

## 저류량을 고려한 병렬저수지 연계운영

### A Study of Parallel Reservoir Integrated Operation considering Storage

박기범\*, 이순탁\*\*

Ki-bum Park, SoonTak Lee

---

#### Abstract

The purpose of this study was to estimate water supply analysis and reliability indicators by using allocation rule(AR) about Andong Dam and Imha Dam which have parallel reservoirs system. According to the analysis results of allocation rule, for Rule(A) and Rule(B), the contribution of water supply in Andong Dam was 60% more than in Imha Dam, and for Rule(C), the contributions in Andong Dam and Imha Dam were almost equal. In Rule(C), supply is allocated by the ratio which divides the sum of storage and inflow by the mean storage according to the storage state and supply capability state of Andong Dam and Imha Dam. This Rule(C) showed good results in the water supply capability analysis and reliability analysis of parallel reservoirs. In the analysis criteria of water supply in parallel reservoirs system, monthly water change quantity showed better results than monthly constant water quantity in water supply analysis. On the basis of this study, the new technique for water supply analysis was developed to be applied to parallel reservoirs, and this operation rule will establish the efficient operation measures in the application to several kinds of parallel reservoirs system.

Keywords : *allocation rule, parallel reservoir, reliability, water supply system*

---

#### 요 지

본 연구에서는 병렬구조를 가진 안동댐과 임하댐에 대하여 할당법칙(Allocation rule, AR)을 이용하여 용수공급해석과 신뢰도지표를 산정하였다. 할당계수의 분석결과로는 안동댐이 용수공급의 기여도가 임하댐과 비교해서 Rule(A), Rule(B)에서는 66%이상으로 분석되었으며, Rule(C)의 경우 거의 대등한 기여를 하는 것으로 분석되었다. Rule(C)의 경우는 안동댐과 임하댐의 각각의 저류상태와 공급능력 상태에 따라 저류량과 유입량의 합을 댐의 평균저류량으로 나눈 비에 의해 공급량이 할당되어서 우수한 결과를 나타내었다. 병렬저수지 시스템의 용수공급의 분석기준에 있어 월별로 일정한 양을 기준으로 분석하는 것보다는 월별 용수변화량을 고려한 경우가 용수공급분석에 있어 우수한 결과를 나타내는 것으로 분석되었다. 본 연구를 기초로 하여 용수공급해석을 위한 새로운 기법이 개발되어 병렬저수지에 적용되었으며, 이 운영규칙은 여러 종류의 병렬저수지 시스템의 적용에 있어 효율적인 운영방안을 수립할 수 있을 것이다.

