

## OE6                   공급량 할당기법을 이용한 병렬저수지 연계운영

박기범\*, 이순탁  
영남대학교 토목공학과

### 1. 서   론

우리나라의 경우 연간 총강우의 60%이상이 7,8,9월에 집중되어 있어 댐과 같이 저류시설이 충분하지 않은 이상 용수수급에 문제가 발생하여 나머지 기간의 용수공급을 위한 용수확보가 어려운 실정이다. 따라서 기존 대규모 다목적 댐들을 최대한 활용하는 방안이 절실하다. 이수목적의 저수지 운영방안에서 용수공급의 최대화를 위하여 다양한 기법들이 시도되고 있지만 저수지의 배열상태, 유역의 유출특성등에 적합하게 적용되지는 못하고 있다. 저수지의 최적운영이란 용수공급의 측면에서 볼 때 용수공급의 안정성을 최대화 시켜주는 것이라 할 수 있다. 용수부족을 최소화 하기 위해서는 풍수기에 저류한 물을 최대한 활용하여야 하며, 또한 풍수기가 끝난 Refill season인 10월에서 다음해 6월까지 무효방류량을 최소화하여 저류량을 확보하면서 용수공급을 하여야 한다. 그러나 풍수기 이외의 기간 동안에는 특별히 유입량이 크지 않아 저수지의 저류량의 확보가 쉽지 않으며 이 기간 동안의 저수지시스템의 효율적인 관리가 필요한 실정이다.

따라서, 저수지 시스템의 특성에 맞는 운영방안의 도입과 풍수기 이외의 기간의 최적의 저수지 운영방안을 도입하여 용수확보의 안정성을 높이는 필요성이 더욱 증가되고 있다.

### 2. 연구방법

병렬저수지의 연계운영에 관한 연구로서 Clark는 New York 시의 용수공급 시스템에서 각 유역의 저류량을 모든기간에 대해 동일한 실패확률을 가지도록 시스템을 운영 하였다. Sand(1984)와 Johnson(1991)등은 New York City에 적용한 것이 NYC(New York City)Rule로 New York City의 용수공급 문제를 적용하였다. Johnson(1991)등은 저수지시스템의 운영에 있어 Heuristic operating policies를 적용하여 저수지 제약조건과 Refill season의 저수량 목적에 적용하여 발전함수를 최적화 하였으며, Lund(1999)등은 직렬저수지와 병렬저수지의 운영방안 도출에 관한 연구로서 Hedging Rule과 NYC-Space Rule을 적용하여 분석하였다. 저수지 연계운영 시스템에서 Hashimoto(1982)등은 저수지 운영에서 표준운영방안이 목적함수가 전체 공급부족분을 최소화하는 목적함수로 구성되는 경우에 최적해에 해당한다고 결론지은 바 있으나, Stedinger (1984)은 표준방안은 물부족의 상황이 발생하는 경우 또는 물부족이 예상되는 경우에 적절한 운영체계를 제공하지 못한다는 점과 저수지의 저류량에 여유수량이 존재하는 경우의 적절한 활용절차를 제공하지 못하는 단점을 제시하였다. 이러한 단점을 보완하고자 본 연구에서는 용수부족량을 최소화 하면서 용수공급 가능량인 저수량의 최대화를 목적함수로 하였으며, 그리고 병렬저수지 시스

탐의 상호 보완적인 용수공급량 혹은 방류량의 배분을 결정하기 위하여 저류상태와 유입량 상태를 이용하여 각 저수지의 공급량을 할당하여 상호보완적으로 운영 하였다.

연구방법으로는 먼저 안동댐과 임하댐의 건설이후의 유입량자료를 분석하였다. 다음으로 각 월에 대한 유입량의 통계적인 특성을 분석하였으며, Refill season의 유입량계열의 통계적인 특성을 분석하였다. 다음으로, 안동댐과 임하댐의 연계운영을 위하여 임하댐이 건설된 1992년 7월부터 2003년 10월 총 12개년 136개월의 Space Rule을 적용한 모형을 구축하였으며, 방류량의 결정과정에 Revelle(1999)가 제안한 용수공급 할당방법을 적용하였다.

