

第77回 碩士學位 論文
指導教授 李 彥 求



溫突의 快適室溫維持에 適定한 바닥表面
溫度 設定에 關한 實驗的研究

An Experimental Study on The Optimum Temperature of Floor
Surface for the Comfort of the Ondol Heating System

中央大學校 大學院

建築工學科 建築計劃 및 環境 專攻

李 東 周

1992年 6月

溫突의 快適室溫維持에 適定한 바닥表面 溫度 設定에 關한 實驗的研究

An Experimental Study on The Optimum Temperature of Floor
Surface for the Comfort of the Ondol Heating System

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함.

1992年 6月

81556
81556

中央大學校 大學院
建築工學科 建築計劃 및 環境 專攻

李 東 周

李東周의 碩士學位 論文을 認准함.

審查委員長

印

審查委員

印

審查委員

印

1992年 6月

中央大學校 大學院

국문 요약

온돌의 쾌적실온 유지에 적정한 바닥 표면온도 설정에 관한 실험적연구

중앙대학교 대학원
건축공학과
이동주

온돌은 우리 고유의 난방방식으로 과거 단열시공이 미비하고 통기성이 높은 전통한옥 또는 재래식주택의 과도한 열손실에 대하여 높은 바닥면의 복사온도로 낮은 실내기온을 보상해 좀으로써 온열감을 얻을 있었던 현명한 난방방식이다. 현대의 주거건축은 1970년대 이후 단순한 형태로 열용량이 크며 외벽의 면적이 극소화된 아파트 건축의 대량보급과 함께 단열시공이 의무화되고 기밀한 창호구조 및 에너지절약과 공사비절감을 위한 충고의 하향조정 등으로 인하여 과거와는 달리 열성능이 매우 향상되었다. 온돌의 열환경에 대하여 국내에서 연구된 결과에 의하면 재실자반응에 따른 쾌적실내기온은 ASHRAE기준과 거의 일치하지만 바닥표면온도의 쾌적범위는 외국의 기준보다 높게 나타나고 있다.

주택의 쾌적한 온열환경을 위해서 실내기온과 바닥온도는 쾌적온도로 유지시켜야 할 것이다. 그러나, 열성능이 우수한 현대주거에서 높은 바닥온도로 난방할 경우 실온의 과열로 인해 온열환경은 불균형을 이루게 된다. 즉, 최적온도라는 것은 현실에 무리없이 적용 가능한 경우에 그 의미를 찾을 수 있으며, 따라서, 본 연구에서는 법규에 정한 단열성능 이상으로 시공되는 현대 온돌주거에서 쾌적실온을 유지하는데 적정한 바닥표면온도를 제시하기 위하여 다음의 방법으로 실험연구를 실시하였다.

모델실험을 통하여 바닥온도변화에 따른 온돌공간의 실내환경요소를 측정하였다. 측정결과를 토대로 실내기온에 대하여 바닥온도를 산

정할 수 있는 방정식을 만들어 실험모델과 같은 크기로 된 PC 구조, 벽돌조적조의 가상모델에 대하여 서울의 겨울철 평균외기온 조건에서 나타나는 바닥표면온도를 계산식을 이용하여 도출하였다.

연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 온돌의 쾌적범위는 실온과 바닥온도가 동시에 고려되어야 하며, 국내연구된 쾌적실온은 외국기준(ASHRAE: 20.2~24.1°C)과 거의 일치하고 있으나, 바닥표면온도는 외국의 경우(ASHRAE, ISO : 29°C 이하)보다 높게 나타난다.

2) 방정식을 이용하여 서울의 겨울철 외기온 조건에서 적정한 바닥 표면온도를 계산한 결과,

실내기온 22°C를 유지하기 위한 온돌의 바닥표면온도는

- 서울의 겨울철 최저기온(-8.0°C)조건에서 PC구조는 29.7°C, 벽돌조적조(1.5B)는 31°C이며, 보통의 겨울기온(1.13°C)에서는 각각 27.3°C, 28.3°C로 나타났다.
- 단열기준의 값으로 계산한 결과 보통의 겨울기온(1.13°C)에서 적정한 바닥표면온도는 28.4°C이다.
또한, ASHRAE기준의 쾌적범위 유지를 위한 바닥표면온도 범위는 26°C~31°C로 나타났다.

3) 최근에 시공된 M-아파트, S-아파트의 온열환경실태 자료에서 바닥온도가 26~29°C일 때 실내기온은 22~24°C범위로 나타나고, 바닥온도 26°C 정도에서 실내기온은 22°C~23°C로 유지되고 있는 것을 확인하였다. 또한, 아파트 거주자 평균실내착의량은 0.5 clo 정도이다. 이는 ASHRAE 나 ISO 에서 0.9 clo를 겨울철 실내착의량의 기준으로 하고

있는 것에 비하여 매우 가벼운 복장상태로 높은 실온형성의 요인이 되고 있으며, 앞으로 국내의 폐적범위 설정시 적절한 수준의 실내착의량을 고려해야 할 필요가 있음을 확인하였다.

4) 이상에서; 단열기준을 준수하여 시공되는 현대온돌주거의 폐적실온 유지를 위하여 본 연구결과로 제시하는 온돌의 적정바닥표면온도는 겨울철 보통의 기후조건(서울)에서 대략 28°C 이다.

목 차

국문요약

제 1 장 : 서 론

1-1. 연구의 배경 및 목적	1
1-2. 연구의 범위 및 방법	3

제 2 장 : 온열환경에 대한 이론 고찰

2-1. 온열환경의 기초이론	6
2-1-1. 신체와 환경사이의 열교환	6
2-1-2. 온열환경요소	11
2-1-3. 온열환경의 쾌적범위	26
2-2. 온돌의 온열환경	33
2-2-1. 온돌의 열환경특성 및 쾌적범위	33
2-2-2. 온돌의 환경변화	44

제 3 장 : 온돌온열환경 측정실험

3-1. 실험의 개요	53
3-1-1. 실험모델	53
3-1-2. 측정항목 및 실험방법	57
3-2. 측정결과 및 분석	60
3-2-1. 바닥표면온도변화에 따른 실내온도변화	60

3-2-2. 실내기온 및 흑구온도와 벽체온도	65
3-2-3. 재실자 온열감 응답	71

제 4 장 : 온돌의 폐적실온 유지를 위한 적정바닥표면온도 설정

4-1. 실험에 의한 적정바닥표면온도	74
4-2. 문헌조사에 의한 적정바닥온도	89

제 5 장 : 결 론

5-1. 연구결과의 요약	92
5-2. 연구의 한계와 앞으로의 연구과제	94
■ 참고문헌	96
■ Abstract	99

그 림 목 차

[그림 1-1] 연구의 흐름도	5
[그림 2-1] 휴식시 성인의 열생산과 열손실	7
[그림 2-2] 평균풍속에 대한 불쾌적도 및 틈새바람의 영향 ..	14
[그림 2-3] 의복량과 활돌량의 관계	17
[그림 2-4] 불균등복사장에 대한 불쾌적도	21
[그림 2-5] 상하부온도차에 따른 불쾌적도	21
[그림 2-6] ASHRAE의 쾌적범위	28
[그림 2-7] 자연형 난방 및 냉방을 하는 건물의 쾌적범위 ..	29
[그림 2-8] 바닥표면온도에 따른 불만족도	31
[그림 2-9] 지방별 재래식 온돌구조	34
[그림 2-10] 고래의 형태에 의한 분류	35
[그림 2-11] 대류난방과 복사난방의 수직온도분포 특성 ..	37
[그림 2-12] 국내연구된 온돌의 쾌적환경범위	41
[그림 2-13] 복사난방의 적정표면온도 비교	41
[그림 2-14] 동계국내주거의 온열환경실측치	51
[그림 3-1] 실험주택의 평면구성도	54
[그림 3-2] 실험모델의 개요(1)	55
[그림 3-3] 실험모델의 개요(2)	56
[그림 3-4] A-모델의 온도분포	60
[그림 3-5] A-모델의 온도분포	61
[그림 3-6] B-모델의 온도분포	61
[그림 3-7] B-모델의 온도분포	62
[그림 3-8] 바닥온도변화에 대한 실온 및 흑구온도의 변화 ..	63
[그림 3-9] 바닥온도변화에 대한 실온 및 흑구온도의 변화 ..	64

[그림 3-10] A-모델의 벽체 내·외부 온도분포	65
[그림 3-11] A-모델의 벽체 내·외부 온도분포	66
[그림 3-12] B-모델의 벽체 내·외부 온도분포	66
[그림 3-13] B-모델의 벽체 내·외부 온도분포	67
[그림 3-14] 흑구온도와 온열감응답	73

사 진 목 차

(사진 3-1) 실험주택의 전경	54
(사진 3-2) 측정기기	58
(사진 3-3) 측정기기	59
(사진 3-4) 대기실에서 피험자가 대기하는 모습	71
(사진 3-5) 모델내부에서 설문작성하는 모습	72

표 목 차

<표 2-1> 실내에서의 기류속도와 쾌적감	15
<표 2-2> 작업정도별 인체발열량	16
<표 2-3> 의복에 대한 열저항치	18
<표 2-4> 온열쾌적범위에 관한 연구결과	27
<표 2-5> 바닥복사난방의 적정바닥표면온도	30
<표 2-6> 국내연구된 온돌의 쾌적온도범위	40
<표 2-7> 바닥재별 쾌감에 대한 온도의 한계 (맨발상태)	49
<표 3-1> 측정기기와 측정요소	58
<표 3-2> 실내기온구간에 따른 각 측정점의 온도변화	68
<표 4-1> 건축물의 단열기준 및 실험모델의 열관류율	75
<표 4-2> 서울의 평균기온	76
<표 4-3> 『A-모델』의 온도변화(TEST-1)	79
<표 4-4> 바닥온도의 실험치와 계산치의 비교	82
<표 4-5> 단열기준과 건물구조에 따라 계산한 적정바닥표면온도	87
<표 4-6> 온돌난방주택의 온열환경실측자료 - (1)	89
<표 4-7> 온돌난방주택의 온열환경실측자료 - (2)	90

제 1 장 서 론

1-1 연구의 배경 및 목적

온돌은 우리나라의 전통적인 주거용 난방방식으로, 온돌이 갖는 특유한 열환경조건은 오랜기간을 통하여 우리민족 고유의 생활습속을 형성하는데 큰 영향을 미쳤다. 온돌은 바닥표면온도에 의한 평균복사 온도의 영향을 이용함으로써 자연대류 보다는 복사에 의한 전열효과가 더 큰 저온복사 난방방식의 일종이다. 과거, 전통한옥을 포함한 재래식주택의 경우 단열시공이 미비하고 비교적 허술한 창호구조로 인하여 발생하는 벽체를 통한 열관류손실과 틈새바람에 의한 겨울철의 과도한 열손실에 대하여, 바닥면을 뜨겁게 가열해 줌으로써 복사 온도를 기온보다 높게 유지시키는 구들을 이용하여 온열감을 얻을 수 있었다. 또한, 온돌구조는 바닥면에 가까운 공간 하부의 온도는 높은 반면에 실내의 전반적인 기온은 낮아, 우리나라의 전통적인 좌식 생활에 적합한 소위, 頭寒足熱型 온열환경을 창출할 수 있는 방식이기도 하다.

그러나, 해방이후 지난 40 여년간 우리나라는 사회전반의 급격한 변화에 따라 주거생활의 패턴도 크게 변모되었다. 특히, 주택은 형태와 구조는 물론 재료와 시공방법등에 큰 변화가 있었지만 온돌을 이용한 난방방식은 구들장에서 온수배관된 바닥판으로 형식만 변하였을 뿐, 기본적인 개념은 크게 바뀌지 않았다. 현대의 주거건축은 1970년대 이후 단순한 형태로 열용량이 크며 외벽의 면적이 극소화된 아파트 건축의 대량보급과 함께 단열시공이 의무화되고 기밀한 창호구조 및 에너지절약과 공사비절감을 위한 층고의 하향조정 등으로 인하여 과거와는 달리 열성능이 매우 향상되었다. 최근에 연구발표된 “온돌 공간의 실내환경 실태조사” 결과도 평균복사온도와 실내기온의 차이

가 거의 나타나지 않고 있음을 밝히고 있으며, 따라서 평균복사온도의 영향을 강조하는 온돌난방의 환경지표에 대하여 “온돌의 환경변화”에 수반된 再考가 요청되고 있는 실정이다. 또한 주거생활의 패턴도 좌식생활에서 입식생활로의 변화가 서서히 진행되고 있으므로 온돌난방이 목표로 하는 쾌적환경의 개념도 새롭게 설정할 시점에 있다고 본다.

온돌의 열환경에 대하여 국내에서 연구된 결과에 의하면 재실자반응에 따른 쾌적실내기온은 ASHRAE기준과 거의 일치하지만 바닥표면온도의 쾌적범위는 외국의 기준보다 높게 나타나고 있다. 주택의 온열환경을 최적상태로 만들기 위해서는 실내기온과 바닥온도 모두가 쾌적감을 가장 잘 느끼는 최적온도로 유지시켜야 할 것이다. 그러나, 열성능이 우수한 현대주택의 경우 두 가지를 동시에 만족시키는데 문제를 안고 있다. 다시 말해, 거주자가 선호하는 비교적 높은 바닥표면온도에 기준을 두고 난방을 할 경우 실내기온은 쾌적범위를 넘어 과열상태로 될 우려가 있으며, 이때 느끼는 불쾌감을 해소하기 위해 거주자는 필요이상의 환기를 하게 되므로 불필요한 에너지 낭비를 가져오게 된다.

따라서, 본 연구는 온돌공간의 실내온열환경요소중 가장 큰 영향인자로 작용하는 기온과 바닥표면온도 사이의 관계를 알아봄으로써, 열성능이 우수한 현대 주거건축에서 쾌적한 실온을 유지할 수 있는 적정한 바닥표면온도를 제시하는데 목적을 두고 있다.

1-2 연구의 범위 및 방법

온열환경의 폐적범위를 연구하는 방법에는 『실험실에서 피실험자를 대상으로 주관적 온열감반응을 조사하는 방법』과 『실제거주공간을 대상으로 실내온열환경요소를 측정함과 동시에 거주자의 주관적 온열감반응을 조사하는 방법』이 많이 사용되고 있다.

온돌공간의 “폐적실온 유지에 적정한 바닥표면온도”를 설정하는 방법도 위의 두가지 방법을 모두 이용할 수 있으나, 실제거주공간을 대상으로 하는 방법은 현실적으로 많은 제약이 있기 때문에, 본 연구에서는 실험모델을 이용한 실측결과를 기준에 실태조사된 자료¹⁾와 비교·분석하여 결론을 도출하는 방법으로 진행하였다.

이를 위한 연구방법을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 실내온열환경에 대한 이론을 검토하여 본 연구에 부합되는 온열환경요소와 환경평가지표를 파악하고, 일반적으로 제시되고 있는 폐적온열환경의 범위에 대하여 정리한다.

둘째, 온열환경이론 중에서 온돌의 열특성 및 온열감에 관계된 여러가지 특성에 관하여 고찰한다.

세째, 시대에 따른 “주거의 온열환경실태”에 대한 변화과정을 조사하고, 온돌의 온열환경에 영향을 미친 요인을 살펴 폐적

주1) 본 연구에서 『시대적변화에 따른 온열환경실태』와 『주거유형별 온열환경실태』의 전반적인 동향을 파악하여 이를 실험연구 결과치와 비교하는 목적으로 사용된 자료는, 연구자에 따라 각기 다른 시간대와 다른 모집단을 대상으로 연구되고 여러 유형의 주거에서 측정된 결과 및 다양한 연구방법에 기인한 특성이 있는 것으로, 자료의 출처는 각종 연구보고서 및 학술지에 게재된 논문을 대상으로 함.

실온 및 쾌적 바닥표면온도를 동시에 유지할 경우에 발생할 수 있는 문제점을 파악한다.

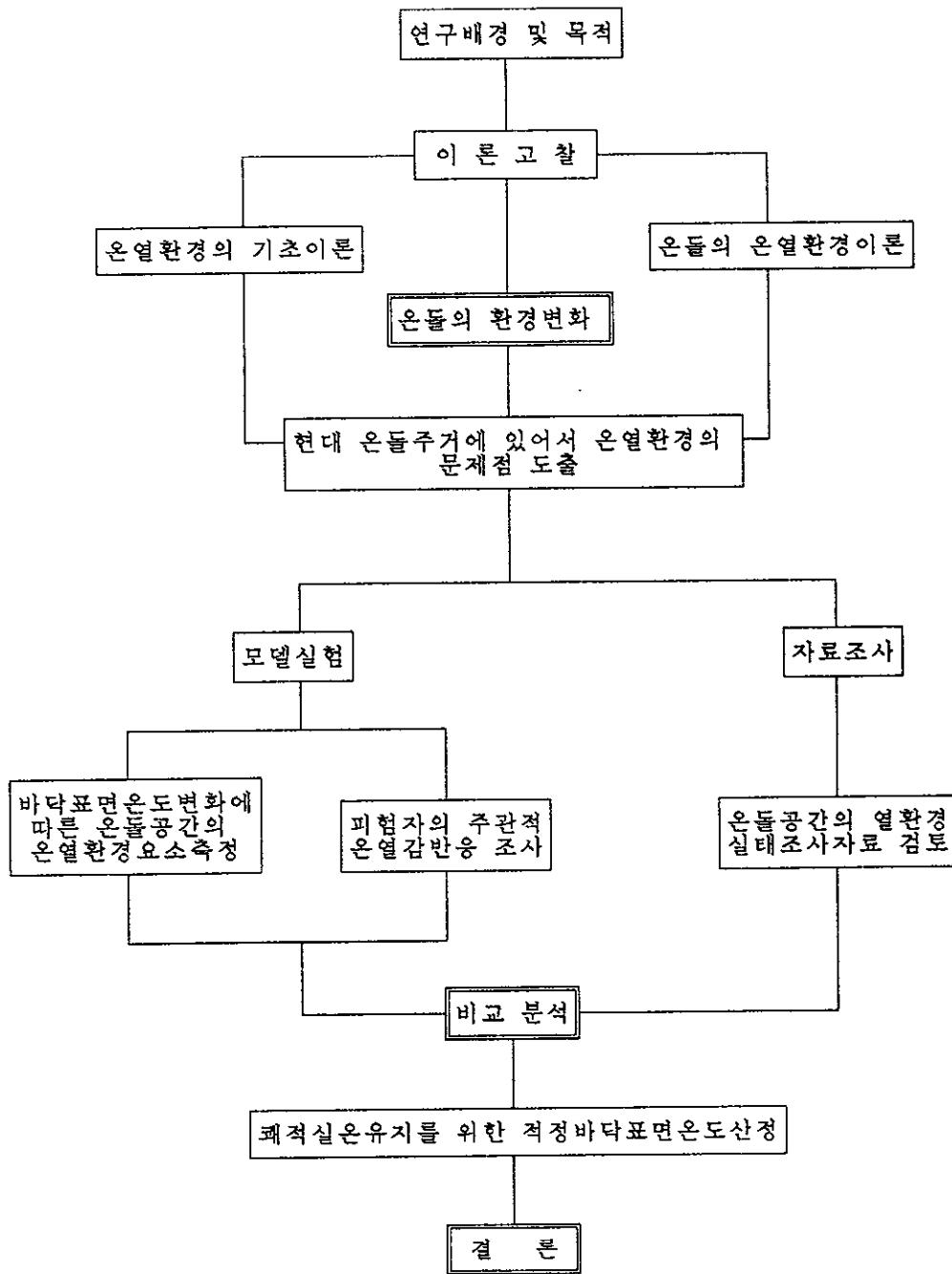
네째, 실험을 통하여 온돌의 바닥표면온도 변화에 따라 나타나는 실내기온의 변화패턴을 알아보고, 피험자를 대상으로 한 주관적 온열감반응조사를 실시하여 실험모델조건에서의 쾌적온도범위를 도출한다.

다섯째, 실험을 통하여 얻은 결과와 최근에 시공된 공동주택중 풍부한 모집단을 대상으로 실태조사된 기존연구결과와 비교한다.

여섯째, 이상의 과정을 통하여 얻은 결과를 토대로 “쾌적실온범위를 층족시키는 적정 바닥표면온도”를 설정, 제시하고 앞으로의 연구과제에 관하여 논의한다.

전체적인 연구의 흐름도는 [그림 1-1]과 같다.

[그림 1-1] 연구의 흐름도



제 2 장 온열환경에 대한 이론 고찰

2-1 온열환경의 기초이론

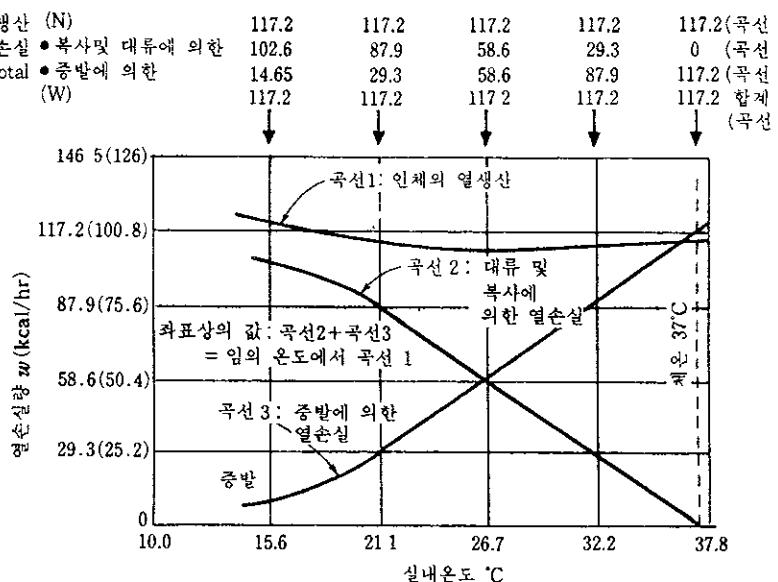
2-1-1. 신체와 환경사이의 열교환

인체는 음식물을 소화하여 얻은 에너지로부터 지속적으로 열을 생산해 낸다. 이 열은 체온을 일정한 온도로 유지하기 위하여 적절한 비율로 체외로 발산 되어야 하는데, 인체가 생산하는 열의 총량은 각 개인의 크기, 성별, 활동량, 척의량 등에 따라 다르다. 인체가 감지하는 온열감은 인체와 주변환경 사이에서 일어나는 열교환 상태에 의해 결정되며 인체내에서 생산되는 열량, 즉 대사량은 피부, 호흡기 및 배설기관등을 통하여 인체외부와 열교환을 하게된다. 이때의 열교환은 전도, 대류, 복사를 통한 열전달과 호흡, 증발 등이 포함된 종합적 과정을 통하여 이루어지며, 증발은 피부를 통하여 발산되는 수증기(땀)와 호흡으로 배출되는 수증기에 포함된 잠열에 의한 열전달로 나타난다.

성인의 열생산량과 열손실량은 [그림 2-1]과 같고 그림에서 실내 온도가 21°C(70°F) 조건일 때 열손실량은 대략

- 복사, 대류, 전도 : 72%
- 증발 · 피부표면에서의 증발 : 15%
 - 허파로부터 배출되는 공기 : 7%
- 호흡한 외부공기를 허파에서 가열 : 3%
- 소변 및 배설물에 의한 손실 : 3%

정도가 되며, 이 가운데 복사, 대류, 전도에 의한 열손실이 대부분을 차지한다는 것을 알 수 있다.



[그림 2-1] 휴식시 성인의 열생산과 열손실 (RH 45%로 고정시)

인체와 주위환경 간의 열교환에 의한 온도조절은 기본적으로 다음의 두 가지 과정에 의하여 이루어진다.

1. **The Passive System** - 피부표면과 주위환경 사이의 열교환.
 - 인체의 심부와 피부표면 사이의 열교환으로 혈액의 순환과정에 의한 열전도에 의한 온도조절.
2. **The Control System** - 주위환경에 따라 혈류의 증감 및 혈관의 확장, 수축, 땀의 분비, 떨림에 의해 정상체온으로 유지하기 위한 조절.

일반적으로 열적불균형 상태에 대응하여 균형상태로 만들기 위해

서 작동되는 인체의 자율조절시스템에 대한 압력이 크면 클수록 불쾌의 정도는 커지게 된다. 인체의 온도감각은 피부표면에 분포된 한점과 피부속에 위치한 온점에서 느끼며, 이들의 분포상태는 신체부위에 따라 차이가 있어 가령, 온감은 손가락 끝, 코, 팔꿈치 등에서 가장 예민하게 느끼고 냉감에 대한 감각은 윗잎술, 코, 턱, 가슴, 손가락 부위가 가장 민감하다. 주위환경의 열적상태에 대하여 신체에서 온도를 느끼게 되는 경로는 피부를 통한 전도와 모세혈관의 혈액의 흐름에 의하여 열이 전달되며, 이밖에도 적외선(열선)과 같은 광선은 피부를 통과해 감각세포를 직접 자극한다.

인간은 항온동물이므로 체온(深部온도)을 항상 $36^{\circ}\text{C} \sim 37^{\circ}\text{C}$ 로 유지해야 하며, 심부온도가 37°C 를 기준하여 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 상승·하강하면 현저한 작업능률의 저하를 가져오고 $\pm 6^{\circ}\text{C}$ 이상의 증감이 있는 경우에는 생명을 잃게된다. 인체에서 생산되는 열량 즉 대사량(Metabolism)과, 인체와 주변환경 간의 열교환은 인체의 부위별로 차이가 있으며 온도가 낮은 부위와 높은 부위간에는 상호 열교환이 이루어지고 있어 엄밀한 의미에서 인체와 주변환경 간의 열교환 상태를 규명하기란 지극히 어려운 일이다.¹¹⁾

따라서, 이러한 열교환 현상에 대한 분석을 위해서는 인체전체가 균일한 에너지 분포를 이루고 있으며 등온으로 유지된다는 가정이 필요하다. 이러한 가정하에 인체와 주변환경 간의 열평형식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M = A \pm B \pm C \pm D \pm E \pm F \quad [\text{Kcal}/\text{h}] \cdots \cdots \quad (2.1)$$

주1) 서항석, “실내쾌적의 평가법”, 공기조화냉동공학, 1989, 6, pp. 82-84

여기서, M : 인체의 활동형태를 고려한 대사량 (met)

A : 복사열손실 (Kcal/h)

B : 대류열손실 (Kcal/h)

C : 전도열손실 (Kcal/h)

D : 피부를 통한 증기확산에 의한 열손실 (Kcal/h)

E : 호흡을 통한 열손실 (Kcal/h)

F : 땀의 증발에 의한 열손실 (Kcal/h)

인체의 주변에 임의의 환경조건이 주어졌을 경우 인체는 그 환경 조건에 대해서 열평형상태를 만들기 위해 인체내의 자율신경을 가동 한다. 몸의 떨림, 혈관의 수축과 팽창, 땀의 분비 등이 대표적인 예라고 할 수 있다. 정확히 말하면 인체와 주변환경간의 완전한 열평형 상태는 있을 수 없으며, 인체는 이러한 열평형상태를 만들기 위한 과정중에 있다고 볼 수 있다. 따라서, 인체와 주변환경간의 “열적 평형 상태에 있다”는 가정이 역시 필요하다. 인체와 주변환경간의 열적 불균형상태를 DQ 라 할때

$$DQ = M - A - B - C - D - E - F \quad [Kcal/h] \dots \dots \quad (2.2)$$

이다.

DQ의 값에 따라 인체의 열적인 반응은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

① $DQ < 0$ 일 경우 : 춥게 느끼고 이를 견디기 위해 근육의 긴장, 떨림운동 등으로 대사량이 증가한다. 또한 의복을 착용하여 단열을 강화하는 등의 방법으로 조절하는 행동조절영역이 있다. 더욱 저온이 되면 체온강하역에 들어간다. 인체생리적으로 저항가능한 영역의 범위는 고온측 보다도 저온측에서 일반적으로 더 넓다.