**핵심용어 : 할당규칙, 병렬저수지, 신뢰도 분석, 용수공급시스템**

---

\* 정희원, 안동과학대학 건설정보과 겸임교수, 공학박사, 054-851-3604, pkb5032@naver.com

\*\* 정희원, 영남대학교 건설환경공학부 석좌교수, 공학박사, 이학박사, 053-810-2412 lesst@yu.ac.kr

## 1. 서론

저수지의 최적운동을 위해서는 계절적으로 변하는 저수지 유입량의 특성에 따라 홍수기의 적절한 홍수조절과 더불어 이수용량을 확보하여야 한다. 저수지로 유입되는 불확실성을 가진 유입량과 저류량의 상태를 용수공급량으로 이용하기 위해서는 저수지 시스템의 상태와 연계운영시 다른 저수지의 상황, 하류의 용수요구량 등에 따라 저수지 운영방안들의 수립이 변화하여야 한다. 또한, 저수지 시스템은 크게 직렬구성과 병렬구성으로 나눌 수 있으며 저수지 시스템의 배열상태에 따라 시스템의 운영방안이 달라져야 한다. 병렬저수지에 대한 용수공급문제를 저수지의 용수공급능력을 충분히 활용하기 위하여 각각의 부족분을 보충해 주는 방안으로 할당규칙을 이용한 연구는 아직 미흡하며, 연간용수공급량을 산정하는데 있어 월별 일정량 공급과 월별변화량을 고려한 것의 차이에 대한 명확한 비교가 부족하였다. 따라서, 본 연구에서는 낙동강 수계의 병렬저수지 시스템으로 구성된 안동댐과 임하댐에 Revelle(1999)가 제안한 할당규칙을 국내의 현실에 맞도록 수정한 시스템을 구성하여 저수지의 용수공급량의 부족분을 최소화하고, 저류량을 최대화 할 수 있는 방안을 모색하였다. 또한 용수공급해석에 있어 공급조건을 2가지 형태로 나누어서 분석을 하였으며 분석기준은 공급기준 A(월별 용수공급량이 일정할 경우)와 공급기준 B(월별 용수공급량의 변화를 고려한 경우)에 따라 분석결과의 신뢰성에 어느 정도 영향이 있는가를 판단하기 위한 분석을 실시하였다. 그리고 저수지 운영방안의 의사결정에 지표가 될 수 있는 신뢰도 평가지표들을 비교·제시하여 효율적인 방안을 모색하며 병렬저수지 운영을 위하여 새로운 연계운영기법을 개발하고, 동시에 많고 다양한 병렬 저수지 시스템 내에서 적절히 변화되어 적용이 가능하게 하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 저류량을 고려한 병렬저수지 연계운영 방안

### 2.1 기본 이론

일반적으로 저수지간의 공급량 할당 규칙에 대해서 선택적인 안을 제시하면 공급량 할당비율의 산정에 있어 저수지의 요구되는 방류량의 할당을 저수지 공간의 비율에 따라 유입량의 비율을 고려하여 비홍수기의 순환에 따라 모든 저수지의 방류량을 결정하는 것으로 설명되어 있다 (Revelle, 1999). 병렬저수지의 용수공급문제에 있어서 하류에 공급되는 용수공급량은 다음 식 (1)~(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{1t+1} = S_{1t} + I_{1t} - O_{1t} - SO_{1t} \quad (1)$$

$$S_{2t+1} = S_{2t} + I_{2t} - O_{2t} - SO_{2t} \quad (2)$$

$$D_t = O_{1t} + O_{2t} \quad (3)$$

여기서  $S_{1t}$ ,  $S_{2t}$ 는 각 저수지,  $t$  월의 저류량,  $S_{t+1}$ 은  $t+1$  월의 저류량이다. 그리고  $I_t$ 는  $t$  월의 유입량,  $O_t$ 는 하류로 공급하는 용수공급량,  $SO_t$ 는 무효방류량,  $D_t$ 는 하류 용수공급량이다. 병렬저수지의 용수공급 해석에 있어 각 저수지의 저류상태에 따른 용수공급을 조절함으로써 보다 효율적인 용수공급이 가능하게 된다. 따라서 본 연구에서는 Revelle(1999)이 제안한 할당규칙을 국내의 현실에 맞게 수정하여 안동댐과 임하댐에 적용할 수 있는 모형을 구성하였다.

Revelle(1999)이 제안한 할당규칙은 다음 식(4)~(6)과 같다.

$$\text{Rule (A)} \quad x_{it} = \left[ \frac{s_{it-1}}{\sum_{i=1}^2 s_{it-1}} \right] \times T_i \quad i = 1, 2 \quad (4)$$

$$\text{Rule (B)} \quad x_{it} = \left[ \frac{s_{it-1} + ip_{it}}{\sum_{i=1}^2 s_{it} + ip_{it}} \right] \times T_i \quad i = 1, 2 \quad (5)$$

$$\text{Rule (C)} \quad x_{it} = \left[ \frac{(s_{it} + ip_{it})/c_i}{\sum_{i=1}^2 (s_{it-1} + ip_{it})/c_i} \right] \times T_i \quad i = 1, 2 \quad (6)$$

