

공학석사 학위논문

실측을 통한 흙벽돌 주택의
온열환경 평가에 관한 연구

지도교수 임 영 빈

이 논문을 출함



부경대학교 산업대학원

건축공학과

김 종 배

이 논문을 김종배의 공학석사 학위논문으로 인준함

2003년 6 월

주 심 조 홍 정



위 원 이 수 용



위 원 임 영 빈



목 차

1. 서론	1
1. 1. 연구의 배경 및 목적	1
1. 2. 연구의 방법 및 범위	3
1. 2. 1. 연구의 방법	3
1. 2. 2. 연구의 범위	4
2. 이론적 고찰	5
2. 1. 흠 건축	5
2. 1. 1. 흠 건축의 정의	5
2. 2. 흠의 일반적 고찰	8
2. 2. 1. 흠의 종류 및 성질	8
2. 2. 2. 흠의 물리적 특성	10
2. 2. 3. 흠의 열적 특성	11
2. 3. 흠벽돌의 열적특성 및 투습성	12
2. 3. 1. 열적 특성	12
2. 3. 2. 투습성	15
2. 4. 실내 온열 환경의 이론적 고찰	17
2. 4. 1. 건구 온도	17
2. 4. 2. 습도	17
2. 4. 3. 기류	18
2. 4. 4. 복사 온도	19
2. 4. 5. 표준유효온도	19
2. 4. 6. 수직 온도차	20

3. 실측대상 흙벽돌 주택의 현황 및 온열환경 측정	22
3. 1. 실측대상의 대지위치 및 배치현황	22
3. 2. 건축물 현황	24
3. 3. 측정개요와 측정요소 및 측정위치	27
4. 측정 결과 및 분석	30
4. 1. 온도분포	30
4. 1. 1. 거실	30
4. 1. 2. 안방	35
4. 1. 3. 2층 방	38
4. 2. 거실의 상대습도	43
4. 3. 거실의 기류	45
4. 4. 복사온도	46
4. 5 대상 건축물의 온열쾌적역	47
5. 결론	49
참고문헌	50
Abstract	52

표 차 례

표 1. 점토의 함유량에 따른 흙의 성질	10
표 2. 질의 함유량에 따른 흙의 열적특성	11
표 3. 각종 재료의 비중과 열전도율	12
표 4. 주요 외벽재료의 열관류율	13
표 5. 주요 재료의 밀도와 비열 및 용적비열	14
표 6. 흙의 투습계수표	16
표 7. 대상 건축물의 건축개요	24
표 8. 대상 흙 건축물의 온열환경 측정개요	28
표 9. 거실의 6시간 간격의 평균온도[150cm와 10cm 지점]	31
표 10. 안방의 6시간 간격의 평균온도[150cm와 10cm 지점]	36
표 11. 2층 방의 6시간 간격의 평균온도[150cm와 10cm 지점]	40
표 12. 각 시간대별 평균 실내상대습도	44
표 13. 각 시간대별 평균 실내기류속도	46
표 14. 각 시간대별 평균 글로브온도와 습구온도	47

그 립 차 례

그림 1. 생태건축의 3R 개념	2
그림 2. 연구의 흐름도	4
그림 3. 대상 건축물에서 채택한 친환경적 요소	6
그림 4. 흙 건축물의 생태건축적의미	7
그림 5. 삼각좌표에 의한 흙의 분류	9
그림 6. 흙의 최적함수율	16
그림 7. 콘크리트의 투습계수	16
그림 8. 표준유효온도 쾌적범위	20
그림 9. 수직온도차에 따른 불만족율	21
그림 10. 마을의 배치도 및 측정대상건물	23
그림 11. 대상 흙벽돌 건축물의 전경	24
그림 12. 대상 건축물 단면도	25
그림 13. 벽체 상세도	26
그림 14. 대상주택의 1층 평면도	26
그림 15. 대상주택의 2층 평면도	27
그림 16. 측정계통도	28
그림 17. 실내 온열 종합 측정기	29
그림 18. 데이터 로그	29
그림 19. 각 측정 점에서의 측정높이 및 측정요소	29
그림 20. 거실의 수직 높이별에 따른 실시간 온도 분포	31
그림 21. 거실의 수직온도차에 따른 불만족율	33
그림 22. 거실의 바닥위 10cm 지점과 220cm 지점의 수직온도 분포	34
그림 23. 안방의 수직 높이별에 따른 실시간 온도 분포	35
그림 24. 안방의 수직온도차에 따른 불만족율	37

그림 25. 안방의 바닥위 10cm 지점과 220cm 지점의 수직온도 분포	38
그림 26. 2층 방의 수직 높이별에 따른 실시간 온도 분포	39
그림 27. 2층 방의 수직온도차에 따른 불만족율	41
그림 28. 2층 방의 바닥위 10cm 지점과 220cm 지점의 수직온도 분포	42
그림 29. 거실의 상대습도 분포	43
그림 30. 거실의 기류속도 분포	45
그림 31. 거실의 글로브온도 및 습구온도의 분포	46
그림 32. 표준유효온도 척도와 거실의 실험 유효온도	48

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리 인류는 산업혁명 이후 산업의 급팽창을 주도해 온 결과로 오늘날 지구환경보존의 문제 즉 지구온난화, 이산화탄소의 증가, 남극지방의 오존층의 파괴 등의 문제로부터 큰 도전을 받게 되었다. 더욱이 건축분야를 들여다보면 대부분의 재료가 철골, 철근과 콘크리트로 대부분을 차지하고 있는데, 이는 재료의 생산, 폐기 시에 많은 에너지를 소모하고 있다. 또한, 건물 부분의 에너지 소비는 국가 전체 에너지 소비량의 중요한 부분을 차지하고 있으나, 생산적인 산업이나 수송부분의 에너지 소비와 비교할 때, 상대적으로 비생산적인 에너지 소비로 볼 수 있다.

작금(昨今)의 건축은 기계적 설비를 이용하여 거주자들의 쾌적한 환경을 제공 또는 유지시키는데 주안점을 두었다. 거주공간에 있어서 쾌적한 환경의 제공과 유지를 위하여 많은 에너지 소비를 초래하기에 이르렀고, 이는 지구환경 파괴에 영향을 미치는 하나의 요소로써 거론되고 있다. 이와 더불어 실내에서 발생하는 포름알데히드(HCHO), 라돈(Radon)과 각종 휘발성 유기물질(VOCs; Volatile Organic Compounds)등의 유해(有害)한 환경에 노출되어 있고, 이에 대한 해결책으로 시멘트나 콘크리트나 페인트 등의 건축자재에서 흙 또는 황토와 같은 친 환경적인 건축자재에 대한 인식이 높아지고 있는 실정이다.

1979년 독일의 P. Krushe가 연방 환경부에 제출한 연구보고서의 제목을 결정하는 과정에서 자연과 인간의 상호관계 및 생태계를 고려한 다양한 건축적 시도와 개념들을 종합하여 “생태건축(Okokogishes Bauen)”이라 명명함으로써 처음으로 사용되었다. 이는 3R의 개념으로 설명할 수 있다.

재활용(Recycle)은 물질적 순환이 가능한 건축 재료의 사용을 의미하며, 물질적 순환이 가능한 건축 재료의 사용을 의미한다. 가령, 자연으로부터

얻어지는 흙과 같은 재료는 건축 재료로서 수명을 다한 후 분해 되어 다시 자연으로 돌아감으로써 환경에 대한 부담을 전혀 주지 않는다.

재사용(Reuse)은 건축부품을 조립 또는 해체함으로써 다시 사용하는 것을 나타내며, 오늘날 지속가능한 건축이 중요한 이슈로 등장함으로써 부품으로부터 조립하여 건축물을 생산하는 방식은 해체를 통한 재사용의 가능성으로 인해서 다시금 관심의 대상이 되고 있다.

재생가능성(Renewable)은 최대한 자연에너지 사용을 의미하며, 화석연료는 매장량의 한계를 드러내고 있을 뿐 아니라 더욱 중요한 것은 CO₂ 배출의 주범으로 지구온난화에 막대한 영향을 미치고 있다. 따라서 청정에너지인 자연에너지의 사용은 미래의 필수불가결한 선택이며, 이를 위한 건축적 노력이 다방면에서 진행되어야 할 것이다 .

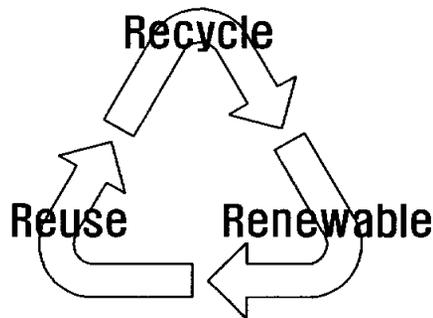


그림 1. 생태건축의 3R 개념그림¹⁾

풍토(風土)는 한 지역의 취락구조나 주거형태를 결정하는 기본요인으로 서 열대습윤 지역에서는 통풍을 유도하기 위하여 건물과 지면사이를 적절하게 이격을 시킨다든지 고온건조 지역에서는 높은 일교차로 인하여 건축 재료로써 축열성능이 우수한 재료를 사용한다든지 하여 그 지역에서 손쉽게 구할 수 있는 건축 재료의 사용이나 건축방식이 채택되어 왔다.

온대기후대에 속하는 우리나라의 경우 대부분의 주거형태는 초가와 기와

¹⁾ [http : ubetu.skku.ac.kr/summary/summary.htm](http://ubetu.skku.ac.kr/summary/summary.htm)

집으로 뼈대는 목재를 이용하였고, 벽, 바닥, 천정은 모두 흙으로 만들어졌다. 우리나라의 경우는 계획적인 측면에서는 흙 건축물 또는 전통건축물에 대한 연구가 많이 발표되었으나, 흙벽 주택내의 온열환경에 대한 실측 및 평가에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구는 흙벽돌을 벽체 재료로 이용한 주택의 온열환경을 실측 평가하는 것으로 향후 흙벽돌을 이용한 생태건축 건립 시 기초자료 제공을 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

1.2.1 연구의 방법

먼저 흙벽돌 주택의 실내온열환경 평가를 위한 사전 연구로서, 흙의 물성 및 흙 건축물에 관한 이론적 고찰, 그리고 실내온열환경 요소에 대한 이론적 고찰을 통하여 실측평가 연구의 이론을 정립한다.

실측 대상물 및 측정위치를 선정하고 실내온열환경 평가를 위한 실험계획을 수립한 다음 실측에 임한다. 온열환경의 평가는 ASHRAE(American Society of Heating Ventilating & Air-conditioning Engineers)에서 제시하는 PD(Percentage of Dissatisfied; 불만족율)기법을 이용한다. 그리고 실측된 자료를 분석하고 평가하여 결론을 내린다.

그림 2는 연구의 순서를 나타낸다.

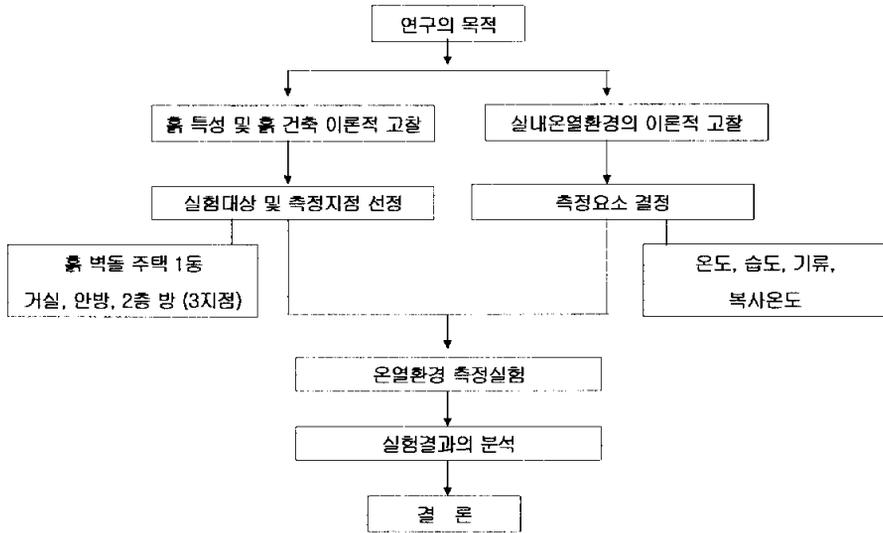


그림 2. 연구의 흐름도

1.2.2 연구의 범위

- 실측 대상물 : 흙벽돌 주택 1동
- 실측 지점 : 거실, 안방, 2층 방(지점높이 10cm, 150cm)
- 실측 시간 : 24시간
- 실측 요소 : 실내의 건구온도, 습구온도, 복사온도, 상대습도, 기류, 외기온도
- 온열 평가 : PD기법을 이용하여 불만족을 평가, 불만족을 발생원인과 요인분석

2. 이론적 고찰

2.1 흙 건축

2.1.1 흙 건축의 정의

인간은 천연동굴이나 지하 움집 등을 이용한 최초의 혈거(穴居)주거 형식에서 시작하여 현재의 지하공간까지 이르렀다. 이는 우리나라에서 뿐만 아니라 전 세계적으로 공통적인 주거 형태의 변화로 볼 수 있다.

우리나라의 전통주거 형태중의 하나인 흙과 볏짚으로 구성된 초가는 농경정착생활이 시작되는 철기시대부터 시작되었다는 가설이 있다. 또한, 현재의 초가 건물들은 삼국시대 이후 주거건축이 발달하면서 일반서민과 농민들의 가옥으로써, 토담으로 된 오두막집과 목조 초가 즉 흙집이 대중적으로 지어지기 시작했을 것으로 추측된다.²⁾ 이러한 전통흙집은 근대화 이전까지 지속되어 왔으며, 1970년대에 접어들면서 현재의 콘크리트, 철골 철근 콘크리트 건축물이 보급되기 시작하였다.

