

흙건축 공법의 시대적 관점에 따른 조적 및 미장시공 사례분석

A Case Analysis on the Brickworks and Plastering Works of the Earth Construction according to the Periodical Perspective

이종국* 김철** 김태경** 김덕문***
Lee, JongKook Kim, Cheol Kim, TaeKyung Kim, DerkMoon

Abstract

We intend to offer theoretical bases of earth construction technology through the analysis of cases of brickworks and plastering works in the city of Gumi, Kyeongsangbukdo. We search for those instances of earth buildings to confirm the trend that earth construction is recognized as environment-friendly, sustainable and newly spotlighted field to alternatives of building construction. We made a frame of analysis through theoretical consideration about earth construction and prior study. Then, we analyzed the selected buildings which is selected by priority in the city of Gumi as authorized preservation value, cultural assets and recently built modern constructions. We found out some problems in structural strength, durability and fire proofing and the invisible development of technologies of earth construction method in this case analysis.

키워드 : 흙건축, 조적, 미장, 구미

Keywords : Earth construction, Brickwork, Plastering, Gumi

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

오늘날 건축 재료의 개선을 통한 근본적 환경친화건축에 대한 관심과 기술적 요구가 꾸준히 늘어나고 있다. 실제로 건축 재료를 통한 근본적인 친환경건축에 관심은 현대의 새로운 병으로 인식되어진 주거병으로 고통을 겪고 있는 사람들이 늘어나면서부터 자연스럽게 형성된 관심이었다. 가장 잘 알려진 주거병으로는 새집증후군이 있다. 현재 새집증후군이라는 병은 건축물 또는 실내공간에서 구조재나 마감재에서 발생하는 휘발성 물질이 배출됨으로써 발생한 질병이다. 과거 우리 조상들은 재료적인 특성상 새집증후군이라는 병이 없었기 때문에 현대인들은 과거로 회귀하려는 현상이 나타나고 있다. 그래서 최근 나무, 흙, 돌 등 자연에서 쉽게 얻을 수 있는 친숙한 재료를 통한 건축에 대한 관심이 증가되고 있다(임상훈, 2005).

또한, 우리나라는 한정된 건축기술, 건축비용의 절약 등의 이유로 전통 건축물에 흙이 사용되었다. 또한 다른 건

축에 있어서도 기후 특성에 맞추어서 더위나 추위에 이로운 재료를 사용하였다. 현대사회에 오면서 건축의 재료가 바뀌고 과거에 훌륭한 흙건축 기술이 전해지지 않고 사라질 위기에 처해 있지만 대중의 관심 밖에서 계승되어온 흙건축 기술들은 오히려 현대에 이르러 많은 수요자들에 의하여 흙건축이 서서히 활성화 되고 있다(임상훈, 2003). 우리의 전통 가옥 기법은 주로 흙이나 목재를 활용하여 왔으며, 목재의 경우 과거 전통적으로 사용해오던 것으로 우리에게 익숙하고, 벽 식, 기둥-보 방식 등 다양한 구법으로 건축이 가능한 장점이 있지만 목재건축 기술은 재료적인 문제와 공급의 한계로 인하여 기술적인 변화나 발전이 어려운 점이 존재한다. 하지만, 흙건축의 경우 전통적인 흙건축 기술에 현대의 건축기술이 접목이 되고 발전하고, 재료적 측면에서도 황토의 기능과 성질 등이 알려지면서 국내에 풍부하게 산재해 있는 황토를 이용하여 건축자재로 활용할 수 있도록 그 적용가능성에 대한 연구가 활발하게 진행되며 발전하고 있다(황혜주, 2007).

이에 본 연구는 전통과 현대라는 시대적 관점에서 흙건축기술의 발전 또는 변화를 사례를 중심으로 살펴보고자 한다. 이를 위하여 이론적 고찰을 통해 흙건축을 이해하고 선행연구 분석을 통하여 실외마감재료 요구성능조건을 도출하여, 경북 구미지역 전통건축과 현대 흙건축의

* 교신저자, 금오공과대학교 건축학부 교수(ljk@kumoh.ac.kr)
** 금오공과대학교 건축학부, 건축공학전공
*** 국립문화재연구소 학예연구관
이 논문은 국립문화재연구소 전통과학기술실용화 연구개발 사업 연구 결과의 일부입니다.

조적 및 미장의 사례분석에 나타난 현상들과 앞서 도출한 요구 성능을 비교분석해 봄으로써 흙건축 기술의 발전가능성을 살펴보도록 한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구는 경북 구미지역 흙건축의 조적 및 미장시공 사례를 통해 흙건축 기술의 발전에 관한 기초적인 연구로서 선행연구 분석을 통한 실외마감재료 요구 성능 조건을 도출하고 흙건축의 조적 및 미장에 관한 사례를 조사 및 분석한다.