② $DQ = 0$ 일 경우 : 이것은 열생산이 열손실향과 평형을 이루어 인체의 온도변화가 없는것(이하 온열중성역)을 의미한다. 정지기

류에서 나체의 경우는 $29^{\circ}\text{C} \sim 31^{\circ}\text{C}$ 이다. 인체의 열생산은 작업정도에 따라 정해지며, 열손실은 주위환경의 기온, 습도, 기류, 평균복사온도, 착의상태 등에 따라 좌우되지만 가령, 떨릴정도로 추워도 몸의 조절기능에 의해서 열평형식에서는兩者가 균형을 이루게 되며, 때문에 열평형식에서 균형만 이루고 있다면 폐적하다는 논리는 잘못이다. 즉, 온열중성역상태는 열폐적을 위해서는 필요 조건이지만 반드시 충분조건이 되지는 못한다. 예를들어, 심하게 부조화된 복사역에 노출된다면 폐적감없이 열적증립상태에 놓일수도 있다. 그러나, $DQ = 0$ 의 조건이라면 일반적으로 열적폐적감을 느낄 확률이 높다고 볼 수 있다. 따라서, 온열중성역은 인간이 느끼는 열적 폐적감을 정량화 시킬 수 있는 요소로 사용되고 있다.

③ $DQ > 0$ 일 경우 : 덥게 느끼고 더위에 대항하는 인체반응이 나타나 주로 발한(發汗)에 의해 행해지는 중발조절영역이 존재하며, 이러한 중발조절영역의 최고점에 도달한 후에는 체온상승역에 들어간다. 심부체온이 39°C 에 도달하면 체온조절기능이 떨어지고 43°C 이상으로 지속되는 경우에는 치명적이다. 고온축에서는 의복을 벗음으로써 단열을 떨어뜨리는 방법으로 조절하게 되는 행동조절 영역이 있다.

2-1-2. 온열환경요소

인간의 열적 쾌적감은 몸전체의 열평형과 국부적(局部的)인 불만족감이 없을 때 이루어진다.

열평형방정식은 활동량(대사량)과 의복량에 따르는 인체측요인과 환경측인자인 기온, 기류, 습도, 복사열 등의 직접적인 요소에 의하여 결정된다고 일반화 하여 나타내고 있으나, 연령, 성별, 체질, 과거의 경험, 시간적 적응상태(재실시간), 계절, 낮과 밤, 시대 또는 민족, 식생활습관, 종교적 차이 등이 영향을 미치며, 이밖에도 실내 색상과 조명, 먼지, 냄새, 미생물 등의 온열과 상관없는 심리적 요인이 있다. 국부적 불만족감은 표면온도의 불평등복사, 기온의 차이 등에 의해 일어난다. 온열환경에 영향을 미치는 변수는 매우 다양하며, 열적쾌적이란 이상의 변수들이 복합적으로 작용해서 나타난다고 볼 수 있다. 일반적으로 거론되고 있는 온열환경요소는 아래와 같다.

(1) 기 온

사람의 활동량, 착의상태에 따라 동일온도라 할지라도 쾌적여부가 달라진다. 계절변화의 영향에 따른 의복이나 생활양식의 차이, 생리적 기후순화에 의한 영향등에 의해 일반적으로 여름의 쾌적온도가 겨울보다 $2^{\circ}\text{C} \sim 3^{\circ}\text{C}$ 정도 높은 것으로 알려져 있다.

기온이 27°C 이상이 되면 습한 불쾌감이 커짐을 알 수 있는데 그 이유는 피부표면온도에 영향을 주기 때문이다.²⁾ 인체는 의복을 착용하지 않았을 때 작용온도(OT) $29^{\circ}\text{C} \sim 31^{\circ}\text{C}$ 에서 또는, 의복량 0.6clo 상태일 경우 OT $23^{\circ}\text{C} \sim 27^{\circ}\text{C}$ 에서 냉·난방요구를 느끼지 않는 즉, 열손실의 증감이 없는 평형상태를 유지하게 된다.

주2) B. Givoni, "Man, Climate and Architecture", Applied Science Publishes Ltd, London, 1976. p. 64

인체의 내부온도는 口腔온도, 直腸온도, 食道온도 등 알고자 하는 부위에 따라 여러가지로 나타내고 있는데, 이 중 直腸온도는 주변의 환경변화에 대하여 영향을 적게 받으며 거의 일정하게 유지되므로 보통 심부(深部)온도로 대치시켜 사용한다. 피부온도는 부위마다 다르며 손등, 손바닥, 팔뚝, 불, 허리, 가슴, 하복부, 허벅지, 정강이 부분의 온도를 그 면적에 대하여 평균한 것을 평균피부온도라 한다.

(2) 평균복사온도(Mean Radiant Temperature)

한 지점에서의 평균복사온도(MRT)는 다음식으로 구할 수 있다.

$$T_{mrt}^4 = T_g^4 + C \sqrt{v(t_g - t_a)} \quad \dots \dots \dots \quad (2.3)$$

여기서, T_{mrt} = 평균복사온도, K

T_g = 흑구온도, K

$C = 0.247 \times 10^9$

v = 기류속도, m/s

t_a = 주위 공기온도, K

평균복사온도(MRT)란 인체와 복사에 의한 열을 교환하는 주변표면의 평균온도로서 기류가 없을때에는 흑구온도를 바로 평균복사온도로 읽을 수 있다. 그러나 위 계산식의 적용은 복잡하므로 약식으로는 주위표면의 면적가중온도로 계산할 수 있으며, 흑구온도계(globe thermometer)로 측정할 수 있다.

$$MRT = \frac{\sum [S * t]}{\sum S} \quad \dots \dots \dots \quad (2.4)$$

여기서, t는 각 표면 S의 온도이다.

문헌에 의하면 기온 1°C의 변화는 MRT 0.5°C~0.8°C의 변화에 해

당하며, 가장 쾌적한 상태는 MRT 가 기온보다 2°C 정도 높을 때인 것으로 알려져 있다. 주위의 표면온도가 대체로 균일하고 몸에서 방출되는 복사열이 어느방향으로나 같다면 MRT가 기온보다 2°C 정도 낮아도 무방하다. MRT는 난방시 특히, 복사난방의 평가에 흔히 사용되며, 쾌적감은 흑구온도가 28°C 이상이거나 16°C 이하 그리고 평균복사온도와 건구온도의 차이가 5°C 이상이면 달성되기 어렵다.

(3) 습 도

실내습도의 범위는 40%~70% (RH) 로 유지하는 것이 일반적인 기준이다. 습도가 높으면 곰팡이 및 결로현상이 일어나기 쉽고 건조한 공기는 호흡기질환³⁾과 정전기가 잘 일어나게 된다. 저온의 환경에서 사람은 습한 공기 보다 건조한 공기에서 더 춥게 느끼게 되며, 그 이유는 피부에서의 수분증발로 인한 냉각효과 때문이다. 고온의 경우에서는 땀이 분비되나 상대습도 60% 이상이 되면 증발이 잘 되지 않으므로 실제 기온보다 더 덥게 느껴진다. 그러나 기온이 약 20°C~25°C 범위에 있는 경우 상대습도 30%~85% 범위의 습도변화는 생리적으로 큰 영향이 없고, 감각적으로도 거의 인식치 못한다고 알려져 있다. 여러 연구에서 제안하는 적정습도범위는 아래와 같다.

* 적정습도범위 * ⁴⁾

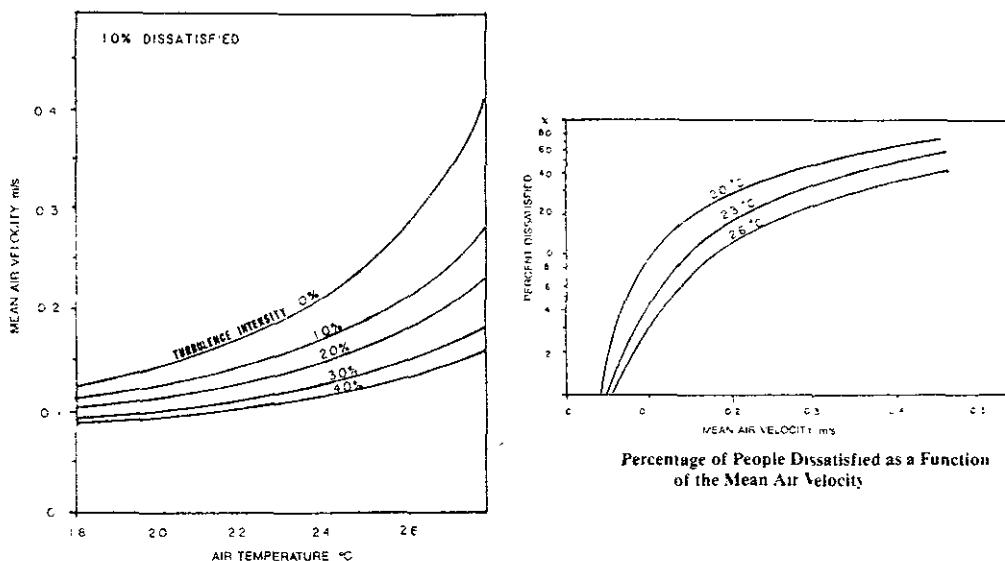
- ASHRAE Comfort Standard 55-66 : 20%~60%
- ASHRAE Comfort Standard 55-74 : 20%~70%
- T. A Markus & E.N Morris (1976) : 20%~80%
- 영국 : 40%~65%
- 미국 : 40%~60%

주3) 습한 공기보다 건조한 공기에서 감기바이러스가 발생이 쉽게 일어난다. Green G.H, The effect of Indoor Relative Humidity on Colds, ASHRAE Transactions, vol. 85, pp 747-753, ASHRAE, 1979

주4) 대한주택공사, "실내온열환경조사연구", 연구90-30, 1991. 9.

(4) 기류

기류는 대류를 촉진시켜 피부로 부터의 증발량을 높여 열손실을 증가시킨다. 기류에 의한 증발은 습도와 밀접한 관계를 가지며, 습도가 30% 이하일 때는 기류가 없어도 증발이 잘 되므로 기류의 영향이 아주 미약하나 85% 정도 이상이 되면 증발이 제한되어 기류에 의한 냉각효과의 증대는 제한된다. 더운 상태에서는 대개 1 m/s 정도에서 폐적하게 느끼며 1.5 m/s 정도가 허용범위이다. 1.5 m/s 이상이 되면 가벼운 물건들이 날리어 불쾌감을 초래하게 된다. 추울 때 난방을 하는 실내의 기류속도는 0.25 m/s 를 넘지 않아야 하며, 기류가 전혀 없거나 0.10 m/s 이하가 되면 답답함을 느끼게 된다. 바닥복사난방시 적정기류로 국내연구된 바에 의하면 0.15 m/s 이하 범위이다. 실내기류에 따라 느끼는 폐적감의 정도는 [그림 2-2], <표 2-1>과 같다.



[그림 2-2] 평균풍속에 대한 불쾌적도 및 틈새바람의 영향⁵⁾

주5) ASHRAE FUNDAMENTAL, 1989.

〈표 2-1〉 실내에서의 기류속도와 쾌적감⁶⁾

기류속도		온도강하느낌 (80-90°F, 다습지역)	인체의 반응
[f/m]	[m/s]		
50 이하	0.25 까지	온감에 영향 없음	느끼지 못함
50-100	0.25-0.50	2-3°F 낮아짐	쾌적함
100-200	0.50-1.00	4-5°F 낮아짐	공기의 움직임을 느낌
200-300	1.00-1.50	5-7°F 낮아짐	냉각효과를 느낌
300 이상	1.50 이상	5-7°F 이상 하강	불쾌감을 느낌

(5) 활동량

열환경의 쾌적범위는 인체의 물리적 활동량에 따라서도 변하게 된다. 예를들면, 격렬한 활동을 하는 작업시 열적으로 쾌적하기 위해서는 서늘한 상태가 좋다. 인체에서 생산되는 열량은 개인마다 차이가 있으며, 신체의 표면적과 인간의 활동량에 의해서 결정되어 진다. 않은 자세로 안정하고 있을때의 에너지 대사량에 대한 어느 작업시의 에너지 대사량의 비를 Met(에너지대사율)라 하고 국제적으로 작업강도의 표준으로 삼고 있다. 한편, Fanger는 활동량의 단위로서 인간이 앉아서 쉬고있는 상태에서 춥지도, 덥지도 않다고 느낄 때를 1 MET로 정의하고 있으며, 개인차는 있지만 사람의 표면적 1m²당 35 kcal/h의 열량을 발생한다.

보통 35세 정도 남자의 최대활동량은 평균 10 Met 정도가 되며, 5 Met로 계속하여 일할때 지치게 된다. 활동량은 연령에 따라 감소되며, 최대활동량에 있어 여성은 남성보다 30% 정도 작다.

주거내에서 보통 취하는 자세인 눕거나 앉은상태의 활동량은 0.8

주6) Victor Olgyay, Design with Climate, Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism.

~ 1.2 Met 의 범위이다.

각종 작업에 따른 활동량은 <표 2-2>와 같다.

<표 2-2> 작업정도별 인체발열량[Kcal/h]

작업정도	적용실례	에너지 대사율 Met	실온							
			20°C		22°C		24°C		26°C	
			SH	LH	SH	LH	SH	LH	SH	LH
앉음, 휴식	극장, 초중학교	1.0	59	18	56	22	51	27	46	33
매우 가벼운작업	고등학교	1.1	65	26	58	30	53	36	46	43
사무작업	사무소, 호텔	1.2	66	34	61	40	54	46	46	53
보행작업	은행, 백화점	1.4	68	44	62	49	57	55	47	64
벤취워크	공장	2.0	87	81	77	90	65	95	53	114
증작업	공장, 보울링	3.7	141	181	129	193	117	206	107	218

SH : 현열, LH : 잠열 * 여자는 0.85倍, 어린이는 0.75倍가 된다.

(6) 착의량

인간은 의복을 착용함으로써 여러 환경에 좀 더 용이하게 적응할 수 있다. 즉, 한냉·서열환경이 인체에 미치는 열을 의복으로 보존 및 차단⁷⁾, 조절함으로써 인간이 견딜 수 있는 환경범위를 확장시킬 수 있다. 의복으로 조절가능한 미세기후요소는 기온, 습도, 기류, 복사열 등이다. 또한 인체와 외부환경사이에 일어나는 열이동은 의복을 착용할 경우 의복표면과 피부면과의 온도차로써 즉, 의복에 의한 단열정도로 조정할 수 있다.

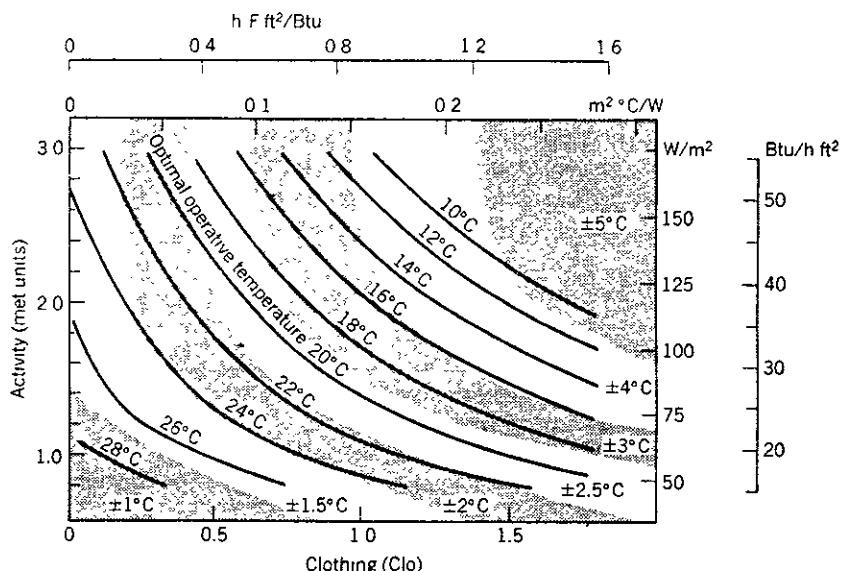
이러한 의복의 단열성에 관한 실용단위로서 clo 를 창안하여 사용

주7) 의복의 열차단에는 직물의 두께(Kaswell, 1953), 통기성(Meridith & Hearle, 1959), 의복과 인체표면 사이의 공기층이 주요 요인이 된다[Fanger, 1970].

하고 있으며, 1 clo는 실온 21°C(70°F)에서 1 Met의 대사량과 평형을 이루는 착의상태로 6.5 W/m²°C의 열관류율⁸⁾에 해당한다.

동절기 실내의 clo값은 동복상하에 내의, 양말, 구두를 착용한 일반적인 복장일 때 대략 1 clo에 해당한다. 착의량은 인종, 지역, 기후, 풍속, 습관, 계절등에 따라 서로 다르다. 나체는 0 clo가 되며 에스키모인의 완전 방한복장은 4 clo⁹⁾정도가 된다.

착의량 0.1 clo의 증감은 작용온도 0.6°C의 감증에 해당한다. 활동량에 따른 착의량과 작용온도와의 관계는 [그림 2-3]과 같다.



[그림 2-3] 의복량(clo)과 활동량(Met)의 관계

ASHRAE 55-1981 과 ISO 7730 은 표준 착의량으로 동계 0.9 clo 하

주8) 공기가 단열력이 강하므로 공기층의 존재유무에 따라서 clo 값이 변한다. 최대의 단열력을 갖는 공기층은 1cm~1.5cm이며 이보다 두껍게 되면 능력이 저하된다.

주9) ASHRAE:55-1981 은 동계에 적정한 실내복장으로 0.9 clo 를 정하고 있으며, Arens, et al.은 0.8 clo 를 제시하고 있다.

계 0.5 clo로 정하고 있다.

한국인의 착의관습은 오늘날 일반적으로 서양화되어 있으며 양장, 양복의 패턴은 이와 비슷하다고 하겠다. 우리나라도 이 범위가 일반적인 clo값이라 여겨지나 주거내에서는 신발과 상의를 벗는 것이 보편적인 현실을 감안할 때 한국인에 맞는 표준 clo값을 다시 정할 필요가 있다고 생각된다. <표 2-3>은 의복에 대한 열저항치이다.

<표 2-3> 의복에 대한 열저항치¹⁰⁾

의복의 종류	의복량($I_{clu,i}/clo$)	의복의 종류	의복량($I_{clu,i}/clo$)
<Underwear>			
Men's briefs	0.04	<Dress & Skirts>	
Panties	0.03	Skirt (thin)	0.14
Bra	0.01	Skirt (thick)	0.23
T-shirt	0.08	Long-sleeve shirt dress(thin)	0.33
Full slip	0.16	Long-sleeve shirt dress(thick)	0.47
Half slip	0.14	Short-sleeve shirt derss(thin)	0.29
Long underwear top	0.20	Sleeveless, scoop neck(thin)	0.23
Long underwear bottoms	0.15	Sleeveless, scoop neck(thick), i.e., jumper	0.27
<Footwear>			
Ancle-length athletic socks	0.02	Sleeveless vest (thin)	0.13
Calf-length socks	0.03	Sleeveless vest (thick)	0.22
Knee socks (thick)	0.06	Long-sleeve (thin)	0.25
Panty hose sockings	0.02	Long-sleeve (thick)	0.36
Sandals/thongs	0.02		
Slippers(quilted,pile-lined)	0.03	<Suit jackets & vests (lined)>	
Boots	0.10	Single-breasted (thin)	0.36
<Shirts and Blouses>			
Sleeveless, scoop-neck blouses	0.12	Single-breasted (thick)	0.44
Short-sleeve, dress shirt	0.19	Double-breasted (thin)	0.42
Long-sleeve, dress shirt	0.25	Double breasted (thick)	0.48
Long-sleeve, flannel shirt	0.34	Sleeveless vest (thin)	0.10
Short-sleeve, knit sport shirt	0.17	Sleeveless vest (thick)	0.17
Long-sleeve, sweat shirt	0.34		
<Trousers and Coveralls>			
Short shorts	0.06	Sleeveless, short gown (thin)	0.18
Walking shorts	0.08	Sleeveless, long gown (thin)	0.20
Straight trousers(thin)	0.15	Short-sleeve hospital gown	0.31
Straight trousers(thick)	0.24	Long-sleeve, long gown (thick)	0.46
Sweat pants	0.28	Long-sleeve pajamas (thick)	0.57
Overalls	0.30	Short-sleeve pajamas (thin)	0.42
Coveralls	0.49	Long-sleeve, long wrap robe	0.69
		Long-sleeve, short wrap robe	0.48
		Short-sleeve, short robe(thin)	0.34

착의량과 실내기후는 상호보완적인 관계에 있어서 주어진 착의량

주10) ASHRAE HANDBOOK FUNDMENTALS, 1989.

으로 실내기후를 구할 수도 있고 주어진 실내기후로 적정 착의량을 구할 수도 있다. 습도는 Clo 값에 별 영향을 미치지 않는다.

(7) 기타요인에 의한 영향¹¹⁾

① 개인차 : 쾌적열환경에 관해 개인적인 차이는 인정되고 있으며 그 차이는 $0.6 Clo$, 1.1°C 로 밝히고 있다. 따라서 아무리 완벽한 상태하에서도 재실자의 5%는 불만족하게 느낀다. 즉, $PMV^{12)} = 0$ 일때 $PPD=5\%$ 이다.

② 연령에 따른 영향 : 노인의 경우 신진대사가 느리므로 대체로 약간 높은 온도를 좋아한다.

③ 성별에 따른 영향 : 여자의 대사량은 남자보다 작아 평균 1°C 정도 높은 온도를 좋아한다.

④ 신체의 형태에 따른 영향 : 키가 크고 마른 사람은 뚱뚱한 사람보다 체적에 대한 표면적의 비율¹³⁾이 커 열손실량이 더 많으므로 뚱뚱한 사람에 비해 높은 온도를 좋아한다.

주11) 이정찬, 여름철 종합병원 병실의 쾌적환경에 관한 사례연구, 중앙대학교 석사논문, 1986. pp.20

주12) PMV는 Fanger 의 쾌적방정식을 기초로 하여 산출한 것으로 쾌적조건으로서 평균피부표면온도와 발한량을 代謝의 함수로서 나타낸 것이다. $PMV = [0.303 \cdot \exp(-0.036M) + 0.028] \cdot L$ (여기서 L은 신체의 열부하). 한편, PPD는 열적으로 환경에 불만족한 사람의 수를 정량적으로 예측하는 것으로 일반적으로 7단계 온열감평기항목중 +3, +2, -2, -3에 응답한 사람의 비율을 %로 나타낸 것이다. $PPD = 100 \cdot \exp[-(0.03353 \cdot PMV^4 + 0.2176 \cdot PMV^2)]$. 따라서, 절대적인 균일한 조건을 가진 쾌적한 환경조건일지라도 $PPD = 5\%$ 정도의 불만족도를 나타내며, 이는 개인차에 의한 영향 범위로 흡수될 수 있다.

주13) 체적에 대한 표면적의 비율 : 1) Dudois 의 식 : $A_b = 0.202 \times W^{0.425} \times h^{0.725} [\text{m}^2]$, 2) 高比良의 식 : 남자 $A_b = 72.46 \times 10^{-4} \times W^{0.425} \times h^{0.725} [\text{m}^2]$, 여자 $A_b = 74.49 \times 10^{-4} \times W^{0.427} \times h^{0.718} [\text{m}^2]$, 여기서 W=체중(kg), h=신장(m)

⑤ 피하지 방향에 따른 영향 : 피하지방은 단열재 역할을 하여 체내조직에서 표면으로 전도되는 열량을 감소시키기 때문에 만족스러운 열발산을 위해서는 시원한 공기를 필요로 한다.

⑥ 건강상태에 따른 영향 : 환자들은 대사량이 증가되어 열평형상태가 변화된다. 또한, 열조절기능이 약화되어 결과적으로 허용온도의 범위가 좁아진다.

⑦ 재실시간에 따른 영향 : 주어진 환경에 대하여 처음 얼마간은 다른 환경에 적응한 영향이 남아있어 단기간 체류시 재실시간에 따라 폐적도가 달라진다.

⑧ 사용자 밀도에 따른 영향 : 극장, 영화관 등과 같은 고밀도의 수용공간에서는 낮은 기온과 비교적 많은 환기량을 요구한다. 반대로 저밀도 공간에서는 높은 온도와 적은 환기량을 요구하고 있다.

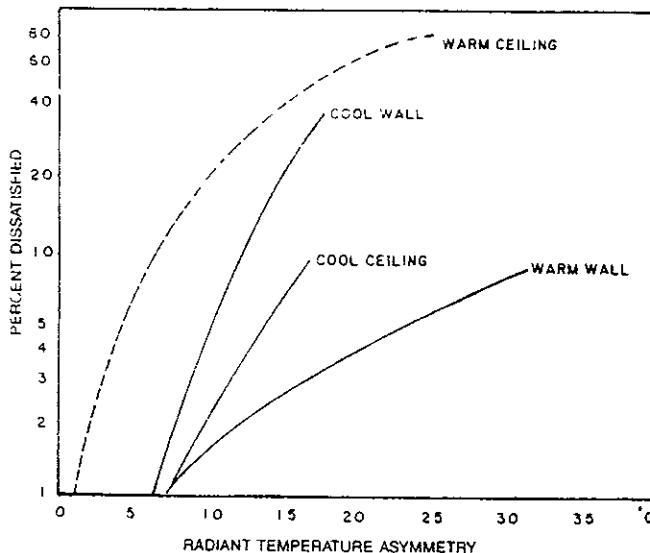
이밖에도 열적반응에 대하여 시대 또는 민족, 식생활습관, 종교적 차이 등이 영향을 미치며, 실내색상과 조명, 먼지, 냄새, 미생물, 음향 등 온열과 상관없는 심리적 요인이 있다. 심리적, 사회적, 경제적 변수들에 의한 영향은 구체적으로 설명되지 않고 있으나 보통 경험과 관찰을 통해 이해되고 있다.

(8) 부분적 불만족의 발생

온열적 부분적인 불만족은 불균등복사장, 기류(틈새바람), 뜨겁거나 찬 표면에 접촉, 수직(상하부)온도의 차이 등으로 인하여 발생한다. 세부적으로 보면 다음과 같다.

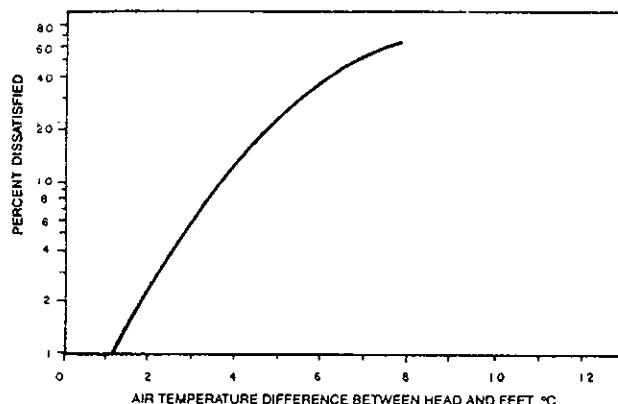
① 불균등복사 : 불균등복사의 수평범위는 5°C이내, 수직범위는 3°C이내로 하고 있다. 바닥복사난방에서는 수직온도차가 아주 적어 보통 이 범위에서 만족하고 있다. 실내조건에 따른 불균등복사장이 불쾌감에 미치는 영향은 [그림 2-4]와 같다.

② 표면온도 : ASHRAE 55-1981과 ISO 7730 은 바닥복사난방의 경우 표면온도는 29°C 이하로 정하고 있다. 좌식생활을 하는 경우 바닥 표면온도 30°C 내외는 현저한 영향이 없고 이때 전신증성법위이면 쾌적하게 느끼게 된다.



