

병원건물의 스마트그리드시스템의 에너지절약평가 및 경제성분석

(Economic Analysis and Energy Saving Evaluation for Smart Grid System of Hospital Building)

홍원표*

(Won-Pyo Hong)

요 약

본 논문은 대형 병원 건물에 신재생에너지 및 열병합시스템을 설치하였을 경우 에너지 성능해석 및 경제성평가를 도출한 것이다. 태양광, 태양열, 지열, 마이크로터빈 및 마이크로터빈과 지열을 복합한 하이브리드 에너지시스템에 대하여 각각 분석하였다. 분석결과 지열 및 마이크로터빈 시스템이 비교적 양호한 결과를 얻었으며 특히 하이브리드시스템으로 운전하는 경우 병동부의 냉난방공급이 가능하고 경제성평가에서도 매우 좋은 결과를 나타냈다. 이는 빌딩 스마트 그리드시스템의 에너지해석 및 경제성평가 방법을 통한 시스템 구축에 필수적인 자료 활용할 수 있다.

Abstract

This paper presents a basic energy performance data of microturbine, renewable Energy(BIPV and Solar Collector 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 turbines. Finally, in energy performance aspect, microturbine and geothermal source heat pump system were a high-efficiency system in hospital building. It is confirmed hybrid energy systems also show the most powerful alternative energy system for green hospital building from the simulation results.

Key Words : Microturbine, BIPV, Solar Collector, Geothermal Source Heat Pump,
Energy Performance Analysis, Hybrid Energy System

1. 서 론

* 주저자 : 한밭대학교 건축설비공학과 교수
Tel : 042-821-1179, Fax : 042-821-1175
E-mail : wphong@hanbat.ac.kr
접수일자 : 2010년 1월 18일
1차심사 : 2010년 1월 20일, 2차심사 : 2010년 2월 25일
심사완료 : 2010년 3월 3일

우리나라의 에너지소비는 국제적으로 에너지다소비 국가이다. 1차 에너지소비 세계 10위, 석유소비 세계 7위, 전력소비 세계 11위로 그 결과 CO₂ 배출이 세계

10위에 이른다. 1인당 1차 에너지에 있어서는 이미 영국과 일본 수준을 넘어섰으며 1인당 전력소비는 독일과 영국 수준을 넘어선 상태이다. 우리나라의 국가에너지 총 사용량에 대한 건물에 대한 에너지 비중은 28[%]를 상회하고 있으며 서울시의 경우 58[%] 건물 에너지 부분이 차지하고 있다. 한국에서는 에너지부문에서 대부분의 온실가스가 배출된다. 에너지부문의 온실가스 배출은 1990년에 총 온실가스 배출의 79.8[%]였으나 2004년 현재 83.0[%]로 오히려 비중이 늘어난 상태이다. 건물에서 배출하는 이산화탄소 비중은 평균적으로 50[%]를 상회한다[1]. 상업용건물의 에너지소비는 열원 및 공조용이 53[%], 조명이 23[%], 기타 22[%]를 담당하고 있다. 이렇듯 건물에 사용되는 에너지는 열과 전기를 절약하고 빌딩마이크로그리드와 같은 새로운 에너지 시스템 구축이 매우 중요함을 알 수 있다[1-2]. 따라서 빌딩의 그린화는 세계적인 관심사가 되었으며 선진국을 중심으로 모든 나라가 저탄소 녹색성장의 가장 중요한 축으로 추진하고 있다. 마이크로그리드(Microgrid)는 소규모분산에너지원(Microsource or Distributed Energy Resource : DER)들이 수요지에서 하나의 작은 그리드를 형성하여 전력 및 잉여 열에너지를 생산하여 수요자에게 직접 공급하는 새로운 개념의 소규모 전력시스템으로서 유틸리티 그리드(grid-connected)에 연계 혹은 분리되어 독립운전(islanding operation)이 가능한 시스템이다[1-3]. 마이크로그리드를 구성하는 전력원은 기존의 교류발전기 이외에도 태양광, 연료전지, 가스터빈, 마이크로터빈(microturbine : MT), 바이오매스시스템 및 풍력 등이 있으며 이들은 지역을 중심으로 하는 지역냉난방 열병합시스템과 빌딩과 빌딩 군을 중심으로 에너지를 공급하는 빌딩 마이크로그리드로 구분되어 새로운 에너지공급 시스템이 구축 되어가고 있다 [1-4]. 현재 흔히 사용되고 있는 분산전원(DG : Distributed Generation(Power))은 그 취지나 목적에 따라 다양하게 정의되어 사용되고 있다. 최근에 IEA(International Energy Agency)에서는 분산전원을 최종 수요지 부근 또는 배전선로 지원용으로 설치되는 엔진, 소규모 가스터빈, 연료전지, 태양광, 및 풍력을 포함하는 발전시설로 정의하고 있으며 이는 전

