

<표지>

(옆면)

(앞면)

116114
-03

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(), 비공개(), 발간등록번호(○)

발간등록번호

11-1543000-003014-01

I O T 기반 저수지 붕괴 예경보시스템 개발
· 정보시스템개발
최종보고서

2019

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

IoT 기반 저수지 붕괴 예경보시스템 개발 최종보고서

2019. 11. 28.

주관연구기관 / 강원대학교 산학협력단
협동연구기관 / (주)웨어포트
(주)노비스텍
위탁연구기관 / (주)스마트지오텍

농림축산식품부

(전문기관) 농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

'IoT 기반 저수지 붕괴 예·경보시스템 개발'(연구개발기간 : 2016.11.29 ~ 2019.11.28) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2019 . 11 . 28.

주관연구기관명 : 강원대학교 산학협력단

협동연구기관명 : 주식회사 노비스텍



주관연구책임자 : 김용성

협동연구책임자 : 이세경

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	116114-03	해 당 단 계 연 구 기 간	2018.9.29.~ 2019.11.58	단 계 구 분	(3)/(3)
연구사업명	단 위 사 업	침단생산기술개발사업			
	사 업 명	침단생산기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	(국문) IoT 기반 저수지 붕괴 예·경보시스템 개발 (영문) IoT-based reservoir collapse prediction and warning system			
연구책임자	김용성	해당단계 참여연구원 수	총: 9명 내부: 9명 외부: 0명	해당단계 연구개발비	정부: 327,000천원 민간: 109,001천원 계: 436,001천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 27명 내부: 27명 외부: 0명	총 연구개발비	정부: 840,000천원 민간: 280,008천원 계: 1,120,008천원
연구기관명 및 소속부서명	강원대학교 산학협력단			참여기업명 (주)웨어포트 (주)스마트지오틱 (주)노비스텍	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약

저수지의 붕괴 위험을 사전에 감지할 수 있는 스마트 센서, 센서에서 보내온 Data를 수집하고 서버로 전달하는 IoT Client, IoT Client들을 모니터링하고 데이터를 수신하는 인터넷 기반 IoT Server, 저수지의 현재 상태를 확인할 수 있는 스마트폰 어플리케이션 등 IoT 기반 저수지 붕괴 예·경보시스템을 개발하였으며, 이를 이용하여 집중호우 시 저수지 붕괴에 따른 재산 및 인명피해 최소화에 기여하고자 하며 급경사지 붕괴 사전 예방 등 관련 산업기술의 동반 성장을 통하여 자연재난 관련 산업의 성장과 발전에 역할을 담당할 수 있을 것으로 기대됨.

보고서 면수

86

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ IoT 기반 저수지 붕괴 예·경보시스템의 개발 <ul style="list-style-type: none"> • 저수지의 붕괴 위험을 사전에 감지할 수 있는 스마트 센서 • 센서에서 보내온 Data를 수집하고 서버로 전달하는 IoT Client • IoT Client들을 모니터링하고 데이터를 수신하는 인터넷 기반 IoT Server • 저수지의 현재 상태를 확인할 수 있는 스마트폰 어플리케이션 ○ 지반 붕괴 감지용 지중인입에 적합한 봉 형태의 스마트 센서 개발 ○ 센서의 변위속도를 이용한 붕괴위험가중치 및 붕괴 예측 알고리즘 개발 ○ IoT Client 개발(H/W, Embedded S/W) ○ 옥외 설치 가능한 방수 방진 Case(IoT Client) 제작 ○ Solar Powered System 적용 ○ IoT server 개발 ○ 스마트폰 App.(Android/iOS) 개발 ○ Web Site 개발 ○ 시스템 신뢰성 확보를 위한 다양한 모의시험과 기능 및 통신환경 테스트 				
<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내·외 논문 게재 : Journal of Sensors 외 7편 ○ 학술발표 : 미국농공학회(ASABE) ○ 스마트 센서와 IoT 시스템의 특허 출원 및 등록 ○ IoT 솔루션 확보 ○ 지반 거동을 표층에서 감지할 수 있는 스마트센서 확보 (인증기관을 통한 시험성적서 확보) ○ IoT Client 의 KC 인증 획득 ○ IoT Client 의 저수지 환경에 적합한 내구성/유지보수의 적합성 확보 ○ 신규인력충원 : 2명 				
<p>연구개발성과 의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 스마트 센서의 농림축산 신기술 등록 ○ IoT 기반 저수지 붕괴 예측 및 경보시스템의 제품화 ○ 저비용 고효율의 저수지 붕괴 예측 및 경보시스템의 사업화 추진 ○ 저수지의 시설물 안전관리 능력 향상 ○ 집중호우로 발생할 수 있는 저수지 붕괴에 따른 재산 및 인명피해 최소화 ○ 급경사지 붕괴 사전 예방 등 관련 산업기술의 동반 성장을 통하여 자연 재난 관련 산업의 성장과 발전에 기여 				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>사물인터넷</p>	<p>스마트센서</p>	<p>사면붕괴</p>	<p>지반방재</p>	<p>경보시스템</p>
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>IoT</p>	<p>Smart Sensor</p>	<p>Slope collapse</p>	<p>Geotechnical Hazard Mitigation</p>	<p>Alarm System</p>

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
1-1. 연구개발 목적	1
1-2. 연구개발의 필요성	2
1-3. 연구개발 범위	3
2. 연구수행 내용 및 결과	8
2-1. 연구개발의 추진전략·방법 및 추진체계	8
2-2. 연구개발 성과	12
2-3. 연구 결과	17
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	80
3-1. 목표	80
3-2. 목표 달성여부	80
4. 연구결과의 활용 계획 등	81
참고문헌	83
<별첨> 사업화를 위한 비즈니스 모델(BM)	85

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발 목적

○ 연구개발의 개요

- 본 연구는 저수지 제체에 지반 거동을 감지할 수 있는 센서를 설치하고 저수지의 붕괴 위험이 예측되면 IoT 시스템을 이용하여 지역 주민, 저수지 관리자 및 지자체 재난담당자에게 스마트폰으로 경고 메시지를 전송해 주는 IoT 기반 저수지 붕괴 예측 및 경보시스템을 개발하는 것임.
- 본 연구의 제품화를 위해서는 시스템의 가격이 저렴하고, 센서의 객관적 신뢰성이 확보되어야 하며, 안정적인 무선 통신 및 옥외에서 수년간 작동될 수 있는 내구성이 고려되어야 하고, 서버의 고도화를 통해 센서로부터 수집된 데이터와 인터넷에서 활용할 수 있는 정보들을 이용하여 더 양질의 서비스를 제공해야 함.
- 연구개발이 성공적으로 완료되어 제품화된다면 저수지 시설관리자에게 유지보수의 편리함을 제공하고 저수지 붕괴 시 발생하는 인명과 재산 피해 최소화에 기여할 수 있을 것으로 기대됨.

○ 핵심기술

- 제체의 거동을 지중에서 0.01%/min 변위를 감지할 수 있는 스마트센서
- 지중에 스마트센서를 설치 시 지중 인입이 용이한 형태의 제품 디자인
- 저전력, 장거리 무선 통신에 적합한 IoT 시스템
- 태양광 충전시스템을 적용한 방수, 방진 등 내구성이 검증된 Case
- IoT 서버의 분산처리기법 구현 및 Auto Data Backup 시스템, 시스템 자체 모니터링 기능 등

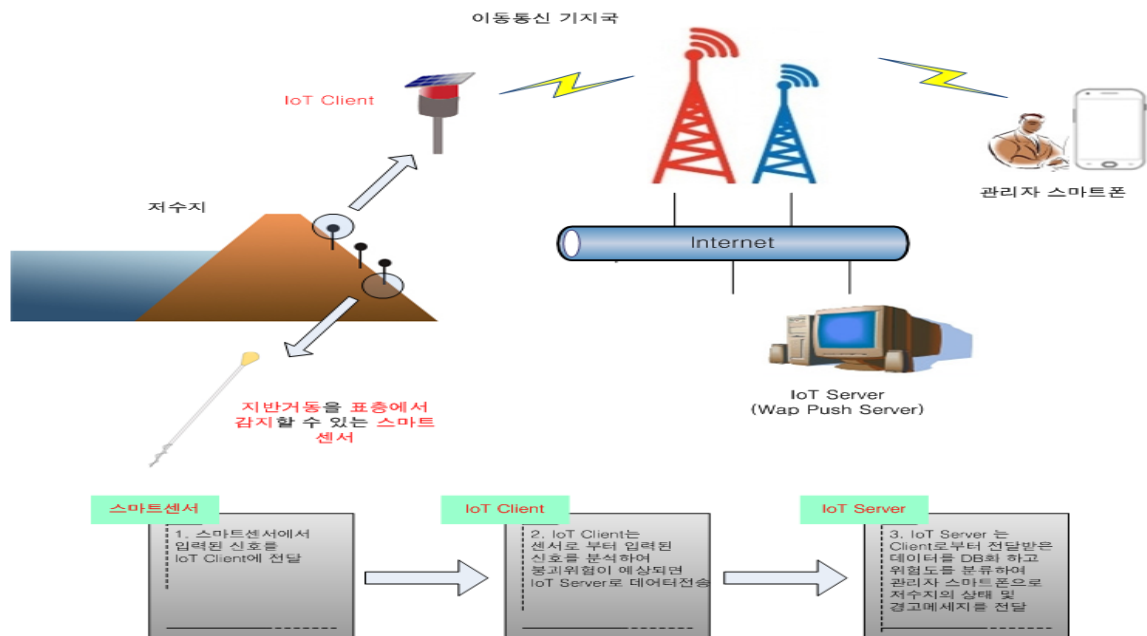


그림 1. IoT 기반 저비용 고효율 저수지 붕괴 예·경보시스템

1-2. 연구개발의 필요성

○ 우리나라 노후 저수지 현황

- 우리나라 농업용 저수지는 17,427개이며, 이들 대부분은 수원공으로 농산촌 지역에 위치하고, 이 중 50년 이상 된 저수지도 12,338개로 노후도가 높은 상태임.

표 1. 우리나라 노후 저수지 현황(자료: 한국농어촌공사)

시도별	계	경과년수		
		30년미만	30년이상~50년미만	50년이상
합계	17,427	743	4,346	12,338
부산광역시	102	2	15	85
대구광역시	183	3	32	148
인천광역시	36	9	20	7
광주광역시	138	1	38	99
대전광역시	15	4	4	7
울산광역시	363	11	92	260
세종특별자치시	38	4	14	20
경기도	359	25	105	229
강원도	317	37	78	202
충청북도	775	43	211	521
충청남도	898	83	209	606
전라북도	2,249	76	383	1,790
전라남도	3,217	164	1,239	1,814
경상북도	5,547	143	955	4,449
경상남도	3,186	138	950	2,098
제주특별자치도	4	0	1	3

○ 노후 저수지 붕괴 사고 사례

- 2014년 8월 집중호우로 인해 저수지가 붕괴하여 현장 조사를 실시한 결과 내덕저수지와 산대저수지 모두 노후화 된 저수지 제체가 붕괴 원인 중의 하나로 판명됨.



(a) 내덕저수지 붕괴 현장(2014년 8월)



(b) 산대저수지 붕괴현장(2014년 4월)

그림 2. 노후 저수지 붕괴 사고 사례

- 경주에서 발생한 지진 등으로 노후 저수지의 붕괴 위험 증가
 - 최근 경주지진 사례와 같이 국내는 더 이상 지진 안전지대가 아니며, 지구 온난화로 인한 이상 기후와 여름철 집중호우 등으로 인해 농업의 핵심 시설인 저수지의 붕괴 위험이 증가하고 있음.
- 기존 저수지에 설치된 모니터링 시스템의 문제점
 - 소규모 저수지를 포함한 대부분의 저수지에는 제체 붕괴 모니터링 시스템이 설치되어 있지 않으며 일부 설치된 저수지도 실제 정보가 발령되기까지 보고체계가 많고 시간이 오래 걸리는 문제가 있으며, 관리자나 지역 주민에게 붕괴 위험에 대한 예·경보를 전달하지 못하고 있음.
- IoT 기반 저비용 고효율의 실용적인 시스템 개발의 필요성
 - 저수지 제체의 붕괴 위험을 사전에 감지하여 관리자에게 적기에 정보를 제공하여 시설 유지 관리에 편리함을 제공하고 저수지 붕괴 위험으로부터 국민의 재산과 생명을 보호할 수 있는 저비용 고효율의 과학적이고 체계적인 시스템의 보급이 필요한 실정임.
 - 본 연구에서는 시스템의 가격이 저렴하고, 센서의 신뢰성이 확보되며, 안정적인 무선 통신 및 옥외에서 수년간 작동될 수 있는 내구성을 고려하여 IoT 시스템을 구현하고 서버의 고도화를 통해 센서로부터 수집된 데이터를 이용하여 양질의 서비스를 제공할 수 있는 IoT 기반 저수지 붕괴 예측 및 경보시스템을 개발하고자 함.

1-3. 연구개발 범위

가. 국내 기술 수준 및 시장 현황

- 국내 기술 수준
 - 국내에는 저수지 모니터링 시스템을 적용하여 운영 중인 저수지 현장이 있으며 주요기능은 레이더나 라이더 센서를 이용하여 토사량, 담수량, 지형변화를 센싱하여 저수지의 용량을 초과하는 것을 감시하여 위험을 예측하는데, 일부 대규모 저수지에 설치 운영되고 있음.
 - 이 시스템에서는 수문 원격제어, 긴급안내방송, HD급 실시간 영상 확보 같은 기능을 제공 하는데 설치 및 시공이 복잡하고 비용이 비싼 문제가 있음.
 - 한국농어촌공사에는 농업용수 공급과 저수지, 방조제, 용배수로 등 농업기반 시설 관리를 ICT 기술을 활용하여 자체 개발한 농촌용수 종합정보 시스템과 농업기반시설 관리 시스템이 있으며 주로 농업용수를 관리하는 목적임.
 - 유사한 시스템으로는 급경사지 모니터링 시스템이 있고 이들은 함수비 센서와 GPS, 지중 경사계, 강우량 센서 등 매우 많은 센서와 CCTV, 경고방송국 등의 대규모 통합 모니터링 시스템으로 일부 시범 사업에 설치 운영되고 있는 실정임.
- 국내시장현황
 - 국내 시장은 주로 국가에서 시행하는 시범사업 위주의 통합관제시스템으로 CCTV를 이용한 상시 실시간 모니터링 및 다량의 센서 설치, 데이터 로거를 통한 데이터 취합 및 각각의 통신 인터페이스의 적용 등 설치가 어렵고 비용이 비싸서 시장 확대에 어려움이 있음.

- 기존의 시스템은 다량의 센서가 설치되어 유지보수 비용이 많이 발생하여 설치 후 운영에 어려움이 있음.
- 본 연구에서 개발하고자 하는 시스템은 설치가 쉽고 유지보수가 용이하여 저수지 및 공사현장이나 산사태 등의 위험이 있는 소규모 급경사지에 최적의 시스템이라 사료됨.
- 이러한 틈새시장을 개척하고 발굴할 예정으로 국내는 현재 대기업의 독점이나 진입 장벽은 없는 것으로 판단됨.
- 국내 시장 규모

(단위 : 억원)

구 분	현재의 시장규모 (2013년)	예상 시장규모 (2014년)
국내 시장규모	1200	1300
산출 근거	한국의 건설산업(2014), 신한금융투자』 규모의 약 0.1%를 계측센서 시장으로 설정	

나. 국외 기술 수준 및 시장 현황

○ 국외 기술 수준

- 미국 사례

- 미국에서는 사면 안전관리 방안 중에 하나로 자동 신축계(wire line extensometer)와 자동 측량기를 설치하여 지표 변위와 인장균열의 거동을 관측하고 있음.
- 현장에서 자동으로 측정된 계측자료는 데이터 로거를 통하여 연속적으로 중앙 통제 컴퓨터로 전송되고, 측정된 변위량이 사전에 설정된 기준치를 초과할 때에는 경보도 함께 전송됨.
- 자료전송 수단은 무선통신, 전화선, 이동 통신 등이 사용됨.
- 미연방도로국(Federal Highway Administration, FHA)은 해마다 발생하는 도로절토사면의 낙석(슬라이딩 포함)으로 인한 피해를 줄이는 방안으로 위험절토사면에 낙석 또는 슬라이딩 위험을 사전에 감지할 수 있는 계측시스템을 설치하여 대처할 것을 각 주정부에 권장하고 있음.
- 미연방도로국에서 제안한 계측시스템은 비교적 사용이 쉽고 저비용이 소요되는 지표변위 센서들로 구성되며 절토사면 내 또는 절토사면 정상 후방에 인장균열의 발생 및 진행을 계측하기 위한 신축계(wire extensometer), 절토사면 표면에 있는 암괴의 기울어짐(tilting)을 감시하는 지표경사계(tiltmeter), 그리고 비교적 큰 암괴가 불안정할 경우에 암괴의 이동을 감시하는 전자 거리 측정 장치(Electronic Distance Measurement) 등으로 구성되어 있음.
- 미연방도로국은 절토사면이 원격지에 있을 경우, 지반변위의 자동수신에 의해 관리기준치를 초과할 경우 경보를 발령할 수 있는 자동계측시스템을 설치할 것을 권장함.
- 경보의 발령은 신축계나 전자거리측정장치를 통해 측정된 변위속도를 근거로 운용하고 있음.

- 홍콩 사례

- 土力工政處(Geotechnical Engineering Office, GEO)에서는 자동우량계시스템(automatic rain gauge system)을 이용한 산사태 경보시스템(landslide warning system)을 개발하여 운영 중임.

- 경보시스템은 1980년대 초에 수행한 산사태 발생과 강우의 상관관계에 대한 연구(1963년에서 1982년 산사태-강우자료 상관성 분석) 결과를 바탕으로 개발되었음.
- 산사태 경보는 24시간의 연속 강우량과 1시간의 강우량에 근거하여 발령되며, 팩시밀리와 라디오 및 TV를 통하여 정부기관과 시민들에게 방송매체를 통하여 실시간 통보됨.
- 홍콩에 총 69개의 자동강우계가 설치되어 있으며 중앙통제소에서 5분 간격으로 강우량을 측정하고 산사태 예측을 분석하고 있음.

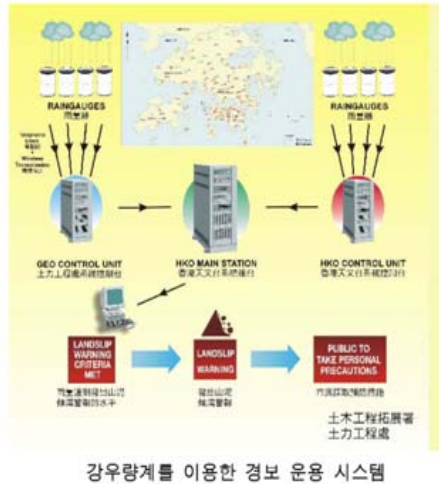


그림 3. 홍콩의 급경사지 모니터링 시스템

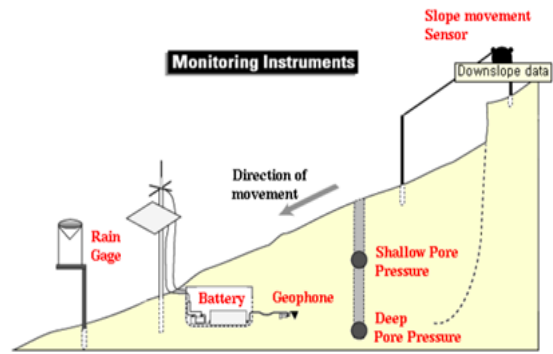


그림 4. 미국의 급경사지 모니터링 시스템

- 일본 사례

- 일본 건설성의 사면안정성 평가방법은 사면의 붕괴유형에 따라 낙석·붕괴, 산사태, 토석류등 세 가지로 나누어 각각의 붕괴를 일으키는 원인에 대해 배점을 주는 방식을 채택하고 있음.
- 낙석·붕괴의 경우는 지형, 지질 및 토질 붕괴 원인, 기타 등으로 분류하고 있으며, 산사태의 경우는 위치, 지형, 지질, 이상·변상, 붕괴를 일으키는 원인으로 분류하고 있음.
- 토석류는 계곡 경사, 계곡 퇴적물, 토석류 퇴적물, 유역면적, 유역의 황폐도 등의 항목으로 구분하고 있음.

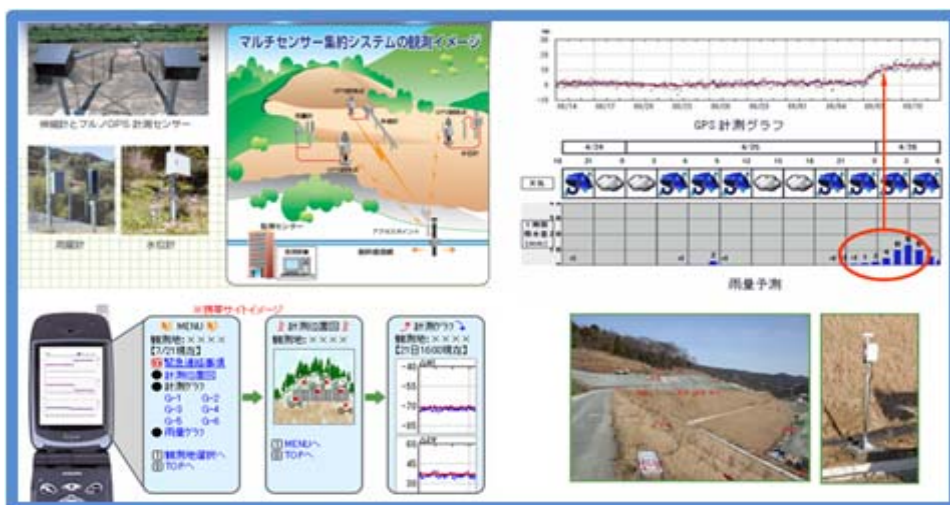


그림 5. 일본의 GPS를 이용한 급경사지 상시계측관리 시스템

- 대만의 국립방재기술연구센터 상황실

- 우리나라와 비슷한 지형을 가지고 있고 매년 사면재해로부터 수십 명이 사망하는 대만의 경우 국가에서 방재기술연구센터를 운영하여 사면재해에 대한 관리를 중앙행정기관에서 주도적으로 관리하고 있음.

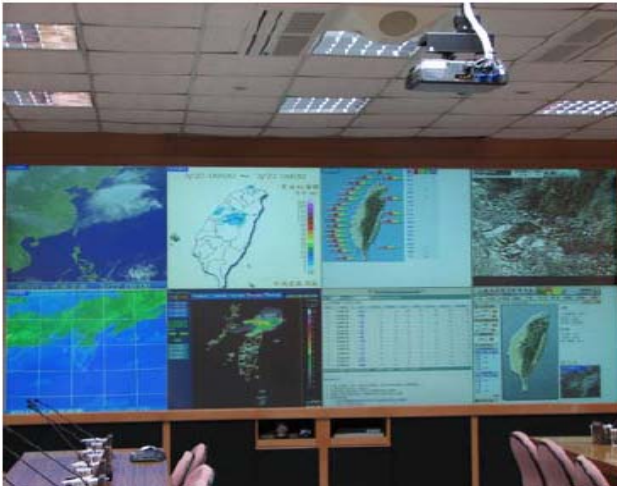


그림 6. 대만의 급경사지 붕괴 위험지역 관리 상황실

○ 국외시장현황

- 국외 목표시장의 경쟁현황

- 국외 시장도 종합관제시스템으로 CCTV를 이용한 상시 실시간 모니터링 가능 및 다양한 센서의 설치 등 설치가 어렵고 비용이 비싸서 국가가 주도하고 있음.
- 일본에는 공사현장에서 사용하는 유선 급경사지 붕괴 위험 경보시스템이 있으며, 현장에서 경광등을 작동시켜 위험을 알려 주는 단순한 시스템임.
- 무선통신 환경은 국가별로 인증이나 규격이 다르기 때문에 약간의 진입장벽이 있음.
- 해외의 경우에는 네팔, 스리랑카, 아프카니스탄 등과 같은 개발도상국에 빈번하게 발생하는 대규모 지진으로 인한 주택붕괴에 따른 대규모 인명피해가 발생하는 현실에서 본 시스템의 보급을 통하여, 지진에 취약한 급경사지 붕괴에 따른 인명피해를 최소화 할 수 있는 실질적인 대안으로 활용성이 매우 클 것으로 판단됨.

- 국외 시장 규모

(단위 : 조원)

구 분	현재의 시장규모 (2016년)	예상 시장규모 (2021년)
국외 시장규모	9	10
산출 근거	『World Construction Outlook, Global Insight, 2014』에서 발표한 세계 건설 시장규모의 약 0.1%를 계측 센서분야 시장으로 설정	

다. 연구개발의 중요성

○ 기술적 중요성

- 과학적 근거에 기반한 데이터를 바탕으로 자연재해로 인한 저수지 붕괴 위험으로부터 공학적인 사전예방 및 대비책 마련
- 저수지의 붕괴 감지센서 및 IoT 기술을 적용함으로써 과학적 판단을 통한 저수지 안전관리 체계 보완 및 보편화 되어 있는 휴대전화와 기존의 이동통신망을 이용하여 붕괴위험을 기록된 대상에게만 전달하는 Target Service 가능
- 센서를 저수지 비탈면 지중에 삽입하여 IoT 디바이스를 결합하는 구조로 설치가 간단하고 유지보수가 편리하며, 저수지 붕괴를 사전에 감지할 수 있는 저비용 고효율 센서 개발 기술 확보 및 지중인입이 용이한 형태의 디자인 확보
- 저수지 붕괴 위험을 정확히 예측할 수 있는 데이터 분석 및 판단 알고리즘을 확보할 수 있으며 기존 이동통신망과 IoT 전용망을 이용하여 700MHz 대역의 국가재난망의 사각지대를 해소 할 수 있는 옥외 네트워크 시스템 확보 가능
- IoT 시스템 및 기술 확보를 통한 다양한 유사 서비스에 응용 가능하며 추후 확장성 측면에서 다른 사물인터넷과의 연결을 통한 빅데이터 활용이 가능하여 더 정확하고 빠른 분석 가능

○ 경제·산업적 중요성

- 경보시스템을 통해 저수지 붕괴 시 빠르게 주민대피를 유도하고 이를 통한 국민의 재산과 생명 보호
- 재난 후 복구에 사용되는 막대한 예산 지출의 최소화
- 기존의 연구 및 시범사업 위주의 복잡하고 고비용의 통합관리 시스템에 비해 저비용 고효율의 소규모 경보시스템을 개발함으로써 시스템의 저변 확대 및 신시장 개척
- 타 IoT 서비스와 연계를 통한 사업영역의 확대가 예상되며 관련 산업 활성화에 기여
- 저비용 고효율의 저수지 붕괴 감지센서 및 경보시스템을 개발하여 고가의 외산센서 및 시스템의 수입 대체 및 역수출 기대
- 저수지 뿐만 아니라 산사태나 토목 공사 중 발생하는 인공비탈면에도 본 시스템의 적용 가능
- 저수지 및 급경사지에 대한 방재안전관리 관련 컨설팅 산업 확대 및 신규 일자리 창출 효과

○ 정부지원의 필요성

- 우리나라의 방재체계는 주로 국가에서 담당하고 있으나 노후된 저수지 붕괴에 대한 예방대책은 과학적이고 체계적으로 이루어지지 못하고 있는 현실에서 기업이 제품화하고 사업화 할 수 있도록 연구개발을 지원할 필요가 있음.
- 700MHz 대역의 국가재난망이 미치지 못하는 사각지대를 기존 이동통신망을 이용하는 본 시스템의 보급으로 일부 해소할 수 있음.
- 저비용의 효율적인 시스템을 제품화하고 광범위한 보급을 통해서 안정적인 농업용수 확보와 자연재해로 인한 인명피해를 예방할 수 있을 것으로 사료됨.

