

[논문] 한국태양에너지학회 논문집  
Journal of the Korean Solar Energy Society  
Vol. 26, No. 1, 2006

## 공동주택에서 필로티 세대의 난방에너지 분석

안민희\*, 최창호\*\*, 이현우\*\*, 조민관\*\*\*

\*광운대학교 대학원 건축공학과(issagal@hanmail.net),  
\*\*광운대학교 건축공학과 교수(choi1967@kw.ac.kr, hwlee@kw.ac.kr)  
\*\*\*강남대학교 건축공학과 교수(cho803@kangnam.ac.kr)

### The Analysis of the Heating Energy in Apartment Houses with Pilotis

Ahn, Min-Hee\*, Choi, Chang-Ho\*\*, Lee, Hyeon-Woo\*\*, Cho, Min-Kwan\*\*\*

\*Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Kwangwoon University(issagal@hanmail.net),  
\*\*Dept. of Architectural Eng., Kwangwoon University(choi1967@kw.ac.kr, hwlee@kw.ac.kr),  
\*\*\*Dept. of Architectural Eng., Kangnam University(cho803@kangnam.ac.kr)

#### Abstract

This paper presents an analysis of heating energy for apartment houses in apartment building, paying special attention on the effect of pilotis which is increasing recently. A four-zone model composed of one conditioned and three unconditioned space is developed in this study. IES VE is adopted to estimate heating energy. Especially, we used Apache module for a heating energy calculated. The predicted result shows fairly good agreements with the available measured data and simulation data. Heating energy needed for an apartment located on the pilotis floors is far greater compared with the case of intermediate floors. Insulation thickness of walls, floors and underground structure appears to be a dominant factor affecting heating energy, which leads to needs of revision of the related regulation. It is finally concluded that the location dependent, severe imbalance in heating energy should be improved and reflected in the policy making process and the design standards.

**Keywords** : 에너지 평가(Energy estimation), 공동주택(Apartment houses), 난방에너지(Heating energy) IES VE

#### 기 호 설 명

$T_a$  : 실내 공기 온도 (°C)  
 $T_s$  : 평균 표면 온도 (°C)

$h_c$  : 실내 대류열전달계수  
 $f$  : 평균 실내 풍속에 따른 계수  
 $C$  : 표면 방향에 따른 계수  
 $v$  : 시뮬레이션 기상 데이터에 따른 풍속 (m/s)

접수일자:2006년 2월 27일, 심사완료일자:2006년 3월 13일

## 1. 서론

1980년대부터 아파트가 보편화되면서 15층 규모의 벽식 구조의 아파트가 거의 동일한 평면으로 획일적으로 건립되기 시작하였으며 20년이 지난 오늘날은 전국적인 아파트 주거비율이 47.7%에 이르고 있다.<sup>1)</sup> 주거비율을 고려해보면 이후 아파트 주거비율은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 게다가 에너지절약의 관점에서 이러한 아파트는 단독주택에 비하여 열밀도가 높고 관리가 상대적으로 용이하기 때문에 높은 관심의 대상이다.

아파트의 대부분의 경우 난방은 바닥 온수 순환 방식으로 시공되며 냉방은 설계에 포함되지 않고 사용자가 입주 후 설치한다. 따라서 설계 단계에서는 난방에너지에 대한 평가만이 의미를 갖는다. 난방에너지 소비와 연관된 중요한 요소로서 세대와 세대사이의 차이를 지목할 수 있다. 건물 내 위치가 세대 간의 유일한 차이이다.<sup>2)</sup>

세대 위치별 난방에너지 해석 연구는 최하층, 최상층, 중간세대, 측벽세대 등으로 나누어 분석하여 발표된 바 있으나 최근 통행로 및 옥외 공간 확보 등의 목적으로 급증하고 있는 필로티 세대의 난방부하에 대한 연구는 아직 발표된 바 없다. 아파트는 단독주택과 비교하여 외기에 노출되는 면적이 감소함에 따라 관류에 의한 열손실과 환기에 의한 열손실이 감소하게 된다. 따라서 동일한 내부발열과 일사에 의한 획득이 발생할 경우 난방에 대한 에너지 사용이 감소하게 되는데 필로티 세대는 다른 세대들과는 달리 바닥면이 외기에 노출됨에 따라 외기와 노출되는 면적이 증가하게 되어 관류에 의한 열손실이 늘어날 것으로 예상되므로 필로티 세대의 연간 난방에너지 사용량을 종합적으로 비교함으로써 위치에 따른 정략적인 데이터를 확인 비교하고자 한다.

