

# 에너지절약형 설비시스템

## Energy saving utility system

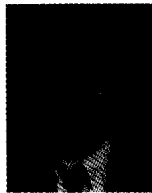
이 영 수  
Y. S. Lee

한국에너지기술연구소 폐열이용연구팀



- 1954년생
- 히트파이프, 열펌프, 스팀링기 관, 소형열병합발전시스템 등에 관심을 가지고 있다..

박 승 호  
S. H. Park  
홍익대학교 기계공학과



- 1958년생
- 미소시스템에서의 열전달 및 액적연소의 해석, 소형열병합발전시스템 및 유동층소각로의 개발에 관심을 가지고 있다.

### 1. 머리말

최근 날로 심각해져 가고 있는 환경오염문제를 고려할 때, 건물의 에너지소비절약은 단순히 에너지절약측면에서만 생각할 것이 아니라 화석연료 등 냉, 난방용 연료소비를 줄임에 따른 환경오염원 자체를 절감시킬수 있는 효과를 아울러 갖게된다. 특히 건물의 에너지절약을 위해서는 첫째 전기 및 냉, 난방에너지의 발생효율 향상기술, 둘째 건물에서의 에너지를 가장 효과적으로 사용하여 손실을 최소화하는 기술, 셋째 자연에너지(태양열, 풍력, 지열 등)의 효과적인 이용기술 등이 복합적으로 연계되어야 한다.

국내의 경우 1970년대의 에너지 위기이후 건물에너지 절약기술에 대한 연구를 수행하였으며 이 결과 건물에너지 절약을 위한 기준이나 기본적인 기술은 많은 발전을 하였다고 판단되나, 특히 건물에너지 절약기술은 요소기술의 수가 방대

하여 이들 요소기술을 어떤 방법으로 조합시켜 종합하느냐에 따라 그 성패가 달라진다.

본문에서는 여러가지 건물에너지 절약기술중 최근 관심의 대상이 되고 있는 단위건물에 소형열병합발전설비를 설치할 경우 그 적용타당성과 경제성에 관하여 언급하고자 한다.

### 2. 소형열병합발전 설비현황

소형열병합발전은 입력에너지의 75~85%까지 유효하게 이용할 경우 건물의 에너지사용량을 대폭 절감할 수 있는 매우 우수한 에너지절약기기이며, 이미 일본, 미국 및 독일 등에서는 단위건물의 냉난방을 위한 소형열병합발전이 폭발적으로 보급되고 있는 실정이다. 일본의 경우 '95년 3월말 현재 민생용 열병합발전시스템은 1082건, 산업용시스템은 793건으로 총용량 3,070MW에 이르고 있고, 미국의 경우는 '88년이후 약 2,470MW

로 전체발전량의 3.6%를 차지하고 있다. 또한 독일의 경우도 '84년 현재 전체발전량의 16% 이상을 자가발전이 충당하고 있으며, 이외에도 덴마크, 프랑스, 영국 등 유럽각국에서 그 효율성과 정부의 지원하에 급속히 보급이 신장되고 있는 실정이다.

국내의 경우 현재 소형열병합발전은 롯데월드, 호텔 신라 등 6개소 총 49.2MW으로 전체 발전량의 0.2%에 불과한 형편이나, 현재 다수의 중공업 업체 및 엔지니어링회사 등에서 사업화를 추진중에 있으며, 많은 산업체나 빌딩 등에서 열병합발전에 대한 관심이 대단히 높을뿐만 아니라 정부 등 관련기관에서도 열병합발전 도입 활성화를 위한 정책을 마련중에 있다. 또한 통상산업부에 의하면 5MW급이하 소형열병합발전시스템의 경우 2006년까지 880시스템, 1,400MW를 보급시킬 계획으로 있다.

### 3. 대상건물의 에너지부하 및 용량

#### 3.1 건물에너지 설비

단위건물에서 필요로 하는 에너지는 크게 열에너지와 전기에너지로 구분되는데 본문에서는 에너지 설비를 전기에너지, 열에너지 및 냉방에너지로 구분하였다. 에너지 설비중 비열병합발전시스템의 경우의 개략도는 그림 1과 같고, 열병합발전시스템중 가스엔진, 디젤엔진의 경우는 그림 2와 같다.

#### 3.2 건물에너지 부하패턴

그림 3은 호텔의 전기부하, 열부하, 냉방부하의 시간별 부하패턴을 나타낸것이며, 그림 3-a는 냉방부하를 제외한 전기부하의 연간시간별 변화를 보여주고 있다. 일반동력과 조명 등에서 사용되는 호텔의 전기부하는 연중시간별로 일정한 범위에서 거의 규칙적인 변동의 형태를 보여주고 있음을 알 수 있다. 그림 3-b는 난방과 급탕수요를 합한 연간 호텔의 시간별 열수요의 변화로 난방과 급탕의 수요가 24시간 존재하는 범위인 1~약 2,200시간까지와 약 7,800~8,760시간,

즉 하계를 제외한 타계절에서는 높은 값의 범위에서 시간별 수요의 변화가 심하지만 그림 3-c에서의 냉방수요가 존재하는 시간대에서는 열수요가 작고 변화가 적음을 알 수 있다.

그림 4는 병원의 전기부하, 열부하, 냉방부하의 시간별 부하패턴을 나타낸것이다. 그림 4-a는 냉방부하를 제외한 전기부하의 연간시간별 변화를 보여주고 있으며, 일반동력과 조명 등에서 사용되는 전기부하는 연중시간별로 일정한 범위에서 그림 3-a의 호텔의 전기부하보다 계절에 따라 약간씩 변화가 있음을 알 수 있다. 그림 4-b는 난방과 급탕수요를 합한 연간 병원의 시

