

한국형 아파트의 난방에너지 분석 3 : 실내설정조건의 영향

박 유 원, 유 호 선*, 홍 희 기**†

경희대학교 대학원 기계공학과, *승실대학교 기계공학과, **경희대학교 기계산업시스템공학부

Analysis of Heating Energy in a Korean-Style Apartment Building 3 : The Effect of Room Condition Settings

Yoo Won Park, Hoseon Yoo*, Hiki Hong**†

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

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

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

(Received December 22, 2004; revision received June 1, 2004)

ABSTRACT: The present paper deals with heating energy estimation in Korean-style apartments, paying special attention to the effect of room condition settings. Two types of heating modes are considered: continuous single-zone and scheduled multi-zone. In the latter, zones during unoccupied periods remain unconditioned. Also analyzed are sensitivities in heating energy with respect to the air change rate and the set temperature. The energy use is estimated with TRNSYS 15, a dynamic load calculation program. Heating energy for the actual residential condition (1.0 ACH and 24°C) appears to be nearly the same as that for a typical design standard (1.5 ACH and 20°C). The air change rate affects heating energy as sensitively as the set temperature. For all the simulated cases, the scheduled multi-zone heating mode is more energy-efficient than the continuous single-zone. Heating energy depends appreciably on the shading factor. It is expected that considerable heating energy for apartment houses can be saved by employing a multi-zone mode along with appropriate control devices.

Key words: Heating energy(난방에너지), TRNSYS, Dynamic load calculation(동적 열부하계산), Zone control(존별 제어), Ventilation(환기), Set temperature(설정온도)

1. 서 론

유가급등 및 기후변화협약체결 등으로 어느 때보다도 에너지 절약의 중요성이 강조되고 있다. 아파트를 포함한 공동주택의 비율이 47.7%에 이르고 있어^(1,2) 국가 전체의 에너지 소비량에서 적지 않은 비중을 차지하고 있으며, 이에 따라 열

밀도가 높은 아파트에 대한 에너지 관리는 중요한 관심의 대상이다.

이와 관련하여 본 연구진은 선행연구^(3,4)로서 하나의 세대를 대상으로 내부적 인자, 즉 발코니 편입 여부에 따른 실내공간 형태, 방위, 창호종류, 바닥평면의 중형비 등에 따른 난방에너지 변화를 분석하였으며, 추가적으로 동일 건물(동)에서 위치에 따른 난방에너지 소비를 분석하고 실태조사와 비교하여 정량적인 자료를 제시한 바 있다.

그러나 아파트의 에너지 사용량에 대한 실태조

† Corresponding author

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

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

사⁽⁵⁾에 따르면 비슷한 조건의 아파트에서도 적지 않은 차이를 보여 이에 대한 원인을 고찰하였다.⁽⁶⁾ 이를 통해 난방에너지 소비량이 난방방식(개별난방, 중앙난방, 지역난방)에 따라 50% 이상 차이나는 주된 이유로 실내설정조건의 상이함에 의한 것으로 추정된 바 있다. 본 논문에서는 이를 뒷받침하는 측면에서 설정온도, 환기횟수, 제어방식 및 창문 차폐율 등이 아파트 난방에너지 소비에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 하였다. 이를 통해 가능한 범위에서의 적절한 기준 및 방안을 제시함으로써 에너지 절약의 가능성을 강구하였다.

한편 최근 건물과 실내환경에 대한 질적 요구 수준이 향상되고 새집 증후군으로도 별칭되는 실내공기의 환경문제 등이 사회적 이슈로 대두되고 있는 실정이다. 따라서 실내설정 조건에 대한 난방에너지 소비량에 대한 정량적인 고찰이 시기적으로 필요하다고 판단된다.

2. 난방에너지 해석

2.1 해석방법

해석대상은 대표성이 인정되는 서울 소재 32평형 아파트(Fig. 1)로서 벽체의 설정조건과 구조 및 물성은 선행연구⁽⁴⁾와 동일하므로 벽체의 구조만 Fig. 2에 정리하였다. 또한 위치별·층별 해석 모델(Fig. 3) 역시 선행연구와 동일한 방식으로 표시하였다. 주된 해석대상은 32평형 중간층세대이나, 실내설정인자가 미치는 영향이 다를 수 있으므로 다른 위치 및 평형에 대해서도 해석을 시도하였다.

