백화점 건물의 에너지 부하모델 개발

박 화 춘, 이 승 수†, 김 대 진*
한국에너지기술연구원 열병합보일러연구센터, *(주)케너텍

Model Development of Daily and Hourly Energy Load for Department Stores

Hwa-Choon Park, Sung-Soo Lee†, Dae-Jin Kim*
Cogen./Boiler Research Center, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea
**ESCO/Energy DIV. KENERTEC Co., LTD., Seoul 152-848, Korea*

(Received September 19, 2003; revision received November 1, 2003)

ABSTRACT: Case study was performed to analyze energy load for department stores and develop energy load model to be applied to a cogeneration system. Energy loads of 14 departments were analyzed based on energy load sheets written by operators and energy load of one department store was measured through modem communication for a year. Energy load of department stores shows various variations depending on when they are opened or closed and, hours, days and months. In this paper, the measurement was compared with data in energy load sheets and resolved, and energy load model for a department store was built. It is important to use an accurate energy load model for an accurate feasibility study applying a cogeneration system to buildings.

Key words: Cogeneration(소형 열병합발전), Energy load variation(에너지부하 변동), Electricity load(전기부하), Cooling load(냉방부하), Heating load(난방부하), Hot water load(급탕부하)

1. 서 론

산업저변 확대를 위해서는 전력의 안정적인 공급이 필요하나, 설비를 증축하기에는 막대한 자금이 필요하며, 발전소 입지확보의 어려움과 송·배전으로 인한 손실, 하절기 냉방부하의 증가로 인한 전력과다 수요현상 등이 발생할 수 있다. 이러한 단점을 보안하기 위한 방안으로 전력소비가 발생되는 곳에 열효율 50~60%, 발전효율 25~35%인 분산형 열병합발전 설비를 설치하여 전기와 더불어 열을 생산하여 소비함으로써 에너지 이용률을 80% 이상 증대시킬 수 있고 하절기 계통의 전력 peak 저감에 장점이 있어, 에너지 빈국인 우리로서는 이의 보급 활성화가 긴요하다.

열병합발전은 열병합발전시스템 적용에 의한 에너지비용이 기존의 에너지공급비용보다 저렴할 때에만 경제성이 있다. 또한 아직 신뢰할 만한 열병합발전시스템의 국산화가 이루어지지 않아 시스템을 외국에서 도입하여 설치하는 관계로 대체로 가격이 비싸기 때문에 더욱 경제성 확보에 어려움이 있다.

외국에서는 열병합발전 등 자가발전에 대한 기술적, 경제적 측면에서의 분석과 전망에 대한 연구, 열병합발전의 사용자 측면, 전력사업자 측면, 국가적 측면에서 최적으로 운용을 하기 위하여 여러 가지 프로그램[1]을 개발하고 있다.

† Corresponding author
Tel.: +82-42-860-3162; fax: +82-42-860-3098
E-mail address: hcpark@kier.re.kr

1) COGEN3, DEUS, COGENMASTER 등

반면에 국내에서는 환경조건이 외국의 경우와 상당히 다른 변수를 지니고 있지만 외국의 프로그램을 그대로 도입하여 사용하고 있는 실정이다.

열병합발전시스템을 도입하기 위해서는 무엇보다 경제성이 우선되고, 경제성을 갖추기 위해서는 부하에 따른 적정기기의 선정이 상당히 중요한 요소로서 자리잡게 되는데, 본 연구에서는 적정한 기기의 선택을 위한 부하모델의 중요성을 인식하고 부하모델에 대한 Database를 작성하는데 그 목적을 두고 있으며, 이러한 부하모델은 단시간에 이루어지는 것이 아니라, 상당히 오랜 기간 동안 정확한 계측을 통해서 이루어지므로 백화점을 중심으로 1단계 부하모델을 수립을 하고자 한다.

2. 조사항목 및 방법

2.1 월별·일별 에너지사용량 조사

본 연구에서는 열병합발전시스템의 경제성에 결정적인 영향을 미치는 에너지소비량을 보다 정확하게 예측할 수 있는 부하모델을 만들려고 에너지 소비실태를 조사하였다.

