

# 유리 온실 시설의 연간 냉난방 부하 및 에너지 시뮬레이션에 관한 연구

장재철\*, 강은철\*\*, 이의준\*\*\*

\*충남대학교 대학원 기계설계공학과(airef2009@cnu.ac.kr), \*\*한국에너지기술연구원(kec8008@kier.re.kr),  
\*\*\*한국에너지기술연구원(ejlee@kier.re.kr)

## Peak Cooling and Heating Load and Energy Simulation Study for a Special Greenhouse Facility

Jang, Jea-Chul\*, Kang, Eun-Chul\*\*, Lee, Euy-Joon\*\*\*

\*Dept. of Mechanical Design Eng., Graduate School, Chungnam National University(airef2009@cnu.ac.kr),  
\*\*Korea Institute of Energy Research(kec8008@kier.re.kr),  
\*\*\*Korea Institute of Energy Research(ejlee@kier.re.kr)

### Abstract

---

A peak cooling and heating load(kW/m<sup>2</sup>) and annual energy(kWh/m<sup>2</sup>·yr) have been simulated for a special greenhouse located near Seoul. The special facility was designed for living plant and butterfly with many visitors. The design conditions for the facility have been discussed with the designer and simulated with the weather and building conditions. The load and energy simulation was done by TRNSYS 15 based on IPMVP 4.4.2.'s simulation requirement. The results have been shown in terms of area(kW/m<sup>2</sup>) and volume load and energy index(kWh/m<sup>2</sup>·yr). Considering the higher height of the facility, The results came out reasonably comparing the index of a typical commercial building signed as 462kWh/m<sup>2</sup>·yr

Keywords : greenhouse (온실), load (부하), energy(에너지), simulation (시뮬레이션), IPMVP (국제 성능측정/확인 규약 지침서)

---

### 기 호 설 명

$\dot{m} \cdot C_p$	: 환기량 [f(ACH)]
I	: 일사량 [W/m <sup>2</sup> ]
Q	: 건물 냉난방 부하 [W]
G	: Solar Heat Gain Coefficient
U	: 열관류율 [W/m <sup>2</sup> ·K]
$\lambda$	: Time Response Factor
A	: 대상건물 단면적 [m <sup>2</sup> ]
IL	: 내부 부하 [W/m <sup>2</sup> ]
$\Delta T$	: 외벽 내/외부 온도차 [°C]

## 1. 서론

국제 원유가격의 급격한 상승으로 국내의 적으로 에너지 사용에 대한 관심이 큰 실정에도 불구하고 우리나라는 에너지 수입의존도가 97%를 웃돌고 있어서 국제 유가변동에 민감한 경제구조를 보이고 있다. 따라서 안정적인 에너지 수급과 절약은 매우 중요한 국가적 과제로 볼 수 있으며, 특히 건물 냉난방의 정확한 부하계산과 이에 따르는 기기선택은 에너지 절약적 측면에서 반드시 선행되어야 할 과제이다. 따라서 본 연구의 목적은 국제 표준 규약 IPMVP(International Measurement Verification Protocol) 4.4.2.1)에 근거하여 서울 근교지역에 위치한 유리온실 시설의 시간 별 냉난방 부하 계산을 매시간 별로 시뮬레이션하는 것이다. 시뮬레이션 결과는 주로 PLI와 AEI로 표현되며, 이때 PLI(Peak Load Index)는 단위면적당 피크부하이며, AEI(Annual Energy Index)는 단위 면적 혹은 체적 당 연간 에너지부하를 의미한다.

## 2. 입력변수 모델링

2.1 부하계산 및 에너지 시뮬레이션 산출식  
 건물의 냉난방 부하계산 및 에너지 시뮬레이션에 사용되는 건물 외피를 통한 열 출입량은 매 시간별로 계산된다. 또한 열 손실과 열 획득은 벽, 지붕, 바닥, 창, 문에 대해 각각 구해진다. 건물 외피를 통한 복사와 전도에 의한 열전달은 축열체, 단열재의 배치, 일사각, 운량, 건물위치, 건물방위, 건물특성의 효과를 고려하여 결정된다. 외기 침입 부하는 내외부 형태의 차이와 가정된 누출율에 근거하여 계산된다. 건물 냉난방 부하계산의 기본개념은 식 1과 같으며, 건물 냉난방 부하는 전도열부하 + 대류/환기열부하 + 복사열부하 + 내부부하라는 것이 기본개념이다.

