

댐과 하천정비사업의 연계 효과 분석

Coupled Effectiveness of Dam and River Improvement Project

이광만*, 이을래**, 이요상***
Gwang Man Lee, Eul Rae Lee, Yo Sang Lee

요 지

댐이 건설된 이후 운영편익은 여러 가지 이유로 원래의 목적이나 목표를 달성하는데 어려운 상황이 발생하게 된다. 실제 대부분의 다목적댐의 경우 홍수기에 댐 하류 하천의 환경변화로 계획된 홍수량을 적절히 방류하지 못하는 사례가 늘고 있으며 이로 인해 유효 저수량을 충분히 활용하지 못해 이수측면에서도 계획공급량을 충족시키지 못하는 경우가 발생하고 있다. 이는 하천이 댐에서 조절된 홍수량을 안전하게 하류로 배수시키는데 필요한 통수능을 충분히 확보하지 못하고 있기 때문이다. 이의 주요 원인은 댐 하류하천의 침식이나 제방상태가 부실하여 하천이 설계홍수량을 소통시키는데 많은 장애 요인을 갖고 있기 때문이다. 결국 하천의 통수능은 홍수 조절과 관련된 댐 운영의 제약조건으로 작용하게 되어 댐 운영측면에서는 큰 손실을 야기하게 된다. 본 연구에서는 기존 다목적댐의 홍수기 운영제약조건으로 작용했던 하류의 통수능 개선을 통한 유효저수량의 복원에 따른 기대효과를 분석하였다. 이를 통하여 댐의 유효저수량 확보에 가장 큰 장애요인이라 할 수 있는 댐 직하류에서 계획홍수량의 일정 유량을 피해없이 방류할 수 있는 통수능 개선을 통해 이수목적의 유효저수량의 회복이 현재의 운영여건에 비해 용수공급과 수력발전으로 대표되는 이수목적의 추가적 편익이 어떻게 발생하는지를 평가하였다.

핵심용어 : 댐 운영편익, 계획공급량, 통수능, 제약조건, 이수목적

1. 서론

댐이 건설된 이후 운영편익은 수문조건이 변하지 않는 한 여러 가지 이유로 원래의 목적이나 목표를 충분히 달성하기 어려운 상황이 발생하는 것이 일반적이다. 이는 댐 계획 당시 실제 운영에서 발생할 수 있는 문제들까지 검토하는 데는 한계가 있으며 댐 건설 이후 사회여건의 변화나 수자원관리에 대한 인식의 변화, 계획된 목적의 중요도 변화 등 여러 가지 요인에 의해 상황변화가 발생한다. 용수공급용 댐의 건설은 실질적으로 계곡의 저류능력 감소, 홍수파의 감소 그리고 홍수의 체류시간 증대 등으로 하류 홍수방어기능을 악화시킨다. 한편 댐의 유효저수량은 때때로 물이 차지 않은 상태에서 홍수가 올 경우 홍수조절에 기여할 수 있다. 그래서 홍수조절 목적이 포함되어 있는 대부분의 다목적댐에서는 하절기 제한수위를 두어 더 많은 홍수조절용량을 확보하고

* 정회원.한국수자원공사 K-water연구원 수석연구원.E-mail : lkm@kwater.or.kr
** 정회원.한국수자원공사 K-water연구원 선임연구원.E-mail : erlee@kwater.or.kr
*** 정회원.한국수자원공사 K-water연구원 책임연구원.E-mail : yslee@kwater.or.kr

있다. 경우에 따라서는 유효저수용량의 잉여용량은 홍수조절에 기여하여 반대로 홍수조절용량에 저류된 물은 수력발전 등 이수목적에 기여할 수 있게 된다.

