

# 동적 시뮬레이션을 이용한 건물 에너지 성능 비교분석 Comparative Analysis of Energy Performance using Dynamic Simulation

배상무\* · 이경희\*\*\*† · 여성구\* · 김은지\* · 양재광\* ·  
전재영\* · 이준혁\* · 배영민\* · 김성훈\* · 강영모\*

Sangmu Bae\*, Kyung-Hee Lee\*\*\*†, Seong-Gu Yeo\*, Eunji Kim\*,  
Jae-Kwang Yang\*, Jae-Young Jeon\*, Joonhyuk Lee\*,  
Yeongmin Bae\*, Sung-Hoon Kim\* and Youngmo Kang\*

(Received 21 September 2017, Revision received 29 November 2017, Accepted 29 November 2017)

**Abstract:** In order to achieve high efficiency of energy use and environment-friendly architectural design, various loads such as cooling, heating and hot water required by the building sector must be accurately predicted. Many studies used dynamic simulation tool to evaluate and analyze building energy performance. However, there are few studies on the comparative analysis of load results by each simulation and the evaluation of simulation characteristics and functions. In this study, the cooling, heating loads and energy demand of the buildings were evaluated using three dynamic simulations for the building with the same input conditions, and the characteristics of each simulation were compared and analyzed through the results. As a result of simulation comparative analysis, cooling, heating load and energy demand was lowest in square type and north-south direction conditions.

**Key Words :** Dynamic Simulation, Comparative analysis, Cooling and Heating load, Energy demand

## 1. 서 론

EIA (Energy Information Administration)의 보고서<sup>1)</sup>에 따르면, 전 세계에서 소비되는 전체 에너지 중 20.1%가 건물부분에서 소비되고 있다. 또한, OECD 가입 국가의 상업용 건축물에서 소비되는 에너지는 연평균 1.6%씩 지속적으로 증가하고 있

으며 국내의 경우, 에너지 소비는 1.8%씩 증가하고 있다. 이에 따라, 건물부분의 에너지 소비량과 요구량을 최소화시키기 위해 정부에서는 ‘건축물 에너지절약 설계기준 및 녹색건축물 조성 지원법’ 등을 통해 기존 건축물에 대해 친환경적이고 에너지 소비량 절감 방법 도입을 추진하고 있다. 건물 에너지 이용의 고 효율화, 에너지 소비량 절감

\*\*\*† 이경희(교신저자) : 부산대학교 건축공학과  
E-mail : samlgh@psaun.ac.kr, Tel : 051-510-7630  
\*배상무, 여성구, 김은지, 양재광, 전재영, 이준혁  
배영민, 김성훈, 강영모 : 부산대학교 건축공학과

\*\*\*† Kyung-Hee Lee(corresponding author) : Department of Architectural Engineering, Pusan National University.  
E-mail : samlgh@pusan.ac.kr, Tel : 051-510-7630  
\*Sangmu Bae, Seong-Gu Yeo, Eunji Kim, Jae-Kwang Yang, Jae-Young Jeon, Joonhyuk Lee, Yeongmin Bae, Sung-Hoon Kim and Youngmo Kang : Department of Architectural Engineering, Pusan National University.

및 친환경적인 건축설계를 도모하기 위해 먼저, 대상 건축물이 요구하는 냉·난방 및 급탕 부하 등의 연간에너지소비량을 정확하게 예측해야 한다. 건축물의 연간에너지소비량을 정확하게 계산하기 위해 주로, 다양한 시물레이션을 이용하여 건물에너지 성능분석에 관한 연구<sup>2,3)</sup>들이 국내·외로 활발히 수행되고 있으며, 이러한 동적 시물레이션은 건축물 부하해석 이외에도 다양한 연구 분야에 접목되고 있다.

