

냉난방부하 계산의 단순화 모델링 기법 적용 타당성 검토에 관한 연구

강 윤 석*, 박 종 일**, 임 병 찬****

*동아대학교 대학원, **동의대학교 건축설비공학과, ****동아대학교 건축학부

A Study on Validity of Applying Simplify modeling Method for Heating/Cooling Load Calculation

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

ABSTRACT: As the time goes by, the energy use in buildings are increasing threateningly. So, it is important to have an accurate energy load calculation for buildings. The accurate energy simulation program carries numerous input data. So, our purpose of this study is to verify the application of simplify modeling method which eliminates coordinates of building components instead of using full coordinates by using DOE2. After comparing original modeling method with simplify modeling method, we applied PAF for daylighting control in the building to verify the application of daylighting control in simplify modeling method. The results shows that there are little difference between original modeling and simplify modeling. Also it showed that application of daylighting control has little difference between original modeling so it is feasible to adapt simplify modeling. These results reveals that the application of simplify modeling is possible to predict energy load and use of the building.

Key words: Thermal load(열 부하), Dynamic load calculation(동적열부하계산), DOE2(동적 시뮬레이션), Simplify modeling(단순화 모델링)

1. 서 론

1.1 연구의 필요성

오늘날 경제 성장과 더불어 에너지 사용이 증가하고 있는 추세이며 그에 따른 피해도 나날이 증가하고 있는 실정이다. 우리나라는 전체 에너지 사용의 1/3이 건물에서 쓰여지고 있을 정도로

건물에너지 절약의 필요성은 매우 커지고 있다. 효율적인 건물에너지 사용의 목표는 건물내 냉난방, 환기, 조명 등의 에너지 소비원으로부터 에너지 사용을 최소화하는데 있다. 이를 위해서는 각 소비원들로부터 사용되어지는 에너지 사용량을 정확히 예측할 수 있는 에너지 성능평가가 매우 중요하다. 에너지 성능평가 항목 중 냉난방부하 계산은 설비설계 이후 장비선정이나 에너지 사용량 예측 및 평가에 있어서 필수적인 항목이다. 또한 건물의 정확한 냉난방부하 예측은 향후 건물 생애 주기내 에너지 사용량에 있어서 가장 큰 영향을 주는 요소이기도 하다. 과도한 건물열부

† Corresponding author

Tel.: +82-51-200-7619

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

하 예측은 에너지 사용량의 증가를 발생시키고, 반대로 부족한 부하 예측은 오히려 재실자들의 불쾌감 증가 및 보조 냉난방기 사용을 야기하여 궁극적으로 에너지 사용 증가라는 결과를 낳게 된다. 정확한 냉난방부하 예측이야말로 건물에너지 해석에 있어서 가장 중요한 역할을 한다는 것은 의심할 여지가 없다.

