

지열시스템이 포함된 빌딩마이크로그리드 시스템의 에너지성능평가 및 경제성분석

(Economic Evaluation of Building Micro-Grid Including Geothermal Energy System in Hospital Buildings)

김병수* · 홍원표* (한밭대학교)
(Byoung-Soo Kim · Won-Pyo Hong)

Abstract

This paper presents a basic energy performance data of micro gas turbine, Renewable Energy(BIPV and Solar Collector System, geothermal system) and a hybrid energy system(geothermal system and microturbine) installed in Hospital Building. The efficiency of solar collector and BIPV system was 30%, 10% individually, and lower than micro gas turbines. Micro gas turbines are small gas turbines that burn gaseous and liquid fuels to produce a high-energy exhaust gas and to generate the electrical power. Recently, the size range for micro gas turbines is form 30 to 500kW and power-only generation or in combined heat and power(CHP) systems. Finally, in energy performance aspect, Micro gas turbine system and hybrid energy system were high-efficiency system in hospital building. Hybrid energy system also give us a powerful alternative energy system economically

1. 서론

1.1 연구의 목적

본 연구는 대형병원의 에너지 소비패턴을 분석한 후 에너지 사용에 대한 문제점 및 개선안을 도출하고 신재생에너지 및 마이크로가스터빈을 적용할 경우 기존 시스템 대비 냉난방 에너지 절감량 및 전기에너지 절감량을 분석함으로써 대형병원의 에너지 소비량을 절감하기 위한 효과적인 시스템의 선정을 위한 기초자료를 제시하고 특히 지열과 마이크로터빈시스템의 하이브리드에너지시스템의 에너지 성능 분석과 경제성평가 연구의 목적이 있다.

1.2 연구의 방법

본 연구는 크게 현장방문을 통한 현장실측 및 조사와 시뮬레이션 분석으로 구성되어 있으며 세부적인 내용은 다음과 같다. 1)대형병원을 방문하여 건물에서 에너지를 소비하는 열원장비, 조명, 전산 및 기타기기의 목록과 사용스케줄을 조사한다. 2)건축물의 도면과 현장방문을 통해 공간의 사용변경, 층감축의 변화 등을 조사한다. 3) 에너지 사용연보 및 사용량 측정데이터를 난방용, 냉방용, 급탕용, 조명용, 기타 기기용으로 분류 가능한 데이터를 조사한다. 4)건물에서 조사된 에너지 사용 년도의 기상데이터를 기상청의 자료를 이용하여 시뮬레이션 포맷에 맞게 정리한다. 5) 동적열해석 프로그램인 TRNSYS를 이용하여 실제 건물의 에너지 사용량과 시뮬레이션 값을 비교분석 한 후 시뮬레이션 해석모델을 도출하였다. 6) 시뮬레이션 해석모델을 통해 건물의 에너지 소비패턴을 분석하고, 지열 및 마이크로터빈에너지시스템을 적용한 하이브리드에너지시스템 적용에 대한 에너지 절감량을 분석하였다.

2. 대형병원의 에너지성능분석

2.1 대형병원의 개요

대형부속병원은 지상 10층, 지하2층, 651병상 규모의 종합병원건물로서 병원동, 영안실, 경비실의 3개 동으로 구성되어 있다.

병원동의 연면적은 41,098m²(12,432평)으로 되어 있으며 지하2층은 전기실, 공조실, 의료용 장비 및 가스등을 보관하는 전기실 및 보관소로 활용되고 있으며 지하 1층부터 지상 1층은 병원의 운영을 위한 행정서비스 공간과 외래환자들의 치료를 위한 진료소로 구성되어 있다. 지상 2층부터 지상 10층은 수술실, 병동부로 환자와 보호자 의료진이 24시간 운영이 되는 공간으로 크게 구분되어 있다. 자세한 내용을 표 1에 나타내었다.