태양의 복사효과와 일사에너지에 대한 건물의 부하를 산출하거나, 태양광 모듈의 성능분석에 대한 연구<sup>4)</sup>는 주로 TRNSYS 프로그램을 이용하여 수행되고 있으며, Energy Plus와 eQUEST를 이용하여 공동주택 단위세대의 에너지 소비량이나 건축물 에너지 성능에 대한 민감도 분석을 실시하였다.<sup>5)</sup> 또한 자연환기에 따른 건물의 냉각에너지 성능 및 실내 공기질 분석에 대한 연구는 Design Builder 프로그램을 이용하여 수행되고 있다.<sup>6)</sup>

이처럼 TRNSYS, eQUEST, Energy Plus, Design Builder 등의 프로그램을 활용한 연구는 다각적으로 수행되고 있으며, 주로 건축물 에너지 해석 또는 성능 평가에 이용되고 있다. 그러나 각 시물레이션이 해석한 결과 값의 비교분석이나 시물레이션의 특성 평가에 관한 연구는 드물다.

따라서 본 연구에서는 동일한 입력조건을 적용한 건물을 대상으로, TRNSYS, eQUEST, Design Builder의 3가지 동적해석 시물레이션을 이용하여 건물의 냉·난방 부하 및 에너지소요량을 해석하였으며, 해석된 결과 값을 통해 각 시물레이션의 특성에 대해 비교분석을 실시하였다.

## 2. 동적 해석 시물레이션

### 2.1 TRNSYS

건물에너지해석 프로그램으로 이용되고 있는 TRNSYS (Transient System Simulation)는 이용 접근이 간편한 GUI (Graphical User Interface)와 모듈형식의 구조를 통해 확장성과 유연성이 우수하여, 건물의 동적열부하계산 외에도 건물과 HVAC 시스템을 포함한 건물 전체의 종합적인 해석 및 평가가 가능하다. 또한 TRNSYS는 건물에너지 해석

을 위해 다중공간으로 구성된 건물 (Multi-zone Building)을 이용하여 건물의 구성요소에 대한 정보와 각종 조건을 입력받아 모델링 한다.<sup>7)</sup>

### 2.2 eQUEST

eQUEST는 건물에너지 해석에 주로 사용되고 있는 프로그램으로 순차적 LSPE (Loads Systems Plant Economics) 소프트웨어 구조와 DOE-2 파생 엔진이 결합되어 건물에너지 해석에 대해 간편하고 종합적인 결과를 분석할 수 있다. 또한 건물 생성 마법사(Building Creation Wizard), 에너지 효율 측정 마법사(Energy Efficiency Measure Wizard) 및 그래픽 결과 표시 모듈을 DOE-2 건물에너지 시물레이션 프로그램과 결합하여 설계 대안에 대해 응답계수법(Response factor)과 가중계수법(Weighting factor)을 이용하여 건물에너지 해석을 수행한다. 또한 설계 대안의 성능을 비교하는 직관적인 그래픽을 통해 질적으로 우수한 결과를 제공할 수 있는 분석 도구이다.<sup>8)</sup>

### 2.3 Design Builder

EnergyPlus를 해석엔진으로 이용하고 있는 Design Builder(V4.7)는 Design Builder Software에서 개발되어 OpenGl Solid modeller를 특징으로 사실적인 3D 해석 모델을 구성할 수 있다. 또한 에너지해석을 위한 건축물 3D 모델링 구축 및 입력조건을 사용자의 요구조건에 따라 간편하게 설정할 수 있기 때문에 프로그램의 시각화 및 접근성이 우수하다.

Design Builder의 해석 기반인 Energy Plus는 건물에너지 해석을 위한 시물레이션 시간 간격 (Time Step) 및 보조 시간 간격 (Sub Time Step)을 사용자의 요구에 따라 설정할 수 있으며 모듈화 구조, 해석 모델과 HVAC 시스템의 결합을 통해 건물과 시스템의 동시 해석이 가능하다.<sup>9)</sup>

## 3. 시물레이션 개요

### 3.1 시물레이션 해석수법

건물의 냉·난방 부하를 산출하고 정확하게 해석결과를 비교분석하기 위해 각 시물레이션에 대

한 입력조건을 동일하게 설정해야한다. 하지만, 건물 냉·난방 부하 해석수법, 필요조건과 같이 시뮬레이션 툴의 고유특성에 따라 입력조건이 차이가 발생한다. 이러한 경우, 상호 피드백을 통해 다른 시뮬레이션에 적용하고 있는 수치를 근거로 하여 근사 값을 적용하였다.

