

병원 건물의 에너지 부하모델 개발

박 화 춘, 정 모*

한국에너지기술연구원, *영남대학교 공과대학 기계공학부

Development of Energy Demand Models for Hospitals

Hwa-Choon Park, Mo Chung**

Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

*Department of Mechanical Engineering, Yeungnam University, Kyongsan, 712-749, Korea

(Received July 22, 2009; revision received October 27, 2009)

ABSTRACT: Energy consumption data are surveyed and measured to develop energy demand models for hospital buildings as part of a complete package. Daily consumption profiles for electricity, heating, cooling and hot water are surveyed for 14 carefully chosen hospitals to establish energy demand patterns for a time span of a year. Then the hourly demand patterns of the 4 loads are field-measured for different seasons and statistically analyzed to provide higher resolution models. Used in conjunction with energy demand models for other types of buildings, the high resolution of 8760 hour energy demand models for a hospital for a typical year will serve as building blocks for the comprehensive model that allows the estimation of the combined loads for arbitrary mixtures of buildings.

Key words: Energy demand model(부하 모델), Hospital(병원), Electricity load(전기부하), Cooling load(냉방부하), Heating load(난방부하), Hot water load(급탕부하)

1. 서 론

단일 건물 또는 건물군에 대한 에너지 수급을 체계적으로 분석하거나 시뮬레이션을 통하여 비교하려고 할 때 난방, 급탕 등 열 관련 부하와 냉방이나 일반 전력 사용 등 전기 관련 부하 자료가 필수적으로 요구된다(여기서 일반전력이라 함은 터보 냉동기 사용에 따른 냉방전력은 제외한 것이며 냉방부하는 냉동기 사용 전력에 COP를 곱한 값을 의미한다). 이러한 필요성 때문에 부하 산출에는 여러 가지 제약과 어려움이 따름에도 불구하고 세계 각국에서는 건물 부하를 예측하는

방법을 꾸준히 연구 개발하여 왔고 연구 결과를 상용화하여 패키지로 출시하기도 하였다.^(1~5) 이들 중 국제적으로 성능을 인정받고 있는 대표적 프로그램들에 대하여 주요 기능 및 장단점들을 Crawley 등⁽⁶⁾이 정리하여 발표하였다. 국내에서도 이미 백화점⁽⁷⁾, 호텔⁽⁸⁾, 공공건물⁽⁹⁾ 등 몇 가지 건물 유형에 대한 부하 모델이 발표된 바 있고 이들을 취합하여 데이터베이스 형태로 응용프로그램⁽¹⁰⁾을 만들기도 하였다.

국내외를 막론하고 병원 건물은 도시 농촌 지역에 관계없이 어디 가나 필요한 중요한 건물 유형 중 하나이다. 특히 생활수준의 향상과 사회 복지 시설 보급의 확대에 따라 병원 또는 에너지 사용 상 유사한 유형의 건물이 증가하는 추세에 있다. 병원 건물은 주간 및 주말 차이가 비교적 적고 전기나 열이 꾸준히 요구되는 건물로 다른

† Corresponding author

Tel.: +82-53-810-2459; fax: +82-53-810-4627

E-mail address: mchung@yu.ac.kr

종류의 건물과는 확연히 구분되는 에너지 사용 특성이 있다. 에너지 사용이 활발하지만 백화점이나 호텔, 공공건물 등 다른 유형의 건물에 대한 부하 모델 개발 연구가 있었던 것에 비해 아직까지 신뢰할 만한 부하 모델이 발표되어 있지 않은 실정이다. 본 연구에서는 건물의 구성상 중요한 위치를 차지하고 있는 병원 건물에 대하여 이미 개발이 완료된 백화점 호텔 공공 건물 등에 대한 기존 부하 모델과 연계해서 사용이 편리한 형식으로 개발하려고 한다.

