

연계운영되는 댐의 수문학적 안정성 확보를 위한 비구조적 치수대책 검토

None-structural Plan Study for Hydrological Stability of Integrated Operating Dams

강동균*, 최병만**, 김창순***, 김승범****

Dong Kyun Kang, Byung Man Choi, Chang Soon Kim

요 지

최근 기상이변으로 인한 이상홍수 발생에 대비하기 위하여 기존댐의 PMP, PMF에 대한 수문학적 안정성 확보의 필요성이 더욱 대두되고 있다. 특히, 동일 수계내 댐들이 상·하류에 직렬로 위치하는 경우 두 댐을 연계운영하는 방안으로 상시만수위의 조정, 홍수기 제한수위 설정 등의 방안을 검토하여 수문학적 안정성 확보의 대안을 찾는 것은 매우 중요한 의미를 갖는다. 본 연구에서는 울산지역에 위치한 태화강수계 사연댐의 수문학적 안정성을 확보하기 위하여 상류에 위치한 대곡댐과의 연계운영을 고려하여, 가장 합리적인 치수대책 마련을 위한 다양한 방안들을 비교·검토하였다. 비구조적 대책 검토는 댐의 수문학적 안정성 확보를 위한 치수능력증대사업 설계검토에서 경제성의 원칙에 따라 반드시 고려되어야 할 아주 중요한 과정이다. 따라서, 대곡댐의 웨어 Crest인 EL.117.5 m를 홍수기 제한수위로 설정하는 방안과 사연댐의 비상용수공급시설을 이용하여 방류하는 조건에서의 홍수기 제한수위별 저수지 모의운영을 통하여 치수능력증대방안으로의 적용가능성을 검토하였다. 급변 연구에서 댐의 치수능력증대방안 마련을 위해 제시되는 상류 댐과의 연계운영 방법 및 비구조적 대책 검토방안과 내용들은 향후 연계운영을 통해 치수대책 검토가 필요한 댐들에 적용하여 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 이상홍수(PMP, PMF), 수문학적 안정성, 치수대책, 연계운영

1. 서 론

1990년대 후반 이후 우리나라에 발생한 주요 호우는 그 이전에 발생한 호우에 비해 규모가 거대화되었고, 이로 인한 홍수피해규모 역시 크게 증가하고 있는 추세이다. 1995년 이후에 우리나라에서 발생한 주요 호우는 1995년 태풍 재니스(JANIS), 1996년 집중호우, 1998년 게릴라성 집중호우와 태풍 야니(YANNI), 1999년 경기북부지방 집중호우, 2002년 8월 중순에 발생한 전국 규모의 호우와 태풍 루사(RUSA), 2003년 태풍 매미(MAEMI) 등이다. 따라서, 최근 이렇게 기상이변 등에 따라 빈번히 발생하는 이상홍수에 대한 댐의 적극적인 대응을 위해 1999년 수자원관리기법연

* 정회원 · 한국수자원공사 설계사업처 · E-mail : kangdk@kwater.or.kr
** 정회원 · 한국수자원공사 설계사업처 · E-mail : bmchoi@kwater.or.kr
*** 정회원 · 한국수자원공사 설계사업처 · E-mail : waterkcs@kwater.or.kr
**** 정회원 · 한국수자원공사 설계사업처 · E-mail : gogo1380@kwater.or.kr

구조사보고서 중 한국의 가능최대강수량 추정(건설교통부, 2000a)에서는 한국의 주요호우(건설교통부, 2000b)에서 분석된 DAD 분석결과를 이용하여 호우를 수분 최대화시켜 전국적으로 일반화된 격자 PMP(Possible Maximum Precipitation)를 작성하였다(건설교통부, 2000a). 또한, 2004년에는 1969~1999년까지 분석된 주요 호우에 대하여 2000년 이후 우리나라에 발생한 주요호우의 규모와 크기를 정략적으로 평가하였고, 이들의 DAD 분석결과를 이용하여 전국적으로 일반화된 PMP도를 재작성 하였다(건설교통부, 2004). 특히, PMP 공간분포시 사용된 within/without-storm 분포에 있어 within-storm 기법은 Goodyear & Riedel(1965), Riedel(1973), Hansen 등(1982)에 의하여 이용되었고, Hansen 등(1982)은 가상호우의 형태에 대한 등우선 값을 설정하기 위해 without-storm과 결합된 within-storm 강우깊이-면적관계를 일반화시켰다.

