

거푸집 선정기준에 의한 흙다짐용 거푸집 시스템의 특성 비교분석

A Comparative Analysis on the Characteristics of Rammed Earth Form System based on Selection Criteria

이종국*
Lee, Jong Kook

이정제**
Lee, Jung Je

Abstract

This research examines the characteristics of the “rammed earth form” based on the criteria for the selection of forms. For this purpose, the paper first reviews the characteristics and orientation of the earth-construction and looks into the outline, the prerequisite, the current status and the tendency of the rammed earth form system through previous studies. Consequently, we aims to contribute to the criteria for the selection of rammed earth forms in the future through a comparative analysis of the construction cost, quality, safety and easiness of works between the veneer board form and the euroform, which are most widely used at earth housing project in the domestic country.

The results reveals that the euroform is better than the veneer board with 21% of total cost in the cost analysis. But this better than that in the side of easiness of construction. In both cases, the buckling of wall panel form and the labor-oriented characteristics of the methods are the future research issues in the rammed earth form system.

키워드: 흙다짐공법, 거푸집, 유로폼, 합판거푸집, 선정기준, 공사비, 품질, 안전, 시공용이성

Keywords: rammed earth method, form, euroform, veneer board form, selection criteria, cost, quality, safety, workability

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 우리 사회는 많은 환경문제에 직면해 있으며, 그 중에서 현대 건축 재료에서 나오는 각종 유해물질로 인하여 인체에 각종 질환을 유발시키는 새집증후군 등의 문제는 사회적인 관심사가 되고 있다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 친환경 건축의 대안으로서 흙재료에 의한 주거는 습도조절 능력, 탈취성능, 통기성, 항균성, 원적외선효과 등 건강에 대한 긍정적인 측면이 부각되고 있다. (정주성, 2007) 하지만 이러한 관심에도 불구하고 친환경 흙건축에 대한 일반인들의 선호도는 높지만 대중화는 아직 미흡한 실정이라 하겠다. 이러한 흙건축 또는 흙건축공법 등을 체계적으로 정리하고 적용하기 위해서는 다각도의 연구노력이 필요하다.

흙건축에는 흙을 일정한 크기의 단위개체로 만들어 쌓는 방식인 단위 개체식, 일체로 만드는 일체식, 다른 벽체나 틀에 바르거나 붙이는 덧붙임식으로 나눌 수 있다.(이

장혁, 2007) 일체로 만드는 흙다짐공법(rammed earth)과 흙타설 공법(earth concrete)의 경우 구조체의 형상을 유지하기 위하여 거푸집 공사를 필요로 한다. 이때, 흙타설 공법의 경우 시공방법이 기존의 콘크리트공사와 유사하기 때문에 거푸집공사 또한 비슷하지만, 흙다짐 공법의 경우 시공방법부터 기존의 콘크리트 공사와는 다른 특징이 존재한다고 할 수 있다.

한편, 거푸집측면에서는 철근콘크리트 건축공사의 경우 거푸집의 공사비가 일반적으로 구조체 공사비의 30%~40%, 전체공사비의 10%정도, 공사기간은 전체공사기간의 25%정도의 비중을 차지하고 있다(대한주택공사, 1993). 콘크리트공사와 마찬가지로 흙다짐공법의 거푸집 공사 또한 높은 공사비와 긴 공기를 필요로 하는 공사이므로 공사비절감 및 공기 단축의 핵심적인 위치를 차지하고 있다. 하지만 지금까지 흙건축에 관련된 체계적인 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 흙다짐용 거푸집에 관한 기초적 연구로서 흙다짐 공법의 필수적인 거푸집 적용기술을 분류하고, 국내에서 많이 사용되고 있는 합판거푸집과 유로폼을 비교하여 향후 시스템거푸집개발을 위한 기초 자료로 활용될 수 있도록 한다. 이를 통하여 본 논문은 흙다짐공사에서 사용되는 거푸집공법을 개선하여 시공성능의 향상과 공사원가 절감을 도모하는 계

* 금오공과대학교 건축학부 교수

** 교신저자, 금오공과대학교 건축학부(sfish@kumoh.ac.kr)

기를 마련하는데 기여하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 흙다짐공법에 사용되는 거푸집을 조사하고, 현장사례를 통하여 대표적인 거푸집공법을 서로 비교 하도록 한다. 정영수(2005)의 연구에서는 거푸집 선정기준을 비용, 시공용이성, 시공속도, 안전, 현장특성, 품질, 건물특성, 기계화/자동화 등 총 8가지 항목으로 제시하였던 바, 본 연구에서는 거푸집선정기준 중 공사비, 품질, 안전성, 시공용이성 4가지 항목에 대해서 비교하고 나머지 4가지 항목에 대해서는 추후 연구과제로 남겨 두도록 한다.

그리고 공사부위와 거푸집공법도 매우 다양하기 때문에 대표적인 공법으로 한정토록 한다. 우선 흙다짐공법 중 기둥을 제외한 벽체용 거푸집과 흙을 다질 때 수직으로 다져 나가는 방식의 거푸집으로 한정하여 연구를 진행하도록 한다.

본 연구의 진행방법은 그림1과 같다.

