

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 26, No. 1, 2006

# 태양열 냉난방 부하산정을 위한 TRNSYS 동적 시뮬레이션

최창용\*, 고상철\*, 곽희열\*\*

\*전주대학교 기계자동차공학과(cychoi@jj.ac.kr), \*\*한국에너지기술연구원(hykwak@kier.re.kr)

## TRNSYS Dynamic Simulation for Solar Heating and Cooling Load Estimations

Choi, Chang-Yong\*, Ko, Sang-Cheol\*, Kwak, Hee-Youl\*\*

\*Mechanical and Automotive Engineering Dept., Jeonju University(cychoi@jj.ac.kr),

\*\*New and Renewable Energy Research Dept., Korea Institute of Energy Research(hykwak@kier.re.kr)

### Abstract

This paper presents the heating and cooling load estimations for the library of a cultural center building located in Gwangju Korea by TRNSYS with Type 56 of multi-zone building components. In this study, energy rate control mode is selected and the design temperatures for heating and cooling are specified respectively as 20oC and 26oC. Reading rooms of the library are located on the third floor of the cultural center building, and this third floor space is modeled as the five thermal zones for the TRNSYS simulation. Among the five zones, attention is given to the two zones which are the reading rooms 1 and 2. Since these two zones are to be heated and cooled by the solar thermal system which is planned to be installed in the building, dynamic thermal behaviors of the two zones are analyzed by the heating and cooling load estimations.

**Keywords** : 냉난방부하(Heating and cooling loads), TRNSYS 시뮬레이션(TRNSYS simulation)

### 기 호 설 명

$Q_{surf, i}$  : 내부의 모든 표면으로부터의 대류 열전  
달을

$Q_{inf, i}$  : 침입공기로부터의 열취득을

$Q_{v, i}$  : HVAC 장치의 환기를 통한 열취득을

$Q_{g, c, i}$  : 사람이나 컴퓨터 등의 내부 발열원에

접수일자:2005년 9월 14일, 심사완료일자:2006년 3월 7일

- 의한 대류 열취득을
- $Q_{cplg, i}$  : 인접한 다른 존이나 경계조건으로부터의 대류 공기유동에 의한 열취득을
- $A_{w, i}$  : 벽체 표면적
- $\dot{m}_{inf}$  : 침입공기의 질량유량
- $\dot{m}_v$  : 환기공기의 질량유량
- $C_p$  : 공기의 정압비열
- $T_{w, i}$  : 벽체 표면온도
- $T_{r, i}$  : 내부 실내공기온도
- $T_v$  : 환기공기의 온도
- $T_{amb}$  : 외기온도

## 1. 서론

태양열 에너지의 이용은 에너지의 밀도가 낮고 초기 투자비가 비싸기 때문에 냉난방 설비들의 에너지 효율적인 성능이 보장될 수 있도록 최적 설계가 이루어져야 한다. 이를 위해서는 먼저 태양열 시스템 적용 건물에 대한 정확한 동적 열부하 계산을 수행하여 냉난방 부하를 산정하는 것이 필요하다<sup>1),2)</sup>.

본 연구에서는 광주광역시의 한 문화센터 건물 3층에 위치한 도서실 공간을 진공관형 태양열 시스템을 이용하여 난방과 함께 냉방을 하고자 할 때 대상 공간에 대한 연중 냉난방 부하를 예측하고자 한다. 태양열을 이용하여 난방과 냉방을 동시에 수행하는 것은 태양열시스템의 연중 이용효율을 높이고 여름철 태양열 집열시스템의 과열문제를 감소시키는 효과를 얻게 된다. 특히 본 대상 건물의 태양열 구동 냉방설비로는 열원으로 80°C 정도 중온범위의 열매체 공급에 효과적인 진공관형 태양열 시스템을 사용하는 10RT 급의 흡수식 냉방시스템을 적용하고자 한다.

10RT급 흡수식 냉방시스템을 갖춘 진공관형

태양열 시스템 적용을 위한 건물의 냉난방 부하산정은 조화 공간에 대한 열적부하를 계산하고 이로부터 냉난방 설비의 용량과 크기를 결정하며 동시에 태양열 냉난방설비의 적합성 여부를 판정하기 위해서 요구된다.

건물에 대한 냉난방 부하산정을 위한 시뮬레이션 방법은 TRNSYS<sup>3)</sup> 프로그램의 Type 56 멀티존 빌딩 모듈을 적용하였다. 이 모듈은 각 존을 한 개의 공기 노드로서 나타내고 전달함수법에 근거하여 공간에서 일어나는 여러 가지 형태의 복잡한 열취득과 이때 일어나는 복사 및 대류 현상, 그리고 축열체의 축열 및 방열 등을 고려한 열평형을 통해서 동적 열에너지 해석이 수행된다.

