

豫備放流에 의한 홍수조절 방안 研究

심 명필* 이 재형** 권 오익***

1. 서론

예측정보의 정확성과 실용성이 불충분한 현 상황에서 洪水期中 상반되는 利水와 治水를 조화시키고, 동시에 댐상하류와 유역전체를 고려하여 댐 본래의 기능과 효율을 최대한 발휘해야 하는 다목적댐은 전반적이고 체계적인 운영방안이 수립되어야 한다. 물론 洪水期中에는 治水가 그 운영의 중심이 되어야 하나 우리나라 다목적댐의 경우 洪水期에 심한 편재현상을 보이는 강우 특성상 非洪水期의 用水나 發電등을 위한 利水용량확보 또한 중요하다.

本 研究는 저수용량의 재할당에 따른 사전豫備放流를 통해 제한수위를 가변적으로 유지하고, 이와 연계하여 洪水경계체제 단계에서 정확한 洪水豫測과 댐하류상황에 따라 예측된 洪水에 관해 그 豫備放流의 규모와 시기를 결정하도록 하는 것이다. 현 단계에서는 예측정도가 낮아서 전면적인 이용은 어려우나 장래에는 그 실용화가 기대되며, 그 이용가능한 범위내에서 예비방류 효과의 최대화를 기하는 데 목적이 있다.

2. 이론적 배경과 운영기준의 수립

利水와 治水라는 서로 상반된 목적을 조화시키기 위해서는 수문豫測자료의 불확실성으로 인한 利水容量 확보의 위험도를 고려하여야 함으로 댐운영자의 경험과 적응적인 판단을 요구하며, 이를 위해 수개의 저류구간(storage zone)으로 나누어 구간에 따라 운영방안을 달리 하기도 한다(U.S Army Corps of Eng., 1982 ; Wurbs et al., 1985). 최근에는 최적화기법의 하나인 Goal Programming(Can et al., 1984; Loganathan, 1990)을 응용하여 저수지의 저류량과 댐하류의 放流量을 목표량(target)으로 부터 증감에 따른 벌과함수(penalty function)를 결정하여 운영기간중의 총벌과함수의 최소화를 기하는 방법으로, 利水와 治水의 가중치를 달리하여 最適放流量을 결정하는 방법도 이용되고 있다.

* 인하대학교 토목공학과 교수

** 전북대학교 토목공학과 교수

*** 인하대학교 대학원 토목공학과

댐에 의한 洪水調節을 하는 경우 그 기본원칙은 다음과 같다.

- 1) 확실한 조작을 하고, 확실한 효과를 기하는것.
- 2) 댐시설 및 방류에 의한 댐하류의 안전성 확보.
- 3) 즉응성(洪水변화에 즉응한 행동, 입기의 처리) 및 효과의 최대화.

댐에 의한 洪水調節의 주목적은 댐하류의 안전하고 확실한 방재효과를 발휘하는 것으로 댐의 洪水調節용량을 적절히 활용한 조작방법과 확실한 조작이 요구된다. 기상 및 수문정보의 精度를 높이고 실제 사용할 수 있는 정보를 최대 활용하여, 기상예보에 의한 예상강우량과 유역의 특성에 따른 유출수문특성인자들(유역면적, 유역평균 경사, 유역내 토양 및 피복상태, 유출계수 등)을 이용하여 예상홍수수문곡선의 총유입량과 분포형 및 발생시기등을 사전에 예측하므로서 예비방류등의 적절한 운영기법을 개발하여야 한다.

豫備放流방식은 利水목적으로는 효율적이지만 관리운영상 어려움이 많다. 첫째 정확한 洪水예보에 따라 충분한 시간여유를 가지고 필요수위로 낮추어야 하나 현실상 완전한 예보가 어려우며, 둘째로는 댐하류의 피해를 유발시키지 않고 무해유량범위내에서 放流하기에는 상당한 어려움이 따른다.