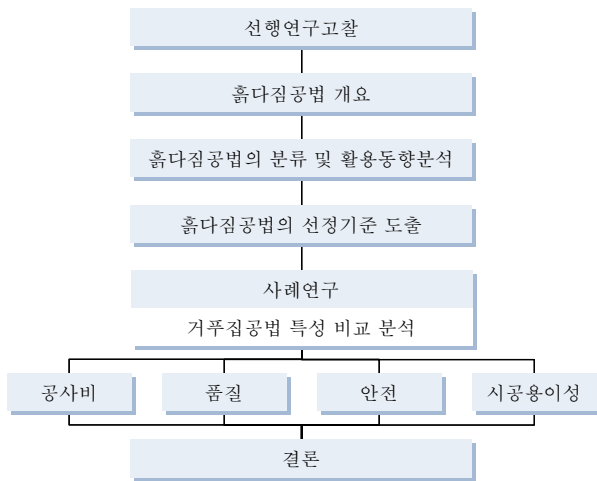


그림 1. 연구의 진행방법

1.3. 선형연구고찰

흙건축에 대한 최근 연구동향은 표1에서 보는 것처럼 흙건축 재료의 개발, 흙주거의 선호도, 흙재료의 특성에 관한 연구가 주종을 이루었으며, 건축시공에 관련된 연구는 미흡한 실정이다.

표 1. 흙건축 관련 주요 연구내용

구분	연구자	연구내용
흙주거의 선호도	정주성, 김정규 (2007)	거주자의 거주유형에 따른 거주환경의 선호경향을 파악하고 그들 사이에 나타나는 상호관계를 규명
	이장혁, 유창균, 김정규(2007)	흙건축 주요 구축방식에 따른 구성재에 대한 이미지 성향과 평가요인만을 규명
흙재료 개발	황혜주,이종국, 강남이(2005)	황토 구성요소들의 물리적 제어를 통하여 전통 황토 미장 방식에서 발생하는 균열 및 박리 현상을 제어하기 위해 황토 미장제의 적정 배합을 산출
	이태구(2006)	전통 미장의 성능을 개선하기 위해 황토와 자연 혼화제의 적정 배합을

		추출을 위한 기초자료 마련
흙재료의 특성	황성일 외 3인 (2007)	흙벽돌과 흙미장에 따라 흙음특성이 어떻게 달라지는지 실험으로 비교하고 합리적인 이용 방법 모색
	송철영,구보경, 황혜주(2006)	주요 흙 건축재료들에 대한 열환경 및 실내 공기환경 측면에서의 물성을 측정하고 기존 건축재료와 비교 분석
흙다짐 강도	C. Jayasinghe, N. Kamaladasa (2006)	실험을 통한 흙다짐벽의 시멘트 첨가비율에 따른 압축강도 비교
거푸집 공법	정영수 외 4인, (2005)	기존 콘크리트 거푸집 공법에 대한 고찰을 통하여 거푸집 선정요인 도출, 거푸집공정의 문제점 분석
	김두석, 김용수, (2001)	거푸집 공법별 작업생산성, 안정성 비교분석

2. 흙다짐공법

2.1 흙다짐공법의 개요

우리나라에서는 흙다짐공법으로 지은 집 또는 벽체에 대해 담집, 토벽, 토담집, 도둑집, 흙담, 담틀등 여러가지로 불리어 왔으며, 미국에서는 흙다짐(rammed earth), 프랑스에서는 피제 드 페르(pisé de terre) 또는 페르 피제(terre pisé), 스페인에서는 바로 아빠시오나도(barro apisonado) 또는 따빠알(tapial), 독일에서는 스타ンプ플렘바우(stampflembau)라고 불린다(Gernot, 2000).

흙다짐 공법은 일정한 형상을 가진 거푸집에 흙을 넣고 7~10kg정도의 무게를 가진 램머로 다져 벽체, 바닥 등을 조성하는 공법이다. 벽체의 경우 일반적으로 300 ~ 600mm 두께가 시공되고 있다. 현재 우리나라에서는 두께가 400mm인 벽체가 가장 많이 시공되고 있다.

흙다짐 공법에서 중요한 것은 흙과 수분이다. 흙은 유기물이나 염분 등 다른 이물질이 포함되지 않는 심토로써 적절한 입도를 갖추어야 한다. 이를 위해서는 점토와 사토를 적절히 배합하여야 한다. 또한 적절한 수분은 벽의 강도를 결정하며 8~13%로 맞추어야 한다. 토양의 안정화를 위해 시멘트, 석회 등을 첨가할 때는 일반적인 토

표 2. 주요공법의 특성비교⁵⁾

구분	2"×6" 목조주택 (Frame)	흙벽돌 (Adobe)	스트로베일 (Strawbale)	흙다짐 (Rammed earth)
벽두께	150mm	150mm	550~700mm	450~900mm
유지관리비용	높음	낮다	보통	낮음
내화성	적당	우수	양호	매우 우수
방충	매우 낮음	보통	낮음	매우 우수
에너지효율	양호	우수	보통	매우 우수
축열성	매우 낮음	보통	낮음	매우 우수
건물형태	매우다양	미국남서부	다양한 두께	다양한두께
국가표준	표준	표준	대안	표준
가격	100%	108%	72%	110%
내구성	75~125년	75~200년	·	200~600년
방음능력	매우 낮음	우수	보통	매우 우수
내충격성	매우 낮음	우수	보통	매우 우수
바닥지붕 온도차	4~7℃	1~2℃	4~7℃	1~2℃

양을 쓸 때 보다 더 많은 수분을 필요로 한다.)¹⁾

위의 표2에서는 흠다짐공법, 2"×6"목조주택, 흠벽돌, 스트로베일공법을 비교하였다. 이를 통하여 흠다짐공법의 우수성을 알 수 있다.

