



예비방류와 가동보 운영에 따른 다기능보의 홍수조절 효과 검토



이진호 |
한국수자원공사 4대강관리처 처장
choyd@kwater.or.kr



조영대 |
한국수자원공사 4대강관리처 기술지원센터장
choyd@kwater.or.kr



신정범 |
한국수자원공사 사회조력관리단 대리
jnb@kwater.or.kr



이충성 |
한국수자원공사 4대강관리처 선임위원
sung@kwater.or.kr

1. 머릿말

최근 4대강살리기사업의 수행으로 4.5억m³의 준설과 더불어 16개의 다기능보가 건설되었다. 표 1과 표 2에 나타낸 바와 같이 한강, 낙동강, 금강, 영산강 등 4대강 본류의 평균하상은 최소 0.2m에서 최대 1.3m로 낮아졌으며, 사업전 대비 통수단면적은 평균 12% 증가한 것으로 나타나고 있다. 이러한 통수능 확대는 자연스럽게 수위 저하로 이

표 1. 4대강살리기사업 수계별 준설현황

구분	구간	구간 길이(km)	평균 준설심(m)	준설량 (억m ³)
한강	팔당댐~충주댐	114.3	0.2	0.5
낙동강	하구둑~안동댐	334.2	1.3	3.4
금강	하구둑~대청댐 역조정지	130.4	0.2	0.4
영산강	하구둑~담양댐	111.6	0.6	0.3
계	-	690.5	-	4.6

표 2. 4대강살리기사업 준설구간의 사업전·후 통수 단면적 변화

구분	한강 (여주수위국)	낙동강 (진동수위국)	금강 (공주수위국)	영산강 (나주수위국)
사업前	4,891	5,528	5,098	3,530
사업後	5,486	6,168	5,755	3,905
비율(%)	12% ↑	12% ↑	13% ↑	11% ↑

표 3. 4대강사업 전·후의 주요 지점별 홍수위

주요지점		빈도(년)		홍수위(EL.m)
한강	여주	사업전	100	42.84
		사업후	100	41.31
			200	41.95
낙동강	낙동	사업전	100	43.38
		사업후	100	39.53
			200	40.04
	진동	사업전	100	15.28
		사업후	100	13.61
			200	14.22
금강	공주	사업전	100	19.26
		사업후	100	18.48
			200	19.20
영산강	나주	사업전	200	11.63
		사업후	200	10.61
			500	11.25

어져 주요 지점별로 사업전에 비해 계획홍수 기준 최소 0.8m에서 최대 3.9m까지 홍수위가 저하되는 것으로 분석되고 있다. 일례로 2011년 6~7월 2주간의 집중호우시 최고 300m 이상의 강우가 연속되었음에도 4대강 본류는 주요지점별로 최고 1.29~4.37m의 수위저하 효과가 발생한 것으로 나타났다. 그림 1 및 표 3은 4대강사업 전·후 홍