## 2. 건물개요

냉난방 부하산정을 위해서는 대상건물의 벽체 재료 및 형상과 구성에 관한 명확한 데이터가 필요하다. 해석대상 건물은 위도 35.15°인 광주광역시에 위치한 지상 3층 지하 1층의 한 문화센터 건물이며 건물의 방위는 남북으로 길게 뻗은 형태이다. 여기서 진공관형 태양열 시스템을 이용하여 냉난방을 하고자 하는 공간은 건물 3층에 위치한 도서실 공간 중에서 열람실 1 과 열람실 2이다. 건물 3층의 개략도는 그림 1과 같다. 건물 3층은 그림과 같이 3개의 열람실과 도서보관실, 그리고 계단 등을 포함하는 휴게공간으로 이루어진 직사각형 구조를 이루고 있다. 높이 2.8m의 천정은 외기에 접해 있고 바닥은 공조공간인 2층에 인접하며 공간 내부는 내벽으로 각각 구분되어지므로 공간사이의 상호작용이 고려될 수 있도록 존 모델링이 되어야 한다. 한편 열람실 1, 2, 3의 동시 최대 수용인원은 각각 168, 132, 96명이다.

부하산정 대상공간과 인접공간의 경계를 이루는 벽체는 각각 외벽, 내벽, 바닥면과 천장면으로 구분되며(그림 2 참조), 계산에서 요구되는 벽체 재료의 열물성치, 공기층의 열저항 및 창문을 통

한 총합열전달계수를 표 1에 정리하였다.

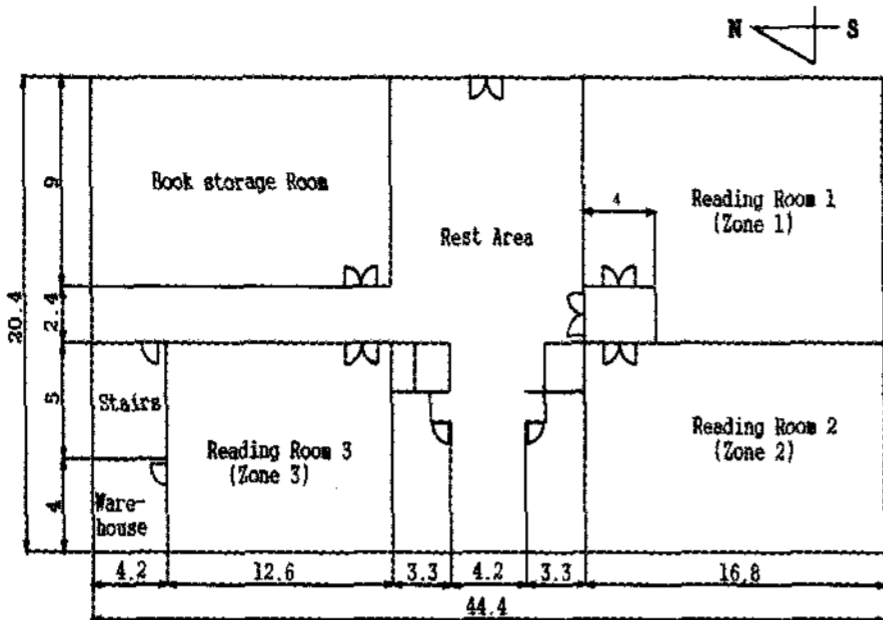


그림 1. 건물 3층 개략도

표 1. 벽체재료의 열물성치, 공기층의 열저항 및 창문을 통한 총합열전달계수

재료	열전달계수 kJ/mhK	비열 (kJ/kgK)	밀도 (kg/m <sup>3</sup> )
Mortar	5.04	0.79	2000
콘크리트	7.56	1	2400
단열재	0.11	1.25	20
화강석	12.6	1	2800
석고보드	1.69	1	1000
벽돌	5.04	0.836	2242
공기층	열저항값		
	Horizontal(10~500mm)	0.047 m <sup>2</sup> hK/kJ	
	Vertical(10~20mm)	0.036 m <sup>2</sup> hK/kJ	
Vertical(20~500mm)	0.047 m <sup>2</sup> hK/kJ		
Double-Window	열관류율: 2.7W/m <sup>2</sup> K		

