

병원건물의 마이크로터빈과 신재생에너지도입에 따른 경제성평가 기초연구

(The Basic Study on Economic Evaluation of Micro-turbine
and Alternative Energy system Installed in Hospital)

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

Abstract

This paper gives a basic Energy performance data of micro gas turbine and Renewable Energy(BIPV and Solar Collector System) 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. If micro gas turbine was operated only for electric energy, the efficiency was about 30%, but for combined heat and power, the efficiency was about 90%. Finally, installed in large hospital, Micro gas turbine system was operated to CHP mode, was high-efficiency system than Solar collector and BIPV system.

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 냉난방에너지 절감량 및 전기에너지 절감량을 분석함으로써 대형병원의 에너지 소비량을 절감하기 위한 효과적인 시스템의 선정에 대한 기초자료를 제시하는데 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, 증감축의 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, 태양열, 태양광 및 마이크로 가스터빈을 적용한 열병합발전 시스템의 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	
	m ²	평			
병원동	지하2	4,884	1,477	기계/전기실,서비스부,소각로,	
	지하1	5,920	1,791	재활의학,응급센터,진단방사선,	
	1	5,539	1,675	외래진료,인공투석,입상/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			

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

월	건구온도(°C)					습구온도(°C)	상대습도(%)	풍속(m/s)	일일 일사량(Wh/m ²)	18°C기준	
	월평균	월최대	월최소	최대온도	최저온도					난방도입	냉방도입
	평균	최대	최소	온도	온도					도입	도입
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	493	0
3	5.4	10.9	0.2	17.8	-7.2	2.3	62.0	4.5	12729	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

2.3 대형병원의 에너지 사용량조사

대형병원 신재생에너지 적용성 검토를 위해 본 연구에서는 2007년도 에너지 사용량을 조사하였다. 에너지 사용량은 크게 냉난방에너지, 조명에너지, 기기에너지로 크게 구분하여 조사하였으며, 그 결과를 아래의 표에 나타내었다.

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 수

정과 증보를 거치면서 전 세계적으로 널리 애용되는 건물에너지 시스템 시뮬레이션 프로그램이다[4].

표 3. 월별 가스사용량
Table 3. The Monthly Rate of Gas

	가스사용량(m ³)	사용시간(h)	단가(원)	시간당 사용량(m ³ /h)	사용금액(원)
1	30,965	230	627.61	208.86	31,986,144
2	34,192	210	627.61	162.82	21,459,241
3	31,532	186	613.55	169.53	19,346,459
4	12,551	89	613.55	141.02	7,700,666
5	19,457	109	401.63	178.50	7,814,515
6	64,478	298	401.63	216.37	25,896,299
7	82,716	360	401.63	229.77	33,221,227
8	119,695	470	409.37	254.67	48,999,542
9	30,399	306	409.37	164.70	20,631,839
10	11,825	60	701.28	197.08	8,292,636
11	24,967	113	717.44	221.12	17,926,673
12	48,124	312	644.84	154.24	31,032,280
합계	530,921	2763	659.51	293.69	3.62E+09
월평균	45,910	230	547.46	191.14	25,133,889

표 4. 월별 전기에너지 사용량
Table 4 The Monthly Rate of Electric Energy

	전기사용량(kWh)	공조기사용시간(h)	공조기사용량(kWh)	조명에너지(kWh)	기타(kWh)
1	778,608	250	125,500	194,652	458,456
2	805,584	210	105,420	201,396	498,768
3	731,184	186	93,372	182,796	455,016
4	781,152	89	44,678	195,288	541,186
5	748,608	109	54,718	187,152	506,738
6	825,744	298	149,596	206,436	469,712
7	884,736	360	180,720	221,184	482,832
8	1,116,192	470	235,940	279,048	601,204
9	1,041,840	306	153,612	260,460	627,768
10	903,254	60	30,120	225,816	647,32
11	793,728	113	56,726	198,432	538,57
12	751,776	312	156,624	187,944	407,20
합계	1,016,24	2763	1387,026	2,540,60	623,47
평균	846868	230	115586	211717	519566

