

Thermal Comfort Condition of Temperature and Humidity in Loess Interior Space

Sung Hoon Kong[†]

Department of Architectural Design, Keimyung University, 1000, Sindangdong, 704-701 Taegu, Korea

The study was carried out through measuring the temperature and humidity of the indoor/outdoor space and the distribution of interior thermal condition, and investigating the effect of loess materials on human body. The purpose of this study is to analyze the change of dry bulb temperature and relative humidity and correlation of thermal reaction of human body with ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning) comfort chart in the loess interior space. In the view point of biomedical sciences, loess interior space provides optimum thermal conditions for human thermal sensation.

Key Words: Thermal comfort, Human sensation, Loess, Temperature, Humidity

서 론

일반적으로 쾌적한 실내 열환경의 기준은 인체의 생리적인 온열감이 만족되어지는 상태, 즉 인체가 장시간 임의의 환경 조건에 노출되어도 출지도 덥지도 않은 중간 상태를 말한다. 그리고 인체의 쾌적함에 영향을 미치는 요소는 인체 측과 물리적인 환경측면이 있다. 인체측의 요소로는 의복의 상태와 인체의 대사량 (Metabolism) 등이 있고, 환경측면에는 온도, 습도, 바람의 세기, 주위의 복사온도 등이 있다. 인체 쾌적 조건은 실내의 용도나 사람의 활동상태, 지역 등에 따라 일정하지는 않지만 온열감에 가장 많은 영향을 미치는 요소는 온도와 습도이다. 또한 실내외와의 온습도의 격차가 너무 크면, 출입시에 재실자는 스트레스를 받게 되고, 이러한 현상은 노약자일수록 민감하다. 요즘에는 실내에 거주하는 시간이 증가하고 소득이 향상됨에 따라 실내 공간의 건강화에 대한 관심이 증가되고 있으며, 이러한 추세에 따라 각종 황토의 제품이 범람하고, 황토로 지어지는 주택이나 별장 등에 많은 관심이 주어지고 있다. 본 연구에서는 황토 마감재에 따른 인체의 쾌적 조건을 의생명과학적으로 검증하는데 필요한 기초 자료를 제공하고자, 황토에 대한 기존의 자료와 황토로 지어진 건물의 실내 공간을 대상으로 하여 실내 온습도 조건을 측정하고, 그 결과를 기존의 타 연구결과와 비교 평가하고자 한다.

*논문 접수: 2004년 5월 20일

수정재접수: 2004년 6월 14일

[†]별책 요청 저자: 공성훈, (우) 704-701 대구광역시 달서구 신당동 1000번지, 계명대학교 건축공학부

Tel: 053-580-5342, e-mail: ksh@kmu.ac.kr

재료 및 방법

1. 황토 재료

실험에 사용된 황토 재료와 관련된 여러 가지 특성은 다음과 같다. 지표면에 약 10%를 덮고 있는 황토에는 한 스푼에 약 2억 마리의 미생물이 서식하며 다양한 효소들이 있어 순환작용을 일으키고, 원적외선이 방출되어 광전작용을 한다.

1) 황토의 효소성분

- 카탈라아제 (Catalase) - 과산화수소의 독소 제거
- 옥시다아제 (Oxidase) - 토양산화력의 지양
- 프로테아제 (Protease) - 단백질을 아미노산으로 가수분해

2) 황토의 물리적 특성

- 황토에는 탄산칼슘이 다량 함유되어 내구성이 강하다
- 가소성이 높은 반면 치밀성과 열용량이 크다
- 수분에는 약하며 침투성이 적다

2. 황토의 열적 특성

1) 단열성

황토의 열전도율은 0.72 kchl/h·m·°C로서 시멘트의 1.2 kchl/h·m·°C보다 열차단 효과가 0.48 kchl/h·m·°C 높은 것으로 나타나므로 40% 단열효과가 있다.

2) 축열성

Table 1은 황토와 시멘트의 특성을 나타낸 것으로서 축열성은 황토가 0.223 kchl/kg·°C로써 시멘트의 0.165 kchl/kg·°C보다 황토의 축열 성능이 더 높은 것을 알 수 있다.