력계통과 연계 또는 독립전원으로 사용되는 모든 발전설비를 총칭한다. 따라서 전력저장설비도 포함한다. 수요관리(DSM : Demand Side Management), 에너지 효율, 최종수요지의 전력부하, 열부하의 특성 및 수요처에 적합한 에너지 시스템의 조합 등을 포함하여 분산에너지원이라고 정의하고 있다. 따라서 본 논문에서 정의한 소규모 분산에너지 시스템은 DER 범주에 포함되며 에너지를 단위로 구성되는 DER은 특히 열병합(CHP : Cooling, Heating and Power)시스템이 에너지이용률향상과 에너지자원 유효이용 및 환경부하 감축과 열오염방지를 위하여 선택이 불가피하며 이러한 관점에서 빌딩의 CHP를 BCHP시스템으로 정의하였으며 신재생에너지 직접으로 건물에 도입되고 있는 태양광, 태양열, 지열 및 풍력발전시스템을 포함한 마이크로소오스의 새로운 에너지시스템을 빌딩용 마이크로그리드로 정의할 수 있다[5-6]. 따라서 본 연구는 빌딩마이크로그리드 구축모델을 제시하기 위한 사례 연구로 대형병원의 에너지 소비패턴을 분석한 후 에너지 사용에 대한 문제점 및 개선안을 도출하고 신재생에너지 및 마이크로가스터빈을 적용할 경우 기존 시스템 대비 냉난방에너지 절감량 및 전기에너지 절감량을 분석함으로써 대형병원의 에너지 소비량을 절감하기 위하여 효과적인 시스템의 선정을 위한 기초 자료를 제시하고 특히 지열과 마이크로터빈시스템의 하이브리드에너지시스템의 에너지 성능 분석과 경제성평가 결과를 제시함으로써 빌딩의 마이크로그리드 시스템 구축에 정량적 해석방법 및 구체적인 설계자료를 도출하였다.

2. 대학병원의 에너지성능분석

2.1 대학병원의 개요

K대학병원은 지상 10층, 지하 2층, 651병상 규모의 종합병원건물로서 병원동, 영안실, 경비실의 3개 동으로 구성되어 있다. 병원동의 연면적은 41,098[m²] (12,432평)로 되어 있으며 지하 2층은 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.

표 1. k 대학병원의 개요
Table 1. The Overview of k Hospital

구분	면적		용도	비고	
	층별	[㎡]			평
병 원 동	지하 2	4,884	1,477	기계/전기실, 서비스부, 소각로	
	지하 1	5,920	1,791	재활의학, 응급센터, 진당방사선	
	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		

2.2 기상데이터분석

본 연구에서는 대학병원의 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 참고문헌 [2]를 참고하였다.

2.3 대형병원의 에너지 사용량조사

대형병원 신재생에너지 적용성 검토를 위해 본 연구

에서는 2007년도 에너지 사용량을 조사하였다. 에너지 사용량은 크게 냉난방에너지, 조명에너지, 기기에너지로 크게 구분하여 조사하였으며, 그 결과는 참고문헌 [3]의 결과를 활용하였다.

2.4 시뮬레이션 해석모델

2.4.1 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].

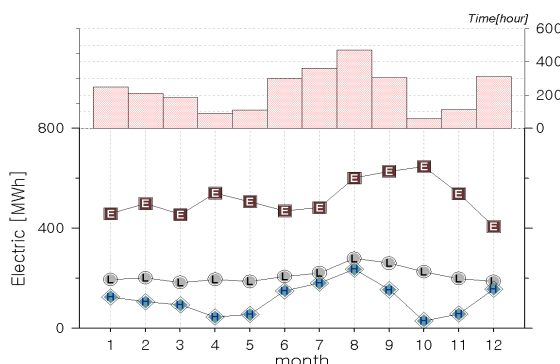


그림 1. K대학병원 조명, 기기, 공조용 전기사용량
Fig. 1. Electric energy consumption of lighting, machines and HVAC in k hospital building

2.4.2 시뮬레이션 해석모델의 입력조건

병원 건물의 냉·난방 설정온도는 동절기의 경우 2~24[°C], 하절기에는 24~26[°C]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 등

의 특수병실은 동·하절기 구분 없이 연중 실내온도 24[°C] 상대습도 50[%]를 유지하고 있다. 난방 공조기 기의 운전 스케줄은 그림 2에 나타내었다. 동절기 난방 시스템의 경우 하루 중 12시간 이상 운전하고 있는 것을 알 수 있으며, 하절기 냉동기의 운전 스케줄은 13시간 운전하고 있는 것으로 조사되었다. 표 2는 본 연구에 사용된 병원건물의 내부발열량을 나타낸 것이다.

