

TRNSYS 적용을 위한 근린생활시설빌딩의 모델링

김 동 혁, 홍 희 기*, 강 병 하**, 이 재 현***

경희대 대학원, 경희대 기계산업시스템공학부*, 국민대 기계·자동차공학부**, 한양대 기계공학부***

Building Modeling for TRNSYS Simulation

Dong-Hyuk Kim, Hiki Hong*, Byung Ha Kang**, Jae-Heon Lee***

Graduate School, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

*School of Mechanical and Industrial System Engineering, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

**School of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-650, Korea

***Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

ABSTRACT: Multi air-conditioning systems are widely employed for heating and cooling of small and medium size building. However, the direct comparison of the multi air-conditioning system with other air-conditioning system is impossible for the same weather and operating conditions by experiment. Thus, simulation method is needed for the comparison of system performance in various air-conditioning systems. Building modeling has been carried out to simulate the multi air-conditioning system using TRNSYS program. Dynamics heating load variations are obtained for the test space of a building and compared with those of real measurement during Jan. 13-15. It is found that predicted heating load is underestimated than experimental data by about 20%.

Key words: Multi air-conditioner system(멀티 시스템 에어컨), Thermal load(열부하), Heating load(난방부하), Building energy simulation(건물 에너지 시뮬레이션)

1. 서 론

생활수준의 향상으로 인해 사무공간 및 주거공간이 대형화·고급화되고 있으며, 이에 따라 고급형·고성능의 공조기 사용이 확대되고 있다. 또한, 에너지 소비효율향상을 위한 연구도 국내·외로 진행되고 있다. 이러한 추세에 따라 한대의 실외기에 여러 대의 실내기를 설치하여, 개별 용량 조절 및 운전이 가능한 시스템 멀티 에어컨의 사용이 급증하고 있다.

그러나, 이러한 시스템 멀티 에어컨의 수요증가에도 불구하고, 국내에는 표준화된 성능기준이

없어 생산자간의 통일된 성능평가가 이루어지지 않고 있으며, 관련규격이 제정되어있지 않아 단일 에어컨을 기준으로 제품을 생산하고 있어, 정확한 성능제시가 어려운 실정이다.

이러한 문제를 해결하기 위해 실제 근린생활시설빌딩에 시스템 멀티 에어컨을 설치하여 냉·난방 성능시험을 수행 중에 있으나, 실증건물에서 실험을 통한 타시스템과의 비교평가는 불가능하다. 따라서, 타 시스템과의 비교평가를 수행하기 위하여 동일한 기상조건과 운전조건, 건물부하조건에서 비교 평가할 수 있는 시뮬레이션기법이 요구된다.

본 연구에서는 시스템 멀티 에어컨이 설치되어 있는 근린생활시설빌딩을 모델링하고, 동절기에 측정된 자료를 이용하여, 실험결과와 TRNSYS 프로그램을 이용한 시뮬레이션에 의해 계산되어

† Corresponding author
Tel.: +82-2-910-4681; fax: +82-2-910-4839
E-mail address: bhkang@kookmin.ac.kr

진 난방부하를 비교하고자 한다.

실험은 신축되는 대상건물을 이용하여 시험공간에 대한 데이터를 측정하고, 이를 이용하여 시뮬레이션을 실시하게 된다. 시뮬레이션은 냉·난방부하 실증실험^(1,2)에서 그 신뢰성이 입증된 TRNSYS 15^(3,4)를 이용한다.

2. 실험

2.1 시험공간

실험대상의 시험공간은 벽체의 재료 및 형상이 명확히 정의되어 있어야 하며, 실험을 위한 열원 및 측정기기를 설치하여 필요로 하는 데이터의 측정이 용이해야 한다. 이러한 이유로 서울에 위치한 지상 6층, 지하 1층의 상업용 신축건물을 실험대상으로 선정하였다. 시험공간은 이 건물의 4층에 위치하고 있으며, 현재 중식당으로 활용되고 있다.

