

# 공동주택의 온열환경 요소 분포와 인체의 자세별 온열쾌적조건에 관한 연구

글/손장열 (한양대학교 건축공학과 교수 · 공학박사)

## 1. 머리말

인구의 증가 밀집에 따른 주택난 해소에 가장 효율적인 방법 중의 하나가 공동주택의 건설이다. 따라서 공동주택이 상당히 빠른 속도로 건설되어 왔으며 앞으로도 계속 건설이 증가될 추세이다. 그러나 이러한 양적인 증가도 물론 중요하지만, 질적인 향상을 위하여서도 노력을 기울여야 한다. 즉 공동주택에 쾌적한 온열환경을 제공하기 위해서 기존 공동주택의 온열환경 분포 상태와 재실자의 온열감에 대한 실태조사를 실시하여 온열쾌적조건의 파악에 따른 온열환경의 질적인 향상을 도모하는 일은 매우 중요하다.

특히 우리나라 사람은 서양사람과는 달리 좌식생활을 주로 하기 때문에 온돌난방방식에 있어서 쾌적범위의 설정이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 대류난방과 온수온돌난방을 겸용하는 공동주택을 대상으로 기온·습도·기류·글로벌 온도·바닥온도에 대한 온열환경의 분포 특성을 파악하고, 또한 재실자에 대한 주관적 온열감을 앙케이트 조사를 통해 실시하여, 인체의 자세별에 따른 쾌적 온열환경조건을 제시하고자 한다.

그리고 현장 측정조사에서는 실험실의 측정조사와는 달리 재실자의 의복 상태의 변화량 등이 다양하기 때문에 여러 재실자에게 온냉감 만족도를 최대한으로 제공할 수 있는 쾌적온도를 설정하는 일은 그 의미가 크다.

## 2. 측정 및 설문조사

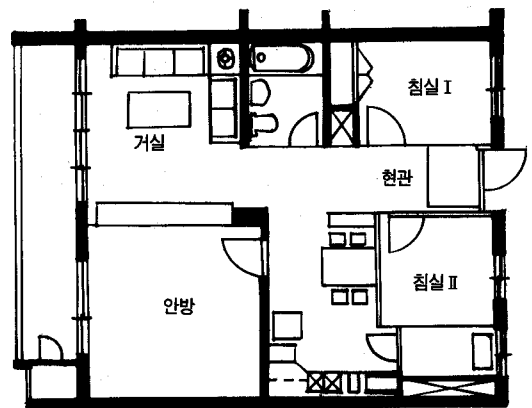
### 1) 측정대상 및 개요

측정대상은 서울시에 위치한 M아파트로 10층 건물 중 7층의 외곽주호를 선정하였다. <표-1>은 대상 건물의 개요이며 <그림-1>은 측정대상 주호의 평면도이다. 측정 및 설문조사는 대상주호의 침실 I 과 거실을 중심으로 하였다.

난방방식은 침실 I 의 경우 온수온돌 난방방식이고 거실의 경우 방열기를 이용한 대류난방방식이다.

측정기간은 난방기(1987년 2월26일~3월5일, 8일간) 냉방기(1987년 7월29일~8월3일, 6일간)으로 하였다.

<그림1> 측정대상 주호 평면도



〈표1〉 대상건물의 개요

소재지	서울시 구로구	배관 system	하향식 Reverse-Return 방식
방 위	정남향(S)	온수온도	Supply온도 : 약70C Return온도 : 약65C
동수및 세대수	5동, 639세대	주 호 전용면적	65.01㎡

2) 온열환경 요소의 측정

〈표-2〉에서 나타난 바와 같이, 본 연구에서 측정된 요소는 침실 I 과 거실에 대한 기온·습도·기류·글로벌 온도·바닥온도를 포함한 내표면 온도·남북측 외기온이며, 이때 사용된 기기는 Assmann-통풍식 건습구 온도계 + C, C 열전대(φ0.3mm) · 실내 열선 풍속계(KANOMAX24-611) · Data Logger(YODAC-85S) 등이다.

3) 응답자의 조건 및 실험계획

응답자는 건강상태가 양호한 사람으로 사전에 설문지 작성 교육을 받았으며 운동량 0.8~1.0Met(주1) 상태에서(눅거나 앉은 자세) 설문지 응답을 하였다. 총응답 빈도수는 난방기 166회·냉방기 110회이다. 평균착의량은 난방기 0.85clo(주2)·냉방기 0.41clo이며 의복의 열저항치는 ASHRAE STANDARD55- 1981에 기준을 두었다.