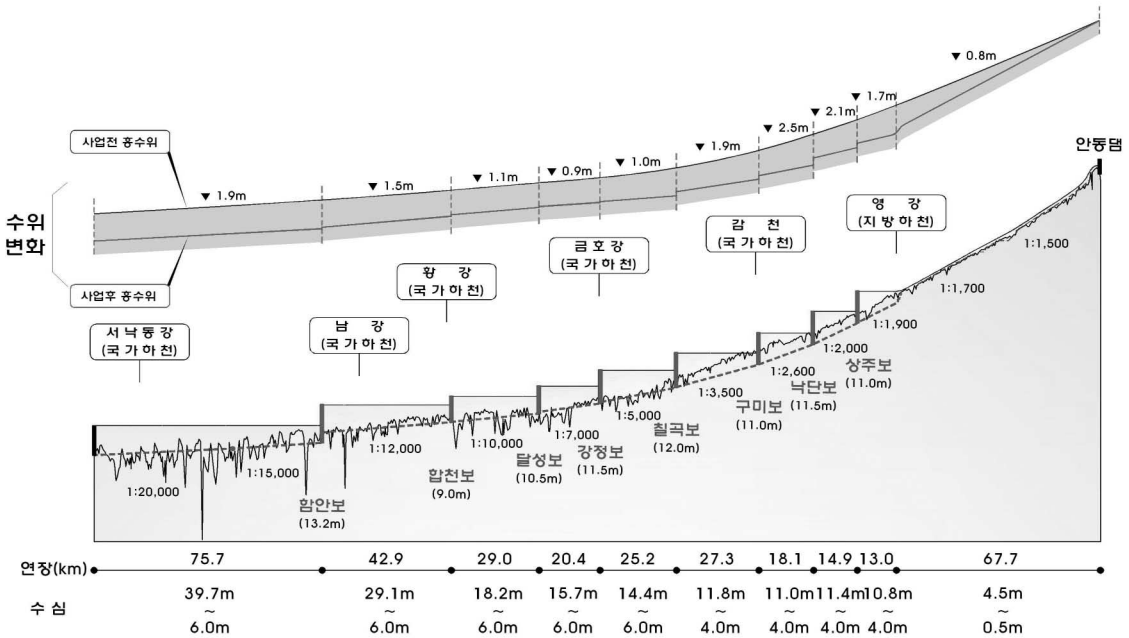


그림 1. 4대강사업 전후 계획홍수위 저감 (낙동강)

수위 변화를 나타낸 것이다.

이처럼 하천의 통수단면적 증가는 기본적으로 홍수량 소통에 유리한 것이 기술적 사실이다. 그러나 4대강살리기사업은 홍수 뿐 아니라 기후변화에 따른 물 부족에 대비해 16개 다기능보를 건설함으로써 평?갈수기에도 일정한 관리수위를 유지하고 있다. 이처럼 하천구간 내에 건설된 다기능보는 하천의 일정 부분을 차단하게 되어 통수단면적을 축소시키므로 홍수소통에 지장을 준다는 논란이 있어왔다. 따라서 홍수기에는 수문을 열고 예비방류를 실시하여 부족한 홍수소통능력에 대비해야 한다는 필요성도 제기된 바 있다. 본 연구에서는 예비방류와 가동보 운영에 따른 홍수조절 효과를 분석함으로써 다기능보의 전반적인 홍수소통능력을 검토하고자 한다.

2. 저류댐-보-하천의 홍수조절 기능

일반적으로 자연적-인공적 홍수조절 과정은 하

천이 물을 담아내는 정도인 저류능(storage)과 물을 하류로 빨리 흘러보내는 정도인 통수능(conveyance)의 연쇄작용으로 결정된다(우효섭, 2001). 표 3에 나타낸 바와 같이 하천 내 위치한 다목적댐과 보 및 하천은 홍수조절에 기여하는 작용원리가 각각 다르다. 다목적댐과 같이 대용량의 저류시설물은 평상시에 홍수를 저장하기 위한 홍수조절용량을 확보해 두었다가 홍수조절에 기여한다. 반면 보와 하천은 상대적으로 저류공간이 작기 때문에 저류기능보다는 빨리 물을 소통시키는 통수능에 더 의존적일 수밖에 없다.

4대강에 건설된 다기능보는 홍수시에 빠른 유수소통으로 수위상승을 막아야 한다. 4대강사업 이후 대부분의 하도구간 하천단면이 준설로 인해 수리학적으로 홍수소통에 유리한 사다리꼴 형상을

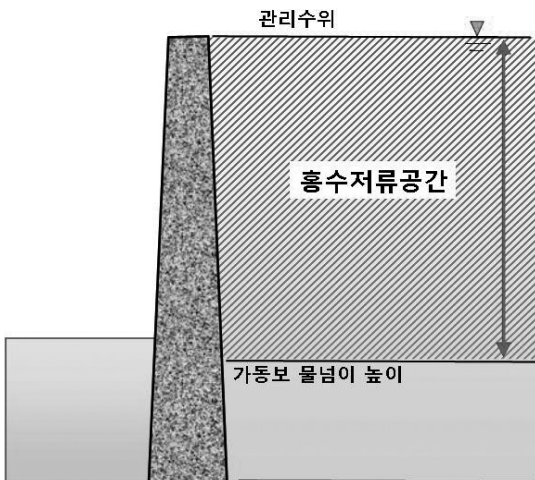
표 4. 하천 내 홍수조절 기능

구 분	홍수조절 기여
저류댐(다목적댐 등)	저류능 ≧ 통수능
하 천	저류능 ≪ 통수능
보	저류능 ≦ 통수능



가지게 된 반면, 다기능보는 하천단면 일정부분을 차단하여 통수능에 지장을 주는 것처럼 해석될 수 있다. 그러나 하천유량은 통수단면적 뿐 아니라, 조도계수, 유속, 수면경사 등 하천이 가지고 있는 기본적인 수리학적 인자에 의해 결정된다. 따라서 하천구간 내 국부적인 단면축소는 해당지점의 유속증가로 이어져 홍수소통 능력에 미치는 영향은 크지 않다. 일례로 낙동강 칠곡보의 경우 사업전에 비해 통수단면적이 0.5배(51%) 감소했지만 유속이 2배(105%) 가량 증가해, 실제로는 수위가 감소한 것으로 분석되었다.

