

確率論的 DP 法에 의한貯水池의年間最適運用에 관한研究

A Study on the Optimal Yearly Operation of Reservoir System Using An Stochastic DP Approach

宋 吉 永
洪 尚 垠
金 榮 泰*

高麗大學校

"
"

1. 서론

저수지를 포함하는 계통에서는 일반적으로 계통운용의 경제성을 1년을 단위로 해서 검토하고 있다.

이와 같은 연간 경제운용문제는 오랜 기간을 취급하게 되므로 운용과 동시에 운용계획으로서의 문제로 되며 또한 하천의 유입량이 크게 변동하기 때문에 다른 계변수와는 달리 확률론적으로 취급해야 한다. 물론 전력계통에서는 이 유입량 외에도 확률론적인 변동을 하는 것으로는 계통 부하가 있지만 유입량 변동폭은 부하의 그것과 비교가 안될 정도로 훨씬 큰 것이다.

본 연구에서는 불확실성이 가장 큰 것으로 생각되는 유입량에 주목해서 유입량 확률분포를 고려한 확률론적 DP법의 개발을 중점적으로 다루었다.

그리고 이들의 기본적인 정식화와 알고리즘 개발을 토대로 앞으로 실용화 할 수 있는 최적화 기법을 확정한다는 데 중점을 두고 검토하였다.

2. 문제의 정식화

수확력 병용 계통의 연간 경제운용을 계획하는 데 있어서는 불확실성이 크고, 예측이 곤란하다고 보여지는 유입량을 확률분포로서 파악하여 "주어진 계통부하 패턴 및 각 월의 유입량 확률분포에 대하여, 연간 총화력 연료비의 기대치가 최소로 되도록 하는 운용계획"을 결정하는 것을 목표로 하였다.

적용된 모델은 1화력, 1저수지식 수력 및 1조정지식 수력으로 구성된 간단한 모델 계통이며, 관찰기간(1년)을 N시간대로 분할해서 연간 총화력 연료비의 기대치를 구하기 위하여 다음과 같이 수식화하고 있다.

임의의 시간대 t 에 있어서의

화력연료비 (αF)는

$$\alpha F = \alpha F(\alpha S, \alpha m S, \alpha J) \quad \text{--- (1)}$$

또 연간 총화력 연료비 (F_T)는

$$F_T = \sum_{t=1}^N \alpha F(\alpha S, \alpha m S, \alpha J) \quad \text{--- (2)}$$

여기서, 유입량 g 가 각 시간대마다 독립된 분포를 가지고 있다면, 연간 총 확률 연료비의 기대치는 다음과 같이 된다.

$$g = \int_{\lambda_1}^{\infty} \int_{\lambda_2}^{\infty} \dots \int_{\lambda_N}^{\infty} F_T \cdot d_1 P(\lambda_1) \cdot d_2 P(\lambda_2) \dots d_N P(\lambda_N) \quad (3)$$

여기서,

$d_i P(\lambda_i)$: 시간대의 유입량 확률분포함수

확률론적인 경제운용 계획에 있어서는 시간대 초기의 저수량 1점에 대해서 1개의 사용수량을 주어도 시간대 말단의 저수량은 유입량 분포에 따라 넓혀지게 되어 결정론적인 경우와 달리 일의적으로 정해지지 않게 된다. 이 때문에 식(3)에서 나타낸 연료비의 기대치를 최소로 하도록 시간대 말의 저수량 ($\lambda_{n+1}S$) 또는 사용수량 ($\lambda_n Q$)을 결정한다는 것이다.

3. DP법 및 제약조건의 고려

3.1 DP법의 적용

연간 총 확률 연료비의 기대치가 최소로 되도록 하는 최적 저수량 ($\lambda_{n+1} S_{opt}(\lambda_n S)$)을 결정하기 위해 DP법을 적용한다. 저수지의 경제운용 계획에 DP법을 적용하기 위해서는 상술한 식(3)을 점화식으로 변환해야 한다.

$$\lambda_n \phi(\lambda_n S, \lambda_{n+1} S) = \int_{\lambda_{n+1}}^{\infty} \{ \lambda_n F(\lambda_n S, \lambda_{n+1} S, \lambda_{n+1} Q) + \lambda_{n+1} \Phi(\lambda_{n+1} S) \} d_2 P(\lambda_{n+1}) \quad (4)$$

$$\lambda_n \phi(\lambda_n S) = \min_{\lambda_{n+1} S} \{ \lambda_n \phi(\lambda_n S, \lambda_{n+1} S) \} \quad (5)$$

단, $\lambda_{n+1} \phi(\lambda_{n+1} S) = 0 \quad (6)$

$$\lambda_{n+1} S = \lambda_n S + \lambda_n J - \lambda_n Q \quad (7)$$

식(4)-(7)을 이용해서 고찰기간말($\lambda=N$)부터 시간경과의 역방향으로 계산을 진행하고 모든 시간대 λ 및 모든 저수량 λS 에 대해, 최적 시간대말 저수량을 결정할 수 있다.

