

전통온돌방의 실내온열환경 및 온열감에 관한 연구

Evaluation of Indoor Thermal Environment and Thermal Sensation in Traditional Ondol Room

김난행*

Kim, Nan-Haeng

손장열**

Sohn, Jang-Yeul

Abstract

The aim of the research was to evaluate the characteristics of indoor thermal environment and thermal sensation in the traditional Ondol room. Indoor thermal factors including air temperature, operative temperature, floor surface temperature, relative humidity, PMV, OT were measured, and survey was carried out to understand subjective responses of resident's related to indoor thermal environment in Ondol room. The analysed houses are: the Chung hyo dang(the head house of Ryu family in Andong) and the Pyeung won jung(the traditional house in Yesan). The purpose of the survey was to know the relationship between resident's sensation and thermal environmental indicators such as air temperature, relative humidity, floor surface temperature, OT. The experimental results have pointed out how Ondol room may lead to comfortable and uniform indoor thermal environments.

Keyword : Traditional Ondol Room, Thermal Sensation, Survey

주요어 : 전통온돌방, 온열감, 설문조사

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리의 전통온돌난방은 복사난방방식의 일종으로 바닥면으로부터의 복사열이 인체의 열감각에 많은 영향을 미치고 있으며, 온열환경이 뛰어나다는 점, 열을 장시간 저장한다는 점, 열원이 거주공간 밖으로 분리되어 취사와 난방을 겸용한 시스템이라는 점등에서 독특하며, 우수함이 돋보인다. 그러나 이러한 전통온돌의 우수성을 경험적으로 알고 있지만 실내 온열환경특성 및 우리의 온열감에 대한 실험적 분석을 통한 과학적 연구는 미흡한 실정이다.

오랜 동안 우리들의 주거문화, 건축양식, 생활양식에 영향을 미쳐온 전통온돌이 시공, 유지관리상의 불편함 때문에 모두 현대의 온수바닥난방으로 바뀌어 거의 사라져 가고 우리의 주위에서는 보기 힘들어졌다.

본 연구에서는 전통온돌의 실내온열환경특성 및 인체에 대한 온열감을 파악하여 자료화하는 것을 목적으로 아직 존치되어 있는 전통온돌을 찾아 난방공간의 실내온열환경의 물리적 요소를 측정하고, 동시에 재실자의 주관적 반응에 의한 온열감을 평가·분석하였다.

<그림 1>은 본 연구의 흐름도이다.

II. 온열환경측정

1. 측정대상가옥 및 측정기간

본 연구에서는 전통가옥인 경북 안동 하회마을의 충효당과 충남 예산군 대술면 상항리의 평원정을 연구대상으로 선정하여 전통온돌 난방공간의 실내온열환경특성과 재실자의 주관적 반응을 각각 측정·분석하였다. 측정기간은 충효당에서 2001년 1월 16일~18일까지, 평원정에서 2003년 2월 25일~27일까지 각각 3일 동안이다. 충효당의 경우 17일과 18일 오전 7시 30분~9시 30분까지 2시간 동안, 평원정의 경

