

## 전력수급기본계획에 열병합발전 설비 반영시의 효과분석에 관한 연구

김용하<sup>†</sup> · 문정호\* · 연준희\* · 정현성\*\* · 우성민 · 김미에

인천대학교, \*인천공항공사, \*\*한국전력공사

(2006년 7월 10일 접수, 2007년 2월 5일 채택)

### The Analysis of Effect in Order to Consider Combined Heat and Power Capacity in the Basic Plan of Long Term Electricity Supply & Demand

Yong-Ha Kim<sup>†</sup>, Jung-Ho Moon\*, Jun-Hee Yeon\*, Hyun-Sung Jung\*\*,  
Sung-Min Woo and Mi-Ye Kim

University of Incheon

\*Incheon Airport Corp.

\*\*Korea Electric Power Corp.

(Received 10 July 2006, Accepted 5 February 2007)

#### 요 약

본 논문에서는 전력수급기본계획에 열병합발전설비의 최적용량을 반영할 수 있는 방법론을 개발하였으며 이에 따른 효과를 분석하였다. 이를 위해 열병합발전의 계획발전원가를 새로이 산정하여 심사곡선법(Screening Curve Method : SCM)을 이용한 정태적 최적 전원을 구성하였다. 이때, 열병합발전은 전기와 열을 생산하는 것이 가장 중요한 특징이므로 이를 고려할 수 있도록 열병합발전의 전기용량과 열용량을 모두 고려할 수 있는 계획발전원가를 도출하였다. 또한, 심사곡선법을 적용시키기 위한 부하지속곡선의 경우도 열병합발전의 특징을 고려하여 전기 및 열 부하지속곡선을 구성하여 적용하였다. 이때, 현재 수립된 전력수급기본계획을 최대한 수정하지 않는 범위 내에서 열병합발전설비를 반영하도록 하였다. 열병합발전 건설계획을 반영한 계획안의 타당성을 증명하기위해서 열병합발전 건설계획을 반영한 계획안과 전력수급기본계획을 비교 하였다. 즉, 발전량 기대치를 산출하여 발전원별 연료소비량 및 환경에 미치는 영향을 도출함으로써 열병합발전의 반영에 대한 효율성을 입증하였다.

**주요어** : 열병합발전, 심사곡선법, 전력수급기본계획, CO<sub>2</sub>

**Abstract**— This paper addresses methodology in order to consider CHP (Combined Heat and Power) capacity in the Basic Plan of Long Term Electricity Supply & Demand and presents effects on it. The method performs state in extent that do not change maximum in the Basic Plan of Long Term Electricity Supply & Demand. For analysis that occurs some advantage this method compares with Basic Plan of Long Term Electricity Supply & Demand. It includes EES (Expected Energy Served), Fuel consumption, amount of CO<sub>2</sub> emission reduction.

**Key words** : Combined heat and power, Screening curve method, The basic plan of long term electricity supply & demand

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

University of Incheon

Tel: 032-770-8434

E-mail: yhkim@incheon.ac.kr

### 1. 서 론

경제성장과 더불어 산업 및 사회활동의 고도화로 인하여 전력수요는 급격히 증가하고 있으나, 우리나라는 에너지원의 수입의존도가 97%에 달하고, 석유의존도가 40% 이상을 점하고 있는 실정임을 고려한다면 장기적인 전력수급의 안정성 확보를 위해서는 발전설비의 확충 및 효율향상이 절실히 필요하다. 더구나, 에너지 자원의 고갈과 지구환경 제약문제의 대두, 교토 의정서 채택과 함께 순 배출량 방식 및 배출권 거래제도를 허용하는 안이 통과됨으로써 온난화가스의 배출사감 압력이 상당히 가중될 것으로 전망된다. 이와 같은 여러 문제가 부각되고 있는 시점에서 열병합 발전시스템의 도입은 에너지절약 및 지구환경 개선 등의 측면에서 현실적인 대안으로 인식되고 있다.<sup>[1]</sup> 열병합발전은 전기부하와 열부하의 조건에 따라 경제성이 결정되고 산정된 경제성에 의해 보급 확대가 결정되는 것이 원칙론적 방법이며, 현재 열병합발전의 확대를 위한 정부의 다양한 정책이 수립되고 있다. 현재 전력수급기본계획은 경제성 평가를 기본으로 하여 일정수준의 계통신뢰도등과 같은 계통운용상의 제약조건을 만족시키면서 최소의 설비투자계획을 수립하고 있으며 수많은 정책적 측면과 불확실적 요소를 고려하여 WASP 프로그램을 활용하고 있다. 전력수급기본계획의 수립 결과에는 전원종별의 구분에서 집단체제로 구분되어 열병합발전이 하나의 특성을 가진 전원종별로 구분되어 있지는 않다. 그러므로 본 논문에서는 전력수급기본계획에 열병합발전의 비율이 어느 정도까지 반영이 가능한지를 산정하는 방법론을 개발하였으며 이에 대한 효과를 평가해 보았다. 본 연구의 목적은 전력수급계획을 직접 수립하는 것은 아니며 수립된 전력수급기본계획에서 결정된 전원구성비를 최대한 유지하면서 열병합발전을 어느 정도 계통에 투입하는 것이 합리적인지를 결정하기 위한 방법론을 개발하는데 두었다. 즉, 이미 수립되어있는 전력수급기본계획을 최대한 변경하지 않는 범위 내에서 열병합발전과 전원우선투입법상 경쟁이 되는 것으로 산정된 석탄화력과 LNG복합화력의 전원구성비를 열병합발전을 고려하여 재구성할 수 있는 간략적인 방법을 제안하였다. 그러므로 발전원의 특성이 Dispatchable 한지 Nondispatchable 한지는 고려하지 않는 것으로 하였다. 또한, 전력수급기본계획과 본 연구에서 제시하는 열병합발전의 전원구성의 결과에는 차이가 존재하므로 본연구의 결과를 실제적으로 반영할 수 있는 건설계획안을 도출하였다. 이때 열병합발전 건설계획안이 반영됨으로써 어떠한 이점이 발생하는가를 분석하기위해 본 연구의 결과와 전력수급기본계획을 비교하였다. 즉, 발전량 기대치를 산

