

한국형 아파트의 위치별 난방 에너지 소비패턴

박 유 원, 현 석 균*, 유 호 선**, 김 용 식***, 홍 희 기†

경희대학교 대학원 기계공학과, *(주)ATES CFD솔루션사업부, **숭실대학교 기계공학과,

***청운대학교 건축환경설비학과, † 경희대학교 기계산업시스템공학부

Pattern of Energy Consumption According to the Position for Korean-style Apartment Houses

Yoo Won Park, Suk Kyun Hyun*, Hoseon Yoo**, Yong-Shik Kim***, Hiki Hong†

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

*CFD Solution Division, Advanced Technology Engineering Service LTD., Seoul 157-743, Korea

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

***Dept. of Architectural Environment Eng. and Building Services, Chungwoon Univ., Hongsung 350-701

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

Abstract: The number of apartment houses in Korea has been increased in a very short period, taking about a half of total keeping-house. If energy evaluation and saving method for them are developed, a great deal of energy can be saved. This work is aimed at energy consumption according to position for Korean-style apartment house by using TRNSYS. As a result in the heating load, there is a difference of 10~63 percent according to the position of household in apartment. These results suggest that the standard of insulating materials in top and bottom floor should be enhanced for saving energy.

Key word: Thermal load(열부하), Heating load(난방부하), TRNSYS, Building energy simulation(건물 에너지 시뮬레이션)

1. 서 론

한국의 대표적인 주거형태로 자리잡은 아파트는 대규모 아파트 단지의 조성으로 총 인구 중 아파트 세대가 절반을 넘고 있는 것으로 보고되고 있다. 최근 실시된 정부의 인구 및 주택 총조사에서 아파트 주거의 비율은 47.7%로 보고됐으며 이 비율은 지속적으로 증가할 것이 예상된다.⁽¹⁾ 이러한 통계를 볼 때 공동주택의 에너지관리가 관심대상이 될 수밖에 없으며, 공동주택의

에너지 소비에 대한 많은 연구가 이루어지고 있는 실정이다. 또한 2001년에는 이와 관련하여 ‘건축물의 에너지 절약설계기준’을 개정하면서 여러 가지 열부하에 미치는 인자들을 규정했다. 이런 노력은 현재 공동주택의 열적 불균형 문제를 해결하기 위한 하나의 사례이다. 이러한 노력의 하나로써 본 연구는 전형적인 한국의 아파트를 대상으로 위치에 따른 에너지 소비량의 변화를 분석하여 동일 건물(동)에서 세대위치에 따른 열적 불균형의 문제를 파악하고자 하였다.

특히 앞서 언급한 ‘건축물의 에너지 절약설계기준’에서 규제한 단열성능을 적용하여 공동주택의 중간층 및 최상층과 최하층의 난방 에너지를 구하여 단열성능을 분석하고자 한다. 또한 최근에 도시경관 및 건축물의 미관 향상을 위하여 건설교통부에서 ‘건축 미관증진을 위한 부위별 권

† Corresponding author

Tel.: +82-31-201-2925; fax: +82-31-202-2625

E-mail address: hhong@khu.ac.kr

Table 2 Thermophysical properties of wall materials

Material	Thermal conductivity [W/mK (kcal/mh°C)]	Specific heat [kJ/kgK (kcal/kg°C)]	Density [kg/m ³]
Gypsum board	0.21 (0.18)	1.13 (0.27)	910
Expanded polystyrene	0.035 (0.03)	1.25 (0.30)	28
Concrete	1.62 (1.40)	0.79 (0.19)	2400
Autoclaved 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 ² K		

장용 설계 계획안'에 의거하여 권장하고 있는 최상층의 경사지붕에 대해서도 기존의 슬래브형 공동주택과 난방 에너지 관점에서 비교·분석할 필요가 있다.

해석의 도구로 사용될 건물에너지 시뮬레이션 프로그램은 다양한 종류가 있으며, 그 개요와 특징에 관해서는 문헌을 참조하기 바란다.⁽²⁾ 본 연구에서는 건물의 동적열부하계산에 용이한 TRNSYS (TRAnsient SYstem Simulation) 15를 사용하였다.

2. 열부하 해석

2.1 해석 모델

해석대상은 실제로 현재 시공중인 단위세대의 전용면적이 101.98 m²(38평)로서 방위는 남향, 천장고는 2.3 m인 모델을 설정하였다.