2.2 흠다짐용 거푸집의 선정기준

건축공사에 맞는 거푸집을 선택하기 위해서는 여러 가지 요인이 작용하게 된다. 다양한 기존연구에서 거푸집 선정 기준을 제시하였고 정영수(2005)의 연구에서 거푸집 평가기준의 기술적인 측면과 관리적인 측면을 더하여 거푸집 선정기준 및 선정 항목에 대한 하위 항목을 도출하였고 그 선정 기준은 비용, 시공용이성, 시공속도, 안전, 현장특성, 품질, 건물특성, 기계화/자동화이다. 다음 표3은 거푸집 선정기준에 대한 하위항목이다.

표 3. 거푸집 선정기준(정영수, 2005)

선정기준	선정기준 하위항목
비용	초기투자비, 설치/해체비, 전용횟수
시공 용이성	조립/해체, 경량자재, 작업공간확보, 곡면시공용이
시공 속도	연속작업, 조립해체, 마감작업 동시 진행 여부
안전	안전
현장특성	현장 접근성, 기능공 현장 교육, 날씨, 현장크기
품질	피복두께 감소, 처짐 감소, 정밀성 우수
건물특성	장스팬, 건물규모
기계화/자동화	노동 인력, 기능공 역할

이때, 시공속도, 현장특성, 건물특성, 기계화/자동화는 그 속성상 일반화하기 곤란하거나 아직 기술개발이 미비한 부분인 바, 본 연구는 공사비, 품질, 안전성, 시공용이성 4가지 항목에 대해서 분석하도록 한다.

3. 흠다짐용 거푸집의 공법분류 및 동향 분석

3.1 거푸집 구성방식에 따른 분류

흠다짐공법에 쓰이는 거푸집을 구성방식에 따라 분류해보면 크게 소형유니트방식과 일체형방식으로 나눌 수 있다(Hugo 1996).

1) 소형유니트방식

①수평슬라이딩방식

작은 한 세트르 이루어져 있으며 한 세트에 흠을 다져 넣고 거푸집을 그 옆으로 이동하여 계속 다져 나가는 방식이다. 거푸집의 조립 및 해체, 이동, 재조립이 반복적으로 이루어지기 때문에 거푸집 조립 때 마다 수직, 수평을 맞추어야 하는 등 많은 시간이 소요된다.

②수직슬라이딩방식

마구리판이나 기둥이 세워져 있는 곳에서 사용되며 거푸집을 전체다 조립하지 않고 일정높이만큼 거푸집을 조립한 후 흠을 다져 넣은 후 거푸집을 해체하여 다져진 흠 위로 다시 조립하여 수직으로 다져나가는 방식이다.

2) 일체형방식

① 수평방식

시공하고자 하는 벽체 전체에 거푸집을 일정높이씩 나누어 조립하는 방법으로 한단을 다지고 난 후 거푸집을 위로 이동하거나 새로 조립하여 다지게 된다. 벽체 전체를 일정높이 만큼 한꺼번에 다지기 때문에 윗단과 아랫단의 시공시간 차이로 인하여 가로방향으로 균열이 발생하기 쉽다.

② 수직방식

다지고자 하는 벽체를 일정 길이 단위로 나누어서 거푸집을 조립하는 방식으로 한 곳의 벽체를 시공높이까지 거푸집을 조립하여 다지고 거푸집 해체 후 옆으로 이동하는 방법이다. 이 경우 거푸집을 수평방향으로 이동하여 조립하기 때문에 시공시간의 차이로 인하여 세로방향으로 균열이 발생할 수 있다. 따라서 거푸집을 연속으로 이동하는 것이 아니라 일정간격을 남겨 놓고 조립하여 흠다짐 시공하고 흠벽의 양생 이후 흠다짐벽과 흠다짐벽 사이에 거푸집을 조립하여 흠다짐을 시공하여 균열을 줄인다.

③ 일체형방식

건물전체에 거푸집이 세워지기 때문에 작은 건물에 사용되며 거푸집 내부로 접근이 용이 해야 한다.

3.2 흠다짐용 거푸집 시스템의 활용 동향 분석

1) 국내

국내의 경우 미국의 David Easton이 고안한 두꺼운 합판을 목재장선으로 이용한 방법이 많이 사용되고 있으며, 기존의 콘크리트공사에서 많이 사용되고 있는 유로폼 또한 흠다짐 공사에서도 많이 사용되고 있다. 최근에 들어 다양한 거푸집공법이 시도되고 있는 추세이다.

2) 미국

David Easton은 흠을 건축에 이용하는 새로운 방법(공기 램머를 이용한 흠다짐기계, 흠뿔칠기계, 기계를 이용한 흠운송 방법)을 고안해 수직체의 현대적 흠집을 지음으로써 상업화에 성공하였다. 거푸집은 코팅되지 않은 18mm 합판을 측판으로 하고 바깥쪽에 38×235×4,800mm (2"×10")의 목재장선을 덧대어 19mm 볼트로 조여 측판에 저항하는 방식을 채택하고 있다.

