

태풍 루사와 필댐의 설계 및 관리 기준 평가

Typhoon Rusa and Evaluation of Design and Management Criteria for Fill-Dam

김 태 철*
Kim, Tai-cheol

1. 서 론

2002년 8월 낙동강 유역의 집중호우와 15호 태풍 루사로 인한 사상 유례 없는 집중호우로 수리시설에도 엄청난 피해를 주었으며, 물질적 피해액만도 7천억원 이상 추산되고 있다. 강릉지역 1일 강우량은 870.5 mm (최대 시우량 100.5 mm)로 이 지역 2000년 빈도 1일 강우량 388.4 mm와 PMP 715 mm를 크게 상회하는 천문학적 인 강수량으로 가히 천재지변이라 하겠다. 전국에서 피해를 당한 저수지가 430개소에 달하며 강릉시 소재 장현, 동막 저수지는 완전 붕괴되었다.

특히 저수용량이 큰 성주시 성주댐 (저수용량 : 3,824만 m³)과 강릉시 오봉 저수지 (저수용량 : 1,450만 m³)는 홍수위를 넘어 붕괴 직전까지 다 달았고 하류 농경지와 가옥이 유실되고 주민이 대피하는 소동이 벌어졌다. 지금도 수재민들로부터 시설관리 잘못 또는 부실공사에 대한 원성이 높아, 재해방지와 기술발전이라는 측면에서 우리 기술자들에게 많은 반성과 교훈을 주고 있다.

2. 수자원 정책

수자원의 개발과 보전의 가치평가에 대한 국민적 논란이 증가하고 있다. 개발과 보전의 가치는

자유와 평등의 가치처럼 인간이 지향하는 높은 이상이지만 서로 상반되는 개념의 가치이다. 자유를 강조하면 평등이 깨지고, 평등이 강조되면 자유가 깨지는 것처럼 개발이 강조되면 보전이 깨지고, 보전이 강조되면 개발이 깨지게 된다. 결국, 공동의 가치인 삶의 질을 위한 선택이 되도록 조화를 찾는 문제이다. 성장시대에는 개발만이 선이라는 인식이 편견이라면, 복지시대에는 보전만이 선이라는 인식 또한 편견이다. 수자원 개발과 보전의 가치 평가는 삶의 질 향상을 위한 정책 선택의 문제이지 도덕적 선택의 개념은 아니기 때문이다. 즉, 국가 경제정책을 성장지속형으로 할 것이냐 복지확대형으로 할 것이냐의 정책 선택의 문제이다. 무리한 성장정책이 계층 간의 불평등을 확대할 수 있듯이 무리한 수자원개발은 자연 환경과 생태계를 파괴할 우려가 있고, 건전한 성장정책이 실업과 복지를 해결할 수 있듯이 건전한 수자원개발은 자연 환경과 생태계를 복원할 수 있다. 환경변화에 따라 수자원 관련 주요 정책도 변화하고 있다.

가. 우리 나라의 수자원 현황

우리 나라의 수자원 현황은 건설교통부 (2001)에 따르면 연평균 수자원 총량은 1,276억 m³이며, 이중 증발산으로 인한 손실량을 제외한 하천

*충남대학교 농업생명과학대학 (dawast@cnu.ac.kr)

유출량은 57%에 해당하는 731억 m³이다 (그림. 1).

1998년 기준, 수자원 이용량은 연평균 331억 m³이며, 하천 구간외 (off-stream) 이용량인 농업용수 158억 m³ (48%), 생활용수 73억 m³ (22%), 공업용수 29억 m³ 등 총 260억 m³이고, 하천내(instream) 이용량인 하천유지용수 71억 m³ (21%)으로 구성된다. 수자원 이용량의 89%는 하천 유출량과 댐·저수지 등 지표수이며, 지하수 이용량은 37억 m³으로 11%이다.

나. 수자원의 세가지 특성

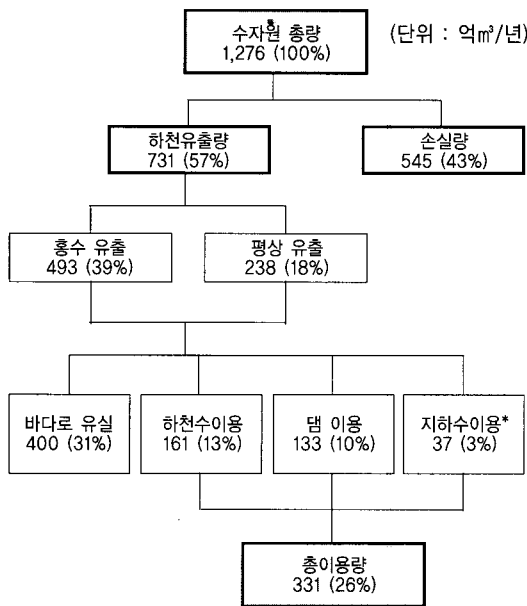
갈수년의 수자원 부족량 결핍과, 2년 연속가뭄에 취약하며 10년에 한번씩 발생하는 것, 그리고 비홍수기 평·저수량의 고갈과 하천 환경과 생태의 피해가 우리 나라 수자원의 세 가지 특성이다.

