

건물에너지 성능 분석을 위한 간이 건물에너지 시뮬레이션 프로그램 개발에 관한 연구

박 종 일, 강 윤 석*, 임 병 찬**†

동의대학교 건축설비공학과, *동아대학교 대학원, **동아대학교 건축학부

Development of Simplified Building Energy Simulation Program for Building Energy Performance Analysis

Jong-Il Park, Yoon Suk Kang*, Pyeongchan Ihm **†

Department of Building System Equipment, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea

**Graduate School, Department of Architectural Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea*

***Faculty of Architectural Design and Engineering, Dong-A University, Busan, 604-714, Korea*

(Received June 9, 2008; revision received November 17, 2008)

ABSTRACT: There are various types of energy simulation tool to predict both thermal load and energy use. However, the problem about these software is that they have too much input variables and need expert with skills to run the simulation. Therefore, the purpose of this study is to develop the thermal analysis simulation program with input variables which eliminates coordinates of building components instead of using full coordinates by using DOE2. Since the simulation engine of the program is DOE2, the validity of S-DOE is performed by comparing peak heating and cooling load results with VisualDOE and annual energy use results with actual energy use of 1996. The results have shown that there are little difference between VisualDOE and S-DOE. Also it showed that there are little difference between actual energy use and S-DOE energy use results. S-DOE took less time to model a building than VisualDOE. These results reveals that the application of S-DOE have potentials in accurately predicting both energy load and energy use of the building and still have an advantage of taking less time to model a building.

Key words: Building energy analysis(건물 에너지 해석), Dynamic thermal load calculation(동적 열부하계산), Building energy simulation(건물에너지 시뮬레이션), VisualDOE

1. 서 론

1.1 연구의 필요성

건물의 사용에너지를 절약하기 위해서는 실내

쾌적도에 영향을 미치지 않으면서 전기, 내 냉난방, 환기, 조명 등에 에너지 소비 원으로부터의 에너지 사용을 최소화하여야 한다. 이를 위해서는 건물 완공 후의 사후 관리를 통한 효율적인 에너지 사용도 중요하나 초기설계단계에서 정확한 최적 설계가 선행되어야 한다. 최적 설계는 향후 건물 생애 주기 내 에너지 사용량에 있어 가장 큰 영향을 미치는 요소로서, 과도한 설비용량 예측은 과

† Corresponding author

Tel.: +82-51-200-7619; fax: +82-51-200-7616

E-mail address: ihmp@dau.ac.kr

도한 에너지 사용량을 발생시키고, 반대로 과소한 설비용량 예측은 오히려 재설자들의 불쾌감 증가 및 보조 냉난방기 사용을 증가시켜 결과적으로 에너지 사용량의 증가를 야기한다. 정확한 설비용량 예측 및 서비스시스템 설정을 하기 위해서는 동적 열부하계산을 이용하는 건물에너지 시뮬레이션 프로그램이 필요하다. 현재 선진국뿐만 아니라 국내에서도 건물에너지 냉난방부하 해석을 위한 도구의 개발이 심도있게 이뤄지고 있다. 그러나 국내외에서 개발되어 활발하게 활용중인 건물에너지 해석 프로그램들을 사용하기 위해서는 많은 변수의 선택과 고도의 숙련도를 가진 전문가가 필요하다. 물론 간단한 수계산에 의한 건물에너지 사용량 예측은 할 수 있으나 정확도가 동적열해석 시뮬레이션에 비해 낮다는 단점이 있다. 이를 위해 본 연구에서는 정확한 에너지 예측을 할 수 있으면서도 기존 동적 열해석 프로그램에 비해 비교적 사용하기 쉬운 간이 건물에너지 시뮬레이션 프로그램의 개발에 관한 연구를 수행하였다.

