전원계획을 위한 양수 설비의 최적운전 확률 모형

Probabilistic simulation of Optimal Pumped-storage Operation in Generation Planning

박 영 문 서 울 대

김 정 훈* 홍 대

이 봉 용 홍 대

방대한 재원을 필요로 하는 전원계획에서는 전원조합, 규모, 투입시기등을 결정하기 위해서 정교한 시뮬레이션 기법들이 사용되고 있다.[1],[2],[3]

확률적 시뮬레이션 기법을 사용하고 있는 이들 운전모형에서는, 양수설비의 최적운전에 상당한 역점이 주어지고 있는데, 그것은 양수설비의 최적운전이 전체의 해에 크게 영향을 미치기 때문이다.

널리 알려져 있는 와스프 패키지(WASP package)에서는, 양수설비의 최적 운전을, 개별 화력의 증가 출력과 비용이 첨두부하 부근의 적당한 위치에서 발생되는 이득이 같아질 때까지 반복 계산하여 결정한다. 그러나 이 패키지는 보통 분기(seasonal)를 단위로 하는 부하 지속곡선을 사용하기 때문에, 분기의 경부하시에 저장된 에너지를 분기의 첨두부하에서 사용해야 한다는 불합리한 점을 감수해야 한다.

양수설비의 최적운전은, 양수의 실제의 운전에 가까운 단위 기간을 취했을 때 더 잘 결정될 수 있는데, 프랑스의 소위 국가루자모형(MNI package)은 그 좋은 예이다. 프랑스의 모델에서는 단위 기간의 부하지속곡선을 적당한 시간대(time interval)로 이산화(discretize)시키고, 그 하나의 시간대에서 부하는 정규분포를 갖는다고 가정한다. 그리고, 발전출력도 집합적으로 정규분포를 갖는다고 보고, 부하와 발전출력의 상승적분(convolution integral)에 의해서 시간대에 대한 발전출력이 결정되며, 양수의 최적운전은 양수구간의 한계비용과 첨두삭감구간의 한계비용이 같아지는 수준에서 결정된다.

그러나, 실제로는, 정규분포를 이산화시켜서 고려하기 때문에 상승적분을 매우 거칠게 근사적으로 처리하였으며, 한계비용이 같아지는 수준도, 다만 연료비의 비교에 의해서 근사적으로 처리하였을 뿐이다.

본 연구에서는 해석적인 표현에 의해서 운전비와 공급지장비가 결정될 수 있게되었으므로[4],[5], 이들 결과를 다시 확장하여 양수의 최적운전이 이론에 부합되게 결정될 수 있음을 보이고, 프랑스 모델에서의 문제점을 해소하였다. 양수설비의 운전개념은 그림 1과 같다.

부하가 각시간대에서 확률분포를 갖는다면 단위 기간에 대한 양수 에너지 또한 확률분포를 갖게되며, 양수 에너지가 결정되면 부하의 수정이 가능하고 한계비용의 계산에 의해서 최적운전 조건 만족 여부가 검증될 수 있다. 그래서 특히 다음 두 사항이 명확히 되어야한다.

가) 양수의 최적 운전조건

나) 양수 에너지의 확률분포

양수의 최적운전조건은 식(1)과 같이 주어진다.

$$E\left\{\frac{\partial \bar{f}_{op}}{\partial E_p}\right\} + \eta_p E\left\{\frac{\partial \bar{f}_{og}}{\partial E_g}\right\} = 0 \qquad (1)$$