정하여 이로서 발전원별 연료소비량 및 환경에 미치는 효과를 분석하였다.

### 2. 전력수급기본계획에 열병합발전용량 반영방법론의 개발

#### 2-1. 심사곡선법

후보전원의 이용률별 발전원가[원/kWh]를 이용하여 적정 운전범위를 작성하고, 이를 이용하여 적정 전원구성을 모색하는 간략한 방법으로 심사곡선법(Screening Curve Method; SCM)이 이용되고 있다. 이는 특정연도의 최대부하와 부하지속곡선(Load Duration Curve; LDC)을 이용하여 일정기간의 전력공급비용을 최소화하는 전원별 구성비를 결정하는 방법이다. 먼저, 후보전원의 연간 발전비용을 이용률별로 도시하면 Fig. 1과 같이 경제성 분기점이 a, b 지점에서 발생한다. 이때 a, b 지점을 LDC상으로 사상시키면 각 전원별 구성비율을 결정한다<sup>[2]</sup>.

#### 2-2. 열병합발전용량 반영 방법론

열병합발전의 특성을 고려하여 열병합발전의 계획발전원가를 산정하고 열병합발전의 전기부하와 열 부하를 모두 고려한 합성부하곡선을 도출하는 방법론을 개발하였으며 이에 심사곡선법을 적용하여 열병합발전의 구성비를 산정하였다.

##### 2-1-1. 계획발전원가

각 발전원의 경제성을 고려하여 우선투입순위와 투입용량을 정하게 되는 심사곡선법에는 식 (1)과 같은 계획발전원가가 적용되며 계획발전원가에서 발전기의 경제성을 결정하는 요소로는, 건설비, 운전유지비, 연료비 등이 있다<sup>[2]</sup>.

$$\text{계획발전원가[원/kWh]} = \text{고정비[원/kWh]} + \text{변동비[원/kWh]} \tag{1}$$

단, 고정비[원/kWh]

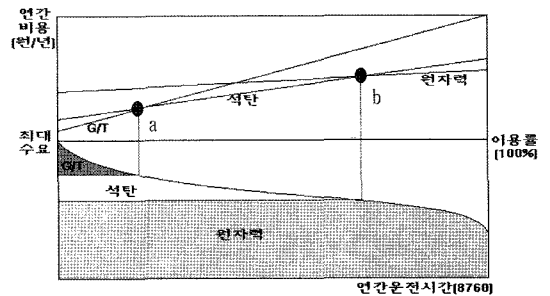


Fig. 1. Screening curve method.

Table 1. Generating cost by fuel type.

구분	원자력		석탄		국내탄	석유	복합	양수
	1000	1400	500	800	200	500	450	300
고정비/이용률	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	-

$$= \frac{\text{총 건설단가[원/kW]} \times \text{고정비율(\%)}}{8760[\text{시간}] \times \text{이용률} \times (1 - \text{소내전력율})}$$

$$\text{변동비[원/kWh]} = \frac{\text{열소비율[kcal/kW]} \times \text{연료비단가[원/kg, l]}}{\text{발열량[kcal/kg, l]} \times (1 - \text{소내전력율})}$$

$$\text{고정비율(\%)} = \text{자본회수계수} + \text{등가법인세율} + \text{운전유지비율}$$

(1) 기존 발전원별 계획발전원가

기존발전원의 계획발전원가는 제2차 전력수급기본계획의 자료가 공개되지 않은 관계로 2002년도 수립된 제1차 전력수급기본계획에 근거하여 Table 1로 하였다.<sup>[3]</sup>

(2) 열병합발전의 계획발전원가

열병합발전의 계획발전원가도 고정비와 변동비의 합으로 계산되며, 전기와 열을 동시에 생산하는 것이 열병합발전의 가장 중요한 특징이다. 따라서 전기용량과 열용량 모두를 고려한 계획발전원가를 산정하여야 열병합발전의 특성을 반영할 수 있기 때문에 열용량을 전기용량으로 환산하였다. 그러나 열과 전기는 에너지로써의 효용가치가 다르기 때문에 PURPA 규정에 따라 전기와 열 판매단가의 비율을 반영하여 열용량을 전기용량으로 환산한 등가전기용량을 식 (2)와 같이 산정하였으며 식 (3)과 같이 전기용량과 등가전기용량의 합을 열병합발전 합성용량이라 하였다. 이에 따라 식 (4) 및 식 (5)와 같이 열병합발전의 합성용량을 사용한 총 건설단가 및 열소비율을 계산하여 식 (1)과 같이 열병합발전의 계획발전원가를 산정하였다.

