댐 관리 정책변화와 안전성 강화사업 추진 현황

김선욱 처장 K-water 유역관리처
김진원 부장 K-water 유역관리처
김도훈 차장 K-water 유역관리처

1. 댐 관리 정책 변화와 법 제 · 개정 동향

물관리 정책의 변화에 따라 댐관리 정책도 기존의 건설 중심에서 효율적 유지관리로 그 패러다임이 변화하고 있다. 국내 인프라시설의 대부분이 1970년대에서 1980년대에 집중 건설되면서 노후화로 인한 문제들에 대한 관심도 같이 증가할 것으로 예상된다.

K-water 관리댐의 경과년수를 살펴보면 평균 27년으로, 이 중 30년 이상되는 댐들도 43%에 이르고 있다. 도로가 12%, 철도가 37%, 하천시설이 18%인 점과 비교시 상대적으로 노후도가 높은 편이다.

표 1.
K-water 관리댐 노후도 현황

구 분	합 계	40년이상	30~39년	20~29년	10~19년	10년이하
합 계	37(100%)	9(24%)	7(19%)	7(19%)	7(19%)	7(19%)
다목적댐	23	3	4	5	4	7
용수전용댐	14	6	3	2	3	–

* 다목적댐에 홍수조절댐 3개(평화, 군남, 한탄강댐) 포함

우리 정부에서도 매우 시기적절하게 관련 법의 제 · 개정을 통해 노후도가 높아지는 국가 인프라시설에 대한 관리강화 계획을 추진하고 있다. 댐 건설과 관리의 근간이 되는 "댐건설 및 주변지역지원에 관한 법률"도 이러한 흐름을 반영하여 댐건설장기계획을 대신하여 댐관리계획을 도입하고 기존 댐시설에 대한 선제적이고 예방적 차원의 관리계획 등을 주요 내용으로 개정 절차가 진행중에 있다. 또한 내년 1월에 시행 예정인 '지속가능한 기반시설 관리 기본법(약칭 기반시설관리법)'과 올해 2월 전면 개정 시행된 '시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법(약칭 시설물안전법)'에서는 기존 시설물의 성능개선에 대한 내용이 잘 반영되어 있는데, "성능개선"이란 기반시설의 주요구조부나 외부 형태를 수선하거나 변경하여 기반시설의 가치를 증가시키고 수명을 연장시키는 활동을 말한다. 이러한 관련법령의 신규 제정과 개정의 추세에 발맞추어 향후 댐 시설의 관리도 장기적인 관점에서 시설별 성능을 평가하고 취약부에 대한 선제적 성능개선과 시설물의 장수명화에 그 초점이 맞추어 질 것이다.

또한 금년 6월에는 범부처 합동으로 향후 2023년까지 4년간 32조원을 투입하는 노후 기반시설의 안전강화 계획을 발표하였다. 종합대책 대상 15종의 기반시설 중 댐은 방재시설로 분류되어 중장기 기본계획과 관리계획을 마련하고 최소 유지관리기준과 성능개선 기준도 마련할 계획도 포함되어 있다. 세부적으로 살펴보면 댐 안전성강화사업을 통해 환경부와 K-water가 그 역할을 하도록 계획이 되어 있으며, 한편 한국농어촌공사 관리의 노후 저수지에 대한 안전진단과 보강계획도 포함되어 있다.

미국과 일본의 경우도 사후관리에서 선제적 투자로 관리방식의 전환이 이루어지고 있다. 미국은 성능의 개선과 관리를 중심으로 한 노후 인프라 투자를 국정 아젠다에 반영하고 관련법을 수정하며 대규모 투자를 진행중에 있다. 2016년 "국가 수자원 인프라 개선법 (WIIN법, Water Infrastruction for Imporvements Nation Act)"을 제정하였으며, "국가 댐 안전계획법 (National Dam Safety Program)"과 "댐 재개발계획법 (Rehabilitation of High Hazard Potential Dams)"에 따라 미국 연방재난관리청(FEMA)의 주도로 붕괴 등 위험도가 높은 댐을 선제적으로 복구, 수리할 수 있도록 보조금 제도를 도입 · 운영중이다.