해석대상인 32평형 아파트(전용면적 84.7 m², 천

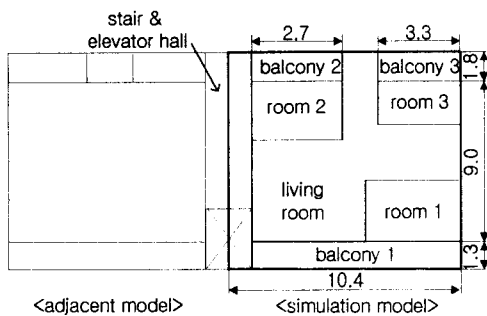
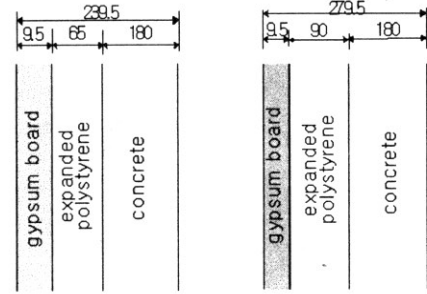
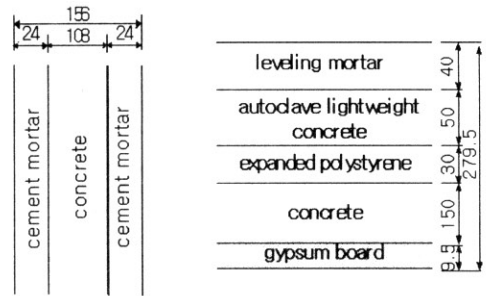


Fig. 1 A simplified simulation model (unit: m).

장높이 2.3m)는 내부공간(거실, 3개의 침실), 3개의 발코니 및 계단·승강기 공간으로 구성되어, 차폐율을 고려하기 위해 거실과 침실(room 1)에 일반커튼(fabric curtain), 발코니(balcony 1) 안쪽



(a) Front/rear wall (b) Side wall



(c) Partition wall (d) Intermediate floor

Fig. 2 Details of main walls and floor (unit: mm).

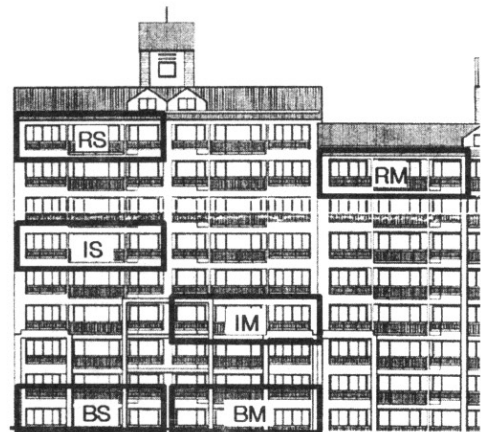


Fig. 3 Locations and their identifications for house models (R: Roof, B: Bottom, I: Intermediate, M: Middle, S: Side).

Table 1 Living behavior and heating schedule

Time	Living room (housewife)	Room 1, 2 & 3
00:00~08:30	in	in
08:30~10:00	in	out
10:00~11:00	out	
11:00~13:00	in	
13:00~15:00	out	
15:00~18:00	in	
18:00~24:00	in	in

에 수직블라인드(vertical blind)가 설치되어 있다고 가정하였다. 발코니와 계단·승강기 공간은 비공조공간으로 간주하였으며, 각각의 환기횟수는 1 ACH와 0 ACH로 설정하였다.

단순화된 해석모델을 대상으로 준별 제어를 수행하기 위해서는 각 방(room 1, room 2, room 3, living room)에 대한 적절한 재실인원과 난방시간을 결정해야 한다. 한국의 세대당 평균 구성원의 수는 3.4인이므로⁽⁷⁾ 본 연구에서는 연구의 편의성을 위해 세대 구성원이 가장, 전업주부 및 2인의 학생 자녀로 구성된 4인 가족을 설정하였다. 한국의 1일 1인 평균 재택시간이 약 14.8시간⁽⁷⁾임을 감안하여 가장과 2인의 자녀는 8시 30분부터 18시까지, 주부는 3시간 외출한다고 가정하였다. 주부의 1일 외출 빈도는 평균 2회이므로,⁽⁸⁾ 오전에 1회 1시간, 오후에 1회 2시간의 외출을 하는 것으로 생활 패턴 스케줄을 작성하여 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 in과 out은 각각 재실과 외출을 의미하며, in의 경우 난방모드로 설정하고, out인 경우 외출모드로 설정하여 비공조상태로 유지되도록 하였다.