본 연구에 조사된 사례는 시대적으로 전통과 현대를 구분하고 시대적 구분)은 한국건축사를 소개한 문헌(김선문, 1996)을 참고한다. 전통건축 사례는 현재 보존가치를 인정받아 문화재로 지정된 건축물에서 흙이 사용된 부위를 중심으로 조사한다. 현대 흙건축의 사례는 관공서나 지역정보검색을 통한 시공사를 선정하고, 이를 토대로 현재 시공 중에 있거나 완성되어 사용되고 있는 건축물을 중심으로 조사한다.

본 연구의 흐름은 아래 그림 1과 같다.

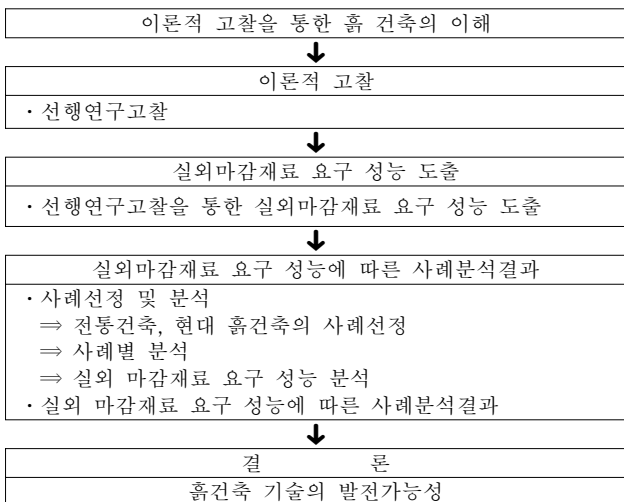


그림 1. 연구 흐름도

1.3 관련 연구 동향

현재 친환경 건축에 대한 관심이 높아짐에 따라 친환경 재료에 관한 연구가 다양하게 이루어지고 있다. 이에 따라 흙건축에 대한 높은 관심은 흙의 건축재료적 역할에 관련한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 먼저, 흙의 성분을 분석하고 물질적 특성을 파악하는 연구가 이루어지고 있으며, 친환경적인 재료로서 흙이 인체에 미치는 영향을 연구하여 인체에 이로운 점은 부각하고 유해성을 줄이는 기술적 연구들이 이루어지고 있다. 이러한 연구들은 다음 표 1같이 정리할 수 있다.

1) 한국건축사의 관련서적을 참고한 결과 1910년을 시점으로 조선왕조 붕괴되면서 서구문물이 강압적으로 국내에 들어와 사회와 문화, 경제에 많은 변화를 가져왔다고 한다. 이에 따른 영향을 받아 건축적으로도 변화가 일어났고 서구적 형태로의 변형이 시작되었다.

표 1. 흙건축 관련 연구 동향

저 자	주 제	관 련 내 용
박정식	흙건축의 생태적 의미와 현대적 이용에 관한 연구 (2000)	흙건축물을 정의하고 육체적인 환경, 심리적 환경 및 역사를 고려해서 생태학적인 의미의 흙건축을 고찰
차정만	지속가능한 건축재료의 개발과 흙 (2003)	현대 건축의 문제점을 고려, 지속가능한 자연 소재의 건축재료 개발 필요성 제시
송설영, 구보경, 송승영	주요 흙 건축재료 현황 및 건축환경 관련 물질 평가에 관한 연구 (2006)	흙건축자재의 오염물질 방출 강도를 측정하고 흙과 시멘트 건축자재를 비교함
황혜주	지역별 황토의 화학적 특성 및 강도발현에 관한 연구 (2006)	황토를 건축적 재료로 이용하기 위한 강도발현 연구
이태구	친환경 건축자재로서 황토마감재 개발을 위한 천연혼화제 비율설정에 관한 연구 (2006)	자연재료를 이용, 친환경 마감재를 개발하기 위한 각 재료에 따른 혼화제의 배합비율
최화용	친환경 흙건축 재료와 공법선정시의 고려사항 (2007)	설계자를 위한 건축재료 선정시의 고려사항 제시

2. 이론적 고찰

2.1 흙건축

흙건축을 규정하는 명확한 정의는 없다. 흙집을 ‘흙을 주재료(건축 재료 중 70% 이상)로 사용하여 지은 집’으로 정의한 예와 흙의 특성을 이용하여 지상이나 지하에 건설하는 건물표면을 흙으로 덮은 형태의 건축이라고 정의(라신호, 1997)하고 있다. 외국에는 토속건축, 환경친화건축을 다루는데서 earth house, earthen architecture, natural building 등을 사용하고 있다.

흙건축은 협의로는 전통적 흙집의 형태인 토벽, 심벽, 흙벽돌 등으로 벽체를 구성한 건물로 정의되며, 광의로는 흙을 일부 마감재료만 사용한 건축을 포함하여 어떠한 형태론든 흙의 장점을 이용하여 건축 재료로 사용하거나 주변 요소로서 이용한 건축으로 정의할 수 있다.