3. 황토방 공간의 환경 조성

황토바닥의 시공 및 황토 벽돌의 조적은 포항에 소재하는 고등학교의 기숙사에 실제로 적용 시공되었다. 황토바닥의 구조는 하부는 온수온돌파이프 구조이며, 상부는 해초와 수축저감제를 혼합한 황토 모르타르로 시공되었다. 황토 모르타르의 두께는 약 5 cm 전후이며, 황토 벽돌은 시멘트 모르타르를 사용하지 않고 황토 벽돌끼리 수분에 의한 접착에

의해서만 구성되었다. 이러한 시공과정에서 문틀과의 조합 및 전기콘센트 벽걸이형 에어컨, 황토 벽돌과의 접합에서는 하중 분포 및 시공의 마감성 등에 대해 많은 어려움이 있었다. Fig. 1~Fig. 3은 황토 시공의 예와 시공된 건물의 외관이다.

4. 황토방 성능의 측정방법

실험은 시멘트와 황토로 조성된 내부의 온습도 및 수분 증발량 측정으로 이루어졌으며 예비실험을 포함하여 약 1주

Table 1. Comparison between Loess and Cement

성분 구분	습기 조절효과	균열성 (열팽창율)	원적외선 방사율	표면온도의 균질성 (열전도율)	축열성 (비열)	중량
황 토	건조시-방출 습윤시-흡수	2.5×10^{-6} (1/°C)	85~95 (%)	0.72 (kcal/h·m·°C)	0.223 (kcal/kg·°C)	1.7 (t/m ³)
시멘트	습기조절 불가능	1.0×10^{-5} (1/°C)	70 (%)	1.2 (kcal/h·m·°C)	0.165 (kcal/kg·°C)	2.3 (t/m ³)



Fig. 1. The example of loess floor construction.



Fig. 3. An exterior of the building mortared with cement and loess.

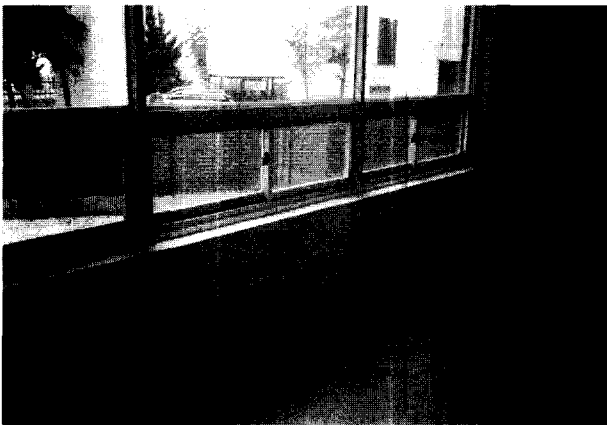


Fig. 2. Indoor feature of a cement mortared floor.

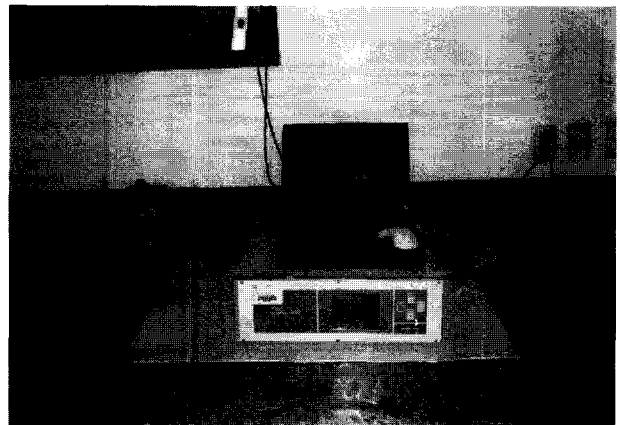


Fig. 4. Measuring equipments.