표 2. 시물레이션 해석모델의 내부발열
Table 2. Internal heating for simulation

구분	항목	인 체		기기	조명
병동부 (14,752[m ²])	1인기준 발열량	현열 ([W/인])	잠열 ([W/인])	140[W]	19[W/m ²]
		50	30	pc	
	재실인원	1인/15[m ²]		100대	
원무과 및 행정영역 (26,346[m ²])	1인기준 발열량	현열 ([W/인])	잠열 ([W/인])	140[W]	19[W/m ²]
		입력값	75	pc	
	재실인원	1인/20[m ²]		100대	

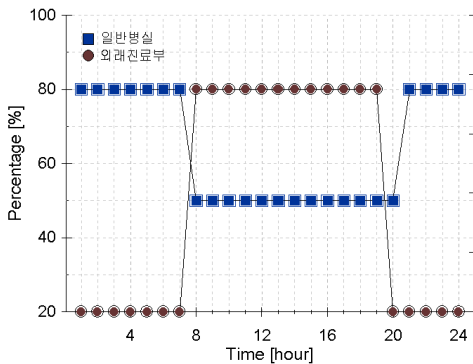


그림 2. 난방 스케줄
Fig. 2. Heating schedule

2.4.3 시물레이션 해석모델의 검증

동적열해석 프로그램인 TRNSYS를 이용하여 대형 병원의 에너지 시물레이션 분석결과 실제사용량(u 그래프)과 시물레이션에 의한 값(s 그래프)을 비교한 결과 약 9[%]의 오차가 있는 것으로 그림 3과 같이 분석 되었으며 선행연구의 결과를 참고할 때 추후 진행될 건물의 에너지 성능분석에 사용가능한 시물레이션 해석모델로 사료된다.

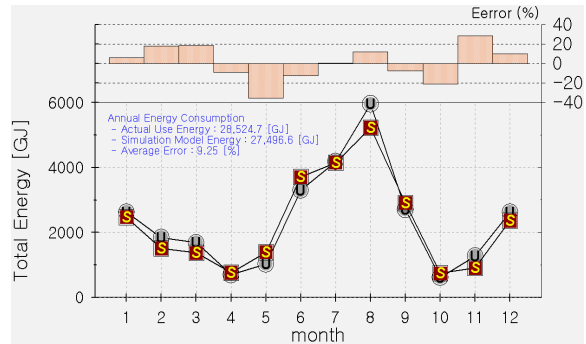


그림 3. K대학병원의 냉난방 에너지 소비량 분석
Fig. 3. Heating and cooling energy consumption analysis of K hospital building

3. 신재생에너지 에너지절약 분석

3.1 태양열 시스템

3.1.1 급탕량 산정

대형병원의 경우 일반 사무소 건물과 달리 불특정다수인이 출입하는 비율이 높을 뿐만 아니라 재실시간이 비교적 짧은 특징이 있는 건물이기 때문에 재실자의 수를 이용한 급탕량 산정보다는 위생기구수와 동시사용률을 적용하여 급탕량을 계산하였다. 위생 기구수는 도면을 이용하여 산출하였으며 위생 기구당 필요 급탕량은 설비 설계집을 참고하고 동시사용률 25[%]를 적용하여 시간당 예상급탕량([l/h])을 산출하였다. 급탕축열조의 용량은 시간당예상급탕량을 4시간 지속시킬 수 있도록 하였으며 그 결과 50,000리터로 하였다. 자세한 급탕량 산정결과를 아래의 표 3에 나타내었다.

표 3. 시간당 기구수에 의한 급탕사용량
Table 3. Hot water usage of units per hourly

기구종류	기구당사용량(l)/h	기구수(개)	사용량(l)
세면기	55	461	25,355
양식욕조	75	2	150
접시세정기	300	26	7,800
부엌싱크	75	6	450
샤워	280	52	14,560
청소용싱크	75	23	1,725
Total			50,040

3.1.2 집열기 설치면적 산출

태양열 급탕시스템의 집열판 면적은 지역의 일사량과 태양열 시스템의 효율에 의해 좌우되며 계산공식은 식 (1)과 같다.

$$Q_{hot} = G \cdot C \cdot \nabla t = A_{co} \times I_{rad} \times \eta_c \quad (1)$$

G : 급탕량([kg/h])

C : 온수의 비열([kJ/kg · K])

A_{co} : 이론 집열면적([m²])

I_{rad} : 지역의 일사량([kWh/m²])

η_c : 집열기의 효율

위의 식에서 온수의 시수온도는 15[°C], 온수온도를 60[°C]로 설정하였으며, 대전지역의 연평균일사량은 11.96[kWh/m²], 집열기효율을 30[%]로 적용한 결과 이론집열면적은 732[m²]로 계산되었다. 그러나 태양열 시스템의 경우 시스템 자체의 하중과 집열효율을 위해서 건축물에 적용할 수 있는 부위는 극히 제한적이다. 본 연구에서는 아래의 그림과 같이 집열기의 설치 부위는 지붕으로 하고 설치각도는 45[°]로 적용한 결과 설치가능한 집열면적은 630[m²]로 계산되었다. 아래의 그림은 태양열 시스템을 설치할 수 있는 부분을 나타내고 있다.