1) 갈수년의 수자원 부족량 결핍

아시아 몬순지역에 속한 우리의 강우특성 때문

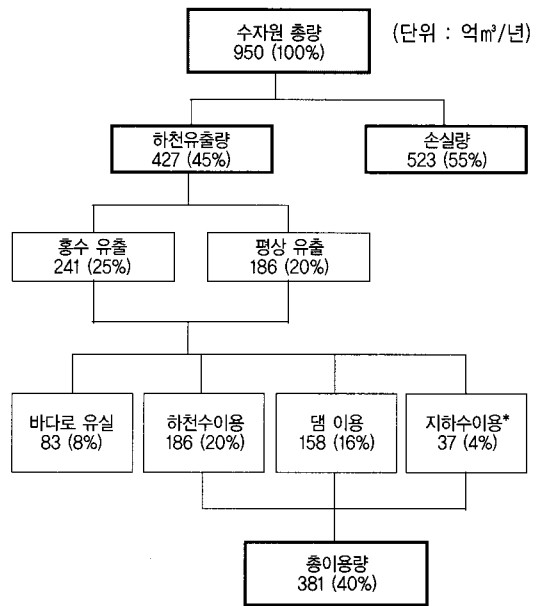
에 7~9월 홍수시 유출이 493억 m³ (39%)나 차지하고 이 가운데 400억 m³ (31%)는 바다로 무효 배출된다. 수자원 이용이라는 측면에서 결정적으로 불리하게 작용하지만, 연 평균 용수 수요량 331억 m³를 이용하고도 400억 m³ (31%)의 물이 바다로 흘러나가는 건전한 물 순환의 양상을 보이고 있다. 그러나, 이것은 어디까지나 평균년의 물 공급 상황이고 농업용수 설계기준인 10년에 한번 오는 가뭄과 생활·공업·환경용수 설계빈도인 20년에 한번 오는 가뭄에는 물이 턱없이 부족하다는 것이다. 일반적으로 저수지 설계빈도 (Votruba,1989)는 생활, 공업, 하천유지 용수의 설계빈도는 20~100년, 발전, 주운 용수는 5~20년, 관개용수는 10~20년을 적용하고 있다.

10년 빈도 가뭄 해에는 수자원 부족량이 950억 m³로 이 가운데 523억 m³는 증발산 되어 대기로 환원되고, 나머지 427억 m³ (45%)만이 하천으로 유출된다. 가물어도 물 수요량은 변함이 없기 때문에 2020년의 용수 수요량 예상량 381억 m³를 이



* 제주도 지하수 이용량 620백만 m³ 포함된 양

그림 1. 우리나라의 부존 수자원 구성 (건설교통부, 2001)



* 취수율 : 89%

그림 2. 10년빈도 수자원과 2020년 수요량 (김태철 추산)

용하고 나면 취수율 89%로 83억 m^3 만이 바다로 흘러나가게 된다. 이수 측면에서 유리한 평상시 유출은 186억 m^3 에 불과하며 전량 하천에서 직접 취수해야 하므로 하천 평·저수량은 고갈되고 하천 환경과 수서 생태는 피폐하게 될 것이다(그림. 2).

2) 2년 연속 가뭄에 취약한 구조

7~9월에 강수가 집중되기 때문에, 이수형태도 자연히 홍수시 유출량을 저수하였다가 갈수기에 방류하여 공급하는 형태가 전형적이다. 그러나, 홍수기에 호우가 발생되지 않는 갈수년에는 그 다음 해 극심한 가뭄을 겪게 된다. 이와 같은 우리의 강우와 유역 특성상 2년 연속가뭄이 발생할 때 가뭄피해가 큰데, 2년 연속가뭄도 1927~29년, '37~39년, '42~44년, '67~68년, '77~78년, '81~82년, '94~95년 '01~02년 등 약 10년에 한번 꼴로 자주 발생하고 있다. 최근 10년간 8회에 달하는 빈번한 가뭄으로 기존의 수자원 공급시설만으로는 안정적인 물 공급을 보장할 수 없는 것으로 나타나고 있다. 특히, 2001년 봄 가뭄에는 많은 농업용 수자원이 거의 고갈된 경우가 나타나고 있으며, 하천 굴착, 지하수 개발 등 비상 용수개발을 통해 가뭄을 극복하는 한계 상황에 이르렀다. 또한, 하천수를 취수하는 일부 지역 상수원도 고갈되어 제한급수에 의존할 수밖에 없었다.

3) 평·저수량의 고갈과 하천 환경과 생태의 피폐

갈수기인 11월~4월까지 6개월간은 연 강수량의 1/5에 불과하여 갈·저수량이 적어 갈수량 기준이 $0.2 m^3/s/km^2$ 에 불과하다. 일본 갈수량 기준의 1/5 수준이다. 더욱이 도시화와 지표면의 불투수층화에 따라 침투수와 지하수 함양량은 크게 감소한 상태에서 과다한 지하수 채수로 지하수위는 하천 갈수위 보다도 낮게 형성되어 비홍수기에는 하천이 건천화 되어 하천 친수환경과 수생 생태계가 파괴되고 있다. 따라서, 사용하지 않으면 홍수시 일시에 바다로 무효 유출되는 물을 저수했다가 갈수시에 이용하는 댐·저수지 건설이

가장 확실한 방법이다. 7~9월 홍수량을 저수하였다가 10~6월까지 방류하여 수력발전과 함께 하천 친수환경과 수생생태계를 복원시켜야 한다. 즉, 하천의 친수환경과 수생 생태계를 복원, 유지하려면 댐·저수지를 친환경적으로 개발하여 수자원을 확보해야 한다. 그러나, 하천구간의 취수량만을 감안한 이용률은 36% 정도이며, 일반적으로 댐이나 저수지, 취수시설로부터 하천유출량의 1/3 정도를 지속 가능한 활용 범위로 여기므로, 생태계 피해를 주지 않는 범위에서 추가적 수자원 개발은 어느 정도 한계점에 이르고 있어 주의를 요한다.