해석 대상인 38평형 아파트의 실제 평면도가 Fig. 1이다. 외벽에 상당한 요철이 있고 발코니의 형상도 복잡하다. 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, 2개의 발코니로만 구성하고, 각각의 형상을 정형화한 해석모델을 설정하였다. 실제 모델(Fig. 1)과 단순화 시킨 모델(Fig. 2)간의



Fig. 1 The plan of an actual apartment house

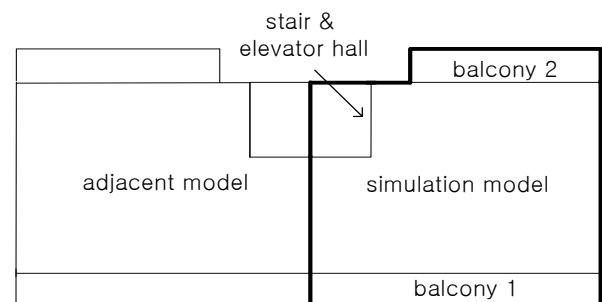


Fig. 2 A simplified model

열부하 차이는 최대 3%로 용인할 수준으로 보고된 바 있다.⁽³⁾

단순화시킨 해석모델(Fig. 2)에서 중간세대의 경우 인접세대 및 상하의 세대는 실내조건이 같다고 가정하여 발코니를 통한 열교환만 고려하였

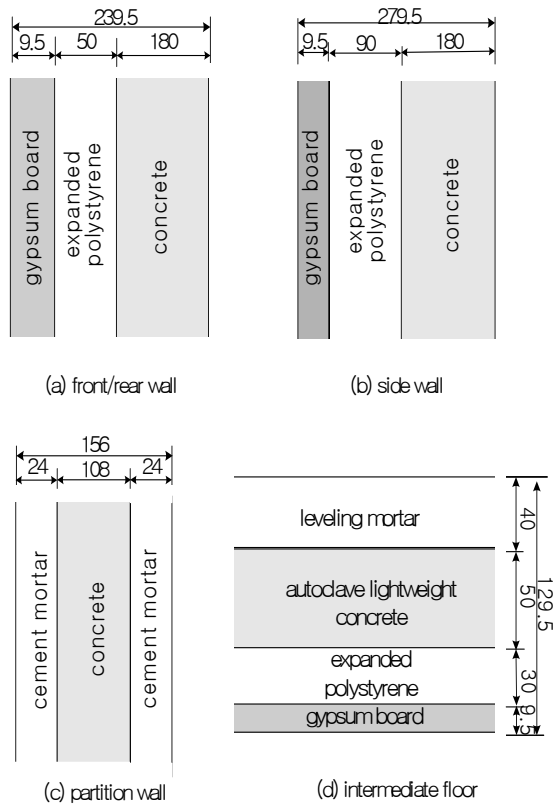


Fig. 3 Detail of each composite wall

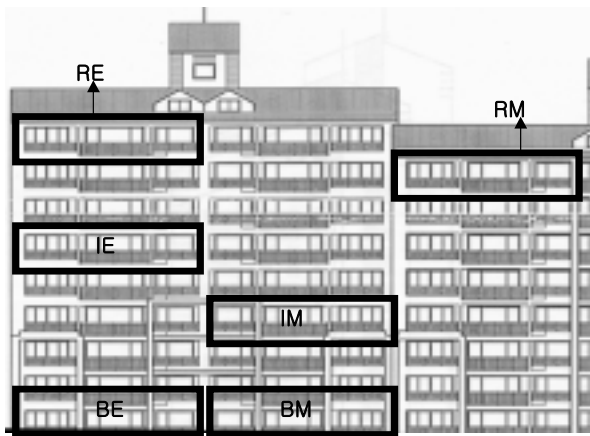


Fig. 4 The position of models considered in this study

다. 하지만 열교환이 없는 경우에도 벽체의 축열 효과가 존재하므로 각 벽체별 구조 및 물성은 입력되어야 하며, Fig. 3 및 Table 1에 이를 정리하였다.⁽⁴⁾

Fig. 4에 위치별·층별 해석모델을 아파트 정면도에 표시하였다. 여기서 B(Bottom)는 최하층,

Table 2 Reference conditions for thermal load calculation

Item	Reference condition
Indoor state	20 °C
Period and pattern of conditioning	From October to March Continuous heating for all day long
Ventilation	1.5 ACH

I(Intermediate)는 인접한 중간층, R(Roof)은 최상층을 의미하며, 각층의 중간세대를 M(middle), 측벽세대는 E(End)로 부기하였다.