*정회원, 한양대학교 대학원 건축공학과 박사과정

**정회원, 한양대학교 건축공학부 교수, 공학박사

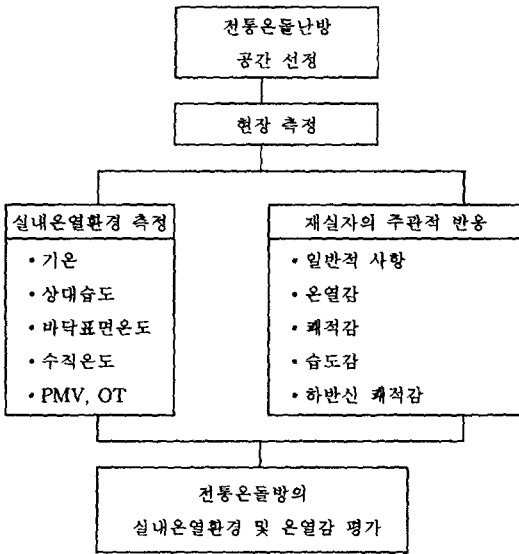


그림 1. 연구흐름도

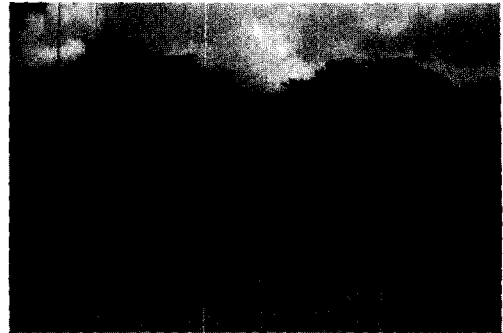
표 1. 측정대상가옥의 개요

	충효당	평원정
측정대상 가옥	경북안동 유성룡 선생 종택	충남예산 이남규 선생 고택
건축연도	1644년(인조22년)	1637년(인조15년)
배치구조	중정을 둘러싼 'ㄱ자형' 배치	안채, 행랑채를 동쪽으로 'ㄷ자형' 배치
측정공간 바닥면적	3.07×2.58=7.92(m ²)	4×4.67=18.68(m ²)

우 25일과 26일 오전 8시 40분~10시 40분, 오후 6시 30분~8시 30분까지 각 2시간 동안 난방을 실시하였다. 연료로는 측정시 온돌 난방을 위하여 나무 땔감(장작)을 사용하였으며, 충효당의 경우에는 적당량을 투입하였고, 평원정의 경우에는 1회에 18kg, 20kg, 36kg의 3단계로 조절 투입하였으며, 난방시 쿨샤(물을 끓임)도 병행하였다. <표 1>은 측정대상가옥의 개요를 나타내고 있으며, <그림 2>는 충효당과 평원정의 외관모습이다. <그림 3>은 측정대상은돌방의 평면도를 나타내고 있다.

2. 측정항목 및 측정기기

온열환경의 기본적인 요소인 기온, 습도, 복사열, 기류는 실중양<그림 3의 ▲표시>의 1.1m의 높이에서 측정을 하였고, 수평·수직온도분포를 위한 측정