그리고 실내 온열환경에 대한 재실자의 주관적 반응은 〈표-3〉과 같은 온냉감 척도를 사용하였고 실험의 전반적인 계획은 〈그림-2〉와 같다.

\*주1) Met는 대사량을 나타내는 단위이며, 안정시의 대사를 기준으로 한다. (1Met=50 Kcal/㎡h)

\*주2) clo는 의복의 열절연성을 나타내는 단위이며, 기온 21℃·상대습도 50%, 기류 5cm/sec 이하의 실내에서 체표면에서의 방열량이 1Met의 대사와 평형되는 착의상태를 기준으로 한다. (1clo=0.18㎡h℃/Kcal)

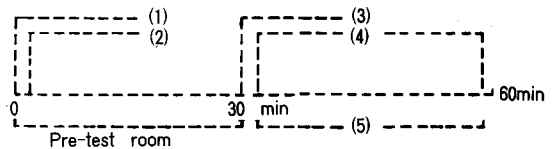
〈표2〉 측정요소 및 방법

순번	측정 요소	측정장소	측 정 기 기	기 록	측정 간격
1	외기온	남측, 북측	C, C열전대 (φ0.3mm)	DATA LOGGER (YODAC-85S) 기록지	30분
2	내표면	침실 I, 각벽면 거실 각벽면	Assmann-통풍식 건습구 온도계 + C, C 열전대 (φ0.3mm)		
3	바닥 온도	침실 I, 거실			
4	건구 온도				
5	습구 온도		Assmann-통풍식 건습구 온도계 + C, C 열전대 (φ0.3mm)		
6	글로벌 온도		흑구온도계 + C, C 열전대 (φ0.3mm)		
7	기류속도		실내 열선 풍속계 (KANOMAX24-611)		

〈표3〉 온냉감 척도

-3: 춥다	+1: 약간 덥다
-2: 서늘하다	+2: 덥다
-1: 약간 서늘하다	+3: 대단히 덥다
0: 알맞다	

〈그림2〉 실험 계획



- (1) 설문지응답에 대한 사전교육 실시
- (2) 응답자의 건강상태 조사
- (3) 응답자의 의복량 조사
- (4) 응답자의 온열감 조사
- (5) 온열환경의 측정

3. 측정결과 및 고찰

1) 온열환경요소의 분포

① 기온의 분포

〈표-4〉는 냉난방기의 기온 분포를 나타낸 것이다. 〈표-4〉에서 냉방기의 기온범위는 침실 I 14.9~23.5℃, 거실 17.8~25.3℃이다. 이때 온도교차는 침실 I 8.6℃, 거실 7.5℃로써 상호 비슷하다. 냉방기의 기온범위는 침실 I 23.2~28.9℃, 거실 24.7~29.9℃로써 평균교차는 5.5℃이다.

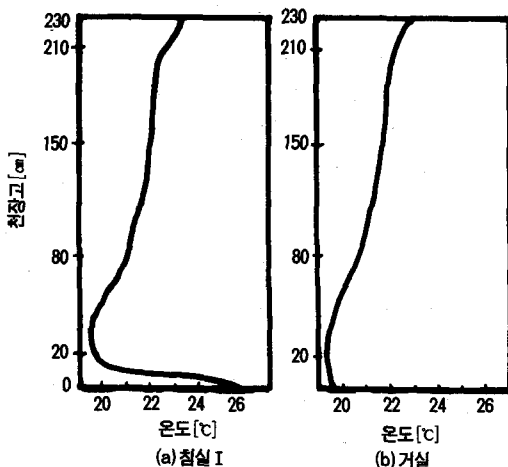
또한 난방기의 온도교차가 냉방기의 온도교차에 비해 2~3℃ 정도 크다. 이는 난방기에는 열원이 공급되지만 냉방기에는 전적으로 외기조건에 의해 실온이 제어되기 때문이라 사료된다.

〈그림-3〉은 난방기의 수직온도 분포를 나타낸 것으로 거실의 온도 구배가 침실 I의 온도구배에 비해 비교적 온도편차가 작다. 이는 난방방식(침실 I : 온수온돌난방, 거실 : 대류난방) 차이에 따른 것이라 생각된다.

