

의사결정을 위한 콘크리트댐 위험요인 분석

Risk Factor Analysis of Concrete Dam for Decision Making

임 정 열* 장 봉 석*

Lim, Jeong Yeul Jang, Bong Seok

ABSTRACT

For various historical and technical reasons, the safety of dams has been controlled by an engineering standards-based approach, which has been developed over many years, initially for the design of new dams, but increasingly applied over the past few decades to assess the safety of existing dams. And some countries were asked for risk assessment on existing dam, which included structural, hydraulic safety of dam and social risk. Whereas other countries have developed and adapted as an additional tool to assist in decision-making for dam safety management. Dam risk analysis should need the reliability data of dam failures, the past constructed history and management records of existing dam. It is thought with risk analysis method of dams for structural safety management in domestic that suitable to use consider an event tree, fault tree and conditioning indexes method.

1. 서론

댐의 유지관리는 댐시설물의 구조적·수리수문학적 안전을 확보하기 위하여 점검, 진단, 유지보수를 통한 시설관리와 홍수조절, 용수공급, 발전 등 댐의 목적을 얻을 수 있도록 하는 관측, 제어 및 조작 등 기능관리로 구분된다. 우리나라의 경우 전체 댐 수의 약 18%가 1950년 이전에 축조된 댐으로 노후화에 따른 댐 손상 및 파괴 위험성이 높아지고 있는 실정이고, 또한 세계 각국에서 댐들의 사고가 근래에도 빈번하게 발생하고 있어 댐에 대한 안전관리에 대한 보다 깊은 관심을 갖게 되었다. 특히 댐 하류부에 인구밀집 지역이 분포되어 있거나, 중요한 국가시설물이 위치하고 있는 경우에는 댐 및 제방에 대한 위험도 해석기법의 개발이 절실히 요구되고 있다.

댐은 다른 시설물들과는 달리 대홍수 또는 큰 지진 등에 의하여 뜻하지 않게 붕괴가 될 경우에는 댐 하류 주민의 생명과 재산에 막대한 피해를 초래할 수 있으므로 어떠한 경우에도 안전이 확보되어야 한다.

댐 안전을 확보하기 위해서는 댐 시설물에 대한 체계적이고 과학적인 안전점검 및 진단이 중요하며, 필요시에는 그에 상응하는 보수·보강이 이루어져야 한다. 또한, 합리적이고 체계적인 의사결정을 위해서 최근 이상기후, 지진발생, 댐 노후화 등과 같은 댐 및 주변 환경에 대한 위험도 특성을 분석하는 기법에 대한 연구가 미국을 비롯한 유럽 등 선진국에서 실시되고 있는 실정이다.

*정회원, 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원

2. 댐 위험도 분석 방법

2.1 개요

그림 1에서 보는 것처럼 세계 주요 국가별 댐은 흙댐이 대부분 차이하고 있으나, 콘크리트로 축조된 중력식 콘크리트댐, 아치댐도 상당수 포함하고 있다. 표 1은 댐 타입별 댐 붕괴수를 나타내고 있으며, 전체 붕괴 수를 볼 때 콘크리트댐의 붕괴수가 약 20%정도 차지하고 있다.

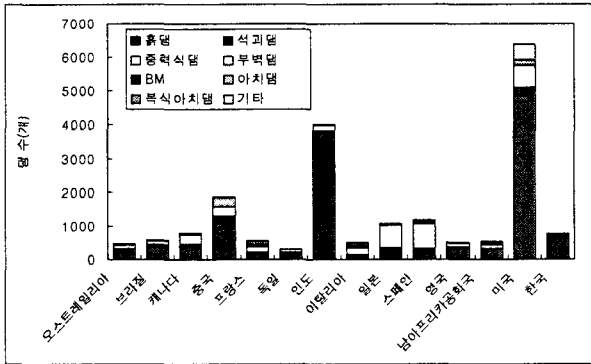


그림 1 주요 국가별 댐별 개수(개)

표 2 댐 타입별 댐 붕괴 수

댐 타입	개수
콘크리트 무벽댐	2
석조 무벽댐	3
사력/중력혼합식	1
다중아치댐	3
콘크리트 중력댐	20
석조 중력댐	25
흙/중력혼합식	4
콘크리트 아치댐	6
합계	64/318(전체)

2.2 위험도 분석 방법

이러한 모든 안전에 대한 개념의 변화로 인하여 구조물에 대한 위험도를 분석하기 시작하였으며, 이러한 분석 방법은 최근 들어 다양한 확률적인 측면으로 접근하고 있으나, 보편적으로 시행되고 있는 위험도 분석 방법을 가장 많이 적용하고 있다. 또한, 댐 붕괴시 대처 상황보다는 결과를 예측하여 위험도를 분석하는 피해영향 위험도 분석(Consequence Risk Analysis)과 위험도 요소를 정량화하여 평가할 수 있는 지수화적 위험도 분석(Conditioning Indexed Risk Analysis)의 활용도 경우에 따라 많아지고 있는 추세이다. 이에 따라서, 댐 위험도 분석은 국내에서 수문학적인 측면에 대한 분석에서 출발하여 현재는 다양한 부분으로 범위를 넓혀 나가고 있으나, 위험 요소에 대한 불확실성(Uncertainty)의 정의를 내릴 수 없는 어려움에 있어 연구에 많은 제약을 안고 있다.

