

수력기 운전제약을 고려한 저수지식댐의 효과적인 사용수량 결정에 관한 연구

전동훈*, 남재현, 박시우
전력연구원

Effective Method of determining the Water Discharge of a Pondage I considering Operating Constraint

Dong-Hoon Jeon*, Jae-Hyun Nam, Si-Woo Park
KEPRI

Abstract - In this paper, the effective method of determining the water discharge of a pondage hydro-unit for hydro dispatch is proposed. The water discharge of a pondage hydro-unit can be determined subtracting the spillage discharge from summation of the inflow and the pondage according to variation of the water level of the reservoir. Proposed method calculates the inflow using the duration curve, the water level from initial level on January 1, and the spillage discharge from the water discharge.

1. 서 론

전력계통을 안정적이면서 경제적으로 운용하기 위한 전력수급계획은 수요예측, 발전기 예방정비계획, 발전계획, 계통해석 등의 요소기술들이 적절하게 연계되어 있는 종합기술로서 전력수급계획의 수립에는 우리나라 전력계통의 복잡, 다양성이 충분히 고려되어야 한다. 그러나, 이러한 전력계통의 복잡, 다양성을 충분히 고려하면서 신속하게 전력수급계획을 수립한다는 것은 매우 어려운 일로 실무부서의 경험적인 운용지식을 적절히 이용하여 정확도면에서나 계산속도면에서 만족스러운 전력수급계획 수립 알고리즘을 개발, 운용할 필요가 있다.

전력수급계획중에서 원자력, 화력, 복합, 수력, 양수 등을 대상으로 하는 발전계획의 수립에서는 발전기별 출력이 대상기간의 총수요에 맞게 적절한 방법으로 배분되어야 하는데, 이때 양수를 제외한 수력기는 사용수량을 제약조건으로 하는 수화력협조방정식에 의하여 출력이 결정될 수 있다.

수력기의 사용수량 결정에는 유입량의 예측과 경제성을 고려한 수력기 운용계획 수립이 중요한데, 기존 연구에서는 축류합수법을 이용한 유입량의 단기예측^[1]과 유입량의 확률분포를 고려하고, 확률론

적 동적계획법을 사용하여 한강수계를 중심으로 수력발전소(저수지)의 최적운용계획 수립^[2] 등이 검토된 바 있다.

그러나, 전력수급계획의 수립에 있어서 우리나라 전체 설비용량의 4.6%(양수제외, 95년12월말 기준)에 해당하는 수력기 출력배분을 위해 기존의 연구 결과를 이용하는 것은 결과의 옳고 그름을 떠나서 사용방법이 너무 복잡하여 현장 적용이 불가능하였으며, 실제 한전에서는 실적의 평균이나 댐의 종류, 지역적인 위치나 규모, 경험적인 지식을 바탕으로 정한 사용수량을 수력기의 출력배분에 이용하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 전력수급계획에서의 발전기 출력배분을 위한 댐별 사용수량 결정을 위해 저수지식 수력기를 대상으로 유입량, 저수지 수위, 사용수량, 방류량 등의 실적과 운전원들의 경험적인 운용지식을 반영한 처리과정이 단순하면서도 신뢰성 있는 결과를 도출할 수 있는 효과적인 사용수량 결정방법을 제안하였다. 제안된 방법에서는 차년도 저수지 운용을 위한 저수지 수위를 안정적으로 확보하고, 방류량을 최소화 하여 수력기의 사용수량을 최대로 할 수 있는 저수지 운용계획을 수립할 수 있게 하였다.

2. 사용수량의 결정

수력기의 사용수량은 발전계획 측면에서 경제성을 고려하여 결정하여야 하며, 특히 한강수계의 경우에는 연접수계를 동시에 고려하는 것이 올바른 접근방법일 것이다.