〈표4〉 냉난방기의 기온분포(c)

계절	측정실	온도범위	평균	온도 교차	표준 편차
난방기	침실 I	14.9~23.5	20.2	8.6	1.2
	거 실	17.8~25.3	20.7	7.5	1.4
냉방기	침실 I	23.2~28.9	26.4	5.7	1.0
	거 실	24.7~29.9	27.2	5.2	0.9

〈그림3〉 수직온도 분포(난방기)



또한 거실의 수평온도 분포는 난방기에는 19.7~20.7℃, 냉방기에는 26.3~27.2℃로 비교적 균일한 분포를 보여준다.

② 글로브 온도의 분포

〈표-5〉는 냉난방기의 글로브 온도분포를 나타낸 것이고 〈그림-4〉(a), (b)는 측정기간중 1일(난방기 : 3월 1일, 냉방기 : 8월 1일)의 실온과 글로브 온도 변화를 나타낸 것이다.

〈그림-4〉(a) (b)에서 냉난방기에 있어 침실 I 과 거실의 글로브 온도가 실온과 비슷하게 제어되고 있다. 그리고 난방기에 있어서 침실 I 의 실온과 글로브 온도의 차가, 냉방기의 실온과 글로브 온도의 차에 비해 큰 것을 알 수 있으며, 이것은 바닥에서의 복사열에 의한 영향으로 생각된다.

〈표5〉 냉난방기의 글로브온도 분포(c)

계절	측정실	온도범위	평균	온도 교차	표준 편차
난방기	침실 I	18.4~23.6	21.6	5.2	0.9
	거 실	17.7~25.0	20.7	7.3	1.6
냉방기	침실 I	24.7~28.3	26.5	3.6	0.8
	거 실	24.2~30.4	26.7	6.2	1.4

또한 〈표-5〉에서 난방기의 경우, 침실 I 과 거실의 글로브 온도는 0.9℃정도 침실 I 이 높은 것을 알 수 있으며 이것 역시 바닥에서의 복사열에 의한 영향으로 생각된다. 냉방기의 경우 침실 I 과 거실의 평균온도는 각각 26.5℃, 26.7℃로써 비슷하다.

③ 바닥온도의 분포

바닥온도는 침실 I 의 경우 온수배관 직상부분 2점과 배관과 배관 사이의 2점을 측정하였다. 그리고 거실의 경우는 카펫트(Carpet) 위 4점을 평균한 값으로 하였다.

〈표-6〉은 냉난방기의 바닥온도 분포를 나타낸 것이고 〈표-7〉은 난방기에 있어 온수배관 직상부분 온도와 배관과 배관사이(핏치) 250mm의 중간지점

온도를 날자별로 나타낸 것이다.

〈표-6〉에서 바닥온도는 난방기에 있어 침실 I 21.7~34.9℃(평균 26.9℃), 거실 15.6~23.2℃(평균 18.2℃)이며, 냉방기에 있어 침실 I 25.8~29.3℃(평균 26.7℃), 거실 24.6~31.7℃(평균 26.7℃)이다. 특히 난방기에 있어 침실 I 과 거실의 바닥 온도차는 약 8.7℃로써 그 차가 큰 것을 알 수 있다.

또한 〈표-7〉에서 온수 배관 직상부분과 배관과 배관사이의 중간지점 평균온도는 각각 28.2℃와 25.5℃로써 그 차는 2.7℃이다.

〈그림-5〉는 난방기에 있어 측정기간 중 1일(3월 1일 11:00~3월 2일 10:30)의 외기온과 바닥온도 변화를 나타낸 일레이다.