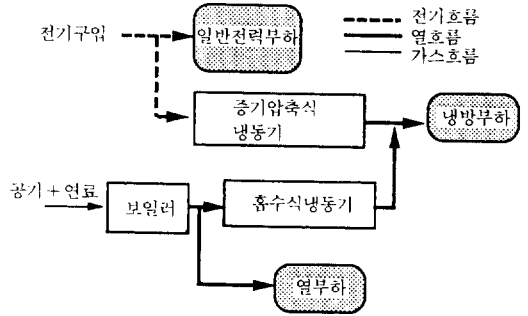


그림 1 비열병합발전시스템의 개략도

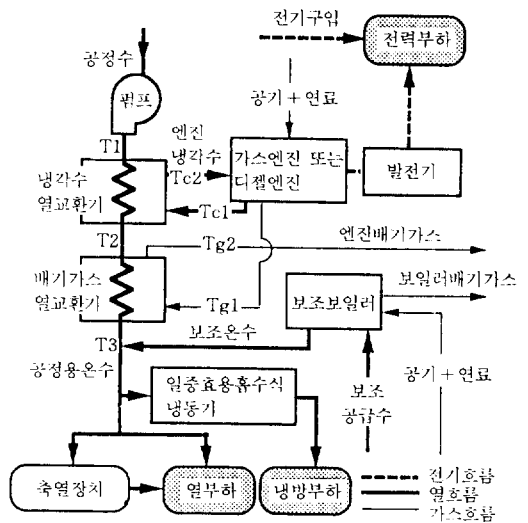
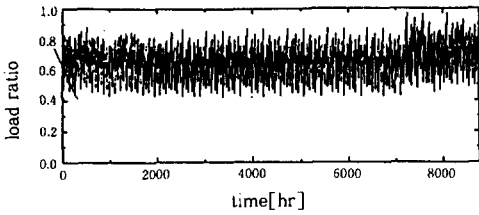
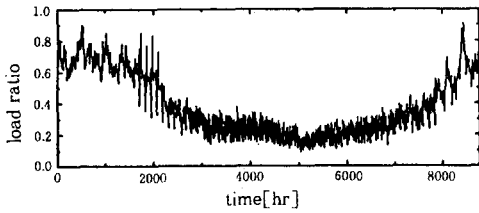


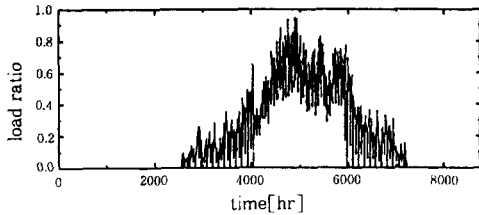
그림 2 가스엔진/디젤엔진 열병합발전시스템의 개략도



(a) electric load ratio for hotel



(b) heating load ratio for hotel



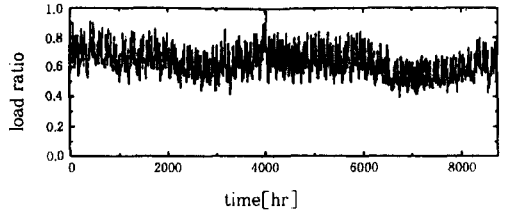
(c) cooling load ratio for hotel

그림 3 호텔건물의 연간 시간별 부하 변동패턴

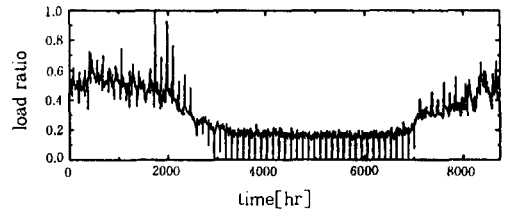
간별 열수요의 변화로 호텔의 경우와 비슷한 경향을 나타내나 하계에는 주기적으로 열수요가 거의 없는 경우가 있음을 알 수 있다.

그림 4-c는 병원의 냉방에너지부하의 변화패턴으로 하계에 집중되어 있고 봄, 가을에는 거의 냉방을 하지 않는 것처럼 보인다.

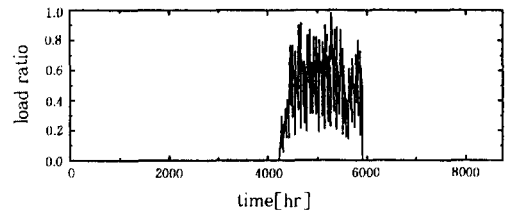
그림 5는 업무용빌딩의 전기부하, 열부하, 냉방부하의 시간별 변동율을 나타낸것이다. 그림 5-a는 냉방부하를 제외한 업무용빌딩의 전기부하의 연간시간별 변화를 보여주고 있으며 일반동력과 조명 등에서 사용되는 전기부하는 연중시간별로 일정한 범위에서 호텔의 전기부하와 같이 규칙적으로 변동하나 그 변동폭이 매우 큼을 알 수 있다. 그림 5-b는 난방과 급탕수요를 합한 연간 병원의 시간별 열수요의 변화로 호텔, 병원과 달리 열수요가 매우 작다는 것을 알 수 있다. 이것은 야간에 난방을 거의 하지 않기 때문이다.



(a) electric load ratio for hospital



(b) heating load ratio for hospital



(c) cooling load ratio for hospital

그림 4 병원건물의 연간 시간별 부하 변동패턴

그림 5-c는 냉방에너지부하의 변화패턴으로 호텔의 냉방부하와 비슷한 경향을 보인다.

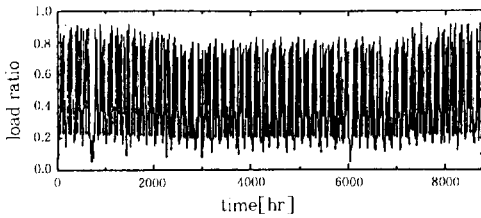
### 3.3 건물에너지 설비용량 산정

#### (1) 전력설비용량

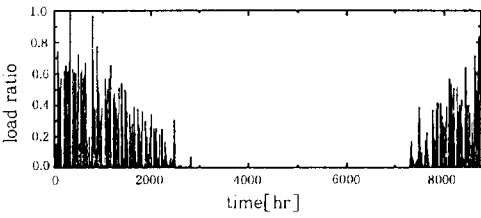
건물의 전력설비용량은 냉방동력을 제외한 경우 조명과 기타 일반동력에 사용되는 전력수요의 연간 최대값을 만족하여야 한다. 대상건물에서 전력설비용량의 산정은 단위면적당 전력수요의 산정기준값인 전력부하밀도값에 각각의 수용율 다음식으로 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{전력부하밀도}[W/m^2] = & \text{조명부하밀도} \times \text{수용율} \\ & + \text{일반동력부하밀도} \\ & \times \text{수용율} \end{aligned} \quad (1)$$

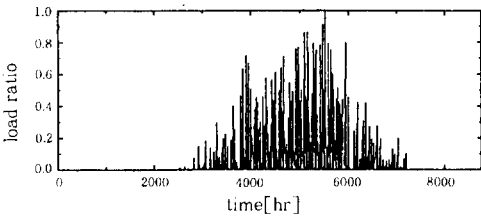
$$\begin{aligned} \text{전력설비용량}[kW] = & \text{전력부하밀도}[W/m^2] \\ & \times \text{건물연면적}[m^2]/1000 \end{aligned} \quad (2)$$



(a) electric load ratio for office Building



(b) heating load ratio for office Building



(c) cooling load ratio for office Building

그림 5 업무용건물의 연간 시간별 부하 변동패턴

(2) 최대열부하 및 최대냉방부하

건물의 최대열부하는 난방 및 급탕과 건물의 용도에 따라 필요한 열의 연간 최대수요를 만족하여야 하며, 최대냉방부하는 늦은봄부터 초가을까지의 하절기(5~9월)에 존재하는 냉방수요중 연간 최대수요를 의미한다. 열용량의 산정은 기존의 국내 건물에 설치된 보일러를 대상으로 하여 그림 6과 같이 건물의 용도와 면적에 따라 달라지므로, 이를 최소자승법으로 fitting한 결과를 표 1에 정리하였다.