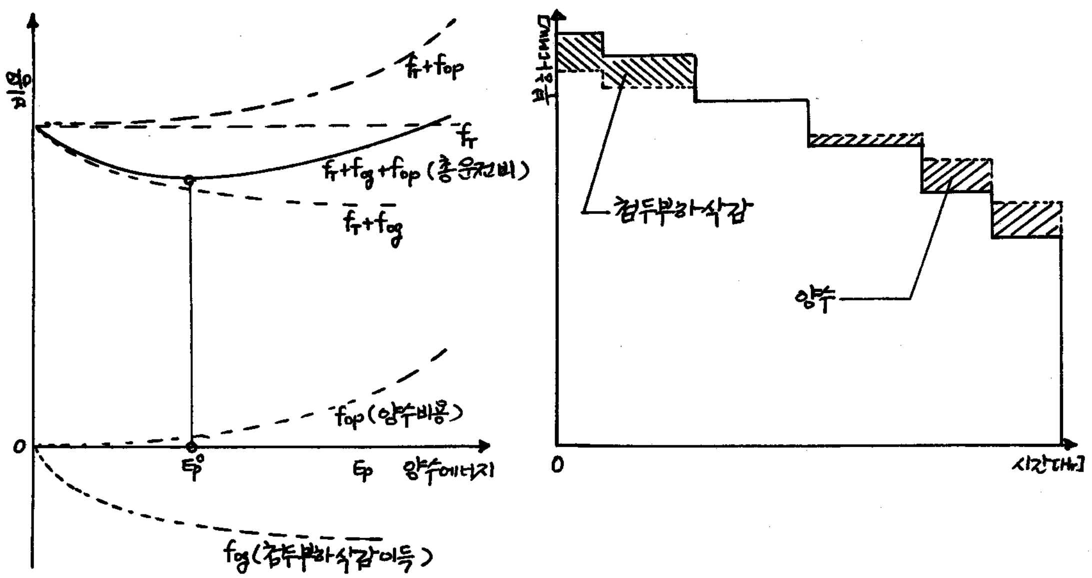
단, $\bar{f}_{op}$ = 양수구간의 운전비

$\bar{f}_{og}$ = 발전구간의 운전비

E_p = 양수 에너지

E_g = 발전 에너지

η_p = 변환 효율



(가) 양수에너지와 비용　　　　(나) 양수의 운전형태

그림 1 : 양수설비 운전의 개념

그리고 양수 에너지는, 각 양수 시간대의 양수의 크기($\bar{P}_{Pk}$)와 분산(σ^2_{PPk})을 알았을 때 식(2)와 같이 주어진다.

$$\bar{E}_p = \sum_k t_k \cdot \bar{P}_{Pk} \qquad (2)$$
$$\sigma^2_{PPk} = \sum_k t_k^2 \cdot \sigma^2_{PPk}$$

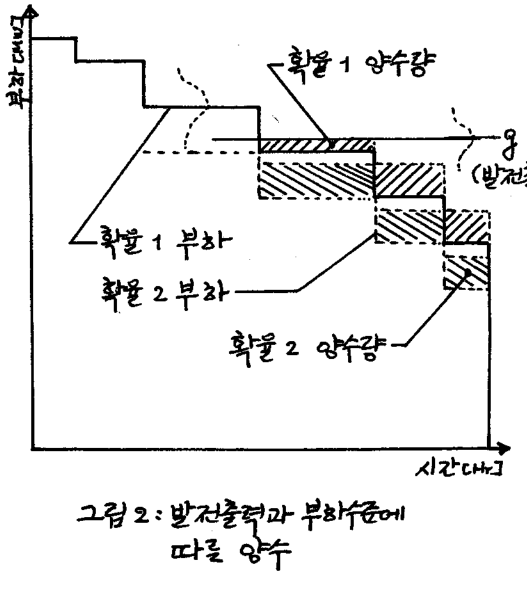


그림 2 : 발전출력과 부하수준에 따른 양수

식(2)와 같이 처리할 수 있음은 그림2에 제시된 개념도에서 보는 바와 같이, 어떤 발전 출력수준 g에 대하여 확율1인 부하지속곡선에서 양수할 수 있는 크기와 확율2인 부하지속곡선에서 양수할 수 있는 크기가 정해지므로, 모든 확율의 부하지속곡선에 대해서도 양수의 크기가 결정될 수 있고, 하나의 시간대에 착목했을 때, 발전출력과 부하의 확율분포에 의해서 식(3)과 같이 양수의 크기가 결정될 수 있다.

$$z = g - h \qquad 0 \leq z \leq P_p^{max}$$
$$\bar{P}_{Pk} = \int_0^{P_p^{max}} z f(z)\,dz + P_p^{max}\int_{P_p^{max}}^{\infty} f(z)\,dz$$
$$= \bar{z}\left\{erf\left(\frac{\bar{z}}{\sigma_z}\right) + erf\left(\frac{P_p^{max}-\bar{z}}{\sigma_z}\right)\right\}$$
$$+ P_p^{max}\left\{\frac{1}{2} - erf\left(\frac{P_p^{max}-\bar{z}}{\sigma_z}\right)\right\} + \frac{\sigma_z}{\sqrt{2\pi}}\left\{exp\left[-\frac{\bar{z}^2}{2\sigma_z^2}\right] - exp\left[-\frac{(P_p^{max}-\bar{z})^2}{2\sigma_z^2}\right]\right\}$$
단, $\bar{z} = \bar{g} - \bar{h}$, $\sigma_z^2 = \sigma_g^2 + \sigma_h^2$

이들 결과는 사례 연구를 통해서 확인되며 프랑스의 경우와 비교된다.

참고문헌

[1] R.T. Jenkins and D.S. Joy " Wien Automatic System planning package (WASP) - An Electric Utility Optimal Generation Expansion planning Computer Code" Oak Ridge National Laboratory ORNL -4945, July 1974

[2] Electricite De France " Computer program for Model of National investment "
EDF 1977

[3] Brian Manhire and Ohio Univ. " probabilistic Simulation of Multipul Energy storage Devices for Production Cost Calculations"
EPRI TSA 78-804, PP.4.1 ~ 4.33, May 1980

[4] 박영문, 서보혁. " 발전 및 한계비용의 해석적 추정법에 관한 연구"
전기학회지 제31권 7호 P.P1~10, 1982

[5] 이봉용, 김정훈, 박영문. " 전원계획에서의 공급지장비와 한계비용의 해석적 추정에 관한 연구"
전기학회지 제32권 2호, PP1~10, 1983