〈그림-5〉에서 방바닥의 축열에 의한 시간지연(Ti-

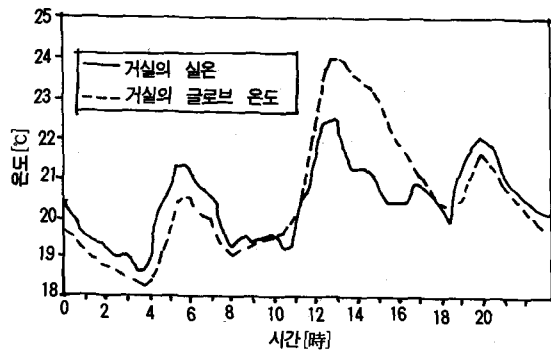
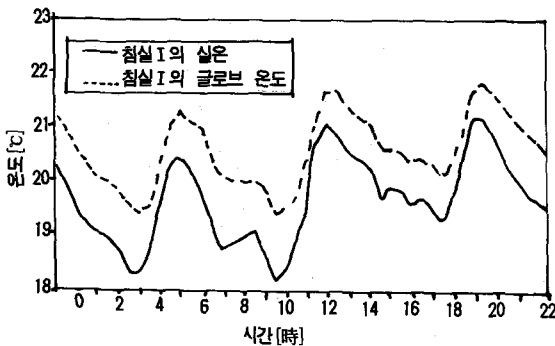
〈표6〉 난방기의 바닥온도 분포(℃)

계절	측정실	온도범위	평균	온도 교차	표준 편차
난방기	침실 I	21.7~34.9	26.9	13.2	3.3
	거 실	15.6~23.2	18.2	7.6	1.6
냉방기	침실 I	25.8~29.3	26.7	3.5	0.7
	거 실	24.6~31.7	26.7	7.1	1.4

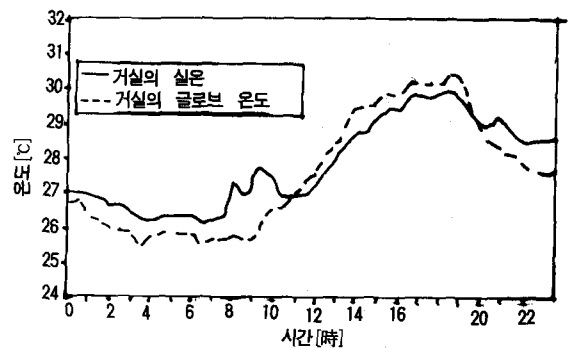
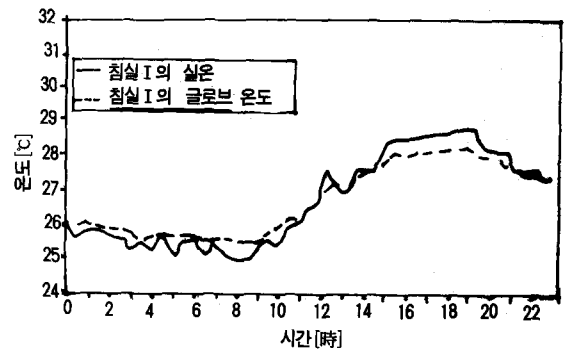
〈표7〉 난방기에 있어 온수배관 직상부분 온도와 배관과 배관사이의 중간지점 온도(℃)

위 치	1일	2일	3일	4일	5일	6일	7일	평균
온수배관	28.3	29.2	29.6	29.1	27.3	28.1	27.0	28.2
직상부분	27.9	28.9	29.2	28.5	26.9	27.7	26.9	
배 관 과	25.3	25.8	26.5	25.9	25.3	25.6	25.1	25.5
배관사이	25.2	25.8	26.2	25.5	25.0	25.1	24.9	

〈그림4〉(a) 1일중 실온과 글로브온도의 변화(난방기)



〈그림4〉(b) 1일중 실온과 글로브 온도의 변화(냉방기)



- me-lag) 현상을 고려해서 순환펌프 가동개시 시각 (04 : 00, 11 : 00, 18 : 00) 의 1시간 후를 난방시간대 (05 : 00~07 : 00, 12 : 00~14 : 00, 19 : 00~21 : 00) 로 간주하고 이때의 평균 바닥온도는 30.7℃ 이고, 비난방시간대 (08 : 00~11 : 00, 15 : 00~18 : 00, 22 : 00~04 : 00) 의 평균 바닥온도는 25.4℃이다. 이때 온도차가 약 5.3℃로 그 차가 큰 것을 알 수 있다.

④ 상대습도 및 기류의 분포

〈표-8〉은 상대습도와 기류의 분포를 나타낸다. 〈표-8〉에서 냉방기의 상대습도가 높게 나타난 것은 측정기간이 우기이었기 때문이라 사료된다.

