

열병합발전이 전력수급 및 환경에 미치는 영향에 관한 연구

김용하*, 나인규**, 김동근*, 우성민*, 김미예*, 임현성*, 손승기*
인천대학교*, 도시철도건설본부**

A Study on Effect Considering the Electricity Supply & Demand and Environment Using CHP

Yong-ha Kim*, In-Gyu Na**, Dong-geun Kim*, Sung-min Woo*, Mi-ye Kim*, Hyun-sung Lim*, Seung-kee Son*
Incheon Univ.*, S.C.H**

Abstract - This paper calculates co-generation generating capacity for the electric supply and demand. CHP is applied to SCM(Screening Curve Method) to calculate CHP generating capacity. On the other hand, small co-generation is applied to potential area conversing small co-generation generating capacity considering economic analysis and useful life. these methods executed project scheduled to construction plan. Accordingly, EES(Expected Energy Served), Fuel type consumption and CO2 effects is analyzed by Booth-Baleriaux and data

1. 서 론

장기적인 전력수급의 안정성 확보를 위해서는 발전설비의 확충 및 효율 향상과 더불어 에너지원의 다변화가 절실히 필요하다. 더구나, "교도 의정서" 채택과 함께 순 배출량 방식 및 배출권 거래제도를 허용하는 안이 통과됨으로써 앞으로 온난화가스의 배출사감 압력이 상당히 가증될 것으로 전망된다. 이와 같은 열병합 발전시스템의 도입은 에너지원의 다양화 및 지구환경 개선 등의 측면에서 현실적인 대안으로 인식되고 있다. 본 논문은 열병합 발전의 전력수급기본계획에 반영비율을 최대한 변경시키지 않는 범위내에서 용량을 산정하였다. 지역냉난방열병합발전은 정태적방법인 심사곡선법을 적용하여 전력수급기본계획에 반영하였으며, 소형열병합발전은 우리나라 소형열병합으로 전환가능한 잠재량을 경제성분석을 통해 경제성이 있는 건물 및 내용년수를 고려한 소형열병합발전을 전력수급기본계획에 반영하였다. 이때 전력수급기본계획과 열병합발전건설계획을 상호 비교하여 환경에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 열병합발전의 반영용량검토

2.1 지역냉난방열병합발전 반영용량

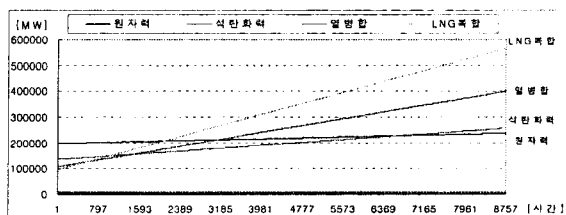
전력수급기본계획에 지역냉난방열병합발전의 가능 반영비율을 결정하는 데는 년도별 경제적 최적의 결과를 도출할 수 있는 심사곡선법을 적용하여 전원우선투입법상 경쟁이 되는 석탄화력과 LNG복합화력의 비율을 조정하여 지역냉난방열병합발전용량을 도출한다. 이때 심사곡선법의 적용을 위한 발전원가는연도별 발전원가를 현재의 가치로 평가한 발전원가인 계획발전원가를 적용하였다.

2.1.1 발전원가

1차전력수급기본계획에서 계획발전원가를 적용하였으며, 지역냉난방열병합발전의 경우 전기용량과 증기용량 고려한 계획발전원가를 산정하였으며 PURPA규정에 근거하였다.

$$\text{고정비(원/kWh)} = \frac{\text{충전설단가(원/kWh)} \times \text{고정비율(\%)}}{8760(\text{시간}) \times \text{이용률} \times (1 - \text{소내전력율})} \quad (1)$$

$$\text{변동비(원/kWh)} = \frac{\text{열소비율(kcal/kWh)} \times \text{연료비단가(원/kg, l)}}{\text{발전량(kcal/kg)} \times (1 - \text{소내전력율})} \quad (2)$$