2.2. 기상데이터분석

본 연구에서는 대형교병원의 에너지 사용량을 예측하기 위해서 2007년도의 에너지 사용량을 시뮬레이션으로 재현하기 위해 2007년도 대전기상데이터를 시뮬레이션을 위한 포맷(TMY)로 제작하였다. 대전지역 기상자료의 주요 제원은 습구온도, 건구온도, 대기압, 운량, 풍향, 상대습도, 확산일사량, 직달일사량, 풍속 등 9개 항목이며 시간별 표준 기상자료를 근거로 월별 통계 처리한 결과는 표 2에 나타내었다.

표 1. 대형병원의 개요
Table 1. The Overview of Hospital

구분	면적		용도	비고	
	종별	㎡			평
병동부	지하2	4,884	1,477	기계/전기실,서비스부,소각로,	
	지하1	5,920	1,791	재활의학,응급센터,진단방사선,	
	1	5,539	1,675	외래진료,인공투석,임상/해부병리,	
	2	5,304	1,604	수술부,분만신생아,중환자	
	3	4,700	1,421	병동부	
	4	2,342	708	병동부	
	5	2,067	625	병동부	
	6	2,067	625	병동부	
	7	2,067	625	병동부	
	8	2,067	625	병동부	
	9	2,067	625	병동부	
	10	2,067	625	병동부	
옥탑1	379	114	기계실		
옥탑2	178	54	기계실		
소계	41,098	12,432			

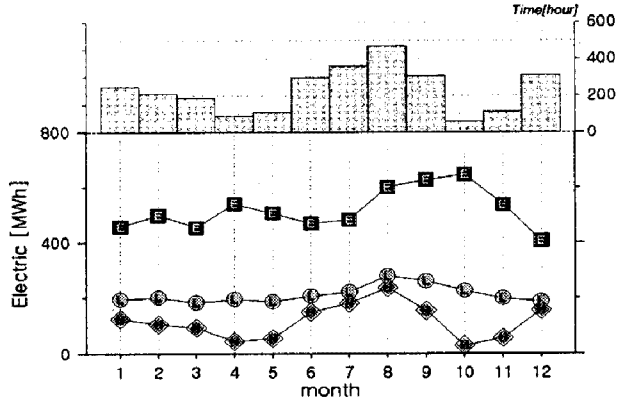


그림 1. 대형병원 조명, 기기, 공조용 전기사용량

표 2. 대전지역 시간별 표준기상자료 월별 통계처리 결과
Table 2. Weather data in Daejeon for 30years

월	건구온도(℃)					습구온도(℃)	상대습도(%)	풍속(m/s)	일일일사량(Wh/㎡)	18℃기준	
	월평균	월평균	월평균	최대온도	최저온도					난방도일	냉방도일
	평균	최대	최소	온도	온도						
1	-1.6	3.1	-5.8	9.4	-12.2	-3.9	57.7	3.1	7187	610	0
2	0.3	4.5	-3.6	11.1	-10.0	-1.7	66.7	4.8	8383	499	0
3	5.4	10.9	0.2	17.8	-7.2	2.3	62.0	4.5	12723	395	0
4	12.0	18.6	5.9	25.0	1.1	7.6	59.1	5.9	15556	183	0
5	17.2	23.3	11.5	31.1	5.6	12.9	64.7	4.4	18308	50	21
6	21.5	26.5	17.1	31.1	13.9	17.8	73.1	4.3	16163	2	106
7	25.1	28.6	22.0	33.9	16.7	21.5	74.9	5.9	12792	0	217
8	25.8	30.8	21.4	35.0	16.7	21.8	73.0	4.9	16198	0	241
9	20.3	25.1	16.0	28.9	8.9	17.8	80.5	4.2	11491	6	72
10	14.2	20.6	8.3	25.6	0.0	10.2	63.8	3.3	10954	121	1
11	6.4	10.5	2.4	20.6	-3.9	4.3	73.4	4.2	7319	357	0
12	0.7	5.3	-3.4	10.6	-10.6	-1.4	64.1	4.0	6427	539	0
평균	12.3	17.3	7.7	35.0	-12.2	9.1	67.8	4.5	11959	2763	659

2) 시뮬레이션 해석모델의 입력조건

병원 건물의 냉·난방 설정온도는 동절기의 경우 22~24℃, 하절기에는 24℃~26℃로 운영되고 있다.

