

# 고층형 흙다짐 공법의 사례 연구

## A Case Study on the Method of High-rise Wall in Rammed Earth Construction

이종국\*  
Lee, JongKook

김호천\*\*  
Kim, HoChun

이상원\*\*  
Lee, SangWon

### Abstract

We intend to understand the rammed earth method and suggest the possibilities of adoption on high-rise rammed earth structures through the case study on the method. The rammed earth construction has been regarded as one of the solutions in the modern environmental-friendly construction field, thus according to such trend, this study tries to find out the limitations of the rammed earth structures to be multistory and grope for solutions in the attached wall construction method. The procedures of this research is to figure out the limitations of rammed earth structures through theoretical consideration on those structures and analyze the actual cases of them, and to assure the possibilities on the development of the rammed earth method that can make the structures multistory earthen structures in the rammed earth method and induce immediate issues for it.

키워드 : 흙다짐 공법, 합벽, 친환경, 고층형, 공법

Keywords : rammed earth, attached wall, environmental-friendly, high-rise, method

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

인간은 환경 속에 살고 있으며, 환경은 인간 주변을 둘러싸고 인간은 환경으로부터 여러 가지 자극, 정보를 여러 감각에 의해 받으면서 환경과 관계를 맺으면서 생활하고 있다.<sup>1)</sup> 심리학의 '감각 차단 실험'<sup>2)</sup>에서 알 수 있듯이 환경은 인간을 상대하고 또는 둘러싸고 자극과 정보를 제공한다. 인간에게 있어 건축물이 미치는 영향력이 있음을 말하는 것이다.

한편, 산업 혁명 이후 발전만을 거듭한 결과 인간과 자연에 유해한 재료 등을 이용한 건축물이 많이 생겨나게 되었다.(황혜주, 2004) 이러한 건축 재료들은 현재까지도 널리 사용되며 사회적인 문제도 야기하고 있어 친환경적인 재료의 개발과 활용에 대한 요구가 높아지게 되었다. 이러한 사회적 요구에 따라 현대 친환경 건축기술분야는 점차적으로 발전하고 있으며, 하나

의 대안으로서 흙다짐 공법이 명시되고 있다(황혜주, 2003). 그러나 현대 흙다짐 공법은 물성적, 기술적 측면에서 몇 가지의 한계점을 노출하고 있어 이러한 기술적 한계를 극복하기 위한 연구가 필요하다. 본 연구는 그 한계에 가장 근접한 부분인 흙다짐의 고층화에 대한 기술적 검토를 수행한다. 일반적인 흙다짐 공법은 현재 단층의 주택이나 건물 위주로 벽체 등에 많이 사용되고 있으나 강도, 균열, 거푸집, 습기 등의 이유로 인하여 고층화에 대한 한계를 가지고 있다. 따라서 본 연구는 이러한 고층형 흙다짐 공법의 한계를 극복하기 위하여 고층형 흙다짐 공법의 설계 및 시공단계별 고려사항과 실제 시공사례를 분석하여 그 기술적 개선에 대한 기초적 대안을 제시하고자 한다.

### 1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구는 먼저 이론적 고찰을 통하여 흙다짐 공법에 대한 이해를 하도록 한다. 이를 토대로 공법의 일반적 문제점을 도출하여 고층형 흙다짐 공법의 문제점 또는 한계를 정의한다. 이러한 한계에 대하여 설계와 시공단계에 걸친 기술적 해결방안을 도출하고 이를 바탕으로 하여 실제 시공사례에 대한 심도있는 분석을 통하여 고층형 흙다짐 공법에 대한 개선방안을 고찰하는 순서로 진행한다.

본 연구의 방법 및 절차는 그림 1과 같다.

\* 교신저자, 금오공과대학교 건축학부 교수(ljk@kumoh.ac.kr)

\*\* 금오공과대학교 건축학부

이 논문은 국립문화재연구소 전통과학기술실용화 연구개발 사업 연구 결과의 일부입니다.

1) Takahashi 외4, 인간과 건축1, 환경과 공간, 태림문화사, 2001  
2) 인간을 시각 청각 촉각 후각 온도 감각 등 주요한 모든 감각에 대해 자극이 전혀 없도록 하여 일정한 온도의 방안의 부드러운 침대에 누여 눈을 가리고 팔꿈치 끝에는 감각을 차단하기 위하여 덮개를 씌워 몇 시간 있게 하면 어떻게 되는가 알아보는 실험

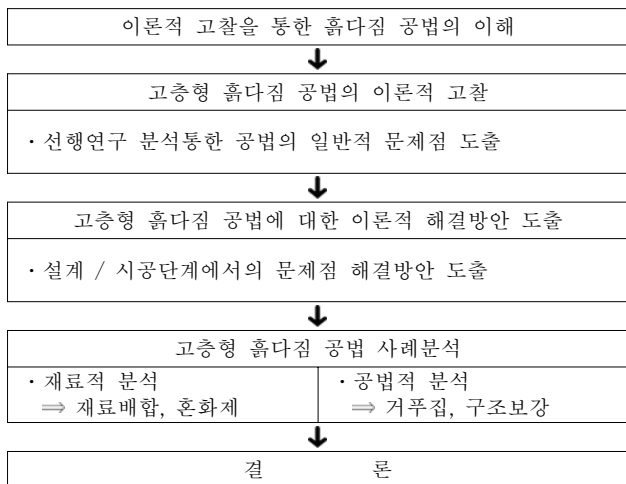


그림 1. 연구의 흐름도

### 1.3 국내외 동향

흙다짐 공법<sup>3)</sup>은 특장상 현대화할 수 있는 많은 가능성을 가지고 있기 때문에 세계 곳곳에서 이 공법의 연구가 활발히 진행 중이다. 우리나라에서는 1997년 건축가 정기용이 파주 연다산리 주택을 설계하고 시공으로까지 이어진 것이 공식적인 현대적 담틀공법의 시작이다.

