

## 열병합 발전소의 운전경제성 분석에 관한 연구

김 군 회, 허 진 혁\*, 문 승 재\*\*, 이 재 현\*\*†

한국남동발전(주), \*한양대학교 대학원 기계공학과, \*\*한양대학교 기계공학과

### Analysis of Operational Economic Efficiency in a Cogeneration Power Plant

Gun-Hoe Kim, Jin-Huek Hur\*, Seung-Jae Moon\*\*, Jae-Heon Lee\*\*†

Korea South-East Power Co., Ltd., Seoul 135-791, Korea

\*Department of Mechanical Engineering, Graduate school of Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

\*\*School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received November 7, 2008; revised January 26, 2008; accepted February 23, 2009)

**ABSTRACT** : This study presents an operational technique to maximize the profit of a cogeneration power plant under cost-based pool power market. In benefit side energy sale profit, heat sale profit, and supplementary fund profit for electric power industry are included and the changeable cost was considered in cost side. The profit of a cogeneration power plant is varied enormously by the operation conditions, and constraint conditions. The result of this case study can be used as a reference to a cogeneration power plant under the same power trading system.

**Key words** : Cogeneration power plant(열병합 발전소), Cost-based pool(변동비반영 발전시장), Power trading(전력거래)

#### 1. 서론

우리나라 전력산업은 사실상 공기업 수직 독점체제로 운영되어 왔다. 전력산업은 발전, 송전, 배전, 판매의 서로 다른 네 가지 수직적 부문으로 이루어져 있으며, 2001년 4월 제1차 전력산업구조개편이 이루어지면서 전력시장이 등장하였다. 현재 우리나라의 전력시장은 가격입찰방식이 아닌 변동비를 기준으로 하는 발전원가에 따라 시장가격이 결정되는 변동비반영 발전시장(CBP, Cost-Based Pool)방식을 채택하고 있다.

변동비반영 발전시장은 가격결정 발전계획에 의한 계통한계가격(SMP, System Marginal Price)에 용량요금(CP, Capacity Payment)을 더해 거래가격이 결정되는 방식으로 전력거래는 1시간을 단위로

이루어진다. 여기서, 계통한계가격이란 전기의 특성상 저장이 어렵기 때문에 수시로 변하는 전력수요에 맞춰 전력거래소에서 거래일 하루 전에 예측한 시간대별 전력수요와 발전사업자들이 하루 전에 입찰한 시간대별 공급가능 용량인 입찰량 및 변동비를 토대로 하여 각 시간대별 예측 전력수요량을 충족시키기 위해 발전을 할당한 발전기의 변동비 중 가장 높은 값을 의미한다. 변동비는 발전기 기동비용과 연료비로 구성되며, 연료비는 무부하비용과 출력변화에 따른 비용증가를 반영하는 증분비용으로 구성된다. 용량요금이란 변동비 외의 발전원가인 발전소 건설비 및 발전기 유지관리비 등의 고정비를 보상하기 위하여 입찰량에 대하여 지급하는 요금이다.

공급자 중심의 전력시장인 변동비반영 발전시장에서 수익의 대부분은 이미 결정되어 있는 것과 마찬가지로 수익증대를 위한 개선의 여지가 크지 않다. 하지만 전력시장의 수익구조 분석을 통해 일정부분 수익을 개선할 수 있는 여지가 있다. 특히 열과 전기를 동시에 생산하는 열병합 발전소(Cogeneration

† Corresponding author

Tel.: +82-2-2220-0425; fax: +82-2-2220-4425

E-mail address: jhlee@hanyang.ac.kr

power plant)는 일반발전소와 달리 수익구조가 복잡하다. 변동비가 높아 변동비반영 발전시장의 가격 결정 발전계획에 포함되지 못하는 열병합 발전소의 경우 지역난방 열공급을 위한 발전인 열계약 발전을 하며 이에 따른 발전원가의 손실부분은 전력산업기반기금에서 지원하기 때문이다.