1차적으로 에너지 소비실태를 고려하여 전기와 열의 이중관리 대상업체 중 서울, 대전, 대구, 부산, 광주 등의 지역으로부터 21개의 백화점을 선정하여 직접 방문조사를 하였다. 그중 건물의 용도가 백화점으로 타당한 14업체로부터 조사한 결과를 표시하였고, 조사대상이 된 업체들의 평균을 보면 평균적으로 지상 10층 지하 5층의 높이

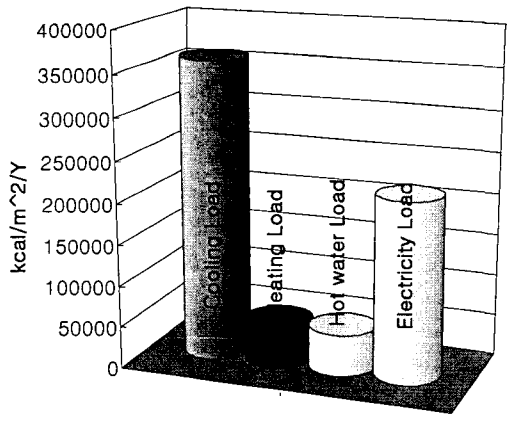


Fig. 1 Yearly energy load for department stores.

이며, 연면적은 65,795 m^2이고 난방면적은 40,456 m^2이고 냉방면적은 40,047 m^2이었다. 수전 전압은 22.9 kV이며, 비상용 발전기의 용량은 1,250 kW 정도이고, 매장 내의 부하 중 냉방부하와 전기부하가 큰 편이다. 백화점의 부하는 매장의 영업시간 내에 편중되는데, 영업시간은 평균적으로 오전 10시 30분에 개장하여 오후 8시에 폐점한다.

백화점 건물의 수·변전 일지와 기관일지를 참고하여 조사대상업소의 평균적인 난방과 냉방시기를 살펴보면 3월 말부터 11월 초까지 냉방을 하며, 시간은 오전 8시부터 오후 7시까지 실시하는 것으로 나타났으며, 난방의 경우 11월 중순부터 시작하여 4월 초까지 실시하며, 오전 7시 30분부터 오후 8시까지 하는 것으로 나타났다. Fig. 1은 백화점 건물의 단위면적당 연간 평균 에너지 부하량을 나타낸 것으로 백화점의 경우 매장의 조명(전기)부하가 크고 그에 따른 조명열 때문에 냉방부하가 크고 냉방기간도 길며 난방부하는 상대적으로 크지 않고 그 기간도 짧은 특징을 보인다.

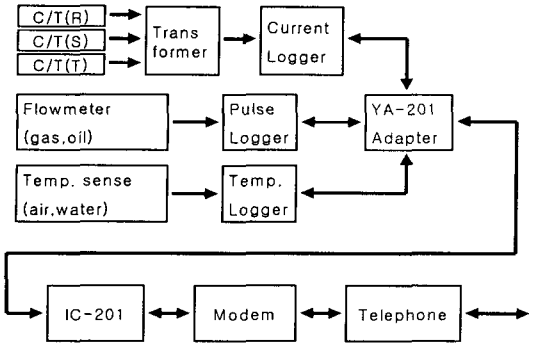
2.2 시간별 에너지사용 패턴 계측

시간별 부하모델을 도출하기 위한 정밀조사의 의향을 타진하여 협조업체를 대상으로 에너지사용량을 계측하였다. 시간별 에너지사용량을 실측으로 계측한다는 것은 상당히 많은 시간과 기자재 확보를 위한 많은 자금이 소요되는 일이다. 그러나 열병합발전시스템의 경제성 및 설비의 용량산정은 에너지 부하측정의 정밀도에 의해 결정되어지기 때문에 이를 간과할 수 없다.

