

# 공동주택에서 비난방세대가 미치는 열적 영향

## Analysis for Thermal Effect by an Unheated Housing Unit in Apartment

이은주(Eun-Ju Lee)<sup>1</sup>, 구준모(Junemo Koo)<sup>2</sup>, 홍희기(Hiki Hong)<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>현대건설, <sup>2</sup>경희대학교 기계공학과

<sup>1</sup>Hyundai Engineering and Construction, Yongin, 16891, Korea

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Kyung Hee University, Yongin, 17104, Korea

(Received January 6, 2015; revision received December 7, 2015; Accepted: December 11, 2015)

**Abstract** Adjacent housing units suffer inevitable thermal losses if an unheated unit exists in an apartment building. Thermal loss of the units adjoining the unheated apartment can be neglected because the contact area is small and insulators are located in the walls. When insulators are not included in the slab between the upper and lower units, 70% of the heat supplied by an Ondol system may be used in the original unit, but 30% is transferred to the unit on the lower floor. Another 30% can be obtained from the ceiling if the upper floor housing unit is heated. This strong thermal connection is a characteristic of Ondol heating in apartment buildings. When there is an unheated unit, the lower floor unit uses 42.3% more heating energy if there is no insulation and 19.5% if a 35 mm insulator is used as in the current guidelines. Therefore, much thicker insulation should be applied to weaken the thermal connection.

**Key words** Heating energy(난방에너지), Ondol(온돌), Insulation(단열), Apartment house(아파트), Heat loss(열손실), Thermal connection(열적 연계)

\* Corresponding author, E-mail: hhong@khu.ac.kr

### 1. 서 론

고유가 시대에 총에너지의 97%를 해외에 의존하고 있고, 국가 총에너지의 약 30%는 건물 에너지로서 국가 총 에너지 저감을 위해서는 건물에서의 에너지 절약이 필수적이다. 아파트는 한국의 대표적인 주거형태로 총 인구 중 아파트 세대가 절반을 넘고 있는 것으로 보고되고 있다. 2010년 실시한 인구주택 총조사의 가구부문 전수 집계 결과에 따르면 아파트에 거주하는 세대는 전체의 47.1%인 8,169,000세대로 지난 2005년 41.7%보다 5.4%p 증가한 것으로 나타났으며, 이 비율은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.<sup>(1)</sup>

이러한 이유로 공동주택의 에너지 소비에 대한 많은 연구가 이루어지고 있는 실정이다.<sup>(2)</sup> 난방방식은 중앙난방방식에서 개별난방 및 기본료에 각 세대가 사용한 양에 따라 난방요금을 부과하는 지역난방으로 변화하는 추세이다.<sup>(3)</sup> 지역난방의 경우에는 면적과 관련되는 기본요금과 사용량에 따른 요금이 부과된다. 2014년에는 배우 김부선에 의해 난방비 부당요금 문제가 사회적으로 큰 이슈가 된 적이 있다. 이 과정에서 열량계 조작의혹과 더불어 실제로 난방을 전혀 사용하지

않은 세대가 다수 포함된 것으로 나타났다.

난방을 전혀 사용하지 않는 세대가 사용요금을 내지 않는 것이 타당한지에 대한 연구는 수행된 바가 거의 없으며 기술적인 기초자료가 전무한 상태이다. 본 연구에서는 각 세대에 부과되는 기본요금이 적절한지 혹은 단열조건은 타당한지 기초자료로 활용할 수 있도록 아파트의 비난방세대가 미치는 열적 영향을 분석하였다. 즉 비난방 세대가 있을 때 인접한 세대에서 추가되는 에너지 사용량을 시뮬레이션을 통해 계산하였다. 특히 온돌의 특성상 아래층으로도 열이 전달되기 때문에 정상적인 난방일 때와 위층이 비난방일 때 추가되는 난방 에너지의 양을 비교, 분석하였다. 또한 강화된 단열조건을 적용했을 때의 효과도 정량적으로 파악하였다.