본 연구에서는 열계약 발전으로 인해 수익구조가 복잡한 열병합발전소에서 열계약 입찰량(MEGW) 및 발전량(MGO) 변화에 따른 수익의 변화에 대해 고찰하였다.

## 2. 연구모델

본 연구에서는 한국남동발전에서 운영 중인 분당 열병합 발전소를 연구모델로 선정하였다. 분당 열병합 발전소는 총용량 900 MW 규모로 신도시 계획의 일환으로 건설되었으며 분당지역의 전력 및 수도권 지역의 전력을 안정적으로 공급하고, 발전 시 발생하는 열을 분당 신도시에 공급하는 것을 목적으로 하는 LNG 사용 열병합 발전소로서 #1CC (93. 9. 16 준공)와 #2CC(97. 3. 31 준공)로 구성되어 있다. #1CC는 75 MW 가스터빈 5대와 185 MW 증기터빈 1대로 구성되어 있고, #2CC는 75 MW 가스터빈 3대와 115 MW 증기터빈 1대로 구성되어 있으며, 가스터빈과 증기터빈의 출력비는 2:1이다.

분당열병합발전소의 계통도를 Fig.1에 나타내었

다. 분당열병합발전소는 한국가스공사의 가스인수 기지로부터 LNG를 공급받아 가스터빈을 운전한 후 1차적으로 전기를 생산하고, 가스터빈에서 배출된 고온의 열을 이용하여 배열회수보일러에서 생산한 증기로 증기터빈을 운전하여 2차적으로 전기를 생산한다. 전기를 생산하고 난 폐열은 급수가열기를 이용하여 한국지역난방공사(이하 한난)에 공급하는 방식을 취하고 있다. 분당 열병합발전소의 경우 변동비가 높아 최대 전기부하가 요구되는 하절기를 제외한 연중 대부분은 가격결정 발전계획에 포함되지 않고 주로 지역에 열공급을 하기 위한 열계약 발전을 하고 있다. 열계약 발전 시 분당 열병합 발전소는 지역난방 열수요에 따라 가스터빈 출력을 제어하는 열부하 추종운전을 하며 이때 가동되는 설비는 가스터빈, 배열회수보일러, 고압터빈 그리고 지역난방열교환기이다.

## 3. 열병합 발전소 수익 구조

발전이 할당된 모든 발전기는 발전에 대한 대가로 거래일 하루 전에 결정된 계통한계가격을 적용받게 된다. 그러나 익일의 실제 발전은 정책연료사용과 송전선로의 혼잡 등 각종 제약조건을 고려한 운용발전계획을 기준으로 이루어지며, 실제 발전량과 가격 결정계획상의 발전량의 차이는 정산절차에 따라 정산을 한다. 정산의 원칙은 계획된 발전량에 대하여

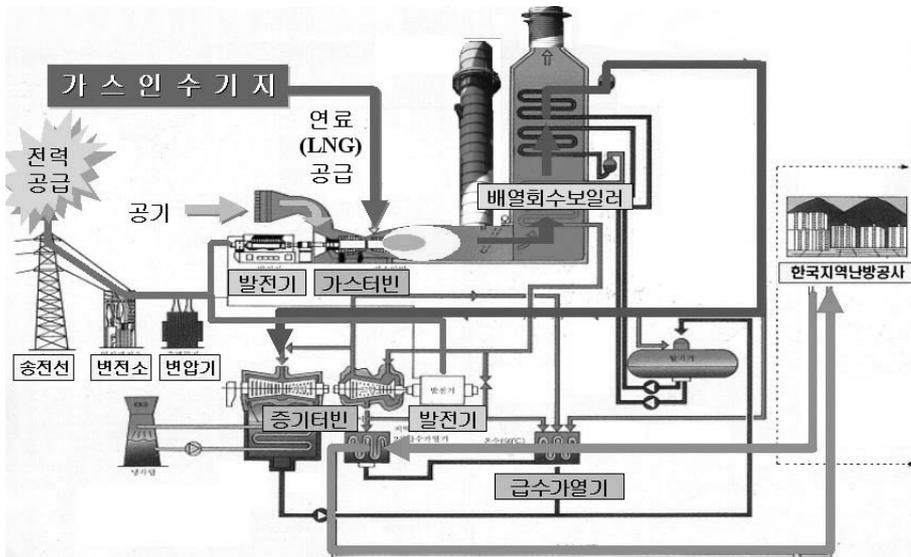


Fig. 1 Bundang cogeneration power plant diagram.

