

바닥 난방을 사용하는 주택내 거실 온열 환경의 실태조사 - 서울과 동경의 사례조사 -

A Research on the Indoor Thermal Environment in Livingroom with Radiant Floor Heating System - Casestudy in Korea and Japan -

전정윤* 三田村輝章** 深井一夫***
Chun Chung-Yoon Mitamura Teruaki Fukai Kazuo

Abstract

The purpose of this study is to find out the present thermal environment of the Korean livingroom in comparison with the Japan's. Thermal environment of the livingroom with radiant floor heating system in Korea and Japan is analysed. The surveys and measurements are took place in two detached houses and two apartments in Seoul, Korea and two apartments in Tokyo, Japan for a 48-hour period at the beginning of March, 2003. The result of this study shows that the thermal environment of the livingroom in Korean houses, especially in the apartments is warmer and stabler than the Japan's. However, despite of its high temperature, Koreans have a tendency to rise their room temperature creating excess.

Keywords : Floor heating, Thermal environment, Measurement, Korea, Japan

주요어 : 바닥난방, 온열환경, 측정, 한국, 일본

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 온돌을 오래전부터 사용하여 왔으며, 지금도 대부분의 주택에서 난방방식으로 채용하고 있다. 바닥복사난방을 중심으로 한 패넌히팅은 세계적으로 우수한 난방방식으로 평가되면서 최근 들어 그 이용이 널리 보급되고 있다. 특히 전통적으로 난방설비가 없었던 일본에서는 최근에 바닥난방에 대한 선호도가 매우 높아지면서 바닥 패넌히팅의 보급률이 급격히 늘어나고 있다.

한편, 우리나라는 오래전부터 바닥난방에 관한 연구가 이루어져 왔는데, 많은 연구들이 난방시스템 자체의 물리적 성능의 개선과 발전, 그리고 실험실연구를 중심으로 한 온열중성점과 쾌적온도범위에 관한 연구를 중심으로 이루어져 왔다. 이러한 연구의 결과는 주택전체의 단열 성능의 향상과 함께 바닥난방의 큰 성능 향상을 가져왔다. 그러나 실제 사람이 거주하며 생활하고 있는 상태에

서 주택실내에 생성되는 온열환경이란 주택이라는 물리적 구조체의 성능과, 난방시스템이 갖고 있는 기계적 성능, 그리고 거주자의 조절행위 및 사용방식, 생활행태라는 소프트한 측면이 모두 복합되어 최종 결과물을 생성하게 된다. 따라서, 궁극적으로 거주자의 쾌적성이나 건강성, 에너지 절약적 측면 등을 모두 고려한 양호한 난방시스템의 형성을 위해서는 이 세 가지 측면이 모두 연구되고 고려되어야 한다. 특히 주택이란 사무실이나 기타 공공건물에 비하여 이용자의 조절행위가 활발하게 이루어지는 곳으로, 그 안에서 형성된 온열환경이란 거주자의 다양한 조절행위 (실내조절행위, 의복량을 이용한 조절행위 등)를 거쳐 거주자가 스스로 선택한 실내환경이라고 해석할 수 있으므로, 다른 공간에 비하여 더더욱 의미하는 바가 크다.

이러한 배경에서 본 연구는 실제 거주자들이 생활하는 생활환경하에서 거주자들의 조절행위를 거쳐 형성된 실내온열환경의 실태를 파악하는 것을 목적으로 한다. 또한, 바닥난방을 오래전부터 사용한 한국과 최근 들어 사용하기 시작한 일본의 사례를 각각 조사하여 양국의 겨울철 주택실내온열환경이 어떻게 다른지를 비교한다.

2. 문헌고찰

실제 거주자가 생활하고 있는 상태에서 주택내 온열환경을 측정하였던 국내의 문헌을 살펴보았다. 주로 1980

*정회원, 연세대 주거환경학과 조교수, 공학박사

**정회원, 요코하마 국립대학 Ecotechnology System Laboratory 연구원, 공학박사

***정회원, 요코하마 국립대학 건축공학과 부교수, 공학박사

본 논문은 연세대학교 학술연구지원사업(신진교수지원)의 지원에 의하여 이루어졌음.

