

통나무집의 동절기 실내 온열환경 요소의 측정과 온열감 평가에 관한 연구

A Study on Examination of Indoor Thermal Environment Elements and Thermal Sensation Vote of Log Cabins in Winter Season

민병철* 전지현** 국 찬***
Min, Byeong-Cheol Jeon, Ji-Hyeon Kook, Chan

Abstract

Various buildings constructed by environmentally friendly resources are being built in KOREA. Especially as the wood has distinctive ecological merits in comparison with reinforced concrete and brick, the buildings made by the wood are acknowledged with its superiority of ecological value. Enough field studies for their thermal environment, however, haven't been done. In this study, to investigate indoor environmental condition and occupants' response to it of Log Cabin in Gyeongsangnam-do Hamyang Country Jirisan Natural Recreation Forest, examination of indoor thermal environment and field subjective evaluation have been done in that fundamental information of thermal environment characteristics can be suggested. The results are following; 1) Thermal environment of the Log Cabins; Indoor and outdoor mean dry bulb temperature were 21.9°C and -3.1°C, and Indoor and outdoor average relative humidity were 25.8% and 52.1%. These results are below ASHRAE; dry bulb temp. 22.0°C, humidity 30%, and above domestic standards; dry bulb temp. 18~20.0°C, humidity 40~60%. 2) Result of subjective evaluation; Thermal sensation and its comfort were evaluated as 'slightly uncomfortable' because of 'slightly warm'. And humid sensation and its comfort were evaluated as 'slightly uncomfortable' because of 'slightly warm'. 3) Result of vertical temperature and humidity; Vertical temperature difference from head to ankle was 0.54°C which means most occupants may feel comfortable.

Keywords : Log cabin, Winter Season, Thermal Environmental Elements, Thermal Sensation Vote

주요어 : 통나무집, 동절기, 온열환경 요소, 온열감 평가

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적¹⁾

집이란 인간생활의 3요소인 의·식·주의 하나로 원시 시대의 주택은 자연의 비바람을 피하고 다른 사람이나 동물들의 공격으로부터 피할 수 있는 피난처 역할을 했다. 그러나 현대는 문명과 문화의 발달로 삶의 질이 향상됨으로서 다양한 기능을 요구하게 되었고, 그 기능 중 하나로 나와 가족이 쾌적한 삶을 누릴 수 있는 공간 그리고 건강하게 지낼 수 있는 공간이 필요하게 되었다.

현재 국내 곳곳에서는 환경친화적인 소재로 시공된 다양한 건축물이 등장하고 있다. 특히 목재로 지은 건축물은 철근콘크리트나 벽돌 등 일반적으로 사용되는 재료들이 가질 수 없는 환경 친화적인 장점으로 인하여 친환경

건축물로서의 우수성을 인정받고 있다. 그러나 아직 목재로 지은 건축물의 환경 조절능력 및 특성, 재실자의 체감 환경 평가 등이 이루어지지 않고 있다.

이에 본 연구에서는 친환경건축물인 목조주택의 실내 환경조건과 재실자의 반응을 알아보기 위해 경상남도 함양군에 위치한 지리산 자연휴양림내의 통나무집을 대상으로 물리적 환경요소 측정과 재실자를 대상으로 주관적 평가를 실시하여 통나무집의 실내 온열환경특성에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구내용 및 방법

1. 대상선정

본 연구의 대상인 경상남도 함양군에 위치한 지리산 자연휴양림내의 통나무집은 1997년 준공되었으며, 구조재는 소나무, 마감재는 낙엽송을 사용하여 중2층 형식(59.5 m²)으로 이루어져 있다. 대상실의 난방 방식은 심야전기온돌¹⁾

1) 준공 당시에는 심야전기만을 이용하여 난방 하였으나 겨울철 난방을 위해 심야전기(22:00~08:00)와 일반전기(08:00~22:00)를 병행하여 사용 중이다.

*정회원(주저자), 동신대학교 대학원 환경조경학과, 석사과정
**정회원, 전남대학교 공업기술연구소 선임연구원, 공학박사
***정회원(교신저자), 동신대학교 환경조경학과 교수, 공학박사

이 논문은 교육인적자원부 지방연구중심대학육성사업(바이오 하우징연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었음.