## 2. 난방부하 해석

### 2.1 해석 모델

해석 모델은 우리나라 아파트를 대표할 만큼 세대수가 많은 32평형을 대상으로 선정하였고 바닥면적이 84.98m<sup>2</sup>이고 남향이며 천장높이 2.3m인 전형적인 모델이다.

실제 32평형 아파트의 평면도를 그림 1에 제시하였다. 본 연구에서는 그림 2와 같이 아파트의 평면이 난방이 되는 내부공간과 비공조 상태인 2개의 발코니 공간 및 계단/승강기 공간으로 구성된다.<sup>3)</sup>

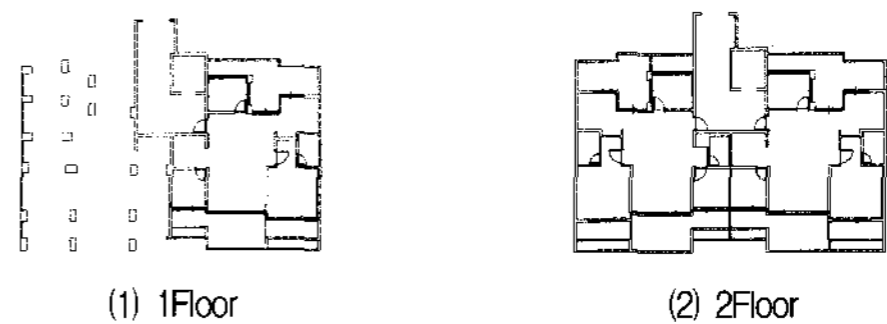


그림 1. 실제 아파트 평면도

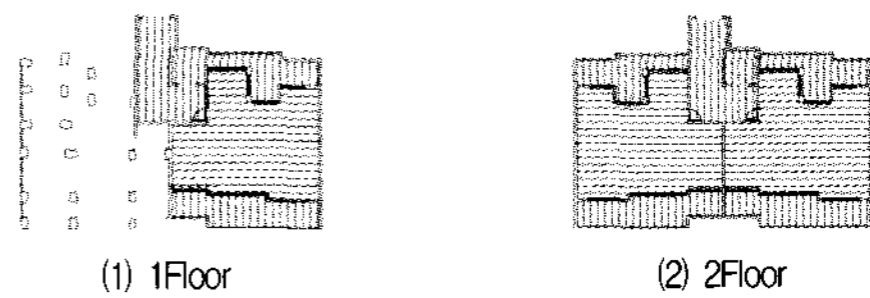


그림 2. 그림 1을 간단화 한 모델

아파트 필로티 세대와 일반세대의 위치에 따른 난방에너지 차이를 고찰하기 위하여 그림 3과 같이 2개의 경우로 세대를 구분하였다.<sup>4)</sup> 해석모델에서 외부통로를 공유하는 인접세대와 상하의 세대와는 실내조건을 같게 하여 열교환이 없도록 하였다. 단, 필로티 세대의 경우는 바닥면이 외기와 접하는 것으로 설정하였다. 바닥과 천장, 측면을 통한 열교환이 없어도 벽체 및 바닥면의 축열 효과는 존재하기 때문에 각 벽체별 물성치를 별도로 입력하였으며, 그림 4와 표 1에 이를 정리하였다.

1) 2000년 인구 주택 총 조사, 통계청

2) 특정한 아파트단지에서 바닥 면적이 같으면 평면의 형태도 같기 때문에, 사용방법에 의존하는 조건을 제외하면, 건물 내의 위치가 세대 간의 유일한 차이이다.

