

# 한국형 아파트의 합리적 난방에너지 평가를 위한 자연환기 모델

박 유 원, 홍 희 기\*, 이 상 훈\*\*, 유 호 선\*\*\*\*

경희대학교 대학원 기계공학과, \*경희대학교 기계산업시스템공학부,

\*\*숭실대학교 대학원 기계공학과, \*\*\*숭실대학교 기계공학과

## Natural Ventilation Model for estimating Heating Energy of Korean-Style Apartment Houses

Yoo Won Park, Hiki Hong\*, Sang Hoon Lee\*\*, Hoseon Yoo\*\*\*\*

*Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea*

*\*School of Mechanical and Industrial System Engineering, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea*

*\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea*

*\*\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea*

**ABSTRACT:** This study focuses on a realistic natural ventilation model for building energy simulation. According to the infiltration temperature under a given air change rate, three models are considered: outdoor, arithmetic mean of outdoor and indoor, and adjacent spaces. In the last model, the infiltration rate of each adjacent space depends on the leak length. A number of simulations are carried out for a typical Korean-style apartment building. For an apartment with unconditioned spaces between the outdoor and indoor, the outdoor temperature model considerably over-predicted the others in the annual heating energy as well as the peak load. The newly developed model yields more reasonable predictions compared with the existing ones, which clearly illustrates its utility.

**Key words:** Heating Energy (난방에너지), Dynamic load calculation (동적부하계산), Natural ventilation(자연환기), Korean-style apartment house (한국형 아파트), TRNSYS

### 기 호 설 명

$T_a$  : 외기온도 [°C]

$T_{b1}$  : 발코니 1의 실내온도 [°C]

$T_{b2}$  : 발코니 2의 실내온도 [°C]

$T_{b3}$  : 발코니 3의 실내온도 [°C]

$T_r$  : 공조공간의 온도 [°C]

### 1. 서 론

환기의 주목적은 실내에서 발생된 오염물질을 제거하고, 재실자에게 신선한 외기를 공급하는 것이다. 하지만 신선외기를 공급하여 쾌적성을 확보하기 위해서는 에너지의 사용이 반드시 수반된다. 이와 같이 환기 성능과 에너지 성능 사이

† Corresponding author

Tel.: +82-2-820-0661; fax: +82-2-820-0668

E-mail address: hyoo@engineer.ssu.ac.kr

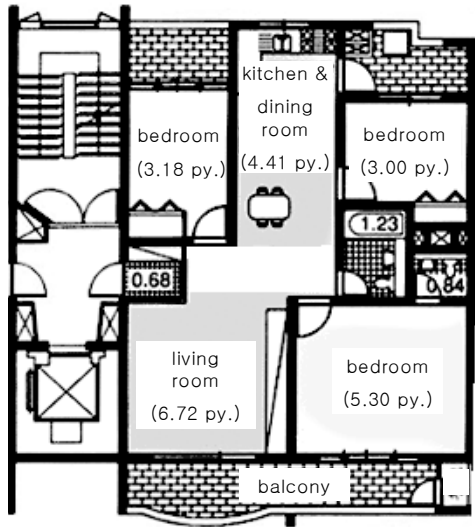


Fig. 1 The plan of an actual apartment house.

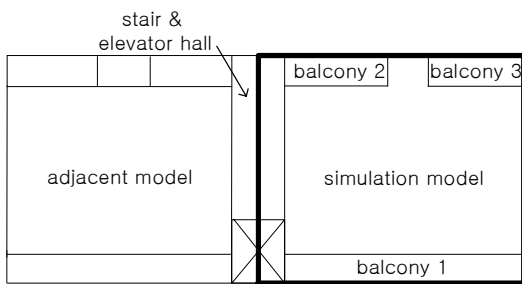


Fig. 2 A simplified simulation model.

에는 상반되는 관계가 성립한다. 일반적으로 건물의 열성능과 관련된 요소중 환기부하는 건물 열에너지의 약 20%~30% 이상을 차지하는 주요 변수로서 건물형태, 시공성, 환기방식, 개구부의 크기와 위치, 창호의 구조적 형태에 따른 기밀성 등 여러가지 설계요소가 복합적으로 작용된다.