이런 경우 예상 가능한 문제는 댐 하류에 피해를 주지 않는 홍수조절을 위해 언제 발생할지 모르는 홍수사상을 위해 할당된 홍수조절용량 외에 유효저수용량의 일부를 비워두어야 한다는 것이다. 이런 상태는 댐 제약조건으로 작용할 수 있으며, 유효저수용량이 제약된 댐 운영을 고착화시켜 이수목적의 편익을 감소시킬 수 있다. 대부분의 다목적댐은 홍수조절용량을 별도로 배분하고 있으며 하절기에는 홍수조절을 위한 제한수위까지 설정해 놓고 있다. 유효저수용량은 용수공급, 수력발전, 하천유지 또는 레크레이션이나 관광 등 여러 목적으로 이용되는데 상호 목적 간 보완적이거나 대립적 관계에 있다. 이 중에서 홍수조절과 용수공급은 대립적 관계라 할 수 있으며 발전과 용수공급은 보완적 관계라 할 수 있다. 댐 하류의 홍수 피해 경감 대책은 제체의 안전과 하류 피해를 줄이기 위하여 홍수조절용량을 확보하여 저수지 침투 방류량이 하류 하천의 통수능력 이하가 되도록 하는 것이다. 본 연구에서는 기존 다목적댐의 홍수기 운영제약조건으로 작용했던 하류의 통수능 개선을 통한 유효저수용량의 복원에 따른 기대효과를 분석하였다.

2. 댐 운영의 치수 대 이수목적 관계

일반적으로 댐 운영은 하천수의 계절적 변동성과 물 이용량 그리고 장기가물에 의해 결정된다. 전 세계적으로 대부분의 댐들은 강우가 많은 특정 계절이나 융설에 의해 유량이 증가하는 시기에 댐에 가능한 많은 물을 저류하였다가 수요가 많은 갈수기에 댐 저수량을 줄여나가는 것이다. 이와 같은 현상은 수문의 계절적 특성을 고려할 때 예측 가능한 것이며 댐 운영기준도 이를 고려하여 정하게 된다. 수문년을 기준으로 체류시간이 1년 이상인 경우 저류량이 이월되는 댐이라 할 수 있는데 풍수년에 충분한 물을 저류하였다가 갈수년에 공급하는 구조이다. 결국 유입량에 비해 댐 규모가 클 경우 용수공급량이 증대되며 장기가물에도 안정적이거나 댐 건설비용이 과대해진다. 우리나라 다목적댐의 경우 표 1과 같이 유입량 대비 유효저수용량으로 나타내는 체류시간은 평균 0.7년이며 비는 60~90% 수준이다.

표 1 우리나라 다목적댐의 용수 이용률 비교

댐	유효저수용량 ($10^6 m^3$)	연평균유입량 ($10^6 m^3$)	연평균공급량 ($10^6 m^3$)	체류시간 (유효저수용량/유입량)	이용율 (공급량/유입량)
소양강	1900.0	1750.0	1468.4	1.086	0.839
충주	1789.0	4888.0	3380.0	0.366	0.691
횡성	73.4	176.0	119.5	0.417	0.679
안동	1000.0	850.0	926.0	1.176	1.089
임하	424.0	762.0	592.0	0.556	0.777
합천	560.0	911.4	599.0	0.614	0.657
남강	299.7	2031.0	573.3	0.148	0.282
밀양	69.8	92.0	73.0	0.759	0.793
대청	790.0	2450.0	1649.0	0.322	0.673
용담	672.0	769.5	650.4	0.873	0.845
섬진강	370.0	497.0	414.4	0.744	0.834
주암	352.0	789.0	235.2	0.446	0.298
부안	35.6	38.0	35.1	0.937	0.924
보령	108.7	125.5	106.6	0.866	0.849
장흥	171.0	156.0	127.8	1.096	0.819

이것은 댐 유입량의 체류시간이 1년 미만이라 풍수기에 저류된 물이 갈수기로 이월되기는 하나 해를 넘기는 장기간 이월된다는 의미는 아니다. 소양강댐과 안동댐의 경우 평균유입량이 유효저수용량보다 적은 것으로 나타났고 유역규모에 비해 댐규모가 적은 남강댐은 체류시간이 가장 짧은 0.3년 수준이었다. 유입량에 대한 공급량의 비로 정의된 용수이용율을 살펴보면 대체로 댐의 체류시간과 비슷한데 평균은 73%였고 안동댐을 제외하고 65~93%수준이었다. 이는 우리나라 다목적댐은 유입량보다 유효저수용량의 규모가 작아 하절기때 홍수조절 문제

를 같이 가지고 있다는 의미이다. 즉 하절기에 유입량을 저류하였다가 갈수기에 공급함과 동시에 홍수기에는 제한된 댐 공간을 이용하여 홍수조절도 동시에 해야한다는 것이다.