미국의 경우 David Eastern은 흙을 건축에 이용하는 새로운 방법들을 고안하여 흙집의 상업화에 성공하였으며, Rick Joy같은 건축가는 다양한 형태의 흙건축을 시도하고 그 결과를 담은 작품집을 출간함으로써 흙건축의 예술적 성취를 보여주고 있다. 프랑스에서는 1982년 Jean Clethier의 주도하에 흙집에 관한 다양한 프로그램을 통해 흙집의 인식을 바꾸었으며, CRATerre 연구소의 Patrice doat, Hugo Huben와 함께 일다보 마을을 흙건축 프로젝트지역으로 선정 개발하여 흙도 주 건축 재료로써 산업적으로 이용할 수 있다는 주장을 현실화하였다. 독일은 Kassel 대학의 Gernot Minke 교수를 중심으로 실용적 흙집에 관한 시도가 많으며, 주로 내장재에 대하여 흙건축에 관심을 두고 있으며 실제로 많은 수요를 창출하고 있다.(황혜주, 2003) 이를 종합해 보면 1970년대 후반기부터 전세계적으로 흙건축에 대한 건축가, 엔지니어, 정부와 잠재수요자들의 관심이 확대되고 있음을 알 수 있다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 흙다짐 공법의 개요

흙다짐 공법(rammed earth, 담틀법)은 일정한 형상의 거푸집에 흙을 넣고, 7~10kg정도 무게의 램머(rammer)로 다져 벽체, 바닥 등을 조성하는 공법으로, 전통적으로 많은 문명권에서 사용되어 오던 건축공법 중 하나이다.

흙다짐 공법의 특징 중의 하나는 건식공법이라는 것이다. 다른 흙 건축 방식들은 수분을 많이 함유한 상태에서 흙을 가지고 작업하는데 흙다짐 공법의 경우에는 육안으로 보기에 거의

수분이 없는 상태의 흙을 사용하게 된다. 이는 다른 흙건축 방식들이 점토성분의 단점인 건조수축후의 갈라짐 현상을 1차 작업 후 보완작업등을 통하여 매우게 되는데, 흙다짐 공법의 경우에는 이러한 작업이 많이 줄어들 수 있다.

흙다짐 공법에 사용되는 흙은 모래비율이 높고 진흙 비율이 낮아야 하는데, 70% 모래에 30% 진흙이 일반적인 비율이다. 현대에는 약 10%의 물이 첨가된다. 흙다짐 공법은 흙을 이용하여 건축용 블록을 만들거나 벽 통째를 층층이 쌓아올려 성형을 하게 된다. 건축용 블록은 흙을 상자모양의 틀에 넣어 다져서 만들어지고 벽을 통째로 만들 때에는 스페이서 볼트로 분리시킨 2개의 나무 널빤지를 나무틀(거푸집<sup>4)</sup>)로 사용해서 흙을 이 틀에 층층이 넣어 다진다. 틀이 채워지면 틀을 제거하고 그 벽 위에도 다시 겹쳐놓아 원하는 높이에 다다를 때까지 흙을 더 다져넣는다. 이때 안정적인 강도를 얻기 위해 흙에 혼화제를 섞는 것이 일반적이며, 벽체의 경우 보통 300~600mm 두께로 시공되고 있다. 현재 우리나라에서는 두께가 400mm인 벽체가 가장 많이 시공되고 있다. 이 두께로 인하여 벽 자체가 높은 열용량을 갖게 되어 밤낮의 기온차에 따른 내부 조건을 변함없게 하기도 한다. 벽체 표면의 접착력을 보다 강화하고 기후에 좀 더 강한 저항력을 갖게 하기 위해 벽의 표면을 회반죽이나 역청, 아마인유 등으로 처리하는 방법이 많이 사용되어지고 있다.



그림 2. 흙다짐 공법의 이점<sup>5)</sup>

그림 2에서 보는 바와 같이 흙다짐 공법은 많은 이점이 있으나, 흙다짐 건축의 고층화라는 측면에서는 강도, 균열, 거푸집, 습기 등의 요소에 의한 한계도 존재하는 것을 알 수 있었다.

### 2.2 고층으로써 흙다짐 공법의 문제점 및 해결 방안

본 연구에서는 흙벽의 최대 두께 450mm에서 두께와 벽 높이의 최대 비율 1:12를 기준으로 산정한 높이 5.4m를 초과하는 높이를 고층이라 하였다. 그림 3에서 나타난 바와 같이 고층형 흙다짐 건축의 경우 안정성을 고려하여 높이가 올라 갈수록 두께에 변화를 주게 된다.

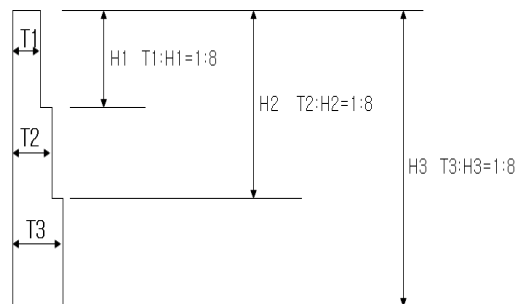


그림 3. 흙다짐 벽의 높이에 따른 안정성

3) 거푸집을 설치하여 그 안에 흙을 부어넣고 다지면서 쌓아 올라가는 방법으로 'Rammed Earth' 공법, 우리 용어로는 '담틀법'이라고도 한다.

