

OE5) 용수공급능력 지표산정

박기범*, 김성원¹, 이영화²

실용수자원연구소, ¹동양대학교 철도토목과,

²대구한의대학교 건축토목설계학부

1. 서 론

본 연구에서는 한국의 대표적인 병렬저수지 시스템으로 구성된 낙동강 유역 상류의 안동댐과 임하댐에 Revelle(1999)가 제안한 Allocation Rule을 이용한 병렬 저수지 시스템을 구성하여 1992-2007년 까지 192개월에 대한 용수공급량을 해석하고 기존의 신뢰도 평가 지수와 평균용수공급확률, 부족시 용수공급충족율, 부족량 표준편차등을 추가하여 명확하게 용수공급능력을 평가할 수 있도록 제시하였다.

2. 신뢰도 지표

2.1. 신뢰도(Reliability)

일반적인 신뢰도 분석에서는 신뢰도(α)는 주어진 계획기간 동안 시스템이 정상적으로 용수공급을 수행할 확률로 정의되며 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\alpha = \text{Prob}[X_t \in S] \quad (1)$$

여기서 α 는 신뢰도, S 는 용수수요의 충족상태이다. 식(1)에서 α 로 표시한 신뢰도와 대응하는 개념인 위험도 β 는 임의 시점 t 에서 용수공급량이 용수수요를 충족시키지 못한 확률로 정의할 수 있으며, 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\beta = \text{Prob}[X_t \in F] = 1 - \text{Prob}[X_t \in S] = 1 - \alpha \quad (2)$$

여기서 β 는 위험도, F 는 용수부족 상태이다. 수자원 시스템의 설계 및 운영에 대한 신뢰도 분석시 사용되는 기준은 크게 총 분석기간에 대한 부족발생 기간의 비로 나타내는 빈도 기준신뢰도, 용수공급량에 대한 부족량의 비로 나타내는 양적 기준신뢰도로 구분할 수 있다.

2.2. 복원도(Resiliency)

시스템 파괴가 발생한 후 얼마나 빨리 정상상태로 회복되는가를 나타내는 개념으로 사용되는 것이 복원도(Y)이다. 저수지 시스템에 있어서 용수공급량이 수요량을 충족시키지 못하여 용수부족이 발생할 경우 용수부족이 얼마나 오래 지속될 것인가를 나타내는 평가 척도로 사용될 수 있으며 식(3)과 같이 표현할 수 있다. 복원도는 0에 가까울수록 부족이 발생한 후 빨리 정상상태로 회복된다.

$$\gamma = \frac{1}{E[T_F]} \quad (3)$$

여기서 T_F = 시스템 파괴 발생후 파괴상태의 지속기간, $E[T_F] = T_F$ 의 기대치로서 시스템 파괴상태의 평균지속기간 즉, 용수부족의 평균지속시간이다. 또한, 용수부족사상이 발생하여 다시 정상상태로 되돌아오는 것을 상태변환(Turnover)이라 한다.

2.3. 취약도(Vulnerability)

취약도(δ)는 용수부족의 상태의 결과가 얼마나 심각할 것인가를 나타내는 척도로서 발생 가능한 용수부족량을 의미한다. 복원도와 더불어 저수지 용수부족상태의 결과를 나타내는 지표로 사용된다. 용수공급시스템의 취약도를 나타내는 정량적인 지표는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta = \sum_{j \in F} s_j p_j \quad (4)$$

여기서 s_j 는 j번째 사상에서 시스템이 얼마나 파괴되었는가를 나타내는 시스템파괴의 크기 즉, 용수부족량이고, p_j 는 시스템 파괴상태에서 s_j 에 상응하는 용수부족사상 x_j 의 발생확률이다.

본 연구에서는 취약도 산정에서 용수부족기간동안의 평균용수부족량을 산정한 후 용수부족확률(빈도기준, 양적기준)의 위험도를 곱한 것을 취약도로 산정하였으며 다음 식(5)와 같다.

$$\delta = \sum_{j \in F} \bar{s}_j \beta_j \quad (5)$$

여기서 \bar{s}_j 는 평균용수부족량이고 β_j 는 용수부족이 발생할 확률의 위험도이다.

2.4. 물공급능력지수(Water Supply Capacity Index)

Lee, Moon and Lee(2006) 등에 의해 개발된 물공급능력지수(Water Supply Capacity Index : WSCI)는 현재의 저류용량이 장래 용수공급이 가능한 개월수를 산정한 결과이다. 따라서 WSCI는 개월수의 단위를 가진다. WSCI를 산정할 때 적용되는 저수량은 현재의 저수량이고 다음 달부터의 순차적인 용수공급 계획량을 현재의 저수량에 감하여 산정한다.

