

# 소규모 댐의 효율적 관리를 위한 운영기법

## Operation Method for the Effective Management of Small Dams

김 필 식\*, 김 선 주\*\*

Phil Shik Kim, Sun Joo Kim

### 요 지

일반적으로 소규모 댐은 용수전용 댐으로 홍수조절능력이 없고, 대규모 댐 관리와 같은 운영 기준이 정립되어 있지 않은 현실이다. 따라서 최근 이상기후에 대해 가뭄과 홍수피해가 빈번히 발생하고 있으며, 정주권의 변화와 농촌용수의 다양화로 피해 규모도 증가하고 있다

따라서 본 연구에서는 소규모 댐 중 가장 많은 비중을 차지하는 관개용 댐을 대상으로 유역의 용수수급 현황을 분석한 후 저수위의 효율적 운영이 가능하도록 일년을 4개의 기간으로 결정하여 기간별 관리수위와 운영기법을 연구 하였다. 소규모 댐은 대부분 방류능력이 부족하여 예비방류의 적용이 불가능하다. 따라서 기간별 관리수위를 사용하여 홍수조절공간을 사전에 확보하고, 무효 방류량을 최소화 하고자 하였다. 각 관리기간은 관개기와 홍수기를 기준으로 구분되며 최소유출량 계열과 용수수요량의 빈도분석을 통해 용수확보에 문제가 없으며, 홍수기 대비가 가능한 관리수위로 결정하였다. 관리수위를 기준으로 운영한 결과 실제 관리보다 추가 사용 가능량이 발생하였고, 저수공간의 폭이 넓었다. 따라서 넓은 저수공간의 활용으로 홍수조절능력을 향상시켜 제한수위의 적용이 가능하였다. 홍수영향 분석을 실시하고 제한수위 따른 수문조작 기법을 적용한 결과 홍수조절능력이 향상되는 것으로 나타났다.

**핵심용어:** 소규모 댐, 저수관리, 기간별 관리수위, 홍수조절능력

## 1. 서 론

국내의 댐 1,800여개 중 관개용댐이 1,114개소로 약92%를 차지하며 대부분이 소규모 댐으로 이루어져 있다. 일반적으로 소규모 댐은 용수전용 댐으로 홍수조절능력이 없고, 대규모 댐 관리와 같은 운영 기준이 정립되어 있지 않은 현실이다. 따라서 최근 이상기후에 대해 가뭄과 홍수피해가 빈번히 발생하고 있으며, 정주권의 변화와 농촌용수의 다양화로 피해 규모도 증가하고 있다.

따라서 본 연구에서는 소규모 댐 중 가장 많은 비중을 차지하는 관개용 댐을 대상으로 효율적인 관리를 실시할 수 있는 저수관리 모형을 개발하였다. 저수관리 모형은 유역물수지, 평수기와 홍수기 저수관리 모듈로 구성되어 있다. 성주댐을 대상으로 모형의 적용성을 입증하고자 하였으며, 저수관리를 위한 기간별 관리수위를 결정하여 적용을 실시하므로 소규모 댐의 운영기준을 정립하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 저수관리 모형

저수관리 모형은 수문분석 및 저수관리를 위한 자료를 Database로 관리하고, 각 모듈이이 사용할 수 있도록 구성되어있다. 객체지향기법을 사용하였으므로 모형의 수정 및 확장이 용이하고, 각 모듈의 개별적인 운영이 가능하도록 하였다. 저수관리 모형은 유역 물수지 모듈, 홍수기 저수관리 모듈과 평수기 저수관리 모듈로 구성되어 있다. 유역 물수지 모듈은 유역의 용수수급현황의

\* 정회원·건국대학교 생명환경과학대학 Post Doc.-E-mail : kimps@konkuk.ac.kr

\*\* 정회원·건국대학교 생명환경과학대학 교수-E-mail : sunjoo@konkuk.ac.kr

분석이 가능하다. 평수기 저수관리 모듈은 유입량과 수요량을 분석하여 용수공급량을 조절하며 저수위 변화를 예측할 수 있도록 구성하였다. 홍수기 저수관리 모듈은 홍수유입량, 저수위와 방류량을 모의 할 수 있으며 수문조작 기법의 선택에 따라 저수위와 방류량 변화를 예측할 수 있도록 하였다. Fig. 1 은 저수관리 모형의 운영 구조를 나타낸 것이다.