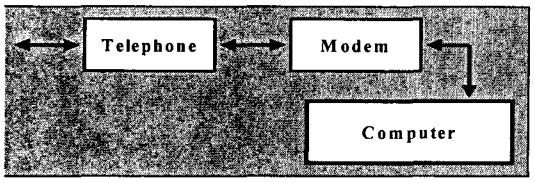
본 연구에서는 시간, 인력, 자금 등의 한계 때문에 많은 샘플을 선정할 수가 없어서 백화점 한 곳을 대상업체로 선정하였다. 대상업체로 선정된 백화점은 광주광역시에 위치한 백화점 건물로 연면적 57,534 m^2, 냉·난방면적 34,320 m^2이고, 지상 9층, 지하 3층이며 지하 2~3층은 주차장이다.

2.2.1 기자재 설치 및 계측방안

시각별 에너지사용량을 수동적인 방법에 의해 계측하기에는 불가능할 정도로 많은 인력과 노력이 필요하므로 본 연구에서는 Fig. 2과 같이 연구실의 컴퓨터와 계측현장의 Logger 사이에 모뎀과 전화선을 이용하여 on-line으로 Logger의 설정 및 계측을 수행할 수 있도록 원격 데이타 계측시스템을 구축하였다.



(a) The schematic diagram of measurement system at the site



(b) The schematic diagram of measurement at lab

Fig. 2 The method to install measurements.

2.2.2 계측자료의 샘플

Fig. 2에서 보인 것처럼 logger에서 8초 간격으로 계측된 자료를 4분 동안 누적하여 이를 평균한 후 다시 4분 동안의 사용량으로 환산하여 저장하는 방식으로, 시간당 15회의 계측데이터를 얻는 방식으로 하였다.

3. 백화점의 에너지 부하모델

3.1 월별 에너지 부하모델

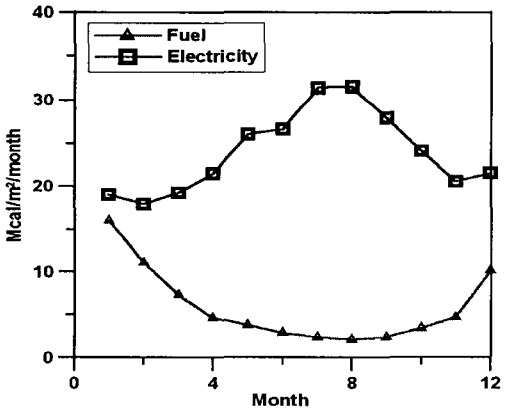
백화점에 대한 에너지 부하자료를 수 · 변전일지 및 기관일지를 참고하여 조사하고 그중 냉방방식이 전적으로 전동식(빙축열 포함) 냉동기에 의존하는 4곳의 백화점의 자료로 분석하였다.

Table 1에 의하면 백화점에 소요되는 전체 에너지의 80.2%가 전기로 이용되며, 나머지 19.8%가 석유류나 가스 등의 연료로 소요됨을 알 수 있으며, Fig. 3(a)는 Table 1의 에너지사용량을 그림으로 표시한 것이며, 참고문헌 3의 pp. 94-95에 제시된 부하모델 분석방법에 의거하여 Fig. 3(b)

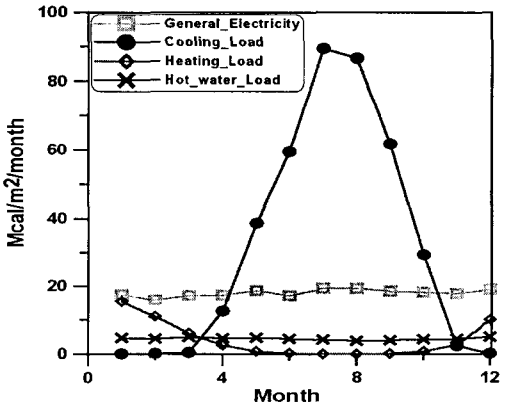
Table 1 Monthly energy load (Mcal/m^2/month, Mcal/m^2/year)

Energy \ Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Year total
Electricity	19.0	17.9	19.2	21.4	26.0	26.6	31.4	31.5	27.8	24.1	20.5	21.5	287.0
Fuel	16.0	11.1	7.3	4.6	3.8	2.9	2.4	2.1	2.4	3.4	4.7	10.2	70.9
Total	35.1	29.1	26.6	26.1	29.7	29.4	33.8	33.7	30.1	27.4	25.3	31.7	357.9

