

전력수급기본계획에 열병합발전 설비의 적정 구성비를 결정

김용하*, 손학식**, 임용재**, 나인규***, 이성준*, 김미예*, 우성민*
 인천대학교*, 에너지관리공단**, 인천도시철도건설본부***

Development of New Method for the Proper Component Ratio of Combined Heat and Power in Long Term Generation Expansion Planning

Yong-ha Kim*, Hak-sik Son**, Yong-jae Im**, In-kyu Na***, Sung-jun Lee*, Mi-ye Kim*, Sung-min Woo*
 Incheon Univ.*, Kemco**, S.C.H***

Abstract - This paper presents a optimal power flow calculation algorithm considering voltage and transient stability. In this method, voltage stability margin and transient stability constraints is incorporated into a optimal power flow calculation formulation to guarantee adequate voltage and transient security levels in power system. The proposed method is applied to IEEE-24 Reliability Test System and the results shows the effectiveness of the method.

1. 서 론

현재 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 심화, 기후변화협약 등 국내·외 환경요인에 대한 규제가 점차 강화됨에 따라 신재생에너지의 이용확대와 에너지절약의 필요성이 강하게 대두되고 있다. 이러한 상황에서 열병합발전은 에너지 효율 향상과 온실효과 저감 측면에서 그 대안으로 관심이 증대되고 있다.

이러한 요구에 발맞추어 국가적으로 에너지 사용의 큰 비율을 차지하고 있는 전력분야의 대응이 절실하며 이에 큰 영향을 가질 수 있는 것이 전력수급기본계획에의 반영이다.

현재 제2차 전력수급기본계획의 전원구성의 중별은 원자력, 석탄, LNG, 석유, 수력, 대체/집단으로 이루어져 있고 경제적인 전원구성비율을 개략적으로 산정하는 방법으로는 계획발전원가를 이용한 심사곡선법(Screening Curve Method)이 사용되고 있다.

이에 본 논문에서는 에너지 효율과 환경적인 면에서 대안이 될 수 있는 열병합발전의 경제적 타당성을 제고하기 위해서 전력수급기본계획에 하나의 독립 전원종별로 고려하여 최적전원 구성을 제안하였다.

2. 본 론

2.1 심사곡선법

후보전원의 이용률별 발전원가(원/kWh)를 이용하여 적정 운전범위를 작성하고, 이를 이용하여 적정 전원구성을 모색하는 방법으로서 심사곡선법(Screening Curve Method)이라고 한다. 이것은 특정연도의 최대부하와 부하지속곡선(LDC, Load Duration Curve)을 대상으로 하여 각 전원별 연간 발전비용을 최소화하도록 하는 설비 구성을 결정하는 방법이다.

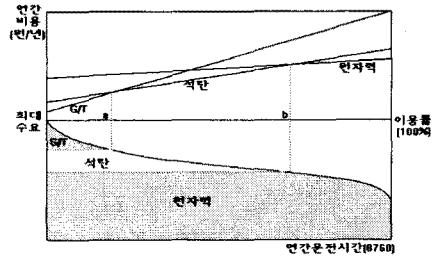


그림 1 심사곡선법의 적용

- ① 후보전원의 연간 발전비용을 이용률별로 도시하면 그림에서처럼 경제성 분기점이 a,b 지점에서 발생한다.
 - ② a,b 지점을 LDC상으로 끌어내리면 그림과 같이 각 전원별 구성비율이 결정된다.
- 심사곡선법은 특정 연도의 발전설비 구성비율이 어느 정도로 되는 것이 연간 비용측면에서 경제적인가에 대한 개략적인 정보를 제공한다.

2.2 심사곡선법 적용을 위한 연도별 부하의 도출

열병합발전은 전기만을 생산하는 다른 발전원과는 달리 전기와 열을 동시에 생산하는 발전설비이다. 그러므로 열병합발전용 심사곡선법에 적용하기 위해서는 전기와 열 두가지를 모두 고려한 부하지속곡선이 필요하다.

전기부하 및 열부하의 예측은 전기부하와 열부하에 대하여 각각 최대부하와 연간에너지를 입력함으로 시간별 연간 전기부하변동곡선 및 열부하변동곡선을 도출하고 열부하변동곡선의 단위는 [Cal]에서 [W]로 변환하고 열부하를 전기요금과 열요금의 단가에 따라 Scale Factor를 적용하였으며 이와 같이 구해진 전기부하변동곡선과 열부하변동곡선을 더하여 전기와 열의 합성부하지속곡선을 [MW]단위로 도출하였다.

- (1) 전기부하 및 열부하의 표준부하 생성
- (2) 전력수급기본계획에 근거하여 전기부하에 대한 Target Year의 최대부하[MW]와 사용에너지량[GWh] 입력
- (3) 2003년 집단에너지사업 운영실적 및 효과분석에 근거하여 열부하에 대한 Target Year의 최대부하[Gcal/h]와 사용에너지량[천Gcal] 입력
- (4) Target Year의 연간 시간별 전기부하변동곡선 [MW] 및 열부하변동곡선출력[Gcal/h]
- (5) 전기단가 및 열단가에 따른 열부하의 전기부하로의 단위환산 및 Scale 조정
- (6) 합성부하변동곡선 및 합성부하지속곡선 계산

위의 절차를 바탕으로 합성부하지속곡선이 다음과 같이 도출된다.

