발간등록번호
11-B552989-000467-01

최종보고서

보안등급 : 일반[✔], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	건설기술연구사업
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명	재난·재해 대비 시설물 유지관리 및 건설안전 기술
공고번호	공고-제09호	총괄연구개발 식별번호		21SCIP-C151408-03
		연구개발과제번호		21SCIP-C151408-03
국가과학기술 표준분류	EI1101	60%	EI0201	20%	EI1105	20%
총괄연구개발명	국문	비탈면 대상 조사·점검·개선 및 보강시설 노후화 대응 기술 개발		
	영문	Development of technology for response of slope investigation, inspection and reinforcement facility deterioration		
연구개발과제명	국문	비탈면 대상 조사·점검·개선 및 보강시설 노후화 대응 기술 개발		
	영문	Development of technology for response of slope investigation, inspection and reinforcement facility deterioration		
주관연구개발기관	기관명	한국건설기술연구원	사업자등록번호	229-82-01135
	주소	(10223) 경기도 고양시 고양대로 283	법인등록번호	111241-0002284
연구책임자	성명	권오일	직위	연구위원
	연락처 직장전화	031-910-0512	휴대전화	010-2586-5125
	연락처 전자우편	kwonoil@kict.re.kr	국가연구자번호	1084 1850
연구개발기간	전체	2019. 04. 08 - 2021. 12. 31 (2년 9개월)		
	1년차	2019. 04. 08 - 2019. 12. 31 (9개월)		
	2년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31 (1년)		
	3년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31 (1년)		

연구개발비 (단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				지방자치단체		기타( )					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	4,780,000	160,000	1,440,000					4,940,000	1,440,000	6,380,000	
1년차	954,000	32,000	288,000					986,000	288,000	1,274,000	
2년차	2,391,000	80,000	720,000					2,471,000	720,000	3,191,000	
3년차	1,435,000	48,000	432,000					1,483,000	432,000	1,915,000	

공동연구개발기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고 역할	비고 기관유형
공동연구개발기관	세종대학교 산학협력단	이 종 재	교수	02-3408-3290	jongjae@sejong.ac.kr		
	산림조합중앙회 산림종합기술본부	김 만 일	책임연구원	042-341-1026	mikim@nfcf.or.kr		
	(주)유디엔에스	김 종 우	CTO	031-525-3900	roadload2014@gmail.com		
	(주)지오메카이엔지	채 휘 영	대표이사	031-898-2400	ihsgeo@naver.com		
	상지대학교 산학협력단	황 영 철	교수	033-730-0477	ychwang@sangji.ac.kr		
	한국건설생활환경시험연구원	김 주 형	책임연구원	02-2102-2756	kjhmole@kcl.re.kr		
위탁연구개발기관	Univ. of Exeter	구 기 영	부교수	+44 1392725546	k.y.koo@exeter.ac.uk		
연구개발기관 외 기관							

연구개발담당자 실무담당자	성명	김우석	직위	수석연구원
	연락처 직장전화	031-910-0519	휴대전화	010-5443-9043
	연락처 전자우편	kws@kict.re.kr	국가연구자번호	1112 3483

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 1 월 25 일

연구책임자: 권 오 일 (인)

주관연구개발기관의 장: 한국건설기술연구원 김 병 석 (직인)

공동연구개발기관의 장: 세종대학교 산학협력단 송 진 우 (직인)

공동연구개발기관의 장: 산림조합중앙회 산림종합기술본부 정 영 덕 (직인)

공동연구개발기관의 장: ㈜유디엔에스 김 성 일 (직인)

공동연구개발기관의 장: ㈜지오메카이엔지 채 휘 영 (직인)

공동연구개발기관의 장: 상지대학교 산학협력단 홍 유 식 (직인)

공동연구개발기관의 장: 한국건설생활환경시험연구원 조 영 태 (직인)

위탁연구개발기관의 장: University of Exeter Chrysten Cole (직인)

DocuSigned by:
Chrysten Cole
FD9629F377CA443...
06 January 2022 | 14:10 GMT

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요 약 문 >

<table>
<tr><td colspan="2">사업명</td><td colspan="3">건설기술연구사업</td><td>총괄연구개발 식별번호</td><td colspan="3">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명</td><td colspan="3">-</td><td>연구개발과제번호</td><td colspan="3">21SCIP-C151408-03</td></tr>
<tr><td colspan="2">국가과학기술
표준분류</td><td>EI1101</td><td>60%</td><td>EI0201</td><td>20%</td><td>EI1105</td><td>20%</td></tr>
<tr><td colspan="2">총괄연구개발명</td><td colspan="6">비탈면 대상 조사·점검개선 및 보강시설 노후화 대응 기술 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명</td><td colspan="6">비탈면 대상 조사·점검개선 및 보강시설 노후화 대응 기술 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="6">2019. 04. 08 - 2021. 12. 31(2년 9개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="6">총 6,380,000 천원
(정부지원연구개발비 : 4,780,000 천원, 기관부담연구개발비 : 1,600,000 천원,
지방자치단체 : 0 천원, 그 외 지원금 : 0 천원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="3">기초[ ] 응용[ ] 개발[✔]
기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]</td><td>기술성숙도</td><td colspan="2">착수시점 기준(III)
종료시점 목표(V)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형</td><td colspan="6">지정공모 [✔] 자유공모 [ ]</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성</td><td colspan="6">실용화</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구
개발
목표
및
내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="6">자연사면 구간을 포함하는 비탈면 지형 및 속성정보의 3차원 도면화 기술 기반의 위험/취약부 자동추출 및 평가 기법을 개발하고, 현장에서 간편하게 토층심도 등 지층정보를 조사/분석할 수 있는 장비 개발을 통하여 지금까지 인력에 의존하던 비탈면 조사, 점검 기술을 첨단장비 기반 기술로 선진화하고자 함. 또한 비탈면 보호·보강시설과 계측/모니터링 장비의 성능평가법을 표준화하고 유지관리 이력정보 기반의 사용성능 평가기준을 정량화함으로써 보다 체계적인 비탈면 유지관리 가이드라인을 제시하고자 함</td></tr>
<tr><td>전체 내용</td><td colspan="6">○ 비탈면 정보 3차원 도면화를 통한 위험/취약부 자동추출 기술
: 드론(UAV)에서 취득한 영상정보를 photogrammetry 방법을 이용하여 3차원으로 도면화하고, 해당 지형정보를 이용하여 대상 비탈면과 연접한 산지 취약사면을 포함하는 확장된 비탈면 영역의 위험/취약성 평가기법을 개발함. 3차원 영상기반 위험/취약부 추출 결과를 중심으로 비탈면 위험/취약 평가표 개정(안)에 적용함. 기존 절토사면 유지관리시스템(CSMS)의 비탈면 속성정보(DB)와 연계하여, 실무 비탈면 조사, 점검, 평가 업무에 활용할 수 있는 개선된 유지관리 기술을 개발함

○ 지반조사용 휴대용 시추기 및 지층정보 자동분석 기술
: 현장점검자가 인력으로 운반 가능한 휴대용 시추장비를 개발하고자 함. 본 장비는 굴진이 가능한 구동부와 비탈면 취약도 평가에 필요한 지층 및 지반정보를 측정할 수 있는 각종 센서를 포함하며, 데이터 전송장치 및 신뢰도 90% 이상의 지반정수 도출이 가능한 데이터 분석 알고리즘이 포함된 전용분석모듈을 포함하고자 함

○ 유지관리 이력정보 기반 비탈면 보호/보강시설 성능평가 기술
: 비탈면 보호·보강시설 성능 평가기술에서는 앵커, 기대기식옹벽, 낙석방지울타리, 낙석방지망, 산마루측구, 수평배수공 등의 비탈면 보호·보강시설에 대한 국내·외 문헌조사, 실내 및 현장시험, 현장 검토, 수치해석 및 관련 전문가 의견 등을 통하여 사용 성능 평가항목을 발굴하고, 관리자로 하여금 정량적 성능 평가가 가능한 보호·보강시설별 성능 평가표 개선(안)을 제시하고자 함. 또한, 3차원 영상정보를 활용하여 빠른 시간에 시설물 손상도 추출이 가능한 자동화 기술을 개발하여 유지관리 이력정보 기반의 성능평가 체계를 구축하고자 함
○ 비탈면 계측/모니터링 장비의 내구수명 사용성능 검인증 기술
: 기존/신규 계측기기에 대해 환경조건을 고려한 성능평가 방법을 도출하고 이를 통해</td></tr>
</table>

			내구수명 평가 등의 신뢰성 분석방법을 제시하여 계측기기 내구성능 평가 방안을 개발하고자 함. 또한, 도출된 성능평가 방안을 장기공용성(옥외폭로 등) 평가, 실내/현장 성능 평가를 통해 문제점을 보완 및 검증하여 실무 보급하고 향후 제도화가 가능한 수준의 비탈면 계측기기 성능평가 매뉴얼을 제시하고자 함
	1년차	목표	(CTE 1) 비탈면 정보 3차원 도면화를 통한 위험/취약부 자동추출 기술 개발 (CTE 2) 휴대용 시추기 및 지층정보 자동분석 기술 개발 (CTE 3) 유지관리 이력정보 기반 비탈면 보호/보강시설 성능평가 기술 개발 (CTE 4) 비탈면 계측/모니터링 장비의 내구수명 사용성능 검인증 기술 개발
		내용	(CTE 1) 비탈면 위험/취약 판정 항목 추출, 3차원 전자도면 자동화 기술, AI학습모델 구축 및 최적화 (CTE 2) 휴대용 시추기 모듈 설계 개발, 디지털 센서 프로브 기술 개발, 현장 통합단말기 설계 (CTE 3) 보강시설 성능 평가항목 도출, 비탈면 유지관리 이력정보 분석 (CTE 4) 비탈면 계측기 성능검사 항목 연구, 환경조건 고려 성능검사 기준 연구
	2년차	목표	(CTE 1) 비탈면 정보 3차원 도면화를 통한 위험/취약부 자동추출 기술 개발 (CTE 2) 휴대용 시추기 및 지층정보 자동분석 기술 개발 (CTE 3) 유지관리 이력정보 기반 비탈면 보호/보강시설 성능평가 기술 개발 (CTE 4) 비탈면 계측/모니터링 장비의 내구수명 사용성능 검인증 기술 개발
		내용	(CTE 1) 비탈면 위험/취약 분석 기법 개발, 3차원 영상자료 위험 인자 자동 추출 (CTE 2) 휴대용 시추기 프로토 타입 제작, 토사층 지층 정보 계측 센서 기술 개발, 계측 센서 검증 및 적용 시험 환경 구축 (CTE 3) 보호/보강시설 평가기준 정량화, 손상도 자동 추출 기술 개발 (CTE 4) 주요 계측기 환경조건별 성능평가, 계측기 장기공용성 평가
	3년차	목표	(CTE 1) 비탈면 정보 3차원 도면화를 통한 위험/취약부 자동추출 기술 개발 (CTE 2) 휴대용 시추기 및 지층정보 자동분석 기술 개발 (CTE 3) 유지관리 이력정보 기반 비탈면 보호/보강시설 성능평가 기술 개발 (CTE 4) 비탈면 계측/모니터링 장비의 내구수명 사용성능 검인증 기술 개발
		내용	(CTE 1) TB적용 및 취약 평가표 제안, 비탈면 취약부 자동추출 프로그램 (CTE 2) 휴대용 시추기 현장 적용, 기기 검증 및 보완 (CTE 3) 정량적 성능평가표 제안, 비탈면 유지관리 가이드라인 제안 (CTE 4) 계측기 성능평가 매뉴얼 제안, 성능평가 기반 유지관리지침 제안
연구개발성과			○ 비탈면 정보 3차원 도면화를 통한 위험/취약부 자동추출 기술 - 비탈면 3차원 전자도면 구축 알고리즘 - 비탈면 위험/취약부 분석 프로그램 - 비탈면 위험/취약 평가표 개정(안) ○ 휴대용 시추기 및 지층정보 자동분석 기술 - 비탈면 지층조사용 휴대용 시추기 - 시추기 지층정보 계측 센서 및 데이터전송 시스템 - 현장시추정보를 이용한 지반정수 자동분석소프트웨어 ○ 유지관리 이력정보 기반 비탈면 보호/보강시설 성능평가 기술 - 비탈면 보호·보강시설별 정량적 성능 평가표 개선(안) - 비탈면 3차원 영상정보 기반 비탈면 보호·보강시설 손상도 자동추출 솔루션 - 이력정보 기반 비탈면 유지관리 가이드라인(안) ○ 비탈면 계측/모니터링 장비의 내구수명 사용성능 검인증 기술 - 환경영향성을 고려한 유지관리 기반 비탈면 계측기기 성능평가 매뉴얼 - 유지관리 기반 계측기기 데이터 분석 가이드라인 - 시설물 성능평가 제도개선(안)
연구개발성과 활용계획 및 기대효과			○ 활용 계획 - 일반국도 도로비탈면 유지관리시스템(CSMS)과 연계 및 업무 프로세스 개선 - 급경사지 및 산사태 위험지역의 현장조사 및 데이터베이스 구축 시 활용 가능 - 비탈면 안전점검/진단/성능평가 전문업체에 기술이전 및 확대보급 - 지반조사 미래원천기술 확보로 관련분야 후속연구 및 기술 확대 재생산에 기여 - 지반조사 전문업체에 장비 및 소프트웨어 패키지 판매를 통하여 수익 창출

	- 시설안전법 상 성능평가 기술의 개정/보완 등 제도화와 실무 매뉴얼 보급 - 국내 비탈면 보호·보강시설 및 계측 장비의 성능인증제도 도입 기준으로 활용 - 장기적으로 제도화를 통하여 성능평가 및 인증사업 추진 ○ 기대 효과 - 비탈면 유지관리 업무의 인력 및 시간적 한계 극복 - 비탈면 및 보호·보강시설의 노후화 및 미래환경·기술수요 변화에 능동적 대응 가능 - 인력기반의 사후적 위험도 평가에서 디지털정보기반의 선제적 평가로 패러다임 전환 - 첨단장비 활용 및 선제적 위험도 평가를 통한 비탈면 유지관리 예산 절감 - 영상처리 기술, 인공지능 기술 등 4차 산업혁명 관련 산업 성장에 기여 - ICT 융합기술 관련 청년일자리 및 성능평가와 인증제도 관련 신규 일자리 창출
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	21	7	4	-	-	17	-	-	-	-	-	-

연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호

국문핵심어 (5개 이내)	3차원 도면화	위험/취약부 자동추출	휴대용 시추장비	비탈면 성능평가	계측장비 내구수명
영문핵심어 (5개 이내)	Three-dimensional drawing	Automatic extraction of risk/weakness department	portable drilling equipment	Performance Evaluation of slope	Measuring device durability

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1

1) 연구개발과제의 최종 목표 ····· 1

2) 연구개발과제의 년차별 목표 ····· 2

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 ····· 5

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 45

1) 연구수행 결과 ····· 45

2) 목표 달성 수준 ····· 82

4. 목표 미달 시 원인분석 ····· 87

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용 ····· 87

2) 자체 보완활동 ····· 87

3) 연구개발 과정의 성실성 ····· 87

5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 ····· 90

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 ····· 93

1) 연구성과 총괄 ····· 93

2) 연구개발성과의 향후 5년간(활용보고서 제출기간) 성과활용 목표·계획 · 98

별첨자료 (참고문헌 등)

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

구분	내용
최종 목표	○ 4차 산업혁명 대응 디지털 기반 국토정보 기술 고도화를 위한 비탈면 조사·점검 및 유지관리 선진화 기술 개발 - 비탈면 정보 3차원 도면화를 통한 위험/취약부 자동추출 기술 개발 - 지반조사용 휴대용 시추기 및 지층정보 자동분석 기술 개발 - 유지관리 이력정보 기반 비탈면 보호/보강시설 성능평가 기술 개발 - 비탈면 계측/모니터링 장비의 내구수명 사용성능 검인증 기술 개발
최종목표의 성격	[CTE 1] 비탈면 정보 3차원 도면 구축 및 위험/취약부 자동추출 S/W (제품 개발) [CTE 2] 휴대용 시추기 및 지층정보 복합계측센서/자동분석 S/W (제품 개발) [CTE 3] 비탈면 보호/보강시설 정량적 성능 평가기준 및 관리 가이드라인 (평가 및 관리기준) [CTE 4] 비탈면 계측기기 성능 검인증 및 제도개선 (검인증 및 제도화)
최종목표 설정근거	[CTE 1] 인력기반 조사/점검의 한계 극복 및 위험도 평가 소요시간의 단축 필요 [CTE 2] 지반조사에 의한 지층정보가 반영되지 않은 구조안정성 평가의 문제점 보완 [CTE 3] 국내 비탈면 보호/보강시설의 사용성능 평가기준의 모호성에 대해 정량화 필요 [CTE 4] 내구수명 미확보된 계측기기의 사용에 따른 계측데이터 신뢰성 확보 필요



2) 연구개발과제의 년차별 목표

○ CTE 1 : 비탈면 정보 3차원 도면화를 통한 위험/취약부 자동추출 기술 개발
- GIS기반 비탈면 3차원 전자도면 구축 알고리즘
- 비탈면 위험/취약부 분석 프로그램
- 비탈면 위험/취약 평가표 개정(안)

○ CTE 2 : 휴대용 시추기 및 지층정보 자동분석 기술
- 비탈면 지반조사용 휴대용 시추기
- 비탈면 지반정보 복합계측센서 및 분석기술

○ CTE 3 : 유지관리 이력정보 기반 비탈면 보호/보강시설 성능평가 기술
- 유지관리 이력정보 기반의 관리대상 비탈면 성능 평가기술
- 비탈면 보호시설 사용성능 평가기술

○ CTE 4 : 비탈면 계측/모니터링 장비의 내구수명 사용성능 검인증 기술개발
- 비탈면 계측 모니터링 장비의 내구수명 사용성능 검인증 기술개발

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	비탈면 정보 3차원 도면화를 통한 위험/취약부 자동추출 기술 개발	비탈면 3차원 전자도면 자동화 시스템 개발	<국내·외> 3차원 전자도면 기술의 소개 수준	3차원 전자도면 실측값대비 정확도 65%이상	1차년도 현장실험검증을 위한 목표	1.5
		비탈면 위험/취약부 자동추출 프로그램 설계	<국내·외> 드론영상 활용 3차원 모델 생성 수준	기본 기능 설계	비탈면 조사/점검을 위한 핵심 기능 설계	1.0
		비탈면 위험/취약 판정항목 추출	<국내> 기술 검증 · 보완단계 <국외> 시장수용 단계	최소 1종	실제 비탈면 위험/취약 항목	1.0
	휴대용 시추기 및 지층정보 자동분석 기술	비탈면 지반조사용 휴대용 시추기	<국내> 기술 검증 · 보완단계 <국외> 시장수용 단계	최소 2m 이상	장비의 경량화, 소형화, 모듈화	4.0
		비탈면 지반정보 복합계측센서 및 분석기술	<국내> 기술 검증 단계 <국외> 현장 적용 단계	80% 이상	비탈면 현장 점검 센서 성능 조사 분석	5.5
	유지관리 이력정보 기반 비탈면 보호/보강시설 성능평가 기술	비탈면 보강시설 성능평가 항목 도출 및 관리실태조사	<국내> 육안점검에 의한 제한적 비탈면 보강시설 성능평가 수준	비탈면 보강시설 성능평가 개선 항목 도출	기존 성능평가 모호성 개선	2.5

		비탈면 보호시설 성능평가 현황 및 관리실태 조사	<국내> 비탈면 보호시설 사용성능 평가기술 전무한 상태 <국외> 유럽, 미국, 스위스 등 상용화 상태	비탈면 보호시설 사용성능 평가기술 조사 및 현장 조사	비탈면 보호시설 성능평가 현황/기준 항목 조사	1.5
	계측기기 성능평가 방법 및 매뉴얼 개발	계측기기 성능/수명 평가 절차서(매뉴얼)	<국내> 기술도입 단계	1건	계측기기 성능/수명 평가 관련 매뉴얼	2.5
2년차 (2020)	비탈면 정보 3차원 도면화를 통한 위험/취약부 자동추출 기술 개발	2차원 속성데이터의 3차원 전자도면 시각화	<국내·외> Computer Vision 이론의 3차원 전자도면 응용모색 수준	2차원 정보의 3차원 맵핑기술의 개발	현장 실무에서 획득된 정보의 3차원 통합표출을 위해 필수적 기술	3.0
		비탈면 위험/취약부 자동추출 프로그램 핵심 기능 개발	<국내·외> 드론영상 활용 3차원 모델 생성 수준	3차원 정보 생성 자동화	비탈면 조사/점검을 위한 핵심 기능 개발	3.0
		비탈면 위험/취약 분석기술 개발	<국내> 기술 검증 · 보완단계 <국외> 시장수용 단계	최소 1종	실제 비탈면 위험/취약 기술	1.5
	휴대용 시추기 및 지층정보 자동분석 기술	비탈면 지반조사용 휴대용 시추기	<국내> 기술 검증 · 보완단계 <국외> 시장수용 단계	최소 4m 이상	조사환경 및 목적의 적합성과 활용성	7.5
		비탈면 지반정보 복합계측센서 및 분석기술	<국내> 기술 검증 단계 <국외> 현장 적용 단계	85% 이상	비탈면 현장 점검 센서 성능 조사 분석	11.5
	유지관리 이력정보 기반 비탈면 보호/보강시설 성능평가 기술	비탈면 3차원 영상정보 기반 보호/보강시설 손상도 자동추출 솔루션	<국내> 기술 도입 단계	정확도 90% 이상	실무적용 가능한 보호/보강시설 손상도 자동추출 기술 개발	6.0
		비탈면 보호시설 성능분석 기법 도출	<국내> 비탈면 보호시설 사용성능 평가기술 전무한 상태	실험결과를 통한 평가(안) 도출	실제 비탈면 보호공 성능분석을 통한 기법 도출	3.0

			<국외> 유럽, 미국, 스위스 등 상용화 상태			
	계측기기 성능평가 방법 및 매뉴얼 개발	계측 데이터 유효성 검토 및 분석 가이드라인	일부시장 도입 단계	1건	계측 데이터 관련 유효성 및 분석 가이드라인(안)	5.5
3년차 (2021)	비탈면 정보 3차원 도면화를 통한 위험/취약부 자동추출 기술 개발	3차원 전자도면 랜더링-그래픽-가시화-가속화 기술개발	<국내·외> 대용량 3차원 전자도면의 랜더링/가속화기술 필요성 대두	원활한 대용량 3차원 전자도면 가시화/가속화 기술개발	효율적인 3차원 전자도면 접근과 사용을 위해 필수적 기술	3.0
		비탈면 위험/취약부 정보의 3차원 시각화 알고리즘 개발	<국내·외> 대용량 포인트 클라우드 데이터 렌더링 기술	웹프로그램 구현	비탈면 조사/점검을 위한 사용자 편의성 개선	3.0
		비탈면 위험/취약 평가표 개정(안)	<국내> 기술 검증 · 보완단계 <국외> 시장수용 단계	최소 1종	실제 비탈면 위험/취약 평가	1.5
	휴대용 시추기 및 지층정보 자동분석 기술	비탈면 지반조사용 휴대용 시추기	<국내> 기술 검증 · 보완단계 <국외> 시장수용 단계	최소 6m 이상	조사환경 및 목적의 적합성과 활용성	7.0
		비탈면 지반정보 복합계측센서 및 분석기술	<국내> 기술 검증 단계 <국외> 현장 적용 단계	90% 이상	비탈면 현장 점검 센서 성능 조사 분석	10.5
	유지관리 이력정보 기반 비탈면 보호/보강시설 성능평가 기술	비탈면 보강시설 성능평가표 개선(안) 도출	<국내> 비탈면 보강시설 제한적, 정성적 성능평가 수준의 기술 개발 단계	평가표 1건, 가이드라인 1건	비탈면 주요 보강시설 성능평가 개선 및 이를 활용한 비탈면 유지관리 활용	6.0
		비탈면 보호시설 설치조건을 고려한 성능 등급 및 성능평가 방법(안)	<국내> 비탈면 보호시설 사용성능 평가기술 전무한 상태 <국외> 유럽, 미국, 스위스 등 상용화 상태	성능등급 및 성능평가 가이드라인(안)	비탈면 보호공 성능 등급 평가 가이드라인(안) 개발	3.0
	계측기기 성능평가 방법 및 매뉴얼 개발	개빌기술 기반 제도개선(안) 도출	-	1건	개발기술 반영 제도개선(안)	5.5

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

[CTE 1]

(1) [위탁&주관_University of Exeter&한국건설기술연구원] 지형정보 3차원 도면화 기술 개발

연구 목표	연구개발 수행 과정	연구 수행 내용
GIS기반 비탈면 3차원 전자도면 구축 알고리즘	[1차년도]	
	• 오픈소스 사진측량(Photogrammetry) 프로그램의 성능 비교 및 최적 프로그램 선정	• 5가지 사진측량 프로그램의 성능을 LiDAR 계측결과와 비교하여 평가 • 실제 사면에 대한 검증실험 수행
	• 비탈면 영상자료 DB 구축	• 중부/제2중부/영동/서해안/평택제천 고속도로상의 14개소 비탈면 영상자료 DB 구축
	• 드론 운용 가이드라인	• 드론 운용 가이드라인 연구 • 다중 해상도 지원을 위한 방법론 도출
	[2차년도]	
	• 오픈소스 사진측량(Photogrammetry) 프로그램을 이용한 비탈면 3차원 모델 생성 Software 구축, 개선	• 최적 오픈소스 SW로 COLMAP 선택 • COLMAP의 python interface 구현 • 사진측량 3차원 모델 생성 고도화
	• 2차원 속성정보의 3차원 Mapping 시각화 시스템 개발	• 2차원 속성정보 3차원 맵핑이론 개발 • 현장 실무자 입력 2차원 속성정보 3차원 맵핑 시각화 시스템 구현
	• 식생을 제거한 3차원 모델 생성기법 개발	• mExG Index에 기반한 식생을 제거한 3차원 모델구축기법 개발 • 도암댐 3차원 모델에 대한 적용 검증
	[3차년도]	
	• 테스트베드에 대한 알고리즘 정밀도 개선 및 고도화	• RTK-GPS를 이용한 GCP가 필요하지 않는 Georefenced 3차원 모델 생성기법 연구 • 테스트베드에 대한 성능 평가 및 검증
	• 비탈면 3차원 전자도면 자동화 기법 개발 고도화: 식생을 제거한 비탈면 지형변화 검출기법	• 딥러닝을 이용한 개선된 식생제거기법개발 • 개선된 정밀한 식생제거기법개발에 기반한 장기지형변화 검출

(1차년도) 비탈면 위험/취약부 자동추출을 위한 DB 구축 및 비탈면 3차원 전자도면 구축 자동화 기법

○ 비탈면 위험/취약부 자동추출을 위한 DB구축

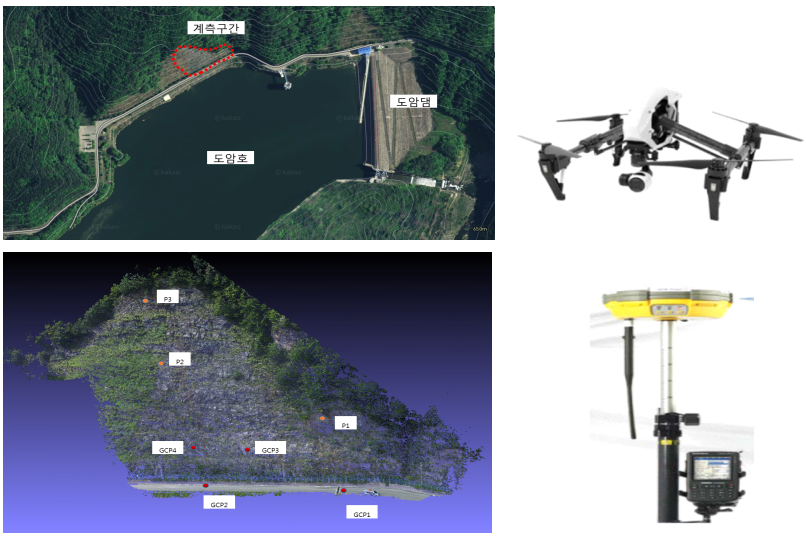
- 비탈면의 영상자료를 중부/제2중부/영동/서해안/평택제천 고속도로 상의 총 14개소 비탈면에 대하여 2차원 이미지 수집 및 3차원 모델 생성수행

○ 비탈면 3차원 전자도면 구축 자동화 기법

- 오픈소스 photogrammetry 소프트웨어의 성능평가
  - 세종대 소형암석에 대하여 우수한 성능으로 문헌에 알려진 오픈소스 photogrammetry 소프트웨어 3종, openMVG/openMVS, MVE, COLMAP에 대하여 적용
  - LiDAR Scanning 결과와 photogrammetry 결과를 비교, 성능평가 수행
  - 상용 소프트웨어 2종 (Pix4D, Metashape)의 성능에 대한 비교 수행
  - 도암댐에 위치한 실제 비탈면에 대하여, 오픈소스 photogrammetry 소프트웨어를 사용하여 3차원 전자도면 생성 성능 평가
- 드론 운용가이드라인 도출연구 수행
  - 정확한 3차원 전자도면 생성을 위한 드론 운용가이드라인 연구수행



<세종대 암석에 대한 3차원 전자도면 생성 성능 실험검증>



<도암댐에 대한 3차원 전자도면 생성 성능 실험검증>

(2차년도) 비탈면 3차원 전자도면 구축 자동화 기법

○ 오픈소스 Photogrammetry 소프트웨어를 이용한 비탈면 3차원 모델 생성 Software 구축 및 개선

- Photogrammetry의 각 세부과정 (Structure from Motion 및 Multiview Stereo)에 대한 3종의 오픈소스 및 2종의 상용 소프트웨어의 성능 평가 수행 및 최적 알고리즘 도출
- 3차원 전자도면 구축 자동화를 위한 Python interface개발 및 Docker 이미지 개발

○ 비탈면 3차원 전자도면 구축 기법 고도화

- 3차원 전자도면 정밀도 개선을 위한 연구수행.
- 3차원 전자도면의 부정확도에 기여하는 식생을 제거하기 위한 기법 개발. Colour Index 기법에 기반하여 최적화 계수를 획득하고 식생을 제거하는 방식 수행
- 현장작업자가 생성한 2차원 주석 정보의 효율적인 3차원 전자도면 종합화 및 시각화 시스템 개발 수행

(3차년도) 알고리즘 정밀도 개선 및 고도화를 위한 테스트베드 구축 및 검증

○ 알고리즘 정밀도 개선 연구

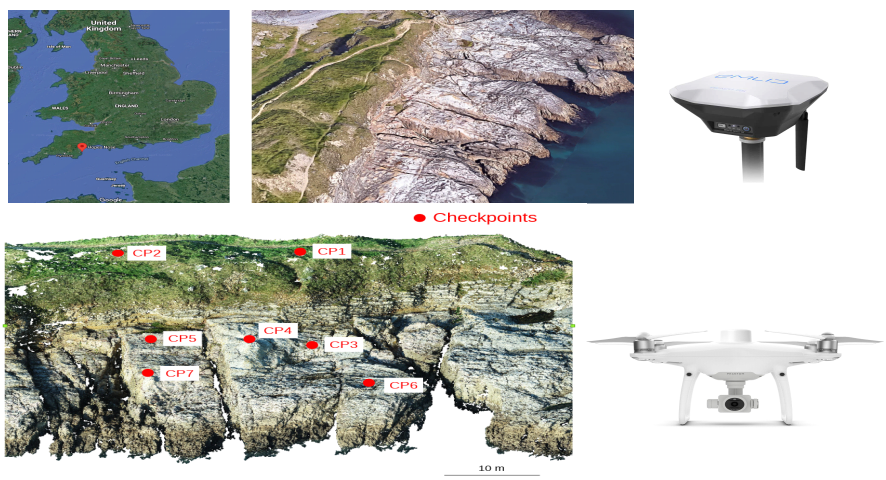
- RTK-GPS를 탑재한 고성능 드론을 사용함으로써 일반적으로 Georeferencing 위해 필요한 GCP (Ground Control Point) 없이 3차원 전자도면을 생성하는 방식을 연구. 이러한 방식은 GCP를 설치하고 측량하는데 소요되는 현장작업량을 줄이고, 3차원 모델생성과정을 간략히 만드는 장점을 가짐. 암반사면에 대하여 실험검증 수행.

○ 테스트베드 구축 및 검증

- COVID19의 영향으로 국내 테스트베드에서 검증하지 못하고, 영국 남서부 Torquay의 Hopes Nose에 테스트베드를 구축. RTK-GPS 기능을 탑재한 드론인 DJI Phantom 4 RTK를 사용하고, 이에 포함된 드론 카메라의 공간상 위치정보를 사용하여 3차원 모델을 생성. 7개의 체크포인트에 대해서 RTK-GPS 수신기로 측량을 수행한뒤 비교 검증을 수행함.

○ 비탈면 3차원 전자도면 구축 기법 고도화

- 식생을 제거하는기법에 있어서 Colour Index 기법의 한계를 극복하기위한 딥러닝 Image Segmentation과 Photogrammetry를 결합한 식생제거기법 개발 수행



<영국 Hopes Nose 테스트베드에 대한 알고리즘 정밀도 개선 및 검증>

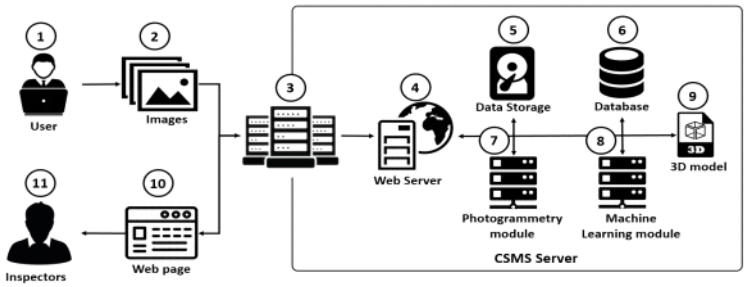
(2) [공동_세종대학교 산학협력단] 비탈면 위험/취약부 자동추출 프로그램 개발

연구 목표	연구개발 수행 과정	연구 수행 내용
비탈면 위험/취약부 자동추출 프로그램 개발	[1차년도]	
	• 비탈면 위험/취약부 분석 프로그램 설계	• Cut Slope Measurement System (CSMS4) 설계 – GIS 기반 비탈면 관리 – 이미지 업로드 및 3D 모델 생성 – 인공지능 엔진 (사면 객체 분류, edge 검출 등) – 3D 정보 추출
	• 2차원 영상정보 및 AI 기술기반 평가인자 분류용 학습모델 구축 및 최적화	• 위험/취약부 분석을 위한 사면 검출 – 분류 항목 : 사면, 보호 시설, 벽, 도로 – 약 1000개의 사전 분류된 이미지를 학습시켜 얻은 분류기의 분류 정확도 77% 달성
	• 3차원 지형/영상 데이터를 이용한 비탈면 위험도 평가인자 자동추출 기법 개발	• 지형 정보 추출 및 비탈면 위험/취약성 탐지 – 3차원 전자도면 구축 후, 사면 형상 정보 자동 추출 – 사면 높이 오차율 : 4.94% – 사면 경사 오차율 : 9%
	• 비탈면 위험/취약부 정보의 3차원 시각화 알고리즘 개발	• 3D 환경은 zoom-in, zoom-out, rotation 등 기본적인 제어 기능 제공 – 측정 도구 포함 – 비탈면 형상 정보 추출
	[2차년도]	
	• 3D 지형정보를 이용한 위험/취약 인자 자동 추출 기법 개발	• 3D Point cloud data로부터 사면형상, 경사, 높이 인자 도출
	• 3차원 지형/영상 데이터 자동분석 기술 개발	• 암반비탈면의 경사각, 경사 방향 정보 자동 추출 기법 개발 • 절리 정보 자동 추출기술 개발
	• AI기반 비탈면 위험/취약부 자동추출 알고리즘 개발	• 비탈면 이미지의 객체 분할을 통한 객체인지(노출사면, 식생, 보호/보강시설) • 식생 제거 알고리즘을 통한 암반비탈면 정보 추출
	[3차년도]	
	• 비탈면 위험/취약부 정보의 3차원 시각화 알고리즘 개발	• 비탈면 3차원 전자도면 구축 자동화 기법 개발 • 비탈면 위험/취약 평가 결과의 3차원 전자도면 시각화 • 3D 전자도면의 위험/취약 인자 자동 추출 모듈 개발 : 한국건설기술연구원 CSMS DB 데이터 미 가상의 생성 데이터 활용 • T/B 적용을 통한 자동 추출 알고리즘 최적화 : 테스트베드 현장 활용 직접 영상데이터 촬영 및 확보된 분석 데이터를 활용한 알고리즘 검증

(1차년도) 2차원 영상정보 및 AI 기술기반 평가인자 분류용 학습모델 구축 및 최적화

○ 비탈면 위험/취약부 분석 프로그램 설계

- 조사자가 취득한 영상을 업로드하면 비탈면의 상태를 분석하여 자동으로 정보 추출, 절취사면 상태 등에 대한 정보를 제공하는 Cut Slope Measurement System(CSMS4)를 설계
- 주요 구성 기능으로는 GIS 기반 비탈면 이력 관리 정보 조회 기능, 이미지 업로드를 통한 3D 모델 자동생성, 인공지능 엔진을 통한 위험 취약부 추출, 3D 정보 추출등이 있음.



<CSMS4의 작업흐름도>

○ 2차원 영상정보 및 AI 기술기반 평가인자 분류용 학습모델 구축 및 최적화

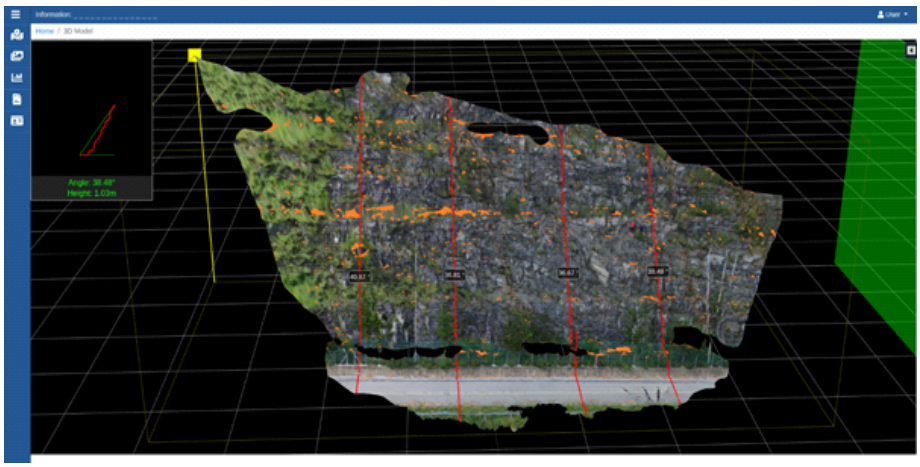
- 사면, 보호 시설, 도로, 벽 등의 분류항목을 대상으로 라벨링을 실시하여 약 1000개의 학습 데이터를 구축하여 학습을 진행. 학습 모델은 Deeplabv3+를 활용



<AI 기술 기반 비탈면 분류 결과>

○ 3차원 지형/영상 데이터를 이용한 비탈면 위험도 평가인자 자동추출 기법 개발

- 3D Point Cloud 데이터를 기반으로 대상 비탈면의 높이와 경사 등의 형상정보 이력을 산출할 수 있는 기능을 설계한 CSMS4에 포함시킴
- 해당 기능에서 계산을 통해 측정된 각도와 비탈면 높이는 3D 모델내 표시됨

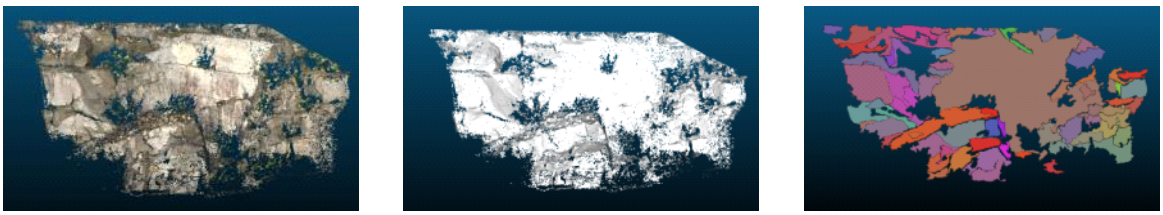


<선택 위치에서의 비탈면 각도 측정>

(2차년도) 3차원 지형/영상 데이터를 이용한 비탈면 위험도 평가인자 자동추출 기법

○ 3차원 지형/영상 데이터 자동분석 기술 개발

- Kd-Tree, Fast Marching 기법을 활용하여 암반 비탈면의 Facet 정보(경사각, 경사 방향 정보)를 자동으로 추출하는 기법 개발
- 암반비탈면의 절리 정보를 추출하기 위하여 DexiNed(Dense Extrem Inception Network)를 활용하여 암반면의 edge 정보를 추출하는 기법 개발



3D point cloud model　　point cloud + normal　　Facet segmentation

<Facet 객체 분할 과정>

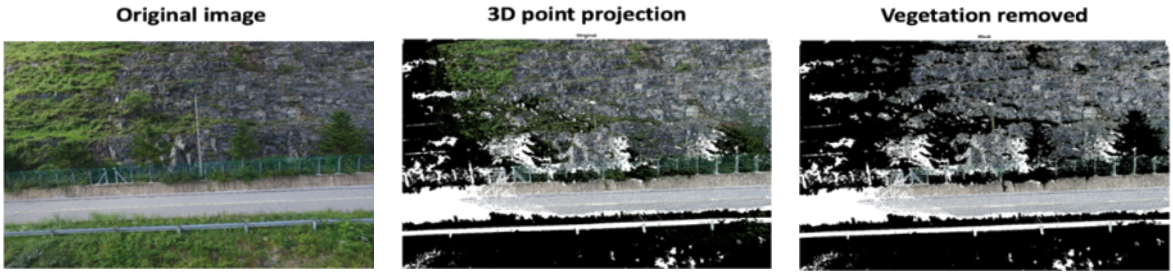


(A) 2D Image from 3D point cloud model　　(B) DexiNed Fused result　　(C) DexiNed Averaged result

<3차원 point cloud 모델로부터 2d Edge 검출 결과>

○ AI기반 비탈면 위험/취약부 자동추출 알고리즘 개발

- 3차원 모델 렌더링 속도 향상 및 주요 관심 영역만을 추출하기위하여, 1차년도에 학습한 분류 모델을 활용하여 획득한 비탈면 이미지의 객체 분할하는 알고리즘 개발
- 취득한 영상내 식생영역을 제거하여 분석 속도를 향상시키고 대상 비탈면의 경사방향을 추출하기 위한 전처리 알고리즘으로 식생 제거 알고리즘 개발



<식생 제거 테스트 결과>

○ Annotation software 개발

- 드론이 캡처한 디지털 이미지에 주석을 추가할 수 있는 소프트웨어 개발. 사용자가 관심 영역에 여러 가지 방법(경사 모서리, 바위 모서리 및 암석 표면)으로 주석을 추가할 수 있으며, 사용자가 선택한 애플리케이션에 따라 선택한 영역 라벨에 연결 가능함

(3차년도) 비탈면 위험/취약부 정보의 3차원 시각화 알고리즘

○ 비탈면 3차원 전자도면 구축 자동화 기법 개발

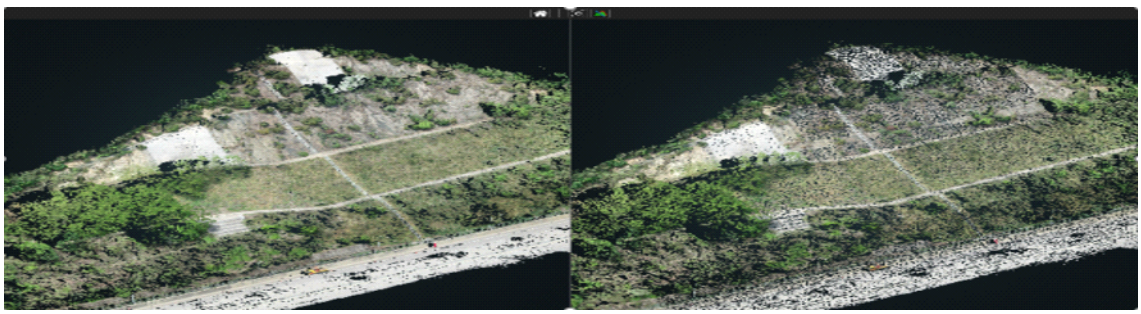
- 관심 영역 추출 알고리즘을 개발하여, 드론으로 취득한 3d 모델 내 필요없는 부분을 제거하고 관심있는 영역만을 추출하여 렌더링시키는 가속화 알고리즘 개발



<좌 : 모든 영역, 우 :관심 영역만 표출>

○ 비탈면 위험/취약 평가 결과의 3차원 전자도면 시각화

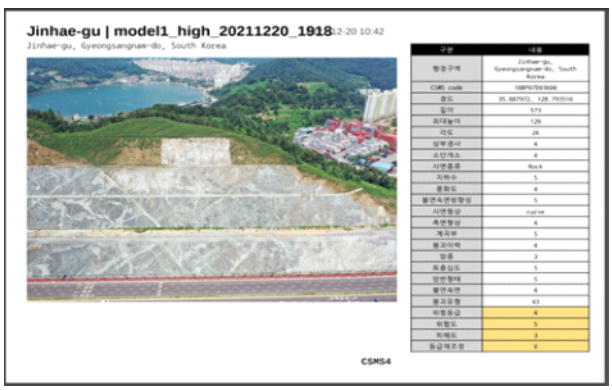
- 수십억 포인트가 포함된 포인트 클라우드 데이터셋트를 스트링 및 렌더링할 수 있는 뷰어를 개발. 해당 뷰어에는 대상 사면의 여러 인자(경사, 높이, 길이 등)을 측정할 수 있는 여러 툴들이 포함되어 있으며, 이전에 조사했던 이력의 데이터만 있다면 동일 사면의 상태를 시간에 따라 비교할 수 있는 기능도 포함되어 있음. 개발한 뷰어는 간단한 사용방식으로 특별한 지식이 없어도 손쉽게 활용 가능함.
- 또한 GIS 기반의 지도 도구를 활용하여 조사 예정 및 조사 완료된 비탈면의 위험도를 시각화할 수 있는 UI를 구성하여 개발하였음.