또한, 주부가 재실중인 경우 주로 거실에 있는 것을 전제로 후술할 Mode 3에서는 거실만 난방하는 것으로 하였고, 가장과 자녀의 외출시 room 1, room 2, room 3은 출입이 거의 없는 것으로 간주하고 외출모드로 설정하였다. Fig. 4는 본격적인 계산 전에 특정한 하루(1월 7일)에 대해 Table 1의 스케줄대로 시뮬레이션을 수행한 결과로서 세대 구성원의 재실 여부에 따라 각 공조공간의 온도변화를 확인할 수 있으며, 이로부터 실내 전체가 일정온도로 유지되는 경우와 적지 않은 에너지 소비량의 차이가 예상된다.

해석의 도구로는 신뢰성이 검증된 동적 열부하

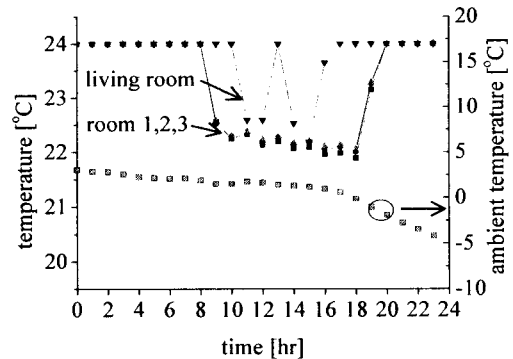


Fig. 4 Temperature of each air conditioning area.

계산용 소프트웨어인 TRNSYS(TRANsient SYstem Simulation) 15를 사용하였으며,⁽⁹⁾ 표준기상 데이터를 사용하여 난방설비 특성과 무관한 에너지율제어(energy rate control) 방식으로 공조 및 비공조 공간의 실내온도와 난방에너지를 산출하였다.

2.2 실내설정인자

실내온도의 경우 에너지절약 설계기준에서 20°C로 권장하고 있으나, 실태조사에서 추정된 실제 사용조건은 24~26°C이다.⁽⁶⁾ 따라서 본 연구에서는 실제 사용조건을 해석에 반영하기 위하여 24°C를 기준으로 설정온도의 변화에 따른 난방에너지 소비량의 추이를 살펴보았다. 환기횟수의 경우 일반적인 설계기준은 1.5 ACH이지만, 한국형 아파트에 대한 실측결과⁽¹⁰⁾는 0.28~0.58 ACH로서 양자는 큰 차이를 보인다. 다만 실측대상이 기밀성이 좋은 자재로 시공된 신축아파트일 뿐만 아니라 입주자의 출입, 창문의 간헐적 개방, 화장실 환기팬의 작동 등이 없는 상태에서 측정된 자료인 점을 비추어 실제 사용상태보다 과소 평가되었음을 추정할 수 있다. 이 점을 고려하여 본 연구에서는 환기횟수를 1.0 ACH로 설정하고, 이를 기준으로 환기횟수에 변화를 주어 그에 따른 난방에너지를 분석하였다.

난방에너지에 영향을 줄 수 있는 또 하나의 요인으로서 난방제어방식을 들 수 있다. 과거에 보급된 아파트는 각 방의 난방을 직접 해당 밸브의 개폐로 온·오프 조절할 수밖에 없어 장기간 난방을 하지 않는 한 빈번한 조작은 사실상 불가능

하다. 따라서 방별 제어가 곤란하며, 전체 실내공간을 단일존으로 하여 1일 단위로 24시간 연속난방(Mode 1)을 하거나 재실 중에 간헐난방(Mode 2)을 하게 된다. 즉, Mode 2는 Table 1과 같이 주부가 거실에 재실중인 경우에만 실내 전체를 난방하고 외출시는 끄는 간헐난방이다. 그러나 최근에 보급되는 아파트 중에는 제어패널을 통해 수동 및 스케줄에 따라 방별 제어(Mode 3)가 용이하도록 출시되고 있다. 방별 제어방식은 재실자의 주관적인 판단에 따라 난방대상 공간 및 시간이 다르므로 본 연구에서는 보편적이라 판단되는 Table 1과 같은 방식을 채택하였다.