다. 농업 수자원의 특징

농업용수는 수자원 이용량 중 48%로 용도별로 가장 많은 비중을 차지한다. 특히, 하천구간 외 취수사용량 260억 m^3 의 61%를 차지한다. 농업용수는 대부분 논 관개에 이용되며, 적은 양이 밭작물 및 과수원 관개용수와 축산용수로 쓰이고 있다. 급속한 산업화·도시화에 따른 생·공용수의 수요급증으로 물 부족이 심각해지자 일부에서 농업용수의 절약으로 물 부족 문제를 해결할 수 있다는 주장이 제기되고 있고, 일부 선진국에서는 물 소요량이 많은 논농사를 제한하려는 움직임마저 보이고 있다. 우리 나라도 고도사회로의 성장을 위해 생산성을 강조하므로 농촌용수의 우선 순위가 낮아지는 분위기에서, 가용 수자원의 절반을 관개용수로 사용하고 있는 상황에서 어쩔 수 없는 논리일 수도 있다. 그러나, 이것은 밭농사를 주로 하는 미주·유럽의 건조·반건조 지역에서나 논의될 수 있는 주장이다. 한국, 일본, 중국, 대만 등 역사적으로 수도작 중심인 아시아 몬순지역에서는 논농사를 위한 안정적 농업용수 확보가 식량안보 및 농가소득 안정 측면에서 농정 제일의 중요한 정책과제이며, 사회적·전통적·문화적 가치가 갖는 공공성은 간과할 수 없는 가치이다. 따라서 농업용수의 안정적 확보문제는 식량정책, 농가소득, 농민 삶의 질 향상을 위한

농촌용수 및 유역의 건전한 물 순환차원에서 접근되어야 한다.

1) 농업용수 이용량의 재평가

지금까지 알려진 농업용수 이용량은 농업기반공사의 201억 m³와 수자원공사의 159억 m³ 이었다. 그러나, 논 관개용수 이용량은 정의에 따라 조용수량(시설공급량) 114억 m³, 회귀수를 고려한 지구에서의 광역 용수량 116억 m³, 현재 개념의 논 용수 이용량 196억 m³ 로 나누어 평가해야 한다. 따라서, 밭 용수를 포함하는 농업용수 이용량은 조용수량(시설공급량) 119억 m³, 광역 용수량 156억 m³, 총 농업용수 이용량 236억 m³ 로 재평가 되어야 한다.

2) 농업용수의 공익적 기능

농업용수는 비효율적이라는 시각에서 탈피하여, 반복 이용률이 높고 지하수 함양, 하천유지용수 등 물 순환을 통하여 유역생태계를 건전하게 보전하는 역할을 강조해야 할 것이다. 따라서, 농업용수 이용량의 손실을 줄여 효율을 높여야 된다는 당위성과 함께, 손실이 낭비가 아닌 재생산에 이용되는 공익적 기능과 그 수량만큼의 수리권을 인정해야 한다. 즉, 농업용수의 비효율성으로 지적되는 용수손실은 광역(지역)용수량 개념으로 농업용수 재이용, 하천유지 용수와 생태계 보전, 지하수 함양 등으로 재활용되고 있으므로 수질과 생태보전 차원에서 유역관리 체제와 부합된다.

- ① 계절적 변동이 심하고 작물 생육기간이 한정되어 용수이용의 집중도가 높다. 연중 물 이용 변화의 폭이 적은 생·공 용수와는 달리 농업용수는 공급 시기별로 세밀한 계획을 세워야 한다.
- ② 기상·토양·작물 및 생육조건 등 많은 인자들이 수요 및 공급 패턴에 변수로 작용하기 때문에 소비구조와 용수계획이 매우 복잡하다.
- ③ 자연의 물 순환과정에서 강우를 유효하게 이

용할 수 있다. 논에서는 관개와 배수가 연속적으로 순환하는 과정에서 공급량 일부가 수로 및 관리손실로 인하여 배수로나 소하천으로 회귀되는데 간단한 반복 이용 시설물을 설치하면 관개용수를 크게 절약할 수 있다.

- ④ 농업용수는 타 용수보다 지역·문화적 수리관행에 따라 공공성이 강하다. 하나의 하천을 두고 상·하류간 서로 신뢰를 바탕으로 옛날부터 윗물·아랫물로 구분하여 관개를 해 왔다.

3) 농업용수의 유역 생태보전 기능

농업용수는 작물을 대상으로 하기 때문에 주로 자연조건, 작물 종류 및 생육조건과 밀접한 관계가 있으며 생·공 용수와는 다른 특징을 가지고 있다.

- ① 논 용수는 유역에서 순환하면서 수량과 수질, 동·식물 생태, 자연경관에 영향을 준다. 벼 생육에 필요한 보충수 공급과 잡초제거, 토양침식방지, 영농 및 경운 편익은 물론, 홍수조절, 지하수 함양으로 건전한 물 순환시스템을 형성하여 농촌사회를 지속가능하게 한다.
- ② 논 용수는 벼와 조류에 의한 질소·인을 흡수하고 미생물에 의한 탈질 작용으로 토양을 정화한다. 대체로 비료로 논에 공급되는 질소량과 논에서 소비되는 질소량은 같다고 평가된다.
- ③ 논은 습지이므로 모내기, 답수, 중간 낙수 및 수확하는 과정에서 수생식물은 물론, 미꾸라지, 달팽이, 개구리, 잠자리, 가재 등과 물새가 서식하므로 생물학적 종의 다양성을 유지하고 있다. 최근, 논 용수 절수, 출수 이후 간단 관개, 논에 밭작물 재배로 건조한 논 면적과 시간이 증가하여 습지 서식 개체수가 감소하고 있다.
- ④ 논 용수는 흙 속에 함유된 유해물질의 농도를 낮추거나 용탈 시켜 피해를 미리 방지하고 토양 속에 존재하는 비료성분을 작물이 흡수하기 쉬운 상태로 용해시키는 등 토양

의 이화학적 성질을 개선한다.

- ⑤ 논에서는 연작피해가 발생하지 않는 것도 이와 같은 농업용수의 기능 때문이다. 또한 농업용수에 포함된 규산은 작물을 강하게 하여 병에 대한 저항력을 높이고 논에서의 담수는 잡초의 번식을 억제하는 등 농업적 부가 가치를 창출한다.
- ⑥ 재배기간 중 침투는 필수적이며 침투된 물은 결국 지하수로 함양되어 지하수 부존량을 높이는 역할을 한다.