<시간에 따른 두 모델의 비교>

○ 분석 보고서 작성 툴 개발

- 보고서 탬플릿에 필요한 모든 내용이 포함되어 있으며, 사용자가 목적에 따라 쉽게 양식을 만들고 편집할 수 있도록 하는 툴 개발



<PDF 형식의 분석 보고서 생성 기능>

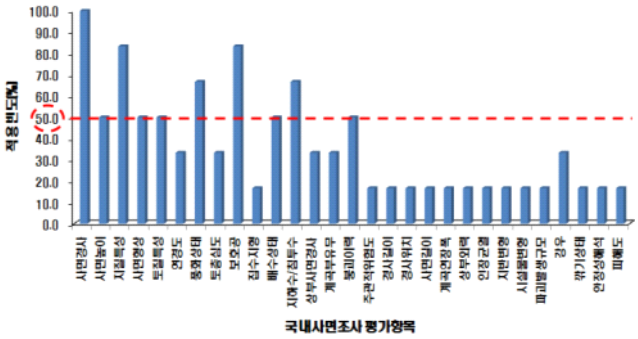
(3) [공동_산림조합중앙회 산림종합기술본부] 자연산지를 고려한 비탈면 위험/취약부 분석기술 개발

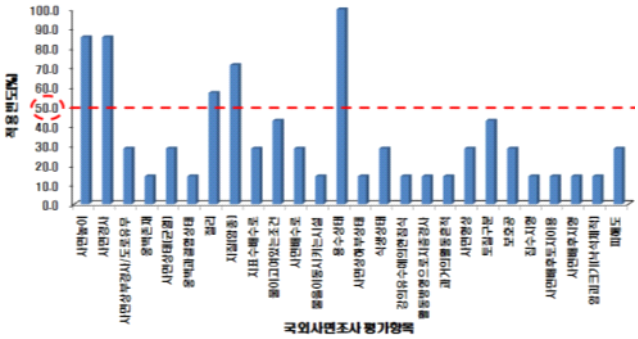
연구 목표	연구개발 수행 과정	연구 수행 내용
비탈면 위험/취약 평가표 개정(안)	[1차년도]	
	• 국내·외 기관별 비탈면 위험조사 평가 자료 수집 및 분석	• 국내 비탈면 위험/취약 판정 중요 카테고리항목 : 지형, 지질, 수리 • 국외 비탈면 위험/취약 판정 중요 카테고리항목 : 지질, 보호시설, 지형
	• 비탈면 상부 자연사면 평가 범위 기준 분석	• 상승형 : 상부자연사면의 최상단 • 평탄형 : 비탈면과 상부자연사면의 경계부 • 하강형 : 상부자연사면 촬영 불필요
	• 확률 통계 기반 비탈면 핵심 평가항목 도출	• 상부자연사면 : 외력, 균열, 유출수, 경사 • 토사사면 : 토심 • 암반사면 : 절리, 단층, 파쇄대
	[2차년도]	
	• 3차원 영상 추출 인자를 고려한 비탈면 위험/취약 판정 평가표(안) 개발	• AHP기법, 주성분분석, Desision tree, Random forest 등의 분석기법 검토 • Logistic regression을 이용하여 상부자연사면을 고려한 암반사면, 토사사면, 혼합사면의 위험/취약 분석 모형 도출
	• 비탈면 위험/취약 분석 및 평가 프로세스 정립	• 도로 비탈면 유지관리를 위한 현행 기초조사 진행 프로세스 정리 • 사면별 위험/취약 분석 모형기반 현행 도로 비탈면 유지관리 프로세스 개선 방향 도출
	• 비탈면 위험/취약 판정 분석기법 프로토 타입 평가표 개발	• 암반사면 : 계곡부, 불연속면, 불연속면방향성, 측면형상 • 혼합사면 : 측면형상, 불연속면방향성, 경사 • 토사사면 : 경사, 지하수, 최대높이, 상부경사
	[3차년도]	
	• T/B 적용에 따른 현장완결형 비탈면 위험/취약 평가 기법 검증	• 암반, 혼합, 토사 사면별 현장에서의 평가표 적용에 따른 위험등급 결과 도출 및 기존 CSMS의 결과 비교 분석
	• T/B 적용결과 및 전문가 활용을 통한 비탈면 평가표 개정(안) 고도화	• 영상정보를 통한 비탈면 위험/취약 판정과 모형의 적절성 검토 • 각 항목의 영상 판정 기준 설정
	• 비탈면 위험/취약 핵심 평가항목에 따른 최종 평가표 개정(안) 제안	• CSMS 위험평가 방법과 비교 분석 반영 • 영상기반의 비탈면 위험/취약 판정 최종 평가표(안) 도출

(1차년도) 비탈면 관리 기관별 평가표 DB수집과 핵심 판정항목 추출

○ 국내·외 기관별 비탈면 위험 조사 평가 자료 수집 및 분석

- 국내 사면조사 평가표 비교 분석
  · 산림조합중앙회 산사태취약지역 조사야장, 국립재난안전연구원 토사, 암반사면 조사 평가표, 한국건설기술연구원 도로사면 조사평가표, 행정안전부 급경사지 재해위험도 평가기준 및 DB 수집
- 국외 사면조사 평가표 비교 분석
  · 호주 사면조사 평가표, 홍콩 사면조사 평가표, 일본 건설성 사면조사 평가표, 일본 도로공단 사면조사 평가표, 미국 연방도로국 사면·낙석 위험 평가표 평가 기준 수집





○ 비탈면 상부 자연사면 평가 범위 기준 분석

- 기존의 비탈면은 상부 자연사면에 대하여 대규모로 이어진 사면이 아닌 보호공, 보강공 등이 비탈면을 모두 커버하는 사면이 대부분이므로, 상부자연사면을 포함한 비탈면 전체에 대하여 무인항공기 운영
- 단, 비탈면 상부 자연사면의 형상이 다양하기 때문에 신속성 측면에서 전체 영상 촬영은 비효율적임에 따라 상부자연사면의 경사 조건에 따라 무인항공기의 운영 여부 결정

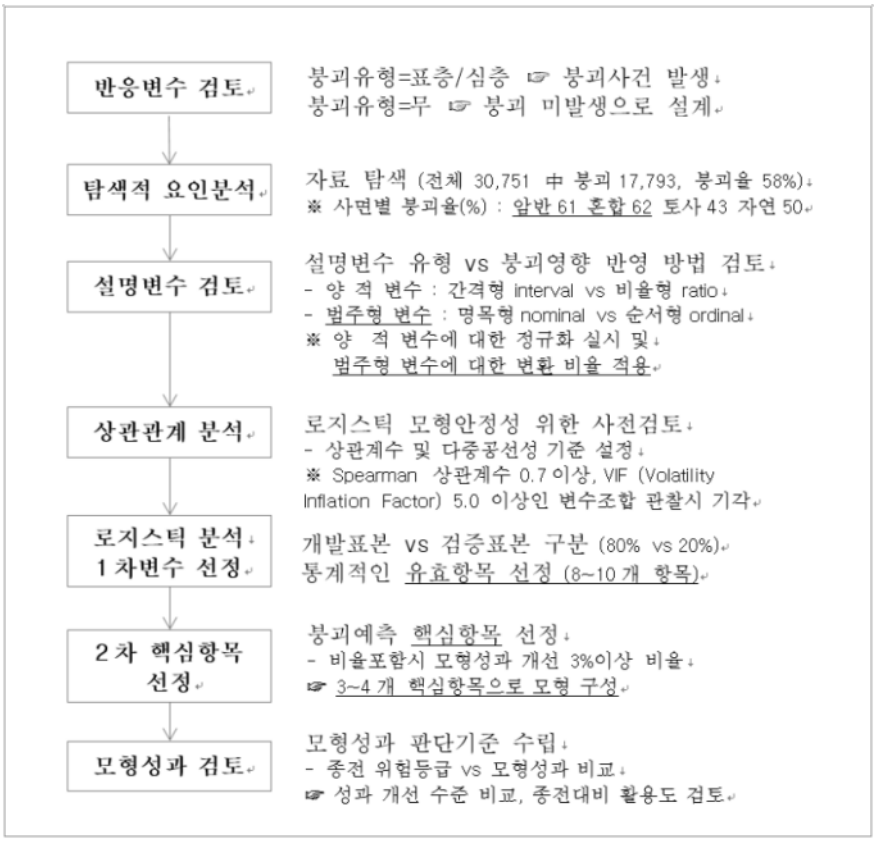
○ 확률 통계 기반 비탈면 핵심 평가 항목 도출

- 국내·외에서 사용되는 비탈면 위험/취약 평가 인자의 통계 분석과 무인항공기로 으로 촬영 가능한 인자, 상부자연사면으로부터 얻을 수 있는 위험/취약 평가 인자를 고려하여 비탈면 위험요인 항목 추출
- 혼합사면의 경우 사면경사, 높이, 길이, 형상, 절리의 불연속면, 지하수, 안정해석 결과, 붕괴이력, 사면보호·보강공 여부를 고려. 토사사면의 경우 혼합사면 인자에 더하여 토질특성, 토층두께를 추가 고려. 암반사면의 경우 혼합사면에서 고려하는 인자에 더하여 지질특성, 절리, 단층, 파쇄대를 고려

(2차년도) 3차원 영상의 평가인자 자동 추출 기반 비탈면 위험/취약 분석 평가기법

○ 3차원 영상 추출 인자를 고려한 비탈면 위험/취약 판정 평가표(안) 개발

- 비탈면 위험/취약 분석을 위한 통계 기법을 고려(계층화 분석, 주성분 분석, 의사결정나무, Random forest 등)하여 로지스틱 회귀분석 적용
- CSMS의 자료에 대한 탐색적 분석을 실시하되, 경험적 붕괴요인에 대한 통계적인 핵심 요인 추출 및 사면의 종류별 로지스틱 회귀 분석 모형 개발
- 반응변수 검토–탐색적 요인분석–설명변수 검토–상관관계 분석–로지스틱 1차 분석–핵심항목 선정(로지스틱 2차 분석)–모형개발의 순서로 분석을 수행하여 과거 피해 이력과의 매칭을 통한 검증 수행



비탈면 위험/취약 영향인자 정량화 순서

○ 비탈면 위험/취약 분석 및 평가 프로세스 정립

- 기존의 비탈면 위험/취약 판정을 위한 중요 단계인 '비탈면 현황 자료 갱신 및 관리'에서 III등급 이상의 결과로 평가될 경우 정밀조사를 수행하는 단계로 넘어가고 그렇지 않을 경우 지속적인 관리를 수행
- 이러한 단계를 사면별로 평가를 수행하여 정확성을 높이고 영상기반의 인자로 평가를 수행하여 단시간내 위험 판정 수립이이 가능하도록 평가 프로세스 개발

○ 비탈면 위험/취약 판정 분석기법 프로토 타입 평가표 개발

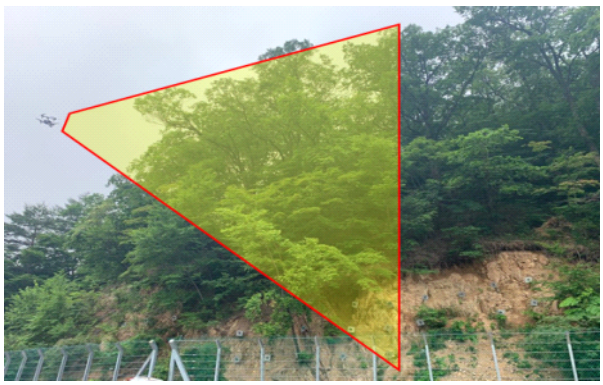
- 로지스틱 회귀 분석을 통하여 도출된 사면별 프로토타입 평가모형을 개발하고 이를 활용하여 기존의 비탈면 위험/취약 분석 평가 프로세스에 적용
- 사면별 분류기준은 '건설공사 비탈면 설계기준'에 따라 암비탈면, 토사비탈면, 혼합비탈면으로 구분하여 각각의 프로토타입 모형 개발. 구성물질의 종류에 따라 구분되며, '도로비탈면 유지관리 실무매뉴얼'에서 제공하는 사면 분류 특성에 근거하여 분석 수행

(3차년도) 단시간 내 위험성 판정을 위한 비탈면 위험/취약 평가표 검증·고도화

○ T/B 적용에 따른 현장완결형 비탈면 위험/취약 평가 기법 검증

- 암반사면, 토사사면, 혼합사면 각각의 관리되고 있는 비탈면 현장에서의 무인항공기 영상촬영을 통한 위험도 평가 비교 수행
- 경기도 용인시 처인구의 고속도로 신설 현장에서의 통합 암반, 토사, 혼합사면 영상 취득 및 현장 검증



○ **T/B 적용결과 및 전문가 활용을 통한 비탈면 평가표 개정(안) 고도화**

- 비탈면 영상판정을 위한 기준 수립
- 영상으로 판단하기 어려운 현장의 경우 현장조사요원이나 전문가의 판단에 의한 관측치 판정이 요구됨에 따라 불연속면, 불연속면의 방향성, 지하수의 경우 유/무로 판정

○ **비탈면 위험/취약 핵심 평가항목에 따른 최종 평가표 개정(안) 제안**

- 테스트베드 검증, 현장자문 등을 통하여 프로토타입 평가표 개선
- 암반, 토사, 혼합 사면별 위험/취약 판정 인자 및 판정모형, 위험등급을 구분하여 최종 평가표(안) 제안



CSMS 기초정보	위치	CSMS code	좌표	사면종류	붕괴이력
	충청북도 단양군 상진리 산31-15	06DC05U08500	36° 59′ 1.9″, 128° 20′ 42.2″	암반	낙석
영상 정보	길이(연장) (m)	최대높이 (m)	경사 (°)	상부경사 (°)	소단개소
	340	35	65	15	2
	계곡부	불연속면	불연속면방향성	측면형상	지하수
	0	유(절리)	후방	직선형	무(c.dry)
최종 위험등급	III 등급				

영상 확인					
항목	계곡부	불연속면	불연속면 방향성	측면형상	지하수
항목 값	0	유(균열)	후방	직선형	C.Dry
변화비율	0.5817	0.4056	-0.0897	-1.0000	-1.0000
모형계수	2.9886	1.9234	1.6834	1.3312	0.5672
RSFI	0.6152				
위험등급	III				
CSMS 위험등급	II				
비고	기존의 CSMS 위험등급보다 한단계 높은 III등급으로 계산되어 더 위험한 것으로 판정됨. 실제로 사면의 일부 붕괴가 발생.				

[CTE 2]

(1) [공동_지오메카이엔지] 비탈면 지반조사용 휴대용 시추기 개발

연구 목표	연구개발 수행 과정	연구 수행 내용
비탈면 지반조사용 휴대용 시추기	[1차년도]	
	• 국내외 휴대용 시추기 조사 분석	• 국내외 휴대용 시추장비의 무게 및 시추깊이, 동력, 운반형식 등을 고려한 최신 시추기 기술 조사
	• 휴대용 시추기 부착용 드릴링 파라미터 계측기술 조사 분석	• 비탈면의 개략 지반정수 도출 및 국내외 연구 경험식등을 조사, 시추조사를 통한 드릴링 파라미터 분석 기술자료 분석
	• 휴대용 시추기용 모듈 설계 및 개발	• 조사인력이 개별의 소형 모듈로 분해된 시추장비를 운반하여 비탈면 시추조사에 적용할 수 있도록 모듈별 부피 및 최대분해하중을 최소화하여 설계반영하여 드릴링부, 구동부, 데이터취득부 등 설계 • 휴대용 시추기 시스템 제어 모듈 및 운영프로그램 설계
	• 비탈면 조사 분석 관련 기술 분석	• 비탈면 토사층 시추조사 및 점검 평가기준 조사 분석
	[2차년도]	
	• 휴대용 시추기용 모듈개발 및 프로토타입 제작	• 드릴링부, 구동부, 데이터취득부 등 개발 • 토층심도 측정용 드릴링로드 연장 연결 기구부 퀵릴리즈 적용 개발 • 토층심도 측정용 시추기 고정용 조립식 경량 프레임 개발
	• 휴대용 시추기 복합드릴비트 적용 기술 개발	• 드릴비트/오거링비트/토질샘플채취 오거비트 교체 적용 • 드릴링 파라미터 계측성능 실내 검증
	• 휴대용 시추기 모듈 성능 실내외검증	• 현장적용성 시험 및 데이터전송 성능 검증
	• 드릴링 파라미터 분석기술 연구 개발	• 휴대용 시추기 데이터를 이용한 드릴링 파라미터 시험
	[3차년도]	
	• 휴대용 시추기 현장 적용	• 실외시험을 통한 휴대용시추기 지반정수분석 기술 검증 • 현장적용성 시험 및 데이터전송 성능 검증
	• 비탈면 테스트베드 적용을 통한 작업성 검증 및 보완	• 비탈면 테스트베드 현장적용 시험을 통한 휴대용시추기의 작업편의성 검증 • 토층심도 확인 시추작업 및 지반정보계측시험의 소요시간 검증

(1차년도) 국내외 휴대용 시추기 조사기술분석 및 시추기 모듈설계

○ 국내외 휴대용 시추기 조사분석

- 국내외 휴대용 시추장비의 무게 및 시추깊이, 동력, 운반형식 등을 고려한 최신 시추기 기술 조사
  - · 시추장비의 형태는 크게 자가이동이 가능한 궤도식, 견인 및 분해 이동을 통해 설치 및 조사가 가능한 지주형, 분해된 시추장비를 배낭으로 이동해 현장에서 설치 및 조사가 가능한 배낭형, 가장 단순한 구조로 쉽게 분해가 가능하고 수동으로 시험이 가능한 간편형 등으로 분류됨
  - · 국내외 소형 시추기의 최대 굴진심도는 6~60m까지 가능하였고, 총무게는 15~362kg 범위, 대상 지반은 대부분 점성토 및 사질토에서 조사작업이 가능하였으며, 일부 장비만 기반암까지 가능함
  - · 일본, 프랑스, 미국, 이탈리아, 독일, 한국의 최근동향을 조사하여 각 장비들의 장단점을 분석하여 설계될 휴대용 시추기의 보조자료로 활용
  - · 지반상태를 파악하기 위한 가장 기본적인 시추조사는 심도별의 시료를 채취하여 지층을 직접 확인할 수 있고, 채취된 시료를 관찰하여 지반의 구성상태, 층후, 지반구조를 파악이 가능하며, 현재 사용되는 시추작업 방식은 변위식, 수세식, 충격식, 회전식, 오거식 방법 등으로 분류됨
  - · 비탈면에서 현장에서 굴착기술 적용성이 높은 오거식과 충격식 시추기술을 활용하고, 원위치시험은 동적콘관입시험도 병행하여 수행할 수 있도록 설계에 적용
  - · 휴대용 시추기를 현장까지 접근시키는 운반구 형태는 궤도형과 배낭형태 중에서 산림훼손을 최소화 할수 있는 배낭형으로 선정하였으며, 장비운반자에게 부담되는 무게를 고려하여 시추기를 모듈로 분리시키는 형식을 설계에 반영

개발 방향의 선정 항목

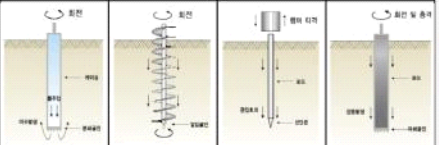
1. 목표 시추심도
2. 장비무게
3. 최대분해 무게
4. 이동성
5. 대상토질
6. 조사항목 및 확장성
7. 신뢰성
8. 시험조건 균일성
9. 무수(無水)시험방식
10. 산지조사 관련법규

장비 개발 형식 선정

범례 : 우수 ◎ 적정 ○ 미흡 △ 불가 X

구 분		휴대형(소형) 시추장비			
장비형식		궤도식 이동형	지주형	간편형 (DCP형)	배낭형
목표 시추심도		◎	◎	○	◎
장 비 하 중		△	△	◎	◎
최대분해 무게		△	○	◎	◎
이 동 성		○	○	◎	◎
대상 토질	토 사	◎	◎	◎	◎
	풍화대	○	○	△	◎
	연 암	X	X	X	◎
조사항목 및 확장성		◎	◎	X	△
신 뢰 성		◎	◎	○	△
시험조건 균일성		◎	◎	○	X
무수(無水)시추방식		◎	◎	◎	X
산지조사 관련 법규		△	◎	◎	◎
적 용			◎		

굴착기술 선정

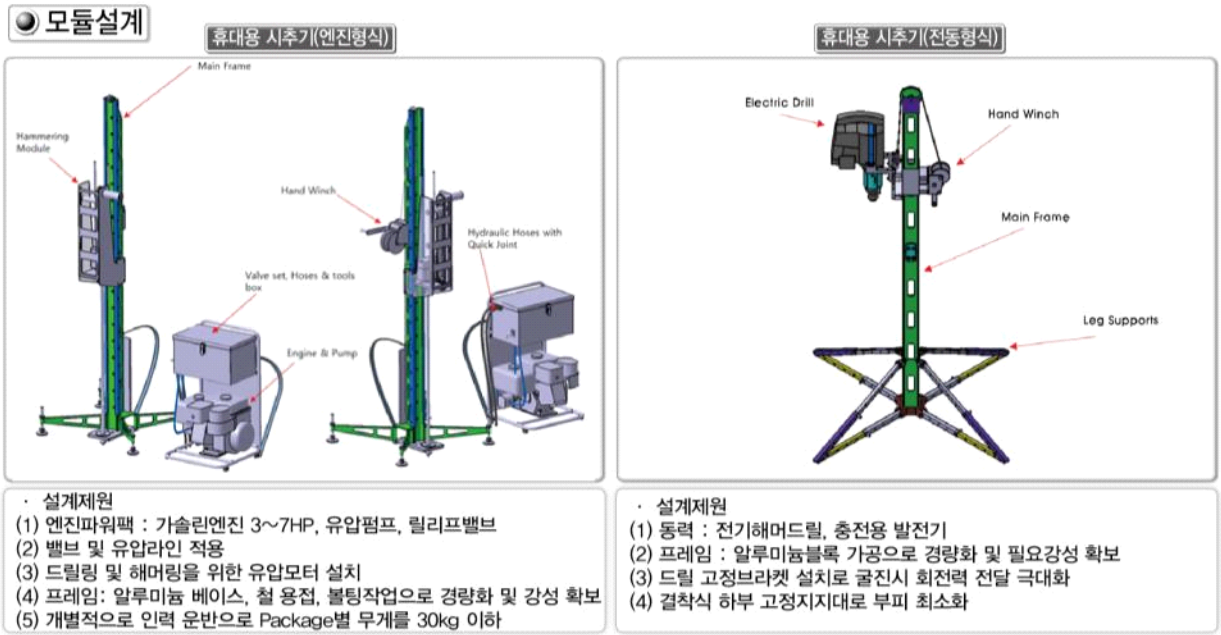
구분	시추기술 분류			
형식	표준관입시험 (회전수세식)	오거식시추	동적콘관입 (DCPT)	충격식시추 (PCB)
모식도				
시추 요소	• 시료채취 • 지층확인 • N값 획득 • 원위치시험공 확보	• 지층확인 • 원위치시험공 확보	• 콘저항값 획득 • 깊이변화에 따른 지층특성 파악	• 시료채취 • 지층확인 • N값 획득 • 원위치시험공 확보
적용성		◎	◎	

장비 운반구 선정

일본	스웨덴	일본
싱글트랙 운반차	LENNARTSFORS社	경량배낭
		
· 최대적재하중 : 80kg · 폭 : 530mm · 길이 : 860mm · 엔진 : 1.6 HP	· 최대적재하중 : 700kg · 폭 : 1,080mm · 최대견인하중 : 2.5t · 최대경사 : 45도	· 최대적재하중 : 30~40kg · 폭 : 700mm · 바퀴부착 견인가능
		◎

○ **휴대용 시추기용 모듈 설계 및 개발**

- 시추심도 6m, 장비의 운반 및 휴대성, 조사항목의 확장성, 무수(無水)시험방식 등을 통하여 장비형식을 지주형식과 배낭형으로 설계에 적용
  - · 굴착기술은 토사층의 복합 드릴 비트는 무수(無水)시험방식의 오거드릴 형식과 퍼커슨 방식의 드릴 기술을 적용하여 휴대용 시추기 모듈을 개발 및 프로토 타입을 설계함
  - · 휴대용 시추기는 사용조건에 맞춰 엔진형식과 전동형식의 2개 타입으로 설계함
  - · 소형 모듈로 분해된 시추장비를 운반할 수 있도록 모듈별 부피 및 중량을 최소화하여 설계 반영



· 설계제원
(1) 엔진파워팩 : 가솔린엔진 3~7HP, 유압펌프, 릴리프밸브
(2) 밸브 및 유압라인 적용
(3) 드릴링 및 해머링을 위한 유압모터 설치
(4) 프레임: 알루미늄 베이스, 철 용접, 볼팅작업으로 경량화 및 강성 확보
(5) 개별적으로 인력 운반으로 Package별 무게를 30kg 이하

· 설계제원
(1) 동력 : 전기해머드릴, 충전용 발전기
(2) 프레임 : 알루미늄블록 가공으로 경량화 및 필요강성 확보
(3) 드릴 고정브라켓 설치로 굴진시 회전력 전달 극대화
(4) 결착식 하부 고정지지대로 부피 최소화

(2차년도) 시추기의 굴착/구동 모듈, 복합 드릴비트 개발과 프로토타입 제작 및 성능검증

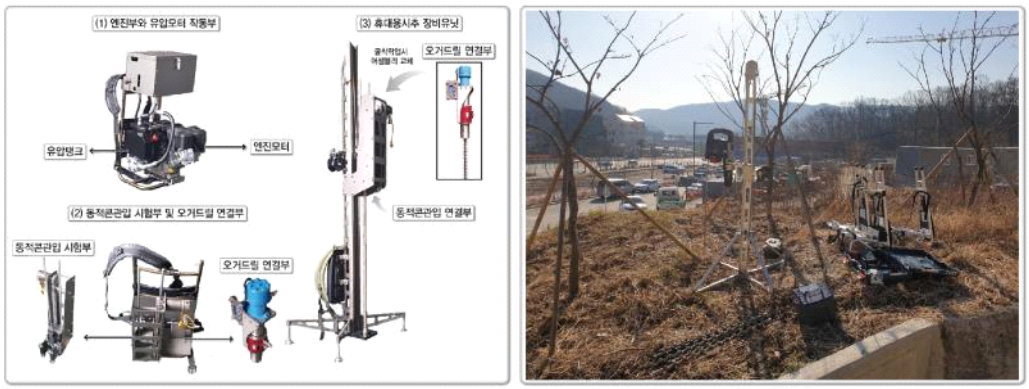
○ **휴대용 시추기용 모듈개발 및 프로토타입 제작**

- 엔진형 휴대용 시추장치 개발
  - · 휴대용 시추기 세부 모듈은 1) 엔진 및 유압구동부, 2) 동적콘관입 시험부 및 오거드릴 어셈블리, 3) 휴대용 시추장치의 유닛으로 구분함
  - · 엔진은 휘발유를 연료로 사용하며, 엔진을 동력으로 유압모터를 작동시켜 오거드릴 어셈블리 및 동적콘관입시험부를 구동시키는 것으로 개발
  - · 오거드릴 어셈블리는 회전력을 시계방향 및 반시계방향 두가지 모두 가능하도록 개발
  - · 휴대용시추 장비 유닛은 알루미늄 베이스에 표면 경도가 필요한 부분에만 철제 파트를 사용하여 경량화 및 강성을 확보
  - · 굴진시 오거는 나사선 형태로 1m 씩 추가로 결착하여 굴진작업 수행
  - · 굴진이후 핸드윈치를 사용하여 오거를 인발시킴
  - · 유닛별 운반을 위하여 Package별 무게를 약 30kg이하로 제작
- 전동형 휴대용 시추장치 개발
  - · 전동형 휴대용 시추기 세부 모튤은 1) 전기해머드릴, 2) 프레임 및 핸드윈치로 구분함
  - · 오거 회전을 위한 동력은 충전식 전기해머드릴을 적용하여 시추장비의 부피를 줄이고 중량을 경량화 시킴
  - · 메인 프레임의 연직도를 높일수 있도록 4개의 고정지지대를 부착하였으며, 고정지지대의 길이를 조절할 수 있도록 제작하여 현장부지 상황에 맞출수 있도록 제작

· 전기해머드릴에 의해 굴착시 오거는 1m 길이로 연결하여 굴착작업 수행
· 목표심도까지 관입된 오거는 핸드윈치를 이용하여 인발시킬수 있도록 제작
· 유닛별 운반을 위하여 Package별 무게를 19.3 ~ 26kg 이하로 제작

- 휴대용 시추장치 이동성 확보
· 엔진형 및 전동형 휴대용 시추장치의 제작에 주안점은 굴착성능과 더불어 중요한 점은 시추장비를 조사지점까지 이동시키는 점이기 때문에 배낭형(지게형)으로 유닛을 분리하여 이동 후 현장에서 조립해 사용하는 형태로 제작

◉ 모듈 제작



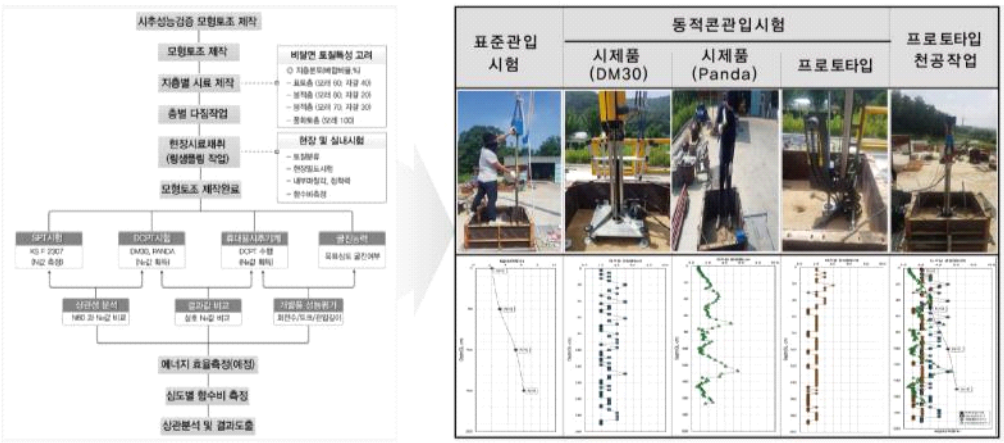
○ 복합 드릴비트 적용기술 개발

- 오거에 사용되는 비트의 종류 개발
· 현장상황에 맞춰 굴진시 사용되는 오거의 비트 종류 개발
· 지반상태와 토질샘플링을 위한 복합 드릴비트 개발

○ 휴대용 시추기 성능 실내외검증

- 휴대용 시추장치 성능검증을 위한 모형토조 제작
· 개발된 휴대용 시추장치의 성능 검증을 위하여 가로 1.0m × 세로 1.0m× 높이 2.0m의 모형토조를 제작하고 비탈면에 분포하는 토질과 비슷한 조건을 구현하기 위하여 표토, 붕적토, 풍화토의 시료를 0.5m씩 층별 다짐을 실시하고, 각 지층별 링 샘플링을 통해 시료를 채취하여 실내 토성시험과 현장 단위중량 측정, 직접전단시험에 의한 내부마찰각, 점착력을 파악하고 각 층별 함수량을 측정
· 제작된 모형토조에서 기성품을 사용한 표준관입시험(SPT), 동적콘관입시험(DCPT)을 수행하고, 개발된 휴대용 시추장치를 이용한 동적콘관입시험 결과와 비교분석 수행
· 또한 시추장비의 굴진능력을 확인하기 위하여 목표심도까지 굴진

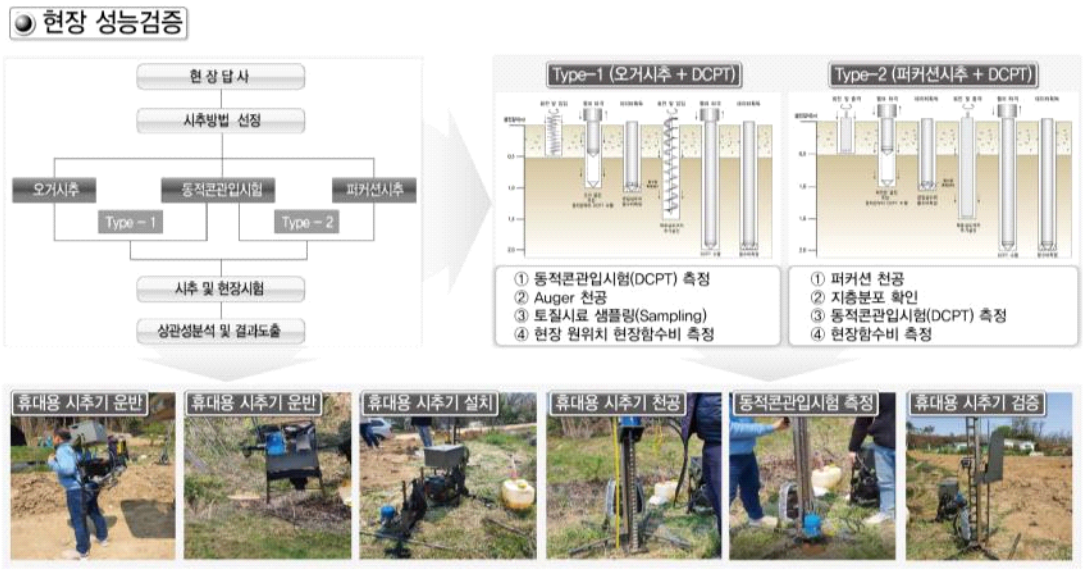
◉ 모형토조 성능검증



- 휴대용 시추장치 현장 성능검증

· 휴대용 시추기 검증시험 과정은 오거시추와 동적 콘관입시험을 조합한 Type-1과 퍼커션 시추와 동적콘관입시험을 조합한 Type-2로 구분하여 시추 검증시험을 계획

· 현장 성능검증결과 계획심도인 4m까지 굴착 및 동적콘관입시험 결과 확인



(3차년도) 휴대용 시추기의 현장적용을 통한 작업성 검증 및 보완

○ 휴대용 시추기 현장 적용

- 휴대용 시추기를 이용한 현장시험으로 지반정수 분석

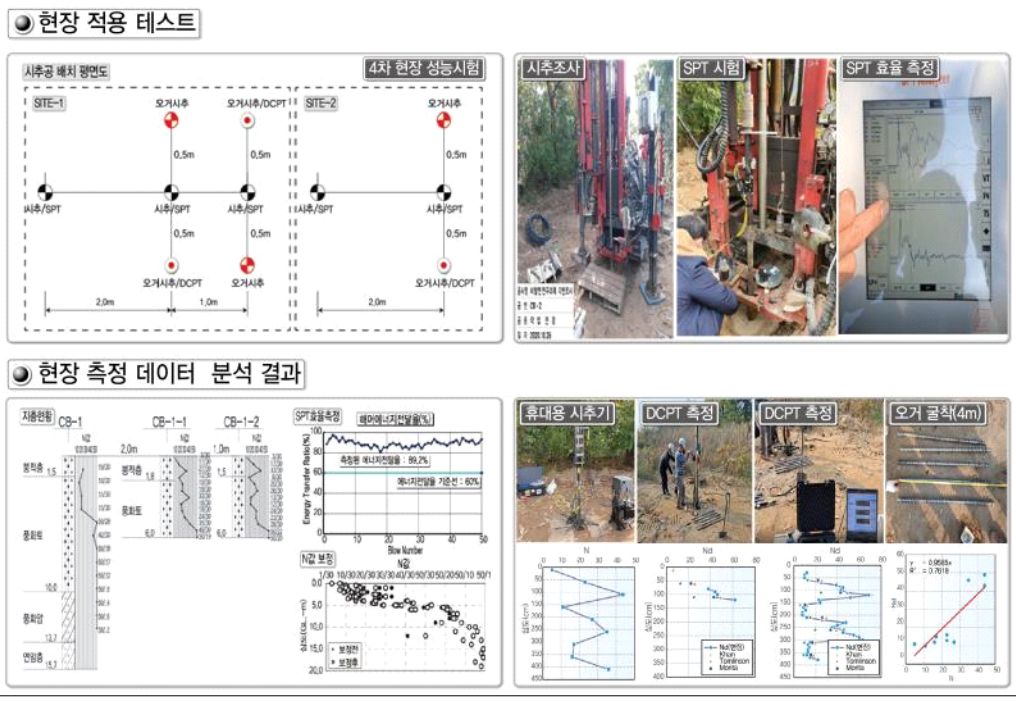
· 동일한 위치에서의 휴대용 시추기를 이용한 동적콘관입시험결과와 시추장비를 이용한 표준관입시험(SPT) 결과의 비교 분석으로 상관관계 확인

· 표준관입시험 및 동적콘관입시험시 에너지 전달율을 확인하기 위하여 에너지효율을 측정

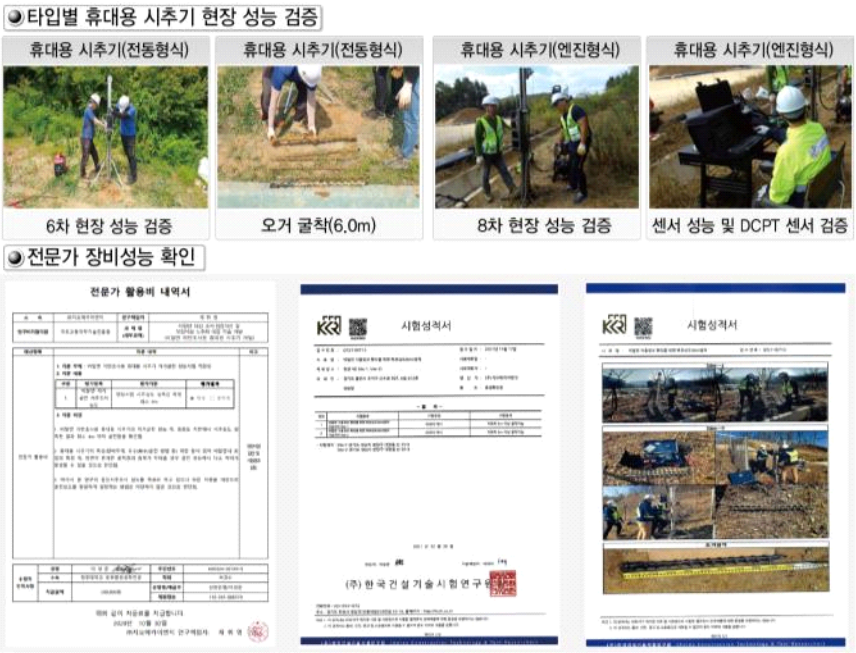
· 시추장비를 이용한 표준관입시험은 0.5m 간격으로 실시하였으며, 에너지 전달율은 89.2%로 측정되었으며, 휴대용 시추기를 이용한 동적콘관입시험은 1.0m 간격과 연속적으로 3.8m 까지 시험을 실시하여 데이터를 획득하였고, 에너지 전달율은 60.7%로 측정됨

· 표준관입시험결과와 동적콘관입시험 결과의 상관관계를 확인

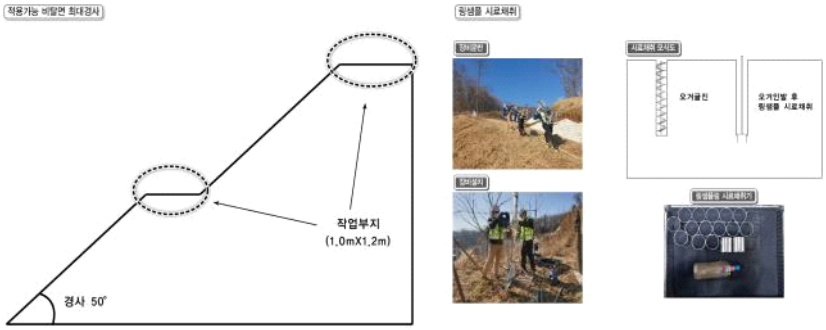
· 8회 현장 성능시험 검증을 통해서 굴착성능 확인



- 비탈면 테스트베드 적용으로 휴대용 시추기 작업성 검증 및 보완
  · 전동형 휴대용 시추기를 이용하여 최종 목표심도인 6m 굴착 및 작업성 확인을 위해서 실제 공사중인 비탈면을 대상으로 테스트베드를 적용하여 현장검증 수행
  · 전동형 시추기의 작업순서는 1) 작업부지의 평탄화(메인 프레임의 설치 부지), 2) 시추기 연직도를 고려하여 하부지지대 셋팅, 3) 전기해머드릴을 메인 프레임에 장착, 4) 드릴에 오거 장착 후 굴진, 5) 목표심도까지 1m 길이의 오거를 추가로 연결하여 굴착진행, 6) 목표심도인 6m까지 굴착종료 후 핸드윈치를 이용하여 인발하는 방법으로 작업 진행
  · 현장작업 후 시추기 작업 및 부품에 대한 보완 작업 수행
  · 최종적으로 굴착작업성 및 장비성능을 전문가 및 공인기관으로부터 검증



- 적용가능 비탈면 최대 경사 및 시추가능 지반특성
  · 휴대용 시추기는 배낭(지게)형으로 3개의 package로 구성되며, package별 무게는 약 30kg이하로 제작하여 비탈면 경사가 최대 50° 에서 이동 가능
  · 운반된 휴대용 시추기는 비탈면의 소단 또는 비탈면 상부 위치에서 수직방향의 지반특성을 파악
  · 시추가 가능한 지반특성은 일반적으로 모든 토사층에서 시추가 가능하지만 토사층을 구성하는 성분 중에 자갈, 전석이 많이 포함된 토사층과 암반으로 구성된 지반에 대해서는 적용이 어려움
- 교란 및 불교란 시료 확보 및 지층구분
  · 휴대용 시추기의 작동방식이 오거형으로 굴진시 회수되는 교란 시료의 확보가 가능하며, 회수된 교란 시료를 이용해서 상부층(붕적층)과 하부층(풍화대)으로 구분 가능
  · 불교란 시료의 경우에는 오거로 굴진 후에 별도의 시료채취기를 삽입하여 샘플링이 가능하지만 자갈이나 전석이 포함되어 있는 지층에서는 시료채취가 불가능하기 때문에 불교란 시료 채취는 원지반의 풍화대에서만 가능



(2) [공동_유디엔에스] 비탈면 지반정보 복합계측센서 및 분석기술 개발

연구 목표	연구개발 수행 과정	연구 수행 내용
비탈면 지반정보 복합계측센서 및 분석기술	[1차년도]	
	• 비탈면 조사 분석 관련 기술 분석	• 비탈면 토사층 조사 및 점검 기준 분석 • 토질/사면 조사 및 시험 요구성능 도출
	• 지반정보 복합계측센서 기술 분석	• 함수비/토양경도계/동적 콘관입시험 센서프로브 기술 분석 • 지반정보 복합계측센서 프로브 설계
	• 계측센서 제어 및 데이터수집 / 분석 / 전송을 위한 현장 통합단말기 설계	• 계측센서 데이터 포맷 및 프로토콜 분석 • 현장 통합단말기 설계 / 시작품 개발 완료
	[2차년도]	
	• 드릴링/오거링 파라미터 분석기술 연구 개발	• 드릴링 파라미터 데이터 취득 시스템 구성 • 실외 모형토조 드릴링 파라미터 시험 수행
	• 지반정보 복합계측센서 기술 개발	• 멀티레이어 FDR 방식 함수비센서 개발 • 비탈면 내구성 평가용 센서프로브 개발
	• 계측센서 제어 및 데이터수집 통합단말장비 개발	• 통합단말장비 시제품 개발 • 분석 알고리즘 및 프로그램 개발
	• 휴대용 시추기 및 지반정보 복합계측센서 성능검증을 위한 시험환경 구축	• 성능검증용 실외 모형토조(심도2m) 제작
	• 휴대용 시추기 및 지반정보 복합계측센서 성능 목표 정량적 평가 실시	• 전문가 참관 현장적용시험 실시 및 복합계측센서 프로브 관입시험을 통해서 지반정보와 함수비 데이터 확인
	[3차년도]	
	• 지반정수 분석기술 고도화	• 드릴링 파라미터 정보 분석 신뢰도 향상 • 지반정수의 분석 정확도 향상
	• 토사층 지층정보 계측센서 프로브 케이스 개선	• 함수비, 동적관입시험, 토양경도센서의 일체화 하우징 개발
	• 비탈면 내구성평가용 센서 데이터 신뢰도 향상	• 동적콘관입시험 DCPT 결과 분석 향상 • 실내 시료시험 결과 데이터베이스를 이용한 토양경도 분석값 신뢰도 향상
	• 실외 성능검증 및 현장적용	• 실외시험을 통한 복합계측센서 지반정수 분석기술 검증 • 휴대용 시추기 및 복합계측센서 성능목표 정량적 평가 실시

○ **비탈면 조사 분석 관련 기술 분석**

- 비탈면 토사층 시추조사 및 점검 평가기준관련 내용을 조사 분석 하였으며, 특히 '안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(절토사면)'를 세부검토 하여 정밀점검시 필요로 하는 조사장비 요구성능을 도출하였음.
- 국토교통부의 '국도설계업무매뉴얼-토질조사 및 시험기준 (2008. 12, 국토교통부)' 및 '건설공사 비탈면 설계기준(2011. 12, 국토교통부)' 등을 조사 분석하여 토질조사 및 시험 기준 내용 분석하여 요구성능 도출함.
- 토질시험 관련 KS 기준들을 조사 분석 하여 표준관입시험, 흙의 공학적 분류방법, 전자식콘관입시험 등에 관한 표준을 상세히 분석하여 복합계측센서 기본 설계 방향 도출함.
- 사면의 안전성평가 기준 검토하여 현장 정밀점검시 수집가능한 정보와 이를 안전성평가에 활용하기 위한 방안을 검토하였음.



