



Office



Research



Farming



International

# 저수지(댐) 재해예측 및 붕괴예경보를 위한 복합위험 기준 연구

Study of Combined Risk Standards for the Disaster Prediction and Failure  
Forecasting and Warning of Reservoirs(Dam)



농림축산식품부



한국농어촌공사



# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “저수지(댐) 재해예측 및 붕괴예경보를 위한 복합위험 기준 연구” 과제의 1차년도 보고서로 제출합니다.

2016년 12월

주관연구기관명 : 농어촌연구원

연구책임자 : 이 백

연구원 : 박진현

최병한

신희선

공동연구기관 : 노아SNC

연구책임자 : 전영규

연구원 : 신재형

신국열

김원현

장권희

박종렬



## < 요약 >

### □ 연구과제명 : 저수지(댐) 재해예측 및 붕괴예경보를 위한 복합위험 기준 연구

#### 1. 서론

##### 1.1 연구배경 및 목적

###### 1.1.1 배경 및 필요성

- 저수지 하류부 개발에 따른 거주민의 증가로 붕괴 시 인명적·재산적 피해가 발생할 확률이 증가
- 기후변화에 기인하는 수문량의 증가와 급속한 시설의 노후화 진행에 따른 저수지 안전성 감소
- 저수지 붕괴 시 인명적·재산적 피해를 최소화 하기 위한 붕괴예·경보 시스템의 도입이 필요

###### 1.1.2 연구목적

- 본 연구의 최종 목표는 저수지에서 기후변화 및 시설물 노후화 증대 등으로 재해 취약성이 증대되고 있는 현실에서, 저수지의 붕괴에 따른 인적·물적 피해 최소화를 목적으로 ICT 기반 관계기술 접목을 위한 예·경보 기준 마련 및 첨단 센싱기술을 적용하기 위한 붕괴예·경보 시스템 표준안을 마련하는데 목적이 있음.

##### 1.2 연구 내용 및 방법

- 기존 모니터링 및 예·경보 시스템의 검토를 통한 서버 DB 설계의 표준안 수립
- 유사 시설물에 적용된 센서별 기술 적용 현장조사 및 분석을 통한 센서별 적용 설치가이드라인 수립
- 유사 시설물에 적용된 무선통신기술 적용 사례 조사를 통한 근거리 및 원거리 무선통신기술 적용 방안 제시

- 한국농어촌공사 위기관리 매뉴얼의 위기경고 수준에 적용하기 위한 저수지 붕괴예·경보 관리기준의 정립 및 센서별 관리기준 수립

### 1.3 기대효과

- 시설물의 안전관리를 위한 비전문성과 인력부재의 해소.
- 붕괴전조와 직결된 첨단 비주열 센싱기술 선도.
- 위험저수지에 선별적 적용으로 국내 저수지(댐) ICT 기술 기반 전역적 재해예방예측기술 마련. 현 정부 재해예방 3.0에 부응.

## 2. 저수지 센서 설치가이드라인

### 2.1 수립절차 및 목표

- 저수지 최적계측밀도 적용 설치가이드라인 수립방안은 도입 센서의 표준 수립, 설치 위치 정의, 예·경보의 3가지 측면에서 각기 목표를 설정하고 목표에 달성을 위한 표준(안)을 제시하도록 한다.

### 2.2 유사사례 분석

- 농어촌연구원의 USN저수지 예·경보 시스템은 계측기별 설치 위치를 UASCE의 붕괴 시나리오를 기준으로 적정 위치에 설치 모니터링을 진행하고 있다.
- 한국농어촌공사의 재해예방계측 시스템은 현재 173곳의 저수지에 계측기들이 설치되어 운영중으로, 전기비저항탐사, 수위측정기를 중점적으로 설치하여 운영중이다.
- 수자원공사의 수변구조물 통합안전관리 시스템은 6곳의 옹벽, 제방, 사면, 교량에 계측기를 설치하여 운영 중으로, 설치된 계측기는 지하수위계, 간극수압계, 지중경사계, 구조물경사계, 처짐계, 지진가속도계, 전기비저항 탐지 계측기로 구성 하여 계측을 하고 있다.

## 2.3 저수지 붕괴 유형 도출

- ICOLD에서는 흙댐 자료를 기초로 댐 붕괴 원인을 제시하고 있으며 주요 원인으로서는 흙댐의 주요 파괴원인은 월류 및 파이핑으로 파악되었다.
- 원인조사 사고 전체 135건 중 25.9%인 35건이 월류로 발생하였고, 댐의 구조적 움직임 때문에 발생하는 파이핑 19건, 기초의 내부침식으로 발생하는 파이핑이 13건을 조사되었다.

## 2.4 저수지 붕괴 유형별 센서 도출 및 설치 방안

- 월류를 파악하기 위하여 수위계 중심의 경보 체계를 수립한다.
- 파이핑의 전조를 파악하기 위하여 “지하수위계”, “누수계”, “전기비저항탐사” 센서를 활용하여 예보 중심의 계측체계를 수립한다.
- 슬라이딩의 증상을 파악하기 위하여 “지표변위계”, “이미지 센서”를 통한 제체의 변위 파악에 활용한다.

# 3. 서버 DB설계 표준(안) 제시

## 3.1 수립절차 및 목표

- USN 저수지 예·경보시스템과 유사 시스템인 재해 예방계측 시스템, 국민안전처의 급경사지 예·경보 시스템을 분석하여 표준(안)을 도출한다.

## 3.2 유사사례 분석

- USN저수지 예·경보시스템의 경우는 메타 정보 관리로 향후 다른 종류의 계측기가 추가 되어도 테이블 변경이 적용이 가능하게 설계되어 있고 경보설정 테이블을 별도로 관리하여 경보기준 관리의 확장성을 확보하고 있다.
- USN저수지 예·경보시스템의 경우는 계측기로부터 수집되

는 계측값을 단일 테이블로 구성하여 관리하고 있으며, 신규 추가된 계측기의 정보를 모니터링 화면에서 조회하기 위하여 새로운 프로그램 개발 필요 하다.

- 국민안전처의 급경사지 예·경보 시스템은 급경사지 현황관리 및 계측 데이터의 조회 위주로 운영중이다.

### 3.3 서버 및 DB설계 표준안

- 저수지 예·경보 시스템의 DB구조를 표준으로 유지하며 지사와 중앙의 2중으로 관리 하는 테이블을 중앙으로 통합
- 부하분산 처리의 효율성 및 사용자 증가시 성능보장을 위하여 수집서버, DB서버, WAS서버, WEB서버를 독립적으로 구성
- Open Software로 변경하여 시스템을 구축(WEB, WAS, DB S/W), DBMS 변경시 프로그램 재개발 요건 발생
- 데이터 로거 및 중앙 수집 프로그램을 IoT프레임워크로 전환

## 4. 저수지 무선통신 적용 방안

### 4.1 수립절차 및 목표

- 저수지 무선통신 적용방안은 유사사례 및 신기술 분석을 통해 안정적인 네트워크 환경 구성, 사고 최소화, 비용절감의 목표를 설정하고 목표에 달성을 위한 표준(안)을 제시하도록 한다.

### 4.2 유사사례 분석

- 농어촌연구원의 USN저수지 예·경보 시스템은 데이터 로거와 각종 센서간 통신이 유선으로 이루어져 저수지 개보수시에 통신선의 절취가 발생하는 문제가 존재하고 있다.



- 한국농어촌공사의 재해예방계측 시스템은 무선과 유선을 혼용하여 사용하고 있음, 무선의 경우는 주로 CDMA통신을 사용하여 효율적으로 운영중이다.
- 수자원공사의 수변구조물 통합안전관리 시스템은무선과 유선을 혼용하여 사용하고 있음, 무선의 경우는 주로 CDMA 통신을 사용하고 있으며, 각 계측기의 전원은 태양광시스템을 적용하여 보조 배터리로 활용 중이다.

#### 4.3 무선 신기술 도출

- 적절한 데이터 대역과 에너지 고효율, 낮은 유지보수 비용, 광역 커버리지의 관점에서 무선기술을 검토 하였다.
- 사물인터넷뿐만 아니라 소물인터넷까지 고려하여 장거리 + 초 저전력의 단순한 신규 네트워크 규격인 LPWAN 기술을 적용하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

#### 4.4 저수지 무선통신기술 적용 방안

- 지하수위계, 누수계, 강우량계 등의 센서에 LPWA송신기를 설치 하며 데이터로거에도 LPWA수신기와 CDMA모뎀을 설치하여 계측기와 인터넷망을 무선으로 연결 하며, 데이터량이 많은 지진가속도계, CCTV는 유선망을 연결하여 데이터의 안정적이 전송 속도를 확보 하도록 한다.

### 5. 센서 개별위험 관리기준

#### 4.1 위험 관리기준의 필요성

- 저수지는 2015년 기준 전국적으로 17,427(한국농어촌공사 3,377, 지자체 14,050)개소가 건설 운영되고 있으나 50년 이상의 노후저수지가 전체 저수지의 약 70.6%를 차지하고 있음. 저수지는 붕괴 발생시 하류에 위치하고 있는 가옥, 농경지 등에 큰 인명 및 재산피해를 유발시키고 있다.
- 정부는 위험저수지 정비사업 예산을 확보하고 지속적으로 예방사업을 추진하고 있으나, 구조적 대책만으로 안전 확보

에 어려움이 있어 비구조적 대책인 저수지 재해예방 계측시스템 설치사업을 진행하고 있다.

- 국내 급경사지 등 토목구조물의 예·경보 기준을 조사하여 저수지 재해예방 계측시스템에 설치되는 강우량계 등 계측기별 저수지 붕괴 예보 기준의 정립을 목적으로 한다.

## 6. 재난망 및 IoT기술 적용성 검토

- 재난 및 안전관리에서 국가재난안전통신망 및 실시간 모니터링의 중요성이 커지고 있다. 국민안전처에서는 PS-LTE 기반의 국가재난안전망 구축 사업을 추진중이다. 본 연구는 재난관리책임기관인 한국농어촌공사의 저수지 재난관리 부분에 국가재난안전망의 활용 및 적용 가능성을 검토하고, 첨단 ICT 기술을 이용한 사물인터넷(IoT) 기반의 저수지 재난안전모니터링 및 상황관리 가능성을 분석하였다. 그 결과 국가재난안전망은 저수지 계측센서 및 모니터링 특성상 바로 활용이 어려운 것으로 분석되었다. 반면 IoT 기반의 저수지재난모니터링은 제반 기술 및 사물인터넷 통신망 활용이 용이하여, 향후 정보화전략계획(ISP) 수립을 통해 저수지 붕괴 예·경보 서비스로 발전 가능성이 높은 것으로 분석되었다.

## 7. 결론

- 재난관리기준 및 저수지법에 따라 붕괴예·경보 시스템 (재난건전성 모니터링) 계획 수립 필요
- 저수지 붕괴유형에 따른 계측데이터를 기반으로 경보 및 예보 체계를 수립 및 2차년도 보완 필요(2차년도의 센서 및 통신 포맷 표준안과 연계 필요)
- 유사 서비스를 기반으로 붕괴예·경보 시스템 서버 DB 표준

## 안 수립

- 낙뢰등의 사고에서 피해최소화, 개보수의 편의성 및 안정적인 데이터 전송환경을 위한 근거리 무선통신 적용방안 수립 및 2차년도 보완 필요(2차년도의 통신 포맷 표준안과 연계 필요)
- EAP의 비상상황 분류(관심, 주의, 경계, 심각)를 기준으로 개별센서별 관리기준 수립 및 2차년도 보완 필요(2차년도 복합위험 관리기준 수립과 연계 필요)
- 재난망 및 IoT기술 적용성 검토 연구를 통한 붕괴예·경보 시스템 확대방안 수립



## **summary**

- **Title: Study of Combined Risk Standards for the Disaster Prediction and Failure Forecasting and Warning of Reservoirs(Dam)**

### **1. Introduction**

#### 1.1 Background and Objective

##### 1.1.1 Background and Necessity

- Increasing probability of life and property loss due to increasing residents under reservoir failure because of development of downstream area
- Decreasing reservoir safety due to increasing hydrologic quantity and rapid aging of facility under climate change
- Required to application of forecasting system of reservoir failure to reduce loss of life and property under reservoir failure

##### 1.1.2 Objective

- Climate change and facility aging influence to loss of safety of reservoirs that leads reservoir failures and finally induce loss of lifes and properties. In this situation, Reservoir Failure Forecasting System is necessary to detect early failure in realtime and to do safety management in order to minimising possible damage occurred and prevention for the residents in downstream area.

## 1.2 Content and Method

- Investigate DB formats of existing monitoring projects for reservoirs in danger and propose DB server standard design for collapse forecasting and warning through DB format analysis of the measurement server
- To establish an installation guideline through on-site investigation of applied technology for each sensor and analysis of applied technology
- To propose a method for applying wireless communication technology to the reservoir through establishment of a method for applying wireless communication technology to short and long distances
- To establish management standards for forecasting system of reservoir failure and risk management standards for sensors

## 1.3 Expectation

- A way of solution to decrease required man-power of facility manager for safety management
- Leading state-of-the-art visual sensing technology related to reservoir failure detection
- To propose disaster prevention technology based on ICT technology to apply risked reservoir. To fulfill government's disaster prevention 3.0

# 2. Reservoir Sensor Installation Guideline

## 2.1 Procedure and Goal

- For the application of optimal reservoir density and establishment of an installation guideline, goals will be

set and a proposition will be proposed for achieving that goal for each of the following three things: establishment of a standard sensor, defining the location of installation, forecasting and warning

## 2.2 Analysis of Similar Cases

- The USN reservoir forecasting and warning system of the Rural Research Institute is monitoring and installing each of their measuring instruments at an appropriate location with the collapse scenario of UASCE as the standard
- The disaster forecasting system of the Rural Research Institute is currently managing 173 installed measuring instruments in reservoirs and is focusing on the resistivity survey and instrument for measuring water level
- The water composition safety system of K-water installed measuring instruments in the retaining walls, river banks, slopes and bridges of 6 places, and the installed measuring instruments are composed of underground water meter, piezometer, underground angle meter, structural angle meter, deflection meter, earthquake accelerometer and resistivity detector

## 2.3 Types of Reservoir Collapse

- ICOLD is proposing the cause of dam collapse with a base in earth dam data and it has been revealed that overflow and piping are the main cause of collapse in earth dams
- Among the 135 accidents, 35 or 25.9% occurred due to overflow, 19 due to piping which occurs because of the structural movement of the dam and 13 due to piping which occurs due to internal erosion

## 2.4 Sensor and Installation for Each Category of Reservoir Collapse

- Establish a warning system with focus on a water gauge for detecting overflow.
- Use the “underground water meter”, “water leak meter” and “resistivity survey” sensors for detecting the sign for piping, and establish a measuring system centered on forecasting
- To understand the symptoms of sliding, use for understanding displacement of the dam body through “displacement indicator” and “image sensor”

## 3. Propose DB Server Design Standard

### 3.1 Procedure and Goal

- Draw up standard by analyzing the steep slope-land forecasting and warning system of the Ministry of Public Safety and Security and the disaster prevention measurement system, which is the same as the reservoir forecasting and warning system of the USN

### 3.1 Analysis of Similar Cases

- The USN reservoir forecasting and warning system is designed through meta information management so that even if a different type of measuring instrument is added in the future, it is possible to apply a table change; the warning setting table is managed separately, making it possible to expand management of warning standards
- The USN reservoir forecasting and warning system is being managed with a single table of measurements collected by a measuring instrument, and it is necessary



to develop a new program for searching for information from newly added measuring instruments on the monitoring screen

- The steep slope-land forecasting and warning system of the Ministry of Public Safety and Security is being managed with a focus on the present conditions of the steep slope-land and the measurement data

### 3.3 Server and DB Design Standard

- Maintain the DB structure of the reservoir forecasting and warning system as the standard, and combine the table into one
- Structure collecting server, DB server, WAB server and WB server independently for efficiency of load distribution processing and performance guarantee when the number of users increase
- Change to Open Software and establish system (WEB, WAS, DBS/W); when DBMS is changed, a requirement for re-developing the program will occur
- Switch data logger and central collection program to IoT framework

## 4. Method for Application of Wireless Communication in Reservoir

### 4.1 Establishment Procedure and Goal

- For the application of wireless communication in the reservoir, the goal of composing a safe network environment, minimizing accidents and reducing cost will

be set and a standard will be proposed through analysis of similar cases and new technology

#### 4.2 Analysis of Similar Cases

- The USN reservoir forecasting and warning system of the Rural Research Institute uses cables for communication among the various sensors and data loggers which is a problem because the cables are being torn in the renovating reservoir
- The disaster prevention system of the Korea Rural Community Corporation is using both wireless and cables, and is efficiently using CDMA communications for the wireless
- The water composition safety system of K-water is using both wireless and cable, and is using CDMA for wireless; a solar power system is applied for each measuring instrument's power and used as a supplementary battery

#### 4.3 New Wireless Technology

- The wireless technology was inspected in terms of range of data, energy efficiency, low maintenance cost and solar power
- It has been concluded that applying the LPWAN technology, which is the simple and new network standard of ultra-low power and long distance, with consideration for not only internet of things, but also internet of small things as well, would be appropriate

#### 4.4 Method for Applying Wireless Technology in Reservoir

- Install LPWA transmitter on sensors such as the groundwater level meter, the water leak meter and precipitation meter; install LPWA transmitter and CDMA

modem on data logger as well; connect measuring instrument and internet network through wireless connection; connect earthquake acceleration meter and CCTV, which have large amounts of data, through wired network; and obtain stable transmission speed of the data

## 5. Management Criteria of Sensors

### 5.1 Necessarily of management criteria of sensors

- As of 2015, 17,427 reservoirs(Korea Rural Community Corporation 3,377 and municipalities 14,050) are being constructed and operated nationwide, but about 70.6% of all reservoirs are over 50years old reservoirs. The reservoirs cause human injury and property damage in the houses and agricultural lands located downstream in case of collapse.
- The government has secured the budget for the reservoir maintenance project and is continuing to implement preventive measures, but it is difficult to secure safety by structural measures alone. Therefore, the government is proceeding with project of reservoir disaster prevention measurement system installation as unstructured measures.
- The purpose of this study is to establish criteria for reservoir collapse prediction by measuring instruments such as rain gauges installed in reservoir disaster prevention measurement system by examination of example early warning criteria for civil structures such as domestic steep slopes.

### 5.2 management criteria of sensors

- In the case of domestic and foreign reservoir collapse, the cause of the collapse of the reservoir is leaking, piping, overflow, and slope collapse. Domestic reservoir collapse is mainly caused by the overflow due to heavy rainfall. Some cases of collapse due to water leaks have also been reported.
- Considering the main causes of reservoir collapse, six instruments including rain gauges, water level gauges, water leakage meters, surface extensometers, groundwater level meters and seismic accelerometers were selected to set up for measurement system. In addition, we have established forecast management criteria for measuring instruments.
- We propose a comprehensive evaluation method for the results of multiple measuring instruments because it is difficult to make a comprehensive decision in the situation that a variety of measuring instruments are installed due to set up of the reservoir measuring system. And to the reservoir manager and the head of the local government use the crisis response manual with consistency, we propose a methodology to set a early warning criteria that reflects the management criteria of each instrument.

## **6. Application of National Disaster Safety Network and IoT technology**

- National Disaster Safety Network and real-time monitoring are becoming more important in disaster and safety management. The Ministry of Public Safety and Security is progressing a national disaster safety network

construction project based on PS-LTE. The purpose of this study are to review the feasibility and applicability of National disaster and safety network, and analyzing the possibility of monitoring reservoirs using the Internet of Things(IoT). As a result, it is analyzed that it is difficult to apply the Korea Rural Community Corporation's system to the National disaster and safety network immediately. On the other hand, IoT-based reservoir disaster monitoring can be applied because of the related technologies and the IoT network have been developed. Therefore, if the Korea Rural Community Corporation establishes an information strategy plan(ISP), it will develop as the alert service of the reservoir's collapse using IoT technology.

## 7. Conclusion

- To establish plan of forecasting and warning system of reservoir failure (such as, disaster health monitoring) based on disaster management standard and reservoir act
- To establish forecasting and warning criteria based on obtained data up to reservoir failure type, and to upgrade it in the next year research
- To establish DB server design standard of forecasting and warning system based on study of similar systems
- To upgrade short-distance wireless communication method for stable data transfer under lightning damage etc., and to upgrade it in the next year research (link to sensor and communication format)
- To establish management criteria of sensor up to classified emergency situation(Attention, Caution, Aret,

Critical) in EAP plan of forecasting and warning system of reservoir failure (such as, disaster health monitoring) based on disaster management standard and reservoir act

- To propose application of forecasting and warning system of reservoir failure through study on application of National Disaster Safety Network and IoT technology

# 목 차

제1장 서론 .....	1
1.1 연구배경 및 목적 .....	3
1.1.1 연구배경 및 필요성 .....	3
1.1.2 연구목적 .....	4
1.2 연구범위 및 방법 .....	5
1.2.1 연구 범위 .....	5
1.2.2 연구방법 .....	5
제2장 붕괴예·경보 시스템 수립 방안 .....	7
2.1 저수지 붕괴관련 위험관리 현황 .....	9
2.1.1 국내 저수지 관리 현황 .....	9
2.1.2 저수지 안전관리 관련 제도 .....	10
2.2 국내외 저수지 붕괴 현황 .....	13
2.2.1 해외 저수지 붕괴유형 .....	13
2.2.2 국내 저수지 붕괴유형 .....	14
2.3 구조물 건전성 모니터링 .....	20
2.3.1 구조물 건전성 모니터링 .....	20
2.3.2 구조물 건전성 모니터링의 도입 .....	20
2.4 저수지(댐) 계측 관련규정 .....	22
2.4.1 저수지·댐의 안전관리 및 재해예방에 관한 법률 .....	22
2.4.2 국가재난관리기준 .....	22
2.5 붕괴예·경보 시스템 수립 방안 .....	23

<b>제3장 붕괴예·경보 관련 시스템 조사 및 분석</b>	<b>25</b>
<b>3.1 USN 저수지 붕괴위험 예·경보 시스템</b>	<b>27</b>
3.1.1 사업개요	27
3.1.2 수립목적	28
3.1.3 서비스 시스템 구성도	28
<b>3.2 재해예방계측사업</b>	<b>29</b>
3.2.1 사업개요	29
3.2.2 수립목적	29
3.2.3 서비스 시스템 구성도	30
<b>3.3 급경사지 붕괴위험 예·경보 시스템</b>	<b>30</b>
3.3.1 사업개요	30
3.3.2 수립목적	31
3.3.3 서비스 시스템 구성도	32
<b>3.4 수변구조물 통합안전관리시스템</b>	<b>32</b>
3.4.1 사업개요	32
3.4.2 수립목적	33
3.4.3 서비스 시스템 구성도	33
<b>3.5 유사 시스템의 분석 결과</b>	<b>34</b>
3.5.1 시스템 활용적 측면	34
3.5.2 시스템 유지관리 측면	34
3.5.3 계측센서 개선 측면	35
<b>제4장 붕괴예·경보 시스템 표준안</b>	<b>37</b>
<b>4.1 센서 설치 가이드라인</b>	<b>39</b>
4.1.1 수립절차 및 목표	39
4.1.2 유사사례 분석	40
4.1.3 USACE의 저수지 붕괴 시나리오 정의	62
4.1.4 붕괴유형별 계측센서 도출	66
4.1.5 센서별 장단점 분석	67



4.1.6	센서별 설치위치 정의 .....	70
<b>4.2</b>	<b>서버 시스템 DB 표준안 .....</b>	<b>73</b>
4.2.1	수립절차 및 목표 .....	73
4.2.2	유사사례 분석 .....	75
4.2.3	시사점 분석 .....	86
4.2.4	서버 및 DB설계 표준안 .....	87
<b>4.3</b>	<b>저수지 무선통신 적용 방안 .....</b>	<b>96</b>
4.3.1	수립절차 및 목표 .....	96
4.3.2	유사사례 분석 .....	98
4.3.3	사물인터넷 무선통신 기술 조사 .....	104
4.3.4	결론 .....	106
<b>제5장</b>	<b>센서 개별위험 관리기준 .....</b>	<b>109</b>
<b>5.1</b>	<b>위험 관리기준의 필요성 .....</b>	<b>111</b>
<b>5.2</b>	<b>저수지 붕괴원인 및 비상대응계획 .....</b>	<b>112</b>
5.2.1	저수지 붕괴예방 가능성 .....	112
5.2.2	위기대응 매뉴얼 및 위기경보 기준 .....	113
5.2.3	저수지 비상대처계획(EAP) .....	116
<b>5.3</b>	<b>센서 예·경보 관리기준 검토 .....</b>	<b>119</b>
5.3.1	강수량관련 예·경보 기준 검토 .....	119
5.3.2	산림청 .....	121
5.3.3	국립재난안전연구원 .....	123
5.3.4	일본 .....	124
5.3.5	홍콩 .....	126
5.3.6	미국 .....	128
<b>5.4</b>	<b>계측기별 예·경보 관리기준 정립 .....</b>	<b>130</b>
5.4.1	저수지 붕괴예보를 위한 주요 계측기기 선정 .....	130
5.4.2	강우량에 의한 예보 관리기준 .....	131
5.4.3	수위계에 의한 예·경보 관리기준 .....	134

5.4.4 누수량계에 의한 예·경보 관리기준 .....	135
5.4.5 지표변위계에 의한 예·경보 관리기준 .....	137
5.4.6 지하수위계에 의한 예·경보 관리기준 .....	140
5.4.7. 지진가속도계에 의한 예·경보 관리기준 .....	141
<b>5.5 저수지 붕괴 위기경보 기준 설정 .....</b>	<b>142</b>
<b>5.6. 결론 .....</b>	<b>145</b>
<b>제6장 재난망 및 IoT기술 적용성 검토 .....</b>	<b>147</b>
<b>6.1 국가재난안전통신망 구축계획 분석 .....</b>	<b>149</b>
6.1.1 국가재난안전통신망 구축 현황 .....	149
6.1.2 국가재난안전통신망 주요 고려사항 .....	157
6.1.3 국가재난안전통신망 문제점 분석 .....	162
<b>6.2 한국농어촌공사 IoT 기술 활용 현황 분석 .....</b>	<b>169</b>
6.2.1 저수지 계측 및 예·경보 사업 .....	169
6.2.2. USN 저수지 붕괴예경보 시스템 분석 .....	172
6.2.3 자동수위계측기 신기술 통신망 시범사업 분석 .....	177
6.2.4 한국농어촌공사 계측 시스템 문제점 분석 .....	182
<b>6.3 국가재난안전통신망 및 IoT 기술 활용방안 제시 ...</b>	<b>183</b>
6.3.1 국가재난안전통신망 활용방안 제시 .....	183
6.3.2 IoT 기반의 저수지 안전관리 방안 제시 .....	186
<b>제7장 결론 및 향후 연구방향 .....</b>	<b>193</b>
<b>7.1 결 론 .....</b>	<b>195</b>
<b>7.2 향후 연구방향 .....</b>	<b>196</b>
□ <b>참고문헌 .....</b>	<b>197</b>

## 표 차 례

(표 2-1) 「농어촌정비법」 및 「시특법」에 따른 농업생산기반시설의 분류 및 관리 현황 .....	10
(표 2-2) 저수지 안전점검 실시 주요내용(「농어촌정비법」 시행령) .....	11
(표 2-3) 시설물의 상태평가 등급 .....	13
(표 2-4) 댐과 저수지 파괴형태 .....	14
(표 2-5) 2009년이전 국내 저수지의 피해 사례 .....	14
(표 2-6) 2009년이후 국내 저수지의 피해 사례 .....	16
(표 2-7) 농업생산기반시설 노후화 정도 .....	17
(표 3-1) 재해예방계측사업 설치대상 .....	29
(표 4-1) USN 저수지 예·경보 시스템 계측기 설치 현황 .....	41
(표 4-2) USN 저수지 예·경보 시스템 설치 센서의 시사점 .....	41
(표 4-3) 강우량계 제원 및 설치 방법 .....	44
(표 4-4) 지하수위계 제원 및 설치 방법 .....	45
(표 4-5) 지표변위계 제원 및 설치 방법 .....	46
(표 4-6) 누수계 제원 및 설치 방법 .....	47
(표 4-7) 수위계 제원 및 설치 방법 .....	48
(표 4-8) 재해예방 계측 시스템 계측기 설치 현황 .....	49
(표 4-9) 재해예방계측 시스템 설치 센서의 시사점 .....	49
(표 4-10) 수변구조물 안전통합관리시스템 계측기 설치 현황 .....	52
(표 4-11) 수변구조물 안전통합관리시스템 센서 운영 시사점 .....	52
(표 4-12) 강정고령보 계측기 설치 현황 .....	53
(표 4-13) 문산제 계측기 설치 현황 .....	55
(표 4-14) 광촌제 계측기 설치 현황 .....	58
(표 4-15) 성서제 계측기 설치 현황 .....	60
(표 4-16) 제체의 횡단 균열 발생 .....	63
(표 4-17) 불량한 다짐과 높은 투수성 영역발생 .....	64
(표 4-18) 기초지반으로의 내부침식 .....	65
(표 4-19) 암반 기초 지반의 결함 유형 .....	66

(표 4-20) 측정 목적별 센서 구분 .....	68
(표 4-21) 센서별 특징 및 단점 .....	69
(표 4-22) 설치 계측 센서 도출 .....	70
(표 4-23) 센서별 활용 방안 .....	70
(표 4-24) 경보발령 절차 개선 .....	71
(표 4-25) 기도입 센서 활용방안 .....	72
(표 4-26) 센서설치 가이드라인 .....	72
(표 4-27) 유사사례의 시사점 분석 및 표준(안) 도출 .....	86
(표 4-28) 오픈소스 DataBase 비교 .....	92
(표 4-29) 사용 S/W 선정 사유 .....	94
(표 4-30) 저주지 붕괴예·경보 시스템 H/W구성 .....	95
(표 4-31) 저수지 붕괴예·경보 시스템 H/W구성 .....	96
(표 4-32) USN 저주지 예·경보 시스템 네트워크 구성의 시사점 .....	99
(표 4-33) 자동화 장비 제원 .....	99
(표 4-34) 재해예방 계측 시스템 네트워크 구성의 시사점 .....	102
(표 4-35) 수변구조물 통합안전관리 시스템 네트워크 구성의 시사점 .....	103
(표 4-36) 무선통신 기술의 특징 .....	104
(표 4-37) 무선통신 기술별 장·단점 .....	104
(표 4-38) 무선통신 기술 적용 여부 .....	106
(표 4-39) 네트워크 장비 도입(안) .....	107
(표 5-1) 미국 사력댐의 붕괴원인 및 붕괴예방 가능 비율 .....	112
(표 5-2) 위기대응 실무매뉴얼 구성체계 .....	114
(표 5-3) 주요상황 대응매뉴얼 구성 체계 .....	115
(표 5-4) 준공후 시설등록된 농업생산기반시설 안전사고의 위기대응 매뉴얼 경보기준 .....	115
(표 5-5) 농업생산기반시설의 위기대응 실무매뉴얼 경보기준 .....	116
(표 5-6) 인명피해 우려지역 주민대피계획 구성 요소 .....	117
(표 5-7) 저수지 비상대처계획(EAP) 수립 지침에서 비상상황의 분류 .....	118
(표 5-8) 경보기준 단계별 상황관리체계(비상대처계획 수립 지침) .....	119
(표 5-9) 산사태 예·경보를 위한 강우량 기준 .....	120
(표 5-10) 권역별 토양함수지수 .....	122
(표 5-11) 토사재해 경보 및 대피 명령의 시점 기준 .....	125

(표 5-12) 폭풍우 경고 신호와 취해야할 행동 .....	127
(표 5-13) 토사재해 및 홍수 피해 규모 분류 .....	129
(표 5-14) 저수지 붕괴 예보를 위한 계측기 선정 .....	130
(표 5-15) 서울경기권 피해지역의 주민대피 예·경보 권고기준(안) .....	133
(표 5-16) 변위계의 단계별 관리기준치 .....	137
(표 5-17) 산사태 조기경보시스템 관리기준치 .....	137
(표 5-18) 강릉시 00면 급경사지 현장변위기준 .....	139
(표 5-19) 현장적용 토류벽 지하수위계 관리기준 .....	140
(표 5-20) 저수지 붕괴 위기경보 기준 설정 방안(풍수해 기간) .....	144
(표 5-21) 저수지 붕괴 위기경보 판단기준 및 조치사항 개선안 제시 .....	145
(표 6-1) 재난안전통신망 구축 기술 방식 .....	150
(표 6-2) 재난안전통신망 필수이용기관 .....	154
(표 6-3) 해외 재난망 구축 현황 .....	155
(표 6-4) 주요국가의 재난안전통신망 구축 및 운영사례 .....	157
(표 6-5) 재난안전통신망 자가망 및 상용망 구축방식 비교(NIA) .....	160
(표 6-6) 재해예방 계측시스템 설치대상 현황 .....	170
(표 6-7) 저수지 노후현황 .....	170
(표 6-8) 침투수 및 지진가속도 계측의 차이점 .....	171
(표 6-9) IoT 기반 신기술통신망의 특징 .....	180
(표 6-10) LoRa망과 LTE-M 비교 .....	181
(표 6-11) 저수지 위험계측 사업의 문제점 .....	183
(표 6-12) LoRa망과 LTE-M의 재난망 적용 가능성 .....	186
(표 6-13) SMART 재난관리 .....	187
(표 6-14) 한국농어촌공사 저수지 계측 시스템의 IoT 활용 가능성 .....	190

## 그림 차례

<그림 1-1> 제체와 거주지의 이격거리 약15m .....	3
<그림 2-1> 경주시 안강 산대저수지 (2013.4) .....	18
<그림 2-2> 경북 영천군 괴연저수지 (2014.8) .....	18
<그림 2-3> 월류, 파이핑, 활동 발생 흐름도 .....	19
<그림 2-4> 수리시설물 건전성모니터링 시스템의 기본구성요소 .....	21
<그림 3-1> USN 저수지 붕괴위험 예·경보 시스템 구축 시범지구 .....	27
<그림 3-2> USN 저수지 붕괴위험 예·경보 시스템 구성도 .....	28
<그림 3-3> 재해예방계측사업 시스템 구성도 .....	30
<그림 3-4> 전북 완주지구 급경사지 계측센서 구축 .....	31
<그림 3-5> 급경사지 붕괴위험 예·경보 시스템 구성도 .....	32
<그림 3-6> 재난시나리오 기반 통합 안전관리 플랫폼 .....	34
<그림 4-1> 센서 설치 가이드라인 수립 절차 .....	39
<그림 4-2> 센서 설치 가이드라인 수립 목표 .....	40
<그림 4-3> 매주 저수지 계측기 설치 위치 .....	42
<그림 4-4> 어은 저수지 계측기 설치 위치 .....	43
<그림 4-5> 농촌 저수지 계측기 설치 위치 .....	43
<그림 4-6> 강수량계 계측센서 설치 .....	44
<그림 4-7> 지하수위계 계측센서 설치 .....	45
<그림 4-8> 지표변위계 계측센서 설치 .....	46
<그림 4-9> 누수계 계측센서 사진 .....	47
<그림 4-10> 수위계 계측센서 설치 .....	48
<그림 4-11> 이동저수지 지하수위 측정기 설치 현황 .....	50
<그림 4-12> 이동저수지 댐지진 계측기 설치 현황 .....	50
<그림 4-13> 이동저수지 전기비저항 탐사 계측기 설치 현황 .....	51
<그림 4-14> 이동저수지 강수량계 설치 현황 .....	51
<그림 4-15> 수변구조물 안전통합관리시스템 계측기 설치 위치 .....	53
<그림 4-16> 강정고령보 계측기 설치 평면도 .....	54
<그림 4-17> 강정고령보 계측기 설치 현장 .....	54

<그림 4-18> 문산제 계측기 설치 평면도 .....	56
<그림 4-19> 문산제 계측기 제외 설치 현장 .....	56
<그림 4-20> 문산제 계측기 제방마루 설치 현장 .....	57
<그림 4-21> 문산제 계측기 체내 설치 현장 .....	57
<그림 4-22> 광촌제 계측기 설치 평면도 .....	58
<그림 4-23> 문산제 계측기 마루 설치 현장 .....	59
<그림 4-24> 문산제 계측기 제외지 설치 현장 .....	59
<그림 4-25> 문산제 계측기 체내지 설치 현장 .....	60
<그림 4-26> 성서제 계측기 설치 평면도 .....	61
<그림 4-27> 성서제 계측기 마루 설치 현장 .....	61
<그림 4-28> 성서제 계측기 제외지 설치 현장 .....	62
<그림 4-29> 붕괴유형별 계측 센서 도출 .....	67
<그림 4-30> 센서설치 가이드라인에 따른 센서설치 위치 .....	73
<그림 4-31> DB 설계표준(안) 수립 절차 .....	74
<그림 4-32> DB 설계표준(안) 수립 목표 .....	75
<그림 4-33> USN 저수지 예·경보시스템 DB설계현황 .....	76
<그림 4-34> USN 저수지 예·경보시스템 운영현황 .....	77
<그림 4-35> 재해예방 계측 시스템 DB설계현황 .....	78
<그림 4-36> 재해예방 계측 시스템 운영현황 .....	79
<그림 4-37> 급경사지 예·경보 시스템 DB설계현황 .....	80
<그림 4-38> 급경사지 예·경보 시스템 변경 DB설계현황(TO-BE) .....	81
<그림 4-39> 급경사지 예·경보 시스템 변경 운영현황 .....	81
<그림 4-40> 수변구조물 통합안전관리 시스템 DB설계 .....	82
<그림 4-41> 수변구조물 통합안전관리 시스템 운영현황 .....	83
<그림 4-42> 계측데이터 저장 테이블 비교 .....	84
<그림 4-43> 계측기 정보 저장 테이블 비교 .....	85
<그림 4-44> 프로그램언어 점유율 .....	88
<그림 4-45> 프레임워크 관심도 .....	89
<그림 4-46> 전세계 WEB Server 점유율 .....	90
<그림 4-47> WAS Platform 비교 .....	91
<그림 4-48> 서버 및 DB설계 표준(안) .....	95
<그림 4-49> 무선통신 표준(안) 수립 절차 .....	97

<그림 4-50> 무선통신 표준(안) 수립 목표 .....	97
<그림 4-51> 저수지 붕괴예·경보 시스템 네트워크 구성현황 .....	98
<그림 4-52> 자동화 장비 설치 현황 .....	100
<그림 4-53> 재해예방 계측 시스템 네트워크 구성 .....	101
<그림 4-54> 급경사지 예·경보 시스템 네트워크 구성 .....	102
<그림 4-55> 수변구조물 통합안전관리시스템 네트워크 구성 .....	103
<그림 4-56> 무선통신기술 분석 .....	105
<그림 4-57> 저수지 예·경보 시스템 네트워크 구성(안) .....	107
<그림 5-1> 재난유형에 따른 국가 재난대응체계 .....	113
<그림 5-2> 재난 예·경보의 발령 절차 .....	117
<그림 5-3> 토양함수지수를 산정하기 위한 Tank model .....	121
<그림 5-4> 산사태 예측시스템을 위한 권역 구분도 .....	122
<그림 5-5> 우면산 지역의 산사태 붕괴시점과 경보선, 한계선 분석 ..	123
<그림 5-6> 급경사지 예·경보를 위한 권역구분도 .....	124
<그림 5-7> 연속강우와 선행강우의 개념 .....	125
<그림 5-8> 경보선(WL)과 대피선(EL)의 선정 .....	126
<그림 5-9> 등강우량선과 격자망 .....	126
<그림 5-10> 홍콩의 산사태 경보 시스템 .....	128
<그림 5-11> 강우지속시간-총강우량의 토사재해 및 홍수피해 규모 예측 .....	129
<그림 5-12> 서울경기권의 평균 기준 강우량 설정 .....	132
<그림 5-13> 기반암종별 산사태 유발 강우기준 .....	133
<그림 5-14> 5.17 저수지 목적별 수위 및 용량 배분 .....	135
<그림 5-15> 봉화댐 상시 만수위시(EL.424.0m) 정상 침투수량 산정 사례 .....	136
<그림 5-16> 2006년 GMG 강릉시 OO면 사면 계측기 설치 현황 .....	138
<그림 5-17> 강릉시 OO면 사면의 변위 및 변위속도 계측결과 .....	138
<그림 6-1> 재난안전통신망 구성 .....	150
<그림 6-2> 재난안전통신망 개요 .....	151
<그림 6-3> 재난안전통신망 추진방식 변경 .....	151
<그림 6-4> 재난안전통신망 사업영역, 국민안전처(2015) .....	152
<그림 6-5> 재난안전통신망 목표 개념도 .....	153



<그림 6-6> 미국 FirstNet 로드맵 .....	156
<그림 6-7> 국가재난안전망 구축에 따른 변화 .....	158
<그림 6-8> 국가재난안전망 목표 시스템 개념도 .....	159
<그림 6-9> 공공안전통신망 포럼 웹페이지 .....	159
<그림 6-10> 공공안전통신망 발전방향 .....	162
<그림 6-11> 지역별 PPDR 주과수 대역 .....	163
<그림 6-12> PS-LTE 주요 항목별 표준화 현황 .....	164
<그림 6-12> 3GPP 표준화 추진 단계 .....	164
<그림 6-13> 3GPP 표준화 추진 단계 .....	165
<그림 6-14> 재난안전통신망 기술방식 확정부터 추진 현황 .....	166
<그림 6-15> ISP 대비 검증결과 주요 내용 비교 (국민안전처, 2016) .....	167
<그림 6-16> 위기관리 표준매뉴얼 협업기능 .....	168
<그림 6-17> 재해예방 계측시스템 프로세스 .....	169
<그림 6-18> 지진 가속도 계측 시스템 화면 및 구성 .....	172
<그림 6-19> 저수지 붕괴위험 예·경보 시스템 흐름도 .....	174
<그림 6-20> 저수지 계측기 설치 사례, 어은저수지 .....	175
<그림 6-21> 어은저수지 온도센서 표출 화면 .....	175
<그림 6-22> USN 저수지 붕괴 예·경보 시스템 화면 .....	176
<그림 6-23> 스마트팜 사업모델, 출처-녹색기후기금 제14차 이사회 배포자료 ...	178
<그림 6-24> LoRa 망을 이용한 보안 구성도 (한국농어촌공사, 2016) .....	181
<그림 6-25> 재난안전통신망에서 한국농어촌공사의 재난망 활용영역 .....	184
<그림 6-26> 무선통신기술 비교표 .....	185
<그림 6-27> 저수지 재난관리에서의 SPRC 단계 .....	187
<그림 6-28> 융·복합 서비스 체계의 저수지 안전관리 .....	188
<그림 6-29> 사물인터넷 시장 규모 전망(조원) .....	188



# 제 1 장

# 서 론





## 제 1 장 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

#### 1.1.1 연구배경 및 필요성

최근 우리나라를 포함한 세계 여러 나라에서 저수지 붕괴 사례가 다수 보고되고 있다. 특히 기상변동성 및 기후변화에 기인하는 수문량의 큰 폭의 증가와 급속한 시설의 노후화진행은 저수지 안정성을 저해하는 요인으로 작용하고 있다. 저수지 설계 당시에 비해 증가된 설계수문량으로 인한 치수능력부족과, 노후화에 따른 기능상실은 저수지 월류 및 구조물의 파손이나 붕괴에 직결되며, 저수지 하류부의 개발로 인한 거주인원의 증가는 대규모 인명피해와 재산피해와 직결된다. 따라서 기존 안전진단과 더불어, 이제는 다양한 위험요소와 불확실성을 고려한 붕괴 및 파손에 관한 전조 현상을 실시간 탐지하여 관제하고 이를 통한 예·경보 서비스는 절실한 입장이다.



〈그림 1-1〉 제체와 거주지의 이격거리 약15m (오촌저수지, 안성)

우리나라에서는 현재 단순 주기적인 모니터링에 의존한 저수지(댐) 계측을 실시하고 있다. 이는 기후변화, 시설노후화에 따라 발생 가능한 다양한 파괴원인과 상호 연관성을 종합적으로 고려하는데 유용한 자료를 제공에는 한계가 있으며, 특히 단순히 모니터링에 그치는 매우 수동적인 접근방안은 적극적인 재해예방 행동으로 이어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서, 국내외 다양한 ICT 기반과 첨단 센싱기술을 활용한 차세대 재해예방 예측기술 산업 발전과 확대에 관한 정부의 기대에 부응하지 못하고 있는 실정이다.

여러 사회기반시설 즉, 원자력, 철도, 교량, 항만 등이 이미 오래전부터 건전성 모니터링이라는 이름으로 실시간 유지관리 및 재해예방의 방법으로 활용된 반면에 수원공인 저수지(댐)은 단순 모니터링에 의한 주기적 자료 취득에 국한되어 있고, 실질적 붕괴와 직결된 전조현상 파악에는 못 미치고 있는 실정이다. 또한 취득된 자료 활용에 있어서도 선제적 안정성 평가에 활용되어 인명 및 재산 피해 최소화로 이어지지 못하고 있다. 따라서, 센싱기술 고도화, 관제기술 개발 및 성과 확대를 위한 기존 사업과의 연계 등이 이루어져 구조물 신뢰성평가, 사업우선순위 결정, 위험도 저감 계획 수립, 잠재적 위험도 처리 등 다양한 목적으로 활용이 필요하다. 이러한 실질적 산업과의 연계를 통해 유지관리 사업의 확대에 기여하고 그 예산의 효용성을 높여서 선진 방재사회 국가로 도약이 요구된다.

### 1.1.2 연구목적

본 연구의 최종 목표는 저수지에서 기후변화 및 시설물 노후화 증대 등으로 재해 취약성이 증대되고 있는 현실에서, 저수지의 붕괴에 따른 인적·물적 피해 최소화를 목적으로 ICT 기반 관제기술 접목을 위한 예·경보 관리기준 마련 및 첨단 센싱기술을 적용하기 위한 붕괴예·경보 시스템 표준안을 마련하는데 목적이 있다.

- 붕괴예·경보 시스템 수립방안 제시

- DB 서버 설계표준안 제시
- 계측센서별 적용 설치가이드라인 수립
- 무선통신 적용 방안 마련(근거리 및 원거리용 재난망 적용방안)
- 붕괴예·경보를 위한 개별관리기준 수립

## 1.2 연구범위 및 방법

### 1.2.1 연구 범위

본 연구는 저수지 붕괴시 인적·재산적 피해가 발생할 수 있는 안전관리 취약지구인 2종 저수지(총저수량 30만톤 미만, 농어촌정비법)에서 아래의 조건을 만족하는 대상으로 한정한다.

- 저수량 30만톤 미만
- 붕괴시의 피해규모

### 1.2.2 연구방법

본 연구의 방법은 선행연구를 기반으로 문헌조사, 사례분석, 인터뷰, 현장조사 등을 통해서 수행하였다.

- 기존 모니터링 및 예·경보 시스템의 검토를 통한 서버 DB 설계의 표준안 수립
- 유사 시설물에 적용된 센서별 기술 적용 현장조사 및 분석을 통한 계측센서별 적용 설치가이드라인 수립
- 유사 시설물에 적용된 무선통신기술 적용 사례 조사를 통한 근거리 및 원거리 무선통신기술 적용 방안 제시
- 한국농어촌공사 위기관리 매뉴얼의 위기경고 수준에 적용 하기 위한 저수지 붕괴예·경보 관리기준의 정립 및 센서별 관련 기준을 고려한 개별위험 관리기준 수립





## 제 2 장

# 붕괴예·경보 시스템 수립 방안





## 제2장 붕괴예·경보 시스템 수립 방안

본 장에서는 저수지 붕괴예·경보 시스템의 수립방안의 도출을 위하여 국내 저수지의 관리현황을 조사하고 붕괴사례를 분석하여 적용대상 저수지와 수립방안을 도출하였다.

### 2.1 저수지 붕괴관련 위험관리 현황

#### 2.1.1 국내 저수지 관리 현황

저수지는 댐을 축조하여 하천의 흐름을 막아 그 저수를 용수(생활 및 공업용수, 농업용수, 환경개선용수, 발전, 홍수조적, 주운 등)에 이용하기 위하여 설치한 공작물을 말한다. 이 경우 여수로, 보조댐, 그 밖에 해당 저수지 또는 댐과 일체가 되어 그 효용을 다하게 하는 시설 또는 공작물을 말한다. 국내의 저수지는 「농어촌정비법」(농림축산식품부, 2016a)에 따라 농업생산기반시설로 지정된 수리시설물을 뜻한다(최병한 외, 2014).

현재 국내의 농업생산기반 수리시설물은 표 2.1과 같으며 한국농어촌공사, 지자체로 2원화 되어 관리되고 있으며, 농업용 저수지는 17,339개(총저수량 3,142 백만 $m^3$ )로서 지자체가 13,945개로 총저수량의 약20%를 관리하고 한국농어촌공사가 3394개로 총저수량의 약80%를 관리하고 있다.

우리나라는 “댐시설 유지관리기준”(건설교통부, 1994)에서는 미국의 “National Academy of Sciences” 규정을 한국의 실정에 맞게 보완하여 댐 높이 10 m 이하, 총저수량 50만 $m^3$  이하를 소규모 댐과 저수지로 정하고 있다. 상기의 기준 이외에 국내 기준에서는 특별히 댐과 저수지를 구분하고 있지는 않다. 다만 안전관리를 위하여 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」(약칭, 「시특법」)(국토교통부, 2014)에서는 총저수량 100만  $m^3$  이상 1,000만 $m^3$  미만을 2종, 1,000만 $m^3$  이상을 1종 저수지로 구분하였

으며, 「농어촌정비법」에서는 1종을 30만<sup>1)</sup>m<sup>3</sup> 이상, 2종을 30만<sup>3</sup> 미만으로 구분하고 있으며 자세한 내용은 표 2.1과 같다.

(표 2-1) 「농어촌정비법」 및 「시특법」에 따른 농업생산기반시설의 분류 및 관리 현황

구분	「농어촌정비법」		「시특법」	
	1종	2종	1종	2종
	총저수량 30만 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> 이상	1종시설 이외의 저수지	다목적댐, 발전용댐, 용수전용댐 (1천만 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> 이상)	1종시설물 외의 지방상수도 전용댐, 용수전용댐 (1백만 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> 이상)
공사 관리 저수지 (3,394개소)	1,171개소	2,223개소	32개소	477개소
지자체 관리 저수지 (13,945개소)	70개소	13,875개소	-	2개소

### 2.1.2 저수지 안전관리 관련 제도

저수지의 안전관리는 법률로 명시되어 있으며, 관련법률로는 「저수지·댐의 안전관리 및 재해예방에 관한 법률」(약칭, 저수지법)(국민안전처, 2016a), 「농어촌정비법」, 「하천법」(국토교통부, 2016), 「시특법」 등에 명시되어 있다. 저수지 관리주체는 관리자의 법적 책무를 가지고 있으며 「저수지법」에 따라 소관업무를 수행하여야 한다.

「저수지법」 제2조 제7항에 따르면, "안전관리"란 저수지·댐으로 인한 재해를 방지하고 공공의 안전을 위하여 저수지·댐 관리자가 「시특법」 및 「농어촌정비법」 등 관련 법령에 따라 행하는 안전점검, 정밀안전진단, 유지·보수·보강, 사용제한, 철거 등 모든 행위를 말한다.

1) 2014년 「농어촌정비법」이 개정되며 2종 저수지의 상한 기준이 50만톤 미만에서 30만톤 미만으로 낮추어졌다

저수지는 「농어촌정비법」에 따라 농업생산기반시설로 분류되며, 이에 따른 안전관리를 실시하여야 한다. "안전관리"란 저수지·댐으로 인한 재해를 방지하고 공공의 안전을 위하여 저수지·댐 관리자가 「농어촌정비법」, 「시특법」 및 「저수지법」 등 관련법령에 따라 행하는 안전점검, 정밀안전진단, 유지·보수·보강, 사용제한, 철거 등 모든 행위를 말한다.

(표 2-2) 저수지 안전점검 실시 주요내용(「농어촌정비법」 시행령)

구 분	대상시설	주요내용
정기점검	1, 2종	시설의 운전조작 및 정비, 장애물 제거 등을 위하여 분기별로 1회 이상 실시하되, 영농기 전에 반드시 실시
긴급점검	1, 2 종	정기점검 외 재해나 사고발생 등으로 시설물 안전에 이상 징후가 있을 때 실시
정밀점검	1종	준공 후 10년 이상 지난 농업생산기반시설에 대하여 5년에 1회이상 정기적으로 실시 정밀안전진단결과 안전상태가 양호한 시설과개수·보수하여 안전하다고 인정되는 시설은 다음 한차례만 정밀안전진단을 실시하지 아니할 수 있음
	2종	시설물 기능유지 및 안전상 재해위험이 있어 시설물 보수가 필요할 때 실시
정밀안전진단	1종	준공 후 10년 이상 지난 농업생산기반시설에 대하여 5년에 1회 이상 정기적으로 실시한다. 다만, 정밀안전진단 결과 안전상태가 양호한 시설과 개수·보수하여 안전하다고 인정되는 시설은 다음 한 차례의 정밀안전진단을 실시하지 않을 수 있음. 농업생산기반시설관리자가 안전점검 중 정기점검 또는 긴급점검을 실시한 결과, 시설의 기능유지 및 안전상 재해 위험이 있는 경우 실시할 수 있음.
	2종	농업생산기반시설관리자가 안전점검 중 정기점검 또는 긴급점검을 실시한 결과, 시설의 기능유지 및 안전상 재해 위험이 있는 경우 실시할 수 있음.

「농어촌정비법」 제2조(정의) 7호에 따르면, "안전점검(정기점검, 긴급점검, 정밀점검)"이란 경험과 기술을 갖춘 자가 육안이나 점검기구 등으로 농업생산기반시설의 결함 등을 조사하는 행위를 말한다. 그리고 「농어촌정비법」 제2조 8호에 따르면, "정밀안전진단"이란 안전점검을 한 결과

농업생산기반시설의 물리적·기능적 결함을 발견하고, 그에 대한 조치를 신속하고 적절하게 하기 위하여 시설의 구조적 안정성 및 결함의 원인 등을 조사, 측정 및 평가하여 보수, 보강 등의 방안을 제시하는 것을 말한다.

한국농어촌공사의 저수지 안전점검은 표 2-2와 같이 「농어촌정비법」 시행령에 따라 정기점검은 1종 및 2종 저수지를 대상으로 매분기별로 시행하여야 한다 (농림축산식품부, 2016b). 긴급점검은 시설물 안전에 이상 징후가 발견되었을 때에만 하는 안전점검 절차로 결과에 따라 보수보강을 추진할 수 있다.

저수지의 안전점검은 「농업생산기반시설 관리규정」 (농림축산식품부, 2014)에 의한 정기점검, 긴급점검, 정밀점검으로 구분하여 실시하도록 되어 있다. 제14조에 따르면 정기점검은 분기별 1회로 영농기전에 반드시 실시하며, 운영조작 및 정비, 장애물 제거 등이 있다. 긴급점검은 정기점검 외 재해나 사고 발생 등으로 시설물 안전에 이상 징후가 있을 때 실시한다. 정밀점검은 정기점검 또는 긴급점검을 실시한 결과, 시설의 기능 유지 및 안전상 재해 위험이 있어 시설물 보수가 필요한 때 실시되며, 필요시 1종·2종 시설은 정밀점검을 생략하고 정밀안전진단을 실시할 수 있다.

정밀점검은 정기점검 및 긴급점검에서 발견할 수 없는 결함상태를 발견하기 위하여 면밀한 육안검사와 필요한 측정 및 시험을 실시하며 1년에 1회 실시한다.

저수지·댐 관리주체는 「농업생산기반시설 관리규정」에 따라 안전점검을 실시한다. 세부점검내역은 토목, 기계, 전기로 나누어 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 상태평가를 실시한다. 평가 결과는 「시특법」 시행령 제11조의5(안전등급 기준)의 '별표 3의2'에 따라 5단계(A,B,C,D,E)의 안전등급으로 구분되어 평가등급이 부여된다(표 2-3).

(표 2-3) 시설물의 상태평가 등급

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C (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
D (미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E (불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

표 2-3은 시설물의 평가등급에 따른 조치 내용이며, 안전점검 결과가 안전등급이 D 또는 E 등급일 경우 정밀안전진단을 실시하여 개보수를 실시하게 된다.

## 2.2 국내외 저수지 붕괴 현황

### 2.2.1 해외 저수지 붕괴유형

세계적으로 총 15만개의 댐과 저수지가 사고로 인하여 위험이 발생한 것으로 확인되었으며 12세기 이후 약 2,000개의 댐과 저수지가 파괴 또는 부분 파괴되었으며 그 대부분은 소규모 댐과 저수지로 알려져 있다. 20세기에 이르러서는 세계적으로 약 200여개의 댐과 저수지 파괴가 일어나 8,000명 이상이 사망하였다(ODNR, 2013).

표 2-4는 흙댐의 파괴형태에 따라 분석한 통계자료를 정리한 것으로 분석자에 따라 상이한 측면이 있으나 흙댐의 주요 파괴원인은 월류와 파이핑으로 전체 파괴원인의 약 70~90%정도를 나타내고 있다.