일반적으로 환기를 최소화하면 열에너지 측면에서 효과적이므로 외기도입을 감소하거나, 외기의 침입을 방지하기 위한 건물의 기밀화를 도모하고 있으나, 환기를 줄일수록 바람직하다고는 할 수 없다. 과도한 기밀성능은 실내의 오염물질을 희석시키지 못하므로 실내오염농도를 증가시키며, 실내의 과도한 습기는 결로발생을 심화시키는 문제가 발생할 수 있기 때문이다. 결국 난방설비의 적정설계와 에너지 소비량의 정확한 예측을 위해서는 건물에너지에서 큰 비중을 차지하고 있는 환기부하를 정확하게 고려해야 한다.

본 연구에서는 전형적인 한국의 아파트를 대상으로 자연환기 방법에 따른 난방 에너지 사용량을 비교·분석하여 합리적인 난방 에너지 평가하고 이에 대한 적절한 기초자료로 정립하고자 한다. 또한 난방기기 용량 산정을 위해서 각 환기 방법에 따른 최대 난방부하를 계산하였으며, 추가적으로 환기횟수의 변화에 따른 공동주택의 난방에너지를 분석하였다.

해석의 도구로 사용될 건물에너지 시뮬레이션 프로그램은 다양한 종류가 있으며, 그 개요와 특징에 관해서는 문헌을 참조하기 바란다.<sup>(1)</sup> 본 연구에서는 건물의 동적열부하계산에 용이한 TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation) 15를 사용하였다.

## 2. 난방에너지 계산

### 2.1 계산 대상

해석 대상은 단위세대의 전용면적이 83.97 m<sup>2</sup>(32평)로서 방위는 남향, 천장고는 2.3 m인 모델을 설정하였다. 해석 대상인 32평형 아파트의

Table 1 Thermophysical properties of wall materials.

Material	Thermal conductivity [W/m·K (kcal/m·h·°C)]	Specific heat [kJ/kg·K (kcal/kg·°C)]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]
Gypsum board	0.21 (0.18)	1.13 (0.27)	910
Expanded polystyrene	0.034 (0.03)	1.25 (0.30)	28
Concrete	1.62 (1.40)	0.79 (0.19)	2400
Autoclave lightweight concrete	0.17 (0.15)	1.09 (0.26)	600
Mortar	1.51 (1.30)	0.79 (0.19)	2000
Leveling Mortar	0.37 (0.20)	0.79 (0.19)	2000
Double windows	Overall heat transfer coefficient 2.8 W/m <sup>2</sup> K		

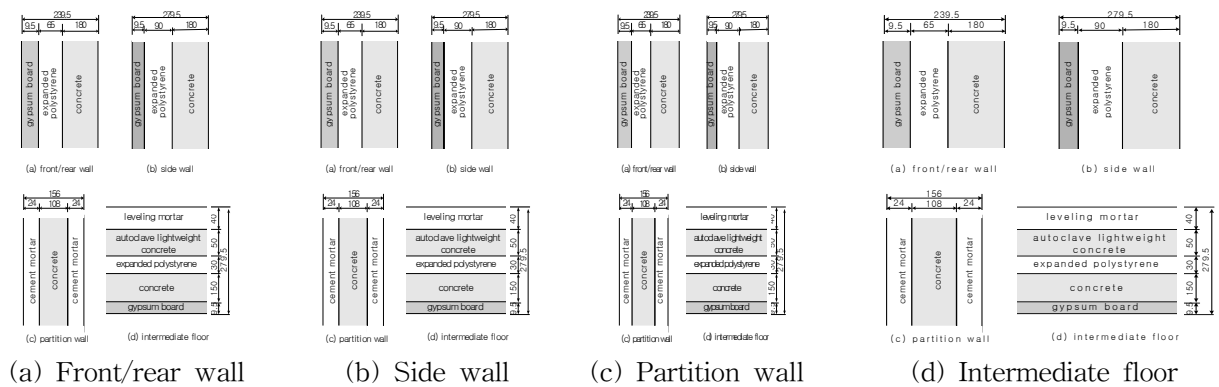


Fig. 3 Details of main walls and floor (unit: mm).