년대 후반에서 1990년대 초반 사이에 이루어진 연구가 많았으며 실험주택이나 입주 전 주택에서 측정된 예는 많았으나 거주자가 생활하고 있는 상태에서 생성된 온열환경을 측정하는 연구는 그다지 많지 않았다. 그러나 본 연구의 목적이 주택의 물리적 특성과 거주자의 생활적 특성이 섞였을 때 생성되는 실제생활환경의 측정이 목적이므로 거주자 생활상태에서 측정된 기존 연구만을 분석 대상으로 하였다. 그 결과를 <표 1>에 제시한다. 실내 공기온도는 11.8(1990, 개별식 연탄보일러아파트)~29°C (1988, 상향식 온수온돌 난방방식아파트 및 단독주택)의 범위를 나타냈다. 후구온도도 이와 비슷한 범위였으며, 공기온도와 큰 차이는 없었다. 바닥 표면온도의 경우는 16.4~43.8°C의 범위를 보여주고 있는데, 최고치와 최저치 모두 난방을 기름보일러로 하고 있는 단독주택의 경우(한운호 외, 1988)였다. 그리고 한운호(1988)의 연구와 윤정숙(1990)의 연구에서는 단독주택과 아파트의 온열환경을 비교하였는데 단독주택의 경우가 아파트의 경우보다 공기온도가 약 5°C 가량 낮은 것으로 나타났다. 이 경우는 단독주택은 연탄보일러를, 아파트는 기름보일러를 사용하고 있는 주택이었다.

2. 연구의 방법

1. 측정방법

본 실험은 한국의 서울과 일본의 동경에서 2003년 3월초 동시기에 측정을 행하였다. 서울의 경우는 단독주택 2세대와 집합주택(아파트) 2세대, 동경의 경우는 집합주택 2세대를 선정하여 거주자의 재실시간이 가장 많을 것으로 예상되는 토요일과 일요일의 주말 48시간동안 연속 측정하였다. 일본의 경우 바닥난방이 설치된 단독주택의 경우를 찾아보기 힘들었기 때문에 집합주택만을 선정하였다. 양국의 주택 모두 온수난방방식을 채용하고 있다. 측정장소는 거실로 한정하여 바닥표면온도 1지점, 공기온도 3지점(바닥위 5 cm, 바닥위 110 cm, 천정 아래 10 cm), 후구온도 1지점(바닥위 110 cm), 상대습도 1지점(바닥위 110 cm)을 측정하였다. 기류속도는 측정을 시작한 시점에서 1회 측정하였다.

물리적 환경의 측정 외에 기본적인 데이터(가족구성, 건축년수 등)와 측정 48시간동안의 난방기구 조절내용(on·off 시간, 온도조절 등), 거실에서의 생활시간과 활동 등을 조사하였다. 거주자들은 측정을 하는 동안 난방