4) <http://www.earthhouse.or.kr>

5) 월간 건축문화사 편집부(2000), 흙의 건축적 가능성, 월간 건축문화 2000.05, p.99~102

두께의 높이에 따른 비율은 통상적으로 1:8~1:12로 사용된다. 그러나 흙이라는 소재 자체의 한계성으로 인하여 두께의 변화만으로는 표 1과 같이 해결하기 어려운 많은 문제점과 제약이 따르기 때문에 그에 대한 해결방안이 필요하다.<sup>6)</sup>

표 1. 흙다짐 공법의 보편적 문제점과 대책

문 제 점	대 책
강도 부족	혼화제 사용
균열 발생	표 4 참조
습기의 침투	방수제 사용
측압과 다	측압에 따른 거푸집의 설계

1) 설계 단계

① 강도보강을 위한 배합설계

흙의 강도 보강에 있어 가장 보편적으로 사용되는 혼화제로는 시멘트와 석회를 들 수 있다. 이들 재료의 각각의 특성 및 용도는 표 2와 같다.

표 2. 시멘트와 석회 비교

시멘트	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 흙다짐 벽의 압축강도를 증가시키고, 수축과 수분에 의한 손상을 최소화</li> <li>· 순수 흙벽의 압축강도 : 1.96~2.94MPa (시멘트 2~10%의 비율로 첨가 시 약 2.94~7.84MPa)</li> <li>· 시멘트의 혼화량에 따라 강도는 비례하지만, 흙의 고유 특성은 반비례하므로 적절한 첨가비율을 찾는 것이 중요함</li> </ul>
석회	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전통적으로 많이 사용한 혼화제로써, 압축강도 증가</li> <li>· 수화반응에 의한 열 발생으로 동결 방지</li> <li>· 장기간에 걸쳐 일어나는 포졸란 반응<sup>7)</sup>과 탄산화 반응<sup>8)</sup>으로 장기강도의 발현</li> </ul>

② 측압과다를 고려한 거푸집의 설계

거푸집의 일반적인 요구조건은 표 3과 같으며, 측압에 의한 거푸집의 밀림 현상은 흙다짐 시공 시 가장 고려할 사항이다. 흙의 측압 혹은 흙다짐의 높이에 따라 거푸집을 설계하는 것이 중요하다. 거푸집 설계용 하중<sup>9)</sup>은 수직하중과 수평하중, 그리고 흙의 측압이 거푸집 설계에 사용된다.

표 3. 거푸집의 요구조건

내구성	하중(자중, 다짐압력 등)이나 바람 등의 외력으로 인하여 파괴되지 않고, 변형이 허용 값 이내가 되어 소정의 형태와 치수를 확보하는데 충분한 강도, 강성을 가질 것
정밀성	나타나는 형상, 치수정밀도를 확보하기 위해 거푸집의 치수정밀도가 양호하고, 다짐시 하중에 의한 변형이 생기지 않을 것
작업성	경량으로 내구성이 있으며 조립, 해체, 운반이 용이할 것 거푸집 무게의 기준 - 하나의 구성부품을 한 사람이 혼자 머리위로 들어 올릴 수 있을 정도의 무게

6) Julian Keable(1996), Rammed Earth Structure, Intermediate Technology, p.85  
 7) 토중의 점토광물, 실리카, 알루미늄이 석회와 화학적으로 결합하여 규산 석회수화물, 알루미늄 산 석회수화물 및 게레나이트 수화물등을 생성, 반응생성물이 결합체가 되어 강도 증가  
 8) 토중에 포함된 탄산 또는 탄산가스에 의해, 탄산칼슘 생성 흙의 수밀화, 강도 증가  
 9) 이도범 외(1995), 철근콘크리트 공사의 기본과 실무, 도서출판 건설도서, p.133

2) 시공 단계

① 균열의 원인과 대책

흙다짐 벽 균열의 발생은 표 4와 같이 설계와 시공 단계에서의 다양한 원인 이외에도 관리 소홀과 매립물에 대한 대처 미숙으로도 균열이 발생하기도 한다.

표 4. 균열의 원인과 대책<sup>10)</sup>

원 인		대 책	
설계 단계	온도균열, 수축균열	신축이음, 수축이음*	
시공	재료배합	혼화제의 불균질 분산 배합기준 check	
	다짐	불충분한 다짐 균질한 진동다짐	
	거푸집	거푸집 변형	거푸집의 강도 유지
		거푸집의 조기탈형	충분한 양생**
양생	경화전 충격및 진동	다짐 후 심한충격 및 진동방지	
	한랭에 의한 동해	온도 유지	

\* 건조수축으로 발생하는 인장응력에 의한 변형을 막기 위한 조치  
 \*\* 혼화제 사용시 12~24 시간 양생 후 거푸집 탈형

② 방수처리에 의한 습기차단

방수처리를 위한 방법으로는 벽체의 표면을 방수 마감하는 방법이 주로 사용되고 있으며, 혼화제를 이용하기도 한다. 표면의 방수에는 아마인유, 폴리머 애멀전(PVA), 역청액 등이 널리 사용되며, 아스팔트 액이나 콘크리트 표면 방수제가 사용되어지기도 하는데 이 방법은 흙의 통기성을 떨어뜨리고 우천시 피막이 약한 부분의 집중적인 손상을 유발할 수 있는 단점이 있다. 혼화제는 통기성은 유지하면서 습기의 침투를 방지하는 것으로, 강도보강을 위해 섞는 시멘트와 석회도 약간의 방수 성능을 높이는 것으로 알려져 있으며, 최근에는 단백질 계통의 화합물인 콘크리트 공사의 구체 방수제<sup>11)</sup>를 사용하기도 한다.