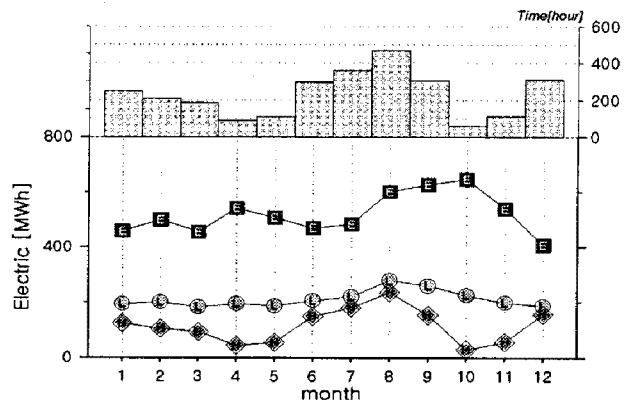


그림 1. 대형병원 조명, 기기, 공조용 전기사용량
Fig 1. The Electric Use Energy of Lighting, Equipments and HVAC

2) 시뮬레이션 해석모델의 입력조건

병원 건물의 냉·난방 설정온도는 동절기의 경우 22~24°C, 하절기에는 24°C~26°C로 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°C 상대습도 50%를 유지하고 있다.

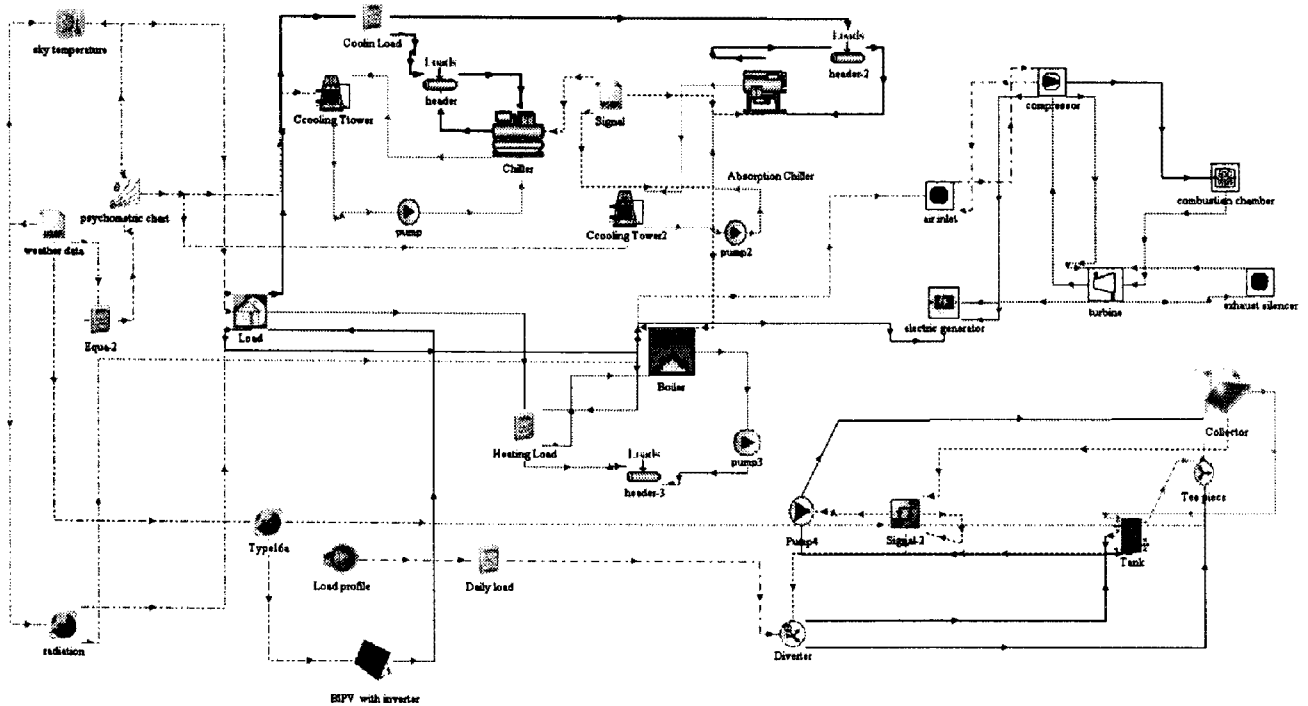


그림 2 TRNSYS에 의해 모델링된 냉난방시스템, 태양열,태양광, 마이크로 가스터빈 시스템
 Fig 2.The Modeling Image of Heating&Cooling System, Solar Collector, PV System, Microgas Turbine by TRNSYS