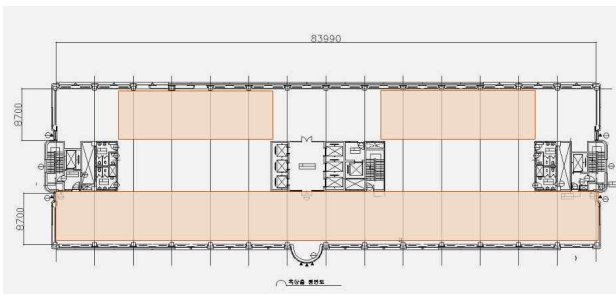


그림 4. 태양열 시스템 설치가능 면적
Fig. 4. The installable area of solar hot water system

집열기의 순환수량은 집열기 1[m²]당 0.9[l/m² · min]이므로 이것을 시간으로 환산하면 34,000[L/h]이다. 태양의존율은 아래의 식에 의해서 50[%]를 충족할

수 있으며, 축열탱크를 80[ton]으로 증가시킬 경우 충족할 수 있는 급탕부하가 1,792,133[MJ/yr]로 증가하고 태양의존율도 52[%]로 상승하였다.

표 4. 시뮬레이션에 적용된 태양열 집열기의 물리적 특성

Table 4. Physical properties of solar collector system

타 입		평판형
외형사이즈([mm])		1,200×2,400×77
집열판 소재		냉연강판 (0.6[mm])
유 로 수 (개)		35개(다이아몬드형, 17×4.5[mm])
헤더관경([mm])		25
무 게 (kg)	설치 전	40
	설치 후	43.8
	열매체량	3.8
집열면 처리		니켈도금 후 블랙크롬에 의한 선택적 흡수막
흡 수 율		$\alpha=0.95(\pm 0.02)$
방 사 율		$\epsilon=0.12(\pm 0.12)$
구조시험압력		45[kg/cm ²]
누수시험압력		40[kg/cm ²]
케 이 스		마린그레이드 알루미늄(0.7[mm])
투과체	소 재	저철분 강화유리
	철분함유	최대 0.04[%]
	투과율	최소 94[%]
보온	소 재	회색 폴리에스터 매트
	두 게	뒷면55[mm](밀도:10[kg/cm ³]) 측면13[mm](밀도:23[kg/cm ³])
	단열성능	0.059W/H, [°C] @ 23[°C]

$$\text{태양의존율} = \frac{\text{필요급탕부하}}{\text{태양열급탕부하}} \times 100(\%)$$

표 5. 태양열 시스템의 설계결과

Table 5. Design Result of Solar Collector System

구분	집열기면적([m ²])		순환수량 ([L/h])	설치각도 ([°])	집열효율 ([%])	태양의존율 ([%])
	이론	실제				
값	732	630	34000	45	30	52

3.1.3 태양열 급탕 시스템의 에너지 성능분석
태양열 급탕 시스템의 에너지 성능분석을 위해

TRNSYS를 사용하였다. TRNSYS에 모델링된 구성도는 그림 5와 같다.

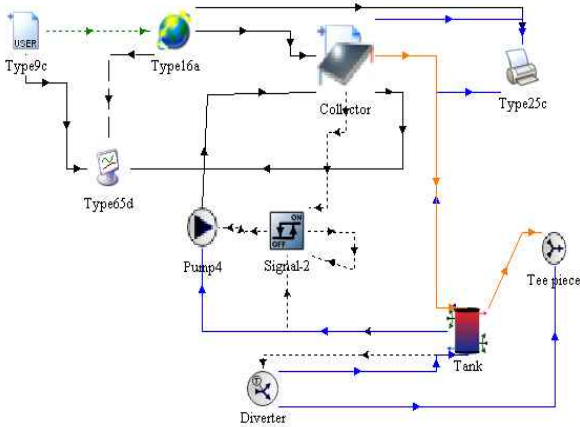


그림 5. TRNSYS에서 모델링된 태양열시스템 구성도
Fig. 5. Confirmation of solar thermal energy system modeled by TRNSYS

태양의존율 시뮬레이션 결과를 그림 6에 나타내었다. 태양열 의존율을 년 평균 66.7[%]로 설계하였을 때 연간 월평균 태양의존율 12월에 36.8[%]로 가장 낮으며 급탕의 사용이 적은 8월에 95.2[%]로 가장 높은 태양열 의존율을 보인다.

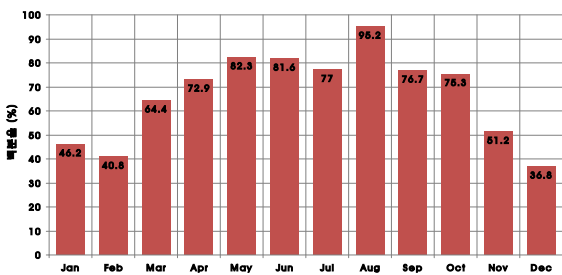


그림 6. 태양의존율
Fig. 6. solar dependability rate

그림 6에서 제시한 태양의존율을 이용하여 전체 급탕부하중 태양열 시스템에 의해 공급할 수 있는 열량을 산출할 수 있다. 그 결과 그림 7과 같이 전체 급탕 에너지 사용량 중 평균 66.7[%]를 태양열 시스템으로 공급할 수 있으며 이것을 연료비로 환산할 경우 150만원/월에서 300만원/월까지 절감 가능한 것으로 분석

되었으며 연간 2,800만원 정도이다. 연간 CO₂ 절감량은 86.903[ton](월평균 7.24[ton])으로 투자금액 10,000원당 0.228[ton]에 해당한다.