여기서  $ip_{it}$ 은 t월의 저수지 i의 유입량,  $c_i$ 은 저수지 i의 총저류용량,  $x_{it}$ 는 t월의 저수지 i의 공급량,  $s_{it}$ 는 t 월말의 저수지 i의 저류량 마지막으로  $T_t$ 는 각월의 계획공급량이다. 본 연구에서는 위 식(4)~(6)을 안동댐과 임하댐의 병렬저수지 시스템에 적용하여 다음과 같은 모형으로 수정하여 구성하였다.

$$S_{1t+1} = S_{1t} + I_{1t} - O_{1t} \cdot x_{1t} - SO_{1t} \quad (7)$$

$$S_{2t+1} = S_{2t} + I_{2t} - O_{2t} \cdot x_{2t} - SO_{2t} \quad (8)$$

$$D_t = O_{1t} \cdot x_{1t} + O_{2t} \cdot x_{2t} \quad (9)$$

Revelle(1999)가 제안한 방법에서는 유입량을 추정하여 계산되어 지도록 되어 있으나, 본 연구에서는 관측자료를 이용하여 t 월에 유입량을 사용하였으며 추후 연구에서 유입량 예측 방법과 저수지 모의운영이 연계하여 운영될 수 있는 모형의 개발이 필요하다고 판단된다. 또한, 식(7)~(9)의  $x_{it}$ 의 경우 Rule(A)~(C)의 각 방법에 대하여 모형을 구성하였다.

### 3. 대상유역

본 연구의 대상유역은 병렬저수지 시스템으로 구성된 낙동강 상류유역의 안동댐과 임하댐을 대상으로 하였으며 분석을 위한 저수지 연계운영 시스템의 구성을 위해서는 각 월을 분석단위로 하는 시간적인 저수지 조작과 각각의 댐이 위치하는 공간적인 저수지 조작을 고려해야 한다. 본 연구에서는 할당규칙에 따른 병렬저수지 연계운영방안을 구성하여 분석을 실시하였다. 그림 1은 안동댐과 임하댐의 연계운영시스템의 구성도이다. 여기서 ADI(t), IHI(t)는 안동댐과 임하댐의 유입량이고, ADS(t), IHS(t)는 안동댐과 임하댐의 저류량, ADD(t), IHD(t)는 안동댐과 임하댐의 용수공급량이고, ADO(t), IHO(t)는 안동댐과 임하댐의 무효방류량이다.

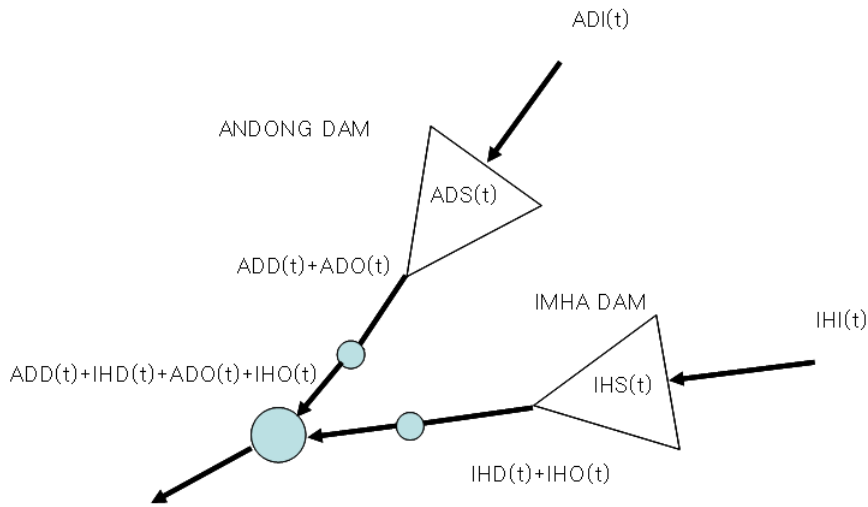


그림 1. 안동댐 임하댐의 저수지 시스템 구성

#### 4. 분석결과

본 연구의 안동댐과 임하댐의 할당규칙을 적용한 병렬저수지 연계운영에서 공급조건 A(월별 용수공급량이 일정한 경우)과 공급조건 B(월별 공급계획량의 변화를 고려하였을 경우)에 대하여 안동댐과 임하댐의 할당계수의 산정과 저수지의 저류량 상태 및 용수공급의 신뢰도 지표들을 비교하였다.

