

제방누수감지센서 설치를 위한 사전계획 연구

A Study on Previous Plan for Levee Leakage Monitoring Sensors

박경원*, 정관수**, 이광만***, 황의호****

Kyoung Won Park, Kwan Su Jung, Gwang Man Lee, Eui Ho Hwang

요 지

제방안전성 모니터링은 제방파괴로부터 국민의 생명과 재산을 보호하는데 필요한 정보를 얻을 수 있는 하나의 방법이 될 수 있다. 근래에 미국은 2005년 허리케인 카타리나에 의해 2,000여명의 인명손실을 경험하였고 2011년 3월 일본은 도후쿠지역의 초강력 지진에 의한 쓰나미로 인해 수만명의 인명과 후쿠시마 원자력 발전소의 침수로 지금까지 방사능 누출 차단작업을 벌이고 있다. 국내에서는 4대강 복원사업으로 주요 국가 하천 구간에서 홍수 및 체체 불안정에 의한 제방붕괴사고위험이 현격하게 줄어들었으나 제방의 안전성은 더욱 강조되고 있다. 즉 신설된 보 주변, 배수통문 신설구간 그리고 제방누수 예상지점 등에서는 아직 안전한 상태라고 확신할 수 없으며 지속적인 모니터링이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 광섬유를 이용하여 개발한 간극수압 및 온도 센서 등을 위험예상지점에 설치하고 정보시스템을 통하여 어떻게 관리 할 것인가에 대한 사전 검토를 계획하였다. 이를 위하여 제방에 센서를 설치하기 전에 주요 검토사항에 대하여 연구분석하였다. 주요 검토사항에는 설치하고자 하는 지점의 제방거동 메커니즘 예측, 왜 예측시스템을 설치하는지에 대한 목적에 대한 평가, 설치 지점의 제방의 토질공학적 문제점 파악, 모니터링 대상 매개변수 혹은 항목 선정, 조사대상 항목의 변화정도를 예측하여 거동 범위 확정, 적정 계측기기 설치 지점을 선정, 계측기기 선정, 자동화 혹은 실시간 정보시스템에 필요한 사항 결정, 관측에 영향을 미치는 인자들의 기록 계획, 정보의 타당성 확보를 위한 필요사항 정립, 비용의 결정, 장기 예측 계획, 정기 검·보정 및 관리 계획, 자료수집 및 관리 계획, 자원의 공조 및 생애주기 비용 등을 포함하였다.

핵심용어 : 제방 안전성, 모니터링, 위험예상지점, 센서

1. 서 론

제방의 안전성 모니터링을 위해서는 지침을 충분히 고려하여야 한다. 주요 유의사항으로는 메커니즘 예측, 목적 평가, 토질공학적 문제점 파악, 설치지점, 계측기기 선정, 영향 인자, 정기 검·보정 및 관리 계획 등을 검토한다. 그러나 실제 이 모든 항목을 같은 수준으로 평가하기는 어려우므로 중요사항을 중심으로 평가한다. 4대강 공사현장 중 제방 안전성 모니터링이 필요하다고 판단되는 지점을 조사하여 토질공학적 및 수리적 특성에 대하여 분석하였다. 복원사업 구간에서는 하도 준설과 기존제방의 보강을 통하여 치수 및 체체 불안정에 의한 사고위험이 현격하게 줄어들었지만 낙동강 중하류 일부구간과 신설된 보 주변, 배수통문 신설구간 등에서는 아직 안전한 상태라고 판단할 수 있는 근거를 찾지 못했다. 따라서 본 연구를 통하여 조사된 지점을 대상으로 개발된 광섬유센서의 설치와 정보시스템을 통하여 어떻게 관리 할 것인가에 대한 사전 검토를 수행하였다.

* 정회원 · 한국수자원공사 K-water연구원 연구원 · E-mail : kwpark@kwater.or.kr

** 정회원 · 충남대학교 교수 · E-mail : ksjung@cnu.ac.kr

*** 정회원 · 한국수자원공사 K-water연구원 수석연구원 · E-mail : lkm@kwater.or.kr

**** 정회원 · 한국수자원공사 K-water연구원 책임연구원 · E-mail : ehhwang@kwater.or.kr

2. 현장 적용 지점 선정

낙동강의 경우 과거 제방붕괴 사례와 4대강 사업추진과정에서 사회적인 논란이 되었던 지역을 중심으로 검토하였다. 낙동강의 조사 구간은 강정고령보 지점부터 함안보 하류구간까지 조사하였으며 달성보와 함천보 지역에 대한 집중조사를 실시하였다. 과거 붕괴사례가 있었던 제방은 대부분 슈퍼제방이나 제방기울기가 1:5이상으로 완만하게 보강되어 있었지만 새로 건설된 배수통문의 경우도 본류의 수위가 영향을 미칠 정도는 아니었으며 대부분 하천수위 보다 높은 곳에 위치해 있었다. 배수펌프장의 경우 모터의 진동에 의한 울림현상을 제거하기 위해 제내지에 풀을 설치한 후 하천으로 방류되고 있어 배수펌프장 가동에 의한 진동으로 붕괴되는 사례는 제한적일 것으로 판단되었다.