이들 수력기중 저수지식댐의 사용수량은 저수지 유입량과 저수지의 수위 변동에 따른 저수량의 합에서 방류량을 차감하여 결정할 수 있는데, 이를 위하여 본 연구에서는 유입량 실적의 유향곡선을 이용하여 연간 유입량을 결정하고, 기상조건을 고려한 대상년도의 1월초 수위를 초기값으로 하여 연간 저수지 수위를 결정하며, 유입량, 저수량, 사용수

량과의 관계에서 방류량을 자동적으로 결정하는 저수지식댐의 사용수량 결정방법을 제안하였다.

$$\text{사용수량} = \text{유입량} \pm \text{저수량} - \text{방류량} \quad (1)$$

한편, 한강수계 화천댐의 경우에는 한강수계의 최상류에 위치하고 있다는 지역적인 특성상 홍수조절능력과 용수공급능력에 따른 방류량 제약을 고려하면 단일수계로 처리가 가능할 것이다.

2.1 유입량의 결정

유입량은 수력기의 사용수량 결정과 밀접한 관계를 가지고 있으며 저수지의 수위 변동에 따른 저수량이나 방류량과는 무관하게 적절한 방법으로 결정할 수 있다.

기존의 유입량 실적의 산술평균에 의한 유입량 결정방법은 처리과정이 단순하나, 대상기간에 따라 그 결과가 달라지고, 연도별 풍·갈수특성을 평균화시키는 단점이 있다.

본 연구에서는 유입량 실적의 유향곡선에 의한 유입량 결정방법을 도입하여 기상조건에 따라 선택 가능한 최풍수, 풍수, 평균, 갈수, 최갈수의 출수시점별 유입량을 결정하였다. <표 1>은 유입량 실적의 유향곡선에 의한 출수시점별 유입량의 결정방법을 보인 것이다.

<표 1> 출수시점별 유입량의 결정방법

구 분	산 정 식	비 고
최풍수	$(P_{SH5} + P_{PH5})/2$	P_{SH5} : 직렬유향곡선 상위치 5 개
풍 수	P_{PH5}	P_{PH5} : 병렬유향곡선 상위치 5 개
평 수	평균	P_{SL5} : 직렬유향곡선 하위치 5 개
갈 수	P_{PL5}	P_{SL5} : 병렬유향곡선 하위치 5 개
최갈수	$(P_{SL5} + P_{PL5})/2$	

2.2 화천댐의 저수지 수위 운용

일반적으로 한강수계 최상류의 화천댐은 지역적인 특성상 갈수기에는 강우에 의한 유입량과 저수지에 저장된 저수량을 발전에 이용하고, 홍수기에는 차년도 저수지 운용을 위해 강우에 의한 유입량을 먼저 저수지의 수위 확보에 사용하고, 남은 여분을 발전에 이용하고 있다.

따라서, 화천댐의 사용수량 결정은 유입량과의 관계를 고려하여 당해년도 1월초(전년도 12월말)에 확보된 저수지의 저수량을 어떻게 사용하고, 채워 넣을 것인가와 밀접한 관계가 있다.

본 연구에서는 방류량을 최소화하여 사용수량을 최대화하고, 차년도 저수지 운용을 위한 저수지 수위를 안정적으로 확보하며 기상조건을 고려한 대상

년도 1월초 수위(전년도 12월말)를 초기값으로 하여 갈수기의 용수공급능력과 홍수기의 홍수조절능력을 고려한 연간 저수지 수위를 결정하는 효과적인 저수지 수위 결정방법을 제안하였다.

저수지 수위의 결정에서는 먼저 저수지의 제한수위와 저수위에 도달하는 시점을 결정하는 것이 중요한데, 제안한 방법에서는 우리나라의 기상특성을 반영하여 대상기간을 갈수기(9/21-6/20)와 홍수(6/21-9/20)로 분류하고, 저수위에 도달하는 시점 갈수기의 종점인 6/20로 정하였으며 제한수위에 도달하는 시점을 홍수기의 종점인 9/20로 정하였다.

