19CTAP
-C1332
14-03

국토교통기술촉진연구사업 최종보고서

2020
국토교통부
국토교통과학기술진흥원

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

**국토교통기술촉진연구사업 제3차 연도 최종 보고서**

R&D / 19CTAP-C133214-03

# 저수지 누수 진단을 위한 IoT 기반 스마트 계측기 및 원격계측 통합관리 시스템 개발

# 최종보고서

**2020. 02. 21.**


**주관연구기관 / 주식회사 아이자랩**
**공동연구기관 / 주식회사 지앤테크**



**국 토 교 통 부**
**국토교통과학기술진흥원**

# 제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'저수지 누수 진단을 위한 IoT 기반 스마트 계측기 및 원격계측 통합관리 시스템 개발'(연구개발기간 : 2017. 07. ~ 2019. 12.) 과제의 최종보고서 1부를 제출합니다.

2020. 02. 21.

주관연구기관명 : 주식회사 아이자랩 (대표자) 임우석 (인)

협동연구기관명 : 주식회사 지앤테크 (대표자) 김형종 (인)

주관연구기관책임자: 임우석
공동연구기관책임자: 김형종

| |
|---|
| 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다. |

# 보고서 요약서

| 과제 고유 번호 | 19CTAP-C133214-03 | 해당 단계 연구 기간 | 2019.01.01.~2019.12.12 | 단계구분 | 3 / 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 연구사업명 | 중사업명 | 국토교통기술촉진연구사업 | | | |
| | 세부사업명 | 창의도전연구분야 | | | |
| 연구과제명 | 대과제명 | - | | | |
| | 세부과제명 | 저수지 누수 진단을 위한 IoT 기반 스마트 계측기 및 원격계측 통합관리 시스템 개발 | | | |
| 연구책임자 | 임우석 | 해당단계 참여연구원 수 | 총: 11 명<br>내부: 11 명<br>외부: 명 | 해당단계 연구비 | 정부:150,000천원<br>민간: 50,000천원<br>계:200,000천원 |
| | | 총 연구기간 참여연구원 수 | 총: 15 명<br>내부: 15 명<br>외부: 명 | 총 연구비 | 정부:600,000천원<br>민간:201,000천원<br>계:801,000천원 |
| 연구기관명 및 소속 부서명 | 주관기관 : 주식회사 아이자랩 기술연구소<br>공동기관 : 주식회사 지앤테크 | | | 참여기업명 | |
| 국제공동연구 | 상대국명: | | | 상대국 연구기관명: | |
| 위탁연구 | 연구기관명: | | | 연구책임자: | |

※ 국내・외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

| 연구개발성과의 보안등급 및 사유 | ○ 본 연구는 노후화 댐 및 저수지 등의 시설물의 안정성 계측을 위한 계측기 개발을 목적으로 하기 때문에 공공적 성격이 강하며, 개발된 장치는 기술 권리가 침해되지 않는 범위 내에서 다양한 연구계 및 산업계 전반에 널리 전파되어 활용할 수 있도록 연구 성과를 공개 할 필요가 있음.<br>○ 따라서, 본 연구 등급은 공개 가능한 일반과제로 분류함. |
|---|---|

9대 성과 등록・기탁번호

| 구분 | 논문 | 특허 | 보고서 원문 | 연구시설・장비 | 기술요약 정보 | 소프트웨어 | 화합물 | 생명자원 | | 신품종 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 생명 정보 | 생물 자원 | 정보 | 실물 |
| 등록・기탁 번호 | 1 | 출원7<br>등록3 | 1 | | | 2 | | | | | |

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설・장비 현황

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

| 요약 | 보고서 면수 |
|---|---|
| ○ 현재 국내 지자체 및 농어촌공사에서 관리하고 있는 댐과 저수지의 경우 전문인력 부족과 관리 비용 문제로 인해 체계적인 안전관리가 이루어지지 못하고 있는 실정으로 해당 과제를 통하여 TDR 방식의 토양 수분센서를 적용한 구조물 저 영향 계측장치를 개발하여 노후화 저수지 및 제체의 누수 감지 계측 데이터를 원격수집하고 안정성 예측 평가를 위한 3차원 해석 알고리즘을 적용한 통합모니터링 시스템 개발하여 저비용 고효율의 실시간 안전관리가 가능하게 함으로써 공익적 측면에서 효율적이고 체계적인 안전관리가 가능해 질 것으로 예상 됨. | 123 |

# 〈 국문 요약문 〉

| | |
|---|---|
| 연구의<br>목적 및 내용 | 본 연구과제는 TDR 방식의 토양수분센서를 적용한 구조물 저 영향 계측장치를 개발하여 노후화 저수지 및 제체의 누수 감지 계측 데이터를 원격수집하고 안정성 예측 평가를 위한 3차원 해석 알고리즘을 적용한 통합모니터링 시스템 개발을 목적으로 함. (TRL 7단계 - 실용화 시작품)<br><br>□ 외경 3.5㎝ 이내의 직관식 삽입장치에 의한 수직 깊이 방향 설치로 연속측정 가능한 내장형 TDR 토양수분 센서 개발<br>□ IoT 전용 플랫폼(LoRa) 및 CDMA을 이용한 원격무선게이트웨이 개발<br>□ 계측 기반의 저수지 누수 및 안전성 해석, 진단 모니터링 기술 개발<br>□ 계측장치 설치용 장비 개발<br>□ 농어촌 정비법에 따른 1종(30만톤 이상) 및 2종(30만톤 미만)을 대상으로 하는 시범설치구역 선정 및 시범운용 |
| 연구개발성과 | < 연구개발성과 유형 > |

| 구분 | 논문 | 특허 | 보고서 원문 | 연구 시설・장비 | 기술요약 정보 | 소프트 웨어 | 화합물 | 생명자원 | | 신품종 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 생명 정보 | 생물 자원 | 정보 | 실물 |
| 성과 | 1 | 출원7<br>등록3 | 1 | | | 2 | | | | | |

| | |
|---|---|
| 연구개발성과의<br>활용계획<br>(기대효과) | □ 국내 지자체 및 농어촌공사에서 관리하고 있는 댐과 저수지의 경우 전문 인력 부족과 관리 비용 문제로 인해 체계적인 안전관리가 이루어지지 못하고 있는 실정으로 본 과제를 통한 계측기 개발을 통해 저비용 고효율의 실시간 안전관리가 가능하므로 공익적 측면에서 효율적이고 체계적인 안전관리가 가능해 질 것으로 예상 됨.<br>□ 현재 노후 저수지에 대하여 들어가는 예산은 사후 복구비용에 많은 비중을 차지하고 있다. 이는 정확한 시설물의 진단과 계측이 이루어지고 있지 않기 때문이다. 산대저수지(25만톤 규모)가 붕괴 되었을 당시 직접 피해액은 2억여원에 불과했지만 복구비를 포함한 전체 개보수 비용만 34억으로 추정되고 있다. 이처럼 개발된 장비를 통해 미리 계측을 수행하면 재난으로 발생 되는 막대한 비용을 절감할 수 있을 것이다. |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 국문핵심어<br>(5개 이내) | 토양수분 | 3차원 분석 | 저수지 누수 | 시간영역반사파 검출 방식 수분센서 | 로라 망 |
| 영문핵심어<br>(5개 이내) | soil moisture | 3D Analyze | Reservoir leakage | TDR Type Moisture Sensor | LoRa Network |

# 〈 목 차 〉


1. 연구개발과제의 개요 ····· 5

가. 연구개발 목적 ····· 5

나. 연구개발의 필요성 ····· 5

다. 연구개발 범위 ····· 8

2. 연구수행내용 및 성과 ····· 9

가. 연구개발 추진전략 · 방법 ····· 9

나. 연구개발 추진체계 ····· 10

다. 연구개발 추진일정 ····· 11

라. 연구내용 ····· 12

마. 기술적 성과 ····· 101

바. 경제적 성과 ····· 108

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 110

3-1. 목표 ····· 110

3-2. 목표 달성 여부 ····· 111

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후 대책(후속연구의 필요성 등) ····· 113

4. 연구개발성과의 활용계획 ····· 114

가. 센서 활용을 위한 설치 방안 도출 결과 활용 ····· 114

나. 추가연구 전망 ····· 118

다. 연구종료 이후 연구성과의 활용계획 ····· 118

라. 후속연구 연차별 개발계획 ····· 119

붙임. 참고 문헌 ····· 120

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

# 1. 연구개발과제의 개요

## 가. 연구개발 목적

□ 저수지 및 제체의 누수 및 안정성을 예측 평가하기 위하여 지중 내 직접 계측기능을 갖는 제체구조물에 대한 저영향의 3차원 계측장치 및 관리 시스템을 개발하는데 목적이 있음

- 외경 5cm 이내 Rod내 연속 측정 가능한 내장형 온도, 수분 포화도 센서 개발
- 수분포화도 측정값의 3차원 구현 프로그램 개발
- 원격송수신 모니터링을 포함한 통합관리 시스템 개발
- 온도 및 수분포화도 계측값의 연계 해석 및 안전성 평가 기술 개발 및 저수지 안전진단 관리방안 제시

□ 장치의 기술적 목표

- 누수진단 측정 센서 : TDR 계측
- 측정 항목변경이 가능하고 조합 및 조립에 의해 전체 0.1m ~ 5m의 길이를 갖는 수직형 누수진단 계측기 개발
- 30㎃ 미만의 소모전력과 직경 300㎜ 스마트 계측기 직관 내부에 장착이 가능한 계측 임베디드 회로개발.
- 정확도 및 정밀도 등 세부 사양은 국내 최고수준 달성.
- 데이터간 상호연관성에 기반한 퍼지이론 구현 알고리즘 개발.
- 계측데이터의 수집 및 원격제어, 모니터링용 IoT 기반 양방향 원격무선게이트웨이 및 원격무선 계측 제어 S/W 개발
- 관리자 관찰자료, 유지보수 정보 및 자동계측자료 등의 원격계측데이터와의 DB연동 시스템 개발.
- 데이터 상호연관 통합분석 시스템 개발을 통한 제체 안전성 진단 기술개발

## 나. 연구개발의 필요성

□ 제안 배경: 세월호 사고 이후 대국민 안전관리 강화 추세이며 물과 관련하여 최근 노후 저수지 붕괴가 해마다 발생하여 사고예방 및 안전에 대한 사회적 요구 증대

○ 전국 17,477개(농어촌공사 3,372개) 농업용저수지 중 30년 이상 저수지는 16,646개(95.2%)로 노후화가 심하며 이중 지자체 저수지 14,105개 중 노후화 저수지는 총 13,711개로 약 97% 수준임.

○ 정밀안전진단 D 또는 E 등급에 대한 저수지를 재해위험 저수지로 지정하고 있으며

안전점검 결과 재해 위험성이 높다고 판단되는 경우에는 재해위험 저수지 · 댐으로 지정 · 고시하고 필요한 안전조치를 취하여야 하며, 해당 저수지 · 댐에 대한 정밀안전진단을 실시하고 보수 · 보강 등의 정비 사업을 시행하도록 규정하고 있다. 이를 위하여, 관리자는 위험저수지 · 댐으로 지정된 저수지 · 댐에 대하여는 각종 계측 관측시설을 설치하고 주기적으로 측정하여 기록 · 관리하여야 한다. 그러나 실제 국내의 저수지들과 중소규모 제체들은 비용적 측면을 고려하여 충분한 계측이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. [2014년 현재 D 등급 이하 저수지(재해위험저수지) : 181개소]

○ 특히 농업용 저수지의 관리주체는 한국농어촌공사와 시・군・구로 중규모 이상의 저수지는 한국농어촌공사가, 소규모 사업을 통해 축조된 저수지는 시・군・구가 관리하며 시특법의 적용을 받아 정기적으로 정밀점검 또는 정밀안전진단 등의 안전관리가 이루어지고 있는 농업용 저수지는 전체 2.7%(468개소)에 불과함.

○ 누수 및 집중호우로 인한 저수지 붕괴사고 2002년 이후 24건으로 증가추세이며, 제방 유실로 인한 농경지 침수, 유실 등 이와 관련된 제방 대규모 인명 및 재산피해 발생이 우려됨.

[그림] 전국 저수지 붕괴 사고 증가

○ 대규모의 댐이나 일부 저수지에 대해 아래와 같이 현장 조사 나 일부 물리탐사를 통해 진단하고 있으나 특히, 지방자치단체의 중소규모 저수지 제체는 계측 장치가 거의 전무한 실정이다. 이로 인하여 구조물의 손상에 대한 사전 진단은 거의 불가능하게 되어, 저수지의 붕괴로 이어진다. 또한, 구조물의 손상이 인지된 이후에 대책을 추진함으로써 충분한 보강 시간이나 대책 마련이 어려운 현실이다.

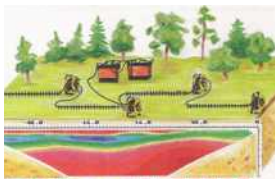
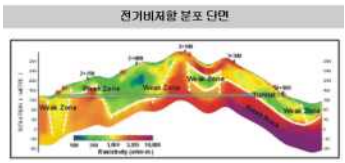
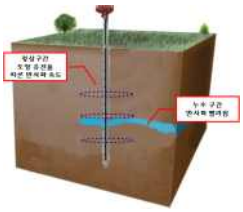
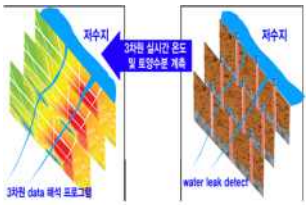
<표> 노후화에 대한 제체 현장조사 및 측정

| 구 분 | 조사 내용 |
|---|---|
| 구조물 특성 파악 | - 시료채취 및 분석, X-ray and diffraction analysis, Applied vibration test, Sounding investigation |
| 조사 | - 물의 이화학적 분석, 수위측정, 온도 측정, 수분함량, 강우량, 지진, 실트화 |
| 증거 및 현상 | - 물의 흐름, 수위, 탁도, 누수, 누수 수질, 융기, 간극압, 수압, 온도, 동결 등 |
| 구조물 영향 | - 수평 변위, 수직 변위, 균열, 변형, 응력, 활동 등 |

○ 국내에서, 저수지 제체의 누수에 대한 최근의 탐지 기술은 다점온도 모니터링 기술과 3D 전기비저항탐사 방법 등이 있으나, 전자의 경우 시추공 굴착 시 시추 자체가 제체 변형을 유발할 수 있으며, 후자의 경우 댐체 표면에 설치한 후 3차원으로 해석하여 정확도가 낮은 문제와 전문가의 전문 해석 기술이 필요하며 즉각적인 결과도출이 힘들다는 한계점을 갖고 있으며 탐사비용 및 설치비용이 과다하게 소요된다. 또한, 시추(50~70mm 구경)를 통하여 직접 육안 확인 방법이 가능하나 시추공이 제체 구조물의 또 다른 변형 유발 요인으로 작용하게 되어 활용에 어려움이 있다.

○ 현실적으로 위험예방을 위한 계측은 어려운 상황이며 안전진단을 위해 상세외관조사, 정밀물리탐사, 안정성 검토 등 기초적인 조사만 수행되고 있다. 또한 지자체 재정여건상 시설물관리 방안으로  제체 그라우팅, 둑 높이기, 수리구조물 보강, 사석 보강 등 시설물의 보수공사에 집중되어 있고 장비 개발을 통한 계측기 설치를 통해 실시간 모니터링과 안전관리시스템 구축방안은 미흡한 상황이다.

○ 이에 따라 비전문가도 쉽게 예비 진단이 가능하며 지방자치단체의 재정 및 인력 상황을 고려할 때 저비용 설치와 원격 시스템을 갖춘 계측장비를 개발 설치하여 저수지의 노후화에 따른 붕괴사고나 이로 인한 재산, 인명피해를 미연에 방지하는 등 국민의 생명과 재산을 보호하는데 중점을 두고 있음.

| 구 분 | | 측정원리 | 계측 방식 | 해석방식 |
|---|---|---|---|---|
| 기존기술 | 전기비저항탐사 |  | |  |
| | | ▶ 지표면에 전극 설치를 하여 매질의 전기전도도 차를 이용 측정, 지표면 설치로 비정확함 | ▶ 규정된 주기에 맞춰 탐사를 실시하며 주로 일회성 탐사 방식<br>▶ 누수 방생 즉시 발견 어려움 | ▶ 2차원 산출 자료를 바탕으로 그림을 그려 3차원 해석<br>▶ 산출 데이터 해석을 위한 전문 인력 요구 |
| 개발기술 | TDR스마트계측기 |  | |  |
| | | ▶ 초고주파를 이용 토양 수분 함량에 따른 반사파 속도차를 이용하여 토양 수분 환산, 정확도가 높으며 안정적인 측정 가능 | ▶ 장소에 구애 받지 않고 계측 데이터 필요시 모니터링 및 제어 가능<br>▶ 실시간 계측 및 모니터링을 통한 누수 즉시 경보 | ▶ 직관적으로 누수 상황 파악이 가능한 3차원 해석<br>▶ 비 전문가도 활용 가능하여 인력 낭비 방지에 도움 |

## 다. 연구개발 범위

□ 외경 3.5cm 이내의 직관식 삽입장치에 의한 수직 깊이 방향 설치로 연속측정 가능한 내장형 TDR 토양수분 센서 개발

□ IoT 전용 플랫폼(LoRa) 및 CDMA, LTE를 이용한 원격무선게이트웨이 개발

□ 계측기반의 저수지 누수 및 안전성 해석, 진단 모니터링 기술개발

□ 계측장치 설치용 장비 개발

□ 농어촌 정비법에 따른 1종(30만톤 이상) 및 2종(30만톤 미만)을 대상으로 하는 시범설치 구역 선정 및 시범운용

# 2. 연구수행내용 및 성과

## 가. 연구개발 추진전략 · 방법

□ 본 기술은 저수지의 노후화 및 제체의 붕괴로 인해 발생 되는 피해를 사전에 예방하기 위한 기술로 본 연구개발을 성공적으로 수행하기 위해 다양한 장치(재료, 기기 등), 구조물 안전진단, 누수탐지 및 IT 및 계측기반의 통합원격시스템 개발과 현장설치를 통한 데이터 수집 및 분석, 저수지 계측관리방안 등으로 구분 될 수 있어 분야별 업무의 성격에 따라 추진전략을 구성하였다.

□ 연구 참여자들의 최근 수년간 정부 R&D과제 수행(계측센서 분야) 경험과 댐 관련 업무 종사 경험을 토대로 Needs에 최적화된 계측 장치 설계로 첨단성과 독창성 있는 장비 개발과 운영 방안 마련을 통해 노후화 저수지 붕괴 사고를 미연에 방지하며 정밀조사 및 보강공사 선정 시 활용되는 기초 자료를 제공할 예정임.

□ 본 과제를 통하여 새로운 산업 분야가 창출될 수 있도록 기술의 수준을 높여야 하며, 이를 위하여 연구기간 중에 다수의 현장 실증 site를 확보하여 검증하고 지자체 및 주민과의 협의를 통해 진행하도록 한다.

[그림] 연구개발 추진전략 방안

## 나. 연구개발 추진체계

□ 연구수행 체계도

| 연구개발과제 | |
|---|---|
| 과제명 | 저수지 누수 진단을 위한 IoT 기반 스마트 계측기 및 원격계측 통합관리 시스템 개발 |

| 기 관 별 참 여 현 황 | | | |
|---|---|---|---|
| 구 분 | 기관수 | 인원수 | 총인원 수 |
| 산 업 계 | 2 | 9 | 9 |

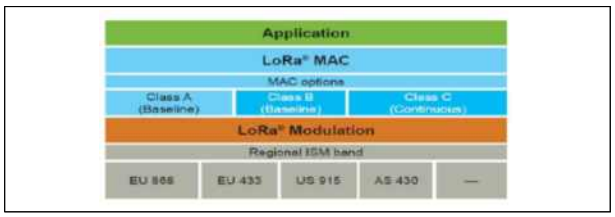
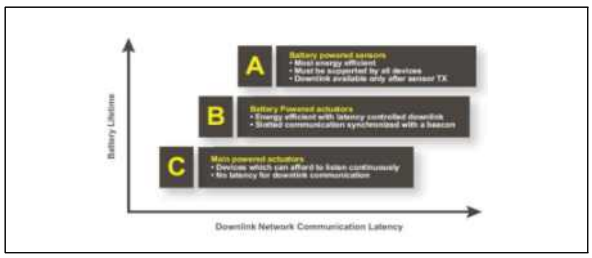
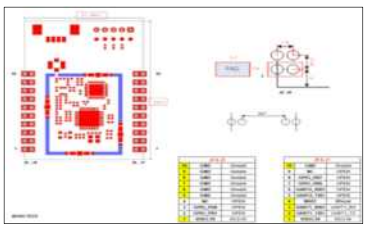
| 주 관 연 구 기 관 | 공 동 연 구 기 관 |
|---|---|
| ㈜아이자랩 | ㈜지앤테크 |
| **참 여 연 구 원** | **참 여 연 구 원** |
| 주관연구책임자<br>(임우석)외 4명 | 공동연구책임자<br>(김형종)외 3명 |
| **담당연구개발내용** | **담당연구개발내용** |
| - 토양수분 포화도 측정 TDR 방식의 계측기 개발<br>- 통합 관제 시스템 구현<br>- 3차원 구현 프로그램 개발<br>- 원격무선게이트웨이 개발 | - 현장 계측기 설치용 장비 개발<br>- 현장 조사 및 데이터 해석<br>- 현장 설치 및 TEST 운용<br>- 현장 사용 평가 및 모니터링 |

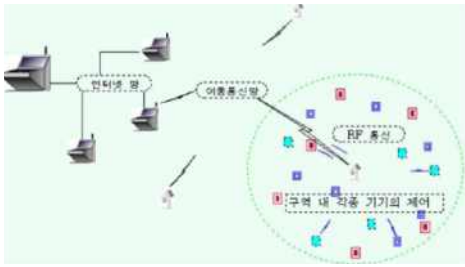
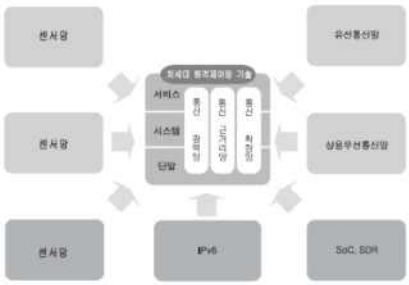
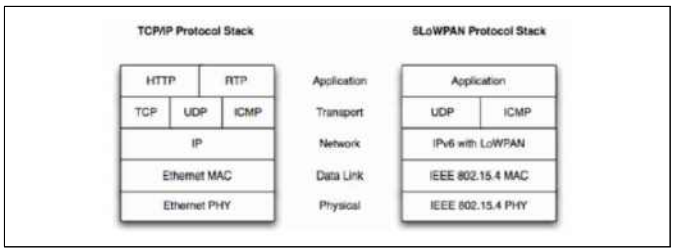
# 다. 연구개발 추진일정

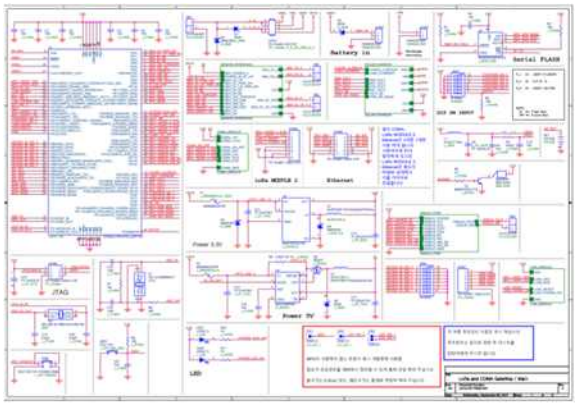
| 구분 | 연구과제명 (연구수행기관) | 관련 성과목표/지표 | | | 세부추진내용 (연구수행 Activity) | Activity별 산출물 | 소요 연구비 (백만원) | 1차년도 | | | | 2차년도 | | | | 3차년도 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 핵심성과 | 단위성과 | 질적 성과지표 | | | | 1/4 | 2/4 | 3/4 | 4/4 | 1/4 | 2/4 | 3/4 | 4/4 | 1/4 | 2/4 | 3/4 | 4/4 |
| 총괄 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 주관 | 원격무선 게이트웨이 개발 | 1 | 1-1 | 1-1-① | 저전력 회로 개발 | 성적서 | 50 | | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 1-1 | 1-1-② | 동작 온도 | 성적서 | 50 | | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 1-1 | 1-1-③ | 동작습도 | 성적서 | 50 | | | | | | | | | | | | |
| | 누수 진단용 계측기 개발 | 2 | 2-1 | 2-1-① | TDR 토양수분 케이블 형태 전극개발 | 센서케이블 전극 | 30 | | | | | | | | | | | | |
| | | 2 | 2-2 | 2-2-① | 메인회로 및 PCB | 시작품 | 45 | | | | | | | | | | | | |
| | | 2 | 2-2 | 2-2-② | 토양수분 계측기 | 시작품 | 30 | | | | | | | | | | | | |
| | | 2 | 2-2 | 2-2-③ | 무선원격 센서노드 데이터 전송률 | 서버수집 현황기록 | 25 | | | | | | | | | | | | |
| | | 2 | 2-3 | 2-3-① | 테스트 베드 구축 (11월) | 현장 | 25 | | | | | | | | | | | | |
| | | 2 | 2-3 | 2-3-② | 테스트 베드 운용 (12월) | 현장 | 25 | | | | | | | | | | | | |
| | | 2 | 2-3 | 2-3-③ | WSN 구성 테스트 | 실증시연 | 30 | | | | | | | | | | | | |
| | 통합관제 시스템 | 3 | 3-1 | 3-1-① | 서버프로그램연계 동작 | 실증시연 | 20 | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 | 3-2 | 3-2-① | 데이터베이스설계 | 매뉴얼 | 20 | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 | 3-2 | 3-2-② | TCP/IP Protocol 개발 | 매뉴얼 | 20 | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 | 3-3 | 3-3-① | DB 프로그램 개발 | 실증시연 | 20 | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 | 3-3 | 3-3-② | 통합 관리 프로그램 개발 | 실증시연 | 20 | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 | 3-4 | 3-4-① | 원격장치와 서버간 데이터 통신 | 서버수집 현황 | 20 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 계 | | 480 | | | | | | | | | | | | |
| 공동 | 계측기설치장치개발 | 4 | 4-1 | 4-1-① | 설계 제작 | 시작품 | 40 | | | | | | | | | | | | |
| | | 4 | 4-2 | 4-2-① | 시작품 제작 | 보고서 | 40 | | | | | | | | | | | | |
| | | 4 | 4-3 | 4-3-① | 실외 효율성 특성 평가 | 실증시연 | 20 | | | | | | | | | | | | |
| | | 4 | 4-4 | 4-4-① | 시제품 제작 | 시제품 | 41 | | | | | | | | | | | | |
| | | 4 | 4-4 | 4-4-② | 장치개발 및 필드테스트 | 현장실험 | 30 | | | | | | | | | | | | |
| | | 4 | 4-5 | 4-5-① | 토양수분누수진단활용성평가 | 보고서 | 30 | | | | | | | | | | | | |
| | | 4 | 4-6 | 4-6-① | 실내모형실험에 따른 계측기 특성분석 | 보고서 | 40 | | | | | | | | | | | | |
| | 시스템적용성 검증 및 계측기준 수립 | 5 | 5-1 | 5-1-① | 적용성 검증 | 보고서 | 40 | | | | | | | | | | | | |
| | | 5 | 5-3 | 5-3-① | 저수지 계측기준 수립 | 지침서 | 40 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 계 | | 321 | | | | | | | | | | | | |

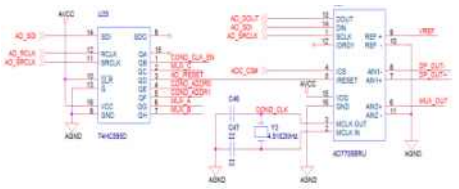
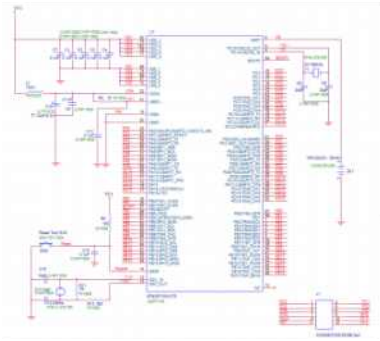
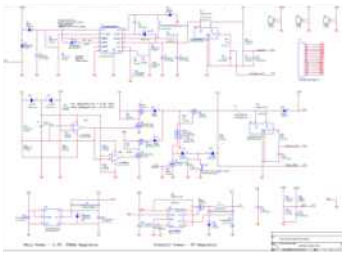
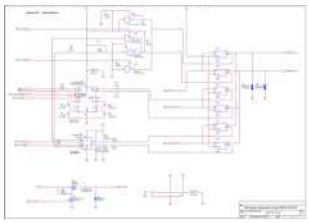
# 라. 연구내용

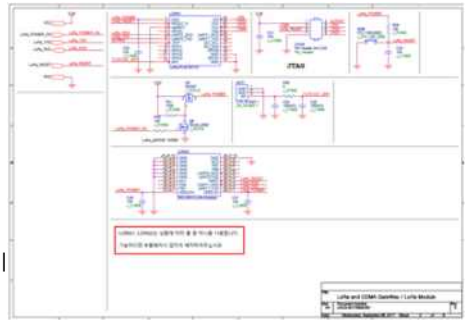
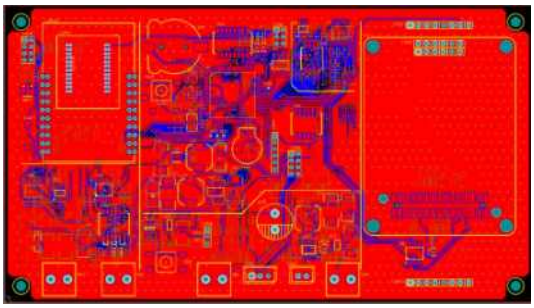
(1) 연구내용 요약

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 1차년 요약<br><br>원격무선 게이트웨이 개발 | 원격 무선 데이터 전송 자문보고서(무선 네트워크 기술 및 IoT 동향)<br><br>성과 1-1-1<br>성과 1-1-2<br>성과 1-1-3<br>성과 2-2-1 | 1. 저전력 소모<br>2. IoT 자원 동적 관리 및 공유 기술<br>3. IoT 데이터 처리 및 관리 기술<br>4. LoRa 기술<br>-LoRa는 통신 범위를 증가시키기 위해 저전력 특징<br>-chirp spread spectrum 변조방식<br>-LoRa를 이용한 사물인터넷은 CDMA/LTE 모뎀 방식과 유사한 기능<br>-장치를 활용하는 과정을 훨씬 더 간단하게 진행<br>  <br><br><LoRa의 system architectur><br><br>  <br><br><Device Classes> |
| | 자체 WSN 구성을 위한 LoRa 방식 무선모듈 검토<br><br>성과 1-1-1<br>성과 1-1-2<br>성과 1-1-3<br>성과 2-2-1 | SIT Technology-250LS051<br><br> <br><br>  |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 1차년 요약 | 원격전송 기술의 진화 동향 조사<br><br>성과 1-1-1<br>성과 1-1-2<br>성과 1-1-3<br>성과 2-2-1 | - USN을 활용한 반경 3km의 중, 단거리 무선네트워크 및 CDMA, LTE 망을 이용한 원거리 원격전송 시스템<br>  <br>- 격오지역의 위성통신을 이용한 원격제어시스템 및 위성통신기술과 무선망을 결합한 하이브리드 그물망 기술<br>- 광역 및 확장 망 기술<br>  |
| 원격무선 게이트웨이 개발 | 원격 무선 데이터 전송 자문(무선 네트워크 기술 및 IoT 동향)<br><br>성과 1-1-1<br>성과 1-1-2<br>성과 1-1-3<br>성과 2-2-1 | **비IP 네트워크 표준 기술**<br>ZigBee, Z-Wave, INSTEON, WAVENIS, 6LoWPAN<br>  <br><br><TCP/IP 프로토콜 스택과 6LoWPAN 프로토콜 스택><br>**IoT 서비스 플랫폼을 이루는 주요 구성 기술**<br> <br><br><스마트 IoT 미들웨어 서비스 개념도> |

<table>
<tr><th>연구<br>범위</th><th>연구 수행 방법<br>(이론적・실험적 접근방법)</th><th>구체적인 내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1차년<br>요약<br><br>원격무선<br>게이트웨<br>이 개발</td><td>원격장치 회로<br>설계<br><br>성과 1-1-1<br>성과 1-1-2<br>성과 1-1-3<br>성과 2-2-1</td><td>- 원격장치는 계측장치로부터 계측값을 전송받는 접속부와 이를 저장하는 메모리, 저장된 계측값을 데이터서버로 전송하는 CDMA 모듈로 구성되어 있음.<br><br>  </td></tr>
<tr><td>자체 WSN 구성을<br>위한 LoRa 방식<br>무선모듈<br>검토<br><br>성과 1-1-1<br>성과 1-1-2<br>성과 1-1-3<br>성과 2-2-1</td><td>
<table>
<tr><th>Components</th><th>Features</th></tr>
<tr><td>MCU</td><td>* 16-Bit RISC Architecture<br>* Low power consumption<br>(Standby Mode(LPM3): 2.1uA at 3.0V)</td></tr>
<tr><td>RF Transceiver</td><td>* LoRa Technology RF modulation<br>* Frequency: 902MHz ~ 958MHz<br>* Modulation: FSK, GFSK, MSK,GMSK, LoRa™ and OOK</td></tr>
<tr><td>Internal Memory</td><td>128KB Flash, 16KB SRAM</td></tr>
<tr><td>Interface Type</td><td>I2C, UART 2 ports, GPIO, ADC</td></tr>
<tr><td>Operation Range</td><td>Up to 15Km(5Km coverage at urban area)</td></tr>
<tr><td>Rx Sensitivity</td><td>Up to -137dBm (BW:125kHz, SF:12)</td></tr>
<tr><td>RF Tx Power</td><td>0 to 14dBm<br>* PA Boost mode 적용 시: 20dBm</td></tr>
<tr><td>DC Input Voltage</td><td>+3.3VD</td></tr>
<tr><td>Battery Operation Voltage</td><td>+2.1 to +3.6V</td></tr>
<tr><td>Operating Temperature</td><td>-40℃ ~+85℃</td></tr>
<tr><td>Maximum Current</td><td>40mA</td></tr>
</table>
<br></td></tr>
</table>

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 1차년 요약<br><br>원격무선 게이트웨이 | 원격장치 회로 설계<br><br>성과 1-1-1<br>성과 1-1-2<br>성과 1-1-3<br>성과 2-2-1 | - 계측장치에서는 계측하는 아날로그 신호를 디지털신호로 변환하는 A/D 컨버터가 핵심요소이며 전극은 감지의 일관성과 정밀도 및 재현성이 뛰어나야 하고 A/D 컨버터는 값의 정밀도를 나타내는 분해능과 변환 주파수 임.<br>- 과제에서는 16bit 이상의 분해능과 최소 38.4KHz 부터 최고 307.2KHz 까지의 변환 주파수를 갖고 있음.<br><br>  <br><br><ADC 회로><br>STM32F103VCT(STM 마이크로 엘렉트로닉스 사의 32bit Core)를 이용한 CPU 회로 개발<br><br>  <br><br><CPU 회로><br>- 리니어 테크놀로지 사의 LT3652 제어 Chip을 이용한 태양전지 충전제어 회로 및 전력원 자동 선택 회로 개발<br><br>  <br><br><Power 제어 회로><br>- 계측기와의 인터페이스는 계측기의 통신방식에 따라 자동으로 통신방식이 전환되는 특허 회로를 포함하여 개발<br><br>  |

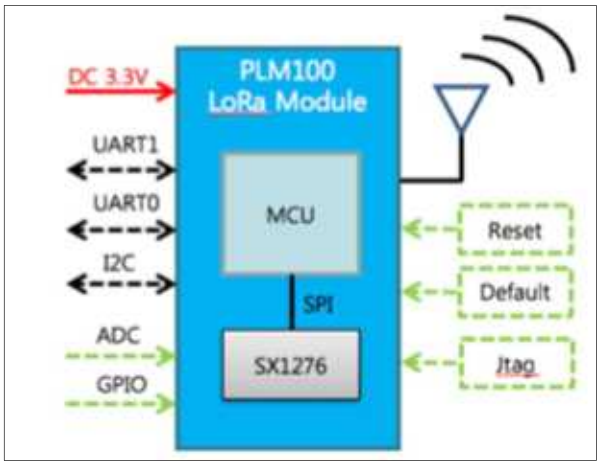
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 1차년 요약<br><br>원격무선 게이트웨이 개발 | 원격장치 회로 설계<br>시작품<br><br>성과 1-1-1<br>성과 1-1-2<br>성과 1-1-3<br>성과 2-2-1 | . LoRa Module Circuit<br>- 계측 단말에서 계측한 데이터를 원계측장치 전송용 Port<br><br>  <br><LoRa Module Circuit><br><br>. PCB 아트워크<br><br>  <br><원격무선게이트 웨이 아트워크> |
| | 1차년<br><br>시작품<br>(원격게이트웨이/형상은 연구기간 동안 바뀔 수 있음)<br><br>성과 1-1-1<br>성과 1-1-2<br>성과 1-1-3<br>성과 2-2-1 | <br> |

<table>
<tr><th>연구<br>범위</th><th>연구 수행 방법<br>(이론적・실험적 접근방법)</th><th>구체적인 내용</th></tr>
<tr><td>1차년<br>요약<br><br>원격무선<br>게이트웨<br>이</td><td>자체 WSN 구성을<br>위한 LoRa 방식<br>무선모듈<br>검토<br><br>성과 1-1-1<br>성과 1-1-2<br>성과 1-1-3<br>성과 2-2-1</td><td>

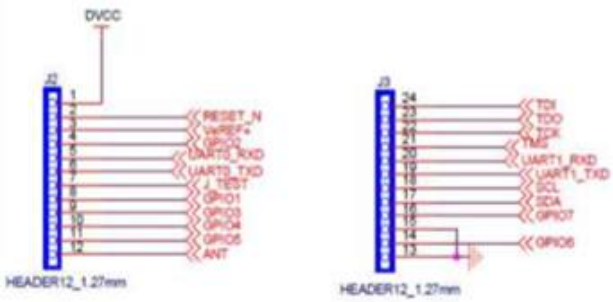
UART default setting: 115200baud(BS) 9600baud(RS)/1stop/No parity/8Bits

| Device | Command | Remark |
|---|---|---|
| BS | $?= | Display command list |
| All | $Rpar= | Display system parameters |
| All | $Wgid=<n>:<m> | Register GIDn as <m> |
| All | $Wdvt=<n> | Change device type, 0:BS, 1:RS, 2:MS, 3:SN, 4:SNRS |
| All | $Wntwid=<n> | Save NID in RAM into FLASH |
| All | $Wrfpower=<n> | N=2~17, 20[dBm] |
| All | $Wsf=<n> | N=6,8, ...,12 (LoRa SF value) |
| All | $Rflash= | Display parameters in RAM |
| All | $Wflash= | Save parameters in RAM into FLASH |
| BS | $Wloopback=0 or 1 | Enable (n=1), Disable (n=0) |
| BS | $Wupload=a or h | Binary = Hexa display(h), as it is(a) |

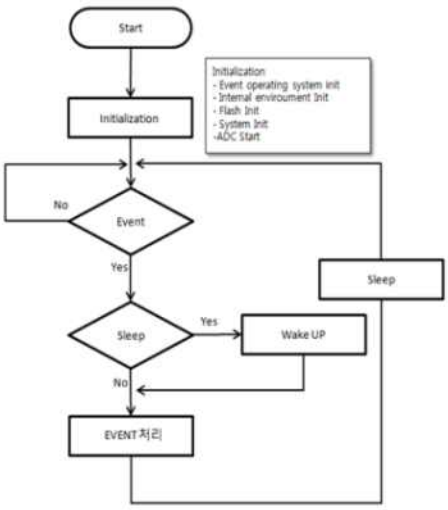
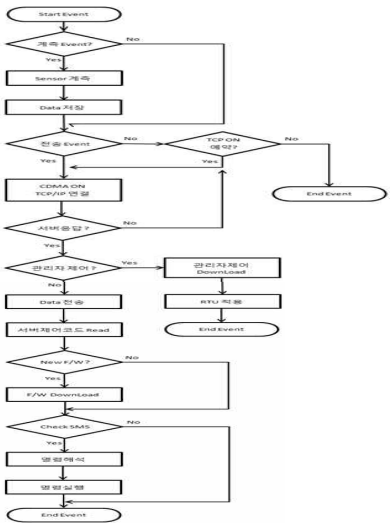
PLNetworks – PLM100

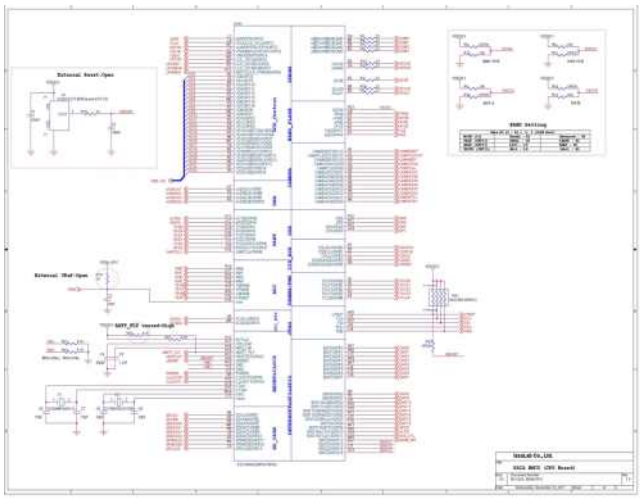
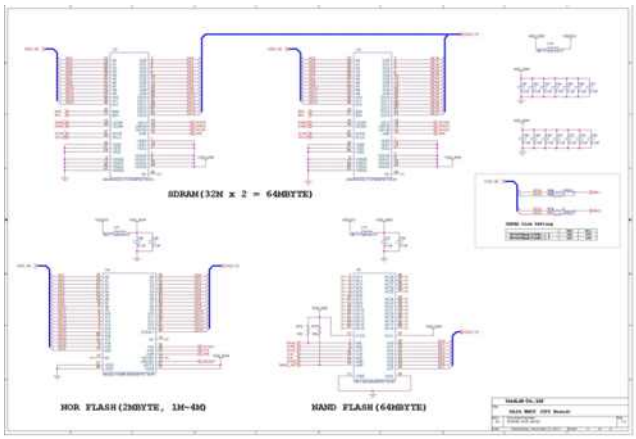



| Component | Features |
|---|---|
| Size | 22.0(H) x 19.0(W) x 3mm(T) |
| Weight | 5g |
| Antenna Receptacle | Murata, MM9329-2700 |
| PCB Thick | 1.0mm |




</td></tr>
</table>

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 1차년 요약<br><br>원격무선 게이트웨이 | 임베디드 펌웨어 알고리즘 개발<br><br>성과 1-1-1<br>성과 1-1-2<br>성과 1-1-3<br>성과 2-2-1 |  <br><br><펌웨어 전체 플로우><br><br>  <br><이벤트처리 플로우> |
| | 원격모니터링 GUI | <br><로그인 화면><br> <br><최종데이터 확인><br> <br><기간별 데이터 확인><br> <br><그래프 추이 확인> |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 1차년 요약<br><br>TDR 방식 계측기 메인 PCB | TDR 센서<br>Main 회로설계<br><br>성과 1-1-1<br>성과 1-1-2<br>성과 1-1-3<br>성과 2-2-1 |  <br>  |
| | 메인 PCB<br>시작품 (형상은 연구기간 동안 바뀔 수 있음)<br><br>성과 1-1-1<br>성과 1-1-2<br>성과 1-1-3<br>성과 2-2-1 | |

<table>
<tr><th>연구<br>범위</th><th>연구 수행 방법<br>(이론적・실험적 접근방법)</th><th>구체적인 내용</th></tr>
<tr><td>1차년<br>요약<br><br>댐의<br>누수<br>특성<br>분석을<br>통한<br>유형<br>분류</td><td>- 누수 위치에 따른 누수 특성 분석</td><td>
2.누수 위치에 따른 누수 특성 분석 결과<br><br>
1.1 누수 위치에 따른 누수 형태의 분류<br><br>
● 국내외 누수 사례를 분석하여 보면 크게 3가지 형태로 누수 되고 있음.<br>
● ①댐의 기저부에서의 누수, ②여수로 및 집수벽 접족부에서의 누수(양안 접촉부 포함), ③제체에서의 누수<br><br>
누수형태별 누수원인
<table>
<tr><th>순번</th><th>누수 형태</th><th>누수원인</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1</td><td rowspan="3">기저부 유출형<br>(A Type)</td><td>기반암의 균열 및 파쇄대</td></tr>
<tr><td>기반암과 제체의 접합부 불량</td></tr>
<tr><td>제체하부에 모래, 자갈등 투수성이 높은 층 존재</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2</td><td rowspan="3">여수로 및<br>집수벽 접촉부<br>누수형<br>(B Type)</td><td>여수로 또는 양안 접합부 불량</td></tr>
<tr><td>여수로 기초부의 침투</td></tr>
<tr><td>양안 접촉부의 균열</td></tr>
<tr><td rowspan="3">3</td><td rowspan="3">제체 유출형<br>(C Type)</td><td>축조재료 및 제체의 다짐불량</td></tr>
<tr><td>제체의 균열로 인한 제체 내부로의 침투</td></tr>
<tr><td>배수구등의 구조물의 균열로의 침투</td></tr>
</table>

댐의 누수 유형 분류 모식도
</td></tr>
</table>

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 1차년 요약<br><br>국내 댐 현황 및 저수지 현황 분석 | - 국내 댐 및 저수지현황 및 자료 조사 | |

1.국내 댐 및 저수지 현황 조사

- 수자원공사의 국내 댐 현황자료에 의하면 국내 댐은 수자원공사, 수력원자력, 농어촌공사, 지자체에서 관리.
- 댐용도별로 다목적댐(21), 용수댐(14), 발전용댐(8), 홍수전용댐(5), 농업용수댐(12,038)으로 분류하고 다목적댐, 용수댐, 발전용댐, 홍수전용댐은 수자원공사와 수력원자력에서 관리하고 있으며 농업용수댐은 한국농어촌공사 및 지자체에서 관리.