표 1. 실제 주택의 온열환경을 측정된 기존 문헌연구

연구자	연구제목	측정 시기 및 측정대상, 측정방법	측정결과치
공성훈, 손장열, 이옥경 (1988)	공동주택의 온열환경 요소 분포와 인체의 자세별 온열쾌적 조건에 관한 연구	1987/2/26-3/3 아파트 1세대 안방 온수공급온도 70°C, 회수온도 65°C 바닥표면온도(배관직상 2지점, 배관사이 2지점)	공기온도 14.9~23.5°C(평균 20.2) 후구온도 18.4~23.6°C(평균 21.6) 바닥표면온도 21.7~34.9°C (배관직상 평균 28.2, 배관사이 평균 25.5) 상대습도 30~40%
공성훈, 손장열 (1988)	온수온돌 난방공간에서 착석 시 한국인의 온열적 쾌적범위에 관한 연구	아파트 1세대	공기온도 17.5~29.0°C(평균 22.2)
한운호, 이종우 (1988)	저온바닥면 복사난방의 열환경지표에 관한 연구	1988/2/1-20 아파트 6세대, 단독주택 4세대 일몰후부터 일출전까지 측정 바닥표면온도(배관직상 1지점, 배관사이 1지점)	공기온도 후구온도 바닥온도 단독주택(연탄) 13.0~16.0 13~16.2 20.3~35.8 단독주택(기름) 14.5~21.0 14.7~21.0 16.4~43.8 아파트(개별식연탄) 20.5~21.8 20.5~22.0 22.5~35.8 아파트(개별식기름) 23.3~27.0 23.3~27.0 27.0~34.8 아파트(중앙식) 21.0~26.0 20.2~26.0 24.7~38.0
윤정숙, 최숙현 (1990)	온돌난방주택의 온열환경에 관한 실험연구	1989/1/17-2/11 (10시부터 17시까지) RC조아파트 2세대, 조적조단독주택 2세대, 조적조아파트 1세대 거실, 침실, 식당	공기온도(°C) 아파트(개별식 연탄아궁이) 20.2~25.5 단독주택(개별식 연탄보일러) 14.0~21.2 아파트(개별식 연탄보일러) 11.8~21.4 단독주택(개별식 기름보일러) 15.5~24.8 아파트(중앙식 기름보일러) 23.3~28.5
윤정숙, 민경애, 최윤정 (1994)	온돌난방공간에 있어서 온수공급조건에 따른 거주자의 주관적 반응과 온열쾌적범위	1994/2/21-3/6 RC조아파트 1세대 연속난방5시간, 간헐난방 5시간	공기온도 후구온도 바닥온도 상대습도 연속난방 23.5~26.5 26.0~32.9 27.0~31.3 28.0~34.0 간헐난방 23.0~26.2 23.0~26.7 25.1~31.0 35.5~42.0

표 2. 조사대상주택의 개요

	대상주택	가족 수	거주 연수	건축년도	구조	측정일	바닥 마감
한국	집합주택 K-A	2	1년 7개월	2001	RC	3/1~2	목재
	집합주택 K-B	4	2년 2개월	2001	RC	3/8~9	목재
	단독주택 K-C	4	10년	1993	조적조	3/1~2	비닐장판
	단독주택 K-D	5	7년	1994	조적조	3/8~9	목재
일본	집합주택 J-A	3	3년	1993	SRC	3/1~2	카페트
	집합주택 J-B	3	1개월	2003	RC	3/1~2	목재

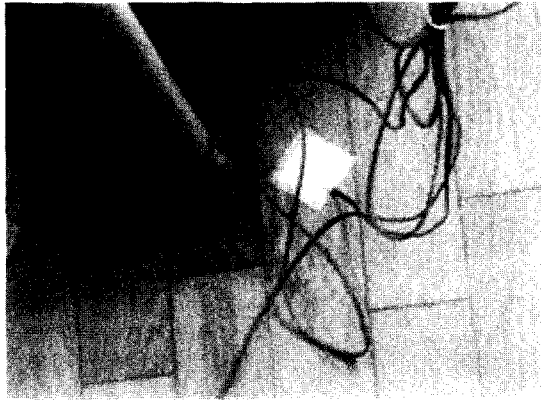


그림 1. 바닥표면온도의 측정

기구 사용의 변화가 있을 시, 그 때의 조절행위(예: 온도를 높임, 온도를 낮춤 등)와 조절온도, 시간 등을 기록하였다.

<표 2>는 조사대상 주택의 개요를 나타낸다.

2. 측정기구

바닥표면온도와 공기온도의 측정에는 열전대를 이용하여 데이터로거인 Thermic (ETO)에 기록을 하였고, 상대습도와 흑구온도의 측정은 Espec사의 RS-11 온습도 데이터 로거를 이용하였다. 그리고 기류측정을 위해서는 열선식 풍속계인 Climomaster (Kano-max)를 이용하였다.