설정습도 역시 동·하절기로 구분되어 40%~55%로 운전되고 있으나, 일반병동의 경우에는 습도제어가 이루어지지 않는 것으로 나타났다. ICU(Intensive Care Unit), 신생아실, 인공투석실 등의 특수병실은 동·하절기 구분 없이 연중 실내온도 24℃ 상대습도 50%를 유지하고 있다.

냉난방 공조기기의 운전 스케줄은 아래의 그림과 같다. 동절기 난방 시스템의 경우 하루중 8시간 이상 운전하고 있으며 하절기 냉동기의 운전 스케줄은 12시간 운전하고 있는 것으로 조사되었다.

2.3 대형병원의 에너지 사용량조사

대형병원 신재생에너지 적용성 검토를 위해 본 연구에서는 2007년도 에너지 사용량을 조사하였다. 에너지 사용량은 크게 냉난방에너지, 조명에너지, 기기에너지로 크게 구분하여 조사하였으며, 그 결과는 [1]에 상세히 정리하였다.

2.4 시뮬레이션 해석모델

1) TRNSYS의 개요

건물 상세해석 프로그램인 TRNSYS(Transient Systems Simulation)는 The University of Wisconsin-Madison College of Engineering's Solar Energy Lab(SEL)의 Klein, Beckman 등이 태양에너지 응용시스템에 대한 비정상 시뮬레이션(Transient Systems)을 위해 1975년 개발한 프로그램이다. 그 후 해석의 범위를 태양에너지 뿐 아니라 건물에서의 다양한 에너지 이용 시스템을 포함시키는 등 여러 차례 수정과 증보를 거치면서 전 세계적으로 널리 애용되는 건물에너지 시스템 시뮬레이션 프로그램이다[6].

표 3. 시뮬레이션 해석모델의 내부발열

구분	항목	인체		기기	조명
		현열(W/인)	잠열(W/인)		
병동부(14751㎡)	1인기준 발열량	50	30	140W pc x 100대	19W/㎡
	제실인원	1인/15㎡			
원무과 및 행정영역(26346㎡)	1인기준 발열량	75	75	140W pc x 100대	19W/㎡
	제실인원	1인/20㎡			

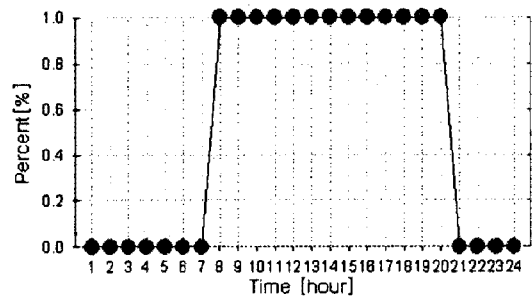


그림 2. 냉난방 스케줄
Fig 2. Heating and Cooling Schedule

4) 시뮬레이션 해석모델의 검증

동적열해석 프로그램인 TRNSYS를 이용하여 대형병원의 에너지 시뮬레이션 분석결과 실제사용량과 시뮬레이션에 의한 값을 비교한 결과 약 9%의 오차가 있는 것으로 분석되었으며 선행연구의 결과를 참고할 때 추후 진행될 건물의 에너지 성능분석에 사용가능한 시뮬레이션 해석모델로 사료된다.

