

열병합발전의 계획발전원가 산정방법에 관한 연구

김용하*, 이범**, 최상규***, 김미예*, 조성린 ****, 정현성****, 윤종해*****
 인천대학교*, 여수대학교**, 안양과학대학***, 한국전력공사****, 서울도시가스*****

A study on Estimation Method of Generation Cost for Planning for Combined Heat and Power

Yong-ha Kim*, Buhm Lee**, Sang-kyu Choi***, Mi-ye Kim*, Sung-rin Cho****, Hyun-sung Jung*****, Jong-hae Yun*****
 Incheon Univ.*, Yeosoo Univ.**, Anyang Univ.***, Kepco****, Seoul Gas*****

Abstract - A index using generation cost for planning' for representing economical efficiency of generator, However in case of Combined heat and power(CHP) the product is divided in electrical power and steam, so there are no unconditional comparison between general generator and CHP. To calculating the generation cost for planning of CHP, this study using the method that change electrical power and steam into same unit and suggest the comparing system that can compare economical efficiency with other generators.

1. 서 론

지금까지 에너지원별 수요동향을 보면, 석유, 전력, 천연가스 등의 고급에너지 소비가 증가하는 추세이다. 특히, 전력의 경우 지속적으로 증가하고 있으며 하절기에 최대수요가 발생하며 천연가스의 경우 하절기에 최저수요가 발생하여 재고물량 처리를 위한 저장설비 증설이 불가피한 상황이다.

또한 국내 대도시 지역의 환경문제 심화와 기후변화협약 등 국내·외 환경오염에 대한 규제가 점차 강화됨에 따라 청정에너지인 천연가스 및 저유황유의 수요가 증가하고 있고, 신재생에너지의 이용확대와 에너지절약의 필요성이 강하게 대두되고 있다.

이러한 요구에 의해 천연가스를 연료로 사용하고 에너지 효율이 높은 열병합 발전(이하 CHP)에 관한 관심이 증대되고 있으며 정책적 측면 뿐 아니라 경제적 측면에서 CHP 타당성의 증명이 필요하다. 그런데 지금까지 발전기의 경제성을 나타내는 특성값에는 계획발전원가가 있는데 CHP의 경우 그 생산물이 전기와 증기로 이분화되기 때문에 CHP와 다른 발전기 중별과의 계획발전원가 비교에 어려움이 있어 왔다.

본 논문에서는 전기와 증기를 같은 단위로 환산하는 방법을 이용하여 CHP의 계획발전원가를 산정하고 이로 부터 다른 발전기 중별과의 경제성을 비교하는 방법을 제안하였다.

2. 본 론

2.1 발전원가

발전기의 경제성을 결정하는 요소로는, 건설비, 운전유지비, 연료비가 있으며, 이 요소들에 의해 결정되는 경제적 특성값이 발전원가이다. 향후 신규로 건설될 후보발전기의 발전원가는 건설비를 기준으로 산정할 수 있다. 발전원가[원/kWh]는 단위 전력량을 생산하는데 필요한 비용을 의미한다.

$$\text{발전원가}[\text{원}/\text{kWh}] = \frac{\text{발전소소요된총비용}[\text{원}]}{\text{순발전량}[\text{kWh}]} \quad (1)$$

여기서, 순발전량=총발전량-소내전력량

발전원가에는 당해연도 실적을 기준으로 회계처리 용도로 작성된 실적발전원가와 발전기 수명기간을 기준으로 신규설비 경제성 평가에 사용되는 계획발전원가로 구별된다. 발전원가는 변동비와 고정비로 구성된다.

변동비는 경영활동을 위한 비용 중 생산, 판매활동 등의 규모가 변하게 되면 따라서 변하는 비용, 즉 발전량에 비례하여 소요되는 비용으로 대부분 연료비로 구성되어 있다. 전력계통 운영에 있어서 급전 우선순위는 변동비의 크기만으로 결정하게 된다. 계통운영은 이미 건설되어 존재하는 발전기를 운전하여 가장 저렴하게 발전하는 것이 목적이므로, 급전 우선 순위는 고정비와는 관계없이 변동비 순위로 결정하게 된다. 그러므로 경쟁시장에서 발전기가 경쟁력을 가지기 위해서는 무엇보다도 변동비가 상대적으로 낮아야 한다. 고정비는 경영활동을 위한 비용 중 생산, 판매활동 등의 규모가 변하게 되어도 변동이 없는 비용, 즉 발전량에 관계없이 고정적으로 발생하는 비용을 의미한다.