그림1과 2는 확률론적 DP법의 개념도 및 기대치 계산의 개념도를 나타내 보인 것이다.

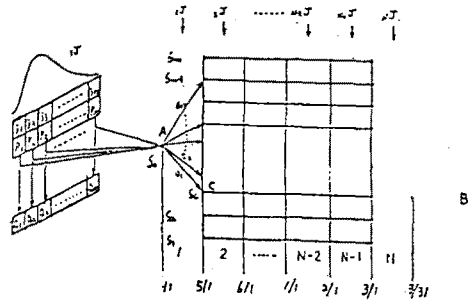
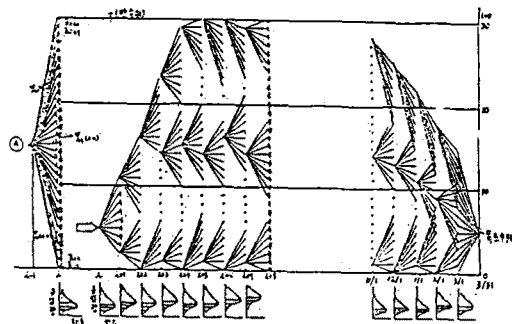


그림 1 확률론적 DP 계산의 개념도



① $\lambda_n S$: 말단수지에서의 최적연료비 기대치.
② $\lambda_{n+1} S$: $\lambda_n S$ 에서 최적연료비에서의 최적연료비.

그림 2 확률론적 DP법과 기대치 계산의 개념도 (마신운용의 경우로 보아)

그림3은 확률론적 DP 계산에 대한 프로그램 개요이다.

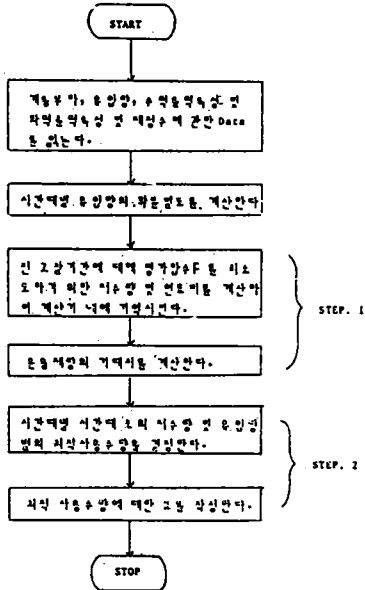


그림3. 프로그램의 개요

3.2 제한조건의 고려

결정론적인 DP 계산에서는 저수량 사용수량 및 확률출력 등의 각종 제약조건에 대한 위반이 생길 경우에 이에 대해 페널티 비용을 가산하거나 이와같이 위반이 생긴 가정을 파기하는 방법을 적용하지만, 확률론적인 경우에는 시간대 말의 저수량이 유입량 분포에 대응해서 넓혀지기 때문에, 이들 방법으로는 도저히 계산을 진행해 나갈 수 없다.

때문에 그림4에 나타낸 바와 같은 방식으로 제한 위반을 고려한다.

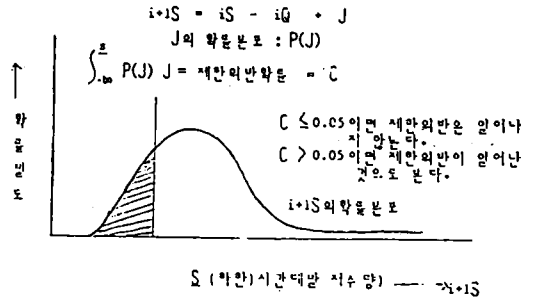


그림 4 제한위반을 고려하는 방법의 설명(저수량 이간의 경우)

4. 계산에

모델 계통은 그림5에 나타내어 보인 저수지 및 조정지식으로 된 2대의 수력발전소와 등가확률이 부하 P_R 을 공급하는 것으로 되어 있다.