○ **지반정보 복합계측센서 기술 분석**

- 지반정보 복합계측센서 중 함수비 측정모듈에 대한 기술조사 분석을 실시
- 자체개발한 함수비 측정모듈에 대한 실내 비교검증실험 실시
- 디지털 동적 콘관입시험 센서프로브 기술을 분석하여 지반정보 복합계측센서 설계에 반영함
- 디지털 동적 콘관입시험을 통해 얻어지는 관입저항 및 마찰력의 관계식을 활용하여, 토질특성인 SBT(Soil Behavior Type)을 12가지로 구분함으로써 지반정보에 대한 세밀한 분석 가능
- 휴대용 조사장비로써 토양 경도를 손쉽게 측정가능한 디지털 토양경도계 관련 기술을 조사분석하여 복합계측센서 콘 프로브 설계에 반영하였음
- 기존 전자식 콘관입시험기 프로브를 대체하여 소형화 간편화하기 위한 비탈면용 소형센서 콘 프로브를 설계 개발하여 기초 실험을 실시





검교정용 실하중 측정장비 (100kg)

무게 추 구성

하중센서 압축시험

무게 추 (kg)	강도 센서 측정값 (kg)				정확도
	1회	2회	3회	평균값	
0	0.0	0.0	0.0	0.0	100%
5	4.9	5.0	4.9	4.93	98.6%
15	14.9	15.0	15.0	14.97	99.8%
40	39.9	39.9	40.0	39.93	99.8%
65	64.9	64.9	65.0	64.93	99.9%
90	90.0	90.0	90.0	90.00	100%

소형 전자식 콘 프로브 정확도 검증실시

○ **계측센서 제어 및 데이터수집 / 분석 / 전송을 위한 현장 통합단말기 설계**

- 휴대용 시추기 및 지반정보 복합계측센서를 구성하는 각종 센서 들의 데이터 포맷 및 프로토콜 분석하여 통합단말기 계측센서 모듈 기본설계에 반영함.
- 실시간 계측정보 분석을 위한 데이터베이스 스키마 구성 완료
- CSMS서버와 데이터 연계를 위한 현장 통합단말기 기본 설계 완료
- 현장 통합단말기 계측센서모듈 및 현장통합단말모듈의 기본 기능 설계 및 하드웨어 시작품 개발 완료
- 현장 통합단말기 각 모듈의 세부 구동소프트웨어 개발 완료



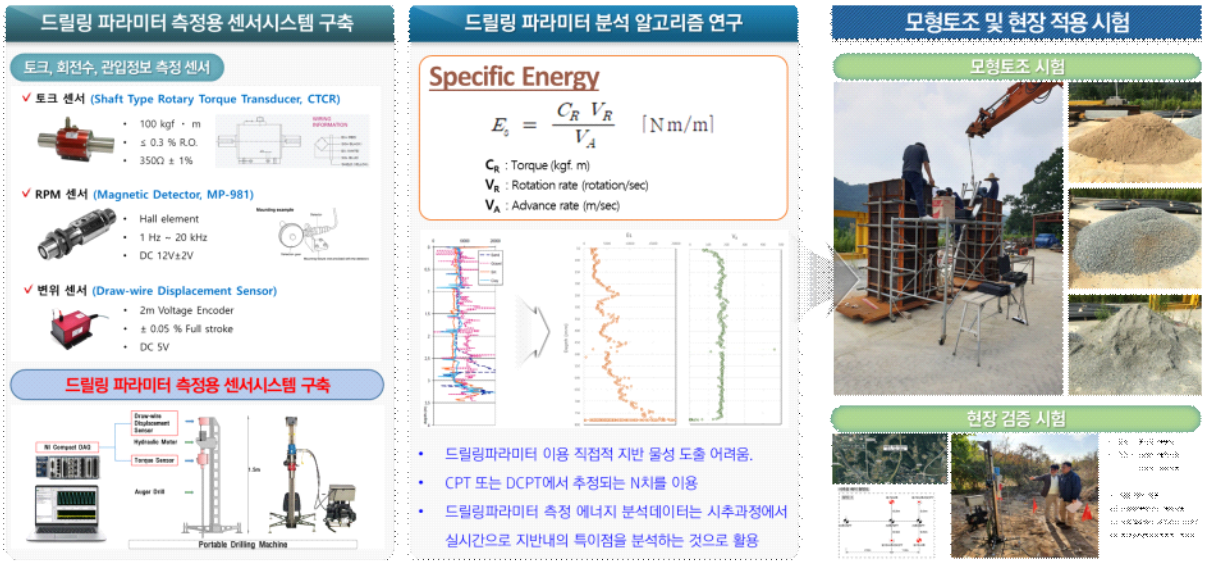




(2차년도) 비탈면 지반정보 복합계측센서 시스템 개발 및 실내외 성능 검증

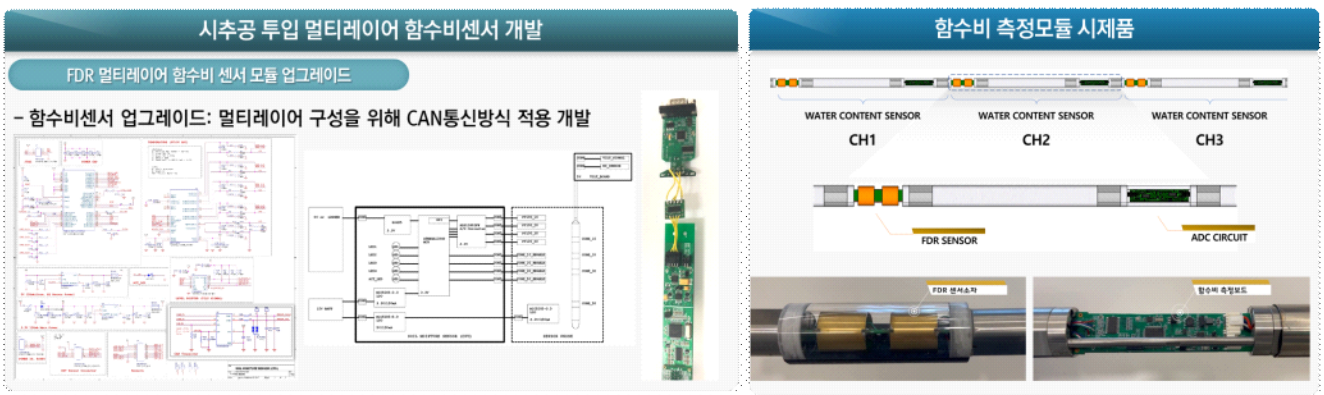
○ 드릴링/오거링 파라미터 분석기술 연구 개발

- 토크센서, RPM센서, 변위센서를 적용하여 드릴링 파라미터 데이터 측정 : 모형토조 및 현장 시험 등 다양한 시험에서 드릴링 파라미터 데이터를 측정 분석
- 1차 모형토조 시험에서는 용량 100 kgf·m 토크센서를 사용하여 측정하였으며, 2차 현장시험에서는 경량화를 위해 용량 20 kgf·m 토크센서를 제작하여 시험을 실시
- 지반특성 Es 및 SBT, N치로 환산하는 알고리즘을 개발 적용 : 시추기의 관입 Torque 및 Advance rate, Rotation rate를 이용한 Specific Energy 개념을 적용
- 드릴링파라미터를 이용하여 직접적으로 지반의 물성을 도출하는 것은 어렵기 때문에, CPT 또는 DCPT에서 추정되는 N치를 이용하여 전단강도 및 내부마찰각을 분석하는 것을 우선적으로 적용하고 에너지값 분석은 시추과정에서 실시간으로 지반내의 특이점을 분석하는 것으로 활용



○ 지반정보 복합계측센서 기술 개발

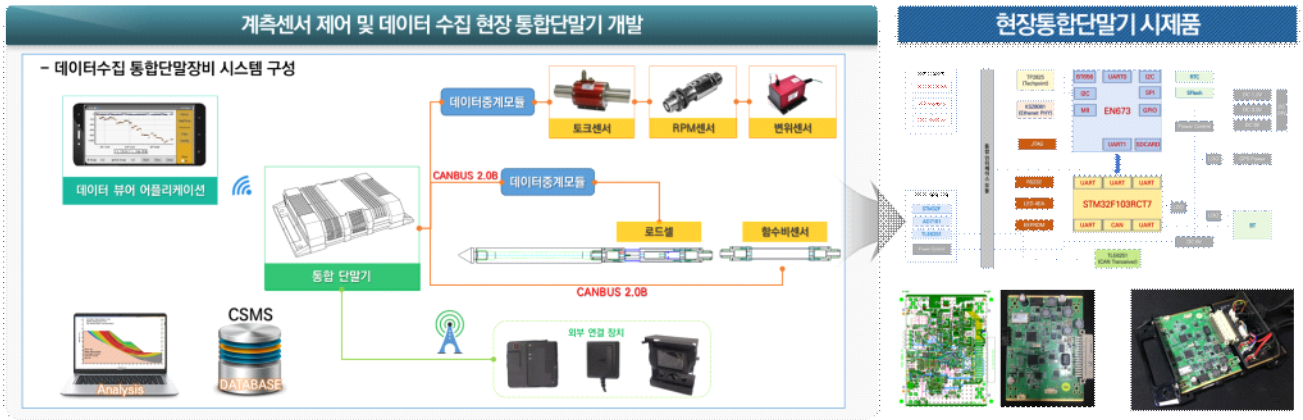
- 휴대용시추기 장비와 연결하여 사용하는 지반정보 복합계측센서를 소형 동적콘관입시험 프로브와 함수비 센서부로 모듈화 개발
- 시추공 투입 멀티레이어 함수비센서 개발 : 1차년도 개발한 토양함수비 융복합센서의 센싱코어부 및 측정부 회로 개발 기술을 바탕으로 복합계측센서 프로브에 적합하도록 통신방식 및 사이즈 등을 변경하여 추가 개발을 진행하였음.
- 지반정보 복합계측센서 프로브 개발 : 지반정보 복합계측센서 프로브는 CPT 및 DCPT를 수행하기 위해 개발하였으며, 직경 30mm 콘과 길이 250mm Friction Sleeve를 기본 스펙으로 콘관입력과 마찰력을 손실없이 로드셀로 전달하기 위한 로드와 어댑터로 구성
- 로드셀 모듈부는 콘관입력과 마찰력을 각각 2개의 로드셀로 손실없이 전달할 수 있도록 2개 ㄷ형 지지부를 가공하여 교차하는 형태로 끼워지도록 설계함





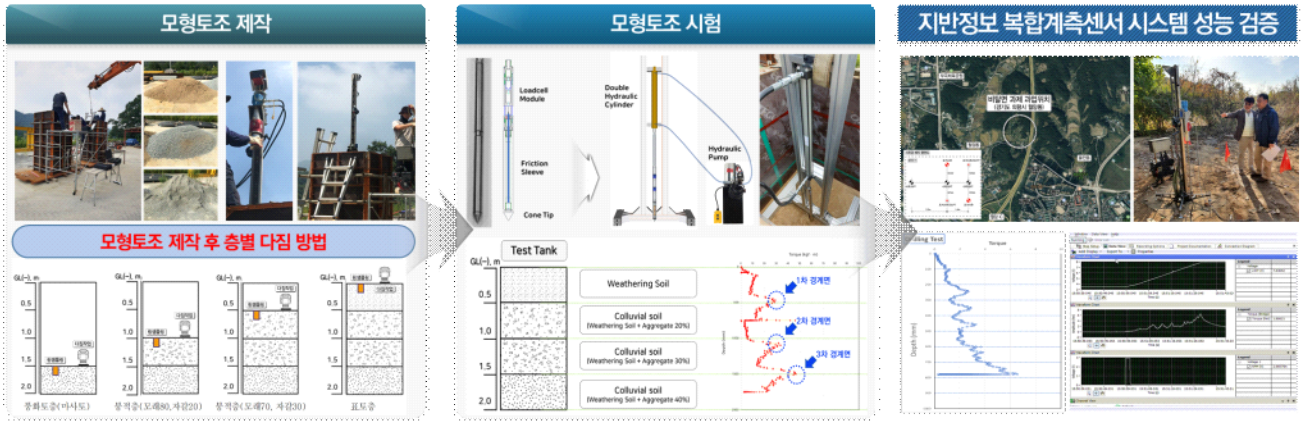
○ **계측센서 제어 및 데이터수집 통합단말장비 개발**

- 현장 통합단말기는 RTOS 기반 임베디드시스템과 CAN통신 네트워크 및 24비트 AD변환기를 사용한 데이터중계모듈로 구성되며, 휴대용 시추기 센서 및 지반정보 복합계측센서를 실시간으로 측정하여 지반정보로 분석할 수 있도록 개발함
- 데이터중계모듈은 동적콘관입시험 프로브의 관입력과 마찰력을 측정하는 2개의 로드셀을 연결하여 동적으로 측정할 수 있도록 개발 (24BIT ADC적용)



○ **휴대용 시추기 및 지반정보 복합계측센서 성능검증을 위한 시험환경 구축 및 성능평가**

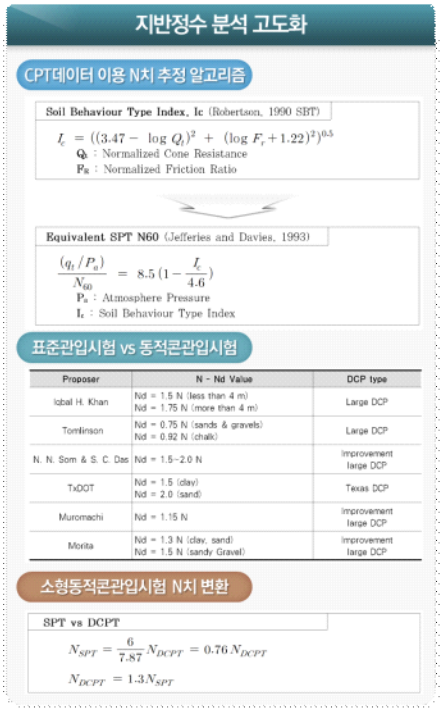
- 실외 성능시험을 위해 1.0m×1.0m×2.0m의 모형 토조를 제작 : 표토, 붕적토, 풍화토의 시료를 0.5m씩 층별 다짐을 실시하여, 시험환경 구축 후, 토조시험 및 현장시험을 통해 성능검증 실시
- 휴대용 시추기 분석정보의 성능검증을 위한 현장시험을 실시하여 표준관입시험 및 CPT, 에너지효율측정 등을 통해서 정확한 N치를 측정하고 이를 분석정보와 비교 분석 실시

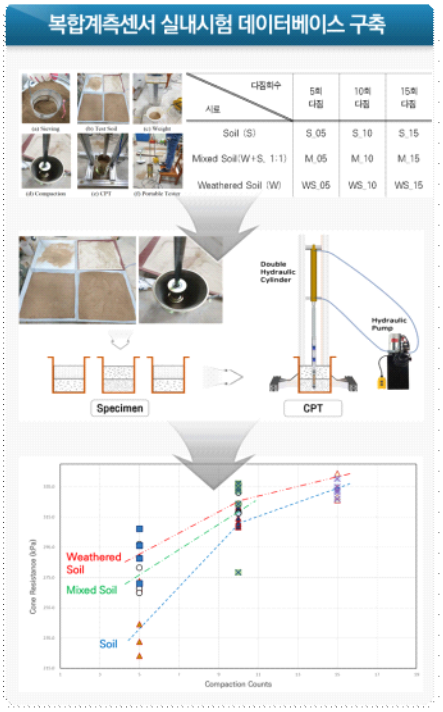


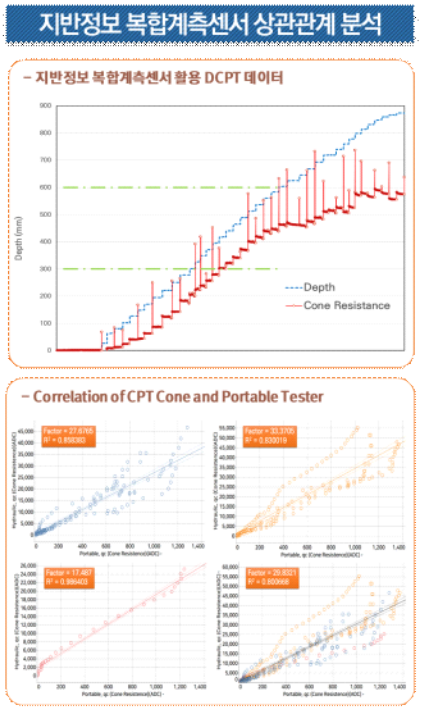
(3차년도) 비탈면 지반정보 복합계측센서 및 분석 기술 고도화, 현장 검증

○ 지반정수 분석기술 고도화

- 드릴링 파라미터를 이용한 지층정보 분석 신뢰도 향상
- 함수비 센서 등을 이용한 분석된 지반정수의 정확도 향상
- 비탈면 내구성평가용 센서 데이터 신뢰도 향상 : 동적콘관입시험 DCPT 결과 분석 고도화
- 실내 시료시험 결과 데이터베이스를 이용한 토양경도 분석값 신뢰도 향상







○ 실외 성능검증 및 현장적용

- 실외시험을 통한 휴대용시추기 지반정수 분석 기술 검증하였으며, 이를 위한 현장 적용 프로세스를 확립함
- 비탈면 테스트베드 현장적용성 시험 및 데이터전송 성능 공인시험 실시
- 현장 성능시험을 위한 실제 비탈면 장소 선정, 현장실증 동영상 촬영







[CTE 3]

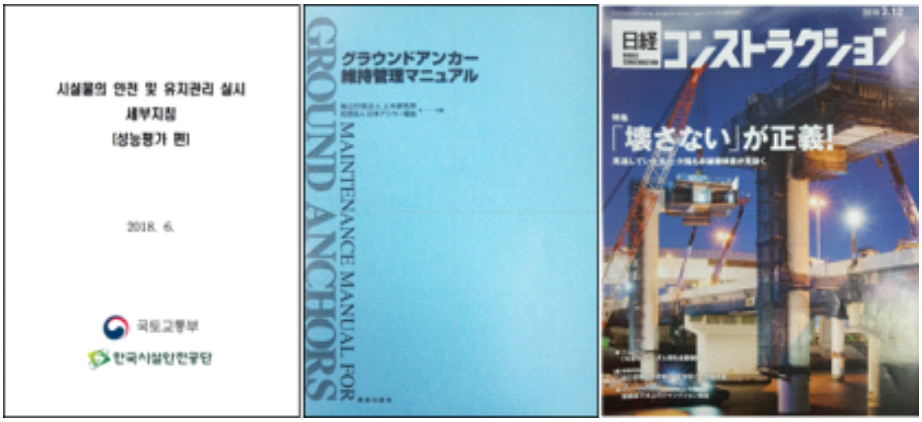
(1) [주관_한국건설기술연구원] 유지관리 이력정보 기반 비탈면 보강시설 성능평가 기술 개발

연구 목표	연구개발 수행 과정	연구 수행 내용
이력정보 기반 비탈면 보호/보강시설 성능평가 기술 개발	[1차년도]	
	• 국내외 관련 문헌 및 기술조사	• 비탈면 보강시설 성능평가 항목 도출을 위한 기초조사 수행 • 비탈면 유지관리 이력정보 수집 및 분석 수행
	• 비탈면 보강시설 현장조사를 통한 성능평가 항목 검토	• 성능평가 항목 도출 및 항목 간 중요도 분석을 위한 계층화(AHP) 분석 수행
	[2차년도]	
	• 3차원 영상정보 기반 비탈면 보호/보강시설 손상도 자동추출	• 3차원 영상정보 기반 비탈면 위험/취약부 자동추출 기술을 활용한 비탈면 보호/보강시설 손상도 자동추출 기법 개발
	• 앵커 두부 손상유형별 성능저하 경향 파악을 위한 실내모형시험체 구축 및 실외시험장 구축 • 앵커 손상유형별 성능저하 정량화를 위한 수치모델 구축	• 실내외 시험법에 의한 비탈면 보강시설 성능평가 기준 정량화 정립 • 수치해석에 의한 비탈면 보강시설 성능평가 기준 정량화 정립
	• 비탈면 보강공법 성능평가 배점기준(안) 정립	• 비탈면 보강공법 성능평가 배점기준(안) 정립을 위한 설문절차 및 성과 도출 과정 확인
	[3차년도]	
	• 비탈면 보강시설 앵커 변화 경향 정량화를 위한 추가 시험	• 비탈면 보강시설 앵커의 두부 손상에 따른 인장력 변화 경향 정량화 시험 등 수행
	• 비탈면 보강공법 성능평가표 개선(안) 도출	• 비탈면 주요 보강공법 성능평가 개선사항에 대한 신뢰도 분석 • 성능평가표 개선(안) 도출
	• 이력정보 기반 비탈면 유지관리 가이드라인(안) 개발	• 국내외 비탈면 평가 자료 수집 및 분석 • 비탈면 성능평가 수행시 보강시설 평가 부분의 신뢰도 분석 • 이력정보 기반 비탈면 유지관리 가이드라인(안) 개발

(1차년도) 비탈면 보강시설별 성능 평가표 개선(안) 도출

○ 국내외 관련 문헌 및 기술조사

- 국내 성능평가 지침 조사를 통한 성능평가 기술 및 평가항목 등의 국내 상황 파악
- 국외(일본) 앵커 유지관리매뉴얼과 전문지 조사를 통해 보강시설 성능평가 기술 및 평가항목 등의 최신 기술경향 파악
- 일본 관련분야 연구진 미팅



<국내외 관련 문헌 및 기술조사>



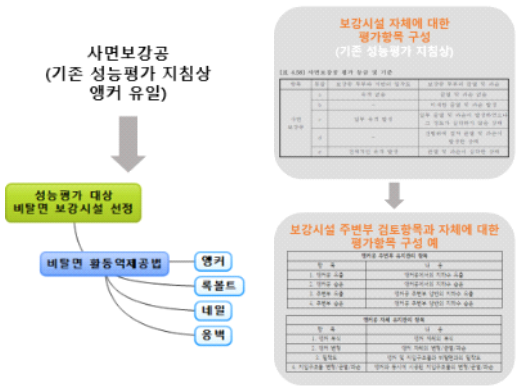
<국외(일본) 관련분야 연구진 미팅>

○ 비탈면 보강시설 현장조사를 통한 성능평가 항목 검토

- 홍천국토관리사무소 관할 보강비탈면에 대한 현장조사 수행
- 기존 유일한 앵커 성능평가 부분에 대해 다양한 보강시설로 확대 검토
- 기존 보강시설 자체에 대한 제한적 평가 항목에 대해 보강시설 주변부에 대한 평가항목 구성 검토

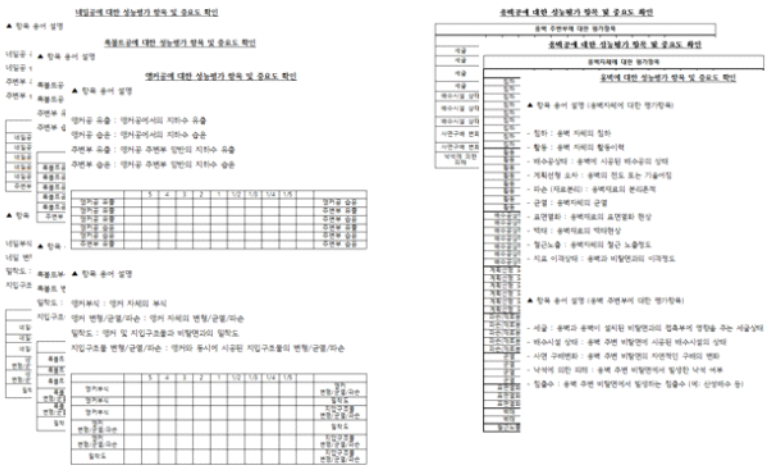


<비탈면 보강공 현장조사를 통한 평가항목 검토>



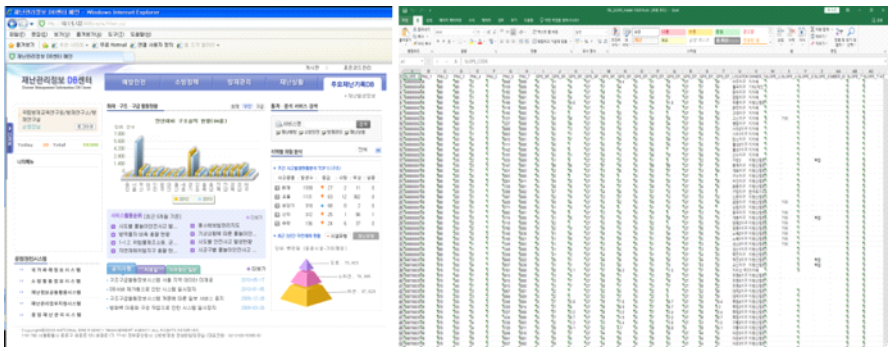
<비탈면 보강공 평가항목 검토>

- 성능평가 항목과 항목 간 중요도 검토를 위해 전문가 설문 및 설문 결과에 대한 계층화(AHP) 분석 수행(관·산·학·연 전문가 51인)

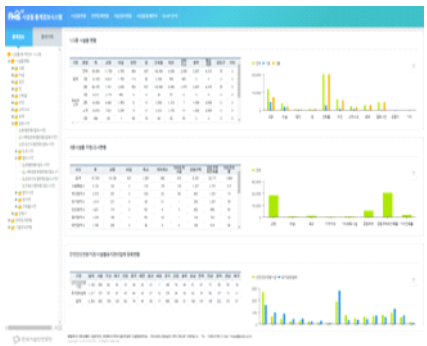


<보강시설별 성능평가 항목 및 중요도 분석용 설문지 구성>

- 비탈면 유지관리 이력정보 수집 및 분석 수행 : 국내 도로비탈면(일반국도, 고속국도, 지방도) 보호/보강시설 성능평가 현황 및 관리 실태 조사, 국내 철도비탈면 보호/보강시설 성능평가 현황 및 관리 실태 조사, CSMS 보호/보강시설 유지관리 이력정보 검토



<국가안전관리정보시스템 및 급경사지 DB>

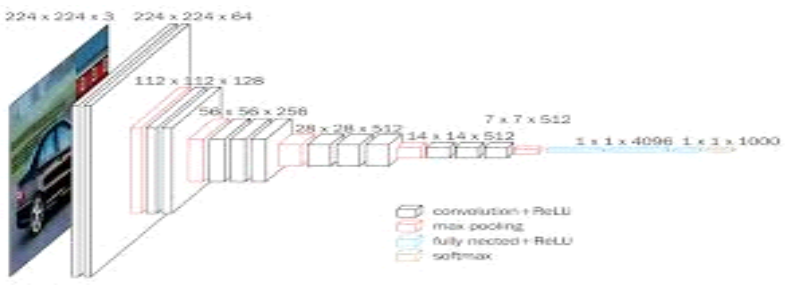


<시설물통합정보관리시스템>

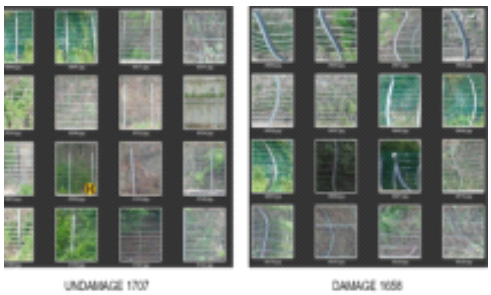
(2차년도) 3차원 영상정보 기반 비탈면 보호/보강시설 손상도 자동추출 기술

○ 3차원 영상정보 기반 비탈면 보호/보강시설 손상도 자동추출 기법

- CTE1에서 개발되고 있는 비탈면 위험/취약부 분석 프로그램을 활용하여 비탈면 보호/보강공법 손상도 자동추출 기술 검토
- 비탈면 보강공법의 경우, 앵커·네일·록볼트 등의 보강공은 두부만이 표면에 노출되어 영상정보를 통한 미세 변형 파악에 기술적 한계성이 있음을 확인
- 풍화토, 풍화암 등의 지반상태에서 보강 비탈면의 붕괴가 발생된 경우에는 비탈면 보강공과 보강 지반과의 확연한 분리를 통해 보강공법의 성능 손상에 대한 명확한 자동추출 가능 확인
- 낙석방지울타리, 낙석방지망 등의 비탈면 보호공법은 손상유형이 확실히 노출되므로 영상정보 기반 손상도 자동추출 시 높은 신뢰도 확보
- 낙석방지울타리의 손상 감지를 위해 인공신경망과 합성손상 주입기술을 결합한 새로운 기법 개발
- 신경망 학습을 위한 드론 이미지 327개 확보, 이미지 처리 알고리즘에 의한 1,707개 손상 이미지, 1,658개 미손상 이미지로 구성된 데이터 세트를 생성하여 학습 진행
- 열화상카메라 정보 기반 비탈면 표면보호공법 손상도 평가기준 검토



<합성곱 신경망의 아키텍처>



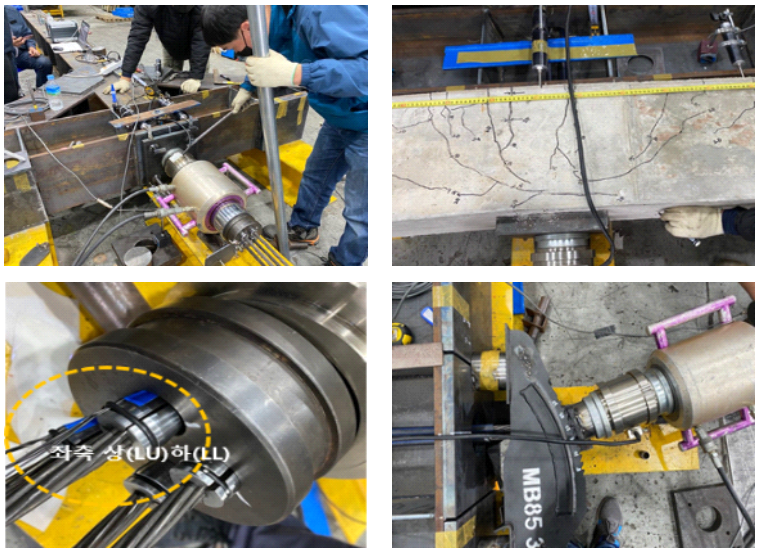
<데이터 세트-미손상 VS 손상>

○ 앵커 두부 손상유형별 성능저하 경향 파악을 위한 실내모형시험체 구축 및 실외시험장 구축

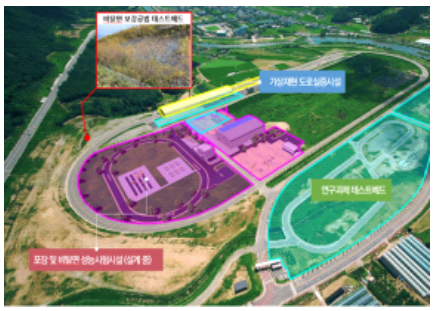
- 실내외 시험법에 의한 비탈면 보강시설 성능평가 기준 정량화
- 앵커 등 보강공법 손상유형별 성능저하 정량화를 위한 시험 수행
- 연천SOC실증연구센터 내 실외 테스트베드 구축을 통한 장기 모니터링 수행
- 최근 CSMS 관리 비탈면에 대한 보강공 우선순위에서 기대기식옹벽 33.9%, 앵커 14.0%, 록볼트 0.6%, 네일 0.5%의 분포를 나타내고 있어 효율적 연구추진을 위해 기대기식옹벽과 앵커에 대한 성능평가기술 개발을 주요 연구로 추진



<보강공 성능평가 시험절차>



<보강공 두부 손상에 따른 성능평가 시험>



<연천SOC실증연구센터>



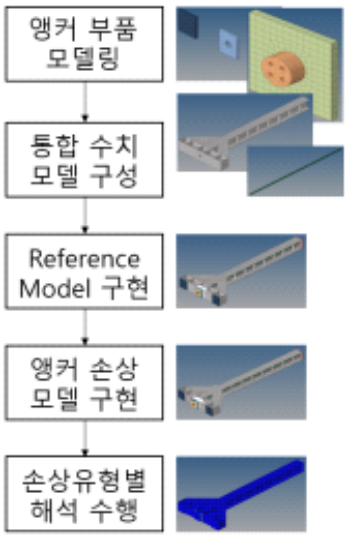
<비탈면 보강공 TB 구축>



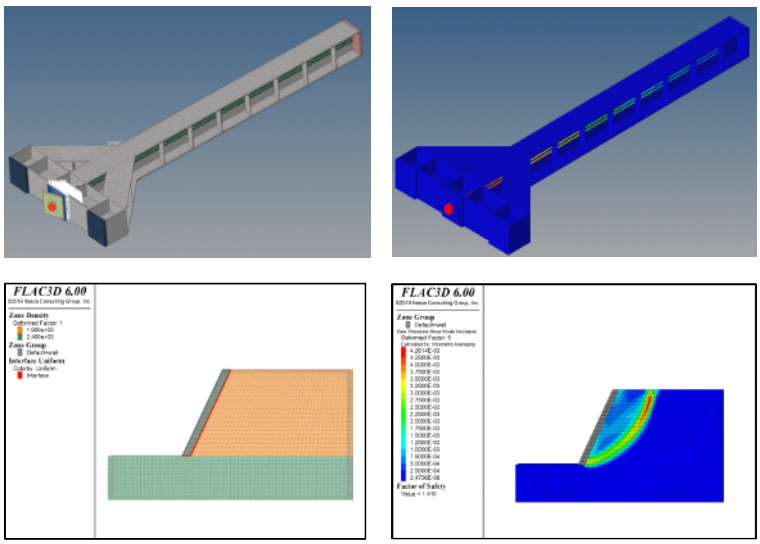
<앵커 시공 및 모니터링>

○ **앵커 손상유형별 성능저하 정량화를 위한 수치모델 구축**

- 앵커의 다양한 손상에 대한 정량적 평가기준 마련을 위하여 앵커와 앵커관련 시설물에 대한 손상을 분류하여 크게 4가지 유형으로 정의하고, 수치해석에 의한 비탈면 보강시설 성능평가 기준 정량화에 활용
- 앵커 실험모형과 실험결과를 바탕으로 수치해석 수행을 위한 수치모델 개발
- 기대기식옹벽 대상 성능저하 정량화 해석 수행



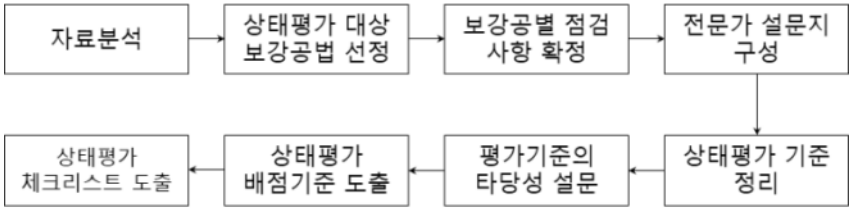
<보강공 수치모델 구축>



<보강공(앵커, 기대기식옹벽) 성능저하 해석>

○ **비탈면 보강공법 성능평가 배점기준(안) 정립**

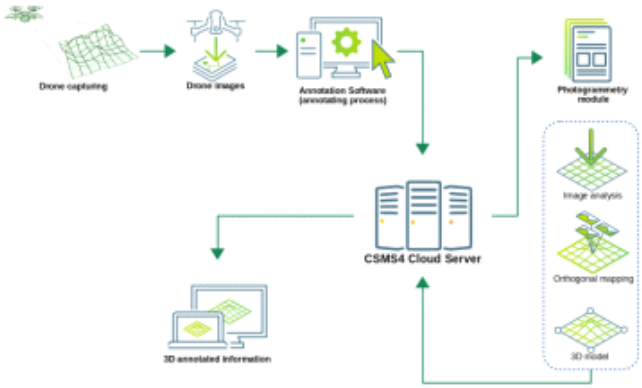
- 국내 대표적 비탈면 보강공법 손상유형 분석결과 활용 평가 배점기준(안) 검토
- 평가항목별 배점기준 정립을 위한 전문가 계층화 분석 수행
- 비탈면 보강공법 성능평가 배점기준(안) 정립을 위한 설문절차 및 성과 도출



<비탈면 보강공 성능평가 배점기준(안) 도출 과정>

○ **비탈면 유지관리 이력정보 데이터베이스 구성**

- 비탈면 보호/보강시설에 대한 점검 이력정보화를 위한 DB 구성
- 사용자로 하여금 주석이 달린 정보가 포함된 드론 이미지를 클라우드 서버에 업로드 가능
- 이 주석 소프트웨어는 사용자 계정으로 CSMS4 서버 연결되며, 모든 데이터는 CSMS4 온라인 계정과 일치

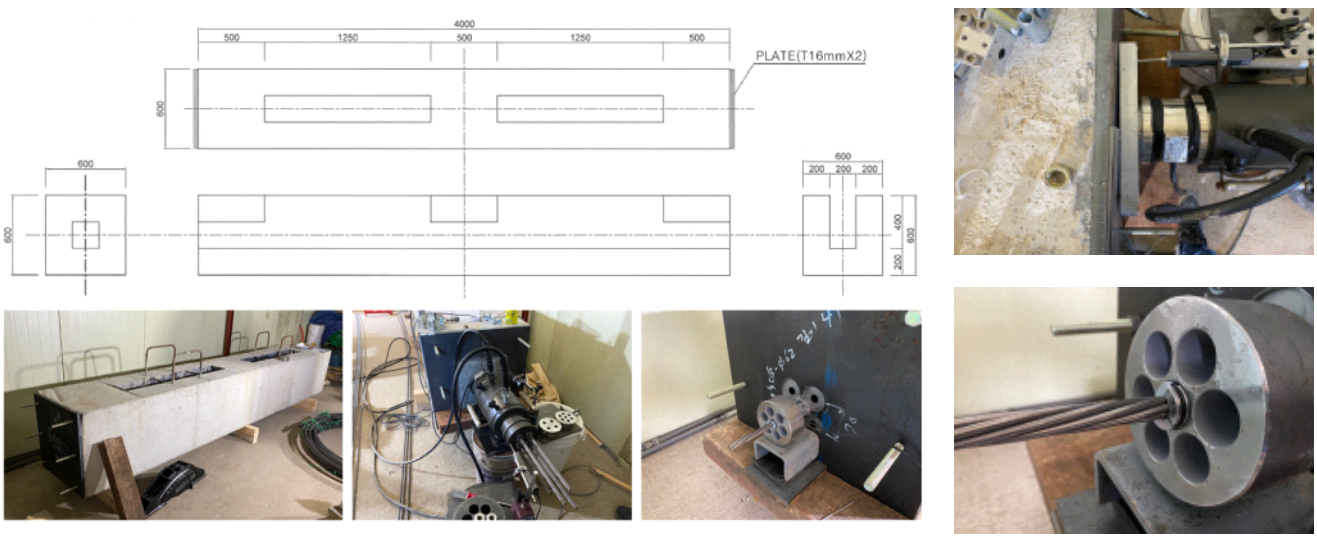


<주석 소프트웨어 작업 절차 및 csms4 서버연결 구상도>

(3차년도) 비탈면 보강공법 성능평가표 개선(안) 도출

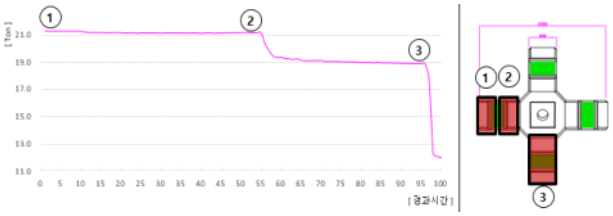
○ **비탈면 보강시설 앵커의 두부 손상에 따른 인장력 변화 경향을 정량화하기 위한 2차 시험 및 영상정보 기반 비탈면 보강시설 손상도 추출**

- 추가 실내시험을 통한 비탈면 보강시설(앵커) 성능평가 기준 정량화
- 앵커 두부 손상유형에 따른 인장력 변화에 의한 성능저하 정량화를 위한 추가 시험 수행
- 연천SOC실증연구센터 내 조성된 비탈면 보강공 테스트베드 활용 인위적 앵커 두부 손상에 따른 인장력 변화 시험 및 장기 앵커 인장력 변화 파악



<보강공 두부 손상에 따른 성능평가 2차 시험>





<연천SOC실증연구센터 내 테스트베드 활용 인위적 앵커 두부 손상 시험>

– 비탈면에 시공된 실물 앵커에 대해 해빙기, 우기 등의 계절적 변화양상 및 기타 앵커 두부 변형 양상 모니터링 및 육안/드론영상에 의한 손상정보 획득 비교 수행



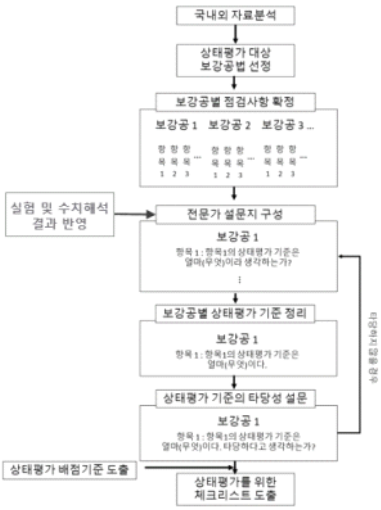


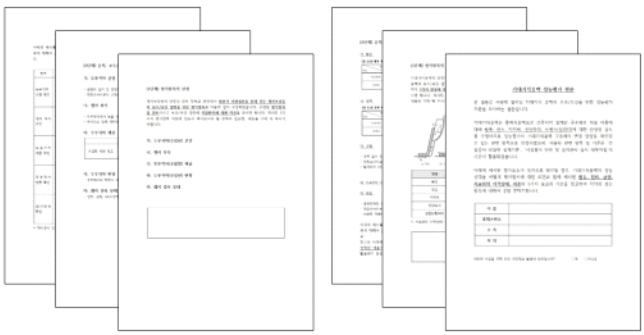
<연천SOC실증연구센터 내 테스트베드 활용 드론 영상 중첩에 의한 손상 추출>

○ 비탈면 보강공법 성능평가표 개선(안) 도출

– 비탈면 주요 보강공법 성능평가 개선사항에 대한 비탈면 유지관리 차원에서의 신뢰도 분석
: 델파이기법을 활용한 비탈면 보강공법 성능평가 개선사항 검토

– 기존 성능평가의 문제점을 보완한 개선된 비탈면 보강공법 성능평가표 개선(안) 도출





<비탈면 보강공 성능평가표 개선 수행 절차>　　<비탈면 보강공 성능평가표 개선(안) 검토>

○ 이력정보 기반 비탈면 유지관리 가이드라인(안) 개발

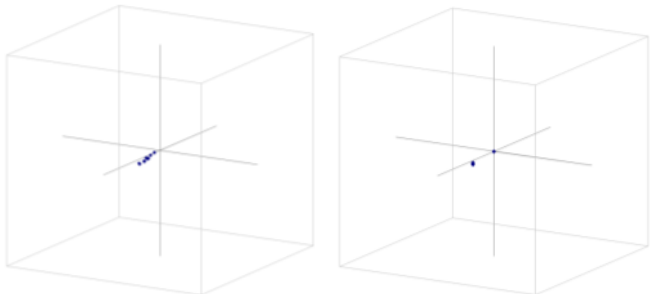
– 국내외 비탈면 평가 자료 수집 및 분석

– 비탈면 보강시설 성능이 전체 비탈면에 미치는 영향도 분석

– 비탈면 보강공의 성능평가 이력정보 기반 비탈면 유지관리 가이드라인(안) 개발

국가	적용	대상		평가방법
		비탈면	시설	
홍콩	위험 순위, 대책 순위	절토사면 옹벽	모든 시설	점수제
홍콩	위험순위, 대책 순위	성토사면	모든 시설	점수제
홍콩	위험순위, 대책순위	절·성토사면 옹벽	모든 시설	점수제
미국	위험순위, 대책순위 사전평가	암반 절토사면	도로	점수제
캐나다	위험순위, 대책순위	암반 절토사면	철도	위험요소 등급
오스트레일리아	위험순위, 대책순위	인공사면	도로	위험성 및 요소 등급
말레이시아	위험순위, 대책순위	모든사면	도로	점수제
오스트레일리아	위험순위, 지반이용 계획	절토사면	지반등도별	위험등급별 점수제
일본	위험순위, 대책순위	암반사면 토석류	도로	점수제 전문가
뉴질랜드	위험순위, 대책순위	절토사면 성토사면	도로	위험요소별 점수제
영국	위험순위, 대책순위	암반사면	도로	위험요소별 점수제

