대한설비공학회 2006하계학술발표대회 논문집 pp.903~908

06-S-144

다목적 복합건물의 하절기 열원기기 운전시 소비전력에 관한 시뮬레이션

서 재 경*, 최 승 길**, 강 채 동†

전북대학교 대학원 기계공학과*, 선이앤씨**, 전북대학교 공업기술연구센터

Simulation on Energy Consumption in the Summer Season Operation of primary HVAC system for Multipurpose Building Complex

Jae-Kyoung Suh*, Seung-Gil Choi**, Chaedong Kang†

ABSTRACT: Building energy simulation has become a useful tool for predicting cooling, heating and air-conditioning loads for facilities. It is important to provide building energy performances feed back to the mechanical and electrical system operator and engineer for energy conservation and maintenance of building. From this research, we set up the typical weather data of location, basic description of building, geometric modelling data and the specification of installed primary HVAC system for establishing the simulation model about energy consuming that take place in multipurpose building complex. The simulation tool of building energy - EnergyPlus (DOE and BLAST based simulation S/W), it has been used and accomplished calculations and analyses for evaluating the effect of the system types and operating condition of central HVAC plant on the building energy consumption. In this paper, we offer comparison and simultaneous results those involve electricity consumption pattern and amount between actual operation versus EnergyPlus simulation to the object building during summer season.

Key words: Dynamic energy simulation(동적 에너지 시뮬레이션), HVAC plant modelling(열원 시스템 모델링, Total energy load(연간 에너지부하), EnergyPlus(에너지플러스 시뮬레이션 프로그램), Multipurpose building complex(다목적 복합건물)

기 호 설 명

ACH : 시간당 환기횟수
AHP : 흡수식 히트펌프
CAV : 정풍량 방식
COP : 열원기기 성적계수
IWEC : 에너지부하 계산용 기상데이터

†Corresponding author
Tel.: +82-63-270-2318; fax: +82-63-270-2315
E-mail address: ckang@chonbuk.ac.kr

1. 서 론

신규 건축물의 초기 계획단계 또는 종래 건축물의 리모델링 및 개보수 과정에서 열원기기와 같은 건축설비 분야의 검토 및 선정이 중요한 역할을 맡고 있다. 따라서 에너지 효율적인 측면뿐만 아니라 건물 총생애주기비용 등과 같은 경제성 차원까지 고려한 합리적인 선택과 접근이 필요하다. 특히 냉난방 및 공기조화 시스템의 에

너지절약 및 빌딩 자동제어시스템을 통한 효율적 관리에 대한 관심과 요구 역시 날로 증가하는 추세이다.[4]

최근 주목받고 있는 신축 건축물로서 쇼핑, 외식, 은행, 병원, 공연관람, 스포츠 및 레져시설 등의 다양한 기능과 목적을 지닌 복합건물의 경우 사무용, 주거용 건축물의 기본적인 냉난방시스템의 필요조건 이외에도 보다 쾌적한 실내환경 제공이 요구되어지고 있다. 즉 건축물의 초기 계획단계부터 에너지의 효율적 이용이 가능하고 유지보수가 용이한 냉난방공조시스템 설계를 위한 열원시스템의 선정이 중요하며, 이러한 시스템의 실운전시 합리적이고 경제적인 운전을 위한 기기간의 조합과 이에 따른 효율 및 성능 비교가 필요하다.

도심 건물 밀집지역의 일정구역에 있는 건축물의 냉난방 및 공기조화 시스템에 대한 에너지 시뮬레이션을 통한 건물에너지 절약기법 연구동향을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 Rosen[1] 등은 Canada의 Edmonton 지역을 대상으로 종래 건물의 열원시스템의 조합방식에 따른 에너지 시뮬레이션을 위하여 열병합발전(Combined heat and power generation, CHP)과 구역형 집단에너지시스템(Community energy system, CES)을 도입할 경우의 에너지 및 엑서지 효율 분석을 하였다. Park[6] 등은 백화점 건물에 대한 에너지사용량 및 부하패턴을 조사하고 향후 열병합발전을 적용하기 위한 일별, 월별 부하모델을 수립하였으며, Seo[7]는 EnergyPlus를 이용하여 건물 에너지소비량에 영향을 미치는 인자로서 환기량, 건물의 열물성, 실내 발열부하, 유리창호 등에 의한 일사취득량 등을 바꾸어가며 연구한 바 있다.

