

# 기존댐의 수문학적 안전성 평가 절차 및 의의



권지혜 |

한국시설안전공단 진단본부 수자원팀 대리  
wisdom@kistec.or.kr



배석중 |

한국시설안전공단 진단본부 수자원팀 팀장  
sjbai@kistec.or.kr



신철식 |

한국시설안전공단 경영본부 기획전략팀 팀장  
csshin@kistec.or.kr

## 1. 머리말

댐의 수문학적 안전성은 여수로의 방류능력에 의해 결정된다. 방류능력의 부족은 댐의 파손이나 붕괴로 직결될 수 있으며, 이 경우 하류부에 위치한 인명과 재산피해를 동반하게 된다. 따라서 기존 댐의 정밀안전진단 시 수문학적 안전성에 대한 검토는 필수적 요소이다. 미국의 경우 기존 댐과 신규 댐에 적용하는 유입홍수량에 대한 기준을 달리 적용하는 경우도 있으나, 댐의 결함이나 붕괴는 인명과 재산에 대한 위협에 있어 동일한 결과를 초래하므로 기존 댐들도 신규 댐을 위해 설정된 설계기준에 부합되도록 검토되는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

또한, 최근 2002년 태풍 루사, 2003년 태풍 매미

를 비롯하여 2006년 장마전선과 태풍을 동반한 집중호우 등 대형 호우사상이 빈발하고 있어 가능최대강수량(Probable Maximum Precipitation, PMP) 등의 수문량이 증가되었으며 댐설계기준 및 각 수문량 산정 기준 자체도 강화되어 가고 있는 추세이다. 이러한 기준에 의해 현재 운영 중인 국내 일부 댐에 가능최대홍수량(Probable Maximum Flood)을 유입설계홍수량으로 적용할 경우 댐체를 월류하거나 여유고가 부족한 것으로 검토되고 있다. 이에 따라 한국수자원공사 및 한국농어촌공사 등 국내 주요 댐의 관리주체를 비롯하여 일부 지자체에서는 댐의 홍수방어능력 확보를 위해 장기적인 계획을 수립·시행하고 있다.

그러나, 1995년 제정된 「시설물의안전관리에관한특별법」에 의해 상기의 계획과는 별도로 주기적으로 수행되는 기존 댐의 정밀안전진단 시 현상태에서 가용한 수문자료를 최대한 활용하고 검증된 최신 검토기법 및 기준 등을 적용하여 대상 댐에 대한 홍수방어능력평가를 실시하고 있다. 이 과정에서 건설교통부에서 고시하고 있는 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(댐)」(건설교통부, 2003)(이하 세부지침)을 따르게 되며, 이 세부지침은 최근 관련 분야 동향 및 상위기준 등을 반영·보완하여 개정될 예정으로 있다. 본 고에서는 이론적 내용이나 각 과정별 일반론은 생략하기로 하며 현재 기존 댐의 정밀안전진단 시 홍수방어능력 검토를 위해 수행하는 일련의 과정 및 최종적으로 수문학적 안전성을 평가하는 방향에 대해 간략히 소개하고 그 의의 및 현실적 문제 등에 대해 논의하고자 한다.

## 2. 홍수방어능력 평가 절차

### 2.1 개요

댐의 수문학적 안전성 평가는 그림 1과 같은 절차를 따라 수행되고 있다. 이 때 기본적으로 댐 유역의 일반 현황조사와 대상 댐의 제원 등을 조사하는 한편 설계관련 자료(준공지, 설계도서 등) 및 최근 실시된 수문 분석 자료를 조사한다. 또한, 그림 2와 같이 GIS 분석 프로그램을 이용하여 유역의 수문특성인자를 분석하고 하천망을 구성하여 유역면적, 고도, 유로연장, 경사, 형상계수 등 유역의 흐름 특성분석에 관한 기본 필요 정보를 추출한다.