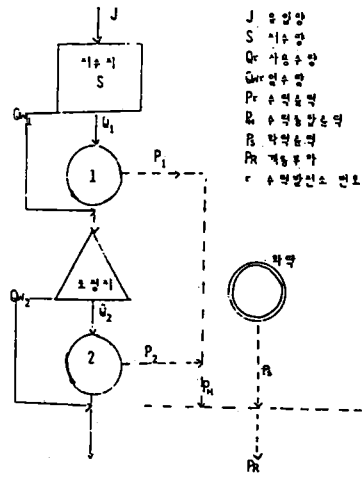


그림 5. 모델 계통

그림6은 앞에서 설명한 계산방식을 모델 계통에 적용한 결과 얻어진 최적기대 저수지 운용곡선과 이에 따른 최적사용수량을 이용해서 저수지를 운용해 나갈 때의 운용제량의 기대치를 나타내고 있다.

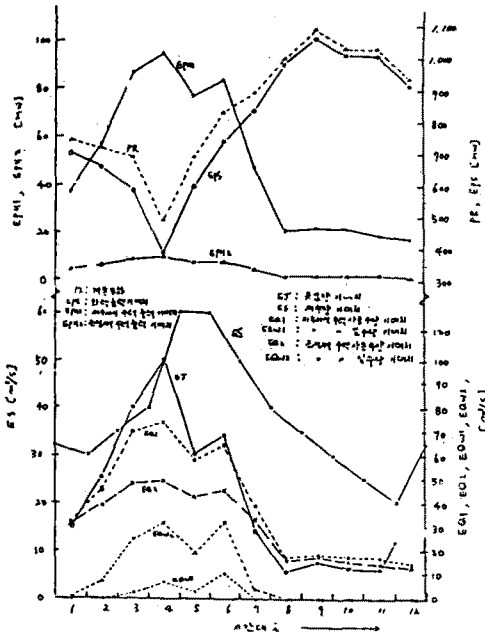


그림 6. 서식은동계발전의 특성이

그림 7은 모델계통에 있어서 각 시간대의 유입량이 결정론적으로 주어진 경우의 경제운용을 산정하고 유입량 확률분포를 고려한 경우와 하지않는 경우에 얻어지는 운용계획의 차이에 대하여 비교한 것이다.

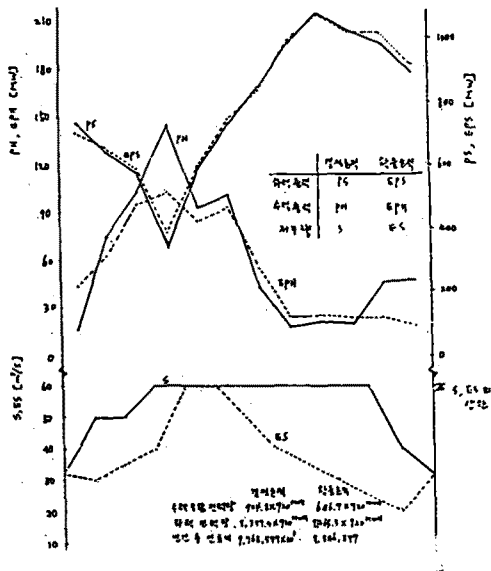


그림 7. 확률분포를 고려한 경우와 그렇지 않은 경우의 비교

참고 문헌

1. 송길영 : 전력계통공학, 동명사, 1977.
2. 송길영 : 계통해석이론의 기초와 응용, 동일출판사, 1981.
3. 송길영 외 : DP 법에 의한 저수지의 연관 최적운용에 관한 연구, 1985, 추계 학술발표회.
4. A.J.Wood 외 : Power Generation, Operation and Control, PP189-238, 1984.
5. R.A. Duncan 외 ; 「Optimal Hydrothermal Coordination For Multiple Reservoir River Systems」, IEEE. PAS. Vol. PAS-104, May 1985
6. J.J. Shaw 외 ; 「Optimal Scheduling of Large Hydrothermal Power Systems」, IEEE. PAS. Vol. PAS-104, Feb 1985
7. M.E. EL-Hawary ; 「Optimal Economic Operation of Electric Power Systems」, Academic Press, 1979
8. R.E. LARSON 외 ; 「Applications of Dynamic Programming to The Control of Water Resource Systems」, Automatica, Vol. 5, PP. 15-26, 1969