<국외 비탈면 평가자료 수집 분석>



<비탈면 보강시설 성능평가 영향도 분석>

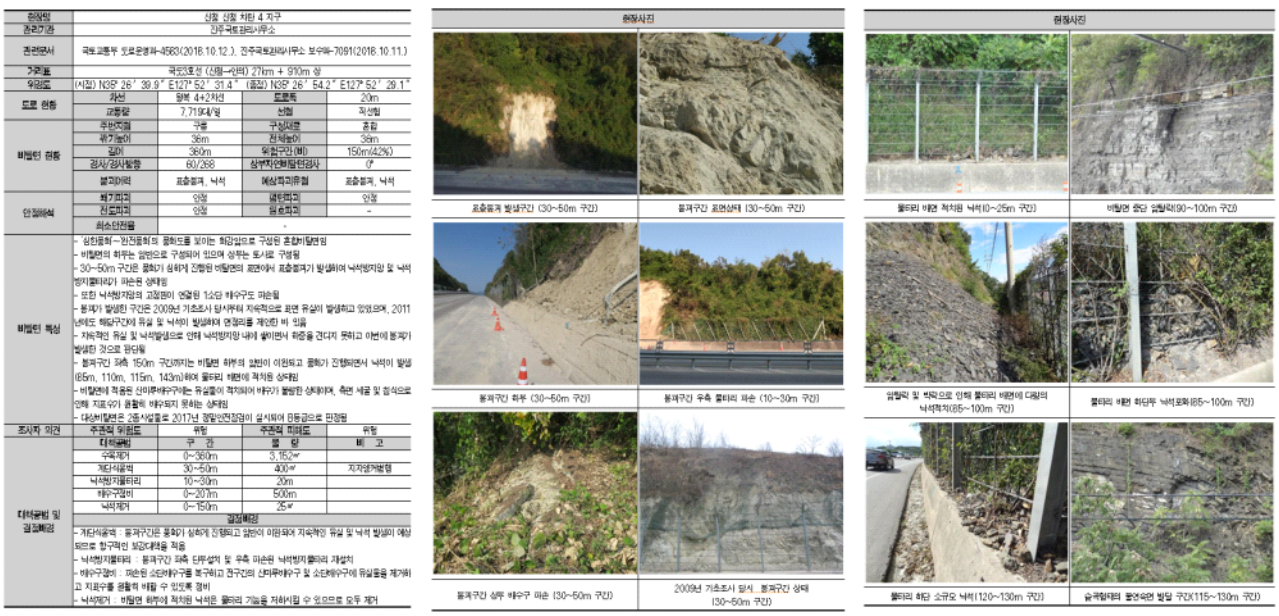
(2) [공동_상지대학교 산학협력단] 유지관리 이력정보 기반 비탈면 보호시설 성능평가 기술 개발

연구 목표	연구개발 수행 과정	연구 수행 내용
비탈면 보호시설 사용성능 평가기술개발	[1차년도]	
	• 국내외 문헌 및 기술 조사	• 국내 외(스위스, 미국, 유럽) 낙석방지울타리 사용성능 평가 기술 비교 분석 • 국내·외 배수공의 경우 비탈면에 설치하는 방법이 나타나 있지만 사용성능평가에 대한 내용은 전무함
	• 낙석방지울타리 및 낙석방지망 성능평가 현장시험	• 현장 시험을 통한 국내 낙석방지울타리 사용성능 분석 • 실내 시험을 통한 국내 낙석방지망 사용성능 분석
	• 국내 비탈면 보호시설 기존자료 분석 및 현장 조사	• 국내 비탈면 보호시설 자료 분석 및 현장 조사 (경산 하양 부호 1지구 외 3곳) • 낙석방지울타리 및 배수시설 성능평가 인자 분석
	[2차년도]	
	• 낙석방지울타리상태평가(안) 도출	• 낙석방지울타리 실물실험과 충돌해석 결과(3경간) 도출 • 30kJ, 50kJ, 100kJ 낙석에너지에 따른 요소별 흡수에너지 결과 분석 • 낙석방지울타리 손상 정도에 따른 성능시험 방법 도출 • 낙석방지망 및 울타리 기본 정보 리스트(안), 기본요소 등급(안), 현장 체크리스트(안), 평가기준(안) 도출
	• 배수성능평가 모형실험	• 배수성능평가 분석을 위한 모형토조 및 강우재현장치 제작 • 설계기준 및 설계도서 분석을 통한 성능실험 방법 도출 • 수평배수공 및 산마루측구 성능평가 방안에 따른 실내실험 수행
	[3차년도]	
	• 낙석방지울타리상태평가 가이드라인(안) 보완	• 현장시험 손상정도에 따른 기본 정보 리스트(안), 기본 요소(낙석방지망, 국도용 낙석방지울타리, 고속도로용 낙석방지울타리) 등급(안), 체크리스트(안), 평가기준(안) 보완
	• 배수시설 성능평기 가이드라인(안) 보완	• 대형모형토조를 활용한 수평배수공과 산마루측구에 대한 성능평가지표(안) 보완

(1차년도) 국내·외 비탈면 보호시설별 성능평가 기준 연구

○ 국내·외 비탈면 보호시설별 문헌 및 기술 조사

- 국내·외(SAEFL, NCHRP 20-7, ETAG-027) 낙석방지울타리 문헌 및 기술조사
  - 국내 낙석방지 울타리는 H형강을 지주로 와이어로프와 철망을 부착시키는 형식으로 사용됨
  - 지주는 상단부가 도로 쪽으로 휘어 있는 곡주식 형태가 주로 사용되고 있으며 신장 능력이 뛰어난 와이어로프와 철망이 부착되므로 낙석 발생시 지주, 와이어 로프 그리고 철망이 일체가 되어 낙석의 에너지를 흡수함.
  - SAEFL은 정부기관에 의해 시험 절차 및 승인 지침되었고, 2001년에 완료되었다. 2006년 연방환경(FOEN)에서 이 지침에 대하여 개정안을 발간하였고, 객관적인 근거를 제공하고, 특정 에너지 부류의 다양한 울타리를 비교, 울타리 효과를 개선, 건설 및 유지보수 정보를 제공
  - 낙석방지울타리의 기준시험을 산정하기 위해 AASHTO의 요청으로 NCHRP가 연구를 수행하여 낙석방지울타리 성능검증 절차를 제안
  - ETAG0027의 SEL 시험은 성능등급별 최대낙석에너지의 1/3 에너지로 1차 충돌시험을 실시하고, 낙석을 제가한 후 낙석방지울타리의 유지보수 없이 잔여높이 1/2 지점에 2차 충돌시험을 실시한다. MEL 시험은 SEL 시험을 실시한 낙석방지울타리를 보수하거나, 새로 설치하여 성능등급별 최대 낙석에너지를 사용하여 실시하는 시험이다. 낙석의 충돌 각도는 90도의 범위로 허용하고 있고, 낙석의 충돌속도는 충돌 1m 전 평균속도가 25m/s 이상이 되도록 규정
- 국내·외(미국, 일본, 홍콩) 배수공 설계 현황 조사
  - 노상·노체의 강도 확보 및 손상방지, 비탈면 표층의 침식이나 비탈면 붕괴 방지 등이다. 비탈면 배수 시설은 지표수 및 지하수를 적절하게 처리하도록 계획하고, 토석류 등의 대규모 붕괴에 대해서는 별도로 대책을 고려
  - 미국에서 산사태 방지대책으로 사용되는 공법은 흙깎기와 흙쌓기를 통한 방지대책, 토목섬유이용공법, 지하배수공법, 지지구조물에 의한 방지대책으로 요약
  - 일본에서 많이 사용하고 있는 산사태 억제 공법으로는 지표수 배수 조절 공법, 지하수 배수 조절 공법, 배토 공법, 버팀보 공법 등이 있다. 이공법들은 현재 우리나라에서 가장 많이 통용되고 있는 공법
  - 홍콩 현장의 기술자들에게는 이러한 Chunam공법이 산사태 대책공법으로써는 가장 효과적이라는 인식이 아직도 많이 남아 있는 실정
- 국내 비탈면 보호시설 자료 분석 및 현장 조사

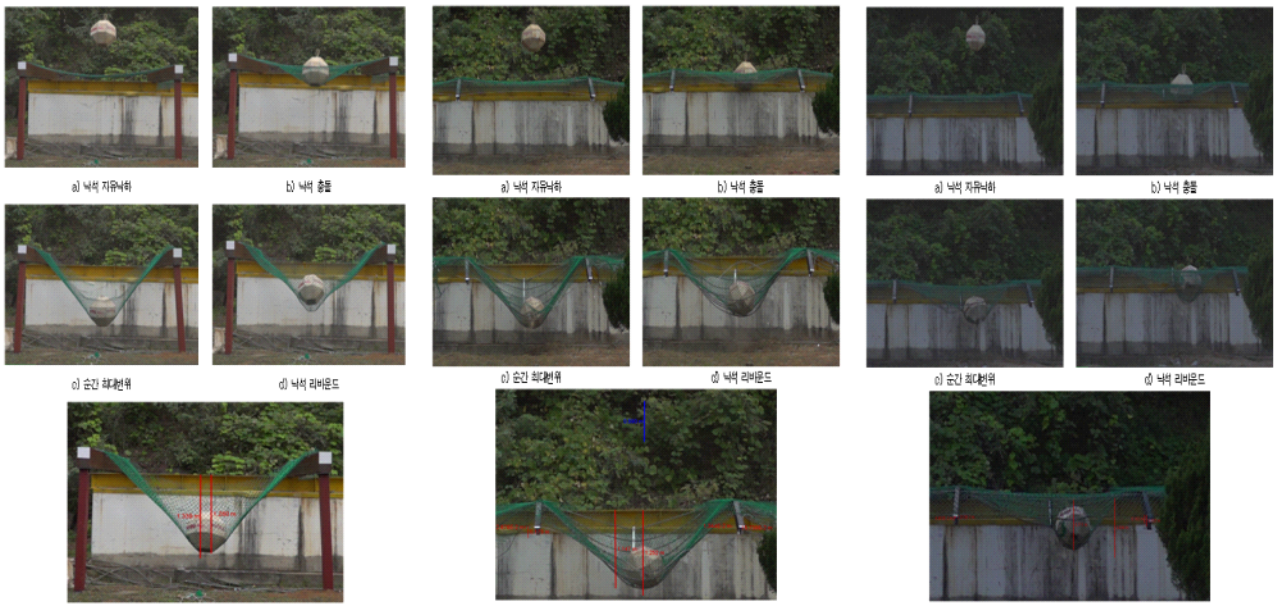


<비탈면 기존 자료 분석 및 비탈면 피해 현장 조사>

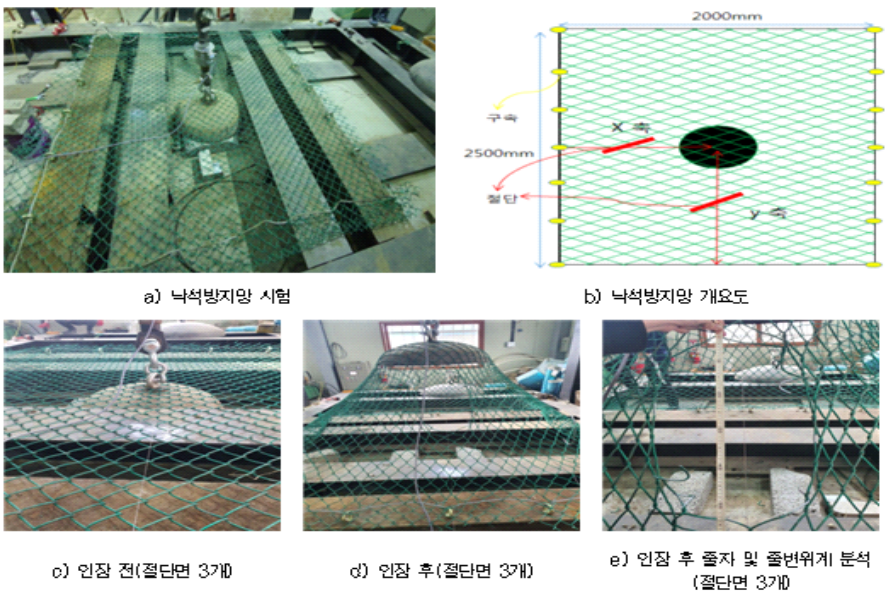
○ 국내 낙석방지울타리 및 낙석방지망 현장 성능평가 시험

- 시험 결정 판정 방법

· 시험 결과에 대한 지주변위 판정여부는 낙석이 충격 후 지주의 길이(H_R)가 충격 전 지주의 길이(H_N)의 70%이내에 들어오는 지를 확인하였다. 해외 규정 중 미국 규정인 NCHRP에서 분류하고 있는 3가지 시험 중 TEST A, B의 경우 낙석의 통과여부만 판정하기 때문에 지주에 대한 객관적인 판정이 불가능하였으며, TEST C의 경우 낙석 흡수 에너지를 100~5000kJ로 시험을 해야 한다. 따라서 국내 울타리의 낙석 흡수에너지인 48~61kJ에 대한 판정하기 어렵다. 유럽기준인 ETAG 27은 MEL과 SEL의 2종류의 성능 확인 방법이 있다. 이 중 MEL 경우 최대 성능을 확인하는 방법으로 최대충격에너지로 타격으로 인한 지주의 변위가 50%이내에 대한 판정여부를 실시하는데, 본 시험 결과 완전히 처짐이 발생했을 경우 50%이내 판정 시 A등급인 안전상의 문제가 없음으로 나오기 때문에 MEL의 판정이 불가능하다. 따라서 ETAG 27 SEL의 규정인 지주의 변위 70%로 지주 상태에 대한 판정 여부를 실시



<국내 낙석방지울타리 현장 성능평가 시험>



a) 낙석방지망 시험　　b) 낙석방지망 개요도

c) 인장 전(절단면 3개)　　d) 인장 후(절단면 3개)　　e) 인장 후 줄자 및 줄변위계 분석 (절단면 3개)

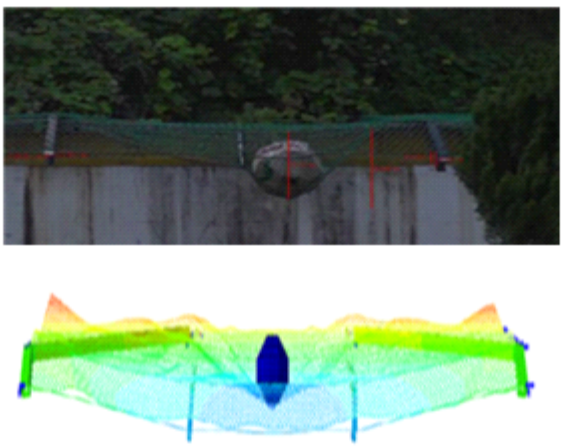
<국내 낙석방지망 성능평가 시험>

○ 낙석방지울타리 요소별 흡수에너지 시험 결과 분석

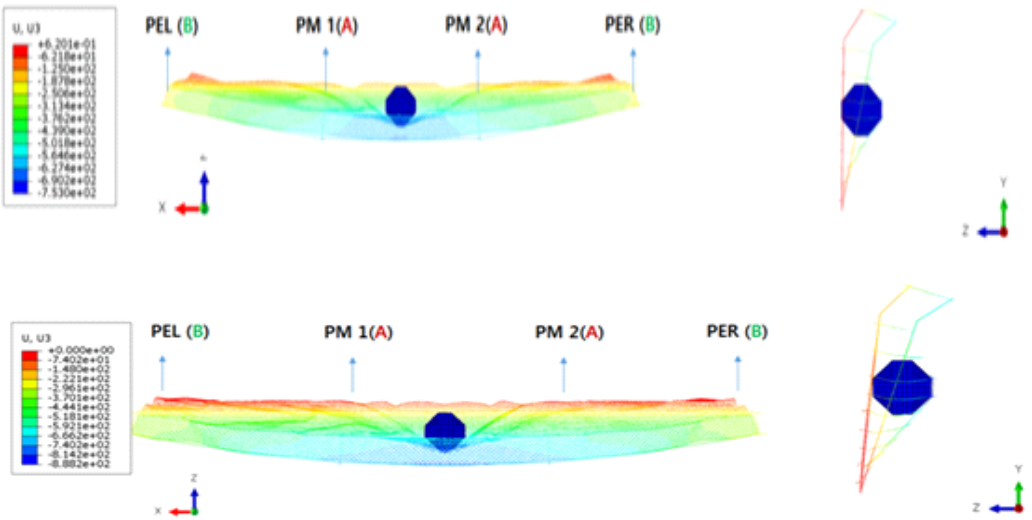
- 현장시험 흡수에너지 평가 결과 분석

· 낙석방지울타리 상태평가표 개선(안)을 도출하기 위하여 낙석방지울타리 현장시험의 결과를 분석함. 분석한 결과는 아래의 표 와 같으며, 수치해석을 실시한 결과 현장시험 최종 변위 0.71m, 해석의 최종변위 0.76m로 두 결과의 오차는 약 7.8%를 나타내었음. 이를 바탕으로 30kJ이 적용되었을 시 망의 흡수에너지는 5.65kJ 이라는 결과를 도출함.

시 험 명	시 험 결 과
PVC코팅망의 흡수에너지 평가	낙석 볼의 중량이 **400kg인 경우 25~35kJ까지 망의 성능이 허용 가능하였으나 중량이 100kg인 경우 25kJ**에서 망이 뚫림을 알 수 있었다. 이는 100kg일 때 망에 닿는 면적이 작아 응력집중이 발생하였음을 알 수 있음
낙석의 충돌위치에 따른 흡수에너지 평가	낙석이 2/3지점의 경우 지주의 변위가 0.513m, 1/2지점의 경우 0.329m로 **2/3지점보다 1/2지점에 충돌하였을 경우 더 많은 충돌에너지를 흡수함**을 알 수 있었음
경간 수에 따른 흡수에너지 평가	충돌에너지가 50kJ일 때, 단경간인 경우 충돌에너지를 흡수하지 못하였으며, 단부가 설치가 되어있지 않은 3경간일 때보다 단부가 설치된 3경간인 경우 모든 충돌에너지를 흡수함을 알 수 있었음
표준규격의 흡수에너지 평가	표준규격의 흡수에너지 평가결과 흡수에너지가 **50~55kJ**임을 알 수 있었음.
낙석 중량에 따른 흡수에너지 평가	망의 흡수에너지 평가실험에서 낙석의 중량이 100kg인 경우 응력집중이 발생하여 망의 뚫림을 확인하였지만 와이어로프가 체결된 상태에서는 **와이어로프가 응력집중을 분산시킴으로써, 망의 뚫림을 방지함을 알 수 있었음.**



<낙석방지울타리 실물 시험 및 충돌 해석 결과>



<낙석방지울타리 수치해석 결과(3경간)>

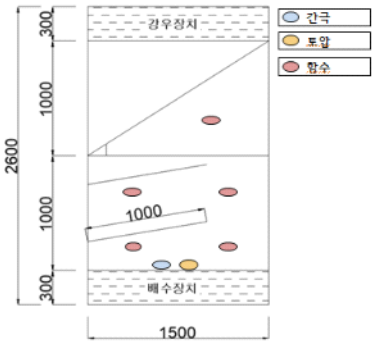
○ **배수성능평가 실험 및 분석**

- 배수성능 모형시험 장치 개발

  · 배수성능 모형실험은 강우강도에 따른 수평배수공 및 산마루측구의 배수상태와 흙속에서 함수비와 간극수압, 토압에 따른 사면의 안정성 변화에 대한 상태평가를 위한 실험이 그 목적임

  · 토압계와 간극수압계는 모형토조 하부 2개소에 각 1개씩 설치

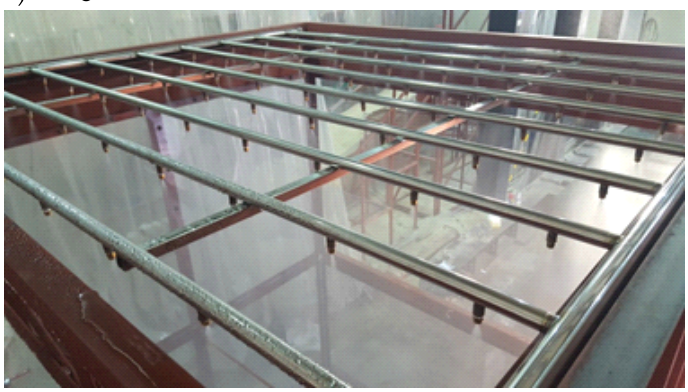
  · 함수비센서는 하부에서 125mm, 375mm, 1500mm위치에 설치



b) 모형토조 측면도



a) 모형토조



c) 강우재현장치

<배수성능 모형 시험 장치>

- 수평배수공 및 산마루측구 시험 및 분석

  · 실험방법

  ① 수평배수공 및 산마루측구 모형 제작

  ② 인공강우장치의 강우강도 조절(150mm/hr, 100mm/hr 적용 예정)

  ③ 배수성능 모형토조 바닥면에 토압계 및 간극수압계 설치

  ④ 주문진 표준사를 이용해 모형지반 조성

  ⑤ 모형지반내 토압, 간극수압, 함수비 측정

  ⑥ 인공강우장치 분사로 인한 배수성능 시험

  ⑦ 계측데이터 정리 및 분석

  · 수평배수공 성능평가 실험

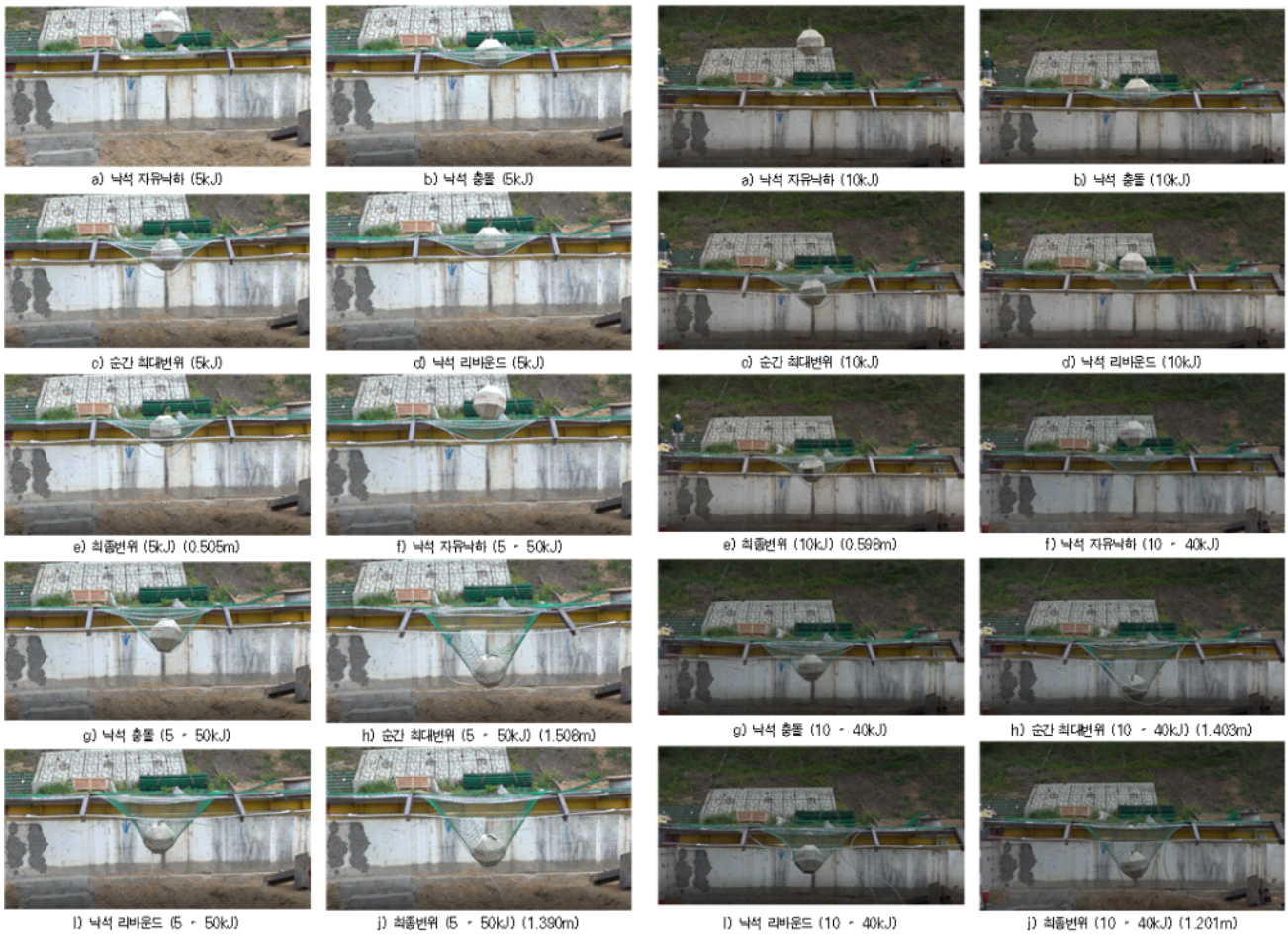
  설계기준 및 설계도서를 검토하여 실제 수평배수공 직경 100mm, C.T.C 5m×5m 선정하였으며, 실내시험장치 1/10 축척 적용하여 수평배수공 직경 10mm, C.T.C 500mm로 설치하여 수평배수공의 장기 성능평가 실험을 수행하였음

  · 산마루측구 성능평가 실험

  설계기준 검토 및 분석(국토교통부 및 한국도로공사)을 통하여 지반조건은 사질토, 표준 구배 1:1.5, 우량계, 함수비, 간극수압계, 토압계를 설치하여 손상정도에 따른 성능평가를 수행하였음

○ 낙석방지울타리 상태평가 가이드라인(안)

- 낙석방지울타리 손상 정도에 따른 시험방법을 이용한 현장 낙석 시험



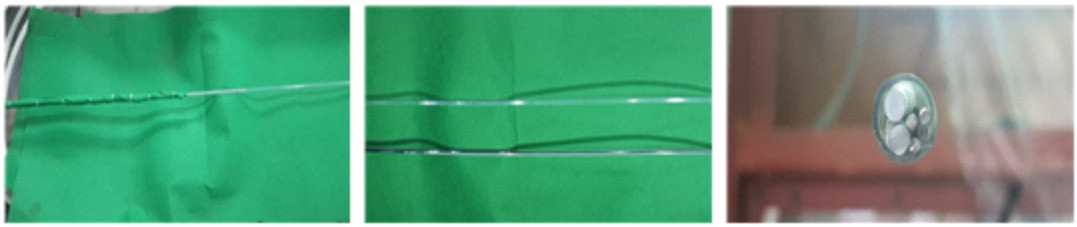
<낙석방지울타리 손상 정도에 따른 시험방법을 이용한 현장시험>



<낙석방지울타리 현장 시험 결과 분석>

○ 배수성능 상태평가 가이드라인(안)

- 수평배수공 배수성능 평가
  - 수평배수공은 3공에 대하여 내부 면적을 100% 기준으로 75%, 50%, 25%, 손상으로 막힘에 대한 case 조건을 변화하여 실험
  - 수평배수공 3공에서 배출되는 유출량을 각각 36회 측정하였다. case 1~4 조건에서 유출량은 각각 평균 4.4cm^3/min, 3.4cm^3/min, 1.4cm^3/min, 0.9cm^3/min으로 나타났음.



a) 수평배수공 제작(부직포 설치) b) 내부 막힘 측면 비교 c) 내부 단면

<수평배수공 제작 및 설치>

시험 조건	수평배수공 번호	유출량 (cm^3/min)	평균 유출량 (cm^3/min)	손상도(%)
case 1	No. 1	4.1	4.4	0%
	No. 2	4.5		
	No. 3	4.7		
case 2	No. 1	3.5	3.4	25%
	No. 2	3.5		
	No. 3	3.4		
case 3	No. 1	1.5	1.4	50%
	No. 2	1.4		
	No. 3	1.4		
case 4	No. 1	0.9	0.9	75%
	No. 2	0.9		
	No. 3	0.9		

<수평배수공 시험 결과>

- 수평배수공 배수성능 평가
  - 수평배수공은 3공에 대하여 내부 면적을 100% 기준으로 75%, 50%, 25%, 손상으로 막힘에 대한 case 조건을 변화하여 실험
  - 수평배수공 3공에서 배출되는 유출량을 각각 36회 측정하였다. case 1~4 조건에서 유출량은 각각 평균 4.4cm^3/min, 3.4cm^3/min, 1.4cm^3/min, 0.9cm^3/min으로 나타났음.



<산마루측구 외부 공동과 유로 관찰>

[CTE 4]

(1) [공동_한국건설생활환경시험연구원] 비탈면 계측/모니터링 장비의 내구수명 사용성능 검인증 기술 개발

연구 목표	연구개발 수행 과정	연구 수행 내용
비탈면 계측 모니터링 장비의 내구수명 사용성능 검인증 기술개발	[1차년도]	
	• 계측기기 성능검사 제도 분석	• 국내/외 계측기기 성능검사 제도 조사 및 분석 수행
	• 비탈면 현황 및 계측기기 조사	• 국내 사면/비탈면 현황 조사 수행 • 기후에 따른 영향 검토를 위한 기초조사
	• 계측기기 대상 성능평가 방법 분석 및 환경조건 고려 계측기기 성능/수명 평가 절차서(매뉴얼)	• 기존 설치 계측기기 성능평가 방안 검토 • 계측기기의 환경조건 고려 성능/수명 평가를 위한 절차서 수립
	[2차년도]	
	• 환경조건별 계측기기 성능영향검토	• 환경조건에 따른 계측기기 적용성 평가 수행
	• 도출된 평가 방법에 따른 검증	• 성능시험/환경시험/수명시험 등을 통한 실험 수행 및 분석 수행
	• 공용 중인 계측기기 공용성 평가 방법 도출	• 계측데이터의 유효성 검토를 위해 지도학습 기반 회귀분석 알고리즘 분석 방안 수행
	[3차년도]	
	• 비탈면 계측기기 대상 성능 및 신뢰성 평가	• 비탈면 현장에서 사용중인 와이어식 변위계에 대한 성능평가 실시
	• 계측기기 장기공용성 평가	• 비탈면에 사용되는 계측기기 장기공용성 확보를 위해 환경조건 데이터 기반 평가 수행
	• 성능평가 기반 유지관리 제도개선(안) 도출	• 기존 시행 중인 제도개선(안)을 도출하기 위해 성능평가 기반 유지관리 제도개선(안) 도출

(1차년도) 환경조건 고려 비탈면 계측기기 성능평가 기준 개발

○ 국내외 계측기기 성능검사 제도 분석 및 평가 매뉴얼 요구조건 도출

- (국내) 현재 규정되어 있는 계측기기 대상은 국토교통부, 환경부, 행안부에서 시행하고 있는 규정으로 계측기기 자체 성능평가 중심으로 구성되어 있음
  - (국토교통부) 측량기기 성능검사 규정 (국토지리정보원 고시 제2018-4328호, '18.12.7)
  - (환경부) 기상측기의 검정기준에 대한 검사방법 및 공차 (기상청 고시 제2018-11호, '18.12.31)
  - (환경부) 자동기상관측장비의 표준규격 (기상청 고시 제2019-9호, '19.6.3)
  - (행정안전부) 계측기기 성능검사 기준에 관한 규정 (행정안전부 고시 제2019-43호, '19.5.10)
- (국외) 별도의 계측기기에 대한 규정을 두고 있지 않으며 제품 자체에 대한 성은 기준을 교정 품목으로 시행하고 있음
  - (일본) 사면재해에 관한 계측기기의 성능기준에 법적인 제도 및 규정은 없음
- (소결) 기기 설치시 성능평가 방법은 규정되어 있으나, 환경조건을 고려한 기기 내구수명에 대한 평가방법은 없음

☑ **(국토부) 측량기기 성능검사 규정**

(**목적**) 공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률에 의거 측량기기의 정확성 확보와 업무 진행을 위해 규정
(**대상**) 트랜싯, 레벨, 거리측정기, 광파기, GPS, 금속관로탐지기
(**방법**) 외관, 구조, 기능검사
(**주기**) 3년

☑ **(환경부) 기상측기의 검정기준에 대한 검사방법 및 공차**

(**목적**) 기상관측표준화법 시행규칙에 의거 기상측기 검정기준 및 공차를 규정
(**대상**) 온도계, 기압계, 습도계, 풍향계, 풍속계, 일조계 등 10종
(**방법**) 외관, 구조, 기능검사
(**주기**) 매3년 타당성 검토 후 개선 조치, 별도 검사주기 없음

☑ **(환경부) 자동기상관측장비의 표준 규격**

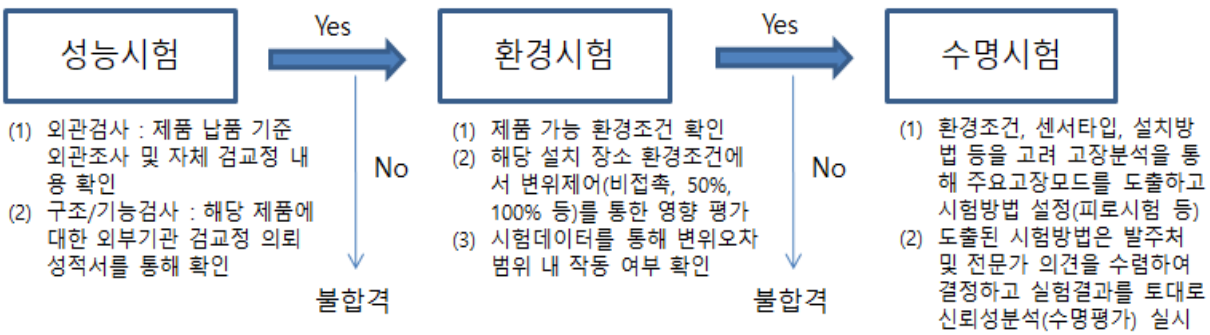
(**목적**) 기상관측표준화법 제4조에 의거 기상측기 중 자동기상관측장비의 표준규격에 대한 규정
(**대상**) 기온, 습도, 풍향, 풍속 등 자동으로 관측하는 장비일체
(**방법**) 센서, 자료처리, 신호, 구조, 부대장비 등에 대한 규격
(**주기**) 매3년 타당성 검토 후 개선 조치, 별도 검사주기 없음

☑ **(행안부) 계측기기 성능검사 기준에 관한 규정**

(**목적**) 급경사지 재해예방에 관한 법률 제26조~제29조에 의거 상시계측에 설치되는 계측기기의 정확성 확보 등을 위해 규정
(**대상**) 지표변위, 경사계, 간극수압계, 지하수위계 등 13종
(**방법**) 외관, 정확도 검사, 구조/기능 검사
(**주기**) 3년 (환경조건에 따른 경우는 현장별로 별도 시방서 마련 후 시행)

○ 환경조건 기반 성능/수명 평가 매뉴얼 도출

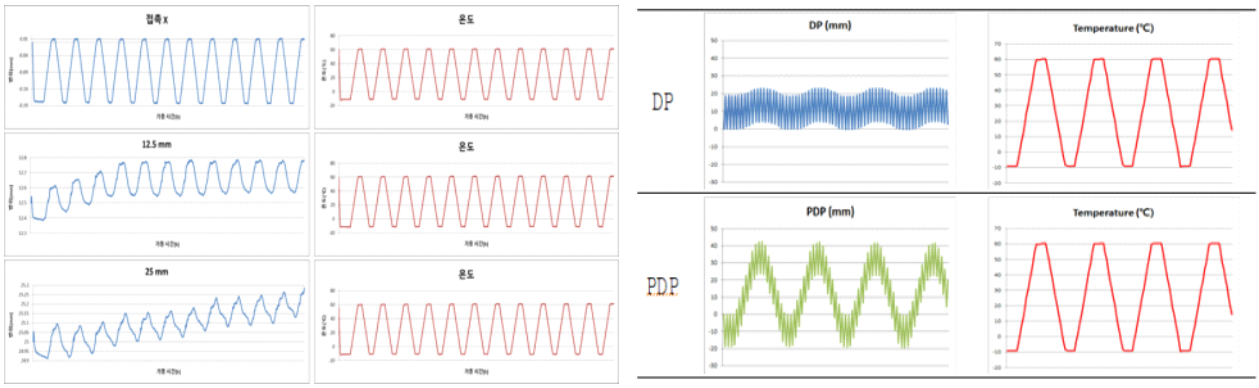
- 계측기기 관련 검사 제도 분석 결과, 성능검사 주기는 3년으로 규정하고 있으며, 단 현장 계측기기 시방서에서 환경조건을 고려한 별도의 성능검사 주기를 규정하고 해당하는 현장계측기기 시방서 규정에 따라 시행
- 비탈면에서 사용되는 계측기기를 대상으로 신뢰성 평가 기준을 규정하는 평가 절차서(매뉴얼) 도출



(2차년도) 계측기기 대상 환경조건 고려 성능 평가 및 데이터 분석 연구

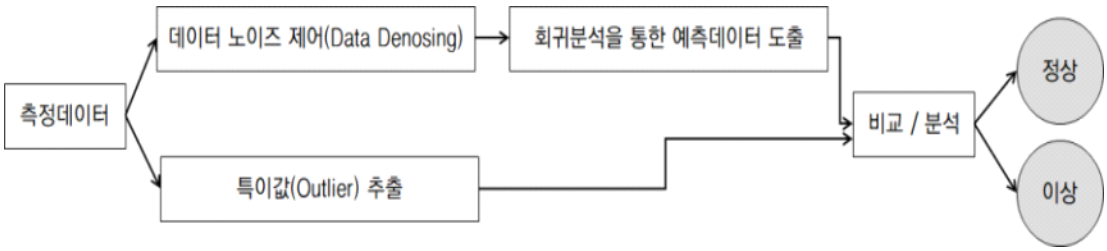
○ 계측기기 대상 성능 및 신뢰성 평가 수행

- 도출된 비탈면 계측기기 성능 및 신뢰성 평가 매뉴얼 기반으로 실제 계측기기에 대한 적용성 평가를 수행하기 위해 성능평가 장치 개발 및 변위계 센서에 대한 적용성 평가 수행



○ 데이터 유효성 검증 및 분석 가이드라인(안) 도출

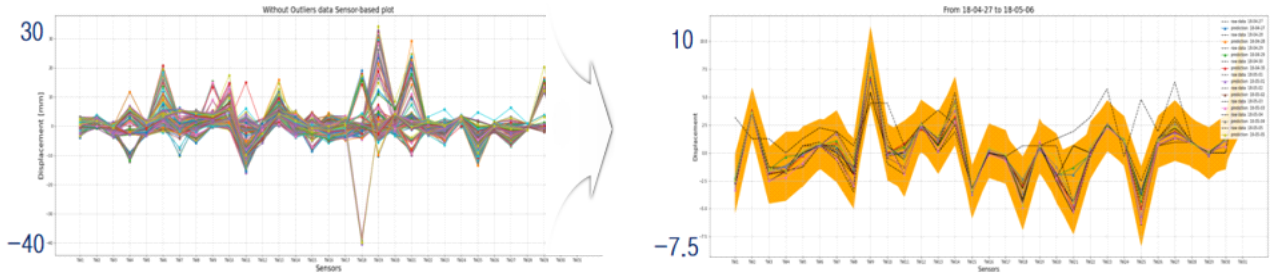
- 계측데이터를 통한 시설물의 이상징후 파전을 위한 이론적 배경 연구
- 데이터 결함 검출 방법 및 회귀분석 방법 연구를 통한 비탈면 계측데이터 적용 분석 방법 도출
- (분석방법) 회귀기반 이상징후 판정 알고리즘을 통해 특이값 등을 고려한 유효성 검토 방법 도출

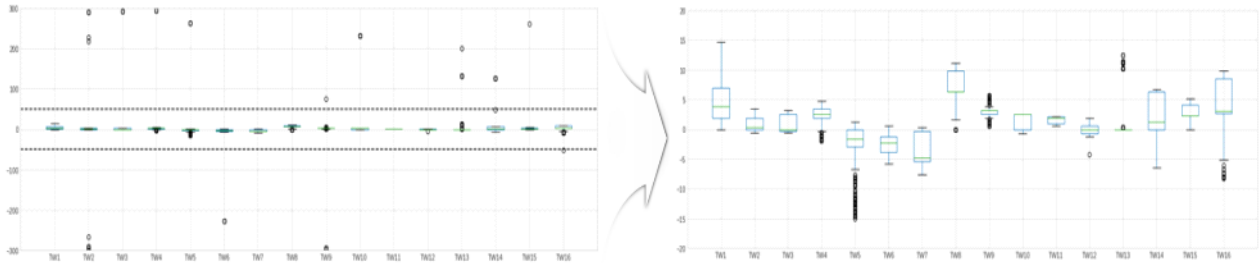


(3차년도) 계측데이터 유효성 검토 방안 연구 및 장기공용성 평가

○ 데이터 기반 실제 현장 데이터 유효성 검증 및 분석

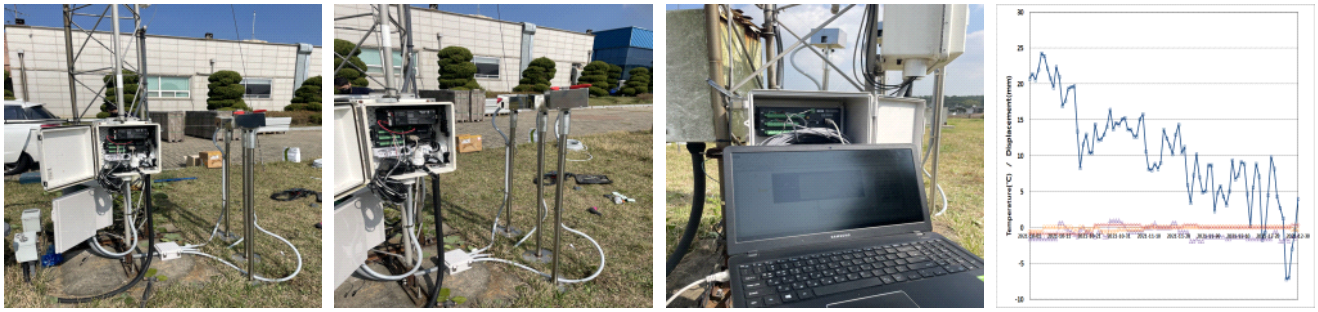
- 도출된 계측데이터 유효성 검증 분석 가이드라인(안) 검증을 위한 비탈면 현장 데이터 기반 검증 및 분석 수행
- 센서 결함 측정을 위한 클러스터링 및 상태평가 등급 산정을 통한 계측기기 성능평가 수행
- 국내 비탈면 측정데이터 기반 계측기기 상태평가 도출





○ **계측기기 장기공용성 평가**

- 비탈면에 사용되는 센서는 변위계와 강우량계가 사용되며, 센서의 영향을 주는 요인(물리적, 기후적 등)에 대한 공용성 평가를 진행
- 본 연구에서는 센서를 구성하는 전기적 신호, 충격에 의한 파손 등에 대한 내용을 제외하고 앞서 실험을 통해 보았듯이 환경요인(온도, 습도 등)에 의한 장기 공용성 평가를 수행



○ **제도개선(안) 연구**

- “계측기기 성능검사 기준에 관한 규정” 제도개선을 위한 제정 배경 분석 및 개선(안) 작성
  : 환경조건에 따른 성능검사 방법을 명확화 방안 검토 및 도출
- “도로비탈면 유지관리 실무 매뉴얼” 내용 분석 및 실수요자 입장에서의 관리자에 대한 내용 주요 검토
  : 상시계측시스템 모니터링에서의 실제적으로 효율적인 관리 방안 도출 제안