3) 이와 같이 유사한 방식으로 단순화된 모델과 실제 아파트 사이 난방에너지 차이는 3% 수준으로 보고된 바 있다.

4) 위치에 따른 난방에너지 분석에 따라 난방에너지의 소비가 같은 측벽세대를 비교대상으로 삼았다.

여기서 표 1의 물성치는 IES VE 프로그램의 재료 물성치를 기준으로 하였다.



그림 3. 본 연구에서 고려된 세대 위치

표 1. 벽체와 바닥의 재료 물성치

Material	Specipic heat (J/kgk)	Thermal conductivity (W/mk)	Density (kg/m <sup>3</sup> )
Gypsum board	840	0.16	950
Concrete	1000	1.13	2000
Aerated concrete	840	0.16	500
Styrofoam	1400	0.025	30
Mortar	840	0.96	2000

## 2.2 기준 조건

본 연구에서는 가장 세대수가 많은 그림 2의 4개 공간 형태를 해석대상으로 취하였다. 4개의 공간은 실내공간, 계단/승강기 공간 및 전후 발코니 공간이다. 발코니는 아파트의 난방에너지에 큰 영향을 미친다. 발코니에 샷시를 설치한 경우 겨울철 완충공간의 역할을 하여 난방부하를 감소시키는데 단위면적당 연간 약10,000kcal의 난방에너지 절감 효과를 나타냈다.<sup>5)</sup>

아파트는 외기와 면하는 부분이 대부분 창으로 되어있기 때문에 유리의 종류에 따라 부하에 영향을 준다. 본 연구에서는 발코니 외부창을 이중유리로 적용하였다.<sup>6)</sup>

외기 조건은 2000년도 기상청에서 발표된 서울의 표준 기상데이터를 사용하였으며, 시뮬레이션 내의 건물 위치는 도시로 설정하였다.

5) 대부분의 아파트에서 발코니에 샷시를 설치하고 사용하고 원래 발코니와 실내공간으로 편입한 개조한 형태는 세대수가 적기 때문에 고려하지 않았다.

6) 거실과 발코니 사이의 유리의 종류는 부하에 큰 영향을 주지는 않지만 발코니 외부창은 이중창을 적용할 경우 온도상승효과가 있다.

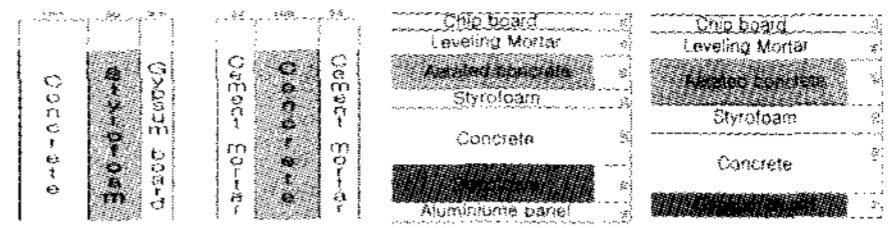


그림 4. 벽체와 바닥의 상세 (단위 : mm)

난방에너지 예측에서 입력자료 중 사용행태에 따라 달라지는 난방기간 및 형태, 실내온도, 자연 환기횟수 등이다. 난방기간은 10월에서 3월로 설정하였다. 실내온도의 경우는 에너지 절약 설계기준은 20℃를 권장하고 있으나, 실태조사에서 추정된 실제 사용조건은 24~26℃이다. 본 연구에서는 실제 사용조건을 해석에 반영하기 위해 실내온도를 24℃로 설정하였다. 이 실내온도는 국내 대부분의 아파트 시공회사가 적용하는 조건이기도 하다. 환기 횟수의 경우는 일반적인 설계 기준은 1.5(회/시)이지만 아파트의 환기량 측정결과는 침실의 경우는 0.25(회/시)~0.48(회/시), 거실의 경우는 0.6(회/시)~0.7(회/시)로서 설계기준과 차이를 보인다. 측정대상이 기밀성이 좋은 신축아파트이고 본 연구에서 다룬 아파트도 또한 신축아파트이기에 환기횟수를 침실과 거실의 평균치인 0.5(회/시)로 설정하였다.