3. 고층형 흙다짐 합벽 필요성 및 고려사항

흙다짐 공법의 고층으로써의 한계성 때문에, 최근에는 목조나 콘크리트 벽체에 흙다짐 벽을 합벽으로써 시공하는 공법이 사용되고 있다.

3.1 공법 비교

1) 일반 흙다짐 공법

일반적인 흙다짐 공법은 그림 4의 a)와 같이 흙을 다지기 위해 완전한 형태의 거푸집을 필요로 하며, 거푸집이 벽의 모양을 결정하게 된다. 또한, 흙다짐 벽 자체가 내력벽의 역할을 하게 되는 특징이 있다.

2) 흙다짐 합벽 공법

흙다짐 합벽 공법은 그림 4의 b)와 같이 일반 흙다짐 공법과는 달리 기존의 콘크리트나 목조 구조체에 흙다짐 벽을 합벽으로 시공하는 것으로, 일반 흙다짐 공법의 고층으로써의 한계를 극복하고, 흙의 이점 및 인테리어 효과를 얻기 위하여 시공되어진다. 거푸집은 기존의 벽체에 한쪽 면을 고정 설치하여 다짐작업을 한다. 시공 시에는 흙다짐 벽체와 기존 벽체의 이질적 특

10) 건설기술연구원(1998), 건설기술표준

11) 흙 입자의 모세관 현상을 방해하여 수분의 흡수를 방지한다.

성을 고려하여 재료를 접합한다.



a) 일반 흙다짐 거푸집      b) 흙다짐 합벽 거푸집  
그림 4. 공법에 따른 거푸집 비교

### 3.2 흙다짐 합벽 공법의 고려사항

흙다짐 합벽 공법에서 나타나는 문제점은 그림 5의 일반적인 문제점과 크게 다르지 않으며, 흙다짐 합벽의 시공에서는 건조 수축으로 인한 흙다짐 벽의 전도현상을 방지하기 위해 기존의 벽과 흙벽의 부착문제가 별도로 고려되어야 한다.

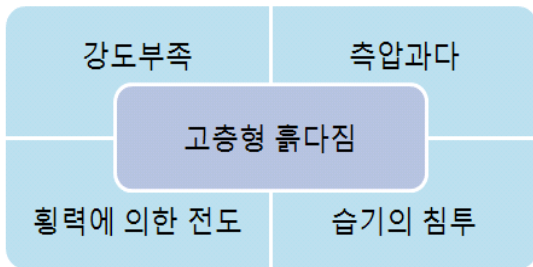


그림 5. 고층형 흙다짐 합벽의 문제점

## 4. H호텔의 사례연구

### 4.1 사례개요

2005년 1월부터 2005년 2월에 걸쳐 시공된 H호텔은 기존의 콘크리트 벽과 목조 벽에 흙다짐 벽을 쌓아 올린 흙다짐 합벽 구조이다. 최대 넓이 10m, 최대 높이 7m에 달하는 고층으로써 구조체의 역할이 아닌 인테리어 벽체로 시공 되었다. 시공 시기와 시공법이 기존 공법과는 다르게 시공되어 주의를 요하는 부분이 많았다.

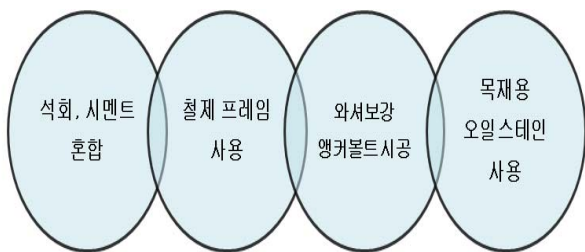


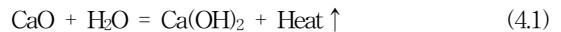
그림 6. H호텔의 시공사례

그림 6은 H호텔 시공 시 문제점에 대한 대책이다. 강도의 보강은 석회와 시멘트를 혼합 사용하였으며, 철제 프레임으로 거푸집을 보강하였다. 벽의 전도현상 방지를 위하여 와셔보강 앵커볼트를 시공하였으며, 외부노출에 따른 방수처리에는 목재용 오일스테인을 사용하였다.

### 4.2 석회와 시멘트 혼합

H호텔은 석회와 시멘트를 2:1의 비율로 혼합한 혼화제를 사용하였다. 시멘트와 석회는 강도의 보강에 있어 다른 어떤 재료보다 더 좋은 성능을 가지고 있다. 석회와 시멘트의 혼합은 시멘트와 석회 각각의 이점을 동시에 얻는 동시에, 흙 고유의 성질인 수분에 의한 수축과 팽창으로 인한 균열과 풍화작용을 방지하고, 발수능력<sup>12)</sup>을 극대화하기 위함이었다. 특히 H호텔의 경우처럼 내력벽이 아니라 인테리어의 역할 비중이 큰 경우라면 소량의 혼화제 사용으로 흙의 높은 강도를 얻기 위한 좋은 재료라 할 수 있다. 시멘트와 석회는 각각의 성능을 가지고 있으며 이러한 다른 성능을 함께 발휘하기 위한 방법으로 혼합을 하게 되었다.