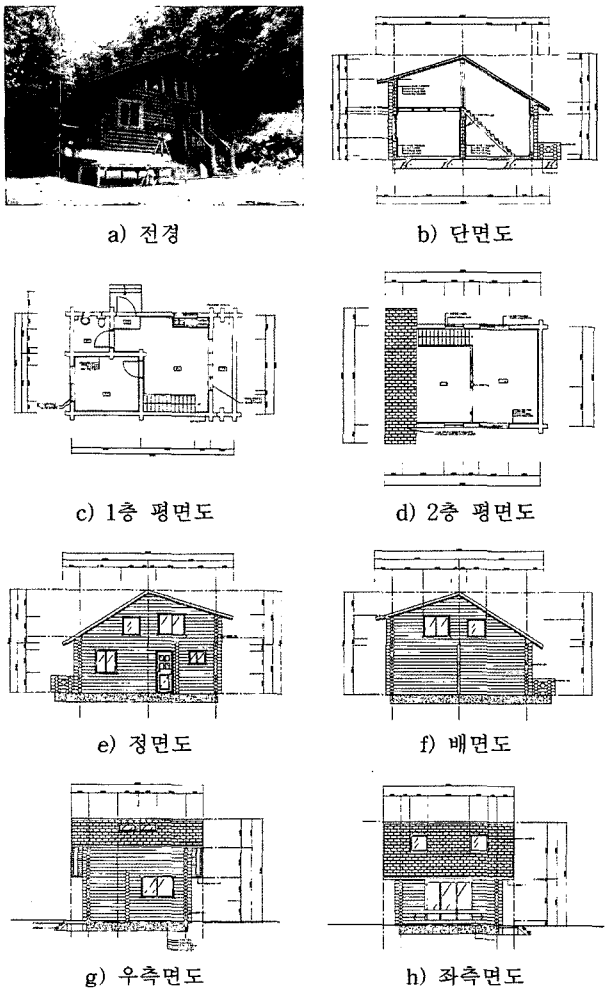


그림 1. 통나무집 도면

로 현장 실험시 난방 가동은 측정 30분전부터 측정 완료까지 연속적으로 실시하였다.

통나무집의 평면 및 구조는 <그림 1>과 같다.

2. 연구방법

실내의 열환경 측정 및 재실자에 의한 주관평가 그리고 실내 높이별 온습도 측정은 <표 1>과 같고, 실험의 전체 진행 순서는 <그림 2>와 같다.

표 1. 측정 일시

내용	시간
실내의 열환경측정	2006년 01월 02일 13:30~03일 13:30
재실자 주관평가	02일 14:30, 17:30, 21:30 3회 평가 03일 06:30, 10:00, 13:30 3회 평가
높이별 온습도 측정	2006년 01월 03일 13:30~14:15

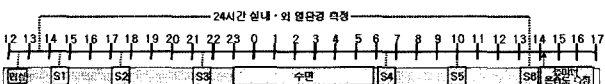


그림 2. 실험 진행 순서

현장 측정은 <그림 2>에서의 같이 실내의 온도차를 파악하기 위해 실내의 열환경 요소를 24시간 동시 측정하였고, 실내 수직온도 분포를 파악하기 위해 동일 실을 9등분하여 각 중앙점 9개 지점에서 5단계의 높이별 온습도를 측정하였다.

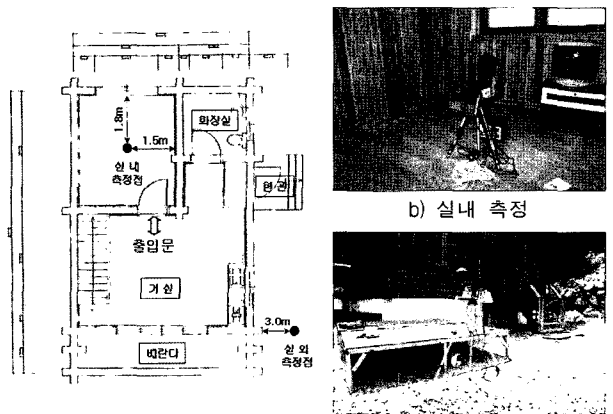
또한 주관 평가는 24시간 중 수면시간(오후 10시부터 오전 6시까지 8시간)을 제외한 나머지 16시간 중에서 오전, 오후, 밤 시간대를 고려하여 각각 2회씩 3~4시간 간격으로 실내에서만 총 6회 실시하였다.

3. 실내외 열환경 측정 및 주관평가

1) 실내의 열환경 측정

실내의 열환경 요소의 측정은 Portable Indoor Air Quality Monitor(BABUC/A, LSI) 2set로 통나무집의 실내와 실외에서 24시간 동안 동시 측정하였다.

통나무집의 실내외 측정 위치와 측정 장면은 <그림 3>과 같다.



a) 실내의 측정 위치

b) 실내 측정

c) 실외 측정

그림 3. 실내외 물리적 요소 측정 위치 및 측정 장면

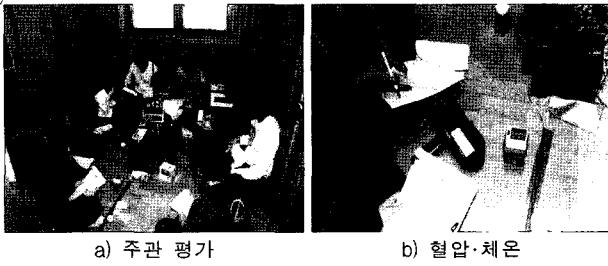
통나무집의 실내 측정점은 실중앙 바닥에서 수직 0.6 m 높이(방바닥에 앉았을 때 사람의 얼굴 높이)에 측정기기를 설치하였으며, 실외 측정점은 외벽에서 3.0 m 이격된 곳으로 바닥에서 수직 1.5 m 높이(서 있을 때 사람의 얼굴 높이)에 측정기기를 설치하였다.

실내 열환경 측정 요소는 건구온도(dry bulb temp.; DBT), 습구온도(wet bulb temp.; WBT), 노점온도(dew point temp.; DPT), 복사온도(black globe temp.; BGT), 상대습도(relative humidity; RH), 기류속도(air velocity; V) 등이다.