표 1. 낙동강 구간 제방 조사 지역 및 선정사유

위치	주변사진	선정사유
함천보 상류 회천합류부 울지제		제내지의 지반고가 함천보 관리수위보다 조금 높은 상태, 과거 제방누수로 보강된 지역, 주민들의 우려 및 함천보건설단의 추천 등으로 선정

3. 계측기기 설치 지점 선정

계측기기의 설치지점은 구조적으로 약한 지점이나 계측기기 설치가 적절한 곳, 예측된 거동을 가장 나타낼 수 있는 대표단면이나 구역, 기초의 불연속 구간이나 제방횡단 구조물 혹은 교량의 교대가 있는 곳, 제방의 거동을 종합적으로 비교 평가할 수 있는 곳, 제방의 횡 혹은 종으로 분포형 계측기기의 설치가 가능한 곳, 여러 종류의 기기 매설이 가능한 지점 등을 중심으로 검토하였다. 검토결과를 각 조사대상지점의 계측 센서 설치지점은 아래의 그림과 같다.

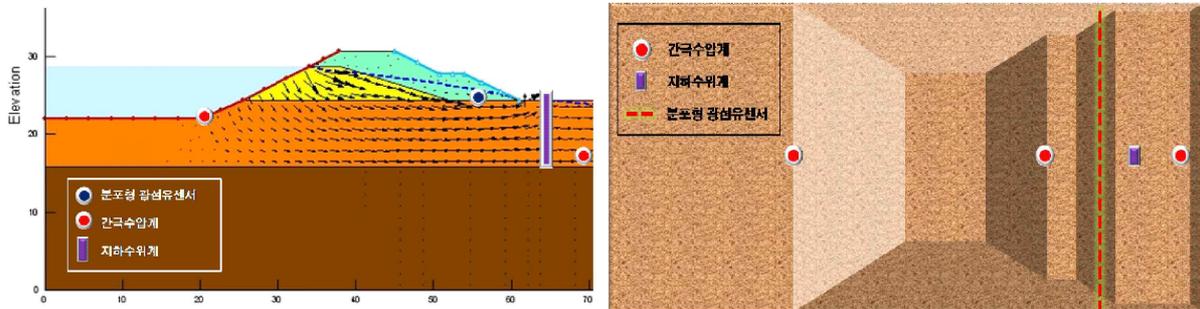


그림 1. 울지제 센서설치(안)

4. 현장 설치 계획

4.1 주요 검토사항

제방 안전성 모니터링을 위한 센서나 계측기기의 설치에 세심한 주의가 필요하다. 계측기기의 설치가 잘못되면 잘못된 정보로 인해 현실에 맞지 않는 엉뚱한 조치들을 취하게 될 뿐만 아니라 제방을 온전히 보존하는데 역효과를 줄 수 있다. 주요 검토사항은 다음과 같이 정리할 수 있다.

표 2. 주요 검토사항

검토사항	검토내용
주요 문제점	- 제방 누수 및 제내지 침수
계측 센서의 선정	- 지하수위계, 집중형 간극수압계, 분포형 광섬유센서, 온도계
계측에 영향을 미치는 요인	- 제체구성, 하천수위, 제내지펌프, 배수장펌프, 강우량, 수온, 대기압
거동 메커니즘	- 두꺼운 투수성 높은 기초지반이 크게 영향을 줄을 예측 - 수위가 상승함에 따라 기초 지반과 제체 양쪽으로 빠른 배수가 발생함을 예측
토질 공학적 문제점	- 두꺼운 투수성 높은 기초 지반이 크게 영향을 줄에 따라 제외지 홍수위에 의한 침투는 빠르게 발생하면서, 배수가 빠르게 발생 - 현 지하수위 상태에 따라, 침윤선의 위치, 유출량, 배수 속도가 크게 영향을 받음 - 현 지하수위와 같은 낮은 지하수위의 상태에서는 제내지측 선단(뒤비탈 기슭) 유출이 적게 발생할 가능성이 있으며 제내지측 지하수위는 상시 계측 필요 - 침윤선이 제외지(앞비탈)에 주되게 형성되기 때문에, 이를 고려하여 제외측 제체 내부에 많은 계측이 이루어져야함
자동화 및 시스템 구축	- ADAS(Automatic Data Acquisition System)의 도입이 필요 - 인터넷 기반 웹 시스템과 스마트폰을 활용한 데이터 관리 필요
정보 취득	- 간편성, 광학, 기계, 수리, 유체 및 전기적인 순서, 비용을 고려한 신뢰성이 높은 계측기기 설치 필요
장기 보호 계획	- 보호 장치, 온도, 습도 및 유지관리가 쉬운 위치에 설치 필요 - 수집된 데이터의 보호 및 시스템의 안정적인 구동 필요