표 2. 흙건축 정의

구분	광의의 흙건축	협의의 흙건축
정의	흙을 건축 재료로 사용, 주변 요소로써 이용한 모든 건축	벽체를 구성하는 주요재료로 사용
사례	토벽, 심벽, 흙벽돌집, 벽 흙미장 마감, 복토, 온돌바다, 미장마감(황토방), 조형물	토벽, 심벽, 흙벽돌집 등 재료의 많은 부분을 흙으로 사용한 건축물과 전통 민가

즉, 흙을 구조체로 사용되거나 구조체의 일부를 이루는 건축 외에 철골이나 철근 콘크리트 구조체 건물의 내·외부에 흙몰탈 마감으로 사용한 건축물 또는 바닥 마감 재료 마감한 건물을 광의의 흙건축에 포함할 수 있으며, 건축의 주변요소로서 흙을 사용한 건축으로까지 그 범위를 확대할 수 있다.

2.2 건축재료로서의 흙

흙 건축 재료란 살아 숨 쉬는 생명의 자원인 흙을 이용하여 인간과 자연이 함께 호흡하는 건축구조물을 만들기 위한 흙 재료를 뜻한다. 흙은 생명 그 자체이고, 생명과 자연이 함께 어우러질 환경을 생산할 최적의 재료라 할 수 있으며, 흙 건축의 역사는 인류의 역사와 그 맥락을 함께 하며, 1만년 전 인류의 최초 도시는 바로 흙을 이용한 흙 건축의 도시였다. 또한 현대 건축재료의 다양한 용도 적용성을 위해 화학적 재료의 사용도 눈에 띄게 많아지고 있는 실정이다. 하지만 화학적 재료로 마감된 실내공간은 새집증후군(sick house syndrome)이라는 문제를 낳고 있다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 대안 중 하나로 떠오르는 것이 바로 살아 숨 쉬는 생명의 자원인 흙을 이용한 건축이다.

즉, 건축에 흙을 사용하여 화학적 오염물질의 발생으로 인한 새집증후군의 발생을 줄이고 건축 재료로서의 내구수명이 다한 후에 파쇄하여 폐기물을 최소화할 수 있어 재활용 처리가 용이한 대표적인 재료가 흙이라 할 수 있다. 또 가장 익숙한 재료인 동시에 가장 흔한 재료이다. 건축 재료로서의 흙은 생산 제조시 환경오염이 적고, 다공적 특성을 가지고 있으며, 온습도 조절능력이 탁월하다. 그러나 무엇보다도 현대적 건축 재료로서 흙의 요구조건을 충족하기 위해서는 흙의 특성을 가능한 최대로 유지하면서 강도와 내구성 문제를 해결해야 한다.

2.3 흙건축 공법

흙을 이용한 많은 축조법은 지역과 환경에 따라 다양하게 나타나고 있다. 그래서 이들을 특정한 기준으로 정확히 분류를 한다는 것은 불가능하다. 일반적으로 벽체의 구축 방식에 따라 일체식(monolithic), 개체식(brickwork), 구조보완식(structure)으로 나눌 수 있다. 이에 따른 일부공법들은 세부방식에 따라 몇 가지로 구분되기도 한다. 본 연구에서는 흙건축 공법을 전통과 현대로 구분하고 그에 따른 세부적 공법들을 벽체의 구축방식에 따른 분류법(Hugo, 1996)을 기준으로 연구를 진행하였다.

2.3.1 전통적 공법

전통적 흙건축 공법을 벽체 구축방식에 따라 구분하고 그에 따른 각각의 세부축조방식을 나열하고 간략히 정리하였으며 그 내용은 아래의 표 3과 같다.

표 3. 전통적 흙건축 공법

일체식 (Monolithic)	흙 파기 (dugout)	땅을 직접 파서 만든 거주지 동굴
	흙 다짐 (compressed earth)	틀 또는 거푸집에 흙을 다져넣어 블록 또는 벽체를 만든다
	흙 부어넣기 (poured earth)	토양을 거푸집 또는 몰드에 부어 일종의 콘크리트 처럼 사용함
	흙 쌓아올리기 (stacked earth)	흙으로 만든 반죽 덩어리를 쌓아 올라가면서 두꺼운 벽체를 만든다

	흙 붙여올리기 (direct shaping)	흙을 사용하여 수공으로 직접 모양을 만든다
개체식 (Brickwork)	자름블록 (cut blocks)	지반에서 직접 흙을 잘라내는 방법
	압출블록 (extrude earth)	토양 반죽이 기계틀을 통해 압출 성형됨
	몰반죽 흙벽돌 (moulded earth)	토양 반죽을 손으로 또는 다양한 모양의 틀을 사용해 벽돌을 만든다
구조보완식 (Structure)	채워넣기 (fill-in)	골조로 사용되는 재료의 빈 공간을 채우기 위한 것
	흙 지붕 (earth-sheltered space)	흙을 제외하고 하나 또는 그 이상의 재료를 사용하여 지은 구조물
	흙짚반죽 공법 (straw clay)	점토질 토양과 짚 섬유를 섞어 만든 슬러리를 말함
	심벽 (daubed earth)	섬유질 성분과 혼합된 점토질 토양을 얇은 벽에 바름

2.3.2 현대적 공법

현대적 흙건축 공법도 전통적 흙건축 공법과 같이 벽체 구축방식에 따라 분류하고 세부축조방식을 나열하여 정리하였다. 현대적 흙건축 공법은 전통적 흙건축 공법과는 달리 세부축조방식에서 차이가 있으며, 형식면에서 큰 차이를 보이지는 않지만 보다 시공성에 바탕을 둔 공법임을 확인 할 수 있으며, 그 내용은 표 4와 같다.