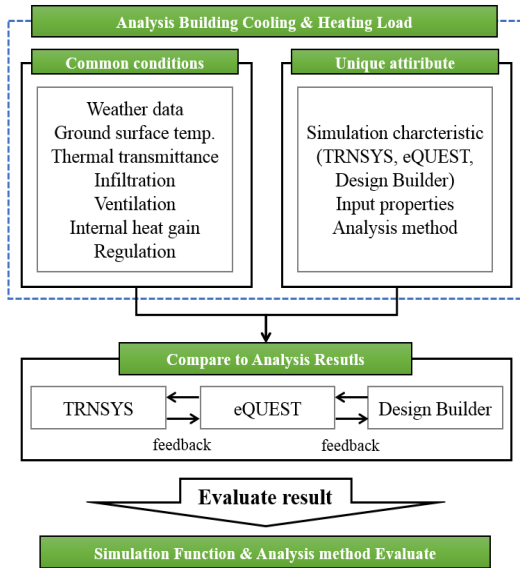


Fig. 1 Analysis method of simulation tool

Fig. 1은 시뮬레이션 툴을 이용한 건물 냉·난방 부하 해석 흐름을 나타낸다. 동일한 입력조건에 대해 각 시뮬레이션이 산출하는 건물에너지 해석 결과를 이용하여 비교분석을 실시하고, 분석 결과에 대해 피드백을 통해 시뮬레이션의 기능과 해석수법, 특징들에 대해 평가하였다.

### 3.2 시뮬레이션 해석모델

건축물의 면적 비에 따른 에너지 해석을 위해 건물의 평면형태비는 허용장단변비 범위중 동일한 면적에서 외피면적이 최소인 정방형과 최적장단변비의 조건과 유사한 장방형 형태인 1;1, 1:1.4를 선정하여 정방형과 장방형으로 구분하였다.

Fig. 2와 Fig. 3은 TRNSYS, eQUEST, Design Builder를 이용하여 구축한 정방형과 장방형 형태의 시뮬레이션 모델을 나타낸다. 정방형 모델에서

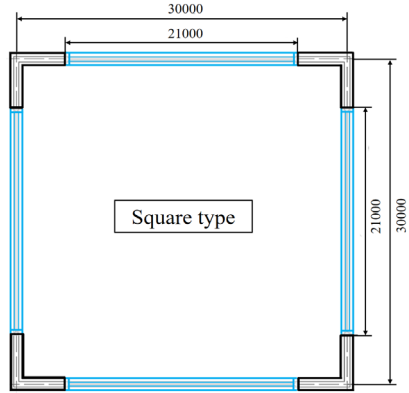


Fig. 2 Square type model (30 m×30 m)

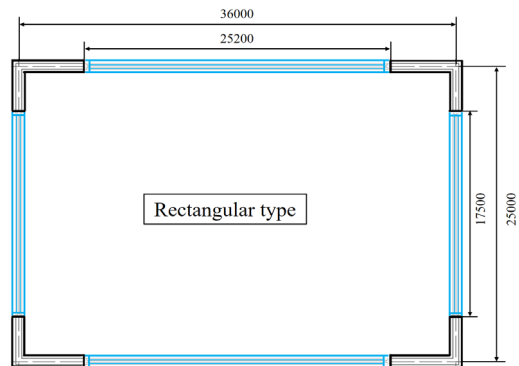


Fig. 3 Rectangular type model (36 m×25 m)

하나의 공조 구역(Zone)은 30 m×30 m×3.5 m이며, Fig. 2와 Fig. 3은 TRNSYS, eQUEST, Design Builder를 이용하여 구축한 정방형과 장방형 형태의 시뮬레이션 모델을 나타낸다. 정방형 모델에서 하나의 공조 구역(Zone)은 30 m×30 m×3.5 m이며, 장방형 모델은 36 m× 30 m×3.5 m로 설정하여 각각 10층 규모의 해석모델을 구축하였다.