$$Q = f(U \cdot A \cdot \Delta T) + f(\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T) + f(I \cdot G \cdot \lambda) \pm f(\dot{I}) \quad (1)$$

### 2.2 기상데이터 모델링

건물의 부하계산을 위해서는 해당지역의 정확한 일사자료가 필요하지만 우리나라 전지역에 대한 일사량 산출은 사실상 불가능하다. 일반적으로 일사자료가 없는 지역에서는 기상조건이 유사한 지방의 측정 자료를 사용하는 것이 통상적이다. 본 연구에서는 서울 근교와 비교적 일치하는 서울 기상데이터를 사용하여 산출작업을 수행하였으며, 연간 기상 데이터인 8,760시간 자료를 사용하였다.<sup>2)</sup>



Fig. 2 A special greenhouse facility

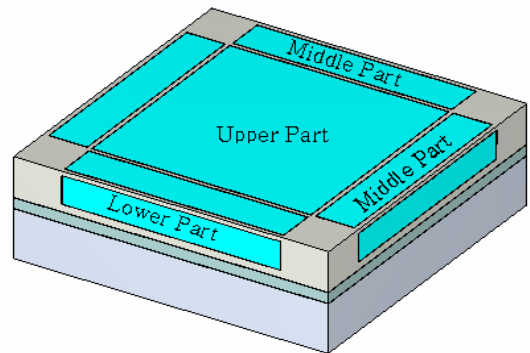


Fig. 3 TRNSYS modeling

1) 부하계산 및 에너지 시뮬레이션 평가방안 1

2) 건물에너지 성능평가를 위한 국내 일사량자료 평가

Table 1 U-value and SHGC data

Type	U-Value (W/m <sup>2</sup> ·°C)	SHGC
Upper Part	5.25	0.37
Middle Part	5.25	0.66
Lower Part	5.25	0.90

### 2.3 시설외피 모델링

본 논문에서 사용된 유리 온실 시설은 Fig. 1과 유사한 형태로 Fig. 2와 같은 형태로 모델링하였으며, IPMVP 4.4.2에 명시된 TRNSYS를 이용하여 계산하였다. 유리 온실 표면적 산출은 구가 잘린 형태로 높이 17m, 아래 너비 74m로 계산하였으며, 총 표면적을 계산하면 약 5,100m<sup>2</sup>의 값을 산출할 수 있다.

SHGC(Solar Heat Gain Coefficient)는 상층부, 중층부, 하층부로 나누어 1,700m<sup>2</sup>으로 구분하였고, 유리는 Single-glazed 형태의 1/4인치 두께이며, U-value 및 SHGC의 값은 Table 1과 같다.

외기벽은 Table 2와 같으며, 실제 현장 사이트의 재료를 기준으로 600mm 콘크리트, 75mm 스티로폼, 4mm 알루미늄 패널을 선정하여 열관류율 0.37 W/(m<sup>2</sup>·K)를 적용하였다.

Table 2 Outside wall input data

Materials	Thickness	Conductivity	U-value
	mm	W/(m·K)	W/(m <sup>2</sup> ·K)
Concrete	600.0	1.63	0.37
Styrofoam	75.0	0.04	
Aluminum panel	4.0	439.64	

Table 3 Internal load data

	Input value
Occupancy load [p/m <sup>2</sup> ]	0.12
Lights load [W/m <sup>2</sup> ]	2
Refrigeration load [W/m <sup>2</sup> ]	1
Supply air rate [ACH]	1.27

내부 발열조건은 Table 3에 명시하였으며, 현재 건물에 대한 국내 표준 내부발열에 대한 측정치가 규정되지 않아 ASHRAE STANDARD 90.1<sup>3)</sup>에 나타나 있는 내부 발열 값을 적용하였고, 유리 온실의 특성을 고려하여 가중치를 부여하였다.

