③)를 설치하여 흐름박스의 경사에 따른 높이 변화에 따른 높이 조절을 할수 있게 하였고, 시료 방류 도어를 설치하여 시료를 쉽게 방출할 수 있도록 하였다.

흐름 측정판(⑥)은 10cm 간격으로 눈금을 표시를 하여 쉽게 육안으로 확산 범위를 측정할수 있도록 하였다. 흐름 관측판의 각 모서리에 수평계(⑦)를 설치하여 흐름 관측판의 수평을 확인 할수 있도록 하였다.(그림 3.156)

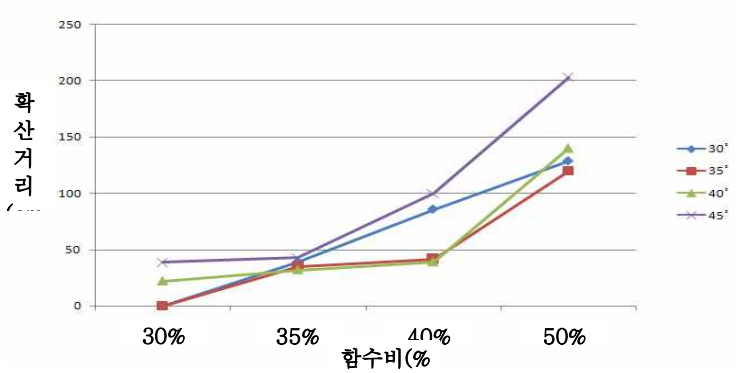


<그림 3.156> 실내 모형 토석류 흐름장치 및 수평계를 장착한 흐름 측정판

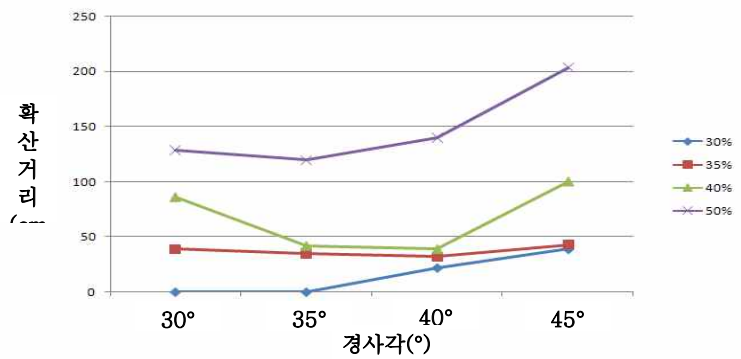
나. 토석류의 경사각과 함수비에 따른 확산거리와 흐름속도

(1) 경사각과 함수비에 따른 확산거리

경사각과 함수비별 측정된 확산거리 값을 이용하여 그래프로 나타내어 보면 함수비가 증가할수록 확산거리가 증가함을 알 수 있다.(그림 3.157, 그림 3.158)



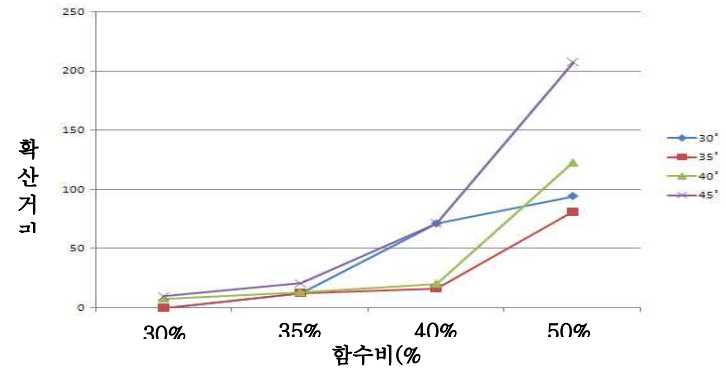
<그림 3.157> 경사각에 따른 함수비별 확산거리



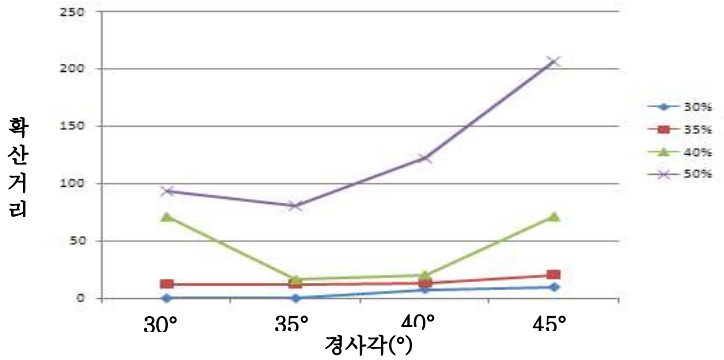
<그림 3.158> 함수비에 따른 경사각별 확산거리

(2) 경사각과 함수비에 따른 흐름속도

경사각과 함수비별 측정된 흐름 속도 값를 이용하여 그래프로 나타내어 보면 함수비가 증가할수록 확산거리가 증가함을 알 수 있다.(그림 3.159, 그림 3.160)



<그림 3.159> 경사각에 따른 함수비별 흐름속도

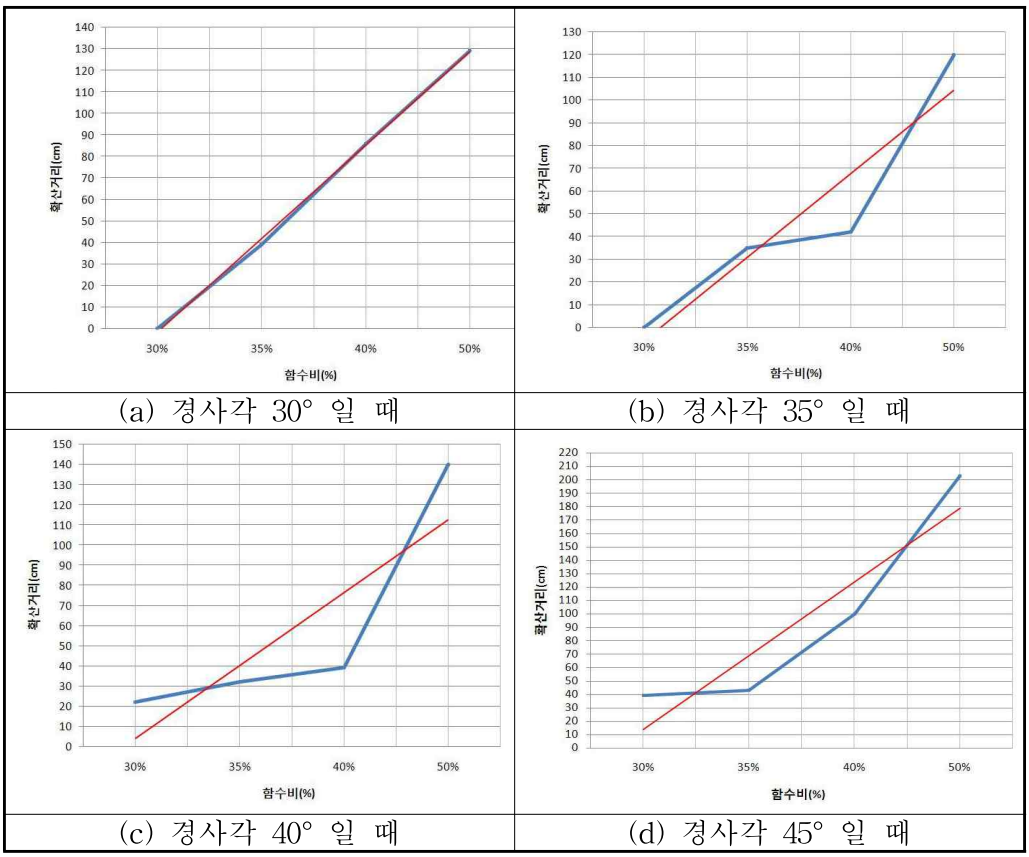


<그림 3.160> 함수비에 따른 경사각별 흐름속도

다. 경사에 따른 확산거리와 흐름속도

(1) 경사각에 따른 확산거리

각 경사각별 측정된 확산거리 값을 이용하여 경사각에 따른 함수비별 확산거리의 그래프로 나타내고 추세선을 그려 경사각에 따른 함수비별 확산 거리의 식을 구하였다.(그림 3.161)



(a) 경사각 30° 일 때 (b) 경사각 35° 일 때

(c) 경사각 40° 일 때 (d) 경사각 45° 일 때

<그림 3.161> 경사각에 따른 함수비별 확산거리

함수비가 증가함에 따라 토석류의 확산거리가 비례적으로 증가함을 알 수 있었고, 이를 경사각에 따른 함수비별 확산 거리의 식으로 나타내면 다음과 같다.(식 3.1, 식 3.2, 식 3.3, 식 3.4)

경사각 30°일 때, 도달거리(cm) = 43.4 × (표준사의 함수비(%) - 45 (3.1)

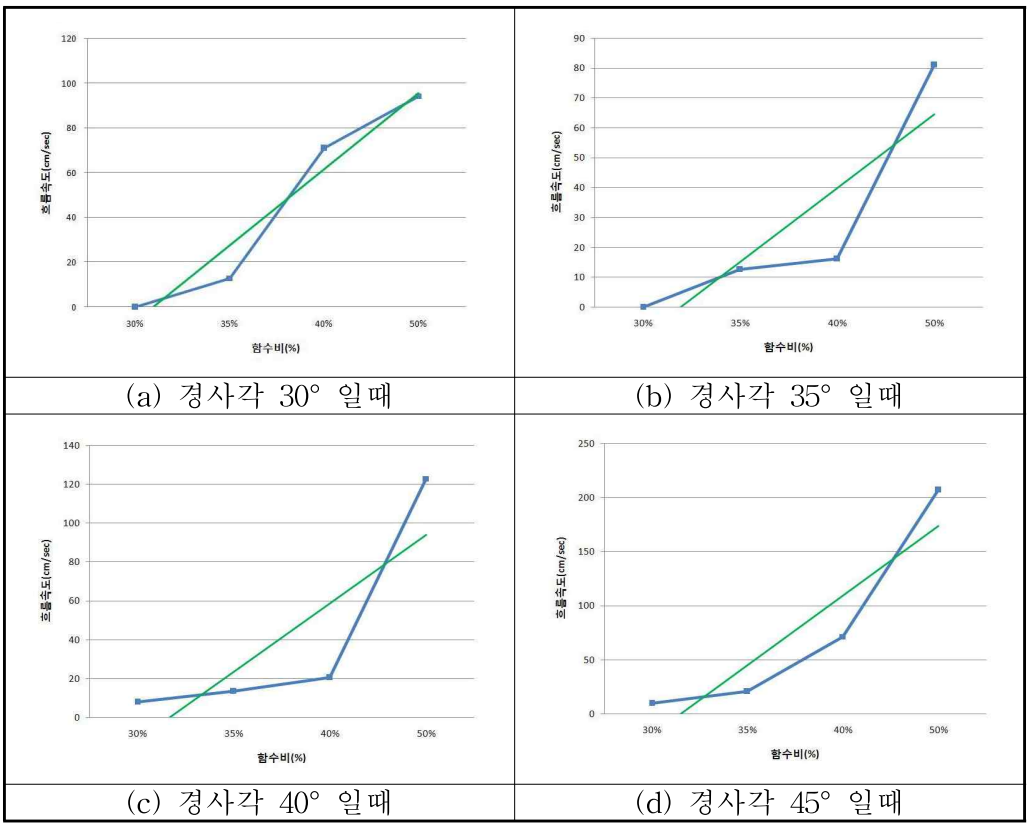
경사각 35°일 때, 도달거리(cm) = 36.7 × (표준사의 함수비(%) - 42.5 (3.2)

경사각 40°일 때, 도달거리(cm) = 36.1 × (표준사의 함수비(%) - 32 (3.3)

경사각 45°일 때, 도달거리(cm) = 54.9 × (표준사의 함수비(%) - 41 (3.4)

(2) 경사각에 따른 흐름속도

각 경사각별 측정된 흐름속도 값을 이용하여 경사각에 따른 함수비별 흐름속도의 그래프로 나타내고 추세선을 그려 경사각에 따른 함수비별 흐름속도의 식을 구하였다.(그림 3.162)



(a) 경사각 30° 일때 (b) 경사각 35° 일때

(c) 경사각 40° 일때 (d) 경사각 45° 일때

<그림 3.162> 경사각에 따른 함수비별 흐름속도

함수비가 증가함에 따라 토석류의 확산거리가 비례적으로 증가함을 알 수 있었고, 이를 경사각에 따른 함수비별 확산 거리의 식으로 나타내면 다음과 같다.(식 3.5, 식 3.6, 식 3.7, 식 3.8)

경사각 30°일 때,

흐름속도(cm/sec) = 34.08 × (표준사의 함수비(%) - 40.75 (3.5)

경사각 35°일 때,

흐름속도(cm/sec) = 24.68 × (표준사의 함수비(%) - 34.24 (3.6)

경사각 40°일 때,

흐름속도(cm/sec) = 35.2 × (표준사의 함수비(%) - 46.88 (3.7)

경사각 45°일 때,

흐름속도(cm/sec) = 64.31 × (표준사의 함수비(%) - 83.6 (3.8)

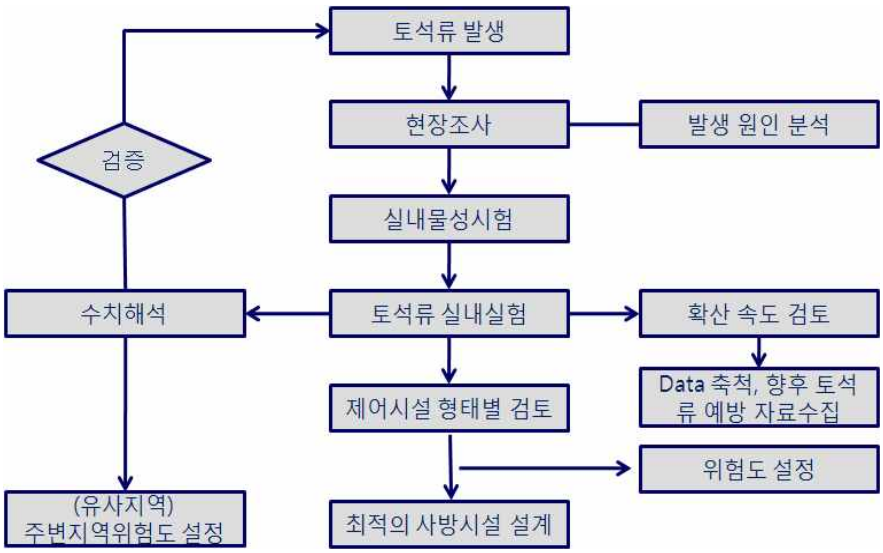
종합적으로 분석하면 함수비가 40% 이하일때는 입자가 가지고 있는 전기화학적 힘에 의해 유체는 점착력을 갖게 되어 경사각이 낮으면 토석류 흐름 채널과의 마찰로 인하여 속도가 느리게 측정되고 확산범위도 크지 않게 나타나는 것으로 판단된다. 함수비가 40% 이상이 되면 표준사가 액화되어 빠른 유속으로 확산거리가 커지는 것으로 판단된다.

3. 결론 및 분석

토석류로 인하여 피해가 발생하는 확산 범위 및 흐름속도를 실내 모형 실험을 통해 토석류 흐름 특성을 분석하여, 향후 토석류를 효과적으로 제어할 수 있는 제어시설 연구의 기초 자료를 확보하였다.

실내에서 경사조절이 가능하고 속도와 확산을 확인할 수 있는 토석류 실험장치를 개발하였으며 토석류에 대한 국내외 기본 이론 및 연구동향을 조사하여 실행한 토석류 실내실험을 통하여 함수비에 따른 확산과 속도에 관한 연관성을 확인할 수 있다. 제어시설 설치 후 저감효과에 대해서 형태에 따른 실내실험을 실시하여 적마 효과를 확인 후 일본에서 개발 중인 토석류 해석 프로그램을 실험결과와 비교하여 적용 가능성에 대해서 알아볼 수 있었다. 향후 현장실험과 실내 케이스별 실험을 통하여 토석류 피해지역의 원인분석과 대책에 대해서 적용가능성을 확인 할 수 있었으며 제어시설 형태별 실험결과 상하부망형(수질정화댐에 망을 설치)이 유지관리와 저감효과에 대해서 유리한 것으로 나타났다.

토석류 연구과제를 수행한 결과 아래 그림과 같이 제어시설 설치시 설계기법을 제시하였다.



토석류의 수치해석 적용성을 확인하기 위해서는 토석류에 대한 많은 실험과 현장조사 자료들에 대한 연구가 선행되어지고, 연구 성과를 토대로 국내 토석류 특성에 적합한 해설모델의 선정 또는 개발이 이루어져야 할 것이다.

제 13 절 A.E(Acoustic Emission)을 이용한 절토사면의 파괴위험 연구

1. 연구의 배경 및 목적

국내의 지형 및 지질적 특성과 기존도로의 확장 등으로 인하여 대규모 절토사면이 증가하는 추세이다. 이러한 대규모 절토사면은 집중호우, 지진, 풍화 등의 자연현상에 매우 취약하며 그로 인한 활동의 위험성에 상시 노출되어 있다고 할 수 있다. 대규모 절토사면의 활동 및 붕괴는 해마다 많은 인명 및 재산상 피해를 유발하고 있어 적절한 대책이 필요한 실정이다. 특히, 사면활동에 대한 조기 예측 SYSTEM의 개발이 시급하게 요구되고 있음에 따라 최근 유용한 조기 예측기법으로 연구되고 있는 A.E 기법을 이용하여 암반절토사면에 대한 조기예측 SYSTEM을 구축하고 그 실용화를 모색하며, 더 나아가서 일반 토사사면에의 적용성을 제시함을 목표로 한다.

2. AE파라미터에 관한 연구

가. 신호도달시간차를 이용한 위치표정

신호도달시간차를 이용한 위치표정은, 복수의 AE 센서를 배치하고, 각 AE 센서에 도달하는 시간차를 측정하여 위치표정을 실시하는 것으로 가장 기본적이고, 일반적인 방법이다. 신호도달시간차를 이용한 위치표정을 알기 위해 신호도달시각을 결정하기 위해서는 포락선 검파파형을 사용하는 경우와 입력된 파형을 그대로 사용하는 경우의 2가지 방법이 있다. 통상적으로 사용되는 방법은 전자이고, 이 경우에도 최초 임계기준치를 넘어선 시점을 도달시각으로 하는 경우와 최대 진폭치에 이르기까지의 시각을 도달시각으로 하는 경우로 나뉘어진다. 여기에서 주목해야 할 것은 AE 파형이 임계기준치를 초과할 때의 시각이 P파의 초동이 아니고, 외부잡음

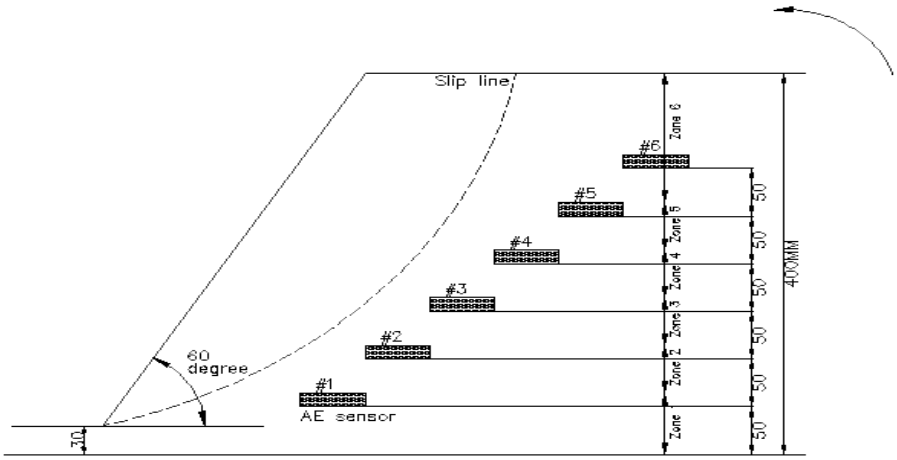
이 커 임계기준치를 크게 설정하는 경우, 에너지가 큰 S파, 표면파, 판파의 초동부분을 측정하는 경우가 있다.