4.2 정기검 · 보정 및 관리 계획

광섬유센서계측기기는 일단 설치한 이후에는 폐기할 때까지 검보정을 위한 계측기기의 자체의 조작은 따로 필요로 하지 않으며, 케이블의 굴곡에 따라 광량의 감소가 발생할 수 있으므로 만일 광량의 감소가 발생할 경우 센서 데이터의 변동은 없으나 궁극적으로 데이터 확인이 불가능해질 수 있으므로 각 단면의 광 접속함에서의 광섬유케이블의 꺾임과 케이블의 굴곡에 의한 감소 등을 확인해야 한다. 만일 측정데이터가 지속적으로 입력이 되지 않거나 명백한 오류가 발생할 경우, 계측기와 시스템 이상여부를 확인해야 하는데 대표적으로 나타날 수 있는 현상은 ① 전원이 공급되지 않는다. ② 계측 프로그램 실행에도 측정이 전혀 되지 않는다. ③ 전체 채널 중 몇 개의 채널에서 측정이 되지 않는다. ④ 광섬유격자센서의 피크(peak)의 광량이 매우 낮다. 등이고 이의 대처방안으로 전원을 체크하고, 통신의 작동여부를 확인하며, 빛의 통로인 광케이블의 꺾임, 파손

또는 과도한 압력으로 광케이블의 늘림에 의한 광량의 저하가 발생했는지 체크한다.

계측 시스템이 관리동에 설치된 후, 인수인계를 받은 자 이외에 의한 시스템 작동을 제한하며, 인수인계를 받은 자 이더라도 계측 시스템에 필요하지 않는 프로그램의 무단 설치 및 기존의 설치 프로그램의 무단 삭제를 제한한다. 계측 시스템의 프로그램의 오류 또는 이상의 발생 시에는 현장 관리자 또는 유지관리 책임자와 협의하여 조치를 취하도록 하며, 이상 현상의 발생시에는 납품 업체의 전문가의 별도의 지시가 있을 때까지 계측 시스템의 사용을 제한한다. 이외의 유지관리에 필요한 사항은 납품 업체의 전문가와 현장 관리자 또는 유지관리 책임자와의 협의를 통하여 결정한다.

모니터링 시스템의 정기 점검 및 관리는 일상 점검 및 비상시 대처로 나눌 수 있다. 일상 점검은 데이터의 검정 및 시스템의 상태 점검이 주 업무이며 주기적인 시스템 점검 후, 점검 기록을 남겨 시스템의 상태 변화를 장기적으로 모니터링 할 수 있도록 하며 데이터베이스의 점검과 병행하도록 한다. 비상 시 대처는 장비 이상 혹은 시스템 오류 등으로 인해 시스템이 정상적으로 작동하지 않는 경우이며, 주요 시스템 별로 장애 복구 시간을 설정하고 해당 시간 내에 장애 복구가 완료 될 수 있도록 한다.

4.3 자료수집 및 관리 계획

계측된 자료의 수집, 처리, 표현, 해석 및 보고서 작성을 위한 일련의 정보 종합처리 과정이 시스템 기능으로 개발되어야 한다. 실제 자료처리에 대한 중요성을 간과하는 경우가 있어 올바른 정보해독은 부분적으로 집중된 혹은 비슷한 현상에 대한 과도한 정보 생산을 방지, 해석하고 판단하며 조치를 취하는데 혼란을 줄일 수 있다. 꼭 필요한 정보를 시기적절하게 취득하고 이를 적절히 활용할 수 있는 정보처리 시스템을 갖추기 위해서는 컴퓨터나 정보통신 산업의 효과를 적극 활용하여야 한다. 그러나 잘 개발된 컴퓨터 시스템이라 할지라도 전문기술자의 엔지니어링 판단을 대신할 수 없으므로 자동화 시스템과 전문기술자의 경험이 조화를 이룰 수 있도록 전략 수립이 필요하다. 컴퓨터가 아닌 경쟁력 있는 기술자가 정보의 해석과 판단을 주도해야 한다는 점을 고려하여 전문가 양성이 필요하다.