표 5. 시뮬레이션 해석모델의 내부발열
 Table 5. The Internal Gain of Simulation Model

구분	항목	인체		기기	조명
		현열 (W/인)	잠열 (W/인)		
병동부 (14751 m ²)	1인기준 발열량	50	30	140W pc x	19W/m ²
	재실인원	1인/15m ²		100대	
원무과 및 행정영역 (26346 m ²)	1인기준 발열량	입력값	75	140W pc x	19W/m ²
	재실인원	1인/20m ²		100대	

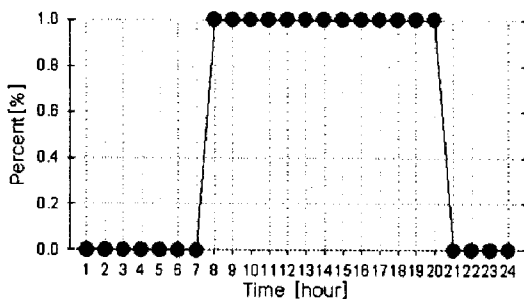


그림 3. 냉난방 스케줄
 Fig 3. Heating and Cooling Schedule

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.

4) 시뮬레이션 해석모델의 검증

동적열해석 프로그램인 TRNSYS를 이용하여 대형병원의 에너지 시뮬레이션 분석결과 실제사용량과 시뮬레

이션에 의한 값을 비교한 결과 약 9%의 오차가 있는 것으로 분석되었으며 선행연구의 결과를 참고할 때 추후 진행될 건물의 에너지 성능분석에 사용가능한 시뮬레이션 해석모델로 사료된다.

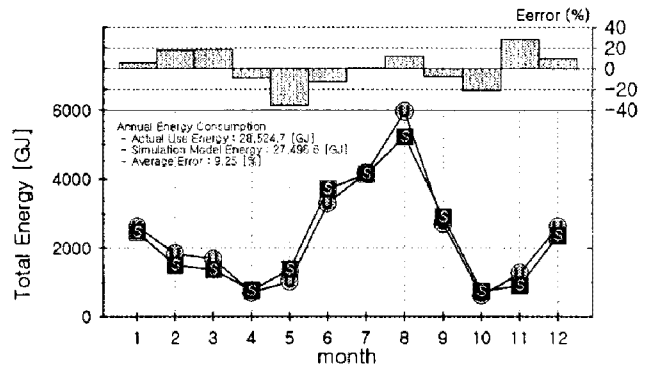


그림 4 대형병원의 냉난방 에너지 소비량 분석
 Fig . 4 The Analysis of Heating & Cooling Energy Usage

3. 신재생에너지 적용성 분석

3.1 태양열 시스템

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 6에 나타내었다.

표 6 시간당 기구수에 의한 급탕사용량
Table 6. Hot Water Usage of Units per Hourly

기구종류	기구당사용량(l/h)	기구수(개)	사용량(l)
세면기	55	461	25355
양식욕조	75	2	150
접시세정기	300	26	7800
부엌싱크	75	6	450
샤워	280	52	14560
청소용싱크	75	23	1725
Total			50040

2) 집열기 설치면적 산출

태양열 급탕시스템의 집열판 면적은 지역의 일사량과 태양열 시스템의 효율에 의해 좌우며 계산공식은 다음과 같다.

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

G : 급탕량(kg/h)

C : 온수의 비열(kJ/kg · K)

A_{co} : 이론 집열면적(m^2)

I_{rad} : 지역의 일사량(kWh/ m^2)

η_c : 집열기의 효율

위의 식에서 온수의 시수온도는 15°C, 온수온도를 60°C로 설정하였으며, 대전지역의 연평균일사량은 11.96kWh/ m^2 , 집열기효율을 30%로 적용한 결과 이론집열면적은 732 m^2 로 계산되었다. 그러나 태양열 시스템의 경우 시스템 자체의 하중과 집열효율을 위해서 건축물에 적용할 수 있는 부위는 극히 제한적이다. 본 연구에서는 아래의 그림과 같이 집열기의 설치부위는 지붕으로 하고 설치각도는 45°로 적용한 결과 설치가능한 집열면적은 630 m^2 로 계산되었다. 아래의 그림은 태양열 시스템을 설치할 수 있는 부분을 나타내고 있다.