이 밖에 경사 지붕형 및 슬래브형의 최상층의 열부하를 비교하기 위하여 슬래브형 최상층세대(model FM)와 슬래브형 최상층 측벽세대(model FE)를 설정하였다. 한편, 발코니 활용에 따라 상당한 열부하의 차이가 있으며 이에 대한 효과가 보고된 바 있다.⁽⁵⁾ 본 연구에서는 가장 일반적인 형태로 출시된 상태에 발코니 새시유리를 추가한 형태를 일괄적으로 적용하였다. 해석에 사용된 실내상태, 난방기간 및 시간, 계절별 환기량 등을 Table 2에 수록하였다. 일사의 차폐계수(shading coefficient)는 블라인드나 커튼의 개폐를 고려하여 구조에 무관하게 0으로 설정하였으며 인접한 건물(동)에 의해 일사의 방해받지 않는 것으로 가정하였다. 환기량은 건설회사에서 일반적으로 설계에 반영하는 값인 1.5회/시간을 취하였다.

2.2 지붕 및 지하실의 조건

Fig. 5는 각각 최상층 천장과 최하층의 바닥, 그리고 지붕 및 지하 벽체 구조를 정리한 것이며, Fig. 6은 지붕과 지하실의 단면도이다. 각 건물(동)에 따라 지붕의 구조가 다소 차이가 있었으나 벽체구조는 동일하였으며, 본 연구에서는 보편적인 지붕의 모양을 설정하였다. 지하실은 천장고가 2.9 m인 밀폐된 완전지하로 설정했고 지중온도는 최근 4년 동안 10월부터 3월까지 측정된 평균값인 15.57 °C로 설정하여 경계조건으로 부여하였다.

2.3 등적열부하계산

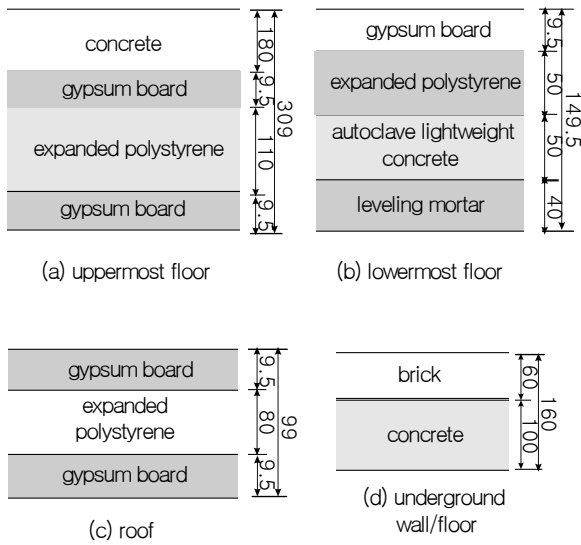
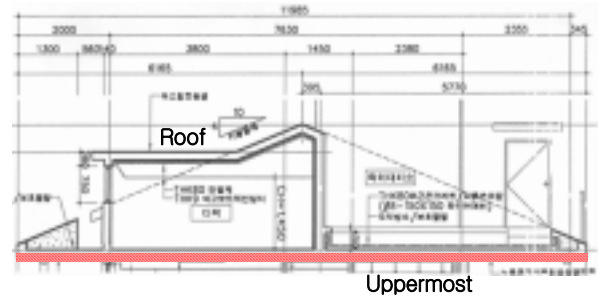


Fig. 5 Details of the top ceiling, bottom floor, roof and underground walls

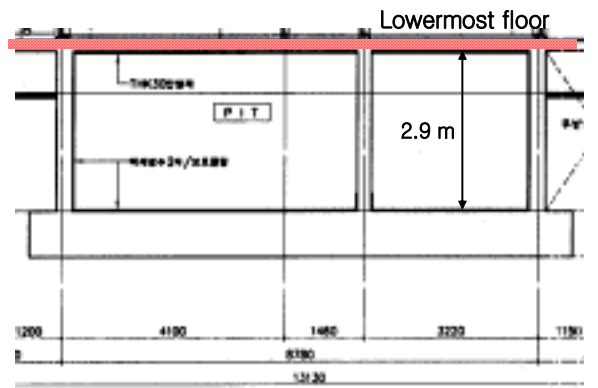
본 연구에 사용한 동적 열부하계산법은 응답계수(response factor)와 가중치 계수(weighting factor)를 기초로 하고, 건물 구조체의 축열 영향까지를 고려한 방식이다.⁽⁶⁾