$$\text{발전원가} = \text{고정비} + \text{변동비} \quad (2)$$

$$\text{고정비} = \frac{\text{건설단가}[\text{원}/\text{W}] \times \text{고정비용}[\%]}{8760[\text{시간}] \times \text{이용률} \times (1 - \text{소내율})} \quad (3)$$

$$\text{변동비} = \frac{\text{열소비용}[\text{kcal}/\text{kWh}] \times \text{연료비단가}[\text{원}/\text{kg}]}{\text{발전량}[\text{kcal}/\text{kg}] \times (1 - \text{소내율})} \quad (4)$$

2.2 발전원별 발전원가

2.2.1 발전원가를 위한 입력자료

제1차 전력수급기본계획을 바탕으로 각 발전원별 발전원가를 구하기 위한 자료는 다음과 같다.

표 2.1 발전원가 계산자료

| 구 분 | 원자력 | | | | | | | | |
|--------|------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | 1000 천kW | 1400 천kW | 500 천kW | 800 천kW | 200 천kW | 500 천kW | 450 천kW | 300 천kW | |
| 총건설비단가 | 천원/kW | 1,797 | 1,453 | 1,183 | 1,015 | 1,775 | 893 | 580 | 764 |
| 자본회수계수 | % | 8.386 | 8.386 | 8.883 | 8.883 | 8.883 | 8.883 | 8.883 | 8.118 |
| 법인세율 | % | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 |
| 운전유지비율 | % | 4.447 | 4.651 | 4.299 | 4.055 | 3.449 | 4.126 | 7.510 | 2.246 |
| 고정비율 | % | 12.852 | 13.055 | 13.200 | 12.956 | 12.350 | 13.027 | 16.411 | 10.382 |
| 연료구입단가 | 원/kg, ℓ | | | 37.157 | 37.157 | 71.100 | 208.00 | 434.18 | |
| 발전량 | kcal/kg, ℓ | - | - | 5,780 | 5,780 | 4,882 | 9,831 | 13,042 | - |
| 소내 전력률 | % | 4.7 | 4.2 | 4.4 | 4.2 | 10.5 | 4.0 | 1.3 | 0.4 |
| 연료비원가 | 원/kWh | 4.38 | 4.49 | 14.06 | 13.58 | 36.94 | 46.08 | 53.70 | - |
| R & D | 원/kWh | 1.2 | 1.2 | - | - | - | - | - | - |
| 총연료비원가 | 원/kWh | 5.58 | 5.69 | 14.06 | 13.58 | 36.94 | 46.08 | 53.70 | - |

2.2.2 이용률에 따른 발전원별 발전원가

각 발전원의 이용률에 따른 발전원가는 고정비와 연료비로 구성되어 있으며 원자력 발전의 경우에는 R&D 자금이 포함된다. 그 자세한 결과는 아래와 같다.