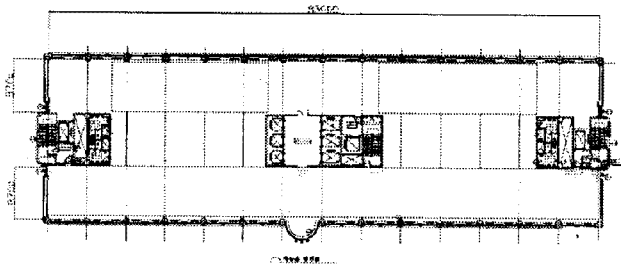


그림 5 태양열 설치가능 면적
Fig. 5. The installable Area of Solar Hot Water System

표 7 시물레이션에 적용된 태양열 집열기의 물리적 특성
Table 7. Physical Properties of Solar Collector System

타입		평판형
외형사이즈(mm)		1,200×2,400×77
집열판 소재		냉연강판 (0.6mm)
유로 수 (개)		35개(다이아몬드형, 17×4.5mm)
헤더관경(mm)		25
무게 (kg)	설치 전	40
	설치 후	43.8
	열매체량	3.8
집열면 처리		니켈도금 후 블랙크롬에 의한 선택적 흡수막
흡수율		$\alpha=0.95(\pm 0.02)$
방사율		$\epsilon=0.12(\pm 0.12)$
구조시합압력		45kg/ cm^2
누수시합압력		40kg/ cm^2
케이스		마린그라이드 알루미늄(0.7mm)
무과체	소재	저철분 강화유리
	투과율	최대 0.04%
	회수	최소 94%
보온	소재	회색 폴리에스터 매트
	두께	윗면55mm(밀도:10kg/ cm^3) 측면13mm(밀도:23kg/ cm^3)
단열성능		0.059W/H · °C @ 23°C

집열기의 순환수량은 집열기 1 m^2 당 0.9 $l/m^2 \cdot min$ 이므로 이것을 시간으로 환산하면 34000L/h이다. 태양의 존률은 아래의 식에 의해서 50%를 충족할 수 있으며, 축열탱크를 80ton으로 증가시킬 경우 충족할 수 있는 급탕부하가 1,792,133MJ/yr로 증가하고 태양의존율도 52%로 상승하였다.

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

표 8. 태양열 시스템의 설계결과
Table 8. Design Result of Solar Collector System

구분	집열기면적(m^2)		순환수량 (kg/h)	설치각도 (°)	집열효율 (%)	태양의존률 (%)
	이론	실제				
값	732	630	34000	45	30	52

3.2 태양광발전 시스템

태양광발전 시스템은 태양열 시스템과 달리 건물의 외장재 대용으로 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 m^2 이며, 0.6 $m \times 0.9m$ 모듈을 사용할 경우 1784장을 남측면 외벽에 설치할 수 있다.

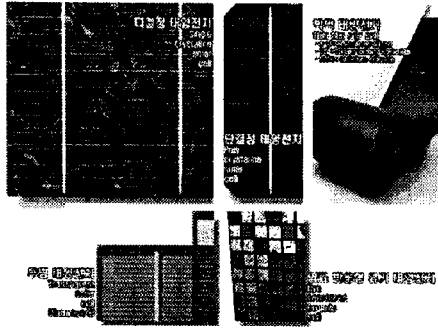


그림 6. 태양광모듈의 종류
Fig 6. The Kinds of PV Modules

표 7 시뮬레이션에 적용된 단결정 PV모듈의 물리적 특성
Table7 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 ₀	-	10
11 Module type	-	BP Saturn
12 Module Size	mm	1183×525
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