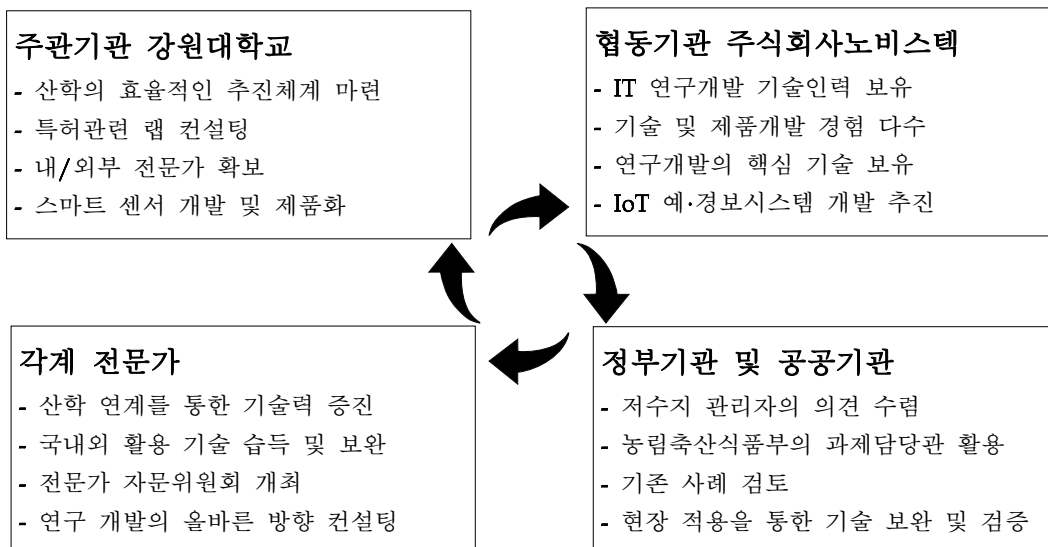
2. 연구수행 내용 및 결과

2-1. 연구개발의 추진전략·방법 및 추진체계

가. 연구개발 추진전략·방법

- 본 연구에서는 국내 기반시설 구축사업, 농업시설물 재해경감시설 구축사업 및 산재된 저수지 관리를 주관하는 한국농어촌공사 농어촌연구원의 상세 기초자료와 관련 전문가 참여를 토대로, 국내·외 노후저수지 붕괴와 관련된 자료 수집 및 관련 국내 현황을 분석하고, IoT 기반의 저비용 고효율 저수지 붕괴 예·경보시스템을 개발하여 저수지 관리자의 유지관리 편의성 도모 및 재난 발생 시 국민의 생명과 재산을 보호하는데 그 목적이 있음.
- 따라서 먼저 1차년도에는 스마트센서의 객관적인 신뢰성을 확보하고 IoT 네트워크 시스템과의 연동을 통해 시작품을 제작한 후 2차년도에는 노후저수지 시범사업 대상을 선정하여 테스트 배드를 구축하고 시행착오를 통해 양산용 제품을 확보할 계획이며, 3년차에는 서버를 비롯한 시스템의 고도화를 통해 성능을 향상 시킬 계획임.
- Website를 구축하고 전시회와 세미나 참석 및 학술회의 참가를 통해서 On-Off line 동시 마케팅을 추진할 예정이며, 각 연차마다 제품화에 필요한 인증을 진행할 계획임.
- 산학연을 연계하여 효율적인 연구추진 체계를 마련하고, 농기평의 과제활용담당관과 정책 및 관련 전문가들이 포함된 분기별 자문위원회를 개최하여 양질의 연구성과 도출하고 제품에 적용할 계획이며, 강원대학교 산학협력단의 랩컨설팅을 통한 특허 등록도 병행할 예정임.
- 기업인 협동연구기관 (주)노비스텍에서는, 기존 CCTV 또는 유사 제품 생산 업체와 유기적인 접촉을 통해 시장 확대와 상호 협업으로 인한 시너지 효과 창출을 위해, 타사·공공기관 시스템과 연동이 가능하도록 Open API 개발에 노력할 예정임. 또한 타사 모듈 또는 제품의 채용을 통해 본 시스템의 확장성과 부가가치 제고 방안을 마련하는 것에 대해서도 개방적인 자세로 접근할 계획임.

<연구개발 추진전략>



나. 연구개발 추진체계

연구개발과제		총 참여 연구원
과제명	IoT 기반 저수지 붕괴 예·경보시스템 개발	주관연구책임자 (김용성)외 총 9명

기관별 참여 현황		
구 분	연구기관수	참여연구원수
대 기 업		
중견기업		
중소기업	1	6
대 학	1	4
국공립(연)		
출 연 (연)		
기 타		

주관연구기관명 강원대학교산학협력단
과 제 명 IoT 기반 저수지 붕괴 예·경보 시스템 개발
연구책임자명 (김용성)외 3명
담당기술개발내용
사면 붕괴를 감지할 수 있는 객관적인 신뢰성이 확보된 스마트 센서의 개발 및 제품화

협동연구기관명 주식회사노비스텍
과 제 명 IoT 시스템 개발
연구책임자명 (이세경)외 5명
담당기술개발내용
저비용 고효율의 IoT 시스템 개발 및 제품화, 스마트 기기용 앱 개발 및 제품화

다. 추진일정

1차년도														
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정												책임자 (소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	계획수립 및 자료조사	■	■											김용성(강원대학교), 추성호(웨어포트)
2	저수지붕괴모사 시험용 사면붕괴 감지센서 실물제작		■	■	■	■	■							김용성(강원대학교)
3	저수지붕괴 모의시험 및 붕괴 유형별 Database 구축						■	■	■	■				김용성(강원대학교)
4	IoT Client H/W 설계 및 시작품 제작			■	■	■	■							추성호(웨어포트)
5	IoT Client S/W 설계 및 구현						■	■	■	■				추성호(웨어포트)
6	IoT Server 개발								■	■	■	■		추성호(웨어포트)
7	System 연동									■	■	■	■	김용성(강원대학교), 추성호(웨어포트)
8	시험 및 검증을 통한 성능 개선											■	■	김용성(강원대학교), 추성호(웨어포트)

2차년도														
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정										책임자 (소속기관)		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	계획수립 및 자료조사	■												김용성(강원대학교), 추성호(웨어포트)
2	사면붕괴 감지센서 성능 개선		■	■	■	■	■	■						김용성(강원대학교)
3	양산용 스마트센서 제품화							■	■	■	■			김용성(강원대학교)
4	IoT Client 기구부 제작		■	■	■	■								김용성(강원대학교), 추성호(웨어포트)
5	IoT Client 태양광시스템 적용 및 경광등 기능추가				■	■	■							추성호(웨어포트)
6	양산용 IoT Client 제품화						■	■	■	■				추성호(웨어포트)
7	IoT Server 기능 추가 및 안정화										■	■	■	추성호(웨어포트)
8	노후 저수지에 테스트 베드 구축											■	■	김용성(강원대학교), 추성호(웨어포트)

3차년도																
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정														책임자 (소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	IoT Server 기능 추가 및 안정화	■	■													이세경(노비스텍)
2	노후 저수지에 테스트 베드 구축	■	■													김용성(강원대학교) 이세경(노비스텍)
3	안드로이드용 스마트폰 App 개발			■	■	■	■									이세경(노비스텍)
4	iOS용 스마트폰 App 개발			■	■	■	■									이세경(노비스텍)
5	통합 Web site 구축										■	■	■			김용성(강원대학교) 이세경(노비스텍)
6	IoT 서버 고도화 (빅데이터 활용 등)				■	■	■	■								이세경(노비스텍)
7	테스트 베드에서 전체 시스템 통합 테스트			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			김용성(강원대학교) 이세경(노비스텍)
8	최종 개발 완료 및 제품화 완료												■	■	■	김용성(강원대학교) 이세경(노비스텍)

2-2. 연구개발성과

성과 목표	사업화지표											연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용-홍보		기타 (타 연구 활용 등)	
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	건수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고용 창출	투자 유치		논문 SCI	논문 비 SCI	논문 평균 IF			학술 발표	정책 활용		홍보 전시
											건				건	건			건	
단위	건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	30	10		5	5		5		5				20	5	5	5	5			
최종목표	3	3		1	300		30,000		4				2	8		8	1	2	1	6
1차 년도	목표	1											2		2					
	실적	1							2				2		5					
2차 년도	목표	3											2		2					
	실적	3					105.6						2		2					
3차 년도	목표	1	2		1								2	2		2				1
	실적	1	2		1	1		137.8					2	2		4				1
소 계	목표	5	2		1		-		-				2	6		6				1
	실적	5	2		1	1		243.4		2			2	6		11				1
종료 1차년도		1			10		1,000						1		1		1	1	1	
종료 2차년도					30		3,000		1				1		1	1			1	
종료 3차년도					60		6,000		1							1			1	
종료 4차년도					80		8,000		1										1	
종료 5차년도					120		12,000		1										1	
소 계																				
합 계	5	2		1	1		243.4		2				2	6		11				1

가. 국내·외 논문 게재

No	논문명	학술지명	저자명	권(호)	국내외	발행 기관	SCI 여부	게재 일	등록 번호
1	현장모형실험 기반 표층거동분석을 통한 사면붕괴 예측	한국지반신소재학회 논문집	박성용, 민영식, 강민서, 정희반, 사미킴, 플립반, 김용성	16(3)	국내	한국지반신소재학회	비SCI	2017.09.30	ISSN 2508-2876
2	현장 굴착 실험을 통한 사면붕괴 연구	한국농공학회 논문집	박성용, 정희돈, 김영주, 김용성	59(5)	국내	한국농공학회	비SCI	2017.09.30	ISSN 1738-3692
3	통계관리도 기법을 적용한 사면붕괴 예측	한국지반신소재학회 논문집	박성용, 장동수, 정재훈, 김영주, 김용성	17(2)	국내	한국지반신소재학회	비SCI	2018.06.30	ISSN 2508-2876
4	지중변위와 체적함수비 계측을 통한 사면붕괴 예측	한국지반환경공학회 논문집	김용성, 김만일, 타당비벡, 김기환	19(9)	국내	한국지반환경공학회	비SCI	2018.09.01	ISSN 1598-0820
5	Analysis of Slope Failure Behaviour Based on Real-Time Measurement Using the x-MR Method	Journal of marine science and engineering	Sungyong Park Hyuntaek Lim Bibek Tamang Jihuan Jin Seungjoo Lee Sukhyun Chang Yongseong Kim	7(10)	국외	MDPI	SCI	2019.10.10	ISSN 2077-1312
6	A Study on the Slope Failure Monitoring of a Model Slope by the Application of a Displacement Sensor	Journal of Sensors	Sungyong Park Hyuntaek Lim Bibek Tamang Jihuan Jin Seungjoo Lee Sukhyun Chang Yongseong Kim	2019	국외	Hindawi	SCI	2019.12.21	ISSN 1687-7268
7	저수지 제체 율류 및 내부침식 보호기술 모형실험 연구	한국지반신소재학회 논문집	김기환, 이태호, 유전용, 임은상, 이승추, 김용성	18(4)	국내	한국지반신소재학회	비SCI	2019.12.30	ISSN 2287-9528
8	현장실험과 수치해석을 통한 GFRP 록볼트 센서의 적용성 연구	한국지반신소재학회 논문집	이승주, 장석현, 이강일, 김범준, 김용성	18(4)	국내	한국지반신소재학회	비SCI	2019.12.30	ISSN 2287-9528

나. 국내 및 국제학술회의 발표

No	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	미국농공학회(ASABE) (A study on predicting slope failure through the measurement of surface ground deformation)	김용성	2017.07.18	스포캐인	미국
2	한국방재학회 (표층지반변형 계측을 통한 사면붕괴 예측)	김용성 외 4인	2017.02.16	서울	대한민국
3	한국방재학회 (환산전단변형률을 이용한 지반 붕괴 예측 기법)	김용성 외 4인	2017.02.17	서울	대한민국
4	한국농공학회 (사면붕괴 예측을 위한 전단변형센서 최적화 연구)	김용성 외 1인	2017.10.16	제주	대한민국
5	한국농공학회 (역변위를 이용한 사면 붕괴 전조 예측)	김용성 외 1인	2017.10.16	제주	대한민국
6	미국농공학회(ASABE) (Predicting reservoir failure through the measurement of surface ground deformations)	김용성 외 1인	2018.07.31	디트로이트	미국
7	한국지반환경공학회 학술발표회 (현장 굴착시험을 통한 사면 붕괴 거동 연구)	김용성 외 3인	2018.09.14	서울	대한민국
8	한국농공학회 학술발표회 (단계별 굴착에 따른 사면 붕괴 거동 분석)	김용성 외 3인	2018.11.02	충남	대한민국
9	한국방재학회 학술발표대회 (사면 붕괴 예·경보시스템 구축을 위한 사면 붕괴 실험 연구)	김용성 외 4인	2019.02.20	서울	대한민국
10	한국지반신소재학회 봄학술발표회 및 정기총회 (실대형 사면붕괴 실험을 통한 사면붕괴 예·경보시스템 구축 연구)	김용성 외 5인	2019.03.21	서울	대한민국
11	일본자연재해학회 학술강연회 (Slope Instrumentation Standard for Slope Monitoring and Resident Evacuation)	김용성 외 2인	2019.09.21	북해도	일본

다. 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

No	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	사면 붕괴 계측용 봉 센서	대한 민국	강원대학교 산학협력단	17.10.13	10-2017- 0133093				100
2	변위 센서를 구비하는 락볼트 장치 및 시스템	대한 민국	강원대학교 산학협력단 /㈜스마트 지오텍	18.02.07	10-2018- 0015261				50
3	사면 붕괴 감지 장치 및 이를 구비하는 사면 붕괴 모니터링 시스템	대한 민국	강원대학교 산학협력단 /㈜스마트 지오텍	18.02.28	10-2018- 0024176				50
4	사면붕괴 계측용 봉 센서 및 이를 포함하는 사면붕괴 계측 방법	대한 민국	강원대학교 산학협력단	18.04.09	10-2018- 0041110				100
5	사면 붕괴 감지 장치 및 이를 구비하는 사면 붕괴 모니터링 시스템	대한 민국				강원대학교 산학협력단 /㈜스마트 지오텍	19.07.01	10-19971 71-0000	50
6	사면 거동 감지 장치 및 이를 구비하는 사면 붕괴 예·경보 시스템	대한 민국	강원대학교 산학협력단	19.10.23	10-2019- 0131883				100
7	사면붕괴 계측용 봉 센서 및 이를 포함하는 사면붕괴 계측 방법	대한 민국				강원대학교 산학협력단	19.10.25	10-20390 00-0000	100

라. 사업화 현황

(단위 : 명, 년)

No	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생년도	기술 수명
							국내	국외		
1	제품판매	신제품개발	국내	스마트센서	(주)지스아이앤씨 스마트센서 납품	(주)스마트지오텍	33		2018	5년
2	제품판매	신제품개발	국내	스마트센서	(주)공간정보 스마트센서 납품	(주)스마트지오텍	49.5		2018	5년
3	제품판매	신제품개발	국내	스마트센서	(주)얼라이브맵 스마트센서 납품	(주)스마트지오텍	12.1		2018	5년
4	제품판매	신제품개발	국내	스마트센서	(주)네오티즈 스마트센서 납품	(주)스마트지오텍	11		2018	5년
5	제품판매	신제품개발	국내	스마트센서	(주)석송 스마트센서 납품	(주)스마트지오텍	34.1		2019	5년
6	제품판매	신제품개발	국내	스마트센서	(주)서하 스마트센서 납품	(주)스마트지오텍	55.0		2019	5년
7	제품판매	신제품개발	국내	스마트센서	(주)석송 스마트센서 납품	(주)스마트지오텍	24.585		2019	5년
8	제품판매	신제품개발	국내	스마트센서	선풍종합건설(주) 스마트센서 납품	(주)스마트지오텍	24.167		2019	5년

마. 기술거래(이전) 등

No	기술이전 유형	기술실시계약명	기술실시 대상기관	기술실시 발생일자	기술료 (당해연도 발생액)	누적 징수현황
1	전용실시권	IoT 기반 저수지 붕괴 예·경보시스템	(주)스마트지오텍	2019.10.07	1,000천원	

바. 홍보전시 등

No	유형	행사명칭	참가자	행사일자	전시품목	행사장소
1	박람회	강원 eco홈페어2019	(주)스마트지오텍	2019.11.15. ~ 2019.11.17	사면붕괴 계측용 붕괴 센서	강원 춘천

○ 사업화성과 및 매출실적

- 사업화 성과

항목	세부항목			성 과
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	억원
			향후 3년간 매출	60억원
		관련제품	개발후 현재까지	억원
			향후 3년간 매출	억원
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	국내 : % 국외 : %
			향후 3년간 매출	국내 : 10% 국외 : 0.01%
		관련제품	개발후 현재까지	국내 : % 국외 : %
			향후 3년간 매출	국내 : % 국외 : %
	세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위		1000위
		3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위		30위

- 사업화 계획 및 매출 실적

항 목	세 부 항 목		성 과		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		1년		
	소요예산(백만원)		150		
	예상 매출규모 (억원)		현재까지	3년후	5년후
				60	120
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내		10	30
		국외		0.01	0.02
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		스마트 록볼트 시스템			
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)	현재	3년후	5년후	
	수입대체(내수)		60	120	
	수 출		30	60	

2-3. 연구결과

2-3-1. 1차년도

1. 연구개발 목표

가. 최종목표

- IoT 기반 저비용 고효율 저수지 붕괴 예·경보 시스템 개발 및 제품화
 - 구성: 스마트 센서와 IoT Client, IoT Server, 스마트 기기용 앱

나. 당해연도 연구개발 목표 및 결과

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1차 년도 (2017)	저수지 붕괴 감지 스마트센서 개발	스마트센서 설계 및 모의시험용 스마트센서 Ver. 0.1 프로토타입 개발완료	• 변위감지 센서 조사 및 분석	<ul style="list-style-type: none"> • GPS 센서 : 가격이 비싸고 오차가 있음. • 경사계 : 가격이 비싸고 설치가 어려움. • 간극수압계 : 가격이 비싸고 설치가 어려우며, 수분의 포화도에 따라 좌우됨. 타센서와 복합적으로 사용하여야 함. • 따라서 가성비가 뛰어나고 제조가 간단한 스트레인 게이지 선정, 휘트스톤 브릿지 결선법 사용 경우에 따라 full-bridge(4 gauge) or half-bridge (2 gauge)로 사용
			• 내구성 소재 발굴	<ul style="list-style-type: none"> • 센서 봉의 재료는 인장강도 930이상의 열처리된 STS 304로 확정 • 길이 : 600, 800, 1000mm • 외경 : 10mm, 내경 : 8mm
			• 지반거동에 따른 변위 검출	<ul style="list-style-type: none"> • 센서봉 1/2, 3/4, 4/5 위치에 스트레인게이지를 부착하여 지반거동을 예측할 수 있는 전조 현상 검출 시험 진행
			• 붕괴예측 정확도 성능 개선	<ul style="list-style-type: none"> • 여러 조건별 붕괴 전조를 예측할 수 있는 변위 데이터를 수집하여 붕괴 예측 알고리즘을 구축 하는데 활용 • 현장 사면붕괴실험 중심으로 DATA 수집
			• 효율적인 센서 기구부 제작	<ul style="list-style-type: none"> • 봉 하단부는 스쿠류형태로 제작하여 지중 인입 시 수월하도록 하고 상단부는 전동 렌치의 회 전력을 이용하기 위하여 육각형으로 제작 • IoT Client와 연결용 이탈방지나사 기구부 추가 • 센서기구부 디자인 및 제작 도면 확보
			• 붕괴모사 시험 수행	<ul style="list-style-type: none"> • 붕괴모사 시험 설계도면 제작, 시험계획 수립 • 변위 및 변위속도의 변화를 측정하여 Data 확보
			• 센서봉의 실내 검정 테스트	<ul style="list-style-type: none"> • 봉 1/2, 3/4, 4/5 위치에 센서 부착 및 테스트 완료 • 스마트센서의 스트레인 값 치환 및 변위 환산 및 1차 선형 모델링

			<ul style="list-style-type: none"> • 지반거동 변위 감지 성능 	<ul style="list-style-type: none"> • 지중 1M에서 0.1%/min 목표달성
		<p>IoT 경보시스템 기본 설계 및 Ver. 0.1 프로토타입 개발완료</p> <p><IoT Client></p>	<ul style="list-style-type: none"> • H/W 설계의 시행 착오를 줄이기 위하여 자료조사 및 오픈 H/W 플랫폼 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 유사 제품 조사 <ul style="list-style-type: none"> -일본산 유사 제품 1종에 대해 역공학적인 분석 수행 -기타 일본, 유럽, 국내 유사 제품들의 인터넷에 공개된 문헌을 토대로 조사 및 분석 수행 -차별화된 시스템 설계를 위한 기반 정보 및 전략 노하우 확보 • 오픈 H/W 플랫폼 분석 <ul style="list-style-type: none"> -H/W 개발 일정 단축을 위해, Arduino, Raspberry Pi, Intel Edison 등의 open platform을 비교 분석 -양산 단가, 저전력, 소형화 등을 고려, 자체 보드 설계 결정
			<ul style="list-style-type: none"> • 분석된 내용을 바탕으로 회로 설계 및 부품 선정(MPU, LoRa 모듈 등) 	<ul style="list-style-type: none"> • MPU <ul style="list-style-type: none"> -Atmel, Microchip, TI, STMicroelectronics, NXP, Silicon Labs, Nuvoton 등의 사용 가능 제품 조사 -동작 환경(저전력 소모, 온도 등), 저가, ADC, UART, GPIO, USB, Watchdog timer, PWM 등의 기능 및 개수 등을 분석한 결과, Nuvoton 제품 선택 • IoT 네트워크 <ul style="list-style-type: none"> -국내에서 사용 가능한 KT LTE-M, SKT LoRa에 각각 파트너 회사로 등록 후, 개발 자료 입수 및 세미나, 전시회 등 참여를 통해 정보 입수 -적극적인 지원과 상대적으로 커버리지가 높은 SKT LoRa망 선택 -SKT에서 지원하는 3종의 LoRa 모듈 중, 비교 분석을 통해 와이슬 제품 선택 -Semtech LoRa 통신 관련 칩들을 이용하여 통신단의 자체 설계를 고려했으나, SKT 상용망 연동 인증, SKT 자체 LoRa 응용단 프로토콜 구현 등에 소요 되는 자원이 과한 것으로 판단, SKT에서 권장 하는 모듈형 제품 사용 • 전력 공급 <ul style="list-style-type: none"> -기본적인 시스템 전력 수급을 예상 및 계산하여 C형 건전지 3개 사용 -보조적으로 태양전지와 함께 사용할 충전지는 안전/안정성과 자연 누수가 적어 방재안전기기에 많이 쓰이는 Ni-MH 선택 -Battery 시스템의 단순화, 소형화, 제품 원가, 응용성을 고려하여 Zener diode를 이용하여 간결하게 구성 • Signal Conditioning <ul style="list-style-type: none"> -Strain gauge의 신호 특성과 붕괴 조짐 신호의 민감도를 고려, 최대한 정밀한 측정 회로를 설계 -다양한 신호 증폭 방법과 부품을 비교 분석한 결과 비교적 고가지만 Analog Device사의 Instrumentation Amplifier 채용

			<ul style="list-style-type: none"> -RC low-pass filter, low noise amp., digital filter 등 삼중의 noise 대책 적용 • 방수·방진·방열 부품 -실외 환경에 적합한 동작 온도를 가지면서 적정 가격인 산업용 사양의 부품 선택 -커넥터, 안테나, 케이블, 경보 장치 등에 방수 부품 채용
		<ul style="list-style-type: none"> • 하드웨어 기능 정의 	<ul style="list-style-type: none"> • 신호 처리 및 변환 -Strain guage에서 MCU ADC까지의 경로에 대한 회로 설계 • 전력 운용 -1차 전지, 2차 전지, 태양 전지, 외부 공급(USB) 모두 가능하도록 설계 -고성능 저가의 DC-DC converter 채용으로 소형화 -센서의 해상도 향상 또는 고광량/고음량 자체 경보 장치 채용에 대비한 고압 전원 회로도 설계 • LoRa 통신 -SKT망 연동 인증에 필요한 H/W적인 장치들 적용 -모듈과의 고속 통신에 따른 F/W 수정 보완 • 자체 경광등 및 경보 장치 -고휘도 LED를 방사형으로 8개 배치, 저전압 고음량의 방수 piezo buzzer 채용 및 PWM 제어 -경광등 모듈 자체 설계 • USB 통신 -생산 과정에서의 검증, SKT 망용 고유 ID 입력, 현장 점검, 개발 시 디버깅을 위해 USB 통신 채용 -관련 회로, 커넥터, F/W 등 적용 및 구현
		<ul style="list-style-type: none"> • 임베디드 S/W 기능 정의 및 S/W 기초 설계 	<ul style="list-style-type: none"> • 기본 라이브러리 보완 개발 -Nuvoton과 ARM에서 기본적으로 제공하는 시스템 라이브러리들 최대한 활용. 오류 감시 및 복구, 통신 오류 처리 등 미비한 성능에 대해서는 자체 보완 및 개발 • SKT LoRa 서버(ThingPlug) 연동 -SKT 망 연동을 위한 프로토콜 구현 및 처리, 패킷 구성, 오류 처리, 설정을 하는 F/W, S/W 개발 • 통합 운용 및 유지 보수 -IoT Client H/W 통합 운용 및 유지 보수 관리를 위한 S/W 개발
		<ul style="list-style-type: none"> • 통합된 시제품 개발 완료 	<ul style="list-style-type: none"> • 시제품 개발 -케이스 디자인 완료, 3D 프린팅을 통한 보완 -H/W는 회로 설계, PCB 설계, 양산 고려 부품 선정 및 샘플 확보, SMT 조립 협의, F/W 개발 완료 -조립된 시스템에 대한 통합 시험 및 오류 수정은 계획대로 진행

		<ul style="list-style-type: none"> • 정량적 목표 대비 결과 	<ul style="list-style-type: none"> • 제품 수준: 시제품 -양산까지 고려한 시제품 제작 완료 가능 예상 • 시스템 신뢰성: 동작 온도, 방수·방진 -모든 부품과 시스템 내부 공간 등을 야외의 고온 다습 환경에 적합한 것으로 채택 완료. 단, 챔버 시험, 실제 야외 실험을 통해 검증 예정
		<ul style="list-style-type: none"> • 1차년도 기본 목표 	<ul style="list-style-type: none"> • 센서에서 Server까지의 안정적이고 원활한 통신 기능 구현 • 시스템신뢰성: 외부환경 내부성 1년(-15~40℃, 방수·방진 고려 안 함) -기본적으로 데이터시트 상 가능한 부품들 채용 완료 -기초적인 방수·방진은 고려한 시스템 설계 적용
	<p style="text-align: center;">IoT 경보시스템 기본 설계 및 Ver. 0.1 프로토타입 개발완료 - <IoT Server></p>	<ul style="list-style-type: none"> • 서버 컴퓨터 선정 및 기본 기능 구축 목표 	<ul style="list-style-type: none"> • Amazon 등 cloud computing을 이용하는 방법과 자체 서버 컴퓨터 운용을 위해 Windows Server data center 버전의 이용한 clustering 기능 중에서 시스템 부하를 SKT 서버에 두는 방향으로 결정 • SKT LoRa 망에 적합한 시스템 구성(topology) 적용
		<ul style="list-style-type: none"> • 기능 정의 및 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -SKT 망의 IoT 서버인 ThingPlug platform 지속적인 개발 및 보완 필요 -H/W 조립 완료 후, 통합 연동 시험 예정
		<ul style="list-style-type: none"> • DB 기초 설계 	<ul style="list-style-type: none"> -Raw data 축적은 ThingPlug 서버 존치, SKT에서 제공하는 AI(인공지능) 응용 기능 최대한 활용 -기본 시스템 운용에 필요한, 사용자, 권한, 개인 정보, 위치 정보 등에 대한 schema 설계 완료
		<ul style="list-style-type: none"> • 1차년도 기본 목표 	<ul style="list-style-type: none"> • 실시간성 보장: 80% 이상 • 예·경보 전파 능력: 10분 이내, 기존 유사 사례 참고하여 최소화 -앱까지의 push 메시지 전달은 Google과 Apple 시스템 운용 정책에 의해 결정되나 10분 이내 전달 가능 예상 -부가적으로 이동통신망의 문자 메시지(MMS 등), 채팅 앱(카카오톡, 라인 등)을 통한 전달 방안 고려 • 통합 및 현장 시험을 통해 검증 예정