2. 조사 항목 및 방법

2.1 월별·일별 에너지 사용량 조사

병원에서 사용되는 에너지 소비량을 보다 정확하게 예측할 수 있는 부하모델을 만들려고 에너지 소비실태를 3개 년도에 걸쳐 병원 건물을 대상으로 에너지 소비 실태 조사를 벌였다. 먼저 에너지 관리 대상 업체 중 서울, 부산, 광주, 대전, 대구, 인천 등에 소재한 전기와 열의 이중 관리 대상 업체인 병원 52개를 선정하여 소정의 에너지 소비 실태 조사 서식을 이용하여 설문조사를 수행한 결과 14개 병원으로부터 회신을 받았다. 연차적으로 냉방 부하의 계산이 용이한 전동식 냉동기를 사용하여 냉방을 하는 업체를 대상으로 하여 월별·일별 전기 및 연료 사용량을 조사하였고 시간별 부하 모델을 도출하기 위한 정밀조사의 의향을 타진하여 협조 의사를 밝힌 2개의 병원을 대상으로 시각별 에너지사용량을 계측하였다.

Fig. 1은 에너지원별 월별 에너지사용량을 분석

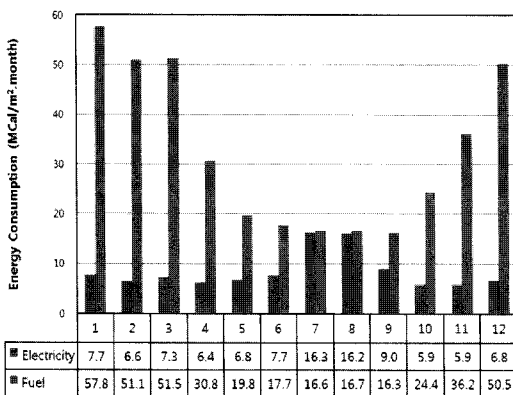


Fig. 1 Monthly energy consumption.

해 본 결과이다. 병원에서 소요되는 전체 에너지의 20.9%가 전기로 이용되며 나머지 79.1%가 석유류나 가스 등의 연료로 소요되는 것으로 파악되었다. 전기는 여름철 냉방수요의 증가로 7월 중에 16.3 Mcal/m²/월로 가장 많이 사용되며, 중간기인 10월 중에 5.9 Mcal/m²/월로 가장 적게 소요됨을 알 수 있다. 연료는 난방기인 1월 중에 57.8 Mcal/m²/월로 가장 많이 소요되며 급탕만이 필요한 6월 중에 17.7 Mcal/m²/월로 가장 적게 소요되는 것을 알 수 있다.

Fig. 2와 Fig. 3에는 병원에 대한 일별 에너지 부하모델을 구하기 위하여 앞의 조사대상의 선정에서 설명한 병원 중에서 자료의 신뢰성과 지역적인 면을 고려하여 대구, 인천, 부산에서 각각 하나씩 선정한 3개의 병원에 대한 일일 전기사용량과 연료사용량을 보여주고 있다. Fig. 2와 Fig. 3을 살펴보면 대개 1주일을 주기로 에너지의 사용

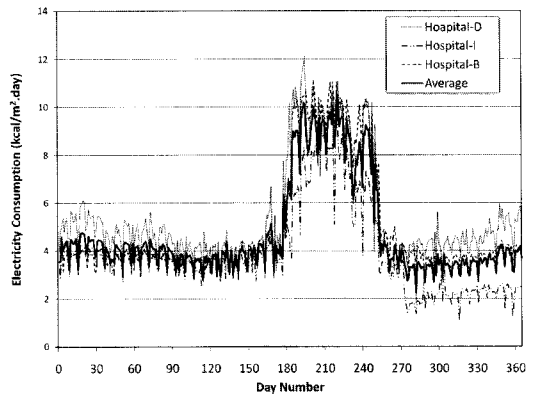


Fig. 2 Daily Electricity Consumption.

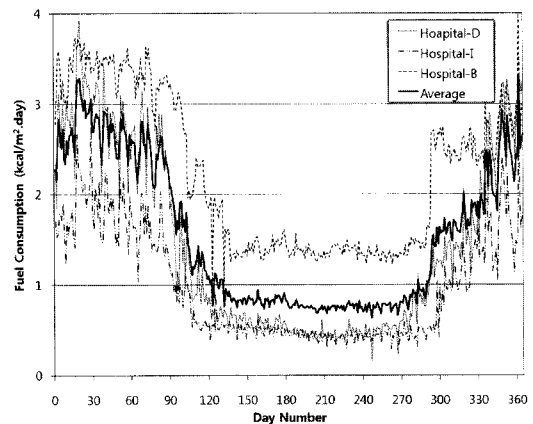


Fig. 3 Daily Fuel Consumption.

