

가뭄 예경보에 의한 저수지 운영에 관한 연구

Reservoir Operation by Drought Forecasting and Warning

이재응* / 김영아**
 Yi, Jaeung / Kim, Young A

Abstract

In this study, the efficient reservoir operation is studied by comparing results from reservoir operation using a basin drought forecasting and warning system with an existing reservoir operation rule. As a result, it is found that the reliability and average annual storage of reservoir operation using a basin drought forecasting and warning system and release coefficients is better than those of reservoir operation using the existing operation rule. The release coefficients for Yongdam dam located in the Geum river basin selected as a case study are found to be the most effective for the value of 0.95 for the drought watch, 0.9 for the drought warning and 0.85 for the drought emergency. The reservoir operation using a drought forecasting and warning enables the use of the limited water resources effectively during drought and will contribute the national water resources management.

Keywords : reservoir operation, drought forecasting and warning, reliability, operation rule

요 지

본 연구는 유역의 가뭄 예·경보 기준을 사용한 저수지 운영과 저수지의 운영률을 수행한 결과를 비교하여, 보다 효율적인 저수지 운영방안을 검토하였다. 그 결과 가뭄 예·경보 시스템과 방류계수를 사용한 저수지 운영이 기존의 저수지 운영률을 사용한 저수지 운영에 비하여 신뢰도와 연평균 저류량이 향상됨을 확인할 수 있었다. 시범유역으로 선정된 금강유역의 용담댐에서 저수지 운영시 사용할 방류계수로는 가뭄주의일 때 0.95, 가뭄경보일 때 0.9, 가뭄비상일 때 0.85의 값이 가장 효율적인 것으로 검토되었다. 가뭄 예·경보를 사용한 저수지 운영은 가뭄시 수자원의 효율적인 이용을 가능하게 하며, 국가 수자원 관리에 크게 이바지할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 저수지 운영, 가뭄 예·경보, 신뢰도, 운영률

1. 서 론

국내에서는 1990년대 초까지 가뭄의 감시나 예측 등에 대한 체계적인 연구가 거의 없었으나 1990년대 중반 이후 가뭄으로 인한 피해가 심각해짐에 따라 가뭄에 관한 관심이 증대되고 있는 형편이다. 기상연구소(1993)는 강수량 변동을 이용하여 우리나라의 가뭄 특성에 대한 연구를 수행하였으며, 최영진(1994) 등은

기후자료를 이용하여 Palmer 가뭄지수와 습윤 이상지수를 비교·분석하였다. 김현영(1995)은 우리나라의 가뭄을 정의하고 그 특성에 대해 논하였고, 김현준(1995)은 1994년과 1995년에 발생하였던 가뭄의 특징에 대해서 조사하였다. 조홍제(1996)는 Phillips 가뭄지수를 사용하여 비상 가뭄대책 수립에 활용하였다. Nishikawa(1998)는 가뭄시 수자원의 최적 관리를 위한 최적화-모의모형을 개발하였다. 이 모형은 지하수

* 아주대학교 환경건설교통공학부 부교수, 공학박사

Associate Prof., Dept. of Env., Civil and Trans. Eng., Ajou Univ., Suwon 443-749, Korea (E-mail: jeyi@ajou.ac.kr)

** 아주대학교 건설교통대학원 석사과정

Graduate Student, Dept. of Const. and Trans. Eng., Ajou Univ., Suwon 443-749, Korea (E-mail: kya8955@hanmail.net)

모의운영을 선형계획모형과 연계한 것으로 미국의 Santa Barbara에 적용되었다. Cheng(2000) 등은 kriging 기법과 시계열분석을 통해 저수지 유입량을 예측하고, 가뭄이 예측될 때 저수지 모의운영을 실시하여 가뭄으로 인한 피해를 감소시키는 방안을 제안하였다. Tu (2003) 등은 혼합정수선형계획법과 hedging rules를 이용하여 가뭄시 물 부족을 최소화할 수 있는 방안을 다중저수지 시스템에 적용하였다.

