

01

기후변화 및 노후화에 대비한 기존담 안전성 강화

박정수 차장 : K-water 수자원관리처
 김보성 차장 : K-water 수자원관리처
 양승인 차장 : K-water 수자원관리처



1. 서론

최근 지진 및 담 노후화 등 담의 안전 위협요인이 증가되고 있어 담 시설물 안전관리의 중요성이 더욱 대두되고 있다. 담은 구조적으로 안전한 시설물이지만, 붕괴와 같은 사고 발생 시에는 담 하류의 대규모 침수피해와 수원 기능 상실로 인한 장기간의 용수 공급 중단 등 대형재난으로 이어지므로, 철저한 담 안전관리가 필요하다. 이에 따라, 본 기고문에서는 담 안전 위협요인 증가에 대비한 정부와 K-water의 담 안전관리 현황과 선제적으로 추진 중인 담 안전성 강화사업을 소개하고자 한다.

2. 담 안전 위협요인과 대응

우리나라 대부분의 담은 1970년대를 전후하여 경제개발과 함께 건설되어 노후화가 진전되면서 체계적인 안전관리의 필요성이 증대되고 있다. “인프라 고령화의 실태와 개선과제”(2013, 현대경제연구원)에 따르면 “시설물의 안전관리에 관한 특별법”에 의해 관리되는 시설물 가운데 30년이 넘는 담은 무려 55.9%로 사회 기반시설 중 고령화 정도가 가장 심각하다. 이러한 담 노후화는 비단 우리만의 문제는 아니다. 일본은 담의 45%가 준공 50년을 넘어섰으며, 미국 담의 평균 연한은 56년으로 2016년 고위험군 담은 1만 5,500여개에 이른다. 오로빌담 또한 1968년에 완공되어 50년 가까이 경과된 담으로, 10여 년 전부터 보강이 필요하다는 의견이 있었으나 예산부족으로 보강이 이뤄지지 못했다. 오로빌담은 기후변화, 지진 및 노후화에 대비한 담 안전대책 마련의 필요성과 시급성을 잘 보여주는 사례이다. 시설물의 노후화와 함께 기후변화의 영향 또한 위협적으로 더 빨리, 더 자주, 더 국지적으로 발생하고 있다. 근래 해외에서 집중호우와 대형 태풍 등 기상이변이 일어나고 있다는 보도를 자주 접할 수 있으며, 한태평양 지역을 중심으로 대규모 지진도 발생하고 있다. 우리나라의 상황도 녹록치 않다. 2002년 태풍 루사가 우리나라를 통과할 때 강원도 강릉에 하루 870.5mm의 폭우가 내리는 등 기습적인 집중호우와 이상홍수가 빈번히 나타나고 있다.

지진의 발생빈도와 규모 역시 증가추세에 있다. 국내에서 지진관측을 시작한 1978년 이후로 규모 2.0 이상의 지진이 1978년부터 1978년까지는 연평균 약 20회가 발생하였으나, 1999년부터 2016년까지는 연평균 약 60회가 발생하는

등 지진 발생 횟수가 약 3배 증가하였다. 더욱이 2016년 9월 경주에서는 관측 이래 최대 규모인 5.8의 지진이 발생하였으며, 2017년 11월 포항에서는 역대 2위인 규모 5.4의 지진이 발생하여 인명 및 재산피해가 발생 하는 등 우리나라도 더 이상 지진 안전지대가 아님을 실감케 하였다.



〈그림 1〉 Oroville Dam 사고사례

담 붕괴 사례를 보면, 담이 무너지는 주요 원인으로 월류, 지진, 노후화를 꼽을 수 있다. 월류로 인한 붕괴는 예상을 뛰어넘는 많은 비가 내려 담이 넘치면서 붕괴되는 것을 말한다. 두 번째 지진으로 인한 붕괴는 일시에 무너지는 경우와 균열·누수 등 피해부가 점차 확대되면서 붕괴되는 경우로 구분된다. 노후화로 인한 붕괴는 건설 이후 시간이 지남에 따라 취약부가 발생하고 확대되면서 붕괴에 이르는 경우이다. 담 붕괴는 여타 인프라에 비해 그 피해가 더욱 치명적일 수밖에 없다.