차양이나 블라인드에 관한 효과는 본 연구에서 다루고자 하는 주제의 대상에서 제외하여 효과가 없다고 가정하였다. 일사량도 난방 부하 변동에 영향을 끼치므로 일사량은 동등한 조건으로 인접한 건물에 의한 일사 방해는 없는 것으로 가정하였다. 이상의 기준 조건을 표 2에 정리하여 나타냈다.

표 2. 난방에너지 측정을 위한 기준조건

분 류	기준 조건
실내온도	24℃
난방기간	10월부터 3월
환 기 량	0.5 회/h

## 2.3 이론해석의 개요

에너지 시뮬레이션 프로그램으로는 espor를 엔진으로 영국의 IES4D사에서 만든 VE(Virtual

Environment)를 사용하였다.

열부하를 산출하기 위해 사용한 모듈은 Apache 모듈로써 동적 시뮬레이션 프로그램으로써 기본적으로 빌딩과 빌딩 사이나 주변에서 일어나는 열전달 과정의 수학적 모델링에 기반을 두고 있다.

본 연구에서는 프리컨디셔닝 기간은 30일로 온도는 18도로 설정하였다.<sup>7)</sup>

ApacheSim에서는 대류열전달 계수를 설정하여 계산해준다. 실내 대류열전달 계수 산정은 CIBSE 방법인 유동 대류 계수를 적용하였다. 실내 대류열전달계수 산정은 CIBSE 방법의 계산식으로 나타낼 수 있다.

$$h_c = fC\Delta T^{n-1}, \Delta T = |T_a - T_s| \quad (1)$$

ApacheSim에서 실내 평균 풍속은 환기율과 실 배치에 따라 다르게 계산된다.

외부 열전달은 건물의 외부 표면에서 일어나는 대류로 주로 바람에 의해 행해진다. ApacheSim에서의 외부 대류열전달계수 계산식은 McAdams의 실험식을 사용한다.

$$h_c = 5.6 + 4.0v \quad (v < 4.88) \quad (3)$$

$$h_c = 7.2v^{0.78} \quad (v \geq 4.88) \quad (4)$$

태양 복사열에 관한 환경은 청천공으로 설정하여 복사열을 최대한으로 받을 수 있도록 적용하였으며 난방장치에 따른 발열비 설정은 0.3으로 바닥 패널 난방 방식으로 설정하였다.

### 3. 해석 결과에 대한 고찰

#### 3.1 시뮬레이션 타당성 검토

필로티 세대 난방에너지 비교 분석에 앞서 본 연구에서 채용한 해석 프로그램 및 부여조건에 의한

7) 시뮬레이션 기간을 시작할 때 첫날부터 신뢰도가 있는 데이터를 얻기 위해 건물의 축열 성능을 고려하여 프리컨디셔닝 기간을 설정하여 실질적인 열상태로 시작할 수 있도록 하였다. 보통 경구조 건물은 10일, 중구조 건물은 30일 정도의 기간이 필요하다.

예측 결과의 타당성을 검증하기로 하였다. 아파트 건물의 준공 연도와 평면에는 차이가 있지만 난방 방식과 바닥면적은 같은 2종류의 난방에너지 실태 조사 자료와 1종류의 시뮬레이션 자료를 본 연구의 해석 결과와 비교하였다.

시뮬레이션 자료에 맞추어서 중간층 층벽세대와 중간층 가운데 세대 모델에 대하여 2종류의 측정값과 예측값을 그림 5에서 비교하였다. 앞서 언급한 바와 같이 본 연구의 시뮬레이션은 기준 조건인 24℃, 0.5(회/시)를 적용한 결과이다.