1 kWh=860 kcal, LNG 1 Nm^3=9,500 kcal



(a) Fuel and electricity consumption



(b) Load variation

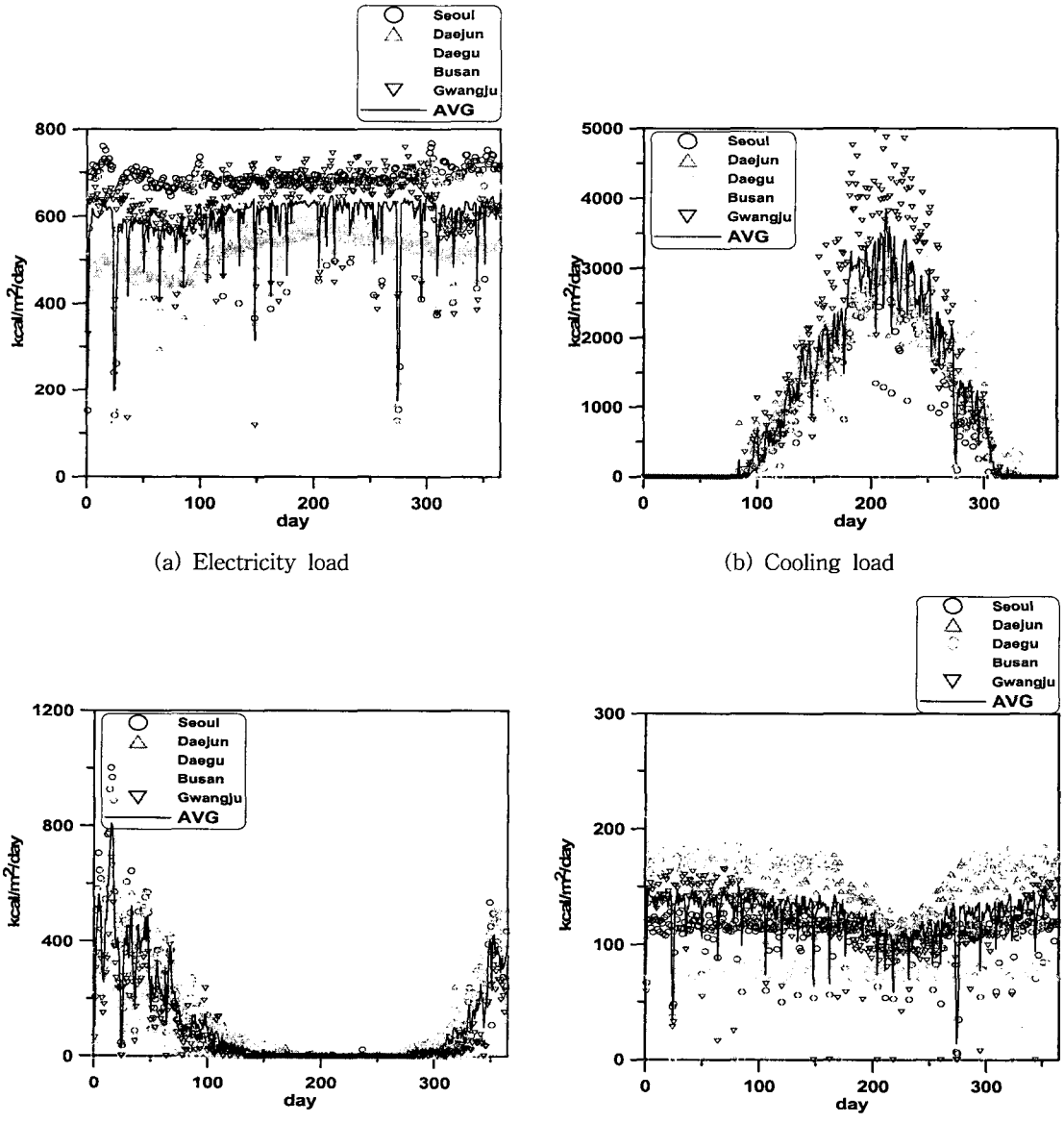
Fig. 3 Monthly energy consumption.