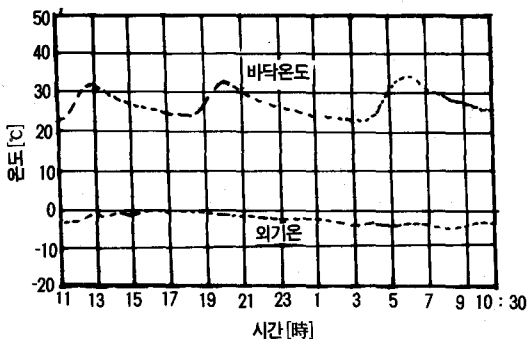
또한 냉방기의 기류 분포 범위가 냉방기에 비해 넓은 것은 창문과 현관문의 개폐에 따른 것이라 생각된다.

⑤ 실내 습열환경요소 간의 관계식

〈표-8〉 상대습도와 기류의 분포

계 절	상대습도 [%]	기 류 [m/S]
난 방 기	30 ~ 40	0.03 ~ 0.05
냉 방 기	75 ~ 85	0.6 ~ 0.7

〈그림5〉 1일중 외기온과 바닥온도의 변화



〈표-9〉는 상기의 측정결과를 바탕으로 실내 온열 환경 요소 간의 관계식을 나타낸 것이다.

〈표-9〉 실내 온열환경요소 간의 관계식

계 절	측정실	회 귀 식	상관계수 (R)	비고
난방기	침실 I	$CLO=3.70895+0.78189IND-0.17047OUT-0.07954FLO$	0.92123	CLO : 글로벌온도
	거실	$CLO=-3.29703+1.13659IND-0.06281OUT$	0.95305	IND : 실내기온
냉방기	침실 I	$CLO=-0.8032+0.7331IND+0.30041FLO$	0.95079	OUT : 외기온
	거실	$CLO=2.04705+0.63869IND+0.29174FLO$	0.96813	FLO : 바닥온도

이때 고려된 요소는 실내기온, 글로벌온도, 바닥온도, 외기온이며, 인자분석 (Variable Selection) 을 위해 단층 추가방식의 다중 회귀분석 (Stepwise Multiple Regression Analysis) 에 의해 산출하였다. 여기서 종속변수 (Dependent) 는 복사온도 · 기온 · 기류의 영향을 종합적으로 나타낼 수 있는 글로벌온도로 하였다.

2) 재실자의 온열감

① 바닥온과 전신온열감

기온과 글로벌온이 전신온열감에 영향을 미치는 사실은 이미 기재의 연구결과에서 밝혀진 바 있다. 본 연구에서는 바닥온도가 전신온열감에 미치는 영향을 알기 위해, 자세별 바닥 온열감이 전신온열감에 미치는 영향을 「피어슨」 상관계수를 통해 살펴 보았다. 〈표-10〉은 자세별 바닥온열감이 전신온열감에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

〈표-10〉에서 보는 바와 같이 계절별 · 자세별에 따른 상관계수가 0.5~0.7 정도의 범위로 비교적 높게 나타난 것을 알 수 있으며, 특히 방바닥에 누운 자세가 0.6~0.7 범위로 상관관계가 높게 나타났다. 이것은 방바닥에 누운 자세가 방바닥에 앉은 자세에 비해 방바닥에 대한 접촉 부위의 면적이 더 넓기 때문인 것으로 사료된다.

② 온열감 모델식과 자세별 쾌적온도

각 자세별에 따른 환경평가요소는 실내기온·글로벌온도·바닥온도로 하였으며, 방바닥에 앉은 자세와 방바닥에 누운 자세에 따른 전신온열감 응답은 온수온돌 난방방식인 침실 I 에서 실시 하였으며, 의자(쇼파)에 앉은 상태에서의 응답은 대류난방방식인 거실에서 실시하였다.

온열감 모델식은 사회과학 통계처리법 (SPSS : Statistical Package for the Social Sciences) 을 이용하여 산출하였다.

<표-11> (a) (b) 는 계절별·자세별에 따른 온열감 모델식과 각 경우에 따른 쾌적온도를 나타낸 것이다.

