

## 양수발전기의 입찰과 SMP관계 분석을 위한 P-Pool 프로그램 응용방법

조성위\*, 이광호\*, 김옥\*\*

단국대학교 전기공학과\*, 한국남부발전(주)\*\*

### P-Pool Program Application Method for Analyzing Relations between SMP and Bidding Strategies of Pumped-Storage Power Plant

Sung-Wi Cho\*, Kwang-Ho Lee\*, Wook-Kim\*\*

Dankook University\*, Korea Southern Power Co.,Ltd \*\*

**Abstract** - 본 논문은 국내 전력시장과 동일한 규칙을 지닌 P-Pool 전산모형을 소개하였다. P-Pool 전산모형은 양수발전기의 입찰계획을 자동으로 생성하기 때문에 사용자가 입찰계획변경에 따른 SMP 변화를 분석하기 어렵다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 양수발전기의 입찰계획량을 수요에 반영하는 방법을 제안하였고, 사례연구를 활용하여 검증하였다.

#### 1. 서 론

우리나라 전력산업은 전력의 안정적인 공급에 역점을 두고 과거 공기업 체제하에서의 수직적 전력시장에서 경쟁적 전력시장으로 구조개편이 추진되고 있다. 때문에 한전에서 분리된 발전사들은 변동비반영발전시장(Cost Based Pool : CBP)에서 시장가격 분석이나 수익성 개선을 위해 전력시장 해석용 전산모형을 활용하여 전력시장을 분석하고 있다.

대표적인 전산모형은 P-Plus Corporation 사의 P-Pool, Henwood사의 MarketSim 그리고 Drayton사의 Plexos 등이 있다. MarketSim과 Plexos의 경우는 전 세계적으로 표준화된 제품인 장점이 있지만, CBP 시장규칙을 반영하지 않았기 때문에 활용 시 어려움이 있다. 이에 반하여 P-Pool은 우리나라의 시장규칙이 반영된 장점을 지니고 있어 발전사들은 자사의 입찰전략 평가에 P-Pool 전산모형을 활용하고 있다[1].

우리나라의 전력시장은 용량철회(withholding)와 같은 발전사의 전략적인 행동을 방지하고 있는 구조이다[2]. 하지만, 양수발전기의 발전시점 및 발전량 그리고 양수시점 및 양수량에 대해서는 전략적인 선택을 가능하도록 허용하고 있다. 그러므로 양수발전기를 소유한 발전사는 전력시장 해석용 전산모형을 활용하여 수익을 최대화시키는 입찰전략을 수립할 필요가 있다.

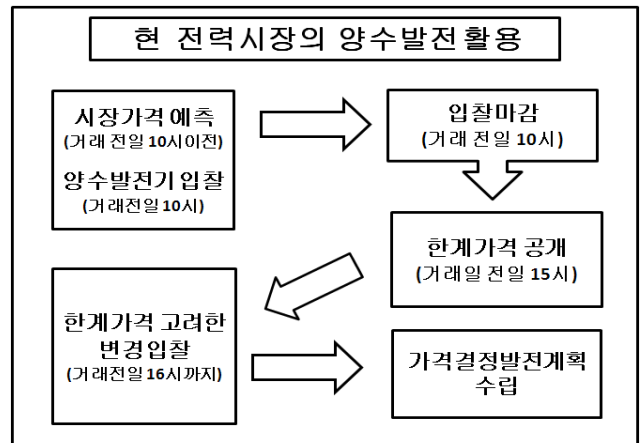
전력시장 해석용 전산모형인 P-Pool은 정산규칙, SMP(System Marginal Price)등 대부분의 알고리즘이 CBP 시장규칙과 동일하게 적용되어 있다. 하지만 양수발전기의 전략적인 입찰을 반영하기 어렵다는 단점이 있다. 구체적으로, P-Pool에서는 양수발전기의 양수 및 발전 입찰량과 시점을 자체적으로 생성하기 때문에 사용자가 임의로 입찰시점 및 입찰량을 결정할 수 없다[3]. 이에 본 연구는 P-Pool에 양수발전기의 전략적 유인을 반영하는 기법을 제안한다.

#### 2. 우리나라 전력시장에서 양수발전 입찰과정

한국전력에서 모든 발전기를 소유하고 있던 과거 전력시장에서 양수발전기는 전제 발전비용 최소화목표에 부합하도록 발전량과 양수량, 그리고 발전시점 및 양수시점이 결정되었다. 하지만, 현행 경쟁체제의 전력시장에서는 양수발전기를 소유한 발전사의 입찰에 의해 양수발전기의 운영이 결정되는 구조로 변화되었다. 현 시장규칙에 나타나있는 양수발전기의 입찰과정을 간략히 표현하면 그림 1과 같다.