는 4가지 부하별로 나누어 나타내었다.

Fig. 3(a)에서 7월중에는 냉방수요의 증가로 전기를 가장 많이 사용하는 것으로 나타나며, 2월경에는 가장 적게 소요됨을 나타내었다. 연료는 난방기인 1월중에는 가장 많이 소요되며, 급탕만 필요한 8월중에는 가장 적게 소모됨을 알 수 있다. 그리고 일반전기와 급탕의 수요는 연중 거의 일정치를 유지하는 것으로 나타났다.

3.2 일별 에너지 부하모델

참고문헌 3의 pp. 94-95에 제시된 부하모델 분석방법에 의거하여 백화점 건물의 용도별, 즉 일반전력부하, 냉방부하, 난방부하 및 급탕부하에 대하여 평균적으로 분석한 것을 이용하여 일일별 부하변화를 도출하였다. 분석대상이 된 14개의 백화점에 대하여 용도별, 즉 일반전력부하, 냉방부



(a) Electricity load

(b) Cooling load

(c) Heating load

(d) Hot water load

Fig. 4 Daily model of energy load.

하, 난방부하 및 급탕부하에 대하여 분석한 결과를 Fig. 4의 (a), (b), (c), (d)에 나타내었다.

Fig. 4(a)의 일반전력 부하모델에 대하여 살펴보면, 부하가 거의 연중 피크(peak)치가 존재하지 않고 평균적으로 균일한 분포를 이루게 된다. 이는 백화점 특성 중 하나인 매장 조명용 전등에 소모되는 전력소비와 상당히 밀접한 관계가 있을 것으로 추정된다. 각 백화점 간의 부하는 편차가 100 kcal/day/m^2 정도로 거의 일정하다고 볼 수 있다.

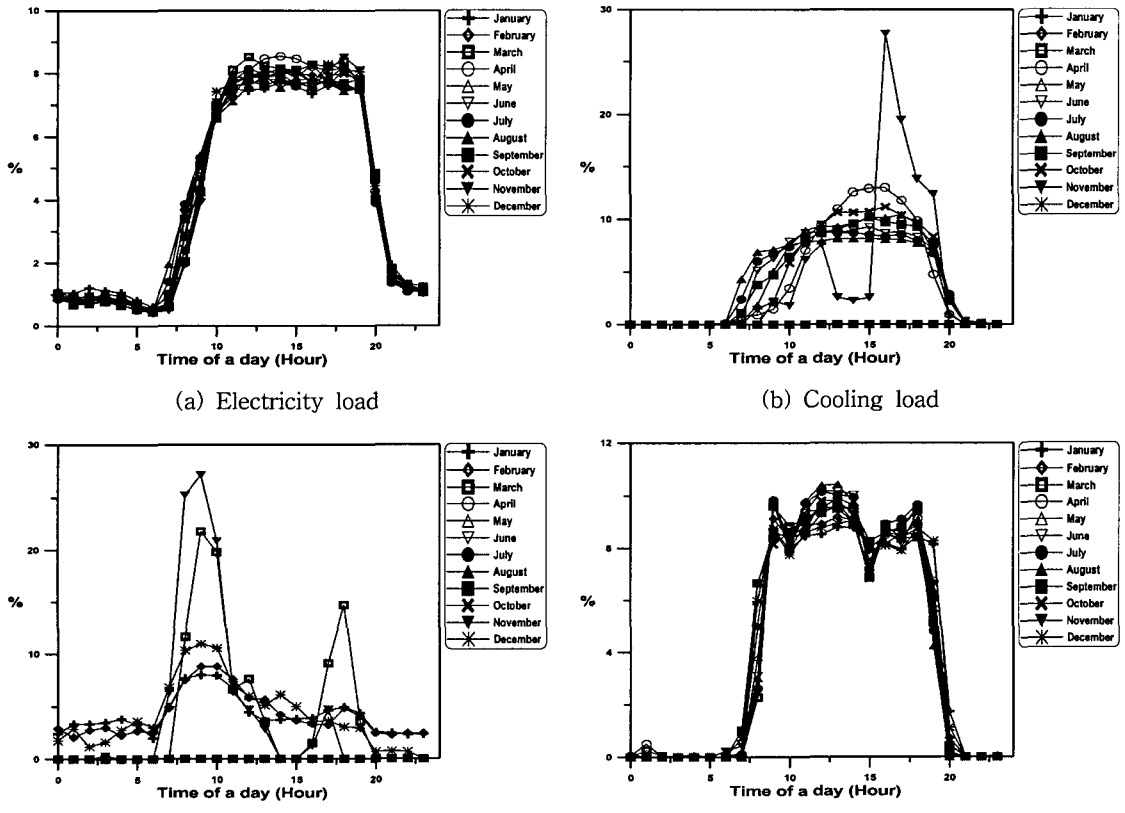
Fig. 4(b)의 냉방부하는 실질적으로 그 부하정도는 미비하지만 이른봄부터 실시되고 있으며, 여름기간 동안 peak를 이루게 된다. 백화점의 경우 매장 내의 조명등에 의한 실내온도 상승에 의해서 냉방기간이 길고 그 부하가 큰 것이 특징이다. 각각의 백화점마다 그 정량적인 값의 차이는 지역적인 특성과 백화점 자체설비 및 규모에 따라서 다르게 나타나며, 부하의 편차는 500 kcal/day/m^{2}로 다소 크게 나타난다.