최근 PMP 강우 발생시 기존댐의 치수안정성 확보를 위해 전국적으로 치수능력 증대사업을 추진 중에 있다. 특히 기존댐의 치수안정성 검토에 있어 운영수위 조정 등을 통한 비구조적 대책을 우선적으로 검토하고 적절한 대책마련이 어려울 경우 구조적 대책을 통한 치수계획을 수립하게 된다. 따라서, 적절한 비구조적대책의 검토는 재원조달이 어렵거나 기존 시설물의 개선이 어려운 상황 등에서 적절히 적용하여 댐의 치수안정성을 확보할 수 있다는 중요한 의미를 가진다.

본 연구에서는 기존댐의 치수안정성 검토에 있어 상류에 위치한 댐과의 연계운영을 고려한 하류 댐의 비구조적 치수안정성 확보 방안을 제시하고 있다. 대상유역은 대곡댐과 사연댐 유역으로 하였으며, '전국 PMP도 재작성 보고서'(건설교통부, 2004)를 토대로 재산정된 PMP 및 PMF에 대하여 댐의 연계운영을 고려한 수문학적 안정성을 검토하였다. 또한 각 댐별 홍수기 제한수위를 설정하여 연계 운영시 치수안정성 확보 가능여부 및 이수안정성 등의 효과를 비교, 분석하여 기존댐을 최대한 활용한 치수안정성 확보의 방안을 검토하였다.

2. 수문학적 안정성 검토

2.1 대상유역

본 연구에서는 연구 대상으로 사연댐 및 대곡댐 유역을 선정하였으며, 대곡천 유로연장 23.4 km 중 태화강과 합류지점으로부터 사연댐은 약 0.5 km, 대곡댐은 약 9.0 km 지점에 위치하고 있다. 그림 1은 대곡댐 및 사연댐의 유역도이다. 사연댐은 1961년 울산지역이 특정공업지역으로 결정되면서 소요되는 공업용수를 충족시키기 위하여 1962~1965년에 걸쳐 건설사업을 추진하여 준공되었다. 이후 급격한 인구증가 및 사회적 요구에 따라 사연댐의 생활용수 수원으로의 전환 및 신규 취수원 확보를 위해 대곡댐의 건설(1995~2006년)을 추진하여 생활용수를 기존 110천 m³/일에서 220천 m³/일로 증대시키게 되었다. 따라서, 대상유역은 치수안정성과 함께 이수안정성도 함께 고려되어야 하는 특수성을 가진 지역이라 할 수 있다.

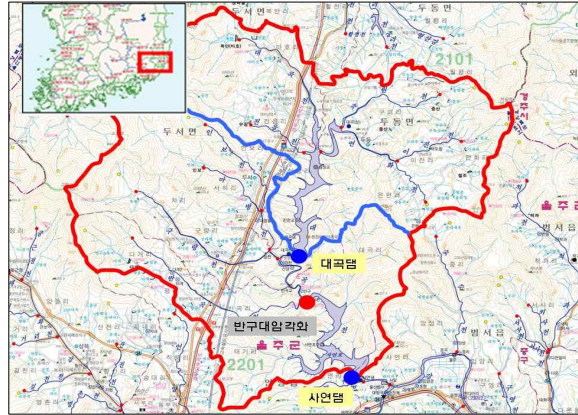


그림 1. 대곡댐 및 사연댐 유역도

2.2 PMF 산정 및 수문학적 안정성 검토

금회 PMP 산정은 전국 'PMP도 제작성 보고서'(2004)를 토대로 산정하였으며, 특히 기 작성된 PMP도에서의 강우를 대상유역 적용시 면적가중법을 사용하였다. 공간분포 기법으로는 within/without-storm 방법을 사용하였고 내삽은 Log보간법을 적용하였다. 또한 PMF 산정시 PMP의 중심이 대곡댐 유역중심, 사연댐 유역중심 및 전체유역 중심 등 3가지 경우에 대하여 산정하였으며 PMP의 지속시간별 강우분포는 기존(건설교통부, 2000b)의 울산지역의 HUFF분포를 적용하여 전 분위에 대한 PMF 분석을 실시하였다. 또한, 산정된 PMF에 대하여 식1과 같이 저류방정식에 근거하여 저수지 홍수추적을 실시하였다. 단, 방류량은 기존시설 설계조건에 수위별 방류량을 적용하였다.