### 2. 해석방법

본 연구에는 건물 에너지 동적 해석 소프트웨어인 TRNSYS 17을 사용하였다. 서울 표준기상 데이터를 사용하였으며, 시뮬레이션 시간 간격은 0.1시간으로 하였다.

House 1	House 2	House 3
House 4	House 5	House 6
House 7	House 8	House 9

Fig. 1 Position of housing units.

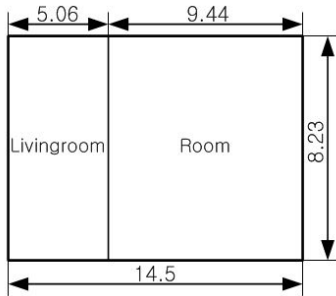


Fig. 2 Simplified plan of the housing unit used in simulation(unit : m).

Fig. 1의 세대 5와 같이 중간에 비난방 세대가 포함되어 있는 경우를 시뮬레이션하려면 상하좌우 세대를 더 포함하여야 한다. 30평형대 실제 아파트의 상세한 정보를 모두 입력하게 되면 매우 방대한 작업이 된다. 각 방보다는 인접세대 간의 열전달이 관심의 대상이므로 대폭 단순화할 필요가 있다.<sup>(4,6)</sup> 발코니가 없고 각 방의 구분이 없는 것으로 하여, 전면과 측면의 길이가 각각 14.5, 8.23 m가 되도록 Fig. 2와 같이 설정하였다. 3중 유리를 적용하였고 벽체의 구성은 Fig. 3(a)와 같이 이전연구<sup>(6)</sup>와 동일하게 1990년대에 시공된 남향의 아파트를 대상으로 하였다.

Fig. 1의 9세대를 모두 포함할 때는 온돌을 고려하지 않은 이상적인 난방조건을 부여하였다. 즉 실제의 바닥난방이 아니고, 이상적인 열원에 의해 설정된 실내온도를 유지하는 데 필요한 열량을 정확하게 공급 가능한 것으로 단순화하였다. 이는 실내공기를 직접 가열하는 대류난방의 패턴을 보이게 되며, 우리나라의 아파

트에는 거의 해당사항이 없지만, 온돌난방과의 비교 기준으로서 의미 있는 해석으로 판단된다.<sup>(5)</sup>

반면에 Fig. 3(a)의 온돌을 통해 전달되는 열은 대부분 위쪽으로 전달되어 해당 세대의 난방에 사용되지만, 일부는 콘크리트층을 거쳐 아래쪽으로 전달되어 아래층으로 공급된다. 이 관계를 파악하기 위해서는 실제의 온돌을 고려해야 하며, 동일한 세대를 위아래로 여러 세대 배치하여 동시에 시뮬레이션해야 한다. 본 연구에서는 지역난방을 사용하는 5세대를 대상으로 하였다. 인접세대와 실내온도가 동일하여 열교환이 없는 경우에도 벽체의 축열효과가 존재하므로 각 벽체별 구조 및 물성은 정확히 입력되어야 한다. 다만 온돌의 구조는 TRNSYS에서 요구하는 제약조건, 즉 온돌의 상하부의 층이 같은 재질이어야 하며 온돌 상하부 층의 두께는 온돌 중심간 거리의 30% 이상이어야 한다는 조건을 만족하도록 모델링하였다. Fig. 3(b)와 같이 실제 온돌의 열전달률과 축열량이 같도록 두께, 열전도율, 비열을 조정하였다. 상세한 온돌 시뮬레이션에 대한 방법은 인용문헌<sup>(6)</sup>을 참고하기 바란다.