이재응과 유재복(2003)은 우리나라의 기상학적, 수자원 공학적 관점에서의 가뭄지수인 RPDSI(River and Palmer Drought Severity Index)를 개발하였다. RPDSI는 PDSI가 현재의 가뭄 상태를 잘 나타내지 못하는 단점을 개선하여 현재의 가뭄정도를 직접적으로 잘 나타낼 수 있도록 하천 유량을 이용하여 개선한 지수이다. RPDSI를 산정하기 위해 정규화시킨 하천유량을 Palmer 지수와 더불어 사용하였으며, 유역의 특성에 따라 유역내 하천의 유량과 유역외 저수지 저류량이 용수 공급에 미치는 상대적인 특성을 나타내는 인자들을 결정하기 위해 유역내 하천수의 비중, 유역내 용수수요 중 유역외 저수지로부터 공급받는 비율 등을 고려하였다. 가뭄 예보 기간에 따라 장기, 중기, 단기의 3단계로 가뭄 예·경보를 구분하고, 각각의 경우 개발된 지수에 따라 가뭄 예·경보를 발효하는 기준을 설정하였으며, 새로이 이용 가능한 자료를 신속하게 사용하여 필요한 경우 가뭄 예·경보를 변경하거나 해제하는 기준을 설정하였다.

본 연구의 목적은 예·경보된 가뭄으로 인한 피해를 최소한으로 줄일 수 있도록 장기, 중기, 단기 가뭄에 따라 최적 용수배분, 최적 저수지운영 등의 대책을 수립하는데 있다.

2. 저수지 운영정책

2.1 운영률에 의한 저수지 운영

저수지 운영의 일반적인 방법은 저수지 운영률에 의한 것이다. 저수지 운영률은 일반적으로 월말 목표저류량을 운영곡선으로 나타내는데, 운영곡선은 총 저류량을 분할하는 곡선으로 홍수기에는 저류되는 유량이 댐 설계시 결정된 홍수조절 용량의 범위 내에서 저수위가 계획홍수위 이하로 유지되고, 이수기에는 각종 용수공급, 발전이 최적상태가 유지될 수 있도록 미리 결정한 곡선이다.

저수지를 운영하는데 있어 기본이 되는 운영률은 일반적으로 과거의 유입량 기록을 이용하여 최적 저수지

운영 또는 모의운영을 실시하고 그 결과를 분석하여 효율적으로 저수지를 운영할 수 있는 운영목표를 설정한 것이다. 대부분의 경우 과거의 유입량 기록만으로 운영률을 도출하기에는 불충분하기 때문에 이와 유사한 통계적 특성을 갖는 장기간의 자료를 발생시켜 저수지 운영을 실시함으로써 기존의 자료만으로는 고려하기 어려운 위험도까지 고려할 수 있다.

본 연구에서는 한국수자원공사(2000)에서 개발된 용담댐의 운영률 곡선을 이용한 저수지 운영을 가뭄이 발생할 경우 저수지 운영을 평가하기 위한 한 가지 운영방법으로 선정하였다.

2.2 가뭄 예·경보와 표준운영정책에 의한 저수지 운영

표준운영정책(SOP: Standard Operation Policy)은 용수 공급 목적을 위한 저수지 운영에 자주 적용되는 기법으로 가능한 모든 용수수요를 만족시킬 수 있도록 공급하는 방법이다. SOP는 가뭄이 발생해도 저수지가 최저수위에 이를 때까지 목표공급량을 지속적으로 공급한다. 이러한 운영방법은 실제 저수지 운영에서 사용되지는 않지만 본 연구에서는 가뭄시 저수지 운영을 일관성 있게 평가하기 위해 표준운영정책으로 저수지를 운영한다고 가정하였다. 표준운영정책의 저수지 방류 운영률을 수학적으로 나타내면 식 (1), (2), (3)과 같다.

$$O_t = S_t - S_{\min} + I_t \quad \text{if } S_t - S_{\min} + I_t \leq D_t \quad (1)$$

$$O_t = D_t \quad \text{if } D_t \leq S_t - S_{\min} + I_t \leq S_{\max} - S_{\min} \quad (2)$$

$$O_t = S_t - S_{\max} + I_t \quad \text{if } S_t + I_t - D_t > S_{\max} \quad (3)$$

여기서 S_t 는 t 기간 초의 저수지 저류량, I_t 는 t 기간 동안의 저수지 유입량, O_t 는 t 기간 동안의 저수지 방류량, D_t 는 t 기간 동안의 도수량, S_{\max} 는 저수지의 최대저수용량, S_{\min} 은 저수지의 최소저수용량을 나타낸다. 본 연구에서는 증발과 누수는 고려하지 않는다. 상태방정식은 식 (4)와 같다.