〈그림 2〉 Teton Dam 붕괴사례 (담체손상에 따른 붕괴진행)

이런 상황을 반영하여 미국은 1996년 국가 담 안전프로그램(NDSP, National Dam Safety Program)을 도입하여 담 안전을 위한 법제화 기틀을 마련한 바 있다. 그리고 금년 1월 트럼프 행정부는 향후 10년간 인프라 관련 \$US 1,375억불 투자 및 24만 명의 고용창출을 위한 50개 프로젝트가 포함된 ‘Priority List : Emergency and National Security Projects’ 목록을 발표하였다. 일본도 2012년 노후담 평가규정을 제정하는 등 안전관리 강화를 위한 제도적 장치를 마련하고 있다.

- 01. 기후변화 및 노후화에 대비한 기존댐 안전성 강화
- 02. 재해환경 변화에 따른 노후 저수지(Fill Dam) 안전관리
- 03. 노후 댐의 내진 성능평가
- 04. 용수댐 안정성 강화를 위한 비상방류능력 확보방안

우리정부도 이렇게 국민의 안전과 직결되는 댐 안전의 위협 요인이 증가하고 있는 상황의 심각함을 인지하고 대응책을 마련하고 있다. 우선 2000년 이후 3차례에 걸쳐 댐 설계기준을 개정하였다. 주요 개정내용을 살펴보면 이상홍수에 대비하여 가능최대홍수량(Probable Maximum Flood, PMF)을 설계기준으로 하고, 댐 본체에 대한 내진기준을 상향하는 한편 취수탑 등 댐 부속시설물에도 내진설계를 도입하도록 강화하였다.

〈표 1〉 댐 설계기준 주요개정 이력

구 분	내 용
2001년	■ 이상홍수대비(가능최대강수량 고려) 및 내진설계 도입
2005년	■ 이상홍수대응력 강화(가능최대홍수량 및 필댐 여유고 산정방법)
2011년	■ 비상상황 대응력 강화(비상방류설비 설치 의무) ■ 부속구조물(수문, 관리교, 취수탑 등) 내진설계 추가

설계기준의 강화와 더불어, 이미 건설된 댐의 안전을 확보하기 위해서 최근 정부와 K-water에서는 예방적 시설물 보강과 유지관리에 다양한 노력을 기울여 오고 있다. 수문학적 안전성을 재검토하여 기준 이하의 댐에 대해 비상 여수로를 설치하고 댐을 높이는 등 치수능력 증대사업을 시행하여 지금까지 17개 주요댐에 대한 보강이 마무리되었다.

〈표 2〉 치수능력증대사업 현황

구 분	완 료(17)	공사중(3)	장래계획(4)
다목적댐	소양강, 임하, 대청, 안동, 섬진강, 합천, 보령, 밀양, 부안, 주암	평화의댐, 충주	남강
용수 전용댐	대암, 광동, 영천, 수어, 연초, 달방, 구천	운문	사연, 선암, 안계

지진과 노후화 대비를 위해서 내진대책 마련과 안전관리 시스템 구축운영, 체계화된 안전점검 등 상시 댐안전관리 체계를 운영 중이며, 선제적 예방대책으로 댐 안전성강화 사업을 계획하고 있다. 본 기사 3, 4장에서 K-water의 댐 안전관리 현황 및 댐 안전성 강화사업 추진현황을 세부적으로 소개하였다.