일반적으로 업무용건물의 열용량이 다른 건물에 비하여 상당히 작음을 알 수 있다. 호텔과 병원의 경우 연면적이 약 30,000㎡ 이하에서는 열용량이 거의 비슷하나 그 이후에는 달라지는 경향을 보인다. 호텔의 경우에는 면적의 증가에 따라 열용량은 천천히 증가하는 반면에 병원의 경우는 면적에 비례하여 열용량이 증가하게 된다.

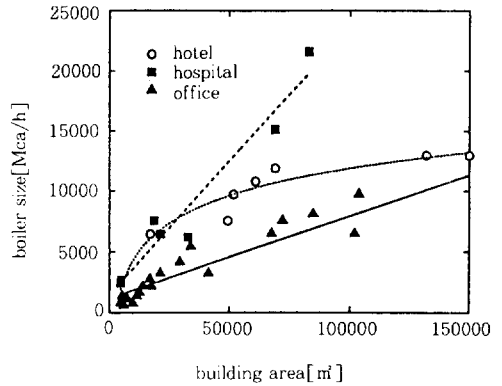


그림 6 건물의 용도 및 면적에 따른 열용량

표 1 건물의 열설비 용량

건물 용도	열설비용량[kcal/h](A=면적[㎡])
호텔	$(-25810.5 + 7538.13 \text{ Log}_{10}(A)) \times 1000$
병원	$(1438.227 + 0.22054 \times A) \times 1000$
업무용	$(1171.35 + 0.067597 \times A) \times 1000$

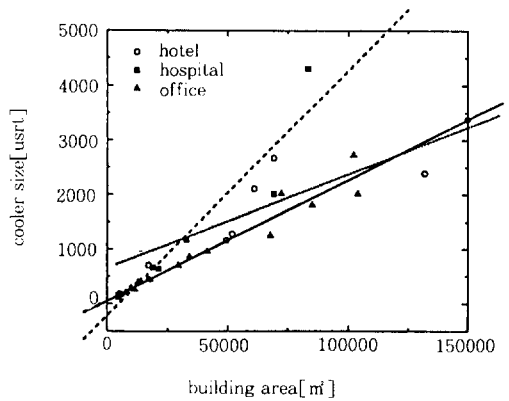


그림 7 건물의 용도 및 면적에 따른 냉방설비 용량

표 2 건물의 냉방설비 용량

건물 용도	냉방설비용량[kW](A=면적[㎡])
호텔	$649.35 + 0.01718 \times A) \times 3024 \times 4.18 / 3600$
병원	$(-218.1 + 0.044858 \times A) \times 3024 \times 4.18 / 3600$
업무용	$(-43.687 + 0.025695 \times A) \times 3024 \times 4.18 / 3600$

이는 병원의 경우 위생상 환기회수가 호텔의 경우보다 훨씬 많게 되고, 또한 고온살균 등 열수요가 반드시 필요한 분야가 있기 때문이다. 또한, 연면적 20,000㎡ 이하, 40,000㎡ 이상 호텔의 경우 보일러용량이 급격하게 차이가 나는데 그 이유는 20,000㎡ 이하의 건물에는 주방, 세탁 및 사우나설비가 제외되는 경우가 대부분이기 때문이다.

그림 7과 표 2는 건물의 용도 및 면적에 따른 냉동설비용량을 나타낸 자료이다. 호텔과 업무용 건물의 설비용량은 비슷한 규모를 보이고 있으나 병원의 경우 규모증가에 따라 냉방설비 용량이 상대적으로 급증하고 있다. 이는 대규모 병원일 수록 입원실, 중환자실 및 다수의 환자들의 위생을 위하여 적극적인 공기조화를 요하기 때문이라 사료된다.

#### 4. 열병합발전시스템의 구성기기

##### 4.1 비상용발전시스템

비상용발전시스템은 비열병합발전시스템의 비상용전원 또는 예비전원설비로써 대상건물의 수

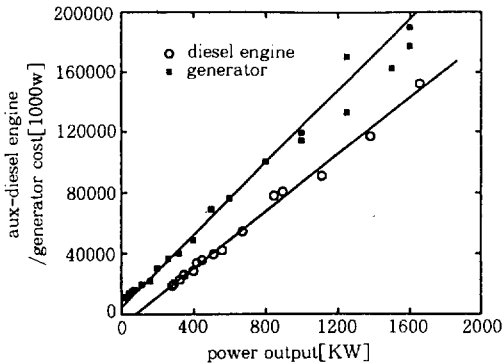


그림 8 비상용엔진 및 발전기의 용량에 따른 가격

표 3 비상용발전시스템의 가격

종 류	가격 [천원] (P=출력[kW])
비상용 디젤엔진	-7357.08 + 93.78 × P
비상용 발전기	4529.38 + 119.205 × P

전설비 용량의 10~30% 용량의 엔진과 발전기를 가르키고, 건축설비에서 비상용전원은 주로 방재설비용이 주를 이루며, 기타 통신용, 사무자동화용(O.A) 및 무정전설비 등을 말한다. 비상용엔진 및 발전기는 국내제품을 기준으로 하였으며, 출력에 따른 가격을 표 3과 그림 8에 나타내었다.

##### 4.2 원동기(prime mover)

열병합발전시스템에서 원동기는 핵심적인 역할을 수행하고 또한 투자비 중 상당부분을 차지하기에 열병합발전시스템의 도입 및 설계시에 다각도의 분석을 요하게 되며, 엔진은 전체 시스템 투자비용의 약 50% 이상을 차지하므로 시스템의 경제적 타당성에 중대한 영향을 끼친다. 엔진출력에 따른 단위출력당의 엔진가격을 그림 9과 표 4에 정리하였다.