흙집은 뼈대는 나무로 하고 벽과 바닥, 지붕 안쪽 등은 짚여물을 섞은 흙을 사용하였으며, 지붕은 풀과 기와 너와 판돌 등으로 마감하였다. 이를 일반적으로 목조심벽집이라고 칭한다. 흙집의 벽은 싸리, 수수깡, 대나무 등을 짚으로 엮은 외(櫻)의 안팎에 짚여물을 발라 만든 심벽(心壁), 담집의 경우는 흙으로 통벽을 만들었고, 지붕에도 짚여물이 섞인 흙을 얹은 후 마감하고, 바닥에도 구들을 놓고 흙으로 마감한 후 장판을 함으로써 온통 흙으로 둘러싸였다.³⁾ 심벽에 사용한 흙은 모래가 약간 섞인 것을 주로 사용하였고, 토벽에 사용한 흙은 모래 성분이 많았다.

흙 건축이라 함은 흙의 특성을 이용하여 건물을 지상이나 지하에 건설하되 건물표면을 흙으로 덮은 형태의 건축이라고 할 수 있다. 현대 건축물에

²⁾ 임상훈, 이시용, 이점우; 생태건축, 도서출판 고원, 2001, pp.188~213

³⁾ 리신호 외, 전통 흙집 벽 재료의 특성분석, 충북대학교 농과대학

서 흙집이라고 하는 정의는 아직까지 명확하게 규정되어 있지 않으나, 건축재료 중 70%이상을 흙을 주재료로 사용하여 구축된 집 또는 흙의 특성을 이용하여 지상이나 지하에 건설하는 흙으로 덮은 형태의 건축이라고 정의⁴⁾하고 있다. 이와같이 흙을 사용하여 지은 집은 토담집, 심벽목구조집, 흙벽돌집, 귀틀집 등으로 나눌 수 있다.

건축물은 건립(construction), 운용(use), 철거(destroy)의 3단계의 생애주기(Life Cycle)로 크게 나눌 수 있다. 그림 3은 대상 흙벽돌 건축물에서 채택하고 있는 각 단계별 친환경적인 요소를 나타내고 있다.

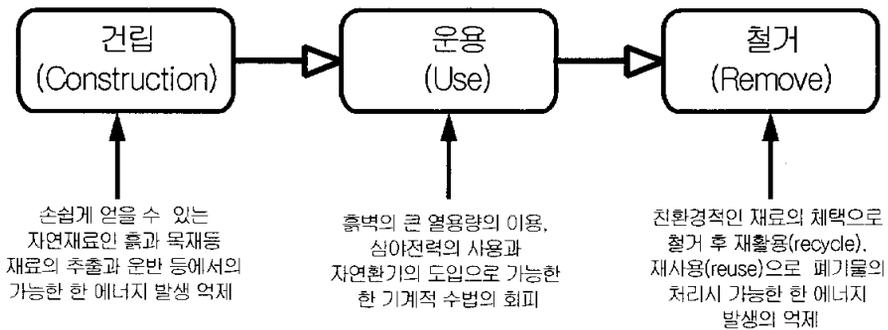


그림 3. 대상 건축물에서 채택한 친환경적 요소

건립에는 최초 원자재의 추출과 가공 및 유통과정에서 발생하는 에너지를 최소화 시킬 수 있는 자연재의 재료 이용을 추구하고 있다. 건립 후 운용 면에서는 거주자의 건물의 사용패턴과 주거환경 개선을 위한 보수 및 유지 등에 필요한 에너지를 최소화시키기 위하여 설계단계에서부터 거주자의견의 반영이 필요하고, 가능한 한 내구적인 재료를 사용함으로써 건축물의 운용에 필요한 에너지를 줄이는 것이 바람직하다고 판단되며, 건축물이 수명을 다하고 철거될 때에는 폐기물 처리시 환경부하를 최대한 줄일 수

4) 박정식외, 흙건축의 생태적 의미와 현대적 이용에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, Vol. 20, No.2, 2000.10

있도록 하여야 한다. 그림 4는 흙 건축의 생태건축적 의미를 요약하여 나타낸 것이다. 건축물의 건립에서 철거될 때까지의 내재에너지(Embodied energy)⁵⁾가 작은 재료를 사용함으로써 보다 친환경적인 건축이 이루어져야 할 것이다.

건축적의 3R 개념에서 흙 건축물을 살펴보면, 철거 등에 의해서 구조물 자체가 해체되고 난 후 흙벽돌은 자연 상태로 남게 됨으로 재활용(Recycle)적인 재료로써 가치가 있고, 흙벽 구조물의 뼈대는 대부분이 목재이므로 철거 또는 해체된 후 재사용(Reuse)이 가능하다. 이 두 가지 측면에서 보면 흙을 이용하여 만든 흙벽돌 건축물은 친환경적인 요소를 갖춘 건축물이라고 할 수 있으며, 흙은 생태 건축적 재료라고 할 수 있다.

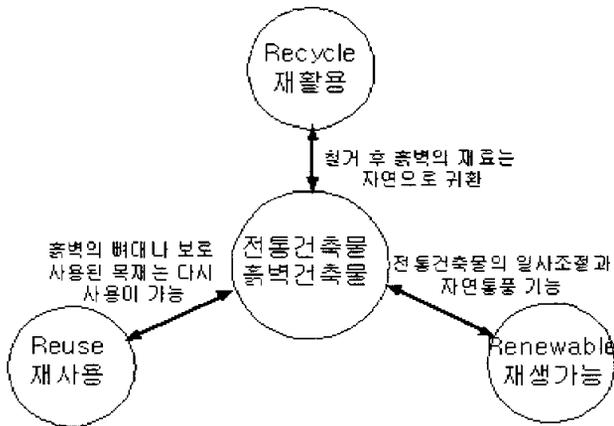


그림 4. 흙 건축물의 생태건축적 의미⁵⁾

재생가능(Renewable)은 건축물의 운용과정과 거주자의 쾌적한 실내환경을 조성하기 위하여 없어서는 안 될 에너지를 가능한 한 태양열, 풍력등과 같은 자연에너지 또는 대체에너지를 사용하고, 가능한 한 생성과정에서부터 소비에 이르기까지 큰 내재에너지를 포함하고 있는 화석연료의 사용 억제로 대기오염 및 지구온난화를 방지하는데 있다.

⁵⁾ Rondall Thomas, Environmental Design, E&FN SPON, 1999

2.2 흙의 일반적 고찰

흙은 지구표면의 온도변화로 인해 팽창과 수축이 반복됨으로써 광물의 결합이 붕괴되어 생성하고 바람의 작용에 의해 침식, 운반, 퇴적되며 우수 및 빙하 등 물의 작용으로 암석이 분쇄되거나 동물, 식물, 미생물에 의해 발생하는 광물의 생물학적 풍화작용으로 인해 생성되는 지반의 최상층에 존재하는 광물질과 유기물질을 성분으로 하는 천연물질이다.

2.2.1 흙의 종류 및 성질

흙은 제각기 생물학적, 화학적 그리고 물리적인 성질을 지니고 있다. 흙의 단면에서 보면, 최상층의 흙을 겉흙이라고 하며 그 아래에 놓여 있는 것을 속흙이라고 한다.

① 갈색산림토

표층은 부식의 축적에 의해 암갈색이 된 입자모양의 구조가 발달하고, 아래층에서는 산화철에 의하여 황갈색 또는 적갈색을 띠고 있다.

② 갈색토

얇은 부식층 바로 밑에 탄산석회분이 집적되어 생성된 토양이다.

③ 부식토

흙 속의 미생물 작용에 의하여 부식이 형성된다. 일반적으로 부식이 풍부한 흙은 유기성분이 많고 비옥하며, 흑색 또는 흑갈색을 띤다. 이탄은 부식토의 일종이며, 석탄은 부식토가 변질한 것이다.

④ 사력질토

대부분은 모래와 자갈이 혼합되어 있는 경우가 많다.

⑤ 사양토

모래참흙이라고도 한다. 토양을 입자가 세밀한 점토, 중간입자인 실트, 거친 입자인 모래로 나눌 때, 이들이 거의 같은 양 섞여 있는 토양에 비해서 약간 모래가 많은 토양을 사양토라고 한다. 국제토양학회법에 의하면, 토양

은 그 입자의 지름에 따라 자갈(gravel : 2.0mm 이상), 모래(sand : 거친 것 2.0~0.2mm, 고운것 0.2~0.02mm), 실트(silt:0.02~0.002mm), 점토 (clay:0.002mm 이하)로 나눈다. 실트를 황토(黃土)라고 한다.

⑥ 사토

모래에는 식영사처럼 반영구적으로 풍화분해하지 않는 것과 장석이나 운 모처럼 분해 되면 점토분이 되는 것이 있다. 사토는 응집력·점성이 적어 경 작이 쉽다. 투수성이 좋고, 보수성이 좋지 않는 성질을 가지고 있다.

⑦ 식토

국제법에서는 점토·모래·실트의 조성비율에 따라 밭토양의 토성을 분류하 여, 식토를 ‘Lic’의 기호로 나타낸다. 식토는 점토분이 많으므로 수분이 나 비료의 유지력은 강하나 반대로 공기의 유통이나 배수가 나쁘다.

⑧ 중점토

국제법의 입도 구분에 의한 점토가 흙덩어리 중에서 무게의 반 이상을 차 지하는 토양을 말하며 수분을 함유하면 강한 점성을 나타낸다.

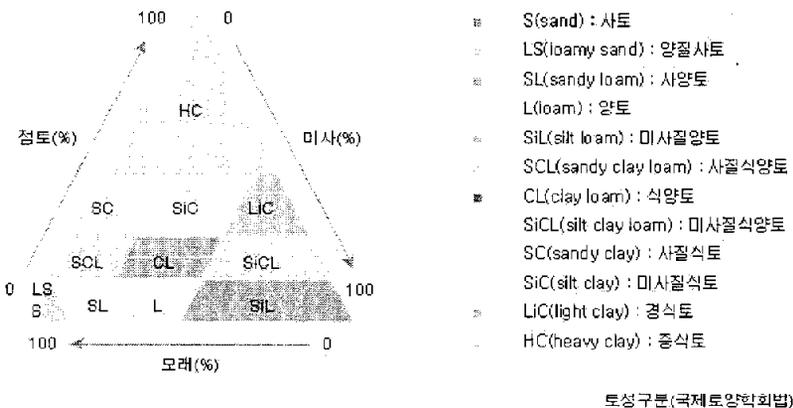


그림 5. 삼각좌표에 의한 흙의 분류

흙은 점토의 함유량에 따라 흙 자체의 공기의 흐름과 작업의 용이성에 차이를 보이고 있다. 표1은 점토의 함유량에 따른 성질을 나타내고 있다.

표 1. 점토의 함유량에 따른 흙의 성질

구분	모래가 많음	점토가 많음
공기의 유통	좋다 <-----> 나쁘다	
작업의 용이성	쉽다 <-----> 어렵다	

2.2.2 흙의 물리적 특성

인간이 활동할 수 있는 환경의 조성을 위해 흙이 가지고 있는 중요한 물리적 성질을 살펴보면 크게 5가지로 나눌 수 있다.

① 가소성

변형된 물체가 외력을 제거해도 원래의 상태로 돌아오지 않고 영구변형을 남기는 성질 소성(塑性)이라고도 한다. 물기가 있는 점토는 외력을 가해도 부서지지 않고 여러 가지 형태로 변하고, 그 후 외력을 제거해도 변형된 그대로의 상태를 유지하는데, 점토의 이러한 성질이 가소성이다.

② 응집력

흙입자간의 인력(引力)을 말하며, 입자의 크기, 수분의 함량에 따라 달라진다. 점토의 경우, 습윤시보다 건조시 응집력이 더 크며, 순점토의 응집력을 100으로 보면, 점토는 82.3, 양질식토는 68.8, 석회분말토는 5정도이다.

③ 점착력

점토광물은 단위 당 표면적이 상당히 크고 각각의 점토광물 마다 다르기 때문에 물에 대한 점착성의 반응도 각각 다르게 나타난다. 이 또한 흙의 강도를 결정하는데 중요한 역할을 한다.

④ 통기성

황토의 경우, 황토 미립자속의 작은 구멍으로 인하여 공기의 출입이 일어나게 된다. 흙중의 점토성분이 많을수록 통기성은 적어진다.

2.2.3 흙의 열적 특성

재료의 열적 특성은 열전도율로써 나타낼 수 있으며, 건축물에 사용되는 흙벽의 경우에는 짚이 섞인 양에 따라 열전도율이 변화한다. 표 2는 흙벽에 섞인 짚의 양에 따른 열전도율을 보이고 있으며, 표 3은 건축물에 사용되는 일반적인 재료의 비중과 열전도율을 나타내고 있다. 6)7)

표 2. 짚의 함유량에 따른 흙의 열적특성표7)

항목		열관류율 W/m ² ℃	열전도저항 m ² ℃/W	열전도율 W/m℃
흙(100%)		2.977	0.336	0.204
짚		-	-	0.070
짚	1.0%	2.982	0.335	0.201
짚	5.0%	2.795	0.358	0.173

단열특성을 나타내는 것으로 흙벽의 경우 열전도율이 0.204W/m℃으로써 보통콘크리트에 비하여 7배 정도의 낮은 값을 갖는 것으로 조사되었다. 기존의 콘크리트 건물은 단열을 위하여 유리섬유나 기타 단열재를 함께 사용하여야 하지만, 흙벽은 그 자체로서도 충분한 단열성능을 가지며, 여기에 짚의 함유량에 따라서 더 우수한 단열성능을 가질 수 있다.