본 연구에서는 다목적 복합건물을 대상으로 표준 기상데이터, 건물 기초정보 등과 현재 운용중인 열원시스템에 대한 부하모델을 수립하고, 합리적인 열원시스템의 운전에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 하절기 동안(6~8월)의 실제 냉방기기 운전에 따른 전력사용량과 시뮬레이션을 통한 권장 에너지소비량을 비교하여 열원시스템 운전이 건물에너지 소비에 미치는 영향을 파악하는 것을 목표로 하였다. 이를 위하여 동적 건물에너지 시뮬레이션 소프트웨어인 EnergyPlus (DOE, BLAST based energy simulation S/W)[2] 프로그램을 이용하여 계산과 해석을 수행하였다.

2. 시뮬레이션

2.1 대상 건물개요

Fig. 1은 본 연구에서 시뮬레이션을 수행하기 위하여 선정한 건물의 조감도로서, 전주시 덕진구에 소재하고 있으며 지하 1층, 지상 4층 규모이다. 다수의 상가, 영화관, 푸드코트, 스포츠 및 사우나 시설 등으로 이루어진 다목적 복합건물로 2004년 7월에 완공되었다. 본 건물은 총 2개(A, B) 동으로 이루어져 있으며, 해석대상인 A동의 상세 개요를 Table 1에 나타내었다. 또한, 대상건물의 열원플랜트 및 설비 사양은 Table 2와 같다. 열원설비로는 관류형 증기보일러, 흡수식 냉온수기가 있으며, 냉방열원으로서 멀티시스템에어컨, 흡수식 냉온수기가 설치되었다.

증기보일러에서 발생되는 증기(1차측, 2MPa)는 각 계통별로 대상건물의 외주부의 난방을 위한 열교환기에서 온수(2차 측, 80-90℃)로 열교환되어 난방용으로 공급되며, 이외에 급탕 및 공조기기 가습용으로 사용된다. 공조시스템은 정풍량(CAV) 방식을 기본으로 하고 있으며, 부하변동폭이 큰 외주부에는 에어핸들링유닛(AHU) 방식이 적용되었다. 덕트 배관은 단일덕트 방식으로 되어 있으며, 각 공조실로부터 급기덕트와 환기덕트가 설치되어 있다.

냉난방시스템의 운전지침은 기상조건에 따라 예외적으로 설정을 하기도 하지만, 대부분의 경우 기본적인 지침에 따라 운전된다. 공조시스템의 운전시간 및 설정온도는 각 공간의 이용현황에 따라 개별적으로 제어되는 것이 바람직하나,

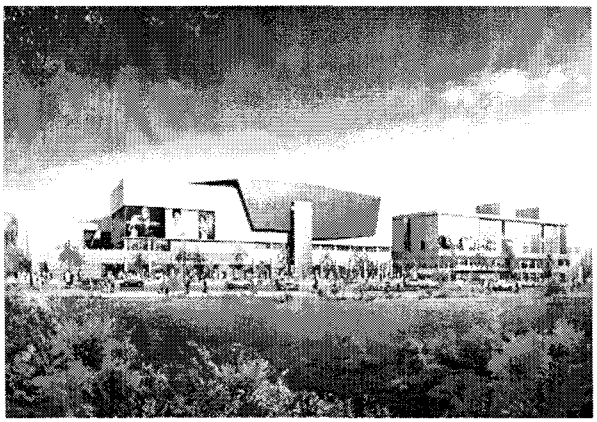

Fig. 1 Picture at air view of object buildng M.

Table 1 Description of model building M.

Location	Jeonju, Jeonbuk
Opening Year	2004
Type	commercial, health center and amusement
Floors	4 stories / 1 basements
Gross floor area HVAC gross area Construction area Land area	28,546 ㎡ 17,128 ㎡ 8,946 ㎡ 15,094 ㎡
Heating load	8,587,935 kcal/h
Cooling load	10,916,966 kcal/h (12,694 kW)

Table 2 Primary component of central HVAC plant.