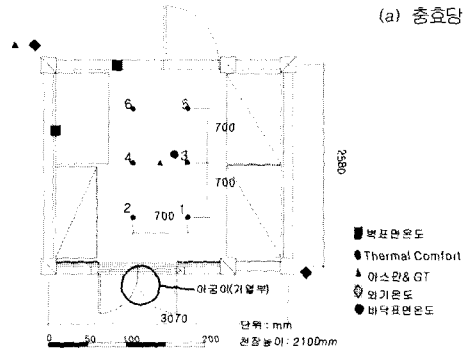


(a) 충효당

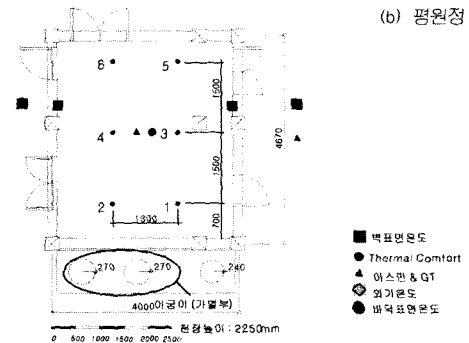


(b) 평원정

그림 2. 측정대상가옥의 외관모습



(a) 충효당



(b) 평원정

그림 3. 측정대상은돌방의 평면도 및 측정점

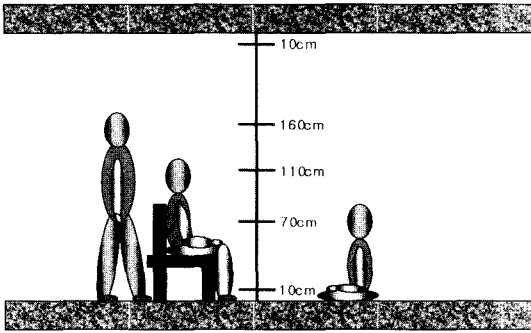


그림 4. 수직온도의 측정위치

점은 수평 6점, 수직 5점으로 모두 30점으로 하였다. <그림 3>의 측정대상온돌방의 평면도에 측정점을 표시하고 있다. 수직온도의 측정위치는 바닥과 천장면에서 각각 10 cm씩 떨어진 지점, 좌식생활의 바닥 착석시 호흡높이인 70 cm, 입식생활의 의자 착석시 머리높이인 110 cm(총효당: 120 cm), 기립상태의 호흡높이인 160 cm로 하였다. 외기온도의 측정점은 동·서의 2지점이다. <그림 4>는 수직온도의 측정위치를 나타낸다.

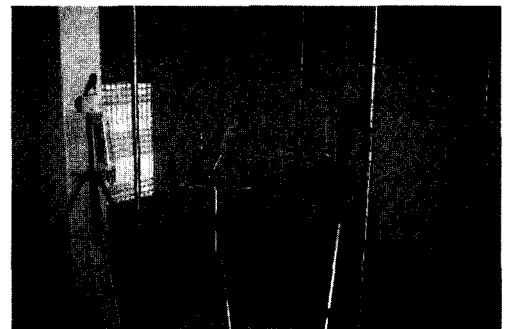
<표 2>는 측정항목, 측정위치 및 측정기기를 나타낸다. 실내온도는 C-C열전대를 사용하여 30분 간격으로 자동 측정하였다. 바닥표면온도는 실의 6지점에서 각각 측정하였으며, 온·습도는 Assmann 통풍식 건습구온도계, 복사열의 영향을 알기 위한 흑구온도는 흑구온도계, 기류속도는 열선 풍속계, PMV와 OT는 Thermal Comfort Meter로 측정하였다. <그림 5>는 측정장면이다.

표 2. 측정항목, 측정위치 및 측정기기

측정항목	측정위치	측정기기
기온	실중양 (1점, 1.1 m)	Assmann 통풍식 건습구온도계
습도		흑구온도계
흑구온도		열선 풍속계
기류속도		Thermal Comfort Meter
PMV, OT		
수평 및 수직온도	수평 6점, 수직 5점 (6점, P1~P6)	Data Logger, C-C(T-type)열전대
바닥표면온도	(6점, P1~P6)	
외기온도	동·서 (2점)	



(a) 난방하는 모습



(b) 측정장면

그림 5. 난방하는 모습 및 측정장면

III. 설문조사

전통온돌방에서의 실내온열환경에 대한 재실자의 주관적 반응을 파악하기 위하여 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 20대의 건강한 성인(학생)으로서, 피험자에게 조사의 목적과 내용을 숙지시킨 후 입실하여 평정감을 찾도록 하였으며, 실내온열환경에 따른 온열감을 30분 간격으로 설문지를 배부하고 편안한 자세에서 기입토록 하였다. 설문내용은 재실자의 신체조건 및 건강상태 등 일반적인 사항과 온열환경에 대한 몸 전체에 대한 온열감, 쾌적감, 습도감과 하반신 쾌적감 등으로 이루어졌다. 본 연구에서는 ASHRAE(1993)의 Psycho-physical voting scale을 이용하여 온열감 및 쾌적감의 척도로 온열감을 「대단히 덥다」에서 「대단히 춥다」까지의 7단계 척도, 쾌적감은 「쾌적하다」에서 「매우 불쾌하다」까지의 4단계 척도로 나누었다.

