

열병합시스템 경제성 평가 프로그램의 개발 및 적용에 관한 연구

박차식* · 김용찬**
(1998년 2월 27일 접수)

Development and Application of an Economic Assessment Program of Cogeneration Systems

Chasik Park and Yongchan Kim

Key Words: Cogeneration System(열병합발전 시스템), Economic Assessment(경제성 평가), Waste Heat Recovery(배열회수), Cooling(냉방), Heating(난방)

Abstract

The object of this study was to develop an economic assessment program for the optimal design of the cogeneration systems composed of combining engine, generator, waste heat recovery exchanger, absorption chiller, and boiler, etc. The energy demand categorized by electric power, heating, cooling and water supply was determined by statistical data of the existing cogeneration systems. An economic assessment was performed by comparing the total cost of cogeneration system with that of non-cogeneration system. The total cost was evaluated by adding initial investment to operational cost considering efficiency of equipment, cost of equipment, fuel and electricity. To confirm the validity of the developed program, a hotel building with an area of 127,960 m² was selected, and the simulated results were compared with the measured data. The difference between the simulated and the measured values for the selected hotel building was approximately 12% for annual electric consumption.

1. 서론

산업발전에 따른 화석연료 사용증가로 인한 환경공해문제, 에너지 절약문제, 그리고 동/하절기 가스/전기의 수급불균형 문제등이 최근 크게 대두되고 있다. 산업구조가 에너지 다소비형 사회로 진전되면서 에너지의 소비량은 급증하고 있으나 발전소 입지난으로 대형 산업용 발전설비투자가 어려워지고 있고, 산업설비의 증가에 따른 환경오염문제가 대두되면서 이의 타개를 위한 노력이 요구되고 있다.

따라서, 부존자원이 미약한 일본을 중심으로 1985년경부터 천연가스를 연료로 사용하고, 설치운전이 용이하며 에너지 이용효율이 높은 소형 분산형 열병합시스템이 중점 개발 보급되고 있다. 여러 측면에서 일본과 유사한 우리나라에서도 1970년대 부터 공업단지, 산업체공장 및 목동

열병합 등 대형 열병합 시스템이 주로 설치되어 왔으며, 1990년대 이후에는 소형열병합을 중심으로 시스템개발, 보급 활성화에 많은 노력을 기울이고 있다^(1,2).

열병합발전이란 한가지 에너지를 열원으로 하여 두 종류(열과 전기) 이상의 2차 에너지를 동시에 생산하는 시스템을 의미한다. 엔진 또는 터빈을 구동하여 발전을 하면서 배기가스와 냉각수의 폐열을 회수하여 냉방, 난방 및 급탕을 하기 위한 열을 발생시키는 시스템으로서 열 및 전기부하 조건이 양호할 경우 종합 열 이용효율을 75~85%까지도 높일 수 있는 에너지 이용 방식이다⁽³⁾. 열병합 시스템은 Fig. 1과 같이 원동기와 발전기 및 배열회수장치가 내장된 패키지부와 급탕, 난방 및 냉방을 하는 배열 이용부로 나눌 수 있다.

현재 국가적으로 대책이 시급한 하절기 전력난 문제, 에너지 절약 문제 및 환경공해 문제 등을 해결하기 위해서는 소형열병합의 보급이 필수적이라 할 수 있지만⁽¹⁾, 열병합 시스템은 기존

* 기아자동차 (주)

** 회원, 고려대학교 기계공학과

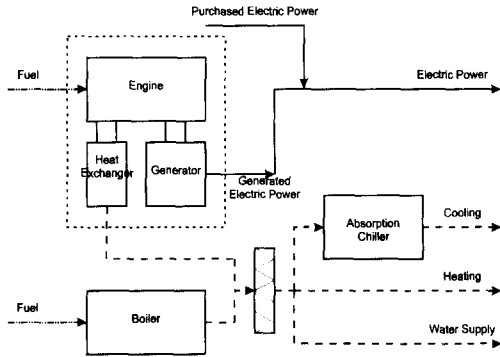


Fig. 1 Schematic of cogeneration system.

냉난방 및 급탕 시스템에 비하여 초기 투자비용이 많이 들기 때문에 투자에 대한 정확한 경제성 평가가 선행되어야 한다^(4,5). 또한 시스템을 에너지 효율적이고 경제적인 시스템으로 설계하기 위해서는 설치 대상건물에 대한 정확한 연간부하 및 부하패턴을 파악하여야 한다.