3) 호주

호주의 흠다짐공법에 거푸집은 콘크리트용 거푸집과 비슷하다. 보통 철제프레임에 600×2400mm 합판이 부착된 것을 쓰며 이 거푸집은 바닥에서부터 흠다짐 벽체의 상단까지 두꺼운 바이스로 고정하면서 조립한다. 거푸집의 폼타이는 한쪽이 가는 원뿔형태의 전산볼트를 수직, 수평 모두 600mm 간격으로 조립하여 거푸집 해체 후 흠다짐에서 쉽게 분리가 가능하게 되어 있다(David, 1996).

4) 독일

Kassel 대학의 Gernot 교수를 중심으로 하여 실용적 흠집에 관한 연구가 많다. 철제 또는 목재로 된 대형 클램프를 수직으로 세워 기초위에 세우고 그 안에 목재 판넬을 세워 거푸집을 조립한다. 이 방법은 대형 클램프로 상·하단에서 거푸집을 잡아주고 있어 목재 판넬에 별도

1) <http://www.earthandsun.com/> (October 20th, 2007 present)

의 폼타이를 설치하지 않아도 된다(Gernot, 2006).

4. 사례 연구

국내에서 가장 많이 사용되는 흩다짐용 거푸집인 합판 거푸집²⁾과 유로폼이 모두 적용된 사례를 통하여 두 거푸집의 재료비, 품질, 안전성, 시공용이성을 비교하였다. 표4와 같이 적용현장은 흩건축 전문 업체 S사의 지서리 현장으로서 전라북도 부안군 변산면에 위치한 주택현장이며 규모는 지상1층, 연면적 91.08㎡인 단독주택 건립공사이다.

표 4. 대상현장 개요

구분	내용
현장명	S사 변산 주택현장
공사기간	2006년 7월~2006년 10월
현장위치	전라북도 부안군 변산면
구조	흩다짐구조 / 목구조
규모	지상1층 대지면적 : 642.9㎡ 건축면적 : 91.08㎡ 연면적 : 91.08㎡
용도	단독주택

4.1 흩다짐용 거푸집의 시공방법 비교

합판거푸집과 유로폼 모두 3.1절에서 분류한 일체식의 수직방식 거푸집공법으로 흩을 수직방향으로 다져나간다. 조립된 거푸집 안에 사람이 들어가 흩을 다져야 되기 때문에 콘크리트 거푸집공사와 같이 거푸집을 한꺼번에 설치할 수 없다. 합판거푸집의 경우 거푸집 설치 높이가 2.4m이하의 벽체의 경우 거푸집을 조립할 때 위·아랫단을 한꺼번에 조립할 수 있다. 이렇게 함으로써 중간에 거푸집을 설치하는 시간을 절약할 수 있고 흩 또한 한꺼번에 준비할 수 있어 벽체 중간 이음부분의 흩의 색감과 질감이 변하는 것을 줄일 수 있다.



a) 합판거푸집 b) 유로폼
그림 2. 합판거푸집과 유로폼

거푸집의 조립은 거푸집 판넬을 한단씩 조립하여 다짐 작업 후 그 위에 다시 설치하는 방법을 쓴다. 유로폼의 경우 중간 조립시간을 줄이기 위해 벽의 한쪽을 모두 설치하고 나머지 한쪽 벽만을 한단씩 설치하여 시공할 수 있다. 이러한 거푸집 시공프로세스의 차이는 표5와 표6의 거푸집 공법별 시공프로세스를 통해 비교할 수 있다.

2) 미국에서 많이 쓰고 있는 방식으로 18mm 합판을 측판으로 하고 38×235×4,800(2×10)의 목재장선을 덧대어 19mm 볼트로 조여 측압에 견디는 방식

표 5. 합판거푸집의 시공프로세스

단계	내용
1	떡매김 다짐벽에 세워질 위치 및 거푸집 받이대가 조립될 높이를 표시함
2	거푸집받이대설치 기초위에 수평으로 받이대를 설치하여 거푸집을 지지하고 수평을 유지하게 함
3	1단거푸집설치 거푸집 측판으로 사용될 합판과 마구리판을 받이대 위에 세움. 거푸집이 넘어가지 않게 하기 위해 사람이 거푸집을 지지하고 있어야 함
4	폼타이, (큰, 튜브설치) 거푸집에 폼타이를 끼워 넣음. 거푸집의 길이가 짧은 경우 거푸집의 외부에만 폼타이를 설치하고 거푸집의 길이가 길 경우 거푸집 내부에도 폼타이를 설치함. 이때 큰과 튜브를 함께 설치함. 단, 너트를 조이지는 않음
5	장선설치, 너트조임 설치된 폼타이 위에 목재장선 올려놓고 리브와 셔와 너트로 조임
6	모서리 면목설치 모서리에 코너비드를 설치함. 거푸집의 길이가 길 경우 신축줄눈도 같이 설치함.
7	췌기설치 거푸집 외부에 있는 폼타이에 췌기를 박아 마구리판의 수직도를 맞추는 동시에 거푸집 전체의 수직, 수평도를 맞춤
8	1단 흩다짐 1단 거푸집에 흩을 넣고 다지는 것을 반복하여 설치된 거푸집 윗면근처까지 다짐. 단, 매립철물과 개구부가 있는 경우 거푸집 안에 설치하고 다짐
9	2단거푸집설치 및 흩다짐 프로세스3-7의 과정을 반복하여 1단 거푸집위에 2단 거푸집을 조립하고, 거푸집 윗면까지 흩을 다짐
10	양생/탈형 흩다짐벽체에서 거푸집 탈형은 최소 12-24시간 후에 해야함(Peter, 2001). 급격한 수분 증발을 막기 위해 거푸집은 막으로 덮음
11	보수/솔질 거푸집내에 폼타이를 설치한 경우 거푸집 해체 후 폼타이 구멍을 보수 하여야 함. 전체적인 흩벽의 느낌을 주기 위해 솔질을 할 수 있음

