

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 26, No. 4, 2006

# 주요 흙 건축재료 현황 및 건축환경 관련 물성 평가에 관한 연구

송설영\*, 구보경\*, 송승영\*\*

\*이화여자대학교 대학원 건축학과(carton20@nate.com, pineapplesage@empal.com),

\*\*이화여자대학교 건축학과 교수(archssy@ewha.ac.kr)

## The State of the Art and Architectural Environmental Property Evaluation of Earth Construction Material

Song, Seol-Young\*, Koo, Bo-Kyoung\*, Song, Seung-Yeong\*\*

\*Dept. of Architecture, Graduate School, Ewha University(carton20@nate.com, pineapplesage@empal.com),

\*\*Dept. of Architecture, Ewha University(archssy@ewha.ac.kr)

### Abstract

As a demand for sustainable development rises, the preference for earth house (earth construction) increases gradually. However, there are few data for predicting and evaluating the thermal environment and indoor air quality of earth house. Thus, this study aims to measure thermal properties(thermal conductivity, density and specific heat) and pollutants emission intensities(formaldehyde and volatile organic compounds) of current main earth construction materials and make a comparison between earth and cement construction materials. As results, quantitative thermal properties and pollutants emission intensities of current main earth construction materials are shown.

**Keywords** : 흙집(Earth house), 흙 건축재료(Earth construction material), 물성(Property)

### 1. 서 론

최근 소득 및 의식수준 향상을 통해, 삶의 질적

인 측면에서의 친환경적 가치 추구를 의미하는 LOHAS(Lifestyles of Health and Sustainability)

접수일자:2006년 10월 18일, 심사완료일자:2006년 11월 17일

라는 신조어가 등장하고 주요한 경향이 될 정도로 친환경에 대한 이해와 요구가 매우 고조되고 있다. 또한 1990년대 이후 UN 기후변화 협약에 의해 지속가능한 개발(Sustainable Development)이 국제적 이슈가 되고, 교토의정서(Kyoto Protocol)를 통한 탄산가스 배출량의 구속력 있는 감축 목표 설정, 배출권 거래제 등이 제정되면서, 친환경은 단순한 필요사항이 아니라 강제되고 효과적으로 실현되지 않으면 안되는 필수사항이 되었다고 할 수 있다. 이러한 흐름을 반영, 인간 활동의 기본 공간이 되는 건축물에서의 친환경 추구를 위한 다방면의 여러 노력들이 있어 왔으며, 친환경 건축재료의 개발 및 적용도 이 중 하나라고 할 수 있다.

흙은 매우 오래 전부터 사용되어 온 가장 전통적이고 일반적인 건축재료이다. 주위에 흔해 획득이 쉽고 가격이 저렴하며, 사용하고 난 후 별도의 큰 처리없이 자연으로 순환시킬 수 있어 폐기물 발생이 적으며, 동식물의 생육에 좋은 영향을 미치게 된다. 또한 소성과정을 거치지 않는 경우가 대부분이어서 제조과정중에 투입되어야 하는 내재에너지(Embedded Energy) 측면에서 주요 건축재료인 콘크리트(500kWH/m<sup>3</sup>), 시멘트벽돌(1,140 kWH/m<sup>3</sup>), 철(6,100kWH/m<sup>3</sup>), 알루미늄(195,000 kWH/m<sup>3</sup>) 등에 비해 극히 적은 8kWH/m<sup>3</sup> 만을 소비<sup>1)</sup>하므로 매우 친환경적인 건축재료라고 할 수 있다. 이러한 장점을 반영, 흙을 주원료로 하는 현대화된 건축재료들이 다양한 형태로 개발되고 있으며 장차 활용 가능성은 매우 크다고 하겠다.

그러나 현대 흙 건축재료의 경우 아직 개발 및 보급 초기단계에 있다고 할 수 있으며 관련 연구가 폭넓게 이루어지지 않은 관계로, 구조적 물성 이외에 건물 에너지성능 및 인간의 쾌적성과 건강에 직

접적 영향을 미치게 되는 건축환경 관련 물성 파악은 아직 미흡하여, 체계적인 건축재료 개발 및 수치해석 등을 통한 적용시의 성능 예측과 평가에 어려움이 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 유형별 현대 흙 건축재료 현황을 파악한 후, 주요 흙 건축재료들에 대한 열환경(열전도율, 비중, 비열) 및 실내 공기환경(포름알데히드, 휘발성유기화합물 방출강도) 측면에서의 물성을 측정하고 기존 건축재료와 비교 분석함으로써, 현대 흙 건축재료의 객관적 성능자료를 도출하고자 하였다.

## 2. 유형별 현대 흙 건축재료 현황

### 2.1 흙 건축재료의 유형별 분류

현재 국내외에서 주로 사용되거나 개발되고 있는 흙 건축재료들을 공법 및 적용부위별로 유형을 분류하면 표 1과 같다.

표 1. 현대 흙 건축재료의 유형별 분류

공법	재 료	적용부위
조적	· 흙벽돌, 흙블록	구조체, 외장
다짐, 타설	· 현장형성 흙 건축재료	구조체
바름	· 흙미장재	외장, 내장
	· 흙도장재	
부착	· 흙보드 및 몰딩 · 흙벽지 및 장판	내장

조적에 의해 시공하는 흙벽돌, 흙블록 등의 경우 구조체 혹은 외장용으로 적용되며 다양한 크기 및 용도의 제품이 생산되고 있다. 구조체에 주로 적용하는 현장형성 흙 건축재료는 콘크리트의 경우와 유사하게 거푸집내에 채워넣은 후 다지거나 혹은 타설(유동성을 좋게 하여 부어넣음)하여 시공하게 된다. 흙미장재 및 도장재는 분말을 물과 혼합한 후 혹은 액상제품을 발라서 시공하게 된다. 흙보드 및 몰딩, 흙벽지 및 장판 등은 접착매체 등을 이용 부착하는 방식으로 시공된다.

