

# 우리의 댐, 지진에 안전한가?



**변 두균 |**

K-water 수자원사업본부장  
dgbyun55@kwater.or.kr



**이 규탁 |**

K-water 댐·유역관리처장  
ktlee@kwater.or.kr



**하 익수 |**

K-water 연구원 댐안전연구소 책임연구원  
geodoc@kwater.or.kr



**이 종욱 |**

K-water 연구원 댐안전연구소 선임연구원  
geoljw@kwater.or.kr

## I. 서론

댐은 홍수방어와 물공급이라는 기능을 가진 현대 한국 사회를 이룩한 필수 불가결한 사회기반시설이다. 물관련 업무종사자 입장에서 보면, 지난 반세기

동안 우리나라의 경제발전은 곧 수자원개발의 역사이며, 그 일등공신은 바로 댐인 것이다. 이러한 댐이 최근 들어 갖가지 안전 위협요인의 도전을 받고 있다. 지진, 기후변화 또 댐의 노후화가 그것이다.

누구나 최근의 대지진을 보면서 한번쯤은 과연 우리나라의 댐들은 지진에 안전할까라는 의문을 틀림없이 가졌을 것이다. 그리고 한번쯤은 과거 전 국민이 수공(水攻)의 위협에 시달려야 했던 북한강 임남댐의 경험을 떠올리며, 지진에 의해 댐이 무너지면 그 피해는 지진과는 전혀 상관없는 수백 km 떨어진 지역까지 미칠 지도 모른다는 생각에 잠시나마 몸서리를 쳤을 지도 모른다. 이렇듯 지진은 때와 장소를 가리지 않고 불과 몇 분 만에 사회 기반시설을 한꺼번에 파괴하기에 그 공포는 다른 어떤 자연재해에 비할 것이 못된다.

본 글은 이러한 지진의 위협에 대한 우리 댐의 안전 현황을 알아서 물관련 업무종사자 뿐만 아니

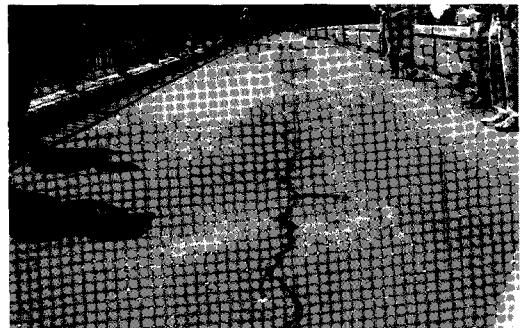


그림 1. 지진에 의한 댐 정상부 균열 (일본 이시후치댐, 2008)

라 일반 국민들께서도 가질 수 있는 궁금증을 해소하기 위한 정보를 제공하기 위함이다.

## II. 본론

우리나라가 과연 지진 안전지대인가라는 의문은 지속적으로 제기되고 있다. 안전하다는 견해는, 지진이 연평균 20회 이상 꾸준히 발생하고 있으나 대부분 미진이고, 규모 5.0 이상은 20세기 이후에 단 5회에 불과하며, 전 세계적으로 하루에만 8,000회 이상 지진이 발생하고 있음을 견줄 때, 우리나라는 회수로나 규모로나 상대적 인 지진 안전지대라는 것이다. 일면 맞는 말이다. 그러나 최근 한반도는 지진의 빈도가 증가하는 추세이며, 좀 더 오랜 과거 자료 분석 결과 200년~1,000년 간격으로 규모 6.0이상의 강진이 발생해오고 있다고 한다. 또한 댐 설계에 적용하는 홍수량도 재현빈도 1,000년 이상인 PMF를 적용하고 있고, 댐 붕괴가 가져올 파괴적인 결과를 감안 할 때, 기왕의 대규모 지진이

발생한 이력이 있었으므로 반드시 이에 대비해야 한다는 것이 옳다고 봐야 할 것이다.

그렇다면 우리나라 댐에는 지진이 어떻게 설계에 반영되어 있는가? 우리나라에 댐 내진설계기준이 도입된 것은 1993년이였다. 그 이전에는 외국의 내진 기준을 차용하여 건설되었다. 1993년 도입된 설계 지진 가속도는 특등급<sup>1)</sup>의 경우 0.12g<sup>2)</sup>, I 등급은 0.08g이었다. 이것이 2001년 특등급은 0.154g, I 등급은 0.11g로 상향, 강화되어 현재까지 적용되어오고 있다. 0.154g는 규모상으로 약 6.3에 해당된다. 이는 일본의 강진대 지역에서 균일형 필담에 적용되는 것과 같은 것임을 감안할 때, 상당히 강화된 기준이라고 할 수 있다. 외국의 내진설계기준을 살펴보면, 일본은 앞서 잠깐 언급한 것처럼 댐의 형식별, 지역별로 구분된 내진설계기준을, 중국의 경우 전국을 7개 지역으로 나누어 다른 기준을 적용하고 있다.