##### 4.3 발전기(generator)

발전기 역시 열병합발전시스템의 구성기기중 중요한 부분으로써 전체 시스템 투자비용의 상당부분을 차지하므로 시스템의 경제적 타당성에 중

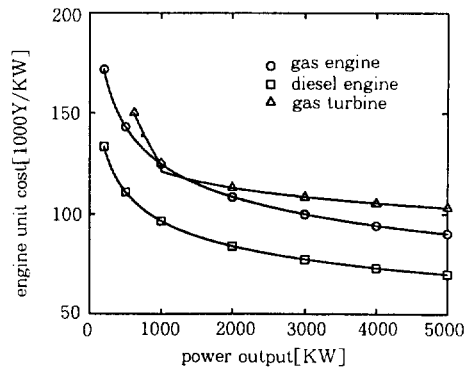


그림 9 엔진의 출력에 따른 가격

표 4 엔진의 단위출력당 가격

종 류	단위출력당 가격 [천원/kW] (P=엔진출력[kW])
가스엔진	100 × (P/3000) <sup>-0.2</sup>
디젤엔진	70 × (P/5000) <sup>-0.2</sup>

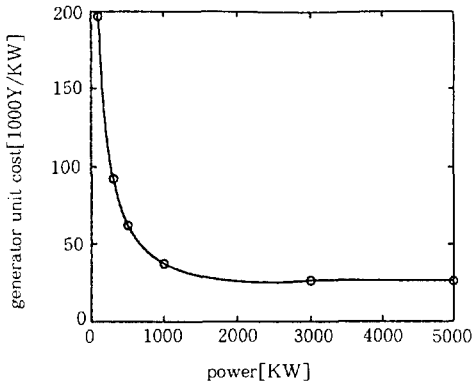


그림 10 발전기의 출력에 따른 단가

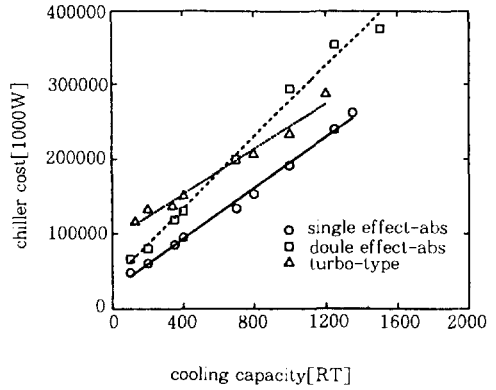


그림 12 냉동기 가격

표 5 발전기의 출력에 따른 단가

발전기출력 P[kW]	가격 [천원/kW]
$P \leq 3000$	$1$ $2.0188 \times 10^{-3} + 3.127 \times 10^{-3} \times P - 6.4251 \times 10^{-6} \times P^2$
$P \geq 3000$	26.314

표 6 냉동기 가격

종류	가격 [천원]
압축식냉동기	$92,497 + 149.7 \times \text{용량 [RT]}$
1중효용 흡수식냉동기	$25,200.5 + 168.9 \times \text{용량 [RT]}$
2중효용 흡수식냉동기	$37,511.67 + 239.1 \times \text{용량 [RT]}$

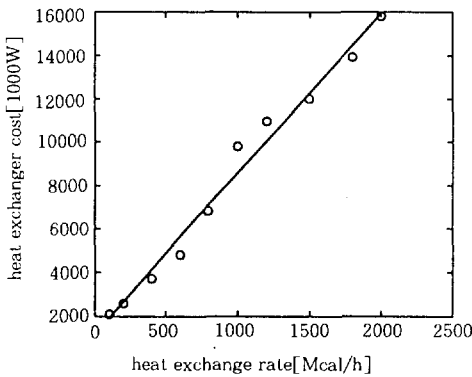


그림 11 열교환기의 열교환량에 따른 가격

대한 영향을 미치고, 발전기 출력에 따른 단위출력당의 가격을 그림 10과 표 5에 정리하였다.

#### 4.4 폐열회수장치

열병합발전시스템에서 폐열회수장치는 열병합의 개념을 설명하는 데에 있어서 핵심이 되고 있고, 이의 성능은 엔진/발전기의 발전효율과 마찬가지로 매우 중요하다. 그림 11은 국산 열교환

기의 열교환량에 따른 가격을 보여준다. 일반적으로 용량에 비례하여 가격이 증가하는 것을 알 수 있고 아래의 식으로 정리될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{열교환기 가격 [천원]} &= 1171.5 + 7.3745 \\ &\times (\text{열교환기용량} \\ &[\text{Mcal/h}]) \quad (3) \end{aligned}$$

#### 4.5 흡수식냉동기

본문에서는 흡수식냉동기의 자세한 기술적인 내용의 언급은 피하고, 냉동기 가격은 국내자료를 정리하여 그림 12와 표 6에 나타내었다. 성능특성으로부터 예상할 수 있듯이 2중효용 흡수식냉동기가 1중효용 흡수식냉동기보다 고가이다.

#### 4.6 보조보일러

보조보일러는 열수요에 대하여 열병합발전시스템으로부터 회수되는 열량을 제외한 부족분의 열량을 공급하는 역할을 한다. 보일러용량은 열병합설비로부터의 회수가능열량을 제외한 나머지 부분만을 보일러용량으로 산정할 수 있으나 본문에서는 열병합 또는 비열병합설비와 관계없

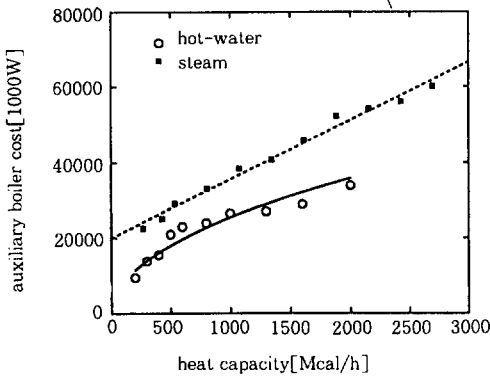


그림 13 보일러용량에 따른 가격

표 7 보일러용량에 따른 가격

종류	가 격[천원]
증기보일러	$19,943.6 + 15.53 \times \text{용량[Mcal/h]}$
온수보일러	$782.099 \times (\text{용량[Mcal/h]})^{0.50305}$

이 총 열수요를 감당할 수 있는 규모로 산정하였다.

그림 13은 국내보일러의 용량에 따른 가격을 나타내고 이를 표 7에 나타내었다. 증기보일러가 온수보일러보다 비교적 고가임을 알 수 있다.