3) 연구결과의 검토

<표10> 계절별·자세별에 따른 바닥온열감과 전체 온열감의 상관계수

자세 \ 계절	난 방 기	냉 방 기
방바닥에 앉음	0.5168 (P<0.001)	0.6924 (P<0.001)
방바닥에 누움	0.6836 (P<0.001)	0.7467 (P<0.001)

※ 여기서 P는 유의수준의 지수임

① 온열환경의 분포

<그림-3>은 난방방식별에 따른 기온의 수직분포

<표11> (a) 온열감 모델식과 쾌적온도 (난방기)

자 세	평가환경요소	온 열 감 모 델 식	상관계수(R)	쾌적온도(t)	비 고
방바닥에 앉 음	건구온도 (IND)	WBS=-7.17710+0.33922IND	0.4	21.2	WBS : 전신온열감
	글로벌온도 (GLO)	WBS=-7.11982+0.32723GLO	0.3	21.8	
	바닥온도 (FLO)	WBS=-6.11838+0.19845FLO	0.5	30.8	
방바닥에 누 움	건구온도 (IND)	WBS=-9.2956+0.417IND	0.6	22.3	
	글로벌온도 (GLO)	WBS=-9.71841+0.42587GLO	0.5	22.8	
	바닥온도 (FLO)	WBS=-4.94643+0.14374FLO	0.6	34.4	
의 자 에 앉 음	건구온도 (IND)	WBS=-3.8633+0.17537IND	0.4	22.0	
	글로벌온도 (GLO)	WBS=-2.41074+0.1068GLO	0.3	22.7	

<표11> (b) 온열감 모델식과 쾌적온도 (냉방기)

자 세	평가환경요소	온 열 감 모 델 식	상관계수(R)	쾌적온도(t)	비 고
방바닥에 앉 음	건구온도 (IND)	WBS=-5.61189+0.22286IND	0.3	25.2	WBS : 전신온열감
	글로벌온도 (GLO)	WBS=-4.98631+0.19773GLO	0.2	25.2	
방바닥에 누 움	건구온도 (IND)	WBS=-5.78944+0.21697IND	0.2	26.7	
	글로벌온도 (GLO)	WBS=-8.5784+0.32052GLO	0.3	26.8	
의 자 에 앉 음	건구온도 (IND)	WBS=-11.794+0.45898IND	0.6	25.7	
	글로벌온도 (GLO)	WBS=-8.73942+0.34629GLO	0.6	25.2	

를 나타낸 것으로 침실 I 의 온도 구배가 거실의 온도구배에 비해 비교적 온도편차가 큰 편이며, 특히 바닥에서 20cm 높이까지의 온도편차는 매우 큰 편이다. 이것은 난방방식의 차이(침실 I : 온수온돌난방, 거실 : 대류난방)에 의한 것으로 생각되며, 따라서 방바닥 누운 자세에서의 온열환경은 대류난방방식에서 누운자세의 온열환경과 많은 차이가 있음을 알 수 있다.

〈표-5〉에서 나타난 바와 같이 난방기의 경우 침실 I 과 거실의 글로브온도 차는 0.9℃정도 침실 I 이 높은 것을 알 수 있는데 이것은 바닥에서의 복사열에 의한 영향으로 생각된다.

그리고 온수온돌 난방방식(침실 I)에서의 바닥온도 범위는 21.7~34.9℃(평균 26.9℃) 대류난방(거실)에서의 바닥온도 범위는 15.6~23.2℃(평균 18.2℃)이며 평균 바닥온도차는 8.7℃로써 그 차가 큰 것을 알 수 있다(〈표-6〉 참조).

〈표-8〉에서 알 수 있듯이 냉방기의 기류속도는 0.6~0.7m/s 범위이고 난방기는 0.03~0.05m/s 정도의 미기류 상태이다. 대상습도는 난방기 30~40%, 냉방기 75~85% 범위으로써 계절별에 따른 상대습도 차가 큰 것을 알 수 있다.

② 자세별 쾌적온도

〈표-12〉는 자세별 쾌적온도를 나타낸 것이다. 〈표-12〉에서 알 수 있듯이 방바닥 누움의 쾌적온도가 다른 자세의 쾌적온도에 비해 전반적으로 높은 것을 알 수 있으며, 또한 방바닥 누움의 쾌적온도 34.4℃ 방바닥 앉음의 쾌적온도 30.8℃로써, 3.6℃ 방바닥 누움의 쾌적온도가 높다. 이것의 주원인은 대사량 및 인체와 바닥과의 접촉면적 차이에 의한 것으로 사료된다.

계절별로 살펴보면, 건구온도가 3.7~4.4℃ 글로브온도 2.5~4.0℃ 범위로 난방기의 쾌적온도가 높음을 알 수 있으며, 이것의 주원인은 의복량에 의한 차이로 사료된다.