일본의 경우도 "국토강인화 기본법"을 제정하고 노후 인프라의 장수명화 기본계획을 수립하여 노후 시설물의 정비와 관리기술 개발에 적극적이다. 특히 2030년까지 세계 인프라시설물 유지관리 시장의 30% 점유를 목표로 일본재흥 전략(Japan is Back)과 연계하며 체계적으로 대응하고 있다.

2. 댐 안전성 강화사업의 필요성

ICOLD에서는 댐 붕괴 사례를 분석한 결과 제체 월류, 기초 붕괴, 파이핑의 형태로 발생하며 이상홍수와 지진, 노후화를 그 원인으로 지적하고 있다.

이상홍수에 의한 월류로 인한 붕괴는 예상을 뛰어넘는 많은 비가 내려 댐이 넘치면서 붕괴되는 것을 말하는데 이상홍수에 대비한 치수능력 증대사업은 현재 마무리 단계로 24개 댐중 19개 댐에서 사업이 완료되었으며 현재 5개댐이 진행중에 있다.

지진으로 인한 붕괴는 일시에 무너지는 경우와 균열 · 누수 등 피해부가 점차 확대되면서 붕괴되는 경우로 구분된다. 국내 지진의 발생빈도와 규모도 증가추세에 있는데, 지진관측을 시작한 1978년 이후로 규모 2.0이상의 지진은 1978년 1998년까지는 연평균 약

20회 정도 발생하였으나, 1999년부터 2018년까지는 연평균 약 60회가 발생하는 등 지진 발생 횟수는 증가추세이다. 규모면에서도 2016년 9월 경주지진은 관측 이래 최대규모인 5.8의 지진이 발생하였으며, 2017년 두번째 규모인 규모 5.4의 포항 지진을 통해 알 수 있듯이 우리나라도 지진의 안전지대가 아니며 이에 대한 철저한 대비가 필요하다.

노후화로 인한 붕괴는 건설이후 시간이 지남에 따라 취약부가 발생하고 점차 취약부가 확대되면서 붕괴에 이르는 경우이다. 댐 붕괴는 여타 인프라에 비해 그 피해가 광범위하고 치명적일 수밖에 없는데, 특히 노후화는 외부요인과 무관하게 발생한다는 점에서 파급효과는 더 클 수 밖에 없는데, 앞서 언급된 2013년 경주 산대저수지의 붕괴는 자연재해와 무관하게 노후화의 원인으로 붕괴가 발생한 첫 사례로 손꼽힌다. 규모가 작은 저수지라 인명피해는 없었지만 이 산대 저수지 붕괴사고가 주는 메시지는 무겁게 다가온다. 이수와 치수의 대부분을 전담하고 있는 대형 댐들에서 노후화에 따른 급작스런 사고가 발생한다면 그 피해와 충격은 사회적으로나 경제적으로 매우 클 것이기 때문이다.

댐의 붕괴와 같은 재난도 지속되고 있는데, 2017년 미국 캘리포니아 오로빌 댐의 여수로 붕괴사고로 인해 다시 한번 댐 안전에 대한 중요성이 부각되었다. 19만명이 긴급 대피하는 재난 상황이었지만 다행스럽게도 인명 피해는 없었다. 5억 달러를 투입하여 현재는 시설보강이 완료된 상태이다.

그림 1.
美, 캘리포니아 오로빌댐 사고현황 2017

최근 라오스 세피안-세남노이 댐과 브라질 브루마지뉴의 댐이 붕괴되며 하류 주민들의 인명 사상과 재산 손실이 크게 발생한 사례도 있다. 비단 국외 뿐 아니라 우리나라 소규모 저수지의 경우, 2000년 이후 지속적으로 붕괴사고가 발생하고 있다.