표 2.2 이용률에 따른 발전원가

| | 이용률 | 0.12 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
|-------------|-------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 원자력 1000 | 고정비 | 230.53 | 92.21 | 55.33 | 39.52 | 34.58 | 30.74 | 27.66 |
| | 연료비 | 4.38 | 4.38 | 4.38 | 4.38 | 4.38 | 4.38 | 4.38 |
| | R&D | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 3.20 |
| | 계 | 236.11 | 97.79 | 60.91 | 45.10 | 40.16 | 36.32 | 35.24 |
| 원자력 1400 | 고정비 | 188.31 | 75.32 | 45.19 | 32.28 | 28.25 | 25.11 | 22.60 |
| | 연료비 | 4.49 | 4.49 | 4.49 | 4.49 | 4.49 | 4.49 | 4.49 |
| | R&D | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| | 계 | 194.00 | 81.01 | 50.88 | 37.97 | 33.94 | 30.80 | 28.29 |
| 석탄 500 | 고정비 | 155.45 | 62.18 | 37.31 | 26.65 | 23.32 | 20.73 | 18.65 |
| | 연료비 | 14.06 | 14.06 | 14.06 | 14.06 | 14.06 | 14.06 | 14.06 |
| | 계 | 169.51 | 76.24 | 51.37 | 40.71 | 37.38 | 34.79 | 32.71 |
| 석탄 800 | 고정비 | 130.59 | 52.24 | 31.34 | 22.39 | 19.59 | 17.41 | 15.67 |
| | 연료비 | 13.58 | 13.58 | 13.58 | 13.58 | 13.58 | 13.58 | 13.58 |
| | 계 | 144.18 | 65.82 | 44.92 | 35.97 | 33.17 | 30.99 | 29.25 |
| 국내탄 200 | 고정비 | 232.94 | 93.18 | 55.91 | 39.93 | 34.94 | 31.06 | 27.95 |
| | 연료비 | 36.94 | 36.94 | 36.94 | 36.94 | 36.94 | 36.94 | 36.94 |
| | 계 | 269.88 | 130.11 | 92.84 | 76.87 | 71.88 | 68.00 | 64.89 |
| 중유 500 | 고정비 | 115.26 | 46.11 | 27.66 | 19.76 | 17.29 | 15.37 | 13.83 |
| | 연료비 | 46.08 | 46.08 | 46.08 | 46.08 | 46.08 | 46.08 | 46.08 |
| | 계 | 161.35 | 92.19 | 73.75 | 65.84 | 63.37 | 61.45 | 59.92 |
| 복합 450 | 고정비 | 91.74 | 36.70 | 22.02 | 15.73 | 13.76 | 12.23 | 11.01 |
| | 연료비 | 53.70 | 53.70 | 53.70 | 53.70 | 53.70 | 53.70 | 53.70 |
| | 계 | 145.44 | 90.40 | 75.72 | 69.43 | 67.46 | 65.93 | 64.71 |
| 양수 300 | 고정비 | 75.75 | 30.30 | 18.18 | 12.99 | 11.36 | 10.10 | 9.09 |
| | 연료비 (석탄) | 18.50 | 18.50 | 18.50 | 18.50 | 18.50 | 18.50 | 18.50 |
| | 연료비 (중유) | 60.64 | 60.64 | 60.64 | 60.64 | 60.64 | 60.64 | 60.64 |
| | 연료비 (가스) | 70.66 | 70.66 | 70.66 | 70.66 | 70.66 | 70.66 | 70.66 |

위의 표에서 각 발전원의 고정비는 이용률이 높아짐에 따라 점차 낮아지고, 변동비는 이용률에 관계없이 일정함을 알 수 있다. 이는 발전을 전혀 하지 않는 상태에서도 발전원의 유지에 따르는 비용이 존재하기 때문에 그 고정비(원가)는 이용률이 높아짐에 따라 낮아지게 되는 것이다. 또한 이용률의 변화에 따라 각 발전원의 발전원가의 추이가 각각 달라짐을 알 수 있다. 예를 들어 원자력 1400을 보면 이용률이 낮을 때는 그 발전원가가 상대적으로 높지만 이용률이 높아지면 다른 발전원에 비해 상대적으로 낮은 발전원가를 가지게 된다.

2.3 열병합 발전의 발전원가 산정

열병합 발전은 전기만을 생산하는 다른 발전원과는 달리 전기와 증기를 동시에 생산하는 방식이다. 그러므로 전기의 발전량만을 가지고 발전원가를 산정하는 기존의 방식으로는 열병합 발전의 경제성을 평가하기가 힘들다. 이에 열용량을 전기와 같은 단위를 사용하는 등가전기용량으로 환산하여 열병합 발전의 발전원가를 산정하는 방법을 제안하였다.

2.3.1 발전원가 산정을 위한 자료

열병합 발전의 발전원가 산정을 위한 자료로는 발전기의 전체적 구성이 어떻게 되어 있느냐 하는 것과 건설비용 등의 초기 투자비, 운영유지에 따르는 운전유지비 등이 있다. 자세한 자료는 다음과 같다.

표 2.3 열병합 발전의 발전원가 자료

| 구분 | 전기용량 | | | 열용량 |
|-----------|----------|-----------|------------|-----------|
| | 가스터빈 | 증기터빈 | 계 | |
| 용량 | 47[MW]×2 | 33[MW]×2 | 127[MW] | 123[Gcal] |
| 항목 | 금액(백만원) | | 비고 | |
| 건설비 | 1175800 | | | |
| 건설이자 | 50650 | | | |
| 총건설비 | 1175800 | | 건설비+건설이자 | |
| 자본회수비 | 14342.9 | | 총건설비×CRF | |
| 운전 유지비 | 인건비 | 1704 | | |
| | 보수유지비 | 2610.03 | 시설투자비×0.25 | |
| | 경상비 | 852 | 인건비×0.5 | |
| 법인세 | 1226.45 | 총건설비×0.01 | | |
| 보험료 | 1175.8 | 건설비×0.01 | | |