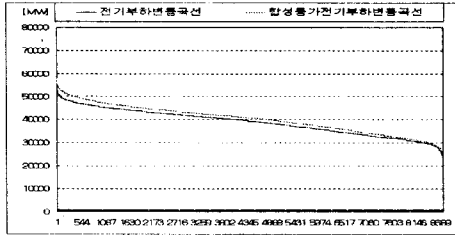


그림 2 2006년도의 시간별 합성부하지속곡선

2.3 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 전력을 생산하는데 필요한 비용을 의미한다.

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

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

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

여기서, 고정비율 = 자본회수계수 + 등가법인세율 + 운전유지비율

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

2.3.1 기존 발전원별 발전원가

1차 전력수급기본계획의 자료를 이용하여 열병합을 제외한 기존 발전원의 발전원가를 구하면 다음과 같다.

표 1 기존 발전원의 발전원가

구분	원자력		석탄		국내탄	석유	복합	양수
	1000	1400	500	800	200	500	450	300
수정고정비	27.66	22.60	18.65	15.67	27.95	13.83	11.01	9.09
변동비	4.38	4.49	14.06	13.58	36.94	46.08	53.70	..

2.3.2 열병합발전의 발전원가

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.

표 2 열병합 발전의 발전원가 계산자료

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	
운전유지비	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)

(1)용량 산정

전기판매단가	75[원/kWh]
증기판매단가	52[Mcal/원]
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 변환된 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]×(48/75)
=85.8[MWh]

∴ 등가전기용량=98[MW]

- ③ 열병합 발전의 용량
=전기용량+등가전기용량=212.8[MW]

(2)고정비

- ① 총건설단가 = 총건설비용[천원]/CHP의 용량[kW]
= 122645000/212800 = 576[천원/kW]
- ② 고정비율 = (고정비 / 총건설비용) × 100
= (21893.18/122645) × 100 = 17.85[%]
- ③ 소내율 = 5[%]

$$\therefore \text{고정비} = \frac{\text{건설단가 [원/MW]} \times \text{고정비율 [\%]}}{8760[\text{시간}] \times \text{이용률} \times (1 - \text{소내율})} = \frac{576000 \times 0.1785}{8760 \times \text{이용률} \times (1 - 0.05)} = \frac{12.36}{\text{이용률}} [\text{원}]$$

(3)변동비

① 열소비율

CHP의 발전형태는 근본적으로 C/C의 발전형태와 동일하다. 그러므로 CHP의 열소비율은 1차 전력수급기본계획의 LNG450의 자료를 이용하여 도출하도록 하였다. LNG 450의 열소비율 1592[kcal/kWh]이며 열병합발전소의 용량 212.8MW (전기용량 127MW, 열용량 85.8MW) 중에서 실제로 전기를 생산하는 부분만이 연료를 소비하므로 열병합의 총 열소비량은 전기용량만을 고려하여 1592[kcal/kWh] × 127000[kWh] = 202184000[kcal]로 계산하였다.

∴ 열소비율

$$= \frac{\text{총열소비량}}{\text{전기용량} + \text{열용량}} = \frac{202184000}{212800} = 950.1 [\text{kcal/kWh}]$$

② 연료비단가
1차 전력수급기본계획 LNG450의 연료비단가인 434.188[원/kg, ℓ]

③ 발열량
1차 전력수급기본계획 LNG450의 발열량인 13042[kcal/kg, ℓ]

$$\begin{aligned} \therefore \text{변동비} &= \frac{\text{연소비율}[\text{kcal/kWh}] \times \text{연료비단가}[\text{원/kg}]}{\text{발열량}[\text{kcal/kg}] \times (1 - \text{소내율})} \\ &= \frac{950.1 \times 434.188}{13042 \times (1 - 0.05)} = 33.3[\text{원}] \end{aligned}$$

(4) 발전원가

- ① 고정비 : 12.36/이용률[원]
- ② 변동비 : 33.3[원]

2.4 심사곡선법의 적용

2.4.1 열병합발전을 고려한 심사곡선법의 적용

전력수급기본계획의 전원구성비가 결정되는 데는 여러 가지 요인이 반영되어 있으므로 여러 가지 주변 영향에 의해서 결정된 2차 전력수급기본계획의 결과를 전진적으로 재조정하는 것은 실현가능성이 결여되어 의미가 없게 된다. 그러므로 본 연구에서는 2차 전력수급기본계획에서 결정된 결과를 최대한으로 수정하지 않는 범위 내에서 결과를 도출하였다. 즉, 2차 전력수급기본계획에서 결정된 석탄화력, LNG복합, 그리고 열병합발전의 총합계 용량은 변화하지 않는 범위 내에서 우선순위범상 발전기 투입의 경제성을 고려할 때 열병합발전의 경쟁이 되는 석탄화력과 LNG복합, 그리고 열병합발전의 적정비율을 결정하도록 하였다. 여기서 전력수급기본계획에 반영되는 열병합발전의 용량은 전기용량이므로 전기부하와 열부하를 모두 고려한 열병합발전의 용량을 결정하고 여기에서 전기부하만의 용량을 분리하여 전력수급기본계획에 반영하는 방법을 개발하였다.