예비방류량의 한계는 댐관리규정에 의하면 대청댐은 $1,000 \text{ m}^3/\text{sec}$ 으로 댐마다 다르며 홍수예측에 따른 예비방류량은 필요가 인정된 경우에는 한계값을 초과방류할 수 있는 단서가 있다. 홍수예측에 따라 저수위를 제한수위이하로 낮추기 위해서는 정확한 홍수예측이 필수적으로 예측정도가 상당히 낮은 경우에는 예비방류의 시기와 규모는 결정하기가 현실적으로 무척 어려워며 홍수시의 본 방류량의 크기와 하류의 범람위험도에 큰 영향을 미치며, 특히 洪水期末(8 - 9月)에는 다가오는 비홍수기를 위한 이수용량확보에도 중요한 영향을 미치게 된다.

本 研究에서 豫測洪水에 의한 예비방류 및 본 방류를 위한 최적放流량을 결정하기 위해서는 하류의 피해를 최소로 하는 放流계열을 구해야 하나 월류수위별 피해액의 산정이 실질적으로 어려우므로 放流계열 최대값을 최소로 하도록 Min-Max개념을 응용하였으며, 댐수위의 낮음으로 인한 최대放流량의 한계, 사전예보시간, 급격한 放流량의 변화등을 고려 하였다(심 명필 등, 1990). 실제적으로 홍수예측수문곡선에 의한 豫備放流時의 放流준비시간은 적어도 5 ~ 13시간이 소요되는 것으로 알려져있다(日本 건설성 하천국, 1987).

예비방류의 시기와 규모를 결정하기 위한 저수지의 운영모형을 이용하는 절차를 설명하면 다음과 같다(한국수자원공사, 1992).

- (1) 기상정보로부터 강우크기와 분포형을 예상하고 유입량의 크기와 시간별 분포를 예측한다.
- (2) 현 시점에서 예측홍수유입량이 끝나는 시점까지의 기간을 홍수조절계획기간(T)으로 설정한다.
- (3) 현 시점에서의 저수위와 예측홍수수문곡선을 입력하여 T기간중 예비방류 또는 본 방류가 필요한지를 판정한다.
- (4) 예비방류를 포함하여 본방류가 일어나는 시점과 최대방류량의 크기를 포함한 방류계열 및 홍수위에 도달하는 시점을 계산한다.

- (5) 최대방류량과 크기가 댐 하류의 피해를 초래 할 정도라고 판단되면 예비방류를 계획한다.
- (6) 예비방류가 필요하다면 예비방류량의 한계를 고려하여 방류계획을 결정하고 예비방류중 제한수위(또는 가변 제한수위)에 이르는 시점부터 본 방류를 하도록 한다.
- (7) 홍수말(또는 홍수조절기간의 말)에는 가변제한수위 또는 이수용 소요저수위중 높은 값을 유지하도록 한다.
- (8) 현시점에서는 예비방류의 필요성 여부, 시작시기 및 규모를 결정하는 단계이므로 실시간운영은 고려하지 않았으나, 실제로 방류시에는 실시간운영을 하도록 한다.

3. 예비방류에 의한 홍수조절 한계 검토

3.1 빈도별 홍수유입량의 감소효과

홍수유입량을 비교적 정확히 예측하여 예비방류를 할 수 있다면 저수지의 홍수조절공간을 최대한 확보하여 본 방류량을 감소시킬 수 있으므로 홍수조절의 극대화 및 최적화를 도모할 수 있다. 예비방류의 홍수조절효과는 예비방류의 기간과 방류량의 크기에 관계하며 표 1 은 대청댐의 빈도별 홍수유입량에 대해 예비방류의 크기를 달리하여 사전예비방류의 효과를 나타낸것으로 본 방류는 고려하지 않았다. 표 1 은 예비방류기간을 10시간으로 일정하게 규정하고 방류량의 크기를 달리 하였을 때, 빈도별 홍수에 대하여 총유입량의 예비방류에 의한 감소율을 보여준다. 표 1 에서 예비방류를 1,000 m³/sec 로 하는 경우는 홍수빈도별로 최소 3.5% 에서 최대 7.5% 의 예비방류에 의한 홍수조절효과를 보여준다.