## 5. 건물에너지 시스템의 투자비

### 5.1 비열병합발전시스템

비열병합발전시스템의 경우에는 발전설비는 비상용전원 및 예비전원설비로써 대상건물 수전 설비용량의 10~30%로 엔진의 발전설비를 산정하였으나, 이때 시스템의 투자비는 비상용발전 엔진, 발전기, 냉동기, 보일러 그리고 수전설비의 가격을 포함하여 계산하면 다음식으로 나타난다.

$$\begin{aligned}
 &\text{비열병합발전시스템 투자비} = \\
 &(\text{비상용엔진용량} \times \text{엔진단위출력 가격} \\
 &+ \text{비상용발전기용량} \times \text{발전기단위출력 가격} \\
 &+ \text{보일러 가격} + \text{냉동기 가격}) \\
 &\times (1 + \text{제어설비가격비}) + \text{수전설비단가} \\
 &\times \text{수전용량} \quad (4)
 \end{aligned}$$

여기서, 제어설비가격비는 앞서 언급한 바와 같이 제어설비비와 총설비비와의 비율을 나타내고 이는 약 20~30% 정도라 알려져 있다.

### 5.2 열병합발전시스템

열병합발전설비의 투자비는 엔진, 발전기, 냉각수 열교환기, 배기가스 열교환기, 펌프, 보조보일러, 냉동기, 수전설비 등의 가격을 의미하며, 이를 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 &\text{열병합발전시스템 투자비} = \\
 &(\text{엔진용량} \times \text{엔진단위출력 가격} \times \text{엔진대수} \\
 &+ \text{발전기용량} \times \text{발전기단위출력 가격} \\
 &\times \text{엔진대수} + \text{보조보일러 가격} + \text{냉동기 가격} \\
 &+ \text{냉각수 및 배기가스 열교환기 가격} \\
 &\times \text{엔진대수} + \text{펌프 가격}) \\
 &\times (1 + \text{제어설비가격비}) \\
 &+ \text{수전설비단가} \times \text{수전용량} \quad (5)
 \end{aligned}$$

여기서, 수전용량은 건물의 비열병합시의 수전용량에 열병합발전설비에서 필요로 하는 동력(예: 펌프구동동력) 등을 포함한 총용량에서 열병합용 엔진용량을 제외한 양으로 설정하였다.

### 5.3 열병합구성기기의 부분부하특성 및 운전조건

시스템의 운전비용을 예측하기 위한 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 전기구입 가격과 가스엔진과 보일러에 사용되는 LNG 가격, 디젤엔진용 경유 등의 에너지 요금과 구성기기의 부분부하특성을 고려해야 한다. 본문에서 사용한 에너지 요금을 표 8에 정리하였다.

표 8 에너지 요금

구분	하절기(흡수식)	타계절(난방용)
전 기	82.4원/kWh	57.03원/kWh
	기본요금: 4,520원/kW	
LNG	165.97원/Nm <sup>3</sup>	242.39원/Nm <sup>3</sup>
경 유	248원/liter	

## 6. 연간운전비와 투자회수기간

### 6.1 비열병합발전의 경우 연간운전비

비열병합발전시스템의 연간운전비는 매시간 전력사용량[kWh]에 따른 계절별 구입비용에 연중 최대수요전력을 계약전력[kW]으로 한 기본요금[w/kW]을 월별로 가산하여 연간 전력비용을 계산하였다. 냉동기를 흡수식으로 하였을 경우와 증기압축식으로 하였을 경우의 전기사용량이 다르므로 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{계약전력} &= \text{전력용량} = \text{기본전력용량} + \\ &\quad \text{흡수식냉동기의 소요전력(흡수식)} \\ &= \text{Max}[\text{전기부하} + \text{냉방부하}/ \\ &\quad \text{COP}](\text{터보식}) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{연간 전기요금} &= \text{하계전기사용량} \times \text{하계전기요금} \\ &\quad + \text{타계전기사용량} \times \text{타계전기요금} \\ &\quad + \text{계약전력} \times \text{기본요금} \times 12 \end{aligned} \quad (7)$$

열비용은 난방부하 및 흡수식냉동기인 경우의 열부하를 포함하고 있으나 각각의 경우에 있어 에너지 요금이 다르므로 이를 고려하면 다음과 같이 정리된다. 여기서 열부하의 단위는[kcal/h]로, 냉방부하 및 전력부하의 단위는 [kW]로 하였다.

$$\begin{aligned} \text{기간별 열사용량} &= \text{열부하} + \text{냉방부하} \times 3600/ \\ &\quad (4.18 \times \text{COP})(\text{흡수식}) \\ &= \text{열부하}(\text{터보식}) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{기간별 연료사용량} &= \\ \text{기간별 열사용량}/(\text{발열량} \times \text{보일러효율}) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{흡수식냉동기용 열비율} &= \\ 1 - \text{열부하}/\text{기간별 열사용량} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{기간별 열요금} &= \\ &[\text{흡수식 열비율} \times \text{흡수식 연료요금} \\ &+ (1 - \text{흡수식 열비율}) \times \text{난방용 연료요금}] \\ &\times \text{기간별 연료사용량} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\text{연간 열요금} = \sum(\text{기간별 열요금}) \quad (12)$$

따라서 비열병합발전의 경우 연간 총 에너지

요금은 연간 전기요금과 연간 열요금을 포함하기 때문에 다음과 같다.

$$\text{연간 에너지 요금} = \text{연간 전기요금} + \text{연간 열요금} \quad (13)$$

### 6.2 열병합발전의 경우 연간운전비

전력수요[kW]가 열병합발전시스템의 정격출력[kW]을 초과한 경우에 구입한 시간별 전력량에 따른 전기사용요금과 연중 최대수요전력에서 시스템의 정격출력을 뺀 값을 계약전력으로 하여, 이에 따른 월별 기본요금의 합을 구입전기비용으로 계산하였다. 기간별 에너지사용량을 다음과 같은 과정을 따라서 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} (1) \text{ 기간별 전기사용량} &= \text{전기부하} \\ &\quad + \text{흡수식냉동기의 소비전력} [\text{흡수식}] \\ &= \text{전기부하} \\ &\quad + (\text{냉방부하}/\text{COP}) [\text{터보식냉동기}] \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} (2) \text{ 기간별 열병합발전량} &= \text{Min}[\text{기간별 전기사용량}, \text{전력용량} \\ &\quad \times \text{열병합발전비율}] \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} (3) \text{ 기간별 구입전력량} &= \text{Max}[(\text{기간별전기사용량} \\ &\quad - \text{전력용량} \times \text{열병합발전비율}), 0] \end{aligned} \quad (16)$$

(4) 엔진연료사용량 및 보조보일러 연료사용량 발전기와 엔진의 부분부하운전시 효율 및 냉각수와 배기가스 열교환기에서의 폐열회수량을 계산하여 다음과 같이 연료사용량을 예측한다.

