

# 흙타설 벽체의 현장 시공 가능성 검토

## Evaluation as to whether field pour earth wall construction is possible

황 혜 주\*                      강 남 이\*\*                      양 준 혁\*\*\*  
Hwang, Hey-Zoo              Kang, Nam-Yi                  Yang, Jun-hyuk

### Abstract

In event of selecting construction materials, taking ones found easily around make embodied energy saved. The earth construction could be an eco-friendly engineering from a views of keeping the embodied energy. The pour earth method construction, as one of earth constructions, improves liquidity of earth-mixed properties to build walls or foundations. This study is aimed at evaluating possibilities as to machinery constructions using pumping cars or excavators to be applied on natural non-dried earth which are purchased from sites neighboring to subject building.

The study showed that the pumping car used construction was smoothly carried out without any remarkable difficulties and further, a compressed strength was found to keep a certain degree to possibly construct low-story buildings. However, it showed some different levels as to a compressed strength by locations of buildings. In the construction course, we couldn't use remicon plants or a remicon due to field conditions and we are forced to take excavators in compounding or mixing works. But, it is evaluated that actually liquidity or compressed strength will be better than in case of using machineries like remicon plants. These results make us determine that the wall construction using machineries is possible.

키워드 : 석회복합체, 흙타설 공법, 흙, 압축강도, 기계화 시공, 시공성

Keywords : lime composite, pour earth method, earth, compressive strength, machinery construction, constructability

### 1. 서론

현재 국내에서 시공되고 있는 흙건축 공법은 흙벽돌 (adobe, earth brick), 흙다짐(rammed earth, pise), 볏단벽 공법(strawbale), 흙미장 공법(earth plaster), 심벽공법 (wattle and daub) 등이 주류를 이루고 있다. 이러한 공법 들은 대부분 건축부지 주변의 흙과 모래를 이용하고 별도의 가공을 하지 않기 때문에 사용재료의 내재에너지가 낮 으며, 건축의 라이프사이클에서 발생하는 환경부하가 낮은 장점을 가지고 있다. 또한 자연재료를 사용하기 때문에 사 람들에게 친근한 느낌을 주며, 습도 조절능력 및 탈취성능 등 사용자에게 다양한 이점을 가져다준다. 하지만 재료의 압축강도가 낮아 저강도 영역의 건축에 한해서 시공되고 있다. 또한 대부분의 공법이 기계화 시공 및 시스템 거푸 짐을 적용하는 데는 한계가 있어서 인력에 의한 시공이

이뤄지고 있다.

흙타설 공법(earth concrete, pour earth)은 국내외에서 많은 연구가 진행되고 있으며 현재 다른 흙건축 공법에 비해 적용 사례가 많지 않다. 이는 사용되는 흙배합이 흙 타설 공법에 적합한 유동성을 확보하는데 필요한 다량의 배합수에 의해 양생기간이 길어지고 압축강도가 낮아지는 등 사용상의 많은 어려움이 있기 때문이다. 또한 기계화 시공을 위해서는 기존의 장비 사용에 적합한 물성이 확보 되거나 새로운 타설 장비를 만들어야 되는데 현실적인 여 건은 한계가 있다.

본 연구는 흙타설 공법의 벽체 적용에 관한 연구로서 자연상태의 흙을 사용한 흙배합을 단독주택의 벽체에 적용하고자 한다. 이 과정에서 펌프카 등의 시멘트콘크리트 타설용 장비를 활용한 기계화 시공 가능성을 검토하고자 한다.

### 2. 예비적 고찰

#### 2.1 흙타설 재료

본 실험에 앞서 자연상태의 흙을 활용하여 흙타설 공법

\* 주저자, 목포대학교 교수, 공학박사, (zederro@korea.com)

\*\* 교신저자, 목포대학교 건축학과 박사수료, (21ckny@hanmail.net)

\*\*\* (주)지플러스 연구원, (yjhzzang@hotmail.com)

이 연구는 문화재청 국립문화재연구소 국가연구개발사업(R&D)의 지원을 받아 이뤄졌으며, 이에 감사드린다.

에 적합한 배합을 도출하기 위한 실험을 진행하였다. 골재로 사용된 흙은 8mm체로 체가름 하였고 기건 상태로 건조하였다. 시멘트콘크리트의 타설에서 사용되는 잔골재에서는 사용되지 않는 실트크기(0.074mm) 이하 입자의 함량이 50%를 넘게 나타났다. 미립자가 많을수록 유동성을 확보하기 위한 배합수량은 많아지며 강도는 낮게 나타난다. 이를 제어하기 위해 모래를 첨가하여 전체 골재에서 실트 이하가 차지하는 비율을 낮추었다.