2. 연구범위 및 연구수행 방법

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
스트레인게이지 분석	<ul style="list-style-type: none"> • 성능별, 특성별 분석 • 스트레인 변위에 따른 출력전압 측정 • 휘트스톤 결선법 적용 	<ul style="list-style-type: none"> • 봉 재질에 적합한 스트레인게이지 선정 (Micro-Measurement/N2A-06-T004R-350) Grid Resistance in ohms: 350.0±0.3%, GF : 2.16NOM(24°C) • 출력전압 : 0~수십(mv) • Half-Bridge(2 gauge), Full- Bridge (4 gauge) 시험 및 분석
실내검정시험	<ul style="list-style-type: none"> • 변위계 연동 스트레인 측정 • 변위-응답변형데이터 	<ul style="list-style-type: none"> • 변위계를 통한 스트레인 전단 변형률 1차 선형 모델링 수식 도출 • 실내 검정 지지대 제작
실대형 붕괴모사 시험	<ul style="list-style-type: none"> • 토사를 이용한 사면 제작 후 굴착을 통한 인위적인 지반거동 발생 후 데이터 로거를 통해 센서의 변위 측정 실험 	<ul style="list-style-type: none"> • 붕괴 전 후 측정 데이터 수집 • 실대형 붕괴 모사 시험 절차 및 토사를 이용한 사면 도면 확보
붕괴예측알고리즘	<ul style="list-style-type: none"> • 변위 임계값을 이용한 분석법 • 변위 증가량(가속도)을 이용한 분석법 	<ul style="list-style-type: none"> • 특정조건에서의 변위 임계값 선정 • 붕괴 전 가속도 급격히 증가하는 전조 구간 분석
기존 유사 제품 및 시스템 플랫폼 분석	<ul style="list-style-type: none"> • 유사 제품 실물 분석 • 사용 가능 플랫폼 조사 및 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 일본 유사 제품 1종 실물 분석, 기타 유사 제품 사양 조사 및 분석 • SKT, KT 사물 인터넷 플랫폼 환경 조사 및 연구
회로 설계 및 부품 선정	<ul style="list-style-type: none"> • 양산을 전제로 한 부품 조사 및 선정 • 저전력, 소형화 회로 설계 	<ul style="list-style-type: none"> • 기능별 복수 부품 조사, 샘플 입수, 단위 회로 시험 • 야외 악천후 환경 고려 및 시스템 유지 보수를 최소한으로 하도록 회로 설계
H/W 기능 정의	<ul style="list-style-type: none"> • 기능 확장성 고려 정의 	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 전원 공급 장치 수용 • SKT LoRa 적용 • 정밀 측정 회로 설계 • 경광등, 경보음 발생 장치 • USB를 통한 현장 점검 등
임베디드 S/W 기능 정의 및 기능 요구서를 바탕으로한 기초 설계	<ul style="list-style-type: none"> • 저전력, 장애 허용¹⁾ 가능, 유지보수 용이한 임베디드 S/W 설계 	<ul style="list-style-type: none"> • 각 단위의 동작, 제어 S/W 모듈 시험, 성능 향상, 통합 설계
IoT Client 시제품 개발 완료	<ul style="list-style-type: none"> • Field Test 수준의 시제품 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • Field Test 수준의 시제품 개발

1) Fault-tolerant

가. 연구내용 및 수행방법

1) 스마트 변위센서(지중변위센서) 제작

- 주재료는 외경 10mm, 두께 1mm의 스테인레스 스틸파이프
- 파이프 중앙부에 앞뒤로 스트레인게이지 부착 후 코팅제로 마감
- 휨 변형에 대한 반응이 출력되도록 휘트스톤 2게이지법으로 결선
- 내후성의 열수축 튜브를 피복하여 센서의 파손을 막고 사면에 삽입을 용이하게 함.
- 센서 하단에는 사면에 직접 관입하여 설치할 수 있도록 길이 80mm의 관입스크류를 장착
- 센서 상단에는 육각 전동렌치를 사용하기 위하여 육각플러그 형태로 제작
- 스트레인 게이지로부터의 응답을 출력하는 방수 커넥터를 윗면 6각 플러그의 중앙에 연결



(a) 변형 센서



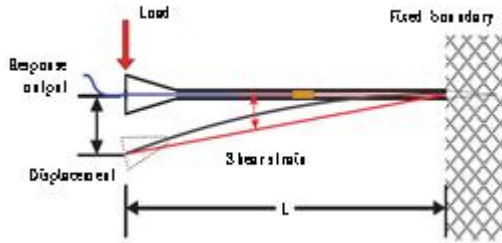
(b) 커넥터

(c) 관입스크류

그림 7. 실 변형 센서(출처: 참고문헌 [17])

2) 스마트변위센서 검정

- 3개의 변위센서를 제작하였으며(D1, D2, D3), 각 장치의 변위-변형률 응답을 검정
- 한쪽을 고정단으로 하고, 자유단에 하중을 가하여 변위를 측정하는 방식의 캔틸레버보 조건을 부가한 검정방법 사용
- 하중부가에 의해 발생하는 변형과 응답변형률을 측정(그림 8 참조)
- 표 2는 변위센서의 검정결과로서 변위에 따른 응답변형률을 나타냄.
- 그림 9는 각각의 검정결과를 도식화한 그림



(a) 모식도

(b) 검정

그림 8. 센서 검정(출처: 참고문헌 [17])

표 2. 변위에 따른 응답변형률(출처: 참고문헌 [17])

D1(1,000mm)		D2(800mm)		D3(600mm)	
Displacement (mm)	strain ($\mu \epsilon$)	Displacement (mm)	strain ($\mu \epsilon$)	Displacement (mm)	strain ($\mu \epsilon$)
0	19.8	0	9.9	0	0
0.1	71.7	0	7.6	0.2	7.5
10	405.9	0.1	46.5	10.6	381.5
17	739.3	6.9	336.5	20.9	764.5
24	1039.9	16.2	683.6	27.9	1,055.2
28.1	1252.8	24.4	985.7	30.4	1,113.9
30.6	1342.8	29.7	1203.2	23.4	793.5
26	991.1	28.3	1057.5	15.6	492.9
21	734.7	19.9	679	8.6	261.7
15	489.8	12	376.1	2.9	57.2
9.5	244.9	4.6	141.1	0.1	6.1
2.6	75.5	0.5	43.5	-	-
0	38.9	0.5	15.3	-	-
-	-	0.4	16.8	-	-

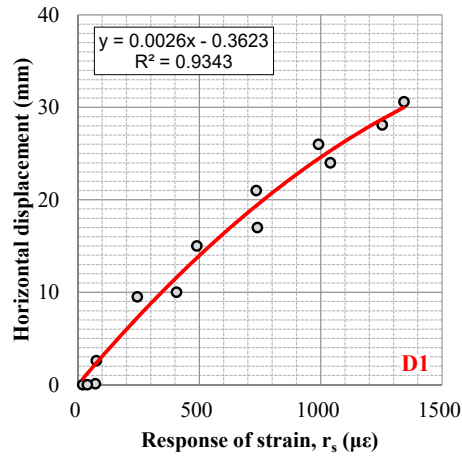
- 그림 9에서 보는 바와 같이 검정결과 추세선은 선형으로 모델링 할 수 있으며, 현장 계측값의 효율을 위하여 식 (1)~(3)과 같이 1차식으로 표현할 수 있음.

$$y = 0.0026x - 0.3623 \quad (R^2 = 0.9343)(1,000\text{mm}) \quad (1)$$

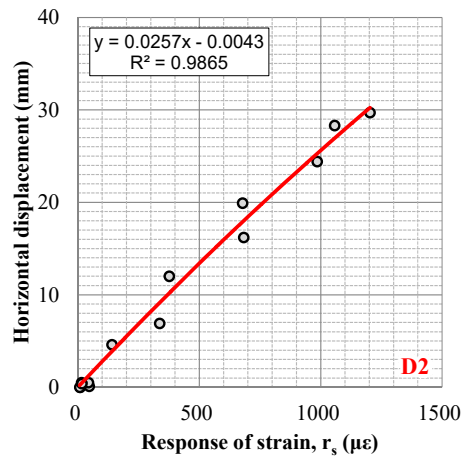
$$y = 0.0257x - 0.0043 \quad (R^2 = 0.9865)(800\text{mm}) \quad (2)$$

$$y = 0.0268x - 0.8234 \quad (R^2 = 0.9933)(600\text{mm}) \quad (3)$$

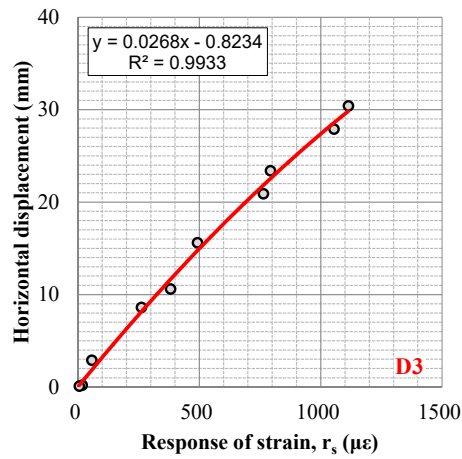
- 검정시험 결과 하중부가에 따른 변위센서의 자유단 변형에 따른 응답변형률이 비교적 명확하게 판별되어, 지반 변형거동의 정성적 파악에 적용이 가능할 것으로 판단됨.
- 검정시험 결과 변위에 따른 응답 변형율이 3개 모두 다소 상이함이 확인되었는데, 그 이유는 변위센서 길이 차이에 따른 변형계수의 상이성 및 주재료가 되는 스테인레스 스틸(STS304)의 불균질성, 스트레인 게이지 접합오차에 기인한 것으로 판단됨.



(a) 1000mm



(b) 800mm



(c) 600mm

그림 9. 검정 결과(출처: 참고문헌 [17])

3) 현장모형사면 설계

- 수치해석적 검토를 통해서 한계높이를 반영하여 모형사면을 설계(그림 10 참조)
- Case 1 : 사면높이 3.5m, 사면거리 총 2.0m, Case 2는 사면높이 4.5m, 사면거리 총 2.6m, 사면 각도는 60°, 천단부 길이 5.0m, 연직거리 0.5m 간격으로 C1~C3을 계획

- 사면 붕괴를 모사하기 위한 굴착 구간으로서 사면 높이 증가에 따라 늘어나는 사면거리를 고려하여 천단부에서 1.0m 아래쪽에 최종 굴착구간인 C4를 선정

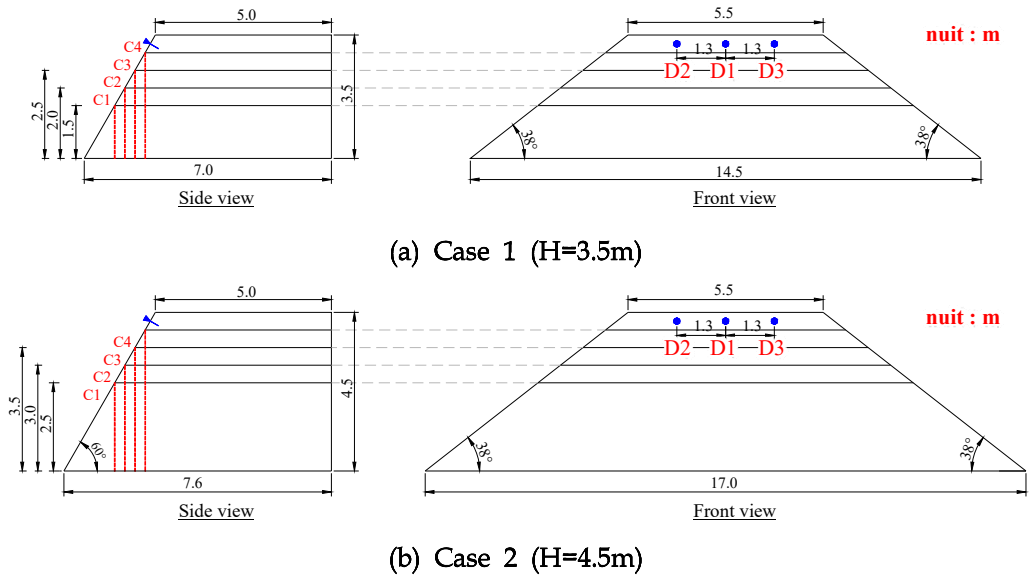


그림 10. 경사 모델 개략도(출처: 참고문헌 [17])

- 모든 조건에서 굴착구간은 모두 동일한 조건을 적용
- 굴착에 따른 사면의 거동분석을 위해 굴착구간별 대기시간을 부여
- 사면높이가 증가함에 따라 사면거리도 늘어나게 되는 점을 고려
- 변형률 센서의 설치위치는 천단부 시점으로부터 50cm 이격된 위치에 설치
- 센서간 수평간격은 1.3m로 계획

4) 모형사면 제작

- 모형실험에 사용된 화강풍화토는 건설현장에서 성토재료나 양질의 기초지반으로 많이 사용되는 흙으로 입자내의 간극이 잘 발달되어 있어 하중을 받으면 큰 변형이 발생하는 특성이 있음.
- 연구에서 사용한 축조용 재료는 밀도가 1.79tf/m^3 , 세립분 함유량은 11.5%, 50% 통과입경인 D50은 0.85mm이며, 통일분류법상 SW(표 3 참조)

표 3. 축조용 재료 특성(출처: 참고문헌 [17])

$\rho_d(\text{tf/m}^3)$	Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	D ₅₀ (mm)	$\rho_{dmax}(\text{tf/m}^3)$	W _{opt} (%)
1.79	57.5	10.0	1.5	0.85	1.93	13.0

- 토사시료에는 불포화 상태를 재현하기 위하여 현장밀도시험 및 다짐시험을 통해 획득한 함수비를 조정하여 사용

- 모형사면 축조작업에는 백호를 사용
- 모형사면에는 토사의 자중만이 작용하며 퇴적된 상태를 재현(그림 11 참조)
- 모형사면은 높이 3.5m, 4.5m의 2Case에 대하여 사면기울기 60°, 천단부 길이 5.0m로 조성



그림 11. 모형사면 조성(출처: 참고문헌 [17])

5) 스마트변위센서 설치

- 제작된 변위센서는 하단에 부착한 관입스크류를 이용하여 사면에 직각방향으로 설치
- 중앙에 D1, 좌측에 D2, 우측부에 D3 순으로 배치(그림 10 참조).
- 센서로부터의 데이터는 상단부 커넥터를 통하여 Data logger에 연결하여 계측데이터를 자동으로 기록
- 현장실험 과정에서 사면의 거동을 파악하기 위하여 영상 카메라를 설치하여 동영상 촬영 및 드론을 이용하여 항공촬영도 병행



(a) 센서 설치



(b) 센서 연결

그림 12. 변형 센서 설치(출처: 참고문헌 [17])

6) 굴착을 통한 사면붕괴 모사

- 사면선단부로부터 단계적으로 굴착하여 모형사면의 붕괴거동을 관찰
- 굴착작업은 백호를 이용하여 절토면이 수직이 되도록 그림 10과 같이 C1부터 C4까지의 4 단계로 수행
- 굴착 후 대기시간을 포함하여 각 구간별 소요시간은 9분을 적용
- 10Hz Sampling Rate(센서로부터 초당 10번 읽어들이) 패턴으로 연속계측 수행

○ 굴착진행에 따른 현장사면 상태(그림 13 ~ 그림 14), 굴착 후 붕괴사면(그림 15)



(a) 경사면 전경



(b) 굴착 전경(C1)

그림 13. 사면 붕괴 (Case 1)(출처: 참고문헌 [17])



(a) 경사면 전경



(b) 굴착 전경(C4)

그림 14. 사면 붕괴 (Case 2)(출처: 참고문헌 [17])



(a) Case 1



(b) Case 2

그림 15. 굴착 후 붕괴 사면(출처: 참고문헌 [17])

7) 실험결과 분석

○ 시간에 따른 지반거동

- 그림 16 및 그림 17은 사면 높이가 3.5m(Case 1), 4.5m(Case 2)인 모형사면 굴착에 기인한 사면 붕괴발생에 대한 시간에 따른 변위 분포를 나타내며, 가로축에는 경과시간을, 세로축에는 지반변위를 도시
- Case 1의 경우 굴착 후 약 29.7분에 사면붕괴가 발생하였는데, D1 센서(길이 1,000mm)는 C1구간부터 C3구간까지 변형이 거의 발생하지 않고 있으며, C4구간 굴착 진행에 따라 갑작스런 붕괴거동이 발생함을 확인할 수 있음.

- D2 센서(길이 800mm)는 C2구간 굴착 후 대기구간에서 미소한 변형이 나타나기 시작하였으며, 이후 붕괴직전까지 변위가 완만하게 증가하고 있으나, 최종붕괴(29.7분)의 경향이 명확히 확인되지 않았는데, 이는 D3 센서(길이 400mm)에서도 유사한 경향을 나타냄.

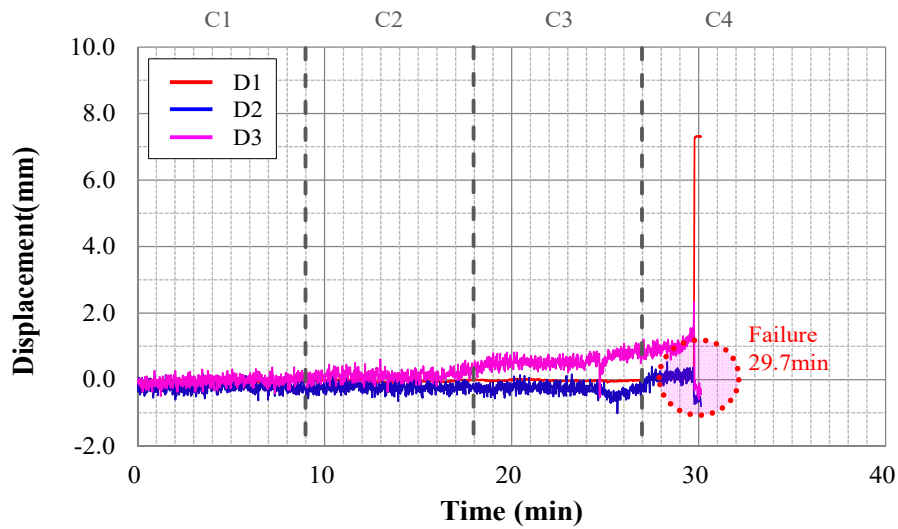


그림 16. 변위 및 시간 (Case 1)

- Case 2는 굴착 후 약 33.9분에 사면붕괴가 발생하였으며, 사면붕괴에 따른 지반거동은 Case 1과 유사한 경향을 나타냄.
- D1 센서는 C1구간부터 C3구간까지 변형이 거의 발생하지 않고 있으며, C3구간 굴착 진행에 따라 약 23.0분에서 1차 거동이 확인되었고, 이후 미소하지만 일정한 증가를 보이고 있음.
- C4 굴착 중 32.4분 구간에서 급격한 거동발생 후 33.9분 지점에서 최종 붕괴됨.
- D2 센서와 D3 센서는 Case 1과 동일하게 C2 굴착후 대기시간에 변형이 발생하기 하였으나, 최종 붕괴 발생(34.0분)이 인지되지 않음.

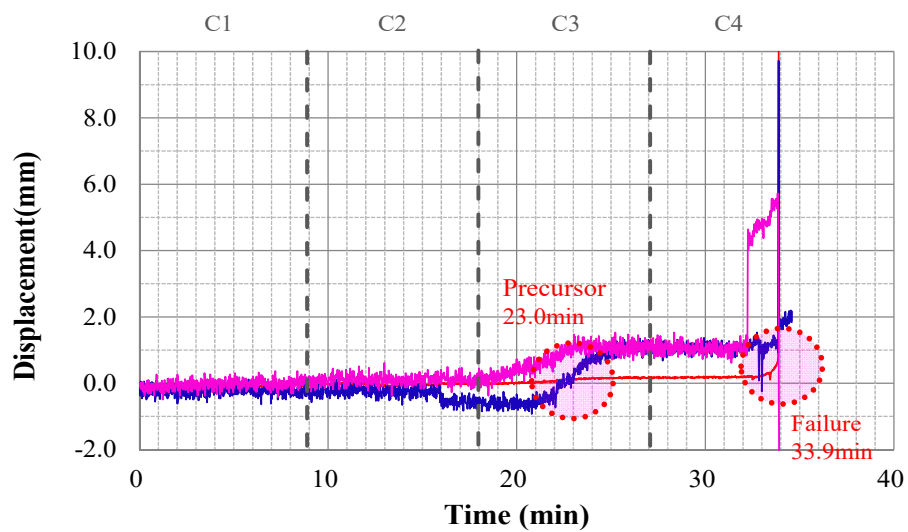


그림 17. 변위 및 시간 (Case 2)

- 모든 Case에서 변형률 센서의 길이가 800mm와 600mm일 때에는 사면붕괴 전 일부 거동현상이 계측되고 있으나, 붕괴현상을 명확히 계측하지 못하는 것으로 나타남.
- 따라서 변형률 센서의 적정 길이는 1,000mm 내외가 적정할 것으로 판단되며, 사면의 토층 심도에 따라 예상되는 활동면보다 다소 크게 제작하여 활용할 수 있을 것으로 판단됨.

○ 역변위 분석을 통한 붕괴전조 파악

- Voight(1988)은 시간에 따른 사면변위와 변위속도와의 역수 형태로 변형한 데이터를 이용하여 사면 파괴시기를 추정하는 방법을 제시하였으며, Tamate et al.(2013)은 신축 이동속도의 역수에 착안하여 그 시계열의 변화로부터 붕괴시간을 예측할 수 있는 방법을 제안하였으며, 전단 변형율속도를 이용하여 붕괴거동을 파악한 바 있음.
- 본 연구에서는 상기분석방법을 응용하여 시간에 따른 역변위(1/변위)를 이용하여 사면 붕괴 거동을 고찰하고자 하였음.
- Case 1의 경우 역변위 적용시 시간에 따른 거동특성이 명확히 나타나지 않아 비교적 붕괴 거동이 명확히 관측된 Case 2를 대상으로 하였음.
- 이때, D2 센서와 D3 센서는 굴착에 따른 최종붕괴형상을 확인할 수 없으므로(그림 17), D1 센서만을 대상으로 함.
- 그림 18은 D1 센서에서 측정된 변위 값을 역변위로 환산하여 도시한 것으로, 가로축에는 사면거동이 미세하게 발생하기 시작한 20분부터 실험이 종료된 35분까지의 경과시간을, 세로 축에는 역변위를 도시함.

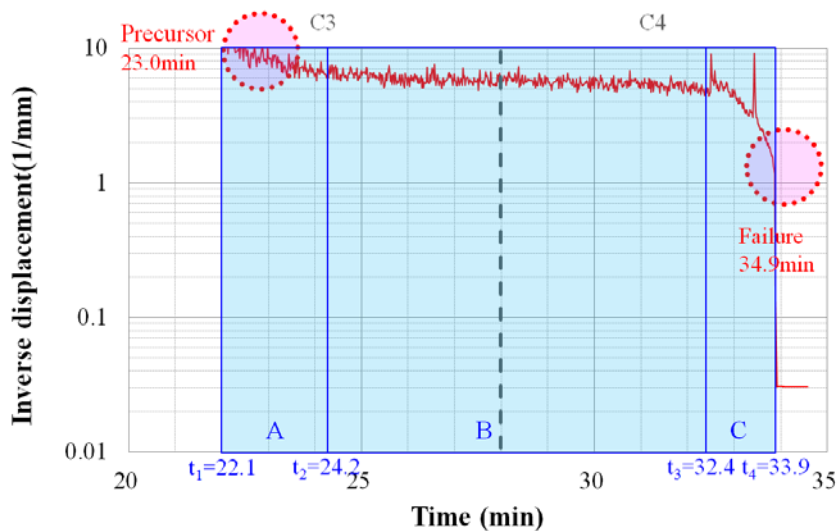


그림 18. 역변위 및 시간 (Case 2)

- 굴착시점으로부터 약 22.1분까지는 사면의 거동에 변화가 없는 것으로 가정하였으며, 이때 발생하는일부 변위값은 계측데이터 전송시 발생하는 전기적 신호의 노이즈 및 굴착장비(백호)에 의한 진동으로 판단하여 고려치 않았음.
- A구간($t_1 \sim t_2$)에서는 C3단계 굴착진행 중 갑작스런 역변위를 확인할 수 있으며, 이때의 기울기는 1.19/mm/min로 사면 불안전화가 시작되는 것으로 판단할 수 있음.

- B구간($t_1 \sim t_2$)은 C3 단계 굴착 완료 후 대기 및 C4단계 굴착과정으로, A구간의 반응과 비교하여 완만한 형태를 나타내나, 0.18/mm/min의 기울기로 감소경향을 보이는 것으로 확인됨.
- 이는 A구간에서 발생한 사면 불안정화의 반응이 지속적으로 유지되고 있는 것으로 사료됨.
- C구간($t_3 \sim t_4$)은 C4단계 굴착완료 후 대기상태로서, 붕괴 발생 직전 가속도적 감소로 인해 3.32/mm/min의 기울기에서 붕괴가 발생함.
- 이상과 같이, 역변위를 고찰한 결과 사면붕괴거동에 따라 역변위는 감소하며, 크리프적인 경향이 붕괴 전에 확인됨.
- 즉, 가속도적 감소로 역변위가 순간 변화하는 1차 거동이 확인되었으며, 이후 일정속도로 감소추세를 유지하고, 최종적으로 가속도적 감소로 변화하는 2차 거동이 나타남.
- 본 실험결과, 사면 붕괴전조현상은 붕괴 17분전에 최초 확인되었으며, 최종붕괴를 야기하는 2차거동은 붕괴 1.5분전부터 확인할 수 있었음.

○ 사면계측 기준안 제시

- 그림 19에서 역변위의 변화를 살펴보면, 전조 단계에서는 기울기가 다소 급한 형태로 나타나며,이후 정상증가구간에서는 일정속도로 증가하고 있음.
- 또한 2차 거동단계의 경우는 가속도적으로 증가하여 최종붕괴가 시작된 긴급한 상황임을 나타내어 사면붕괴 발생 이전에 대피가 필요한 구간은 전조발생 이후 정상증가구간으로 볼 수 있음.

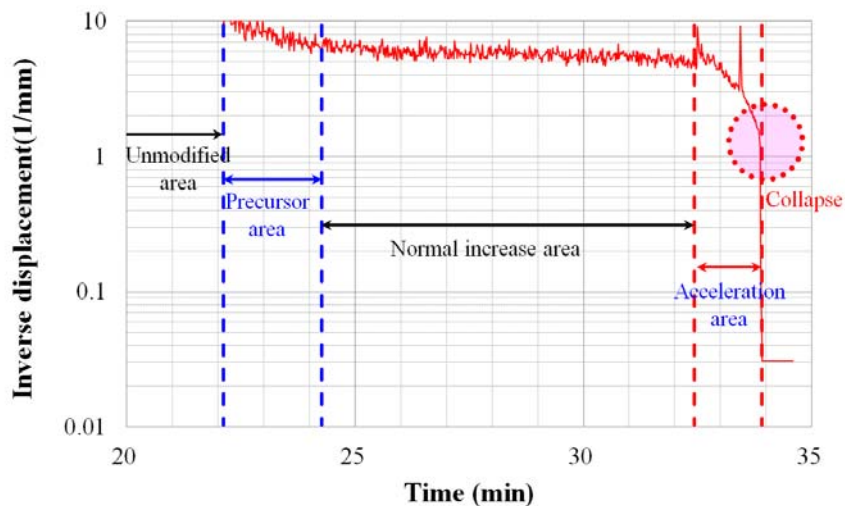


그림 19. 역변위 변화

- 본 연구에서는 전조 단계에서 역변위의 변화가 관찰되고, 이후 일정 패턴을 보이다가 붕괴 구간에 접어들면 가속도적 증가 패턴 양상을 보일 때 붕괴 상태로 진행하고 있음을 알려주는 사면 경보체계에 필요한 사면계측기준(안)을 제시하였음(표 4 참조).
- 사면계측기준(안)은 누적변위와 역변위의 기울기를 바탕으로 하였으며, 전조현상 발생이전 을 보통단계, 전조현상 발생시점을 주의단계, 일정속도 증가구간을 관심단계, 그리고 가속도적 증가가 나타나는 2차 거동 발생구간을 심각 단계로 구분하였음.

- 가속구간은 사면이 최종붕괴로 이어지는 위급상황으로 규정할 수 있으며, 따라서 인명피해 저감을 위한 대피는 가속구간 도달 전에 완료하여야 하며, 부득이하게 대피하지 못한 경우에는 최종붕괴 직전인 가속구간 내에 시급한 대피를 완료해야 함.
- 본 제시안은 1회 실험을 바탕으로 제시한 기준안이므로, 향후 추가적인 현장실험 및 붕괴 사례 데이터를 바탕으로 신뢰성 확보가 필요할 것으로 판단됨.