3. 필댐의 설계홍수량과 PMF

필댐의 안전과 관련된 현행 농지개량사업계획 설계기준 (댐법)은 1982년 농림부에서 제정한지 20년이 경과되었다. 농업과학기술은 급속히 발전하였으며, 농어촌정비법 등 각종 관련 법규가 바뀌었으며 댐과 관련된 농촌용수 10개년 사업계획이 추진되고 있다. 이러한 농업과학과 건설기술의 발전과 함께 사회적, 경제적, 환경적 여건이 크게 변화하여 새로운 기술도입이 필요하게 되어 설계기준 개정작업이 2001~02년에 걸쳐 진행 중에 있다. 특히, 환경친화적 설계와 관리에 특별히 주안점을 두었으며, 여건변동으로 검토가 요청되었던 설계홍수량, 내진 설계, 댐마루 나비, 침투류 및 간극수압, 공기공 규모, 가배수로 설계홍수량 등의 내용을 크게 개정·보완하여 실무자들이 활용할 수 있는 계획설계기준을 작성하고 있다. 또한, 필댐 관리를 신설하여 이수(利水), 홍수, 친수(親水), 안전계측 및 전기·기계 등 효율적으로 댐을 유지관리 하도록 상세하게 기술하고 있다. 특히, 태풍 루사로 인하여 설계빈도 상향 조정, 홍수조절 용량 확보 및 홍수제한 수위 관리, 물넘이와 방수로 단면 및 수리모형 실험 확대 등에 대한 보완이 불가피하게 진행되고 있다.

가. 설계빈도와 PMF

수문·기상학적으로 어느 지역에 발생할 수 있

는 가능최대강수량을 PMP (Probable Maximum Precipitation)라 하며 건설교통부·한국건설기술연구원 (2000)에서 발행한 PMP도를 이용하며, 이로 인하여 발생할 수 있는 가능최대홍수량을 PMF (Probable Maximum Flood)라 한다.

표. 1의 농업기반공사 분석에 의하면 유역면적 10 km² 기준 전국 평균치 가능최대홍수량은 330 m³/s 으로 현행 설계기준 200년 빈도×1.2에 의한 설계홍수량 196 m³/s 의 1.68배에 해당된다.

최근 강우패턴은 그 동안의 수문학적 강우·홍수예측 기법에 근본적인 문제점을 제시하고 있다. 우리가 알고 있는 극치분포에 대한 Gumbel-Chow 방법도, 극치사상(outlier event)에 대한 통계 확률적 해석도 어디까지나 사실 추정을 위한 접근 시도일 뿐 엄청난 괴리를 보이고 있다. 1987년 부여·서천지방에 내린 1일 강우량 670mm 에 1,000년 빈도라 했고, 1998년 제주 성판악에 내린 1일 760mm 에도 1,000년 빈도라 했다. 그래서 우리 당대에는 다시 못 볼줄 알았는데, 강릉지역에 재현빈도를 가늠할 수 없는 호우가 내리고 말았다. 15년 사이에 세 번 내린 1,000년 빈도 강우량이다. 1일 870 mm, 가능최대홍수량보다 많은 강우량이 내렸다. 있을 수 없는 강우량이 내렸다는 뜻이다. 어떻게 이러한 수문 현상을 통계확률로 예측할 수 있을지 수문학 교과서를 다시 써야 할 판이다. 지구 온난화와 환경오염에 따른 이상 기후에서 비롯되는 지는 몰라도 더 이상 이상(異常)호우는 아니며 우리가 극복하고 대처해야 할 정상(正常) 호우이다.

나. 설계홍수량의 PMF 채택

붕괴시 인명, 재산과 국가시설에 큰 피해가 예상되는 일정규모 (예 : 유역면적 25 km², 저수용량 500만 m³, 57개소) 이상의 필댐은 가능최대홍수량에도 안전하도록 댐체와 물넘이 단면을 설계하여야 한다. 여기에서 유역면적 25 km²는 PMP의 최소 면적 단위를 택하였고, 저수용량 500만 m³ 이상인 농업용 저수지 (담수호 제외)는 현재 약

표 1. 주요 지점의 지배면적 200 km²의 1일 PMP와 유역면적 10 km²의 PMF (농업기반공사 분석자료)

구 분		강릉	서울	부산	대구	인천	대전	광주	평균
200년 빈도	강우량 (mm)	422	415	423	280	393	392	319	
	홍수량 (m ³ /s)	186	182	186	118	172	172	137	
200년 빈도 ×1.2	강우량 (mm)	506	498	508	336	472	470	383	
	홍수량 (m ³ /s)	223	218	223	142	206	206	164	196
PMP (mm)		715	790	825	675	795	645	750	
PMF (m ³ /s)		322	357	373	304	360	290	339	330

60여개 소에 이른다. 현재 다목적댐 설계빈도는 물넘이는 200년 또는 200년×1.2 로 하고 댐체는 PMP에 안전하도록 단면을 설계하고 있다. 농업용 필댐에 PMP를 적용하는 것이 무리라는 지적도 있지만, 유역면적이 큰 다목적댐 파괴에 따른 피해는 농업용 필댐 보다 훨씬 크지만, 파괴될 위험은 유역이 적어 PMP 가능성이 큰 농업용 필댐이 유역 면적이 커서 PMP 위험부담이 분산되는 다목적댐보다 훨씬 크기 때문에 농업용 필댐에 PMP를 적용할 수 있다. 즉, 오봉저수지 또는 성주댐 같은 농업용 필댐도 붕괴될 가능성이 크다는 것은 이번에 입증되었으며, 이에 따라 예상되는 피해를 고려하면 PMF에도 안전해야 한다는 뜻이다.