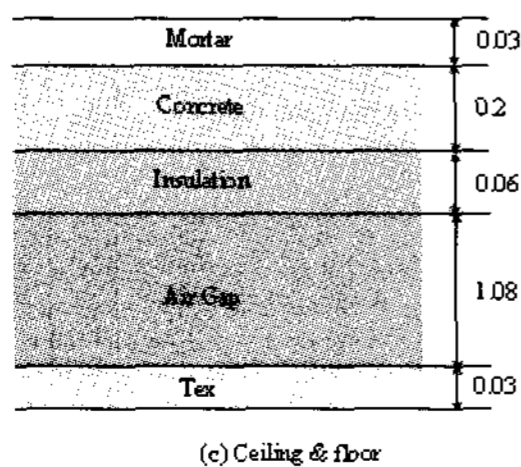
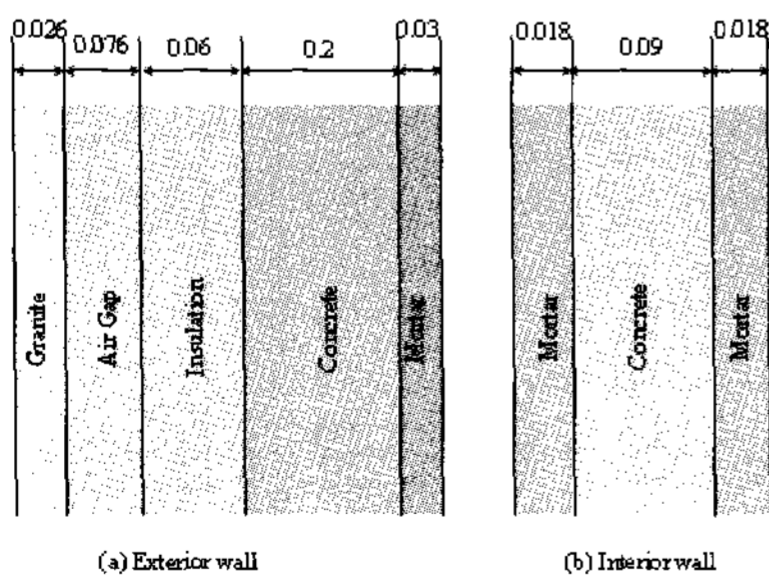


그림 2. 벽체구성 개략도

### 3. 동적 부하계산 방법

#### 3.1 TRNSYS 시뮬레이션 모델링

건물에 대한 냉난방 부하 산정을 위한 시뮬레이션은 TRNSYS 프로그램의 멀티존 빌딩 해석 모듈인 Type 56을 통해 수행되었다. 이 모듈에서는 각 존을 한 개의 공기노드로서 나타내고 전달함수법<sup>4)</sup>에 근거하여 공간에서 일어나는 여러 가지 형태의 복잡한 열취득과 이때 관련되는 복사 및 대류현상, 그리고 축열체의 축열 및 방열 등을 고려한 열평형을 통해서 동적 열에너지 해석이 수행된다.

존  $i$ 의 공기노드로 전달되는 열에너지는 대류에 의해서만 전달가능하고 이때의 열전달을  $Q_i$ 는 다음의 열평형 식<sup>5)</sup>으로 표현될 수 있다.

$$Q = Q_{surf, i} + Q_{inf, i} + Q_{v, i} + Q_{g, c, i} + Q_{cplg, i} \quad (1)$$

여기서

$$Q_{surf, i} = U_{w, i} A_{w, i} (T_{w, i} - T_{r, i}) \quad (2)$$

$$Q_{inf, i} = \dot{m}_{inf} C_p (T_{amb} - T_{r, i}) \quad (3)$$

$$Q_{v, i} = \dot{m}_v C_p (T_v - T_{r, i}) \quad (4)$$

한편 존  $i$ 의 열용량  $C_{r, i}$ 로부터 내부 실내공기온도의 변화는 다음 식으로부터 결정되며,

$$C_{r, i} \frac{\partial T_{r, i}}{\partial t} = Q_i \quad (5)$$

열원기기의 냉난방 공급열량  $P_i$ 를 포함하는 경우에는 다음과 같다.

$$C_{r, i} \frac{\partial T_{r, i}}{\partial t} = Q_i - P_i \quad (6)$$

따라서 결국 실내공기온도  $T_{r,i}$ 로부터 존  $i$ 를 설정온도  $T_{set,i}$ 로 유지하는데 필요한 열량 즉 난방부하  $Q_{heating,i}$  및 냉방부하  $Q_{cooling,i}$ 는 존  $i$ 의 실내공기의 질량과 정압비열을 각각  $M_i$ 와  $C_p$ 로 나타낼 때 다음 식으로부터 계산된다.