한편 다기능보는 하천을 가로막는 횡구조물로서 기본적으로 저류기능도 갖고 있다. 즉, 홍수기전 사전 예비방류를 통해 홍수에 대비한 저류공간을 확보하면 홍수위를 낮추는 효과를 기대할 수 있다. 그림 2는 다기능보의 저류공간과 배수지체현상에 의한 저류효과를 나타낸 것으로 예비방류를 가정하면 다기능보의 홍수저류공간은 가동보 물넘이에서 관리수위까지의 공간이 되며, 저류능은 하천 준설량과 보 구조물에 의한 배수위효과로 인한 유수지체현상에 따라 결정된다. 이 경우 통수능은 준설에 의한 하상경사, 보 상하류의 수위차 등의 요인에 큰 영향을 받는다.



3. 다기능보의 홍수조절효과 검토

하천 내 구조물인 다기능보는 홍수시 배수위효과로 인해 수문을 개방해도 상류의 수위상승을 야기할 수 있다. 그러나 사전에 미리 방류해두면 일정부분 홍수위를 저감시킬 수 있을 것이다. 본 연구에서는 예비방류를 실시할 경우 보의 저류능만을 활용한 조절효과와 저류능 및 가동보 운영의 연쇄효과를 고려한 조절효과로 나누어 분석하였다. 홍수 모의는 미공병단의 HEC-RAS모형을 활용하여 수행되었으며, 하천단면 및 수리특성 자료는 4대강 하천기본계획을 참고하였다.

3.1 보의 저류능에 의한 홍수조절효과(S)

보의 저류능에 의한 홍수조절 효과는 그림 3과 같이 예비방류로 가동보 물넘이 높이까지 배수한 상태에서 홍수 유입시 수문을 폐쇄하여 저류시킨 후, 관리수위를 0.2초과(주의단계)할 때부터 수문을 완전 개도하는 조건으로 모의하였다. 그림 4는 달성보의 저류능에 의한 홍수 규모별 조절 효과를 분석한 것으로서 가동보 물넘이 높이까지 예비방류시 100년 빈도와 2년 빈도 홍수에 대한 조절효과를 예비방류를 실시하지 않았을 경우와 비교한 것이다. 분석결과에서 나타나듯이 100년 빈도 홍수시에는 발생후 초기 27시간, 2년 빈도 홍수시에



그림 2. 다기능보의 저류공간(좌)과 배수지체현상(우)

는 초기 32시간까지 수위가 감소하나 침투홍수위 감소효과는 없는 것으로 나타났다.

이 같은 결과는 침투홍수위 발생시점까지의 유입홍수량을 전량 저류할 정도의 충분한 저류공간이 부족하기 때문이다. 낙동강의 경우, 8개 다기능보의 저류공간(가동보물넘이~관리수위) 합이 4.4억^m³인데 반해 100년빈도 유입홍수량은 이의 8배~21배에 다다른 것으로 나타났다. 2003년 태풍 매미로 인한 홍수시에도 32억^m³의 홍수발생으로 저류공간 대비 7.2배가 유입한 바 있다. 이 같은 상황은 타수계에서도 마찬가지로 다기능보의 저류능만으로는 홍수조절 효과를 기대하기 어려울 것으로 판단된다.