설문지는 총효당의 경우 첫째날(17일) 오전 9시~오후 6시까지 36부, 둘째날(18일) 오전 9시~오후 12

표 3. 설문조사 개요

측정대상	측정일시	시간	피험자수	설문지수
충효당	1월 17일	9:00~18:00	남자 1명 여자 1명	36부
	1월 18일	9:00~12:30	남자 2명	16부
평원정	2월 25일	9:40~18:50	남자 3명	30부
	2월 26일	9:30~19:40	남자 3명	30부

표 4. 피험자의 신체조건

평균	충효당	예산
연령 (세)	27.8	27.7
신장 (cm)	172.3	174
체중 (kg)	64.8	64.7
clo	0.79	0.84
건강상태	양 호	양 호

시 30분까지 16부를 작성하였으며, 평원정의 경우 첫째날(25일) 오전 9시 40분~오후 6시 50분까지 30부, 둘째날(26일) 오전 9시 30분~오후 7시 40분까지 30부를 작성하였다. 피험자는 충효당의 경우만 약간의 변화가 있고, 동일인을 대상으로 설문하여 피험자 수 총 6명(총 12회)으로부터 설문지 총 112부를 회수하였다. 전통온돌방의 표면온도분포가 균등하지 않은 관계로 재실자가 가장 쾌적하다고 느끼는 위치(P1~P6 지점)를 선택하도록 하였다. <표 3>은 설문조사 개요를 나타내며, 피험자의 신체조건은 <표 4>와 같다. 설문조사 결과는 SAS와 Excel 프로그램을 이용하여 빈도, 백분율을 실시하였다.

IV. 분석 및 고찰

1. 실내온열환경

1) 실내온도 및 상대습도

<그림 6>은 각 측정별로 36시간 동안의 높이별 실내평균온도, 외기온도, 흑구온도 및 상대습도의 시간적 변화를 나타낸다. 외기온도는 충효당이 -13.47°C~2.48°C(평균 -5.85°C), 평원정이 -1.25°C~12.26°C(평균 -3.57°C)의 분포를 나타내고 있으며, 실내평균온도는 충효당이 4.34°C~24.27°C(평균 16.26°C), 평원정이 13.49°C~21.09°C(평균 17.73°C)를 보였다. 흑구온도는 충효당이 7.85°C~24.38°C(평균 16.74°C), 평원정에서 14.49°C~21.66°C(평균 18.58°C)의 분포

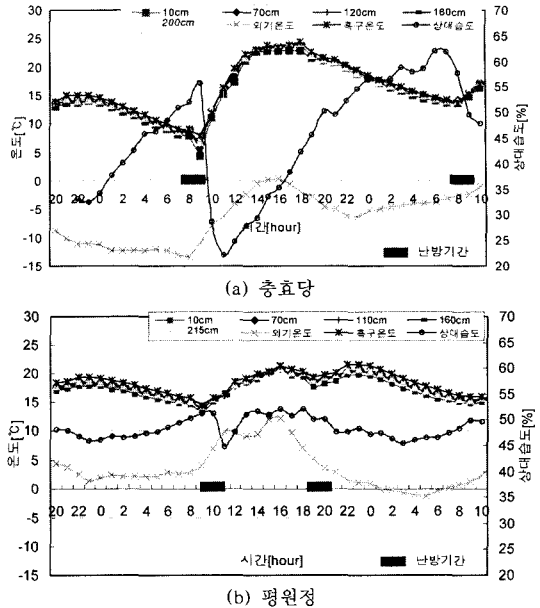
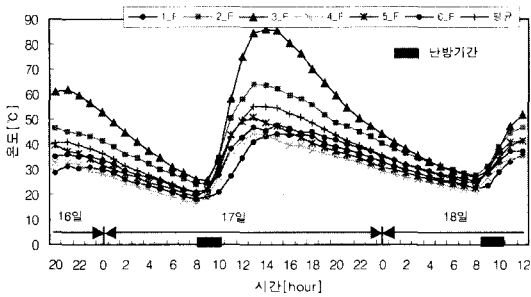