또한, 온도 조절 성능 지표로서 실온변동비에서 짚이 5%포함된 흙의 경우 콘크리트, 벽돌, 스티로폼 등의 단열재보다 실온변동비가 작다는 실험결과가 있다.8) 이는 우수한 축열성능을 지니고 있다고 할 수 있다.

6) 대한건축학회편, 건축학 전시-9. 건축환경계획, 기문당, 2000

7) 박정식의, 흙건축의 생태적 의미와 현대적 이용에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, Vol. 20, No.2, 2000.10

8) 리신호, 흙집의 환경생태성, 충북대학교 농과대학

표 3. 각종 재료의 비중과 열전도율⁹⁾

재 료	비 중(kg/m ³)	열전도율(W/mh℃)
1. 보통콘크리트	2200	1.396
2. 경량콘크리트	1600	0.779
3. 적벽돌	1660	0.640
4. 시멘트벽돌	1800	1.396
5. 기와	2000	1.000
6. 경량목재	400	0.140
7. 중량목재	600	0.186
8. 합판	550	0.186
9. 압축스틸렌 발포판	28	0.037
10. 경질우레탄 발포판	38	0.028

2.3. 흙벽돌의 열적특성과 투습성

2.3.1 열적특성

열은 고온에서 저온으로 이동함으로써 하기에는 주로 외기에서 실내로 열이 유입되고, 동기에는 역으로 실내에서 실외로 열이 유출된다.

대상 건물의 외벽 열적특성은 열전도율(thermal conductivity ; λ)과 열관류율(heat transmission coefficient ; K)을 비교함으로써 외벽을 통한 실외와 실내의 열이동을 조사할 수 있다.

열관류율(K)은 열 저항(thermal resistance ; R)의 역수로서 대상재료의 물성치인 열전도율을 두께로 나눈 값을 나타내며, 이는 벽체의 두께에 반비례하고, 열전도율에 비례한다. 또한, 식(1)에서 표면열전달율(α_i, α_o)은 대류성분과 복사성분의 합으로 나타낼 수 있다. 벽체를 통한 열량의 이동은 열관류율(K)×온도차(Δt)로써 나타낼 수 있다.

⁹⁾ 건축재료, 대한건축학회, 기문당, 2000.01

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{t_1}{\lambda_1} + \frac{t_2}{\lambda_2} \dots \dots \dots \frac{t_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_o} \quad \text{식(1)}$$

여기서, K = 열관류율[Kcal/m²h°C],

λ = 열전도율[Kcal/mh°C],

t = 두께[m]

αi, αo = 표면 열전달율[Kcal/m²h°C]

본 연구에서는 식(1)을 이용하여, 단열재 및 재료의 두께는 동일한 것으로 상정하여 주로 사용되는 5종류의 외벽재료에 대하여 열관류율(K)을 계산한 값을 표 4에 나타내었다.

표 4. 주요 외벽재료의 열관류율

종 류	열관류율(K)[W/m ² °C]
보통콘크리트	0.629
경량콘크리트	0.604
흙벽돌(짚 1%포함)	0.476
흙벽돌(짚 5%포함)	0.455
적벽돌	0.592

동일한 조건하에서 흙벽돌의 열관류율은 보통콘크리트의 경우에 비하여 약 25%정도 작게 나타났다. 이는 동일한 온도조건하에서 보통콘크리트에 비하여 열이동이 작은 것을 의미하는 것으로 하기에 일사에 의하여 데워진 외벽에 의한 열 이동이 작으므로 실내 온도는 보통콘크리트의 경우보다 낮아지는 것을 의미한다.

열용량(thermal capacity)의 측정은 실질적으로 가능하지 않으므로, 계

산식에 의해서 구할 수 있다. 열용량은 재료의 특성인 비열과 질량의 곱으로 계산될 수 있다.

$$Q_c = m \times C_p \quad \text{식(2)}$$

여기서, Q_c = 열용량[J/°C]

m = 질량[kg]

C_p = 비열[J/kg°C]

열용량은 어떤 물체를 1°C 높이는데 필요한 열량으로 그 재료가 축열할 수 있는 능력을 의미한다. 또한, 열량은 단위체적에 대한 용적비열로도 나타낼 수 있다. 표 5는 주요 재료의 밀도와 비열 및 용적비열을 나타내고 있다.

표 5. 주요 재료의 밀도와 비열 및 용적비열

종류	밀도[kg/m ³]	비열[kJ/kg°C]	용적비열[kJ/m ³ °C]
흙	1890	0.88	1663
점토	1185	2.1	2488
보통콘크리트	2200	0.88	1936
경량콘크리트	1600	1.0	1600
콘크리트 블록	1500	1.05	1575
직벽돌	1660	0.84	1394

흙의 용적비열은 1663kJ/m³°C로 보통콘크리트의 용적비열 1936kJ/m³°C의 85%에 해당되나, 경량콘크리트와 비교해서는 조금 크게 나타났다.

표 5에서 보통콘크리트의 열관류율 0.629W/m²°C와 비교하여 질을 포함한 흙의 열전도율은 0.476W/m²°C으로 작게 나타났다.

이는 보통콘크리트의 경우 흙에 비하여 열용량은 크나, 열전달에 있어서는 흙보다 크다는 것을 의미한다. 그러나 현재의 건축물에 많이 사용되고

있는 경량콘크리트와 비교하여서는 열용량도 크고, 열전달도 작다는 것을 알 수 있다. 이는 외기의 변동에 대하여 실내의 온도 변동 폭이 경량콘크리트 건물에 비해서는 작다는 것을 의미한다.

2.3.2 투습성¹⁰⁾

흙은 고체의 흙입자와 물 그리고 공기 및 증기 등의 기체로서 이루어져 있다. 흙이 얼마만큼의 수분을 함유할 수 있는가를 나타내는 것을 함수율이라고 하며 압밀과 강도 등에 많은 영향을 미친다. 일반적으로 다진 직후의 흙의 강도는 최적 함수비보다 조금 낮은 함수비일 때 최대치가 되는 것을 알 수 있다. 이 이후에 흙이 수분을 흡수하게 되면 연하게 되며 강도 또한 약해진다. 그림6은 흙의 최적 함수율을 나타내고 있다.

흙이 수분을 통과시킬 수 있는 성질을 말하며, 흙의 중요한 성질을 나타내는 것으로서 흙 입자의 크기, 공극비, 공극의 형상과 배열 및 포화도등에 의해서 변화한다. 세립자의로 된 점토질의 흙에서는 투수계수가 낮고, 물을 침투시키기가 어려운 반면, 동일한 공극비 및 포화도를 가지고 있는 굵은 사질토에서는 투수도가 크다. 이는 세립자의 경우 수류에 의한 마찰저항이 큰 것이 원인이다.

콘크리트는 골재의 최대치수와 물시멘트비에 의하여 투습계수는 영향을 받게 된다. 그림7은 골재와 물시멘트비에 따른 콘크리트의 투습계수를, 표 6은 흙의 투습계수를 나타내고 있다.

¹⁰⁾ 흙의 공학적 성질, 건설교통부, 경서원

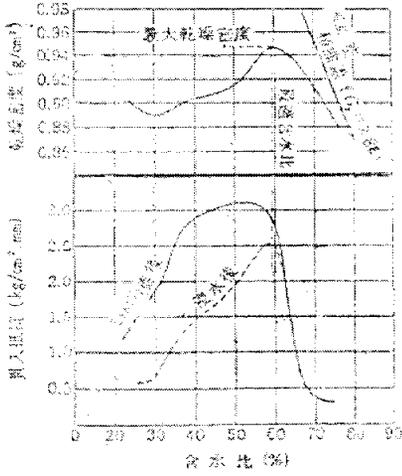


그림6. 흙의 최적함수율

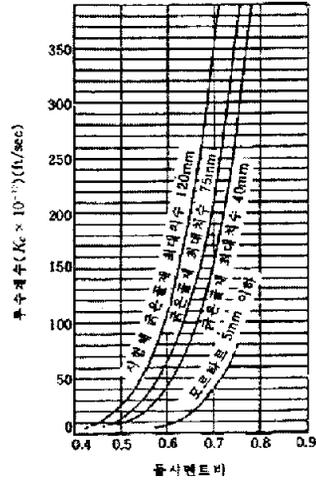


그림7. 콘크리트투수계수

표 6. 흙의 투수계수표

투수계수 [ft/sec]	흙의 종류	비고
4	깨끗한 자갈	식물 및 풍화에 의하여 변질한 불투수성
0.4		
0.04		
4×10^{-3}	깨끗한 자갈, 깨끗한 모래와 자갈의 혼합물	
4×10^{-4}		
4×10^{-5}		
4×10^{-6}	극미립사, 개흙, 모래개흙질점토의 혼합성층이 있는 점토	
4×10^{-7}		
4×10^{-8}		
4×10^{-9}	불투수성의 흙풍변화대 이하의 균질한 점토	
4×10^{-10}		

흙의 투수계수는 콘크리트에 비하여 크다는 것 그림7과 표6을 통하여 알 수 있다. 이는 외기의 습도변화에 대하여 실내를 일정한 습도로 유지함에 있어 콘크리트 보다 투습조절능력이 크므로, 흙 자체의 수분조절 능력이 우수함을 뜻한다.

2.4 실내온열환경의 이론적 고찰

2.4.1 건구온도

기온은 열쾌적감에 가장 큰 영향을 미치는 요소이다. 실내기온은 온도 분포가 균등한 것이 가장 바람직하나 실제의 실내기온 분포는 위치에 따라 현저히 다르다. 이는 실의 크기, 형상, 주변의 열관류율, 열용량 등 건축적인 요인과 열원의 종류, 크기, 방열량 등 기계적인 요인과 가구, 재실자 등의 이용면에서의 요인 등이 복합적으로 작용하여 일어난다. 건구 온도의 쾌적 범위는 16~28℃로서 16℃이하에서는 옷을 두껍게 입거나 육체적 운동이 많이 요구된다. 30℃이상에서 쾌적을 유지하기 위해서는 경작업시에도 큰 가류와 증발이 요구된다.

실내기온은 수직온도 분포와 수평온도 분포로 크게 나눌 수 있다. 수직온도 분포는 복사난방을 제외한 대부분의 난방 방식의 경우 상하 기온차가 크다. 그리고 주변의 열관류율(k)이 클수록 상하 기온차가 커진다. 수평온도 분포는 대류난방에 비해 복사난방이 수평 기온 분포 역시 비교적 균일하다. 수직온도 분포와 수평온도 분포차가 크게 되면 전신열중성상태에 있더라도 대류와 복사 열손실에 의해 인체는 국부적 불쾌감을 유발할 수 있다.

2.4.2 습도

습도는 대기중에 포함되어 있는 수증기의 양 또는 비율을 나타내며, 인체로부터의 증발에 관계하여 열쾌적감에 큰 영향을 미친다. 대기 중의 습도는 극단적으로 높거나 낮지(40~70%) 않으면 쾌적온도범위 및 혈관조절 범위내에서는 열쾌적감에 거의 영향을 미치지 않는다. 더울 때 상대습도가 높으면 증발은 억제되어 더 덥게 느껴지고, 추울 때 상대습도가 낮으면 증발이 발생하여 더 춥게 느껴지므로 혈관조절 범위 밖에서는 열쾌적감에 큰 영향을 미친다. 주변의 온도가 높은 경우는 습도와 기류가 인체의 열방산

에 영향을 주는 주요소이나 그 외의 경우는 열쾌적감에 대한 습도의 영향이 거의 무시되어 쾌적범위 내에서는 습도에 대한 영향이 매우 적음을 알 수 있다. 증발냉각에 의하여 열평형을 유지할 수 있는 최고온도는 다음과 같이 습도에 따라 다르다.

RH 100% : 31℃

RH 50% : 38℃

RH 18% : 45℃

RH 0% : 52℃

일반적으로 습도는 40~70% 범위에 속하므로 열쾌적감에 거의 영향을 미치지 않는다고 볼 수 있다.

2.4.3 기류

기류는 인체로부터 대류방열과 증발을 촉진하여 열쾌적감에 큰 영향을 미친다. 습도가 낮을 때(30%이하)는 기류가 없어도 증발이 잘되므로 기류의 영향이 아주 미약하고, 습도가 높을때(85%정도)는 증발이 제한되어 기류가 냉각효과를 상충시킬 수 없으나, 중간 정도의 습도(40~50%)에서는 기류가 인체의 열쾌적감에 현저히 영향을 미친다. 기류는 기온이 변화하지 않는 경우에도 대류와 증발을 촉진시켜 인체의 열방열을 증가시키며, 기류가 인체의 열쾌적감에 미치는 영향은 고온시보다는 저온시에 더 크며, 특히 동절기에 난방하는 실내에서는 인체주위에서 기류를 느낄 수 없는 0.5m/s 이하 정도에서도 인체의 체온조절상 열쾌적감에 큰 영향을 미친다. 기류속도에 따른 인체의 일반적 반응은 대체로 다음과 같다.