3. 연구의 결과

1. 측정결과

(1) 실측일의 외기온

일본은 홋카이도와 혼슈 북부 및 중부 내륙고지를 제외하고 온대다우기후에 포함된다. 일본열도는 남북으로 길어 홋카이도 북단에서 난세이제도 남단까지는 위도차가 22°C나 되고, 따라서 연평균기온도 남북차가 16°C에

달한다. 동경의 기후는 여름에 고온다우하고 겨울에 비교적 한랭건조한 기후를 보인다. 1월 평균기온 4.1°C, 8월 평균기온 27.1°C, 연평균기온 15.6°C이고, 연강수량 1,405 mm이다. 서울은 온대성 냉대 기후로서 연평균 기온이 11.8°C 정도이며 여름(6월-9월 중순)에는 월평균 기온 20°C~27°C가 이어지고, 겨울(12월-2월)은 월평균 기온 -5°C~0°C이다. 본 연구의 측정은 서울에서 2003년 3월 1~2일과 3월 8~9일, 동경은 3월 1~2일의 48시간동안 측정을 하였다. 실측일의 서울과 동경의 외기온을 <표 3>에 나타내었다.

3월 1일은 서울이 동경보다 약간 따뜻하고, 3월 2일은 양국이 거의 동일한 기온이었다. 서울의 3월 8일과 9일은 전 주말보다 약간 온도가 낮았다. 측정기간 동안 양국의 외기온의 평균값에는 큰 차이가 없었던 것으로 사료된다.

(2) 실온과 상대습도

<표 4>는 48시간 동안의 실측결과를 정리한 것이다. 전반적으로 서울이 동경보다 실온이 높고 습도가 낮은 것으로 나타났다. 서울의 주택은 평균 23.3°C, 상대습도 37.6%를 나타냈고, 동경의 주택은 평균 19.6°C, 57.1%의 상대습도를 나타내었다. 흑구온도는 실내 공기온도와 거의 동일하였다. 전반적으로 서울의 주택이 동경의 주택보다는 실내 공기온도가 높고, 습도가 낮은 것으로 나타났는데, 외기의 온도와 상대습도는 양국간에 그다지 차이가 없었기 때문에 한국과 일본의 주택에서 나타나는 이러한 실내 온도의 차이는 외기온의 영향 때문은 아닌 것으로 생각된다.

K-C는 단독주택으로 한국의 주택 가운데에서 가장 공

표 3. 실측일의 외기온

측정일		평균온도 (°C)	최고온도 (°C)	최저온도 (°C)	평균상대습도(%)
		서울	3-01	6.5	10.2
	3-02	4.3	7.2	1.4	72.5
	3-08	2.6	4.8	0.8	76.5
	3-09	3.4	7.0	0.0	69.8
도쿄	3-01	4.9	8.3	3.3	67.6
	3-02	4.2	6.8	1.5	72.7

표 4. 실측 결과
(Ta 공기온도(°C), RH상대습도(%), Tg흑구온도(°C))

		평균치			최고치			최저치			기류 (m/s)
		Ta	RH	Tg	Ta	RH	Tg	Ta	RH	Tg	
한국	K-A	23.9	27.6	23.7	26.0	35	26.2	20.6	25	20.1	0.02
	K-B	24.6	35.7	24.9	25.6	52	25.8	21.9	26	23.7	0.02
	K-C	20.3	58.1	20.4	22.2	79	22.1	18.5	41	18.7	0.01
	K-D	24.3	28.8	24.4	27.0	44	27.0	20.2	21	20.2	0.04
일본	J-A	20.0	64.4	20.2	22.1	80	22.6	16.4	27	16.9	·
	J-B	19.2	49.9	19.3	21.7	68	21.7	16.6	38	16.7	·

기온도가 낮고, 상대습도가 높다. 상대습도를 절대습도로 환산해도 가장 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 K-C의 거실 내에 화초가 많았기 때문에 이의 영향이 있었을 것으로 추정된다. 48시간동안의 거실내 공기온도 데이터를 외기온과 함께 <그림 2>에 나타내었다. 외기온의 변동에 따른 실내온도에의 영향이 나타나는 것은 일본의 J-B주택으로, 한국의 집합주택에 비해 낮은 열용량의 일본 집합주택의 한 사례로 살펴볼 수 있다. 또한 한국의 K-D주택의 경우, 외기온의 변동과 역전되는 실내온도의 변동양상을 나타냈다.