시험공간은 Fig. 1에서 보여지는 것처럼 다각형 구조를 하고 있으며, 층고는 2,700 mm이다. 남쪽과 북쪽 벽에는 면적이 15.4 m²인 창문이 각각 설치되어 있으며, 동·서쪽 벽체와 함께 외기와 접해 있다. 천장과 바닥은 각각 공조공간인 5층, 3층과 인접해 있으며, 공간 사이의 상호작용이 고려되어야 하므로 실측된 실내온도를 계산에 사용한다.

시험공간과 인접공간의 경계를 이루는 벽체는 외벽, 내벽, 바닥면과 천장면으로 구분되며, Fig.

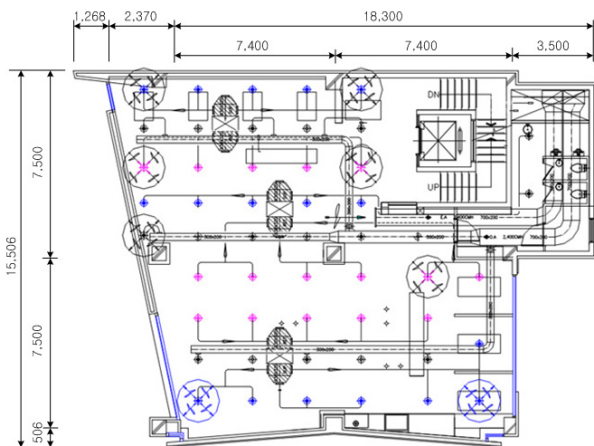


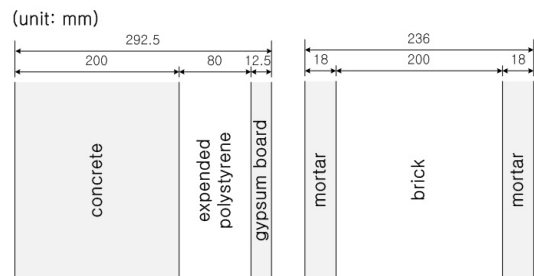
Fig. 1 The plan view of the present test space.

2에 각각의 구조를 구체적으로 도시하였다. 또한, 계산에 필요한 벽체재료의 열물성, 공기층의 열저항 및 창문을 통한 총합열전달계수를 Table 1에 정리하였다.⁽⁵⁾

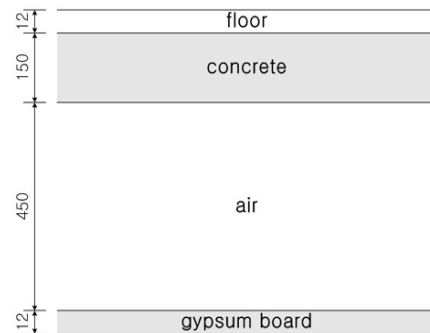
2.2 실험방법

시험공간에는 시스템 멀티 에어컨(S사, DVM 모델)을 설치하였다. 이 시스템은 냉·난방 겸용으로, 실내기는 천장매립덕트형(냉방능력: 12.8 kW, 난방능력: 13.8 kW) 3대가 설치되어 있으며, 상부토출방식의 10 HP 실외기(냉방능력: 14.5 kW, 난방능력: 16 kW)와 측면토출방식의 6 HP 실외기(냉방능력: 29 kW, 난방능력: 31.5 kW)가 각각 1대씩 설치되어 있다. 시스템 멀티 에어컨은 10 HP 실외기에 2대, 6 HP 실외기에 1대의 실내기가 각각 연결되어 시스템을 구성하고 있다. 또한, 급·배기 팬이 설치되어 있어 환기를 실시한다.

시스템의 설치는 2003년 10월에 완료되었으며, 11월부터 본격적인 데이터 계측을 수행하였다.



(a) Exterior wall (b) Interior wall



(c) Ceiling and floor

Fig. 2 Detailed wall compositions.

Table 1 Thermophysical properties for wall materials, air gap and window.