3. 이수 및 치수를 고려한 댐 운영

다목적댐에서 홍수조절과 용수공급을 위한 용량은 지정되어 있다. 유효저수용량의 상단, 홍수조절용량의 상단 그리고 최대설계수위는 홍수조절규정에서 매우 중요한 저수량 기준이 된다. 계획된 용수공급이나 보장량은 유효저수용량 범위에서 조절방류되며, 홍수조절은 유효저수용량의 상단과 홍수조절용량의 상단사이의 공간을 이용하여 이루어진다. 홍수조절용량 공간에서 방류는 문비가 장착된 여수로나 월류웨어 등을 통하여 방류하는 것이 일반적이다. 간혹 홍수조절용량이 만수위가 되거나 유입량이 여수로 방류량보다 많을 경우 여유저수공간까지 저류되는 경우도 있다. 최대설계수위는 댐과 댐 부속물을 설계할 때 임계조건이 된다.

대부분의 다목적댐들은 운영규정이 정해져 있다. 이들 규정은 여러 가지 조건에서 방류량을 정해 놓고 있다. 운영계획의 공식화나 수정은 광범위한 수문학적, 수리학적, 경제적 및 환경적 검토를 필요로 한다. 운영계획은 댐 사업의 계획이나 설계단계에서 설정하게 된다. 댐 건설 이후 운영 중에 운영절차에 대한 수정이나 개선은 실제 운영을 통해 얻은 경험이나 유역내 새로운 시설의 설치나 수문의 급격한 변화 등의 조건에 의해 이루어지게 된다. 그러나 댐 운영 절차에 대한 변경은 쉽게 이루어지지 못하는 것이 일반적이며 원래의 방안을 고수하는 것이 대부분이다.

댐 하류의 홍수 피해 경감 대책은 체제의 안전과 하류 피해를 줄이기 위하여 홍수조절용량을 확보하여 저수지 침투 방류량이 하류 하천의 통수능력 이하가 되도록 하는 것이다. 댐 수위 관리는 이수관리와 홍수관리로 대별 할 수 있다. 저수지의 이수 관리는 일반적으로 상시만수위와 최저수위 사이의 유효저수량의 범위에서 용량을 조절한다. 용수댐에서 홍수기에 홍수조절을 하는 경우에는 홍수조절용량을 확보하기 위하여 저수지 수위를 낮게 유지함으로써 이수용량은 적어지게 된다. 이때 수위를 홍수기 제한수위라 한다. 이수관리의 기본은 관개기가 끝나는 시점에 저수위가 최소저수량(사수위)에 이르도록 용수공급량을 배분하는 것이며, 홍수관리는 홍수 시 기상·수문상황을 파악하는 동시에 댐으로의 유입량과 저수위를 예측하여 사전 방류량을 결정하고 수위를 조절하는 것이다. 댐에서 물을 얼마나 저류해야 할지 방류해야할지 그리고 얼마를 취수해야할지를 결정하는 것은 물리적, 수문학적, 환경적 경제적, 제도적, 법적, 정치적 그리고 사회적 관심사항을 고려해야 하는 매우 복잡한 의사결정과정을 거친다. 각각의 댐 사업이나 저수지 시스템은 고유의 독특한 운영방법과 이것에 따르는 문제점이나 어려움을 내포하고 있다. 상충관계를 최소화하고 논쟁을 다루는 것이 댐 운영관리의 실제이기도 하다.

4. 댐 하류 하천정비 시행에 따른 댐운영 효과 분석 사례

4.1 용담댐 사례

용담댐 하류 하천정비사업 시행전·후의 댐운영 제약사항을 비교·분석하고, 정비사업 시행에 따른 댐 운영상의 치수, 이수에 대한 정량적·정성적 분석을 수행하였다. 효과 분석은 제방설치와 하도개선 실시로 댐운영 제약사항 해소와 주변지역 농경지 보호를 하는 치수효과, 용담댐의 운영기준에 맞춰 일유입량 자료 등을 이용하여 물수지모형으로 분석한 이수효과에 대하여 분석하였다.

하천 제방의 방어능력 증가로 인해 100년 빈도 홍수에 대하여 하류하천의 안정성이 확보되고, 하천 범람으로 인한 침수피해가 감소할 것으로 예상된다. 이에 개수전·후 하류하천의 수물면적 변화를 통해 침수영향을 검토하였다. 100년 빈도 홍수에 대하여 침수면적을 검토한 결과 개수 전 침수면적은 41.9ha로 검토되었으며, 제방공사 후 방어능력 증대로 100년빈도 홍수에 대해서는 피해가 발생하지 않는 것으로 검토하였다(2008).