즉 외기온이 내려가면 실내온도가 올라가고, 외기온이 올라가면 실내온도가 상대적으로 내려가는 경향을 나타내었다. 이는 일본의 경우 주택과 병실 등에서 여름철에 주로 나타나는 현상으로,^{1,2)} 한여름에 외기온이 높아지면

실내 거주자가 과도하게 냉방을 해, 결과적으로 외기온이 높아지면 실내온도가 낮아지고, 외기온이 낮아지면 실내온도가 높아지는 현상과 동일한 현상으로 생각된다. 일본의 이러한 과다냉방 현상이 우리나라의 경우 겨울철의 과다난방으로 나타난 것으로 사료되며, 이는 일본은 겨울철에 비해 여름철이, 한국은 여름철에 비해 겨울철이 외기조건이 상대적으로 지내기 어렵기 때문으로 추정된다. 동경의 경우는 의복량의 조사가 이루어지지 않아 알 수 없으나 서울의 경우는 의복량의 조사가 이루어졌는데 한국 4세대의 거주자 총 16명의 clo치를 살펴본 결과, 남성 7명의 clo치는 평균 0.457, 여성 9명의 clo치는 0.483으로서 전체 평균 0.472로 나타났다. 이는 반팔 셔츠와 얇은 긴바지 착용시의 의복량으로 평균 23.3°C라는 높은 실내온도와 함께 과다난방의 모습을 보여준다고 할 수 있다.

(3) 바닥표면온도

<그림 3>은 각 주택의 바닥표면온도와 공기온도를 함께 나타낸 그래프이다. K-A의 경우는 측정 첫째 날 오전에 난방을 끄고 그 이후 다시 키지 않았다고 신고했다.

K-B의 경우는 실측 기간 중 총 4회 난방을 조절하였고 기록되었지만, 바닥표면온도의 변화는 거의 없었다. 이는 보일러의 운전능력 변동이 나타나지 않는 좁은 범위의 온도조절 행위로 인한 것으로 사료된다. K-C의 경우는 실측도중 열전대가 단선되었기 때문에 바닥표면온도가 도중부터 기록되지 못했다. K-D와 J-A, J-B는 난방 조절에 따른 변화의 모습이 확실히 나타나고 있으며, J-B가 가장 자주 on·off를 반복하고 있는 것을 알 수 있다. 바닥표면온도는 K-D가 가장 높아, 최고 38.1°C를 기록하였다.

<표 5>는 바닥표면온도의 평균과 범위를 나라별로 분류하여 제시한 것이다. 서울은 평균 26.4°C, 동경은 평균 22.7°C의 바닥온도를 나타내, 한국이 일본에 비해 약 3.7°C 높은 것으로 나타났다. 그러나 바닥온도의 변동 범위는 동경이 보다 넓은 것으로 나타났는데, 이는 종일난방을 행하는 한국인의 난방특성과 간헐난방을 행하는 일본인의 난방특성을 나타내고 있는 것으로 생각된다.

한국의 경우 아파트가 단독주택보다 바닥온도와 실온이 근접한 것으로 나타났으며, 일본의 집합주택과 비교하여 나타나는 이러한 안정적인 실내온도는 인접하는 주택들이 모두 전실 바닥난방을 채용하고 있다는 점에서도 기인하는 것으로 사료된다. 한국의 단독주택의 경우, 아파트에 비해 온도의 변동 폭이 크게 나타나는 것은, 외