3. 댐 안전관리 현황

(1) 내진대책

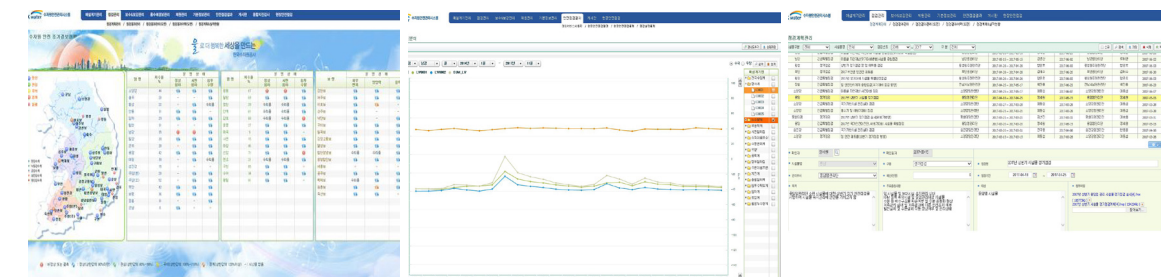
K-water에서는 기존 댐에 대한 내진대책의 일환으로 2000년대 초반부터 지속적으로 댐 시설물의 내진성능평가와 관련 기술연구를 수행하고 있다. 우선 2001년 댐 내진설계기준이 강화됨에 따라 2001년부터 2003년까지 당시 관리중인 24개댐에 대한 내진성능평가를 실시하여 댐 체의 내진안전성을 검토하였으며, 이후 “댐 타입별 내진안전성평가 기법 연구(2004년)”, “3차원 해석기법 적용 내진 취약부 평가 및 보강방안 연구(2008년~2010년)” 등 내진관련 기술을 지속적으로 연구하고 있다.

또한, 2011년에 내진 특등급댐의 내진 동해석 시에 재현주기 1,000년 빈도를 2,400년 빈도로 적용하도록 하고, 필댐의 동해석 기법을 Newmark Sliding Block Analysis를 적용하도록 하는 댐 내진설계기준이 개정됨에 따라 2012년부터 2014년까지 관리중인 32개댐의 내진성능평가를 실시하여 내진안전성을 확인하였다.

한편, 그동안 기존 댐의 댐 본체에 대한 내진성능평가와 관련 기술 연구는 꾸준히 진행되어 왔으나, 취수탑, 권양기, 공도교 등 댐 부대시설물에 대한 내진대책은 미흡한 실정이었다. 이에 따라 댐 부대시설물의 내진성능현황을 전수 조사하여 내진성능평가가 필요한 31개댐 338개 부대시설물에 대한 평가를 2017년 착수하여 2019년 초에 완료 할 계획이며, 평가 결과에 따라 보강이 필요한 시설물은 추진 중인 댐 안전성 강화사업에 포함하여 대책을 마련 할 계획이다.

(2) 안전관리 시스템

K-water에서는 댐 안전에 대한 실시간 감시, 업무효율성 향상 및 신속한 의사결정지원을 위해 안전관리시스템을 개발하여 운영 중에 있다. 안전관리시스템은 약 2,800 여개 계측기기의 실시간 계측현황 및 데이터 분석, 시설물 점검정보 및 유지보수이력자료 등을 제공하는 “수자원안전관리시스템”, 지진계의 실시간 지진관측 정보를 제공하는 “통합지진 감시시스템(K-water Earthquake Monitoring System, KEMS)”, 시설물의 일상점검을 효율적으로 수행하기 위한 “ICT기반현장점검시스템”으로 구성되어 있다.

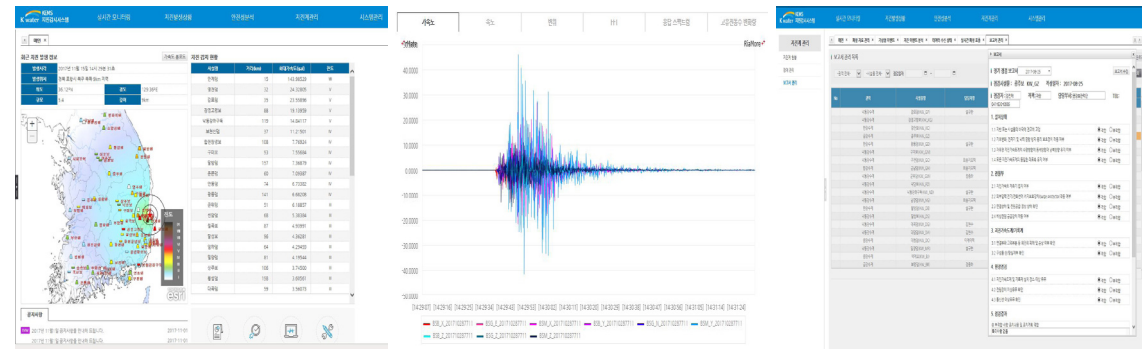


〈그림 3〉 수자원안전관리시스템

- 01. 기후변화 및 노후화에 대비한 기존댐 안전성 강화
- 02. 재해환경 변화에 따른 노후 저수지(Fill Dam) 안전관리
- 03. 노후 댐의 내진 성능평가
- 04. 용수댐 안전성 강화를 위한 비상방류능력 확보방안