실제의 아파트는 주로 밤 시간대에 난방이 이루어지고 낮 시간대는 일부 방만 난방하거나 외출시에는 완전히 끄기도 하나, 이를 반영하기에는 매우 복잡하므로 연속해서 난방하는 것으로 가정하였다.<sup>(7, 8)</sup>

열원으로는 편의상 지역난방을 사용하였으나, 열원이 온돌에 직접적인 영향을 미치는 것은 아니기 때문에 개별난방이나 중앙난방인 경우에도 결과는 거의 유사할 것으로 판단된다. 지역난방의 모델링에는, 시간에 따라 공급수온도를 달리하는 외기보상제어를 사용하였다. 이는 시간별 외기온도에 따라 실내로 공급되는 온도를 반비례적으로 변화시키는 제어법이다. 상세한 내용은 인용문헌<sup>(9, 10)</sup>을 참고하기 바라며, 각 세대에 공급되는 공급수온도  $T_s$ 는 외기온도  $T_{amb}$ 에 의해 다음 식과 같이 결정된다.

$$T_s = -\frac{2}{3} \cdot T_{amb} + \frac{160}{3} \quad (1)$$

유량은 최대 7.7 lpm이며, 난방하는 방의 숫자가 줄

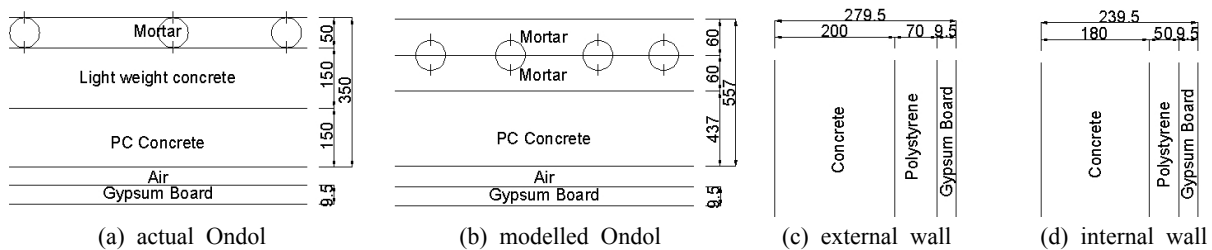


Fig. 3 Details of main walls and floor(unit : mm).

어 들면 이를 반영하여 세대에 공급되는 유량이 변동되는 메인유량조절 방식을 통해 조정하였다.<sup>(9, 10)</sup> 실내온도는 20℃ 혹은 24℃로, 환기량은 0.5회/시간으로 설정하였다. 이후에 특별한 언급이 없으면 20℃에 대한 결과이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 인접 세대 간의 열전달

상하좌우 세대의 영향을 파악하기 위해서 Fig. 1과 같이 세대 5를 포함하여 9세대를 동시에 시뮬레이션의 계산 대상으로 취하였다. 진술한 바와 같이 이상적인 난방조건이라 함은 설정온도를 유지하기 위해 필요한 열량을 즉시 공급할 수 있다는 의미로서, 실내 공기를 직접 덥히게 되므로 이상적인 대류난방이라 할 수 있다. 따라서 좌우 세대의 경우에는 실제 상황과 거의 차이가 없겠지만, 온도를 공유하는 상하 세대는 상당히 차이가 날 것이다. 즉 이상적인 난방조건에서는 비난방세대 5로 인해 윗세대 2와 아랫세대 8이 동일하게 손실을 입겠지만, 실제의 온도를 포함하게 되면 상황이 달라질 것이며, 이에 대해서는 다음 절에서 다루기로 한다.

대한설비공학회 서울 지역 표준기상 데이터의 1월 1일 0시부터 1주일간 시뮬레이션을 수행하였다. Table 1에 1주일간의 난방 에너지 총량을 나타내었는데, (a)는 모든 세대가 난방을 하였을 때로서 거의 동일한 값을 보이며, (b)는 중간에 포함된 세대 5가 난방을 하지 않았을 때인데 인접세대의 소비량이 증가한 것을 알 수 있다. 측면 세대의 손실은 무시할 수 있을 정도로 작는데 비해, 위아래 세대는 각각 무려 19% 증가한 수치를 보인다. 이는 측면 세대와 접하는 면적보다 위아래 층으로 접하는 면적이 6배 이상 넓어 열손실이 훨씬 크기 때문이다.