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 개폐가 실내 온습도 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 공



(a) Roof



(b) Underground

Fig. 6 The side view of the roof and underground

급 혹은 제거할 수 있는 열량이 직접적으로 반영되므로 건물에 설비의 영향이 포함되는 실제 상황의 열부하 및 운전모사가 얻어진다. 여기서는 건물 자체의 에너지평가가 목적이므로 energy rate control을 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 층별 난방부하

Table 3은 층별에 따른 난방부하를 계산한 결과이다. model RM, model BM는 model IM과 비교했을 때 각각 15.2%, 47.1%의 난방부하 차이를 보였다.

특히 최하층 중간세대(model BM)는 지붕형 최상층세대(model RM)에 비해서도 33.6% 난방부하가 크다. 이와 같은 계산결과는 최대부하의 발생층을 최상층으로 설정한 기존의 연구결과나 설계자료와는 상반되는 결과이다. 그러나 실제 세대 위치별 난방에너지 사용비율을 실태조사를 통하여 파악한 1998년의 연구⁽⁷⁾결과와 비슷한 경향을 보인다. 이러한 결과는 Table 4에 근거하여

Table 3 Heating load according to the floor

model	Heating load(GJ)	Difference(%)
model IM	32.7	
model RM	37.7	+15.2
model BM	48.1	+47.1

설계된 최하층의 바닥에 대한 단열조건이 적절하지 못했음을 반영하는 결과이다. 최상층의 단열기준인 110 mm를 적용하였을 경우 최상층(model R)이 최하층(model B)보다 17% 난방부하가 큰 결과에 주목하여 최상층과 최하층의 열부하가 균형을 이루는 조건을 분석한 결과 약 100 mm가 적용되어야 하며 이는 현재의 최하층 단열기준인 50 mm와 현저한 차이가 있다. 향후 단열성능 기준에 에너지 절약설계기준에 대한 개정이 반영되어야 할 요소로 평가된다.

지붕형 최상층세대(model RM)와 슬래브형 최상층세대(model FM)의 난방부하는 Table 5에서와 같이 model FM이 model RM에 비해 난방부하가 8.8% 크다. 이는 미관 증진을 위해 권장하고 있는 지붕형 구조가 열부하 관점에서 완충공간의 역할을 하기 때문에 바람직한 것으로 평가할 수 있다.

3.2 측벽세대의 난방부하

측벽세대는 측벽을 통하여 외기와 열전달이 발생하지만 세대와 세대 사이에 위치하는 중간세대는 열적으로 대칭이므로 측벽을 통한 열전달은 없게 된다. 이는 중간세대와 양끝세대 사이의 열부하 차이는 불가피하고, 이것을 최소화하고 전체적인 에너지절약을 위해서는 외기에 접하는 측벽의 단열을 향상시켜야한다. Table 4에 명시한

Table 4 Regulation on insulation materials used for the apartment in central Korea

Wall type	Minimum thickness[mm]	Thermal conductivity [W/mK]
Outside wall	65	0.034 or less
Bottom floor	50	
Top floor	110	
Side wall	90	

Table 5 Comparison of the cumulative heating load for roof style and flat style in top floor of household

model	Heating load(GJ)	Difference(%)
model RM	37.7	
model FM	41.0	+8.8

측벽에 대한 단열재의 허용두께를 적용하여 열부하를 계산했고 그 결과를 Table 6에 보였는데 측벽세대의 난방부하가 중간세대에 비해 10% 큰 값을 나타내었다. 이는 결국 측벽에 따른 열손실과 상하부 구조체를 통한 열손실이 중간층에 비해 현저히 불리하기 때문이다. 특히, 바닥구조체의 하부가 외기에 직접 노출된 최하층의 경우에는 관련 법규상에 단열재의 설치가 의무화되어 있지만 상대적으로 세대간의 난방에너지 전달이 없고 하부로 열손실이 크기 때문에 난방부하가 크게 발생한다고 보여진다.