2) 재실자에 의한 주관평가

주관 평가시 피험자는 혈압과 체온을 측정하고 안정된 상태에서 평가에 임하도록 하였으며, 정상 혈압(120~129/80~84 mmHg)과 정상 체온(귀 35.8°C~38.0°C)의 범위를 벗어나는 경우에는 평가결과 분석에서 제외시켰다.

대상실에서의 주관평가 및 혈압·체온의 측정 장면은 <그림 4>와 같다.



a) 주관 평가 b) 혈압·체온 측정 장면
그림 4. 주관 평가 및 혈압·체온 측정 장면

표 2. 주관평가시 재실자의 착의량

성별 (나이)	02일 14:30	02일 17:30	02일 21:30	03일 06:30	03일 10:00	03일 13:30	개인별 평균
남(44세)	0.65	0.67	0.57	0.57	0.57	0.57	0.60
여(33세)	1.14	1.11	1.11	1.01	1.01	1.01	1.07
남(30세)	0.72	0.46	0.52	0.52	0.52	0.72	0.58
남(27세)	0.77	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.73
남(27세)	0.82	0.82	0.77	0.77	0.77	0.77	0.79
남(26세)	0.82	0.82	0.82	0.77	0.77	0.82	0.80
남(26세)	0.67	0.67	0.62	0.37	0.37	0.67	0.56
남(26세)	0.70	0.70	0.70	0.65	0.65	0.85	0.71
남(26세)	0.72	0.72	0.72	0.64	0.64	0.64	0.68
여(22세)	0.61	0.42	0.37	0.37	0.37	0.56	0.45
평균	0.76	0.71	0.69	0.64	0.64	0.73	0.70

피험자는 총 10명으로 성별 구성은 남자 8명, 여자 2명이었고, 연령별 구성은 20대 8명, 30대 1명, 40대 1명이었다.

주관평가시 재실자 각각의 착의량은 <표 2>와 같다.

주관평가시 재실자 전체의 평균 착의량은 0.7clo(남성 평균 착의량 0.68clo, 여성 평균 착의량 0.75clo)로 나타났으나, 여성 2명의 착의량이 0.45clo, 1.07clo로 나타나 편차가 크게 나타남을 확인하였다.

주관평가 30분 전에는 피험자들이 실에 미리 입실하도록 하여 안정된 상태가 되도록 하였으며, 이때의 활동량은 1.0 met 정도로 유지하였다.

설문조사에 사용된 설문 구성 및 내용은 <표 3>과 같다.

표 3. 설문 구성 및 내용

설문 구성	설문 내용
사회통계학적 조사 물리적 환경	성별, 연령, 주거 형태 평가 시간, 온도, 습도, 대기압
재실자의 정신적, 신체적 상태 체크	정신적, 신체적 상태, 수면시간, 피부온도, 활동량(met), 착의량, 혈압, 체온, 키, 체중
실내 환경에 대한 주관적 평가	온열감, 건습감 평가, 온열감의 쾌적감, 건습감의 쾌적감 평가표, 설문 구성 및 내용

본 연구에서 사용된 평가척도는 Gagge, Stolwijk & Hardy(1967)의 「온열감과 쾌적감의 카테고리 스케일」을 기준으로, 「건습감」과 「건습감의 쾌적감」에 대한 항목을 추가하여 <표 4>와 같이 구성하였다.

표 4. 주관평가 항목별 평가척도

척도	-3	-2	-1	0	1	2	3
온열감	춥다	서늘하다	약간 서늘하다	중립	약간 따뜻하다	따뜻하다	덥다
온열감에 대한 쾌적감	매우 불쾌	불쾌	약간 불쾌	쾌적	약간 불쾌	불쾌	매우 불쾌
건습감	매우 습하다	습하다	약간 습하다	중립	약간 건조하다	건조하다	매우 건조하다
건습감에 대한 쾌적감	매우 불쾌	불쾌	약간 불쾌	쾌적	약간 불쾌	불쾌	매우 불쾌

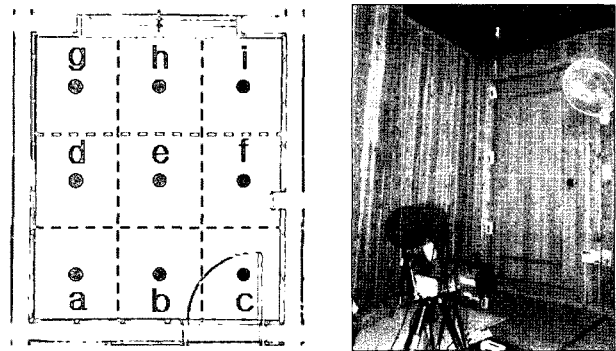
4. 높이별 온습도 측정

실내 수직온습도 분포를 파악하기 위해 Data Logger (BIENTRON, TH-101)를 이용하여 높이별 온습도를 측정하였다.

측정은 측정기기를 5분 간격으로 옮겨가며 실시하였고 실의 창호와 개구부는 닫은 상태였다.

실내 측정은 실 평면을 9등분한 후 각 중앙점을 측정점으로 선정하여 바닥과 천정에서 각각 5 cm를 이격시킨 후 56 cm 간격(5단계)으로 나누어 총 45개 측정점에서 실시하였다.