Equipment type		Capacity [USRT]
Cooling	Electric heat pump	16 HP × 4 unit
	Absorption chiller	210 RT × 2 unit
Heating	Steam boiler Hot water boiler	300 kg/h 2,500 kg/h 1,500 kg/h 800 kg/h (1EA)
	Electric heat pump	16 HP × 4 unit
	Absorption heat pump	210 RT × 2 unit

중앙집중제어에 따라 공조가 이루어지기 때문에 각 실별 제어는 되지 않는다.

2.2 대상건물 에너지부하 모델

대상건물의 동적 에너지 시뮬레이션을 하기에 앞서 건물의 냉난방부하에 대한 기초계산을 수행하였다. Table 3은 건물 연면적과 대상건물이 위치한 전주시의 기후 설계조건을 반영하여 월별 기준부하를 산정한 것이다.

2.3 건물에너지 시뮬레이션 개요

건물의 냉난방 및 각종 에너지 소비량을 예측하는 것은 설비의 설계, 시공, 운전 및 유지보수와 같은 과정에 있어서 주요인자로 작용하고 있다. 이러한 건축물의 성능과 직결된 에너지소비량을 보다 정밀하게 예측하기 위해 사용하는 건물에너지 시뮬레이션 프로그램들은 사용자의 목적과 용도에 따라 각각 장단점과 고유 특성들을 가지고 있다.

특히, 최근 건축물의 구조 및 제반 설비가 갈수록 복합적으로 다양화되면서 종래의 DOE series 시뮬레이션 프로그램에서는 내장함수가 이에 대응하지 못하며, 연중 다양한 분포와 변동을 보이는 동적 부하계산을 수행하기에는 한계가 있다. 이러한 요구에 따라, 건물 내 에너지 소비량 예측은 단순히 건물의 구조적 변수(벽두께, 창호, 바닥, 열취득량 등)만을 고려하는 정적 시뮬레이션에서 점차 건물의 복합적 구조특성과 재실자의 활동유형, 각종 설비의 운전패턴으로부터 종합적 에너지 소비량을 예측, 분석하는 동적 시뮬레이션으로 확대되고 있는 추세에 있다. 이러한 동적 건물에너지 해석 프로그램으로는 EnergyPlus, TRNSYS, ESP-r 등이 대표적이다.[4]

본 연구에서는 대상건물의 동적 에너지 시뮬레이션을 위하여 DOE, BLAST의 장점을 포함시켜 구축한 EnergyPlus(Version 1.3.0) 건물에너지 시뮬레이션 소프트웨어를 해석도구로 사용하였다.

2.4 시뮬레이션 프로그래밍

2.4.1 대상건물 열원시스템 모델링

Fig. 2는 건물에너지 해석에 필요한 시뮬레이션의 필수적 자료 및 기초정보를 확립하는 과정

Table 3 Monthly heating and cooling load in the object model building M.

[unit: Mcal/h]

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year total
Heating	1,603.2	1,206.5	1,112.0	630.3	205.2	134.0	115.1	164.9	285.9	592.5	1,093.1	1,445.2	10,917
Cooling	-	-	-	-	1,159.4	2,408.3	3,493.4	2,925.8	930.1	-	-	-	8,587

을 나타낸 것이다. 건물에너지 시뮬레이션 과정의 첫 단계로서 도면분석과 현장조사를 통해 대상건물의 기본모델을 작성하였다. 순서를 상펴보면, 우선적으로 도면분석을 통해 건물형태, 외피구조, 열원 및 공조설비 등의 사항을 검토하고, 다음으로 시뮬레이션 모델의 현재 에너지 소비에 관련된 측정값 또는 검침값 등의 자료를 수집하여 초기 건축설계 시의 냉난방 기준부하 등과 비교하였다.

2.4.2 건물 기초정보 및 지오메트리 모델링

대상건물의 기초정보를 바탕으로 건물 형상모델링을 수행하였다. 이 과정은 해석에 필요한 모델링 과정을 보다 쉽게 접근할 수 있도록 그래픽 이용자환경(GUI)을 제공하는 DesignBuilder를 이용하였다. Fig. 3은 사전조사를 통해 확립한 건물 기초정보를 바탕으로 DesignBuilder 환경에서 구현한 대상건물의 입체도와 주 해석대상 공간인 3층의 로비와 5층 상영관 시설물의 단면도이다.