1) 차정만, 지속가능한 건축재료의 개발과 흙, 대한건축학회지, 2003.12, p.50

## 2.2 유형별 흙 건축재료 현황

표 1의 유형별 분류에서 흙건축물에 가장 많이 적용되고 있으며 대표적인 건축재료는 흙벽돌, 현장형성 흙 건축재료, 흙미장재라고 할 수 있으며 각각의 제조, 적용 현황은 다음과 같다.

### (1) 흙벽돌

흙벽돌은 짚 등을 썰어 흙과 섞은 후 손으로 찍은 재래식 흙벽돌과, 기계적으로 압력을 가하여 강도를 높인 고강도 흙벽돌로 구분할 수 있다. 현재 국내외에서 벽돌을 사용하는 흙건축물에는 고강도 흙벽돌이 많이 쓰이고 있으며, 미적 기능적 측면에서 재래식 흙벽돌에 비해 월등한 성능을 보이고 있다. 흙벽돌은 구조체 구성재, 내외부의 바닥재로 뿐만 아니라, 인테리어를 목적으로 쓰이기도 하며, 고강도 흙벽돌의 경우 일반벽돌 크기부터 대형벽돌 크기까지 다양한 규격으로 생산 가능하다.

### (2) 현장형성 흙 건축재료

현장형성 흙 건축재료는 시공 현장에서 물과 배합하여 사용하며, 주로 구조체 구성을 위한 다짐 혹은 타설 공법용 재료가 된다. 다짐 혹은 타설공법에 의한 구조체는 일체식으로 이루어지며, 수축율이 적고 강도가 높다. 다짐 혹은 타설 공법은 프랑스, 호주 등에서 주요 흙건축 공법으로 널리 쓰이고 있으며, 국내에서도 적용이 늘어나고 있다.

### (3) 흙미장재

흙미장재는 기존의 시멘트 모르타르를 대체하여 이용 가능하다. 흙벽돌 조적시 벽돌간 줄눈재로 이용될 뿐만 아니라, 벽체, 바닥 등의 내외 미장재로 널리 사용되고 있다.

## 3. 건축환경 관련 물성 측정

주요 흙 건축재료 및 비교분석을 위한 시멘트 건축재료 시편을 자체 제작한 후<sup>2)</sup> 국가 인증 물성시

험기관에 의뢰, 열환경 및 공기환경 관련 물성을 측정하였다.

### 3.1 열환경 관련 물성 측정

#### (1) 측정 항목 및 측정 방법

측정 항목은 단열성능 평가 척도로서 열전도율, 축열성능 평가 척도로서 비중 및 비열로 하였다. 이 세가지 항목은 건물의 에너지성능과 열쾌적에 매우 큰 영향을 미치며, 건물 구조체 전열해석 및 건물 에너지해석에 필수적인 재료 물성치이기도 하다. 열전도율과 비중은 요업기술원을 통해 열전도율의 경우 KS L 9016<sup>3)</sup>, 비중(기건비중)의 경우 KS F 4004<sup>4)</sup>에 따라 측정하였다. 비열은 한국과학기술원 열물성시험실을 통해 ASTM E 1269 분석방법<sup>5)</sup>에 따라 측정하였다. 열전도율과 비중 측정은 요구 규격인 200×200×30mm 크기의 시편을 대상으로 하였으며, 비열 측정은 각 재료별 미세 분말 시편을 대상으로 하였다. 각 시편은 동일 환경에서 동일 재령을 갖도록 제작하였다.

#### (2) 열환경 관련 물성 측정 재료 선정

흙 건축재료의 경우 가장 대표적인 흙벽돌(조적), 현장형성 흙 건축재료(다짐, 타설), 흙미장재(바름)을 대상으로 우선 6종을 선정하였다. 한편 현대 흙건축물에서 구조체에서와 마찬가지로 흙을 이용한 단열재 적용은 건축주들의 주요 요구사항이며, 이를 반영 흙을 주원료로 하는 입자흙 단열재가 개발된 바 있다. 이에 따라 물성 측정 재료로 입자흙 단열재(기타) 1종을 추가하였다.

흙 건축재료와의 비교분석을 위한 시멘트 건축

2) 시편 재료 성분 및 특징 등은 C사 생태건축연구소에서 제공  
 3) KS L 9016(2005) : 보온재의 열전도율 측정방법(KS L 9016의 경우 열전도율이 0.15W/mK 이하인 재료에서 보다 정확하고 효과적인 방법이나, 현재 국내 여건상 열전도율 0.15W/mK를 초과하는 재료에 대한 별도의 측정 기준 및 측정 장치가 부재하여 이를 적용함)  
 4) KS F 4004(2003) : 콘크리트 벽돌  
 5) ASTM E 1269 : Specific Heat by DSC

재료로는 시멘트벽돌과 시멘트몰탈A(일반 시멘트 몰탈)를 선정하였다. 다짐, 타설공법에 의한 현장 형성 흙 건축재료의 경우 콘크리트, 입자흙 단열재의 경우 일반 단열재가 비교대상이 될 수 있을 것이다. 콘크리트와 일반 단열재의 경우 이미 여러 자료를 통해 물성이 충분히 파악되어 있는 것으로 판단, 물성 측정시 제외하는 것으로 하였다.

열환경 관련 물성 측정을 위해 선정된 각 건축재료 상세는 표 2와 같고, 시험방법의 규정에 따라 제작된 시편 사진은 표 3과 같다.