(표 2-4) 댐과 저수지 파괴형태

파괴 형태	Middlebrooks (1953)	Takase (1967)	Charles & Boden (1985)	ICOLD (1995)
월류 (내부침식)	30%	28%	24%	44%
파이핑 (내부침식)	38%	44%	55%	47%
활동	15%	10%	14%	4%
기타	17%	18%	7%	5%

### 2.2.2 국내 저수지 붕괴유형

저수지는 다량의 농업용수를 저수하고 있는 특성 때문에 붕괴 발생시 하류에 위치하고 있는 가옥, 농경지 등에 큰 인명 및 재산피해를 유발시킨다. 과거 최악의 피해는 1961년 효기 저수지 붕괴로 사망 155명, 부상 65명, 가옥 185동 붕괴, 농경지 85만평 유실의 피해를 발생시킨 사례가 있다. 또한 1972년 구덕저수의 붕괴로 사망 75명 등의 인명피해가 발생하였다. 인명피해는 없었으나 1987년과 1998년 대홍수로 국내의 많은 소규모 댐과 저수지가 파괴된 사례가 있으며, 2002년 태풍 루사 때는 장현저수지, 동막저수지 등 290개소의 댐과 저수지에서 크고 작은 사고가 발생한 것으로 조사된 바 있다. 또한 2003년 태풍 매미로 인하여 댐과 저수지 파괴와 손상이 발생한 것으로 보고되고 있다(소방방재청, 2011)

(표 2-5) 2009년이전 국내 저수지의 피해 사례(주요한, 2009)

저수지명	위치	피해내용	발생년도
효기리저수지	전라북도 남원구	사망156명, 부상 65명	1961
구덕저수지	부산시 서구	사망 75명	1972
장속저수지	충청북도 보은군	농경지 1ha유실, 가옥1동 유실	1980
구상저수지	전라북도 남원시	이설도로 100m, 원호활동파괴	2002
수평저수지	전남도 구례군	제체 월류로 인한 활동	2002
탄금저수지	전라남도 담양군	여수토 및 제방 공극(0.8m)	2002



저수지명	위치	피해내용	발생년도
달산저수지	경상북도 영덕군	제체 유실	2002
동막저수지	강원도 강릉시	저수지 여수토, 방수로 전구간 유실 및 제당(230m) 활동 발생	2002
장현저수지	강원도 강릉시	제체(85m), 여수토(25m), 방수로 및 정수지(130m) 유실	2002
경포저수지	강원도 강릉시	제체 경사면 하단부(80m) 세굴 및 여수토, 방수로(90m) 완전 유실, 하류 농경지 유실 및 매몰	2002
오봉저수지	강원도 강릉시	방수로 옹벽 8m 유실(26억원)	2002
철통저수지	강원도 고성군	제체 유실, 농경지 유실	2002
거진저수지	강원도 거진군	여수토 유실, 농경지 유실	2002
모곡저수지	경상북도 영덕군	저수지 여수토, 방수로 급류부(100m) 유실	2002
달산저수지	경상북도 영덕군	월류 위기, 2개마을 대피	2002
죽전저수지	경상남도 합천군	월류 위기, 2개마을 대피	2002
상판저수지	경상북도 상주군	방수로 정수지 하류 하천 연결부 옹벽 18m 파손	2002
가화저수지	전라남도 고흥군	월류 위기	2002
효곡저수지	전라남도 구례군	월류 위기	2002
원부저수지	경기도 여주군	제체 일부 유실	2003
송월저수지	전라북도 정읍시	제체 하단부(길이 10m, 폭 5m, 높이 4m) 유실	2003
미천저수지	경상북도 의성군	집중호우로 붕괴 발생	2003
수동저수지	경상북도 영덕군	방수로 일부 전도, 제체 일부 유실	2003
가평저수지	전라북도 고창군	방수로 20m 전도, 방수로 접속도로(콘크리트 포장)가 유실, 농경지가 매몰	2004
운정저수지	광주광역시 북구	제체 붕괴(L=30m, H=7m), 농경지 매몰	2004
가목저수지	전라북도 완주군	여수로, 방수로 유실(L=15, B=7)	2005
원산1저수지	전라남도 영암군	제당활동(B=2m, H=1.5m, L=30m)	2005
신덕저수지	전라남도 해남군	농경지 유실	2005
장천저수지	전라남도 보성군	농경지 침수	2005
영천저수지	전라남도 보성군	제체 붕괴, 반파	2005
석교저수지	전라북도 익산시	산사태, 매몰	2005
덕암저수지	경상남도 함양군	제체 붕괴	2005
송호저수지	강원도 원주시	제체붕괴, 가옥 2동 침수	2006
삼합저수지	경기도 여주군	제체가 포화되어 활동 발생(L=10m, B=5m)	2006
오촌저수지	경기도 안성시	방수로와 토공이 붕괴됨	2006
철동저수지	전라남도 보성군	제체 하단부 일부 유실	2006

저수지명	위치	피해내용	발생년도
기저저수지	경상북도 의성군	제체 활동, 제체 붕괴 위기	2006
담곡저수지	경상북도 포항시	제체 중간 부분(L=60m) 붕괴	2006
미력저수지	전라남도 보성군	제체 붕괴(25m)	2007
만봉저수지	전라남도 나주시	저수지 비상통관이 파손, 인접 농경지 침수	2008
금곡저수지	전라북도 익산시	제체 붕괴, 농경지 유실	2009
교동저수지	전라북도 고창군	제체 붕괴, 농경지 유실	2009
회자저수지	전라남도 나주시	여수토 축수로 바닥 세굴, 물넘이 부위 전도(15m)	2009

(표 2-6) 2009년이후 국내 저수지의 피해 사례(오병현, 2015)

저수지명	위치	피해내용	발생년도
양곡저수지	괴산	제방유실로 주택, 농경지 침수	2010
명곡저수지	양산	제방유실로 주택, 농경지 침수	2010
척곡저수지	정읍	붕괴에 따른 200억원 피해	2011
두야저수지	태안	제당 범람 및 붕괴	2012
어은저수지	남원	제당 범람 및 붕괴	2012
죽림저수지	고창	제당사면 및 여수토 유실	2012
관촌저수지	해남	제당 범람 및 붕괴	2012
옥천저수지	여주	제방 붕괴로 농경지와 주택 침수	2013
대관저수지	이천	제방 붕괴로 농경지와 주택 침수	2013
산대저수지	경주	제체와 복통의 접촉면에 재료 불균질로 인한 누수 경로 형성	2013
조산저수지	고창	방수로 외벽 붕괴 주민 2천명 대피	2013
내덕저수지	기장	집중호우시 여수로와 제체 접촉면으로 월류 및 제체 유실	2014
괴연저수지	영천	집중호우로 인한 배수로와 제체 접촉면 유로 형성 및 제체 유실	2014
구천저수지	청송	제방 붕괴	2014
화본저수지	군위	사통부근 누수에 따른 농경지 침수	2014

소규모 노후저수지의 붕괴사고는 기상변화와 이상강우에 따른 배수능력 부족, 노후시설물의 적절한 관리 미흡, 누수부 및 취약대 보수보강 대책, 계측시설의 미흡 등의 원인으로 피해가 발생하였다(오병현,2015).

(표 2-7) 농업생산기반시설 노후화 정도(2015 농업생산기반정비사업 통계연보)

구 분	계		50 년 이상		30~50 년미만		30 년미만	
			('63 년 이전 )		('64~'83)		('84 년 이후 )	
	시설수	%	시설수	%	시설수	%	시설수	%
계	71,746	100	21,355	298.8	22,511	31.4	27,880	38.9
저수지	17,401	100	12,591	72.4	4,121	23.7	689	4.0
양·배수장	7,890	100	389	4.9	3,077	39.0	4,424	56.1
취입보	18,098	100	6,722	37.1	8,808	48.7	2,568	14.2
집수암거	2,667	100	168	6.3	2,281	85.5	218	8.2
관정	24,083	100	27	0.1	4,147	17.2	19,909	82.7

우리나라의 농업생산기반시설은 전국적으로 71,746시설이 건설 운영되고 있으며 이중 저수지는 전체 17,401개 시설이 운영되고 준공 50년 이상된 저수지는 12,591(72.4%)개 시설에 이를 정도로 노후화 정도가 심하다(표 2-7)(한국농어촌공사, 2015).

우리나라에서 여름철에 발생하는 태풍 및 집중호우는 기후변화 특성으로 극한 강우강도 현상을 보이며 과거 저수지 건설에 사용된 설계 강우강도 보다 큰 강우강도 값을 나타내 저수지 붕괴의 직접적인 원인(저수지 붕괴 19건/22건)으로 나타난다. 또한, 전체 저수지 중 준공 50년 이상된 노후화 저수지에서 일부는 제체 심벽의 이상으로 누수에 의한 저수지 붕괴도 발생하고 있다. 최근 우리나라의 경제가 발전하면서 선진국형 산업체제로 전환되어 1차 산업 비중이 축소됨에 따라 농업용 저수지에 대한 관심이 저조하여 노후저수지의 보수·보강을 위한 재정보화가 어려워지고 있다. 이에 따라, 저수지에 대한 안전 및 유지관리가 원활히 이루어지지 않고 있으며, 특히, 재정 확보 및 투자가 어려운 지방자치단체에서 관리하는 노후 저수지에서 피해 사례가 다수 발생하고 있다.

그림 2-1은 2013년에 발생한 경주시 산대저수지 피해사례를 나타내며 산대저수지는 제방 높이 12.2m, 길이 210m의 필댐형식으로 축조되었으나 저수지 노후화로 댐체에 파이핑 현상이 발생하여 제당이 붕괴된 사례이

다. 그림 2-1은 2014년 경북 영천군 괴연저수지 붕괴 사례이며 집중호우에 의한 월류로 제방이 유실되어 피해가 발생한 사례이다.



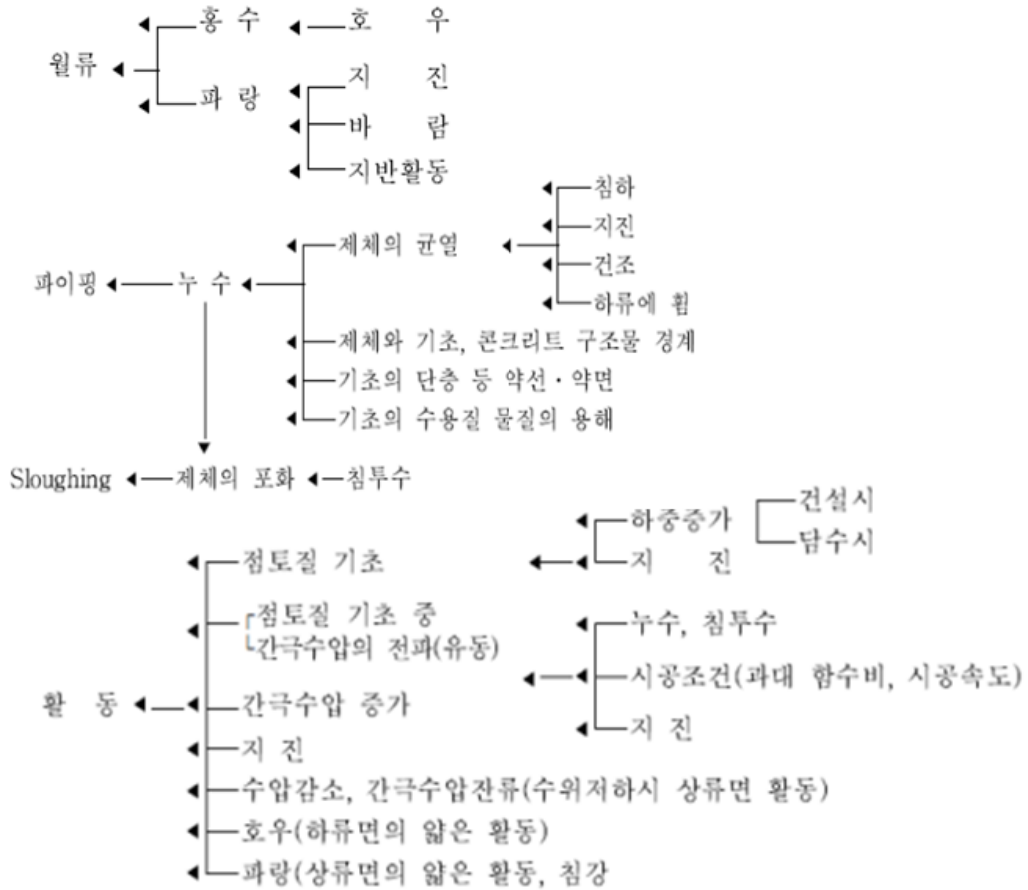
<그림 2-1> 경주시 안강 산대저수지 (2013.4)



<그림 2-2> 경북 영천군 괴연저수지 (2014.8)

월류의 경우 과도한 홍수 또는 홍수배제 시설의 용량 부족, 홍수 시 방류설비의 고장 또는 운용 문제, 지진 등을 직접적인 원인으로 댐마루 침하

및 부등침하, 제체와 구조물의 거동 차이에 의한 침하, 활동에 의한 단면 감소 등을 간접적인 원인으로 분류하였다(이종근 외, 2013).



<그림 2-3> 월류, 파이핑, 활동 발생 흐름도(이종근 외, 2013)

파이핑은 제체 및 기초, 제체와 구조물의 접속부 등에서 발생하는 누수 등을 직접적인 원인으로 침하 및 부등침하 등에 의한 균열, 단면감소를 유발하는 활동 및 침식 등을 간접적인 요인으로 분류하였다(이종근외, 2013).

## 2.3 구조물 건전성 모니터링

### 2.3.1 구조물 건전성 모니터링

구조물 건전성 모니터링은 구조물에 설치된 센서로부터 구조물의 응답을 수집하고 분석하여 구조물의 정확한 상태를 진단하는 기술을 가리키며, 항공 및 우주산업에서 시작되어 많은 분야로 확대 도입되었다.

시설물의 건전성을 평가하는 가장 주요한 목적은 장치 구조물성능의 이상 현상 징후를 사전에 파악하는 데 있다. 구조물 건전성 모니터링을 통하여 이상 징후를 사전에 발견하여 이에 대한 안전대책을 수립하고 보수보강을 과학적이고 합리적인 정보를 가지고 실시하는 것이 가장 중요한 모니터링의 목적이다.

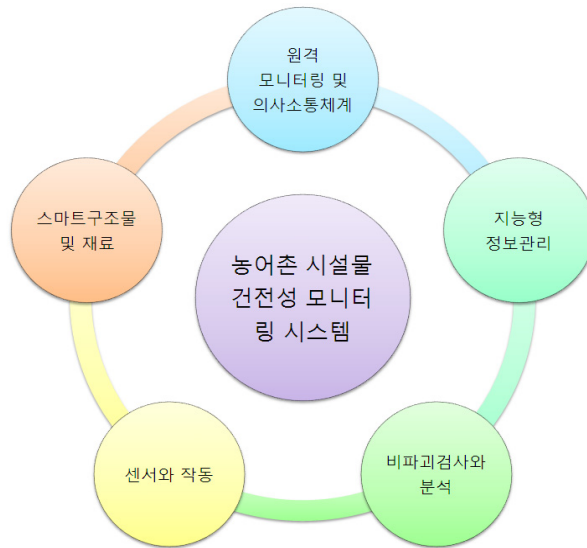
### 2.3.2 구조물 건전성 모니터링의 도입

저수지(댐)과 같은 사회기반시설물에는 구조물(또는 시설물) 건전성 모니터링 방법론을 적용하면 실시간 통합재난관리가 가능하다. 이러한 장점을 저수지 안전관리체계에 도입하여 재난발생 이전에 위험요소를 파악하고 정비함으로써 피해를 최소화하고 붕괴시에는 대민 예·경보하여 인명적·재산적 피해를 최소화 할 수 있는 시스템의 도입이 필요하다.

구조물의 반응을 모니터링하기 위한 센서들의 이용은 새로운 것이 아니지만, 진단과 검증시험 모두를 포함하는 현장계측에 의한 실시간 진단은 아직도 미흡한 실정이다. 특히 저수지 붕괴예·경보 시스템에 있어서 그 결과를 시민들에게 예·경보할 수 있도록 보다 신속하게 체계적인 의사결정 기능도 포함되어야 한다. 이에 따라 시설물에 설치된 센서 개별 및 복합 위험관리 기준 또한 수립되어야 한다.

구조물 건전성 모니터링 시스템의 도입으로 인한 직접적인 이익을 세 가

지로 정리해보면, 첫째, 서비스를 제공하는 있는 상태에서 실시간(real-time)으로 구조물들을 모니터링하고 평가할 수 있다. 둘째, 정지시간을 최소화할 수 있다. 셋째, 안전과 신뢰성을 개선하게 된다. 사회기반시설물 고유 서비스를 하면서 정지시간을 줄이면서 신뢰성을 개선하는 것을 통하여 유지보수 비용을 줄일 수 있다. 결국 저수지 제방과 같은 시설물들을 적은 비용으로 보다 안전하게 관리함으로써 효율을 더욱 높일 수 있다.



〈그림 2-4〉 수리시설물 건전성모니터링 시스템의 기본구성요소

건전성 모니터링 정보는 관리기관들이 자신들의 구조물들을 수리하고, 교체하거나 리모델링하는 방향으로 자원들을 할수 있게 한다. 이 정보는 또한 초기 설치비용과 비교되어 구조물 시스템의 생애비용(Life-cycle costs)을 측정하도록 도울 수 있다. 구조물 건전성 모니터링 기술의 본질은 구조물들의 지속적인 모니터링, 검사와 피해평가를 위한 자동화시스템을 개발하는 것이다. 구조물 조건들의 결과들은 해당지역의 네트워크를 통하여 원격 모니터링 센서로 자동적으로 보고되어야 한다. 시스템의 개발은 구조학, 재료학, 피해평가, 센서, 데이터취득과 지능형 처리, 컴퓨터와 커뮤니케이션 등 많은 학문들의 주요내용을 포함한다. 사회기반시설물

의 안전성 확보를 위한 모니터링 방법론의 다섯 가지 기본요소를 그림 2-4로 나타내었다(한국농어촌공사, 2014b).

저수지의 붕괴위험을 사전에 파악하는 일과 시민을 위한 예·경보 체계를 구축하는 것은 가장 기본적이면서도 가장 핵심적인 한국농어촌공사의 재난관리 책임이자 의무이다. 따라서 저수지 재난건전성 모니터링 방법으로 최첨단 센서를 활용하여 재난정보를 실시간으로 수집 분석하여, 의사결정 시스템을 이용, 대응조치 등을 신속하게 공유하고 동시 대응하는 최첨단 방재시스템을 갖춘 저수지가 바로 저수지 붕괴예·경보 시스템이 될 수 있다.

## 2.4 저수지(댐) 계측 관련규정

저수지 붕괴예·경보 시스템의 구축을 위한 재난건전성 모니터링의 수립은 다음과 같은 관련규정에서 규정하고 있다.

### 2.4.1 저수지·댐의 안전관리 및 재해예방에 관한 법률

「저수지·댐의 안전관리 및 재해예방에 관한 법률」(국민안전처, 2016a) 제3조3항에 따르면 저수지·댐 관리자는 위험 저수지·댐으로 지정된 저수지·댐에 대하여는 각종 계측시설 또는 관측시설을 설치하고 계측 및 관측을 하여 기록·관리하여야 한다.

### 2.4.2 국가재난관리기준

재난건전성 모니터링은 국가재난관리기준에서 다루고 있고 그 내용은 다음과 같다. 「재난 및 안전관리 기본법」(국민안전처, 2016b)에 따른 「국가재난관리기준」 제15조 재난건전성 모니터링의 내용에 따라 재난관리책임기관은 해당지역에 존재하는 위험요소들을 수집·분석하여 재난 발생 가



능성을 사전에 파악한 후 의사결정을 지원하기 위하여 다음 각 호의 내용을 검토하여 재난건전성 모니터링 계획을 수립하여야 한다.

- 가. 해당기관의 관리시설 및 구조물 등의 기능 이상을 관찰할 수 있는 다양한 센서 등 시스템을 갖추어 재난 발생시간 및 위치 등의 정보를 신속하게 수집할 수 있도록 할 것
- 나. 수집된 정보의 합리적 진단, 분석 및 예측이 가능 할 것
- 다. 분석결과를 계량화하여 위험등급에 따라 자동으로 예·경보를 발령할 수 있도록 할 것
- 라. 예측된 재난 가능성에 대하여 계획을 수립하고 피해 최소화 방안을 강구할 것

## 2.5 붕괴예·경보 시스템 수립 방안

농업용 수리시설물로 지정된 저수지는 17,401개이며 이중 「농어촌정비법」(농림축산식품부, 2016a)에 따라 분류된 2종 저수지(저수량 30만톤 이하)는 16,203개이다. 이중 붕괴가 실제로 발생할 확률이 가장 높은 저수지는 저수량이 20만톤에서 30만톤 사이의 저수지로 884개이다.

「저수지·댐의 안전관리 및 재해예방에 관한 법률」(국민안전처, 2016a)과 국가재난관리기준에 따라서 실시하는 재난건전성 모니터링은 재해위험 저수지를 대상으로 하고 있지만 실제로 붕괴되고 있는 저수지는 농어촌정비법에 따라 안전점검위주로 진행되는 2종 저수지 중에서도 규모가 큰 20만에서 30만톤 사이의 저수지에서 붕괴가 발생 하였고, 또한 안전등급이 높다고 안전한 저수지가 아니라는 것도 보여주고 있다. 이러한 현실에서 붕괴예경보를 위한 시스템의 구성은 이러한 큰규모의 2종 저수지를 대상으로 인명 및 재산적 피해의 최소화를 위하여 구축되어야 한다.



## 제 3 장

# 붕괴예·경보 관련 시스템 조사 및 분석





## 제3장 붕괴예·경보 관련 시스템 조사 및 분석

본 장에서는 기존 모니터링 및 예·경보 시스템의 분석을 통하여 붕괴예·경보 시스템에서 고려되어야 할 시스템의 활용성, 유지관리 개선방향, 계측센서의 개선방향을 도출하였다.

### 3.1 USN 저수지 붕괴위험 예·경보 시스템

#### 3.1.1 사업개요

행정자치부의 사물인터넷(IoT) 등 첨단 IT기술을 행정업무에 적용한 U-서비스 지원사업에 2014년도에 한국농어촌공사 농어촌연구원이 선정되어 수행하였고 2015년 2월에 하드웨어 및 소프트웨어의 설치가 완료 되었고 2016년에 종료된 시범사업이다.



〈그림 3-1〉 USN 저수지 붕괴위험 예·경보 시스템 구축 시범지구

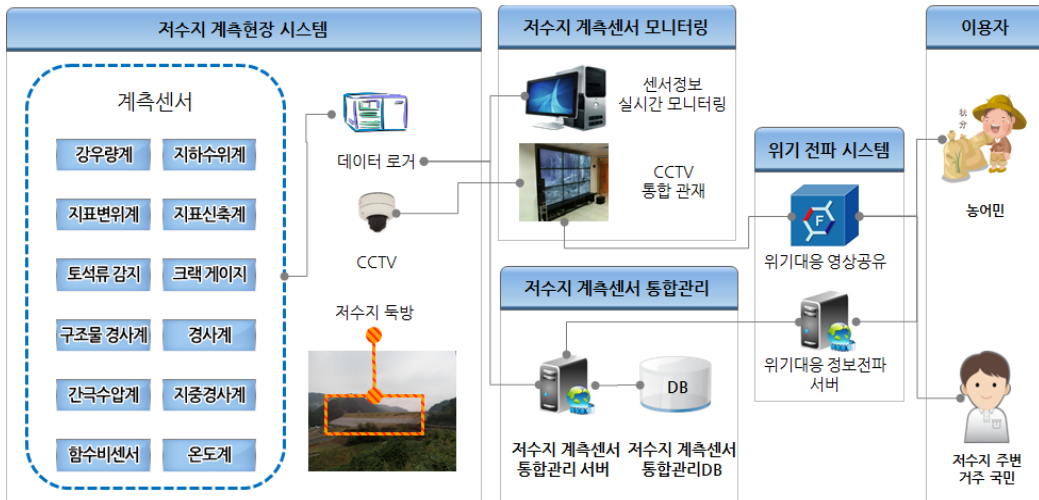
그림 3-1과 같이 설치 대상 저수지는 농어촌정비법에 따른 2종 저수지로 30만톤미만의 저수량을 가지며 「시특법」(국토교통부, 2014) 및 「농어촌

정비법」(농림축산식품부, 2016a)에 따라 안전관리가 이루어지는 저수지로 안전등급 D 저수지이며, 시설의 노후화 및 기후변화로 인한 수문량의 증가에 따른 붕괴위험이 높고, 하류부의 개발로 인하여 거주인원이 증가하여 붕괴 시 대규모의 인명피해와 재산피해가 직결되는 지구를 선정하였다.

### 3.1.2 수립목적

ICT 기반 현장계측 시스템 구축으로 붕괴 사전 예측을 기반으로 붕괴위험 대민 서비스를 통한 인명 및 재산피해를 지양하고, 유지관리 사각 지구인 중소규모(2종지) 저수지 대상 실질적 붕괴 피해 최소화 유도를 목표로 한다.

### 3.1.3 서비스 시스템 구성도



〈그림 3-2〉 USN 저수지 붕괴위험 예·경보 시스템 구성도

그림 3-2는 저수지에 설치된 센서의 계측데이터를 전송받아 실시간 모니터링 및 위험분석 및 현장상태 시각화 (CCTV, 비주얼센서)를 통하여 저수지의 위험을 실시간(3분간격)으로 관제 및 인명·재산피해 최소화를 위한 정보발령과 외부기관의 연계가 가능한 시스템으로 구성되었다.

기존의 단순계측 모니터링에서 진보하여 이를 활용한 실시간 원격 재해관리 가능 및 원시데이터를 활용한 붕괴위험 예·경보 정확도 향상이 가능해진 시스템 구성입니다.

## 3.2 재해예방계측사업

### 3.2.1 사업개요

자연재해의 급증 및 수리시설물의 노후화에 따른 사전재해예방의 필요성에 따라 수리시설 정밀안전진단의 일환으로 2003년부터 한국농어촌공사에서 시행하고 있다.

**(표 3-1) 재해예방계측사업 설치대상**

구 분		계 획	완 료	설 치 기 준
침투수계측 (424개소)	저수지	349	173	1종, 제고 15m이상, 저수량 100만톤 이상
	방조제	75	47	포용조수량500만톤 이상
지진계측 (40개소)	내진특등급	16	14	총저수량2,000만톤 이상
	내진1등급	24	-	총저수량500만톤 이상, 제고 15m이상

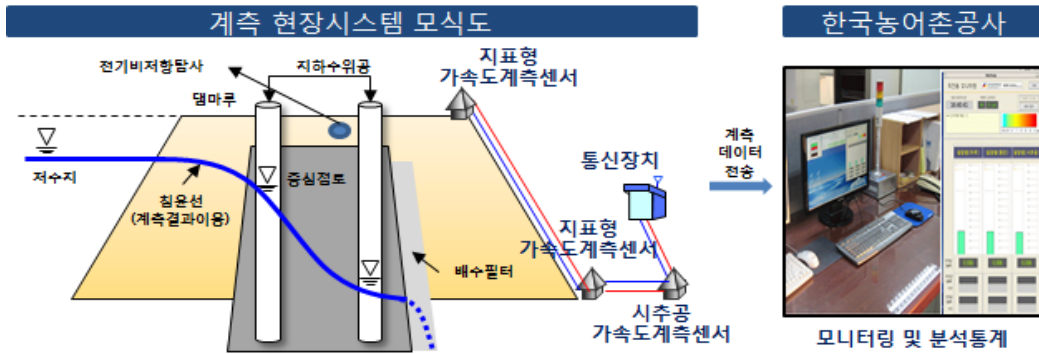
표 3-1과 같이 2016년 까지 173개 저수지에 저기비저항 측정, 지하수위계, 지진가속도계가 설치되어 운영중에 있고 이중 약10%가 자동측정(10분 간격)이며 나머지는 수동측정(6개월 간격)으로 측정하여 모니터링하고 있다.

### 3.2.2 수립목적

농업기반 수리시설물 중 주요시설물(저수지, 방조제)에 침투수 계측기 및 지진가속도 계측기를 설치하여 장기계측을 실시 물리탐사 기법과 연계하여 누수 및 체체변위 등 위험요소를 조기에 발견함으로써 재해를 사전에

예방하고, 시설물의 안전성 확보와 효율적 유지·관리 도모를 목적으로 한다.

### 3.2.3 서비스 시스템 구성도



<그림 3-3> 재해예방계측사업 시스템 구성도

그림 3-3은 저수지에 설치된 센서(전기비저항탐사, 지하수위계, 지진가속도계)의 계측데이터를 전송받아 실시간 장기계측 모니터링을 실시하여 계측분석 결과물(보고서)을 농림축산식품부 및 관리 지사에 제공하는 시스템 구성입니다.

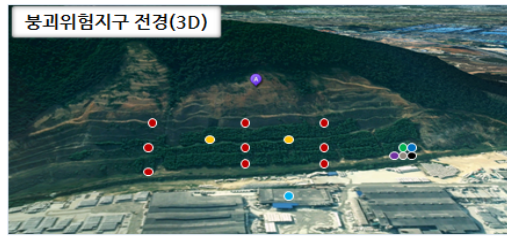
계측시스템 설치지구에 대한 정밀안전진단시 계측자료의 제공으로 진단비용 절감 및 장기계측으로 인한 계측자료의 신뢰도 향상이 가능하며 지진계측의 경우 계측기준에 따른 경보 및 대응체계 가동이 가능하다.

## 3.3 급경사지 붕괴위험 예·경보 시스템

### 3.3.1 사업개요

행정자치부의 사물인터넷(IoT) 등 첨단 IT기술을 행정업무에 적용한 U-서비스 지원사업에 2012년도에 소방방재청(현 국민안전처)가 선정되어 수행하였다. 2012년부터 2014년의 3차년도까지 총6개의 급경사지 위험지구를 관리하는 지자체에 시스템이 설치되었고 2016년에 4차 사업을 맞이하고 있다.





급경사지 - 붕괴지구				
범례	품명	제안 요청서	변경 수량	설치 완료
●	지표변위계	2	9	○
●	간극수압계	1	-	·
●	함수비계	1	2	○
●	지중경사계	1	-	-
●	크랙게이지	-	-	-
●	강우량계	1	1	○
●	CCTV	1	1	○
●	자동화장비	1	1	○
●	경보방송시설	-	-	·
●	써지프로텍터	1	1	○
●	보호함체	1	1	○
●	계측기기 보호펜스	1	1	○
합계		11	17	

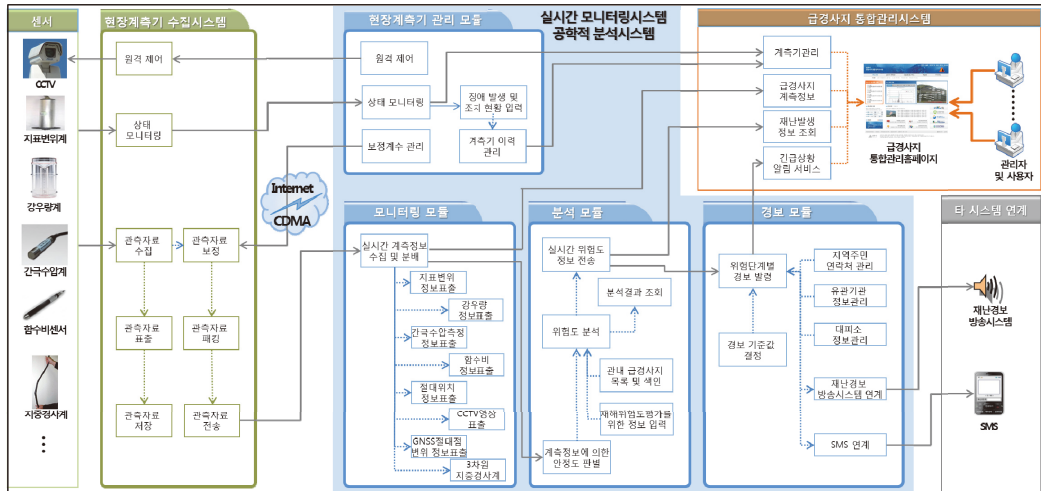
〈그림 3-4〉 전북 완주지구 급경사지 계측센서 구축

설치 대상 급경사지는 지자체가의 신청한 붕괴위험지구를 대상으로 현장 계측시스템의 설치 및 상황관제 시스템을 연계하여 구축한다. 1차년도에 1지구, 2차년도에 2지구, 3차년도에 3지구(부산 영도지구, 경기 가평지구, 전북 완주지구)에 구축하였다. 그림 2-4는 전북 완주지구에 2014년도에 선정되에 2015년도에 구축된 급경사지 위험저구에 설치된 계측센서를 보여준다.

### 3.3.2 수립목적

급경사지 붕괴위험 정기점검, 긴급점검, 수시점검을 직접 현장 방문이 아닌 모니터링을 통한 대비·대응 및 인력투입 예산 절감 효과를 목적으로 급경사지 위험저구에 설치된 계측센서기반의 실시간 현장 모니터링을 통한 u-IT기반 붕괴위험 전조현상 감지 및 상황전파 시스템으로 붕괴 전조 정보를 실시간 파악하여 대민 서비스를 통한 주민대피 등 사전대비로 인명피해 제로화 및 재산피해 최소화를 목적으로 한다.

### 3.3.3 서비스 시스템 구성도



〈그림 3-5〉 급경사지 붕괴위험 예·경보 시스템 구성도

그림 3-5는 급경사지 붕괴위험 예·경보 시스템의 구성도로 계측기로부터 발생하는 데이터를 자동으로 분석하여 종합적으로 경보발령단계 표출 및 의사 결정 프로세스를 통하여 재난경보방송시스템(현장에 설치되어 있는 경우)과 SMS 이용 위험상황에 대한 대민 경보 서비스를 가능하게 하는 시스템이다. 특정 센서의 값으로만 붕괴 위험을 판단하기 어렵기 때문에 복합적인 위험도 적용, 이를 기반으로 위험도 판단하며 위험도는 지속적으로 보완하는 체계로 구성되어 있다.

## 3.4 수변구조물 통합안전관리시스템

### 3.4.1 사업개요

국토교통과학기술진흥원의 건설기술사업 분야의 SOC시설의 안전확보를 위한 과제로서 “재난시나리오기반 수변구조물 통합안전관리 연구”로 2013년부터 2018년까지 (5년간) 한국수자원공사 주관으로 수행하는 국가R&D이다.

연구의 대상은 3종류의 재해(태풍, 호우, 지진)으로 교량, 댐 & 보, 하천제방, 옹벽 및 절토사면의 6종류의 시설물을 대상으로 한다.

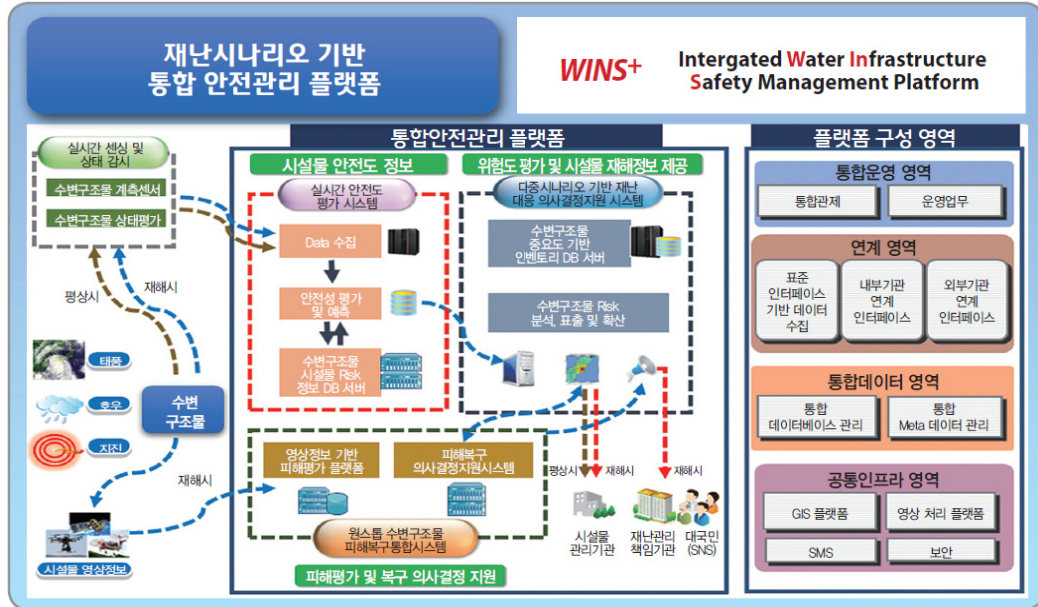
※ 수변구조물 : 하천을 포함한 수변지역에 분포하는 SOC 시설물

### 3.4.2 수립목적

분산정보 공유형 피해복구 의사결정 지원 시스템 개발을 목표로 피해유형별 피해복구 시나리오 구축을 통한 태풍, 호우 및 지진 등의 재난에 대하여 수변지역의 주요 SOC시설물(댐(보), 교량, 하천제방, 옹벽 및 절토사면 등)의 안전도 정보를 실시간으로 파악하여 피해현황 분석 및 복구의사결정 등이 일괄적으로 이루어지는 통합안전관리기술의 개발을 목적으로 한다.

### 3.4.3 서비스 시스템 구성도

그림 3-6는 재난시나리오 기반 통합안전관리 플랫폼으로 수변구조물 에 설치된 센서로부터 모니터링되는 실시간 센싱 및 상태감시 데이터가 통합 안전관리 플랫폼의 시설물 안전도 정보와 위험도 평가 및 시설물 재해정보의 제공을 기반으로 원스톱 수변구조물 피해복구통합시스템에 따라 피해평가 및 복구 의사결정을 지원하는 시스템으로 구성되어 있다.



〈그림 3-6〉 재난시나리오 기반 통합 안전관리 플랫폼

### 3.5 유사 시스템의 분석 결과

#### 3.5.1 시스템 활용적 측면

저수지 붕괴예·경보 시스템 구축 목적에 맞는 활용을 위해서는 시범서비스 지역외의 확대(실증화 연구)를 통하여 다양한 지구의 축적된 데이터를 기반으로 시스템의 활용성을 극대화 할 수 있다. 유사 시스템에서 보이는 일반적인 문제로 구축되어 운영되는 시스템이 지구마다 시스템이 개별적으로 표준 없이 구축되어 개별적 운영은 가능하나 통합 시에는 많은 어려움을 보이고 있다. 구축된 시스템들은 붕괴 시 예경·보를 위한 관리기준이 부재하고 있어 이에 따른 대처가 어려운 현실이다.

#### 3.5.2 시스템 유지관리 측면

기 구축된 지구에서 개·보수 공사로 인하여 공사기간 동안 센서 철거 후 재설치 또는 네트워크 재 설치에 따른 유지관리 비용 상승을 유발하는 요

인으로 작용한다. 또한 유선연결 시 통신선 절단 사고 및 번개로 인한 통신 장애등으로 인한 서비스 중단등이 발생할수 있어 이에 대한 대책으로 지구내의 근거리 및 원거리 무선통신의 적용으로 피해 최소화를 위한 접근이 필요할 것으로 보인다.

### 3.5.3 계측센서 개선 측면

설치된 개별 센서중에 시범 설치된 온도센서는 측정 전 일정시간 동안 예열을 해야 측정이 가능하여 상시 운영이 불가능하며 이에 따른 예열기능 및 독자적인 데이터로거의 설치가 필요하여 설치비용이 과다 소요됨에 따라 누수측정에 위한 방법으로 누수량계를 사용하여 접근하는 것이 더 효율적으로 판단된다.



## 제 4 장

# 붕괴예경보 시스템 표준안







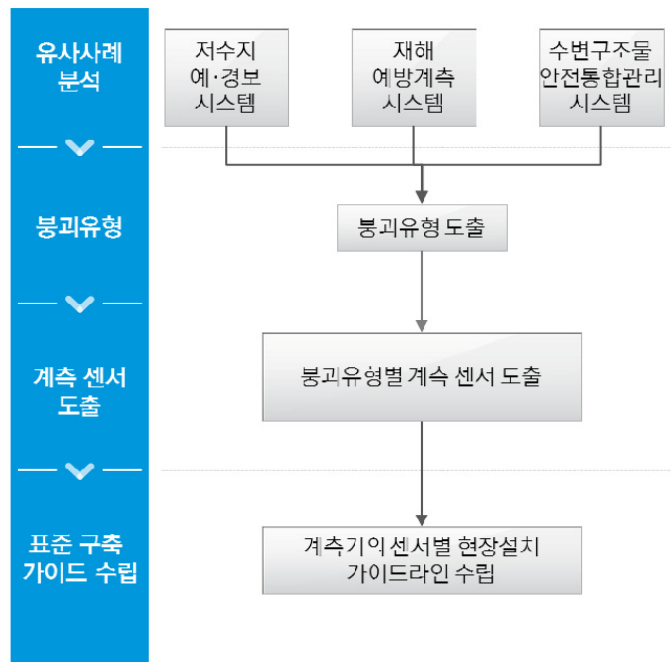
## 제4장 붕괴예·경보 시스템 표준안

### 4.1 센서 설치 가이드라인

#### 4.1.1 수립절차 및 목표

##### 가. 수립 절차

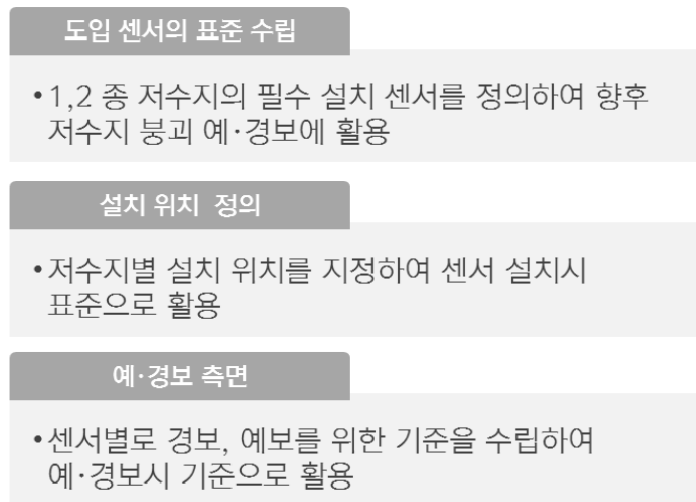
본 연구에서는 저수지에 붕괴예·경보를 위하여 설치된 계측기들의 설치 개수 및 설치 위치등에 대한 적정성 여부서버를 도출하기 위하여 시범구축하여 운영중인 USN 저수지 예·경보시스템과 유사 시스템인 재해 예방계측 시스템, 수변구조물 안전통합관리 시스템을 분석하여 장단점을 도출하고 개선안을 마련한다.



<그림 4-1> 센서 설치 가이드라인 수립 절차

## 나. 수립 목표

저수지 최적계측밀도 적용 설치가이드라인 수립방안은 도입센서의 표준 수립, 설치 위치 정의, 예·경보의 3가지 측면에서 각기 목표를 설정하고 목표에 달성을 위한 표준(안)을 제시하도록 한다.



<그림 4-2> 센서 설치 가이드라인 수립 목표

### 4.1.2 유사사례 분석

#### 가. USN 저수지 붕괴예·경보 시스템

##### 1) 설치현황 및 시사점

농어촌연구원의 시범사업을 통해 구축되어 운영중인 USN 저수지 예·경보 시스템의 계측시 설치 현황을 분석하고 시사점을 도출하였다. USN 저수지 예·경보시스템의 경우는 CCTV를 제외한 총 8개의 계측기를 선정하여 2중 저수지 3개지구(매주저수지, 어은저수지, 농촌저수지)에 붕괴 예·경보 시스템을 위하여 계측기별 설치 위치를 미국육군공병대(United States Army Corps of Engineers, UASCE)의 붕괴 시나리오를 기준으로

적정 위치에 설치 모니터링을 진행하고 있다. 제체의 누수 상태를 확인하기 위하여 시범적으로 어은저수지에 온도센서를 설치하여 운영중이고, 비주얼센서는 사통과 여수로를 향하여 시범적으로 설치하여 해당 센서의 효용성에 대한 검증 작업을 진행 중이다 (표 4-1).

(표 4-1) USN 저수지 예·경보 시스템 계측기 설치 현황

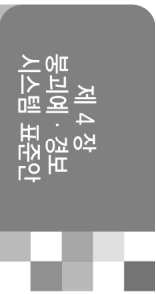
순번	품명	어은저수지	매주저수지	농촌저수지
1	수위계	1	1	1
2	지하수위계	3	2	-
3	지표변위계	1	-	1
4	강우량계	1	1	1
5	누수계	1	1	1
6	CCTV	1	1	1
7	온도센서	1	-	-
8	비주얼센서	2	2	1
계		11	8	6

USN 저수지 예·경보 시스템은 센서별 계측값에 따른 경보기준을 설정하고 있다. 그렇지만 경보 기준 자체가 계측값의 편차를 기준으로 설정되어 있어 변위에 따른 경보에 초점이 맞춰져 있으며, 예보를 위한 센서별 기준은 아직 수립되어 있지 않은 상태이다.

(표 4-2) USN 저수지 예·경보 시스템 설치 센서의 시사점

구분	시사점
1	즉시 경보를 위한 계측기와, 장기간 변화 감지를 위한 계측기의 구분에 따른 운영 방안 수립 필요
2	기후 변화에 따른 센서 또는 DataLogger의 고장으로 인해 유지관리 비용 상승
3	시범 설치한 온도센서는 히팅의 선 작업을 해야만 유효한 측정이 가능하여 상시 운영에 부적합

시범 설치된 온도 센서의 경우는 제체 하부에 축선으로 설치되어 누수의 위치를 파악하는 데는 충분하나 누수량의 측정은 불가능하며, 정확도를



높이기 위한 예열단계가 필요하고 이에 따른 비용대비 효율성에서 부적정한 것으로 판단이 된다(표 4-2). 또한 경보가 가능한 계측기와 장기간의 변화 감지를 위한 계측기의 구분에 따른 운영방안이 부재하고, 온도의 변화에 따른 데이터로거 및 센서의 고장으로 인한 유지관리 비용의 상승이 시사점으로 도출되었다.

## 2) 저수지별 센서 설치위치

USN 저수지 예·경보 시스템에서의 센서 설치 위치는 1) 지하수계의 경우 누수로 인한 파이핑이 일어날 확률이 가장 높은 사통-복통 단면에 설치하여 침윤선의 변화를 계측하도록 설치, 2) 지표변위계의 경우는 여수로와 제체의 접합부에 설치하여 월류에 의한 붕괴전조를 계측 하도록 설치, 3) 누수량계는 저수지에 따른 누수발견지점 또는 제체 하단부에 유공관으로 누수를 유도하여 일정구간에 설치, 기타의 계측기는 대상 저수지에 따라 설치 위치를 시설관리자와 협의하여 그림 4-3, 4-4, 4-5와 같이 설치하였다.

### ㉠ 매주저수지



<그림 4-3> 매주 저수지 계측기 설치 위치

㉞ 어은저수지



<그림 4-4> 어은 저수지 계측기 설치 위치(한국정보화진흥원 2014b)

㉟ 농촌저수지



<그림 4-5> 농촌 저수지 계측기 설치 위치(한국정보화진흥원 2014b)

제 4 장  
본기에 · 경보  
시스템 표준안

3) 센서 종류별 설치 방법

㉠ 강수량계 설치 방법

(표 4-3) 강수량계 제원 및 설치 방법 (한국정보화진흥원, 2014b)

종 류	제 원
강수량계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 센서형식 : Rain gage</li> <li>• Collecting Area : 200m Square cm</li> <li>• Resolution : 0.5mm</li> </ul>
측정방법 및 자료정리	<p>㉠ 현장의 특성과 주어진 상황에 따라서 설치방법은 현장마다 차이가 있을 수 있으나 일반적으로 아래와 같은 방법으로 설치를 한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ㄱ. 말뚝이나 앵커를 이용하여 지지대를 설치한다.</li> <li>ㄴ. 강수량 센서와 메인 시스템을 설치한다.</li> <li>ㄷ. 메인 통신 시스템에 케이블을 연결한다.</li> <li>ㄹ. 시스템의 이상 유무를 확인하여 작업을 마무리한다</li> </ul>



<그림 4-6> 강수량계 계측센서 설치

㉔ 지하수위계 설치 방법

(표 4-4) 지하수위계 제원 및 설치 방법 (한국정보화진흥원 2014b)

종 류	제 원
지하수위계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 센서형식 : 전기저항식</li> <li>• 측정범위: 150m이내</li> <li>• 분해능: 0.004% F.S 이하</li> <li>• 정확도: ±0.05% F.S 이하</li> </ul>
설치방법	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 보링 내경 60mm 이상의 설치공을 계획심도까지 천공한다.</li> <li>② 수압계에 모래주머니를 씌우고, Casing을 커플링으로 연결한다.</li> <li>③ 설계심도와 일치하도록 삽입시키고 케이블 보호관을 설치하여 케이블의 파손을 방지한다.</li> </ol>
측정방법 및 자료정리	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 자동화 시스템이 구축되어 계측관리실에서 일정한 시간간격으로 측정값을 읽을 것을 지시하면 지하수위계센서 → Data Logger → 관리실 컴퓨터경로를 통해 측정값이 입력되고 자동계측 프로그램에서 지하수위를 확인한다.</li> </ol>



<그림 4-7> 지하수위계 계측센서 설치

㉔ 지표변위계 설치 방법

(표 4-5) 지표변위계 제원 및 설치 방법 (한국정보화진흥원 2014b)

종 류	제 원
지표변위계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 센서형식 : 전기식 센서</li> <li>• 측정범위 2,000mm이내</li> <li>• 분해능 0.05% FS 이하</li> <li>• 정확도 <math>\pm 0.5\%</math> 이하</li> </ul>
설치방법	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 설치위치 확인후 드릴 천공 및 양카볼트 설치한다.</li> <li>② 센서와 양카볼트를 고정시킨 후 셋팅</li> <li>③ 메인 통신 시스템에 케이블을 연결한다.</li> <li>④ 시스템의 이상유무를 확인하여 작업을 마무리한다.</li> </ol>
측정방법 및 자료정리	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 자동화 시스템이 구축되어 계측관리실에서 일정한 시간간격으로 측정값을 읽을 것을 지시하면 센서 → Data Logger → 관리실 컴퓨터경로를 통해 측정값이 입력되고 자동계측 프로그램에서 측정값을 확인한다.</li> </ol>



<그림 4-8> 지표변위계 계측센서 설치



㉔ 누수계 설치 방법

(표 4-6) 누수계 제원 및 설치 방법 (한국정보화진흥원 2014b)

종 류	제 원
누수계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 용도 : 저수지 주변부 누수 정도 측정</li> <li>• 측정범위 : 150-1500mm</li> <li>• 분해능 : 0.004% F.S</li> <li>• 정확도 : ±0.05%FS 이하</li> </ul>
설치방법	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 정류판 및 V-Norch를 설치한다. 이때 코킹 및 고무판넬을 정확하게 하여 주변으로 누수되지 않도록 주의한다</li> <li>② 설계시 침투량과 비교하여 침투량에 미치는 방류수위, 강수량등과 같은 간접적인 요인들을 제외한 양이 동일한 수위에서 측정한 기존의 평균치보가 상당히 많을 경우에는 측정빈도의 증가와 세심한 주의 관찰을 하여 원인규명을 하여야 한다.</li> </ol>
측정방법 및 자료정리	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 누수량을 측정하는 누수계센서는 침투량을 이용하여 측정함</li> <li>② 자동화 시스템이 구축되어 계측관리실에서 일정한 시간간격으로 측정값을 읽을 것을 지시하면 센서 → Data Logger → 관리실 컴퓨터경로를 통해 측정값이 입력 되고 자동계측 프로그램에서 측정값을 확인한다.</li> </ol>

제 4 장  
본기에 · 경보  
시스템 표준안



<그림 4-9> 누수계 계측센서 사진

㉔ 수위계 설치 방법

(표 4-7) 수위계 제원 및 설치 방법 (한국정보화진흥원 2014b)

종 류	제 원
수위계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 용도 : 저수용량 확인을 위한 자료로 활용</li> <li>• 최대 측정범위 : 50m</li> <li>• 분해능 : 0.004% FS</li> <li>• 정확도 : 0.05% F.S</li> </ul>
설치방법	<ol style="list-style-type: none"> <li>① NX 규격의 함마 비트를 이용하여 현장 재위치에 천공한다.</li> <li>② 천공 완료후 백관(φ50)을 천공 깊이까지 삽입한다.</li> <li>③ 백관 삽입후 센서를 백관내부 바닥에서 1M정도 위에 설치하여 센서를 서서히 내린다. 이는 이물질이 센서에 영향을 미칠수 있으므로 1M위에 설치한다.</li> <li>④ Cable 보호를 위해 PE 주름관으로 보호한다.</li> </ol>
측정방법 및 자료정리	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 자동화 시스템이 구축되어 계측관리실에서 일정한 시간간격으로 측정값을 읽을 것을 지시하면 센서 → Data Logger → 관리실 컴퓨터경을 통해 측정값이 입력되고 자동계측 프로그램에서 측정값을 확인한다.</li> </ol>



<그림 4-10> 수위계 계측센서 설치

## 나. 재해예방계측 시스템

### 1) 설치현황 및 시사점

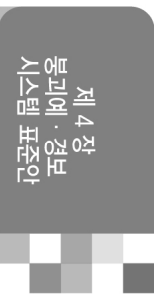
한국농어촌공사의 재해예방계측 시스템은 현재 173곳의 저수지에 계측기들이 설치되어 운영중으로, 이중 10% 정도가 한국농어촌공사의 모니터링 시스템에 자동으로 데이터가 수집되어 운영중에 있으며, 나머지 90%의 계측기는 수동으로 자료를 수집하고 있다. 설치되는 계측기는 총 4종으로 전기비저항탐사, 간극수압계, 수위측정기, 사면변위계(이통모듈)이나, 이중 간극수압계 2005년 이후는 설치를 하지 않고 있으며, 사면변위계는 총 2곳에 시범설치하여 운영중이다.

(표 4-8) 재해예방 계측 시스템 계측기 설치 현황

순번	지역	전기비저항 탐사	간극수압계	수위측정기	사면변위계
1	경기	13	10	34	-
2	강원	13	9	30	-
3	충북	13	9	30	-
4	충남	25	9	76	2
5	전북	19	12	49	-
6	전남	35	10	114	-
7	경북	39	14	92	-
8	경남	16	9	40	-
계		173	82	465	2

(표 4-9) 재해예방계측 시스템 설치 센서의 시사점

구분	시사점
1	전기비저항 탐사와 수위 측정 위주로 센서를 설치하여 운영 중으로 제방붕괴의 예방목적으로 사용되고 있음
2	간극수압계의 경우는 2003년 ~ 2005년 사이 27곳의 저수지에 설치 운영하고 있으나 2005년 이후에는 설치를 하고 있지 않음
3	2015년에 사면변위의 측정을 위하여 2곳의 저수지에 사면변위계를 설치 운영 중



1) 센서 종류별 설치현황

㉠ 지하수위계



<그림 4-11>이동저수지 지하수위 측정기 설치 현황



<그림 4-12>이동저수지 댐진진 계측기 설치 현황



<그림 4-13>이동저수지 전기비저항 탐사 계측기 설치 현황

제 4 장  
 붕괴예·경보  
 시스템 표준안



<그림 4-14>이동저수지 강우량계 설치 현황

다. 수변구조물 통합안전관리 시스템

1) 설치현황 및 시사점

수자원공사의 수변구조물 통합안전관리 시스템에서 6곳의 옹벽, 제방, 사면, 교량에 계측기를 설치하여 운영중으로, 설치된 계측기는 지하수위계, 간극수압계, 지중경사계, 구조물경사계, 처짐계, 지진가속도계, 전기비저항 탐지 계측기로 구성되어 있음. 옹벽, 제방, 사면의 경우는 “지하수위계”, “간극수압계”, “지중경사계”만의 계측기를 설치하여 운영하며, 교량의 경우는 “구조물경사계”, “처짐계”, “지진가속도계”를 설치하여 계측을 하고 있다.

(표 4-10) 수변구조물 안전통합관리시스템 계측기 설치 현황

구분	지역	지하수위계	간극수압계	지중경사계	구조물경사계	처짐계	지진가속도계	전기비저항
옹벽	강정고령보	1	2	1	2	-	-	-
제방	문산제	3	4	1	-	-	-	-
	곽촌제	3	3	1	-	-	-	-
	성서제	2	2	1	-	-	-	-
사면	안동호	3	3	3	-	-	-	1
교량	사문진교	-	-	-	3	2	1	-
계		12	14	7	5	2	1	1

(표 4-11) 수변구조물 안전통합관리시스템 센서 운영 시사점

구분	시사점
1	3가지의 계측기 (지하수위계, 간극수압계, 지중경사계) 위주로 계측
2	각 계측기의 설치 위치는 “제내지”, “마루”, “제외지”를 기준으로 각 “지하수위계”, “간극수압계”, “지중경사계” 를 1개씩의 설치 하는 것을 표준 가이드 하고 있음
3	각 계측기의 위험도와 위험도 평가 모델을 수립하여 다중 평가 방법을 마련 하고 있음.