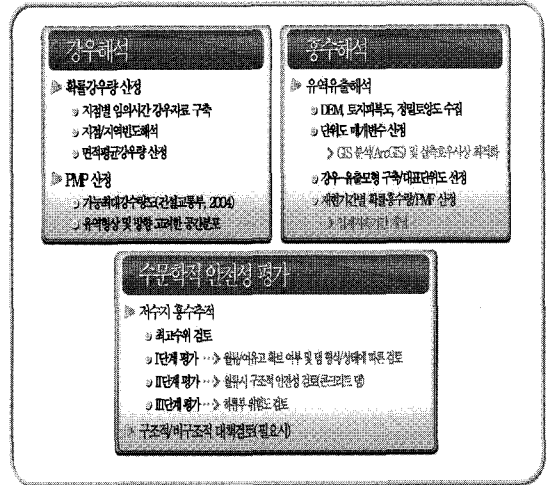


그림 1. 수문학적 안전성 평가 절차

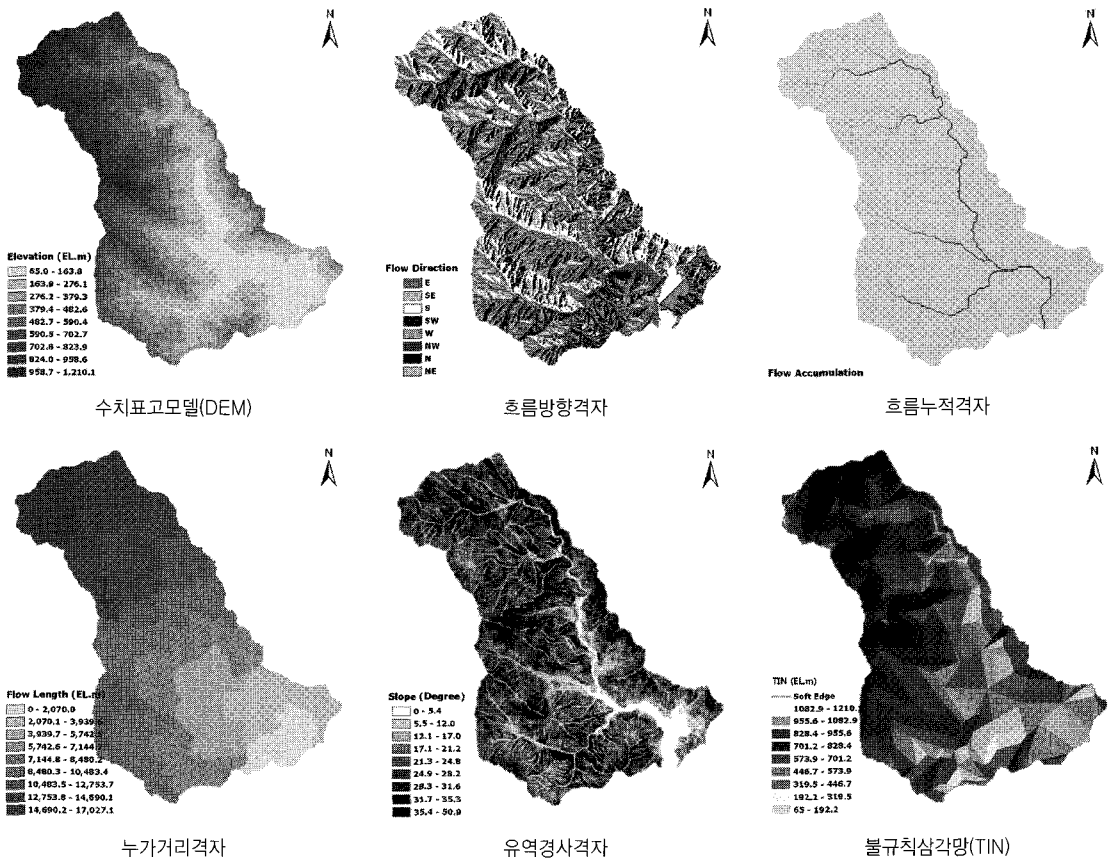


그림 2. ○○댐 유역특성분석

## 2.2 강우해석

확률강우량 산정을 위한 강우 빈도해석 시 신뢰성 있는 장기간의 강우자료를 수집하는 것이 선행되어야 한다. Flood Estimation Handbook(Institute of Hydrology, 1999)에 따르면 자료가 충분치 않을 경우 이 자료만으로 빈도해석을 수행 시 목표 재현기간의 확률값보다 과소산정된 값을 채택하게 되는 결과를 야기하게 되는 것으로 알려져 있다. 이에 대해서는 표 1과 같이 자료기간(n)과 재현기간(T)의 관계에 따른 적정 빈도해석 기법을 추천하고 있다. 따라서, 정밀안전진단에서는 특수한 경우를 제외하고는 지점 빈도해석 및 지역빈도해석을 병행하여 비교·검토한 후 적정 확률강우량 값을 산정하고 있다. 이 과정에서는 국립방재연구소 홈페이지(www.nidp.go.kr)에서 제공하고 있는 FARD 프로그램과 「우리나라 강우 자료의 지역빈도해석 적용성 연구」(허준행외, 2007) 등을 참조하여 수행하고 있다. 그러나, 지역빈도해석 결과에서 보이는 안정성에도 불구하고 빈도별 강수량이 기존 댐 운영수위에까지 직접적으로 영향을 미치게 되는 측면이 있어 그 해석결과를 단독으로 채택하기에는 다소 무리가 있는 실정이다.

