

소양호의 예비방류 효과에 관한 연구

선우중호* 이재형** 전일권*** 황만하****

1. 서론

우리 나라는 강우의 계절적 편차가 심하여 겪는 홍수 조절의 어려움 이외에도 최근 생·공 용수의 증가와 더불어 생태학적 환경 보전, 미관을 위한 물 수요 등이 증가, 홍수 범람 구역 내의 인구 밀도의 상승과 산업의 증대, 수해 내성이 취약한 전자 통신망의 구축 등에 따라 홍수 피해가 발생할 경우 그 피해가 막대하다. 따라서, 홍수기에 저수지를 이·치수의 목적에 합당하게 효율적으로 홍수를 조절해야 함이 절실하게 요청되고 있다. 저수지의 홍수 조절 방식은 서어차지 방식, 제한 수위 방식, 예비방류 방식 등으로 구분할 수 있다. 이 방식 중 제한 수위 방식과 예비방류 방식이 홍수 조절 효율면에서 서어차지 방식에 비해 효과적이므로 주로 사용되고 있다. 현재 소양강댐은 홍수기에 일정 제한 수위 방식을 택하고 있다. 그 결과 홍수기 말인 9월 중순에 유지하고 있던 제한 수위에서 10월에 상시만수위까지 저수지 수위를 상승시키는 것이 현실적으로 어려워 이수 용량을 확보하는데 어려움을 겪고 있다(한국수자원공사,1993). 댐이 치수의 역할을 달성하고 이수를 위하여 가능한 한 저수지 수위를 홍수기 후반부에 높게 유지하는 제한 수위의 탄력적 운영 방안이 제시되었다(한국수자원공사,1995). 그러나 이 방안을 실제 호우 사상에 적용하여 검토한 결과 치수에 위험 부담이 내재하고 있다. 본 연구에서는 수자원을 효과적으로 이용하고 저수지가 한층 더 높은 치수 안전도를 확보할 수 있는 가를 검토하고자 한다. 이의 기술적 수단으로 예비방류 방식을 도입한다. 예비방류의 실용성은 강우 예측 정도에 달려 있음으로 강우 예측의 정도가 향상된다면 어느 규모의 예비방류 방식이 가능한가를 추정한다. 이를 위하여 2장에서는 예비방류 방식에 관하여 고찰한다. 3장에서는 본 연구의 예비방류 방식에 의한 홍수 조절을 검토하여 4장에서 본 연구의 결과를 논한다.

* 정회원 서울대학교 토목공학과 교수
*** 정회원 한려산업대학교 환경공학과 전임강사
/** 정회원 전북대학교 토목공학과 교수/강사

2. 예비방류 방식

2.1 제약 조건

본 연구에서 예비방류라 함은 이·치수 공용 저수지에 있어서 홍수 유출이 예상되는 경우에 예비방류를 행하고 이수 용량의 일부 또는 전부를 일시적인 홍수 조절 용량으로 활용하는 것이다. 이수 측면에서 보면 홍수 조절 용량의 일부가 이수 목적으로 사용되기 때문에 이수 안전도가 높아진다. 치수 측면에서 본다면 치수의 위험이 배가될 수 있다. 그러나 홍수 조절 용량을 이수 목적으로 돌리면 되돌아오는 이익이 있다. 이렇게 서로 상반되는 목적을 달성하면서 최대의 저수지 운영 편익을 얻기 위해서는 잘 확립된 저수지 운영 기준이 수립되어야 한다. 본 연구 예비방류 방식의 제약 조건은 다음과 같다.

1) 강우의 정량 예보는 가능한 것으로 한다. 2) 홍수 초기의 저수지 수위는 한국수자원공사(1995)에서 추정된 각 월에 유지하여야 할 수위로 한다. 3) 홍수 유출 종료 시에는 저수지 수위가 예비방류 전의 초기 수위로 회복하는 것을 도모한다. 이를 위하여 예비방류를 수행한 후 저수지 수위가 초기 수위를 초과하거나 그 수위를 확보하지 못하는 경우는 그에 따른 벌점 함수를 정하고 벌점을 부과한다. 4) 홍수 피해는 침투 홍수량에 관계가 있음으로 침투 홍수량에 따른 벌점 함수를 정하고 이를 토대로 벌점을 부과한다. 5) 3)과 4)항에서 부과된 벌점의 절대값 합이 가장 작을 때 효과적으로 예비방류를 수행한 것으로 한다.