한편, 정량적 파형 해석 등의 정밀한 해석을 실시할 경우는 입력한 AE 파형에 주목하고, 제 1 도달파인 P파 도달시각을 가지고 신호도달시각으로 해석되는 것이 일반적이다.

나. 존 표정

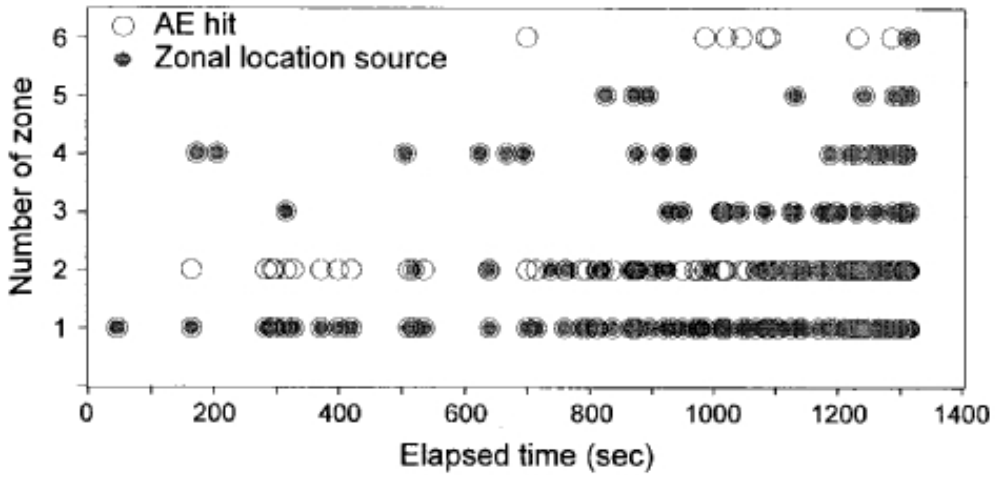
(1) 실험의 개요

토사사면이 붕괴 될 때 슬라이딩 면의 형성과정을 AE 법에 의해 계측하기 위해 존 표정법을 적용한 경사상자 실험을 실시하였다. 아래 그림에서 나타난 것처럼 AE 센서(공진형 주파수 150kHz)를 예비실험에서 알아낸 슬라이딩면의 위치로부터 수평으로 약 50mm 정지토괴쪽으로 또 저면에서 50mm간격으로 합계 6개 매설하였다. 여기에서, AE 신호는 프리앰프에 의해 40dB 증폭하고, Samos AEwin 2.01(PAC사)로 임계기준치 35dB로 계측하였다.



<그림 3.163> AE센서 예비실험

(2) 실험결과



<그림 3.164> AE 히트와 존표정 결과

위의 그림에서, 계측된 AE 히트와 존표정 결과를 같이 나타내었다.

가로축은 계측시간 세로축은 각 AE 센서의 검출범위에 대응하는 영역을 나타내고 있다. ○는, 각 AE 센서가 대응하는 시간에 있어서, AE 히트를 취득한 것을 나타내고 있고, ●는 1개의 AE를 동시에 복수의 센서가 측정한 결과를 AE 도달순서에서 발생 위치를 알아내어 플로트 한 것이다. 예를 들면 150초에서 450초에 있어서, 존1, 2의 위치에서 발생한 AE는 ○플로트에서, #1, #2에서 동시에 취득이 되었고, 도달시간 순서에서 존 1안에서 있다고 판단되어 ●에 의해 플로트 되고 있다. 또 계측시간 50초 부근에 #1에서 단독으로 취득된 AE는, 그 외 센서에서 계측되지 않고 있지 않기 때문에 존 1에서 ●로 플로트 되지 않았다. 이와 같이 존 표정법은, 도달시간차를 이용한 표정법과달리, 하나의 AE 센서에서 검출된다고 하여도, 그 AE 센서가 받아 들일수 있는 영역에서 발생한 AE를 검출하는 것이 가능하다. 따라서, AE 전파감쇠의 형향을 고려해서 많은 AE 원을 검출할 수 있는 조사방법이라고 할 수 있다. 여기에서 본 경사상자 실험에서 존 표정된 표정원의 대다수는 단독 또는 2개의 AE 센서에서 검출되었고, 3개 이상의 AE 센서가 받아들인 하나의 이벤트는 검출되지 않았다.

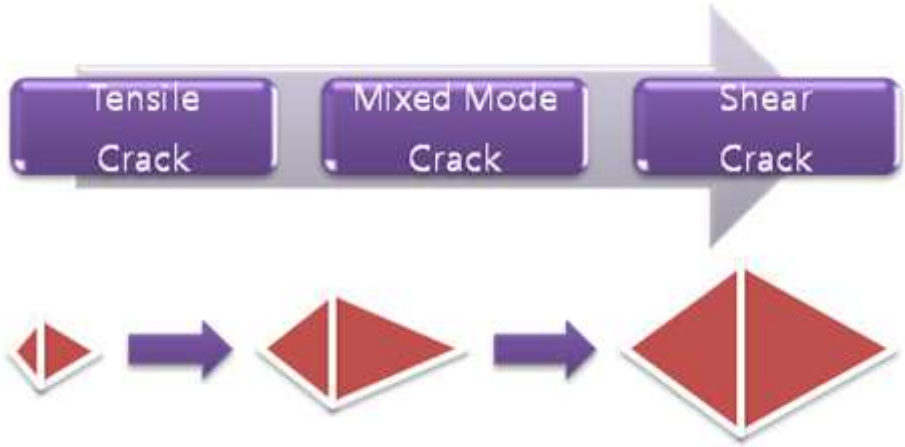
3. Grade 특성파라미터에 관한 연구

가. Grade의 정의

Grade는 최대진폭치(Peak Amplitude)와 상회시간(Rise Time)을 사용해서 나타낸 값이다. 바꾸어 말하면 [AE 파형의 초기구배를 나타내는 파라미터]라고 할 수 있다.

$$Grade = \frac{amplitude}{risetime}$$

최종적인 파괴에 이르기까지 예측할 수 있는 AE 파형 형상과 파괴형태의 변화를 아래의 그림에 나타내었다. 일반적으로 재료의 파괴에서, 초기단계에는 인장형 크랙이 주로 발생하고, 이어서 인장과 전단이 혼합되어 있는 크랙이 중간단계에 발생하고, 최종적으로는 전단형 크랙이 주로 발생한다. Grade의 검토를 실시함으로 해서, 사면 내부의 파괴를 추적하는 것도 가능하다.

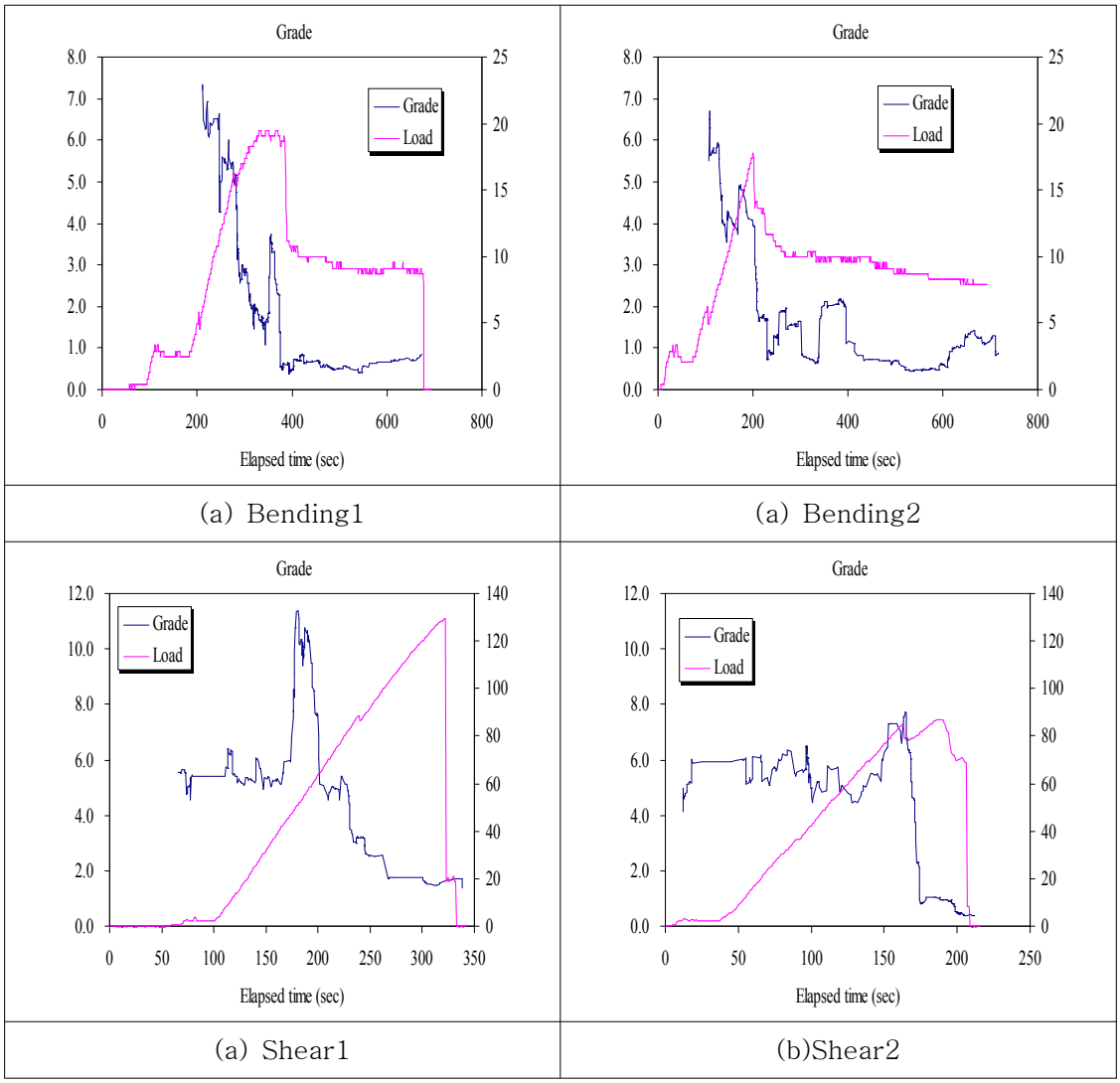


<그림 3.165> Grade

휨 · 전단시험에서 얻은 Grade를 링다운카운트의 검토와 같은 식으로 아래의 그림에 나타내었다. 휨 시험결과에서 Grade는 파괴중기에서 후기에 걸쳐 1.0으로 작아지며, 전단시험결과에서 얻을 수 있는 Grade는 하중의 순간적인 저하에 동반하여, 2.0이하의 값을 나타내고, 경우에 따라서 1.0이하까지 저하되고 있다.

<표 3.40> Grade 파괴

그레이드	파괴레벨	추정파괴양식 · 상태
1.0이상	II이상 카운트30이상 에너지80이상	미시적 파괴
1.0미만		거시적 파괴



<그림 3.166> 휨 · 전단시험 결과

4. Ib-value 특성파라미터에 관한 연구

가. Ib-Value의 개념 정립

지진의 크키(매그니튜드)와 그 빈도분포에서 유도되는 b치를 AEdp 적용한 것으로, 지진학의 b치와 다른 점은 b치 산출에 사용되는 모집단을 50이상의 일정한 수로 설정하고, 시계열적으로 데이터를 하나씩 비율에 맞추어 수량을 변경하는 점과 b 치 산출의 진폭범위를 진폭 모집단의 통계량을 이용해서 결정하고 있는 점이다.

위에 말한것과 같이 정량화 정성화를 실시한 b 치를 [개량 b 치 ; Ib-Value]라고 부른다. Ib-Value는 센서 설치조건이나 AE 원 위치 등에 좌우되는 진폭치의 변

동과 거의 무관하다.

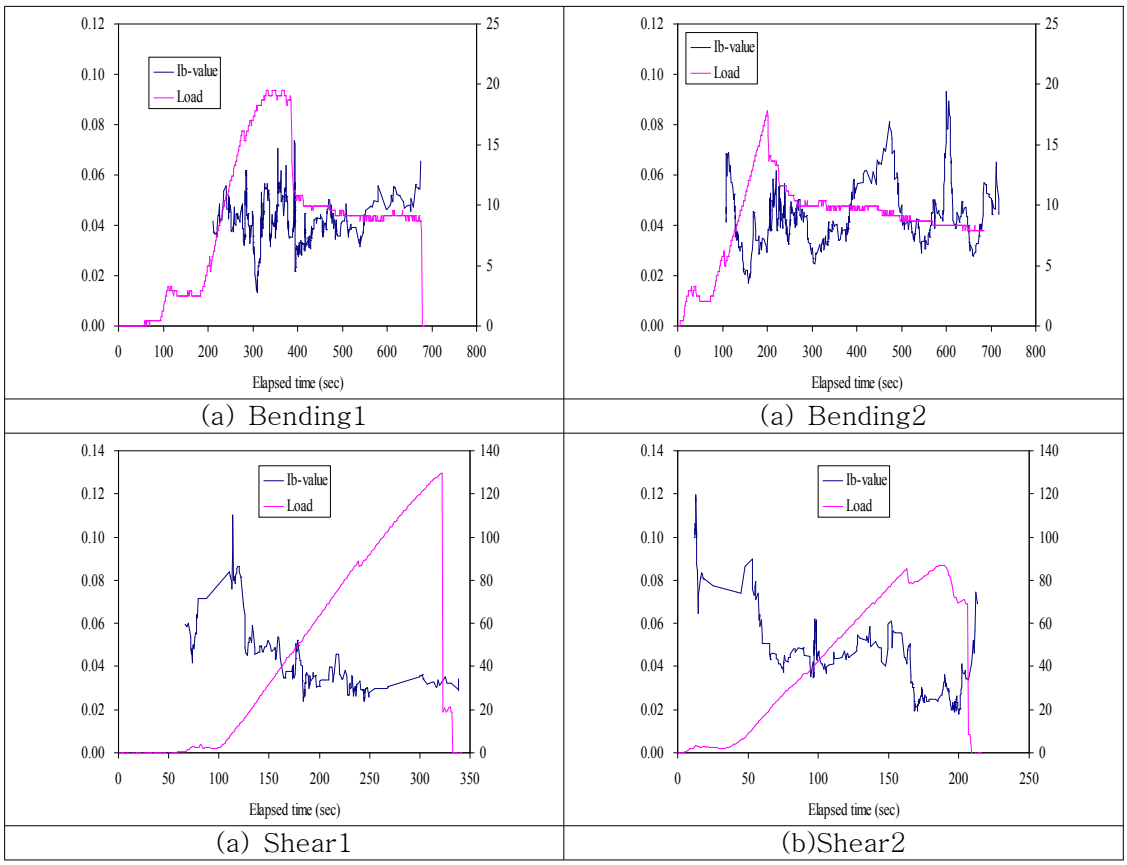
진폭치가 μ-α2·σ이상인 AE 누적수를 N(ω1), μ+α1·σ이상인 AE 누적수를 N(ω2)으로 한다. 이 때 진폭의 범위는, (α1+α2) σ가 됨으로, Ib-Value 값은,

$$Ib = \frac{\log_{10} N(\omega_1) - \log_{10} N(\omega_2)}{(\alpha_1 + \alpha_2)\sigma}$$

$$\int_0^{\infty} n(a)da = \beta$$

여기에서 밑에 식의 β는 산출 시 진폭 개수이다. 단, 개량 b치는 디지털 진폭치를 사용해서 산출되기 때문에, 지진학에서의 b치와 비교 검토 할 경우, 그 값의 20배를 할 필요가 있다.

5. Ib-Value의 파형변형과 파괴와의 상관관계 분석



(a) Bending1 (a) Bending2

(a) Shear1 (b)Shear2

<그림 3.167> 휨 · 전단시험 결과

3차년도의 휨 시험결과에서, Ib-Value는 파괴과정에서 약 0.05 전후의 값을 가지고 있다. 전단 시험결과에서 Ib-Value는, 전단 파괴가 진전함에 따라 0.05 이하의 값을 나타내고 있다. 여기에서 Ib-Value는 0.05를 경계로 파괴 중기레벨(파괴레벨Ⅱ), 파괴후기(파괴레벨Ⅲ,Ⅳ)로 분류할 수 있다.

<표 3.41> Ib-Value 파괴추정

Ib-Value	파괴레벨	추정파괴양식 · 상태
0.05 이상	Ⅱ이상 카운트 30 이상 에너지 80 이상	미시적파괴
0.05 이하		거시적파괴

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발목표의 달성도

목 표	달성도 (%)	주요 연구내용
▪ 통합시스템과 연계될 유지관리요소기술 개발(WEB기반 낙석 및 산사태 통합시스템 개발)	100	▪ 국내외 사면붕괴 스마트 예측기술시작품제작 착수 ▪ 지진동 감지 logger 시작품제작 착수 ▪ 사면피복 자생식물 선발 기초연구 및 실내외 실험 ▪ 낙석 및 산사태 안정성 수치해석 프로그램 개발 ▪ 함수비에 따른 전단강도 변화특성 ▪ Navigation System 기초 프로그래밍 ▪ 자이로를 활용한 USN 사면계측 기술개발 ▪ 암반사면의 안정해석을 위한 3차원 DDA 프로그램 개발 ▪ 지진동에 대한 사면안정해석 시뮬레이터 개발 ▪ 낙석 및 산사태 방재시스템을 위한 사면안정성해석용 3D뷰어 개발 ▪ 비탈면 안정해석시 강우의 영향에 관한 연구 ▪ 급경사지 관리 전문인 교육을 위한 교재 개발 ▪ 전단보강형 프리텐션 쏘일네일 개발 ▪ 스마트 예측기술 개발 ▪ 광역 실시간 서비스를 위한 사면데이터베이스 시스템 구축 및 사면관리 전산체계의 통합운영관리 ▪ UNS환경의 WEB기반 통합시스템 개발착수 및 기초 프로그래밍 ▪ 운영기반환경 Coding 및 설계보완 ▪ WEB기반 낙석 및 산사태 통합시스템 구축 및 2,3세부 기술과의 통합추진 ▪ WEB기반 낙석 및 산사태 통합시스템 구축 및 기술 통합추진 완료, 운영 ▪ 통합시스템 시범 시연을 통한 시스템 내용 보완 및 차량과 연계 시스템 점검. ▪ 사면재해 저감을 위한 한일공동심포지움 개최 ▪ 차량 수집정보와 통합관리시스템 정보의 연계 방안 수립 ▪ 통합관리시스템 Linker 구축 ▪ 시범구역의 차량운영을 통한 현장정보 수집차량의 유지관리업무 타당성 검증
▪ 강우를 고려한 사면 설계기술 개발	100	▪ 지하수관련 설계방안 제안을 위하여 지하수위형성을 다양한 강우강도로 다양한 지반조건에서 실험진행. 추가 다양한 강우강도로 실험진행.