그러면 우리나라의 댐은 실제 어느 정도 규모의 지진에 견딜 수가 있을까? 이를 위해 K-water 연구원에서 『기존댐 내진성능평가』를 시행한 바 있다. 이는 1997년에 발생한 고베지진(규모 7.2, 사망

표 1. 2010년 우리나라 지진현황(3월10일 현재)

구분	1월(3회)				2월(7회)				3월(2회)			
날 짜	1/5	1/10	1/23	2/1	2/1	2/3	2/9	2/16	2/21	2/22	3/1	3/9
위 치	당진	평양(북)	상주	서귀포	제주	서귀포	시흥	울산	천안	서귀포	안악(북)	태안
규모(M)	2.6	2.1	2.1	2.3	2.4	2.6	3.0	3.2	2.3	3.0	2.2	3.2

※ 2월 9일 경기 시흥지진(규모 3.0)은 '78년 계기 관측 이래 서울인근 최대 규모

표 2. 우리나라 댐 내진 설계기준

구분	위험도 계수 (A)	지진구역 계수 (B)	가속도 계수 (A x B)	해방 댐
특등급	1.4(재현주기 1000년)	I 구역 = 0.11 (II 구역의) II 구역 = 0.07 (강원북부, 전남남서, 제주도)	0.154g	13개 다목적댐, 운문댐
I 등급	1.0(재현주기 500년)		0.11g	11개 용수댐
			0.098g	소양강·평화·형성
			0.07g	광동·달방

- 1) 특등급 : 사회, 안보, 경제적 측면에서 특별히 발주처가 지정한 댐  
법에 의하여 다목적댐으로 분류한 댐  
높이가 45m 이상 & 총저수량이 50백만m<sup>3</sup> 이상인 댐

I 등급 : 내진특등급댐 이외의 모든 댐 (K-water 관리 댐 기준 운문댐 제외한 13개 용수댐)

- 2) 갈(gal) : 내진설계에 적용하는 지진계수(예 : 0.154g)는 지표면의 물체가 받고 있는 1g(=1cm/s<sup>2</sup>)에 대한 퍼센트 개념으로 지진계수가 0.154g라는 말은 1g의 중력가속도에 15.4%의 활중을 적용했다는 의미임

6,200명) 이후 강화된 내진설계기준에 따라 당시 K-water에서 관리 중인 27개 전체 다목적댐 및 용수댐에 대해 내진성능평가를 시행한 것이다. 평가방법은 실제 지진파를 이용하여 정밀한 동력학적 지진응답해석을 통해 시행하였으며, 이때 적용된 지진파는 지진공학회의 추천을 받은 일본의 하찌노헤지진파(장주기, 사력)와 오푸나토지진파(단주기, 콘크리트)를 이용하였다. 안전성 판단기준은 사력댐 및 CFRD의 경우 댐마루 연직방향 및 횡방향의 최대변위가 제체 높이의 1% 이내이고, 콘크리트댐

은 제체에 발생한 압축응력과 인장응력이 각각 허용 압축응력 및 허용 인장응력 이내일 때 안전하다고 판단했다(댐설계기준, 2001, 건설교통부). 평가결과 27개 댐 모두 강화된 내진기준에서 안전하다고 판정되었다. 또한 댐 설계시 적용된 지진 규모는 6.0정도이지만, 성능평가 결과 이보다 큰 규모의 지진에도 견딜 수 있을 것으로 추정된다. 실제로 우리보다 지진이 잦고 규모가 큰 일본도 규모 6.0~6.4를 내진설계 기준으로 하고 있는데, 2008년 이와테현과 미야기현에서 규모 7.2의 강진 이후

표 3. 일본의 댐 내진 설계기준

구 분	강진대지역	중진대지역	약진대지역
중력식콘크리트댐	0.12g	0.12g	0.10g
아치식콘크리트댐	0.24g	0.24g	0.20g
필 댐	균일형 필댐	0.15g	0.12g
	그외	0.15g	0.10g

표 4. 기존댐 내진성능 평가 결과

□ 다목적댐

댐 명	형 식	댐설계시 반영 지진계수(g)	댐설계기준 지진계수(g)	내진성능 평가시 입력 지진계수(g)	평가결과		만족도
					정상부 허용치	최대 발생변위량 계산치	
안동댐	RF	0.05	0.154	0.154	83.0cm	13.2cm	O.K
임하댐	RF	0.10	0.154	0.154	73.0cm	13.6cm	O.K
대청댐	CG&RF	0.05	0.154	0.154	72.0cm	19.0cm	O.K
주암(본)	RF	0.10	0.154	0.154	58.0cm	4.00cm	O.K
주암(조)	RF	0.10	0.154	0.154	100cm	2.70cm	O.K
부안댐	CFR	0.10	0.154	0.154	50.0cm	9.90cm	O.K
남강댐	CFRD	0.10	0.154	0.154	34.0cm	2.69cm	O.K
용담댐	CFRD	0.12	0.154	0.154	70.0cm	17.4cm	O.K
보령댐	RF	0.10	0.154	0.154	50.0cm	23.7cm	O.K
밀양댐	CFRD	0.10	0.154	0.154	89.0cm	22.7cm	O.K
황성댐	RF	0.10	0.098	0.098	48.5cm	6.05cm	O.K
장흥댐	CFRD	0.08	0.154	0.154	53.0cm	11.5cm	O.K