는 계통한계가격을 적용하며, 제약조건에 의하여 추가로 발전되는 양에 대하여는 해당 발전기의 변동비를, 반대로 발전이 취소된 양에 대하여는 기회이익, 즉 계통한계가격과 해당 발전기 변동비간의 차이를 대가로 받게 된다.

열계약 발전을 하는 열병합 발전소의 수익은 첫째, 판매한 전력량에 대하여 받는 수익인 시장정산금이 있고, 둘째, 지역난방공사와의 열공급 계약에 따른 열판매 수익이 있으며, 셋째, 열계약 발전에 따른 변동비 손실을 보전하는 전력산업기반기금이 있다. 상기의 세가지 수익 부분은 개별적으로 독립적이지 않고 열계약 입찰량 및 발전량에 의해 상호 밀접하게 관련되어 있으므로, 거래수익의 증감을 고찰하기 위해서는 종합적인 손익의 분석이 필요하다.

열병합발전소의 열계약 발전을 통한 수익인 시장정산금, 열판매 수익 그리고 전력산업기반기금을 계산하는 방법은 각각 다음과 같다.

$$\text{시장정산금} = \text{발전량} \times \text{계통한계가격} + \text{용량요금} \quad (1)$$

$$\text{열판매 수익} = \text{기본요금} + \text{사용량요금} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{전력산업기반기금} &= \text{열계약 입찰량에 대한 변동비} \\ &\quad \times \text{효율보정계수} \\ &- \text{열계약 입찰량에 대한 시장정산금} \\ &- \text{열판매 수익 중 사용량요금} \end{aligned} \quad (3)$$

발전에 소요된 비용은 변동비를 기준으로 하며 변동비를 계산하는 방법은 다음과 같다.

$$\text{변동비} = 2\text{차 가격계수} \times \text{발전량}^2 + 1\text{차 가격계수} \times \text{발전량} + \text{무부하 가격상수} \quad (4)$$

여기서 1차 가격계수, 2차 가격계수 및 무부하 가격상수는 발전기에 따른 계수이다.

따라서 열병합발전소의 열계약 발전을 통한 총거래수익은 아래식과 같이 계산된다.

$$\text{총거래수익} = \text{시장정산금} + \text{전력산업기반기금} + \text{열판매수익} - \text{변동비} \quad (5)$$

#### 4. 열병합 발전소 운전경제성 분석

열계약 발전을 위한 열부하 추종운전중인 분당 열

병합 발전소 #1CC의 01/01/07 1거래시간에 운전된 실제 운전값을 기준모델을 선정하고 이때의 총거래수익을 도출하였다. 기준모델의 경우 열계약 입찰량 및 실제 발전량은 410 MWh이고, 열공급량은 350 Gcal이며, 총거래수익은 약 900만원으로 산정되었다.

기준모델의 운전조건에서 발전량 및 열계약 입찰량을 변화시키며 이에 따른 열병합발전소의 수익변화를 분석하였다.

#### 4.1 발전량 변화에 따른 수익변화 분석

열계약 입찰량은 기준모델과 같은 410 MWh으로 고정하고 발전량을 360MWh부터 440MWh까지 변화시키며 도출한 총거래수익을 Fig. 2에 나타내었다. 그림에 나타낸바와 같이 열계약 입찰량과 발전량이 동일하게 운전될 때 거래수익이 최대가 되었다. 동일한 양만큼의 발전량 증감 변화가 있을 경우 발전량이 열계약 입찰량에 비해 증가되는 경우가 감소되는 경우에 비해 손실이 더욱 크게 발생됨을 알 수 있었다.