이에 따라 각국에서는 건물에너지 냉난방부하 해석을 위한 도구의 개발을 매우 심도있게 추진하고 있을 정도로 에너지 사용에 대한 관심이 매우 커지고 있다. 국내에서도 DOE2, TRNSYS, ESP-r 등과 같은 동적 열부하해석 프로그램을 이용해 냉난방부하 및 연간 에너지 사용량을 예측하는 경우가 많아졌다. 그러나 냉난방부하를 정확하게 예측하기 위해서는 많은 변수의 선택과 건물의 모델링에 고도의 숙련이 필요한 동적 에너지 시뮬레이션을 거쳐야 한다. 물론 간단한 수 계산에 의한 최대 냉난방부하 계산은 간단하나 정확도가 낮은 단점이 있다. 이를 위해 본 연구에서는 먼저 건물 냉난방부하 계산 방법(RTS-Sarek, DOE2)들을 비교 분석하였다. 그리고 동적 시뮬레이션에서의 건물 좌표 유무에 따른 영향을 비교 분석하였다. 마지막으로 최대 냉난방부하 계산 프로그램의 입력변수들을 사용하여 동적 시뮬레이션 프로그램에 적용하였을 경우의 타당성을 검토하였다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구에서는 건물의 냉난방부하 분석을 위한 열부하 예측기법으로서 기존 부재 좌표의 입력치를 대신해서 부재 좌표가 없는 단순화 모델의 적용성을 검토하고자 한다. 먼저 15층 규모의 사무소건물을 대상으로 DOE2와 RTS법 등의 열부하 계산방법으로 최대 냉난방부하를 비교 분석하였다. 그 후 단순화 모델 적용의 타당성을 검증하기로 한다. 이를 위해 부재 좌표를 입력하는 것(이하 기준 모델)과 부재 좌표 없이 모델링한 후(이하 단순화 모델) 이에 대한 결과를 검토하였다. 최종적으로는 단순화 모델의 주광(Daylighting)제어 적용 결과를 검증하여 주광제어 적용 가능성을 살펴보았다. 이를 위해 다음과 같은 조건으로 단순화 모델에 대한 본 연구를 진행하였다.

① 단순화 모델 검증

Case1 : 기준 모델

Case2 : Case1 + 건물 부재 좌표 제거

② 주광(Daylighting)제어 단순화 모델 검증

Case1 : 기준 모델

Case2 : Case1 + 주광제어 추가 모델

Case3 : Case2 + 주광제어 단순화 모델

2. 대상 건물 개요 및 시뮬레이션 조건

2.1 대상 건물 개요

본 연구의 시뮬레이션 대상 건물의 개요는 Table 1과 같다.

Table 1 Specification of Building

Site space	1,854.81m ²
Use of building	Office and retails
Structure	RC and steel frame
Floors	Upper Ground : 15 Floors Lower Ground : 3 Floors
Height	63.2m
Building space	727.95m ²
Floor space	16,522.76m ²
The building-to-land ratio	39.25%
Floor area ratio	539.19%

2.2 건물 설계조건 및 대상건물의 운전 조건

본 연구에서는 서울 시내에 위치하고 있는 사무소 건물의 기본조건 및 장비계산서를 바탕으로 실제 설비설계시에 가정했던 여러 설계조건들을 고려하여 시뮬레이션을 실시하였다. 표준운전조건이란 건물내 채실밀도, 조명발열밀도, 기기발열밀도 등의 실내발열밀도와 냉난방 설비들의 운전 시간, 운전조건 및 재실자 스케줄, 냉난방 스케줄 등의 각종 스케줄을 포함한다. Fig. 1은 시뮬레이션 대상 건물의 외관을 나타낸다.

건물의 운전조건은 건물전체의 에너지 소비량에 중요한 영향을 미치게 된다. 실내의 발열부하는 재실자, 조명, 기기발열부하로 나누어지며 이 또한 건물의 에너지 소비에 큰 영향을 미치는 중

요한 요소이다. 본 연구 대상 건물의 실내 발열 부하 크게 2가지로 나뉘며 Table 2 시뮬레이션 설계 조건을 나타낸다. 인체의 인체발열은 현열 58W/m², 잠열 73W/m²로 설정하였다.



Fig. 1 Exterior of target building.

Table 2 Building Design Data

		Design condition		
Indoor design temp		Cooling : 26°C(RH: 50%)		
		Heating : 21°C(RH: 50%)		
Operating time		Weekdays : 08:00-18:00		
		Saturday : 08:00-18:00		
System		Perimeter zone : FCU		
		Interior zone : CAV		
Occupancy Schedule	use	Occupant (p/m ²)	Lighting (W)	Equip (W)
	Retail	0.5	40	5
	Office	0.2	25	10