2.4.3 건물 이용특성 및 공조 대상구간 모델링

복합건물의 특성 상 구간과 층 별로 이용시간, 재실자 밀도, 내부 환경에 따른 냉난방 및 공조조건이 각기 다르므로 보다 정밀한 시뮬레이션을 위하여 상세정보 입력이 요구된다. 우선 구역 별

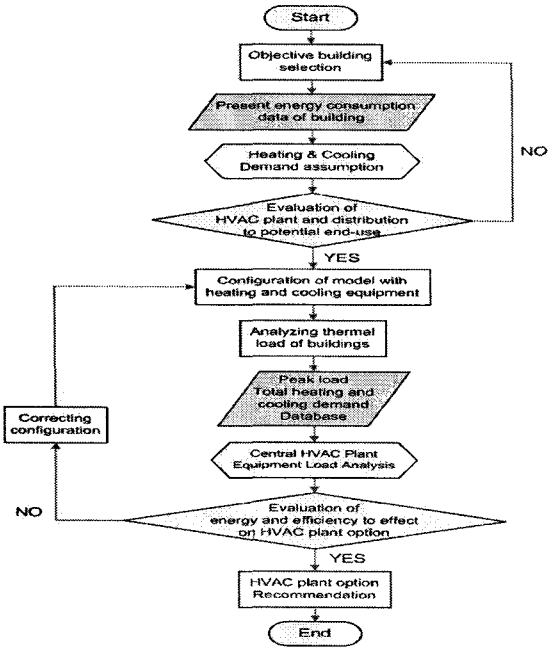

Fig. 2 Diagram about modelling of HVAC plant simulation.

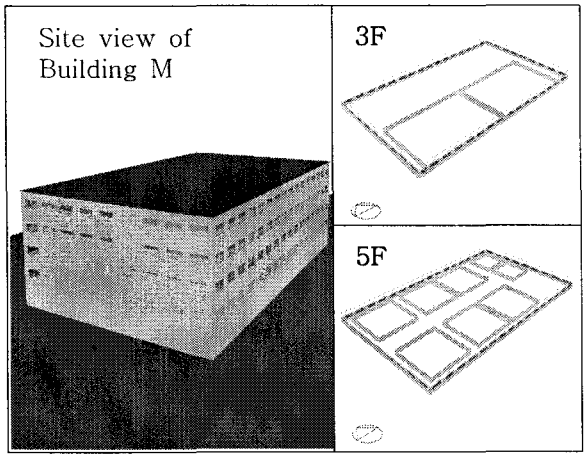

Fig. 3 Layout of the object building M by CAD interface program(DesignBuilder).

로 건물 기초정보로부터 수립한 공조구간(zone)을 설정하고 공조운영지침(schedule)을 입력하였다. 또한, 체계적이고 신뢰성을 갖춘 건물 이용특성을 정의하고자 시뮬레이션 프로그램의 입력정보 중 Activity, HVAC control 등의 항목에서 대상건물의 실제 특성에 맞추어 매개변수들을 조정하였다. 시간당 환기횟수(ACH)를 3.0으로 하였으며, 공조방식은 정풍량(CAV), 영화관과 로비측의 부하를 담당하는 흡수식 히트펌프의 성적계수(COP)는 냉방시 1.19 / 난방시 0.84로 하였다.

2.5 시뮬레이션 기초자료 분석

2.5.1 기상데이터 분석

EnergyPlus 시뮬레이션 프로그램에서 처리하는 기상자료는 ASHRAE에서 제안하는 표준 기상데이터 유형인 IWEC(International Weather for Energy Calculations) 포맷을 사용하고 있다. 전세계 227개 지역의 장기간 기상자료를 내포하고 있으며, 한국의 경우 인천, 강릉, 광주, 울산 등 4개도시의 데이터가 제공된다.[5] 본 연구에서는 대상건물의 소재지와 가장 근접한 광주지역 2002년 기상데이터를 바탕으로 시뮬레이션을 수행하였다. 대상건물이 위치한 전주시와 광주시의 기후조건의 차는 Table 4와 같다.