## 2) 계측기 설치위치



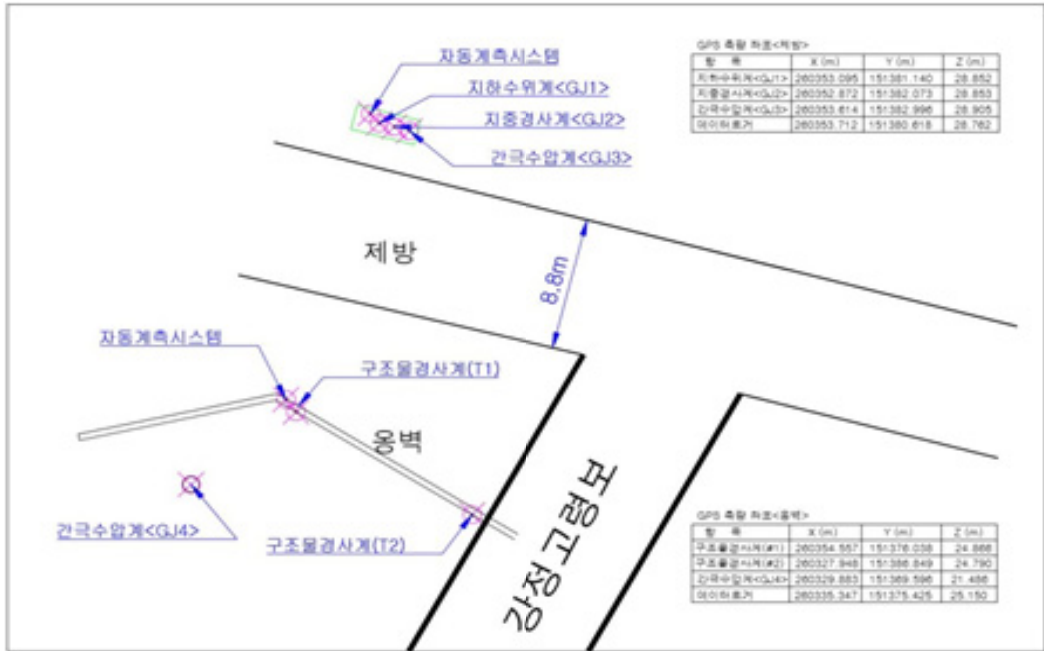
<그림 4-15> 수변구조물 안전통합관리시스템 계측기 설치 위치  
(신동훈, 2016)

수변구조물 6개소에 42개의 계측기를 설치하고, 옹벽(강정고령보 좌안), 제방(문산제, 곽촌제, 성서제), 사면(안동호 취수탑인근), 교량(사문진교)

## 3) 강정고령보 설치현황

(표 4-12) 강정고령보 계측기 설치 현황 (신동훈, 2016)

위 치	항 목	설치 위치	천공 심도	센서	수량
옹벽마루 (제내지)	1. 지중경사계	EL.28.852m	GL.-19.0m	자동경사계(3m간격×6개)	1개
	2. 지하수위계	EL.28.853m	GL.-19.0m	전압식 수위센서(50psi)	1개
	3. 간극수압계	EL.28.905m	GL.-16.0m	VW 간극수압계(50psi)	1개
옹벽 (제외지)	1. 구조물경사계	EL.24.866m	-	디지털 Tiltmeter	1개
	2. 구조물경사계	EL.24.790m	-	디지털 Tiltmeter	1개
	3. 간극수압계	EL.21.486m	GL.-10.0m	VW 간극수압계(50psi)	1개



<그림 4-16> 강정고령보 계측기 설치 평면도 (신동훈, 2016)



<그림 4-17> 강정고령보 계측기 설치 현장 (신동훈, 2016)

지하수위계, 지중경사계, 간극수압계를 한쌍으로 묶어 설치하여 계측값의



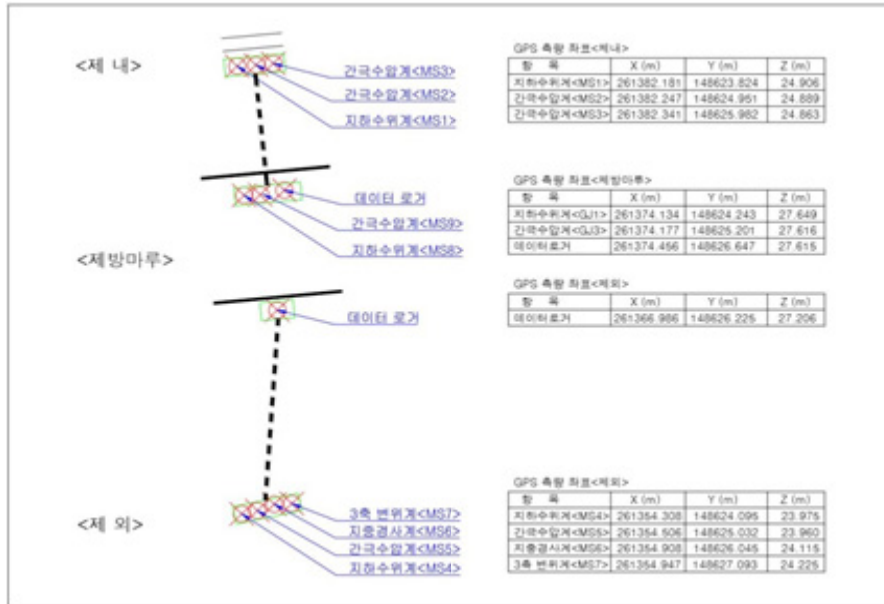
신뢰성을 확보 하고 있다. 한 지역을 집중적으로 측정하여 계측값을 안전 도 복합 모델을 적용하여 경보 여부를 파악한다.

#### 4) 문산제 설치현황

문산제에는 지하수위계플 포함 하여 총 9개의 계측기를 제내지, 마루, 제 외지에 설치하여 계측을 진행하고 있다.

(표 4-13) 문산제 계측기 설치 현황 (신동훈, 2016)

위 치	항 목	설치 위치	천공심도	센 서	수량
제 내 지	1. 지하수위계	EL.24.906m	GL.-16.0m	전압식 수위센서(50psi)	1개
	2. 간극수압계#1	EL.24.889m	GL.-16.0m	VW 간극수압계(50psi)	1개
	3. 간극수압계#2	EL.24.863m	GL.-4.5m	VW 간극수압계(50psi)	1개
마 루	1. 지하수위계	EL.27.649m	GL.-22.0m	전압식 수위센서(50psi)	1개
	2. 간극수압계	EL.27.616m	GL.22.0m	VW 간극수압계(50psi)	1개
제 외 지	1. 지하수위계	EL.23.975m	GL.16.0m	전압식 수위센서(50psi)	1개
	2. 간극수압계	EL.23.960m	GL.16.0m	VW 간극수압계(50psi)	1개
	3. 지중경사계	EL.24.115m	GL.22.0m	자동경사계(3m간격×7개)	1개
	4. 3축 변위계	EL.24.225m	GL.22.0m	3축 변위센서(6개)	1개



<그림 4-18> 문산제 계측기 설치 평면도 (신동훈, 2016)



<그림 4-19> 문산제 계측기 제외 설치 현장



<그림 4-20> 문산제 계측기 제방마루 설치 현장 (신동훈, 2016)



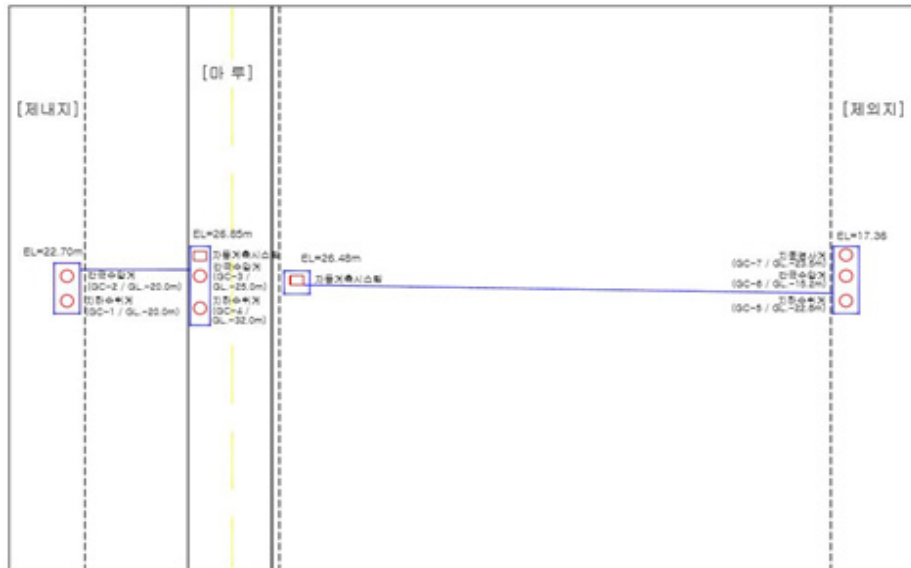
<그림 4-21> 문산제 계측기 제내 설치 현장 (신동훈, 2016)

3) 광촌제(제방) 설치현황

광촌제에는 지하수위계를 포함 하여 총 9개의 계측기를 제내지, 마루, 제외지에 설치하여 계측을 진행하고 있다.

(표 4-14) 광촌제 계측기 설치 현황 (신동훈, 2016)

위 치	항 목	설치 위치	천공 심도	센서	수량
제내지	1. 지하수위계	EL.22.70m	GL.-20.0m	전압식 수위센서(50psi)	1개
	2. 간극수압계	EL.22.70m	GL.-20.0m	VW 간극수압계(50psi)	1개
마루	1. 지하수위계	EL.26.85m	GL.-32.1m	전압식 수위센서(50psi)	1개
	2. 간극수압계	EL.26.85m	GL.-25.0m	VW 간극수압계(50psi)	1개
제외지	1. 지중경사계	EL.17.36m	GL.-23.5m	자동경사계(3m간격×7개)	1개
	2. 지하수위계	EL.17.36m	GL.-23.1m	전압식 수위센서(50psi)	1개
	3. 간극수압계	EL.17.36m	GL.-15.2m	VW 간극수압계(50psi)	1개



<그림 4-22> 광촌제 계측기 설치 평면도 (신동훈, 2016)



<그림 4-23> 문산제 계측기 마루 설치 현장 (신동훈, 2016)



<그림 4-24> 문산제 계측기 제외지 설치 현장 (신동훈, 2016)



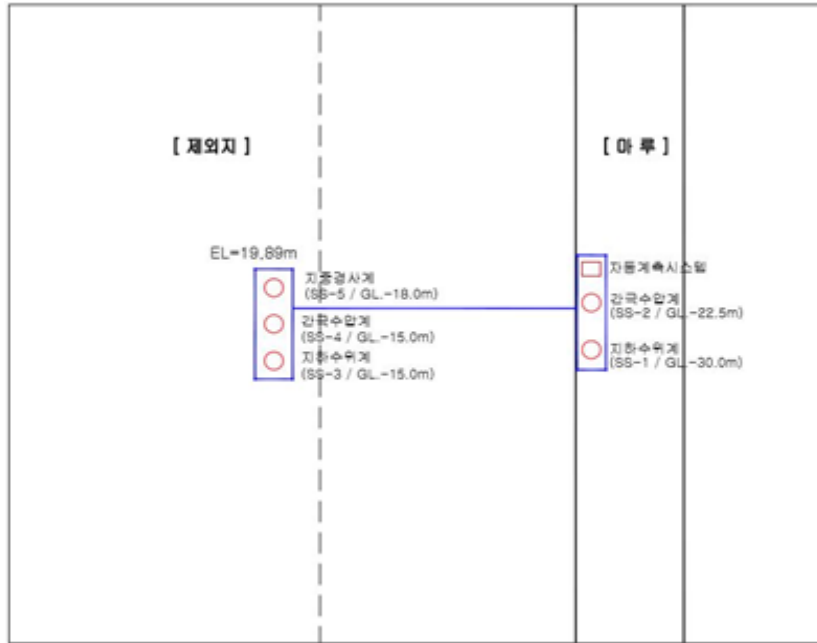
<그림 4-25> 문산제 계측기 제내지 설치 현장 (신동훈, 2016)

6) 성서제 설치현황

곽촌제에는 지하수위계플 포함 하여 총 9개의 계측기를 제내지, 마루, 제외지에 설치하여 계측을 진행하고 있다.

(표 4-15) 성서제 계측기 설치 현황 (신동훈, 2016)

위 치	항 목	설치 위치	천공심도	센 서	수량
제외지	1. 지하수위계	EL.19.887m	GL.-15.0m	전압식 수위센서(50psi)	1개
	2. 간극수압계	EL.19.887m	GL.-15.0m	VW 간극수압계(50psi)	1개
	3. 지중경사계	EL.19.887m	GL.-18.0m	자동경사계(3m간격×6개)	1개
마루	1. 지하수위계	EL.27.151m	GL.-30.0m	전압식 수위센서(50psi)	1개
	2. 간극수압계	EL.27.151m	GL.-22.5m	VW 간극수압계(50psi)	1개



<그림 4-26> 성서제 계측기 설치 평면도 (신동훈, 2016)



<그림 4-27> 성서제 계측기 마루 설치 현장 (신동훈, 2016)



<그림 4-28> 성서제 계측기 제외지 설치 현장 (신동훈, 2016)

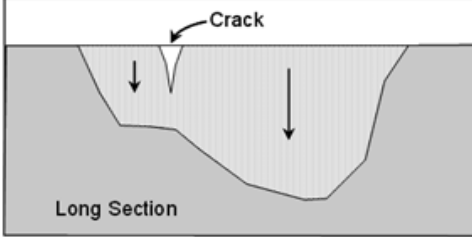
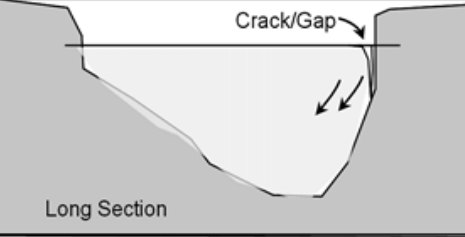
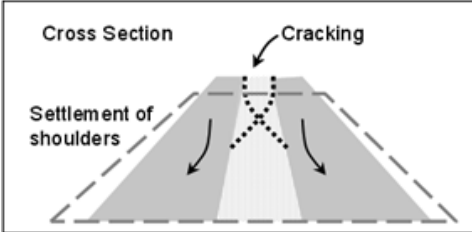
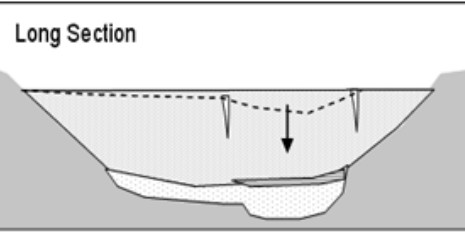
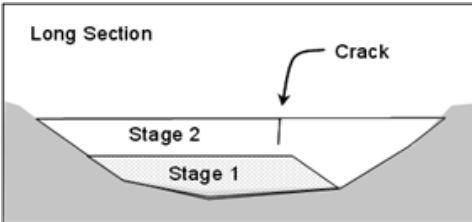
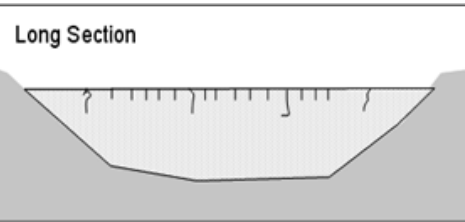
#### 4.1.3 USACE의 저수지 붕괴 시나리오 정의

미국육군공병대(USACE)는 미국 및 호주를 중심으로 발생한 내부 침식 사례를 조사하여 총 28개의 내부 침식 유발 조건을 정리하였고, 유발된 사건으로부터 브리칭 파괴에 이를때까지의 일련의 내부 침식 파괴 과정에 대한 발생 확률 평가가 가능하도록 도구(toolbox)를 작성하였음. 이번연구에서는 USACE의 붕괴 시나리오를 반영하여 센서의 설치 위치 표준을 정하도록 한다.



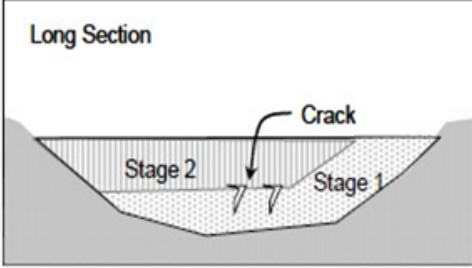
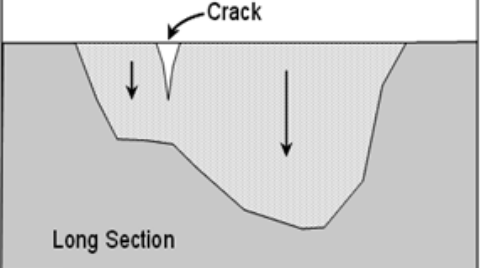
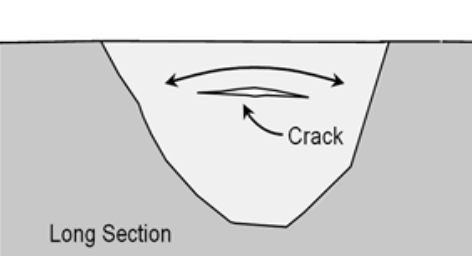
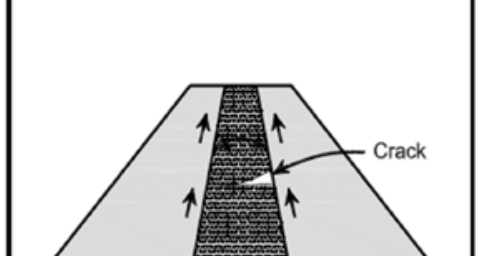
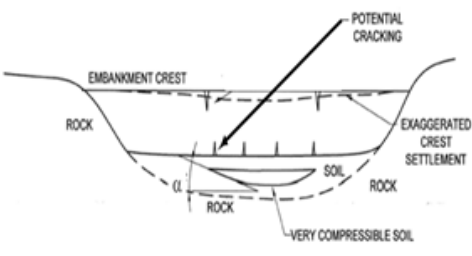
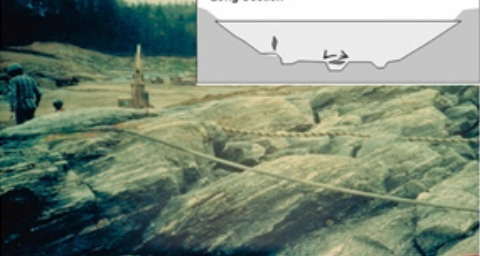
가. 제체의 횡단 균열 발생

(표 4-16) 제체의 횡단 균열 발생

 <p>Crack</p> <p>Long Section</p>	 <p>Crack/Gap</p> <p>Long Section</p>
<p>IM-1: 댐체 두께 차이에 의한 댐마루의 부등침하와 횡단균열 발생</p>	<p>IM-2: 가파른 양안 접속부에서 발생한 부등침하로 인한 횡단균열 발생</p>
 <p>Cross Section</p> <p>Cracking</p> <p>Settlement of shoulders</p>	 <p>Long Section</p>
<p>IM-3: 상·狗下頰 다짐불량으로 인한 침하로 발생하는 횡단균열 발생</p>	<p>IM-4: 코어재 하부 기초지반의 부등침하로 인한 횡단균열 발생</p>
 <p>Long Section</p> <p>Crack</p> <p>Stage 2</p> <p>Stage 1</p>	 <p>Long Section</p>
<p>IM-5: 제체 시공이 연속적이지 못하여 발생한 불균질성으로 발생한 등침하와 횡단균열 발생</p>	<p>IM-6: 댐마루부의 건조로 인한 단균열 발생</p>

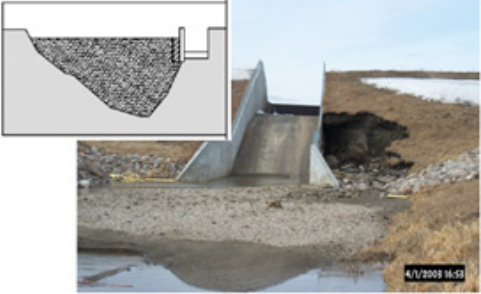
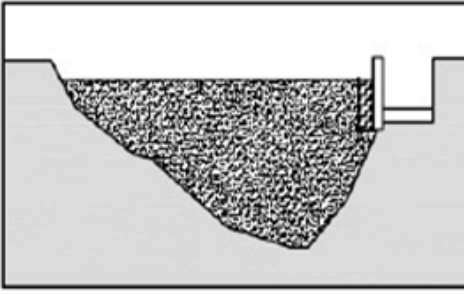
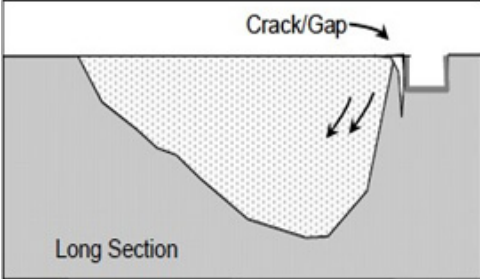
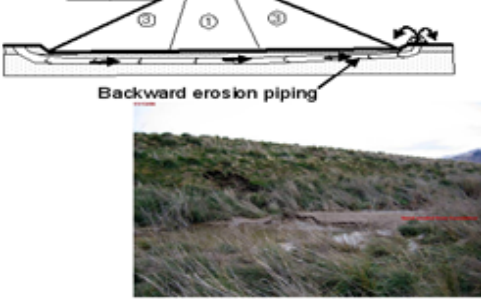
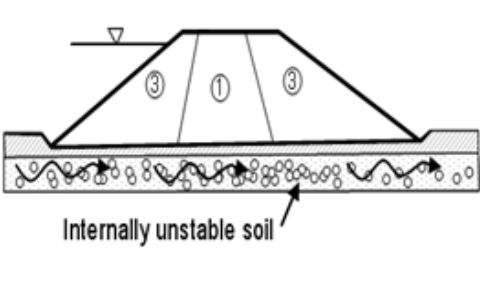
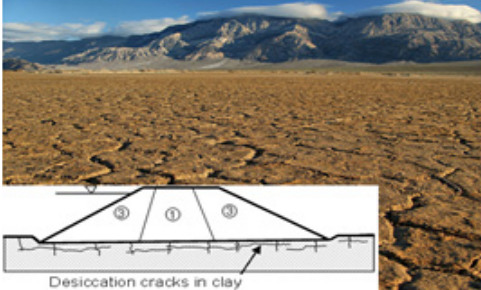
나. 불량한 다짐과 높은 투수성 영역 발생

(표 4-17) 불량한 다짐과 높은 투수성 영역발생

 <p>Long Section</p>	 <p>Long Section</p>
<p>IM-7: 축조 중 중지기간 동안 발생하였던 지표의 건조 균열로 야기된 제체 내부의 횡단균열 발생</p>	<p>IM-8: 지진으로 발생한 횡단균열 발생</p>
 <p>Long Section</p>	 <p>Crack</p>
<p>IM-9: 재체 내부에 형성된 아칭으로 인한 누수 결함이 수리학적 파쇄 유발</p>	<p>IM-4: 코어재 하부 기초지반의 부등침하로 인한 횡단균열 발생</p>
 <p>POTENTIAL CRACKING</p> <p>EMBANKMENT CREST</p> <p>ROCK</p> <p>SOIL</p> <p>VERY COMPRESSIBLE SOIL</p> <p>EXAGGERATED CREST SETTLEMENT</p>	 <p>Long Section</p>
<p>IM-5: 제체 시공이 연속적이지 못하여 발생한 불균질성으로 발생한 등침하와 횡단균열 발생</p>	<p>IM-6: 댐마루부의 건조로 인한 단균열 발생</p>

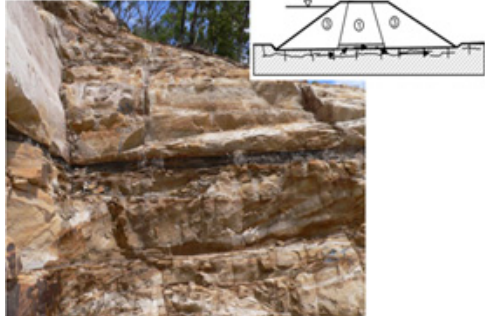

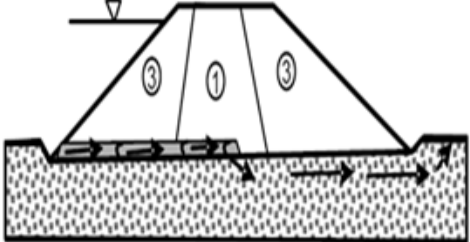
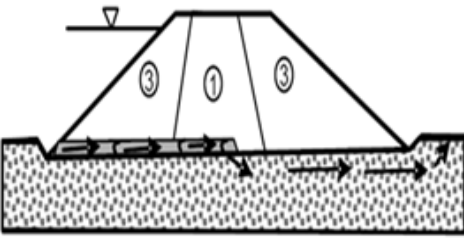
다. 기초지반으로의 내부침식

(표 4-18) 기초지반으로의 내부침식

	
<p>IM-19: 여수로 또는 양안 접속부 벽체와 관련된 불량한 다짐 또는 높은 투수성 영역 발생</p>	<p>IM-20: 여수로 또는 양안 접속부 벽체 측면 근처에서 발생한 토체와의 이격 또는 균열</p>
	
<p>IM-21: 여수로 또는 양안 접속부 벽체 측면 근처에서 발생한 부등 침하로 야기된 횡단 균열</p>	<p>IM-22: 사질토 기초지반에서 발생하는 역방향 침식(backward erosion)</p>
	
<p>IM-23: 사질토 기초지반에서 발생하는 suffusion</p>	<p>IM-24: 부등침하 또는 건조균열로 인한 점성토 기초지반에 발생한 균열</p>

라. 암반 기초 지반의 결함 유형

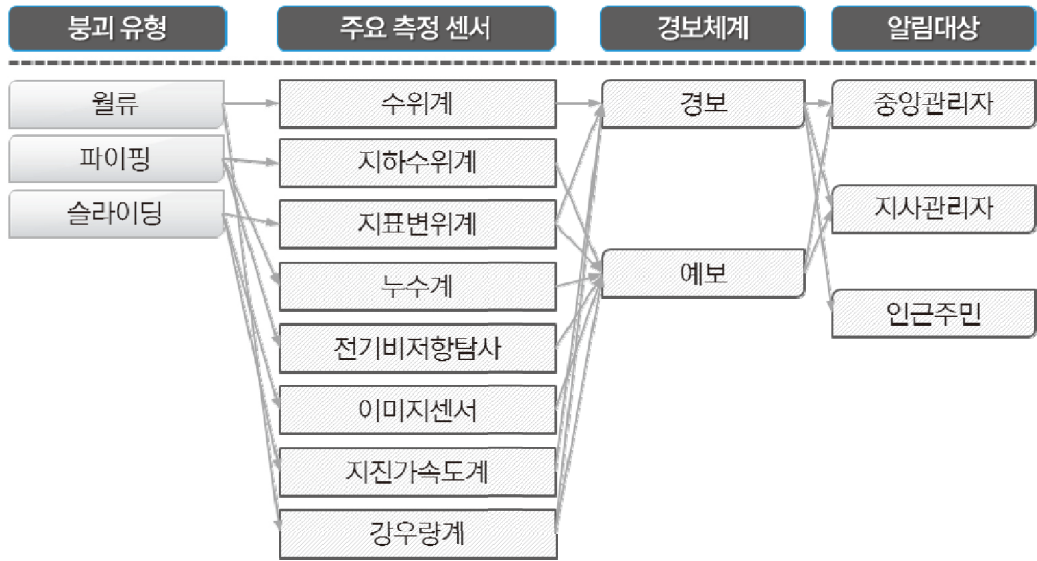
(표 4-19) 암반 기초 지반의 결함 유형

	
<p>IM-19: 여수로 또는 양안 접속부 벽체와 관련된 불량한 다짐 또는 높은 투수성 영역 발생</p>	<p>IM-20: 여수로 또는 양안 접속부 벽체 측면 근처에서 발생한 토체와의 이격 또는 균열</p>
	
<p>IM-21: 여수로 또는 양안 접속부 벽체 측면 근처에서 발생한 부등 침하로 야기된 횡단 균열</p>	<p>IM-22: 사질토 기초지반에서 발생하는 역방향 침식(backward erosion)</p>

4.1.4 붕괴유형별 계측센서 도출

제2장2절의 국내외 저수지 붕괴 현황을 보면 흙댐의 주요 붕괴 원인인 월류, 파이핑을 파악할 수 있는 센서를 도출하고, 도출된 센서별 경보, 예보의 형태로 분리하면 3가지 관점에서 시사점을 도출할 수 있다. ① 월류를 파악하기 위하여 수위계 중심의 경보 체계를 수립, ② 파이핑의 전조를 파악하기 위하여 “지하수위계”, “누수계”, “전기비저항탐사” 센서를

활용하여 예보 중심의 계측체계를 수립, ③ 슬라이딩의 증상을 파악하기 위하여 “지표변위계”, “이미지센서” 를 통한 제체의 변위 파악에 활용할 수 있다 (그림 4-29).



<그림 4-29> 붕괴유형별 계측 센서 도출

#### 4.1.5 센서별 장단점 분석

##### 가. 측정 목적별 사용 센서 종류

현재 사용중인 센서들은 6가지 측정 목적별로 적정한 센서들이 있으며, 저수지 붕괴 예·경보를 위하여는 ① 지표면의 변형, ② 지중의 변형 및 활동면의 위치 파악, ③ 사면 붕괴 원인 파악을 위한 수문 및 지진관측에 활용되는 계측기를 중심으로 운영되고 있는 것을 확인할 수 있다.

(표 4-20) 측정 목적별 센서 구분 (한병원, 2007)

측정목적	사용센서
지표면의 변형	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 신축계 및 이동계</li> <li>▪ 지표경사계</li> <li>▪ 사진측량</li> <li>▪ Tuff식 센서</li> <li>▪ 광센서(OTDR, BOTDR)</li> </ul>
지중의 변형 및 활동면의 위치 파악	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 사면변위계</li> <li>▪ 지중경사계</li> <li>▪ TDR 센서</li> <li>▪ 파이프 변형률계</li> </ul>
사면 붕괴 원인 파악을 위한 수문 및 지진관측	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 기상관측 : 강우량계</li> <li>▪ 지하수압 측정 ( 지하수위계, 간극수압계, 수위계, 자기수위계)</li> <li>▪ 배수량(유량계)</li> <li>▪ 함수량계, Tensiometer</li> <li>▪ 지진관측(지진계, 가속도계, 속도계)</li> </ul>
구조물 거동 관측	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 외력 측정(어스앵커 하중계, 벽면 토압계, 간극수압계)</li> <li>▪ 내부응력 측정 (철근계, 변형률계)</li> <li>▪ 구조물의 변형계측(Tiltmeter)</li> </ul>
낙석 감지 관측	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 충격가속도감지</li> <li>▪ 와이어 단선식 감지</li> <li>▪ Tuff 센서 감지</li> </ul>
기 타	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 동영상 장치에 의한 실시간 삼면 감시 (CCTV, 웹캠, 디지털 카메라)</li> </ul>

나. 센서별 특징 및 단점

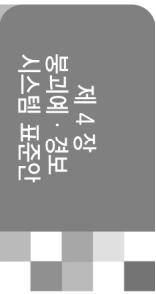
(표 4-21) 센서별 특징 및 단점

센서	특징	단점
강수량계, 신축계 지중경사계, 간극 수압계 지표경사계	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 다양한 전기식 센서 점목이 가능</li> <li>▪ 사용 사례가 많아 계측기준 관리가 용이</li> <li>▪ 자동화 계측 시스템 구축 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 낙뢰 및 전기 노이즈에 약함</li> </ul>
A.E Sensor	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 암반사면에만 적용이 가능</li> <li>▪ 자동화 계측 시스템 구축 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 국내사용 실적이 거의 없음</li> </ul>
OTDR, OTDR센서 FBG센서, 마이켈 슨 센서 Fabray-Perot 센서 광원 및 분석기	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 면·공간적인 계측 가능</li> <li>▪ 낙뢰 및 전기적 노이즈에 강함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 가격이 고가</li> <li>▪ 분포형 광섬유센서를 이용시 정략적인 측정이 곤란</li> </ul>
TDR TDR분석기	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 자동경사계 시스템에 비해 구축 비용이 저렴</li> <li>▪ 낙석 감시 시스템에 적용 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 정량적 측정이 힘들</li> </ul>
디지털 카메라, CCTV, 웹캠 해석프로그램	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 현재 많은 기술개발이 이루어짐</li> <li>▪ 근거리 계측시 상대적으로 정밀도가 높음</li> <li>▪ 타 센서에 비하여 비용 절감</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 사용사례가 많지 않음</li> </ul>
v광파기, GPS	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ GIS 와 연계 구축이 용이</li> <li>▪ 3차원 계측</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 시스템구축 비용이 고가</li> <li>▪ 지중의 전단 변형 측정이 불가능</li> </ul>

라. 저수지 설치 센서 도출

저수지 붕괴 예·경보 시스템의 설치 센서의 도출은 저수지의 주요 붕괴 유형(월류, 파이핑, 슬라이딩)만을 고려하여 최소한의 센서를 설치할 고려한 결과 표 4-22와 같이 강수량계, 수위계, 지하수위계, 누수량계로 압축되어 도출되었다.

저수지의 상황에 따라 추가 할 수 있는 센서로는 여수로와 복통의 상태를 사진 및 비디오클립 형식으로 점검할 수 있는 이통모듈이 있고, 대민경보



를 위한 CCTV 및 방송시설을 들 수 있다. 방송시설의 경우 하류부 거주민들의 상황에 따라 문자 서비스 혹은 마을 방송시설을 연계하여 생략될 수 있다.

(표 4-22) 설치 계측 센서 도출

붕괴유형	갯수	품명
월류	1	강수량계
	1	수위계
파이핑	2	지하수위계
슬라이딩	1	지표변위계

#### 4.1.6 센서별 설치위치 정의

미공병단(USACE)은 댐 붕괴 시나리오는 양안 접속부 균열, 누수에 의한 침식, 양안 또는 여수로 접속부의 균열로 정의 할 수 있다. 이를 기준으로 수위계, 지하수위계, 누수계, 지표변위계, 이미지센서를 조합하여 저수지 붕괴 예·경보를 위한 센서의 위치를 정의 하였다.

(표 4-23) 센서별 활용 방안

목적	방식	센서
경보	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 실시간 측정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 수위계</li> <li>▪ 지진가속도계</li> <li>▪ CCTV</li> </ul>
예보	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 특정 주기별 측정</li> <li>▪ 1일, 1주, 1달</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 누수계</li> <li>▪ 이미지센터</li> <li>▪ 이동식전기비저항탐사</li> <li>▪ 지표변위계</li> </ul>

또한 국내 과거 저수지 피해사례를 분석하면 월류에 의한 제체의 붕괴·유실, 누수에 의한 제체 유실, 사통 및 여수로의 붕괴등이 주로 발생하는 것을 알 수 있다. 즉 이러한 유형의 사고를 사전에 감지하거나 실시간 감지를 위하여는 설치된 계측기별로 구분하여 관리 하여야 한다. 가이드라인에서 설정한 수위계, 지하수위계, 지표변위계, 강수량계, 누수계, CCTV(이



미지센서), 이동식전기비저항탐사, 지진가속도계 중 실시간 경보가 가능한 센서와 현장 상황 파악에는 총 3개(수위계, 지표변위계, 지진가속도계, CCTV)로 정의하여 운영하며 지속적인 측정값의 변동을 파악하여 예방 관리를 위한 데이터 활용이 가능한 센서로는 “누수계”, “이미지센서”, “이동식전기비저항탐사” 장비를 활용 한다.

현재의 저수지 붕괴예·경보 시스템은 경보 발령을 지사 또는 중앙 모니터링 시스템에서 기준을 파악하여 경보를 지사 또는 현장의 방송장비로 발령하고 있으나, 경보 발령의 신속성과 중앙과의 네트워크 장애등에 대처를 위하여 현장 계측기로부터 자료를 직접 수집하여 전송하는 데이터로거(D/L) 또는 게이트웨이(G/W) 장비에서 현장의 방송장비 또는 지사 담당자, 중앙 담당자에게 문자를 보낼 수 있는 경보체계를 이중으로 구성하여 운영하는 것을 표준으로 제시한다(표 4-24).

(표 4-24) 경보발령 절차 개선

구분	AS-IS	TO-BE
1차	<ul style="list-style-type: none"> <li>계측기 -&gt; G/W -&gt; 지사 or 중앙 서버에서 경보 발령</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>계측기 -&gt; G/W or D/L -&gt; 경보발령</li> <li>현장 방송장비, 담당자 문자전송</li> </ul>
2차	없음	<ul style="list-style-type: none"> <li>계측기 -&gt; G/W -&gt; 중앙 모니터링 -&gt; 경보 발령</li> <li>모니터링 시스템 표시, 담당자 문자전송</li> </ul>

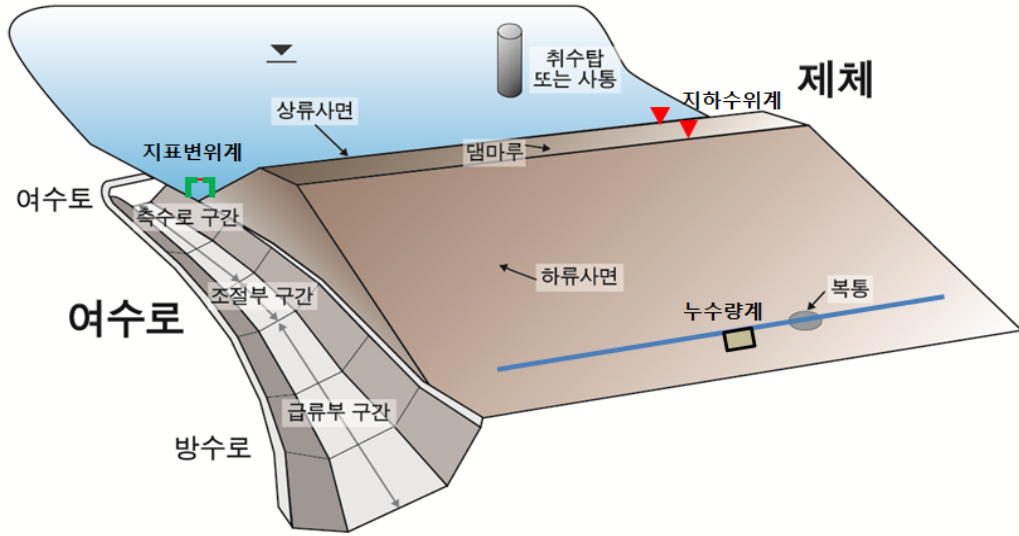
기 한국농어촌공사의 재해예방계측 사업에서 도입된 계측기 중 붕괴예·경보 시스템과의 프로토콜 표준화를 통하여 통합 가능한 계측기를 선정하여 향후 붕괴예·경보 시스템 구축 시 비용을 절감할 수 있다.

(표 4-25) 기도입 센서 활용방안

순번	센서	활용방안
1	▪ 수위계	▪ 예·경보 수집서버에서 표준 프로토콜로 변경하여 DB서버에 저장
2	▪ 간극수압계	▪ 예·경보 수집서버에서 표준 프로토콜로 변경하여 DB서버에 저장 또는 사용 용도의 필요성이 종료된 경우 제거
3	▪ 전기비저항탐사	▪ 계측된 값을 분석한 결과만을 예·경보 시스템에 저장하여 활용

(표 4-26) 센서설치 가이드라인

대상	계측목적	계측기명	설치장소 및 설치방법
저수지	수위변화	수위계	계측 대상 저수지의 수위변화를 측정
	기상자료	강수량계	계측 대상 저수지의 실질적인 강우량을 측정하여 강우량에 따른 수위변화를 파악 (기상청 자료로 대체가능하나 국지성 호우 대응에 약함)
	지하수변동	지하수위계	저수지의 수위와 제체의 지하수위변화를 관측하여 침윤선 및 투수량을 파악 (파이핑 발생확률이 높은 복통단면의 제정에 제내지1개 및 제외지 1개 설치)
	누수확인	누수량계	집수를 위한 유공관을 제외지 하단부에 설치하고 유량 측정
	영상정보	CCTV	저수지의 위험관리 기준에 따라 도출된 전조정보를 확인
	재난방송	방송시설	저수지 붕괴위험 예보 또는 주민대피 방송



〈그림 4-30〉 센서설치 가이드라인에 따른 센서설치 위치

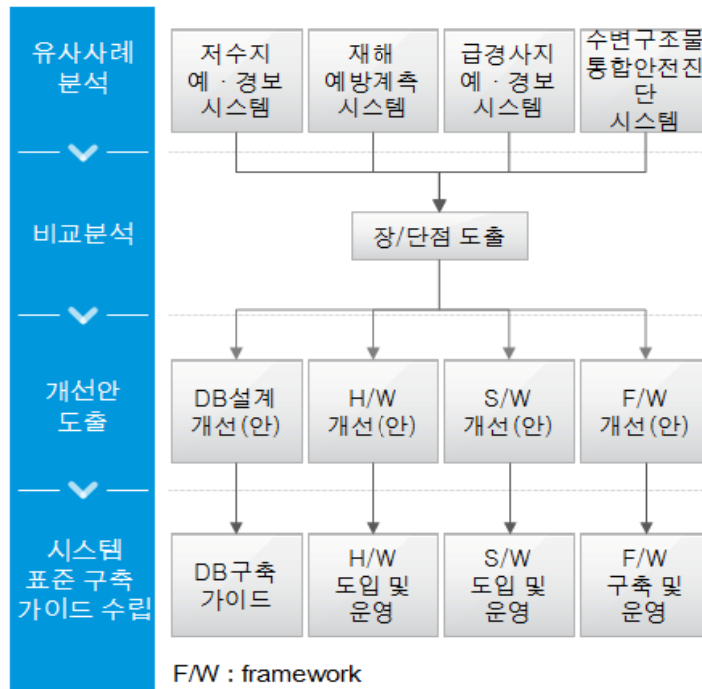
표 4-26과 그림 4-30은 센서 설치 가이드라인에 따른 설치 위치로 강수량계, CCTV, 방송시설의 경우 저수지의 조건에 따른 위치를 선정하여 설치한다.

## 4.2 서버 시스템 DB 표준안

### 4.2.1 수립절차 및 목표

#### 가. 표준(안) 수립절차

본 연구에서는 서버 DB설계표준(안)을 제시하기 위하여 시범구축하여 운영 중인 USN 저수지 붕괴예·경보 시스템과 유사 시스템인 재해 예방계획 시스템, 국민안전처의 급경사지 예·경보 시스템을 분석하여 장단점을 도출하고 개선안을 마련한다. 개선(안) 도출시 DB설계 뿐만이 아닌 H/W, S/W, F/W의 개선안도 같이 마련하여 종합적인 시스템의 방향성을 도출한다.



<그림 4-31> DB 설계표준(안) 수립 절차

나. 수립목표

서버 DB설계표준(안)은 DB설계측면, H/W구성, S/W구성, F/W구성의 4가지 측면에서 각기 목표를 설정하고 목표에 달성을 위한 표준(안)을 제시하도록 한다.

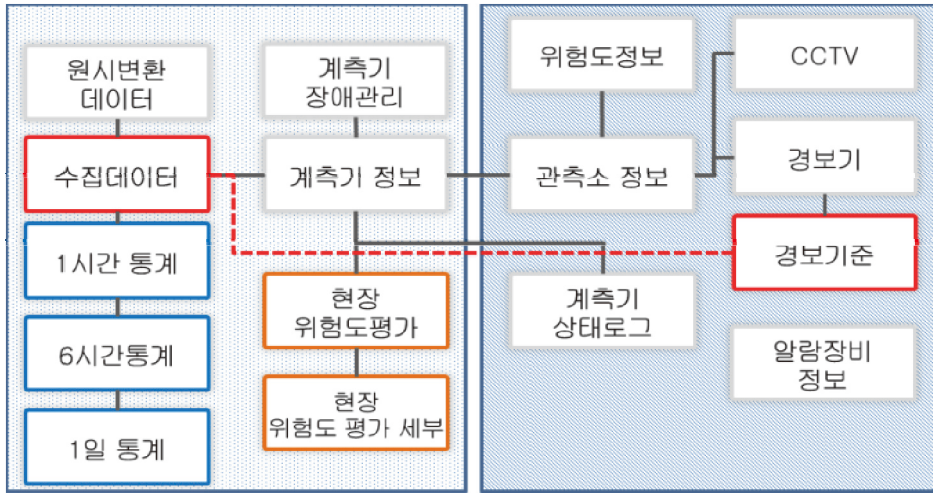
<b>DB설계 측면</b>
• 시범 운영 중인 USN저수지 예·경보 시스템의 계측 DB 개선안을 도출 하여 확장성 확보
<b>H/W구성 측면</b>
• 향후 예·경보 대상 저수지 확대 시 안정적 운영 및 서비스를 위한 아키텍처 도출
<b>S/W구성 측면</b>
• WEB 서비스 표준 아키텍처를 반영하여 예·경보 서비스 S/W 구성방안 수립
<b>F/W구축 측면</b>
• 다수의 단말기로부터 수신되는 융·복합 상황 이벤트 발생에 대한 대처 방안 수립

<그림 4-32> DB 설계표준(안) 수립 목표

## 4.2.2 유사사례 분석

### 가. USN 저수지 붕괴예·경보 시스템

농어촌연구원의 시범사업을 통해 구축되어 운영중인 USN 저수지 예·경보 시스템의 DB설계 현황을 분석하고 시사점을 도출하였다. USN 저수지 예·경보시스템의 경우는 계측기로부터 수집되는 계측값을 단일 테이블로 구성하여 관리하고 있으며, 계측데이터는 “계측기 정보” 테이블에서 계측 항목, 길이, 변환공식 등의 메타 정보를 관리하여 계측 데이터의 보정값을 관리하고 있고, 계측기별 위험기준을 별도의 테이블로 관리하여 실시간 경보를 위한 기준값을 관리한다.



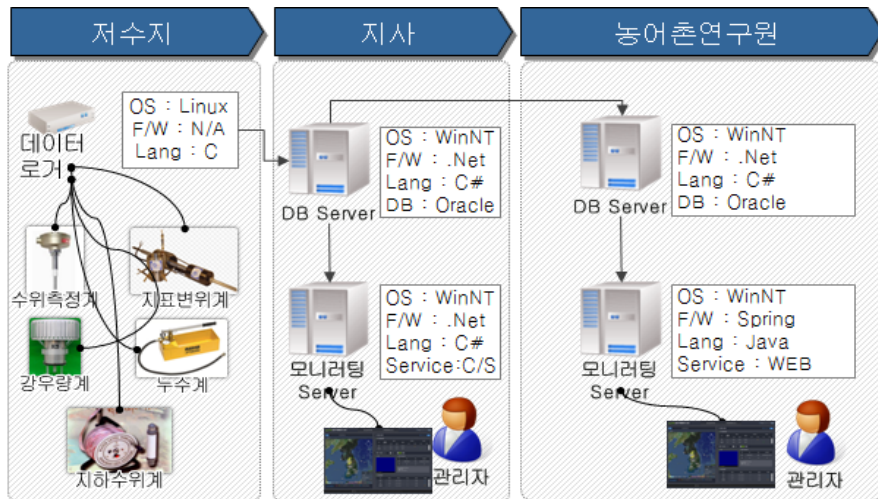
<그림 4-33> USN 저수지 예·경보시스템 DB설계현황

예·경보시스템의 DB설계 방식의 장점으로서는 메타 정보관리로 향후 다른 종류의 계측기가 추가 되어도 테이블 변경이 적용이 가능하게 설계되어 있고, 경보설정 테이블을 별도로 관리하여 경보 기준관리의 확장성을 확보하고 있다. 이러한 설계로 인하여 향후 예·경보 시스템에 새로운 계측기 및 경보 기준을 반영하더라도 현재의 시스템을 변경하지 않고 사용할 수 있어 다양한 방식으로 시스템을 운영할 수 있는 구조로 구축되어 있다.

USN 저수지 붕괴예·경보 시스템의 H/W, S/W, F/W의 구성현황은 저수지에 설치된 계측기는 유선으로 데이터로거와 연결되어 인터넷망을 통하여 지사로 취합, 지사로 취합된 계측정보는 지사의 모니터링 시스템을 통하여 예·경보 현황 및 계측값을 실시간 조회 하며, 계측 데이터는 외부망을 통하여 농어촌연구원의 통합모니터링 시스템으로 취합하는 시스템으로 구성되어 운영 중 이다.

현재의 H/W, S/W구성위에 예·경보 모니터링 시스템의 경우 지사는 C# 기반의 C/S프로그램으로 농어촌연구원은 JAVA기반의 WEB 서비스 형태로 모니터링 시스템을 구축하여 운영하므로 시스템에 대한 유지관리 비용

이 이중으로 발행하는 문제점을 앓고 있다. 또한, 데이터가 지사와 농어촌 연구원간 이중으로 DB서버를 두고 관리하므로 데이터의 정확성 확보시 오류발생 소지가 다분히 존재한다. H/W측면에서는 저수지에 설치한 데이터로거가 특정 회사에 종속되어 C언어로 개발되어 있으며, 현재 개발회사는 도산한 상태로 향후 업그레이드 및 유지관리가 불가능한 상태이다. 이런 점을 개선하기 위하여 데이터로거의 경우는 현재 활발하게 연구 및 개발되고 있는 오픈소스 IoT 프레임워크를 저수지 붕괴예·경보 시스템에 특화되게 개발하여 독자적인 F/W를 구축하여 운영하는 것이 향후 시스템 확장 및 운영에 도움이 될 것이다.

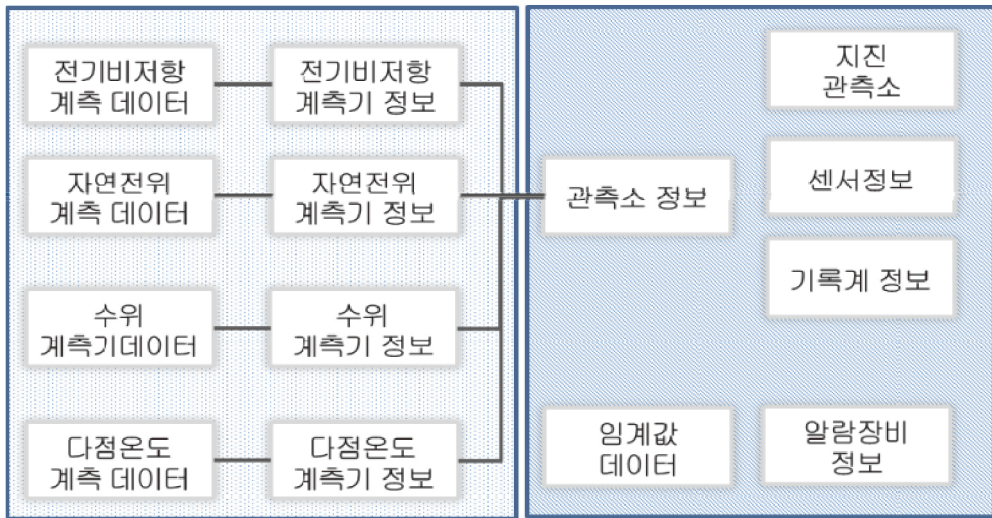


<그림 4-34> USN 저수지 예·경보시스템 운영현황

#### 나. 재해예방계측 시스템

한국농어촌공사의 재해예방 계측 시스템의 경우는 1종 저수지중 체고 15m 이상 및 저수량 100만톤 이사의 저수지를 대상으로 구축되고 있으며, 설치되어 있는 계측기로부터 데이터를 자동으로 수집하여 관리하고 있는 시스템으로 계측기로부터 수집되는 계측값을 계측기별로 테이블을 구성하여 관리 하고 있고, 계측기의 종류가 변경될 경우를 대비하여 컬럼을 150개까지 생성 하여 확장성을 보장하고 있다. 계측기별 임계값 또한

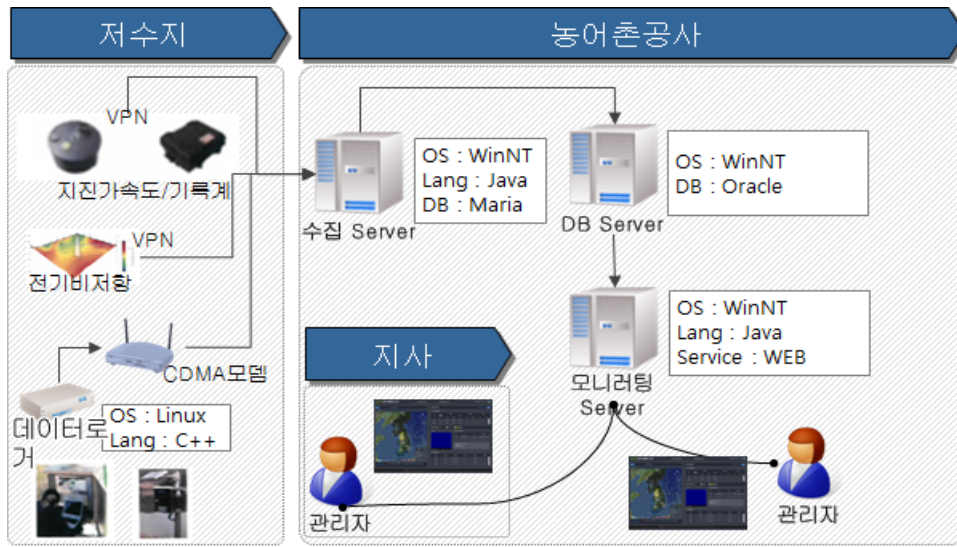
별도의 테이블로 관리하여 실시간 경보를 위한 기준값을 저장하여 경보관리에 활용하는 것으로 파악되었다. 이를 통하여 도출된 시사점으로는 “계측기를 신규로 추가할 경우 신규 계측기의 데이터를 저장하기 위한 테이블을 새로 생성하여야 하고, 저장된 데이터를 표출하기 위한 화면을 새로 개발해야 하기 때문에 확장성에 제약을 갖고 있다.



<그림 4-35> 재해예방 계측 시스템 DB설계현황

재해예방 계측 시스템의 H/W, S/W, F/W의 구성현황은 저수지의 데이터를 한국농어촌공사에서 직접 수집하여 통합관리를 수행하고 있으며, 저수지에 설치된 계측기는 제조 회사에서 제공하는 방식으로 통신 및 모니터링 되고 있다. 중앙의 모니터링 시스템은 수집서버, DB서버, 모니터링 서버로 구성되어 있고, 모니터링 서버는 WEB 서버(정적데이터 처리를 위한 서버)와 WAS(WebSphere Application Server) 서버(동적 데이터를 처리를 위한 서버)를 구분하지 않고 사용을 하고 있다. 또한 전기비저항 계측기와 지진가속도계가 설치된 저수지의 경우는 데이터의 보안을 확보하기 위하여 가상사설망 솔루션이 도입되어 VPN(Virtual Private Network)을 설치 하여 운영 중이다. 향후 데이터 보안을 확대하기 위하여 모든 계측데이터 전송시 VPN을 도입하여 네트워크를 구성하는 것이 권장된다.





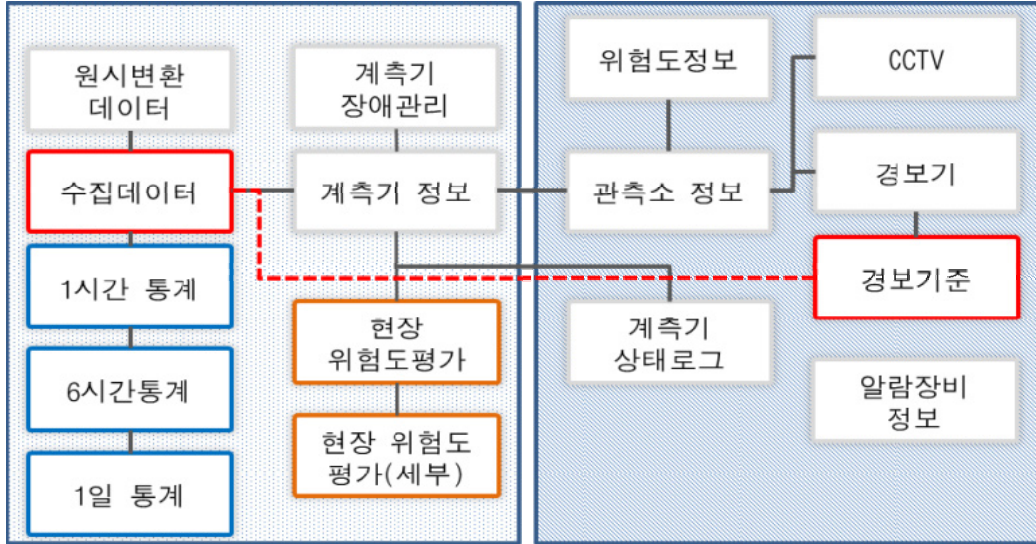
<그림 4-36> 재해예방 계측 시스템 운영현황

이러한 H/W, S/W의 구성은 지사와 한국농어촌공사간의 서비스 형태가 통일되어 있어 USN저수지 예·경보시스템보다 시스템 유지관리시 신속한 장애처리 및 비용의 절감을 가져올 수 있다. 또한, 데이터가 한국농어촌공사에서 통합관리 됨으로 인한 데이터 정합성 확보의 안정적인 아키텍처로 구성되어 있다. 하지만 데이터로거, VPN, CDMA모뎀 등 데이터를 다양한 전송 방식으로 운영되어 유지관리 인력이 다양한 기술 지식에 대한 습득 또는 많은 관리 인력을 필요로 한다.