표 4. 현대적 흙건축 공법

일체식 (Monolithic)	흙다짐 공법 (rammed earth, pise method)	일정한 형상을 가진 거푸집에 흙을 넣고 램머로 다짐
	흙타설 공법 (earth concrete method)	거푸집을 구성하고 액상의 흙을 넣는 공법
개체식 (Brickwork)	흙벽돌 공법 (adobe method)	손이나 틀을 이용하여 흙 모양을 만든다
	알매흙 공법 (cob, bogue method)	흙반죽을 하여 큰 덩어리를 만들고 쌓아 벽체를 구성
	흙자루 공법 (earth bag method)	흙을 자루에 담아 쌓아가는 공법
구조보완식 (Structure)	흙미장 공법 (earth plaster method)	기존의 벽체 (흙 또는 콘크리트)에 덧바르는 공법
	붙임 공법 (earth board & panel method)	기존의 콘크리트 벽체에 붙이는 것
	흙짚반죽 공법 (earth straw method)	흙과 짚을 반죽하여 목재 프레임에 넣는 공법

3. 사례선정

3.1 사례선정 기준 및 범위

전통건축 사례는 1910년 이전(주남철, 2002)의 구미지역 건축물을 대상으로 조사하였다. 경북 구미지역의 경우 전통건축물이 온전히 보존되고 있는 사례가 다수 발견되고 있으며, 경북 구미시 해평면 일선리 지역의 건축물은 같은 시대에 건축된 한옥으로 형태가 잘 보존되어 가치를 인정받아 문화재로 지정되어 있다. 또한 지역적으로 밀집

해 있어 전통건축에 면모를 잘 확인할 수 있어 연구사례로 선정하였다. 또한, 현대 흙건축 사례는 경북구미 지역 정보검색과 관공서 자료를 활용하여 건축물의 시공에 직접 참여한 시공사를 접촉하여 사례를 조사하였으며 이때 전통적인 방식을 재연한 한옥은 대상에서 제외하였다.

3.2 사례소개 및 사례별 적용공법

아래의 표 5는 경상북도 구미지역의 흙건축 사례와 적용공법 개요이다. 전통건축 사례와 현대 흙건축 사례를 각각 선정하고 구분하였으며 각 사례에 적용된 공법을 확인할 수 있었다.

표 5. 사례소개 및 사례별 적용공법(벽체)

	사례	위치	적용공법(벽체)
전통건축사례	사례.1 수남위종택	구미시 해평면	흙짚반죽 공법 (Earth straw method) + 심벽 (Daubed earth) + 흙미장 공법 (Earth plaster method)
	사례.2 수재고택		
	사례.3 쌍압고가		
현대흙건축사례	사례.4 D 음식점	구미시 구평동	흙벽돌 공법 (Adobe Method) + 흙미장 공법 (Earth plaster method)
	사례.5 S 음식점	구미시 고아읍	

4. 실외마감재료 구성 요구 성능

선행연구 고찰²⁾에 따르면 지속적으로 흙건축 재료의 개발과 연구가 이루어지고 있다. 현대적인 활용방안에 대해서도 연구가 이루어지고 있고, 사용자의 선호도 조사나 분포와 같은 연구조사도 이루어지고 있다.

현대 흙건축의 실외 마감 재료를 구성하는데 있어 재료의 적용을 가능하게 하기 위해서는 표 6과 같은 요구 성능(최희용, 2007) 조건을 충족시켜야 한다.

표 6. 흙건축 실외마감재 요구 성능 조건

요구성능	역학적 성능	물리적 성능	내구적 성능	화재 성능	소비자 요구 성능
건축부위					
실외마감재료 (벽돌, 미장)	압축 강도	균열	외관 손상	불연성	충족성

4.1 역학적 성능

흙건축 실외마감재 요구 성능조건의 역학적 성능을 판단하는 방법으로 압축강도를 측정하여 판단한다. 이에 관련한 압축강도의 기준은 외장재 벽돌과 흙미장으로 나누어 아래와 같이 제시하였고, 내용은 표 7과 같다.

표 7은 흙벽돌과 흙미장재의 압축강도의 요구 성능 조건이다. 수치적으로는 기준이 제시되었지만 시험방법과 재료의 상태, 조건에 대해서는 제시되지 않았다. 이에 본

표 7. 흙건축 압축강도 요구 성능

	압축강도
외장재 흙벽돌	18.0 N/mm ² 이상(송설영, 2006)
흙미장재	최소3.0 N/mm ² 이상

연구에서는 사례의 환경에 따른 적합한 시험 방법을 선택하고, 그에 따른 요구 성능 조건을 판단하도록 한다.