### 3. 기본이론

#### 3.1 병렬저수지 시스템의 구성

수자원 시스템의 최적화는 여러 가지 목적들 간의 상호이해관계에서 최적해를 얻기 위하여 목적함수를 구성하여야 한다. 본 연구에서 목적함수(Objective function)에서 고려된 사항은 다음과 같다.

- ① Refill season 기간동안의 하류지역 용수부족량의 최소화
- ② 병렬저수지시스템의 저류량의 최대화
- ③ 7,8,9월 용수요구량의 100% 충족

#### 3.2 공급량 할당(Allocation) 방법

저수지 시스템의 연계운영에서 저수지의 용수부족량을 최소화하는 방법중 하나로서 현재의 저수지 상태를 고려하여 방류량 결정을 하는 것이다. 병렬저수지의 공급량 할당방법은 다음 식(3.1)~(3.3)과 같이 나타낼 수 있다.

Rule (A)

$$x_{it} = \left[ \frac{s_{it-1}}{\sum_{i=1}^3 s_{it-1}} \right] \times T \quad i=1,2,3 \quad (3.1)$$

Rule (B)

$$x_{it} = \left[ \frac{s_{it-1} + ip}{\sum_{i=1}^3 s_{it-1} + ip} \right] \times T \quad (3.2)$$

Rule (C)

$$x_{it} = \left[ \frac{(s_{it-1} + ip)/c_i}{\sum_{i=1}^3 (s_{it-1} + ip)/c_i} \right] \times T \quad (3.3)$$

#### 4. 분석결과

안동댐과 임하댐에 할당(Allocation)계수를 각 단계별로 산정하였다. 저류량 하한계약조건으로 사수량으로 제약 하였으며, Refill season에 대하여 할당배분 방식 Rule(A), Rule(B), Rule(C)에 따라 방류하도록 하였다. 안동댐의 평균 할당계수는 0.670, 0.691, 0.483으로 Rule(C)의 경우에 Rule(A),(B)보다 낮게 산정되었으며 Refill season의 할당계수의 평균은 0.663, 0.697, 0.487로 산정되었으며, 임하댐의 경우 평균 할당계수는 각각 0.288, 0.309, 0.481로 산정되었으며, Refill season의 할당계수는 각각 0.282, 0.303, 0.472로 산정되었다. 안동댐과 임하댐의 분석한 결과와 저류량, 용수공급량은 Table 4.1과 같다. Space Allocation Rule의 하한계약조건으로 사수량으로 결정하여 분석한 경우에는 Rule(A),(B),(C)의 경우에 안동댐과 임하댐의 부족횟수와 부족량이 Rule(C)가 가장 작게 나타나는 것으로 분석되었다.

Table 4.1 Space Allocation Rule 모델적용결과 분석 비교

구 분		Space Allocation Rule		
		Rule(A)	Rule(B)	Rule(C)
용수부족횟수	안동댐	7	7	6
	임하댐	12	12	13
	조절점	15	15	14
용수부족량 (MCM/년)	안동댐	363.5	363.5	275.15
	임하댐	376.2	375.57	357.40
	조절점	739.8	739.07	632.55
평균저류량 (MCM/년)	안동댐	773.57	773.56	751.82
	임하댐	351.15	350.99	348.23
평균저수위 (EL. m)	안동댐	147.42	147.42	146.43
	임하댐	151.56	151.54	151.34

#### 5. 결 론

본 연구에서 병렬저수지 시스템에 대하여 Allocation Rule을 적용하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