2.2 벌점함수

본 연구에서는 TROM(technical reservoir operation method)과 RROM(rigid reservoir operation method), 일정율방류 등의 기법과 예비방류를 병행하여 저수지를 운영한다. 예비방류를 수행함에 있어서 과다의 방류를 한 경우는 이수 용량에 필요한 수량을 확보하지 못할 수 있으며, 그 반대의 경우는 홍수 조절 후 댐 저수위가 치수 용량을 점유하여 치수 위험 부담이 내재하게 된다. 최적의 예비방류량을 추정하기 위하여 홍수 조절 후의 댐 저수위가 초기 저수위 이하로 있게 되면 이수 용량의 미확보에 따른 벌점을 부과하고, 초기 댐 저수위를 초과할 경우는 홍수 조절 용량 사용에 따른 벌점을 부과하는 함수를 도입하여 이 값이 최소일 경우의 예비방류량을 추정한다. 구체적인 피해 함수는 하천에 따라 다르겠지만 竹内(1989)의 연구 성과를 토대로 식 (2.1)과 같이 설정한다.

$$F(s) = 3\left(\frac{S_{af}-S_o}{10^8}\right)^2 \quad (2.1)$$

여기서, $S_a(m^3)$ 는 홍수 조절 후의 댐 저류량, $S_o(m^3)$ 는 홍수 초기의 댐 저류량이며, S_a 가 S_o 보다 적은 경우는 이수 벌점(이수 용량 미확보에 따른 벌점)을 산정하고, 그 반대의 경우는 치수 벌점(홍수 조절 용량 사용 벌점)을 산정 한다.

또한 홍수 피해는 첨두 홍수량(또는 최고 수위)이 얼마일 것인가에 따라 피해가 결정된다. 수위 상승에 따른 피해의 증가는 새롭게 침수되는 면적의 증가에 의해 발생한다. 첨두 홍수량에 따른 피해 벌점은 소양강댐 설계 보고서에서 무해 방류량으로 설정한 700CMS를 초과하는 경우에 부과하고 그 함수는 식 (2.2)와 같이 설정한다.

$$F(Q) = \left(\frac{Q_p - 700}{1000}\right)^3 \quad (2.2)$$

여기서, $Q_p(m^3/sec)$ 는 예비방류를 수행한 후 홍수 조절을 하였을 경우에 하류에 방류한 첨두 홍수량이다.

3. 예비방류에 의한 홍수 조절

3.1 최적 예비방류량 산정

본 연구에서는 24시간의 정량 예보가 가능한 것으로 보고, 예보 강우량에 따른 댐으로의 유입 홍수 수문 곡선은 한국수자원공사(1995)에서 추정된 것과 같은 방법에 의하여 획득하였다. 각 월의 제한 수위(표 2.1)를 초기 수위로 할 경우 강우가 100mm에서 150mm까지 예보될 경우에 10시간 동안 700CMS부터 시작하여 각 제한 수위에서 방류 가능한 홍수량까지 예비방류를 하는 것으로 하여 최적 예비방류량을 산정 하였다. 100mm~150mm 강우에 대하여 최소 예비방류량인 700CMS를 상회하는 홍수 유출량이 발생하는 시각이 강우 시점에서 13~15시간 이후이므로 예비방류 시간을 10시간으로 선택하였다. 댐 모의 운영 결과 각 강우 예보량에 대한 최적 예비방류량의 범위는 700CMS~1300CMS이다(표 2.2~표 2.5).