#### 다. USN 급경사지 붕괴예·경보 시스템

국민안전처의 급경사지 예·경보 시스템은 각 지자체에서 관리하는 급경사지 위험지구 중 3곳에 2013년 시범적으로 구축하여 운영중인 시스템으로, 급경사지의 위험도를 계측 데이터로 파악하여 현장에서 예·경보를 하는 시스템이다. 그러나 2016년 현재는 NDMS(National Disaster Management System, 국가재난관리시스템)와 통합되며 예·경보의 기능보다는 급경사지 현황관리 및 계측 데이터의 조회 위주로 프로그램 변경되었으며, 이에 따라 예·경보를 위한 설정값을 관리하는 테이블들이 제

거되어 운영중으로, 예·경보 시스템의 기능을 상실한 상태 이다.

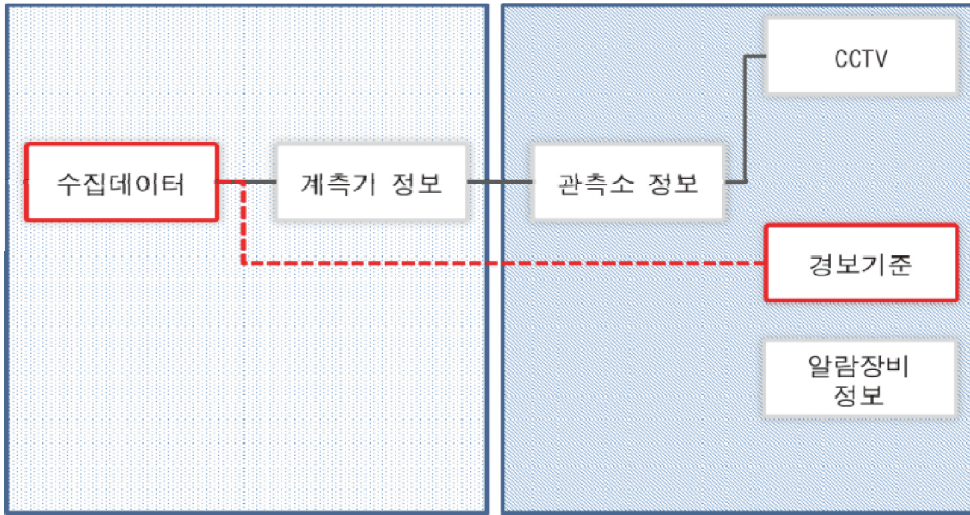


<그림 4-37> 급경사지 예·경보 시스템 DB설계현황

변경되전의 DB설계구조는 USN저수지 예·경보시스템과 동일한 DB구조로 구성되어 메타 정보관리로 향후 다른 종류의 계측기가 추가되어도 테이블 변경없이 적용 가능하게 설계되었으며, 경보설정 테이블을 별도로 관리하여 경보기준관리의 확장성을 보장하였다.

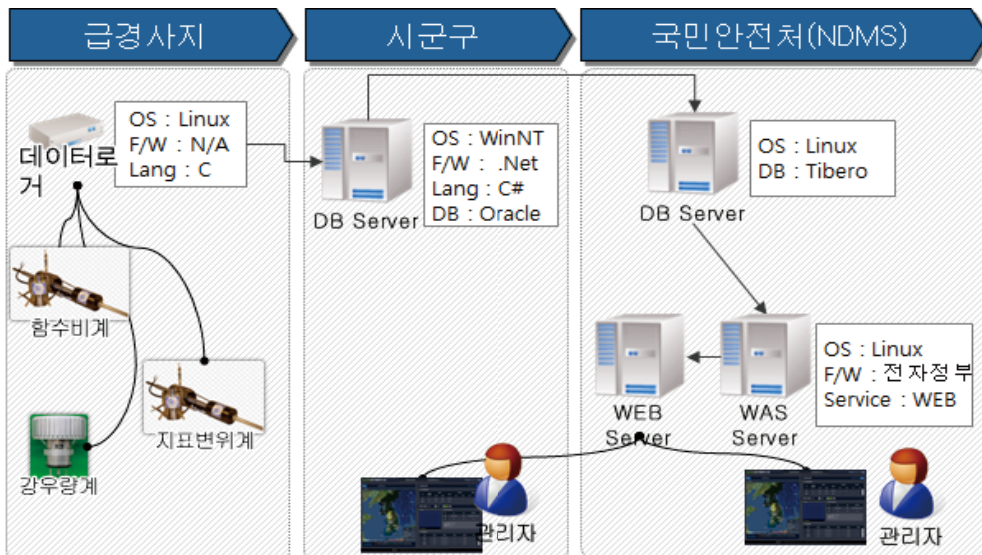
그러나 NDMS 시스템에 반영하며 급경사지 예·경보 시스템 구축시 설계되었던 “통계”, “현장 위험도평가”, “계측기 상태로그”, “위험도정보” 등의 주요 테이블들을 제거하여 예·경보의 기능보다는 급경사지 정보관리에 중점을 두어 DB를 구성하도록 변경되었다.

급경사지 예·경보 시스템의 H/W, S/W, F/W의 구성현황은 급경사지에 설치된 계측기는 유선으로 데이터로거와 연결되어 인터넷망을 통하여 시군구로 취합 하며, 시군구 취합된 계측정보는 행정망을 통하여 국민안전처의 NDMS 시스템으로 전송되어 NDMS의 급경사지 모니터링 시스템을 통하여 계측값을 모니터링 하는 구조로 시스템이 구성되어 있다.



<그림 4-38> 급경사지 예·경보 시스템 변경 DB설계현황(TO-BE)

시스템 구성을 구성하고 있는 H/W, S/W, F/W은 대전통합전산센터의 G-Cloud 환경에 설치되어 있으며, 이 때문에 전자정부에서 표준으로 정하고 있는 Linux, Java 기반의 전자정부프레이워크로 개발되어 운영 중이고, 모든 시스템은 이중화되어 장애에 대비한 무중단 시스템으로 구성되어 있다.

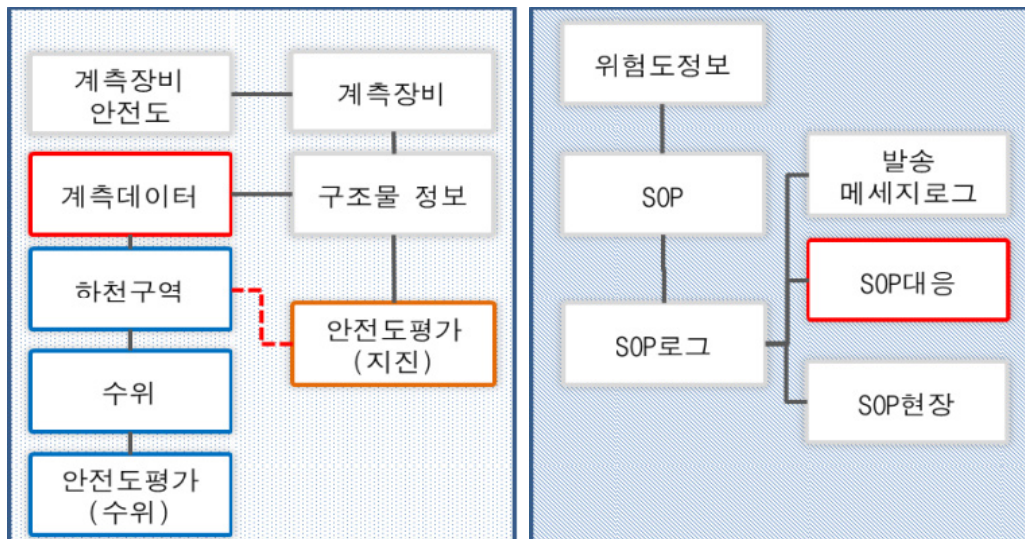


<그림 4-39> 급경사지 예·경보 시스템 변경 운영현황

중앙(국민안전처)의 모니터링시스템은 NDMS로 통합운영되는 것으로 변경이 되었지만 현장 및 지사의 시스템은 USN 급경사지 예·경보 시스템 구축시의 상태로 운영되고 있어 데이터가 시군구, 국민안전처로 이중관리됨으로 인한 데이터의 정합성 확보시 오류 발생 가능성과 데이터로가 특정 회사에 종속되어 향후 업그레이드가 불가능한 점등은 USN 저수지 붕괴예·경보 시스템과 동일한 문제점을 갖고 있다.

라. 수변구조물 통합안전관리 시스템

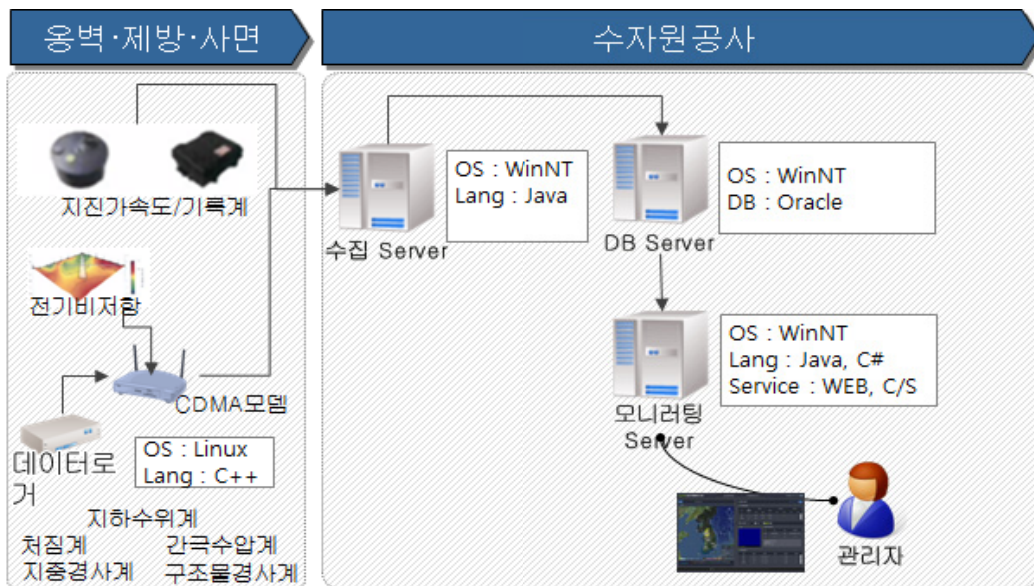
한국수자원공사의 재난시나리오 기반 통합안전관리 플랫폼은 단일 계측 테이블에 계측기별 5개 항목의 계측값을 표준화 하여 저장하고, 저장된 데이터값을 하천 수위와 지진계측값의 안전도 평가 테이블의 값을 비교하여 경보를 발령하도록 설계가 되어 있다(그림 4-49). 현재는 시범서비스를 위한 시스템으로 구축중으로 2017년 시범서비스 예정이다. 하천수위와 지진값을 기본으로 하여 안전도평가 값을 관리하고 있다. 특이사항으로는 상황 발생시의 SOP(Standard Operating Procedure) DB로 관리하여 시스템상에서 SOP대응 현황을 관리할 수 있도록 구성하였다.



<그림 4-40> 수변구조물 통합안전관리 시스템 DB설계

한국수자원공사의 재난시나리오 기반 통합안전관리 플랫폼의 H/W, S/W, F/W의 구성현황은 TEST BED에 설치된 계측기는 유선으로 데이터로거와 연결되어 CDMA 무선인터넷망을 통하여 한국수자원공사의 수집서버로 취합 하며 모니터링 시스템을 통하여 계측값 및 안전도 평가를 모니터링 하는 구조로 시스템이 구성되어 있다.

시스템 구성을 구성하고 있는 H/W, S/W, F/W은 한국수자원공사에 시스템이 설치되어 있으며, 시범서비스를 위한 시스템 구성으로 이중화는 구성되어 있지 않으며, WinNT 서버기반으로 구성하였고, 프로그램은 C#, JAVA 프로그램이 혼재 되어 있는 상태이다(그림 4-50). S/W로는 DB는 Oracle, WAS로는 Tmax사의 JEUS 제품을 도입하여 구성하였다. 향후 시스템 확대시 S/W 도입 비용이 증가 할 것으로 예상된다. 또한 계측기별 전송 프로그램은 납품한 회사의 프로그램을 사용하고, 각 기능별 프로그램도 표준화 되어 있지 않고 WEB, C/S, 단일 Application 등으로 개발되어 있어 시험운영 후 보급시에는 다양한 부분에서 프레임워크 및 프로그램의 표준화 작업이 진행되어야 할 것으로 판단되고 있다.



<그림 4-41> 수변구조물 통합안전관리 시스템 운영현황

마. DB 설계 비교

재해예방계측 시스템과 국민안전처의 급경사지 예·경보 시스템의 계측데이터를 저장하는 테이블 컬럼을 비교해보면 재해예방계측 시스템은 향후 계측기 종류 변경시 대비를 위한 컬럼을 물리적으로 구성하였으며, 이의 확장성을 확보하기 위하여 150의 예비 컬럼을 구성하여 관리하고 있다. 그러나 저수지 예·경보 시스템의 경우는 계측기별 측정 데이터의 전송포맷을 표준화하여 총 4가지 데이터로 정리하여 계측데이터 저장 테이블의 측정값 컬럼을 4개로 한정지어 관리한다. 이는 향후 계측기가 추가되어도 표준으로 정한 데이터 포맷을 준수시켜 계측기 제조사와 상관없이 시스템을 운영하기 위해 설계를 적용하였다.

재해 예방계측 시스템

저수지 예·경보 시스템

○ 전기비저항 계측기 데이터를 저장

컬럼명	데이터 형식	설명
r_no	number (10)	•Key 값(Primary Key)
r_sta_id	varchar2(12)	•관측소 코드
r_timestamp	varchar2(10)	•데이터 저장 시간(YYYY-MM-DD)
r_epochtime	varchar2(15)	•데이터 저장 시간(epoch time)
r_val1	varchar2(10)	•계측 데이터 1
r_val2	varchar2(10)	•계측 데이터 2
r_val3	varchar2(10)	•계측 데이터 3
r_val4	varchar2(10)	•계측 데이터 4
r_val5	varchar2(10)	•계측 데이터 5
r_val6	varchar2(10)	•계측 데이터 6
r_val7	varchar2(10)	•계측 데이터 7
r_val8	varchar2(10)	•계측 데이터 8
.	.	.
r_val146	varchar2(10)	•계측 데이터 146
r_val147	varchar2(10)	•계측 데이터 147
r_val148	varchar2(10)	•계측 데이터 148
r_val149	varchar2(10)	•계측 데이터 149
r_val150	varchar2(10)	•계측 데이터 150
r_tmp1	varchar2(30)	•주휴 활용을 위한 임시공간
r_tmp2	varchar2(30)	•주휴 활용을 위한 임시공간
r_tmp3	varchar2(30)	•주휴 활용을 위한 임시공간
r_tmp4	varchar2(30)	•주휴 활용을 위한 임시공간

원시 데이터

시스템구분_ID: NUMBER (FK)
운영체_ID: NUMBER (FK)
현장_ID: NUMBER (FK)
센서_ID: NUMBER (FK)
법정동_ID: NUMBER (FK)
계측일시: TIMESTAMP
전송일시: TIMESTAMP
원시값 1: NUMBER(14,6)
원시값 2: NUMBER(14,6)
원시값 3: NUMBER(14,6)
원시값 4: NUMBER(14,6)
계산값 1: NUMBER(14,6)
계산값 2: NUMBER(14,6)
계산값 3: NUMBER(14,6)
계산값 4: NUMBER(14,6)
메시지전송: VARCHAR2(200)
통계유형: CHAR(1)
등록일시: TIMESTAMP
계측요일: VARCHAR2(10)

<그림 4-42> 계측데이터 저장 테이블 비교  
(한국정보화진흥원,2014)

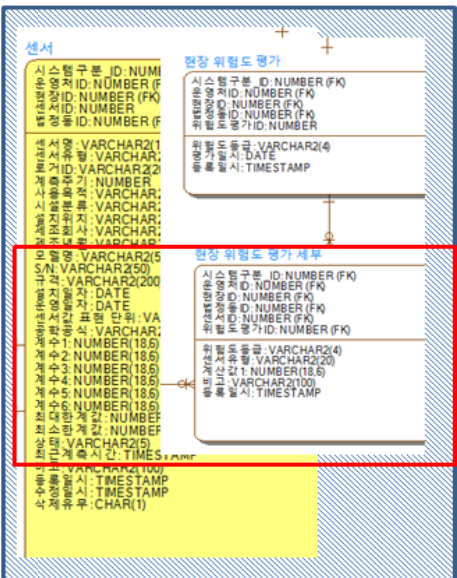
재해예방계측 시스템과 국민안전처의 급경사지 예·경보 시스템의 계측기

정보를 저장하는 테이블 컬럼을 비교해보면 재해 예방계측 시스템은 계측기의 일반적인 정보인 계측기 타입, 모델명, 제조사, 품질보증기간, 이미지 등을 저장하는 컬럼을 구성하여 관리하고 있다. 그러나 저수지 예·경보 시스템의 경우는 기본정보 외에도 공학공식, 계수, 최대 한계 값, 최소 한계 값 등의 계측기의 계측값을 보정하기 위한 공학공식 및 계수 값들에 대한 정보를 포함하여 구성하고 있다. 이는 같은 성격의 계측기라도 측정값의 편차를 보정하는 방법이 계측기 제조사별로 달라 이를 반영하기 위한 컬럼들로 향후의 확장성을 확보하기 위한 조치를 DB설계에 반영하였다. 또한 설치된 센서별로 값의 위험도를 별도로 설정할 수 있는 테이블을 구성하여 기준값으로 활용하고 있다.

**재해 예방계측 시스템**

**저수지 예·경보 시스템**

컬럼명	데이터 형식	설명
r_no	number (10)	*Key 값(Primary Key)
sta_id	varchar2(15)	*관측소 코드
sta_name	varchar2(100)	*관측소 이름
opendate	varchar2(30)	*관측 시작일
area	varchar2(15)	*관측소를 구분하기 위한 코드
address	varchar2(300)	*관측소 주소
cmpry_kind	varchar2(128)	*관측소 관할 지사
position	varchar2(30)	*계측기 설치된 위치
lat	varchar2(20)	*위도
lon	varchar2(30)	*경도
r_device_type	varchar2(30)	*계측기 타입
r_model	varchar2(30)	*계측기 모델명
r_company	varchar2(30)	*계측기 제조사
r_serial	varchar2(30)	*계측기 시리얼 번호
r_warranty	varchar2(30)	*계측기 품질보증기간
r_ip	varchar2(30)	*계측기 IP
r_pic1	varchar2(30)	*계측기 사진 이미지 경로
r_pic2	varchar2(30)	*계측기 사진 이미지 경로
r_pic3	varchar2(30)	*계측기 사진 이미지 경로
r_pic4	varchar2(30)	*계측기 사진 이미지 경로
r_tmp1	varchar2(30)	*추후 활용을 위한 임시공간
r_tmp2	varchar2(30)	*추후 활용을 위한 임시공간



<그림 4-43> 계측기 정보 저장 테이블 비교  
(한국정보화진흥원,2014)

### 4.2.3 시사점 분석

유사사례 분석을 통해 도출된 시사점들을 “DB구조”, “H/W, ”S/W”, “F/W“의 4가지 측면에서 분석을 하고 표준(안)을 도출 하였다.

(표 4-27) 유사사례의 시사점 분석 및 표준(안) 도출

측정		저수지 예·경보 시스템	재해예방계측 시스템	급경사지 예·경보시스템	수변구조물 실시간 통합안전도 평가 시스템	표준(안)
DB 구조	장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>확장성을 고려한 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>계측기별 직관적인 구조로 설계되어 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>확장성을 고려한 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>확장성을 고려한 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>저수지 예·경보 시스템의 DB구조를 표준으로 유지</li> <li>테이블을 중앙으로 통합</li> </ul>
	단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>지사와 연 구원간 테이블 및 데이터 이중 관리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>계측기 종류 증가시 테이블 별도 생성 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>시군구와 국민안전처 간 테이블 이중관리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>계별 계측 값에 대한 안전도 평가 기준이 미비</li> </ul>	
H/W	장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>수집/DB서버 분리 운영으로 데이터처리의 분산 처리로 성능 보장</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>WEB 서비스의 표준적인 아키텍처 구성</li> <li>G-Cloud 적용하여 부하분산</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>부하분산 처리의 효율성 및 사용자 증가시 성능보장을 위하여 수집서버, DB서버, WAS 서버, WEB서버를 독립적으로 구성</li> </ul>
	단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>WEB/WAS 서버를 단일서버로 사용하여 증가시 서버 용량 부족</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>WEB/WAS 서버를 단일서버로 사용하여 증가시 서버 용량 부족</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>시험 운영을 위한 단일 시스템 구성으로 장애 대처방안이 없다</li> </ul>	
S/W	장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Open Software 사용으로 도입 및 유지관리 비용 저렴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상용 S/W를 도입하여 안전성 확보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Open Software로 변경하여 시스템을 구축 (WEB, WAS, DBS/W)</li> <li>※DBMS 변경시 프로그램 재개발 조건 발생</li> </ul>
	단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>상용 Software</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상용 Software</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>향후 유지 관리비용</li> </ul>	



측정		저수지 예·경보 시스템	재해예방계측 시스템	급경사지 예·경보시스템	수변구조물 실시간 통합안전도 평가 시스템	표준(안)
		사용으로 도입비용 및 유지관리 비용 증가	사용으로 도입비용 및 유지관리 비용 증가		발생	
F/W	장점	▪ -	▪ -	▪ 모니터링 시스템을 전자정부 프레임워크로 통합	▪	▪ 데이터 로거 및 중앙 수집 프로그램을 IoT프레임워크로 전환
	단점	▪ 계측기 및 데이터로거 납품업체의 프로그램에 종속	▪ 계측기 및 데이터로거 납품업체의 프로그램에 종속 ▪ 계측기별로 전송 방식이 다르게 존재함	▪ 계측기 및 데이터로거 납품업체의 프로그램에 종속	▪ 개별 기능별로 표준화 되지 않은 프레임워크 적용 ▪ 다양한 프로그램언어 사용	

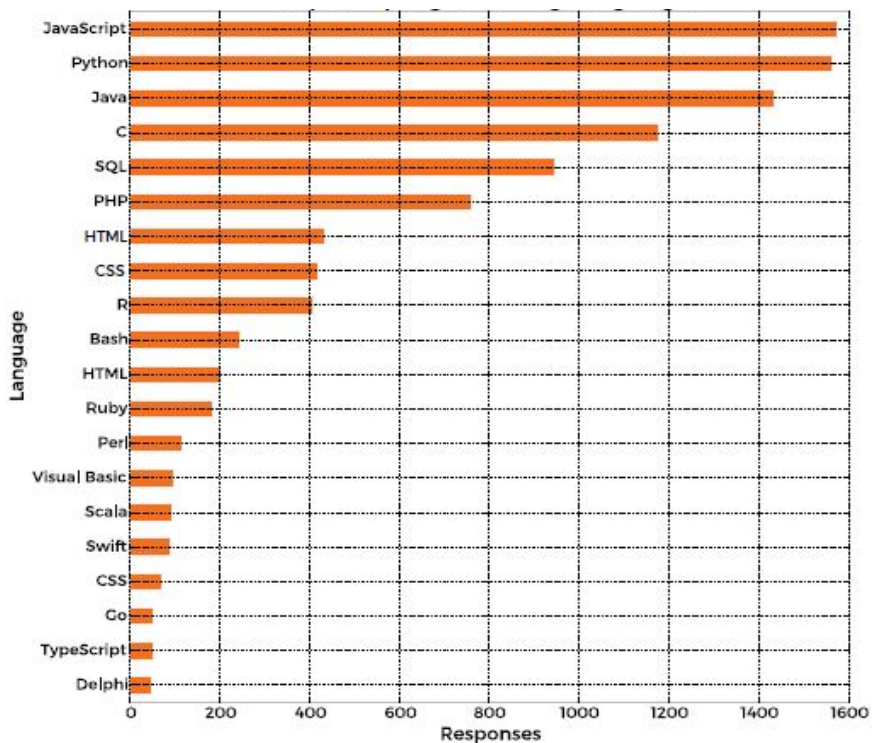
#### 4.2.4 서버 및 DB설계 표준안

유사사례와 기 구축시스템의 설계 및 운영현황을 분석하여 4가지 관점에서 표준안을 도출 하였다.

① 현재 지사와 농어촌연구원의 2중 구성되어 있는 저수지 예·경보 시스템을 한국농어촌공사로 통합하여 단일 시스템으로 구축하고, ② 계측기 및 데이터로거 업체의 종속을 해소하기 위하여 한국농어촌공사의 독자적인 계측데이터 수집 및 전송 프레임워크를 도입하여 운영 (저수지 예·경보시스템의 센서별 표준 포맷 활용), ③ DB설계는 시범 구축된 저수지 예·경보시스템의 설계(안)을 표준으로 운영에 반영, ④ 수집된 계측데이터는 한국농어촌공사의 RIMS에서 활용되는 자료를 수집서버에서 연계 한다.

이러한 4가지 표준안을 구현하기 위하여 각각의 프로그래밍 언어, WEB Server, WAS Server, DataBase, H/W 등에 대한 현황을 조사하여 최적의 솔루션들을 선정하고, 현재 전자정부사업의 표준으로 사용하고 있는 프레임워크 및 솔루션들과 비교를 통하여 선정하도록 한다. 현재는 각 솔루션들에 대한 성능 및 기능에 대한 편차가 적어 솔루션간의 기능비교는 현실적으로 무의미 하므로 대중성과 비용절감 측면에서 솔루션을 선정하도록 한다.

### 가. 개발언어 선정

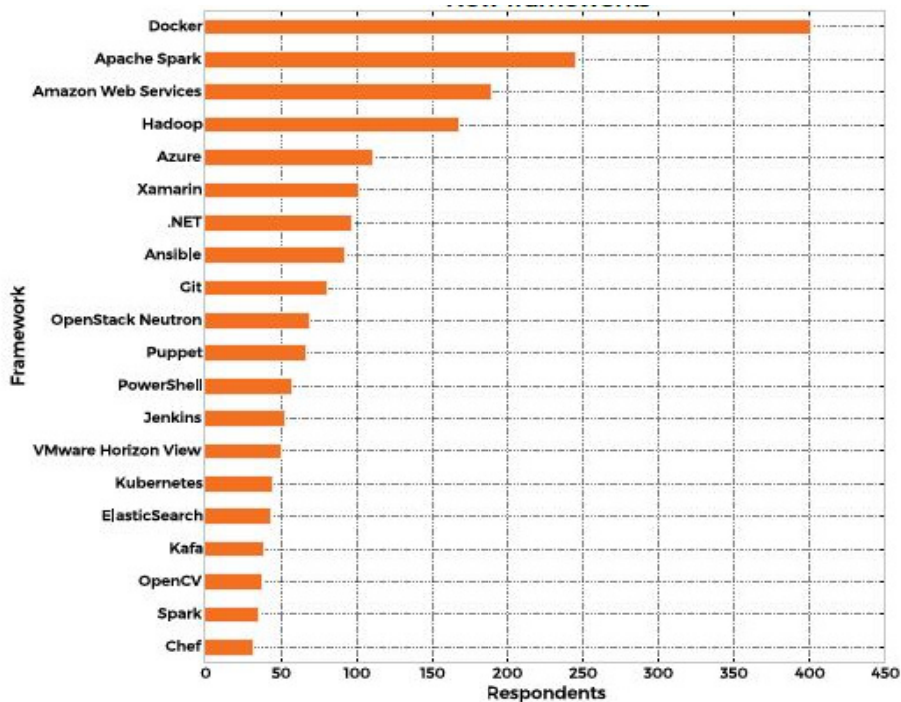


<그림 4-44> 프로그래밍언어 점유율 (Nunns, 2016)

저수지 예·경보 시스템의 개발언어는 시범사업에서는 C, C#, JAVA 등의 3가지 프로그래밍 언어로 개발되어 운영 중이다.센서와 통신하여 데이터를 수집하는 데이터로거는 C, 지사에 설치되어 있는 모니터링 프로그램은

C#, 중앙의 모니터링 시스템은 JAVA로 개발되어 운영 중으로 이렇다 보니 각 프로그램에 대한 유지관리의 비용 상승 및 3가지 언어를 동시에 구사하는 인력이 부족하여 각각의 프로그램 언어를 구사할 수 있는 프로그래머를 별도로 확보해야 하는 어려움이 존재한다. 현재 전자정부사업의 표준 프로그래밍 언어는 JAVA 지정하여 사용하고 있으며, 2016년 8월 전세계 프로그래밍 언어 점유율을 <그림 4-44>에서보면 JavaScript, Python, Java, C 순으로 사용되고 있는 것을 확인할 수 있다. 4개의 언어중 전자정부에서 표준으로 정하고 있는 Java, JavaScript이므로 저수지 예·경보 시스템에서 Java와 JavaScript를 표준으로 사용하는 것을 추천한다.

#### 나. 데이터 로거 프레임워크 선정

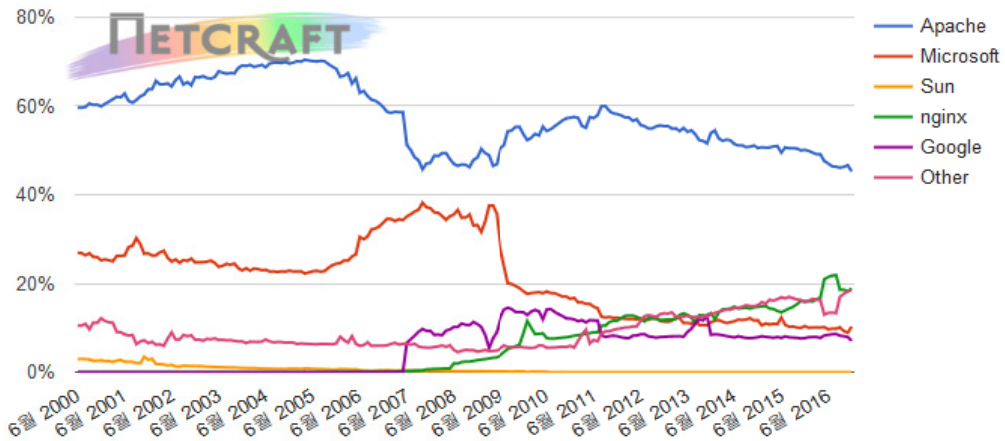


<그림 4-45> 프레임워크 관심도 (Nunns, 2016)

데이터 분석 및 통신을 위한 IoT프레임워크가 다양하게 사용되고 있다. 이러한 프레임워크는 주로 Open Source 기반으로 이루어지고 있다. 저수

지 붕괴예·경보 시스템의 IoT 프레임워크가 필요한 부분은 센서에서 수집된 데이터를 수집서버로 전송하는 데이터로거에 사용이 가능하며, 현재는 개발회사의 독자적인 프로그램으로 구축되어 있어 향후 유지관리 및 확장시에 특정회사에 종속되는 문제점을 앓고 있다. 이를 해결하기 위하여 세계적으로 많이 사용되고 있는 공개된 프레임워크를 적용하며, 저수지 예·경보 시스템에 특화된 기능을 탑재하여 구축하는 것을 기본으로 한다. <그림 4-45>의 Docker의 경우는 현재 관심도가 많으나 아직 현장에 적용된 예가 부족하므로 다른 상용솔루션에 코어 프레임워크로 많이 사용되고 있는 Apache Spark를 저수지 예·경보시스템의 데이터 로거 프레임워크에 사용하는 것을 추천한다.

#### 다. WEB Server Solution 선정



Developer	November 2016	Percent	December 2016	Percent	Change
Apache	80,012,251	46.67%	77,011,462	45.27%	-1.41
nginx	31,239,615	18.22%	32,113,723	18.88%	0.65
Microsoft	15,257,724	8.90%	17,554,286	10.32%	1.42
Google	13,607,864	7.94%	12,002,411	7.05%	-0.88

<그림 4-46> 전세계 WEb Server 점유율 (Netcraft, 2016)

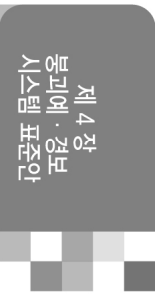
WEB Server는 WEB Service 시에 HTML 문서 및 이미지, 파일등을 저장하고 서비스하는데 사용하는 소프트웨어로 WEB Service의 가장 앞단에 위치하는 솔루션으로, 현재 사용제품과 오픈소스의 솔루션들이 사용되고 있다. <그림 4-46>에서 파악되듯 전세계 WEB Server의 점유율을 보면 오픈소스인 Apache 솔루션이 45%를 점유하는 것을 볼 수 있으며, 다음으로는 상용 솔루션인 Microsoft사의 IIS가 사용되고 있다. 현재 전자정부표준으로는 오픈소스인 Apache를 표준으로 권장하고 있다. 저수지 예·경보 시스템에서도 Apache 솔루션을 표준으로 사용하는 것을 권장한다.

#### 라. WAS Solution 선정

		IBM	ORACLE	redhat	Open Source
Runtimes	Java EE server	WebSphere App. Server	WebLogic Server	JBoss EAP	Tomcat / WildFly
	Node.js server	StrongLoop	n/a	n/a	Node.js
	API Mgmt.	API Connect	Axway (OEM)	n/a	WSO2 Api Manager
	Data Grid	WXS	Coherence	JBoss Data Grid	Infinispan, etc.....
	App. Infrastructure appliance	PureApplication System	Exaogic	n/a	n/a
DevOps	Continuous testing	Rational Test Workbench	App. Testing Suite	n/a	Selenium, JMeter, etc.
	Continuous release & deployment	Urban Code Deploy	n/a	Ansible (OEM)	Jenkins, maven, chef, puppet
	Continuous collaborative Dev.	Rational Team Concert	n/a	n/a	Git, Subversion, etc.
	Business Planning	Rational Doors NG	n/a	n/a	n/a
Cloud	Public PaaS	Bluemix	Oracle Cloud	OpenShift Online	Cloud Foundry, OpenShift
	On-premises PaaS	Bluemix Local	n/a	OpenShift Enterprise	Cloud Foundry, OpenShift
	Hybrid Cloud	Cloud Orchestrator	n/a	CloudForms & Ansible (OEM)	Cloud Foundry, CloudForms
ITSM	Operations	Netcool / Omnibus	Enterprise Manager	n/a	n/a
	Performance	Transaction / System	n/a	n/a	Nagios and Derivatives
	Automation	WorkLoad and Provision	n/a	n/a	n/a
	Application Performance Mgmt.	Deep Dive Monitoring	n/a	n/a	n/a
	Service Mgmt.	Control Desk	n/a	n/a	n/a

<그림 4-47> WAS Platform 비교 (Kharkovsk, 2016)

WAS Server는 WEB Service 시에 프로그램을 저장하여 데이터를 연산하거나, 저장하는 등의 비즈니스 로직을 처리하는 소프트웨어로 WEB Server와 DB server 중간에 위치하는 솔루션으로, 현재 상용제품과 오픈소스의 솔루션들이 사용되고 있다. <그림 4-47>에서 파악되듯 대표적인



WAS제품으로는 사용제품인 IBM WebSphere, Oracle WebLogic, RedHat JBoss, 오픈소스인 Tomcat등이 사용되고 있으며, 국내제품으로 Tmax 사의 JEUS 제품이 있다. 기능적으로는 IBM의 WebSphere 제품이 많이 제공하지만 이 모든 기능이 필요한 것은 아니다. 구축 할려고 하는 저수지 예·경보 시스템의 경우는 오픈소스 기반의 RedHat사의 Jboss 솔루션으로 충분한 사용이 가능하며 또한 전자정부 시스템의 표준으로 권장하고 있는 솔루션이므로 저수지 예·경보 시스템에서도 표준으로 사용하는 것을 권장한다.

#### 마. DB Solution 선정

DB Server는 데이터를 저장하고 관리하기 위한 용도로 사용되며, 저수지 예·경보시스템의 경우는 센서의 계측정보를 저장하게 된다. 많은 상용제품과 오픈소스 솔루션이 존재하며, 전자정부 시스템의 표준으로 권장하고 있는 국산 오픈소스 DB솔루션인 CUBRID를 저수지 붕괴예·경보 시스템에서도 표준으로 사용하는 것을 권장한다.

(표 4-28) 오픈소스 DataBase 비교 (Champagne, 2016)

제품	개요	장점	단점
CUBRID	CUBRID는 웹 애플리케이션을 위해 특별히 최적화된 무료 오픈 소스 옵션으로, 복잡한 웹 서비스가 많은 양의 데이터를 처리하고 많은 양의 동시 요청을 생성 할 때 유용합니다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 다중 입도 잠금, 온라인 백업</li> <li>▪ 개발 언어 용 GUI 도구 및 드라이버 :</li> <li>▪ 24/7 온라인 웹 서비스를 통한 자동 장애 복구 기능</li> <li>▪ 수평/수직 확장성 지원</li> <li>▪ 여러 데이터베이스 인스턴스로 데이터 생성</li> <li>▪ 데이터베이스 복제 및 트랜잭션 일관성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Apple 시스템에서 작동하지 않음</li> <li>▪ 스크립트 디버거 없음</li> <li>▪ 메뉴얼은 영어 또는 한 국어로만 제공됩니다.</li> </ul>
MariaDB	MariaDB는 MySQL의 오리지널 개발자들에 의해 만들어졌으며 Wikipedia, Facebook, Google과 같은 기술 대기업들이 사용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 쉬운 통합으로 높은 확장성</li> <li>▪ 실시간 액세스</li> <li>▪ MySQL의 핵심 기능 지원</li> <li>▪ 대체 스토리지 엔진, 서버 최적화 및 패치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ memcached 인터페이스 없음</li> <li>▪ 최적화 프로그램 없음</li> </ul>
MongoDB	MongoDB는 1,500 만 번 다운로드 되었으며 1,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 문서 유효성 검사</li> <li>▪ 암호화 된 스토리지 엔진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 복잡한 거래를 필요로 하는 애플리케이션에 적합하지</li> </ul>

	개 이상의 파트너가 지원	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 일반적인 사용 사례 : 모바일 앱, 제품 카탈로그, 콘텐츠 관리</li> <li>▪ 인 메모리 저장 엔진 (베타)이 포함 된 실시간 앱</li> <li>▪ 기본 실패와 복구 사이의 시간 단축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 많음</li> <li>▪ 기존 애플리케이션의 드롭인 대체품이 아닙니다.</li> <li>▪ 소프트웨어가 빠르게 변경되고 발전합니다.</li> </ul>
MySQL	여러 가지 문자 집합에 대한 지원을 포함하여 서버가 여러 언어로 클라이언트에 오류 메시지를 제공 할 수 있으므로 해외 사용자에게 유용한 옵션입니다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 호스트 기반 검증</li> <li>▪ 유연한 권한 및 암호 시스템</li> <li>▪ 모든 암호 트래픽의 보안 암호화</li> <li>▪ 독립 실행 형 응용 프로그램에 포함 할 수 있는 라이브러리</li> <li>▪ 클라이언트/서버 네트워크 환경을 위한 별도의 프로그램 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 더 이상 커뮤니티가 주도하지 않음</li> <li>▪ 회원은 버그를 수정하거나 패치를 수정할 수 없습니다.</li> <li>▪ 느린 업데이트</li> </ul>

#### 바. 결론

DB Server는 데이터를 저장하고 관리하기 위한 용도로 사용되며, 위의 5 가지 솔루션을 구성하기 위하여 도입되는 H/W, S/W는 현재 전자정부시스템의 표준으로 도입 사용하고 있는 대전통합전산센터의 G-Cloud 구축 및 운영환경을 참조하여 구성하도록 한다. 도입되는 WEB, WAS, DB서버의 H/W 구성은 오픈 O/S인 Linux의 탑재가 지원되는 H/W 도입을 표준으로 하며, 기본 O/S는 Open S/W인 Linux를 기본으로 하여 구축하도록 한다. 웹서비스의 표준 구성인 WEB, WAS, DB서버의 표준 S/W중 WEB서버의 경우는 Apache Project 그룹([www.apache.org](http://www.apache.org))에서 제공하고 있는 Apache HTTP Server 2.0을 표준으로 도입하여 사용을 하고, JAVA 프로그램을 구동하기 위한 미들웨어 S/W로는 JBoss를 도입하여 사용하는 것을 권장한다. JBoss의 경우는 Open S/W로 시작을 하였지만 현재는 RedHat그룹에서 서비스 라이선스 개념으로 판매를 하고 있으며, 저렴한 비용으로 유지관리가 가능하여 현재 전자정부 시스템의 표준 WAS 프로그램으로 사용되고 있다. DataBase 프로그램으로 현재 전자정부 표준으로는 Naver사에서 개발하여 Open S/W로 배포하고 있는 Cubrid와 Tmax 사의 DBMS 제품인 Tiberio의 두 가지로 구축하여 사용하고 있으나, 저수지 예·경보 시스템의 경우는 비용절감을 위하여

CUBRID 제품을 도입하고 무중단 서비스를 위하여 CUBRID 제품을 HA 로 구성하여 사용하는 것을 권장한다. 또한, 무중단 서비스를 위하여 모든 도입 H/W, S/W는 기본 이중화를 원칙으로 구성한다. 현재 개발된 저수지 예·경보시스템은 JAVA기반의 전자정부표준프레임워크로 개발되어 있다. 그러나 계측기 센서와의 통신은 계측기 생산 업체와 계측센서의 데이터를 현장에서 수집하는 게이트웨이 생산업체의 프로그램 및 프로토콜로 구성되어 표준화가 되어 있지 않은 상태로 향후 저수지 예·경보 시스템의 원활한 운영 및 표준화를 구성하기 위하여 센서로부터 실시간 데이터를 분석할 수 있도록 개발되고 있는 Apache Project 그룹의 “Apache Spark (<http://spark.apache.org>)”를 도입하여 저수지 붕괴예·경보 시스템에 특화된 표준 프레임워크를 개발 및 배포를 통하여 특정 H/W 업체에 종속되지 않고 운영이 가능한 형태로 시스템을 구축하도록 한다.

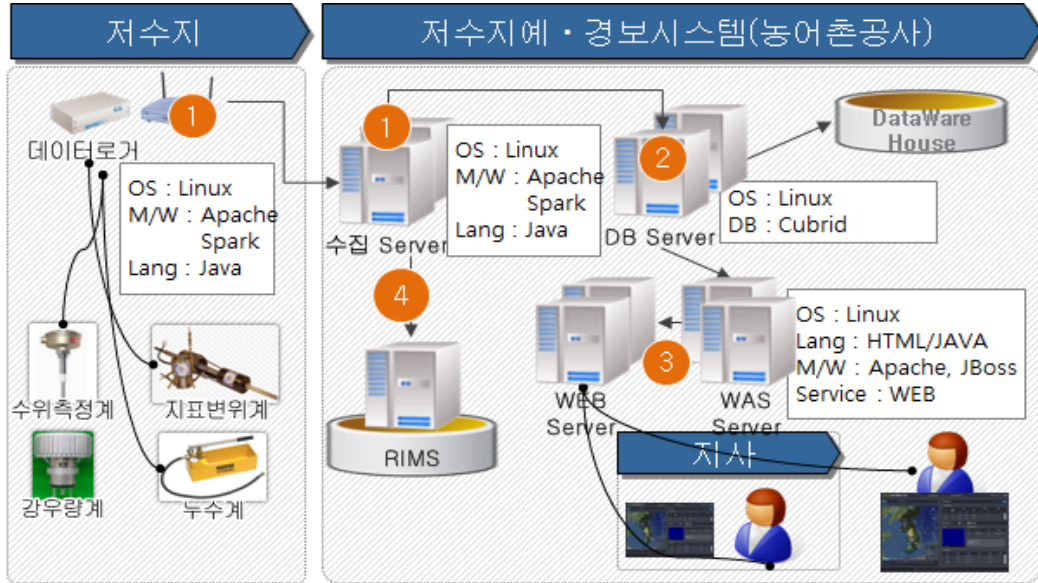
(표4-29) 사용 S/W 선정 사유

구분	사용SW 선정	선정사유	비고
개발언어	JAVA	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ WEB 프로그램의 표준</li> <li>▪ 전자정부표준 프레임워크로 지정</li> </ul>	
Operating system	Linux	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 오픈소스 프로그램으로 도입비용 저렴</li> <li>▪ 낮은 사양의 H/W에서도 구동 용이</li> </ul>	
통신 F/W	Apache spark	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 오픈소스로 도입비용이 없음</li> <li>▪ lot 실시간 자료 수집 및 분석 S/W</li> </ul>	수집서버
DB	CUBRID	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 오픈소스로 도입비용이 없음</li> <li>▪ 전자정부 표준 Database로 지정</li> </ul>	저장서버
WAS 서버	JBOSS	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 오픈소스로 도입비용이 저렴</li> <li>▪ 전자정부 표준 WAS S/W로 지정</li> </ul>	
WEB 서버	Apache	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 오픈소스로 도입비용이 저렴</li> <li>▪ 전자정부 표준 WEB S/W로 지정</li> </ul>	

수집된 데이터를 한국농어촌공사의 타 시스템에서 활용될 수 있도록 수집 서버에서는 데이터를 가공하여 실시간 연계를 구축하여 데이터의 활용성을 높인다. 이 경우는 계측데이터의 실시간 연계에 따른 원시자료 성격의 데이터를 연계하며, 추가적인 가공이 필요한 경우는 예·경보 시스템의



DB서버에서 데이터를 가공하여 통계 또는 분석용 데이터를 연계 할 수 있는 체계를 구성하여 운영한다.



<그림 4-48> 서버 및 DB설계 표준(안)

(표 4-30) 저수지 봉괴예·경보 시스템 H/W구성

구분	품목	용도	수량
1	데이터로거	현장 설치 계측기로부터 데이터 수집	1
	수집서버	현장의 데이터로거와 통신을 통하여 데이터를 수집하고 DB서버로 전송하여 저장	2
2	DB서버	계측기로부터 수집된 데이터를 원시데이터, 통계, 백업, 가공데이터 형태로 저장	2
3	WAS 서버	계측데이터를 조회하고 예·경보 프로그램 구동	2
	WEB서버	각종 HTML, 이미지 파일을 저장/서비스	2
4	내부시스템연계	한국농어촌공사의 내부시스템(RIMS)에서 필요한 데이터 형태로 가공 연계	-

안정적인 저수지 예·경보 모니터링을 위한 시스템 구성은 수집부터 분석, 표출까지 사용되는 모든 서버에 대한 이중화를 진행하여 24시간 365일 무

장애 서비스를 위한 시스템구성을 원칙으로 구성되어야 한다.  
 우선적으로 데이터 수집과 모니터링 서비스를 위한 부분은 Active-Active 방식의 이중화 구성을 통하여 서비스의 안전성을 확보하고, Active-Active 방식으로 구성시 비용이 많이 발생하는 DB서버의 경우는 우선 Active-Standby 방식으로 구성하고 향후 예산확보 후 Active-Active 방식으로 전환을 하는 점진적인 방법으로 제시 한다.

(표 4-31) 저수지 붕괴예·경보 시스템 H/W구성

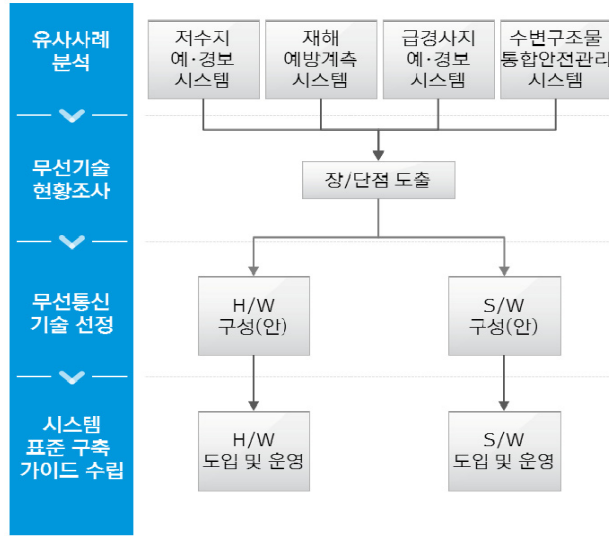
구분	품목	방식	용도	수량
1	수집서버	Active - Active	수집데이터의 부하분산을 통한 저수지 확대시 안정적인 시스템 확보	2
2	DB서버	Active - Standby	장애 대처 ※ Active-Active방식보다 비용 절감	2
3	WAS 서버	Active - Active	사용자 증가 시 부하분산 및 장애 대처	2
4	WEB서버	Active - Active	사용자 증가 시 부하분산 및 장애 대처	2

## 4.3 저수지 무선통신 적용 방안

### 4.3.1 수립절차 및 목표

#### 가. 수립 절차

본 연구에서는 저수지에 붕괴예·경보를 위하여 설치된 통신방식에 무선 통신을 적용하기 위하여 시범구축하여 운영중인 USN 저수지 붕괴예·경보시스템과 유사 시스템인 재해 예방계측 시스템, 급경사지 예·경보 시스템, 수자원공사의 시범구축중인 수변구조물 안전통합관리 시스템을 분석하여 장단점을 도출하고 개선안을 마련한다.



<그림 4-49> 무선통신 표준(안) 수립 절차

#### 나. 수립 목표

저수지 무선통신 적용방안 수립은 안정적인 네트워크 환경구성, 장애 최소화, 비용절감의 3가지 측면에서 각기 목표를 설정하고 목표에 달성을 위한 표준(안)을 제시하도록 한다.

##### 안정적인 네트워크 환경구성

- 저수지 내에서 무선통신을 구축하여 개보수시 편의성 및 안정적인 데이터 전송 환경을 구성

##### 장애 최소화

- 낙뢰등의 사고에서 타 계측기에 영향을 미치지 않아 피해 최소화 및 계측기의 안정성 확보

##### 비용절감

- 개보수 시 또는 불의 사고시에 계측기에 제한적인 영향을 미쳐 유지관리비용을 절감

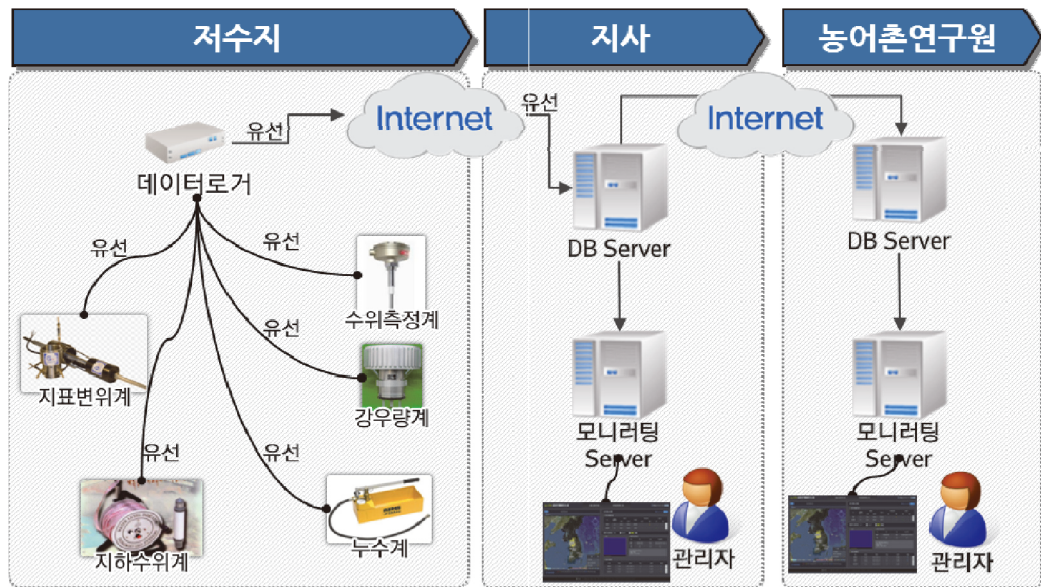
<그림 4-50> 무선통신 표준(안) 수립 목표

### 4.3.2 유사사례 분석

#### 가. USN 저수지 붕괴예·경보 시스템

##### 1) 설치현황 및 시사점

농어촌연구원의 시범사업을 통해 구축되어 운영중인 USN저수지 예·경보 시스템의 센서 설치 현황을 분석하고 시사점을 도출하였다. 저수지에 설치된 계측기는 유선으로 데이터로거와 통신하고, 데이터 로거는 유선 인터넷망에 연결되어 지사와 통신하며, 지사와 농어촌연구원과 인터넷망으로 통신하여 데이터를 DB서버에 저장하여 운영 중이다.



<그림 4-51> 저수지 붕괴예·경보 시스템 네트워크 구성현황

USN 저수지 붕괴예·경보 시스템은 2종 저수지 중에서 규모가 큰 저수지에 구축을 하며 저수내의 모든 통신을 유선으로 구축하였다. 그러나 매주 저수지 같은 경우 개보수 공사시에 장비에 의한 통신·전원선의 절취가 이루어 졌으며, 이로 인한 개보수 공사 후 재 설치하는 추가적인 작업이 진행 되었다. 이처럼 유선 통신의 경우 다양한 문제와 유지관리 비용

의 상승 요인이 되고 있다.

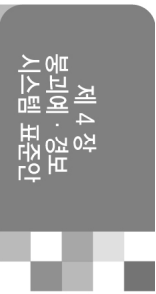
(표 4-32) USN 저수지 예·경보 시스템 네트워크 구성의 시사점

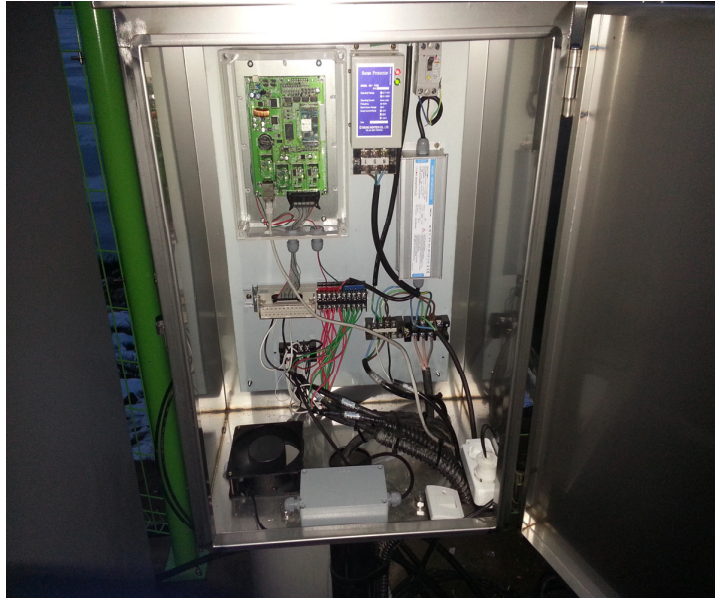
구분	시사점
1	데이터 로거와 각종 센서간 통신이 유선으로 이루어져 저수지 개보수시에 통신선의 절취가 이루어 짐
2	특정 센서에 낙뢰시에 유선으로 연결되어 다른 센서에도 영향을 미쳐 전체 센서에 대한 통신 장애 발생
3	개보수시 통신선에 대한 철거 후 재설치 작업등으로 유지관리 비용이 상승

2) 데이터 로거 구성 현황

(표 4-33) 자동화 장비 제원 (장대원, 2014)

종 류	제 원
자동화장비	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적용센서 : GDL-2012</li> <li>• CPU : AT91SAM9G20</li> <li>• 메모리 : 8MB</li> <li>• Range : ±3.3V(200mA Max)</li> <li>• 작동온도 : -25° ~ 70°</li> <li>• 전원공급 : Power Supply, 밧데리, 태양전지판 등</li> <li>• 확장성 : 255ch, Tcp, Ftp, WEB</li> <li>• Multiplexor 내장</li> </ul>
설치방법	① 보호 함체 내에 흔들리지 않게 나사로 고정 설치
측정방법 및 자료정리	① 계측기기의 데이터를 실시간 제어 및 수집 저장기능



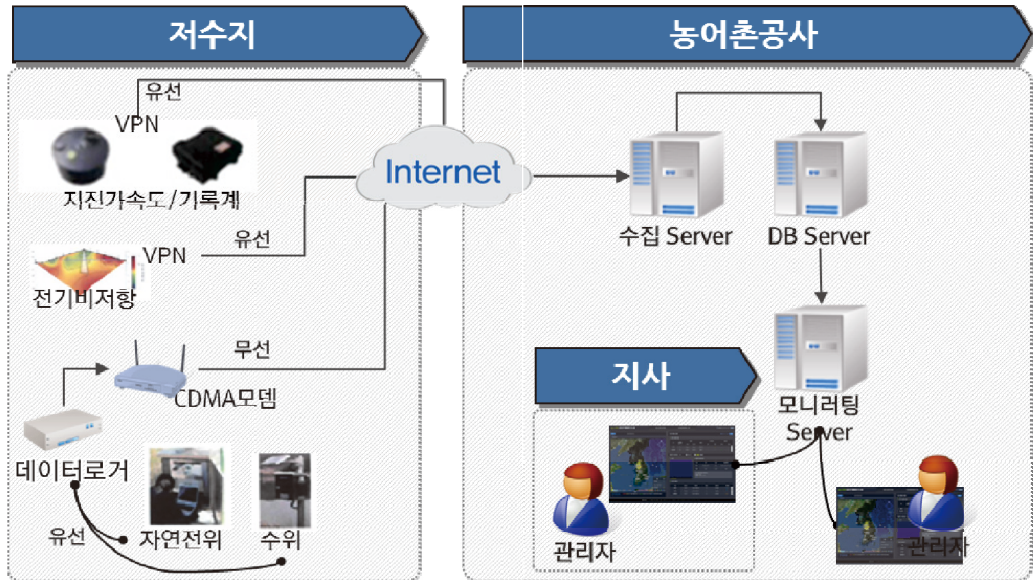


<그림 4-52> 자동화 장비 설치 현황

#### 나. 재해예방계측 시스템

##### 1) 설치현황 및 시사점

한국농어촌공사는 저수지에 설치된 계측기와의 통신 연결 작업을 통해 중앙의 모니터링 시스템으로 데이터를 수집하고 있다. 자연전위, 수위 측정 데이터는 유선으로 데이터 로거에 수집된 데이터를 CDMA방식의 무선인터넷으로 한국농어촌공사의 수집서버로 전송하고, 지진가속도계, 전기비저항 측정 데이터는 VPN을 유선으로 연결하여 전송하는 방식으로 운영을 하고 있다. 현재 이후 추가되는 계측기의 경우는 RF방식의 무선통신모뎀을 장착하여 저수지 내에서도 무선으로 데이터를 데이터로거까지 전송하는 방식으로 점차 변경을 진행하고 있다.