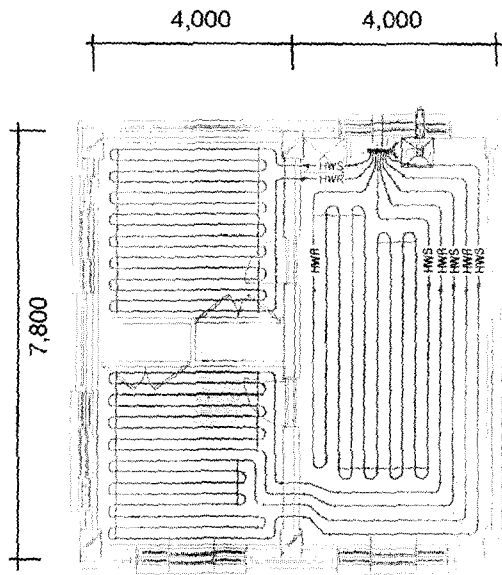


Fig. 5. A plan of a loess room.

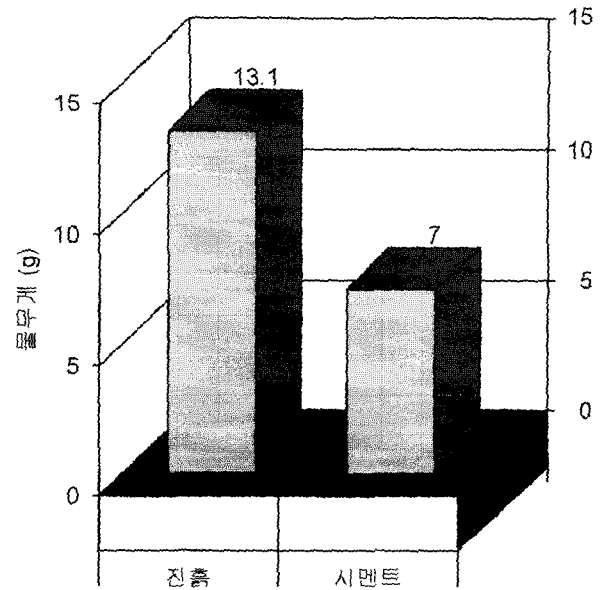


Fig. 6. Weight of evaporated water.

일간 동절기에 시행되었으며, 측정에 사용된 계측기는 Multi-channel Anemomaster (Model: Kanomax S6242)와 Infra-red camera이다. 측정 간격은 1시간이며, 운습도 측정 기간은 2004년 1월 28일~2004년 2월 1일 (4박 5일)에 걸쳐 이루어졌다. Fig. 4는 측정에 사용된 계측기이며, Fig. 5는 황토방 하부의 배관도이다.

결 과

1. 흡수성

측정 기간 중의 상대습도 분포는 외기의 경우 69~86.4% (평균 74.1%), 황토구조체 81.2~88% (평균 86.8%), 시멘트구조체 80.2~94.9% (평균 92.2%)로 시멘트구조체 내부 공간의 상대습도가 진흙구조체 내부 공간의 상대습도에 비해 평균 5.4% 더 높게 나타났고, 황토구조체 내부 공간의 물 증발량이 시멘트구조체 내부 공간의 물 증발량보다 1.87배 더 증발한 것으로 나타났다 (Fig. 6). 실험결과 황토구조체는 외부와의 공기유통경로가 시멘트구조체보다 유리하게 이루어지고 있다¹¹⁾.

2. 온도 변화

Fig. 7은 온도 변화의 경향을 나타낸 것이다. 시멘트물탈마감바닥의 온도 변화폭은 24.9~42.2°C (평균 35.8°C)이다. 그리고 황토마감의 바닥온도 변화폭은 23.1~28.9°C (평균 26.1°C)이다. 이때 외기온의 교차범위는 0~18.8°C (평균 7.3°C)이다.

물탈마감 바닥의 온도교차는 17.3°C이고, 황토마감 온도교

차는 5.8°C로 나타났다. 이것으로 보아 황토마감의 온도교차폭이 물탈마감에 비해 11.5°C 낮은 것으로 나타났고 이렇게 작은 온도교차는 인체에 보다 쾌적한 환경을 제공할 수 있는 것으로 사료된다. 그리고 이것의 원인은 황토방바닥 구조의 축열 시간이 시멘트물탈마감보다 상대적으로 장시간이 소요되기 때문인 것으로 생각된다.