본 연구에서는 열병합이 설치되어 있는 기존 건물에 대한 연간 에너지 소비량을 용도별로 조사, 분석하고 연면적에 따른 전력, 급탕, 난방 및 냉방에 대한 에너지 소요량을 통계자료의 곡선접합을 통하여 구하였다. 이를 바탕으로 건물유형에 따른 월별, 시간별 부하패턴을 작성하여 대상 건물의 용도 및 연면적을 기준으로 대상건물의 연간 에너지 수요량을 계산하고 구성기에 따른 연간 운전비를 계산하였다. 또한 열병합 시스템의 구성기에 대한 가격을 조사하여 초기투자비용을 산정하였으며, 전력요금 및 연료요금이 포함된 운전비용을 초기투자비용과 합하여 총비용의 관점에서 기존 비열병합시스템과의 비교를 통하여 열병합 시스템의 경제성을 평가하였다.

2. 열병합 발전 시스템의 경제성 평가프로그램

2.1 호텔건물의 에너지 부하모델

열병합발전 시스템의 경제성평가를 위해서는 대상건물에 대한 정확한 소비용도별 에너지 부하 자료를 가지고 있어야 한다. 본 연구에서는 호텔 건물 41개에 대한 자료를 바탕으로 소비에너지를 분류하였으며 이에 기초하여 에너지 부하모델을

작성하였다. 조사대상 호텔건물의 총연면적은 2,755,806 m²이고, 평균연면적은 67,215 m²이다.

호텔건물의 연료 사용비율을 Table 1과 같이 용도별로 분류하면, 난방용으로 약 41%가 소비되고 있으며 급탕과 세탁용으로 각각 25%와 11%의 연료가 소비되고 있다⁽⁶⁻⁹⁾. 냉방용 연료사용 비율은 9%로 나타나 있는데 이는 실제 냉방에 적용되고 있는 터보냉동기를 제외한 가스를 사용하는 흡수식냉동기가 설치된 곳의 연료사용 실적이므로 전체 냉방을 위한 비율과 다르다.

Table 1 Classification of fuel consumption. (Unit : TOE/year)

Year	Heating	Hot Water	Kitchen	Washer	Cooling	Etc.	Total
93	29,193	16,406	6,305	7,239	5,554	3,420	68,117
94	28,365	17,035	6,261	7,311	6,439	3,473	68,884
95	29,244	17,444	6,474	6,927	6,595	3,585	70,269

호텔건물의 용도별 전력 사용비율을 Table 2와 같이 비교하면, 동력용과 조명용이 전체 사용량의 약 72%를 차지하고 있으며 냉방용 전력사용량은 16%를 차지하고 있다⁽⁶⁻⁹⁾.

Table 2 Classification of electric consumption. (Unit : MWh/year)

Year	Lighting	Power	Cooling	Computer	Etc.	Total
93	127,548	167,796	58,649	10,278	36,479	399,150
94	132,386	171,118	66,868	10,979	36,328	417,679
95	137,676	178,248	66,774	12,704	37,004	432,406

건물의 에너지 수요는 일반적으로 전력, 냉방, 난방 및 급탕 등의 열 수요로 분류할 수 있다. 여기서 전력수요는 냉방을 위해 소비된 전력을 제외한 일반 전력수요를 의미한다. 1993년부터 1995년까지의 냉방용 전력수요와 일반 전력수요의 평균을 구하면 각각 64,097 MWh와 352,315 MWh로 전체 전력수요량에서 냉방용으로 소비되

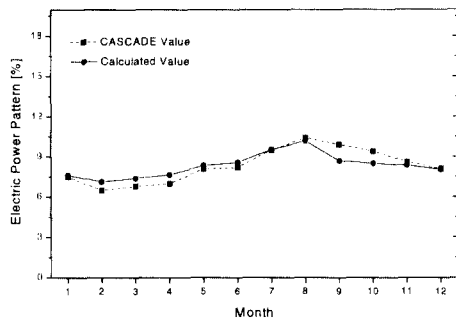


Fig. 2 Patterns of electric power demand.