- Mode 1 : 실내 전체 24시간 연속난방
- Mode 2 : 실내 전체 간헐난방
- Mode 3 : 재실중인 공간만 간헐난방

한편 일사량이 난방에너지에 미치는 영향도 상당하기 때문에 이에 대한 것도 고려해야 한다. 일사량과 관계되는 설정인자로는 건물의 방위와 인접한 건물에 의한 천공조망 차폐율, 그리고 세대 기준으로 커튼이나 블라인드와 같은 차양장치에 의한 차폐율 등이 있다. 건물방위에 의한 영향은 선행연구에서 다룬 적이 있으며,⁽³⁾ 여기서는 실내설정조건에 해당되는 차양장치에 의한 차폐율만 고려하였다.

본 연구에서는 편의상 32평형 중간층 중간세대를 대상으로 24℃, 1 ACH로 연속난방하는 것을 기준조건으로 부르기로 한다. 특별한 언급이 없으면 창문 차폐율은 0이며 기타 사항은 참고문헌 4와 동일하다.

Table 2 Heating energy consumption per year according to temperature and ventilation in simulation (unit : GJ)

ACH \ °C	20	21	22	23	24	25	26
0	2.9	3.5	4.1	4.7	5.4	6.0	6.8
0.2	6.3	7.1	8.0	8.9	9.9	10.8	12.0
0.4	9.7	10.9	12.1	13.3	14.6	15.9	17.3
0.6	13.4	14.8	16.3	17.8	19.6	21.3	23.2
0.8	17.1	18.8	20.7	22.5	24.7	26.7	29.0
1.0	20.9	22.9	25.1	27.3	29.7	32.2	34.9
1.2	24.7	27.0	29.6	32.1	34.9	37.7	40.8
1.5	30.4	33.3	36.3	39.4	42.7	46.1	49.7

3. 결과 및 고찰

3.1 실내설정온도와 환기횟수

Table 2와 Fig.5에 설정온도와 환기횟수의 변화에 따른 중간층 중간세대(model IM)의 24시간 연속난방에 소요되는 연간 에너지 양을 나타내었다. 일반적인 설계기준인 1.5 ACH, 20℃로 계산한 난방에너지와 본 연구에서 설정한 난방조건, 즉 보편적으로 사용되고 있다고 추정되는 1 ACH, 24℃의 난방에너지의 계산값과는 우연의 일치지만 비슷한 수치를 보이고 있다. 특히 주목할 사항이 실내설정온도와 환기횟수 모두 난방에너지에 매우 큰 영향을 미친다는 점이다. 에너지 절약을 위해 일반적으로 실내온도의 영향만이 강조되고 있으나 효율적인 에너지 절약을 위해서는 적정 환기횟수를 초과하는 침입공기의 차단 역시 매우 중요하다는 사실이다. 설정기준조건(24℃, 1 ACH)에서 민감도를 분석해 보면, 설정온도 1℃의 변화에 따라 8.3%, 10%의 환기량 변화에 따라 8.6% 정도의 난방에너지 증감이 이루어진다.

설정기준조건 이외에도 일반적으로 사용하고 있는 조건에서는 이와 유사한 수치를 보이므로, 실내설정온도 1℃와 환기량 10%의 변화가 난방에너지 소비에 비슷한 효과를 가져올 수 있다. 에너지 절약을 위해 실내온도를 낮게 설정하는 것만이 최선이 아니며 창문 등의 기밀성 유지를 통한 침투외기의 억제에도 주의를 기울여야 한다. 그러나 새집증후군 등은 지나친 기밀성 유

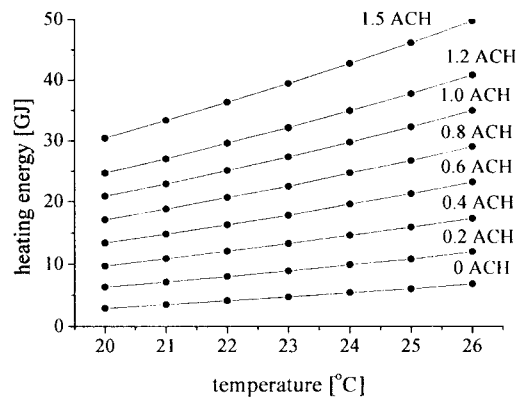


Fig. 5 Variation of heating energy consumption per year according to temperature and ventilation.