표 4. 사면계측기준(안)

Type		Cumulation displacement (mm)	Grade of inverse displacement(1/mm/min)
Step 1	Normal	0	0
Step 2	Attention	0.15	1.19
Step 3	Caution	0.20	0.18
Step 4	Seriousness	16.48	3.32

8) IoT Client

- 국내 IoT 관련 통신 사업자(KT LTE-M, SKT LoRa) 협력사 등록

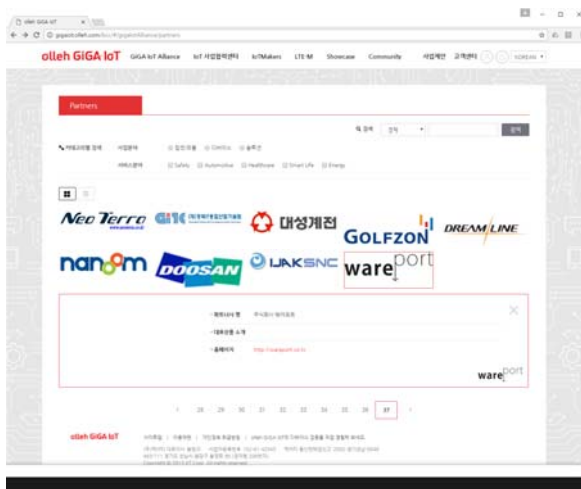


그림 20. KT GiGa IoT Partner 등록

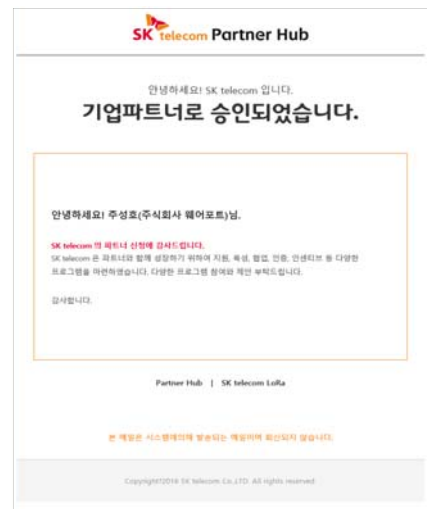


그림 21. SKT LoRa Partner 등록

- 상용망을 이용하여 서비스를 개발·구축하기 위해서는 필수적으로 협력사 등록부터 시작해야 하므로, 필요한 서류와 절차를 통해 KT LTE-M(그림 20), SKT LoRa(그림 21) 협력사로 등록하였음.

- 시험 및 개발용 모듈 구성

- H/W 구성 및 조합, 각 부분 회로의 시험을 위해 각 개발 보드 및 키트, 적용 가능 사양의 부품들을 구매하여 조합한 후, 개발을 진행함.

- 그림 22에서 위쪽부터 태양전지, 와이솔 LoRa 모듈 개발 보드, Nuvoton Eval. & Debugging Board, Q-Light 경광/경보등, Ni-MH 전지, 1차 전지 모듈로 구성

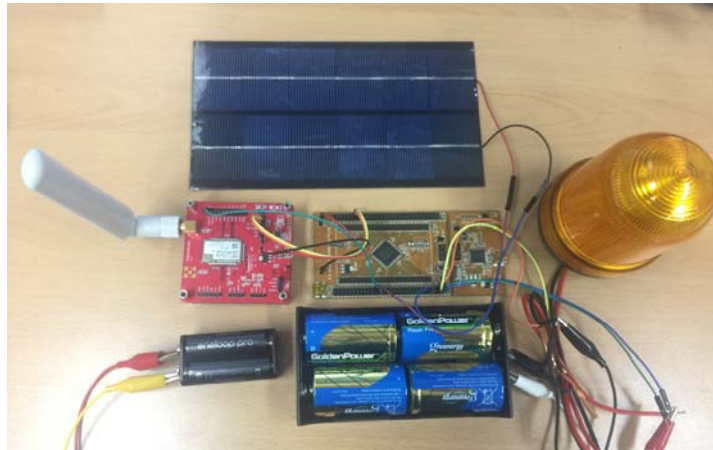


그림 22. 시험 및 개발용 모듈 구성

○ 회로 기판(PCB) 조립 예상도

- 1차로 각 부분 회로 시험을 위해 PCB를 설계, 생산하여 검토를 했으며, 그 결과를 토대로 수정 반영한 회로 및 PCB 설계 내용은 다음과 같음.

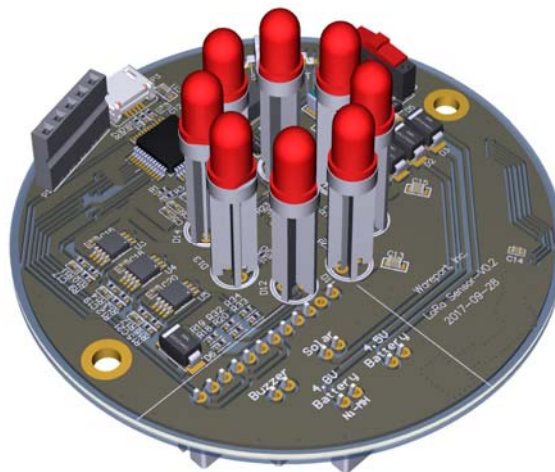


그림 23. 회로기판 조립 예상도 - 조감도

- 각 부분 회로의 시험과 설계를 완료한 후, 기판 설계에 따른 조립 예상도는 그림 23과 같으며, 디버거 연결용 커넥터, USB 연결 커넥터, 리셋 스위치, 전원 스위치 등으로 구성됨.
- 회로 기판의 상단면(그림 24)은 주요 소자들이 올라가게 되며, 가운데는 원형으로 고휘도 LED를 배치하여 직접 경광등 역할을 하도록 함. 상단은 MCU와 발진 소자 등, 좌측은 증폭기 등을 배치
- 회로 기판의 아랫면(그림 25)는 와이솔의 SKT LoRa 통신 모듈과 커넥터류들을 배치하여, LoRa 안테나, 스마트 센서(센서 봉), 1차 전지, 2차 전지, 태양 전지, 경보음 장치(buzzer)들을 연결할 수 있게 하였음.

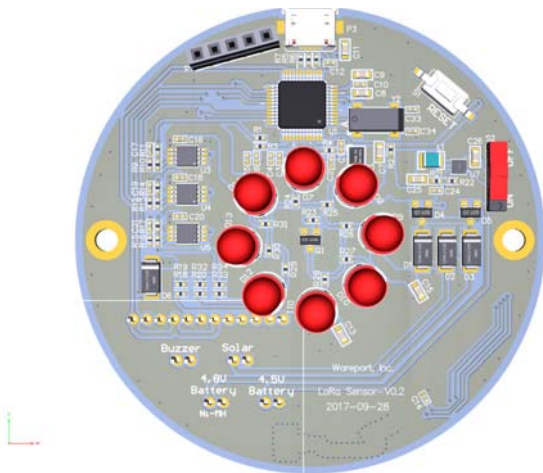


그림 24. 회로 기판 조립 예상도(윗면)

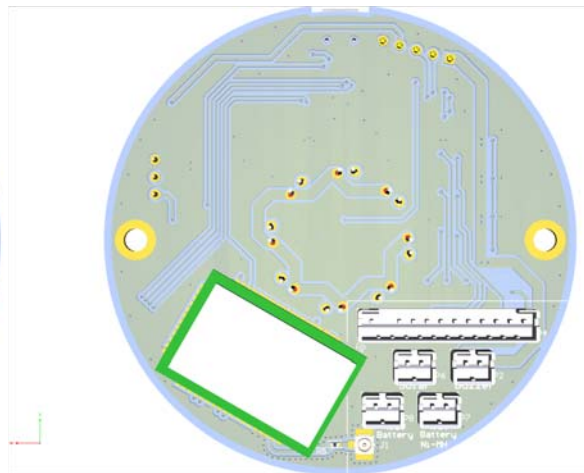


그림 25. 회로 기판 조립 예상도(아랫면)

○ 기구부 디자인 안



그림 26. 기구부 디자인(안)

- 기구부(케이스) 설계 및 구현은 2차년도에 예정되어 있으나, 회로 기판의 크기 및 각 소자 (커넥터류 등), 고정 나사 등의 배치를 위해 기구부 디자인까지는 수행하였음.
- 경광등/정보음은 자체 구동하기로 하고, 방수 안테나, 센서 봉과의 연결을 위한 방수 커넥터, 방수 경보 장치 등의 배치 및 구성 고려

○ Firmware 개발

- 사용한 MCU는 ARM core가 내장되어 있어서, ARM社의 MDK²⁾ Middleware와 Keil μ Vision 5로 개발하였으며, ARM-Cortex Microcontroller Software Interface Components 라이브러리들을 보완하여 개발하였음.

2) MDK: Microcontroller Development Kit

9) IoT Server

○ Server 선정

- 운영체제 선택과 H/W의 사양에 대해 데이터의 양과 흐름, SKT IoT 플랫폼과의 연동을 고려하여 다양한 시스템 구성 방안을 검토하였음.

○ DB 기초 설계

- 기본적인 사용 시나리오를 정하고, 시스템 관리자, 응용 지역 관리자, 일반 사용자의 각각의 역할과 권한을 정립하고 이를 토대로 기초적인 database schema를 생성, 시험, 검토함.
- DB 내용은 다음연도 계획인 IoT 서비스 플랫폼 및 앱과의 연동 개발을 통해 기능 추가와 보안 정책을 반영할 예정임.

2-3-2. 2차년도

1. 연구개발 목표

가. 최종목표

- IoT 기반 저비용 고효율 저수지 붕괴 예·경보 시스템 개발 및 제품화
- 구성: 스마트 센서와 IoT Client, IoT Server, 스마트 기기용 앱
- 주관기관(2차년도) : 스마트 센서의 성능 개선 및 신뢰성 확보를 통한 상용 제품 수준의 개발
- 협동/위탁(2차년도) : 저수지 환경에 적합한 IoT 경보 시스템 상용 제품 수준의 개발

나. 당해연도 연구개발 목표 및 결과

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
2차 년도 (2017. 11.29.~ 2018. 09.28)	저수지 붕괴 감지 스마트센서 개발	스마트 센서의 성능 개선 및 신뢰성 확보를 통한 상용 제품 수준의 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 센서의 성능개선 연구 및 시험 	<ul style="list-style-type: none"> • 탄성계수가 낮은 소재로 테스트 결과 => 토압을 견디지 못하고 너무 많이 휨. 재사용은 가능할 수 있으나, 스트레인값의 변화폭이 심하여 적합하지 못함. • 토양수분센서를 추가 설치하여, 붕괴원인으로 강수량과 사면 거동 및 붕괴 메커니즘과의 상관관계 도출을 위한 실험을 진행. • 센서 소재의 적정길이에 대한 연구는 1000mm가 감도가 좋으나, 쉽게 휘는 문제가 있어 1000mm는 배제하고 600mm 또는 800mm로 시험 • 스트레인게이지 한쌍은 더미로서 온도변화에 따른 스트레인게이지 보정용으로 사용하여 온도에 따른 보정값을 적용하여 안정적으로 센서의 출력값을 판단함.
			<ul style="list-style-type: none"> • 옥외 설치 센서의 내구성 연구 	<ul style="list-style-type: none"> • 센서 봉의 재료는 인장강도 930이상의 열처리된 STS 304로 옥외 시험 결과 2개월 이상 정상 동작
			<ul style="list-style-type: none"> • 센서의 적정 길이 및 두께 연구 	<ul style="list-style-type: none"> • 길이 600mm 또는 800mm • 내경 8mm, 외경 10mm 두께 1mm
			<ul style="list-style-type: none"> • 저수지 붕괴 유형에 따른 스마트센서 적용 방안 연구 수행 	<ul style="list-style-type: none"> • 폭우 등 저수지 범람으로 인한 붕괴 => 센서에 설치된 상단에서 신호가 크게 감지되는 것을 확인 할 수 있으며 저수량의 증가로 저수지 사면에 큰 하중이 증가하여 2차 함수의 형태로 스트레인이 증가함. • 저수지 노후화로 인한 누수로 인한 붕괴 => 취약사면 누수로 인한 붕괴를 사전에 예측하기 위해서 센서 하단에 토양수분센서를 설치하여 사전 예측 가능

(협동) IoT 시스템 개발	저수지 환경에 적합한 IoT 경보 시스템 상용 제품 수준의 개발 <IoT Client>	<ul style="list-style-type: none"> • 1차년도에 발생한 개선 사항을 보완, H/W 성능 개선 	<ul style="list-style-type: none"> • 고성능 브릿지 센서 전용 ADC 사용 <ul style="list-style-type: none"> -24-bit ADC ADS1231, Low Noise (35nVrms) -Internal Amp./OSC/AMI Filter • 전력소모최소화 <ul style="list-style-type: none"> -Deep sleep mode 채용 • LED 재배치 <ul style="list-style-type: none"> -양산을 고려해서 LED를 main board에 SMD 실장 하도록 설계 -LED Driver IC(TLC59116) 사용, 다양한 효과 (점멸, 밝기 조절 등)
		<ul style="list-style-type: none"> • Embedded S/W 상세 설계 및 기능추가 	<ul style="list-style-type: none"> • 자가 조정 기능 <ul style="list-style-type: none"> -Reset 등 power-on, 또는 LoRa 자가망을 통한 reset 명령 수신 후, 자가 조정 기능 수행하도록 F/W 구현 • 원격 관리 기능 (초기화, 영점 조정, 배터리 상태 보고 등) -LoRa 자가망을 통한 제어 명령어 수신 기능 구현 -주기적으로 스트레인 게이지 센서 값을 읽고, 주기적으로 status를 게이트웨이로 송신함(Keep Alive Message) (각 주기는 시스템 파라미터로 원격에서 조절 가능함) • Deep Sleep mode 기능 구현 <ul style="list-style-type: none"> - Power save 기능 • Auto Calibration 기능 구현 <ul style="list-style-type: none"> -스트레인 게이지의 값이 Threshold이하로 변동이 없는 정상 상태에 도달하면 그 값을 영점으로 판단함. • System Parameter update • System Information Monitoring 기능 <ul style="list-style-type: none"> -Bat.잔량, RSSI, RF Connectivity 모니터링 기능 • LoRa 메시 프로토콜 구현
		<ul style="list-style-type: none"> • IoT Client에 태양광시스템 채용 및 경광등 기능 추가 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 솔라셀 장착/충전회로 추가 <ul style="list-style-type: none"> -0.25W 태양광 패널 장착 (Vmp=4.5V, Imp= 60mA) -1000 mAh 리튬폴리머 리차저블 배터리 및 충전회로 추가 • 기존 일반 LED에서 고회도 SMD 타입 LED 로 교체 <ul style="list-style-type: none"> -LED 전체 및 개별 밝기 제어가 가능함 • 경광등 볼륨 상향 조정
		<ul style="list-style-type: none"> • IoT Client 시스템 신뢰성 	<ul style="list-style-type: none"> • 외부환경 내구성 1년(-25℃~50℃, 방수방진 IP45) <ul style="list-style-type: none"> -챔버 등 가상 환경시험 설비 이용 1차 검증완료 -온도 및 방수방진 고려 H/W, 케이스 설계 완료 -Case 추가 제작하여 IP 인증시험 준비 중

		IoT Gateway	<ul style="list-style-type: none"> • Gateway시작품 제작 	<ul style="list-style-type: none"> • LoRa 전용 Gateway 시작품 제작 • Mesh Protocol 구현 • Comm. Protocol 연동
	저수지 환경에 적합한 IoT 정보 시스템 상용 제품 수준의 개발 <IoT Server>		<ul style="list-style-type: none"> • 윈도우즈 기반의 Web Push Server 기능 구축 	<ul style="list-style-type: none"> • IoT Client 관제 소프트웨어 - IoT Client에서 보내온 정보를 Gateway를 통해 수신 (Gateway<->IoT Server) - Target User 에게 정보 및 경보메세지 전달 (IoT Server<->Smartphone) - Push message 전송 기능 - SMS 전송 기능 • IoT Gateway 와 상호 연동 기능 구현 • Smartphone App. 과 상호 연동 기능 구현 • 직관적인 UI 구현 • System Parameter update 기능 • 원격에서 OTA(Over The Air)를 통한 소프트웨어 유지보수 기능 • DB 관리
			<ul style="list-style-type: none"> • 모니터링 시스템 구성 S/W 구현 	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 사용자 별 시나리오 작성 (시스템 매니저, 관리자, 일반사용자 등) • 직관적인 UI 구현 - 지도 위에 센서 위치 표시 - 저수지의 위험 상태를 색으로 표시 (녹색(양호), 노랑(주의), 빨강(경고)) - IoT Client의 실 센싱 데이터를 시간별 기간별로 디스플레이(수치 및 그래프 이용) • IoT Client Auto Calibration 기능 - 필드에 센서 설치 -> 안정화 된 후 zero setting
			<ul style="list-style-type: none"> • DB 상세 설계 및 data backup 기능 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 사용자 관련 Data 설계 및 관리 • IoT Client Data 설계 및 관리 • 특정 일/기간 Data 설계 및 관리(history 기능) • 지정된 기간마다 data backup 기능 구현
		Smartphone App.	Android App./ iOS App.	<ul style="list-style-type: none"> • IoT server 에 저장된 모니터링 정보의 일부를 공유하여 일반 사용자들이 언제 어디서나 저수지 사면의 상태를 모니터링 할 수 있음 • 위험이 감지되면 서버로부터 경보 메시지가 push message 또는 SMS 문자로 전달 됨

2. 연구범위 및 연구수행 방법

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
토양수분센서 분석 및 기존센서에 결합 제작	<ul style="list-style-type: none"> • 성능별, 특성별 분석 • 특정 전압 입력값에 따른 출력전압 측정 • 데이터 로거를 사용하여 데이터 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 미국 METER 사의 10HS 선정 • 3V~15V 입력전압 적용 • 수분포화도 0~57%에 대해서 출력 전압 300~1250mV

<p>x-MR 관리도</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 통계적 관리방법 	<ul style="list-style-type: none"> • 계측값의 개별 데이터를 나타내는 개별(x) 관리도와 이동범위(Moving Range, MR) 관리도를 병행하여 분석하는 방법 사용 • 연속적인 데이터 3개 중 2개가 중심선 한쪽의 2σ 한계를 벗어날 때 그 대상은 불안정하다고 판정
<p>실규모 사면 붕괴 모의실험</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 붕괴모의 실험을 위한 실규모 사면 축조 • 굴착을 통한 사면붕괴 모사 • 인공강우를 모사하여 데이터로거를 통해 토양수분센서의 수분 포화도 측정 	<ul style="list-style-type: none"> • 사면 하부로부터 단계적으로 절토면이 수직이 되도록 굴착, 제거함으로써 인위적으로 사면의 거동을 발생시켰으며, 사면의 거동을 계측하기 위하여 축조된 모형 사면 천단부에서 50cm 이격된 위치에 지반변형계측기(스마트변위센서) 설치 • 설치된 계측센서는 Data logger에 연결하여 1초 간격으로 계측데이터를 자동 저장 • 단계별 굴착진행시 계획단면에 따라 수직으로 굴착하고, 대기시간을 유지하였으며, 이때 굴착시간과 대기시간을 더해 9분씩 동일하게 적용하였으며, 굴착장비는 사면 축조시와 같은 장비(06W)를 활용
<p>실규모 사면 붕괴 모의실험결과 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 사면붕괴에 따른 거동분석 결과 • x-MR 관리도 분석 • 결론 	<ul style="list-style-type: none"> • 모든 Case에서 최종붕괴가 확인되었으나, 진행성 파괴가 나타난 Case 1에서는 사면 붕괴의 사전감지가 가능한 것으로 확인되었으며, Case 2와 Case 3에서는 사면 붕괴 전 사전예측이 기간이 짧은 것으로 확인됨 • 유의미한 변위데이터를 대상으로 x-MR 관리도를 통해 이동범위(K)에 따른 사면 위험성을 평가한 결과, K는 3을 적용하는 것이 효과적일 것으로 판단됨 • 보다 신속하고 객관적인 판단을 통해 사면 이상거동에 대한 사전예측에 도움이 될 것으로 판단됨
<p>사면 계측기준</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 사면 계측기준 표준안 제시 	<ul style="list-style-type: none"> • 변위에 의한 급경사지 붕괴 예측 기준을 고찰하고, 급경사지 붕괴 사례에서 계측된 변위 데이터를

		분석함으로써 변위에 의한 급경사 지 붕괴 주민대피관리기준을 설정 • 위험 감지 후 4분 이내에 지역주민의 대피가 진행되어야 하므로, 시·공간적 고려를 통한 주민대피 유도 전략 수립과 이에 대한 전파방법 등도 고려되어야 할 것으로 판단됨
IoT Client	• 옥외 운용 가능한 제품 확보 • 태양광 전원 사용	• 기본적으로 야외에서 사용 가능한 온도에서 최소 전력 소모하는 부품을 선택 • 센서의 정확한 측정을 위해 2% PPS Film Capacitor 사용 • 솔라패널은 0.25W 출력에 Vmp=4.5V, Imp=60mA를 사용
IoT Client Server	• Server 선정 • IoT Server S/W 시작품 제작	• 제온 E5-2630 • ver.0.1 (Prototype) 완료
IoT Gateway	• 자가망 구성의 필수 요소 • IoT 자가망 vs IoT 이동통신망 • Gateway 시작품 제작	• Gateway를 이용한 자가망 구축으로 방향을 선회함 • Gateway 시작품 제작
Smartphone App.	• Smartphone App. S/W(Android용, iOS용) 시작품 제작	• Smartphone App. S/W(Android용, iOS용) 시작품 제작

가. 연구내용 및 수행방법

1) 기존 스마트변위센서(지중변위센서)에 토양수분센서 결합 제작

- 주재료는 외경 10mm, 두께 1mm의 스테인레스-스틸 파이프
- 파이프 중앙부에 앞뒤로 스트레인게이지 부착 후 코팅제로 마감
- 휨 변형에 대한 반응이 출력되도록 휘트스톤 하프게이지법으로 결선
- 내후성의 열수축 튜브를 피복하여 센서의 파손을 막고 사면에 삽입을 용이하게 함.
- 센서 하단에는 토양수분센서 장착, 미국 METER 사의 10HS 채택
- 센서 상단에는 육각 전동렌치를 사용하기 위하여 육각플러그 형태로 제작
- 스트레인게이지로부터의 응답을 출력하는 방수 커넥터를 윗면의 6각 플러그의 중앙에 연결

모델명	ECS	GS1	10HS	STM	STE	GS3	Pico32 또는 64	
제조사	Decagon (미국)	METER/Decagon (미국)	METER/Decagon (미국)	METER/Decagon (미국)	METER/Decagon (미국)	METER/Decagon (미국)	HMCO (중국)	EnviroPro (중국)
측정항목	토양수분함량 (%)	토양수분함량 (%)	토양수분함량 (%)	토양수분함량 (%) 온도(°C)	토양수분함량 (%) 토양온도(°C) 전기전도도 (dS/m)	토양수분 (%) 토양온도(°C) 전기전도도 (dS/m)	토양수분 (%) 토양온도(°C) 전기전도도 (bulk EC)	토양수분 온도 or 토양수분 온도 EC
정확도	±3% VWC ±1-2% VWC (매장함량 보정 후)	±3% VWC ±1-2% VWC (매장함량 보정 후)	±3% VWC ±1-2% VWC (매장함량 보정 후)	±3% / ±1°C	±3% / ±1°C / ±10%	±3% / ±1°C / ±5%	±1% / ±0.5°C / ±2%	±2% / ±5% / ±1°C
측정범위	0-100%	0-100% 토양수분함량 (Rf 57%)	0-100% 토양수분함량 (Rf 57%)	0-100% VWC -40 ~ 60°C	0-100% VWC -40 ~ 60°C 0-23 dS/m (bulk)	0-100% VWC -40 ~ 60°C 0-28 dS/m (bulk)	0-100% VWC -15 ~ 50°C 0-약 7dS/m	토양수분: 0-100% 토양온도: ±0.5 ~ 50°C 전기전도도: 0-645dS/m
크기	6.9x1.7x0.7cm, 센서 길이: 5cm	5.1x2.4x2.1cm	14.5x3.3x0.7cm, 센서 길이: 10cm	10x3.2x0.7cm, 센서 길이: 5cm	10x3.2x0.7cm, 센서 길이: 5cm	9.3x2.4x0.5cm	φ28x185mm, rod 110mm (Pico32) φ33x155mm, rod 180mm (Pico64)	φ40mm 길이: 40, 80, 120, 160cm 중 택1
소비전력	2.5 ~ 3.0VDC @10mA	3.0 ~ 15VDC @15mA	3VDC @12mA, 15VDC @15mA	3.6 ~ 15VDC 0.3mA equivalent / 측정시 10mA (150ms 동안)	3.6 ~ 15VDC 0.3mA equivalent / 측정시 10mA (150ms 동안)	3.6 ~ 15VDC 0.3mA @4Vdcen / 측정시 25mA (150ms 동안)	7 ~ 24VDC 100mA @ 12VDC (2-3초 동안)	전체 약 1mA (40cm 일 경우 약 47) 전체 4mA
사용환경	-40 ~ 50°C	-40 ~ 50°C	-40 ~ 50°C	-40 ~ 60°C	-40 ~ 60°C	-40 ~ 60°C	-15 ~ 50°C	-20 ~ 60°C
출력	일련 측정값 10-40% (±500 ~ 1,000mV @ 2,500mV excitation)	1,000 ~ 2,500mV	300 ~ 1,250mV (일련 측정값, 상용용이 없음)	RS232 TTL, 3.6Vdc level 모드: 8D=1E	RS232 TTL, 3.6Vdc level 모드: 8D=1E	RS232 TTL, 3.6Vdc level 모드: 8D=1E	고전압 RS485, 또는 RS485-12 이더넷 또는 2x0-1V, 0(A) ~ 20mA	500-12
가격	204,000원 (부가세 포함)	275,000원	285,000원	428,000원	581,000원	638,000원	1,210,000원	

그림 27. 토양수분센서 자료조사 및 10HS 스펙



(a) 변형 센서 및 토양 수분 함량 센서



(b) 커넥터



(c) 토양 수분 함량 센서

그림 28. 실변형 센서 및 토양 수분 함량 센서

2) x-MR 관리도

- Shewhart(1924)에 의해 제안된 관리도 기법으로 계산이 쉽고 적용범위가 넓기 때문에 공정 관리나 품질 관리에 널리 사용되는 기법
- Shewhart(1924)에 의해 제안된 관리도 기법으로 계산이 쉽고 적용범위가 넓기 때문에 공정
- 관리도는 우연원인으로 인한 산포와 이상원인으로 인한 산포를 구분할 수 있도록 상·하에 합리적인 판단을 내릴 수 있는 통계적 관리한계선(관리상한선, 관리하한선)을 결정한 다음 공정의 상태를 나타내는 품질 특성치(측정치, 데이터)를 타점하여 공정 중 이상원인이나 우연원인을 신속히 발견할 수 있는 기법
- 관리도는 그림 29에서와 같이 측정값, 중심선, 관리한계선 등으로 구성되며, 관리한계선은 측정값의 이상 유무를 판정하는 기준
- x-MR 관리도 기법의 적용 예시

- 그림 29는 통계관리도 기법의 모식도를 나타낸 것으로, 관리대상으로부터 획득한 데이터를 세로축, 시간 등을 가로축으로 하는 그래프의 형태로써 관리도는 정규분포를 이루는 데이터의 평균을 μ , 표준편차를 σ 라 한다면, 분포함수는 평균 μ 를 중심으로 좌우 대칭을 이루며, 산포의 정도는 σ 에 의해 결정됨(Yun et al., 2014).
- 일반적으로 관리도의 관리한계선은 중심선(CL)을 기준으로 관리상한선과 관리하한선이 설정되는 것이 정상적인 상태이나, 예외적인 경우 관리상한선 혹은 관리하한선 중 한쪽만 설정하는 경우도 있음.