흙을 사용한 재료를 구조벽으로 사용하기 위해 재령 28일 압축강도를 측정하였고, 현재 사용되고 있는 타설 장비인 레미콘이나 펌프카 등의 장비를 활용한 기계화 시공 가능성을 검토하기 위해 슬럼프 실험을 실시하였다.

실험결과 재령 28일 압축강도 측정결과 구조벽으로 사용가능한 21MPa 이상의 강도를 확보한 것으로 나타났다. 또한 재령 1일 압축강도가 5MPa 이상 발현하는 것으로 나타나 타설 후 재령 초기에 거푸집 해체가 용이할 것으로 판단되었다. 슬럼프 실험 결과는 150~200mm 사이를 나타냈으며 기계 장비를 이용한 건축물의 벽체 및 슬라브 등의 타설이 가능할 것으로 판단된다. 공기량 측정결과 4.5~6%로 시멘트콘크리트와 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.



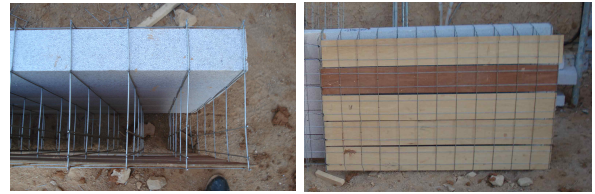
a. 시험체 제작                      b. 압축강도 측정  
그림 1. 흙타설재료 실험 사진

### 2.2 시스모 패널(거푸집)

본 연구에서는 기존의 거푸집 시스템인 유로폼을 대신하여 여러 가지 기능이 추가된 시스모 패널을 사용하였다.

격자형의 철망형태로 되어 있으며 철선은 경량아연도강선(라티스)로 만들어졌으며 용접을 하였다. 옆면은 단열재, 합판, 송판 등이 목적에 맞게 적용이 가능하며, 철망의 외측면에 끼워 넣은 형태로 되어 있다. 공장 제작을 하기 때문에 옆면의 종류에 따라 쉽게 제작이 가능하다. 기본 폭은 1200mm이며 높이는 150~12,000mm로 조절이 가능하며 벽체 두께는 기본 10mm 단위로 최소 60mm~600mm 까지 생산이 가능하다. 시스모 패널은 벽체 구조 도면에 의한 공장 주문 제작으로 현장에서는 형틀 제작이 필요 없이 간단한 조립에 의해 완성된다.

이러한 시스모 패널은 단열재 자체를 틀로 사용하며 탈형을 하지 않아도 되므로 단열성능이 우수하며 시공이 간편하다. 또한 자재가 경량이기 때문에 운반이 용이하고 가공성이 좋다. 그래서 현장관리가 쉽고 공사여건에 구애를 받지 않으며 설치 후에도 설계 변경이 간단하다.



시스모 패널 단면(외단열)                      시스모 패널 모듈  
그림 2. 시스모 패널

## 3. 현장 적용 실험 개요

### 3.1 실험계획

본 연구는 흙타설 공법의 벽체 적용을 위한 기계화 시공 가능성에 대해 검토하고자 한다. 흙벽의 기본 물성인 압축강도와 기계화 시공을 검토하기 위해 슬럼프를 측정하였다.

기계화 시공을 위한 장비는 굴삭기와 펌프카를 선정하였다. 굴삭기는 석회복합체, 흙, 모래, 석분을 적정배합으로 반죽한 다음 펌프카에 부어 넣는 공정을 진행하고 펌프카는 배합된 흙반죽을 조립된 시스모 패널 거푸집에 타설하는 공정을 진행한다. 이러한 방법에 의한 흙타설의 가능성 및 문제점을 검토하였다.

시공에 사용되는 재료의 특성은 선행연구의 결과를 활용하여 석회복합체를 결합재로 사용한 흙배합을 선정하였다. 단위결합재량(kg/m<sup>3</sup>)은 350으로 하였고 W/B는 70%로 하였다. 골재의 비율은 용적비로 흙:모래:석분=40:30:30을 하여 흙배합의 실트 이하 미립분의 함량을 줄였다. 혼화제는 고성능감수제를 1% 첨가 하였다. 실험실에서의 압축강도는 약 21MPa 이었으나 현장에서의 배합 및 믹싱 등의 상황을 고려해 볼 때 낮은 압축강도를 나타낼 것으로 예상하였다. 본 연구에 적용된 배합은 표 2와 같다.

