

## 댐의 안전성(수공학적 관점)



김 훈 >>

한국시설안전기술공단 부장, 공학박사  
khun@kistec.or.kr

### 1. 머리말

댐의 수공학 관점에서의 안전성은 2가지로 분류할 수 있는데 첫째로 수문학적 설계로 수공구조물의 이치수를 위한 침투홍수량, 유출특성을 분석하는 것과 둘째로 수리학적 설계로 Bernoulli 방정식에 기초로 도수현상과 비에너지-비력 곡선과의 관계를 분석하여 정수지 규모를 결정하는 것으로 수리모형 실험에 의한 여수로의 설계 등을 들 수 있다.

댐의 수문학적 안전성은 홍수위에 여유고를 더해 축조된 댐의 월류에 의한 붕괴 가능성을 의미하는 것으로, 축조 시대별로 용도와 형식에 따라 변화되어 현재는 2001년 개정된 댐 설계기준에서 가능최대홍수량(PMF : Probable Maximum Flood)을 기준으로 하되, 댐의 가상 파괴로 인한 예상피해 규모를 고려하여 PMF의 백분율을 결정할 수도 있다고 규정하고 있다.

댐의 계획홍수량으로 PMF를 적용하게 된 계기는 1995년 제정된 『시설물의 안전관리에 관한 특별법』에 근거하여 다목적댐, 발전용댐 및 용수전용댐 등 중요한 댐의 정밀안전진단 결과 콘크리트댐은 100년 빈도, 필댐의 대부분 댐들이 200년 빈도의 설계홍수량을 채택하여, 이상강우에 의한 방류능력 부족에 의한 월류 위험성이 있다는 수공학적인 안전성에 대한 문제가 제기되어 오다가, 2002년에 발생한 태풍 루

사를 계기로 기상학적인 변화 등을 고려한 PMF에 의한 설계홍수량을 적용하도록 댐 설계기준이 변경된 것이다.

이를 근거로 한국수자원공사는 2003년부터 2006년까지 6개댐(소양강댐, 섬진강댐, 영천댐, 수어댐, 광동댐, 달방댐)에 대해 PMF 기준에 적합하게 치수능력 증대 사업을 완료할 예정이며, 나머지 17개 댐에 대해서도 2007년까지 본격적으로 사업을 추진하고 있다.

한국전력공사는 치수능력이 부족한 콘크리트 댐에 대한 장기적인 치수능력 증대사업을 계획하고 있으며, 한국농촌공사는 재해위험성이 있는 큰 시설부터 우선적으로 치수능력 증대사업을 계획하여 추진하고 있는 실정이며, 경주시는 덕동댐에 대한 치수능력증대사업을 마친 상태이다.

### 2. 댐의 안전성 현황

#### 2.1 관련규정

최근에 자주 발생하는 일강우량의 증가와 단위강도의 증가 등 이상강우가 빈번해짐에 따라 댐의 안전성 강화 일환으로 2003년 건설교통 안전기획단에서 제안되었던 안전관리 범위가 표 1과 같이 개정되었다.

또한, 2004년 7월 20일 하천법에 일정규모(100만  $m^3$ )이상의 댐·저수지 등 하천부속물에 대하여 준공이전까지 비상대처계획을 수립하도록 법적근거를 마련하고, 하천부속물을 이미 운영하고 있는 자에 대하여서는 1년 이내에 비상대처계획을 수립을 착수하도록 하였으며, 행정자치부는 2004년 11월까지 댐·저수지

에 대한 비상대처 계획( EAP : Emergency Action Plan ) 지침서를 작성하도록 하였다.

년도별 설계홍수량 기준과 이를 적용한 댐 현황은 표 2와 같다.

### 2.2 댐의 설계홍수량

『한국의 댐』자료에 의하면 1999년 말 기준으로 댐 및 저수지의 총수는 약 18,000개소이며, 이중 1969년 이전에 설치된 것은 15,895개소로 전체의 약 89%를 차지하고 있으며, 이의 대부분은 농업용이다. 대댐(높이 15.0m 이상, 높이 10m~15m로서 길이가 2,000m 이상과 저수용량이 300만<sup>3</sup>m 이상) 기준에 속하는 것은 1,214개소로 설치목적별로는 다목적댐 15개소, 생공용수댐 63개소, 발전용댐 21개소, 관개용댐 1,114개소 그리고 홍수조절댐인 평화의 댐 1개소이며, 형식별로는 균일형필댐 323개소, 코어형필댐 795개소, 록필댐 42개소, 콘크리트표면차수벽댐 11개소, 콘크리트 중력식댐 23개소, 복합댐1개소 및 방조제 19개소로 대부분이 홍수에 의한 월류에 취약한 필댐 형식이다.