방바닥에서 80 cm (사람이 앉았을 때 안면 부위) 윗지점의 온도 변화폭은 22.3~26.1°C (평균 23.4°C)이고, 황토방바닥 온도 23.1~28.9°C (평균 26.1°C) 보다 0.8~2.8°C (평균 2.7°C) 전반적으로 낮게 나타났다. 온도 변화의 추이는 황토방바닥 온도와 바닥에서 80 cm 윗 지점의 온도는 서로 유사한 경향을 나타내고 있다.

3. 상대습도 변화

Fig. 8은 외기와 황토방 실내의 상대습도 변화를 나타낸 것이다. 외기의 상대습도 변화폭은 13.8~62.3% (평균 42.2%)이고, 실내 황토마감의 변화폭은 28.4~42.8% (평균 37.7%)이다. 이때 황토마감의 변화폭은 14.4%로써 외기 상대습도 교차폭 48.5% 보다 34.1% 작음으로써 외기의 변화폭이 큰 습도를 건물의 외피구조 및 황토자체의 습도조절 특성 등으로 인해 인체의 쾌적 조건에 근접한 것을 알 수 있다.

고 찰

1. 황토의 효능

황토의 가장 근본적인 효능은 황토에서 파장되는 원적외

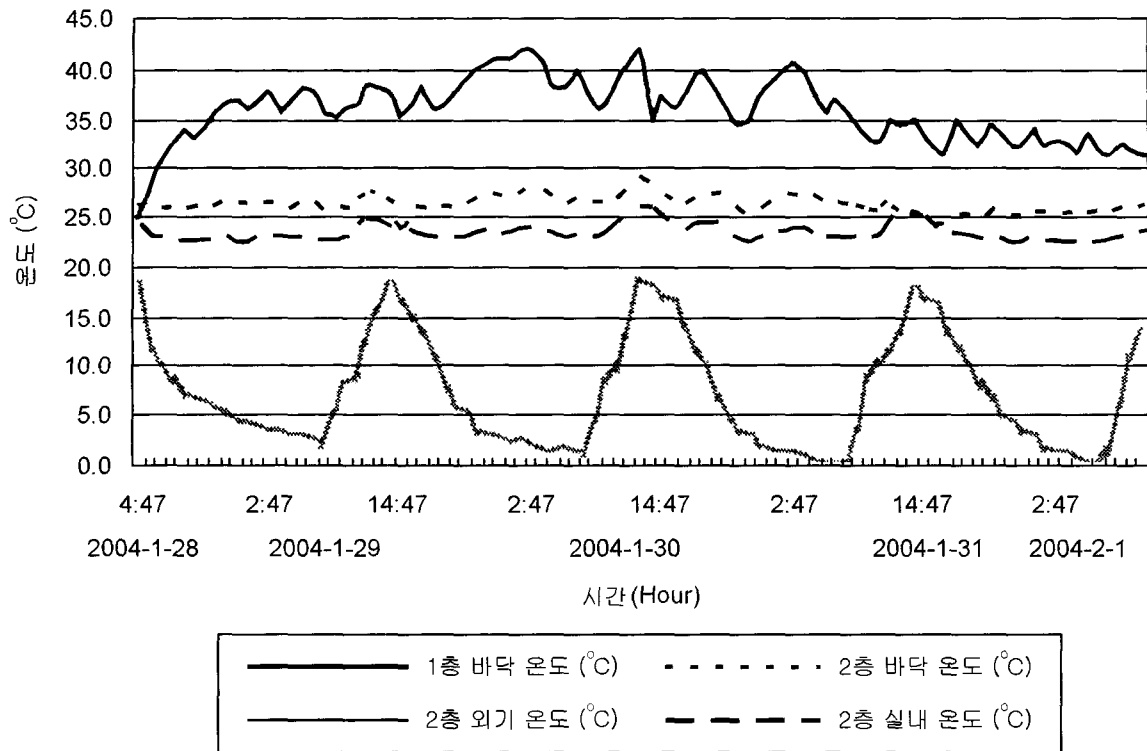


Fig. 7. Variation of temperature.