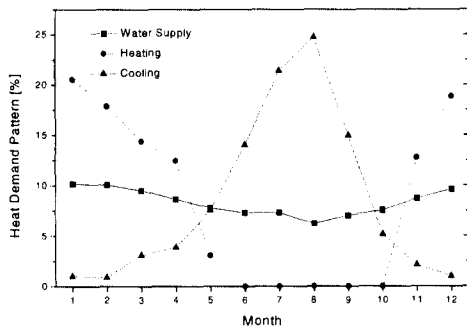


Fig. 3 Patterns of heating energy demand.

는 비율은 15.4%가 된다. Table 2에서의 전력수요량은 호텔건물 41개에 대한 합이므로 총연면적으로 나누어 호텔건물에 대한 연간 일반 전력수요량을 계산하였다.

Fig. 2는 호텔건물에 대한 월별 전력부하패턴을 CASCADE(Computer Aided Simulation for Cogeneration Assessment and Design) 프로그램⁽¹⁰⁾에서 구한 값과 비교하여 나타내고 있다. 전체적으로 월별 전력부하패턴이 CASCADE의 경우와 일치하고 있다. 냉방 전력소비량을 제외한 일반전력 소비량만을 나타냈기 때문에 전력소비량의 급격한 변화는 없지만 타계절에 비하여 여름철에 전력소비가 증가함을 알 수 있다.

국내에서는 대부분 호텔건물의 월별 연료 소비량을 용도별로 분류하여 관리하지 않고 전체 연료사용량을 관리하고 있기 때문에 용도별 연료소비량을 분류하는 것이 불가능하였다. 따라서, 본 연구에서는 일본의 연료소비량 통계자료에 기초하여 작성된 CASCADE 프로그램의 자료를 활

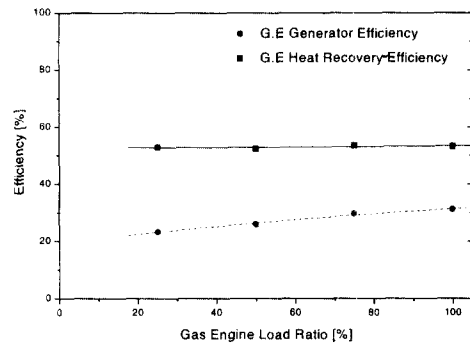


Fig. 4 Efficiency of gas engine.

용하여 월별, 시간별 부하데이터 패턴을 구하였다. Fig. 3은 호텔 건물의 급탕, 난방 및 냉방에 소요되는 월별 열에너지 수요량 패턴을 나타내고 있다.

2.2 열병합 발전시스템의 구성 및 용량설계

열병합발전 시스템의 기본 구성은 원동기(가스엔진, 가스터빈 또는 디젤엔진), 발전기, 열교환기, 보조보일러 및 흡수식 냉동기 등으로 되어 있다. 열병합발전시스템의 선정은 대상 건물의 종류와 면적, 열과 전기수요 특성에 따라 달라질 수 있다. 본 연구에서는 원동기로 가스엔진을 사용하고 있다.

시스템에서 전력생산은 엔진의 축동력을 이용하여 발전기를 통해 생산하게 된다. 건물의 전력수요는 시간에 따라 변하며 엔진의 부하율도 변하게 되는데, 본 연구에서는 부하율 변화에 따른 발전효율과 열회수효율의 변화를 고려하였다. 또한, 엔진에 걸리는 부하가 최저부하율 이하가 되면 효율이 급격히 감소하고 기기의 성능이 급격히 저하되므로 발전을 중지하고 발전부족분을 매전할 수 있도록 최저부하율을 고려하였다.

Fig. 4는 가스엔진 발전기의 발전효율과 열회수효율을 나타내고 있다. 발전효율은 부분부하에 따라 20~32%까지 효율변화를 보이고 있지만 열회수효율은 부분부하의 변동에 따라 효율의 변화가 적다^(10,11).

보일러의 용량은 기존의 호텔건물에 설치된 보일러 용량에 대한 조사 결과를 활용하여 구하였다^(6, 9,12). 조사된 보일러의 용량을 건물 연면적에 따라 곡선접합하여 나타내면 다음과 같다.

$$Q_{Boiler} = 542.7 + 0.2584A - 1.836 \times 10^{-6}A^2 + 4.469 \times 10^{-12}A^3 \quad (1)$$

여기서, A 는 건물의 연면적 [m^2] 그리고 Q_{Boiler} 는 보일러의 용량[Mcal/h]을 나타낸다.