병렬저수지 시스템으로 구성된 안동댐과 임하댐에 대하여 Allocation 계수를 산정하였으며 그 결과 저수지 저류상태만 고려한 Rule(A)의 경우 Allocation 계수가 각각 0.670, 0.282로 산정되었으며, 저류량과 유입량을 고려한 Rule(B)의 경우 각각 0.697, 0.309로 산정되었으며 유입량과 저류량 그리고 댐의 평균저류량을 고려한 Rule(c)의 경우 0.513, 0.487로 산정되었다. Allocation 계수를 산정한 결과에서 Rule(A), Rule(B)의 경우 조절점의 용수공급에 안동댐이 임하댐보다 더 크게 기여를 하는 것으로 나타났다. Allocation

Rule을 적용하여 안동댐과 임하댐의 연계운형을 한 결과를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 용수부족횟수를 보면 Rule(A), Rule(B), Rule(C)에서 안동댐 용수공급횟수는 각각 7회, 7회, 6회 발생하였으며 용수부족량은 363.50 MCM, 363.50 MCM, 275.15 MCM으로 Rule(C)가 가장 적은 부족량이 발생하였다. 저류량의 경우 773.57 MCM/년, 773.56 MCM/년, 632.55 MCM/년으로 Rule(C)가 평균저류량이 가장 적게 나타났다. 임하댐의 분석결과를 보면 용수공급횟수는 각각 12회, 12회, 13회 발생하였으며 용수부족량은 376.20 MCM, 375.57 MCM, 357.40 MCM으로 Rule(C)가 가장 적은 부족량이 발생하였다. 저류량의 경우 351.15 MCM/년, 350.99 MCM/년, 348.23 MCM/년으로 Rule(C)가 평균저류량이 가장 적게 나타났다. 조절점에서의 용수공급횟수는 각각 15회, 15회, 14회 발생하였으며 용수부족량은 739.80 MCM, 739.09 MCM, 632.55 MCM으로 Rule(C)가 가장 적은 부족량이 발생하였다. 조절점에서의 용수부족횟수와 부족량이 Rule(C)가 가장 작게 나타났으며, 병렬저수지 시스템에서 Allocation Rule을 적용함으로써 안동댐과 임하댐이 저류상태에 따라 상호 보완적으로 용수부족량을 최소화하고 평균저류량을 확보할 수 있는 방안으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

- G.M. Sand(1984) An Analytical Investigation of operating policies for Water-supply reservoirs in parallel, Cornell University.
- Moy. M. A.(1986) programming model for analysis of the reliability, resilience and vulnerability of a water supply reservoir. WRR Vol. 22. No. 4.
- Sharon A. Johnson, Konstant Staschus(1991), Heuristic Operating Policies for Reservoir System Simulation, W.R.R. v,27, No. 5, pp. 673~685.
- I Nalbantis and D. Koutsoyiannis(1997), A parametric Rule for planning management of multi-reservoir systems, W.R.R. Vol. 33, No. 9, pp.2165~2177.
- Jay R. Lund, Joel Guzman(1999), Some Derived Operating for Reservoirs in Series or in Parallel. Journal of Water Resources and Planning and Management, Vol. 125, No.3, pp. 143~153.
- 안동다목적댐 추가설계 보고서(1969), 산업기지개발공사
- 건설부,(1986) 산업기지개발공사, 소양강·안동 다목적댐 사업효과분석 보고서.
- 이수식(1991), 단일 및 병렬 다목적 저수지의 최적운영, 영남대학교 토목공학과, 공학박사 논문.
- 한국수자원공사,(1992) 임하다목적댐 공사지.
- 건설부,(1994) 댐시설관리기준.
- 한국수자원학회지,(1997) 제30권, 제2호, pp.7-10.
- 건설교통부, 한국수자원공사(1998.12) 기존댐 용수공급능력평가 보고서(낙동강수계).
- 한국수자원공사,(1998) 다목적댐 운영실무편람.
- <http://wamis.kowaco.or.kr/>