여기서, 법인세 비율은 평균적 추정
CRF: 자본회수계수(LNG의 11.68[%]사용)

2.3.2 열병합 발전의 발전원가

(1) 용량 산정

| | |
|---------|----------------------------|
| 전기판매단가 | 54.26[원/kWh] |
| 증기판매단가 | 23.427[원/kg]=37.186[원/kWh] |
| 물의 증발잠열 | 539[kcal/kg]=0.63[kWh/kg] |
| 단위환산계수 | 1[kWh]=860[kcal] |

*열병합 발전소의 경제성 분석 package 데이터 사용

등가전기용량을 산정하기 위한 방법으로서 증기판매단가를 전기판매단가와 동일한 단위인 [원/kWh]로 변환하게 되는데 [kg]에서 [kWh]로의 변환은 물 1[kg]이 증기가 되기 위해 소요되는 에너지를 나타내는 계수는 물의 증발잠열 계수를 이용하여 전기판매단가와 같은 [원/kWh]의 단위로 환산한다. 여기서 증기와 전기판매단가에서 볼 수 있듯이 증기는 전기와 같은 양을 생산하더라도 그 효용가치가 떨어지므로 전기와 증기판매단가의 비율로써 등가전기용량을 산정하였다. 이렇게 산정된 등가전기용량이 포함된 열병합 발전의 용량은 다음과 같다.

- ① 전기용량=127[MW]
- ② 열생산량 : 123[Gcal]-143[MWh]×(37.186/54.26)
=98[MWh]
- ③ 열병합 발전의 용량
=전기용량+등가전기용량=225[MW]

(2) 고정비

① 총건설단가 = 총건설비용[천원] / CHP의 용량[kW]
 = 122645000/225000
 = 545.09[천원/kW]

② 고정비율 = (고정비 / 총건설비용) × 100
 = (21893.18/122645) × 100
 = 17.85[%]

③ 소내율 = 5[%]

∴ 고정비 = $\frac{\text{건설단가}[\text{원}/\text{kW}] \times \text{고정비율}[\%]}{8760[\text{시간}] \times \text{이용률} \times (1 - \text{소내율})}$
 = $\frac{545090 \times 0.1785}{8760 \times \text{이용률} \times (1 - 0.05)} = \frac{11.7}{\text{이용률}} [\text{원}]$

(3) 변동비

① 열소비용

CHP의 발전형태는 근본적으로 C/C의 발전형태와 동일하다. 그러므로 CHP의 열소비용은 1차 전력수급기본계획의 LNG450의 자료를 이용하여 도출하도록 하였다. LNG 450의 열소비용 1592[kcal/kWh]이며 열병합발전소의 용량 225MW (전기용량 127MW, 열용량 98MW) 중에서 실제로 전기를 생산하는 부분만이 연료를 소비하므로 열병합의 총 열소비용은 전기용량만을 고려하여 1592[kcal/kWh] × 127000[kWh] = 202184000[kcal]로 계산하였다.

그러나 이와 같은 열소비용으로서 결국 전기와 열을 생산하게 되므로 CHP의 열소비용은 전기용량과 열용량 모두를 고려하여 계산되어야 한다. 그러므로 열소비용은 총열소비용/(전기용량+열용량)으로 계산하여

∴ 열소비용
 = $\frac{\text{총열소비용}}{\text{전기용량} + \text{열용량}} = \frac{202184000}{225000} = 898.596 [\text{kcal}/\text{kWh}]$

② 연료비단가

1차전력수급계획 LNG450의 연료비단가인 434.188(원/kg,t)

③ 발열량

1차전력수급계획 LNG450의 발열량인 13042(kcal/kg,t)

∴ 변동비 = $\frac{\text{열소비용}[\text{kcal}/\text{kWh}] \times \text{연료비단가}[\text{원}/\text{kg}]}{\text{발열량}[\text{kcal}/\text{kg}] \times (1 - \text{소내율})}$
 = $\frac{898.596 \times 434.188}{13042 \times (1 - 0.05)} = 31.49 [\text{원}]$

2.3 이용률에 따른 열병합 발전의 발전원가

열병합 발전의 이용률에 따른 발전원가는 다음과 같으며 표 2.2의 기존 발전원의 발전원가와 비교가 될 수 있도록 같은 이용률대에서의 값을 표기하였다.