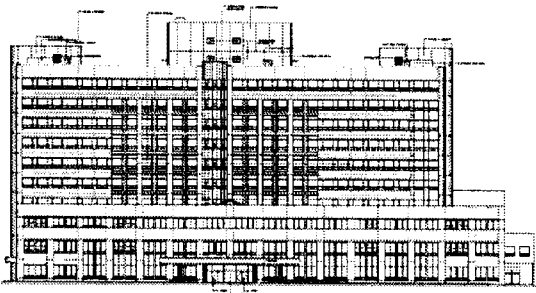


그림 7 태양광모듈의 설치가능 면적
Fig 7. Install Area of Photovoltaic Module

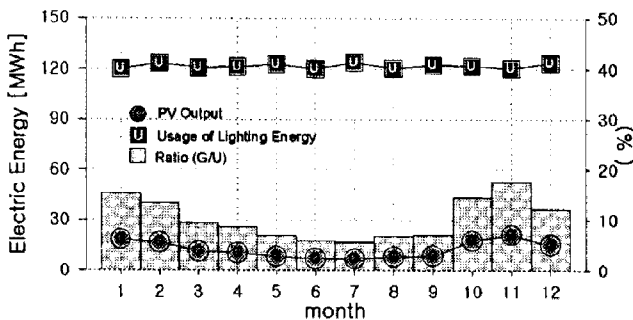


그림 8 월별 조명사용량과 발전량
Fig 8. Lighting Energy and Generated Energy

시뮬레이션 결과 960m²의 태양광 모듈을 설치시 생산

되는 에너지는 연간 150,479kWh이며 대형병원의 총 조 명부하의 6%에 해당된다.

3.3 마이크로 가스터빈

대형병원의 에너지 절약을 위해 본 연구에서는 0.5MW 이하의 마이크로 가스터빈을 적용하였다. 가스터빈은 크게 공기압축기(compressor), 연소실(Combustion), 터빈 (Turbine)으로 구성되어져 있으며 열과 전기를 동시에 생산할 수 있어 에너지 이용률이 다른 시스템에 비해 높기 때문에 국내외적으로 적용사례가 증가하고 있다.

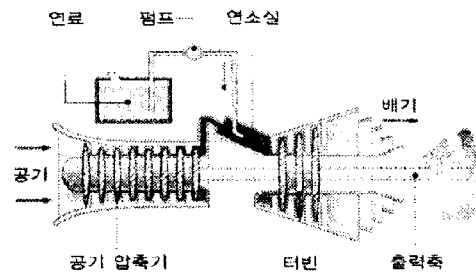


그림 9. 소형가스터빈의 구성
Fig 9. Components of Micro Gas Turbine

건물에 사용되는 가스터빈은 0.5MW이하의 소형가스 터빈이 적용되고 있으며 이러한 이유로 시스템이 소형 화되고 있는 경향이다. 본 연구에서도 냉난방에너지와 전기에너지를 동시에 절감할 수 있는 방안으로 마이크 로가스터빈을 적용하였다. 마이크로 가스터빈의 크기는 년중 일정하게 전기를 소비하는 부분인 조명에너지를 대체할 수 있는 크기로 용량으로 0.5MW급 소형가스 터빈을 선정하였으며 터빈의 부분별 설계값은 아래의 표 와 같다.

표 10. 마이크로가스터빈의 구성요소
Table 10. The Components of Microgas turbine

부속기기 내용	압축기		연소기		터빈		발전기
	입구	출구	입구	출구	입구	출구	
압력(bar)	1	15	15	15	15	1	-
온도(℃)	25	423	423	1100	1100	504	-
유량(kg/h)	7300	6845	6845	6968	6968	7108	-
압축비	15	-	-	-	-	-	-
연탈피(kJ/h)	50	425	425	1260	1260	395	-
적위발열량(kJ/h)	-	-	-	47600	-	-	-
연료사용량(kg/h)	-	-	-	123	123	-	-
기효율(η)	0.88	-	-	-	0.9	-	0.85

0.5MW급의 마이크로 가스터빈을 설치한 후의 운전 방식은 터빈에 의한 발전과 터빈에서 발생하는 배열을 냉방 및 난방에너지원으로 활용하는 열병합발전(CHP) 시스템으로 운전하였다. 열병합발전 시스템의 에너지성 능분석을 시뮬레이션 한 결과 터빈에 사용된 연간 에너지는 51,339.64GJ이며 생산되는 전기는 15,726GJ로 약 30%의 발전성능이 있는 것으로 나타났다. 발전된 전기