2.5.2 전력사용량 분석

Fig. 4는 대상건물의 2005년 월별 전력사용량을 냉난방기기 중심으로 종합하여 나타낸 것이

다. 본 건물의 전력사용량은 한여름(7~8월)은 4월, 11월의 중간기에 비하여 약 210% 정도로 두 배 가까이 소요되고 있다. 이는 열원의 대부분이 전기구동식(EHP), 즉 전력의존형 설비로 이루어졌기 때문이다. 전력의 연간 사용량은 A동 건물 연면적 기준으로 254 kWh/m^2·year이며 계약전력은 105 W/m^2 (총 1,800 kVA)이다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 5는 EnergyPlus 프로그램을 이용하여 대상건물의 하절기(6~9월) 동안 열원기기 운전시에 따른 전력소비량에 대한 매 시간별 시뮬레이션 결과이다. 전반적인 소비패턴은 실제 사용량 결과와도 유사함을 알 수 있다.

Fig. 6은 대상건물의 전년도 하절기 동안 실제 운전에 따른 전력사용량과 EnergyPlus를 이용한 시뮬레이션에 따른 월간, 일일 전력소비 예측량을 비교한 것이다. 하계 최대부하 발생시기인 7~8월은 실제값과 예측값이 거의 일치하고 있다. 그러나 6월, 9월은 예측값에 비하여 실제로는 1.5배도로 전력이 과소비되었음을 가늠할 수 있다. 이는 건물의 냉방설비가 하절기 설계조건에 부합하여 설치 및 운용 중에 있으나, 월별에 따라 차이가 나는 것으로 보아 냉방에너지 절감은 운전스케쥴에 의하여 더욱 영향을 받을 것으로 사료된다.

본 연구에서 시뮬레이션 대상으로 선정한 다목적 복합건물에 대한 부하모델은 공조대상 구간의 이용특성과 운영시간에 따른 부하정도가 상당히 차이나고 있다. 또한 연간 월/일별, 일일 시각별 및 연간 시각별 냉난방 및 급탕부하의 다양한 패턴이 존재하며 열원시스템의 종류와 운전방식에 따라서도 각기 다른 결과를 갖는다. 이는 열원공

Table 4 Comparison of weather condition between two cities(Jeonju vs. Kwangju).

Location	Cooling		Heating	
	Drybulb (℃)	Wetbulb (℃)	Drybulb (℃)	Relative Humidaty (%)
Jeonju	32.4	25.8	-8.7	72
Kwangju	31.8	26.0	-6.6	70

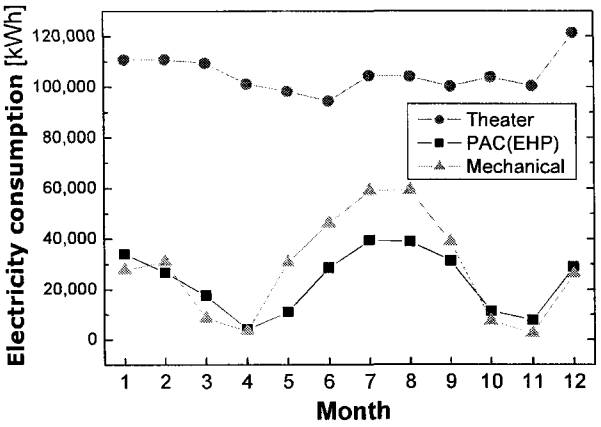

Fig. 4 Monthly energy consumption at each zone of the object building M in year 2005.

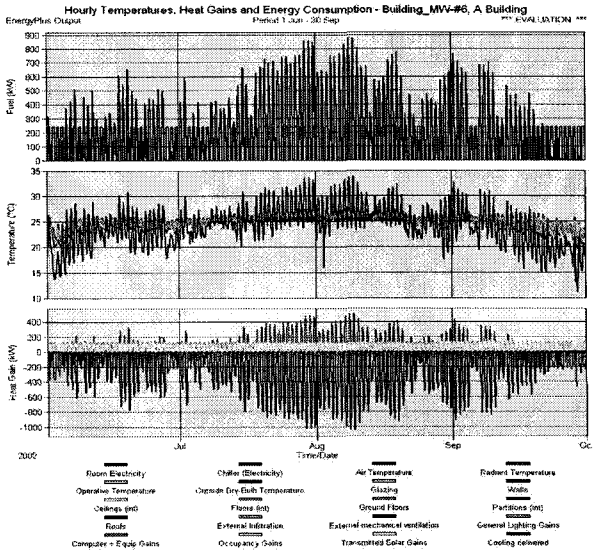

Fig. 5 Simulation result of monthly energy consumption in the object building M.