<표 1> 수자원공사 및 수력원자력 관리 댐 현황

| 용도 | 시설명 | 형식 | 용도 | 시설명 | 형식 |
|---|---|---|---|---|---|
| 다목적 | 소양강 | E.C.R.D | 용수공급 | 대곡 | C.F.R.D |
| | 용담 | C.F.R.D | | 선암 | E.F |
| | 대청 | C.G_E.C.R.D | | 감포 | E.C.R.D |
| | 장흥 | C.F.R.D | | 구천 | R.F |
| | 보령 | E.C.R.D | | 연초 | R.F |
| | 부안 | C.F.R.D | | 수어 | R.F |
| | 섬진강 | C.G.D | | 평림 | E.C.R.D |
| | 주암(본) | E.C.R.D | | 달방 | R.F |
| | 주암(조) | E.C.R.D | | 영천 | E.C.R.D |
| | 안동 | E.C.R.D | | 운문 | R.F |
| | 성덕 | C.G.D | | 광동 | R.F |
| | 임하 | E.C.R.D | 홍수조절 | 평화의댐 | C.F.R.D |
| | 영주 | C.G.D/C.F.R.D | | 담양홍수조절지 | Radial gate |
| | 군위 | C.F.R.D | | 화순홍수조절지 | Radial gate |
| | 김천부항 | C.F.R.D | | 군남홍수조절지 | C.G.D |
| | 보현산 | C.G.D | | 한탄강홍조절지 | C.G.D |
| | 합천 | C.G.D | 발전용 | 화천 | E.C.R.D |
| | 충주 | C.G.D | | 춘천 | C.G |
| | 남강 | C.F.R.D | | 의암 | C.G |
| | 밀양 | C.F.R.D | | 청평 | C.G |
| | 횡성 | E.C.R.D | | 팔당 | C.G |
| 용수공급 | 대암 | R.F | | 보성강 | C.G.E.C.R.D |
| | 사연 | R.F | | 괴산 | E.C.R.D |
| | 안계 | E.F | | 도암 | 사력댐 |

<표 2> 농어촌공사 및 지자체 관리 댐 현황

| 지역 | 전체 | 한국농어촌공사 | 지자체 |
|---|---|---|---|
| 서울 | 0 | 0 | 0 |
| 부산 | 60 | 5 | 55 |
| 대구 | 79 | 19 | 60 |
| 인천 | 31 | 16 | 15 |
| 울산 | 206 | 26 | 180 |
| 광주 | 100 | 42 | 58 |
| 대전 | 2 | 2 | 0 |
| 경기 | 221 | 92 | 129 |
| 강원 | 259 | 76 | 183 |
| 충청남도 | 624 | 189 | 435 |
| 충청북도 | 535 | 156 | 379 |
| 경상남도 | 2,280 | 416 | 1,864 |
| 경상북도 | 3,353 | 424 | 2,929 |
| 전라남도 | 2,552 | 854 | 1,698 |
| 전라북도 | 1,732 | 330 | 1,402 |
| 제주 | 4 | 3 | 1 |
| 합계 | 12,038 | 2,650 | 9,388 |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|

1차년 요약

국내 댐 누수 유형별 기존자료 분석 및 누수예상 특성 평가

- 누수특성 유형별 댐체 및 저수지의 시추공 내 수질 시료 동위원소, 라돈, 이화학 분석을 통한 누수특성 평가

<지하수위 측정>

<심도별 시료 채취>

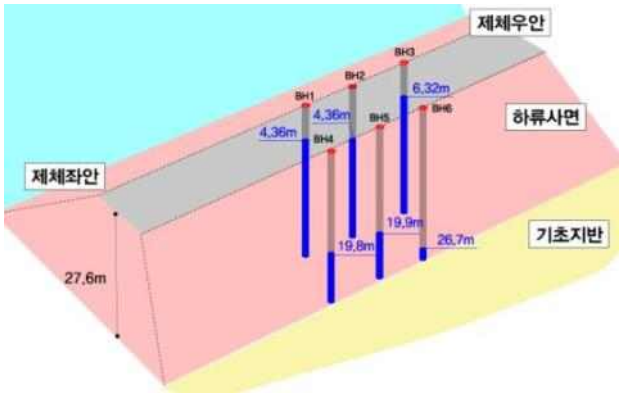
<수질 시료 현장 측정>

< 방류수 시료 채취>

[그림 10] 00저수지 수질시료 채취 사진

[표 55] 00저수지 지하수위 측정표

| 시추공 | 지하수위 (G.L -m) | 시추공 심도 (m) | 비 고 |
|---|---|---|---|
| BH1 | 4.36 | 30 | 10m 구간에서 시료채취 |
| BH2 | 9.65 | 30 | 10, 25m 구간에서 시료채취 |
| BH3 | 6.32 | 30 | 10m 구간에서 시료채취 |
| BH4 | 19.8 | 30 | 10m 구간에서 시료채취 |
| BH5 | 19.9 | 30 | 10m 구간에서 시료채취 |
| BH6 | 26.7 | 30 | 채취 못함 |

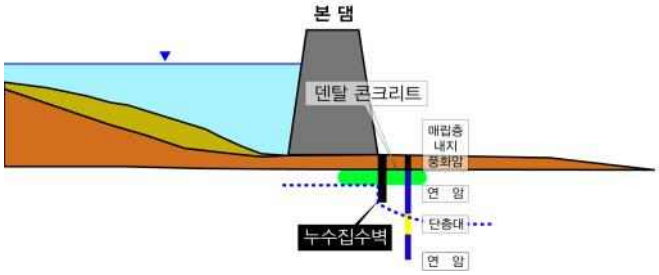


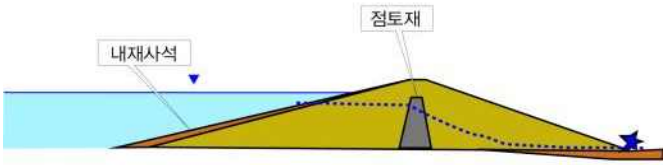

[그림 11] 00저수지 지하수위 분포

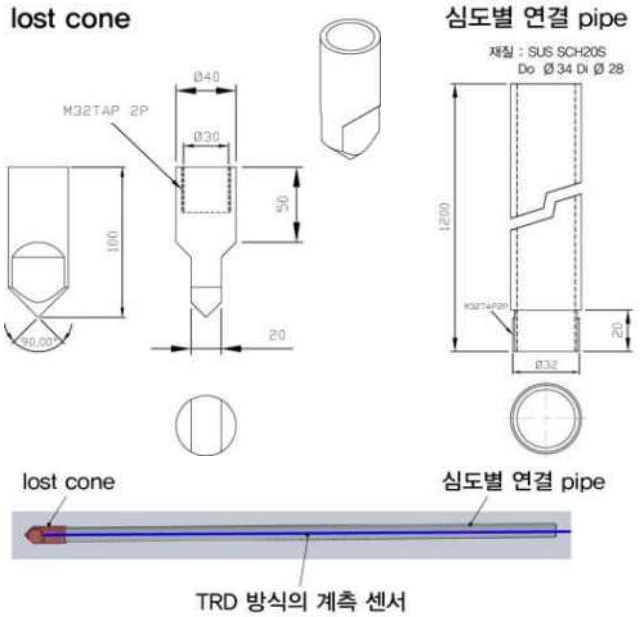
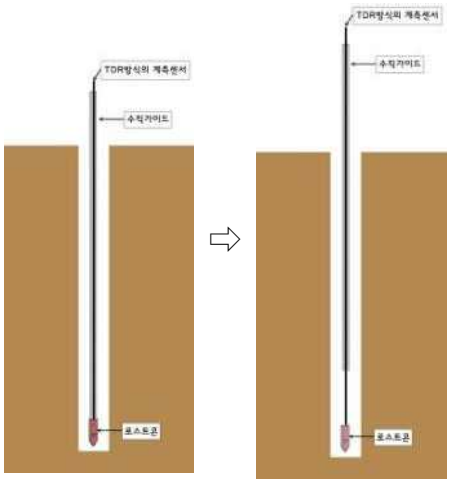
● 누수특성 분석결과

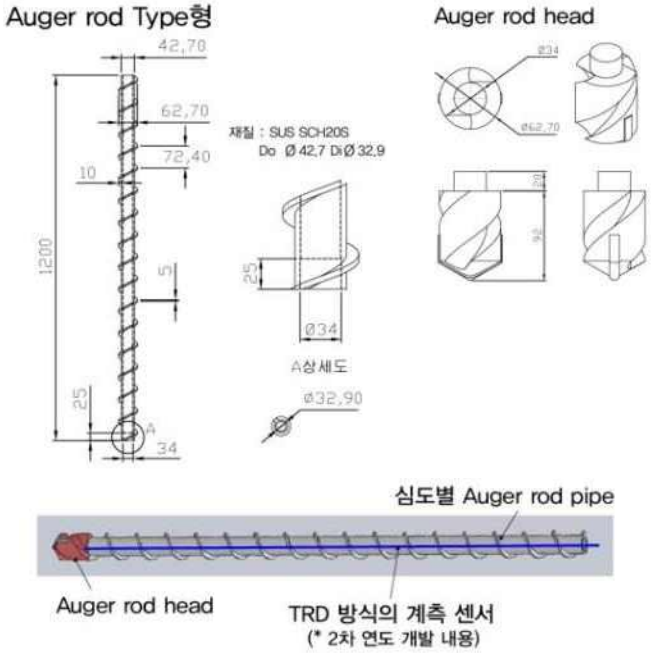
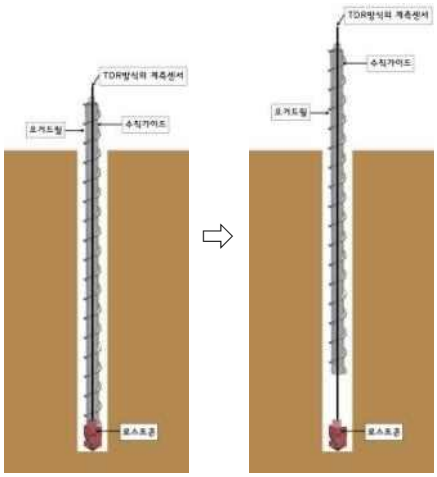
| 00댐 누수 특성 분석 결과 |
|---|
| 동위원소 및 라돈 분석 결과 값을 토대로 특성 분석 中 |

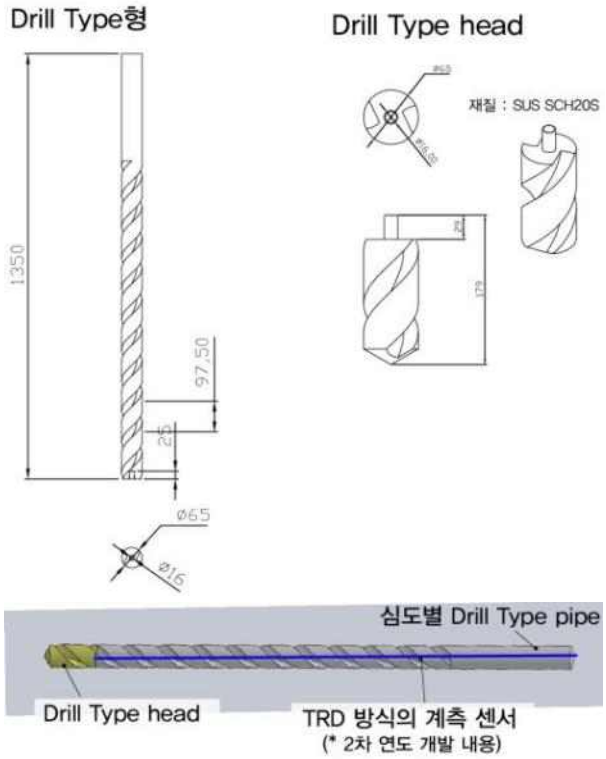
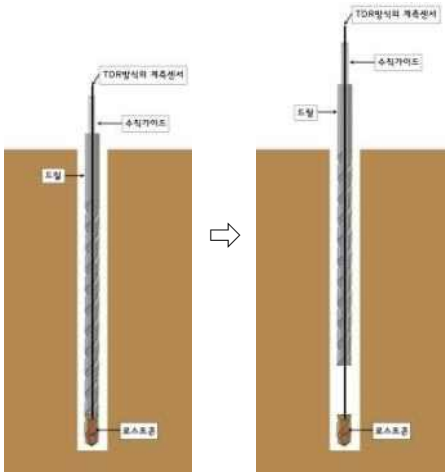
- 분석결과 값을 토대로 동위원소를 활용하여 지하수의 연령, 지하수와 강수와의 관계, 누수의 기원 등의 정보를 획득 할수 있으며 이를 통해 누수특성 평가를 수행할 예정임.

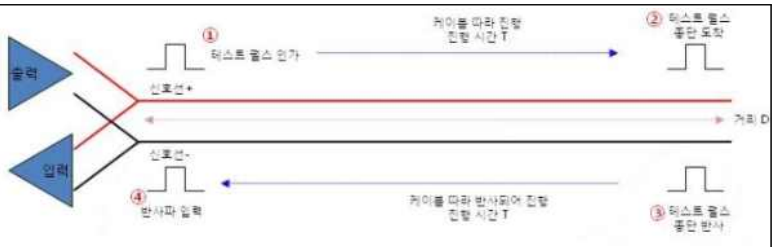
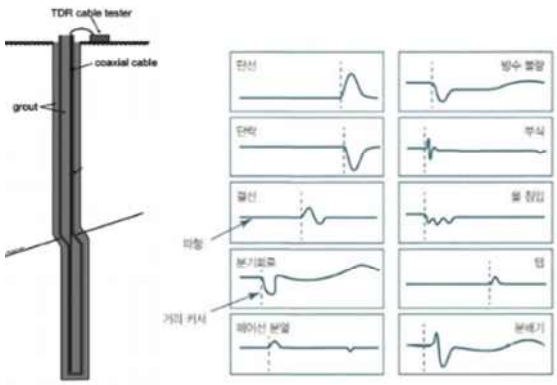
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 1차년 요약<br><br>누수 유형별 특성평가 결과 누수 유형에 따른 TDR 센서 삽입장치 개발 방향 및 선정 | - 계측기 설치 방안 검토 | 1. 누수유형에 따른 계측기 개발 유형분류<br><br>● 연구계획 시 비굴착 방식의 이론적 배경으로 센서를 지중에 설치하기 위해 건설공법 중 시트파일을 설치하기 위한 공법을 고려하여 TDR 센서 삽입을 계획하였음.<br><br>● 관련공법은 다음과 같음<br>- Auger 압입용 공법<br>- 유압식 압입 인발 공법<br>- 바이브로 햄머에 의한 항타 공법<br>- Water Jet 병용 공법<br><br>● 이중 Auger 압입용 공법에서 착안 하여 설계를 계획하였으나 누수 유형별 제체에 따른 특성 분석 결과 크게 1) A Type(기저부 유출형) 2) B Type(집수벽 및 여수로 접촉부 유출형) 3) C Type(제체 누수형)으로 구분되어 TDR 센서 삽입 장치를 설계하였음. |
| | - A Type(기저부 유출형) 계측기 적용 방안 분석 | 1.A Type 계측기 적용 방안<br><br>● A Type(기저부 유출형)<br>- 대형댐의 경우 단층대가 하부에 존재할 경우 보강을 위해 Dental concrete가 시공된다. 이러한 Dental concrete 본댐에서 누수집수벽까지 연장시공 되었을 경우 하부의 누수는 연암 확인구간에 단층대를 따라 누수가 이루어질 가능성도 배제 시 킬 수 없음.<br>- 단층파쇄대 내 점토로 충진된 경우 지속적인 지하수의 집중현상을 유발 할 수 있어 하부로 유출될 가능성이 사례분석을 통해 확인되었음.<br>- 이러한 누수 형태는 주로 중.대형 댐에서 보이며, 중.대형 댐의 제체 하부의 풍화암층 또는 연암층에 계측장비를 설치하기 위해서는 대형 굴진장비를 이용하여 계측기를 설치 하여야 함.<br>  <br><br>[그림 13] 기저부 유출형 모식도 |
| | - B Type(집수벽 및 여수로 접촉부 유출형) 계측기 적용 방안 | 1.B Type 계측기 적용 방안<br><br>● B Type(집수벽 및 여수로 접촉부 유출형)<br>- 여수로 구조물 및 집수벽 구조물은 완공 후 시간에 지남에 따라 손상, 균열로 인해 노후화를 진행시키고 내구연한을 다하지 못하는 경우 누수를 발생시킴. 또한 집수벽과 여수로 주변부로 기저부 유출형과 마찬가지로 풍화대나 단층파쇄대가 존재할 경우 누수의 경로가 될 가능성이 크다.<br>- A Type의 누수 유형과 마찬가지로, 집수벽 또는 여수로 접하부의 기초하부의 풍화암 또는 연암층에 계측장비를 설치하기 위해서는 대형 굴진장비를 이용하여 계측기를 설치 하여야 함. |

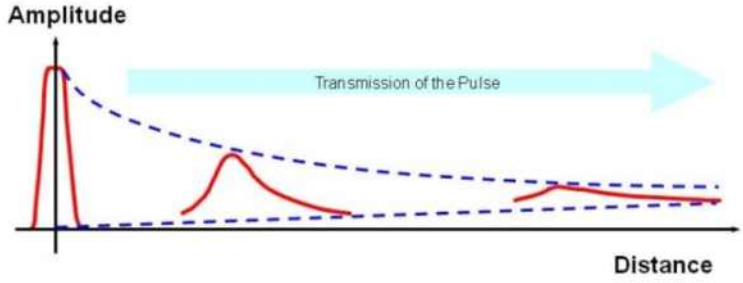
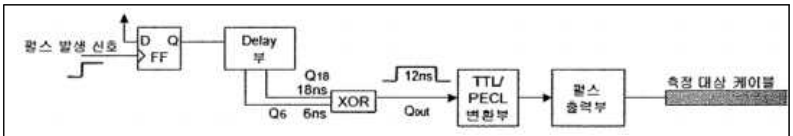
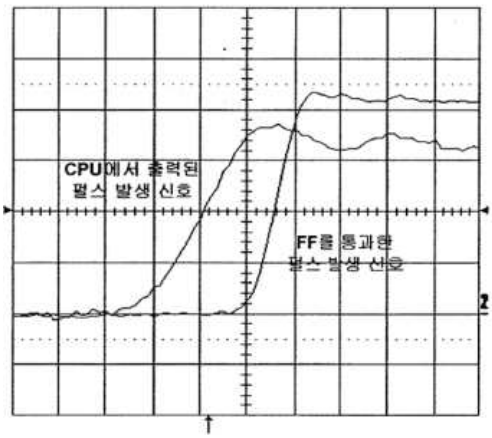
<table>
<tr><th>연구<br>범위</th><th>연구 수행 방법<br>(이론적・실험적 접근방법)</th><th>구체적인 내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1차년<br>요약<br><br>누수<br>유형별<br>특성평<br>가<br>결과<br>누수<br>유형에<br>따른<br>TDR<br>센서<br>삽입장<br>치<br>개발<br>방향<br>및<br>선정</td><td>- C Type(제체 누수형) 계측기 적용 방안 분석</td><td>1.C Type 계측기 적용 방안<br><br>● C Type(제체 누수형)<br>- 소규모 저수지에서 일반적으로 나타날 수 있는 누수 현상은 제체의 부실 현상 중 대표적인 것으로 파이핑에 의해 발생되며 이는 차수벽 시공 불량, 제당 기초 지반 처리 불량, 제체와 복통 접합부의 접착불량 등 다양한 원인이 작용한다.<br>- 국내 저수지의 대부분을 차지하는 토언제는 점토 중심코어형이 일반적이며 저수지 축조 재료에 대한 세분화된 분류기준이 명확하지 않음.<br>- 이러한 대부분의 소규모 저수지는 점토 및 토사로 제체를 축조하여 대형 굴진장비 없이 직접타격에 의한 계측기 설치가 가능함.<br><br>  <br><br>[그림 14] 제체 유출형 모식도</td></tr>
<tr><td>- 국내 댐 및 저수지 누수 현황과 누수예상 특성 분석 결과에 따른 누수유형별 TDR 센서 삽입 장치 설계</td><td>● 누수 유형별 종류에 따라 일부 대형댐의 경우 그라우팅 및 차수벽 시공을 하였더라도 하부 심도에 균열대 및 단층대가 존대할 경우 누수가 발생할 가능성이 있어 기저부 유출형, 집수벽 및 여수로 접촉부 유출형의 경우 시추 및 장비굴착을 하여 로스트 콘형태로 TDR 센서를 삽입하고 외부보호관은 제거하는 방식의 장치를 설계하였음.<br><br>● 소규모댐 및 저수지는 제체를 통한 누수가 일반적으로 누수 및 안정성 예측을 위해서는 침윤선을 확인 하는 것이 중요하며 이런 특성은 저수지의 제당의 투수특성, 코어유무 등 여러 가지 조건에 따라 달라진다. 제체 누수형은 이런 침윤선을 따라 형성되고 제체 하단의 표면부에서 발생하기 때문에 소형장비에 장착하여 사용이 가능한 Auger rod방식과 Drill Type 형 방식의 장치를 설계하였음.<br><br>[표 17] 누수 유형별 삽입 장치 적용 대상 표<br><table><tr><th>누수특징에 따른 유형</th><th>삽입 장치 설치 형태</th><th>삽입 장치 Type</th><th>적용댐 규모</th></tr><tr><td>A Type</td><td rowspan="2">장비 굴착 후 로스트콘형 센서 삽입 장치</td><td rowspan="2">Ⅰ형</td><td rowspan="2">중,대형 댐</td></tr><tr><td>B Type</td></tr><tr><td rowspan="2">C Type</td><td>Auger rod Type형 센서 삽입 장치</td><td>Ⅱ형</td><td rowspan="2">소형 댐</td></tr><tr><td>Drill Type형 센서 삽입 장치</td><td>Ⅲ형</td></tr></table></td></tr>
</table>

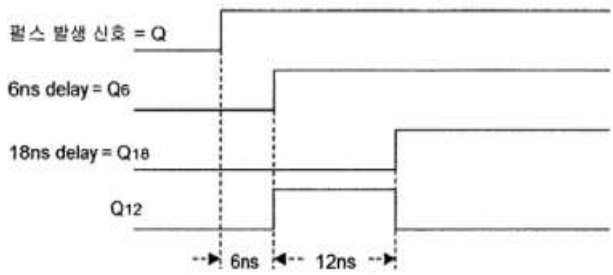
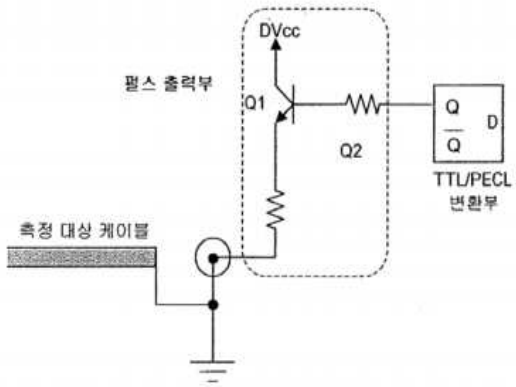
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 1차년 요약<br><br>누수 유형별 특성평가 결과 누수 유형에 따른 TDR 센서 삽입장치 설계 | - 누수 유형별 TDR 센서 삽입장치 설계도면 작성 | 1. A Type 및 B Type 적용 삽입장치<br><br>● 장비 굴착 후 로스트 콘형 센서 삽입장치(Ⅰ형)<br>  <br><br>[그림 15] Ⅰ형 설계도면<br><br>  <br><br>● 계측기 설치 구간이 풍화암 또는 연암 등으로 구성되어 있을 경우 사용하기 위한 삽입장치.<br>● 본 계측기는 크게 수직가이드, 커넥터, 스토퍼, 고정링, 로스트콘으로 구성되어 있음<br>● 굴진 장비를 이용하여 천공을 한 후 로스트콘과 수직가이드를 연결하고 수직가이드 내부에 스토퍼와 계측센서 케이블을 삽입.<br>● 계측장비를 천공한 홀에 설치 한 후 수직가이드 내측에 설치 한 스토퍼를 이용하여 로스트콘과 계측센서케이블만 남겨 놓고 수직가이드는 상부로 제거.<br>[그림 16] Ⅰ형 설치 모식도 |

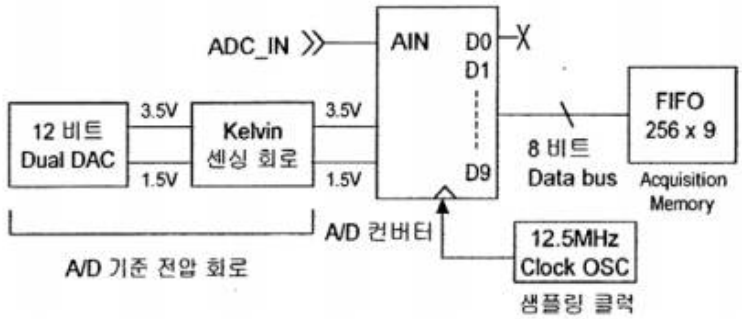
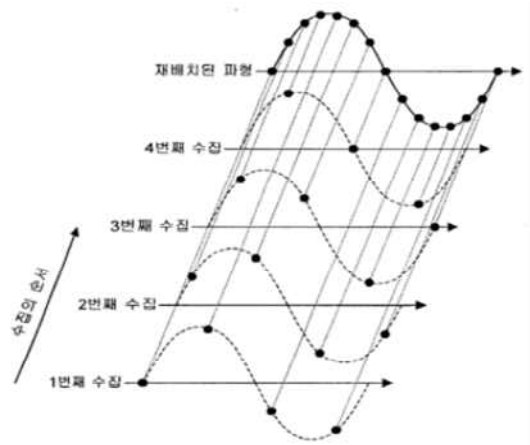
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 1차년 요약<br><br>누수 유형별 특성평가 결과 누수 유형에 따른 TDR 센서 삽입장치 설계 | - 누수 유형별 TDR 센서 삽입장치 설계도면 작성 | 2. C Type 적용 삽입장치<br><br>● Auger rod Typoe형 센서 삽입장치(Ⅱ형)<br>  <br><br>[그림 17] Ⅱ형 설계도면<br>  <br>● 계측기 설치 구간이 토사나 점토 등으로 구성되어 있을 경우 사용하기 위한 삽입장치.<br>● 본 계측기는 크게 오거드릴, 수직가이드, 커넥터, 스토퍼, 고정링, 로스트콘으로 구성되어 있음.<br>● 오거드릴 내부에 Ⅰ형의 계측장비가 들어가는 형태.<br>● 소형 장비와 오거드릴을 결합하여 천공 실시.<br>● 천공을 한 후 오거드릴 내부로 Ⅰ형의 계측삽입장치를 설치.<br>● 계측장비를 천공한 홀에 설치한 후 수직가이드 내측에 설치한 스토퍼를 이용하여 로스트콘과 계측센서케이블만 남겨 놓고 수직가이드 상부로 제거.<br>● 수직가이드를 제거 후 오거드릴도 제거 함으로써 설치 완료.<br>[그림 18]Ⅱ형 설치 모식도 |

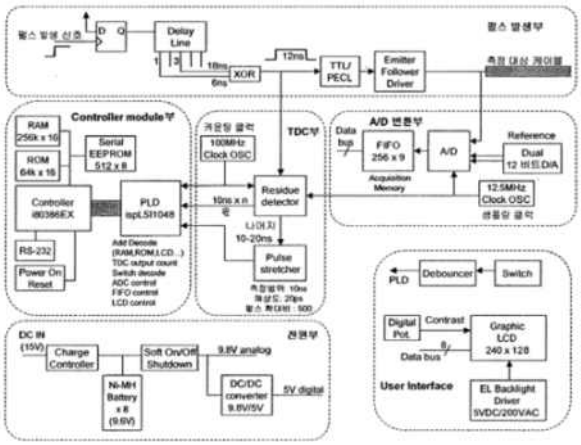
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 1차년 요약<br><br>누수 유형별 특성평가 결과 누수 유형에 따른 TDR 센서 삽입장치 설계 | - 누수 유형별 TDR 센서 삽입장치 설계도면 작성 | ● Drill Typoe형 센서 삽입장치(Ⅲ형)<br>  <br><br>[그림 19] Ⅲ형 설계도면<br>  <br>● 계측기 설치 구간이 토사나 점토 등으로 구성되어 있을 경우 사용하기 위한 삽입장치.<br>● 본 계측기는 크게 드릴, 수직가이드, 커넥터, 스토퍼, 고정링, 로스트콘으로 구성되어 있음.<br>● 오거드릴 내부에 Ⅰ형의 계측장비가 들어가는 형태.<br>● 소형 장비와 드릴을 결합하여 천공 실시.<br>● 천공을 한 후 드릴 내부로 Ⅰ형의 계측삽입 장치를 설치.<br>● 계측장비를 천공한 홀에 설치 한 후 수직가이드 내측에 설치 한 스토퍼를 이용하여 로스트콘과 계측센서케이블만 남겨놓고 수직가이드는 상부로 제거.<br>● 수직가이드를 제거 후 드릴도 제거 함으로써 설치 완료.<br>[그림 20]Ⅲ형 설치 모식도 |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | TDR 방식 누수탐지 기초연구 | TDR의 이해와 원리<br>- TDR은 케이블 내로 전송되는 전자기파는 케이블의 유형에 따라 다르게 결정.<br>- T 케이블과 같은 매질 속을 진행 할 때에는 속도의 감속이 일어나며 진공 속에서는 광속을 1 혹은 100%로 놓고 케이블의 광속에 대한 비율을 나타내는데 이를 전파속도 VOP라 함.<br><br>  <br>TDR의 측정 원리<br><br>- TDR의 기본 원리는 전송선 이론으로 케이블을 통해 전송된 입사파가 케이블 종단 혹은 특성 임피던스가 변화하는 지점에서 반사가 발생하며 반사파의 모양을 입사파와 비교를 통해 감지관의 파손으로 발생하는 단선 및 고장 점의 거리를 측정.<br><br>  <br>감지관의 단선 TDR 케이블 반사 파형 분석<br><br>- 반사된 파형을 입사 지점에서 관측하여 반사가 일어난 지점의 특성을 분석하며 누수의 위치와 제방의 붕괴와 지반의 변형을 보다 정확하게 확인.<br><br>- 또한 반사파 검출 시간을 측정하기 때문에 반사가 일어나 지점의 거리를 측정하기 위해서는 도착 시간에 전송 속도를 곱해서 계산. |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | TDR 방식 누수탐지 기초연구 | 측정거리 = 반사파의 도착시간 × 케이블의 VOP<br><br>- 계산을 통해 반사파의 형태와 도달까지 걸린 시간 등을 시간의 흐름에 따라 시간 축을 분석하여 원거리에 있는 사물 및 형상을 판정.<br><br>  <br><br>반사파의 감쇄효과<br><br>- 반사파의 세기 정도에 따라 회로 내에 걸리는 전압 또는 전류의 세기를 시간으로 변환하여 토양의 직접 용적 수분함량으로 환산하여 실제 설계 단계에서 반사계수를 고려.<br><br>입력(Intput) ― 제어 (Control)단계<br><br>  <br><br>펄스 발생 장치 블럭도<br><br>- 펄스 발생 장치 : 케이블에 인가하는 신호를 만드는 부분<br><br>  <br><br>플립플롭을 통과한 신호<br><br>- 플립플립을 통과한 신호는 최종적으로 원하는 폭을 갖는 펄스를 만들기 위해 Delay 부를 통과하여 딜레이를 통해 지연된 신호를 케이블 전극으로 출력 |

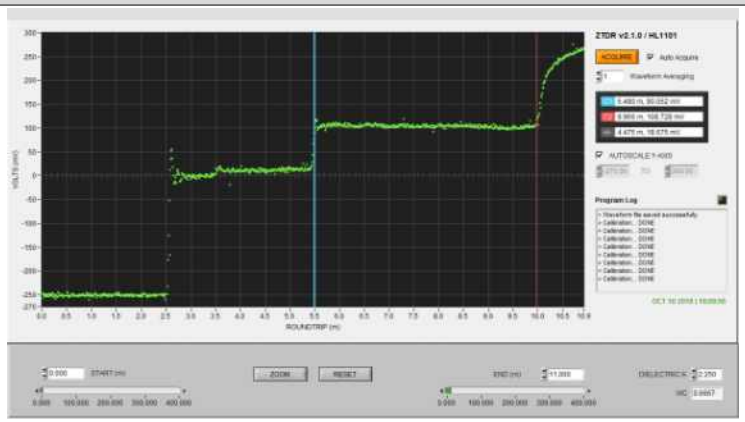
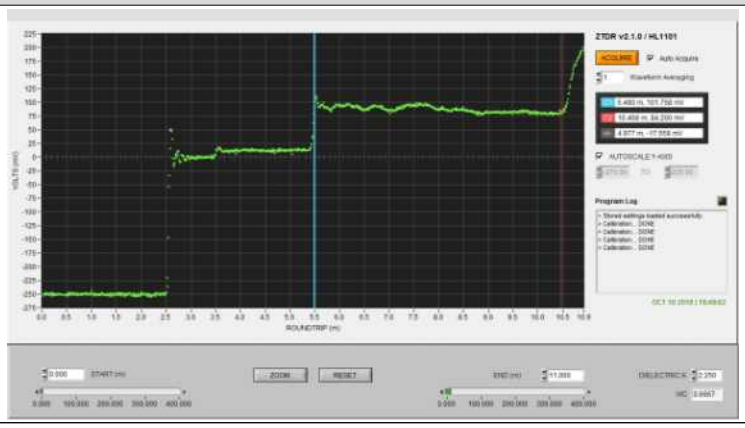
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | TDR 방식 누수탐지 기초연구 |  <br><br>펄스 생성 과정<br>- Delay부에서는 일정하게 시간만큼 지연된 두개의 신호를 출력.<br><br>  <br><br>펄스 출력부<br>- 반사된 파형이 펄스 발생기 내우 회로에 영향을 미치지 않게 펄스 출력부를 분리하여 설계.<br>- 최종 단에는 PECL로 변환된 펄스를 받아 케이블에 인가하는 버퍼 형태의 펄스 출력단 구성.<br><br>센서(Sensor) - 변환기(Transducer) 단계<br> <br><br>전송선 파형측정<br>- 전송선에 인가하는 전자파는 전송선을 따라 진행하고, 반사되어 돌아온 반사파는 A/D 컨버터로 입력. |