표 2. 열환경 관련 물성 측정 재료 선정

구분	공법	재료명	성분	압축강도
흙	조적	고강도 흙벽돌	흙, 마사토, 슬래그, 석회	30N/m <sup>2</sup>
		재래식 흙벽돌	흙, 모래, 짚	10N/m <sup>2</sup>
	다짐	흙다짐재	흙, 모래	10N/m <sup>2</sup>
	타설	고강도흙타설재A	흙, 마사토, 슬래그, 석회	20N/m <sup>2</sup>
		고강도흙타설재B	가공된 흙, 석회, 모래, 경량골재	20N/m <sup>2</sup>
	바름	흙미장재	흙, 모래, 짚	5N/m <sup>2</sup>
	기타	입자흙 단열재	가공된 흙, 석회, 모래	15N/m <sup>2</sup>
시멘트	조적	시멘트벽돌	시멘트, 모래	20N/m <sup>2</sup>
	바름	시멘트몰탈A	시멘트, 모래	20N/m <sup>2</sup>

### 3.2 공기환경 관련 물성 측정

#### (1) 측정 항목 및 측정 방법

측정 항목은 포름알데히드와 휘발성유기화합물의 방출강도로 하였다. 포름알데히드는 눈, 코, 목 등의 자극을 야기하며, 노출 용량이 크면 천식과 간장, 신장 등이 손상될 수 있는 유해 물질이다. 휘발성유기화합물 중 주요물질인 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 스티렌, 자일렌 등도 신경계에 독성으로 작용하며, 구토를 유발하는 등의 발암성 물질로 알려져 있다. 중앙대학교 친환경건축연구

표 3. 열환경 관련 물성 측정 재료 시편 사진

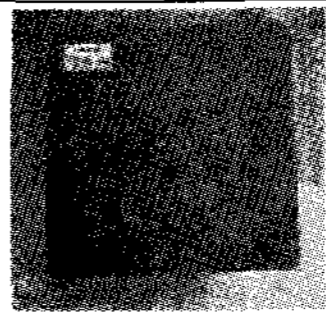

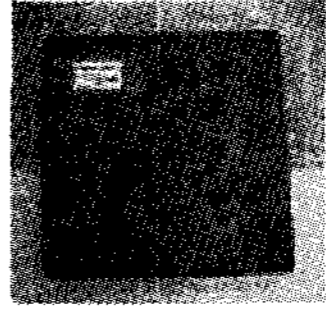
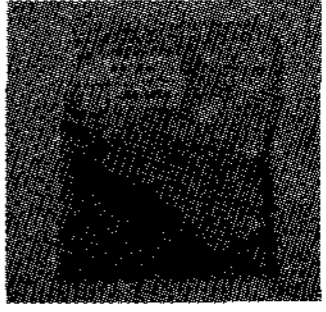
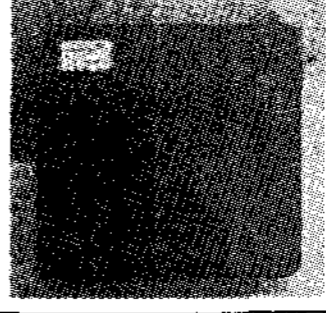
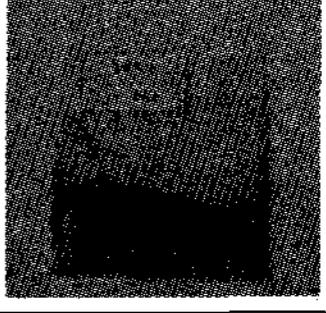
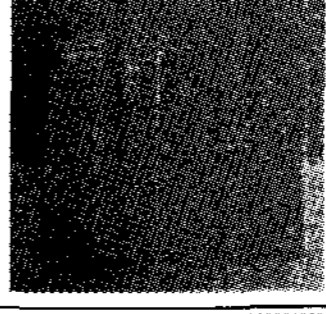
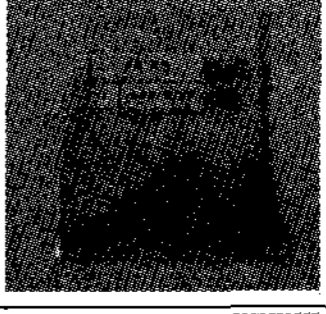
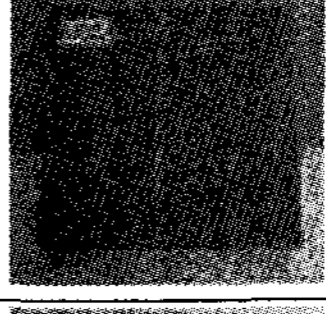
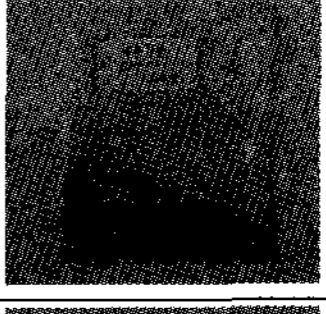
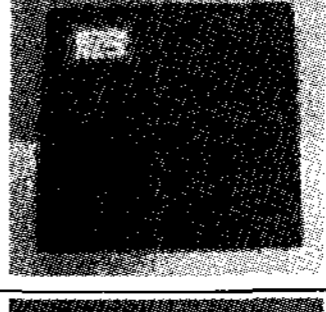
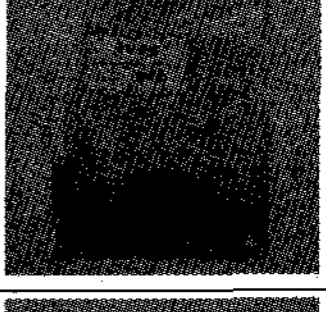
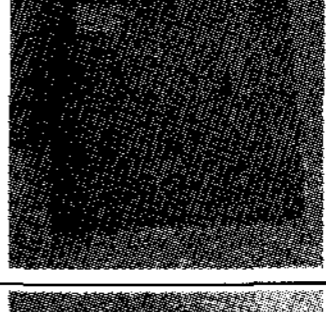
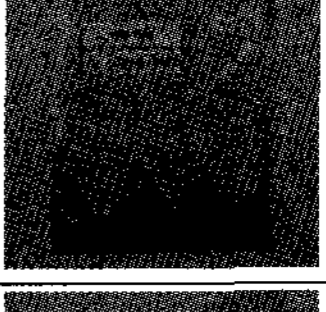
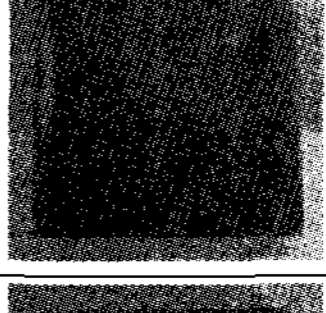