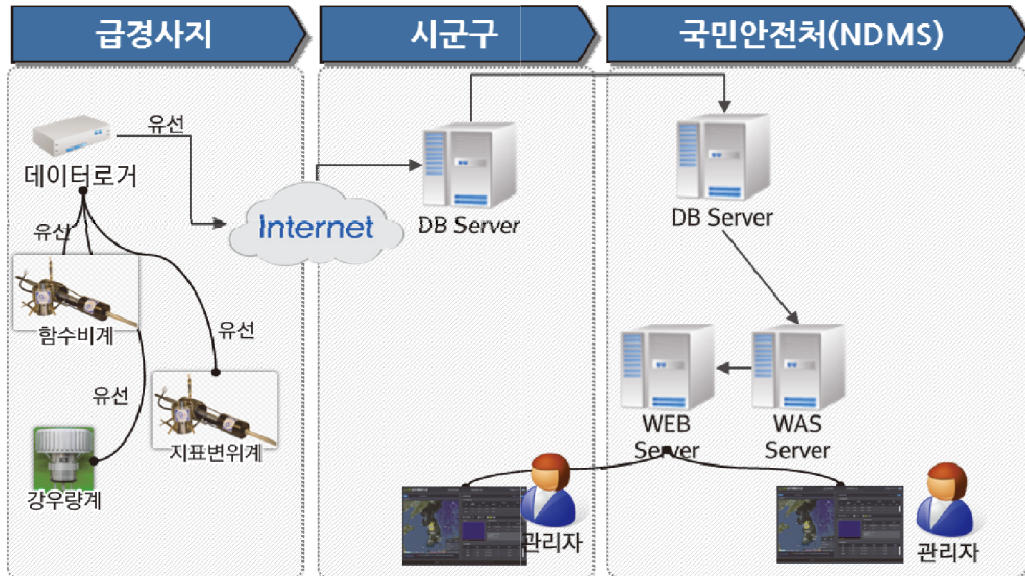


<그림 4-53> 재해예방 계측 시스템 네트워크 구성

재해예방 계측 시스템은 설치된 계측기의 10% 정도의 계측기에서 자동으로 데이터를 수집하고 있다. 점진적으로 데이터의 자동 수집을 확대해 나가고 있으며, 이를 통하여 현재 수동측정중인 계측기의 자동계측수립체계 마련이 시급한 상황이다.

#### 다. 급경사지 붕괴예·경보 시스템

국민안전처에서 관리하고 있는 급경사지에 계측기가 설치된 3곳의 시범지역(삼척, 가평, 완주) 모두 유선으로 데이터로거와 연결되어 인터넷망을 통하여 시군구로 취합, 시군구로 취합된 계측정보는 행망을 통하여 국민안전처의 NDMS 시스템으로 전송되며, NDMS의 급경사지 모니터링 시스템을 통하여 계측값을 모니터링 하는 방식으로 구성되어 있다.



<그림 4-54> 급경사지 예·경보 시스템 네트워크 구성

급경사지 예·경보 시스템은 농어촌연구원의 USN 저수지 붕괴 예·경보 시스템과 동일한 방식의 네트워크 구성을 갖고 있으며, 이로 인한 문제점도 동일하게 앓고 있다.

(표 4-34) 재해예방 계측 시스템 네트워크 구성의 시사점

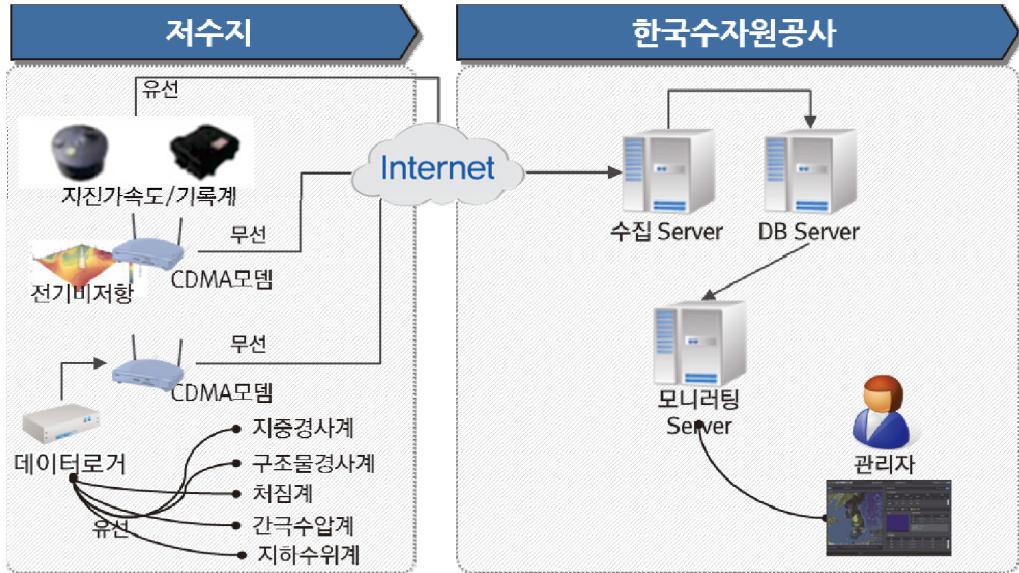
구분	시사점
1	특정 센서에 낙뢰시에 유선으로 연결되어 다른 센서에도 영향을 미쳐 전체 센서에 대한 통신 장애 발생
2	급경사지 정비사업 완료 후 설치된 계측기를 철거하여 사용하지 않으므로 항상 계측이 필요한 저수지 보다는 무선의 필요성이 떨어짐

#### 라. 수변구조물 통합안전관리 시스템

수자원공사에서 구축하고 있는 수변구조물 통합안전관리시스템은 전기비저항, 지하수위계, 간극수압계, 지중경사계, 구조물경사계, 처짐계의 계측기는 유선으로 데이터 로거로 수집하고, 수집된 데이터를 CDMA 모뎀을



이용하여 무선으로 수자원공사의 수집서버로 전송한다. 계측 데이터 양이 많은 지진가속도계는 유선으로 연결하여 중앙의 수집서버로 전송한다.



<그림 4-55> 수변구조물 통합안전관리시스템 네트워크 구성

수자원공사는 2~3개의 계측기와 자동화장비를 하나의 팬스 안에 같이 설치하여 유선으로 연결 하므로 사람이나, 장비의 접근을 차단하여 저수지에·경보 시스템과는 다르게 장애 발생 원인을 제어하고 있다.

(표 4-35) 수변구조물 통합안전관리 시스템 네트워크 구성의 시사점

구분	시사점
1	무선과 유선을 혼용하여 사용하고 있음, 무선의 경우는 주로 CDMA통신을 사용함
2	계측데이터는 1시간 간격으로 자동 수집
3	각 계측기의 전원은 태양광시스템을 적용하고 축전지를 배터리로 활용

### 4.3.3 사물인터넷 무선통신 기술 조사

#### 가. 무선통신 기술 분석

(표 4-36) 무선통신 기술의 특징

기술	특징	주파수	커버리지/속도
Zigbee	무선제어 및 모니터링, 저전력, 무선 메시망	2.4GHz (ISM)	~50m 300kbps
Zwave	무선 홈 콘트롤용 저전력 무선 메시망	900MHz (ISM)	~ 50m 300kbps
SUN, LoRa, LPWA	원격 미터링 스마트 그리드 무선 메시망	900MHz (ISM)	~ 1/10km 100kbps
Bluetooth 4.0 (BLE : bluetooth Low Energy)	스마트폰 헬스케어 저전력 스마트홈	2.4GHz (ISM)	~100m 1Mbps
WiFi	근거리 무선통신용으로 스마트폰, PC 등 수많은 기기에서 사용됨	2.4GHz 5GHz (ISM)	~100m 100Mbps
D-TRS	주파수 공용통신 무전기 발전형태	800MHz	~ 50km 10kbps
3G/4G NB-LTE	이동통신 기술	800M, 850M, 900M, .8G , 21G, 2.3G, 2.6GHz대역	~ 50km 10Mbps

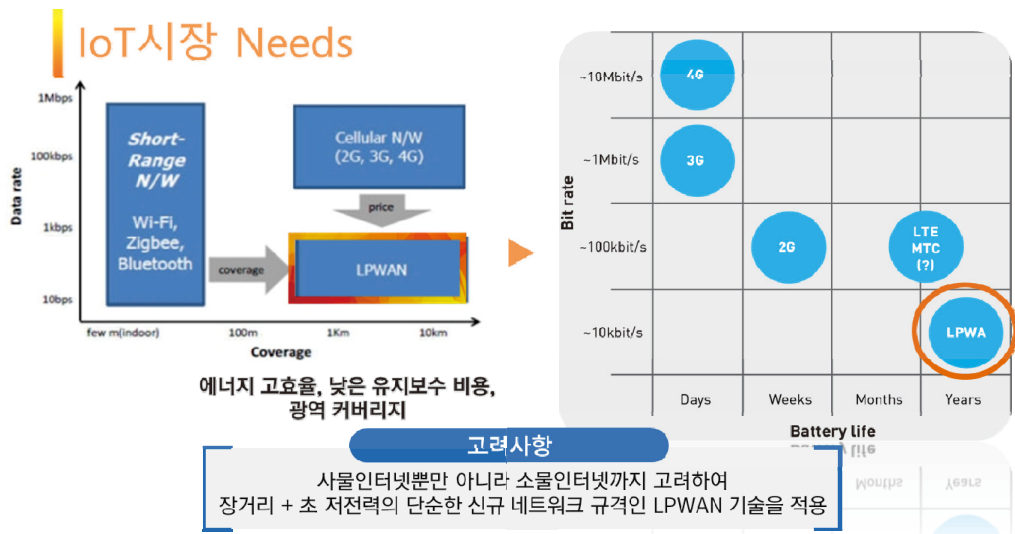
#### 나. 무선통신 기술 장·단점 분석

(표 4-37) 무선통신 기술별 장·단점

기술	주파수	장점	단점
Zigbee	2.4GHz (ISM)	저전력 낮은 가격 메쉬라우팅 지원	-프로파일 복잡화
Zwave	900MHz (ISM)	Zigbee보다 저전력 메쉬라우팅 지원	-제품이 많지 않음
SUN, LoRa, LPWA	900MHz (ISM)	장거리 전송 적합 메쉬라우팅 지원	-제품이 많지 않음

기술	주파수	장점	단점
Bluetooth 4.0 (BLE : bluetooth Low Energy)	2.4GHz (ISM)	스마트폰 연동 저전력 낮은가격 많은 보급	-네트워킹 개량 중
WiFi	v2.4GHz v5GHz (ISM)	빠른속도 대중 보급으로 낮은 가격 검증된 통신/보안 기술	-혼선우려 -짧은 통신범위
D-TRIS	v800MHz	그룹통신 지원 유지비용 저렴	-낮은 속도
3G/4G NB-LTE	v800M, 850M, 900M, .8G , 21G, 2.3G, 2.6GHz 대 역	커버리지 이동성	-고가 통신칩

다. 저수지 무선통신 적용기술 선정



<그림 4-56> 무선통신기술 분석

저수지의 무선통신을 적용하기 위하여 고려해야 할 요인은 크게 3가지로 정의할 수 있다. ① 에너지 고효율(저전력), ② 낮은 유지보수 비용, ③ 광

역 커버리지, 이러한 특성을 갖고 있는 무선기술 중 현재 가장 많이 사용되고 있으며, 재해예방 계측 시스템에서도 일부 사용하고 있는 LPWA(Low Power Wide-Area)기술을 활용하는 것이 가장 적절하다.

#### 4.3.4 결론

가. 센서별 통신기술 적용 여부

(표 4-38) 무선통신 기술 적용 여부

순번	센서	데이터양	적용가능		특이사항
			유선	무선	
1	수위계	소	○	○	
2	지하수위계	소	○	○	
3	지표변위계	소	○	○	
4	강우량계	소	○	○	
5	누수계	소	○	○	
6	CCTV	대	○	X	실시간 조회가 가능해야 하며, HD급 CCTV보급으로 인하여 유선 망을 활용한 네트워크 연결을 권장
7	이미지센서	소	○	○	
8	지진 가속도계	대	○	X	대량의 데이터가 취합되므로 유선망을 활용하는 것이 적절
9	이동신 전기비저항	중	○	○	

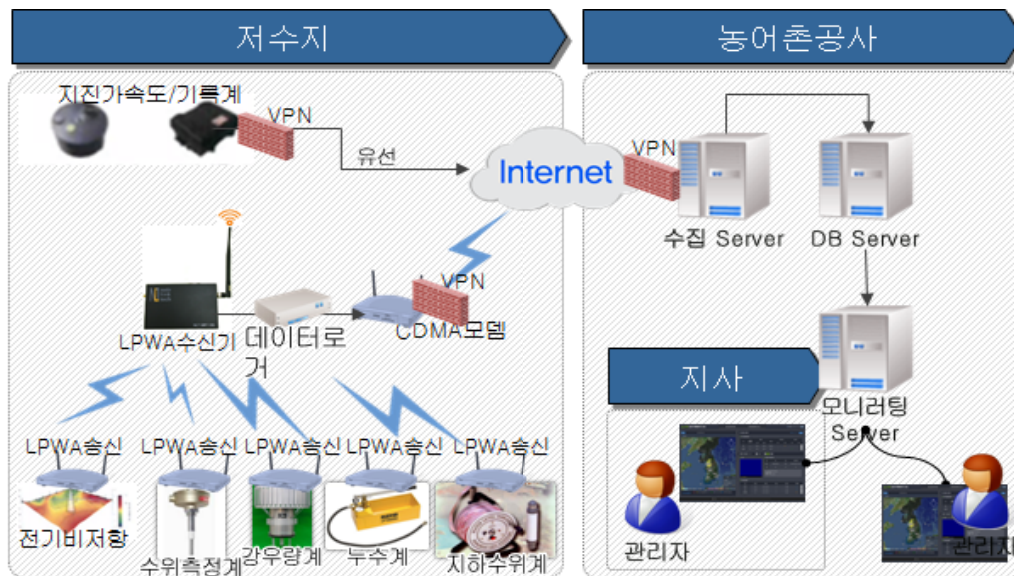
나. 저수지 예경보 무선네트워크 구성(안)

지하수위계, 누수계, 강우량계 등의 센서에 LPWA송신기를 설치하고, 데이터로거에는 LPWA수신기와 CDMA모뎀을 설치하여 계측기와 인터넷망을 무선으로 연결 한다. 지진가속도계, CCTV는 유선망을 연결하여 데이터의 안정적이 전송 속도를 확보 한다. 또한 보안을 유지하기 위하여 수집서버와 CDMA 모뎀간에는 VPN을 연결한다.

저수지 현장에서 보안을 확보하기 위하여 센서 개별적으로 CDMA모뎀 적용은 지양하며, 계측기와 데이터로거간은 사설IP를 도입하여 사설망으로 구축한다. 30만톤 이상의 대형 저수지는 데이터로거와 CDMA모뎀을 이중화 하여 데이터의 안정성을 확보 하도록 한다.

(표 4-39) 네트워크 장비 도입(안)

순번	품목	소형	대형(이중화구성)
1	데이터로거	1식	2식
2	CDMA모뎀	1식	2식
3	VPN	1식	2식



<그림 4-57> 저수지 예·경보 시스템 네트워크 구성(안)

가이드로 제시한 네트워크 구축 방안은 VPN을 도입하여 보안을 확보하는 방식이므로 추가적인 비용발생 요소가 있다. 현재 각 통신사별 보안을 적용한 IoT 전용 통신망을 구성하여 시범 운영 중이며 데이터 통신료도

저렴하나 아직 구체적인 사용화 계획이 명확하지 않으므로 2차년도 연구에서 구체적인 방안을 도출 하는 것으로 정의 한다. 또한 국민안전처에서 구축중인 재난통신망의 경우 현재 시범구축단계로 저수지 예·경보를 위한 계측기 데이터 통신을 위하여 활용 가능 여부에 대하여는 아직은 불명확하다. 시범구축단계의 종료 시 재검토가 요구된다.

## 제 5 장

# 센서 개별위험 관리기준







## 제5장 센서 개별위험 관리기준

### 5.1 위험 관리기준의 필요성

2016년 10월 5일 태풍 차바로 인한 집중호우 발생은 울산시 사당골 저수지를 붕괴시켜 하류의 농경지 피해를 가중시켰다. 사당골 저수지는 안전진단결과 D등급으로 평가되어 국비 확보에 의한 보강공사를 앞두고 있었으나 보강 전 집중호우로 붕괴된 사례이다. 저수지 붕괴 등 비상시에는 비구조적 대책으로 비상대처계획에 의하여 대피명령이 발령되어 주민대피가 이루어져야 하나 저수지 예·경보시스템 구축 미비 및 예보 기준이 아직 마련되지 않아 현장에서의 관리기관의 비상대응계획 운영에 큰 어려움이 있다.

저수지 붕괴는 발생시 큰 인명피해와 재산피해를 유발시킴에 따라 사전에 위험저수지를 지정하여 예방사업을 하거나 주민대피체계를 구축하여 주민이 저수지 붕괴 예보 발령시 쉽게 인지하고 빠른 시간에 안전한 장소로 대피하는 것이 매우 중요하다. 한국농어촌공사는 저수지 재해예방계측시스템 설치사업을 추진하고 있으며 저수지의 계측결과를 활용하여 이상거동 및 붕괴징후를 사전에 인지함으로써 현장 비상대응 활동을 수행하고 있으나 계측오차 및 현장적용에 어려움이 있어 성과를 얻기 위해서는 장기적이고 지속적인 계측사업에 대한 투자 및 계측시스템의 고도화가 요구된다.

본 연구는 국내 급경사지 등 토목구조물의 예·경보 기준을 조사하여 저수지 재해예방 계측시스템에 설치되는 강우량계 등 계측기별 저수지 붕괴 예보 기준의 정립을 목적으로 한다. 또한, 재난및안전관리기본법 제38조(예경보 발령)에서 재난관리주관기관 및 시장·군수·구청장 등은 저수지 붕괴 등 재난으로 피해가 예상되거나 피해를 예방하기 위해 필요한 경우 재난 예·경보를 발령할 수 있다. 본 연구에서 저수지 붕괴 예보 기준을 제공함으로써 재해예방 계측시스템의 활용성을 극대화하고, 과학적이고

효율적인 비상대응활동의 실행으로 대국민 서비스 향상과 한국농어촌공사에 대한 신뢰성 제고에 크게 기여할 것으로 사료된다.

## 5.2 저수지 붕괴원인 및 비상대응계획

### 5.2.1 저수지 붕괴예방 가능성

우리나라의 농업생산기반시설은 전국적으로 71,746시설이 건설 운영되고 있으며 이중 저수지는 전체 17,401개 시설이 운영되고 준공 50년 이상된 저수지는 12,591(72.4%)개 시설에 이를 정도로 노후화 정도가 심하다. 저수지는 일반적으로 제체의 누수 및 파이핑, 제당 월류, 침식, 기초부 누수 및 파이핑, 하류측 사면붕괴 및 지진 등의 원인으로 붕괴 피해가 발생하고 있다.

(표 5-1) 미국 사력댐의 붕괴원인 및 붕괴예방 가능 비율

붕괴 원인	전체 붕괴사례와 비교한 구성비율	계측관리를 잘 했더라면 붕괴를 막을 수 있는 비율	붕괴예방 가능비율
댐체 누수 및 파이핑	30	100	30
월류(overtopping)	23	11	3
침식(flow erosion)	18	86	16
기초누수 및 파이핑	14	100	14
하류측 사면 붕괴	7	100	7
변형(deformation)	4	33	1
열화(deterioration)	4	0	0
수문조작 실패	1	0	0
계(%)	100	-	71

(※미국 토목학회 및 미국대댐회(ASCE/ USCOLD)-1980년대 발생한 사력댐 붕괴사례 77건)

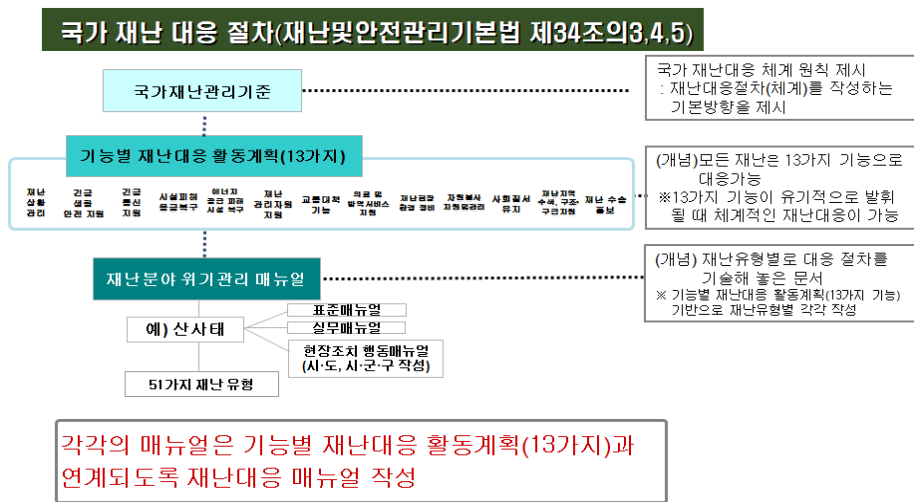
우리나라에서 여름철에 발생하는 태풍 및 집중호우는 기후변화 특성으로 극한 강우강도 현상을 보이며 과거 저수지 건설에 사용된 설계 강우강도 보다 큰 강우강도 값을 나타내 저수지 붕괴의 직접적인 원인(저수지 붕괴

19건/22건)으로 나타난다. 또한, 전체 저수지 중 준공 50년 이상된 노후화 저수지에서 일부는 제체 심벽의 이상으로 누수에 의한 저수지 붕괴도 발생하고 있다.

표 5-1은 2002년~2014년 등 13년 동안 발생한 22건의 국내 저수지 붕괴 사례를 피해원인 및 피해내용을 위주로 작성한 것이다. 국내 저수지 붕괴의 대부분은 태풍 및 집중호우에 의한 월류 현상으로 인한 제방유실로 발생하였으며 일부 누수에 의한 붕괴 발생 사례도 보여준다.

저수지 재해예방 계측시스템에 적용되어 붕괴 예보를 위해 적용할 계측기기는 국내 및 해외사례에서 붕괴원인으로 도출된 집중호우에 의한 월류에 의한 제방유실, 제체 누수 및 파이핑, 하류측 사면붕괴 등의 징후를 인지할 수 있는 계측기기로 구성되어야 한다.

### 5.2.2 위기대응 매뉴얼 및 위기경보 기준



〈그림 5-1〉 재난유형에 따른 국가 재난대응체계 (국민안전처, 2015)

우리나라는 1994년 삼풍백화점 붕괴사고, 2004년 대구지하철 방화사고, 2014년 세월호 침몰사고 등 재난을 겪으면서 국민안전처 출범 및 재난 및

안전관리기본법을 개정하여 현재의 재난대응체계를 구축하였다. 「재난 및 안전관리기본법」(국민안전처, 2016b) 제34의 3,4,5에 따라 국가 재난 관리기준을 제정하여 주요 재난유형에 대한 재난대응 절차를 작성하는 기본방향을 제시하였으며, 모든 재난유형에 적용할 수 있는 13가지 기능별 재난대응활동계획을 작성하도록 하여 13가지 기능이 유기적으로 발휘될 때 체계적인 재난대응이 가능하도록 체계를 정비하였다. 또한, 재난유형에 따라 재난관리주관기관을 지정하여 기능별 재난대응활동계획과 연계되도록 재난대응 표준매뉴얼 및 실무매뉴얼을 작성하도록 하였으며 산하기관 및 지방자치단체는 표준매뉴얼과 실무매뉴얼과 연계된 현장조치행동매뉴얼을 작성하여 재난에 효율적으로 대응할 수 있도록 하였다(그림 5-1).

**(표 5-2) 위기대응 실무매뉴얼 구성체계 (산림청, 2015)**

구 성	주 요 내 용
제1장 개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 목적, 법적근거 및 적용범위</li> <li>◦ 위기형태, 위기경보</li> <li>◦ 위기대응 지침 및 판단, 고려 요소</li> <li>◦ 위기관리 업무수행 체계</li> </ul>
제2장 위기관리 활동 및 위기경보 수준별 조치사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 예방 및 대비</li> <li>◦ 대응, 위기경보 수준: 관심, 주의, 경계, 심각</li> <li>◦ 긴급사항 초기대응시 임무와 역할</li> <li>◦ 복구 - 지자체/소속기관의 임무와 역할</li> </ul>
제3장 산사태예방지원본부 가동시 준비사항 및 본부장 역할	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 단계별 사전 준비사항</li> <li>◦ 산사태예방지원본부장의 역할</li> </ul>
부록(참고자료)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 산림청 산사태(태풍호우)대응 프로세스</li> <li>◦ 태풍 호우 위기대응 시나리오</li> <li>◦ 유관기관 비상연락망</li> <li>◦ 위기경보 발령사항 전파기관</li> <li>◦ 기타 참고사항</li> </ul>

재난 위기대응 매뉴얼의 경보기준 및 내용을 알아보기 위하여 위기대응 실무매뉴얼, 재난 및 안전 관련 매뉴얼 등의 구성 체계 및 내용을 조사·분석하였다. 위기대응 실무매뉴얼은 위기관리 표준매뉴얼의 하위지침으로서 관련 기관들이 표준매뉴얼에 명시한 책임과 역할을 수행하는데 필요한

보다 구체적인 조치와 절차 등을 규정한 문서이며(표 5-2), 표 5-3은 주요상황 대응매뉴얼 구성 체계를 나타낸 것이다.

**(표 5-3) 주요상황 대응매뉴얼 구성 체계**

구 성	주 요 내 용
제1장 일반사항	1.개요 2.적용범위 3.관련법규 4.용어 정의
제2장 기본사항	1.목표 2.방침 3.대응체계
제3장 대응활동	1.세부 활동내용 가.상황전파 나.부처 간 대외협조 다. 대응활동 라. 지원 2.기관별 책임, 역할
제4장 사후관리	1.세부 활동내용 가.피해조사 및 복구 나.협력체제 구축 다.대응시스템 보완·발전 2. 기관별 책임·역할
참고자료	1.사례 2.관련법규 세부내용 3.연락체계 4.관련기관

**(표 5-4) 준공후 시설등록된 농업생산기반시설 안전사고의 위기대응 매뉴얼 경보기준 (한국농어촌공사, 2014)**

구 분	[준공후 시설등록된 농업생산기반시설 안전사고] 위기대응 매뉴얼” 경보기준	비 고
<b>관심 (Blue)</b>	-안전점검 결과 집중관리가 필요하다고 판단될 경우 *징후가 있으나 그 활동수준이 낮으며, 가까운 기간 내에 위기로 발전할 가능성도 비교적 낮은 상태	징후 감시활동
<b>주의 (Yellow)</b>	-구조물이나 지반균열 등 위험징후가 진행 중 일 경우 -계측관리 시스템상 위기발생 징후가 포착된 경우 *징후 활동이 비교적 활발하고 위기로 발전될 수 있는 일정 수준의 경향성이 나타나는 상태	대비계획 점검
<b>경계 (Orange)</b>	-붕괴사고로 인적·물적 피해가 발생하였으나 피해정도가 경미하고 자체 대응·복구가 가능한 경우 *징후 활동이 매우 활발하고 전개속도, 경향성 등이 현저한 수준으로서 위기로 발전할 수 있는 가능성이 농후한 상태	즉각 대응태세 돌입
<b>심각 (Red)</b>	-붕괴로 대규모 사고가 발생하여 인명피해 또는 막대한 물적 피해가 발생한 경우 *징후 활동이 매우 활발하고 전개속도, 경향성 등이 심각한 수준으로서 위기발생이 확실시되는 상태	협조체제 가동

표 5-4은 2014년 작성된 [준공후 시설등록된 농업생산기반시설 안전사고] 위기대응 매뉴얼의 위기경보 기준을 나타내며, 표 5-5는 저수지 등 농업생산기반시설의 위기대응 실무매뉴얼에서 정립한 위기 경보기준을 보여준다.

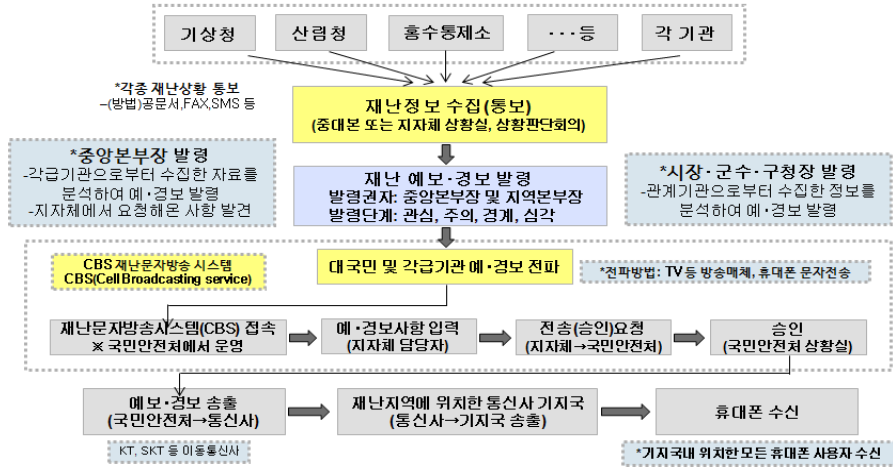
**(표 5-5) 농업생산기반시설의 위기대응 실무매뉴얼 경보기준**

구 분	농림수산식품부의 “저수지 등 농업생산기반시설 위기대응 실무매뉴얼” 위기경보 기준	
	평상시(시설물 노후화 등)	풍수해 기간(5.15-10.15)
<b>관심 (Blue)</b>	-붕괴는 예상되지 않으나 노후 시설에 대한 사전점검 및 정비가 필요한 단계	-태풍·호우 빈발시기 -우리나라에 영향을 끼칠 가능성 있는 태풍의 발생
<b>주의 (Yellow)</b>	-저수지 수위가 위험수준에 접근 -구조적 변화 일부 발생	-태풍·호우 주의보 발표시 (제주제외)
<b>경계 (Orange)</b>	-저수지 붕괴가 결과적으로 일어날 수 있으나 붕괴 전 상황 -또는 붕괴사고로 인적 물적 피해가 발생하였으나 피해 정도가 경미하고 자체 대응 복구가 가능한 경우	-태풍·호우 주의보가 3개 도 지역 이상 또는 경보가 2개 도 지역이상 발표시(제주제외) -대규모(전국단위) 재난발생 가능성이 우려될 때
<b>심각 (Red)</b>	-저수지 붕괴가 발생하였거나 붕괴가 임박하여 곧 확실히 발생할 사항 -인명피해 또는 막대한 물적 피해 발생	-태풍·호우 경보가 발표되고, 태풍·호우에 의한 대규모(전국단위) 재난발생 가능성이 확실한 때

### 5.2.3 저수지 비상대처계획(EAP)

재난 및 안전관리기본법 제38조는 자연재난 및 사회재난으로 피해가 예상되거나 피해를 예방하기 위해 필요한 경우 및 인명 또는 재산피해 정도가 매우 크고 영향이 광범위할 것으로 예상되는 경우에는 기상청 등의 각종 재난정보를 수집하여 상황판단회의를 거쳐 발령 단계별(4단계:관심·주의·경계·심각)로 중앙재난대책본부장, 중앙수습본부장 및 시·도, 시·군·구 단체장이 재난 예·경보를 발령할 수 있도록 규정하고 있다(그림 5-2).

**재난 예·경보의 발령(재난안전법 제38조)**



〈그림 5-2〉 재난 예·경보의 발령 절차 (국민안전처, 2015)

국민안전처는 인명피해 우려가 있는 재해취약지역의 주민대피계획을 수립 하도록 지방자치단체에게 요청하고 있으며, 각 지방자치단체는 산사태, 침 수 등 관내 인명피해 우려지역에 대한 주민대피 비상대처계획을 수립하여 현장 비상대응활동 계획으로 사용하고 있다. 표 5-6은 00시에서 수립한 주민대피 비상대처계획의 구성요소를 나타낸 것이다.

(표 5-6) 인명피해 우려지역 주민대피계획 구성 요소(00시 사례, 2012)

구 성	주 요 내 용
I.배경	1.재난환경 변화, 2.비상대처계획 수립 필요성
II.대상지역 선정	1.하천범람 2.저수지붕괴 3.산사태 등
III.비상대처계획	1.상황관리단계 운영계획 2.지역별 주민대피 발령시기
IV.상황관리단계별 세부실행계획	1.1단계-비상체제 가동 2.2단계-비상체제 강화 3.3단계-주민대피 실시
V.인명피해 우려지역 주민대피 세부실행계획	1.대피장소 지정 2.담당공무원지정 3.대피지구 현황 4.대피로, 대피소 등 설치현황 4.인명피해위험지역(P-EP)지정 현황 5.부록

최근 기후변화에 따른 이상홍수 및 지진 발생 등으로 저수지 붕괴와 같은 대규모 재해가 빈번하게 발생하고 있으며, 농림축산식품부는 농어촌정비법 제20조에서 저수지 축조 등 농업생산기반시설을 설치하려는 자는 농업생산기반시설을 착공한 후 1년 이내에 농업생산기반시설 붕괴 등의 비상상황으로 발생할 수 있는 국민의 생명·재산의 피해를 예방하고 줄이는 데에 필요한 종합적인 비상대처계획을 세우도록 하였다. 또한, 소방방재청은 댐·저수지 붕괴 등에 따른 재난에 대비하여 비상대처계획(EAP) 수립 지침을 2009년 작성 고시하였으며 저수지 붕괴로 인한 주민의 생명 및 재산 피해를 최소화하고자 지속적인 노력을 추진하고 있다(표 5-7). 저수지 붕괴 재난에 대한 비상상황을 국가 위기관리 표준매뉴얼의 경보기준인 4단계(관심, 주의, 경계, 심각)로 분류하였으며 표 5-8은 경보기준 단계별로 상황관리체계 및 조치상황을 정리한 것이다.

**(표 5-7) 저수지 비상대처계획(EAP) 수립 지침에서 비상상황의 분류 (소방방재청, 2009)**

구 분	상황전개	비 고
관심 (Blue, 초기예방)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 이상홍수로 계획홍수위 초과 예상</li> <li>○ 지진발생 등으로 제체손상 발생 예상</li> </ul>	징후활동 감 시
주의 (Yellow, 초기대응)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 가능최대홍수량(PMF) 발생 예상</li> <li>○ 지진발생 등으로 제체손상 발생</li> </ul>	협조체제 가 동
경계 (Orange, 사태발진)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 가능최대홍수량(PMF)으로 제체 월류 예상</li> <li>○ 제체 또는 여수로 등 손상발생 징후</li> </ul>	대비계획 점 검
심각 (Red, 사태발생)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 가능최대홍수량(PMF)으로 제체 월류 발생 또는 월류 임박</li> <li>○ 제체 또는 여수로 등 손상발생</li> </ul>	대응태세 즉각 돌입



(표 5-8) 경보기준 단계별 상황관리체계(비상대처계획 수립 지침(소방방재청, 2009))

구분	상황전개	비고
관심 (Blue)	○계획홍수위 초과 예상	○저수지 시설 및 하류하천 상황 주시 ○상급기관 보고
주의 (Yellow)	○저수지의 내부적 침식이나 누수 발생	○하류지역 초기경보 ○상급기관 보고
경계 (Orange)	○저수지의 안전을 위협하는 집중호우 발생 ○침윤증가, 위험징후의 내부침식 및 세굴 ○여수로가 막혀 정상적인 방류가 불가능 ○저수지 제체의 누수량이 확연하게 증가 ○기타 저수지 붕괴 유발가능 상황 발생	○비상상황 통보/보고 (시설관리자, 지자체 상급기관, 중앙부처) ○비상상황 전달(하류 주민) ○비상상황 지속적 정보수집/제공 ○응급대응
심각 (Red)	○저수지 월류가 발생했거나 임박 ○저수지 결괴가 임박 (지속적 침식, 사면붕괴 등) ○제당 및 양안에 과잉 침윤 등 균열 ○제당 하류측 기초부 침식유발 등 균열 ○방수로부 월류로 제당 침식되어 붕괴임박	○관련기관 압동 주민대피 비상방송 (비상연락망 가동) ○대피장소 유도, 인명구조, 구호 ○지속적 정보수집 및 통보/보고

## 5.3 센서 예·경보 관리기준 검토

### 5.3.1 강수량관련 예·경보 기준 검토

우리나라에서 발생하는 산사태 및 급경사지 붕괴는 집중호우가 내릴 때 갑자기 발생하는 특성을 보이며, 매년 많은 인명피해를 발생시키고 있다. 산사태 및 급경사지 피해를 경감하기 위해서는 붕괴시기와 그 피해범위를 미리 예측하고 위험한 산사태 위험구역 및 급경사지 주변에 거주하고 있는 주민을 미리 효과적으로 대피시키는 것이 매우 중요하다. 따라서 급경사지 관리기관은 언제 급경사지 붕괴 경보를 발령하고 주민대피를 유도할 것인지의 의사결정을 위한 주민대피기준을 미리 설정하고 비상시를 대응하기 위한 사전 계획이 필요하다. 김열외(2015)는 지질별 강우기준과 행정구역별 지질분포 면적을 활용하여 각 지자체별 주민대피 관리기준을 설정하였다.

「급경사지 재해예방에 관한 법률」(국민안전처, 2015c) 제9조에서는 국민 안전처장은 급경사지 주민대피 관리기준의 제정·운영을 위한 지침을 작성하여 시장·군수·구청장에게 통보하여야 하며, 시장·군수·구청장은 상시계측관리의 결과와 강수량·비탈면의 성상 등을 고려하여 주민대피를 위한 관리기준을 제정·운영하도록 하였다. 또한, 「재난 및 안전관리 기본법」(국민안전처, 2016c) 제40조에서는 시장·군수·구청장은 재난이 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우에 사람의 생명 또는 신체에 대한 피해를 방지하기 위하여 필요한 때에는 당해 지역안의 주민이나 당해 지역 안에 있는 자에게 피할 것을 명할 수 있으며, 제40조, 제41조의 규정에 의한 대피명령을 받은 자가 명령을 이행하지 아니하여 위급하다고 판단되는 때에는 당해 지역 또는 위험구역안의 주민이나 당해 지역 또는 위험구역 안에 있는 자를 강제 대피시킬 수 있도록 하였다.

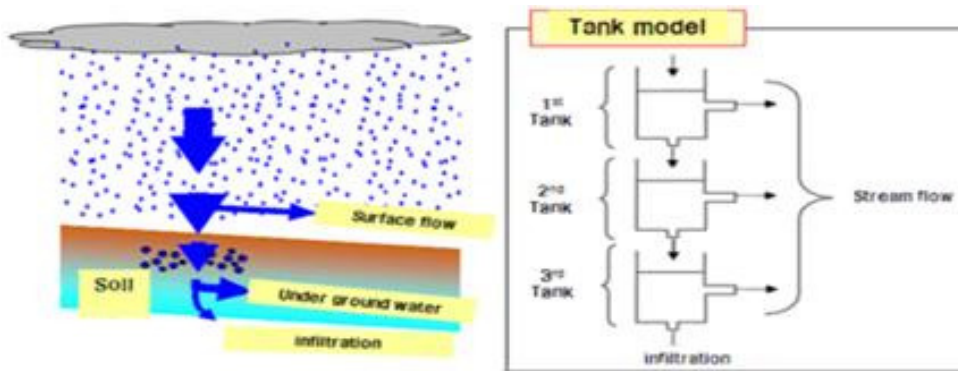
(표 5-9) 산사태 예·경보를 위한 강수량 기준

제안기관/자	구분	산사태 주의보	산사태 경보
건설부 (1988)*	I 지역	90 mm (당일우량)	105 mm 이상 (당일우량)
	II 지역	75 mm	90 mm 이상
	III 지역	55 mm	75 mm 이상
홍원표 등 (1990)**	소규모 산사태	-	최대시간강도 > 10 mm & 2일 누적강우량 > 40 mm
	중규모 산사태	-	최대시간강도 > 15 mm & 2일 누적강우량 > 80 mm
	대규모 산사태	-	최대시간강도 > 35 mm & 2일 누적강우량 > 140 mm
이영남 (1991)	-	-	24시간내 강우량 > 200 mm 또는 24시간이상 내린 비가 시간당 평균 10 mm 이상
산립청 (1993)	연속강우량	100-200 mm	200 mm 이상
	시우량	20-30 mm	30 mm 이상
	일강우량	80-150 mm	150 mm 이상
김상규 (1994)	2일 연속 강우량	100 mm	200 mm
	시우량	15 mm	30 mm
	일강우량	80 mm	140 mm

(참고) 건설부(1988)\*의 I 지역'은 산사태 발생 가능성이 매우 높은 지역, II 지역'은 산사태 발생 가능성이 높은 지역, III' 지역은 가능성이 있는 지역. 홍원표 등(1990)\*\*의 소규모 산사태'는 동일한 날에 1~3 개소에서 산사태 발생, 중규모 산사태'는 4~19 개소에서 산사태 발생, 대규모 산사태'는 20 개소이상에서 산사태 발생

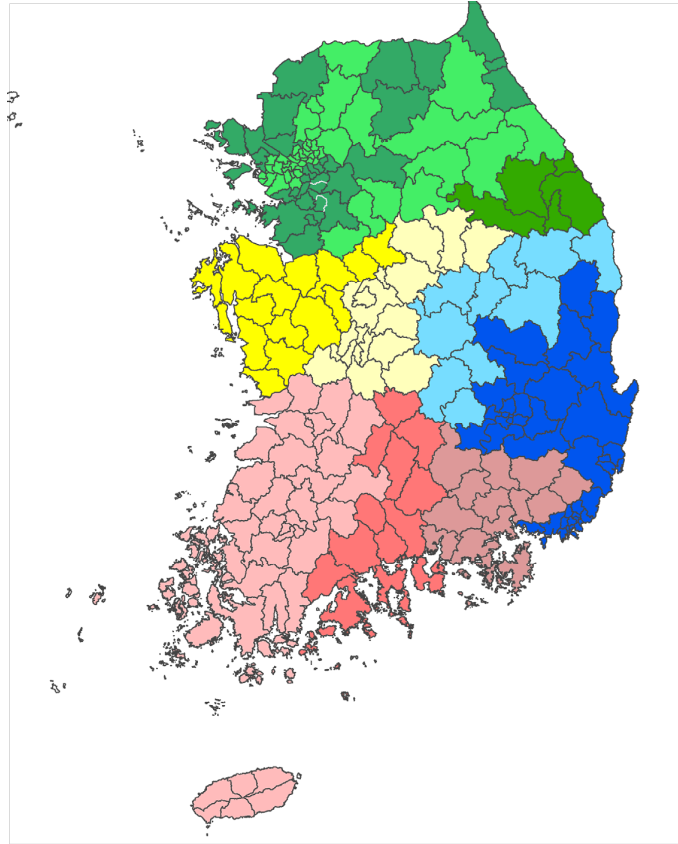
우리나라의 산사태 발생원인은 강수량이 절대적이며, 지역별 강수특성은 영남지역과 영동지역은 최대 시간강우강도, 중부지역은 누적강우에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 표 5-9는 정부기관 및 연구자들이 산사태와 강수량 데이터를 분석하여 제시한 강수량에 의한 예·경보 기준이며, 시장·군수·구청장은 각 지방자치단체의 강수량 특성에 맞는 관리기준을 제정·운영하여야 한다.

### 5.3.2 산림청



〈그림 5-3〉 토양함수지수를 산정하기 위한 Tank model (산림청, 2015)

산림청(2016)는 기상청 강우자료와 동네예보를 분석하여 권역별 산사태 토양함수지수(예측기준)를 분석하고 지방자치단체로 예측정보를 제공하고 있다. 전국의 강우분포(4개 권역)와 지질특성(3개 권역)을 고려하여 총 10개 권역으로 구분하고, 권역별 과거 산사태 발생이력 분석결과를 토대로 토양 내 빗물의 양을 그림 5-3와 같은 Tank model을 이용한 토양함수지수로 산정해 그 지수에 따라 주의보 또는 경보를 발령한다(그림 5-4).



〈그림 5-4〉 산사태 예측시스템을 위한 권역 구분도 (산림청, 2016)

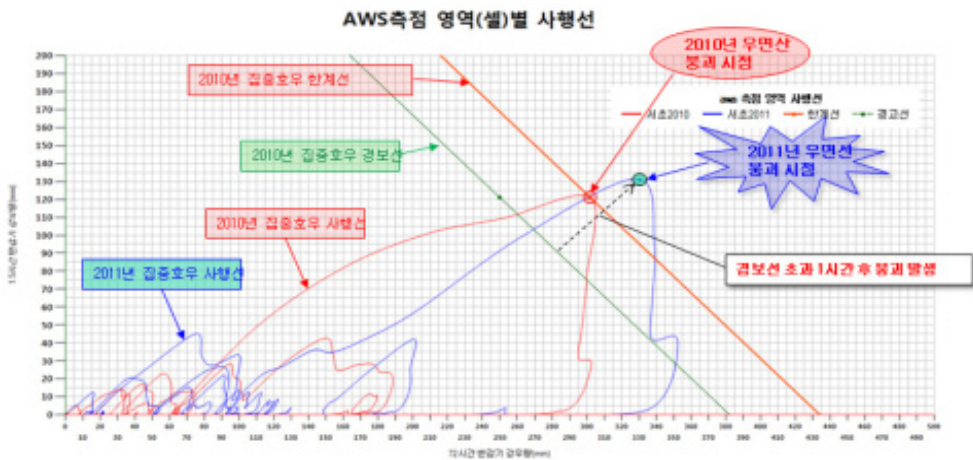
(표 5-10) 권역별 토양함수지수(산림청, 2016)

권역별	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	4-1	4-2
토양함수지수	105	92	62	62	59	67	67	89	130	87

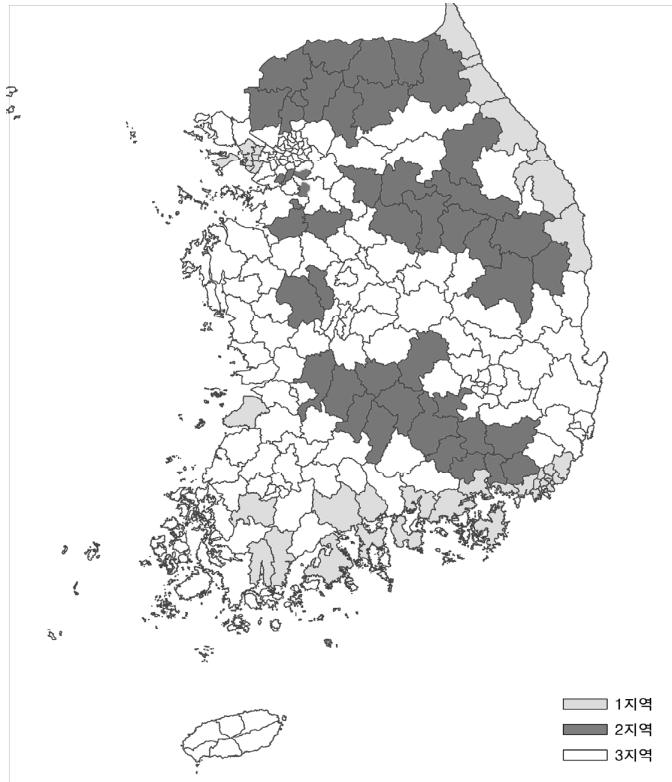
표 5-10과 같은 권역별 토양함수지수의 80% 도달 시에는 주의보, 100% 도달 시에는 경보를 발령한다. 그러나 지역별 세부적인 토양특성(투수성, 지하수위 등)을 모두 반영하여 예측 기준을 설정하는 것은 현실적으로 거의 불가능하므로 산사태 예측정보는 현지 기상 등을 고려하여 산사태발생 우려지역 주민에게 예경보 발령 및 피해예방 기초자료로 활용하도록 권고하고 있다.

### 5.3.3 국립재난안전연구원

국립재난안전연구원은 과거 재해이력과 AWS 강우관측소의 강우 data를 분석하여 급경사지의 붕괴 유발/비유발강우 한계선을 설정하는 방법으로 급경사지 붕괴 예, 경보를 발령할 수 있는 전국 단위 시스템을 구축하는 연구를 수행하였다. 그림 5-5는 2011년 7월 27일 우면산 산사태 발생지역을 시범지구로 설정하여 2010년 붕괴시점과 강우 데이터, 2011년 붕괴시점과 강우 데이터를 분석하여 적용함으로서 우면산 지역에 산사태 예·경보를 실용적으로 발령할 수 있음을 보여준 바 있다.



◁그림 5-5> 우면산 지역의 산사태 붕괴시점과 경보선, 한계선 분석  
(국립재난안전연구원, 2011)



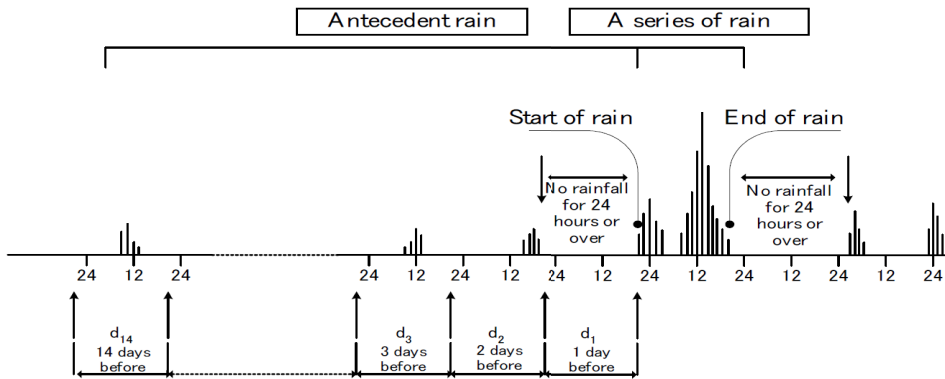
〈그림 5-6〉 급경사지 예·경보를 위한 권역구분도(국립재난안전연구원, 2010)

국립재난안전연구원(2010)에서는 행정경계를 따라 경기권, 강원권, 충청권, 경상권, 전라권의 5개 대권역으로 우선 구분하고, 각 권역별로 해안 평탄지, 산악지, 미봉괴지구 등 2~3개의 14개 소권역으로 세분하였다(그림 5-6).

### 5.3.4 일본

일본 국토교통성에서는 2007년에 토사재해 경보 및 대피 가이드라인 검토위원회의 논의를 거쳐 지방자치단체의 방재담당자들이 사용할 수 있는 토사재해 경보 및 대피 지침을 마련하였다. 토사재해 경보 및 대피 지침은 과거 토사재해가 발생한 시점과 토사재해 발생시 강우특성을 수집하여 데이터베이스화하고, 강우자료를 역추적하여 분석을 실시하여 강우기준을 설정하였다. 그림 5-7과 같이 토사재해가 발생한 시점으로부터 선행강우를

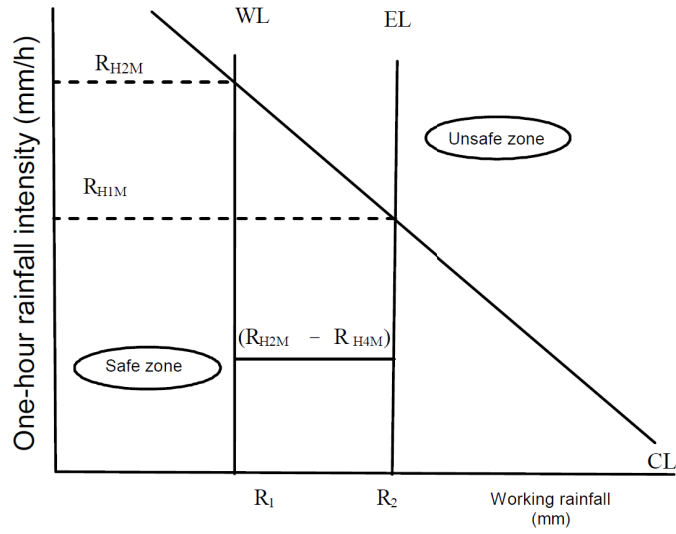
포함한 14일 정도의 강우기간 중에서 토사재해 발생까지의 단기강우량인 유효강우량(effective rainfall)을 토사재해를 유발하는 강우기준으로 설정하는 점에서 국내 토사재해 강우기준과 대별된다. 표 5-11은 경보 및 대피 명령의 기준 시점을 설명하며 그림 5-8는 경보선과 대피선의 선정방법을 나타낸다.



<그림 5-7> 연속강우와 선행강우의 개념 (일본 국토교통성, 2004)

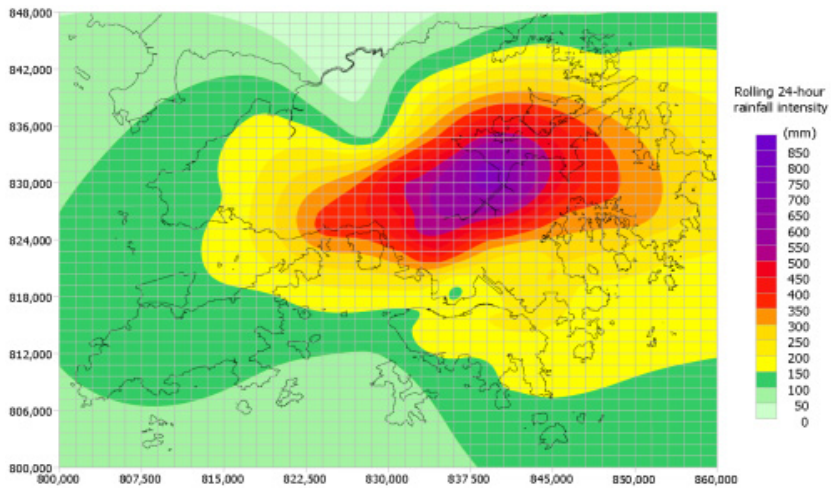
(표 5-11) 토사재해 경보 및 대피 명령의 시점 기준 (일본 국토교통성, 2004)

Type	Timing of issuance / instruction	Forecasted rainfall during the spare hours
Issuance of a warning	2 hours before reaching the critical line(CL)	Past maximum 2-hour rainfall( $R_{H2M}$ )
Instruction of an evacuation	1 hours before reaching the critical line(CL)	Past maximum 1-hour rainfall( $R_{H1M}$ )



◁그림 5-8≫경보선(WL)과 대피선(EL)의 선정(일본 국토교통성, 2004)

### 5.3.5 홍콩



◁그림 5-9≫ 등강우량선과 격자망(Yu et al., 2006)

홍콩은 중국 남부지역의 언덕이 많은 지형이며, 5월에서 8월 사이에 강우가 집중되는 특성이 국내와 유사한 지역으로 평균적으로 매년 300~400회의 산사태가 발생하는 것으로 보고되며, 1997년에 기록된 3,343mm의 강우량은 550개 이상의 산사태를 유발시킨 바 있다. Yu et al.(2004)는 그림



5-9와 같이 격자망을 구성하여 강우데이터를 입력하여 영향범위 내에 발생한 재해이력에 대한 기준강우량을 설정하였으며, 현재 홍콩의 산사태 경보시스템에는 Yu et al.(2004)의 모델이 적용되었다.