그림 2.
댐 붕괴사고

라오스 세피안-세남노이 부댐 붕괴	경주 산대저수지 제체붕괴('13년)	보성 모원저수지 제체붕괴('18년)

표 2.
국내 저수지 붕괴 현황

구 분	국내 저수지 붕괴 현황	개소
2002년	장현지(강릉), 동막지(강릉)	2
2006년	송호지(원주)	1
2007년	사곡지(청도) 춘정지(보성) 대사지(고흥)	3
2010년	양곡지(익산), 명곡지(완주)	2
2011년	척곡지(정읍)	1
2012년	두야지(태안) 어은지(남원) 죽림지(고창), 관춘지(해남)	4
2013년	옥촌지(여주), 대관지(이천), 산대지(경주), 조산지(고창), 지소지(장수)	5
2014년	내덕지(기장), 괴연지(영천), 부미골(영덕), 구천지(청송), 화본지(군위)	5
2018년	모원(보성)	1

3. 댐 안전성 강화사업 추진현황

2000년 이후 이상강우와 지진과 같은 재난 발생에 대비한 댐 안전을 보강하기 위한 설계기준이 수차례 개정되어 왔다. 2001년 가능최대강수량을 대비한 설계기준의 변경과 2011년의 비상방류시설 설치와 취수탑 등 부대시설에 대한 내진설계가 그 대표적이 사례이며 특히 올해 1월에는 경주, 포항지진 등 최근 발생한 강진을 반영하여 내진설계 재현주기 상향 등 내진설계 기준이 강화되었다.

표 3.
댐 설계기준 주요개정 이력

구 분	주 요 내 용
2001년	· 이상홍수 대비 – 가능최대강수량(PMP) 고려 · 내진설계 도입
2005년	· 이상홍수대응력 강화 – 가능최대홍수량(PMF) 및 필댐 여유고 산정방법
2011년	· 비상상황 대응력 강화 – 비상방류설비 설치의무 · 내진설계 추가 – 부대시설물(수문, 관리교, 취수탑 등)
2019년	· 댐 내진설계기준 강화 – 재현주기 상향 및 정 · 동역학적 해석기법 기본 채택

K-water는 댐 설계기준 변경에 따라 2013년부터 노후도가 상대적으로 높은 용수댐을 중심으로 성능개선을 위한 댐 안전성강화사업 1단계 사업계획을 수립하고 관련 절차를 진행하여 왔으며, 지난해 운문댐을 필두로 본격적으로 안전성강화사업의 공사에 착수하며 발 빠르게 대응하고 있다. 세부 사업의 내용과 추진사항은 다음과 같다.

댐 안전성 강화사업은 우선 상대적으로 노후도가 높은 용수전용 14개댐을 대상으로 1단계 사업을 추진하고 있다. 2014년 마스터플랜을 수립하고 2016년 재해예방을 위한 사업으로 시급성 및 필요성을 인정받아 정부 예비타당성조사 면제대상 사업으로 선정되어 사업계획 적정성 검토(KDI)를 거쳐 2017년 사업이 확정되었다. 1단계 사업은 지진에 대한 국민들의 불안감이 고조된 상황을 고려하여 취수탑 내진보강을 우선적으로 완료하고, 비상방류능력 확보와 댐체 보강도 2024년까지 완료할 계획이다. 최근 건설된 댐들보다는 준공 20년 이상 되는 댐들에 대한 사업이 집중되어 있다.

표 4.
댐 안전성 강화사업
추진 현황

구 분	1단계(14개 용수댐)	2단계(15개 다목적댐)
추 진 경 위	· ('14.12) MP 수립 · ('15. 8) 수도기본정비계획(2025) 반영 · ('17. 8) KDI검토 및 총사업비 확정 · ('17~'20) 14개댐 기본계획(변경) 고시 · ('18~'24) 댐별 사업추진	· ('14.12) MP수립 국고반영 등 사업협의 · ('15~'19) 15개댐 통합 MP수립 예정 · ('20~'21) KDI검토 및 총사업비 확정 및 기본계획 변경 등 절차 추진 · ('22~'27) 댐별 사업추진

15개 다목적댐을 대상으로 하는 2단계 사업은 2015년부터 2019년까지 마스터플랜을 수립하였고, 2020년 사업계획 적성성 평가를 거쳐 2027년까지 댐별로 단계적으로 사업을 추진할 계획이다.