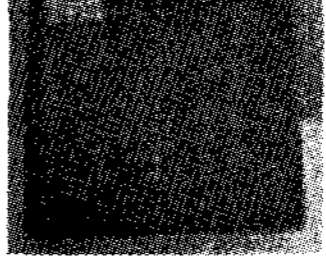
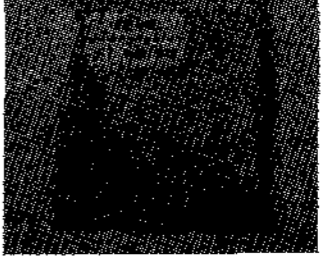
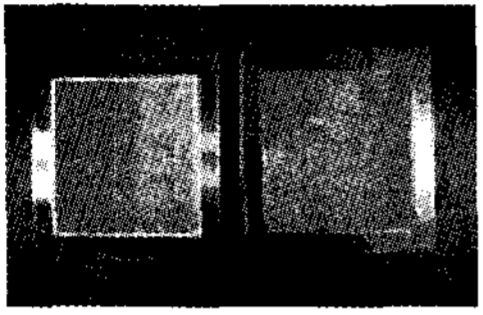
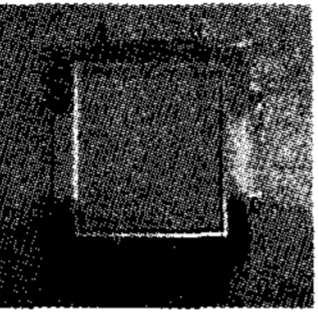
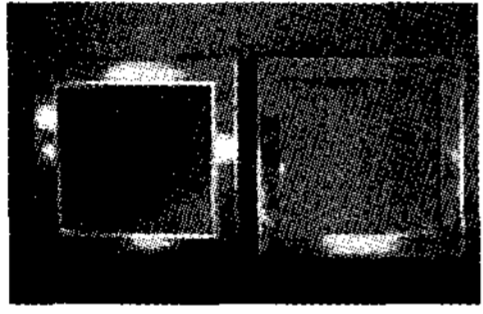
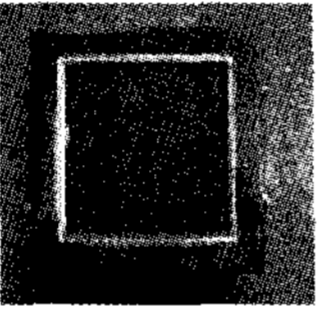
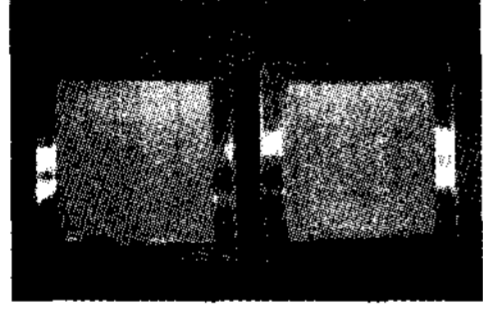
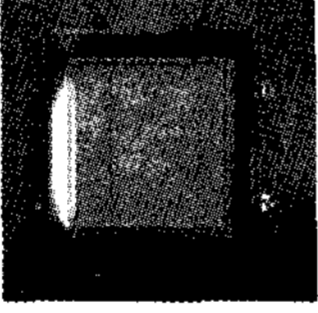
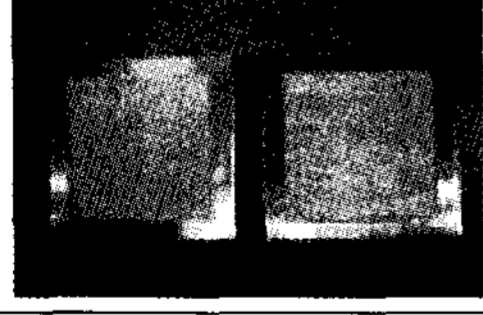
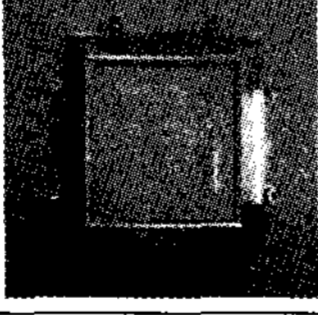
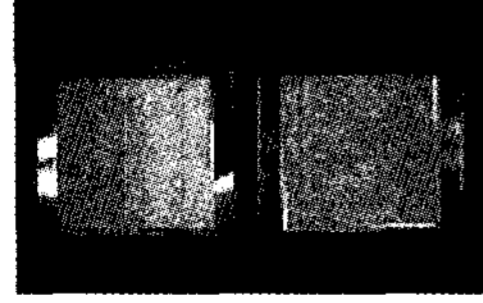
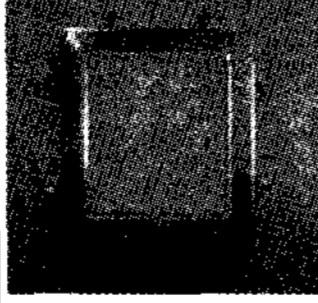
구분	열전도율, 비중	비열
고강도 흙벽돌		
재래식 흙벽돌		
흙다짐재		
고강도 흙타설재A		
고강도 흙타설재B		
흙미장재		
입자흙 단열재		
시멘트벽돌		
시멘트몰탈A		