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

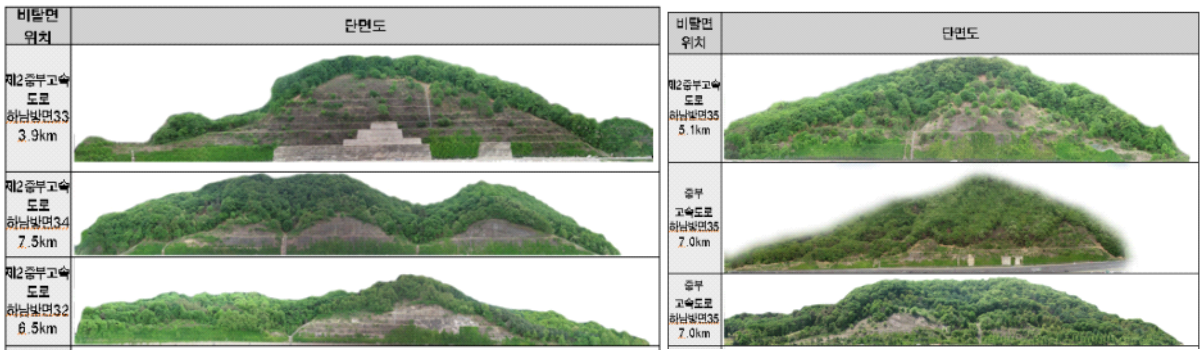
[CTE 1]

(1) [위탁&주관_University of Exeter&한국건설기술연구원] 지형정보 3차원 도면화 기술 개발

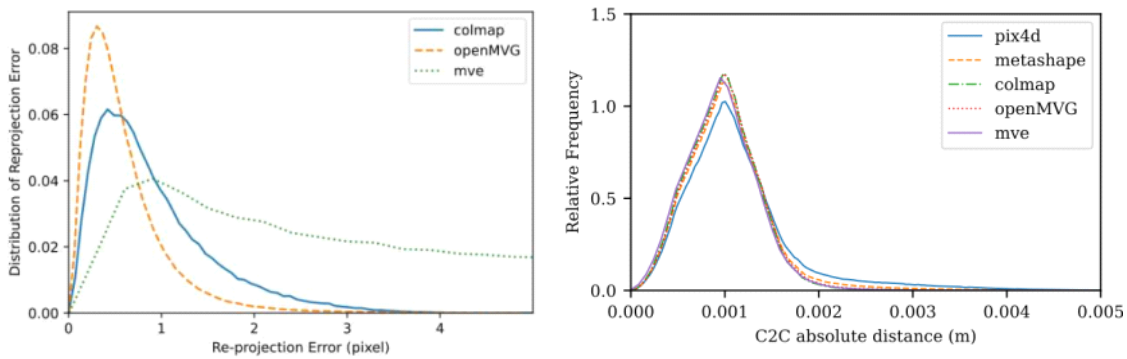
연구 목표	세부연구 목표	연구 결과
GIS기반 비탈면 3차원 전자도면 구축 알고리즘	[1차년도]	
	• 지형정보 3차원 도면화 기술 개발	• 오픈소스 Photogrammetry 프로그램들의 성능 비교
	• 비탈면 영상자료 DB 구축	• 중부/제2중부/영동/서해안/평택제천 고속도로상의 총14개소 비탈면 영상자료 구축
	• 드론 운용 가이드라인 제시	• 정밀한 3차원 전자도면 구축을 위한 드론 운용 가이드라인 제시
	[2차년도]	
	• 지형정보 3차원 도면화 기술 개발	• 사진측량(Photogrammetry) 프로그램 중 COLMAP을 최적 프로그램으로 선정 • COLMAP Python Interface구현
	• 2차원 이미지상의 주석의 3차원 모델 맵핑 시각화 알고리즘 개발	• 도암댐 현장 실무자 주석입력에 대한 3차원 맵핑 및 표출
	• 식생을 제거한 3차원 모델 생성 기법 개발	• mExG를 이용한 3차원 모델의 식생제거기법
	[3차년도]	
	• 알고리즘 정밀도 개선 및 고도화를 위한 테스트베드 구축 및 검증	• RTK-GPS 드론을 이용한 테스트베드 검증을 통하여 GCP없이 3차원 전자도면 오차 최대 12cm
	• 지형정보 3차원 도면화 기술 고도화: 식생을 제거한 3차원 모델생성기법	• 식생제거기법에 기반한 비탈면 지형변화검출기법

○ **비탈면 3차원 전자도면 도면화 기술 개발**

- 중부/제2중부/영동/서해안/평택제천 고속도로상의 총14개소 비탈면 영상자료 DB 구축
- 오픈소스 photogrammetry 소프트웨어 3종 및 상용 소프트웨어 2종의 성능 평가 수행
  - 오픈소스: openMVG/openMVS, COLMAP, MVE, 상용: Pix4D, Metashape
- 비탈면 3차원 전자도면생성 시스템 구축
  - Structure from Motion 과정의 최적의 소프트웨어는 openMVG 도출
  - MultiView Stereo 과정의 최적 소프트웨어는 COLMAP 도출
- 테스트베드 암반사면에 대한 3차원 전자도면 성능검증에서 최대오차 12cm이내
  - GCP (Ground Control Point) 없이 3차원 전자도면의 Georeferencing 수행하는 기법 실험검증
  - RTK-GPS 드론을 사용하여 GCP 계측과정이 피함으로써 현장작업효율 개선



<고속도로상의 총14개소 비탈면 영상자료 DB 구축 >



<오픈소스 hotogrammetry 소프트웨어 세부과정별 성능비교>

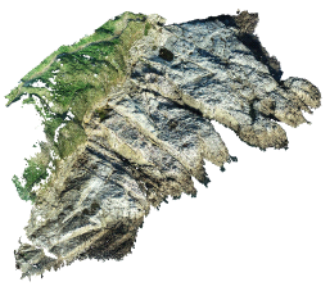




표 2-7 체크포인트에서의 3차원 모델의 정확도

CP #	GPS 측량 (UTM)			3차원 모델기반 (UTM)			오차 (cm)			
	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	dx (cm)	dy (cm)	dz (cm)	길이 (cm)
1	465826.613	5590265.111	65.760	465826.630	5590265.120	65.870	1.7	0.9	11.0	11.2
2	465817.523	5590249.497	66.716	465817.540	5590249.500	66.820	1.7	0.3	10.4	10.5
3	465843.466	5590257.632	57.468	465843.476	5590257.632	57.536	1.0	-0.0	6.8	6.9
4	465840.766	5590251.734	59.229	465840.800	5590251.740	59.330	3.4	0.6	10.1	10.7
5	465834.408	5590244.077	59.069	465834.410	5590244.080	59.140	0.2	0.3	7.1	7.1
6	465858.016	5590256.727	55.980	465858.030	5590256.710	56.060	1.4	-1.7	8.0	8.3
7	465842.256	5590239.914	57.523	465842.280	5590239.900	57.600	2.4	-1.4	7.7	8.2

<테스트베드 3차원 전자도면 생성결과 및 오차분석 >

○ **비탈면 3차원 전자도면 도면화 기술 고도화**

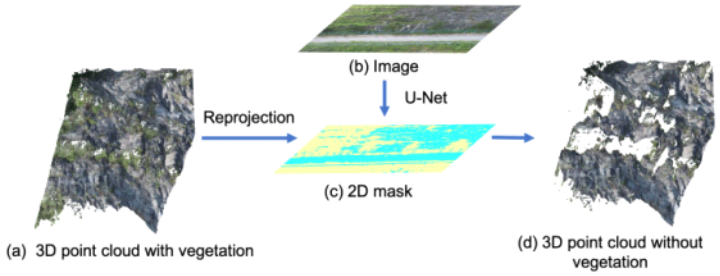
- 비탈면 식생제거 3차원 전자도면 기술
  - 딥러닝 기반의 2차원 Image Segmentation과 photogrammety를 통합한 이용한 기술

· 뛰어난 식생제거 성능을 보임. 장기지형변화검출 가능.

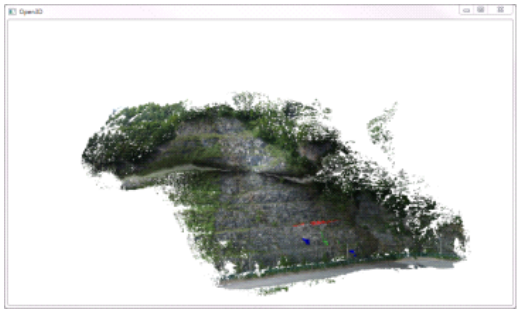
– 2차원 주석의 3차원 통합 및 시각화 알고리즘 개발

· 현장작업자가 2차원 이미지에 생성한 주석의 3차원 전자도면 통합기술

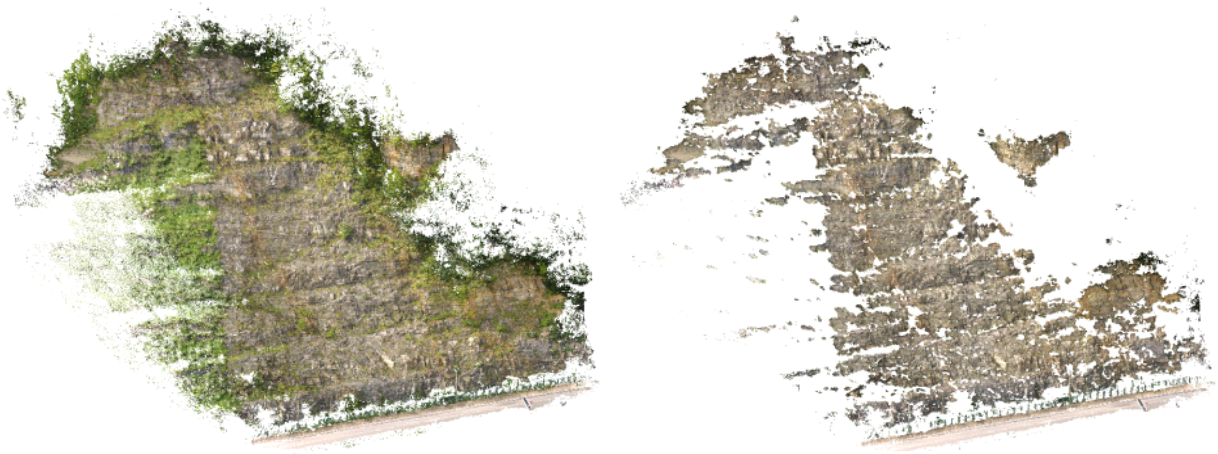
· Photogrammetry의 Projection Matrix를 이용한 효율적인 알고리즘



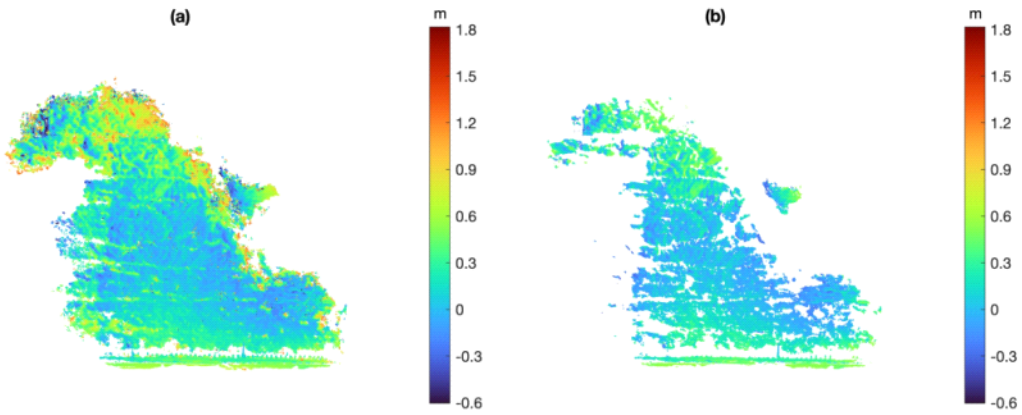
<딥러닝과 Photogrammety를 이용한 식생제거기법 >



<2차원 주석의 3차원 전자도면 시각화 기법>



<식생을 제거한 3차원 전자도면 생성 >

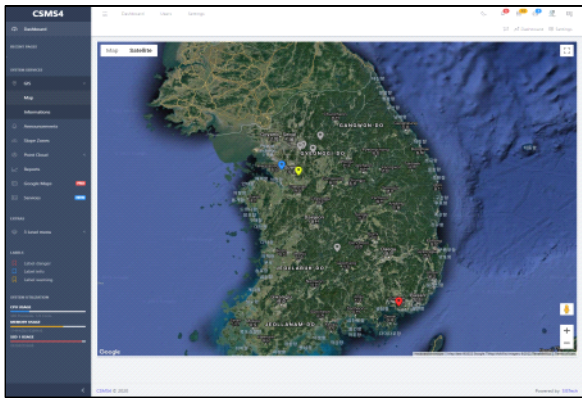


<식생을 제거한 비탈면 지형변화 검출: (좌) 식생제거 전, (우) 식생 제거 후>

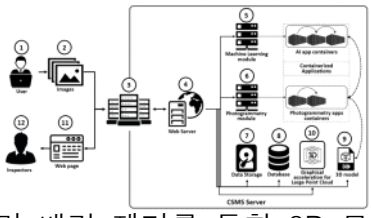
(2) [공동_세종대학교 산학협력단] 비탈면 위험/취약부 자동추출 프로그램 개발

연구 목표	세부연구 목표	연구 결과
비탈면 위험/취약부 분석 프로그램	[1차년도]	
	• 비탈면 위험/취약부 분석 프로그램 설계	• Cut Slope Measurement System (CSMS4) 설계 –GIS 기반 비탈면 관리, 이미지 업로드 및 3D 모델 생성, 인공지능 엔진, 3D 정보 추출 기능 포함 • 위험/취약부 분석을 위한 사면 검출 –AI 모델을 활용하여 취득한 비탈면 영상 중 관심 영역만 분류할 수 있도록하는 분류 알고리즘 개발 • 3D 모델 시각화 –비탈면 형상 정보 추출할 수 있는 측정 도구 기능이 포함된 3D 모델 시각화 기능 개발
	[2차년도]	
	• 비탈면 위험/취약부 분석 프로그램 기능 구현	• 3D 지형정보를 이용한 위험/취약 인자 자동 추출 기법 개발 • 암반비탈면 정보 자동 추출 기법 개발 – Kd-Tree, Fast Marching 기법을 활용하여 암반 비탈면의 Facet 정보(경사각, 경사 방향 정보)를 자동으로 추출하는 기법 개발 – 암반비탈면의 절리 정보를 추출하기 위하여 DexiNed(Dense Extrem Inception Network)를 활용하여 암반면의 edge 정보를 추출하는 기법 개발 • 사면 위험/취약인자 추출을 위한 인공지능 알고리즘 개발 – 취득한 영상내 식생영역을 제거하여 분석 속도를 향상시키고 대상 비탈면의 경사방향을 추출하기 위한 전처리 알고리즘으로 식생 제거 알고리즘 개발 • 보고서 생성 자동화를 위한 annotation software 개발 – 주석이 포함된 이미지 정보를 JSON, CSV or XLS 파일 형태로 추출할 수 있는 S/W 개발
	[3차년도]	
	• 비탈면 위험/취약부 정보의 3차원 시각화 알고리즘 개발	• 비탈면 3차원 전자도면 구축 자동화 기법 개발 – 관심 영역 추출 알고리즘을 개발하여, 드론으로 취득한 3d 모델 내 필요없는 부분을 제거하고 관심있는 영역만을 추출하여 렌더링시키는 가속화 알고리즘 개발 • 비탈면 위험/취약 평가 결과의 3차원 전자도면 시각화 – 수십억 포인트가 포함된 포인트 클라우드 데이터셋트를 스트링 및 렌더링할 수 있는 뷰어를 개발. 해당 뷰어에는 대상 사면의 여러 인자(경사, 높이, 길이 등)을 측정할 수 있는 여러 툴들이 포함 • 3D 전자도면의 위험/취약 인자 자동 추출 모듈 개발 • T/B 적용을 통한 자동 추출 알고리즘 최적화

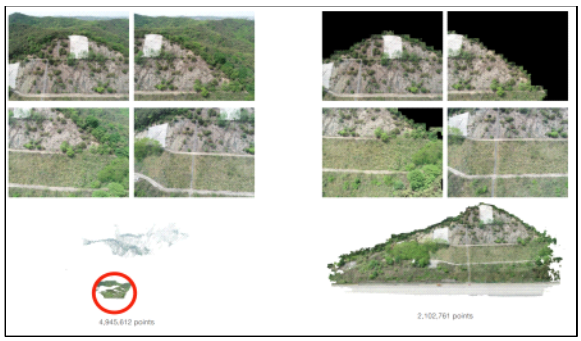
○ 비탈면 위험/취약부 분석 프로그램 - CSMS4



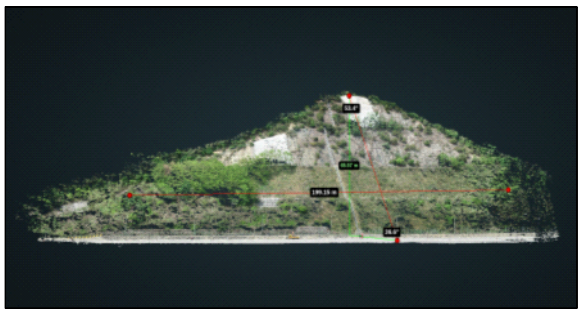
-GIS 기반 비탈면 관리 플랫폼
- GIS 지도 연계 상태 표출
- 비탈면 위험도 등급별 색상 표출
- 비탈면 일반정보 표출
- 사용사 관리 UI
- 드론 영상 업로드 패널 및 플랫폼 리소스 관리



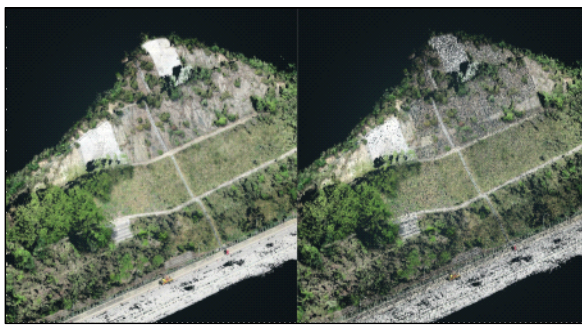
[CSMS4 작업흐름도]



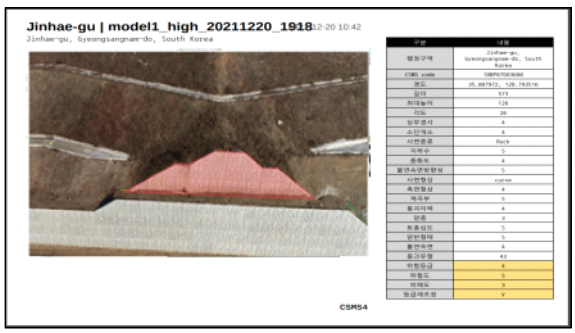
-비탈면 배경 제거를 통한 3D 모델 자동 생성
- Segmentation 알고리즘을 이용한 AI 기반 비탈면 추출
- 드론 영상으로부터 비탈면 영역 자동 추출
- 자동 노이즈 제거 알고리즘을 이용한 3D 모델 경량화



-3차원 형상 정보 추출
- 웹기반 3D 모델 가시화
- 기지의 정보를 활용한 3D PCM의 실스케일 변환
- 길이, 면적, 부피, 경사 등 interactive 측정 도구
- 2D 영상에 입력된 정보를 3D 모델에 가시화



-모델 비교 - 시계열 모델 변화 관리
- 계절별, 연도별 구축 3D 모델에 대한 비교
- 2개의 3D 모델 동시 표출
- 표출 방법 : Separate Mode - 동일 구역 가시화 /Sliding Mode - 하나의 영역을 수동으로 좌우로 밀면서 표시



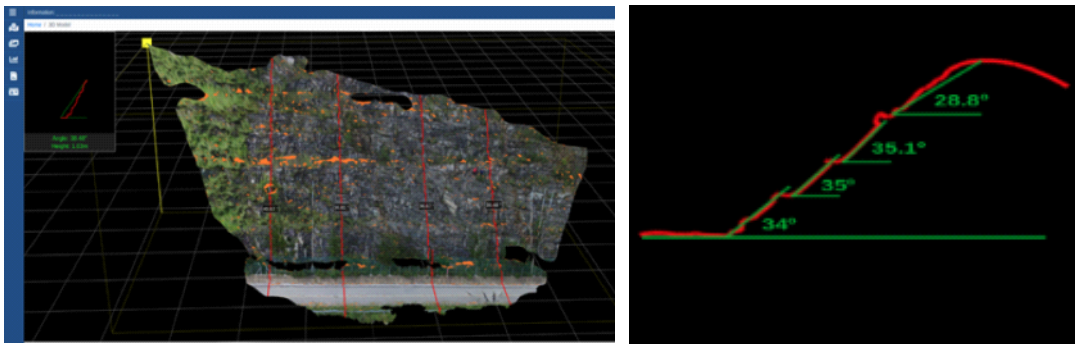
-비탈면 조사 보고서 자동 생성
- 비탈면 관리 정보 입력
- 측정도구를 이용한 수동 입력, 2D 영상 입력 결과 표출 등 보고서 생성 자료 선택적 구성
- 보고서 파일 자동 생성 및 다운로드

○ **비탈면 위험/취약부 정보 추출**

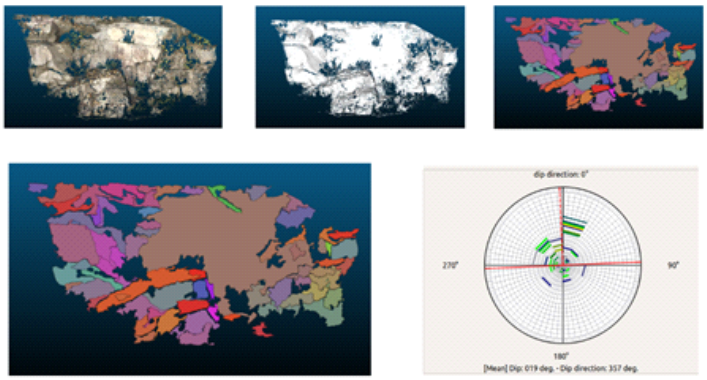
– 비탈면 영역 자동 추출 : 3D 모델 생성 자동화



– 3D 지형 정보 자동 추출 : 경사, 높이, 사면길이, 형상 등



– Facet 정보 추출



ID	Actual			Facet result		
	dip dir	dip angle	surface area	dip dir	dip angle	surface area
60	328	38	1.7	329	40	1.6
50	332	22	14.51	337	24	14.3
57	331	17	1.98	334	18	1.85
10	316	20	4.7	312	18.5	4.83

– 절리정보 추출 : Edge map 생성



(A) 2D Image from 3D point cloud model (B) DexiNed Fused result (C) DexiNed Averaged result

– 2D 영상에 대한 수동 입력 및 3D 가시화

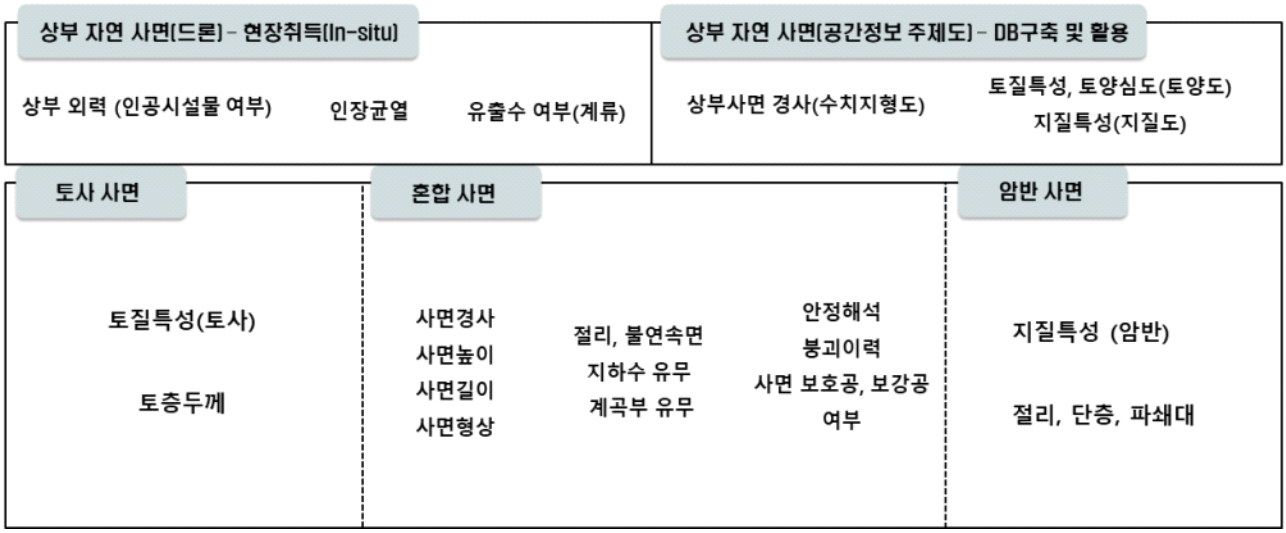


(3) [공동_산림조합중앙회 산림종합기술본부] 자연산지를 고려한 비탈면 위험/취약부 분석기술 개발

연구 목표	세부연구 목표	연구 결과
비탈면 위험/취약 평가표 개정(안)	[1차년도]	
	• 비탈면 관리 기관별 평가표 DB 수집과 핵심 판정항목 추출	• 비탈면 상부 자연사면을 고려한 영상기반 위험/취약 판정항목 도출 – 혼합사면 : 사면경사, 높이, 길이, 형상, 절리의 불연속면, 지하수, 계곡부, 안정해석, 붕괴이력, 사면보호 및 보강공 – 토사사면 : 혼합사면 + 토질특성, 토심 – 암반사면 : 혼합사면 + 단층, 절리, 파쇄대 • 드론으로 촬영 가능한 비탈면 종류별 위험/취약 판정 항목 인자 선정
	[2차년도]	
	• 3차원 영상의 평가인자 자동 추출 기반 비탈면 위험/취약 분석 평가기법 개발	• 비탈면 위험/취약 판정 프로토타입 평가표 개발 – 암반사면 : 계곡부, 불연속면, 불연속면 방향성, 측면형상 – 토사사면 : 경사각도, 지하수, 최대높이, 상부경사 – 혼합사면 : 측면형상, 불연속면 방향성, 경사각도 – 사면별 위험/취약 판정 등급표 : I~V등급 • 비탈면 위험/취약 평가 프로세스 정립
	[3차년도]	
	• 단시간 내 위험성 판정을 위한 비탈면 위험/취약 평가표 검증·고도화	• 사면별 위험/취약 판정 모형 – 암반사면 – 혼합사면 – 토사사면 – 비탈면 위험/취약 판정 세부 등급 도출 • 현장검증을 통한 영상 기반의 비탈면 위험/취약 평가 결과 확인 및 CSMS 비탈면 위험/취약 결과의 위험등급 비교를 통한 적절성 및 활용성 확보

○ **무인항공기를 활용한 비탈면 종류별 위험/취약 추출 인자 도출**

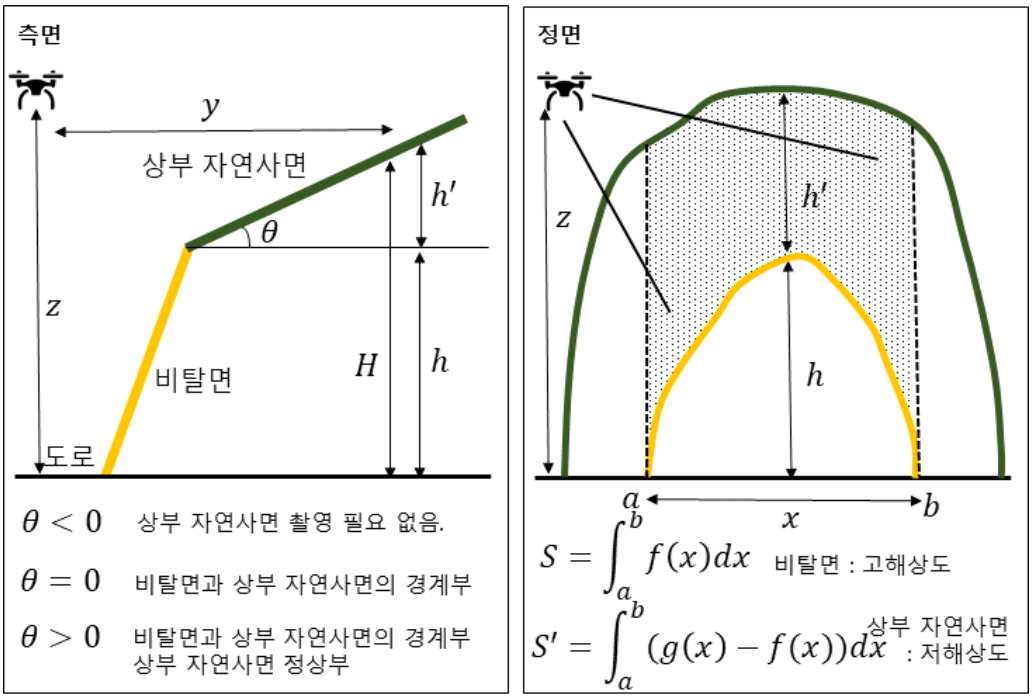
- 국내·외 비탈면 평가인자의 수집과 분석을 통한 비탈면 위험요인 항목 도출
- 상부자연사면을 고려한 비탈면 붕괴 요인 도출
- 무인항공기를 이용한 비탈면 종류별 위험/취약 인자 도출



< 무인항공기를 활용한 비탈면 종류별 위험/취약 추출 인자 >

○ **비탈면 상부 자연사면 평가 범위 기준 제시**

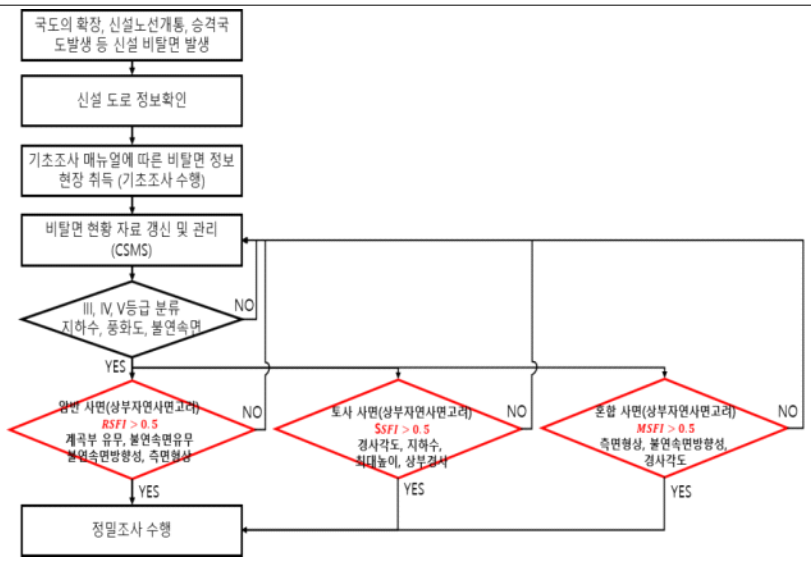
- 상부자연사면을 포함한 비탈면 전체에 대하여 무인항공기 운영
- 상부자연사면의 경사 조건에 따라 무인항공기의 운영 여부 결정



< 상부자연사면의 조건에 따른 무인항공기 영상 촬영 범위 >

○ **비탈면 위험/취약 분석 및 평가 프로세스 정립**

- 기존의 비탈면 위험/취약 판정 개선이 가능한 프로세스 제안
- 비탈면 및 급경사지, 산지 등에도 적용 가능한 기초조사 프로세스 활용성 확보



< 기초조사 프로세스 개정(안) >

○ 비탈면 위험/취약 핵심 평가항목에 따른 최종 평가표 개정(안) 제안

- 테스트베드 검증, 현장자문 등을 통하여 프로토타입 평가표 개선
- 암반, 토사, 혼합 사면별 위험/취약 판정 인자 및 판정모형, 위험등급을 구분하여 최종 평가표(안) 제안

위험지수	위험 판단 항목		위험/취약 판정 모형	위험지수 등급		기준
	우선순위	인자		위험 등급	구간	
Rock slope failure index (RSFI)	1	계곡부 유무	$RSFI = 1/(1+\exp(-Z))$ Z = 2.9886계곡부 + 1.9234불연속면 +1.6834불연속면방향성 + 1.3312측면형상 +0.5672지하수	I	$RSFI < 0.1$	붕괴 발생 요인 발달 없음
	2	불연속면 유무		II	$0.1 \le RSFI < 0.55$	대규모 붕괴 발생 요인 발달 없음
	3	불연속면 방향성		III	$0.55 \le RSFI < 0.89$	장기 계획을 수립하여 정밀조사 및 대책안 필요
	4	측면 형상		IV	$0.89 \le RSFI < 0.94$	점검계획을 수립하여 정밀조사 및 대책안 필요
	5	지하수		V	$0.94 \le RSFI$	매우 위험한 상태로 전문가의 조속한 정밀조사 및 대책안 필요

< 암반사면 >

위험지수	위험 판단 항목		위험/취약 판정 모형	위험지수 등급		기준
	우선순위	인자		위험 등급	구간	
Soil slope failure index (SSFI)	1	경사각도	$SSFI = 1/(1+\exp(-Z))$ Z = 4.0554경사각도 + 1.7461지하수 +0.9095최대높이 + 0.7784상부경사	I	$RSFI < 0.01$	붕괴 발생 요인 발달 없음
	2	지하수		II	$00.1 \le RSFI < 0.04$	대규모 붕괴 발생 요인 발달 없음
	3	최대높이		III	$0.04 \le RSFI < 0.85$	장기 계획을 수립하여 정밀조사 및 대책안 필요
	4	상부경사		IV	$0.85 \le RSFI < 0.99$	점검계획을 수립하여 정밀조사 및 대책안 필요
				V	$0.99 \le RSFI$	매우 위험한 상태로 전문가의 조속한 정밀조사 및 대책안 필요

< 토사사면 >

위험지수	위험 판단 항목		위험/취약 판정 모형	위험지수 등급		기준
	우선순위	인자		위험 등급	구간	
Mixed slope failure index (RSFI)	1	측면형상	$MSFI = 1/(1+\exp(-Z))$ Z = 0.7771측면형상 + 0.6831불연속면 +0.5331불연속면방향성 + 0.4916경사각도 +0.2615지하수	I	$RSFI < 0.27$	붕괴 발생 요인 발달 없음
	2	불연속면		II	$0.27 \le RSFI < 0.40$	대규모 붕괴 발생 요인 발달 없음
	3	불연속면 방향성		III	$0.40 \le RSFI < 0.87$	장기 계획을 수립하여 정밀조사 및 대책안 필요
	4	경사각도		IV	$0.87 \le RSFI < 0.93$	점검계획을 수립하여 정밀조사 및 대책안 필요
	5	지하수		V	$0.93 \le RSFI$	매우 위험한 상태로 전문가의 조속한 정밀조사 및 대책안 필요

< 혼합사면 >

[CTE 2]

(1) [공동_지오메카이엔지] 비탈면 지반조사용 휴대용 시추기 개발

연구 목표	세부연구 목표	연구 결과
비탈면 지반조사용 휴대용 시추기	[1차년도]	
	• 국내외 휴대용 시추기 조사 분석 • 휴대용 시추기 부착용 드릴링 파라미터 계측기술 조사 분석 • 휴대용 시추기용 모듈 설계 및 개발	• 국내외 사용중인 휴대용시추기 조사분석결과 장비형식은 지주형이 가장 높은 평가를 받음 • 굴착기술은 오거식 시추 및 동적콘관입 시추방식을 적용 • 휴대용 시추기 모듈설계 및 개발은 시추심도 6m, 장비의 운반 및 휴대성, 조사항목의 확장성, 무수(無水) 시험방식 등을 통하여 장비형식을 지주형식과 배낭형으로 설계에 적용
	[2차년도]	
	• 휴대용 시추기용 모듈개발 및 프로토타입 제작 • 휴대용 시추기 복합드릴비트 적용기술 개발 • 휴대용 시추기 모듈 성능 실내검증	• 무수(無水)시험방식인 지주형식과 배낭형으로 프로토타입 제작 • 오거드릴 형식과 퍼커슨 방식 드릴 기술을 적용 휴대용 시추기 모듈을 개발 및 프로토타입을 제작 • 휴대용 시추기 모듈 성능 실내 및 현장검증을 통해 2차년도 최종목표 심도인 4m까지 확인
	[3차년도]	
	• 휴대용 시추기 현장 적용 • 비탈면 테스트베드 적용을 통한 작업성 검증 및 보완	• 엔진형 및 전동형 휴대용 시추기를 현장적용하여 굴진성능 및 작업성 확인 • 비탈면 테스트베드 적용을 통한 작업성 검증 및 보완 – 3차년도 최종목표 심도인 6m까지 확인 – 공인기관의 시험성적서 발급

○ **국내외 휴대용 시추기 조사분석 및 휴대용 시추기 모듈 설계**

- 국내외 휴대용 시추장비의 무게 및 시추깊이, 동력, 운반형식 등의 시추기 기술 조사한 결과 시추장비의 형태는 크게 자가이동이 가능한 궤도식, 견인 및 분해 이동을 통해 설치 및 조사가 가능한 지주형, 분해된 시추장비를 배낭으로 이동해 현장에서 설치 및 조사가 가능한 배낭형, 가장 단순한 구조로 쉽게 분해가 가능하고 수동으로 시험이 가능한 간편형 등으로 분류됨
- 분석결과 장비형식은 지주형이 가장 적정한 것으로 평가되며, 운반형식은 배낭형으로 산림훼손을 최소화할 수 있는 형식을 설계에 반영

○ **휴대용 시추기 모듈개발 및 프로토 타입 제작**

- 비탈면 현장점검자가 인력으로 운반 가능한 휴대용 시추장비를 개발을 위해 시추기 모듈을 구분하여 제작
- 굴착기술에는 복합 드릴 비트를 사용하여 무수(無水)시험방식의 오거드릴 형식과 퍼커슨 방식의 드릴 기술을 적용하여 휴대용 시추기 모듈을 개발 및 프로트 타입을 제작
- 휴대용 시추기를 구성하는 각각의 세부 모듈은 1) 엔진 및 유압구동부, 2) 동적콘관입 시험부 및 오거드릴 어셈블리, 3) 휴대용 시추장치의 유닛으로 구성하였으며, 엔진형의 경우 모듈별 무게가 25~28kg 정도의 무게를 지니고 있으며, 전동식의 경우는 19~26kg으로 제작
- 엔진형 휴대용 시추장치는 엔진을 동력으로 유압모터를 작동시켜 오거드릴 어셈블리 및 동적콘관입시험부를 구동시키는 방식으로 오거드릴 어셈블리의 회전력이 시계방향 및 반시계방향 두가지 모두 가능하도록 개발하고, 장비 유닛은 알루미늄 베이스에 표면 경도가 필요한 부분에만 철제 파트를 사용하여 경량화 및 강성을 확보하도록 제작
- 전동형 휴대용 시추장치는 오거 회전을 위한 동력은 충전식 전기해머드릴을 적용하여 시추장비의 부피를 줄이고 시추기의 무게를 경량화 시킴

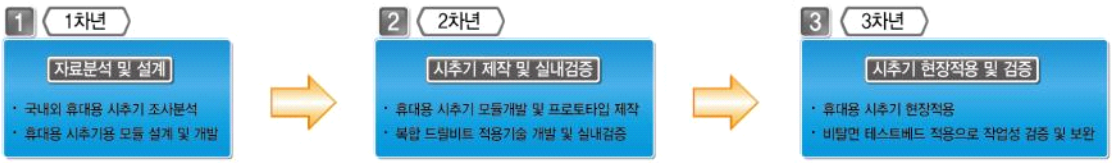
○ **휴대용 시추기 성능 실내외검증**

- 휴대용 시추장치 성능검증을 위하여 가로 1.0m × 세로 1.0m× 높이 2.0m의 모형 토조를 제작하고 비탈면에 분포하는 토질과 비슷한 조건을 구현하기 위하여 표토, 붕적토, 풍화토의 시료를 0.5m씩 층별 다짐을 실시하고, 기성품을 사용한 표준관입시험(SPT), 동적콘관입시험(DCPT)을 수행하후 개발된 휴대용 시추장치를 이용한 동적콘관입시험 결과와 비교분석 수행
- 휴대용 시추장비의 굴진능력을 확인하기 위하여 목표심도까지 굴진
- 휴대용 시추기 현장검증은 오거시추와 동적 콘관입시험을 조합한 Type-1과 퍼커션 시추와 동적콘관입시험을 조합한 Type-2로 구분하여 시추 검증시험을 계획하여 목표심도인 4m까지 굴착을 완료하였으며, 동적콘관입시험을 수행하여 결과값을 분석함

○ **휴대용 시추기 현장 적용 및 검증**

- 동일한 위치에서의 휴대용 시추기를 이용한 동적콘관입시험결과와 시추장비를 이용한 표준관입시험(SPT) 결과의 비교 분석으로 상관관계 확인 및 지반정수 분석
- 정확한 검증을 위해서 표준관입시험 및 동적콘관입시험시 에너지 전달율을 측정
- 일반적인 시추장비를 이용한 표준관입시험은 0.5m 간격으로 실시하였으며, 에너지 전달율은 89.2%로 측정되었으며, 휴대용 시추기를 이용한 동적콘관입시험은 1.0m 간격과 연속적으로 3.8m 까지 시험을 실시하여 데이터를 획득하였고, 에너지 전달율은 60.7%로 측정됨
- 표준관입시험결과와 동적콘관입시험 결과의 상관관계를 분석
- 8회 현장 성능시험 검증을 통해서 굴착성능 확인
- 현장작업 후 시추기 작업 및 부품에 대한 보완 작업 수행

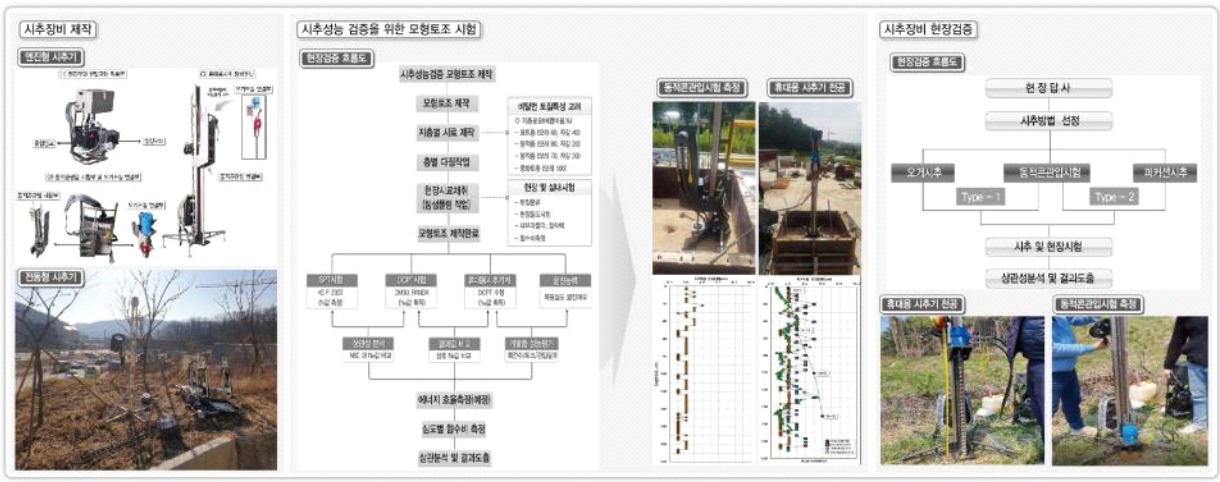
- 비탈면 테스트 베드에서 전동형 휴대용 시추기를 이용하여 최종 목표심도인 6m 굴착 및 작업성 확인을 위해서 실제 공사중인 비탈면을 대상으로 테스트베드를 적용하여 현장검증 수행
- 최종적으로 굴착작업성 및 장비성능을 전문가 및 공인기관으로부터 검증