댐 명	형 식	댐설계시 반영 지진계수(g)	댐설계기준 지진계수(g)	내진성능 평가시 입력 지진계수(g)	평가결과				만족도
					압축응력(kg/cm <sup>2</sup> )		인장응력(kg/cm <sup>2</sup> )		
					허용치	계산치	허용치	계산치	
충주댐	CG	0.05	0.154	0.154	162	27.8	47.8	7.69	O.K
합천댐	CG	0.10	0.154	0.154	162	29.6	47.8	10.3	O.K
섬진강댐	CG	0.05	0.154	0.154	162	20.7	47.8	4.76	O.K

주) RF : 사력댐, CG : 콘크리트중력식댐, ED : 흙댐, CFRD : 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐

주) RF, ED, CFRD 안전성판단은 지진응답해석 결과 댐 정상부 최대변위의 댐높이의 1%이하, CG는 지진응답해석 결과 최대발생응력과 허용응력을 상호 비교

□ 용수전용댐

댐명	형식	댐설계시 반영 지진계수(g)	01년 댐설계기준 지진계수(g)	01~02년 내진성능 평가시 입력 지진계수(g)	평가결과		만족도
					정상부 최대 허용치	최대 발생변위량 계산치(최대)	
광동댐	RF	0.05	0.098	0.098	39.0cm	16.9cm	O,K
달방댐	RF	0.05	0.098	0.098	55.0cm	26.8cm	O,K
선암댐	ED	-	0.154	0.154	22.0cm	7.85cm	O,K
사암댐	RF	0.06	0.154	0.154	46.0cm	19.5cm	O,K
대암댐	RF	-	0.154	0.154	27.0cm	8.93cm	O,K
안계댐	ED	-	0.154	0.154	32.5cm	15.2cm	O,K
영천댐	RF	0.05	0.154	0.154	42.0cm	17.3cm	O,K
운문댐	RF	0.05	0.154	0.154	55.0cm	25.3cm	O,K
연초댐	RF	-	0.154	0.154	24.5cm	8.07cm	O,K
구천댐	RF	-	0.154	0.154	56.0cm	22.3cm	O,K
수어댐	RF	-	0.154	0.154	67.0cm	26.1cm	O,K
대곡댐	CFRD	0.12	0.154	0.154	52.0cm	19.4cm	O,K

이 지역 134개 댐의 점검결과 특별한 손상이 없었던 것이 그 증거라 할 수 있겠다.

현재 다목적댐을 비롯한 대형댐에는 지진 발생시 지진응답 반응계측과 안전평가를 위해 지진계를 설치, 365일 24시간 실시간 모니터링을 하고 있다.

또한 지진감시시스템을 통해 미세한 규모의 지진까지도 규모와 피해여부를 판단해 최단시간 내에 대처가 가능하도록 대응체계를 갖추고 있다. 좀 더 자세히 살펴보면, 고베 지진 이후 지진계 설치가 의무화됨에 따라 K-water에서는 30개 전 댐에 지진계