### 3. 댐 관리의 조직체계

대댐 1,214개소에 대한 기관별 관리 현황은 표 3과 같다.

한국수자원공사는 15개의 다목적댐 및 생공용수 전용댐 14개소, 홍수조절전용댐 1개소 등 30개소(2.5%)를 관리하고 있고, 한국전력공사는 발전용댐 20개소(1.6%), 한국농촌공사는 관개용수댐 796개소(65.6%), 기타 지자체에서 367개소(30.2%)를 관리하고 있으며, 민간기업인 현대건설이 2002년 붕괴된 연천댐 1개소를 관리하고 있다.

1995년 『시설물의 안전관리에 관한 특별법』에 의해 설립된 한국시설안전기술공단이 정밀안전진단을 하는 대상 댐은 1종인 다목적댐, 발전용댐 및 저수용

표 1. 대통령령이 정하는 댐의 1,2종 범위

(개정 2006. 2. 2)

구분	기 존		개 정	
	1종 시설물	2종 시설물	1종 시설물	2종 시설물
댐	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다목적댐, 발전용댐 및 저수용량 2천만톤이상의 용수전용댐</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1종시설물외의 지방 상수도 전용댐으로서 1종 시설물에 해당하지 아니하는 댐</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다목적댐, 발전용댐 및 총저수용량 1천만톤이상의 용수전용댐</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1종시설물에 해당하지 아니하는 댐으로서 지방 상수도 전용댐 및 총저수용량 1천만톤 이상의 용수전용댐</li> </ul>

표 2. 년도별 설계홍수량

년도별	설계홍수량	적용한 댐
'68년 이전	100년빈도 이하의 홍수량	대부분의 농업용댐 발전용콘크리트댐
'69~'82년	100년빈도 홍수량×1.2	용수전용댐
'83년~'00	200년빈도 홍수량×1.2	용수전용댐, 발전용양수댐
'01년~현재	PMF 또는 피해규모 고려 PMF(%)	최근에 건설된 다목적댐

표 3. 기관별 댐관리 현황

구 분	한국수자원공사	한국전력공사	한국농촌공사	지자체	민간기업	계
개소수 비율(%)	30	20	796	367	1	1,214
	2.5	1.6	65.6	30.2	0.1	100.0

량 2천만톤 이상의 용수전용댐으로 한국수자원공사 15개소, 한국농촌공사 11개소, 한국수력원자력 13개로 총 39개소이다. 그러나, 건설목적에 따라 기관별로 관리하고 있어 수계단위 또는 유역단위의 수문자료를 비롯한 홍수량 조절을 위한 Network 통합관리가 용이하지 않다.

댐의 진단·점검을 통해 안전성의 취약요인에 대한 보수보강 조치를 하고 있으나, 예방적 유지관리를 통하여 내구연한을 늘리는 개념으로 인식을 전환해야 할 것이다.

2001년 댐 설계기준은 댐의 수명을 퇴사량 기준으로 100년으로 규정하고 있으나, 시설물 노후화와 경제성과 안전성을 고려한 수명으로 규정하는 방안으로 전환되어야 할 것이다.

## 4. 댐의 수공학적인 안전성

### 4.1 수문학적인 댐의 안전성

2002년 발생한 태풍 루사는 가능최대강수량 (PMP ; Probable Maximum Precipitation)에 가까운 강우량을 기록하여 댐의 설계홍수량 기준을 PMF를 기준으로 한 것이 과도하지 않느냐 하는 논쟁을 불식시켰지만, 지속적으로 호우로 인한 피해 규모도 증가하고 있어 중요한 댐의 PMF 적용의 중요성이 강조되고 있는 실정이다.

실제로, 현재의 댐들의 대부분이 PMP를 적용하지 않았고, 댐 운영시에도 실측한 강우-유출 자료가 적고 신뢰성이 낮아 대상유역을 미세측 유역으로 간주하여 홍수량을 산정하였다. 또한, 댐 운영 후 실측 자료가 있어도 확률홍수량과 PMF 산정시 필요한 단위도를 유도할 때 이들 간의 구분 없이 평균단위도 개념을 적용하는 등 홍수량을 산정하는 합리적인 과정이 정립되어 있지 않은 문제점이 있어, 확률홍수량과 차별화된 PMF 산정 절차의 정립이 요구되고 있다.