- ① 초기 $WSCI_0=0$ 이다.
- ② $S_t \geq D_{t+1}$ 인가를 판단한다.
- ③ $S_t \geq D_{t+1}$ 이면 $WSCI_{1,2,3...n}$, 아니면 $WSCI_{FINAL} = WSCI_0 + (S_t/D_{t+1})$ 이 된다.
- ④ $WSCI_{FINAL} = (n-1) + (S_{t,n-1}/D_n)$

2.5. 용수공급확률(%), 용수부족확률(%), 부족량 표준편차

용수공급확률은 매월 용수공급계획량과 용수공급량과의 비에 따른 용수공급률로서 평균용수공급확률(ASP)은 분석기간동안의 용수공급률의 평균을 나타내며, 용수부족시 공급

율(ASP)는 부족발생월의 용수공급량과 계획공급량과의 차이의 비율을 계획공급율에 대한 백분율로 나타낼 수 있다.

$$ASP = \frac{1}{N} \sum_{N=1}^N \left(\frac{w_s}{w_d} \times 100\% \right) \quad (6)$$

$$ASTP = \frac{1}{M} \sum_{M=1}^M \left(\frac{w_d - w_s}{w_d} \times 100\% \right) \quad (7)$$

$$ASTD = \frac{1}{M} \sum_{M=1}^M |w_d - w_s| \quad (8)$$

여기서 ASP는 평균용수공급확률이고, ASTP는 평균용수부족확률, ASTD는 부족량표준편차, w_d 는 계획용수공급량, w_s 는 용수공급량, N 은 분석월수, M은 부족발생개월수이다.

3. 결 론

본 연구에서는 낙동강 유역에 병렬구조를 가진 안동댐과 임하댐에 대하여 Allocation Rule을 이용하여 용수공급해석과 신뢰도지표들을 산정하여 평가하였다.

먼저 안동댐과 임하댐의 AR계수를 비교하여 보면 안동댐의 경우 Rule(A)~Rule(C)에서 하류용수공급기여도가 67%~50이상을 차지하고 있음을 알 수 있었다. D교 season의 경우 안동댐의 공급기여도가 높은 것으로 분석되어 안동댐과 임하댐의 용수공급을 위한 연계운영에서 안동댐의 기여도가 높아 안동댐이 높은 것을 알 수 있었다.

AR 계수의 분석의 결과로는 안동댐이 용수공급의 기여도가 Rule(A), Rule(B)에서는 66%이상으로 분석되었으며, Rule(C)의 경우 거의 대등한 기여를 하는 것으로 분석되었다. Rule(C)의 경우는 신뢰도의 평가 지표에서 하류지역의 용수공급 신뢰도가 가장 높게 나타났으며 평균 용수부족량도 가장 적게 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 WSCI의 산정결과 Rule(A),(B),(C)가 크게 차이가 나지 않으나 1개월의 용수확보에서는 Rule(C)가 조금 우수한 것으로 분석되었다.

용수공급 평가지수의 산정에 따른 용수공급능력을 정량화함에 있어 본 연구에서는 안동댐과 임하댐의 연계운영에 따른 신뢰도 지수와 평균용수공급율을 고려하여 Rule(C)의 경우에는 용수공급능력이 매월 각각 98%,95%,97%정도의 신뢰성을 가지며 부족시 용수공급의 부족량이 계획공급량의 37%,27%,57%의 신뢰성을 가지는 것으로 나타났다.

병렬저수지의 용수공급능력을 평가함에 있어 각각의 단일 댐의 용수공급 신뢰도도 중요하지만 하류지역의 총 공급에 대한 신뢰도가 연계운영에 의한 용수공급능력의 척도가 되는 것으로 판단되며, 용수공급에 대한 평가를 하는 것에 있어 기존의 빈도, 양적신뢰도, 복원도 와 취약도의 분석과 본 연구에서 나타낸 평균용수부족기간과 평균용수부족량, 부족량 표준편차 그리고 WSCI와 같은 용수공급지속가능 개월 수 등을 나타내어 저수지가 가진 용수공급능력을 정량화하여 평가할 수 있을 것이라 기대된다.

Table 1. 신뢰도지표 분석결과 비교

신뢰도 지표		월별 용수공급량이 변하는 경우		
		Rule(A)	Rule(B)	Rule(C)
빈도기준 신뢰도 (%)	안동댐	97	97	97
	임하댐	94	95	94
	Control Point	92	93	93
양적기준 신뢰도 (%)	안동댐	98	98	99
	임하댐	94	94	96
	Control Point	97	97	98
복원도	안동댐	0.20	0.20	0.33
	임하댐	0.36	0.40	0.36
	Control Point	0.29	0.31	0.29
용수부족시 평균공급량 (CMS)	안동댐	12.48	10.36	15.81
	임하댐	8.74	5.41	10.96
	Control Point	56.39	58.23	60.18
취약도	안동댐	0.84	0.70	0.74
	임하댐	0.71	0.36	0.86
	Control Point	4.24	4.07	4.53
평균용수부족량 (CMS)	안동댐	40.09	42.21	33.60
	임하댐	31.49	31.68	27.27
	Control Point	39.06	39.97	34.26
평균용수공급확률(%)	안동댐	98	98	98
	임하댐	95	95	96
	Control Point	97	97	97
부족발생시 용수공급충족도(%)	안동댐	24	20	37
	임하댐	21	21	27
	Control Point	58	55	62
부족량표준편차	안동댐	6.18	6.42	8.91
	임하댐	6.19	11.23	9.84
	Control Point	17.09	18.97	16.28

Table 2. WSCI 산정 결과

Dam	WSCI (month)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12~
		Andong	AR(A)	19	8	7	5	8	5	6	11	14	28
AR(B)	19		8	7	5	8	5	6	11	14	28	23	19
AR(C)	26		4	6	5	8	6	6	12	13	28	23	19
Imha	AR(A)	34	37	32	17	18	14	25	9	-	-	-	-
	AR(B)	34	37	32	17	18	14	25	9	-	-	-	-
	AR(C)	35	37	31	18	17	16	24	9	-	-	-	-