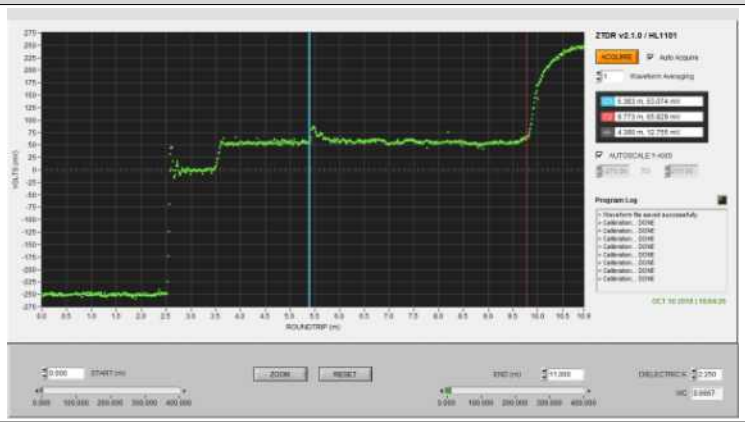
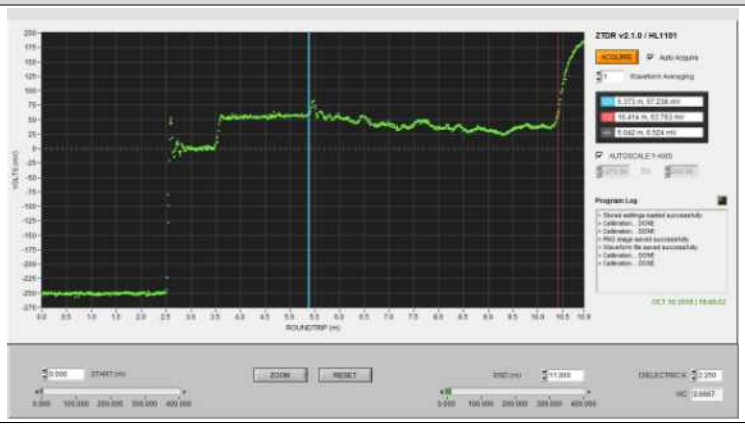
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | TDR 방식 누수탐지 기초연구 |  <br><br>A/D 변환부<br>- A/D 변환부는 12비트 dual DAC과 Kelvin 센싱 회로로 구성된 A/D 기준 전압 회로와 A/D 컨버터 그리고 메모리 소자인 FIFO로 구성<br>- Kelvin 센싱 회로는 입력받은 전압을 오차없이 A/D 컨버터로 출력하고 A/D 컨버터는 이를 기준 전압으로 사용.<br>- A/D 컨버터는 펄스 발생부에서 케이블에 인가한 펄스 신호와 케이블의 다양한 결함에 피해 반사되어 돌아오는 파형을 샘플링하고 A/D 변환을 하여 그 결과를 FIFO에 저장.<br><br>신호처리 (Sipnal-Conditioning) - 출력 (Output) 단계<br><br>  <br><br>RIS 모드의 원리<br>- RIS 모드에서는 주기적으로 파형을 측정하는 경우 여러 번의 수집을 걸쳐 얻은 데이터를 한 화면에 겹쳐 표시.<br>- 각 수집에 얻은 데이터들 간의 시간차를 알 수 있다면 여러 번 수집에서 얻은 데이터를 재배치해서 하나의 파형처럼 표시.<br>- RIS 모드를 구현하기 위해서는 각 수집에서 얻은 데이터들 간의 시간차 즉, 트리거 시점과 샘플링 클럭 사이의 시간차를 측정해야 하는데 이 시간차를 TDC를 이용하여 측정. |

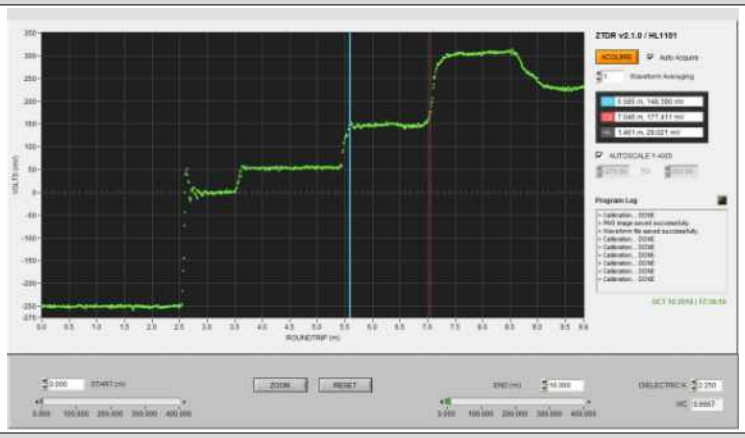
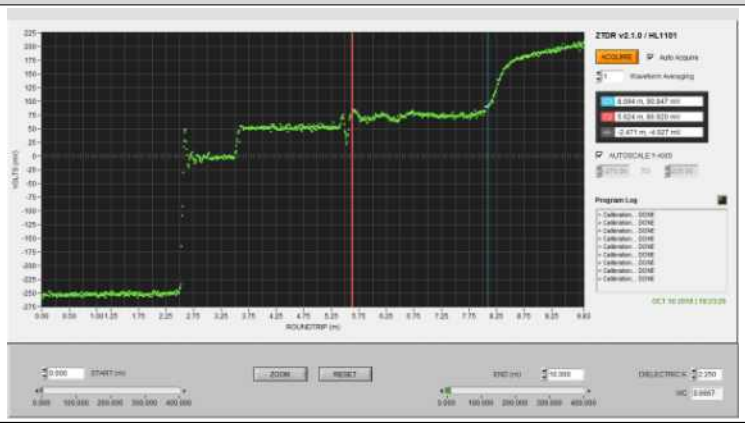
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | TDR 방식 누수탐지 기초연구 |  <br>TDR의 전체 블럭도<br><br>**저수지 제방 누수탐지 활용 방법**<br>하천제방은 토류구조물로서 흙, 물, 공기로 구성되어 있는데, 일반적으로 공기의 경우 1, 건조된 흙의 경우 3~6, 물의 경우 80의 유전상수 값을 가지고 있다(Reynolds,1997). 따라서, 제체 누수가 발생된다면 하천제방의 토체는 흙입자 사이의 간극에 물이 차지하는 비율이 커짐으로서 유전상수 값의 변화를 발생 한다.<br>TDR 기법은 전기자파의 상호 간섭효과를 이용하여 공기, 물, 흙입자 등으로 구성된 토체의 함수비 및 변위 등을 감지하는 시스템이다. TDR 센서를 따라서 파형화된 전자기신호의 탐사시간은 탐사파 속도 및 탐침 길이에 의존한다. 이때 탐사파 신호는 탐침 및 안내판 주변 재료의 유전상수(dielectric constant)에 영향을 받으며, 이 관계는 다음과 같은 식으로 표현된다.<br>$\Delta T = 2L\frac{\sqrt{Ka}}{C}$ (1)<br>여기서, Ka는 겉보기 유전상수(apparent dielectric constant), C는 자유공간속에서의 전자기파 속도, t는 탐사시간, L은 연결선의 길이를 의미하며, 식 (1)은 겉보기 탐침길이(apparent probe length, La=c⊿t/2) : 실제 탐침길이의 비인 겉보기유전상수(apparent dielectric constant)를 이용하여 간단하게 정리하면 식 (2)와 같다.<br>$\sqrt{Ka} = \frac{La}{L}$ (2)<br>한편, 유전상수와 함수비와의 관계는 다항식과 선형식 형태를 사용하는 경험기법 등이 제안되어 왔으며, Topp et al.(1980) 및 Ledieu et al.(1986) 등은 체적함수비($\theta$v)와 겉보기 유전상수(K<br>a)에 대하여 식 (3) 및 식 (4)와 같은 관계식을 제안하였다. (조진우, 2014)<br>$\theta$v=-5.3x10-2+2.92x102Ka-5.5x10-4Ka2+4.3x10-6Ka3 (3)<br>$\theta$v = 0.1138$\sqrt{Ka}$ - 0.1758 (4) |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | 케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 개발을 위한 실내 테스트 환경 구축<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3 | <br>실 적용성 평가를 위한 현장 토양 시료 채취<br>⇓<br> <br>실내 테스트 환경 구축<br>⇓<br> <br>테스트 진행 |

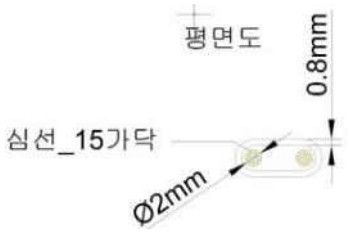
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | 케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 개발을 위한 수분 측정 실험<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3 | <br>케이블 전극 및 TDR 계측기 설치<br>⇓<br> <br>TDR 파형 측정<br>⇓<br> <br>파형 분석<br><br>- 실험내용:<br>케이블 전극 제작을 위하여 3종류의 케이블(linear type, Twisted type, Silver foil type)을 제작하여 각 케이블의 형태와 실제 적용 Site의 토양 시료의 수분함량에 따른 특성 분석 및 TDR 계측기의 주파수에 따른 반응 특성 분석 실험을 진행. |

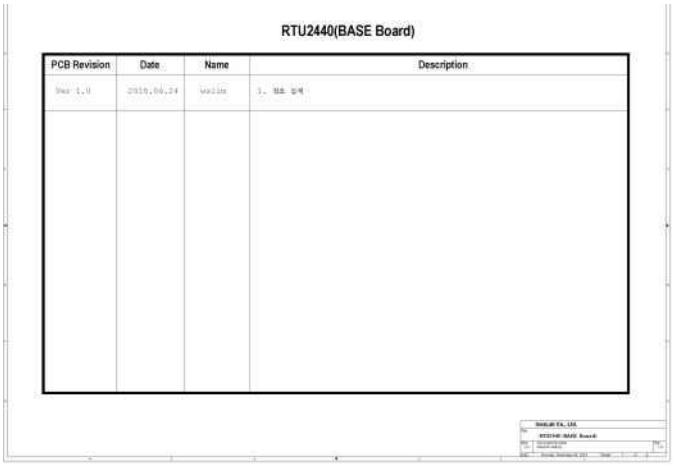
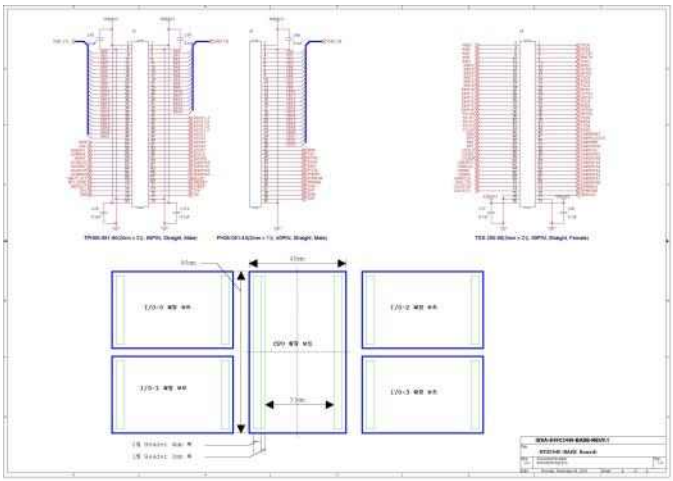
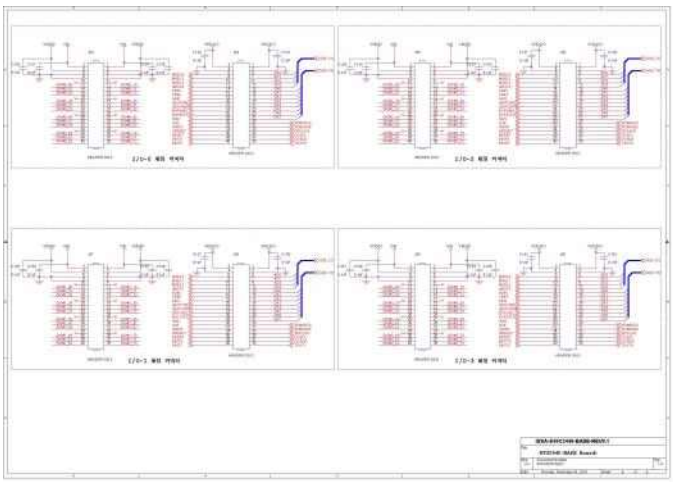
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | 케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 개발을 위한 수분 측정 실험<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3 | - 실험 데이터:<br><br>Twisted cable<br>측정 케이블 / 설치상태<br> <br><br>DRY<br>  <br><br>WET<br>  |

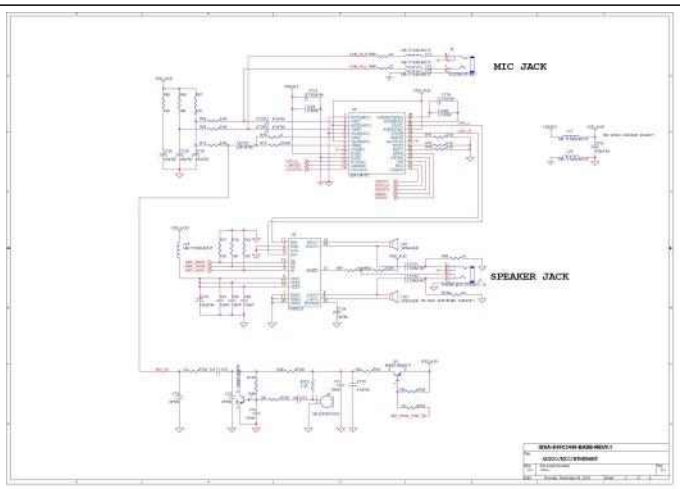
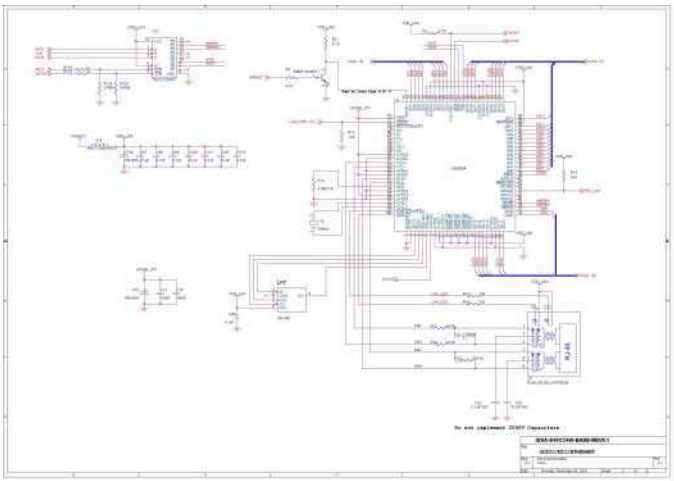
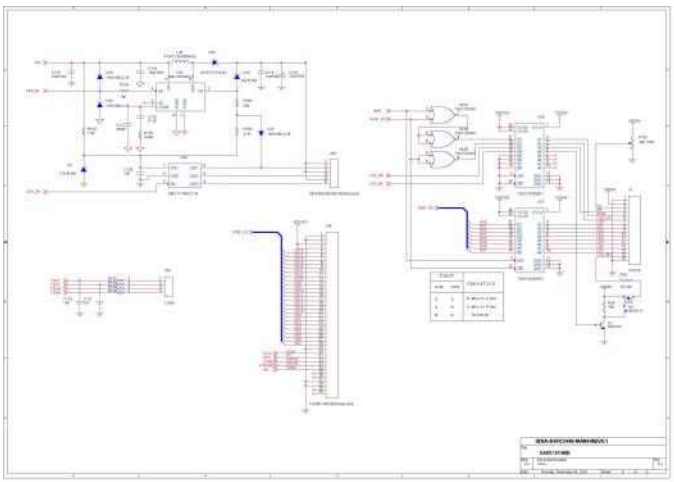
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | 케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 개발을 위한 수분 측정 실험<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3 | Linear cable<br>측정 케이블 / 설치상태<br> <br>DRY<br>  <br>WET<br>  |

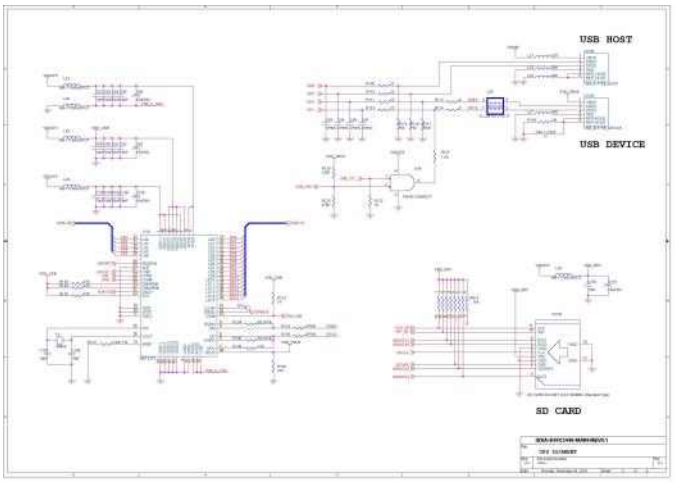
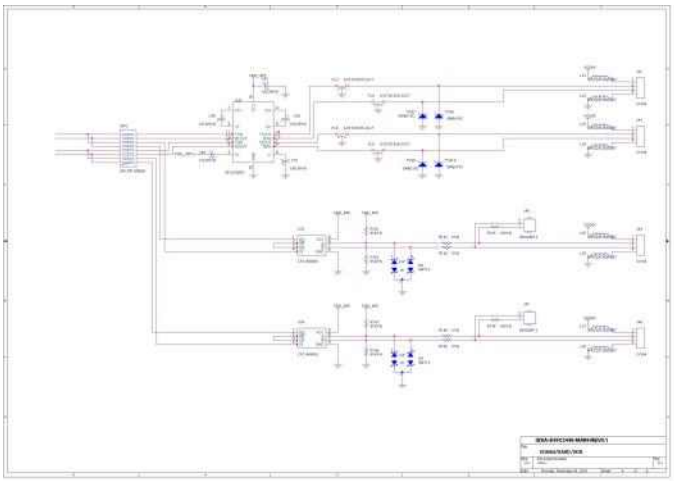
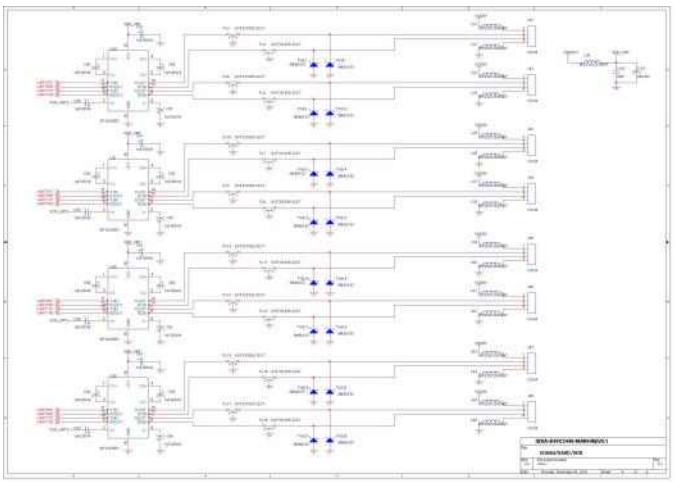
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | 케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 개발을 위한 수분 측정 실험<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3 | Silver hoil cable<br>측정 케이블 / 설치상태<br> <br>DRY<br>  <br>WET<br>  |

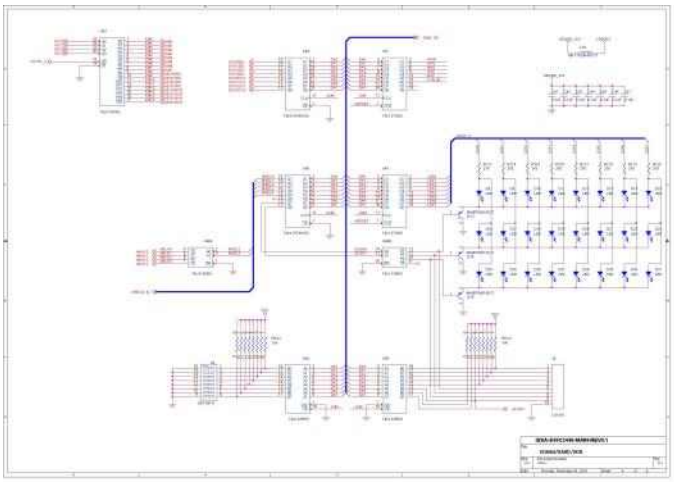
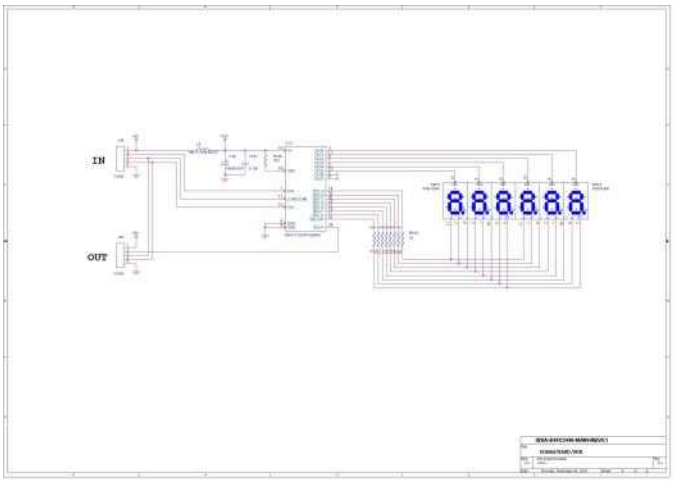
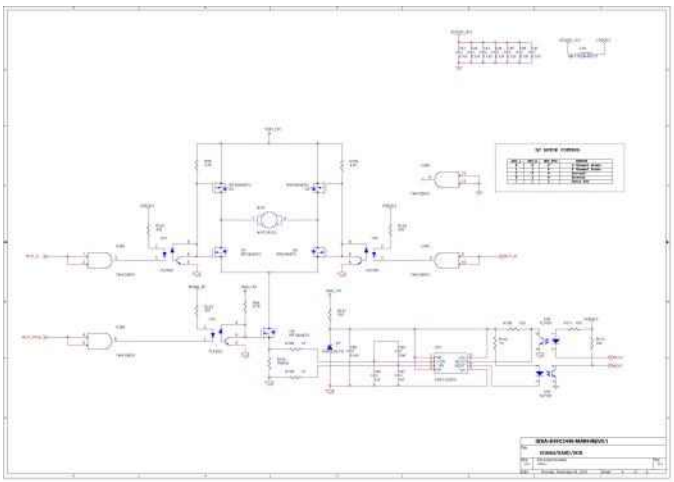
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | 케이블 전극 개발<br><br>자체 명명<br>Linear Rail cable 개발<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3 | - 실험 결과:<br>Linear cable과 Silver hoil cable의 파형은 비슷한 양상을 보여주며 측정이 이루어 졌으며 측정 지점의 위치와 수분의 양에 따라 정확한 파형을 보임.<br>Twisted cable의 파형은 케이블의 꼬임 및 주변영향을 받아 불안정한 상태의 파형을 보여주었으며 꼬여있기 때문에 케이블의 길이 및 반사지점의 측정이 불안정한 결과가 측정.<br>또한 케이블의 형태가 너무 두껍거나 사이의 거리가 너무 벌어져 있는 경우에는 주파수에 영향을 주어 불안정한 결과 도출.<br>상기 실험 내용을 토대로 Linear type의 케이블이 본 연구개발에 가장 적합하다는 결론을 도출하였으며 해당 내용을 반영하여 케이블 전극을 개발함.<br>이에 따라 자체 제작한 전극용 케이블은 Linear cable 과 Silver hoil cable의 장점을 결합한 Linear Rail cable 이라는 명칭으로 제작함. |

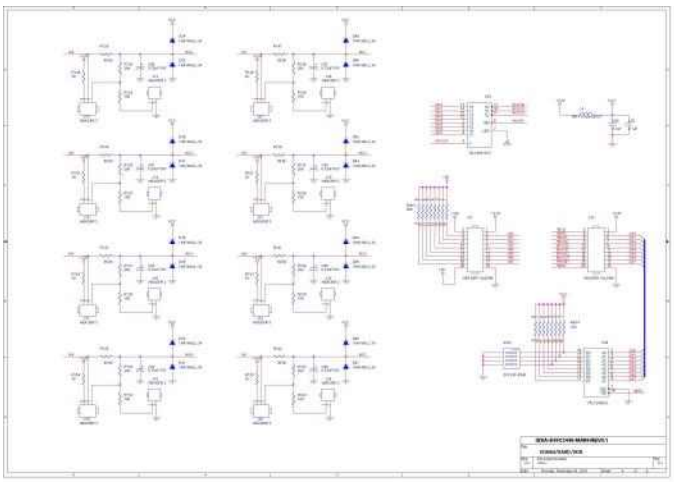
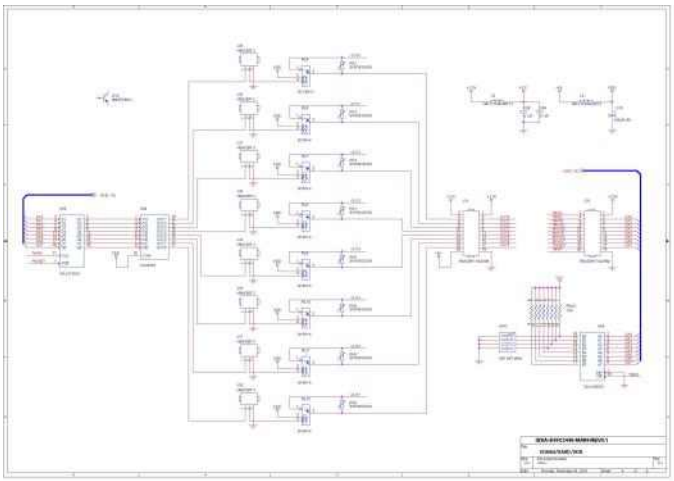
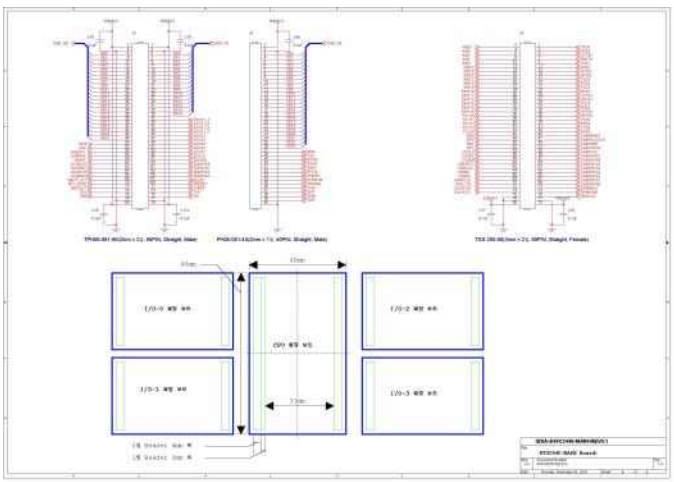
| | |
|---|---|
| <br>cable 도면(정면, 측면) | <br>Linear Rail cable |
|  <br>cable 단면 도면 | <br>cable |
| <br>cable 형상 도면 | <br>connector |

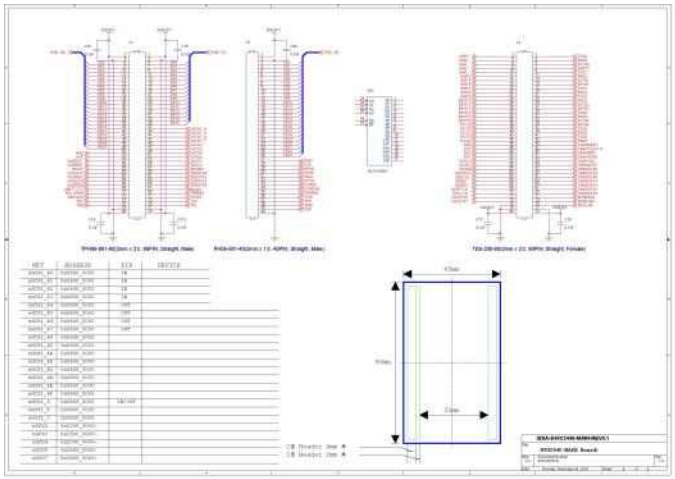
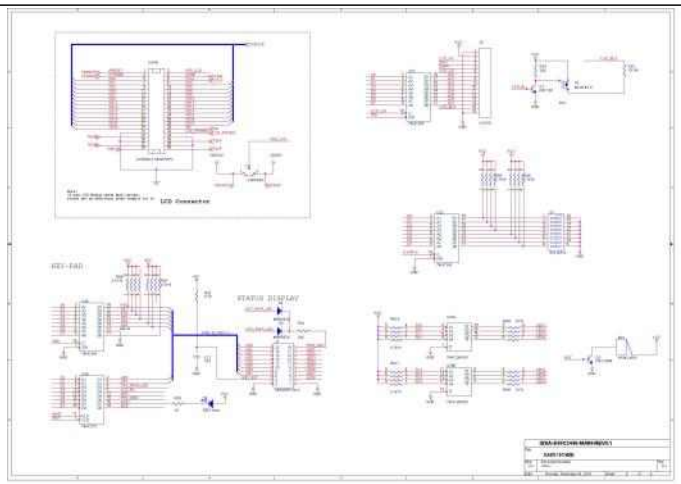
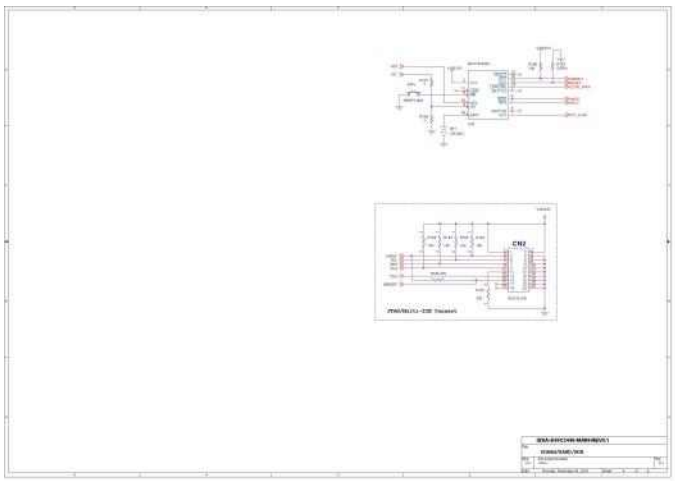
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | TDR 신호 송수신을 이용한 함수율 측정 계측기 제작<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3 |  <br>TITLE<br><br>  <br>EXPANSION(CPU)<br><br>  <br>EXPANSION(IO) |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | TDR 신호 송수신을 이용한 함수율 측정 계측기 제작<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3 |  <br>AUDIO<br><br>  <br>ETHERNET<br><br>  <br>LCD |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | TDR 신호 송수신을 이용한 함수율 측정 계측기 제작<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3 |  <br>USB / SD<br><br>  <br>RS485<br><br>  <br>RS232 |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | TDR 신호 송수신을 이용한 함수율 측정 계측기 제작<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3 |  <br>BASE / IO<br><br>  <br><br>FND MODULE (Optional)<br><br>  <br>MOTOR MODULE |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | TDR 신호 송수신을 이용한 함수율 측정 계측기 제작<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3 |  <br>INPUT MODULE<br><br>  <br>OUTPUT MODULE<br><br>  <br>EXPANSION(IO) |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | TDR 신호 송수신을 이용한 함수율 측정 계측기 제작<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3 |  <br>EXPANSION<br><br>  <br>LCD / LED / KEY / DIP<br><br>  <br>POWER / JTAG / RESET |

<table>
<tr><th>연구<br>범위</th><th>연구 수행 방법<br>(이론적・실험적 접근방법)</th><th>구체적인 내용</th></tr>
<tr><td>2차년<br><br>케이블<br>전극 및<br>TDR<br>방식<br>계측기<br>제작</td><td>TDR 신호 송수신을<br>이용한 함수율 측정<br>계측기 제작<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3</td><td>ISSA - TDR - RMCU<br> <br>TDR 방식 계측기 시제품<br>- TDR 방식의 지중 수직 깊이별 수분 현황 분석<br>- 수분 이상 검출시 즉시 원격 모니터링 망으로 Event 전송<br><br>Features and Technical Specification<br>
<table>
<tr><td>Time Base Range</td><td>3 μs</td></tr>
<tr><td>Time Resolution</td><td>10.2 ps</td></tr>
<tr><td>Functional Range</td><td>50 m (100 m roundtrip)</td></tr>
<tr><td>Distance Resolution</td><td>Within > 5cm</td></tr>
<tr><td>Amplitude</td><td>+ 250 mV</td></tr>
<tr><td>Aberrations</td><td>15% peak-to-peak in first 1 ns<br>6% peak to peak after 1 ns</td></tr>
<tr><td>Calibration</td><td>Internal, ± 1 Ω at 50 Ω</td></tr>
<tr><td>Time Base Accuracy</td><td>± 3%</td></tr>
<tr><td>Output Connector</td><td>BNC</td></tr>
<tr><td>Interface</td><td>USB</td></tr>
<tr><td>Horizontal Scaling</td><td>Meters</td></tr>
<tr><td>Vertical Scaling</td><td>mV</td></tr>
<tr><td>Dielectric Constant</td><td>Selectable, 1.0 to 10.0</td></tr>
<tr><td>Dimensions</td><td>205 x 150 x 85 mm</td></tr>
<tr><td>Weight</td><td>820g</td></tr>
<tr><td>Temperature Limits</td><td>-20° to +40°C</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

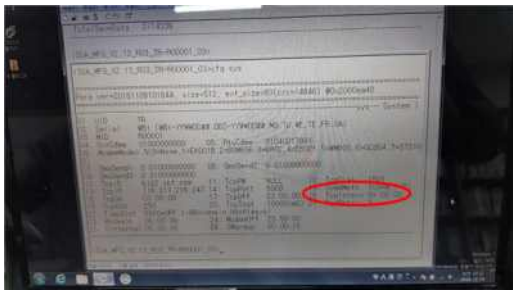
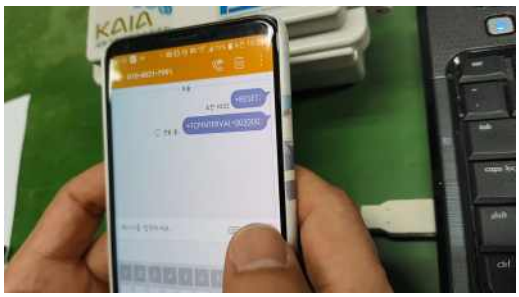
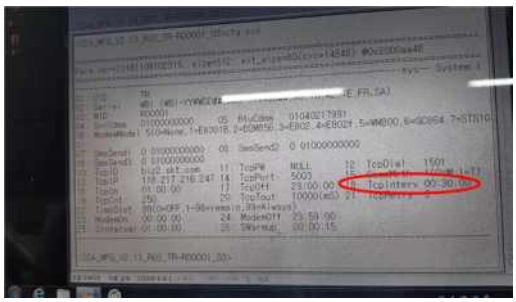
<table>
<tr><th>연구<br>범위</th><th>연구 수행 방법<br>(이론적・실험적 접근방법)</th><th>구체적인 내용</th></tr>
<tr><td>2차년<br><br>케이블<br>전극 및<br>TDR<br>방식<br>계측기<br>제작</td><td>무선원격데이터<br>전송율(수신율)<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3</td><td>원격접속 통계자료<br>
<table>
<tr><td>원격접속 망</td><td>SKT 3,500 요금제 데이터전용 WCDMA 네트워크 서버</td></tr>
<tr><td>원격접속 번호</td><td>012-2470-0164 (WCDMA 망)</td></tr>
<tr><td>원격접속 기간</td><td>2018.09.01.~2018.10.31. (61일 기록 분석)</td></tr>
<tr><td>설치장소</td><td>경상북도 경산시 압량면 당음리_당음저수지</td></tr>
<tr><td>측정 및 저장</td><td>5분 간격측정(1시간 12개 데이터 저장)<br>(12회) * (1일 24시간) * (총 측정일 61일) = 17,568개</td></tr>
<tr><td>데이터 전송</td><td>1시간 간격 12개 데이터 일괄 전송<br>(1일 24회 전송) * (61일) = 1,464회 전송</td></tr>
<tr><td>전송데이터량</td><td>총 1,464회 접속 및<br>17,568개의 데이터 (장비에 저장 유지됨)</td></tr>
<tr><td>실제 서버데이터(DB)</td><td>17,536개 수신</td></tr>
<tr><td>접속률</td><td>99.81% (0.19% 실패)</td></tr>
<tr><td>접속실패원인</td><td>서버 기록에 누락된 데이터 (0.19%)의 경우 테스트베드인 당음저수지를 방문하여 저장된 데이터와 비교한 결과 측정기록이 없는 것으로 분석되었음. 이는 원격계측의 신뢰성과 관련되므로 차년도 사업과정에서 검토할 예정임.</td></tr>
</table>
* 목표 달성도 : 99% 이상<br>

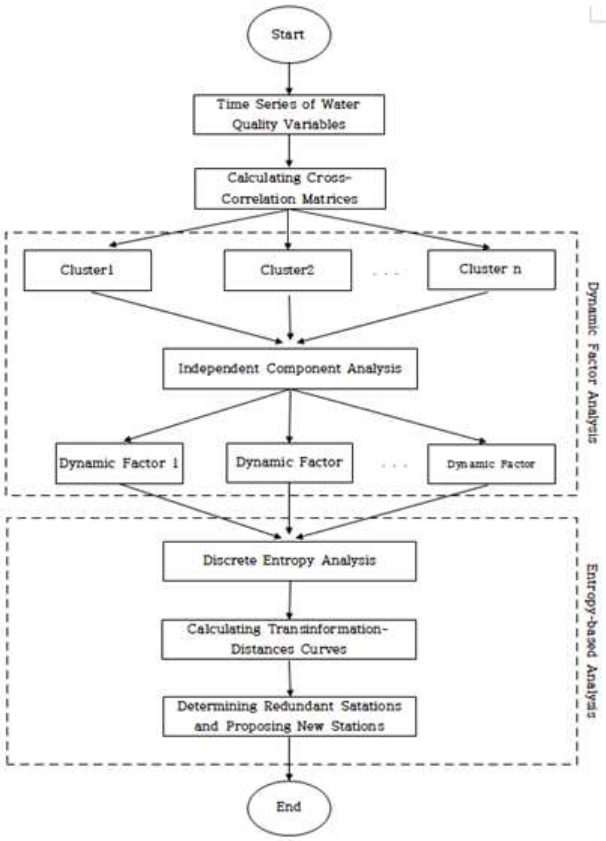
기간별 데이터</td></tr>
</table>

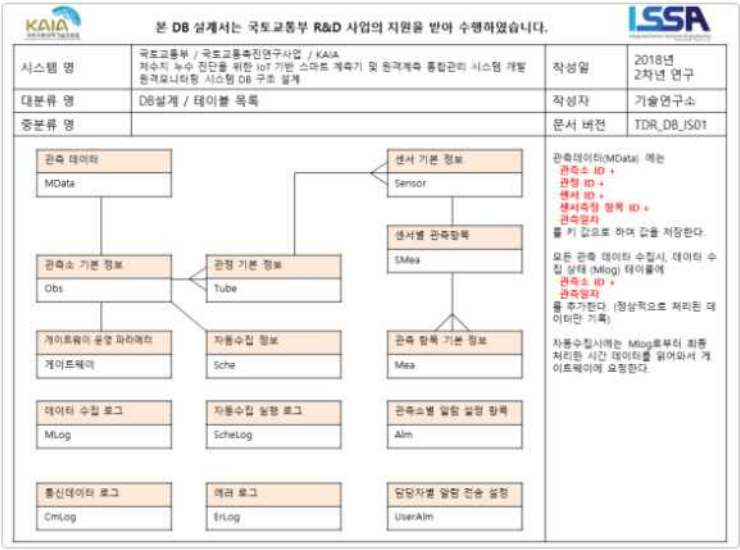
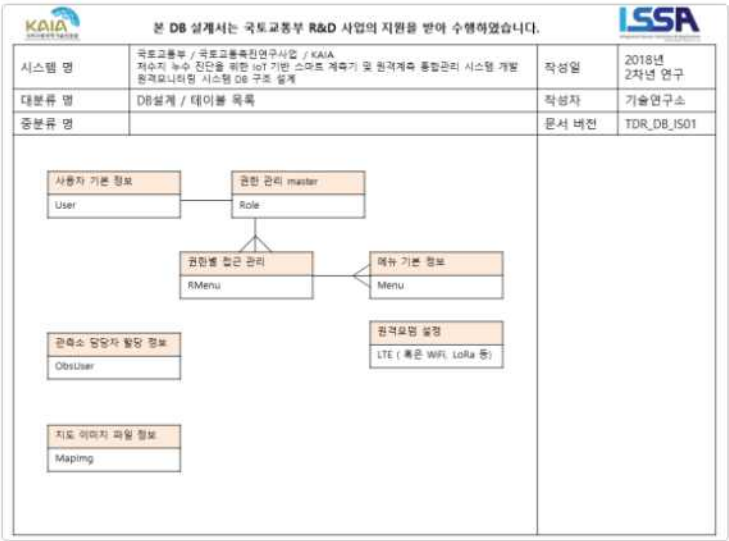
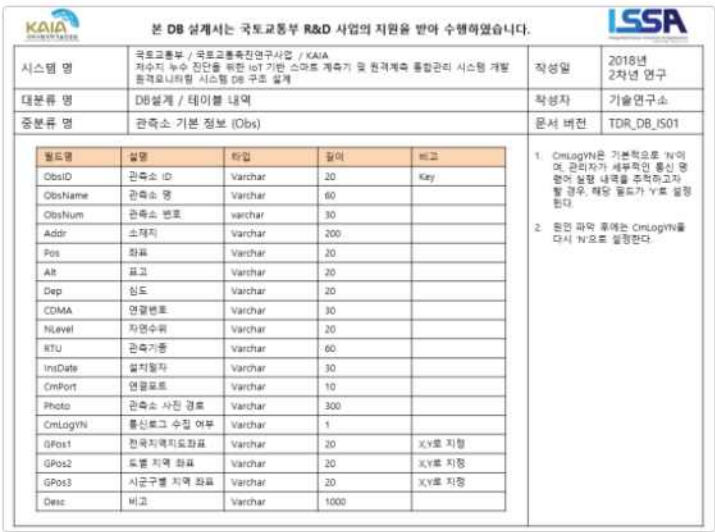
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | 토양수분 계측기 테스트<br><br>테스트 베드 설치 및 운영<br><br>30만톤 이상 1곳<br>30만톤 미만 1곳<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3 | 30만톤 이상<br>경산시 진량읍<br>문천리<br><br>문천저수지<br><br>저수용량<br>2,533천톤 |
| | | |
| | | 30만톤미만.<br>충청북도 옥천군<br>옥천읍 삼청리<br><br>삼청저수지<br><br>저수용량 231천톤 |
| | | |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | WSN 구성 테스트<br><br>실제 운용을 통하여 테스트 및 검증을 실시함.<br><br>한국도로공사 30번 고속국도 세종지역 사면 현장<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3 | <br> <br> |