$$\text{등가전기용량[kW]} = \text{열용량[kcal/h]} \times \frac{1[\text{kW}]}{860[\text{kcal/h}]} \times \frac{\text{열 단가[원/kcal]} \times 860[\text{kcal}]}{1[\text{kWh}]} \times \frac{1[\text{kWh}]}{\text{전기단가[원/kWh]}} \quad (2)$$

$$\text{열병합발전 합성용량[kW]} = \text{전기용량[kW]} + \text{등가전기용량[kW]} \quad (3)$$

$$\text{총 건설단가[천원/kW]} = \frac{\text{총건설비용[천원]}}{\text{열병합발전 합성용량[kW]}} \quad (4)$$

$$\text{열소비율[kcal/kW]} = \frac{\text{열소비량[kcal]}}{\text{열병합발전 합성용량[kW]}} \quad (5)$$

2-1-2. 합성부하지속곡선

전기부하는 하계에 첨두부하가 나타나고 열부하는 동고하저의 특성을 가지므로 열부하를 전기부하로 환산하여 합성부하지속곡선으로 표현하는 방법은 부하의 연대기적 특성을 정확히 반영시킬 수는 없는 단점이 발생하나 본 연구는 장기간의 계획문제를 개략적으로 산정하는 문제이므로 합성부하지속곡선은 다음과 같은 과정을 거쳐 구하여 이용하는 것으로 하였다.

단계 1 : 과거년도 실적부하를 근거로 하여 전기부하 변동곡선 및 열부하변동곡선의 표준형태를 도출한다.

단계 2 : 1차전력수급기본계획과 집단에너지사업 운영실적 및 효과분석<sup>[6]</sup>을 근거로 하여 미래년도의 예측된 최대부하와 연간에너지를 입력으로 하여 시간별 연간 전기부하변동곡선 및 열 부하변동곡선을 도출한다. 이때 한국전력공사에서 사용하고 있는 ADL 패키지<sup>1)</sup>를 사용하였다.

단계 3 : 열 부하변동곡선의 단위를 [cal]에서 [W]로 변환하기 위해서 식 (6)의 전기 및 열 단가로 Scale을 조정한다.

$$\text{열 부하에서 전기부하로의 단위환산법} \\ \times \frac{1[\text{kWh}]}{860[\text{kcal}]} \times \frac{\text{열 판매단가[원/kcal]}}{\text{전기판매단가[원/kWh]}} \quad (6)$$

단계 4 : 전기부하변동곡선과 열 부하변동곡선을 더하여 합성부하변동곡선을 산정하고 합성부하지속곡선을 도출한다.<sup>[4][5]</sup>

2-1-3. 열병합발전 용량산정

열병합발전의 용량은 Fig. 2에서 석탄화력과 열병합발전의 교점인 A에서 전기부하지속곡선에 사상하여 B를 구한다. 그리고 열병합발전과 LNG복합화력의 교점인 C에서 합성등가전기부하곡선에 사상하여 D를 구한다. 따라서 B점과 D점 사이의 크기가 열병합발전의 용량이며, 전기용량과 열용량이 모두 포함된 열병합발전의 용량이다.

<sup>1)</sup>ADL 패키지는 과거의 자료를 근거로 하여 예측된 최대부하와 연간에너지를 입력으로 하여 미래년도의 부하패턴을 도출하는 패키지임.

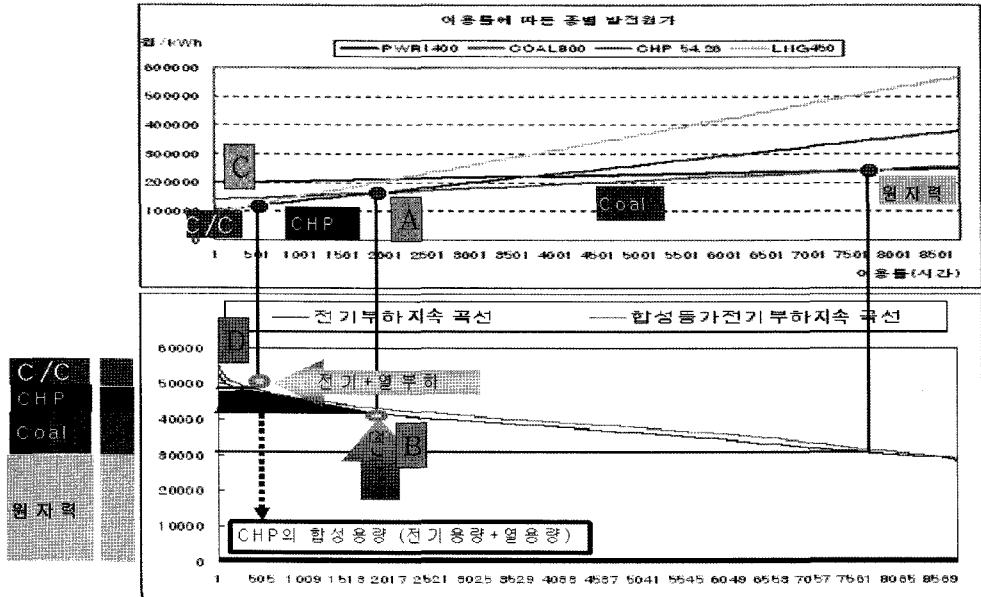


Fig. 2. CHP capacity determination by screening curve method.