$$I - O = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (1)$$

여기서, I : 유입량, O : 유출량, S : 저류량, t : 시간간격

강우 유역중심별-HUFF 분위별 PMF에 대해 저수지 홍수추적을 실시한 결과 전체유역의 중심 강우조건인 HUFF 4분위에서 치수적으로 가장 불리한 것으로 검토되었으며 결과는 표 1과 같다. 또한, 댐설계기준(2005)에서 제시한 식 2 및 식 3의 댐여유고 산정기준을 적용하여 댐의 수문학적 안정성 검토를 실시하였다. 그 결과 표 2에서와 같이 대곡댐은 수문학적 안정성을 확보하고 있으나 사연댐은 0.32 m의 여유고가 부족하여 치수대책이 필요한 것으로 나타나 사연댐의 비구조적 치수대책 방안을 검토하였다.

$$\begin{aligned} & \text{설계홍수위(FWL)} + H_f \\ H_f & \geq R + h_2 + h_a + h_i \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{최고수위(MWL)} + H_f \\ H_f & \geq R + h_a + h_i \quad (3) \end{aligned}$$

여기서, H_f : 여유고, R : 물결의 처오름 높이를 포함한 과량고

h_1 : 안전고(1.0 m) (댐설계시), h_2 : 문비에 따른 여유고(0.5 m) (댐설계시)

he : 지진에 의한 파랑고, ha : 여수로형식에 의한 안전고(수문有 0.5 m, 수문無 0 m)
hi : 댐형식에 의한 안전고(1.0 m)

표 1. 유역의 현황

지속 시간	대곡댐				사연댐			
	Peak inflow (m ³ /s)	Peak Storage (1000m ³)	Peak Elevation (EL.m)	Peak Outflow (m ³ /s)	Peak inflow (m ³ /s)	Peak Storage (1000m ³)	Peak Elevation (EL.m)	Peak Outflow (m ³ /s)
12hr	1,442	39,563	123.93	1,117	2,724	37,542	66.13	2,446
13hr	1,427	39,504	123.91	1,117	2,712	37,737	66.20	2,473
14hr	1,403	39,668	123.97	1,089	2,711	37,866	66.25	2,479
15hr	1,376	39,760	124.00	1,080	2,695	37,922	66.27	2,477
16hr	1,338	39,784	124.01	1,094	2,667	37,925	66.27	2,471
17hr	1,319	39,621	123.95	1,083	2,614	37,827	66.24	2,439
18hr	1,301	39,560	123.93	1,086	2,573	37,748	66.21	2,421
19hr	1,281	39,462	123.90	1,084	2,526	37,639	66.16	2,414
20hr	1,262	39,465	123.90	1,094	2,515	37,587	66.14	2,421

표 2. 댐의 수문학적 안정성 검토 결과

구 분		대 곡 댐	사 연 댐	비 고
댐마루표고(EL.m)		126.80	67.40	
최고수위(EL.m)		125.87	65.95	
최고수위 (EL.m)	대곡유역 중심	124.25	65.84	
	사연유역 중심	123.43	66.18	
	전체유역 중심	124.01	66.27	
수문학적 안정성		안정	여유고부족: 0.32 m	