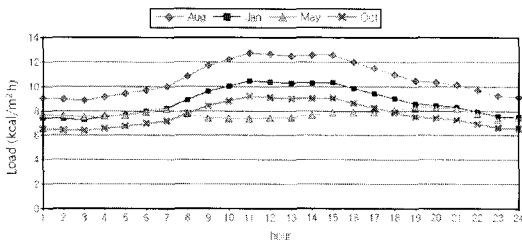
량이 주기적으로 변하는 것을 알 수 있다.

2.2 시간별 에너지 사용 패턴 계측

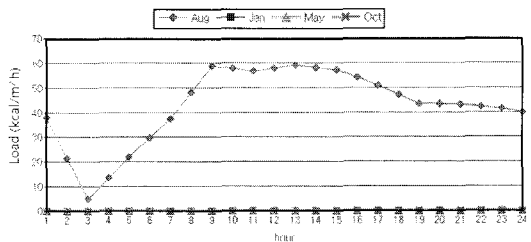
시간별 에너지부하의 변동패턴을 구하기 위하여 기존 연구^(7~9)에서 사용했던 방법과 유사하게 전국에 에너지 사용 실적 관리를 하는 업체를 수배하고 조사 참여 의사를 타진한 다음 동의한 업체를 방문하여 자료를 수집하였다. 자료 분석 후 대표성이 우수한 업체를 별도로 섭외하여 기자재를 설치하고 원격 통신을 통하여 전기 및 연료의 사용량을 계측하였다. 병원의 경우 환자의 안전을 위하여 함부로 계측기의 설치를 위해 정전할 수 없는 관계로 정전하지 않고 계측할 수 있는 자료는 계측기를 설치하여 계측하였고, 정전이 요구되

는 계측은 현장에 설치된 계측기를 이용하여 현장에서 직접 계측하거나 업체가 수집한 자료를 적극적으로 활용하는 방법을 택하였다.

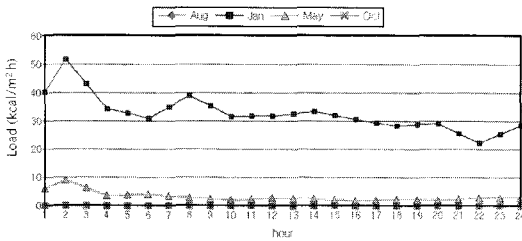
Fig. 4(a)에서 보는 것처럼 여름철의 경우 냉방에 의한 전기 사용량 증가가 뚜렷하게 나타나며 봄철(5월)을 제외한 다른 계절의 경우 주로 일반 전력사용에 해당하며 일일의 전기사용패턴이 거의 비슷함을 알 수 있다. Fig. 5(a)에서 보는 것처럼 측정된 병원의 경우 전기사용패턴은 주중과 휴일에 분명한 차이가 있음을 볼 수 있으므로 주중과 휴일을 분리해서 분석해야 할 것으로 판단된다. 그러나 연료사용량의 경우 전기사용량과는 달리 주중과 휴일이 사용패턴에 있어서 큰 차이가 없는 것으로 밝혀져(Fig. 5-b 참조) 연료사용량의 경우 사용패턴을 모델화함에 있어 주중과



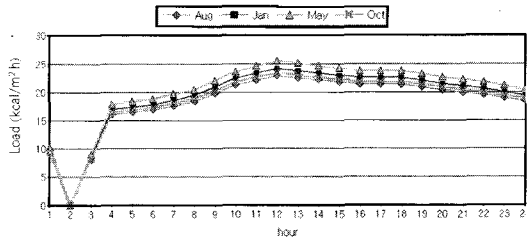
(a) Electricity



(b) Cooling

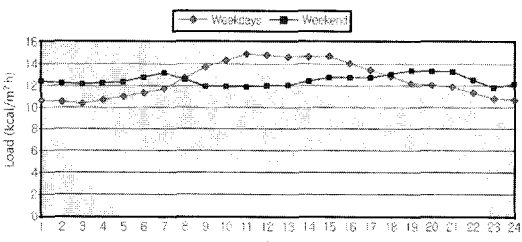


(c) Heating

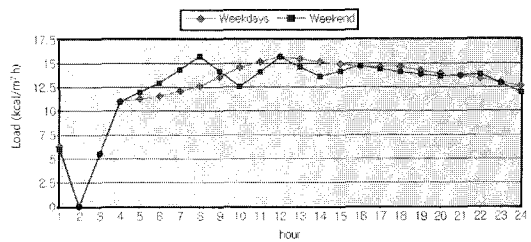


(d) Hot Water

Fig. 4 Hourly demand variation for seasons.