4.2 물리적 성능

현재 흙건축의 실외마감재 물리적 성능 요구조건을 측정하는 특정한 기준이 정해져 있지 않다. 선행연구에서는 흙재료 자체의 흡수율을 제시하였지만, 이를 위해서는 동일한 조건의 재료를 채취해야 한다. 본 연구에서는 시공 시점이 동일한 조건의 흙재료를 채취하기 난해한 관계로 균열의 크기를 측정하여 요구 성능을 판단하도록 한다. 각 사례별 측정된 균열의 크기 중 최대균열크기로 성능 요구조건을 확인하며, 최대균열크기는 현장조사에 의한 실측 및 확인을 통해 측정한다.

4.3 내구적 성능

흙건축에 사용되는 흙의 재료적인 연구(차정만, 2003)와 황토미장재의 성능개선을 위한 연구(황혜주, 2005)에서도 내구적 성능에 관련한 특정한 기준을 제시하지 않았다. 이에 본 연구에서는 내구적 성능 파악의 방법으로 사용상에 나타나는 손상부위의 크기(넓이)를 측정하여 요구조건 충족성을 판단한다. 각 사례별로 현장조사에 의한 실측으로 외관손상을 확인하고 이를 측정한다. 측정치 중 최대크기(최대넓이)로 내구적 성능 요구조건을 확인한다.

4.4 화재 성능

흙을 건축재료적으로 사용하기 위한 실외마감재 요구 성능은 불연성재의 유무로 판단한다. 이에 먼저 건설교통부에서 정의한 방화구조의 불연재료를 정의하고 그와 관련된 항목에서 사례에 사용된 재료가 불연성재인지를 확인한다. 아래 표 8은 불연재료의 정의와 불연성재의 재료들이다.

표 8. 불연재료

분류	정의	재료
불연재료	불에 타지 아니 하는 성질을 가진 재료	콘크리트 · 석재 · 벽돌 · 기와 · 석면판 · 철망 · 알루미늄 · 유리 · 시멘트모르타르 · 회 및 기타 이와 유사한 불연성의 재료로서 건설교통부장관이 인정하는 재료

4.5 소비자요구 성능

실외마감재 요구 성능 조건 판단에 있어 마지막으로 소비자요구 성능을 제시 하였다. 이는 사용자의 환경과 개인적인 성향이나 경제력 등을 판단하여 선택되어지는 사항이다. 흙건축 기술의 발전이 목적인 본 연구의 내용과는 다소 거리가 있으므로 추후 연구과제로 두도록 한다.

2) 표 1 흙건축 관련 연구 동향

5. 사례분석을 통한 요구 성능 조사

흙건축에서 흙이 건축재료로서 사용되기 위한 실외마감재 요구 성능 조건에 대하여 살펴보았다. 위에서 제시하였던 각 항목의 요구 조건들을 사례로 선정된 건축물을 현장조사하며 실험과 실측, 재료확인을 통해 분석 및 조사한다.

5.1 압축강도 요구 성능 조사(슈미트해머법)

강도추정을 위한 비파괴 시험법으로 슈미트해머법, 공진법, 음속법, 복합법, 인발법, 코어채취법등이 있지만, 현재 사용되고 있는 건축물에서 재료의 채취나 변형이 불가능하여 현장에서 간편하게 시험할 수 있고, 재료의 변형과 손상이 없는 슈미트해머법으로 압축강도를 측정하였다.

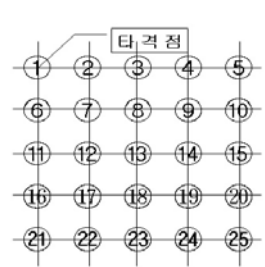


그림 2. 슈미트해머 타격점

슈미트해머법은 위 그림 2와같이 타격점을 구성한 후에 각 부분을 25회 타격한다. 슈미트해머 타격시 각도 및 재령 보정 값이 필요하지만 본 연구의 사례에서는 각도는 직각이므로 그 값은 1이고, 재령보정 값은 전통과 현대 흙을 구분 지을 수 없기 때문에 고려하지 않고 시험한다. 표 9은 사례별 흙미장 슈미트해머 측정값이다. 사례의 흙미장 임의의 부분을 25회 타격 후 측정된 결과이다. 측정 후 평균값은 25회 측정결과에서 편차가 큰 5개의 값을 뺀 20회의 값으로 한다.