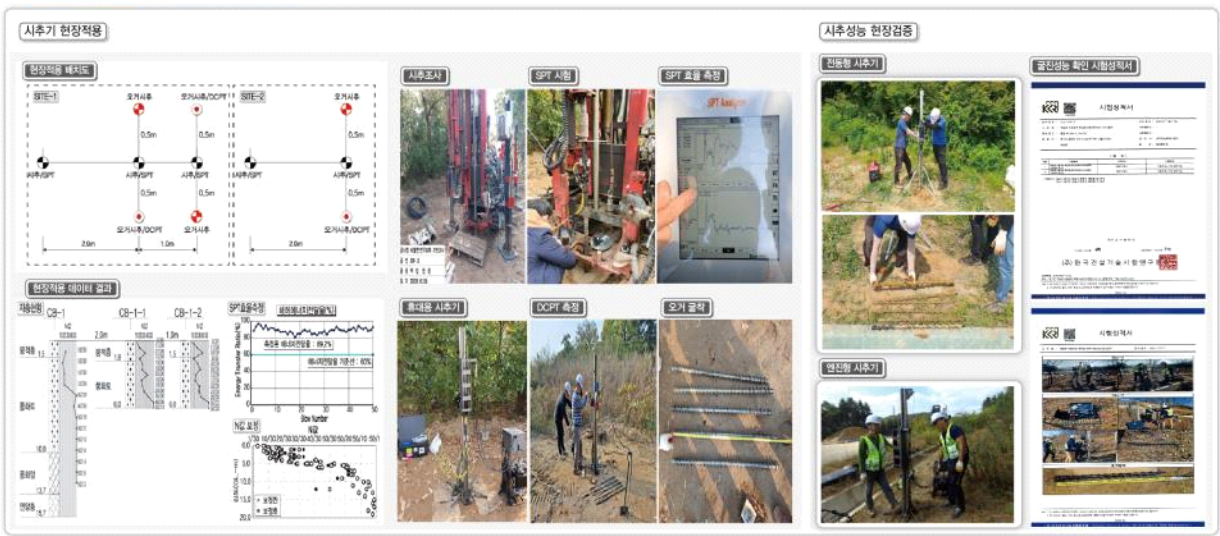
1 1차 : 자료분석 및 시추장비 설계



2 2차 : 시추기 제작 및 실내검증



3 3차 : 시추기 현장적용 및 검증

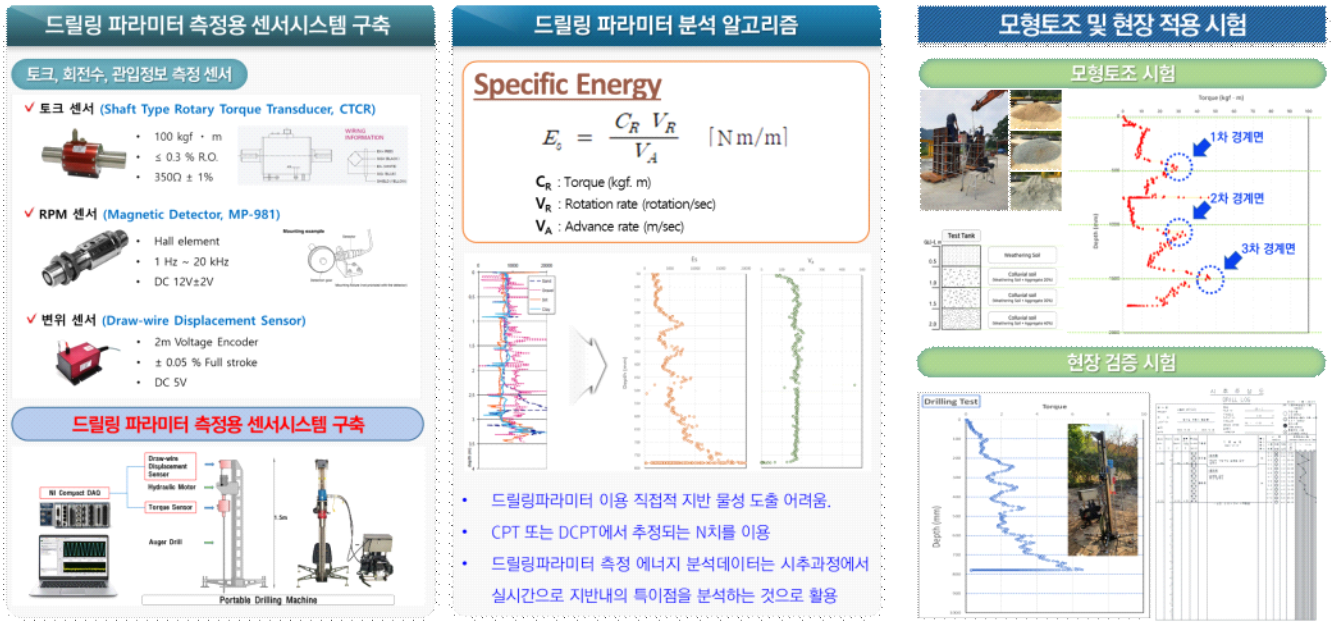


(2) [공동_유디엔에스] 비탈면 지반정보 복합계측센서 및 분석기술 개발

연구 목표	세부연구 목표	연구 결과
비탈면 지반정보 복합계측센서 및 분석기술	[1차년도]	
	• 비탈면 조사 분석 관련 기술 분석 • 지반정보 복합계측센서 기술 분석 • 계측센서 제어 및 데이터수집 / 분석 / 전송을 위한 현장 통합단말기 설계	• 비탈면 조사 분석 관련 기술 분석 –비탈면 안전점검 및 정밀안전진단 관련 기준 –국가기준/지침 및 국내 주요 유지관리기관 토사층 성능평가 기준 분석 (CPT, 토질분류 기준) • 지반정보 복합계측센서 기술 분석 –토크센서, 함수비센서, Piezocone 조사분석 –지반정보 복합계측센서 프로브 설계 • 계측센서 제어 및 데이터수집/분석/전송을 위한 현장 통합단말기 설계
	[2차년도]	
	• 드릴링/오거링 파라미터 분석기술 연구 개발 • 지반정보 복합계측센서 기술 개발 • 계측센서 제어 및 데이터수집 통합단말장비 개발 • 휴대용 시추기 및 지반정보 복합계측센서 성능검증을 위한 시험환경 구축	• 드릴링/오거링 파라미터 분석기술 연구 개발 –드릴링파라미터 측정 (토크, RPM, 변위센서) –지반특성 Es 및 SBT, N치 환산 알고리즘 • 지반정보 복합계측센서 기술 개발 –지반정보 복합계측센서 개발 • 계측센서제어 및 데이터수집 통합단말장비 개발 –현장 통합단말기 개발 –임베디드시스템, CAN통신 네트워크 • 휴대용 시추기 및 지반정보 복합계측센서 성능검증을 위한 시험환경 구축 및 성능평가 –실외 성능시험용 모형토조 제작(1m×1m×2m) –표토, 붕적토, 풍화토 시료 0.5m씩 층별 다짐 –현장적용시험 완료
	[3차년도]	
	• 지반정수 분석기술 고도화 • 토사층 지층정보 계측센서 프로브 케이스 개선 • 비탈면 내구성평가용 센서 데이터 신뢰도 향상 • 실외 성능검증 및 현장적용	• 지반정수 분석기술 고도화 –드릴링 파라미터 지층정보 분석 신뢰도 향상 –함수비 센서 이용 분석된 지반정수의 정확도 향상 • 토사층 지층정보 계측센서 프로브 케이스 개선 –함수비, 동적관입시험, 토양경도센서의 일체화 하우징 개발 • 비탈면 내구성평가용 센서 데이터 신뢰도 향상 –실내 시료시험 결과데이터베이스를 이용한 토양경도 분석값 신뢰도 향상 • 실외 성능검증 및 현장적용 완료

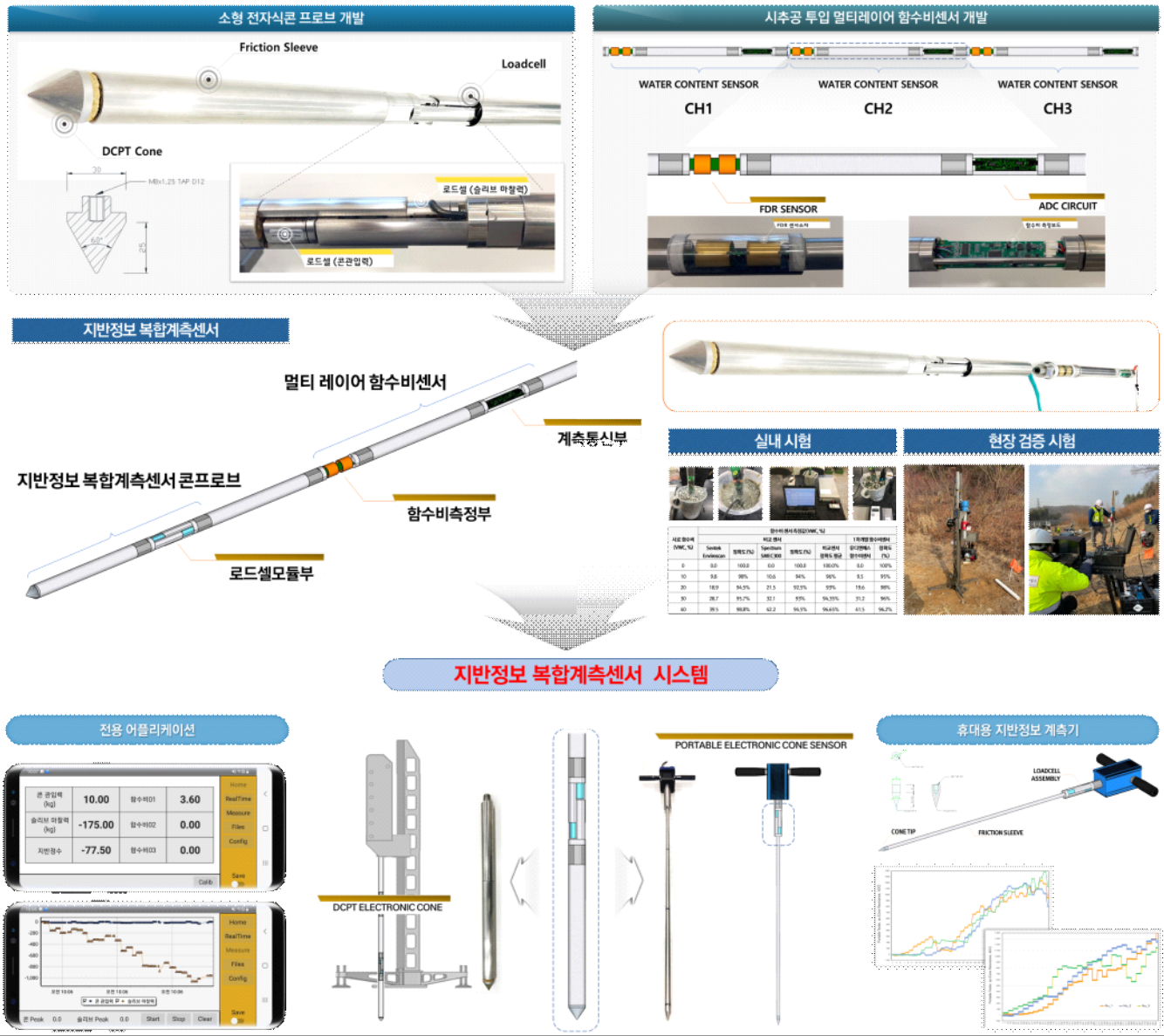
○ 휴대용 시추기 부착용 드릴링 파라미터 계측 센서기술

- 휴대용 시추기의 드릴링 파라미터(토크, RPM, 관입깊이) 측정 센서 시스템 구축 및 분석 기술 개발



○ 시추공 함수비센서 및 강도추정용 관입형 시험센서 기술

- 소형전자식콘프로브와 멀티레이어 함수비센서를 일체화한 지반정보 복합계측센서 시스템 개발



○ 지층정보, 강도 및 함수비 등의 수집정보를 이용한 지반정수 분석기술

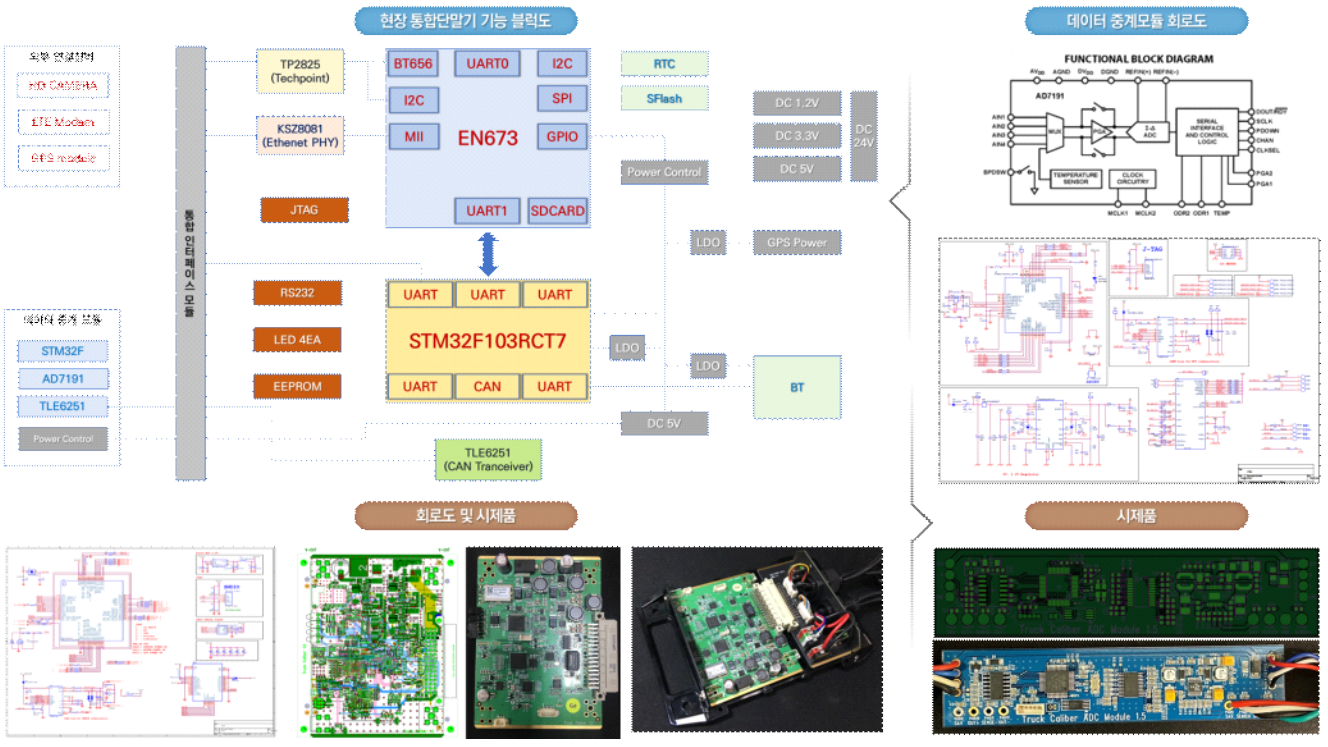
– 지반정보 복합계측센서의 콘관입시험 분석기술과 휴대용 지반정보계측기 상관 분석



○ 센싱시스템 제어 및 데이터 수집 현장 통합단말장비 개발

– 현장 통합단말기는 휴대용 시추기 및 지반정보 복합계측센서를 제어하여 다양한 계측센서 데이터를 측정하여 수집하고, 실시간으로 지반정보를 분석하며, 무선모듈을 통해서 CSMS4서버로 전송함.





[CTE 3]

(1) [주관_한국건설기술연구원] 유지관리 이력정보 기반 비탈면 보강시설 성능평가 기술 개발

연구 목표	세부연구 목표	연구 결과
이력정보 기반 비탈면 보호/보강시설 성능평가 기술 개발	[1차년도]	
	• 유지관리 이력정보 기반의 관리대상 비탈면 성능 평가기술 개발	• 비탈면 보강시설 성능평가 항목 도출 –비탈면 보강공(앵커, 록볼트, 네일, 옹벽) 성능평가 항목 도출 • 비탈면 유지관리 이력정보 수집 및 분석 완료
	[2차년도]	
	• 비탈면 3차원 영상정보 기반 보호/보강시설 손상도 자동추출 솔루션 정확도 90% 이상	• 비탈면 보강공법 성능평가 배점기준(안) 도출 –비탈면 보강시설(앵커) 손상유형별 실내외 시험을 통한 성능저하 정량화 –수치해석에 의한 비탈면 보강시설(앵커, 기대기옹벽) 손상유형별 성능저하 정량화 –국내 대표적 비탈면 보강공법(앵커, 기대기식옹벽) 손상유형 분석결과 활용 평가 배점기준 정립 –전문가 계층화 분석을 통한 평가항목별 배점기준 정립 • 3차원 영상정보 기반 비탈면 보호/보강시설 손상도 자동추출 기법 개발 –비탈면 보호/보강공법 현장테스트를 통한 손상도 자동추출 99% 정확도 결과 도출
	[3차년도]	
	• 비탈면 보강시설별 성능평가 정량화를 통한 성능평가표 개선(안) 도출	• 비탈면 보강공법 성능평가표 개선(안) 도출 완료 –앵커, 기대기식옹벽 성능평가를 위해 각각 5가지 평가요소 확정 및 전문가 검토 • 비탈면 보강시설 성능평가 이력정보 기반 비탈면 유지관리 가이드라인(안)

○ 유지관리 이력정보 기반의 관리대상 비탈면 성능 평가

- 비탈면 보강공(앵커, 록볼트, 네일, 옹벽) 성능평가 항목 도출

<앵커, 록볼트, 네일 보강시설별 평가항목 중요도>

앵커 주변부 (CI=0.0143)	앵커공 유출	앵커공 습윤	주변부 유출	주변부 습윤
	0.452	0.174	0.253	0.121
앵커 자체 (CI=0.0077)	앵커부식	앵커 변형/균열/파손	밀착도	지압구조물 변형/균열/파손
	0.189	0.362	0.203	0.246
록볼트 주변부 (CI=0.0155)	록볼트공 유출	록볼트공 습윤	주변부 유출	주변부 습윤
	0.477	0.170	0.235	0.118
록볼트 자체 (CI=0.0063)	록볼트 부식	록볼트 변형/균열/파손	밀착도	지압구조물 변형/균열/파손
	0.214	0.364	0.193	0.229
네일 주변부 (CI=0.0110)	네일공 유출	네일공 습윤	주변부 유출	주변부 습윤
	0.468	0.157	0.246	0.129
네일 자체 (CI=0.0045)	네일부식	네일 변형/균열/파손	밀착도	지압구조물 변형/균열/파손
	0.222	0.348	0.186	0.244

<앵커, 록볼트, 네일 보강시설별 평가항목 중요도 분석>

<옹벽 보강시설 평가항목 중요도>

옹벽 주변부 (CI=0.0111)	세굴	배수시설 상태	사면 구배변화
	0.200	0.196	0.195
	낙석에 의한 피해	침출수	
	0.218	0.191	

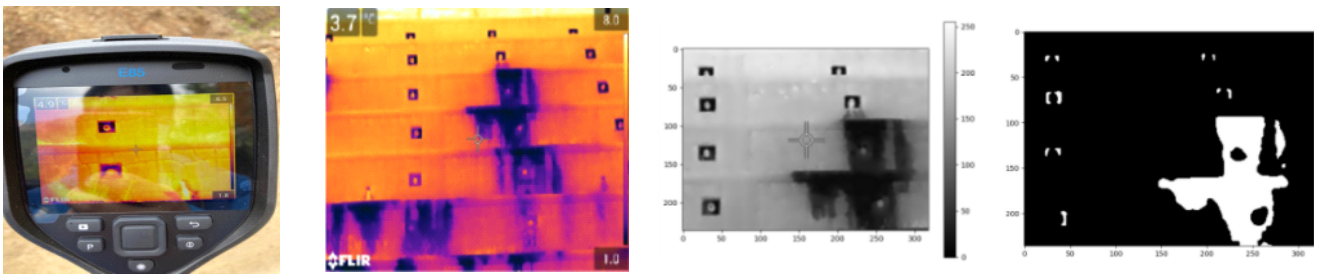
옹벽 자체 (CI=0.0080)	침하	활동	배수공상태	계획선형 오차	파손(재료분리)
	0.144	0.204	0.074	0.088	0.089
	균열	표면열화	백태	철근노출	지표 이격상태
	0.112	0.056	0.051	0.089	0.095

<옹벽 보강시설 평가항목 중요도 분석>

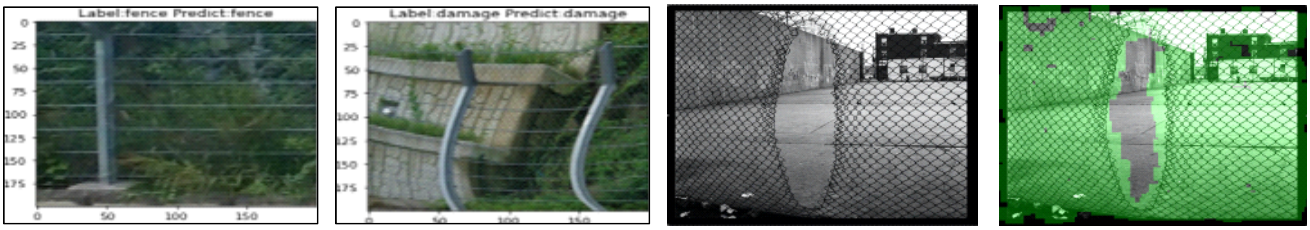
- 비탈면 유지관리 이력정보 수집 및 분석
  - 일반국도 도로비탈면, 고속국도 비탈면, 철도비탈면 관리 정보 수집, 분석

○ 3차원 영상정보 기반 비탈면 보호/보강시설 손상도 자동추출

- 열화상카메라 정보 기반 비탈면 누수 상태에 대한 정량적 평가 가능성 확인
- 비탈면 보호공법의 이상 감지를 위해 개발된 합성곱 신경망 모델에 대해 파이썬 머신러닝 라이브러리(PyTorch)를 사용하여 학습
- 비탈면 보호/보강공법 현장테스트를 통한 손상도 자동추출 99% 정확도 결과 도출
- 앵커 두부 손상도에 대한 육안/드론영상 정보 획득 비교 수행



<열화상카메라 활용 누수 상태 정량적 평가>



< 낙석방지울타리 손상 감지 결과>

< 낙석방지울타리 방지망 손상 감지 결과>



<드론 영상 중첩 재현에 의한 손상부 추출>

<드론 영상 활용 앵커 두부 균열 정보 획득 및 검증>

○ 비탈면 보강시설별 성능평가 정량화를 통한 성능평가표 개선(안)

- 앵커, 기대기식옹벽 성능평가를 위해 5개 평가항목 확정
- 각 평가항목에 대한 평가기준 설정
- 비탈면 보강시설 성능평가표 개선(안)에 대한 전문가 검토

항목	등급	내용
두부격자 균열	a	균열이 전혀 확인되지 않음.
	b	미세균열 또는 0.3mm미만의 균열 확인
	c	0.5mm 미만의 균열 또는 한 곳에 집중되는 미세균열이 발생
	d	0.5mm 이상의 균열이 전체면적의 30%이내에서 발생
	e	균열의 깊이가 깊고 수압판 일부가 파손된 경우 또는 탈락한 경우
앵커부식	a	부식이 전혀 확인되지 않음
	b	녹의 흔적이 발견된 경우
	c	강선,웨지,보호캡등에서 전체적으로 녹이 발생한 경우
	d	녹물이 지속적으로 발생하고 보강체의 부식이 확인된 경우
	e	보강체가 부식되어 탈락한 경우 또는 철구조물이 탈락되어 섬늄에 문제가 있을 경우
세굴	a	세굴이 전혀 확인되지 않음
	b	미세한 세굴의 흔적이 확인
	c	깊이가 깊지 않거나 인장재의 노출을 확인할 수 없는 국부적인 세굴
	d	깊은 세굴로 인해 인장재가 노출되거나 변형이 일어난 경우
	e	수압판의 25%이상에서 세굴이 확인되는 경우 또는 들뜸으로 인해 격자가 움직일 경우
격자변형	a	변형이 전혀 확인되지 않음
	b	변형이 경미하거나 국부적인 박리확인
	c	두부격자의 25%미만에서 이음새의 벌어짐 또는 손상이 확인되는 경우
	d	두부격자의 회전, 위치이동이 발생한 경우
	e	파손되어 낙하되었거나 망실된 경우
웨지결속	a	결속불량이 전혀 확인되지 않음
	b	미세한 부식, 변형 등이 확인 된 경우
	c	유격이 있으나 심각한 영향을 미치지 않는 경우
	d	결속이 불량하여 변형 또는 해제의 가능성이 있는 경우
	e	결속불량으로 망실되거나 기능을 상실한 경우

<앵커공 성능평가표 개선(안)>

항목	등급	내용
활동(전도, 미끄러짐)	a	활동이 전혀 확인되지 않음.
	b	5cm 미만의 활동이 확인
	c	5cm-10cm정도의 활동이 확인
	d	10cm 이상의 활동이 확인
	e	20cm 이상의 활동 또는 옹벽이 사면과 완전히 분리된 경우
침하	a	침하가 전혀 확인되지 않음
	b	5cm 이하의 침하가 발생
	c	5cm-10cm정도의 침하가 확인
	d	10cm 이상의 침하가 확인
	e	20cm 이상의 침하 또는 길이해의 균열, 단차 발생, 도로 포장부의 균열이 확인
균열	a	균열이 전혀 확인되지 않음
	b	0.3mm 이하의 균열이 확인
	c	0.3mm-0.5mm 정도의 균열이 전체면적의 30%이내에서 확인
	d	0.5mm 이상의 균열이 전체면적의 30%이상에서 확인
	e	전체면적이 50%이상에서 1cm이상의 균열이 확인
지표와의 이격	a	이격이 전혀 확인되지 않음
	b	옹벽후면에 지하수의 유출 흔적이 확인 된 경우
	c	지하수의 유출이 확인되고 토립분이 유출되는 경우
	d	배면과 지면의 이격이 발생하고 토사유출이 확인된 경우
	e	세굴현상이 심각하게 발생하고 하부에 토사유출로 인한 토사가 쌓인 것이 확인
파손	a	파손이 전혀 확인되지 않음
	b	파손부의 폭이 5mm 이하의 파손이 확인
	c	파손부의 폭이 20cm 미만의 파손이 전체면적의 20%이내에서 발생
	d	파손부의 깊이가 10mm이상의 파손이 전체면적의 20%이상에서 발생
	e	파손의 깊이 또는 폭이 20cm이상이거나 전체면적에서 철근 노출이 확인되는 면적이 20%이상일 경우

<기대기식옹벽 성능평가표 개선(안)>

항목	전문가 답변 비율				
	매우동의	동의	보통	비동의	매우비동의
두부격자 균열	10%	70%	20%		
앵커부식	30%	50%	10%	10%	
세굴	10%	80%	10%		
격자변형	30%	70%			
웨지결속	30%	60%	10%		

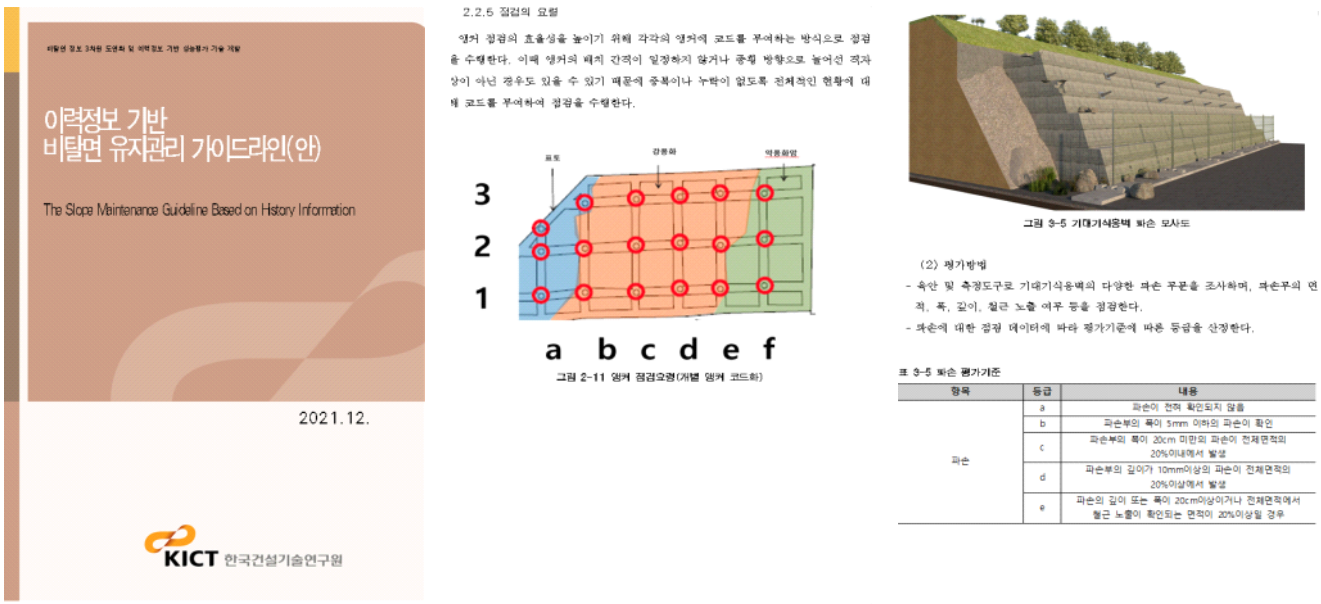
<앵커공 성능평가표 개선(안)에 대한 전문가 의견>

항목	전문가 답변 비율				
	매우동의	동의	보통	비동의	매우비동의
활동(전도, 미끄러짐)	20%	70%	10%		
침하	20%	80%			
균열	10%	50%	40%		
지표와의 이격	40%	50%		10%	
파손	20%	70%		10%	

<기대기식옹벽 성능평가표 개선(안)에 대한 전문가 의견>

○ 이력정보 기반 비탈면 유지관리 가이드라인(안) 개발

- 비탈면 보강시설 성능이 전체 비탈면에 미치는 영향도 분석
- 비탈면 보강공의 성능평가 이력정보 기반 비탈면 유지관리 가이드라인(안) 개발
  - 유지관리업무 흐름도
  - 앵커공, 기대기식옹벽 유지관리를 위한 점검 기준 및 요령
  - 앵커공, 기대기식옹벽 유지관리 주기 및 빈도
  - 앵커공, 기대기식옹벽 점검 결과 정리 및 대응방안



<이력정보 기반 비탈면 유지관리 가이드라인(안)>

(2) [공동_상지대학교 산학협력단] 유지관리 이력정보 기반 비탈면 보호시설 성능평가 기술 개발

연구 목표	세부연구 목표	연구 결과
비탈면 보호시설 사용성능 평가기술개발	[1차년도]	
	• 국내외 문헌 및 기술 조사	• 국내·외 비탈면 보호시설 평가기술 분석 –국내·외 낙석방지 울타리 사용성능 평가기술 분석(스위스, 미국, 유럽)을 통한 국내 낙석방지울타리 시험 판정 방법 도출 –배수공의 경우 사용성능평가에 대한 내용은 전무함(현장 조사를 통한 시험 방법 도출)
	• 낙석방지울타리 및 낙석방지망 성능평가현장실험	• 낙석방지울타리 및 낙석방지망 성능평가 현장 실험 –낙석방지망의 흡수능력 시험 결과(25, 30, 35kJ) –경간 수에 따른 낙석방지 흡수에너지 결과(50kJ) –한국도로공사 표준규격 성능확인 시험 결과 (50, 55, 60kJ)
	• 국내 비탈면 보호시설 기존자료 분석 및 현장 조사	• 국내 비탈면 보호시설 자료 분석 및 현장 조사(경산 하양 부호 1지구 외 3곳) • 낙석방지울타리 및 배수시설 성능평가 인자 제안
	[2차년도]	
	• 낙석방지울타리 상태평가(안) 도출	• 낙석방지울타리 요소별 흡수에너지 도출 • 낙석방지울타리 손상 정도에 따른 시험방법도출 • 낙석방지망 손상 정도에 따른 지지능력 도출 • 낙석방지 울타리 기본 정보 리스트(안), 기본 요소 등급(안), 체크리스트(안), 낙석방지울타리 평가기준(안) 제안 • 낙석방지울타리 현장 시험 추가 수행
	• 배수성능평가 모형실험 및 성능평가지표(안) 도출	• 성능 분자 인자를 분석하여 수평배수공, 산마루측구 성능평가지표(안) 도출
	[3차년도]	
	• 낙석방지울타리상태평가 가이드라인 (안) 제안	• 추가 현장시험을 통한 손상정도 결과를 중심으로 기본 정보 리스트(안), 기본 요소(낙석방지망, 국도용 낙석방지울타리, 고속도로용 낙석방지울타리) 등급(안), 체크리스트(안), 평가기준(안) 제시
	• 배수시설 성능평기 가이드라인 (안) 제안	• 대형모형토조를 활용한 수평배수공과 산마루 측구에 대한 성능평가지표(안) 제시

○ **국내 낙석방지울타리 및 낙석방지망 현장 성능평가 시험**

- 현장 및 문헌조사를 통한 성능평가 인자 도출
- 국내·외 문헌 및 기술 조사를 통한 낙석방지울타리 시험 판정 도출
- 낙석방지망 흡수능력, 낙석방지울타리 표준 규격 성능, 3경간에 대한 현장 시험 결과 분석

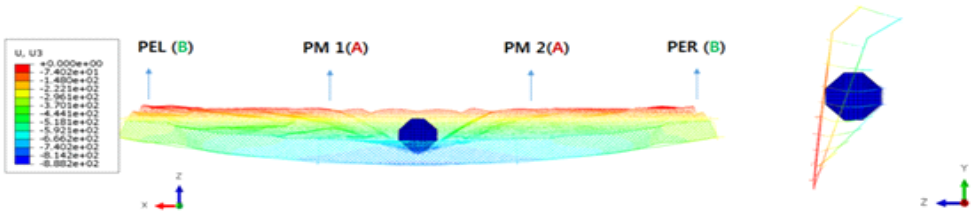
시험번호	설치규격	낙석중량 (kg)	낙하높이 (m)	목표 낙석흡수E (kJ)	속도 (m/s)	망의 최종변위 (m)	판정여부 (망의70%)
1-1	PVC코팅망 3.0*2.3m	400	6.37	25	11.17	1.260	OK
1-2			7.65	30	12.24	1.408	OK
1-3			8.93	35	13.23	1.203	OK
2-1		100	25.51	25	22.36	perforation	NG
2-2			20.41	20	20.00	perforation	NG
2-3			11.22	11	14.83	0.946	OK

시험 번호	설치 규격	낙석 중량 (kg)	낙하 높이 (m)	목표 낙석흡수 E (kJ)	속도 (m/s)	망의 최종 변위 (m)	판정여부 (망의 70%)	지주의 최종 변위(m)	판정여부 (지주의 70%)
3-1	3경간 (지주+와이어로프+PVC망)	400	12.75	50	15.81	1.147	OK	1.671	OK
3-2			14.03	55	16.58	1.409	OK	1.568	OK
3-3			15.30	60	17.32	1.648	NG	1.425	OK

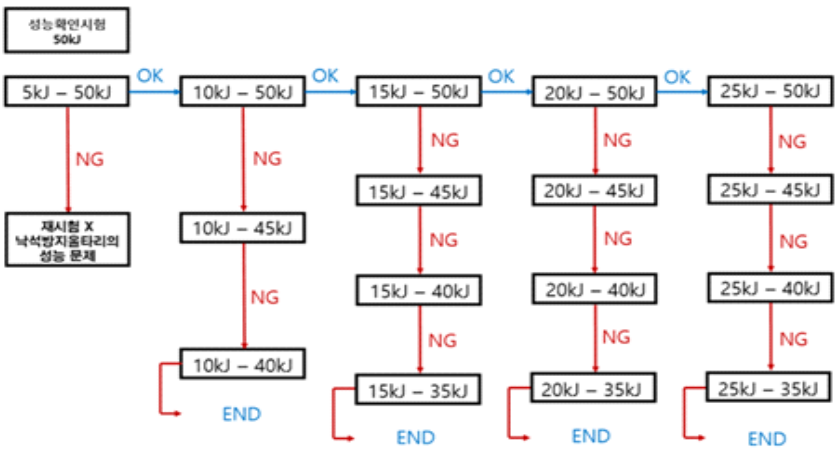
< 낙석방지망 및 울타리 현장 시험 결과 분석 >

○ **낙석방지울타리 현장시험 결과 및 수치해석을 통한 흡수에너지, 손상 정도에 따른 시험 방법 도출**

- 수치해석을 통한 요소별 최소 흡수에너지 도출 및 시험 방법 도출



	3경간			단위
	30kJ	50kJ	100kJ	
충돌방향 변위(z)	469.23	590.50	594	mm
망 최대 충돌방향(z) 변위	750.30	888.2	862	mm
z방향 변위	29.55	199.69	90	mm
x방향 변위	1.42	9.08	13	mm
중앙지주 흡수에너지	**11.08**	**13.85**	**20.72**	**kJ**
망 흡수에너지	**5.65**	**10.7**	**26.81**	**kJ**



< 낙석방지울타리 시험방법 >

○ 낙석방지울타리 상태평가(안) 도출

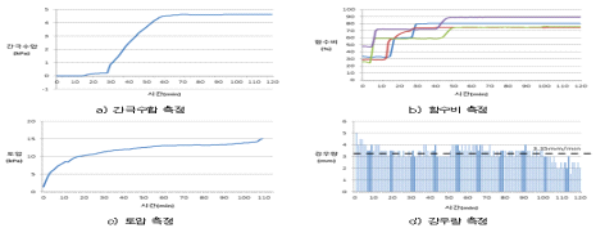
- 시험방법 도출 및 추가 현장 시험을 통한 낙석방지울타리 상태평가(안) 도출



○ 배수성능평가 모형 시험 및 성능평가 지표 (안) 도출

- 시험 결과를 통한 성능평가 지표(안) 도출

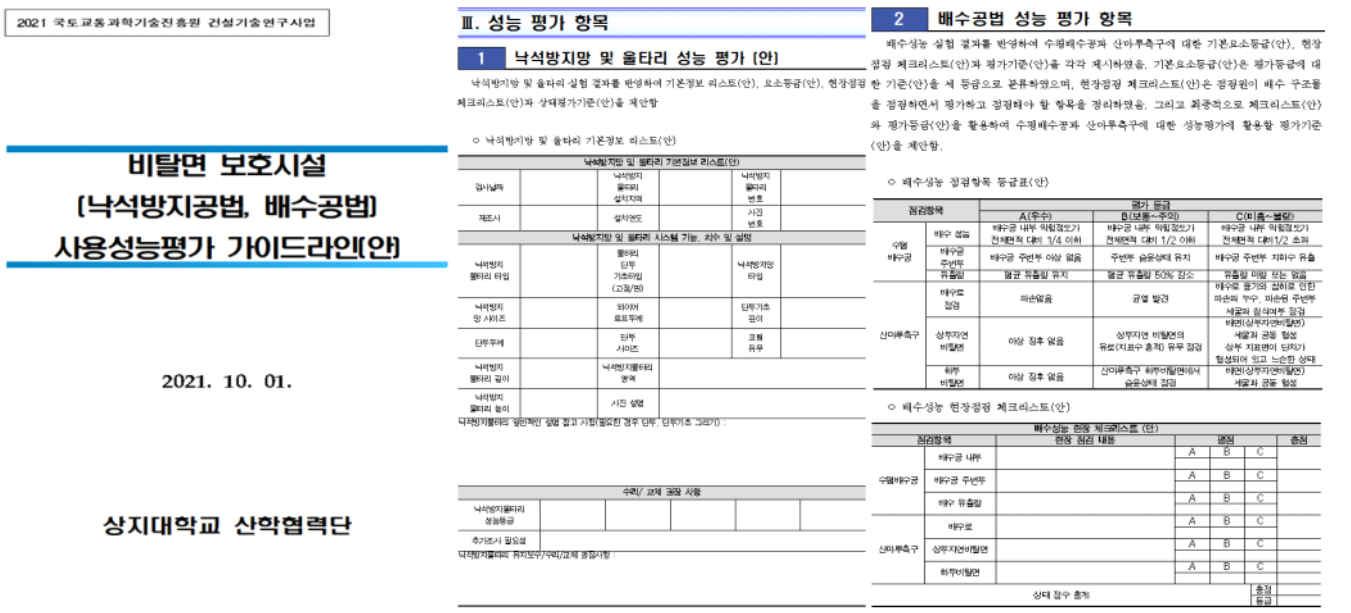
시험 조건	수평배수공 번호	유출량 (cm^3/min)	평균 유출량 (cm^3/min)	손상도(%)
case 1	No. 1	4.1	4.4	0%
	No. 2	4.5		
	No. 3	4.7		
case 2	No. 1	3.5	3.4	25%
	No. 2	3.5		
	No. 3	3.4		
case 3	No. 1	1.5	1.4	50%
	No. 2	1.4		
	No. 3	1.4		
case 4	No. 1	0.9	0.9	75%
	No. 2	0.9		
	No. 3	0.9		



배수시설 평가 기준 (안)		
등급	상태설명	기준
A (우수)	- 결함이 없는 상태	90 이상
B (보통~주의)	- 구조물의 성능이 저하가 우려되는 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 미세 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수 필요 주기적인 점검 필요	89~61 (보통~주의)
C (미흡~불량)	- 구조물의 결함이 발생하여 긴급한 보수 및 보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태 정밀점검과 계측 필요	60 이하 (미흡~불량)

점검항목		평가 등급		
		A(우수)	B(보통~주의)	C(미흡~불량)
수평 배수공	배수 성능	- 배수공 내부 막힘정도가 전체면적 대비 1/4 이하	- 배수공 내부 막힘정도가 전체면적 대비 1/2 이하	- 배수공 내부 막힘정도가 전체면적 대비1/2 초과
	배수공 주변부	배수공 주변부 이상 없음	- 주변부 습윤상태 유지	배수공 주변부 지하수 유출
	유출량	- 평균 유출량 유지	- 평균 유출량 50% 감소	- 유출량 미량 또는 없음
산미루 측구	배수로 점검	파손없음	균열 발견	- 배수로 융기와 심하로 인한 파손과 누수 - 파손된 주변부 세굴과 침식여부 점검
	상부자연 비탈면	이상 징후 없음	- 상부자연 비탈면의 유로(지표수 흔적) 유무 점검	- 배면(상부자연비탈면) 세굴과 공동 형성 - 상부 지표면이 단차가 형성되어 있고 느슨한 상태
	하부 비탈면	이상 징후 없음	- 산미루측구 하부비탈면에서 습윤상태 점검	- 배면(상부자연비탈면) 세굴과 공동 형성

○ 비탈면 보호시설(낙석방지공법, 배수공법) 사용성능평가 가이드라인(안)



[CTE 4]

(1) [공동_한국건설생활환경시험연구원] 비탈면 계측/모니터링 장비의 내구수명 사용성능 검인증 기술 개발

연구 목표	세부연구 목표	연구 결과
비탈면 계측/모니터링 장비의 내구수명 사용성능 검인증 기술 개발	[1차년도]	
	• 환경조건 및 유지관리를 고려한 계측기기 성능평가 방법 및 매뉴얼	• 국내 시행중인 계측기기 관련 제도/규정을 검토 및 분석하였으며 본 연구결과를 제도적으로 반영하기 위한 개선사항 도출 • 국내 비탈면 분포 현황 및 이에 따른 기후조사를 통해 성능에 영향을 받는 기후인자 분석을 통해 수명평가 요소 도출 • 현재 계측기기 사용수명 평가에 대한 기준은 존재하지 않으며, 환경조건을 고려한 계측기기의 성능 뿐만 아니라 수명평가를 수행할 수 있는 절차서를 도출
	[2차년도]	
	• 계측데이터 유효성 분석 가이드라인(안) 개발	• 기 도출된 계측기기 성능평가 매뉴얼에 따라 환경조건에 따른 적용성 검토 실시 • 기존에 설치되어 있는 계측기기에 대해 회수가능 및 회수불가능한 기기에 대한 평가방법 제시 • 실제 공용중인 계측기기에 대해 평가 매뉴얼에 따라 검증 실시 • 계측데이터 유효성 검토를 위해 시설물 이상징후 판정 방법에 따른 회귀기반분석을 통해 영향 검토 실시 • 데이터 유효성 연구를 통해 도출된 결과를 바탕으로 검토/분석 가이드라인 도출
	[3차년도]	
	• 계측기기 장기 공용성 평가 및 제도개선(안) 개발	• 실제 비탈면 데이터 유효성 검토를 하기 위해 계측데이터 대상으로 데이터 건전성 평가 수행 • 계측기기 장기공용성 평가를 위해 현재 현장에서 공용중인 변위계를 대상으로 기후변화에 따른 영향을 평가 수행 • 성능평가 기반 유지관리 제도개선(안) 도출 –도로비탈면 유지관리 실무매뉴얼 “상시계측 시스템 유지관리(308pp)” 개선(안) 대상 –계측기기 성능검사 기준에 관한 규정 “제6조 성능검사 기준” 개정(안) 대상

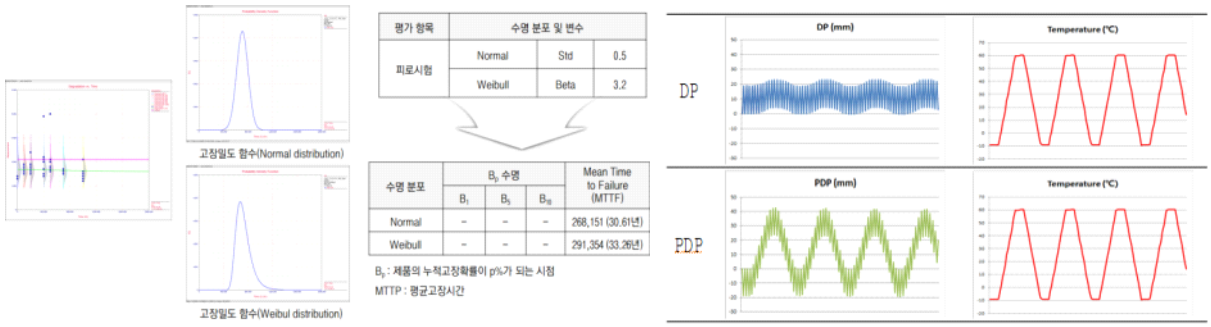
○ **환경조건 및 유지관리를 고려한 계측기기 성능평가 방법 및 매뉴얼**