다. 농업용 저수지의 홍수조절기능

지금까지 농업용 필댐에서는 홍수조절기능은 없고 다만 홍수기가 관개기이기 때문에 자연스럽게 홍수조절 용량을 확보하게 되고, 저수용량이 큰 저수지는 홍수기 제한수위를 두어 홍수조절기능을 활용하고 있다. 그러나, 이번과 같은 호우에 댐과 하류하천이 안전하려면 일정규모 (예 : 만수면적 50 ha 이상, 60여개소 (담수호 제외))이상 저수지에서는 하류지역 홍수 피해를 줄이기 위하여 홍수조절용량을 저수용량에 추가로 포함하여 댐체와 물넘이 단면을 설계하도록 해야한다. 또한, 저수용량이 500만 m³ 이상으로 홍수조절 용량을 별도로 확보하지 않는 저수지는 이상 홍수에 대비하여 수위조절용 수문을 설치해야 한다.

이 경우, 홍수유입량 관측·수위계측·홍수위험경보 시설 등 홍수예·경보시설을 설치하여 홍수피해를 사전에 대비할 수 있도록 설계한다.

또한, 농업용 저수지의 경우 용수공급에 지장이 없는 범위에서 유효 저수량의 70~80% 수준에서 홍수기 제한 수위를 설정하여 일시적인 홍수조절을 할 수 있도록 한다. 예당 저수지의 경우에는 홍수기인 7월 하순과 8월 초순의 농업이수용량과 기준 저수 곡선과의 평균 차이는 2,200만 m³으로 상당한 홍수조절 능력을 자연적으로 발휘

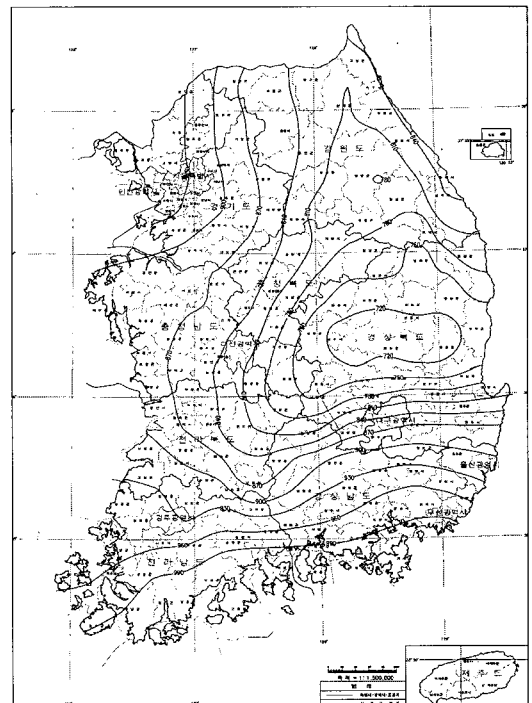


그림 3. 지속 시간 24시간 지배면적 25 km²에서의 PMP (건교부, 건기연, 2000)

표 2. 농업용 필댐의 홍수기 제한수위 설정과 일시조절용량 사례

저수지명	저수용량 (만 m^3)	홍수기 제한수위 설정과 일시조절용량 (만 m^3)	비율 (%)
경천댐	2,822	228	8
탑정지	3,193	580	18
예당지	4,710	1,000	21
성주댐	3,824	636	17

하고 있는 것이다.

라. 댐 파괴시 침수 예측과 수리모형 실험

PMF로 설계하는 농업용 필댐은 GIS와 수문학 적 댐 파괴 모형(Dam break model)으로 붕괴되었을 경우, 하류 하천과 주거지역에 미치는 침수 피해 영향을 예측하고, 홍수 단계별 대피 시나리오도 작성되어야 한다.

설계홍수량 490 m^3/s 이상인 필댐 물넘이는 수리모형실험을 통하여 방사류부 공동현상에 의한 구조물 파손과 감세공의 적정규모, 댐 붕괴시 하류 침수피해를 예측하여 이에 안전하도록 설계하여야 한다. 또한, 물넘이 시설의 빈도 (200년)와 하류 지방하천의 설계빈도 (50~100년)가 서로 달라 예상되는 피해를 줄이기 위하여 정수지에서 연결되는 하류 하천의 일정구간을 정비하도록 하여야 한다.

마. PMF 적용에 따른 사업비 증가

농업기반공사 분석에 따르면 이상과 같이 PMF를 적용하면 유역면적 10 km^2 전국 평균 가능 최대홍수량 330 m^3/s 를 배제하기 위한 물넘이 공사비는 개략 20억원으로 200년 빈도 \times 1.2에 의한 설계홍수량 196 m^3/s 를 배제하기 위한 물넘이 공사비 13억원의 1.55배이며, 전체 수원공 공사비의 1.11배 정도로 추산된다. 따라서, 기존의 비용-편익 분석으로 사업을 평가하기보다는 재해방지 차원, 사회학적 차원에서 접근할 때, 비로소 PMF 설계가 가능할 것이다. 예를 들면, 이번에

오봉 저수지 또는 성주댐이 완전 붕괴되었을 때 예상되는 인명과 재산피해를 고려하면 비용-편익 분석으로 100을 투자하는 것이 옳은 것인지, 재해방지 차원에서 111을 투자하는 것이 옳은 것인지 의사를 결정할 수 있을 것이다.

4. 필댐의 설계기준 개정 방향

설계기준 댐편 개정의 방향을 요약하면 다음과 같다.

조사항목 가운데 물 관리, 기계·전기, 환경 및 유지관리 분야 내용을 추가하였다. 환경조사는 기본조사 단계에서 관련법에 의한 지구지정 여부 조사와 기본계획 수립에 반영하도록 자연환경, 생활환경, 자연경관에 관하여 조사하였다. 실시설계조사 단계에서는 저수용량 규모에 따라 환경법에 따라 “환경영향평가”를 받아야 하는 지구조사와 국토이용관리법 및 환경정책기본법에 따라 “사전 환경성 검토”를 협의해야 하는 지구에 대하여 전문분야 조사를 실시하도록 하였다. 유지관리조사는 실시설계조사 단계에서 실시하며, 시설관리, 물 관리, 안전관리 및 환경관리로 구분하여 조사, 설계하고 준공 후 유지관리 지침 작성에 활용토록 하였다.