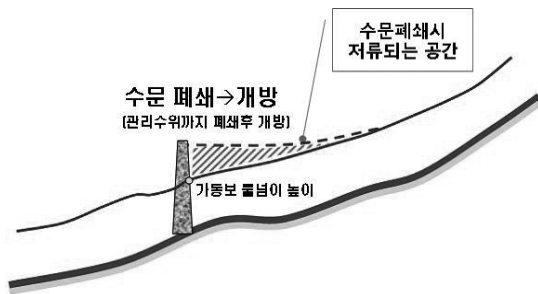


그림 3. 저류능에 의한 홍수조절 모의조건

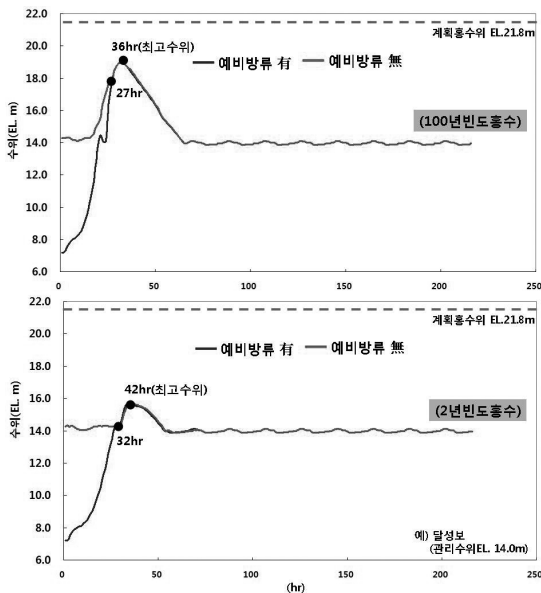


그림 4. 저류능에 의한 홍수규모별 조절 효과 (달성보)

3.2 보·하천의 저류능과 가동보에 의한 통수능 극대화 효과(S+K)

보·하천의 저류능과 가동보에 의한 통수능을 동시에 고려한 홍수조절 효과는 그림 5와 같이 예비방류로 수문 물넘이 높이 또는 운영 제약수위(취수장의 안정적 취수구 높이)까지 배수 후, 홍수유입 초기부터 수문을 완전 개도하는 조건으로 모의하였다. 그림 6은 달성보의 저류능 및 통수능에 의한 홍수 규모별 조절 효과를 분석한 것으로서 예비방류와 홍수 초기부터 수문 완전 개도를 병행할시 100년 빈도와 2년 빈도 홍수에 대한 조절효과를



그림 5. 저류능에 의한 홍수조절 모의조건

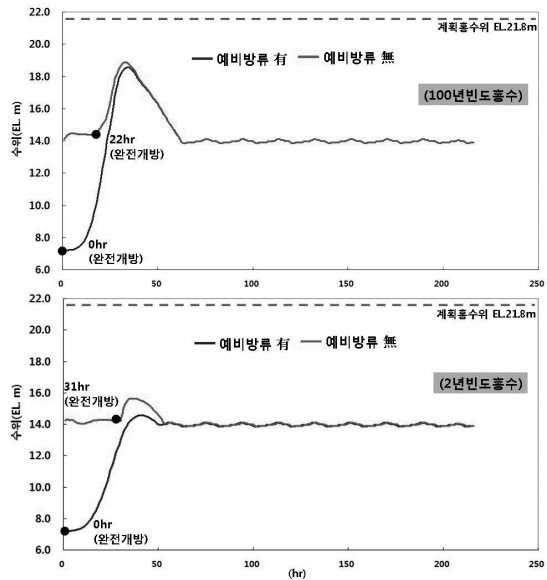


그림 6. 저류능과 통수능에 의한 홍수규모별 조절 효과 (달성보)



예비방류를 실시하지 않았을 경우와 비교하여 나타낸 것이다. 예비방류를 하지 않았을 경우는 관리수위를 0.2초과(주의단계)할 때부터 수문을 완전개도하여 모의하였다. 분석결과, 100년 빈도 홍수시에는 0.32m, 2년 빈도 홍수시에는 1.07m의 침투홍수위 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

표 4는 낙동강 8개 다기능보의 홍수 빈도별 예비방류 및 수문 완전개도에 따른 침투홍수위 감소효과를 나타낸 것이다. 수문 물넘이 높이까지 예비방류하여 운영시에는 0.68~5.17m(2년빈도), 0.39~2.96m(10년빈도), 0.09~0.52m(100년빈도)의 침투 홍수위 감소 효과를 나타내었다. 그러나 취수장의 안정적 취수구 높이를 고려한다면 운영제약수위까지 예비방류하는 방안이 현실적이며 이 경우, 2년 빈도시 0.01~2.17m, 10년 빈도시 0.07~0.25m의 침투 홍수위 감소 효과가 나타났다. 이러한 경향은 타수계에서도 유사하게 나타나 100년 빈도 홍수시에는 예비방류에 따른 실질적 효과가 없는 것으로 판단된다.