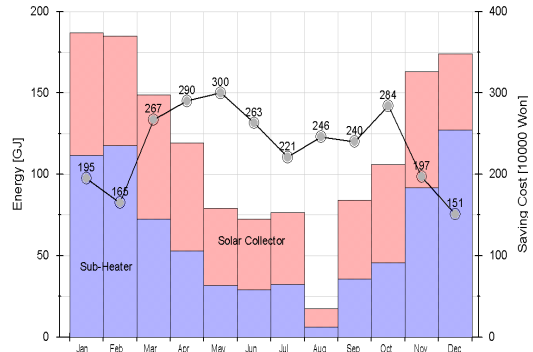


그림 7. 월별 태양열 공급 및 보조열원 공급열량 분포
Fig. 7. monthly solar heat and auxiliary heat source amounts diagram

3.2 태양광발전 시스템

태양광발전 시스템은 태양열 시스템과 달리 건물의 외장재 대응으로 사용할 수 있는 모듈이 개발되면서 건물일체형 태양광시스템(BIPV)의 설계 및 시공 사례가 점점 증가하고 있다. 태양광발전 모듈은 크게 결정체와 비결정체로 구분할 수 있으며 결정체가 비결정체보다 발전효율이 20[%]이상 높지만 비결정체는 창호나 필름의 형태로 건축물에 다양하게 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 창호를 제외한 남측면 외벽에 태양광발전모듈을 적용하였으며 분석결과는 다음과 같다. 그러나 음영에 의한 발전효율이 민감하게 변하는 단점을 가지고 있기 때문에 인접건물이나 수목 그리고 자체 돌출부에 의해 형성된 음영에 의해 발전량이 크게 변하는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 음영을 고려한 건물의 외피의 도달일사량 분석이 선행되어야 한다.

병원건물에 설치 가능한 유리창을 제외한 남측면 벽으로 설치가능 면적은 963[m²]이며, 0.6×0.9[m] 모듈을 사용할 경우 1,784장을 남측면 외벽에 설치할 수 있다.

표 6. 시뮬레이션에 적용된 단결정 PV모듈의 물리적 특성

Table 6. Physical properties of mono crystal PV module

항 목	단 위	크 기
1 Open Circuit Voltage	[V]	22.03
2 Short Circuit Current	[I]	5
3 Voltage at Maximum Power Point	[V]	18
4 Current at Maximum Power Point	[A]	4.72
5 Reference insolation	[W]	1000
6 Reference Temperature	[K]	298
7 Number of series connected cells(not panel)	-	36
8 Number of parallel connected branches	-	1
9 Number of panels in surface	-	2
10 Empirical value used in calculation of I _o	-	10
11 Module type	-	BP Saturn
12 Module Size	[mm]	600×900
13 Weight	[kg]	7.5
14 Peak power at STC	[W]	85
15 Voc at STC	[V]	22.03
16 Isc at STC	[I]	5
17 Vmax at STC	[V]	18.0
18 Imax at STC	[A]	4.72

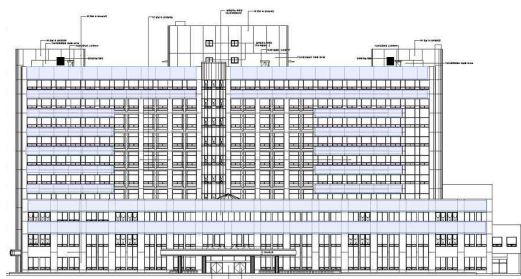


그림 8. 태양광모듈의 설치가능 면적
Fig. 8. Install Area of Photovoltaic Module

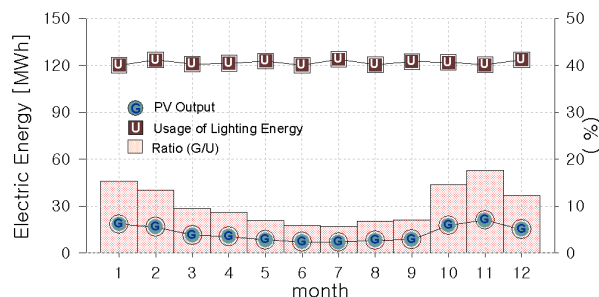


그림 9. 월별 조명사용량과 발전량
Fig. 9. Lighting Energy and Generated Energy

시뮬레이션 결과 963[m²]의 태양광 모듈을 설치시 생산되는 에너지는 연간 150,479[kWh]이며 K대학병원의 총 조명부하의 6[%]에 해당된다.

3.3 마이크로 가스터빈

마이크로터빈시스템의 자세한 해석결과도 참고문헌 [3]연구결과를 참조하였다.