표 4. 공기환경 관련 물성 측정 재료 선정

구분	공법	재료명	성분	압축강도
흙	타설	고강도 흙타설재A	흙, 마사토, 슬래그, 석회	20N/mm <sup>2</sup>
		흙미장재	흙, 모래, 짚	5N/mm <sup>2</sup>
	바름	고강도 흙미장재	가공된 흙, 석회, 모래	15N/mm <sup>2</sup>
시멘트	바름	시멘트몰탈A	시멘트, 모래	20N/mm <sup>2</sup>
		시멘트몰탈B	시멘트, 모래, 몰다인	20N/mm <sup>2</sup>

표 5. 공기환경 관련 물성 측정 재료 시편 사진

구분	액상 시편	고체상 시편
고강도 흙타설재 A		
흙미장재		
고강도 흙미장재		
시멘트 몰탈A		
시멘트 몰탈B		

센터 (주)GSA컨설턴트를 통해 실내공기질공정시험방법<sup>6)</sup>의 소형챔버법에 의한 건축자재 방출 오염 물질 측정방법에 따라 포름알데히드(HCHO), 총 휘발성유기화합물(TVOC) 및 24개 주요 휘발성유

기화합물질의 방출강도를 측정하였다. 측정은 액상 및 고체상 시편의 두 가지 경우로 구분하여 실시하였으며, 액상 시편의 경우 동일 환경에서 분말상태인 각각의 재료를 물과 배합한 후 재료당 2개의 유리판 위에 도포하여 건조 4일 후 챔버에 넣고 7일차 방출강도를 측정하였다.(총 11일 경과치 측정) 고체상 시편의 경우 동일 환경에서 165×165×50 mm 규격으로 시편을 만들고 일반적 양생기간인 4주간 자연건조 후 챔버에 넣고 7일차 방출강도를 측정하였다.(총 35일 경과치 측정)

(2) 공기환경 관련 물성 측정 재료 선정

실내측과 인접하여 설치되는 건축재료 일수록 실내 공기환경에 미치는 영향이 크게 되므로, 본 연구에서는 벽지 등의 최종 마감을 제외하고는 실내측과 가장 인접하게 되는 경우를 대상으로, 타설 공법에 의한 흙 건축재료로 좀 더 많이 쓰이고 있는 고강도 흙타설재A와 흙미장재 및 고강도 흙미장재의 3종을 선정하였다.

흙 건축재료와 비교분석을 위한 시멘트 건축재료로는 시멘트몰탈A, B를 선정하였다. 시멘트몰탈A는 일반 시멘트몰탈이며, 시멘트몰탈B는 벽체에 바를 때 부착을 쉽게 하기 위해 몰탈용 접착제로 사용되는 몰다인을 지정 배합비대로 첨가한 것이다.

공기환경 관련 물성 측정을 위해 선정된 각 건축재료 상세는 표 4와 같고, 시험방법의 규정에 따라 제작된 시편 사진은 표 5와 같다.

4. 건축환경 관련 물성 측정 결과 및 비교 분석

4.1 열환경 관련 물성 비교 분석

(1) 측정 결과 및 비교 분석

흙 및 시멘트 건축재료의 열환경 관련 물성 측정 결과는 표 6과 같다. 여기에서 열용량은 비중과 비열의 곱으로 산출한 것이며, 콘크리트와 스티로폴의 물성치는 측정에 의한 것이 아니라 비교를 위해

6) 환경부고시 제2004-80호, 2004. 6. 5

표 6. 열환경 관련 물성 측정 결과

구분	공법	재료명	열전도율 (W/mK)	비중 (kg/m <sup>3</sup> )	비열 (kJ/kgK)	열용량 (kJ/m <sup>2</sup> K)
흙	조적	고강도 흙벽돌	0.5014	2,050	0.962	1,972.1
		재래식 흙벽돌	0.4255	1,890	0.884	1,670.8
	다짐	흙다짐재	0.4760	1,840	1.092	2,009.3
	타설	고강도 흙타설재A	0.4105	2,140	0.905	1,936.7
		고강도 흙타설재B	0.5076	1,660	0.962	1,596.9
	바름	흙미장재	0.5372	1,910	0.754	1,440.1
	기타	입자흙 단열재	0.2823	1,280	0.832	1,065.0
시멘트	조적	시멘트벽돌	0.4577	1,800	0.942	1,695.6
	다짐, 타설	콘크리트	1.4000	2,300	0.880	2,024.0
	바름	시멘트 몰탈A	0.4116	1,830	0.916	1,676.3
	기타	스티로폴	0.0400	16	1.210	19.4

〈비고〉

- 열전도율 측정환경 : 건구온도 22~23℃, 상대습도 57~58%
- 비열은 20℃에서의 측정 결과임
- 열용량은 비중과 비열의 곱으로 산출함
- 콘크리트와 스티로폴 물성치는 측정에 의한 것이 아니며, 비교를 위해 기존 자료를 인용한 것임

기존 자료<sup>7)</sup>를 인용한 것이다. 열전도율은 단열성능의 평가 척도로서 작을수록 열전달 저항이 커 구조체를 통한 열손실 및 열획득을 줄여주게 된다. 열용량은 축열성능의 평가 척도로서 클수록 구조체를 통한 열전달 지연효과가 커 타임랙이 길어지게 되고, 보통 외기 온도 변화에 따른 실내 온도의 변화 폭을 줄여주는 효과가 있다. 또한 축열 혹은 축냉으로 인해 냉난방 초기의 기동부하는 커지게 되

나 냉난방 정지시 실내 열환경 변화 속도를 늦추는 효과가 있다. 건축재료의 단열성능과 축열성능은 보통 상호 반비례 관계에 있게 된다.

