

# 대형병원 건물에 마이크로 가스터빈 적용을 위한 에너지성능 및 경제성 평가

김병수\*, 홍원표\*\*

\*(주)BEMS컨설팅(ibems@naver.com), \*\*한밭대학교(wphong@hanbat.ac.kr)

## The Energy Performance & Economy Efficiency Evaluation of Micro Gas Turbine Installed in Hospital

Kim, Byoung-Soo\* Hong, Won-Pyo\*\*

\*BEMS Consulting(ibems@naver.com),

\*\*Dept. of Building Services, Hanbat National University(wphong@hanbat.ac.kr),

### Abstract

Feasibilities of the application of a micro gas turbine cogeneration system to a large size hospital building are studied by estimating energy demands and supplies.

The energy demand for electricity is estimated by surveying and sorting the consumption records for various equipment and devices. The cooling heating, and hot water demands are further refined with TRNSYS and ESP-r to generate load profiles for the subsequent operation simulations. The operation of the suggested cogeneration system in conjunction with the load data is simulated for a time span of a year to predict energy consumption and gain profile.

The simulation revealed that the thermal efficiency of the gas turbine is about 30% and it supplies 60% of the electricity required by the building. The recovered heat can meet 56% of total heating load and 67% of cooling, and the combined efficiency reaches up to 70%.

Keywords : 소형가스터빈(Micro gas turbine), 대형병원(Hospital), (Climatic design), 기상데이터 (Weather Data)냉난방 에너지(Heating & Cooling Energy), 신재생에너지(Renewable Energy), 에너지절약(Energy conservation)

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

본 연구는 대형병원의 에너지 소비패턴을 분석한 후 마이크로가스터빈을 적용할 경우

기존 시스템 대비 냉난방에너지 절감량 및 전기에너지 절감량과 경제성분석을 통해 대형병원의 에너지 소비량을 절감하기 위한 기초 자료를 제시하는데 연구의 목적이 있다.

투고일자 : 2009년 7월 28일, 심사일자 : 2009년 7월 30일, 게재확정일자 : 2009년 10월 12일  
교신저자 : 홍원표(wphong@hanbat.ac.kr)

### 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 조사하였다. 2)건축물의 도면과 현장방문을 통해 공간의 사용변경, 증감축의 변화 등을 조사하였다. 3) 에너지 사용연보 및 사용량 측정데이터를 난방용, 냉방용, 급탕용, 조명용, 기타 기기용으로 분류 가능한 데이터를 조사하였다. 4)건물에서 조사된 에너지 사용 년도의 기상데이터를 기상청의 자료를 이용하여 시뮬레이션 포맷에 맞게 정리하였다. 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, 마이크로 가스터빈을 적용한 열병합발전 시스템의 적용에 따른 에너지 절감량과 경제성을 분석하였다.

## 2. 대형병원의 에너지성능분석

### 2.1 대형병원의 개요

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

병원동의 연면적은 41,098㎡(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. 표1은 대형병원의 병원동 부분의 세부내용을 나타내고 있다.

표 1. 대형병원의 개요

구분	층별	면적		용도
		m <sup>2</sup>	평	
병원동	지하2	4,884	1,477	기계/전기실,서비스부,소각로
	지하1	5,920	1,791	재환의학,응급센터,전담방사선
	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 대형교병원의 에너지 성능 분석을 위해 2007년도의 에너지 사용량을 시뮬레이션으로 재현하기 위해 2007년도 대전 기상데이터 활용하였다.

표 2. 대전지역 2007년도 기상자료 월별 통계처리 결과

구분	Heating Degree Day(HDD)				Cooling Degree Day(CDD)			
	22		24		24		26	
	Avg/day	total	Avg/day	total	Avg/day	total	Avg/day	total
1	23.35	723.7	0	0	0	0	0	0
2	21.47	601.1	0	0	0	0	0	0
3	16.33	506.31	0	0	0	0	0	0
4	9.73	291.9	0.1	3.05	0	0.15	0	0
5	5.12	158.68	0.86	26.69	0.28	8.55	0.09	2.91
6	1.66	49.88	1.94	58.08	0.73	21.96	0.3	8.98
7	0.22	6.75	4.44	137.77	1.94	61.1	0.97	30.03
8	0.29	8.93	5.18	160.59	2.79	86.58	1.66	51.6
9	2.28	68.52	1.19	35.72	0.31	9.37	0.07	2.18
10	7.6	235.55	0.18	5.7	0.02	0.68	0	0
11	15.33	460.05	0	0	0	0	0	0
12	21	650.88	0	0	0	0	0	0