표 1. 실험 계획

구분	인자 및 수준	
시공	적용 공법	흙타설 공법
	적용 장비	펌프카 1대 굴삭기 (0.2m <sup>3</sup> ) 2대
	타 설 량	38m <sup>3</sup>
재료	단위결합재량	350kg/m <sup>3</sup>
	W/B	70%
	혼 화 제	1%
	측정방법	압축강도 (Ø10*20cm, Ø15*30cm) 슬럼프 할릴인장강도 슈미트해머

표 2. 흙타설 배합표

구분	W/B (%)	단위 수량	단위결합재량	흙	모래	석분	공기량	혼화제
용적배합(ℓ)	70	245	127.7	238.9	179.2	179.2	30	1%
단위량(kg/m <sup>3</sup> )			350	573.4	465.9	465.9		

흙타설 배합은 시험체의 압축강도를 측정하기 위해 Ø10\*20cm, Ø15\*30cm의 두 가지 크기로 제작하여 재령별 압축강도를 측정하였다. 재령 28일 시공된 건축물의 벽체 위치 별로 비파괴 시험인 슈미트해머 실험을 실시하여 압축강도를 비교하였다. 재령 28일 활렬인장강도를 측정하였고 유동성을 판단하기 위해 슬럼프시험을 실시하였다.

**3.2 적용 건축물 개요**

흙타설 공법의 적용대상 건축물은 전라남도 영암군 학산면에 위치한다. 시멘트콘크리트를 사용한 줄기초 부분을 제외한 나머지 부분은 흙, 고성능석회, 왕겨숯, 목재와 시스모 패널을 사용하였다. 바닥은 단열을 위해 왕겨숯으로 채웠고 왕겨숯의 상부 마감은 흙과 석회를 반죽하여 채웠다. 벽체의 구조부분은 그림 3의 파란색으로 표시된 부분으로써 시스모 패널에 흙타설 콘크리트로 시공하였다. 최고 높이는 다락이 있는 거실의 양측면 벽체로써 6.5m이다. 단열은 스티로폼을 사용하여 내단열을 실시하였다. 비내력벽은 목재 틀에 왕겨숯을 채워 단열을 하였고 흙과 석회를 배합하여 목재 틀 사이를 채워 마감하였다. 내벽 마감은 시멘트나 화학제품을 사용하지 않은 흙미장을 하였고 지붕은 목재를 사용하여 마감하였다.

건축물 시공에 사용된 재료 중 벽체 및 바닥의 채움재로 사용된 재료는 대부분 건축물 주변에서 구할 수 있는 재료를 사용하였다. 이들 재료들은 생산이나 운반에서 발생하는 비용 및 에너지 소비가 낮은 재료로써 내재에너지가 낮기 때문에 친환경적인 재료라고 할 수 있다.

표 3. 건축 개요

구분	내용
대지위치	전남 영암군 학산면 금계리 955번지
구조	벽 : 흙타설콘크리트 시스모 패널, 왕겨숯 흙벽 지붕 : 경량목구조위 합판
주요재료	흙타설콘크리트, 목재, 왕겨숯, 흙미장
건축물면적	30평(부지면적 : 250평)
최고높이	6.5m
층수	지상 2층
용도	주거용
타설시기	2011. 09. 09.
사용거푸집	시스모 패널
단열방법	외단열 (흙타설콘크리트), 왕겨숯