그림 6. 실내온도 및 상대습도의 시간적 변화

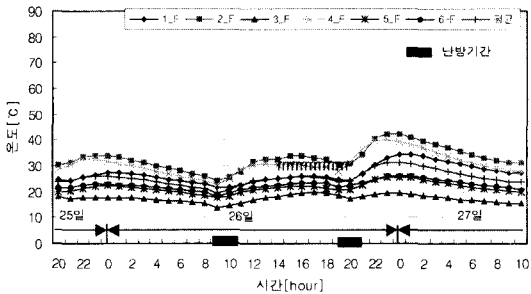
를 나타내고 있다. 상대습도는 충효당이 22.17%~62.04%로 평균 45.03%, 평원정이 44.77%~52.04%로 평균 48.35%의 분포를 보였다. 충효당이 평원정에 비해 바닥면적이 작고 연료의 양을 잘 조절하지 못하여 온도와 습도의 변화가 큰 것으로 나타났다.

2) 바닥표면온도

<그림 7>은 난방에 따른 시간별 바닥 표면온도의 변화를 나타내고 있다. 충효당에서 16.56°C~85.93°C(평균 37.25°C), 평원정에서는 13.67°C~42.46°C(평균 25.36°C)로 약 2배의 최고온도분포를 나타냈다. 이는 평원정의 바닥면적이 충효당에 비해 약 2.4배 더 넓고 공급열량이 다르기 때문인 것으로 사료된다. 충효당에서 17일의 경우 각 지점별로 난방개시 후 4시간 30분~6시간 30분이 지난 뒤 44.21°C~85.93°C의 최고온도분포를 보였고, 평원정에서는 26일의 경우 오후 난방개시 후 2시간 30분~3시간 30분이 경과된 뒤 각 지점별로 19.29°C~42.46°C의 최고온도분포를 나타내, 구들의 축열에 의한 난방시간의 지연을 알 수 있다. 충효당의 바닥표면평균온도가 난방시작 후 6시간 후인 13시 30분에 52.02°C에서 실내평균온도 22°C 이상으로 쾌적조건을 만족했으며, 평원정에서는 2시간 30분 후인 23시에 42.46°C에서 20.78°C로 실내평균온도 22°C에 근접했다.



(a) 충효당



(b) 평원정

그림 7. 바닥표면온도 변화

3) 수직온도

<그림 8>은 수직온도의 시간적 변화를 나타내고 있다. 바닥 위 0.1 m 높이와 1.6 m 높이에서의 수직 온도차가 충효당에서 $-0.05^{\circ}\text{C}\sim 2.18^{\circ}\text{C}$ (평균 0.55°C), 평원정에서 $-0.28^{\circ}\text{C}\sim 0.97^{\circ}\text{C}$ (평균 0.58°C)로 비교적 수직적으로 균등한 온도분포를 보였다. ISO 7730 (1994)에서는 바닥 위 0.1 m~1.1 m 높이에서, ASHRAE standard 55-1992에서는 0.1 m~1.7 m 높이에서의 수직온도차가 3°C 를 초과하지 않도록 규정하고 있는데 충효당과 평원정 모두 ISO 및 ASHRAE의 기준에 만족하는 것으로 나타났다.

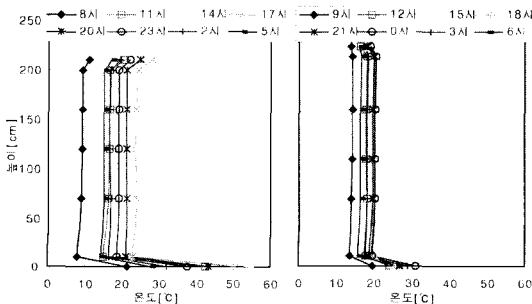


그림 8. 수직온도의 시간별 변화

2. 온열환경에 대한 주관적 반응

1) 재실자의 주관적 반응

<표 5>는 전통온돌방에서의 실내온열환경에 대한 재실자의 주관적 반응을 설문조사 한 결과이다. 재실자가 느끼는 온열감을 평가하도록 한 결과 ‘덥지도 춥지도 않다’라는 응답이 총 64부(58%)로 가장 많았으며, ‘덥다’ 혹은 ‘춥다’라고 응답한 사람은 총 6부(5%)에 불과하여 충효당과 평원정 모두 온열감이 대체로 양호한 것으로 나타났다.