(a) Electricity



(b) Heat

Fig. 5 Weekend dependence of demands.

주말을 구분하지 않기로 하였다.

3. 병원의 에너지 부하 모델

3.1 부하의 추정 및 모델 도출

에너지수요는 일반적으로 아래의 4가지로 분류될 수 있다.

- 전력수요
- 냉방용 열수요
- 난방용 열수요
- 급탕용 열수요

전력수요는 다시 일반전력수요, 냉방용 보조기기 동력수요, 난방용 보조기기 전력수요로 분류된다. 일반전력수요는 조명, 콘센트, 엘리베이터, 환기 팬, 배수펌프, 급수펌프 등과 같이 연간 거의 일정한 전력수요를 말하고, 냉방용 보조기기 전력수요는 냉방기 운전 시 수반되는 냉각수펌프, 냉각탑 팬, 일차냉수펌프, 2차 냉수펌프 등의 동력수요이고, 또 난방용 보조기기 동력수요는 1차, 2차 온수펌프 등의 동력수요를 말한다.

소비용도별 에너지수요량의 파악을 위해서는 이들 6가지 수요량의 각각을 명확히 파악하는 것이 좋지만, 이 중에서 냉방용 및 난방용 보조기기 전력수요는 냉방용 및 난방용 열수요로부터 구해질 수 있으므로, 각각 독립적으로 발생하는 일반전력수요, 냉방용 열수요, 난방용 열수요, 급탕용 열수요의 4가지로 구분하고, 기타 냉방용 보조기기 전력수요는 이들로부터 구했다.

상세한 부하를 구하기 위해서는, 건물의 평면도, 열원방식, 공기조화 스케줄, 기기의 대수, 사용률 등을 알아야 하기 때문에 직접 산정하기에는 많은 어려움이 따른다. 본 연구에서는 용도 별로 건물을 구분하고 에너지 소비실태를 조사하여 그 결과를 사용하여, 용도별 에너지 부하모델을 개발하여 분석대상이 되는 건물에 대한 수요량을 추정하여야 한다. 조사 결과 얻어진 일별 에너지 소비실태에 대한 특성을 살펴보면, 일주일을 단위로 에너지소비실태의 변화패턴이 유사하게 반복되면서 계절별, 월별로 그 패턴에 차이가 있음을 알 수 있었다. 또한 시간별 소비실태는 일일 사용량은 날마다 차이가 있으나 같은 계절에 한해서는 요일별로 변화패턴에는 큰 차이가 없음을 확인할

수 있었다. 따라서 추정은 한 주간을 단위로 일간치 및 계절별로 시간치에 대하여 수행한다.

한편 냉방을 흡수식 냉동기에 의존하는 경우 가스의 사용량이 난방용인지, 급탕용인지 또는 냉방용인지의 구분이 어렵고, 흡수식 냉동기의 구동을 위해 사용되는 전기사용량과 일반전력을 구분하기도 쉽지 않기 때문에 흡수식 냉동기를 사용하는 경우 냉방부하의 도출이 전통식 냉동기를 사용할 때에 비해 어려움이 많이 따르게 된다. 더구나 흡수식 냉동기를 사용하는 경우 대부분 전통식 냉동기를 보조 냉동기로 병용하기 때문에 전기 사용도 분류가 쉽지 않다. 본 연구에서는 통계적 평균치를 사용하여 이들 부하를 분류한다. 에너지 수요 모델을 개발하기 위해서는 일반 전력수요, 냉방 수요, 난방 수요, 급탕 수요를 각 부하가 갖는 통계학적 특징을 배려하여 산출하게 된다. 이러한 일련의 과정과 해당 수식은 참고 문헌⁽⁷⁾에 자세히 수록되어 있으며 본 연구에서 수집한 병원 건물에 대하여 분석을 수행하여 국내 병원 건물에 대한 일반적인 일별 부하 변화 모델을 도출하였다.

3.2 일별 에너지 부하 모델

대상이 된 14개의 병원에 대하여 조사 수집한 자료를 위에서 설명한 방법에 따라 통계적으로 처리하여 병원 건물에 대한 전력부하, 냉방부하, 난방부하, 및 급탕부하 모델을 도출한 결과를 Fig. 6(a), (b), (c), (d)에 도시하였다.