표 6. 유로폼의 시공프로세스

단계	내용
1	떡매김 다짐벽에 세워질 위치 및 거푸집 받이대가 설치될 높이 들을 표시함
2	거푸집받이대설치 기초위에 수평으로 받이대를 설치하여 거푸집을 지지하고 수평을 유지하게 함
3	한쪽벽거푸집/반대편 거푸집 1·2단설치 유로폼의 경우 거푸집내부에 폼타이가 매립되기 때문에 한쪽거푸집은 시공높이까지 설치하고 반대편 거푸집은 1·2단만 설치함
4	모서리 면목설치 모서리에 코너비드를 설치함. 거푸집의 길이가 길 경우 신축줄눈도 같이 설치함
5	1·2단 흩다짐 시공 거푸집에 흩을 넣고 다지는 것을 반복하여 조립된 거푸집 윗면근처까지 다짐. 단, 매립철물과 개구부가 있는 경우 거푸집 안에 설치하고 다짐
6	반대편 거푸집 3·4단 조립 1·2단 거푸집 안에 흩을 다진 후 3·4단 거푸집을 조립함. 3단 거푸집을 조립하기 위해서는 2단 거푸집 윗면의 폼타이의 폼판을 제거한 후 3단 거푸집을 조립할 수 있음. 이때 거푸집의 벌어짐에 대비 하여야 함
7	3·4단 흩다짐시공 거푸집 안에 흩을 넣고 다지는 작업을 반복하여 거푸집 윗면까지 흩을 다짐

8	양생/ 탈형	흙다짐벽체에서 거푸집 해체는 최소 12-24시간 후에 해야 함(Peter, 2001). 급격한 수분 증발을 막기 위해 거푸집은 막으로 덮음. 거푸집 해체 후 흙다짐벽에 매립되어 있는 폼타이도 같이 제거 함
9	보수/솔질	폼타이 제거시 같이 매립된 콘도 제거하며, 튜브는 제거하지 않고 그 구멍을 흙으로 메꾸어 보수 하여야 함. 전체적인 흙벽의 느낌을 주기 위해 솔질을 할 수 있음

4.2 시공시 공사비 비교 분석

흙다짐용 거푸집 공사에서 합판거푸집의 경우 조립하는 거푸집의 길이에 따라서 그 공사비가 일정치가 않다. 따라서 본 연구에서는 4,200×1,200mm의 단위벽체에 대한 공사비를 산정하였다. 공사비 산정에 있어서 노무비의 경우 합판거푸집의 노무비 산정이 없어 본 연구에서는 콘크리트공사의 합판거푸집 사용시의 노무비를 근거로 계산하였다. 재료비의 단가산정은 종합물가정보(사단법인한국물가정보, 2007)의 대전지역을 근거로 산정하였다.

합판거푸집에 사용되는 판재의 경우 1m²당 18m합판 1.177매가 소요되었다. 그 이유는 흙다짐용 합판거푸집의 경우 마구리판은 거푸집 밖에서 폼타이로 고정된다. 따라서 길이 4.2m를 시공하기 위해서 필요한 합판의 길이는 좌우 300mm씩 늘어난 4.8m가 된다. 목재의 사용고재평가기준은 23%로 잡았다. 구성재의 전용 횟수를 보면(이찬식, 2005) 내수합판이 약3회, 코팅합판이 20회, 장선 및 멩어가 20회로 되어 있다. 흙다짐공사의 경우 코팅되지 않은 내수합판을 쓰지만, 거푸집 조립시 볼트조립에 의한 조립으로 거푸집 해체시 거푸집 면의 손상이 콘크리트공사에 비해 극히 적다. 김형무(2001)는 “현장관리를 잘하면 합판거푸집의 전용횟수를 10~20회 정도로 사용할 수 있다”라고 주장하였다. 따라서 본 연구에서는 판재의 전용횟수를 10회로 가정하였다. 콘크리트 합판거푸집의 전용횟수별 재료비, 노무비의 산정은 다음 표7과 같다.