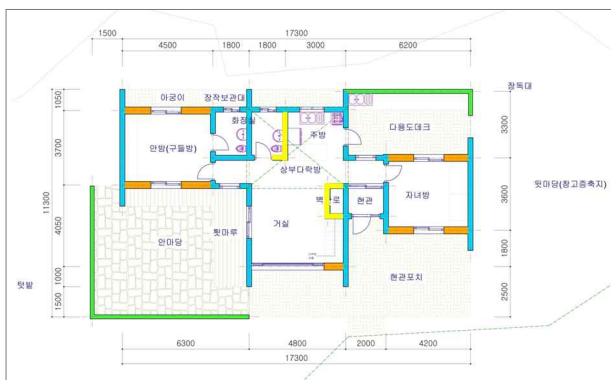


그림 3. 평면도

**3.3 실험재료**

흙타설 공법의 결합재는 고성능석회를 사용하였다. 석회의 성능을 개선한 것으로 석회와 포졸란 재료들의 혼합체이며 특성을 표 4와 같다. 골재로서 사용된 재료는 흙, 모래, 석분이며 흙을 단독으로 사용했을 경우 강도가 낮기 때문에 0.074mm이하의 미립분의 함유율을 낮추어 입도를 맞추기 위해 모래와 자갈을 혼합하여 사용하였다. 흙은 영암군 내의 일반 흙을 구입하였다. 건조과정을 거치지 않는 상태에서 배합에 사용하였기 때문에 함유율은 높게 나타났으며 흙의 특성은 표 5와 같다. 모래는 인천광역시 강화군에서 채취하여 세척한 해사를 사용하였으며 물리적 특성은 표 6과 같다. 석분은 전남 영암군의 석산에서 채취한 것을 사용하였으며 물리적 특성은 표 7과 같다. 유동성 확보와 강도 발현을 위해 표 8과 같은 특성을 갖는 고성능 감수제를 사용하였다.

흙타설 배합의 입도 분포표는 그림 4와 같다. 0.15mm 이하의 입자가 콘크리트용 잔골재에 비해 높게 나타났으며 전체의 약 25%를 나타내고 있다. 그중 0.002~0.074mm의 실트입자의 함량이 높게 나타났다.

표 4. 석회복합체의 물리·화학적 특성

구분	분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	초결(h)	종결(h)	강열감량 (%)	비중 (g/cm <sup>3</sup> )	
함량	5,969	5:50	8:20	2.5	2.74	
구분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	LOI
함량	26.10	13.31	45.51	6.13	6.71	2.24

표 5. 흙의 물리적 성질

구분	clay	silt	sand	함수율(%)	비중
내용	9.10	49.19	41.71	30.5	2.50

표 6. 모래의 물리적 성질

최대입경(mm)	비중	조립률(FM)	함수율(%)
2.5	2.6	2.17	6.2

표 7. 석분의 물리적 성질

최대입경(mm)	비중	조립률(FM)	함수율(%)
13	2.64	3.5	1.8

표 8. 고성능 감수제의 물리적 성질

혼화제의 종류	유형	색상	주성분	독성	PH	비중
나프탈렌계	액상	암갈색	Copolymer	무	8-10	1.05±0.02

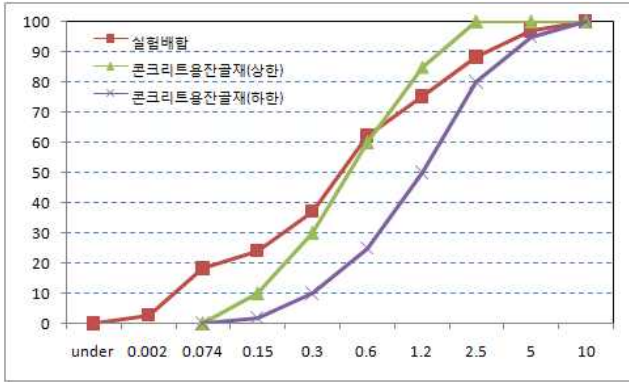


그림 4. 흙타설 배합의 입도 분포표

### 3.4 실험방법

압축강도 측정을 위한 시험체는 KS F 2403에 의거하여 Ø10\*20cm, Ø15\*30cm 몰드에 제작하였다. 현장 배합 과정에서 굴삭기에 의해 배합된 반죽을 사용하였으며 배합초기의 반죽을 사용하여 제작하였다. KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법에 의거하여 재령 1,3,7,28일 압축강도를 측정하였으며 KS F 2423 콘크리트의 쪼갬 인장 강도 시험방법에 의거하여 재령 28일 인장강도를 측정하였다. 또한 유동성을 측정하기 위해 KS F 2402 콘크리트의 슬럼프 시험 방법에 의거하여 슬럼프를 측정하였다.

시공이 완료된 건축물의 위치에 따른 압축강도 특성을 비교하기 위해 재령 28일이 경과된 흙타설 콘크리트 벽체에 대해 비파괴실험을 실시하였다. KS F 2730에 의거하여 슈미트해머를 이용한 실험을 실시하였다. 압축강도 추정식은 기존에 나와 있는 방법 중 네 가지 방법을 선정하여 계산하였으며 추정식은 표 9와 같다. 슈미트해머 측정법은 타격시험 시 벽체와의 타격 각도에 의한 보정값을 적용하여야 된다. 그러나 본 실험에서는 수평방향으로 측정하여 타격각도(a)는 0°이기 때문에 보정치(ΔR) 값은 산정하지 않았다.