**(표 5-12) 폭풍우 경고 신호와 취해야 할 행동 (Hong Kong Contingency Plan for Natural Disasters, 2009)**

Status	Condition	Purpose	Action required
Amber (황색; 주의)	폭우가 지속되며 시간당 30mm가 내릴 것으로 예상되며 이러한 강우가 계속 될 것 같음.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 잠재적인 폭우에 대하여 주민을 경계시키며 붉은색 혹은 검정색의 신호상황이 될 것이다.</li> <li>- 정부부서들로 하여금 경계태세에 들어가게 할 것이다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(i) HKO는 ISD를 통하여 정부부서들과 대중매체에게 폭풍우경고 메시지와 황색 폭풍우경고 신호에 관하여 특별발표를 할 것이다.</li> <li>(ii) 정부부서에 근무하는 핵심연락관과 재난관리 인적자원들은 경계태세에 돌입해야 하고 완전무장을 해야 한다.</li> </ul>
Red (붉은색; 경계)	폭우가 지속되며 시간당 50mm가 내릴 것으로 예상되며 이러한 강우가 계속 될 것 같음.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 폭풍우에 대처하기 위하여 미리 정해진 행동을 시작하도록 해야 한다.</li> <li>- 폭우가 온다는 것을 대중에게 경고해야 하고 여행자들은 반드시 기후와 도로 상태를 고려해야 한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(i) HKO는 ISD를 통하여 정부부서들과 대중매체에게 폭풍우경고 메시지와 붉은색 폭풍우경고 신호에 관하여 특별발표를 할 것이다.</li> <li>(ii) NGO의 재난관리 유닛과 정부부서들은 섹션 9와 10에 명시된 필요한 행동을 각각 취해야만 한다.</li> <li>(iii) SBDO/ESU 는 상황을 예의주시해야 하며 EMSC 활성화 필요성을 고려해야 할 것이다.</li> </ul>
Black (검은색; 심각)	폭우가 지속되며 시간당 70mm가 내릴 것으로 예상되며 이러한 강우가 계속 될 것 같음.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 주민에게 실내에 머물거나, 대피처로 이동 또는 기타 대책을 강구하도록 해야 한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(i) HKO는 ISD를 통하여 정부부서들과 대중매체에게 폭풍우경고 메시지와 검정색 폭풍우경고 신호에 관하여 특별발표를 할 것이다.</li> <li>(ii) NGO의 재난관리 유닛과 정부부서들은 섹션 9와 10에 명시된 필요한 행동을 각각 취해야만 한다.</li> <li>(iii) 만약 ESMC가 여전히 가동중이 아니라면 가동을 시켜야 한다.</li> </ul>

홍콩은 5~6월에 지속적인 주기로 폭우로 돌변하기도 하는데 심각한 폭풍우에 의해 주요 도로상에서 교통대란과 산사태를 발생으로 사상자가 속출하고 있다. 이러한 폭풍우에 대한 경고를 발행하기 위하여 홍콩관측소(HKO)에서 3가지 레벨로 코드화된 경고체제를 운영하고 있으며, 이는 폭

풍우경고체제(Rainstorm Warning System, 1998)라 하며 상시 가동되고 있다. 각 폭풍우경고신호에 대응하는 과정에서 취해야 할 행동들은 다음 표 5-12와 같다.



◀그림 5-10▶ 홍콩의 산사태 경보 시스템 (GEO, 2015)

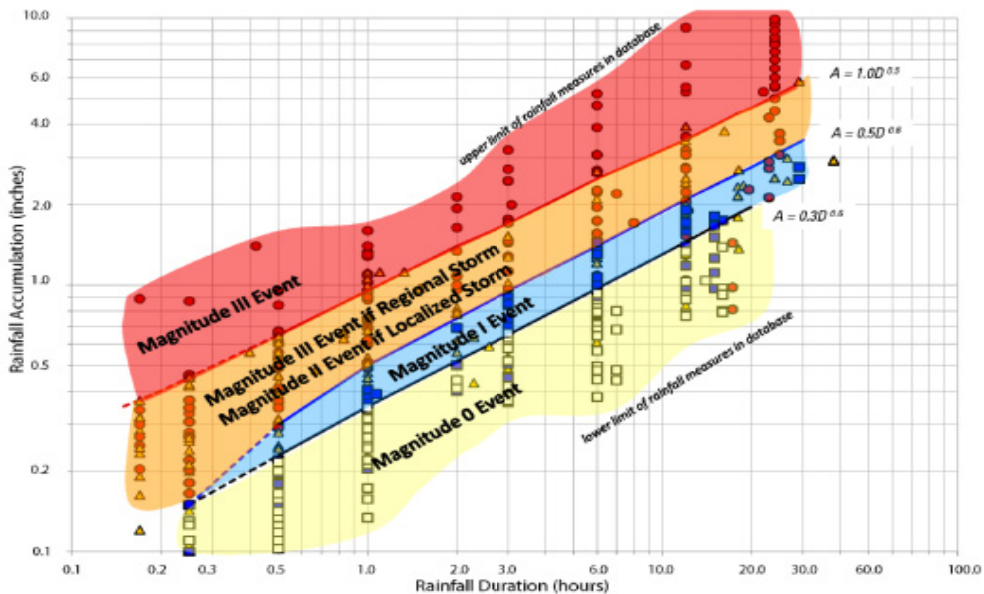
홍콩에는 현재 자동우량계시스템을 이용한 산사태 경보시스템을 GEO와 HKO가 공동으로 개발·운영 중에 있으며, 홍콩 전역에 총 110개의 계측소가 운영되고 있다(그림 5-10).

### 5.3.6 미국

미국지질조사국(USGS)에서는 사우스캘리포니아 산가브리엘 산을 대상으로 강우량과 토석류 및 홍수 규모를 분석하여 토사재해 대피기준에 관한 연구를 수행하였다. 23개의 폭풍우와 16개소의 산불지역, 2년간의 수문자료를 이용하여 연구가 수행되었으며, 표 5-13과 같이 토사재해 및 홍수피해의 규모를 분류하고, 강우지속시간과 총강우량의 관계를 이용하여 재해 규모를 그림 5-11과 같이 표현하였다.

(표 5-13) 토사재해 및 홍수 피해 규모 분류 (Los Angeles Department of Public Works, 2009)

분류	기준 및 잠재적 결과
Magnitude (규모) I	<ul style="list-style-type: none"> <li>작은 토석류(&lt;1,000 cubic yards) 또는 홍수는 하나 또는 두개의 구역 또는 한 곳 또는 두 곳에서 생산됨.</li> <li>일부 암거 및 빗물배수관이 차단, 도로 부분적으로 침수 또는 차단, 자동차 부분적으로 매립.</li> <li>주택 손상 및 작은 목조건물 파괴, 큰 건물을 위태롭게 함.</li> </ul>
Magnitude (규모) II	<ul style="list-style-type: none"> <li>25 중간정도 크기 (1,000 to 10,000 cubic yards) 토석류 또는 하나의 큰 (&gt;10,000 cubic yards) 사건은 건축 환경에 영향을 미치는 25구역에서 생산됨.</li> <li>여러 암거 및 빗물배수관 차단, 여러 도로 및 거리 침수 또는 완전히 차단, 여러 자동차 매립.</li> <li>다수의 주택, 건물, 도로, 교량이 손상됨.</li> </ul>
Magnitude (규모) III	<ul style="list-style-type: none"> <li>광범위하고 풍부한 토석류와 10,000 cubic yards 이상 양의 홍수는 건축 환경에 심각한 영향을 초래하며 5개 이상 구역에서 생산됨.</li> <li>많은 암거, 빗물배수관, 도로가 완전히 차단되고 여행을 위한 거리가 위험함.</li> <li>여러 큰 건물(주택포함), 사회기반시설의 일부, 교량이 파괴됨.</li> </ul>



〈그림 5-11〉 강우지속시간-총강우량의 토사재해 및 홍수피해 규모 예측

## 5.4 계측기별 예·경보 관리기준 정립

### 5.4.1 저수지 붕괴예보를 위한 주요 계측기기 선정

저수지 붕괴사례의 조사·분석으로 부터 도출된 결과와 같이 저수지 붕괴를 유발하는 주요 원인은 집중호우로 인한 저수지 수위 상승에 따른 저수의 제당 월류, 제체 및 기초지반을 통한 누수 및 파이핑, 제체의 하류 사면붕괴 및 지진의 발생 등이다. 따라서, 저수지 붕괴정후를 인지하여 하류 지역 주민에게 전파하기 위한 예보 관리기준을 정립하기 위해 사용하는 주요 계측기는 다양한 붕괴원인을 사전에 계측으로 그 징후를 파악할 수 있어야 한다.

(표 5-14) 저수지 붕괴 예보를 위한 계측기 선정

사업별	계측기 설치	세부공정 및 사업물량	자료취득 목적
지진 가속도 계측	지진가속도계	-지중형 가속도센서 1 대 -지표형 가속도센서 2 대 -지진기록계 3 대 -통신기기 및 부대시설 1식	지진에 의한 제체 거동
계측기	수위계	-저수지 수위 측정센서 1식	수위증가에 의한 월류
	강수량계	-강수량계 1식	이상 강수량 측정
	지하수위계	-자동수위측정기 2 식 /2 공	침윤선 추정
	누수량계	-저수지 파이핑 측정센서 1식	파이핑에 의한 누수량
	지표변위계	-저수지 지표변위 측정센서 1식	제체 지표변위량
	CCTV	-저수지 거동 관찰카메라 1식	제체 이상 징후 확인

본 연구에서는 저수지 제당의 침투수로 인한 제외지 수위 상승으로 붕괴정후를 파악하기 위해 계측기로 지하수위계를 선정 하였으며, 최근 경주 지진과 같은 지진 발생시 저수지 균열 및 위험성을 파악하기 위한 지진에 의한 가속도 측정을 위해 지진가속도계를 포함하였다. 풍수해 기간 집중호우 등 홍수시 저수지 수위 상승에 의한 저수지 제당 월류를 사전에 방지하기 위한 수위를 측정하는 수위계도 선정하였으며, 저수지 제당을 침

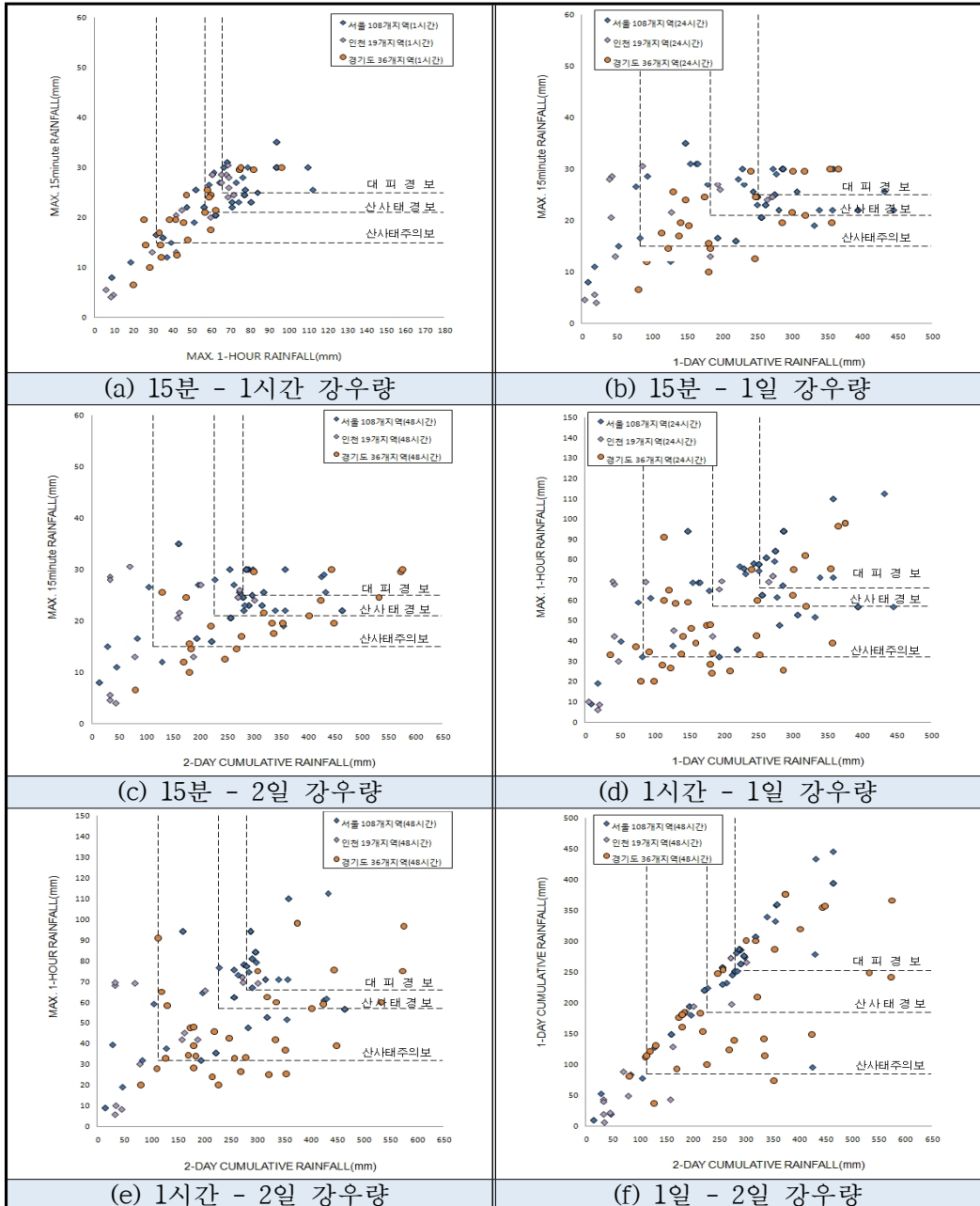
투하는 누수량 및 제체내에서 파이핑 현상의 진행을 인지하기 위한 누수량을 파악하기 위한 누수량계, 기후변화 특성으로 저수지 주변의 이상강우 현상을 파악하기 위한 강수량계 및 저수지 제당 사면유실 등 저수지 사면붕괴 징후를 파악하기 위한 사면변위를 측정하기 위한 지표변위계 등 총 6개의 계측기를 저수지 붕괴 예보 관리기준을 위해 선정하였다. 또한, 저수지 현장 주변 상황을 직접 파악하기 위한 CCTV를 추가로 포함하였다(표 5-14).

#### 5.4.2 강우량에 의한 예보 관리기준

강수량은 기상청의 호우주의보, 호우경보 등 호우특보 기준으로 사용되는 것을 기반으로 다양한 시설에 대한 풍수해 재해 대응을 위해 사용하고 있다. 최근 하천 제방 월류 등 홍수, 내수침수, 산사태 및 급경사지 붕괴 발생 등의 분야에서 예보 기준으로 사용되고 있으며, 전국적으로 기상청에서 강수량계를 설치하고 있어 강수량은 정량적이며 간단하게 예보 관리기준으로 사용할 수 있는 장점으로 현장 적용에 매우 효율적인 것으로 평가된다. 반면에 광역으로 넓은 지역에 예보를 발령하는 특성으로 지역적인 현장에 정밀한 판단을 요하는 경우에는 정확성이 떨어지는 단점도 있다.

국민안전처(2105)는 강수량을 기준으로 급경사지 주민대피 관리기준 제정·운영 지침을 작성하여 전국 지방자치단체에 제공하였다. 강우조건 및 지질조건에 따라 변화하는 급경사지 및 산사태의 붕괴특성을 분석하여 주민대피 관리기준을 설정하였으며, 강수량에 따른 산사태 선행연구에서 붕괴 발생시점을 기준으로 강우강도와 누적강우량이 붕괴발생에 미치는 영향이 크다는 것을 고려하였다. 붕괴사례에서 수집된 강수 자료를 활용하여 권역별, 지질별로 구분하여 붕괴시점으로부터 15분 최대강우량, 시간 최대강우량, 일 누적강우량, 2일 누적강우량에 대해서 주의보(확률 10%), 경보(확률 30%) 및 대피기준(확률 50%)을 기준으로 설정하였다. 대표적으로 서울경기권에 대한 기준강우량 설정과정은 그림 5-12에서 나타냈으며, 표 5-15는 도출된 서울경기권 피해지역의 주민대피 예·경보 권고기준

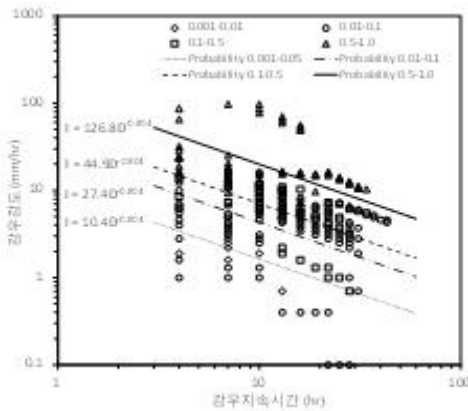
(안)을 제시하였다.



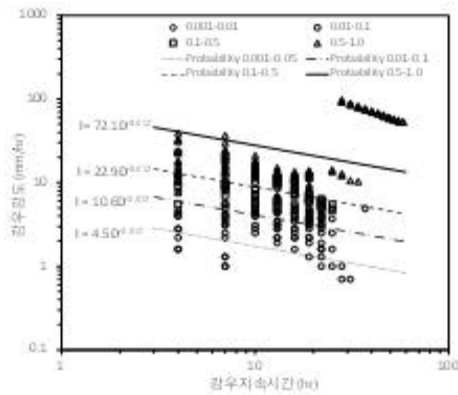
〈그림 5-12〉서울경기권의 평균 기준 강우량 설정 (국민안전처, 2015)

(표 5-15) 서울경기권 피해지역의 주민대피 예·경보 권고기준(안) (국민안전처, 2015)

단계	구분	강수량 기준																			
		15분 강수량(mm)					1시간 강수량(mm)					1일 강수량(mm)					2일 강수량(mm)				
		서울경기	가평	이천	남양주	여주	서울경기	가평	이천	남양주	여주	서울경기	가평	이천	남양주	여주	서울경기	가평	이천	남양주	여주
대비	관심 파랑	11	10	5	11	5	22	20	8	21	9	59	71	19	75	23	80	102	39	107	44
	주의 노랑	15	15	7	15	7	32	29	12	30	13	84	101	27	107	33	114	146	56	153	63
대응	경계 주황	21	21	19	21	19	57	54	40	56	41	184	186	119	191	124	228	240	133	248	141
	심각 적색	25	25	24	25	24	66	69	60	69	61	252	249	199	252	203	281	279	266	280	267



(a) 편마암 계열



(b) 화강암 계열

◁그림 5-13>> 기반암종별 산사태 유발 강우기준(서울시, 2016)

최근 홍문현외(2016)는 선행강우를 고려한 산사태 붕괴 예보를 위한 ID곡선식을 제안하였으며 서울시는 산사태 피해사례를 유발 및 비유발 강수량을 기준으로 분석하여 산사태 유발 기준을 ID곡선식으로 도출하였다. 산사태 비유발 강수량에 대한 유발 강수량의 발생 확률에 따라 4단계 Level 0: Low boundary, Level 1: 발생확률 0.001-0.05, Level 2: 발생확률

0.05-0.3, Level 3: 발생확률 0.3-0.7로 구분하여 산사태 붕괴 예보 관리기준을 설정하였다(그림 5-13).

본 연구에서는 강수량에 의한 저수지 예보 기준을 풍수해 대응 표준매뉴얼을 기반으로 저수지 시설에 적용하였다. 기상청은 전국에 강수량계를 설치 운영하고 있으나 수가 적고 광범위하게 분산되어 저수지 위치에서 발생하는 정확한 강수량 측정은 한계가 있다. 따라서, 기상청 강수량 자료와 저수지 현장의 강수량의 측정값은 크게 차이가 날 수 있으며 이를 방지하고자 저수지 현장에 강수량계를 설치하여 극한강우 및 이상강우를 측정함으로써 정확한 저수지 붕괴 예보 관리기준으로 사용할 수 있다.

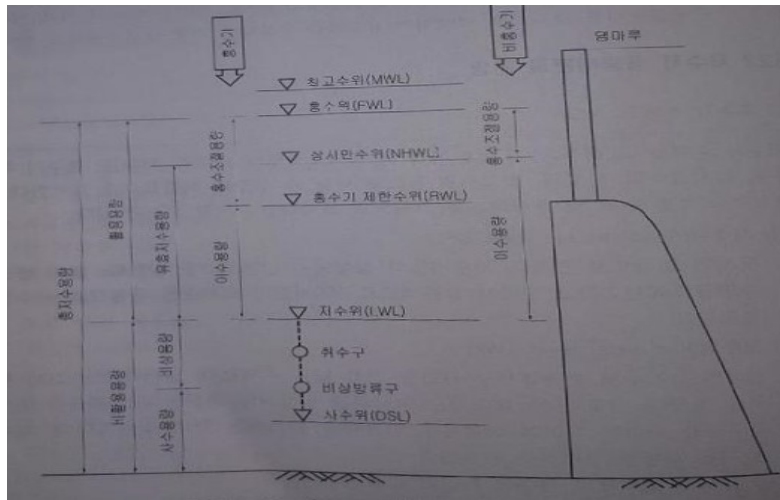
강우량에 의한 예보 관리기준의 정립은 관심, 주의, 경계, 심각 단계를 기상청의 태풍 주의보, 경보 및 호우주의보, 호우경보 강수량(호우주의보 6시간 70mm, 12시간 110mm, 호우경보 6시간 110mm, 12시간 180mm)을 기준을 고려하여 계측자료를 비교 분석하여 2차년도 연구에서 관리기준을 수립할 계획이다.

#### 5.4.3. 수위계에 의한 예·경보 관리기준

국내 저수지 붕괴의 대부분은 집중호우에 의한 저수 월류에 의한 제방유실의 특성을 나타냄에 따라 저수지 수위측정은 가장 직접적으로 저수지의 붕괴 위험 징후를 판단하는 기준으로 사용할 수 있다.

저수지 수위측정에 의한 위험성을 판단하기 위해서는 대상 저수지 유역면적, 여유고 등의 다양한 특성을 분석하여 종합적으로 고려해야 하나, 본 연구에서는 저수지 수위 거동에 따른 비상대응 기준을 정립하고자 하는 목적에 따라 수위에 따른 저수지 붕괴 위험성 판단기준을 저수지 설계시 만수위와 홍수위 높이 및 제당의 월류 발생을 기준으로 설정하였다. 그림 5-14는 저수지 목적별 수위 및 용량배분을 나타낸다.





〈그림 5-14〉 5.17 저수지 목적별 수위 및 용량 배분 (댐설계기준 해설, 2011)

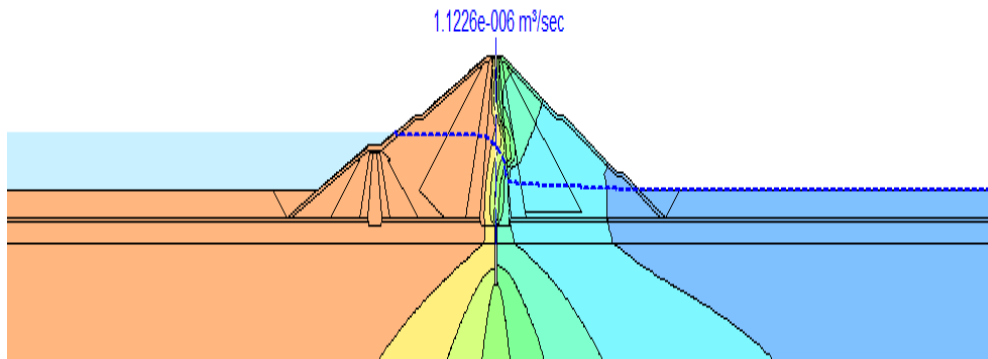
저수지 만수위는 용수공급 등 이수용량의 최고 수위로 정상적인 저수지 운영을 할 수 있는 저수용량의 상한선이며, 홍수위는 200년 설계빈도 등의 홍수가 유입되는 경우에 방수로에 의한 방류 결과 저수지에서 발생하는 최고수위로 정의된다. 저수지 수위에 의한 관리기준 설정은 정상적인 저수지 운영의 최고수위인 만수위 이상으로 수위가 상승하는 경우 관심단계 및 설계빈도에서 설정한 홍수가 유입되는 경우 발생하는 최고수위인 홍수위 이상으로 수위가 상승하는 경우를 심각단계로 고려하였다.

관심, 주의, 경계, 심각 단계는 정상적인 저수지 운영이 가능한 최고수위인 만수위 이상으로 상승할 때를 저수지 수위가 정상 수준을 넘어서는 상황으로 진행하는 것으로 판단하여 고려할 예정이며, 심각단계는 홍수위의 수위를 고려하고 있다. 기준은 이러한 고려 사항과 계측데이터의 분석을 통하여 2차년도 연구에서 수립할 예정이다.

#### 5.4.4 누수량계에 의한 예·경보 관리기준

저수지 붕괴의 일부분은 집중호우시 댐체 및 기초 부분에서 발생하는 파이프에 의한 누수로 인해 발생한다. 저수지의 허용 누수량은 저수지의 형

식 및 용도, 축조재료의 특성과 다짐방법, 기반암의 지질특성 등에 따라 다르기 때문에 일률적으로 관리기준을 적용하기에는 어려움이 있으나 누수량의 경시변화 분석을 통한 지속적으로 급격하게 누수량이 증가하는 경우 및 누수량의 탁도가 높게 나타나는 경우에는 저수지 내부에서 파이핑 및 열화가 시작된 것으로 추정할 수 있다(그림 5-15).



단위 m당 유출량	• $1.123 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m}$
댐 연장	• 277.0m
총유출량	• $1.123 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m} \times 277.0\text{m} = 31.11 \text{ m}^3/\text{day}$

〈그림 5-15〉 봉화댐 상시 만수위시(EL.424.0m) 정상 침투수량 산정 사례 (한국수자원공사, 2016)

또한, 저수위가 일정한 경우 누수량 변화가 1개월 간 10% 이상 증가하는 경우는 누수량의 허용한계를 넘는 것으로 토지개발사업 계획설계기준(농림부, 1968)은 제시하고 있다. 본 연구는 누수량계에 의한 예보 관리기준을 저수지의 목적별 수위 등 고정된 수위에서 정상 침투수량을 측정하여 누수량의 경시변화로 저수지 위험성을 판단하고자 하였다.

저수지는 제당 축조시 공사 주변의 토석을 이용하여 건설되어 토질특성이 다양하며 다짐정도에 따라 투수계수도 다양한 특성이 있다. 또한, 저수지 규모에 따라 저수지 수위도 다양하여 만수위 등 고정 수위를 기준으로 한 정상 침투수량을 저수지 누수량의 관리기준으로 일률적으로 적용하는 것은 현장 적용상 한계가 있다. 따라서, 저수지의 저수위, 만수위 등 수위변

화에 따른 정상 침투수량을 측정하여 기준값을 정하고, 저수지의 수위가 변화하여도 일정한 수위에서 발생하는 침투수량이 기준값을 초과하여 발생할 때를 관리기준으로 설정하였다.

누수량에 의한 예보 관리기준은 1개월간의 누수량의 증감을 기준으로 고려하고 있으며 관리기준의 수립시 계측데이터를 분석하여 2차년도 연구에서 수립할 계획이다.

#### 5.4.5 지표변위계에 의한 예·경보 관리기준

(표 5-16) 변위계의 단계별 관리기준치(일본 사면안정소위원회, 1996년)

대응구분		점점·요주의 또는 관측 강화	대책의 검토	경계·응급 대책	엄중경계·일 시대피
계측치					
신축계	지표면의 변위속도	5mm이상/30 일	5~50mm/5일	10~100mm/일	100mm이상/ 일
지중 신축계					
광과측거의					

(표 5-17) 산사태 조기경보시스템 관리기준치(중국 지질조사소, 2010년)

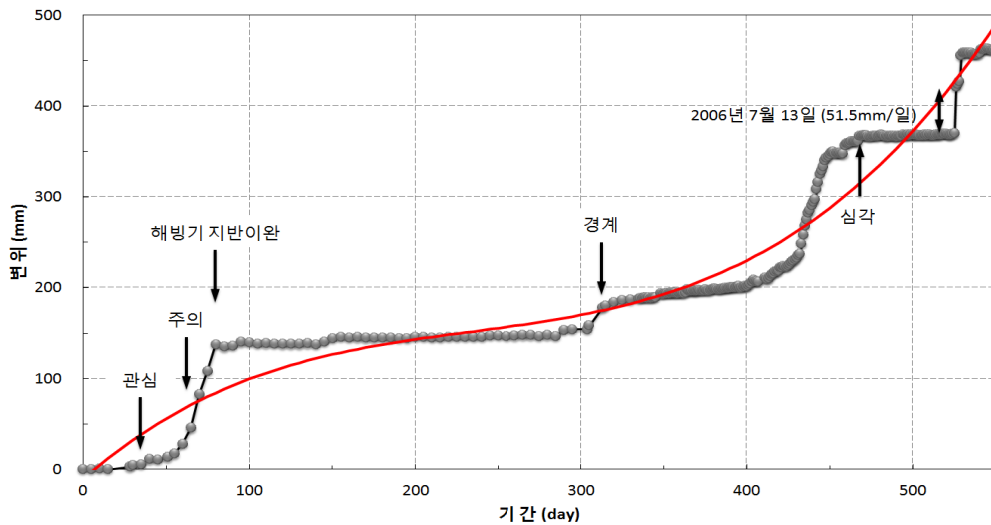
Early warning level	Color	Monitoring value			
		Ground displacement (mm/month)	Deep displacement (mm/month)	Porewater pressure (kPa/month)	Ground strain ( $\mu\epsilon$ /month)
I level	Blue	<10.0	<1.0	<10.0	50
II level	Yellow	10.0 ~ 30.0	1.0 ~ 15.0	10.0 ~ 50.0	50.0 ~ 100.0
III level	Orange	30.0 ~ 300.0	15.0 ~ 150.0	50.0 ~ 100.0	100.0 ~ 150.0
IV level	Red	>300.0	>150.0	>100.0	>150.0

지표변위계에 의한 관리기준 설정은 일반적 파괴모델의 변곡점을 기준으로 관심단계, 주의단계, 경계단계 및 심각단계로 구분하고, 각 구간의 변위속도를 분석하여 지표변위에 대한 예보 기준을 설정하였다. 지표변위에

의한 사면구조물 예보 기준은 국내·외 기관에서 기준치로 이미 다양하게 사용하고 있으며 표 5-16는 일본 사면안정소위원회의 자료이며 표 5-17는 중국 지질조사소의 자료이다.



〈그림 5-16〉 2006년 GMG 강릉시 OO면 사면 계측기 설치 현황  
(국민안전처, 2015)



〈그림 5-17〉 강릉시 OO면 사면의 변위 및 변위속도 계측결과

그림 5-16은 강릉시 00면 사면 계측사례로서 본 현장은 표토 및 풍화대로 구성된 토사사면으로 2005년 4월에 해빙기 지반 이완으로 인한 변위가 증가하여 붕괴가 예측되었다. 2006년 7월 장마 및 태풍으로 인하여 SEC2 구간에서 6일간 변위가 약 90 mm 증가하였으며, 최대 변위속도는 51.5 mm/일로 측정되었다. 그림 5-17과 같이 계측자료를 분석하여 급경사지 현장 변위기준(강릉시 00면 사면)을 표 5-18과 같이 설정할 수 있었다.

**(표 5-18) 강릉시 00면 급경사지 현장변위기준(국민안전처, 2015)**

단계		경광등	누적변위(mm)	변위속도(mm/일)
대비	관심	파랑	4.6	1.0
	주의(주의보)	노랑	82.4	7.4
대응	경계(경보)	주황	308.8	11.8
	심각(대피)	적색	368.4	51.5

지표변위계에 의한 관리기준 설정을 위하여 13개 현장에 대한 사면 계측 데이터를 분석하였으며, 분석결과는 일반적 파괴모델의 형상을 보여주지 않고 급격한 변위와 함께 붕괴가 발생한 3개의 현장 data는 붕괴 전조현상이 미미하여 관심, 주의, 경계, 심각단계의 주민대피 관리기준에 활용하기 어려우므로 변위에 대한 주민대피 관리기준 분석에서 제외하였다. 최종적으로 총 10개 현장data를 누적변위와 변위속도로 구분하여 단계별 변위기준을 설정하였고 설정된 변위의 평균값을 지표변위에 의한 관리기준으로 설정하였다.

국내 사면붕괴 계측사례의 변위속도 및 최대변위량을 분석하여 기준을 산정한 결과, 관심단계 누적변위는 14mm, 변위속도는 1mm/일, 주의(주의보)단계 누적변위는 36mm, 변위속도는 6mm/일, 경계(경보)단계 누적변위는 90mm, 변위속도는 26mm/일, 심각(대피)단계 누적변위는 209mm, 변

위속도는 63mm/일 로 나타났다(국민안전처, 2015).

본 연구에서는 지표변위계에 의한 예보 관리기준을 국내 사면붕괴 사례에서 도출한 변위속도 및 누적변위를 기준고려하여, 계측데이터를 기반으로 2차년도에 도출할 예정이다.

#### 5.4.6 지하수위계에 의한 예·경보 관리기준

사면 및 토류벽 구조물에서 지하수위의 존재는 구조물 안정성에 큰 영향을 미친다. 구조물 안정해석을 수행하는 경우 지하수위가 없는 건조한 사면과 비교하여 지표면 높이까지 지하수위가 위치하는 경우 지하수위 수압의 영향으로 안전율은 약 50%까지 감소할 수 있다. 이에 따라 저수지와 같은 토류 구조물의 지하수위 변화는 저수지의 구조적 불안정에 대한 징후를 감지하는 관리기준으로 사용할 수 있다.

(표 5-19) 현장적용 토류벽 지하수위계 관리기준

관리수준	주의	경고	위험	비고
분당선 복선전철 제4공구	주간 변위 1m이상			
수원 ~ 인천간 복선전철 제1공구	$H \leq 0.1m$	$0.1m \leq H \leq 0.3m$	$H \geq 0.3m$	H = 1일 수위 변화량
공항철도 연계시설	$H \leq 0.5m$	$0.5m \leq H \leq 1.0m$	$H \geq 1.0m$	

지하수위계는 국내 흙막이 가시설에도 지하수위의 변동을 모니터링 하여 위험을 미연에 감지하는 방법으로 사용하고 있다(표 5-19). 1일 수위변화량이 0.3m~1.0m 이상인 경우 지하철 및 철도공사에서 위험단계로 설정하여 사용하고 있다.

본 연구에서는 지하수위계의 저수지 붕괴 예보 관리기준을 저수지 정상침투 침윤선 수위 이상으로 수위변화가 발생 시부터 고려하여 1일 수위의 변화량이 저수지의 높이와 가지는 상관관계를 설정하여 계측데이터를 분석하여 2차년도에 수립할 계획이다.

### 5.4.7. 지진가속도계에 의한 예·경보 관리기준

(표 5-18) 규모와 진도 관계(수정 머칼리 진도 계급 (기상청, 2016))

· 규모와 진도 관계 (수정 머칼리 진도 계급 : MMI) (1g=980cm/sec²=980gal)					
규모	진도	현상설명	평균최대 지반가속도 (g)	평균최대 지반가속도 (gal)	
1.0~2.9	I	특별한 상태에서 극소수의 사람을 제외하고는 전혀 느낄 수 없다.	-	-	-
	II	건물의 윗층의 소수 사람들에 의해서만 느낀다. 대달린 물체가 섬세히 흔들린다.	-	-	-
3.0~3.9	III	건물 윗층에 있는 사람들이 주로 느끼지만 대부분 지진이라고는 인식하지 못한다. 정지하고 있는 자가 약간 흔들리며, 트럭이 지나가는 것과 같은 진동이 있고 지속시간이 산출된다.	-	-	-
	IV	낮: 실내에 서있는 많은 사람들이 느낄 수 있으나, 옥외에서는 거의 느낄 수 없다. 밤: 일부 사람들이 잠을 깬다. 그릇, 창문, 문 등이 소란하며 벽이 갈라지는 소리를 내며 대형 트럭이 벽을 받는 느낌을 준다. 정지하고 있는 자동차가 움직인다.	0.015 ~ 0.02g	15	20
4.0~4.9	V	거의 모든 사람들이 지진동을 느끼며 많은 사람들이 밤에 잠을 깬다. 그릇과 창문 등이 깨지고 불안정한 물체는 넘어진다. 나무, 전선주 등 높은 물체가 심하게 흔들린다.	0.03 ~ 0.04g	29	39
	VI	모든 사람들이 지진을 느끼며 많은 사람들이 놀라서 밖으로 뛰어나간다. 무거운 가구가 움직이며, 벽의 석회가 떨어지기도 한다. 일부 피해를 입는 골목도 있다.	0.06 ~ 0.07g	59	69
5.0~5.9	VII	사람들이 두려움을 느끼며, 골목이 무너지고 운전 중인 사람들도 지진을 느낄 수 있다. 설계 및 건축이 잘 된 건물 : 경미한 피해 보통 건축물 : 약간의 피해가 발생 설계 및 건축이 잘못된 부실건축물 : 상당한 피해가 발생한다.	0.10 ~ 0.15g	98	147
	VIII	특별히 잘 설계된 구조물: 약간의 피해 일반 건축물: 부분적인 붕괴와 더불어 상당한 피해 부실 건축물: 심각한 피해	0.25 ~ 0.30g	245	294
6.0~6.9	IX	창문이 떨어져 나가며, 골목, 공장 물품더미, 기둥, 기념비, 벽들이 무너진다. 무거운 가구가 넘어지고 모래와 진흙이 약간 분출된다. 우물물의 변화가 있다. 운전이 어렵다.	0.50 ~ 0.55g	490	539
	X	대부분의 구조물에 부분적 붕괴와 함께 큰 피해를 준다. 지표면에 선명한 금 자국이 생기며 지하 송수관도 파괴된다.	0.60g 이상	588	
7.0 이상	XI	목조 구조물이 부서지기도 하며, 대부분의 석조 건물들이 기초와 함께 무너진다. 지표면에 심하게 갈라지며, 기차선로가 휘어진다. 모래와 진흙이 이동하며 강둑이나 경사면에서 산사태가 발생하고, 물이 독을 넘어 흘러내린다.			
	XII	석조 구조물은 거의 파괴되며 교량이 부서지고 지표면에 심한 균열이 생긴다. 지하 송수관이 완전히 파괴된다. 연약한 지반에서는 땅이 꺼지고 지층이 어긋난다. 기차선로가 심하게 휘어진다. 전면적인 피해가 발생한다. 지표면에 파동이 보인다. 시야와 수평면이 뒤틀린다. 물체가 공중으로 튀어 나간다.			

지진가속도계에 의한 저수지 붕괴 예보 관리기준은 한국농어촌공사에서 사용하는 기상청의 관측 진도값에 따른 규모와 진도 관계의 피해현상을 기준으로 예보관리기준을 설정하였다(그림 5-18).

지진가속도계에 의한 저수지 붕괴 예보 관리기준은 기상청의 지진 규모와 진도의 상관관계에 의한 피해 현상설명에 따라 관심, 주의, 경계, 심각단계를 2차년도에 수립할 예정이다.

## 5.5 저수지 붕괴 위기경보 기준 설정

저수지 붕괴 위기경보 기준은 첫째, 정부의 위기대응 매뉴얼 등 국가 재난대응체계와 일관성을 확보하여야 하며, 둘째, 기상청 태풍·호우 특보 등 기상 정보를 고려하며, 셋째, 강우량 및 계측기별 제공되는 신뢰성 있는 예보기준을 활용하고, 넷째, 저수지 하류 위험구역을 지정하여, 다섯째, 모든 예측정보 및 현장 상황정보를 반영한 의사결정 구조를 정립함으로써 위험구역의 주민에게 저수지 붕괴 예보 및 대피명령이 발령되도록 설정한다.

「재난 및 안전관리 기본법」(국민안전처, 2016c) 제38조(예·경보 발령)은 2017년 1월 8일자로 개정 시행될 예정이다. 기존 재난 예·경보 발령을 4단계(관심·주의·경계·심각)로 전국단위는 중앙재난안전대책본부장 및 중앙수습본부장이 발령하고, 지역단위는 시·도지사 및 시장·군수·구청장이 발령토록 하였던 것을 재난관리주관기관장이 위기경보 발령 4단계(관심·주의·경계·심각)에 따라 전국단위 및 지역단위로 발령할 수 있도록 하여 책임성을 강화하였으며, 심각단계 발령시는 국민안전처 장관과 사전 협의토록 하였다. 또한, 현장 재난대응의 실효성을 위하여 재난관리책임기관으로 하여금 재난관련 위험정보를 취득하면 즉시, 국민안전처 장관, 재난관리주관기관의 장, 시·도지사, 시장·군수·구청장에게 통보하도록 하고 있다(표 5-19).



**(표 5-19) 재난 및 안전관리기본법 제38조 개정 시행**

재난안전법 제38조	재난안전법 제38조 개정(2017.1.8 시행)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 발령권자                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-전국단위: 중대본부장, 수습본부장(주관기관이 되는 재난 및 사고)</li> <li>-지역단위 : 시, 도지사, 시장, 군수, 구청장</li> </ul> </li> <li>• 예·경보 발령단계: 관심, 주의, 경계, 심각                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-자연재난 및 사회재난으로 피해가 예상되거나 피해를 예방하기 위해 필요한 경우</li> <li>-인명 또는 재산피해정도가 매우 크고 영향이 광범위할 것으로 예상되는 경우</li> </ul> </li> <li>• 재난위험정보 통보의무                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-재난관리책임기관의 장은 재난과 관련된 위험정보를 취득하면 즉시 중앙대책본부장, 수습본부장, 지자체장에게 통보</li> </ul> </li> <li>• 재난방송등 요청                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-중앙대책본부장, 시, 도지사 또는 시장, 군수, 구청장                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>장은 재난 예, 경보사항, 응급조치를 위해 필요한 사항을 전기통신사업자 및 방송사업자 등에게 문자송신, 방송 등을 요청할 수 있음</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 발령권자                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-재난관리주관기관장 (대통령령으로 정한 재난 및 사고)</li> </ul> </li> <li>• 위기경보 발령단계: 관심, 주의, 경계, 심각                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-재난관리주관기관의 장은 심각 경보를 발령시 국민안전처 장관과 사전 협의</li> </ul> </li> <li>• 재난위험정보 통보의무                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-재난관리책임기관의 장은 재난과 관련된 위험정보를 취득하면 즉시 국민안전처 장관, 재난관리주관기관의 장, 시·도지사, 시장·군수·구청장에게 통보</li> </ul> </li> </ul>

저수지 붕괴 위기경보 기준은 「재난 및 안전관리 기본법」(국민안전처, 2016c) 제38조(예·경보발령), 제40조(대피명령) 등 정부의 저수지 붕괴 위기 대응 매뉴얼과 일관성을 갖도록 위기경보 기준 4단계를 기본 구성체계로 기상청 기상정보를 활용하고 본 연구에서 제시한 강우량계 등 계측기별 예보 기준을 반영하여 저수지 하류 위험구역 안 주민에게 대피명령을 발령하도록 방안을 제시하였다(표 5-20).

(표 5-20) 저수지 붕괴 위기경보 기준 설정 방안 (풍수해 기간)

단계별	구분	주요 내용
1.저수지 재난정보 수집		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 평시 기상청 기상정보, 계측기별 모니터링 정보</li> <li>• 하류 위험구역 정보, 재난약자 현행화</li> </ul>
2.호우·태풍 빈발 시기	관심단계 (Blue)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 호우·태풍 빈발 시기, 우리나라에 영향을 끼칠 가능성 있는 태풍의 발생</li> <li>• 계측기별 예보 기준 관심단계 초과</li> </ul>
3.호우·태풍 주의보	주의단계 (Yellow)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 호우주의보 또는 태풍주의보 발령</li> <li>• 계측기별 예보 기준 주의단계 초과</li> <li>• 저수지 안정해석 결과 <math>1.3 \leq FS</math></li> </ul>
4.호우·태풍 경보	경계단계 (Orange)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 호우·태풍 주의보가 3개 도 지역 이상 또는 경보가 2개 도 지역이상 발표시</li> <li>• 계측기별 예보 기준 경계단계 초과</li> <li>• 저수지 안정해석 결과 <math>1.0 \leq FS \leq 1.3</math></li> </ul>
5.상황판단회의		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상황판단회의 실시</li> <li>• 주민대피 권고 등 결정, 다중매체 주민 전파</li> </ul>
6.저수지 붕괴 가능성 확실	심각단계 (Red)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 호우·태풍 경보가 발표되고, 호우·태풍에 의한 대규모(전국단위) 재난발생 가능성이 확실한 때</li> <li>• 계측기별 예보 기준 심각단계 초과</li> <li>• 저수지 안정해석 결과 <math>FS \leq 1.0</math></li> </ul>
7.상황판단회의		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상황판단회의 실시</li> <li>• 주민 대피명령 등 결정</li> </ul>
8.대피명령 전파 및 대피		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 저수지 붕괴 하류 위험구역 주민에게 대피명령 전파, 대피 유도</li> <li>• 주민 대피경로를 통한 대피장소로 신속대피</li> </ul>

저수지에 대하여 위기경보 판단기준 및 대피명령 발령 기준을 제시하였다 (표 5-21). 위기 경보기준 4단계(관심·주의·경계·심각)를 기본으로 작성하였으며, 00저수지에 설치된 강우량계 등 계측기별 예보 기준을 사용하고, 저수지 안정해석이 가능한 경우는 해석결과 안전율을 고려하며, 저수지 하류 위험구역을 지정하여 경계단계에서는 주민에게 예측정보를 제공하여

대피 권고를 시행하도록 하였다. 또한, 심각단계의 정량적인 기준을 초과하는 경우는 위험구역에 대해 현장상황을 고려하여 「재난 및 안전관리 기본법」(국민안전처, 2016c) 제40조(대피명령)에 따라 주민 대피명령을 발령할 수 있도록 하였다.

(표 5-21) 저수지 붕괴 위기경보 판단기준 및 조치사항 개선안 제시

구 분	위기경보 판단기준(사례, 00 구청)	비고	
		대상	조치사항
관심단계 (Blue)	<ul style="list-style-type: none"> <li>호우·태풍 빈발 시기, 우리나라에 영향을 끼칠 가능성 있는 태풍의 발생</li> <li>계측기별 예보 기준 관심단계 초과</li> </ul>	담당자 주민	징후 감시활동 상황과악
주의단계 (Yellow)	<ul style="list-style-type: none"> <li>호우주의보 또는 태풍주의보 발령</li> <li>계측기별 예보 기준 주의단계 초과</li> <li>저수지 안정해석 결과 <math>1.3 \leq FS</math></li> </ul>	담당자 주민	감시활동 정보전과 순찰 및 협조체계 가동
경계단계 (Orange)	<ul style="list-style-type: none"> <li>호우·태풍 주의보가 3개 도 지역 이상 또는 경보가 2개 도 지역이상 발표시</li> <li>계측기별 예보 기준 경계단계 초과</li> <li>저수지 안정해석 결과 <math>1.0 \leq FS \leq 1.3</math></li> </ul>	담당자 주민	정보전과 상황판단회의 (위험구역 대피권고)
심각단계 (Red)	<ul style="list-style-type: none"> <li>호우·태풍 경보가 발표되고, 호우·태풍에 의한 대규모(전국단위) 재난발생 가능성이 확실한 때</li> <li>계측기별 예보 기준 심각단계 초과</li> <li>저수지 안정해석 결과 <math>FS \leq 1.0</math></li> </ul>	담당자 시민	즉각 대응태세 상황판단회의 (위험구역 대피명령)

## 5.6. 결론

기후변화로 인한 극한강우 현상으로 매년 전국의 위험 저수지에서 붕괴로 인한 피해가 발생하고 있다. 저수지는 항상 다량의 농업용수를 저수하고 있어 붕괴가 발생하면 하류에 주거하는 주민의 인명피해 뿐만 아니라 농작물 등 대규모 재산피해를 유발한다. 정부는 위험저수지 정비사업 예산을 확보하고 지속적으로 예방사업을 추진하고 있으나 구조적 대책만으로 안전 확보에 어려움이 있어 비구조적 대책인 저수지 재해예방 계측시스템 설치사업을 진행하고 있다. 본 장에서는 계측기기의 예보 기준을 제시하고자 하였으며 연구결과는 다음과 같다.

1. 국내외 저수지 붕괴 사례를 통하여 저수지 붕괴 원인이 누수 및 파이프, 월류, 하류 사면붕괴 등이며 국내 저수지 붕괴사례는 대부분 집중호우에 의한 제당 월류 붕괴가 차지하였으며, 일부 누수에 의한 붕괴사례도 보고되었다.
2. 급경사지 및 토목구조물의 안전기준 및 계측관리 기준을 조사하여 저수지 붕괴 예보 기준에 대한 적용성 여부를 분석하였다. 계측기별 측정 물리량 및 구조물의 안정성과의 연계 등에서 계측기별 다양한 특성을 보여 일관성있는 적용은 어려운 특징 있다.
3. 저수지 붕괴 주요 요인을 고려하여 계측시스템 구축에 자주 사용하는 강우량계, 수위계, 누수량계, 지표변위계, 지하수위계 및 지진가속도계 등 6개 계측기에 대한 예보 관리기준을 정립하여 제시하였다.
4. 저수지 계측시스템 구축으로 다양한 계측기기가 복합적으로 설치되는 상황에서 종합적인 의사결정이 어려운 경우를 감안하여 다중 계측기기 계측값에 대한 종합적인 관리기준 평가방법을 제시하였고, 저수지 관리 담당자 및 지방자치단체장이 국가 위기대응 매뉴얼과 일관성을 갖고 사용할 수 있도록 계측기별 관리기준을 반영한 위기경보 기준 설정 방안을 제시하였다.

제 6 장

재난망 및 IoT기술  
적용성 검토





## 제6장 재난망 및 IoT기술 적용성 검토

### 6.1 국가재난안전통신망 구축계획 분석

#### 6.1.1 국가재난안전통신망 구축 현황

##### 가. 국가재난안전통신망의 추진 경과

재난망은 국내외적으로 주요한 사건이 발생하면서 그 필요성이 제기 되었다. 미국의 경우 9·11테러(2001년) 이후 재난망 구축을 시작하였고, 우리나라의 경우 대구 지하철 화재(2003년) 이후 재난망 구축이 논의되었다. 최초의 논의시 재난망 통신방식으로 유럽에서 이용되는 TETRA (Terrestrial Trunked Radio) 방식을 고려하였다. TETRA는 공공기관, 군, 경찰, 소방, 구급 등 응급상황에서 사용할 목적으로 개발된 휴대용 무전기 통신규격이다. 유럽에서 시작된 TETRA는 현재 약 100개국에서 사용되는 가장 확산된 통신기술방식이다. 우리나라에서도 소방, 경찰, 지방자치단체 등 기존 재난관련기관에서 TETRA 망을 이용하고 있다.

전국단위의 재난망 구축사업은 크게 3단계로 구분할 수 있다. 첫 번째 단계는 “통합지휘무선통신망” 사업으로 2002년부터 2009년까지 추진하였다. KDI의 예비타당성 조사 결과 경찰청이 운영하는 TRS(Trunked Radio System)방식을 이용하는 것이 타당하게 나타나서 '07년까지 소방방재청에서 통합지휘무선통신망 서울, 경기 지역 구축사업을 시행하였다. 그러나 감사원 감사결과('08년) 사업효성이 낮다고 지적되었고 KDI 타당성 재조사 결과('09년) 경제성이 낮다고 분석되어 사업이 보류되었다.

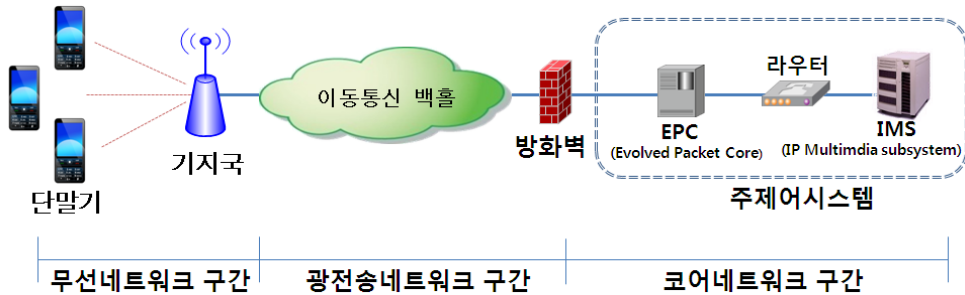
2단계는 행정안전부 주관으로 추진되었으며 TETRA 방식을 보완하여 자가망을 구축하되 상용망을 보완하는 형태로 와이브로(WiBro; Wireless Broadband Internet)와 TETRA 방식이 선정되어 재추진을 시작하였다.

TETRA는 영상 및 음성통신을 위해, WiBro는 해안커버리지 확대를 위해 활용하는 형태였으나 역시 예비타당성에서 적합하지 않다는 문제로 중단되었다.

(표 6-1) 재난안전통신망 구축 기술 방식

구분	구축방식
구축방식	자가망을 기반으로 구축하되 상용망 시설을 일부 활용
기술방식	LTE 방식
타공공망	철도망(LTE-R)과 e-Navigation의 연근해 통신망(LTE-M) 등과 통합
주파수	가장 낮은 가용주파수인 700MHz 대역 전제로 20MHz폭 수요 제기
관련산업	국산화를 통한 중소기업 육성과 산업생태계 조성 추진

현재 추진되는 재난망은 3단계 추진으로 사회 이슈로 부각된 것은 세월호 참사(2014년)로 인한 것으로 재난현장에서 기관 상호간 지휘 및 협조체계가 미흡하고, 일원화된 현장 대응체계가 어려워서 많은 인명피해가 나타나는 것을 직접적으로 경험했기 때문이다. 미래창조부에서 주도한 재난안전통신망 구축기술은 차세대 재난망 구축이라는 측면에서 기술방식을 결정하였고 주요 내용은 표 6-1과 같다.



<그림 6-1> 재난안전통신망 구성 (국민안전처, 2015a)

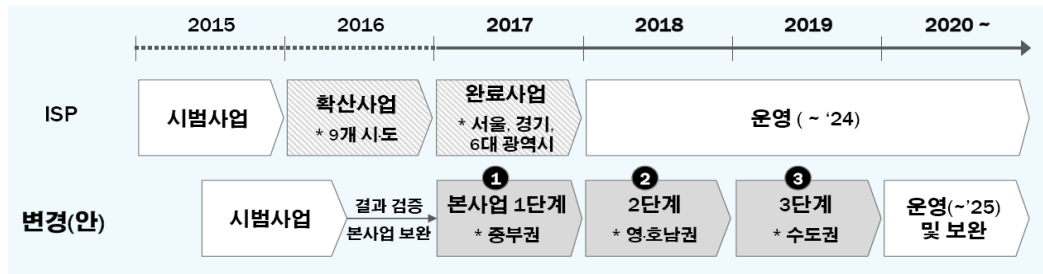
3단계 재난망 구축사업에서는 재난안전통신망(이하 재난망)은 재난구조(Disaster Relief) 통신망과 공공안전(Public Protection) 통신망을 통합한



최첨단 무선통신망으로 정의한다. 재난망은 크게 3개 구간으로 구성되는데 단말기와 기지국간의 “무선네트워크”, 기지국과 방화벽간의 “광전송네트워크”, 방화벽과 주제어시스템간의 “코어네트워크”로 이루어진다(그림 6-1).

<b>배경</b>	세월호 침몰사고('14.04월)를 계기로 국가전체 초기 재난대응역량을 강화하기 위한 핵심기반 인프라로 재난안전통신망 구축 필요성 제기
<b>목표</b>	소방, 경찰, 軍 등 재난기관이 재난시 통합지휘 및 상호공조가 가능하도록 하는 차세대 기술방식의 전국 단일 무선통신망 구축
<b>범위</b>	대상 : 8대 분야 324개 기관, 기능 : 17개 필수 및 20개 부가, 커버리지 : 전국(해상 포함)

<그림 6-2> 재난안전통신망 개요 (재난안전통신망 구축기획단, 2014)



<그림 6-3> 재난안전통신망 추진방식 변경 (국민안전처, 2016)

현재 3단계 구축사업은 결정된 PS-LTE<sup>2)</sup>(Public Safety-Long Term Evolution) 방식으로 통신망 표준운영절차(SOP, Standard Operation Protocol)를 포함한 정보화전략계획(ISP, Information Strategy Planning) 수립이 종료되었고 평창동계올림픽 지역(평창, 강릉, 정선)을 대상으로 시범사업 구축이 완료('16년 6월)된 상태이다. 시범사업 종료 후 9개 시·도에 대한 확산사업이 추진될 계획이었으나 국민안전처에서 시범사업에서 수립된 다양한 각계 전문가의 의견을 기반으로 시범사업에 대한 실제 운영을

2) 음성, 문자, 동영상 등 멀티미디어 서비스가 가능한 재난안전용 4세대 무선통신기술

통해 미비점을 보완하고 검증과정을 거쳐 본 사업 추진 방안을 수립하는 과정을 진행 중이다.