0.25m/s : 느끼지 못함

0.25m/s~0.50m/s : 쾌적함

0.5m/s~1.00m/s : 공기의 움직임을 느낀

1.00m/s~1.50m/s : 불쾌감을 느낌

1.50m/s 이상 : 불쾌감을 느낌

더운 상태에서는 대개 1m/s 정도에서 쾌적하게 느껴지며, 1.5m/s까지는 허용 범위에 속한다. 그 이상이 되면 가벼운 물건들이 날리게 되어 불쾌감이 생긴다. 추운때 난방 실내의 기류 속도는 0.25m/s를 넘지 않아야 한다. 그러나 난방된 실내에서 기류가 전혀 없거나 0.10m/s이하가 되면 답답함을 느끼게 된다. 외부에서는 5.0m/s가 쾌적함을 느끼는 최대 한계치이다.

2.4.4 복사온도

인체와 주변환경 사이에서 온도가 다를 경우 복사에 의한 열교환이 발생하여 인체의 열쾌적감에 큰 영향을 미친다. 이 열교환의 주원인은 의복의 표면온도, 실내주벽 표면온도, 의복의 표면적 및 인체의 자세 등에 의해 결정되며 일반적으로 동계에서는 주벽표면온도가 인체의 표면온도보다 낮으므로 인체에서 주벽으로 복사열손실이 있다. 동계에 주벽표면온도가 낮을수록 복사에 의한 열손실이 커진다.

복사열은 기온 다음으로 열환경에 큰 영향을 미치며, 주어진 환경에서 평균 복사온도는 기온보다 영향도가 두 배 정도 크다. 신체 표면에 도달한 복사열은 전도를 통해 피부에 전도되며, 반대로 신체가 차가운 표면과 접촉하게 되면 상당량의 열이 방출되어 추위를 느끼게 된다. 가장 쾌적한 상태는 평균복사온도(MRT :Mean Radiant Temperature)가 기온보다 2℃정도 높일 때이다.

2.4.5 표준유효온도

Gagge등이 제안한 표준유효온도는 신유효온도(ET*)를 보다 발전시킨 최신 쾌적 지표로서 ASHRAE에서 채택하여 세계적으로 널리 사용되고 있으며, Fanger의 쾌적식과도 근사하다.

상대습도 50%, 풍속 0.125m/s(정지 상태의 공기), 활동량 1Met(작업시대사량 58W/m²에 해당), 착의량 0.6clo(가벼운 실내 평상 복장)의 동일한

표준환경 조건에서 환경 변수들을 조합한 것이다. 이것은 활동량, 착의량 및 환경조건에 따라 달라지는 열적 감각, 불쾌적 및 생리적 영향을 비교하는데 유용하다.¹¹⁾

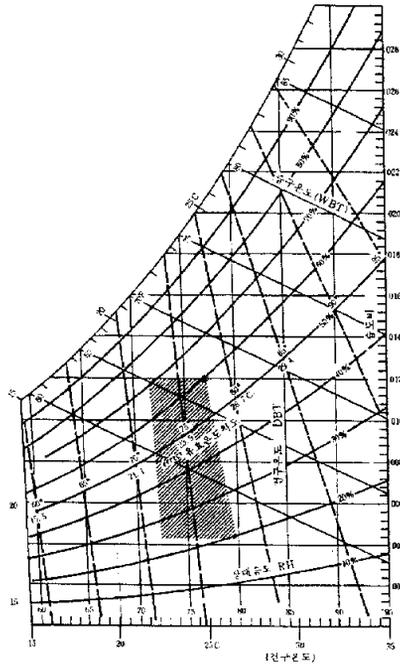


그림 8. 표준유효온도 쾌적범위

2.4.6 수직온도차¹²⁾

대부분의 건물 내의 공간에서 일반적으로 바닥의 온도보다 높은 위치일 수록 온도는 증가한다. 만약 수직 온도차가 커다면 머리부위에서는 뜨거운 불쾌감이, 발부위에서는 차가운 불쾌감이 일어날 것이며, 그리고 몸체는 그 중간온도를 나타낼 것이다. 수직온도차와 열쾌적 영향에 관한 연구가 Olesen(1979), McNair(1973, 1974), Erickson(1975)에 의하여 보고 되

11) 이경희, 건축환경계획, 문운당, 2002.1

12) ASHRAE HANDBOOK 1989 FUNDAMENTALS 8.21 Physiological Principles, Comfort, and Health

었다. 실험 대상자들은 발목과 머리부분의 온도가 각기 서로 다른 기후 방에 앉아서 실험을 하게 되었다(Olesen 1975). 실험 시간동안 대상자들은 중간정도의 열적상태에서 대기하였는데, 이는 실험자들이 언제라도 수직 온도차의 레벨이 유지되는 실험실에 들어가기를 원할 때 실험할 수 있도록 하기 위해서이다. 그림 9에서와 같이 실험대상자들은 그들의 열쾌적 반응을 보였는데, 발목(0.1M)과 머리(1.1M)부분 사이의 수직온도차가 서로 다른 레벨 상태에서의 불만족율을 보여주고 있다.

재실자의 머리부분 온도가 발부분의 온도보다 낮을 때는 그리 문제되지 않는 사례보고가 있었다. Erickson(1975)에 의하면 그의 실험 대상자들은 머리부분이 아주 차가워도 견디어내는 것을 확인하였다. 이러한 실험은 Fanger(1985)에 의해 천정복사 냉방의 불균형 온도분포의 실험에서 증명되었다.

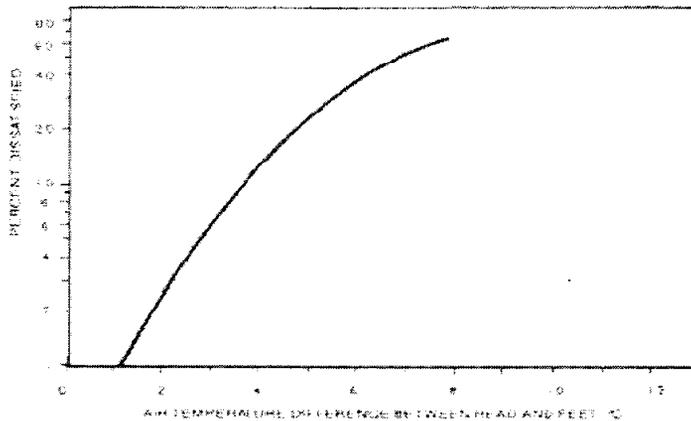


그림 9. 수직온도차에 따른 불만족율

3. 실측 대상 흙벽돌 주택의 현황 및 온열환경 측정

본 장은 2장에서 문헌을 통하여 언급한 흙의 특성 즉 열적특성 및 습기의 이동성을 파악하기 위하여, 강원도 태백 시에 건설된 약 20동의 흙벽 건축물 중 1동을 선택하여 실내(거실, 안방 및 2층의 안방)의 수직온도분포와 거실의 상대습도를 측정하여 결과를 비교·검토하였다.

3.1 실측대상의 대지위치 및 배치현황

대상지역은 도심 평균 해발 650m에 위치하고 있으며, 태백산을 등지고 있는 분지로써, 낙동강 및 한강의 발원지가 여기에 있다. 이 지역은 높은 고도와 산으로 둘러싸인 형태의 도시로서 여름철에는 일교차가 10℃ 이상을 나타내며, 10월 후반부 부터 겨울이 시작되는 특징을 지니고 있다.

대상지역의 기후통계자료¹³⁾에 의하면, 동계(12월, 1월, 2월) 기간동안의 평균 최고 온도는 0.3℃, 평균 최저 온도는 -8.5℃로 나타났으며, 하계(6월, 7월, 8월) 기간동안의 평균 최고온도는 26.3℃, 평균 최저 온도는 16.3℃로 조사되었다. 이 지역에서 동계와 하계의 평균 최고온도와 최저온도의 차는 -8.8℃, 10℃로 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

2000년의 전체 강수량은 1209.4mm로, 강원도의 2000년 평균 강수량 1201.0mm와 비슷하게 나타났다. 대상지역의 동계기간동안 평균 강수량은 13.2mm, 하계에는 168.5mm이며, 9월에 469mm로 최고치로 조사되었다.

대상 건축물의 대지는 좌측과 우측에 대지 경계선과 평행하게 진입도로를 배치하고, 두 도로를 만나게 하여 통과 도로를 계획하였으며, 부지의 중앙부에는 공간을 많이 확보하여 향후 마을 공동체의 공용의 공간으로 활용할 수 있도록 소 광장을 중심으로 분할하였다.¹⁴⁾

13) 태백시 통계연감, 2001

14) 오영식, 이용자 참여에 의한 마을 만들기, 청주대학교 박사학위 논문, pp.52~ 54

고산지역에 위치한 대지이므로 동계의 추위를 피하기 위하여 마을 전체의 주택 정면은 가능한 한 일사의 유입이 많이 되도록 동측 또는 동남 측을 향하게 계획하였고, 겨울철의 산을 넘어 불어오는 북서 계절풍을 막기 위하여 건물의 북측에는 가능한 한 작은 창을 두었다. 지붕의 창은 환기와 채광을 겸용할 수 있도록 계획하여 동측과 동남 측에 두게 되었다. 그림 10은 마을 전체의 배치도를 나타내고 있으며, 빗금 친 부분이 본 연구의 대상 측정 건물이다.



그림 10. 마을의 배치도 및 측정 대상 건물

3.2 건축물 현황

대지가 고산지역에 위치한 관계로 남측에는 많은 창을 두어 겨울철 주간에 일사의 유입이 많도록 계획하였고, 전원주택의 특징을 살리기 위하여 조망에도 주의를 하여 평면계획을 하였다. 보일러 실은 북쪽에 위치하도록 계획하였고, 건물 전체에 통풍을 자연스럽게 하기 위하여 마주보는 방향으로 창을 두어 맞통풍에 의한 환기효과를 극대화 시킬 수 있도록 하였다. 그림 11은 대상 건축물의 전경을 보이고, 건축개요는 표 7과 같다.

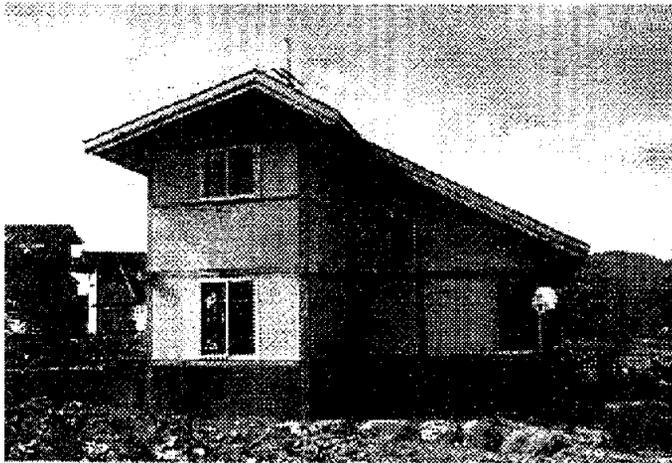


그림 11. 대상 흙벽돌 건축물의 전경

표 7. 대상 건축물의 건축개요

구분		흙벽돌 건축물
시공년도		2001. 07 - 2001.12
연면적		99.62㎡
층고		지상 2층
벽체구조	기둥	목조(태백산 육송과 적송)
	벽체	황토벽돌의 외단열마감
바닥구조	1층	경량 콘크리트 위에 Soil Cement
	2층	마루는 + 단열재 위에 Soil Cement
지붕공사		목재+ 흙+ 단열재+ 합판+ 아스팔트싱글
난방방식		심야전력을 이용한 온수난방

그림 12는 대상건축물의 단면도를 나타내고 있으며 그림 13은 벽체상세
 도그림14와 15는 대상 휴 건축물의 1층과 2층 평면도를 나타내고 있다.
 각층의 측정 점은 ● 표시하였다.

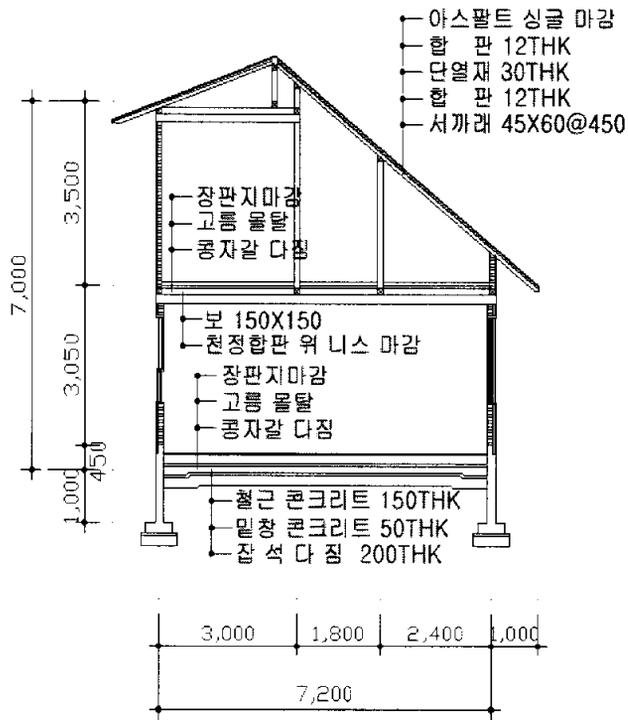


그림 12. 대상건축물의 단면도

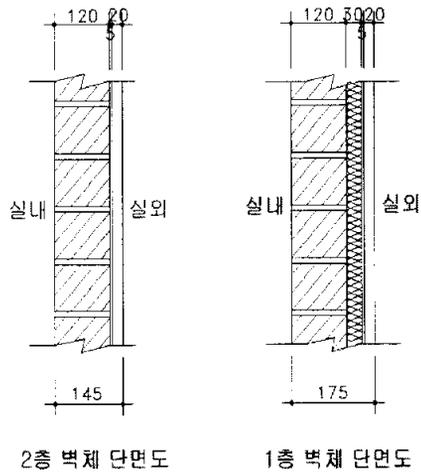


그림 13. 벽체상세도

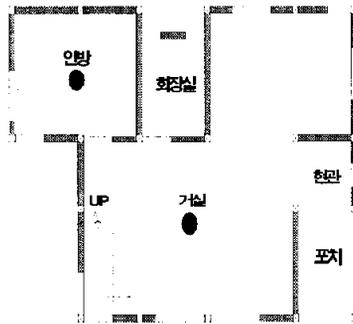


그림 14. 대상주택의 1층 평면도

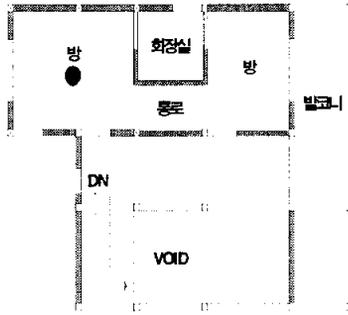


그림 15. 대상주택의 2층 평면도

3.4 측정개요 와 측정요소 및 측정위치

대상 건축물의 온도는 거실, 안방과 2층방을 대상으로 바닥위 10cm, 80cm, 150cm 와 220cm의 지점에 T 형의 열전대를 데이터 로그(MDL-64)에 설치하여 5분 간격으로 24시간 측정하였고, 동시에 5분 간격 24시간동안 외기의 온도도 측정하였다.