기상 및 수문 조사에서 유역의 강우-유출 해석을 위한 유역답사, 유역 임상피복조사, 유역 토양 조사 등을 추가하였다. 또한 댐 형식 결정 시에 여러 가지 대안에 대한 비교방법을 추가하였다.

뿐만아니라 저수용량 결정에 환경용수량과 홍수조절용량을 고려하도록 하였다.

설계홍수량 기준을 강화하여 붕괴시 인명과 재

산에 큰 피해가 예상되는 경우와 일정규모 이상의 저수용량을 가진 필담에는 가능최대홍수량에 안전한 댐체와 물넘이를 설계하고 수리모형실험을 실시하도록 하였다.

유수변환 대상 홍수는 20년 빈도 홍수량을 채택하는 것으로 한다.

홍수 수문곡선 산정방법은 계측 유역에는 대표 단위도법을, 무계측 유역에는 SCS 단위도법, 유역추적법, 저류함수법, USDAHL, 탱크모형, HEC-1, FAS 등 수문모형을 사용하며, 산정된 수문곡선 가운데서 댐 규모를 가장 크게 나타내는 것을 채택하도록 하였다.

물넘이 수리 및 구조설계에서는 기초적이고 지나치게 상세한 부분을 삭제하였으며, 방수로 선형(평면, 종단) 및 옹벽을 추가하고 전기·기계시설을 강화하였다. 취수시설은 사통과 취수탑의 설치기준을 제시하고 기존 내용을 대폭 축소하였다. 취수탑 구조의 내진성, 복통의 지수대책, 신·수축 및 시공이음, 상수도 공급을 위한 예비 취수공 설치 등을 반영하였다.

친환경 관점에서 농업용 저수지의 어도 시설과 이설·진입도로에 대하여 신규로 상세하게 기술하였다.

기초처리는 설계와 시공을 분리하였으며, 침투류 해석에 파이프링 현상에 대한 규정을 보완하고, 안정성 검토에서는 변형과 내진(耐震)에 대한 내용을 보완하였다. 기타 기초처리와 관련하여 너무 상세하게 기술된 부분을 대폭 축소하였다.

가배수로와 가물막이의 시공관리 체계를 수립하였다. 유수변경 시설은 공사 후에도 가능한 폐쇄하지 않고 본 댐의 일부가 되도록 하여 공사비를 절감하는 것을 기본으로 하였다.

갈수시 효율적인 저수량 관리, 홍수시 수문 조작 및 재해방지 대책, 수변 공간과 친수 위락 관리, 안전계측기기 운영 및 전기·기계의 유지관리 등 효율적으로 댐을 유지관리 하도록 하였다. 시공관리에 공사기간중의 안전관리와 환경관리 사항을 추가하였다.

신규로 개발하는 댐의 설계기준 뿐만 아니라

이미 건설된 댐·저수지의 관리기준을 신설하여 이수 관리, 홍수 관리, 환경(수질) 관리, 댐·저수지 계측관리, 기계·전기 시설관리에 대하여 기술하였다.

5. 설계기준 필담편 개정안의 주요 내용

환경친화적 설계 및 관리, 유효 저수용량 확대, 물 관리 자동화 시설, 설계 홍수량 기준, 내진 설계, 침투류 해석, 유수변경 시설, 댐마루 나비, 공기공 규모, 기존 필담의 이수 및 홍수관리 등 과업지시의 기술적 검토사항은 다음과 같다.

가. 환경친화적 설계 및 관리

물 사용량 증가로 많은 지역에서 과도한 하천 취수로 인하여 하류하천 유량이 상류보다 줄고 있으며, 저수지와 지하수 수위는 현저히 감소하고 있다. 그러한 상황에서 유역에서 배출되는 오염물질의 부적절한 처리로 인하여 하천과 저수지 수질은 오염되고, 수생 생태계는 심각한 수준의 위협에 직면하고 있다.

식량증산은 품종개량, 화학비료와 농약 투입과 함께 관개시설의 활성화에 기인한 바 크다. 따라서, 물 수요량에 대응하는 공급량의 부족으로 신규 수자원 개발이 불가피할 것으로 추정되고 있다. 물 부족이 예상되는 상황에서 어떻게 환경친화적 설계와 관리로 지속 가능한 농업용수의 개발과 관리를 할 것인가에 주안점을 두었다.

나. 유효 저수용량 확대

하류하천의 생태보전과 친수환경에 필요한 환경용수량을 공급할 수 있도록 환경용수 용량을 저수용량에 추가하도록 하였다. 이때, 밭 관개 용수를 적절하게 공급하기 위한 취수공, 수문, 관수로 및 조정지(farm pond) 등의 설치를 고려하여야 한다.

하천유출량 추정에 우리 나라 모형인 DIROM 모형과 DAWAST 모형을 추가하고, 퇴사량 추정

에 우리 나라에서 개발된 모형을 소개하였다.

다. 물 관리 자동화 시설

저수용량 500만 m^3 이상 필댐에서 유역배율이 낮아 (보통 1 : 4 이하) 용수부족이 예상되거나 농촌용수를 다목적으로 공급해야 하는 경우에는 물 관리 자동화 (TM/TC) 시설을 도입하여 가뭄에도 간단·유환관개 시스템에 의하여 효율적으로 절수하여 가뭄을 극복하도록 하였다.

라. 신규 저수지의 설계홍수량 기준 강화

1) 붕괴시 인명과 재산에 큰 피해가 예상되는 필댐, 일정 규모(예 : 유역면적 25 km^2 , 저수용량 500만 m^3) 이상 필댐에서는 가능최대홍수량에도 안전하도록 댐체와 물넘이 단면을 설계한다. 이 경우, 만수면적이 50 ha 이상이면 하류지역 홍수피해를 줄이기 위하여 홍수조절 용량을 저수용량에 추가로 포함하여 댐체와 물넘이 단면을 설계한다.