<표 1> 대청댐의 예비방류에 의한 총유입량의 감소율(10시간 예비방류)

10 시간 일정방류 (CMS)	홍 수 빈 도 (年)					
	5	10	20	50	100	200
500	0.037	0.031	0.026	0.022	0.019	0.017
800	0.060	0.049	0.042	0.035	0.031	0.028
1000	0.075	0.061	0.053	0.044	0.039	0.035

3.2 빈도별 홍수에 대한 모의운영

대청댐에 대해서 20년 빈도의 홍수가 24시간 이후에 저수지로 유입한다고 가정하였을 때의

모의운영한 결과로 부터 홍수조절효과를 구하였다.

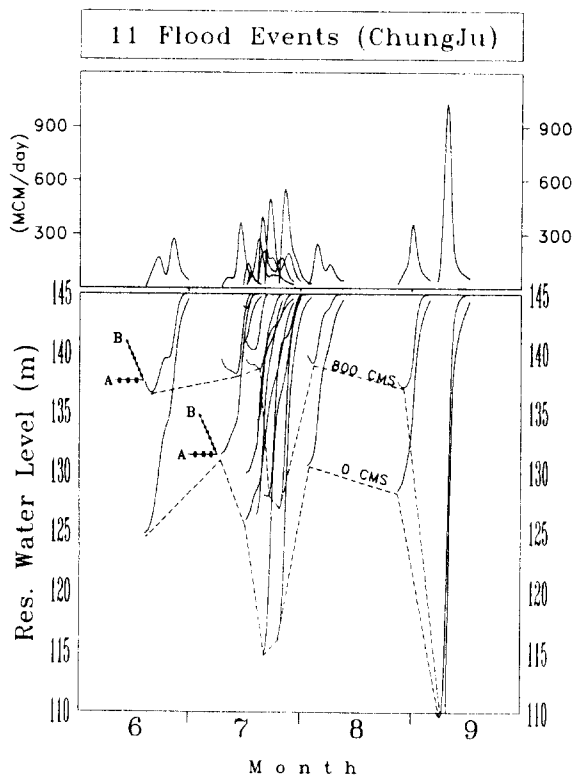
예비방류중 제한수위에 이를때 부터 본 방류를 하도록 한 결과, 총 유입량에 대한 총예비 방류량의 비를 나타내는 예비방류율은 표 2 에 표시된 바와 같이 0.000에서 0.228의 값을 가진 다. 즉, 21시간 예비방류하는 경우 총홍수량의 22.8% 를 사전에 방류할 수 있다.

<표 2> 대청댐의 20년 빈도 홍수의 예비방류에 의한 홍수조절 결과

초기 저수위 (m)	예비방류시점 (hour)	예비방류기간 (hrs)	최저 저수위 (m)	본방류 시점 (hour)	최대방류량 (cms)	홍수위 도달시점 (hour)	예비방류율
75	None	0	74.81	46	2720	70	0.000
	19	6	74.22	50	1940	74	0.182
	13	12	73.95	51	1791	75	0.212
	4	21	73.51	52	1520	76	0.253
76.5 홍수기 제한수위	None	0	76.33	37	2869	69	0.000
	19	6	75.76	45	2780	69	0.157
	13	12	75.49	46	2702	69	0.187
	4	21	75.10	47	2437	71	0.228