[그림 2-4] 불균등복사장에 의한 불쾌적도

③ 기류에 의한 영향은 온열환경요소에서 설명한 바와 같고, 상하부 온도차에 의한 불쾌감은 [그림 2-5]와 같다.



[그림 2-5] 상하부 온도차에 따른 불쾌적도

이상과 같이 온열환경은 수많은 환경요소가 복합적으로 인체에 작용하여 이루어지기 때문에 열환경의 평가는 예를들어, 기온과 같은 한가지 요소만으로는 평가할 수 없게 된다. 따라서, 여러가지의 온열환경요소를 조합한 온열환경지표(Environmental Index)가 필요하게 되는데 온열환경지표에는 이론적지표(Rationally Derived Indices)와 실험적지표(Emprirical Indices)가 있다.

a) 흑구온도 (Black globe Temperature, GT)

글로브온도계는 지름 150 mm 의 무광택 흑색구리공 가운데에 온도계의 감온부분을 설치한 것이다. 흑구온도는 평균복사온도와 기류, 기온을 조합하여 나타낸 것으로 기류가 없을때에는 5분 이내에 $GT = MRT$ 가 된다. 기류가 있을 때는 수정을 하게 되는데 이 관계는 다음의 식으로 나타낸다.

$$T_g^4 = \frac{T_{mrt}^4}{C\sqrt{v(t_g - t_a)}} \dots \dots \dots \quad (2.5)$$

여기서, T_{mrt} = 평균복사온도, K

T_g = 흑구온도, K

$C = 0.247 \times 10^9$

v = 기류속도, m/s

t_a = 주위 공기온도, K

b) 유효온도, 신유효온도, 표준유효온도 (ET, ET* & SET)

유효온도(Effective Temperature)는 미국의 Yaglou 와 Houghten이 창안한 지표로서 복사열이 고려되지 않는 결점이 있다. 신유효온도 (New Effective Temperature, ET*)는 Gagge 등이 제안한 것으로 MRT 와 건구온도가 같고 풍속이 0.2 m/s 이하인 실내에서 가벼운 옷을 입고 경작업시에 쾌적 범위를 결정하는데 유용하며, 32°C 를 열적스트레

스의 한계로 보고 있다. SET는 50% RH, 풍속 0.125 m/s, 1 met, 0.6 clo 의 표준환경(기온=MRT)조건에서 환경변수들을 조합한 것으로 활동량, 착의량 및 환경조건에 따라 달라지는 온열감평가에 유용하다.

c) 풍냉지수(Wind Chill Index)

1945년 Siple 과 Passel 이 고안한 것으로 기류가 있으면 대류에 의한 체열방출이 촉진되어 특히 기온인 낮은 환경에서는 불쾌감을 주고 때로는 신체에 장애를 일으키게 되는데, 풍냉지수는 이와같은 기온과 풍속에 의하여 느끼는 추위를 무풍상태의 기온으로 환산하여 나타낸 값이다. 그 계산식은 다음과 같다.

$$WCI = (10.45 + 10\sqrt{V} - V)(33 - t_a) \quad [\text{in kcal}/(\text{m}^2\text{h})] \quad \dots \dots \quad (2.6)$$

d) 작용온도(Operative Temperature, OT)

인체의 피부와 환경간의 열교환이론에 기초를 두어 기온, 기류, 복사열의 영향을 이론적으로 종합한 지표를 작용온도(Operative Temperature)라 하며, 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$OT = \frac{\alpha_c \cdot t + \alpha_r \cdot MRT}{\alpha_c + \alpha_r} \quad \dots \dots \dots \quad (2.7)$$

여기서, α_c : 대류에 의한 열전달률 ($\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$)
 α_r : 복사에 의한 열전달률 ($\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$)
MRT : 평균복사온도 ($^\circ\text{C}$)
t : 기온 ($^\circ\text{C}$)

작용온도는 기류가 없을 때($v=0$) $OT = (t + MRT) / 2$ 가 되며, 습도가 고려되어 있지 않은데 이를 보완하여 노점온도까지 고려한 지표에 습작용온도(humid operative temperature)가 있다.

e) 습구글로브온도지수 (WetBulb Globe Temperature Index)

실내에서 습도와 복사의 영향을 나타낸 지표로 아래와 같은 식으로 나타낸다.

- 일사가 있는 경우 (옥외) WBGT : $0.7 \cdot t_w + 0.25 \cdot t_g + 0.1 \cdot t_a$
 - 일사가 없는 경우 (실내) WBGT : $0.7 \cdot t_w + 0.3 \cdot t_g$
- 여기서, t_w : 습구온도, t_g : 글로브온도, t_a : 건구온도

f) 환경온도 (Environmental Temperature, t_{ei})

실내에서의 복사를 고려한 환경지표로서 MRT 와 함께 복사의 영향을 나타내는 지표이다. $t_{ei} = 2/3 \cdot t_g + 1/3 \cdot t_a$ 로 나타내며, t_g 는 글로브온도, t_a 는 건구온도이다.

g) 불쾌지수 (Discomfort Index, DI)

ET 일부를 수식화한 것으로 기후의 불쾌적도를 건구온도(t_a) 및 습구온도(t_w)를 이용하여 나타낸 것으로 다음 식으로 나타낸다.

$$DI = 0.72 + (t_a + t_w) + 40.6(\text{ }^{\circ}\text{C}) \dots \dots \dots \quad (2.8)$$

DI는 원래 풍속이 약한 실내용으로 고안된 것인데 지금은 옥외기후에도 사용되고 있다. DI=70%에서 10%, DI=75%에서 50%, DI=80%에서 재실자 전원이 불쾌감을 느끼게 된다.

h) 수정습작용온도(Corrected Humid Operative Temperature, HOTV)

인체를 대상으로 한 종합적인 온열환경지표로서 인체와 환경 간의 열교환량을 표시한 것으로 풍속수정기온(t_v), 평균방사온도(t_r) 및 노점온도(t_o)를 각각 열전달에 가중평균한 것에서 풍속에 대해 수정한 습작용온도이다.

$$\text{HOTV} = \frac{(h_o \cdot F_{clo} \cdot t_v) + (h_r \cdot F_{cl} \cdot t_r) + (w \cdot b \cdot L \cdot h_c \cdot F_{pcl} \cdot t_d)}{K_{tv}}$$

..... (2.9)

여기서, h_o : 표준대류열전달률, [Kcal/m²h°C]
 h_r : 복사열전달률, [Kcal/m²h°C]
 h_c : 대류열전달률, [Kcal/m²h°C]
 L : Lewis 상수, [°C/Torr]
 b : 정수
 w : 피부표면의 젖은률
 t_v : 풍속에 의하여 수정된 온도, [°C]
 t_r : 평균복사온도, [°C]
 t_d : 노점온도, [°C]
 F_{cl} : 의복의 효율계수
 F_{clo} : 표준의복의 전열효율
 F_{pcl} : 의복의 투습계수

위에 거론한 것은 일반적으로 사용되는 지표이며, 이외에도 고온 및 습한 작업환경의 평가에 이용되는 4시간 발한량 예측치(P4SR), 습구건구지수(WD or Oxford 지수), 열스트레스지표(HSI) 등 특수한 환경의 평가를 위해 여러가지 지표가 사용되고 있다.

2-1-3. 온열환경의 쾌적범위

열적 쾌적감이란 “열환경에 만족을 나타내는 심적상태 (A state of mind which expresses satisfaction with the thermal environment)”¹⁰ 라고 정의된다. 그러나 열쾌적에 대하여 보다 일반적이고 실제적인 것은 불쾌감을 느끼지 않는 상태 또는 주위환경에 대하여 열손실 및 열취득을 인식하지 못하는 상태라 할 수 있다. 이 정의에서 열적 쾌적문제를 해결하기 위해서는 주위환경의 물리적인 자뿐 아니라 그 환경에 존재하는 인간의 심리적, 생리적 인자를 동시에 규명해야 함을 알 수 있다.

재실자의 생리적 변량은 서로 다르기 때문에 동시에 모두를 만족시키기란 불가능하다. 어떠한 인공적인 온열환경조건하에서도 재실자의 100% 만족은 어렵다. 따라서 그들을 위한 최적 열적쾌적상태를 창조한다는 것은 그들 중 가능한 되도록 많은 사람들을 열적으로 쾌적하게 하는 것이다. 그렇다면 가능한 한 되도록 많은 사람들이란 전체의 몇 퍼센트(%)를 가리키느냐 하는 것이다. 이것은 바로 쾌적범위의 정확성의 한계를 말해 주는데 매우 임의적인 것으로서 연구자마다 다르다. 예컨대 Houghten과 Yaglou(1923)는 50%, Hicksh(1955)는 80%, Bedford(1963)는 70%, ASHRAE(1967)에서는 90%, 75%, 50%의 3등급으로 구분하고 이 가운데 최소 80%를 제안하고 있다. 한편 예측쾌적점수(PMV) 면에서 Fanger와 Gagge는 +1에서 -1의 범위 ($30\% < PPD$)를 쾌적대로 정하고 있는데 비하여 McNall과 Schlegel(1968) 및 ISO(1980)에서는 $+0.5 \sim -0.5$ ($10\% < PPD$)를 쾌적대로 제안하고 있다.

열적쾌적상태는 크게 두가지 측면에서 논할 수 있다. 하나는 『열에 대해 쾌적하게 느끼는 주관적인 감각의 상태』이고 또 하나는 『생

주14) ASHRAE, ASHRAE HANDBOOB FUNDAMENTALS, 1989. P. 8-16

리적으로 아무런 조절을 필요로 하지 않는 열중성적 상태』를 말한다. 증성점은 생리적으로나 활동량에 따라 차이가 있게 마련이나 열쾌적은 열중성상태에서 얻어진다. 그러므로 열중성은 열쾌적을 위한 필요조건이다. 그러나 충분조건은 아니다. 왜냐하면, 열중성상태 이지만

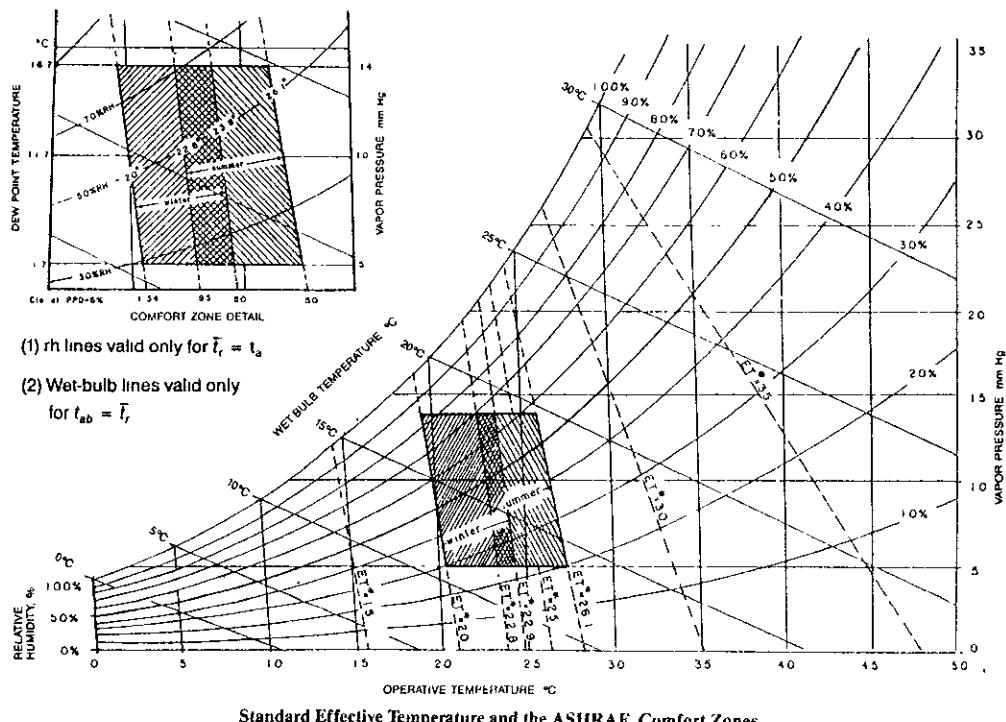
〈표 2-4〉 온열쾌적범위에 관한 연구결과¹⁵⁾

연 구 자	쾌적조건 및 산출과정	비 고
Yaglou	Equal Comfort Line에 의해 쾌적범위 제시 (쾌적범위 : 17.3 - 22.3°C)	- 실험실연구 - 유효온도에 의한 쾌적범위 제시.
Fanger	$Y = -3.836 + 0.3948 T$ (온열증성점 : 25.7°C)	- 실험실연구 - 건구온도에 의한 회귀식
Kansas State University.	$Y = 0.254 T + 0.248 P - 6.475$	- 실험실연구 - 건구온도(T)와 수증기압(P)에 의한 쾌적범위 제시.
K.Cena, et al	(온열증성점 : 건구온도 20.7°C, 작용온도 : 20.9°C)	- 주택에 대한 측정연구 - 쾌적한 상태에서 온도의 평균값으로 쾌적온도산출.
ASHRAE	Psychrometric Chart에 쾌적범위 제시. (쾌적범위 : 24.2 - 26.4°C)	- 실험실연구 - 작용온도
ISO 기준	열평형방정식에 의한 쾌적범위 제시. 여름 : 23 - 26°C 겨울 : 20 - 24°C	- 실험실연구 - 작용온도
磯田憲生 外	기온 : 15 - 18°C 바다온도 : 27 - 32°C (착의량 1.0 met 기준)	
田邊新一 外	겨울 $Y = -6.752 + 0.2668 T$ (온열증성점 : 25.3°C) 여름 $Y = -5.08 + 0.3448 T$ (온열증성점 : 26.3°C)	- 실험실연구 - 열평형방정식에 근거하여 작용온도에 의해 쾌적범위 제시

주15) 대한주택공사, "실내온열환경조사연구", 연구90-30, 1990.12.
p. 31

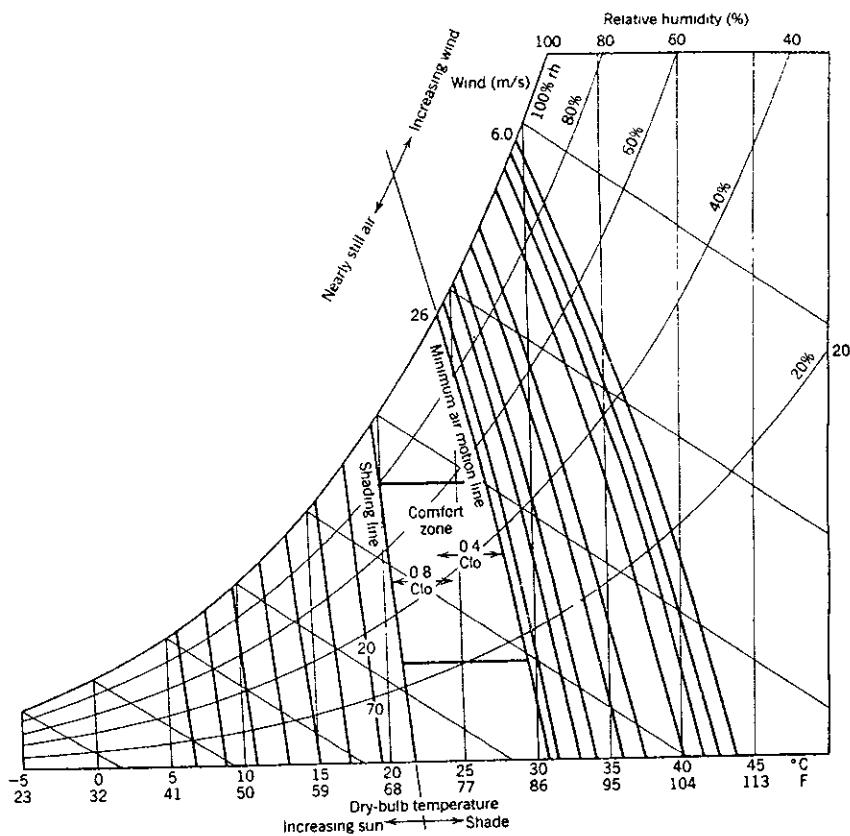
열환경의 불균형으로 인체의 부분적인 열적불만족이 있을 수 있기 때문이다. 따라서, 인체의 열쾌적은 열중성상태에서 局部的인 불만족감이 없을때 이루어진다.

쾌적열환경에 관한 연구방법은 크게 두가지로 나누어진다. 하나는『피험자에게 열감각을 투표케 하여 얻은 주관적쾌적에 관한 연구』이고 다른 하나는『인체의 열평형을 바탕으로 한 생리적인 증성역에 관한 연구』이다. 각 나라마다 그 나라 특성에 맞는 적정온도, 쾌적범위, 열환경지표 등에 대한 연구가 진행되어 왔으며 온열쾌적범위 설정과 관련하여 외국에서 제시된 주요 연구결과는 <표 2-4>와 같다.



[그림 2-6] ASHRAE의 쾌적범위¹⁰

주16) ASHRAE HANDBOOK, FUNDAMENTALS, 1989.



[그림 2-7] 자연형 난방 및 냉방을 하는 건물의 쾌적범위¹⁷⁾

일반적으로 가장 널리 적용되고 있는 ASHRAE 의 쾌적온도설정조건은 활동량 1.2 met, 기류속도 0.15 m/s 이하로 겨울철 의복량 0.9clo 일때 최적온도는 작용온도 22.7°C 이며, 여름철 0.5 clo, 0.25 m/s에서 최적온도는 24.4°C , 거의 나체에 가까운 0.05 clo 일 경우 최적온은 27.2°C 이다. 그러나 Arens 등은 쾌적조건을 활동량 1.3met (ASHRAE, 1.2met), 겨울과 여름철의 적정한 착의량을 각각 0.8 clo, 0.4 clo (ASHRAE: 0.9clo, 0.5clo)로 하여 연구하였다 (1980). 이 연구결과는 ASHRAE(1981)의 쾌적대보다 더 확장된 쾌적범위를 보여주고 있고 특히, 여름철에는 기류의 영향을 크게 고려 함으로써 겨울보다

주17) Arens, et al., (1980)

도 더 넓은 쾌적대를 제안하고 있다. [그림 2-7]은 Arens 등이 제시하는 쾌적대를 나타내고 있으며, 유효복사장(effective radiant field : ERF) 및 태양열복사성분을 모두 고려하여 산정한 것으로 자연형 냉·난방이 가능한 건물에 이용할 수 있다.

복사난방은 적외선 영역의 고강도광선(high intensity infrared heating)을 이용하는 방식과 물체표면(상면)의 복사열을 이용하는 방식으로 구분할 수 있으며, 바닥복사난방의 적정바닥표면온도로 제시되어 있는 외국의 기준은 <표 2-5>와 같다.

<표 2-5> 바닥복사난방의 적정바닥표면온도

연 구 자	적정 온도
磯田憲生 外. (日)	기온 : 15 - 18°C 바닥표면온도 : 27 - 32°C
渡迎要 (日)	21 - 27°C (최고 29°C)
Bedford (英)	24 - 25°C
Liese (獨)	25°C
ASHRAE (美)	29°C 이하
ISO 기준	29°C 이하

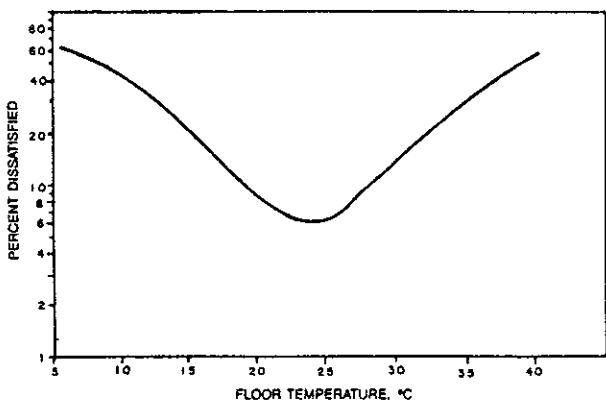
ASHRAE(1989)에서는 여러학자¹⁸⁾의 연구결과를 참고로 하여, 맨발로 이용하는 건물(수영장, 체육관, 탈의실, 욕실, 침실 등)의 바닥재료에 대한 쾌적온도를 아래와 같이 제시하고, 에너지절약을 위해서 콜-

주18) Nevins et al.(1958, 1964, 1967), Olsen(1977a, 1977b), Frank(1959), Cammerer and Schule(1960), Schule and Monroe(1971), Schule(1954), Missenard(1955)

크, 나무, 카아핏 등과 같은 열전도율이 낮은 재료를 사용할 것을 권고하고 있다.

웅단 (textiles, rugs)	: 21 - 28°C
송판바닥 (pinewood floor)	: 22.5 - 28°C
참나무바닥재 (oakwood floor)	: 24.5 - 28°C
리놀륨 (hard linoleum wood)	: 24 - 28°C
콘크리트 (concrete)	: 26 - 28.5°C

또한, Olsen(1977)은 광범위한 실험을 통해 “최적바닥표면온도는 앉은상태(sedentary)에서 25°C이며 서있거나 보행시 23°C”라고 밝히고 있다.¹⁹⁾ 바닥표면온도(철판의 경우) 46°C에서 사람은 통각을 느끼게 된다. 캔사스주립대(KSU)의 연구에서 “바닥표면온도 15.6°C~29.4°C 가 최적을 유지할 수 있는 범위”이며 또한, 1시간 이내의 단기체류시에(대학생을 대상으로 실험) 최적감을 유지할 수 있는 바닥표면온도는 최대 32.2°C라는 연구결과가 있다.



Percentage of People Dissatisfied as a Function of Floor Temperature

[그림 2-8] 바닥표면온도에 따른 불만족도(ASHRAE, 1989)

주19) ASHRAE FUNDAMENTAL, 1989. P.8-21에서 인용 - 발부위의 착 의상태에 대해서는 언급되어 있지 않음.

적외선(infrared)을 이용하는 난방에 대한 실험연구는 Lipkin and Hardy, Stolwijk and Hardy, Nevins 등에 의해 실시되었으며, 가스히터(gas-heater)를 대상으로한 외국의 연구결과는, 적외선이 照射된 후 잠시동안(약 1분 정도)에는 그 효과가 우수해 온열감에 미치는 영향은 태양의 복사열을 능가할 정도이나 시간경과에 따라 효과가 급격히 감소한다는 사실을 밝혔다. 그 이유는 일정한 시간이 흐른 뒤부터는 피부에서 흡수되는 복사열과 피부표면을 통한 열흐름이 상대적으로 신속히 균형을 이루어 주변환경으로 열손실이 이루어지기 때문이다. 우리나라에서 사용하는 난방방식중 적외선을 이용한 복사난방방식이 차지하는 비율에 대한 조사자료는 잘 알려져 있지 않으나, 적외선을 방출하는 고온의 전기램프와 가스히터 등을 육외작업장소 및 상업건물에서 보조적인 난방기구로 비교적 널리 쓰이고 있는 것으로 보인다. 쾌적범위는 동일민족, 동일문화권에서도 시대에 따라 변하기 때문에 지속적인 연구를 통해 수정보완이 뒤따라야 한다. 그 예로 三浦(1974) 등의 조사에 의하면 일본에서는 1947년 17°C, 1960년에 21°C, 1973년 24°C 이었다²⁰⁾.

위의 <표 2-4>에서도 연구자마다 제시하고 있는 쾌적범위는 시대에 따라 조금씩 차이를 보이고 있으며, 이러한 이유는 경제성장에 수반되는 난방의 보급등에 기인하는 것으로 보인다.

우리나라의 쾌적범위에 대한 기준은 아직 명확히 제시되어 있지는 않다. 그러나, 이 분야에 대하여 지금까지 연구된 국내결과는 우리의 쾌적바닥표면온도가 외국기준보다 아직도 높다고 할 수 있다.

주20) 박방열, 주거건축의 온열환경계획에 관한 연구, 1989. p. 9

2-2 온돌의 온열환경

2-2-1. 온돌의 열환경특성 및 폐적범위

(1) 온돌의 시대적 고찰

한국의 전통적인 난방시설인 온돌의 발전과정을 문헌을 통해 알아보면 다음과 같다.

우리나라 온돌의 최초기원은 여러문헌을 참고할 때 대체로 기원전 4-5천년 무렵의 중기 신석기시대²¹⁾로 보이며 이 때의 유적중 함북 웅기의 주거지에서는 지금의 온돌과 같은 유적이 발견되었다고는 하나 근거가 불분명하다는 의견이 있고²²⁾ 일반적으로, 온돌의 발상지는 중국 동북부 송화강유역으로 기원전 2세기 경 고구려를 통하여 우리나라로 유입된 것으로 알려져 있다.

온돌이 우리나라의 주거방식으로 자리잡게 된 정확한 시기는 불분명하나 청동기시대에 농경위주의 주거생활에서 반영구적인 난방방식이 필요한데서 기인한 것이라 여겨진다. 청동기시대의 주거지에서는 취사용화덕과 난방용화덕의 구분이 생기고 이것이 철기시대에 이르러 “ㄱ-자형 구들”로 발전되어 나타나며, 고려중기 이후에는 구들이 방 전체에 놓이고, 아궁이를 방밖에 두는 등 전형적인 온돌의 형태를 띠게된다.

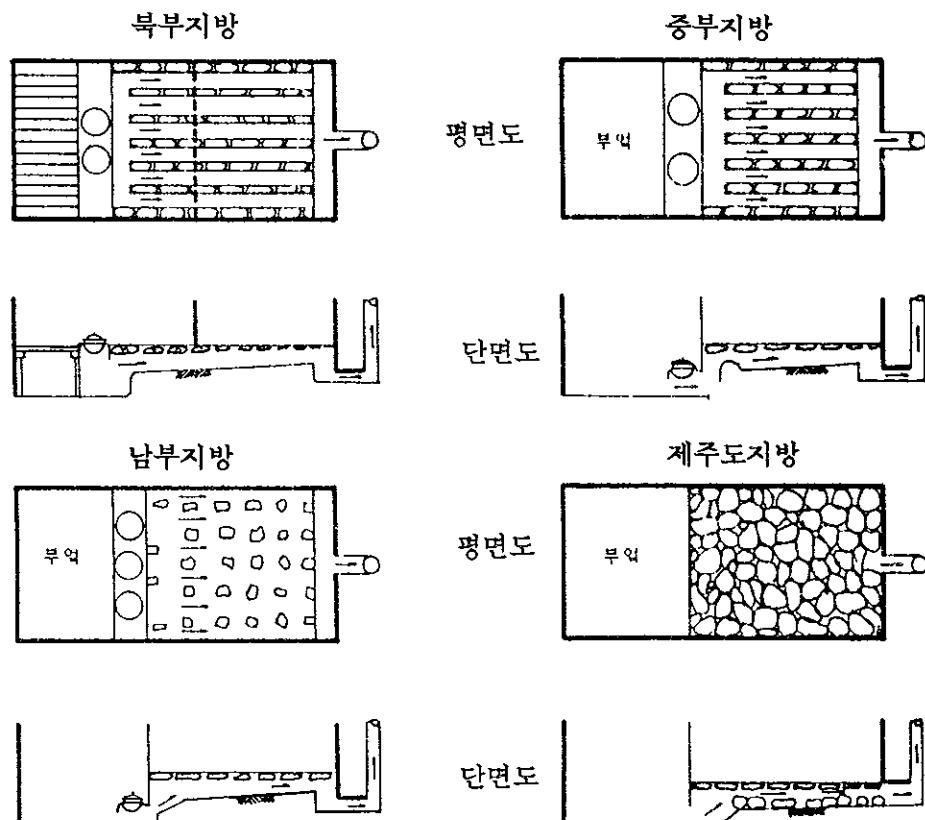
일반서민층에서 먼저 온돌을 적극적으로 채용하였으며 점차 지역·계층에 관계없이 사용이 급속히 확대되었다. 제주도까지 온돌이 전파

주21) 어영민, 송영식, “전통적 주거문화로서의 온돌”, 주택48호, 대한주택공사, pp.136-152, 1987.