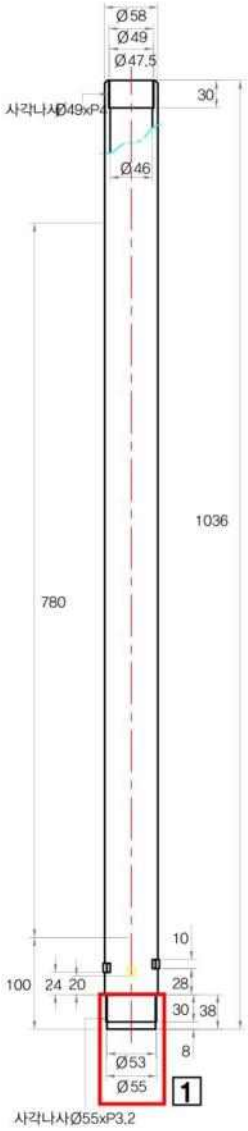
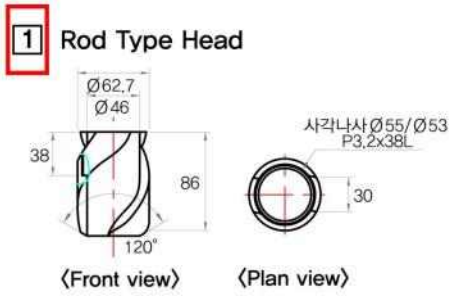
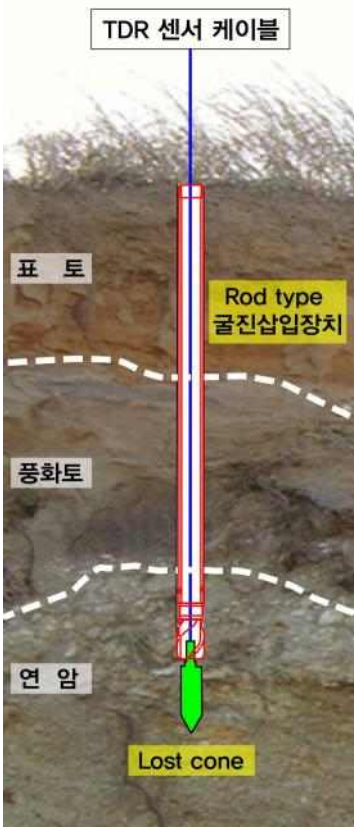
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | WSN 구성 테스트<br><br>실제 운용을 통하여 테스트 및 검증을 실시함.<br><br>한국도로공사 30번 고속국도 세종지역 사면 현장<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3 | <br> |

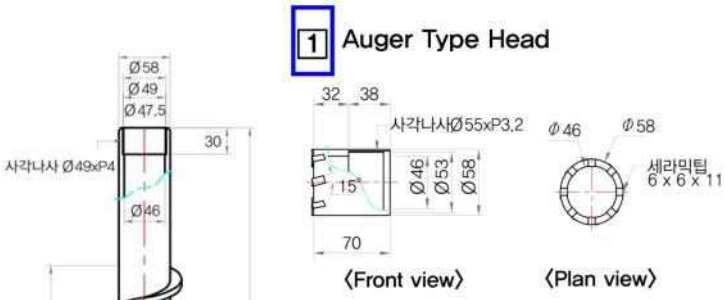
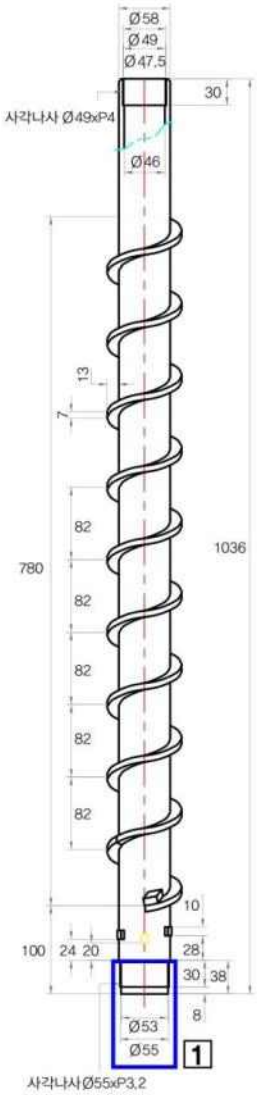
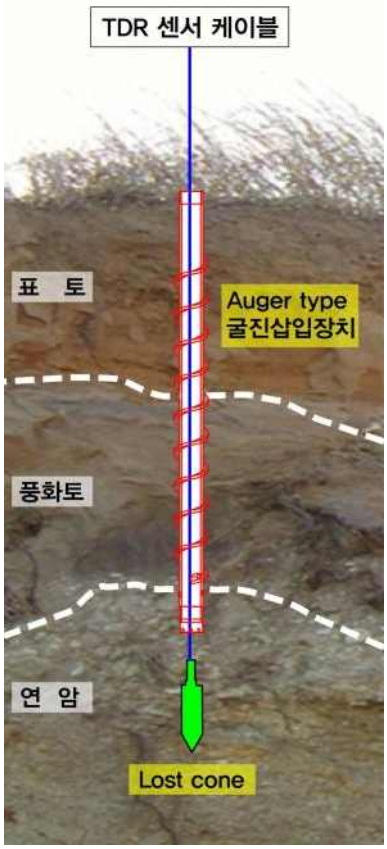
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | WSN 구성 테스트<br><br>실시간 원격제어 테스트<br><br>성과 2-1-1<br>성과 2-2-1<br>성과 2-2-2<br>성과 2-2-3<br>성과 2-3-1<br>성과 2-3-2<br>성과 2-3-3 | <br>실시간 원격제어 테스트 준비<br>⇓<br>  <br>초기 계측 데이터 전송 주기 : 1시간<br>⇓<br>  <br>휴대폰을 통한 데이터 전송주기 30분 변경 명령 전송<br>⇓<br>  <br>계측 데이터 전송 주기 30분 변경 확인 |

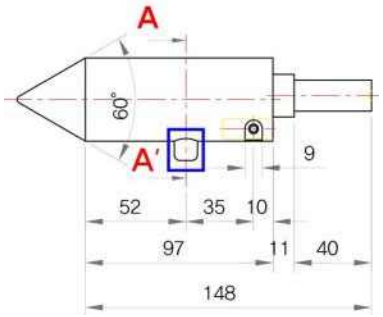
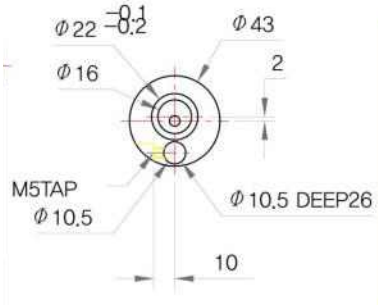
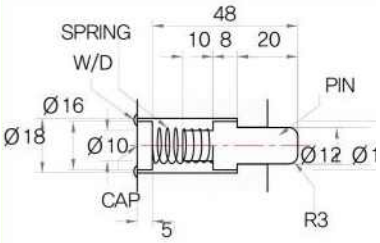
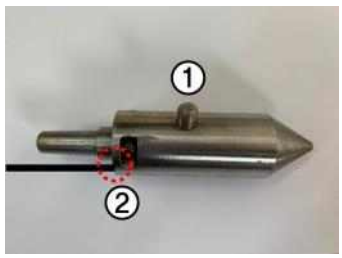
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>계측장치 스마트 펌웨어 개발 | 임베디드 스마트 펌웨어 개발 |  <br><br># Source Code (AI 파이선 구현)<br># ==========<br>import csv, codecs<br>import os<br>from PyQt5 import QtPrintSupport<br>from PyQt5.QtGui import QImage, QPainter, QIcon, QKeySequence, QIcon, QTextCursor, QCursor, QDropEvent, QTextDocument, \<br>QTextTableFormat, QColor<br>from PyQt5.QtCore import QFile, QSettings, Qt, QFileInfo, QItemSelectionModel, QDir, QMetaObject<br>from PyQt5.QtWidgets import (QMainWindow, QAction, QWidget, QLineEdit, QMessageBox, QAbstractItemView, QApplication, QTableWidget, QTableWidgetItem, QGridLayout, QFileDialog, QMenu, QInputDialog)<br>from PyQt5 import QtCore, QtGui, QtWidgets, QtPrintSupport<br>from PyQt5.QtWidgets import QApplication, QWidget, QMainWindow, QLabel<br>import pandas as pd<br>from sklearn import model_selection<br>from sklearn import metrics<br>from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor<br><br>#==========<br>class TableWidgetDragRows(QTableWidget): #폼 설정<br>def __init__(self, *args, **kwargs):<br>super().__init__(*args, **kwargs)<br><br># 실행 폼의 자동설정<br>self.setDragEnabled(True)<br>self.setAcceptDrops(True)<br>self.viewport().setAcceptDrops(True)<br>self.setDragDropOverwriteMode(False)<br>self.setDropIndicatorShown(True)e): |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>계측을 통한 데이터 베이스 프로그램 설계 | 플로챠트<br>알고리즘<br>프로그램코딩<br>프로토콜설계<br>(1차년 완료)<br><br>DB설계<br>(2차년 설계완료) |  <br>  <br>  |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>ROD형 계측기 현장 설치 장치 개발 | 계측센서 현장 설치 장치 개발/시제품 개발<br><br>현장설치 ES품 보완 Test 및 시제품 개발<br><br>성과 4-4-1<br>성과 4-4-2<br>성과 4-5-1 | **굴진삽입장치 유형 검토 및 선정**<br><br>● 제체의 포화도를 측정하는 방법에는 여러 가지 방법들이 있으나 연속적으로 실시간을 측정하기 어렵고 비용과 시간이 많이 드는 단점이 있음. 또한 안정해석 시 지하수위 및 불포화영역 파악이 가장 중요한 요소임에도 이를 정확하게 파악하기 어려운 상황임.<br>● 이에 TRD 센서를 이용한 계측선 및 계측기 설치를 위해 제체의 수직방향에 대하여 센서를 효율적으로 설치하기 위한 계측기 굴진 장치 및 계측선 설치 장치를 모색함.<br> <br><br>댐의 누수 유형별 모식도<br><br>● 제체의 누수 유형에 따라 크게 기저부, 유출형, 여수로 및 집수벽 접촉부 누수형, 제체 유출형 3가지로 구분되며 암반층 및 취약한 지층이 존재 할 경우와 소규모 저수지의 대부분 누수 형태인 제체 유출형에 적합한 TDR 센서 설치를 위한 굴진삽입장치를 제작함.<br><br>댐의 누수 유형별 시제품 제작 유형<br><br>| 누수 형태 | 굴진 삽입장치 제작 유형 분류 |<br>|---|---|<br>| 기저부 유출형 | 풍화대 및 단층 파쇄대등 취약한 지층이 존재하여 **Rod Type 굴진 삽입장치 제작** |<br>| 여수로 및 집수벽 접촉부 누수형 | 여수로 또는 양안 접합불량 및 집수벽 접촉부 누수가 대부분이며 소규모 저수지에 적합하지 않아 설치 제외 |<br>| 제체 유출형 | 제체 코어재 역화, 노후화, 축조재료의 불량으로 인한 원인으로 굴진 심도가 비교적 **Augrer Type 굴진 삽입장치 제작** |<br><br>● 또한 TDR 센서를 계획심도 설치를 위해 센서 케이블을 지중에 존치시키고 탈거될 수 있도록 **로스트 콘 형**태의 지중삽입장치를 고안하였음.<br> <br>기존 lost cone 타입 |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>ROD형 계측기 현장 설치 장치 개발 | 계측센서 현장 설치 장치 개발/시제품 개발<br><br>현장설치 ES품 보완 Test 및 시제품 개발<br><br>성과 4-4-1<br>성과 4-4-2<br>성과 4-5-1 | **굴진 삽입장치 유형**<br><br>● Rod Type 굴진삽입 장치 개발<br><br>  <br><br>  <br><br><Rod Type Head><br>  <br><br><Rod Type 굴진삽입장치><br><br><설치 모식도><br><br>Rod Type 굴진삽입<br><br>● Rod Type 굴진삽입장치의 경우 계측기 설치 구간이 풍화암 또는 연암으로 구성되어 있을 경우 사용하기 위해 제작. Rod head 부분이 나선형으로 굴착이 잘 되도록 제작함.<br>● lost cone은 설치 계획 심도까지 굴진삽입장치로 굴착을 진행하고 설치 심도에 TDR 센서 케이블을 안착시키는 용도로 lost cone은 지중에 안착시키고 Rod Type 굴진삽입장치를 회수하여 케이블을 설치하는 방법. |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>ROD형 계측기 현장 설치 장치 개발 | 계측센서 현장 설치 장치 개발/시제품 개발<br><br>현장설치 ES품 보완 Test 및 시제품 개발<br><br>성과 4-4-1<br>성과 4-4-2<br>성과 4-5-1 | ● Auger Type 굴진 삽입장치 개발<br><br>  <br><br><Auger Type Head><br>  <br><br><Auger Type 굴진삽입장치><br>  <br><br><설치 모식도><br>Auger Type 굴진 삽입장치<br><br>● Auger Type 굴진삽입장치의 경우 계측기 설치 구간이 표토 또는 풍화토/풍화암으로 구성되어 있을 경우 사용하기 위해 제작. Auger head 부분이 다이아몬드 비트형으로 굴착이 잘 되도록 제작하였음.<br>● lost cone은 설치 계획 심도까지 굴진삽입장치로 굴착을 진행하고 설치 심도에 TDR 센서 케이블을 안착시키는 용도로 lost cone은 지중에 안착시키고 Rod Type 굴진삽입장치를 회수하여 케이블을 설치하는 방법. |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>ROD형 계측기 현장 설치 장치 개발 | 계측센서 현장 설치 장치 개발/시제품 개발<br><br>현장설치 ES품 보완 Test 및 시제품 개발<br><br>성과 4-4-1<br>성과 4-4-2<br>성과 4-5-1 | ● lost cone 지중 삽입장치 개발<br>  <br><br><lost cone 지중 삽입장치 Front view><br>  <br><br><lost cone 지중 삽입장치 Plan view><br>  <br><br>< 스프링 장치 A-A'Section ><br>  <br><br><lost cone 지중 삽입장치 제작 사진><br>lost cone 지중 삽입장치<br><br>● lost cone은 케이블을 원하는 심도까지 존치시키고 설치하기 위한 장치로 기존의 꼬깔형 lost cone을 고안하여 개발. 2차년도에 이와 관련하여 출원을 2건 진행 완료하였음.<br><br>● Rod, Auger Type 형 굴진 삽입장치로 천공한 후 lost cone에 센서 케이블을 고정하여 lost cone과 케이블을 연결한 후(②) 스프링 장치(①)를 눌러 굴진 삽입장치 안으로 밀어 넣어 굴진 심도까지 안착시켜 센서를 설치하는 방법임.<br><br>● lost cone 지중 삽입장치 제작 후 현장 테스트를 통해 설치심도에 케이블을 설치하고 존치 여부, Rod type, lost cone type 굴진삽입장치의 굴진 테스트 등을 수행할 예정임.<br><br>**시제품 현장 테스트**<br><br>● 제체 누수 유형별 에 따른 굴진삽입 장치(Auger 및 Rod type)에 따른 시제품 현장 테스트를 위해 1차년도 굴진장비(Hility)를 활용하여 수행함.<br><br>● Hilti 다이아몬드 코어드릴은 깊은 심도까지 가능하며 전석 및 자갈층 굴진작업도 가능하나 원지반 시료채취가 어려움이 있으나 롯트 및 케이싱, 비트와 관련된 기성품이 있어 TDR 센서 삽입 장치와 호환성이 좋음.<br><br>● 시제품 테스트를 위해 경산북도 경산시 압량면에 위치한 당음저수지를 선정하여 저수지 인근 농경지에서 굴집삽입장치 굴진 테스트, 로스트 콘의 존치여부, TDR 센서 설치 방안, 설치 후 공별 채움재 선택 등 실험을 수행함. |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>장치개발 Field Test | 자치개발와 장치구동에 따른 문제점 파악 및 성능보완<br><br>삽입장치 Header부의 탈거 및 지반내 존치 여부<br><br>성과 4-4-1<br>성과 4-4-2<br>성과 4-5-1 | <br>굴진삽입 장치 Test bed<br><br>**시제품 테스트 현장사진**<br><br> <br><Rod Type 굴진삽입장치 test><br> <br><Auger Type 굴진삽입장치 test><br> <br><lost cone 케이블 연결 작업><br> <br><lost cone 삽입><br> <br><가압봉을 활용하여 lost cone 삽입><br> <br><굴진삽입장치 제거><br> <br><공내 충진재(자갈) 채움 작업><br> <br><TDR 계측선 설치 완료><br>시제품 테스트 현장사진 |

<table>
<tr><th>연구<br>범위</th><th>연구 수행 방법<br>(이론적・실험적 접근방법)</th><th>구체적인 내용</th></tr>
<tr><td>2차년<br><br>장치개발<br>Field<br>Test</td><td>자치개발와 장치구동에 따른 문제점 파악 및 성능보완<br><br>삽입장치 Header부의 탈거 및 지반내 존치 여부<br><br>성과 4-4-1<br>성과 4-4-2<br>성과 4-5-1</td><td>

**굴진 삽입 장치 테스트 결과**

● 경상북도 경산시 압량면 당음리에서 다양한 제체 및 누수유형, 토양 특성에 따라 분류한 2 가지(Rod, Auger) type을 제작하여 현장 테스트를 수행함.

[그림 8] 굴진삽입장치 현장 테스트 적용 위치도

● Auger type의 경우 연약층(점토 및 토층)은 현장 테스트 결과 연약층이 밀려 나오는 형태로 작업속도가 빠르고 굴진률이 우수한 것으로 확인 됨. 이에 침윤선이 지면에 근접하게 형성되어 굴진심도가 낮은 저수지에 적용이 용이함.

● Rod type의 경우 연약층에서 굴진 삽입 장치 내부로 토사에 막혀 일부 제거하는 방안이 필요하며 lost cone 은 지반 내 존치가 잘 되는 것으로 확인됨.

테스트 공별 결과

<table>
<tr><th>구분</th><th>굴진삽입 장치 유형</th><th>실험 목적</th><th>결 과</th></tr>
<tr><td>BH 01</td><td>Rod type (45mm)</td><td>- Rod type 굴진 삽입 장치로 암반 및 연약층 굴착을 위해 적용 하였으며 45mm를 사용하여 굴착하였을 경우 굴착 진행 속도 및 굴착 여부를 테스트함.</td><td>암반/토층 가능<br>lost cone 존치</td></tr>
<tr><td>BH 02</td><td>Rod type (55mm)</td><td>- Rod type 굴진 삽입 장치로 암반 및 연약층 굴착을 위해 적용 하였으며 55mm를 사용하여 굴착하였을 경우 굴착 진행 속도 및 굴착 여부를 테스트함.</td><td>암반/토층 가능<br>lost cone 존치</td></tr>
<tr><td>BH 03</td><td>Auger type (45mm)</td><td>- Auger type 굴진 삽입 장치로 연약층 굴착을 위해 적용 하였으며 45mm를 사용하여 굴착하였을 경우 굴착 진행 속도 및 토층의 굴착 여부를 테스트함.</td><td>토층가능 암반적용 Test 추후 수행<br>lost cone 존치</td></tr>
</table>

● Rod type과 Auger type의 연약층 비교

<Rod type 연약층(토층)굴진 걸림>

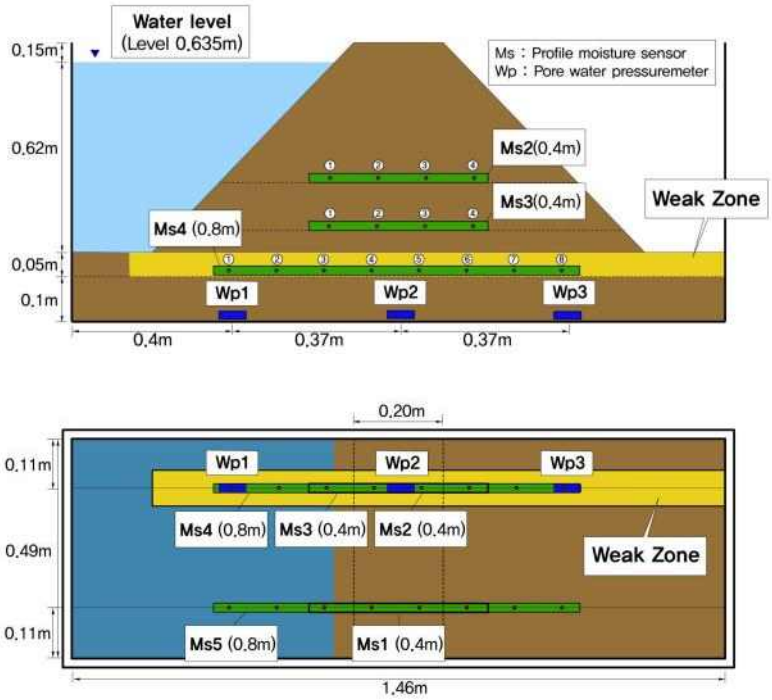
<Auger type 연약층(토층)굴진 용이>

Rod type과 Auger type 굴진 비교

</td></tr>
</table>

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>장치개발 Field Test | 자치개발돠 장치구동에 따른 문제점 파악 및 성능보완<br><br>삽입장치 Header부의 탈거 및 지반내 존치 여부<br><br>성과 4-4-1<br>성과 4-4-2<br>성과 4-5-1 | **음성 Test Bed 실험에 따른 채움재 별 수분포화 특성 분석**<br><br>● 1차년도 설치된 음성 Test Bed에서 채움재별(원지반, 비드, 논토양, 표준모래)수분포화 특성 실험을 계속 진행하여 강우시(누수 시를 가정)에 따른 변화 분포 양상을 확인하기 위해 현장 data를 분석.<br><br>● 1차년도 충진재료별 수분특성 시험 결과, 논토양이 원지반과 비슷한 입도분포를 보이며 비드나 표준모래는 빠른 수분 침투 양상을 보임. 또한 논토양은 하부심도에서 원지반과 가장 근접한 수분포화도를 나타나는 것으로 확인 됨.<br><br>● 시험목적은 1차년도와 마찬가지로 채움재료별 수분포화도 분석을 위함이여 환경변화(누수 및 강우 등)에 따른 변화 양상을 파악하기 위해 1차년도 이후 계속 수행 하였으며 2차년도 계측기간은 2018년 01월 01일부터 현재까지 측정 중이며 분석 은 2018년 03월01일부터 2018년 08월23일 까지 선정하여 분석함.<br><br> <br>데이터 로거 및 센서 점검 측정 데이터 확인 및 다운로드<br>채움재별 수분포화도 측정 장비 및 현장<br><br> <br><br><채움재별 수분특성 분석 시험 모식도><br><br>● 굴착구경 100mm, 심도 1.0m의 시험공을 시추한 후 공내 수분측정 센서를 Gl.-0.8m에 설치.<br><br>● 시추공 내 비드, 논토양, 표준모래, 원지반(풍화 마사토) 등의 채움재료 별로 채움. |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>토양 수분 누수 진단 활용성 평가 | 제체 축소모형실험을 통한 토양수분 활용성 분석<br><br>누수평가분석<br><br>성과 4-4-1<br>성과 4-4-2<br>성과 4-5-1 | **제체 축소모형 제작**<br><br>● TDR 센서 방식의 층위별 센서를 활용한 축소모형 제작 및 실험을 통해 침투 실험용 제체에 가상의 누수로를 설정하여 물을 흘러 보내는 상황을 재현하여 침투 시간경과에 따른 각 구간의 수분특성분포를 파악하기 위해 실험을 수행함. |



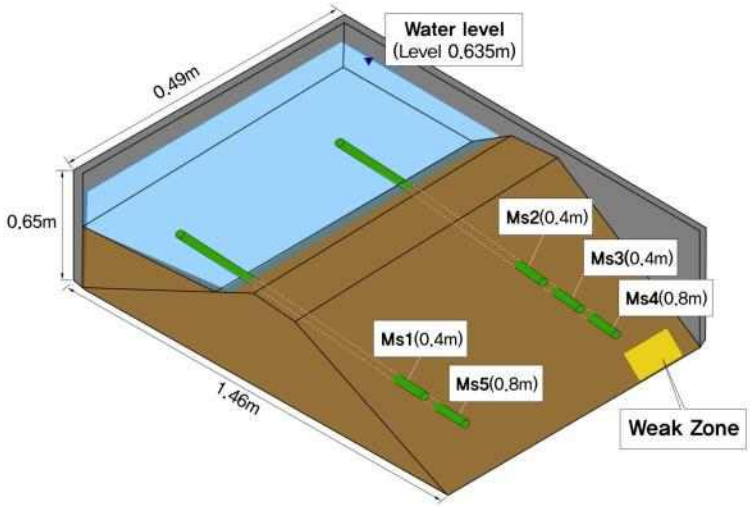

제체 축소모형 단면도 및 평면도

● 축소모형 실험을 위해 도면을 작성하여 길이 1,46m 폭 0.49m 깊이 0.65m의 수조를 활용하여 제체와 같은 상황을 구현하기 위해 실험을 수행함. 축소모형 실험에 사용된 Soil type은 마사토를 사용함.

● 축소모형에 설치된 센서는 총 8개로 층위별센서(0.4m, 0.8m) 5개, 간극수압계 3개를 설치함. 임의로 누수로 상황을 구현하기 위해 좌측에 Weak zone을 설치하여 취약부에 층위별 센서 3개(0.8m, 0.4m, 0.4m) 간극수압계 2개를 설치하였으며 비취약부 구간에 층위별 센서 2개(0.8m, 0.4m)를 설치함.

제체 축소모형 실험 조건

| 구 분 | 내 용 |
|---|---|
| 축조 실험 재료 | 화강 풍화토(마사토) |
| 축소모형 규격 | 길이 1.46m, 폭 0.49m, 높이 0.65m |
| 제체 사용 실험 재료 무게 | 수조 무게 : 640kg, 실험 재료 무게: 472kg |
| 실험 센서 | 층위별 센서 40cm(3개) 80cm(2개), 간극수압계 3개 |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 2차년<br><br>토양 수분 누수 진단 활용성 평가 | 제체 축소모형실험을 통한 토양수분 활용성 분석<br><br>누수평가분석<br><br>성과 4-4-1<br>성과 4-4-2<br>성과 4-5-1 |  <br><br>제체 축소모형 단면도 및 평면도<br><br>**제체 축소모형 제작 순서도**<br> <br>축조모형 재료 건조(수분함량 조절)<br> <br>설치를 위한 위치 확인 및 센서 점검<br> <br>수조 방수를 위한 실리콘 작업<br> <br>센서 부착 및 고정 작업<br> <br>축소모형 제작을 위한 다짐작업<br> <br>모래를 사용한 누수로 구간 설정<br>lost cone 지중 삽입장치 |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| | | 누수로 구간 다짐 작업 제체 상단 축조 및 다짐 작업 수위조절 및 누수특성 평가 실험 data logger 연결 후 측정 시작 lost cone 지중 삽입장치 |
| 2차년<br><br>토양 수분 누수 진단 활용성 평가 | 제체 축소모형실험을 통한 토양수분 활용성 분석<br><br>누수평가분석<br><br>성과 4-4-1<br>성과 4-4-2<br>성과 4-5-1 | **제체 축소모형 실험 결과**<br><br> 누수지점의 수분포화도 변화<br><br> 비누수지점의 수분포화도 변화<br>수분포화도 변화 |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|

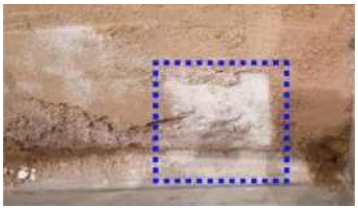
2차년

토양 수분 누수 진단 활용성 평가

제체 축소모형실험을 통한 토양수분 활용성 분석

누수평가분석

성과 4-4-1
성과 4-4-2
성과 4-5-1



누수 전 제체 끝단 부

누수 후 제체 끝단 부

누수 전·후 제체 끝단 비교 사진

- 누수지점에서는 누수끝점(하류사면)에서 누수가 시작되면서 누수로 전구간에 걸쳐 일정한 수분포화도를 보임.
- 누수끝점(하류사면)에서 누수가 관찰된 이후 수분포화도는 실험 시작 전 수분포화의 약 210%증가한 수치를 보임.
- 비누수지점에는 제체의 상류지역에서는 누수지점과 동일한 수분포화도 변화 양상을 보이지만 제체하류사면에서는 수분포화도의 변화가 작음.
- 비누수지점의 제체상류지점의 수분포화도는 약 23.3%(상류평균)가 증가하였으며, 제체하류지점에서는 실험 시작 전 수분포화도의 약 0.1%(하류평균)의 증가만 보임.

누수지점 및 비누수지점의 수분포화도 증가율 (단위:%)

| 구 분 | | 제체상류 | | | | 제체하류 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ |
| 누수지점(Ms4) | 저수시작(+0M) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 하류사면 누수관찰(+114M) | 213.5 | 251.6 | 187.0 | 214.6 | 185.3 | 239.4 | 182.4 | 210.5 |
| | 실험종료(+473M) | 213.7 | 252.9 | 188.5 | 217.3 | 187.6 | 243.1 | 189.3 | 248.1 |
| 비누수지점(Ms5) | 저수시작(+0M) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 하류사면 누수관찰(+114M) | 42.5 | 40.1 | 10.6 | 0.1 | 0.1 | -0.1 | 0.1 | 0.1 |
| | 실험종료(+473M) | 44.0 | 41.7 | 32.6 | 43.2 | 45.4 | 11.1 | 1.0 | 2.7 |

**국내 저수지 누수진단 활용**

- 국내 준공 후 20년 이상된 노후 저수지는 전국에 3,161개소에 이름.
- 이 중 필댐(죤형, 코어형)이 3,114개소(98.5%)로 가장 많은 비중을 차지하고 있음.
- 필댐(죤형, 코어형)은 제체 중심부에 불투수성 재료를 설치하는 형식으로 제체 기초부 접합 불량이나 기초부에 모래, 자갈 등 투수성이 높은 층이 존재할 경우 기저부 유출이 일어날 수 있음.

제체 하부 기저유출 사례

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|

국내 댐형식별 20년이상 노후저수지 현황(한국농어촌공사,2017) (개소)

| 지 역 | 콘크리트댐 (중력형) | 필 댐 (균일형) | 필 댐 (존형) | 필 댐 (코어형) | 기 타 | 총합 계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 강원도 | - | 1 | - | 63 | 1 | 65 |
| 경기도 | - | - | 4 | 90 | - | 94 |
| 경상남도 | - | 1 | 3 | 512 | - | 516 |
| 경상북도 | - | 3 | - | 598 | 1 | 602 |
| 광주광역시 | - | - | - | 52 | - | 52 |
| 대구광역시 | - | - | - | 22 | - | 22 |
| 대전광역시 | - | - | - | 2 | - | 2 |
| 부산광역시 | - | - | - | 5 | - | 5 |
| 세종특별시 | - | - | - | 1 | - | 1 |
| 울산광역시 | - | - | - | 83 | - | 83 |
| 인천광역시 | - | - | - | 13 | - | 13 |
| 전라남도 | 1 | - | 1 | 935 | 1 | 938 |
| 전라북도 | - | 3 | 3 | 381 | 1 | 388 |
| 제주특별시 | - | - | 1 | 2 | - | 3 |
| 충청남도 | 1 | - | 75 | 104 | 29 | 209 |
| 충청북도 | 2 | 1 | 32 | 132 | 1 | 168 |
| 총합계 | 4 | 9 | 119 | 2,995 | 34 | 3,161 |

2차년

토양 수분 누수 진단 활용성 평가

제체 축소모형실험을 통한 토양수분 활용성 분석

누수평가분석

성과 4-4-1

성과 4-4-2

성과 4-5-1

국내 저수지 안전진단 결과(한국농어촌공사,2018년 현재까지) (개소)

| 시설구분 | A등급 | B등급 | C등급 | D등급 | E등급 | 기타 | 총계 (수) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 강원도 | 1 | 12 | 45 | 8 | - | 6 | 72 |
| 경기도 | 3 | 8 | 64 | 11 | - | 4 | 90 |
| 경상남도 | 6 | 16 | 235 | 76 | - | 21 | 354 |
| 경상북도 | 3 | 50 | 207 | 99 | - | 44 | 403 |
| 광주광역시 | - | 3 | 11 | 9 | - | 1 | 24 |
| 대구광역시 | 1 | 3 | 6 | 1 | - | 2 | 13 |
| 대전광역시 | 1 | - | 2 | - | - | - | 3 |
| 부산광역시 | - | - | 3 | - | - | 1 | 4 |
| 세종특별시 | - | - | 1 | - | - | - | 1 |
| 울산광역시 | - | 2 | 28 | 12 | - | 3 | 45 |
| 인천광역시 | 2 | 2 | 12 | - | - | - | 16 |
| 전라남도 | 8 | 32 | 416 | 217 | - | 86 | 759 |
| 전라북도 | 5 | 27 | 179 | 67 | - | 22 | 300 |
| 제주특별시 | - | - | 2 | - | - | - | 2 |
| 충청남도 | 3 | 20 | 128 | 34 | - | 19 | 204 |
| 충청북도 | 2 | 16 | 104 | 19 | - | 6 | 147 |
| 총합계 | 35 | 191 | 1,443 | 553 | - | 215 | 2,437 |

| | |
|---|---|
| A등급(우수) | 문제점이 없는 최상의 상태 |
| B등급(양호) | 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태 |
| C등급(보통) | 주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성, 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태 |
| D등급(미흡) | 주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수.보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태 |
| E등급(불량) | 주요부재에 대한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉가 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태 |

<table>
<tr><th>연구<br>범위</th><th>연구 수행 방법<br>(이론적・실험적 접근방법)</th><th>구체적인 내용</th></tr>
<tr><td>2차년<br><br>토양<br>수분<br>누수<br>진단<br>활용성<br>평가</td><td>제체 축소모형실험을 통한<br>토양수분 활용성 분석<br><br>누수평가 분석<br><br>성과 4-4-1<br>성과 4-4-2<br>성과 4-5-1</td><td>

● 이러한 기저유출로 인한 제체 하부사면 누수는 기슭부 파이핑 누수, 간극수압 발생으로 제체 이완 등 시설물의 결함으로 연결됨.

제체 하부 누수로 발생할수 있는 현상

* 출처:안전진단 실무요령(한국농어촌공사)

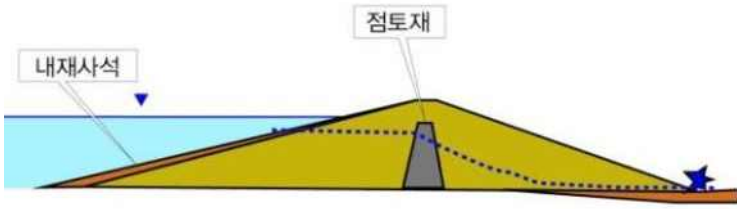
● 이러한 기저부 유출 저수지 제체 하단부에 TDR센서를 설치하여 누수로 감지가 가능.

● 누수로 감지 구간에 대해서는 V-notch, 파이프, 구덩이 등을 설치하여 단위시간당 누수량 측정 및 관리.

<table>
<tr><th>저수지 허용 누수량 범위</th><th>제체 하부 누수량 측정</th></tr>
<tr><td>① 제체 길이 100m당 1L/sec 이하<br>② 저수지 유입량의 1%이하<br>③1일 누수량이 총저수량의 0.05%이하<br>④저수위가 일정할 때 누수량 변화가 1개월간 10%미만</td><td> </td></tr>
</table>

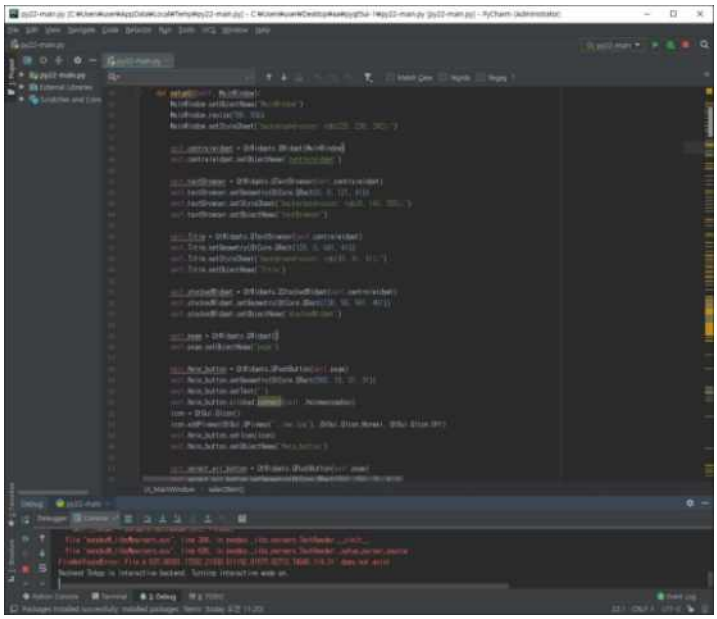
* 출처:안전진단 실무요령(한국농어촌공사)

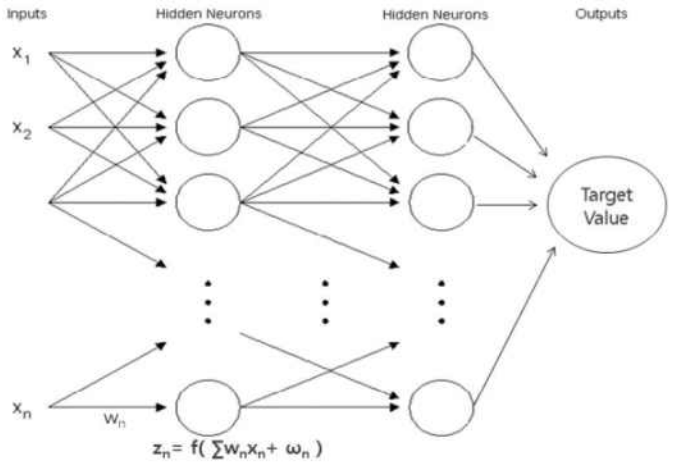
● 향후 누수 특성 및 유출 사례 분석과 TDR센서를 활용한 실내실험 결과 등을 면밀하게 검토하여 저수지 누수진단을 위한 최적의 계측기 설치를 위한 방안을 모색할 계획임.