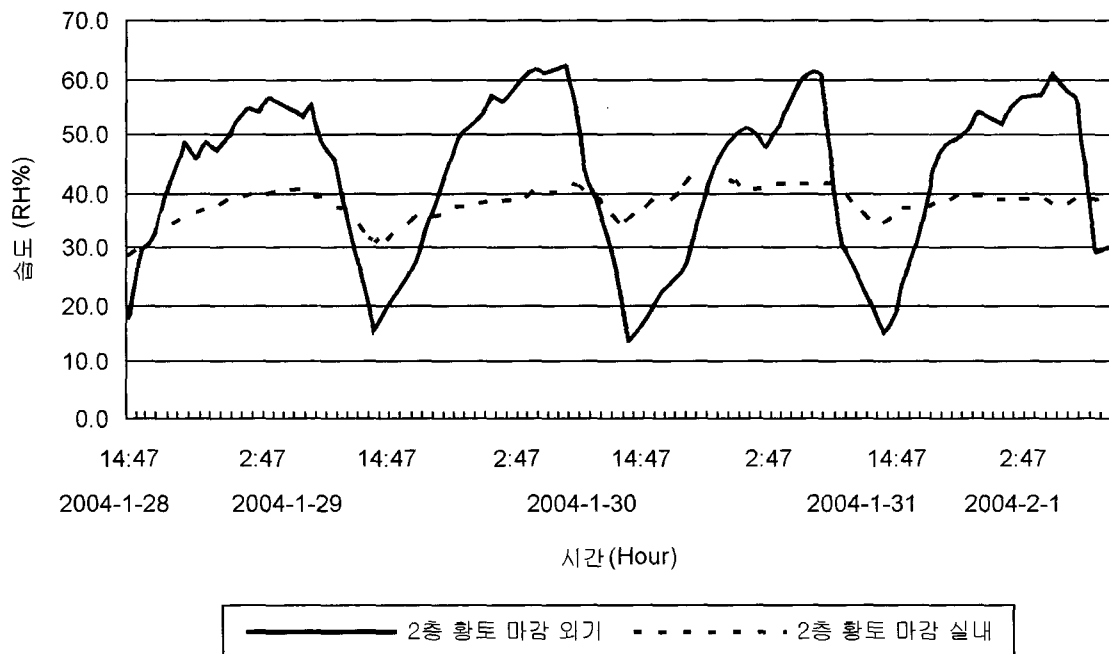


Fig. 8. Variation of relative humidity.

선이다. 태양광선 중 6~14 micron의 원적외선은 우리 인체의 10 micron의 파장대가 세포의 공명, 공진으로 생리작용을

활발히 하고 열에너지를 발생시켜 우리 인체 속의 노폐 물질을 방출하는 효과가 있다. 그리고 황토에서 나오는 원적외선

에 대해 살펴보면, 황토는 태양광선 중의 일부분이며 그 광선의 길이에 따라 기능과 특성을 갖는 전자파라고 하는 파장으로 성립되어 있다.

- 방사선 - 베타선, 감마선, X선.
- 자외선 - 화학효과, 표백, 선풍 등의 효과
- 가시광선 - 보라, 남색, 파랑, 초록, 노랑, 주황, 빨강색의 무지개 7색
- 적외선 - 0.76~1,000 micron
- 근적외선 - 0.76~1.5 micron
- 중적외선 - 1.5~5.6 micron