9개 측정점의 위치 및 측정 장면은 <그림 5>와 같다.



a) 측정 위치 b) 측정 장면

그림 5. 높이별 온 습도 측정 및 위치 및 장면

III. 실험 결과 및 분석

1. 24시간 실내의 열환경 측정 결과

실내의 열환경 측정은 주관평가시 10명의 재실자와 수면시 2명의 재실자가 있는 상태에서 진행되었으며 측정 결과는 <그림 6, 7>과 같다.

통나무집의 실내 평균 건구온도는 21.9°C(일교차 5.8°C), 실외는 -3.1°C(일교차 6.0°C)이고, 실내 평균 상대습도는

2) 측정시간을 5분 간격으로 설정한 이유는 첫 번째 측정점과 마지막 측정점과의 시간차를 최소화시키기 위함이다.

25.8%(일교차 19.0%), 실외는 52.1%(일교차 45.0%)로 나타났다. 이때 실내 열환경 요소의 평균값은 재실자에 의한 영향을 고려하여 주관평가지 30분 동안의 측정값과 24

시간 측정시작 전후 15분 동안의 값을 제외하고 산출하였다.

이와 같은 결과를 에너지 절약기준에 의한 겨울철 설계온습도 목표치와 비교할 때, ASHRAE의 기준인 22.0°C, 30.0% 보다는 약간 건조하고, 국내 기준인 18~20°C, 40~60% 보다는 약간 덥고 매우 건조한 상태임을 확인할 수 있었다.

기류속도는 실내가 평균 0.0 m/s(일교차 0.1 m/s)이고, 실외가 평균 0.7 m/s(일교차 3.2 m/s)이다.

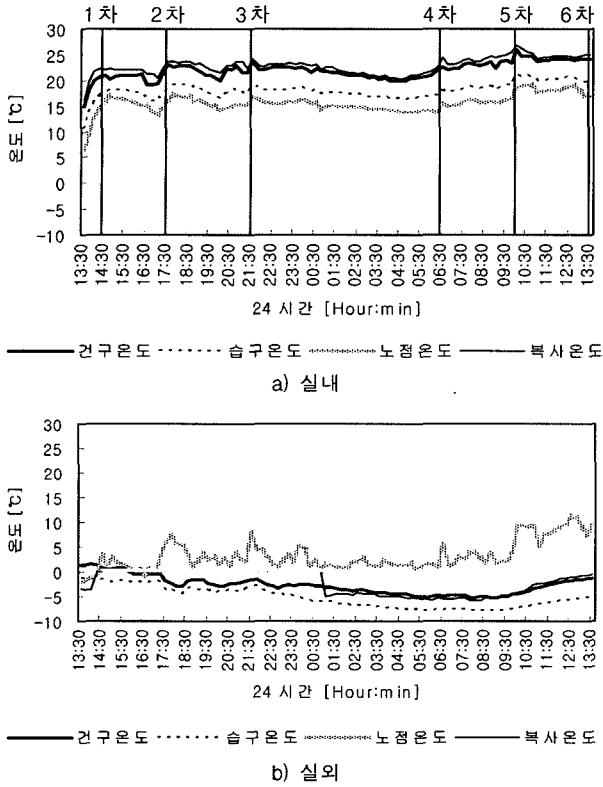


그림 6. 건구온도, 습구온도, 노점온도, 복사온도

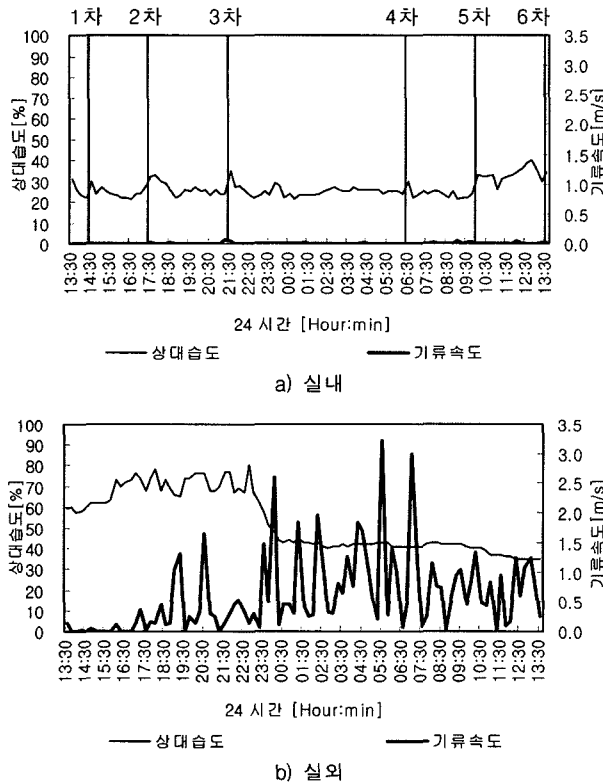


그림 7. 상대습도, 기류속도

2. 주관평가 결과

피험자의 성별(남성과 여성)과 연령별(20대와 30대 이상) 주관평가 결과는 <그림 8, 9>와 같다.