표 7. 합판거푸집의 사용 횟수별 시공단가 계산 방법 (적산연구회, 2006)

전용횟수	계산 방법
2회 사용시	1회 사용시 재료비×57.0%=2회 사용시 재료비 1회 사용시 노무비×60.0%=2회 사용시 노무비
3회 사용시	1회 사용시 재료비×46.1%=3회 사용시 재료비 1회 사용시 노무비×47.1%=3회 사용시 노무비
4회 사용시	1회 사용시 재료비×40.1%=4회 사용시 재료비 1회 사용시 노무비×40.0%=4회 사용시 노무비
5회 사용시	1회 사용시 재료비×37.1%=5회 사용시 재료비 1회 사용시 노무비×34.2%=5회 사용시 노무비
6회 사용시	1회 사용시 재료비×34.7%=6회 사용시 재료비 1회 사용시 노무비×32.0%=6회 사용시 노무비

표 8. 합판거푸집의 1회 사용시 1m²당 시공단가

품명	규격	단위	수량	단가	단위(원)
재료비					
판재	18×1220×2440	m ²	0.9062	31,000	28,092.2
각재	38×235×4800	m ²	0.6237	24,530	15,299.36
tie-bolt	φ1/2"×1000	개	0.1875	585	109.69
PVC cone	φ22	개	2.5	20	50.00
PVC Pipe	φ22×1000	m	0.317	150	47.55
Rib washer		개	2.5	150	375.00
Wing-Nut	1/2"	개	2.5	150	375.00
소 계					44,348.8
노무비					
형틀목공		인	3.0	92,808	27,842.4
보통인부		인	0.25	56,822	14,205.5
소계					42,047.9
총계					86,396.7

합판거푸집 10회 사용시의 산정비율이 없기 때문에 1회 부터 6회까지의 비율을 가지고 SigmaPlot 9.0³⁾을 이용하여 예상 추정값을 구하였다. 재료비와 노무비의 10회 사용시의 비율은 각각 29.9%, 24.3%로 나왔다. 계산 과정은 표8· 표9와 같다.

표 9. 유로폼의 10m²당 시공단가

품명	규격	단위	수량	단가	단위(원)
재료비					
강관	48.6×2.4mm×6m	m	0.773	2,430	1,878.39
강관서포트	H2966-4220mm	개	0.147	14,600	2,146.20
판넬	600×1200mm	매	0.71	18,600	13,206
웨이지핀	18×32×90mm	개	19.002	40	760.08
프레타이	4×18×250mm	개	20.026	90	1,802.34
내부코너 판넬	(200+200)×1200mm	매	0.02	15,000	300
경유	저유황 0.1%	ℓ	0.125	1,104	138
혹크	LARGE	개	2.827	540	1,526.58
클램프	LARGE	개	2.827	1,000	2,827
잡재료	재료비의 5%	식	1		1,229.23
기구손료	노무비의 3%	식	1		737.5377
소 계					26,551.3
노무비					
형틀목공		인	1.27	92,808	117,866.16
보통인부		인	0.76	56,822	43,184.72
소계					161,050.88
총계					187,602.2

3) SigmaPlot 2004 for Windows Version 9.0 사용

$$\text{산출식 : } y = y_0 + \frac{a}{x} + \frac{b}{x^2} + \frac{c}{x^3}$$

재료비 : $y_0=22.3212, a=79.6214, b=-38.8104, c=36.8667$

노무비 : $y_0=12.1684, a=131.53, b=-99.4481, c=55.7476$

표 10. 합판거푸집의 10회 사용시 10m²당 시공단가

구분	계산방법
계산방법	1회 사용시 1m ² 당 재료비×29.9%×10 1회 사용시 1m ² 당 노무비×24.3%×10
시공단가	재료비 : 44,348.8×29.9×10=132,602 (원) 노무비 : 42,047.9×24.3×10=102,176 (원)

표8에서 계산된 합판거푸집의 시공단가 기준인 전용횟수 1회에 1m²의 금액을 유로폼과 비교하기 위해 표10과 같이 표8에서 계산된 금액에 전용횟수 10회의 산정비율을 곱하고 면적을 10m²로 계산하였다.

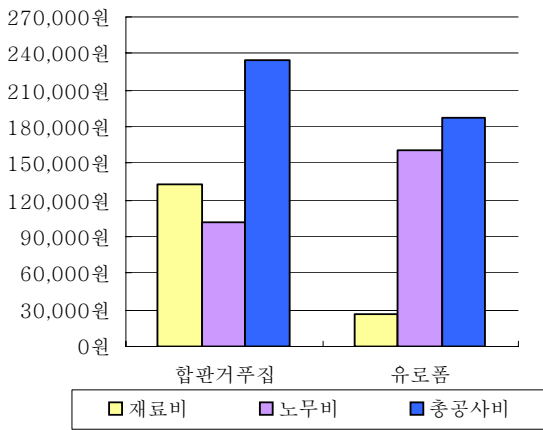


그림 3. 합판거푸집과 유로폼의 공사비 비교(10m²당)

분석결과, 전용횟수 10회의 10m²당 흠다짐공법 합판거푸집의 공사비는 재료비가 132,602원, 노무비가 102,176원인 것으로 분석되었다. 기존 콘크리트 공사의 경우 합판거푸집의 10m²당 최대 전용횟수인 6회시 재료비는 24,570원이지만 흠다짐 공법 합판거푸집의 재료비 132,602원은 합판의 두께가 18mm로 기존 합판 보다 두꺼우며 장선으로 쓰이는 38×235×4,800mm(2"×10")목재의 가격이 고가이기 때문에 판단된다. 재료비 측면에서는 유로폼이 합판거푸집에 비해 80% 정도 저렴하고, 노무비의 경우 흠다짐공법 합판거푸집이 유로폼에 비해 37% 정도 저렴한 것으로 분석되었다. 이는 합판거푸집은 상대적으로 부재의 단위크기가 크며, 콘크리트 공사용 합판거푸집에 비해 흠다짐용 합판거푸집의 전용횟수가 많은 것에 기인하는 것으로 판단된다. 전체적인 공사비는 유로폼이 흠다짐용 합판거푸집에 비해 20%정도 저렴한 것으로 나타났다.