$$S_{t+1} = S_t + I_t - O_t \quad (4)$$

가뭄 발생시에는 표준운영정책으로 목표 방류량을 유지할 수 없다. 그러나 가뭄을 미리 예측할 수 있다면 현 단계의 방류량을 감소시키고 저류량을 증가시키도록 저수지 운영을 수행하여 앞으로 발생할 가뭄으로 인한 피해를 경감할 수 있다. 본 연구에서는 이재응과 유재복(2003)에 의해 개발된 가뭄 예·경보 시스템에 의해

가뭄이 예보되면 가뭄상태에 따라 방류량에 1보다 작은 적절한 방류계수 값을 곱하여 방류량을 감소시키고, 최저수위의 제한을 두어 수위가 최저수위 이하로 하강하지 않도록 방류량을 적절히 조절하는 저수지 운영을 수행한다.

가뭄 예·경보 시스템에 의한 효율적인 저수지 운영이 이루어지기 위해서는 장기, 중기, 단기 가뭄 예보 중 3개월 후의 가뭄을 예보하는 장기 가뭄예보를 사용하여야 미리 댐에 저류량을 확보할 수 있다. 또한 1개월마다 가뭄상태의 변화에 따라 저수지 운영을 수정하는 것이 적절하다.

3. 시범유역 적용

3.1 용담댐 유역

용담댐 유역을 시범유역으로 선정해 가뭄 예·경보에 의한 저수지 운영을 검토하였다. 용담댐은 용수공급, 발전, 홍수조절을 실시하는 다목적댐으로 목표년도 2021년까지 전주권으로 135만³/일을 공급할 목적으로 건설되었다. 목표년도 이전까지는 전주권의 인구증가 추세와 병행하여 공급량을 탄력적으로 운영하며, 용담댐 하류의 생활용수, 공업용수, 하천유지용수의 공급과 대청댐에서의 용수공급에 필요한 수요를 충족시킬 수 있도록 방류량을 조절하여 운영하고 있다. 용담댐 하류로의 방류량은 저수지 내 저수량과 저수지로의 유입량에 따라 결정되며 최소 5m³/s를 상시 방류하여 댐 하류의 평시 유량을 보장하도록 운영한다. 또한 홍수나 극심한 가뭄의 발생시에는 용담댐으로의 유입량과 저수지의 저수위를 고려하고 저수지 운영률에 근거하여 방류

량을 결정하도록 운영한다. 특히 가뭄 발생시에는 목표 방류량을 유지할 수 없으므로, 방류량을 감소시키고 저류량을 증가시키도록 저수지를 운영할 필요가 있다. 그림 1에 용담댐 유역도를 제시하였다.

3.2 하천유량을 이용한 가뭄지수의 적용

용담댐 유역의 가뭄예·경보를 위해 다음과 같은 방법을 사용하였다. 첫째, 용담지점의 1969년 1월부터 1994년 12월까지 26년 동안 각 월의 유입량 자료를 사용해 유량을 정규화하였다. 둘째, 정규화된 유량을 이용하여 다음과 같이 RPDSI를 산정하였다.

하천유량은 식 (5)를 이용하여 정규화하였다.

$$N_{i,k,n} = \frac{X_{i,k,n} - \overline{X_{k,n}}}{S_{k,n}} \quad (5)$$

여기서, i 는 시계열의 순서이고, k 는 i 와 관련된 월, n 은 유역내 수위관측소의 개수, $N_{i,k,n}$ 은 월별 용담댐 유입량, $X_{i,k,n}$ 은 월별 용담댐 평균 유입량, $\overline{X_{k,n}}$ 은 월 하천 유량의 표준편차, $S_{k,n}$ 은 월 하천유량 k 의 표준편차이다. 본 연구에서는 유역특성 가중인자인 α, β, γ 값을 각각 0.5, 0.5, 0으로 가정하여 식 (6)과 같이 RPDSI를 산정하였다.

$$RPDSI_{i,k} = 0.5 \times PDSI_{i,k} + 0.5 \times R_{i,k} \quad (6)$$

여기서, $PDSI_{i,k}$ 는 Palmer 가뭄지수이고, $R_{i,k}$ 는 하천 유량을 이용한 정규화 값이다.