그림 5로부터 측정값과 예측값의 결과는 동일한 위치의 세대에서 약간의 차이는 있지만, 전반적인 경향은 대단히 유사함이 보인다. 한편 실태조사에서 다른 측정값을 보인 이유는 난방에너지가 다년간의 평균값이 아니기 때문에 해당연도의 기상조건과 관련이 있는 것으로 예상된다. 본 연구의 시뮬레이션에서 다른 측정값보다 많은 부하량이 계산된 것은 다른 연구보다 창면적비가 큰 것과 관련이 있을 것으로 추정된다.

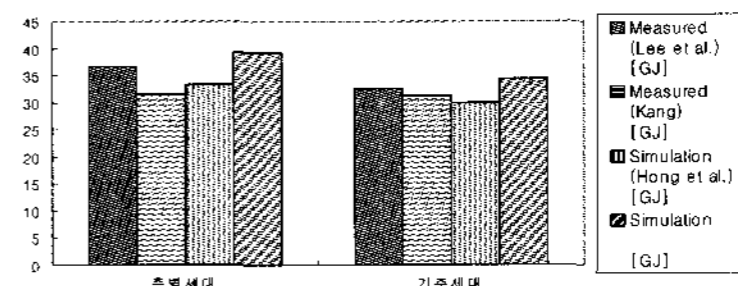


그림 5. 시뮬레이션과 이전 실태조사를 통한 연간 난방 에너지 비교

필로티 세대의 경우 대부분이 저층에 위치하고 있어 인접한 동사이의 간섭으로 실내에 유입되는 일사량이 적어짐으로써 측정값이 이를 고려하지 않은 예측값보다 큰 경향을 보이며, 향후 일사방해가 난방에너지에 미치는 영향을 정량적으로 분석할 필요가 있다.

#### 3.2 일일 난방에너지 비교 분석

필로티 세대는 바닥면을 통하여 외기와 열전달이 발생하지만 세대와 세대 사이에 위치하는 중간 세대는 열적으로 대칭이므로 세대 간벽을 통한 열전달은 없게 된다. 이는 필로티 세대와 중간 세대 사이의 열부하 차이는 불가피하고, 이것을 최소화

하고 전체적인 에너지 절약을 위해서는 외기에 접하는 바닥면의 단열을 향상시켜야 한다.

그림 6은 난방 기간 중 시뮬레이션 결과에서 난방에너지가 가장 많이 소비되는 날의 난방에너지를 계산한 것이다. 낮에는 일사의 영향으로 두 세대 모두 난방에너지 사용량이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 결과값에서 Room2-LL과 Room2-RR은 평균 600W의 난방에너지의 차이가 발생한다. Room2-LL이 Room2-RR과 비교하여 12%의 난방에너지 차이가 발생한다.