목 표	달성도 (%)	주요 연구내용
		▪ 다양한 강우강도와 지반조건에서의 실험, 프로그램 해석을 병행하여 지하수관련 사면 설계기준제안.
▪ 낙석 방지시설 성능평가 방안 수립	100	▪ 현행 낙석방지망의 문제점 분석 ▪ 현행 낙석방지망의 개선방안 제시 ▪ 낙석 방호시설 성능평가 시험방안 고안 및 시험시설 구축 착수 ▪ 낙석 시설별 성능평가 시험 실시 및 시험방안 제안 ▪ 낙석 성능평가 제도화 및 시험장 공인화 추진
▪ 현장조사용 Proto-Type 장비 개발	100	▪ 수량화 평가 기법의 이론 및 적용성 검토(일반선형모형과정 중 상관분석 기법을 중심으로) ▪ 데이터 수집(지방도 102개소 당해연도 전문가 조사방식으로 수행) 및 분석을 통한 기법 검증 ▪ 전문가용 현황조사 데이터의 수량화 분석 ▪ 일반용 및 전문가용 사면안정성 평가표 작성 ▪ 웹기반 사면 안정성 평가 시스템 프로그램 개발 ▪ 지자연과 DB 통합추진 및 수시로 연구단 요청자료 제공 ▪ 한국지질자원연구원 KSMR 암반평가 프로그램 통합 ▪ WEB 통합관리시스템의 PDA 조사 분야 데이터 UI 구성 ▪ 스마트폰 전용 사면조사 웹페이지 개발 완료 ▪ 실무자 직접 교육 및 의견수렵, 전문가 및 실무자 대상 설문조사 ▪ 사용자 매뉴얼 및 최종보고서 작성
▪ 차세대 현장정보 수집차량 개발	100	▪ 운영기반환경 활용의 구체적 절차 수립 ▪ 현장정보 수집차량과의 양방향 통신체계 검증 ▪ 시스템 안정성 평가 및 오류 보완 ▪ 현장정보 수집차량 및 부속장비 활용매뉴얼 작성 ▪ 차량 수집정보와 통합관리시스템 정보의 연계방안 수립 ▪ 통합관리시스템 Linker 구축
▪ 현장실무자용 암반사면 위험도 평가기법 개발	100	▪ 사면높이,시공법 고려한 평가법 개발 ▪ 프로그램 사용설명서 작성 ▪ 11개소 사면에 대하여 평가법/SW 적용 및 검증
▪ 광대역 산사태 관리를 위한 공간 정보 구축 및 WEB지원서비스 개발	100	▪ 조기수림화 자료 수집 및 분석 ▪ 산사태 현황조사 및 유형별 분석 ▪ 1/25,000 산사태 위험지도 시범제작 ▪ 3차원 산사태 위험지도 시범제작 ▪ 조기수림화 기술 개발 ▪ 인공위성영상을 이용한 구조선 추출 기술 개발 ▪ 산사태 위험지도 제작을 위한 공간분석체계 개발 및 위험지도제작기술 개발 ▪ 공간영상정보를 활용한 산사태 위험성평가시스템개발 ▪ 개량형 조기수림화기술 현지적용 ▪ 산사태 관리를 위한 웹 지도서비스 운용

목 표	달성도 (%)	주요 연구내용
		▪ 강우를 고려한 산사태 위험성 평가 알고리즘 제작 ▪ ArcObject를 이용한 GIS 기반 산사태 위험성 평가 프로그램 제작 ▪ 1/5,000 산사태 위험지도 시범제작 ▪ 산사태 관리를 위한 Open API 웹 지도 서비스 모듈 개발
▪ 간섭 SAR 영상처리를 위한 조기수림화 기술개발	100	▪ 문헌 조사 및 시범연구지역 선정 ▪ 기존 간섭 SAR 시스템점검 및 자체시스템 개발 ▪ 간섭 SAR 상관도 분석 ▪ 최적 연구지 선정 ▪ SAR 시스템 타당성조사 ▪ 간섭 SAR결과와 산사태 변위의 상관도 분석 ▪ 간섭 SAR 산사태 체계 구축 ▪ 간섭 SAR결과와 산사태 변위의 상관도 분석
▪ 시계열 라이다 정보에 의한 산사태 모니터링 기술 개발	100	▪ 항공 LiDAR 측량의 국내외산사태 활용사례 조사/분석 ▪ 라이다 측량의 산사태 적용 모델개발을 통한 항공 및 지상 라이다의 데이터융합기술 개발 ▪ 시범지역에 대한 시계 실측데이터구축 ▪ 시계열 LiDAR 정보에 의한 산사태 모니터링기술 개발 ▪ LiDAR 정보를 이용한 산사태 관리를 위한 3차원 데이터 모델표준 및 시각화 프로그램 개발 ▪ 산사태 관리 메인 프로그램에서의 3차원 시각화 서브프로그램 구현
▪ 사면수평 배수공법 개발 및 적용을 위한 설계기준제안	100	▪ 현행 수평배수공법의 개선방안 제시 ▪ 국내외 배수공법 설계 기준 조사 ▪ 배수공법의 종류 및 성능 조사 ▪ 배수공법 실내모형 시험 방안 조사 ▪ 수평배수성능 평가를 위한 모형토조 제작 ▪ 모형토조 성능 실험을 통한 문제점 수정 및 보완 ▪ 배수공법 실내모형시험기 제작 ▪ 배수공법 실내모형 시험 실시 ▪ 실내모형실험을 통한 데이터 취득 ▪ 강우변화에 따른 배수성능 시험 실시 ▪ 조건별 수평배수공 성능 시험 ▪ 현행 배수공 유지방안체계 조사 ▪ 배수공 배수성능 유지방안 모색 및 수립
▪ 파괴음 측정을 이용한 계측 기법 개발	100	▪ 이면전단실험을 수행하여 미소파괴음 전단 특성 파악 ▪ 현장에 센서를 매설하여 현장적용성 파악 ▪ 하중 vs 누적횟수, 진폭, b값에 의하여 하중단계 분류하여 기준 작성 ▪ 파괴음을 습득하기 위한 실험실 실험을 실시하여 향후

목 표	달성도 (%)	주요 연구내용
		적용성에 대해 연구 ▪ 파괴음 측정을 위한 노이즈 제거 소프트웨어 개발 ▪ 파괴음 측정을 위한 하드웨어 개발 ▪ 파괴음의 현장 적용성 파악 ▪ 표면계측법과 파괴음 계측법과의 비교 ▪ 현장 사면 굴착을 통한 파괴음 측정
▪ 디지털 영상을 이용한 암반사면 절리구조 맵핑기법 및 장비개발	100	▪ 절리조사 및 변위측정을 위한 영상분석 개념 정립 ▪ 통합관리시스템과의 자료처리구조 개념 정립 ▪ 영상처리, 분석, DB 관련 자료 수집 및 분석 ▪ 차량 탑재 조사 시스템의 현장 및 원격 제어 개념 정립 ▪ 디지털 영상 기반 절리조사 프로그램개발 및 등록 ▪ 디지털 영상 기반 차량탑재 측정 장치 개발 ▪ 차량내 2D 영상좌표의 3D 공간좌표 계산의 정확도 향상 연구 ▪ 차량내 암반 블록 및 사면 변위의 영상 측정 기법 개발 ▪ 절리자료 통계처리 프로그램 개발 및 등록
▪ 포켓식 낙석방지망 국산화 기술 개발	100	▪ 낙석방지망 인발시험을 통하여낙석방지망의 취약점인 연결부 및 기존 pvc망의 일체화되지 못한 점을 반영한 설계 ▪ 개선방안을 반영한 Expanded Metal망을 이용한 신개념 낙석방지망 제작 및 지지능력 평가 ▪ 기존 포켓식 낙석방지망 성능시험을 통한 개선방안 제시 ▪ Expanded Metal망을 시험재료로 사용하여 낙석방지망 인발시험을 실시하여 성능 분석 ▪ Expanded Metal망과 와이어와의 연결 문제에 따른 개선 방안으로 연결부위에 철판 용접을 통해 연결 부위 강화한 새로운 망의 지지능력 평가
▪ 산악지형특성에 적합한 토석류 차단 모델개발	100	▪ 토석류 실험기 제작 ▪ 사방시설 제작 및 실내실험 ▪ 프로그램을 이용한 시뮬레이션 검토 ▪ 토석류 경사 선정 후 실내실험 지속
▪ AE.(AcousticEmission)을 이용한 절토사면의 파괴위험 연구	100	▪ AE 계측용 소프트웨어 개발 ▪ 2D, 3D 그래픽기능 개발 ▪ 유저가 사용하기 용이한 GUI 개발 ▪ 탄성파동의 파라미터 분류 ▪ AE를 이용한 위험사면 평가기법 연구 ▪ 파라미터를 이용한 파괴평가에 대한 연구 수행 ▪ 카운트, 상회시간, 지속시간 등의 파라미터에 관한 연구 ▪ 파라미터 간의 상호 조합으로 파괴 진행에 연관성이 있는 파라미터를 만들어 파괴진행에 관한 연구를 수행 ▪ 사면 내부에서 측정된 탄성파를 전기 신호로 변환 시켜 측정할 수 있는 센서와, 데이터의 증폭 및 가공처

목 표	달성도 (%)	주요 연구내용
		리를 위한 보드, 사면 거동에 의해 발생한 AE 데이터의 분석을 할 수 있는 해석프로그램의 개발 ▪ 측정된 AE 데이터를 computer interface를 통해 나타낼 수 있는 소프트웨어의 개발 ▪ AE 파라미터를 이용하여 사면내부의 파괴 진행상황을 추정할 수 있는 파괴해석프로그램의 개발

제 2 절 관련분야에의 기여도

○ 통합 사면관리기술, 광역산사태 저감기술, 사면안정성증대기술 등의 결과물을 하나로 통합, 모든 일련의 과정을 자동화, 실시간으로 처리하여 조속한 의사결정에 사용될 수 있으며, 과학적이면서 체계적인 항구적 낙석 및 산사태 유지관리 기술로써 강원도 지역의 낙석 및 산사태 유지관리의 활용.

○ 사면 유지관리에 직접적으로 관여하는 현장 관리인 또는 도로관리 공무원 등 상대적으로 비전문가에 속하는 인력이 손쉽게 유지관리에 필요한 객관적인 자료를 수집하는데 활용하여 현장에서 PDA를 이용하여 수집된 자료는 동시에 데이터베이스화됨으로써 유지관리 업무에 효율을 극대화.

○ 국내 방재 산업분야 활성화와 기술력 향상을 유도.

○ 낙석 및 산사태에 대한 전문가시스템을 개발하여 낙석 및 산사태 발생 시 이에 대한 적극적이고 즉각적인 대책방안을 제시

○ 통합시스템 운영 및 지속적인 업데이트, 담당기관에서 손쉽게 운용할 수 있는 매뉴얼 등을 작성하여 기술이전은 물론 기타 국가 주요 시설물 유지관리에도 쉽게 응용이 가능

○ 광역적으로 혼재되어 있는 붕괴위험 지역의 현장 데이터들을 축적하고 통합관리 및 분석할 수 있도록 첨단화 된 조사차량의 도입하여 신속하고 정확한 사면관리 체계를 구축할수 있다. 터널, 교량 등 도로시설물의 유지관리 시에 이용이 가능하며, 터널 변위 측정, 교량 신축이음 관측 등 유지관리 업무의 효율화를 극대화

○ 강원도내 암반사면 현장관리자의 활용

○ 정밀조사가 필요한 사면에 대한 정량적, 객관적 근거자료 확보

○ 통합관리센터의 기타 사면관련 정보와의 융합 및 분석을 위한 자료 제공

국가 예산의 효율성 극대화추구 및 위험 사면 피해 저감 효과 추구

○ 위험 사면 붕괴 예상지역을 선정하여 안전한 사회 기반 분위기 조성과 동시에 재해에 대한 사전 정보 기회 제공으로 국민의 재해에 대한 관심 증가

○ 매년 되풀이 되는 재해에 대한 확실한 대비책 마련으로 무재해 국가에 도전하여 대외 국가 이미지 고취와 경쟁력 향상에 기여

○ 첨단 시스템을 이용한 유지관리로 IT산업의 다방면화 유도

○ 강원지역의 재해로부터 안전화로 각종 관광산업유치 및 해외투자 유치 활성화

○ 도시계획, 입지선정과 각종 토목공사에 따른 위험성 사전예방으로 인명 재산피해 최소화와 산사태 위험지도와 산사태 주제정보를 주기적로 온라인상에 배포함으로써 주민들의 산사태 안전고취 및 피해규모 최소화

○ 산사태 예방을 위한 조기수림화 기술의 개발과 환경친화적 산사태 저감기술이 정립을 통한 우리나라의 실정에 알맞은 산사태 예방 및 복구사업을 시행하는 데에 기초자료로 충분히 활용가능. 녹화, 사방 및 산림토목 관련 기술자를 대상으로 하여 환경 친화적인 토목사업이 현장에 적용되는 실무교육 자료로 활용

○ 친환경적인 산사태 피해 저감기술은 토목분야 뿐만이 아니라, 임학, 생물, 환경 관련분야의 산업의 기술개발에도 기여

○ 낙석 및 산사태분야에서의 산업분야의 확대로 인한 일자리 창출에 기여

○ IT를 접목한 낙석 및 산사태의 관리기술이 크게 발달 및 해당 기술의 해외 수출을 하여 외화 획득

○ 재해보험의 활성화, 재해로부터 문화재 보호 등에 활용을 기대

○ 산사태로 발생을 사전에 예방함으로써 피해를 최소화하여 피해복구비의 전용과 절약

○ 건물이나 도로, 시설물에 대한 피해를 예방하고 도로 노선이나 기타 사회시설의 선정에 필요한 자료 제시

○ 사면 관련 선진국 수준의 70%인 현 기술수준을 선진국 수준으로 향상했으며, 국내 기술력 배양과 타 관련 건설 기술 분야의 동반 기술 향상 효과를 도모

○ 도로인접 자연사면 및 인공사면에 대한 효율적인 유지관리 시스템 운용으로 인하여 40%이상 비용을 감소시켜 연간 약250여억 원의 경제적 이익과 부가적인 효과를 창출

○ 시간별 붕괴 위험도 증가에 대한 정량적인 평가와 수치화 기법 개발로 인하여 전 국토 방재 시스템과 연계 되어 종합적인 국토 활용 전산화와 통합 운영으로 인한 국가 예산이 절감

○ 국가 예산의 효율성 극대화추구 및 위험 사면 피해 저감 효과를 추구하였으며, 위험 사면 붕괴 예상지역을 선정하여 안전한 사회 기반 분위기 조성과 동시에 재해에

대한 사전 정보 기회 제공으로 국민의 재해에 대한 관심을 증가

○ 매년 되풀이 되는 재해에 대한 확실한 대비책 마련으로 무재해 국가에 도전하여 대외 국가 이미지 고취와 경쟁력 향상

○ 자연재해로 인한 물류비용 소모 최소화로 유통 및 전반적인 제조업들의 생산 활성화를 도모하고 첨단 시스템을 이용한 유지관리로 IT산업의 다방면화 유도를 통하여 강원지역의 재해로부터 안전화 시키고 각종 관광산업유치 및 해외투자 유치 활성화

○ 사용자 위주의 시스템의 조작 및 통합 절리구조 분석 프로그램 사용법에 관한 매뉴얼을 작성 통하여 실제 초급기술자의 이해도를 지속적으로 개선

○ 국토해양부 제정 건설공사 비탈면 유지관리지침서상의 비탈면 유지관리와 점검과 관련된 항목들과 본 연구 성과인 개발시스템과의 연동을 고려하여 제안한 최소규정을 보다 효율적이고 경제적으로 준수할 수 있도록 활용지침서를 제작하여, 연구결과로 구축한 현장정보 수집차량을 이용, 각종 영상정보들과 분석결과들은 현장에서 원격지 의사결정기구로 전송이 가능하도록 구성하여 즉각적이고 능동적인 대처방안 수립 및 시행가능

○ 자료 전산화 작업완료 및 GIS를 이용하여 인터넷상에서 상시 관측할 수 있는 시스템으로의 구축을 통해 매년 수십 건의 낙석 및 산사태 발생지역을 조사 분석하여 붕괴 지역에 대한 집중관리(기붕괴 발생 현장 : 250개 현장) 및 상시 관리 체계하에 두고 관리

○ 낙석 및 산사태 위험 지역을 과학적으로 관리하고 재해를 억지하고자 하는 일련의 시스템 개발로 다양한 요소기술 개발과 통합 운용될 수 있을 것으로 판단되며, 강원권의 수많은 사면 안전진단 및 연구실적을 보유한 대학, 국내 우수 정부출연 연구소, 원천기술 보유 참여기업 등이 어우러져 관계기관과의 공조 하에 관산학연의 연구개발 구조 확립은 본 연구대상기술의 개발 가능성 확인

○ 토석류방지대책분야 연구 분야에 자료로 활용되어 관련분야의 연구과 활발할 것으로 판단되고 산사태 유지관리시스템 연구개발 분야의 사전위험도 평가시 실험기를 이용한 데이터를 활용하여 연구할 수 있게 되었으며, 토석류 차단시설에 대한 설계시 실내실험을 통하여 획일적인 차단모델에서 보다 경제적이고 효과적인 설계가 이뤄질 것으로 판단되며 관련 설계기준 제정 시 기여할 수 있을 것으로 기대

○ A.E 기법 기반기술 확보 및 실용화를 통한 토목분야 사면계측기법 다양화를 통하여 예고 없이 일어나는 자연재해로 인한 인적, 물적 손실의 최소화하고 첨단 시

스템을 이용한 유지관리로 IT산업의 다방면화 유도를 통한 강원지역의 재해로부터 안전화로 각종 관광산업유치 및 해외투자 유치 활성화

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

○ 본 연구단의 최종 결과물은 국가적 차원의 재해예방 정책 결정 자료로 활용되어 우선투자 대상 선정에 가장 정확하고 기본이 되는 자료제시와 위험 사면 관리 기준 도출에 의한 경제적 유지 관리가 가능하다. 또한 사면연구센터의 설립을 통해 첨단기술의 개발과 함께 기존 기술력의 효용성을 증대시킬 수 있는 효율적이고 통합적인 운영 관리를 실시하고, 교육시스템의 구축을 통한 지속적인 사면방재 교육을 실시하여 전문인력 양성 및 방재참여의식을 고찰시킬 수 있는 체계를 구축할 수 있다. 세세부 과제에 속하는 첨단 사면 조사장비 proto-type 개발은 사면 유지관리에 직접적으로 관여하는 현장 관리인 또는 도로관리 공무원 등 상대적으로 비전문가에 속하는 인력이 손쉽게 유지관리에 필요한 객관적인 자료를 수집하고 동시에 데이터베이스화 됨으로써 유지관리 업무에 효율을 극대화 할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구를 통해 개발된 시스템과 국가 재난방재 관리 시스템과 연계하여 정보의 공유를 통한 통합적 재난관리 체제 운영가능 하다.

○ 전자기술 및 계측기술의 발달로 지반의 거동을 예측할 수 있는 첨단장비들이 점차 개발될 것이며, 이러한 기술들과 연계하여 더욱 향상된 낙석 및 산사태 관리체제의 구축이 가능할 것으로 기대된다.

○ 사면 조사 시 조사자의 오차 및 자료 처리 시 발생하는 편차를 최대한으로 줄여 수집 자료의 정확도를 추구하는 것이 매우 중요한 사항으로 볼 수 있다. 본 연구에서 개발 계획인 첨단 사면 조사장비는 이런 단점을 보완하여 대상사면에 대해 주기적으로 현황 자료를 취득하여 지속적인 관리 이력을 파악할 수 있으며, 무엇보다도 자료의 정확성 및 객관성을 최대한으로 추구할 수 있는 것이 장점이다. 향후, 대상사면의 유지 및 보수, 붕괴 예방 등을 위한 시스템 구축에도 접목하여 운용할 계획이다.

○ 보다 효율적인 국토 유지·관리 기술 향상뿐만 아니라, 국민의 정책 신뢰도 향상, 선진국에 버금가는 재해 대비 시스템 구축기술 선진화 역할에도 일익을 담당하며 기술선진국으로 향상을 위한 국내 기술력 배양과 타 관련 건설 기술 분야의 동반 기술 향상 효과를 도모 한다.