표 9. 압축강도 추정식

일본재료학회	동경 건축재료 검사소
$F_c = -18.0 + 1.27 \times R$	$F_c = (10R - 110) \times 0.098$
일본 건축학회	U.S Army
$F_c = (7.3R + 100) \times 0.098$	$F_c = (-120.6 + 8.0R + 0.0932R_0^2) \times 0.098$

## 4. 실험결과

### 4.1 현장 시공 결과

흙타설 공법 적용 초기 흙타설에 사용될 흙배합을 정확히 개량하고 믹싱을 잘하기 위해 영암군에 소재한 레미콘 공장의 플랜트 설비를 사용하는 방안을 검토하였다. 그러나 모든 업체에서 플랜트 내부에 흙을 투입할 경우 관리상 어려움이 많으며, 레미콘을 활용한 배합 및 운반 또한 어렵다고 하여 배합 방법을 변경하였다. 그래서 현장에서 운용 가능한 장비인 굴삭기를 활용하여 재료 배합 및 반

죽을 실시하였다.

시공현장에 원재료인 흙, 모래, 석분, 석회복합체를 각각 반입하여 정해진 위치에 적재하였다. 재료 배합에 활용될 장비인 0.2m³ 용량의 굴삭기 2대를 배치하였다. 타설 전 석회복합체 페이스트 및 흙타설 배합을 반죽하기 위한 배합용기 역할을 하는 흙구덩이 3개를 2m³ 크기로 뚫었다. 구덩이 한 개는 석회페이스트를 위한 것이고 나머지 두 개는 각각의 굴삭기가 흙타설 배합을 반죽하기 위한 구덩이이다. 시공현장의 배치는 아래 그림 5와 같다.

현장에서의 흙타설 배합순서는 표 10과 같다. 우선 현장에 반입된 골재인 흙, 모래, 석분을 굴삭기 1대가 정해진 비율로 건믹싱하여 작업이 용이한 곳에 쌓아두었다. 다른 한 대의 굴삭기는 석회복합체와 물을 혼합한 석회복합체 페이스트를 만들어 놓았다. 석회복합체 페이스트가 만들어지면 두 대의 굴삭기는 각각 1개의 구덩이에 적정량의 석회페이스트와 건믹싱된 골재를 넣고 배합한다. 배합이 완료된 흙배합을 펌프카에 부어 넣어 타설을 실시하였다.

표 10. 흙타설 배합 순서

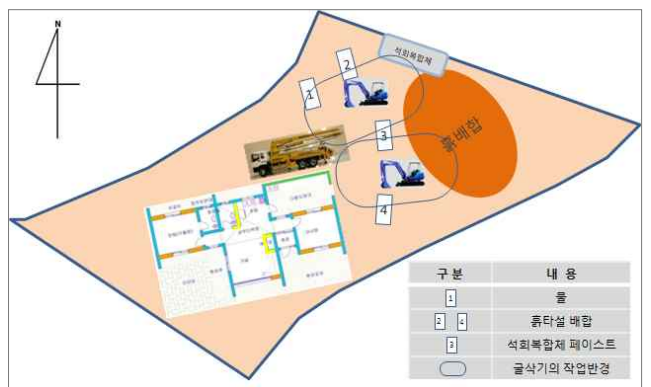
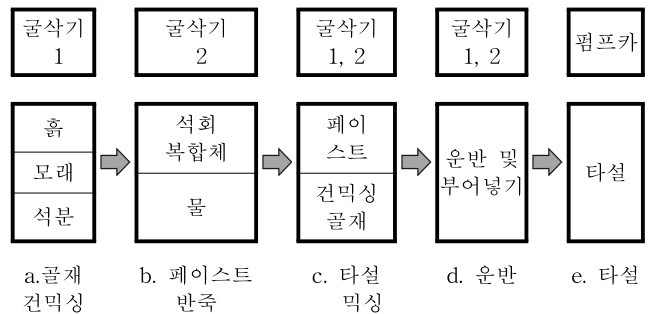


그림 5. 흙타설 적용 현장 작업 배치도



그림 6. 흙타설 공법 현장 타설

흙타설 공법이 적용된 벽체는 그림 5의 파란색 부분이며 시공량은 벽체만 38m<sup>3</sup>이다. 고성능석회 13.3톤, 흙 21.8톤, 모래 17.7톤, 석분 17.7톤이 사용되었다.