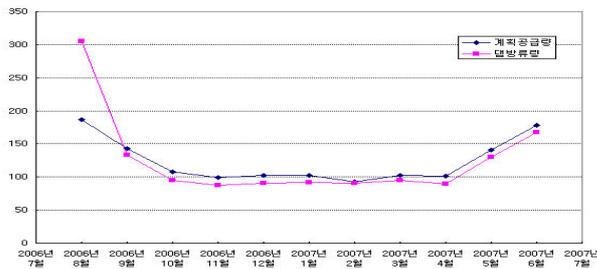
용담댐 직하류 제방의 방어능력 증대로 용담댐의 방류가능량이 700m³/sec에서 2,730m³/sec로 증가됨에 따라 댐운영 제약사항이 해소될 것으로 예측된다. 그 결과 댐운영 수위의 회복 및 유효저류용량의 증가가 예상되므로 이를 통한 용수공급량 증가 및 발전량 증대효과를 기대할 수 있다. 댐 직하류 정비전 용담댐 방류능력은 700m³/sec로 하천의 계획빈도인 100년 빈도 홍수발생시 현재 운영수위인 EL. 263.5m를 적용하여 운영한 결과 저수위가 댐정고를 상회하여 댐의 안정성에 문제가 발생하는 것으로 모의되어 댐의 안정적인 운영을 위해서 운영수위를 EL. 263.5m에서 EL. 260.1m로 상시만수위를 하향 조정하여 모의하였으며, 정비후 용담댐 방류능력이 2,730m³/sec로 증가할 경우 운영수위는 상시만수위인 EL. 263.5m로 운영 수위가 회복 가능한 것으로 모의되었다. 이로 인해 발생하는 용담댐의 이수능력 변화를 검토하였다. 용수공급능력은 용수공급부족량과 용수수요량의 차로 산정하였으며, 용담댐 물수지 분석결과 정비 전·후 용수공급능력은 639.9백만m³/년에서 644.3백만m³/년으로 연간 4.4백만m³ 용수공급능력이 증가하는 것으로 분석되었다(표 2).

표 2 용담댐 용수공급량 변화 (백만m³/년) 표 3 수력발전 효과 분석

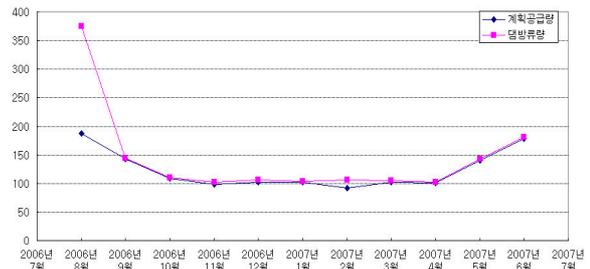
구 분	용담댐		구 분	개수전	개수후	영 향
	정비 전	정비 후				
○ 용수수요량(A)	656.9	656.9	현재 용담댐에는 제 1발전소(180백만kWh/년), 제 2발전소(18백만kWh/년)가 운영중으로 연간 198.5GWh를 발전하고 있다. 최대사용수량은 17.5cms, 6.2cms로 용담댐 방류가 능력 및 유효저수량 증가로 인해 발전량이 증가할 것으로 추정된다. 분석결과는 정비 전 700m ³ /sec로 조절 방류를 위해 운영수위를 EL. 260.1m로 조정하여 운영한 결과 연평균 발전량은 196.4GWh로 분석되었으며, 정비 후 2,730m ³ /sec로 방류가능량이 증가하여, 운영수위를 EL. 263.5m로 회복한 후 운영한 결과는 206.0GWh로 분석되었다. 정비 전·후 발전량은 9.6GWh/년 증가하는 것으로 분석되었다(표 3).	196.4	206.0	9.6
- 생활용수	0.57	0.57				
- 공업용수	0.02	0.02				
- 농업용수	7.26	7.26				
- 유지용수	157.0	157.0				
- 광역물공급	492.0	492.0				
○ 용수공급부족량(B)	△17.0	△12.6				
○ 용수공급량(A-B)	639.9	644.3				