석회의 비중은 수화반응에 의하여 3.4의 생석회에서 2.24의 소석회로 감소하며 이때 체적은 약 1.5배 증가한다. 이러한 체적 팽창은 단기간에 일어나고 주위의 흙은 이것에 의해 압축된다. 그리고 석회의 수화반응에 의한 강한 흡수작용으로 수분이 강제 탈수되어 흙의 강도가 증가한다.



위 식(4.1)과 같은 석회의 수화반응으로 흙다짐 벽의 초기강도 발현에 있어서 보다 유리하였으며, 열 발생<sup>13)</sup>으로 동결을 방지할 수 있어 동절기 작업이 가능하게 되었다. H호텔의 시공 시기가 평균 -2°인 동절기임을 감안했을 때 꼭 필요한 성능이었다.

발수능력에 있어 시멘트(시멘트:모래=1:3으로 배합)는 0.38로 점토와 석회에 비해 현저히 떨어진다. 하지만 시멘트와 석회(시멘트:석회:모래=1:1:6으로 배합)일 때는 0.09로써, 시멘트가 석회와 배합되어 사용되면, 최고의 발수능력을 발휘하게 된다. 다만 그 양이 과다하면 수분의 흡수와 방출 등 흙의 특성이 감소하고 돌처럼 경화되기 때문에, 혼화제의 무게비율을 5%로 사용하였다.

### 4.3 철제 프레임의 사용

본 사례에서는 흙다짐시의 측압을 견딜 수 있는 가설구조가 필수이며, 이에 따라 구조적 검토 후에 그림 7과 같은 거푸집 시스템을 설계하여 현장에 시공하였다.

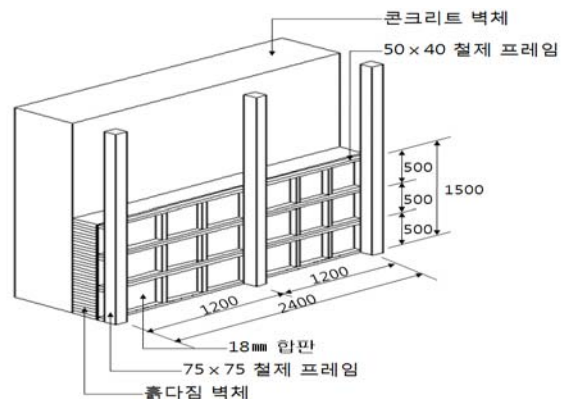


그림 7. 철제 프레임 시공

12) 표면장력을 높여 습기 침투 방지.

13) 생석회 1kg이 반응하면 약 280Kcal의 반응열 방출

거푸집 보강법에 있어서 일반적인 흠다짐 공법의 거푸집은 18mm합판과 2×10 구조목을 이용하지만, H호텔 사례에서는 구조목 대신 철제 프레임을 사용하였다. 이는 흠의 높이에서 오는 측압 및 다짐압력으로 인한 거푸집의 변형에 대응하기 위한 대처 방안이다.

표 5. 콘크리트 거푸집 설계용 측압 산정식<sup>14)</sup>

부어넣기 속도 (m/h)	10이하의 경우		10을 넘고 20이하의 경우	
	H (m)	1.5이하 / 1.5초과 4.0이하	2.0이하 / 2.0초과 4.0이하	2.0초과 4.0이하
벽체길이 3m이하	W <sub>0</sub> H	1.5W <sub>0</sub> +0.6W <sub>0</sub> ×(H-1.5)	W <sub>0</sub> H	2.0W <sub>0</sub> +0.4W <sub>0</sub> ×(H-2.0)
벽체길이 3m초과		1.5W <sub>0</sub>		2.0W <sub>0</sub>

※ H : 측압을 구하고자 하는 위치의 콘크리트 부어넣기의 높이  
 ※ W<sub>0</sub> : 단위체적중량 (t/m<sup>3</sup>)  
 ※ 부어넣기 속도 20을 넘거나 4m 초과시 측압 = W<sub>0</sub> × H

표 5는 콘크리트의 거푸집 설계용 측압 산정식이다. 흠다짐 거푸집 설계용 측압 산정식이 정립되지 않아 콘크리트 거푸집 설계용 측압 산정식을 참조하였으며, 이를 바탕으로 수직부재의 간격을 산정하였다. 그림 8은 흠다짐벽에서의 측압발생 예상도이다. 이에 대한 심도있는 후속연구가 필요하다.

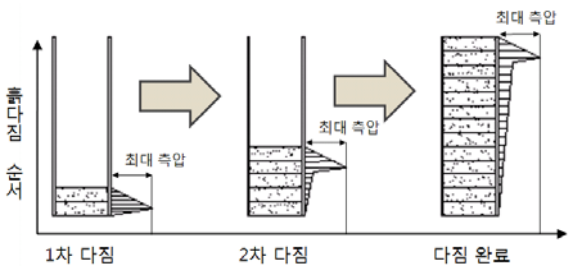


그림 8. 흠다짐 벽의 높이에 따른 측압의 변화 예측

본 연구에서는 측압 산정 시 흠의 단위체적중량<sup>15)</sup>을 사용하였다. 흠다짐 벽의 측압은 벽의 길이가 3m를 초과하고 높이가 1.5m초과 4.0m이하인 식을 이용하여 (4.2)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = 1.5 W_0 = 1.5 \times 1.9 = 2.85t/m^2 \quad (4.2)$$

여기서,

W<sub>0</sub> : 흠의 단위체적중량 1.9 t/m<sup>3</sup>

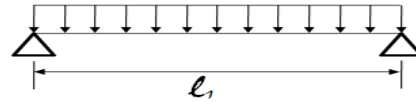
(4.2)식에서 얻은 측압을 이용하여 수평부재의 간격 산정을 할 수 있다. 수평부재의 간격산정은 (4.4)식과 같이 나타낼 수 있다. 수평부재의 간격 산정을 위해 다음과 같은 조건이 필요하다.