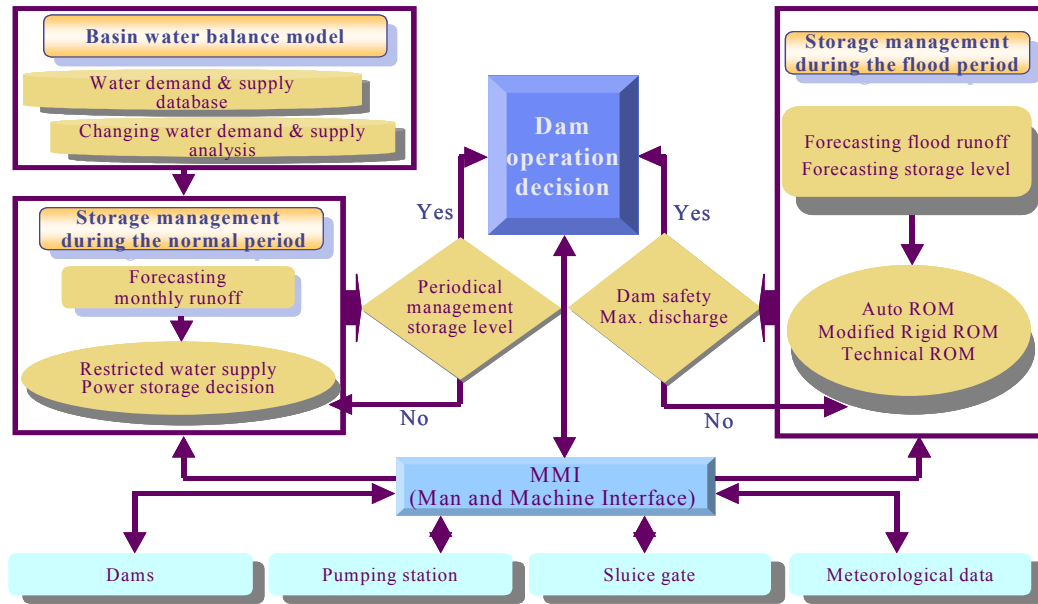


Fig. 1. Structure of Storage Management Model

유역물수지 모듈은 유출량 산정을 위해 수정 TANK 모형을 사용하였다. 김선주와 김필식은 모형의 최적화를 위하여 Milutin, D에 의한 유전자 알고리즘을 사용하였으며, 평야부의 필요수량은 작물의 생육시기를 고려하였다.

평수기 저수관리 모듈은 유입량 예측과 저수관리로 구성되어 있다. 유역물수지를 모의하고, 저수관리를 위해 용수 이용 현황에 따라 저수위 변화를 확인할 수 있도록 구성하였다. 유입량을 가뭄 정도에 따라 예측하고, 각 필요수량과 급수수준을 고려하여 용수 공급이 가능하도록 하였다.

홍수기 저수관리 모듈은 저류함수모형을 사용하여 홍수유출량을 예측하였으며, 홍수유출량과 방류량을 고려하여 댐 상·하류의 홍수영향 분석이 가능하도록 하였다. 홍수기 저수관리를 위해 수문조작 기법을 적용할 수 있도록 하였다. 장기유출모형과 동일한 유전자 알고리즘을 사용하여 모형의 최적화를 실시하였다.