$$\begin{aligned} \text{엔진연료사용량}[\text{kcal/h}] &= \\ \text{단위엔진출력}[\text{kW}]/\text{엔진효율} \\ &\times 861.2 \times \text{운전대수} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \text{엔진연료사용량}[\text{m}^3/\text{h}] &= \\ \text{연료사용량}[\text{kcal/h}]/\text{발열량}[\text{kcal}/\text{m}^3] \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{열수요량} &= \text{열부하} + \text{냉방부하} \\ &\quad \times 3600/(4.18 \times \text{COP}) \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \text{보조열량} &= \text{Max}[(\text{열수요량} - \text{폐열회수량} \\ &\quad - \text{축열열량} \times \text{축열효율}), 0] \end{aligned} \quad (20)$$



$$\text{축열열량} = \text{Max}[(\text{폐열회수량} + \text{축열열량} \times \text{축열효율} - \text{열수요량}), 0] \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \text{보조연료사용량}[\text{m}^3/\text{h}] = \\ \text{보조열량}/(\text{보일러 효율} \times \text{발열량}) \end{aligned} \quad (22)$$

(5) 기간별 열비용

열비용은 난방부하 및 흡수식냉동기인 경우의 열부하를 포함하고 있으나 각각의 경우에 있어 에너지요금이 다르고, 또한 폐열이용이 있으므로 이를 모두 고려하면 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} \text{흡수식냉동기용 열비용} = \\ \text{Min}[1, (\text{냉방용 열}/\text{보조열량})] \end{aligned} \quad (23)$$

기간별 열요금

$$\begin{aligned} = & [\text{흡수식 열비용} \times \text{흡수식 연료요금} \\ & + (1 - \text{흡수식 열비용}) \times \text{난방용 연료요금}] \\ & \times \text{보조보일러 연료사용량} + \text{엔진연료사용량} \\ & \times \text{열병합용 연료가격} \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \text{(6) 계약전력} = \text{전력용량} \\ \times (1 - \text{열병합발전비용}) \end{aligned} \quad (25)$$

(7) 연간 에너지 요금

$$\begin{aligned} \text{연간 전기요금} = \sum_{\text{하계}} \text{구입전력량} \times \\ \text{하계 전기요금} + \sum_{\text{타계}} \text{구입전력량} \\ \times \text{타계 전기요금} + \text{계약전력} \times \\ \text{기본요금} \times 12 \end{aligned} \quad (26)$$

$$\text{연간 열요금} = \sum(\text{기간별 열요금}) \quad (27)$$

$$\text{연간 에너지 요금} = \text{연간 전기요금} + \text{연간 열요금} \quad (28)$$

6.3 단순 투자회수기간

단순 투자회수기간은 이자율을 고려치 않고 단순히 순수투자비를 연간 순이익으로 나눈 것으로서 다음식과 같다.

$$\begin{aligned} \text{단순투자회수기간} = \\ \frac{\text{열병합발전설비 가격} - \text{비열병합발전설비 가격}}{\text{비열병합시 연간 에너지 요금} - \text{열병합시 연간 에너지요금}} \end{aligned} \quad (29)$$

7. 건물에 따른 투자비 및 운전비의 예

7.1 호텔

앞서의 부하자료, 가격자료, 부분부하자료 등의 입력자료를 바탕으로 대상 건물로 정한 호텔에 대한 시스템의 운전비용과 투자비용을 계산하여 다음의 결과를 얻었다.

그림 14는 최대 전기수요에 대한 가스엔진 용량의 비율이 100%일때의 호텔면적에 따른 열병합발전시스템과 비열병합발전시스템의 투자비와

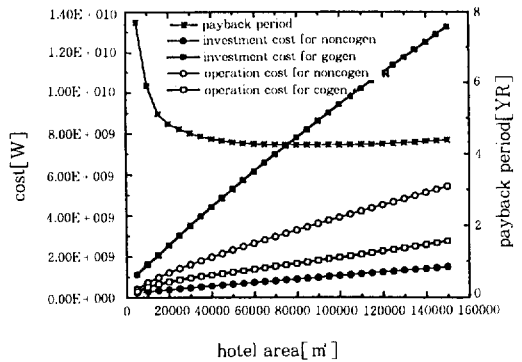


그림 14 호텔의 면적에 따른 열병합발전시스템의 투자비 및 단순투자 회수기간(최대 전기수요에 대한 가스엔진 용량의 비율이 100%)

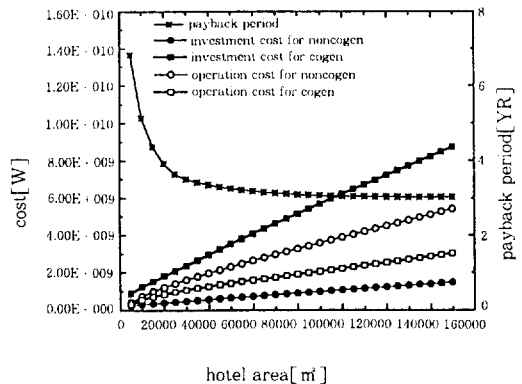


그림 15 호텔의 면적에 따른 열병합발전시스템의 투자비 및 단순투자 회수기간(최대 전기수요에 대한 가스엔진용량의 비율이 60%)

연간운전비 그리고 단순투자회수기간을 보여준다. 여기서 열병합용 연료의 가격은 냉방용 가스 가격으로, 엔진대수는 1대로, 엔/원의 환율은 9/1로 하였다.

투자비 및 연간운전비는 호텔의 면적이 증가함에 따라 선형적으로 증가하고 있다. 호텔의 면적이 작을 경우 면적의 증가에 따라 투자회수기간이 급격히 줄어들고 있으나 약 30,000㎡ 이상에서는 투자회수기간이 일정함을 보인다.

그림 15는 최대 전기수요에 대한 가스엔진용량 비율이 60%일때의 호텔면적에 따른 열병합발전시스템과 비열병합발전시스템의 투자비와 연간운전비, 그리고 단순투자회수기간을 보여준다. 투자비 및 연간운전비는 호텔의 면적이 증가함에 따라 역시 선형적으로 증가하고 있으나 그림 14의 경우에 비해 투자회수기간이 줄어들고 있는 것을 알 수 있다. 이는 전기수요의 최고점으로 시스템을 설정하는 것이 아직은 비경제적임을 보여준다.

그림 16은 전력설비의 20~100%의 용량의 열병합발전시스템의 투자회수기간을 건물의 여러면적에 대하여 나타내었다.