3. 비구조적 치수대책 검토

비구조적인 방안으로는 예비방류, 홍수기 제한수위 설정 등의 방안이 있으며, 예비방류방안은 홍수기에 제한수위를 설정하기 않고 이수목적에 비중을 두고 댐을 운영하다가 홍수가 예상될 때 사전 방류로 홍수조절용량을 확보하는 방식이다. 사연댐은 자연월류 방식으로 대곡댐에서의 예비방류를 검토하고 연계운영을 통한 최적방안을 도출하여야 한다. 그러나, 홍수유입전 홍수초기에 조작이 완료되어야 하고 조작의 판단은 기상상황 및 예보치의 신뢰성이 확보되어야하는 전제가 필요해 사전 계획단계에서 정확한 상황예측이 어렵고 강우발생 상황에 따라 예비방류의 조건이 유동적이다. 따라서 본 연구에서는 홍수기 제한수위 설정방안을 채택하여 기 산정된 PMF 발생시 대곡댐 및 사연댐의 연계운영을 통한 수문학적 안정성 확보 가능성에 대한 검토를 실시하였다.

3.1 홍수기 제한수위 설정

3.1.1 대곡댐 홍수기제한수위 설정

사연댐은 수문이 없는 자연 월류방식의 댐으로 수문이 설치된 대곡댐과 연계운동을 통한 홍수기 제한수위 설정 방안을 검토하였다. 따라서 대곡댐의 비구조적 방안으로 고려할 수 있는 최저수위인 웨어 Crest EL.117.5 m를 홍수기 제한수위로 설정하고 이 조건에서 홍수추적을 실시하여 사연댐의 수문학적 안정성을 검토하였다. 대곡댐은 현재의 상시만수위 EL.120.0 m에서 2.5 m 낮은 EL.117.5 m를 홍수기 제한수위로 설정하여 치수능력 증대 효과를 검토한 결과, 사연댐은 당초 EL.66.27 m보다 0.25 m 낮은 EL.66.02 m에서 최고수위가 결정되는 것으로 나타났다. 그러나, 여유고를 고려한 최고 가능수위 EL.65.95 m보다 0.7 m 높게 나타나 사연댐의 여유고가 여전히 부족한 것으로 나타났다.

3.1.2 사연댐 홍수기제한수위 설정

사연댐은 2개의 하류하천 유지용수 공급시설(D=80 mm, 1200 mm)을 가지고 있으며 운영조건을 고려하여 최대 4.7 m³/s 방류가 가능한 것으로 조사되었다. 따라서 여수로 방류와 함께 웨어 Crest(EL.60.0m)이하에서 4.7 m³/s 방류조건을 포함하여 검토하였다. 사연댐의 홍수기 제한수위를 EL.55 m과 EL.50 m의 조건에서 사연댐의 최고수위가 당초보다 0.5 m, 0.7 m 낮은 EL.66.22 m, EL.66.20 m로 나타났다. 이는 홍수량을 비상용수 공급시설을 통해 배제시키는 것은 한계가 있으며 추가 방류시설이 필요한 것으로 검토되었다.

3.2 용수 공급능력 검토

사연댐은 대곡댐과 연계하여 현재 울산시에 180 천m³/일 규모로 용수공급을 하고 있다. 그러나, 이는 과거 27년간 용수공급 실적 추이를 분석해 본 결과 그림 2에서와 같이 2010년이 지나면 현재의 공급목표량을 초과하는 것으로 추정된다. 제한수위별 용수공급 가능량 검토에 있어서도 그림 3에서와 같이 제한수위를 낮출수록 용수공급 가능량이 감소하는 것으로 나타나 제한수위를 지금보다 낮게 설정할 경우 울산지역의 물부족을 초래하게 된다. 따라서, 사연댐에서는 홍수기 제한수위 설정방안은 구조적 대책과 함께 적용 가능하더라도 용수공급용량 확보 차원에서는 부적절한 대책인 것으로 검토되었다.