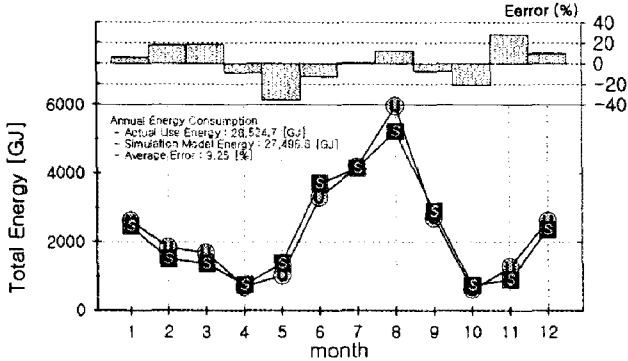


그림 3 대형병원의 냉난방 에너지 소비량 분석

3. 신재생에너지 적용성 분석

3.1 태양열 시스템

태양열시스템의 에너지성능해석은 [1,2]과 같은 방법으로 분석하였다.

3.2 태양광발전 시스템

태양광발전 시스템은 에너지 성능해석은 [1,2]와 같은 방법으로 모의 분석하였다.

3.3 마이크로 가스터빈

마이크로터빈시스템의 자세한 해석결과도 [1,2]에 나타내었다.

4. 지열 및 마이크로터빈시스템의 복합에너지시스템의 에너지성능분석

K대학교 병원에서 소비되는 에너지를 1차적으로 마이크로 가스터빈을 이용하여 발전된 전기를 이용하고 발전과정에서 발생하는 고온의 배열을 이용하여 난방 및 냉방에너지원으로 활용하였다. 그러나 마이크로 가스터빈의 배열이 k대학교 병원에서 사용되는 냉난방 에너지의 70%정도를 공급할 수 있기 때문에 전체 냉난방에너지의 30%는 부족하게 된다. 따라서 부족한 전체냉난방에너지의 30%를 지열원 히트펌프로 대체하고 마이크로 가스터빈 연합운전을 할 경우 에너지 성능 분석을 실시하였다. K대학교병원에서 연간 소비되는 에너지 중 난방에너지 132MWh (5.0kWh/m²)와 냉방에너지 2,111MWh (80.1kWh/m²)를 절약할 수 있도록 지중열교환기(geothermal heat exchanger)를 설치 유효공간, 지질의 타입 등의 지리적 요건과 굴착비용 등의 경제성을

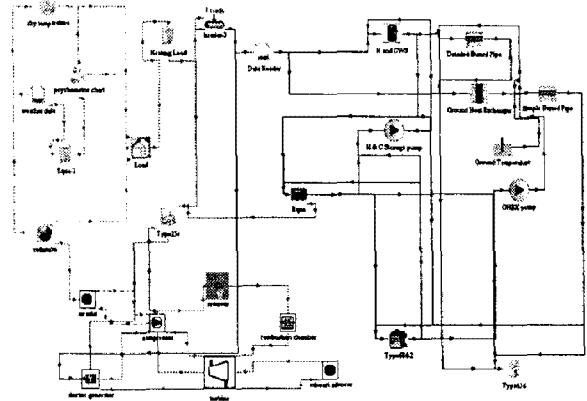


그림4 TRNSYS 프로그램을 이용한 연합운전 해석 시뮬레이션

고려하여 폐쇄형(Closed Loop) 지중열교환기 중 Double-U 타입의 수직형 열교환기를 선정하였으며 지열 히트 펌프 시스템을 적용하여 분석하였다.

1) K대학교 병원의 냉난방에너지

K대학교 병원의 연간 난방에너지는 132MWh(5.0kWh/m²)이며, 냉방에너지는 2,111MWh(80.1kWh/m²)이다. 최대 난방부하는 1.2MW(46.0W/m²yr)이며, 최대 냉방부하는 2.4kW (89.6W/m²yr)로 분석되었다.

2) 지중 열교환기 설계

① 지열 해석 프로그램(EED; Earth Energy Designer)
Earth Energy Design(EED)은 시추공 열교환 설계를 위한 컴퓨터 프로그램이다. 사용상의 편의성, 학습용이 및 빠른 계산 시간과 고유의 데이터베이스를 가진 EED는 지열 히트펌프 시스템(GSHP)과 지열의 설계를 위한 엔지니어링 작업의 유용한 도구로 개발되었다.