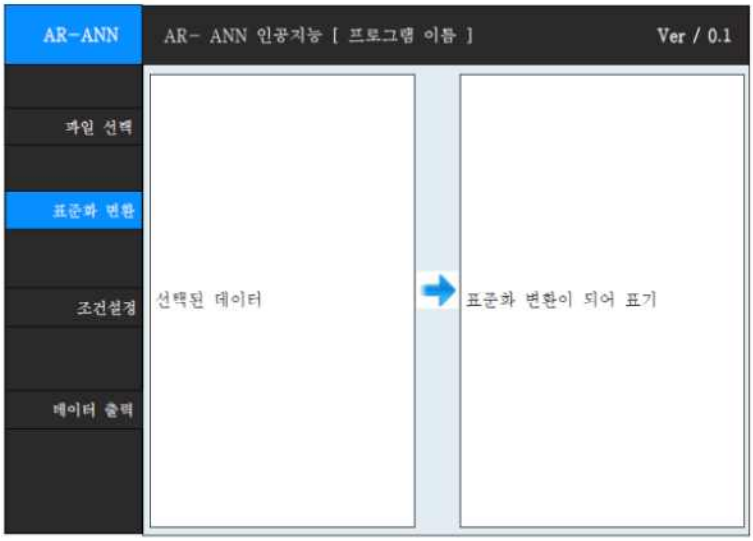


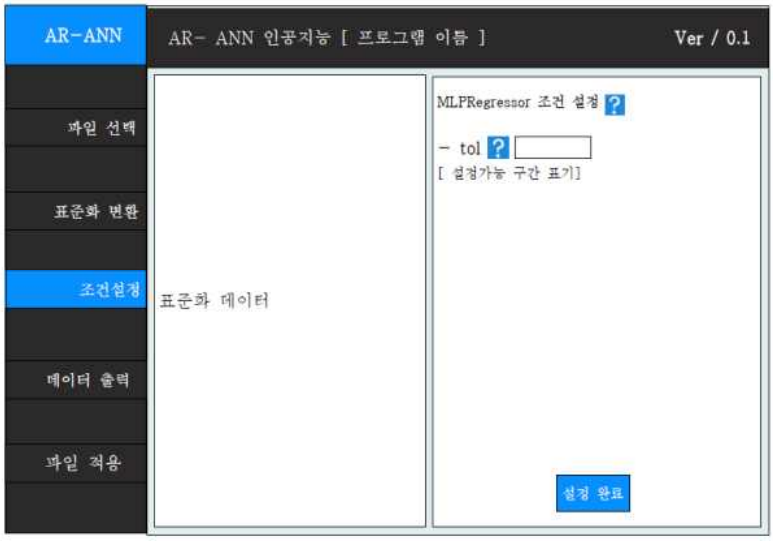
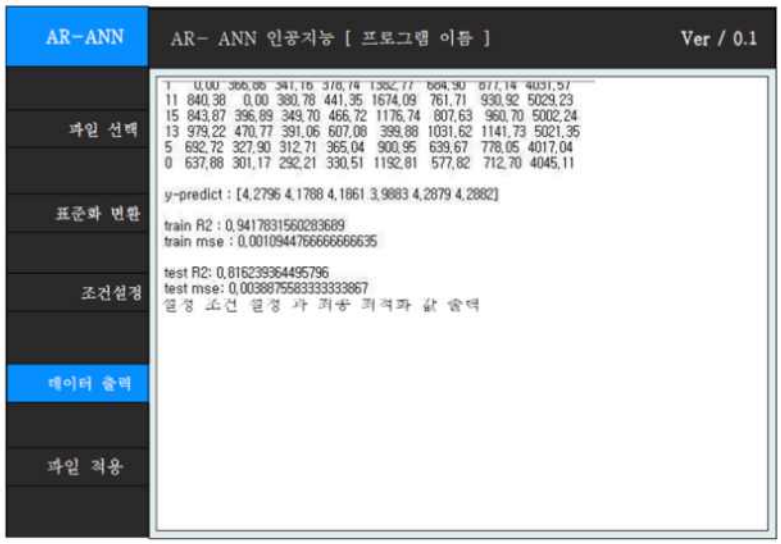
저수지 누수 단면 및 TDR 설치 계획도

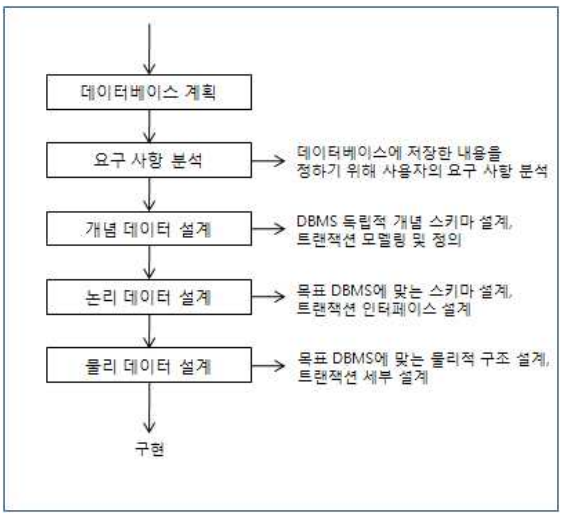
</td></tr>
</table>

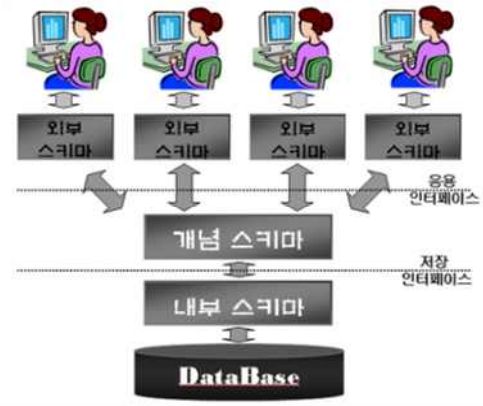
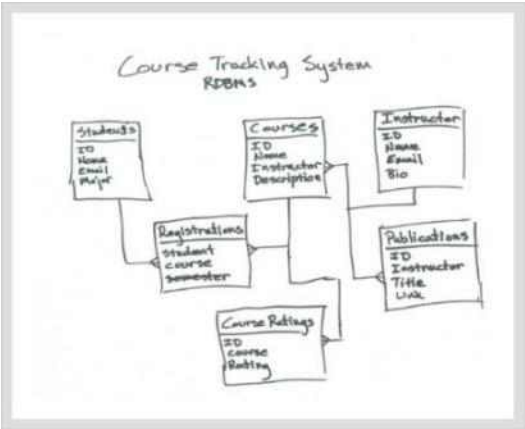
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>통합관제시스템 | 저수지 계측 3차원 평가 알고리즘 구축<br><br>서버프로그램연계 동작<br><br>[상세보고서 3-1-1 첨부]<br><br>성과 3-1-1<br>성과 3-2-1<br>성과 3-2-2<br>성과 3-3-1<br>성과 3-3-2<br>성과 3-4-1 | 1. 누수 예측 파이선 인공지능 프로그램 개발<br><br>가. 요구사항<br><br>1) 입력 : 파일 부르기<br>- X와 Y데이터가 모두 포함된 파일을 선택하여 적용<br><br>2) input field와 output field 정하기<br>- field명으로 선택해야 하는지 순서 숫자로 선택하는 것이 좋은지 선택<br><br>3) test size 결정 : 0.3 0.25 등 입력<br><br>4) MLP Regressor 조건 결정<br>- tol : 0.00000001 등 숫자 입력<br>- activation : tanh, relu, logistic, identity 등 선택 화면<br>- batch size : auto 또는 숫자(3, 5 등) 화면<br>- learning rate init : 0.001 등 숫자 입력<br>- hidden layer sizes : 15, 6 등 2개 숫자를 입력하여 가져옴<br>- max inter : 5000 등 숫자 입력<br>- alpha : 0.005 등 숫자 입력<br><br>5) train R2 test R2를 반복 출력 및 비교하여 최고 R2가 나올 때까지 (또는 R2가 각각 0.985이상이 되도록(기준도 사용자가 지정) 위 조건을 반복 실행하도록 프로그램화하고 최적화된 경우 최종모델로 저장<br><br>6) 예측자료 출력을 위하여 위 최종모델을 적용하여<br>- 다수의 case를 갖는 데이터에 대하여 field 선택(상기 2번에서 정한 filed와 동일해야함)<br><br>7) 최종 y값 중에서 가장 낮은 y , 가장 높은 y 등을 제시함<br><br>나. 개발 툴<br><br>. 통합환경 프로그램 : Pycham version 2018.2.1<br><br>  |

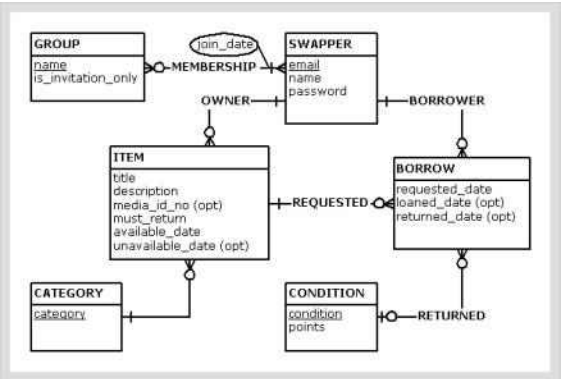
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>통합관제시스템 | 저수지 계측 3차원 평가 알고리즘 구축<br><br>서버프로그램연계 동작<br><br>[상세보고서 3-1-1 첨부]<br><br>성과 3-1-1<br>성과 3-2-1<br>성과 3-2-2<br>성과 3-3-1<br>성과 3-3-2<br>성과 3-4-1 | 2. 연구 방법<br>- 인공 신경망 모형은 비선형네트워크로 구성된 인간두뇌의 사고방식을 기반으로 하는 기계 학습모형이다. 인간의 신경망에서 외부자극은 서로 다른 연결강도를 지닌 축색돌기를 통해 다른 신경세포에 전달되며, 시냅스를 통해 입력신호로 변환시킨다. 시냅스에서는 외부신호와 출력신호 사이의 연결강도를 조절하는 뇌의 학습 과정을 모사한다. 본 연구에서 함수분포를 이용한 예측은 인간의 두뇌가 과거의 경험과 훈련으로 지식을 축적하듯이, 시스템의 입·출력에 의하여 연결함수 및 연결강도의 구조를 조직화함으로 최적 매개변수를 추정하는 기법을 의미한다 (Dibike와 Solo\-matine, 2001).<br><br>  <br><br>주: X n은 입력변수, Zn은 각 노드에서의 출력값, Wn은 연결강도, ωn은 임계 값을 의미함<br><br>- 신경망모형은 다수의 요인들간의 동시적인 상호작용을 병렬처리할 수 있기 때문에 비선형성이 높은 시스템의 자극-반응 관계를 잘 해석할 수 있다는 장점이 있다. 그림과 같이, 신경망모형 중 다층신경망은 입력층의 입력노드에서 자료를 받아 연결강도를 통해 가중 연결된 은닉층 노드에 함수값을 전달받고, 각 은닉층 노드에서는 가중합된 자료들을 전이함수를 통해 변화시켜 출력층의 노드로 전달하여 출력시키는 구조를 갖고 있다.<br><br>- 본 연구에서 신경망의 학습방식은 가장 보편적이고 효율적인 것으로 알려져 있는 오차역 전파알고리즘을 사용하였다 (Rumelhart 외, 1986). 또한 전이함수는 Linear(Li), Hyper\-bolic Tangent(T), Logistic Curve(Lo)를 다양하게 검토하였으며, 은닉층의 수는 최대 두 개를 사용하였다. 최적 은닉층의 수와 전이함수 의 종류와 수를 계산하기 위하여 유전자 알고리즘을 도입하였다. 유전자 알고리즘은 Holland (1975)에 의해 제안된 방식으로서, 생물의 교배와 진화, 그리고 돌연변이 발생 등에 대한 메커니즘을 알고리즘을 통해 구현하여 최적해를 찾는 방식이라 할 수 있다 (Shin와 Park, 1999). 이는 잠재적인 모집단에서 최적군집후보에 대하여 가능한 학습방식을 모아 군집으로 형성한 뒤 서로간의 교배 혹은 변이를 통해서 최적해에 가장 가까운 군집을 찾는 알고리즘이며, 비선형 최 적화 문제를 해결하는 뛰어난 메커니즘 중 하나로 알려져 있다 (Goldberg, 1989). |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>통합관제시스템 | 저수지 계측 3차원 평가 알고리즘 구축<br><br>서버프로그램연계 동작<br><br>[상세보고서 3-1-1 첨부]<br><br>성과 3-1-1<br>성과 3-2-1<br>성과 3-2-2<br>성과 3-3-1<br>성과 3-3-2<br>성과 3-4-1 | - 모형 검증은 아래 Eq.(1) ~ (3)의 세 가지 통계범주들을 고려한다. 여기서, yi는 실측값, fi는 예측값, y'는 실측값 평균, n은 실측값의 총개수를 각각 의미한다.<br><br>결정계수: $R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - f_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}$ (1)<br><br>평균제곱오차: $MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - f_i)^2$ (2)<br><br>평균절대백분위오차: $MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left\lvert \frac{y_i - f_i}{y_i} \right\rvert \times 100$ (3)<br><br>3 예측 프로그램 실행<br><br> <br><br>  <br> |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>통합관 제시스템 | 저수지 계측 3차원 평가 알고리즘 구축<br><br>서버프로그램연계 동작<br><br>[상세보고서 3-1-1 첨부]<br><br>성과 3-1-1<br>성과 3-2-1<br>성과 3-2-2<br>성과 3-3-1<br>성과 3-3-2<br>성과 3-4-1 |  <br><br>  <br><br> <br> |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>통합관제시스템 | 통합관리시스템 프로그램 설계<br><br>데이터베이스 설계<br><br>[상세보고서 3-2-1 첨부]<br><br>성과 3-1-1<br>성과 3-2-1<br>성과 3-2-2<br>성과 3-3-1<br>성과 3-3-2<br>성과 3-4-1 | **데이터베이스 설계 순서**<br><br>1. 요구조건 분석 / 명세<br>- 데이터베이스의 사용자, 사용목적, 사용범위, 제약조건 등에 대한 내용을 정리하고 명세서 작성.<br><br>2. 개념적 설계 (E-R모델)<br>- 정보를 구조화 하기 위해 추상적 개념으로 표현하는 과정으로 개념 스키마 모델리오가 트랜잭션 모델링을 병행하고, 요구조건 분석을 통해 DBMS 독립적인 E-R 다이어그램 작성.<br><br>3. 논리적 설계 (데이터 모델링)<br>- 자료를 컴퓨터가 이해할 수 있도록 특정 DBMS의 논리적 자료 구조로 변환하는 과정입니다. 관계형 데이터베이스인 경우 이 단계에서 테이블을 설계하고, 정규화 과정 적용.<br><br>4. 물리적 설계 (데이터 구조화)<br>- 논리적 구조로 표현된 데이터를 물리적 구조의 데이터로 변환하는 과정입니다. 데이터베이스 파일의 저장 구조 및 액세스 경로, 인덱스의 구조와 저장 레코드의 크기, 순서, 접근 경로 등을 결정하며, 반응시간, 공간활용도, 트랜잭션 처리량을 고려하여 설계.<br><br>5. 데이터베이스 구현<br>- 앞선 설계 단계에서 도출된 데이터베이스 스키마를 실제 파일로 생성하는 단계입니다. 특정 DBMS에서 데이터베이스 스키마를 생성한 후 데이터를 입력하며, 응용 프로그램에서 사용하기 위한 트랜잭션 생성.<br><br>  <br><br><br>**데이터베이스 스키마의 정의와 종류**<br><br>1. 스키마란?<br>- 데이터 Entity(개체), Attribute(속성), Relationship(관계)와 같은 데이터베이스 구조와 기타 제약조건에 대한 명세를 기술한 것으로 데이터 사전 (Data Dictionary or System Catalog)에 저장되며 메타데이터(Meta-data) 라고도 합니다. 스키마는 개념 스키마, 외부 스키마, 내부 스키마로 나누어 지며 이를 스키마 3계층이라함. |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>통합관제시스템 | 통합관리시스템 프로그램 설계<br><br>데이터베이스 설계<br><br>[상세보고서 3-2-1 첨부]<br><br>성과 3-1-1<br>성과 3-2-1<br>성과 3-2-2<br>성과 3-3-1<br>성과 3-3-2<br>성과 3-4-1 |  <br><br><br>2. 개념 스키마 (Conceptual Schema)<br>- 데이터베이스의 전체적인 구조를 논리적으로 표현한 것으로 Entity 간의 관계 및 제약조건, 무결성 규칙, 데이터베이스 접근권한 및 보안 등의 명세를 정의합니다. 보통 하나의 데이터베이스에 대해 1개만 존재하며 데이터베이스에 대한 전체적인 View 를 나타냅니다. 단순히 스키마(Schema) 라고 하면 보통 개념 스키마를 의미합니다. 개념스키마는 일반적으로 DBA에 의해서 구성되고 관리됩니다.<br><br>3. 외부 스키마 (External Schema)<br>- 사용자나 개발자 입장에서 논리적으로 데이터베이스의 구조를 정의한 것으로 하나의 데이터베이스에 대해 여러개가 존재할 수 있습니다. 다른 말로 서브 스키마로 라고도 표현하며 사용자 View 관점에서의 스키마입니다.<br><br>4. 내부 스키마 (InternalSchema)<br>- 데이터베이스의 물리적인 구조를 정의한 스키마로 데이터의 속성이나 저장 크기 등을 기술하고 있습니다. 내부스키마는 물리적인 저장장치와 밀접한 계층으로 시스템 프로그래머나 설계자 관점에서의 스키마입니다.<br><br>## 데이터베이스 모델 및 개념<br><br>1. 데이터 모델이란?<br>- 현실세계의 요소를 인간과 컴퓨터가 이해할 수 있는 정보로 표현한 것<br><br>  <br> |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>통합관제시스템 | 통합관리시스템 프로그램 설계<br><br>데이터베이스 설계<br><br>[상세보고서 3-2-1 첨부]<br><br>성과 3-1-1<br>성과 3-2-1<br>성과 3-2-2<br>성과 3-3-1<br>성과 3-3-2<br>성과 3-4-1 | 2. 데이터 모델의 종류<br><br>- 데이터 모델은 개념적, 논리적, 물리적 데이터 모델로 나눔<br><br>1) 개념적 데이터 모델<br>- 현실세계의 요소를 인간이 이해할 수 있는 정보 구조로 표현하는 것으로 보통 E-R 모델을 통해서 표현. (E-R 모델 : 개체-관계 모델)<br><br>2) 논리적 데이터 모델<br>- 개념적 데이터 모델을 컴퓨터가 이해할 수 있도록 변환한 데이터 모델로 일반적으로 데이터 모델이라고 하면 논리적 데이터 모델을 의미<br><br>3) 물리적 데이터 모델<br>- 논리적 데이터 모델에서 레코드의 상세 스펙 등을 기술한 모델로 실제 컴퓨터에 데이터가 저장되는 방법을 정의.<br><br>3. 데이터 모델의 구성요소<br><br>- 데이터 모델은 Entity (개체), Attribute (속성), Relationship (관계)로 구성.<br><br>**E-R 모델의 개념 및 요소**<br><br>1. E-R 모델이란?<br>- E-R 모델 (개체-관계 모델) 이란 개념적 모델링에 사용되는 데이터 표현 방법으로 Entity(개체)와 Entity 간의 Relationship(관계)를 나타내는 모델입니다. 1976년 피터 첸에 의해 제안되었으면 현재 개념적 모델링 시 자주 사용되고 있습니다.<br><br>  <br><br><br>2. E-R 모델의 요소<br><br>1) Entity (개체)<br>- 현실세계의 요소 중 데이터베이스에 표현하려는 것<br><br>2) Attribute (속성)<br>- 개체를 구성하는 항목으로 데이터 필드의 역할을 함<br><br>3) Relationship (관계)<br>- Entity 간의 관계 또는 Attribute 간의 관계를 의미하며, 1:1, 1:N, N:M (카디널리티) 의 관계를 나타냄 |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>통합관제시스템 | 통합관리시스템 프로그램 설계<br><br>TCP/IP Protocol<br><br>[상세보고서 3-2-2 첨부]<br><br>성과 3-1-1<br>성과 3-2-1<br>성과 3-2-2<br>성과 3-3-1<br>성과 3-3-2<br>성과 3-4-1 | |

## 송수신 제어 명령어

[S] : Server, [M] : RTU/RMCU

| PAGE | CMD | ACK 요청 | 전송방향 | 설명 |
|---|---|---|---|---|
| 9 | 0x20 | 0xA0 | [S] ▶ [M] | 서버에서 장비단으로 연결 요청 |
| 10 | 0x21 | 0xA1 | [S] ▶ [M] | 서버에서 장비단으로 연결 종료 요청 |
| 11 | 0x22 | 0xA2 | [S] ▶ [M] | 서버에서 장비단으로 파라미터 정보 전송 |
| 14 | 0x23 | 0xA3 | [S] ▶ [M] | 서버에서 장비단으로 실시간 측정 데이터 요청 |
| 16 | 0x24 | 0xA4 | [S] ▶ [M] | 서버에서 장비단으로 저장 측정 데이터 요청 |
| 19 | 0x25 | 0xA5 | [S] ▶ [M] | 서버에서 장비단으로 저장 측정 데이터 DUMP 요청 |
| 21 | 0x26 | 0xA6 | [S] ▶ [M] | 서버에서 장비단으로 이벤트 요청 |
| 23 | 0x27 | 0xA7 | [S] ▶ [M] | 서버에서 장비단으로 CTRL 명령 |
| 24 | 0x28 | 0xA8 | [S] ▶ [M] | 서버에서 장비단으로 FILE 다운로드 명령 |
| | | | | |
| 9 | 0x30 | 0xB0 | [S] ◀ [M] | 장비단에서 서버로 연결 요청 |
| 10 | 0x31 | 0xB1 | [S] ◀ [M] | 장비단에서 서버로 연결 종료 응답 |
| 11 | 0x32 | 0xB2 | [S] ◀ [M] | 장비단에서 서버로 파라미터 정보 전송 |
| 14 | 0x33 | 0xB3 | [S] ◀ [M] | 장비단에서 서버로 실시간 측정 데이터 응답 |
| 16 | 0x34 | 0xB4 | [S] ◀ [M] | 장비단에서 서버로 저장 측정 데이터 응답 |
| 19 | 0x35 | 0xB5 | [S] ◀ [M] | 장비단에서 서버로 저장 측정 데이터 DUMP 응답 |
| 21 | 0x36 | 0xB6 | [S] ◀ [M] | 장비단에서 서버로 이벤트 응답 |
| | | | | |
| 26 | 0x06 | - | [S] ▶◀ [M] | ACK 명령어 |
| 27 | 0x15 | - | [S] ▶◀ [M] | NAK 명령어 |

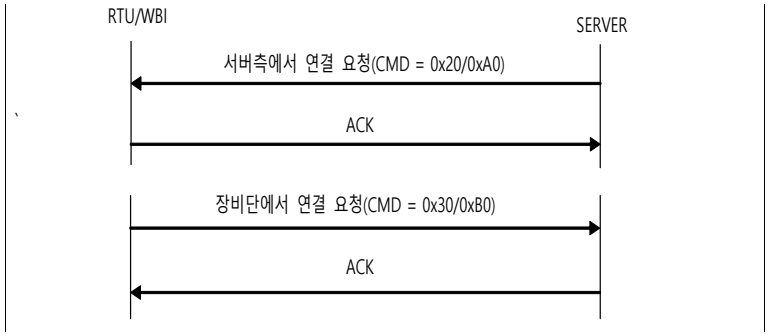
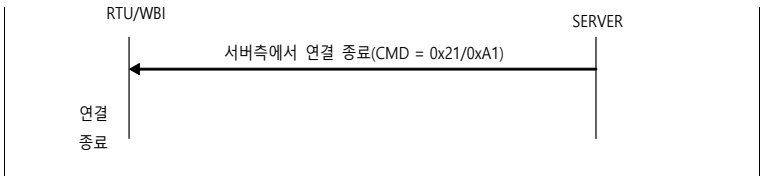
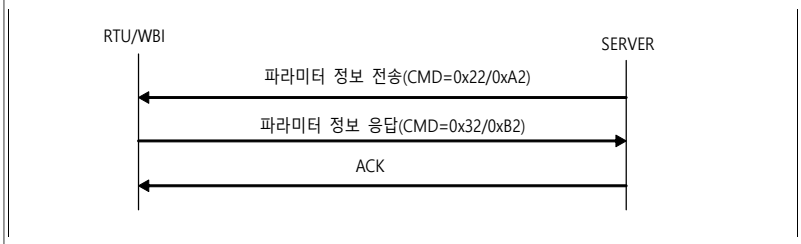
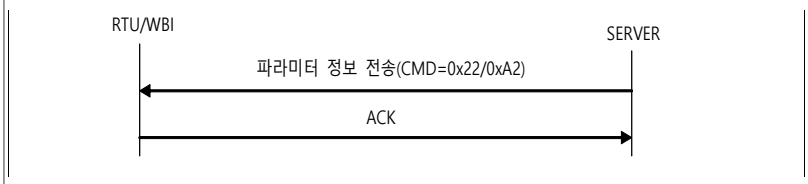
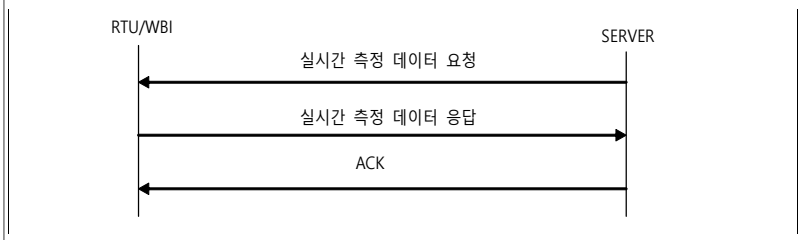
위의 표에서 기본 명령어는 “CMD” 필드에 해당하는 값들이다. “ACK 요청” 필드의 값들은 다음과 같은 용도로 사용된다.

ACK 요청일 경우 수신측에서는 ACK응답을 보내야한다. 단, ACK 대신에 다른 명령을 송신하여 ACK응답을 대신할 수 있다.

[연결 요청 명령어]

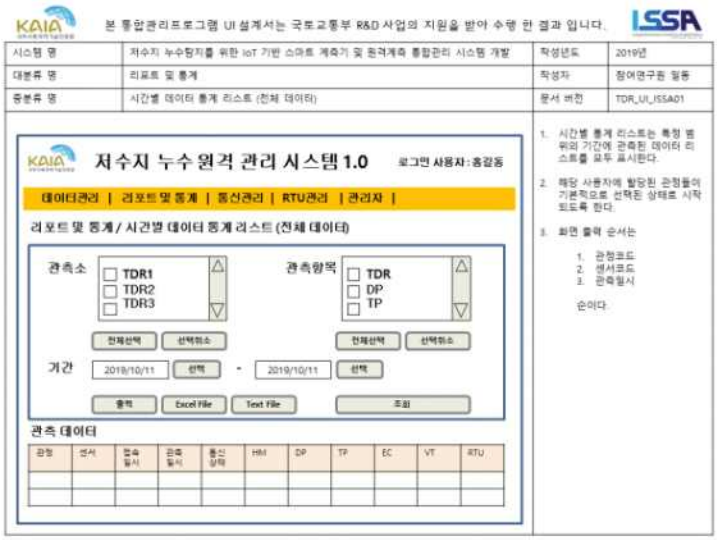
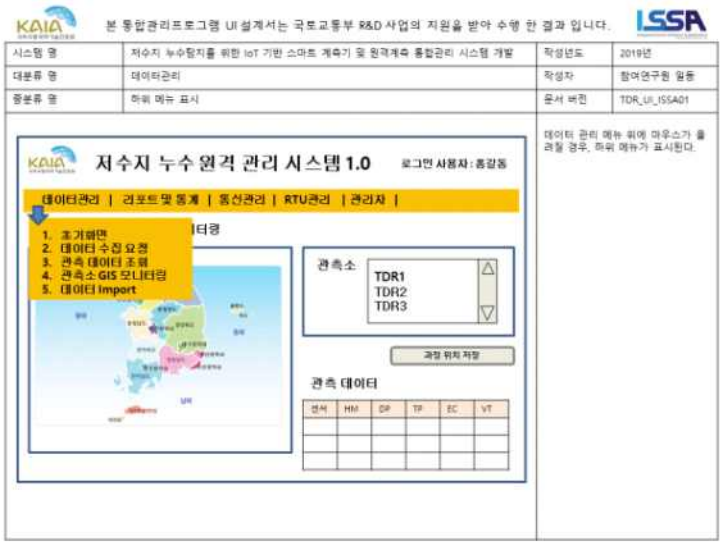
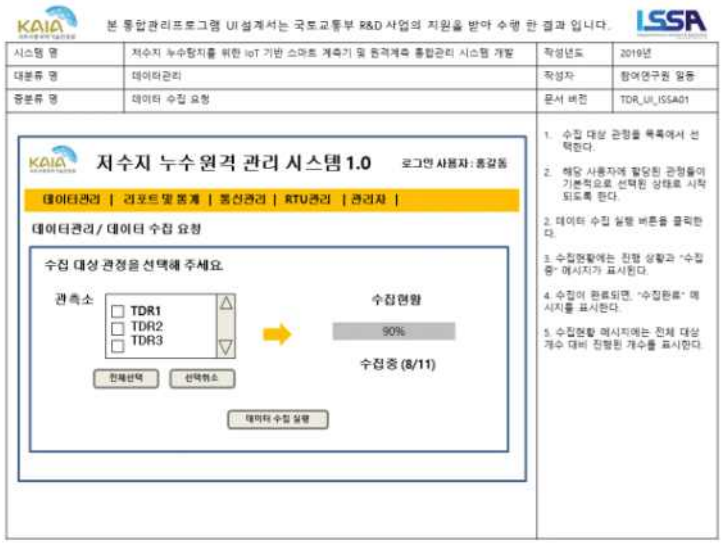
- 0x20/0xA0 명령어는 M2M 통신에서 서버가 RTU/RMCU 장비단에 통신 접속을 한 후에 최초로 보내는 링크 연결 명령어이며, 0x30/0xB0 명령어는 RTU/RMCU 장비단이 서버와 TCP/IP 통신을 하거나 M2M 통신에서 이벤트 등이 발생할 경우에 장비단에서 서버로 통신 접속을 한 후에 최초로 보내는 링크 연결 명령어로서 ACK 명령어로 응답한다. TCP/IP 통신 접속에서는 패킷 수를 줄이기 위해서 통신 접속이 완료된 이후에 이 명령이 아닌 다른 명령어들이 전송되는 것을 허용한다.

| 필드명 | Type | Size | 설명 |
|---|---|---|---|
| STX | BYTE | 1 | 문장 시작 구분자 : 0x01 |
| UID | ASC | 2 | 사업장ID |
| MID | TBYTE | 3 | 장비 ID |
| CMD | BYTE | 1 | 연결 요청 명령어(0x20/0xA0 or 0x30/0xB0) |
| LEN | WORD | 2 | 0 |
| DATA | - | 0 | - |
| ETX | BYTE | 1 | 문장의 끝 구분자 : 0x03 |
| CRC | WORD | 2 | |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>통합관제시스템 | 통합관리시스템 프로그램 설계<br><br>TCP/IP Protocol<br><br>[상세보고서 3-2-2 첨부]<br><br>성과 3-1-1<br>성과 3-2-1<br>성과 3-2-2<br>성과 3-3-1<br>성과 3-3-2<br>성과 3-4-1 | [전송 Flow - 연결 확립 절차]<br>  <br><br>[전송 Flow - 연결 확립 절차]<br>  <br><br>[전송 Flow - 0x22/0xA2 명령어에서 파라미터 재전송 플래그가 0x01 경우]<br>  <br><br>[전송 Flow - 0x22/0xA2 명령어에서 파라미터 재전송 플래그가 0x00 경우]<br>  <br><br>[전송 Flow ]<br>  <br> |

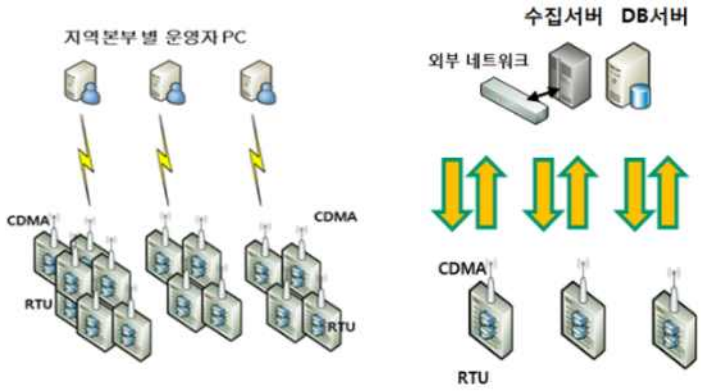
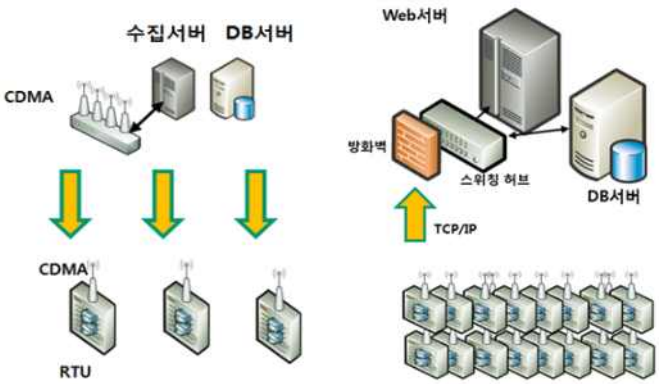
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>통합관제시스템 | 통합관리시스템 프로그램 개발<br><br>DB프로그램 개발<br><br>[상세보고서 3-3-1 첨부]<br><br>성과 3-1-1<br>성과 3-2-1<br>성과 3-2-2<br>성과 3-3-1<br>성과 3-3-2<br>성과 3-4-1 | |

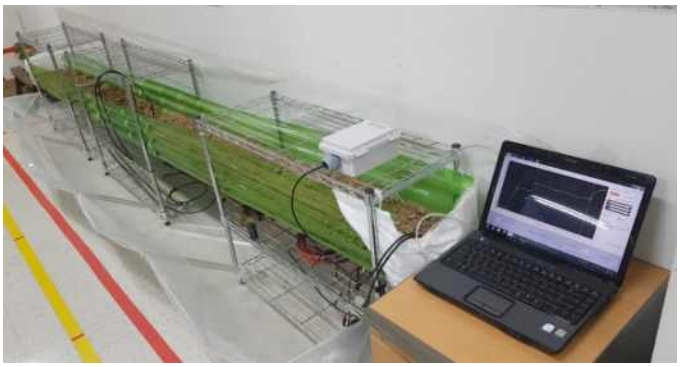
```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;

using System.Collections;
using System.Net;
using System.Net.Sockets;
using System.IO;
using System.IO.Ports;
using Hydro.Common;

                ////DB 연결 시작
                string logPath = Path.GetDirectoryName(Application.ExecutablePath) + "/Log/";
                if (!Directory.Exists(logPath))
                    Directory.CreateDirectory(logPath);

                _db_common = new DBCommon(_DB_TYPE, logPath);
                string conn_str = string.Empty;
                switch (_DB_TYPE)
                {
                    case "MySQL":
                        conn_str  =  _db_common.GetConnStrFromFile(Path.GetDirectoryName(Application.ExecutablePath)
    + "/conn_mysql.dat");
                        BackColor = System.Drawing.Color.LightSteelBlue;
                        break;
                    case "MSSQL":
                        conn_str  =  _db_common.GetConnStrFromFile(Path.GetDirectoryName(Application.ExecutablePath)
    + "/conn_mssql.dat");
                        break;
                    case "Oracle":
                        conn_str  =  _db_common.GetConnStrFromFile(Path.GetDirectoryName(Application.ExecutablePath)
    + "/conn_oracle.dat");
                        BackColor = System.Drawing.Color.LightSkyBlue;
                        break;
                    default:
                        break;
                }
                _db_common.DBOpen(conn_str);

                LogInfo("DB Opened " +  conn_str);
                if (_db_common != null)
                    _db_common.LogInfo("DB Opened " + conn_str);

                //TCP/IP 호스팅 시작
                StartTcpHosting();

                //스레드 리스트에서 생성된지 10분 이상인 스레드 항목을 제거하는 타이머
                timer_clear_thread.Enabled = true;
            }
            catch (Exception ex)
            {
                LogInfo("<< Form Load >> Error -> " + ex.ToString());
                if (_db_common != null)
                    _db_common.LogInfo("<< Form Load >> Error -> " + ex.ToString());
            }
        }

        #endregion 초기화 및 Form Load 모듈

        #region Tcp/IP 모듈

        void StartTcpHosting()
        {
            string hostingIP = comboBox_IP.Text;
            int hostingPort = int.Parse(textBox_Port.Text);

            try
            {
                IPAddress ip = null;

                ip = IPAddress.Parse(hostingIP);

                _tcpserver = new Socket(AddressFamily.InterNetwork, SocketType.Stream, ProtocolType.Tcp);

                _tcpserver.SetSocketOption(SocketOptionLevel.Socket, SocketOptionName.ReuseAddress, true);

                _tcpserver.Blocking = false;

                _tcpserver.Bind(new IPEndPoint(ip, hostingPort));
                _tcpserver.Listen(10);

                _tcpserver.BeginAccept(new AsyncCallback(this.OnTcpConnectRequest), _tcpserver);

                LogInfo("[TCP Server] 리스닝 시작: " + ip + " / " + hostingPort.ToString());
                this.Text  =  "AquaServer("  +  comboBox_IP.SelectedItem.ToString()  +  ":"  +  textBox_Port.Text  +  ":"  +
_SERVER_MODE + ")";
            }
            catch (Exception ex)
            {
                LogInfo("[TCP Server] 리스닝 시작 오류: " + ex.ToString());
                if (_db_common != null)
                    _db_common.LogInfo("[TCP Server] 리스닝 시작 오류: " + ex.ToString());
            }

        }

        public void CloseTcp()
        {
            try
            {
                for (int i = 0; i < _m_aryClients.Count; i++)
                {
                    try
                    {
                        SocketSrvClient client = (SocketSrvClient)_m_aryClients[i];

                        try
                        {
                            client.Sock.Shutdown(SocketShutdown.Both);
                        }
                        catch { }

                        client.Sock.Close();
                    }
                    catch { }
                }

                try
                {
                    _m_aryClients.Clear();
                }
                catch { }

                try
                {
                    try
                    {
                        _tcpserver.Shutdown(SocketShutdown.Both);
                    }
                    catch { }

                    _tcpserver.Close();
                    _tcpserver = null;
                }
                catch { }

                LogInfo("[TCP Server] 리스닝 종료");
            }
            catch (Exception ex)
            {
                LogInfo("[TCP Server] 리스닝 종료 오류: " + ex.ToString());
                if (_db_common != null)
                    _db_common.LogInfo("[TCP Server] 리스닝 종료 오류: " + ex.ToString());
            }
        }
```

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>통합관제시스템 | 통합관리시스템 프로그램 개발<br><br>통합 관리 프로그램 개발<br><br>[상세보고서 3-3-2 첨부]<br><br>성과 3-1-1<br>성과 3-2-1<br>성과 3-2-2<br>성과 3-3-1<br>성과 3-3-2<br>성과 3-4-1 | **통합관리 UI 설계 및 프로그램 개발**<br><br>  <br><br>  <br><br>  <br> |

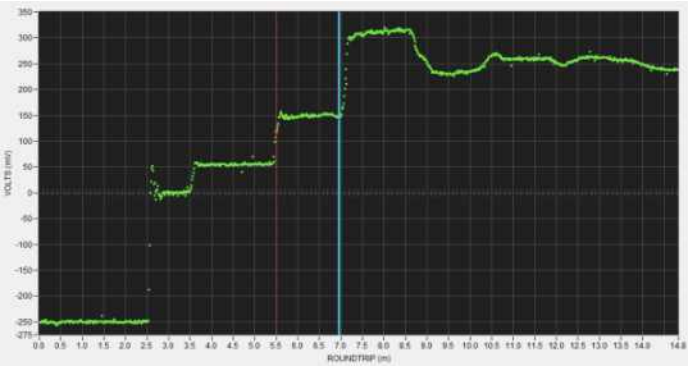
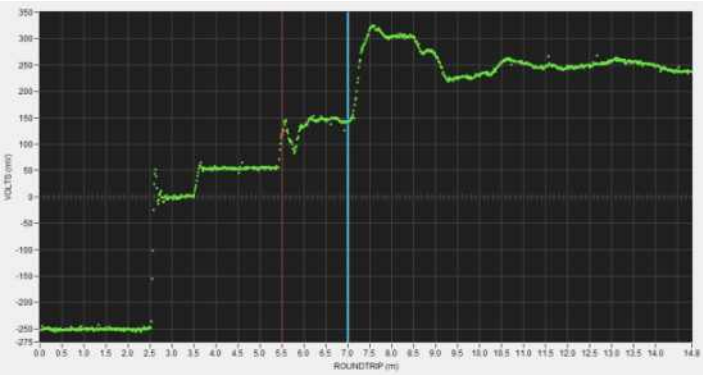
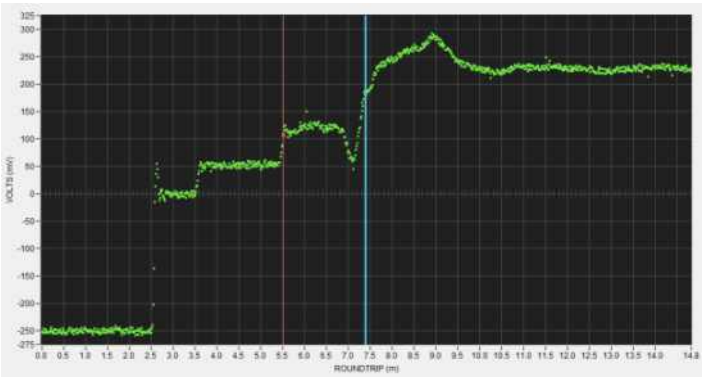
| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>통합관제시스템 | 통합관리시스템 프로그램 개발<br><br>통합 관리 프로그램 개발<br><br>[상세보고서 3-3-2 첨부]<br><br>성과 3-1-1<br>성과 3-2-1<br>성과 3-2-2<br>성과 3-3-1<br>성과 3-3-2<br>성과 3-4-1 | |

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;

using System.Collections;
using System.Net;
using System.Net.Sockets;
using System.IO;
using System.IO.Ports;

using Hydro.Common;

namespace Issalab.Server
{
    public partial class TCP_GW_Form : Form
    {
        //DB Connection
        public DBCommon _db_common = null;

        string[] _args;

        string _DB_TYPE = "MySQL";
        string _WEB_SERVER_ROOT_PATH = string.Empty;
        string _SERVER_MODE = "UPDATE";

        Dictionary<string, string> _PROTOCOL_VER_LIST = new Dictionary<string, string>();
        Dictionary<string, int> _CAMERA_CNT_LIST = new Dictionary<string, int>();

        public Dictionary<string, string> _LAST_CMD_LIST = new Dictionary<string, string>();
        Dictionary<string, string> _PHOTO_FRAME_SEQ = new Dictionary<string, string>();
        Dictionary<string, List<byte[]>> _RECV_PHOTO_LIST =  new Dictionary<string, List<byte[]>>();
        Dictionary<string, string> _RECV_PHOTO_NAME = new Dictionary<string, string>();

        PARAM_INFO _PI = null;


    //##########################################################################################
    ######################
        // 자동 수집의 경우, TCP/IP 서버와 달리, 최초 접속후, RTU에 파라메터 정보를 요청하여, 파라메터 정보를 DB에
    반영해 준다.
        // 이때 파라메터 정보 버전을 체크하여, 최신 버전일 경우에만 DB에 반영한다.