냉동기의 용량은 기존 호텔건물에 설치된 냉동기 용량 자료를 조사하여^(6, 9, 12), 이를 건물 연면적에 따라 곡선접합하여 산정하였다.

$$Q_{Chiller} = 906.7 + 0.0618A \quad (2)$$

여기서, A 는 건물의 연면적 [m^2] 그리고 $Q_{Chiller}$ 는 냉동기 용량 [Mcal/h]을 나타낸다.

2.3 열병합시스템의 전력 및 열부하 관계식

열병합시스템의 전력 및 열부하의 에너지 흐름은 대상건물의 각 수요조건에 대한 운전조건에 따른 에너지 공급량에 의해서 결정되며, 전력 수요량, 열에너지 수요량 및 발전에 관련된 주요 관계식은 다음과 같다.

(1) 전력 수요량

$$ES(i, j) = GA(i, j) + BEA(i, j) + AC(i, j) \quad (3)$$

$$YES = \sum_{j=1}^{12} \left(\sum_{i=0}^{23} ES(i, j) \times GRD(j) \right) \quad (4)$$

여기서,

$ES(i, j)$ = i 월의 대표일의 j 시간에서의 전력 수요량[kWh]

$GA(i, j)$ = i 월의 대표일의 j 시간에서의 발전량 [kWh]

$BEA(i, j)$ = i 월의 대표일의 j 시간에서의 구입 전력량[kWh]

$AC(i, j)$ = i 월의 대표일의 j 시간에서의 보조기전력량[kWh]

$GRD(j)$ = j 월의 발전기 운전 일수

YES = 열병합시스템의 연간전력 수요량 [kWh]

(2) 급탕, 난방 또는 냉방 수요량

$$WD(i, j) = WU(i, j) + WAH(i, j) \quad (5)$$

$$YWD = \sum_{j=1}^{12} \left(\sum_{i=0}^{23} WD(i, j) \times GRD(j) \right) \quad (6)$$

여기서,

$WD(i, j)$ = i 월의 대표일의 j 시간에서의 급탕, 난방 또는 냉방 수요량[Mcal]

$WU(i, j)$ = i 월의 대표일의 j 시간에서의 급탕, 난방 또는 냉방 배열이용량[Mcal]

$WAH(i, j)$ = i 월의 대표일의 j 시간에서의 급탕,

난방 또는 냉방 보조열량[Mcal]

YWD = 열병합시스템의 연간 급탕, 난방 또는 냉방 수요량[Mcal]

(3) 발전기 연료 소비열량

$$GFC(i, j) = \frac{GA(i, j) \times 0.86 \times HHV}{GEF(i, j) \times LHV} \quad (7)$$

$$YGFC = \sum_{j=1}^{12} \left(\sum_{i=0}^{23} GFC(i, j) \times GRD(j) \right) \quad (8)$$

여기서,

$GFC(i, j)$ = i 월의 대표일의 j 시간에서의 발전기 연료 소비열량[Mcal]

$GEF(i, j)$ = i 월의 대표일의 j 시간에서의 발전 효율

HHV = 발전기에 소요되는 연료의 고위발열량 [kcal]

LHV = 발전기에 소요되는 연료의 저위발열량 [kcal]

$YGFC$ = 연간 발전기 연료 소비열량[Mcal]

(4) 발전기 연간 평균부하율

$$GLR = \frac{YGA}{(GC \times GN) \times YRH} \quad (9)$$

여기서,

GLR = 연간 발전기 부하율

YGA = 연간 발전량[kWh]

GC = 발전기 1대 용량[kW]

GN = 발전기 대수

YRH = 연간 발전기 운전시간[hour]

(5) 열병합시스템 종합 효율

$$TEFF = \frac{(YGA - YAC) \times 0.86 + YEH}{YGFC} \quad (10)$$

여기서,

YGA = 연간 발전량[kWh]

YAC = 연간 보조기기 동력소비량[kWh]

YEH = 연간 배열 이용량[Mcal]

$YGFC$ = 연간 발전 연료소비량[Mcal]

2.4 경제성평가 프로그램

본 연구에서 작성한 열병합 경제성 평가 프로그램은 부하모델, 시스템 구성 그리고 경제성 평가 등 크게 세 부분으로 구성되어 있다. Fig. 5는 열병합 경제성 평가 프로그램의 순서도를 나타내고 있다. 계산의 순서를 살펴보면, 우선 건물업종을 선정하고 건물의 특성에 따른 부하 자료를 호출한다. 다음으로, 건물의 연면적, 발전기 기종, 용량과 대수, 발전기 효율 및 운전방식 등