3. 동적 부하 계산과 RTS법의 최대 냉난방부하 비교

3.1 각 열부하 계산법의 소개 및 특징

3.1.1 RTS(Radiant Time Series)

RTS법은 2001년에 미국 냉동공조학회(ASHRAE)의 Handbook에 처음으로 소개된 냉난방부하 계산법이다. 복사시계열법이라 불리기도 하며, CLTD/CLF 법, TFM 법, TETD/TA 법을 효과적으로 대체하기 위해 만들어진 부하계산법이다. 이 방법은 열평형 방법인 HB(Heat Balance)법을 간소화하여 설계 냉난방부하를 단

순하게 계산하는 방법이다. RTS법은 상당한 정확도를 가지면서도 반복적인 계산을 요구하지 않고, 각 변수들이 전체 부하에 미치는 영향을 효과적으로 정량화시키는 장점을 가지고 있다.

3.1.2 동적 열부하 계산

본 연구에서 사용할 동적 열부하 프로그램으로는 DOE2를 선정하였다. DOE2는 미국 에너지성(Department of Energy)의 지원하에 LBL(Lawrence Berkely Laboratory)에서 개발된 시뮬레이션으로서 건축가, 엔지니어, 에너지 분석가 등이 널리 쓰는 동적 시뮬레이션 중의 하나이다. 시간에 따라 변화하는 건물의 설계변수를 동적 부하계산을 통해 부하예측을 하게된다. 수시로 변화하는 응답계수(Response Factor)나 가중치(Weighting Factor)를 독자적으로 계산할 수 있어 매우 효과적인 프로그램이라 할 수 있다.

3.2 DOE2와 RTS-Sarek의 최대 냉난방부하 비교

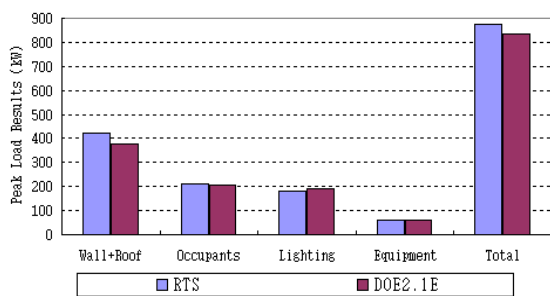
RTS-Sarek 프로그램은 대한설비공학회가 2005 ASHRAE Fundamentals에 소개된 RTS법을 기본으로 1여년의 개발과정을 통해 대한설비공학회 공인 국내 표준화 최대 냉방부하 계산 방법으로서 개발하게 되었다.

DOE2는 시간별 기후데이터를 이용해 연간 및 최대 냉난방부하를 산출한다. 그러나 RTS법은 최대 냉난방부하만이 표시되어 있어 하루 전체 시간별로 비교하는데에는 어려움이 있다. 이에 본 냉난방부하 비교에서는 DOE2를 이용한 최대 냉난방부하와 RTS-Sarek의 최대 냉난방부하를 비교할 것이다. 이에 본 연구에서는 DOE2 부하계산 시 설계일(Design Day)를 이용하여 계산하였다. 설계일이란 DOE2용 기후 데이터 내 특정일을 사용자가 임의로 설정하여 냉난방부하를 계산할 수 있는 기법을 말한다. 여기서는 RTS-Sarek에 적용하는 실내외 조건 및 최대 냉난방부하 계산일을 DOE2에도 설계일 기법을 이용해 똑같이 적용하기로 한다.

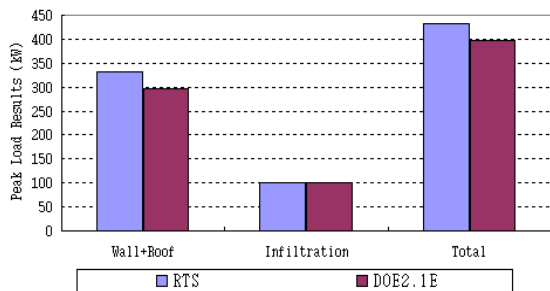
Fig. 2(a)는 시뮬레이션 대상 건물의 최대 냉방부하를 부하 요소별로 나타낸 것이다. RTS-Sarek에서의 총 최대 냉방 부하는 873.16 kW로 DOE2의 835.20 kW와 약 4.3%의 오차를 가진다. 이는 DOE2와 비교하여서 유리를 통해

들어오는 외부 부하가 약 10%정도 많은데서 기인한다.