흙 및 시멘트 건축재료의 열전도율을 공법별로 비교해 보면, 조적의 경우 고강도 흙벽돌과 재래식 흙벽돌은 각각 0.5014, 0.4255W/mK이며, 시멘트벽돌은 0.4577W/mK로 나타났다. 이를 통해 고강도 흙벽돌은 시멘트벽돌에 비해 단열성능이 약간 낮으나 재래식 흙벽돌은 약간 높다고 할 수 있다.

다짐, 타설의 경우, 흙다짐재, 고강도 흙타설재A 및 B의 열전도율은 각각 0.4760, 0.4105, 0.5076 W/mK로 나타났으며, 콘크리트 1.4000W/mK의 약 1/3 수준이다. 이를 통해 흙다짐재, 고강도 흙타설재A 및 B는 콘크리트에 비해 단열성능이 상당히 높다고 할 수 있다.

바름의 경우, 흙미장재의 열전도율은 0.5372 W/mK이며, 시멘트몰탈A는 0.4116W/mK로 나타났다. 이를 통해 흙미장재는 시멘트몰탈A에 비해 단열성능이 약간 낮다고 할 수 있다.

기타에서 입자흙 단열재의 열전도율은 0.2823 W/mK로 나타났으며, 스티로폴 0.0400W/mK에 비해 상당히 큰 값이다. 입자흙 단열재의 열전도율은 건축물의 에너지절약 설계기준<sup>8)</sup>내 단열재의 등급분류에서 가장 단열성능이 낮은 1등급(0.047~0.051W/mK)에도 해당되지 않아 동일 두께 적용 시 기존 단열재의 대체재로 사용하기에는 무리가 있으며, 흙건축물에서 구조체 단열성능 향상을 위한 보조재로서 사용이 가능할 것으로 판단된다.

흙 및 시멘트 건축재료의 열용량을 공법별로 비교해 보면, 조적의 경우 고강도 흙벽돌과 재래식 흙벽돌은 각각 1,972.1, 1,670.8kJ/m<sup>2</sup>K이며, 시멘트벽돌은 1,695.6kJ/m<sup>2</sup>K로 나타났다. 이를 통해 고강도 흙벽돌은 시멘트벽돌에 비해 축열성능이 약간 높고 재래식 흙벽돌은 약간 낮다고 할 수 있다.

다짐, 타설의 경우, 흙다짐재, 고강도 흙타설재

7) F.P. Incropera and D.P. Dewitt, Introduction to Heat Transfer, Fourth Edition, Wiley, 2003, pp.839-844

8) 건설교통부 고시 제2003-314호, 2003. 1. 7

A 및 B의 열용량은 각각 2,009.3, 1,936.7, 1,596.9 kJ/m<sup>3</sup>K로 나타났으며, 콘크리트는 2,024.0 kJ/m<sup>3</sup>K이다. 이를 통해 흙다짐재, 고강도 흙타설재A는 콘크리트에 비해 축열능력이 약간 낮으나 거의 유사하고, 고강도 흙타설재B는 낮다고 할 수 있다.

바름의 경우, 흙미장재의 열용량은 1,440.1kJ/m<sup>3</sup>K이며, 시멘트모탈A는 1,676.3kJ/m<sup>3</sup>K로 나타났다. 이를 통해 흙미장재는 시멘트모탈A에 비해 축열능력이 약간 낮다고 할 수 있다.

기타에서 입자흙 단열재의 열용량은 1,065.0kJ/m<sup>3</sup>K로 나타났으며, 스티로폴 19.4kJ/m<sup>3</sup>K에 비해 상당히 큰 값이다. 이는 입자흙 단열재의 단열능력이 스티로폴에 비해 매우 낮음을 감안하면 당연한 결과라고 할 수 있다.

## 4.2 실내 공기환경 관련 물성 비교 분석

### (1) 측정 결과 및 비교 분석

흙 및 시멘트 건축재료의 액상(총 11일 경과치 측정) 및 고체상(총 35일 경과치 측정) 시편별 포름알데히드(HCHO) 및 총휘발성유기화합물(TVOC) 방출강도 측정 결과는 표 7과 같다. 다중이용시설 등의 실내공기질관리법, [별표 5] 건축자재에서 방출되는 오염물질<sup>9)</sup> 상에서 정하고 있는 오염물질 방출 건축자재의 판단 기준은 표 8과 같으며, 한국공기청정협회 친환경 건축자재 인증등급 기준은 표 9와 같다.

한편 참고를 위해 다중이용시설 등의 실내공기질관리법, [별표 4의2] 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준상에서 정하고 있는 주요 휘발성유기화합물물질별 방출강도에 대한 흙 및 시멘트 건축재료의 액상 및 고체상 시편별 측정 결과를 표 10에 나타내었다.