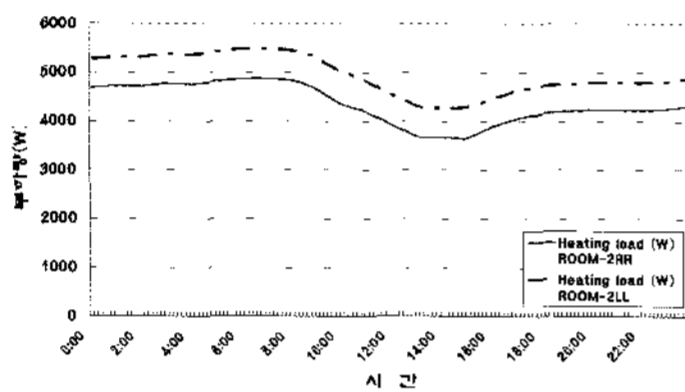


그림 6. 일일 난방에너지 분석

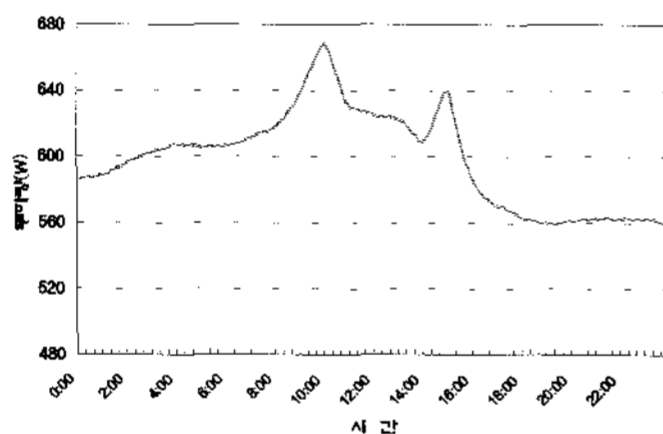


그림 7. 일일 난방에너지 비교

그림 7은 일일 난방에너지의 차이를 시간별로 나타낸 그래프이다. 그림 6과 비교를 하여서 보면 낮에 오히려 난방에너지의 차이가 커지는 것을 볼 수 있는데 이것은 Room2-RR은 일사와 외부 기온의 상승으로 난방을 적게 하게 되는데 반해 Room2-LL은 일사와 외부 기온 상승으로 인한 부하량이 작아지지만 바닥면에 의한 열손실이 있어 Room2-RR에 비해 난방에너지의 절감을 할 수 없음을 나타낸다. 또한 난방에너지의 변동이 있을 때에 차이가 급격히 커지는 것을 볼 수 있다. 이것으로 Room2-LL이 Room2-RR보다 실내 난방에너지 변동 시 큰 부하가 걸리게 되고 외기온도와 일사에 대한 민감한 반응을 하지 못하는 것을 알 수 있다.

### 3.3 연간 난방에너지 비교 분석

표 3과 그림 8은 연간 난방에너지를 월별로 계산한 결과로써 필로티 세대와 기존 세대와의 난방에너지의 차이를 보여준다. 난방에너지의 차이는 외기의 기온이 낮은 12월에서 2월 사이에 더 큰 차이를 보였다. 이것은 외기와의 온도차가 클수록 또한 외기에 노출되는 면적이 넓을수록 열교환이 많이 일어나게 되며 Room2-LL이 바닥면이 외기와 면하여 외기에 노출되는 면적이 많게 되어 많은 열교환이 일어나게 되어 더 큰 난방에너지를 사용하게 되는 것이다. 이것은 만약 같은 난방에너지를 사용할 경우 Room2-LL의 경우에는 재실자가 원하는 실내 온도를 유지 할 수 없음을 나타내며, 또한 열적 불균형이 발생하여 이웃하는 세대와 열교환이 이루어지게 되고 막대한 열손실로 이어질 수도 있게 된다.

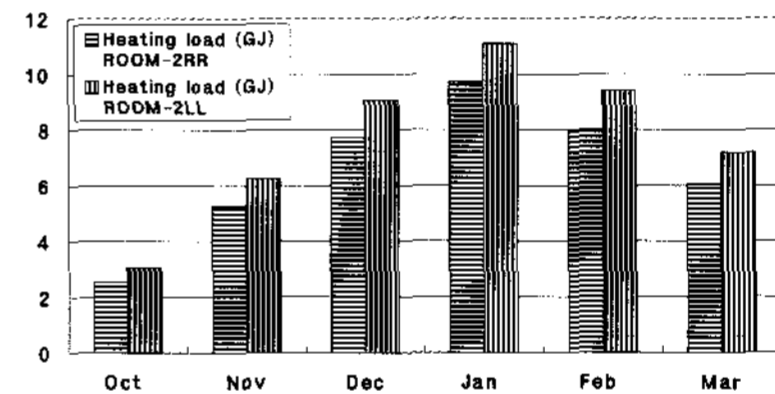


그림 8. 연간 난방에너지 비교 및 분석

표 3. 연간 난방에너지 비교 및 분석

Date	Heating load [GJ] ROOM-2RR	Heating load [GJ] ROOM-2LL	Comparison [GJ]
Oct	2.55	3.06	0.51
Nov	5.26	6.24	0.98
Dec	7.73	9.06	1.33
Jan	9.72	11.1	1.38
Feb	8.02	9.42	1.4
Mar	6.05	7.2	1.15
Summed total	39.33	46.08	6.75

표 3를 보게 되면 연간 난방에너지의 차이는 6.75GJ, 약 17.16%의 차이가 발생한다. Room2-LL이 외기와 면하는 면적이 바닥면적 만큼 늘어나기 때문에 난방에너지 사용량이 크게 된다.