다음과 같이 Weibull 공식을 이용하여 RPDSI 값의

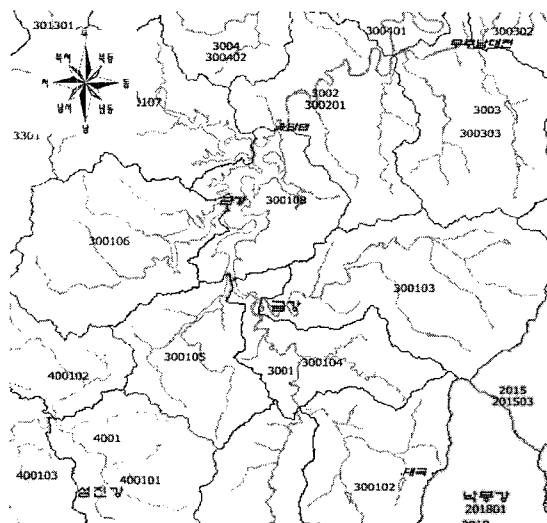


그림 1. 용담댐 유역도

초과 확률을 산정하였다.

$$P=m/(n+1) \quad (7)$$

여기서 P는 초과확률, n은 전체 자료 수, m은 자료의 순위를 나타낸다.

표 1에 1969년 1월부터 1994년 12월까지 용담 지점에서 산정한 각 월의 RPDSI 값을 제시하였다.

3.3 용담댐 유역의 가뭄 예·경보 기준 설정

본 연구에서는 가뭄 예·경보 기준지표를 작성하기 위해 RPDSI 값을 이용하여 각 월의 초과확률 75%, 90%, 95% 값을 가뭄 주의보, 가뭄 경보, 가뭄 비상(95%)의 기준으로 설정하였다. 가뭄 예·경보 기준지표는 초과확률을 도입함으로써 현재의 가뭄 상태뿐 아니라 과거

에 비해 앞으로의 가뭄 진행 정도를 예측하거나 예보하는 기준지표가 되리라 사료된다. 비록 각 달에 대해서 각 시계열에 따른 반응은 다르겠지만, 초과확률을 사용함으로써 모든 시계열을 같은 빈도를 가지고 같은 가뭄 심도로 나타낼 수 있다. 즉 가뭄주의보 초과수준은 전 기간의 25% 내에서 발생하는 가뭄주의보, 가뭄경보, 가뭄비상이 발생할 수 있다는 의미이며, 가뭄경보 초과수준은 전 기간의 10% 내에서 발생하는 가뭄경보, 가뭄비상이 발생할 수 있다는 것을 나타낸다.

용담댐 유역에서 가뭄 예·경보를 위한 기준을 설정하기 위해 1969년부터 1994년까지 26년 동안 RPDSI의 75, 90, 95%의 초과확률의 값을 구하였다. 대표로 그림 2에 용담 지점에서 7월에 대해 산정한, 초과확률에 따른 가뭄발효 기준 RPDSI 값을 제시하였다.

표 1. 용담지점의 각 월의 RPDSI값

월	가뭄상태	가뭄주의(75%)	가뭄위협(90%)	가뭄비상(95%)
1월		-0.90	-1.48	-2.02
2월		-1.22	-1.77	-1.85
3월		-0.71	-1.50	-1.88
4월		-0.85	-1.38	-2.25
5월		-1.08	-1.63	-2.72
6월		-1.16	-1.63	-2.06
7월		-0.99	-1.78	-1.98
8월		-1.08	-1.80	-1.91
9월		-1.01	-1.97	-2.22
10월		-0.97	-2.11	-2.49
11월		-1.20	-1.85	-2.59
12월		-0.88	-1.71	-3.03