표 2.1 홍수기 각 월의 제한 수위(EL.m)

월	6월	7월	8월	9월
제한수위	194.0	191.0	192.0	194.0

자료: 한국수자원공사(1995)

표 2.2 예보 강우량에 따른 최적 방류량, (6월, 방류 가능량: 3260CMS)

예보강우량 (mm/24hr)	예비방류량 (CMS)	최대방류량 (CMS)	홍수조절후댐 저수위(m)	합수값		
				F(S)	F(Q)	합계
100	700	1216	194.32	0.003	0.014	0.01
150	1300	1768	194.53	0.002	1.221	1.22

표 2.3 예보 강우량에 따른 최적 방류량, (7월, 방류 가능량: 1498CMS)

예보강우량 (mm/24hr)	예비방류량 (CMS)	최대방류량 (CMS)	홍수조절후댐 저수위(m)	합수값		
				F(S)	F(Q)	합계
100	700	1216	190.81	0.004	0.137	0.14
150	1300	1768	191.04	0.002	1.221	1.22

표 2.4. 예보 강우량에 따른 최적 방류량, (8월, 방류 가능량: 1945CMS)

예보강우량 (mm/24hr)	예비방류량 (CMS)	최대방류량 (CMS)	홍수조절후댐 저수위(m)	합수값		
				F(S)	F(Q)	합계
100	700	1216	191.82	0.004	0.137	0.14
150	1300	1768	192.04	0.002	1.221	1.22

표 2.5 예보 강우량에 따른 최적 방류량, (9월, 방류 가능량: 2975CMS)

예보강우량 (mm/24hr)	예비방류량 (CMS)	최대방류량 (CMS)	홍수조절후댐 저수위(m)	합수값		
				F(S)	F(Q)	합계
100	700	1216	193.82	0.003	0.137	0.14
150	1300	1768	194.03	0.002	1.221	1.22

3.2 예비방류의 효과 검토

3.1절에서 추정된 예비방류량은 각 월의 정상월 자료에 의해 추정된 재현 기간 200년 확률 홍수량과 예보 강우량이 100~150mm인 경우에는 타당하다고 볼 수 있다. 이를 실제 호우 사상을 토대로 예비방류의 효과를 검토한다. 검토 대상은 1990~1992년에 침투 홍수량이 700CMS를 상회한 호우 사상이다(표 2.6).

검토 대상 호우에서 발생한 댐으로의 유입 수문 곡선을 보면 댐 수위의 진동이 매우 심함을 알 수 있다. 이 수문 곡선을 사용하기 위해서는 유입량 자료의 잡음 제거가 선행되어야 한다. 그렇게 함으로서 수위에서 유량으로 변환하는 과정에서 발생하는 오차를 줄일 수 있다. 유입량 자료의 잡음을 제거하기 위하여 본 연구에서는 한국수자원공사(1992)에서 적용한 바 있는 수치 필터에 의하여 소거하였다. 선

택한 호우 사상의 원자료와 잡음을 소거한 자료의 특성을 비교하여 표 2.7에 수록하였다.

표 2.6 선택 호우 사상

번호	호우발생일	총강우량 (mm)	첨두홍수량 (CMS)	기상청예보강우량 (mm)
1	'90.9.10-9.11	386.8	10,675	80~150
2	'91.7.24-9.25	197.8	6,905	80~150
3	'92.8.26-8.27	122.7	3,433	80~130

표 2.7 원자료와 잡음을 소거한 자료의 특성 비교

호우사상	첨 두 유 량 (CMS)		첨두유량발생시각(hr)	
	원자료	소거후자료	원자료	소거후자료
'90.9.10-'90.9.11	10,673	10,518	11. 15	11. 15
'91.7.24-'90.9.25	6,905	6,893	25. 23	25. 23
'92.8.26-'90.8.27	3,433	3,120	27. 14	27. 16

예비방류 효과를 분석하기 위하여 각 월에 유지하여야 할 제한 수위가 저수지 초기 수위이고, 기왕에 발생한 호우 사상과 동일한 상황이 발생할 경우 예비방류를 하지 않은 경우와 예비방류를 수행한 경우를 비교 분석하였다(표 2.8, 표 2.9). 예비방류를 수행함에 있어서 예비방류량은 3.1절에서 분석한 바와 같이 예보 강우량을 토대로 결정하였다. 이때 예보 강우량은 범위(예를 들어, 80~120mm)를 가지고 발령됨으로 그 중앙값을 택하였다.