표 1. 자료기간에 따른 추천 빈도해석기법

자료기간(n)과 재현기간(T) 관계	추천 분석방법
$n < T$	지역빈도해석 (지점빈도해석 부적절)
$T < n < 2T$	지점/지역빈도해석 병행
$n > 2T$	지점빈도해석으로 충분

PMP 추정 시 「한국의 가능최대강수량 추정」(건설교통부, 2000)을 보완한 연구결과로 제시된 「전국 PMP도 제작성 보고서」(건설교통부, 2004)를 이용하고 있다. PMP 산정절차는 그림 3과 같다. 그러나 현재 PMP 산정과정에서 유역중심 결정, 면적과 지속기간에 따른 강우깊이를 포락, 균일화하는 과정 및 그림 4와 같은 공간분포 시 가상호우등우선 배치 등에

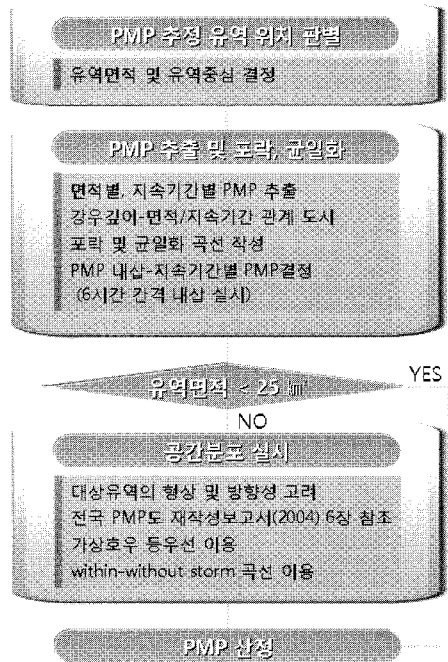


그림 3. PMP 산정 절차

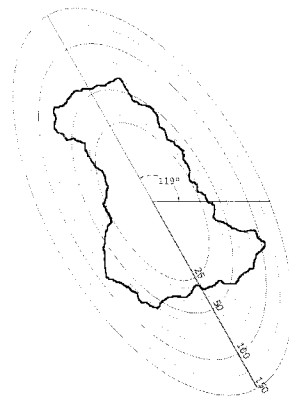


그림 4. 00mm 유역형상 및 방향성을 고려한 가상호우 배치 (단위:km)

관한 명확한 지침이 제시되어 있지 않아 기술자별 해석에 다소 차이가 발생할 여지가 있다. 정밀안전진단에서는 이러한 편차를 최소화하기 위해 타 기관 자료를 최대한 수집하여 검토하는 한편 자문 및 회의 등을 통해 적정성 및 일관성을 확보하고자 노력을 기울이고 있다.