몸전체 쾌적감은 ‘쾌적하다’가 총 62부(55%)로 나왔으며, ‘약간 불쾌하다’도 높은 비율을 보이고 있다. 이는 난방하기 전과 난방에 다른 급격한 온도 변화

표 5. 재실자의 주관적 반응

온열감	충효당	평원정
대단히 덥다 (+3)	-	-
덥다 (+2)	-	5 (8%)
약간 덥다 (+1)	9 (17%)	9 (15%)
덥지도 춥지도 않다 (0)	31 (60%)	33 (55%)
약간 춥다 (-1)	12 (23%)	12 (20%)
춥다 (-2)	-	1 (2%)
대단히 춥다 (-3)	-	-
총 계	52 (100%)	60 (100%)
쾌적감	충효당	평원정
쾌적하다 (0)	28 (54%)	34 (56%)
약간 불쾌하다 (-1)	24 (46%)	22 (37%)
불쾌하다 (-2)	-	4 (7%)
매우 불쾌하다 (-3)	-	-
총 계	52 (100%)	60 (100%)
습도감	충효당	평원정
이주 습하다 (+3)	-	-
습하다 (+2)	-	-
약간 습하다 (+1)	-	-
적당하다 (0)	22 (42%)	48 (80%)
약간 건조하다 (-1)	18 (35%)	10 (17%)
건조하다 (-2)	12 (23%)	2 (3%)
이주 건조하다 (-3)	-	-
총 계	52 (100%)	60 (100%)
하반신 쾌적감	충효당	평원정
쾌적하다 (0)	35 (67%)	39 (65%)
약간 불쾌하다 (-1)	17 (33%)	20 (33%)
불쾌하다 (-2)	-	1 (2%)
매우 불쾌하다 (-3)	-	-
총 계	52 (100%)	60 (100%)

에 따른 불쾌감으로 보인다. 습도감은 '적당하다'가 총 70부(62%)로 대체로 만족하는 것으로 나타났으며, 특히 실내온도가 비교적 고르게 나타난 평원정의 경우 80%의 만족도를 나타냈다. 온도와 습도의 변화가 큰 충효당의 경우는 건조함을 느낀 경우가 58%나 되는 것으로 나타났다. 국부감각의 하반신 쾌적감은 '쾌적하다'가 총 74부(66%)로 가장 많은 답변이 나와 온돌바닥에 대한 만족도가 높은 것을 알 수 있다. 그러나 한편 충효당과 평원정의 경우 모두 '약간 불쾌하다'도 각 33%의 비율을 차지하는 것으로 나타났다.

2) 온열환경요소에 따른 주관적 반응

인체 온열감에 영향을 미치는 요소에는 환경적인 요소인 기온, 습도, 기류, 복사열과 인체적인 요소인 착의량과 활동량이 있다. 온열감의 측면에서 보면 이들 요소들이 실내조건에 적합하게 조절되어야 한다. 그러므로 기온, 기류, 평균복사온도를 고려한 온열지표인 OT와 기온, 기류, 습도, 평균복사온도, 착의량 및 활동량을 포함한 온열지표인 PMV로서 실내온열감을 평가할 수 있다. 본 연구에서는 PMV와 OT 두 지표 사이의 표준편차를 비교함으로써 전통온돌방에서의 온열감을 평가하였다.