성별 주관평가 결과를 살펴보면 여성이 남성보다 실내 온습도에 대해 더 따뜻하고 건조하게 느껴 쾌적함에 있어서도 조금 더 불쾌감을 느끼는 것으로 평가되었다.

연령별 주관평가 결과를 살펴보면 1, 2, 3차 평가에서

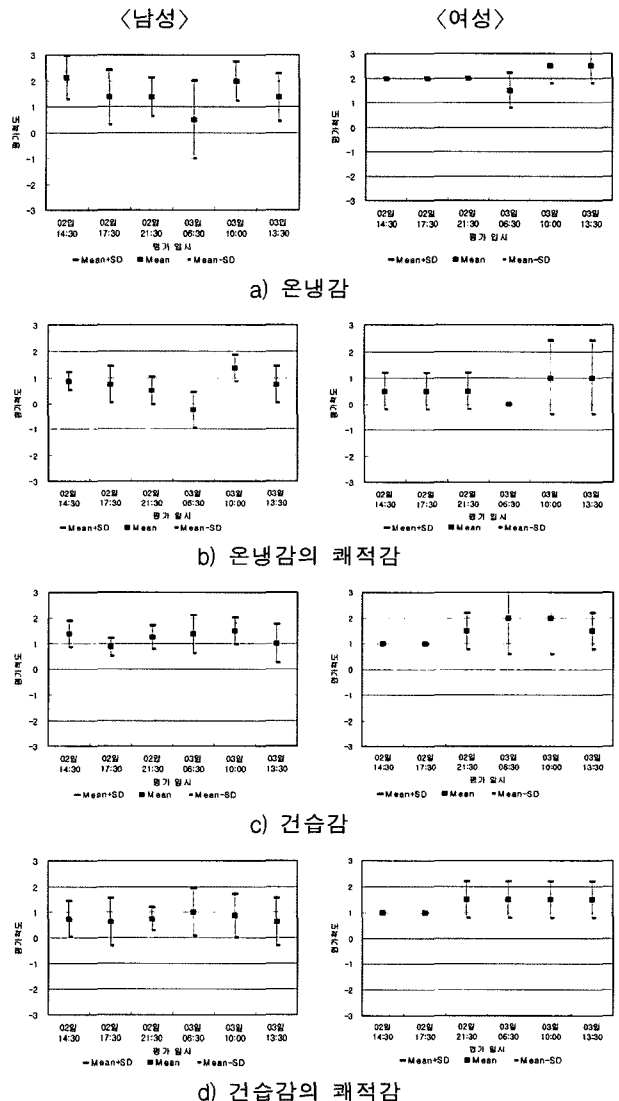


그림 8. 성별 주관평가 결과

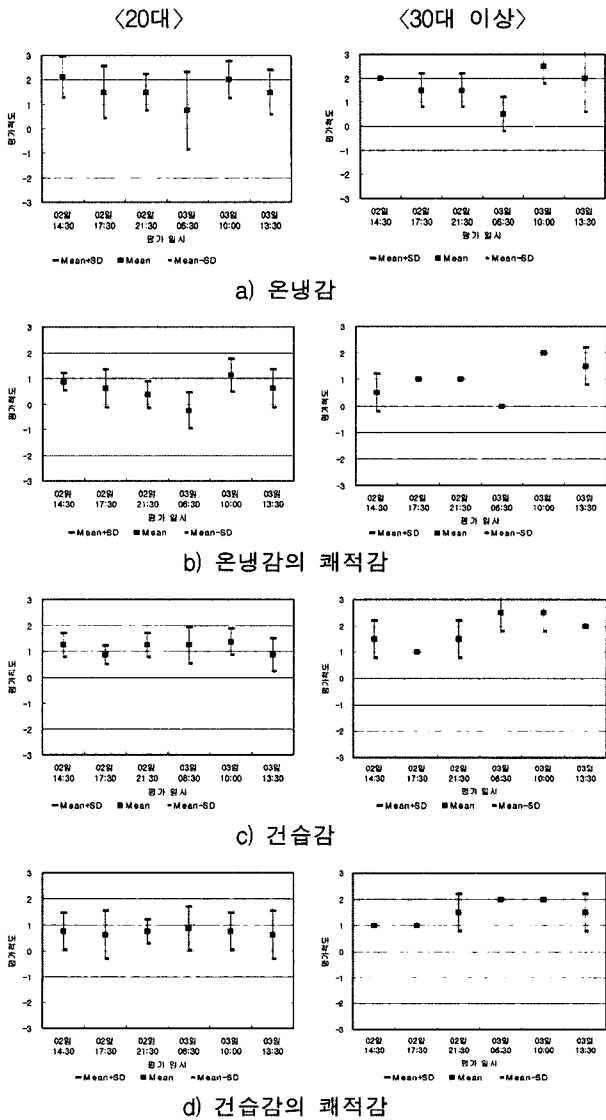


그림 9. 연령별 주관평가 결과

는 모든 연령대가 유사한 평가 결과를 나타냈으나, 4, 5, 6차 평가에서는 30대 이상이 20대보다 더 따뜻하고 건조하게 느껴 불쾌감도 조금 더 느끼는 것으로 평가되었다.