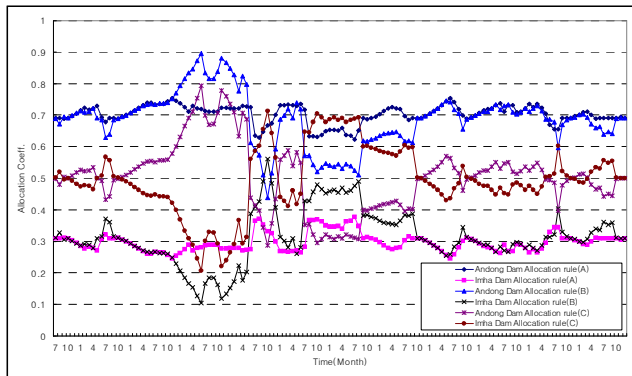


그림 2 공급조건 A의 할당계수 비교

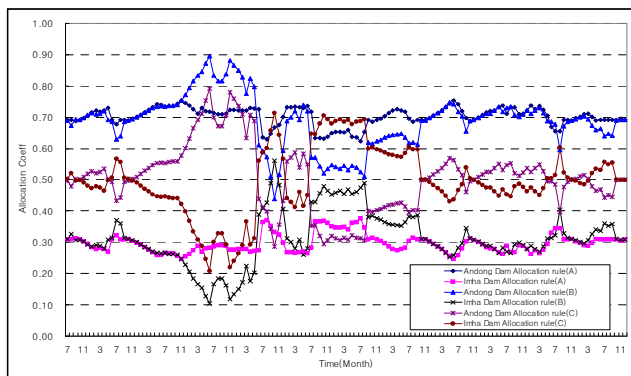


그림 3 공급조건 B의 할당계수 비교

표 1 공급조건 A의 용수공급 분석결과 비교

Classification		공급조건 A (월별 용수공급량이 일정한 경우)			공급조건 B (월별 용수공급량이 변하는 경우)		
		Rule(A)	Rule(B)	Rule(C)	Rule(A)	Rule(B)	Rule(C)
용수부족횟수 (월)	안동댐	7	7	6	5	5	6
	임하댐	12	10	12	11	10	11
	Control Point	15	14	14	14	13	14
용수부족량 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	안동댐	363.58	362.96	296.84	200.45	211.04	130.52
	임하댐	376.24	361.05	342.28	346.43	348.50	322.00
	Control Point	739.82	724.01	639.12	546.88	559.54	452.52
평균저류량 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /Months)	안동댐	773.57	773.35	756.34	803.21	805.79	788.20
	임하댐	351.15	350.10	346.27	350.28	353.17	347.61
평균 저수위 (EL. m)	안동댐	147.42	147.41	146.62	148.31	148.28	147.49
	임하댐	151.56	151.54	151.10	151.50	151.77	151.13

표 2 공급조건 A의 신뢰도지표 분석결과 비교

신뢰도 지표		공급조건 A (월별 용수공급량이 일정한 경우)			공급조건 B (월별 용수공급량이 변하는 경우)		
		Rule(A)	Rule(B)	Rule(C)	Rule(A)	Rule(B)	Rule(C)
빈도기준 신뢰도 (%)	안동댐	95	95	96	96	96	96
	임하댐	91	93	91	92	93	92
	Control Point	89	90	90	90	91	90
양적기준 신뢰도 (%)	안동댐	97	97	97	98	98	99
	임하댐	93	94	94	94	94	94
	Control Point	95	96	96	97	97	97
복원도	안동댐	2.33	2.33	5.88	5.00	5.00	5.03
	임하댐	4.00	2.50	4.00	2.78	2.50	2.18
	Control Point	5.00	3.45	4.76	3.45	3.23	3.45
평균용수부족량 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	안동댐	16.82	16.51	37.53	31.19	25.90	23.72
	임하댐	19.67	6.27	25.33	12.01	6.76	15.07
	Control Point	63.96	59.51	72.52	56.39	58.23	60.18
취약도	안동댐	0.86	0.84	1.64	1.14	0.95	1.04
	임하댐	1.72	0.46	2.22	0.96	0.49	1.21
	Control Point	7.00	6.08	7.41	5.76	5.53	6.15