먼저, “수자원안전관리시스템”은 현장 계측정보의 실시간 모니터링, 계측값 데이터베이스 구축 및 분석 시스템이며, 시설물의 점검 및 보수·보강 정보 이력도 통합 관리할 수 있도록 개발되었다. 수자원안전관리시스템 내에 탑재되어 있는 조기경보시스템은 실시간 계측정보의 수집여부(결측) 및 이상계측에 대한 사전 예방적인 조치(사전인지 및 점검) 시스템으로써 외부변위, 침투수량 등의 계측값이 관리기준값을 초과 할 경우 본사 및 현장의 시설물 담당자에게 자동으로 경보 문자를 발송하여 댐 안전 위협요소를 신속하게 탐지하고 대응을 할 수 있도록 구축되었다.

“통합지진감시시스템”에서는 댐 및 보에 설치된 지진계에서 관측된 실시간 지진 관측정보를 활용하여 지진계가 설치되지 않은 시설물(지역)에서도 지진의 영향을 파악 할 수 있는 진도(가속도) 분포지도를 제공하고 있으며, 발생한 지진의 특성과 지진이 시설물의 안전성에 미치는 영향을 분석하고 있다. 아울러, 통합지진감시 시스템을 통해 지진 관측 정보를 행정안전부 및 기상청 지진감시시스템과 연계하여 실시간으로 관측정보를 공유하고 있으며, 규모 4.0이상의 지진이 발생 할 경우에는 전사적 리스크관리시스템(K-water Risk Management, KRM)과의 자동 연동을 통해 신속한 위기 대응을 할 수 있다.



(그림 4) 통합지진감시시스템

“ICT기반현장점검시스템”은 시설물의 안전관리에 관한 특별법 등에서 정하는 점검 외에 일상적인 시설물 안전점검 업무를 스마트폰 등을 활용하여 현장에서 바로 수행하고 데이터베이스화 할 수 있도록 구축된 시스템으로써 효율적인 업무수행과 신속한 점검결과 공유가 가능하다.

(3) 안전점검

댐 시설물에 대한 안전점검 체계 강화를 위해 매년 현장 댐안전관리자 교육 및 안전관리 기술워크숍 등 역량강화 교육을 실시하고 있으며, 드론 및 관리탐사 로봇 등 첨단 기술을 점검에 도입하여 안전점검의 정밀도 및 효율성을 향상시키고 있다. 2011년부터는 안전점검 결과의 체계적인 사후 관리, 실무자 기술력 향상 등을 위해 전체 댐을 대상으로 본사현장이 함께 참여하는 댐안전패트롤 제도를 매년 실시 중에 있다. 댐안전패트롤은 시행 전·후 검토보고서를 작성하고, 현장 확인을 통해 보완조치 및 개선이 필요한 사항에 대하여 보수·보강 시행 완료시 까지 이력관리를 실시하고 있다.

(4) 위기대응

홍수, 지진 및 시설물 노후화로 인해 댐에서 발생하는 재난상황의 신속□정확한 대응을 위해 비상대처계획(Emergency Action Plan, EAP), 지진 대응 및 댐사고 대응 매뉴얼 등을 구축하고 있으며, 주기적인 교육과 년 4회 이상의 모의훈련을 통해 재난 대비 및 대응 역량을 강화하고 있다. 특히, 재난상황의 신속한 전파, 실시간 재난 대응 상황관리, 인력 및 물자 관리를 효율적으로 수행하고, 전 직원들이 공유 할 수 있는 전사적 리스크관리시스템을 2009년부터 운영하고 있다.