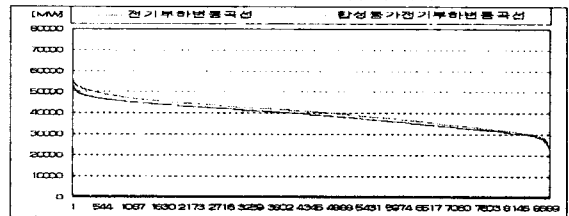


〈그림 1〉 심사곡선법적용을 위한 연간발전비중

2.1.2 부하지속곡선

- (1) 전기부하 및 열부하의 표준부하 생성
- (2) 전력수급기본계획에 근거하여 전기부하에 대한 Target Year의 최대부하와 사용에너지량 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 및 열부하변동곡선 도출
- (5) 전기단가, 열당가에 따른 열부하를 전기부하로 단위환산 및 Scale 조정

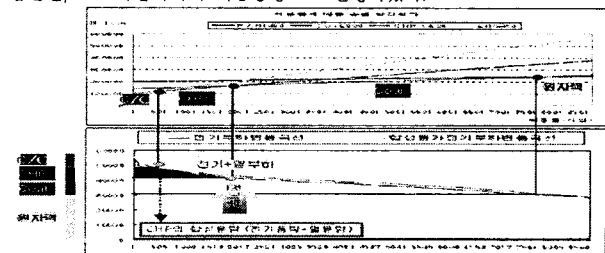
(6) 합성부하변동곡선 및 합성부하지속곡선 계산
위의 절차로 2006년의 합성부하지속곡선은 다음과 같다.



〈그림 2〉 2006년도 합성부하지속곡선

2.1.3 심사곡선법

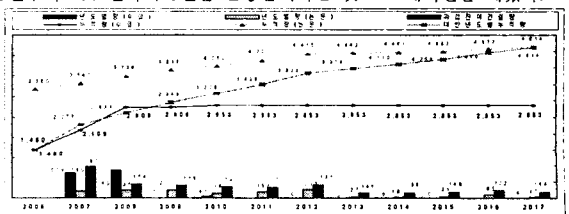
심사곡선법은 부하지속곡선을 사용하므로 전원종별의 총합이 최대부하를 만족시켜야 하므로 사고율, 보수율을 고려하여 예비력을 제외한다. 그림 3에서와 같이 석탄화력과 열병합발전의 교점에서 전기부하지속곡선에 대응하는 교점을 구하고, 석탄화력과 LNG복합화력의 교점에서 합성등가전기부하곡선에 대응하는 교점을 구하여 그 차이를 전기용량과 열용량이 모두 포함된 열병합발전의 용량으로 결정. 전기용량과 열용량이 모두 포함된 열병합발전의 용량을 전기용량과 열용량으로 분리하여 이중 전기용량을 전력수급기본계획에 반영되어야 하는 열병합발전의 용량으로 결정. 2차전력수급기본계획에서 결정된 석탄화력, 열병합발전, LNG복합화력의 합계용량 중 열병합발전의 용량을 제외한 나머지의 용량을 2차전력수급기본계획에서 결정된 석탄화력과 LNG복합화력의 비율로 분리하여 석탄화력과 LNG복합화력의 용량을 결정. 전력수급기본계획에 포함된 사고율과 보수율을 고려하기 위하여 전력수급기본계획상의 실용량으로 변환시키기 위한 Factor를 적용하여 이를 전력수급기본계획상에 반영하여야 하는 최종적인 석탄화력, 열병합발전, LNG복합화력의 최종용량으로 결정하였다.