나. 국가재난안전통신망의 주요 사업영역

재난망은 크게 3가지의 주요한 사업영역으로 구분된다. 기본적으로 재난망을 관리할 수 있는 재난망 관리센터, 실제 재난망의 통신을 이루어지게 하는 기지국 및 네트워크, 그리고 현장에서 이용되는 단말기가 그 주요 부분이다. 재난망 관리센터는 통화 및 연결제어, 다수가 이용을 해도 문제가 없도록 IP를 관리하는 기능, 망 관리 및 보안 기능 등의 내용이 포함되고 단말기는 현장활용을 목적으로한 무전기형, 지휘를 목적으로 한 스마트형으로 구분된다.

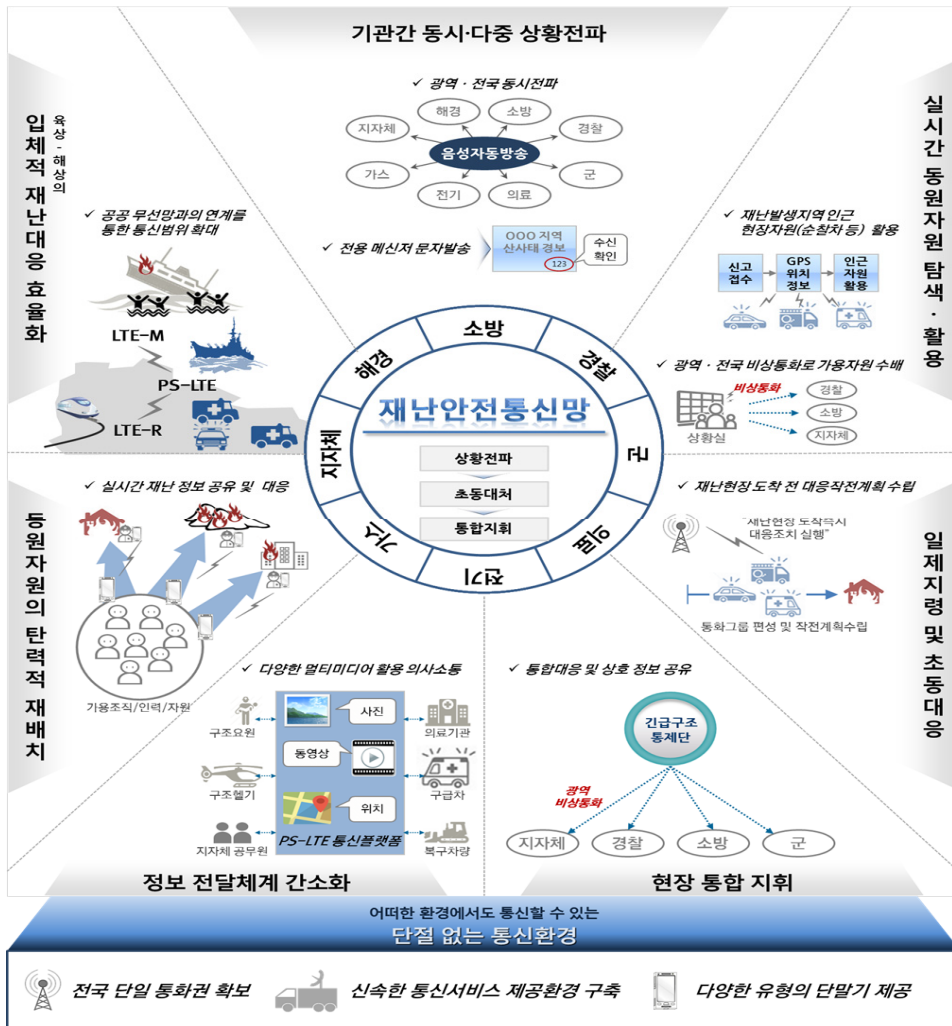
1 망관리센터	2 기지국 및 네트워크	3 단말기
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 통화 연결 및 제어(EPC)</li> <li>◦ IP 관리 시스템(IMS)</li> <li>◦ 그룹통화 등 응용시스템</li> <li>◦ 망 관제, 보안시스템 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 유선망(전용회선)</li> <li>◦ 기지국(RU, DU)</li> <li>◦ 이동기지국 등 백업수단</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 무전기형(현장용)</li> <li>◦ 스마트형(지휘용)</li> </ul>

<그림 6-4> 재난안전통신망 사업영역, 국민안전처(2015)

다. 국가재난안전통신망 활용기관 및 제공기능

최근 사회가 초연결 사회를 지향하고 실제로 많은 영역에서 상호 연관성이 높아지면서 재난유형도 함께 대형화, 복잡화, 특수화 되고 있다. 이러한 재난특성은 더 이상 재난을 한 개 기관에서 관리하고 대응할 수 없다는 점을 시사한다. 실제 세월호 이후 신설된 국민안전처에서 미래재난과 특수재난에 대응하기 위해 특수재난실을 신설한 것이 이러한 재난유형의

변화가 공공의 안전에 심각한 문제를 초래할 수 있음을 보여준다. 따라서 각각의 영역에서 신속한 인명구조를 위해 Golden Time 확보가 모든 재난 대응의 선결조건이 되었고 이를 위한 유기적인 협조체계 구현을 위한 재난망의 목표를 국민안전처에서 그림 6-5과 같이 제시하였다. 소방, 경찰, 군, 의료, 전기, 가스, 지자체, 해경 등 8대 분야에 필수 이용기관 324개 기관, 1,000개의 재난관리 책임기관과 긴급구조기관이 재난망을 이용할 것으로 사업이 기획되었으나(그림 6-4), 다수의 기관이 재난망을 활용하기 위해서는 상당한 시간이 소요될 것으로 판단된다.



〈그림 6-5〉 재난안전통신망 목표 개념도 (국민안전처, 2016)

제 6 장  
재난망 및 ICT기술  
적용성 검토

(표 6-2) 재난안전통신망 필수이용기관

구 분	필수이용기관명	계
소 방	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (국민안전처) 중앙소방본부, 중앙119구조대</li> <li>· (시도 소방본부) 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산, 강원, 세종, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주, 경기(2)</li> </ul>	20개
경 찰	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (경찰청) 본부</li> <li>· (지방 경찰청) 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주, 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산, 경기(2)</li> </ul>	18개
지자체	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (광역시) 서울(26), 부산(17), 대구(5), 인천(11), 광주(6), 대전(6), 울산(6)</li> <li>· (특별자치 시·도) 세종(1), 제주(1)</li> <li>· (도) 경기(32), 강원(19), 충북(12), 충남(16), 전북(15), 전남(23), 경북(24), 경남(19)</li> </ul>	243개
해 경	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (중앙) 해양경비안전본부</li> <li>· (지역) 중부해양경비안전본부, 동해해양경비안전본부, 남해해양경비안전본부, 서해해양경비안전본부, 제주해양경비안전본부</li> </ul>	6개
군	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (육군) 2작사, 수방사, 특전사(사령부, 직할대, 1·3·5·7·9·11·13여단), 1군·3군 향토사단, 항공작전사령부</li> <li>· (공군) 공작사(5비행단, 15비행단 6전대)</li> <li>· (해군) 1·2·3함대사령부, 진해기지사령부, 특수전 전단, 제6항공전단, 해병대사령부, 해난구조대(SSU)</li> </ul>	25개
전 기	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 한국전기안전공사, 한국전력공사</li> </ul>	2개
가 스	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 한국가스안전공사, 한국가스공사</li> </ul>	2개
의 료	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (중앙) 국립중앙의료원</li> <li>· (권역) 서울대병원, 부산대병원, 경북대병원, 가천의대병원, 전남대병원, 충남대병원, 울산대병원, 아주대병원, 충북대병원, 전북대병원, 의정부 성모병원, 강릉 동인병원, 원주 기독교병원, 목포 한국병원, 삼성창원병원, 제주한라병원</li> </ul>	17개
계		333개

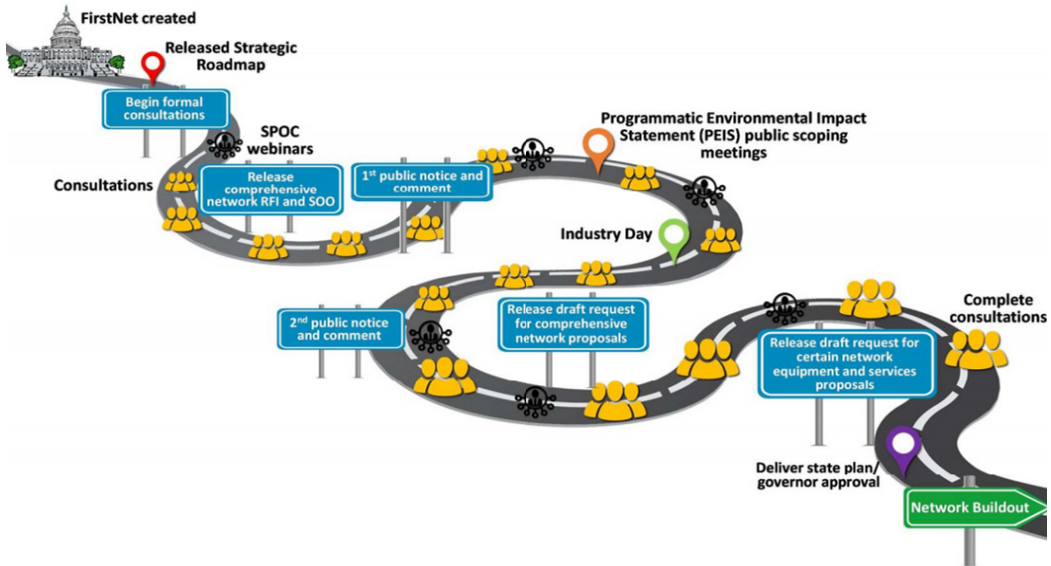
라. 해외 재난안전통신망 구축 현황

해외의 재난안전통신망은 기존 음성 중심의 재난대응에서 보다 효율적으로 다양한 멀티미디어 기능을 적극 활용 할 수 있는 통신기술이 급부상하고 있다. 기존의 협대역 디지털 TRS 방식인 유럽의 TETRA 기술표준과 미국 중심의 APCO-P25<sup>3)</sup> 방식에서 음성 및 광대역 데이터 전송이 가능한 PS-LTE 기반 재난안전통신망이 구축되고 있다(배성훈, 2015). 미국은 국가통신정보관리청(NTIA)에서 “FirstNet”의 재난망을 구축 운영하고 있는데 미국 연방통신위원회(FCC)와 NTIA가 주도하여 연방, 주, 지방, 원주민 등 약 60,000개 기관을 대상으로 “공공안전시스템과 정보처리 상호운용을 위한 협력”을 통해 추진하고 있다.

(표 6-3) 해외 재난망 구축 현황 (배성훈, 2015)

국가	재난망 명칭	기술방식	구축년도
미국	FirstNet	PS-LTE	2012~2022
캐나다	PSNE	APCO-P25	2000~2010
영국	ESN	PS-LTE	2016~2020
독일	BOSNET	TETRA	2008~2014
핀란드	VIRVE	TETRA	1998~2004
네델란드	C2000	TETRA	1999~2004
스웨덴	RAKEL	TETRA	2006~2010
노르웨이	Nodnett	TETRA	2009~2015
일본	災害管理無線網	MCA	2009~2016

3) 음성, 문자, 동영상 등 멀티미디어 서비스가 가능한 재난안전용 4세대 무선통신기술



<그림 6-6> 미국 FirstNet 로드맵 (출처-www.firstnet.gov)

유럽 국가가 많이 이용하는 TETRA 방식은 우리나라에서 가장 많이 사용되는 고전적인 통신체계인 VHF, UHF<sup>4)</sup>, TRS 방식에서 진일보한 방식으로 주파수 자원 사용 효율성 및 도청방지, 단말간 직접 통신 등 다양한 부분이 개선된 방식이다(한국전자과학회, 2012). TETRA는 재난통신 관련 분야에서 이미 검증이 완료된 방식이며 재난안전서비스 측면에 특화되어 있지만 피해발생 현장의 GIS정보, 재난영상정보 등 고용량의 멀티미디어 서비스가 어렵다는 한계점도 갖고 있다.

캐나다가 이용하는 APCO-25P 방식은 미국과 캐나다— 영국 등의 공공 안전 기관들이 참여해서 사용하는 기술로 디지털 양방향 무선통신에 대한 요구사항을 만족하도록 하여 기존 아날로그 방식을 디지털로 전환시 비용의 최소화가 이루어지도록 되어 있다. 하지만 캐나다에서는 해당 기술을 안전망으로 이용하나, 미국에서는 일부 주에서만 APCO 방식을 사용하고 있다. 현재 구축중인 영국과 미국의 PS-LTE 재난안전통신망을 제외하고 현 시점으로 구축되어 운영되고 있는 주요국가의 재난안전통신망 구축 및 운영현황을 표 6-4와 같다.

4) 초단파(VHF), 극초단파(UHF)

(표 6-4) 주요국가의 재난안전통신망 구축 및 운영사례 (한국전자과학회, 2012)

국가	재난망 명칭	구축방식
영국	TETRA	자가망
독일	TETRA	자가망
핀란드	TETRA	자가망
아일랜드	TETRA	자가망
루마니아	TETRA	자가망
네덜란드	TETRA + WiBro 시범	자가망
스페인	TETRA + WiBro	자가망
호주	APCO-P25	자가망
일본	VHF/UHF + MCA	자가망
미국	APCO-P25 + iDEN <sup>5)</sup>	겸용망
캐나다	APCO-P25 + iDEN	겸용망
이스라엘	APCO-P25 + iDEN	겸용망
말레이시아	TETRA + LTE	겸용망

## 6.1.2 국가재난안전통신망 주요 고려사항

### 가. 국가재난안전통신망 구축 방향

국가재난안전통신망(이하 재난망)은 국가가 공공안전업무를 수행하는데 있어서 필요한 긴급상황은 물론 일반 고유업무에서 그 목적을 원활히 수행할 수 있도록 하는 특수한 통신망이다. 즉 공공안전과 관련된 제한된 업무를 위한 통신서비스를 제공하는 네트워크로 다양한 국가위기체계에서도 가동될 수 있어야 한다는 제약조건이 따른다. 일반적인 용도(상업용)의 이동통신망은 대부분 이윤과 사용자의 품질만족이 주목적이라면 재난망은 즉각적인 정보전송이 최우선으로 이를 위해 높은 가용성이 필요하다. 어디서나 이루어질 수 있는 커버리지(Any Where), 어느 상황에서도 가능한 통신 기능(Any Time), 혼선이 발생하지 않고 보안이 유지되어야 하는 기능(Security), 현장의 상황에 대한 의사결정을 돕기 위한 신속성(Quickness)

5) iDEN: integrated Digital Enhanced Network의 약자로 양방향 무선, 문자, 데이터 통합 솔루션

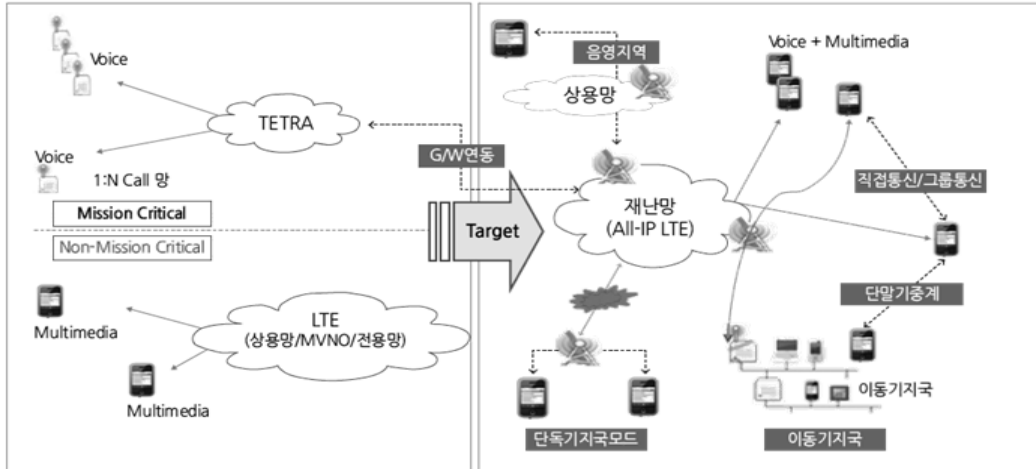
그리고 다양한 기관 및 단말에서 문제가 없을 상호 운용성(Operability) 등이다.



<그림 6-7> 국가재난안전망 구축에 따른 변화

그림 6-7은 재난망이 구축됨으로서 변화하는 재난망 활용체계의 미래모습으로 가장 큰 차이점은 차세대 재난망 통신방식을 고려해서 단순 음성 통신에서 멀티미디어 정보 활용이 가능한 부분과 개별 구축에서 통합 구축 및 운용을 통한 효율성 제고부분이라고 할 수 있다. 즉 재난망은 기존의 음성과 음성 통신방식인 TETRA와 상용망 또는 전용망을 활용해서 멀티미디어 재난정보 전송에 이용되는 LTE를 결합하여 음성과 멀티미디어 결합의 자가망 및 상용망 활용서비스를 통해 국가차원의 안정적인 통신망을 구축하는 것이 목적이다(그림 6-8). 따라서 다양한 부처의 기존 통합지휘무선망과 재난망을 연계하는 부분, 신규로 재난망 기반의 통합지휘무선망을 구축하는 기관 등의 다양한 의견 수렴이 필요하다. 이를 위해 공공안전통신망 포럼을 운영하면서 해당 결과 및 관련 자료, 의견 등을 공유하면서 사업을 추진하고 있다(그림 6-9).





<그림 6-8> 국가재난안전망 목표 시스템 개념도 (허정희, 2015)

<그림 6-9> 공공안전통신망 포럼 웹 페이지

제 6 장  
 재난망 및 이기성  
 적용성 검토

나. 국가재난안전통신망 주요 고려 사항

재난망은 “자가망 구축”과 “상용망 활용 구축” 방식이 혼용되는데 재난망의 안정성 측면에서는 자가망 구축이 적합하나, 이로 인한 많은 예산의 소요가 문제점이며, 예산을 고려한 상용망 활용은 대형재난, 대규모 시위 발생시 일반 사용자의 망 사용 폭주로 인해 통신장애 가능성이 발생할 확률이 높다는 문제점이 있다. 따라서 자가망과 상용망을 적절하게 활용하여 통신망의 안정성과 경제성, 확장성을 확보하는 대책이 필요하다.

(표 6-5) 재난안전통신망 자가망 및 상용망 구축방식 비교 (NIA)

구분	주요 요소	자가망	상용망
경제성	망 구축/ 운영 비용	<ul style="list-style-type: none"> <li>초기 구축비 많음</li> <li>이용 수요와 규모가 커질수록 경제적</li> <li>시설 유지보수, 운영 인건비 비용 부담</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>초기 구축비 적음</li> <li>이용 수요가 적을 때 유리, 이용규모가 커질수록 이용요금 증가</li> </ul>
보안성	관리, 운용	<ul style="list-style-type: none"> <li>인허가자, 비인가자에 대한 보안성 높음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>위탁관리로 보안 위험</li> </ul>
	기술적 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>물리적 별도망</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>논리적 독립망(vpn)</li> </ul>
확장성	미래수용능력	<ul style="list-style-type: none"> <li>필요에 따른 계획적 확장, 변경 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>사업자 협의에 의한 확장 가능</li> </ul>
	특수목적 기술지원	<ul style="list-style-type: none"> <li>재난안전 37개 기능 등 특수목적 적용 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>사업자 협의는 가능하나 구현 불투명</li> </ul>
	용량확장	<ul style="list-style-type: none"> <li>긴급상황, 수요 대응 확장 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>사업자와 협의 후 대처</li> </ul>
운용성	관리조직	<ul style="list-style-type: none"> <li>자체 구축, 운영인력 확보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>사업자 운영경험과 노하우 활용</li> </ul>
안정성	생존성	<ul style="list-style-type: none"> <li>백본 이중화 투자 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>시설 유지보수, 운영 인건비 비용 부담</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>상용망 폭주시 독립망으로 생존성 확보</li> <li>단독기지국, D2D<sup>6)</sup> 등 적용 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상용망 폭주시 장애 가능성 상존</li> <li>단독기지국, D2D 등 적용 곤란</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>이동기지국 운영</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>이동기지국 운영</li> </ul>
실현성	경쟁구도	<ul style="list-style-type: none"> <li>위탁구축 다수 사업자 존재</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>다수 사업자 존재</li> </ul>
	주파수	<ul style="list-style-type: none"> <li>주파수 확보 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>주파수 확보 불필요</li> </ul>
	기 구축 인프라 활용	<ul style="list-style-type: none"> <li>기 구축 자가망 활용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기 구축된 상용망 활용</li> </ul>
	사업추진 환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>업무별 국정원 보안성 심사 대상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>업무별 국정원 보안성 심사 대상</li> </ul>

재난망은 상용망 연동부분 외에 기존 TRS 통신망과의 연동도 매우 중요하다. 기존 TRS 통신망과 추진중인 PS-LTE는 음성전송방식이 달라 직접 연동/운용은 불가능하다. 그렇다고 기 구축 운영중인 TRS를 폐기 시키는 것은 적절하지 않다. 따라서 기존 재난통신망인 TRS 구축/운영 기관에서는 무선연도 Gateway나 Roip 장비를 사용하여 PS-LTE 망과 연동되도록 구현해야 한다. 이 부분에서는 각 TRS 운영기관에서 별도의 사업비가 추가되나, 국가전체에서 볼 때는 저비용으로 높은 효과를 얻을 수 있는 장점이 있다.

재난망은 구축방식과 운용방식에 따라 여러 가지 대안별 장단점이 상존할 수 밖에 없는 사업이다. 그러나 “국가재난안전통신망”이라는 이름 자체의 가치를 고려한다면 최선이 없다면 차선을 선택하는 것이 타당하다. 여러 전문가의 재난망에 대한 의견과 논쟁, 그리고 예산과 안정성 등 다양한 의견을 고려하면 재난망은 자가망 구축을 기본으로 상용망을 일부 활용하는 체계로 구축되며, 이를 통해 극복하기 어려운 음영지역은 이동 기지국을 통해 해소하는 형태로 사업구축방향을 설정해야 한다. 또한 재난망 구축목적이 신속한 인명의 구조와 피해저감이라는 대응측면과 IoT 센서 등 차세대 재난안전 정보 취득이라는 예방측면에서 모두 만족할 수 있도록, 인구밀집지역을 커버리지 우선순위로 선정하고 도심지, 상용망 미커버리지 등으로 확대해서 적용해야 한다. 또한 기존 철도망 및 해상 등에 구축된 주파수를 이용하여 단계별 사업이 완성되기 까지 재난 및 사고에 대한 문제점이 없도록 추진해야 한다.

---

6) D2D; Device to Device



<그림 6-10> 공공안전통신망 발전방향 (허정희, 2015)

한국정보화진흥원(NIA)에서는 국가재난안전통신망의 활용전략을“SMART”로 제시하면서 신속, 이동, 안전, 녹색, 협업을 강조하였다(그림 6-10). 이러한 발전방향은 현재 활발히 공공업무에 활용되고 있는 “모바일 전자정부 서비스”의 운용기관이 약 50여개 기관, 120여개의 업무에서 활용되고 있어서 이러한 재난망을 활용한 서비스 체계가 모바일 전자정부망으로 진화하거나 융합될 가능성을 고려한 것이라고 할 수 있다. 이러한 경우 보안성이 높은 재난망을 활용하게 됨으로서 개인정보, 국가 및 기관정보 등 보안성 때문에 서비스 되지 못하는 부분에 대한 공공서비스 확대라는 부가적인 효과도 기대 할 수 있다.

### 6.1.3 국가재난안전통신망 문제점 분석

#### 가. 국제 표준 준수

재난망으로 이용되는 PS-LTE 기술방식은 국제표준을 제정하는 기관에서 활발하게 활동이 이루어지는 분야이다. 국제공식표준화기구 중 하나인 ITU(International Telecommunication Union)는 재난상황 시 국가적 또는 국가 간 상호 연계를 통한 효과적 대응 및 원활한 재난통신 장비 수급 등을 도모하기 위하여 공통 주파수 대역 사용을 권고하고 있으며 그림

6-11처럼 세계전파통신회의(WRC)를 통해 해당 내용의 결의 및 제정하였다(김남경 등, 2014). 해당 의제는 WRC-2015 의제 1.3으로 채택되어 이에 대한 기술표준에 대한 합의를 진행하고 있다.

지역	주파수 대역	비고(결의 주석 내용)
1 지역(유럽, 아프리카)	380~470MHz	일부 국가 내 핵심 통일 대역: 380~430MHz 대역 이용 검토
2 지역(미주)	746~806MHz, 806~869MHz, 4940~4990MHz	베네주엘라: 380~400MHz
3 지역(아시아)	406.1~430MHz, 440~470MHz, 806~824MHz/851~869MHz, 4940~4990MHz, 5850~5925MHz	일부 국가: 380~400MHz, 746~806MHz

<그림 6-11> 지역별 PPDR 주파수 대역 (김남경 등, 2014)

현 PS-LTE 구축 사업은 사업 계획 시점에 이러한 국제표준화 일정을 고려하지 않아서 국제 표준 준수라는 문제점을 갖고 있다. 사업착수시 요구된 37개 기능은 필수기능 17개 항목과 부가 기능 20개 항목으로 구성되어 있는데 사업선정시 12개 기능이 표준화가 미완료 된 상태에서 사업을 추진하였다.

3GPP<sup>7)</sup>(3rd Generation Partnership Project)의 구성에 보면 SA-WG6에 재난통신 응용을 결정하는 그룹이 있으며 여기에서 PS-LTE에 대한 표준화가 이루어진다. 국내에서도 PS-LTE 기반 재난망 구축에 있어 이러한 국제 표준화 부분에 적극적으로 대응하고 있으나 사업 추진 시기에 따른 문제점을 완벽히 해소하고 있지 못하다고 할 수 있다(그림 6-11~12).

7) 3GPP(3rd Generation Partnership Project)는 이동통신 관련 단체들 간의 공동 연구 프로젝트로 국제전기통신연합(ITU)의 IMT-2000 프로젝트의 범위 내에서 3세대 이동통신 시스템 규격의 작성을 목적으로 하고 있다. 이 프로젝트에는 유럽전기통신표준협회(ETSI), 일본전파산업협회(ARIB), 일본통신기술협회(TTC), 중국통신표준협회(CCSA), 미국통신사업자연합(ATIS)과 한국정보통신기술협회(TTA)가 참여하고 있다(출처, 위키백과).

표준화 항목	주요 내용 및 표준화 현황	추진 단계
단말 간 직접통신 (D2D, ProSe 등)	- Rel. 12: 통신하고자 하는 단말들이 통신망 영역 내에 위치하는 경우를 고려하여 중점적으로 직접통신 표준화 추진 - Rel. 13: 단말들이 통신망 영역 외에 있을 때 단말중계기능까지 포함하여 직접통신 표준화 추진	Rel.12(3단계) Rel.13(2단계)
그룹통신 (GCSE)	- Rel. 12: 기본적인 그룹통화 호처리 절차, 통화 우선순위 처리 방안, 최대 그룹크기 등 표준화 추진 - Rel. 13: 지령대의 그룹통화 제어, 중계(Relay)기능 지원 시 그룹통화 방안 등이 추가적으로 표준화 될 예정	Rel.12(2단계) Rel.13(1단계)
푸쉬투토크 (MCPTT)	- Rel.13: 재난망의 기본기능인 단말의 푸쉬-투-토크가 LTE 망에서 지원 가능 하도록 표준화 추진 ※ LTE 기반 PTT 구현 목적의 애플리케이션 계층 표준화를 위한 SA WG6 MCPTT 그룹 신설	Rel.13(2단계)
단독기지국모드 (IOPS)	- Rel.13: 기지국이 핵심망과의 접속이 끊겼을 경우에도 단독으로 동작하여 기지국 영역 내 단말들 간 지속적 통신을 유지하는 표준화를 추진(요구사항 개발 착수)	Rel.13(1단계)

<그림 6-12> PS-LTE 주요 항목별 표준화 현황 (김남경 등, 2014)

사업 추진 시점 PS-LTE 국제표준 미완료 항목 12개는 16년 상반기에 표준화가 완료될 예정으로 정보화전략계획 수립 및 시범사업 기간에 해당 표준이 제시되지 않은 상태로 사업을 구축하였다. 실질적으로 국제 표준화가 완료되면 해당 표준 제정에 참여한 Working Group에서 발 빠르게 표준에 맞춘 제품 등을 출시하지만 실제 이를 준수한 단말기 개발은 일정 시간 소요가 되는 것이 일반적이다. 즉 현 재난망 구축이 2017년 완성을 목표로 추진한다면 국제표준과 상이한 국내용 PS-LTE 기술 적용제품이 제작되고, 향후 해당 표준기술을 사용하는데 있어 제약이 발생할 여지가 있다.

단계	주요기능	Rel.13 표준화 추진 현황 및 일정	
		현황	일정(2014.07.07. 기준)
0단계	구현가능성검토	완료	2013.06 ~ 2014.09
1단계	요구사항 정의	일부 완료	~ 2014.09
2단계	아키텍처	진행예정	~ 2015.06
3단계	프로토콜	진행예정	~ 2015.12
4단계	최종 완료	-	Rel 13 최종 발간:2016.03

※ 3GPP 표준화는 [그림 2], <표 3>과 같이 단계를 구분하여 사전 구현 가능성 및 요구사항 정립 후 실제 구현에 필요한 아키텍처, 프로토콜을 개발하고 있으며, 추진일정은 변경될 수 있음.

<그림 6-12> 3GPP 표준화 추진 단계 (김남경 등, 2014)

이러한 문제점 등을 고려해서 국민안전처에서는 2015년 11월부터 약 7개월간 진행된 시범사업<sup>8)</sup>에 대해서 시범망의 시운전을 통해 시범사업 결과

를 정확히 분석·평가하고, 투명하고 공개적인 검증을 통해 사업 불확실성과 예산낭비 요인 제거 및 합리적인 본 사업 추진방안 마련하고 있다. 하지만 이러한 시범사업 결과 적정성 평가 기간 등의 추가 및 이를 반영한 본 사업의 사업계획서 작성 등의 지연시간을 고려한다면 2017년 당초 목표에 따른 재난망 사업의 완료는 어려울 것으로 보이며, 한국농어촌공사와 같이 재난망 권장기관의 경우 그 활용시기는 훨씬 늦을 것으로 판단된다.

단계	주요기능	Rel.13 표준화 추진 현황 및 일정	
		현황	일정(2014.07.07. 기준)
0단계	구현가능성검토	완료	2013.06 ~ 2014.09
1단계	요구사항 정의	일부 완료	~ 2014.09
2단계	아키텍처	진행예정	~ 2015.06
3단계	프로토콜	진행예정	~ 2015.12
4단계	최종 완료	-	Rel 13 최종 발간:2016.03

※ 3GPP 표준화는 [그림 2], <표 3>과 같이 단계를 구분하여 사전 구현 가능성 및 요구사항 정립 후 실제 구현에 필요한 아키텍처, 프로토콜을 개발하고 있으며, 추진일정은 변경될 수 있음.

**<그림 6-13> 3GPP 표준화 추진 단계 (김남경 등, 2014)**

나. 치밀하지 못했던 기본설계

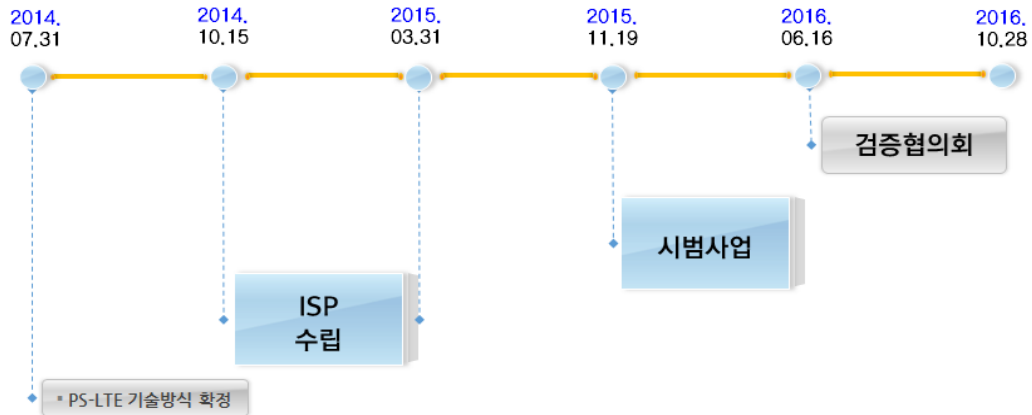
실질적으로 PS-LTE 기술방식을 적용한 사업 계획의 수립은 기술방식 확정 후 8개월만에 기본계획이 수립되어 계획수립단계에서 다양한 의견 수렴 및 문제점에 대한 면밀한 검토가 미비하였다.

8) 사업기간 : '15.11.19 ~ '16.6.16 (7개월)

사업지역 : 평창(제1사업, KT), 강릉·정선(제2사업, SKT)

총사업비 : 343억원(제1사업 266, 제2사업 64, 감리 9, 운영 4)

사업내역 : 운영센터(1개소), 고정기지국(220개), 이동기지국(1개), 단말기(2,496대)



<그림 6-14> 재난안전통신망 기술방식 확정부터 추진 현황

이러한 문제점 등을 고려해서 국민안전처에서는 2015년 11월부터 약 7개월간 진행된 시범사업<sup>9)</sup>에 대해서 시범망의 시운전을 통해 시범사업 결과를 정확히 분석·평가하고, 투명하고 공개적인 검증을 통해 사업 불확실성과 예산낭비 요인 제거 및 합리적인 본 사업 추진방안 마련하였다. 검증협의회에서 크게 6개 부분에 대해서 검토하였고, 검증경과 변경계획(안)은 그림 6-15와 같다.

9) 사업기간 : '15.11.19 ~ '16.6.16 (7개월)  
 사업지역 : 평창(제1사업, KT), 강릉·정선(제2사업, SKT)  
 총사업비 : 343억원(제1사업 266, 제2사업 64, 감리 9, 운영 4)  
 사업내역 : 운영센터(1개소), 고정기지국(220개), 이동기지국(1개), 단말기(2,496대)



	ISP (기본 설계)	검증결과(변경계획안)
1 상용망 및 기존망 활용	(혼합망) 자기망 중심, 상용망 시설 활용 * 상용망 활용범위/방식은 시범사업 후 결정	(상용망) 전면적 이용 불가, 보완적 이용 (기존망) 한시적 이용
2 사업목표	전국토의 89.5%를 고정기지국으로 커버	전국을 『All-4-One』 구축 전략으로 커버
3 고정기지국 설계	11,693개	15,447개
4 운영지역 통화권 확보	지하철, 중요건물, 터널, 해상 → 고정기지국 그 외 지역 → 차량휴대형 4개, 선박용 100개	(상용망 연동) 연동기술 현장시험, 예산 반영 (해상) 선박형 이동기지국 250대 (산지) 차량휴대형 이동기지국 60대 (실내/지하/철도) 상용망, 철도망 등 활용
5 총사업비	1조 8,953억원	1조 9,611억원
6 추진방식	물량 기반 '17년까지 확산/완료사업 추진	목표기반 '19년까지 본 사업 3단계 구축 / 보완

<그림 6-15> ISP 대비 검증결과 주요 내용 비교 (국민안전처, 2016)

하지만 이러한 시범사업 결과 적정성 평가 기간 등의 추가 및 이를 반영한 본 사업의 사업계획서 작성 등의 지연시간을 고려한다면 2017년 당초 목표에 따른 재난망 사업의 완료는 어려울 것으로 보이며, 실제 변경계획안에서도 2019년까지 당초 사업을 완료하는 것으로 추진방식을 변경하였다. 따라서 한국농어촌공사와 같이 재난망 권장기관의 경우 그 활용시기는 훨씬 늦을 것으로 판단된다.

#### 다. 이용기관 요구 및 SOP와의 연계성 미비

재난망이 제대로 작동하기 위해서는 망의 구성 외에 망을 통합 재난기관별 업무가 상호 연계성을 갖고 구축 목적에 반영되어야 한다. 과거 경제성 및 다양한 의견에 의해서 추진되지 못했던 재난망 사업의 경우 “지휘체계 통합”이라는 최종 목표는 있었으나 이를 구성하는 유관기관 및 정부부처의 대응업무 절차가 고려되지 못했다는 문제점이 있었으며, 재난망 체계에 기존 운영되던 TRS를 연결하기 위해서 이용 기관이 추가 사업비가 들어 이를 고려할 경우 국가차원에서 경제성이 없다고 분석되었던 문제점이 있었다. 실제 재난망 이용기관의 경우 이용기관의 구체적인 요구사항 분석 등이 검토되지 않고 재난사업의 시급성에 의해 예비타당성 조

사 면제, 짧은 기간의 정보화전략계획 수립 등 문제점을 갖고 있다.

〈부서별 협업기능〉							
기능	① 재난상황관리	② 긴급생활안전지원	③ 긴급 통신지원	④ 시설 응급복구	⑤ 에너지 기능 복구	⑥ 재난지원 지원	
주관부서	발전처, 안전품질실	조달협력처	보안정보전략처	발전처	발전처	안전품질실	
연계부처 기관	국민안전처, 산업통상자원부, 전력거래소, 한국전력공사	산업통상자원부, 국민안전처	산업통상자원부, 미래부, 경찰청	산업통상자원부	산업통상자원부	국민안전처, 경찰청	
주요 업무	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 재난관리활동 송출 조정</li> <li>◦ 사고처리 및 복구작업 지휘·감독</li> <li>◦ 비상대책본부 운영여부 판단 및 운영</li> <li>◦ 상황실 운영               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 비상근무자 명명확인 및 종합 상황실 시스템 점검</li> <li>- 상황실 근무자 업무부여 및 교육사항</li> </ul> </li> <li>◦ 피해 발생, 진행경과 등 상황의 통괄관리 및 보고</li> <li>◦ 피해, 복구에 대한 대외의 보고</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ &lt;재난발생 또는 사고 피해자 생활안전지원&gt;</li> <li>◦ 재난지역 지원에 관한 대정부 업무</li> <li>◦ 피해 보상 및 유족대위에 관한 사항 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ &lt;재난원장 구조-수습기관간 정보통신체계 운영&gt;</li> <li>◦ 통신수질 향상 차악 및 상황관리</li> <li>◦ 문자, 발문문서 서비스 통신체계 복구</li> <li>◦ 긴급통신망에 포함 등</li> <li>◦ 통신지원의 공표활동 연계기관 지원활동 차악 등 상황관리</li> <li>◦ 통신 고장발생 복구대책 마련</li> <li>◦ 전신설비, 전화, 팩스 등 통신설비 지원</li> <li>◦ 상황전차시스템 관리, 점검</li> <li>◦ 정보시스템 보안 강화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ &lt;역세시설 응급복구&gt;</li> <li>◦ 설비고장 수습업무 송출 조정</li> <li>◦ 전력설비 피해상황 파악 및 응급구조로 인한 사고복구 지원</li> <li>◦ 전력지역 전력검검 실시 및 존재력 미연</li> <li>◦ 거점고장 긴급복구계획 수립</li> <li>◦ 취약설비 점검 및 고장예방 활동</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ &lt;주요시설 기능회복 지원&gt;</li> <li>◦ 인근 발전본부에 전력공급 장애복구를 위한 인력 및 장비 지원 요청</li> <li>◦ 전력설비 순회점검 및 고장방지 활동 시행 지시               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 취약지역, 장어상저지 선로 점검 등</li> </ul> </li> <li>◦ 재난대비 비상복구체계 및 비상 복구자료 확보</li> <li>◦ 전력자통화 설비 등 ICT설비 점검</li> <li>◦ 전력계통운영센터, 원격소, 급전 분소 인력보강</li> <li>◦ 전력수급 계획 수립/시행</li> <li>◦ 배전용량설기 Tap 수동운전 및 단계 조정</li> <li>◦ 고압지역에 대한 복구인행 및 장애 미발생 지역의 유형 점검 관리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ &lt;재난 대응을 위한 재난지원 지원 송출·조정&gt;</li> <li>◦ 사고수습을 위한 재난관리자문 송출</li> <li>◦ 이재도발 및 상황지원에 관한 사항</li> <li>◦ 유급기관 지원요청(협력기관, 경찰청, 소방서 등)</li> <li>◦ 인근 발전본부에 재난지원 지원 요청</li> <li>◦ 애상조치, 대외협력 업무(기획처)</li> <li>◦ 이재도발 및 이재관리조치(재우체)</li> </ul>	
기능	① 교통대체	② 의료 및 방역서비스	③ 재난현장 환경정비	④ 자원봉사관리	⑤ 사회적서비스	⑥ 수색, 구조·구급	⑦ 재난수습응급
주관부서			건설처				기획처
연계부처 기관	국도교통부, 경찰청	국민안전처, 복지부, 지자체, 인군병원	환경부, 지자체	행정부, 지자체	행정부, 경찰청, 군부대	국도교통부, 국방부, 복지부, 경찰청, 소방서	연호사, 방통위
주요 업무	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ &lt;재난발생지역 교통수통대체&gt;</li> <li>◦ 교통안전관리대책 수립 및 조치(교체차량 및 우회도로 등)</li> <li>◦ 특별수송대책의 수립, 시행</li> <li>◦ 기타 교통에 관련한 사항</li> <li>◦ 통행제한 필요성 검토(통제 구간 및 시간, 대상물량 등)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ &lt;재난대응을 위한 의료 서비스 지원 등&gt;</li> <li>◦ 응급의료소 운영 및 사실상 이송병원 파악</li> <li>◦ 사상자 구호 및 구호물품 분배 주관 분유한 가능</li> <li>◦ 의료인력 및 의료시설 지원 요청</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ &lt;재난현장 쓰레기, 환경오염 등일 처리 등&gt;</li> <li>◦ 재난현장 쓰레기 및 폐기물 처리</li> <li>◦ 온천지역 등 장애 물품 처리 현황 관리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ &lt;자원봉사자 운영 및 배치, 기술협력 지원 등&gt;</li> <li>◦ 민간자원봉사 장비 인력 지원 요청 및 관리</li> <li>◦ 자원봉사자 투입현황 파악 및 관리</li> <li>◦ 자원봉사자 안전관리</li> <li>※ 119재난구조단</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ &lt;교통통제, 탐정통제, 피해지역 치안유지 등&gt;</li> <li>◦ 피해발생(우회) 구간의 순회점검 실시</li> <li>◦ 교통통제지역 차악 보고</li> <li>◦ 유급기관 지원요청(군부대, 경찰청, 소방서 등)</li> <li>◦ 일선지역 범죄예방 및 치안유지 지원</li> <li>※ 경찰청토대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ &lt;인명구조, 응급처치, 응급환송, 상황-실종자 수색 등&gt;</li> <li>◦ 인명구조를 위한 수색·구급 상황파악 및 지원</li> <li>◦ 지역 소방본부(사) 주요 탐정대응 활동사항 점검(인명구조, 사상자 응급조치 등)</li> <li>◦ 구호물품 지급 지원</li> <li>※ 119재난구조단</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ &lt;재난관련 언론-대국민 홍보 및 여론 형성 기획 등&gt;</li> <li>◦ 대외 보도, 홍보 등 관련사항</li> <li>◦ 대국민 홍보활동 및 기타 홍보에 관한 사항</li> <li>◦ 언론사에 보도자료 배포 및 설명</li> <li>◦ 방송사에 확보 및 자력뉴스 요청</li> <li>◦ 중사 홈페이지, 블로그, 트위터 등을 통해 정보 수집 및 제공</li> <li>◦ 수급상황 및 결산사항 사서발송</li> </ul>

〈그림 6-16〉 위기관리 표준매뉴얼 협업기능 (국민안전처, 2016)

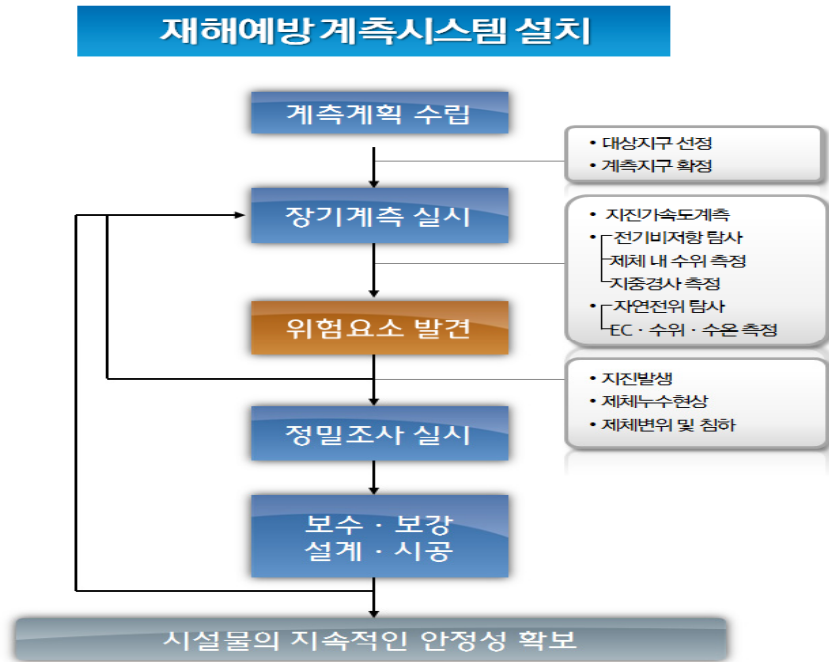
세월호 이후 통합 작동되지 않은 지휘체계, 상호 협력체계를 개선하기 위해 국민안전처가 신설되고 해당 업무에 따른 권한이 집중되었지만 실제 재난안전과 관련하여 국민들이 체감할 수 있는 변화는 크지 않다. 이러한 근본적인 문제를 해소하기 위하여 국민안전처에서 국가위기관리지침에 근거하여 과거 수직적 대응체제로 구성된 재난안전 매뉴얼을 13개 핵심 기능을 중심으로 협업체제로 개선한 매뉴얼 개선작업(2015년)을 연구하였고 이를 기반으로 협업기능 강화를 위한 매뉴얼 개선 작성 지침(2016)이 각 부처로 협조요청 되었다(그림 6-16). 즉 현재의 기관별 수직적 국가위기관리 체계가 실질적으로 Golden Time을 확보해서 인명 및 재산 피해를 저감하는데 부적절하며, 이는 앞에서 언급된 재난의 대형화, 복잡화, 다양화에 기인한다. 하지만 매뉴얼 작성 기준의 하달 시점이 '16년 하반기로 각 기관별 재난대응절차와 협업기능절차가 매뉴얼로 구축되지 않았으며, 이러한 변화내용을 포함하지 않은 재난망의 추진체계가 실질적으로 재난

발생시 소방, 경찰, 해경 등 일부 기관의 업무에서만 작동되고 실질적으로 평시에는 다른 재난관리 책임기관이 재난망 활용이 제한 될 수 있다는 문제점을 갖고 있다.

## 6.2 한국농어촌공사 IoT 기술 활용 현황 분석

### 6.2.1 저수지 계측 및 예·경보 사업

가. 재해예방 계측시스템 사업



<그림 6-17> 재해예방 계측시스템 프로세스

한국농어촌공사에서 추진하는 재해예방 계측시스템 설치사업은 주요시설물(저수지, 방조제)에 침투수 및 지진가속도 계측을 실시하여 누수, 제체변위 및 가속도 계측값에 따른 진도 등 위험요소 조기 발견하기 위한 목적으로 구축되는 시스템이다. 「농어촌정비법」(농림축산식품부, 2016a)

제18조 및 시행령 26조의 “농업생산기반시설의 관리·안전관리”와 지진재해대책법 제6조 “주요 시설물의 지진가속도 계측 등”의 법적 근거를 가지고 추진되며 수리시설물의 노후화에 따른 사전재해예방 측면의 중요성과 자연재해의 증가추세에서 사업의 당위성 및 지속가능성을 갖고 있는 구축사업으로 그림 6-17의 프로세스에 따라 진행된다.

(표 6-6) 재해예방 계측시스템 설치대상 현황

구 분		사업량(개소)	설치 기준
침투수 계측 (424개소)	저수지	349	1종, 제고 15m이상, 저수량 100만톤 이상
	방조제	75	포용조수량500만톤 이상
지진가속도 계측 (40개소)	저수지	16	총저수량2,000만톤 이상 (내진특등급)
		24	총저수량500만톤 이상 (내진1등급)

표 6-6에서와 같이 총 464개소의 사업대상지 중 저수지 대상 사업이 침투수 계측과 지진가속도 계측 사업으로 총 389개소(83%)로 대부분을 차지하고 있다. 저수지에 대한 계측사업이 주를 이루는 이유는 우리나라 저수지는 50년 이상 된 저수지가 약 12,338개소로 전체 저수지의 70% 이상을 차지하고 있으며 D 등급 이하가 179개소로 붕괴 우려가 되는 것으로 나타났다 (국민안전처, 2016).

(표 6-7) 저수지 노후현황(출처-국민안전처)

노후수준	한국농어촌공사 관리 저수지		지자체 관리 저수지	
	개수	%	개수	%
50년 이상	2,320	68.7	10,018	71.3
30년~50년	647	19.2	3,699	26.3
30년 미만	410	12.1	333	2.4
<b>총계</b>	<b>3,377</b>	<b>100</b>	<b>14,050</b>	<b>100</b>

2000년 이후 저수지 붕괴피해는 끊임없이 발생하고 있으며, 특히 많은 강우가 발생할 경우, 저수지 제체가 붕괴되거나, 월류되어 파괴되는 등의 피해가 발생하고 있다(표 6-7).

#### 나. 재해예방계측 시스템 분석

저수지에 침투수 계측 시스템과 지진 가속도 계측 시스템은 장기계측과 상시계측이라는 계측 주기의 측면과 축척된 계측정보의 활용 측면에서 차이점이 있다(표 6-8).

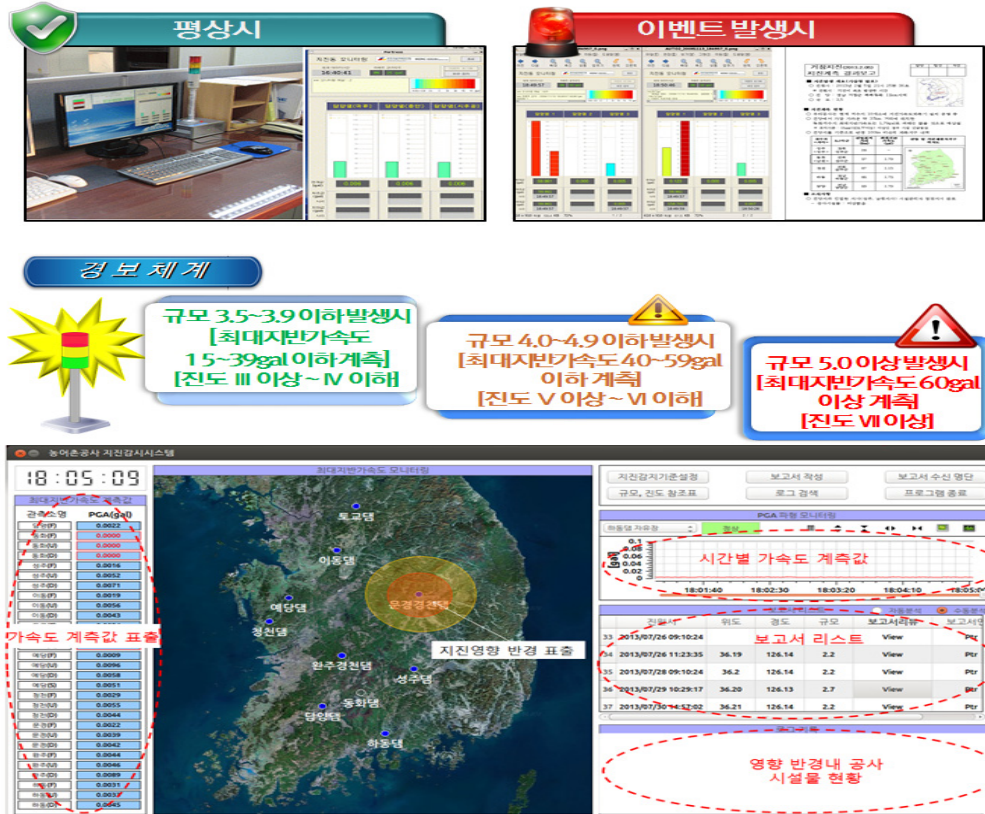
(표 6-8) 침투수 및 지진가속도 계측의 차이점

특성	침투수 계측	지진 가속도 계측
생산 주기	장기 계측	상시 계측
목적	제체 누수 조기 발견	계측 기준에 따른 경보 발령 및 대응
정보 제공처	농림부 및 지사	지상(상) 및 유관기관(국민안전처, 기상청)
부가 효과	-계측시스템 설치지구에 대한 정밀 안전진단시 계측자료의 제공으로 진단비용 절감 -장기계측으로 계측자료 신뢰도 향상	-기상청 : 지진경보 조기발령을 위한 기초자료로 활용 -국민안전처: 지진위험도 제작 및 신속한 상황 확인을 위한 기초자료로 활용

저수지 침투수 계측 시스템은 전기비저항 탐사 축선 1식과 자동 수위측정 2공, 지중경사측정 1공으로 구성되며 각 계측 센서는 누수구간 추정, 침윤선 및 누수량 추정, 사면활동 추정 등의 목적에 이용된다. 지진 가속도 계측 시스템은 지표형 가속도 계측센서 2개와 시추공 가속도 계측센서 1개로 구성되며, 지표형 센서는 댐마루 및 하류측 선단에 설치된다.

침투수 계측시스템은 자동 센서값 취득이 아닌 연 2회 수동 작동 형태로 DB를 생산하고 있으며, 지진 가속도 계측시스템은 상시계측형태로 평상시와 지진 발생시 자동으로 경보발생으로 신속 대응하는 체계로 구현되어 있다. 해당 정보는 한국농어촌공사 지진감시시스템으로 전송되어 관측소,

최대지진가속도 값(PGA, 단위 gal) 정보를 표출하고, 해당 정보는 국민안전처의 지진대응시스템에 정보를 전달한다(그림 6-18).



<그림 6-18> 지진 가속도 계측 시스템 화면 및 구성

## 6.2.2. USN 저수지 붕괴예경보 시스템 분석

가. USN 저수지 붕괴위험 예·경보 서비스 시범사업 현황

USN 저수지 붕괴위험 예·경보 서비스 시범사업은 ICT 기반 현장계측 시스템 구축으로 붕괴 사전 예측하고, 붕괴위험 대민 서비스를 통한 인명 및 재산피해 지양하고, 유지관리 사각 지구인 중소규모(2종지) 저수지 대상 실질적 붕괴 피해 최소화 유도하기 위한 목적으로 안전행정부 예산을 통해 U-서비스 지원사업으로 추진된 사업이다.

해당 사업은 다음과 같은 필요성에 의해서 추진되었다.

- ICT 기술 기반 저수지(댐) 재해예방예측기술 확대 필요
- 기존 유지보수 토목사업으로만 연계되던 계측사업을 실질적
- 피해예측 및 예방사업으로 확대 연계 필요
- 고질적 계측기술의 문제점인, 한정된 예산에 따른 계측 밀도 문제 해결 및 유지관리상 빈번한 망실 등 어려움 해결 기술 필요

시범사업의 한계상 시트법 1종 시설물 외에 관리의 사각지대에 있는 중소 저수지를 대상으로 추진하였으며, 대상저수지는 안전등급, 저수지 형태, 총저수량, 붕괴시 피해정도, 유역면적, 제고와 제장, 준공연도, 위치, 전문가 의견 등을 종합적으로 고려하여 선정하였다.

#### 나. USN 저수지 붕괴위험 예·경보 서비스 시스템 분석

USN 저수지 붕괴위험 예·경보 시스템은 각 저수지별 계측 센서와 센서 DB를 이용한 상황관리(대응) 체계로 구성되어 있다(그림 6-19).