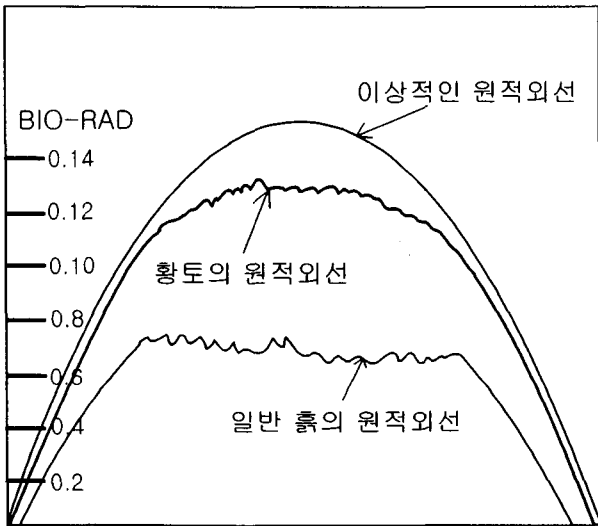


Fig. 9. Energy of far infrared ray in loess interior space.

- 원적외선 - 5.6~400 micron
- 초원적외선 - 400~1,000 micron

원적외선은 열을 복사하는 특성을 가지고 있다. 모든 동식물은 기본적으로 가지고 있는 칼로리, 즉 열이 있으며, 태양으로부터 빛을 받아 그 빛 중의 원적외선을 흡수하여 열을 복사하므로 원적외선은 체온 유지 또는 세포의 생성, 분열을 촉진하는 광선이다.

특히 Fig. 9와 Fig. 10에서 IR camera에 나타난 바와 같이 황토의 원적외선은 이상적인 원적외선 파형에 근접하여 공명, 공진운동을 통해 인체의 표면온도 분포를 적절히 하고 혈액을 원활히 촉진시키는 특성이 있다.

이외의 황토 효능은 다음과 같다.

- 온열작용 - 황토가 방출하는 복사열로 인하여 인체의 적정 체온을 유지한다
- 숙성작용 - 황토가 보유한 영양분을 통하여 숙성성장 효과가 있다
- 자정작용 - 이온작용으로 체내 칼슘과 철분 영양의 균형을 맞춘다
- 건습작용 - 황토가 보유한 수분으로 인하여 실내 적정 수분을 유지한다
- 중화작용 - 황토가 방출하는 원적외선이 체내 노폐물을 배출, 냄새를 중화한다
- 공명작용 - 원적외선을 통하여 체내의 분자와 원자를 공명, 공진한다
- 해독작용 - 인체 내의 독소를 제거하고 독충을 방지한다

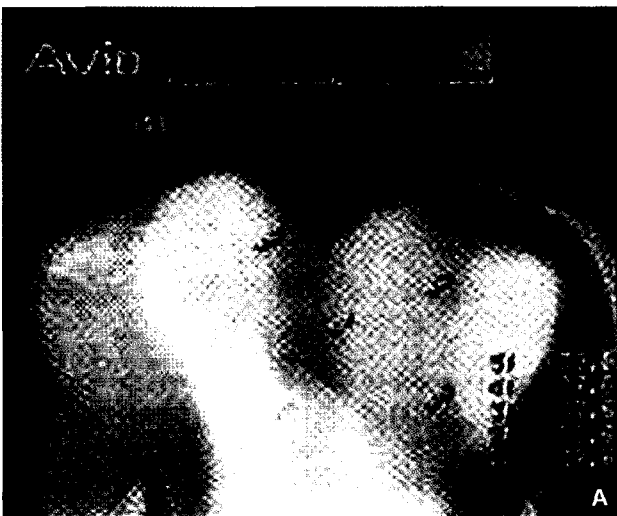


Fig. 10. Simulation of far infrared ray in human body. A: Loess interior space B: Concrete interior space.