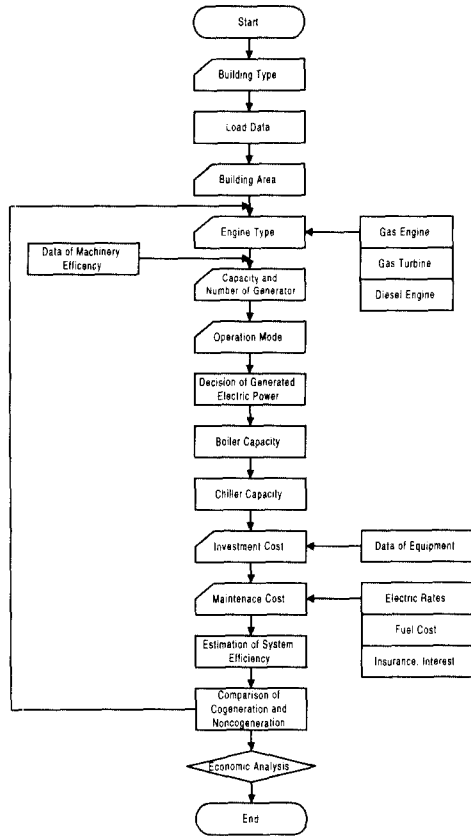


Fig. 5 Flow chart of the economic evaluation program of cogeneration system.

을 입력하여 열병합시스템을 구성하고 전체 시스템의 에너지 이용량 및 효율을 계산한다. 마지막으로 구성된 열병합시스템에 대하여 초기 투자비와 운전비를 계산하고, 투자회수기간과 발전단가 등에 대한 경제성을 분석한 후 열병합발전 시스템 설치여부를 결정한다⁽¹³⁾.

투자의 타당성을 판단하기 위해서는 미래에 예상되는 기대수익을 추정하여야 한다. 열병합의 경우에는 열병합 운전에 따른 에너지 절약액이 기대수익이 된다. 시설의 가동율은 절약량에 영향을 미치는 가장 큰 요소이며 일반적으로 가동율을 일정한 수준으로 가정하고 에너지 절약량을 계산한다. 본 연구에서는 투자 원금에 대한 회수 가능연도를 금리를 고려하지 않고 계산하는 단순상각년수, 초기투자비용을 투자수익으로 나눈 투자회수기간, 그리고 열병합발전시스템으로 생산한 전력의 단가와 상용전력의 수전단가를 비교함

으로써 열병합 시스템의 경제성을 평가하였다.

열병합시스템의 경제성 평가를 위해서는 열병합 설비의 초기투자비와 운전비 산출을 위한 연료 및 전력요금 등에 대한 정확한 자료가 요구된다. 엔진의 용량에 따른 초기투자비는 기존의 설치 건물에 대한 자료 조사를 통하여 구하였다. 전체적으로 엔진의 용량이 커질수록 설비의 투자단가는 점차 감소하여 2000 kW 이상 엔진용량에서는 일정한 값을 유지하고 있다⁽⁷⁻⁹⁾. 투자비를 발전기 용량에 대하여 곡선접합한 식은 다음과 같다.

$$I = 2188.9 + 1578.6 \times e^{-\frac{(C-399.9)}{468.2}} \quad (11)$$

여기서, C 는 발전기용량 [kW] 그리고 I 는 초기 투자비 [천원]를 나타낸다.

3. 경제성 평가 프로그램의 적용 및 결과 고찰

3.1 대상 건물의 입력조건

프로그램 적용 대상건물로 연면적 127,960 m²의 서울에 위치한 호텔 건물을 선정하였다. 발전기의 기종으로는 건물 열병합에 가장 적합한 가스엔진을 사용하고 있으며, 발전기의 운전형태는 전주열종방식으로 전력수요에 따라 발전을 하고 있다. 발전기의 용량은 최적용량 선정을 위하여 100 kW~3,000 kW 까지 100 kW씩 증가시키면서 계산을 수행하였다. 발전기의 최저 부하율은 30%로 설정하여 발전기의 부하율이 30%이하가 되면 발전기의 가동을 중단하도록 하였다.