### 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.

표 3. 월별 가스사용량

	가스사용량 (m)	사용시간 (h)	단가 (원)	시간당 사용량 (m/h)
1	50,965	250	627.61	203.86
2	34,192	210	627.61	162.82
3	31,532	186	613.55	169.53
4	12,551	89	613.55	141.02
5	19,457	109	401.63	178.50
6	64,478	298	401.63	216.37
7	82,716	360	401.63	229.77
8	119,695	470	409.37	254.67
9	50,399	306	409.37	164.70
10	11,825	60	701.28	197.08
11	24,987	113	717.44	221.12
12	48,124	312	644.84	154.24
합계	550,921	2763	6569.51	2293.69
월평균	45,910	230	547.46	191.14

표 4. 월별 전기에너지 사용량

	전기사용량 (kWh)	공조기 사용시간 (h)	공조기 사용량 (kWh)	조명에너지 (kWh)	기타 (kWh)
1	778,608	250	125,500	194,652	458,45
2	805,584	210	105,420	201,396	498,76
3	731,184	186	93,372	182,796	455,01
4	781,152	89	44,678	195,288	541,18
5	748,608	109	54,718	187,152	506,73
6	825,744	298	149,596	206,436	469,71
7	884,736	360	180,720	221,184	482,83
8	1,116,192	470	235,940	279,048	601,20
9	1,041,840	306	153,612	260,460	627,76
10	903,264	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	51956

## 2.4 시뮬레이션 해석모델

### 1) TRNSYS의 개요

건물 상세 해석프로그램인 TRNSYS는 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 시스템 시뮬레이션 프로그램이다.

### 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.

표 5. 시뮬레이션 해석모델의 내부발열

구분	항목	인체	기기	조명	
병동부 (14751 m)	1인기준 발열량	현열 (W/인) 50	잠열 (W/인) 30	140W pc × 100대	19W/m <sup>2</sup>
	제실인원	1인/15m <sup>2</sup>			
원무과 및 행정구역 (26346 m)	1인기준 발열량	현열 (W/인) 입력값	잠열 (W/인) 75	140W pc × 100대	19W/m <sup>2</sup>
	제실인원	1인/20m <sup>2</sup>			