발전사가 양수발전기를 입찰하면, 전력거래소는 입찰자료를 바탕으로 양수발전기의 발전 및 양수를 결정한다. 구체적으로 전력거래소가 수요를 예측하여 공표하면 발전사는 거래전일 10시까지 예측 수요를 활용하여 양수발전기의 발전 및 양수계획을 입찰한다. 그러면, 전력거래소는 양수발전기의 양수계획을 고려대상에서 제외하고 발전계획만을 바탕으로 거래전일 15시까지 모든 발전기의 발전계획과 SMP를 결정하고 시장 참여자에게 공개한다. SMP가 공개된 후, 양수발전기를 소유한 발전사는 발전 및 양수계획을 변경하여 제출할 수 있다. 결국 양수발전기의 입찰은 2번이 가능하다. 즉, 예측된 수요에 대해 한번 그리고 정산에 활용하는 SMP를 알고 있는 상태에서 한번 가능하다.

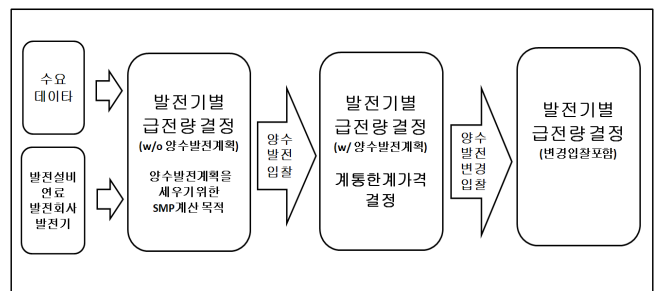
양수발전기의 초기입찰전략은 타 발전기의 발전량 결정에 큰 영향을 미친다. 반면, 두 번째 입찰전략은 타 발전기의 발전량에 영향을 미치지 못한다. 결국, 발전사는 소유하고 있는 모든 발전기 이득을 고려한 첫 입찰전략을 수립하고 양수발전기의 수익만을 고려하여 두 번째 입찰전략을 수립하는 것이 타당하다.



〈 그림 1 〉 우리나라 전력시장에서 양수발전기 활용

#### 3. P-Pool 전산모형의 양수발전 알고리즘

P-Pool 전산모형은 외부에서 양수발전기의 저수용량, 양수발전 효율 등을 입력해주면 자체적으로 입찰전략을 수립하는 방식이다. 양수발전기의 전략 변경이 불가능하다는 것을 제외하면 대체적으로 CBP 시장규칙과 유사하다. P-Pool 전산모형의 양수발전기 활용 알고리즘을 그림으로 나타내면 그림 2와 같다.



〈 그림 2 〉 P-Pool 전산모형의 양수발전 활용

구체적으로, 양수발전 알고리즘은 4 단계로 진행된다. 우선 1단계는 양수발전을 제외한 발전기를 대상으로 SMP를 계산하는 과정이다. 그리고 계산된 SMP를 고려하여 양수발전기의 전략을 수립하는 단계, 그리고 수립된 양수발전기 전략을 반영하여 발전량을 배분하고 배분된 발전량을 근거로 정산에 사용되는 SMP를 결정하는 단계 마지막으로 정산에서 사용되는 SMP를 근거로 양수발전기의 입찰전략을 변경하여 재입찰하는 알고리즘을 적용한다.

양수발전기의 기본 원리인 비싼 가격에 발전을 시키고싼 가격에서 양수를 하는 방식이 적용되고 있기 때문에 양수발전기만 고려한 입찰전략 수립에는 큰 어려움이 없다. 하지만 우리나라 전력시장은 양수발전기만을 소유한 발전사가 없으며 대체적으로 양수발전소에 여러 화력 발전소 및 복합화력 발전소를 소유한 구조이다. 그러므로 양수발전기만의 최적 전략이 타 발전기를 고려한 최선의 전략이라 단정하기 어렵다. 타 발전설비를 고려한 최적 전략을 선택하기 위해서는 양수발전기의

전략을 변화시켜 분석 시도할 필요가 있다. 하지만, P-Pool은 이와 같은 분석이 불가능하기 때문에 이를 반영할 수 있는 방법에 대한 분석이 필요하다.