Material	Thermal conductivity W/mK (kcal/mh [°] C)	Specific heat kJ/kgK (kcal/kg [°] C)	Density kg/m ³
Brick	0.640(0.550)	0.84(0.20)	1660
Expanded polystyrene	0.034(0.030)	1.25(0.30)	28
Mortar	1.510(1.300)	0.79(0.19)	2000
Concrete	1.390(1.200)	0.88(0.21)	2200
Gypsum board	0.170(0.150)	0.31(0.27)	910
Air gap	Thermal resistance		
	Horizontal (10~500 mm) Vertical (10~20 mm)	0.17 m ² K/W 0.13 m ² K/W	
Double-window	Overall heat transfer coefficient: 2.8 W/m ² K		

실외의 온도와 실내의 온·습도, 실내기와 실외기의 입·출구 온·습도를 측정하며, 전술한 바와 같이 공간과의 상호작용을 고려하기 위하여 3층과 5층의 공간 온도 및 천장과 바닥의 온도를 측정하였다. 또한, 방위별 벽체 온도를 측정하였다. 이렇게 측정된 데이터는 20초 간격으로 기록 장치에 저장된다.

시스템 멀티 에어컨과 환기를 위한 급·배기 팬은 설정온도에 따라 자동으로 on/off 되는 것이 아니라 실내의 거주자에 의해 on/off되고 있어, 운전 특성과 실제 시스템의 on/off과약을 위하여 전력량을 측정하였다. 급·배기 팬은 20초 간격, 시스템 멀티 에어컨은 1초 간격으로 전력량을 기록한다.

2003년 11월부터 측정·기록된 데이터들은 현재(2004년 5월)까지 측정되었으며, 앞으로 하절기의 데이터도 확보할 예정이다.

3. 동적부하계산

3.1 TRNSYS의 개요

건물의 모델링을 위해 사용되는 TRNSYS는 미국 Wisconsin대학의 SEL(Solar Energy Lab)에서 1975년 태양열시스템의 설계를 위해 처음 개발되었으며, 지속적인 연구와 버전 업을 통해 현재에는 건물의 종합적인 열에너지를 계산·평가할 수 있는 단계까지 이르렀다. TRNSYS는 동적 열부하계산을 채용하고 있으며, 비정상 에너

지방정식의 해석은 ASHRAE에서 제시한 전달함수법을 사용하고 있다.⁽⁶⁾

동적부하계산을 수행하는 TRNSYS의 해석 방법으로는 설비와 제어계통의 유무에 따라 energy rate control과 temperature level control로 구분된다. 전자는 공간의 실온변화를 계산하고, 설정온도와의 차이로부터 부하를 계산하는 해석방법으로서, 이상적인 열원을 가정하며, 공간 자체의 부하특성을 파악하는 데 적합하다. 후자는 실내 온도 변화의 허용범위를 설정하고, 범위 내에서 설비가 운전중인 실제 상태를 모사하여, 공간과 설비가 결합된 종합적인 열에너지 해석에 유용하다.

건물에 영향을 미치는 기상인자로 기온, 습도, 일사량 등이 있다. 동적 열부하계산을 위해 필요한 이 기상자료들은 공신력이나 재현성(추후 타 시스템과의 비교)을 감안하여 기상청에서 제공하는 자료를 이용하였다.

3.2 계 산

본 연구에서는 앞에서 언급한 바와 같이 실험을 통해 획득한 데이터를 이용하여 난방부하를 구하고, 이를 시뮬레이션을 통한 계산값과 비교하게 된다. 계산에는 2004년 1월 13일부터 15일까지 3일간의 데이터를 이용하였다.

실제 부하는 실내기의 입·출구 사이의 건구온도 및 절대습도 차이를 이용하여 구할 수 있다.