### 2.3 홍수해석

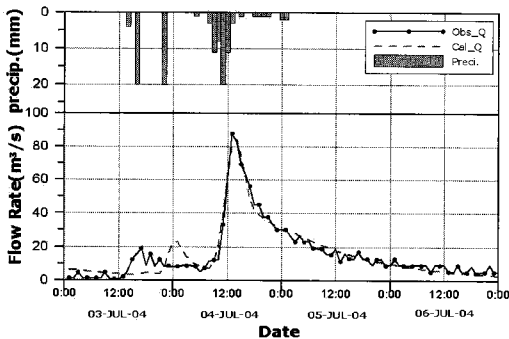
홍수해석 시 실측 유출량 자료를 이용하여 빈도해석하는 직접적 방법을 통해 수행하는 것이 바람직하다. 그러나, 장기 유량관측자료를 구축할 수 있는 수문관측소의 수가 제한적이고 일부 측정의 경우 그 신뢰성도 낮은 실정이다. 이러한 여건상 확률강우량 및 PMP를 강우-유출모형의 입력자료로 두고 그 모의 결과를 같은 빈도의 유출량으로 가정하여 산정하는 간접적인 방법을 일반적으로 채택하고 있다. 이 과정에서 강우-유출모형의 선정 및 모형에 사용되는 매개변수에 따라 유출량에 차이를 보이게 되므로 합리적인 모형선정 및 매개변수 추정이 매우 중요하다. 진단시에는 유출모형으로 적용성, 정확성, 편의성 등 여러 측면에서 우수성이 입증되어 국내·외의 단기유출모형에 일반적으로 사용되고 있는 HEC-1/HEC-HMS 모형을 사용하고 있다. 한편 유역추적법으로는 강우로 인한 전이효과와 유역의 저류효과를 분리하여 모두 고려할 수 있으며, 다른 방법에 비해 정확도가 높은 결과를 산출하는 것으로 알려져 있는 물리적 모형으로, 최근 하천정비기본계획 및 유역종합치수계획 등 국내 주요 사업 수행시 가장 채택빈도가 높고 안정적 홍수량 산정결과를 기대할 수 있는 Clark 방법을 사용하고 있다. 또한, 매개변수 산정을 위해 기본적으로는 신뢰성 있는 댐운영자료를 다수 확보하여

이를 최적화하며, 최근 급속한 발전을 보이고 있는 GIS 분석 관련 기법을 통해 유역의 특성인자를 분석하고 매개변수를 산정하는 방법을 병행함으로써 모형의 주요 입력자료로 사용되는 매개변수의 신뢰성을 향상시키고자 하고 있다. 다음 그림 5는 HEC-HMS를 이용한 실측호우사상의 최적화 사례이며, 그림 6은 정밀토양도를 이용한 수문학적 토양군 산정 사례와 토지이용도, 그림 7은 이로부터 산출한 유출곡선 지수(CN)값을 나타낸 것이다.

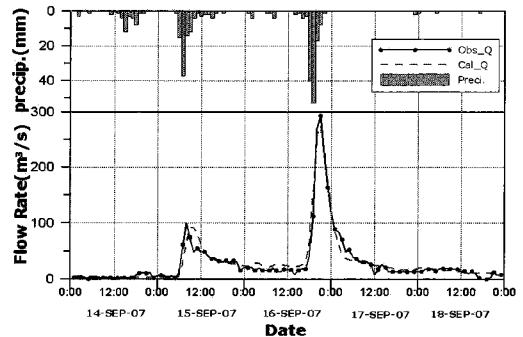
### 2.4 저수지 홍수추적

홍수시 저수지운영방식으로는 Technical ROM, SRC(Spillway Rule Curve) ROM, Rigid ROM, Auto ROM 등이 있으며, 각 저수지마다 운영 목적이나 운영상 중요도에 따라 결정되는 홍수조절용량, 혹은 유입수문곡선의 예측 정도에 따라 적절한 방식을 채택하여 저수지 운영을 실시하도록 규정짓고 있다. 정밀안전진단 시에는 분석 시점에 대상 댐에서 채택하고 있는 운영 방식에 따라 우선적으로 저수지 홍수추적을 수행하는 것을 원칙으로 하고 있으며, 필요시 다양한 구조적/비구조적 대책에 대하여 부가적 검토를 수행한다.