Fig. 6(a)의 일반 전력 부하는 뚜렷한 주간 단위 주기성이 있고 겨울철에 최대치를 가을철에 최소치를 갖는 특징이 있다. Fig. 6(b)의 냉방부하는 실질적으로 그 부하정도는 미비하지만 이른 봄부터 실시되고 있지만 여름 기간 동안 집중적으로 발생하며 여름 기간 중에는 비교적 변화 폭이 좁은 특징이 있다. Fig. 6(c)의 난방부하는 겨울철과 봄에 집중적으로 나타남을 알 수 있고 Fig. 6(d) 여름철에 잠시 감소하는 것을 제외하면 연간 거의 균일한 평균치를 기준으로 주간 단위 주기성을 가지고 비교적 소폭 변하고 있음을 알 수 있다. 이것은 병원에서는 급탕부하가 꾸준히 요구되고 있음을 반영한다.

3.3 시간별 에너지 부하 모델

열병합발전의 경제성분석을 위한 시뮬레이션 등

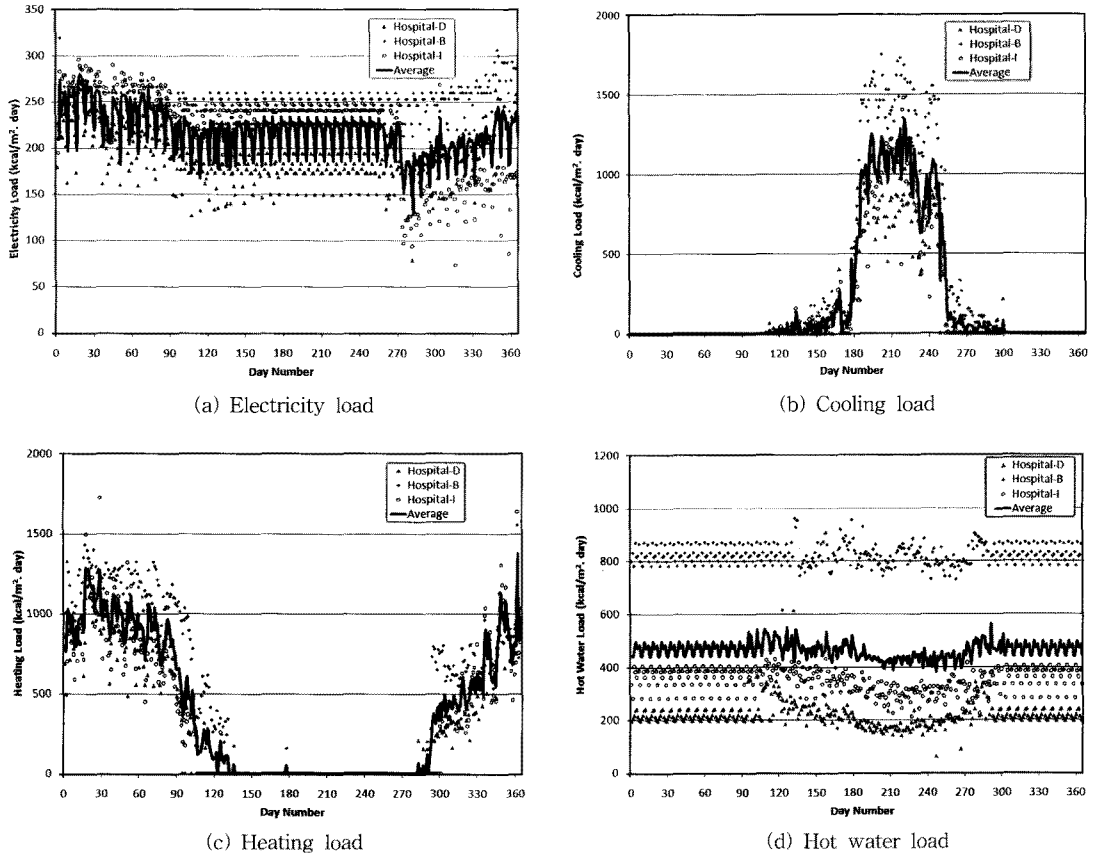


Fig. 6 Daily model of energy load.