액상 시편에 대한 흙 및 시멘트 건축재료의 포름알데히드 및 총휘발성유기화합물 방출강도를 한국

공기청정협회 친환경 건축자재 인증등급 기준에 따라 비교해보면, 모든 경우에서 최우수 등급에 해당하여 매우 우수한 것으로 나타났다. 포름알데히드 방출강도는 모든 경우에서 0.002~0.003mg/m<sup>3</sup>h에 분포하며, 총휘발성유기화합물 방출강도는 흙미장재와 시멘트모탈B에서 다른 경우에 비해 약간 높은 0.020, 0.016mg/m<sup>3</sup>h이 나타났다. 흙미장재와 시멘트모탈B의 총휘발성유기화합물 방출강도가 다른 경우에 비해 약간 높은 것은 흙미장재에 혼합된 짚과 시멘트모탈B에 혼합된 몰다인에 의한 영향인 것으로 보인다.

고체상 시편에서는 고강도흙타설재A와 흙미장재의 포름알데히드 방출강도만 우수 등급에 해당하고 나머지 경우는 모두 최우수 등급에 해당하여 매우 우수한 것으로 나타났다. 포름알데히드 방출강도는 고강도흙타설재A와 흙미장재를 제외한 모든 경우에서 0.000~0.003mg/m<sup>3</sup>h에 분포하며, 총휘발성유기화합물 방출강도는 흙 건축재료가 시멘트 건축재료에 비해 약간 높게 나타났다. 흙 건축재료의 포름알데히드 및 총휘발성유기화합물 방출강도가 시멘트 건축재료에 비해 약간 높게 나타난 것은 시멘트와 달리 별도의 소성과정을 거치지 않는 흙의 특성상 시편의 원 재료상에 오염물질이 일부 포함되어있기 때문일 것으로 추측된다. 그러나 전체적인 등급 분포에서 대부분 최우수 등급이므로 별 문제 없을 것으로 판단된다.

한편 시멘트모탈용 접착제로 사용되는 몰다인을 지정 배합비대로 첨가한 시멘트모탈B의 포름알데히드 및 총휘발성유기화합물 방출강도는 첨가하지 않은 시멘트모탈A보다 높을 것으로 예상하였으나, 액상 시편에서는 시멘트모탈B가 약간 높고, 고체상 시편에서는 시멘트모탈B가 오히려 약간 낮아, 지정 배합비에 의한 몰다인 첨가는 전체적인 포름알데히드 및 총휘발성유기화합물 방출강도의 절대량 측면에서 큰 문제가 되지 않는 것으로 나타났다.

9) 환경부, 다중이용시설 등의 실내공기질관리법, 2006. 3. 14

표 7. 포름알데히드(HCHO) 및 총휘발성유기화합물(TVOC) 방출강도 측정 결과(방출강도 단위 : mg/m<sup>2</sup>h)

시편	구분	공법	재료명	HCHO		TVOC	
				방출강도	인증등급	방출강도	인증등급
액상 (11일 경과치)	흙	타설	고강도 흙타설재A	0.003	최우수	0.006	최우수
			흙미장재	0.002	최우수	0.020	최우수
		바름	고강도 흙미장재	0.002	최우수	0.002	최우수
	시멘트		바름	시멘트 몰탈A	0.002	최우수	0.008
		시멘트 몰탈B		0.003	최우수	0.016	최우수
		고체상 (35일 경과치)	흙	타설	고강도 흙타설재A	0.010	우수
흙미장재	0.013				우수	0.039	최우수
바름	고강도 흙미장재			0.002	최우수	0.027	최우수
	시멘트		바름	시멘트 몰탈A	0.003	최우수	0.010
시멘트 몰탈B				0.000	최우수	0.006	최우수

표 8. 환경부 오염물질 방출 건축자재 판단기준 (방출강도 단위 : mg/m<sup>2</sup>h)

오염물질	구분	접착제	일반자재
포름알데히드		4 이상	1.25 이상
총휘발성유기화합물		10 이상	4 이상

표 9. 한국공기청정협회 친환경 건축자재 인증등급 기준(방출강도 단위 : mg/m<sup>2</sup>h)

구분		일반자재	페인트	접착제
최우수	HCHO	0.005미만	0.005 미만	0.01 미만
	TVOC	0.10미만	0.10 미만	0.25 미만
우수	HCHO	0.005 이상 ~ 0.02 미만	0.005 이상 ~ 0.02 미만	0.01 이상 ~ 0.12 미만
	TVOC	0.10 이상 ~ 0.20 미만	0.10 이상 ~ 0.20 미만	0.25 이상 ~ 0.50 미만
양호	HCHO	0.02 이상 ~ 0.12 미만	0.02 이상 ~ 0.12 미만	0.12 이상 ~ 0.40 미만
	TVOC	0.20 이상 ~ 0.40 미만	0.20 이상 ~ 0.40 미만	0.50 이상 ~ 1.50 미만
일반 I	HCHO	0.12 이상 ~ 0.60 미만	0.12 이상 ~ 0.60 미만	0.40 이상 ~ 2.00 미만
	TVOC	0.40 이상 ~ 2.00 미만	0.40 이상 ~ 2.00 미만	1.50 이상 ~ 5.00 미만
일반 II	HCHO	0.60 이상 ~ 1.25 미만	0.60 이상 ~ 1.25 미만	2.00 이상 ~ 4.00 미만
	TVOC	2.00 이상 ~ 4.00 미만	2.00 이상 ~ 4.00 미만	5.00 이상 ~ 10.00 미만

표 10. 주요 휘발성유기화합물질 방출강도 측정 결과 (방출강도 단위 : mg/m<sup>2</sup>h)