4. 맺음말

4대강살리기 사업 전부터 다기능보의 통수능에 대한 문제 제기가 여러 차례 있었고, 이와 연장선상에서 예비방류가 필요하다는 의견도 많았던 것

이 사실이다. 이러한 배경을 바탕으로 본 연구에서는 예비방류와 가동보 수문 운영에 따른 다기능보의 홍수조절 효과를 낙동강 8개보를 중심으로 분석하였다. 이론적으로 보의 홍수조절 효과는 예비방류와 보의 운영조건에 따라 저류능과 통수능의 연쇄작용으로 홍수위 감소 효과가 복합적으로 작용한 결과로 나타난다.

본 연구에서는 예비방류의 실질적 효과를 알아보기 위해 보의 저류능만을 고려한 운영조건으로 홍수모의를 수행하였고, 그 결과 부족한 홍수저류공간으로 인해 침투 홍수위 감소효과는 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 유입 홍수량이 보의 홍수저류공간보다 8배에서 많게는 21배까지 큰 것이 직접적 요인이라 할 수 있다. 한편으로는 보의 통수능에 대한 의문을 해결하고자 예비방류 뿐 아니라 홍수초기부터 수문을 완전 개도하여 모의하였다. 분석 결과, 침투홍수위 저감 효과가 2년 또는 10년 빈도 등 고빈도에서 상대적으로 크게 나타났으며, 특히 이들 고빈도에서는 침투홍수위가 관리수위 이하로 나타나 수위감소 효과가 극대화 되는 것으로 나타났다. 반면 취수제약시설 운영을 감안해 예비방류를 보수적으로 실시하면 2년 및 10년 빈도시 각각 0.01~2.17m, 0.07~0.25m의 침투홍수위 감소효과가 나타났고, 100년 빈도에서는 거의 효과가 없는 것으로 나타났다.

이러한 결과를 종합해 볼 때 저류능만을 활용한

표 5. 예비방류 및 수문 완전개도 병행시 홍수빈도별 침투홍수위 감소효과 (낙동강)

구 분	운영제약수위			수문 물넘이 높이		
	2년 빈도	10년 빈도	100년 빈도	2년 빈도	10년 빈도	100년 빈도
상주보	0.17m ↓	0.16m ↓	-	3.53m ↓ 주1)	1.09m ↓ 주1)	-
낙단보	0.22m ↓	0.15m ↓	-	5.17m ↓ 주1)	2.96m ↓ 주1)	0.52m ↓
구미보	2.17m ↓ 주1)	0.07m ↓	-	2.48m ↓ 주1)	0.39m ↓	0.09m ↓
칠곡보	0.14m ↓	0.12m ↓	-	3.45m ↓ 주1)	0.87m ↓ 주1)	0.16m ↓
강정보	0.07m ↓	0.10m ↓	-	1.26m ↓ 주1)	0.71m ↓	0.18m ↓
달성보	0.01m ↓	0.17m ↓	-	1.07m ↓	1.15m ↓	0.32m ↓
합천보	-	0.22m ↓	-	0.84m ↓	1.18m ↓	0.47m ↓
함안보	-	0.25m ↓	-	0.68m ↓	1.14m ↓	0.45m ↓

주) 고빈도(2년, 10년)시에는 가동보 통과량이 보 유입량을 초과하므로 침투홍수위가 관리수위 이하에서 형성되어 수위감소효과 극대화

예비방류는 홍수조절효과가 거의 없으며, 홍수초기부터 수문조작을 병행할 경우에만 2년 및 10년 빈도 등 소규모 홍수에서 홍수조절 효과가 있을 것으로 판단된다. 즉, 달성보의 경우와 같이 예비방류와 홍수초기 수문개방이 없어도 계획빈도(100년) 홍수시 최고수위가 계획홍수위(EL. 21.8m)에 크게 못 미치는 것으로 볼 때, 적절한 가동보 수문조작만으로도 수위조절이 가능하다는 결론을 내릴 수 있다. 물론 예비방류와 홍수초기 수문개방으로 더 낮은 수위조절이 기대되는 것은 사실이나, 다기

능보의 이수적 측면까지 고려한다면 홍수 이후 관리수위 유지를 위해 담수해야 하는 문제도 충분히 고려해야 할 것이다.

향후 다기능보 운영에 있어 수문학적 불확실성을 고려한다면 반드시 예비방류를 시행하기보다는 상황에 따라 탄력적인 대응이 필요할 것이다. 이와 더불어 하천모니터링 체계를 강화하여 자료의 신뢰도를 높이고, 홍수대비 예측시스템 개선을 위한 연구개발 등도 지속적으로 추진하여 이 같은 불확실성을 줄여나갈 수 있도록 해야 할 것이다. 🌀