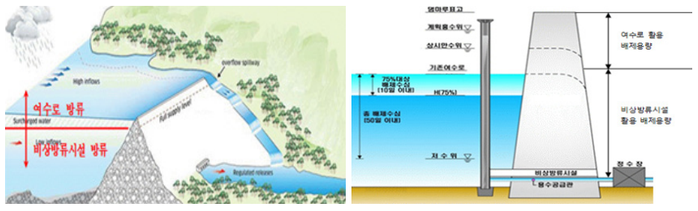
그림 3.
운문댐 안전성강화사업
조감도

본격적으로 공사에 착수한 1단계 댐 안전성강화사업의 주요 내용은 아래와 같다.

(1) 비상방류시설 확보

댐의 비상방류시설(Outlet works)은 여수로와는 별도로 여수로 웨어마루 이하의 저수용량을 배제시키는 시설물로 저수지 초기 담수시 담수 속도조절, 운영 또는 유지관리 중 저수지를 비워야 할 경우 등 안전을 위해 반드시 설치되어야 하는 시설물이며, 용도에 맞는 기능이 발휘될 수 있도록 충분한 방류능력을 가지고 있어야 한다. 2011년 설계기준 개정시 댐에 비상방류시설을 설치하도록 의무규정이 신설되었다.

그림 4.
비상방류시설 개념도



K-water 용수전용댐 9개소에서 비상방류시설이 없거나 개정 설계기준을 만족하지 못하였다. 이에 전용 방류관로 또는 방류밸브 시설이 없거나 있더라도 기존 시설의 수위배제능력이 기준을 만족하지 못하는 댐에 대해서는 비상방류능력 확보를 위해 '댐 비상방류시설 규모산정기준'에 따라 적정한 시설규모를 산정하고 시설개선 또는 신설계획을 수립하였다. 운영중인 댐에 비상방류를 위한 취수탑과 터널공사를 시행하기 때문에 가물막이 공사를 수반하게 된다. 가물막이 공법은 고수심부의 토사성토 방식의 가물막이 시공시 발생할 수 있는 오탁문제, 공정관리, 시공의 난이도를 고려하여 벽강관식 가물막이 등 신공법이 주로 적용되고 있다.

표 5.
비상방류시설 규모산정 기준
(2013, 한국수자원학회)

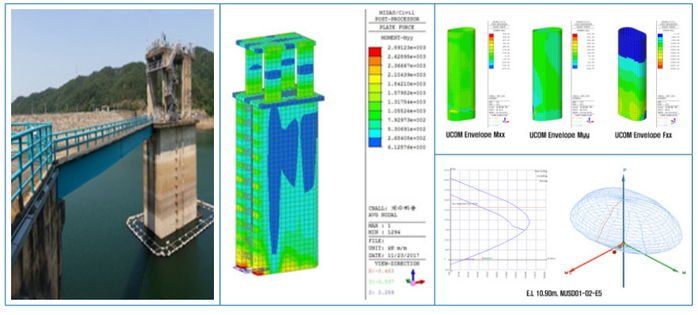
구 분		주요내용
저수지 수위배제기간		· 배제대상수심 상위 75%까지 : 7~10일 이내 · 총 배제대상수심 : 40~50일 이내
배제 기간 산정 기준	수위배제 대상범위	· 여수로 웨어 마루표고 ~ 저수위
	저수지 유입량	· 홍수기(6~9월) 평균 유입량
	시설계획	· 방류는 발전방류시설을 포함하여 모든 방류 가능시설을 최대한 이용 · 비상방류시설은 사수위보다 높게 설치하되 저수위까지 저수량을 배제할 수 있는 높이에 설치
	기 타	· 하류하천의 계획홍수위를 초과하지 않도록 방류 · 케비테이션 등 방류시설의 수리학적 안정성을 위하여 관로 최대유속 등 제한

(2) 내진보강

2001년 댐 설계기준 개정시 내진설계가 최초 도입된 이래 2011년 부대시설물(취수탑, 수문, 관리교 등)에 대한 내진설계가 추가되었고, 2019년 내진설계 기준이 추가로 강화되었다. 재현주기의 상향(다목적댐 1,000년→2,400년)과 해석방법에서 그 기준이 명확해지고 강화되었다.