지로 인해 절대 환기량의 부족으로 야기되는 만큼 쾌적성 및 건강유지를 위한 최소한의 환기량을 확보해야 한다. ASHRAE에서 추천하는 1인당 외기량은 $36.0\text{ m}^3/\text{h}$ 로서 4인 가족기준으로 $144.0\text{ m}^3/\text{h}$ 이 도입되어야 한다. 이를 32평형(전용면적 84.7 m^2 , 천장높이 2.3m)로 환산하면 1.35 ACH이다. 따라서 이 이하의 환기횟수를 유지하기 위해서는 공기정화기 및 열교환능력이 있는 환기장치의 도입이 요구되며, 성능에 따라 달라지겠지만 이를 통해 적지 않은 에너지 절약이 가능할 것으로 판단된다. 다만 본 논문에서는 현재 일반적인 아파트에 적용되는 침기에 의한 환기와 일부 고급아파트 및 향후 신축아파트에 의무화될 강제환기를 구분하지 않았으며, 환기량 자체에만 초점을 맞추었으나 향후 환기방식에 따른 연구가 수반되어야 한다.

3.2 제어방식

앞서 언급한 바와 같이 난방제어방식으로 한 세대의 전체 실내공간을 단일존으로 하는 24시간 연속난방(Mode 1)과 간헐난방(Mode 2), 그리고 방별 간헐난방(Mode 3)으로 구분하였다. Mode 2에서는 전체 실내공간을 단일존으로 취급하여 Table 1의 거실 스케줄에 따라, Mode 3에서는 각 방별로 스케줄에 따라 간헐난방이 이루어지는 것으로 설정하여 계산을 수행하였다. 환기횟수는 난방 여부와 상관없이 1 ACH로 고정하였으며, 실내온도는 공조시 24°C 로 유지되도록 하였다.

Table 3의 계산결과를 살펴보면 세대 위치에 따라 차이는 있지만 Mode 1보다 Mode 3의 난방에너지가 약 11~24% 작은 것을 알 수 있으며, Mode 2는 그 중간 정도이다. 이는 세대 전체를 일정온도로 유지하여 난방을 하는 방식보다는 세

대 거주자의 재실 여부에 따라 난방을 하는 방식이 실내 열환경 및 에너지 절약차원에서 훨씬 효율적임을 단적으로 나타낸다.

최상층과 최하층의 경우 외출시의 비공조 시간 동안 천장 혹은 바닥을 통한 온도하강이 중간층에 비해 현저히 커지며 이로 인해 다시 난방을 하면서 온도승온폭이 커져 많은 에너지가 소요된다. 따라서 간헐난방을 통해 얻을 수 있는 이득이 상대적으로 작아진다. 반면에 중간층 세대의 난방에너지 소비량 차이가 다른 층에 비해 많이 나는 이유는 세대와 세대 사이에 위치하는 중간 세대의 특징상 인접세대와 비공조시간 동안 열교환이 작기 때문이다. 대부분의 세대가 중간층이므로 방별제어를 통한 에너지 절약효과는 20%를 상회한다고 할 수 있다.

실제 난방 제어를 이용하여 일정온도 제어의 난방에너지 소비와 각 존별의 난방에너지 소비를 비교한 자료⁽¹¹⁾에서도 본 연구의 난방에너지 소비 차이와 비슷한 경향 및 수치를 보이고 있다.

한편 전용면적에 따른 Mode 1, Mode 2, Mode 3의 난방에너지 소비를 비교하였으며 그 계산결과를 Table 4와 Fig. 6에 나타내었다. 해석모델은 각각 전용면적이 59.8 m^2 (25평), 84.7 m^2 (32평), 119.8 m^2 (45평)인 서울 소재 아파트이며, 대부분의 세대에 해당되는 중간층만을 대상으로 정리하였다. 전용면적에 무관하게 Mode 1의 난방에너지보다 Mode 3의 난방에너지가 약 21~24% 작으며 Mode 2는 중간 정도의 값을 보인다. 이로써 일정한 스케줄을 주어 방별로 제어하며 간헐 난방하는 방식(Mode 3)이 한 세대를 단일존으로 24시간 연속(Mode 1) 혹은 간헐(Mode 2)로 난방하는 방식에 비해 전용면적에 관계없이 난방에너지가 대폭 절감된다는 것을 정량적으로 알 수 있다.