$$Q_{heating,i} = M_i C_p (T_{set,i} - T_{r,i}) \quad (7)$$

$$Q_{cooling,i} = M_i C_p (T_{r,i} - T_{set,i}) \quad (8)$$

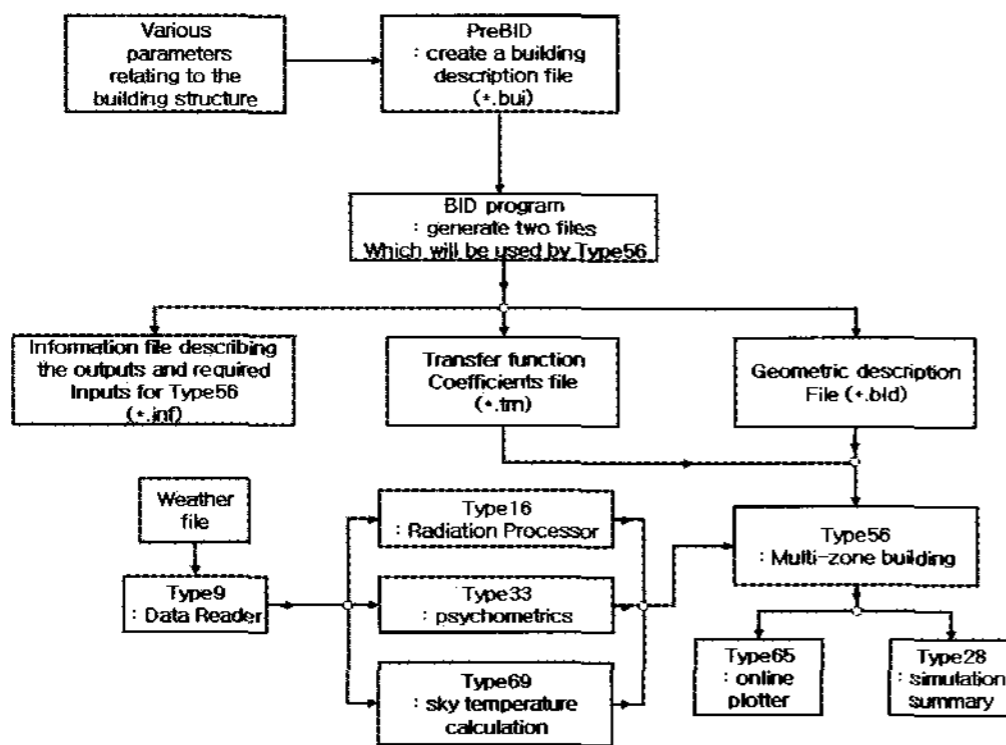


그림 3. TRNSYS 계산 정보흐름도

멀티존 모델에서는 기하학적 치수 및 벽체구성 데이터 등의 모든 건물 데이터와 복사, 외기온, 습도, 스케줄 등의 열적 데이터가 먼저 정의되어야 하며, 본 연구에서는 이러한 건물의 정보를 포함하는 파일이 PreBID를 사용하여 생성되었다. 또한 BID(Building Input Description) 프로그램은 이 건물정보 파일을 받아들여서 TRNSYS 시뮬레이션이 진행되는 동안 Type 56에 의해 이용될 description file(\*.bid), information file(\*.inf), transfer function file(\*.trn) 등의 3개 파일을 생성하고 IISiBat을 통해 만들어지는 Deck 파일의 입력을 제공한다. 그림 3은 Type 56 모듈을 통한 계산 정보 흐름도를 나타내며, 그림 4는 본 연구에서의 대상건물에 대한 냉난방 부하산정을 위해 작성된 IISiBat 모델링 화면을

보여준다. 여기서 시간별로 측정된 기온, 습도, 일사량 등의 기상데이터는 Type 9(Data Reader)을 통해 받아서 기온 및 습도는 Type 56에 직접 입력되며, 일사량은 시간별 적산값으로서 Type 16(Radiation Processor)에 입력되어 직달일사와 산란일사의 분리를 거쳐 Type 56으로 입력된다. 또한 지표면에서 대기로의 장파복사는 Type 69(Sky Temperature Calculation)에서 계산되어지며, 이때 필요한 노점온도는 Type 33(Psychometrics)에서 계산된다.