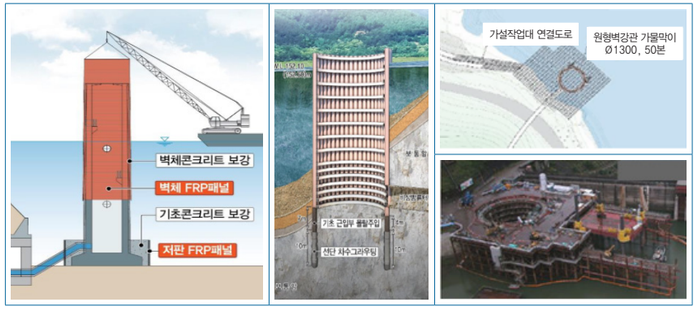
취수탑(관리교 포함)에 대한 내진성능평가를 통해 내진 안전성을 미확보한 8개 취수탑에 대해서는 단면보강 또는 신설하고, 취수밸브 등 노후시설물을 개선하도록 계획하였다.

그림 5.
취수탑 내진성능평가



비상방류시설을 신설해야하는 경우는 내진설계 기준을 만족하는 취수탑을 설계하였으며, 취수탑 내진보강만 필요한 경우는 취수탑 하단부의 단면을 보강을 하는 방식으로 진행되며 수중공사 계획을 수립하였다. 또한 비상방류 기능을 수행할 경우 중요한 역할을 하는 취수탑내 수문에 대해서도 노후도에 따라 보수를 병행하게 된다.

그림 6.
취수탑 내진보강 및 신설계획

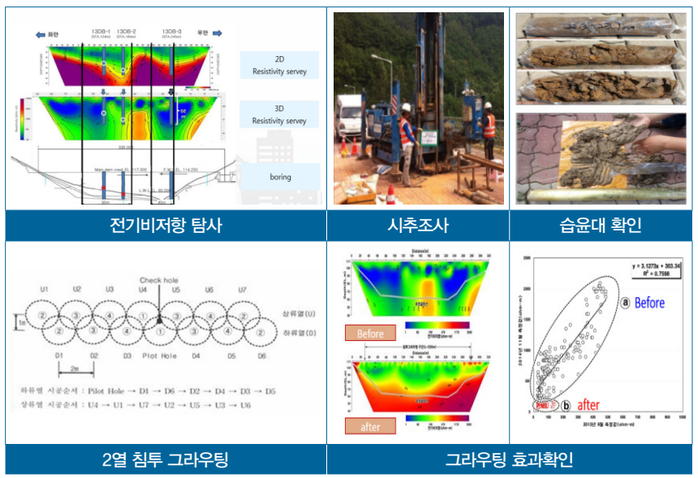


2011년 선진국 수준으로 강화된 댐 설계기준을 적용한 내진 안전성 평가결과 K-water 관리댐의 모든 댐의 댐체는 내진 안전성을 확보한 것으로 판정되었으나 금년 1월에 강화된 내진설계 기준에도 적합한지 내진안전성 검토를 추가적으로 실시하고 있다. 또한 부속시설물에 대한 내진안전성 평가도 병행 실시하여 필요시 보강할 계획이다.