예비방류를 수행하지 않았을 경우에 90년 대홍수와 같은 호우 사상이 9월에 도래하면 댐 저수위는 댐 마루를 월류 하지 않으나 계획 홍수위를 초과할 수 있다. 이 경우 첨두 홍수량이 큰 순서는 일정율방류, RROM, TROM이고 댐 최고 저수위는 그 역순이다. 90년 9월 홍수의 경우는 TROM 기법을 사용할 경우에 계획 홍수위 198.0m를 상회하였다. 기타의 경우는 계획 홍수위를 상회하지 않았으며 첨두 방류량도 한계 방류량 3600CMS이하이다(표 2.8).

예비방류를 도입한 경우는 TROM이나 일정율방류 방법을 이용할 경우에 댐의 저수위가 계획 홍수위를 초과하지 않으나 RROM를 이용할 경우에는 계획 홍수위를 초과한다(90년 9월 홍수의 0.74m 초과). 그러나 이 경우는 예비방류를 실시한 경우는 실시하지 않을 때에 비해 0.13~2.01m의 댐 저수위를 감소시킬 수 있다. 감소량의 차이가 큰 순서를 살펴보면 TROM, 일정율방류, RROM순이다(표 2.9).

표 2.8 예비방류를 수행하지 않은 경우의 저수지 운영

호우사상	초기수위(m)	침투 유량(CMS)			댐 최고저수위(m)		
		RROM	TROM	일정율방류	RROM	TROM	일정율방류
'90.9.10-9.11	194.0	4,136	3,679	6,436	199.11	199.49	198.05
'91.7.24-7.25	191.0	2,867	700	3,177	193.29	195.41	193.34
'92.8.26-8.27	192.0	1,547	700	1,668	192.74	193.51	192.62

표 2.9 예비방류를 수행한 경우의 저수지 운영

호우사상	초기수위(m)	침투 유량(CMS)			댐 최고저수위(m)		
		RROM	TROM	일정율방류	RROM	TROM	일정율방류
'90.9.10-9.11	194.0	4,136	3,121	4,627	198.74	197.48	197.24
'91.7.24-9.25	191.0	2,687	700	3,177	192.33	195.08	193.21
'92.8.26-8.27	192.0	1,547	700	1,668	192.00	193.16	191.48

4. 결론

본 연구에서 제안한 예비방류 방식을 소양호에 적용하여 얻은 몇가지 결론은 다음과 같다.

1. 본 연구에서 제안한 예비방류 방식을 도입하여 저수지를 운영할 경우 이수 용량을 최대로 확보하면서 치수의 안전도를 높일 수 있는 것으로 판단된다.
2. 일정율방류는 90년 9월의 홍수와 같이 대홍수의 경우는 침투 방류량이 커지는 단점이 있으나 댐 최고 저수위를 최소로 할수 있는 홍수 조절 기법이다.
3. 예비방류의 수행은 예보 강우량의 정확성이 가장 문제가 됨으로 이를 고려한다면 유입량 예측의 불확실성에 따른 위험을 내포하고 있는 TROM보다는 RROM 또는 일정율방류 방법으로 댐을 운영하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 내무부, 재해년보, 1990-1992
2. 일본공영, 소양강 다목적 댐 설계보고서, 1969.10
3. 한국건설기술연구원, 금강 홍수 예경보 프로그램 개발, 1989.12
4. 한국수자원공사, 다목적댐 표준 관리 규정 및 해설서, 1993.12
5. 한국수자원공사., 소양강 다목적댐 운영평가 및 수문학적 재설계, 1995.1
6. 竹内邦良, 林直人, 降雨豫測を利用した豫備放流方式の實用化に關する検討, 東京大學防災研究所年報 第 32號 B-2, 1989