4.4 자원의 공조

제방모니터링 시스템 계획 및 설계 단계에서는 계측기기의 정기검·보정, 계측기기교체, 조달 계획, 설치, 정보수집 및 처리 관리 등 일련의 작업이 종합적으로 검토되어야 한다. 결국 계측기기를 통한 모니터링 시스템은 원하는 정보를 원하는 정확도로, 원하는 시간내에, 필요한 조치를 취할 수 있도록 지원하는 시스템이라 할 수 있다. 따라서 제방누수감시 모니터링 시스템은 토질공학 적 기술의 바탕으로 계측기기와 정보시스템이 조화된 기술융합 시스템을 적용하는 것이라 할 수 있다.

4.5 생애주기 비용

일반적으로 계측 센서의 내구 수명은 전기(자)식 계측 센서의 경우 5년, 광섬유센서의 경우 약 20년 이상을 나타낸다. 제방과 같은 수리구조물의 수명은 약 50년 정도의 수명을 예상하여 설계가 이루어지기 때문에 매설되어 설치되는 유지관리계측기의 수명이 매우 중요하다. 전기식 계측기기

기의 경우 습기 및 누수에 의한 기기의 오작동과 납땀부위의 부식에 의한 고장 및 손망실이 빈번하게 발생하는 단점이 있다. 이처럼 오작동 및 부식에 의한 고장 및 손망실은 센서의 빈번한 교체를 필요로 하게 되며, 유지관리계측 중 센서의 교체는 유지관리비용의 증가를 발생시키게 된다. 결과적으로 전기식 계측 시스템 유지관리 측면까지 고려한다면 본 광섬유격자센서를 이용한 계측기가 더 경제적이라고 할 수 있다. 더욱이 전기식 센서의 내구 수명이 보통 5년 정도이기 때문에 경우에 따라서는 모든 전기식 계측기를 교체해야하는 경우도 발생할 수 있다. 그러나 교체가 불가능한 경우도 있을 수 있고, 계측기를 교체하더라도 연속적이지 못한 계측 데이터의 수집이 되기 때문에 효율적인 방법이 될 수 없다. 따라서 장기간 교체가 필요 없는 광섬유센서계측기기는 생애주기비용으로 대단히 저렴할 수 있을 뿐 아니라 데이터의 신뢰성을 보장할 수 있는 계측방법이기 때문에 제방 모니터링에 적합한 계측기기라고 할 수 있다.

5. 결 론

4대강 살리기 사업으로 인한 하천 정비사업으로 인하여 기존 하천제방, 수공구조물의 환경변화 및 보 상·하류 수위 유동폭 변화에 따른 제방의 안전성 확보를 위한 총체적 모니터링 관리체계 구축을 위하여 필요한 누수모니터링 기술 확보를 위한 원천기술을 검토하였다. 이를 위하여 국내·외 제방관련 기술조사를 통하여 이들 기술의 실제 제방 적용가능성을 검토하고 기존 제방의 Data 분석을 통하여 안전성 등급을 판단할 수 있는 기준을 검토하였다. 그리고 현행 등급구분의 문제점을 살펴보고 보완점을 제시하였으며, 기존 제방 안전성 검토 방법을 이용하여 4대강의 주요 제방에 적용하여 등급을 분류하고 문제가 심각한 곳을 선정하여 시범적용지역으로 제시하였다. 차후 현장실험에 적절하게 응용함으로써 국내 제방 모니터링 시스템 선진화에 도움이 될 것이라고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 강태욱, 이상호, “미국의 제방 인증제에 관한 고찰.” 한국수자원학회지, 제44권, 제2호, pp 63-69. 2011.
2. 건설교통부, “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침”, 2003.
3. 김규호, “하천제방 관련 선진기술 개발”, 2001 건설교통기술혁신사업 최종보고서, 2004. 8.
4. 류권규, 이남주, “침식에 대한 일본의 제방 안전성 평가 방법.” 한국수자원학회지, 제44권, 제1호, pp 79-84. 2011.
5. 류권규, 이남주, “침투에 대한 일본의 제방 안전성 평가 방법.” 한국수자원학회지, 제44권, 제3호, pp 68-72. 2011.
6. 윤광석, “하천제방 붕괴원인에 따른 안전성평가.” 한국수자원학회지, 제36권, 제5호, pp 25-31. 2003.4
7. 윤종렬, 김진만, 최봉혁, “하천제방의 안전성 평가기법 연구.” 한국물리탐사학회 · 대한지구물리학회 공동학술대회, pp 111-116. 2005.
8. 한국건설교통기술평가원, “이상홍수 대비 수공구조물 설계기법 개발 및 기준개선 연구보고서(2차연차)”, 2007
9. 한국건설기술연구원 (2004). 하천제방관련 선진기술개발최종보고서.
10. US Army Corps of Engineers., “The National Levee Challenge,” 2006.
11. USA National Committee on Levee Safety (2009). Recommendations for a national Levee Safety Program.
12. US Army Corps of Engineers., “Corps of engineers Levee Safety risk Management Portfolio Process,” 2011.