실제 사이트는 관람용으로 사용되는 실내 공원과 유사한 용도로서 실내공기환경유지가 매우 필수적인 건물이며, 식물이나 동물(곤충)의 생장 및 보존이 무엇보다도 중요하다. 따라서 일반적인 건물에 적용되는 설정 온도나 습도는 적용하기 어렵고 건축물의 특성을 고려한 온습도가 적용하여 실내온도를 23°C±2°C로 설정하였고, 습도는 60%±10%로 설정하여 계산하였다.

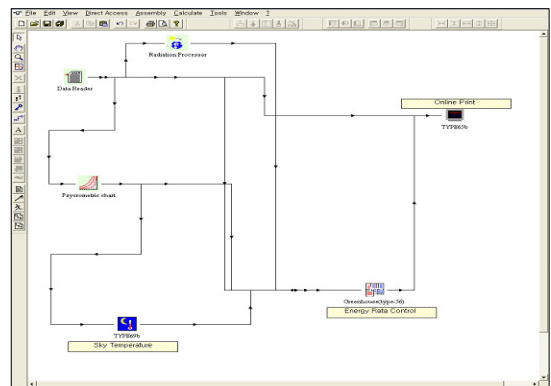


Fig. 4 IlsiBat modeling of TRNSYS

3) ASHRAE STANDARD energy standard for buildings except low-rise residential buildings

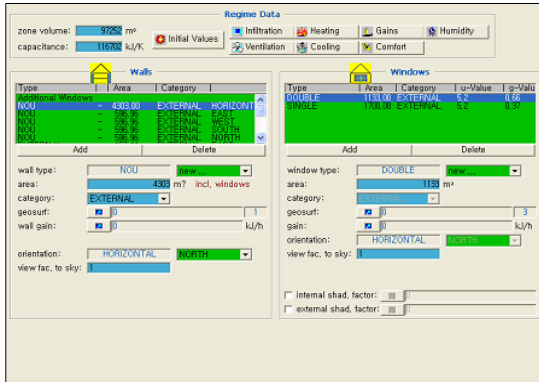


Fig. 5 TRNSYS of zone modeling

#### 2.4 TRNSYS 입력변수 모델링

TRNSYS는 열에너지시스템의 비정상 거동을 수치적으로 해석할 수 있는 프로그램으로서 열전도 방정식을 라플라스변환을 이용하여 가상공간으로 변환하여 실제 공간에서 대수적인 형태로 처리한다. 또한, 전달함수(Transfer Function)법을 토대로 하여 벽체, 천장, 바닥 등을 모델링하며, 벽체의 안쪽과 바깥쪽을 대상으로 모든 복사열교환을 고려하여 표현할 수 있으나, 이때는 구역 사이의 상호작용까지 구해야 한다. 이러한 경우를 위해 개발된 것이 Fig. 3과 같은 IISIbat의 TYPE-56이며 역행렬 기법을 이용하여 결합된 형태의 미분방정식을 풀기 때문에 비교적 효율적으로 계산할 수 있고, Multi-zone building에 대한 표현도 Prebid에 의해 쉽게 작성 가능하다.<sup>4)</sup>

Fig. 3은 실제 사이트의 부하계산에 사용된 IISIbat 화면이며, Type-56을 이용하여 시뮬레이션 작업을 수행하였다. Fig. 4는 Prebid 상황에서의 Zone 모델 입력화면으로 Horizontal 영역은 실제 사이트와 동일한 4,300m<sup>2</sup>를 사용하였으며, 총 높이 22.6m를 적용하여 계산하였다. 또한 Glazing 부분에서 발생하는 음영을 고려하기 위해 유리 온실 부분의 20%를 분리하여 작업하였다.

4) TRNSYS15 Volume I Reference Manual

Table 4 Peak Load Index

	Cooling	Heating
Peak Load Area Index [W/m <sup>2</sup> ]	457	648

## 4. 해석결과

### 4.1 피크 냉난방 부하 해석결과

TRNSYS로 계산된 Peak Load Index의 결과는 Table 4와 같이 냉방 시 457W/m<sup>2</sup>, 난방 시 648W/m<sup>2</sup>가 도출되었으며, 난방에 많은 부하가 요구되는 것을 알 수 있다.

### 4.2 연간 에너지 시뮬레이션 해석결과

연간 에너지 사용량을 계산하는데 사용된 TRNSYS의 결과는 Table 5와 같다. Table 5와 Fig. 5에 나타난 것처럼 냉방에 비해 난방에 많은 부하가 걸리는 것을 볼 수 있다.