〈그림 3〉 심사곡선법에 의한 지역냉난방열병합발전 용량선정

2.1.4 지역냉난방열병합발전의 실현가능성 검토

그림 3에서 2017년까지의 지역냉난방열병합발전의 목표 반영량인 4,614 [MW]를 달성하기 위한 계획안이다. 2차전력수급기본계획 상의 2006년의 열병합 용량 1,490[MW]를 기준으로 2006년도의 본 논문의 결과에 비하여 1,870[MW]의 열병합발전 용량이 부족하다. 그러므로 2005년 집단에너지 관련자료집에 건설계획 중 2007년에는 파주교하, 사당지구, 부산정관, 성남관교, 대구죽곡을 건설하고, 2008년은 아산방배, 파주운정2, 인천철라, 강일지구, 양주교읍, 천안청수를 건설하며, 2010년은 대전서남부를 건설하는 것으로 하였다. 이때 1,870 [MW]에서 건설계획을 제외하면 1058[MW]는 지역냉난방열병합발전의 표준모형인 127[MW]의 건설기간인 30개월로 정하여 2009년부터 2017년까지 9년을 균등분배하는 것으로 계획안을 세웠다.



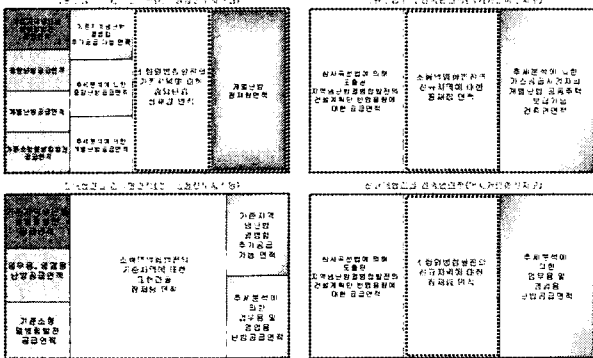
〈그림 4〉 건설계획을 고려한 지역냉난방열병합발전 용량선정

2.2 소형열병합발전 반영용량

소형열병합발전으로 전환 가능한 잠재량을 산정한 후 이를 소형열병합발전의 경제성분석을 통하여 지역별 건물용도별 규모별 소형열병합발전의 용량을 산정하였다. 소형열병합발전의 사업자가 경제성이 있는 기준으로 하여 지역별 건물용도별 규모별의 소형열병합발전용량을 도출하였다. 이때 기존 잠재량의 경우 건물용도별 기존 난방부대설비에 내용년수를 고려하여 이를 소형열병합발전으로 전환할 시기에 맞는 건물만을 대상으로 년도별 소형열병합발전의 투입량을 적용하였다. 신규잠재량의 경우 건물용도별 난방부대설비의 내용년수가 2차전력수급기본계획의 마지막년도인 2017년에 15년 이내에 내포되므로 경제적인 소형열병합발전으로 전환 가능한 신규 소형열병합발전용량은 적용치 않는 것으로 하였다. 따라서 기존잠재량과 신규잠재량의 년도별 소형열병합발전의 실현가능성을 도출하였다.

2.2.1 소형열병합발전 전환 잠재량

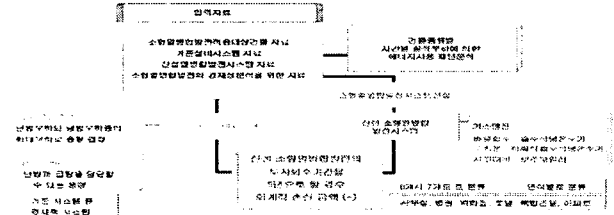
기존잠재량의 경우 건축행정정보시스템의 Database로부터 공동주택과 건축연면적 2,000[m²] 이상의 대형건물자료를 조사하였으며 신규잠재량의 경우 택지개발예정지구를 조사하였다.