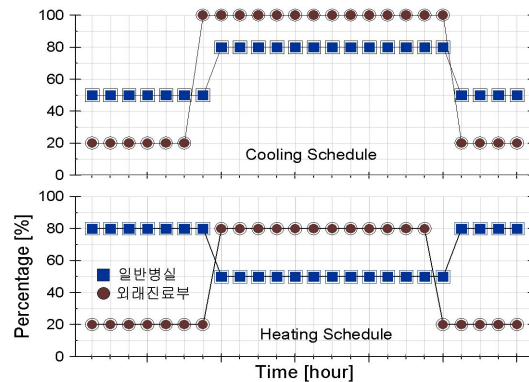


그림 1. 냉난방스케줄

### 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.

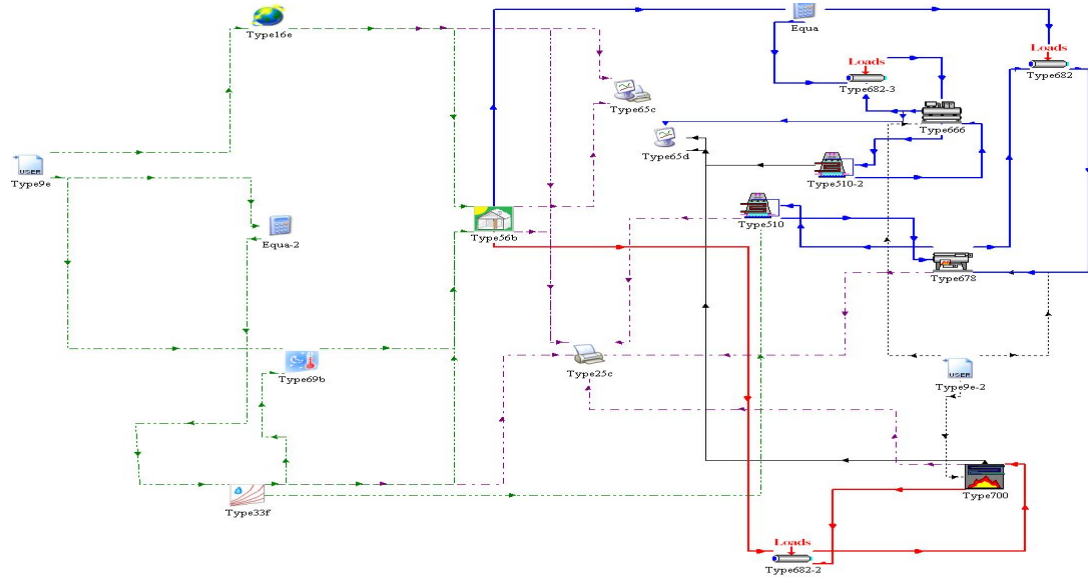


그림 2. 동적열해석 프로그램(TRNSYS)을 이용한 대학병원 시스템의 입력모습

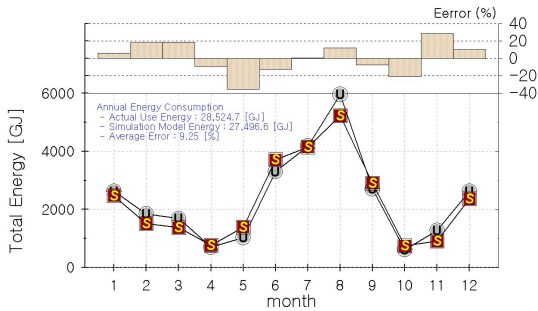


그림 3. 대형병원의 냉난방 에너지 소비량 분석

### 3. 마이크로 가스터빈의 성능분석

#### 3.1 마이크로 가스터빈의 요소별 특징

대형병원의 에너지 절약을 위해 본 연구에서는 0.5MW이하의 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.

본 연구에서는 년중 전기와 열원의 소비가 일정한 병원동의 병실의 전기에너지를 공급할

수 있도록 0.5MW용량의 가스터빈을 적용하여 냉난방에너지와 전기에너지를 동시에 절감할 수 있도록 하였다. 마이크로 가스터빈의 크기는 년중 일정하게 전기를 소비하는 부분인 조명에너지를 대체할 수 있는 크기로 용량으로 0.5MW급 소형가스터빈을 선정하였으며 터빈의 부분별 설계값은 아래의 표와 같다.

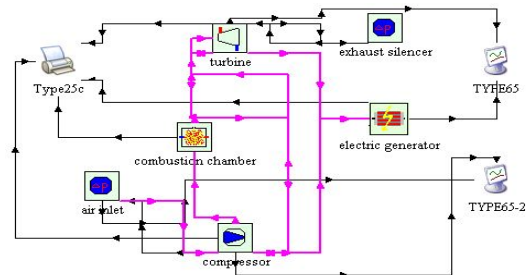


그림 4. TRNSYS에서 모델링된 마이크로가스터빈의 구성

#### 3.2 마이크로 가스터빈의 에너지 성능분석

0.5MW급의 마이크로 가스터빈을 설치한 후의 운전방식은 터빈에 의한 발전과 터빈에서 발생하는 배열을 냉방 및 난방에너지원으로 활용하는 열병합발전(CHP)시스템으로 운전하였

다. 열병합발전 시스템의 에너지성능분석을 시뮬레이션 한 결과 터빈에 사용된 연간 에너지는 51,339.64GJ이며 생산되는 전기는 15,726GJ로 약 30%의 발전성능이 있는 것으로 나타났다. 발전된 전기량은 연간 4368.38MWh이며 전체 전기 에너지 사용량(10168.42MWh)의 43.6% 이상을 생산하고 있는 것으로 분석되었다.

표 6. 마이크로가스터빈의 구성요소

부속기기 내용	압축기		연소기		터빈		발전기
	입구	출구	입구	출구	입구	출구	
압력(bar)	1	15	15	15	15	1.1	-
온도(°C)	25	423	423	1100	1100	504	-
유량(kg/h)	7300	6845	6845	6968	6968	7108	-
압축비		15	-	-	-	-	-
엔탈피(kJ/h)	50	425	425	1260	1260	395	-
저위발열량(kJ/h)	-	-	-	47600	-	-	-
연료사용량(kg/h)	-	-	-	123	123	-	-
기효율(η)		0.88	-	-	0.9	-	0.85

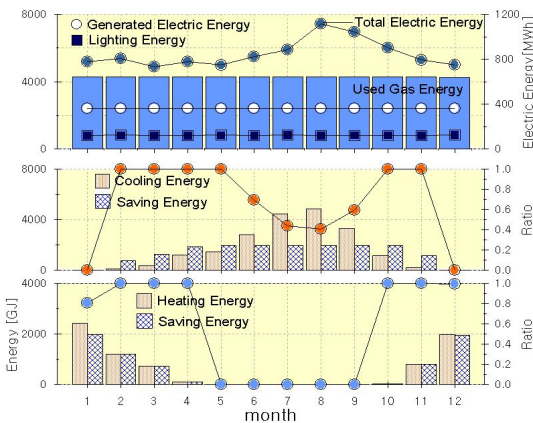


그림 5. 0.5MW급 마이크로 가스터빈의 에너지 성능분석

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.