따라서 전체 주관평가 결과에 영향을 줄 수 있는 여성과 30대 이상의 평가결과를 제외하고, 남성 20대의 주관평가 결과를 전체 주관평가 결과로 간주하였다.

20대 남성의 주관평가 결과는 <그림 10>과 같다.

주관평가 결과 온냉감의 경우 전체 평균값이 1.5로 '약간 따뜻하다'로 나타났고, 온냉감의 쾌적감에 경우 평균값이 0.6으로 '약간 불쾌하다'로 나타났다.

평가 결과 중 가장 상이하게 나타난 4차 평가의 경우는 수면 후 평가에 의한 영향인 것으로 판단된다.

건습감의 경우 평균값 1.2로 '약간 건조하다'로 나타났으며, 건습감의 쾌적감에 평균값은 0.7로 '약간 불쾌하다'로 나타났다.

이와 같은 결과는 <표 5>의 실내 온습도 상태에서 평가된 결과로, 약 10.5 m²의 공간에 10명의 피험자가 동시

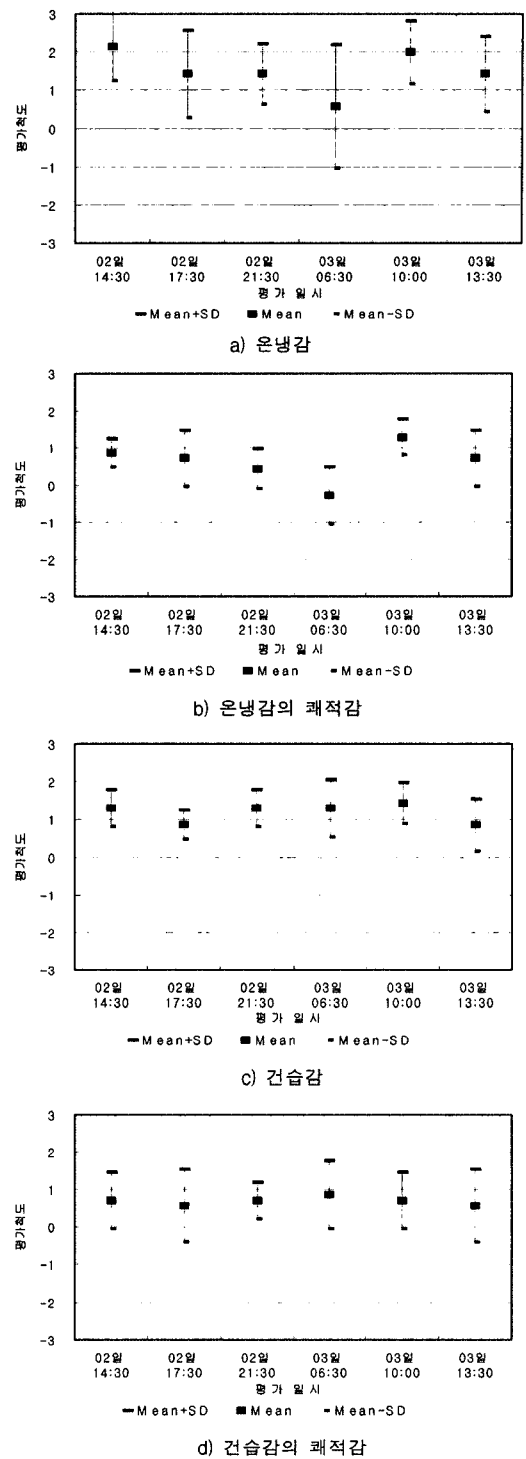


그림 10. 20대 남성의 주관평가 결과

에 재실한 상태에서 평가를 실시하여 실내 온습도가 상승(<그림 6>의 a에서 확인)하였고, 이에 따라 재실자의 온열쾌적감에 대한 주관평가 결과가 약간 따뜻해서 약간 불쾌하게 평가된 것으로 사료된다.

또한 주관평가 당시의 실내 온습도를 Lecher, N.(1991) 건물생체기후도에서 제시하고 있는 쾌적 범위와 비교하면 <그림 11>과 같다.

표 5. 주관평가시 실내외의 온습도 측정값

측정값	일시	2006년 1월 02일			2006년 1월 03일		
		14:30 (1차)	17:30 (2차)	21:30 (3차)	06:30 (4차)	10:00 (5차)	13:30 (6차)
실내	온도(°C)	20.9	23.0	23.8	22.5	25.9	24.0
	습도(%)	30.0	32.0	35.0	30.0	33.0	34.0
실외	온도(°C)	0.9	-1.8	-1.7	-5.0	-4.4	-1.4
	습도(%)	60.0	68.0	77.0	41.0	40.0	35.0

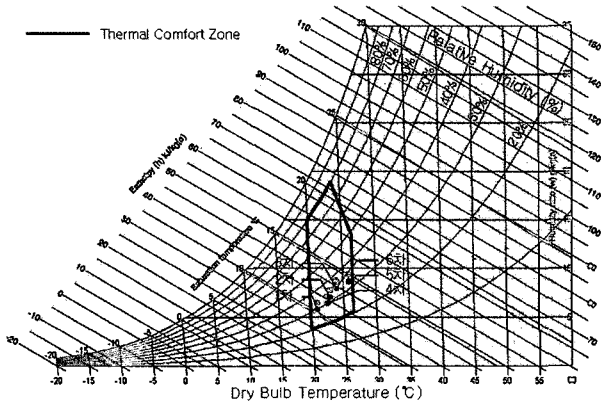


그림 11. 통나무집의 실내 열환경 쾌적성 평가

<그림 11>을 보면 1차 평가부터 6차 평가까지 모든 주관평가시의 실내 온습도가 쾌적 열환경 범위 안에 분포하고 있음을 알 수 있다.