3.3 과거 홍수에 대한 예비방류 효과

충주댐의 1986년 부터 11개 과거 홍수사상에 대해 예비방류와 본방류에 의한 소요저수위를 분석하였다. 그림 1 에서 위의 그림은 해당시기에 발생한 홍수유입량곡선을 도시한 것이고 아래 그림은 누가홍수량을 구하여 홍수조절용량을 가득 채우는데 확보해야 할 소요저수위를 시간별로 실선으로 나타내었다. 점선은 홍수동안의 일정량을 방류하는 경우의 下限 소요저수위곡선(Lower envelope)을 나타낸 것으로 0 cms 는 방류를 하지 않은 경우이고, 800 cms 의 점선은 홍수기간중 일정량인 800 cms 를 방류할 경우의 소요저수위를 나타낸다. 1,000 cms 를 방류할 경우에는 일부 홍수사건은 홍수조절용량이 필요하지 않으므로 도시하지 않았으나, 1990년 9월 홍수(수자원연구소, 1992)는 특별한 경우로서 800 cms를 일정량 방류할 때 저수위인 110 m 를 확보하더라도 홍수 조절은 어렵다고 할 수 있다. 그림 1 에서 예비방류가 소요저수위에 미치는 효과를 보면 각각의 홍수사상에 대한 최소소요저수위(그림에서 실선의 최소값들)에는 변함이 없고 최소소요저수위가 발생하는 시점 이전의 소요저수위를 다소 높게 설정할 수 있는 利點이 있으나(그림에서 직선 A는 B로 상향됨) 下限 소요저수위곡선은 일정한 값을 갖게 된다.



〈그림 1〉 충주댐의 과거홍수에 대한 일정방류를 통한 소요저수위

3.4 예측유입량에 의한 모의운영

기상청의 예보강우량으로부터 단위도법 또는 저류함수법에 의해 예측된 예상홍수유입량으로 모의운영한 결과를 과거의 실측유입량 및 방류자료와 비교하였다. 예측시점은 대상홍수기간중의 호우발령시점을 나타내며 홍수유출계산의 입력으로 사용한 우량주상도는 홍수기간의 시작시점부터 예측시점까지의 우량주상도와 예측시점에서의 예보우량주상도 및 잔여우량주상도로 구성된다 (이 재형등, 1993).

표 3 은 예보시점인 1989년 7월 26일 6시 부터 운영한 결과이다. 그림 2 와 3 은 홍수예측모형을 이용하는 경우의 예비방류의 시작시간에 따른 방류량과 저수위의 변화를 보여준다. 실제의 초기저수위는 71.90 m 이나(그림 2), 대청댐의 7월의 100년 빈도의 갈수에 대비한 용수공급용 최소화보저수위인 76.09 m 를 초기저수위로 가정하여(그림 3) 예비방류의 효과를 분석하였다. 실제로 저수지를 운영할때는 예측시점부터의 예측유입량을 입력하도록 하고, 기상청의 강우예측량이 새로운 값으로 예보되면 그 시점부터 홍수유입량을 새로이 예측하여야 하므로 결과적으로 실시간저수지운영을 하여야 한다.

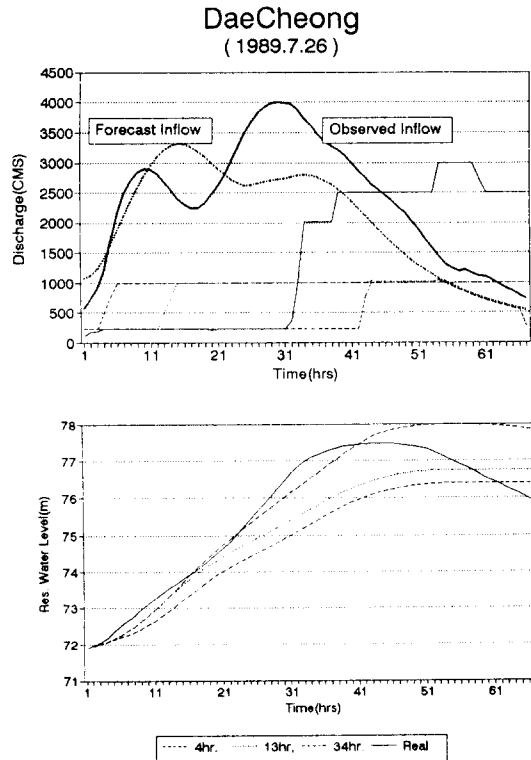
표 3 에서 사용된 홍수예측모형의 이름의 첫 두글자는 유출모형을 뜻하는 단위도법(UH)이고 다음 세글자는 강우예측모형을 나타내는 것으로 수문기상학적모형(HMF)을 뜻한다. 대청댐의 홍수위는 80 m 이나(그림 3) 프로그램에서 예측유입량의 불확실성을 보완하기 위해 방류기간중의