### 3.3 마이크로 가스터빈의 경제성분석

본 연구에서의 경제성 평가는 원단위 데이

터베이스의 활용, 수명주기에 따른 각 미용발생 부분에서의 단위면적당 년 간 비용(원/년·m<sup>2</sup>) 계산결과가 산출됨 등을 고려하여 연간등가법(annual worth method)을 사용하였다.

연간등가법은 각 시스템 대안의 수명주기에 따라 발생하는 모든 투자비용과 각 대안에 의해 얻어지는 절감액 또는 편익이 매년 균일하게 발생한다고 가정할 경우, 이와 대등한 연간 비용으로 환산하는 방법으로 어떤 시점의 비용과 수입을 매년 균일하게 분할하여 등가 환산함으로써 경제적인 대안을 선정하는 방법이다. 해마다 동일하게 발생하는 비용에 의해 발생하는 돈의 양은 특정 분석기간과 할인율에 대한 등가지불현재가계수(UPV : uniform present value factor)를 연간 비용에 곱함으로써 기준시점에서의 현재가치로 할인할 수 있다. 이것을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$UPV = \left( \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} \right)$$

$$P = A \cdot UPV = A \cdot \left( \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} \right)$$

P : 현재(Present value)

따라서 연가(annual value)를 구하면 다음 식과 같다.

$$A = P \cdot UPV = P \cdot \left( \frac{i(1+i)^N}{i(1+i)^N - 1} \right)$$

A : 연가(Annual value)

표 7. 적용 시스템별 주요 사항

시스템 용량	초기 투자비	연간절감 비용	에너지 절감량(kW)	단위비용당 에너지절감효과
500kW	12.5억원	1.75억원	5,576,435	45 kW/만원

대형병원에 적용한 마이크로 가스터빈에 대한 경제성 분석을 위해 현재 냉난방시스템에서 소비되는 연간 전기 및 가스에너지 소비금액을 산출하였다. 산출된 연간 에너지 소비량을 마이크로 가스터빈에 의해 절감되는 전기 및 가스량을 현재가치로 환산하여 년

간 에너지 절감비용을 산출하였다. 아래의 표는 대형병원에 적용되는 시스템의 용량 및 설치비용을 나타내고 있다.

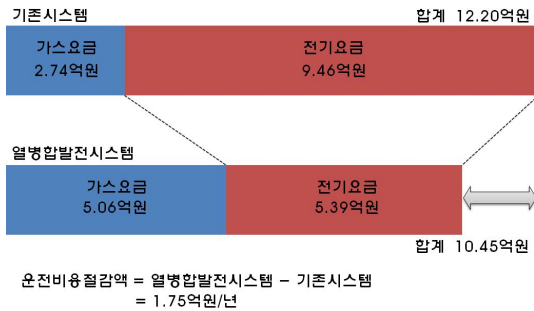


그림 6. 마이크로 가스터빈에 의해 절감되는 연간 에너지 절감량 산출에

초기투자비를 단순투자회수 기간을 계산할 때 약 7.14년으로 나타났고, 현가등가법으로는 약 9년으로 분석되었다. 시스템의 내구연한은 20년으로 적용하여 분석하였다.

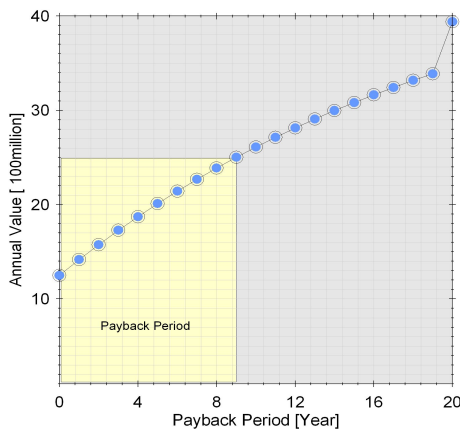


그림 7. 열병합발전시스템 경제성 분석

현재 대형병원에서 소비되는 연간 가스요금은 약 2억 7천 4백만원이며, 전기에너지는 9억 4천 6백만원으로 총 12억 2천여만원에 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. 즉 도시가스의 사용량은 약 84% 증가하나 전기의 매입량이 약 43% 저감 시킬 수 있는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

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 냉난방에너지원으로 이용할 경우 전체 시스템효율은 70%로 상승할 뿐만 아니라 난방에너지의 56%, 냉방에너지의 67%를 절감할 수 있는 것으로 분석되었으며 현가등가법에 의한 시스템 투자회수 기간이 약 9년으로 분석되었다.

#### 참 고 문 헌

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 fo a Combined cycle Trigenation System Fuelled by Natural Gas", University of Thessaly School fo Engineering Department of Mechanical Engineering Lab. of Thermodynamic & Thermal Engines, 2007.7
3. 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.