<그림 9>는 실내에서의 균일한 온열감을 상대적으로 비교한 것이다. 재실자의 출입이 없는 야간에 PMV와 OT에 큰 영향을 미치는 요소인 바닥표면온도, 실내평균기온 및 상대습도의 변화와 매시 30분 전후 15분간의 PMV와 OT 표준편차를 시간대별로 나타낸 것이다. 충효당은 상대습도의 변동폭(45.6%~62.1%, 표준편차 2.87%)이 크므로 [OT-PMV]값이 불규칙한 경향을 보이지만, 평원정은 상대습도의 분포(45.5%~50.2%, 표준편차 0.88%)가 고르므로 [OT-PMV] 값이 연동되어 변화하는 것으로 나타났다.

온열환경요소에 따른 온열감을 살펴보면 다음과 같다. 실내평균기온에 따른 온열감의 경우 충효당에서는 특히 실내평균기온 21°C~23°C에서 가장 만족하는 것으로 나타났고, 18°C 이하에서는 '약간 춥다'로 반응하였다. 평원정에서는 18°C~20°C에서 가장 만족하는 것으로 나타났으며, 16°C 이하에서 '약간 춥다'로 반응하였다. 상대습도에 따른 온열감의 경우

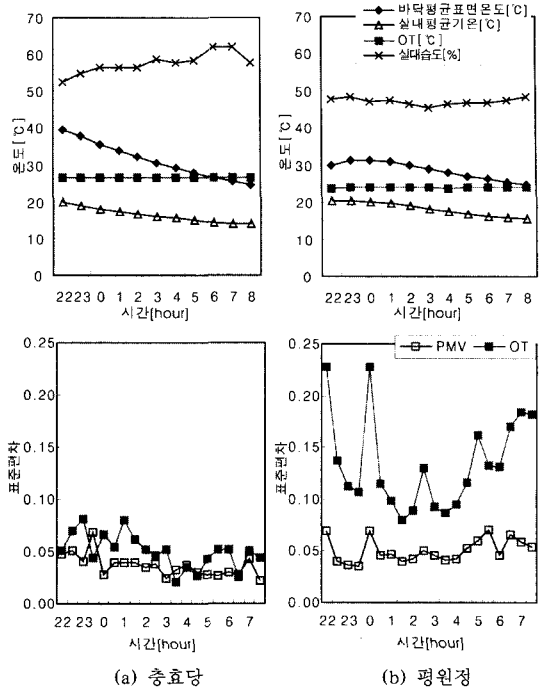


그림 9. PMV 및 OT의 표준편차변화

충효당은 상대습도 30~35% 이하의 경우 가장 만족하는 것으로 나타났으며, 평원정은 상대습도 50~55% 이하의 경우 가장 만족하는 것으로 나타났다. 바닥표면온도에 따른 온열감의 경우 충효당은 바닥표면온도가 50~55°C일 때 가장 만족하는 것으로 나타났으며, 바닥표면온도가 30°C 이하일 경우 '약간 춥다'로 반응하였다. 평원정은 바닥표면온도가 25~30°C일 때 가장 만족하는 것으로 나타났으며, 25°C 이하일 경우 '약간 춥다'로 반응하였다. OT에 따른 온열감의 경우 충효당과 평원정의 경우 모두 23°C에서 가장 만족하는 것으로 나타났다.

V. 결 론

경북 안동의 충효당과 충남 예산의 평원정에서 전통온돌방의 실내온열환경과 재실자의 주관적 반응을 분석한 결과는 다음과 같다.