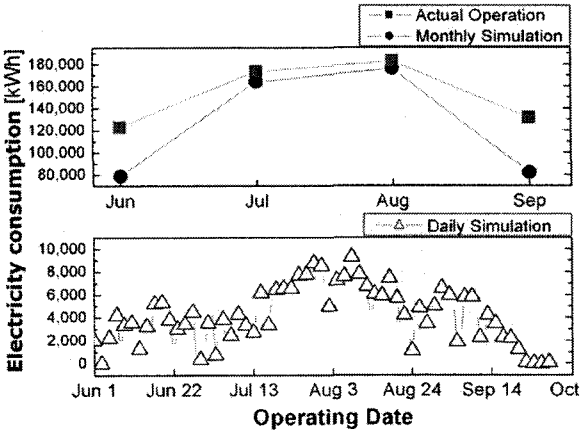

Fig. 6 Comparison of electricity consumption between actual operation vs. EnergyPlus simulation results.

급의 유형과 시스템 운전지침의 부하에 대한 민감도가 높음을 의미하며, 이러한 차이가 반영되는 상세 부하모델을 사용할 때 보다 신뢰성 있는 부하예측 및 시스템 모델링이 가능할 것으로 보인다.

향후 이러한 미비점 보완을 위하여 대상건물의 주 해석 공조구간의 온습도, 풍량 등을 실측하고 운전에 따른 변화량을 수집하여 보다 부하모델이 신뢰성을 갖추도록 할 것이다.

4. 결론

다목적 복합건물의 냉난방 부하모델에 대하여 EnergyPlus를 이용한 하절기 냉방운전시의 소비전력 시뮬레이션으로부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 대상건물의 2005년도 6~9월 사이의 냉방부하에 대하여 시뮬레이션에 의한 부하예측은 공조구간에 따라 5.8~38 % 정도의 차이를 보였다.

(2) 대상건물의 2005년 하절기 소비전력의 검침값에 비교하여 시뮬레이션 결과값은 평균 18.1 % 작게 예측되었다.

결론적으로 본 연구는 도심 내 건물복합단지 등에 집단에너지시스템(CES)의 도입에 앞서 건축물 초기 설계시의 간이수준 경제성 평가에 필요한 기초적인 자료라 할 수 있다. 대상건물과 같은 다목적 복합건물 등에 적용할 경우 집단에너지시스템의 열원생산 및 공급방식과 시스템의 유형별로 시뮬레이션을 수행하고, 이를 체계적으로 정리하여 데이터베이스(D/B)를 구축한다면 향후 신규 건축물의 초기 계획단계 또는 건축물의 리모델링 시 합리적인 열원시스템의 검토 및 선정에 기여할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. M. A. Rosen et al., 2005, Efficiency analysis of a cogeneration and district energy system, Applied Thermal Engineering, Vol. 25, pp. 147-159.
2. Crawley, Drury B et al., 2004, EnergyPlus: New, Capable and Linked, Proceedings of the World Renewable Energy Congress VIII, Colorado.
3. R. Brahme et al., 2001, Complex building performance analysis in early stages of design, 7th International IBPSA Conference, Brazil, pp. 661-668.
4. J. A. Clarke, 2001, Energy Simulation in Building Design, Butterworth Heinemann.
5. ASHRAE. 2001. International Weather for Energy Calculations (IWEC Weather Files), Atlanta, GA, USA.
6. Park, H. C. et al., 2003, Model Development of Daily and Hourly Energy Load for Depart-ment Stores, Korean Journal of the Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15 No. 12, pp. 1088-1094.
7. Seo, K. J., 2001, Analytical study on the effects of energy use factors on the energy consumption of a building, Ph,D. thesis, Korea University, Seoul, Korea.