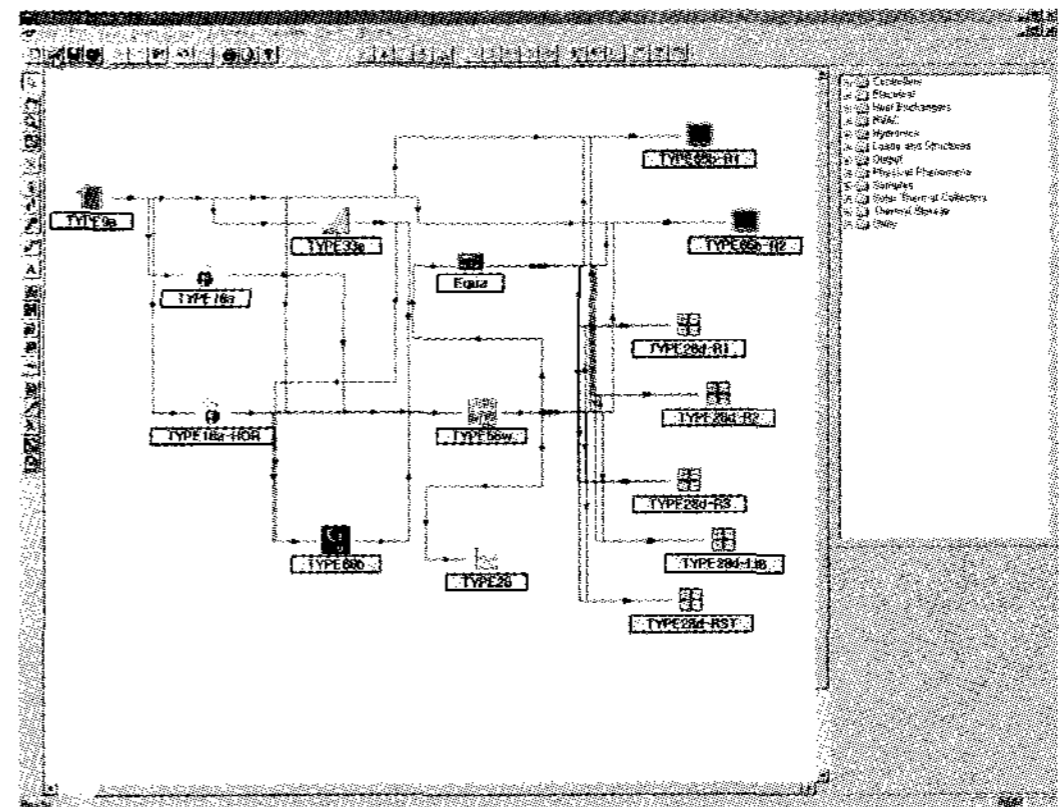


그림 4. IISiBat 모델링 화면

### 3.2 부하계산

본 연구에서는 그림 1에서 제시된 바와 같이 광주광역시에 위치한 문화센터 건물의 3층 공간을 냉난방 부하산정 대상공간으로 하고 있다. 3층공간은 5개의 존으로 모델링될 수 있으며, 열람실 1, 열람실 2, 열람실 3, 도서보관실, 그리고 휴게공간은 각각 존 1, 2, 3, 4, 5로 구분된다. 한편 3층공간의 사용시간은 도서관 일일 개방시간에 해당하는 아침 8시부터 밤 12시까지를 기준으로 하고 이 시간동안에 해당하는 냉난방부하를 계산하였다. 열람실 1, 2, 3은 각각 사용인원에 따른 인체발열의 열취득이 고려되어야 하며, 본 연구에서는 ISO 7730에 따른 가벼운 사무작업 기준으로 1인당 발열량을 120W로서 선정하고

총 인체 발열량 계산시의 사람 수를 각 열람실의 최대허용인원 즉 열람실 1은 168명, 열람실 2는 132명, 열람실 3은 96명으로서 계산하였다. 또한 각 존별 침입 공기유량과 환기 공기유량은 각각 1 ACH 및 4 ACH를 적용하였다.

한편 부하계산을 위한 설정온도는 각각 난방 20°C와 냉방 26°C를 기준으로 하였으며, 적용된 기후데이터는 기상청에서 제공된 광주광역시 2004년도 1년간의 시간별 데이터를 이용하였다. 그림 5는 2004년도 1년간의 외기온과 태양열복사의 변화를 표시한다.