Fig. 4(c)의 난방부하는 겨울철과 봄에 집중적으로 나타남을 알 수 있고 백화점의 경우 다른 건물과 비교되는 것이 매장 내의 조명열에 의하여 실내온도가 어느 정도 유지되기 때문에 난방부하가 비교적 적은 것이 특징이다.

Fig. 4(d)의 급탕부하는 백화점의 화장실 온수공급과 건물 내부의 식당가 수요 등이 있는데, 식당가 수요가 큰 비중을 차지하는 이유로 연중 평균적으로 peak가 존재하지 않고 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 그러고 각 백화점의 지역적인 특성과 백화점의 규모나 설비의 양호성에 관계없이 편차는 50 kcal/day/m^2 정도로 비교적 작게 나타난다.

3.3 시간별 에너지 부하모델

열병합발전의 경제성 분석을 위한 시뮬레이션에 필수적인 시각별 변화를 단위로 하는 연간 용도별 에너지 부하모델은 일별 에너지 부하모델과



(a) Electricity load (b) Cooling load

(c) Heating load (d) Hot water load

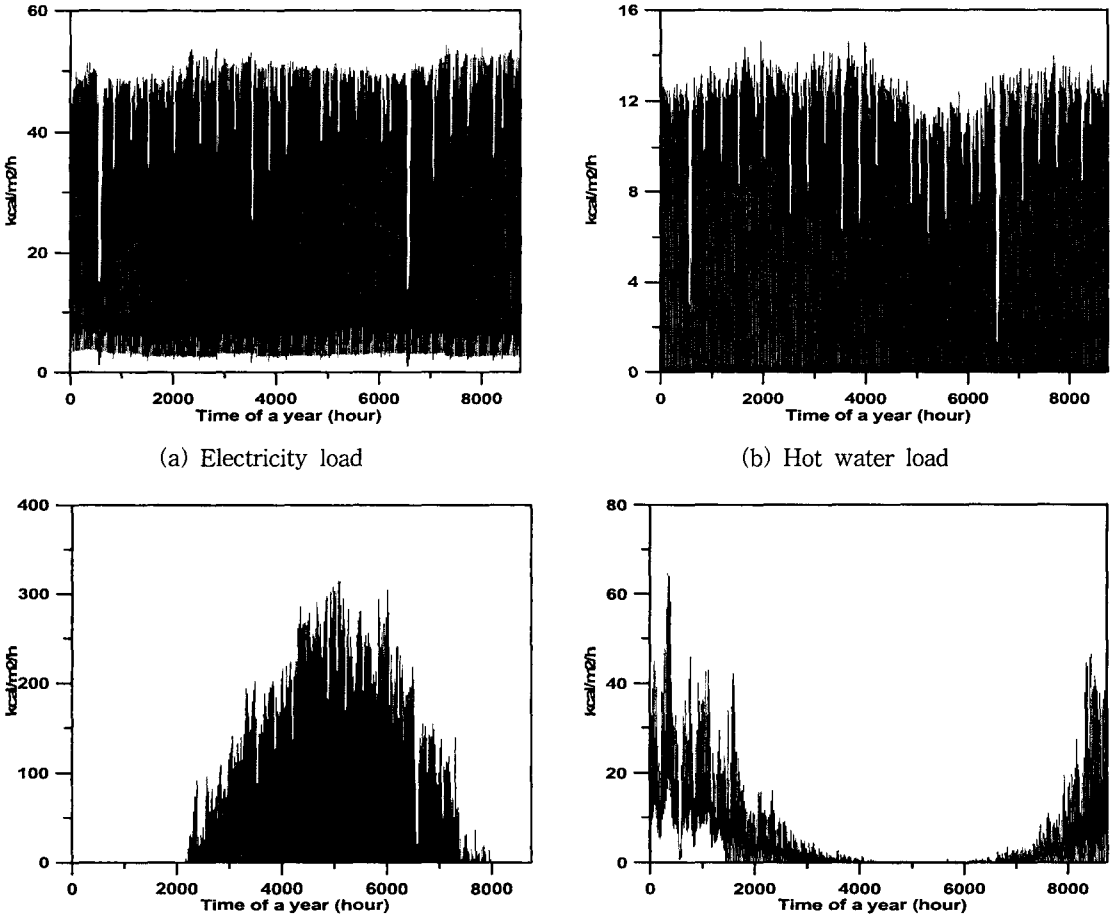
Fig. 5 The model of energy load per hour for a day of each month.

시간별 에너지 부하모델을 합성하여 구할 수 있다. 1년을 12월로 구분하여 각 월별로 구한 시간별 용도별 부하패턴에 맞추어 일일별로 요구되는 부하량으로 분담하여 시간별 단위로 하는 연간 용도별 에너지 부하모델을 백화점 건물 1곳을 통하여 실제 계측을 통하여 구하였다.