최대예상저수위를 78 m 로 가정하여(그림 2) 예비방류를 유도하였다.

표 3 은 예비방류에 따른 홍수조절효과를 나타내며 예비방류의 시작시점을 31시에서 3시간 씩 앞당기면(즉, 예비방류기간은 4시간 - 50시간) 예비방류율은 최소 0.073에서 최대 0.367의 값을 나타낸다.

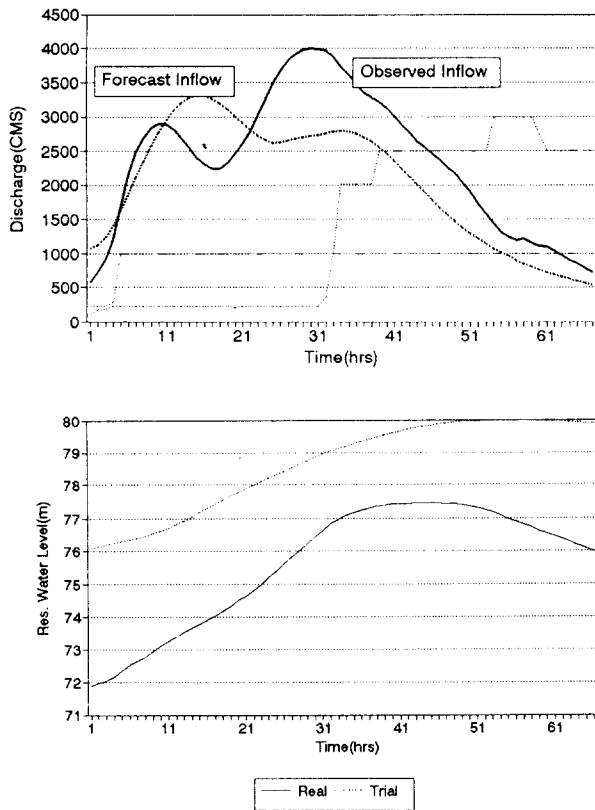
<표 3> 대청댐의 예비방류에 의한 홍수조절 효과

Case No.	유입량 예측모형	예비 방류 시점(hrs)	예비 방류 기간(hrs)	예비방류량 (cms)	예비방류율	본 방류 시점(hr)	최대방류량	최저저수위	최고저수위
	관측자료	none	none	none	0.000	32	3,000	71.69	77.47
8	UH, HMF	none	none	none	0.000	44	1,000	71.90	78.00
		31	4	1,000	0.073	35	1,043	71.90	77.49
		28	8	1,000	0.097	36	1,043	71.90	77.36
		25	13	1,000	0.129	38	1,043	71.90	77.24
		22	17	1,000	0.154	39	1,043	71.90	77.11
		19	22	1,000	0.185	41	1,043	71.90	76.99
		16	26	1,000	0.210	42	1,043	71.90	76.87
		13	31	1,000	0.242	44	1,043	70.90	76.75
		10	37	1,000	0.281	47	1,043	71.90	76.63
		7	45	1,000	0.335	52	1,043	71.90	76.51
		4	50	1,000	0.367	54	1,043	70.90	76.40



<그림 2> 대청댐의 모의 예비방류에 의한 홍수조절 결과

DaeCheong (1989.7.26)