2-3. 전력수급기본계획에 열병합발전 반영가능비율 산정

전력수급기본계획의 전원구성비는 발전기가 사고 날 확률과 발전기의 보수까지도 대비한 즉, 예비력까지 고려한 설비계획이므로 매년도의 전체발전설비용량의 합은 수요예측의 최대수요보다 커진다. 그러므로 결정론적인 심사곡선법에 적용하기 위해서 부하지속곡선 상에 발전기를 분담시키는 년도별 투입되는 발전기 용량의 합은 최대부하의 크기와 같아야 한다. 따라서 본 논문에서는 전력수급기본계획의 전원구성비에 사고율과 보수율을 고려하는 Factor를 곱하여 석탄화력, 열병합발전, 복합화력의 용량을 결정하고 여기에 사고율과 보수율을 역

으로 고려하는 Factor를 다시 곱한 값이 해당년도의 최대부하가 되도록 하는 과정을 수행하도록 하였다. 상기의 과정의 절차는 다음과 같으며, Fig. 3과 같다.

- ① 사고율, 보수율을 고려하여 예비력을 제외.
- ② 열병합발전 용량산정
- ③ ②에서 구해진 전기용량과 열용량이 모두 포함된 열병합발전의 용량을 전기용량과 열용량으로 분리하여 이중 전기용량을 전력수급기본계획에 반영되어야 하는 열병합발전의 용량으로 결정.
- ④ 전력수급기본계획에서 결정된 석탄화력, 열병합발전, LNG복합화력의 합계용량 중 ③에서 구해진 열병합발전의 용량을 제외한 나머지의 용량을 전력수급기본계획에서 결정된 석탄화력과 LNG복합화력의 비율로 분리하여 용량을 결정.
- ⑤ 전력수급기본계획에 포함된 사고율과 보수율을 고려하기 위하여 전력수급기본계획의 용량으로 변환시키기 위한 Factor를 적용하여 이를 전력수급기본계획에 반영하여야 하는 최종적인 석탄화력, 열병합발전, LNG복합화력의 최종용량으로 결정<sup>14)</sup>.

2-4. 전력수급기본계획에 열병합발전 반영가능비율의 실현가능성 검토

전력수급기본계획의 투입되어야 하는 열병합발전용량과 심사곡선법에 의해 산정된 열병합발전용량의 경우 초기년도의 반영되어야 하는 용량은 서로 다를 수 있다. 이러한 열병합발전의 구성비율이 최적의 구성과는 상이

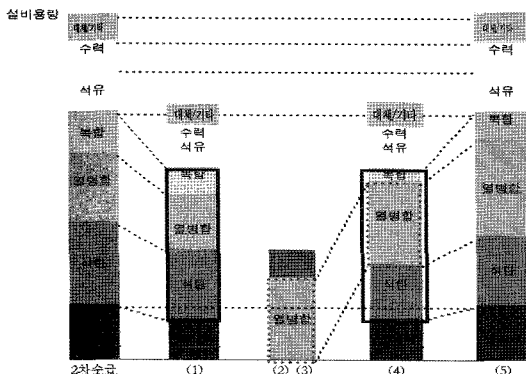


Fig. 3. Calculation procedure for CHP capacity determination.

한 점을 어떻게 반영하여 구성할 수 있는가의 문제는 여러 가지 방안이 있을 수 있다. 이는 최적의 열병합발전 구성비율을 결정하는 문제와는 근본적으로 다른 문제이다. 그러므로 현실적으로 존재하는 여러 가지 대안 중에서 실행 가능한 하나의 안을 도출하였다. 즉, 본 논문에서는 전력수급기본계획에 반영된 열병합발전의 비율이 어떤 사유에 의하여 결정되었던 간에 전력수급기본계획에서 결정된 전원 구성 비율의 수정을 최소화 하면서 전력수급기본계획의 결과를 바탕으로 열병합발전의 반영비율을 결정하도록 하였다. 이를 위하여 현재 건설예정인 열병합발전의 건설용량을 반영하여 건설계획안에 따른 실행가능안을 도출하였으며 계획되지 않는 부분에 대해서는 년간에 걸쳐 발전설비 투입량을 균등하게 분배하는 것으로 하였다<sup>[4]</sup>.

### 3. 전력수급기본계획에 열병합발전용량 반영 시 효과분석

#### 3-1. 발전시물레이션

본 논문에서는 Booth - Baleriaux 방법을 적용하여 발전시물레이션을 수행하였다. 발전시물레이션은 발전기별로 투입하는 것이 원칙이나, 열병합발전이 환경에 미치는 영향을 도출하기 위한 목적으로 발전시물레이션을 수행하였으므로 본 논문에서는 발전시물레이션을 수행할 때는 발전기별로 고려하지 않고 간략한 방법으로 전원종별로 발전기를 투입하였다. 발전기 투입순서는 계통의 운영상태에 따라 달라질 수 있으나 본 연구에서는 원자력, 석탄, 열병합, LNG복합, 석유, 수력, 대체기타의 순으로 하여 시물레이션을 수행하였으며 전원종별 발전시물레이션을 수행하기 위한 입력은 Table 2와 같다. 보다 정확한 해석을 위하여 추후 발전기 종별 투입순서가 다른 경우와 개별발전기별로 발전시물레이션을 수행하는 작업도 필요할 것으로 사료된다.