○ 산사태 예방을 위한 조기수림화 기술이 개발되면 환경친화적 산사태 저감기술이 정립되면 우리나라의 실정에 알맞은 산사태 예방 및 복구사업을 시행하는데에 기초자료

로 충분히 활용할 수 있을뿐 만 아니라 녹화, 사방 및 산림토목 관련 기술자를 대상으로 하여 환경친화적인 토목사업이 현장에 적용되는 실무교육 자료로 활용할 수 있다. 또한 조기수림화를 위한 수종 선택을 효과적으로 선발가능하며, 산사태발생지의 조기수림화에 균근근을 활용하여 수목의 조기활착 및 식생안정에 기여할 수 있다.



<그림 5.1> 연구개발 활용방안

○ 가적 차원의 재해예방 정책 결정 자료로 활용되어 우선투자 대상 선정에 가장 정확하고 기본이 되는 자료제시와 위험 사면 관리 기준 도출에 의한 경제적 유지 관리가 가능하다. 또한 사면연구센터의 설립을 통해 첨단기술의 개발과 함께 기존 기술력의 효용성을 증대시킬 수 있는 효율적이고 통합적인 운영 관리를 실시하고, 교육시스템의 구축을 통한 지속적인 사면방재 교육을 실시하여 전문인력 양성 및 방재참여의식을 고찰시킬 수 있는 체계를 구축할 수 있다. 국내 방재 산업분야 활성화와 기술력 향상을 유도하고 낙석 및 산사태에 대한 전문가시스템을 개발하여 낙석 및 산사태 발생 시 이에 대한 적극적이고 즉각적인 대책방안 제시는 물론, 통합시스템 운영 및 지속적인 업데이트, 담당기관에서 손쉽게 운용할 수 있는 매뉴얼 등을 작성하여 본 연구결과에 대한 기술이전은 물론 기타 국가 주요 시설물 유지관리에도 쉽게 응용이 가능하다.

○ 강원도뿐만 아니라 본 시스템의 운영기법을 도입한 국토 전체의 정보관리체제로 확대하여 전 국토의 낙석 및 산사태 위험도 관리체제로의 발전 기대되고 전자기술 및 계측기술의

발달로 지반의 거동을 예측할 수 있는 첨단장비들이 점차 개발될 것이며, 이러한 기술들과 연계하여 더욱 향상된 낙석 및 산사태 관리체제의 구축이 가능할 것으로 기대된다.

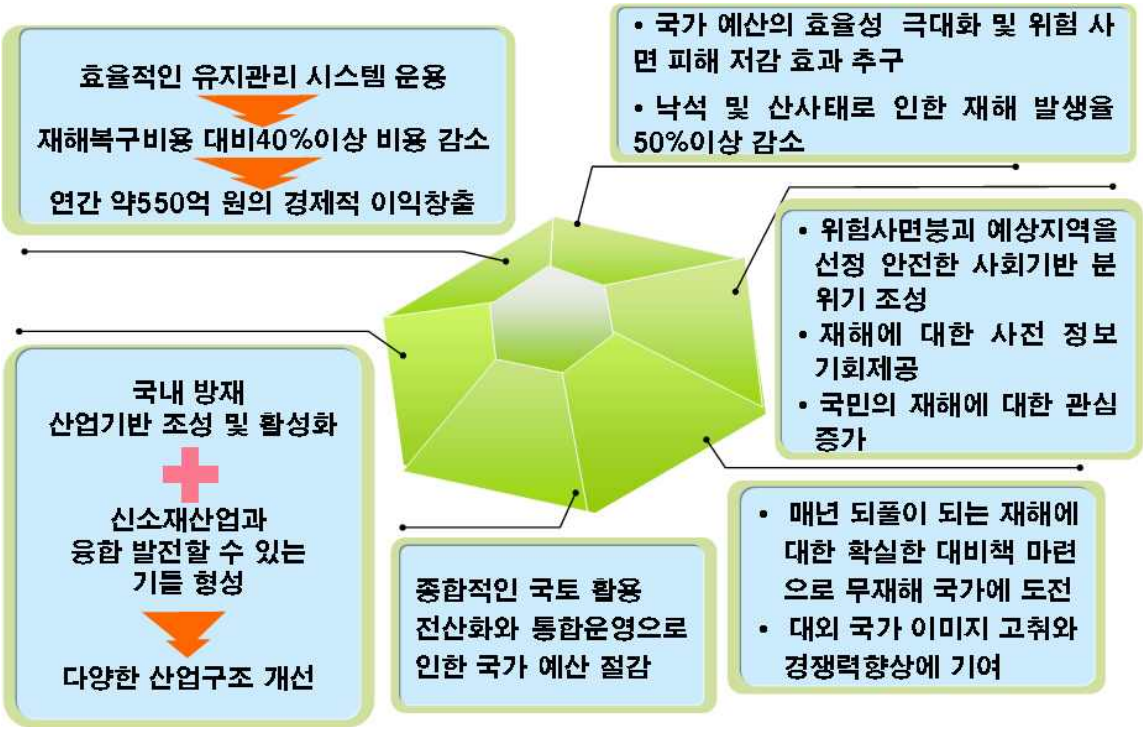


<그림 5.2> 연구개발 기대효과

○ 국제적으로 널리 활용되고 있는 SMR에 근거하여 현장실무자가 암반사면에 대하여 개략적인 평가를 수행할 수 있도록 단순하며 신뢰성을 가지는 암반사면위험도 평가법을 개발하였다. Romana가 제시한 SMR은 암반사면 평가에 있어서 국제적으로 널리 사용되고 있는 평가법이나 부분적으로 단점을 가지고 있으며 비전문가가 개략적인 방법으로 암반사면 평가를 수행하기에는 어려움이 있다. 강원도내 암반사면 현장관리자의 활용이 가능할 것으로 판단되며, 정밀조사가 필요한 사면에 대한 정량적, 객관적 근거자료 확보가 가능하다. 통합관리센터의 기타 사면관련 정보와의 융합 및 분석을 위한 자료로 활용될 수 있다.

○ 웹 지도서비스 개발 분야는 대부분 지형도 위주의 수치자료가 대부분으로 일반인들에게 각종 방재정보관련 지도서비스가 취약하고 특히 이를 활용하기 위한 접근통로 또한 제한적이다. 그러나 본 연구를 통해 개발된 웹 지도서비스를 연구단의 통합시스템과 성공적으로 연계함으로써 지자체 및 국가 방재관련 기관들이 산사태에 대한 정보를 신속하게 획득하고 주민들의 대피 및 산사태 이후에도 신속한 복구 및 피해액 산정에 활용할 수 있도록 기초 정보 제공에 활용할 수 있다. 외국 방재 선진국의 경우

웹을 통한 재해지도서비스가 보편화 되어 있으며, 특히 최근에는 Open Map API 서비스를 통해서 정보의 공유, 참여, 개방이 가능하다, 이에 본 연구에서 개발된 웹 지도서비스는 Web 2.0의 패러다임의 변화에 발맞추어 Open API 서비스를 가능토록 하였다. 이는 국내의 네이버, 다음과 국외의 구글 맵 등 민간 Map 서비스와 더불어 공공의 재해정보 지도 Open API 서비스로 활용할 수 있다.



<그림 5.3> 사회경제적 기대효과

○ 본 연구를 통해서 개발된 기술은 사면의 파괴를 사전에 인지하기 위한 계측기술로 파괴의 가능성이 있는 암반사면에 설치하여 사면의 안정성을 증대시키기 위해 사용될 수 있다고 판단하고 있으며, 더 나아가 토사사면에의 적용기술을 확보함으로써 국내 전역에 산재된 위험사면의 장기안정성 여부를 확인하는 첨단 계측기술로 활용될 수 있다. 최근 5년간 발생한 낙서 및 산사태로 인한 직·간접적 피해액은 평균적으로 약 5조 1백억원에 해당하며 총 재해피해액의 22%를 차지하고 있다. 본 연구의 개발 성과에 따른 기대로서 사면 붕괴의 사전 관리에 의한 붕괴 피해 저감함으로 매년 약 250억원 정도의 피해액 저감을 기대할 수 있고 설계기준 변경에 따른 공사비 저감으로 년간 680억원의 공사비를 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

○ 위험 사면 관리 기준 도출에 의한 경제적 유지 관리와 사면수평배수공법 개발을

통한 대외 기술경쟁력 강화 및 수출로 인한 경제적 가치 창출과 배수공 설치에 따른 사면 설계기준 제안으로 과다보강 억제를 통한 시공비 낭비의 절감 효과 창출할 수 있다. 또한 배수공 설치에 따른 사면 설계 기준으로 신 보강 공법 개발 기회와 안정성 검토 방안 마련을 통해 설계 기준 변경에 따른 사면 안정 해석 시 배수공의 해석 방법 모색할 수 있다.

○ 본 연구의 결과물은 국가적 차원의 재해예방 정책 결정 자료로 활용되어 우선투자 대상 선정에 가장 정확하고 기본이 되는 자료제시와 위험 사면 관리 기준 도출에 의한 경제적 유지 관리가 가능함. 또한 사면연구센터의 설립을 통해 첨단기술의 개발과 함께 기존 기술력의 효용성을 증대시킬 수 있는 효율적이고 통합적인 운영관리를 실시하고, 교육시스템의 구축을 통한 지속적인 사면방재 교육을 실시하여 전문인력 양성 및 방재참여의식을 고찰시킬 수 있는 체계를 구축할 수 있다.

낙석 및 산사태 예측 장치 및 Navigation 시스템의 개발과 적용에 따른 파급효과로 국내 방재 산업분야 활성화와 기술력 향상을 유도하고 낙석 및 산사태에 대한 전문가시스템을 개발하여 낙석 및 산사태 발생시 이에 대한 적극적이고 즉각적인 대책방안 제시는 물론, 통합시스템 운영 및 지속적인 업데이트, 담당기관에서 손쉽게 운용할 수 있는 매뉴얼 등을 작성하여 본 연구결과에 대한 기술이전은 물론 기타 국가 주요 시설물 유지관리에도 쉽게 응용이 가능할 것으로 기대된다.

○ 국내 산악지형에 적합한 토석류 차단 모델을 개발하고 차단시설에 대한 특허를 출연하여 현장에 적용함으로써 경제적이고 합리적인 설계가 이뤄 질것이고 최적의 차단시설 설치위치를 제시함으로서 추후 설계기준 제정시 기술적 자료로 활용가능하다. 또한 토석류 방지 시스템 및 낙석 및 산사태 유지관리 시스템 등 각종 재난방지 시스템의 기술적 자료로 활용가능할 것이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 WEB기반 낙석·산사태 통합시스템 개발 및 낙석 방호시설 성능평가방안 수립

외국의 사면 관리 기술에 대한 자료를 분석해 보면 다음과 같다. 먼저, 한국건설기술연구원과 공동 연구관계에 있는 일본 독립행정법인 토목연구소에서 개발 중에 있는 광섬유 센서를 이용한 사면 붕괴 예지에 대한 연구 개발이 있다. 먼저, 일본의 경사지 관리 실태에 대하여 살펴보고 이외에도 사면 관리가 철저하다는 홍콩을 비롯한 미국의 사례도 정리하였다.

1. 일본

일본은 크게 두 가지의 관점에서 사면을 관리 정비하고 있으며 급경사지 사면(경사가 30°이상)에 대한 대책과 완경사 사면이나 산사태에 대한 사면을 구분하여 국토관리 운영체계를 시행하고 있다.

일본의 경우, 사면붕괴 방지를 위하여 산사태 방지법(1958), 급경사지의 붕괴로 인한 재해방지법(1969) 및 토사재해 방지대책법(2001)을 제정하고 인공사면과 자연사면을 구분하지 않고 관리하며 『국토교통성 주택관리국 및 도로관리국』의 각 지방정비국에서 지역적 특성을 고려하여 관리하고 있다.

2. 홍콩

홍콩은 자치정부 내 토목공정서 토력공정처(Civil Engineering Department ; CED)에서 주관하며 산사태 방지대책(Landslip Preventive Measures ; LPM)프로그램을 운영하고 있다. LPM프로그램의 목적은 사면붕괴에 의한 인명과 재산상의 손실을 저감함과 동시에 한정된 영역에서 도시개발 극대화를 위한 지반 안정성 확보, 사면 안정성 평가 및 보강을 위한 방법 표준화이다. 연구기간은 1995년부터 2010년까지이며 총 24조원의 예산을 투자하였다.

홍콩은 60,000개 이상의 절토사면이 좁은 면적에 집중해 있기 때문에 현지 지형,

지질 및 기후 여건상 빈번한 절토사면 붕괴로 막대한 피해가 빈번히 발생하므로 GEO(Geotechnical Engineering Office)를 중심으로 막대한 예산을 투자하여 사면의 안정성 평가, 안정화 공법 등의 관련기술을 체계적으로 발전·확립시키고 있는 상황이다. 특히 열대성 강우피해에 대한 저감을 위해 표면보호·보강공의 대한 기준과 배수시설에 대한 방안이 잘 마련되어 있다.

3. 미국

미국의 산사태 관리는 미국지질조사소(United States Geological Survey, USGS)를 중심으로 미국내 일부 대학과 공동연구 과제로 수행되고 있다. 연구에서 산사태 재해 프로그램(Landslide Hazard Program, LHP)을 개발하여 미국내 산사태를 관리하고 있다. 산사태 재해 프로그램의 목적은 미국 영토보전과 미국 국민의 인명과 재산을 보호하고 산사태 유발 요인을 규명하여 산사태 발생 예측 및 대책수립을 위한 것이다. 당 연구는 1990년부터 현재에 이르기까지 수행되고 있으며, 2000년의 경우 산사태 재해에만 26억불의 예산을 투자하고 있다. 또한, 미국지질조사소에서는 활화산의 원격감시를 위해 개발한 실시간 자료수집 및 전송시스템을 응용하여 대규모로 붕괴될 조짐이 있는 산사태의 활동 상태를 계속 감시하기 위한 실시간 산사태 감시 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 활성 산사태에 의한 피해를 줄이기 위하여 2000년 현재 10개소 이상의 도로변 또는 철로변 등에 설치되어 가동 중이다.(Reid, et al., 1999).

4. 유럽

유럽에서는 산사태 발생에 대한 공간적이고 시간적인 자료를 데이터베이스로 구축하고 이를 이용하여 산사태 방지대책을 수립하고 있다. 특히, 사면의 특성, 암석학 또는 지형학적인 요소 등과 같은 Factor Map과 강우강도와 같은 산사태 유발요소 등 다양한 산사태 자료의 조합으로 향후 산사태 발생 가능성의 신뢰성 평가를 통해 예측하는 시스템 개발에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 또한 자료의 분석과 저장의 효율성 및 정확도를 높이기 위해 데이터베이스나 GIS와 같은 컴퓨터를 이용한 분석을 수행 중 이다.

현재 SMR(Slope Mass Rating)를 비롯하여 미국, 홍콩, 일본, 호주 등에서 암반

사면 안정성 평가법이 개발되어 사용되나 전문가를 위한 방법이며 비전문가가 사용하기엔 다소 무리가 있다.

제 2 절 현장조사용 Proto-Type장비 개발

1. 캐나다

본 과업 4차년도 연구기간 중 캐나다를 방문하여 해외 과학기술 정보를 수집하였다. 사면 기술 보유 외국기관을 방문하고 선진국의 사면 연구관리 실태 및 연구동향에 대한 조사 실시하였다.

본 과업 5차년도 연구기간 중 뉴질랜드를 방문하여 해외 과학기술 정보를 수집하였다. 사흘에 걸쳐 지진으로 인하여 유발된 액상화 현상, 자연재해·기후변화로 인한 피해상황, 규모 터널 등 다양한 주제의 발표가 이루어졌다.



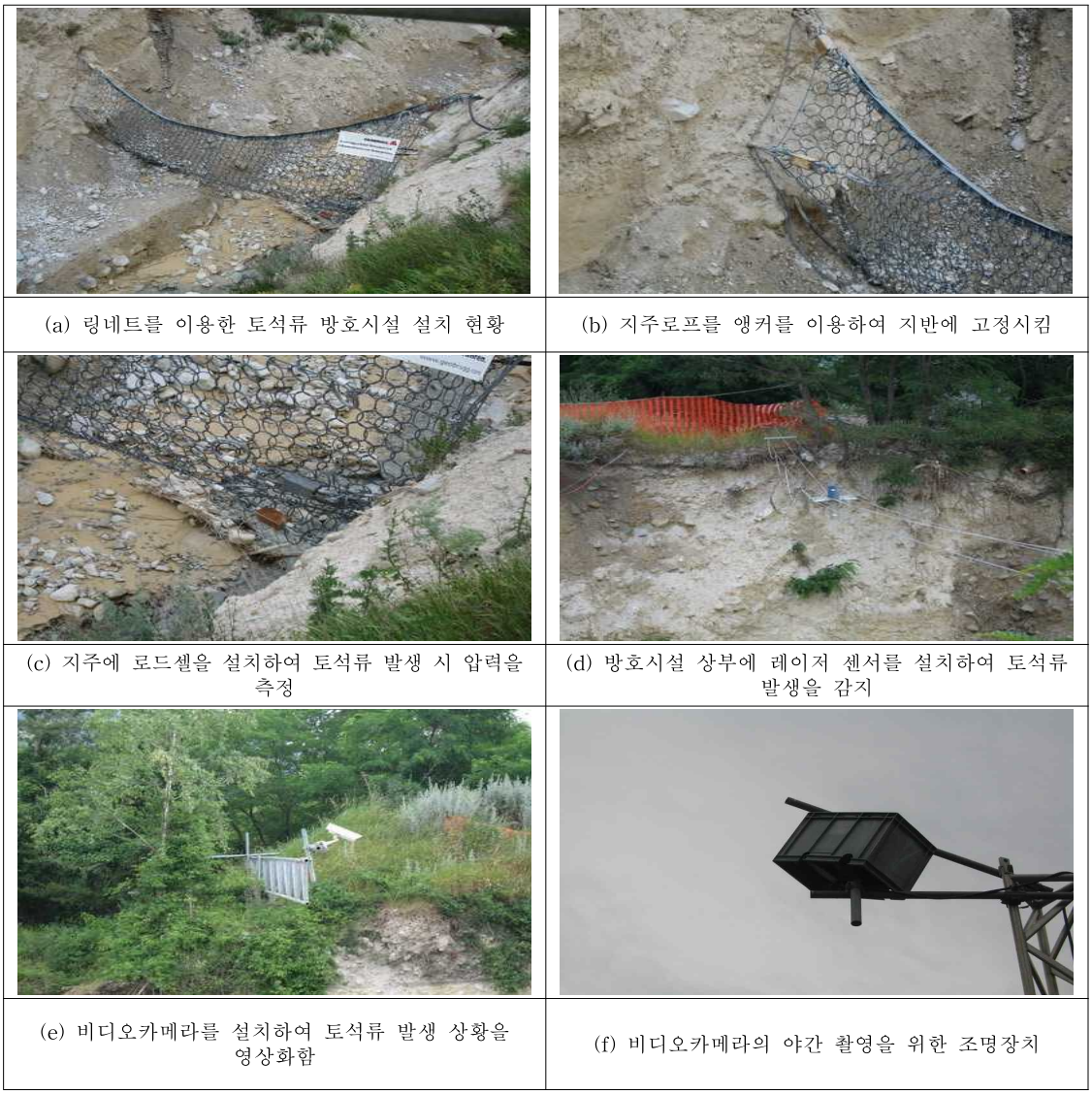
<그림 6.1> Yasuda 교수의 발표모습



<그림 6.2> 교량하부 사면붕괴

2. 스위스

본 과업 3차년도 기간 중 스위스에서 개최된 International Conference for Debris flow Protection System 학회에 참석하여 다양한 최신 해외과학기술정보를 취득하였으며, 스위스의 연방연구소인 WSL(Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research)과 낙석방호시설 전문업체인 Geobrugg AG 사의 주최로 토석류 방호시스템이라는 주제로 학술행사가 열렸다. 전 세계 35개국에서 낙석 및 산사태 관련 전문가 180여명이 행사에 정식으로 등록하였으며, 주최측 참석자를 포함하여 총 200여명의 인원이 본 행사에 참석하였다. 스위스의 중남부에 위치한 소도시 Leukerbad의 Lindner 호텔에서 행사가 진행되었으며, 이틀에 걸쳐 낙석방호시설, 사면안정화 시스템, 토석류에 관한 수치해석 모델링, 조기경보시스템, 토석류 방호시설, 토석류 및 산사태의 거동 특성 해석 등의 다양한 주제의 발표가 각국 참석자들에 의하여 이루어졌다.