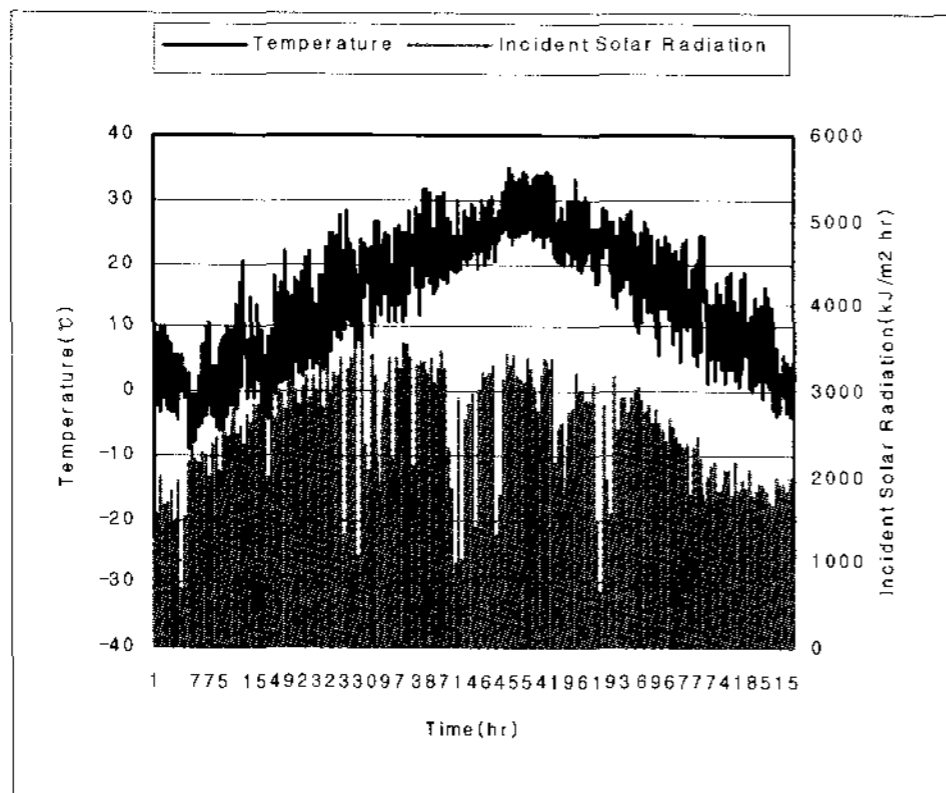


그림 5. 2004년도 외기온과 태양열복사 변화

#### 4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 2004년 1월 1일부터 12월 31일까지 1년간(8760hr)의 기후데이터를 적용하여 광주광역시에 위치한 문화센터 건물의 3층 공간에 대한 동적 열에너지해석을 수행하였으며 3층의 5개 존 중에서 특히 흡수식 냉방시스템을 갖춘 진공관형 태양열 시스템을 통해 냉난방이 이루어질 예정인 열람실 1과 열람실 2의 두 공간에 대한 냉난방 부하계산 및 산정이 이루어졌다. 이 때 냉난방 부하는 일일 도서관 사용시간 아침 8시부터 저녁 12시까지의 기간을 기준으로 사용인원이 각각 최대허용인원의 100%, 80%, 50%의

경우에 대해서 계산되었다. 대표적인 결과로서 그림 6은 80% 인원일 때 열람실 1의 냉난방부하 변화를 표시하며, 그림 7은 이 경우 열람실 2의 연중 냉난방부하 변화를 나타낸다. 여기서 겨울철 순간 최고 난방부하는 1월 21일 24시(504 hr), 외기온 -10.7°C 조건에서 열람실 1과 2 각각 약 92.8 MJ/hr 및 75.4 MJ/hr로 예측되었으며, 여름철 순간 최고 냉방부하는 열람실 1의 경우 8월 14일 11시(5435 hr), 외기온 31.5°C, 일사량 2790 kJ/m<sup>2</sup>hr 상태일 때 약 97.7 MJ/hr, 열람실 2는 7월 23일 17시(4913 hr), 외기온 34.6°C, 일사량 1870 kJ/m<sup>2</sup>hr의 기상조건에서 78.3 MJ/hr 값으로 계산되었다.