1.2 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 입력변수를 단순화 방법을 이용하여 기존 에너지 해석프로그램에 준하는 정밀도를 가지는 간이 건물에너지 해석프로그램을 개발하였다. 이는 RTS-Sarek⁽¹⁻³⁾처럼 건물 모델링을 하고 건물에너지 해석 엔진으로 DOE2 동적 열해석 엔진을 사용하는 프로그램이다. 마이크로소프트사의 비주얼베이직(Microsoft VisualBasic v6.0)을 사용하였으며 개발한 간이 건물에너지 해석프로그램결과의 타당성을 검증하기 위해 지상 18층 규모의 대규모 건물과 지상 11층 규모의 중소규모 건물을 VisualDOE 프로그램으로 모델링하여 건물에너지 관련 결과를 산출한 후 두 프로그램의 건물 열해석 결과를 비교하였다.

2. 기존의 간이 건물에너지 해석 관련 연구 고찰

건설기술연구원에서는 1994년에 에너지관리공단의 지원으로 설계초기단계에서부터 건물의 여러 가지 특성을 고려하여 건물에너지 예측을 할 수 있는 건물에너지점검용 프로그램(ENERCHK)을 개

발하였다. 이는 ASHRAE에서 개발한 ENVSTD 프로그램 개발과정을 기초로 하여 개발되었으며 국내설정에 적합한 건물에너지 성능평가용 프로그램을 만들고자 하였다.

통계분석을 이용한 간이식을 개발하기 위하여 DOE2 시뮬레이션 프로그램으로 8시에서 18시의 시평균부하와 최대부하를 산출하는 회귀식을 제시하였다.⁽⁴⁾ 또한 국내사무소건물의 기준층 바닥 면적을 기준으로 설계단계를 기획설계단계, 예비 설계단계, 기본설계단계로 구분하여 냉난방부하를 간편하게 구할 수 있도록 DOE2 프로그램을 사용하여 통계분석을 실시하여 회귀모델을 제시하였다.⁽⁵⁾

건물의 에너지소비량 계산에 관련된 과거 연구⁽⁶⁻⁸⁾의 대부분은 동적해석법을 이용하여 이를 적용한 정밀한 시뮬레이션 프로그램을 개발하거나 또는 개발된 동적해석 프로그램의 결과를 이용한 통계분석을 통하여 간이식 개발에 비중을 두었다. 그러나 이러한 프로그램들은 실행에 있어서 고도의 숙련이 필요하고 방대한 변수의 선택을 위해 시간이 너무 많이 소요되었다. 대부분의 설계과정에서는 충분한 시간과 연구를 할애하기 쉽지 않아 보다 간단한 방법이 요구된다.⁽⁹⁾

3. 건물에너지 간이 건물에너지 해석프로그램 개발

3.1 간이 건물에너지 해석프로그램의 개요

건물에너지 사용량의 정확한 예측을 위해서는 정적에너지 해석기법보다는 동적에너지 해석기법이 필요하다. 따라서 건물 열해석을 위하여 모델링 입력시간을 단축하면서 정확한 건물에너지 결과를 예측할 수 있도록 입력치를 단순화하여 사용할 수 있는 프로그램 개발을 목적으로 하였다.

3.2 간이 건물에너지 해석프로그램의 구성

건물에너지 해석을 위한 간이 건물에너지 해석 프로그램(이하 S-DOE)는 Fig. 1과같이 DOE2 해석엔진과 연계되어 있다.

S-DOE의 자체 라이브러리 또는 직접 시뮬레이션 변수를 입력한 다음 DOE2 시뮬레이션 엔진을 통하여 열부하해석을 진행한다. S-DOE는 Fig.

2와 같이 크게 4단계의 데이터 입력이 필요하다. 먼저 건물 개요 및 면적 등의 설계개요를 입력하고, 부하계산기준 기준 및 외기온습도 조건 등을 입력한다. 그 후 각 실의 기본개요, 실내온도, 실내발열 스케줄 등의 실 데이터 입력을 한다. 마지막으로 건물의 시스템 및 플랜트에 대한 데이터를 입력하면서 건물의 모델링을 마친다. 이러한 건물 모델링 단계가 끝나면 데이터를 저장하고 시뮬레이션을 실행한다. 시뮬레이션이 끝나면 건물에너지 관련 결과들을 보고서 및 그래프 형식으로 출력한다.