시뮬레이션을 이용한 부하계산을 수행할 경우 불필요한 정보의 입력을 피하여 효율적인 계산이

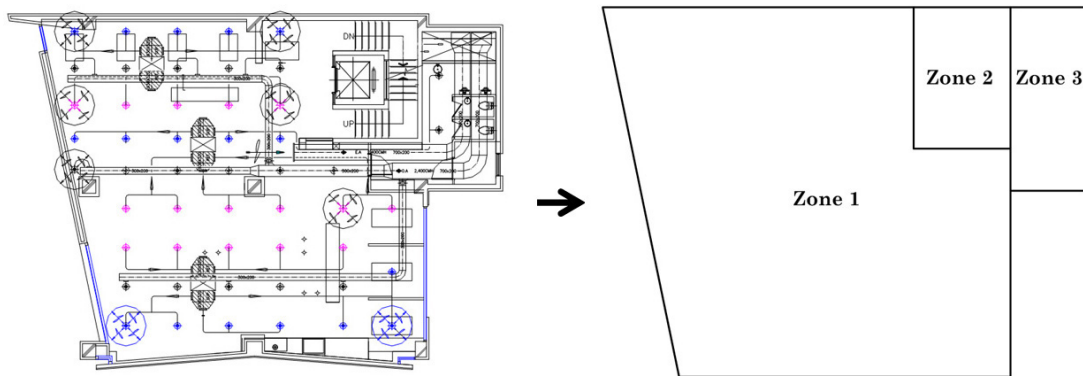


Fig. 3 Simplification of the test space.

수행되도록 시험공간을 단순화 할 필요가 있다. 모델의 단순화 원칙은 건물 벽체의 길이를 같게 설정함으로써 벽과 창 등을 통한 손실 열량이 같도록 고려하는 것이다. 이렇게 단순화 된 모델과 실제 모델의 난방부하 차이는 3% 미만이라는 연구보고가 있다.⁽⁷⁾ 단순화 도면은 Fig. 3에 나타내었다. 단순화 된 벽체의 형태와 Fig. 1, 2, 그리고 Table 1에서 주어진 조건을 PreBid에 입력하여 시험공간을 모델링 한다.

이렇게 모델링 한 건물의 형상 및 제원은 IISiBat 의 Type 56(Multi-zone building)에서 외부 파일 형태로 입력된다. 시간별로 측정된 기온, 습도, 일사량 등의 기상데이터는 Type 9(Data

reader)를 통해 입력된다. Fig. 4에 기상데이터 및 측정온도를 도시하였다. 기온 및 습도는 직접 Type 56에 입력되며, 일사량은 시간별 적산값으로 Type 16(Radiation processor)에 입력되어 직달일사와 산란일사의 분리를 거쳐 순시값으로 Type 56으로 입력된다. 또한, 지표면에서 대기로의 장파복사는 Type 69(Sky temperature calculation)에서 계산되어지며, 이때 필요한 노점온도는 Type 33(Psychrometrics)에서 계산된다.

계산에 사용된 수치는 Table 2에 정리하였다. 설정온도는 실측한 전력량을 분석한 결과 3일간 사용자에게 의해서 시스템 멀티 에어컨이 off됐을 때의 평균온도인 25.3℃를 적용하였다. 전력량으