주22) 김선우, “한국주거난방의 사적고찰”, 건축 제 23권 90호, 1979.10.

되어 한반도 전체의 난방방식으로 정착된 것은 18세기 경으로 알려져 있다. 조사에 의하면, 조선시대 주택에서 온돌방이 차지하는 비율은 상류계급 37%, 서민주택 45%에 달했던 것으로 알려져 있다.²³⁾

온돌은 지역 간의 기후특성에 따라 형태가 서로 다르게 나타나는데 지방별 개략적인 온돌구조는 [그림 2-9]와 같다.



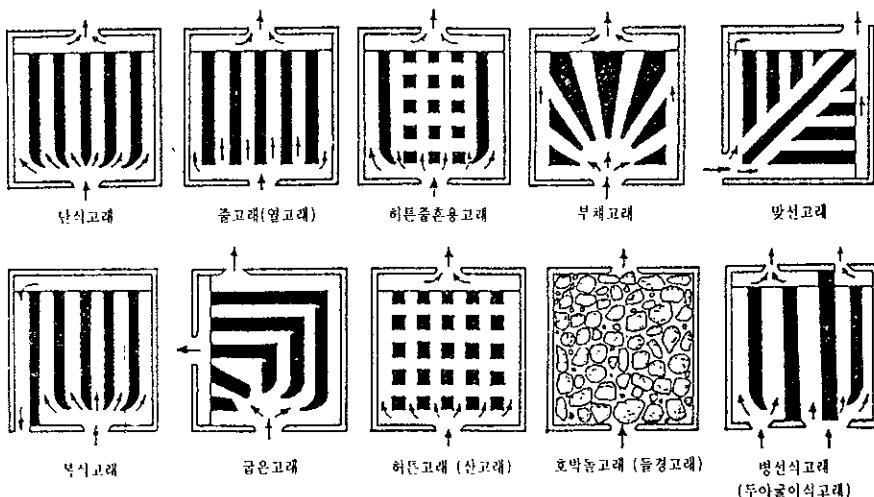
[그림 2-9] 지방별 재래식 온돌구조

온돌의 구조상 종류에는 「아궁이의 기능에 의한 분류」, 「구들개자

주23) 김선우, 한국주거난방의 사적고찰-온돌을 중심으로- 대한건축학회지 23권, 90호, 1979.

리에 의한 분류」, 「고래의 형태에 의한 분류」, 「구들형태에 의한 분류」 등 여러가지가 있다. [그림 2-10]은 “고래의 형태에 따른 분류” 및 “고래의 형식에 따른 열효율”을 나타낸 것이다.

재래식 구들을 사용하는 온돌난방의 경우 아궁이, 고래 및 굴뚝은 구들난방의 3요소로 열손실은 외벽(25.5%) > 창호(16.5%) > 고래바닥(15.0%) > 아궁이주변(14.0%)의 순서²⁴⁾로 크게 나타나며, 방안으로 들어오는 열량의 90%이상이 방바닥표면적의 30%이하(아랫목)에서 공급되어 소요난방열양만을 고려할 때 구들이 열을 전달하는 표면적은 방바닥 넓이의 50%이하로 충분하다는 연구결과²⁵⁾가 있다.



[그림 2-10] 고래의 형태에 의한 분류

주24) 김정수, “농어촌 주택온돌의 과학화와 개발방안에 관한 연구”, 과학기술처, R73-56, 1973.5.

주25) “월간 설비기술”, 1991.3., p.15

(2) 복사난방의 특징

적외선은 가시광영역의 장파장단($0.76\text{-}0.8\mu\text{m}$)을 하한으로 상한은 1mm 까지의 범위를 말한다. 원적외선의 구분은 사람에 따라 구구각색이지만 가열분야에서는 $2.5\text{-}5.6\mu\text{m}$ 이상의 영역을 가리킨다. 원적외선에 의한 가열은 복사난방의 일종이다. 모든 난방설비는 전도, 대류, 복사의 3가지 열전달 형태에 의해 효과를 나타내며, 그중에서도 특히 복사에 의한 난방효과가 비중이 큰 것을 복사난방이라 구별하고 있다.

복사난방은 열원의 종류에 따라 저온형, 중온형, 고온형으로 구분되며 이중 저온형은 바닥난방이 대표적인 것으로 인체에 접촉해도 화상을 입지 않을 정도의 온도를 가진 넓은 방열면으로부터 장파장의 원적외선에 의한 방열을 이용하는 것이다.

복사에 의한 열원을 주로 이용하는 바닥난방방식은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

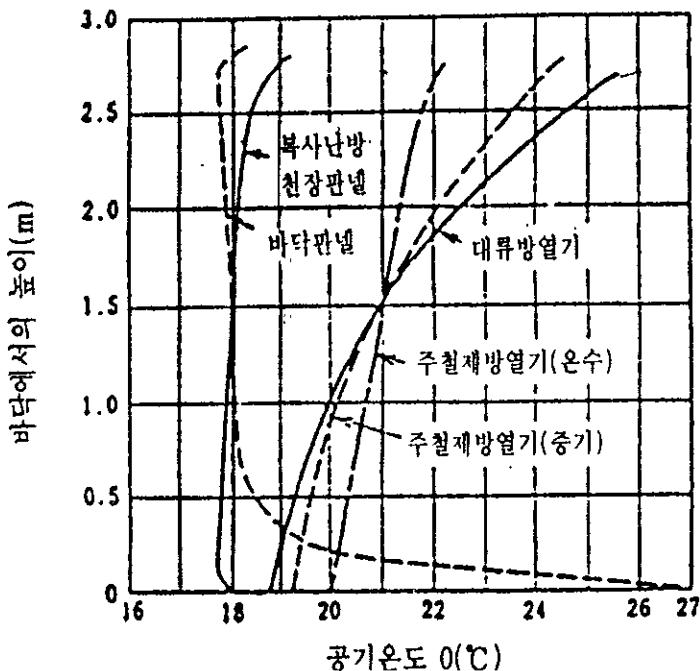
1) 바닥난방은 “頭寒足熱”형의 난방으로 바닥면이 따뜻하고 또 실내공기의 변동이 작으며 부드러운 난방감으로 쾌적성이 뛰어나다. 이에 대한 대류난방방식과의 실내수직온도분포상태를 비교해 보면 [그림 2-11]과 같다.

2) 이론적으로 볼 때 복사온도를 이용하는 관계로 실온이 일반난방에 비해 낮아도 충분한 난방감을 얻을 수 있기 때문에 외기와의 온도차를 줄일 수 있어 열손실이 작아 경제적이다.

3) 실온이 비교적 낮으면서도 건조하지 않고 건강에 좋다.

4) 열원 및 가동부분이 실내에 없기 때문에 유해가스 및 분진 등이 나오지 않아 위생적이며, 고장이 적고 조용한 난방을 할 수 있다.

5) 난방장치의 노출이 없으므로 실내공간을 자유롭게 사용할 수 있으므로 공간이용율을 높일 수 있다.



[그림 2-11] 대류난방과 복사난방의 수직온도분포특성

그러나 위와같은 장점에 반하여 다음의 문제점이 있다.

- 1') 부하변동에 바로 응하기 어렵고 가동효과를 얻기까지의 예열 시간이 비교적 오래 걸린다.
- 2') 이론에 의하면 에너지절약이 가능하나 시공 및 사용방법이 합리적이지 못할 경우에는 에너지소비의 염려가 있다.
- 3') 건물과 일체로 조립된 설비이기 때문에 보수 및 수리에 힘이 들고 과다한 비용이 듈다.
- 4') 고층건물에 사용될 경우 건물의 하중을 증가를 가져오고 설치 시 용의주도한 계획을 필요로 한다.

5') 재래식온돌(구들)사용시 연탄가스증독의 위험을 내포하고 있으며 사용관리에 손이 많이간다.²⁶⁾

6') 온돌에서는 열방출의 제어성이 나빠 실내습도의 조절이 거의 어렵고 비사용시(특히 여름) 결로의 우려가 있다.

(3) 온돌의 쾌적 범위

온돌공간은 바닥면의 복사와 대류에 의한 난방이 이루어지며, 우리나라 사람은 전통적으로 좌식생활에 익숙해 있으므로 쾌적온도설정에 있어서도 “실내기온과 바닥표면의 온도가 동시에 고려”되어야 한다. 즉, 쾌적한 실내기온 뿐만 아니라 온돌표면에서도 쾌감을 유지하는 온도를 설정하여야 하며 또한 이 두 요소가 균형을 이루도록 해야 하므로 대류에 의한 전열현상을 위주로 고려하는 다른 난방방식에 비해 쾌적범위설정에 있어 상대적으로 복잡해진다.

1980년대 이후 우리 고유의 저온바닥복사난방방식인 온돌의 쾌적범위를 설정하는 연구가 활발히 이루어져 실내기온 및 바닥표면온도의 최적온도에 중점을 둔 제안을 하고 있으나 각 연구자마다 그 내용이 조금씩 다르게 나타나고 있다. 이는 각 연구자가 취한 방법상의 차이에 기인하는 것으로 실험실조건의 차이, 피험자를 주로 젊고 건강한 사람을 대상으로 선정하고 있는 문제, 실태조사대상을 여러주거에서 비교적 광범위하게 선정하지 못하고 일부를 대상으로 한 모집단에서 이루어 졌다는 점 등으로 등등한 조건에서 비교하기 어렵다는 문제가 있으며 아직 국내기준은 설정되어 있지 않다. 기존에 연구발표된 쾌적범위를 비교해 본 결과, 시대에 따라서 쾌적범위가 조금씩

주26) 1986년 서울대학교의 예방의학교실의 조사결과 발생자수 103.7만명 중 사망자수 2887명으로 그 피해규모가 매우 크다.

다르게 나타나며 또한 주거의 종류에 따라서도 재실자의 쳐의량 및
쾌적온도에 대한 주관적응답에 차이를 보이는 것으로 나타났다.

따라서, 국내기준이 설정되어 있지 않은 상태에서 정확한 비교는
어려운 관계로 본 연구에서는 각 연구자가 제시하는 쾌적범위를 알아
보고 이를 외국의 경우와 비교하여 일반적으로 받아들일 수 있는 온
돌의 쾌적대를 살피는 방법으로 진행한다.

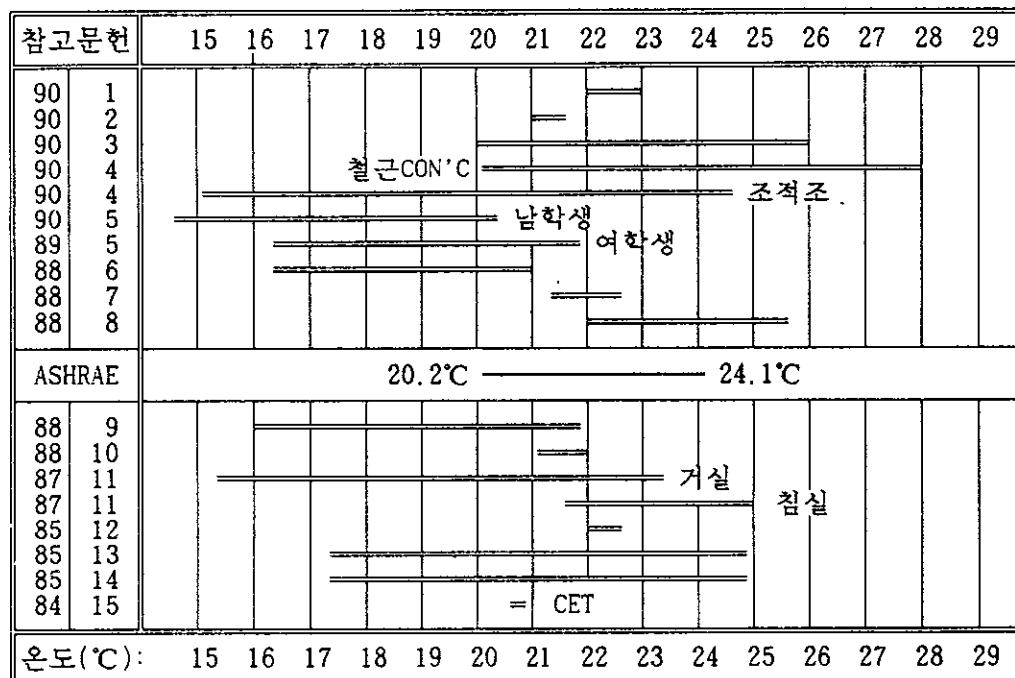
대류난방을 하는 외국의 경우와는 달리 우리나라 주거는 복사난방
방식인 온돌난방이 대부분을 차지하고 있는데, 국내연구자가 제시하
는 온돌공간에서의 온열쾌적범위는 <표 2-6>과 같다. 연구자에 따라
제시하고 있는 쾌적범위에 있어 큰 차이를 보이는 것은 연구의 조건
및 기준이 비교적 일정하지 않은 상태 아래에서 연구가 이루어진 결
과라 생각된다.

[그림 2-12]는 <표 2-6>을 ASHRAE, ISO기준에서 제시하는 쾌적실
온과 비교한 것으로 위에서 제시하고 있는 온돌공간의 쾌적실내온도
는 대부분 국제기준 ISO-7730에서 제시하는 OT:20°C-24°C 와 ASHRAE
기준 OT:20.1°C-23.5°C 범위에 포함되고 있으며 다만 범위가 고온측,
저온측으로 치우쳐 있다는 차이를 보이고 있으나 대체로 외국기준과
일치하고 있음을 알 수 있다.

<표 2-6> 국내 연구된 온돌의 폐적온도범위

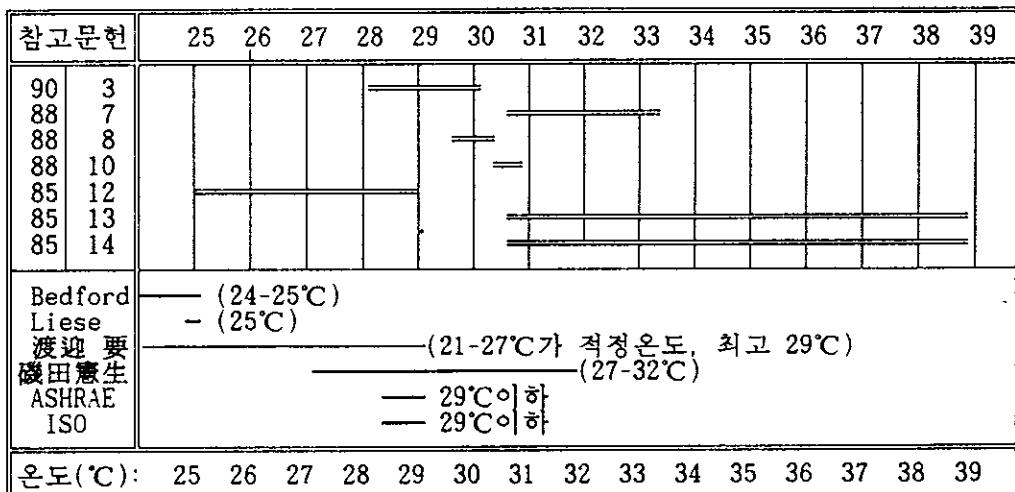
참고문헌	연 구 자	폐 적 온 도 범 위(°C)	최적온도 & 비고
1	대한주택공사 (1990. 12)	실내기온 : 22 - 23	실태조사
2	공성훈, 박상동 외 (1990. 10)	혹구온도 : 21.0 - 21.4 유효온도 : 18.4 수정유효온도 : 19.4 - 19.7	21.2 18.4 19.6
3	박방열 (1990. 6)	기온 : 20 - 26 바닥온도 : 28.1 - 35.9	
4	윤정숙, 최숙현 (1990. 4)	기온 ─ 철근CON'C조: 20.5 - 28 조적조 : 15.5 - 24.5	실태조사
5	백용규, 손장열 외 (1989. 4)	기온-남학생: 14.7 - 20.2 여학생: 16.5 - 21.8	
6	송장복, 전경배 외 (1988. 12)	PPD, PMV 등계 : 17.5 - 19.4 하계 : 25.3 - 27.4 기온 등계 : 16.5 - 20.9 하계 : 23.8 - 28.7	
7	공성훈, 손장열 (1988. 12)	혹구온도 : 21.7 / 21.9 바닥온도 : 32 / 31 1급폐적범위: 혹구 21.2-22.2 바닥온도 30.7-33.3	『그래프/회귀식』 방법으로 증성찰산출 혹구온도 : 21.9 바닥표면온도 : 31
8	한윤호, 이중우 (1988. 8)	작용온도 : 23.5 ± 2 바닥표면온도: 30°C 내외	ISO 7730에 근거한 이론치
9	손장열, 전경배 (1988. 6)	HOTV : 약 15 - 21.8 PPD, PMV : 약 17.5 - 19.4 건구온도 : 16 - 21.5	기온 : 18.4
10	공성훈, 손장열 외 (1988. 6)	의자 ─ 기온 : 22.0 혹구온: 22.7 방바닥 ─ 기온 : 21.2 바닥표면온도: 30.8	기온 : 21.2 혹구온도 : 21.8 바닥표면온도 : 30.8 (자세에 따른 연구)
11	이옥경, 손장열 외 (1987. 10)	침실 : 21.7 - 24.9 거실 : 15.6 - 23.2	실태조사
12	이건영 (1985. 9)	실내기온(가정) : 22 바닥표면온도 : 25 - 29	폐적실온을 22°C로 가정하여 산출.
13	손장열, 공성훈 외 (1985. 9)	기온 : 17.5 - 24.5 바닥표면온도 : 30.6 - 38.8	
14	윤용진, 박상동 외 (1984. 10)	기온 : 17.5 - 24.5 바닥표면온도 : 30.6 - 38.8	기온 : 21.1 ± 2.04
15	공성훈, 박상동 외 (1984. 4)		유효온도 : 19.6 수정유효온도 : 20.5

[그림 2-12] 국내연구된 온돌의 폐적환경범위



* 좌측은 논문발표 년도

[그림 2-13] 복사난방의 적정표면온도 비교²⁷⁾



주27) 자료의 출처는 <표 2-6>의 참고문헌과 동일함.

[그림 2-13]은 적정바닥표면온도에 대하여 연구된 국내결과와 외국의 결과를 비교한 것이다.

또한, 만주의 과대학의 연구결과²⁸⁾는 1944년에 발표된 것으로 비교적 오래전(재래식온돌 대상)의 온돌을 사용하는 중국인의 폐적범위를 언급하고 있으며, 최적온도는 앉은자세에서 바닥표면온도 28°C, 실온 18°C (RH 50% 조건)이고 의자에 앉은자세일 때 바닥표면온도 24°C, 실온 18°C, 누운 경우에는 바닥표면온도 26°C, 실온 10°C라는 자료가 있다. 이러한 폐적범위는 현재 우리시대에 적용하기에는 부적합한 과거의 예로써, 폐적범위는 시대에 따라 변하기 때문에 지속적인 연구를 통해 수정보완이 뒤따라야 할 것이다.

[그림 2-12], [그림 2-13]에서 국내 기존연구의 폐적온도범위는 ASHRAE, ISO 기준 등과 큰 차이가 없으나 바닥표면온도는 외국의 기준보다 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 이유는 외국의 입식생활과 우리나라의 좌식생활에서 기인한 생활패턴의 차이 때문으로 보이며, 연구의 범위대상 등에 따라 조금씩 차이가 있는 것을 알 수 있다.

주28) 월간설비기술, 1991. 3. pp. 22-23 인용

[그림 2-12], [그림 2-13], <표 2-6> 자료의 출처

1. 대한주택공사 : 실내온열환경조사연구, 1990. 12.
2. 공성훈, 박상동외 : 온돌난방공간에서 온열증성점온도 도출에 관한연구, 추계학술발표논문집, 1990. 10.
3. 박방열 : 한국인의 온열감특성에 관한 연구(Ⅱ), 춘계학술발표논문집, 1990. 6.
4. 윤정숙, 최숙현 : 온돌난방주택의 온열환경에 관한 실험연구, 대한건축학회논문집, 1990. 4.
5. 백용규, 손장열외 : 새로운 온열환경지표(HOTV)에 의한 쾌적범위 산정에 관한 연구, 춘계학술발표논문집, 1989. 4.
6. 송장복, 전경배외 : 주거건축의 온열환경 평가와 쾌적범위에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 1988. 12.
7. 공성훈, 손장열 : 온수온돌난방공간에서 착석시 한국인의 온열적 쾌적범위에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 1988. 12.
8. 한윤호, 이중우 : 열환경의 쾌적범위에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 1988. 8.
9. 손장열, 전경배 : 바닥복사난방의 온열환경평가와 쾌적범위에 관한 연구(Ⅰ), 대한건축학회논문집, 1988. 6.
10. 공성훈, 손장열외 : 공동주택의 온열환경요소 분포와 인체의 자세별 온열쾌적조건에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 1988. 6.
11. 이옥경, 손장열외 : 공동주택에 있어서 실내온열환경조건의 실측연구, 추계학술발표논문집, 1987. 10.
12. 이건영 : 온돌방의 실내기후 수직분포에 관한 연구, 추계학술발표논문집, 1985. 9.
13. 손장열, 공성훈외 : 보의 공간에서의 실내기후환경분석, 추계학술발표논문집, 1985. 9.
14. 윤용진, 박상동외 : 복사난방시 불균등 복사장이 온열감에 미치는 영향에 관한 연구, 추계학술발표논문집, 1984. 10.
15. 공성훈, 박상동외 : 주택의 온열환경에 관한 연구, 춘계학술발표논문집, 1984. 4.

2-2-2. 온돌의 환경변화

(1) 에너지 사용의 측면

온돌은 시대와 지방에 따라 형태가 다소 다름에도 불구하고 종래의 구들은 방바닥에 온수배관된 형태로 바뀌었을 뿐 복사열을 이용하는 난방원리는 크게 바뀌지 않았다. 저온복사난방방식으로 분류되는 온돌은 사용되는 연료의 특성에 따라 그 구조형식이 조금씩 다르며, 이는 경제적, 사회적 발전과 밀접한 관계를 맺고 있다.

온돌은 시스템구성 및 효율성, 편리성 등과 같은 측면에서 볼 때 꾸준한 변화를 하고 있으며, 이를 난방에너지(연료)와 관련되어 나타난 결과를 위주로 하여 살피면 다음과 같다.

재래식 온돌은 흙바닥위에 고임돌을 놓고 그위에 구들장을 올려놓아 방고래를 형성한 것으로, 50년대 까지는 주로 장작을 비롯한 나뭇잎, 왕겨, 벗짚등 임산연료를 연소시켜 그 열을 구들장에 축열시킨 후 여기서 방사되는 복사열을 이용하여 난방을 하는 구조였다. 그러나 8.15해방을 전후로 목재연료의 부족과 60년대 이후 삼림정책의 실시로 무연탄을 사용하는 온돌이 개발되었다. 연탄보급이 늘어남에 따라, 초기에는 구들장을 그대로 둔채 아궁이 부분을 연탄아궁이로 개조하여 사용하였고, 그 이후에는 호차(바퀴)가 부착된 화덕과 간이온수보일러를 이용하여 난방하는 구조로 발전되었다. 임산연료를 사용하는 재래식 아궁이와 연탄아궁이에서의 난방은 화염의 복사열, 연소ガ스 및 가열된 공기의 대류로 구들을 덮히는 과정을 통하여 이루어졌다. 이런 방식보다 더 개량되어 나타난 연탄보일러는 가열된 온수를 배관을 이용하여 온수를 바닥판으로 순환시키는 구조로 바뀌었다. 아파트건축은 70년대 초부터 양산되어 급격한 보급이 이루어졌으

며, 연탄을 사용하던 초창기 아파트에서는 고래가 설치된 온돌이 사용되기도 하였다. 지금 이 방식은 거의 이용되지 않고 있으며, 일부 과거에 시공된 연탄보일러를 사용하는 경우를 제외하곤 기름이나, 가스를 사용하는 개별난방 또는 열병합발전에 의한 집중중앙난방방식이 공동주택단지에서 일반적으로 채택되고 있다.

80년대에 들어서는 기름보일러 및 Gas보일러를 이용하여 난방하는 것이 일반화 되어 보급되었고, 최근에는 농어촌 주택에서도 기름보일러의 사용과 함께, 취사용으로 프로판가스(LPG)를 이용하고 있다.

도시지역은 기름, 프로판가스(LPG) 뿐만 아니라 난방과 취사를 모두 도시가스에 의하여 해결하는 비율이 증가하고 있는 것으로 보인다. 전기는 현대에 있어 필수불가결한 에너지로 열효율이 다른 에너지보다 우수하고 사용이 편리하고 공해가 적은것이 특징으로 난방분야에서는 일반적으로 보조난방에너지원으로 이용되고 있는 실정이다. 그러나, 최근에는 저렴한 심야전력을 이용하는 온돌구조가 상업적으로 많이 보급되는 실정에 있으며, 미래의 무공해 대체에너지로서 환경보호를 위해서도 그 이용 비중은 높아갈 것으로 예견된다.

또한, 시대의 변화에 따라 합리적인 에너지이용 및 관리의 기술은 점차 진보, 강화되어가고 있다는 점을 고려할 때, 온돌난방에 있어서도 시대에 적합한 합리적인 대응방안을 찾아야 할 것으로 생각된다.

(2) 건축적 측면

우리나라의 난방방식으로 오래전부터 사용되오던 구들난방은 아궁이, 고래, 굴뚝을 3 요소로 하고 있으며, 과거 전통주택 및 재래식주택은 이와 같은 제한에 따른 공간구조를 나타내고 있다. 그러나 근래에 들어 이와같은 제약조건에서 벗어남으로써 건축평면에 있어 일대 변화를 초래하였다고 볼 수 있다. 즉, 구들이 온수를 열매로 이용하

는 바닥형태로 바뀐 결과, 설계에 있어 보다 큰 융통성 및 공간이용의 편리를 도모할 수 있게 되었다. 이러한 온돌의 변화과정을 통해 나타나는 바닥온도와 실온분포도 과거와는 달리 더 고르게 나타나는 등 전반적인 온열환경면에 있어서도 큰 변화를 하였다. 온돌의 구조적인 변화는 건축전반에 영향을 미쳤으며, 이 중 온열환경과 관련되는 사항을 정리하면 아래와 같다.

전통적으로 온돌의 아궁이가 필수적 이었다. 따라서, 과거의 부엌은 이로 인하여 안방보다 낮은 위치에 있었고 또한, 사용하는 연료가 장작, 벗짚 등과 같은 임산재이기 때문에 비교적 큰 연료저장 시설이 필요했다. 구들난방은 방안으로 들어오는 열량의 대부분이 전체 바닥표면 1/3 이하의 작은면적을 통하여 전달되므로 단위공간내에서도 아랫목과 윗목으로 구분되는 특성을 갖고 있었다. 난방은 주로 취사시간을 기준으로 한 간헐난방이 실시되므로, 열원이 공급되는 동안에는 바닥표면온도가 상승하고, 일정시간이 지난후에는 서서히 하강함에 따라 실내기온의 변동폭(Temperature Swing)이 크게 나타나게 된다.

이러한 온도진폭을 줄이기 위해서는 바닥재료의 축열성능을 높여 줄 필요가 있다. 따라서, 비교적 비중이 크고 강도가 높은 재료인 구들장은 훌륭한 축열재 및 구조재로 전통주택, 재래식주택 등에서 사용할 경우에는 매우 적합한 건축재료였다고 생각할 수 있다. 구들은 비난방시간동안 지속적으로 높은 온도를 유지하기 어려우므로 아랫목에 담요등을 깔아 놓는 방법을 통하여 바닥부위의 열을 장시간 보존 할 수 있는데, 이러한 현명한 열관리방법은 한국인으로 하여금 좌식생활에 더욱 친밀해질 수 있는 기회를 제공한 것으로 보인다.