(a) 링네트를 이용한 토석류 방호시설 설치 현황

(b) 지주로프를 앵커를 이용하여 지반에 고정시킴

(c) 지주에 로드셀을 설치하여 토석류 발생 시 압력을 측정

(d) 방호시설 상부에 레이저 센서를 설치하여 토석류 발생을 감지

(e) 비디오카메라를 설치하여 토석류 발생 상황을 영상화함

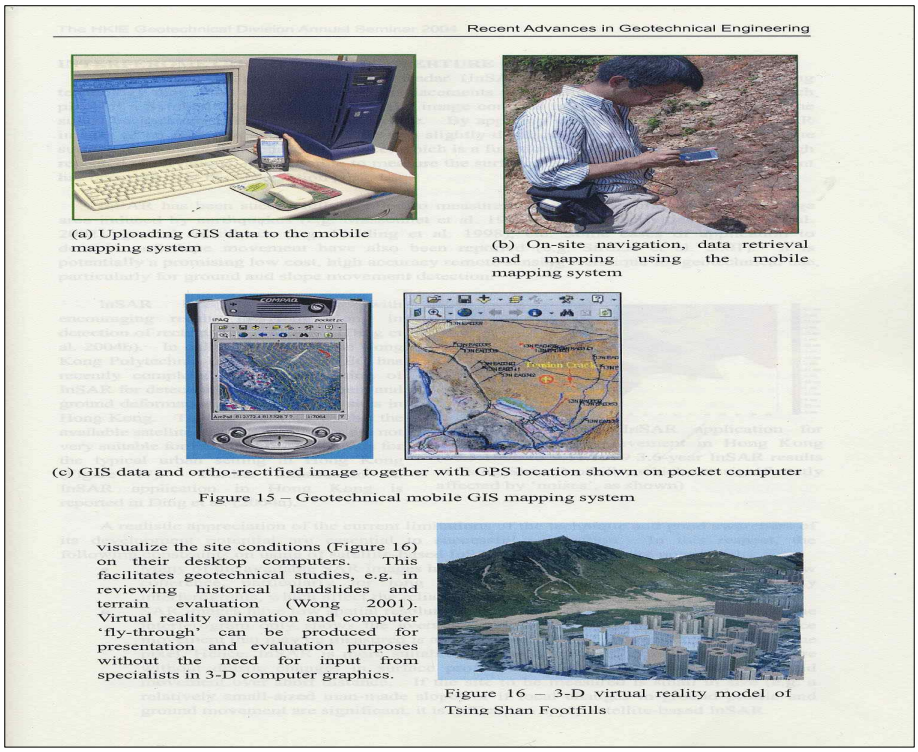
(f) 비디오카메라의 야간 촬영을 위한 조명장치

<그림 6.3> 현장실험을 위한 시설모습

3. 미국

본 과업 2차년도 기간 중 미국에서 개최된 제1차 북미산사태학회에 참석하여 사면 조사 기법에 관한 최신 자료들을 수집하였다. 본 학회에서 주로 다루어진 내용은 산사태 발생지 조사 시 규모 파악을 위하여 GIS를 이용한 전자지도에 위치를 실시간으로 파악하고 그 특징들을 기입하는 PDA 기기들이 대부분이다. 일반적인 도로 절토사면의 붕괴와는 달리 산사태의 경우에는 발생 시점의 정확한 파악과 사태 물질의 이동 범위를 파악하는 것이 매우 중요하다. 따라서 GIS를 기반으로 한 지도에 현장에서 직접 GPS 좌표값으로 확인된 위치정보를 입력하는 것이 조사 장비의 가

장 중요한 부분이고, 이에 대한 연구가 가장 활발히 진행되고 있다.



<그림 6.4> GPS의 사용

제 3 절 차세대 현장정보 수집차량 개발

1. 이탈리아

산사태 위험 지도 작성은 지리 정보 시스템 (GIS) 내의 주제별 자료로 관리되는 사면 불안정 요소에 대한 확인 및 분석을 통해 수행된다. 발견적 해결 방법에서, 이 요인들은 슬라이딩(미끄러짐) 과정의 추이를 통제함에 있어서 각 요인에 의해 이루어지는 가정된 역할에 기초한 스코어에 의해 평가된다. 미래와 관련된 현재 및 과거의 법칙에 근거한 더욱 정교한 방법들도 개발되었는데 이 방법은 과거의 산사태와 사면 불안정 요인들 사이의 관계에 기초하여 산사태의 가능성을 평가하는 방법이다. 이 연구의 목적은 인공 신경망 (ANN)을 응용하여 산사태 가능성을 측정하는 방법을 정의하는데 있다. 이상적인 테스트의 장소로는 이탈리아의 북부 아펜니노 산맥에 위치한 레노 강 분지의 작은 유역인 리오마조레 집수지가 선정되었으며 이 지역이 선

정된 이유는 이 지역 내에 많은 대표적인 지형학적 배경들이 있기 때문이었다.

2. 오스트리아

세 가지 케이스-이력의 목적은 실제 암석 경사 불안정을 측정하고 암석 낙하에 대한 시간 예측을 하기 위해 암석 균열의 상대 변위를 팽창 측정한 결과를 어떻게 활용하는가하는 가능성을 보여주기 위한 것이다. 북부 보헤미아 에 있는 도로 위의 사암층 암석의 붕괴 예측은 두 달 전에 있었으며 임계 7일 간의 타임 윈도우는 적중되었다. 동일한 지역에 있는 불안정한 사암층 절벽에 대하여 암석 낙하 준비의 최종 단계 개시는 1년 전에 예측되었다. 임박한 암석 낙하 위험을 일으키는 달에 대한 예측은 5 개월 전에 있었으며 그 후 모니터링 방법을 이용하여 증명하였다 모니터링을 지속한 2년의 시간은 1990년 오스트리아 알프스에 있는 석회질 절벽으로부터의 암석 낙하 활동을 예측하는 것을 가능하게 만들어 주었다. 현재, 예측은 2년 후에 성취될 것으로 보인다, 이 세월들은 가장 가망성 있는 타임 윈도우의 상한선을 만들고 있다. 실용적 요구를 충족시키기 위해 중기적이고 장기적인 시간에 걸치는 예측 방법을 개선할 필요성이 간략하게 논의된다.

제 4 절 현장실무자용 암반사면 위험도 평가기법 개발

본 연구에서는 국제적으로 널리 활용되고 있는 SMR에 근거하여 현장실무자가 암반사면에 대하여 개략적인 평가를 수행할 수 있도록 단순하며 신뢰성을 가지는 암반사면위험도평가법을 개발하였다. 개발과정에서 SMR 제안자인 Romana 교수(Manuel Romana Ruiz ,mromana@stmr.es)와 메일을 통해 SMR 평가법의 각 항목에 대한 세부사항 및 평가결과의 해석 등에 대해 토의하였으며 사면평가와 관련된 새로운 이슈가 있을 경우 지속적인 교류를 갖기로 하였다.

제 5 절 광대역 산사태 관리를 위한 공간정보 구축 및 WEB지원 서비스 개발

1. 일본지역과학기술정보

과제 1 : 기초자치단체장이 피난권고 등을 적절한 시간에 적당한 대상지역에 발령할 수 없었다는 것 → 피난해야 할 구역 및 판단기준(구체적인 방식)을 포함한 매뉴얼 책정의 진행방식을 명기(4. 피난해야 할 구역, 5. 피난권고 등의 발령 판단기준(구체적인 방식) 과제 2 : 피난권고 등이 주민에게 신속 확실한 전달이 어려웠다는 것 → 피난권고 등이 전달수단의 정비, 전달내용에 대해 주의해야 할 사항을 명기(7. 피난권고 등의 전달방법)

가. 서론

2004년에 발생한 일련의 토사재해 등에서는 피난권고 등(피난준비 ; 요원호자 피난 정보, 피난권고 및 피난지시를 총칭한다.)을 적절한 시간에 적당한 대상지역에 발령할 수 없었다는 것, 주민에게 신속 확실한 전달이 어려웠다는 것, 피난권고 등이 전달되어도 주민이 피난하지 않은 것 등이 과제로 제기되었다.

이에는 다양한 요인을 생각할 수 있지만, 기초자치단체로서는 피난권고 등의 의미(피난권고와 피난지시의 구별 등)가 명확하지 않다는 것, 구체적인 기준이 없기 때문에 판단할 수 없다는 것, 피해 요인인 자연현상이나 제방 등의 시설 상황이 충분히 파악되어 있지 않다는 것, 확실성이 없는 단계에서의 판단에 한계가 있다는 것 등이 요인으로 제기되었으며, 주민 편에서는 피난권고 등이 전달되어도 어떻게 행동하면 좋은지 알 수 없다는 것, 주민이 스스로 위험성을 인식할 수 없다는 것, 절박성이 없는 단계에서의 행동에 한계가 있다는 것 등이 제기되었다. 더욱이 최근의 특징으로 고령자 등의 요원호자의 피재가 많았다는 것이 문제가 되고 있고, 또한 피난 도중에 피재를 당하는 사람이 많다는 것도 사실이다.

적절한 피난권고 등의 발령에 의해 주민의 신속·원활한 피난을 실현하는 것은 기초자치단체장의 책무이다. 그러나 기초자치단체장이 그와 같은 국면을 경험하는 일은 그다지 많지 않고, 또한 일반적으로 각종 재해대책에 정통하지도 않다. 따라서 기초자치단체는 피난권고 등의 발령·전달에 관해 재해긴급 시에 어떠한 상황에 있어서

어떠한 대상지역의 주민에 대해 피난권고 등을 발령해야 할 것인가 등의 판단기준(구체적인 방식)에 대해 정리된 매뉴얼을 정비해 두는 일이 반드시 필요하다. 이 가이드라인은 이 「피난권고 등의 판단·전달 매뉴얼」을 기초자치단체가 작성하기 위한 입문이 되는 지침을 정리한 것이다.

국가, 광역자치단체, 기초자치단체는 모델적인 대처, 연수, 워킹그룹의 설치 등을 실시하여 이 가이드라인에 따른 대처방안을 촉진하는 환경의 정비와 함께 이 가이드라인에 따른 대처방안에 대한 제도적인 평가도 진행하는 것으로 한다.

나. 이 가이드라인에 대해

이 가이드라인에서는 수해, 해일재해, 토사재해, 쓰나미재해 중에 토사재해(화산 분화, 지진에 기인하는 것은 제외한다.)를 대상으로 한다. 「피난권고 등의 판단·전달 매뉴얼」의 책정작업에 대처해 갈 때에 기초자치단체, 광역자치단체, 기상관서, 하천관리자, 사방관계기관 등은 적극적인 연계를 할 필요가 있다. 또한, 이 매뉴얼에서 정하는 피난해야 할 구역이나 피난권고 등의 판단기준(구체적인 방식)은 사태의 진행이나 상황을 고려하여 종합적으로 판단되는 것으로 하며, 이 가이드라인에 기재하고 있는 운용 상의 주의사항 등을 더욱 구체화 한 후에 매뉴얼에 명기하는 등, 실용성을 높이는 것이 중요하다.

제 6 절 간섭 SAR 영상처리를 위한 시스템 구축

최근 개발되고 있는 위성 SAR에 적용하고 있는 기술 추세는 능동 위상배열 안테나를 이용한 다중 영상 모드와 정밀 표적 영상 식별 및 이동 표적 탐지 등의 새로운 기술을 적용하는 추세이다. 주요 기술은 크게 정밀 표적 식별을 위한 초고해상도 기술과 이동표적 탐지 기술, 다양한 주파수와 편광을 이용한 polarimetric 표적분류 기술, 입체영상 제작과 정밀 고도정보를 위한 interferometry기술, 짧은 재방문 주기를 위한 다수 위성의 성단 운영 기술, Bi-Static or Multi-StaticSAR 기술 등으로 발전하고 있다. 시스템 개발 측면에서는 저가의 소형 위성을 단기간에 많이 개발하는 저궤도 위성 방향으로 추진하고 있다.

다중 모드 기법은 원하는 지역 및 표적의 영상을 빔 조향 안테나를 이용하여 표준 영상 모드, 광역감시 모드 및 고해상도 모드 등의 다양한 모드별 영상을 획득할 수 있는 기술이다. 전자광학 센서의 경우 고해상도의 영상을 획득할 수 있지만 광역감

시 및 고해상도 모드를 동시에 운용하기 어렵다. 하지만 SAR 센서는 전자적으로 빔을 조향하고 송수신 파형을 적절하게 변형시켜줌으로서 응용 목적에 적합하도록 해상도와 관측 폭을 조정할 수 있기 때문에 활용분야의 다양성을 제공할 수 있게 되어 영상 수요 및 활용이 더욱 증가될 것이다.

다중 편광 기법은 전자파의 편광에 따른 산란 특성을 이용하여 입사파의 편광과 산란되어 수신되는 편광의 순서에 따라 HH, HV, VH, VV의 네 가지 편광 모드로 표현된다. 기존의 위성 SAR들은 HH 또는 VV 중에서 한 가지 편광으로 고정되었으나 Envisat을 비롯한 최신 위성에서는 네 가지 편광 모드 중에서 두개를 선택할 수 있는 이중편광(dual polarization) 또는 모든 편광을 얻을 수 있는 quadrature -polarization 기술을 적용하는 추세이다.

간섭 SAR 기술은 두 장 이상의 복소수 SAR 자료에서 위상차 정보를 이용하는 기술로서 고해상도의 고도 정보를 추출할 수 있다. 두 장의 SAR 자료는 두개의 안테나를 동시에 비행체에 탑재하여 한 안테나는 송수신을, 다른 하나는 수신만을 담당하는 형태로 운영한다. 또는 하나의 시스템을 시간적인 차이를 두고 비슷한 비행궤도를 재현하여 두 장의 SAR 자료를 얻는 방법이다. 이와 같이 시간적 혹은 공간적으로 떨어져 있는 두 안테나는 레이더 펄스의 입사방향에 수직으로 정렬되어야 지형 고도에 대한 해상도를 얻을 수 있으므로, 탑재체의 진행방향에 수직이란 의미에서 XTI(Across-Track Interferometry)라 한다. 특히, 지표의 변위를 cm 혹은 mm 단위로 관찰할 수 있는 차분간섭기법은 영상소 내 산란체들의 상대적위치가 고정되어 있어 높은 상관관계가 유지되는 곳에서 위상차를 통해 전체 산란체가 변위를 일으키는 경우를 탐지한다. 이때 위상차는 고도 정보를 추출하기 위한 간섭 SAR와 유사한 방법으로 얻을 수 있다. 차분간섭기법을 통하여 지진에 의한 지표의 변위를 관찰하거나 빙하의 흐름, 마그마의 이동 등을 포착할 수 있다. 비행방향에 따라 ATI(Along-Track Interferometry)를 이용한 이동 표적의 속도 측정 기술은 최근에 개발되어 시험적으로 적용되는 기술이다. 두 안테나를 비행체가 진행하는 방향과 일치되도록 배열한 뒤, 하나는 송수신을 다른 하나는 수신을 담당한다. 어느 한 지역을 비행체의 속도에 따라 시간차를 달리하여 SAR 자료를 얻고, 위상차를 이용하여 물체의 속도를 구할 수 있다. 만약 정적인 표적이라면 두 영상의 위상차는 0이 될 것이지만, 표적이 이동한다면 도플러 효과에 의한 위상차가 발생한다. ATI는 주로 해류의 속도 벡터를 구하거나 지상의 이동 표적을 탐지 하는

GMTI(Ground Moving Target Indicator)와 밀접한 관계가 있다.

이동표적 탐지를 위한 GMTI 기술은 위성 SAR의 플랫폼 이동으로 인해 고정 클러터가 도플러 변위를 가지며 동시에 스펙트럼 퍼짐 현상이 발생한다. 그러므로 저속의 이동 표적을 탐지할 경우 클러터와 표적 신호가 오버랩되어 표적의 탐지가 어려워진다. 또한 SAR는 정적인 지형을 표적으로 하기 때문에 비행방향에 수직으로 접근하는 물체는 추가적인 도플러 이동을 가지게 되며 이는 방위방향으로의 위치 오차를 발생시킨다. 이러한 문제를 해결하는 방법으로 위에서 언급한 ATI 기법이 있으며, 또 다른 방법인 DPCA(Displaced Phase Center Antenna)가 있다. 최근에는 다중채널 안테나를 통해 시간과 공간적인 2차원의 필터를 수행함으로써 이동 표적의 탐지 확률을 향상시키고 정확한 표적의 위치 획득을 가능하게 하는 STAP(Space-Time Adaptive Processing) SAR 기법의 연구가 활발히 진행 중이다. 마지막으로 재방문 주기의 최소화이다. 현재 위성개발 국가 간의 상호협력을 통해 정보 공유를 계획하고 있으며, 이탈리아의 COSMO Skymed, 독일의 SAR-Lupe와 같이 다수의 위성을 위성군으로 운용하여 국가 안보 및 재난상황과 같은 긴급 관측이 요구되는 분야의 활용도가 높아질 것으로 기대된다.

<표 6.1> SAR 활용분야

Class	Sub-class	Description
Land	Agriculture	Agricultural crop, vegetation, trees
	Archeology/ Subsurface	Subsurface penetration, paleo-channel, landmine detection
	Topography	DEM from InSAR, radargrammetry, and radarclinometry, Slope angle from PolSAR
	Forestry	Forest, biomass, vegetation, forest fire, deforestation
	Geology	Lithology, structural mapping, geomorphology, mineral exploration, lineament
	Geotectonics	Tectonic motion, subsidence, land slide, tectonic strain
	Hydrology	Rivers. lakes, limnology, flood, snow, ice (non-polar)
	Seismology	Earthquake displacement

	Soil	Soil moisture, soil type (natural or agricultural)
	Volcanology	Volcanic morphology, swell, subsidence, lava flow, eruption
	Urban/Manmade	Urban area mapping. Target, building, power line, foliage/snow penetrating target detection
	Thematic Mapping	Land cover map, Classification of various surface type
Ocean	Wind	Wind speed and direction measurement from capillary or gravity wave by backscattering coefficient. comparison with scatterometer
	Surface Wave	Wave caused by wind, bathymetry, tide, etc., wave spectra, Waves visible in SAR resolution
	Internal Wave	Surface imprint of internal wave
	Current	Eddies, upwelling, current, frontal system
	Bathymetry	Subwater topography from wind/wave/tide pattern
	Slick	Oil slick, biological film
	Ship	Ship detection, ship wake
	Intertidal/Coastal	Intertidal zone, coastal zone
Crysosphere	Glaciers	Glacier motion, Glacier snow cover, glacier retreat/expansion
	Sea Ice	Sea ice type, first year ice, multi-year ice, pressure ridge, lead, polynya, floe, Iceberg, sea ice snow cover
	Ice Sheet/Ice Shelf	Continental ice cap, ice stream, ice sheet motion, topography, hinge-line of ice shelf, snow on ice sheet/ice shelf
Atmosphere	Amplitude	Weather systems imprinted on ocean surface. Storm, rain, wind, weather front, atmospheric lee wave, marine atmospheric boundary layer, vortex, solitons, atmospheric gravity wave
	Phase	Atmospheric delay or refraction of radar signal by water vapor, ionosphere, etc.