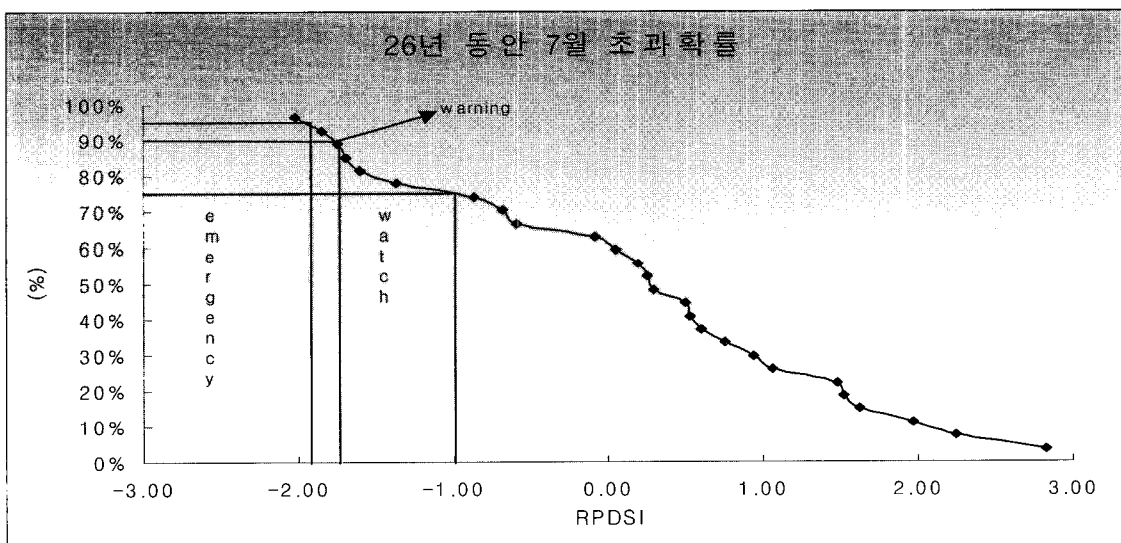


그림 2. 용담지점 7월의 초과확률

3.4 용담댐 모의운영

용담댐 유역에서 가뭄이 예보될 때 합리적 저수지 운영방안을 찾기 위해 앞에서 기술한 SOP를 사용하여, 1969년부터 1994년까지 26년 동안 월간 저수지 모의운영을 수행하였다. 1969년 1월의 초기 저류량을 용담댐 만수시 저류량인 상시만수위에 해당하는 저류량으로 가정하고, 단위는 MCM(million cubic meter)을 사용하였다. 사용한 연속방정식의 형태는 다음과 같다.

$$S_{t+1} = S_t + I_t - O_t - D_t - SP_t \quad (8)$$

S_{t+1} 은 월 t+1 초의 저류량, S_t 는 월 t 초의 저류량, I_t 는 월 t 동안의 저수지 유입량, O_t 는 월 t 동안의 방류량, D_t 는 월 t 동안의 도수량을 의미하며, 여기서는 전주권으로 15.67m³/s를 도수한다. SP_t 는 월 t 동안 상시만수위에 해당하는 저류량을 초과할 경우 추가 방류하는 여수로 방류량이다. 최고수위는 EL.263.5m로, 저수위는 EL.228.5m로 설정하고, 최고수위를 초과할 경우 여수로 방류를 증가시킨다. 6월21일부터 9월20일까지의 홍수기에는 홍수조절용량을 확보하기 위하여 설정된 제한수위로써 홍수조절을 수행한다. 최저수위보다 작은 경우에는 첫 번째로 방류량을 감소시키고, 다음으로 도수량을 감소시키도록 운영하였다.

3.5 가뭄 예·경보 시스템에 의한 저수지 운영

저수지 운영은 기본적으로 다음의 세 가지 운영조건을 만족해야 한다고 가정하였다. 첫째, 용담댐에서 각 월의 저류량은 저수위에 해당하는 저류량인 70MCM을 유지해야 하고, 둘째, 하류의 용수공급, 하천유지 등을 위해 계획된 방류량만큼을 방류해야 하며, 셋째, 매월 전주권으로 15.67m³/s를 공급해야 한다. 위의 세 가지 조건에 의해 저수지 운영을 비교, 평가하였다.

가뭄 예·경보 시스템에 의한 저수지 운영은 다음과 같은 절차에 의해 수행되었다. 1969년부터 1994년까지 26년 동안의 기왕의 월간 수문자료를 바탕으로 3개월 이후의 장기 가뭄 예·경보를 실시한다. 즉, 매월 초 용담댐 지점의 RPDSI를 계산하고, 표 1에서 주어진 가뭄

주의보, 경보, 비상 기준값과 비교하여 3개월 후의 가뭄상태를 예보한다. 물론, 실제 운영에 있어서는 3개월 후의 수문자료를 알 수 없으므로 기상청 예보, 또는 추계학적 기법 등을 이용하여 3개월 후의 수문자료를 추정 한 뒤, 1개월마다 추가 보정을 실시하고, RPDSI값을 산정해야 할 것이다.