그 과정은 다음 절차에 따르며 이는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

(1) 심사곡선법은 부하지속곡선을 사용하므로 전원종별의 총합이 최대부하를 만족시켜야 하므로 사고율, 보수율을 고려하여 예비력을 제외한다.

(2) 그림 2.3에서와 같이 석탄화력과 열병합발전의 교점에서 전기부하지속곡선에 대응하는 교점을 구하고, 석탄화력과 LNG복합화력의 교점에서 합성동자전기부하곡선에 대응하는 교점을 구하여 그 차이를 전기용량과 열용량이 모두 포함된 열병합발전의 용량으로 결정.

(3) (2)에서 구해진 전기용량과 열용량이 모두 포함된 열병합발전의 용량을 전기용량과 열용량으로 분리하여 이중 전기용량을 전력수급기본계획에 반영되어야 하는 열병합발전의 용량으로 결정

(4) 2차전력수급기본계획에서 결정된 석탄화력, 열병합발전, LNG복합화력의 합계용량 중 (3)에서 구해진 열병합발전의 용량을 제외한 나머지의 용량을 2차전력수급기본계획에서 결정된 석탄화력과 LNG복합화력의 비율로 분리하여 석탄화력과 LNG복합화력의 용량을 결정

(5) 전력수급기본계획에 포함된 사고율과 보수율을 고려하기 위하여 전력수급기본계획상의 실용량으로 변환시키기 위한 Factor를 적용하여 이를 전력수급기본계획상에 반영하여야 하는 최종적인 석탄화력, 열병합발전, LNG복합화력의 최종용량으로 결정

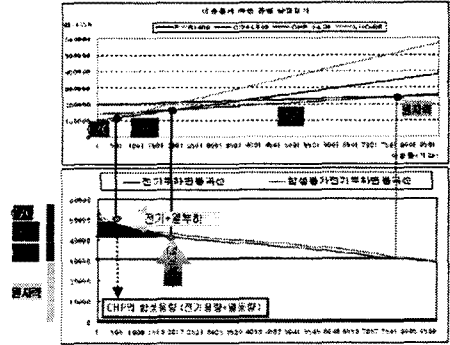


그림 3 심사곡선법에 의한 열병합발전의 용량 결정

2.4.2 적용결과

위의 과정은 2차 전력수급기본계획의 적용년도인 2006년~2017년까지 적용한 결과는 다음과 같다.

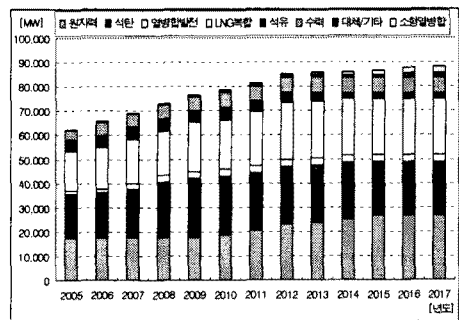


그림 4 본 과업에 의한 에너지 전원구성전망

3. 결 론

본 연구에서는 열병합 발전의 계획 발전원가를 산정하고 기존 발전원으로 이루어진 심사곡선법 상에 열병합 발전을 추가하여 경제적 측면이 고려된 전력수급기본계획의 최적 전원구성을 얻었다. 여기에 계획상의 정책적 측면이 고려된 요소를 고려하여 실제의 전력수급기본계획에 조금 더 근접할 수 있도록 하는 발전원별 전원구성을 하였다. 또한 열병합발전의 계획발전원가에 영향을 끼치는 요소들에 대한 감도분석을 수행함으로써 각 요소들의 변화에 따라 전원구성에 열병합발전의 투입량이 어떻게 달라지는 지 고찰하였다. 그 결과 연도별로 본 연구에서 제안한 방법의 전원구성상 전력수급기본계획상의 전원구성을 비교해 보면 복합화력과 석탄은 줄어들고 열병합은 늘어나는 결과가 나타난다. 이는 전원구성시 열병합 발전의 반영비율을 늘리는 방향으로 가는 것이 경제적 측면에서 유리함을 나타낸다고 볼 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 노동석, "전력수급계획의 에너지원별 적정비중 검토", 에너지경제연구원, 2004
- [2] 김동우외, 2000, "에너지원별 냉난방방식에 따른 부하 특성 및 경제성 조사연구" 에너지관리공단, p.3-92.
- [3] 김남일, "전력산업에 대한 규제 및 경쟁 정책의 방향", 에너지경제연구원, 2004
- [4] 김창수, "전력분야 경쟁도입에 따른 열병합 발전소 지원정책 고찰", 전기연구원, 2003
- [5] 심상렬, "에너지산업 구조개편에 따른 열병합 발전의 경제성 평가", 에너지경제연구원, 2002