기류, 습도 및 복사열은 거실에서 바닥위 150cm지점을 실내 온열 종합 측정기(BABUC A)를 이용하여 5분 간격으로 24시간 측정하였다. 표 8은 측정요소 및 측정기기를 나타내고 있다. 그림 16은 열전대의 온도측정 계통도를 나타내고 있으며, 그림 17과 그림 18은 각각 실내 온열 종합 측정기(BABUC A)와 데이터로그를 보여주고 있다.

표 8. 대상 흙 건축물의 온열환경 측정개요

측정항목	측정 장소	측정개소	측정기기	측정기간 및 시간
온도	1층 안방 거실	바닥위 10cm, 80cm, 150cm, 220cm 4개 지점	Data Logger (MDL-64) T형 열전대	2002년 7월 16일 0:00 ~ 7월 17일 0:00 (24시간)
	2층 방 실외			
기류	거실	바닥위 150cm 1개 지점	BABUC A (Italy)	
습도	거실			
복사열	거실			

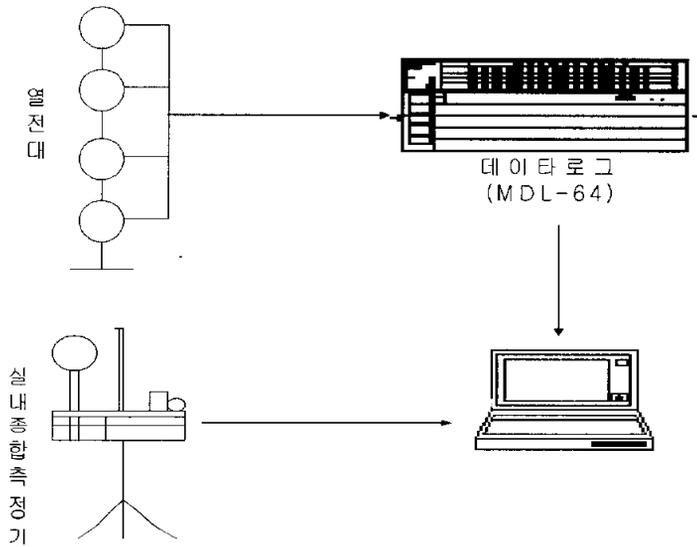


그림 16. 측정계통도

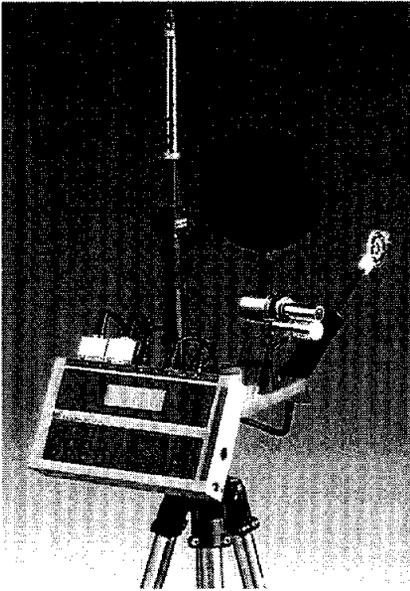


그림 17. 실내 온열 종합 측정기

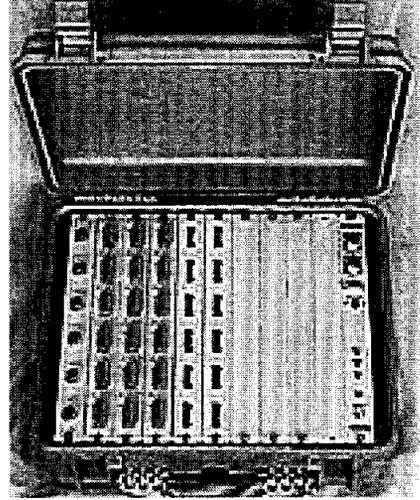


그림 18. 데이터 로그

그림 19는 각 실의 측정높이를 나타내고 있으며, 측정 점은 실의 중앙 점에서 각 요소를 측정하였다. 거실에서는 온열 4요소를 측정하였고, 그 외의 실에서는 온도만 높이별로 따라 측정하였다.

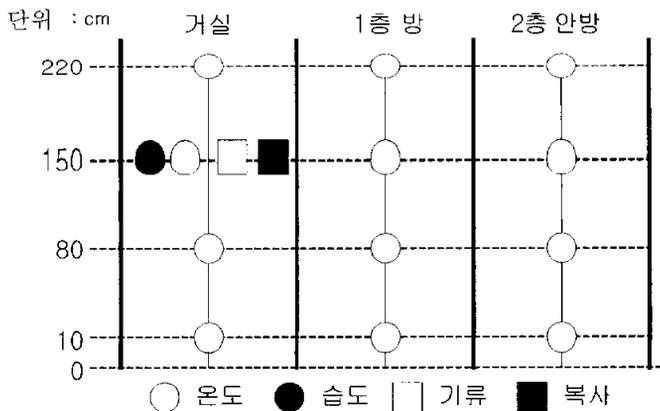


그림 19. 각 측정 점에서의 측정높이 및 측정요소

4. 측정결과 및 분석

대상 휴 건축물의 온열요소 즉 온도, 습도, 기류, 복사열을 5분 간격으로 24시간을 측정하였다. 거실과 안방 및 2층방에 있어서 온도의 측정 점은 높이에 따라 4곳을 채택하여 측정하였다. 또한, 대상 건축물의 쾌적역을 조사하기 위하여 재실자의 출입과 외부인의 출입이 많은 거실을 선택하여, ASHRAE¹⁵⁾에서 제시한 온열 쾌적 표준역과 비교하기 위하여 유효온도(Effective Temperature ; ET)와 신 유효온도(New Effective Temperature ; ET*)를 알아보기 위하여 바닥위 150cm의 지점에서 상대습도의 기류 및 글로브 온도를 측정하였다.

야간시간대는 보안상의 이유로 창과 문을 모두 닫고, 냉방기의 가동은 없는 상태이므로 측정 또한 실제 상황과 동일한 조건하에서 실시하였다. 측정일의 기상은 비가 조금 내린 관계로 대체적으로 상대습도는 높게 측정되었으며, 고산지역이므로 외기온도는 내륙지역보다 높지는 않으나, 측정당일은 외기온도는 조금 낮았다.

4.1 온도분포

4.1.1 거실

측정 대상 실은 사람의 출입이 잦은 거실임에도 불구하고 외기 온도변화와 비교할 때, 실내의 온도분포는 작은 변화폭을 가지는 것을 알 수 있다. 거실의 각 높이별에 따른 실시간별 온도분포는 그림 20과 같다.

새벽시간대인 00:00 ~ 06:00까지는 평균 외기온도가 19.0℃일 때 평균 실내 온도는 25.8℃이며, 오후시간대인 12:00 ~ 18:00까지의 평균 외기온도는 25.2℃인 경우 평균 실내온도 25.8℃로 나타났다. 이는 일중 외기온도가 6℃이상의 차를 보인 반면 실내온도는 25℃부근에서 거의 변화가 없

¹⁵⁾ American Society of Heating Refrigerating and Air conditioning Engineers

는 것으로 측정되었다. 그러므로 주간에 축열된 열이 야간에 흙벽돌로부터 실내로 방열되고, 다시 차가워진 흙벽돌에 주간의 일사가 축열되고 있는 것을 알 수 있다.

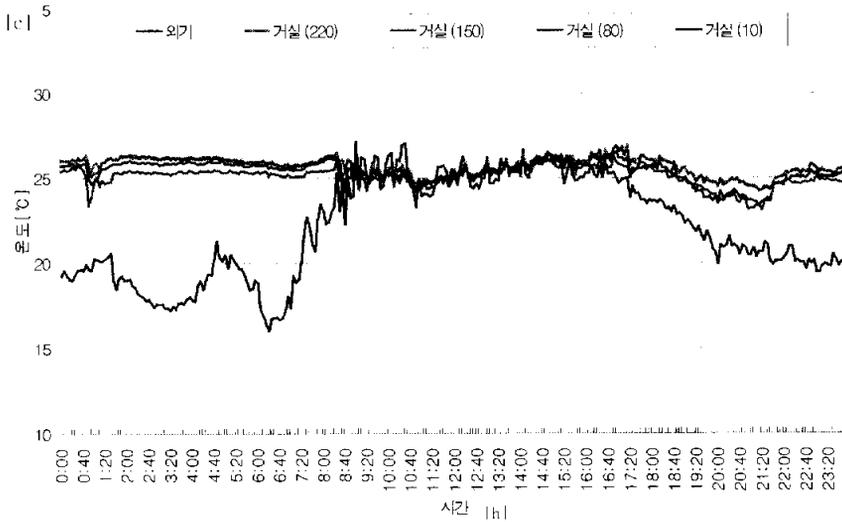


그림 20. 거실의 수직 높이별에 따른 실시간 온도 분포

외기온도변화에 따른 시간대별 평균 실내온도를 알아보기 위하여 측정높이 150cm와 10cm에서 6시간 간격의 평균온도를 표 9에 나타내고 있다.

표 9. 거실의 6시간 간격의 평균온도[150cm와 10cm 지점]

	외기온도 [°C]	실내온도 (150cm) [°C]	실내온도 (10cm) [°C]	실내 온도차
새벽시간대 (00:00~06:00)	19	26.1	25.3	0.8
오전시간대 (06:00~12:00)	22.8	25.5	25	0.5
오후시간대 (12:00~18:00)	25.2	25.9	25.6	0.5
저녁시간대 (18:00~24:00)	21.1	25.1	24.4	0.7

오전시간에서부터 오후시간대까지 외기의 일사 영향에도 불구하고 실내의 온도는 거의 변화를 볼 수 없으나, 오후시간대에서 저녁시간대로 넘어가면서 외기온도는 4.1°C 가 하강한 반면 실내온도는 0.8°C 하강하는 것을 볼 수 있다. 그러므로 외기온도의 하강 폭에 비하여 실내온도의 하강 폭은 미비한 것으로 나타났다. 또한, 18:00 ~ 22:00까지는 창을 열어놓은 상태이므로 외기 영향으로 인하여 실내온도는 약간 하강하였다.

22:00 이후부터 오전시간대까지 실내온도는 조금씩 상승하는 것을 볼 수 있다. 이는 흡이 가진 특성 중 큰 열용량과 축열용량으로 인하여, 08:00 ~ 15:00동안 일사의 유입에 의하여 축열된 열이 흙벽돌의 표면을 통하여 실내로 열을 방출시켜 실내온도를 조금씩 상승시킨 후 어느 정도의 시간이 지난 후 거의 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. 즉, 흡의 장시간에 걸친 Time-Lag의 영향으로 판단된다.

즉정당일의 평균 일교차가 6.2°C 인 것에 비하여 평균 실내온도의 차는 0.6°C 로 실내온도의 변화는 거의 찾아 볼 수가 없었다.

그림 21은 거실에 있어서 상하온도차에 따른 불만족율을 나타내고 있다. 미국 공조냉동공학회(ASHRAE)에서는 실내에서의 상하온도차에 대한 거주자의 불만족율을 규정하고 있다.

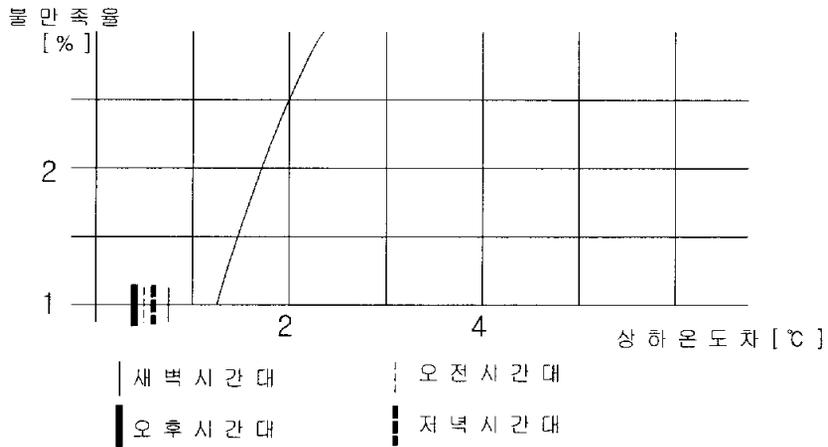


그림 21. 거실의 수직온도차에 따른 불만족율

실내의 공기순환을 알아보기 위하여 바닥위 10cm와 220cm지점의 공기온도를 측정하였으며 그림 22에 나타내고 있다. 실내의 온도차가 클수록 실내의 공기유동이 작은 것을 의미하며, 온도차가 작을수록 실내의 활발한 공기유동 즉 대류현상을 나타내는 것을 의미한다.