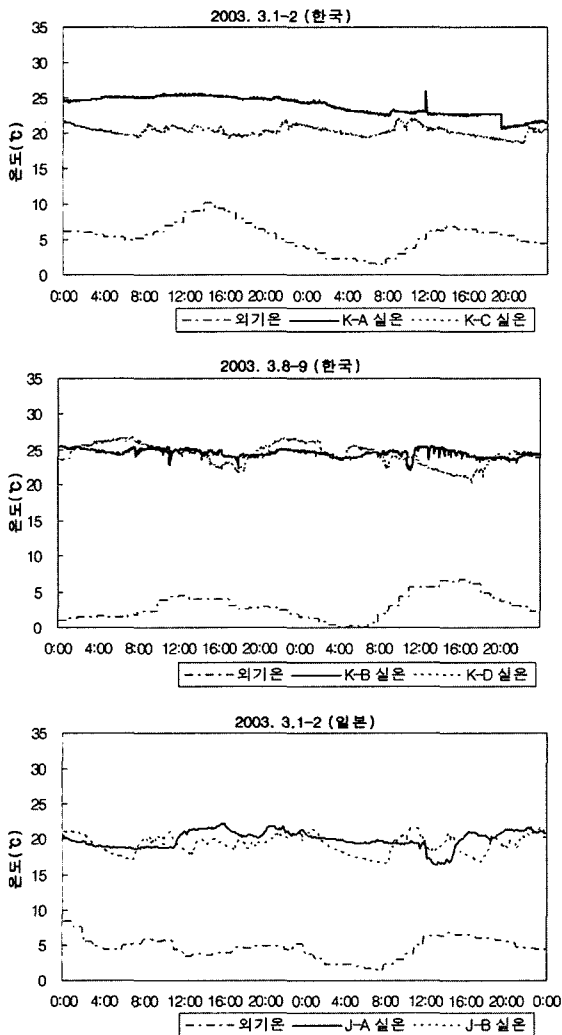


그림 2. 측정 48시간 동안의 외기온과 주택의 실온

2) 中野昌行 외 3인(2002), 大學生が夏季の日常生活で曝露される氣温と溫冷感, 日本建築學會大會學術講演梗概集.
 3) 吉田敬一(1987), 人工環境, 新生理學體系22, 醫學書院, 第6章, 氣候馴化と適應, IV., 398-403.

표 5. 바닥표면온도 실측결과(°C)

	한 국				일 본	
	K-A	K-B	K-C	K-D	J-A	J-B
평균	25.0	24.6	24.2	31.8	21.3	24.0
범위	22.8~ 27.4	23.3~ 25.2	22.1~ 27.5	23.6~ 38.1	17.6~ 31.4	16.8~ 36.9