표 9. 슈미트해머 사례별(흙미장) 측정값(N/mm2)

타격순서	사례1	사례2	사례3	사례4	사례5
1	0.9	1.1	0.9	3.6	4.2
2	1.1	1.0	0.7*	4.4	4.1
3	0.8*	1.5*	1.1	4.3	3.9
4	0.9	1.2	1.2	4.9	3.8
5	1.3	0.9	0.9	4.0	4.3
6	1.2	0.8	0.8*	4.2	4.0
7	1.5*	1.1	0.9	4.6	3.9
8	1.0	1.0	1.0	5.9*	6.0*
9	1.4*	1.3	1.5*	4.1	3.3*
10	1.0	0.6*	0.9	3.7	4.1
11	1.2	1.1	1.3	3.3*	5.1*
12	1.1	1.0	1.0	3.9	4.2
13	0.7*	0.7*	1.0	3.2*	3.9
14	1.3	1.2	1.2	4.0	3.8
15	1.0	1.0	1.0	4.0	4.0
16	1.1	1.1	1.1	3.9	5.8*
17	1.3	1.0	1.3	4.2	4.0
18	1.0	1.1	0.6*	3.9	3.9
19	1.6*	1.5*	1.6*	5.7*	4.0
20	1.1	1.1	1.1	4.0	3.4*
21	1.2	1.2	0.9	3.6	3.9
22	1.0	1.0	1.0	3.9	4.0
23	1.1	0.8*	0.8	3.3*	3.9
24	0.9	1.0	1.1	3.5	4.1
25	1.0	1.2	1.4*	3.8	4.0
평균	1.085	1.06	1.055	3.98	4.00

* 평균값의 합에서 제외된 값

아래 표 10은 흙벽돌 압축강도 측정 결과이다. 흙벽돌은 전통건축에서는 실외마감을 볼 수 없었다. 이에 현대 흙건축 사례로 요구 성능 조건을 판단했다.

표 10. 슈미트해머 사례별(흙벽돌) 압축강도 측정값(N/mm2)

타격순서	사례4	사례5
1	18.3	17.5
2	24.1*	22.5*
3	19.2	16.0*
4	17.9	17.5
5	20.0	16.9
6	19.3	18.0
7	16.0*	16.0*
8	18.9	18.1
9	19.0	17.9
10	19.5	16.9
11	17.0*	17.3
12	15.0*	14.0*
13	20.5	18.0
14	19.9	18.0
15	20.1	17.9
16	19.8	18.1
17	20.0	17.8
18	21.0	19.0
19	20.0	18.0
20	20.1	17.9
21	19.9	18.2
22	23.0*	17.5
23	19.5	21.5*
24	20.1	18.1
25	20.0	18.0
평균	19.65	17.83

* 평균값의 합에서 제외된 값

5.2 (5.1)의 항목에 대한 요구 성능 조사

압축강도 이외의 항목에 대한 요구 성능 조사이다. 전통건축 사례와 현대 흙건축 사례를 구분하여 각각 조사하였다. 물리적, 내구적, 화재성능이 이에 포함되며, 각 항목의 요구 성능은 균열과 외관손상, 불연성재 사용 여부로 판단한다.

5.2.1 전통건축 사례

압축강도 외의 항목에 대한 요구 성능 조사이다. 전통건축사례에서는 흙의 사용부위가 외벽에 주로 사용되었음을 평면을 통해 확인 할 수 있었다.

표 11. 전통건축사례

사례		전통건축 사례		
		사례1 수남위종택	사례2 수재고택	사례3 쌍암고가
평면도				
외벽 (각 사례의 일부)				
물리적 성능 (균열mm)	최대크기	1.2	0.9	0.8
	최소크기	0.7	0.2	0.1
내구적 성능 (외관 손상 cm)	최대크기	12*12=144	5*10=50	12*9=108
	최소크기	10*8=80	3*3=9	9*9=81
화재성능 (불연성 재료)		흙 (불연성) 목재(가연성)	흙 (불연성) 목재(가연성)	흙 (불연성) 목재(가연성)

물리적 성능인 균열에 대한 측정치로 균열을 선정하여 측정하였을 때 최대 1.2mm에서 최소 0.8mm 두께의 균열을 볼 수 있었다. 내구적 성능으로는 박리된 곳의 측정치로 평균두께 0.3mm, 최대면적 144cm²에서 최소 9cm²까지의 크기를 확인 할 수 있었다. 화재성능으로는 외벽(각 사례의 일부분)에서와 같이 목구조에 외벽 부분이 흡으로 마감이 되어있는 상태임을 확인할 수 있었다. 이와 같은 내용을 표 11과 같이 정리하였다.

5.2.2 현대 흡건축 사례

압축강도 외의 항목에 대한 요구 성능 조사이다. 현대 흡건축 사례에서도 흡의 사용부위가 외벽에 주로 사용되었음을 평면을 통해 확인 할 수 있었다. 물리적 성능으로 균열을 확인한 결과 미세한 헤어크랙을 제외한 0.1mm의 크랙만 확인 할 수 있었다. 내구적 성능으로는 박리된 곳 역시 0.01mm²로 육안으로 확인하기 힘들 정도의 경미한 현상만을 확인 할 수 있었다. 화재성능으로는 외벽(각 사례별 일부분)에서 확인할 수 있듯이 목구조 및 철근콘크리트 구조이고 외벽 마감은 흡을 사용한 미장이 되어 있는 상태임을 확인 할 수 있었다. 이와 같은 내용을 표 12와 같이 정리한다.