건물 용도는 오피스 건물로 가정하였으며 창면적 비는 벽체 면적의 40%로 설정하였다. 또한 해석모델이 위치한 지역은 서울로 가정하였으며, 기상조건과 지표면 온도조건은 기상청에서 제공하는 서울지역 20년 간 측정 데이터를 이용하였다.

### 3.3 시뮬레이션 조건

본 연구에서는 동일한 면적 조건에서 건물의 형태비, 방위조건에 따른 냉·난방 부하를 산출하기 위해 Case Study를 진행하였다.

Table 1 Case study conditions

	Type	Area	Orientation
Case 1	Square	30 m×30 m	North-South
Case 2	Rectangular	36 m×25 m	North-South
Case 3	Rectangular	36 m×25 m	West-East

Table 1은 본 연구에서 이용한 Case Study 조건을 나타낸다. Case 1은 정방형 형태의 건물로 공조 면적은 30 m×30 m, 남북방향으로 설정하였다. Case 2와 3은 장방형 형태의 건물로 36 m×25 m의 Case 1과 동일한 공조 면적으로 설정하였다. 그러나 장방향의 경우 방위조건에 따라 일사조건이 다르기 때문에 남북방향과 동서방향으로 구분하였다.

Table 2는 본 연구에서 이용된 해석모델 조건을 나타낸다. 건물의 벽체, 지붕, 바닥 등의 건물 구성요소에 대한 열관류율 산정은 ‘건축물의 에너지절약 설계기준’을 적용하였다.

HVAC 시스템의 냉방 및 난방에 대한 설정온도는 각각 26℃, 20℃로 입력하였으며, 설정온도에도달한 후 실내온도가 하계 28℃ 이상, 동계 20℃ 이하일 때 HVAC 시스템이 재운전을 실시하도록

Table 2. Simulation condition

Condition		Value			Unit
		TRNSYS	eQUEST	Design Builder	
U-value	Wall	0.260	0.256	0.260	W/m <sup>2</sup> K
	Roof	0.180	0.148	0.180	
	Ground Floor	0.220	8 inch	0.220	
	Window	1.29	1.29	1.29	
HVAC	Heating				
	Set temperature	26	26	26	℃
	Thermostat	-	28	28	
	Cooling				
	Set temperature	20	20	20	℃
	Thermostat	-	18	16	
Ventilation		0.5	0.5	0.5	1/h
Internal heat gain		150	150	150	W/capita
Schedule		09:00 ~ 18:00			hour

하였다. 시스템 가동 시 실내 공급온도는 냉방 12℃, 난방 35℃로 설정하였다. 또한 냉·난방의 운전기간은 하계(6월1일 ~ 9월15일), 동계(12월1일~3월15일), 운전기간은 주말을 제외한 주중 9시간(09:00~18:00)으로 설정하였다.

실내 환기횟수는 법적규정에 근거하여 시간당 0.5회로 설정하였으며 내부 열획득량은 기계장치, 조명기기 등의 장비로 인한 열획득을 제외하고, 인체발열량만 내부 열획득량으로 산정하였다. 인체발열량은 ISO 7730를 참고하여 사무실에서 타이핑과 같은 간단한 작업을 할 경우에 발생하는 열량(150W)을 적용하였으며, 실내 재실인원은 m<sup>2</sup>당 0.01명으로 공조 구역 당 9명으로 가정하였다.

## 4. 시뮬레이션 결과

### 4.1 시뮬레이션 해석결과

본 연구에서는 3가지 동적 시뮬레이션을 이용하여 해석모델의 건축물 면적 비 및 방위조건에 따른 단위 면적당 부하량 및 에너지 소요량을 산출하였다.

Fig. 4는 월별 단위 면적당 건물 부하량 및 에너지 소요량의 전체 합계를 나타낸다. 난방기간 동안 건물 에너지 소요량은 eQUEST가 12.79.8

kWh/m<sup>2</sup>로 가장 높게 나타났으며, 다음으로는 Design Builder, TRNSYS로 확인되었다. 또한 냉방 기간에도 eQUEST가 178.8 kWh/m<sup>2</sup>로 가장 높았으며, Design Builder, TRNSYS 순으로 확인되었다.