과거의 주택은 현대주택에 비해 건축 전반에 걸쳐 열손실이 잘 발생할 수 있는 구조를 갖고 있어 높은 바닥표면온도에도 불구하고 실내기온은 현재의 폐적온도보다 훨씬 낮은 상태에 있었다. 이때 바닥

의 복사열방출을 증가시켜 평균복사온도를 높임으로써 일정 수준의
쾌적감을 얻을 수는 있으나, 전통주택을 대상으로 실태조사된 자료를
볼 때 ASHRAE의 쾌적온도인 $20.2^{\circ}\text{C} \sim 24.1^{\circ}\text{C}$ 로 유지하기에는 매우 어
려웠을 것으로 생각된다.

그러나, 시대가 변함에 따라 나타난 사회변화는 건축전반에 영향
을 미쳤고 근대이후 주거건축의 설계 및 시공분야에서는 과거와는 비
교하기 힘들 정도의 변화를 가져왔다. 특히 80년대 아파트 건축의 대
량공급에 따라 나타난 온열환경의 변화는 두드러진다고 하겠다. 즉,
단순한 형태로 외벽면적이 극소화된 아파트건축의 대량보급과 함께
단열시공이 의무화되고, 기밀한 창문구조및 에너지절약과 공사비절감
을 위한 층고의 저하등 에너지 절약적 설계로 인하여 과거와는 달리
열성능이 매우 우수한 상태에 있다.

집합주택은 단독주택과는 달리 외피면적의 감소로 적은 에너지로
도 일정한 온도의 실내환경을 유지할 수 있으며, 근래에는 외부와 접
하는 구조체의 단열시공 비중이 줄어들고 있다. 따라서 지금에 와서는
집합주택의 난방부하를 결정하는 열손실을 외피구조체를 통한 관
류열손실보다는 오히려 침기등의 환기부하가 큰 비중을 차지하고 있
다.²⁹⁾

사회적, 경제적 발전에 따라 구들로 난방하던 과거의 개념은 점차
사라져 현재 우리나라 주택의 난방방식은 저온복사난방방식인 온수온
들이 대부분이다. 생활방식도 주택의 변화내지는 주거환경의 변화에
의해 많이 달라져, 최근에 지어지고 있는 대부분의 주거에서 주방과
거실은 보편적으로 입식생활 위주로 변화되어 있다. 따라서, 구들에
서 나타나던 아랫목, 윗목개념은 온수온들에서 거의 나타나지 않으
며, 아랫목에 침구를 깔아 좌식생활에 알맞는 공간구조를 갖던 전통

주29) 유현형, 민창현, 박상용, 아파트의 부분난방 적용에 관한 연구,
건축학회 발표 논문집, 1985. 9.

주택 및 재래식 주택에 반하여 최근에 시공되는 주택에서는 이 점차 침대의 사용비중이 높아지고 있는 것으로 보인다.

과거 구들난방의 경우 방안으로 들어오는 열량의 90% 이상이 30% 이하의 방바닥표면적을 통하여 전달되며, 전달열량만을 고려할 때 구들이 열을 전달하는 표면적은 방바닥넓이의 50% 이하로도 충분하다고 한국과학원 1차년도 연구에서 밝히고 있으며, 동력자원부의 아파트를 대상으로 한 방열량산정 연구³⁰⁾에서도 거의 동일한 결과를 얻고 있다.

우리나라의 단열에 대한 규정은 1975년 건축법에 “건물에 있어서 열손실방지조항”이 신설되었고, 1979년 모든건물에 단열의무화(건축법시행령)하도록 했으며, 이후 3차례에 걸쳐 시행령을 개정하고 5회에 걸친 시행규칙의 개정을 통하여 단열을 강화해 왔다. 집합주택의 경우前述한 바와 같이 외피면적의 감소, 단열시공의 의무화, 기밀화 등의 이유로 난방부하와 온돌에 의한 복사열량간에는 불균형을 이루고 있다. 즉, 현재의 온돌난방에 의한 방열면적은 필요이상의 과열난방의 원인이 되고 있어, 온돌은 이론상 에너지효율이 높은 난방방식임에도 불구하고 현실에서의 적용은 이를 최대한 활용하고 있지 못하다. 이러한 난방부하와 공급열량간의 불균형이유 중 가장 큰 요인은 폐적한 실내기온을 유지시킬 수 있는 적정바닥표면온도 보다도 더 높은 이상의 온도를 폐적온도라 하여 고수하려는데 있다고 생각된다.

높은 바닥표면온도를 필요로 하는 조건은 벽체와 천정, 그리고 창문 등을 통한 열손실로 실내기온이 낮은 상태에 있을 때, 바닥면의 높은 복사온도로 낮은 실온을 보상하여 폐적감을 유지해줄 수 있는 경우이다. 이러한 조건은 전통주택 및 재래식주택의 경우 실태조사결과에서도 실온이 16~18°C 이하로 나타나고 있는 것을 볼 때 어느정도 부합된다고 볼 수 있다. 그러나 아래의 <표 2-7>에서 알 수 있듯

주30) 박상동, 유현형, 민창현, 아파트의 부분반방적용에 관한 연구, 1985. 9

이 일정 이상의 높은 온도의 바닥면에 직접 접촉할 경우에는 통증을 동반한 불쾌감을 느끼게 되므로 높은 바닥온도로 낮은 실온을 보상하는 것에도 한계가 있다. 높은 바닥온도로 낮은 실온을 보상하는 경우 와는 달리 비교적 최근에 연구 발표된 “실태조사자료³¹⁾”에서 실온은 쾌적 범위(ASHRAE)내에 있으며, 때에 따라서는 과열현상을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 온돌은 복사열에 의한 난방비중이 커 실내기온보다 평균복사온도가 다소 높게 나타난다고 하지만, 최근의 연구 결과는 실온과 흑구온의 차이가 거의 나타나지 않는다는 것을 밝히고 있다.

<표 2-7> 바닥재별 쾌감에 대한 온도의 한계 (맨발상태)³²⁾

바닥재 (非표면마감)	접촉계수 kcal/m ² hr ^{0.5} °C	바닥온도의 쾌적범위	단위 : °C	
			저온측	고온측
철판	180	29 - 32	14	45
콘크리트	25	27 - 34	4	54
리놀륨, 고무	9	24 - 35	-12	67
참나무	7	22 - 35	-20	74
소나무	4	17 - 39	-53	84
코르크	2	5 - 42	-140	150

따라서, 실내온도를 쾌적범위로 유지키 위하여 바닥온도가 높아야 한다는 개념은 현실의 조건에서 더 이상 설득력이 없으며, 단지 과거의 온돌에서 생활하던 습관이 몸에 배어있기 때문이거나 좌식생활을 하는 관계로 높은 바닥온도를 느껴야 쾌적감을 갖는 습관에 의

주31) 한윤호, 이중우, 저온복사난방의 열환경지표에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 88.6, 대한주택공사, 실내온열환경 조사연구, 90.12.

주32) P. O. Fanger, "Thermal Comfort", Danish Technical Press Copenhagen, 1970. p.102

한 것이 높은 바닥온도를 고수하는 이유라고 생각된다.

그러나, 우리의 생활방식이 침대, 소파 등 의자를 이용하는 입식 생활로 점차 변화하고 있는 시점에서 최적난방효율을 초과하므로써 에너지의 과다소모를 감수하면서 까지 높은 바닥온도를 고수해야 할 필요가 있는지는 의문이다. 만약, 높은 바닥표면온도를 고수해야 한다면 아랫목, 윗목개념을 도입할 수 있다고 보며, 이를 위하여 각 실(室)의 난방부하에 따른 쾌적실온 유지에 필요한 열평형에 적정한 필요 방열면적 산정방법 및 바닥온도의 조절방법 등에 관한 많은 연구가 선행돼야 할 것이다.

[그림 2-14]는 동계 실제주거를 대상으로 실시한 "온열환경조사" 측정자료를 정리한 것이다. 그림에서 보면, 전통주택 및 재래식주택의 실온은 18°C이하로 ASHRAE의 쾌적범위와 비교하여 매우 낮은 상태에 있고 70년대에 지어진 단독주택도 평균실온 20°C를 밀들고 있는 반면, 최근에 지어진 공동주택은 쾌적범위에 모두 들거나 또는 그 이상으로, 겨울철 통상복장이 아닌 아주 가벼운 복장으로 생활하고 있음을 알 수 있다. 중앙난방방식 아파트의 바닥표면온도는 26~35°C 사이에 있는데 이는 적정 바닥표면온도를 29°C이하로 제시하고 있는 외국기준에 비하여 높은 편으로, 이와같이 높은 바닥온도는 필연적으로 높은 실내온도를 나타내게 된다. 그림에서 단독주택의 바닥온도는 아파트의 바닥온도보다 다소 낮게 유지되고 있다. 또한, '바닥온도와 실온' 사이의 관계를 아파트의 경우와 비교해 보면 단독주택의 실온이 바닥온도에 비하여 상대적으로 많이 떨어지는 것을 알 수 있는데, 이유는 단독주택의 경우 외부열손실량이 큰 때문으로 보인다.

[그림 2-14]에서 중앙난방식 아파트(☆표)의 실온은 대략 20-26, 7 °C로 ASHRAE기준(20.2°C~24.1°C)보다 약간 높게 나타나고 있으나, 이때 거주자의 착의량은 0.46~0.52 clo로 ASHRAE 기준이 근거하고

참고문헌		10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	의복량
조선	1																0.95 - 0.86
조선	2																
82																	
83	3																0.498
79																	0.442
79																	0.802
79																	1.122
75																	0.873
ASHRAE		20.2°C ————— 24.1°C													바닥온도		
준공년도	4																25 - 29 26 - 29 20 - 35 30 - 38 26 - 30 28 - 33 26 - 33 29 - 35 28 - 33 29.5 - 35
미상																	
87	5				0.46-0.52clo	☆										평균: 29.3 25.3 - 35 26 - 33.3 26.3 - 33.3	
87																	
87																	
87																	
온도(°C):		10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	

* 원쪽 숫자는 건물준공(시공)년도

[그림 2-14] 동계 국내주거의 온열환경실측치

있는 0.9 clo보다 훨씬 낮다. 즉, 아파트 거주자들은 겨울철 실내에서 여름외출복 정도의 가벼운 옷차림으로 생활을 하면서 높은 기온을 유지하고 있는 것이다. 따라서, 착의량을 0.9 clo 수준으로 환산하여 다시 계산하면 실내기온은 23°C~26.5°C가 되므로 외국의 기준보다 훨씬 높은 것을 알 수 있다.

[그림 2-14] 자료의 출처

1. 김선우, 이수곤외 : 주택의 열환경에 관한 실험적 연구, 추계학술발표논문집, 86.10.
2. 허정호, 손장열외 : 전통민가의 온열환경에 관한 실측연구, 추계학술발표논문집, 86.10.
3. 윤정숙, 최숙현 : 온돌난방주택의 온열환경에 관한 실험연구, 대한건축학회논문집, 90.4.
4. 한윤호, 이중우 : 저온복사난방의 열환경지표에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 88.6.
5. 대한주택공사 : 실내온열환경 조사연구, 90.12.

제 3 장 온돌의 온열환경 측정실험

3-1 실험의 개요

3-1-1. 실험모델

(1) 실험 및 측정대상

실험주택 내부에 설치된 2개의 실험모델을 대상으로 온돌의 열환경에 대한 실험을 하였다. 실험주택¹⁾은 조적조 2층건물로서 두개의 실험모델이 1층 남쪽벽(이하 A-모델)과 북측벽(이하 B-모델)에 면하여 있으며 따라서, 모델의 외부기후조건은 실험주택의 실내기후가 되고 실내에 위치한 관계로 일사의 영향은 배제된다.

실험은 난방기간인 1992년 2월 21일 - 24일 까지 (4일간) 실시하였다.

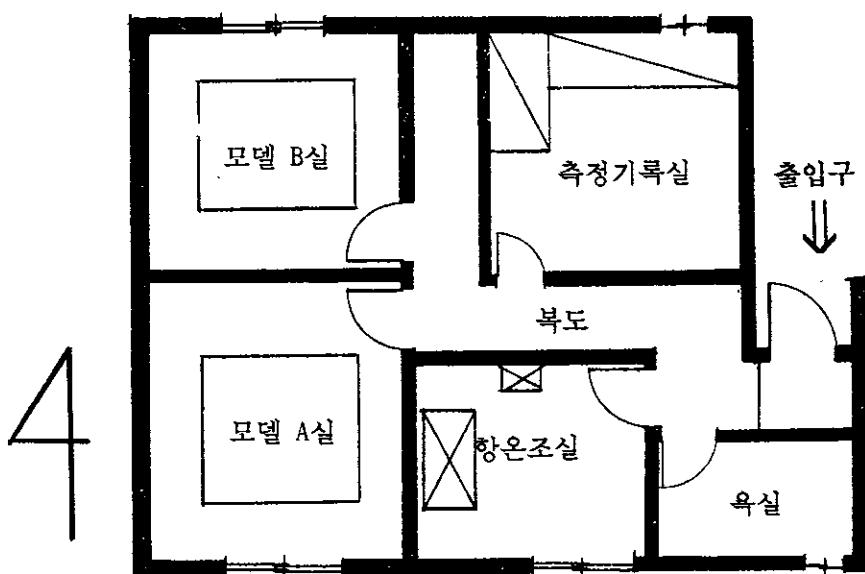
실험모델의 난방은 전기(항온조: 저수량 300L) 및 가스보일러에 의해 조절된 일정온도의 온수가 『모델-A』, 『모델-B』의 온돌구조체를 순환하는 과정으로 이루어지고, 순환펌프의 시간당 유량은 250L/h, 배관의 피치는 200MM이다. 실험모델의 벽체와 천정은 THK 50MM, 출입문은 THK 40MM의 단열판넬(샌드위치판넬)로 구성되어 있으며 각각의 열관류율은 $K=0.552 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$, $K=0.667 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 이다. 각 모델의 동측벽에 630MM×630MM 크기의 고정창(3MM투명유리)이 1개씩 있으며, 창문의 열관류율은 $K=3.92 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 이다.

실험주택과 실험모델은 [그림 3-1], [그림 3-2], [그림 3-3], (사진 3-1)과 같다.

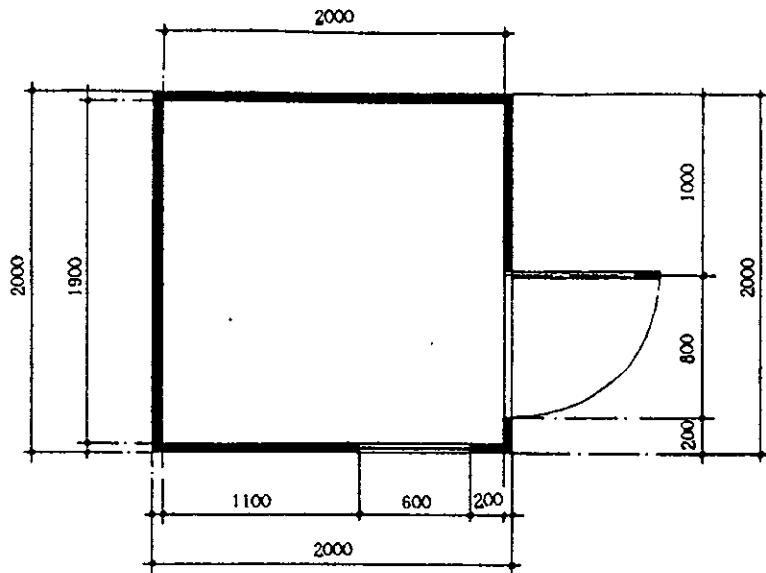
주1)주택공사 주택연구소내 있는 실험동.



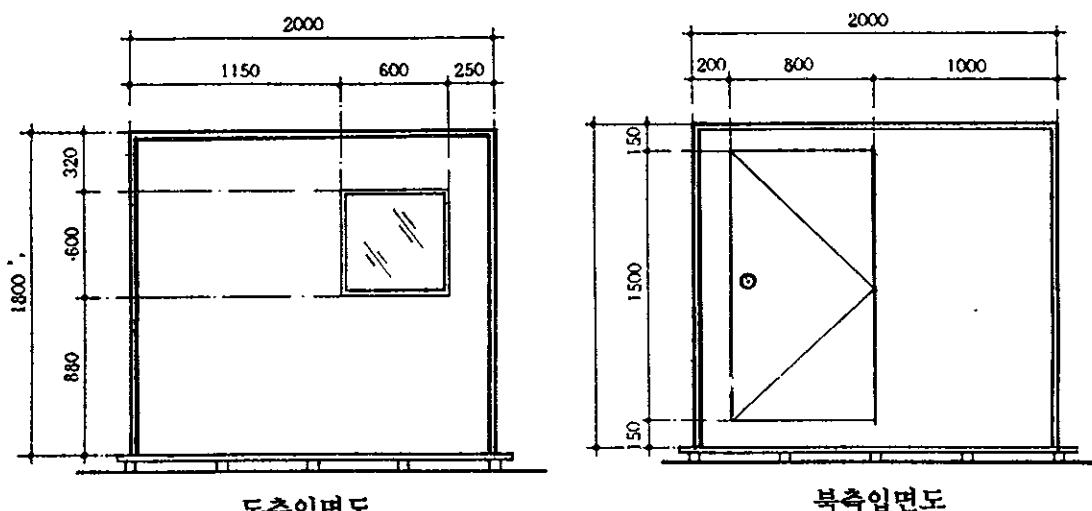
(사진 3-1) 실험주택의 전경



[그림 3-1] 실험주택의 평면구성도

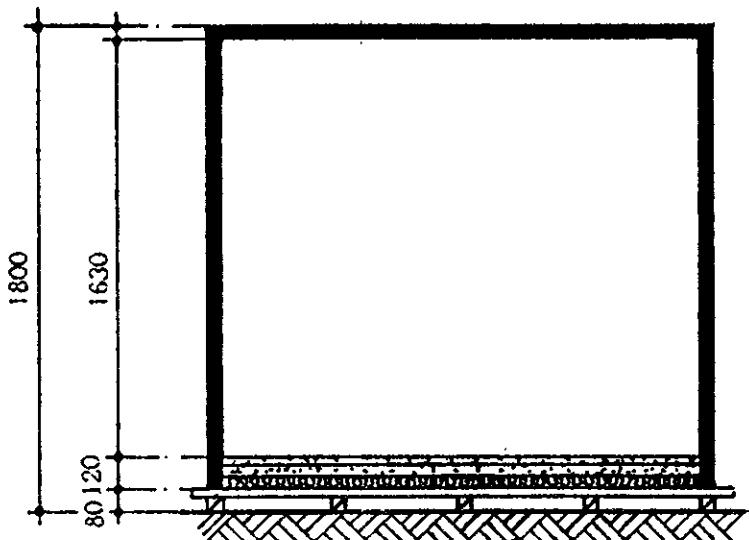


A, B-모델의 평면도

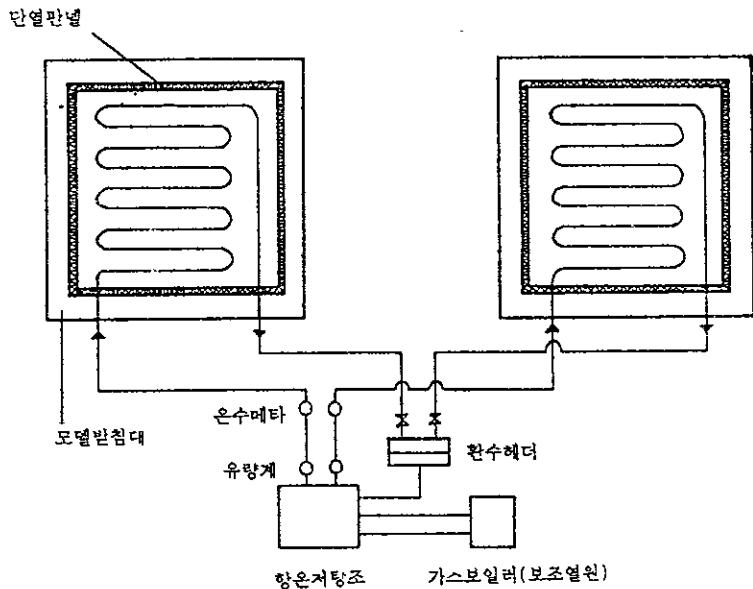


A, B-모델의 입면도

[그림 3-2] 실험모델의 개요 (1)



모델의 단면도



모델실험실의 온수공급 시스템

[그림 3-3] 실험모델의 개요 (2)

3-1-2. 측정항목 및 실험방법

온돌의 바닥표면온도변화에 따른 실온의 변화와 실험조건에서의 온열감을 알아보기 위하여 모델 내·외부의 온열환경요소를 측정하고, 피험자 주관적반응조사를 실시하였다.

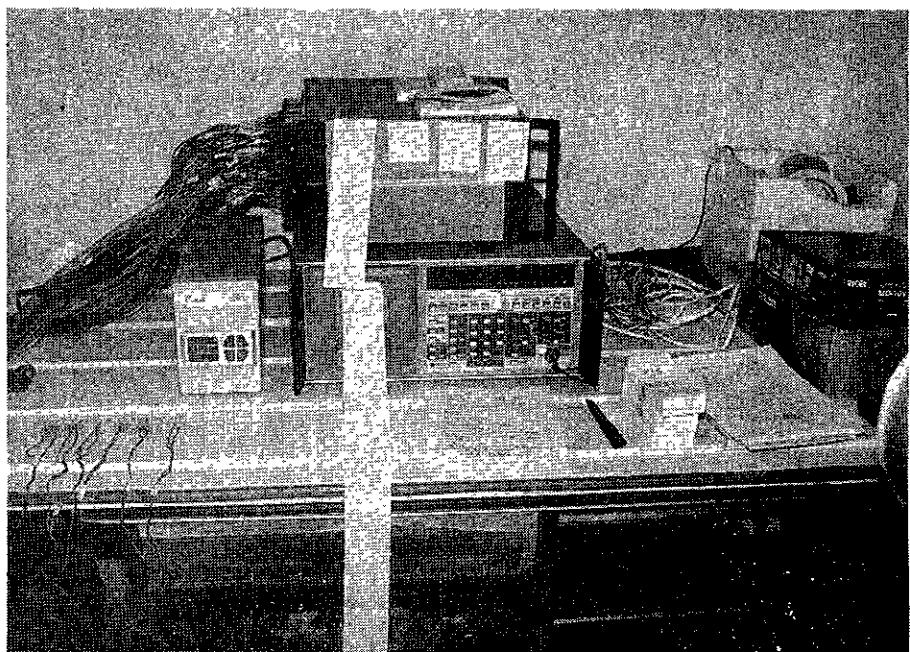
측정요소는 모델의 실내기온, 실내흑구온도, 바닥표면온도, 벽체 및 천정 내·외부표면온도, 외부기온, 실험주택의 실내기온, 상대습도(RH), 작용온도(OT), 기류 등이다. 실내·외 기온(흑구온도 포함)과 바닥, 벽체 및 천정의 내·외부표면온도는 C-C 열전대를 이용하여 측정하고, 온도보정을 위해 건구온도계와 흑구온도계를 추가로 설치하여 사용하였다.

측정위치는 실온, 흑구온도는 실중앙부 76CM높이, 벽표면온도는 112CM 높이에서 그리고 천정은 중앙지점으로 하였다. 바닥표면온도는 배관직상부3개소, 배관사이 3개소에서 측정하였다.

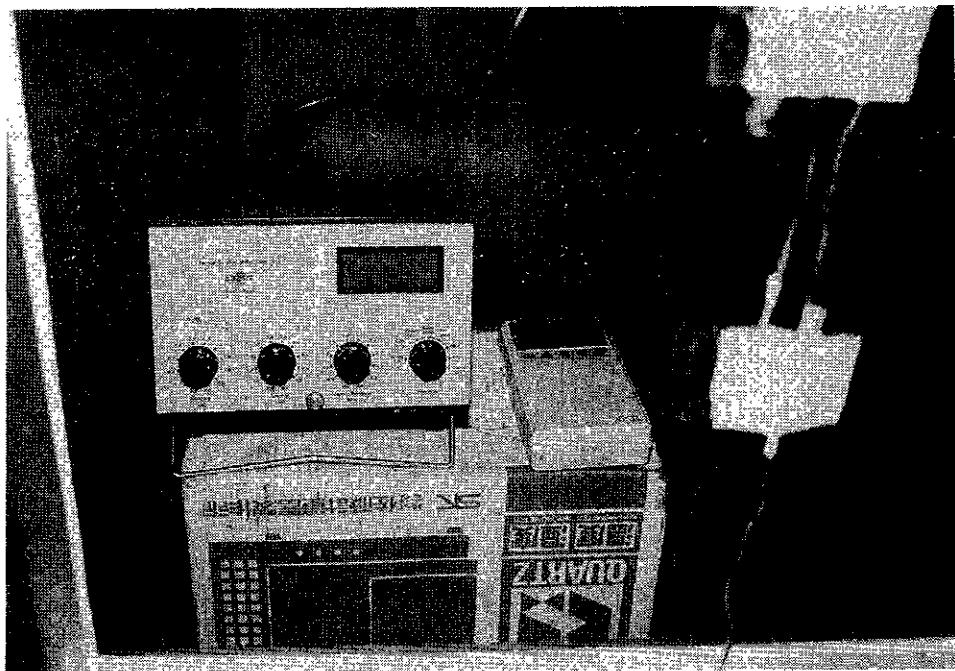
실험방법은 온돌바닥표면온도를 서서히 상승시켜 40°C에 이를때까지 덥히고 다시 20°C까지 될때까지 자연냉각시키는 동안 실내기온, 작용온도, 상대습도 및 흑구온의 변화를 Data Logger를 사용하여 10분 간격으로 기록하였다. 이때, 『A-모델』은 사람의 출입이 전혀 없는 밀폐된 조건으로 하고, 『B-모델』은 수시로 사람의 출입이 행해지는 상태에서 측정하였다.

피험자 주관적반응조사는 『B-모델』에서 바닥온도변화가 진행중인 22일, 23일 이를간 실험장소에 방문한 총 20명을 대상으로 실시하였다.

본 실험에 사용된 실측기기는 <표 3-1>과 같다.