4. 시뮬레이션 조건

4.1 대상 건물 개요

개발된 프로그램의 타당성을 검증하기 위한 시뮬레이션 대상 건물은 지상 18층의 대규모 건물과 지상 11층의 중소규모 건물로 나눠서 시뮬레이션을 실행하였다. 시뮬레이션 대상 건물의 개요는 Table 1과 같다.

4.2 건물 설계조건 및 대상건물의 운전 조건

VisualDOE와 S-DOE의 결과 비교를 목적으로 서울 시내에 위치하고 있는 두 개의 사무소 건물을 선정하여 모델링한 후 시뮬레이션 분석을 실시하였다. 대상 건물의 모델링에는 실제 설비설계 시에 가정했던 여러 설계조건들을 고려하여 기본조건 및 장비계산서를 바탕으로 건물의 시뮬레이션을 실행하였다. Fig. 3~Fig. 4는 대상건물을 VisualDOE로 모델링한 화면을 나타낸다.

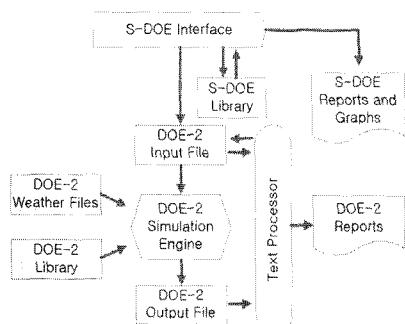


Fig. 1 S-DOE information flow.

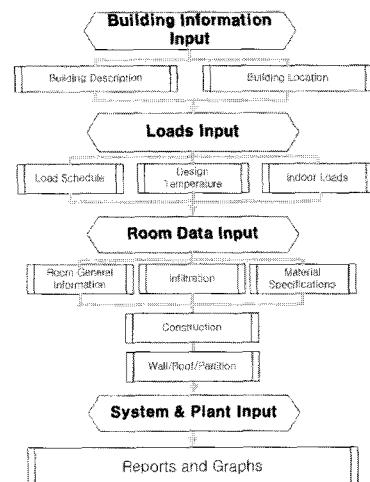


Fig. 2 Data input process for S-DOE.

Table 1 Specification of building

	Large Sized Building	Middle Sized Building
Site space	3,351.8 m ²	1,206.3 m ²
Use of building	Office and retails	Office and retails
Structure	RC and steel frame	RC
Floors	Upper 18 Lower 6	Upper 11 Lower 2
Building space	1,232.3 m ²	1,008.3 m ²
Floor space	37,708.3 m ²	12,805.4 m ²

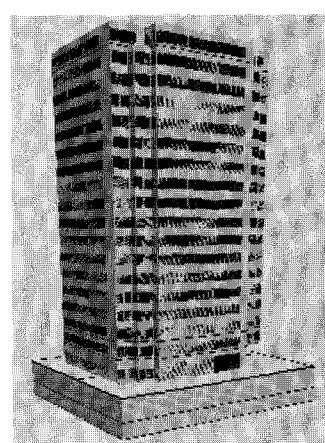


Fig. 3 Large sized building modeling.

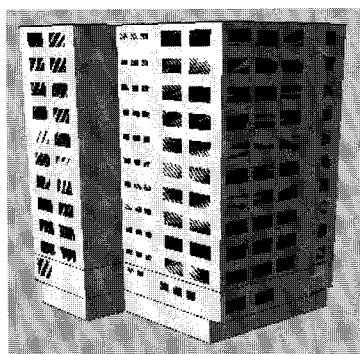


Fig. 4 Middle sized building modeling.