Fig. 4에는 모든 세대가 난방할 때와 중간세대(세대

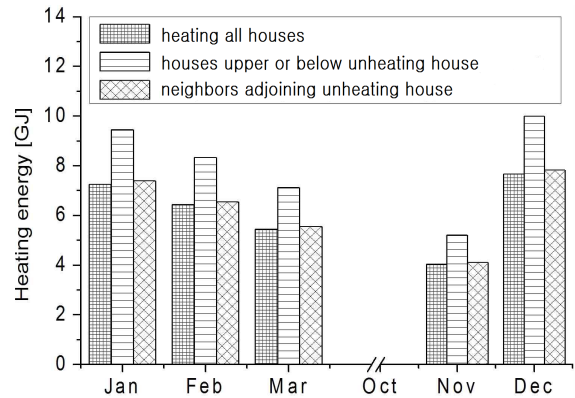


Fig. 4 Heating energy consumption with and without non-heating house at 20℃.

5)가 난방하지 않을 때 위아래 및 좌우세대의 월별 에너지 소비량을 정리하였다. 앞서 1주일 간 정리한 결과와 경향은 매우 유사하며 비난방세대의 위아래 세대가 20% 정도 큰 난방 소비량을 보인다.

주변세대가 20℃인 경우 월별로 다소 차이는 있지만 비난방세대는 14.4~16.3℃, 24℃인 경우 15.3~18.8℃ 정도를 유지한다. 전혀 난방을 하지 않아도 인접세대가 정상적으로 난방을 하면 유입되는 열로 충분히 견딜 수 있는 온도를 유지할 수 있다.<sup>(11)</sup>

#### 3.2 상하 세대 간의 온도에 의한 열전달

온도를 통해 위 아래쪽으로 전달되는 열량을 파악하기 위해 Fig. 5와 같이 5세대를 대상으로 시뮬레이션을 수행하였다. 앞서 살펴본 바와 같이 좌우세대의 영향은 상대적으로 매우 작아 상하세대만 포함한 것이다. 각 세대의 측면 및 최상층의 천장과 최하층의 바닥 바깥면은 모두 실내온도와 같은 경계조건을 부여하였다. 따라서 외부로의 열손실은 없다. 다만 최하층 바닥은 온돌이기 때문에 실내온도보다 높으므로 하부로의 열손실이 발생한다.

Fig. 3(b)를 보면 알겠지만 온돌의 온수코일은 상부 모르타르층에 위치하고 있어 주로 자신의 세대에 열이 공급되는 구조를 취하고 있지만, 일부는 콘크리트층을 거쳐 의도하지 않게 아래층으로 전달된다. Fig. 3(b)의 온수코일을 중심으로 위와 아래 방향의 열저항은 각각 0.344, 0.778 K·m<sup>2</sup>/W로서, 공급된 열의 약 70%는 상부로 30%는 하부로 이동하게 됨을 추정할 수 있다.

5세대를 모두 난방하였을 때와 세대 3이 비난방일 때의 1월 1일부터 7일까지의 난방 에너지의 총합을 Fig. 5~Fig. 7에 보였다. 1, 2, 3층의 난방 에너지는 거의 같으며 편의상 2층의 2.01 GJ을 기준값으로 취하기로 한다. 5층은 천장으로부터 받은 열이 없이, 바닥온돌로

Table 1 Result for ideal heating

(a) heating all houses(GJ)					
	House2 upper	House4 left	House5 center	House6 right	House8 lower
20℃	1.54	1.56	1.54	1.54	1.54
24℃	2.25	2.22	2.24	2.24	2.24

(b) heating except house 5(GJ)					
	House2 upper	House4 left	House5 center	House6 right	House8 lower
20℃	1.83	1.57	15.3℃	1.56	1.82
24℃	2.70	2.25	16.9℃	2.27	2.70