측정기기



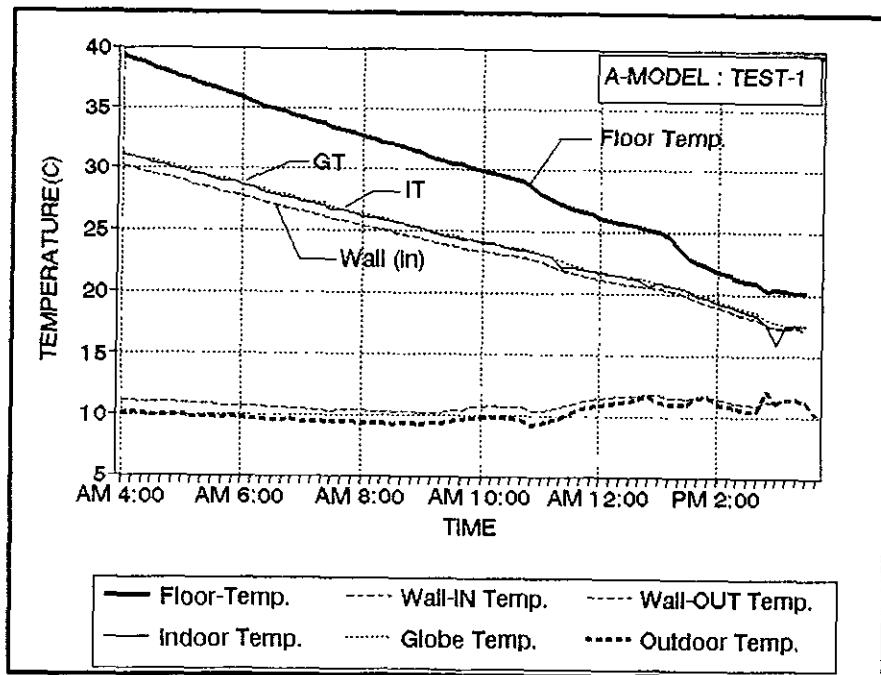
(사진 3-3) 측정기기

3-2 측정결과 및 분석

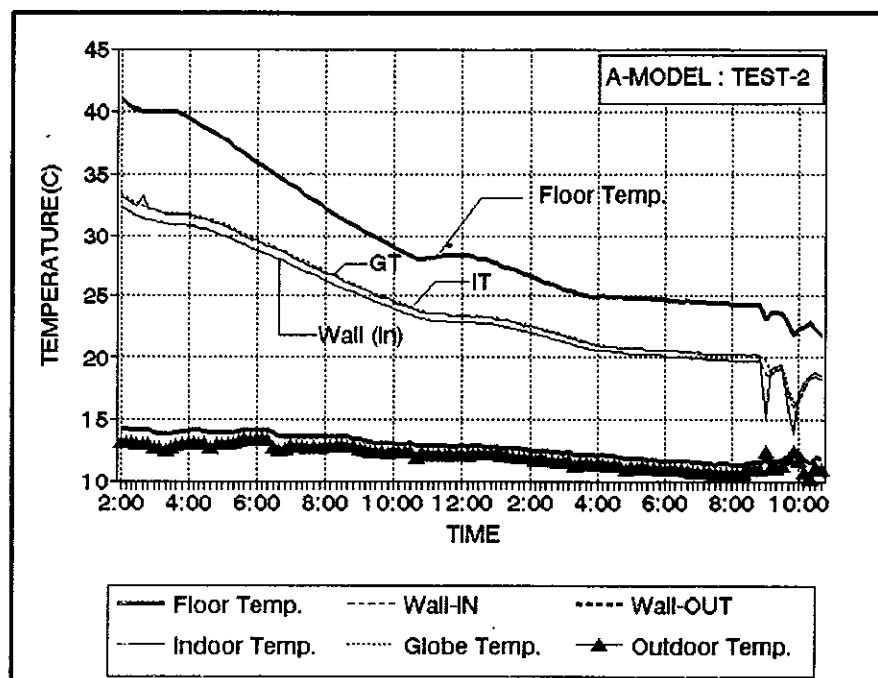
3-2-1. 바닥표면온도변화에 따른 실온변화

『A-모델』과 『B-모델』의 온도변화 패턴은 거의 동일하게 나타나며, 『B-모델』에서 실온이 급격히 떨어지는 구간이 보이는 것은 사람의 출입에 의한 문의 개방으로 차가운 외기가 침입한 때문이다. 각 모델의 바닥온도변화에 따른 실온분포는 [그림 3-4], [그림 3-5], [그림 3-6], [그림 3-7]과 같다.

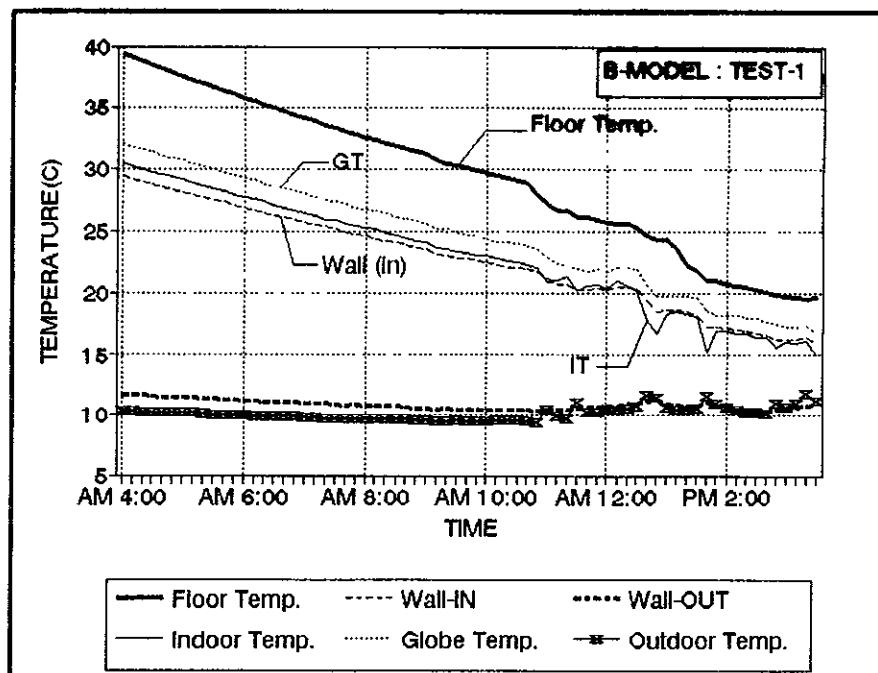
실험기간중 측정된 모델의 실내기류는 $0.0 \text{ m/s} - 0.02 \text{ m/s}$ 로 정지기류로 간주할 수 있으며, 따라서 흑구온도를 평균복사온도($GT = MRT$)로 볼 수 있다. 실험기간중 모델내부의 상대습도는 25%-39%로 건조한 환경이었다.



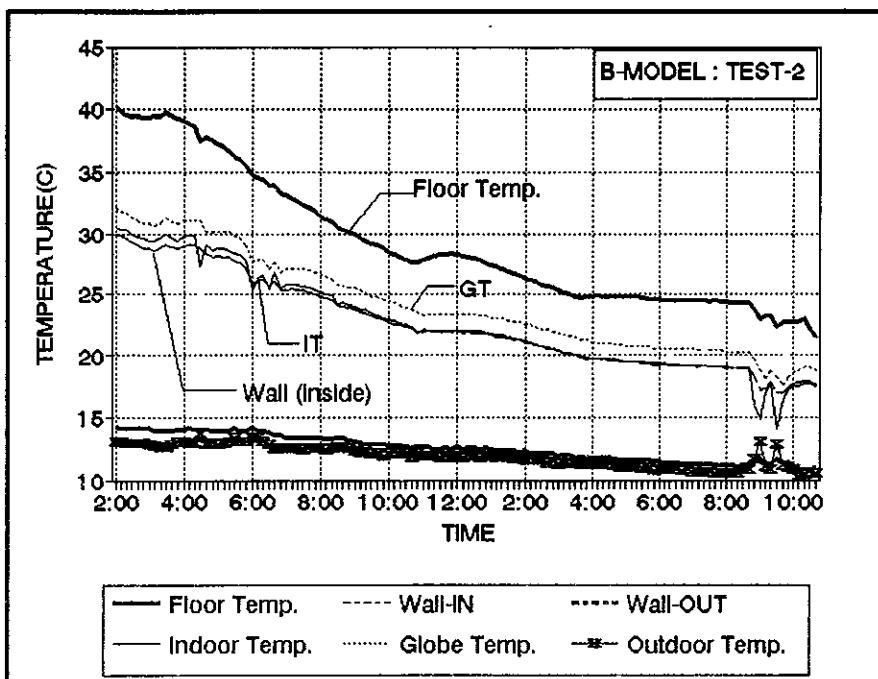
[그림 3-4] 『A-모델』의 온도분포



[그림 3-5] 『A-모델』의 온도분포

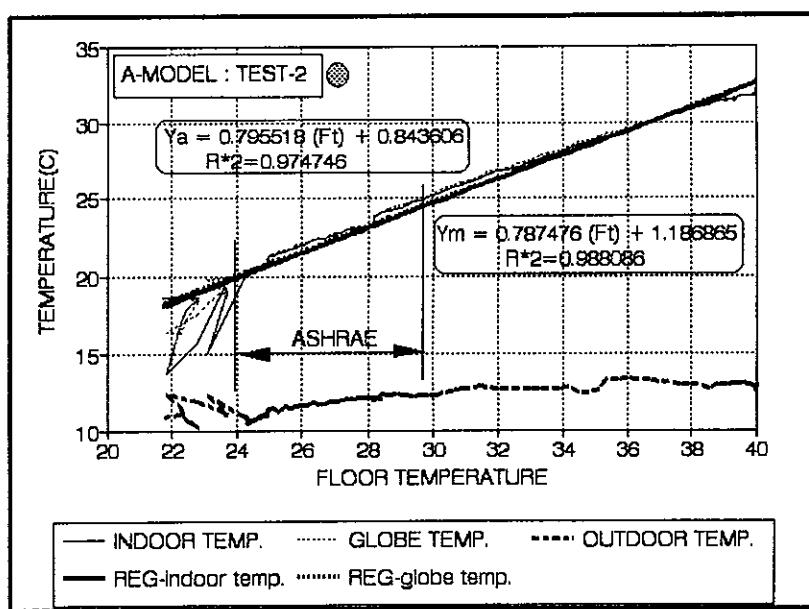
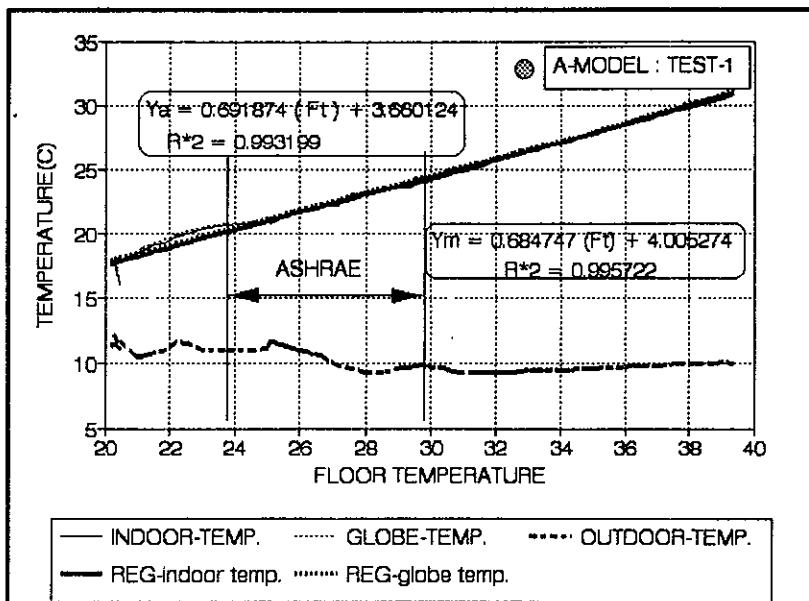


[그림 3-6] 『B-모델』의 온도분포



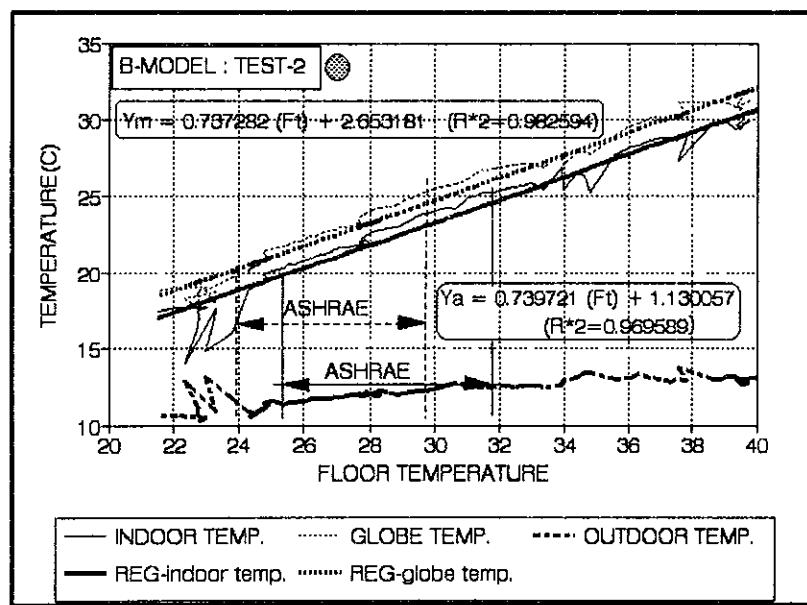
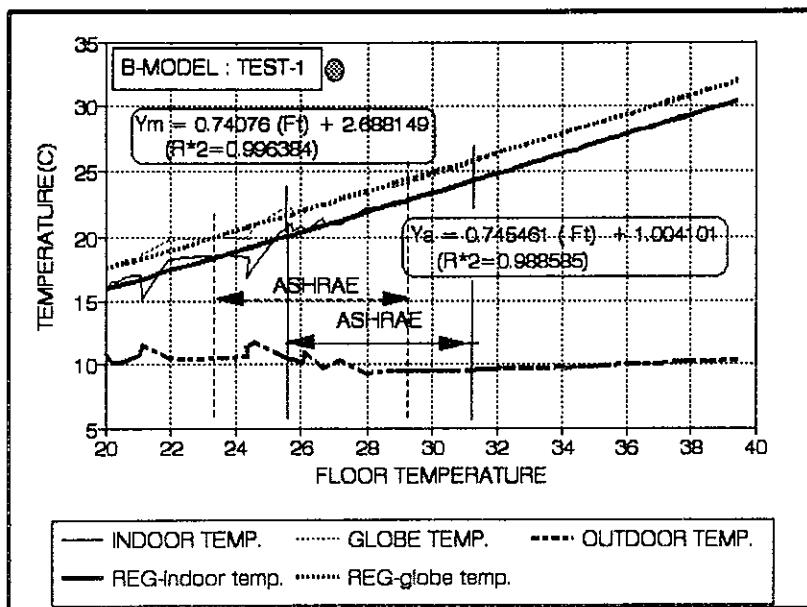
[그림 3-7] 『B-모델』의 온도분포

[그림 3-8], [그림 3-9]는 바닥표면온도변화에 따른 실온 및 흑구온도변화의 관계를 회귀선으로 비교하여 나타낸 것으로 이들의 상관관계는 바닥표면온도와 흑구온도(Y_m)와의 r^2 값이 실온(Y_a)과의 r^2 값보다 약간 높은데, 이는 온돌난방은 기온에 의한 대류난방의 효과보다는 평균복사온도에 의한 복사난방효과가 더 크다는 것을 설명해주고 있다.



(A-모델)

[그림 3-8] 바닥표면온도변화에 대한 실온 및 흑구온도의 변화



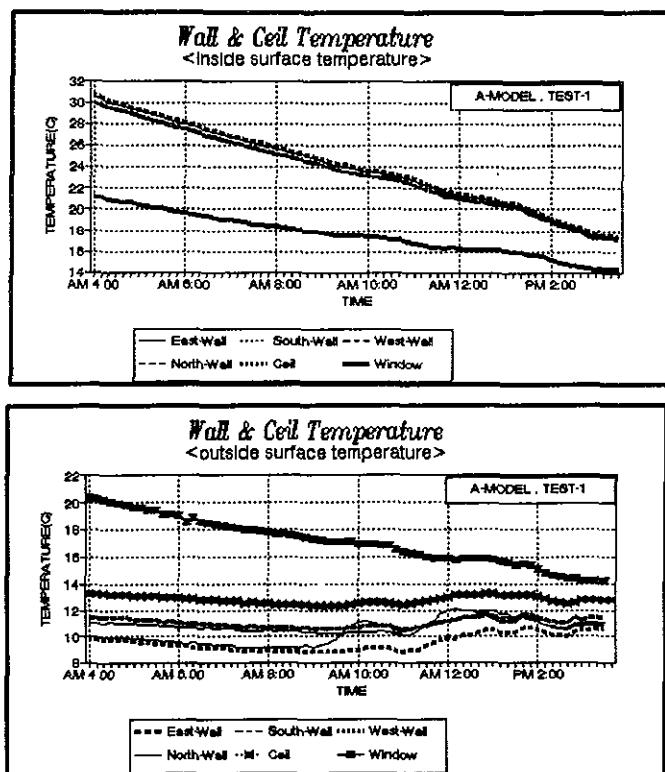
(B-모델)

[그림 3-9] 바닥표면온도변화에 대한 실온 및 흑구온도의 변화

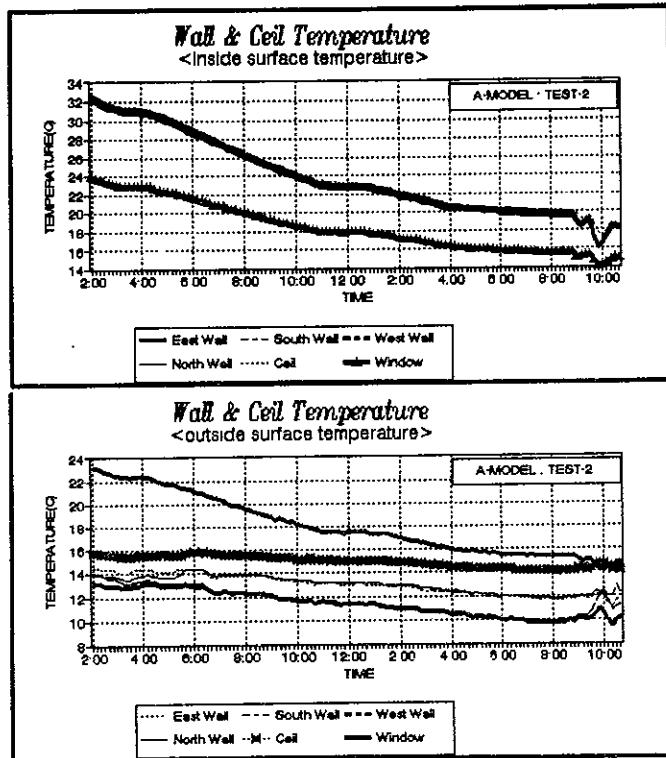
3-2-2. 실내기온 및 흑구온도와 벽체온도

실험에 따른 실온과 흑구온의 차이는 실온이 흑구온보다『모델-A』은 평균 0.12°C , 『모델-B』는 평균 1.45°C 높게 나타나고 있다. 그러나, 실온과 흑구온의 차이는 본 실험에서는 매우 미미한 것으로 나타나며, [그림 3-6], [그림 3-7]에서 보는 바와 같이 사람의 출입에 기인한 환기에 따른 열손실에 대하여 흑구온은 별 차이가 없는 반면에 실내공기온도는 매우 큰 온도차를 보이며 급격히 떨어진다.

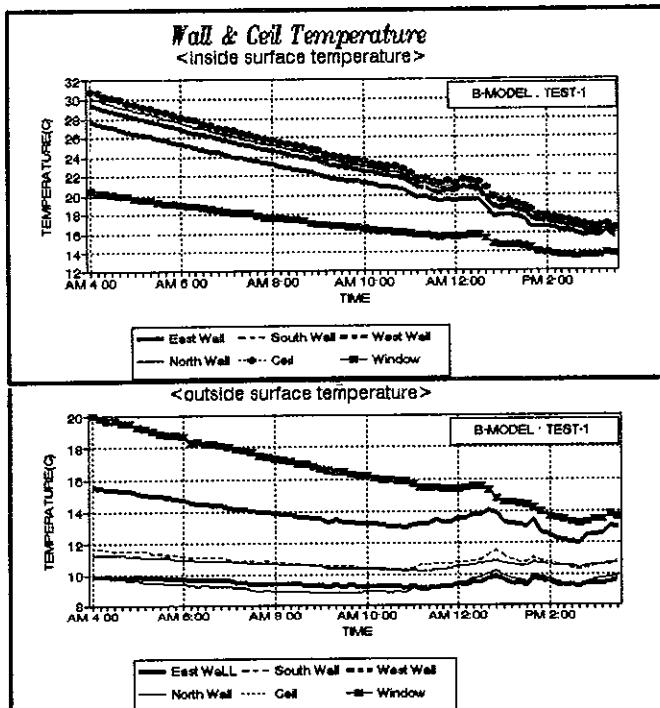
벽체 및 천정의 부위별 온도분포는 [그림 3-10], [그림 3-11], [그림 3-12], [그림 3-13]과 같다.



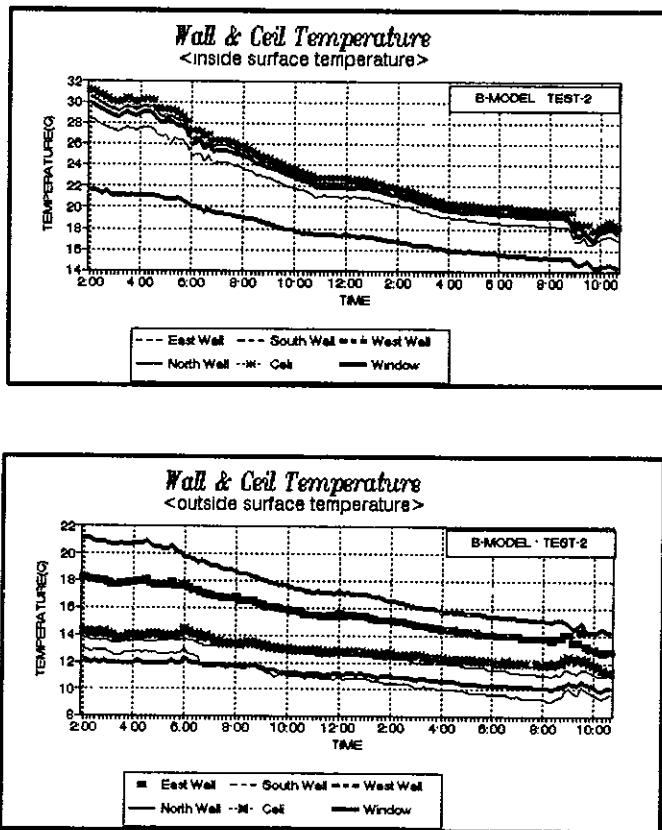
[그림 3-10] 『A-모델』의 벽체 내·외부 온도분포



[그림 3-11] 『A-모델』의 벽체 내·외부 온도분포



[그림 3-12] 『B-모델』의 벽체 내·외부 온도분포



[그림 3-13] 『B-모델』의 벽체 내·외부 온도분포

벽체 내·외부 표면온도를 [그림 3-10], [그림 3-11], [그림 3-12], [그림 3-13]에서 보면, 벽체 외표면온도는 외부기온과 비슷하게 유지되고 있으며, 내표면온도는 실온(혹구온)과 약 0.5°C 이내의 차이를 두고 비슷하게 변화하고 있다. 이는 샌드위치판넬의 표면재질이 철판이기 때문에 명확히 나타나는 것으로 보통 주거건축의 구조인 벽돌조적조 및 철근콘크리트구조의 경우와는 달리 벽체가 스티로폼과 철판으로 되어있어 열용량이 매우 작으므로 정상상태(steady state)의 열해석이 가능하다. 그러나, 기존연구된 일반적 사항으로 “열성능이 향상된 현대주택의 경우 혹구온도와 실온의 차이가 미미하다”는 특성이 『모델-A』의 경우에서도 마찬가지로 나타나고 있는 점으로 보

아 실험모델의 천정 및 벽체를 통한 열손실 패턴은 열성능이 좋은 현대주택의 경우와 유사한 상태라고 판단된다. <표 3-2>는 측정한 온열환경요소를 실온구간의 평균치로 정리하여 나타낸 것이다.

<표 3-2> 실내기온구간에 따른 각 측정점의 온도 변화

1. MODEL-A : TEST-1

실내기온(°C) 측정요소	26	24	22	20	18
실내기온	26.54	24.47	22.44	20.48	18.63
바닥표면온도	31.68	29.0	26.60	24.61	22.28
흑구온도	26.64	24.55	22.49	20.48	18.60
내벽표면온도	25.88	23.90	21.94	20.03	18.30
외벽표면온도	13.59	13.08	12.53	11.64	11.78
외기온	12.82	12.33	11.80	10.87	10.73
바깥기온	1.8-1.2	0.3-0.2	-0.8(-1.2)	-0.7(-2.5)	7.3-6.7

기온보다 흑구온도가 0.12°C 높고 내표면온도와 실내기온차는 -0.52°C, 내표면온도와 흑구온도차는 -0.62°C로 나타남.

2. MODEL-A : TEST-2

실내기온(°C) 측정요소	26	24	22	20	18
실내기온	26.38	24.39	22.08	20.50	18.63
바닥표면온도	33.0	30.30	26.75	23.78	21.14
흑구온도	26.50	24.44	22.30	20.58	18.77
내벽표면온도	25.58	23.65	21.61	20.07	18.23
외벽표면온도	10.35	10.49	11.0	11.61	11.03
외기온	9.46	9.63	10.35	11.18	10.61
바깥기온	-3.8-(-2.6)	-1.2-4.2	4.7-6.7	6.9-6.2	6.1-5.8

기온보다 흑구온도가 0.13°C 높고 내표면온도와 실내기온차는 -0.64°C, 내표면온도와 흑구온도차는 -0.77°C, 유리창 내외표면온도차는 0.48°C, 실내기온과 유리창내표면 온도차는 6.69°C, 흑구온도와 유리창내표면 온도차는 7.30°C, 상대습도는 23.2% ~ 38.5%의 분포를 보였다.

3. MODEL-B : TEST-1

실내기온(°C) 즉정요소	26	24	22	20	18
실내기온	26.31	24.32	22.23	20.45	18.96
바닥표면온도	34.2	30.44	28.31	25.44	24.36
혹구온도	27.65	25.76	23.63	21.88	20.23
내벽표면온도	26.02	24.07	22.10	20.45	19.0
외벽표면온도	13.84	13.23	12.62	12.08	11.21
외기온	13.05	12.51	12.11	11.53	10.71
바깥기온	2.2-2.5	0.8-1.4	0.0-(-0.4)	-1-(1.3)	-0.9-(-1.3)

기온보다 혹구온도가 1.45°C 높고, (기온 - 0T)는 0.34°C~0.44°C, 내 표면온도와 실내기온차 -0.1°C, 내표면온도와 혹구온도차 -1.56°C, 유리창 내외표면온도차 0.27°C, 상대습도는 23.2%-38.5% 범위의 분포를 보인다.

4. MODEL-B : TEST-2

실내기온(°C) 즉정요소	26	24	22	20	18
실내기온	26.44	24.36	22.52	20.59	18.36
바닥표면온도	34.17	31.45	28.91	25.77	23.10
혹구온도	27.96	25.87	23.94	21.99	19.80
내벽표면온도	25.70	23.79	22.08	20.45	18.54
외벽표면온도	10.99	10.59	10.36	10.73	10.78
외기온	9.84	9.57	9.48	10.82	10.59
바깥기온	-3.8	-2.8-(-1.8)	0.6-1.6	3.2-3.9	4.2-4.5

기온보다 혹구온도가 1.56°C 높게 나타나고 내벽표면온도와 실내기온차 -0.31°C, 내벽표면온도와 혹구온도차 -1.86°C, 유리창 내외표면온도차 0.29°C로 나타남.

본 실험에 의하면 실온의 폐적범위 (ASHRAE기준) - 건구온도 20.2 ~24.1°C - 를 만족시키는 바닥표면온도는 약 25.5°C-31.5°C 범위에 있으며, 실내기온을 22°C~23°C로 유지할 수 있는 바닥표면온도는 28°C~29°C가 된다는 것을 알 수 있었다.

국내에서 연구발표된 폐적바닥표면온도를 28°C~38°C의 범위라고 볼 때, 이 범위의 바닥표면온도로 난방할 경우에 나타나는 실내기온은 본 실험조건에서 약 22°C~30°C 정도로 형성된다. 그리고, 바닥온

도가 $30^{\circ}\text{C} \sim 31^{\circ}\text{C}$ 보다 높아지면 실온은 24°C 를 초과하여 과열상태를 보인다. 따라서, 온돌난방주거의 열적 쾌적은 실내기온과 바닥표면온도와의 상호관계를 파악하여 이 두가지 쾌적요소가 가장 합리적으로 되는 바닥표면온도로 난방하는 것이 필요하다고 생각된다.