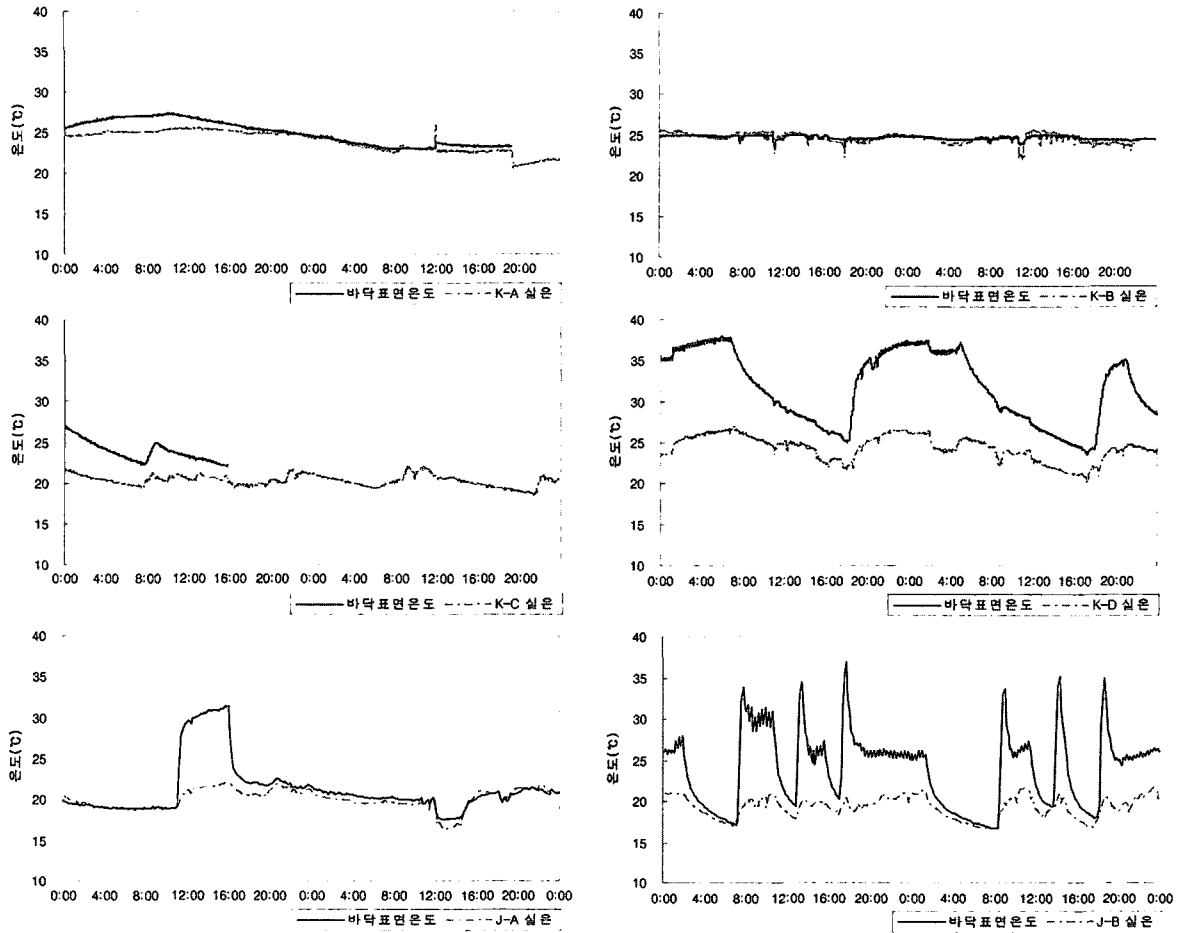


그림 3. 측정 48시간 동안의 바닥표면온도와 주택의 실온

기에 면해 있다는 점과 함께 조사대상 단독주택이 아파트에 비해 건축시기가 오래되어 상대적으로 단열성능이 떨어지기 때문인 것으로 생각된다.

2. 난방조작행동과 실내온도

〈표 6〉은 거주자가 난방을 켜거나 온도를 올렸다고 보고한 시간과 그 때의 공기온도, 후구온도이다. 주택마다 48시간의 평균온도와 함께 나타내었다.

온도를 올렸을 때의 온도는 주택별로 차이가 크게 나타났다. K-B는 실온이 평균 24.48°C, K-C는 19.06°C, K-D는 22.27°C일 때 온도를 올렸으며, 일본의 J-A는 19.1°C, J-B는 17.63°C일 때 온도상승조절행위가 일어났다. K-D와 J-B는 각 주택의 평균온도보다 2°C 정도 낮을 때, K-C와 J-A는 1°C정도 낮을 때 온도를 올리고 있었다. K-B는 실측기간 중 온도차가 거의 없이 실온이 안정적이었고, 난방을 켰을 때와 그 후의 온도변화가 거의 없었다.

이와 같이, 실내온도도 높고, 온도를 조절한 후에도 아무런 변화가 없음에도 불구하고 조작행동이 나타나 습관적인 조작행동의 가능성을 보였다.

IV. 결 론

서울과 동경에서 바닥난방을 사용하고 있는 주택 거실 내의 온열환경을 실측하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 서울의 주택은 평균 실내온도 23.3°C, 상대습도 37.6%를 나타낸 반면, 동경의 경우는 평균 실내온도 19.6°C, 상대습도 57.1%를 나타내, 전반적으로 한국의 주택이 일본의 주택보다 온도가 높고 습도가 낮은 것으로 나타났다.
- 2) 서울 4세대의 거주자 총 16명의 clo치를 살펴본 결과, 평균 0.47clo로 나타나, 겨울철 착용하고 있는 실내 의복의 의복량이 계절에 비해 적은 것으로 나타났다.
- 3) 바닥표면온도는 서울이 평균 26.4°C, 동경은 평균 22.7°C로 나타나 한국이 일본보다 약 3.7°C 높은 것으로 나타났다.
- 4) 난방조작행동이 일어나는 온도는 각 주택마다 차이가 많았으나, 서울이 동경보다 높은 온도에서 온도를 상승조절하고 있는 것으로 나타났다.