저수지 홍수추적 시 필요한 기본자료로는 저수지 수위별 저류용량 자료 및 수위별 방류량 자료가 있



(2004. 7. 3 ~ 7. 6)



(2007. 9. 14 ~ 9. 18)

그림 5. ○○댐 실측호우사상 최적화 사례

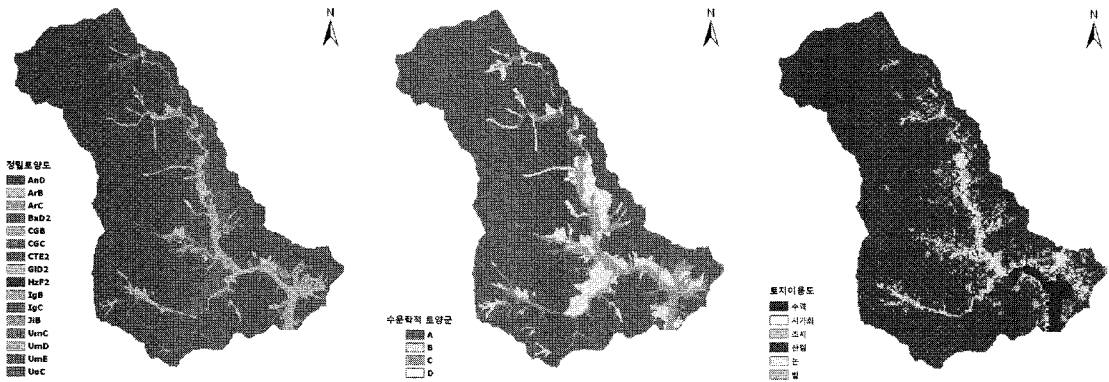


그림 6. OO댐 정밀토양도, 수문학적 토양군, 토지이용도

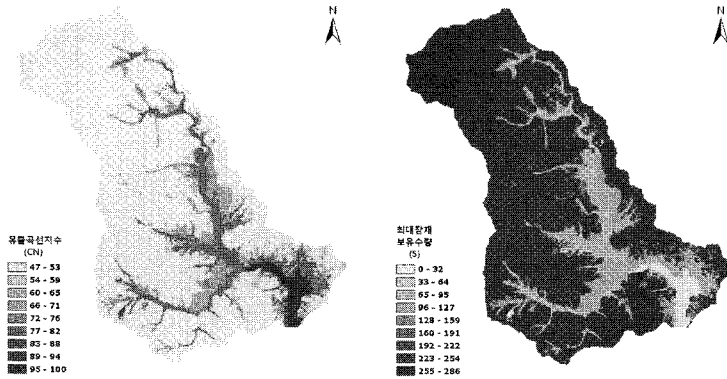


그림 7. OO댐 유출곡선지수 및 최대잠재보유수량 분석결과

다. 전자의 경우 설계자료 또는 최근 수심 및 주변 지형측량자료를 활용하며, 후자의 경우 설계시 수리모형실험 자료를 활용하되 이러한 자료가 없거나 신뢰성이 부족하여 검토가 필요한 것으로 판단되는 경우 댐설계기준(한국수자원학회, 2005)에 제시된 절차에 근거하여 유량계수 보정을 통해 재산정하여 사용한다. 또한 유입홍수량 조건이 설계 당시와 달라 진단에서 산정된 수위가 설계홍수위를 초과하는 경우 자연월류 시와 오리피스 흐름 시 등을 구분함으로써 그림 8과 같이 방류량 자료를 보완하여 활용하고 있다.

저수지 홍수추적을 통해 최고수위를 산정한 후 2004년 7월 15일에 변경하여 건설교통부 공고 제 2004-196호로 고시된 여유고 산정기준(댐설계기준, 2005)에 따라 여유고 확보 여부를 판단하게 된다. 그

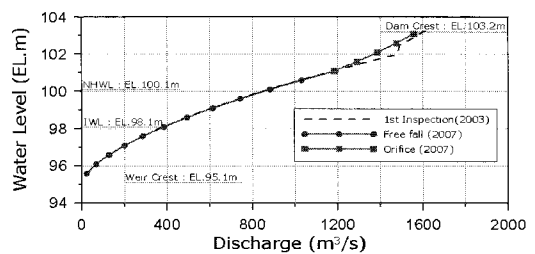


그림 8. OO댐 수위별 방류량 자료 보완 사례

결과 댐체를 월류하거나 여유고 확보가 불가능한 경우 제한수위 변경, 예비방류 등 운영률 변경을 통한 비구조적 방안과 보조/비상 여수로 신설, 댐 증고, 상류댐 건설, 기존 여수로 확장, 수문 설치, Labyrinth Weir, Fuse Gate/Plug, rubber weir 신설하는 등의 구조적 대책에 대해 추가적으로 검토함으로써 적

절한 홍수방어능력 확보방안을 모색한다.