또한 에너지관리공단의 “건물용도별 전력원단위 조사연구”에서 전력원단위는 학교, 공공건물, 병원은 건축물의 평균 원단위보다 낮으며, 은행, 상용건축물은 평균 원단위보다 높게 나타나는 등 건물의 특성에 따라 변화가 있음이 명시되어 있으므로 본 에너지 시뮬레이션의 결과는 건물 특성에 기인한 것으로 사료된다.

Table 5 Annual Energy Index

Area Index	Cooling[kWh/yr · m <sup>2</sup> ]		Heating[kWh/yr · m <sup>2</sup> ]	
	Sensible	Latent	Sensible	Latent
	163	240	1,037	788
Volume Index	Cooling[kWh/yr · m <sup>3</sup> ]		Heating[kWh/yr · m <sup>3</sup> ]	
	Sensible	Latent	Sensible	Latent
	7	11	46	35

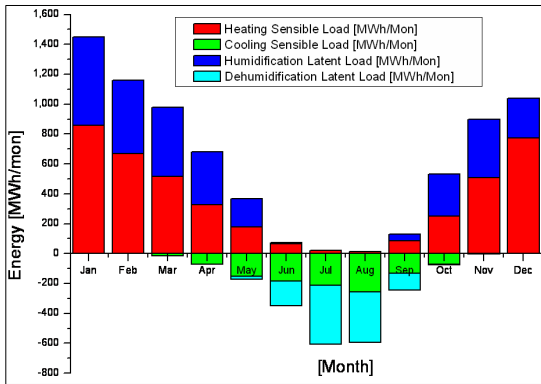


Fig. 6 Monthly Heating & Cooling load data with humidification & dehumidification

## 5. 결론

국제 시설 에너지 부하 계산용 프로그램 지침 IPMVP 4.4.2.에 명시된 working version 프로그램인 TRNSYS는 연간에너지 시뮬레이션에 적합한 프로그램으로써 8,760시간에 해당하는 기상데이터를 이용하여 작업을 수행하였다. 이 때 유리 온실의 특성에 맞게 시뮬레이션하여 도출한 결론은 아래와 같다.

- (1) TRNSYS로 계산된 Peak Load Index는 냉방 시에 비해 난방 시에 많은 부하가 걸리는 것을 볼 수 있는데, 이는 항온항습조건이 고려되었다. 또한 일반 사무실의 경우 기준냉방부하는 10평/RT이므로 단위면적( $m^2$ )당  $109.4W/m^2$ 인데, 본 유리 온실 시설의 경우 층고가 22.6m임을 감안한다면 온당한 결과가 도출되었음을 알 수 있다.
- (2) 본 연구에서 계산된 Annual Energy Index의 경우 에너지관리공단 “건물용도별 전력원단위 조사연구”에 의해 평균 전력원단위가 층고 3m의 비주거용 건물이  $462kWh/m^2 \cdot yr$ 인데 반해, 본 유리 온실 시설의 경우 층고가 이보다 약 7.5배 크므로 다소 높은 결과가 도출된 것은 층고의 높이에 기인하였음을 알 수 있다.

Table 6 Comparison Results

	Typical building (height : 3m)	Special greenhouse facility (height : 22.6m)
PLI [ $W/m^2$ ]	109	457
AEI [ $kWh/yr \cdot m^2$ ]	462	2,228

## 참 고 문 헌

1. IPMVP Department of Energy, United States of America, Dec. 1997
2. 김기세 외, “건물에너지 성능평가를 위한 국내 일사량자료 평가”, 한국태양에너지학회, 1998
3. ASHRAE, “ASHRAE STANDARD energy standard for buildings except low-rise residential buildings”, 2004
4. S.A. Klein, W.A. Beckman. “TRNSYS15 Volume I Reference Manual”, Solar Energy Laboratory University of Wisconsin-Madison, Wi 537-6 USA, 2000
5. 백영렬, “건물에너지 해석 프로그램 (TRNSYS)”, 제42권 제11호, 대한기계학회, 기계저널, 2002
6. 에너지관리공단, “건물용도별 전력원단위 조사연구”, 2002.12