〈그림 5〉 공동주택 및 대형건물 소형열병합발전 기존잠재량 및 신규잠재량

2.2.2 소형열병합발전의 경제성분석

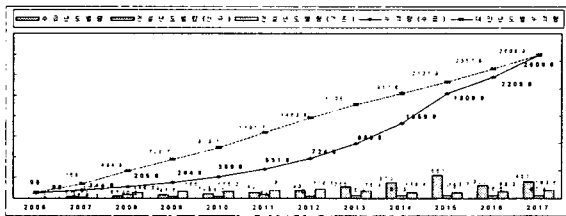
소형열병합의 적용대상 건물은 사무실, 병원, 호텔, 백화점, 공동주택, 복합건물로 분류하여 경제성을 분석하였다. 이때 건물의 용도별 실 운전일지에서 전기부하와 난방부하, 냉방부하의 실적자료에 근거하여 건물용도별로 에너지패턴을 분석하였고 건물용도별에 적합한 소형열병합발전시스템과 부대설비를 적용시켜 경제성 분석시 기준시스템 대비 에너지절감비용 및 단순투자회수기간의 결과를 도출하였다.



〈그림 6〉 소형열병합발전 경제성분석 흐름도

2.2.3 소형열병합발전의 실현가능성 검토

소형열병합발전으로 전환가능한 잠재량에서 경제성분석을 통하여 사업자의 입장에서 경제성이 있다고 판단되는 단순투자회수기간을 10년으로 하여 10년이하의 면적에 대하여 소형열병합발전으로 전환하였다. 이때 기존잠재량의 경우 내용년수를 고려하여 건설년도에서 15년이 초과된 부분에 대하여 소형열병합발전용량으로 전환하였다. 이때 2006년에서 기존잠재량에서 1991년 이전의 소형열병합발전건설용량인 582.5[MW]이나 이는 1개년도가 아니며 이때 일부인 10.9[MW]만을 투입하고 신규잠재량을 투입량으로 하였다. 상기의 투입량을 2017년까지 모두 년도별로 투입할 때 2017년에는 2190.9[MW]이며 이는 2017년의 전력수급기본계획의 2609.8[MW]에 미치지 못하는 양이므로 부족분인 418.9[MW]를 1991년 이전의 소형열병합발전건설용량인 582.5[MW]에서 418.9[MW]를 건물의 재건축으로 인한 소형열병합발전으로 설치 또는 기존부대설비설치 후 다시 소형열병합발전으로 설치인하여 년도별로 38[MW]규모의 소형열병합발전으로 전환가능한 건물을 건설하는 것으로 하여 2007년부터 2017년까지 11년을 균등분배하는 것으로 계획안을 세웠다.

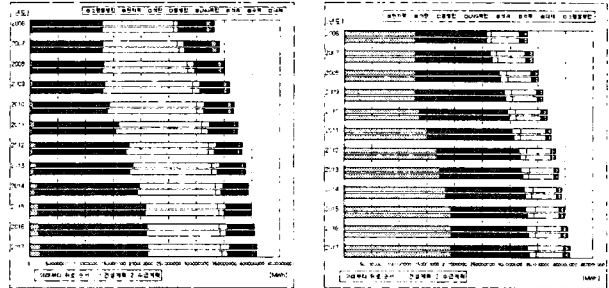


〈그림 7〉 건설계획을 고려한 소형열병합발전 용량선정

3. 열병합발전의 증강기 전력수급전망

3.1 발전량기대치 및 신뢰도지수

Booth-Baleriaux 방법을 적용하여 전원별로 발전량기대치 및 신뢰도지수를 도출하였다. 전원투입순서 원자력, 화력, 지역난방열병합, LNG복합, 석유, 수력, 대체순이며 소형열병합발전은 기저부하와 비기저부하로 나누어 분석하였다. 신뢰도 지수는 식 (3)과 식 (4)와 같다.