다음 갈수기에는 저수지의 수위 결정을 위한 초기값으로 대상년도의 1월초(전년도 12월말) 수위를 기상조건을 고려하여 결정하고, 갈수기의 종점인 6/20일까지 용수공급능력을 고려한 일정량의 저수량을 사용수량으로 사용할 수 있도록 저수지 수위를 운용하였다.

마지막으로 홍수기에는 차년도 운용을 위한 저수지 수위 확보를 위해 유입량을 우선적으로 저수지 수위 확보에 사용한 다음, 남은 여분을 사용수량으로 처리하였는데, 홍수조절을 위한 방류량 제약을 고려하였으며 우리나라의 기상특성을 고려하여 홍수기중 8/20의 저수지 수위를 제한수위 저수량의 95%에 이르도록 정하고, 9/20의 저수지 수위를 한수위 저수량의 100%에 이르도록 저수지 수위를 운용하였다.

2.3 방류량의 결정

저수지식댐의 사용수량 결정에 있어서 방류량은 저수지 유입량과 저수지의 수위 변동에 따른 저수량의 합에서 사용수량을 차감하여 결정할 수 있다.

따라서, 방류량은 유입량, 저수량, 사용수량이 결정되면 자동적으로 결정되는데, 우리나라의 기상특성상 갈수기에는 방류량이 거의 없으며, 홍수기에는 홍수기 종점의 저수지 수위가 제한수위가 되도록 유입량을 우선적으로 저수지 수위 확보에 사용하고, 사용수량이 최대가 되도록 계획함으로써 방류량을 최소화할 수 있다.

3. 사례연구

한강수계 최상류의 저수지식댐인 화천댐을 대상으로 제안한 사용수량 결정방법의 사례연구를 수행하였다.

화천댐의 수위는 저수위 156.80(EL.M), 제한수위 175.00(EL.M), 만수위 181.00(EL.M)이고, 저서의 저수량을 $0(x10^6M^3)$ 으로 할 때, 만수위에서 저수량은 $658(x10^6M^3)$ 이며, 최대사용수량 $185(M^3/SEC)$ 이다..

본 사례연구에서는 1994년의 유입량 실적을 이용하여 제안한 방법에 의한 1994년의 저수지 수위와 사용수량을 결정하였다. <그림 1>은 화천댐의 1994

년 유입량 실적을 보인 것이다.

저수지 수위는 1월초 수위를 1993년 12월말 수위인 168.58(EL.M), 갈수기의 종점인 6월 20일 를 저수위인 156.80(EL.M), 홍수기내의 8월 2 수위를 제한수위 저수량의 95(%)인 174.42 (EL. 홍수기 종점인 9월 20일 수위를 제한수위인 175.0 (EL.M)로 정하여 갈수기에는 용수공급 제약을 만족시키면서 저수지 저수량을 매일 일정하게 사용수량으로 사용하도록 저수지 수위를 정하고, 홍수기에는 용수공급 및 홍수조절 제약을 우선적으로 만족시키면서 홍수기 종점의 저수위가 제한수위가 되도록 유입량을 저수지의 수위 확보에 이용하고, 남은 여분을 사용수량으로 정하였으며, 그 양이 최대 사용수량을 초과할 경우 방류량으로 처리하였다.

<그림 2>는 1994년의 저수지 수위실적과 제안한 방법에 의한 저수지 수위를 비교하여 그린 것이다.

사용수량은 갈수기에는 유입량과 저수지 저수량의 합으로 결정하였으며, 홍수기에는 유입량과 저수지 저수량의 차에서 방류량을 차감하여 결정하였다. <그림 3>은 1994년의 사용수량 실적과 제안한 방법에 의한 사용수량을 비교하여 그린 것이다.