2002년 8월 31일 18:00부터 9월 1일 15:00에 발생

한 루사 태풍에 의한 1일 강우량은 898.0mm로, 2000년 댐 설계기준은 설계홍수량으로 PMP(Probable Maximum Precipitation : 가능최대강수량)에 의해 산출되는 PMF(Probable Maximum Flood : 가능최대홍수량)를 발전용댐, 다목적댐 및 용수전용댐에 적용토록 하고 있다. 건설교통 안전관리 개선방안(2003. 7)에 의하면 최근 이상기후로 인하여 강수량이 급격히 증가함에 따라 15개 다목적댐과 10개 용수전용댐에 대하여 2001년 12월 가능최대강수량을 재산정한 결과 댐 설계당시보다 약 30% 정도 증가한 것으로 분석되었다.

이와 더불어 확률강수량 분석시 지점빈도해석은 수문자료의 관측기간이 짧은 경우 정확도에 문제가 발생하여, 지점내 충분한 자료가 없는 경우는 지역빈도해석을 하여 사용하고 있다. 그림 1은 홍수방어능력 안전성평가 흐름도를 나타낸 것이다.

현재의 홍수방어능력에 대한 안전성평가 방법은 강우와 유출자료를 이용하고 있어, 증장기적으로 발생하는 이상강우에 대처를 하기 위해서는 미흡하므로 댐의 안전성 분석에 기상학적인 환경변화에 대한 경향성 분석이 포함되어야 할 것이다.

기상연구소가 1920년 이후 대구·부산·전주·목포를 기준으로 한반도 남부지방 연평균 강수량 변화를 분석한 결과, 강수 일수는 지속적으로 줄었으나 연강수량과 일 강수량이 50mm 이상인 날의 횟수는 늘고 있으며, 1920년대 1124mm씩 오던 비는 1950년대에 1174mm, 1990년대 1262mm로 늘었다가, 최근 5년간(2000~2004년)은 1400.3mm까지로 늘어나고 있어 우리나라가 아열대 기후로 접어든다는 징후이며, 이러한, 기상현상은 강수량뿐 아니라 기온의 상승에서도 나타나고 있는데, 지난 100년간 기온이 1.5도나 상승했으며, 이 추세대로 가면 연평균 기온이 2060년쯤엔 지금보다 4도, 2090년쯤이면 6도 이상 증가하여, 연평균 기온은 16.2도로 이는 제주의 연평균 기온(15.5도)보다도 높은 수치로 21세기 말쯤에는 아열대 기후로 변하는 기후학적 환경이 완전히 달라진다는 분석이 제기되고 있다.