Table 2 Building Design Data

Large sized building				
Indoor design temp	Cooling : 27.5 °C (RH : 60%) Heating : 23.5 °C (RH : 40%)			
Operating time	Weekdays : 08:00~18:00 Saturday : 08:00~18:00			
System	Perimeter zone : VAV Interior zone : VAV			
Internal load	use	Occupant (m ² /p)	Lighting (W)	Equip (W)
	Retail	1,393.9	4.8	4
	Office	13.8	15	25
Middle sized building				
Indoor design temp	Cooling : 24 °C (RH : 60%) Heating : 23 °C (RH : 40%)			
Operating time	Weekdays : 08:00~18:00 Saturday : 08:00~18:00			
System	Perimeter zone : FCU Interior zone : CAV			
Internal load	use	Occupant (m ² /p)	Lighting (W)	Equip (W)
	Office	25.6	21.5	8

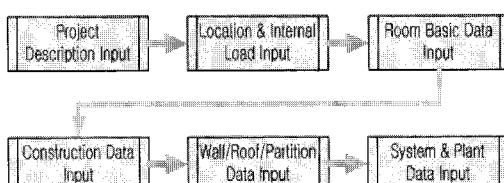


Fig. 5 Simulation input process of S-DOE.

건물에너지의 정확한 해석을 하기 위해서는 건물의 운전조건을 최대한 실제와 동등하게 입력하여야 한다. 시스템 운전조건은 건물 내 재실밀도, 조명발열밀도, 기기발열밀도 등의 실내발열밀도와 냉난방 설비들의 운전시간, 운전조건 및 재실자 스케줄, 냉난방 스케줄 등의 각종 스케줄을 포함한다. 그 중 실내발열부하나 실내 설계온도 등은 건물의 에너지 소비에 가장 큰 영향을 미치는 요소 중의 하나이다. 시뮬레이션 대상 건물의 운전조건⁽¹⁰⁾은 Table 2와 같다. 실내의 인체 발열은 두 건물 모두 현열 67.4 W/person, 잠열 55.7 W/person로 설계하였다.

5. S-DOE의 타당성 검증

VisualDOE와 개발된 S-DOE의 산출결과를 시뮬레이션 대상 건물의 실제 사용량 데이터와 비교하여 개발 프로그램의 타당성을 검증하였다. 건물의 실제 에너지 사용량 데이터는 1996년도의 데이터이므로 VisualDOE와 S-DOE 또한 1996년도 기상데이터를 사용하여 시뮬레이션을 실시하였다. Fig. 5는 개발된 S-DOE의 건물 모델링 순서를 나타낸다.

5.1 대규모 건물

Fig. 6은 대상 건물의 1996년도 실제 연간 에너지 사용량과 VisualDOE, S-DOE의 연간 에너지 사용량 산출 결과를 비교하였다. 대상 건물의 1996년도 실제 연간 에너지 사용량을 살펴보면, 전기 사용량의 경우 5,337.8 MWh인데 반해, VisualDOE의 결과는 5,454.9 MWh으로 약 1.5%의 오차를 보였고, S-DOE는 5,541.5 MWh으로 약 3.1%의 오차가 발생했다. 반면 가스 사용량은 실제 에너지 사용량이 2,448.1 MWh이며 VisualDOE는 2,323.7 MWh으로 약 5.1%의 오차를 보였으며 S-DOE는 2,352.9 MWh로 약 3.9%의 오차를 보였다. 실제 건물에너지 사용량과는 약 5% 이내의 오차를 보인다는 것을 알 수 있다.

상세한 에너지 사용량 비교를 하기위해 월별 에너지 사용량을 비교하여 보았다. Fig. 7(a)와 Fig. (b)는 각각 월별 전기 에너지 사용량과 월별 가스 에너지 사용량을 나타낸다. 전기 사용량, 가스 사용량 모두 월별 사용패턴 및 사용량은 유사함을 알 수가 있다.