엔진과 보일러에 사용하는 연료로는 LNG를 선정하였다. 열병합시설의 보수 및 유지에 드는 수선 유지비는 초기 투자비의 2%를 적용하였으며, 보험 및 세세비는 초기 투자비의 0.5%로 설정하였다. 그리고 열병합 설비의 감가상각 년한은 20년으로 하고 잔존가치는 10%로 설정하였다.

3.2 대상건물의 에너지 수요량

Fig. 6은 대상건물의 전력 수요량을 각 월의 대표일에 대해서 나타낸 것으로 전력 소비량의 시간별 특성을 보면 호텔 재실인원의 활동시간이 비교적 적은 새벽에는 급격히 감소하고, 재실인원의 활동시간이 많은 오후 시간대에 전력 수요량의 증가를 나타내고 있다.

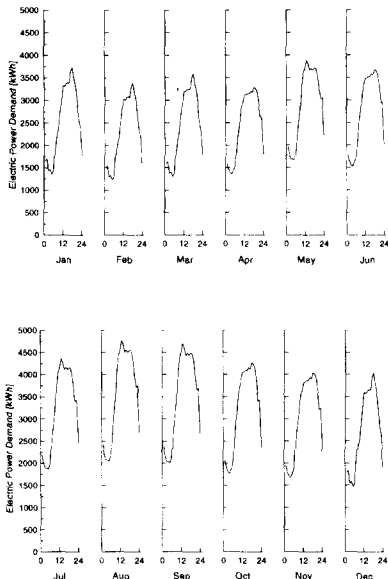


Fig. 6 Electric power demand for the selected hotel.

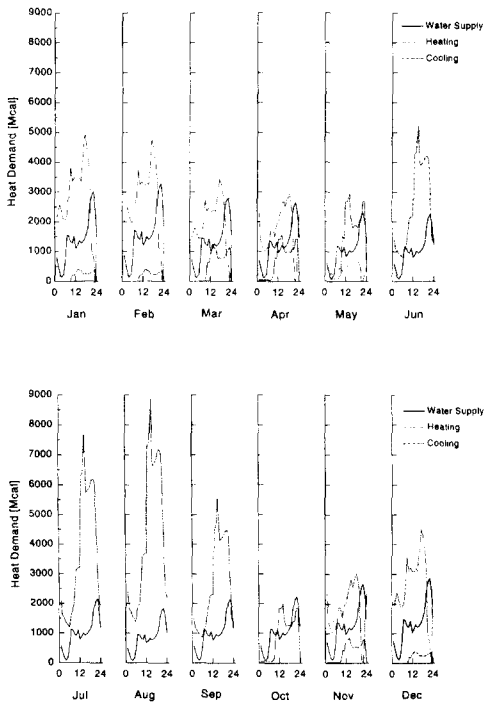


Fig. 7 Heat demand for the selected hotel.

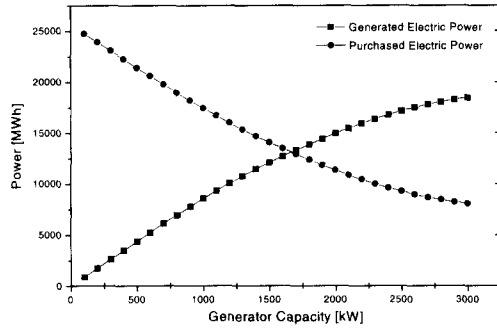


Fig. 8 Variation of generated and purchased electric power as a function of generator capacity.

Fig. 7은 대상건물의 열 수요량을 나타내고 있다. 급탕 에너지는 온수사용량이 많은 겨울에 약간 증가되고 있지만 큰 변화는 없다. 난방에너지는 겨울에 증가하고, 하절기에는 거의 수요가 없다. 냉방 에너지는 하절기에 큰 변화의 폭을 보이며 많은 에너지가 하절기에 집중되고 있음을 알 수 있다.

3.3 발전기용량에 따르는 계산결과

Fig. 8은 발전기 용량에 따른 발전량을 나타내고 있다. 발전기 용량이 증가함에 따라 발전량은 증가하지만 발전기의 용량이 2,500 kW 이상이 되면서 완만하게 증가함을 알 수 있다. 이것은 발전기의 용량이 증가함에 따라 발전기에 걸리는 부분부하가 최저부하율 이하가 되어 발전기 가동이 정지되기 때문이다.