위험도 분석 기법에는 크게 정성적인 위험도 분석(Qualitative Risk Analysis)과 정량적인 위험도 분석(Quantitative Risk Assessment)로 구분할 수 있으며, 정성적인 위험도 분석은 FMEA(Failure Modes Effective Analysis), FMECA가 있으며, 정량적인 위험도 분석은 ETA(Event tree analysis), FTA(Fault tree analysis), PRA(Probability risk analysis) 등이 있다. 그러나, 댐 위험도 분석방법에 대한 결정은 시스템 수준에 따라 의사결정자가 최종 결정을 하고, 각 단계별 수준 결정은 경험적인 방법을 많이 사용하고 있다. 기존 댐의 안전에 대한 의사결정(Decision-making)에 부합하기 위해서는 댐 위험도 관리 과정은 5가지. ① 각 댐 시스템에 대한 정보의 발현과 분석, ② 각 댐

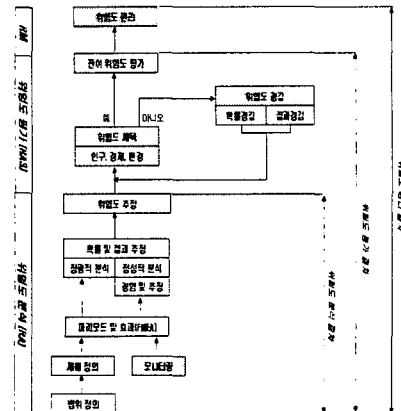


그림 2 위험도 관리 프로세스

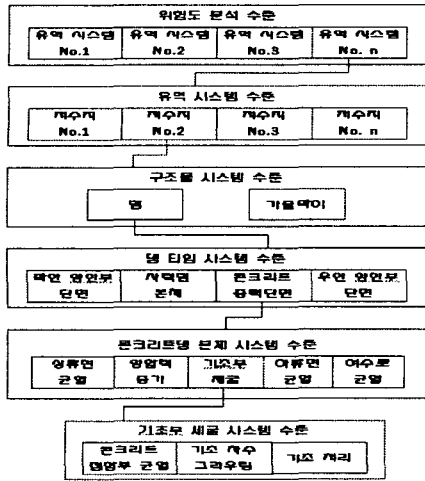


그림 3 콘크리트댐 시스템 분석 프로세스

시스템에 대한 정보를 평가할 수 있는 기준의 설립, ③ 반응의 그림 2 위험도 관리 프로세스

가장 정확한 원인을 도출할 수 있는 의사결정 과정, ④ 적절한 위험도 조절을 확보할 수 있는 제어 과정, ⑤ 위험도 제어의 범위와 적정성을 모니터하기 위한 정기적 검사의 추가적인 과정이 필요하다.

3. 콘크리트댐 위험요소 분석

3.1 콘크리트댐 위험도 분석 영향도

콘크리트댐의 경우 그림 4처럼 발생 시스템에 대한 위험도 분석 영향도를 작성하여 전체 시스템에 대한 분석을 실시하고, 추후 결정된 대상 댐에 대한 세부 위험요인 분석을 실시하는 것이 기본적인 흐름이다.

3.2 콘크리트댐 위험요소 분석

콘크리트댐은 사력댐(흙댐 포함)보다 파괴 위험요소와 인자가 상대적으로 제한적이다. 과거 건설된 후 파괴된 유형을 분석해 본 결과 크게 댐체, 기초, 여수로, 방수로로 나눌 수 있으며, 각 부분에 대한 균열과 침투/누수로 구분 할 수 있다. 그러나 이처럼 접근하는 방법은 대상 댐의 조건을 고려하여 그림 5와 같이 다양한 요인을 고려하여 분석하는 방법으로 나타낼 수 있다.