4. 지열 및 마이크로터빈시스템의 하이브리드시스템의 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 132[MWh](5.0[kWh/m²])와 냉방에너지 2,111[MWh](80.1[kWh/m²])를 절약할 수 있도록 지중열교환기(geothermal heat exchanger)를 설치 유효공간, 지질의 타입 등의 지리적 요건과 굴착비용 등의 경제성을 고려하여 폐쇄형(Closed Loop) 지중열교환기 중 Double-U 타입의 수직형 열교환기를 선정하였으며 지열 히트펌프 시스템을 적용하여 분석하였다.

4.1 K대학교 병원의 냉난방에너지

K대학교 병원의 연간 난방에너지는 132[MWh](5.0[kWh/m²])이며, 냉방에너지는 2,111[MWh](80.1[kWh/m²])이다. 최대난방부하는 1.2[MW](46.0[W/m²])이며, 최대냉방부하는 2.4[kW](89.6[W/m²])로 분석되었다.

4.2 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 지층의 물성치, 시추공과 열교환기의 종류 및 물성치, 열매체의 물성치의 입력 변수를 입력하였다. 성능평가를 수행한 결과 얻어진 월별 기본 부하 및 피크 부하를 입력 방식에 맞도록 입력하였으며 입력한 데이터는 표 7에 나타내었다.

표 7. 입력 변수

Table 7. Input parameters for simulation

Ground properties	
Ground thermal conductivity	1.500[W/(m·K)]
Ground heat capacity	1.800[MJ/(m ³ ·K)]
Ground surface temperature	15.0[°C]
Geothermal heat flux	0.0650 [W/m ²]
Borehole and heat exchanger	
Configuration	673("169:13*13 rectangle")
Borehole depth	150[m]
Borehole spacing	5[m]
Borehole installation	DOUBLE-U
Borehole diameter	150.00[mm]
U-pipe diameter	40.000[mm]
U-pipe thickness	3.700[mm]
U-pipe thermal conductivity	0.420[W/m·K]
U-pipe shank spacing	95.000[mm]
Filling thermal conductivity	1.470[W/m·K]
Contact resistance pipe/filling	0.1390[m·K/W]
Heat carrier fluid	
Heat carrier fluid	Monoethyleneglycol 33[%]
Thermal conductivity	0.453[W/m·K]
Specific heat capacity	3565.0[J/Kg·K]
Density	1068.0[Kg/m ³]
Viscosity	0.0076[Kg/m·s]
Freezing point	-21.0[°C]
Flow rate per borehole	1.000[l/s]

4.3 분석 결과

① 최적화된 시추공의 깊이 계산 결과

K 병원에서 발생하는 냉난방 부하를 지열 히트펌프로 해소하기 위해 시추공의 깊이 및 이격거리를 최적화 시뮬레이션을 수행하였다. 표 8과 같이 5가지의 구성을 추출하였으며 그 중 시추공의 개수 및 차지하는 면적이 가장 합리적이라고 사료되는 Config.673에 대하여 분석하였다. 본 연구에서는 그림 10과 같이 폐쇄형 지중열교환기를 Double-U 타입의 수직형 열교환기를 선정하였으며 지열 히트 펌프 시스템을 적용하여 분석하였다.

표 8. 지열시스템의 최적화 결과

Table 8. Optimal results of geothermal system

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

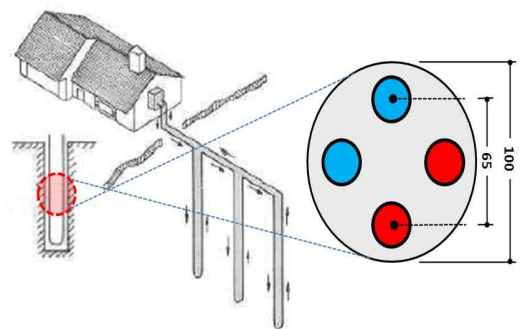


그림 10. 폐쇄회로 수직형 열교환기(Double-U Type)