Booth - Baleriaux 방법은 부하를 보충누적확률분포함수로 모델링하고 발전기를 사고용량에 대한 분포함수로 모델링하여 이들 두 분포를 수치적으로 직접상승적분하여 계통의 등기부하지속곡선을 구하는 방법이다. 따라서 계통에 발전기가 우선순위법에 의해 투입된 경우 각 발전기의 발전량기대치를 산정할 수 있다. k번째 발전기의 발전량 기대치는 식 (7)과 같이 표현된다<sup>[6][7]</sup>.

$$EES_k = (1 - q_k) T \int_{U_{k-1}}^{U_k} L_{k-1}(X) dX \quad (7)$$

$$\text{단, } U_{k-1} = \sum_{i=1}^{k-1} C_i$$

L(X) : X에서의 LDC 값

EES<sub>k</sub> : 우선 순위법에 의한 k번째 발전기의 발전량기대치

T : 고려대상기간

C<sub>k</sub> : k번째 발전기의 용량

q<sub>k</sub> : k번째 발전기의 사고율

#### 3-2. 환경에 미치는 영향

##### 3-2-1. 년도별 연료소비량 전망

산출된 발전량을 근거로하여 년도별 연료소비량을 식 (8)와 같다. 이때 발전량은 1차 전력수급기본계획의 자료를 적용하였다. 또한, 전원종별로 발전시물레이션을 수행하였으므로 전원종별 Heat Rate를 평균한 값을 사용하여 연료소비량을 구하였다.

$$\begin{aligned} & \text{연료소비량 [천톤, 천t]} \\ & = \frac{\text{발전량 [GWh]} \times \text{Heat Rate [MBTU/kWh]}}{\text{발열량 [kcal/kg, t]}} \quad (8) \end{aligned}$$

단, Heat Rate : 석탄=8,538[MBTU/kWh]

석유=9,383[MBTU/kWh]

LNG=9,307[MBTU/kWh]

Table 2. MOR and EFOR.

구 분	보수일수(MOR)[일]	고장정지율(EFOR)[%]	보수 및 고장정지율의 종합 고려 Factor
	제1차 기본계획	제1차 기본계획	
수력	41	1.0	0.12233
중유	38	4.9	0.15311
복합	41	6.5	0.17733
지역냉난방열병합	41	6.5	0.17733
석탄	40	4.9	0.15859
원자력	44	4.9	0.16955
소형열병합	44	4.9	0.16955
대체에너지	44	4.9	0.16955

**Table 3. CO<sub>2</sub> by fuel type.**

구분	단위 발열량	IPCC 탄소 배출계수	연소율
중유	9,834[kcal/L]	21.1[kg-C/GJ]	0.99
유연탄	6,600[kcal/kg]	26.8[kg-C/GJ]	0.98
무연탄	4,500[kcal/kg]	26.8[kg-C/GJ]	0.98
천연가스	13,000[kcal/kg]	17.2[kg-C/GJ]	0.995
도시가스	11,000[kcal/N m <sup>3</sup> ]	15.3[kg-C/GJ]	0.995

3-2-2. 년도별 CO<sub>2</sub> 배출량 전망

산출된 연료소비량을 근거로 하여 년도별 CO<sub>2</sub> 배출량은 식 (9)와 같으며, 이와 관련된 값은 Table 3과 같다<sup>9)</sup>.

$$E = UH \times 4.1868 \times CEF \times a \times \left(\frac{44}{12}\right) \times b \quad (9)$$

단, E : 발생량[천t-CO<sub>2</sub>]

UH : 단위발열량[kcal/L, kcal/kg, kcal/m<sup>3</sup>]

4.1868 : 단위전환계수[kJ/kcal]

CEF : IPCC 탄소배출계수

a : 에너지(화석연료)사용량[L, kg, m<sup>3</sup>]

44/12 : CO<sub>2</sub> 분자량/C 분자량

b : 연소율

**Table 5. Generating cost of CHP.**

	고정비	변동비
열병합발전	12.36/이용률	33.3

4. 사례연구

4-1. 전력수급기본계획에 열병합발전용량 산정결과

4-1-1. 계획발전원가 산정결과

본 논문에서는 전력수급기본계획에 적용하기 위하여 열병합발전의 계획발전원가를 산정하였다. 석탄은 500[MW]과 800[MW], LNG복합은 450[MW] 등을 발전원별 표준모형을 전력수급기본계획의 수립에 사용하고 있다. 그러나 열병합발전기의 경우는 아직 용량에 대한 표준용량이 결정되어 있지 않은 실정이다. 현재 전기용량만을 고려한 경우 총 17기, 총 전기용량 2,655[MW]의 열병합발전이 투입되어 있다. 이의 평균전기용량은 156[MW]이며 실제의 평균용량에 가장 근접한 운용중인 지역냉난방열병합발전소의 전기용량은 127[MW]인 인천공항에너지 주식회사이다. 따라서 정확한 계획발전원가를 산정 하기위해 표준모형(127[MW])의 전기용량을 가진 인천공항에너지 주식회사의 열병합발전소의 실제자료를 이용하여 열병합발전소의 계획발전원가를 산정하였다.