〈그림 3〉 대청댐의 모의 예비방류에 의한 홍수조절 결과

3.5 예비 방류가 이수목적에 미치는 영향분석

저수지수위가 利水를 위한 소요저수위를 확보하지 않았을 때는 남은 기간 동안에 용수부족 현상을 초래하게 되어 이수에 큰 영향을 미치게 된다. 소요저수위 확보를 실패할 경우는 홍수조절을 위해 예비방류로 저수위를 낮추었으나 예상홍수가 발생하지 않거나, 적은 규모의 홍수가 유입된 경우 또는 홍수기말에 상시만수위를 확보하지 못한 경우이다.

저수지가 예비방류로 소요저수공간을 확보하는 데에는 다음의 요소가 영향을 미친다.

- (1) 예측이 어느정도 사전에 이루어 졌는가
- (2) 예비방류의 크기와 기간
- (3) 예측강우량과 유입량의 신뢰도등

홍수기말의 소요저수위를 확보하지 못했을 경우에는 남은 비홍수기 동안 동적 계획법(Yeh, 1985) 등을 이용하여 월 운영률을 재조정하거나, 물절약방안 (Water saving measures)(Votruba, 1989)등을 이용하여 다음 단위기간 동안의 물부족량을 그 다음 기간까지 분산 시키는 등의 방법으로 利水대책을 수립할 수가 있다. 대청댐의 9월말 저수위를 76.5 m로 가정할 경우의 비홍수기간 동안 (즉 다음해 6월말까지)의 갈수빈도별로 월 저수위변화를 구한 결과, 100년 빈도의 갈수를 제외하

면 다음해 6월말에 용수를 위한 최저저수위 60 m 를 유지하는데 어려움이 없다고 할 수 있다.

4. 분석 및 고찰

홍수기말에는 이수목적용을 고려하여 저수지운영을 하도록 하여야 한다. 단기간별로 가변제한수위를 적용하고, 확보하고 있는 홍수조절공간을 넘는 홍수가 예상된다면 예비방류를 통해 필요한 홍수조절용량을 확보하도록 저수지를 운영한다면 서로 상반되는 利·治水 목적을 충족시킬 수 있다. 홍수기말의 제한수위는 현 관리규정에 의한 값보다 다소 높은 값을 갖도록 가변적으로 운영하므로서 비홍수기초의 상시만수위와 쉽게 연결시켜 줄수 있다. 제한수위를 올려주는 것은 홍수조절공간을 감소시키므로 치수목적에는 위험이 따를수 있으나, 예비방류에 의해 저수위를 사전에 낮추어 홍수유입량을 감소시키므로 결과적으로 홍수조절공간을 확보하게된다. 홍수기말의 가변제한수위의 설정은 현 관리규정의 제한수위와 상시만수위 사이에 있는 값을 취하도록 하여 이수목적용을 고려한 최소확보저수위와 균형을 갖도록 설정하는 것이 바람직하다.

대청댐의 경우는 일년중 제한수위와 상시만수위가 일치하므로 홍수기말에 제한수위(76.5 m)를 유지한다면 50년 빈도의 갈수가 발생하더라도 비홍수기간 중의 최저 저수위(60m) 확보에는 어려움이 없다고 볼 수있다.

홍수기의 저수지운영 방안을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 홍수기 후반에는 현 관리규정의 제한수위 또는 가변제한수위와 이수용 소요저수위중 높은 값을 유지하도록 한다.
- (2) 홍수가 예상되면 예측유입량에 의해 예비방류의 필요여부를 결정하고, 예비방류가 필요하다면 방류를 실시하여 저수위를 낮추게 되며 제한수위와 이수용 소요저수위중 낮은 값까지 예비방류를 한다. 즉, 현재의 저수위로부터 가변제한수위 또는 이수용 소요저수위 중에 낮은 값까지의 저수량을 예비방류하게 된다.
- (3) 홍수가 유입하면 실시간저수지수문조작을 하고 洪水末의 수위는 현 기간의 가변제한수위 또는 소요저수위중 높은 값을 유지한다.