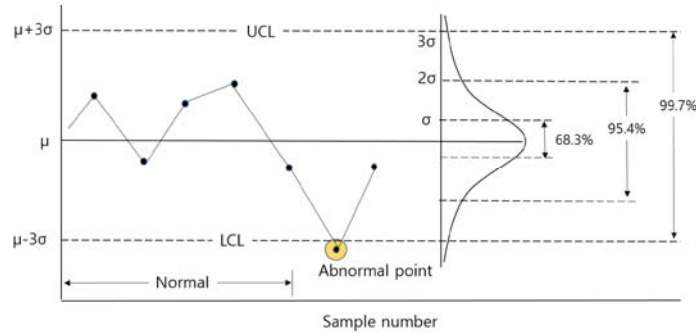


그림 29. 통계관리도 기법 모식도(출처: 참고문헌 [16])

○ 본 연구에서 사용한 x-Mr 관리도

- 계측값의 개별 데이터를 나타내는 개별(x) 관리도와 이동범위(Moving Range, MR) 관리도를 병행하여 분석하는 방법 사용
- 그림 30과 같이 계측값이 도시된 그래프에서 분석구간(K)을 설정하고, 구간내 최대값(xmax)과 최소값(xmin)의 차이를 나타내는 이동범위(MR)를 관리도에 표시

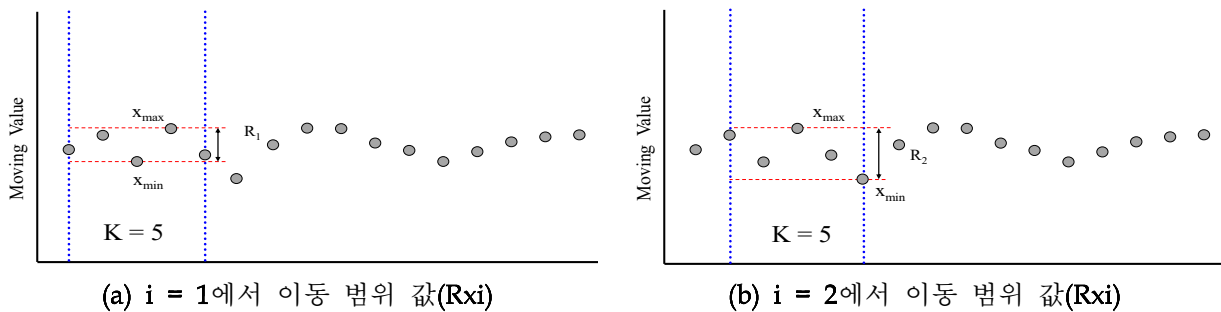
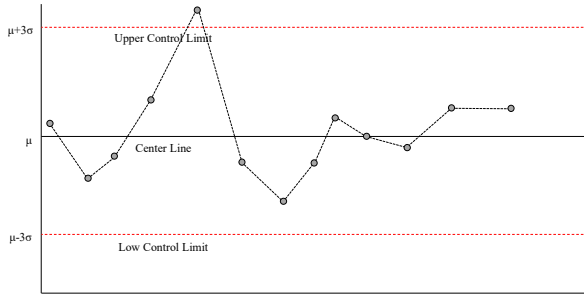
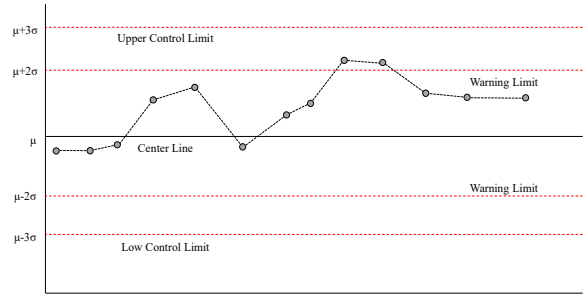


그림 30. x-MR 관리도(출처: 참고문헌 [16])

- 이때, 하나의 데이터가 관리한계를 벗어나게 되면 분석대상은 불안정하다고 판정하는데, 가장 일반적으로 사용하는 위험징후의 판정방법임.
- 그림 31 (a)와 같이 $\mu \pm 3\sigma$ 관리한계를 사용할 때 대상이 안정하다면 하나의 데이터가 한계 밖으로 벗어날 확률은 약 0.3%임.
- 또한, 그림 31 (b) 에서와 같이 연속적인 데이터 3개 중 2개가 중심선 한쪽의 2σ 한계를 벗어날 때 그 대상은 불안정하다고 판정함.
- 이때, $\mu \pm 2\sigma$ 에 경고한계(warning limit)를 설정할 수 있는데, 이 한계를 벗어나게 되면 불안정한 것으로 판단할 수 있음.



(a) 3σ를 이용한 비정상 증가 평가



(b) 2σ를 이용한 경고 한계 평가

그림 31. 위험 평가(출처: 참고문헌 [16])

3) 실규모 사면 붕괴 모의실험

○ 붕괴모의 실험을 위한 실규모 사면 축조

- 모형실험을 위한 토사시료는 춘천시에 위치한 자연사면에서 채취한 풍화토를 사용
- 본 실험에 사용한 풍화토는 건조밀도가 1.793g/cm³, 세립분 함유량은 11.0%이며, 통일분류 범상 SW, 즉 입도분포가 양호한 모래
- 원지반 조건과 동일한 모형사면을 축조하기 위하여 TP(Test Pit, 현장들밀도 시험) 및 다짐 시험을 통해 획득한 최적함수비를 적용하여 사용

표 5. 풍화토 특성(출처: 참고문헌 [16])

ρ_d (g/cm ³)	Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	D ₅₀ (mm)	ρ_{dmax} (g/cm ³)	w _{opt} (%)	USCS
1.793	56.5	9.5	1.5	0.85	1.928	13.3	SW

- 모형사면은 수치해석(한계평형해석)을 통해 사전 검토를 수행한 결과를 반영하여 그림 32와 같이 단면 설계를 진행하였으며 모형사면의 단면은 높이 5.0m이며, 총 4단계의 굴착과정을 계획
- 축조시에는 풍화작용에 따른 토사화 및 자연상태의 퇴적상태를 모사하기 위하여 축조장비(06W)의 버킷을 이용한 자유낙하방식으로 모형을 축조하였으며, 최종적으로는 상부에 별다른 하중이 가해지지 않고, 토사의 자중만이 작용하고 있는 현재의 사면 상태를 재현(그림 33 참조).
- 모형사면 축조가 완료된 후, 굴착계획에 따라 굴착구간(S1~S4)를 표시

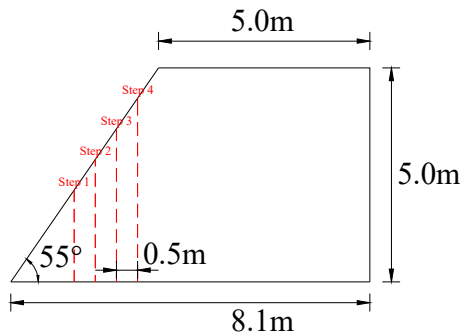


그림 32. 모형사면 단면 설계
(출처: 참고문헌 [16])



그림 33. 모형사면 축조
(출처: 참고문헌 [16])

○ 굴착을 통한 사면붕괴 모사

- 본 연구에서는 사면 붕괴를 모사하기 위하여 사면 하부로부터 단계적으로 절토면이 수직이 되도록 굴착, 제거함으로써 인위적으로 사면의 거동을 발생시켰으며, 사면의 거동을 계측하기 위하여 축조된 모형사면 천단부에서 50cm 이격된 위치에 지반변형계측기(스마트변위센서) 설치(그림 34. 참조).
- 설치된 계측센서는 Data logger에 연결하여 1초 간격으로 계측데이터를 자동 저장
- 장비를 이용한 인위적 굴착전경은 그림 35에, 굴착 후 붕괴사면은 그림 36~그림 38 참조
- 단계별 굴착진행시 계획단면에 따라 수직으로 굴착하고, 대기시간을 유지하였으며, 이때 굴착시간과 대기시간을 더해 9분씩 동일하게 적용하였으며, 굴착장비는 사면 축조시와 같은 장비(06W)를 활용



(a) 센서 관입



(b) 센서 연결

그림 34. 센서 설치(출처: 참고문헌 [16])



그림 35. 굴착



그림 36. 붕괴 사면 (Case 1)



그림 37. 붕괴 사면 (Case 2)



그림 38. 붕괴 사면 (Case 3)

4) 실험 결과 분석

○ 사면 붕괴에 따른 거동분석 결과

- 모든 Case에서 획득데이터와 실험결과를 비교하여 붕괴지점을 확인할 수 있었으며, 그림 39에 굴착에 따른 지반변위의 변화량을 각 Case 별로 도시
- Case 1은 Step 2 굴착과 동시에 지반변위의 미세한 변화가 계측, Step 2 종료지점까지는 일정한 증가속도를, 이후 Step 3 굴착과 함께 21분까지는 급가속적인 변화를 보이고 있으며 이후 변화량의 증가속도는 다소 감소하였으며, 실험개시 약 25분 후에 사면붕괴가 최종적으로 발생
- Case 2는 Step 1 부터 Step 3까지 변형이 거의 발생하지 않고 있으며, Step 4 굴착 중 29.5분 시점에서 갑작스런 붕괴가 발생
- Case 3은 Step 1 부터 Step 3까지 변형이 거의 발생하지 않아 Case 2와 유사한 거동을 나타내고 있으며, 역시 Step 4 굴착 중 33.5분 지점에서 갑작스런 붕괴가 발생
- 분석결과, Case 1에서는 실험시작부터 최종붕괴까지 지속적인 변위가 확인되어 진행성 파괴를 확인할 수 있었으며, Case 2와 Case 3에서는 진행성 파괴가 확인되지 않은 상태에서 최종 붕괴가 발생
- 현지 실무에서 많이 사용하고 있는 일본 급경사지 계측관리 기준에서는 유지관리 단계의 관리기준 값을 1mm/일 이상으로 제시하고 있음(Ministry of Public Safety and Security, 2016).
- 획득한 데이터 중 1mm 이하의 값은 전기적 노이즈로 인한 이상 신호 및 무의미한 값으로 판단할 수 있고, 결과적으로 진행성 파괴가 나타난 Case 1에서는 사면 붕괴의 사전감지가 가능한 것으로 확인되었으며, Case 2와 Case 3에서는 사면 붕괴 전 사전예측이 불가능한 것으로 판단됨.

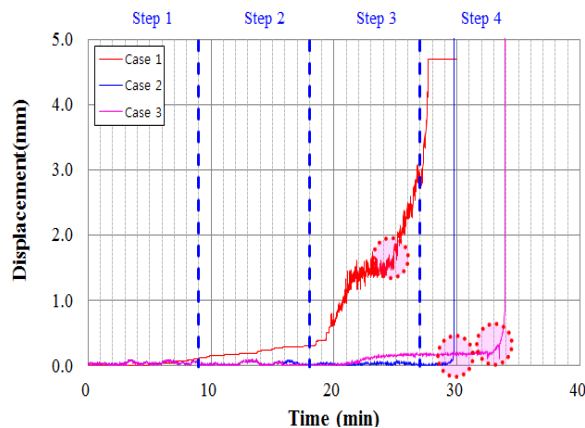


그림 39. 시간에 따른 변위

○ x-MR 관리도 분석

- 본 연구에서는 x-MR 관리도를 수행하기 위해 사면 붕괴의 사전예측이 가능한 것으로 판단된 Case 1에서 취득된 지표변위 데이터 역변위를 이용하였다. x-MR 관리도에 사용한 데이터는 Case 1에서 실험 시작 후 21분 경과 후부터 최종붕괴가 발생한 것으로 확인된 25분까지의 데이터를 선정(그림. 40 참조).
- 사면 계측관리에 역변위를 이용한 사례로는 Voight(1988)는 시간에 따른 사면의 변위와 변위속도와의 역수 형태로 변형한 데이터를 이용하여 사면 붕괴시기를 추정하는 방법을 제시하였으며, Park et al.(2017)은 현장모형실험을 통해 지반변형 데이터를 획득하고, 시간에 따른 역변위를 이용하여 사면

거동특성을 분석한 사례가 있음.

- 그림 41~그림 43은 실험개시로부터 사면 붕괴시점까지의 데이터를 대상으로 각각 10점, 30점, 60점 이동평균을 이용한 시간에 따른 역변위와 k값의 변화에 따른 x-MR 관리도를 나타냄.
- 모든 조건에서 1mm 이상의 유의미한 변위 데이터 취득시점인 t0(21분)에서 최종붕괴 시점인 t1(25분)까지, $\mu \pm 3\sigma$ 관리한계선을 벗어나는 데이터가 확인되었으며, 또한 $\mu \pm 2\sigma$ 관리한계시에 2개 이상의 연속된 데이터가 경고한계를 벗어나는 것으로 확인됨에 따라 유의미한 데이터(1mm 이상의 변위)의 획득여부에 따라 사면의 위험도를 충분히 판단할 수 있을 것으로 기대됨.
- 이동평균과는 무관하게 K=3일 때는 0.03분, K=5일 때는 0.07분, K=10일 때는 0.15분 경과 후에 위험성을 판단할 수 있는 것으로 확인되었으며, 분석구간에 따라 위험성 판단시점이 크게 차이가 나지는 않고 있으나, 급경사지 붕괴의 급박함을 고려할 때 K=3을 적용하는 것이 타당할 것으로 판단됨.

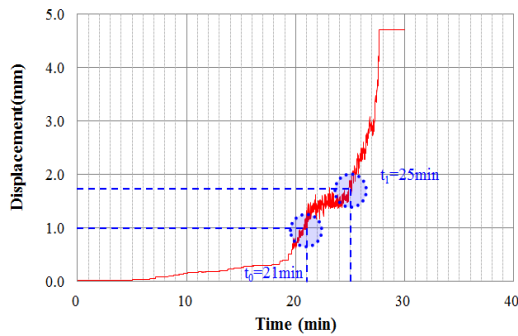
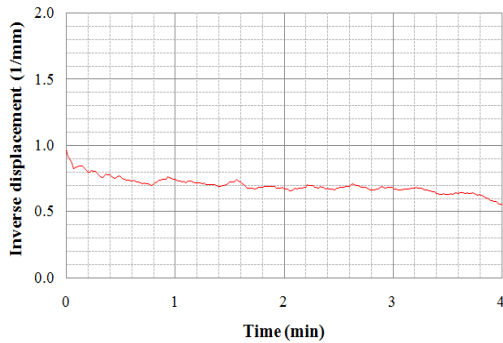
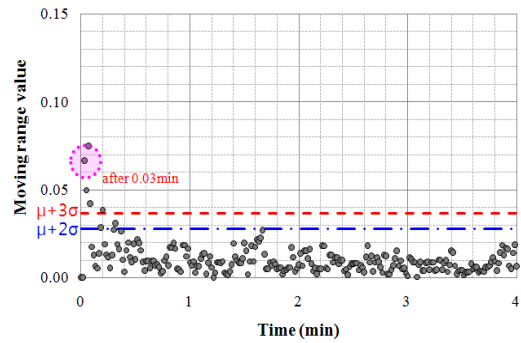


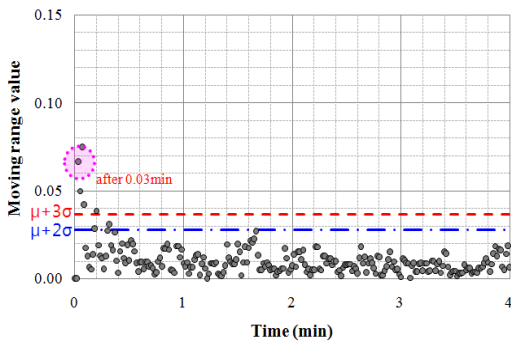
그림 40. 데이터 선정(21분~25분)



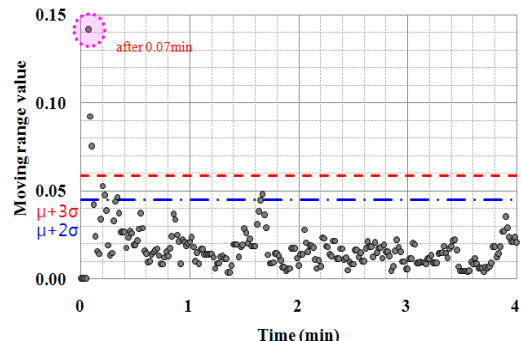
(a) 역변위(10점 이동 평균)



(b) 이동 범위(K=3)

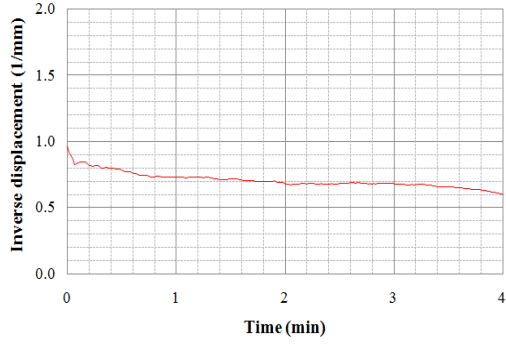


(c) 이동 범위(K=5)

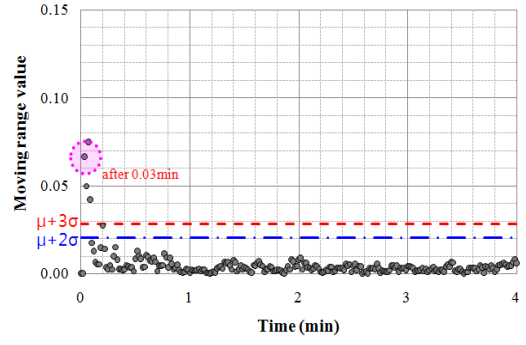


(d) 이동 범위(K=10)

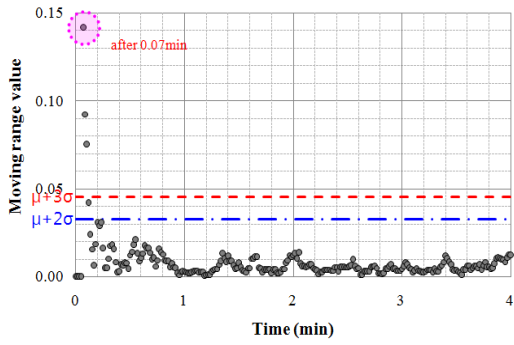
그림 41. 역변위와 k값의 변화에 따른 x-MR 관리도(10점 이동 평균)



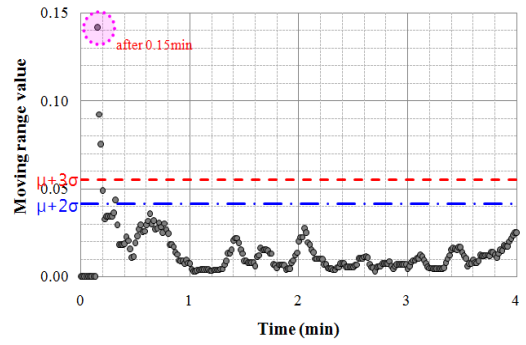
(a) 역변위(30점 이동 평균)



(b) 이동 범위(K=5)

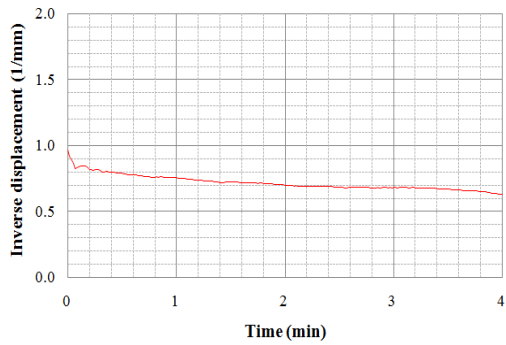


(c) 이동 범위(K=5)

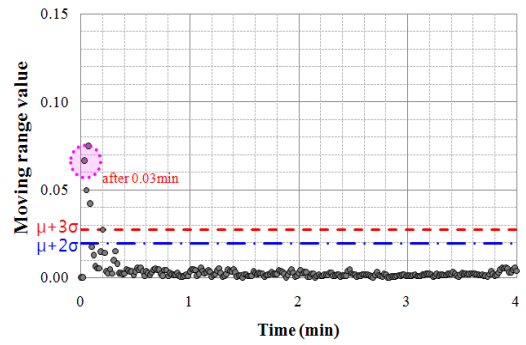


(d) 이동 범위(K=10)

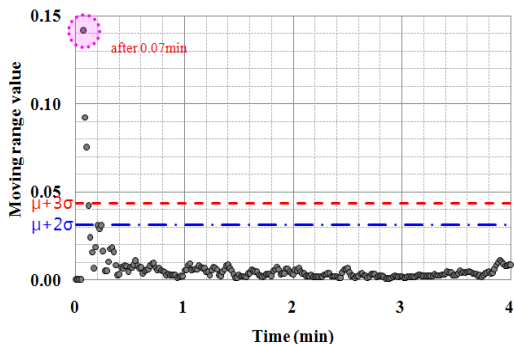
그림 42. 역변위와 k값의 변화에 따른 x-MR 관리도(30점 이동 평균)



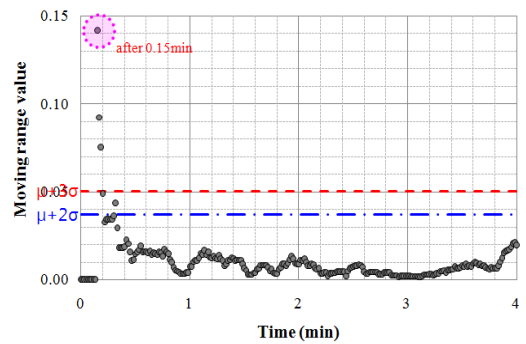
(a) 역변위(60점 이동 평균)



(b) 이동 범위(K=5)



(c) 이동 범위(K=5)



(d) 이동 범위(K=10)

그림 43. 역변위와 k값의 변화에 따른 x-MR 관리도(60점 이동 평균)

○ 소결

- 실규모 사면 붕괴모의 실험 결과, 모든 Case에서 최종붕괴가 확인되었으나, 진행성 파괴가 나타난 Case 1에서는 사면 붕괴의 사전감지가 가능한 것으로 확인되었으며, Case 2와 Case 3에서는 사면 붕괴 전 사전예측이 기간이 짧은 것으로 확인됨.
- 유의미한 변위데이터를 대상으로 x-MR 관리도를 통해 이동범위(K)에 따른 사면 위험성을 평가한 결과, K는 3을 적용하는 것이 효과적일 것으로 판단됨.
- 사면이 최종 붕괴하기 4분 앞선 시점에서 붕괴 위험징후를 확인할 수 있으며, 사면 붕괴 발생 이전에 인명 피해 저감을 위해 신속한 대피가 필요한 구간으로 판단되어 향후 지속적인 연구를 통해 사면 붕괴 위험징후를 명확하게 분석할 수 있는 기법의 확립이 필요함.
- 국내의 경우 아직까지 사면 계측관리 기준이 명확하지 않은 실정으로, 일본에서 제시된 기준을 준용하고 있지만 제시된 기준 역시 현장에서 명확하게 거동의 이상유무를 판단하기 어려움.
- 본 연구에서 적용한 역변위의 x-MR 관리도 기법을 활용함으로써 보다 신속하고 객관적인 판단을 통해 사면 이상거동에 대한 사전예측에 도움이 될 것으로 판단됨.
- 확립된 사면 붕괴위험징후에 대한 분석기법은 국립재난안전연구원에서 운영 중인 급경사지 재해 급경사지 재해 예·경보 시스템과 산림청에서 운영 중인 산사태 정보시스템 등과 연계하여 보다 신뢰성 있는 위험도 판단결과를 제공함으로써, 지자체 담당자의 사면 방재정책 수행의 효율성을 증대시킬 수 있을 것으로 사료됨.

5) 사면 계측기준

○ 사면 계측기준 표준안 제시

- 현재 국내에서는 다양한 현장조건을 대상으로 전체적인 하나의 기준을 적용하는데 어려움이 있어, 일본 사면안정 소위원회에서 1996년에 발표한 기준을 준용하고 있는 실정임(Lee, 2015).
- 해당 기준 및 그동안 사면 분야의 여러 연구개발 사업을 통해 제시된 계측관리기준은 변위속도 및 최대(누적)변위량을 분석하여 제시하고 있으나, 실제 현장에서 그 값을 그대로 적용하기에는 무리가 있음.
- 일반적으로 변위를 대상으로 하는 사면 관리기준은 변위량에 따른 거동 양상을 인지하는 방법과 실제 거동을 분석하여 붕괴의 예·경보를 발령하는 방법이 있는데, 본 연구에서는 변위에 의한 급경사지 붕괴 예측 기준을 고찰하고, 급경사지 붕괴사례에서 계측된 변위 데이터를 분석함으로써 변위에 의한 급경사지 붕괴 주민대피관리기준을 설정하고자 함.

표 6. 사면 계측 기준 표준(안)

Type		displacement(s) (mm)	time(t ₀) (min)	Control limit
Step 1	Normal	0 ≤ S < 1	-	Safety
Step 2	Abnormal	1 ≤ S < 1.8	0.03	Warning
Step 3	Failure	1.8 ≤ S	4.0	-

- 데이터로서의 의미를 부여할 수 없는 1mm 이하의 거동구간을 보통 단계, 1mm 이상의 변위 발생구간을 이상단계, 그리고 사면 붕괴단계, 총 3단계로 구분하였으며(표2 참조), 보통단계는 관리도 분석결과 안전한 것으로, 이상단계는 경고단계로 나타났으며, 이상단계에서 사면 붕괴단계까지의 진행시간은 약 4분으로 확인됨.
- 붕괴단계는 사면이 최종 붕괴로 이어지는 긴급한 상황으로 붕괴위험 사면 인근 지역주민의 대피는 붕괴구간 도달 전에 완료하여야 함.
- 위험 감지 후 4분 이내에 지역주민의 대피가 진행되어야 하므로, 시·공간적 고려를 통한 주민대피 유도 전략 수립과 이에 대한 전파방법 등도 고려되어야 할 것으로 판단됨.
- 본 연구에서 제시한 사면 계측기준 표준안은 1회 실험에 대한 데이터를 대상으로 한 기준으로 그 한계점이 분명한 만큼, 지속적 실험 및 다양한 조건을 손쉽게 고려할 수 있는 수치해석 등을 통하여 주민대피관리기준(안)의 신뢰도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단됨.
- 사면 계측기준의 제·개정을 통해 관련 산업의 활성화 기반을 마련할 수 있을 것이며, 추후 국립재난안전연구원의 급경사지 재해 예·경보 시스템과 산림청의 산사태 정보시스템 등과 연계하여 붕괴위험 사면 인근의 주민대피 유도전략 및 관리기준 정립으로 인명피해 예방에 적극 활용할 수 있을 것으로 판단됨.

6) IoT Client

○ Main B'd(회로 조립체, 3rd REV.)



- SPEC.

- STM32F051 MPU (ARM core, USB, A/D, D/A, RTC, Low Power 등)
- LoRa Mesh module(made by Novis tech)
- Bridge sensor ADC (24bit)
- LED(SMD type), LED Driver(chip)
- 전원 관리, LDO (Voltage regulator)
- Buzzer
- Power on/off Switch, Reset Butto

그림 44. IoT Client Main B'd

○ Main B'd 회로도

- 개요

- 기본적으로 야외에서 사용 가능한 온도에서 최소 전력 소모하는 부품을 선택
- 센서의 정확한 측정을 위해 2% PPS Film Capacitor 사용

- 회로도

- 그림 2-19는 스트레인 게이지 센서부의 회로도로서 스트레인 게이지는 2개 1조로 2조를 봉에 장착하였고, 브릿지 센서 전용 ADC인 ADS1231 두 개를 사용함.

- ADS1231은 차등 입력 전압 $\pm 19.5\text{mV}$ 를 24bit로 분해할 수 있는데 변환 속도는 10 SPS 또는 80 SPS로 동작하고 마이콤과 인터페이스는 시리얼 방식임.