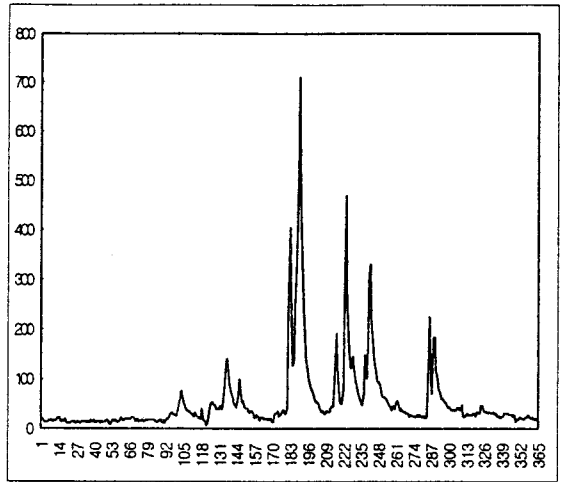
4. 결 론

수력기 출력배분에서 제약조건으로 사용되는 수력기의 사용수량 결정을 위하여 저수지식댐을 대상으로 처리과정이 단순하면서도 신뢰성있는 사용수량 결정이 가능한 사용수량 결정방법을 제안하였다.

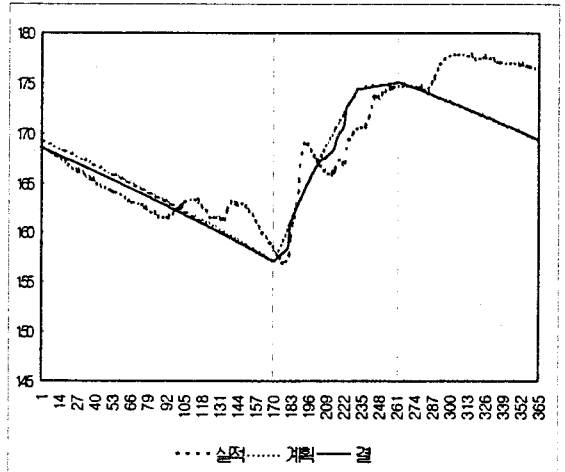
제안된 사용수량 결정방법에서는 유입량, 저수지 수위, 사용수량, 방류량 등의 운용실적과 현장 운전원들의 경험적인 지식을 반영하여 유입량 실적의 유향곡선을 이용하여 연간 유입량을 결정하고, 수력기의 홍수조절 및 용수공급 제약을 고려하여 연간 저수지 수위를 결정하며, 유입량, 저수량, 사용수량과의 관계에서 방류량이 최소가 되게 자동적으로 계산함으로써 실적의 평균이나 경험적인 지식을 바탕으로 정한 사용수량의 신뢰성을 개선하고, 차년도 저수지 운용을 위한 저수지 수위를 안정적으로 확보할 수 있게 하였으며, 사용수량의 최대 운용이 가능하게 하였다.

[참 고 문 헌]

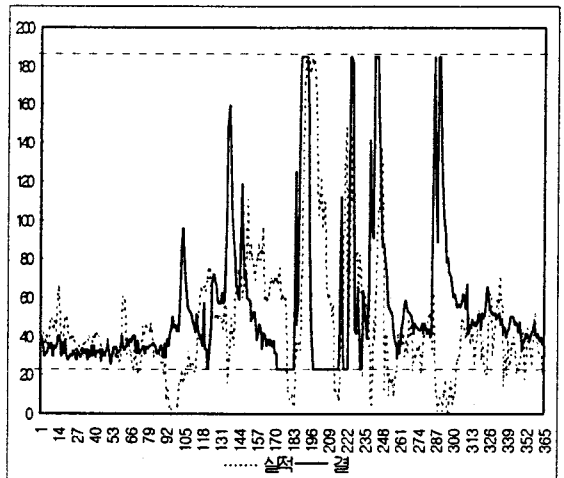
- [1] 이경재 외, "수력발전소의 합리적 운용 프로그램 개발연구", 한국전력공사 연구보고서, 1985
- [2] 임주일 외, "수력발전소의 합리적 운용프로그램 개발연구", 한국전력공사 연구보고서, 1987
- [3] "계통운용자료집", 한국전력공사, 1993



< 그림 1 > 화천댐의 유입량



< 그림 2 > 화천댐의 저수지 수위곡선



< 그림 3 > 화천댐의 사용수량