3-2-3. 재설자 온열감 응답

피험자의 온열감 및 폐적감특성을 알아보기 위해 남녀 20명을 대상으로 주관적 반응을 조사하였다.

설문은 피험자가 느끼고 있는 온도감각에 대한것과 열폐적에 관한 사항으로 본 실험의 조사에 응한 대상은 건장한 20-30대 남자가 대부분이었다.

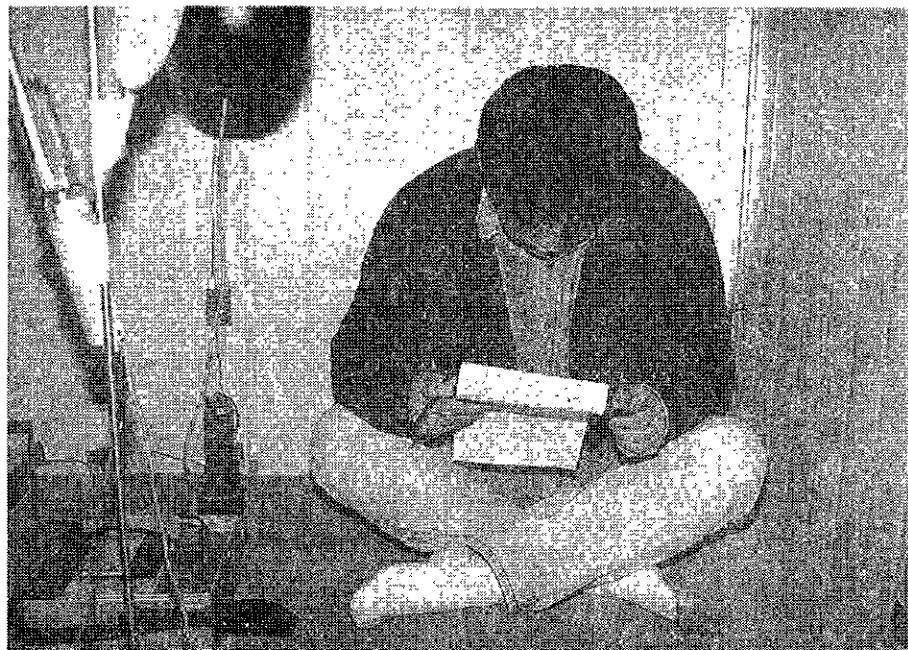
조사방법은 실험장소에 도착후 최소 10분 이상 대기실에서 안정을 취한 뒤에 신발과 외투를 벗은 통상적인 겨울철 실내복장상태 ($0.85 \text{ clo} \sim 1.2 \text{ clo}$)로 「B-모델」로 들어가 온돌바닥에 앉은 상태로 10분 경과 후에 설문을 작성케 하였다.



(사진 3-4) 대기실에서 피험자가 대기하는 모습

주관적 반응조사결과 나타난 『실험실 실내기온에 대한 온열감응

답』은 [그림 3-14]와 같고 온열감평가는 1) 매우춥다, 2) 춥다, 3) 서늘하다, 4) 적당하다, 5) 따뜻하다, 6) 덥다, 7) 매우덥다로 표현되는 7단계 척도를 사용하였다.



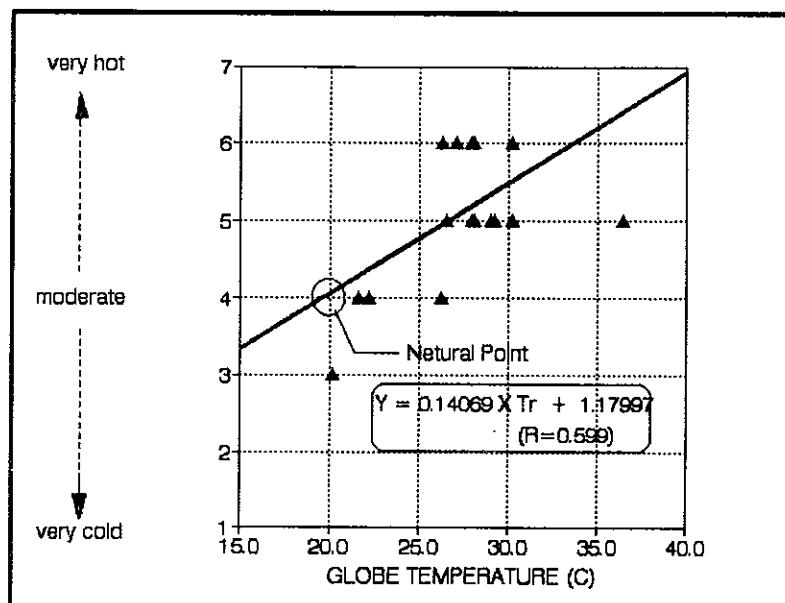
(사진 3-5) 모델내부에서 설문작성하는 모습

온열감에 관련한 설문항목의 상관도분석 결과는 아래와 같다.

- 온열감 : 감각실온(피험자가 느끼는 실온) $R = 0.562$
- 온열감 : 기온 $R = 0.538$
- 온열감 : 복사온도(흑구온도) $R = 0.599$
- 감각실온 : 복사온도 $R = 0.531$
- 감각실온 : 기온 $R = 0.447$

분석결과 피험자가 느끼는 실험실 내부온도는 주로 복사온도에 의해 좌우되고 있으며, 기온과 흑구온도의 온열감에 대한 상관관계는

기온(Ta)은 $R=0.538$, 흑구온도(Tr)는 $R=0.599$ 로 복사온도에 의한 영향이 더 큰 것을 알 수 있었다.



[그림 3-14] 흑구온도와 온열감응답

위에서 “4) 적당하다”고 응답한 온도(Tr)는 21.6°C - 26.2°C 범위에 있으며, 이에 대하여 아래와 같은 일차회귀식을 도출하였다.

$$Y = 0.14069 \times Tr + 1.17997$$

위의 회귀식에서 $Y = “4) 적당하다”$ 를 대입하면

$$\begin{aligned} 4 &= 0.14069 \cdot Tr + 1.17997 \\ Tr &= (4 - 1.17997) / 0.14069 \\ &= 20.04^{\circ}\text{C} \text{ 가 된다.} \end{aligned}$$

따라서, 실험조건에서의 온열중성점은 흑구온도(Tr) 20.04°C 로서 이는 ASHRAE 기준 $20\sim24^{\circ}\text{C}$ 에 일치되는 것으로 나타났다.

제 4 장 온돌의 쾌적실온 유지를 위한 적정바닥표면온도 설정

4-1 실험에 의한 적정바닥표면온도

실험기간중 모델의 외기온분포는 $9.4^{\circ}\text{C} \sim 13.15^{\circ}\text{C}$ 로 이와같은 조건에서 실내기온을 쾌적범위인 $20.2^{\circ}\text{C} \sim 24.1^{\circ}\text{C}$ 로 유지하기 위한 바닥표면온도는 $25.5^{\circ}\text{C} \sim 31.5^{\circ}\text{C}$ 범위에 있는 것으로 나타났다. 또한, 실험모델조건¹⁾에서 재실자 주관적반응조사결과 회귀식으로 도출한 온열증성점온도(20°C)는 ASHRAE 기준에 포함되고 있으며, 착의량을 고려할 때 대부분의 국내연구결과에서 제시하는 쾌적실온범위와 일치한다고 볼 수 있다.

그러나, 본 실험은 외기온 조건이 서울의 겨울철 평균기온보다 훨씬 높은 상태에서 실시한 것으로 이를 현장에 적용하기 위해서는 난방기간의 외기온조건에 대한 결과를 알아야 할 필요가 있다.

서울의 외기온을 적용할 때 쾌적 실내온도를 유지하는 바닥표면온도 계산은 아래의 방법으로 할 수 있다.

(1) 실험모델의 단열성능

본 연구에 사용한 모델의 단열성능은 <표 4-1>의 건축법에 정한 단열기준과 비교해 볼 때, 중부지방의 천정, 외벽 및 창호에 적용하는 열관류율값 보다 불량한 것임을 알 수 있다. 따라서, 최근에 건설되는 주거건축은 건축법규의 단열성능 이상이 되어야 하므로 본 실험과 동일한 외기조건하에서 쾌적실온을 유지하기 위한 바닥표면온도는 모델을 통하여 얻은 결과보다 더 낮은 온도가 되어야 할 것이다.

주1) 착의량 $0.85 \sim 1.2 \text{ clo}$, 기류 0.02 m/s 이하.

〈표 4-1〉 건축물의 단열기준 및 실험모델의 열관류율

구 분		건 축 물 의 단 열 기 준		
대상 부위	대상지역	열관류율 기준(KCal/m ² ·h·°C)	단열두께 기준(mm)	실험 모델
지붕(천정)	중부지방	0.35 이하	80 mm 이상	0.6398 kcal/m ² h°C
	남부지방	0.45 이하	60mm 이상	
	제주도	0.65 이하	40 mm 이상	
외벽, 바닥	중부지방	0.5 이하	50 mm 이상	0.6398 kcal/m ² h°C
	남부지방	0.65 이하	40 mm 이상	
	제주도	1.0 이하	30 mm 이상	
공동주택측벽	중부지방	0.4 이하	70 mm 이상	모델의 출입문 0.80 kcal/m ² h°C
	남부지방	0.6 이하	50 mm 이상	
	제주도	0.7 이하	40 mm 이상	
창호	중부지방	2.9 이하	이중창	3.9216 kcal/m ² h°C
	남부지방	3.1 이하	또는	
	제주도	5.0 이하	페어그라스 시공	

(2) 모델의 외기조건

〈표 4-2〉는 서울지방의 외기온으로 겨울철 난방기간(11월~3월)의 평균외기온은 $-4.1^{\circ}\text{C} \sim 6.5^{\circ}\text{C}$ 정도가 된다는 것을 알 수 있다. 본 실험기간의 외기온은 $9.4^{\circ}\text{C} \sim 13.15^{\circ}\text{C}$ 범위에 있으며, 모델은 밀폐된 실험주택 내부에 있으므로 기류는 아주 약한 상태이다. 이는 난방이 필요한 11월~3월 중 서울의 겨울철 평균외기온 1.13°C 와 큰 차이가 있다. 따라서, 실험모델의 외기온을 〈표 4-2〉의 조건으로 치환하여, 이 때에 적정한 바닥온도를 계산하여야 한다.

<표 4-2> 서울의 평균기온(°C, 1950-1980)²⁾

월	1			2			3			4		
	상순	중준	하순									
최고	1.1	2.0	9.0	2.0	3.4	5.0	6.9	9.1	11.4	14.3	16.7	19.6
최저	-6.9	-8.0	-7.2	-6.3	-4.9	-3.7	-1.8	-2.0	1.7	4.2	6.7	8.9
평균	-3.1	-4.1	-3.4	-2.4	-1.0	3.0	2.2	3.9	6.1	8.9	11.4	13.8
월	5			6			7			8		
순	상순	중준	하순									
최고	21.4	22.8	24.5	25.0	26.5	27.5	27.2	28.3	29.9	30.3	29.8	28.8
최저	10.5	12.0	13.9	15.3	17.1	18.7	20.0	21.5	23.1	23.0	22.1	21.0
평균	15.5	17.0	18.7	19.6	21.2	22.5	23.1	24.4	25.9	26.0	25.4	24.4
월	9			10			11			12		
순	상순	중준	하순									
최고	26.9	25.7	24.1	21.9	19.9	17.3	14.9	11.3	7.9	5.5	3.9	1.6
최저	18.8	16.3	13.9	11.4	9.1	6.8	5.2	2.2	-3.0	-2.5	-4.1	-6.2
평균	22.4	20.6	18.6	16.2	14.1	11.7	9.8	6.5	3.6	1.3	-3.0	-2.5

(3) 위의 사항을 고려하여 ASHRAE의 쾌적범위에 적정한 바닥표면 온도를 도출하기 위한 방법은 다음과 같다.

1) ASHRAE 에서는 작용온도(Operative Temperature:OT)로 20.2°C ~24.1°C 를 실온의 쾌적범위로 설정하고 있다.

실험모델은 일사의 영향을 받지 않으며 축열능력이 거의 없는 것으로 간주하여 정상상태의 열전달이 이루어진다고 본다.

주2) 한국태양에너지학회, 태양에너지 핸드북, 태림문화사, 1991.

2) 실내에서 기류가 없을 때 식(4.1)이 성립하며, 본 실험에서 모델 내부의 기류속도는 0.02 m/s 이하로 측정되었다. 이는 정지기류로 볼 수 있으며, 따라서 아래의 조건이 성립된다.

① 무풍상태일 때 작용온도는 식(4.1)로 구할 수 있다.

$$OT = \frac{T_a + MRT}{2} \dots \dots \dots \quad (4.1)$$

여기서, T_a : 실내기온(°C)

MRT : 평균복사온도(°C)

OT : 작용온도(operative temperature)

식(4.1)에서 T_a 와 MRT 를 알고 있으면 OT 는 쉽게 계산되며, 이 때 계산결과로 얻은 OT 가 ASHRAE 쾌적기준의 20.2°C~24.1°C 범위내에 있을 때 실내온열환경은 쾌적한 상태가 된다.

쾌적지표인 실내기온과 평균복사온도(혹구온도)는 측정결과로 알 수 있으며 따라서, 모델실험을 통하여 측정된 바닥온도를 쾌적범위 구간에서 읽으면 이것이 적정한 바닥표면온도가 된다.

② 평균복사온도(MRT)는 식(4.2)로 표현되므로 각 위치의 내표면 온도와 표면적을 알면 그 공간의 MRT 를 구할 수 있다.

$$MRT = \frac{\sum [S * t]}{\sum S} \dots \dots \dots \quad (4.2)$$

여기서, t 는 각 표면 S 의 온도(°C)

각 위치의 내표면온도는 식(4.3), 식(4.4)로 부터 산정할 수 있다.

구조체 내에서의 온도변화 비율은 각 층에 대한 열저항의 비율에
비례 하므로

$$\frac{\Delta R}{R_T} = \frac{\Delta \theta}{\theta_T} \dots \dots \dots \quad (4.3)^3$$

여기서, R_T : 모든성분의 열저항의 합
 θ_T : 실내외온도차
 ΔR : 어떤층의 열저항
 $\Delta \theta$: 그 층에서의 온도강하

식(4.3)에서 내표면저항을 R_{si} 로 하면

$$\frac{R_{si}}{R_T} = \frac{\Delta \theta_{si}}{\theta_T} \dots \dots \dots \quad (4.4)$$

여기서, R_{si} : 표준실내표면열저항
 $\Delta \theta_{si}$: 실내표면에서 온도강하

3) 위의 ①방법과 ②방법에서 측정한 MRT(혹구온도)와 계산한 MRT는 같아야 하므로 측정한 MRT를 식(4.5)에 대입시키면 온돌의 바닥표면온도를 도출할 수 있다.

기류가 없을 때 평균복사온도(MRT)는 혹구온도(GT)로 읽을 수 있다. 따라서, 아래식(4.5)에 모델에서 측정한 혹구온도를 평균복사온도(MRT)에 대입하고, 벽체와 천정의 내표면온도는 식(4.4)에 의하여 구한 값을 사용하면 된다.

$$MRT = \frac{[(A_w \times t_w) + (A_c \times t_c) + (A_f \times t_f)]}{[A_w + A_c + A_f]} \quad \text{에서}$$

$$[(A_w \times t_w) + (A_c \times t_c) + (A_f \times t_f)] = MRT \times [A_w + A_c + A_f]$$

$$\therefore t_f = \frac{[MRT \times (A_w + A_c + A_f)] - [(A_w \times t_w) + (A_c \times t_c)]}{A_f} \dots \dots \dots \quad (4.5)$$

주3) 이언구, 김광우역, 건축환경과학, 1990. pp40-41

여기서, A_w 는 벽면적, A_c 는 천정면적, A_f 는 바닥의 면적
 t_w 는 벽체내표면온도, t_c 는 천정내표면온도, t_f 는
 바닥표면온도

4) 위의 2)방법과 3)방법에 의해 구한 바닥표면온도는 같아야 한다. 두가지 방법으로 산정한 결과를 비교하여 차이가 없으면 위의 수식을 이용한 계산방법은 주거건축에 널리 사용되고 있는 일반구조에 적용이 가능하며, 각 구조별로 쾌적범위에 적정한 바닥표면온도를 도출할 수 있게 된다.

(4) 이상의 방법을 『A-모델』에 대하여 적용하면 다음과 같다.

<표 4-3>은 『A-모델』에서 실험한 결과로 측정된 온도를 실온구간에 따라 나타낸 것이다.

<표 4-3> 『A-모델』의 온도변화 (TEST-1)

실내기온(°C)	26	24	22	20	18
실내기온	26.54	24.47	22.44	20.48	18.63
바닥표면온도	31.68	29.0	26.60	24.61	22.28
흑구온도	26.64	24.55	22.49	20.48	18.60
내벽표면온도	25.88	23.90	21.94	20.03	18.30
외벽표면온도	13.59	13.08	12.53	11.64	11.78
외기온	12.82	12.33	11.80	10.87	10.73
바깥기온	1.8-1.2	0.3-0.2	-0.8(-1.2)	-0.7-(-2.5)	7.3-6.7
기 타	기온보다 흑구온도가 0.12°C 높게 나타나며, 내표면 온도와 실내기온차는 -0.52°C, 내표면온도와 흑구 온도차는 -0.62°C,				

실험모델(A-모델) 각 위치의 면적과 재료에 따른 열관류저항은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 ① \text{ 면적} : & \quad 벽_E = 1.9 * 1.63 - (0.6 * 0.6) = 2.737 \text{ m}^2 \\
 & \quad \text{유리창} = 0.6 * 0.6 = 0.36 \text{ m}^2 \\
 & \quad 벽_W = 1.9 * 1.63 = 3.097 \text{ m}^2 \\
 & \quad 벽_S = 1.9 * 1.63 = 3.097 \text{ m}^2 \\
 & \quad 벽_N = 1.9 * 1.63 - (0.8 * 1.5) = 1.897 \text{ m}^2 \\
 & \quad \text{출입문} = 0.8 * 1.5 = 1.2 \text{ m}^2 \\
 & \quad \text{천정} = 1.9 * 1.9 = 3.61 \text{ m}^2 \\
 & \quad \text{바닥} = 1.9 * 1.9 = 3.61 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

② 각 재료의 열관류저항⁴⁾

재료	두께(mm)	열전도율(k)	열관류저항(R)
철판	0.5	49.88	-
스티로폼	50, (40)	0.032	1.563, (1.25)
철판	0.5	49.88	-
외부측열전달율			0.125
내부측열전달율			0.125
사용위치	벽, 천정, (출입문)	1.813, (1.50)	
유리	3.0	0.667	0.0045
외부측열전달율			0.125
내부측열전달율			0.125
사용위치	불밖이창	0.255	

1') 본 모델에서 측정한 실내기온과 MRT(흑구온도)는 차이가 거의 없으므로 OT는 실내기온이나 또는 흑구온도로 읽을 수 있다.

예) 실온구간 22°C의 경우 측정된 실내기온(T_a)=22.44°C, MRT(흑구온도)=22.49°C 이므로 OT의 변화가 거의 없다.

주4) 실험주택내부에 설치된 모델은 외부환경에 직접 노출된 것이 아니므로 기류의 영향이 매우 작아 내부측(실내)열전달율을 외부측열전달율에 준용함. 실험모델의 벽체와 천정은 THK 50mm, 출입문은 THK 40mm의 단열판넬로 구성되어 있으며, 동측벽에 THK 3mm의 투명유리 불밖이창이 있다.

$$OT = \frac{T_a + MRT}{2} = \frac{22.44 + 22.49}{2} = 22.47^{\circ}\text{C}$$

또한, 이때의 바닥표면온도는 26.6°C 를 나타나고 있다.

2') 각각의 위치에 따른 내표면온도는 식(4.4)를 이용해 계산할 수 있다.

$$\frac{R_{si}}{R_T} = \frac{\Delta \theta_{si}}{\theta_T} \quad \text{에서}$$

<표 4-3>의 20°C 구간에서 측정평균한 실내기온 22.44°C 와 이때의 외부기온 11.80°C 를 적용하여 계산하면 아래와 같다.

$$\textcircled{1} \text{ 벽체, 천정의 경우 : } \frac{0.125}{1.813} = \frac{\Delta \theta_{si}}{22.44 - 11.80} \text{에서}$$

$$\Delta \theta_{si} = 0.734 \quad \text{따라서, 내표면온도는 } 21.71^{\circ}\text{C}$$

$$\textcircled{2} \text{ 출입문의 경우 : } \frac{0.125}{1.50} = \frac{\Delta \theta_{si}}{22.44 - 11.80} \text{에서}$$

$$\Delta \theta_{si} = 0.887 \quad \text{따라서, 내표면온도는 } 21.55^{\circ}\text{C}$$

$$\textcircled{3} \text{ 창문의 경우 : } \frac{0.125}{0.255} = \frac{\Delta \theta_{si}}{22.44 - 11.80} \text{에서}$$

$$\Delta \theta_{si} = 5.216 \quad \text{따라서, 내표면온도는 } 17.22^{\circ}\text{C}$$

3') 식(4.5)에 $MRT = 22.49^{\circ}\text{C}$ 를 대입하여 t_f (바닥표면온도)를 계산하면 다음과 같다.

$$t_f = \frac{[MRT \times (A_w + A_c + A_f)] - [(A_w \times t_w) + (A_c \times t_c)]}{A_f}$$

여기서, 『A-모델』의 크기⁵⁾를 [그림 3-1] 평면도에서 안목치수로 읽으면 각 부분의 면적은 다음과 같고

$$A_w + A_c + A_f = 19.608$$

주5) 모델의 실내표면적 계산은 안목길이를 기준함.

$$A_w \times t_w = (10.828 \times 21.71) + (0.36 \times 17.22) + (1.2 \times 21.55) = 267.135$$

$$A_c \times t_c = 3.61 \times 21.71 = 78.3731$$

이므로 바닥표면온도(t_f)는

$$t_f = \frac{[22.49 \times (19.61)] - (267.14 + 78.37)}{3.61} = 26.46$$

따라서, 계산식을 이용하여 구한 바닥온도는 26.46°C 가 된다.

4') 『A-모델』을 대상으로 2회 실험하여 18°C , 20°C , 22°C , 24°C , 26°C , 28°C 구간에서 측정한 실온과 흑구온도를 식(4.4), 식(4.5)에 대입하여 계산한 바닥표면온도는 <표 4-4>와 같다.

<표 4-4> 바닥표면온도의 실험치와 계산치의 비교

구 분	A-모델 (Test-1)					
	18	20	22	24	26	28
기준 실온구간, $^{\circ}\text{C}$						
계산한 바닥온도, $^{\circ}\text{C}$	21.26	23.88	26.47	29.20	31.93	34.65
측정한 바닥온도, $^{\circ}\text{C}$	22.28	24.61	26.60	29.0	31.68	34.33
(계산치)-(측정치)	-1.02	-0.73	-0.14	+0.20	+0.25	+0.32
흑구온도(MRT), $^{\circ}\text{C}$	18.60	20.48	22.49	24.55	26.64	28.55
실내기온, $^{\circ}\text{C}$	18.63	20.48	22.44	24.47	26.54	28.43
실외기온, $^{\circ}\text{C}$	10.73	10.87	11.80	12.33	12.82	12.66

구 분	A-모델 (Test-2)					
	18	20	22	24	26	28
기준 실온구간, $^{\circ}\text{C}$						
계산한 바닥온도, $^{\circ}\text{C}$	22.23	24.23	27.42	29.88	33.01	35.78
측정한 바닥온도, $^{\circ}\text{C}$	21.23	23.78	26.75	30.30	33.0	35.67
(계산치)-(측정치)	+1.09	+0.45	+0.67	-0.42	+0.01	-0.11
흑구온도(MRT), $^{\circ}\text{C}$	18.77	20.58	22.30	24.44	26.50	28.6
실내기온, $^{\circ}\text{C}$	18.63	20.50	22.08	24.39	26.38	28.5
실외기온, $^{\circ}\text{C}$	10.61	11.18	10.35	9.63	9.46	9.74

위 결과를 보면 측정한 바닥표면온도와 계산한 바닥표면온도와의 오차가 0.7°C 이내로 근소한 것을 알 수 있다. 오차발생의 이유는 실험모델의 바닥온도산정시 배관직상부와 배관사이의 불균등한 온도를 평균하여 사용한데에 있는 것으로 생각되며 특히, 18°C 구간에서 오차가 큰 이유는 실험종료시 항온저탕조의 온수에 차가운 수도물을 혼합하여 공급하므로써 배관직상부온도가 급냉한 때문으로 보인다.

이러한 오차의 원인을 고려할 때, <표 4-4>에서 나타난 작은 온도차는 무시해도 좋을 정도이므로 실험치와 계산치는 전구간에서 일치하고 있다고 할 수 있다.

따라서, 계산식에 의한 방법은 정확하고 신뢰할 수 있으므로, 벽돌조적조, PC구조, 철근콘크리트조 등의 외피를 갖는 현대주거에서 폐적실온 유지에 적정한 바닥표면온도 산정시 앞에서 사용한 계산식에 의한 방법을 이용할 수 있다.

(5) 실험용 모델과 동일한 크기로 지어졌다는 가정하에 서울의 겨울철 평균외기온 조건을 적용하여 위의 방법으로 다시 계산하기 위하여 가상모델의 외피종류에 따른 열관류저항 [$\text{m}^2\text{C}/\text{kcal}$]을 구하면 다음과 같다.

1") 각 재료의 열관류저항

① PC 벽체

재료	두께(mm)	열전도율(k)	열관류저항(R)
PC 판	50	1.4	0.036
스티로폼	70	0.032	2.188
방습막	0.2	0.18	0.001
PC 판	130	1.4	0.093
석고보드	12	0.18	0.067
벽지	0.5	0.18	0.003
외부측열전달율			0.03
내부측열전달율			0.125
열관류율 $K=0.404 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}, (0.5\text{이하})^6$			2.473

② 1.5B 벽돌조적조

재료	두께(mm)	열전도율(k)	열관류저항(R)
붉은벽돌	90	0.67	0.134
스티로폼	50	0.032	1.563
방습막	0.2	0.18	0.001
시멘트벽돌	190	1.2	0.158
몰탈	20	1.2	0.017
벽지	0.5	0.18	0.003
외부측열전달율			0.03
내부측열전달율			0.125
열관류율 $K=0.492 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}, (0.5\text{이하})$			2.031

주6) 팔호내의 수치는 건축물의 단열기준에 의하여 중부지방에 적용되는 열관류율을 나타냄.

③ 천정

재료	두께(mm)	열전도율(k)	열관류지향(R)
누름콘크리트	100	1.2	0.083
아스팔트방수층	20	1.2	0.017
콘크리트	120	1.4	0.086
암면	80	0.034	2.353
방습층	0.2	0.18	0.001
합판	12	0.14	0.086
천정지	0.5	0.18	0.003
외부측 열전달율			0.03
내부측 열전달율			0.125
열관류율 K=0.359 kcal/m ² h°C, (0.350) 하)			2.784

④ 참 무

재료	두께(mm)	열전도율(k)	열관류저항(R)
유리	4	0.667	0.006
공기층	15	-	0.18
유리	3	0.667	0.0045
외부측 열전달율			0.03
내부측 열전달율			0.125
열관류율 K=2.894 kcal/m ² h°C, (2.90) 하)			0.3455

2") 본 연구는 PC 벽체와 벽돌조적조(1.5B) 벽체에 한하여 계산하기로 하고, 각 계산에 관련한 조건은 아래와 같다.