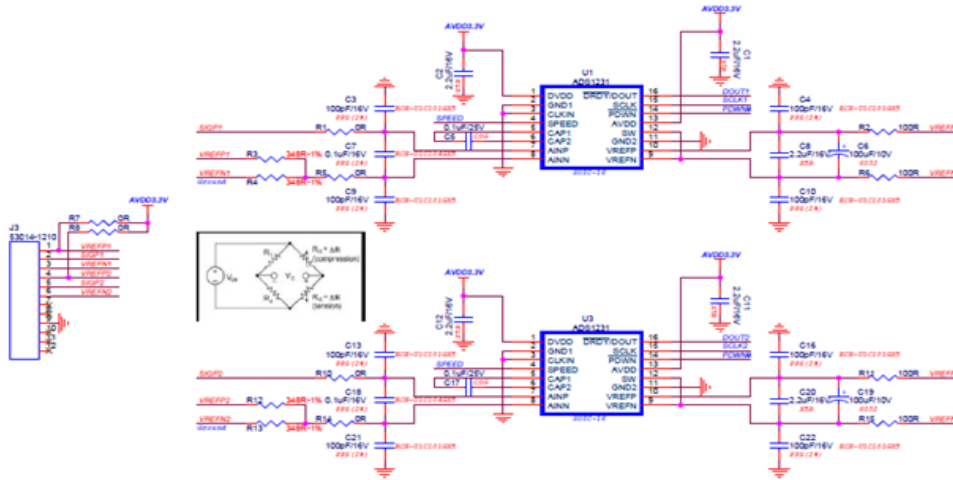


그림 45. IoT Client Main B'd 회로도

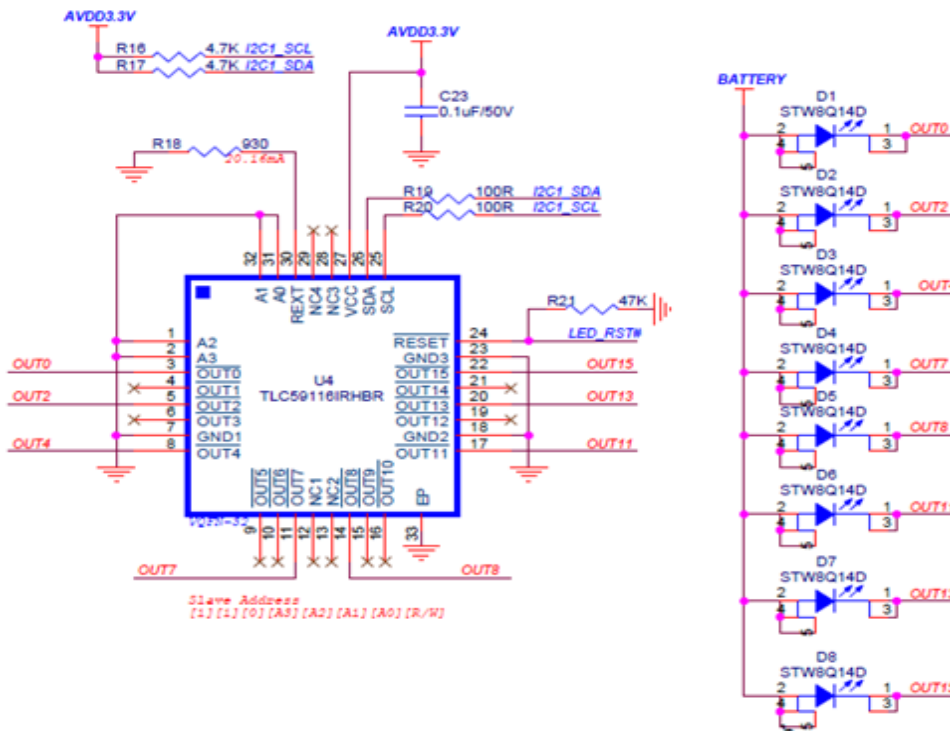


그림 46. LED 및 LED Driver IC

- 그림 46은 8개의 LED 및 이를 구동하는 Driver IC(TLC59116)으로 구성된 회로도이며 TLC59116은 i2C로 MPU와 통신하고, dimming, flickering 등을 MPU가 코멘드로 제어

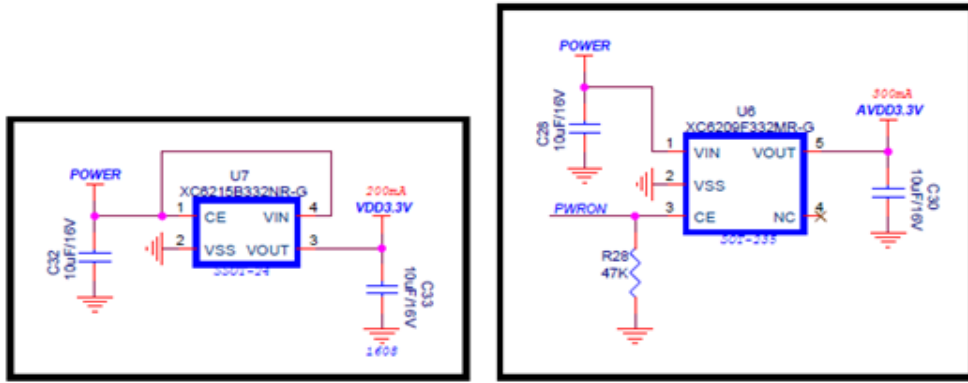


그림 47. 전원부

- 그림 47은 전원부 회로도이며 배터리 전원은 받아서 LDO로 VDD0.3V를 만들어 MPU가 사용하고, 또 한 개의 LDO는 AVDD0.3V를 만들어서 브릿지 센서용 ADC IC 및 LED driver IC가 사용함.

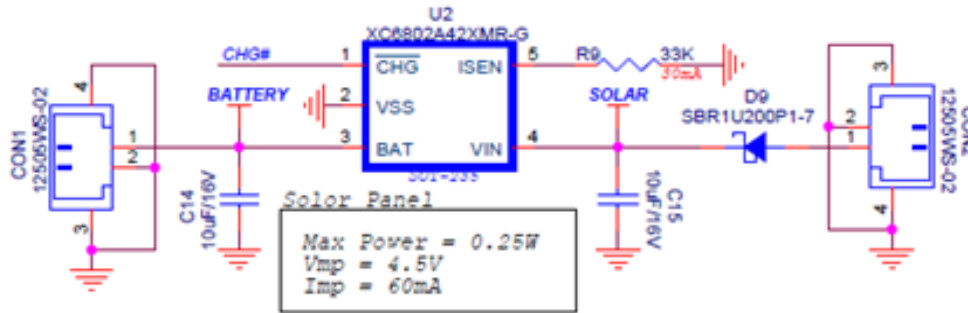


그림 48. 태양광 충전부

- 그림 48은 솔라셀로부터 인가되는 전원을 배터리로 충전하는 회로도이며 솔라패널은 0.25W 출력에 $V_{mp}=4.5V$, $I_{mp}=60mA$ 를 사용함.

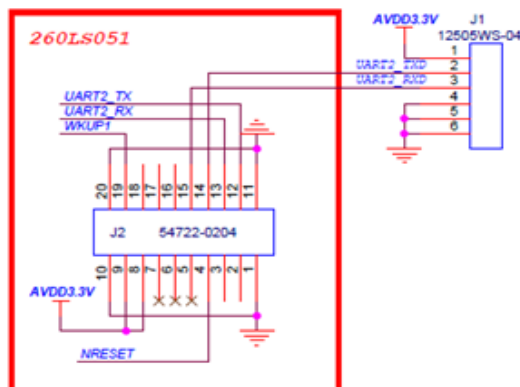
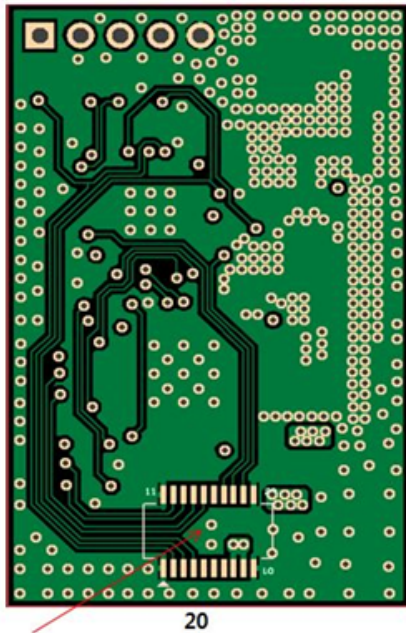


그림 49. LoRa 통신모듈 & Connector

- 그림 49는 로라 통신 모듈 커넥터 및 로라 모듈 console 포트의 회로도이며 로라 통신 모듈과는 MPU의 UART2로 통신하며, 115200bps로 통신함.

Bottom 면



1. GND
2. (Reserved)
3. GPIO (PB6)
4. #RST (Module 리셋) - 사용하지 않을 경우 OPEN
5. NC
6. NC
7. NC
8. VDD3.3V (Module 공급전원)
9. VDD3.3V (Module 공급전원)
10. GND

11. GND
12. UART1_RX
13. UART1_TX
14. UART2_TX (Debug 용)
15. UART2_RX (Debug 용)
16. NC
17. GPIO (PB1)
18. GPIO (PA8)
19. WKUP1 (Wake up 신호)
20. GND

55560-0207

https://www.molex.com/molex/products/datasheet.jsp?part=active/0555600207_PCB_HEADERS.xml

Mate 커넥터 정보

54722-0204

https://www.molex.com/molex/products/datasheet.jsp?part=active/0547220204_PCB_RECEPTACLES.xml

그림 50. LaRa 모듈

- 그림 50은 로라 통신 모듈의 Pin description과 맵이며 로라 모듈은 노비스텍사의 260LS051 모듈을 사용하고 이 모듈은 AnyConMesh라고 하는 LoRa Mesh 프로토콜을 지원함.

○ F/W(Firmware)

- 개요

- F/W는 C언어로 코딩하였으며, 개발환경은 STM32F051 Standard library를 제공하는 Keil을 사용하였음.
- SPI, UART, PWM Timer, Watchdog, Sleep mode등은 제공되는 Driver를 사용함

- Project File 구성

- Startup_stm32f030.s : 각종 interrupt 발생시 해당 C의 소스(pointer가 가리키는 address)로 jump하기 위한 assembler
- main.c : 전원 인가 후 initialize 및 main() 함수 안의 While(1) 루프를 가지고 있는 소스파일
- HW_Config.c : HW dependant 한 드라이버를 모아 놓은 소스 파일
- CMSIS library : STM이 제공하는 라이브러리
- StdPeriph : STM이 제공하는 각종 페리 드라이버를 모은 디렉토리

- Source File

- main.c : main.c는 main() {}이 들어 있는 파일로, 시스템이 사용하는 clock, GPIO, UART, SPI, Timer, watch dog 등 MPUdml 자원들을 초기화하고 global variable들을 초기화, LED

Driver를 추가화하면서, 8개의 LED를 순차적으로 점멸 부저를 2초 동안 울린 후 while(1) 루프에 진입

- While(1)에는 우선, 디버깅 모드에서 uart1을 통해서 디버깅 명령어를 받기 위한 루틴이 있음.
- 그 다음, 정해진 주기(T1=4초)가 되었는지 check해서 T1이 경과했으면, 스트레인 게이지의 ADC를 읽고 정상인지 비정상 인지 판단하고, 비정상일 때는 이벤트 리포트까지 하는 주요 기능이 구현되어 있음.
- T1 주기를 단위로 Keep alive 메시지 주기 보고를 하기 위한 루틴도 같이 있음.
- 초기 버전은 위처럼 T1타이머를 main()에서 판단하여 task들을 수행하고 모든 기능의 검증, 특히 위험을 판단하는 알고리즘의 검증까지 완료가 되면, 배터리 동작 모드로 전환하여 deep sleep 후 T1초에 깨어나는 방식으로 전환
- 다음은 main()에서 시스템 리소스들을 초기화하는 부분임.

```
//-----  
//      Initialization of MPU resources  
//-----  
RCC_Configuration();  
NVIC_Configuration();  
GPIO_Configuration();  
select_UART(2); //uart1 is debug port, uart2 is connected to AM260LS051 LoRa module  
/* Setup SysTick Timer for 1 ms interrupt ( not too often to save power ) */  
RCC_GetClocksFreq(&rcc_clocks);  
if (SysTick_Config(rcc_clocks.SYSCLK_Frequency / 1000)) // 1ms = 1/1000s //by cecho 20151224  
{  
/* Capture error */  
    while (1);  
}  
FLASH_SetLatency(FLASH_Latency_1);  
이하 생략
```

- 다음은 global 변수 및 Watchdog timer을 초기화하는 부분임.

```
init_GlobalVariables();  
// set up iwdg function  
    IWDG_WriteAccessCmd(IWDG_WriteAccess_Enable) ;  
    IWDG_SetPrescaler(IWDG_Prescaler_256);  
    IWDG_SetReload(0xFF);  
    // IWDG_GetFlagStatus();  
    Delay(1);  
    IWDG_Enable();
```

· 다음은 LED driver, 스트레인 게이지 ADC를 초기화하는 루틴임.

```
//-----  
//      SLOPE_PROJECT  
//-----  
#if defined(AnyConMesh_250LS051) && defined(SLOPE_PROJECT) //jy 2018.6.18  
// turn of power to LoRa module, LED controller and strain gauge sensor  
GPIOA->BSRR |= PWRON;  
Delay(100);  
// release reset of LoRa Module  
GPIOA->BSRR |= NRESET;  
// reset TLC59116  
GPIOB->BSRR |= LED_RSTB; //  
u32GeneralTimerSet = 4000;// set 4 sec timer//jy 2018.4.7 read ADC per 4 sec  
//u32GeneralTimerSet = 500;  
// init. ADS1231  
GPIOB->BRR |= SPEED ;  
GPIOB->BSRR |= PDWNB ;  
// initial action on LESs  
make_i2c_SCL_H();  
make_i2c_SDA_H();  
Delay(100);
```

· 다음은 8개의 LED를 점멸하는 루틴임.

```
for(u8tmp1=0;u8tmp1<8;u8tmp1++)  
{  
    i2c_start();  
    i2c_writeReg(0xC0); // slave address of TLC59116 controller  
    if(u8tmp1 == 3)  
        i2c_writeReg(9);  
    else if(u8tmp1 >= 5)  
        i2c_writeReg(0x2+2*u8tmp1+1); // PWM0 address  
    else  
        i2c_writeReg(0x2+2*u8tmp1); // PWM0 address  
    i2c_writeReg(0x80); // byte  
    i2c_stop();  
    Delay(50);  
    i2c_start();  
    i2c_writeReg(0xC0); // slave address of TLC59116 controller  
    if(u8tmp1 == 3)  
        i2c_writeReg(9);  
    else if(u8tmp1 >= 5)  
        i2c_writeReg(0x2+2*u8tmp1+1); // PWM0 address  
    else  
        i2c_writeReg(0x2+2*u8tmp1); // PWM0 address  
    i2c_writeReg(0x00); // byte  
    i2c_stop();  
    Delay(50);  
}
```

- 다음은 부저를 2초간 울리는 루틴임.

```
// Initialize Buzzer, making a short beep sound
#ifdef BEEPER
u8BeeperOn = YES;
/* Timer/PWM configuration */
/* Set the default configuration */
// Timer usage:

TIM3_InitStructure.TIM_Period = HW_PWM_PERIOD;//jy 2017.10.27
TIM3_InitStructure.TIM_Prescaler = 60;//jy 2017.12.14, 256 micro seconds
TIM3_InitStructure.TIM_ClockDivision = TIM_CKD_DIV1;
TIM3_InitStructure.TIM_CounterMode = TIM_CounterMode_Up;
TIM3_InitStructure.TIM_RepetitionCounter = 0x0000;
TIM_TimeBaseInit(TIM3,&TIM3_InitStructure);
TIM3_OC4InitStructure.TIM_OCMode = TIM_OCMode_PWM1;
TIM3_OC4InitStructure.TIM_OutputState = TIM_OutputState_Enable;
TIM3_OC4InitStructure.TIM_OutputNState = TIM_OutputNState_Disable;
TIM3_OC4InitStructure.TIM_Pulse = 0x0000000;
TIM3_OC4InitStructure.TIM_OCPolarity = TIM_OCPolarity_Low;
TIM3_OC4InitStructure.TIM_OCNPolarity = TIM_OCNPolarity_High;
TIM3_OC4InitStructure.TIM_OCIdleState = TIM_OCIdleState_Set;
TIM3_OC4InitStructure.TIM_OCNIIdleState = TIM_OCNIIdleState_Reset;
TIM_OC4Init(TIM3,&TIM3_OC4InitStructure);
TIM_Cmd(TIM3, ENABLE);
TIM_CtrlPWMOutputs(TIM3, ENABLE);
TIM3->CCR4 = HW_PWM_PERIOD/2; // turn on the buzzer at 4kHz
Delay(2000);//jy 2017.12.17
TIM3->CCR4 = 0;// turn off the buzzer
u8BeeperOn = NO;
#endif
```

- 다음은 while(1) 루프임.

```
diff_ms = diff_systick_ms(u32GeneralTimerStamp, SysTick_cnt);
if(diff_ms >= u32GeneralTimerSet && u32GeneralTimerSet != 0)
{//
- 이하 생략
```

- 위는 1ms 단위로 count하여 그 값이 u32GeneralTimerSet를 초과하면 즉, T1초마다 일정한 task를 수행하는 구조로 다음의 Task들이 수행됨.
- 스트레인게이지 2개의 센서값 read 하기 전에 센서값과 비교하여 그 차이가 threshold (default=500)의 범위 안에 들어오는지 판단하여 들어오면 u32S1Saturated 또는 u32S2Saturated를 센서 값으로 업데이트함.
- 센서값이 또 다른 threshold (default=100000) 이상으로 급격히 변동시에는 이를 무시함.

- 센서 값이 u32S1Saturated, u32S1Saturated 보다 정해진 threshold(10000)보다 크면 event가 있는 것으로 판단하고 LED 점멸 및 부적을 작동함.
- 이벤트 발생 시에는 즉시 LoRa 모듈로 게이트웨이로 디벤트 송신 리포트를 보냄.
- T2의 주기 단위로 Status 리포트를 LoRa 모듈로 보냄

○ 방수 방진 Case 설계도면 확보

- 3 dBi dipole LoRa 전용 방수형 안테나 채택



그림 51. LoRa 전용 방수형 안테나

- IP 45 등급을 고려한 디자인

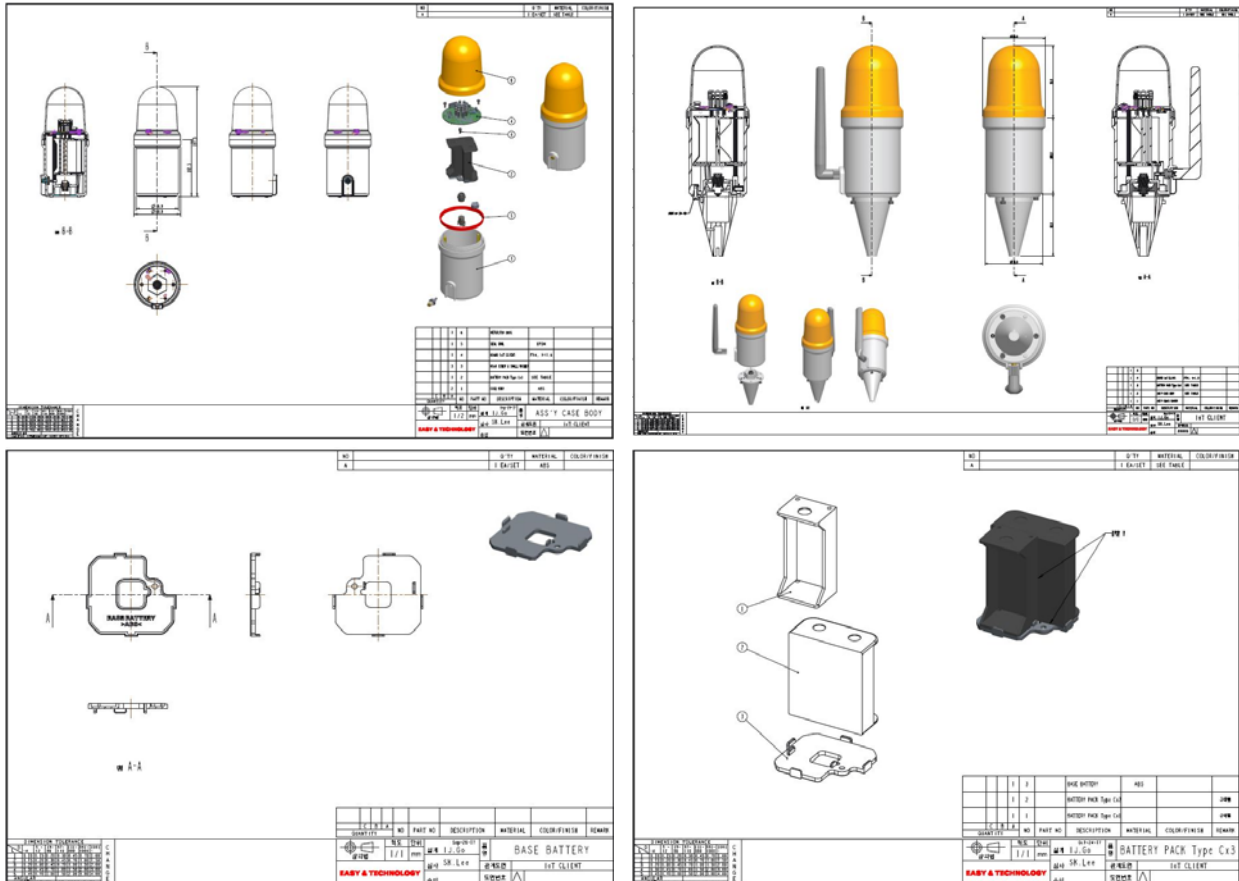


그림 52. IoT Client Case 설계도면

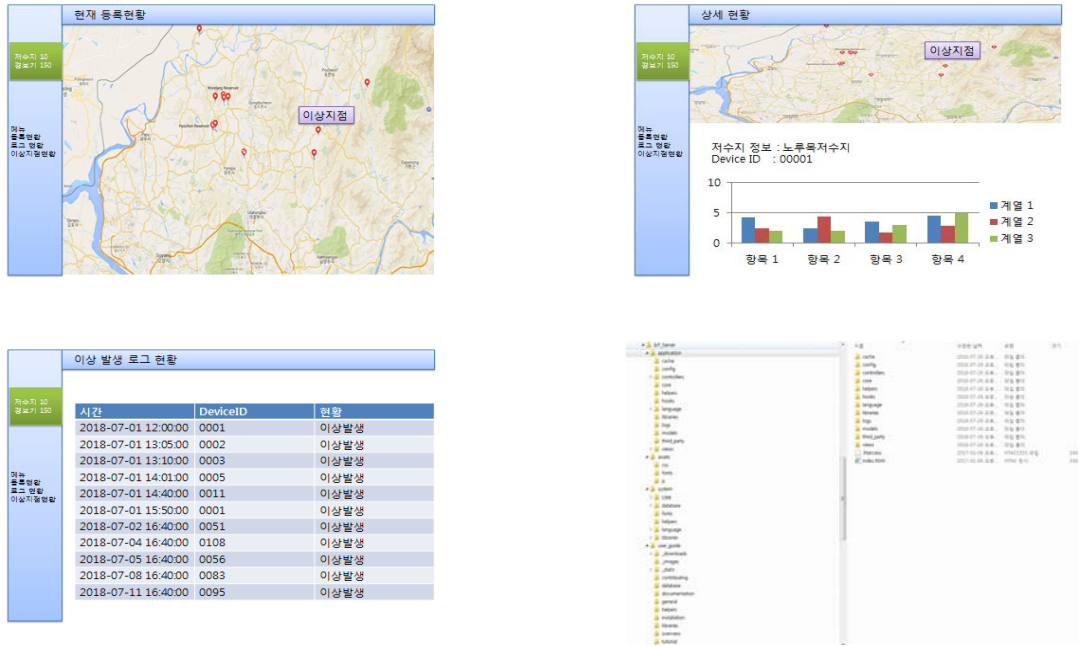


그림 54. IoT Serve S/W UI 이미지 일부 와 탐색기의 소스 목록

8) IoT Gateway

○ 자가망 구성의 필수 요소

- 처음 계획에서 국내 이동사(SKT)가 제공하는 IoT 망과 플랫폼을 이용하여 개발하였으나, 통신사 내부 정책으로 10초에 한번만 메시지를 전송할 수 있는 문제가 발생
- 스마트 센서로부터 전달 된 지반거동을 감지할 수 있는 변위 신호를 IoT Client가 체크하고 있다가 붕괴가 예측되면 가능한 빨리 서버로 정보를 전송하고 경고신호를 스마트폰에 전달해야 하는데 10초에 한번 메시지를 전송할 수 있는 것은 본 시스템의 약점이 되기 때문에 이 문제를 해결하기 위해서 Gateway를 이용한 자가망 구축으로 방향을 선회함.

표 7. IoT 자가망 vs IoT 이동통신망

구분	자가망	이동통신사망(SKT)
장점	빠른 정보 전달 속도. 통신비용이 발생하지 않음. 중용량의 데이터 전송. 기본적인 인증만 필요.	초기 설치비용이 저렴. 통신비용이 발생. 망관리를 이동사가 하기 때문에 관리 용이 유지보수 비용 저렴.
단점	초기 개발 및 설치비용이 비쌘. 개발이 복잡하고 어려움. 망관리를 자체적으로 신경 써야 함. 유지보수 비용 발생	느린 정보 전달속도(1회/10초) 및 저용량 데이터 전송 통신비용이 발생 기본인증 외에 통신사 인증 및 연동시험 필요 통신사 디펜던트(통신사 사정으로 인한 잦은 시스템 업데이트 및 이로 인한 H/W 와 S/W 수정, 그로 인한 System Holding Time 발생)
구성 요소	IoT Client(End device) <-> Gateway <-> Server <-> End User	IoT Client(End device) <-> Base Station <-> SKT Platform <-> End User

○ Gateway 시작품 제작

- Gateway 스펙

- CPU : ARM 32-bit Cortex-M4 cpu(120MHX)
- Memory : 1MB FLASH, 128KB RAM
- Local Mesh Network (Up to 4 LoRa Mesh Modules)
- Wireless Backhaul Uplink(1 FSK Mesh Module)
- Wired Uplink(Ethernet:1 10/100 LAN, Console UART port can be used for uplink)
- Console Port : TTL level UART @ 115200 baud
- Power : Input AC 100V~240V 0.5A, Output DC 5V 2A



그림 55. 게이트웨이

2-3-3. 3차년도

1. 연구개발 목표

가. 최종목표

- IoT 기반 저비용 고효율 저수지 붕괴 예·경보 시스템 개발 및 제품화
 - 구성: 스마트 센서와 IoT Client, IoT Server, 스마트 기기용 앱
 - 주관기관(3차년도) : 스마트 센서의 제품화
 - 협동(3차년도) : 저수지 환경에 적합한 IoT 경보 시스템의 제품화

나. 당해연도 연구개발 목표 및 결과

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
3차 년도 (2018. 09.29. ~2019. 11.28)	저수지 붕괴 감지 스마트센서 개발	스마트 센서의 제품화	• 스마트센서	<ul style="list-style-type: none"> • 센서의 성능 향상 • 붕괴 예측 알고리즘의 시간해상도 정량화 및 붕괴예측 알고리즘 최적화 • 수위센서 적용 여부 검토 (효율성 및 가성비 고려) • 파이핑 등에 의한 붕괴(압력센서 필요) 및 여수토 부근의 붕괴에 대응 가능한 센싱 기법 연구 • 스마트 센서 현장 측정 오차 보정 방법 연구 • 센서 설치 위치 등 유지관리 지침서 작성 • 테스트베드에서 전체 시스템 통합 테스트 진행 • 3차년도 센서 성능은 지중 1M 이내에서 지반 거동 변위 감지 성능 0.01%/min 달성 • 저수지 제체 침투수를 감지하기 위해 토양수분 센서를 추가하여 붕괴예측에 연계
			• 테스트베드 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 대규모 저수지에 적합한 테스트 베드 구축 환경 검토 • 테스트베드 구축 및 연동시험 진행
	(협동) IoT 시스템 개발	저수지 환경에 적합한 IoT 경보 시스템 상용 제품 수준의 개발 <IoT Client>	• IoT Client	<ul style="list-style-type: none"> • IoT Client의 시스템신뢰성(MTBF) : 외부환경 내구성 1년(-30°C ~ 60°C, 방수방진 IP45) • KC 인증 및 제품판매에 필요한 성능 인증 획득
			• IoT Server	<ul style="list-style-type: none"> • 서버 고도화 : 다중 데이터 분산 처리 기법 적용, Auto Data backup 기능 개발, 빅데이터 활용 • IoT 통신환경에서 실시간성 보장 : 99% 이상 달성 • IoT 예측 및 경보시스템의 예·경보진파 능력 : 5분 이내 달성 • 광케이블 센서 적용 검토와 타당성에 대한 사전 조사 및 개념 검토

				<ul style="list-style-type: none"> • 행정자치부 U-서비스 지원사업 연동 검토 • 3개 이상의 노후 저수지를 대상으로 성능 시험 수행 • 기존에 개발된 유사 결과물과의 연계화 및 통합의 타당성 검토 및 사업화 계획에 반영 • 디자인 update 및 리비전 • 통합 Web Site 개발
			<ul style="list-style-type: none"> • IoT Gateway 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesh Network 적용 • Network 최적화 <ul style="list-style-type: none"> - IoT Client 와 연동 테스트 및 문제 해결 - IoT Server 와 연동 테스트 및 문제 해결 • 시스템 안정화
			<ul style="list-style-type: none"> • 스마트폰 App 	<ul style="list-style-type: none"> • Android 用 App. 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 디자인 update 및 리비전 - 기능 추가 및 최적화 • iOS 用 App. 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 디자인 update 및 리비전 - 기능 추가 및 최적화

2. 연구범위 및 연구수행 방법

가. 연구내용 및 수행방법

1) 변위센서를 이용한 모형사면에서의 사면붕괴 모니터링

○ 지중변위센서 제작

- 주재료는 외경 10mm, 두께 1mm의 스테인리스 스틸파이프
- 파이프 중앙부에 스트레인게이지 부착, 이를 2 액티브 게이지법으로 결선하여 휨변형에 대한 반응을 출력할 수 있도록 하였음
- 선단에는 사면에 회전에 의하여 사면에 직접 관입하여 설치할 수 있도록 길이 80 mm의 관입스크류를 장착
- 변위센서의 외부는 사면에 삽입 시 스트레인 게이지의 와이어와 케이블의 파단을 예방하기 위하여 스트레인게이지 부착 후 코팅제로 마감
- 내후성의 열수축 튜브를 피복하여 센서의파손 및 모형지반으로의 삽입을 용이하게 함
- 스트레인 게이지로부터의 응답을 출력하는 방수 커넥터를 윗면의 6 각 플러그의 중앙에 연결
- 본 연구에서는 길이가 다른 변위 센서, 즉 800mm 및 1000mm, 가 사용되었으며, 이는 붕괴시 활동면의 심도를 예측이 가능

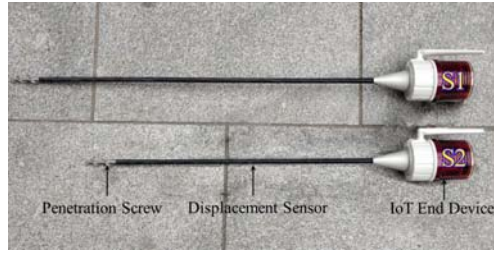


그림 56. 변형 센서(800 mm, 1000 mm)(출처: 참고문헌 [3])