Fig. 2(b)는 두 에너지 부하해석 프로그램의 부하요소별 최대 난방부하를 나타낸다. 침기에 의한 부하는 거의 비슷하지만 최대 냉방 부하와 마찬가지로 벽이나 지붕 등에서 들어오는 부하 때문에 총 최대 난방부하 차이가 발생하는 것을 볼 수 있다. 총 최대 난방부하 차이는 약 8.03%이다.



(a) Cooling Peak Load Comparison between RTS and DOE2



(b) Heating Peak Load Comparison between RTS and DOE2

Fig. 2 Cooling and heating peak load comparison between RTS and DOE2.

4. 단순화 모델링 기법의 타당성 검증

DOE2 에너지 시뮬레이션은 건물의 외형을 규정하는데 각각 다른 방법으로 접근한다. 가장 간단한 방법으로는 부재의 길이, 너비, 그리고 건물 내 부재의 방위각으로 설정한다. 또 다른 방법으로는 각 부재 외면의 좌표를 입력하는 방법이 있다. 부재의 좌표를 이용해 모델링하는 이유는 일사에 의한 음영이 건물에 미치는 영향을 보다 자세히 반영할 수 있기 때문이다. 그러나 부재 좌표를 이용해 모델링을 하면 부재의 단순화 모델

링보다 모델링하는데 많은 시간을 필요로 한다.

본 연구에서는 부재 좌표 입력 대신에 부재의 길이, 너비, 그리고 건물 내 부재의 방위각으로 대상 건물을 모델링하고 이에 대한 영향을 고찰하였다.

4.1 기준 모델과 단순화 모델의 냉난방부하 비교 및 분석

먼저 시뮬레이션 대상건물로 기준 모델링을 한 후 이를 부재 좌표를 없애는 단순화 모델링 작업을 하였다. 이 후 위 두 모델링의 부하 결과를 비교하였다. Fig. 3은 기준 모델링 화면을, Fig. 4는 단순화 모델링 화면을 나타낸다.

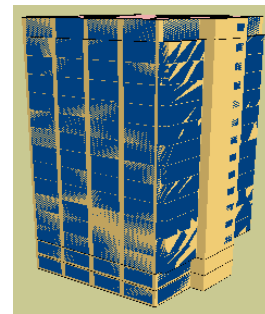


Fig. 3 Original modeling.

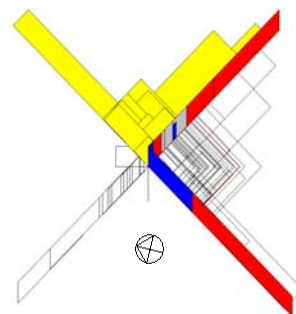


Fig. 4 Axonometric of Simplify Modeling Method.

두 모델링 방법에 의한 시뮬레이션 결과를 비교해 보기 위해 각각의 대상건물에 대한 최대 냉난방부하를 서로 비교해 보았으며, 그 결과는 Table 3에 정리하였다.

DOE2에 의한 기준 모델링의 최대 냉방 부하는

785.0 kW이었으며, 단순화 모델링의 최대 냉방 부하는 801.5 kW로서 약 2.1%의 오차를 보였다. 최대 난방부하는 기준 모델링은 423.9 kW이었으며 단순화 모델링은 423.3 kW로서 약 -0.14%로 거의 일치하였다. 각 부하요소 별로 두 모델링 방법의 결과를 분석해 본 결과 벽과 유리, 일사량 등에 의해 최대 냉난방부하 차이가 발생한 것을 볼 수 있다.