건물면적 40,000㎡ 이하에서는 전력용량의 40~60%에서 최저 투자회수기간을 얻을 수 있으나 그 이상의 면적에서는 엔진용량이 감소할수록 투자회수기간이 짧아짐을 보여 최저점을 찾기는 어렵다. 그러나 감소율이 매우 작으므로 20~40% 정도의 용량이 적절함을 보인다. 그리고 앞서

예측한 바와 같이 30,000~40,000㎡ 이하의 건물은 면적의 증가에 따라 투자회수기간이 급격히 감소하나 그 이상에서는 투자회수기간의 감소가 미미하다. 현 상태로 판단하기는 경제성있는 시스템이 되기 위하여는 투자회수기간이 최대 4~5년이내여야 함으로 건물면적이 최소 10,000~20,000㎡ 이상의 경우어야 열병합발전설비의 투자가 바람직하다고 볼 수 있다.

그림 17은 열병합용 엔진 대수에 따른 투자회수기간의 변화를 나타낸다. 엔진은 최대전력부하의 60% 용량으로, 그리고 열병합용 연료가격은 냉방용가스요금으로 계산하였다.

건물면적 40,000㎡ 이하에서는 엔진의 설치대수에 따라 투자회수기간의 차이가 매우 크나 그 이상에서는 그 차이가 약 0.25년/대의 비율로 증가함을 볼 수 있다. 이와 같이 엔진이 여러대가 설치된 경우는 병렬운전을 기본으로 하고 있다. 이때 엔진의 최저운전부하율을 30% 부하로 설정하였다. 즉 전력부하가 단위엔진부하의 30% 미만일 경우는 한전으로부터 전기를 구입하고, 30~100%의 경우에는 엔진 1대로 운전을 하여 전기를 생산하고, 100~130%까지는 1대를 정격부하로 운전하고 나머지는 구입을 하고, 100~200%까지는 2대로 반씩 병렬운전을 하도록 설정하였다. 그 이상의 부하에서는 앞의 경우와 같은 방법으로 운전토록 설정하였다.

그림 18은 열병합용 연료로 LNG를 사용하였을때 단위체적당 가격에 따른 투자회수기간을 나

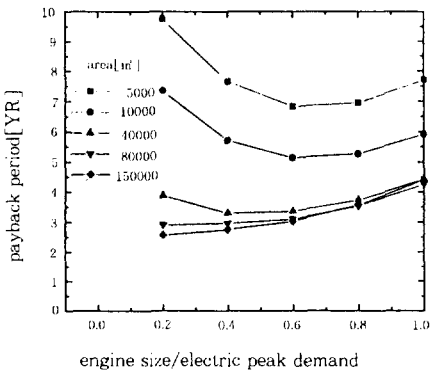


그림 16 엔진용량의 전력 피크에 대한 비율에 따른 투자회수기간

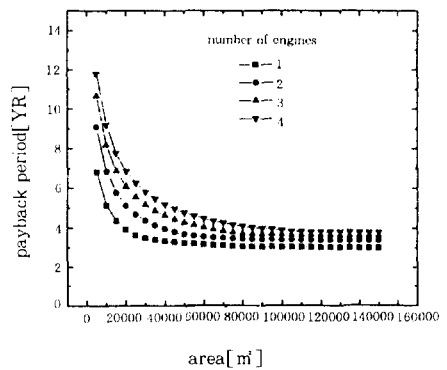


그림 17 엔진 대수에 따른 투자회수기간

타낸 것이다. 역시 면적 30,000㎡ 이상에서는 투자회수기간의 변화가 크지 않음을 볼 수 있다. 그러나 상대적으로 열병합용 엔진의 연료가격을 냉방용 연료가격으로 사용하였을 경우와 일반 보일러용 가격을 사용하였을 경우에 투자회수기간의 차이가 매우 큼을 보인다.

따라서 열병합발전시스템의 경제적 보급을 위한 적극적이고 제도적인 방법중의 하나는 열병합용 엔진의 연료요금이 될 수 있음을 알 수 있다. 그런데 이와 같이 열병합엔진용 연료요금, 냉방용 연료요금, 난방/급탕용 보일러용 연료요금이 서로 다른 경우에 다음과 같은 문제가 발생할 수 있다.

열병합엔진의 배열로 난방을 하는 경우는 열병합엔진용 연료요금이 난방용 연료가격보다 저렴

하기에 문제가 되지 않으나 그 열병합엔진 배열로 냉방을 하는 경우에 이를 냉방용 연료가격으로 설정해야 할지 아니면 열병합용 연료가격으로 설정해야 하는가의 문제가 발생한다. 현재의 요금체계로는 열병합용 연료가격이 따로 설정되어 있지 않기에 특별한 경우를 제외하고는 열병합을 통하여 발전과 냉방을 하는 경우가 경제적으로 유리하지 않을 수 있다.

따라서, 앞으로 정책의 결정시에는 이와 같이 불분명한 경우에 대하여 합리적인 대안이 필요하다.

그림 19는 동일한 조건하에서 연중 계획보수정지(scheduled outage)의 달수에 따라 투자회수기간의 차이를 나타낸다. 보수정지의 시기는 봄철로 4~5월로 하여 전기수급에 있어 지장이 없도록 하였다. 이 경우도 투자회수기간이 대략 '0.25년/보수정지달수'의 비율로 증가함을 볼 수 있다.

### 7.2 병 원

병원의 경우에도 앞절의 호텔과 같은 방법으로 열병합발전시스템의 투자비 및 운전비, 그리고 단순투자회수기간을 예측하였다.

그림 20은 열병합용 엔진이 최대전력수요의 60% 규모에 대한 시뮬레이션자료이다. 일반적으로 호텔의 경우와 비슷한 경향을 보인다. 그러나 일정 면적보다 큰 호텔의 경우 투자회수기간은 면적의 증가에 따라 크게 감소하지 않았으나 병원의 경우 계속 감소함을 보이고 있다. 이는 병원의 경우가 호텔보다 상대적으로 더 많은 열