본 연구에서 보다 정확한 부하모델을 만들기 위하여 계절별이 아닌 매월 부하모델을 만들었다.

Fig. 5(a)의 경우는 각 월별 하루 24시간에 대한 월평균 전기부하를 나타낸 것이다. 백화점 건물에서 전기부하의 경우 많은 부분이 매장 내 조명전력이 차지하고 있으며 부하가 백화점 영업시간에 대부분 치중되는 것을 볼 수 있다. 백화점의 개점시간 2~3시간 전부터 전력부하가 급격히 증가하고 폐점시간을 지나서 부하는 마찬가지로 급격히 줄어든다. 1월에서 12월까지의 월별 부하패턴을 살펴보면 크게 차이가 없음을 알 수 있는데 이는 여름철의 냉방기기에 의한 전력소비와 겨울철의 난방기기에 의한 전력부하를 제외한 나머지 일반 전력부하에 대하여 나타냈기 때문이다.

Fig. 5(b)는 각 월별 하루 24시간에 대한 월평균 냉방부하를 나타낸 것이다. 여름철의 시간별 부하에서는 오전 7시에서 오후 8시경에 많이 요구되고, 여름철 가장 더운 시기인 7월, 8월경에는 부하패턴의 기복이 없이 일정하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 높은 기온으로 인해 냉방공급을 연속적으로 하기 때문이다. 또한 봄, 가을철의 냉방부하가 적은 시기의 냉방부하 패턴을 살펴보면 기온이 높은 오후시간대에 치우치는 것을 볼 수 있다. 1월, 2월, 3월, 12월에는 냉방부하가 없다.



(a) Electricity load

(b) Hot water load

(c) Cooling load

(d) Heating load

Fig. 6 The energy load per hour for a year.