● 황토마감 쾌적조건
 ▨ ASHRAE COMFORT STANDARD

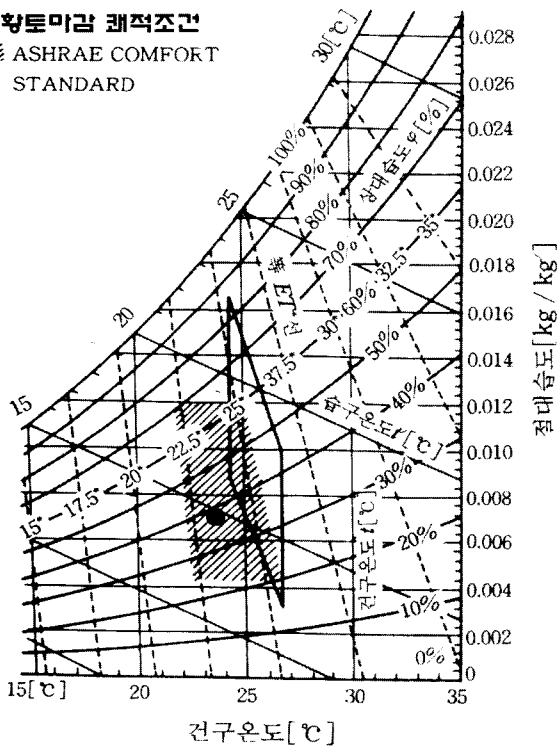


Fig. 11. Comparison between this research with other research.

2. 인체의 쾌적 조건 평가

쾌적 온도 조건에 대한 연구는 지난 반세기 동안 수많은 보고와 제안이 있었으나^{2,3,9)}, 여기에서는 쾌적 온습도 조건에 초점을 맞추어 그 흐름을 개관해 보았다. 쾌적 온습도 조건의 연구는 크게 나누어 두 가지로서 오피스, 공장 등의 현장조사에 의하는 것과, 인공기후실 등에서 실험실 실험에 의한 것 등이 있다. 본 논문에서 비교하는 쾌적 조건은 실험 결과의 변수가 적은 실험실 연구결과로 하였다. 실험실 연구결과 중, 코넬 대학의 Hardy와 Dubois의 초창기 연구는 호흡열량계 (Respiration Calorimeter)를 이용한 것으로^{17,8)}, 22°C에서 35°C까지의 실온에서 남녀 피실험자의 열지수를 측정하였다. 그리고 1937년 미국 Pierce 연구소에서 Winslow, Ger-rington, Gagge 등은⁴⁾ 분별열량계 (Partitional Calorimeter)를 이용하여 연구했고, 인체의 열평형대에서 증발을 제외한 복사과 대류의 합인 건열에 관한 지표로서 작용온도 (Operative Temperature: OT)를 제안하였다. 이 연구결과에 의해, 쾌적한 조건 아래에서는 나체 또는 착의 상태에서 평균 피부온이 33°C 부근이고, 열교환이 최소가 되며, 발한에 의한 열방산이 일어나지 않는 상태라는 것이 규명되어졌다^{6,12)}.

이외에 미국의 Houghton과 Yaglou가 ASHVE (American Society of Heating and Ventilation Engineers; 현재 ASHRAE)의 관련 연구를 기초로 유효온도 (Effective Temperature; ET)

도표를 제안하였고^{10,13)}, 이 유효온도에 대한 개념은 최근까지 사용되어져 왔다 그러나 여기에는 몇 가지의 문제점이 있는데, 첫째 문제점은 기온, 습도, 기류의 조합이 다른 2실간을 이동시켜 얻은 피실험자의 감각은 어디까지나 과도적인 것이어서 그 적용이 한정되어 질 수 밖에 없다는 것이다. 둘째 문제점은 습도의 영향이 저온에서는 과대로, 고온에서는 과소로 평가되고 있는 점이다. 유효온도의 이러한 문제 때문에 미국 Pierce 연구소의 Gagge, Stolwijk, Nishi 등이⁵⁾ 새로운 개념으로 제안한 것이 바로 신유효온도 (ET*)이다. 유효온도는 피실험자의 응답에 의한 경험적인 정신적-물리적 척도 (Psychophysical Scale)인데 반하여, 신유효온도는 인체의 생리적인 열조절 반응을 기초로 하여 만든 생리적 척도이다. ET와 ET*의 가장 큰 차이는 전자가 습도 100%의 건구온도를 기점으로 "등ET선"이 얻어진 데 대하여, 후자는 습도 50%를 기점으로 하고 있는 것이다. 이를 기초로 ASHRAE에서는 ET*에 의한 새로운 쾌적선도 (New ASHRAE Comfort Chart)를 제안했는데 3시간 안정시의 쾌적 범위는 ET* 24~26°C 정도인 것을 밝혀냈다.