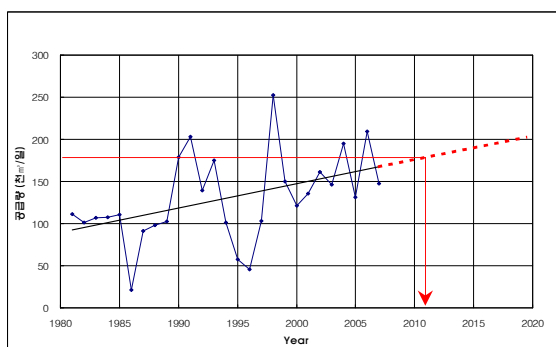


그림 2. 사연댐 용수공급 실적(1991~2007년)

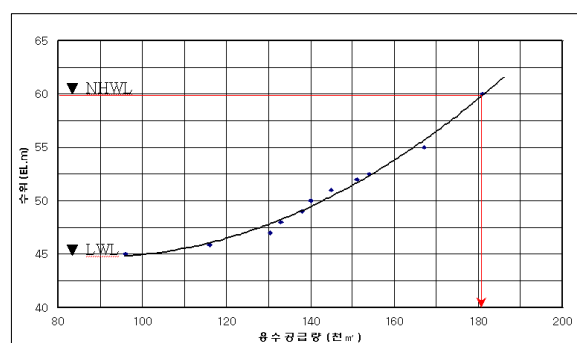


그림 3. 사연댐 제한수위별 용수공급 가능량

3. 결 론

사연댐과 대곡댐 유역의 PMP 및 PMF 산정을 실시하고 연계운동을 조건을 고려하여 기존댐의 수문학적 안정성 및 치수안정성 확보를 위한 비구조적 방안을 검토하였다.

1. 연계운명을 고려하는 댐에 대하여 댐별 유역조건을 고려하여 PMP의 강우중심을 총 3가지 경우에 대하여 적용하고 각각에 대하여 HUFF 전체분위 PMF를 산정하였다. 그 결과, 하류에 위치한 사연댐의 경우 전체유역 중심의 강우배치 및 HUFF 4분위 조건에서 최고수위가 발생하는 것으로 나타났으며 최대 0.32 m의 여유고가 부족한 것으로 나타났다.
2. 비구조적 대책으로 기존 여수로 웨어 높이를 고려한 홍수기 제한수위 설정방안을 검토하였으며 대곡댐의 홍수기 제한수위 설정을 통해 사연댐은 최대 0.25 m까지 부족여유고를 줄일 수 있는 것으로 나타났으며, 사연댐의 홍수기 제한수위 설정은 비효율적인 것으로 검토되었다.
3. 그러나, 사연댐의 용수 공급능력을 고려시 홍수기 제한수위 설정은 기존 용수공급 능력을 저하시켜 안정적인 용수조달이 어렵게 만들어 물부족을 유발시키게 되어 이수측면에서는 적절하지 못한 대안으로 검토되었다.
4. 금번 연구에서 댐의 치수능력증대방안 마련을 위해 제시되던 같은 수계내 댐들의 연계운영 방법 및 비구조적 대책 방안 및 내용들은 향후 연계운명을 통해 치수대책 검토가 필요한 댐들에 적용하여 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(2000a). 수자원관리기법연구조사보고서 제2권 한국의 가능최대강수량 추정
2. 건설교통부(2000b). 수자원관리기법연구조사보고서 제2권 별책 제1권 한국의 주요호우
3. 건설교통부(2004). 전국 PMP도 재작성 보고서
4. 김남원, 우효섭, 김창원(2002). 태풍 루사(Rusa)의 강우 특성과 홍수피해 특성, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 15-22.
5. 김남원, 원유승(2004). 호우이동을 고려한 DAD 분석방법, 한국수자원학회 논문집 Vol. 37, No. 5, pp. 437-448.
6. 김진면(1972). 한국에 영향을 미친 태풍조사, 한국기상학회지, Vol. 8, No.1, pp. 39-47.
7. 한국수자원학회(2005). 댐설계기준.
8. Hansen, E. M., Schreiner, L.C., and Miller, J. F.(1982). Application of Probable Maximum Precipitation Estimates, United States East of the 105th Meridian, Hydrometeorological Report No. 52, U.S. National.
9. Riedel, J. T., Wang, B. H. and Diebel, J. L.(1982). Site Specific Probable Maximum Precipitation Estimates(Upper South Platte River Basin Colorado), Processings of International Symposium onf Hydrometeorology, American Water Resources Association, pp. 517-522.