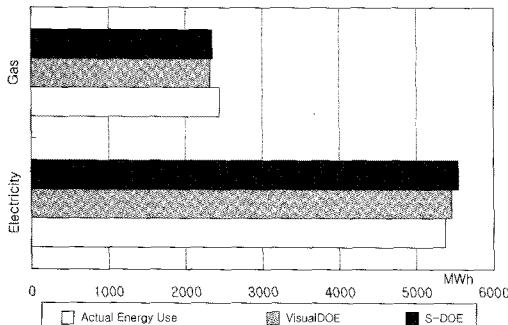
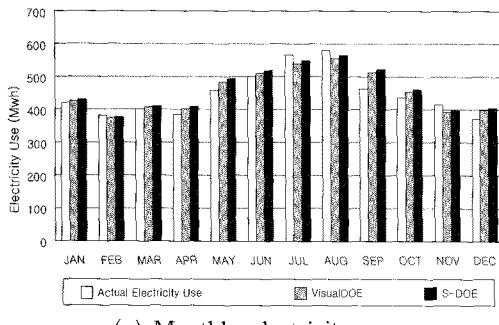
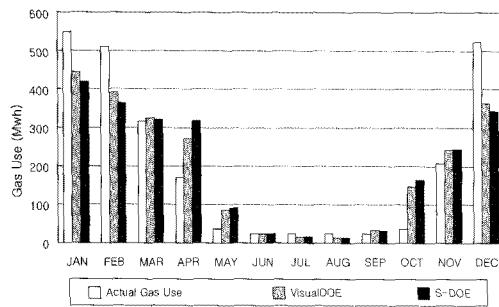


Fig. 6 Annual energy use comparison in large sized building.



(a) Monthly electricity use



(b) Monthly gas use

Fig. 7 Monthly energy use of large sized building.

Table 3은 VisualDOE와 S-DOE의 최대 냉난방부하 산출 결과를 정리한 표이다. 최대냉방부하에서는 S-DOE는 VisualDOE보다 약 3.0%의 차이가 발생하였고, 각 부분별로 살펴보면 창문 및 외부 일사 유입에서 가장 많은 7.7% 정도의 차이가 발생한다. 그러나 나머지 재실자, 조명, 기기, 침기 등에서는 두 프로그램 다 같은 결과를 산출하였다. 최대난방부하는 두 프로그램의

Table 3 Peak thermal load comparison between VisualDOE and S-DOE

Modeling method	Peak load results of large sized building	
	Cooling (kW)	Heating (kW)
Walls	56.3	57.3
Roof	37.3	47.9
Solar + Glass	576.5	621.0
Internal Surf	150.2	-53.4
People	171.0	-0.2
Light	299.2	-8.9
Equipment	390.5	-8.4
Infiltration	184.8	189.5
Total	1,865.9	614.2
Comparison	3.0%	-0.3%

(주) - : 실제 부하 감소치를 의미함.

차이가 약 0.3%로 거의 동등하였다.

5.2 중소규모 건물

Fig. 8은 실제 건물의 1996년 당시의 연간 에너지 사용량과 VisualDOE 및 S-DOE의 시뮬레이션 결과를 비교하였다.

연간 에너지 사용량 중 전기 사용량의 경우 2,416 MWh를 사용하였는데 VisualDOE의 산출 결과는 2,432.2 MWh으로 약 0.7%의 차이를 보였고, S-DOE는 2,451 MWh로 약 1.5%의 차이가 발생했다. 가스 사용량의 경우 실제 연간 사용량은 1,791.5 MWh이며 VisualDOE의 산출 결과는 1,597 MWh으로 약 10.9%의 오차가 발생했고, S-DOE는 1,741.5 MWh으로 약 2.8%의 차이가 발생했다. 일반적인 사무실 건물의 형태인 직육면체 형과 달리 본 연구에 이용된 중소규모 건물은 큰 돌출부를 가지고 있어 일사에 의한 건물음영이 발생한다. 따라서 부재좌표를 이용한 경우 건물부재에 의한 자체 건물음영을 고려하기 때문에 냉방 시에는 단순화 모델링보다 에너지 사용량이 약간 감소하고, 반대로 난방 시에는 에너지 사용량이 약간 증가하는 경향이 있다.