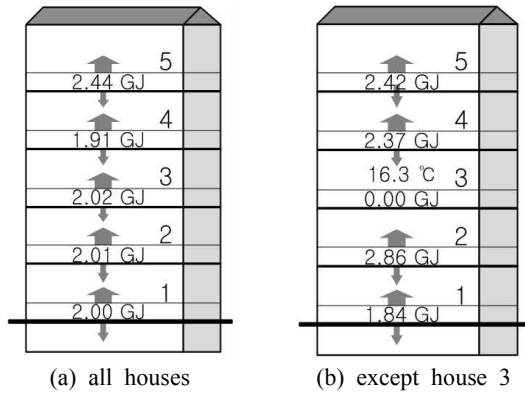


Fig. 5 Heating energy consumption at 20°C.

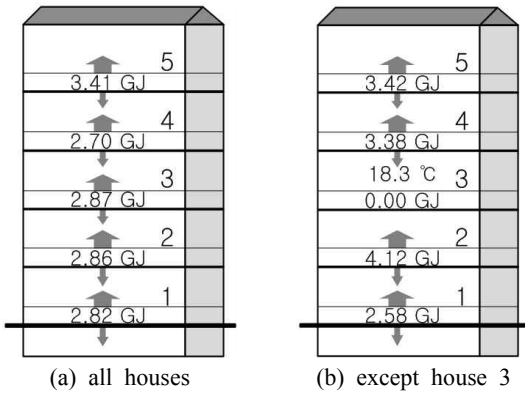


Fig. 6 Heating energy consumption at 24°C.

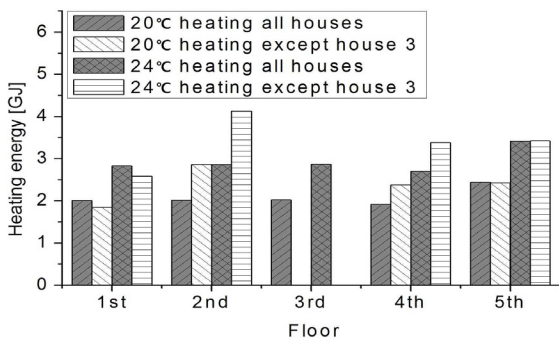


Fig. 7 Heating energy according to floor and set temperature.

부터만 열을 공급받아야 하므로 2.44 GJ로서 21.4% 추가된다. 이로 인해 난방이 켜져 있는 시간이 길어지고 바닥 온도도 높아진다. 이 덕분에 4층은 다른 층보다 더 많은 열을 천장으로부터 얻게 되고, 4층 바닥온도에서 공급하는 열은 약간 줄어든다.

Fig. 5(b)와 같이 3층이 난방을 하지 않으면 5층은 거의 그대로이고, 4층은 앞서와 마찬가지로 천장에서 더

많은 열을 공급받지만, 바닥온도로 더욱 많은 열을 빼앗기게 되는데 3층의 실내온도가 떨어지기 때문이다. 24.1%가 증가하게 된다. 가장 큰 피해는 비난방세대의 바로 아래층인 2층이다. 천장으로부터 받아야 할 열이 없어질 뿐 아니라, 오히려 천장을 통해 3층으로 빠져나가게 된다. 난방 에너지 증가량은 무려 42.3%이다. 따라서 난방시간이 길어지고, 이 영향으로 1층은 천장으로부터 받은 열이 증가해 난방에너지는 감소하게 된다.

비난방 세대가 1층 및 2층인 경우에도 매우 비슷한 현상이 발생함을 확인할 수 있었다. 층간바닥에 단열재가 시공되지 않은 경우 온도에 공급한 열의 30%는 아래층으로 전달되기 때문에 비난방세대가 존재하면 바로 그 아래층 세대의 난방 에너지가 매우 커진다.