- (기존 규격 및 제도) 국내/외 계측기기 성능검사 제도 분석결과, 기기 설치시 성능평가 방법은 규정되어 있으나, 환경조건을 고려한 기기 내구수명에 대한 평가방법은 없음
  - (사면/비탈면 계측기기) “계측기기 성능검사 기준에 관한 규정”에 따라 규정되어 있는 성능검사 기준에 따라 지표변위계 등 8종 12종류가 규정되어 있음
    : 계측방식 및 유무선 등을 고려하면 약 60여종 이상 센서가 활용되고 있음
  - 기존 설치 계측기기의 성능평가는 성능검사 주기는 3년으로 규정하고 있으며, 단 현장 계측기기 시방서에서 환경조건을 고려한 별도의 성능검사 주기를 규정하고 해당하는 현장계측기기 시방서 규정에 따라 시행하게 되어 있음
- (개선) 본 연구를 통해 회수가 불가능한 계측기기의 경우, 기기로부터 나오는 데이터에 대한 유효성 검증을 통해 선제적으로 판단하고 관련 전문가 의견을 수렴하여 교체여부를 판단하는 별도의 규정 필요
- “계측기기 성능/수명 평가 절차서(매뉴얼)” 개발을 통해 어떠한 형태의 계측기기에 대해서 신뢰성 평가를 기존의 소재/부품/시스템 등에서 사용하고 있는 신뢰성 평가기준을 보완/수정하여 작성



1. 적용범위
2. 인용규정 및 규격
3. 비탈면 계측기기 종류
4. 정의
5. 요구사항
6. 신뢰성 시험
   - 샘플링 방법 / 표준대기조건
   - 성능시험(외관검사, 구조/기능검사)
   - 환경시험
   - 수명시험
7. 시험방법
   - (성능시험) “계측기기 성능검사 기준에 관한 규정”을 준용
   - (환경시험) KS C IEC 시험 규격을 준용하며, 시험 조건에 따라 변경 가능
   - (수명시험) 고장분석 등을 통한 수명설계를 실시하고 전문가 의견 수렴을 통해 결정
8. 판정
9. 결과보고서의 작성

- (매뉴얼에 따른 계측기기 성능평가) 도출된 절차서(매뉴얼)에 따라 접촉식 변위게 센서에 대해 성능평가를 통해 적용성 평가를 수행하였으며, 실제 비탈면 현장에서 사용 중인 와이어식 변위계 센서에 대한 성능평가 수행
  - (접촉식 변위계 센서) 성능시험은 신뢰수준 95%에서 정상범위에서 작동하였으며, 환경시험에서는 변위가 발생하지 않았을 때에는 정상범위에서 성능이 나타나고 있으나, 변위가 발생한 경우에는 온도 영향으로 인해 정상범위를 벗어나는 성능을 보이고 있음, ③ 변위 반복이 지속될수록 약간의 변위오차가 발생하였으며, 장기시험 데이터를 통해 분포도를 파악하고 이를 확률론적 접근을 통해 수명평가를 수행(전자기기 제품은 Weibull 분포를 수행하게 되는데 그 결과 33.26년의 수명으로 평가)



  - (와이어식 변위계 센서) 실제 현장에서 사용중인 국내 및 국외 와이어식 변위계 센서에 대한 성능평가 실시하였으며, 그 결과, 성능시험은 일정 온습도 조건에서 신뢰수준 95% 수준에서 정상범위에서 작동하였으며, 환경시험의 경우 일정온도에서는 정상작동을 하고 있으나, 온도변화에 대해서는 비정상작동 하는 것으로 나타남
    : 환경요인(온도)이 센서 와이어 부분의 온도에 영향을 주는 것으로 판단되며, 실내 실험과 현

장 공용성 평가 결과 비교를 통해 보다 신뢰도 높은 분석 필요함

· 변위계 센서의 신뢰성 평가 시험을 위해 장치를 개발하였으며, 성능평가 절차 및 시험결과를 토대로 특허 등록 실시





○ 계측데이터 유효성 분석 가이드라인(안) 개발

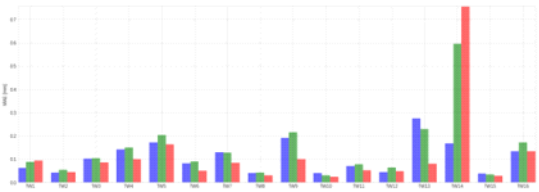
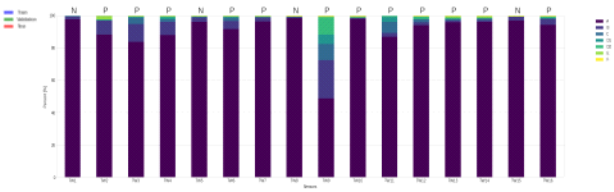
- 계측 시설물의 이상징후 판정은 주로 대상 시설물의 센서에서 계측되는 신호를 기반으로 수행하며, 시설물에 물리적/환경적 변화로 인해 계측환경 변화가 현장에 설치된 센서의 출력 변화로 반영된다는 가정을 전제 하에 수행
- 본 연구에서는 비탈면 계측시스템에 적합한 이상징후 판정방법론으로 지도학습 기반 알고리즘은 가우시안 프로세스 회귀(Gaussian Process Regression, GPR) 기법을 제안



1. 적용범위
2. 인용규정 및 규격
3. 비탈면 계측기기 종류
4. 정의
5. 요구사항
6. 계측데이터의 수집
7. 계측데이터 유효성 검토
 - 데이터 분석 방법
 - 데이터 분석 범위
 - 데이터 분석 절차
8. 판정
9. 결과보고서의 작성

-국내 지역별 비탈면 20개 현장을 대상으로 실제 계측데이터 기반 유효성 검토 및 분석 실시

: 지속적인 실제 사례 검토 및 분석을 위해 데이터 수집 및 지속적인 연구 필요

○ 계측기기 장기 공용성 평가 및 제도개선(안) 개발

- 앞서 수행된 실험실 내에서의 실험결과와 실제 환경에서의 공용성 평가를 위해 비탈면에 사용되는 변위계(와이어식) 센서에 대해 공용성 평가 실시

· 현재 지속적으로 기후 및 계측데이터를 수집 중에 있으며, 연구종료 이후에도 모니터링 예정

- (제도개선(안) 도출된 연구결과로부터 현재 시행 중인 규정 및 매뉴얼에 대한 제도개선(안) 도출

· 환경조건에 따른 성능검사 방법을 명확화하여 별지 4에 의해 제시된 매뉴얼 통한 성능평가 실시 권장

· 비탈면 유지관리를 위해 계측 데이터의 유효성 검토를 통해 신뢰성을 확보하고 보다 신속하고 즉각적인 현장대응을 위한 사전 검토방안을 추가

표 5-7 계측기기 성능검사 기준에 관한 규정 신·구문 대비표

기존 규정	개정(안)	개정사유
(제6조) 성능검사 기준 ① 성능검사는 규칙 제12조제2항에 따라 신뢰성을 확보하기 위하여 다음 각 호의 기준을 준수하여야 한다. 1. 3회 이상 성능검사를 한다. 2. 현장별로 환경조건에 따른 성능검사가 필요한 경우에는 현장 관련 시방서에 별도의 기준을 마련한 후 성능검사를 한다.	제6조) 성능검사 기준 ① 성능검사는 규칙 제12조 제2항에 따라 신뢰성을 확보하기 위하여 다음 각 호의 기준을 준수하여야 한다. 1. 3회 이상 성능검사를 한다. 2. 현장별로 환경조건에 따른 성능검사가 필요한 경우에는 현장 관련 시방서에 별도의 기준을 마련한 후 성능검사를 한다. 3. 현장 관련 시방서는 설치 환경조건에 따라 「별지X) 계측기기 환경조건에 따른 성능평가 매뉴얼」을 참고하여 현장별 기준을 마련하여 성능검사를 실시한다.	환경조건에 따른 성능검사 방법을 명확화하여 별지 4에 의해 제시된 매뉴얼 통한 성능평가 실시 권장

표 5-8 계측기기 성능검사 기준에 관한 규정 신·구문 대비표

기존 매뉴얼	개정(안)	개정사유
8.1.6. 상시계측시스템 유지관리 <표 8.2> 상시계측시스템 유지관리 운영 <표 8.3> 상시계측시스템 평상시, 우기 및 해빙기, 비상시 유지관리 - 평상시, 우기 및 해빙기, 비상시 등 시스템 유지관리지 및 감독자 등에 의해 필요에 따라 별도 규정 「계측데이터 유효성 검토 및 분석 가이드 라인」을 통해 수시 점검을 실시할 수 있다. ※ 만, 계측데이터의 유효성 검토는 비탈면 현장조건에 따라 관리자 및 감독자에 의해 실시하고 이를 반영해야 한다.	8.1.6. 상시계측시스템 유지관리 <표 8.2> 상시계측시스템 유지관리 운영 <표 8.3> 상시계측시스템 평상시, 우기 및 해빙기, 비상시 유지관리 - 평상시, 우기 및 해빙기, 비상시 등 시스템 유지관리지 및 감독자 등에 의해 필요에 따라 별도 규정 「계측데이터 유효성 검토 및 분석 가이드 라인」을 통해 수시 점검을 실시할 수 있다. ※ 만, 계측데이터의 유효성 검토는 비탈면 현장조건에 따라 관리자 및 감독자에 의해 실시하고 이를 반영해야 한다.	비탈면 유지관리를 위해 계측 데이터의 유효성 검토를 통해 신뢰성을 확보하고 보다 신속하고 즉각적인 현장대응을 위한 사전 검토방안을 추가

(2) 정량적 연구개발성과

○ 당해 연도 정량적 연구성과 목표 및 달성도

구분			목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI		2	2	
	비SCI				
	계		2	2 (100%)	
국내 논문 게재	SCI				
	비SCI		8	5	추가 1건 게재예정
	계		8	5 (62.5%)	
학술회의 발표	국내		-	5	
	국외				
	계		-	5 (500%)	
특허 출원	국내		1	2	
	국외				
	계		1	2 (200%)	
특허 등록	국내		6	6	
	국외				
	계		6	6 (100%)	추가 1건 심사중
인력 양성	석사		2	2	
	박사		2	1	
	계		4	3 (75%)	
기술 이전	계약 건수				
	계약액				
	징수액				
국제 표준화	기고서 제출				
	기고서 채택				
	표준안 채택				
국내 표준화	기고서 제출				
	기고서 채택				
	표준안 채택				
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문		2	2 (100%)	가이드라인
	연구시설 · 장비				
	기술요약정보				
	생명자원	생명정보			
		생물자원			
		신품종			
	소프트웨어		3	5 (166%)	
	화학물				
기타	시제품		2	3 (150%)	
	성과 홍보		0	1 (100%)	
	제도개선(안)		1	1 (100%)	
	일자리 창출				

○ 전체연도 정량적 연구성과 목표 및 달성도

구분			목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI		3	4	
	비SCI				
	계		3	4 (133.3%)	
국내 논문 게재	SCI				
	비SCI		17	17	추가 1건 게재예정
	계		17	17 (100%)	
학술회의 발표	국내		10	20	
	국외			2	
	계		10	22 (220%)	
특허 출원	국내		8	9	
	국외				
	계		8	9 (112.5%)	
특허 등록	국내		7	7	
	국외				
	계		7	7 (100%)	추가 1건 심사중
인력 양성	석사		4	4	
	박사		3	2	
	계		7	6 (85.7%)	
기술 이전	계약 건수				
	계약액				
	징수액				
국제 표준화	기고서 제출				
	기고서 채택				
	표준안 채택				
국내 표준화	기고서 제출				
	기고서 채택				
	표준안 채택				
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문		4	4 (100%)	가이드라인 3 매뉴얼 1
	연구시설 · 장비				
	기술요약정보				
	생명자원	생명정보			
		생물자원			
		신품종			
	소프트웨어		5	17 (340%)	
	화학물				
기타	시제품		2	3 (150%)	
	제도개선(안)		1	1 (100%)	
	성과 홍보		-	1 (100%)	
	일자리 창출				

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
01	AHP 분석을 활용한 비탈면 보강공 성능평가를 위한 중요항목 도출에 관한 연구	지질공학회지	이종현	29 (4)	대한민국	대한지질공학회	비 0SCIE	2019. 12.30.	1226-5268	100
02	앵커 시공 간격에 따른 비탈면 안전율 변화 연구	지질공학회지	김진환	30 (4)	대한민국	대한지질공학회	비 SCIE	2020. 12.30.	1226-5268	100
03	앵커 긴장력 변화에 따른 비탈면 유지관리 연구	지질공학회지	박병석	30 (4)	대한민국	대한지질공학회	비 SCIE	2020. 12.30.	1226-5268	100
04	A Study on Problems and Improvement of Steep Slope Management in Local Government	Crisisonomy	김진환	17 (8)	대한민국	위기관리 이론과 실천	비 SCIE	2021. 08.31.	2466-1198	100
05	Automated pavement distress detection using region based convolutional neural networks	International Journal of Pavement Engineering	Eldor Ibragimov	13	영국	Taylor & Francis Online	SCI	2020. 10.24	1029-8436	100
06	변형 쌍극자배열법을 적용한 울릉도 나리 칼데라 주변 조면안산암 지역의 비저항분포 특성 분석	The Journal of Engineering Geology	김기범	29 (3)	대한민국	한국건설순환자원학회	비 SCI	2019. 09.30.	1226-5266	100
07	Regression Equations for Estimating Landslide-Triggering Factors Using Soil Characteristics	Applied Sciences	김경수	10 (10)	스위스	MDPI	SCIE	2020. 05.21.	2076-3417	100
08	AutoML을 이용한 산사태 예측 및 변수 중요도 산정	지질공학회지	남경훈	30 (3)	대한민국	한국지반환경공학회	비 SCIE	2020. 09.30.	1226-5268	100

09	Analysis of Debris Flow Reduction Effect of Check Dam Types considering the Mountain Stream Shape: A Case Study of 2016 Debris Flow Hazard in Ulleung-do Island, South Korea	Advances in Civil Engineering	김만일	2021	영국	Hindawi	SCIE	2021. 03.17.	1687-8094	100
10	배수성능 평가를 위한 침투능 산정기법에 관한 연구 I	한국지반환경 공학회 논문집	심정훈	19 (12)	대한민국	한국지반환경공학회	비 SCIE	2019. 12.01.	1598-0820	100
11	해석적-수치해석적 방법을 통한 낙석방지울타리에 작용하는 에너지 분석	한국지반환경 공학회 논문집	김희수	19 (12)	대한민국	한국지반환경공학회	비 SCIE	2019. 12.01.	1598-0820	100
12	실내인발시험을 이용한 낙석방지망 성능평가	한국지반환경공학회 논문집	김태식	20 (12)	대한민국	한국지반환경공학회	비 SCIE	2020. 12.01.	1598-0820	100
13	낙석방지울타리 망의 변위량 및 성능검증을 위한 실물낙석시험	한국지반환경공학회 논문집	서진혁	20 (12)	대한민국	한국지반환경공학회	비 SCIE	2020. 12.01.	1598-0820	100
14	배수성능 평가를 위한 침투능 산정기법에 관한 연구(II)	한국지반환경공학회 논문집	정지수	20 (12)	대한민국	한국지반환경공학회	비 SCIE	2020. 12.01.	1598-0820	100
15	현장시험 및 수치해석 분석을 통한 원지반 부착식 판넬옹벽의 현장 적용성 평가	한국지반공학회논문집	권용규	20 (!2)	대한민국	한국지반공학회	비 SCIE	2020. 12.14.	1229-2427	100
16	수치해석을 이용한 원지반 부착식 판넬옹벽의 투수성 평가	한국지반공학회논문집	권용규	21 (3)	대한민국	한국지반공학회	비 SCIE	2021. 03.23	1229-2427	100
17	성토 구간 지반응답을 고려한 지진 감지 기술 개발 연구	한국지반공학회논문집	박병선	36 (10)	대한민국	한국지반공학회	비 SCIE	2020. 10.30.	1229-2427	50
18	시멘트 기반 재료를 혼입한 사면 안정용 녹생토의 물성 및 식생 영향성	한국건설순환자원학회 논문집	최윤석	9 (2)	대한민국	한국건설순환자원학회	비 SCIE	2021. 06.30.	2288-3320	50

19	Case Study of Slope Investigation on the Cretaceous Sedimentary Rocks Using the Geological Cross-Sections	지질공학회지	임명혁 외	31 (4)	대한민국	대한지질공학회	비 SCIE	2021. 12.30.	1226-5268	100
20	Vegetation Removal on 3D Point Cloud Reconstruction of Cut-Slopes Using U-Net	Applied Sciences	Ying Wang	12 (1)	스위스	MDPI	SCIE	2021. 12.31.	2076-3417	100
21	비탈면 취약도 평가를 위한 동적콘관입시험기 모듈개발과 표준관입시험값과의 상관관계 연구	지질공학회지	채휘영	31 (4)	대한민국	대한지질공학회	비 SCIE	2021. 12.30.	1226-5268	100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
01	2020 여름 진단학술발표회	인공지능을 이용한 구조건전성 모니터링 기술	이종재	2020.07.07.	제주	대한민국
02	2021 한국지반공학회 가을학술발표회	비탈면 유지관리를 위한 CSMS4 개발	이종재	2021.10.01.	서울	대한민국
03	2019 ARC of IAEG	Selection of reinforcement method in the region of seismic land creep by analysis of slope stability	김남균	2019.09.23. -27.	제주	대한민국
04	2019 ARC of IAEG	Development of Technology for Response of Slope Investigation, Inspection and Reinforcement Facility Deterioration	권오일	2019.09.23. -27.	제주	대한민국
05	2020 한국지반공학회 가을학술발표회	산지사면의 지형 변화 분석을 위한 드론 활용 방법	김남균	2020.09.25.	서울 (온라인)	대한민국
06	EGU General Assembly 2020	Determination method of the geotechnical parameters for assessing the collapse risk of mountain slope	김남균	2020.05.03. -08.	비엔나 (온라인)	오스트리아
07	EGU General Assembly 2020	Establishment a planning of disaster mitigation facilities by the impact of large-scale artificial structures on mountain slop	김만일	2020.05.03. -08.	비엔나 (온라인)	오스트리아
08	2021 (사)대한지질공학회 정기총회 및 춘계학술대회	로지스틱 회귀분석을 이용한 사면의 종류별 위험 인자 분석	김남균	2021.04.09.	제주	대한민국
09	2020년 한국지반공학회 가을학술발표회	자가굴진이 가능한 경량의 휴대용 시추기개발 및 성능검증	채휘영	2020.09.24.	서울 (온라인)	대한민국

10	2020 한국지반공학회 가을학술발표회	비탈면유지관리에서의 휴대용 시추기 및 지반정보 측정기술	김종우	2020.09.24.	서울 (온라인)	대한민국
11	2020 한국지반공학회 가을학술발표회	유지관리 이력정보 기반 비탈면 보호/보강시설 성능평가 기술 개발	진현우	2020.09.25.	온라인	대한민국
12	2020 한국지반공학회 가을학술발표회	해석비탈면 유지관리 선진화 기술 개발	권오일	2020.09.25.	온라인	대한민국
13	2020 대한지질공학회 추계학술대회	비탈면 유지관리를 위한 전자도면 구축	김우석	2020.11.16.	온라인	대한민국
14	2021 대한지질공학회 추계학술대회	GIS기반 비탈면 3차원 전자도면 구축	김우석	2021.04.08.	온라인	대한민국
15	2019 추계지질과학 연합학술대회	비탈면 붕괴위험도 평가에 대한 예비연구	김우석	2019.10.23. -26.	제주도	대한민국
16	2020 한국지반환경공학회 온라인 학술발표회	비탈면 보강재 배열특성에 따른 안전율 변화	김진환	2020.9.4.	온라인	대한민국
17	2020 대한토목학회 학술대회	머신러닝 기법을 활용한 사회시설물의 응답예측에 관한 연구	김우석	2020.10.21. -23.	제주도	대한민국
18	2020 대한토목학회 학술대회	유지관리 이력정보 기반의 관리대상 비탈면 성능평가	김우석	2020.10.21. -23.	제주도	대한민국
19	2020 대한지질공학회 추계학술대회	비탈면 보강시설(앵커) 노후화 대응 기술개발 연구	박병석	2020.11.16.	단양	대한민국
20	2020 춘계지질과학기술 공동학술대회	산사태 위험도 평가 및 계측관리를 위한 선진화 기술 개발	권오일	2020.06.10. -11.	부산	대한민국
21	2021 대한지질공학회 춘계학술대회	비탈면 보강시설 성능 평가기준 정량화를 위한 시험	권오일	2021.04.08. -09.	제주도	대한민국
22	2021 대한지질공학회 춘계학술대회	2020년 장마철 피해에 의한 국도변 산사태 및 도로비탈면 관리방안 수립	김승현	2021.04.08. -09.	제주도	대한민국

□ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식

□ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호
01	2019	계측기기 수명 평가 기준 절차서(매뉴얼)	2019.11.28	
02	2020	계측데이터 유효성 검토 및 분석 가이드라인	2020.11.03	
03	2021	비탈면 보호시설 사용성능 평가 가이드라인(안)	2021.10.01	
04	2021	이력정보 기반 비탈면 유지관리 가이드라인(안)	2021.12.31	

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
01	특허	비탈면 활동에 대한 앵커 거동 분석을 위한 토조 전단시험장치 및 이를 이용한 토조 전단시험방법	대한민국	한국건설기술연구원	2020.11.18.	10-2020-0154636	한국건설기술연구원	2021.02.16.	10-2218450	100	활용
02	특허	식생을 제거한 절토사면의 3차원 모델 생성 시스템 및 3차원 모델 생성 방법	대한민국	한국건설기술연구원	2020.11.09.	10-2020-0148609	한국건설기술연구원	2021.02.26.	10-2223484	100	활용
03	특허	비탈면을 보강할 때의 안전성 확보를 위한 수평제어와 하중재하와 근접 배면토사부 다짐이 가능한 보강토 옹벽 시공장치 및 이에 의한 보강토 옹벽 시공방법	대한민국	한국건설기술연구원	2021.10.28.	10-2021-0145455	한국건설기술연구원	2022.01.10.	10-2350825	100	활용
04	특허	드론영상을 이용한 3차원 모델 생성 시스템	대한민국	세종대학교산학협력단	2021.10.26.	10-2021-0143890				100	활용
05	특허	무인 항공기의 촬영 영상 및 상부 자연 사면의 상태 정보를 이용하는 사면 붕괴 위험성 평가 방법 및 그 방법을 실행시키는 프로그램이 기록된 기록 매체	대한민국	산림조합중앙회	2020.10.08.	10-2020-0130046	산림조합중앙회	2021.07.20.	10-2281829	100	활용
06	특허	비탈면 조사점검을 위한 휴대용 시추장치	대한민국	주식회사 지오메카 이엔지	2020.02.19.	10-2020-0020348	주식회사 지오메카 이엔지	2020.11.10.	10-2179402	100	활용
07	특허	비탈면용 콘 관입시험기 및 이를 이용한 지반정보 측정방법	대한민국	㈜유디엔에스	2019.11.19.	10-2019-0148821	㈜유디엔에스	2021.07.21.	10-2282339	100	활용

08	특허	변위계 센서의 내구성 시험장치	대한민국	(재)한국건설생활환경시험연구원	2019.11.22.	10-2019-0151289				100	활용
09	특허	변위계 센서의 환경변화별 신뢰성 평가장치 및 평가방법	대한민국	(재)한국건설생활환경시험연구원	2020.10.21.	10-2020-0136561	(재)한국건설생활환경시험연구원	2021.04.12.	10-2241507	100	활용

ㅇ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
01	비탈면 동해석종류별 해석실행파일 생성프로그램	2019.10.24.	한국건설기술연구원	2019.12.19.	C-2019-041491	한국건설기술연구원	100
02	비탈면 수치해석용 지진파 화면 가시화 프로그램	2019.10.24.	한국건설기술연구원	2019.11.12.	C-2019-033050	한국건설기술연구원	100
03	비탈면 수치해석용 지진파 자동변화 프로그램	2019.10.24.	한국건설기술연구원	2019.11.12.	C-2019-033051	한국건설기술연구원	100
04	비탈면 동해석종류별 해석결과 자동 변위 취득 프로그램	2019.10.24.	한국건설기술연구원	2019.12.13.	C-2019-041492	한국건설기술연구원	100
05	사면보강요소 해석데이터 생성(FLAC2D/3D) ver1.0	2020.10.09.	한국건설기술연구원	2020.10.22.	C-2020-037234	한국건설기술연구원	100
06	상단 고정 콘크리트 블록 불량 비탈면 앵커 구조해석 프로그램	2021.06.21.	한국건설기술연구원	2021.06.25.	C-2021-025555	한국건설기술연구원	100
07	상단 고정 웨지 경사 비탈면 앵커 구조해석 프로그램	2021.06.14.	한국건설기술연구원	2021.06.25.	C-2021-025554	한국건설기술연구원	100
08	상단 고정 웨지불량 비탈면 앵커 구조해석 프로그램	2021.06.07.	한국건설기술연구원	2021.06.25.	C-2021-025553	한국건설기술연구원	100
09	상단 플레이트 시공불량 비탈면 앵커 구조해석 프로그램	2021.06.01.	한국건설기술연구원	2021.06.25.	C-2021-025552	한국건설기술연구원	100

10	비탈면 구성인자 추출 프로그램	2019.11.11.	세종대학교 산학협력단	2019.12.13.	C-2019-040417	세종대학교 산학협력단	100
11	비탈면 3차원 정보추출 프로그램	2019.11.11.	세종대학교 산학협력단	2019.12.12.	C-2019-040228	세종대학교 산학협력단	100
12	자연사면을 고려한 비탈면의 침식 및 붕괴 해석 모델	2019.11.01.	산림조합중앙회 산림종합기술 본부	2019.12.03.	C-2019-037259	산림조합중앙회 산림종합기술 본부	100
13	비탈면 내구성평가용 휴대용 센서 어플리케이션 (Portable CSS Tester 1.0)	2021.09.01.	㈜유디엔에스	2021.10.01.	C-2021-039111	㈜유디엔에스	100
14	지반정보 복합계측센서 함수비모듈 운용프로그램	2020.10.30.	㈜유디엔에스	2020.11.10.	C-2020-040834	㈜유디엔에스	100
15	지반정보 복합계측센서 콘프로브 데이터중계모듈 프로그램 1.0	2020.10.30.	㈜유디엔에스	2020.11.10.	C-2020-040833	㈜유디엔에스	100
16	비탈면휴대용시추기용 통합단말기 운용 프로그램 (SMSS 2.0)	2020.10.30.	㈜유디엔에스	2020.11.10.	C-2020-040832	㈜유디엔에스	100
17	비탈면휴대용시추기용 통합단말기 운용 프로그램 (SMSS 1.0)	2019.11.29.	㈜유디엔에스	2019.12.04.	C-2019-037286	㈜유디엔에스	100

□ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

□ 표준화

ㅇ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

ㅇ 국제표준

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
01	휴대용 시추기(엔진식)	2020.4.16	트리즈엔지니어링	휴대용	비탈면 점검			
02	휴대용 시추기(전동식)	2020.5.20	에이치앤디에스	휴대용	비탈면 점검			
03	휴대형 지층정보 복합계측센서	2021.10.01	㈜유디엔에스	휴대용	비탈면 점검		한국건설기술시험연구원	2021.12.29

□ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)
01	비탈면 지반조사용 휴대용 시추기	2020.10.26~29	한국토지주택공사	㈜지오메카이엔지	경기 의왕
02	비탈면 지반조사용 휴대용 시추기	2021.10.14	한국도로공사	㈜지오메카이엔지	경기 용인

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)

□ 사업화 투자실적

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

□ 매출 실적(누적)

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
합계						

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
		국외			
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획				
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
	수 출				

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			yyyy년	yyyy년	
합계					

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	

□ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

□ 기술 무역

(단위 : 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	총 계약액	기 징수액	해당 연도	징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구 분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
01	전문인력	2020		1			1		1				
02	전문인력	2021	2	2			4		4				
03	전문인력	2022 (2월예정)		1			1		1				

□ 산업 기술 인력 양성

번호	연도	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

□ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

□ 연구시설・장비

번호	구축 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여 부 (○/×)	연구시설・장비 종합정보시스템 * 등록여부	연구시설・장비 종합정보시스템 * 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

[그 밖의 성과]

○ 해당없음

-

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항

○ 해당없음

-

2) 목표 달성 수준

[CTE 1]

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
○ GIS기반 비탈면 3차원 전자도면 구축알고리즘 - 자동 구축된 비탈면 3차원 전자도면의 실측값 대비 정확도	○ 자동 구축된 비탈면 3차원 전자도면의 실측값 대비 정확도 65% 이상 ○ 자동 구축된 비탈면 3차원 전자도면의 실측값 대비오차 1m 이내 ○ 자동 구축된 비탈면 3차원 전자도면의 실측값 대비오차 0.5m 이내	100 100 100
○ 비탈면 위험/취약부 자동추출 프로그램 개발 - 2차원 영상정보 및 AI 기술기반 평가인자 분류용 학습모델 구축 및 최적화 - 3차원 지형/영상 데이터를 이용한 비탈면 위험도 평가인자 자동추출 기법 개발 - 비탈면 위험/취약부 정보의 3차원 시각화 알고리즘 개발	○ 현장조사 결과 대비 위험/취약부 추출 정확도 60% 이상 - 현장 드론 영상 대상 AI 기반 사면의 객체 분류 정확도 77% 달성 ○ 현장조사 결과 대비 위험/취약부 추출 정확도 75% 이상 - 생성한 3차원 모델로부터 추정한 비탈면 높이와 경사는 실제값과 비교했을시 약 10% 오차 발생 ○ 현장조사 결과 대비 위험/취약부 추출 정확도 90% 이상 - 실제 암반사면의 측정값과 비교했을 때, 개발 알고리즘의 정확도 94% 달성	100 100 100
○ 비탈면 위험/취약 평가표 개정(안) - 실제 비탈면에 대한 위험/취약도 평가 항목 도출 - 비탈면에 대한 위험/취약도 평가 프로세스 구축 - 실제 비탈면에 대한 위험/취약도 평가	○ 항목별 드론으로 촬영가능한 비탈면 위험/취약 판정 항목 도출 - 국내·외 사면 평가 비교 분석을 통한 비탈면 영향 인자 추출 - 상부 자연사면을 고려한 비탈의 종류별(암반, 혼합, 토사) 위험 요인 도출 ○ 비탈면 위험/취약 판정 프로토타입 모형 및 프로세스 개발 - 암반, 혼합, 토사 사면별 위험/취약 판정 모형 프로토타입 개발 - 기존 도로 비탈면 유지관리(CSMS) 기반의 사면별 위험/취약 평가 프로세스 도출 ○ T/B 적용에 따른 비탈면 위험/취약 평가표 개정(안) 개발 - 전문가 자문 및 현장 검증을 통한 최종 판정 모형 수립	100 100 100

[CTE 2]

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 비탈면 지반조사용 휴대용 시추기 - 비탈면 시추조사 심도 (최소 2m 이상) - 비탈면 시추조사 심도 (최소 4m 이상) - 비탈면 시추조사 심도 (최소 6m 이상)	○ 시추심도 실측값 측정 전문가 확인 - 시추심도 실측값 측정 전문가 확인 결과 2m 굴진 성능 확인 - 시추심도 실측값 측정 전문가 확인 결과 4m 굴진 성능 확인(지층의 구성상태에 따라 굴진능력을 동일하게 설정하는 것은 타당하지 않음) - 시추심도 실측값 측정 전문가 확인 결과 6m 굴진 성능 확인 (동영상 촬영)	100 100 100
○ 비탈면 지반정보 복합계측센서 및 분석기술	○ 비탈면 지층정보, 강도 및 함수비 수집분석 신뢰도 - 80% 이상 ○ 비탈면 지층정보, 강도 및 함수비 수집분석 신뢰도 - 85% 이상 ○ 비탈면 지층정보, 강도 및 함수비 수집분석 신뢰도 - 90% 이상	100 100 100

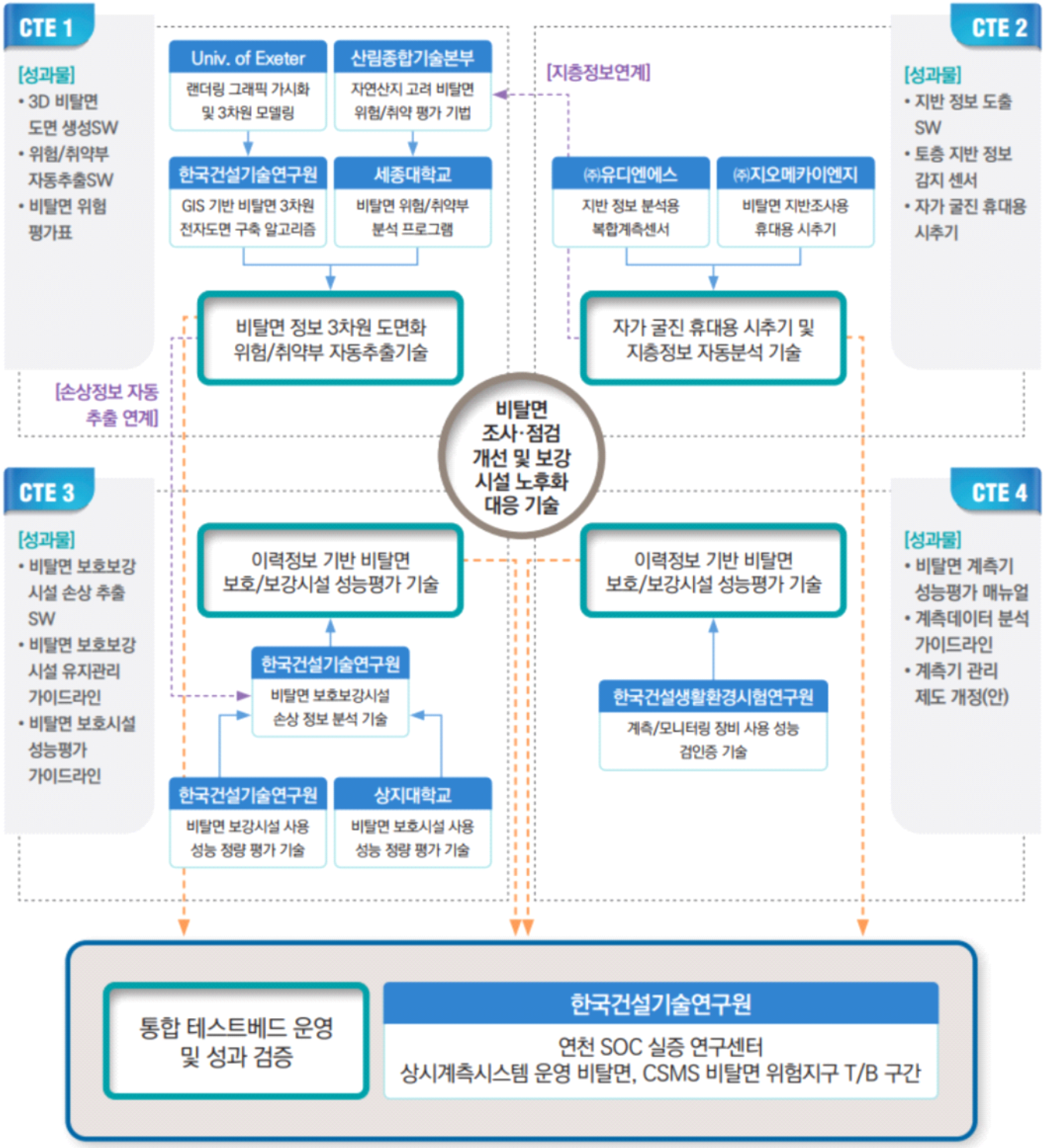
[CTE 3]

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 유지관리 이력정보 기반 비탈면 보강시설 성능평가 기술 개발 - 유지관리 이력정보 기반의 관리대상 비탈면 성능평가 현황 및 관리실태 조사 - 비탈면 3차원 영상정보 기반 보호/보강시설 손상도 자동추출 솔루션 - 주요 보강시설 정량적 성능평가 기준 및 최적 유지관리 방안	○ 비탈면 보강시설 성능평가 항목 도출 및 비탈면 유지관리 현황, 실태 조사수집 완료 - 현장조사, 전문가 검토 등을 거쳐 비탈면 주요 보강시설에 대한 평가항목 도출 및 항목별 중요도 분석 - 일반국도 비탈면, 고속국도 비탈면, 철도 비탈면, 지자체 관리 비탈면 등에 대한 성능평가 및 이력정보 관리 현황 및 실태 조사 ○ 비탈면 3차원 영상정보 기반 보호/보강시설 손상도 자동추출 정확도 90%이상 달성 - 비탈면 보강시설(앵커)에 대한 손상유형별 실내외 시험환경을 구축하고 손상유형에 따른 성능저하 경향 파악 - 수치해석 모델 구축을 통한 비탈면 보강시설 손상유형별 성능저하 정량화 - 비탈면 보강시설 성능평가 배점기준(안) 도출 - 열화상카메라 정보 기반 비탈면 누수 상태에 대한 정량화 평가 가능성 확인 - 영상정보 기반 비탈면 보호/보강시설 손상도 자동추출의 기술적 한계성 파악 - CTE1의 비탈면 위험/취약부 자동추출 기술과 협업을 통해 인공신경망 학습을 통해 비탈면 보호/보강시설 손상도 자동추출 솔루션 개발	100 100

	- 비탈면 보호/보강시설 현장테스트 및 손상도 자동추출 99% 정확도 결과 도출 - 비탈면 보호/보강시설에 대한 점검 이력정보화를 위해 CSMS4 서버와 연결되는 DB 구성 ○ 주요 보강시설 정량적 성능평가 기준 및 최적 유지관리 방안 마련을 위한 평가표 및 가이드라인(안) 도출 - 비탈면 보강시설 성능평가표 개선(안) 도출 및 자체 검증·보완 완료 - 주요 비탈면 보강시설 중 이력정보 관리가 효과적인 앵커와 기대기식옹벽에 대한 성능평가표 개선(안) 도출 - 위험비탈면에 있어서 보강시설의 이력정보를 기반으로 한 비탈면 유지관리 가이드라인(안) 개발 도출	100
○ 비탈면 보호시설 사용성능 평가기술 - 비탈면 보호시설 성능평가 현황 및 관리실태 조사 - 비탈면 보호시설 성능 분석 기법 도출 - 비탈면 보호시설 설치조건을 고려한 성능 등급 및 성능 평가 방법(안)	○ 비탈면 보호시설 성능평가 현황 및 관리 실태 조사 - 국내·외 비탈면 보호시설 평가기술 분석을 통한 영향 인자 추출 - 한국도로공사 표준규격 성능 확인 시험 실시 및 위험 요인 도출 - 비탈면 보호시설 자료 분석을 통한 비탈면 성능 분석 인자 도출 ○ 비탈면 보호시설 성능 분석 기법 도출 - 1차년도 낙석방지울타리 흡수에너지 평가실험결과(30, 50, 100kJ)를 통한 낙석방지울타리 성능 분석 시험 방안 도출 - 실내실험을 통한 낙석방지망 손상 정도에 따른 지지능력 도출 - 배수성능은 강우강도에 따른 수평배수공 및 산마루측구의 배수상태와 흙속에서 함수비와 간극수압, 토압에 따른 사면 안정성 변화에 대한 상태평가(안) 도출 ○ 비탈면 보호시설 설치조건을 고려한 성능 등급 및 성능 평가 방법(안) - 낙석방지망 및 울타리 점검항목등급표(안), 현장점검 체크리스트(안), 상태평가 기준(안) 개발 - 배수성능 점검항목등급표(안), 현장점검 체크리스트(안), 수평배수공과 산마루측구 배수성능 평가 기준(안) 개발	100 100 100

[CTE 4]

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 비탈면 계측/모니터링 장비의 내구수명 사용성능 검인증 기술 개발(KCL) - 유지관리를 고려한 계측기기 성능평가 방법 및 매뉴얼 개발 - 계측데이터 데이터 분석 가이드라인 개발 - 계측기기 장기 공용성 평가 및 제도개선(안) 개발	○ 계측기기 성능평가 및 수명 평가 기준 절차서(매뉴얼) - 범용/공용 중인 실제 계측기기에 대한 성능/환경영향 등에 대한 적용성 평가 실시 ○ 계측데이터 유효성 검토 및 분석 가이드라인 - 계측기기로부터 도출된 데이터에 대한 신뢰성 확보를 위한 유효성 분석 가이드라인을 제시하고 이에 따라 실제 현장계측 데이터 기반 유효성 검토 및 분석 실시 ○ 계측기기 데이터 신뢰도 확보를 위한 장기공용성 평가 및 개발기술 기반 제도개선(안) 도출 - 계측기기 데이터 신뢰성 향상을 위한 옥외폭로 등을 통한 장기공용성 평가 실시 - 도로비탈면 유지관리 실무매뉴얼 및 계측기기 성능검사 규정에 대한 개발기술을 기반한 제도개선(안) 도출	100 100 100



<주요 성과물 및 성과물간 연계도>

4. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○ 정량적 목표의 경우, 총괄 기준상 미달성된 인력양성(박사 1명)은 본 연구과제 연계 학위를 받는 인원으로 22년 8월 2명 졸업예정으로 지연되어 달성 예정임.