이것으로 예상 가능한 것은 평형이 커질수록 난방에너지 사용량은 더욱 많아지게 되고 더 큰 열손실이 일어날 것이다. 이러한 공동주택에서의 열적 불균형은 주거 성능과 열적 쾌적함을 떨어뜨리는 주요 요인



이 된다. 이러한 열적 불균형을 해소하기 위한 바닥 구조체 단열성능에 대한 연구가 더 필요할 것이다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 공동주택에서 필로티 세대의 난방에너지에 대한 해석을 시도하고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 해석대상인 32평형의 아파트를 IES VE를 이용하여 해석하고 소수의 난방에너지 사용실태 조사의 측정값과 TRNSYS 15를 이용한 시뮬레이션 값을 비교·분석하여 그 경향의 유사성을 확인하고 신뢰성을 확보하였다.
- 2) 필로티 세대의 난방에너지의 결과로서 단순화 해석 모델인 Room2-RR에 비하여 필로티 세대인 Room2-LL이 17.16% 많은 난방에너지가 발생하였다. 이것은 공동주택에서 열적인 불균형이 발생하고 열손실을 초래하게 되어 에너지 기준으로 보았을 때 비효율적이다. 이를 개선하기 위해서는 바닥 구조체의 단열성능 강화가 필요하다.
- 3) 난방에너지는 여러 가지 제 인자로 인해 많은 영향을 받는다. 그렇기 때문에 실내 요소의 변화와 외기의 변화에 따라 많은 변수가 생기게 된다. 바닥 단열성능 향상뿐만 아닌 난방에너지 소비 절감을 위한 여러 가지 방도를 연구할 필요가 있다.
- 4) 본 연구에서는 난방을 개별 세대가 아닌 중앙난방방식의 난방 방식을 취하여서 세대간 온도차이가 없어 세대간 열교환이 없으나 실질적인 아파트에서는 개별난방방식으로 인한 세대간 온도차가 발생할 경우 열교환이 발생할 것이라 예상된다.
- 5) 본 연구에서는 차폐율은 없이 하고 실내설정온도와 환기횟수는 공통적으로 적용하였기에 그 영향에 따른 에너지의 변화를 알 수는 없었다. 또한 24시간 난방으로 하였기에 난방에너지 비교에만 사용할 수 있고 정확한 데이터를 나타

내기에는 무리가 있다. 재실 여부에 따른 난방을 하는 방식을 적용한 시뮬레이션을 사용한 연구가 필요하겠다.

이와 같은 결과를 토대로 기존의 최대열부하계산법에 주로 의존하던 방식에서 탈피하여, 세대의 위치에 따른 난방에너지의 비율에 대한 전반적인 재검토가 필요하다. 공동주택 설계 시 이러한 열적 불균형의 문제점을 파악하고, 차후 효과적인 난방제어를 위하여 설계 초기부터 세대별 열적 불균형을 줄일 수 있도록 반영되어야 한다.

## 후 기

이 논문은 2005년도 광운대학교 교내학술연구비지원에 의해 연구되었음.

## 참 고 문 헌

1. Korean National Statistical Office, 2000. The Census of Population and Residence 2000. Report of residence.
2. Lee, B.J., Chung, D-Y., Lee, S. and Hong, H., 2003, Survey on energy consumption according to heating methods in apartment houses, Proceedings of SAREK 2003, Winter Annual Conference, pp. 622-627
3. Yoo, H., Hyun, S.K., Park, Y.W., Kim, Y.-S., Hong, H., 2003, Analysis of Heating Energy in a Korean-Style Apartment Building 1 : The Effect of Location, Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 16, No. 1 pp. 101-110.
4. Kang, J.-S., 1998, Report of energy consumption depending on the location and floor for apartment house, Journal Korea Association of Air Conditioning, Refrigerating and Sanitary Engineers, pp.91-103