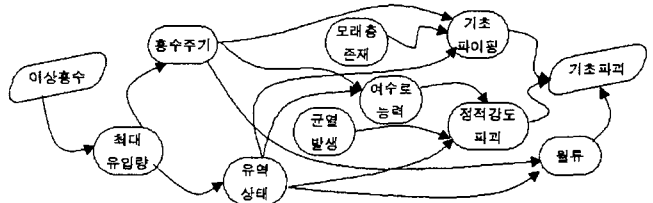


그림 4 콘크리트댐 위험도 분석 영향도

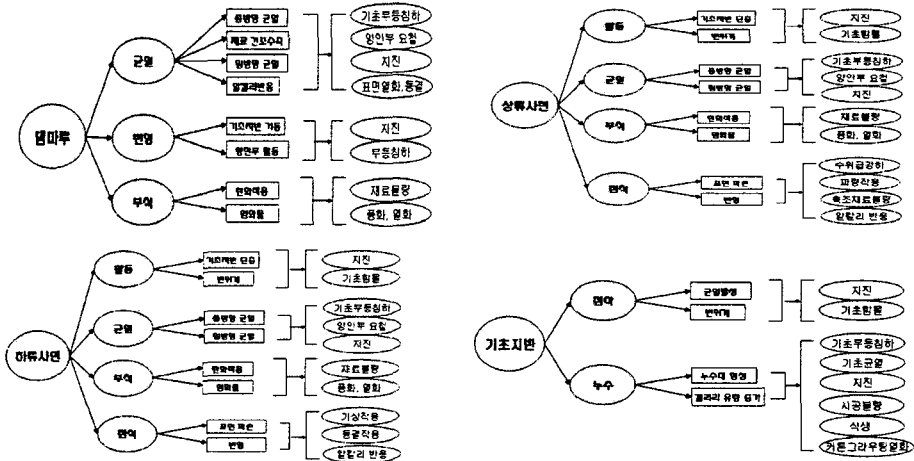


그림 5 대상에 따른 콘크리트댐 위험 요인 분석

표 2. 콘크리트댐의 파괴 가능성 추정을 위한 추천방법

하중조건	파괴모드	추천 방법	
		사전평가	세부평가
운영	슬라이딩 또는 전도에 의한 댐 불안정	홍수에 대한 하중 계산	홍수에 대한 하중 계산
	기초 내부침식/파이핑	세부적인 파괴 경로를 포함한 이력 검토 또는 모든 치명적인 파괴 경로에 대한 event tree	모든 파괴 경로에 대한 event tree 작성
	여수로 불안정	해석 및 판단	해석 및 판단
홍수	슬라이딩 또는 전도에 의한 댐 불안정	수위에 대한 모델 없이 일반적인 홍수위 추정, 설계 강도와 양압력을 이용한 안정해석	수위에 대한 모델 없이 일반적인 홍수위 추정, 콘크리트 및 기초의 강도와 양압력내의 불확실성을 포함하여 MCS를 이용한 안정해석
	댐 월류, 기초침식	수위에 대한 모델 없이 일반적인 홍수위 추정, 이력 검토 및 파괴를 초래하는 월류 높이 판단	저수지 수위에 대한 홍수모델 분석. 가능한 모델링과 계산을 통한 판단
	기초 내부침식/파이핑	상시 운영하중에 대한 계산	모든 파괴경로에 대한 event tree 작성
	여수로 침식 및 월류	이용 가능한 모델링 결과에 대한 해석 및 판단	이용 가능한 모델링 결과에 대한 해석 및 판단
지진	슬라이딩 또는 전도에 의한 댐 불안정	스펙트럼 해석, 불안정성에 대한 의사정적해석	최소 3가지 지진시험, 가장 치명적인 최대지반가속도를 선정하여 분류함. 동적해석은 Newmark type해석과 영구변형에 대한 추정, 파괴 가능 결과 해석은 MCS를 이용하여 불확실성에 대한 모델을 실시하고, 지진해석에 대한 안정성 추정이 지진 후에 발생하는 파괴 가능성 조사 등
	기초 내부침식/파이핑	평상시 운영 하중 계산	일반적인 운영 하중 계산
	여수로 불안정	스펙트럼 분석 및 의사정적해석	스펙트럼 분석 및 의사정적해석
저수지 주변 불안정	저수지 사면붕괴로 인한 홍수로 월류	지형학적인 판단과 지질학적인 접근, 사면붕괴 이력 검토	항공촬영을 통한 사면붕괴 재해도 분석, 지질학적인 도식법, 붕괴면에 대한 부피와 파괴 높이 계산

4. 결론 및 제언

이처럼 댐에 발생하는 위험요인은 특정한 외적환경에 의해 상당부분 차지하고 있으며, 콘크리트댐의 위험요인은 사력댐에 비해 상대적으로 발생가능성이 낮지만, 파괴시 하류의 피해정도는 사력댐과 마찬가지로 매우 크다. 이에 따라 콘크리트댐에 대한 외적요인과 세부조건에 따른 위험도 분석은 표2에서 제시한 추천방법에 따라 검토를 실시하고, 추후 보수보강 및 투자우선순위를 위한 의사결정시 댐 위험요인 선정과 위험도 분석 방법은 국내 현실을 고려한 적합한 방법과 기준을 마련하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Rudolph V. Matalucci, "Risk Assessment Methodology for Dams", *Proceeding of the 6th International Conference Probability Safety Assessment and Management*, 2002, Vol. I, pp 169-176
2. ICOLD Bulletin 130, "Risk Assessment in Dam Safety Management", 2005