제 7 절 시계열 라이다 정보에 의한 산사태 모니터링 기술 개발

1. “레이저스캐너를 이용한 경사면의 계측 방법”[출원번호: 10-2003-0078880 (2003.11.08), 공개번호: 10-2005-0044973 (2005.05.16)]

2. “항공측량 영상과 라이더 데이터 융합에 의한 건물 추출시스템과 방법 및 그 프로그램 소스를 저장한 기록매체” [출원번호: 10-2000-0057495(2000.09.29.), 공개번호: 10-2001-0000443 (2001.01.05)],

3. “모바일 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 3차원 지형지물 추출 및 분류 시스템 및 방법”
[출원번호: 10-2002-0077899 (2002.12.09), 공개번호:10-2004-0050739(2004.06.17)]

4. “LANDSLIDE PREDICTING AND DETECTING DEVICE” [Patent number: JP11281411, Publication date: 1999-10-15, Inventor: NISHINOTOMOHISA] 등의 특허 기술이 등록.

제 8 절 사면수평 배수공법 개발 및 적용을 위한 설계기준 제안

◦ Interpolation of GPS Results Incorporating Geophysical and InSAR Information

◦ TWO Dlmenslonal Phase UnWrapplng by Dlrect EIIlnlnatlOn of ROtational Vector Fields from Phase Gradients Obtained by Heterodyne Techniques

◦ Mathematical formulation for estimation of baseline in synthetic aperture radar interferometry

◦ Vacuum dewatering and horizontal drainage blankets: a method

for layered soil reclamation

◦ HORIZONTAL DRAINAGE BORINGS AND CAST-IN-SITU PILE WALLS TREATMENTS OF LANDSLIDES IN SEDIMENTARY ROCKS

◦ USE OF HORIZONTAL DRAINAGE FOR DRAINING DAM SLOPES

◦ Analysis of systematic drainage of irrigated land underlain by saline water

◦ Linear drainage in a fresh groundwater fringe above saline groundwater

◦ Gravitational drainage systems in urban areas: case study (Galaţi town, Romania)

◦ Drainage of base soils with radial horizontal wells

◦ Hydrogeological Investigation and Discharge Control of a Nutrient-Rich Acidic Solution from a Coastal Phosphogypsum Stack at Yeocheon, Korea

제 9 절 디지털 영상을 이용한 암반사면 절리구조 맵핑기법 및 장비개발

본 연구의 성과물인 차량탑재 절리조사시스템의 촬영시스템은 사진측량기술을 이용하였다. 사진측량기술은 2차원 영상자료를 이용하여 3차원 공간좌표를 유도함으로써 대상면의 방향성 및 기하학적 특성 분석에 이용된다.

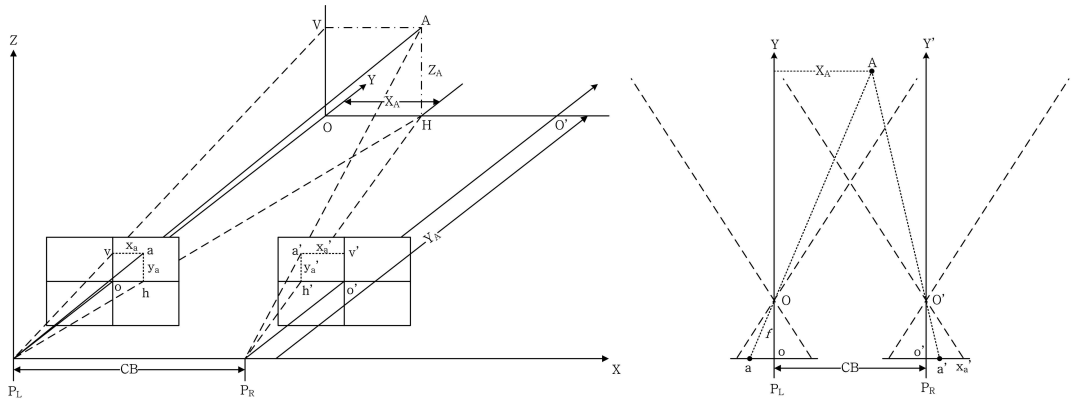
국외에서는 1960년대부터 아날로그 방식의 사진측량기술을 이용하였으며, 디지털 기술의 발달로 인해 디지털 영상을 이용하여 절리의 특성을 분석하는 기법들이 활발히 개발되고 적용되었다.

디지털 영상을 이용하여 공간좌표를 유도하는 기법은 매개변수 결정 방법에 따라 두 가지로 구분된다. 사진기 매개변수가 미리 결정된 특수한 경우와 사진기 매개변수를 촬영 때마다 결정해야 하는 일반적인 경우이다.

전자는 시각차 공식의 적용과 같이 두 사진기의 촬영방향이 평행한 경우[Wolf, 1983; Gonzalez, 1993]와 공간좌표계의 Y축을 중심으로 회전하여 두 사진기가 촬영방향이 수렴하는 경우[Castleman, 1996] 등이 있다. 후자는 근거리 사진측량에 다중수렴 촬영 시스템과 컴퓨터 비전의 3차원 복원 등이 있다.

차량탑재시 촬영 때마다 사진기 매개변수를 결정하는 과정은 작업의 효율성을 감

소시키므로 카메라 베이스에 설치된 두 대의 카메라의 촬영방향은 평행하여 사진기의 매개변수가 결정된 상태에서 측정이 가능하도록 구성하였다.



<그림 6.5> 시차공식 적용시 개발시스템에서의 영상좌표와 공간좌표 사이의 관계

제 10 절 포켓식 낙석방지망 국산화 기술개발

1. 국토교통성 중부지방정비국(2008) 일본,도로설계요령

Ⅰ. 総　則

第1節　適用の範囲

この要領に定めていない事項については、次の指針等による

表1－1

指　針・要　綱　等	発行年月	発　刊　者
道路土工、土質調査指針	S61．11	日本道路協会
道路土工、軟弱地盤対策工指針	S61．11	日本道路協会
道路土工、施工指針	S61．11	日本道路協会
道路土工、のり面工・斜面安定工指針	H11．3	日本道路協会
道路土工、排水工指針	S62．6	日本道路協会
道路土工要綱	H2．8	日本道路協会〃
ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル	H5．1	土木研究センター
グランドアンカー設計・施工基準、同解説	H2．6	土質工学会
のり枠工の設計・施工指針	H7．10	全国特定法面保護協会
落石対策便覧	H12．6	日本道路協会
道路震災対策便覧（震前対策編）	H18．9	日本道路協会
東海環状自動車道設計要領	H12年度版	国土交通省中部地方整備局

第2節 定 義

1. 各部の名称及び標準断面構成

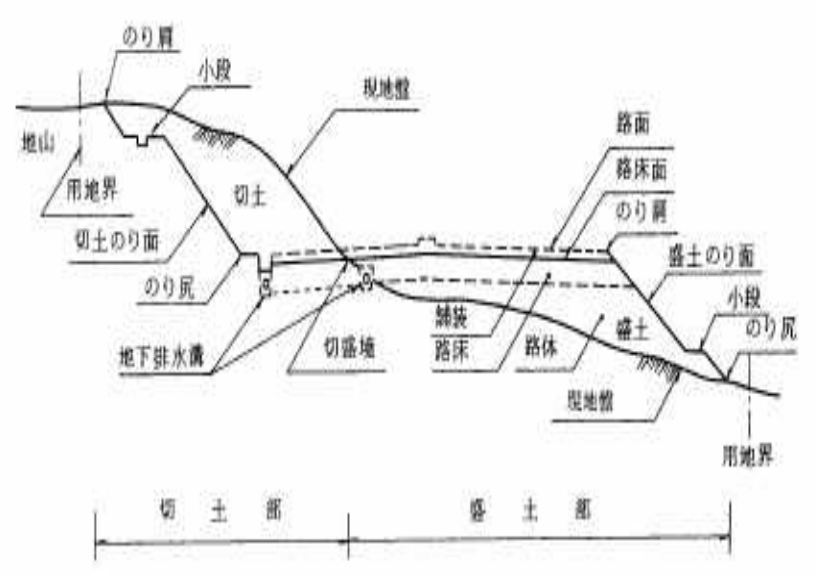


図1－1 各部の名称

【参考】図1－1 各部の名称と共通仕様書における名称の対比について

図1-1 各部の名称	：	共通仕様書 第4節の名称
・切 土	：	掘 削
・切土工	：	掘削工
・切土部	：	掘削部

2. 名称の解説及び機能

2－1 舗 装

セメントコンクリート舗装の道路においては、コンクリート舗装版と路盤を、アスファルト舗装の道路においては、表層、基層、路盤（下層路盤を含む）を舗装という。

2－2 路 床

路床とは盛土部においては、盛土仕上り面下、切土部においては、掘削仕上り面下1m以内の部分をいう。

2－3 路 体

路体とは盛土部における路床以外の部分をいう。

2. U.S. Department of Transportation(1988), Highway Slope Maintenance and Slide Restoration workshop-Participant manual.

I. INTRODUCTION

I.A. BACKGROUND

Slide Problem

The maintenance of slopes and the restoration and correction of slides on highways has been identified by a number of agencies as a major and continuing problem involving considerable expenditures of funds. Each year, highway agencies in the United States spend millions of dollars in maintaining highway embankments, slopes, and other earth structures; removing rock falls and debris from roadways; and repairing landslides. Such activities often cause restrictions and sometimes disruptions of traffic flow, creating serious safety hazards and resulting in economic losses due to the inconvenience to the traveling public. Maintenance crews must take corrective action to return slopes to a usable and stable condition, to restore the facility to normal operating conditions, and to minimize hazards to the traveling public. Various routine activities may minimize the potential of slope failures.

Major and catastrophic failures of earth slopes are frequent occurrences around the world. These failures are often related to natural phenomena such as earthquakes and floods or to insufficiencies in design elements of major construction projects. Major slope failures "make the news" because of their sizes and quantities of material involved or because of significant losses and injuries to life and property. Failures lead to formation of investigative teams to study the probable causes of the failures and to identify corrective measures to restore the slopes to their original function and to minimize possible reoccurrences.

제 11 절 산악지형특성에 적합한 토석류 차단 모델개발

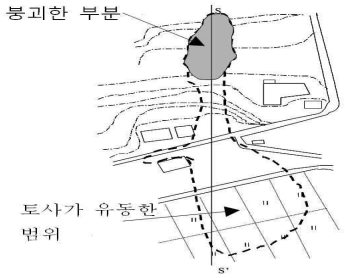
일본에서는 여러모델을 기준으로 프로그램개발을 연구기관과 협조하여 진행하고 있으나 아직까지 국내에서는 적용사례가 없어 일본에서 적용되어지고 있는 현황에 대해서 알아보고자 하였다.

2003년 5월 26일에 미야기현 츠키다테쵸 타테시타에서 발생한 사태이다. 그림 6.6에 나타내는 것은 사태 현장인 미야기현 츠키다테쵸 타테시타의 항공사진이다. 그림 6.7은 토사 유동 범위의 개략도이다.

그림 6.7의 회색의 부분이 붕괴한 부분이며, 점선으로 둘러싸인 영역이 토사가 유동한 범위이다. 해석 대상으로 한 경사면 단면은 그림 6.7의 S-S′로 나타난다. 해석 대상으로 한 미야기현 츠키다테쵸 타테시타에서 발생한 사태의 개요는 다음과 같다. 2003년 “미야기현 북부 지진 재해 조사보고서”에 의하면, 이 근처는 토사가 20%, 모래가 50%, 실트가 20%, 점토가 10%로 구성된 흙이 퇴적하고 있는 표고 50 m정도의 구릉지이다. 붕괴부는 평균 약 7°정도의 느슨한 구배의 경사면이다. 붕괴부는 최대두께 약 6 m, 폭은 약 40 m, 길이 약 60 m이다. 이것이 저지대측에 폭 약 50 m, 길이 약 120 m에 걸쳐 토사가 유동해 퇴적했다고 생각된다. 붕괴사면의 상단부에서 말단부까지의 거리는 약 180 m이며, 표고차이는 약 25m였다.



<그림 6.6> 현장 항공사진

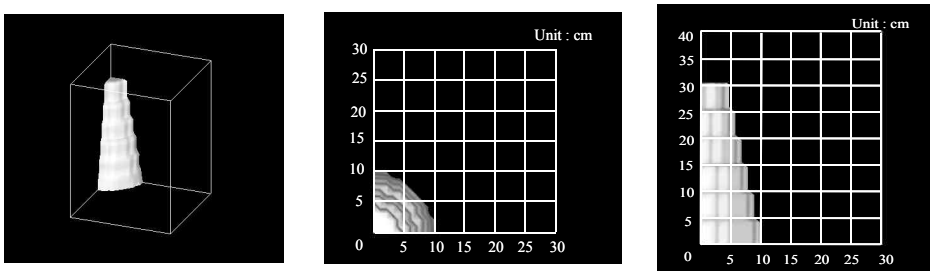


<그림 6.7> 토사 유동 범위의 개략도

또, 주민의 증언에 의하면 유동에 필요로 한 시간은, 약 100초간이었다. 코나가이등은, 토사의 최대 유동 속도는 약 6~7 m/s라고 추정했다. 이 사례에 대해서 유체 역학적 해석 수법을 실시할 때에 이용하는 c, ϕ파라미터를 파악하기가 어려워 Moriguchi는 우선 슬럼프 실험의 결과로부터 c, ϕ를 설정했다.

제안한 해석 기법으로 3 차원 해석에 의해 재현된 슬럼프 실험의 해석 모델은 그림

6.8에 나타낸다. 그림 6.8에 나타내는 백색은 흙을, 흑색은 공기를 나타낸다.
3케이스의 해석을 실시하여 그림 6.8과 같은 최종 표면 형상의 결과를 얻을 수 있었다. 케이스 2가 슬럼프 실험의 결과에 가장 가까운 결과가 되었다. 따라서, Moriguchi는 c, ϕ파라미터의 값을 케이스 2로 하여 c=0.1, ϕ=1.0kPa로 했다.



<그림 6.8> 해석 모델(흐름전, 바로 위, 옆)

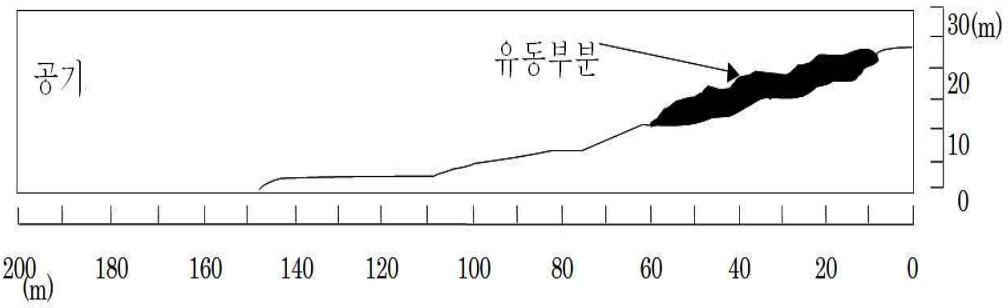
다음 Moriguchi는 슬럼프 실험의 해석 결과로부터 얻을 수 있던 c=1.0, ϕ=0.1의 값을 이용해 2 차원 해석을 실시하여 토석류 산사태를 재현 하였다.

그림 6.9과 같이 모델링하여 시뮬레이션 결과와 실제의 관측 결과의 최종 표면 형상이 대체로 일치하고 있는 것을 알 수 있었다.(그림 6.10)

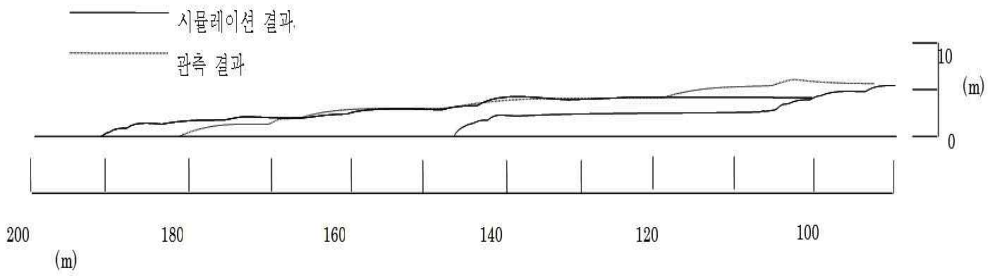
이 해석 결과로부터 이 해석 수법의 유효성이 확인되었고 향후 토석류 재해지역의 흐름특성을 파악하여 유사지역의 재해대책에 활용하고 있다.

<표 6.2> 현장 시뮬레이션 입력 파라미터

구분	지반재료	공기
밀도 (kg/m^3), ρ	1800.0	1.25
음속 (m/s), c	3000.0	340.0
점착력(Kpa), c	1.0	–
내부마찰각(degree), ϕ	5.7	–
메쉬사이즈 (m),	Δx = 2.104, Δy = 0.526	
$N_x \times N_y$ 메쉬수	100 × 60	
시간증분 (sec), Δt	0.0001	



<그림 6.9> 해석 모델



<그림 6.10> 최종 시뮬레이션 결과

제 12 절 AE를 이용한 절토사면의 파괴위험 연구

1. A.E를 이용한 사면계측기술

A.E(Acoustic Emission)기법을 이용한 사면계측기술은 15년 전부터 자연 암반사면을 대상으로 일본에서 활발히 연구, 적용된 바 있으며, 홋카이도 개발 토목연구소와 토비시마건설(주) 기술연구소에 의해 1999 4. - 2001. 3.까지 공동 연구성과를 발표한 바 있으며, 암반사면 계측에 대한 가이드라인(안)을 비롯한 연구성과물을 발표하였으며, 관련자료 목록은 다음과 같다.

○ 어코스틱 에미션 검사에 의한 진단의 전개 (사단법인 일본 비파괴검사협회)

○ WEAD와 TAMS에 의한 AE 암반 안정감시 가이드라인 (토비시마건설 방재 R&D 센터 기술연구소)

○ Evaluation of long term stability for rock slope by means of Acoustic Emission technique (T. Shiotani, NDT&E international 39(2006) 217-228)

○ Detection and evaluation of AE waves due to rock deformation (Masayasu Ohtsudhl 2인, Construction & Building MATERIALS 15(2001) 235-246)

2. A.E를 이용한 비파괴검사기술

A.E(Acoustic Emission)기법은 구조물 토목분야에서 비파괴 검사에 먼저 적용되고 있으며, 연구에서 참고한 자료는 다음과 같다.

○ 콘크리트 구조물의 비파괴검사 방법에 관한 손상인정과 보수효과 (시오타니 토모키외 2인, 전력토목 NO. 322)

○ Damage Evaluation for Railway Structures by means of Acoustic Emission (Yasuhiro Nakanishi외 4인, Key Engineering Materials Vols. 270-273)

제 7 장 참고 문헌

1. 강신해, GIS를 이용한 산사태 위험지역 예측 :구미지역을 중심으로, 금오공과대 산업대학원, 2001, 624.151 ㄱ261g 58 p. 학위논문(석사)

2. 강신해, GIS를 이용한 산사태 위험지역 예측 :구미지역을 중심으로/ 금오공과대 산업대학원 2001 624.151 ㄱ261g 58 p. 학위논문(석사)

3. 강인준, (1993), “지형정보시스템을 이용한 산사태 예측”, 한국측지학회지, 제11권 제2호, pp.53-58.

4. 강준묵, 1987, 구조물 변형해석을 위한 수렴다중사진측량의 기법개발, 대한토목학회 논문집, 제7권 1호, pp.131-139.

5. 강희도, (2003), “산사태의 원인과 종류 및 국내 발생유형 연구”, 인하대학교 교육대학원 석사학위논문.

6. 건설교통기술평가원, (2004), 산사태 발생 예측 및 피해저감기술.

7. 건설교통부, (2006), GIS를 이용한 도로 접도 사면 재해 위험도 작성 연구보고서.

8. 건설교통부, “내진설계기준연구(Ⅱ)”. 1997

9. 건설교통부, 2001, 도로설계기준 5장 토공

10. 건설교통부, 2004, 철도설계기준 노반편

11. 건설교통부, 2006, 간섭 SAR 영상처리를 위한 시스템 구축. 연구보고서, 연세대학교.

12. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리 지침

13. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리 지침

14. 건설교통부, 도로의 구조 • 시설 기준에 관한 규칙

15. 건설교통부, 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ

16. 고려대학교, 1996, 국내 지역별 강우강도 데이터 구축에 관한 연구-고려대학교

17. 공진화 기법을 이용한 인공위성 자세제어기 최적설계 연구, 05.1.1-05.12.31 (1년), 연구책임자, 인공위성연구센터

18.공진화 방법을 이용한 천음속 유동에서의 이차원 공력형상 최적화, 00.3.1-01.2.28 (1년), 연구원, 한국과학기술원/기본연구

19. 과학기술부, (2003), 산사태 예측 및 방지기술연구.

20. 과학기술부, (2005), GIS와 원격탐사 기술을 이용한 산사태 위험분석 적용 기술 개발.
21. 과학기술부, (2006), 산사태 위험도 산정시스템 및 피해저감기술 개발.
22. 곽영길, 2007. 위성탑재 영상 레이더 기술동향, 전자공학회지, 제34권, 제11호.
23. 郭載河, 항공사진의 지형공간정보를 이용한 산사태 위험 예측 기법, 釜山大 大學院, 1994, 52p. 학위논문(석사)
24. 광해방지사업단, 2006, 광산지리정보시스템 구축보고서.
25. 교통개발연구원, 한국통신 (1997), “첨단 화물운송시스템(CVO) 기본설계”
26. 구호본, 박혁진, 백영식(2001), “현장 낙석실험을 통한 낙석방지울타리의 특성 및 성능평가”, 한국지반공학회 논문집 제17권 제6호, pp.111～121
27. 국토해양부(2001), “도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용”
28. 국토해양부(2009), “도로안전시설 설치 및 관리지침 - 5. 낙석방지시설편”, pp.447～515
29. 국토해양부, 2008, 2007년도 도로절토사면 유지관리시스템 운영업무 연구보고서 pp. 15-21
30. 권오일, 백 용, 구호본, 배규진, 2006, 첨단 사면조사 장비 개발을 위한 해외 연구개발 동향에 관한 연구, 한국지반공학회 2006년 사면안정 학술발표회 논문집, pp. 259-266
31. 김건호, GIS 기법을 이용한 토석류 발생 위험도 분석에 관한 연구/ 홍익대 대학원 2002 624.151 ㄱ498g 72p. 석사.
32. 김기석, 김종훈, 정완순, 김용수, 이승호, 김재동, 2009, 차량탑재 암반비탈면 절리구조 조사 시스템의 현장 적용, 2009 사면안정 학술발표회, 3-16
33. 김동건 (1999), “비용편익분석”, 박영사, pp.134-139
34. 김상규(1994), 강우로 인한 절취사면의 불안정, 한국지반공학회
35. 김상규, 류치협, 윤수호, 2000, 퍼지집합을 이용한 사면의 위험도 평가, 대한토목학회논문집 20(3-c), pp.179~193.
36. 김상완, 2004, L-밴드 영상레이더 위성간섭기법을 이용한 백두산 및 부산지역의 지표면 변위 관측. 박사학위논문, 연세대학교.
37. 김상완, 김창오, 원중선, 김정우, 2005, 영상레이더를 이용한 목포 지반침하 관측. 자연환경지질 학회지, 제38권, 제4호, pp.381-394.
38. 김영묵·박향근·최문희(2001), 호우시 성토사면의 불안정해석, 대한토목학회

39. 김영삼, GIS를 이용한 산사태 취약지 분석 :경기도 광주시를 대상으로/ 서울대 환경대학원 2002 711.4 ㄱ769g 59p. 석사
40. 김용수, 양상호, 정수정, 2007, 낙석재해 방지를 위한 현장정보 수집차량 개발방안에 관한 연구, 2007년도 지반공학회 춘계학술발표회 논문집, 1249-1258.
41. 김원형 외, 산사태 예측 및 방지기술연구(Study on Landslide Hazard Prediction), 과학기술부, 2003.
42. 김재동, 김종훈 2003, 수렴다중촬영기법을 이용한 새로운 절리방향 해석방법, 터널과 지하공간(한국암반공학회지), 17.3, 486-493
43. 김제천, GSIS와 AHP법을 이용한 산사태 발생지역 예측/ 강원대 산업대학원 2001 624.1517 ㄱ858g 61p. 학위논문(석사)
44. 김종혁 (1998), “첨단 교통관리시스템”, 정보과학회지, 제16권 제6호, pp.5-13
45. 김종훈, 김기석, 김재동, 이승호, 김용수, 천성열, 김동민, 2008, 차량탑재 암반비탈면 절리조사시스템 개발에 관한 연구, 2008 한국암반공학회 국제학술회의, 239-247.
46. 김종훈, 김재동, 2009, 암반비탈면 절리의 방향성 측정을 위한 수렴다중촬영기법의 현장 적용성 연구, 터널과 지하공간(한국암반공학회지), 19.1, 31-42.
47. 김태혁, 암석절리면의 전단시험에서 미소파괴음 발생(A.E)에 관한 연구, 서울대학교 대학원, 1994
48. 김형배, 이승호 (2002), “실용적인 확률론적 사면안정 해석기법 개발”, 한국지반공학회지, 제 18권 5호, 271-280.
49. 김형욱, 김성수 (1997), “물류 정보서비스를 위한 통신 매체와 이를 이용한 교통물류관제 시스템의 전반적인 이해와 적용”, 한국통신 Technical Memo
50. 김홍배 (1997), “비용편익분석론”, 홍문사, pp.108-109
51. 김희승, 1993, 영상인식: 영상처리, 컴퓨터비전, 패턴인식, 신경망, 생능출판사, 415p.
52. 남순성, 이승호, 이은수 (1998), “토목건축 현장계측계획”, 탐구문화사
53. 노순미 (2004), “철도사면 낙석대책의 비용ㆍ편익분석에 관한 연구”, 서울산업대 철도전문대학원 석사학위논문
54. 다목적실용위성과 공간정보를 이용한 산사태 예측 기법 비교연구/신진수 고려대 대학원 2001 551.302 ㅅ583ㄷ 80 p. 학위논문(석사)
55. 대한토목학회(2002), 태풍 루사에 의한 피해현황 및 대책방안 ; 태풍 루사에 의

한 피해현황 및 대책방안, 대한토목학회지, 제50권, 제10호 , pp. 40-50
56. 류근호, 안윤애, 이준욱, 이용준 (2001), “이동객체 데이터베이스와 위치기반 서비스의 적용”, 데이터베이스연구회지, 제17권 제3호, pp.57-74
57. 류지협(2003), 모관흡수력을 고려한 사면의 안정성 평가, 대한토목학회
58. 배성수, 최규태 (2006), “차세대 네트워크와 이동통신 기술”, 세화
59. 산사태 공간 정보시스템 개발 및 산사태 공간 정보의 활용 /이사로 ;김윤종 ;민경덕 2000 한국GIS학회지 제8권 제1호 통권14호 (2000. 4) pp.141-153 한국GIS학회 910.285 ㅎ155
60. 산사태 지역정보 서비스를 위한 3차원 데이터 모델 분석 및 Application 개발/김동문 外著2010 지형공간정보학회지 제18권 제3호 pp.11-19 한국지형공간정보학회
61. 산사태의 발생가능지 예측을 위한 GIS의 적용 /이진덕 外著 2002 한국지리정보학회지 제5권 제1호 통권14호 (2002. 3) pp.38-47 한국지리정보학회 912.0285 ㅎ155
62. 산사태의 발생가능지 예측을 위한 GIS의 적용 /이진덕 外著 2002 한국지리정보학회지 제5권 제1호 통권14호 (2002. 3) pp.38-47 한국지리정보학회 912.0285 ㅎ155
63. 삼축압축하에서 암석의 파괴음 측정과 변형파괴 특성, 서울대학교, 2001, 허종석 선우춘, 정용복, 2006, 기존의 암반분류법 조합에 의한 새로운 암반평가법의 제안, 화약 발파(대한화약발파공학회지) 24권 1호, p.21-18.
64. 손봉기, 일정수직강성 조건에서의 암석 절리면 전단 거동에 관한 연구, 서울대학교 대학원, 2005
65 송영석·홍원표·윤중만·김태형(2005), 강우시 침투속도를 고려한 사면의 안정성, 대한토목학회
66. 신재근, Acoustic Emission에 의한 화강암의 파괴인성 평가에 관한 연구, 강원대학교, 2001
67. 심현진, 암석 및 콘크리트의 압축변형거동과 미소파괴음 측정에 관한 연구, 서울대학교 대학원, 1999
68. 江崎次夫・河野修一・김재헌・염규진・장수진・전근우. 2007. 비탈면 녹화용 목본식물에 대한 시비효과. 산림공학기술 5(2) : 117-129.
69. 양인태, 유복모, 권현, 1984, 경사사진의 해석적 위치 결정에 있어서 경중률 적용에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, Vol. 4, No. 2, pp.143-150.
70. 연세대학교, 2003, SAR와 고해상 위성 영상 처리에 의한 홍수재해 Monitoring,

연구보고서.
71. 유병옥, 김경석, 전상수, 장현익, 2004, 최근 2년간의 태풍 및 집중호우로 인한 고속국도 사면 붕괴 및 관리대책, 한국지반공학회 2004년 사면안정 학술발표회 논문집, pp. 113-130
72. 유복모, 2007, 사진측량학 제5판, 문운당, 32-37, 48-49, 245-246
73. 유복모, 박운용, 양인태, 1983, 사진측정기법을 이용한 사면의 경사와 주향결정에 관한 이론적 고찰, 대한토목학회 논문집, Vol. 3, No 3, pp.129-135.
74. 유충식, 나재술(2002). “A-볼트 보강 낙석방지망”, 한국지반공학회지, 제18권 제10호, pp.24～30
75. 윤지선, 이선복(2004), “사면안정처리(낙석방지) 설계실무 편람”, 반석기술
76. 윤호중, 2006, Landslide Hazard Management System using GIS, 동아시아 산사태 심포지엄 2006 논문집, pp. 99-127
77. 이상근, Acoustic Emission에 의한 암석의 파괴원 위치결정과 미소파괴 메커니즘에 관한 연구, 강원대학교
78. 이승호 외 1명, (2004.11), 집중호우시 군사시설물이 설치된 사면의 안정성평가에 관한 연구, 한국지반환경공학회 논문집, 제5권, 제4호
79. 이승호 외 2명(2003), 강원산간지방 도로확장 대절토부 사면안정 처리에 관한 연구, 한국지반공학회 봄 학술발표회 사면안정 분야
80. 이승호(2004), 집중호우시 군사시설물이 설치된 사면의 안정성평가에 관한 연구, 한국지반환경공학회 논문집, 제5권, 제4호
81. 이승호(2007), 인공강우장치를 이용한 실내모형토조 실험에 대한 기초연구, 제33회 대한토목학회 정기학술대회, Vol.C, pp.38
82. 이승호, 2006, 낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발, 2005년도 강원권 지역특성화연구개발사업 제1차년도 중간보고서, 653p.
83. 이승호, 황영철, 심석래, 정태영, 2005, 3차원 영상처리를 이용한 암반 사면의 절리 측정에 관한 연구, 2005년도 지반공학회 춘계학술발표회 논문집, 854-851.
84. 이승호, 황영철, 정태영, 심석래, 2005, 3차원 영상처리를 이용한 암반 사면의 절리 측정에 관한 연구, 한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집
85. 이용주, 나승민, 황영철, 유병옥(2008), “고장력 경강선 단수에 따른 낙석방지울타리의 낙석흡수에너지 평가”, 대한토목학회 정기학술대회 발표논문 초록집 Vol. C, pp.37

86. 이용희, 김종렬, 2004, 로지스틱 회귀분석을 통한 암반사면의 안정성 평가법 제안, 터널과 지하공간 14권 2호, pp.133-141.
87. 이종구, 이용주, 나승민, 유병옥, 황영철(2008), “고장력 선재를 적용한 고성능 낙석방지망”, 대한토목학회 정기학술대회 발표논문 초록집 Vol. C, pp.41
88.이인모·이주공·김영옥(2001), 사면의 지하수 흐름에서 Bayesian 이론을 이용한 매개변수 추정, 한국지반공학회
89. 이재기, 1986, 비측정용 사진해석에 의한 좌표 해석, 연세대학교 대학원, 공학박사 학위논문, 106p.
90. 이종구, 이용주, 나승민, 유병옥, 황영철(2008), “고장력 선재를 적용한 고성능 낙석방지망”, 대한토목학회 정기학술대회 발표논문 초록집 Vol. C, pp.41
91. 이창우, 2004, 암반절개사면의 붕괴위험도 판정, 한국임학회지 93(1), pp.95~102.
92. 이천용, GIS를 이용한 산사태 위험지도 작성기법 개발 / 外著 2002 山林科學論文集 통권 제65호 (2002. 12) pp.1-10 山林廳林業硏究院 634.905 ㅇ992
93. 이훈열, 채희삼, 한향선, 전경미, 안영진, 2005, 위성자료공공활용연구 : SAR활용정책 연구, 연구보고서.
94. 장용채, 전경수, 김상균(1995), “암반사면의 낙석방책 적정성에 관한 연구”, 시공사례 학술발표집(단행권), 한국지반공학회, pp.112～130
95. 전근우・김윤진・염규진. 2007. 유목톱밥을 이용한 리사이클 녹화공법 개발 -실내 인공강우 실험을 중심으로-. 학술림연구지 27 : 24-32.
96. 전근우・김재헌・여상용. 2005. 환경친화적 사방용 식생자루 개발. 157pp.
97. 전근우・문진희・김진용・염규진・김경남・김재헌・江崎次夫. 2004. 모형비탈면을 이용한 비탈면의 물리적 안정성 파악. 학술림연구지 24 : 42-50.
98. 전근우・문진희・염규진・박완근・차두송・김재헌・江崎次夫. 2004. 일본에 있어서 재래목본식물을 이용한 도로 절취비탈면 녹화. 2004년도 사단법인 한국임학회 학술연구 발표논문집 : 328-330.
99. 전근우・이상용・염규진・김윤진・江崎次夫. 2007. 재래 목본류(파종)에 의한 법면 녹화 -일본 시코쿠지방 도로법면의 시공사례를 중심으로-. (사)한국지반환경공학회 2007 정기총회 및 학술발표회 : 399-401.
100. 전근우・이상용・염규진・김윤진・江崎次夫. 2007. 절토비탈면에 있어서 중・저목의 향토수종에 의한 조기수림화 -일본 에히메현의 사례를 중심으로-. (사)한국

지반환경공학회 2007 정기총회 및 학술발표회 : 391-397.
101. 전근우・전기성・박완근・김홍식・김영설・염규진・江崎次夫. 2006. 고속도로 암반비탈면의 녹화공법 적용성 시험연구(Ⅱ) -화강풍화토비탈면의 녹화식물의 피도를 중심으로-. 2006년도 사단법인 한국임학회 학술연구 발표논문집 : 415-417.
102. 전근우・전기성・염규진・김석우・김진용・남상준・김경훈・문진희・江崎次夫. 2006. 고속도로 암반비탈면의 녹화공법 적용성 시험연구(Ⅰ) -화강풍화토비탈면의 비탈면 침식을 중심으로-. 2006년도 사단법인 한국임학회 학술연구 발표논문집 : 412-414.
103. 정대욱, GIS환경에서 강우의 공간적 분포를 고려한 산사태 분석에 관한 연구 : 부산 황령산 일대를 사례로/ 부산대 대학원 2003 624.151 ㅈ185g iv, 62p. 석사
104. 정의송(2001), Seismic landslide hazard map construction using GIS techniques 서울대 대학원 2001 624.151 ㅈ296s 53 p. 학위논문(석사)
105. 조성은·이승래(2000), 강우침투에 따른 불포화 토사사면의 안정해석, 한국지반공학회
106. 조혁기, 삼축압축하에서 탄성파 전파속도의 이방성을 고려한 미소파괴음의 3차원 음원 추적, 서울대학교 대학원, 2001
107. 지상라이다 장비를 이용한 사면지형분석/최승필 한국측량학회 춘계학술발표회 (2010.04) pp.291
108. 지상라이다장비를 이용한 사면지형에 대한 모니터링 기법/최승필 방재연구 제11권 제3호 통권 43호 (2009. 09) pp.45-55 국립방재연구소.
109. 지상라이다장비를 이용한 해안선의 변화량 산정 /최승필 2010 한국지형공간정보학회지 (2010. 09) pp.179
110. 지형 및 토질특성을 고려한 산사태 예측 /김경수 2001 한국지질자원연구원 논문집 제5권 제4호 (2001. 12) pp.29-41 한국지질자원연구원 553 ㅎ155
111. 지형 자료를 이용한 산사태 분석에 관한 연구/金鍾勳 明知大 大學院 1994 551.302 ㄱ868ㅈ 56 p. 학위논문(석사)
112. 지형정보시스템을 이용한 산사태 예측 /강인준 外 1993 한국측지학회지 11,2(\'93.12) pp.53-58 한국측지학회 620 ㅎ155
113. 집중호우시 산사태 원인분석에 관한 사례연구/이성근 강원대 산업대학원 2000 624.151 ㅇ744ㅈ 99 p. 학위논문(석사)

114. 천성열, 이승호(2008), "낙석방지망 인발시험을 이용한 PVC망과 Expanded Metal 특성에 관한 연구", 한국지반공학회 논문집 제10권 4호, pp.49~57
115. 최도연, GIS에 의한 산사태의 위험도 분석/ 충남대 교육대학원 2000 624.151 ㅊ165g 51 p. 학위논문(석사)
116. 최형일, 1997, 컴퓨터 비전 입문, 홍릉과학 출판사, 236p.
117. 충남지역의 강우 특성이 산사태에 미치는 영향/정석완 大田産業大 産業大學院 1999 627.4 ㅈ245ㅊ 77 p. 학위논문(석사)
118. 토석류 산사태(Debris Flow)의 발생원인과 예측 /김원영 2001 방재연구 제3권 제4호 통권 12호 (2001. 12) pp.4-14 국립방재연구소 693.82 ㅂ385
119. 토질특성에 의한 산사태 가능성 예측 분석/이문세 충남대 대학원 2001 624.151 ㅇ676ㅌ 75 p. 석사
200. 폭우시 산사태 특성에 관한 연구 :암종에 따른 특성 연구/박지호 서울시립대 대학원 2003 624.151 ㅂ327ㅍ v, 59p. 석사
201. 한계레21, 2008, 보도자료.
202. 한국건설기술연구원(1999), "도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용 연구"
203. 한국도로공사, 암반사면의 낙석방책 적정성에 관한 연구
204. 한국시설안전공단, 낙석방지울타리 낙석지지능력 평가방안 수립 및 성능개선 기술개발
205. 허종석, 삼축 압축 하에서 암석의 미소파괴음 측정과 변형 파괴 특성, 서울대학교 대학원, 2001
206. 홍원표, 김원영, 송영석, 임석규(2004), 인공신경망모델을 이용한 산사태 예측, 한국지반공학회논문집, 제20권 , 제8호 , pp. 67-76
207. 홍창우, 암석-콘크리트 전단면의 변형 및 파괴특성에 관한 연구, 서울대학교 대학원, 2001
208. 황상기, 유병옥, 2005, 사진을 이용한 대사면의 지질구조 측정, 한국지반환경공학회 2005 기술위원회 워크샵 논문집, pp. 91-99
209. 황석훈, GSIS를 이용한 산사태 지역의 분석 및 위험도 작성/ 강원대 대학원 2002 624.151 ㅎ266g 64p. 석사
210. 황영철(2002), "도로 낙석방지울타리의 낙석지지능력 평가연구", 한국지반환경공학회 논문집 제3권 제4호, pp.59~66

211. 황영철(2004년 11월), 도로 절토사면 산마루측구 배수성능에 따른 사면안정성 평가, 한국지반환경공학회 논문집, 제5권, 제4호

212. 황영철(2005), “Development and Performance Evaluation of the Expanded Metal Rockfall Protection Fence, 한국지반환경공학회 논문집, 제6권 제3호, pp.35～45

213. 황영철(2005), “낙석방지울타리 성능평가 방법의 표준화 방안”, 대한토목학회 정기학술대회 암반공학분야, pp.43

214. 황영철, 이승호, 김태남, 최용기(2003), “팽창메탈형 낙석방지울타리의 개발 및 성능평가”, 한국지반환경공학회 학술발표회 논문집, pp.125～133

215. 황영철, 이승호, 노홍제, 우상백, 신주역(2004), “팽창메탈형 낙석방지울타리의 개발 및 성능평가”, 한국지반공학회 봄학술발표회 논문집

216. 落石防止防護工法(1984), 理工図書, 三上善藏, pp.23～44

217. 日本道路協會(1999), 道路土工 のり面工・斜面安定工指針

218. 日本道路協會(2000), 落石對策便覽

219. 鐵道綜合技術研究所-709(1999), 落石對策技術マニュアル, pp.98～125.