## 2.2 연구 대상유역

저수관리모형의 적용은 물관리자동화시스템이 설치되어 있는 성주 유역을 대상으로 1998년부터 2002년까지의 자료를 사용하였다. 성주댐은 경상북도 성주군 가천면 중삼리에 위치하며 저수지로 유입되는 유역의 면적은 14,960ha이며, 관개면적은 3,160 ha이며 저수지면적에 대한 유역면적의 비율은 약 5배이다. 총 저수량은 3,824ha·m이며 이중 농업과 생활용수 및 하천유지용수를 위한 필요저수량은 2,815ha·m, 홍수조절량은 636ha·m, 사수량은 373ha·m이다.

## 2.3 저수관리 기간 결정

관개용 댐의 특성상 홍수기말 동계만수위(또는 상시만수위) 유지를 위한 과도한 저수량 확보로 태풍에 의한 피해가 빈번히 발생하고 있다. 그리고 홍수기전 관개용수 확보를 위해 만수위를 유지하므로 홍수조절을 위한 저수공간이 부족하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 일년을 4개의 기간으로 설정하였다. 주요 운영기준은, 동계만수위는 홍수기말이 아닌 관개기 시작시기에 확보하여 홍수기의 홍수조절능력을 향상하도록 하였다. 홍수기전 저수량의 사용을 증대하므로 무효방류량을 최소화하고, 홍수기 피해를 최소화 하도록 하였다.

Table 1 Periodical operation of irrigation dam

Class	1 <sup>st</sup> Period	2 <sup>nd</sup> Period	3 <sup>rd</sup> Period	4 <sup>th</sup> Period
Period	1/1 ~ 3/31	4/1 ~ 6/20	6/21 ~ 9/31	10/1 ~ 12/31
Operation standard	Insurance period of a full water level in winter	Preparation period of the irrigation and flood	Period of the irrigation and flood	Insurance period for a full water level in winter and power generation

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 저수관리 기간별 운영기준 정립

관개용 댐의 주목적에 따라 1 Period는 관개용수 확보 기간으로 후반에 동계만수위 유지를 기본으로 하였으며, 이 수위를 1 period 관리수위로 하였다. 3 period부터 10년 빈도 최소 유입량을 기준으로 용수수요량을 공급하였을 때 다음해 1 period 관리 수위를 확보할 수 있는 수위를 3 period 관리수위로 결정하였다. 2 period 관리수위는 앞서 결정된 3 period 관리수위를 확보할 수 있는 수위로 하였다. 각 수위는 1967 ~ 2002년간의 최소유입량과 용수수요량의 빈도분석 결과로 저수관리 모형을 연속모의 하여 결정하였다. 또한 저수위 거동분석결과 10년 빈도 필요저수량을 사용하여 전년에 대해 최소 확보하여야 하는 최소수위를 산정하였다(김필식)(Fig.2).

최소수위는 성주댐의 10년 빈도 필요저수량 13,499,000m<sup>3</sup>에 안전율을 고려하여 사수량 3,730,000m<sup>3</sup>을 포함한 17,299,000m<sup>3</sup>로 결정하였고, 이는 EL. 175m에 해당한다. 1 period 관리수위는 성주댐의 동계만수위 EL. 187.9m로 결정되었고, 3 period 관리수위는 하계만수위 EL. 184.7m보다 낮은 EL. 183.4m로 이 수위를 유지하면 1 period의 관리수위를 확보하는데 문제가 없는 것으로 분석되었다. 4 period 시작에 EL. 183.4m를 유지하면 용수공급을 정상적으로 하여도 관개기 시작인 2 period에 동계만수위 EL. 187.9m를 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