Table 3 Comparison Between Original method and Simplify method

Component	Peak Load Results			
	Cooling (kW)		Heating (kW)	
	Original	Simplify method	Original	Simplify method
Walls	7.5	7.7	13.6	13.6
Roof	8.4	8.4	7.6	7.6
Solar+Glass	414.4	430.8	262.1	261.5
People	89.4	89.4	0	0
Light	199.4	199.4	0	0
Equipment	65.8	65.8	0	0
Infiltration	0	0	140.6	140.6
Total	785.0	801.5	423.9	423.3
errors	0	2.1%	0	-0.14%

4.2 단순화 모델과 주광제어 모델의 냉난방부하 비교 및 분석

단순화 모델의 주광제어 적용 가능성을 확인하여 보았다. 기준 모델링 건물의 각 실 외주부 중앙에 주광 센서를 설치하고 기본 모델링을 한다. 주광 센서는 기준 조도 500 lux를 기본으로 한다. 단순화 모델에는 PAF¹⁾(Power Adjustment Factor)는 주광제어를 연속적으로 하고 있는 경우를 가정하여 0.7로 설정하였다. PAF는 매 시간마다의 조명 부하를 균등하게 감소시키는데 쓰이는 계수이다.

Fig. 5는 건물에서 주광 제어를 했을 때와 하지 않았을 때의 최대 냉난방부하에 대한 결과를 나타낸다. 주광제어를 하면서 조명 부하가 약 42.5% 정도 감소하는 것을 볼 수 있다.

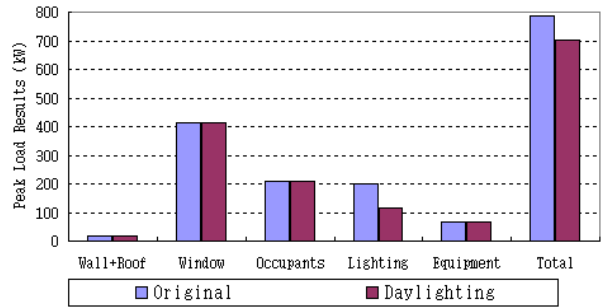


Fig. 5 Cooling peak load comparison between Original modeling and Daylighting modeling.

Table 4 Comparison between Daylighting and Simplify method

Component	Peak Load Results			
	Cooling (kW)		Heating (kW)	
	Daylighting	Simplify Method	Daylighting	Simplify Method
Walls	7.5	7.9	13.6	15.0
Roof	8.4	8.4	7.6	7.6
Solar+Glass	414.4	430.7	262.1	261.5
People	89.4	89.4	0	0
Light	114.6	170.4	0	0
Equipment	65.8	65.8	0	0
Infiltration	0	0	140.6	140.6
Total	700.2	772.7	423.9	424.7
errors	0	10.3%	0	0.19%

Table 4는 주광제어를 했을 때와 이를 PAF를 이용하여 단순화 모델링 했을 때의 최대 냉난방 부하를 비교한 것이다. 최대 난방부하에서는 그리 큰 차이를 보이지 않으나 최대 냉방부하에서는 10.3%의 차이가 나는 것을 알 수 있다. 부하요소별로는 유리를 통해 들어오는 부하량이 약 3.8% 소량 증가하였으며 조명에서 약 49%정도 증가하는 것으로 보인다.