4.3 시공시 품질 비교 분석

합판거푸집과 유로폼 모두에서 폼타이가 있는 부분을 제외하고 중간부분의 배부름 현상을 볼 수 있었다. 유로폼의 경우, 철체 프레임 사이의 합판부분에서 배부름 현상을 볼 수 있었다.

흠다짐벽체의 표면 상태는 합판거푸집이 양호한 것에 비해 유로폼의 경우 코팅합판이 흠다짐 벽체를 오염시키는 것으로 나타났다.

표 11. 흠다짐용 거푸집 품질에 대한 비교

	합판거푸집	유로폼
변형	-중양부 변형발생	-중양부 변형발생
표면	-양호	-표면 오염
노출줄눈	-1200×2,400mm간격	-300×1,200mm간격
폼타이 제거후 보수작업	-400×2000mm간격 -상대적으로 적은 보수	-600×600mm간격 -상대적으로 많은 보수

거푸집 해체 시 흠다짐 벽체에는 폼타이 제거로 인한 공극 및 거푸집 부재의 접합부의 줄눈 노출현상이 발생한다. 흠다짐벽의 길이가 2m인 합판거푸집에서는 폼타이가 거푸집 바깥부분에 조립되어 거푸집 해체 후 폼타이 구멍이 발생하지 않아 따로 벽을 보수할 필요가 없었다. 또한 길이가 4,200×2,400mm인 흠벽의 경우 거푸집 내부에 8개의 폼타이가 사용되어 이 부분에 대한 보수시공이 필요하였다. 유로폼의 경우 흠벽 시공시 거푸집내부에 폼타이가 설치되었고, 6,000×2,400mm인 흠벽의 경우 42개의 폼타이가 사용되어 유로폼이 합판거푸집 보다 폼타이 제거에 의한 보수시공 부분이 많은 것으로 분석되었다.

4.4 시공시 안전 비교 분석

거푸집의 재해발생 원인을 살펴보면 인력 작업으로 인하여 발생하는 재해가 가장 빈도수가 많으며, 안전장구 및 관리 소홀로 발생하는 재해가 두번째 주원인이 되고 있다(양유신, 2006). 두 거푸집 모두 인력에 의존한 작업이기 때문에 안전에 취약한 양상을 보였다.

표 12. 흠다짐용 거푸집 안전에 대한 비교

구분	합판거푸집	유로폼
조립해체과정	-인력에 의존한 조립 해체 -작업시 안전사고 위험 상존	-인력에 의존한 조립 해체 -작업시 안전사고 위험 상존
비계설치	-목재장선이 간이 난간대 역할 수행	-안전 난간대 설치곤란 -별도 비계 설치 필요

4.5 시공시 시공용이성 비교 분석

흠다짐용 거푸집의 경우 거푸집 안으로 작업자가 들어가서 흠을 다져야 하기 때문에 공간의 확보가 중요하다. 이를 위해서는 거푸집의 단위부재의 크기가 커야 하고, 거푸집 내부에 설치되는 폼타이의 개수는 줄여야 한다. 거푸집 내부에 폼타이가 있는 경우 작업자의 활동범위가 줄어들고, 폼타이 근처의 흠다짐작업 역시 곤란하기 때문이다. 시공용이성을 비교해 보면 다음 표13과 같다.

표 13. 흠다짐용 거푸집의 시공용이성 비교

구분	합판거푸집	유로폼
최초조립해체	-넓은 부재크기로 인한 조립해체 용이	-소형부재로 인한 작업량 증가
중간조립	-넓은 폼타이 설치 간격으로 인한 작업량 감소	-좁은 폼타이 설치 간격으로 인한 작업량 증가 -2단거푸집 조립시 최상층 폼타이로 인한 작업 난해
보수	-보수할 곳이 적음	-보수할 곳이 많음

5. 결 론

거푸집 공사가 건축공사에서 차지하는 비중은 매우 크며 공정, 원가, 안전, 품질 측면에서 효율적인 관리 및 공법 개선에 의한 과급효과가 큰 공종이라 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 아직 연구가 미흡한 흙다짐공법의 거푸집 공사에 대한 기초연구로서 거푸집 적용기술을 분류하고 국내에서 많이 쓰이는 흙다짐용 거푸집인 합판거푸집과 유로폼을 공사비, 품질, 안전, 시공용이성 측면에서 현장사례를 통하여 비교하였다.

첫째, 재료비 측면에서 10회 전용시 10m²당 거푸집의 재료비는 유로폼이 흙다짐공법 합판거푸집에 비해 80%의 절감효과를 기대할 수 있다. 노무비 측면에선 흙다짐용 합판거푸집이 유로폼에 비해 37% 저렴한 것으로 분석되었다. 전체적인 공사비는 유로폼이 흙다짐공법 합판거푸집에 비해 20.1% 저렴한 것으로 나타났다.