수직높이에 따른 최대 온도차는 1.4°C이고, 평균온도차는 0.6°C로 거실의 수직온도차에 따른 불만족율은 1%정도로 아주 쾌적한 상태를 나타내는 것으로 나타났다. 바닥위 10cm 지점의 평균온도는 25.1°C, 바닥위 220cm 지점의 평균온도는 25.7°C로 그 차는 0.6°C를 나타내고 있다. 00:50분경 바닥위 10cm 지점의 온도는 23.4°C, 바닥위 220cm 지점의 평균온도는 25.8°C로 그 차가 1.4°C로 나타났고, 21:02분경 차는 1.3°C로 가장 큰 차를 보이는 것으로 나타났다.

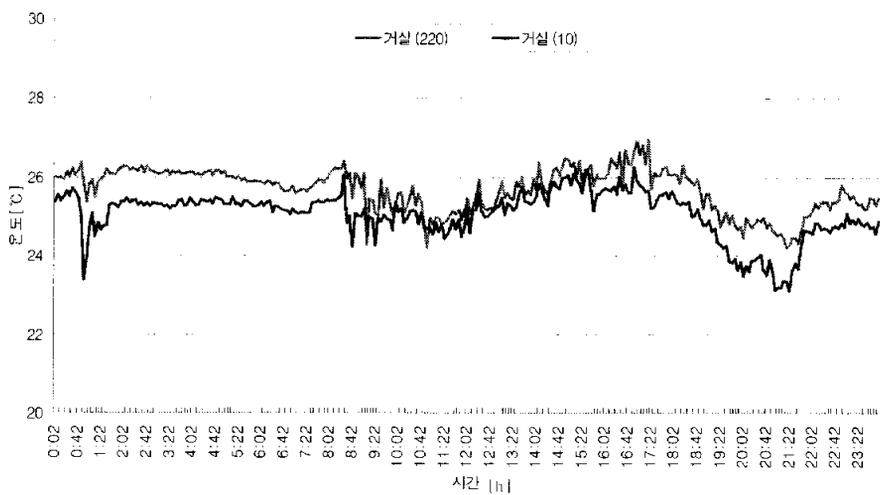


그림 22. 거실의 바닥 위 10cm지점과 220cm지점의 수직온도 분포

4.1.2 안방

안방의 수직 높이별 실시간 온도분포는 그림 23과 같다. 실외의 온도변화와 비교하여 볼 때, 실내의 온도분포는 거실에 비하여 변동 폭이 조금 크게 나타났으나, 거의 일정한 것을 알 수 있다.

새벽시간대인 00:00 ~ 06:00까지는 평균 외기온도가 19℃일 때 실내의 온도는 평균 온도는 26.5℃로 거실보다 0.7℃높게 측정되었다. 이는 안방의 위치가 구석진 곳에 있으므로 거실에 비하여 공기유동이 적은 관계로 실의 평균온도가 조금 높게 나타난 것으로 생각된다.

오전시간대인 06:00 ~ 12:00까지는 평균 외기온도가 22.8℃인 반면에 실의 평균 온도는 25.8℃로 새벽시간대 보다 낮게 나타났다.

오후시간대인 12:00 ~ 18:00까지는 평균 외기온도가 25.2℃인 것에 비하여 평균 실내온도는 25.9℃로 나타났다. 창과 문을 개방한 상태인 오전 시간대와 오후시간대는 외기 일사영향과 외기온의 상승에도 불구하고 평균 실내 온도변화는 거의 변화가 없는 것을 알 수 있다.

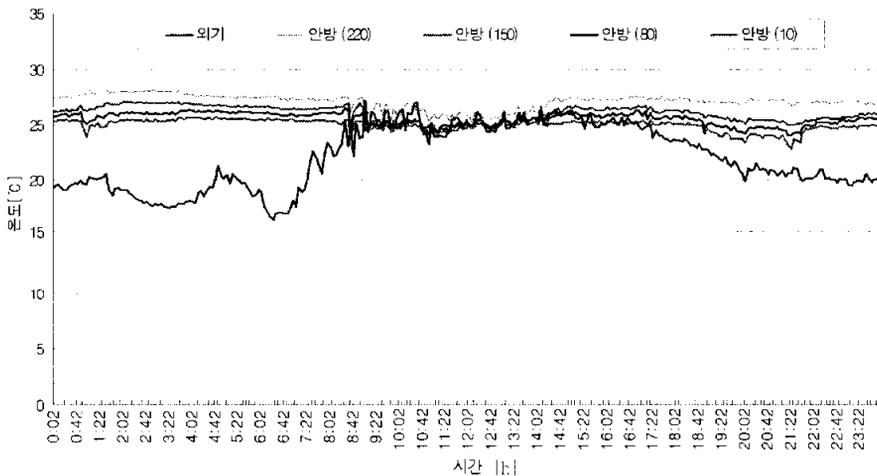


그림 23. 안방의 수직 높이별에 따른 실시간 온도 분포

야간시간대인 18:00 ~ 24:00의 평균 외기온도는 21.1℃인데 비하여 평균 실내온도는 25.6℃로 오전과 오후시간대의 평균실내온도와 비슷하게 측정되었다. 일중 평균 실내온도가 가장 높은 시간대는 외기온도가 가장 낮은 새벽시간대에 나타난 반면, 일사 및 외기온도가 가장 높은 오후시간대에서 평균 실내온도는 가장 낮게 나타났다. 외기온도변화에 따른 시간대별 평균 실내온도는 표 10과 같다.

표 10. 안방의 6시간 간격의 평균온도[150cm와 10cm 지점]

	외기온도 [℃]	실내온도 (150cm) [℃]	실내온도 (10cm) [℃]	실내 온도차
새벽시간대 (00:00~06:00)	19	26.8	25.4	1.4
오전시간대 (06:00~12:00)	22.8	25.8	25	0.8
오후시간대 (12:00~18:00)	25.2	26.1	25.2	0.9
저녁시간대 (18:00~24:00)	21.1	25.7	24.5	1.2

오전시간에서부터 오후시간대까지 외기의 일사 및 평균 외기온의 상승에도 불구하고 실내의 온도는 0.3℃로 거의 변화를 볼 수 없다.

안방은 건물의 가장자리에 위치하고 있으므로 거실의 평균 실내온도보다는 다소 높게 나타났으나, 일중 변화폭은 거실과 비슷한 분포를 나타내고 있다. 측정높이 150cm와 10cm의 상하온도차는 최대 1.4℃, 최소 0.8℃이며, 1.1℃의 차를 보이고 있는 반면, 거실의 평균 상하온도차는 0.6℃로 크게 나타났다. 이는 거실에 비하여 안방의 경우에는 실내의 공기유동이 아주 작은 것을 의미한다.

거실과 같이 22:00 이후부터 오전시간대까지 실내온도는 조금씩 상승하는 것을 볼 수 있다. 이는 흡이 가지는 큰 열용량으로 인한 방열에 의한

것으로 판단된다.

그림 24는 안방에 있어서 상하온도차에 따른 불만족율을 나타내고 있다. 미국 공조냉동공학회(ASHRAE)에서는 실내에서의 상하온도차에 대한 거주자의 불만족율을 규정하고 있다.

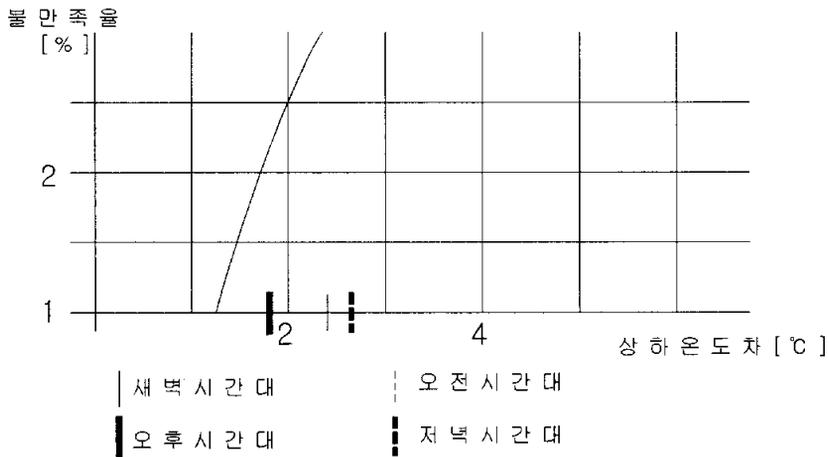


그림 24. 안방의 수직온도차에 따른 불만족율

건물의 가장자리에 있는 안방의 경우 10cm와 220cm의 상하온도차는 최대 2.3°C, 최소 1.7°C이며 평균 2.1°C로 거실의 평균 상하온도차 0.6°C에 비하여 2배 이상 크게 나타났다. 상하온도차에 의한 불만족율 또한 거실에 비하여 5배 이상의 불만족율을 나타내는 것으로 조사되었다.

특히, 안방의 경우 상하온도차의 최대 값은 21:20분경 3.85°C로 아주 높게 나타났으며 이 때의 불만족율은 10%가 넘는다. 그러므로 오후 및 저녁시간대에는 안방의 창을 개방하여 맞통풍에 의하여 구조체의 냉각과 자연환기의 유도가 바람직 할 것으로 생각된다. 안방의 바닥위 10cm과 220cm 지점의 온도는 그림 25와 같다. 바닥위 10cm 지점의 평균온도는 25°C, 바닥위 220cm 지점의 평균온도는 27.1°C는 그 차는 2.1°C를 나타내고 있다.

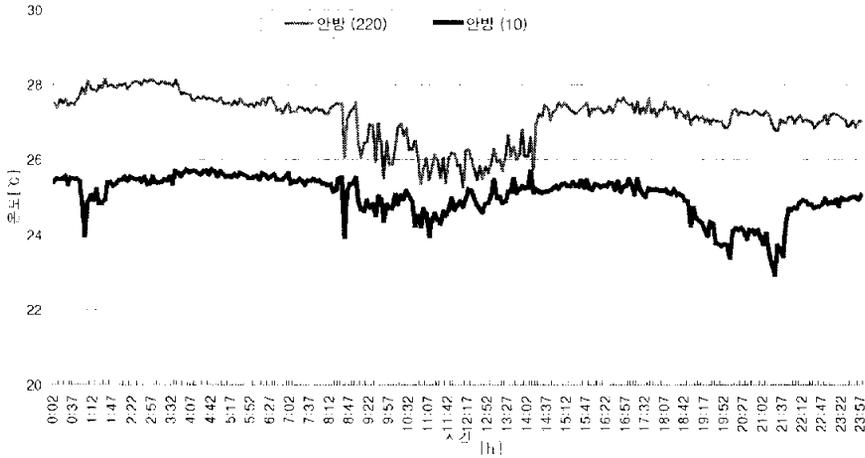


그림 25. 안방의 바닥 위 10cm지점과 220cm지점의 수직온도 분포

안방 또한 시간대별에 따른 외기온도의 변화폭에 비하여 평균실내온도의 변화폭은 작은 것으로 나타났다. 이는 흙벽돌이 가지는 큰 열용량 즉 축열 능력으로 오후시간대에 일사에 의하여 가열된 표면이 새벽시간대에 실내로 열을 방사하는 것이 원인이라고 판단된다.

4.1.3 2층 방

대상 실의 경우 실외의 온도변화와 비교하여 볼 때, 거실과 안방과 같이 실내에서의 온도변화는 작은 것으로 나타났다. 안방의 수직 높이별 실시간 온도분포는 그림 26과 같다.

새벽시간대인 00:00 ~ 06:00까지는 평균 외기온도가 19.0°C일 때 평균 실내 온도는 25.5°C이며, 오후시간대인 12:00 ~ 18:00까지의 평균 외기온도는 25.2°C인 경우 평균 실내온도 25.3°C로 나타났다. 이는 일중 외기온도가 6°C이상의 차를 보인 반면 실내온도는 25°C부근에서 거의 변화가 없는 것으로 측정되었다. 또한, 오전시간대인 06:00 ~ 12:00까지는 평균 외기온도가 22.8°C일 때 평균 실내 온도는 25.3°C이며, 저녁시간대인 18:00

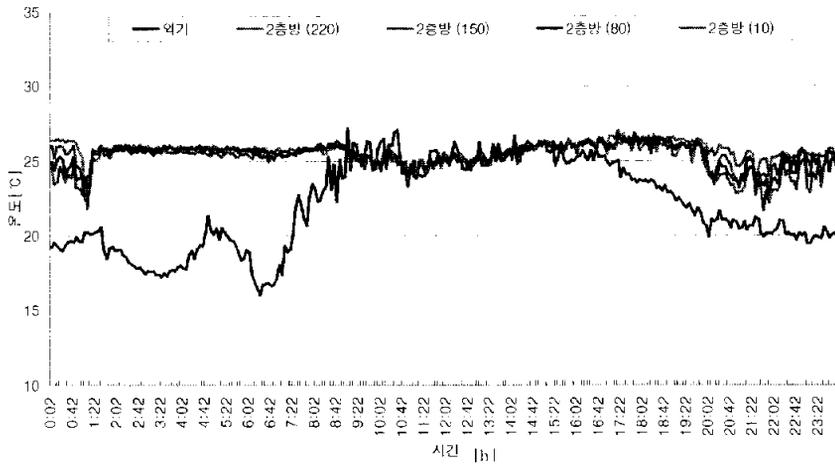


그림 26. 2층방의 수직 높이별에 따른 실시간 온도 분포

~ 24:00까지의 평균 외기온도는 21.1°C인 경우 평균 실내온도 25°C로 나타났다.