상세한 에너지 사용량 비교를 하기 위해 월별 에너지 사용량을 비교하였다. Fig. 9(a)와 (b)는 월별 에너지 사용량을 나타낸다. 전기 사용량을

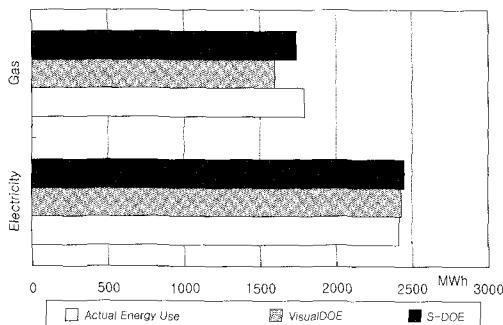
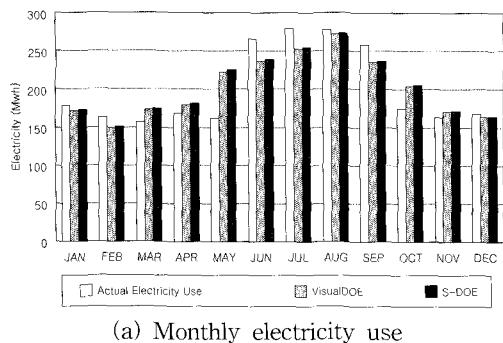


Fig. 8 Annual energy use comparison in middle sized building.



(a) Monthly electricity use

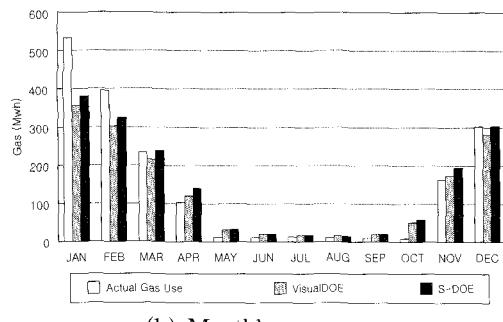


Fig. 9 Monthly energy use of middle sized building.

보면, 실제 사용량 패턴과 시뮬레이션 결과의 패턴이 유사하였다. 월별 가스 사용량도 난방이 없는 구간에서는 사용량 곡선이 감소하였으며 겨울에는 난방에너지 사용량이 늘어남에 따라 곡선도 상승하는 것을 볼 수 있다.

Table 4는 VisualDOE와 S-DOE간의 최대 냉난방부하 비교 결과를 정리한 표이다. 최대냉방부하에서는 S-DOE가 VisualDOE보다 약 1.4%, 최대난방부하는 약 0.02%의 차이가 나타났다.

Table 4 Comparison Between Visual-DOE and S-DOE

Peak load results of middle sized building				
	Cooling(kW)		Heating(kW)	
Modeling method	Visual DOE	S-DOE	Visual DOE	S-DOE
Walls	95.9	101.3	145.1	145.4
Solar + Glass	277.2	287.2	215.6	215.5
Internal Surf	67.1	67.1	-67.1	-67.1
People	109.2	109.2	-39.0	-39.0
Light	137.0	137.0	-107.8	-107.8
Equipment	109.2	109.2	-80.1	-80.1
Infiltration	280.8	280.8	509.6	509.6
Total	1,076.5	1,091.9	576.3	576.5
Comparison		1.4%		-0.02%

주) ~ : 실제 부하 감소치를 의미함.