기존의 아파트도 최소한 Mode 2의 운전은 가

Table 3 Comparison of location-dependent heating energy consumption per year according to control mode (unit : GJ)

Location model	Mode 1	Mode 2	Mode 3
RM	33.7	31.3 (-7.5%)	29.8 (-13.1%)
RS	37.4	35.2 (-6.1%)	33.4 (-11.9%)
IM	29.7	26.7 (-11.2%)	23.9 (-24.4%)
IS	32.4	29.3 (-10.4%)	26.4 (-22.7%)
BM	36.1	33.7 (-7.1%)	32.1 (-12.3%)
BS	39.2	36.9 (-6.2%)	35.3 (-11.0%)

Table 4 Comparison of floor area-dependent heating energy consumption per year according to control mode (unit : GJ)

Model	Mode 1	Mode 2	Mode 3
25 IM	22.0	19.3 (-14.0%)	17.8 (-23.6%)
25 IS	24.0	20.9 (-14.8%)	19.6 (-22.3%)
32 IM	29.7	26.7 (-11.2%)	23.9 (-24.4%)
32 IS	32.4	29.3 (-10.4%)	26.4 (-22.7%)
45 IM	39.4	35.1 (-12.3%)	32.1 (-22.9%)
45 IS	41.5	36.7 (-13.1%)	34.1 (-21.7%)

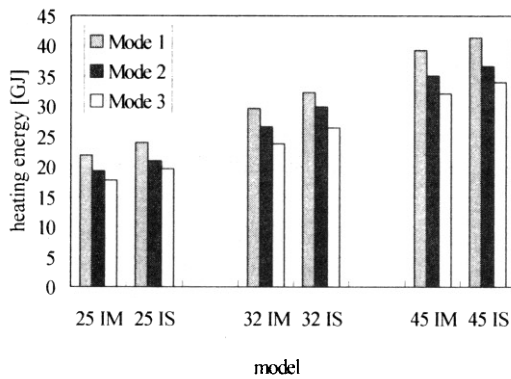


Fig. 6 Variation of heating energy consumption per year according to floor area and control mode.

능하므로 이를 적절히 활용하는 경우 10% 이상의 난방에너지를 절약할 수 있음에 주목할 필요가 있다. 특히 대폭적인 에너지 절감을 위해서는 신축 아파트를 대상으로 방벌 및 스케줄 제어가 가능하도록 사용이 용이한 제어부의 설치를 적극적으로 권장 혹은 의무화할 필요가 있다.

3.3 차폐율의 영향

Table 5는 해석모델의 차폐율(완전히 개방되었을 때가 0)에 따른 기준조건에서의 난방에너지 변화를 나타낸 표로서 shading factor A는 공조공간인 거실(living room)과 침실(room 1) 남쪽에 설치된 일반커튼의 차폐율을 나타내며 shading factor B는 비공조공간인 발코니(balcony 1) 내부에 설치된 수직 블라인드의 차폐율을 나타낸다. 차폐율에 따른 난방에너지를 분석한 결과 커튼과 수직 블라인드의 개폐 여부에 따라 난방에너지는 1.3~15.2%의 차이를 보임으로써 결코 작지 않은

요인임을 알 수 있다. 특히 커튼에 의한 shading factor A에 따른 난방에너지 차이보다는 블라인드에 의한 shading factor B에 따른 난방에너지가 더 큰 차이를 보였다. 이는 해석모델이 남침을 미루어 볼 때 거실 및 침실에 설치된 일반 커튼보다는 발코니에 설치된 수직 블라인드가 직접적으로 실내에 유입되는 일사를 차단하기 때문에 상대적으로 난방에너지 소비에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

일반커튼 및 수직 블라인드는 야간에 외부로부터의 노출방지 및 단열효과를 위해 완전차단, 주간에는 일사량 조절의 역할을 하게 되므로 완전 개방의 가능성이 높아 일률적인 차폐율의 적용은 사실 큰 의미는 없다. 주간에는 개방하여 일사를 최대한으로 받아들이고 야간에는 차단하여 단열효과를 높이는 등 적절하게 차양기구를 사용하는 경우 Table 5에서 완전히 개방한 상태(29.7 GJ)보다 1.3%보다 작으나 그 차이는 매우 미세하다.