거실이나 안방에 비하여 일중 온도변화폭은 아주 작게 나타났으며, 전체적으로 실 온도는 조금 낮게 측정되었다. 타실에 비하여 온도변화폭이 작은 것은 1층과 2층의 온도차에 의한 대류현상에 기인하는 것으로 1층의 따뜻한 공기는 비중이 가벼워져서 2층으로 향하고 이는 개방된 창 의 맞통풍에 의한 자연환기에 의하여 외기로 배출되는 반복적으로 작용에 기인하는 것으로 판단된다.

그러나, 일중 외기온도가 가장 낮은 새벽시간대에 있어서, 실의 온도는 오후시간대의 평균 온도에 이어 평균 실내온도가 높게 측정되었다. 새벽시간대에는 보안상의 이유로 창을 닫은 상태이므로 1층 상층부의 따뜻한 공기의 상승과 2층 지붕면으로부터 실내로의 발열과 낮 동안 축열된 흙벽돌의 내표면에서 실내로의 발열에 의한 것으로 생각된다.

외기온도변화에 따른 2층방의 바닥위 150cm지점과 10cm지점의 평균온도는 표 11과 같다.

표 11. 2층 방의 6시간 간격의 평균온도[150cm와 10cm 지점]

	외기온도 [℃]	실내온도 (150cm) [℃]	실내온도 (10cm) [℃]	실내 온도차
새벽시간대 (00:00~06:00)	19	25.4	25.4	0
오전시간대 (06:00~12:00)	22.8	25.2	25.4	0.2
오후시간대 (12:00~18:00)	25.2	25.7	25.7	0
저녁시간대 (18:00~24:00)	21.1	25.1	24.4	0.3

오전시간에서부터 오후시간대까지 외기의 일사 및 평균 외기온의 상승에도 불구하고 실내의 온도는 거의 변화를 볼 수 없다.

2층방의 경우 1층의 안방과 같은 위치에 있으나, 2층방의 반대쪽과 개방되어 있으므로, 창을 개방시 맞통풍에 의하여 공기순환이 활발하게 일어날 수 있다. 이로 인하여 타실에 비하여 상하온도차는 아주 작게 나타났다.

측정높이 150cm와 10cm의 상하온도차는 저녁시간대에 최대 0.7℃를 보이고 있으며, 새벽시간대와 오후시간대에는 거의 차를 보이지 않는 것으로 측정되었다. 거실과 안방의 최대 상하온도차는 새벽시간대에 나타났으며, 각각 0.8℃와 1.4℃로 나타났다. 새벽시간대의 경우, 1층에서 따뜻한 공기가 2층으로 상승하고, 보안상의 이유로 창을 닫은 상태이므로 2층방에서는 상하온도차가 작게 나타난 반면, 창을 개방한 저녁시간대에서는 외기와 공기 혼합에 의하여 상하온도차가 타 시간대에 비하여 크게 나타났다.

그림 27은 2층 방에 있어서 상하온도차에 따른 불만족율을 나타내고 있다. 미국 공조냉동공학회(ASHRAE)에서는 실내에서의 상하온도차에 대한 거주자의 불만족율을 규정하고 있다.

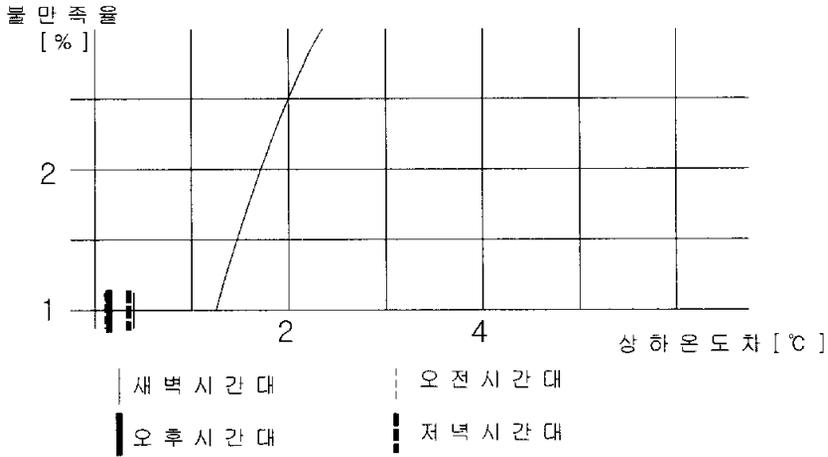


그림 27. 2층 방의 수직온도차에 따른 불만족율

대상 실의 평균 상하온도차는 0.3°C이며 타 공간에 비하여 작게 나타났으며, 불만족율은 1%로 쾌적한 상태를 유지하는 것으로 나타났다.

그림 28은 2층방의 상하온도차를 알아보기 위하여 바닥위 10cm 지점과 220cm 지점의 수직온도 분포를 나타내고 있다.

바닥위 10cm 지점의 평균온도는 25.3°C, 바닥위 220cm 지점의 평균온도는 25.7°C로 그 차는 0.4°C를 나타내고 있다. 2층 안방의 경우 08:00~16:00까지는 상하온도차는 거의 찾아볼 수 없다. 그러나 이외의 시간대에서는 차가 나타나는 것을 그림 28을 통하여 볼 수 있다.

이는 실 전체의 대류현상으로 따뜻한 공기의 온도상승과 2층 안방의 유속으로 인하여 상승한 따뜻한 공기의 정체가 일어나지 않아 상하온도차는 작게 나타난 반면, 새벽시간대와 저녁시간대에는 유속이 거의 없는 상태이므로 대류현상에 의하여 상승된 공기온도가 실 자체에 영향을 미쳐 상하온도차가 타 시간대에 비하여 크게 나타난 것을 알 수 있다.

일교차가 큰 것에 비하여 실내 온도의 변화폭은 전체적으로 작게 나타났다. 특히, 새벽시간대와 저녁시간대에서 실내온도는 오후시간대와 비슷하거나 더 높게 측정되었다. 새벽시간대에 있어서는 외기온과 실내온도의 차가

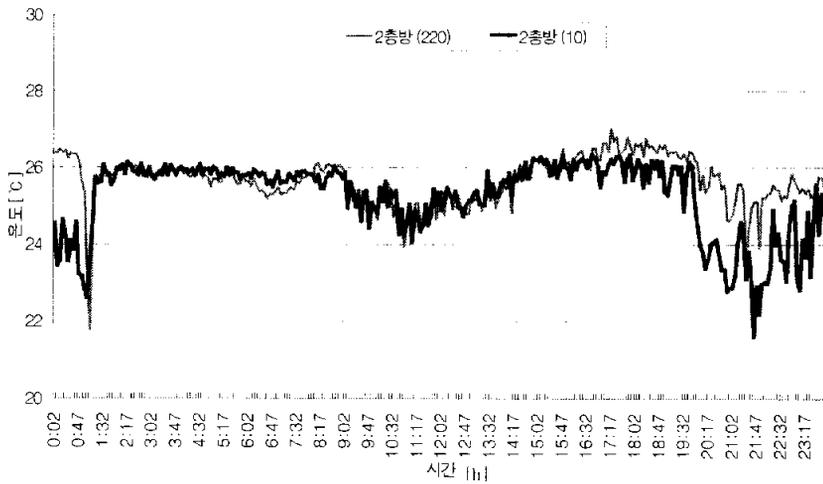


그림 28. 2층방의 바닥위 10cm 지점과 220cm지점의 수직온도분포

평균 6°C 이상을 보이고 있으나, 실내 온도는 일사의 영향을 받는 오후 시간대보다 높았다. 이는 오후 시간대에 일사에 의하여 큰 열용량을 가진 흙벽에 축열된 후, 긴 Time-Lag과 낮은 열관류율에 의하여 새벽 시간대에 흙벽의 내표면에서 실내로의 방열에 의하여 실내 온도는 상승하는 것으로 판단되며, 닫혀진 창영향으로 실내 기류 유동이 발생하지 않은 것도 실내 온도 상승에 한 요인으로 작용한 것으로 볼 수 있다.

거실과 2층방의 경우 상하 온도차에 따른 불만족율을 1%로 낮게 나타난 반면, 평면계획상 가장자리에 위치한 1층의 안방의 경우에는 불만족율이 높게 조사되었다. 가장자리에 실을 배치할 경우 실내 기류의 유동을 고려하여 맞통풍과 같은 자연환기시스템의 도입도 필요할 것으로 판단된다.

4.2 거실의 상대습도

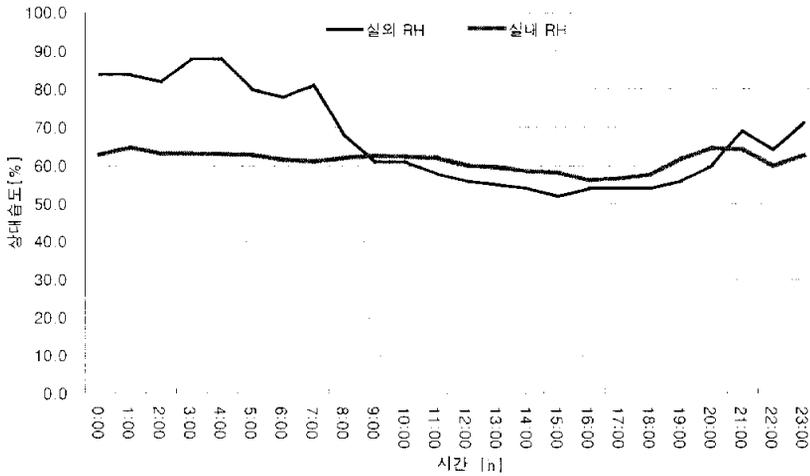


그림 29. 거실의 상대 습도 분포

그림 29는 실외와 거실 바닥위 150cm 지점에서 상대습도의 실시간 분포를 나타내고 있다.

실 전체의 평균 상대습도는 61.3%로 거의 일정한 분포를 나타내는 것으로 측정되었다. 00:00 ~ 07:00 사이에 비가 내린 관계로 외기의 상대습도는 80%이상을 보이고 있는 반면, 실내의 상대습도는 62.8%로 실 전체의 평균과 비슷한 분포를 보이고 있다. 표 12는 시간대별 평균 상대습도를 나타내고 있다.

표 12. 각 시간대별 평균 실내 상대습도

	상대습도[%]
새벽시간대 (00:00~06:00)	63.1
오전시간대 (06:00~12:00)	61.7
오후시간대 (12:00~18:00)	57.8
저녁시간대 (18:00~24:00)	62.5

주간시간대에 있어서 외기 상대습도는 56.9% 일 때, 실내의 상대습도는 59.8%로 나타나 실내의 상대습도의 변화폭은 작은 것으로 측정되었다. 이는 흙 성질의 특성 중 투습성(透濕性)과 흡습성(吸濕性)에 의한 영향으로 생각된다. 즉, 실외 또는 실내의 습도가 높은 경우 흙은 습도가 높은 쪽의 습기를 흙 속에 투과시켜 흡습하고, 외기 또는 실내의 습도가 낮은 경우 흙벽돌의 흡습된 습기를 외부로 배출시켜 흙 자체의 습도를 일정하게 유지시키는 능력을 있음을 보여주고 있다.

흙은 건축 재료에서 필요로 하는 열적 특성뿐만 아니라 습기의 조절 능력 가진 우수한 재료로써 연구할 필요성이 있다고 생각된다.

4.3 거실의 기류

그림 30은 거실의 기류속도 분포를 나타내고 있다.

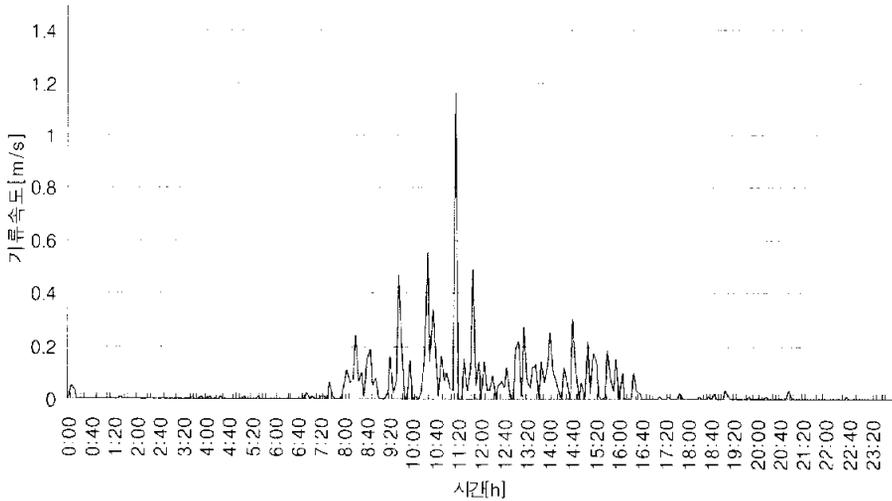


그림 30. 거실의 기류속도 분포

측정당일 대상지역에서는 거의 바람의 불지 않았다. 창을 개방한 08:00 ~ 18:00시간대에서는 실내 기류의 유동이 나타났으며, 평균 0.1m/s를 나타내고 있으며, 최대 값은 11시 20분경 1.16m/s로 가장 높게 측정되었다. 오전시간대에는 평균 실내기류속도는 0.13m/s이고, 오후시간대에는 0.06m/s로 나타났다. 야간에서는 보안상의 이유로 창과 문을 닫은 상태이므로 실내의 기류 유동은 나타나지 않았으며, 전반적으로 실내기류는 높게 나타나지는 않았다. 표 13은 각 시간대별 평균 실내기류속도를 나타내고 있다.