        // 파라메터 정보를 RTU에 요청시 연결요청 명령을 전송하며, 이에 대한 응답으로 파라메터 정보를 수신한다.

        // TCP/IP 서버 방식에서는 연결후, RTU에서 연결요청 정보를 서버로 전송하며, 서버에서는 연결요청 수신후, 파라메
    터 정보를 RTU로 전송한다.

        // TCP/IP 방식에서는 연결요청 수신 과정에서, RTU의 장비 ID값을 읽어와서 소켓의 클라이언트 ID와 매핑시켜준다.
    즉, 소켓과 각 RTU들
        // 이 단계에서 매핑시켜 주는 것이다.

    //##########################################################################################
    ######################

        #region 변수 및 객체 정의 영역
        const int _max_Log_Count = 4000;
        /*****************************************************************/
        /*  blackpot 2011-05-16 통합버전 stx 0x02 >> 0x01              */
        /*  const byte STX = 0x02;                                      */
        /*****************************************************************/
        const byte STX = 0x01;
        const byte ETX = 0x03;
        const byte ACK = 0x06;
        const byte NAK = 0x15;

        //서버기준
        const byte CONN_REQ_CMD = 0x20;     //서버에서 장비로 연결요청
        const byte CLOSE_REQ_CMD = 0x21;    //서버에서 장비로 연결종료 요청
        const byte PARAM_REQ_CMD = 0x22;    //서버에서 장비로 파라미터 전송
        const byte RDATA_REQ_CMD = 0x23;    //서버에서 장비로 실시간데이터 요청
        const byte DBDATA_REQ_CMD = 0x24;   //서버에서 장비로 저장데이터 요청
        const byte DUMP_REQ_CMD = 0x25;     //서버에서 장비로 Dump 요청
        const byte EVENT_REQ_CMD = 0x26;    //서버에서 장비로 event요청
        const byte CTRL_REQ_CMD = 0x27;     //서버에서 장비로 ctrl 명령
        const byte FILE_REQ_CMD = 0x28;     //서버에서 장비로 file 다운로드 명령
        const byte PHOTO_REQ_CMD = 0x29;    //서버에서 장비로 사진 업로드 요청

        // 장비의 응답 기준
        const byte CONN_RES_CMD = 0x30;     //장비의 연결요청
        const byte CLOSE_RES_CMD = 0x31;    //장비의 연결종료 요청
        const byte PARAM_RES_CMD = 0x32;    //장비의 파라미터 전송
        const byte RDATA_RES_CMD = 0x33;    //장비의 실시간데이터 응답
        const byte DBDATA_RES_CMD = 0x34;   //장비의 저장데이터 응답
        const byte DUMP_RES_CMD = 0x35;     //장비의 Dump 응답
        const byte EVENT_RES_CMD = 0x36;    //장비의 Event응답
        const byte PHOTO_RES_CMD = 0x39;    //장비의 사진 응답

        //RecvBytesHandler _recvByteHandler = null;
        private SerialPort _serialPort = new System.IO.Ports.SerialPort();
        private const int _maxBuffer = 1024;
        private const int _defaultBaudRate = 9600;
        private const int _maxSerialQueueSize = 10000;
        public int _maxSerialQueueSizeInt = _maxSerialQueueSize;

        private Socket _tcpserver = null;

        private ArrayList _m_aryClients = new ArrayList();          // List of Client Connections

        //데이터 수신 스레드 리스트
        Dictionary<string, ThreadByIDHandler> _threadList = new Dictionary<string, ThreadByIDHandler>();

        public Dictionary<string, bool> _ACK_RECV_FLAG = new Dictionary<string, bool>();

        public delegate void ExecuteQueryCallBack(string qStr);

        public string str_tmp = string.Empty;

        #endregion 변수 및 객체 정의 영역

        #region 초기화 및 Form Load 모듈

        public TCP_GW_Form(string[] args)
        {
            try
            {
                _args = args;

                InitializeComponent();

            }
            catch (Exception ex)
            {
                LogInfo("TCP_GW_Form(string[] args) -> " + ex.ToString());
                if (_db_common != null)
                    _db_common.LogInfo("TCP_GW_Form(string[] args) -> " + ex.ToString());
            }
        }

        private void TCP_GW_Form_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            try
            {
                CheckForIllegalCrossThreadCalls = false;

                IPAddress[] aryLocalAddr = null;
                String strHostName = "";
                try
                {
                    strHostName = Dns.GetHostName();
                    IPHostEntry ipEntry = Dns.GetHostEntry(strHostName);
                    aryLocalAddr = ipEntry.AddressList;
                }
                catch
                {
                    //
                }