실제 평면도가 Fig. 1이다. 해석을 수행할 많은 경우에 대비하여 불필요한 정보의 입력을 피하고 효율적인 계산을 수행하기 위해서는 대상을 단순화할 필요가 있다. 따라서 계산의 편의성을 위하여 설계조건이 상이한 모든 계산에 대해서 단순화한 모델을 적용하였다. 여기서 모델의 단순화 원칙은 건평이 동일한 것이 아니고, 둘레의 길이가 같도록 설정함으로써 벽 및 창을 통해서 손실되는 열량이 같도록 고려하였다. 아파트의 구조를 Fig. 2와 같이 내부공간, 3개의 발코니공간 및 계단/승강기공간으로 구성하고, 각각의 형상을 정형화한 해석 모델을 설정하였다. 실제 모델(Fig. 1)과 단순화된 모델(Fig. 2)간의 열부하 차이는 최대 3%로 용인할 수준으로 보고된바 있다.<sup>(2)</sup>

단순화시킨 해석 모델(Fig. 2)에서 중간세대의 경우 인접세대 및 상하의 세대는 실내조건이 같

다고 가정하여 발코니를 통한 열교환만 고려하였다. 하지만 열교환이 없는 경우에도 벽체의 축열 효과가 존재하므로 각 벽체별 구조 및 물성은 입력되어야 하며, Fig. 3 및 Table 1에 이를 정리하였다.<sup>(3)</sup> Fig. 4에 위치별 · 층별 해석모델을 아파트 평면도에 표시하였다. 여기서 B(Bottom)는 최하층, I(Intermediate)는 인접한 중간층, R(Roof)는 최상층을 의미하며, 각층의 중간세대를 M(Middle), 측벽세대를 E(End)로 부기하였다.

## 2.2 기준조건 및 계산조건

본 연구에서는 가장 일반적인 형태로 출시된 상태에 발코니 새시유리를 추가한 것을 해석 모델에 일괄적으로 적용하였다. 한편, 발코니 활용에 따라 상당한 열부하의 차이가 있으며 이에 대한 효과가 보고된 바 있다.<sup>(2)</sup> 해석에 사용된 실내 상태, 난방기간 및 시간 등을 Table 2에 수록하였다. 일사의 차폐율(shading factor)은 블라인드나 커튼의 개폐를 고려하여 구조와 무관하게 0으로 설정하였으며 인접한 건물(동)에 의해 일사의 방해를 받지 않는 것으로 가정하였다. 또한 각 건물(동)에 따라 지붕의 구조가 다소 차이가 있었으나 벽체구조는 동일하였으므로 본 연구에서 Table 2 Reference conditions for heating energy estimation.

Item	Reference condition
Indoor state	24℃
Period and pattern of conditioning	From october to march Continuous heating for all day long

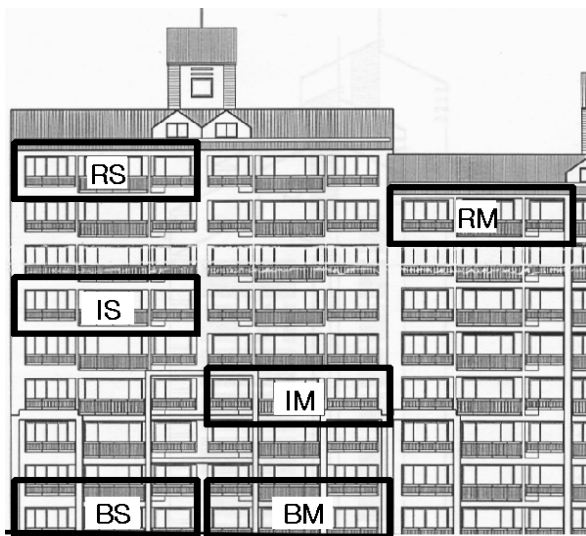


Fig. 4 The location models considered in the present study.