### 3. 수문학적 안전성 평가

기존 수문학적 안전성 평가기준은 댐체 월류 여부 및 댐체 여유고 확보 여부만을 근거로 안전성을 판단하고 있으며, 이는 필댐에 국한하여 산정된 기준이다. 이에 댐의 월류에 대한 수문학적 안전성 평가기준 수립 연구를 수행함으로써 현재는 댐의 형식이나 구조적, 재료적 상태 댐 붕괴 여부에 따른 하류부 피해 차이 및 댐 자체의 구조적 안전성(콘크리트 댐 경우) 등 기존에 고려되지 못했던 다양한 측면을 고려하여 댐체의 안전성을 평가하고자 3단계에 걸쳐 수행되는 새로운 기준을 마련·적용하고 있다. 단계별 평가항목은 다음 표 2와 같으며 자세한 내용은 기존댐의 수문학적 안전성 평가기준(신철식의, 2008)에 기술되어 있다.

표 2. 단계별 수문학적 안전성 평가 항목

단계	평가 항목
I 단계	댐의 형식 및 상태별 여유고에 대한 평가
II 단계	가능최대 홍수량(PMF)에 대한 구조적 안전성 평가(콘크리트 댐)
III 단계	하류부의 위험도에 따른 평가

댐의 수문학적 안전성 평가 시 상기의 변경된 기준을 적용함으로써 기존에 비해 댐의 형식 및 상태 등급 등의 물리적 특성 및 콘크리트 댐의 경우 댐 자체가 갖는 구조적 안전성을 평가에 반영하게 되어 보다 합리적이고 현실적인 댐의 능력 평가가 이루어지고 있다.

### 4. 맺음말

댐의 정밀안전진단 시 수문학적 안전성 평가는 주

요 안전성 평가 항목 중 하나이며, 더욱이 최근 빈발하고 있는 극대 호우사상을 고려할 때 필수적으로 검토·반영되어야 할 사항이라 할 수 있다. 또한 치수능력증대사업에는 막대한 예산이 소요되는 바, 제3자에 의한 객관적인 평가를 통해 주요 사항을 필터링할 수 있다는 데에도 그 의의가 있다. 또한, 한국시설안전공단에서는 다양한 조건의 기존 댐들에 대한 평가를 통해 그 방법상 문제점이나 한계점이 도출되는 경우 이에 대한 연구 및 자문 등을 통해 제도의 개선을 이루고자 노력하고 있다. 이러한 측면에서 변경된 수문학적 안전성 평가기준에 의해 최근 수행되고 있는 평가에 의하면 기존에 비해 댐의 물리적 특성 및 실질적 능력을 반영한 현실적 평가가 이루어질 수 있다.

### 참고문헌

1. 건설교통부(2005). 댐설계기준.
2. 건설교통부, 한국시설안전기술공단(2003). 안전 점검 및 정밀안전진단 세부지침(댐).
3. 건설교통부(2004). 전국 PMP도 재작성보고서.
4. 건설교통부(2000). 한국의 가능최대강수량 추정.
5. 신철식, 류근준, 조경석, 배봉원(2007). 기존댐의 수문학적 안전성 평가기준 개선방안, 한국수자원학회지, Vol. 41, No. 10, pp.38-46.
6. 허준행, 이영석, 신흥준, 김경덕(2007). 우리나라 강우자료의 지역빈도해석 적용성 연구(I): 확률강우량 산정, 대한토목학회논문집, 제27권 제2B호, pp.101-111.
7. Institute of Hydrology(1999). Flood Estimation Handbook, Institute of Hydrology, Wallingford, UK. 🌧️