다음, 가뭄의 상태에 따라 방류계수를 고려한 적절한 저수지 운영을 실시하였다. 본 논문에서, 방류계수는 가뭄 발생시 가뭄의 상태에 의해 방류량을 조절하기 위하여 방류량에 곱하는 1보다 작은 계수로 정의한다. 장기 가뭄 예·경보 시스템에 의해 예보된 가뭄상태에 따라 방류계수를 변화시키면서 위에서 열거한 용담댐의 운영 조건을 최대한 만족시키는 방류계수를 찾으려 하였다. 이를 위하여 표 2와 같이 7개의 대안을 설정하여 가뭄 예보 상태에 따라 다양한 방류계수들을 고려하였다. 이 대안들을 평가하기 위해 신뢰도, 위험도, 복원도, 취약도를 각각 산정하여 비교하였다. 신뢰도, 위험도, 복원도, 취약도는 Hashimoto 등(1982)이 정의한 이래 저수지 운영평가의 척도로 널리 사용되고 있다.

표 3은 각 대안별로 방류계수의 변화에 따라 계산된 신뢰도, 위험도, 복원도, 취약도의 값이다. 신뢰도는 대안 2, 대안 5가 0.949로 가장 높은데, 이는 대안 2, 대안 5의 가뭄비상 계수값이 각각 0.85, 0.8로 다른 대안의 방류계수에 비해 값이 크기 때문인 것으로 판단된다. 위험도는 신뢰도가 가장 낮은 대안 7이 가장 크다. 대안 7이 신뢰도가 가장 낮은 이유는 방류비상계수 값이 다른 대안들에 비해 작기 때문이다. 복원도는 대안 4가 가장 큰 값을 취하고 대안 2가 가장 작은 값을 갖는다. 그 이유는 대안 4는 앞의 세 조건을 만족 못하는 월이 산재되어 있는데 반해, 대안 2는 집중되어 있기 때문이다. 취약도는 48.1MCM과 47.1MCM의 두 가지 값이 존재하는데 가뭄비상의 값이 0.7 이하이면 47.1MCM의 값을 가지는 것을 알 수 있다.

이상과 같은 결과로부터 신뢰도가 가장 높고, 용담댐에서 앞의 세 조건을 만족시키지 못하는 월의 개수가 가장 적은 대안 2, 대안 5의 값 중에서, 대안 2인 가뭄주의 0.95, 가뭄경보 0.9, 가뭄비상 0.85의 값을 가뭄시 저수지 운영을 위한 방류계수 값으로 선택하였다.

표 2. 각 대안에 대한 방류계수

대안	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6	대안 7
가뭄예보상태							
가뭄주의	1.0	0.95	0.95	0.95	0.9	0.9	0.9
가뭄경보	1.0	0.9	0.85	0.8	0.85	0.8	0.75
가뭄비상	1.0	0.85	0.75	0.65	0.8	0.7	0.5

표 3. 각 대안별 신뢰도, 위험도, 복원도, 취약도

대안 \ 평가지표	신뢰도	위험도	복원도	취약도(MCM)
대안 1	0.942	0.058	0.167	48.1
대안 2	0.949	0.051	0.125	48.1
대안 3	0.939	0.061	0.211	48.1
대안 4	0.929	0.071	0.382	47.1
대안 5	0.949	0.051	0.188	48.1
대안 6	0.936	0.064	0.3	47.1
대안 7	0.926	0.074	0.261	47.1

그림 3에 각 대안별 신뢰도, 위험도, 복원도, 취약도의 변화를 제시하였다.

3.6 결과

가뭄 예·경보 시스템에 의한 저수지 운영을 평가하

기 위해 저수지 최적운영의 결과로 얻은 용담댐 저수지 운영률(한국수자원공사, 2000)(표 4)을 사용한 저수지 운영과 가뭄 예·경보 시스템을 이용한 저수지 운영을 비교하였다. 표 4에서 X는 유입량과 저류량의 합, Y는 방류량을 나타낸다.