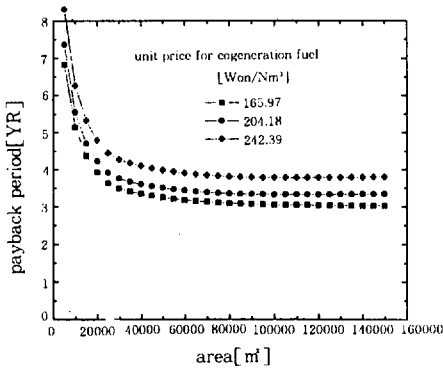


그림 18 열병합엔진용 연료가격에 따른 투자회수기간

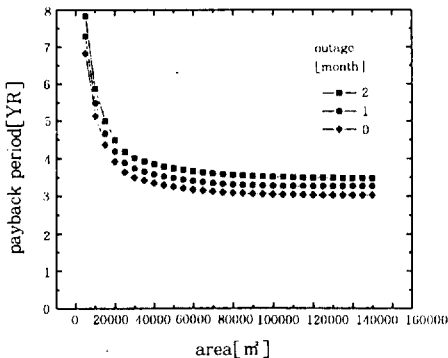


그림 19 보수정지기간에 따른 투자회수기간

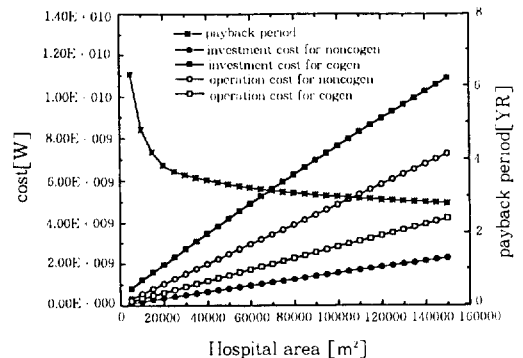


그림 20 병원의 면적에 따른 열병합발전시스템의 투자비 및 단순투자회수기간

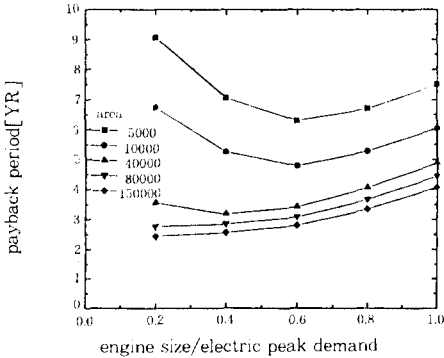


그림 21 엔진용량의 전력 peak에 대한 비율에 따른 투자회수기간

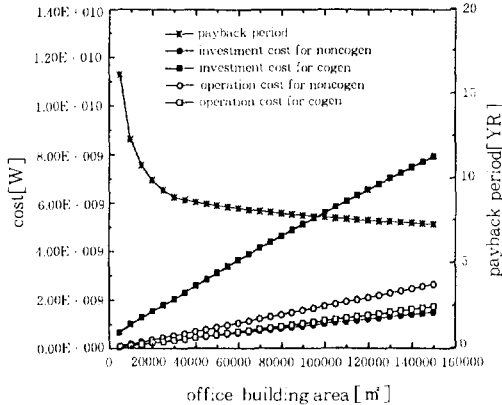


그림 22 업무용 건물의 면적에 따른 열병합발전 시스템의 투자비 및 단순투자회수기간

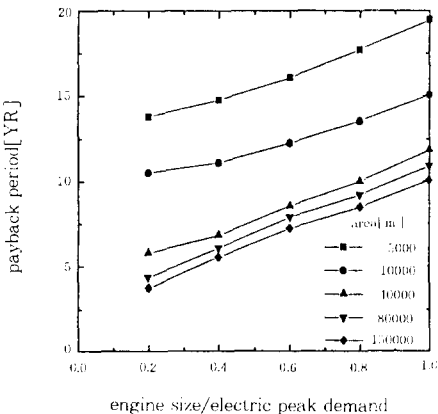


그림 23 엔진용량의 전력 Peak에 대한 비율에 따른 투자회수기간

에너지를 요구하고 있기 때문에 사료된다.

그림 21은 전력설비의 20~100% 용량의 열병합발전시스템의 투자회수기간을 병원건물의 여러 면적에 대하여 나타내었다. 건물면적 40,000㎡ 이하에서는 전력용량의 30~60%에서 최저 투자회수기간을 얻을 수 있으나 그 이상의 면적에서는 엔진용량이 감소할수록 투자회수기간이 짧아짐을 보여 최저점을 찾기는 어려움을 보인다. 그러나 단순투자회수기간이 호텔에 비하여 비교적 작기 때문에 병원에 있어서의 열병합발전시스템이 보다 경제적이라 할 수 있다.

### 7.3 업무용 건물

업무용건물의 경우에도 앞절의 호텔 및 병원과 같은 방법으로 열병합발전시스템의 투자비 및 운전비 그리고 단순투자회수기간을 예측하였다.

그림 22는 열병합용 엔진이 최대전력수요의 60% 규모에 대한 시뮬레이션자료이다. 일반적으로 병원의 경우와 비슷한 양상을 보인다. 그러나 열병합발전의 운전비 이득이 그리 크지 않아서 단순투자회수기간이 다른 건물보다는 훨씬 장기간임을 보여준다. 따라서 단위 업무용건물에 열병합발전설비를 계획하는 것이 무리가 있음을 알 수 있다.

그림 23은 전력설비의 20~100% 용량의 열병합발전시스템의 투자회수기간을 업무용건물의 여러면적에 대하여 나타내었다. 건물면적이 증가할수록 투자회수기간이 짧아지고, 또한 열병합발전설비의 용량이 작아질수록 투자회수기간이 계속 줄어들고 있음을 보인다. 따라서 업무용건물에 열병합설비를 설치할 경우에는 가급적 작은 용량이 타당할 것으로 사료된다.

### 8. 맺음말

본문에서는 여러 가지의 건물에너지 절약기술 중 단위건물에 소형 열병합발전 설비를 설치할 경우, 국내외의 실질적인 자료를 이용하여 경제성평가에 기본이 되는 실비계획, 투자비예측 및 운전시뮬레이션을 통하여 단순투자회수기간을 계산하였다. 대상엔진은 가스엔진이고, 대상건물

은 호텔, 병원, 업무용빌딩으로 비교적 열전비가 높은 건물로 설정하였다. 호텔 및 병원의 경우는 비교적 투자회수 기간이 짧아 투자타당성이 높으나, 업무용빌딩의 경우는 투자회수기간이 상당히 길어 비경제적임을 알 수 있었다. 그러나 정부에서도 소형열병합발전에 많은 관심을 가지고 향후 10년간 이분야에 집중적으로 투자할것으로 예상되 전망이 매우 클것으로 기대된다.

### 후 기

본 내용은 통상산업부에서 시행한 에너지절약 기술개발사업의 사업수행의 일부결과이며, 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 이영수 외, 1996, 소형열병합발전시스템 최적화연구에 관한 최종보고서, 통상산업부.
2. 공기조화 냉동공학회, 1989, 공기조화·냉동·위생공학편람, 제1권.
3. 下瀬史, 1987, “コシエネレーションと發電システムの選擇と問題”, OHM, 5月. pp.28~32.
4. 日本 Cogeneration 研究, 1988, Cogeneration 구성기기.
5. 오시덕, 1995, 열병합시스템의 성에너지성과 경제성, 효성중공업(주).
6. 박승호, 1997, 소형건물용 열병합발전설비의 현황, 설비계획, 운전시뮬레이션 및 단순투자회수기간, 대한기계학회지, Vol.37, No.4, pp.306~318.