본 연구는 New ASHRAE Comfort Chart가 인체의 쾌적감과 가장 밀접한 상관성을 가지고 있는 것으로 판단하여, 신유효온도 선도에 의해 황토방 환경 측정결과를 생물학적 관점에서 비교 평가한 것이다. 즉, Fig. 11은 ASHRAE에서 제시한 쾌적 조건을 요약하여 나타낸 것이다. 황토마감의 실내 평균 온습도 (건구온도 23.4°C, 상대습도 37.7%) 조건과 외기의 평균 온습도 조건 (건구온도 7.3°C, 상대습도 42.2%)을 표시하면 황토마감의 실내온습도 조건은 Comfort Chart의 쾌적 조건에 전반적으로 해당되나, 이때 외기온습도 조건은 Comfort Chart의 쾌적 조건에 해당되지 않는 것을 알 수 있다 (단 이때의 실내기류 조건은 0.01 m/s이며, 의복상태는 0.8~1.0 Clo 치, 대사량 1.0 met 정도임).

그리고 ISO 방바닥 설계 기준 온도와 비교해 보면 ISO 기준의 방바닥 쾌적 설계 상한 온도는 29°C인데, 시멘트 모르타르로 시공된 방바닥 온도는 24.9~42.2°C (평균 35.8°C)로서 상당히 고온의 상태로 제어되는 것을 알 수 있다. 반면에 황토 마감 바닥은 23.1~28.9°C (평균 26.1°C)로서 ISO의 방바닥 쾌적 실내 기준온도 조건에 비교적 적합한 것으로 나타났다.

상기의 결과를 종합적으로 분석하여 볼 때, 황토방은 의생명과학적으로 인체의 건강을 위한 쾌적 환경 조성에 대단히 긍정적인 구조라 결론지을 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) Dubois EF, Ebaugh FG Jr. and Hardy JD (1952): Basal heat production and elimination of thirteen normal women at

- temperatures from 22°C to 35°C. *J Nutr*, **48**: 257-293.
- 2) Fanger PO (1973): Assessment of man's thermal comfort in practice. *Br J Industr Med*, **30**: 313-324.
 - 3) Gagge AP (1969): Man, his environment, his comfort Heat. *Pip Air-Cond*, **41**: 209-224.
 - 4) Gagge AP, Herrington, LP and Winslow C-EA (1937): Thermal interchanges between the human body and its atmospheric environment. *American Journal of Hygiene*, **26**.
 - 5) Gagge AP, Stolwijk JAJ and Nishi Y (1971): An effective Temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. *ASHRAE Transactions*, **Vol. 77**: 246.
 - 6) Gagge AP, Winslow C-EA and Herrington LP (1938): The influence of clothing on the physiology reactions of the human body to varying environmental temperature. *Am J Physiol*, **124**: 30-50.
 - 7) Hardy JD and Dubois EF (1940): Difference between men and women in their response to heat and cold. *Proc Nat Acad Sci*, **26**: 389-398.
 - 8) Hardy JD, Milhorat AT and Dubois EF (1952): Basal metabolism and heat loss off young women at temperatures from 22°C to 35°C. *J Nutr*, **21**: 282-404.
 - 9) Newburgh LE (1949): *Physiology of Heart Regulation and Science of Clothing*, Saunders Co, Philadelphia.
 - 10) Winslow C-EA and Herrington LP (1949): *Temperature and Human Life* Univ. Press, Princeton.
 - 11) SH Kong (1999): A study on indoor environmental elements of the granite model dome in different envelope materials during summer season. *Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering*, **11(16)**: 898-902
 - 12) Winslow C-EA, Herrington LP and Gagge AP (1937): Physiological reactions of the human body to varying environmental temperatures. *Am J Physiol*, **120**: 1-22.
 - 13) Yaglou CP (1949): *Physiology of Heart Regulation and Science of Clothing*. saunders Co., Philadelphia ed. Newburgh, LE: 277-287.