## 5. 결론

본 연구에서는 병렬저수지 시스템의 용수공급분석에 있어 할당규칙을 이용하여 분석한 결과 신뢰도 지표결과에서는 Rule(B)의 경우가 높은 신뢰도를 나타내고 있으며, 용수부족량의 발생이 가장 적은 Rule(C)의 경우 안동댐과 임하댐의 용수부족량이 Rule(A)와 Rule(B)에 비해 현저히 감소하는 결과를 나타내고 있으며, 용수공급의 분석기준에 있어 공급조건 A(월별 용수공급량이 일정한 경우) 기준으로 분석하는 것보다는 공급조건 B(월별 용수변화량을 고려한 경우)가 용수공급분석에 있어 우수한 결과를 나타나는 것으로 분석되어 향후 저수지 용수공급의 분석에 있어 병렬저수지의 분석방법과 평가기준에 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 개발된 연계운영기법과 평가방법을 기초로 하여 병렬저수지의 용수공급해석에서 있어서 참고사항이 될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 고석구, 고익환, 이광만(1991) 신뢰도를 고려한 저수지 운영율의 개발 연구보고서, 수자연 91-WR-4, 한국수자원공사 수자원연구소.
- 박명기, 김재한, 정관수(2002) “위험도 평가기준을 적용한 저수지 최적운영방안 연구(Ⅰ) (대청댐을 중심으로)” **한국수자원학회 논문집**, Vol. 35, No. 1, pp. 37 ~ 49
- 심명필, 이봉희, 김경탁(1997) “저수지 물공급을 위한 신뢰도 분석에 관한 연구” **한국수자원학회 논문집**, Vol. 30, No. 5, pp.527 ~ 537.
- Bayazit, M., and Unal N.E. (1990) Effects of hedging on reservoir performance. *Water Resour. Res.*, Vol. 26, No.4, pp. 713 ~ 719.
- Hashimoto, T., Stedinger, J.R., and Loucks, D.P.(1982) Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resources System Performance Evaluation. *Water Resour. Res.*, Vol. 18, No. 1, pp. 14 ~ 20.
- Loucks, D.P. and Dorfman, P.J.(1975) An evaluation of some linear decision Rule in chance-constrained models for reservoir planning operation. *Water Resour. Res.*, Vol. 7, No. 6, pp.772 ~ 782.
- Moy, W.S., Cohon, J.L., and Revelle, C.S.(1986) A programming model for analysis of the reliability, resilience and vulnerability of a water supply reservoir. *Water Resour. Res.*, Vol. 22, No. 4, pp. 489 ~ 498.
- Palmer, R.N., Smith, J., Cohon, J., and Revelle, C.S.(1982) Reservoir management in the Potomac River Basin., *J. Water Resour. Plan. and Mang.*, ASCE, Vol. 108, No. 1, pp. 47 ~ 66.
- ReVelle, C.S., Joeres, E., and Kirby, B.(1969) The Linear Decision Rule in Reservoir Management and Design, Development of the Stochastic Model, *Water Resour. Res.*, Vol. 5, No. 4, pp. 197 ~ 203
- Revelle, C.S.(1999) *Optimizing Reservoir Resources Including A New Model for Reservoir Reliability*, John Willy & Sons Inc.
- Sand G.M.(1984) *An analytical investigation of water supply reservoir in parallel*, Ph. D. thesis, Cornell Univ., Ithaca, N.Y.