③ 본 연구결과와 타 연구결과와의 비교

〈표12〉 자세별 쾌적온도

자 세	환경요소	난방기(℃)	냉방기(℃)
방바닥에 앉음	건 구 온도	21.2	25.2
	글로브온도	21.8	25.2
	바닥온도	30.8	-
방바닥에 누움	건 구 온도	22.3	26.7
	글로브온도	22.8	26.8
	바닥온도	34.4	-
의 자 에 앉음	건 구 온도	22.0	25.7
	글로브온도	22.7	25.2

〈표-13〉은 본 연구결과와 타 연구결과를 비교한 것이다. 의자에 앉은 상태에서의 연구결과와 비교하여 보면, 본 연구결과는 난방기 1.9℃ 냉방기 0.6℃ 낮은 것으로 나타났으며 이는 온열감 증성범위 내에서의 차이로 생각된다. 그리고 미기류(0.03~0.05m/s)로 인해 글로브 온도와 작용온도를 동일한 것으로 간주하고, ASHRAE STANDARD 55-1981의 20.2~24.1℃와 비교해 보면, 본 연구결과는 22.7℃로써 이에 포함되어지는 것을 알 수 있다. 또 방바닥에 앉은 상태에서의 연구결과 (난방기: 기온 17.5~24.5℃, 바닥온도 30.6~38.8℃)와 비교하여 보면 본 연구결과가 모두 이에 포함되어지는 것을 알 수 있다.

연구결과와 비교하여 보면, 본 연구결과가 바닥온도의 범위(27~32℃)에는 포함되나 기온은 본 연구결과가 다소 높게 나타났다. 이는 외국인과 우리나라 사람과의 온열감의 차이, 의복량의 차이 등에 의한 것으로 생각된다.

4. 맺음말

본 연구는 공동주택에 있어서 난방방식별 온열환경의 분포 특성과 자세에 따른 온열쾌적조건을 제시하기 위하여 실내 온열환경요소를 측정하고, 재실자

에 대한 주관적 반응을 조사 하였다.

공동주택에 있어서 온열환경 요소간의 분포특성을 알기 위하여 온열요소간에 중회귀분석을 실시하였으며, 그 결과는 <표-9>와 같다. 그리고 자세별의 쾌적온도를 설정하기 위하여, 바닥온열감과 전신온열감과의 상관관계를 구하고 각각의 온열요소에 따른 온열감 모델식을 추출하였다. 그 결과는 <표-10> 과 <표-11> (a) (b)에 나타나 있다.

본 연구결과는 현장조사이기 때문에 실험실의 연구결과와는 다른 면에서 실제의 냉난방운전에 실용성 있는 기준온도가 될 것으로 생각된다.

앞으로의 연구과제는, 본 연구에서 고려되지 않은 좀 더 넓은 온도범위에서 실험이 이루어져야 할 것이고, 또한 의복량 및 대사량의 정확한 추정과 바닥 온도를 포함한 종합적 환경지표에 의한 쾌적온도를 설정할 필요가 있다.

<표13> 본 연구결과와 타 연구결과와의 비교

자 세	본 연구 결 과		타 연구 결 과		
	쾌적온도 (C)	측 정 조 건	연구 자	쾌적온도 (C)	측 정 조 건
의자에 앉 음	(난방기) 기온 22.0 글로벌온 22.7	(난방기) 1.0 met 0.85 clo 평균상대습도 35%	*2) 손장열외	(난방기) 기온 23.9  (냉방기) 기온 26.3	(난방기) 1.0 met 1.0 clo (냉방기) 1.0 met 0.6 clo
	(냉방기) 기온 25.7 글로벌온 25.2	(냉방기) 1.0 met 0.41 clo 평균상대습도 80%	*3) ASHRAE STANDARD 55-1981	(난방기) OT 20.2-24.1  (냉방기) OT 20.0-26.0	(난방기) 1.2 met 상대습도 35% 통상겨울철 착의량 (냉방기) 1.2 met 상대습도 50% 통상여름철 착의량
방바닥 앉 음 의 자 앉 음	(난방기) 기온 21.2 바닥온 30.8	(냉방기) 1.0 met 0.85 c/o	*4) 손장열외	(난방기) 기온 17.5-24.5 바닥온 30.6-38.8	(난방기) 1.0 met 1.1 clo
			*5) 기전현생외	(난방기) 기온 15-18 바닥온 27-32	(난방기) 1.0 met 통상겨울철착의량