일반적으로 홍수기 초반에는 홍수기 후반과는 달리 가변제한수위와 이수용 소요저수위중 낮은 값을 유지하여 치수를 우선하는 것이 바람직하다. 현 시점에서 홍수유입량의 시간별 분포를 알게되면 홍수가 끝나는 예상시점까지의 쏠 기간을 홍수조절계획기간으로 설정하고 예비방류의 유무를 결정하게 된다.

5. 결론

홍수유입량을 비교적 정확히 예측하여 예비방류를 할 수 있다면 저수지의 용량을 최대한으로 이용하여 홍수기중 상반된 利水와 治水목적용을 잘 조화시킬 수 있으며, 결론은 다음과 같다.

1. 홍수유입량을 정확히 예측하여 홍수유입전 24시간 이내로 예비방류를 할 수 있다면 홍수유입량을 상당히 감소시켜 본 방류의 기간과 크기를 조절하여 하류의 피해를 경감시킬수 있을 것이다.

2. 예비방류는 홍수유입전 또는 홍수초기에 조작을 완료하여야 하므로 조작개시의 판단은 기상상황 및 예보지, 예측강우, 유역토양의 특성이나 함수상태등을 기초로 하여 강우 또는 유출의 규모 및 발생시각을 어느정도 예상하는 방법을 사용하여야 한다.

3. 비교적 정확한 홍수유입량을 예측할 수 있다면 예비방류에 의해 상당한 홍수조절효과를 기대할 수 있으므로 결과적으로 현기준의 제한수위 보다 높은 값을 설정하는 것도 가능하여 이수목적을 고려 할수 있을 것이다.

参 考 文 献

건설부·한국수자원공사, 댐관리 규정 : 대청다목적댐 관리규정(건설부 훈령 제 542호) 1981, 충주다목적댐 관리규정(건설부 훈령 제 728호), 1987.

수자원 연구소(1991), 충주댐지점 갈수분석 및 신뢰도별 필요확보저수량, 한국수자원공사.

수자원 연구소(1992), 한강수계 충주저수지 시스템의 실시간 최적운명을 위한 의사결정수지 시스템개발(이수관리부문), 92-WR-3-1, 한국수자원공사.

심 명필, 선우 중호, 박 인보, 이 재형, 정 동국(1990), "홍수기중의 실시간 저수지운영 모형(I): 이론과 모형화", 한국수문학회지, 23(3), PP.373-394.

이 재형, 심 명필, 전 일권(1993), "대청댐 예비방류를 위한 홍수예보", 한국수문학회지, 26(2).

日本 건설성 하천국(1987), 다목적댐의 건설 - 제 2권 조사편(1987), pp. 18~20.

한국수자원공사(1992), 다목적댐의 홍수조절을 위한 예비방류 대책 연구.

Can, E.K., and Houck, M.H.(1984), "Real-Time reservoir operations by goal programming." J. Water Resour.Plng. and Mgmt., ASCE, 110(3), pp.297~309.

Loganathan, G.V. and Bhattacharys, D.(1990), "Goal programming techniques for optimal reservoir operations.", J. Water Resour.Plng. and Mgmt., ASCE, 116(6), pp.820~838.

U.S. Army Corps of Engineers(1985), Hydrlogic Engineering Center, "HEC-5 simulation of flood and conservation systems, users manual".

Votruba L.(1989), Water Management in Reservoirs, Development in Water Science 33. ch11, pp.297~313, ch13, pp.330~340.

Wurbs, R.A., Cabezas, L.M. and Tibbets, M.N.(1985), "Optimum reservoir for flood control and conservation purposes.", Texas Water Resources Institute, Technical Report No.137.

Yeh, W.W.(1985), "Reservoir management and operations model: A state-of-art review.", Water Resour. Res., 21(12), 1797-1818.