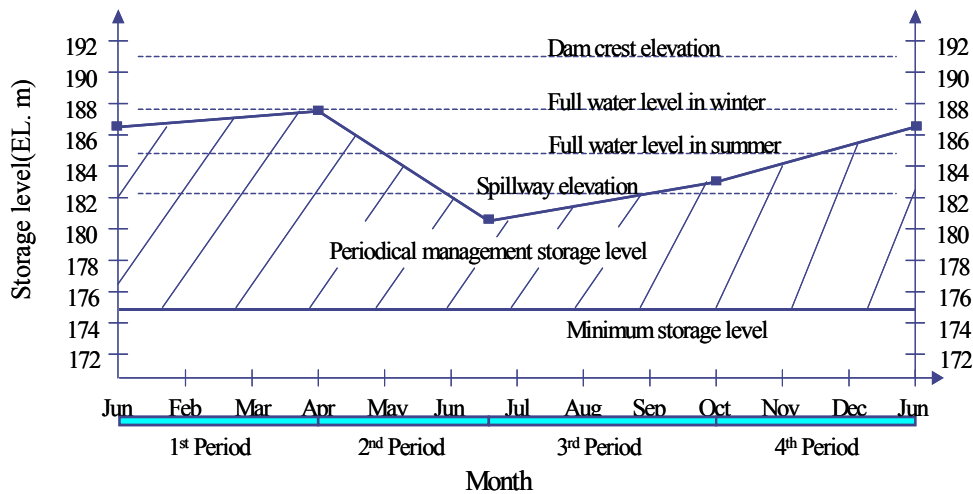


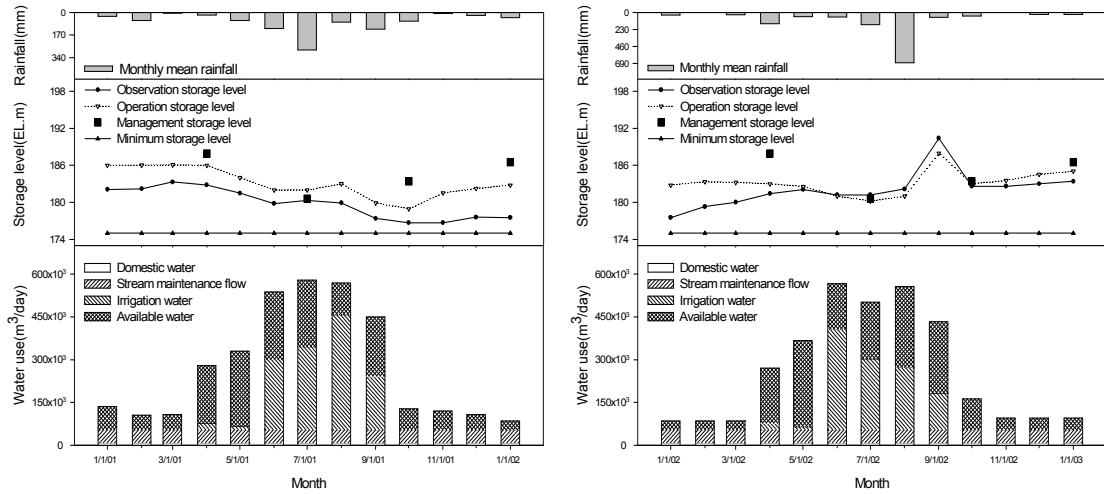
Fig. 2 Periodical management storage level

#### 3.2 운영기준 적용 결과

관개용 댐의 용수공급 특성을 고려하여 기간별 관리수위를 결정하고, 운영기준을 정립하였다. 각 기간별 운영 기준에 따라 성주댐의 실측자료가 취득된 1998 ~ 2002년의 저수관리를 실시하였다.

저수관리는 정상적인 용수공급에 추가공급을 실시하여 관리수위에 근접하도록 하였다. 추가공급은 현장에서 방류가 가능한 취수탑 최대 방류량 8.09m<sup>3</sup>/s를 초과하지 않도록 하였으며, 현장의 일단위로 수문이나 취수탑 방류량을 조절하는 것은 비현실적이므로 일단위로 추가 방류량을 결정하여 관리수위에 근접하도록 하였다. 추가 방류량은 발전용수와 기타용수로 활용될 수 있으므로 이는 현장에서 직접 사용가능한 수량으로 정의하였다.

Fig. 3은 기간별 관리수위를 기준으로 댐 운영 적용 중 2001, 2002년의 결과이다.