벽체의 타설 높이(H) : 3.5m이상  
 벽길이 : 3m이상  
 흠의 단위 체적 중량 W<sub>0</sub> : 1.9t/m<sup>3</sup>

14) 건설기술연구원(1998), 건설기술표준  
 15) 건설기술연구원(1992), 도로설계요령-교량하부구조물

합판두께 : 18mm  
 측압 : P = 2.85t/m<sup>2</sup>  
 허용처짐량 : δ<sub>max</sub> = 0.3cm

수평부재의 간격 산정



폭 1cm의 단순보로 계산

$$W = 0.285kg/cm^2$$

$$\omega = 0.285kg/cm$$

$$l_1^4 = \frac{\delta_{max} \times 384EI}{5\omega} \quad (4.3)$$

$$l_1 = \sqrt[4]{\frac{\delta_{max} \times 384EI}{5\omega}} \quad (4.4)$$

여기서, δ<sub>max</sub>=0.3cm

$$E(\text{영률}) = 60,000kg/cm^2$$

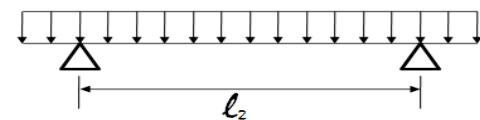
$$I = \frac{1 \times (3)^3}{12} = 2.25cm^4$$

주어진 조건과 (4.2)식에서 얻은 측압을 이용하여 (4.4)식에 대입하여 수평부재의 간격을 산정하였다.

$$l_1 = \sqrt[4]{\frac{0.3 \times 384 \times 60000 \times 2.25}{5 \times 0.285}} = 57.47cm \approx 50cm$$

위식을 이용하여 계산한 결과 수평부재의 간격은 약 50cm로 산정 되었다. 이 수평 부재의 간격을 이용하여 수직 부재의 간격 산정을 할 수 있다. 조건은 다음과 같다.

수직 부재의 간격 산정



등분포 하중이 작용하는 연속보로 계산

$$W = 0.285kg/cm^2$$

$$\omega = 0.285 \times 50 = 14.25kg/cm$$

주어진 조건을 이용하여 (4.4)식에서 얻어진 결과를 이용하여 (4.6)식에 대입 수직 부재의 간격을 산정 할 수 있다.

$$\delta_{max} = \frac{\omega l_2^4}{128EI} \quad (4.5)$$

$$l_2 = \sqrt[4]{\frac{\delta_{max} 128EI}{\omega}} \quad (4.6)$$

여기서, δ<sub>max</sub>=0.3cm

E(영률)=2,100,000kg/cm<sup>2</sup> (표 7 참조)  
 I=120cm<sup>4</sup> (표 6 참조)

$$l_2 = \sqrt[4]{\frac{\delta_{max} \times 128 \times 2100000 \times 57.1}{14.25}} = 134cm$$

위의 계산결과는 흠다짐 공법시의 흠의 축압만을 고려한 산정  
 으로, 실제 시공시에는 흠재의 안전성 검토에서 안전율 0.9를  
 곱한 값 120cm의 간격으로 시공하였다. 철제 프레임의 사용은  
 흠의 밀림과 거푸집의 변형을 방지하고, 구조목보다 안전한 작  
 업을 가능하게 하였다. 그러나 지점간의 거리가 멀어 축압으로  
 인한 프레임의 좌굴현상이 나타났으며, 그 결과 벽의 배부름 현  
 상이 나타나는 문제가 발생하였다.

표 6. 각형 강관의 표준치수와 단면성능<sup>16)</sup>

치수(mm)	단면적(mm <sup>2</sup> )	단위 중량(N/mm)	단면 2차 모멘트(mm <sup>4</sup> )	단면계수(mm <sup>3</sup> )	
100×100	3.2	1.2130×10 <sup>3</sup>	9.33×10 <sup>-2</sup>	1.87×10 <sup>6</sup>	3.75×10 <sup>4</sup>
100×100	2.3	8.8520×10 <sup>2</sup>	6.81×10 <sup>-2</sup>	1.40×10 <sup>6</sup>	2.79×10 <sup>4</sup>
90×90	3.2	1.0850×10 <sup>3</sup>	8.34×10 <sup>-2</sup>	1.35×10 <sup>6</sup>	2.99×10 <sup>4</sup>
90×90	2.3	7.9320×10 <sup>2</sup>	6.11×10 <sup>-2</sup>	1.01×10 <sup>6</sup>	2.24×10 <sup>4</sup>
80×80	3.2	9.5670×10 <sup>2</sup>	7.36×10 <sup>-2</sup>	9.27×10 <sup>5</sup>	2.32×10 <sup>4</sup>
75×75	3.2	8.9270×10 <sup>2</sup>	6.87×10 <sup>-2</sup>	7.55×10 <sup>5</sup>	2.01×10 <sup>4</sup>
75×75	2.3	6.5520×10 <sup>2</sup>	5.04×10 <sup>-2</sup>	5.71×10 <sup>5</sup>	1.52×10 <sup>4</sup>
60×60	3.2	7.0070×10 <sup>2</sup>	5.39×10 <sup>-2</sup>	3.69×10 <sup>5</sup>	1.23×10 <sup>4</sup>
60×60	2.3	5.1720×10 <sup>2</sup>	3.98×10 <sup>-2</sup>	2.83×10 <sup>5</sup>	9.44×10 <sup>3</sup>