1회 배합량은 2m<sup>3</sup>을 기준으로 하였으며 0.2m<sup>3</sup> 굴삭기를 이용하여 반죽하였으며 배합비는 표 11과 같다. 그러나 현장에서는 정밀한 시공이 어려웠다. 특히 굴삭기의 버킷이 재료 개량의 기준이 되었기 때문에 시공 전에 설명하였던 부분이 시공 중에는 운전자의 감각에 의해 이루어져 정확히 지켜지는 부분에는 한계가 있는 것으로 나타났다.

첫 배합 후 시공을 시작하기 전에 슬럼프를 측정하였으며 슬럼프 값은 80mm로 나타났다. 완성된 반죽은 펌프카에 부어 넣은 후 타설을 실시하였으며 펌프카에는 큰 무리는 없었다. 그러나 배합과정에서 몽친 흙덩어리가 반죽하는 중에 흐트러지지 않은 채 섞여 있어 펌프카의 흡입구 쪽에서 걸리는 현상이 발생했다. 그래서 인력으로 밀어 넣는 공중이 추가되었다. 원인은 두 가지로 볼 수 있다. 첫째는 함수율이 높으며 건조되지 않은 흙을 사용하였기 때문에 몽치는 현상이 발생하였고 또한 체가름을 하지 않았기 때문에 처음부터 덩어리진 흙이 존재했을 가능성이 높았다. 둘째는 반죽에 사용된 기계가 믹서기가 아닌 굴삭기를 사용함에 따른 것이다. 점성이 큰 흙반죽이 골고루 섞이기 위해서는 믹서기의 회전력에 의해 몽쳐있는 흙덩어리가 풀려야 되는데 굴삭기는 흙반죽을 밀거나 당기는 수준에서 반죽을 하기 때문에 흙덩어리가 풀리지 않게 된다. 그래서 그 상태로 펌프카에 투입되고 펌프카의 투입구에서는 걸림 현상이 발생하게 된다.

흙타설은 오전 10시 30분에 시작하여 18시 30분에 종료되었다. 타설 중간에 중식으로 인한 1시간의 휴식시간을 제외하면 총 소요 시간은 7시간이다. 타설량에 비해 타설 시간이 길어진 이유는 배합과정에서 굴삭기를 사용하였기 때문이다. 반죽을 하는데 있어 믹서기나 레미콘에 비해 반죽력이 떨어지기 때문에 적절한 배합을 하기 위해서는 반죽시간이 길어지게 되고 전체적인 시공시간 또한 늘어나게 되었다. 굴삭기에 의한 믹싱은 소규모의 건축물 시공에는 문제가 없을 것으로 판단되나 건축 규모가 커질 경우 이에 대한 대안이 필요할 것으로 판단된다. 펌프카를 활용한 타설은 시멘트콘크리트를 타설할 때와 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

표 11. 흙타설 용적 배합

구분	W	HPL	PE	석분	모래	혼화제
1회 사용량	2.5 버킷	1백	2.4 버킷	1.8 버킷	1.8 버킷	별도 용기

### 4.2 재령별 압축강도 및 인장강도

현장 시공 배합의 경우 재령 28일 압축강도는 12.41MPa로 나타났으며 예상했던 압축강도 21MPa보다 약 40% 정도 낮게 나타났다. 재료적인 측면에서 볼 때 원인은 다음과 같다. 첫째, 실험실에서의 흙배합은 0.074mm이하 미립분의 함량이 전체의 10.35%였으나 현장배합의 경우는 18.2%로 약 8% 정도 높았다. 이는 유동성 확보를 위한 배합 수량을 증가시키는 결과를 낳았고 강도 저하를

발생시켰다. 둘째는 흙의 함수량의 차이이다. 실험실에서는 기건 상태로 건조하였기 때문에 2.66%의 함수량이었다. 그러나 현장에서는 별도의 건조 과정을 거치지 않고 그대로 사용하였으며 함수량은 30.5%로 높았기 때문에 전체 배합수량의 증가로 강도 저하가 나타난 것으로 판단된다. 시공적인 측면에서는 석회복합체 페이스트 반죽과 흙타설 배합의 반죽이 잘 되지 않았기 때문으로 판단된다. 굴삭기를 활용한 배합은 실험실에서 저울을 사용한 계량에 비해 정밀도가 떨어진다. 또한 반죽의 혼합된 정도에서도 믹서기는 배합이 골고루 반죽되도록 충분한 믹싱이 가능하나 굴삭기의 경우에는 이러한 성능이 현저히 떨어진다. 이러한 이유로 실험실에서의 압축강도에 비해 강도가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