                if (aryLocalAddr == null || aryLocalAddr.Length < 1)
                {
                    return;
                }
```

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>통합관제시스템 | 통합관리시스템 테스트<br><br>원격장치와 서버간 데이터 통신 및 기존시스템과 비교평가<br><br>성과 3-1-1<br>성과 3-2-1<br>성과 3-2-2<br>성과 3-3-1<br>성과 3-3-2<br>성과 3-4-1 | Why, 새로운 방식의 원격계측제어 망이 필요한가?<br>1. 설치장소의 격오성- 상전공급이 불가능<br>- 태양전지에 의한 배터리 충전,풍력발전에 의한 배터리 충전<br>2. 통신망 접속 비 용이성 - 기존 유무선 통신망 연결의 비 용이성<br>- 위성통신, VHF혹은 UHF대의 중/대출력무선망<br>- 유선망접근 불가능<br>3. 통신 장비의 높은 전력소모율에 따른 배터리의 대용량화<br>4. 대전력소모에 따른 대용량 태양 전지 판 필요<br><br>수동 하향식구조 자동 상향식구조<br>  <br><br>단 방향성<br>1. 운영자 측과 원격장치 측 모두 CDMA모뎀이 필요<br>2. 운영자 측 요구에 의해서 만 데이터 전송<br>3. 운영자 측 LTE모뎀이 1대 이므로 원격장치들과 동시 접속이 불가능<br>4. 운영자 측 LTE모뎀을 통하여 원격장치에 순차적으로 접속하여 데이터 수신<br><br>양방향성<br>1. 운영자 측 서버에는 LTE모뎀 불필요<br>2. 원격장치 측은 LTE를 통하여 무선 인터넷으로(TCP/IP망) 연결<br>3. 모든 원격장치로부터 동시에 데이터 수신가능<br>4. 원격장치의 필요에 의해 서버호출이 가능 (이상발생, 신규기능 요청 등)<br>5. SMS를 통한 제어가능 / 비상시 담당자에게 SMS 전송가능 (단 방향에서도 가능)<br><br>Client/Server 구조 웹 접속구조<br>  <br> |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>계측기 현장 설치 장치 개발 | 실내모형실험에 따른 계측기 특성분석<br><br>수분함량 변화에 따른 토질물성변화 관측 및 분석<br><br>성과 4-6-1<br>성과 5-1-1<br>성과 5-2-1 | 1. TDR 기법 개요<br>- 제방은 토류구조물로서 흙, 물, 공기로 구성되어 있는데, 일반적으로 공기의 경우 1, 건조된 흙의 경우 3~6, 물의 경우 80의 유전상수 값을 가지고 있다(Reynolds,1997). 따라서, 제체 누수가 발생된다면 하천제방의 토체는 흙입자 사이의 간극에 물이 차지하는 비율이 커짐으로서 유전상수 값의 변화를 발생시킨다.<br>- TDR 기법은 전기자파의 상호 간섭효과를 이용하여 공기, 물, 흙입자 등으로 구성된 토체의 함수비 및 변위 등을 감지하는 시스템이다. TDR 센서케이블을 따라 전달되는 신호의 전달 시간은 신호 속도 및 케이블의 길이에 의존한다. 이때 신호는 케이블 주변 재료의 유전상수(dielectric constant)에 영향을 받으며, 이 관계는 다음과 같은 식으로 표현된다.<br>$$\triangle t = \frac{2L\sqrt{K_a}}{C} \quad (1)$$<br>- 여기서, Ka 는 겉보기 유전상수(apparent dielectric constant), C는 자유공간속에서의 전자기파 속도, △t는 전달시간, L은 케이블의 길이를 의미하며, 식(1)은 겉보기 케이블 길이(apparent probe length, La= c△t/2) : 실제 케이블 길이의 비인 겉보기유전상수(apparent dielectric constant)를 이용하여 간단하게 정리하면 식 (2)와 같다.<br>$$\sqrt{K_a} = \frac{L_a}{L} \quad (2)$$<br>- 한편, 유전상수와 함수비와의 관계는 다항식과 선형식형태를 사용하는 경험기법 등이 제안되어 왔으며, Toppet al.(1980) 및 Ledieu et al.(1986) 등은 체적함수비(θv)와 겉보기 유전상수(Ka)에 대하여 식 (3) 및 식(4) 와 같은 관계식을 제안 하였다.<br>$$\theta_V = -5.3\times10^{-2} + 2.92\times10^{2}K_a - 5.5\times10^{-4}K_a^2 + 4.3\times10^{-6}K$$ (3)<br>$$\theta_V = 0.1138\sqrt{K_a} - 0.1758 \quad (4)$$<br>- 실제로 본 과제수행에 있어 TDR 신호를 통해 토양 깊이별 유전율을 계산하는데 본 수식을 활용 하였다.<br>- 신호측정에는 HP Logic Analyzer 1661AS를 이용하여 측정 하였으며 소프트웨어는 ZTDR V2.1.0을 사용하였다.<br><br>2. TDR 측정 LayOut<br>  |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>계측기 현장 설치 장치 개발 | 실내모형실험에 따른 계측기 특성분석<br><br>수분함량 변화에 따른 토질물성변화 관측 및 분석<br><br>성과 4-6-1<br>성과 5-1-1<br>성과 5-2-1 | 3. TDR 신호 발생 레벨 확인<br> <br><br>4. TDR 신호 분석 및 파형 측정<br> <br> <br><br>5. TDR 신호 분석 조건<br>- 신호주파수 : 7MHz (2차년 수행에서 결정 - 가장 뚜렸한 파형을 보이며 수분함량에 따른 변화가 분명함.)<br>- 케이블의 길이 : 5m (제체 하단부 및 여수로 설치 최대 깊이를 고려하여 5m로 선정)<br>- 유전율을 고려한 복토 두께 : 10cm (10cm 미만일 경우 토양의 유전율이 정확하게 측정되지 않을 수 있으므로 최소 10cm의 두께로 복토를 실시함.<br><br>6. 케이블 위치별 수분 투입후 파형 결과 |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>계측기 현장 설치 장치 개발 | 실내모형실험에 따른 계측기 특성분석<br><br>수분함량 변화에 따른 토질물성변화 관측 및 분석<br><br>성과 4-6-1<br>성과 5-1-1<br>성과 5-2-1 |  <br>수분이 없는 상태 (마른 흙 상태)<br><br>  <br>시작 부분에 수분 투입 (1L)<br><br> <br>중간 부분에 수분 투입 (1L)<br><br>  <br>종단부분에 수분 투입 (1L) |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>계측기 현장 설치 장치 개발 | 실내모형실험에 따른 계측기 특성분석<br><br>수분함량 변화에 따른 토질물성변화 관측 및 분석<br><br>성과 4-6-1<br>성과 5-1-1<br>성과 5-2-1 | <br>전체 케이블에 무작위 수분 투입 (5L)<br><br>7. TDR 신호 분석 결론<br>- TDR 신호검출 유효부분은 지중 설치된 부분이며 붉은선이 시작, 파란색이 종단을 의미한다. 소프트웨어의 최대 분석 길이는 15m까지 가능하도록 되어있다.<br>- 검출부분 전체적으로 투입된 수분을 잘 반영하였으며 수분함량 변화에 따른 신호의 세기는 정확하게 일치하였다.<br>- 수분 증가에 따라 신호의 세기는 50mV ~ 10mV 까지 변화하였으며 마른 흙의 경우에는 80mV까지 상승 하였으나 지중 흙의 경우 완전히 마른 흙은 없었으며 50mV ~ 50mV 사이의 값을 보였다.<br>- 중요한 것은 유전율을 반영하는 TDR 케이블의 주변 영향력의 반경인데 테스트 결과 5cm미만에 분포하는 수분까지 측정이 가능하였다.<br>- 수식에 적용한 유전상수는 다음과 같다.<br><br>[물질의 유전상수]<br><br>물 질 \| 유전상수<br>공 기 \| 1 (유전율의 기준)<br>물 \| 80 (20℃)<br>현무암 \| 12<br>화강암 \| 7 ~ 9<br>사 암 \| 9 ~ 11<br>건조 모래 \| 2.5 |

| 연구 범위 | 연구 수행방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>시스템 적용성 검증 및 계측기준 수립 | 적용성 검증<br><br>실 사이트 적용 테스트 및 보완<br><br>성과 4-6-1<br>성과 5-1-1<br>성과 5-2-1 | |

1. 3 차년 현장 설치 적용성 평가

1.1 저수지 현장 실 사이트 적용

- 연구수행에 있어 저수지 누수 및 보강 시공 사례가 있는 충청남도 일대 20만톤 미만의 소규모 저수지를 대상으로 TDR 센서 설치를 위한 굴착 및 적용 테스트를 수행함.

현장 설치 위치도 및 평면도

- 안치 저수지는 충남 서천군에 위치한 20만톤 미만 저수지로 준공연도가 1945년도로 70년 전 설치된 노후저수지로 수해면적은 53ha, 유역 면적은 110ha에 해당하는 저수지임

- 제체 하단부의 토양 수분 측정 결과 12.3 ~ 20.0 % 내외의 수분을 보이며 설치 후 지속적으로 모니터링을 수행할 예정임.

- 안치저수지는 제체 하단부에 4개소를 1~2년차에 걸쳐 제작된 굴진 삽입 장치 적용성 평가 및 TDR 센서를 설치, 주항저수지는 여수로 부근에 3개소를 설치하여 현장 적용성 검증 테스트를 수행하였음.

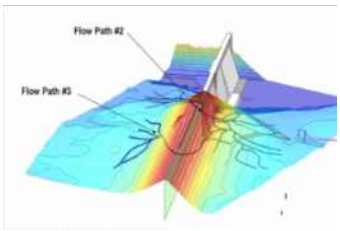
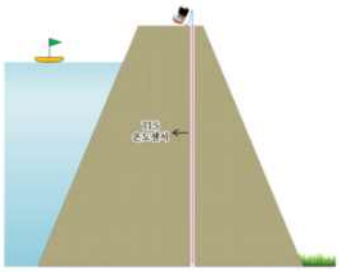
| 구 분 | TDR 센서 설치 심도(m) | | | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | BH-01 | BH-02 | BH-03 | BH-04 | |
| 안치저수지 | 2 | 2 | 3 | 3 | 제체 하단부 설치 |
| 주항저수지 | 2 | 2 | 2 | - | 저수지 여수로 부근 설치 |

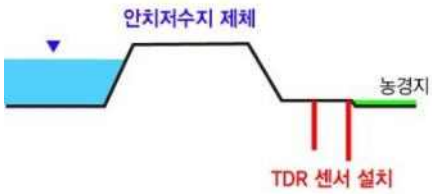
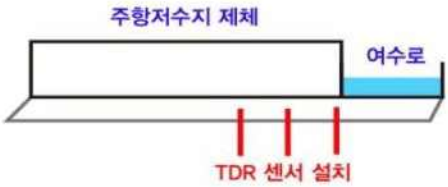
1) 소형 굴진 장비를 활용한 굴착

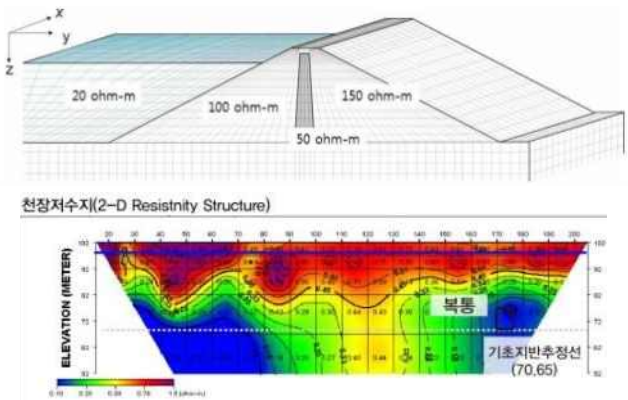
2) TDR 센서 lost cone 연결

3) lost cone 삽입

4) TDR 센서 지중 삽입

| 연구 범위 | 연구 수행방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>시스템 적용성 검증 및 계측기 준 수립 | 적용성 검증<br><br>실 사이트 적용 테스트 및 보완<br><br>성과 4-6-1<br>성과 5-1-1<br>성과 5-2-1 | <br>5) 굴진삽입장치 제거<br> <br>6) 채움재 주입<br> <br>7) TDR 센서 보호함체 설치<br> <br>8) TDR 센서 및 계측기 연결<br> <br>9) TDR 센서 및 계측기 설치 완료<br> <br>10) 제체 수분포화도 측정<br><br>**1.2 저수지 실 사이트 적용성 평가**<br><br>● 댐 및 저수지의 안정성에 영향을 미칠 수 있는 다양한 현상을 모니터링 하는데 사용하는 방법은 대체적으로 댐체 및 댐 주변 지역에서 일반적으로 활용되는 계측 장비를 통해 댐체의 움직임(변위측정, 측량 등) 수위 및 유량, 침투 흐름, 수질 등의 방법으로 수행함.<br><br>● 최근 댐 누수 계측을 위해 제체를 비관입하여 제체를 탐사하여 수행하는 전기비저항 탐사, 제체에 관입하여 물의 온도를 계측하여 온도변화 차의 영향으로 계측하는 다점온도 모니터링 등 다양한 방법이 수행되고 있으나 비용과 시간이 많이 드는 단점을 가지고 있음.<br><br>  <br>전기비저항 탐사를 통한 제체 누수 평가 방법<br>  <br>다점온도를 활용한 제체 누수 평가 방법 |

| 연구 범위 | 연구 수행방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>시스템 적용성 검증 및 계측기준 수립 | 적용성 검증<br><br>실 사이트 적용 테스트 및 보완<br><br>성과 4-6-1<br>성과 5-1-1<br>성과 5-2-1 | ● 또한 대형 장비를 사용하여 제체에 시추를 수행하기 때문에 제체 변형을 유발하고 이로 인한 비용이 과다하게 소모되는 방식으로 단일 항목 측정 해석하기 위해 각 지점의 센서를 별도로 설치하게 되고 인력이 낭비하는 단점을 보임<br><br>● 이를 보완하기 위해 소형 굴진 장비를 활용한 굴진 삽입 장치를 개발하여 안치, 주항 저수지에 적용하였음.<br><br> <br>기존 방식을 활용한 제체 굴진 시제품을 활용한 제체 굴진<br><br>1.3 TDR 센서를 활용한 제체 측정<br><br>● TDR센서를 이용하여 제체의 수분포화도 측정을 위해 안치저수지에 제체 직하부 2개소, 제체 농경지 주변 2개소를 설치하였음.<br><br>● 소형굴진 장비 및 개발한 ROD를 이용하여 2~3m 수직으로 굴진하여 lost cone으로 TDR센서를 관입한 후 설치 구간에 대해 측정하였음.<br><br>  <br>안치저수지 적용 제체 설치도(section veiw)<br><br>● 주항저수지의 경우 여수로 부근 2m 깊이의 설치 심도로 3개소를 설치 하였고 과거 사례를 조사 한 결과 여수로 및 방류부에서 제체 붕괴 사고가 빈번히 발생하여 여수로 부근의 계측도 필요할 것으로 판단함.<br><br>  <br>주항저수지 적용 제체 설치도(front veiw)<br><br>● 본 연구에서는 자동계측 시스템을 구축하지 않고 계측원이 직접 계측을 수행하는 방식이며 향후 자동계측시스템을 구축 하며 상시 지하수위 및 누수특성을 파악 할 수 있는 시스템을 구축 할 것으로 판단하며 측정된 데이터의 신뢰성을 향상시키고 정량화 시키는 방안에 대한 연구도 추가적으로 필요할 것으로 보이며 주기적으로 현장측정을 수행하여 데이터 분석을 수행할 예정임. |

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>시스템 적용성 검증 및 계측기준 수립 | 계측기준 수립<br><br>토양수분함량 실시간 측정을 통한 노후화 저수지 계측방안 마련<br><br>성과 4-6-1<br>성과 5-1-1<br>성과 5-2-1 | 2. 노후화 저수지 계측방안<br><br>2.1 저수지 및 댐의 체계적 관리를 위한 법령<br><br>● 저수지·댐의 붕괴 등으로 인한 재해로부터 국민의 생명, 신체 및 재산을 보호하기 위하여 저수지·댐의 안전관리, 사전점검 및 정비, 재해 발생 시 대응 등에 관한 법률이 총 5장, 33조로 구성되어 있으나 시설별 관리주체가 분산되어 있어 안전관리 등에 관한 총괄 조정기능이 미비 한 상황임<br> <br><br><br>● 사례조사를 통해 저수지 및 제체와 같은 수리 시설물의 경우 설계 및 시공단계에서 많은 불확실한 요소가 내포하고 있어 노후화된 제체의 붕괴 사례를 다수확인 하였음.<br><br>2.2 저수지 수리시설물 계측 시스템<br><br>● 농업기반 수리시설물 중 주요시설물인 저수지에 계측기를 설치하여 물리탐사기법 및 장기모니터링을 실시하여, 누수 및 제체 변위 등 위험 요소를 조기에 발견코자 사전에 예방하고 시설물의 안정성 확보와 효율적 유지/관리를 도모하기 위해 계측 조사가 이루어지고 있음<br>● 제체 비저항 분포와 담수위 및 담수 전기비저항을 고려한 제정부 쌍극자 배열 전기비저항 탐사 자료의 3차원 역산을 통해 해석하는 방안을 농어촌공사에서 수행하고 있음<br>  <br><br>제체 3차원 구조에 대한 전기비저항 탐사<br>● 해외 및 국내 연구 사례 중 전기비저항 탐사로 제방의 누수 구역 탐지를 수행하여 제체의 붕괴에 취약한 풍화지역 및 단층대 구간의 이상대를 확인한 사례가 존재하나 계측시점에 계측원이 직접 수행하여야 하며 해석에 따른 추가적인 인원과 비용이 발생하는 문제가 있음 |

<table>
<tr><th>연구<br>범위</th><th>연구 수행 방법<br>(이론적・실험적 접근방법)</th><th>구체적인 내용</th></tr>
<tr><td>3차년<br><br>시스템<br>적용성<br>검증 및<br>계측기<br>준 수립</td><td>계측기준 수립<br><br>토양수분함량 실시간 측정을 통한 노후화 저수지 계측방안 마련<br><br>성과 4-6-1<br>성과 5-1-1<br>성과 5-2-1</td><td>

● 제체에 수위계를 설치하여 제체 상·하류 지점의 제체 내부 수위를 측정하여 저수지 수위와 제체 수위의 침윤선을 계산하고, 제체 하류부와 침윤선을 비교하여 제체의 안정성을 평가하는 방안도 수행되고 있으며 전국 저수지에 174개소(2017년 기준)에서 수행되고 있음.

자동수위 측정기 및 무선전송기

수위자료 수집 장치

자동계측기 외부 전경

자동수위측정기

● 저수지 제방은 제체 내에 중심코어를 이용하여 저수지 내의 용수가 제체를 통해 하류부로 흐르는 것을 방해하는 구조로 설계된다. 하지만 축조 후 시간이 경과함에 따라 노후화되어 지수 기능이 떨어지는 현상으로, 노후화에 따라 제체를 통한 침투수량은 증가하며 제체 하단 직하부에 누수가 육안으로 확인 되는 경우도 발생함.

● 저수지 제체수위를 비교하여 저수지 제체 하류쪽 수위가 축조당시 예측되는 침윤선보다 높아지면 안정성이 낮아지는 값으로, 이론적으로 계산된 침윤선과 하류 제체 내부수위를 비교하여 내부수위가 높은 상태에 따라 상, 중, 하로 정의 하여 평가 함.

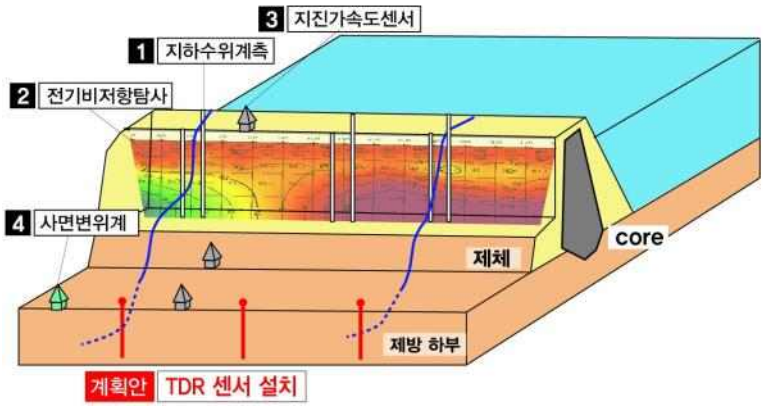
<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th colspan="4">평가 기준</th></tr>
<tr><th>지 표</th><th>상</th><th>중</th><th>하</th></tr>
<tr><td>하류<br>제방<br>수위</td><td>$F = \frac{\text{침윤선수위} - \text{제체하류수위}}{\text{제고}}$</td><td>$F < -0.1$</td><td>$-0.1 \le F \le 0.05$</td><td>$F > 0.05$</td></tr>
</table>

● 저수지의 붕괴 사고는 제방 파이핑에 의한 유실, 시설 노후화, 복통 붕괴 등 다양한 영향에 의해 발생한다. 이에 복통부나 제방과 물넘이 접촉부의 취약구간에 사면변위 계측을 통해 이상거동 발생 여부를 감지 할 수 있도록 운영하고 있으며 또한 제체 기초부 중앙, 댐마루 중앙, 시추공에 센서를 설치하여 시설물 지반의 지진거동특성을 파악하고 시설물의 지진거동 특성 및 피해예측을 수행하고 있음.

지진 자속도 측정 장비

<table>
<tr><th rowspan="2">Phase</th><th>Criteria</th></tr>
<tr><th>Observed Seismic Intensity</th></tr>
<tr><td>Attention<br>(Blue)</td><td>Under 14gal<br>Under Intensity Ⅲ</td></tr>
<tr><td>Caution<br>(Yellow)</td><td>15~28 gal<br>Intensity Ⅳ</td></tr>
<tr><td>Alert<br>(Orange)</td><td>29~58 gal<br>Intensity Ⅴ</td></tr>
<tr><td>Serious<br>(Red)</td><td>Over 59 gal<br>Over Intensity Ⅵ</td></tr>
</table>
지진가속도계에 의한 관리기준

</td></tr>
</table>

| 연구 범위 | 연구 수행 방법 (이론적・실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 3차년<br><br>시스템 적용성 검증 및 계측기준 수립 | 계측기준 수립<br><br>토양수분함량 실시간 측정을 통한 노후화 저수지 계측방안 마련<br><br>성과 4-6-1<br>성과 5-1-1<br>성과 5-2-1 | 2.3 저수지 수리시설물 계측 방안<br><br>● 저수지 재해 예방을 위한 계측시스템을 현장에 구축하는 경우 단일 방법으로 측정하는 경우는 없고 일반적으로 현장에 필요한 계측센서 및 다양한 종류가 설치된다. 이처럼 지하수위계, 전기비저항 탐사 결과를 통해 얻어지는 측정값은 추가적으로 분석을 통해 이루어지기 때문에 신속하게 해석하기 어려움이 있음<br><br>● 별도의 필터링 및 보정 과정 없이도 수분포화도 측정을 통해 누수를 감지 할 수 있는 TDR 센서의 측정값을 직접지표로 선정하고, 위와 같이 간접적으로 붕괴징후를 추론 할 수 있는 계측방법의 평가 방법을 향후 제시 할 예정임.<br><br>● 제체 하단부에 TDR 센서를 설치, 계측하여 포화영역과 지하수위를 파악하더라도 그 원인이 누수영향이지 강우영향인지 판단하는 것은 어려운 일이다. 이에 TDR 센서를 다양한 복합시스템이 운영되고 있는 곳에 설치함으로써 보다 효율적인 계측 시스템이 이루어질 것임<br><br>  <br><br>TDR 센서를 활용한 누수계측 시스템<br><br>● 또한 현재 현장 설치 후 정기적인 계측을 수행하고 있는 단계로 지속적인 계측을 통해 효과적인 설치 방안을 제시하기 위하여 취득 데이터 측정값과 분석을 통해 적정 설치 간격, 위치, 심도 등 설치 방안 및 계측 기준 수립 방안을 모색할 예정임. |

(2) TDR 센서 설치 및 적용성 평가

□ 연구지역 위치

○ 연구지역 대상지인 서천군은 충청남도 최남단에 위치하며 동쪽은 부여군, 북쪽은 보령시, 남쪽은 금강을 경계로 전라북도 군산시와 경계를 이루고 있으며 서쪽으로는 황해와 접하여 위치하고 있다. 지체 구조는 서천 전체로는 옥천계, 마천계, 화강편마암계로 구성되나 연구지역은 편마암류와 문수산층으로 이루어져 있으며 금강 연안과 황해 연안에 걸쳐 넓게 충적층으로 구성되어 있다.

[그림] 연구지역 지질도

□ 연구지역 저수지 일반특성 및 설치 개요

○ 연구지역 저수지의 시설명은 안치저수지(농업생산기반 1종 시설) 시설관리자는 한국농어촌공사 서천지사, 준공연도는 1945년으로 저수지 일반현황은 다음과 같다.

○ test bed 선정을 위해 2차년도에 사전 조사를 수행하였으며 한국농어촌공사와 설치 가능한 저수지를 협의 하여 충청남도 서천군에 안치저수지(20만톤 미만), 주항저수지(30만톤 이상)를 선정 하였다.

<표> 안치저수지 일반현황

| 구 분 | 수해면적 | 유역면적 | 총저수량 | 제방높이 | 제방길이 | 물넘이길이 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 안치저수지 | 53 | 110 | 167 | 11.8 | 80.1 | 12.6 | 20만톤 미만 |

○ 안치저수지에는 제방 하단부에 TDR 센서를 4개소씩 설치하여 계측을 수행하였다. 그림 2는설치 평면도 및 설치 단면도를 나타낸 것이다. 설치 심도는 제방 직하부는 2m, 농경지 상단부에는 3m로 센서를 설치하였다.

(3) TDR 센서 설치 작업

○ 안치저수지의 경우 사면 하단부에 설치를 함으로써 누수로 인해 침윤선이 발생하게 되면 기저부 유출을 탐지 가능 할 것으로 판단하여 위치를 선정 하였다.

[그림] TDR 설치 평면도 및 단면도

○ 그림 3은 함수비 측정용 TDR 센서 설치 과정을 나타낸 것이다. 그림 13 ①은 현장 제방의 전경을 나타낸 것이다. ②는 소형 굴진 장비를 이용하여 센서 설치를 위한 굴착을 수행하는 것이다. ③은 lost cone과 TDR 센서를 체결하여 lost cone을 자유 낙하시켜 굴착 지점부에 안착시키는 용도로 lost cone을 1~2차년 연구를 통해 개발 하였다.

○ TDR 센서를 lost cone에 체결하는 과정에서 안착시키는 과정 중 이탈되지 않도록 부착 시켜야 하며 홀이 무너지는 것을 방지하기 위해 굴진용 rod 안으로 스프링 장치를 누르면 rod안에서 자유낙하 되어 내려가다 rod가 연결되지 않는 굴착 지점에 가서 스프링 장치가 작동되어 존치되는 방식으로 개발하였다.

① 안치저수지 제체 전경

② 소형 굴진 장비를 활용한 굴진

③ lost cone과 TDR센서 연결

④ lost cone 굴진공 삽입

[그림] TDR 설치 작업 사진

○ 굴진 Rod 는 굴진 지층에 따라 1~2차년도에 개발된 Auger Type, Rod Type을 선정하여 수행하며 이번 저수지 현장 설치에는 자갈, 전석과 같은 매립층이 존재하여 Rod Type으로 굴진 하였다.

○ ⑤는 lost cone을 설치부에 존치하고 굴진을 위해 연결한 rod를 탈착하여 설치를 마무리 하며 ⑥은 설치가 완료된 사진이다.

○ ⑦은 굴진 후 관입 한 후 주변 자연시료를 이용하녀 내부를 충진 시킨 후의 사진으로 채움재의 충진정도에 따라 측정데이터 값에 영향을 미치므로 확실한 방법으로 채워야 한다. 이후 TDR 센서 보호함체를 설치하고 계측 장비를 연결하여 설치에 따른 계측 데이터를 확인 하고 마무리 하도록 한다.

⑤ 굴진 rod 탈착

⑥ TDR 센서 설치 완료

⑦ 자연시료로 채움

⑧ TDR 센서 보호 함체 설치

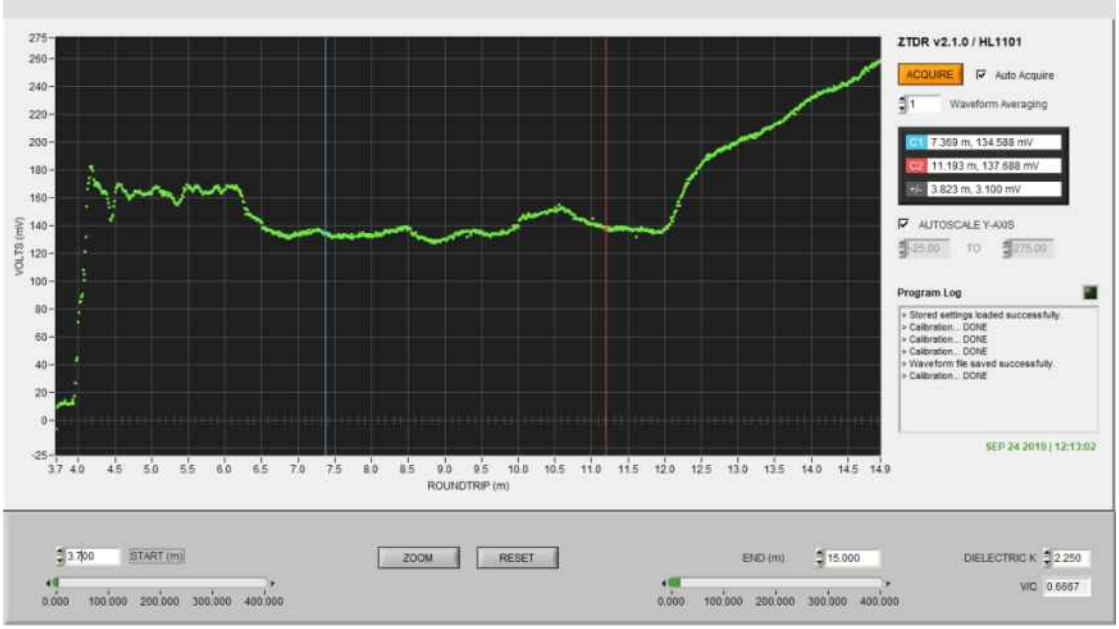
⑨ TDR 센서 계측 장비 연결

⑩ TDR 센서 계측 테스트

[그림] TDR 설치 작업 사진

○ 이와 같은 방법으로 서천군 서면 월리에 위치한 주항저수지에도 TDR 센서를 설치하였으며 주항저수지의 경우 제체 하단 여수로 부근에 설치를 하여 여수로, 물넘이 시설물의 붕괴로 인한 누수 진단 계측을 위해 위치를 선정하였다.

(4) TDR 센서 측정 데이터 그래프




<자연상태 수분분포도>

<물 주입후 수분 변동 상태>

(5) 노후화 저수지 계측기준 방안

□ 기존 수리시설물 현황

○ 우리나라의 각종 댐과 저수지는 “댐건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률”, “수도법”, “전원개발촉진법” 및 “농어촌정비법”등을 근거로 추진되어 건설목적에 따

라 한국수자원공사는 다목적댐, 홍수전용댐 및 생활 및 공업용수댐, 한국수력원자력주식회사는 발전용댐, 한국농어촌공사는 농업용 저수지, 지방자치단체(이하 지자체)는 농업용 저수지와 상수원 댐을 관리 하고 있다.

<표> 관리주체별 댐과 저수지 현황

| 관리주체 | 댐의 용도 | 수 량 (%) |
|---|---|---|
| 한국수자원공사 | 다목적댐(31개소), 생활 및 공업용수댐(14개소), 홍수전용댐(1개소) | 0.18 |
| 한국사력원자력 | 수력발전용댐(8개소), 양수발전용댐(13개소) | 0.12 |
| 한국농어촌공사 | 농업용 저수지(3,372개소) | 19.16 |
| 지방자치단체 | 상수원댐(39개소), 농업용 저수지(14,133개소) | 80.54 |

* 출처: 소규모댐, 저수지 안정성 평가 및 보수, 보강방안 연구(2013년)

○ 저수지 · 댐의 붕괴 등으로 인한 재해로부터 국민의 생명, 신체 및 재산을 보호하기 위하여 저수지 · 댐의 안전관리, 사전점검 및 정비, 재해 발생 시 대응 등에 관한 법률이 총 5장, 33조로 구성되어 있으나 시설별 관리주체가 분산되어 있어 안전관리 등에 관한 총괄 조정기능이 미비 한 상황이다. 지방자치와 한국농어촌공사에서 관리하는 저수지의 경우 전체 댐 및 저수지의 99%에 해당하기 때문에 관리 할 수 있는 인력과 기술이 턱없이 부족한 상황이다.

○ 이중 한국농어촌공사는 재해예방계측사업을 수행하여 노후화 저수지 및 주요수리시설물에 지진 및 누수계측기를 설치하고, 매년 모니터링을 실시하여 누수 및 제체 변위 등 위험요소를 조기에 발견 하여 재해를 사전 예방하거나 시설물의 안정성을 확보하는 등 수리시설물의 유지관리를 수행하고 있다. 시설물에 계측장비(누수계측기기)를 매설하여 2002년 농림축산식품부 농업생산기반정비 중장기 계획에 근거하여 2003년부터 비상대처계획 수립대상시설(총저수량 30만톤 이상)에 설치를 시작하여 현재까지 계측사업을 수행하고 있다.

<표> 한국농어촌공사 재해예방계측 대상 저수지

| 구 분 | 설치대상 | 계측내용 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 지진 계측 | 총 저수량 500만톤 이상 | 지진가속도 | 53개소 설치 |
| 누수 및 변위계측 | 총 저수량 30만톤 이상 | 전기비저항탐사, 지하수위, 사면변위 | 174개소 설치 |

* 출처: 수리시설물 재해예방 계측 보고서(2017년)

□ 노후 저수지 누수 계측 시스템

○ 현재 우리나라는 외국의 사례와 같이 대형 댐이 붕괴된 기록은 없지만, 중・소규모의 농업용 저수지는 여러차례 붕괴 사고가 발생하였다. 그 예로 2002년 태풍 루사에 의한 집중호우에 의해서 동막 저수지, 장현 저수지가 붕괴 되었다. 신왕 및 오봉 저수지에서는 댐 제체가 아닌 여수로 부근에서 주요 구조물이 손상을 입었던 것으로 조사되었다.

○ 대형 댐 이외 중・소규모 농업용 저수지의 붕괴사고가 유독 많은 것은 지자체에서 관리하거나 한국농어촌공사에서 관리하고 있는 농업용 저수지 중 약 58% 이상이 1948년 이전에 축조된 것으로 절반 이상이 준공된 지 60년을 초과 하여 제체 core 부분의 손실이나 노후화로 인한 원인이라 분석된다.

○ 농업용 저수지의 관리 주체인 한국농어촌공사, 지자체에서도 저수지 및 댐을 관리하기 위한 전문가와 인력이 구성되어 있지만 약 15,000개소를 완벽하게 유지관리하기에는 여전히 인력이 부족한 상황으로 센서를 활용한 계측 시스템 구축이 절실히 필요하며 2002년 농림축산식품부 농업생산기반정비 중장기 계획에 근거에 의해 계측사업이 진행되고 있다.

○ 재해예방계측사업에 포함된 계측방법은 크게 지진계측, 전기비저항탐사, 제방수위측정 데이터 값을 비교 분석을 통한 침윤선 평가 방법 등으로 구성된다.

- 전기비저항탐사는 일반적으로 수리시설물에서 일반적으로 제체 내의 공극이 물과 같은 유체로 채워져 있는 경우 전도성을 갖게 되므로 낮은 비저항치를 갖게 된다. 시설물의 표면에서 전위를 측정하여 낮은 비저항값의 이상대(anomaly)의 존재로 구조물의 누수 유로 추적이 가능하여 누수계측 중 전기비저항 측정 시스템은 제체의 중심 코어의 포화정도를 측정하기 위에 설치되어 제체의 수평, 수직적 전기전도도 변화를 탐사하는 방법으로 각종 지질구조 조사에 넓게 사용되고 있는 방법이다.

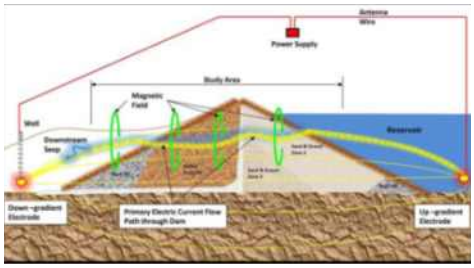
제체 설치된 전기비저항 탐사 배전판

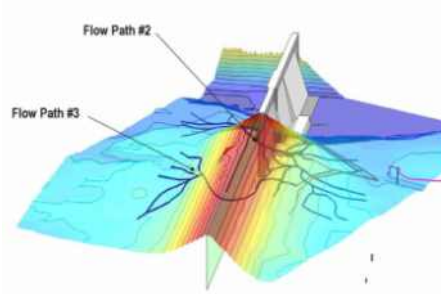
전기비저항 탐사 수행 사진

[그림] 저수지 전기비저항 탐사 시스템

- 이와 비슷하게 대형 댐 및 제체에서 Willowstick 탐사는 누수경로가 발달한 것으로 추정되는 부지에서 상부와 하부의 저수지 또는 침출수(또는 지하수, 하천수 등)에 전극봉을 설치하고 AC회로를 구성하여 전류를 흘려보낸 후, 지표면에서 측정 그리드를 구성하여 유도된 자기장을 GPS기반의 위치 정보와 함께 측정하는 방법을 사용하기도 한다.

- Willowstick 탐사를 국내에 최초로 적용하고, 기술의 타당성을 비교 분석하였다. 측정된 자기장의 등고선도는 선택적 유로가 없을 경우 수치해석적으로 예측된 자기장 등고선도와 비교함으로서 비(ratio)를 구하고 다양한 전기적 왜곡요소들에 대한 필터링을 거쳐 집중되고 있는 유로를 역산해석을 통해 3차원적으로 찾는 기법이 활용되었다.




[그림] Willowstick 전자기장 탐사 결과 누수경로 매핑 지도 예시

- Willowstick 탐사를 통해 수많은 댐 누수 조사를 수행하였으나 비용이 높으며 대형 댐 이외 소규모 저수지에 적용하기에 적합하지 않는 것으로 판단되며 계측결과에 대한 분석 기술도 전문가에 의존해야하기 때문에 기술력은 높으나 농업용 저수지처럼 중・소규모 저수지에는 즉각 적용 시키는 것은 어려울 것으로 판단된다.

- 제방수위센서(water level meter) 계측 방식은 제방 상부 상・하류 두 지점의 제체 내부 수위를 측정하여 저수지 수위와 제체의 제원에 근거한 이론적인 제방의 침윤선을 계산하고, 제방 하류부 수위와 침윤선을 비교하여 제방의 안정성을 평가 하는 방식으로 제방수위센서를 통해 측정된 데이터가 자동측정되며 측정된 자료는 자료수집 장치에 저장 후 일정시간 마다 재해예방계측 통합시스템 자료수집 서버로 전송되는 시스템이다.

자동수위 측정기 및 무선전송기

수위자료 수집 장치

[그림] 제방수위 자동측정 시스템

- 저수지의 제방은 대부분 제체 내에 중심코어를 이용하여 저수지 내의 용수가 제체를 통해 하류부로 흐르는 것을 막아주는 구조로 축조 된다. 하지만 시간이 경과함에 따라 초기에 구축된 중심코어는 시간의 경과에 따라 지수기능이 떨어지는 현상이 관측되며, 국내 저수지 붕괴 사고를 통해 확인 되었다. 이처럼 중심코어의 노후화에 따라 제체를 통한 침투수량은 증가하며 지하수위가 위치하는 경우 수압이 높아져 안전율은 약 50%까지 감소 할 수 있다.

- 계측데이터 분석을 통해 저수지 제체수위를 비교하여 저수지 제체 하류쪽 수위가 축조당시 예측되는 침윤선보다 높아지면 안정성이 낮아지는 값으로 도출되며 제방을 통해 침투현상이 발생할 경우 안전도 평가 지수에 대한 국내 기준은 현재 없으며 한국농어촌공사에서는 분석 결과를 활용하여 내부수위가 높은 상태는 주의구간, 중간인 상태는 관심구간, 낮은 상태는 양호한 상태로 규정하고 있다.

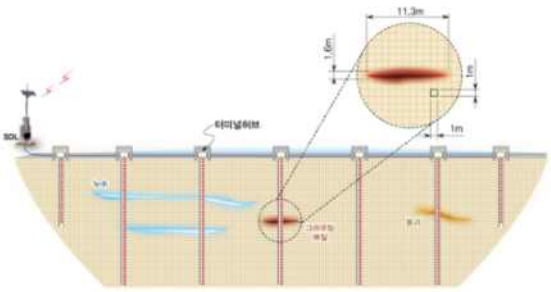
<표> 한국농어촌공사 재해예방계측 대상 저수지

| 구 분 | 평가 기준 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 지표 | 상 (양호) | 중(관심) | 하(주의) |
| 하류 제방 수위 | $F = \frac{\text{침윤선수위} - \text{제체하류수위}}{\text{제고}}$ | $F < -0.1$ | $-0.1 \leq F \leq 0.05$ | $F > 0.05$ |

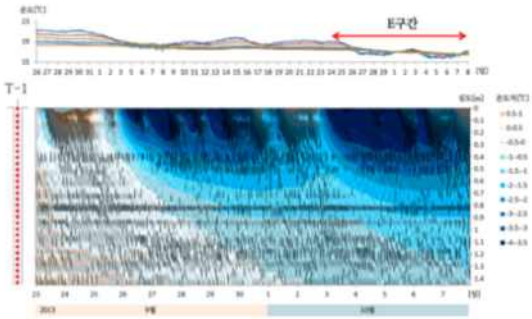
* 출처: 수리시설물 재해예방 계측 보고서(2017년)

- 저수지의 붕괴사고는 제방 파이핑에 의한 유실, 시설 노후화에 따른 복통 붕괴, 월류에 의한 붕괴 등이 대표적 원인이다. 지중 복통부나 제방과 물넘이 접촉부의 취약구간을 상시 관측하고 이상거동 발생여부를 감지할 수 있도록 일부 저수지에서는 사면변위계를 설치하여 계측을 수행하고 있다.

- 사면변위계는 영상모듈이 내장되어 비주얼 변위 센서를 통해 감지된 지반변위가 센서 자체에 내장된 관리기준치를 초과 할 경우 정보를 알람과 동시에 센서가 자동으로 해당 현장의 영상을 촬영하여 지도상의 위치정보와 함께 시설관리자에게 전송하는 시스템으로 급경사지 뿐만 아니라 노후 저수지에도 많이 활용되고 있다.
- 또한 다점온도 모니터링을 수행하여 저수지 제체 내부붕괴 진행상태를 시간경과에 따라 감지 할 수 있는 시스템이 활용되고 있다. 이는 저수지 누수나 미소붕괴(진동)가 발생하면 온도 변화가 나타나는데 제체의 온도분포측정을 수행하여 저수지 제체 종단면에 대한 변화우무를 파악하는 원리로 제방수위센서(water level meter)와 같이 제방 상부 상・하류에 공내 설치하여 계측한다.



다점온도모니터링 계측 원리



다점온도모니터링 계측 결과

[그림] 다점온도모니터링을 통한 제체 계측

- 이런 계측원리로 제체의 누수 및 그라우팅 매질의 이동 상태나 흘러들어간 매질의 규모를 파악하여 누수 정도를 탐지하는 용도로 활용되고 있다.

(6) TDR 센서를 활용한 노후화 저수지 계측 기준 안

□ **노후화 저수지 붕괴 예방을 고려한 계측방안**

○ 앞서 기술한 바와 같이 재해예방예측을 위한 붕괴 징후 인지 및 예방을 위해 사용되는 계측기 및 탐사 등 종류도 다양하며, 각 종류별 제품은 국내외에서 많은 제품이 생산되고 기술 개발이 이루어지고 있다. 국내 저수지의 대다수를 차지하는 농업용 저수지의 특징은 60년 이상 경과된 저수지로 코아존의 기능이 손실되거나 코아존이 없는 일체형 등으로 구성되었다.

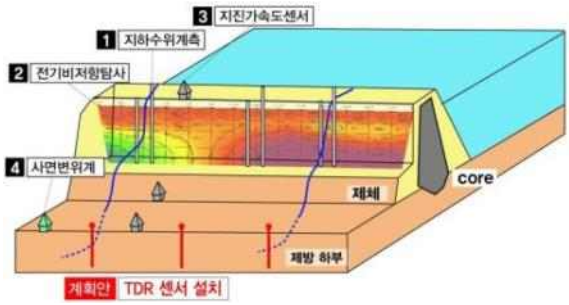
○ 수리시설물의 붕괴로 인한 재해예방을 위한 계측시스템을 현장에 적용하고 운영하고 있는 현 시점에 하나의 계측기만 설치되는 경우는 없고 일반적으로 현장에 필요한 계측센서가 다양한 종류가 설치되든지 복합적으로 설치된다. 이런 경우에 각각의 센서에서 얻어지는 측정값이 의미하는 결과가 다를 뿐만 아니라 상호 연계된 분석값으로 표현된다.

○ 이렇듯 함수비를 측정하여 제체의 누수 특성을 분석하는 TDR센서 역시 단독적으로 제체에 설치하여 제방의 누수를 확인하는 것은 불가능한 것으로 판단되며 압력변화, 지하수위, 진동, 전도도 등 다양한 계측항목의 연계 해석을 가능하도록 TDR 센서를 설치하고 운영하는 계측 방안을 제시하였다.

○ 계측방안으로 적용된 센서(계측)는 저수지의 침투수 수위 변화 및 지중 안정성 파악을 위한 지하수위계, 제체 수위 변화를 감시 할 수 있는 수위계, 안정성 계측이 가능한 사면 변위계, 급격한 유량 증가로 인한 붕괴 예방 계측이 가능한 강우량계 및 지진에 관한 지진가속도 센서 계측과 연구과제를 통해 개발한 TDR 센서를 활용한 제체부 또

는 하단에 설치하는 방안을 모색하였다.

○ 또한 저수지 현장 상황을 실시간 시각적으로 파악하기 위한 CCTV, 드론 장비 등 비주얼 센서의 추가도 고려 할 수 있다.




[그림] TDR 센서를 활용한 누수계측 시스템 방안

□ TDR 설치를 위한 현장조사

○ 현 정부의 재해예방 방안과 수많은 ICT 기술을 활용한 계측에도 불구하고 재해예방 계측 사업은 단순 모니터링 위주의 상시 관리, 수리시설물 또는 계측기 점검, 개보수만 이루어지고 있다. 실질적인 노후 저수지 붕괴 및 재해예방을 위해 철저한 현장 조사를 수행하여 계측기 설치 간격, 설치 지점 수 등 이 고려되어야 할 것이다.

○ 현장조사 항목으로는 제체 하부의 식생, 균열, 누수 및 연약화, 변형과 여수로 및 취수시설(사통, 복통 등)을 면밀히 조사 하여야 한다.

- 식생은 제체의 상부 및 하부에 존재하며 잡목의 자생으로, 잡목의 뿌리 조직이 성장 또는 부패하여 침투 경로를 형성하고 제체 내의 유효한 침투 경로를 축소시켜 파이핑 현상까지 유발할 수 있다.
- 균열은 종방향, 횡방향, 건조균열로 구분되며 종・횡방향 균열은 제체를 구성하는 지점의 인접한 두 재료의 특성차이, 불규칙한 기초지반, 기초지반의 단층 등에 의하여 발생하며 현장조사를 통해 이런 흔적이 존재하는 곳에 계측기를 설치하는 것이 바람직하다.
- 변형에 대한 대표적은 손상 형태는 함몰(Sinkhoel), 사면활동, 침식 등이다. 이런 변형 흔적 및 징후를 확인 하여 하류 사면부에 센서 설치를 고려해야 할 것이다. 또한 제체 또는 기초를 통한 침투는 모든 저수지에서 발생하고 있는 것으로 침투 또는 누수가 과도하게 발생하거나 사면 또는 접속부를 통하여 유출되는 등 다양한 문제를 야기한다.
- 여수로 구조물은 완공 후 시간이 지남에 따라 각종 원인에 의해 균열, 박리, 탁락 등의 손상이 발생하여 이와 같은 손상은 구조물의 노후화를 진전시키고 내력성능 및 사용성을 저하하여 제체에 영향을 끼친다. 또한 복통 및 방류구에서는 균열, 파손, 누수와 토사 유입등의 문제가 발생하기 때문에 제체 붕괴의 원인이 되기도 한다.

제체 균열 상태

제체 하부 식생 분포 상태

여수로 균열 및 이탈 상태

하류사면 끝단부 연약화 상태

[그림] TDR 센서 설치를 위한 현장조사 항목

## □ 노후화 저수지 계측을 위한 TDR 센서 시스템 기준 수립 방안

○ 노후 저수지 재해예방예측을 위한 센서 및 시스템 중 붕괴 징후 물리량 파악 및 중요한 데이터 취득이 가능한 센서를 선정하여 설치 계획안을 선정하였다. 이는 현장조사 결과 및 기존 측정 시스템의 자료 분석을 통해 유동적으로 설치할 예정이다.

<표> 각 계측 센서 및 시스템의 활용안

| 구 분 | 설치 목적 |
|---|---|
| 강우계 센서 | 저수지 현장의 강수량의 측정을 통한 예보관리 기준 마련을 위한 정확한 강수량 산정 데이터 확보 |
| 저수위 센서 | 만수위 및 저수용량의 상한선 설정과 홍수위 이상으로 인한 수위 계측 |
| 지하수위 계측기 | 제체 지하수위 변화를 측정하여 침윤선 파악 및 안정해석 |
| 누수량계측기 | 누수량 파악 및 지속적인 변화량 파악을 통한 일상 계측 |
| 지진가속도계 | 지진 발생 시 규모와 진도 관계의 기상청 관측 값에 따른 관리 기준 마련 |
| TDR 센서 | 제체 상부 또는 하단부에 설치하여 직접적인 수분포화도 측정을 통해 지하수위 및 포화영역 확인 및 누수 탐지 |

[그림] TDR 센서를 활용한 누수계측 시스템 방안

○ 그림은 각 계측 센서 및 시스템 특성을 활용하여 실제 저수지에 적용하도록 센서 설치안을 제시하였다. 또한 현재 안치저수지, 주항 저수지에 계측을 수행하고 있고 계측 데이터 분석을 통해 노후화 저수지 계측을 위한 TDR 센서 평가 방안을 수립할 예정이다.

□ 결론 - 2020년 12월까지 3m 간격 시범 설치 진행 및 데이터 수집을 통한 결론도출 (논문예정)

○ 저수지 제체 누수 패턴은 특정할 수 없다는 특징이 있으므로 제체를 통한 침투수 이동 특성을 파악하는 것은 침윤선의 변화를 인지하는 것이 가장 중요한 요소이다.(본 과제 도출 논문 : FDR 센서를 활용한 제체 누수특성의 실내 모형 실험 연구, 김규범, 임은상, 류호철, 황찬익, 김형종)

○ 제체내의 침윤선의 변화를 직접적으로 측정할 수 있는 방법은 제체내의 다수의 지하수 관측정에 의하여 가능하다. 이를 위해 전기비저항탐사 혹은 지하수 관측정을 통하여 도출된 침윤선의 변화에 따라 본 TDR 상시 계측기를 설치하여 침투수를 실시간 감시하는 것이 필요하다.

○ 현재 안치저수지, 주항 저수지에 계측을 수행하고 있으므로 실증화를 위한 운용을 2020년 12월까지 지속적으로 실시하면서 계측된 데이터를 기반으로 빅데이터 분석 및 딥러닝 기법을 적용하여 저수지 규모별 센서의 적정 개소, 밀도 등 경제적 센서 설치 및 운영방법에 대한 가이드라인을 제시할 것이다.

○ 분석이 끝나게 되는 2020년 하반기에는 분석 결과를 토대로 계측기를 재설치 함으로써 적용성 검토가 이루어질 것이며 이후 상용화를 거쳐 양산단계로 진행할 예정이다. 이를 위하여 2020년 03월 부터는 대전대학교 김규범 교수가 현재 진행하고 있는 Project에 적용하되 개발된 계측기를 위험도가 높은 부분에 중점적으로 설치하고, 다른 부분도 점검 가능 하도록 수직/수평 설치방법으로 복합 적용하여 효율성을 높일 것이다.

# 마. 기술적 성과

(1) 논문

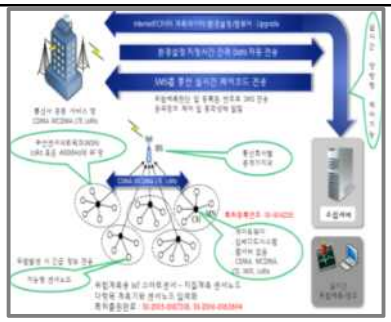
| 번호 | 논문명 | 학술지명 | 주저자명 | 호 | 국명 | 발행기관 | SCI 여부 (SCI/비SCI) | 게재일 | 등록 번호 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | FDR 센서를 활용한 제체 누수특성의 실내 모형 실험 연구 | 지질공학 | 김규범 | Vol.28,No.4, | 대한민국 | 대한지질공학회 | 비SCI | 2018.12.31 | 1226-5268 |

(2) 특허

| 번호 | 지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재) | 국명 | 출원/등록 정보 | | | | 기여율 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 구분 | 출원인 | 출원/등록일 | 출원/등록번호 | |
| 1 | 동축케이블을 이용한 TDR방식의 토양수분측정장치 | 한국 | 출원 | 주식회사 아이자랩 | 2017.12.05 | 10-2017-0165968 | 100 |
| 2 | TDR방식의 토양수분측정장치 | 한국 | 출원 | 주식회사 아이자랩 | 2017.12.05 | 10-2017-0165974 | 100 |
| 3 | 복수개의 TDR 센서를 이용한 3차원 누수탐지 시스템 및 방법 | 한국 | 출원 | 주식회사 아이자랩 | 2018.11.27 | 10-2018-0148308 | 100 |
| 4 | 저수지 및 댐의 누수탐지를 위한 계측선 삽입장치와 이를 이용한 계측선 설치 방법 1 | 한국 | 출원 | ㈜지앤테크 | 2017.11.28 | 10-2017-0159990 | 100 |
| 5 | 저수지 및 댐의 누수탐지를 위한 계측선 삽입장치와 이를 이용한 계측선 설치 방법 2 | 한국 | 출원 | ㈜지앤테크 | 2017.11.28 | 10-2017-0159876 | 100 |
| 6 | 저수지 및 댐의 누수탐치를 위한 계측선 삽입장치 | 한국 | 출원 | ㈜지앤테크 | 2018.10.31 | 10-2018-0131622 | 100 |
| 7 | 저수지 및 댐의 누수탐치를 위한 계측선 삽입장치 | 한국 | 출원 | ㈜지앤테크 | 2018.10.31 | 10-2018-0131594 | 100 |
| 8 | 동축케이블을 이용한 TDR방식의 토양수분측정장치 | 한국 | 등록 | 주식회사 아이자랩 | 2019.10.29등록결정 | 10-2017-0165968 | 100 |
| 9 | 저수지 및 댐의 누수탐지를 위한 계측선 삽입장치와 이를 이용한 계측선 설치 방법 1 | 한국 | 등록 | ㈜지앤테크 | 2019.01.07 | 10-1937847 | 100 |
| 10 | 저수지 및 댐의 누수탐지를 위한 계측선 삽입장치와 이를 이용한 계측선 설치 방법 2 | 한국 | 등록 | ㈜지앤테크 | 2019.06.12 | 10-1990356 | 100 |

(3) 기술요약

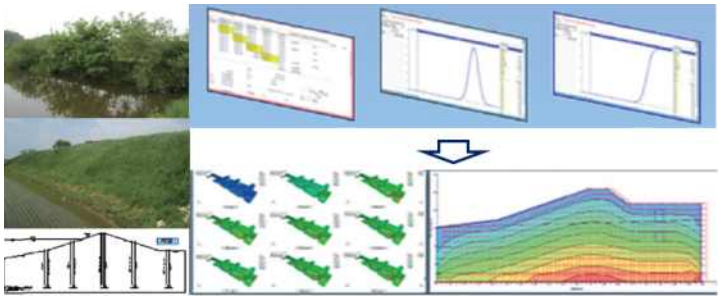
(가) 핵심성과명 : 원격무선게이트웨이

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">[시스템 운용 개요도]  [원격무선게이트웨이 시작품] </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="6">IoT 전용 LoRa망을 계측 단말로 자체 구축하고 게이트웨이에서 CDMA 망을 통하여 통합관제시스템으로 계측데이터 수집 및 계측제어 명령 전달하는 장치.</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="6">토양수분 측정 계측기의 데이터를 통합관제시스템으로 CDMA 를 사용하여 실시간 양방향 제어 및 모니터링이 가능하도록 명령 전달 및 데이터 송·수신<br>- 토양수분 계측기 데이터 수집 통합관제시스템 전송<br>- 통합관제 시스템 계측기 주변 장비 제어 명령 송·수신</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)<br>- WCDMA/CDMA 망 사용<br>- 단방향 통신<br>(개발기술 수준)<br>- 실시간 양방향 통신<br>- 게이트웨이에 LTE, 단말에 LoRa망 구축을 통한 1:N 구현<br>- 저전력화: 작동시 전력 50mA 미만, 대기시 전력 10mA 미만</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">성명(소속기관명)<br>임우석( 주식회사 아이자랩)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">’17.07 ~’17.12(5개월, 1년차)</td></tr>
<tr><td rowspan="9">핵심성과</td><td rowspan="3">달성 확인방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 제품 성능 : 공인시험기관 성적서</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td rowspan="6">양적성과</td><td rowspan="2">1차년도</td><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>시제품1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2차년도</td><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3차년도</td><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">질적성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 작동시 전력 40mA 미만 대기시 전력 200㎂ 미만 목표 달성<br>- 동작온도 -20°c~80°c 목표 달성<br>- 동작습도 0% RH ~ 80% RH 목표 달성</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과 활용계획</td><td colspan="6">* 저수지 누수 진단을 위한 IoT 기반 스마트 계측기 및 원격계측 통합관리 시스템에서 계측데이터를 통합관리 시스템으로 전송하는 통신장치로, 소규모 저수지 제체를 주로 관리하고 있는 한국농어촌공사, 지자체 관리자 등과 협의를 통하여 활용할 계획.<br>* 2019년 현재 당사에서 진행된 한국도로공사 사면붕괴감시 시스템 개발 및 남해생명자원센터 수질원격모니터링 시스템 개발에 활용되었음.</td></tr>
</table>

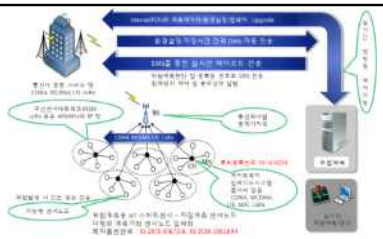
(나) 핵심성과명 : 누수 진단용 TDR 계측기

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 관련 그림 / 사진 | [cable 도면(정면, 측면)] [Linear Rail cable ] TDR 방식 계측기 시제품 ] | | | | | | |
| 정의 | 저수지 제체 내 TDR 방식 토양수분 센서를 이용, 수직 깊이에 따라 연속 측정을 통해 토양수분의 변화 양상을 파악하여 저수지의 누수 진단 예측용 계측기 장비 | | | | | | |
| 목적 | 기존 저수지 누수 탐지 기술이 갖고 있는 기술적 한계, 고비용 소모 등의 문제점을 해결하고자 새로운 개념의 계측 장치를 개발하고 시작품을 제작하고 실증을 통한 제품 완성도를 확보하고자함 | | | | | | |
| 성능목표 | (기존기술 수준)<br>- 기존 기술은 관정을 통해 삽입 설치하는 방식으로 제체 변형을 유발하고 그로인한 비용 또한 과다하게 소모<br>- 측정 항목은 단일 항목 측정 해석을 통한 구조물 탐지로, 연계 해석이 필요할 시 각각의 센서를 별도로 설치가 필요하여 비용과 인력 낭비<br>(개발기술 수준)<br>- Rod형 직관설치장비를 통하여 설치되는 계측장치로 계측기 직접 타공 방식 설치<br>- 설치가 간편하며 제체에 미치는 영향이 적음<br>- 토양내 수분을 연속 깊이별로 측정하여 분포형 형태 및 연계해석이 가능함과 동시 3차원 표현이 용이해짐 | | | | | | |
| 성과달성 책임자 (소속기관) | 성명(소속기관명)<br>임우석( 주식회사 아이자랩) | | | | | | |
| 소요기간 | '17.08 ~'18.12(1년5개월, 1, 2년차) | | | | | | |
| 핵심성과 | 달성 확인방법 | 1차년도 | - | | | | |
| | | 2차년도 | - 계측장치의 성능 : 자체시험 및 측정 시연 (공인시험이 없음)<br>- 계측장치의 혁신성 : 특허 출원 | | | | |
| | | 3차년도 | - 계측장치의 완성도 : 3차년도 TEST BED 현장 TEST 및 운용을 통한 검증 | | | | |
| | 양적성과 | 1차년도 | 특허 출원 | 특허 등록 | SCI 논문 | 비SCI논문 | S/W | 기타 |
| | | | 1 | | | | | |
| | | 2차년도 | 특허 출원 | 특허 등록 | SCI 논문 | 비SCI논문 | S/W | 기타 |
| | | | 1 | | | | | 매출1<br>시제품2 |
| | | 3차년도 | 특허 출원 | 특허 등록 | SCI 논문 | 비SCI논문 | S/W | 기타 |
| | | | | 1 | | | | 비용절감1 |
| | 질적성과 | 1차년도 | - 메인회로 개발 PCB 제작 | | | | | |
| | | 2차년도 | - 수분측정 케이블형태 센서 전극 개발 : 10m 송수신 신호 목표 달성<br>- TDR 계측기 정상 계측 목표 달성<br>- 무선원격 센서노드 데이터 전송률 99% 목표 달성<br>- 테스트 베드 2개서 설치·운용 목표 달성<br>- WSN 구성 테스트 실시간 원격 제어 목표 달성 | | | | | |