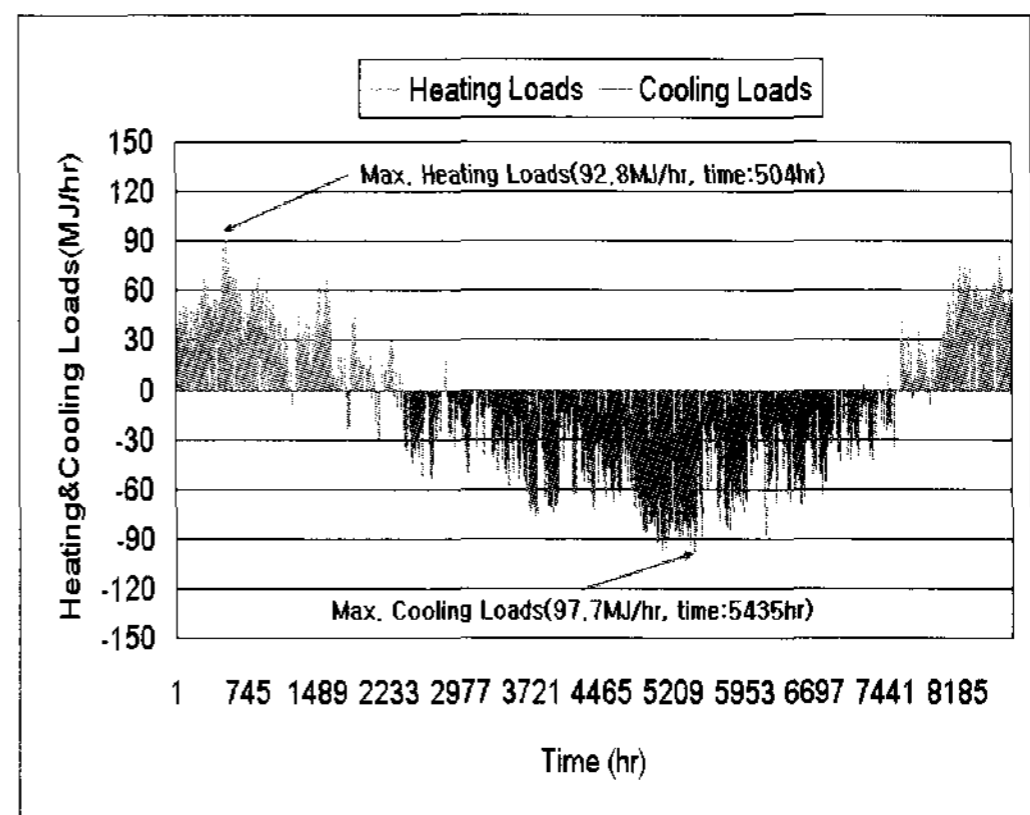


그림 6. 열람실1의 연중 냉난방 부하 (80% 사용인원)

결국 열람실 1과 2의 총 냉방부하는 175.9 MJ/hr이며 이는 13.8 RT에 해당한다. 따라서 이 경우 10 RT(127 MJ/hr)급 태양열 구동 흡수식 냉방시스템은 최대 냉방부하의 72%만을 감당할 수 있게 된다. 그림 8은 산정된 연간 냉난방 부하를 나타낸다. 여기서 연간 냉방부하는 열람실 1에 대해서 95 GJ/yr, 열람실 2에 대해서는 75 GJ/yr로 각각 예측되었다. 그리고 최종적으로 각각 50%, 80%, 100% 사용인원의 경우에 대해서 순간 최대 냉난방부하 산정결과들은 표 2와 같이 요약될 수 있다.



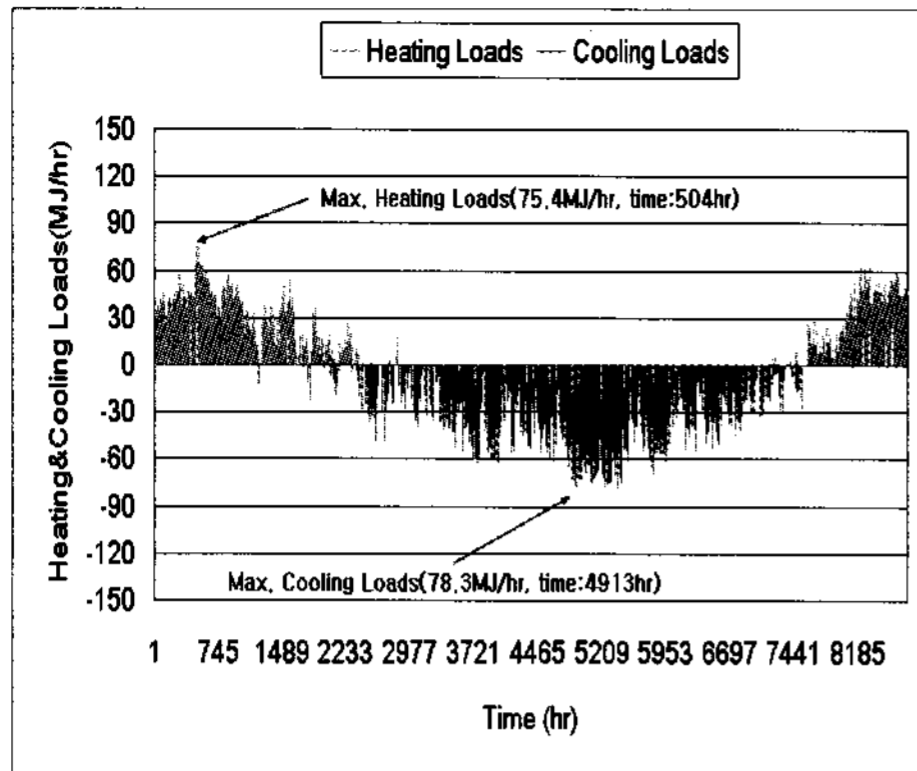


그림 7. 열람실2의 연중 냉난방 부하 (80% 사용인원)