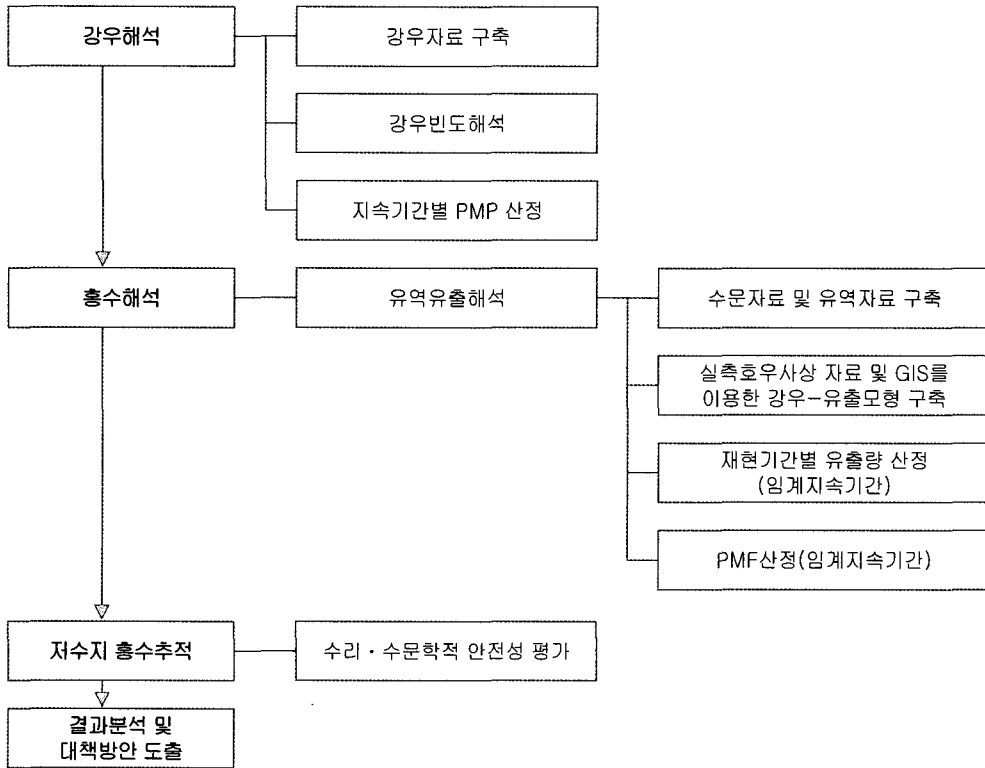


그림 1. 홍수방어능력 안전성평가 흐름도

아열대 기후는 온대에 비해 기온이 높아지고 강수량이 많아지는 특성과 강수의 불균형이 심화돼 우기와 건기가 확연히 구분되는 여름 전후로 강수가 몰려 집중호우의 형태가 많이 나타나므로, 일강우량이 증가하고 강우강도가 커져 유출의 변화로 인한 댐의 안전성 차원의 중장기적인 대비방안이 강구되어야 할 것이다.

#### 4.2 수리학적인 댐의 안전성

일반적으로, 댐의 여수로 규모는 설계홍수량에 의해 결정되는데, 다목적댐을 비롯한 주요한 댐은 PMF(Probable Maximum Flood : 가능최대홍수량)가 적용됨에 따라 기존의 여수로 규모를 확대해야 한다. 수리적인 댐의 안전성은 동일 유선상의 1차원 흐름의 에너지 식인 Bernoulli 방정식에 기초로 도수

현상과 비에너지-비력 곡선과의 관계를 분석하여 정수지 규모가 결정되는 것으로, 기존의 여수로 관련 식들은 대부분 실험식으로 수리모형 실험을 통한 검증이 요구된다. 특히, 설계홍수량으로 PMF를 적용하게 됨에 따라 여수로 시설물 규모가 커지므로 수리모형 실험을 통한 확인 내용은 방류에 따른 접근수로 유선의 안정성, 웨어의 Pier 형태의 적정성, 급류부에서의 부압 대비 방안, 정수지 형식 및 규모 결정과 하류하상의 수리학적 안정성과 하류하천 제방의 월류 등이다.

수리모형 시험은 시설물 설치 계획 및 설계시 물리적 해석과 병행하여 실제적인 현상을 확인하기 행하는 것으로, 2차원, 3차원 수치모의 현상과 비교를 하여 수리현상을 검증하는 방법이 도입되어 활용되고 있다.

#### 4. 맺는 말

댐의 수공학적 안전성은 이상홍수로부터 발생할 수 있는 재해 및 재난을 예방하고 댐 시설물의 효율성을 증진시킴으로써 공중의 안전을 확보하고자 하는데 있는 것이다.

수문학적인 댐의 안전성 측면에서 볼 때 현재까지는 댐의 설계홍수량 산정을 위한 강우자료, 수위자료 및 방류 등의 축적된 자료를 기초로 하여 설계기준과 댐의 운영방안을 결정하여 자료 축적이 주요 요인이었다.

그러나, 우리나라의 기상학적 중장기적 환경변화는 기온의 상승과 연평균 강우량이 증가하고 있어 기상학적인 경향성 변화를 고려해야할 시기가 왔다고 본다.

현재까지는 피해규모 고려 PMF(%)를 적용한 댐이 거의 없는 실정으로, 이를 댐의 중요도에 따라 다양

하게 활용할 필요가 있다. 이는 PMF를 적용하여 이상강수량을 담수하는 댐 위주의 홍수량의 유입과 유출의 안전성 제고 방법은 하상계수가 커서 수자원관리에 불리하고, 시설물 규모가 커야하는 경제적 타당성이 적기 때문이다.

수리학적인 댐의 안전성 측면에서는 설계홍수량이 매우 커짐에 따라 시설물의 규모가 커지므로 수리모형 실험을 통한 설계의 적정성에 대한 검증이 이루어져야 한다.

무엇보다도 댐의 안전성 차원에서 시급히 도입해야 할 사항은 댐의 중요도와 피해규모를 고려하여 등급화하여 등급별로 개별 댐에 적합한 안전성 증진 방안이 적용되어야 할 것이다. 상기 방안에 포함되어야 할 내용은 유역별로 상류 - 댐체 - 하류를 Network화 하여 상류지역과 하류지역에 비상시에는 홍수터 또는 저류지 운영과 같은 홍수량을 분담하는 방안을 시급히 제도화할 것을 제안하고자 한다. 🌐