2) 저수용량이 500만 m^3 이상으로 홍수조절용량을 별도로 확보하지 않는 저수지는 이상 홍수에 대비하여 수위조절용 수문을 설치한다.

이 경우, 홍수 유입량 관측·수위계측·홍수위험경보 시설 등 홍수 예·경보시설을 설치하여 홍수피해를 사전에 대비할 수 있도록 설계한다.

또한, 유효저수량의 70~80% 수준에서 홍수기 제한수위를 설정하여 일시적인 홍수조절을 할 수 있도록 한다.

3) 설계홍수량 490 m^3/s 이상인 필댐의 물넘이는 수리모형 실험을 통하여 방사류부 공동현상에 의한 구조물 파손과 감세공의 적정규모, 댐 붕괴시 하류 침수피해를 예측하여 이에 안전하도록 설계한다.

4) 물넘이 시설과 하류하천의 설계빈도가 서로 달라 예상되는 피해를 줄이기 위하여 정수지에서 연결되는 하류 하천의 일정 구간을 정비하여야 한다.

5) 일정규모(유역면적 25 km^2 , 저수용량 500만

m^3 등) 이상 필댐에는 호우시 사면붕괴를 방지하기 위하여 외측사면부 성토를 석력재로 보강하도록 설계한다.

마. 유수변경 시설

가배수로와 가물막이의 구성과 시공관리 체계를 수립하였으며, 설계 홍수량은 20년 빈도 홍수량을 채택하는 것으로 한다.

바. 내진설계

댐체의 활동에 대한 안전성, 변형, 액상화 및 저수지 주변의 안전성에 관한 검토와 함께 필댐의 내진설계를 보완하였다.

사. 침투류 해석

댐체에서의 침윤선과 유선망에 의한 침투류 해석과 침투유량 추정, 수치해석에 의한 침투류와 간극수압 해석 및 파이핑 현상에 대한 규정 보완으로 안정성을 검토하였다.

아. 댐마루 나비

댐마루 나비를 댐 높이 50 m 이상은 8 m(도로 이용시 10 m), 15~50 m는 6 m(도로 이용시 8 m), 15 m 이하는 5 m 정도로 세부적으로 규정하였다.

자. 스크린의 공기구멍 크기

직경을 최소 10 cm 이상으로 상향 조정하였다.

차. 방수로 여유고

이상 홍수에 의한 월류에 안전하기 위해서 방수로 여유고를 USBR에서 제안한 식 $F = 0.6 + 0.037 V^{1/3}$ 으로 구한 값에 20% 또는 50 cm를

가산한다.

카. 제당 비월류부 높이

필댐의 제체 중심점토(core)는 이상 홍수에 의한 수위 상승 등을 고려하여 설계홍수위 보다 1.5 m 높게 시공하고 중심점토의 폭은 설계홍수위 기준으로 2 m 이상으로 한다.

타. 대형 부유물 유입방지 시설

저수지내 토사퇴적 및 홍수시 대형 부유물의 유입을 방지하기 위하여 사방댐 및 스크린 등 부유물 방지시설을 설치하여야 한다.

파. 외측사면부 석력재 보강

일정규모 (유역면적 25 km², 저수용량 500만 m³ 등) 이상 기존 필댐에는 호수시 사면붕괴를 방지하기 위하여 외측사면부 성토를 석력재로 보강하여야 한다.

하. 기존 필댐의 이수 및 홍수관리의 강화

생·공 용수 공급을 위한 하천수 취수와 자유수면 지하수 채수를 가급적 억제하여 하천에 자연유량이 많이 흐르게 하고, 이용하지 않으면 바다로 유실되는 귀중한 400억 m³의 활용도를 제고하기 위하여 댐·저수지를 개발하여 평상시 하천수와 지하수에서 공급하던 물을 대체해야 한다. 갈수기에는 하천유지용수를 공급하고, 홍수기에는 침수

재해에 대해서 안전하도록 강화해야 한다.

1) 저수용량 500만m³ 이상의 기존 필댐 가운데 하류하천의 생태 보전상 필요한 경우에는 환경용수를 공급할 수 있도록 저수지 승상과 물넘이에 수문을 설치하여 저수용량을 추가로 확대해야 한다. 이 때, 발 관개용수를 적절히 공급하도록 취수공, 수문, 관수로 및 조정지(farm pond) 등의 설치를 고려한다.

2) 저수용량 500만 m³ 이상의 기존 필댐 가운데 유역배율이 낮아(보통 1 : 4 이하) 용수부족이 예상되거나 농촌용수를 다목적으로 공급해야 하는 경우에는 물 관리 자동화(TM/TC) 시설을 도입하여 가뭄에도 간단·회환 관개시스템에 의한 효율적 절수, 공급으로 가뭄을 극복하도록 한다.

3) '82년 이전 100년빈도 설계홍수량으로 설계된 필댐은 200년 빈도 1.2배 이상으로 증축 보강하여야 한다. 이 기준에 맞도록 보강 개발하는데 소요되는 사업비만도 표. 3과 같이 5조6천억원으로 추산된 바 있다.

4) 붕괴시 인명과 재산에 큰 피해가 예상되는 기존 필댐, 일정 규모 (예 : 유역면적 25 km², 저수용량 500만 m³) 이상 기존 필댐은 가능최대홍수량에도 안전하도록 댐체와 물넘이 단면을 확장, 보강하여야 한다. 이 경우, 만수면적이 50 ha 이상이면 하류지역 홍수피해를 줄이기 위하여 홍수 조절용량을 저수용량에 추가로 포함하여 댐체와 물넘이 단면을 확장, 보강하여야 한다.