Table 3 Regulation on insulation materials used for apartment buildings in central Korea

Wall type	Minimum thickness [mm]	Thermal conductivity [W/m·K]	
Front/Rear wall	65	-	0.034 or less
Uppermost floor	75		
Lowermost floor	55		
Side wall	90		
Intermediate floor	30		
Roof	110		

는 가장 보편적인 지붕의 모양을 설정하였고, 지하실은 천장고가 2.9 m인 밀폐된 완전지하로 설정하였다. 지중온도는 최근 4년 동안 10월부터 3월까지 측정된 평균값인 15.57°C로 설정하여 경계조건으로 부여하였다. 한편 해석모델에 적용한 벽체의 단열조건은 Table 3에 명시한 것처럼 2003년 1월에 개정된 ‘건축물의 에너지 절약설계기준’에서 규제한 각 벽체의 단열조건을 적용하였다.

### 2.3 환기모델

본 연구에서는 열에너지 성능에 중요한 인자인 환기방법을 모사하기 위해 Table 4에서와 같이 3가지 대안으로 구분하여 자연환기방법의 변화에 따른 시뮬레이션을 수행하였다. Case A는 선행 연구에서 수행하던 방식으로서 환기횟수 1ACH로 설정하고 환기온도는  $T_a$ 를 입력치로 하였다.<sup>(4)</sup> Case B는 환기횟수 1ACH에 해당되는 환기량(난

Table 4 A ventilation model for a simulation.

	Air change of ventilation	Temperature of ventilation
Case A	1 ACH	$T_a$
Case B	Air flow at each boundary condition	$T_{b1}, T_{b2}, T_{b3}, T_a$
Case C	1 ACH	Average of $T_a$ and $T_r$

방시 193.1 m<sup>3</sup>/hr)을 공조공간과 인접하는 각 완충공간, 외기공간의 길이에 비례하여 환기량을 나누어 입력하였다. 즉, 공조공간에 설치되어 있는 창문을 통하여 출입되는 외기량을 입력하였다. 이 경우 환기온도는 창문이 설치되어 공조공간과 환기량 교환이 있는 각 완충공간의  $T_a, T_{b1}, T_{b2}, T_{b3}$ 을 각각 입력하였다. 마지막으로 Case C는 Case A와 동일한 환기방법이지만 환기온도는  $T_r$ 과  $T_a$ 의 평균값을 설정하였다.

### 2.3 계산방법

본 연구에 사용한 동적 열부하계산법은 응답계수(response factor)와 가중치 계수(weighting factor)를 기초로 하고, 건물 구조체의 축열 영향까지를 고려한 방식이다.<sup>(4)</sup>

따라서 동적 열부하계산 프로그램에 사용되는 입력자료로는 외기조건, 벽체의 구성재료, 건물 방위 등이 있다. 또한 재실자수, 조명기구의 점등률 등과 같이 사용조건에 따라 변동하는 요소들은 스케줄 데이터에 의하여 지정하고, 블라인드의 개폐를 통해 실내 온·습도 조건 및 외기 도입량의 변동값을 지정하는 등 각종 제어 스케줄을 지정한다.

외기조건은 시각별 건구온도, 절대습도, 일사량, 풍향, 풍속 등으로 구성된다. 외기조건은 대한설비공학회가 제공하는 서울의 표준기상자료를 TRNSYS에서 요구하는 형식으로 변환하여 입력하였다. 기본적으로 TRNSYS는 동적 열부하계산이지만, 해석에 설비 및 제어시스템의 포함 여부에 따라 energy rate control과 temperature level control로 구별된다. 전자는 공간을 유출입하는 열량으로부터 실온의 변화를 계산하고 설정온도와의 차이로부터 부하를 계산하는 해석방법으로서, 공간 자체의 부하특성을 파악하는 데 적합하다. 그러나 여기에 사용되는 난방설비는 이상적인 것으로 실제의 열부하와는 다소 차이를 보이게 된다. 반면에 후자는 실제 냉난방기기에서 공급 혹은 제거할 수 있는 열량이 직접적으로 반영되므로 건물에 설비의 영향이 포함되는 실제 상황의 열부하 및 운전모사가 얻어진다. 본 연구에서는 건물 자체의 에너지평가가 목적이므로 energy rate control을 적용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 환기방법에 따른 난방에너지