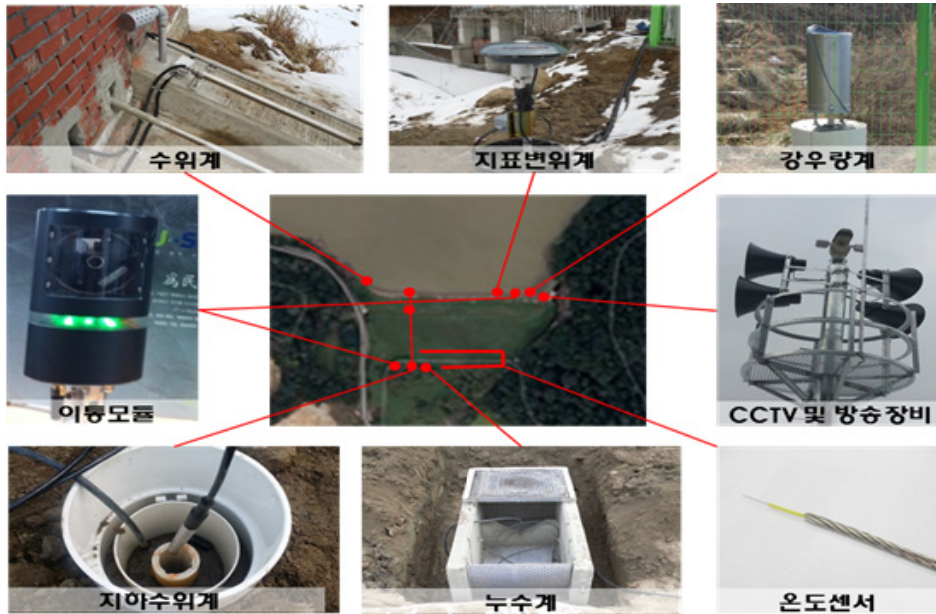
계측기 선정 기준은 저수지별로 약간씩 상이한데 기본적으로 월류로 인한 저수지 붕괴 및 파이프에 의한 저수지 붕괴의 주요 원인 등에 대한 기존 분석을 토대로 저수지 제체의 파괴유형(월류 및 누수 등)에 따른 거동을 대표할 수 있는 지점에서 센서 종류 및 개수 선정, 계측밀도 문제 해소, 영상 센서를 통한 시각적 모니터링 강화할 수 있는 방향으로 선정하였다.



<그림 6-19> 저수지 붕괴위험 예·경보 시스템 흐름도

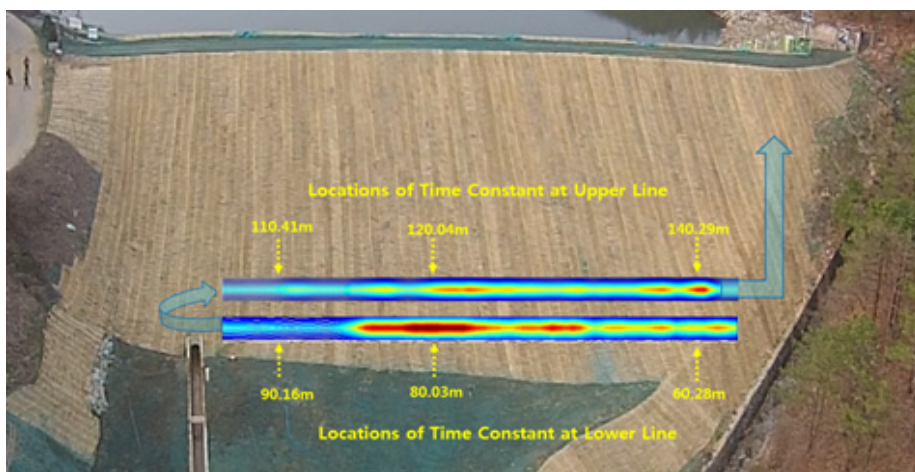
실제 계측기 설치 사례로 어은저수지는 수위계, 지표변위계, 강우량계, 신축계와 CCTV기능을 수행하는 이통모듈, 지하수위계, 누수계, 체체의 누수를 감지하기 위한 온도센서 그리고 저수지 붕괴 위험관리기준에 의해 예·경보를 할 수 있는 경보방송장치(고해상도 CCTV 포함)로 구성되었다. 어은저수지는 다른 저수지와 다르게 광섬유 온도센서를 이용함으로써 기존 취약단면에 대한 누수계 등의 수동적 대책이 아닌 체체 전체에 대한 누수탐지 효과를 검증할 수 있는 좋은 사례가 될 수 있도록 향후 확장성을 고려하였다(그림 6-20).



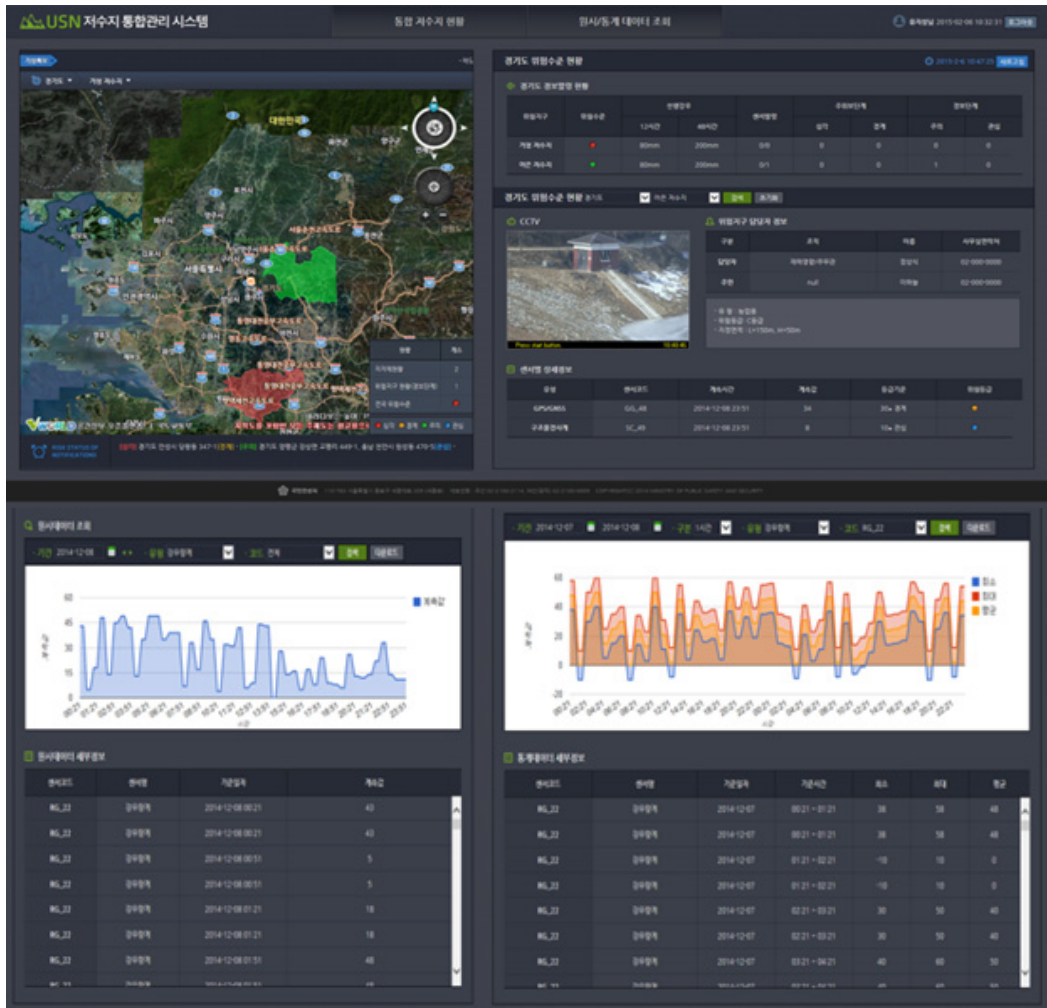


<그림 6-20> 저수지 계측기 설치 사례, 어은저수지

어은저수지는 한정된 예산에 따른 계측밀도의 보완을 위하여 온도센서 도입 및 비주얼센서, 스마트CCTV를 설치한 시각적 모니터링 강화방안을 고려하였고 실제 시스템 관리화면에서 이러한 결과를 쉽게 확인하도록 하고 있다(그림 6-21, 6-22).



<그림 6-21> 어은저수지 온도센서 표출 화면



<그림 6-22> USN 저수지 붕괴 예·경보 시스템 화면

또한 해당 사업은 저수지 붕괴 예·경보 발령기준을 최초로 적용하여 시스템을 구축하였고, 해당 시스템에서 지속적으로 모니터링 되는 DB를 추적하면 실질적으로 붕괴 위험을 예·경보 할 수 있는 차세대 시스템으로 발전될 가능성이 높은 시스템이다. 특히 위험관리 기준 설정에 있어서 센서의 오작동 등을 고려한 복합위험도 관리기준 체계를 설정할 수 있는 기능을 탑재하여 향후 이에 대한 연구를 기반으로 시스템에 세팅을 할 수 있도록 시스템 활용성을 높인 부분은 긍정적인 부분이라고 할 수 있다.

그러나 해당 사업 자체가 행정자치부의 전자정부지원사업비를 기반으로 추진되었고, 실제 저수지 1개소마다 다양한 센서 및 많은 수량의 센서를 설치하고, 전용망을 기반으로 지사별 DB 관리서버 및 모니터링 서버를 구축하고 별도의 통합시스템을 농어촌연구원에 구축하여 운영하는데 많은 비용이 소요되어 대상을 확대시에는 이에 대한 고려가 필요하다.

### 6.2.3 자동수위계측기 신기술 통신망 시범사업 분석

#### 가. 자동수위계측기 신기술 통신망 시범사업 현황

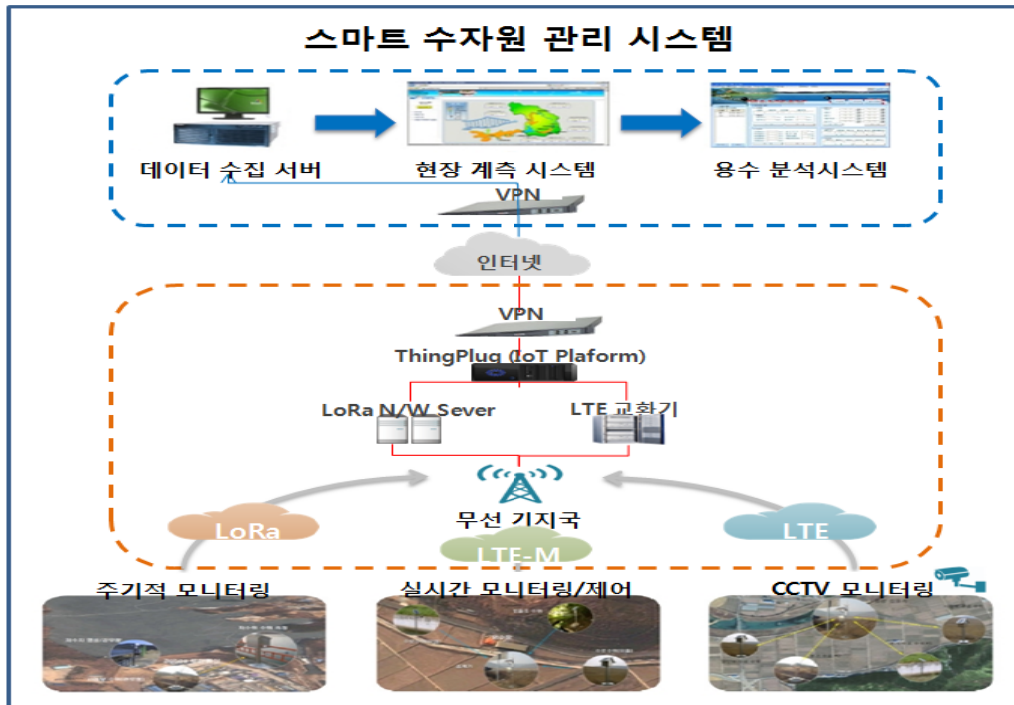
한국농어촌공사는 글로벌 정보통신기술(ICT)의 환경변화 및 수리시설물의 노후화에 따른 관리의 어려움으로 체계적이고 과학적인 물관리를 위해 공사 자동수위계측기의 2G 통신방식을 신기술통신망(IoT기반) 방식으로 전환하기 위한 시범사업을 추진하고 있다. 공사 수자원안전처에서 기설치 운영중인(~ '15년) 자동수위계 3,092개(유효저수량 10만m<sup>3</sup> 이상 저수지)에 대해서 현 2G망을 IoT 기반 통신망으로 전환하며 사용되는 통신망은 OO텔레콤에서 추진중인 소물인터넷(sIoT) 통신망인 LoRa와 LTE-m 하이브리드형을 도입하였다.

신기술 통신망은 단순 통신장비 교체에 기인한 것이 아니라 스마트물관리의 미래상 SAFE<sup>10)</sup> 공동연구 참여, 미래창조과학부 R&SD 시범발굴 추진 전략 과제 접수, 신기술통신망 사업추진 가능업체인 KT, IBM, LGU+, SK C&C, SKT 등과의 협의 등을 통해 OO텔레콤과 업무협약을 통해 추진된 사업이다. 또한 한국형 기후변화 대응 사업모델을 반영한 유럽부흥개발은행(EBRD: European Bank for Reconstruction and Development)과의 협업 사업이 녹색기후기금(GCF: Green Climate Fund) 이사회에서 승인되었는데 한국의 「신재생에너지와 에너지저장장치」, 「친환경에너지타운」, 「스마트팜 모델<sup>11)</sup>」이 사업 분야에 포함되었고, 「스마트팜 모델」이 공사의 「자동수위계측기 신기술통신망(IoT) 시범사업」과 연속성을 갖고

10) SAFE : Smart Agriculture water management For food security Eco-system

11) 온실축사 등 농업시설에 ICT 뿐만 아니라 에너지절감 기술, LED 등 보광 기술, 기계공학 등 최신 과학기술을 접목하여 농업 생산성과 편의성을 높이고 생산 이전이후 단계까지 혁신을 이룩하는 농장

있다. 스마트팜 사업모델은 그림 6-23과 같다.



<그림 6-23> 스마트팜 사업모델, 출처-녹색기후기금 제14차 이사회 배포자료

시범사업지구는 6가지 선정기준을 바탕으로 경북 경주, 전남 해남완도를 대상으로 선정하였으며 선정기준은 다음과 같다.

- ☞ 농업생산시설의 지형에 유사한 도시 외 산간지형 또는 평야부 권역
- ☞ 편익비용 분석이 가능한 규모(계측기 보유현황 최소 50개소 이상)
- ☞ 농어촌연구원 등 계측기 또는 통신망으로 시범연구 사례 권역
- ☞ 통신모뎀 내구연한 종료, 통신비용 등 유지관리 비용 과다 소요 권역
- ☞ 신기술통신망 도입의지가 있는 권역
- ☞ 비관개기 등 영농 및 유지관리 여건 고려

경북 경주와 전남 해남완도는 계측기 개소가 53개소, 68개소이며, 수로부 비율이 70% 이상이고, 통신모뎀 내구연한 교체비율도 79%, 76% 등 다른 기준 등을 높게 만족하는 시범지역으로 분석되었다.

## 나. 자동수위계측기 신기술 통신망 시범사업 분석

자동수위계측기 신기술 통신망 시범사업은 저전력, 저비용, 많은 기기 적용가능이라는 기본 전제조건을 갖고 있으나, 여기에 공사가 관리하는 계측기의 특성상 전파가 넓고 깊게 침투되어야 하며, 통신빈도가 적은 소용량 Data 서비스에 적합해야 한다. 추가적으로 공사의 자료의 공공보안을 고려하여 네트워크 통신의 보안기능이 필수여야 한다. 이러한 전반적인 사항을 고려하여 선정된 하이브리드형<sup>12)</sup> IoT 통신망 시범사업의 특징은 다음과 같다(표 6-9).

LoRa 네트워크는 기존 2G 망에 비해 강력한 보안을 갖고 있으며 국제표준에 맞춘 VPN<sup>13)</sup> 암호화를 통해 기존의 공용망 사용시보다 보안체계를 강화한다는 특징이 있다(그림 6-24).

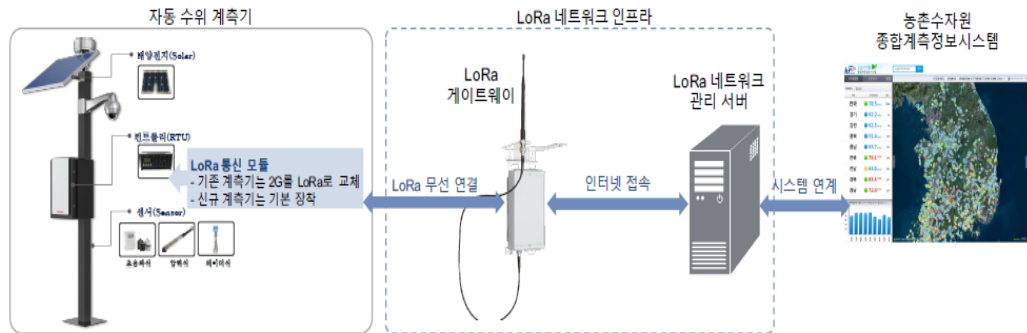
주 이동통신사업자에서 IoT 관련 콘텐츠 개발을 적극적으로 하고 있으며 소물인터넷(sIoT) 부분에서는 SKT는 LoRa망을 적극적으로 추진하고 있고, KT는 LTE-M을 추진하고 있다. LTE-M은 SKT, KT 모두 가능한데, 그 이유는 LTE-M은 기존 면허대역인 LTE 주파수를 이용할 수 있기 때문이다. LoRa와 LTE-M을 비교하면 표 6-10과 같다.

12) 하이브리드(Hybrid)형 : 특정 목적 달성을 위해 필요한 요소를 2개 이상 결합한 것을 의미하며 통상 2개 이상의 요소들이 갖고 있는 각각의 장점을 결합 또는 융합한 것을 의미함. 한국농어촌 공사의 시범사업에서는 비면허 대역을 기본으로 하는 LoRa 망에 커버리지 제외 공간은 면허대역을 사용하는 LTE-M을 결합해서 사용한다는 의미

13) VPN: 가상사설망(Virtual Private Network)

(표 6-9) IoT 기반 신기술통시망의 특징

구분	내용								
개요	-저전력광역망(LPWAN, Low Power Wide Area Network) -LoRa WAN(Long Range Wide-Area) & LTE-M 하이브리드망 -현장 DB 취득 및 소용량 DB 서비스 목적 -실시간 다양한 위치에서의 정소취득목적의 전용망								
통신요금	-소용량 DB 서비스 전용망으로 일반 LTE 망의 고속도, 고용량 서비스 유지를 위한 비용대비 매우 저렴								
비용	-소비전력이 낮아 유지비용 저렴 -LoRa 망은 SK텔레콤 전용망으로 별도 망구축 비용 불필요 -기설치 단자함 미교체 및 통신모뎀 전환비용(2G ▶ 3G) 절감								
보안	-VPN 암호화, SKT 서버실 무상제공을 통한 공공 서비스 보안성 강화								
커버리지	-남한면적 대비 90%, 인구대비 99% 충족 -게이트웨이 기지국 12,000여개소 설치완료								
장비	-모듈 5종, 기지국 3종, N/W서버 2종 등 장비 국산화 완료 -국내 10여개 업체에서 제품 생산 중								
현장검측	-통신방경 약 10km로 저수지 현장 검측 대응 가능								
구성요소 및 구조	<div style="text-align: center;"> <p>【 LPWA 구성 요소와 구조 】</p> </div> <table border="1" style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">End nodes</th> <th style="width: 25%;">Gateway</th> <th style="width: 25%;">N/W Server</th> <th style="width: 25%;">Application Server</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>IoT 디바이스는 Device ID로 구분</li> <li>LoRa Wireless Communication 표준 프로토콜에 따라 연동</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>일종의 기지국</li> <li>LoRa MAC 프로토콜을 활용</li> <li>IP 기반으로 서버와 연동</li> <li>크기는 17*30*30cm</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>Network Server Entity</li> <li>Device 인증, 데이터 전달</li> <li>G/W, App. SVR 연동 가능</li> <li>N/W Controller 기능</li> <li>App. Data 전달 기능</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>Application ID로 구분</li> <li>서비스 별로 구축되어 인증/데이터 전송/정보 제공 등의 기능을 함</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	End nodes	Gateway	N/W Server	Application Server	<ul style="list-style-type: none"> <li>IoT 디바이스는 Device ID로 구분</li> <li>LoRa Wireless Communication 표준 프로토콜에 따라 연동</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>일종의 기지국</li> <li>LoRa MAC 프로토콜을 활용</li> <li>IP 기반으로 서버와 연동</li> <li>크기는 17*30*30cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Network Server Entity</li> <li>Device 인증, 데이터 전달</li> <li>G/W, App. SVR 연동 가능</li> <li>N/W Controller 기능</li> <li>App. Data 전달 기능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Application ID로 구분</li> <li>서비스 별로 구축되어 인증/데이터 전송/정보 제공 등의 기능을 함</li> </ul>
End nodes	Gateway	N/W Server	Application Server						
<ul style="list-style-type: none"> <li>IoT 디바이스는 Device ID로 구분</li> <li>LoRa Wireless Communication 표준 프로토콜에 따라 연동</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>일종의 기지국</li> <li>LoRa MAC 프로토콜을 활용</li> <li>IP 기반으로 서버와 연동</li> <li>크기는 17*30*30cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Network Server Entity</li> <li>Device 인증, 데이터 전달</li> <li>G/W, App. SVR 연동 가능</li> <li>N/W Controller 기능</li> <li>App. Data 전달 기능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Application ID로 구분</li> <li>서비스 별로 구축되어 인증/데이터 전송/정보 제공 등의 기능을 함</li> </ul>						
장점									



<그림 6-24> LoRa 망을 이용한 보안 구성도 (한국농어촌공사, 2016)

(표 6-10) LoRa망과 LTE-M 비교(출처-전자신문 기사 및 소물인터넷 시장 및 기술동향, 2016)

특성	LoRa	LTE-M
표준화	-로라얼라이언스 -SK 텔레콤 방식 국제표준 채택(2016.10.13)	-국제표준화단체 3GPP Release8 완료
주파수	비면허 대역(주로 900MHZ)	면허 대역(기존 LTE 주파수)
커버리지	~10km	~11km
전송속도	300bps ~ 10kbps	~1Mbps
배터리 수명	~10년	~10년
비교	-SK텔레콤, 시스코, IBM 등 350여 로라얼라이언스 중심	Cat.1, Cat.0, Cat.M 표준화
특이점	-단말모듈 10여개 업체, 기지국 4개 업체 이상 등 기 통신환경 구축 업체들 동조 -저 전력 장거리 통신 기술 (LPWAN) 업체 중심	-기존 통신망 생태계에서 별도 구축 추진

이처럼 자동수위계측기 신기술 통신망 시범사업은 첨단 ICT 분야의 최근 기술트렌드를 반영하며, 한국농어촌공사의 계측업무의 첨단화를 지향하는 측면에서 매우 긍정적인 사업이다. 이렇게 축적된 DB는 향후 Big Data 분석 및 계측에 따른 한국농어촌공사 관리시설의 위험관리 기준 설정에 활용 될 수 있다.

#### 6.2.4 한국농어촌공사 계측 시스템 문제점 분석

재해예방계측사업은 초연결 사회인 시대의 흐름에 맞지 않는 수동방식의 침투수 계측 시스템과 내진 설계 여부 및 저수지의 지진 위험 수준에 대한 판단근거 없이 단순 지진가속도계 측정을 연속적으로 수행하는 문제가 있다. 또한 저수지 붕괴와 관련하여 비상대응계획(EAP) 수립과 연계되어 계측정보를 신속하게 활용하거나 예방사업에 활용되는 측면도 시스템의 구축 연차 및 대상개소수 지속적 증가에 비춰보면 미진하다고 할 수 있다.

USN 저수지 예·경보 시스템은 시스템 구성 및 기능은 미래지향적이지만 한 개소 저수지 구축시 투입되는 예산이 많고 저수지 붕괴 위험 관리기준의 명확한 설정이 없이 예·경보가 이루어지는 불확실성을 갖고 있다. 또한 통합관리시스템 형태가 아닌 저수지 지사 개별 시스템의 정보를 취합관리하는 형태로 지사의 시스템에 대한 유지관리가 미진할 경우 시스템 활용도가 낮아지는 문제점을 갖고 있다.

자동수위계측기 신기술 통신망 시범사업은 IoT 기반의 전용망 사용을 통한 센서 자료 취득의 자동화, 유지비용 절감의 측면에서 가장 앞선 시스템이다. 그러나 계측 대상이 수위계 정보에만 국한되어 있고, CCTV, Multimedia와 같은 중·고용량 자료의 전송에는 적합하지 않다는 한계점을 갖고 있다.

자동수위계측기 신기술은 현재 시범사업 중이므로 사업이 진행되어 구축된 재해예방계측사업과 USN 저수지 예·경보 시스템의 문제점을 분석하면 표 6-11와 같다.



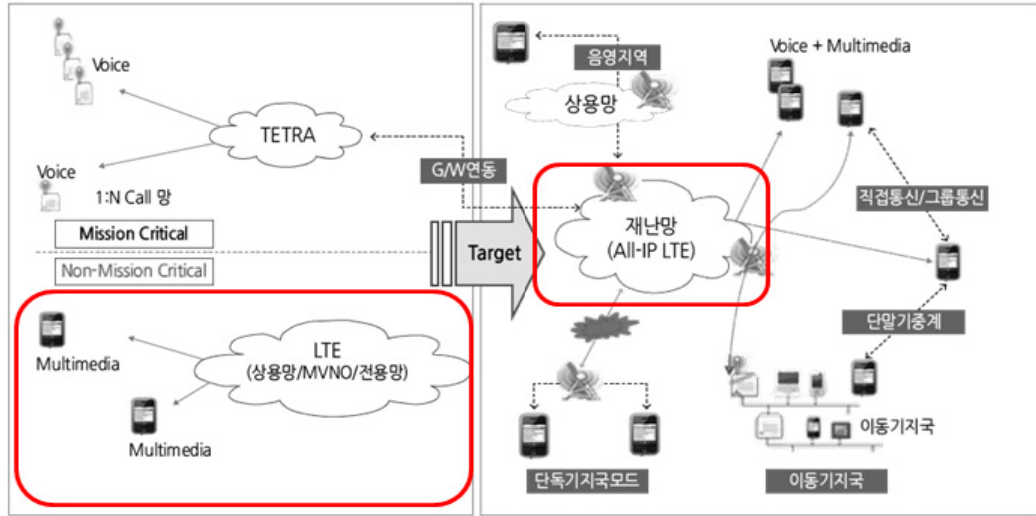
(표 6-11) 저수지 위험계측 사업의 문제점

특성	재해예방계측사업	USN 저수지 예·경보 시스템
자료생성 주기	비정기(침투수), 상시(지진)	정기(10분) CCTV는 상시 구동
자료취득 방식	수동(침투수) 자동(지진)	자동(Data 로거 ▶ 관할지사 ▶ 농어촌연구원)
문제점1 (자료 취득)	자료취득 방식이 자동화되어 있지 않고, 침투수와 지진이 이원화 되어 있음	자료 취득 주기 및 취득방식은 적정하나, 유선형태로 전기 및 통신 인입이 어려운 지역에 확대 적용 어려움
문제점2 (자료 활용)	침투수가 제체 붕괴에 중요도가 있음에도 모니터링을 통한 대응에 활용되지 못함	저수지 계측센서에 따른 위험 관리수준 설정의 근거가 미비하여 실제 예·경보에 활용 어려움
문제점3 (확대 방안)	-IoT 기술을 적용한 센서 DB 취득 기술적용 어려움 -침투수는 지속적인 모니터링 형태로 이를 지원하기 위해서 시스템 전체 프레임 개선 필요	-CCTV, 예·경보 시스템 구축 등 사업비 과다 소요 -IoT 기술 적용시, 필요 센서 목록의 간략화 및 CCTV와 단순 센서 DB의 망분리 또는 전용망 설치 필요

## 6.3 국가재난안전통신망 및 IoT 기술 활용방안 제시

### 6.3.1 국가재난안전통신망 활용방안 제시

국가재난안전통신망에서 한국농어촌공사의 저수지 관련 계측사업 및 예·경보 시스템을 활용하기 위해서는 실제 재난망 사업의 구축 모식도에서 한국농어촌공사가 활용 할 수 있는 영역에 대한 면밀한 분석이 필요하다. 그림 6-25에서 빨간 박스 부분은 재난망에서 한국농어촌공사가 활용할 수 있는 영역으로 자료의 취합 부분과 긴급 상황 전파 부분으로 정의할 수 있다.



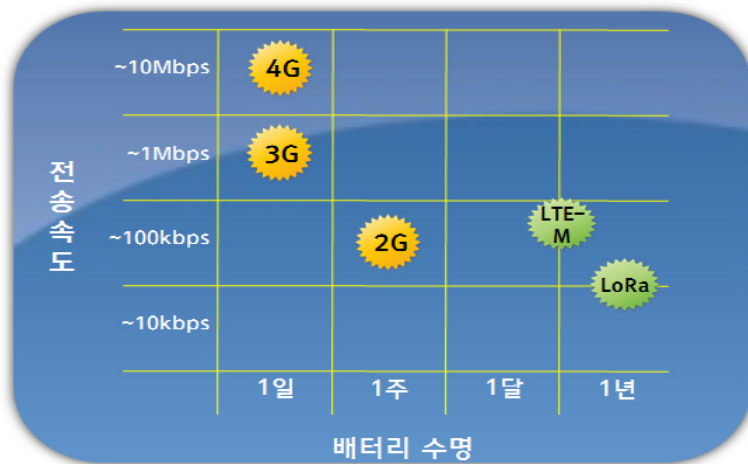
<그림 6-25> 재난안전통신망에서 한국농어촌공사의 재난망 활용영역  
(허정희, 2015)

농어촌공사에서 재난망의 활용은 2개 부분으로 나눌 수 있다. 정보 수집 부분은 예방측면 및 대비측면에서 저수지의 센서데이터를 자동측정형태로 변경하고, 해당 자료를 무선망(PS-LTE)을 통해 통합관리시스템으로 수신 받는 부분에 활용이 가능하다. 정보 전달 및 전파 부분에서는 비상상황시 저수지 CCTV 영상 등의 재난망 활용 및 긴급 예경보 및 위험상황 확산 및 전파에 활용 할 수 있다.

이를 위해서는 기존 저수지 계측정보 수집체계의 통신망, 전송주기 및 1회 전송 패킷 등을 분석하고 현행 저수지의 위험상황 전파체계의 통신망 및 발령체계 등의 분석이 필요하다. 또한 재난망 활용 전제조건이 되며 제약조건이 되는 단말기, 중계기 그리고 재난상황시의 SOP에 따른 동원 및 응원 및 지휘체계 등에 대한 합의가 전제되어야 한다.

6장 1절에서 분석한 재난망을 농어촌 공사의 저수지 재해예방계측사업 및 붕괴위험 예·경보 사업에 적용하는데 있어 다음과 같은 문제점이 있으며 이를 해결하기 위한 접근 방안은 다음과 같다.

- 한국농어촌공사의 재난망 활용성 검토시 예방, 대응 2단계로 활용 가능
- 예방단계에서는 재난망을 통한 현장 계측 센서의 DB 취득이 가능
- 대응단계에서는 예·경보 서비스로 문자, 멀티미디어, 예·경보 발령 등 가능
- 재난망은 LTE 서비스 체계이고, 한국농어촌공사는 유선 및 2G 체계임
- 재난망은 긴급 재난 발생시 효율적인 정보전달 체계 중심으로 대응에 포커스가 맞추어져 있으나, 고려대상에 한국농어촌공사의 자체 시스템은 고려하지 않음
- 망의 호환성 및 계측정보의 주기, 사용에 따른 과급효과를 분석하여 단기적인 아닌 중장기적 접근 필요(그림 6-25)



<그림 6-26> 무선통신기술 비교표 (Analysys Mason, 2015) 편집

그러나 재난망의 사업추진 시기 조정 및 기존 상용망의 활용에 대한 부분이 문제가 되고 있는 시점에서 재난망을 정보수집 부분(예방) 및 비상대응 부분(대응)으로 모두 활용하는 방안은 현실적으로 어렵다. 따라서 한국농어촌공사의 재난망 활용은 비상시 대응체계에서 활용할 수 있는 방안을 기본적으로 고려하여야 하며, 정보수집 부분은 별도의 IoT 기반 시스템을 구축해서 운영해야 할 필요가 있다.

(표 6-12) LoRa망과 LTE-M의 재난망 적용 가능성

특성	LoRa	LTE-M
통신속도	저속도	중속도
커버리지	남한면적 대비 90%, 인구대비 99% 충족	전국
품질	비면허 대역으로 주파수 간섭 가능성 있음	면허 대역으로 주파수 간섭 가능성 낮음
실적	없음	해상(추진 중)
장점	통신모듈 가격 저렴 통신료 LTE-M 대비 1/4 수준 망 구축비용이 상대적 저렴	커버리지 우수 양방향 통신 가능 일정 수준의 용량 처리 가능 기존 네트워크 망 사용
적용여부	재난망의 취지가 멀티미디어 정보 처리가 중요하므로 소량 데이터 전송 중심의 LoRa는 부적합	상용망 활용은 재난망의 망 구축계획에 포함되며, 현재 LTE-M은 해상재난망 외 활용 계획 없음

한국농어촌공사에서 적극적으로 추진중인 자동수위계측기 신기술통신망 시범사업의 하이브리드형 통신망 기술도 “LoRa+LTE-M” 형태로 시범 운영되고 2017년부터 확대될 계획이지만 현재 국가재난안전망에서 LTE-M의 활용은 해상부분으로만 국한되고 있고 별도 활용계획이 없기 때문에 이를 재난망과 연계하는데 어려움이 있다. 이러한 문제점 외에도 대용량, 다중접속, 생존성 등에서 재난망이 요구하는 수준이 있기 때문에 현재 시범사업으로 추진되는 사업을 재난망으로 확대하는 것은 현실적으로 불가능하다고 할 수 있다(표 6-12).

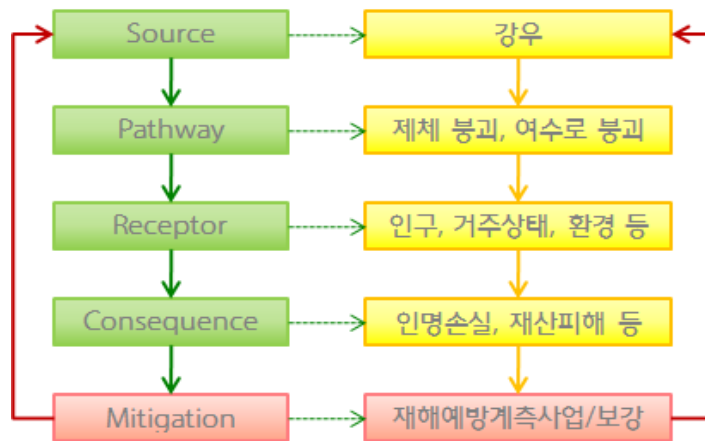
### 6.3.2 IoT 기반의 저수지 안전관리 방안 제시

한국농어촌공사에서는 기존의 계측 시스템을 차세대 통신망으로 전환하기 위해서 ○○텔레콤과 협약을 맺어서 추진하고 있다. 실제 재난관리에 있어서 센서와 통신망 부분은 Infra와 사물인터넷(IoT) 기술의 접목에 있어서 매우 중요하다. 따라서 기존 저수지 재난관리 방안은 SMART 재난관

리14) 체계로 변경하여 접근 할 필요가 있다(표 6-13, 그림 6-27).

(표 6-13) SMART 재난관리 (장대원, 2015)

특성	LoRa	필요 기술
Smart Monitoring	기존 계측 시스템 Monitoring 자료(Sensor) 활용	IoT Cloud
	Drone, SNS, 민간 기업정보 등 새로운 모니터링 기술 및 대상 발굴	
Analysis	중앙정부, 지자체, 유관기관 등 Whole Government 측면의 DB 분석	Big Data Cloud
	Whole Government DB + 민간, 기업 DB, 참여형 DB(영상, 문자, 이미지)통합 분석	
Response	정부의 재난안전 통합 대응, 신속한 전파, 구조 체계 수립 등	Mobile 국가재난망
Technology	SM, A, R을 지원하기 위한 기술(ICBMS <sup>15)</sup> )	



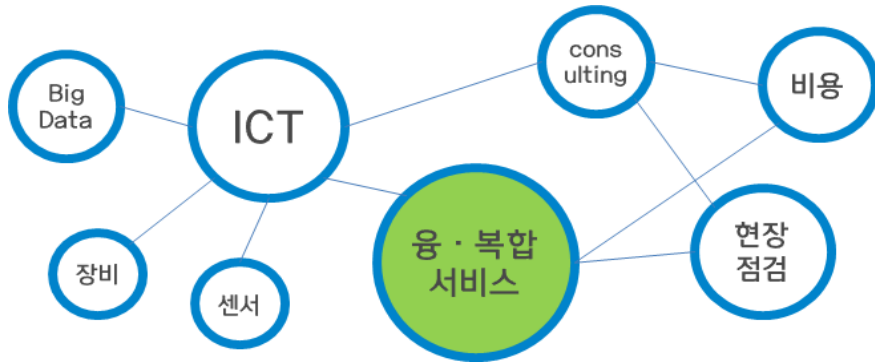
<그림 6-27> 저수지 재난관리에서의 SPRC 단계

이와 함께 융복합 서비스를 통한 저수지 안전관리 확대전략이 구축하고 이를 기반으로 현장에서 점검으로 이루어지는 off-line 방식과 모니터링 및 분석을 통해 이루어지는 on-line 방식을 통합하여 안전관리 프레임

14) 재난순환과정(Disaster Cycle)을 고려해서 기존의 위험분석과정인 SPRC(Source-Pathway-Receptor-Consequence)를 재난발생 징후감지부터 대응 및 복구까지 전 과정을 관리하는 방안으로 SMART 제시

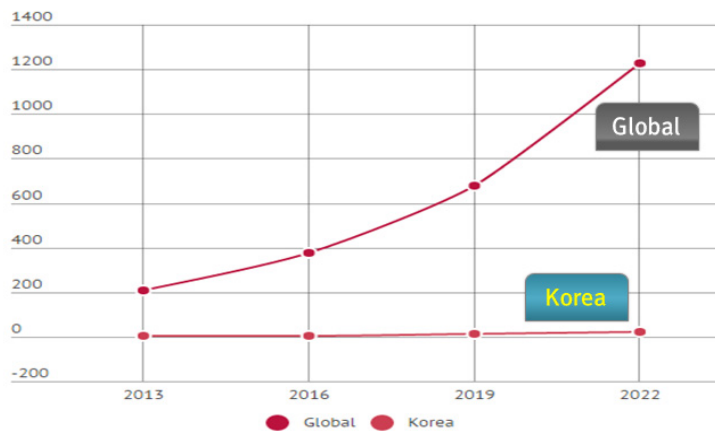
15) ICBMS: IoT, Cloud, Big data, Mobile, Security

구축해야 한다(그림 6-28).



<그림 6-28> 응·복합 서비스 체계의 저수지 안전관리 (장대원, 2015)

IoT 기술의 시장은 지속적으로 성장하고, 실제 폭발적인 잠재력을 지니고 있다. 통신사 중심의 IoT 기술부터, 의료 및 서비스 측면에서의 IoT 기술, 특히 최근 이슈가 되는 “Smart Home”, “Smart City”까지 IoT 기술은 더 이상 새로운 기술이 아니라 체감할 수 있는 기술로 다가오고 있다.



<그림 6-29> 사물인터넷 시장 규모 전망(조원)  
(임정선, 2015; 가트너, 2014)

이러한 민감한 시기에 저수지 재해관리에 OO텔레콤과 한국농어촌공사 IoT 전용망 활용 MOU는 시기가 적절하며 향후 발전가능성이 매우 크다.

상호 양해각서에서는 OO텔레콤이 농어촌 수자원 원격계측의 안정적 구축을 위해 OO텔레콤 IoT 전용망인 로라(LoRa)로 기존 2G로 구현된 관측망을 전환하는 계획을 수립하였다. 해당계획은 다음과 같이 계측 목적 및 주기에 따른 최적망을 구현하도록 수립되어 있다.

- 주기적 모니터링(LoRa)
- 실시간 제어가 필요한 곳(Lte-M)
- CCTV 등 통신망에는 LTE 망으로 구현하도록 구축 계획 수립

재난망을 활용하기가 수월하지 않은 검토결과를 고려한다면 데이터 수집 및 제어는 하이브리드형 기술을 접목하여 실시간 모니터링 및 제어를 수행하고, 지능형 CCTV, 고해상도 영상정보 획득 및 전파에는 별도의 LTE 전용망 또는 상용망을 활용하여야 한다. 국가안전재난망에서 한국농어촌공사 관한 저수지 권역에 PS-LTE 전용망이 구축된다면 IoT 기술기반의 모니터링, 분석, 상황전파가 이루어질 수 있는 차세대 저수지 재난관리 플랫폼을 구축할 수 있다.

USN 저수지 붕괴위험 예·경보 시스템의 시스템 프레임은 미래지향적이고 구 안전행정부와 정보화진흥원에서 추진된 시범사업인 만큼 이를 적극 활용하는 방향으로 전략을 수립해야 한다. 해당 시스템의 IoT 활용 기술은 다음과 같다.

- 센서 DB의 실시간 모니터링 및 분석 기술
- 위험관리 수준을 이용한 과학적인 저수지 예·경보 기술
- CCTV, 예·경보, 광섬유를 이용한 누수계측 등 IoT 센서 기술

저수지 붕괴 예·경보 시스템 구축이라는 큰 저수지 재난관리 체계에서 자동수위계측기 신기술통신망 활용 시범사업과 USN 저수지 붕괴 예·경보 시스템은 차세대 IoT 기반, Data Analysis 기술을 적용한 플랫폼이 될 수 있으며 한국농어촌공사의 협의과정을 통해 활용여부가 가능할 것으로 분석되었다(표 6-14).

(표 6-14) 한국농어촌공사 저수지 계측 시스템의 IoT 활용 가능성

분류	자동수위계측기 신기술 통신망 시범 운영	USN 저수지 붕괴 예·경보
계측센서 (영상장비 포함)	수위계 유량계 유속계 염분, 누수, 지진 등	수위계 지하수위계 누수계 신축계 강우량계 함수비계 광섬유 CCTV
전송주기	현재 1시간	10분 주기
통신망	現 2G ▶ LoRa	現 유선망
특이점		자동 경보기 설치
IoT 사업대상 계측기	수위계	수위계, 지하수위계, 누수계, 강우량계
적용 여부	현 시범사용 적용 중	-자료 전송주기를 1시간 단위로 조정하여 활용 -Data 전송 용량 및 속도는 LoRa 망 적용 가능 -CCTV 영상 처리 및 운영은 LoRa 적용 불가능 -CCTV는 재난망의 계획망(전용망 or 상용망) 적용
비고	-현재의 수위계 외에 확대 대상을 농어촌연구원의 USN 저수지 붕괴 예·경보 시스템과 재해예방계측사업 대상까지 확대하도록 내부 협의 필요	-향후 사업대상지는 선로공사비 등이 절감되어 설치비 감소 예상 -전용망 커버리지 확인 후 별도 수립 -CCTV의 고용량 데이터 전송의 어려움을 고려, FHD 급 카메라로 대체하여 현장 영상 확보 방안 필요



국가재난안전통신망을 활용하고, IoT 기술을 이용한 저수지 재난관리 시스템 구축의 활용방안을 분석한 최종 결과는 다음과 같이 추진되어야 할 것이다.

### [기술 적용 현황 분석]

- 재난망의 활용과 IoT 활용 기술 현황
  - 국가안전재난통신망을 구축 사업 목표 및 구축계획이 확정되지 않고, 실제 한국농어촌공사가 활용할 수 있을지에 대한 판단이 어려움
  - 한국농어촌공사가 관할하는 저수지 및 시군구 저수지가 자가망 및 전용망의 커버리지에 드는지 현 상태에서 확인 불가능
  - 사물인터넷(IoT) 기술은 현재 많은 부분에서 개발이 완료되었고, 실제 적용단계에 있음
  - 한국농어촌공사에서도 SKT의 LoRA망을 이용한 사물인터넷 기술의 접목 추진 중이며 USN 저수지 붕괴 예·경보 시스템에서도 센서기반 위험관리를 적용 중임

### [기술 활용성 검토]

- 국가재난망 활용
  - 국가안전재난통신망은 한국농어촌공사에서 자체적으로 사용하는 것이 아니고 망 사용과 관련된 협의가 필요
  - 한국농어촌공사가 추진하려는 하이브리드형 통신망은 국가안전재난 통신망의 요구사항을 충족하지 못함(저속도, 저용량, 보안, 생존성 등)

**⇒ 재난망은 국민안전처 사업 종료 년도에 재검토 필요**

- 사물인터넷(IoT) 기술 활용
  - 실시간 센서데이터 기반의 저수지 위험관리 전략 추진 중
  - CCTV와 같은 고용량 데이터 생산장치를 제외한, 수위계, 누수계, 강우량계 등 센서 데이터의 사물인터넷 기반 기술 적용 가능
  - 현장확인시 필요한 CCTV, 고화질 카메라 영상 등은 별도의 전용 망 체계를 고려하거나, 향후 재난망 커버리지 분석 후, 선별적 이

용 가능

⇒ IoT 기술은 소물인터넷(sIoT) 형태로 충분히 적용 가능하며,  
센서 종류 선정, 데이터 전송 주기 및 포맷의 표준화 필요

## 제 7 장

# 결론 및 향후 연구방향





## 제7장 결론 및 향후 연구방향

### 7.1 결 론

본 연구는 농어촌정비법에 따라 분류된 2종 저수지 중 총저수량 20만톤에서 30만톤의 저수지를 대상으로 기후변화를 비롯한 신종 대규모 복합재난으로부터 관리하고 있는 농업생산기반시설물을 IoT기술 기반 실시간 모니터링 센서 시스템을 설치하여 붕괴 시 발생할 수 있는 인명적·재산적 피해를 최소화 하고자 붕괴예·경보 시스템의 표준안의 수립을 위한 아래의 6가지를 도출하였다. 이를 통하여 한국농어촌공사 저수지 안전관리 선진화에 앞장 설수 있을 것으로 판단된다.

1. 재난관리기준 및 저수지법에 따라 붕괴예·경보 시스템 (재난건전성 모니터링) 계획 수립 필요
2. 저수지 붕괴유형에 따른 계측데이터를 기반으로 경보 및 예보 체계를 수립 및 2차년도 보완필요(2차년도의 센서 및 통신 포맷 표준안과 연계 필요)
3. 유사 서비스를 기반으로 붕괴예경보 시스템 서버 DB 표준안 수립
4. 낙뢰등의 사고에서 피해최소화, 개보수의 편의성 및 안정적인 데이터 전송환경을 위한 근거리 무선통신 적용방안 수립 및 2차년도 보완 필요(2차년도의 통신 포맷 표준안과 연계 필요)
5. EAP의 비상상황 분류(관심, 주의, 경계, 심각)를 기준으로 개별센서별 관리기준 수립 및 2차년도 보완 필요(2차년도 복합위험 관리기준 수립과 연계 필요)
6. 재난망 및 IoT기술 적용성 검토 연구를 통한 붕괴예경보 시스템 확대 방안 수립

## 7.2 향후 연구방향

저수지 붕괴예·경보 시스템 표준안의 수립을 위하여 기 도출된 6가지의 결과를 바탕으로 아래에 제시된 사항이 도출되어야 한다.

1. 센서 설치 가이드라인의 수립 및 보완
2. 시스템 포맷(센서, 통신, DB) 표준안 수립
3. 원거리 무선통신 적용 방안 수립
4. 개별위험 관리기준의 보완 및 복합위험 관리기준 수립
5. 시스템 실증화 연구

## □ 참고문헌

- 국민안전처, 2014, 한·일 방재회의 일본대표단 발표자료집
- 국민안전처, 2015a, 급경사지 주민대피 관리기준 제정·운영 지침.
- 국민안전처, 2015b, 급경사지 주민대피 계측시스템 구축 및 계측 시방서 개발 연구
- 국민안전처, 2015c, 급경사지 재해예방에 관한 법률
- 국민안전처, 2015d, 재난 및 안전관리기본법의 이해 교육자료
- 국민안전처, 2015e, 재난안전통신망 구축사업 세부 추진계획(안)
- 국민안전처, 2015f, 현장조치 행동매뉴얼 작성기준
- 국민안전처, 2016a, 급경사지 재해예방에 관한 법률 시행령
- 국민안전처, 2016b, 저수지·댐의 안전관리 및 재해예방에 관한 법률
- 국민안전처, 2016c, 재난 및 안전관리 기본법
- 국민안전처, 2016d, 재난 및 안전관리 기본법 시행령
- 국민안전처, 2016e, 재난안전통신망 검증결과 및 본 사업 추진방안
- 국민안전처, 2016f, 재난안전통신망 사업 공정·투명성 강화. 보도자료
- 국민안전처, 2016g, 위험저수지 안전관리 현장에서 배운다. 보도자료
- 국토교통부, 2014, 시설물의 안전관리에 관한 특별법
- 국토교통부, 2016, 하천법
- 김남경 외, 2014, 광대역 재난안전통신망(PS-LTE) 기술 표준화 현황, VOL.156, TTA 저널.
- 기상청, 2016, <http://www.kma.go.kr/>
- 김학용, 2016, 소물인터넷 시장 및 기술동향. KT LTE-M 세미나
- 기획재정부, 2016. 녹색기후기금(GCF: Green Climate Fund) 제 14차 이사회, 한국형 기후변화 대응 사업모델 승인. 보도자료
- 김열, 류지협, 서상훈, 2015, 강우특성과 지질특성을 고려한 급경사지 주민대피 관리기준 연구, 한국방재학회논문집, 제15권, 제3호, pp.229-236.

- 농림축산식품부, 2015, 저수지 등 농업생산기반시설 위기대응 실무 매뉴얼.
- 농림축산식품부, 2014, 농업생산기반시설 관리규정, 훈령 제142호, 한국농어촌공사
- 농림축산식품부, 2016a, 농어촌정비법
- 농림축산식품부, 2016b, 농어촌정비법 시행령
- 배성훈, 2015, 국가재난안전통신망 제대로 구축되고 있나?
- 산림청, 2015, 풍수해·산사태(태풍, 호우) 재난대응 실무매뉴얼
- 산림청, 2016, <http://sansatai.foa.go.kr/>
- 신동진 외, 2013, 실시간 통합 안전도 평가 시스템 및 통합안전관리 플랫폼 기술개발 1차년도 보고서
- 신동훈 외, 2014, 실시간 통합 안전도 평가 시스템 및 통합안전관리 플랫폼 기술개발 2차년도 보고서
- 신동훈 외, 2015, 실시간 통합 안전도 평가 시스템 및 통합안전관리 플랫폼 기술개발 3차년도 보고서
- 신동훈 외, 2016, 실시간 통합 안전도 평가 시스템 및 통합안전관리 플랫폼 기술개발 4차년도 중간보고서
- 서울시, 2016, 서울형 산사태 예보모델 개발 학술용역 중간보고서.
- 소방방재청, 2009, 댐·저수지 붕괴등에 따른 비상대처계획(EAP) 수립 지침
- 양동민. 2014, USN급경사지 및 저수지 붕괴위험 예경보시스템 구축사업 추진결과보고서. 행정자치부, 한국정보화진흥원
- 오병현 외, 2015, 소규모저수지 붕괴사례 조사분석, 한국구조물진단유지관리공학회
- 이종근 외, 2013, 소규모 댐·저수지 안전성평가 및 보수·보강방안 연구, 한국시설안전공단
- 임정선, IoT-가속화되는 연결의 빅뱅과 플랫폼 경쟁의 서막
- 장대원, 2014, USN 급경사지 및 저수지 붕괴위험 예경보시스템 구축사업 설계서, 노아SNC.
- 장대원, 2015, 수요 및 가치창출을 고려한 미래 재난안전 전략 수립. 전자정부 민관협력 포럼



- 재난안전통신망 구축기획단, 2014, 재난안전통신망 구축사업 추진현황보고. 국민안전처
- 전라남도 지방공무원교육원, 2016, 제1기 하천·저수지·댐 안전관리과정
- 전라남도 지방공무원교육원, 2016, 제2기 하천·저수지·댐 안전관리과정
- 정재동, 2014, 해외주요국의 재난관리 ICT 동향과 시사점. 한국과학기술기획평가원
- 조진우, 2014, 제방 누구 모니터링을 위한 이동식 TDR 센서의 적용성 평가
- 최병한 외, 2014, 수리시설물 위험관리 선진화 방안 연구(최종) - 비구조적 위험관리 편. 농림부, 농어촌연구원
- 한국농어촌공사, 2007, 저수지 자동수위측정기 설치 및 운영지침
- 한국농어촌공사, 2012, 안성지사, 비상대처계획.
- 한국농어촌공사, 2014a, 비상대처계획-도척저수지, 양평광주서울지사
- 한국농어촌공사, 2014b, 수리시설물 위험관리 선진화 방안 연구, 농어촌연구원.
- 한국농어촌공사, 2014c, 준공후 시설등록된 농업생산기반시설 안전사고 위기대응 매뉴얼.유지관리기획처
- 한국농어촌공사, 2015, 농업생산기반정비사업 통계연보.
- 한국농어촌공사, 2016a, 계측이론 실무 교육자료, 지하수지질처
- 한국수자원공사, 2016b, 봉화댐 실시설계보고서
- 한국농어촌공사, 2016c, 자동수위계측기 신기술통신망 (IoT기반) 시범사업 지구선정 및 운영계획(안).
- 한국전자과학회, 2012, 재난현장 대응에 필요한 재난통신망 구축 관련 상용망 활용가능성 연구용역. 행정안전부
- 한국정보화진흥원, 2014a, USN 급경사지 및 저수지 붕괴위험 예경보시스템 구축사업 추진결과보고서
- 한병원 외. 2007. 한국형 절취사면의 붕괴 특성을 고려한 합리적인 계측계획 수립에 관한 연구

- 허정희, 2014, 국가재난안전통신망 구축방식 검토. 한국정보화진흥원
- 홍문현 외, 2016, 선행강우를 고려한 산사태 유발 강우기준(ID Curve) 분석, 한국지반공학회논문집, 제32권, 제4호, pp.15-27
- Allen, J., Arnell, E., 2015, The digital single market and telecoms regulation going forward. Analysys marson
- Champagne, J., 2016, The Top 7 Free and Open Source Database Software Solutions, IT Management
- Gartner, 2016, Sensing and Communications Semiconductor Device Portion of the IoT Is Set for Rapid Growth. News
- ICOLD, 1995, Dam failures statistical analysis, International Commission on Large Dams, Bulletin 99.
- MLT (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, 2004, Development of Warning and Evacuation System Against Sediment Disasters in Developing Countries, Ministry of Land, Infrastructure and Transport Infrastructure Development Institute, Japan.
- Netcraft, 2016, December 2016 Web Server Survey, (<https://news.netcraft.com/>)
- Nunns, J., 2016, What are the 5 most popular programming languages and which pays the best salary?, Computer Business Review, (<http://www.cbronline.com>)
- Oh, J. and Park, H.J., 2014, “Analysis of Landslide Triggering Rainfall Threshold for Prediction of Landslide Occurrence”, Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, 14(2), pp.115-129
- Kharkovsk, R., 2016, WebSphere App Server vs JBoss vs WebLogic vs Tomcat, InterConnect 2016.
- Yu, Y.F., Lam, J.S., Siu, C.K. & Pun, W.K., 2004, Recent advance in landslip warning system, Proceedings of the HKIE Geotechnical Division 24th Annual Seminar, Hong Kong,

pp.139-147.

○ 참고 웹사이트

- 공공안전통신망 포럼; <http://safenetforum.or.kr/>
- 연합뉴스; <http://www.yonhapnews.co.kr/>
- First-NET; [www.firstnet.gov](http://www.firstnet.gov)
- 전자신문; <http://www.etnews.com/>
- USACE; <http://www.usace.army.mil/>



## 참 여 연 구 원

목 차	소 속	참 여 자
1장 서론	농어촌연구원	이 백
2장 붕괴예·경보 시스템 수립 방안	농어촌연구원	이 백
3장 붕괴예·경보 관련 시스템 조사 및 분석	농어촌연구원	이 백 최병한
	노아SNC	전영규 신재형
4장 붕괴예·경보 시스템 표준안	농어촌연구원	이 백 박진현 최병한
	노아SNC	전영규 신재형 김원현 장권희 박종렬
5장 센서 개별위험 관리기준	농어촌연구원	이 백 박진현 최병한
	한려대학교	류지협
6장 재난망 및 IoT기술 적용성 검토	농어촌연구원	이 백 최병한
	LIG	장대원
7장 결론 및 향후 연구방향	농어촌연구원	이 백



## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부로부터 연구비를 지원받아 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 수행한 연구보고서입니다.
2. 이 보고서의 내용은 연구원의 공식견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.

### ■ 발 행 처

연구과제명 : 저수지(댐) 재해예측 및 붕괴예경보를 위한 복합 위험 기준 연구	
발 행 일	2016. 12
발 행 인	이 용 직
발 행 처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 해안로 870 전 화 031 - 400 - 1700 FAX 031 - 409 - 6055
■ 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다. 단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.	