(a) Dam operation in 2001

(b) Dam operation in 2002

Fig. 3 Result of dam operation by a periodical management storage level

Table 2 The result of dam operation by a periodical management storage level

Period (1998-2002)	Water use				Water level(EL.m)			
	Water demand (1,000m <sup>3</sup> )	Available water (1,000m <sup>3</sup> )	Increase ration (%)	Extra water (1,000m <sup>3</sup> )	Ineffective release	Observation water level	Simulation water level	Management water level
1998 1 <sup>st</sup> period	4,991	4,050	81	-	4,631	185.7	185.7	186.5(1/1)
2 <sup>nd</sup> period	14,561	22,380	154	-	13,475	185.8	187.4	187.9(3/31)
3 <sup>rd</sup> period	24,925	18,480	74	6,505	1,659	182.2	181	180.6(6/20)
4 <sup>th</sup> period	4,991	8,490	170	-	19,292	183.4	184	183.4(9/30)
1999 1 <sup>st</sup> period	4,991	4,770	95	-	17,375	183.7	186.6	186.5(1/1)
2 <sup>nd</sup> period	16,074	20,070	139	-	9,165	186.6	187.4	187.9(3/31)
3 <sup>rd</sup> period	18,666	18,900	78	11,822	75	183.9	181.1	180.6(6/20)
4 <sup>th</sup> period	4,991	12,480	250	-	25,095	184.1	184.5	183.4(9/30)
2000 1 <sup>st</sup> period	4,991	4,140	83	-	27,804	182.7	186.7	186.5(1/1)
2 <sup>nd</sup> period	16,074	20,250	126	-	27,408	180.3	185.7	187.9(3/31)
3 <sup>rd</sup> period	18,666	25,740	137	5,088	-	178.7	181	180.6(6/20)
4 <sup>th</sup> period	4,991	7,500	150	-	23,611	183.8	184	183.4(9/30)
2001 1 <sup>st</sup> period	4,991	5,460	109	-	17,299	182.1	186	186.5(1/1)
2 <sup>nd</sup> period	13,364	21,030	157	-	23,030	182.8	186	187.9(3/31)
3 <sup>rd</sup> period	31,369	16,539	53	-	26,274	178.9	181.3	180.6(6/20)
4 <sup>th</sup> period	4,991	5,670	113	-	19,370	176.7	179	183.4(9/30)
2002 1 <sup>st</sup> period	4,991	2,700	54	-	22,064	177.5	182.8	186.5(1/1)
2 <sup>nd</sup> period	16,481	19,500	118	14,160	8,506	181.4	183	187.9(3/31)
3 <sup>rd</sup> period	22,747	21,900	96	21,389	-	182	180	180.6(6/20)
4 <sup>th</sup> period	4,991	5,610	112	-	5,399	182.6	183	183.4(9/30)

적용 결과 관개기 시작인 2 period의 조작수위는 187.4, 187.4, 185.7, 186, 183(EL.m)로 2002년을 제외하고 관리수위인 EL. 187.9m 근접한 결과가 나타났고, 2002년은 2001년의 극심한 가뭄의 영향으로 저수위 확보에 어려움이 있는 것으로 분석되었다. 또, 홍수기 시작인 3 period 조작수위는 1998년부터 각각 181, 181.1, 181, 181.3, 180(EL.m)로 관리수위 EL. 180.6m와 비슷하게 나타났다. 실측 수위의 경우 182.2, 183.9, 178.7, 178.9, 182(EL.m)로 2000, 2001년을 제외하고 관리수위보

다 다소 높게 나타났으며, 일정한 수위를 나타내지 않고 있다(Table 2).

Fig. 3의 조작수위와 실측수위를 비교한 결과 조작수위가 실측수위보다 위에 있을 경우는 1, 2 period로 관개용수를 확보하기 위한 기간이고, 아래에 있을 경우는 3 period로 홍수조절능력을 위해 저수공간을 확보하는 기간이다. 조작수위는 2 period와 3 period사이에서 약 5m의 저수위를 사용하나, 실측수위의 경우 약 2.3m의 수위만을 사용하고 있다. 따라서 용수의 수요와 공급에 대한 신뢰성 있는 예측이 이루어질수록 실측과 조작수위의 간격은 더 넓어 질 것이며, 그만큼 저수공간의 탄력적 운영이 가능하다고 판단된다.