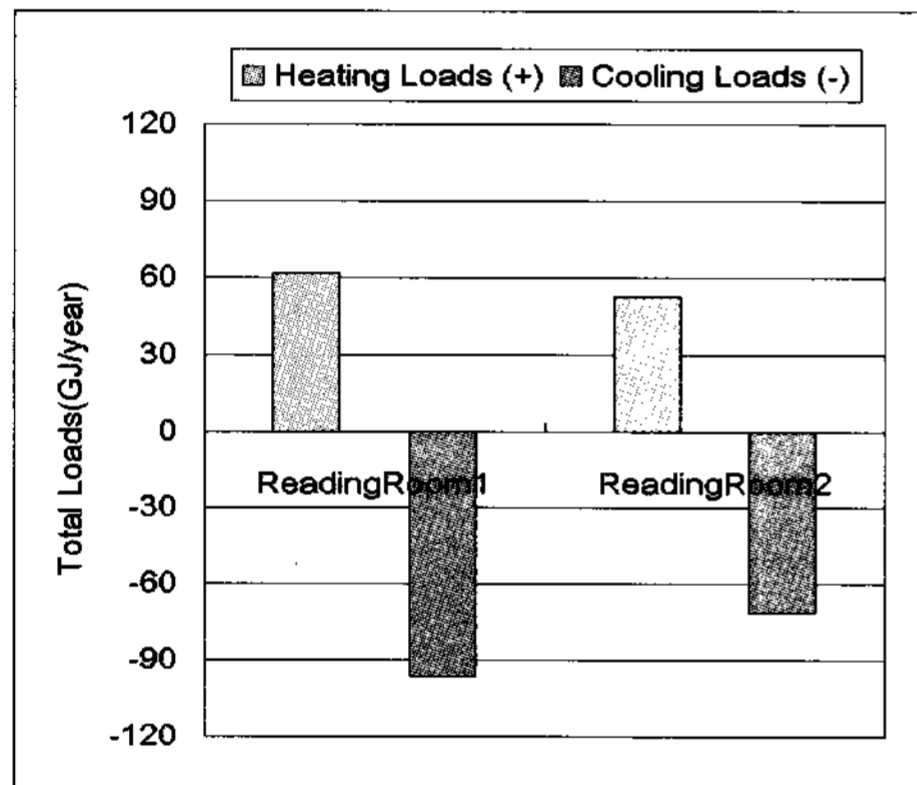


그림 8. 열람실1과 2의 연중 냉난방 부하 합계 (80% 사용인원)

표 2. 사용인원별 냉난방 부하산정 결과

Percentage of Maximum Occupants	Max. Instantaneous Heating and Cooling Loads for Reading Room 1 and 2	
	Heating Loads (MJ/hr)	Cooling Loads (MJ/hr)
50%	185.9	158.1
80%	168.3	175.9
100%	154.7	189.3

## 5. 결 론

광주광역시의 문화센터 건물 3층에 위치한 도서관에 대한 연중 냉난방 부하를 예측하기 위해서 TRNSYS를 이용한 동적 열에너지 시뮬레이션을 수행하였다. 본 연구에서는 건물의 냉난방 부하산

정을 위한 TRNSYS Type 56 멀티존 빌딩 모듈의 모델링이 이루어졌고, 특히 태양열 구동 냉난방 시스템을 이용한 공기조화를 목적으로 하는 열람실 1과 열람실 2에 대한 2004년도 연중 동적 부하 계산결과가 제시되었다. 이로 부터 사용인원이 각각 열람실 최대 허용인원의 50%, 80%, 100%인 경우에 대해서 진공관형 태양열 시스템을 사용하는 10RT 급의 흡수식 냉방시스템 설계의 적절성이 검토되었다.

## 참 고 문 헌

1. Florides, G.A., Kalogirou, S.A., Tassou, S.A., and Wrobel, L.C., Modeling of the modern houses of Cyprus and energy consumption analysis, Energy, Vol.25, 915-937 (2000)
2. Florides, G.A., Tassou, S.A., Kalogirou, S.A., and Wrobel, L.C., Measures used to lower building energy consumption and their cost effectiveness, Applied Energy, Vol.73, 299-328 (2002)
3. Klein, S.A., Beckman, W.A., Mitchell, J.W., Duffie, J.A., Duffie, N.A., Freeman, T.L., et. al., TRNSYS manual, University of Wisconsin (1998)
4. Wang, S. and Chen, Y., A novel and simple building load calculation model for building and system dynamic simulation, Applied Thermal Engineering, Vol.21, 683-702 (2001)
5. Mcquiston, F.C., Parker, J.D., and Spitler J. D., Heating, Ventilating, and Air Conditioning: Analysis and Design, 5th Ed., John Wiley & Sons, New York (2000)