단면 증가에 따른 압축강도 감소율을 측정된 결과 시험체 크기 Ø15\*30cm의 경우 압축강도는 Ø10\*20cm에 비해 재령 3일 8%, 재령 7일 2%, 재령 28일 2%로 나타났으며 큰 차이를 나타내지 않았다. 흙타설 공법의 인장강도는 1.13MPa로 나타났다. 재령 28일 압축강도 대비 1/10.9로 나타났다. 일반 시멘트콘크리트의 인장강도는 압축강도의 1/10~1/13 정도로 나타나 흙타설 공법과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

현장에서 시공 시 압축강도 성능 및 유동성능을 개선하기 위해서는 플랜트 설비에 의한 정확한 배합과 반죽을 할 수 있는 믹서 설비가 필요할 것으로 판단된다.

표 12. 압축강도 및 인장강도 측정값

현장 배합	재령별 압축강도(MPa)					할렬인장강도 (MPa)
	시험체크기(cm)	1일	3일	7일	28일	재령 28일
	Ø10*20	3.64	8.34	10.40	12.41	1.13
Ø15*30	-	7.66	10.21	12.12	-	

### 4.3 재령 28일 비파괴시험

본 연구에서는 레미콘플랜트에 의한 배합이 이뤄지지 않고 현장에서의 굴삭기에 의한 배합이 이루어졌기 때문에 건축물의 각 위치에 따른 강도 차이가 발생했을 것으로 판단되었다. 이에 그림 7과 같이 건물 벽체 중 16곳을 선정하여 재령 28일에 비파괴 실험인 슈미트해머를 이용하여 강도를 측정하였다. 슈미트해머로 측정된 값에서 반발경도(R)과 환산한 압축강도 추정치는 표 13과 같다. 초기에 추정식은 4가지로 분석했으나 일반건축학회의 경우 다른 측정값에 비해 값이 차이가 커서 제외 시켰다.

슈미트해머에 의한 압축강도 추정치는 4번과 6번을 제외하고는 실험실에서 양생한 배합에 비해 낮은 강도를 나타냈다. 동측벽을 제외한 다른 벽에서는 실험실 강도에 비해 크게 떨어지거나 증진되지 않게 나타났다. 하지만 동측벽의 경우 다른 벽체에 비해 절반 이하의 강도를 나타냈다. 가장 낮은 압축강도는 약 3.8MPa(동경 건축재료 검사소 기준)로 나타났다. 또한 낮은 반발계수 값의 경우 추정값이 매우 낮게 나타났는데 이는 사용된 슈미트해머가 N형으로 일반강도용이기 때문에 저강도 영역은 측정범위를

벗어난 것으로 판단된다. 반발경도 값의 비를 이용한 계산으로는 최저를 나타낸 13번 배합의 경우 약 7MPa 이상 나올 것으로 예상된다.

강도의 차이가 생기는 것은 두가지 요인에 의한 것으로 판단된다. 첫째는 믹싱 공정이 굴삭기에 의해서 이루어졌기 때문에 일반 믹서기에서 만큼의 충분한 믹싱이 되지 않았으며 매회 차이가 발생하였기 때문에 강도 차이가 발생한 것으로 판단된다. 둘째는 석회페이스트와 건믹싱 된 흙을 혼합하는 과정에서 굴삭기의 버킷을 기준량으로 하였기 때문에 운전자의 조작에 따라 버킷에 담기는 양에 차이가 났기 때문인 것으로 판단된다. 특히 동측벽이 가장 낮은 강도를 나타낸 이유는 타설 순서가 중앙벽체에서 시작해서 서측벽, 동측벽 순서대로 진행되었으며 가장 나중에 시공된 동측벽의 경우 석회페이스트의 농도가 낮아졌기 때문으로 판단된다.