Table 2에서 사용가능수량과 용수수요량의 증가율을 분석한 결과 4 period는 현재 용수수요량에 대해 평균 1.59배 정도의 추가 사용이 가능하였다. 다음으로는 2 period에 1.38배의 추가 사용이 가능한 것으로 나타났다. 따라서 연평균 용수수요량 49,341,000m<sup>3</sup>에 대해 53,131,000m<sup>3</sup>의 사용가능수량이 발생하였다.

무효방류량은 2000에 용수수요량 이상의 수량이 방류되어 78,823,000m<sup>3</sup>, 2001년은 조작수위보다 일정하게 낮은 수위를 유지하며 85,973,000m<sup>3</sup>으로 가장 크게 나타났다. 기간별로는 3, 4 period에 많이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 홍수가 발생한 후 방류를 실시하여 급격히 수위를 낮추어 무효방류가 많이 발생한 것으로 판단된다.

#### 4. 요약 및 결론

저수관리 모형은 유역물수지, 평수기와 홍수기 저수관리 모듈로 개발하였으며, 운영기준은 일년을 4개의 기간으로 구분하여 효율적인 관리수위를 결정하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 소규모 댐의 운영기준 정립을 위해 일년을 4개의 기간으로 구분하고 기간별 관리수위를 결정하였다. 1~3월은 관개용수량 확보기간(1 period, EL. 187.9m), 4~6월은 관개 및 홍수대비기간(2 period, EL. 180.7m), 7~9월은 관개 및 홍수 기간(3 period, EL. 183.4m), 10~12월은 동계만수위와 기타용수량 확보기간(4 period, EL. 186.5m)으로 정하였다. 연중 확보하여야 하는 최소수위는 저수지 거동분석을 통해 EL. 175m로 결정하였다.

2. 관개용수 확보를 위한 1 period 조작수위는 평균 EL. 185.9m, 실측수위는 EL. 183.4m로 나타났고, 홍수기 대비를 위한 2 period 조작수위는 평균 EL. 180.9m, 실측수위는 EL. 181.1m로 나타났다. 그러나 실측수위의 경우 182.2, 183.9, 178.7, 178.9, 182(EL.m)로 수위의 범위가 크고 높은 수위의 경우 홍수피해가 발생할 수 있다고 판단된다. 조작수위는 2 period와 3 period사이에서 약 5m의 저수위를 사용하나, 실측수위의 경우 약 2.3m의 수위만을 사용하고 있다. 따라서 관리수위로 운영을 실시한다면 홍수조절능력이 부족한 소규모 댐에서도 관개용수와 홍수조절용량의 확보를 위해 탄력적인 저수관리가 가능하다고 판단된다.

3. 기간별 관리수위 적용 결과 연평균 용수수요량 49,341,000m<sup>3</sup>에 대해 53,131,000m<sup>3</sup>의 사용가능수량이 발생하였다. 4 period에는 실측 용수수요량에 대해 평균 약 1.59배, 2 period에 약 1.38배의 추가 사용가능수량이 발생하였다. 2 period와 4 period는 홍수기전과 홍수기 이후로 저수위를 낮추기 위해 수문을 열어 무효방류를 실시하는 것으로 나타났다. 이는 홍수유출의 불확실성에 의한 경험적 관리라 판단되므로 본 연구와 같이 합리적인 저수관리를 통해 운영 기준이 결정된다면 무효방류를 최소화 할 수 있다고 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. 김선주, 김필식 (2004). 개방형 물관리 프로그램을 이용한 관개용 저수지의 거동분석, 한국농공학회지, 46(1), pp.3-13.
2. 김필식 (2005). Establishment of operation standard and development of effective storage management model of small dams. 박사학위논문, 건국대학교.
3. 한국수자원공사 (1992) 다목적 댐의 홍수조절을 위한 예비방류 대책 연구.