6. 결 론

본 연구에서는 건물 열해석을 위하여 모델링 입력시간을 단축하면서 건물에너지의 정확한 예측을 할 수 있는 S-DOE 프로그램을 개발하였다. S-DOE는 DOE2를 시뮬레이션 엔진으로 사용하며 또한 입력변수를 단순화시켜 기타 시뮬레이션 보다 손쉽게 단시간 내에 입력변수를 입력할 수 있는 장점이 있다. 이에 S-DOE의 타당성을 검증하기 위해 2개의 사무소 건물에 대한 실제 에너지 사용량과 VisualDOE, S-DOE간의 결과 비교를 실시하였으며 도출된 결과는 다음과 같다.

(1) 실제 건물의 연간 에너지 사용량과 VisualDOE 및 S-DOE의 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 대규모 건물에서의 실제 연간 전기 사용량은 VisualDOE, S-DOE와 각각 1.5%, 3.1%의 오차를 보였다. 연간 가스 사용량은 VisualDOE 5.1%, S-DOE는 3.9%의 오차를 보였다. 중소규모 건물에서는 실제 연간 전기 사용량과 비교하였을 때 VisualDOE가 0.7%, S-DOE가 약 1.5%의 오차가 발생했다. 실제 연간 가스 사용량은 VisualDOE가 10.9%의 오차를 보였고, S-DOE는 2.8%의 오차를 보였다. 두 건물을 대상으로 했을 때 두 개 모두 10% 내외의 오차를 보였다.

(2) VisualDOE와 S-DOE의 월별 에너지 사용량 패턴은 해당 건물의 실제 월별 에너지 사용량과 유사하였다.

(3) VisualDOE와 S-DOE의 최대냉방부하를 비교하였을 때 대규모 건물은 최대냉방부하 3.0%, 최대난방부하 0.3%의 차이를 보였다. 중소규모 건물은 최대냉방부하 1.4%, 최대난방부하 0.02%의 오차를 보였다. 두 건물 모두 3%이하의 차이가 발생하였다.

상기 연구결과를 종합해 보면 개발된 S-DOE가 VisualDOE와 에너지 사용량 및 최대냉방부하에서 큰 차이가 없는 것으로 판단된다. 또한 건물을 모델링하는데 S-DOE가 VisualDOE보다 소요시간을 단축할 수 있어서 사용자 측면에서 효과적인 프로그램으로 사료된다.

후 기

본 연구는 2007년 에너지관리공단 지원 에너지·자원기술개발사업인 공조시스템 성능진단 전문가용 평가시스템 개발(2차년도) 중 “공조시스템 진단기술 현황 조사분석 및 전문가용 평가프로그램”의 일부분으로 수행됨.

참고문헌

1. Kim, S. H. et al., 2006, New RTS load calculation method, Equipment Journal of SAREK, Vol. 35, No. 10, pp. 46-58.
2. Jeffrey, D. S. et al., 1997, The radiant time series cooling load calculation procedure, ASHRAE Transactions, Vol. 103, No. 2, pp. 503-515.
3. Choi, B. S. et al., 2006, Verification in RTS method by applying TRNSYS, Proceedings of the SAREK 2006 Summer Annual Conference, pp. 531-535.
4. Kim, Y. S., 2003, Development of simplified energy prediction method for economic evaluation of cooling plants in office buildings, DS thesis, Korea University, Seoul, Korea.
5. Seok, H. T., 1995, A study on the development of load prediction equation and design guidelines for the energy conservation of office buildings, DS thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
6. Lam, J. C. et al., 1997, Regression analysis of high-rise fully air-conditioned office buildings, Energy and Buildings, Vol. 26, pp. 189-197.
7. Kusuda, T. et al., 1982, Development of equipment seasonal performance models for simplified energy analysis methods, ASHRAE Transactions, Vol. 88, pp. 249-262.
8. Sullivan, H. et al., 1985, Commercial building energy performance analysis using multiple regression, ASHRAE Transactions, Vol. 91, pp. 337-353.
9. Christopher, R. J. and Curt, H., 2001, DOE-2.1E Geometric Modelling : The basic geometric approach vs. the complex XYZ approach, esim.
10. ASHRAE, 1989, ASHRAE Standard 90.1.