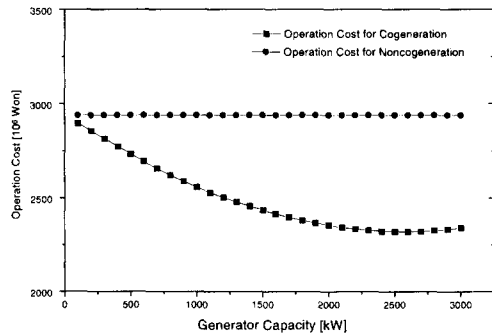


Fig. 9 Comparison of operational cost for cogeneration systems with that for noncogeneration systems.

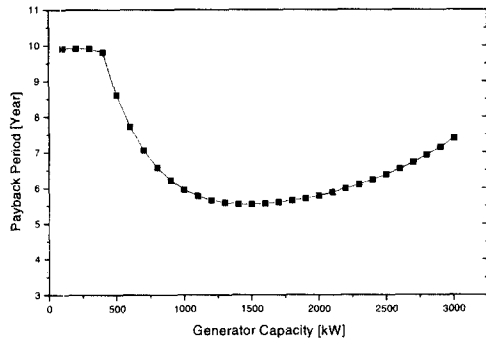


Fig. 10 Variation of payback as a function of generator capacity.

Fig. 9는 발전기 용량에 따른 연간운전비를 비교시스템인 비열병합시스템의 운전비와 비교하여 나타낸 것이다. 발전기의 용량이 적을 때는 폐열회수로 인한 열병합 시스템의 열비용 절감이 적기 때문에 비교시스템과의 연간운전비 차가 작게 나타나고 있다. 발전기용량이 2,600 kW 이상인 경우에는 다시 열병합시스템의 연간운전비가 증가하고 있는데, 이것은 부분부하 효율을 고려한 발전기 정지로 인한 폐열회수의 감소와 대용량 발전기 선정에 따른 투자비의 증가에 기인한다.

Fig. 10은 발전기 용량에 따른 투자회수 기간을 나타내고 있다. 일반적으로 가스엔진 열병합발전인 경우에 4~6년 이내에 초기투자비를 회수할 수 있으면 경제성이 있는 것으로 보는데⁽¹⁴⁾, 본 대상건물에서는 발전기 용량 1,000 kW~2,200 kW의 범위에서 이를 만족하고 있다. 열병합시스템의 투자비, 변동비 및 감가상각비 등의 소요

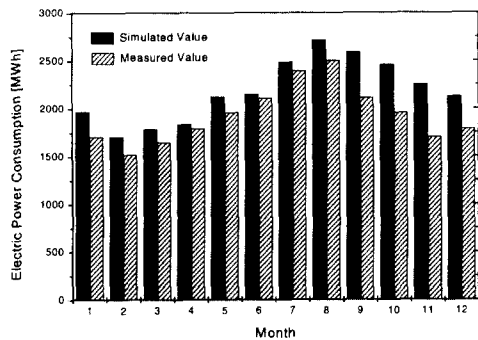


Fig. 11 Comparison between simulated and measured value of electric power consumption.

비용과 폐열회수에 따른 생산이익을 고려해 볼 때 발전기용량이 1,500 kW이면 투자회수기간이 5.6년으로 가장 짧게 나타났다.

3.4 계산결과와 운전자료의 비교

대상건물에 대한 시뮬레이션 결과의 타당성을 검증하기 위해서 실제 에너지 사용 실적과 계산결과를 비교하였다. Fig. 11은 실제 전력소비량과 시뮬레이션에 의한 전력소비량을 나타내고 있다.

전체적으로 하절기에 차이가 작고 타계절에서는 차이가 크게 나타나는데, 이는 하절기에만 가동한 실제 운전조건과 전력 추종방식에 따른 시뮬레이션 운전방식의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

Table 3은 대상건물의 계산결과와 실제자료를 비교하였고, Table 4는 계산결과를 요약하여 나타내고 있다. 시뮬레이션에 의한 연간 전력소비량 26,195 MWh와 실제 연간 전력소비량 23,183 MWh의 차이는 11.5%로 나타났다.

Table 3 Comparison of simulated value with measured data.

	Simulated Value	Measured Value
Generator Capacity	1,500kW	2,000kW
Boiler Capacity	12,865Mcal/h	11,513Mcal/h
Chiller Capacity	8,815Mcal/h	9,909Mcal/h
Electric Consumption	26,195MWh	23,183MWh

Table 4 Simulated results for the major items.