이와 같은 결과는 실내 온습도 적정치를 설정할 때 실내부에 재실자가 있을 경우를 고려하여야 하며, 추후 현장에서의 재실자 주관평가시 공간의 규모를 고려하여 실내 온습도 변화가 크게 나타나지 않을 만큼의 인원만 재실하여야 함을 나타낸다.

3. 높이별 온습도 측정 결과

실내 높이별 온습도 측정 결과를 측정 위치별로 살펴보면 <그림 12>와 같고, 높이별 편차는 <표 6>과 같다.

거실쪽 바닥(측정점 a, b, c) 온도가 외부와 접하는 창문쪽 바닥(측정점 g, h, i) 온도보다 2.0°C 더 높으므로 나타났고, 바닥 위 56cm 높이에서 평균 25.6°C로 균등해지는 것을 확인할 수 있었다.

또한 <표 6>을 보면 바닥(바닥에서 5cm 위와 바닥 표면)과 천정(천정에서 5cm 아래)을 제외한 중간 높이에서의 평균 온습도 편차는 0.2~0.3°C, 3.2~3.6%로 나타났고, 바닥과 천정의 평균 온습도 편차는 0.6~0.9°C, 2.8~3.0%로 나타났다.

대상실의 수직온도차에 의한 불쾌적감을 예측하기 위해 머리(바닥 위 1.1m)와 발목(바닥 위 0.1m) 위치의 온도차를 구하면 <표 7>과 같고, 구해진 온도차를 ASHRAE의 「머리와 발목에서의 수직온도차에 대한 불쾌적도」 기준과 비교하면 <그림 13>과 같다.

ASHRAE의 기준에 의하면 머리와 발목 사이의 수직 온도차는 3.0°C 이하가 적합한 것으로 제시되어 있고, 이

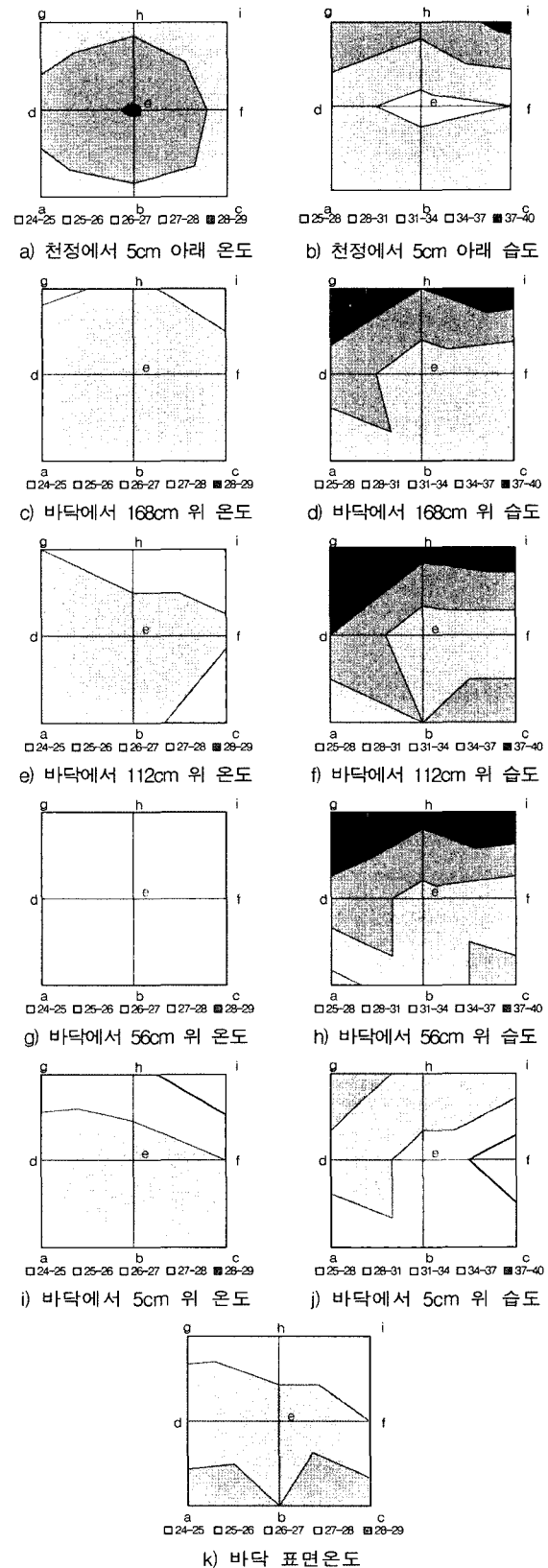


그림 12. 높이별 온습도 측정 결과

를 기준에 적용한 결과 대상실의 머리와 발목에서의 위치별 온도차가 모두 3.0°C를 넘지 않고 있어 수직온도차에 의한 불쾌적감은 거의 없을 것으로 예측할 수 있다.