난방을 많이 하는 세대가 바로 위층일 때는 이득을 보지만, 위층에서 난방을 하지 않는 경우에는 큰 피해를 보게 된다. 결론적으로 상하세대 간의 열적 연계성이 매우 큰 것이 아파트 온돌난방의 특징이라 할 수 있다. 이를 최소화하는 방법은 결국 단열강화에 있다.

### 3.3 층간바닥 단열재 강화

앞서 최상층인 5층 세대는 상부로부터 열을 받지 못해 평상시에도 다른 층에 비해 에너지 소비량이 크다. 실제로는 박공지붕 공간의 온도가 실내온도보다 낮기 때문에 천장으로의 열손실이 발생하며 에너지소비량은 더욱 커진다. 1층 바닥의 지하공간 역시 실내온도보다 낮아 바닥으로 빠져나가는 열손실은 계산값보다 클 수밖에 없다. 2012년 2월부터 발효된 건축법의 단열기준에 따라 단열재 설치가 강화된 상태이다. 이미 검토한 바와 같이 위아래 세대의 강한 열적 연계성은 아파트 온돌난방의 특징이지만 합리적인 에너지를 위해서는 최상층, 최하층의 단열재 보강과 더불어 중간층의 층간바닥에도 적용이 필요하였고 신축건물에는 의무화된 상태이다.

중부지역의 공동주택 층간바닥에 열전도율이 0.035 ~ 0.04 W/m·K의 단열재를 적용하면 두께 35 mm를 규정하고 있다. 아래쪽의 열저항은 0.928 K·m<sup>2</sup>/W 이 되며 공급된 열의 73%는 상부로, 27%는 하부로 이동하게 되어 다소 단열이 미흡한 것을 알 수 있다. 참고로 강화된 단열기준보다 3배 정도 두꺼운 89 mm의 폴리스티렌을 적용할 때 아래 방향의 열저항이 3.096 K·m<sup>2</sup>/W이 되어 10%만이 하부로 이동하게 된다. 이와 같은 조건으로 실내온도 20°C에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과를 Table 2에 정리하였다.

5세대 모두 난방했을 때의 결과를 단열재가 없는 경우와 비교해보면 최상층을 제외하고는 상당히 균일해진 것을 알 수 있다. 세대 3이 난방을 하지 않을 때 가장 큰 피해가 예상되는 세대 2의 에너지 소비량은 비

Table 2 Heating energy according to insulator thickness at 20°C

floor	no insulator		35 mm insulator		89 mm insulator	
	all heating	except 3rd	all heating	except 3rd	all heating	except 3rd
5th	2.44 GJ	2.42 GJ	2.23 GJ	2.20 GJ	2.16 GJ	2.18 GJ
4th	1.91 GJ	2.37 GJ	2.06 GJ	2.30 GJ	2.07 GJ	2.20 GJ
3rd	2.02 GJ	16.3°C	2.07 GJ	14.4°C	2.06 GJ	13.6°C
2nd	2.01 GJ	2.86 GJ	2.05 GJ	2.45 GJ	2.09 GJ	2.30 GJ
1st	2.00 GJ	1.84 GJ	2.04 GJ	2.04 GJ	2.08 GJ	2.09 GJ

단열시 42.3%의 증가에서, 35 mm 단열재를 사용하면 19.5%로 상당히 감소한다(89 mm 단열재 적용시 10.0%로 대폭 감소). 난방을 하지 않는 세대 3의 실내 온도는 단열재가 없을 때의 평균 온도 16.3°C에 비해 단열재 35 mm 강화로 위아래 세대로부터 보다 적은 열을 공급받아 14.4°C로 떨어지게 되며 상당히 낮은 온도를 유지한다.