(3) 댐 심벽보강

필댐에서의 코어존의 역할은 댐 기능의 핵심인데, 지반탐사 결과 이상이 확인된 곳은 시추조사를 시행하였다. 그 결과 일부 댐 코어부에서 습윤대가 확인되었으며 이들 댐에 대해서는 침투 그라우팅을 통해 코어존의 기능을 정상화 시키고 있다. 그라우팅 후 코어존의 차수능력 향상 여부는 전기비저항 탐사와 투수계수 시험을 통해 전 · 후 값을 비교분석하여 그 효과를 검증하고 있다. 달방댐과 연초댐의 경우 시공이 완료된 상태로 심벽부에 대한 2열 주열식 시멘트 그라우팅을 실시하였으며 전반적으로 차수성능이 정상화되었음을 확인하였다.

그림 7.
댐 심벽보강

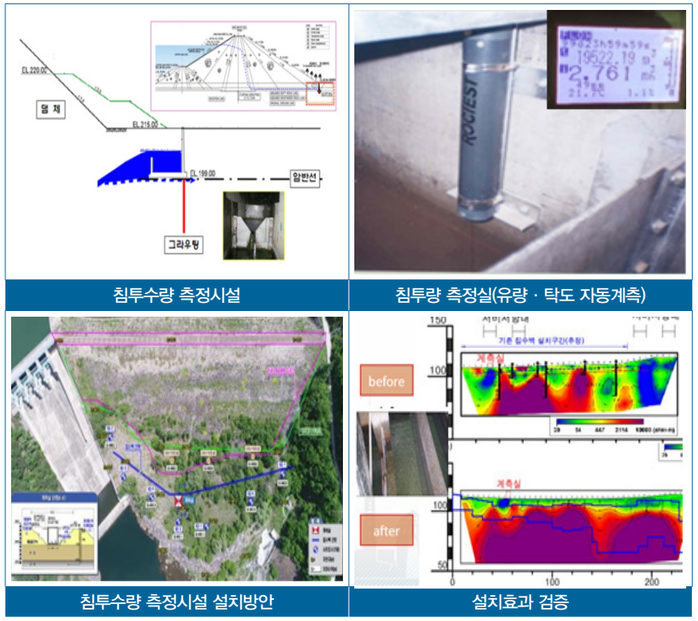


(4) 침투수량 측정시설

침투수량 측정시설은 댐체의 안전감시를 위한 주요 계측기로, 댐 설계기준에 따라 필수적으로 설치하여야 하나, 일부 댐의 경우 미설치된 상태이거나 하류 선단의 지하수위계를 활용하여 대체 계측중이다. 이에 댐의 안전감시 능력 강화를 위해 침투수량 측정시설의 신설 및 보강방안을 수립하여 추진하고 있다. 침투수량 측정시설이 미설치된 6개 용수전용댐(광동, 달방, 대암, 선암, 연초, 구천댐)은 '22년까지 설치를 완료 할 계획이다.

침투수량 측정시설이 설치되어 있지만 기능이 저하된 3개 댐(용담, 부안, 평림댐)에 대해서는 계측 정상화 방안을 수립하고 '21년까지 정상계측 될 수 있도록 보강할 계획이다.

그림 8.
침투수량 측정시설



(5) 사면보강

댐체의 외부표면을 적정 수준으로 관리해야만 침투와 관련된 이상징후 여부에 대한 감시가 가능하며, 댐 안전 유지를 위한 기술력 대처 또한 가능하다. 정밀안전진단 등 점검시 상세외관조사를 통해 댐 정상부 및 사면에 대해 관리하고 있는데, 4개 댐(광동, 달방, 수어, 사연댐)에서 사면의 안전성에는 문제가 없으나 피복석의 풍화, 국부적 침하, 점검로 부재에 따른 유지관리에 어려움 등이 지적되어 댐별 특성에 맞는 사면보강 기본계획을 2018년 수립하였으며 댐별 안전성강화 사업의 일정에 맞추어 2024년까지 완료할 계획이다. 댐이 가지는 역사성이나 주변경관과의 조화, 경제적 측면과 향후 유지관리의 용이성 등을 종합적으로 고려하여 계획을 수립하였고 순차적으로 공사를 시행할 예정이다.