○ 지중변위센서 검정

- 총 2개의 변위센서를 제작하였으며 (S1, S2), 각 장치의 변위 - 변형률 응답을 검정함.
- 한쪽을 고정단으로 하고, 자유단에 하중을 가하여 변위를 측정하는 방식의 캔틸레버보 조건을 부가한 검정방법을 사용하였으며, 하중부가에 의해 발생하는 변형과 응답변형률을 측정

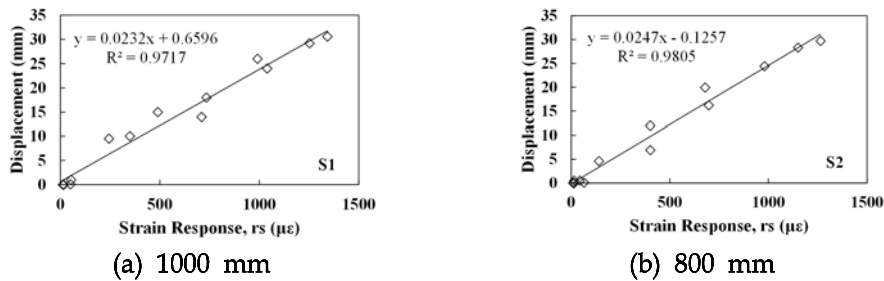


그림 57. 검정 결과(출처: 참고문헌 [3])

- 검정결과의 추세선은 선형에 근접하는 것으로 나타났으며, 추후 현장계측값의 효율 활용을 위하여 1차함수로 표현
- 하중부가에 따른 변위센서의 자유단변형에 따른 응답변형률이 비교적 명확하게 판별되어, 지반변형 거동의 정성적 파악에 적용이 가능할 것으로 판단됨
- 이와 함께, 본 검정결과에서는 변위에 따른 응답 변형율이 3개 모두 다소 상이함이 확인됨
- 이러한 현상은 변위센서 길이 차이에 따른 변형계수의 상이성 및 주재료가 되는 스테인리스 스틸 (STS304) 불균질성과 스트레인 게이지 접합오차에 기인한 것으로 판단

○ 모니터링 시스템

- 센서의 신호를 수신하고 분석하기 위해서 유선으로 연결된 데이터로거와 수집 된 신호를 USB 케이블로 PC에서 모니터링하는 방법이 대표적임
- 그러나 이런 방법은 장기간 동안 데이터를 수집해야 하는데 문제가 있으며, 관찰 대상 지역이 광범위하다면 많은 데이터로거가 필요해서 비용이 많이 발생하고 많은 인력의 투입이 필요
- 선행 연구에서 제안한 경고 시스템은 사면붕괴 경고만 할 수 있었지만 이 연구에서 제안한 업그레이드된 모니터링 시스템은 무선 LoRa 네트워크를 통해 실시간으로 사면거동 데이터를 서버로 전송하고 수신된 데이터를 분석 할 수 있으며 사면붕괴 경고를 사용자의 스마트폰으로 보낼 수 있음
- IoT 모니터링 시스템은 크게 서버, 클라이언트, 게이트웨이로 이루어지고, 디바이스간 거리가 네트워크 에어리어(coverage)를 벗어날 경우 리피터 추가가 가능

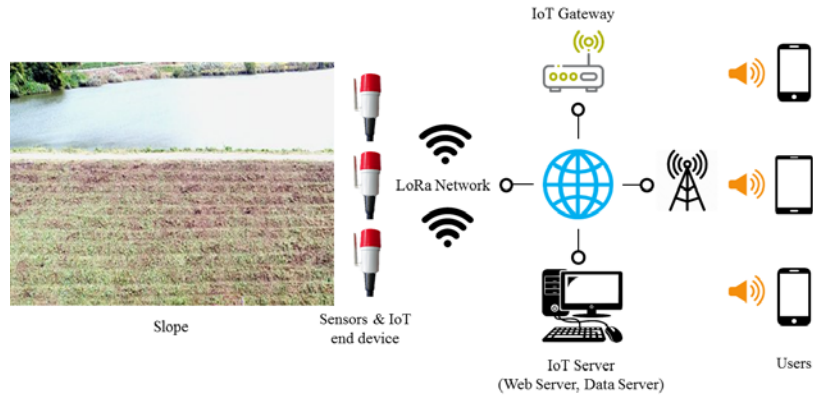


그림 58. 모니터링 시스템 구성도

○ IoT Client

- 제작한 지중변위센서는 응력이 작용하면 저항 값이 변하는 스트레인게이지를 이용하여 일정한 전압을 센서에 흘려주면 변화된 미소 전압값을 얻을 수 있음.
- 따라서 IoT Client는 이러한 작은 아날로그 전압 값을 증폭하고, 노이즈를 제거하기 위한 필터를 통과시켜 ADC를 통해 디지털 값으로 변환
- ADC된 디지털 값은 MCU에서 통신규약에 의해 데이터 패킷을 만들고 LoRa 통신 모듈과 안테나를 이용하여 무선구간의 게이트웨이로 전송

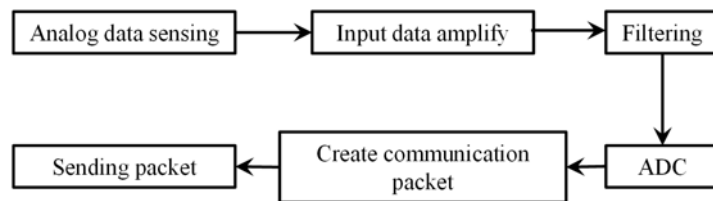


그림 59. IoT 클라이언트 데이터 흐름도

- 선택 사항으로 서버로부터 세팅된 붕괴임계치를 판단하여 경광등을 울려 주위에 경고를 할 수 있음.
- 본 연구에서 제안한 IoT 클라이언트는 자체 에너지를 얻기 위해 태양 에너지를 수확 할 수 있고, 이 기능은 전체 시스템의 효율성과 수명을 늘리고 최소 1년의 작동 시간을 가지며 적절한 햇빛을 받는 경우 더 오래 실행할 수 있음.

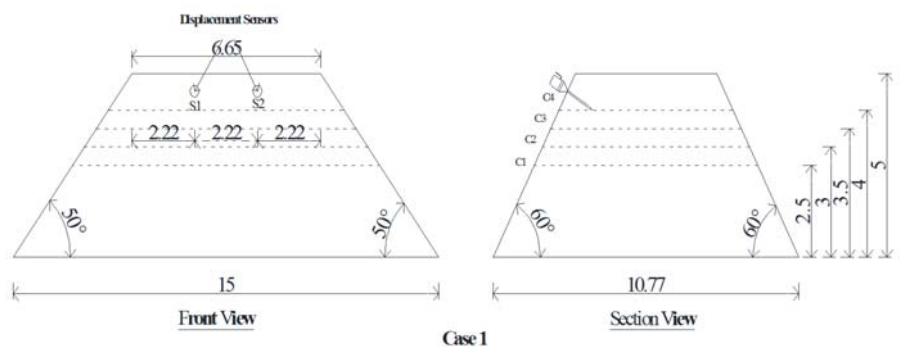
○ IoT Gateway 및 IoT Server

- 적극적인 지원과 상대적으로 커버리지가 높은 SKT LoRa 사용망을 사용하려 하였으나, 통신 QOS가 보장되지 않는 문제와 격오지에 통신인프라가 설치되지 않는 문제, 잦은 시스템 업데이트로 인해 자체 게이트웨이를 통한 자가망 개발로 선회.
- 게이트웨이는 중간에서 클라이언트와 서버사이의 통신을 원활하게 해주는 역할을 하며 자가망 구성을 통해서 통신비용을 절감하고 다양한 통신플로우를 제공해야 함.
- 또한 클라이언트들을 Mesh로 자동 구성될 수 있도록 해 주는 기능과 클라이언트 매니지먼트 기능을 갖추어야 함.

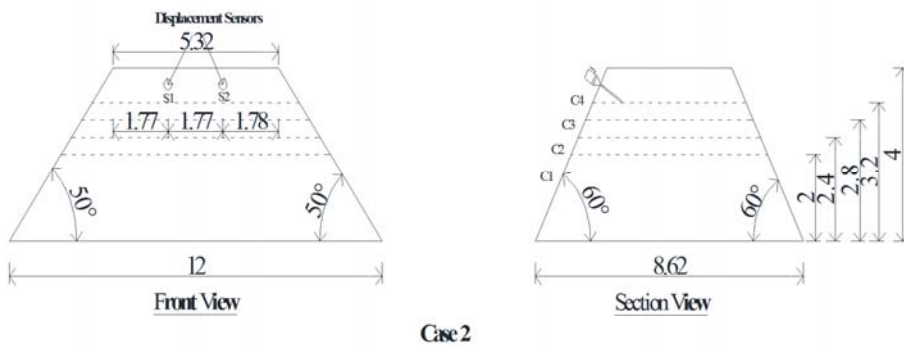
- 서버는 인터넷에 연결되어 센서로부터 전달된 데이터를 수집하고 IoT Client의 상태를 감시하며 관리자의 편의를 돕기 위한 다양한 직관적인 UI를 제공하고, 데이터베이스를 안전하고 효율적으로 관리함.
- 또한 정전을 대비하여 무정전정원장치(UPS : Uninterruptible Power Supply)을 사용. IoT Server는 Zeon E5-2630을 사용하였고 H/W Spec.은 추가 파일에 제공하였음

○ 현장모형사면 설계

- 토사 시료를 성토하여 모형사면을 제작하여 이를 절토하는 실험을 수행
- 사면을 굴착한 경우의 한계높이에 대해서는 수치해석적 검토를 통하여 미리 조사하였으며, 실험대형 현장모형실험에서는 그 결과를 반영하여 모형사면을 설계



(a) Case 1 (H = 5 m)



(b) Case 2 (H = 4 m)

그림 60. 현장 모형 사면(출처: 참고문헌 [3])

- Case 1은 사면높이 5m, Case 2는 사면높이 4 m이며, 천단부는 4구간의 굴착구간을 동일하게 적용. 굴착구간의 사면각도는 60°이며, 현장모형사면 천단부 길이는 사면붕괴 발생을 고려하여 5.0m로 충분한 길이를 확보하였음.
- 사면붕괴를 모사하기 위한 굴착구간으로서 사면높이 증가에 따라 늘어나는 사면거리를 고려하여 천단부에서 1.0m 아래쪽에 최종 굴착구간인 C4를 선정하였으며, 연직거리 0.5m 간격으로 C3~C1을 계획.
- 모든 조건에서 굴착구간은 모두 동일한 조건을 적용하였으며, 굴착에 따른 사면의 거동분석을 위해 굴착구간별 대기시간을 부여하였음
- 사면높이가 증가함에 따라 사면거리도 늘어나게 되는 점을 고려하여 변형률 센서의 설치위치는 천단부 시점으로부터 50cm 이격된 위치에 설치하는 것으로 선정하였으며, 각 센서간 수평간격은 1.3m로 계획

- 조성모형실험에 사용된 화강풍화토는 우리나라 전역에 가장 많이 분포하며 편마암 등이 여러 원인에 의해 풍화되어 잔류된 흙으로 건설현장에서 성토재료나 양질의 기초지반으로 많이 사용되고 있음.
- 풍화의 진행 정도에 따라서 흙 입자내의간극이 잘 발달되어 있어 하중을 받으면 큰 변형이 발생하게 됨.
- 본 연구에서 사용한 축조용 재료는 밀도가 17.9kN/m^3 , 세립분 함유량은 11.5%, 50% 통과입경인 D50은 0.85mm이며, 통일분류법상 SW 즉 입도분포가 양호한 모래로 분류됨.
- 토사시료에는 불포화 상태를 재현하기 위하여 현장밀도시험 및 다짐시험을 통해 획득한 함수비를 조정하여 사용
- 모형사면 축조작업에는 백호를 사용하였고 백호가 모형사면에 올라타지 않게 함과 동시에 버킷에 의한 다짐을 가하지 않아, 모형사면에는 토사의 자중만이 작용하며 퇴적된 상태를 재현

○ 지중변위센서 설치

- 축조된 모형사면에 모니터링 지중변위센서를 설치
- 제작된 모니터링 변위센서는 하단에 부착한 관입스크류를 이용하여 사면에 직각방향으로 설치하였으며, case 1 과 case 2에 경우에 각 1.77 m 과 2.22 m 간격으로 배치
- 모니터링 센서로부터 취득되는 데이터는 상단부 커넥터를 통하여 사물인터넷을 이용한 모니터링 시스템으로 자동으로 기록



그림 61. 지중변위센서 설치(출처: 참고문헌 [3])

○ 굴착을 통한 사면붕괴 재현

- 사면선단부로부터 단계적으로 굴착하여 모형사면의 붕괴거동을 관찰
- 굴착작업은 백호를 이용하여 절토면이 수직이 되도록 그림 64와 같이 C1부터 C4까지의 4단계로 수행하였으며, 굴착 후 대기시간을 포함하여 각 구간별 소요시간은 9분을 적용하였으며, 그 사이의 변화도 포함하여 연속계측을 수행
- 본 연구에서는 변위 데이터가 1 초 간격으로 기록된 반면 선행연구에는 전단 데이터가 10초 간격으로 수집



(a) Case1



(b) Case2

그림 62. 현장모형사면 조성(출처: 참고문헌 [3])



(a) Case1

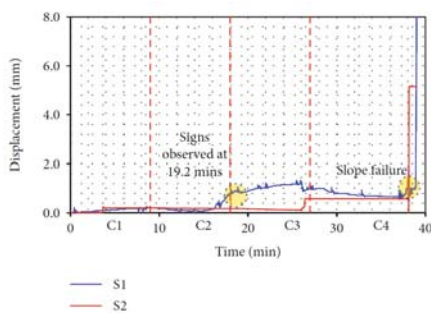


(b) Case2

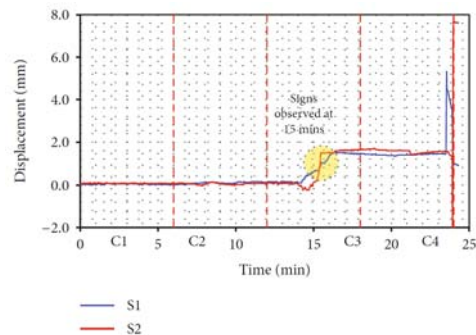
그림 63. 사면 붕괴 시험(출처: 참고문헌 [3])

○ 실험 결과 분석

- 시간경과에 따른 지반거동
- 그림 64는 사면 높이가 5m(Case 1), 4m(Case 2)인 모형사면 굴착에 기인한 사면 붕괴발생에 대한 시간에 따른 변위 분포를 나타내며, 가로축에는 경과시간을, 세로축에는 지반변위를 도시하였음



(a) Case 1



(b) Case 2.

그림 64. 변위-시간 그래프

- Case 1의 경우 (그림 64 (a)) S1 센서 (1000mm 길이)는 C1 굴착 구간 동안 미소한 변위를 보였으며 C2 굴착 구간의 대기 시간 동안 일부 전조 거동을 보였음.
- 그 후 C4 굴착구간까지 변위는 거의 일정했음. 마지막으로, 변위 값이 순간적으로 급증했으며, 마지막으로 33.9 분에 사면붕괴가 발생했음.
- 그러나, S2 센서 (800mm 길이)는 C3 굴착구간까지 뚜렷한 변위를 나타내지 않았으며 C3 굴착구간의 대기 부분 동안 약간의 변위를 나타냈음. 그 후 변위 값은 일정하게 유지되었고 33.9 분에 급격

한 붕괴가 발생했음.

- Case 2의 경우 (그림 64 (b))에서 센서 S1과 S2는 거의 비슷한 거동을 보임. 사면붕괴 전조는 약 15-16 분에 관찰되었고, 그 후 거의 일정한 변위 값이 관찰되었음. 마지막으로, 약 23-24 분에 사면 붕괴가 갑작스럽게 발생하였음.
- 모든 Case (case 1 and case 2)에서 S2 센서 (800mm 길이)가 사면붕괴 전 거동현상이 없으므로 붕괴 현상을 명확히 계측하지 못하는 것으로 나타났음. 따라서 변형률 센서의 적정 길이는 1000 mm 내외가 적정할 것으로 판단되며, 사면의 토층심도에 따라 예상되는 활동면을 고려하여 제작하여 활용 할 수 있을 것으로 판단됨

○ 역변위 분석을 통한 붕괴 전조 파악

- Voight는 시간에 따른 사면변위와 변위속도와의 역수 형태로 변형한 데이터를 이용하여 사면 파괴 시기를 추정하는 방법을 제시하였으며, 이 연구에서는 역변위가 사면붕괴를 모니터링하기 위해 고려되었음
- 본 연구에서는 상기분석방법을 응용하여 시간에 따른 역 변위 (1/변위) 를 이용하여 사면 붕괴거동을 고찰하고자 하였음. Case 2의 경우 역변위 적용시 시간에 따른 거동특성이 명확히 나타나지 않아 비교적 붕괴거동이 명확히 관측된 Case 1을 대상으로 하였음. 이때, S2 센서는 굴착에 따른 최종 붕괴형상을 확인할 수 없으므로, S1 센서만을 대상으로 하였음

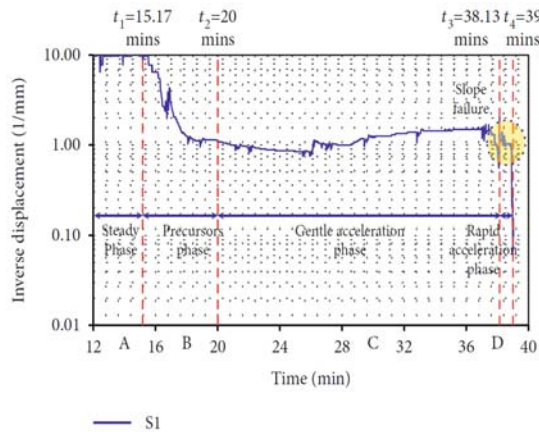


그림 65. 역변위 시간 그래프(Case 1)

- 그림 65는 S1 센서에서 측정된 변위 값을 역변위로 환산하여 도시한 것으로, 가로축에는 사면거동이 미세하게 발생하기 시작한 12분부터 실험이 종료된 40분까지의 경과시간을, 세로축에는 역변위를 도시하였음
- 굴착시점으로부터 약 15.17분까지는 사면의 거동에 변화가없는 것으로 가정하였으며, 이때 발생하는 일부 변위값은 계측데이터 전송시 발생하는 전기적 신호의 노이즈 및 굴착장비(백호)에 의한 진동으로 판단하여 고려치 않았음
- B구간 (t1~t2)에서는 C2굴착구간의 대기 시간과 C3 단계 굴착진행 중 갑작스런 역변위를 확인할 수 있으며, 이때의 기울기는 1.52mm/min로 사면불안전화가 시작되는 것으로 판단할 수 있음.
- C구간(t2~t3) 은 C3 단계 굴착 완료 후 대기 및 C4 단계 굴착과정으로, B구간의 반응과 비교하여 기울기는 큰 폭으로 감소하였으나, 0.03/mm/min의 기울기로 감소경향을 보이는 것으로 확인되었음.

- 이는 B구간에서 발생한 사면 불안정화의 반응이 지속적으로 유지되고 있는 것으로 사료됨. D구간 (t3~t4) 은 C4 단계 굴착완료 후 대기상태로서, 붕괴 발생 직전 가속도적 변화로 인해 2.25/mm/min의 기울기에서 붕괴가 발생하였음.
- 이상과 같이, 역변위를 고찰한 결과 사면붕괴거동에 따라 역변위는 감소하며, 크리프적인 경향이 붕괴 전에 확인되었음.
- 즉, 가속도적 감소로 역변위가 순간 변화하는 1차 거동이 확인되었으며, 이후 일정속도로 감소추세를 유지하고, 최종적으로 가속도적 감소로 변화하는 2차 거동이 나타났음.
- 본 실험결과, 사면 붕괴전조현상은 붕괴 14.7분전에 최초 확인되었으며, 최종붕괴를 야기하는 2차 거동은 붕괴 0.87분전부터 확인할 수 있었음.

○ 사면계측 기준안 제시

- 본 연구에서는 가면거동특성을 일반화하고 사면계측기준을 제안하여 사면 모니터링의 기초 데이터가 될 수 있음.
- 본 연구는 사면붕괴를 예측하기 위해 역변위 데이터를 사용하는 반면, 선행 연구는 역전단 변형을 사용했음. 역 변위의 변화를 조사하면, 전구체 변위에서 역 변위의 경사가 약간 가파른 후 완만 한 가속 단계에서 일정한 속도로 감소함.
- 2차 경사 이동 단계의 경우, 역 변위는 기하학적 감소를 보여준 다음 비상 상황이 모니터링되는 동안 최종 고장이 발생함. 여기서, 경사 파괴 이전에 대피가 필요한 부분은 장애의 징후가 감지 된 후 완만하게 가속되는 특징임.
- 그림 65에서 역변위의 변화를 살펴보면, 전조 단계에서는 기울기가 다소 급한 형태로 나타나며, 이후 정상감소구간에서는 일정속도로 감소하고 있음.
- 또한 2차 거동단계의 경우는 가속도적으로 감소하여 최종붕괴가 시작된 긴급한 상황임을 나타냄. 이로부터, 사면붕괴 발생 이전에 대피가 필요한 구간은 전조발생 이후 정상감소구간으로 볼 수 있음.
- 본 연구에서는 전조 단계에서 역변위의 변화가 관찰되고, 이후 일정 패턴을 보이다가 붕괴 구간에 접어들면 가속도적 감소 패턴 양상을 보일 때 붕괴 상태로 진행하고 있음을 알려주는 사면 경보 체계에 필요한 사면계측기준(안)을 제시하였음(표 8 참조).
- 그림 65는 사면붕괴 예측을 위한 역변위 개념을 보여줌.

표 8. 사면계측기준(안)

Steps	Level of Severity	Cumulated displacement (mm)	Slope of inverse displacement (1/mm/min)
Step 1	Normal	0	0
Step 2	Cautious	0.89	1.59
Step 3	Alert	1.52	0.03
Step 4	Critical	10.31	2.25

- 사면계측기준(안)은 누적변위와 역변위의 기울기를 바탕으로 하였으며, 전조현상 발생이전을 보통단계, 전조현상 발생시점을 주의단계, 일정속도 감소구간을 관심단계, 그리고 가속도적 감소가 나타나는 2차 거동 발생구간을 심각 단계로 구분하였음.

- 가속구간은 사면이 최종붕괴로 이어지는 위급상황으로 규정할 수 있으며, 따라서 인명피해 저감을 위한 대피는 가속구간 도달 전에 완료하여야 하며, 부득이하게 대피하지 못한 경우에는 최종붕괴 직전인 가속구간 내에 시급한 대피를 완료해야 함.

○ 소결

- 변형률 센서의 길이가 800mm 이하일 때에는 전조현상, 사면붕괴 등의 특징이 명확히 나타나지 않아 사면 붕괴예측을 위한 데이터로 사용하기에 어려우므로, 변형률 센서의 적정 길이는 최소 1,000mm 내외가 적정하며, 사면의 예상활동면 심도에 따라 제작하여 활용할 수 있을 것으로 판단됨.
- 사면 붕괴 과정에서 역변위의 기울기가 커질수록 붕괴위험이 커지는 것으로 판단되며, 사면 붕괴 시에 나타나는 붕괴전조구간, 일정감소구간, 최종붕괴구간은 역변위 기울기 및 수치로 정량화 할 수 있을 것으로 사료됨.
- 누적변위와 역변위의 기울기를 바탕으로 사면계측 기준안을 제시하였으며, 향후 추가적인 현장실험 및 붕괴사례 데이터를 바탕으로 신뢰성 확보가 필요할 것으로 판단됨.

2) IoT Client

○ Main B'd(회로 조립체, 3rd REV.)



- SPEC.

- STM32F051 MPU (ARM core, USB, A/D, D/A, RTC, Low Power 등)
- LoRa Mesh module(made by Novis tech)
- Bridge sensor ADC (24bit)
- LED(SMD type), LED Driver(chip)
- 전원 관리, LDO (Voltage regulator)
- Buzzer
- Power on/off Switch, Reset Butto
- System Upgrade(Solar Powered System, LiFePO4 Battery)

그림 66. IoT Client Main B'd

- 그림 67은 스트레인 게이지의 센서 값을 읽기 위한 ADC 회로부이다. ADC인 ADC1231은 24bit 스트레인 게이지 전용 ADC로 delta-sigma 방식을 사용한다. ADC 속도는 10SPS 또는 80SPS로 본 프로젝트에서는 80SPS이다. 물론 이는 명령어로 변경이 가능하다.

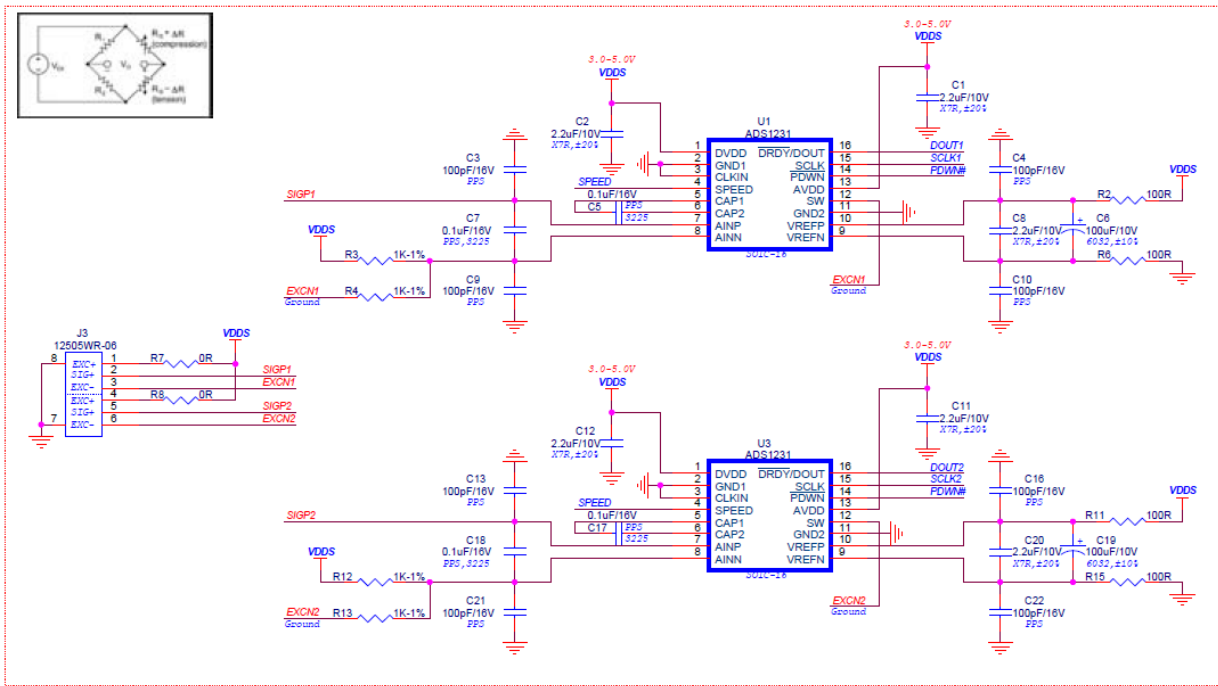


그림 67. 센서부

- 그림 68은 LED 구동부이다. 원형 센서 보드의 주변에 8개의 LED를 배치해서 알람 발생 시에 이를 켜주는 회로로서 LED driver로 TLC59108을 사용한다.