35 mm로 단열 조건을 강화한 신축 건물의 경우 비난방 세대의 여부에 따라 위아래 세대의 에너지 소비량의 증가가 상대적으로 작게 나타난다. 그러나 강화된 단열조건에도 불구하고 상하세대 간의 열적 연계를 약화시키기에는 여전히 충분치가 않다. 결국 공정한 난방사용량 부과를 위해 요금체계와 연동하는 방안을 진지하게 고려할 필요가 있다. 현재에도 지역난방에서 배관공동구 손실, 공동시설에의 열공급 등을 기본요금으로 산정하게 된다. 앞서 검토한 바와 같이 비난방세대가 있는 경우 인접세대는 추가로 적지 않은 열을 소비하게 되며, 지역난방을 사용하지 않고 전기매트 등의 국소난방 등으로 절감하는 경우 결국 주위로부터 이득을 본 것이므로 이를 기본요금에 포함시키는 검토가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

아파트의 여러 세대에 대한 동시 시뮬레이션을 통해 비난방세대의 유무에 따라 인접세대의 난방 에너지 소비량이 상당히 달라짐을 확인하였다.

- (1) 비난방세대가 존재하는 경우 접촉면적이 작은 좌우세대는 상하세대에 비해 훨씬 적은 열을 빼앗기며 난방에너지 증가율은 1% 전후이므로 현재의 단열조건으로도 충분하다.
- (2) 비난방세대의 바로 아래층 세대가 가장 큰 피해를 보게 되며, 층간바닥에 단열재가 없으면 42.3%나 소비량이 증가할 수 있다.
- (3) 2012년에 강화된 단열조건을 적용해도 소비량은 19.5% 증가하며, 상하세대 간의 열적 연계성을 줄이는 데는 미흡한 편이다.

- (4) 상하세대 간의 열적 연계성이 매우 큰 것이 아파트 온돌난방의 특징이라 할 수 있다. 비난방세대가 미치는 영향을 고려하여 요금체계의 수정이 필요할 것으로 판단된다.

#### References

1. Korean National Statistical Office, 2000, The census of population and residence 2000, Report of residence, pp. 44-45.
2. Won, D. H. and Kim, H. G., 2008, The economics value of residential heating systems in house price, Korean energy economic review, Vol. 7, No. 2, pp. 75-101.
3. Park, J. W., Yoon, J. H., Kwak, H. Y., Lee, J. B., and Shin, U. C., 2013, A study on building energy demand for design of energy system on green home apartment, Korean J. of Solar Energy Society, Vol. 33, No. 1, pp. 24-31.
4. Lee, E. J. and Hong, H., 2013, Thermal effect by non-heating apartment housing unit, the 6th Korean congress of refrigeration, pp. 41-44.
5. Kim, J. W., Seo, S. M., Kim, Y. H., Cho, S. K., and Park, J. C., 2011, A Study on thermal environmental and energy consumption by using convective and radiant heating, SAREK Summer Conf., pp. 124-127.
6. Hong, H. and Kim, S. W., 2010, Adjustment of valve opening in Ondol hot water distributor, Korean J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 22, No. 6, pp. 460-467.
7. Hong, S. K., Kim, J. W., Lyu, S. B., and Cho, S. H., 2011, An experimental study of predictive optimal control for apartment house, Proceeding of the SAREK Summer Conference, pp. 1343-1348.
8. Park, Y. W., Yoo, H., and Hong, H., 2005, Analysis of heating energy in a Korean-style apartment building 3 : The effect of room condition settings, Korean

- J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 8, pp. 722-728.
9. Lee, E. J., Lee, D. Y., Hong, H., and Kim, Y. G., 2012, Ondol heating simulation for district heating household, SAREK Winter Conf., pp. 105-108.
  10. Lee, E. J., Lee, D. Y., Hong, H. and Kim, Y. G., 2014, Measurement and simulation of heating energy for apartments with district heating, Korean J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 26, No. 128, pp. 572-578.
  11. Kim, D. G. and Kim, S. H., 2011, A study on the indoor air quality in the bedroom with respect to temperature and humidity conditions, Journal of the KIEAE, Vol. 11, No. 3, pp. 31-36.