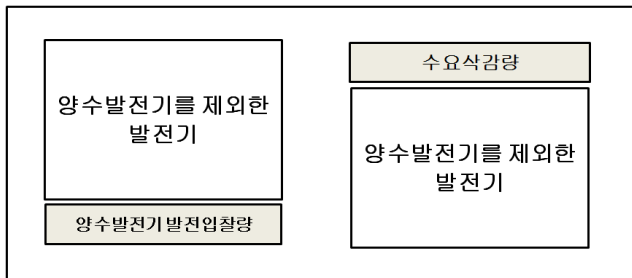
#### 4. 양수발전기 입찰을 반영한 P-Pool의 활용

현재 우리나라의 발전량 결정과정은 SMP를 결정하기 위한 가격결정 발전계획과 운영발전계획으로 구분된다. 두 가지로 구분하는 이유는 전력시장의 기준이 되는 가격을 계통계약이 없는 경우에 설정하는 것이 합리적이라는 이유 때문이다. 즉, 가장 효율적인 자원배분은 송전선로 용량계약 등의 계통계약이 없는 상태에서 나타나기 때문에 가격결정 발전계획이라 정의되는 비계약 급전계획에서 SMP를 결정한다. 하지만, 전력의 물리적 제약으로 인해 송전선로의 용량계약 등의 계통계약이 포함된 급전계획을 수립할 필요가 있다. 이로 인해, SMP를 결정하는 가격결정 발전계획과 계통계약이 포함된 운영발전계획을 분리하여 급전계획을 수립한다.

가격결정 발전계획은 수요를 만족하는 발전량의 최소 발전비용에 근거한 것으로 한계비용(Marginal Cost)에 따라 결정된다. 때문에 한계비용이 낮을수록 가격결정 발전계획에서 우선 순위가 높다. 양수발전기는 물을 발전원으로 사용하는 설비로 비용이 매우 적다. 즉, 타 발전기에 비해 매우 적은 한계비용 특성이 있기 때문에 양수발전기의 발전계획은 전부 가격결정 발전계획에 포함된다.

가격결정 발전계획은 한계비용에 따라 결정되기 때문에 한계비용이 낮은 발전기를 입찰하지 않는다면 발전계획에 포함되지 않은 발전기중 한계비용이 낮은 발전기가 감소한 발전량만큼 발전계획에 포함될 것이다. 그리고 감소한 발전량만큼 수요를 줄인다면, 마지막에 발전계획에 포함된 발전기의 증가된 발전량은 발전계획에서 제외될 것이다. 결국, 발전계획에 포함된 발전기의 발전량만큼 수요를 줄인다는 것은 해당 발전기의 입찰량을 줄이는 것과 같은 효과이다.

양수발전기는 발전에 대한 입찰계획이 모두 가격결정 발전계획에 포함되므로 양수발전기의 발전계획량만큼 수요를 감소시키면 양수발전기의 입찰과 같은 효과가 나타난다. 이를 그림으로 나타내면 그림 3과 같다.



< 그림 3 > 수요조절을 활용한 양수발전기 입찰반영 기법

양수발전기의 입찰은 매 시간단위로 이루어진다. 그러므로 본 연구에서는 양수발전기의 발전입찰계획을 각 시간대별 수요에 반영하여 발전입찰량 만큼 원하는 입찰시간대의 수요를 감소시켜 P-Pool을 활용하는 방법을 제안한다.

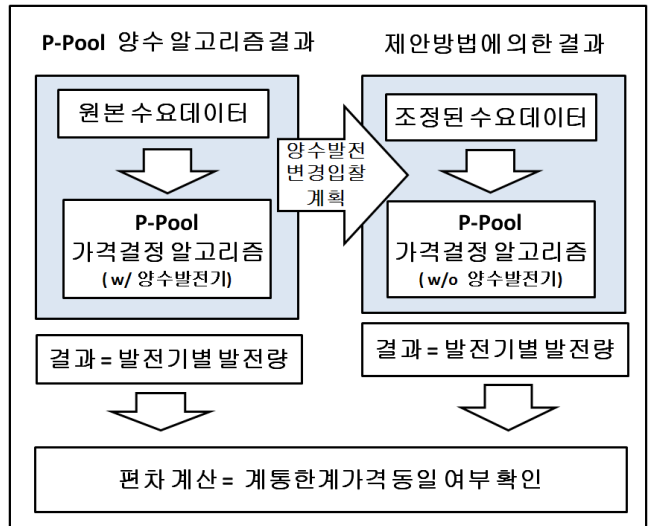
#### 5. 사례연구

양수발전기의 입찰의 두 번의 입찰정보를 P-Pool에서는 제공하지 않는다. 그러므로 제안한 기법의 정확성을 평가한다는 것은 어려운 문제이다. P-Pool의 출력데이터에서 양수발전기에 대한 정보는 최종 발전량만을 제공한다. 앞 절에서 설명하였듯이 양수발전기의 발전입찰은 발전계획에 전량 포함되므로 본 연구에서는 양수발전기의 최종 발전량을 양수발전기의 최종 발전 입찰계획이라 가정한다.