Table 5는 동적열부하계산 프로그램으로 환기방법에 따른 각 위치별 난방에너지를 나타낸 표로서 위치에 따른 난방에너지 차이는 각 환기방법별로 기존 연구의 결과<sup>(5)</sup>와 비슷한 수치를 나타내고 있다. 다만, Case B와 Case C의 난방에너지가 Case A보다 각각 37.6%, 42.6% 작게 분석되었는데(Model IM 기준), Case A의 경우는 공조공간의 환기온도를  $T_a$ 로 적용하는 반면에 Case B는 상대적으로  $T_a$ 보다 높은 완충공간의 온도를 적용하고 공조공간의 전체면적을 일괄적으로 환기하는 환기횟수가 아닌 각 경계면 길이에 비례하는 환기량을 입력한 것이 난방에너지 차이를 나타낸 것이라 분석된다. 또한 Case C의 경우는 공조공간의 실내온도  $T_i$ 와 외기온도  $T_a$ 의 평균값을 적용한 것이므로 그 값이 각 완충공간의 온도보다 높기 때문에 Case B의 계산결과보다 작게 나왔다. 이는 Case A의 환기방법이 발코니 및 승강기/계단실 공간과 같은 완충공간을 포함하는 공동주택에서 적용하기는 부적합하다고 판단되며 각 완충공간의 온도를 환기온도로 적용하는 Case B와 Case C의 환기방법이 공동주택에 적절하며 좀 더 정확한 계산 결과라 판단된다.

#### 3.3 최대 난방부하

Table 6는 각 환기방법에 따른 연간 최대난방  
Table 5 Location-dependence of annual heating energy as ventilation system.

Model	Case A [GJ]	Case B [GJ]	Case C [GJ]	Difference [%]
RM	36.0	24.6	23.1	-31.7(-35.8)
RE	39.2	28.0	26.2	-28.6(-33.2)
IM	30.3	18.9	17.4	-37.6(-42.6)
IE	33.0	21.8	20.2	-33.9(-38.8)
BM	38.7	26.5	25.6	-31.5(-33.9)
BE	41.5	29.6	28.5	-28.7(-31.3)

Table 6 Comparison of peak load and unit load at ventilation system.

	Case A	Case B	Case C
Peak load A [kW]	3.6	2.9	2.4
Unit load A [kcal/hr · m <sup>2</sup> ]	37.0	29.3	24.9
Peak load B [kW]	4.3	3.8	3.6
Unit load B [kcal/hr · m <sup>2</sup> ]	44.0	38.9	36.6

부하 및 단위난방부하를 나타낸 표이다. 여기서 Peak load A는 위험률(TAC : Technical Advisory Committe) 2.5%를 적용한 것이며, Peak load B는 위험률 0%를 적용한 것이다. 일반적으로 위험률의 백분율이 높을수록 난방기기의 장비용량이 작아지고, 위험률의 백분율이 0에 가까울수록 장비용량은 증가하며 결국 공사비의 증가와 장비의 실질적인 운전효율저하 및 운전경비의 증대를 초래하게 된다. 반면 단위난방부하(Unit load)는 최대난방부하를 공조공간의 전용면적(83.97 m<sup>2</sup>)으로 나눈 값이다.

위험률 2.5%를 적용한 Peak load A의 계산결과를 살펴보면 최대난방부하는 Case별로 각각 3.6 kW, 2.9 kW, 2.4 kW로 분석되었으며, 단위난방부하는 각각 37.0 kcal/hr · m<sup>2</sup>, 29.3 kcal/hr · m<sup>2</sup>, 24.9 kcal/hr · m<sup>2</sup>로 분석되었다.