표 12. 현대 흡건축 사례

사례	현대 흡건축 사례	
	사례4 D 음식점	사례5 S 음식점
평면도		
외벽 (각 사례별 일부분)		
물리적 성능 (최대균열mm)	0.1mm	0.1mm
내구적 성능 (최대의관손상 mm ²)	0.01mm ²	0.01mm ²
화재성능 (불연성재료)	흡벽돌, 목구조(통나무)	흡벽돌 RC조

5.3 각 항목의 요구 성능 조사결과

실외마감재 요구 성능을 도출하고 각 항목을 정의하고 그에 관한 기준에 따라 사례에서 흡이 사용된 부분을 실험하고 실측하였다. 주로 외벽에 흡벽돌과 흡미장으로 마감재 역할을 하며 사용되고 있었다. 이에 요구 조건의 조사 범위를 외벽에 기준하고 시험하고 실측하였다.

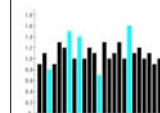
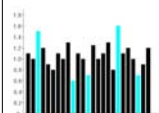
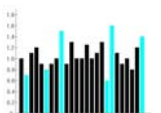
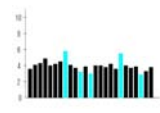
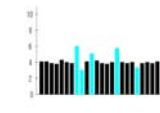
역학적 성능의 요구 조건은 압축강도 시험을 하였다. 물리적 성능과 내구적 성능은 균열크기와 외관손상부위의 넓이를 실측했다. 측정된 크기 중에 가장 큰 값을 요구조건 판단에 사용하였다. 화재성능은 전통건축사례의 구조재와 벽체 구성 재료를 확인하였다. 현대 흡건축 사례에서도 구조재와 벽체 구성 재료를 확인하였다.

표 13. 요구 성능에 따른 사례분석 결과

사례	요구 성능에 따른 사례분석 결과				
	전통건축 사례			현대 흡건축 사례	
	사례1	사례2	사례3	사례4	사례5
역학적 성능 (압축강도 N/mm ²)	1.085	1.06	1.055	벽돌:19.65 미장:3.98	벽돌:17.83 미장:4.00
물리적 성능 (최대균열 mm)	1.2	0.9	0.8	0.1	0.1
내구적 성능 (최대의관손상)	144cm ²	50cm ²	108cm ²	0.01mm ²	0.01mm ²
화재성능 (불연재료 사용여부)	흡 : 불연재료 목재 : 가연성	흡 : 불연재료 목재 : 가연성	흡 : 불연재료 목재 : 가연성	흡벽돌 : 불연재료 목재 (통나무) : 가연성	흡벽돌 : 불연재료 RC조 : 불연성

표 14는 슈미트해머 사례별 측정 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 사례별 그래프에서 측정 편차가 크거나 작은 데이터는 평균값 합산에 제외 되었다. 사례별 평균값의 합을 통해 총 평균값을 나타내었다.

표 14. 사례별 슈미트해머 측정값(흡미장) 결과(그래프)

사례	전통건축 사례		
	사례1 수남위종택	사례2 수재고택	사례3 쌍암고가
슈미트해머 측정값 (흡미장)			
평균값 (N/mm ²)	1.085	1.06	1.055
총 평균값 (N/mm ²)	1.066		
사례	현대 흡건축 사례		
	사례4 D 음식점	사례5 S 음식점	
슈미트해머 측정값 (흡미장)			
평균값 (N/mm ²)	3.98	4.00	
총 평균값 (N/mm ²)	3.99		

■ 측정치 제외 값 ■ 측정치 값

아래 표 15는 슈미트해머 흡벽돌 측정값이다. 전통건축 사례에서는 흡벽돌 압축강도 측정값은 없는데, 이는 전통건축사례의 외벽에서는 흡벽돌을 볼 수 없었기 때문이다. 흡벽돌의 역학적 성능의 압축강도는 현대 흡건축 사례만으로 판단하도록 한다.

표 15. 사례별 슈미트헤머 측정값(흙벽돌) 결과(그래프)

사례	현대 흙건축 사례	
	사례4 D 음식점	사례5 S 음식점
슈미트헤머 측정값 (흙벽돌)		
평균값 (N/mm²)	19.65	17.83
총 평균값 (N/mm²)	18.74	

■ 측정치 제외 값 ■ 측정치 값

6. 결론

본 연구는 흙건축을 정의하고 시대를 전통과 현대로 나누는 후, 시대의 구분에 따라 흙건축 공법을 벽체 구축방식에 따라 분류하고 전통적인 흙건축 공법과 현대적인 흙건축 공법의 세부방식들을 고찰하였으며 전통적인 공법은 대부분 수작업에 의한 공법이지만, 현대적 공법은 균일하고 대량 생산이 용이한 것들이 공법으로 발전해 왔음을 알 수 있었다.