② 입력 변수

EED에서의 지중열교환기 길이를 계산하기 위해 시추할 지중의 물성치, 시추공과 열교환기의 종류 및 물성치, 열매체의 물성치의 입력 변수를 입력하였다. 성능평가를 수행한 결과 얻어진 월별 기본 부하 및 피크부하를 입력 방식에 맞추어 입력하였으며 입력한 데이터는 [1,2]에 나타내었다.

3) 분석 결과

① 최적화된 시추공의 깊이 계산 결과

그린홈에서 발생하는 냉난방 부하를 지열 히트펌프로 해소하기 위해 시추공의 깊이 및 이격거리를 최적화 시뮬레이션을 수행하였다. [1,2]과 같이 5가지의 구성을 추출하였으며 그 중 시추공의 개수 및 차지하는 면적이 가장 합리적이라고 사료되는 Config.673에 대하여 분석하였다. 본 연구에서는 그림 5와같이 폐쇄형 지중열교환기를 Double-U 타입의 수직형 열교환기를 선정하였으며 지열 히트 펌프 시스템을 적용하여 분석하였다.

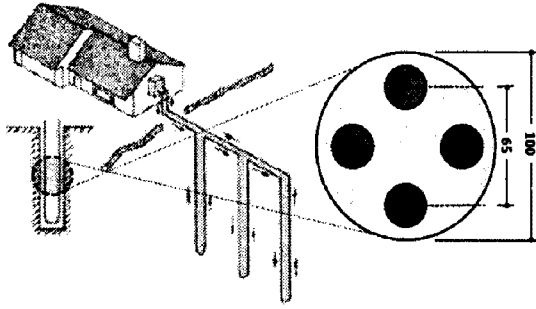


그림 5 폐쇄회로 수직형 열교환기(Double-U Type)

표 4 최적화 결과

Config	No. Borehole	Type	Spacing (m)	Depth (m)	Total length (m)	Area (m ²)
654	72	6 x 12, rectangle	6	132	9504	1980
673	69	5 x 12, rectangle	6	153	10557	1320
674	71	6 x 12, rectangle	6	141	10011	1980
675	70	6 x 12, rectangle	6	129	9030	1980
676	73	6 x 12, rectangle	6	119	8687	1980

그 결과 시추공 69개 뚫었을 때 시추공의 깊이는 152.67m, 총 시추공의 길이는 10557m로 나타났으며 냉방 피크 부하에서 유체의 온도는 8월에 61.21℃이며, 난방 피크 부하에서 유체의 온도는 1월에 8.78℃로 나타났다. 결과는 그림 6에 나타내었다.

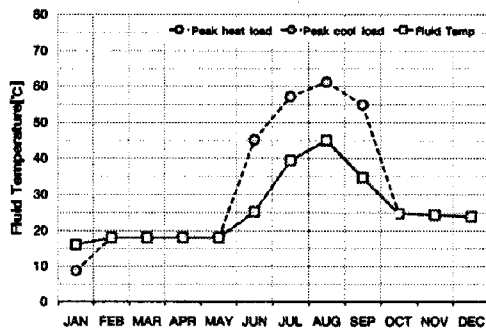


그림 6 유체의 온도 변화(최적화)

② 지열 에너지

지열 히트 펌프 시스템의 적용하기 위해 기본 입력조건에 69개의 시추공을 깊이 152.67m로 총 105574m를 시추하여 시스템에 적용하면 지중에서 연간 2,621MWh(99.5kWh/m²)의 지열에너지를 얻을 수 있으며 히트펌프에서는 연간 466MWh(17.7kWh/m²)를 얻을 수 있다. 즉, 연간 총 냉난방에너지 2,243MWh(85.1kWh/m²)의 117%인 2,621MWh(99.5kWh/m²)를 지중에서 열교환기를 통해 에너지를 획득하여 사용할 수 있으며 22%인 466MWh(17.7kWh/m²)가 히트펌프에 공급되는 것으로 나타났다.