Fig. 10. Vertical heat exchanger of double-U type

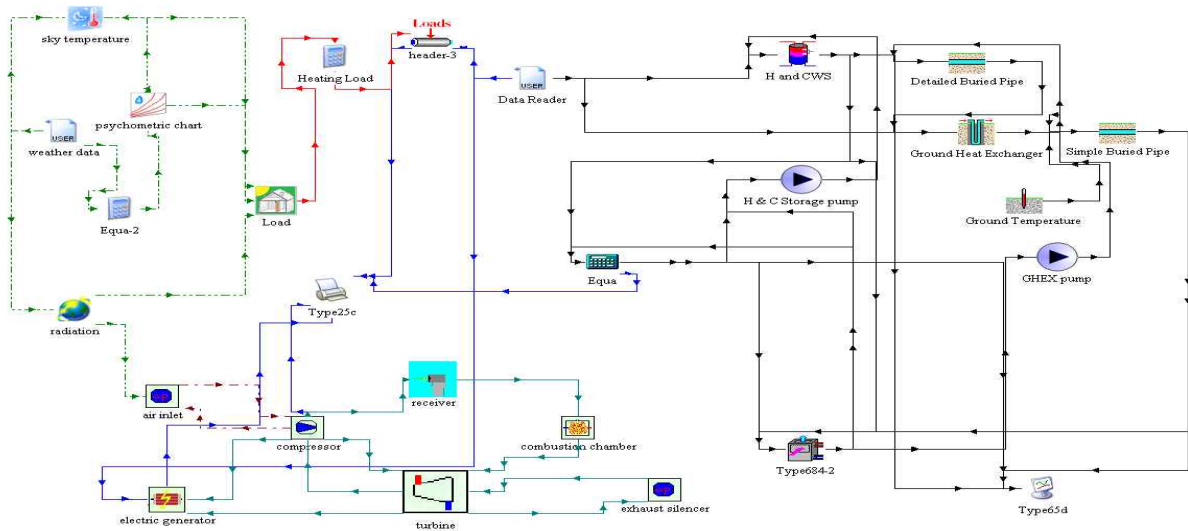


그림 11. TRNSYS 프로그램을 이용한 연합운전 해석 시뮬레이션
Fig. 11. Simulation model for hybrid energy system operation

그 결과 시추공 69개를 뚫었을 때 시추공의 깊이는 152.67[m], 총 시추공의 길이는 10,557[m]로 나타났으며 냉방 피크 부하에서 유체의 온도는 8월에 61.21[°C]이며, 난방 피크 부하에서 유체의 온도는 1월에 8.78[°C]로 나타났다. 그 결과는 그림 12에 표시하였다.

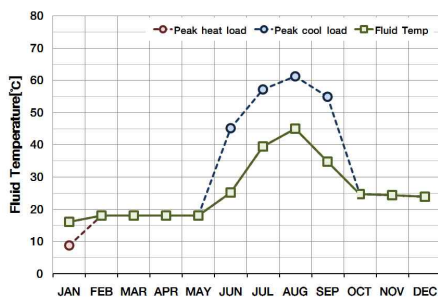


그림 12. 유체의 온도 변화(최적화)
Fig. 12. Fluid temperature variation

② 지열 에너지

지열 히트 펌프 시스템의 적용하기 위해 기본 입력 조건에 69개의 시추공을 깊이 152.67[m]로 총 10,5574 [m]를 시추하여 시스템에 적용하면 지중에서 연간 2,621[MWh](99.5[kWh/m²])의 지열에너지를 얻을 수 있으며 히트펌프에서는 연간 466[MWh](17.7[kWh/m²])를 얻을 수 있다. 즉, 연간 총 냉난방에너지 2,243

[MWh](85.1[kWh/m²])의 117[%]인 2,621[MWh](99.5 [kWh/m²])를 지중에서 열교환기를 통해 에너지를 획득하여 사용할 수 있으며 22[%]인 466[MWh](17.7 [kWh/m²])가 히트펌프에 전기에너지가공급되는 것으로 나타났다.

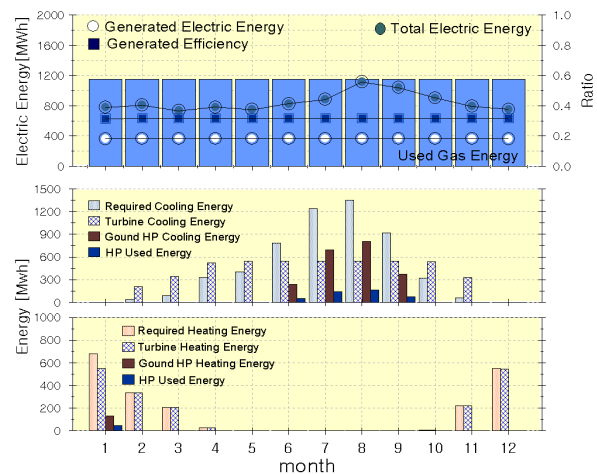


그림 13. 마이크로터빈과 지열원 히트펌프의 연합운전 시뮬레이션 결과
Fig. 13. Simulation results of hybrid energy system

그림 13는 마이크로터빈과 지열원 히트펌프의 연합 운전 시뮬레이션 결과를 종합적으로 나타낸 것이다.

이는마이크로터빈으로 K병원의 병원동에 냉난방에너지를 70[%] 공급이 가능하기 때문에 30[%]을 지열원 히트펌프로 담당하는 연합운전에너지 성능 분석한 것이다. 마이크로터빈의 연간발전효율은 31.6[%]이며 전체전기에너지 사용량의 43[%]를 생산하며 연합운전시 병원진료부 냉난방에너지는 충분히 공급하고 있음을 확인하였다.

5. 시스템별 경제성 분석

산출된 년 간 에너지 소비량을 신재생에너지 및 마이크로 가스터빈에 의해 절감되는 전기 및 가스량을 현재가로 환산하여 년간 에너지 절감비용을 산출하였다. 표 9는 대형병원에 적용되는 시스템의 용량 및 설치대형병원에 적용 가능한 신재생에너지 및 마이크로 가스터빈에 대한 경제성 분석을 위해 현재 냉난방시스템에서 소비되는 연간 전기 및 가스에너지 소비비용을 나타내고 있다.