Table 4의 자료로 2-1-1절의 절차에 의한 열병합발전

**Table 4. Data for leveled generating cost of CHP.**

구분	전기용량			열용량
	가스터빈	증기터빈	계	
용량	47[MW]×2	33[MW]×2	127[MW]	123[Gcal]
구분	항목	적용수치	근거	
고정비	총건설비	1,226[억원]	건설비용+건설이자	
	합성용량	212.8[MW]	전기용량 127[MW]+등가전기용량 85.8[MW]	
	총건설단가	576[천원/kW]	총건설비/열병합발전의 합성용량	
	고정비[원]	21,893[백만원]	자본회수비+운전유지비+법인세+제세 및 보험료	
	소내전력률	5[%]	평균적인 적용치	
변동비	열소비율	950.1[kcal/kWh]	단, 1차전력수급기본계획의 자료인 LNG복합의 열소비율 1592[kcal/kWh]을 이용하였다. 이때 열병합발전의 열소비량은 전기를 생산하는 부분만이 연료를 소비하므로 1592[kcal/kWh]×127[MW]=202[Gcal]에서 식 (5)를 적용	
	연료비단가	434.188[원/kg, /]	LNG450와 동일	
	발열량	13042[kcal/kg, /]	LNG450와 동일	
	소내전력률	5[%]	평균적인 적용치	
기타	전기판매단가	75[원/kWh]	한국전력공사	
	열 판매단가	52[Mcal/원]	한국지역난방공사	

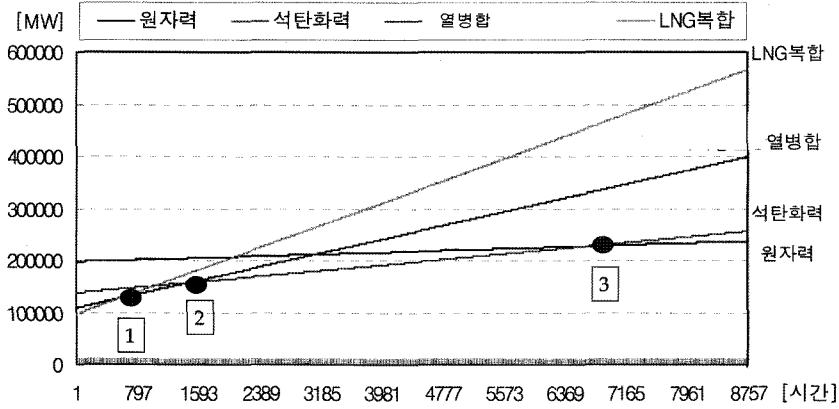


Fig. 4. Annual generating cost in order to consider CHP.

의 발전원가는 Table 5와 같이 계산되며 이를 통한 연간발전비용은 Fig. 4와 같다.

4-1-2. 합성부하지속곡선 산정결과

실적 전기부하변동곡선 및 열 부하변동곡선은 Fig. 5와 같다.

Fig. 5의 실적 부하변동곡선 및 열 부하변동곡선으로부터 2-1-2절의 과정을 통하여 년도별 합성부하지속곡선을 도출하면 Fig. 6과 같다.

4-1-3. 열병합발전 용량산정결과

Fig. 4와 Fig. 6의 계획발전원가와 합성부하지속곡선

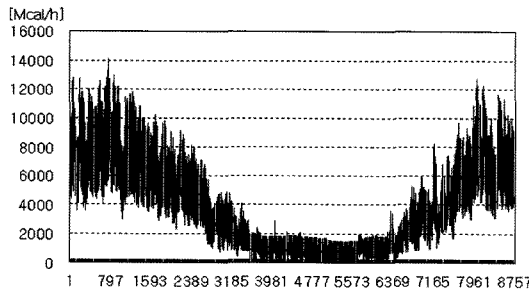
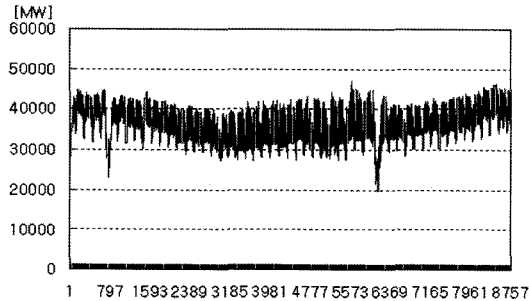
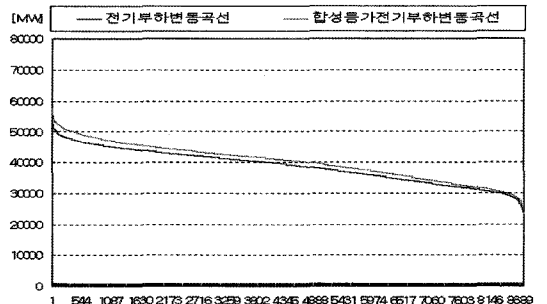


Fig. 5. Load variation curve of electricity and heat.

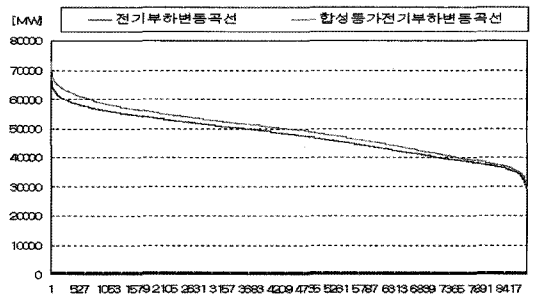
을 결과를 2-2절의 심사곡선법을 적용하여 열병합발전의 용량을 산정하고, 2-3절의 전력수급기본계획에 열병합발전용량을 반영가능 비율을 산정한 에너지 전원구성 전망은 Table 6과 같다.

4-1-4. 전력수급기본계획에 열병합발전용량을 반영위한 실현가능성 검토결과

심사곡선법을 적용하여 2017년까지의 본 논문에서의



(a) 2006년 합성부하지속곡선



(b) 2017년 합성부하지속곡선

Fig. 6. Mixed load duration curve.