량은 연간 4368.38MWh이며 전체 전기에너지 사용량 (10168.42MWh)의 43.6%이상을 생산하고 있는 것으로 분석되었다. 또한 터빈에서 발생하는 배열을 난방 및 냉방에너지원으로 활용 할 경우 난방에너지 및 냉방에너지 절감효율은 각각 56%, 67%로 나타났으며 열병합 발전 시스템의 효율은 70%로 상승하는 것으로 나타났다.

에너지 활용도가 높을 것으로 사료된다.

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.

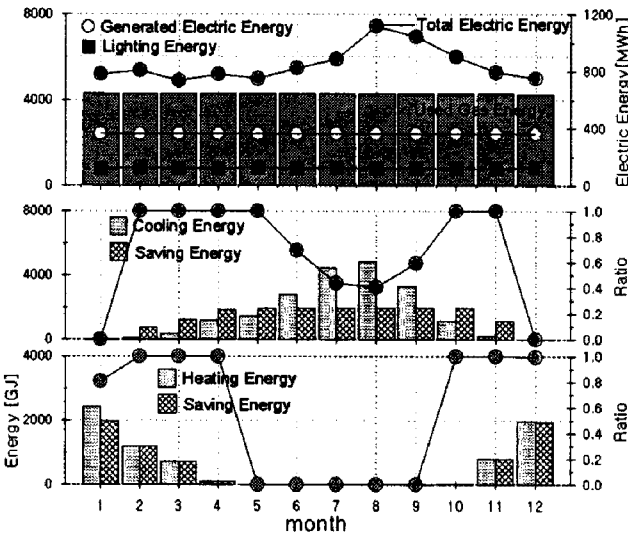


그림 10. 0.5MW급 마이크로 가스터빈의 에너지 성능분석
Fig 10. Energy performance of Micro Gas turbine

4. 결론

대형병원에 신재생에너지 및 마이크로 가스터빈을 적용한 후 에너지 절감효과를 분석한 결과는 다음과 같다.

(1) 태양열 집열기를 병원의 옥상에 설치할 경우 병원에서 소비되는 급탕에너지의 약 50%를 절감할 수 있는 것으로 분석되었다.

(2) 건물일체형 태양광발전시스템을 남측면 외벽에 적용한 결과 발전량은 전체 조명에너지의 6%이하로 발전성능을 갖고 있는 것으로 분석되었다.

(3) 0.5MW급 마이크로 가스터빈을 설치한 후 에너지 성능분석을 한 결과 터빈에서의 발전효율은 30%이며, 전기는 건물에서 사용되는 조명에너지 뿐만 아니라 전체 전기에너지의 40%를 절감할 수 있는 것으로 분석되었다. 또한 터빈에서 발전되는 전기량과 배열을 냉난방 에너지원으로 이용할 경우 전체 시스템효율은 70%로 상승할 뿐만 아니라 난방에너지의 56%, 냉방에너지의 67%를 절감할 수 있는 것으로 분석되었다.

(4) 마이크로 가스터빈의 경우 태양광이나 태양열시스템에 비해 설치 면적이 비교적 작을 뿐만 아니라 열과전기를 동시에 생산할 수 있는 장점 때문에 건물에서

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

참고문헌

- [1] Lucas Lira, "Hybrid heating and cooling system optimisation with TRNSYS", Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde Engineering, 2008.
- [2] Olympia Zogou, Dipl.-Ing, "Transient Simulation to 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
- [3] NanShou, Chris Marnay, Ryan Firestone, Weijun Gao, and Masaru Nishida, "An analysis of the DER Adoption Climate in Japan Using Optimization Result for Prototype Building with U.S. Comparisons", LBL., 2006.6.
- [4] Solar Energy Lab., "A Transient System Simulation Program(TRNSYS)," University of Wisconsin at Madison, March 2000.
- [5] C. Soares, "Microturbines application for Distributed Energy Systems," Elsevier Inc., 2007.