- * 각 부분의 면적은 실험모델과 같고, 창문은 2중창 (fixed) 을 사용한다.

- * 단열이 잘된 건물의 실내기온은 외구온도와 큰 차이가 없으므로 식(4.5)의 평균복사온도(MRT)에 실내기온을 대입하여 계산한다.
- * 실내기류는 없다고(GT=MRT) 본다.
- * 외피종류에 따른 열관류저항 [$m^2\text{C}/\text{kcal}$]은 다음과 같다.

가 상 모 델	단열기준(중부)
외벽 : PC 구조 R = 2.473 1.5B 적벽돌조적조 R = 2.031	R = 2.0 이상 공동주택축벽 (R=2.5)
천정 : Slab 구조 R = 2.784	R = 2.857 이상
창문 : 2중 고정창 R = 0.3455 (THK 3MM 단층유리)	R = 0.3448 이상
A-모델 : 벽 - THK 50MM 단열판넬 출입문 - THK 40MM 단열판넬 천정 - THK 50MM 단열판넬 창문 - THK 3MM 투명유리 고정창	R = 1.813 R = 1.50 R = 1.813 R = 0.255

이상의 조건을 가지고 계산한 결과는 <표 4-5> 와 같다.

서울(중부)지역의 단열기준을 적용하여 계산한 결과, 외기온이 아주 낮은(-8.0°C) 경우에도 바닥표면온도가 31°C~32°C 정도에 있을 때 실내기온은 22°C정도로 유지된다는 것을 <표 4-5>로 부터 알 수 있다. 그러나 우리나라는 삼한사온의 기후 특성으로 외기온이 심하게 내려가는 경우가 많지 않으며 그 기간도 짧으므로, 평균외기온을 적용한 계산결과를 적정한 바닥온도로 보아야 할 것으로 생각된다. 따라서, ASHRAE 의 쾌적실온(20.2~24.1°C)을 유지하기 위한 적정 바닥 표면온도는 보통의 외기조건에서 25.8°C~31.03°C 범위⁷⁾에 위치하게

주7) 단열기준을 벗어나지 않는 최저단열값을 적용하여 계산한 결과임.

된다.

<표 4-5> 단열기준과 건물구조에 대하여 계산한 적정바닥표면온도⁸⁾

단위 : °C

구분	실내기온	20	21	22	23	24	25	26	27
	외기온								
단 열 기 준	-8.0	28.60	29.91	31.22	32.53	33.83	35.14	36.45	37.76
	-4.1	27.41	28.71	30.02	31.33	32.64	33.94	35.25	36.56
	0	26.15	27.46	28.76	30.07	31.38	32.69	33.99	35.3
	1.127	25.8	27.11	28.42	29.73	31.03	32.34	33.65	34.96
벽 돌 조 적 조	-8.0	28.49	29.79	31.09	32.4	33.7	35.0	36.31	37.61
	-4.1	27.31	28.61	29.91	31.22	32.51	33.82	35.13	36.43
	0	26.06	27.37	28.67	29.97	31.28	32.54	33.88	35.19
	1.127	25.72	27.03	28.33	29.63	30.94	32.24	33.54	34.85
조 립 식 P C 구 조	-8.0	27.15	28.41	29.66	30.92	32.17	33.43	34.69	35.94
	-4.1	26.16	27.41	28.67	29.92	31.18	32.44	33.69	34.95
	0	25.11	26.37	27.62	28.88	30.13	31.39	32.65	33.9
	1.127	24.82	26.08	27.34	28.59	29.85	31.1	32.36	33.61
실 험 모 델	-8.0	29.88	31.23	32.58	33.94	35.29	36.64	37.99	39.35
	-4.1	28.5	29.86	31.21	32.56	33.91	35.27	36.62	37.97
	0	27.06	28.41	29.76	31.12	32.47	33.82	35.18	36.53
	1.127	26.66	28.01	29.37	30.72	32.07	33.43	34.78	36.13

주8) <표 4-5>에서 조립식 PC구조, 벽돌조적조 벽체는 단열기준을 초과한 상태이며, 천정재와 모델의 전 재료(구성재)는 단열기준에 약간 미달하는 단열성능을 갖고 있다.

일반적으로 현재 시공되는 주거건축은 건축법의 단열기준 이상으로 된 외피구조를 갖고 있으며, <표 4-5>의 벽돌조적조(1.5B), 조립식 PC구조에 대하여 실온 22°C 조건으로 계산한 바닥표면온도는 각각 28.33°C, 27.43°C로 단열기준치를 적용한 경우인 28.42°C 보다 낮게 나타나고 있다.

온돌의 적정바닥온도는 외기온변화 뿐만 아니라 외피종류별 단열성능, 건물의 외부형태, 건물의 향, 창면적비, 환기량 등이 종합적으로 작용하여 실온이 변동되므로 바닥온도도 영향을 받는다. 그러나 이에 따른 변화폭은 법규의 단열성능과 기밀성을 갖고 있는 주거의 경우 매우 작게 나타나며, 내부열발생, 태양열취득에 의한 실온상승 및 건물의 열용량에 의한 이득을 함께 고려하면 적정바닥온도의 변화는 큰 문제가 되지 않는다.

따라서, 서울의 온돌주거에서 난방시 쾌적온도 22°C를 유지할 수 있는 적정바닥표면온도는 대략 28°C 정도가 되며, 보통의 외기조건⁸⁾에서 바닥표면온도가 25°C~31°C 범위에 있을 때 ASHRAE 기준의 쾌적범위(20.2°C~24.1°C)는 충분히 유지된다는 것을 알 수 있다.

주8) 서울의 11월 중순 ~ 3월 중순까지의 평균기온.

4-2 문현조사에 의한 적정바닥표면온도

기존에 실태조사된 자료를 근거로 하여 온돌난방을 하는 주거건축에서의 변화된 온열환경을 정리하면 <표 4-6>, <표 4-7>과 같다.

<표 4-6> 온돌난방주택의 온열환경실측자료 - (1)¹⁰⁾

주거종류	난방방식	실내기온	바닥온도	외기온
단독주택	연탄보일러	13 - 15	25 - 29	-3 - 0
	연탄보일러	14 - 18	26 - 29	-3 - 3
	기름보일러	15 - 20	20 - 35	0 - 5
	기름보일러	18 - 22	30 - 38	-6 - -1
아파트	개별식 연탄보일러	21 - 24	26 - 30	0 - 6
	개별식 기름보일러	24 - 27	28 - 33	0 - 9
	중앙식	20 - 26	26 - 33	-6.5 - 0
	중앙식	24 - 27.5	29 - 35	2 - 6
	중앙식	24 - 27.5	28 - 33	-2 - 4
	중앙식	24.5 - 28	29.5 - 35	-2 - 5

대상주의 시공(준공)년도는 알려져 있지 않기 때문에 주택 상호간의 정확한 비교는 할 수 없지만 <표 4-6>에서 실내기온과 바닥온도와의 관계를 살펴보면 전반적으로 단독주택보다 아파트의 열성능이 우수한 것을 알 수 있다. 또한, 아파트의 경우 바닥온도가 26°C 전후에 있을 때 실온은 20°C 근처에 있으며, 실온 24°C는 바닥온도 28°C ~ 29°C 정도에서 유지되고 있음을 알 수 있다. 바닥온도에 따라 나타나는 실온분포는 외기온 조건이 다름에도 불구하고 본 실험의 결과와 거의 일치되고 있다. 이는 단열이 잘 된 건물에서 실내기온은 10°C 정도의 외기온변화에 큰 영향을 받지 않는다는 일반론을 뒷받침하는 것으로 높은 바닥표면온도조건에서는 외기온조건에 관계없이 실온의 과잉상승을 가져올 수 있음을 의미한다.

주10) 한윤호, 이종우, “저온바닥면복사난방의 온열환경지표에 관한 연구”, 건축학회논문집, 1988. 6.

<표 4-7> 온돌난방 공동주택의 온열환경실측자료 - (2)

구 분		M-아파트	S-아파트		
건물의 향		남 향	남 향	동 향	서 향
평균	건구온도 (°C)	22.6~25.7	24.3~27.3	22.0~24.7	23.3~25.7
	혹구온도 (°C)	23.0~24.7	24.0~26.3	22.7~25.7	23.0~24.7
평균바닥온도 바닥온도 변화폭		29.3 -	28.8 25.3~35.0	29.2 26.0~33.3	29.9 26.3~33.3
착의량 (met)		남 : 0.46 여 : 0.52	여름철의 복장상태		
기류, (m/s)		0.05 이하	0.05 이하		
난방방식		중앙식연속난방	중앙식 간헐난방		

<표 4-7>은 대한주택공사에서 실시한 “온열환경실태조사”자료를 정리한 것으로 실측은 최근에 지어진 공동주택을 대상으로 하고 있으며, 온돌온열환경 실태조사된 지금까지의 자료중 가장 많은 표본에서 조사된 것이다. H-아파트는 3침실+1거실의 평면으로 거주면적은 $85M^2 \pm 10M^2$ 이며, S - 아파트는 단위세대 25평 내외의 15층 건물로 2(3) 침실 + 1거실 평면으로 구성되어 있다. 두 아파트는 모두 1987년에 시공된 것으로 열성능향상을 위한 건축법에 정한 단열기준을 준수한 현대공동주택의 전형으로 볼 수 있다.

<표 4-7>의 바닥온도변화폭 항목에서 바닥표면온도 26°C 정도일 때에도 실온은 22°C~23°C 범위에 있고 또한, 평균바닥표면온도가 29°C 전후로 분포하고 있으며 이때의 실내기온 평균치는 대략 24°C가 된다. 따라서, 위의 두 아파트의 실내기온은 ASHRAE기준에 포함되거나 또는 더 높게 유지되고 있음을 알 수 있다. 이는 <표 4-5>에서 조립

식 PC 구조에 대하여 계산한 결과와도 잘 일치한다. 착의량을 살펴보면 두 아파트의 거주자는 보통 0.5 clo 정도의 여름복장 상태로 생활하고 있는데, 이는 높은 온도의 열환경 형성의 요인 및 에너지 낭비의 원인이 되므로 합리적인 착의량을 고려할 필요가 있다고 생각된다.

일반적으로 10°C 정도의 외기온변화는 실내기온변화에 큰 영향을 미치지 않는다는 점을 고려할 때, 문헌조사결과로 나타난 현재의 온수온돌방식에서 쾌적실온을 유지하기 위한 바닥표면온도는 26°C~29°C 범위에 있으며, 29°C 정도에서 비교적 높은 실온(22°C, 23°C)을 유지할 수 있다는 것을 알았다.

이상의 과정에서 살펴본 바와 같이 계산식을 이용하여 도출한 결과와 문헌조사에 의해 나타난 결과는 잘 일치하고 있다.

따라서, 본 연구결과로 - ASHRAE, ISO의 쾌적실온(20°C~24°C)을 유지하기 위하여 - 제시하는 온돌의 적정한 바닥표면온도는 아래와 같다.

- 서울의 평균외기온(1.13°C)에 대하여 쾌적실온을 유지하는 바닥 표면온도는 25°C~31°C 범위이다.
- 바닥표면온도가 대략 28°C 일 때, 실온의 온열증성역 22°C¹¹⁾가 유지된다

본 연구에서 바닥온도 계산을 위해 사용한 방정식은 - 현대주택은 기밀성능이 우수하여 실내기류가 거의 없으므로 - 평균복사온도(MRT)와 실내기온은 같으며, 일사 및 축열의 영향은 없다는 전제를 한 것으로 본 연구의 결과를 일반적으로 적용하기 위해서는 광범위한 현장 실험을 통한 검증이 이루어져야 할 것이다.

주11) ASHRAE 는 작용온도(OT)로 20.2°C ~24.1°C 를 쾌적범위로 설정하고 있으며, 활동량 1.2 met, 착의량 0.9 clo 에서 기류 0.15 m/s 일때 가장 쾌적한 온도는 22.7°C 이다.

제 5 장 결 론

우리나라의 전통적인 좌식생활을 위한 온돌공간에서 쾌적한 온열감을 얻기 위해서는 실내기온과 바닥표면온도 두 요소가 동시에 최적의 수준으로 있어야 할 것이다. 한국인은 대체로 외국의 경우보다 더 높은 바닥온도를 선호하는 것으로 알려져 있다. 그러나, 최근 건축법규에 규정된 단열기준에 따라 시공된 열성능이 우수한 주거건축에서는 이 두가지 요소를 동시에 적용할 경우 열적 불균형을 이를 수 있다. 즉, 높은 바닥온도에 기준하여 난방하는 경우 실내기온은 과열될 염려가 있으며 이와같은 열적 불균형은 결국 불쾌감을 초래하게 된다. 최적온도는 현실에 무리없이 적용 가능한 경우에나 그 의미를 찾을 수 있으므로 실온과 바닥온도를 함께 고려하여 이때 가장 효과적으로 열쾌적을 얻는 적정바닥표면온도를 설정할 필요가 있다.

본 연구에서는 법규에 정한 단열성능 이상으로 건축되고 있는 현대 온돌주거에서 쾌적한 실내기온을 유지하는데 적정한 온돌의 바닥표면온도를 제시하기 위하여 모델을 이용한 실험을 하여 다음의 결과를 얻었다.

5-1 연구결과의 요약

1) 온돌의 쾌적범위는 실온과 바닥온도가 동시에 고려되어야 하며, 국내연구된 쾌적실온은 외국기준(ASHRAE: 20.2~24.1°C)과 거의 일치하고 있으나 바닥표면온도는 외국의 경우(ASHRAE, ISO : 29°C 이하)보다 높게 나타난다.

2) 본 연구에 이용한 온열환경실태조사 자료를 검토한 결과 최근 시공된 공동주택의 실온은 대부분 쾌적범위내에 있으며, 때에 따라 과열을 보이고 있는 것을 알 수 있었다.

3) 자료조사에 의한 기존 공동주택 거주자 실내착의량은 평균 약 0.5clo 정도이다. 이는 ASHRAE 나 ISO 에서 0.9clo를 겨울철 실내착의량의 기준으로 하고 있는 것에 비하여 매우 가벼운 복장상태로 높은 실온형성의 요인이 되며 앞으로, 국내의 폐적범위 설정시 동계 실내착의량을 고려할 필요가 있음을 확인하였다.

4) 온돌의 바닥표면온도 변화에 따라 나타나는 실내 온열환경 변화를 모델실험을 이용하여 측정한 후, 이를 근거로 바닥표면온도를 산정하는 방정식을 만들었다. 측정한 바닥표면온도와 방정식으로 구한 바닥표면온도를 비교해 본 결과 오차는 0.7°C 이내로 나타나 방정식에 의한 바닥온도 도출방법은 비교적 정확한 것을 알 수 있었다.

실내기온(22°C기준)에 대하여 계산한 결과 적정바닥표면온도는

- 서울의 겨울철 평균 최저기온 조건에서 PC구조는 29.7°C,
- 벽돌조적조(1.5B)는 31°C이며,
- 보통의 겨울철 평균기온에서 각각 27.3°C, 28.3°C로 나타났다.

5) 최근에 시공된 M-아파트, S-아파트의 온열환경실태 자료에서 바닥온도가 26~29°C일 때 실내기온은 22~24°C범위로 나타나고, 바닥온도 약 26°C에서 실내기온은 22°C~23°C로 유지되고 있는 것을 확인하였다.

6) 따라서, 단열기준을 준수하여 시공되는 현대의 온돌주거의 煙房期 폐적실온 유지를 위하여 적정바닥온도는 외기온에 따라 변화하며 겨울철 평균외기온에서 약 28°C를 유지함이 바람직하다.

5-2 연구의 한계와 앞으로의 연구과제

본 연구는 평균복사온도(MRT)와 실내기온은 같다($GT = MRT \approx T_a$)는 전제와 일사 및 건물의 축열에 따른 영향을 배제하고 계산한 것이므로 본 연구의 결과를 일반적으로 적용하기 위해서는 광범위한 현장 실험을 통한 검증이 이루어져야 할 것이다.

그리고 본 연구와 관련하여 다음과 같은 사항은 앞으로 계속 연구·발전돼야 할 것이다.

- 난방방식에 따른 효율성 : 실내온열환경은 고온수공급방식에 따라 차이가 있다. 일반적으로 간헐난방이 연속난방보다 온도변화폭이 크게 나타나고 있으며, 문헌에 의하면 거주자의 만족도에서도 간헐난방을 하는 경우가 불리한 것으로 알려져 있다. 또한, 개별난방을 하는 주거는 다른 난방방식에 비해 전반적으로 낮은 온도를 보이고 있으나 큰 불만족을 느끼지 않는데, 이는 재실자가 난방비 절약을 위해 쾌적온도의 하한선을 유지하는 때문으로 보인다.

따라서, 쾌적한 열환경 및 에너지절약을 위해서는 연속난방이나 개별난방방식을 선택하는 것이 유리하다고 보며 또한, 연속난방시 공급온수의 온도를 낮게해도 되므로 설비의 용량을 줄일 수 있는 것은 큰 장점이 될 것이다.

- 바닥재료 : 연속난방과 개별난방에서는 바닥의 축열성보다 열방출이 용이한 경량재료를 사용할 필요가 있으며, 현재 전기를 이용하는 온돌판넬을 사용하는 것도 한 방법이 될 것이다. 낮은 바닥온도를 유지하는 경우에는 카페트 등의 전도율이 낮은 바닥재를 사용함으로써 좌식생활시 바닥으로의 열손실로 인하여 발생할 수 있는 불쾌감을 줄일 수 있다.

- 생활방식 : 현재 우리나라의 생활방식은 좌식생활과 입식생활이 함께 이루어지고 있으며 입식생활의 비율은 점차 늘어가는 것으로 보인다. 따라서, 입식생활을 하는 경우에 쾌적감은 높은 바닥온도에 의한 부분보다는 실내온도에 따른 영향이 크므로 온돌의 정확한 방열량 산정 방법 및 복잡한 전열현상을 정확히 해석할 수 있는 기법의 개발 등을 통하여 온돌난방의 장점을 확대 발전시켜 적용할 필요가 있다고 생각된다.

위의 사항은 전반적으로 온돌의 쾌적바닥온도를 낮추는데 기여할 수 있는 방법이 된다. 반면에 높은 바닥표면온도를 선호하는 거주자를 위하여 윗목, 아랫목 개념을 도입한 부분난방의 적용과 방열면을 바닥에만 한정하지 않고 벽체, 천정 등 기타 필요한 부분에 설치하는 합리적인 방법의 개발이 있어야 할 것이다.

□ 참고문헌

1. 대한건축학회, “온돌세미나발표집”, 1991.5.
2. 대한주택공사, “실내온열환경조사연구”, 1990.12.
3. 한국종합에너지연구소, “단열총람 KE-8001”, 1980.8.
4. 이언구·김광우역, “건축환경과학”, 태림문화사, 1987.
5. 이경희, “건축환경계획”, 문운당, 1988.
6. 박방열, “주거건축의 온열환경계획에 관한 연구”, 동국대학교 대학원 박사논문, 1990.
7. 송정복, “주거건축의 온열환경평가와 폐적범위에 관한 연구”, 한양대학교 대학원 박사논문, 1988.
8. 윤용진, “복사난방공간의 폐적온도 범위설정에 관한 연구”, 한양대학교 대학원 석사논문, 1985.
9. 대한건축학회, “에너지절약형 건축설계 핸드북 -주택편-”, 1990.
10. 최영택, “구들”, 고려서적주식회사, 1989.
11. 공성훈, 박상동외, “온돌난방 공간에서 온열 중성점 온도 도출에 관한 연구”, 건축학회발표논문집, 1990.10.
12. 윤정숙, 최숙현, “온돌난방주택의 온열환경에 관한 실험연구”, 건축학회논문집, 1990.4.
13. 송장복, 전경배, 손장열, “주거건축의 온열환경 평가와 폐적 범위에 관한 연구”, 건축학회논문집, 1988.12.
14. 공성훈, 손장열, “온수온돌 난방공간에서 착석시 한국인의 온열적 폐적범위에 관한 연구”, 건축학회발표논문집, 1988.12.
15. 한윤호, 이중우, “열환경의 폐적범위에 관한 연구”, 건축학회 논문집, 1988.8.
16. 한윤호, 이중우, “저온 바닥면 복사난방의 열환경지표에 관한

- 연구”, 건축학회논문집, 1988. 6.
17. 손장열, 전경배, 송장복, ”바닥복사난방의 온열환경 평가와
쾌적 범위에 관한 연구(I)”, 건축학회논문집, 1988. 6.
18. 공성훈, 손장열, 이옥경, ”공동주택의 온열환경요소분포와 인
체의 자세별 온열쾌적조건에 관한 연구”, 건축학회논문집,
1988. 6.
19. 이옥경, 손장열, 공성훈, ”공동주택에 있어서 실내온열환경
조건의 실측연구”, 건축학회발표논문집, 1987. 10.
20. 신용태, 손장열, 박재영, 안병욱, ”온수온돌난방 시스템의 열
적 특성에 관한 실측연구”, 건축학회발표논문집, 1987. 4.
21. 이건영, ”온돌방의 실내기후 수직분포에 관한 연구”, 건축학
회발표논문집”, 1985. 9.
22. 홍성희, 박상동, ”모의주거공간에서의 실내기후환경 분석”,
건축학회발표논문집, 1985. 9.
23. 국찬, 김선우, 이수곤, ”주택의 열환경에 관한 실험적 연구”,
건축학회발표논문집, 1986. 10.
24. 백용규, 허정호외, “전통민가의 온열환경에 관한 실측 연구 -
계절별 결과를 중심으로 -”, 건축학회발표논문집, 1986. 10.
25. 백용규, 허정호, 손장열, “전통민가의 온열환경에 관한 측정
연구 - 현대주택과의 비교를 통한 겨울철 실내 수직온도 분포
에 관하여 -”, 건축학회발표논문집, 1986. 4.
26. 공성훈, 박상동, 손장열, ”주택의 온열환경에 관한 연구”,
건축학회발표논문집, 1984. 4.
27. 손장열, 백용규외, ”새로운 온열환경지표(HOTV)에 의한 쾌적
범위 산정에 관한 연구”, 건축학회발표논문집, 1989. 4.
28. 윤용진, 박상동, 손장열, ”복사난방시 불균등 복사장이 온열
감에 미치는 영향에 관한 연구”, 건축학회발표논문집, 1984. 10.

29. 유현형, 민창현, 박상동, "아파트의 부분난방적용에 관한 연구", 건축학회발표논문집, 1985. 9.
30. 정홍영, 한윤호, "집합주택의 단열에 관한 연구", 건축학회발표논문집, 1985. 9.
31. 윤동원, 손장열, 박병윤, "건물의 자연실온예측에 관한 연구", 건축학회발표논문집, 1990. 10.
32. 한충천, 이중우, "저온 바닥면 복사난방의 열환경지표에 관한 연구", 건축학회논문집, 88. 6.
33. 이성, "온돌의 온도와 열전달", 건축학회논문집, 1985. 12.
34. "월간설비기술", 1991. 3. 통권 19호
35. ASHRAE "ASHRAE HANDBOOK, 1985 FUNDAMENTALS", 1985.
36. ASHRAE "ASHRAE HANDBOOK, 1989 FUNDAMENTALS", 1989.
37. Stein, Reynolds, McGuinness, "Mechanical and Electrical Equipment for Buildings", Vol 1, 7th ed, Wiley.
38. P. O. Fanger, "Thermal Comfort", Danish Technical Press Copenhagen, 1970.
39. Esmond Reid, "Understanding Buildings", The MIT Press, 1984.
40. Watson/Labs, "Climatic Design", McGRAW-HILL, 1983.

41. Victor Olgyay, "Design with Climate", 4th ed, Princeton Univ. Press, 1973.
42. 田中俊六, 武田 仁, 足立哲夫, 土屋義雄, "最新建築環境工學", 文清水, 1987.

ABSTRACT

AN EXPREMENAL STUDY ON THE OPTIMUM TEMPERATURE OF FLOOR SURFACE FOR THE COMFORT OF ONDOL HEATING SYSTEM

Rhee, Dong-Ju
Dept. of Architectural Eng.
The Graduate School of
Chung-Ang University
advised by Prof. Rhee, Eon-Ku

The Ondol is a traditional heating system which is useful for the Korean traditional houses with poor insulation and much draft by compensating excessive heat-loss with high floor temperature.

Nowadays, the thermal performance of houses is much improved by such energy-conscious design techniques as insulation, airtight windows and doors and simple building shape, etc.

According to surveys on the Ondol, the indoor air temperature for comfort in modern houses is similar to that of the ASHRAE Standard(20.2 to 24.1°C), but the temperature of floor surface for comfort appears higher than that of foreign standards (below 29°C), which creates uncomfortable thermal environment.

This study aims to present the optimum surface floor temperature of Ondol system in modern houses through model experiment and simulation. The experiment was conducted in two test models to investigate the variation of indoor environment by changing the surface temperatures of Ondol floor. The responses of subjects during the experiment were also examined.

On the basis of the experiment the simulation equation, which can calculate the Ondol surface temperature on a given indoor

temperature condition, was established. Then, the optimum temperature of the Ondol surface for comfort was calculated by the equation for the winter weather condition of Seoul.

The results of this study can be summarized as follows:

- 1) Both indoor air temperature and floor surface temperature should be considered in the studies on the thermal comfort in Ondol system.
- 2) The result of simulation suggests that the optimum surface temperature of Ondol floor be about 26°C~31°C in order to maintain the indoor air temperature 20~24°C in residential buildings abide by the insulation regulation in Seoul. And the reasonable temperature of Ondol floor is 28°C to meet the ideal indoor temperature of 22~23°C.
- 3) The comfortable clothing insulation value in winter suggested by ASHRAE and ISO is 0.9clo. Considering the low residents' clo in winter of 0.5clo in newly-built apartment buildings, the clo values should be re-evaluated and reflected in the studies on thermal comfort.
- 4) The study suggests that the optimum temperature of Ondol floor be about 28°C in order to maintain the 22~23°C indoor air temperature.

감사의 글

또 하나의 시작에 앞서 이와 같은 조그마한 결실을 맺을 수 있도록 도와주신 분들께 고마운 마음을 감사의 글로써 대신하고자 합니다.

본 논문을 처음 시작할 때부터 끝맺음을 할 때까지, 어려움에 봉착할 때마다 세심한 지도와 수차에 걸쳐 학문의 폭을 넓힐 수 있는 값진 계기를 마련해 주신 이언구교수님과 학문적으로 많은 가르침을 베풀어 주신 이명호교수님, 이현호교수님께 깊은 감사를 드리며, 저의 논문을 철저히 검토해 주시고 많은 조언을 해주신 손세관교수님, 이희봉교수님께도 진심으로 감사드립니다.

그리고 4년간의 학부생활에서 학문과 인격수양의 바탕을 마련해 주신 충북대의 김홍곤교수님, 이강훈교수님, 이준표교수님께도 이 기회를 빌어 감사드립니다.

부푼 꿈을 안고 환경연구실에서 건축을 공부하는 동안 사랑의 충고와 격려를 해주셨던 전봉구, 송국섭, 황정하 선배님과, 많은 시간을 함께 생활하며 기쁨과 어려움을 나누던 안태경, 박진철, 권영철, 전성원, 김종연 선·후배에게도 고마움을 전합니다.

아울러 바쁜 가운데에도 저의 실험을 도와주었던 친구들에게도 감사의 뜻을 표하며, 그 동안 어려운 때마다 많은 도움과 격려로써 편안하게 대해준 분명 이모에게도 항상 고맙게 생각하고 있습니다.

끝으로 오늘의 결실이 있기까지 항상 따뜻한 사랑과 격려로써 저를 뵈 주신 부모님께 무한한 감사를 드리며 이 논문을 드립니다.

1992. 8

이동주