| | | 3차년도 | - | | | | | |
| 성과 활용계획 | * 저수지 제체 내 TDR 방식 토양수분 센서를 이용하여 수직 깊이에 따른 토양 수분을 측정하는 계측장비로, 소규모 저수지 제체를 주로 관리하고 있는 한국농어촌공사, 지자체 관리자 등과 협의를 통하여 활용할 계획. | | | | | | |

(다) 핵심성과명 : 계측값 연계 3차원 평가 프로그램

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">  <br>[깊이에 따른 토양수분 측정 데이터의 3차원 해석 예시]</td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="6">누수 진단용 깊이별 토양수분 계측기로부터 추출된 2차원 데이터의 해석 기법 연구 및 2차원 데이터의 3차원 변환 알고리즘 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="6">누수진단용 TDR 계측기 추출된 데이터의 연계 해석을 위한 기법 연구<br>- 2차원 데이터인 토양수분 값을 연계 해석하여 3차원 가시적 형태의 값으로 변환하는 기법 및 소프트웨어개발<br>- 계측 데이터의 안정성과 신뢰성 평가<br>- 외부 환경변화 예측</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)<br>- 기존 전기 비저항 탐사 및 다점 온도 측정 방식 3차원 해석<br>- 토양수분과 온도의 연계 해석은 평면, 2차원 해석 위주이며 주로 농업용으로 해석<br>- 외부 환경변화 반영 안됨<br>(개발기술 수준)<br>- 누수진단용 TDR 계측기 추출 데이터 전용 해석 기법<br>- 깊이에 따른 토양수분 측정값의 연계해석<br>- 외부 환경 반영<br>- 계측자료의 시계열 변화 평가 및 예측</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">성명(소속기관명)<br>임우석( 주식회사 아이자랩)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">'19.01 ~'19.12(1년, 3년차)</td></tr>
<tr><td rowspan="12">핵심성과</td><td rowspan="3">달성 확인방법</td><td>1차년도</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="6">- 계측 데이터 시계열에 따른 출력 : 시연을 통한 자체측정<br>- 환경 변화 연동 : 시연을 통한 자체 측정<br>- 프로그램 개발 : 소프트웨어 등록</td></tr>
<tr><td rowspan="6">양적성과</td><td rowspan="2">1차년도</td><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2차년도</td><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3차년도</td><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">질적성과</td><td>1차년도</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="6">- 프로그램 개발에 따른 서버프로그램 연계 동작 목표 달성</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과 활용계획</td><td colspan="6">* 누수 진단용 TDR 토양수분 계측기로부터 추출된 데이터의 해석 및 3차원 변화를 위한 프로그램으로, 소규모 저수지 제체를 주로 관리하고 있는 한국농어촌공사, 지자체 관리자 등과 협의를 통하여 활용할 계획.</td></tr>
</table>

(라) 핵심성과명 : 통합 관제 시스템

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 관련 그림 / 사진 |  <br>[시스템 운용 개요도] | | | | | | |
| 정의 | 사용자로 하여금 핵심성과 1, 핵심성과2의 데이터를 실시간 양방향 통신을 통해 모니터링 및 제어 가능한 시스템 | | | | | | |
| 목적 | 노후화된 저수지 제체 및 기타 시설물의 안정성 진단을 위해 계측된 데이터를 CDMA를 이용하여 실시간 양방향 제어 및 모니터링이 가능한 시스템 개발<br>- 관리자의 관찰자료, 유지보수 정보 및 자동계측자료 등의 원격계측데이터와의 데이터베이스 연동<br>- 계측 데이터에 기반하여 계측기 주변 장비 제어<br>- 현장에서 직접 데이터를 추출하지 않아 인력 낭비 방지<br>- 국가 주요시설물(저수지) 및 수자원에 관한 빅데이터 활용 | | | | | | |
| 성능목표 | (기존기술 수준)<br>- 별도의 관정에 로거장치가 설치된 시설물에 관리자가 직접 방문을 통해 데이터 기록<br>- 단순 데이터 기록만을 위한 단방향 통신 시스템<br>(개발기술 수준)<br>- 실시간 양방향 통신<br>- IoT기반 LoRa망 활용 자체 무선망 구축<br>- 누수진단용 TDR 계측기를 바탕으로 재난재해 예측 시스템 제공<br>- 계측 데이터에 기반하여 계측기 주변 장비 제어<br>- 비 전문성을 지닌 사용자로 하여금 불편함을 느끼지 않도록 편리한 인터페이스 제공 | | | | | | |
| 성과달성 책임자 (소속기관) | 성명(소속기관명)<br>임우석( 주식회사 아이자랩) | | | | | | |
| 소요기간 | '19.01 ~'19.12(1년, 3년차) | | | | | | |
| 핵심성과 | 달성 확인방법 | 1차년도 | | | | | |
| | | 2차년도 | | | | | |
| | | 3차년도 | - 데이터 베이스 및 서버간 데이터 통신 : 3차년 통합 TEST 계측데이터의 정상 수집 자체 측정<br>- 프로그램 구성 : 프로그램 시연 및 매뉴얼<br>- 프로그램 완성도 : 소프트웨어 등록 및 실운용 TEST | | | | | |
| | 양적성과 | 1차년도 | 특허 출원 | 특허 등록 | SCI 논문 | 비SCI논문 | S/W | 기타 |
| | | | | | | | | |
| | | 2차년도 | 특허 출원 | 특허 등록 | SCI 논문 | 비SCI논문 | S/W | 기타 |
| | | | | | | | | |
| | | 3차년도 | 특허 출원 | 특허 등록 | SCI 논문 | 비SCI논문 | S/W | 기타 |
| | | | | | | | 1 | 매출1 |
| | 질적성과 | 1차년도 | | | | | | |
| | | 2차년도 | | | | | | |
| | | 3차년도 | - 데이터 베이스 설계 및 TCP/IP 프로토콜 개발 및 매뉴얼 작성 성과 달성<br>- 원격장치와 서버간 데이터 통신 및 기존시스템과 비교평가 목표 달성 | | | | | |
| 성과 활용계획 | * 누수 진단용 TDR 토양수분 계측기와 데이터서버의 실시간 양방향 통신을 통해 모니터링 및 제어를 위한 프로그램으로, 소규모 저수지 제체를 주로 관리하고 있는 한국농어촌공사, 지자체 관리자 등과 협의를 통하여 활용할 계획. | | | | | | |

(마) 핵심성과명 : 계측기 현장 설치 장치

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6"> <br>[계측기 현장 설치 장치 시제품] [계측기 Test bed 현장 설치]</td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="6">연구개발을 통해 개발된 제체 누수진단 계측기를 설치하기위한 장치</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="6">본 계측기 설치 장치는 제체 누수진단을 위한 토양수분 계측기를 설치하는 장치로서, 계측기를 현장에 설치할 경우 센서에 영향을 주지 않고, 이를 안전하게 설치하기위한 목적이 있다.</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준)<br>- 제체 누수에 대한 탐지 기술은 시추공 굴착을 통해 진단하였으나, 탐지기술을 적용하기 위한 시추 자체가 제체 변형을 유발<br>(개발기술 수준)<br>- 계측기 설치 장치를 직접 타격하는 방식을 적용하여 제체에 큰 영향을 미치지 않고, 상대적으로 저비용으로 설치가 가능</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">성명(소속기관명)<br>김형종(주식회사 지앤테크)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">’17.07 ~’18.12(1년6개월, 1, 2년차)</td></tr>
<tr><td rowspan="12">핵심성과</td><td rowspan="3">달성 확인방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 시제품 제작</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">- 시제품 제작, Field Test</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">- Test bed 설치</td></tr>
<tr><td rowspan="6">양적성과</td><td rowspan="2">1차년도</td><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>시제품3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2차년도</td><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td></td><td>국내 1</td><td></td><td>시제품3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3차년도</td><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">질적성과</td><td>1차년도</td><td colspan="5">- 계측기 설치 장치 설계 및 제작 목표 달성<br>- 실외시범시공에 따른 효율성 검토 목표 달성</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">- 누수 유형별 삽입 장치 시제품 제작 목표 달성<br>- 장치 개발과 장치 구동에 대한 문제점 파악 및 성능보완 목표 달성<br>- 제체 축소 모형실험을 통한 토양수분 활용성 분석 목표 달성</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">- 수분함량 변화에 따른 토질물성 변화 관측 및 분석 목표 달성<br>- 계측기 Test bed 설치 목표 달성</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과 활용계획</td><td colspan="6">* 누수 진단용 TDR 토양수분 계측기를 설치하기 위한 장치로, 소규모 저수지 제체를 주로 관리하고 있는 한국농어촌공사, 지자체 관리자 등과 협의를 통하여 활용할 계획.</td></tr>
</table>

(바) 핵심성과명 : 노후화된 저수지 안정성 평가 지침서

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="7">지침서</td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="7">노후화된 저수지의 안정성 평가를 위한 토양수분 계측에 대한 계측기준 수립</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="7">노후화된 저수지의 안정성 평가를 위해 설치된 계측장비에서 획득한 계측 Data 분석 및 제체의 안정성 평가를 위한 지침서</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="7">(기존기술 수준)<br>- 제체 누수 및 안정성 평가는 해당분야 전문가의 전문적인 해석을 필요로 하여 많은 시간과 경비가 소요되는 단점<br>(개발기술 수준)<br>- 계측 항목별 평가 기준을 제시하고, 이를 기준으로 누수진단 및 안정성 평가 가능함.<br>- 계측장비를 통해 측정된 Data는 3차원 평가 프로그램에서 자체 해석 및 평가가 이루어지기 때문에 기존 기술에 비해 단시간에 저비용으로 효율을 극대화함.</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="7">성명(소속기관명)<br>김형종(주식회사 지앤테크)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="7">’19.01 ~’19.12(1년, 3년차)</td></tr>
<tr><td rowspan="12">핵심성과</td><td rowspan="3">달성 확인방법</td><td>1차년도</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="6">- 지침서 작성</td></tr>
<tr><td rowspan="6">양적성과</td><td rowspan="2">1차년도</td><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2차년도</td><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3차년도</td><td>특허 출원</td><td>특허 등록</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>지침서1</td></tr>
<tr><td rowspan="3">질적성과</td><td>1차년도</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="6">- 실 사이트 적용 테스트 및 보완 목표 달성<br>- 토양수분함량 실시간 측정을 통한 노후화 저수지 계측방안 마련</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과 활용계획</td><td colspan="7">* 노후화된 저수지의 안정성 평가를 위한 토양수분 계측에 대한 계측기준을 도출하여, 소규모 저수지 제체를 주로 관리하고 있는 한국농어촌공사, 지자체 관리자 등에 개발된 시스템 적용 시 제안을 통하여 활용할 계획.</td></tr>
</table>

(사) 저작권 - 소프트웨어

| 번호 | 저작권명 | 창작일 | 저작자명 | 등록일 | 등록 번호* | 저작권자명 | 기여율 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 신경망 수위 3차원 예측 프로그램 | 20190710 | 서성훈, 이정민 | 20190712 | C-2019-019430 | 주식회사 아이자랩 | 100% |
| 2 | 저수 누수탐지 통합관리시스템 | 20190710 | 임우석, 김진주 | 20190712 | C-2019-019431 | 주식회사 아이자랩 | 100% |

(아) 보고서

| 연도 | 보고서 구분 | 발간일 | 등록 번호* |
|---|---|---|---|
| | 해당없음 | | |

# 바. 경제적 성과

(1) 시제품 제작

| 번호 | 시제품명 | 출시/제작일 | 제작업체명 | 설치장소 | 이용분야 | 사업화 소요기간 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 원격무선게이트웨이 | 20171110 | ㈜ 아이자랩 | 안치/주항저수지 | IoT 관련 무선통신 분야 | 20170720~20171231 |
| 2 | 누수진단용 TDR 계측 제어기 | 20180928 | ㈜ 아이자랩 | 안치/주항저수지 | 저수지, 댐 등의 제방 누수 탐지 | 20170720~20181231 |
| 3 | Linear Rail cable | 20181001 | ㈜ 아이자랩 | 안치/주항저수지 | 저수지, 댐 등의 제방 누수 탐지 | 20180101~20181231 |
| 4 | 장비 굴착 후 로스트 콘형 센서 삽입장치 | 20171213 | ㈜지앤테크 | 안치/주항저수지 | TDR 계측 센서 삽입 설치 | 20170720~20171231 |
| 5 | Auger rod type형 센서 삽입장치 | 20171213 | ㈜지앤테크 | 안치/주항저수지 | TDR 계측 센서 삽입 설치 | 20170720~20171231 |
| 6 | Drill Type형 센서 삽입장치 | 20171213 | ㈜지앤테크 | 안치/주항저수지 | TDR 계측 센서 삽입 설치 | 20170720~20171231 |
| 7 | Rod Type 굴진삽입장치 | 20181019 | ㈜지앤테크 | 안치/주항저수지 | TDR 계측 센서 삽입 설치 | 20180101~20181231 |
| 8 | Auger Type 굴진 삽입장치 | 20181019 | ㈜지앤테크 | 안치/주항저수지 | TDR 계측 센서 삽입 설치 | 20180101~20181231 |
| 9 | Lost cone 지중 삽입장치 | 20181019 | ㈜지앤테크 | 안치/주항저수지 | TDR 계측 센서 삽입 설치 | 20180101~20181231 |

(2) 사업화 투자실적

| 번호 | 추가 연구개발 투자 | 설비 투자 | 기타 투자 | 합계 | 투자자금 성격 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 1) 내부 자금<br>2) 신용 대출<br>3) 담보 대출<br>4) 투자 유치<br>5) 기타 |

(3) 사업화 현황

(단위: 명, 년)

| 번호 | 사업화 방식 | 사업화 형태 | 지역 | 사업화명 | 내용 | 업체명 | 매출액 | | 매출 발생 년도 | 기술 수명 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 국내 | 국외 | | |
| | | | | | | | | | | |

(4) 고용창출

| 번호 | 사업화명 | 사업화업체 | 고용창출형태 | 고용창출인원 | | 근거 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 저수지 누수 진단을 위한 IoT 기반 스마트 계측기 및 원격계측 통합관리 시스템 개발 | 주식회사 아이자랩 | 정규직 | 2017년 | 3명 | 4대사회보험가입자명부 |
| 2 | | | 정규직 | 2018년 | 6명 | |
| 3 | | | 정규직 | 2019년 | 5명 | |
| | | | | 합계 | 14명 | |

# 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

## 3-1. 목표

| 세부 연구 목표<br>(연구 계획서의 목표) | 비중<br>(%) |
|---|---|
| 원격무선게이트웨이 개발 | 6 |
| 무선망 인터페이스 개발 | 6 |
| TCP/IP 프로토콜 개발 | 6 |
| 케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | 10 |
| 계측장치 스마트 펌웨어 개발 | 9 |
| 계측을 통한 데이터 베이스 프로그램 설계 | 8 |
| 3차원 평가프로그램 설계 및 프로그램 작성 | 7 |
| 원격 통합시스템 구축 및 Test | 9 |
| 계측 장치 설치 운영을 통한 문제점 보완 | 5 |
| 국내 저수지 현황 및 기술수준 분석 | 3 |
| 저수지 제체 누수 영향인자 분석 및 저수지 현장조사 | 3 |
| 계측기 현장설치를 위한 장치 개발 설계 및 실외 효율성 시범 시공 | 3 |
| Rod형 계측기 현장설치 장치 개발 | 6 |
| 장치개발 및 Field Test | 4 |
| 토양수분 누수 진단 활용성 평가 | 3 |
| 실내모형실험에 따른 계측기 특성 분석 | 4 |
| 적용성 검증 및 시범 운용 | 4 |
| 노후화 제체 안정성을 위한 계측 방안 마련 | 4 |
| 합계 | 100% |

## 3-2. 목표 달성 여부

| 세부 연구 목표<br>(연구 계획서의 목표) | 달성내용 | 비중<br>(%) | 달성도<br>(%) |
|---|---|---|---|
| 원격무선게이트웨이 개발 | - 자료조사를 토대로 하여 저전력 구조완성, 관정내장형 실현, 태양전지판 일체화 설계, LTE 통신망을 이용 TCP/IP에 연결하여 서버로 데이터 전송하는 기능 설계 완성.<br>- 다양한 통신방식의 계측장치를 자동선택으로 연결 가능 하도록 하는 회로발명특허 출원 완료함 | 6 | 100% |
| 무선망 인터페이스 개발 | - 1개 지역 다수의 센서를 각각 서버로 연결하는 것은 효율성이 낮으므로 1개지역의 다수의 센서를 하나의 망으로 연결하고 그 중 게이트웨이 역할의 장비가 다수의 센서를 읽고 서버로 통합데이터 전송 위한 망을 개발함 | 6 | 100% |
| TCP/IP 프로토콜 개발 | - 서버에서 센서로 전화를 연결하여 데이터를 수집하는 과거 방식에서 LTE를 통하여 직접 무선인터넷을 연결하므로 인터넷의 표준 프로토콜인 TCP/IP연결 프로토콜을 개발함 | 6 | 100% |
| 케이블 전극 및 TDR 방식 계측기 제작 | - TDR 방식의 센서를 신호분석 하기위해서는 고주파수를 생성하는 기능과 반사파를 수신하는 기능을 동시에 갖도록 해야 하므로 Rail 전극 및 전극에 신호를 방사하고 검출하는 계측기를 개발함 | 10 | 100% |
| 계측장치 스마트 펌웨어 개발 | - 계측장치의 신호전송 및 신호 검출을 위한 펌웨어를 개발함 | 9 | 100% |
| 계측을 통한 데이터 베이스 프로그램 설계 | - 계측장치로부터 전송된 데이터를 서버에 저장하기 위한 프로그램 설계함 | 8 | 100% |
| 3차원 평가프로그램 설계 및 프로그램 작성 | - 저수지에 설치된 TDR 계측 누수탐지센서를 직접 연결하여 계측데이터를 수집하고 3차원 분석하기위한 PC 프로그램 개발 함 | 7 | 100% |
| 원격 통합시스템 구축 및 Test | - 자체 개발한 WSN을 1지역당 Group화 연결하고 취합하여 위험분석 신호를 서버로 전송하여 긴급 상황을 알릴 수 있도록 원격 계측 제어망을 TEST 함 | 9 | 100% |
| 계측 장치 설치 운영을 통한 문제점 보완 | - 30만톤 이상 및 30만톤 이하의 저수지에 테스트베드를 설치하여 운영하면서 데이터를 취득하고 분석을 통한 보완점을 반영 함 | 5 | 100% |
| 국내 저수지 현황 및 기술수준 분석 | - 국내 댐 및 저수지 노후화 현황 및 국외 댐 누수사례 분석 조사를 수행 하였으며 이에 따른 누수 평가 기술 분석을 수행하고 보고서에 수록 완료. | 3 | 100% |

| 세부 연구 목표<br>(연구 계획서의 목표) | 달성내용 | 비중<br>(%) | 달성도<br>(%) |
|---|---|---|---|
| 저수지 제체 누수 영향인자 분석 및<br>저수지 현장조사 | - 축조 형식에 따른 저수지 및 제체의 누수 특성 분석을 통해 기저부, 여수로 및 집수벽 접촉 누출, 제체 유출형으로 구분하고 이에 따라 시제품 개발을 하였고 TDR 센서 굴착 방법에 대한 특허출원 2건 완료.<br>- 국내 댐 및 저수지 현장 조사를 통해 누수 특성평가를 수행하고 수질 분석, 수위 측정 등 현장조사를 수행함. | 3 | 100% |
| 계측기 현장설치를 위한 장치 개발 설계 및 실외 효율성 시범 시공 | - 계측기 현장 설치을 위한 굴진 장비와 TDR 센서의 효율성을 위해 충청남도 음성에 굴진 Test를 수행하였으며 심도별로 TDR 센서를 설치하여 강우 및 환경에 따른 수분분포 특성 실험을 수행함. | 3 | 100% |
| Rod형 계측기 현장설치 장치 개발 | - 굴진삽입장치를 Rod형, auger형태로 개발하여 지층특성에 따라 현장설치가 가능한 장치를 개발 완료함.<br>- TDR 센서를 지중에 남겨두고 계측이 가능하도록 lost cone을 개발 완료함. | 6 | 100% |
| 장치개발 및 Field Test | - 경상북도 경산시 당음 저수지 일대에서 개발한 Rod형, auger형 굴진삽입 장치를 현장 설치하여 굴진 테스트 및 지중관입의 존치 유·무와 실제 TDR 제품을 설치하여 현장 적용성 평가를 수행함.<br>- 이와 관련하여 등록 2건과 출원 1건 등 성과를 추가 달성 하였음 | 4 | 100% |
| 토양수분 누수 진단 활용성 평가 | - 토양수분을 활용하여 제체 축소모형을 제작하고 임의의 누수지점을 선정하여 제체에서 누수가 발생함에 따라 하단부에 이르기 까지 수분포화도 증가 및 온도 변화, 만수위에 따른 경과 특성 분석 수행하고 계측센서의 방향성을 검토함.<br>- 지질공학회 논문 게재함. | 3 | 100% |
| 실내모형실험에 따른 계측기 특성 분석 | - 실내 모형 시험을 통하여 계측기의 특성을 분석 함으로써 효율적인 데이터 계측을 위한 설치 방법을 도출 | 4 | 100% |
| 적용성 검증 및 시범 운용 | - TDR 센서를 충청남도 서천군 일대 안치 저수지 4개소, 주항저수지 3개소에 설치하여 현재 계측을 통한 데이터 취득과 적용성 평가를 위한 분석을 수행할 예정임. | 4 | 100% |
| 노후화 제체 안정성을 위한 계측 방안 마련 | - 안치저수지, 주항저수지 측정 결과 3차원 분석과 적용성 평가를 통해 계측기 설치 방안 및 누수기준을 제시할 예정임. | 4 | 100% |
| 합계 | | 100% | 100% |

## 3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후 대책(후속연구의 필요성 등)

- 3차년 논문 발표가 성과목표로 되어있으나 테스트베드 운용을 통한 데이터 취득을 기준으로 빅데이터 분석을 통한 결과가 반영되어야 하는바 시범 설치 및 운용에서 발생된 데이터의 양이 빅데이터 분석을 위한 충분한 양이 되지 않아 불가능한 상황임. 이는 2020년 12월까지 지속적인 운용을 통하여 추후 진행할 예정임. (서산 농어촌공사와 협조 완료)

# 4. 연구개발성과의 활용계획

□ 현재 준공 년수 30 ~ 40년 이상 되는 저수지 및 댐이 50% 이상을 차지하고 있다. 또한 매년 국지성 호우 및 가을 태풍으로 인한 집중호우 증가로 인해 저수지 붕괴 사고가 매년 증가 하고 있는 추세이다.

□ 붕괴가 발생하면 복구에 수년이 소요되며 대체재가 부재하는 상황이 반복되고 있다. 이에 누수 및 집중호우로 인한 저수지 붕괴사고를 사전에 예방하고 탐사를 통한 한시적 진단이 아닌 상시 실시간 계측을 통한 안전진단 및 체계적 관리 필요성이 대두되고 있는 상황이다.

□ 본 연구가 마무리되는 단계에서 소규모 저수지 제체를 주로 관리하고 있는 한국농어촌공사, 지자체 관리자 등과 협의를 통하여 저수지에 개발 계측기기 설치하고 장치의 성능을 평가하며 실시간 누수 모니터링을 통한 성능개선 및 향후 보수보강 우선순위 선정에 기초자료에도 활용될 계획임.

## 가. 센서 활용을 위한 설치 방안 도출 결과 활용

(1) 개 요

- 국내 저수지의 대다수를 차지하는 농업용 저수지의 특징은 60년 이상 경과된 저수지로 코아존의 기능이 손실되거나 코아존이 없는 일체형 등으로 구성되어있다.
- 국내의 대규모의 댐이나 일부 저수지는 관계기관의 관리계획에 의하여 현장 조사 및 물리탐사를 통해 안전진단을 하고 있으나, 특히 지방자치단체의 중소규모 저수지 제체는 안전진단이 거의 전무한 실정이다. 따라서 관리가 소홀한 노후화된 저수지들과 중소규모 제체들에 대한 누수지점을 파악할 수 있는 통합관리 시스템의 필요성이 요구되어진다.
- 이에 금번 연구 개발된 본 계측시스템을 통하여 노후화에 따른 제방의 붕괴사고 발생전에 누수진단을 시행함에 있어서 보다 효율적이고 경제적인 시스템 운영을 위한 센서 설치계획을 아래와 같이 제시한다.

(2) 제체의 상태조사

- 센서를 설치함에 있어서 먼저 외관조사를 실시하여 제체 하부의 식생, 누수 및 연약화, 여수로 및 취수시설 등을 관찰하여 이상유무를 확인하고 외관조사 만으로는 제체 내부의 누수패턴을 확인할 수 없기 때문에 전기비저항탐사를 병행하여 수행하도록 하며 그 결과를 종합 분석 검토하여 센서의 설치심도 및 간격을 효율적이고 경제적으로 설치할 수 있도록 한다.

(가) 외관조사

: 저수지 및 제체의 식생, 균열, 누수 및 연약화, 변형, 여수로 및 취수시설(사통, 복통) 등을 면밀히 조사 한다.

① 식생 : 제체의 상부 및 하부에 존재하며 잡목의 자생으로, 잡목의 뿌리 조직이 성장 또는 부패하여 침투 경로를 형성하고 제체 내의 유효한 침투 경로를 축소시켜 파이핑(Piping) 현상까지 유발할 수 있다.

② 균열 : 종방향, 횡방향, 건조균열로 구분되며 종·횡방향 균열은 제체를 구성하는 지점의 인접한 두재료의 특성차이, 불규칙한 기초지반, 기초지반의 단층 등에 의하여 발생할 수 있다.

③ 누수 및 연약화에 따른 변형 : 변형에 의한 대표적인 손상 형태는 함몰, 사면활동, 침식 등이다. 이런 변형 흔적 및 징후를 확인하여 하류 사면부에 센서 설치를 고려해야 하며, 또한 제체 또는 기초를 통한 침투는 모든 저수지에서 발생하고 있는 것으로 침투 또는 누수가 과도하게 발생하거나 사면 또는 접촉부를 통하여 유출되는 등 다양한 문제를 야기한다.

④ 여수로 및 취수시설 : 여수로 및 취수시설은 완공 후 시간이 지남에 따라 각종 원인에 의해 균열, 박리 등의 손상이 발생하여 이와 같은 손상은 구조물의 노후화를 진전시키고 내력성능 및 사용성을 저하하여 제체에 영향을 끼친다. 또한 복통 및 방류구에서는 균열, 파손 누수와 토사 유입 등의 문제가 발생하기 때문에 제체 붕괴의 원인이 되기도 한다.

(나) 전기비저항탐사

: 전기비저항탐사(수평탐사)는 일반적으로 수리시설물에서 제체 내에 존재하는 전기비저항 이상대(anomalous zone) 및 충진물에 의한 이상 전위차를 측정, 해석하여 지질구조, 단층/파쇄대, 지하수 등의 지하구조를 규명하는 탐사로 수리시설물의 표면에서 탐사를 실시하여 낮은 전기비저항 이상대의 존재를 파악하여 시설물 내부 누수 추적이 가능하다. 이에 외관조사 만으로는 제체 내부의 누수패턴을 확인 할 수 없기에 전술한 전기비저항탐사를 병행 실시하여 그 결과를 바탕으로 센서의 설치 간격을 결정하는 것이 보다 효율적이다.

① 전기비저항탐사 배열법 : 쌍극자배열(Dipole-Dipole Array)

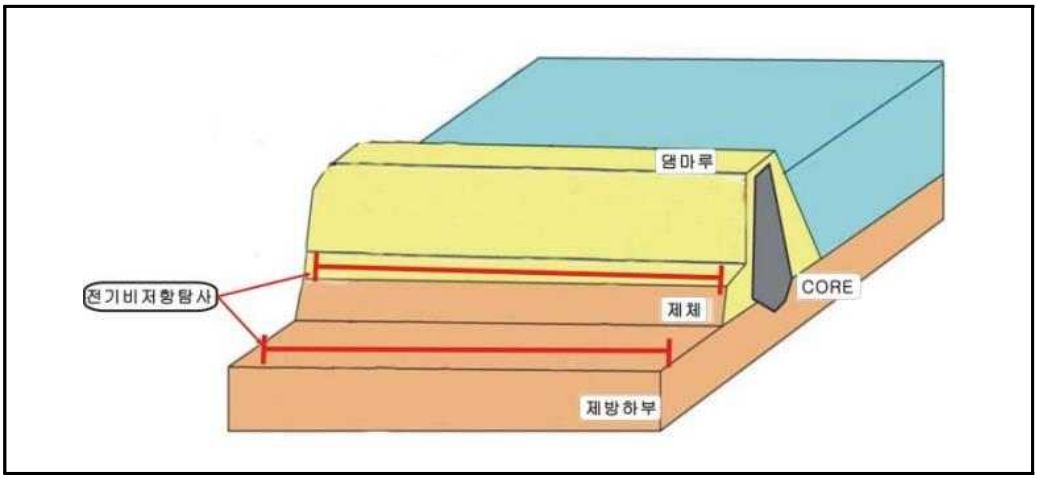
② 전극 간격(a간격) : 저수지 규모에 따라 5~10(20)m

* 소규모 저수지 : a = 5m

* 대규모 저수지 : a = 10 ~ 20m

③ 탐사 위치 :

- 외관조사시의 이상 징후가 발견된 지점이 포함되도록 탐사위치 선정
- 센서의 설치위치를 경제적이고 효율적으로 선정하기 위해 아래 그림과 같이 제체부 1측선과 제방하부 1측선, 총 2측선에서 전기비저항 탐사를 실시하여 기초자료 획득




(다) 전기비저항탐사 분석

: 전기비저항탐사 결과 전기비저항 값의 분포에 따라 포화정도를 구분할 수 있으며, 해석결과 침투수 취약구간인 포화대, 습윤대 및 고비저항대인 건조 습윤대로 분류가 가능하다. 이 분류는 전기비저항 값을 기준으로 분류하지만, 탐사결과 얻어진 전기비저항 값은 상대적인 값으로 다른 저수지와 동일한 기준으로 적용할 수는 없다.

① 포화대(저비저항대)

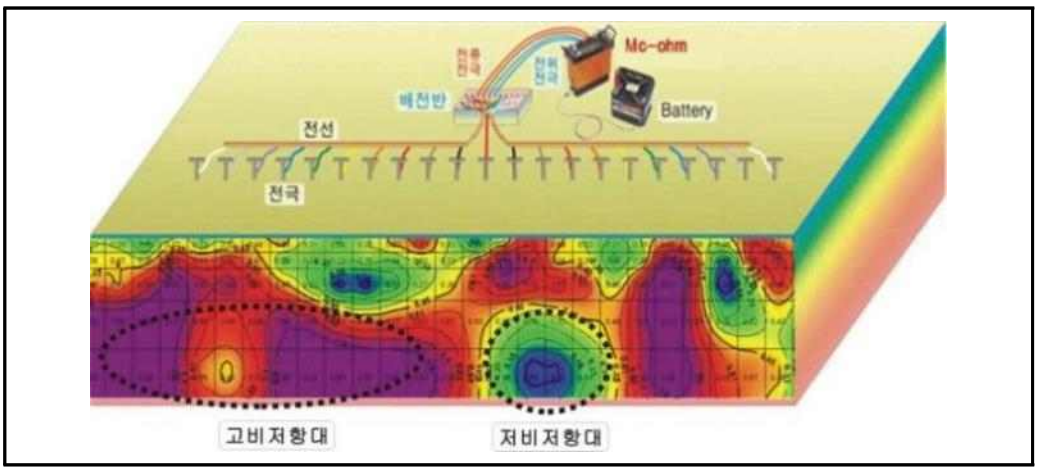
- 청색계열로 표시되어 있는 구간으로 침투수에 의해 포화상태이거나 침투수 취약부가 형성되어 있을 가능성이 큰 구간이다.

② 습윤대(저비저항대)

- 초록색계열로 표시되어 있는 구간으로 포화대의 확장 등으로 인한 침투수 취약부로 발전될 가능성이 높은 구간이다.

③ 건조습윤대(고비저항대)

- 황색 또는 적색계열로 표시되어 있는 구간으로 자연상태의 습도를 유지 또한 기초지반 및 지하수위 상부의 건조한 구간이다.



(3) 센서의 설치 계획

- 전술한 외관조사 및 전기비저항탐사 해석결과를 바탕으로 센서의 설치 및 배치 간격은 다음과 같이 계획하도록 한다.

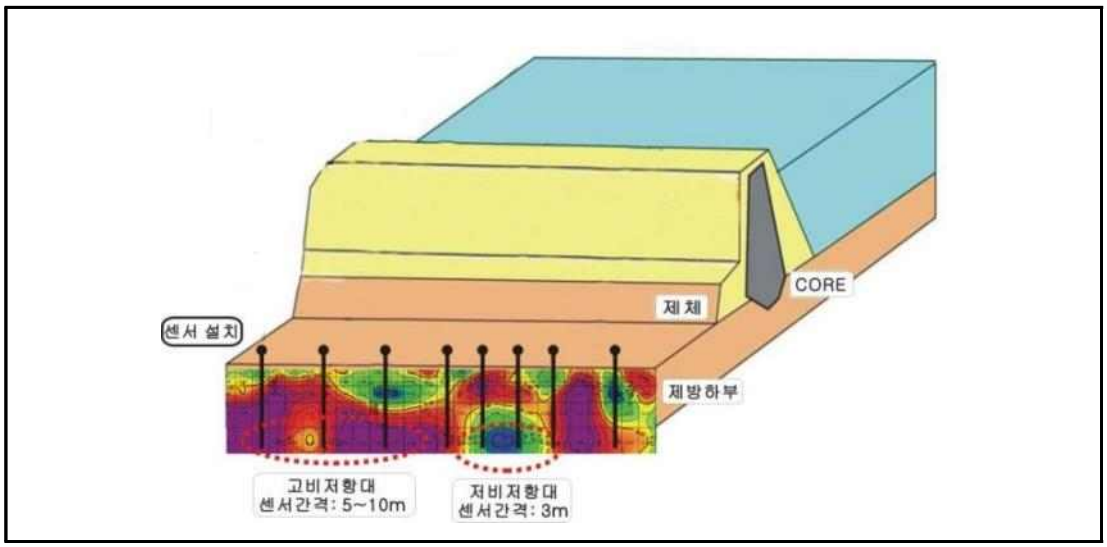
(가) 센서의 설치심도

: 센서의 설치심도는 전기비저항탐사 해석결과 고비저항대와 저비저항대가 접하는 경계부를 관통하는 심도를 최소한의 기준심도로 계획하여 설치하도록 한다.

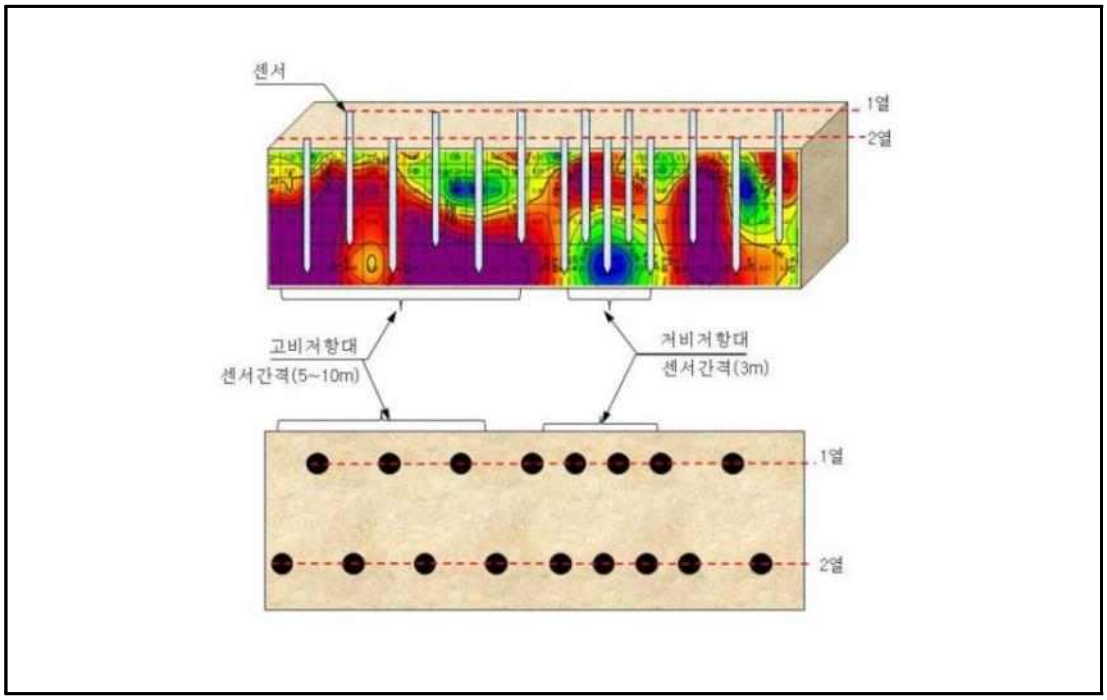
(나) 센서의 배치 간격

① 센서의 배치간격은 전기비저항탐사 결과 분류된 전기비저항대 중 고비저항대(건조습윤대)는 침투수가 형성될 가능성이 적은 구간으로 저수지의 규모에 따라 5~10m 간격으로 센서를 설치한다.

② 저비저항대(포화대)는 침투수 취약부가 형성될 가능성이 큰 구간으로 저비저항대를 중심으로 고비저항대와 경계부까지 3m 간격으로 설치한다.




③ 계측의 정밀도를 높이기 위하여 아래 그림과 같이 2열로 배치토록하며 1열의 센서와 2열의 센서는 서로 교차하도록 설치하여 누수의 진행방향을 파악할 수 있도록 한다.




## 나. 추가연구 전망

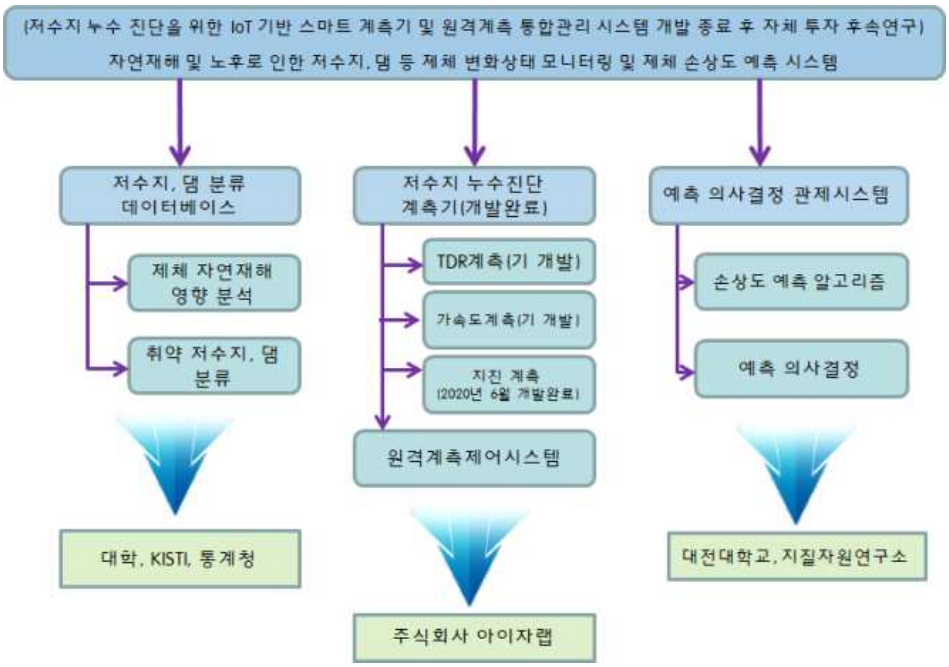
- 자연재해 및 노후화로 인한 저수지, 댐 등 제체 상태 모니터링 및 제체 손상도 예측 시스템 개발
- 제체 위험도 예측을 위한 지진계측기 및 가속도 계측기 개발
- Wireless Sensor Network (무선 센서 네트워크) 구축
- WSN의 확장을 위한 중장거리 RF망과의 접속기술 연구
- 중장거리 RF망을 위한 중계기 개발 연구
- 임베디드 웹서버를 구축하여 인터넷망 직접 연결에 의한 웹제어 구현

## 다. 연구종료 이후 연구성과의 활용계획

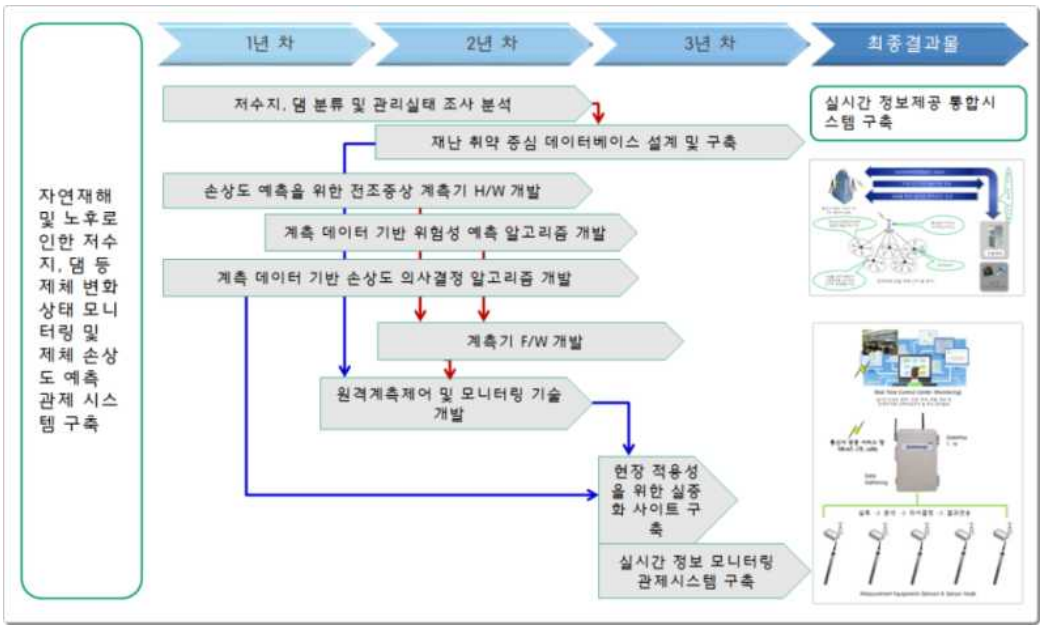
- 연구성과 확산을 위한 앱 개발 (2020년 개발완료된 하이브리드형 앱 보급)
- 통합관리 프로그램의 매뉴얼 교육 (추후 시범 설치 및 설치 운용 담당자 대상 매뉴얼 교육 실시)
- 농어촌공사 서산지사의 안치저수지 및 주항저수지를 통한 실증화 운용이 2020년 12월 31일 까지 진행 됨.
- 2020년 12월 31일 까지 취득된 데이터를 기반으로 TDR센서의 정확도와 실제 사이트에서의 적용성을 검증할 예정임.
- 2020년 12월 까지 실증화 사이트 (농어촌공사 서산지사 관할 안치저수지, 주항저수

지)를 운용할 예정이며 **실측 데이터를 기반으로 신뢰성 검증 및 데이터 정확성 등을 검증** 할 예정임.

- (저수지 누수 진단을 위한 IoT 기반 스마트 계측기 및 원격계측 통합관리 시스템 개발 성공 및 자체 투자 후속연구 예정) - 자연재해 및 노후로 인한 저수지, 댐 등 제체 변화상태 모니터링 및 데이터 기반의 AI 기술적용 제체 손상도 예측 시스템 (현재 진행 중이며 2020년까지 완료 예정)




## 라. 후속연구 연차별 개발계획



# 붙임. 참고 문헌


○ 곽문규, 2000, 인터넷을 이용한 원격 계측 시스템 개발, 소음진동학회 2000년 추계학술대회 논문집, pp. 322-326

○ 구종만, 2012, 프로그래밍 대회에서 배우는 알고리즘 문제해결 전략 1권, 인사이트, pp. 43-142, 2권, pp. 609-623

○ 김갑기, 2009, 무선망 원격 제어 장치 설계 및 제작, 132 한국정보기술학회논문지 제7권제5호2009년10월, pp. 131-139

○ 김재생, 이정식, 2010, 모바일 기반의 서버/클라이언트간 원격제어시스템의 구현, 한국콘텐츠학회논문지 '10 Vol. 10 No. 6, pp. 106-114

○ 김희식, 김영일, 설대연, 2004, 원격 계측을 위한 무선 통신 에러 검사 알고리즘 개발, 한국정밀공학회 추계학술발표대회 논문집

○ 남상엽, 조상영, 이무영, 2009, 임베디드 시스템 설계와 응용, 성학당, pp. 239-249

○ 박욱동 역, 2003, 광센서기술-포토다이오드/포토트랜지스터, 도서출판 그린, pp. 34-120

○ 박전수, 김종식, 2013, 디지털 신호처리의 기초, 아진, pp. 15-21

○ 성해경, 이문구, 2010, 실시간 무선 원격 제어 및 모니터링 시스템의 구현, 2010년 11월 전자공학회 논문지 제 47 권 CI 편 제6호, pp. 93-102

○ 우종운, 정천석, 이봉걸, 2006, CDMA 기반 실시간 원격 감시 시스템의 설계, 2006년 1월 전자공학회 논문지 제 43 권 SC 편 제1호, pp. 7-12

○ 이성욱 역, 2010, MySQL 대용량 시스템 구축을 위한 성능 최적화, 위키북스, pp. 237-303

○ 이준신, 김경해, 2012, 태양전지공학-태양전지의 측정법, 도서출판 그린, pp. 176-228

○ 젠스 퀴너. 2009, 닷넷 마이크로 프레임워크를 활용한 임베디드 마이크로컨트롤러 프로그래밍, 에이콘출판주식회사, pp. 253-260

○ 중소기업청, 2009, 원격제어 시스템의 시장 기술 보고서, pp. 6-15

○ 홍용표, 김상훈, 2010, Visual Studio 2008 완벽가이드, 영진닷컴, pp. 403-705

○ 이병렬, 2011, 센서계측공학, 1-136p

○ 우종운, 정천석, 이봉걸, 2006, CDMA 기반 실시간 원격 감시 시스템의 설계, 2006년 1월 전자공학회 논문지 제 43 권 SC 편 제1호, pp. 7-12

○ 권대현, 오염덕, 조수선, 수질 모니터링 시스템을 위한 센서 데이터의 선택적 전송방법, 2010년 8월 한국 인터넷 정보학회(11권4호), pp. 51-58

○ A Mobile Phone Based Intelligent Telemonitoring Platform, Fahim Sufi, Qiang Fang, Seedahmed S. Mahmoud and Irena Cosic, Proceedings of the 3rd IEEE-EMBS, International Summer School and Symposium on Medical Devices and Biosensors MIT, Boston, USA, Sept.4-6, 2006

○ Application of a Wireless Remote Monitoring System on a Landfill Flare Station, Robin T. Brody, P.G., Harold Jarrett, Billy Malone., SWANA's 28th Annual Landfill Gas Symposium, March 7-10, 2005 San Diego, California

○ Charles M. Kozierok, 강유 역, TCP/IP 완벽 가이드, 에이콘, pp. 135-227

○ Clifford K. Ho, Alex Robinson, David R. Miller, Mary J. Davis, Overview of Sensors and Needs for Environmental Monitoring, Sensors, 2005년 9월.
○ John Sharp, 2010, Microsoft Visual C# 2008, 정보문화사, pp. 543-749
○ OTT, 2011, Intelligent Top Cap for Remote Data Transmission, p. 2
○ RF Designhouse, www.rfdh.com, RF 회로 개념 정복 - PLL(Phase Locked Loop)
○ Aston, T., Bétournay, M. C., Hill, J. O., and Charette, F. (1994). "Application for Monitoring the Long Term Behaviour of Canadian Abandoned Metal Mines." Proceedings, Symposium and Workshop onTime Domain Reflectometry in Environmental, Infrastructure,and Mining Applications, Northwestern University, U.S. Bureau of Mines Special Publication SP-19-94, 518-527.
○ Dowding, C. H. and Huang, F. C. (1994). "Telemetric Monitoring for Early Detection of Rock Movement with Time Domain Reflectometry." Journal of Geotechnical Engineering, American Society of Civil Engineers, 120 (8), 1413-1427.
○ Francke, J. L., Terrill, L. J., and Francke, C. T. (1994). "Time Domain Reflectometry Study at the Waste Isolation Pilot Plant." Proceedings, Symposium onTime DomainReflectometry in Environmental, Infrastructure, and Mining Applications, Evanston, IL, 555-567.
○ Kane, W.F., and Beck, T. J. (1996). "Rapid Slope Monitoring." Civil Engineering, American Society of Civil Engineers, New York, 66(6), 56-58.
○ Lord, E., Peterson, D., Thompson, G., and Stevens, T. (1991). "New Technologies for Monitoring Highwall Movement at Syncrude Canada Ltd." Preprint CIM/AOSTRA 91-97, paper presented at CIM/AOSTRA 1992 Technical Conference, Banff, April 21-24, 97-1 to 97-8.
○ O' Connor, K. M., Peterson, D. E., and Lord, E. R. (1992). "Development of a Highwall Monitoring System Using Time DomainReflectometry." Proceedings, Ninety-fifth National Western Mining Conference, Denver, CO, 3 p.
○ O' Connor, K. M., and Dowding, C. H. (1999). GeoMeasurements by Pulsing TDR Cables and Probes. CRC Press, Boca Raton, FL, ISBN 0-8493-0586-1.
○ Rohrig, J. (1931). "Location of Faulty Places by Measuring with Cathode Ray Oscillographs." Elektrotech Z., 8.
○ Topp, G. C., and Davis, J. L. (1985). "Measurement of Soil Water Content Using Time Domain Reflectometry (TDR): a Field Application." Journal of Soil Science Society of America, 49, 19-24.

○ Beiping, J., Mitsuno, T., Akae, T., Nagahoria, K., 1996a, Determination of field soil water content by frequency domain reflectometry (FDR) technique, Transactions of The Japanese Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering, 182, 31-38.
○ Beiping, J., Mitsuno, T., Akae, T., Nagahoria, K., 1996b, Measurement of soil dielectric constant by frequency domain reflectometry and its application to soil

moisture measurement of specified depth, Transactions of The Japanese Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering, 182, 25-30.

○ Gaskin, G.J., Millker, J.D., 1996, Measurement of soil water content using a simplified impedance measuring technique, Journal of Agricultural Engineering Research, 63(2), 153-159.

○ Gurbuz, A., Peker, I., Aydin K., Tugcu, O., Acan S., 2017, The application of distributed fiber sensors in determination of seepage in Derince Dam, International Journal of sensor Networks, 25(3), 176-183.

○ Ikard, S.J., Rittgers, J., Revil, A., Mooney, M.A., 2015, Geophysical investigation of seepage beneath an earthen dam, Ground Water, the National Ground Water Association, 53(2), 238-250.

○ Kim, M.I., Chae, B.G., Cho, Y.C., 2008, Study on rainfall infiltration characteristics for weathered soils: Analysis of soil volumetric water content and its application, Engineering Geology, 18(1), 83-92.

○ Kim, M.I., Chae, B.G., Jeong, G.C., 2009b, Correlation of unsaturated soil and dielectric property for monitoring of subsurface characteristics: development of unsaturated dielectric mixing models and its application, Environmental Geology, 57, 9-58.

○ Kim, M.I., Jeong, G.C., 2005, Evaluation of oil infiltration behavior in porous media using dielectric response, The Journal of Engineering Geology, 15(1), 29-39 (in Korean with English abstract).

○ Kim, M.I., Jeong, G.C., Chung, I.M., Kim, N.W., 2009a, Experimental assessment of the infiltration properties of a coarse soil medium in a dielectric infiltration test, Environmental Geology, 57, 591-600.

○ Kim, M.I., Makoto, N., 2003, An experimental study to estimate physical properties of porous media by a permittivity medthod, The Journal of Engineering Geology, 13(4), 405-418 (in Korean with English abstract).

○ Loperte, A., Soldovieri, F., Palombo, A., Santini, F., Lapenna, V., 2016, An integrated geophysical approach for water infiltration detection and characterization at Monte Cotugno rock-fill dam (southern Italy), Engineering Geology, 211, 162-170.

○ Miller, J.D., Gaskin, G.D., 1996, Theta Probe ML2x. Principle of Operation and Applications (2nd edition), Macaulay Land Use Research Institute (MLURI), Aberdeen, U.K.

○ Park, M., Im, E., Lee, S., Han, H., 2016, A study on the seepage behavior of embankment with weak zone using numerical analysis and model test, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, 17(7), 5-13 (in Korean with English abstract).

○ Sayde, C., Gregory, C., Gil-Rodriguez, M., Tufillaro, N., Tyler, S., Van de Giesen, N., English, M., Cuenca, R., Selker, J.S., 2010, Feasibility of soil moisture monitoring with heated fiber optics, Water Resources Research, 46(6), doi.org/10.1029/2009WR007846.

○ Sharma, L.K., Umrao, R.K., Singh, R., Ahmad, M., Singh, T.N., 2017, Stability investigation of hill cut soil slopes along National highway 222 at Malshej Ghat, Maharashtra, Journal of the Geological Society of India, 89(2), 165-174.
○ Su, H., Hu, J., Yang, M., 2015, Dam seepage monitoring based on distributed optical fiber temperature system, Institute of Electrical and Electronics Engineers Sensors Journal, 15(1), 9-13.
○ Topp, G.C., Davis, J.L., Annan, A.P., 1980, Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines, Water Resources Research, 16(3), 574-582.
○ Willowstick, 2016, Willowstick Technologies, White paper, p. 22.
○ Wu, L.Z., Huang, R.Q., Xu, Q., Zhang, L.M., Li, H.L., 2015, Analysis of physical testing of rainfall-induced soil slope failures, Environmental Earth Sciences, 73(12), 8519-8531.
○ 한국농어촌공사, 2014, 저수지 시설물의 노후현상과 보수보강공법 적용방안 연구(Ⅰ), 214 p.
○ 박동순, 오제헌, 2016, 노후 코어형 필댐의 잠재 위해성 유형 분류, 지질공학, 26(2), 207-221
○ 김우용, 김남룡, 임정열, 2017, 국내 저수지 축조 재료특성 분류를 위한 실험적 연구, 한국방재학회논문집, 17(2), 219-230
○ 이종근, 류근준, 김훈, 2012, 사례조사를 통한 저수지 시설물의 안전관리 개선 방안, 시설물 저널, 한국시설안전공단
○ State Engineer’s Office, 2002, Dam Safety Manual, State of Colorad
○ 이주현, 2013, 중, 소형 농업용 댐의 현황과 관리방향에 대한 제언, 2013, 한국방재학회지, 64-65

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

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