표 6. 각 주택의 난방조작행동과 그 때의 온도

주택	시간	실내온도	흑구온도
K-B	6:00:00	24.6	24.7
	20:30:00	24.5	24.6
	10:40:00	24.8	25
	20:00:00	24	24.2
	평균	24.48	24.63
	48시간 평균	24.56	24.91
K-C	7:30:00	19.2	19.4
	19:30:00	19.5	19.7
	22:00:00	21.6	21.5
	6:00:00	19.1	19.5
	17:30:00	19.9	19.9
	21:30:00	18.5	18.8
	평균	19.06	19.8
	48시간 평균	20.29	20.42
K-D	0:00:00	23.3	23.6
	18:00:00	21.6	21.7
	18:00:00	21.9	22.1
	평균	22.27	22.47
	48시간 평균	24.32	24.35
J-A	11:00:00	19.1	19.1
	48시간 평균	19.99	20.22
J-B	7:00:00	16.8	17
	12:30:00	17.9	18.2
	17:00:00	18.3	18.6
	8:20:00	16.3	16.7
	13:40:00	18.9	19
	18:00:00	17.6	17.7
	평균	17.63	17.87
	48시간 평균	19.24	19.33

이상의 결과로부터, 서울의 주택 특히 아파트의 경우, 동경의 주택에 비해 안정적이고 높은 실내온열환경을 나

타내어 그 질이 양호한 것으로 평가되나, 거주자의 낮은 clo치나, 높은 온도임에도 불구하고 온도상승 조절행위가 일어나는 등, 과다난방의 경향을 보였다.

감사의 글

본 연구는 이민정양(주) LG화학 산업재연구소, 당시 연세대학교 대학원생의 공로가 크기에, 여기에 표하여 감사를 전합니다.

참 고 문 헌

1. 조동우, 강재식(1996), 공동주택 바닥난방시스템의 성능 개선 연구, 한국건설기술연구원.
2. 손장열, 박재영, 안병욱, 신영태(1988.4), 온수온돌 난방공간의 열부하 해석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제 4권 2호.
3. 공성훈, 손장열, 이옥경(1988.6), 공동주택의 온열환경 요소 분포와 인체의 자세별 온열쾌적조건에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제 4권 3호.
4. 한운호, 이종우(1988.6), 저온바닥면복사난방의 열환경지표에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제 4권 3호.
5. 손장열, 안병욱, 박성기, 고시용(1988.8), 온돌면의 복사방열량 해석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제 4권 4호.
6. 공성훈, 손장열(1988.12), 온수온돌 난방공간에서 착석 시 한국인의 온열적 쾌적범위에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제 4권 6호.
7. 윤정숙, 최숙현(1990.4), 온돌난방주택의 온열환경에 관한 실험연구, 대한건축학회 논문집, 제 6권 2호.
8. 윤정숙, 민경애, 최윤정(1994.10), 온돌난방공간에 있어서 온수공급조건에 따른 거주자의 주관적 반응과 온열쾌적범위, 대한건축학회 논문집, 제 10권 10호.
9. 신우철, 장문석, 유현형, 민정현(2002.1), 온수온돌 난방 공동주택의 열전달 특성, 대한건축학회 논문집, 제 18권 1호.
10. 中野昌行 외 3인(2002.8), 大學生が夏季の日常生活で曝露される気温と温冷感, 日本建築學會大會學術講演梗概集.
11. 吉田敬一(1987), 人工環境, 新生理學體系22, 醫學書院, 第6章, 氣候馴化と適應, IV., 398-403.

(接受: 2004. 2. 11)