최근 발생빈도가 증가하고 있는 지진재난에 대한 대응체계를 간단히 소개하면, 국내에서 규모 4.0이상(해역 4.5이상)의 지진이 발생하면 통합지진감시시스템과 전사적 리스크관리시스템을 통해 자동으로 전 직원들에 상황을 전파하고, 매뉴얼에 따라 비상대책본부를 구성하여 시설물 점검 및 복구 등의 전사적인 재난대응을 실시한다. 현장 시설물의 피해여부 점검은 지진 발생 시각으로부터 3시간 이내에 긴급점검(1차), 6시간 이내에 확인점검(2차)을 실시하며 시설물 피해가 없을 경우에는 상황을 종료하게 된다. 만약 시설물 이상 징후가 발견되거나 피해가 발생 할 경우에는 정밀점검과 사고복구를 실시한다. 2016년 경주지진과 2017년 포항지진이 발생했을 때도 이러한 절차에 따라 대응 하였으며, 댐 시설물에 피해는 없는 것으로 확인되었다.

4. 댐 안전성 강화사업

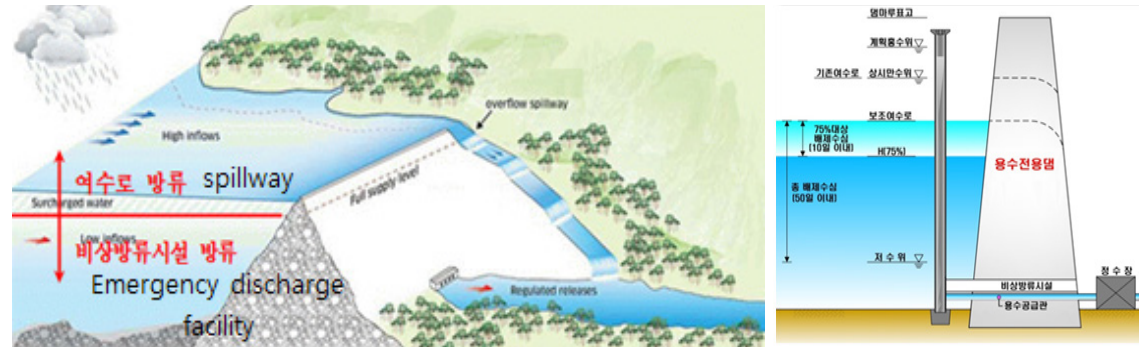
(1) 사업의 필요성

본장에서는 일상적 유지보수가 아닌 장기적인 관점에서 시설물의 안전성 강화 및 성능개선을 위한 대규모 시설개선을 위한 댐 안전성 강화사업을 소개하고자 한다. 댐 안전성 강화사업은 최근 급격히 증가하고 있는 지진발생, 시설물 노후화 등 안전 위협요인 증가에 선제적으로 대응하기 위해 개정·강화된 관련 법령 및 규정에 맞춰 기존 시설물의 안전성을 보다 강화하는 사업이다.

최근 건설된 수자원 시설은 개정 및 강화된 관련 설계기준 및 법령에 맞춰 내진안전성은 충분하게 확보하고 있다. 그러나 14개 용수댐의 안전성을 검토한 결과 댐설계기준 개정(2011년) 이전 준공된 댐 중 일부 댐의 경우 비상방류시설이 미설치 되거나 방류능력이 부족하고, 취수탑이 내진안전성능을 만족하지 못하는 것으로 검토되었다.

비상방류시설이란 지진, 누수 등 외적 요인에 의해 댐 붕괴 징후 발견 시 즉시 저수지에 고여 있는 물을 가능한 빠른 시간 내에 안전하게 배수 하여 댐의 완전 붕괴를 방지하기 위한 시설을 말한다. 댐 설계기준에는 비상방류시설을 댐에 반드시 설치하도록 하고 있다. 용수댐의 경우 13개댐에서 비상방류시설이 없거나 적정규모의 비상방류시설이 설치되지 않았다. 15개의 다목적댐의 경우 비상방류설비의 적정규모에 대해 평가 중에 있다.