Items	Unit	Value
Generated Electricity	MWh	12,109
Purchased Electricity	MWh	14,089
Recovered Exhaust Heat	Gcal	18,091
Utilized Exhaust Heat	Gcal	17,384
Total Efficiency	%	72.7
Electricity Dependence Rate on Cogeneration System	%	44.9
Heat Dependence Rate on Cogeneration System	%	52.3

4. 결 론

본 연구에서는 에너지 소요량 자료와 설비 및 연료 가격 자료를 조사하여 경험식을 개발하고, 호텔건물을 대상으로 가스엔진 열병합시스템을 적용하여 운전조건에 따른 투자비와 운전비를 계산하여 투자 회수기간을 구하여 경제성을 평가하였다. 또한, 프로그램의 타당성을 검증하기 위하여 호텔 건물 에너지 소비량에 대한 시뮬레이션 결과를 실측값과 비교하였다.

열병합시스템에 대한 시뮬레이션을 통하여 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 호텔건물의 용도별 에너지 소비량 데이터를 구축하여 연면적 변화에 따른 호텔건물의 에너지 소요량 계산 모델을 작성하였다.

(2) 호텔 건물에 대한 부하모델, 시스템 용량 선정모델 및 경제성 평가 모델로 구성된 열병합 경제성 평가프로그램을 개발하였다.

(3) 개발된 프로그램을 실제 호텔 건물에 적용하여 계산 결과와 실측치를 비교한 결과, 보일러 및 냉동기 용량 그리고 연간 전력소비량 등은 12% 이내에서 서로 일치하였다.

(4) 열병합은 기존 시스템에 비교하여 초기투자비가 많이 소요되므로 설치시에 경제성 평가를 통하여 최적 시스템을 선정하면 투자회수기간을 줄일 수 있다.

후 기

본 연구는 “고려대학교 교내특별연구비” 및 삼성중공업(주)의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 이진홍 등, 1993, “소형 열병합발전 시스템 개발 및 보급방안 기획 연구”, 상공자원부.
- (2) 박승호 및 박화춘, 1997, “소형 건물용 열병합발전 설비의 현황, 설비계획, 운전시뮬레이션 및 단순투자회수기간”, 대한기계학회지, 제37권, 제 4호, pp. 306-318.

- (3) Horii, S., Ito, K., and Suzuki, Y., 1987, “A Computer Aided Planning System for the Gas Engine Co-Generation plant”, International Journal of Energy Reseach, Vol. 11, pp. 495-505.
- (4) Yokoyama, R., Ito, K., and Matsumoto, Y., 1991, “Optimal Sizing of A Gas Turbine Cogeneration Plant in Consideration of Its Operational Strategy”, Proc. of 1991 ASME COGEN TURBO, Vol. 6, pp. 363-370.
- (5) Ito, K., Yokoyama, R., Akagi, S., and Matsumoto, Y., 1990, “Influence of Fuel Cost on the Operation of a Gas Turbine-Waste Heat Boiler Cogeneration Plant”, Trans. of the ASME, J. of Eng. for Gas Turbine and Power, Vol. 112, pp. 122-128.
- (6) 에너지다소비건물 사후관리 추진실적보고, 1995, 에너지관리공단.
- (7) 에너지통계연보, 1990, 동력자원부, 에너지경제연구소.
- (8) 집단에너지 및 열병합발전사업 추진현황, 1993, 에너지관리공단.
- (9) 94년 에너지사용 실적보고업체 현황, 1995, 에너지관리공단.
- (10) 일본 열병합발전 연구회, 1994, “도시가스에 의한 열병합 평가프로그램-CASCADE”, 공기조화 위생공학회.
- (11) 김중기, 1994, “소형 가스 열병합발전 시스템의 성능시험 결과 소개”, 공기조화·냉동공학, pp. 57-67.
- (12) 권오욱, 1994, “분당가스 열병합발전 시스템의 냉, 난방 이용 사례”, 공기조화·냉동공학, pp. 68-75.
- (13) 권용호 등, 1995, “선형계획법을 이용한 가스 터빈 열병합시스템의 최적계획에 관한 연구” 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 711-717.
- (14) 박화춘 등, 1995, “소형 열병합발전시스템의 설비계획 및 운전 시뮬레이션”, 공기조화 냉동 공학회 동계학술대회 논문집, pp. 456-461.