표 7. 강재의 구조적 성능

규격	재질	장기허용응력		탄성계수 E (kg/cm <sup>2</sup> )	단면 2차 모멘트 I	단면계수 Z (cm <sup>3</sup> )
		압축, 인장, 휨	전단			
Ø48.6 ×2.4t	SS400	1,600	924	2,100,000	9.32	3.83
	SWS 400					
	SPS 400					
	SWS 490	2,200	1,386			
	STK 500	2,400	1,600			

4.4 와셔보강 앵커볼트 시공

H호텔의 가설 보강을 위하여 앵커볼트(셋트앵커)와 와셔를 사용하여 거푸집을 고정시키고 동시에 흠다짐벽의 전도를 막아 주었다. 셋트앵커는 간판공사, 기계 설치공사, 냉난방공사 등 여러 분야의 공사에 사용되는 것으로, 볼트와 파이프가 함께 조여 지므로 최대 강성을 발휘하여 안전한 시공이 가능하다.

흠다짐 합벽 시공에서의 셋트앵커는 거푸집 시공 시에 거푸집의 설치와 고정을 용이하게 하고, 거푸집 해체 후에는 흠다짐이 건조수축으로 인해 기존 벽과 이격되어 전도되어지는 것을 막아주는 역할을 한다. 앵커볼트는 흠벽의 다짐압력과 축압을 고려하여 적절한 것을 선택 시공한다. H호텔에 사용된 앵커볼트는 M16 (W5/8)이며 1본이 부담하는 면적은 (4.4)식과 같이 나타낼 수 있다.

16) 최문식 외(2006), 강구조설계, 한국 강구조학회

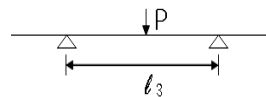
표 8. 앵커볼트의 제원

Bolt size	Bolt size		Plate size		Tensile strength (kgf)	Suitable drill (mm)
	Total length (mm)	Screw length (mm)	Drgree (mm)	Pipe length (mm)		
M16 (W5/8)	100	50	21	65	4740	22
	125	70				
	150	90				
	200	140				
	250	180				
300	230	7,690				

$$A = \frac{\text{허용인장강도}}{P} = \frac{5.2}{2.85} = 1.825m^2 \tag{4.7}$$

여기서, 허용인장강도 : 5.2 t/본 (표 8 참조)  
 P : 흠의 축압

앵커볼트의 간격 산정은 (4.5)식과 같이 나타낼 수 있으며 다음과 같은 조건이 필요하다.



집중하중이 작용하는 연속보로 계산  
 부담하는 면적 A = 1.825m<sup>2</sup>  
 수평재의 간격 l<sub>2</sub> = 50cm

$$l_3 = \frac{A}{l_2} = \frac{1.825}{0.5} = 3.65 \approx 3.5m \tag{4.8}$$

앵커볼트는 흠벽의 다짐압력과 축압을 고려하여 적절한 것을 선택 시공한다. H호텔의 경우 기존 벽과의 부착을 위해 와셔보강 앵커볼트를 사용 (4.5)식에 따라 계산한 결과 벽의 전도를 충분히 방지할 수 있게 시공이 되었다. 하지만, 시공 후 벽의 전도현상은 방지할 수 있었으나, 앵커볼트 고정부 주변의 균열은 관찰이 되었으며 이는 본 공법의 재료적 특성상 응력집중부의 균열제어 어려움에 기인한 것으로 판단된다.

4.5 목재용 오일스테인 사용

흠다짐 벽의 표면처리에는 일반적으로 아마인유를 사용한다. 아마인유는 아마 씨에 함유되어 있는 건성 지방유로써 불포화성이 풍부하며, 도료용의 건성유로 중요하게 사용되어진다. 아마인유를 공기 중에 두면 산소를 흡수해서 축합중합<sup>17)</sup>하여, 탄력성 있는 내수성 반투명의 고분자 물질인 리놀신을 발생하게 된다. 이러한 이유로 아마인유는 방수효과를 가지면서 흠다짐벽의 건조수축에도 대응할 수 있는 피막을 형성할 수 있는 이상적인 마감재로 여겨진다.

17) 축합반응(유기화합물의 2분자 또는 그 이상의 분자가 반응하여 간단한 분자가 제거되면서 새로운 화합물을 만드는 반응)의 반복에 의하여 고분자 화합물을 만드는 반응으로, 축합이라고도 함.

H호텔은 벽체의 방수처리는 목재용 천연 오일스테인을 사용하여 벽의 표면을 마감하였다. 목재용 천연 오일스테인은 아마인유를 주성분으로 하여 방충제와 방청제가 첨가된 것으로, 방수, 방부처리를 따로 할 필요가 없다는 이점이 있다. 오일스테인의 사용은 흙다짐 벽의 미관은 그대로 유지하면서 흙다짐 벽의 방수효과 및 방충효과와 표면의 접착력을 더욱 향상되는 결과를 얻게 되었다.

### 5. 결 론

고층형 흙다짐 합벽의 문제점은 일반적인 흙다짐 공법에서도 나타나는 문제점과 크게 다르지 않았다. H호텔 시공 사례를 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 석회와 시멘트의 혼합사용으로 높은 초기 강도를 가지게 됨으로서 합벽의 안정성을 확보 할 수 있었다. 또한 석회의 수화 반응으로 인한 열 발생으로 동결방지 효과를 얻을 수 있었고 동계작업도 가능하게 되었다.