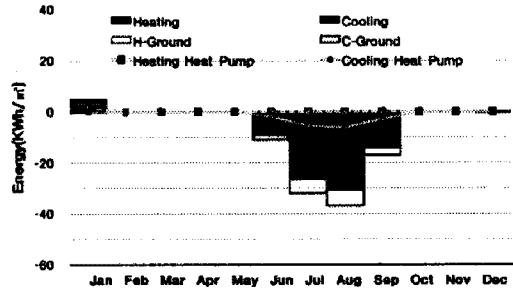


그림 7 냉난방에너지 및 지열원 히트펌프를 이용한 냉난방에너지

또한, k대학교 병원 진료부의 에너지 소비량은 2,243MWh(85.1kWh/m²)이며 지열히트펌프 시스템을 적용하였을 경우 절감할 수 에너지는 2,199MWh(83.5kWh/m²)로 98%를 절감할 수 있는 것으로 그림 8과 같이 나타났다.

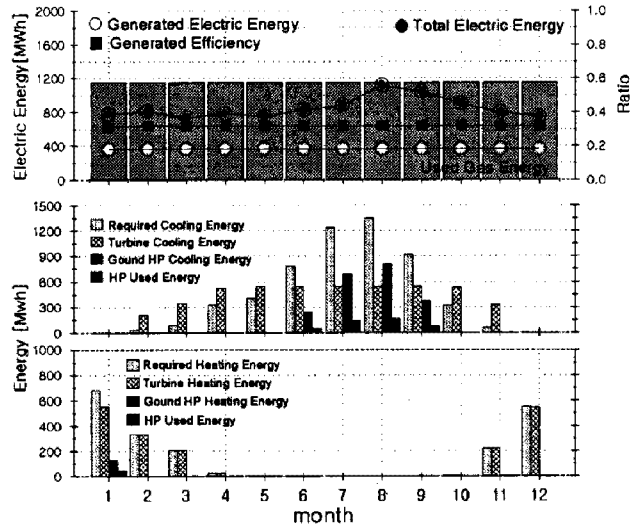


그림 8 마이크로 가스터빈과 지열원 히트펌프의 연합운전 시뮬레이션 결과

5. 시스템별 경제성 분석

금액을 산출하였다. 산출된 연간 에너지 소비량을 신재생에너지 및 마이크로 가스터빈에 의해 절감되는 전기 및 가스량을 현재가로 환산하여 연간 에너지 절감비용을 산출하였다. 아래의 표는 대형병원에 적용되는 시스템의 용량 및 설치대형병원에 적용가능한 신재생에너지 및 마이크로 가스터빈에 대한 경제성 분석을 위해 현재 냉난방시스템에서 소비되는 연간 전기 및 가스에너지 소비비용을 나타내고 있다.

표 5 적용 시스템별 주요 사항

	열병합발전 시스템	지열시스템	태양열 시스템	태양광시스템	열병합+지열
시스템용량	500kW	35448m	630m'	960m2(96 kWh)	500kW 10,557m
초기투자비	12.5억원	21.6억원	5.859억원	14.4억원	22.3억원
연간절감비용	1.75억원	1.64억원	0.12억원	0.19억원	2.44억원
에너지절감량 (kw)	5,576,435	5,239,800	382,766	150,480	7,775,435
단위비용 에너지절감효과	45 kW/만원	24 kW/만원	7 kW/만원	1 kW/만원	34.9 kW/만원

신재생에너지 및 마이크로 가스터빈의 적용시 절감되는 연간 에너지 소비량을 계산 한 후 그 일례를 아래의 그림에 나타내었다. 현재 대형병원에서 소비되는 연간 가스요금은 약 2억 7천 4백만원이며, 전기에너지는 9억 4천 6백만원으로 총 12억 2천여만원을 에너지비용으로 소비하고 있는 것으로 분석되었다. 여기에 마이크로 가스터빈을 적용할 경우 터빈에 사용되는 가스사용량의 증가에 의해 가스요금은 5억 6백만원으로 증가하였지만 전기요금은 5억 3천9백만원으로 감소하여 연간 1억 7천 5백만원의 에너지비용이 감소하는 것으로 나타났다.