2) 자체 보완활동

○ 해당없음

3) 연구개발 과정의 성실성

[선택과 집중 전략]

○ 선택 기술

- 상용 수준의 드론 장비와 목적에 부합하는 드론 탑재 센서 선택



- 휴대용 시추조사 장비 개발 시 기존 센서 활용 가능성 분석 및 개발방향 설정
  : 현장점검용 목적에 부합하도록 휴대용 시추기 성능을 토층심도 시추로 명확히 하고, 소형화/경량화 기술을 선택 접목 (드릴교체 적용을 통해 적용대상 확대 가능)



○ 집중개발 기술

– 비탈면 위험도/취약도 평가를 위한 속성정보 자동 추출을 위한 소프트웨어



– 절취비탈면 구간 외 상부 자연사면 구간의 위험요소 추출 및 지반정보 조사/분석 기법

: 상부 자연사면 위험요소를 포함하여 보다 확장된 개념의 비탈면 안정성 평가 기법 제시

: 일체화된 복합 센서프로브 개발 및 계측정보를 통한 지층정보(강도 등) 자동분석기술 개발



[창의적 솔루션 전략]

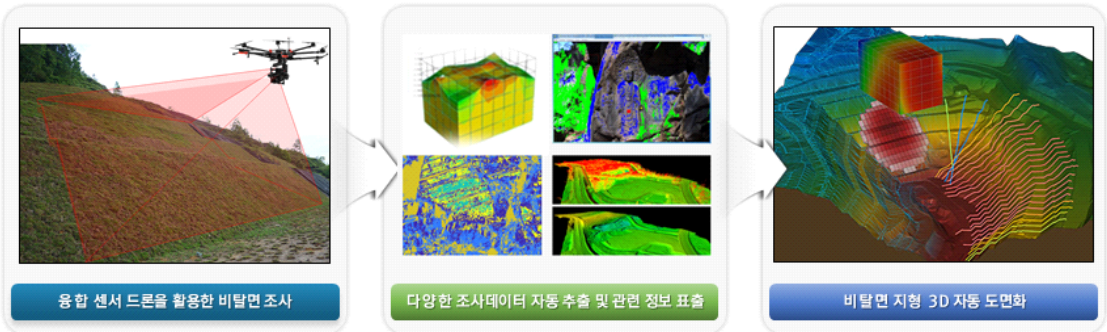
○ 정보의 디지털화를 통한 선진 미래 관리기술로의 도약 견인

– 비탈면 제원, 지반속성정보, 보호/보강시설 정보 및 유지관리 정보의 디지털화 DB 구축

: 기존 육안관찰에 의한 조사자 주관적 위험도 평가의 한계를 극복

: 비탈면 현황조사/점검 업무 생산성의 혁신적인 개선

– 비탈면 정보의 활용성 극대화 : BIM, LCC, AI 등 정보화 관리 체계로의 전환 가능



○ 첨단장비 및 분석기법을 활용한 비탈면 유지관리 업무의 선진화

- 휴대용시추기용 드릴링 파라미터 측정과 시추공 투입 복합센서를 이용한 실시간 지층정보 자동분석 세계 최초 기술 확보

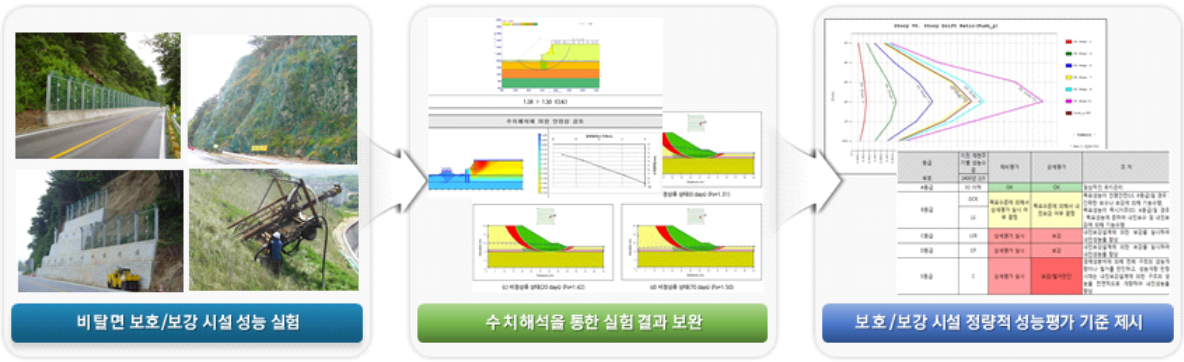
: 비탈면 안전성 평가에 필요한 조사데이터 자동 추출(토층심도, 강도정수, 함수비 등)

: CSMS 기존 정보와 현장조사 토층정보 입력하여 비탈면 해석 신뢰도 향상



○ 실물실험 및 수치해석적 접근을 통한 비탈면 보호/보강시설 및 계측장비의 정량적 성능평가

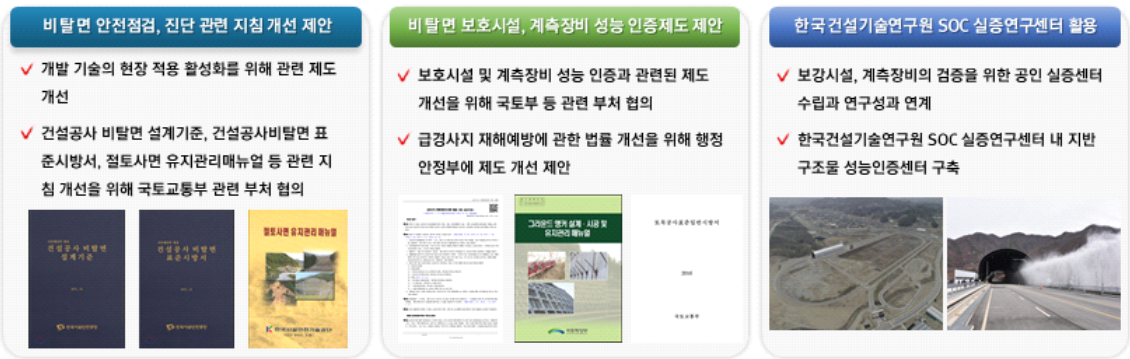
- 전무한 수준의 성능평가 기준을 정량적으로 체계화
- 정성적인 평가지표를 배제한 정량적 평가지표 제시



[실용적 성과 전략]

○ 제도화를 통한 기술의 실무보급 방안 수립

- 비탈면 안전점검·진단 및 성능평가 지침 개선안 제시
- 비탈면 보호/보강시설 및 계측·모니터링 장비의 내구연한 사용성능 검인증 제도 제안
- 한국건설기술연구원 연천SOC실증센터 지반구조물 성능인증센터 구축계획과 연계



5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 비탈면의 3차원 전자도면화 SW 시스템 구축
- 관련지식이 없는 일반 사용자가 비탈면의 3차원 전자도면화 기술을 쉽게 접근하고 사용할 수 있게 함
- 비탈면의 3차원 전자도면화 기술의 대중화에 기여

○ 2차원 이미지로부터 생성된 Annotation의 3차원 전자도면 맵핑기술
- 사용자가 2차원 이미지 상에서 입력한 Annotation을 3차원 전자도면상 맵핑 및 표출함으로써 관련 정보가 전자도면상에서 통합될 수 있도록 함
- 2차원 이미지 상에서 검출된 관련 정보(비탈면 보호/보강시설의 이상유무, 절리면, 절리선 등)를 전자도면상에서 통합될 수 있도록 함
- 비탈면 유지관리와 관련된 모든 정보의 3차원 전자도면상에서 통합 표출기여

○ 식생을 제거한 비탈면의 3차원 모델 생성기법
- 2차원 이미지 상에서의 신뢰성 높은 식생제거기법 가능하게 함
- 식생이 3차원 전자도면상에서 제거됨으로써, 비탈면 자체의 장기변화 검출을 가능하게 함

○ 드론 영상 기반 비탈면 조사 업무 효율화 향상
- 기존 최소 2인 이상의 전문가 인력기반 수행되는 비탈면 현장조사와 비교하여 1인으로도 드론 영상 촬영을 통하여 비탈면 영상정보를 취득하여 자동으로 3차원 모델을 생성 및 자동화 분석 모듈로 점검/조사 결과를 데이터베이스화 할 수 있음.
- 비탈면 1개소 현장조사 업무 기준 기존 2인이 8시간(조사 4시간, 데이터 분석 및 정보 전산화 4시간) 소요 대비 개선된 드론 영상 기반 비탈면 현장조사 시 1인이 2시간(조사 1시간, 데이터 분석 및 정보 전산화 1시간)으로 인건비 절감 50%와 업무 생산성 4배 향상 기대
- 특히 현장조사 후 기존의 상용 소프트웨어를 이용하여 수집된 정보를 분석하기 위해 추가의 내업을 수행하여야 했으나, 개선된 기술을 적용 시 자동 3D 모델 생성 및 점검/조사 결과 입력 등 업무의 편의성 향상으로 내업이 간소화

○ 기존의 CSMS의 기능을 향상시킨 차세대 CSMS의 표준 제시
- 조사 및 점검 업무를 드론을 활용하는 방식으로 발전시키기 위한 기술적 지원
- 조사, 점검, 평가, 보수/보강 의사결정 전단계에 쓰일 수 있는 비탈면 관리 시스템

○ 영상 기반의 핵심 인자를 통한 비탈면의 종류별 위험/취약 평가 가능
- 비탈면의 종류별(암반사면, 혼합사면, 토사사면)에 따라 위험/취약을 평가하기 위한 핵심인자를 추출하여 인자별 가중치 확보를 통한 학술적 배경 지식 선도
- 기존의 30개 이상의 다양한 인자를 조사하여 비탈면 위험/취약 판정에 대한 정보를 간소화
- 현장에서 육안으로 판단해야하는 비탈면의 위험/취약 판정 프로세스의 개선을 통해 영상으로 판단 가능해짐에 따라 관련 기관 및 부처의 접근성이 용이해짐

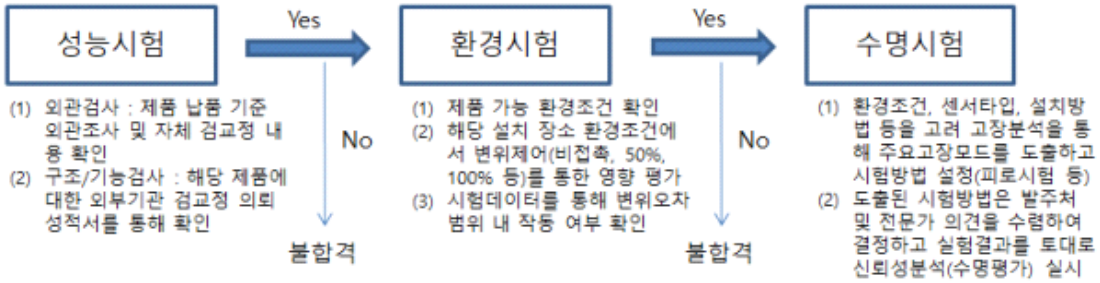
○ 영상 기반 비탈면 위험/취약 평가표(안)의 산지재해 위험 평가 확장성 확보
- 산림청-산사태, 행정안전부-급경사지, 국토교통부-비탈면의 재해 관리를 수행하면서 각각의 프로세스에 따라 판정표를 사용하고 있음

- 본 연구를 통해 영상에서 추출 가능한 핵심 인자를 통해 비탈면의 위험/취약의 평가가 가능함에 따라 이와 유사한 상태인 산지지역과 급경사지지역의 붕괴에 적용 가능
- 전문가의 자문 및 T/B검증을 통한 실용성을 확보함에 따라 본 연구의 프로세스에 기반하여 유사한 환경의 위험/취약 판단이 실용적으로 가능해짐
- 국내 주요 비탈면 관리주체인 한국건설기술연구원, 국토안전관리원, 한국도로공사, 지자체 뿐만 아니라 국립재난안전연구원, 산림조합중앙회, 국립공원, 농어촌공사, 수자원공사, 철도공사 등 다양한 기관에서 활용 가능

○ 비탈면 지반조사용 휴대용 시추기 및 지반정보 복합계측센서
- 비탈면의 지반정보를 파악하기 위한 조사장비는 국내외 대부분이 100㎏ 이상의 중량으로서 비탈면 점검조사시 접근성이 떨어지며, 초소형 경량의 경우 조사 심도가 얕아서 활용성이 매우 낮은 상태로서 장비의 무게를 경량화하고 크기를 소형화의 필요성이 요구됨
- 본 연구를 통해 국내외 휴대용 시추기현황 조사 분석, 휴대용 시추기용 모듈설계를 통해 시제품을 제작 하여 특허등록 1건을 취득. 또한, 현장에서 굴진성능시험을 통해 연구 최종 목표심도인 6m 굴진능력을 달성하였으며, 기타 현장시험결과와 상관성 분석 등을 통해 실무 활용도를 최적화하는 방향으로 연구를 수행함
- 융합센서를 탑재한 휴대용 시추기 활용으로 비탈면 점검자의 주관에 의존하던 조사의 신뢰성을 개선
- 산지 및 급경사지 등 난접근 지역에 대한 지반정보를 획득함으로써 토사재해 정보관리의 질적 수준 향상을 도모함

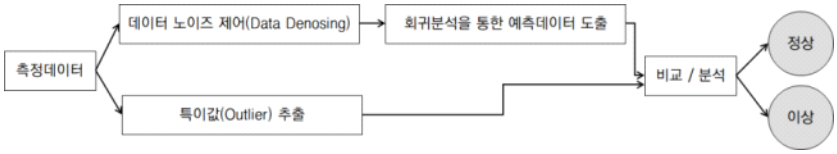
○ 비탈면 보호시설 사용성능 평가기술
- 비탈면 보호시설과 배수시설 사용성능평가 기술에 대해 국내에서는 거의 전무한 상태로 본 연구개발 과제 수행으로 당 기술 분야에 있어 가장 많은 기술을 확보할 수 있었음.
- 특히 낙석방지울타리의 경우 도로안전시설 설치 및 관리지침 상에 따라 48~61kJ에 상응하도록 명시되어 있으나, 울타리의 흡수에너지와 상관관계가 명확하게 제시되어있지 않아 이를 분석하고 시험법을 제시하였음
- 또한, 제시한 시험법을 통하여 현장 실험을 실시하였으며, 그 결과를 바탕으로 해외의 사용성능 검인증 기술인 NCHRP, ETAG27 처럼 평가 항목을 도출하고, 낙석방지울타리에 대해 표준화된 성능등급 평가기준(가이드라인(안))을 도출하였음. 이를 활용하여 실제 현장의 낙석방지울타리 손상에 따른 성능 등급을 분석하고, 이에 대한 내구수명 및 생애주기비용 개념의 자산관리에 활용될 수 있을것으로 기대됨
- 본 연구를 위해 개발한 다목적 실내 대형 모형 배수성능 평가 실험 장치는 차후 관련 연구 진행에 귀중한 자원이 될 것으로 판단됨
- 수평배수공과 산마루측구로 대표되는 비탈면 배수시설에 대한 성능평가 연구수행으로 현장점검원에게 객관적인 성능평가항목을 제시하여 체계적인 점검기법 도입, 정량적인 평가와 체크리스트 작성에 활용할 것으로 판단됨

○ 계측기기 성능 및 수명 평가 기준 매뉴얼 개발
- 기존의 규정 및 지침 등에서는 설치 전 성능평가에 대해서만 규정하고 있으며, 사용성에 대한 평가기준은 전무한 실정임
- 사용성에 대한 보다 신뢰도 높은 성능결과를 도출하기 위해 본 연구에서는 성능/환경/수명 시험 등을 통한 계측기기 평가 매뉴얼을 개발하였음



○ 계측 데이터 유효성 분석 가이드라인(안)

- 해당 구조물에 설치되어 공용 중인 계측기기는 규정/지침에서는 설치된 계측기기를 분리해서 현장이 아닌 실내시험을 통해 성능평가를 수행하게 되어 있음.
- 그러나, 현실적으로 현장에 설치된 계측기기를 실내에서 평가하기에는 무리가 있으며, 이를 보완하기 위해 본 연구에서는 계측기기로부터 습득된 데이터를 기반으로 유효성 검토를 통해 계측기기의 상태 평가를 위한 가이드라인을 제시하였음.



○ 개발기술 기반 제도개선(안) 도출

- 본 연구로부터 도출된 결과를 토대로 기존 매뉴얼 및 규정에 대해 제도 개선(안)을 도출
- (대상) 도로비탈면 유지관리 실무매뉴얼, 계측기기 성능검사 기준에 관한 규정

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

1) 연구성과 총괄

해당 기관명	핵심연구성과	정부 출연금 (백만원)	민간	실용화 대상 여부*
주관 : 한국건설기술연구원	1-가. 비탈면 보강시설 성능평가표 개선(안)	162		비대상
	1-나. 3차원 영상정보 기반 보호/보강시설 손상도 자동추출 솔루션	450		비대상
	1-다. 이력정보 기반 비탈면 유지관리 가이드라인(안)	313		비대상
주관(위탁) : Univ. of Exeter	2-가. 비탈면 3차원 전자도면 구축 자동화 기법	470		비대상
공동 : 세종대학교 산학협력단	3-가. 비탈면 위험/취약부 자동추출 프로그램	435		비대상
공동 : 산림조합중앙회 산림종합기술본부	4-가. 비탈면 위험/취약 평가표 개정(안)	250		비대상
공동 : (주)지오메카이엔지	5-가.비탈면 지반조사용 휴대용 시추기 개발	400	773	대상
공동 : (주)유디엔에스	6-가. 비탈면 지반정보 복합계측센서 및 분석기술	950	827	대상
공동 : 상지대학교 산학협력단	7-가. 비탈면 보호시설 사용성능 평가 기술(안)	500		비대상
공동 : 한국건설생활환경시험연구원	8-가. 계측기기 수명 평가기준 매뉴얼(절차서)	290		비대상
	8-나. 계측 데이터 유효성 검토 및 분석 가이드라인	560		비대상
합 계		4,780	1,600	

구 분	1-가
성과명	비탈면 보강시설 성능평가표 개선(안)
성과개요	비탈면 보강시설(앵커공법, 기대기식옹벽공법) 성능평가 기술
관련 키워드	비탈면, 앵커, 기대기식옹벽, 계단식옹벽, 의지식옹벽
기술 분류	EI1101. 시설물점검/진단기술
성과 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 ☑기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ☑기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	1-나
성과명	3차원 영상정보 기반 보호/보강시설 손상도 자동추출 솔루션
성과개요	영상정보 활용 비탈면 보호/보강시설 손상여부 자동판단 기술
관련 키워드	비탈면, 앵커, 기대기식옹벽, 낙석방지망, 낙석방지울타리
기술 분류	EI1101. 시설물점검/진단기술
성과 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 ☑SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	☑기술도입기 □기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	1-다
성과명	이력정보 기반 비탈면 유지관리 가이드라인(안)
성과개요	성능평가 이력정보 기반 비탈면 유지관리 가이드
관련 키워드	이력정보, 비탈면, 성능평가, 가이드라인
기술 분류	EI1101. 시설물점검/진단기술
성과 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 ☑기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ☑기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	2-가
성과명	비탈면 3차원 전자도면 구축 자동화 기법
성과개요	드론 영상기반 비탈면 3차원 전자도면 구축 자동화 기법
관련 키워드	3차원 전자도면, 비탈면
기술 분류	EI1101. 시설물점검/진단기술
성과 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 ☑SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ☑기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	3-가
성과명	비탈면 위험/취약부 자동추출 프로그램
성과개요	드론 영상 기반 AI 및 3D Point cloud data를 활용한 사면의 위험/취약부 분석
관련 키워드	드론, 3D Point cloud, 위험/취약 분석, AI
기술 분류	EI1101. 시설물점검/진단기술
성과 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 ☑SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ☑기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	4-가
성과명	비탈면 위험/취약 평가표 개정(안)
성과개요	자연산지를 고려한 암반, 혼합, 토사사면의 위험/취약 분석 및 평가
관련 키워드	영상정보, 비탈면, 위험/취약 분석
기술 분류	ND0703. 산사태발생 분석/예측
성과 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 ☑기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ☑기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	5-가
성과명	비탈면 지반조사용 휴대용 시추기
성과개요	휴대용 시추기 개발을 통해 비탈면 점검시 지반정보가 반영되지 않은 구조 안정성 평가의 문제점 보완
관련 키워드	휴대용 시추기, 지반조사, 지반물성치
기술 분류	EI1199. 달리 분류되지 않는 시설물안전/유지관리 기술
성과 유형*	□공법/기법 ☑장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ☑기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	6-가
성과명	비탈면 지반정보 복합계측센서 및 분석기술
성과개요	비탈면 지반정보 계측을 위해 개발된 소형콘관입프로브센서 및 함수비센서와 그 분석기술
관련 키워드	비탈면, 지반정보, CPT
기술 분류	EI1199. 달리 분류되지 않는 시설물안전/유지관리 기술
성과 유형*	□공법/기법 ☑장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ☑기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	7-가
성과명	비탈면 보호시설 사용성능 평가 기술(안)
성과개요	비탈면 보호시설(낙석방지공법, 배수공법) 사용성능 분석/평가 기술
관련 키워드	낙석방지망, 낙석방지울타리, 수평배수공, 산마루측구, 비탈면
기술 분류	EI1101. 시설물점검/진단기술
성과 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 ☑기준/지침 □기타
기술수명주기**	☑기술도입기 □기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	8-가
성과명	계측기기 성능/수명 평가기준 매뉴얼(절차서)
성과개요	시설물 유지관리를 위한 계측기기 공용성 확보를 위한 평가 매뉴얼
관련 키워드	계측기기, 성능/수명 평가, 매뉴얼
기술 분류	EI1199. 달리 분류되지 않는 시설물안전/유지관리 기술
성과 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 ☑기준/지침 □기타
기술수명주기**	☑기술도입기 □기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	8-나
성과명	계측 데이터 유효성 검토 및 분석 가이드라인
성과개요	공용 중인 계측기기로부터 습득한 데이터 유효성 확보를 통한 시설물 건전성 확보
관련 키워드	계측데이터, 유효성, 회귀분석, 가이드라인
기술 분류	EI1199. 달리 분류되지 않는 시설물안전/유지관리 기술
성과 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 ☑기준/지침 □기타
기술수명주기**	☑기술도입기 □기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

2) 연구개발성과의 향후 5년간(활용보고서 제출기간) 성과활용 목표·계획

구분	1-가	성과명	비탈면 보강시설 성능평가표 개선(안)

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	____Ⅰ____단계	완료	한국건설기술연구원		R&D 종료시점	
종료 후 1년	____Ⅱ____단계	준비	한국건설기술연구원	현장적용/10회	종료후 1년	비탈면 보강시설 현장에 적용
종료 후 2년	____Ⅱ____단계	준비	한국건설기술연구원	현장적용/5회	종료후 2년	비탈면 보강시설 현장에 적용
종료 후 3년	____Ⅱ____단계	준비	한국건설기술연구원	현장적용/5회	종료후 3년	비탈면 보강시설 현장에 적용
종료 후 4년	____Ⅲ____단계	준비	한국건설기술연구원, 국토교통부	지침(안) 개선	종료후 4년	비탈면 성능평가 지침 적용
종료 후 5년	____Ⅲ____단계	준비	국토교통부	지침(안) 적용	종료후 5년	비탈면 성능평가 지침 적용

* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류

* 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조

** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조

2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)

1) 아니오, 필요하지 않습니다.

2). 예, 필요합니다. (“2” 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)

<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용
지침	개선	비탈면 성능평가 중 보강시설 성능평가 부분에 대한 개선을 위한 관련 학회활동, 공청회 등

구분	1-나	성과명	3차원 영상정보 기반 보호/보강시설 손상도 자동추출 솔루션

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	____Ⅰ____단계	완료	한국건설기술연구원		R&D 종료시점	
종료 후 1년	____Ⅱ____단계	진행중	한국건설기술연구원, 전문조사업체	현장시험/5회	종료후 1년	비탈면 보호/보강시설 현장에 적용
종료 후 2년	____Ⅱ____단계	준비	한국건설기술연구원, 전문조사업체	현장시험/5회	종료후 2년	비탈면 보호/보강시설 현장에 적용
종료 후 3년	____Ⅱ____단계	준비	한국건설기술연구원, 전문조사업체	현장시험/5회	종료후 3년	비탈면 보호/보강시설 현장에 적용
종료 후 4년	____Ⅲ___단계	준비	한국건설기술연구원, 전문조사업체	제품화/1회	종료후 4년	비탈면 성능평가시
종료 후 5년	____Ⅲ___단계	준비	전문조사업체	개선 제품화 /1회	종료후 5년	비탈면 성능평가시

* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류

* 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조

** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조

2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (1)

1) 아니오, 필요하지 않습니다.

2). 예, 필요합니다. ("2" 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)

<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	1-다	성과명	이력정보 기반 비탈면 유지관리 가이드라인(안)

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	____Ⅰ____단계	완료	한국건설기술연구원		R&D 종료시점	
종료 후 1년	____Ⅱ____단계	준비	한국건설기술연구원	현장적용/10회	종료후 1년	비탈면 보강시설 현장에 적용
종료 후 2년	____Ⅱ____단계	준비	한국건설기술연구원	현장적용/5회	종료후 2년	비탈면 보강시설 현장에 적용
종료 후 3년	____Ⅱ____단계	준비	한국건설기술연구원	현장적용/5회	종료후 3년	비탈면 보강시설 현장에 적용
종료 후 4년	____Ⅲ___단계	준비	한국건설기술연구원, 국토교통부	업무개선/1회	종료후 4년	성능평가 이력정보 기반 비탈면 유지관리 적용
종료 후 5년	____Ⅲ___단계	준비	국토교통부	업무개선 적용/1회	종료후 5년	성능평가 이력정보 기반 비탈면 유지관리 적용

* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류

* 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조

** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조

2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (1)

1) 아니오, 필요하지 않습니다.

2). 예, 필요합니다. (“2” 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)

<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	2-가	성과명	비탈면 3차원 전자도면 구축 자동화 기법

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	____Ⅰ____단계	완료	Univ of Exeter, 한국건설기술연구원	소프트웨어, 현장적용/2회	R&D 종료시점	R&D 기간내 완료
종료 후 1년	____Ⅱ____단계	준비	세종대학교 산학협력단, 한국건설기술연구원	시스템 연계 현장적용/2회	종료후 1년	드론 활용 영상 기반 비탈면 및 사면의 위험/취약부 정보 추출
종료 후 2년	____Ⅱ____단계	준비	세종대학교 산학협력단, 한국건설기술연구원	시스템 연계 현장적용/2회	종료후 2년	-
종료 후 3년	____Ⅱ____단계	준비	세종대학교 산학협력단, 한국건설기술연구원	시스템 연계 현장적용/2회	종료후 3년	-
종료 후 4년	____Ⅲ____단계	준비	세종대학교 산학협력단, 한국건설기술연구원	시스템 개선	종료후 4년	-
종료 후 5년	____Ⅲ____단계	준비	세종대학교 산학협력단, 한국건설기술연구원	시스템 개선 현장적용/1회	종료후 5년	-

* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류

* 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조

** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조

2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (1)

1) 아니오, 필요하지 않습니다.

2). 예, 필요합니다. (“2” 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)

- 본 기술은 기술이전 및 상업화 예정이므로 관련 코드를 공개하지 않을 계획에 있음.

<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	3-가	성과명	비탈면 위험/취약부 자동추출 프로그램

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	____Ⅰ____단계	진행중	세종대학교 산학협력단	소프트웨어 CSMS4/ 1	R&D종료시점	R&D 기간내 완료
종료 후 1년	____Ⅱ____단계	준비	세종대학교 산학협력단	CSMS4 /1	~종료후 1년	비탈면 관리 기관과 함께 현장적용 진행을 통해 개발 소프트웨어 기능 고도화
종료 후 2년	____Ⅱ____단계	예정	세종대학교 산학협력단	CSMS4 /1	~종료후 2년	비탈면 관리 기관 대상으로 기능 개선
종료 후 3년	_____Ⅲ__단계	예정	세종대학교 산학협력단	CSMS4 /1	~종료후 3년	비탈면 관리 기관 대상으로 기술 판매
종료 후 4년	_____Ⅲ__단계	예정	세종대학교 산학협력단	CSMS4 /1	~종료후 4년	비탈면 관리 기관 대상으로 기술 판매
종료 후 5년	_____Ⅲ__단계	예정	세종대학교 산학협력단	CSMS4 /1	~종료후 5년	비탈면 관리 기관 대상으로 기술 판매

* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류

* 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조

** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조

2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (1)

1) 아니오, 필요하지 않습니다.

2). 예, 필요합니다. (“2” 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)

<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	4-가	성과명	비탈면 위험/취약 평가표 개정(안)

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	____Ⅰ____단계	완료	산림조합중앙회 산림종합기술본부	테스트베드 적용/1회	R&D 종료시점	R&D 기간내 완료
종료 후 1년	____Ⅱ____단계	준비	산림조합중앙회 산림종합기술본부	현장시험/ 3회	종료후 1년	다수의 비탈면 현장 추가 검증
종료 후 2년	____Ⅱ____단계	준비	산림조합중앙회 산림종합기술본부	현장시험/ 3회	종료후 2년	다수의 비탈면 현장 추가 검증
종료 후 3년	____Ⅱ____단계	준비	산림조합중앙회 산림종합기술본부	현장시험/ 3회	종료후 3년	다수의 비탈면 현장 추가 검증
종료 후 4년	____Ⅲ___단계	준비	산림조합중앙회 산림종합기술본부	토로비탈면 유지관리 실무매뉴얼 개선 / 1회	종료후 4년	협의회를 통한 도로비탈면 유지관리 지침 개선 추진
종료 후 5년	____Ⅲ___단계	준비	산림조합중앙회 산림종합기술본부	토로비탈면 유지관리 실무매뉴얼 개선 / 1회	종료후 5년	협의회를 통한 도로비탈면 유지관리 지침 개선 추진

* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류
* 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조
** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조

2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)
1) 아니오, 필요하지 않습니다.
2). 예, 필요합니다. (“2” 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)

<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용
지침	개선	연구개발의 성과물인 비탈면 위험/취약 평가표(안)의 국토교통부 ‘도로비탈면 유지관리 실무매뉴얼’ 탑재를 위한 한국건설기술연구원, 국토안전관리원 등 협의회 개최를 통한 지침의 개선 방향 수립

구분	5-가	성과명	비탈면 지반조사용 휴대용 시추기

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	Ⅱ 단계	완료	㈜지오메카이엔지	현장시험/2회	R&D종료시점	전문가 및 공인기관 검증
종료 후 1년	Ⅱ 단계	준비	㈜지오메카이엔지	현장시험/1회	종료후 1년	비탈면 점검현장에 시험적용
종료 후 2년	Ⅲ 단계	준비	㈜지오메카이엔지	현장시험/2회	종료후 2년	비탈면 점검현장에 활용
종료 후 3년	Ⅲ 단계	준비	㈜지오메카이엔지	현장시험/2회	종료후 3년	비탈면 점검현장에 활용
종료 후 4년	Ⅲ 단계	준비	㈜지오메카이엔지	현장시험/2회	종료후 4년	비탈면 점검현장에 활용
종료 후 5년	Ⅳ 단계	준비	㈜지오메카이엔지	휴대용시추기	종료후 5년	휴대용시추기 판매

* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류

* 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조

** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조

2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)

1) 아니오, 필요하지 않습니다.

2). 예, 필요합니다. (“2” 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)

<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용
지침	개선	연구개발의 성과물인 비탈면 위험/취약 평가표(안)의 국토교통부 ‘도로비탈면 유지관리 실무매뉴얼’탑재를 위해 한국건설기술연구원, 국토안전관리원 등과의 협의를 통하여 비탈면의 지반정보사항을 추정, 경험치의 적용이 아닌 휴대용 시추기를 적용한 현장조사 결과를 활용할 수 있도록 지침, 매뉴얼 등 개선방향 수립

구분	6-가	성과명	비탈면 지반정보 복합계측센서 및 분석기술

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	Ⅲ 단계	완료	㈜유디엔에스	-	R&D종료시점	-
종료 후 1년	Ⅲ 단계	준비	㈜유디엔에스	-	종료후 1년	-
종료 후 2년	Ⅳ 단계	준비	㈜유디엔에스	-	종료후 2년	-
종료 후 3년	Ⅳ 단계	예정	㈜유디엔에스	현장적용/1회	종료후 3년	비탈면 현장 정기점검 장비로 활용
종료 후 4년	Ⅳ 단계	예정	㈜유디엔에스	PCST / 1	종료후 4년	비탈면 관리 기관 대상으로 현장점검용 SW (PCST) 판매
종료 후 5년	Ⅳ 단계	예정	㈜유디엔에스	PCST / 1	종료후 5년	비탈면 관리 기관 대상으로 현장점검용 SW (PCST) 판매

* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류

* 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조

** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조

2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)

1) 아니오, 필요하지 않습니다.

2). 예, 필요합니다. (“2” 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)

<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용
지침	개선	연구개발의 성과물인 비탈면 위험/취약 평가표(안)의 국토교통부 ‘도로비탈면 유지관리 실무매뉴얼’ 탑재를 위한 한국건설기술연구원, 국토안전관리원 등 협의회 개최를 통한 지침의 개선 방향 수립

구분	7-가	성과명	비탈면 보호시설 사용성능 평가 기술(안)

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	____Ⅰ____단계	완료	상지대학교 산학협력단	-	R&D종료시점	R&D 기간내 완료
종료 후 1년	____Ⅱ____단계	준비	상지대학교 산학협력단	-	-	-
종료 후 2년	____Ⅱ____단계	준비	상지대학교 산학협력단	-	-	-
종료 후 3년	____Ⅱ____단계	예정	상지대학교 산학협력단	현장시험/2회	종료후 3년	낙석방지울타리 현장실험장에 시험적용 및 평가
종료 후 4년	____Ⅲ___단계	예정	상지대학교 산학협력단	-	-	-
종료 후 5년	____Ⅲ___단계	예정	상지대학교 산학협력단	현장적용/1회	종료후 5년	국내 현장 비탈면 보호시설 성능평가 판정 적용

* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류
* 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조
** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조

2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (1)
1) 아니오, 필요하지 않습니다.
2). 예, 필요합니다. (“2” 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)

<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	8-가	성과명	계측기기 성능/수명 평가기준 매뉴얼(절차서)

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	____Ⅰ____단계	완료	한국건설생활환경시험연구원	-	R&D종료시점	-
종료 후 1년	____Ⅱ____단계	진행	한국건설생활환경시험연구원	시험 및 현장적용/3회	종료후 1년	계측기기 성능/수명 평가 매뉴얼 신뢰성 확보
종료 후 2년	____Ⅱ____단계	완료	한국건설생활환경시험연구원	시험 및 현장적용/3회	종료후 2년	계측기기 성능/수명 평가 매뉴얼 신뢰성 확보
종료 후 3년	____Ⅲ____단계	준비	한국건설생활환경시험연구원	시험 및 현장적용/3회	종료후 3년	계측기기 성능/수명 평가 매뉴얼 기준제도 정비
종료 후 4년	____Ⅲ____단계	진행	한국건설생활환경시험연구원	시험 및 현장적용/3회	종료후 4년	계측기기 성능/수명 평가 매뉴얼 기준제도 개정
종료 후 5년	____Ⅲ____단계	진행	한국건설생활환경시험연구원	시험 및 현장적용/3회	종료후 5년	계측기기 성능/수명 평가 매뉴얼 기준제도 개정

* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류

* 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조

** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조

2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)

1) 아니오, 필요하지 않습니다.

2). 예, 필요합니다. (“2” 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)

<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용
계측기기 성능검사 기준에 관한 규정	개선	환경조건에 따른 관련 시방서는 설치 환경조건에 따라 연구결과물인 계측기기 성능/수명 평가 절차서를 참고하여 현장별 기준을 마련하는 방안 제안

구분	8-나	성과명	계측 데이터 유효성 검토 및 분석 가이드라인

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

구분	성과활용 단계*		주요 활동내용**			
	단계	상세현황	주체	성과물/개수	시기	내용
과제종료 시점	____Ⅰ____단계	완료	한국건설생활환경시험연구원	-	R&D종료시점	-
종료 후 1년	____Ⅱ____단계	진행	한국건설생활환경시험연구원	시험 및 현장적용/3회	종료후 1년	분석 가이드라인 신뢰성 확보
종료 후 2년	____Ⅱ____단계	완료	한국건설생활환경시험연구원	시험 및 현장적용/3회	종료후 2년	분석 가이드라인 신뢰성 확보
종료 후 3년	____Ⅲ____단계	준비	한국건설생활환경시험연구원	시험 및 현장적용/3회	종료후 3년	분석 가이드라인 신뢰성 확보
종료 후 4년	____Ⅲ____단계	진행	한국건설생활환경시험연구원	시험 및 현장적용/3회	종료후 4년	가이드라인 반영 매뉴얼 개정
종료 후 5년	____Ⅲ____단계	진행	한국건설생활환경시험연구원	시험 및 현장적용/3회	종료후 5년	가이드라인 반영 매뉴얼 개정

* 성과의 활용 : 국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단함. 즉 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류함. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류

* 성과활용단계 : <참고 5. R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계> 참조

** 주요 활동내용 : <참고 6 연구성과물(개발기술)의 성과 활용을 위한 주요 활동 내용> 참조

2. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)

1) 아니오, 필요하지 않습니다.

2). 예, 필요합니다. (“2” 선택시 아래 <향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획> 표 작성)

<향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획>

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용
도로비탈면 유지관리 실무 매뉴얼	개선	상시계측시스템 운영에서 현장 계측 상태 모니터링하는 방법의 일환으로 주기적인 데이터 건전성을 확보하기 위해 데이터 유효성 검증 제안

< 별첨 >

별첨 자료
1. 참고문헌
2. 연구개발결과 활용계획서- 별도 배포하지 않음
3. 연구개발성과집- 별도 배포하지 않음
4. 별책 1. 연구개발 주요내용 (최종)- 별도 배포하지 않음
5. 별책 2. 성과점검기준표 및 증빙자료집 (최종)- 별도 배포하지 않음

[참고문헌]

1. 강병주, 황범식, 조완제 (2018) 표준관입시험 N값을 활용한 지반정수의 경험적 산정. Journal of the Korean Geo-Environmental Society 19(6): 5~12
2. 관계부처합동 (2019), “10주년 특별판 2019년 이상기후 보고서”
3. 국토교통부 (2015), “지반 안전점검을 위한 지반탐사반 가동 보도자료”
4. 국민안전처 (2017), 급경사지 재해위험도 평가기준, 재해위험도 평가항목 업무해설서, 19-38
5. 국토교통부 (2000), “도로안전시설 설치 및 관리지침”
6. 국토교통부 (2018), “로로비탈면 유지관리 실무매뉴얼”
7. 국토교통부 (2019), “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법”
8. 계측기기 산업 경쟁력 조사(2014)
9. 계측기기 성능검사 기준에 관한 규정 (행정안전부 고시)
10. 기상측기의 검정기준에 대한 검사방법 및 공차 (기상청 고시)
11. 김교원, 김수정 (2006). 한반도의 암종별 공학적 특성의 상관성 분석, 지질공학회지, 16(1), 59-68
12. 김제민, 최성순, 마병진, 이관훈, 송병석 (2008). 가속수명시험을 통한 전류센서의 수명 예측, 한국전기전자재료학회 2008년도 추계학술대회 논문집, 257-258
13. 김혁호, 임희대 (2017), “소형동적콘관입시험을 이용한 전단강도 산정 및 N-Nc 상관관계 연구”, 자원환경지질, 제50권, 제2호, 145-157
14. 김홍택, 한정훈, 김건호, 한연진 (2010), CPT와 SPT의 지반조사를 통한 관계분석에 관한 연구, 대한토목학회 학술대회, 2212-2215
15. 신현우, 이수곤 (2018). 산사태 발생지점의 특성을 고려한 취약성 분석 비교, 한국측량학회지, 26(2), 59-66
16. 안전산업용 계측기기 현황분석 및 대응방안 연구(2015)
17. 오채연, 전계원 (2012), “GIS 기반 확률론적 기법을 이용한 산사태 및 토석류 위험지역 분석”, 한국안전학회지, 제27권, 제6호, pp. 172-177.
18. 이봉직, 이종규 (2014) 동적콘관입시험값과 표준관입시험값의 상관성 분석. 1~8
19. 자동기상관측장비의 표준규격 (기상청 고시)
20. 정성민, 권오성, 이종성, 이민희, 최용규 (2011) 한국형타격콘관입시험법의 개발에 관한 연구. 3-14
21. 최만용, 박정학 (2004), “센서 및 계측기기의 신뢰성 기술”, 한국정밀공학회지, 21(12), pp 7-12.
22. 측량기기 성능검사 규정 (국토지리정보원 고시)
23. 한국금속울타리 공업협동조합 (2016), “낙석방지울타리와 방지망 SPS-KMF1007-1798”
24. 한국시설안전공단 (2012). “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 해설서(절토사면)“
25. 한국시설안전공단 (2013), “비탈면 보호시설의 효율적 설계 및 적용”
26. 환경부, 한국환경산업기술원, “국내IP 환경동향 보고, 기후변화에 의한 극한 기후 및 기상현상이 자연재해에 미치는 영향”
27. 内山博文, 大石雅登(2012), 노면 및 공동의 개착 상황 조사 결과(路面下空洞の開削狀況調査結果), 도시토목 기술지원센터(都土木技術支援・人材育成センター年報)
28. Agisoft Metashape [3D reconstruction software]. (2021). Retrieved from https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/
29. Bashar Tarawneh (2017), Prediction standard penetration test N-value from cone penetration test data using artificial neural networks, Journal of Geoscience Frontiers 8, 199-204
30. Barnett B, Townley LR, Post V, Evans RE, Hunt RJ, Peeters L, Richardson S, Werner AD, Knapton A and Boronkay A. (2012), Australian groundwater modelling guidelines, Waterlines report, National Water Commission, Canberra
31. Bae, G. J., Koo, H. B., Baek, Y.(2002), Study on suggestion a standard installation for damage reduction alarm system using cut-slope data, The journal of engineering geology, Vol.12 No.1, pp.53-61
32. Colmap [Open source 3D reconstruction software]Retrieved from https://colmap.github.io/
33. Gordon Keller, James Sherar (2003) Low-Volume Roads Engineering Best Management Practices Field Guide. USAID

34. Gregg Drilling & Testing, Inc. (2015), Guide to Cone Penetration Testing (2015) Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering (6th Edition)
35. G. Laudanski, Ph. Reiffsteck, J. L. Tacita, G. Desanneaux & J. Benoît (2012). Experimental study of drilling parameters using a test embankment. Coonference Paper of Geotechnical and Geophysical Site Characterization 4 Volume: 1
36. Imai, T. and Tonouchi, K. (1982) Correlation of N value with s-wave velocity and shear modulus, Proceedings of the Second European Symposium on Penetration Testing(ESOPT), 24-27
37. Khalid A. A., Ayman M. O., Bashar A. and Zhongjie Z. (2011), Reliability Analysis of CPT Measurements for Calculating Undrained Shear Strength, Geotechnical Testing Journal, Vol. 34 , No. 6, 1-8
38. Kim, K. D., Ko, M. G., Kim, D. S. and Han, K. J. (2015), Performance Assessment for Rockfall Protection Systems II: Performance Assessment, KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research, Vol. 35, No. 1, pp.49-61 (In Korean)
39. KS F 2307 표준 관입 시험방법
40. KS F 2324 흙의 공학적 분류 방법
41. KS F 2592 전자식 콘 관입 시험방법
42. L.-C. Chen, G. Papandreou, I. Kokkinos, K. Murphy, and A. L. Yuille, “Semantic image segmentation with deep convolutional nets and fully connected crfs,” arXiv preprint arXiv:1412.7062, 2014
43. L.-C. Chen, G. Papandreou, I. Kokkinos, K. Murphy, and A. L. Yuille, “Deeplab: Semantic image segmentation with deep convolutional nets, atrous convolution, and fully connected crfs,” IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 40, no. 4, pp. 834 - 848, 2017
44. L.-C. Chen, G. Papandreou, F. Schroff, and H. Adam, “Rethinking atrous convolution for semantic image segmentation,” arXiv preprint arXiv:1706.05587, 2017Information, Vol.14, No.3, pp. 262-270
45. Lowe, D.G. (1999) Object Recognition from Local Scale-Invariant Features. In Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision, 1150 - 57 vol.2. Kerkyra, Greece: IEEE, https://doi.org/10.1109/ICCV.1999.790410
46. Minaee S, Boykov YY, Porikli F, Plaza AJ, Kehtarnavaz N, Terzopoulos D. Image Segmentation Using Deep Learning: A Survey. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell. 2021 Feb 17;PP. doi: 10.1109/TPAMI.2021.3059968. Epub ahead of print. PMID: 33596172
47. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. (2008) Installation and Management Guidelines of Road Safety Facilities - Rockfall Fence, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.
48. Moulon, Pierre, Pascal Monasse, Romuald Perrot, and Renaud Marlet. (2017) OpenMVG: Open Multiple View Geometry In Reproducible Research in Pattern Recognition, edited by Bertrand Kerautret, Miguel Colom, and Pascal Monasse, 10214:60 - 74. Cham: Springer International Publishing, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56414-2_5.
49. Netra R. R., John R. G., J. D. V. (2010), “Modeling Susceptibility to Landslides using the Weight of Evidence Approach: Western Colorado, USA”, Geomorphology 115, pp. 172-187
50. O. Buzzi, M. Spadari, A. Giacomini, Fityus and S. W. Sloan, (2013), “Experimental Testing of Rockfall Barriers Designed for the Low Range of Impact Energy”
51. OpenMVS, (2021), https://github.com/cdcseacave/openMVS
52. Pix4D [3D reconstruction software](2021) Retrieved from https://support.pix4d.com/hc/en-us/sections/360003718992-Manual
53. Rahaman, Hafizur; Champion, Erik. 2019. "To 3D or Not 3D: Choosing a Photogrammetry Workflow for Cultural Heritage Groups" Heritage 2, no. 3: 1835-1851. https://doi.org/10.3390/heritage2030112

54. Remondino, F., E. Nocerino, I. Toschi, and F. Menna. (2017) A CRITICAL REVIEW OF AUTOMATED PHOTOGRAMMETRICPROCESSING OF LARGE DATASETS'. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2/W5 591 - 99. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-591-2017
55. Robertson PK (1990). Soil classification using the cone penetration test. Can Geotech. J27:151 - 158
56. Robertson, P.K. Campanella, R.G. (1983) Interpretation of cone penetration testa, Part I :sand, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 20, No.4, 718-733
57. Schonberger, Johannes L., and Jan-Michael Frahm. (2016) Structure-from-Motion Revisited. In 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 4104 - 13. Las Vegas, NV, USA: IEEE, 2016. https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.445
58. Schönberger, Johannes L., Enliang Zheng, Jan-Michael Frahm, and Marc Pollefeys. (2016) Pixelwise View Selection for Unstructured Multi-View Stereo. In Computer Vision - ECCV 2016, edited by Bastian Leibe, Jiri Matas, Nicu Sebe, and Max Welling, 9907:501 - 18. Cham: Springer International Publishing, 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46487-9_31
59. Schönberger, Johannes L., True Price, Torsten Sattler, Jan-Michael Frahm, and Marc Pollefeys (2017) A Vote-and-Verify Strategy for Fast Spatial Verification in Image Retrieval. In Computer Vision - ACCV 2016, edited by Shang-Hong Lai, Vincent Lepetit, Ko Nishino, and Yoichi Sato, 10111:321 - 37. Cham: Springer International Publishing, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54181-5_21
60. Shiva Prashanth Kumar Kodicherla and Darga Kumar Nandyala (2016). Use of CPT and DCP based correlations in characterization of subgrade of a highway in Southern Ethiopia Region. International Journal of Geo-Engineering. 7:11
61. Schütz, Markus. Potree: Rendering large point clouds in web browsers. Diss. Wien, 2015.
62. Servet Y., Omer Y., Tekin S., Samed I., Irfan O. (2018), "The Role of Unmanned Aerial Vehicles(UAVs) In Monitoring Rapidly Occuring Landslides", Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., https://doi.org/10.5194/nhess-2018-13
63. The Korean Environmental Sciences Society(2013), An Analysis of the Current Status of Disasters Occurring on the Steep Slopes in Korea, 1529-1538
64. Torino, P.. "A photogrammetry application to rockfall monitoring: the Belca, Slovenia case study." (2020)
65. Vid P. (2015), "Landslide Activity Monitoring with the Help of Unmanned Aerial Vehicle", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XL-1/W4.
66. WEF(World Economic Forum) (2021), "The Global Risks Report 2021", 15th Edition Insite Report
67. Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio and P. Haffner, "Gradient-based learning applied to document recognition," in Proceedings of the IEEE, vol. 86, no. 11, pp. 2278-2324, Nov. 1998, doi: 10.1109/5.726791

[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 '비탈면 대상 조사·점검 개선 및 보강시설 노후화 대응 기술 개발' 연구개발과제 최종보고서이다.

2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.

비매품/무료
95530
9 791187 770701
ISBN 979-11-87770-70-1 (PDF)