Table 6. Generation capacity constitution outlook by fuel type considering CHP.

년도	원자력	석탄	열병합발전	LNG복합	석유	수력	대체/기타	계
2006	17,716	17,500	3,360	16,414	4,811	5,490	473	65,764
2007	17,716	19,223	3,540	17,863	4,913	5,490	540	69,285
2008	17,716	22,253	3,736	18,134	4,913	5,490	601	72,843
2009	17,716	23,653	3,936	20,034	4,913	5,490	934	76,676
2010	18,716	23,617	4,050	20,003	4,913	6,290	1,039	78,628
2011	20,716	23,073	4,202	21,895	4,028	6,290	1,181	81,385
2012	23,116	22,982	4,415	22,852	4,028	6,290	1,674	85,357
2013	23,837	22,845	4,442	22,837	3,628	6,290	1,939	85,818
2014	25,237	22,443	4,461	22,820	2,328	6,290	2,309	85,888
2015	26,637	21,437	4,492	22,295	2,328	6,290	2,859	86,338
2016	26,637	21,395	4,577	22,252	2,328	6,290	4,159	87,638
2017	26,637	21,377	4,614	22,233	2,328	6,290	4,559	88,038

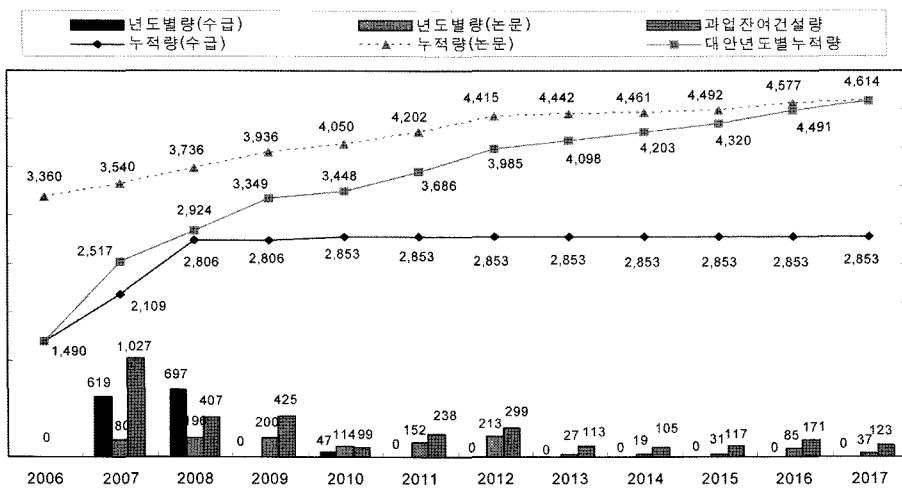


Fig. 7. The plan of long term CHP capacity expansion planning.

열병합 발전의 목표 반영량은 4,614[MW]이다. 전술한 바와 같이 전력수급기본계획의 2006년의 열병합발전용량 1,490[MW]를 기준으로 하게 되면 2006년도의 본 과업의 결과에 비하여 1,870[MW]의 열병합발전 용량이 부족하다. 본 과업의 결과에 따른 가장 바람직한 계획안은 2006년에 1,870[MW]의 열병합 발전을 신규 건설하는 것이지만 이것은 현실적으로 실현 가능성이 없기 때문에 타당한 계획안이 필요하다. 그러므로 현재 확정된 2007년의 부산정관, 인천논현, 화성지역, 파주지역에 건설예정인 1,207[MW]와 2008년에는 건설 확정된 송도신도시, 대전서남부, 오산세교의 261[MW]를 2009년에는 한국지역난방공사가 투입할 425[MW]를 같은 맥락으로 투입하는 것으로 하였다. 또한, 잔여량은 열병합발전의 건설가능연한을 5년으로 하여 2011년부터 균등분배하는 것으로 하였다.

#### 4-2. 전력수급기본계획에 열병합발전용량 산정시 효과분석 결과

##### 4-2-1. 발전량기대치 산정 결과

열병합발전설비의 발전량 기대치는 Fig. 8과 같다.

##### 4-2-2. 환경에 미치는 영향분석 결과

산정된 발전량 기대치를 3-2-1절의 과정으로 연료소

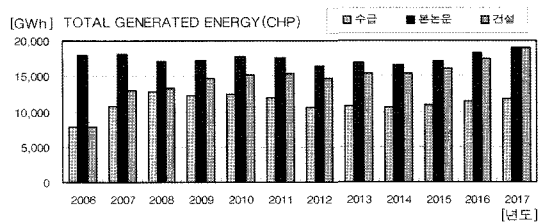


Fig. 8. Comparison of EES (CHP).