표 2.4 열병합 발전의 발전원가

| | 이용률 | 0.12 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
|---------|-----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CHP 225 | 고정비 | 97.5 | 39 | 23.4 | 16.71 | 14.63 | 13 | 11.7 |
| | 연료비 | 31.49 | 31.49 | 31.49 | 31.49 | 31.49 | 31.49 | 31.49 |
| | 계 | 128.99 | 70.49 | 54.89 | 48.2 | 46.12 | 44.49 | 43.19 |

2.4 발전원가를 이용한 발전원별 경제성 비교

각 발전원별 발전원가는 이용률에 따라 달라짐을 표 2.2와 표 2.4에서 알 수 있다. 이렇게 되면 발전원별 정확한 경제성 비교를 하기가 어려우므로 발전원가를 이용한 이용률에 따른 발전원별 단위용량의 연간비용의 그래프로써 각 발전원별 경제성의 우위를 정확하게 나타내었다. 그 결과는 아래와 같다.

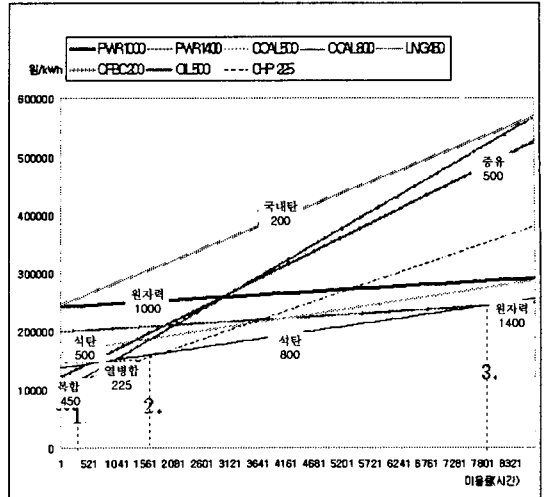


그림 2.1 이용률에 따른 발전원별 단위용량의 연간비용

위의 그래프 결과로 보면 이용률 0에서 1번 교점까지의 운전패턴에서는 복합450이, 1번에서 2번 교점까지는 열병합225가, 2번에서 3번 교점까지는 석탄800이, 3번 교점에서 이용률 1까지의 원자력1400의 경제성이 가장 우위에 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 발전원가를 사용하여 이용률에 따른 각 발전원별 경제성을 비교하였다. 그런데 다른 발전원과는 다르게 열병합 발전은 전기와 증기를 동시에 생산하는 발전방식이기 때문에 두 가지 생산물을 모두 고려한 발전원가의 산정이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 열병합 발전의 열용량을 전기의 단위로 환산한 등가전기용량을 구하고 이를 이용하여 열병합 발전의 발전원가를 도출하였다. 여기서 발전원가는 이용률에 따라 그 값이 변동하게 되므로 이용률에 따른 발전원별 단위용량의 연간비용의 그래프로 각 발전원별 경제성의 우위를 판단하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다

① 그림 1의 결과로 보면 이용률0(0시간)에서 1번 교점(269시간)의 이용률로 발전할 때에는 복합450의 연간비용이 가장 낮고, 1번 교점(269시간)에서 2번 교점(1945시간)의 이용률로 발전할 때에는 열병합225의 연간비용이 가장 낮다. 또한 2번 교점(1945시간)에서 3번 교점(7698시간)의 이용률로 발전할 때에는 석탄800의 연간비용이 가장 낮고, 3번 교점(7698시간)에서 이용률1(8760시간)의 이용률로 발전할 때에는 원자력 1400의 연간비용이 가장 낮음을 알 수 있다.

② 각각의 이용률에서는 연간비용이 가장 낮은 발전기를 가동하는 것이 경제성 면에서 가장 우수한 구성이다.

③ ①에 언급된 발전원 외의 발전원은 발전원가를 이용한 경제성만으로 평가한다면 운전의 당위성이 없다고 볼 수 있다.

④ 열병합의 발전원가를 산출해 본 결과 경제성이 있음을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국지역난방공사, "인천 송도신도시 집단에너지공급 사업 계획서", 2003. 05
 [2] 한국전력공사, "투자사업을 위한 경제성 평가", 1994. 09