- 01. 기후변화 및 노후화에 대비한 기존댐 안전성 강화
- 02. 재해환경 변화에 따른 노후 저수지(Fill Dam) 안전관리
- 03. 노후 댐의 내진 성능평가
- 04. 용수댐 안정성 강화를 위한 비상방류능력 확보방안



〈그림 5〉 비상방류시설 개념도

지진에 대비하기 위한 내진설계는 댐체와 취수탑이 가장 중요하다. 지진 발생 시 '댐체'가 손상될 경우 댐이 붕괴되어 대규모 재난이 발생할 수 있으며, 댐에서 생활·공업용수를 취수하는 시설인 '취수탑'이 지진으로 기능을 상실할 경우 대규모 용수공급 중단사태가 발생할 수 있기 때문이다.

2011년 선진국 수준으로 강화된 「댐 설계기준」을 적용한 내진 안전성 평가결과, K-water가 관리하는 모든 댐의 '댐체'는 내진안전성을 확보한 것으로 판정되었다. 비록 준공된 지 30년이 넘는 댐이라 할지라도, 건설 당시 보수적인 설계기준이 적용되었고 시공과정도 전담 관리자를 통해 엄격하게 관리되었기 때문에 별도의 보강사업 없이도 강화된 내진기준을 충족한 것으로 보고 있다. 하지만, 용수댐의 부대시설인 취수탑의 경우 6개 댐, 8개 취수탑은 내진안전성이 확보되지 않아 보강이 필요한 것으로 검토되었다. 이외에도 댐체 노후화에 따른 댐 차수의 핵심부인 심벽약화, 공동현상에 의한 여수로 웨어의 지속적인 손상 등에 대한 보강이 필요한 것으로 검토되었다.

이와 같은 검토결과를 바탕으로 국토교통부와 K-water는 지진과 노후화에 대비한 댐 안전성강화 사업을 계획하고 추진 중에 있다.



〈그림 6〉 취수탑 전경

(2) 사업개요 및 추진현황

댐 안전성강화 사업은 2단계로 나누어 시행하며, 먼저 14개 용수전용댐을 대상으로 1단계 사업을 추진할 계획이다. 1단계 사업은 지진에 대한 국민들의 불안감이 고조된 상황을 고려하여 취수탑 내진보강을 우선 시행하여 2020년까지 완료하고, 비상방류능력 확보와 댐체 보강도 2024년까지 완료할 계획이다. 다목적댐은 2019년까지 마스터플랜을 수립하고 그 결과에 따라 2단계 사업을 추진할 계획이다.

14개 용수 댐을 대상으로 하는 1단계 사업은 2014년 마스터플랜을 수립하였다. 2016년 재해예방을 위한 사업으로 시급성 및 필요성을 인정받아 2016년 정부 예비타당성조사 면제대상 사업으로 선정되어 사업계획 적정성 검토(KDI)를 거쳐 2017년 국가사업으로 확정되었다. 취수탑 내진보강이 필요한 영천, 안계(2개), 사연, 대암, 연초, 운문댐(2개) 등 6개 댐(8개 취수탑)에 대해서는 2017년 해당 댐 기본계획 변경고시를 완료하였고 2018년 착수 예정이며, 전체 사업은 2024년까지 3,522억 원을 투입하여 완료할 계획이다.

15개 다목적댐을 대상으로 하는 2단계 사업은 2015년부터 연차별 마스터플랜을 수립하고 있으며, 2017년까지 소양강, 대청, 안동, 임하, 주암 5개 댐에 대해 완료하였다. 2019년까지 잔여 10개 댐에 대한 마스터플랜 수립하고 우선순위에 따라 사업을 추진할 계획이다. 댐 안전성 강화사업의 주요내용은 표 3과 같다.

〈표 3〉 댐안전성 강화사업 주요내용

분 야	강화방안	개념도
댐 체	<ul style="list-style-type: none"> ■ 제체안전성 <ul style="list-style-type: none"> - 지반조사(물성치 조사) - 코어 과포화대 보강실시(심벽보강) 	
비 상 방 류	<ul style="list-style-type: none"> ■ 비상방류시설 <ul style="list-style-type: none"> - 비상시 저수지 수위배제 기능 확보를 위한 비상방류 시설 설치 및 배제기능보강 	
취수탑	<ul style="list-style-type: none"> ■ 취수탑 보강 <ul style="list-style-type: none"> - 시설물 내진보강(신설포함) 등 	