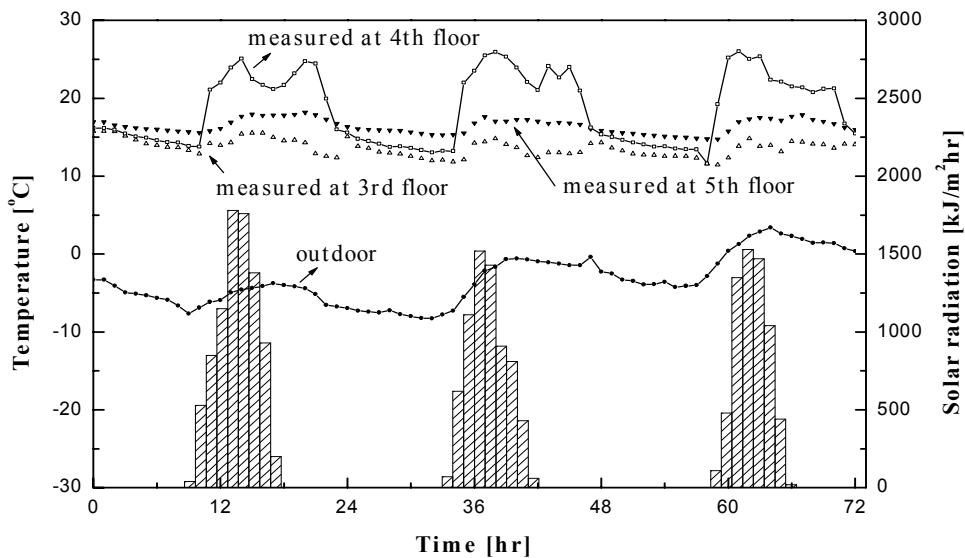


Fig. 4 Weather and measured data for load calculations.

Table 2 Input data for calculations.

Item	Value	
Set temperature	Simulation	25.3°C
Temperatures	3rd floor and 5th floor	measured data
Surface conductances	Interior surface	8.3 W/m ² K
	Exterior surface	34 W/m ² K
Time step	Simulation	1 h
	On/off function	0.05 h

로부터 환기의 on/off 신호를 확인할 수 있었으며, 이 데이터와 3층, 5층의 공간온도는 0.05hr 간격으로 입력하였다. 외부 벽체의 열전달계수는 겨울철 평균 풍속인 6.7 m/s일 때의 값인 34 W/m²K, 실내측은 8.3 W/m²K를 적용하였다.⁽⁸⁾

내외벽 표면의 방사율은 일반적인 벽체조건인 0.6으로 설정하였다. 천공과의 복사열교환계산을 위한 형상계수는 수직벽 0.5, 수평벽 1.0으로 하였다. Fig. 2에서와 같은 벽체 사이의 공기층은 자연대류효과를 고려하여, 단위 열저항값을 Table 1과 같이 부여하였다.

이와 같이 입력된 데이터들은 추후 타 공조시

Table 3 Comparison of the heating load between by the experiment and calculations. (unit: MJ).

Period (hr)	Experiment	Simulation (Energy rate control)
0~24	1192.5	948.5
24~48	1192.5	889.3
48~72	1192.5	1039.9
Total	3577.5	2877.7(-19.6%)

스템(개별 냉·난방기기 및 중앙식 공조기)의 계산에서도 동일하게 적용된다.

4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 2004년 1월 13일부터 15일까지 3일간의 데이터를 이용하여 부하를 계산하였다. Fig. 5에서 두 결과를 비교하고 있다. 시험공간이 상업용 목적으로 하는 건물이기에 시스템 멀티에어컨의 가동은 오전 9시부터 오후 10시 사이에 이루어진다. 그래프에서 보여지는 것처럼 두 결과는 정성적으로 잘 일치하는 경향을 보였다.