시편	구분	공법	재료명	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	스티렌	자일렌	계
액상 (11일 경과치)	흙	타설	고강도 흙타설재A	0.10 3	1.18 1	0.17 4	0.04 3	0.59 9	2.10 0
			흙미장재	0.00 0	0.56 1	0.23 1	0.04 1	2.35 7	3.19 0
		시멘트	바름	고강도 흙미장재	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0
	바름			시멘트 몰탈A	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0
			시멘트 몰탈B	0.07 4	1.48 9	0.31 1	0.01 8	0.35 5	2.24 7
		고체상 (35일 경과치)	흙	타설	고강도 흙타설재A	0.03 8	0.19 0	0.04 0	0.04 1
흙미장재	0.00 0				0.17 5	0.10 2	0.03 1	1.73 8	2.04 6
시멘트	바름			고강도 흙미장재	0.02 1	0.16 9	0.03 2	0.06 6	0.14 6
			바름	시멘트 몰탈A	0.02 4	0.24 9	0.06 1	0.05 0	0.19 0
	시멘트 몰탈B			0.02 2	0.30 1	0.08 2	0.03 5	0.25 5	0.69 5
환경부, 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준 (μg/m <sup>3</sup> 이하)				30	1,000	360	300	700	-

신축 공동주택의 실내공기질 권고기준상에서 정하고 있는 주요 휘발성유기화합물질별 방출강도는 액상 및 고체상 시편 모두에서 매우 낮게 나타났다. 총량을 보면 흙미장재와 시멘트몰탈B가 다른 경우에 비해 약간 높게 나타났으며, 이는 흙미장재의 경우 짙, 시멘트몰탈B의 경우 몰다인에 의한 영향인 것으로 판단된다.

### 5. 결론

주요 흙 건축재료들에 대한 열환경(열전도율, 비중, 비열) 및 실내 공기환경(포름알데히드, 휘발성유기화합물 방출강도) 측면에서의 물성을 측정하고 기존 건축재료와 비교 분석함으로써, 현대 흙 건축재료의 객관적 성능자료를 도출하고자 한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 흙벽돌의 경우 종류에 따라 약간의 차이는



있지만 시멘트벽돌과 단열성능 및 축열성능이 유사한 것으로 나타났다.(시멘트벽돌에 비해 고강도 흙벽돌은 단열성능 약간 낮고 축열성능 약간 높으며, 재래식 흙벽돌은 그 반대임) 흙다짐재 및 타설재는 콘크리트에 비해 단열성능은 매우 높고 축열성능은 종류에 따라 약간의 차이는 있지만 유사한 것으로 나타났다. 흙미장재는 시멘트모탈에 비해 단열성능과 축열성능 모두 약간 낮은 것으로 나타났으며 입자흙 단열재는 단열성능이 낮아 동일 두께 적용시 기존 단열재의 대체재가 아닌 흙건축물에서의 단열보조재로 사용 가능할 것으로 판단된다.

(2) 액상(총 11일 경과치 측정) 및 고체상(총 35일 경과치 측정) 시편 모두에서, 포름알데히드 및 총휘발성유기화합물 방출강도는 대부분 한국공기청정협회 친환경 건축자재 인증등급상 최우수 등급에 해당하여(고체상 시편에서 고강도흙타설재A와 흙미장재의 포름알데히드 방출강도만 우수 등급에 해당), 매우 우수한 것으로 나타났다.

액상 시편에서는 흙미장재와 시멘트모탈B의 총휘발성유기화합물 방출강도가 다른 경우에 비해 약간 높으며, 이는 흙미장재에 혼합된 짚과 시멘트모탈B에 혼합된 몰다인에 의한 영향인 것으로 보인다. 고체상 시편에서는 흙 건축재료의 포름알데히드 및 총휘발성유기화합물 방출강도가 시멘트 건축재료에 비해 약간 높으며, 이는 시멘트와 달리 별도의 소성 과정을 거치지 않는 흙의 특성상 시편의 원 재료상에 오염물질이 일부 포함되었기 때문일 것으로 추측된다. 그러나 전체적인 등급 분포에서 대부분 최우수 등급이므로 별 문제 없을 것으로 판단된다.

액상 및 고체상 시편 모두에서 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준상에서 정하고 있는 주요 휘발성유기화합물질별 방출강도는 매우 낮다. 총량을 보면 흙미장재와 시멘트모탈B가 다른 경우에 비해 약간 높으며, 이 역시 흙미장재의 경우 짚, 시멘트모탈B의 경우 몰다인에 의한 영향인 것으로 판단된다.

## 후 기

이 논문은 교육인적자원부 지방연구중심대학육성사업(바이오하우징연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

1. 손부순, 양원호, 실내공기오염, 신광문화사, 2006
2. 송승영, 공동주택 외피접합부 열교부위의 최적 단열상세결정방법에 관한 연구, 박사학위논문, 서울대학교 대학원, 1998.2
3. 유형규, 박진철, 이연구, 실내건축자재 폼알데하이드 및 휘발성유기화합물 방출 특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), 21권 7호, 2005.7
4. 이케다 코우이치, 양성봉, 유미진, 안철 역, 실내공기오염의 원인과 대책, (주)수도프리미엄엔지니어링출판부, 2004
5. 장용성, 박효순, 친환경 점토질 다공블럭 벽체의 열성능 분석 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 4권 3호, 2004.9
6. 차정만, 지속가능한 건축재료의 개발과 흙, 대한건축학회지, 2003.12
7. 한경희, 김자경, 생태학적 관점에 의한 환경친화적 건축 재료에 관한 연구, 한국실내디자인학회 논문집, 41권, 2003.12
8. 황혜주, 환경친화 주거단지 외부공간의 환경친화형 재료개발, 한국그린빌딩협의회 2004 춘계학술강연회, 2004
9. ASHRAE, ASHRAE Handbook 2005 Fundamentals, ASHRAE, 2005
10. F.P. Incropera and D.P. Dewitt, Introduction to Heat Transfer, Fourth Edition, Wiley, 2003