표 6. 실내의 높이별 온습도 분포값

높이별 위치	최대	최소	평균	표준편차	
온도 (°C)	1	28.1	26.1	26.8	0.6
	2	26.6	25.7	26.2	0.3
	3	26.3	25.4	26.0	0.3
	4	26.0	25.3	25.7	0.2
	5	26.6	24.1	25.9	0.8
	6	27.3	25.1	26.3	0.9
습도 (%)	1	38.0	30.0	33.4	2.8
	2	39.0	31.0	34.7	3.2
	3	40.0	31.0	35.4	3.3
	4	40.0	30.0	35.2	3.6
	5	36.0	26.0	31.0	3.0

주) 1: 천정에서 5 cm 아래, 2: 바닥에서 168 cm 위, 3: 바닥에서 112 cm 위, 4: 바닥에서 56 cm 위, 5: 바닥에서 5 cm 위, 6: 바닥 표면온도

표 7. 머리 발목의 온도차

높이위치	a	b	c	d	e	f	g	h	i	평균
머리(°C)	26.0	26.3	25.4	26.1	26.3	26.3	26.0	25.7	25.7	26.0
발목(°C)	26.3	26.3	26.6	26.5	26.6	26.0	25.6	25.3	24.1	25.9
온도차(°C)	0.3	0.0	1.2	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	1.6	0.54

주) 머리: 바닥에서 112 cm 위 온도, 발목: 바닥에서 5 cm 위 온도

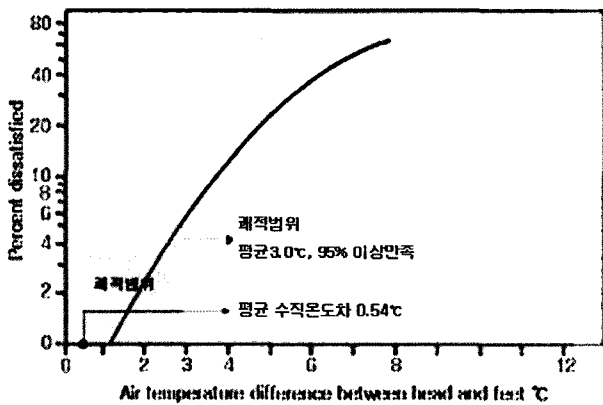


그림 13. 수직 온도차(ASHRAE, 2001)

IV. 결 론

본 연구에서는 친환경건축물인 목조주택의 실내 환경조건과 재실자의 반응을 알아보기 위해 경상남도 함양군에 위치한 지리산 자연휴양림내의 통나무집을 대상으로 물리

적 환경요소 측정과 재실자를 대상으로 주관적 평가를 실시하였다.

연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 실내의 열환경 측정 결과

실내의 평균 건구온도는 21.9°C, -3.1°C로 나타났으며, 평균 상대습도는 25.8%, 52.1%로 나타났다. 이와 같은 결과는 에너지 절약기준에 의한 겨울철 설계온습도 목표치와 비교할 때, ASHRAE의 기준인 22.0°C, 30.0% 보다는 약간 건조하고, 국내 기준이 18~20°C, 40~60% 보다는 약간 덥고 매우 건조한 것으로 평가되었다.

2) 주관평가 결과

온냉감과 온냉감의 쾌적감 평가에서는 ‘약간 따뜻’해서 ‘약간 불쾌’한 것으로 나타났으며, 건습감과 건습감의 쾌적감 평가에서는 ‘약간 건조’해서 ‘약간 불쾌’한 것으로 나타났다.

3) 높이별 온습도 측정 결과

머리와 발목에서의 수직온도차가 평균 0.54°C로 나타나 거의 모든 재실자가 쾌적하게 느낄 것으로 예측되었다. 따라서 본 연구의 최종 목적인 통나무집의 실내 열환경 쾌적범위 제시를 위해서는 조금 더 장기간의 측정과 다수의 재실자를 대상으로 지속적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 한국목조건축협회, <http://www.kwca.co.kr>,
2. 성순택 · 강병근(1997), “환경친화적 목조주택의 계획방향에 관한 연구” 대한건축학회 기술개발논문집, 제17권 제1호.
3. 국찬 · 전지현 · 신용규(2005), “흙집의 하절기 실내 환경 특성에 관한 고찰”, 대한건축학회 창립60주년기념 학술발표대회논문집, 제25권 제1호(통권 제49집).
4. Gagge, A.P., J.A.J. Stolwijk and Hardy, J.D. (1967), Comfort and Thermal Sensation and Associated Physiological Response at Various Ambient temperatures, Environ. Res.1.
5. Olesen (1982), Thermal Comfort, B&K Technical review.
6. P.O. Fanger (1972), Thermal Comfort, McGraw-Hill press.
7. Lechner, N. (1991), Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects, John Wiley & Sons, P.46.
8. ASHRAE (2001), 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook - Chapter 8. Thermal Comfort, P.8.14.

(接受: 2006. 9. 22)