위 두 조건을 건물의 연간 사용량으로 비교해 보면 Fig 6과 같다. 주광 제어를 했을 때 연간 냉방 사용량은 1578.1 MWh이며, 이를 단순화 모델링 하였을 때는 1833.2 MWh로 약 15.6% 증가하였다는 것을 알 수 있다. 연간 난방 사용량은 주광제어 모델이 833.5 MWh, 이를 단순화 시켰을 때가 803.5 MWh로서 약 3.6% 감소한 것을 볼 수 있다. 이를 종합해 보면 건물의 주광제어 모델과 단순화 모델의 연간 에너지 사용량 차이는

1) ASHRAE Standard 90.1, 1989

약 15.6%로 단순화 모델링에 있어서 주광제어를 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

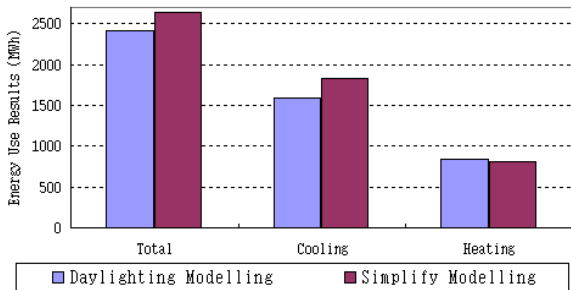


Fig. 6 Annual energy use comparison between daylighting modeling and simplify modeling.

5. 결론

본 연구에서는 건물 내 정확한 에너지 부하 예측을 위한 단순화 모델링의 적용 가능성에 대해 고찰하였다. 먼저 동적 시뮬레이션과 RTS간의 건물 냉난방부하 예측에 대한 차이를 알아보기 위해 RTS법을 사용하는 RTS-Sarek과 동적 시뮬레이션인 DOE2의 냉난방부하를 비교하였다. 이 후 기준 모델과 단순화 모델과의 비교를 한 후 단순화 모델에 주광제어를 적용시켰다. 이에 본 연구에서 도출된 결과는 다음과 같다.

(1) 본 연구에서 냉난방부하 예측의 타당성을 검증하기 위해 15층 사무소 건물에 대한 RTS법과 동적 시뮬레이션인 DOE2의 결과를 비교하였다. RTS-Sarek과 DOE2와의 오차는 최대 냉방부하는 약 4.3%, 최대 난방부하는 8.03%로 근소하다는 것을 알 수 있다.

(2) 단순화 모델링 적용 타당성 검증을 위해 DOE2를 이용하여 단순화 모델링을 실시하였다. 기준 모델과 단순화 모델과의 차이는 최대 냉방부하 2.1%, 최대 난방부하는 -0.14%로서 근소하다는 것을 알 수 있었다.

(3) 단순화 모델에 대한 주광제어의 적용을 검토하기 위해 대상건물에 주광제어를 실시한 결과와 이를 단순화 모델링한 결과와 비교하여 보았다.

이 두 방법간의 차이는 최대 냉방부하 10.3%, 최대 난방부하 0.19%로 나타났다. 연간 사용량을 비교하였을 때는 냉방 사용량이 연간 15.6%의 오차를 보였다.

상기 연구결과를 종합해 보면 건물의 좌표를 없애는 단순화 모델링 방법이 좌표를 입력하는 기준 모델링 방법과 큰 차이가 없는 것으로 판단된다. 또한 단순화 모델링 방법을 이용시 모델링하는데 걸리는 시간도 적게 드는 것으로 보여 매우 효과적인 방법으로 간주된다. 따라서 본 연구에서 실시한 단순화 모델링 방법이 향후 건물의 냉난방부하 예측의 간이화에 대해 활성화 할 것으로 기대한다.

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. ASHRAE, 1989, ASHRAE Standard 90.1
2. Kim, S. H et al, 2006, New RTS load calculation method, Equipment Journal of SAREK, Vol. 35, No. 10, pp. 46-58
3. Christopher R. J. and Curt H., 2001, DOE2.1E Geometric Modelling: The basic geometric approach vs. the complex XYZ approach, esim.
4. Jeffrey D. S. et al, 1997, The radiant time series cooling load calculation procedure, ASHRAE Transactions, Vol. 103, Part 2 pp. 503-515
5. Choi, B. S et al, 2006, Verification in RTS method by applying TRNSYS, Proceedings of the SAREK '06 Summer Annual Conference, pp. 531-535.