을 수행할 때 1시간 단위 부하 모델이 있으면 해석의 정밀도 향상에 큰 도움이 된다.⁽¹¹⁾ 시각 단위 연간 용도별 에너지 부하모델은 일별 에너지 부하모델과 시간별 에너지 부하모델을 합성하여 구할 수 있다. 1년을 4계절로 나누어 Fig. 4로 주어진 일간 분포에 따라 365일 일일 부하를 분포시키는 방식으로 1 시간 단위 연간 용도별 에너지 부하 모델을 개발한 결과를 Fig. 7에 도시하였다.

Fig. 7(a), (b), (c), (d)는 병원에 대한 각각 일반 전력, 냉방부하, 난방부하 및 급탕부하에 대한 시간별 단위 연간 용도별 에너지부하의 최종모델이다. 병원의 경우 냉방기간이 다른 건물(예를 들어 호텔)에 비하여 짧으며, 하루사이의 변화의 폭도 매우 큰 특징을 갖는다. 그러나 급탕부하의 경우 여름에도 상당량 필요한 특징을 보이는데 이는 병원의 소독, 세탁, 취사 등이 연중 계속적으로 요구되기 때문이다. 다른 부하 모델들에서와 마찬가지로 완성된 병원에 대한 용도별 시간별 에너지 부하 모델의

경우 앞으로 지속적인 보완이 요구되며, 많은 자료의 축적에 의하여 병원의 특성(예를 들어 등급 같은 변수)에 따라 세밀하게 정량화할 필요가 있다.

4. 결 론

병원 건물에 대한 부하 모델을 개발한 결과 모든 부하가 주간 단위로 뚜렷한 주기성을 갖는 것으로 나타났으며 변화폭도 비교적 크다. 병원 부하 모델이 갖는 특징을 잘 이해하는 것은 다양한 건물로 구성된 CES(Community Energy System) 설계를 함에 있어 매우 중요하다. 부하 특성이 서로 다른 건물을 현명하게 잘 조합하면 개별 건물에 대한 부하 특성과는 전혀 다른 부하 곡선을 얻을 수 있으며 이것은 에너지 절약 뿐 아니라 전력망 안정에도 커다란 도움이 될 수 있기 때문이다. 에너지 사용 측면에서 중요하게 다루어야 할 건물 유형 중 하나인 병원 대하여 기존 부하 모델과 잘 융합할 수