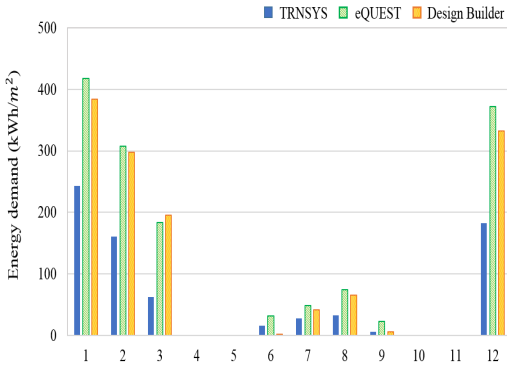


Fig. 4 Monthly Load and Energy demand per area

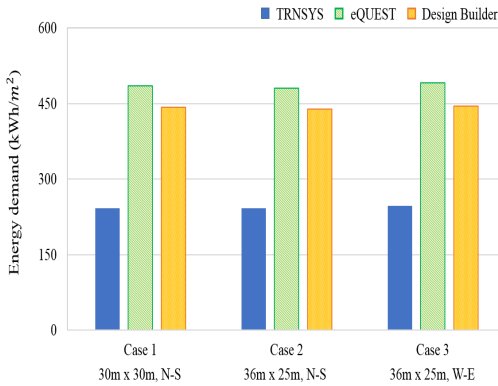


Fig. 5 Load and Energy demand per area

Fig. 5는 Case별 단위 면적당 연간 건물의 부하량과 에너지 소요량을 나타낸다. TRNSYS 시뮬레이션을 이용하여 건물의 단위 면적당 부하량을 계산하였다. 단위 면적당 부하량에 대해 Case 1과 Case 2는 각각 242.7 kWh/m<sup>2</sup>, 242.6 kWh/m<sup>2</sup>로 산출되었다. 부하량은 동일한 방위 조건 및 면적비 변화에 따른 차이는 거의 발생되지 않는 것으로 확인되었다. 그러나 공조면적 조건 36 m×25 m에서, 방위조건 변화에 따라 Case 2와 Case 3의 단위면적당 부하량은 4.76 kWh의 차이가 발생하였다. 건물의 방위는 남북방향보다 동서방향일 때

부하량이 크게 나타났으며, 일사조건이 불리할 때 부하량은 증가하는 것으로 확인되었다.

한편, 건물 면적비 및 방위조건 변화에 따른 건물 에너지 소요량은 eQUEST 및 Design Builder 시뮬레이션을 이용하여 산출하였다.

eQUEST의 에너지 소요량은 Case별로 각각 485.8 kWh/m<sup>2</sup>, 481.2 kWh/m<sup>2</sup>, 491.6 kWh/m<sup>2</sup>로 산출되었다. 동일한 방위조건에서 면적 비에 따라 단위 면적당 4.54 kWh의 에너지 소요량 차이를 보였으며, 방위조건 변화에 따라 Case 2와 Case 3은 10.34 kWh/m<sup>2</sup>의 차이를 나타냈다. 방위조건 및 형태비가 다른 Case 1과 Case 3의 에너지 소요량은 최대 1.2%의 차이가 발생하였다.

Design Builder의 경우 에너지 소요량은 각각 442.4 kWh/m<sup>2</sup>, 438.9 kWh/m<sup>2</sup>, 445.3 kWh/m<sup>2</sup>로 산출되었다. 남북방향 조건에서 건물 면적 비에 따른 부하량과 에너지 소요량은 모든 해석 틀에서 장방향인 정방향보다 감소하는 것으로 확인되었다. 건물이 장방향일 경우, 남측면적이 증가함에 따라 일사 및 일조가 증가함에 따라 에너지 소요량이 감소되는 것으로 판단된다.