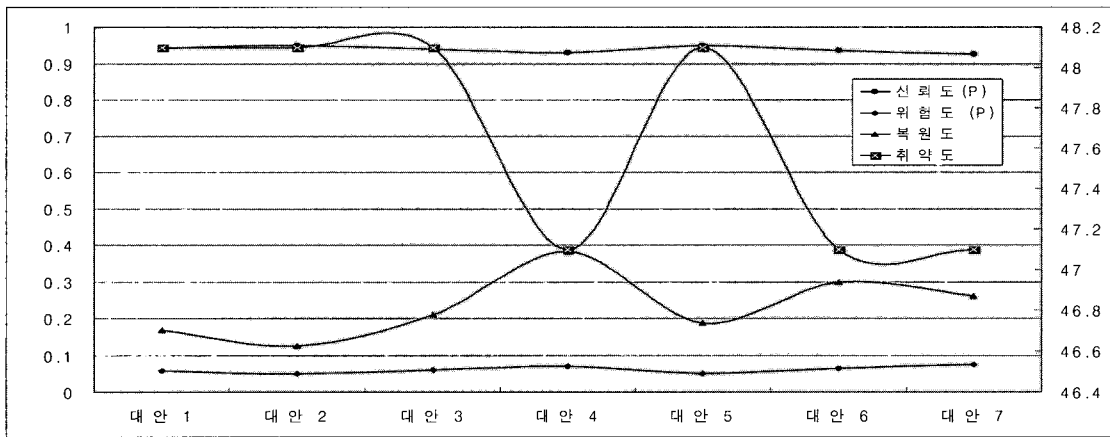


그림 3. 각 대안별 신뢰도, 위험도, 복원도, 취약도

표 4. 용담 저수지 운영곡선식

월별	용담댐	
	운영률회귀식	적용범위
1월	$Y=0.0265X + 14.794$	
2월	$Y=0.0190X + 15.296$	
3월	$Y=0.0018X + 15.554$	
4월	$Y=0.0059X + 14.650$	
5월	$Y=0.0086X + 15.930$	
6월	$Y=0.0015X + 29.876$	
7월	$Y=0.0019X + 15.563$	$X \leq 799.5$
	$Y=0.9974X - 780.37$	$X > 799.5$
8월	$Y=0.0029X + 15.657$	$X \leq 801.3$
	$Y=1.0039X - 786.45$	$X > 801.3$
9월	$Y=0.0023X + 15.152$	$X \leq 800.1$
	$Y=1.0083X - 789.71$	$X > 800.1$
10월	$Y=0.0017X + 19.386$	
11월	$Y=0.0006X + 18.969$	
12월	$Y=0.0018X + 17.015$	

앞에서 기술하였듯이 용담 저수지 운영은 기본적으로 다음의 세 가지 운영조건을 만족해야 한다. 첫째, 용담댐에서 각 월의 저류량은 저수위에 해당하는 저류량인 70MCM을 유지해야 하고, 둘째, 하류의 용수공급, 하천유지 등을 위해 계획된 방류량 만큼을 방류해야 하며, 셋째, 매월 전주권으로 15.67m³/s을 공급해야 한다. 용담댐 운영률을 사용하여 위의 조건으로 저수지를 운영한 결과와 가뭄주의 0.95, 가뭄경보 0.9, 가뭄비상 0.85의 값을 가뭄 예·경보 시스템을 이용한 저수지 운영을 위한 방류계수 값으로 선택하여 저수지를 운영한 결과를 비교하면 다음과 같다.

첫째, 용담댐의 운영률을 사용할 경우, 상기 운영조건을 만족시키지 못하는 월은 1977년 11, 12월, 1978년 1~6월, 1983년 6, 7, 12월, 1984년 1~7월 등 전체 312개월 중에서 18개월이었다. 가뭄 예·경보 시스템을 사용할 경우, 운영조건을 만족시키지 못하는 월은 1977년 11, 12월, 1978년 1~6월, 1983년 12월, 1984년 1~7월 등 전체 312개월 중에서 16개월이었다.

둘째, 용담댐의 운영률을 사용할 경우 연평균저수량은 433.5×106m³ 이고, 가뭄 예·경보 시스템을 사용할 경우 연평균저수량은 438.5×106m³ 으로 약 5×106m³ 의 저수량 추가 확보가 가능하였다.

따라서, 비록 26년간의 자료로부터의 평가에 불과하지만 가뭄 예·경보 시스템을 사용한 저수지 운영이, 저수지 최적운영의 결과로 획득한 저수지 운영률을 사용한 운영에 비해 최소한 뒤지지 않는다는 결과를 얻을 수 있었다.