인접한 건물 사이의 간섭으로 일사가 차단되는 경우 내부 차폐와 비슷한 효과로 난방에너지가 더 소모될 수 있으므로 향후 일조분석을 통한 연구가 수반되어야 할 것이다.

Table 5 Heating energy according to shading factor (unit : GJ)

A	B		
	0%	50%	100%
0%	29.7 (-)	31.1 (+4.7%)	33.2 (+11.8%)
50%	30.1 (+1.3%)	31.8 (+7.1%)	33.6 (+13.1%)
100%	30.7 (+3.4%)	32.3 (+8.8%)	34.2 (+15.2%)

4. 결 론

실내설정조건에 따른 난방에너지 소비를 분석하기 위해 TRNSYS 15를 이용하여 서울 소재 32평형 아파트를 중심으로 해석을 수행하였고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 실내설정온도 1℃의 변화에 따라 8.3%, 10%의 환기량 변화에 따라 8.6% 정도의 난방에너지 증감이 이루어진다. 에너지 절약을 위해서는 낮은 실내온도의 설정뿐만 아니라 과도한 환기량의 억제도 중요하며 공기정화기 및 열교환 환기장치의 도입 및 보급장려가 요망된다.

(2) 연속난방에 비해 방별 제어를 하는 간헐난방의 경우 전용면적과 상관없이 대부분의 아파트에서 20% 이상의 에너지 절약이 가능하다. 기존의 아파트에서도 실내공간 전체를 단일존으로 한 간헐난방은 가능하므로 이를 적절히 활용하는 경우 10% 이상의 난방에너지를 절약할 수 있다.

(3) 차폐율의 변화에 따라 난방에너지는 최대 15%까지 차이를 보였다. 특히 직접 일사량을 차단하는 발코니에 설치된 수직 블라인드의 차폐율이 큰 영향을 미치므로 적절한 운용이 필요하다.

이로부터 단열재, 창호 등을 통한 열손실의 감소 못지 않게 실내설정조건에의 영향이 에너지절약에 매우 큰 것을 확인하였다. 효율 좋은 환기장치와 제어장치에 의해 적지 않은 에너지를 절약할 수 있을 것으로 예상되며 대폭적인 도입 권장 및 설치 의무화의 제도적인 뒷받침이 요구된다.

후 기

이 논문은 2004년도 경희대학교 지원에 의한 연구결과임.

참고문헌

1. Korean National Statistical Office, 2000, The census of population and residence 2000, Report of residence, pp. 44-45.
2. Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2002, Mid- and Long-Term Policy Improvements for Efficient Utilization of Energy in Building Sector, Korea, p. 2.
3. 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 Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 11, pp. 972-980.
4. 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 Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 16, No. 1 pp. 101-110.
5. Kang, J.-S., Lee, S.-E. and Ahn, T.-K., 1995, A study on characteristics energy consumption in apartment house, Journal of Korean Association of Air Conditioning Refrigerating and Sanitary Engineers, pp. 91-103.
6. Lee, B. J., Chung, D.-Y., Lee, S. and Hong, H., 2003, Analysis of heating energy in a Korean-style apartment houses, Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 16, No. 5 pp. 459-466.
7. Hong, W., Bae, H., Kim, S. and Choi, M., 1998, A study on the energy consumption by the life style of resident in apartment houses, Korean Journal of AIK, Vol. 14, No. 6, pp. 193-200.
8. Chang, S. and Park, C., 1996, A study on the evaluation of resident's living behaviour in high-rise apartment, Korean Journal of AIK, Vol. 12, No. 10, pp. 145-155.
9. Solar Energy Laboratory, 2004, TRNSYS Reference Manual, University of Wisconsin at Madison.
10. Park, J.-W., Bae, S.-H. and Hong, C.-H., 2001, An evaluation on natural ventilation in apartment houses, Proceedings of the SAREK 2001 Summer Annual Conference, pp. 637-643.
11. Kim, J., Cho, S., Lee, G. and Lee, S., 2002, Energy saving effect of the room control system in a ondol houses, Proceeding of the SAREK 2002 Summer Annual Conference, pp. 307-314.