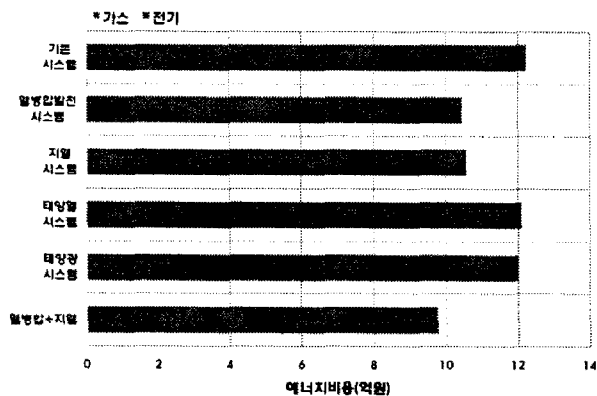


그림 9 적용 시스템에 따른 연간 에너지비용 변화

6. 결론

대형병원에 태양열, 태양광 및 지열인 신재생에너지 원, 마이크로터빈 및 지열과 마이크로터빈의 복합에너지시스템에 대한 에너지 성능분석 및 경제성 분석결과는 아래와 같이 요약할 수 있다.

(1) k대학교 병원 진료부의 에너지 소비량은 2,243MWh (85.1kWh/m²)이며 지열히트펌프 시스템을 적용하였을 경우 절감할 수 에너지는 2,199MWh (83.5kWh/m²)로 98%를 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

(2) 각 마이크로소스를 대형 병원에 적용하여 운전하는 경우 지열 및 MITG시스템의 복합하이브리드 에너지시스템이 연간 절감액이 2.44억원으로 에너지 절감효과가 가장 좋았다.

본 연구에서는 마이크로 가스터빈을 일정한 속도로 일정한 전기가 발전되도록 입력한 후 계산된 결과이며, 추후 연구에서는 건물의 전기 및 열에너지 소비량의 변동에 따른 변속운전을 할 경우 에너지 절감율을 분석하고, 분석된 시스템의 설치단가와 에너지 절감률을 고려한 경제성 분석을 실시할 예정이다.

Acknowledgment

The authors would like to gratefully acknowledge the financial support of KESRI (Korea Electrical Engineering & Science Research Institute) under project R-2007-1-015-02

참고 문헌

- [1] 홍원표, "Multi-agent 기반 분산에너지시스템 기초운영연구 (2차년도)," 2009년 지경부 보고서(기초연).2009.6.
- [2] 홍원표, "마이크로터빈이 포함된 빌딩마이크로그리드시스템의 에너지성능해석," 2009 KIEEE 추계학술대회, 2009. 10.9.
- [3] C. Soares, "Microturbines application for Distributed Energy Systems," Elsevier Inc., 2007.
- [4] Lucas Lira, "Hybrid heating and cooling system optimisation with TRNSYS", Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde Engineering. 2008.
- [5] Olympia Zogou, Dipl.-Ing, "Transient Simulation fo a Combined Cycle Trigeneration System Fuelled by Natural Gas", University of Thessaly School for Engineering Department of Mechanical Engineering Lab. of Thermodynamic & Thermal Engines, 2007.7
- [6] NanShou, Chris Marnay, Ryan Firestone, Weijun Gao, and Masaru Nishda, "An analysis of the DER Adoption Climate in Japan Using Optimization Result for Prototype Building with U.S. Comparisons", LBL., 2006.6.
- [7] Solar Energy Lab., "A Transient System Simulation Program(TRNSYS)," University of Wisconsin ar Madison, March 2000.