3.3 위치별 난방부하

공동주택의 세대 위치에 따른 단위 면적당 월 평균 난방에너지 사용량을 실제 생활이 이루어지는 세대를 대상으로 조사한 실측 자료⁽⁷⁾에 따르면 측벽세대는 난방에너지 소비량이 중간세대와 비교하여 평균 9% 정도 많은 것으로 나타나고, 층수에 따라 3%에서 28% 정도까지 큰 차이를 보이고 있다. 또한 난방에너지 소비가 가장 크게 나타난 최하층 측벽세대(model BE)는 중간세대(model IM)에 비해 평균 45%~72%까지 많은 에너지소비 경향을 보이고 있다.⁽⁷⁾ 이러한 실제 자료의 일부를 Table 7에 나타내었다. 이는 1998년에 준공된 15층 아파트를 대상으로 실내온도가 24~26℃ 내외에서 제어 유지되고 있다는 전제하에 실측한 자료로서 중간세대는 대표성이 있다고 판단되는 6, 7, 8층을 선정하였다. 이 자료는 단열성능의 규제가 지금보다 완화되었던 시기에 측

Table 6 Comparison of the cumulative heating load for side household and middle household

model	Heating load(GJ)	Difference(%)
model IM	32.7	
model IE	36.1	+10.4

Table 7 Real use of heating load according to the floor

Model	84.7 m ² (32 py.)		4117.5 m ² (43 py.)		136.3 m ² (49 py)	
	Side household	Middle household	Side household	Middle household	Side household	Middle household
Top floor	41.33(GJ)	36.64(GJ)	44.84(GJ)	42.53(GJ)	57.29(GJ)	52.61(GJ)
Middle floor	31.55(GJ)	31.26(GJ)	37.72(GJ)	38.334(GJ)	51.11(GJ)	46.69(GJ)
Bottom floor	46.98(GJ)	44.57(GJ)	62.89(GJ)	60.83(GJ)	66.20(GJ)	62.76(GJ)

정된 것으로서 본고에서의 계산한 값과는 설정온도 및 단열성능이 다르기 때문에 난방부하의 값은 차이가 있지만 세대간의 난방부하 차이의 정도는 본 연구에서 설정한 모델의 난방부하를 비교한 결과와 비슷하다. 이는 본 연구 결과의 신뢰성을 뒷받침하는 것이라 할 수 있다.

4. 결 론

지금까지 한국형 아파트의 위치별 난방 에너지를 평가하기 위하여 TRNSYS 15를 이용하여 해석을 시도하였다. 단순화 해석모델인 model RM, model BM은 model IM에 비하여 상대적으로 많은 난방부하가 발생하였다. 이것은 같은 공동주택에서 열적인 불균형이 발생하고 열손실을 초래하게 되어 에너지 기준으로 보았을 때 비효율적이다. 최하층 세대에 발생하는 열손실을 개선하기 위해서는 최하층 바닥 구조체의 단열성능 강화가 필요하고, 또한 최상층 상부 구조체에도 단열재 두께의 증가 등과 같은 단열성능에 대한 제도적 강화가 요구되어야 할 것이다. 또한 model IE, model BE, model RE의 축벽세대들은 상대적으로 중간세대보다 많은 난방부하가 발생하였다. 따라서 축벽세대의 난방부하의 주요한 인자 중 하나인 축벽에 대한 단열 기준은 좀 더 구체적이고 체계적으로 강화되어야 할 것이다.

마지막으로, 세대의 위치에 따른 난방부하의 비율에 대한 전반적인 재검토가 필요하고, 또한 그 비율에 근거한 열량공급은 세대위치에 따라 구획된 구역별로 이루어져야 할 것이다. 공동주택 설계시 이러한 층별, 세대 위치별 열적 불균형의 문제점을 파악하고, 차후 효과적인 난방제

어를 위하여 설계초기부터 이러한 세대별 열적 불균형을 줄일 수 있도록 반영되어야 한다.

참고문헌

1. Korean National Statistical Office, 2000, The census of population and residence 2000, Report of residence, pp. 44-45
2. 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
3. Hyun, S. K., Hong, H. and Yoo, H., 2002, Verification experiment and calculation of heating load for a test space, Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 2, pp. 153-160
4. Kim, Y. H. and Park, J. W., 1999, The newest air conditioning equipment, Bomundang, pp. 462-463
5. Park, Y. S., Lee, E. T. and Hong, H., 2000 Effect analysis on the thermal load by balcony of apartment house, Proceedings of the SAREK, pp. 117-121
6. Solar Energy Laboratory, 1994, TRNSYS Reference Manual, University of Wisconsin at Madison.
7. Kang, J. S., 1998, Report of energy consumption according to the position and floor for apartment house, Journal of Korean Association of Air Conditioning Refrigerating and Sanitary Engineers, pp. 91-103