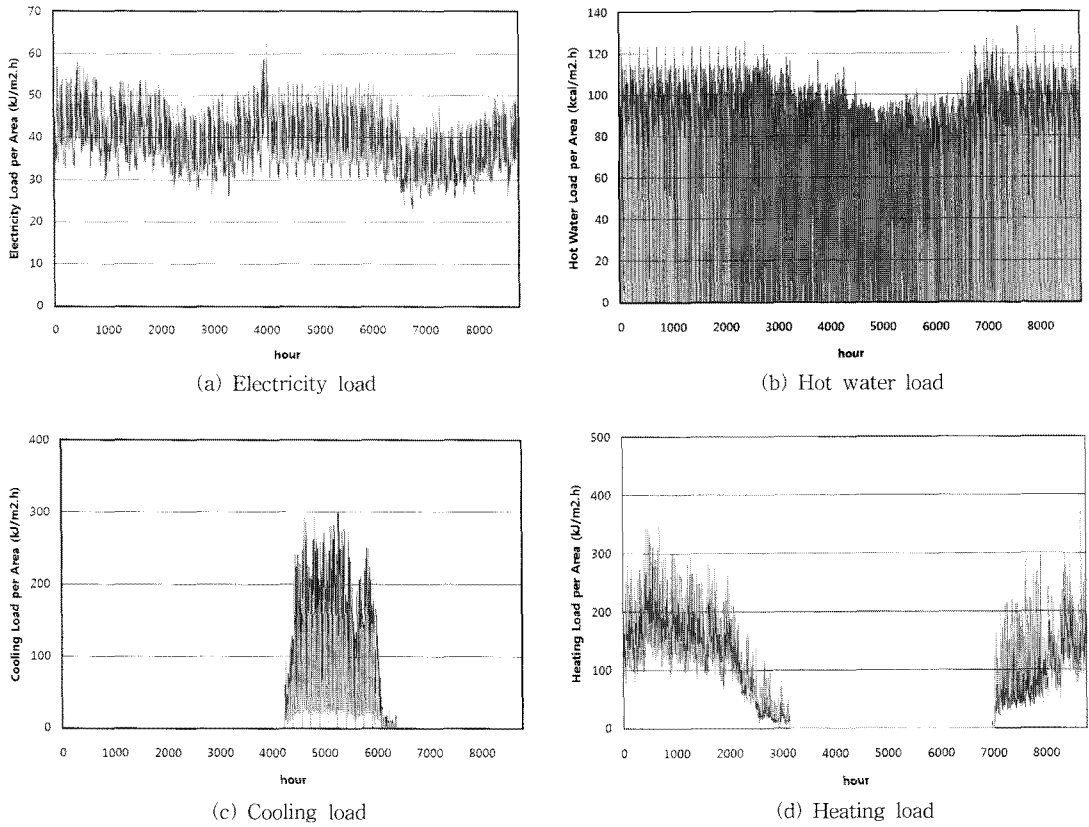


Fig. 7 The energy load per hour for a year.

있는 부하 모델을 제공했다는 점에서 본 논문의 의의를 찾을 수 있겠다.

정밀성이 요구되는 운전 시뮬레이션을 할 경우 부하 모델의 시간 단위 폭에 따라 결과가 매우 다르게 나올 수 있다. 따라서 일반적으로 관행처럼 월 단위 부하 모델이나 계절별 부하모델로는 불충분하고 본 연구에서 제공하는 일간 단위 또는 시간 단위 부하 모델을 사용하는 것이 바람직하다. 다만 부하 모델의 시간 폭이 작아짐에 따라 자료가 방대해 지고 계산 시간이 많이 걸리게 되는 것은 피할 수 없다. 본 연구는 향후 열병합발전의 경제성 분석과 같은 다양한 에너지 시스템 분석에 유용하게 사용될 병원 건물의 에너지 부하모델을 만들기 위한 방법과 그 결과에 대한 기초적인 자료를 제시한 의미가 있지만 다른 유형의 건물들에 대한 자료들과 통합하여 다양한 유형의 건물들이 혼재하는 집단에너지 시스템에 대한 체계적인 해석이 가능한 도구를 만드는 것이 최종 목표가 되어야 한다.

후 기

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

참고문헌

1. Hal Turton, 2008, ECLIPSE : An integrated energy-economy model for climate policy and scenario analysis, Energy Vol. 33, No. 12, pp. 1754-1769.
2. Karel Mařík and Zdenek Schindler, 2008, Petr Stluka, Decision support tools for advanced energy management, Energy, Vol. 33, No. 6,

- pp. 858-873.
3. Henrik Lund, Neven Duić and Goran Krajacić, 2007, Maria da Graça Carvalho, Two energy system analysis models : A comparison of methodologies and results, *Energy*, Vol. 32, No. 6, pp. 948-954.
 4. João G. S. Fonseca Jr, Paulo and S. Schneider, 2006, Simulation of a thermal power plant with district heating : Comparative results of 5 different codes, *Energy*, Vol. 31, No. 12, pp. 1955-1968.
 5. Tatiana Biagetti, and Enrico Sciubba, 2004, Automatic diagnostics and prognostics of energy conversion processes via knowledge-based systems, *Energy*, Vol. 29, No. 12-15, pp. 2553-2572.
 6. Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M. K. and Griffith, B. T., 2008, Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs, *Building and Environment*, Vol. 43, pp. 661-673.
 7. Park, H. C, Lee, S. S. and Kim, D. J., 2003, Model Development of Daily and Hourly Energy Load for Department Stores, *Journal of HVAC*, Vol. 15, No. 12, pp. 1088-1094.
 8. Park, H. C., 2002, 11, Development of hourly energy load model of hotels in a year and related weighting factors, *Proceeding of SAREK Winter Annual Meeting*.
 9. Park, H. C. and Chung, M., Building Load Models for Offices in Korea, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 29, No. 3, pp. 1-7.
 10. Chung, M. and Park, H. C., 2009, Development of a Energy Demand Estimator for Community Energy Systems, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 29, No. 3, pp. 37-44.
 11. Park, H. C. and Kim, J. H., 1996, Optimization of Small size cogeneration systems, *Final Report to Ministry of Trade and Industry*, Dec. 12.
 12. Park, H. C. and Kim, J. H., 1996, Optimization of Small size cogeneration systems, *Final Report to Ministry of Trade and Industry*, Dec. 12.