둘째, 축압 산정식에서 구한 흙의 축압을 이용해 수직부재의 간격과 수평부재의 간격을 산정 후 얻어진 결과를 이용해서 축압에 대응하기 위해 사용한 철제 프레임의 사용 하였다. 이는 보다 안정적 시공을 가능하게 하였으며 수직 부재의 수를 줄이는 역할도 하였다. 그러나 철제 프레임의 경우 각 지점간의 거리가 상대적으로 커서 프레임의 좌굴에 의한 벽의 배부름 현상의 문제점이 나타났다. 좌굴현상만 보완이 된다면 고층 흙다짐 합벽이 한층 더 안전한 시공을 할 수 있을 것이다. 또한 철근 콘크리트 공사에서 적용되는 거푸집 설계기준과 같이 흙다짐 공법에서의 거푸집 설계기준의 정립이 필요하며, 특히, 흙다짐 공법에서 거푸집에 가해지는 축압을 콘크리트 타설 시의 축압과는 구별되는 충격하중의 고려가 필요하므로 이에 대한 규명이 필수적이라 할 수 있다.

셋째, H호텔에서 흙다짐 벽의 최대 높이 7m에서 앵커볼트의 사용은 좌우로는 수직 부재의 간격1.2m, 상하로는 위에서 3.5m로 시공 되었다. 이는 계산상의 값 내에 시공 되어 적당한 사용이 되었다 할 수 있다. 이때, 앵커볼트의 사용량이 많으면 균열의 유도 역할을 하게 되고, 적으면 다짐압력에 대응하기 어려우므로 적절한 간격과 개수의 사용이 중요하다. 또한 이 앵커볼트 주변 다짐 시 주의를 기울일 필요가 있다.

넷째, H호텔의 방수처리를 위한 목재용 오일스테인 사용은 아마인유를 주성분으로 하여 방충제와 방청제가 첨가된 것으로 방수, 방부처리를 따로 할 필요가 없다는 이점이 있었다.

본 연구에서 살펴본 시공사례는 흙다짐 공법의 고층화 가능성 및 그 기술적 개발가능성을 보여주었으며, 향후 이러한 사례 및 기술을 기반으로 하여 합벽의 시공 등을 응용한 다양한 흙다짐 시공기술의 개발이 기대된다. 한편, 고층형 흙다짐 공법의 균열 방지를 위한 혼화제 및 앵커볼트, 거푸집 설계기준 등의 흙다짐 공법의 요소기술 등에 대해서도 체계적인 연구 개발이 요구된다.

본 연구는 연구진행 과정에서 국내외의 흙다짐 합벽공법 시공사례 및 기술적인 기존 연구가 부족하여 사례 연구의 객관적 대비 자료의 확보가 미흡하다는 한계가 있으나, 고층형 흙다짐 공법의 개발에 있어 설계 및 시공단계의 착안사항을 제시하고

이를 직접 응용하여 현장시공한 후 그 과정의 기술적 요소를 파악하여 제시함으로써 향후 기술 발전 및 연구에 대한 기초를 제시하였다는 것에 본 연구의 의의를 두고자 한다.

### 참고문헌

1. 건설기술연구원(1998), 건설기술표준
2. 건설기술연구원(1992), 도로설계요령-교량하부구조물
3. 김기동 외2(1993), 거푸집工事의 理解와 施工, 技文堂, p.106~126
4. 신근식(2006), 흙건축에 대하여, 월간 건축과 환경
5. 월간 건축문화사 편집부(2000), 흙의 건축적 가능성, 월간 건축문화 2000.05, p.99~102
6. 월간 전원주택 라이프(2001), 흙집 이야기 연재기사
7. 이도범 외(1995), 철근콘크리트 공사의 기본과 실무, 도서출판 건설 도서
8. 최문식 외(2006), 강구조설계, 한국 강구조학회
9. 최희용(2007), 친환경 흙건축 재료와 공법선정시의 고려사항, 대한건축학회지 제51권 제2호
10. 한경희 외(2003), 생태학적 관점에 의한 환경친화적 건축재료에 관한 연구, 한국 실내 디자인 학회 논문집
11. 황혜주(2004), 환경 친화 주거단지 외부공간의 환경친화형 재료개발, 한국 그린빌딩협의회 춘계학술강연회
12. 황혜주(2003), 흙건축의 동향과 전망, 대한건축학회지 제47권 제5호
13. Dr Peter Walker MIEAust(2001), CPEng & Standard Australia, The Australian Earth Building Handbook
14. Joseph M. Tibbet(1994), The Earthbuilders' Encyclopedia second edition
15. Julian Keable(1996), Rammed Earth Structure, Intermediate Technology
16. Takahashi 외4인(2001), 인간과 건축 환경과 공간, 태림 문화사
17. <http://www.hangin.co.kr> (August 25th, 2007 present)
18. <http://www.salim.pe.kr> (September 3rd, 2007 present)
19. <http://www.earthhouse.or.kr> (September 28th, 2007 present)
20. <http://ecohouse.net> (September 17th, 2007 present)
21. <http://cafe.naver.com/jaenge.cafe> (October 1st, 2007 present)
22. <http://cafe.naver.com/woodphile> (September 28th, 2007 present)

투고(접수)일자: 2007년 12월 10일

심사일자: 2007년 12월 17일

게재 확정일자: 2008년 4월 28일