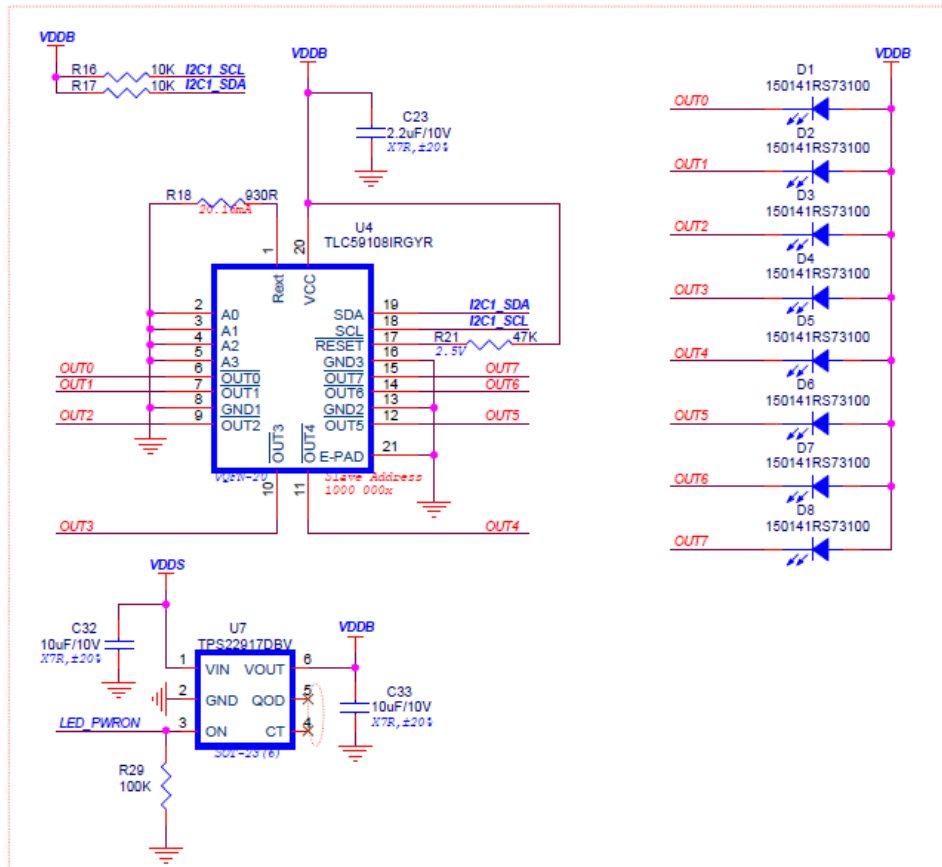


그림 68. 회로부

- 그림 70은 MCU부이다. MCU는 STM32F501을 사용한다. 배터리 동작이므로 Deep sleep에 들어 간 후 5초 단위로 깨어나서 센서값을 check하며 정상일 경우는 다시 Deep Sleep에 들어가고 알람 등의 이벤트가 발생하면 이벤트 패킷을 송신 한 후 Deep Sleep에 들어간다. i2c는 LED driver와 통신하기 위해 사용된다. ADC1231 IC는 serial 통신으로 GPIO를 사용한다.

○ F/W(Firmware)

- 개요

- F/W는 C언어로 코딩하였으며, 개발환경은 STM32F051 Standard library를 제공하는 Keil을 사용하였음.
- SPI, UART, PWM Timer, Watchdog, Sleep mode등은 제공되는 Driver를 사용함

- Project File 구성

- Startup_stm32f030.s : 각종 interrupt 발생시 해당 C의 소스(pointer가 가리키는 address)로 jump하기 위한 assembler
- main.c : 전원 인가 후 initialize 및 main() 함수 안의 while(1) 루프를 가지고 있는 소스파일
- HW_Config.c : HW dependant 한 드라이버를 모아 놓은 소스 파일
- CMSIS library : STM이 제공하는 라이브러리
- StdPeriph : STM이 제공하는 각종 페리 드라이버를 모은 디렉토리

- Source File

- main.c : main.c는 main() {}이 들어 있는 파일로, 시스템이 사용하는 clock, GPIO, UART, SPI, Timer, watch dog 등 MPUdml 자원들을 초기화하고 global variable들을 초기화, LED Driver를 추가화하면서, 8개의 LED를 순차적으로 점멸 부저를 2초 동안 울린 후 while(1) 루프에 진입
- While(1)에는 우선, 디버깅 모드에서 uart1을 통해서 디버깅 명령어를 받기 위한 루틴이 있음.
- 그 다음, 정해진 주기(T1=5초)가 되었는지 check해서 T1이 경과했으면, 스트레인 게이지의 ADC를 읽고 정상인지 비정상 인지 판단하고, 비정상일 때는 이벤트 리포트까지 하는 주요 기능이 구현되어 있음.
- T1 주기를 단위로 Keep alive 메시지 주기 보고를 하기 위한 루틴도 같이 있음.
- T1타이머를 main()에서 판단하여 task들을 수행하고 모든 기능의 검증, 특히 위험을 판단하는 알고리즘의 검증까지 완료가 되면, 배터리 동작 모드로 전환하여 deep sleep 후 T1초에 깨어나는 방식으로 전환함.
- Deep sleep 동안에 RAM data는 지워지므로, 24bit 센서 값 두 개는 Deep sleep이 되어도 지워지지 않는 RTC 레지스터를 clock으로 사용하지 않고 ADC값을 save하기 위해 사용함.

· 다음은 main()에서 시스템 리소스들을 초기화하는 부분임.

```
//-----
//      Initialization of MPU resources
//-----
RCC_Configuration();
NVIC_Configuration();
GPIO_Configuration();
GPIOA->BRR |= RF_PWRON;//LoRa module LDO disabled
GPIOA->BSRR |= SOLAR;//charger IC enabled
GPIOA->BSRR |= LED_PWRON;//LED driver LDO enabled
select_UART(3); //turn on both uart1(Console) & uart2(LoRa module)
/* Setup SysTick Timer for 1 ms interrupt ( not too often to save power ) */
RCC_GetClocksFreq(&rcc_clocks);
if (SysTick_Config(rcc_clocks.SYSCLK_Frequency / 1000)) // 1ms = 1/1000s //by cecho 20151224
{
/* Capture error */
while (1);
}
FLASH_SetLatency(FLASH_Latency_1);
이하 생략
```

· 다음은 global 변수 및 Watchdog timer을 초기화하는 부분임.

```
init_GlobalVariables();
// set up iwdg function
IWDG_WriteAccessCmd(IWDG_WriteAccess_Enable) ;
IWDG_SetPrescaler(IWDG_Prescaler_256);
IWDG_SetReload(0xFFFF);
// IWDG_GetFlagStatus();
Delay(1);
IWDG_Enable();
```

· 다음은 8개의 LED를 점멸하는 루틴임.

```
if(sTime.RTC_Hours == 0 && sTime.RTC_Minutes == 0 && sTime.RTC_Seconds == 0)//jy 2019.10.18
{ // POR
    printline(CON,"Power on reset!");
    i32S1prev = 0;
    i32S2prev = 0;

    // initial action on LEDs
    make_i2c_SCL_H();
    make_i2c_SDA_H();

    GPIOA->BSRR |= LED_PWRON;//jy 2019.5.20
    flash_LED();
    flash_LED();
    GPIOA->BRR |= LED_PWRON;//jy 2019.5.20
}
```

- 다음은 while(1) 루프임.

```
diff_ms = diff_systick_ms(u32GeneralTimerStamp, SysTick_cnt);
if(diff_ms >= u32GeneralTimerSet && u32GeneralTimerSet != 0)
{
- 이하 생략
}
```

- 위는 1ms 단위로 count하여 그 값이 u32GeneralTimerSet를 초과하면 즉, T1초마다 일정한 task를 수행하는 구조로 다음의 Task들이 수행됨.
- 스트레인게이지 2개의 센서값 read 하기 전에 센서값과 비교하여 그 차이가 threshold (default=500)의 범위 안에 들어오는지 판단하여 들어오면 u32S1Saturated 또는 u32S2Saturated를 센서 값으로 업데이트함.
- 센서값이 또 다른 threshold (default=100000) 이상으로 급격히 변동시에는 이를 무시함.
- 센서 값이 u32S1Saturated, u32S1Saturated 보다 정해진 threshold(10000)보다 크면 event가 있는 것으로 판단하고 LED 점멸 및 부적을 작동함.
- 이벤트 발생 시에는 즉시 LoRa 모듈로 게이트웨이로 디벤트 송신 리포트를 보냄.
- T2의 주기 단위로 Status 리포트를 LoRa 모듈로 보냄

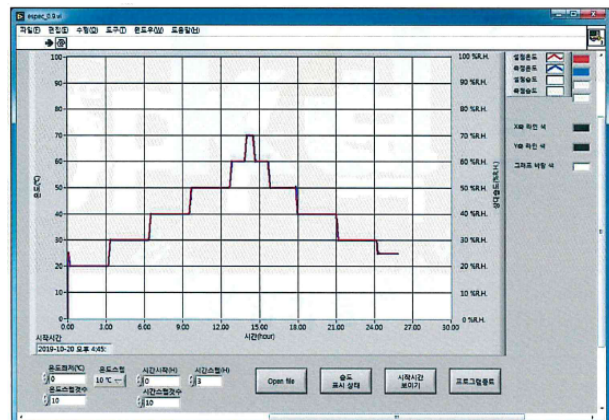
○ IoT Client의 시스템신뢰성(MTBF) : 외부환경 내구성 1년(-30°C ~ 60°C, 방수방진 IP45)

- 고온 동작(70°C) 시험성적서

- 시험 온도 및 시간 : (20~70)°C, 24시간
- 시험 중 상태 : 전원 ON(통신상태), 시험품의 송신 확인, 데이터의 저장은 임의의 시간에 1회만 진행
- 기능 점검 : 통신 상태 이상 없음
- 외관 검사 : 시험 후, 시험품은 육안으로 외관을 확인하여 깨짐, 벌어짐, 나사이탈 등 외관 이상 없음



(a) 고온 동작 시험(70°C) 장면



(b) 고온 동작 시험(70°C) 그래프

그림 71. 고온 동작 시험

- 저온 동작(-35°C) 시험성적서

- 시험 온도 및 시간 : (-35~0)°C, 24시간 05분
- 시험 중 상태 : 전원 ON(통신상태), 시험품의 송신 확인. 단, 데이터의 저장은 임의의 시간에 1회만 진행
- 기능 점검 : 통신 상태 이상 없음
- 외관 검사 : 시험 후, 시험품은 육안으로 외관을 확인하여 깨짐, 벌어짐, 나사이탈 등 외관 이상 없음.



(a) 고온 동작 시험(-35℃) 장면



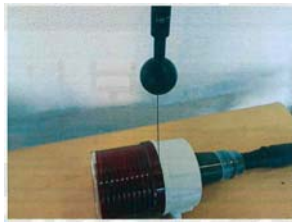
(b) 고온 동작 시험(-35℃) 그래프

그림 72. 저온 동작 시험

- 방수방진 IP45 시험성적서
- 환경조건 : 온도 (25.0 ± 10.0)℃, 습도 (50 ± 25)% R.H., 기압 (96 ± 10) kPa
- 시험조건 및 결과



제 1 특성숫자 프로브시험



제 1 특성숫자 시험



제 2 특성숫자 시험

그림 73. 방수방진 IP45 시험 사진

코드문자	IP	시험조건 및 시험	시험결과
제 1 특성 숫자	4	<p>○ 위험한 부분으로의 접근에 대한 보호</p> <p>1. 시험조건</p> <p>1.1 시험도구 : 지름 1.0 mm인 접근 프로브</p> <p>1.2 시험용 힘 : (1 ± 0.1) N</p> <p>2. 시험</p> <p>2.1 명시된 힘으로 외곽의 틈으로 시험도구를 밀어 넣는다.</p> <p>3. 판정조건</p> <p>프로브의 전체 지름이 어떤 틈도 통과하지 않을 것</p>	통과하지 않음
제 2 특성 숫자	5	<p>○ 위험한 영향을 주는 물의 침투에 대한 보호</p> <p>1. 시험조건</p> <p>1.1 방수 노즐의 안지름 : 6.3 mm</p> <p>1.2 방수율 : 12.5 L/min ± 5 %</p> <p>1.3 노즐에서 외곽표면까지 거리 : 2.5 m ~ 3 m</p> <p>1.4 외곽 표면적 1㎡당 방수 시간 : 1 분</p> <p>2. 시험</p> <p>2.1 시험시간 : 3 분</p> <p>3. 판정조건</p> <p>시험품의 정해진 작동, 안전성 저해, 트래킹 발생우려가 있는 양의 물의 침입이 없을 것</p>	물의 침입이 없음

그림 74. 방수방진 IP45 시험조건 및 결과

○ KC 인증 및 제품판매에 필요한 성능 인증 획득

- 시험방법

- 주 전원 포트에서의 전도성 방해 시험: 해당 없음
- 통신 포트에서의 전도성 방해 시험: 해당 없음
- 방사성 방해 시험(30 MHz - 1000 MHz)
- 방사성 방해 시험(1000 MHz - 6000 MHz)
- 정전기 방전 내성시험
- 방사성 RF 전자기장 내성시험
- 전기적 빠른 과도현상/버스트 내성시험: 해당 없음
- 서지 내성시험: 해당 없음
- 전도성 RF 전자기장 내성시험: 해당 없음
- 전압강하 및 순간정전 내성시험: 해당 없음

1.0 종합 의견	
1. 시험기자재	기자재 명칭 : 스마트사면 붕괴 예경보시스템
	모 델 명 : SCS-100
	제 조 자 : 주식회사 스마트지오택
	기 기 분 류 : <input checked="" type="checkbox"/> 고정용 <input type="checkbox"/> 차량용 <input type="checkbox"/> 휴대용
	제 품 구 분 : <input checked="" type="checkbox"/> 업무용(A급) <input type="checkbox"/> 가정용(B급)
2. 특기사항	기기의 형식 1, 특정소출력 무선기기 분류 1, 송신기 및 수신기
3. 시험기준	구분 : <input type="checkbox"/> 과격 <input type="checkbox"/> 고시일차
	고시 : 방송통신기자재등의 적합성평가에 관한 고시 : 국립전파연구원고시 제2018-17호 (2018-06-17)
	고시 : 전자파적합성 기준 : 국립전파연구원고시 제2018-29호 (2018-12-24)
	공고 : 전자파적합성 시험방법 : 국립전파연구원고시 제2018-103호 (2018-10-19)
4. 시험방법	내 용 : 시험 방법 : 적용 여부 : 시험 결과
	전도성 방해 시험 : KN 301 489-1 <input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합
	방사성 방해 시험 : KN 301 489-3 <input checked="" type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합
	결전기 방전 내성시험 : KN 61000-4-2 <input checked="" type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합
	방사성 RF 전자기장 내성시험 : KN 61000-4-3 <input checked="" type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합
	전기적 빠른 과도현상 /버스트 내성시험 : KN 301 489-1 <input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합
	서지 내성시험 : KN 301 489-3 <input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합
	전도성 RF 전자기장 내성시험 : KN 61000-4-6 <input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합
전압강하 및 순간정전내성시험 : KN 61000-4-11 <input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합	
5. 기타사항	-
시험원	성명 이준열 (서명)
기술책임자	성명 서상규 (서명)

F-QP-25-19(5) 5 / 49
 본 시험성적서는 주식회사 비 테블유 에스 측의 시면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.
 *본 시험성적서의 권역 어부는 만드르이드 웹 "DOCUGR" 또는 www.docugr.com에서 확인할 수 있습니다.

(a) 종합의견 (b) 시험장면
 그림 75. 방송통신기자재등(전자파적합성) 시험성적서

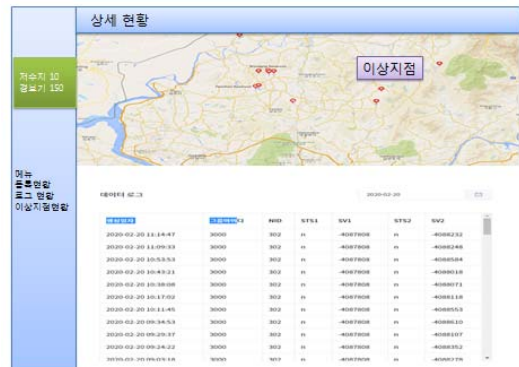
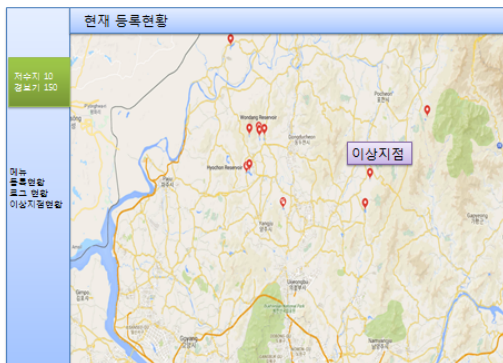
3) IoT Server

○ IoT 통신환경 실시간성 99% 이상 달성

- 제은 E5-2630
- Test Process: IoT Client 2대(Dev. ID :101, 102)에서 5초 간격으로 Gateway 를 통해 서버에 데이터

- IoT Server S/W 주요기능

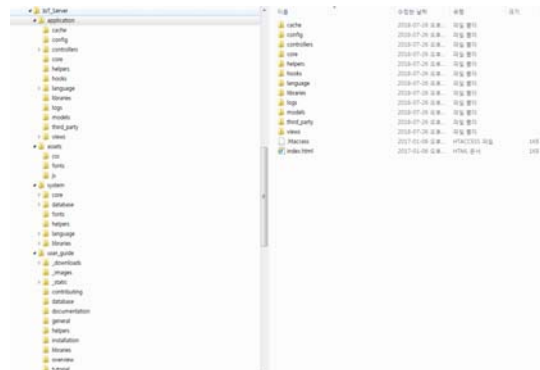
- 게이트웨이와의 통신 프로토콜 적용
- IoT Client 모니터링 화면 및 기능 구현
- 신규 IoT Client 추가시 setup 기능 구현
- 관리자 페이지 및 기능 구현
- 데이터베이스 구현
- 스마트폰 App. 과 연동 기능 구현
- 직관적 UI 및 상태 모니터링에 그래프 구현
- App. Parameter Update 기능
- IoT Client OTA 기능 구현



· 센서의 현재등록현황을 보여주는 화면으로 지도에 설치된 센서의 위치를 보여 주며 이상지점이 있으면 해당위치에 표시됨.

· 센서를 클릭하면 상세현황을 볼수 있으며 상세현황에서는 이상유무 및 센서데이터값 일별 히스토리를 볼수 있음.

이상 발생 로그 현황		
시간	DeviceID	현황
2018-07-01 12:00:00	0001	이상발생
2018-07-01 13:05:00	0002	이상발생
2018-07-01 13:10:00	0003	이상발생
2018-07-01 14:01:00	0005	이상발생
2018-07-01 14:40:00	0011	이상발생
2018-07-01 15:50:00	0001	이상발생
2018-07-02 16:40:00	0051	이상발생
2018-07-04 16:40:00	0108	이상발생
2018-07-05 16:40:00	0056	이상발생
2018-07-08 16:40:00	0083	이상발생
2018-07-11 16:40:00	0095	이상발생



· 이상 발생 로그 현황을 별도로 관리하여 확인할 수 있는 페이지.

그림 77. IoT Serve S/W UI 이미지 일부 와 탐색기의 소스 목록

4) IoT Gateway

○ Gateway 시작품 제작

- Gateway 스펙
 - CPU : ARM 32-bit Cortex-M4 cpu(120MHX)
 - Memory : 1MB FLASH, 128KB RAM

- Local Mesh Network (Up to 4 LoRa Mesh Modules)
- Wireless Backhaul Uplink(1 FSK Mesh Module)
- Wired Uplink(Ethernet:1 10/100 LAN, Console UART port can be used for uplink)
- Console Port : TTL level UART @ 115200 baud
- Power : Input AC 100V~240V 0.5A, Output DC 5V 2A



그림 78. Gateway

5) Smartphone App.(Application)

- Smartphone App. S/W(Android용, iOS용) 시작품 제작
- Smartphone App. S/W 주요기능
 - IoT Server와 연동 가능한 통신 프로토콜 적용
 - IoT Client 모니터링 화면 및 기능 구현
 - login 기능
 - IoT Server 또는 IoT Client 연동 기능 구현
 - 직관적 UI 및 상태 모니터링에 그래프 구현
- App. 최적화 및 리비전을 통해 상용제품화



그림 79. IoT Serve S/W UI 이미지 일부 와 탐색기의 소스 목록

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

- IoT 기반 저수지 붕괴 예·경보시스템의 개발 및 제품화로 구성요소는 다음과 같음.
 - 저수지의 붕괴 위험을 사전에 감지할 수 있는 스마트 센서
 - 센서에서 보내온 Data를 수집하고 서버로 전달하는 IoT Client
 - IoT Client들을 모니터링하고 데이터를 수신하는 인터넷에 연결되어 있는 IoT Server
 - 저수지의 현재 상태를 확인할 수 있는 스마트폰 어플리케이션

3-2. 목표 달성여부

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	건수	기술 료	제품 화	매 출 액	수 출 액	고용 창출	투자 유치		논문 SCI	논문 비 SCI	학술 평균 IF			학술 발표	정책 활용	
	건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건		
가중치	30	10		5	5		5		5				20	5	5	5	5		
최종목표	3	3		1	300		30,000		4		2	8		8	1	2	1	6	
1차 년도	목표 1										2		2						
	실적 1								2			2	5						
2차 년도	목표 3										2		2						
	실적 3						105.6				2		2						
3차 년도	목표 1	2		1							2	2	2				1		
	실적 1	2		1	1		137.8				2	2	4				1		
소 계	목표 5	2		1	300		30,000		4		2	6	6				1		
	실적 5	2		1	1		243.4		2		2	6	11				1		
종료 1차년도		1			10		1,000					1	1		1	1	1		
종료 2차년도					30		3,000		1			1	1	1			1		
종료 3차년도					60		6,000		1						1		1		
종료 4차년도					80		8,000		1								1		
종료 5차년도					120		12,000		1								1		
소 계																			
합 계	5	2		1	1		243.4		2		2	6	11				1		

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 해당사항 없음.

4. 연구결과의 활용 계획 등

- 스마트 센서의 특허 등록 및 IoT 기반 저수지 붕괴 예측 및 경보시스템의 제품화
- 저비용 고효율의 저수지 붕괴 예측 및 경보시스템의 전국 단위 확산 및 적용을 통한 사업화 추진
- 저수지의 시설물 안전관리 능력 향상
- 저수지 붕괴에 따른 농경지 침수로 인한 재산 및 인명피해 최소화
- 급경사지 붕괴 사전 예방 등 관련 산업기술의 동반 성장을 통하여 자연재난 관련 산업의 성장과 발전에 기여

< 참고문헌 >

1. Kim, Y. S., Kim, B. J., 2017. A study on predicting slope failure through the measurement of surface ground deformation, ASABE.
2. Kim, Y. S., Kim, B. J., 2018. Predicting reservoir failure through the measurement of surface ground deformations, ASABE.
3. Park, S. Y., Lim H. T., Tamang B., Jin, J. H., Lee, S. J., Chang, S. H., Kim, Y. S., 2019, A Study on the Slope Failure Monitoring of a Model Slope by the Application of a Displacement Sensor, Journal of Sensors, Volume 2019, Article ID 7570517, 9 pages.
4. Park, S. Y., Lim H. T., Tamang B., Jin, J. H., Lee, S. J., Chang, S. H., Kim, Y. S., 2019, Analysis of Slope Failure Behaviour Based on Real-Time Measurement Using the x-MR Method, Journal of marine science and engineering, 7(10), 360.
5. Tamang B., Jin, J. H., Lee, S. J., Kim, Y. S., 2019, Slope Instrumentation Standard for Slope Monitoring and Resident Evacuation, 일본자연재해학회학술강연회.
6. 김기환, 이태호, 유전용, 임은상, 이승주, 김용성, 2019, 저수지 제체월류 및 내부침식 보호기술 모형실험연구, 한국지반신소재학회논문집, Vol.18, No.4, pp.181-191.
7. 김용성, 김만일, 타망 비백, 김기환, 2018, 지중 변위와 체적 함수비 계측을 통한 사면 거동 분석, 한국지반환경공학회논문집, Vol.19, No.9, pp.29-36.
8. 김용성, 김만일, 타망 비백, 김기환, 2018, 현장 굴착시험을 통한 사면 붕괴 거동 연구, 한국지반환경공학회학술발표회논문집.
9. 김용성, 임현택, 장우영, 이승주, 비백타망, 김기환, 2019, 실대형 사면붕괴 실험을 통한 사면붕괴 예경보시스템 구축 연구, 한국지반신소재학회봄학술발표회.
10. 김용성, 임현택, 타망 비백, 김기환, 2018, 단계별 굴착에 따른 사면 붕괴 거동 분석, 한국농공학회학술발표회.
11. 김정면, 임현택, 김재휘, 장우영, 김용성, 2017, 표층지반변형 계측을 통한 사면붕괴 예측, 한국방재학회학술발표대회.
12. 김정면, 임현택, 김재휘, 장우영, 김용성, 2017, 환산전단변형율을 이용한 지반 붕괴 예측 기법, 한국방재학회학술발표대회.
13. 박성용, 김용성, 2017, 사면붕괴 예측을 위한 전단변형 센서 최적화 연구, 한국농공학회학술발표회.
14. 박성용, 김용성, 2017, 역변위를 이용한 사면 붕괴 전조 예측, 한국농공학회학술발표회.
15. 박성용, 민연식, 강민서, 정희돈, 사미 플립반, 김용성, 2017, 현장모형실험 기반 표층거동분석을 통한 사면붕괴 예측, 한국지반신소재학회논문집, Vol.16, No.3, pp.1-10.
16. 박성용, 장동수, 정재훈, 김영주, 김용성, 2018, 통계관리도 기법을 적용한 사면붕괴 예측, 한국지

반신소재학회논문집, Vol.17, No.2, pp.9-18.

17. 박성용, 정희돈, 김영주, 김용성, 2017, 현장 굴착 실험을 통한 사면붕괴 거동 연구, 한국농공학회논문집, Vol.59, No.5, pp.101-108.
18. 이승주, 장석현, 이강일, 김범주, 허준, 김용성, 2019, 현장실험과 수치해석을 통한 GFRP 록볼트 센서의 적용성 연구, 한국지반신소재학회논문집, Vol.18, No.4, pp.129-138.
19. 임현택, 장우영, 비백 타망, 김기환, 김용성, 2019, 사면 붕괴 예경보시스템 구축을 위한 사면 붕괴 실험 연구, Vol.18, 한국방재학회학술발표대회.

<별첨> 사업화를 위한 비즈니스 모델(BM)

가. BM 수립 배경

- 경주에서 발생한 규모 7의 강진, 이상기후로 인한 홍수의 빈발 등 노후 저수지의 붕괴위험이 증가하고 있으며 우리나라에는 30년~50년 이상된 노후저수지가 17,427개나 있음.
- 노후 저수지의 붕괴 사고 사례는 종종 발생하고 있으며, 대부분 시설의 노후화가 원인으로 지목되고 있음.
- 사물인터넷과 설치가 용이하고 객관적인 신뢰성이 확보된 센서만 있다면, 노후 저수지의 붕괴 위험을 상시 모니터링 하는 시스템을 개발하여 제품을 저렴하게 개발한다면 시장을 개척할 수 있다는 판단 함.
- 또한, 노후 저수지 뿐만아니라 산사태가 발생하기 쉬운 자연 비탈면이나, 토목공사 현장의 인공비탈면도 매우 많기 때문에 재난 방재 시장의 확대가 예상되었음.

나. BM 목표 및 핵심경쟁요인

(1) BM 목표

- 1차적으로 저비용 고효율의 IoT 기반 저비용 고효율 저수지 및 급경사지 붕괴 예·경보시스템의 판매, 그리고 시장에 본 제품이 많이 설치 운영된다면 저수지나 급경사지의 붕괴위험 정보를 이용하여 재난 안전 정보 서비스 사업으로의 확대가 목표임.

(2) 핵심경쟁요인

- 제품의 객관적이고 정확한 신뢰성 확보
- 설치 및 유지보수가 쉬워야 함.
- 옥외 극한 환경에서도 견딜 수 있는 내구성 확보
- 센서 관련 특허 및 BM 특허 확보를 통한 기술력 확보
- 관리자로 하여금 관리의 편리성을 제공하여, 고객의 제품에 대한 신뢰성 획득
- 비용이 저렴하면서도 양질의 서비스 제공

다. 목표 시장 구조

(1) 경쟁기업 현황

(가) 경쟁기업 현황

- 제이에이치네트웍스(주) : 사방댐 저수지 모니터링 시스템
- 레이더나 라이더 센서를 이용하여 토사량, 담수량, 지형변화를 센싱하여 사방댐이나 저수지의 용량을 초과하는 것을 감시하여 위험을 예측하는데, 이것도 일부 대규모 댐이나 저수지에 일부 설치 운영되고 있음. 수문원격제어, 긴급안내방송, HD급 실시간 영상확보 같은 기능을 제공하는데 설치 및 시공이 복잡하고 비용이 비싼 문제가 있음.

(2) 시장진입 장벽

- 센서는 특허출원을 준비 중에 있고, 통신시스템 관련 특허는 모두 방법론적 이야기로 전부 회피해서 개발할 수 있기 때문에 특별한 진입장벽은 없다고 판단됨.

라. 수익 확보 전략

(1) 주요 고객군

- 저수지 관리자, 시·군·구의 시설 담당자, 행정안전부 등 주로 국가부처 및 지자체

(2) BM의 수익창출 방안

- 무료로 설치해주고 매월 사용료를 받는 렌탈 서비스 도입 가능
- 소방방재 신기술 획득을 통한 공공기관에 우선 보급이 가능함에 따라 수익창출 가능

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.