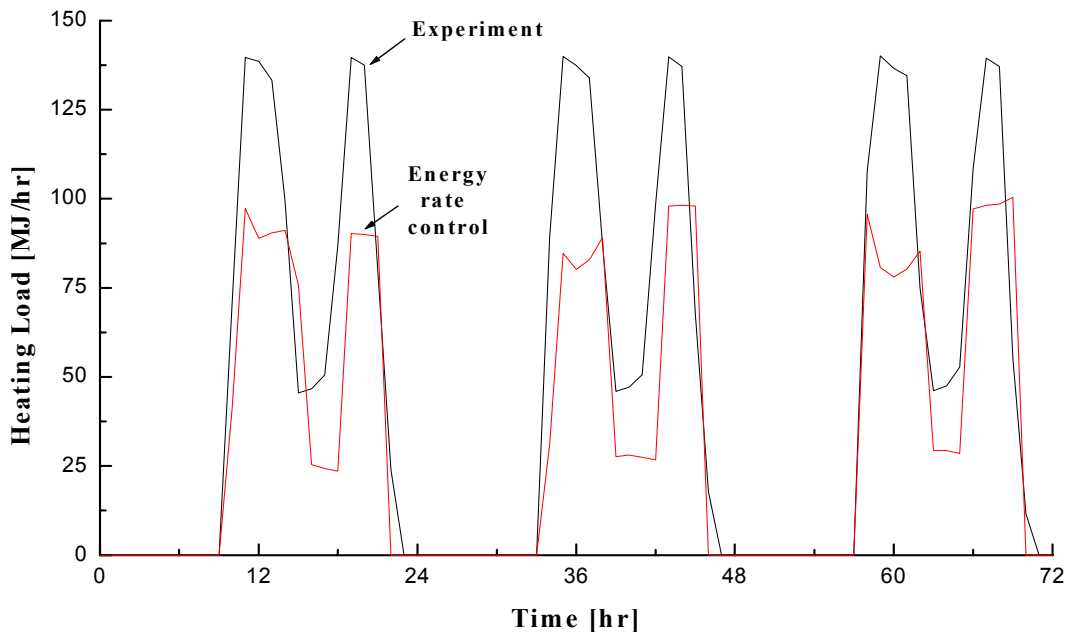


Fig. 5 Comparison of the dynamic heating load variation.

Table 3에서는 계산되어진 난방부하를 적산한 결과를 보여주고 있다. 실험을 통해 구해진 난방부하는 3일간의 부하가 거의 차이가 없었다. 이는 사용자들이 작동 시간을 정하여 시스템 멀티에어컨을 가동시킨 결과로 보여진다.

실험값과 계산값을 비교한 결과 계산값이 약 19.6% 작게 나타났다. 또한, 계산이 수행된 3일간 TRNSYS프로그램에서 계산할 수 있는 예상평균 온열감(PMV, Predicted Mean Vote)과 예상 불만족도(PPD, Predicted Percentage of Dissatisfied)는 모두 0으로 나타나, 실내가 쾌적함을 보였다.

5. 결 론

본 연구에서는 72시간 동안 실제로 측정된 데이터를 이용한 실측부하와 Energy rate control을 적용한 동적부하계산을 비교하였다. Energy rate control은 이상적인 기기를 가정하여, 계산을 수행하기 때문에 실제의 부하와 차이를 보이는 것으로 판단된다.

따라서, 실제 운전방식을 모사할 수 있는 Temperature level control을 적용한 계산이 필요하다. Type 42(Conditioning equipment)에 조건에 따른 성능데이터가 입력되게 된다. 성능데이터를 이용하여 계산되어진 결과들은 다시 Type 56에 입력이 되며, Type 2(Controller)에 의해 실내 설정 조건에 따라 열원기기가 on/off 된다. 그러나, Temperature level control을 이용한 계산은 성능데이터가 필요하므로 시스템 멀티에어컨의 성능데이터를 파악하는 것이 우선이다. 이 방법은 추후 하절기 데이터에도 적용되어야 하며, 타 공조시스템과의 비교에도 사용되어진다.

후 기

본 연구는 삼성전자(주)가 지원하는 “시스템 멀티에어컨의 제도개선과 타 시스템과의 비교평가” 과제의 일부로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Hyun, S. K., Hong, H. and Yoo, H., 2002, Verification experiment and calculation of heating load for a test space, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, pp. 153-160.
2. Yoo, H., Hyun, S. K., Kim, Y.-S. and Hong, H., 2003, Verification experiment and calculation of cooling load for a test space, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, pp. 641-651.
3. Solar Energy Laboratory, 1994, *TRNSYS Reference Manual*, University of Wisconsin at Madison.
4. Hong, H., 2001, An introduction of TRNSYS program, Journal of Korean Association of Air Conditioning, Refrigerating and Sanitary Engineers, pp. 54-59.
5. Kim, Y. H. and Park, J. W., 1999, *The Newest Air Conditioning Equipment*, Bomundang, pp. 462-463.
6. McQuiston, F. C. and Spitler, J. D., 1992, *Cooling and Heating Load Calculation Manual*, 2nd ed., ASHRAE.
7. Park, Y. S., Lee, E. T. and Hong, H., 2000, Effect analysis on the thermal load by balcony of apartment house, Proceedings of the SAREK, pp. 117-121.
8. ASHRAE, 1993, *Fundamentals of ASHRAE Handbook*, p. 22.1.