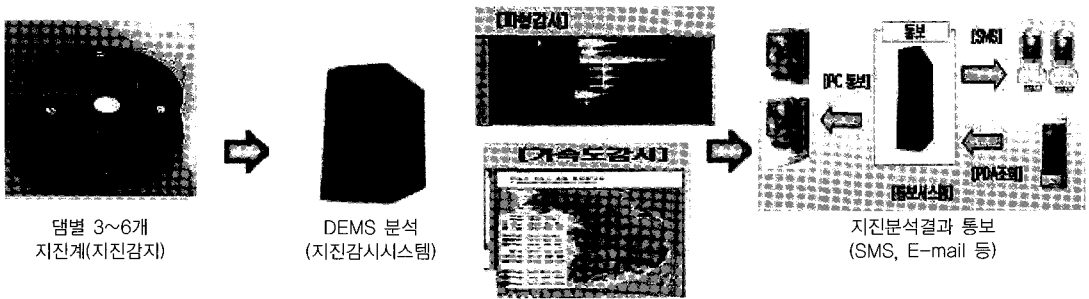


그림 2. 댐 지진감시시스템(DEMS) 모식도

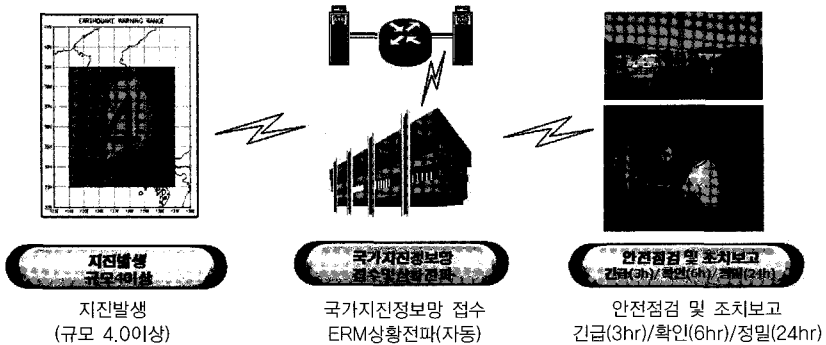


그림 3. 지진 대응체계

설치를 완료하였으며, 또 각 댐 지진계를 원격으로 통합관리하고 지진발생시 댐의 피해상황을 판단하여 신속하게 대응할 수 있도록 댐 지진감시시스템(DEMS, Dam Earthquake Monitoring System)을 구축하여 실시간으로 감시중이다. 또한 지진(또는 다른 원인)에 의해 댐에 변위가 생겼을 경우 이를 측정하여 전송하는 시설을 단계적으로 구축하고 있으며 2010년에 전체가 완료될 예정이다.

지진이 발생했을 경우 대응체계를 살펴보면, 규모 4.0 이상의 지진이 발생하면 전사적위기관리시스템(ERM)에 의해 휴대폰 문자메세지를 통해 업무관련자에게 이 사실을 자동으로 전파하게 된다. 이때 댐 현장에서는 지진발생 3시간 이내에 긴급점검(1차 점검)을 실시하고, 6시간 이내에는 2차로 확인 점검을 시행한다. 확인 점검에서 피해 사실이 확인되어 정밀점검이 필요하다고 판단되는 경우 24시간 이내에 3차 점검을 시행하는 체계로 구성되어 있다. 그러나 우리나라 댐은 아직까지 지진에 의한 가시적인 피해를 경험해 본적이 없기 때문에 실제 강진이 내습하였을 경우 어떤 피해가 발생할지 아무도 모른다. 따라서 최근에는 가장 현실에 가까운 상황을 설정코자 지진의 규모별, 댐의 유형별 피해 규모 및 피해 패턴에 관한 연구를 진행 중이다.

### III. 결론

칠레를 강타한 지진(규모 8.8)은 아이티 지진(규모

7.0)에 비하여 위력이 1,000배나 되지만 인명 피해 규모는 1,000분의 1이라고 한다. 물론 제반 조건이 다르긴 하지만 이렇게 현격한 피해 차이를 보이는 것은 언론에서도 집중 조명하듯이 칠레의 지진대비 태세 때문일 것이다. 칠레에서는 1년에 200만번 이상의 크고 작은 지진이 발생하고 있어 내진설계가 보편화되어 있을 뿐만 아니라 대응체계도 비교적 잘 갖추어져 있다고 한다. 일본도 마찬가지다. 지진과 풍수에 관한한 세계에서 가장 방재체계가 앞서 있는 나라이며, 그럴 수밖에 없는 기후적, 지형·지질적 조건에 놓여 있다. 하지만 앞서 말한 바와 같이 우리나라는 지진의 빈도가 낮아 경험을 통한 안전체계를 갖추기에 적절한 형편은 아니다. 그럼에도 불구하고 우리는 이미 현재 관리 중인 다목적댐을 비롯한 대형 댐들이 강화된 내진설계 기준을 만족하도록 안전성을 갖추게 하였고, 또 체계적으로 잘 관리하고 있다. 구조적으로는 현실적으로 발생할 가능성이 있는 모든 지진에 대비하고 있다는 말이다. 하지만 아이티와 칠레 사례에서, 지진 재난이라는 것은 피할 수 없으며 충분히 대비하였을 경우에만 재앙수준의 피해를 막을 수 있다는 교훈을 확인할 수 있었다. 불필요한 걱정과 근심으로 공포에 휩싸여서도 안 되겠지만, 자연재해로 인한 피해를 예방할 수 있도록 우리 물관련 업무종사자들 뿐만 아니라 모든 국민들이 빈틈없는 준비를 위해 노력해야 할 것이다. ☞

### 참고문헌

1. K-water 연구원(2003) 댐시설물의 내진성능 및 안전도평가 연구
2. K-water(2009) 댐안전증장기계획
3. 수자원학회(2005) 댐설계기준
4. K-water 연구원(2006) 댐 실시간 지진감시시스템 개발 연구