표 13. 각 시간대별 평균 실내기류속도

	기류속도 [m/s]
새벽시간대 (00:00~06:00)	0
오전시간대 (06:00~12:00)	0.09
오후시간대 (12:00~18:00)	0.06
저녁시간대 (18:00~24:00)	0

4.4 복사온도

거실의 온열쾌적을 조사하기 위하여 습구온도 및 글로브온도를 측정하였다. 거실에 있어서 글로브온도 및 습구온도의 분포는 그림 31과 같다.

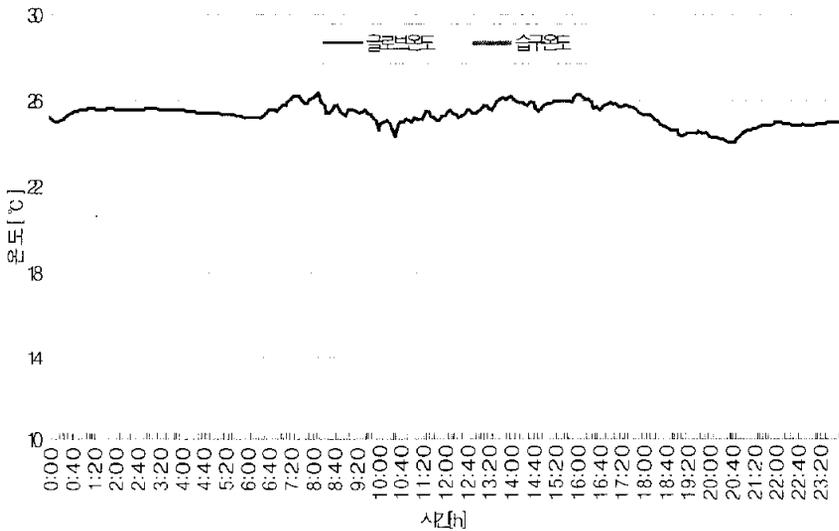


그림 31. 거실의 글로브온도 및 습구온도의 분포

표 14. 각 시간대별 평균 글로브온도와 습구온도

	글로브온도[℃]	습구온도[℃]
새벽시간대 (00:00~06:00)	25.5	20.3
오전시간대 (06:00~12:00)	25.5	19.5
오후시간대 (12:00~18:00)	25.8	19.5
저녁시간대 (18:00~24:00)	25.7	19.3

각 시간대별 글로브온도와 습구온도의 평균값은 표 14와 같다. 글로브온도의 경우 일중 최대 값이 25.8℃로 일사가 가장 많은 오후시간대에서 나타났고, 일사의 영향이 적은 새벽시간대와 오전시간대에는 25.5℃로 작게 나타났다.

4.5 대상 건축물의 온열쾌적역

대상건축물에 있어서 거실의 온도 쾌적역을 알아보기 위하여 ASHRAE standard 55-89에서 제시한 표준유효온도(Standard Effective Temperature ; SET)를 조사하였다. 이는 가장 널리 사용되고 있는 온열 쾌적 척도로서 신 유효온도(New Effective Temperature ; ET*)를 이용하여 나타낸다. 계절별 쾌적역의 표준유효온도범위는 겨울철의 경우, ET*=20℃~21.7℃이며, 여름철의 경우 ET*=22.8℃~26.1℃로 하고 있다.

ASHRAE에서 제시한 표준유효온도의 범위는 그림 32와 같다. 거실의 표준유효온도는 ET*= 26℃로써 온도는 쾌적역에 속하는 것으로 나타났다. 그러나 표준유효온도의 쾌적범위는 실내의 환경조건 즉 작용온도(글로브온도)와 습구온도 및 상대습도의 3요소에 따라 결정된다. 그림 32에 거실의 온열지표를 도시하여 보면 일중 평균상대습도가 61.3%로 다소 높은 관계로 쾌적범위에서는 다소 벗어나는 것을 볼 수 있다.

거실을 쾌적영역의 범위에 속하게 하기 위해서는 습구온도를 낮추는 것이 가장 바람직하며, 이는 실내의 기류속도를 크게 함으로서 가능하다.

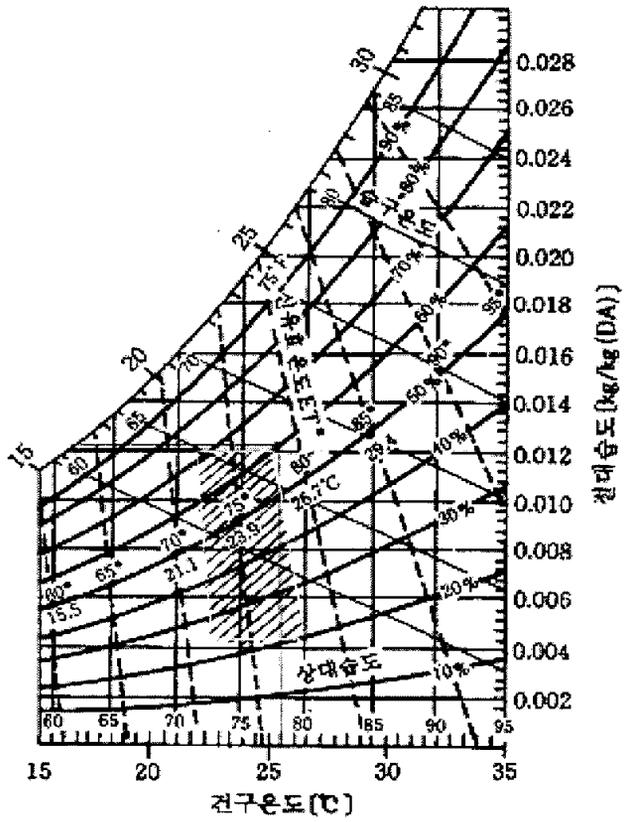


그림 32. 표준유효온도 척도와 거실의 신유효온도

5. 결론

흙벽돌 주택의 실내온열환경 평가를 위한 현지 실측 및 분석 결론은 다음과 같다.

1. 각 측정지점 높이 10cm와 150cm의 6시간 평균온도차는 거실 약 1.6℃, 안방 2.3℃, 2층 방 1.3℃로 각실 모두 실내온도분포가 균등하게 나타났다.

2. 축열 및 단열 성능면에서 볼 때, 외기온도 17℃일때 대상주택의 비난방시 실내온도는 평균 25℃로 유지되었다.

3. 습도조절능력에서 볼 때, 외기상대습도 최대치가 88%일 때 같은 시각의 주택 실내 상대습도 분포는 63%로 측정되었다.

4. 온열쾌적지표는 표준유효온도(ET*) 26℃로 ASHRAE에서 제시한 쾌적영역에 속하는 것으로 판정되었다.

5. 실내 기류가 정체될 경우 상하 온도차에 의한 불만족율이 높게 나타나므로 이를 해결하기 위하여 기류유동을 충분히 고려한 창호배치가 필요하다고 생각된다.

참고문헌

1. 김재연, 영동지방 평야 및 산간지역의 민가에 관한 연구, 성균관대학교 석사논문
2. 김명복, 강원도 남부와 경북 북부지역의 곽집에 관한 연구, 영남대학교 박사학위논문, 1992
3. 박재승, 강원도 삼척지역 민가평면의 특성과 변천에 관한 연구, 영남대학교 석사논문 1983.7
4. 오영식, 이용자 참여에 의한 마을 만들기, 청주대학교 박사학위 논문, 2002.8
5. 김한진외 3인, 여름철 실내 온열환경에 대한 쾌적조건의 평가, 대한건축학회 논문집, 1999
6. 리신호외 2인, 전통 흙집 벽 재료의 특성분석, 한국농공학회지, Vol.43, No.1, 2001
7. 박정식의 3인, 흙건축의 생태적 의미와 현대적 이용에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제 20권, 제 2호, 2000.10
8. 윤정숙외 2인, 여름철 실내 온열환경의 중성온도 설정에 관한 실험 연구, 대한건축학회논문집, 1992
9. 정기용; 흙건축(잊혀진 정신, 한국전통건축의 현주소). 건축, 대한건축학회지, Vol. 166, 1992.05
10. 손장열, 실내열환경 평가 기술, 대한건축학회 논문집, 1991
11. 건축재료, 대한건축학회, 기문당, 2000.01
12. 건축설계자료집성, 환경편, 집문사
13. 강준모, 흙과 통나무로 짓는 생태건축, 발언, 2000.01
14. 이광훈, 전원주택, 새뜰마을, 새로운사람들, 1996.06
15. 이경희외 1인, 친환경 건축개론, 기문당, 2003.01
16. 윤원태, 내손으로 짓는 황토집 전원주택, 컬처라인, 2000.05

17. 임영빈의 2인, 건축환경계획, 보문당, 2002
18. 임만택, 건축환경계획, 보문당, 2002
19. 임상훈, 이시웅, 이점우, 생태건축, 도서출판 고원, 2001
20. 흙의 공학적 성질 흙의 안전처리공법, 건설교통부, 耕書苑, 1995
21. Jean Dethier, 박홍(번역); 흙 건축의 조형세계, 세진사
22. バックシブ建築設計手法事典, 彰國社
23. ASHRAE Handbook, Fundamental, 1989, chapter. 8
- 24 P.O.Fanger Thermal Comfort-Analysis and Application Environmenta
Engineering
24. <http://www.architerre.com/menu04-01.php3>
24. <http://www.livingportfolio.com/>
25. <http://bs97.yonsei.ac.kr/연구자료/article/>

**The Evaluation On The Environment Of The Adobe Brick Wall House
By The Field Measurement**

Jong-Bae Kim

**Department Of Architectural Engineering
Graduate School, Pukyong National University**

Abstract

These day, environmental problem is getting worth. It's caused by the increasing of o₂, global warming and o₃ destory.

Steel, steel-reinforcing and concrets which is used as the major material in building.

It exhausts lots of energy to produse and disuse the materials.

Today, buildings are focused on the making and the keeping pleasant environment for its residents by using mechanical equipment.

It bring about the result of exhausting energy to make and keep pleasant environment.

To solve this matter, architectve materials, like adobe and yellow soil, which is environment-friendly is concerning.

In this research, it measured the temperature, the rh, mrt and airflow which is elements of indoor thermal environmental of adobe brick-house and the percentage dissatisfied which is depended on the air temperature between head and feet which is provided by ashrae.

The results are following

1. Form the each position by atual measurement, height was 10cm and 150cm. The difference in 6 hours-average temperature is 1.6(in the living

room), 2.3(in the main living room), 1.3(in the 2nd floor).

From the data, it turned out that the comfort of each room is good.

2. When it considers on the ability of regenerative, adiabatic, when the temperature of out-door was 17 ,temperature of indoor at the measured-house was kept roughly 25. this result was came out from when the house was not heating.

3. When it considers on the ability of controlling humidity, while the maximum of the RH at out-door was 88%, the distribution of RH at the indoor of measured-house was 63% .

4. It turned out that Thermal comfort standard, which was 26 is in the boundary which was provided by ASHRAE.

5. If the indoor airflow won't ventilate the percentage dissatisfied increase because of difference in upper and lower.

감사의 글

본 논문이 오늘의 작은 결실을 맺기까지 아낌없는 지도와 격려를 보내주시고, 학문의 길에 정진하도록 보살펴주신 임영빈 지도교수님께 깊은 감사를 드립니다. 논문이 완성되기까지 부족한 점을 보완해주시고 심사를 지도해 주신 조홍정 교수님, 이수용 교수님께 감사 드리며, 부경대학교 건축공학과 류종우 교수님, 신용재 교수님, 박천석 교수님, 김기환 교수님, 김영찬 교수님, 이재용 교수님, 조영행 교수님, 오장환 교수님, 홍성민 교수님께도 감사를 드립니다.

또한 건축환경설비 연구실에 많은 관심과 사랑을 주시는 김동완 박사님, 조성우 박사님께도 깊은 감사를 드리며 정근주, 임종문, 강무봉, 양효철, 유동우, 문보형, 이갑택 선배님과 동문수학한 석철환, 박지훈, 박상환, 정성근과 후배 김태영, 박소정, 최재욱, 허은진, 최지호, 이영규, 김경한, 조영준, 김삼석, 황순환에게도 감사드립니다.

힘들 때 많은 격려와 사랑으로 용기를 북돋아 주고 아낌없는 지원을 해준 사랑하는 아내와 지금 열심히 대학문을 두드리고 있는 사랑하는 장녀 인정이 학업에 열중한 막내딸 인숙이, 장인·장모, 형제·친지들께 이 논문을 받칩니다. 마지막으로 우리 팔우·팔마·팔구회 친구들, (주)정진설비 임직원 및 협력업체 모두에게 감사드립니다.

2003년 8월

김 종 배