5) 저수용량 500만 m³ 이상으로 홍수조절용량을 별도로 확보하지 않은 저수지는 이상 홍수에 대비하여 수위조절용 수문을 설치한다. 이 경우, 홍수 유입량 관측시설, 수위계측시설, 홍수위험

표 3. 저수지 보강사업비 추산 (농업기반공사 자료)

설치 년도	시 설 수 (개소)			보강사업비 (억원)			비 고
	계	농기공 관 리	시·군 관 리	계	농기공 관 리	시·군 관 리	
계	17,284	2,994	14,290	56,012	21,217	34,795	1982년 이후 건설된 저수지는 보강 계획에 포함되지 않았음.
1968년도 이전	14,943	2,568	12,375	49,842	17,756	32,086	
1969~1982년	2,341	426	1,915	6,170	3,461	2,709	

경보 시설 등 홍수 예·경보시설을 설치하여 홍수피해를 사전에 대비할 수 있도록 보강한다.

또한, 유효저수량의 70~80% 수준에서 홍수기 제한수위를 설정하여 일시적인 홍수조절을 할 수 있도록 한다.

6) 설계홍수량 490 m³/s 이상인 기존 필댐의 물넘이는 수리모형 실험을 통하여 방사류부 공동현상에 의한 구조물 파손과 감세공의 적정규모, 댐 붕괴시 하류 침수피해를 예측하여 이에 안전하도록 보강한다.

7) 기존 필댐이 있는 지역에 최대홍수량 또는 설계빈도 이상의 강수량이 발생하였을 때, 그 강수량을 포함하여 상향조정된 설계강수량으로 설계홍수량을 추정하여 이에 안전하도록 댐체와 물넘이를 확장, 보강하여야 한다.

6. 비싸지만 안전하고 환경친화적인 필댐

연평균 수자원총량은 1,276억 m³로 이 가운데 545억 m³는 증발산되어 대기로 환원되고 나머지 731억 m³(57%)가 하천으로 유출된다. 이 가운데 홍수기 유출량 493억 m³(39%) 가운데 400억 m³(31%)은 바다로 유실되고 93억 m³의 일부는 댐·저수지에 저류되었다가 갈수기에 이용된다. 이수에 필요한 평상시 유출은 238억 m³(18%)에 불과하며 이 가운데 161억 m³(13%)가 상류 하천에서 직접 취수되기 때문에 평·저수기에도 하천이 건천화되어 하천환경과 수서생태가 파괴되는 것은 물론 인간에게 정서적 심미를 제공해왔던 친수 하천이 혐오대상이 되는 상황에 이르고 있다.

따라서, 7~9월 홍수기에 바다로 버려지는 귀중한 수자원을 저수하였다가 10~6월 갈수기에 방류하여 각종 용수공급과 수력발전은 물론, 하천의 친수 환경을 유지하고 수생 생태계를 복원시켜야 한다. 즉, 국가 경제력이 가능한 수준에서 가급적 많은 댐을 친환경적으로 개발하는 것이 우리 나라의 특성에 맞는 수자원 정책이다. 댐·저수지를 친환경적으로 개발하려면 수자원 개발비가 높아지고 물 값이 비싸게 되지만 국민의 여망인

안전하고 깨끗한 물을 공급할 수 있을 것이다.

7. 결론 및 건의사항

1,000년 빈도 강우량이 15년 사이에 세 차례 발생하는 수문 통계 확률로 예측할 때, 이번 낙동강 유역과 강릉지역에 내린 1일 870mm 집중호우가 다시 내릴 가능성은 언제, 어디서나 있는 것이고, 그것이 마침 하류에 도시밀집 주거지가 있는 OO, OO저수지가 될 가능성은 상존하고 있어 인명과 재산을 위협하고 있다. 이에 강력한 재해예방으로 국민의 생명과 재산을 지키고, 국민의 삶의 질을 향상시키기 위해서는 환경친화적 수자원 개발과 관리에 대한 정부의 인식과 의지가 절실하게 요구되며, 이를 위하여 댐 관리기준을 시급히 제정하고 필댐 설계기준 강화에 따른 후속 방안에 대한 집중 연구와 필댐 관리기준 강화에 따른 보강개발사업을 적극 건의한다.

가. 댐 관리기준 제정

이번 개정에서는 설계기준에 관리에 대한 장을 신설하는 것으로 대체하였다. 앞으로는 신규 필댐 건설과 함께 기존 필댐의 관리가 더욱 중요해지고 있는 실정이므로 필댐 설계기준에 준하는 관리기준을 새로이 제정해야 한다.

나. 설계기준의 강화방안 연구

강화된 설계기준에 대하여 앞으로 붕괴시 인명과 재산에 큰 피해가 예상되는 경우, 일정규모 저수용량의 크기 등 세부적이고 구체적인 사항을 기술적, 경제적 측면에서 조사 연구하여 설계기준을 보완하여야 할 것이다.

다. 관리기준의 강화 방안 연구

강화된 관리기준에 대하여 앞으로 붕괴시 인명과 재산에 큰 피해가 예상되는 경우, 일정규모 저

수용량의 크기 등 세부적이고 구체적인 사항을 기술적, 경제적 측면에서 조사 연구하여 관리기준을 보완하여야 할 것이다.

라. 관리기준의 강화에 따른 보강개발

강화된 관리기준에 맞도록 시설 저수지의 보강 개발 사업을 시급히 대대적으로 실시하여 예상되는 재해에 대한 대책을 수립해야 한다.

마. 필댐에 의한 농업용수의 공익적 기능 강화

안정적 농업용수 확보가 식량안보 및 농가소득 안정측면에서 농정 제일의 중요한 정책과제이며, 농업용수의 사회적·전통적·문화적 가치가 갖는 공공성은 간과할 수 없는 가치이다. 농업용수는 비효율적이라는 시각에서 탈피하여, 반복 이용률이 높고 지하수함양, 하천유지용수 등 물 순환과정을 통하여 유역생태계를 건전하게 보전하여 우리 삶의 질을 향상시키는 역할을 강화해야 한다.

참고문헌

1. 건설교통부, 한국건설기술연구원, 2000, 한국 가능최대강우량 추정.
2. 농림부, 농업기반공사, 2002, 농업생산기반정비 사업 계획설계기준 필댐 편.