##### 4.1.1 발전량이 열계약 입찰량보다 큰 경우

열계약 입찰량이 기준모델과 같은 410 MWh이나 발전량이 기준모델인 보타 큰 440MWh인 경우 기준모델과의 수익비교를 Fig. 3에 나타내었다. 발전량 증가에 따른 변동비 증가분이 시장정산금 증가분보다 크며 추가로 발생된 열에 의한 전력산업기반기금 감소분과 열판매 수익의 사용량 요금의 증가분은 서로 상계되며 열판매 수익의 기본요금 부분이 증가했음을 알 수 있다. 총거래수익을 계산한 결과 수익의 증가분보다 비용의 증가분이 더욱 커 열계약 발전량을 초과하여 발전함으로써 인해 총거래수익이 감소하였다.

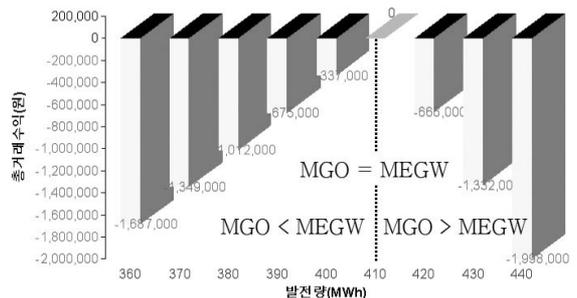


Fig. 2 Profit analysis according to MGO change

## 열병합 발전소의 운전경제성 분석에 관한 연구

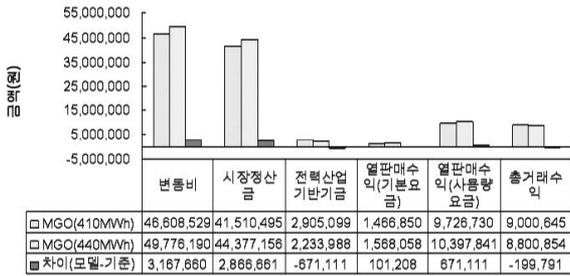


Fig. 3 Profit comparison between the assumption model (MGO=440MWh) and the standard model

4.1.2 발전량이 열계약 입찰량보다 작은 경우  
열계약 입찰량이 기준모델과 같은 410 MWh이나 발전량이 기준모델인 보타 큰 380 MWh인 경우 기준모델과의 수익비교를 Fig. 4에 나타내었다. 발전량이 열계약 입찰량보다 작은 경우 시장정산금의 감소분은 변동비의 감소분보다 적으나, 발전량 감소에 따른 열공급량 감소로 인해 열판매수익 및 전력산업기반기금이 감소하였다. 이로 인해 총거래수익은 열판매수익 증 기본요금의 변화량만큼 감소하였다.

### 4.2 열계약 입찰량 변화에 따른 수익변화 분석

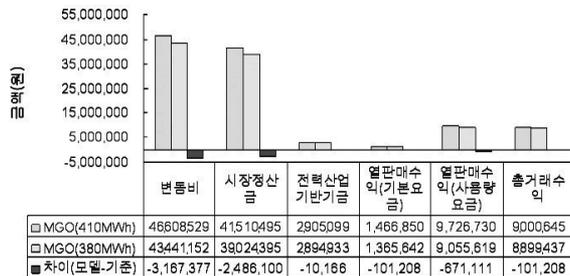


Fig. 4 Profit comparison between the assumption model (MGO=380MWh) and the standard model

4.2.1 발전량과 열계약 입찰량 모두 증가하는 경우  
발전량과 열계약 입찰량이 기준모델인 410 MWh 보다 큰 440 MWh으로 증가하는 경우 기준모델과의 수익비교를 Fig. 5에 나타내었다. 열계약 입찰량 및 발전량의 증가에 따라 변동비, 시장정산금, 전력산업기반기금 및 열판매수익이 모두 증가하였다. 여기서 변동비 증가분은 시장정산금, 전력산업기반기금 및 열판매수익 증 사용량 요금 증가분의 합과 동일하였다. 따라서 열판매수익 증 기본요금에 해당하는 수익의 증가분만큼 총거래수익이 증가하였다.