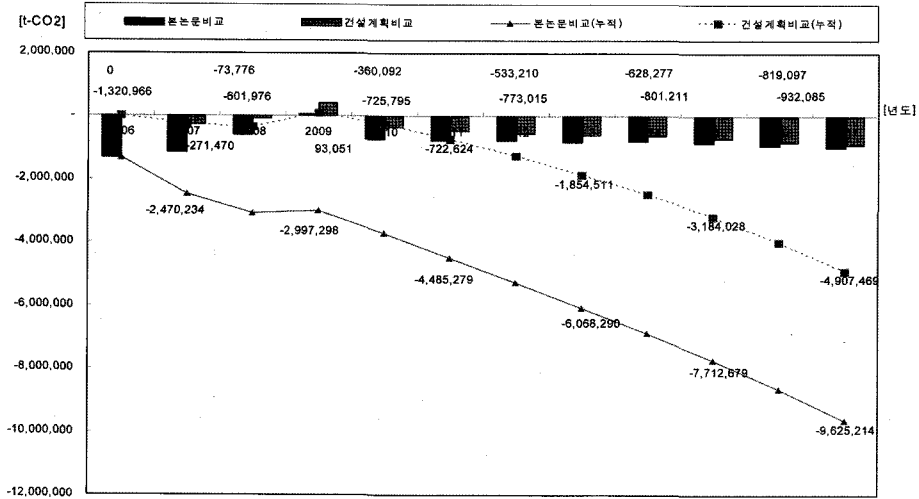


Fig. 9. Reduction of CO<sub>2</sub> emission outlook.

비량을 산출하였으며, 3-2-2절의 과정으로 배출량을 도출하였다. 전력수급기본계획과 본논문의 결과 그리고 전력수급기본계획과 건설계획안을 비교하여 저감량을 산정한 결과는 Fig. 9와 같다.

#### 4. 결 론

본 논문의 주요결과는 다음과 같다. (1) 전력수급기본계획에 열병합발전설비의 최적용량을 반영할 수 있는 방법론을 개발하였다. 즉, 열병합발전의 특성을 고려한 계획발전원가를 새로이 산정하였으며, 전기부하 및 열 부하를 고려한 합성부하지속곡선을 도출하는 방법론을 개발하였다. 이로서, 심사곡선법(Screening Curve Method)을 이용하여 열병합발전의 전력수급기본계획에 반영비율을 결정할 수 있는 새로운 방법론을 제시하였다.

(2) 본 연구에서 제안한 방법으로 열병합발전의 특성을 고려한 계획발전원가를 산정한 결과 실제로 경제성을 갖는 발전기는 원자력, 석탄화력, 열병합발전, LNG복합이었으며 이용률에 따라 이용률이 작은 부분까지는 LNG복합이 계획발전원가가 가장 낮으며 그 다음으로 지역난방열병합발전, 석탄화력 그리고 이용률이 가장 높은 부분에서는 원자력의 계획발전원가가 가장 낮게 계산되었다. 이는 이용률이 낮으면 상대적으로 고정비가 작고 변동비가 큰 전원이 경제적으로 우수하게 되며, 이용률이 높으면 고정비가 크고 변동비가 작은 전원이 경제적으로 우수함을 보여주는 결과이다. 실제적으로 계통의 운용시 열수요 및 열계약 등과 같은 요소로 인하여 본 연구의 결과와는 다른 순위로 급전순위가 결정되기

도 하며 이와 같은 상황을 보다 면밀하게 검토해볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

(3) 전력수급기본계획에 열병합발전을 반영할 수 있는 건설계획안을 적용함으로써 실현가능성을 높였다.

(4) 전력수급기본계획과 본 논문의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정결과, 전력수급기본계획과 건설계획안의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정결과를 분석하였을 때 열병합발전의 반영비율이 많은 안이 CO<sub>2</sub> 배출량이 감소하였다. 즉, 전력수급기본계획의 종료년도인 2017년도에는 누저량으로 본 논문의 결과의 경우에는 9,625,214[t-CO<sub>2</sub>], 건설계획안의 경우에는 4,907,469[t-CO<sub>2</sub>] 정도의 CO<sub>2</sub>가 저감되는 효과가 발생하게 된다.

따라서 근래 환경에 대한 관심이 증대되며 규제가 강화되고 있는 상황에서 이와 같이 열병합발전을 활용함으로써 얻어지는 결과는 전력수급기본계획에 열병합발전의 반영의 필요성이 충분한 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

“이 논문은 인천대학교 2006년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음”.

#### 참고문헌

1. “열병합발전기술세미나(환경분야)”, 한국열병합발전협회 (2005).
2. “투자사업을 위한 경제성평가”, 한국전력공사 (1994).
3. “제 1차 전력수급기본계획(안)”, 산업자원부 (2002).
4. “제 2차 전력수급기본계획(안)”, 산업자원부 (2004).
5. “집단지너지사업 운영실적 및 효과분석”, 에너지관리

- 공단 (2004).
6. Wang, X.; McDonald, J.R. Modern Power System Planning, McGraw Hill Book Company (1994).
  7. Billinton, R. 외. Power system Reliability Evaluation, Gordon and Breach, Science Publishers (1970).
  8. Oka, A.A. 외. "Demand not supplied, loss of load probability, and the joint loss of load probability reliability indices for industrial customers", IEEE, 2000, Oct., 602-607.
  9. 이홍석. "建築物 廢棄段階에서 에너지消費량과 이산화탄소 發生量에 관한 基礎 研究", 중앙대학교 (2001).
  10. Kaarsberg, T.M. "Combined heat and power: how much carbon and energy can manufacturers save?", IEEE, 1999, Jan., 7-12.
  11. 최병렬. "집단에너지 확대보급을 위한 에너지 및 환경정책 개선방안 연구", 에너지경제연구원 (2004).
  12. 김남일 외. "전력산업에 대한 규제 및 경쟁 정책의 방향", 에너지경제연구원 (2004).
  13. 박화춘 외. "구역형 집단에너지 도입 타당성 분석", 한국에너지기술연구원 (2004).