〈그림 8〉 소형열병합발전기저부하, 비기저부하 고려한 발전량기대치

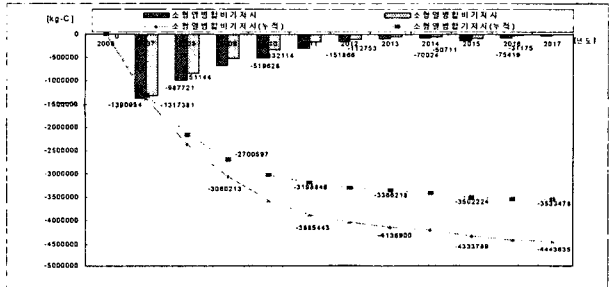
$$EDNS = T \int_{u_{NG}}^{\infty} L_{NG}(X) dX \quad (3)$$

$$LOLP = L_{NG}(u_{NG}) \quad (4)$$

신뢰도지수의 경우 발전시뮬레이션은 전원종별로 수행하였으므로 신뢰도지수의 절대값은 의미가 없으나 순위는 의미를 갖는다. 도출된 결과로부터 신뢰도가 좋은 안은 건설계획반영>2차전력수급기본계획임을 알 수 있다. 이때 소형열병합발전이 기저부하이거나 비기저부하 여도 전력수급기본계획에 열병합발전의 반영비율을 높이면 계통 신뢰도 향상에 크게 기여할 수 있다.

3.2 환경에 미치는 영향 분석

발전량기대치로부터 전력수급기본계획과 건설계획과의 비교를 통하여 CO2 저감량 및 환경회피비용을 도출하였다. 이때 환경회피비용은 2005년도의 세계은행과 세계에너지기술개발위원회(IEA)에 의해 배출권 가격은 CO2 1톤 5.22달러를 하였으며 달러환산은 2006년 1월 1일의 매매기준율을 적용하였다.



〈그림 9〉 CO2 저감량

〈표 1〉 환경회피비용

연도	소형열병합기저	소형열병합기저(누적)	소형열병합비기저	소형열병합비기저(누적)
2007	7,293,451,269	7,293,451,269	6,907,675,944	6,907,675,944
2008	5,179,105,977	12,472,557,246	4,462,964,502	11,370,640,446
2009	3,573,636,988	16,046,194,234	2,789,912,308	14,160,552,754
2010	2,724,664,341	18,770,858,575	1,741,436,687	15,901,989,441
2011	1,602,425,210	20,373,283,785	871,135,592	16,773,125,034
2012	796,307,349	21,169,591,134	591,217,270	17,364,342,304
2013	522,203,879	21,691,795,014	286,286,492	17,650,628,796
2014	367,171,749	22,058,966,763	265,303,993	17,916,632,791
2015	665,214,515	22,724,181,278	447,244,298	18,363,877,089
2016	395,460,248	23,119,641,524	163,467,662	18,527,344,753
2017	180,512,393	23,300,153,919	414,246	18,527,758,998

4. 결 론

2차전력수급기본계획에서 결정된 결과를 최대한으로 수정하지 않으면서 전력수급기본계획에 열병합발전을 적정 반영비율을 결정할 수 있는 방법론을 개발하였으며, 상기의 결과에 대해 발전시뮬레이션을 수행하였을 경우 신뢰도지수가 좋아지며, CO2 배출량이 저감될 뿐아니라 비용적으로 분석하였을 때 2006년 ~ 2017년까지로 보면 약200억원을 절약할 수 있다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] 김용하, 이병하 "기존난방지역의 열병합발전시스템으로의 전환타당성 검토 및 정책방안 연구", 산업자원부, 2006
- [2] "집단지너지 사업 관련자료집", 에너지관리공단, 2005
- [3] 한동순, "천연가스 CO-GEN의 계획설계 및 운전 보수관리 매뉴얼", 일본에너지학회, 1998
- [4] 손학식 "열병합발전시스템", 技多利, 2005
- [5] 심상렬, "에너지산업 구조개편에 따른 열병합 발전의 경제성 평가", 에너지경제연구원, 2002