4.2 안동-임하댐 사례

안동-임하댐 직하류하천정비 사업 시나리오에 의거 용수공급과 수력발전 편익에 대한 분석 결과는 그림 1~2와 같다. 그림 1의 (a)은 2006년 7월 홍수조절 말기의 조건을 그대로 적용하여 분석한 것으로서 용수공급 측면에서 큰 차이를 보이지 않았으나 (b)와 같이 2006년 7월의 홍수기 끝 시점의 저류량을 상시만수위 수준으로 유지했을 경우에 대한 시나리오에서는 2억19백만m³의 추가공급이 가능했다. 이는 2006년 7월 홍수조절 당시 홍수기 끝 시점에 가능한 저수위를 높이는 전략이 필요했음을 의미하며 댐 하류 하천정비사업이 이후 발생할 수 있는 극한 홍수사상을 감당할 수 있다면 저수위를 높이는 방안에 대하여 검토할 필요성이 제기되는 대목이다.



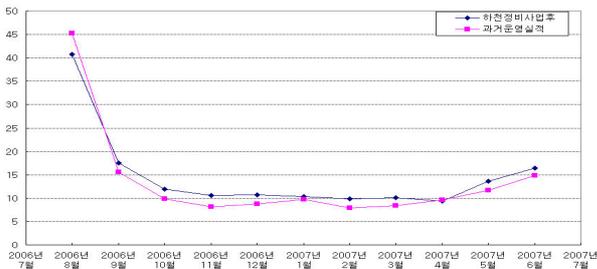
(a) 실제 운영상황



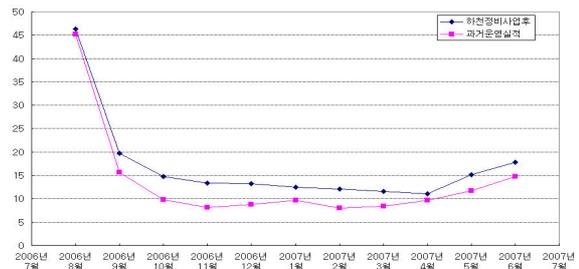
(b) 홍수말기 수위를 상시만수위로 유지

그림 1 2006년 7월 홍수시 운영결과에 대한 용수공급 비교

발전편의 역시 댐 하류 하천정비사업의 효과의 하나로 검토하였는데 분석 결과는 그림 2와 같다. 그림 2의 (a)는 2006년 7월 홍수조절 말기의 조건을 그대로 적용하여 분석한 것이고 (b)는 홍수기 말 저류량을 상시만수위로 한경우로 37.8 GWh의 추가 생산이 가능한 것으로 모의되었다. 이 역시 2006년 7월 홍수조절 당시 홍수기 끝 시점에 가능한 저수위를 높이는 전략에 근거한 결과라 할 수 있다.



(a) 실제 운영상황



(b) 홍수말기 수위를 상시만수위로 유지

그림 2 2006년 7월 홍수시 운영결과에 대한 발전량 비교

5. 결론 및 제언

댐 하류 하천정비사업이 갖는 사업의 특성상 직접편익외 댐 운영과 관련된 시너지 혹은 간접 편익에 대한 평가는 방법론이나 적용되는 제약조건, 운영기준 등에 따라 크게 달라질 수 있으며, 일부의 경우 현재의 운영상태가 최적의 조건에 부합하는 경우 개선효과는 미미할 수 있다. 이런 점들을 충분히 고려하여 본 기술지원을 통해 내린 결론은 다음과 같다. 우선 임하댐을 대상으로 한 평가에서 과거 여수로 방류가 있었던 홍수사상을 대상으로 댐 하류 하천정비사업의 추가적 기대편익은 생각보다 크지 않았다. 여기에는 홍수사상이 발생한 시점이 하절기 끝 시점일 경우 일반적으로 다음의 갈수기에 대비해 상시만수위 근처까지 수위를 높여 운영하므로써 저수용량 증대를 통한 추가적 기대편익에 대한 기대감이 낮아지는 것은 당연하였다. 반면 하절기 초입에서의 홍수사상은 이후 큰 홍수사상이 발생하더라도 이를 댐과 하천사업이 충분히 감당한다면 상시만수위를 확보할 경우 확보된 유량만큼 추가적 편익을 기대할 수 있는 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. 한국수자원공사 (2008), 용담댐 하류하천 정비사업 실시설계 보고서