3가지 동적 시뮬레이션이 계산한 건물 부하량과 에너지 소요량의 결과 값은 변화 양상이 동일하게 나타났다. 그러나 부하량과 에너지 소요량의 정량적 수치는 해석 틀마다 다르게 확인되었다. 이를 통해, 시뮬레이션 내 입력조건을 동일하게 설정하여도 시뮬레이션 고유의 특성이거나 해석수법의 차이와 요구입력조건이 상이하기 때문에 발생된 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 3가지 동적해석 시뮬레이션을 이용하여 건물의 냉·난방 부하 및 에너지 소요량을 해석을 실시하였다.

1) TRNSYS를 이용하여 해석한 건물 냉·난방 부하량은 남북방향 및 정방향 조건일 때 242.7 kWh/m<sup>2</sup>로 가장 작게 산출되었다. 동서방향 및 장방향 조건의 부하량은 247.4 kWh/m<sup>2</sup>로 가장 높게 계산되었다. 방위조건은 남북방향, 면적 비는 정

방형 조건이 건물 냉·난방 부하를 감소시키기에 유리한 조건을 가지는 것을 확인하였다.

2) eQUEST와 Design Builder를 통해 산출한 에너지 소요량은 조건변화에 따라 동일한 양상을 나타냈다. 동서방향에서 장방형일 경우 에너지 소요량이 가장 크게 확인되었으며, 남북방향에서는 정방형보다 장방형일 때 에너지 소요량이 가장 작게 나타났다. 남북방향의 장방형 조건에서는 남북면적이 증가함에 따라 일사 및 일조조건이 남북방향의 정방형 조건이나 동서방향의 장방형보다 우위에 있어 에너지 소요량이 감소되는 것으로 판단된다.

시뮬레이션 내 조건을 동일하게 입력하여도 각 시뮬레이션마다 결과 값이 다르게 확인되었다. 이는 시뮬레이션이 요구하는 입력조건이 상이하며, 해석수법의 차이로 인해 발생되었다. 건축물의 에너지 해석을 위해 동적해석 프로그램을 이용하여 에너지를 해석하는 경우, 프로그램의 특성 및 부하의 특성을 고려하여 프로그램을 선정하여야 할 것으로 사료된다.

## 후 기

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

## References

1. U.S Energy Information Administration, 2016, "International Energy Outlook", U.S, Chapter 6. Building sector energy consumption.
2. S. H. Kim, J. G. Lee, Y. T. Kim and K. H. Lee, 2015, "Energy Load according to the Units of Apartment House", Journal of the Korean Society

- for Power System Engineering, Vol. 19, No. 2, pp. 78-83.
3. A. S. An-Naggar, M. A. Ibrahim and E. E. Khalil, 2017, "Energy Performance Simulation in Residential Buildings", Procedia Engineering, Vol. 205, pp. 4187-4194.
4. R. Eldeeb, M. Fuchoux and C. J. Simonson, 2013, "Applicability of a Heat and Moisture Transfer Panel (HAMP) for Maintaining Space Relative Humidity in an Office Building Using TRNYSYS", Energy and Buildings, Vol. 66, pp. 338-345.
5. D. Y. Park, K. C. Yoon and K. S. Kim, 2013, "A Comparative Study on Heating Energy Consumption of Multi-Family Apartment using EnergyPlus and eQUEST", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 33, No. 1, pp. 48-56.
6. A. B. Daemei, A. K. Limaki and H. Safari, 2016, "Opening Performance Simulation in Natural Ventilation using Design Builder (Case Study:A Residential Home in Rasht)", Energy Procedia, Vol. 100, pp. 412-422.
7. J. H. Lee, 2008, "A Study on the Thermal Load Patterns for a House According to the Earth Sheltering Method", MS thesis, Inha University, Incheon, Korea.
8. Hema Sree Rallapalli, 2010, "A Comparison of EnergyPlus and eQUEST Whole Building Energy Simulation Results for a Medium Sized Office Building", MS thesis, Arizona State University, Arizona, USA.
9. J. W. Shin, 2008, "A Study on the Variations of Heating Energy Consumption due to the Solar shading by the Adjacent Building", MS thesis, Gachon University, Seongnam, Korea.