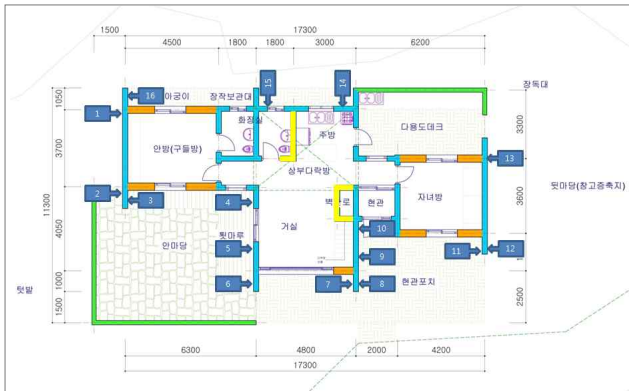


그림 7. 슈미트해머 측정 위치

표 13. 환산에 의한 압축강도 추정값

구분	반발경도값 = R	일본재료학회	동경 건축재료 검사소	U.S Army
1	23.2	11.4	11.9	11.2
2	23.7	12.1	12.4	11.9
3	22.5	10.5	11.2	10.4
4	24.3	12.8	13.0	12.6
5	19.7	7.0	8.5	7.1
6	25.3	14.1	14.0	13.8
7	21.2	8.9	10.0	8.9
8	23.2	11.5	12.0	11.3
9	20.9	8.5	9.7	8.6
10	23.6	12.0	12.3	11.8
11	15.9	2.2	4.8	3.0
12	15.4	1.6	4.3	2.4
13	14.8	0.8	3.8	1.8
14	22.6	10.7	11.4	10.6
15	23.6	12.0	12.3	11.8
16	20.0	7.4	8.8	7.5

5. 결론

본 연구에서는 자연 상태의 흙을 사용하여 유동성이 높은 흙타설 공법에 의해 벽체를 세우는 연구를 진행하였다. 현재 현장에서 사용되는 타설 장비를 활용한 기계화 시공을 실시하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 유동성을 확인하기 위해 시공 초기 배합의 슬럼프 값을 측정 한 결과 80mm 이었으며, 펌프카에 의한 흙벽체 타설이 가능한 것으로 나타났다.

2) 압축강도 측정 결과 실험실 배합의 60% 정도 강도 발현을 한 것으로 나타났으며 건축물의 위치에 따라 압축강도가 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 압축강도는 저층 주택으로서 적용 가능한 수준으로 판단된다.

3) 강도 저하의 원인은 흙의 높은 함수량과 0.074mm 이하 미립분의 함량이 높았기 때문이다. 이로 인해 반죽하는 과정에서 재료의 뭉침 현상이 발생했으며 반죽능력이 낮은 굴삭기로는 충분한 믹싱이 되지 않았기 때문이다.

4) 건축물의 벽체 및 바닥을 시공할 때 흙타설 공법을 이용할 경우 배합 및 반죽 과정에서의 굴삭기 사용으로 매회 배합의 차이가 발생했다. 또한 이 과정에서 많은 시간을 필요로 하기 때문에 전체 시공 시간이 길어지는 것으로 나타났다.

5) 개선하기 위한 방안으로는 기존의 시멘트콘크리트의 타설에 관련된 장비의 이용 가능한 방법을 검토하거나 현장용 배척플랜트와 믹서기를 제작하는 방법 등 배합과정에서 정확한 계량과 충분한 믹싱이 되어야 할 것으로 판단된다.

6) 재료로 사용된 흙의 성분이 흙배합의 물성에 많은 영향을 미치므로 재료의 선정 단계에서 입도분석을 정확히 실시하고 최밀충진실험을 통하여 적정 흙배합을 선정하는 것이 중요한 것으로 판단된다.

본 연구에서와 같이 건축물의 시공에 있어 대지 주위에서 구할 수 있는 재료를 사용할 경우 내재에너지가 낮은 건축물의 시공이 가능하다. 흙건축 공법은 내재에너지가 낮은 친환경건축 공법으로 사람들이 좀 더 쉽게 접근 할 수 있는 다양한 연구가 꾸준히 진행되어야 될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 황혜주, 흙건축, CIR, 2008
2. 김무한, 구조재료실험, 문운당, 1999
3. 양근혁 외, 혼화제·제가 무시멘트 황토 모르타르의 유동성 및 압축강도 발현에 미치는 영향, 한국콘크리트학회 논문집, vol.18 n.6, 2006.12
4. 황혜주 외, 황토콘크리트의 현장 적용에 따른 시공 및 품질 특성에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집 v.9 n.1, 2009
5. 황혜주 외, 흙과 모래의 최밀충진효과와 석회복합체의 첨가에 따른 강도 증진, 한국생태환경건축학회 논문집 v.11 n.4, 2011
6. 한국시설안전기술공단, 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼, 2006.12
7. Hugo Houben and Hubert guilaud, TRAITE DE CONSTRUCTION EN TERRE, Parentheses, 2006

투고(접수)일자: 2011년 11월 30일  
 수정 일자: 2012년 2월 6일  
 게재확정일자: 2012년 2월 9일