SMP는 양수발전기의 최종 발전 입찰계획에 의해 결정되는 것이 아니고 초기에 제출된 발전 입찰계획에 따라 영향을 받는다. 하지만, 양수발전기의 초기 입찰계획에 대한 정보는 없다.

P-Pool의 양수발전기 입찰계획 생성 알고리즘은 SMP의 변화에 기반한 것이다. 초기 입찰계획은 양수발전기를 제외한 계통의 SMP에 의해 수립된 것이고 최종 입찰계획은 양수발전기의 초기 입찰계획을 포함한 SMP에 대하여 수립한 것이다. 그러므로 첫 입찰전략은 SMP에 매우 큰 영향을 주지만 최종 입찰계획은 SMP에 대한 영향이 초기 입찰계획에 비해 적다. 이에 본 연구는 초기 입찰계획과 최종 입찰계획이 같다고 가정한다. 양수발전기를 소유한 발전사는 타 발전설비의 이득을 고려하여 양수발전기의 입찰계획을 전략적으로 선택하려한다. 즉, 양수발전기의 입찰계획이 정산가격인 SMP에 어떤 영향을 미치는지에 대한 관심이 높을 것이다. 이에 근거하여 본 연구에서는 그림 4와 같이, 양수발전기의 입찰계획 수립을 P-Pool에서 생성하는 경우와 수요를 변경하여 양수발

전기의 입찰계획을 대체한 경우의 SMP를 비교한다.



< 그림 4 > 제안방법의 타당성 검토 방법

분석기간은 2006년 1월 1일부터 8월 31일까지 5832시간으로 한다. 그리고 분석대상 양수발전기는 청평양수 발전기로 설정한다. 또한, 수요데이터는 전력거래소에서 제공하는 수요예측을 활용한다. 이에 대한 P-Pool 전산모형을 시뮬레이션하고 오차를 나타내면 표 1과 같다.

< 표 1 > 결과분석

평균 SMP	SMP 최대오차	평균 오차[%]
62.12	3.72	0.07

본 연구에서 제안한 기법을 적용한 결과 5832시간 중에서 191시간동안 오차가 발생하였다. 이는 오차가 발생한 시간으로 오차율을 판단하면 3%정도를 의미하는 것으로 오차발생빈도가 높지 않다는 것을 의미한다. 하지만 오차발생빈도가 높지 않아도 오차가 나타나는 구간에서 SMP의 오차가 크다면 적용하는데 무리가 있다. 이에 본 연구는 SMP의 평균 오차를 계산해본 결과, 0.07%로 매우 적음을 확인할 수 있었다. 또한, SMP의 최대오차는 3.72로 평균 SMP 62.12를 기준으로 6%정도이다.

이상을 토대로, 본 연구에서는 양수발전기의 입찰계획을 수요조절로 완벽하게 반영할 수는 없어도 어느 정도수준의 오차를 허용하는 모델에서는 활용이 가능하다고 판단한다. 또한, 앞에서 설명하였듯이, 양수발전기의 초기 입찰계획을 알 수 없기 때문에 오차는 더욱 커진 것이라 예상된다.

#### 6. 결 론

본 연구는 P-Pool 전산모형에서 양수발전기의 발전입찰계획이 자동으로 생성되기 때문에 양수발전기의 발전입찰계획에 따른 SMP변화를 관찰할 수 없다는 것에 관심을 두었다. 그리고 이를 해결하기 위해 양수발전기의 발전계획을 수요데이터에 반영하는 방법을 제안하였다. 마지막으로 제안기법을 사례연구에 적용하여 오차를 제시하였으며, 오차의 원인을 분석하였다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력거래소, <http://www.kpx.or.kr>
- [2] 이광호, “경제적 전력시장에서 용량요금에 의한 전력적 용량철회 억제”, 대한전기학회 논문지, 제56권 7호, pp. 1199-1204, 2007
- [3] P-Pool 사용자 설명서, 한전KDN