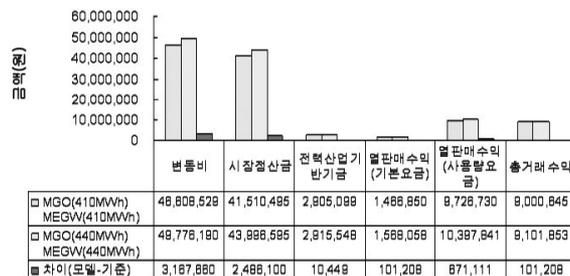


Fig. 5 Profit analysis when MEGW and MGO are increased at once

4.2.2 발전량과 열계약 입찰량 모두 감소하는 경우  
발전량과 열계약 입찰량이 기준모델인 410 MWh 보다 작은 380 MWh으로 감소하는 경우 기준모델과의 수익비교를 Fig. 6에 나타내었다. 열계약 입찰량 및 발전량의 감소에 따라 변동비, 시장정산금, 전력산업기반기금 및 열판매수익이 모두 감소하였다. 여기서 변동비 감소분은 시장정산금, 전력산업기반기금 및 열판매수익 증 사용량 요금 감소분의 합과 동일하였다. 따라서 열판매수익 증 기본요금에 해당하는 수익의 감소분만큼 총거래수익이 감소하였다.

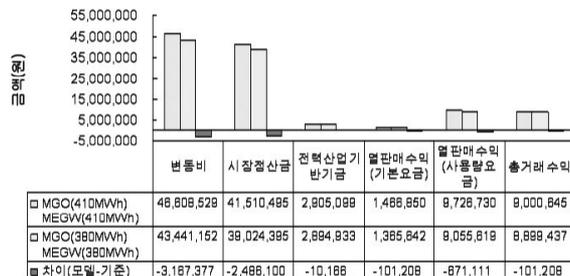


Fig. 6 Profit analysis when MEGW and MGO are decreased at once

### 5. 결론

본 연구에서는 열계약 발전을 하는 열병합 발전소의 발전량 및 열계약 입찰량을 변화시키며 이에 따른 수익변화를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 열계약 입찰량을 일정하게 유지하고 발전량을 변화시키며 수익변화를 분석한 결과 열계약 입찰량과 발전량이 동일한 경우 총거래수익이 최대가 되었다.
- (2) 열계약 입찰량과 발전량을 동일하게 유지하면서 두 값을 모두 증가시키는 경우 총거래수익은 증가되고, 두 값을 모두 감소시키는 경우

총거래수익은 감소되었다.

- (3) 열공급 및 전력공급 계통의 제약사항이 없다면 열계약 입찰량과 발전량이 동일하게 유지시키면서 두 값을 모두 증가시켜 운전해야 총거래수익을 높일 수 있다.

#### 참고문헌

1. 맹영재, 1991, 공업단지 열병합발전 도입에 의한 에너지 이용 효율화, 에너지관리공단.
2. 기술조사팀, 2006, 타에너지 지원사업 관련 법령집, 한국전력거래소.
3. 시장운영처, 2005, 변동비 반영시장 평가진단 및 개선 연구.
4. 정산팀, 2007, 전력시장운영규칙, 한국전력거래소.
5. 김수부, 1998, 열병합발전소 경영개선에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교 대학원.
6. 손학식, 2005, 열병합발전시스템, 기다리출판사.
7. 가스수요관리팀, 2003, 열병합발전 기술 가이드북, 에너지관리공단 수요관리처.
8. 조환욱, 1993, 열병합발전 가격결정에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교 대학원.