(1) 실내온열환경

실내온도 및 상대습도를 측정된 결과, 충효당에서 평균 16.26°C와 45.03%(외기평균온도 -5.85°C), 평

1) PMV: 0.8 clo, 1.2 met

원정에서 평균 17.73°C와 48.35%(외기평균온도 - 3.57°C)로 나타났다. 실내온도는 충효당의 경우 난방 개시 후 6시간 경과 뒤, 평원정에서는 난방개시 후 7시간이 경과된 뒤 겨울철 쾌적온도인 22°C에 근접하였다. 바닥표면온도를 측정 한 결과, 충효당이 16.56°C~85.93°C(평균 37.25°C), 평원정이 13.67°C~42.46°C(평균 25.36°C)로 나타났다. 충효당은 난방시작 후 6시간 후에 바닥표면평균온도가 52.02°C에서, 평원정에서는 2시간 30분 후에 42.46°C에서 실내평균온도 22°C 이상의 쾌적조건을 만족하였다. 바닥 위 0.1 m 높이와 1.6 m 높이에서의 수직온도차는 충효당과 평원정 모두 비교적 수직적으로 균등한 온도분포를 보였다.

(2) 온열환경에 대한 주관적 반응

전통온돌방에서 실내온열환경에 대한 재실자의 주관적 반응을 설문조사 한 결과, 온열감, 쾌적감, 습도감, 하반신 쾌적감 모든 측면에서 재실자들이 대체로 만족하는 것으로 나타났다. 재실자가 느끼는 온열감을 평가하도록 한 결과 ‘덥지도 춥지도 않다’라는 응답이 총 64부(58%)로 가장 많았으며, 충효당과 평원정 모두 온열감이 대체로 양호한 것으로 나타났다. 쾌적감은 ‘쾌적하다’가 총 62부(55%)로 나왔으며, 습도감은 ‘적당하다’가 총 70부(62%)로 대체로 만족하는 것으로 나타났다. 하반신 쾌적감은 ‘쾌적하다’가 총 74부(66%)로 가장 많은 답변이 나와 온돌바닥에 대한 만족도가 높은 것을 알 수 있다.

실내에서의 균일한 온열감을 상대적으로 분석한 결과 충효당은 상대습도의 변동폭이 크고 [OT-PMV] 값이 불규칙한 경향을 보이지만, 평원정은 상대습도의 분포가 고르고 [OT-PMV] 값이 연동되어 변화하

는 것으로 나타났다.

온열환경요소에 따른 온열감을 분석한 결과, 실내 평균기온에 따른 온열감은 충효당의 경우 실내평균기온 21°C~23°C에서, 평원정의 경우 18°C~20°C에서 가장 만족하는 것으로 나타났다. 상대습도에 따른 온열감은 충효당의 경우 상대습도 30~35%이하, 평원정의 경우 상대습도 50~55%이하에서 가장 만족하는 것으로 나타났다. 바닥표면온도에 따른 온열감은 충효당의 경우 바닥표면온도가 50~55°C일 때, 평원정의 경우 바닥표면온도가 25~30°C일 때 가장 만족하는 것으로 나타났다. OT에 따른 온열감은 충효당과 평원정의 경우 모두 23°C에서 가장 만족하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 김봉애(1993), 바닥난방의 쾌적한 온열환경조건에 관한 연구, 한국주거학회논문집, 4권 2호, 12월.
2. 손장열 외(1986), 조선시대 전통민가의 온열환경에 관한 측정연구-춘계 및 하계의 외암리를 중심으로-, 대한건축학회논문집, 2권 4호, 8월.
3. 손장열 외(2001), 충효당 내 전통온돌 난방공간의 실내열환경특성, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 21권 1호, 4월.
4. 손장열 외(1990), PMV지표에 의한 건물에서의 온열환경 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 6권 6호, p.213-219.
5. 이무진(1999), 바닥난방의 온열환경 및 열적반응에 관한 연구, 한국주거학회논문집, 10권 1호, 12월.
6. 최영식(1992), 기존문헌조사에 의한 바닥난방의 인체영향에 관한 연구, 한국주거학회논문집, 3권 1호, 6월.
7. 한윤호 외(2000), 불균등 복사열환경이 인체에 미치는 영향 평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 11월.
8. ASHRAE STANDARD 55-1992, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
9. ISO 7730-1994, Moderate thermal environments.