표 9. 적용 시스템별 주요 사항 및 경제성 분석 결과
Table 9. Important parameters and economic evaluation results

	열병합발전 시스템	지열 시스템	태양열 시스템	태양광 시스템	열병합 +지열
시스템용량	500[kW]	35,448[m]	630[m ²]	963[m ²]	500[kW] 10,557[m]
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 결과를 그림 15에 나타내었다. 현재 대형병원에서 소비되는 년간 가스요금은 약 2억 7천 4백만원이며, 전기에너지는 9억 4천 6백만원으로 총 12억 2천여만원을 에너지비용으로 소비하고 있는 것으로 분석되었다. 여기에 마

이크로 가스터빈을 적용할 경우 터빈에 사용되는 가스사용량의 증가에 의해 가스요금은 5억 6백만원으로 증가하였지만 전기요금은 5억 3천 9백만원으로 감소하여 연간 1억 7천 5백만원의 에너지비용이 감소하는 것으로 나타났다. 그림 16의 각 시스템별 절감액은 표 9에 나타냈으며 열병합 및 지열시스템 연합운전에서 연간 절감 비용은 2.44억원으로 제일 효과가 있는 것으로 나타났다.

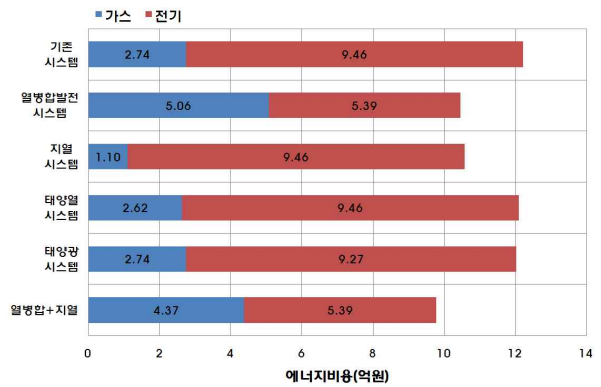


그림 14. 적용 시스템에 따른 연간 에너지비용
Fig. 14. Graph yearly energy cost for each system

6. 결 론

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

- (1) K대학교 병원 진료부의 에너지 소비량은 2,243 [MWh](85.1[kWh/m²])이며 지열히트펌프 시스템을 적용하였을 경우 절감할 수 에너지는 2,199[MWh](83.5[kWh/m²])로 98[%]를 절감할 수 있는 것으로 나타났다.
- (2) 마이크로터빈에 의하여 발전된 전기량은 연간 4,368[MWh]로 전체전기에너지사용량의 43[%]를 점유하며 또한 터빈에서 발생하는 배열을 냉난방에너지로 사용하는 경우 난방 및 냉방의 에너지 절감량은 각각 93[%], 84[%]로 나타났으며 열병합 발전시스템 효율은 79[%]로 상승되었다.
- (3) 연합운전의 에너지성능평가 결과 병원진료부 전

체 냉난방에너지를 공급가능한 것으로 나타났다.

- (4) 각 마이크로소오스를 대형 병원에 적용하여 운전하는 경우 지열 및 MTG시스템의 복합하이브리드 에너지시스템이 연감 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 절감율을 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

References

- [1] W.P. Hong, "Multi-Agent System Based Control and Management Technology for a Small Scale Building Microgrid," Knowledge and Economy Ministry Report(II), 2009.6.
- [2] W.P. Hong, "Energy performance Analysis of Building Microgrid System Including Microturbine," 2009 KIIEE Annual Autumn Conference, pp.279-284, 2009. 10.9.

- [3] W.P. Hong, "The Energy Performance & Economy Efficiency Evaluation of Microturbine Installed in Hospital building," KIIEE Journal, Vol. 23, No. 12, 2009(to be published).
- [4] C. Soares, "Microturbines application for Distributed Energy Systems," Elsevier Inc., 2007.
- [5] Lucas Lira, "Hybrid heating and cooling system optimisation with TRNSYS", Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde Engineering, 2008.
- [6] Olympia Zogou, Dipl.-Ing, "Transient Simulation fo a Combined Sycle Trigenation System Fuelled by Natural Gas", University of Thessaly School for Engineering Department of Mechanical Engineering Lab. of Thermodynamic & Thermal Engines, 2007.7.
- [7] 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.
- [8] Solar Energy Lab., "A Transient System Simulation Program(TRNSYS)," University of Wisconsin ar Madison, March 2000.

◇ 저자소개 ◇



홍원표 (洪元杓)

1956년 5월 15일생. 1978년 숭실대 전기공학과 졸업. 1989년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1979~1993년 한전 전력연구원 선임연구원. 2007~2008년 UBC 방문교수. 현재 한밭대학교 건축설비공학과 교수. 본 학회 편수위원. 대한설비공학회 에너지전문위원. 주요 연구분야는 필드버스제어네트워크 적용. Green Building과 에너지, 및 Smart space 구축기술임.