220. 岩盤AE計測最終報告書, 飛島建設, 塩谷智基

221. アコースチックエミッション試驗 1 (Acoustic Emission Testing), (社) 日本非破壞檢查協會, 阿 部 節 失

222. 日本道路協會, 道路土工 のり面工 ・ 斜面安定工指針

223. Kampes, B. and Usai, S., 1999, Doris : The Delft object-oriented Radar Interferometric software. Proceedings ITC 2nd ORS symposium, ITC, Enschede, The Netherlands.

224. Takahashi,T.(2007), Debris Flow : Mechanics, Prediction and Countermeasures, 448p, Taylor&Francis, London, UK

225. Study of Rainfall Induced Landslides on Natural Slopes in the Vicinity of Tung Chung New Town, Lantau Island, by C.A.M. Franks (1998), 102p. plus 3 drgs.

226. Baecher, G.B. and Lanny, N.A. (1978) Trace length biases in joint survey. Proc. 19th US Symp. on Rock Mechanics, 56-65.

227. A mucrinacgubed vibrating gyroscope, K.Tanaka, et.al., 1995

228. Abdel-Aziz, Y. and Karara, H.M., 1971, Direct linear transformation from

comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry, Papers from the American Society of Photogrammetry Symp. on Close Range Photogrammetry, Urbana, Illinois, 433, pp.1-18.

229. Aczel, J. and Saaty, T.L. (1983), "Procedures for synthesizing ratio judgments", Journal of Mathematical Psychology, 27[1], pp.99-102.

230. Aleotti, P and Chowdhury, R. (1999) Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. Bull. Eng. Geol. Env. 58, 21-44.

231. American Association of State Highway and Transportation Officials, (1986)

232. Anderson,S.A., Sitar,N.(1995). Analysis of Rainfall-induced Debris flows J. of 233.Geotech. Eng. Vol 121, No. 7, pp. 544-552.

234. Andreas P. Briner et al, 1999, FieldBook and GeoDatabase: tools for field data acquisition and analysis, Computers & Geosciences 25 (1999) 1101-1111

235. Atkin,R.J., Craine,R.E.,(1976). Continuum Theories of Mixtures : Baxic Theory and Historical Development, Quarterly J. of Mechanics and Applied Mathematics, Vol. 29, No. 2, pp. 209-244.

236. Azzoni, A., Chiesa, S., Frassoni, A and Govi, M., The Valpola landslide, Engineering Geology, 33: 1992

237. Azzoni, A., Chiesa, S., Frassoni, A and Govi, M., The Valpola landslide, Engineering Geology, 33: 1992

238. Baby, H.B., Gole, P. and Lavergnat, J., 1988, A model for the tropospheric excess path length of radio waves from surface meteorological measurements, Radio Science, vol.23, no.6, pp.1023-1038.

239. Bae, S.H., 2001, The component development of digital close range photogrammetry for the construction structure displacement analysis, New Technology for a New Century, Int. Conf. of FIG Working Week 2001, Seoul, Korea, May, 2001

240. Baecher, G. B. (1983), "Statistical analysis of rock mass fracturing". J. Math. Geol. 15(2), 329-347.

241. Baecher, G.B., Lanney, N.A. and Einstein, H.H. (1977) Statistical description of rock properties and sampling. Proc. 18th US Symp. on Rock Mechanics, 5C1, 1-8.

242. Baek, S. H., 2006, DEM Generation and ocean tide modeling over Sulzberger Ice Shelf, West Antarctica, using synthetic aperture radar interferometry, Ph.D. Dissertatioin, The Ohio State University, America.

243. Baker, R. F., and Chieruzzi, R. (1959), “Regional Concept of Landslide Occurrence”, Bulletin No. 216, Highway Research Board, pp. 1-16.

Bardet, J. P., Experimental Soil Mechanics, Prentice Hall, New Jersey, 1997, 583pp.

244. Barzilai, J., Cook, W.D., Golany, B. (1987), "Cnsistent weight for judgments matrices of the relative importance of alternatives", Operations Research Letters, 6[3], pp.131-134.

245. Bingham, C. (1964), Dispersions on the sphere and on the projective plane. Ph.D. Thesis. Yale University.

246. Bishop, A. W. (1955), “The Use of Pore Pressure Coefficient in Practice”, Geotechnique, Vol. 5, pp. 7-17.

247. Booche, F. and Heinz, G., 1996, Generation and use of digital surface models for volumetric objects, IAPRS, Vol., 31, Part B3, Commission III, pp.70-76.

248. Brand, E.W. (1988) Landslide Risk Assessment in Hong Kong. Proc. Fifth Int. Symp. on landslides, Vol. 2, 1059-1074.

249. BRAWNER, C. O.(1994), Rockfall Hazard Mitigation Methods. Participant Workbook: FHWA Report. FHWA-SA-93-085

250. Brown, C. B., and Sheu, M. S. (1975), “Effects of Deforestation on Slopes”, J. of Geotech. Eng. Div., ASCE, Vol. 101, No. 1, pp. 147-165.

251. Carrasco, D., Sanz., S., Sousa, R. and Broquetas, A., 1996, The Developing of a Wide Area Interferometric Processor. Proc. FRINCE 96 Workshop, Zurich, Switzerland, pp.193-201.

252. Castlman, K.R., 1996, Digital Image Processing, Prentice-Hall, pp.586-588.

CEN (1994). Eurocode 7 : Geotechnical Design - Part 1 : General Rules. (ENV 1997 - 1). European Committee for Standardization, 123p.

253. D. Pfoser and N. Tryfona (2000), "Fuzziness and Uncertainty in

Spatiotemporal Applications", Chorochronos Technical Report, CH-00-4
254. D. Pfoser, C. S. Jensen (1999), "Capturing the Uncertainty of Moving Object Representations", Proc. of Advances in Spatial Databases, 6th International Symposium, SSD'99, pp.20-23
255. D. Pfoser, C. S. Jensen and Y. Theodoridis (2000), "Novel Approaches in Query Processing for Moving Objects", Proc. of the VLDB Conference, pp.395-406
256. Davis,J.J.(2000), Gravity-Driven Consolidation of Granular Slurries - Implications for Debris-flow Deposition and Deposit Characteristics, J. of Sedimentary Research, Vol.70, No.1 pp.64-83
257. DCS, Inc. 1998, Sub-pixel target accuracy study, DCS, Inc.
258. Evaluation of long-term stability for rock slope by means of Acoustic Emission technique, NDT&E international 39(2006) 217-228, T.Shiotani
259. Ewan, V.J. and West, G., 1981, Reproducibility of joint orientation mesurements in rock, TRRL report SR702, Transport and road research laboratory, Crowthorne.
260. Farr, T. G., Rosen P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., Alsdorf, D., 2007, The Shuttle Radar Topography Mission, AGU.
261. G. Gallerini et al, 2005, Landslide field mapping with tablet PC: a new integrated approach, Landslides and Avalanches ICFL 2005 Norway
262. Gabriel, A.K. and Goldstein, R.M., 1988, Crossed orbit interferometry : theory and experimental results from SIR-B, Int. j. of Remote Sens., vol.9, no.5, pp.857-872.
263. Ge, L., Ng, A., Wang, H., and Rizos, C., 2008, Crustal Deformation in Australia Measured by Satellite Radar Interferometry Using ALOS/PALSAR Imagery, Journal of Applied Geodesy. Volume 3, Issue 1, pp.47 - 53
264. Gens, R. and Genderen, Van., 1996, SAR interferometry : issues, techniques, applications. In : International Journal of Remote Sensing, vol.17, no.10,

pp.1803-1835.

265. GEO (1984). Geotechnical Manual for Slopes. (Second edition). Geotechnical Control Office, Hong Kong, 295p.

266. Ghiglia, D.C. and Pritt, M.D., 1998, Two-dimensional phase unwrapping : Theory, Algorithms and Software, Wiley, New York.

267. Goldhirsch, J. and Rowland, J.R., 1982, A tutorial assessment of atmospheric height uncertainties for high-precision satellite altimeter missions to monitor ocean currents, IEEE trans. Geosci Remote Sens., vol.20 no.4, pp.418-433.

268. Hagberg, J. O., Ulander, L. M. H. and Askne, J., 1995, Repeat-pass SAR interferometry over forested terrain, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol.33, pp.331-340.

269. Hanssen, R. and Bamler R., 1999, Evaluation of Interpolation Kernels for SAR Interferometry, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol.37, no.1, pp.318-321.

270. Hanssen, R., 2001, Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis, Kluwer Academic Publisheers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 308.

271. Hoek, E. & Bray J., 1981, Rock Slope Engineering, Institute of Mining and Metallurgy.

272. Hoek, E.(1998), Rock Engineering - Caurse notes by Evert Hoek, pp.115~123

273. Hopfield, H. S., 1971, Tropospheric effect on electromagnetically measured range: prediction from surface weather data, Radio Sci., vol.6, pp.20-241.

274. Hungr, O. & Evans, S. G.(1988), "Engineering Evaluation of Fragmental Rockfall Hazard", Proc. 5th Int. Symp. Landslide, Lausanne, pp.685~690

275. IDTechEx 2005, "An Introduction to RFID and Tagging Technologies", www.idtechex.com

276. Iverson,R.M(1997)., The Physics of Debris Flows, Review of Geophsics, V.35, No.3, pp245-296,1997

277. Jakob,M(2005), A Size classification for debris flow, Engineering Geology, Vol.79, pp.151-161

278. Jakowski, N., Bettac, H. and Jungstand, A., 1992, Ionospheric Corrections for Radar Altimetry and Geodetic Positioning Techniques, Proc. of Symp.

Refraction of Transatmospheric Signals in Geodesy, The Hague, pp.151-154.

279. Kim Gi-Hong, Sohn Hong-Gyoo, Song Yeong-Sun, 2006, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, v.21 no.5, pp. 346-356

280. Kwoh, I.K., Chang, E.C., Heng, W.C.A. and Lim, H., 1994, DTM generation from 35-days repeat pass ERS-1 interferometry, Proceedings of IGARSS 1994, CA, pp.2288-2290.

281. Li, F.K. and Goldstein, R.M., 1990, Studies of Multibaseline Spaceborne Interferometric Synthetic Aperture Radars, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol.28, no.1, pp.88-97.

282. Lofroth, H., The May 1997 landslide in soft clay Vagnharad, Sweden, In: Hervas J.(ed), 2003

283. Massonnet, D. and Fiegl. K., 1995, Satellite Radar Interferometric Map of the Coseismic Deformation Field of the M=6.1 Eureka Valley, Calif. Earthquake of May 17, 1993., Geophys. Res. Lett. vol.22 pp.541-544.

284. Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Fiegl, K., and Rabaute, T., 1993, The displacement field of the Landers Earthquake mapped by radar interferometry. Nature, vol.364, pp.138-142.

285. Mckittfick, D.P. "Reinforced earth : Appricaion of Theory and Research to practice." Symposium on Soil Reniforcin and Stabilization Techniques, Sydeny, Australlia, Oct. 16 1978.

286. METRO Group, ""RFID: Uncovering the Value ; Applying RFID within the Retail andConsumer Package Goods Value Chain", Metro Group, 2004

287. Mitchell, J. K. and Villet, W. C. B. (1986). "National Cooperative Highway Reaserch Program Project 24-2, of Earth Slope and Embankments." Vol. Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ and Appendix , Department.

288. Newmark NM, "Effects of Earthquakes on Dams and Embankments", fifth Rankine lecture. Geotechnique 15(2) pp.139~143. 1965

289. Niven, P.R., "Balanced Scorecard Step-by-step:Maximizing Performance and maintaining Results." John Wiley & Sons, 2003

290. Parker, D., Natural Disaster management, Tudor Rose, Leicester, 1999

291. Paronuzzi, P.(1989), "Probabilistic approach for design optimization of rockfall protective barrier", Quaterly J. Engineering Geolgy, 22. pp.135～146.
Raney, R.K., Runge, H., Bamler, R., Cumming, I.G. and Wong, F.H., 1994,
292. Precision SAR processing using chirp scaling, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol.32, pp.786-799.
293. RFID Journal ,Alien debuts Gen 2 Interrogator, www.rfidjournal.com, 2005
Romana M., 1985, New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes, Proc. Int. Symp. on the role of rock mechanics, Zactecas, pp.49～53.
293. Romana M., 1988, Practice of SMR classification for slope appraisal, Proc. Int. Symp. on Landslides, Lausanne, Balkema, Rotterdam, pp.1227～1229.
294. Romana M., 1993, "A Geomechanical classification for slopes: Slope mass rating", Comprehensive rock engineering, ed. Hudson, Pergamon Press, chpt. 23, pp575～600.
295. Romana, M., Jose, B. & Montala E, 2003, SMR Geomechanics classification : Application, experience and validation, ISRM2003-Technology roadmap for rock mechanics,South African Institute of Mining & Metallurgy.
296. Saastamoinen, J., 1973, Contribution to the theory of atmospheric refraction, Bull. Geodes., vol.107, pp.13-349.
297. Sarma SK, "Seismic Stability of Earth Dams and Embankments",eotechnique 25(4) pp.743~751. 1975
298. Sassa,K.(1985), The Mechanism of Debris Flow, Proceedings of the 11th Intl. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp.1173-1176, A.A.Balkema, Rotterdam, Netherlands
299. Schmidt, B. (1966). "Earth Pressures at Restrelated to Stresses History." Canadian Geotech. Jour., Vol. Ⅲ. No. pp. 239-242
300. Seymour, M.S., 1999, Refining Low-Quality digital elevation methods using synthetic aperture radar interferometry, The University of British Columbia, Ph.D. Dissertation.
301. Singhroy, V. and Molch, K., 2004, Characterizing and monitoring rockslides

from SAR techniques. Advances in Space Research, vol.30, no.3, pp.290-295.
302. Smith, E.K. and Weintraub, S., 1953, The constants in the equation for atmospheric refractive index at radio frequencies, Proc, IRE, vol.41, pp.1035-1037.
303. Sohn, H.G., Heo, J., Yoo H.H., Kim S.S. and Cho H.S., 2008, Hierarchical Multi-Sensor Approach for the Assessment of Flood Related Damages, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing XXI Congress, Beijing China, pp.207-210.
304. Sonmez, H., C. & Ulusay R., 2000, Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes, Int. J. Rock Mech. Min. Sci 36 pp.743-760.
305. Spang, R, M.(1995), "Optimized Rockfall Protection by Rockfall", 8th int. Rock Mesh., pp.1233～1242
306. SRI Consulting, "RFID Technologies", SRI Consulting Business Intelligence, 2004
307. Steven L.Kramer, “Geotechnical Earthquake Engineering”, pp.423~465. 1996
308. Teledata GeoConsult Gmbh-srl, 2003, Monitoring of unstable slopes in the Italian Alps based on remote sensing. Executive Summary, ESA/ESRIN, Frascati, Italy.
309. Tennessee Department of Transportation(1990), Special provision regarding wire rope rock retaining system
310. Tobita, M., Fujiwara, S., Oxawa, S., Rosen, P. A., Fielding, E. J., Werner, C. L., Murakami, M., Nakagawa, H., Nitta, K. and Murakami, M., 1998, Deformation of the 1995 North Sakhalin earthquake detected by JERS-1/SAR interferometry, Earth Planets Space, vol.50, pp.313-325.
311. Tomoki Shiotani & Masayasu Ohtsu, Detection and Evaluation of AE Waves due to Rock Deformation, Construction and Building Materials 15 (2001) 235-246
312. Tomoki Shiotani, Damage Evaluation for Railway Structures by means of Acoustic Emission, Key Engineering materials Vols. 270-273 (2004) 1622-1630
313. Trans Tech Publications, Switzerland.

314. TRB(1996), Landslides, Investigation and mitigation, Special report 247

315. Triplet, J.P. and Roche, C., 1983, Meteorolghie generale, Meteofrance, pp.300.

316. Tserng, H. Ping, Dzeng, Ren-Jye, Lin, Yu-Cheng, Lin, Sheng-Tai, 2005,Mobile Construction Supply Chain Management Using PDA and Bar Codes,Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, v.20 no.4, pp. 242-264

317. Varnes,D.J.(1978), Landslides : Analysis and Control, TRB sp.17

318. Vietmeier, J., Wagner, W. and Dikau, R., 1999, Monitoring moderate slope movements in the southern French Alps using differential SAR interferometry, Proc. 2^{nd} International Workshop on ERS SAR Interferometry, FRINGE 99, Liege, Belgium.

319. Ward, M. J. Thorpe, A. Price, A. D. F. Wren, C. 2003, Mobile Wireless Data Capture for Piling Works, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, v.18 no.4, pp. 299-312

320. Zebker, H.A. and Goldstein, M., 1986, Topographic Mapping From Interferometric Synthetic Aperture Radar Observations, J. Geophys. Res., v.91, pp.4993-4999.

321. Zebker, H.A. and Villasenor, J., 1992, Decorrelation of interferometric radar echoes, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol.30, no.5, pp.950-959.

322. Zebker, H.A., Rosen, P.A. and Hensley, S., 1997, Atmospheric effects in interferometric synthetic aperture radar surface deformation and topographic maps, J. Geophys. Res., vol.102 no.B4, pp.7547-7563.

323. Zebker, H.A., Werner, C., Rosen, P.A. and Hensley, S., 1994, Accuracy of topographic maps derived from ERS-1 interferometric radar, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol.32, no.4, pp.823-836.

주 의 사 항

1. 본 보고서는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업의 중간 연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 : 한국건설교통기술평가원 TEL 031)381-6311
■ 문의처 : 상지대학교(주관연구기관) TEL 033)738-7588
■ 문의처 : 강원대학교(협동연구기관) TEL 033)250-8313
■ 문의처 : (주) 이 산 (협동연구기관) TEL 031)389-0011
■ 문의처 : 한국건설기술연구원(공동연구기관) TEL 031)910-0228
■ 문의처 : 한국시설안전기술공단(공동연구기관) TEL 031)910-4257
■ 문의처 : 한국지질자원연구원(공동연구기관) TEL 042)868-3247
■ 문의처 : 연세대학교(공동연구기관) TEL 02)2123-2809
■ 문의처 : 관동대학교(공동연구기관) TEL 033)670-3316
■ 문의처 : 한국도로공사(공동연구기관) TEL 031)371-3371
(주) 희송지오텍 TEL 02)576-3801
극동엔지니어링(주) TEL 031)478-5808
(주) 삼보기술단 TEL 02)3433-3357
■ 문의처 : (주)유경기술단(공동연구기관) TEL 02)3432-5282

R&D / 05-지역혁신 B02-01

국토해양부 지역기술혁신사업(강원권역) 제5차년도 최종 연구보고서

■ 발행일 / 2010. 11. 3.

■ 발행처 / 상지대학교 산학협력단
강원도 원주시 우산동 상지대학교 660번지 낙석 및 산사태 방재연구단
TEL : 033-738-7588(대)