본 연구의 중요한 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 역학적 성능(압축강도)부분은 전통건축에서 현대 흙건축으로 발전하면서 슈미트헤머 결과를 비교했을 때 미장부분에는 그 성능이 4배 이상의 강도를 확인할 수 있었으나 현대 흙건축에서 요구하는 강도인 최소 3.0 N/mm² 에 미치지 못함을 알 수 있었다. 현대 흙건축 사례의 흙미장에서는 요구강도 이상의 측정값을 보여줌으로써 성능 조건을 만족하고 있음을 알 수 있었다. 현대 흙건축 사례 중 흙벽돌의 경우 각 사례별 압축강도는 다르지만 평균값은 실외마감재 요구 성능의 조건에 18.0 N/mm² 을 충족³⁾시키는 결과가 나왔다. 이와 같은 결과들은 재료의 배합비나 혼화제사용에 관한 사항들을 고려하지 않고 나온 일괄 수치적 결과이다. 향후 이에 대한 상세연구는 추후 과제로 남겨둔다.

둘째, 물리적 성능과 내구적 성능에서는 균열의 크기와 외관손상률을 측정하였다. 측정결과 중에 가장 큰 값을 사용하여 요구 조건의 만족여부를 판단하였다. 측정결과 전통건축사례에서는 균열과 외관손상이 많이 나타났으며, 측정된 크기와 넓이에 대해서도 비교적 큰 값이 나왔다. 이와 반대로 현대 흙건축의 균열과 외관손상은 거의 나타나지 않았다. 육안으로 식별할 수 없을 정도였고, 경미했다. 이러한 결과는 건축물의 시공시점과 사용연수를 감안하지 않은 수치적 결과이다. 그러므로 시공연도를 고려하고 오랜 시간 동안 사용이 가능하도록 내구적, 물리적 성능의 보강에 관한 연구가 필요할 것으로 보인다.

3) $(19.65+17.83)/2=18.74\text{N/mm}^2$
 압축강도 측정 평균치 실외마감재 요구 성능
 $(18.74\text{N/mm}^2) > (18.0\text{N/mm}^2)$

셋째, 화재성능 요구 조건으로 사례별 구조체 및 구성 재료에서 불연성재 사용 여부를 확인하였다. 전통건축 구조체의 대부분은 목재로 이루어져 있었고, 벽체는 흙을 사용한 심벽공법으로 방화구조 불연성재 조건에 충족했다. 그 외에 목구조 부분은 화재의 위험을 갖고 있는 가연성재료로서 부분별 방화에 대한 보완이 필요하였다. 현대 흙건축의 사례에서 구조재로 RC조가 사용되고, 벽체를 구성하는 재료로는 흙벽돌과 흙을 사용한 미장을 하였다. 이는 모두 방화구조 불연재료의 항목에 포함되는 것이다. 이와 같이 불연성재를 사용함으로써 방화구조로의 화재성능을 충족하였다.

흙건축 공법의 조적 및 미장시공에 대한 재료의 배합 설계 및 혼화제에 대한 다양하고 구체적인 후속연구는 필수적이며, 이러한 연구가 진행되어 흙건축 공법에 대한 과학적이고 정량적인 기술과 공법이 개발되어 나간다면 흙건축 기술은 우리나라 고유의 현대적이며 널리 보급될 수 있는 친환경 건축공법으로 자리할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 김선문(1996), 우리건축을 찾아서2, 도서출판 발언
- 김용래(2002), 흙벽돌 구조물의 실내온열환경에 관한 실측 연구, 삼척대학교 산업대학원 학위논문
- 박정식 외3인(2000), 흙건축의 生態의 의미와 現代의 이용에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집
- 송설영 외2인(2006), 흙건축 재료의 열 물성 평가 및 실험을 통한 흙 구조체의 하계온도조절기능 분석, 대한건축학회 논문집
- 이태구(2006), 친환경 건축자재로서 황토마감재 개발을 위한 천연혼화제 비율설정에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집
- 임상훈(2003), 생태건축론, 고원
- 임상훈(2005), 생태건축 마을, 고원
- 정주성, 김정규(2007), 거주유형에 따른 흙 주거 거주환경 선호분석(벽체가 흙으로 구축된 주거용 건축물을 중심으로), 대한건축학회 논문집
- 주남철(2002), 한국 건축사, 고려대학교 출판부
- 차정만(2003), 지속가능한 건축재료의 개발과 흙, 대한건축학회지
- 최희용(2007), 친환경 흙 건축 재료와 공법선정 시의 고려사항, 대한건축학회지
- 황혜주(2003), 흙건축의 동향과 전망, 대한건축학회지
- 황혜주 외2인(2005), 황토미장재 성능개선을 위한 실험적 연구, 한국생태환경건축학회 논문집
- 황혜주 외2인(2006), 지역별 황토의 화학적 특성 및 강도발현에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집
- 황혜주 외2(2007), 황토결합재를 이용한 콘크리트의 적정배합 도출에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 구조계
- Gernot Minke(2000), Earth Construction Handbook, WIT press
- H. Houben and H. Guillaud(1996), Earth construction - a comprehensive guide (Second ed.), Intermediate Technology Publications
- www.architerre.org/htm/terre.php (October 20th, 2007 present)