Fig. 5(c)는 난방부하를 각 월별로 월평균으로 나타낸 것이다. 백화점은 건물의 특성상 외부와 차단된 밀폐형 건물이고 매장 내의 조명등의 열로 인해 난방부하가 비교적 작은 것을 알 수 있다. 실례로 광주의 S백화점의 경우 초겨울에도 실내온도 상승으로 간헐적으로 냉방기가 작동되는 경우도 있다. 난방부하 패턴도 한겨울인 1월, 2월에는 패턴의 기복이 심하지 않는 연속운전 형태이고 봄, 가을에는 간헐적인 부하패턴 모습을 보여주고 있다. 그리고 4월에서 10월까지는 난방부하가 없다.

Fig. 5(d)에는 급탕부하를 월평균으로 나타내었는데 전체적으로 거의 균일한 양상을 보이고 있다. 급탕부하의 경우에는 백화점 영업시간과 맞추어서 거의 연속운전 형태를 보여주고 있다. 이는 화장실 온수공급과 식당가의 지속적인 온수공급을 위해서 필요하기 때문으로 추정된다. 백화점의 경우 고객들의 편의를 위해서 영업시간 내에는 지속적인 온수공급을 하고 있다.

Fig. 4의 일별 부하모델과 Fig. 5의 계절별, 시간별 부하모델을 이용하여 연간 시각별 용도별 에너지 부하모델을 Fig. 6에서 볼 수 있다.

4. 결 론

앞에서 검토한 바와 같이 백화점 건물에 대한 부하모델은 영업시간과 영업외의 시간 사이의 부하 정도가 상당히 차이가 난다. 또한 연간 일별, 일일 시각별 및 연간 시각별 전기, 냉방, 난방, 급탕부하의 패턴을 볼 수 있다. 열병합 발전설비의 적용하기 위해 운전 시뮬레이션을 할 경우 부하모델의 정밀도에 따라서 큰 차이의 결과가 나올 수 있을 정도로 부하에 대한 민감도가 높기 때문에 이러한 차이가 반영되는 부하모델을 사용하여야 한다. 즉, 연간 8760시간별 부하모델을 적용하여 시뮬레이션할 경우 가장 근사하게 부하를 추정해 낼 수 있다.

결론적으로 본 연구는 향후 열병합발전의 경제성 분석에 유용하게 사용될 백화점 건물의 에너지 부하모델을 만들기 위한 방법과 그 결과에 대한 기초적인 자료를 제시하고 있다.

또한 이러한 부하모델의 개발은 열병합발전의 적용이 가능할 것으로 예상되는 건물에 대하여 용도별로 조사되고 계측된 후 이를 체계적으로 분석되어 Database의 형태로 관리되어야 한다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 에너지절약기술개발사업 중 한국에너지기술연구원이 주관하여 수행하고 있는 "소규모 지역냉난방용 열병합발전시스템 시뮬레이터 개발"과제의 일부 결과이며, 이를 지원하는 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. Park, H. C., 2002.11, Development of hourly energy load model of hotels in a year and related weight factors, Proceeding of SAC-REK Winter annual meeting.
2. Park, H.C., 2002.10, Development of hourly operation load model of business buildings in a year, SACREK section seminar.
3. Park, H.C., 2002.10, Development of operation load model of buildings and case study of hospitals, Journal of HVAC Oct., SACREK.
4. Park, H.C., Jung, M. and Kim, S.H., 2003.4, Interim report on development of a simulator of small scale district cooling/heating system, Ministry of commerce, Industry and Energy.
5. Park, H.C., 2002.11, Development of a simulator of small scale district cooling/heating system, Proceeding of SACREK Winter annual meeting.
6. Park, H.C. and Kim, J.H., 1996.12.21, Final report of research on optimization of small scale cogeneration, Ministry of commerce, Industry and Energy.
7. Park, H.C. and Park, B.S., 2002.1.23, Study on validation of small scale CES, KEMCO.
8. Kasiwoowagi Takao, 2000.3.31, Manual on LNG Cogeneration Planning and Design 2000, Association of Japan cogeneration.