둘째, 품질적인 면에서 흙다짐용 합판거푸집과 유로폼 모두 거푸집의 변형으로 인한 흠박의 배부름 현상이 나타났다. 흙다짐용 합판거푸집의 부재크기가 크고 설치되는 폼타이의 수가 적기 때문에 거푸집 탈형 후 흙다짐벽의 표면에 보수가 필요한 조인트의 수와 폼타이 수가 적은 것으로 나타났다.

셋째, 안전적인 측면에서 흙다짐용 합판거푸집 및 유로폼 모두 인력에 의존하기 때문에 안전성 면에서 취약한 것으로 나타났다. 따라서 이에 대한 개선이 필요하며 거푸집의 경량화, 조립해체, 자동화, 안전가설물의 부착 등에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

넷째, 시공용이성 측면에서 흙다짐용 합판거푸집이 유로폼에 비해 설치되는 폼타이 개수가 적기 때문에 흙다짐 시공이 용이하며 거푸집 조립·해체도 용이하다. 유로폼의 경우 1단 거푸집 시공 후 2단 거푸집 조립 시 거푸집 조립을 위해 1단 거푸집의 폼타이를 다시 풀어 주어야 하는 문제점이 발견되어 이에 대한 개선 노력이 시급하다.

본 연구에서는 흙다짐용 합판거푸집과 유로폼공법을 비교하였다. 두 거푸집 모두 품질면에서는 흠박의 배부름 현상이 나타났으며, 두 거푸집 모두 거푸집 조립, 해체시 전문 인력에 의존하므로 높은 시공비가 소요된다. 따라서 합판거푸집과 같이 거푸집 내부를 관통하는 폼타이를 줄이거나 없앨 수 있는 시스템거푸집의 개발이 필요하다.

본 연구에서 분석한 두 가지 거푸집공법의 공사비 비교는 현재 다양한 조건의 흙건축 현장 상황과는 다소 상이 할 수 있다. 재료비 측면에서는 거푸집의 전용횟수에 관한 부분이 상이 할 수 있고, 노무비의 측면에서는 콘크리트 공사 공사시방을 참고 하였기 때문에 기준부재에 의한 연구의 한계는 있다. 또한, 흙다짐용 합판거푸집 조립의 경우 유로폼에 비해 보다 기술적으로 숙련된 숙련공이 필요하며 이러한 내용이 반영된 품셈에 관한 연구는 추후의 과제로 남겨둔다. 더 나아가 콘크리트 공사에 사용되고 있는 대형 시스템거푸집과 같은 체계적인 거푸집시스템에 대한 연구도 장기적인 과제라 판단된다.

후 기

이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(지방연구중심대학육성사업/바이오하우징연구사업단)

참고문헌

1. 김두석, 김용수(2001), RC아파트 내측벽 거푸집공사에 있어서 거푸집 공법별 생산성 비교에 관한 연구, 대한건축학회 춘계 학술발표대회 논문집, 21(1)
2. 김형무외 2인(2001), 건축시공학, 형설출판사
3. 대한주택공사(1993), 공정관리 과학화연구
4. 사단법인한국물가정보(2007), 종합물가정보 2007.01
5. 송설영외 2인(2006), 주요 흙 건축재료 현황 및 건축환경 관련 물성 평가에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 26(4)
6. 양유신(2006), 재래식 거푸집과 시스템 거푸집의 구조형태별 적정 활용방안에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문
7. 이장혁 외 2인(2007), 건축 계획적 활용을 위한 흙건축 특성 분석, 한국생태환경건축학회 논문집, 7(4)
8. 이장혁외 2인(2006), 벽체를 구성하는 흙건축 구성재의 이미지에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집
9. 이찬식(2005), 건축시공학, 한솔아카데미
10. 이태구(2006), 친환경 건축자재로서 황토마감재 개발을 위한 천연혼화제 비율설정에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 6(2)
11. 정영수 외 4인(2005), 건설프로젝트 거푸집 선정 요인의 현황 및 개선 방향, 한국건축시공학회 학술기술논문발표회 논문집, 5(2)
12. 정주성, 김정규(2007), 거주유형에 따른 흙주거 거주환경 선호 분석, 대한건축학회 논문집, 23(1)
13. 적산연구회(2006), 건축공사일위대가표 2006, 대건사
14. 황성일의 3인(2007), 친환경 건축재료로서의 흙벽돌과 흙미장의 흙음 특성에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 7(3)
15. 황혜주외 2인(2005), 황토미장재 성능개선을 위한 실험적 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 5(3)
16. C. Jayasinghe and N. Kamaladasa(2007), Compressive strength characteristics of cement stabilized rammed earth walls, Construction and Building Materials
17. David Easton(1996), The rammed earth house, Chelsea Green Publishing Company
18. Dr Peter Walker MIEAust, CPEng and Standards Australia(2001), The Australian Earth building Handbook, Standards Australia international
19. Gernot Minke(2006), Building with earth-design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhäuser
20. Gernot Minke(2000), Earth Construction handbook, WIT press
21. H. Houben and H. Guillaud(1996), Earth construction - a comprehensive guide (Second ed.), Intermediate Technology Publications
22. <http://www.earthandsun.com/> (October 20th, 2007 present)