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 가뭄 예·경보 시스템을 사용하여 기존 저수지 운영률과 방류계수를 사용한 저수지 운영을 수행한 결과를 비교하여, 보다 효율적인 저수지 운영방안을 모색하였다.

본 연구를 통해 얻은 결론과 한계는 다음과 같다.

첫째, 용담댐에서 저수지 운영시 사용할 방류계수로 는 가뭄주의일 때 0.95, 가뭄경보일 때 0.9, 가뭄비상일 때 0.85의 값이 가장 효율적인 것으로 검토되었다.

둘째, 가뭄 예·경보 시스템과 가뭄계수를 사용한 저수지 운영을 저수지 운영률을 사용한 저수지 운영과 비교하였다. 그 결과 가뭄 예·경보 시스템과 방류계수를 사용한 저수지 운영이 기존의 저수지 운영률을 사용한 저수지 운영에 비하여 운영조건을 만족하지 못하는 월이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 또한, 용담댐의 운영률을 사용할 경우와 비교하여 가뭄 예·경보 시스템을 사

용할 경우 연평균저수량이 증가하는 것을 확인하였다.

셋째, 본 연구에서는 가뭄 예·경보 기준지표를 작성하기 위해 RPDSI 값을 이용하여 각 월의 초과확률 75%, 90%, 95% 값을 임의로 가뭄 주의보, 가뭄 경보, 가뭄 비상 기준의 기준으로 정의하였는데, 유역의 기상학적, 수문학적, 수자원 특성에 따라 적절한 값을 선정해야 할 것이다. 즉, 각각의 가뭄 예·경보 기준을 변화시키면서 유역의 반응을 검토하는 민감도 기법을 사용하여 적합한 값을 산정하는 연구가 추후에 이루어져야 할 것이다. 물론, 이러한 가뭄 예·경보 기준이 변화하면, 상용하는 방류계수 값 또한 변화되어야 한다.

결론적으로 가뭄 예·경보 시스템의 기준을 사용한 저수지 운영은 가뭄시 수자원의 효율적 이용을 가능하게 하며, 국가 수자원 관리에 크게 이바지할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2000-00000377-0)지원으로 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사 드립니다.

참고 문헌

- 기상연구소 (1993). "우리나라 가뭄에 관한 연구: 강수량 변동에 기후학적 특성연구." MR93A-005.
- 한국수자원공사 (2000). 용담-대청댐 연계운영방안 연구 보고서.
- 김현영 (1995). "우리나라 가뭄의 정의와 특성분석." 대한토목학회지, 제43권, 제5호, pp. 23-32.
- 김현준 (1995). "1994-1995 가뭄현지조사." 제 36회 수공학 연구발표회 논문집, pp. 548-553.
- 이재용, 유재복 (2003). "유역 가뭄 예·경보 기법개발." 대한토목학회논문집, 제 23권, 6호, pp. 495-506.
- 조홍제 (1996). "도시지역 용수관리를 위한 가뭄 예·경보지수에 관한 연구." 한국수자원학회지 논문집, Vol. 29, No. 1, pp. 221-233.
- 최영진 (1994). "한국의 기후자료를 이용한 Palmer 가뭄지수와 습윤이상지수의 비교 분석." 제 36회 수공학 연구발표회 논문집, pp. 233-239.
- Cheng, K.-S., Y도, H.-C., and Liou, C.-Y. (2000). "Comparative Study of Drought Prediction Techniques for Reservoir Operation", *Journal of the American Water Resources Association*, Vol.36, No.3, pp. 511-522.
- Hashimoto, T., Stedinger, J. R., and Loucks, D. P.

- (1982). "Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation." *Water Resources Research*, Vol.18, No.1, pp. 14-20.
- Nishikawa, T. (1998). "Water-Resources Optimization Model for Santa Barbara, California", *Journal of the Water Resources Planning and Management Div.*, ASCE, Vol.124, No.5, September/October, pp. 252-263.
- Tu, M.-Y., Hsu, N.-S., and Yeh, W.-G. (2003). "Optimization of Reservoir Management and Operation with Hedging Rules", *Journal of the Water Resources Planning and Management Div.*, ASCE, Vol.129, No.2, March/April, pp. 86-97.
- (논문번호:04-44/접수:2004.05.04/심사완료:2004.09.10)