#### 3.4 환기횟수에 따른 난방에너지

난방에너지 예측에서 가장 까다로운 입력자료로는 사용형태에 따라 달라지는 난방기간 및 형태, 실내설정온도, 자연환기횟수 등이 있지만, 본 연구의 목적에 적합한 것은 환기횟수이므로 환기횟수의 변화에 따른 각 Case별로 난방에너지를 분석하였고 Table 7과 Fig. 5에 나타내었다. 여기서 설정온도는 24°C로 고정 시켰다. 설정온도에 대한 기준은 선행연구를 참조하기 바란다.<sup>(5)</sup> 계산결과를 살펴보면 각 Case별로 난방에너지 변화는 Case A, Case B, Case C의 순으로 변화율이 큰 것으로 나타났다. 이는 전술하였듯이 환기온도의 차이인 것으로 판단된다.

Table 7 Heating energy for ventilation number of times.

Ventilation [ACH]	Case A [GJ]	Case B [GJ]	Case C [GJ]
0	5.7	5.7	5.7
0.2	10.2	8.0	7.9
0.4	15.0	10.4	10.2
0.6	20.	13.0	12.6
0.8	25.1	15.9	15.0
1.0	30.3	18.9	17.4
1.2	35.4	22.2	19.9
1.4	40.6	25.5	22.5
1.6	45.8	29.1	25.0
1.8	51.0	32.8	27.6

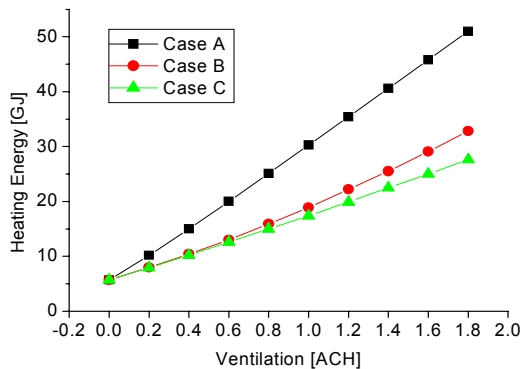


Fig. 5 Graph of heating energy for ventilation number of times.

#### 4. 결론

이 연구는 한국형 아파트의 합리적인 난방에너지 평가를 목적으로 하였으며, 이를 위해 TRNSYS 15를 이용하여 3가지의 자연환기 모델을 설정하고 해석을 시도하였다. 해석 결과는 다

음과 같다.

(1) 3가지의 환기모델을 가지고 위치별 난방에너지를 분석하였다. 그 결과로 Case B, Case C의 난방에너지가 각각 37.6%, 42.6% 작았다. 이는 환기온도를 외기온도  $T_a$ 로 하는 Case A의 방법이 현실을 고려한 발코니 및 승강기/계단실 공간과 같은 완충공간을 포함하는 한국형 아파트에 적용하기에는 부적합하다고 판단된다.

(2) 위험률 2.5%를 적용한 최대난방부하(Peak load A)는 Case별로 각각 3.6 kW, 2.9 kW, 2.4 kW로 분석되었으며, 단위난방부하는 각각 37.0 kcal/hr · m<sup>2</sup>, 29.3 kcal/hr · m<sup>2</sup>, 24.9 kcal/hr · m<sup>2</sup>로 분석되었다.

(3) 한국형 아파트의 난방에너지 해석에서 영향을 미치는 주요한 인자 중 하나인 환기횟수의 변화에 따른 각 Case별 난방에너지를 해석하였다. 그 결과 Case A, Case B, Case C의 순서대로 난방에너지 변화율이 컸다.

#### 참고문헌

- Hong, T., Chou, S. K. and Bong, T. Y., 2000, Building simulation: an overview of developments and information sources, Building and Environment, Vol. 35, pp. 347-361.
- Yoo, H., Hyun, S. K., and Hong, H., 2002, Effects of various factors on the energy consumption of Korean-style apartment houses, Korean Journal of the SAREK, Vol. 14, No. 2, pp. 972-980.
- Kim, Y. H. and Park, J. W., 1999, The newest air conditioning equipment, Bomundang, pp. 462-463.
- Solar Energy Laboratory, 1994, TRNSYS Reference Manual, University of Wisconsin at Madison.
- Yoo, H., Hyun, S. K., Park, Y. W., Kim, Y. and Hong, H., 2004, Analysis of heating energy of Korean-style apartment building 1: the effect of location, Korean Journal of the SAREK, Vol. 16, No.1, pp. 101-110.