

친환경 건축자재로서 황토마감재 개발을 위한 천연혼화제 비율설정에 관한 연구

Determination of Ratios of Natural Ingredients for Loess(Hwangtoh) as Environmental-Friendly materials

이 태 구*
Lee, Tae-Goo

Abstract

With people's awareness of environment-friendly buildings recently increasing, there is a need to develop environment-friendly construction materials to reduce indoor air pollution levels. Thus, efforts to develop loess finishing materials that can replace the finishing materials currently being used (e.g., gypsum boards and chemical products) are underway. An analysis of the characteristics of domestic loess products, however, revealed that the cracks on loess products can be lessened and their strength can be improved by adding chemical ingredients to them. Thus, this research sought to use 100% natural materials and to develop loess finishing materials.

In the experiments that were conducted in this study, appropriate mixture ratios of loess and sand/silica sand were found, and cracks and contraction ratio changes in samples were analyzed by differentiating the ratios of natural ingredients, such as lime, fine jute threads, gypsum, and jute cuttings. Loess' particle size distribution was found to have a high correlation with loess decoration, and it was discovered that the mixture of lime and fine chute threads could improve the contraction ratio.

Through this study, which made use of natural ingredients, environment-friendly construction materials that can exercise the original function of loess were developed.

Keywords : natural ingredients, loess, contraction, environment-friendly construction materials

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 친환경 건축물에 대한 재료, 시스템, 공법 등의 연구가 활발히 이루어지고 있는 가운데, 실내공기 오염 저감을 위한 법안제정이 정부 및 민간차원에서 추진되고 있는 실정이다.

각종 건축 자재에서 나오는 휘발성 유기화합물과 포름알데히드 및 각종 유해물질은 사회적 문제로 부각되고 있으며, 또한 기밀성이 높은 건축물의 등장은 실내공기오염이라는 문제를 초래하게 되었다. 현대인들이 하루 중 80% 이상을 건물 내에서 생활하고 있음을 고려할 때, 쾌적하고 건강한 실내공기질의 확보는 매우 중요하다. 각종 건축자재로부터 발생하는 가스 및 유해물질들이 인체에 매우 유해하지만 이를 대처할 수 있는 친환경 건축자재의 개발이 미흡한 실정이다.

이에 본 연구는 현재 실내 건축벽면에 적용되고 있는 석고보드 및 화학제품의 내장재를 대체할 수 있도록 자

연재료를 이용, 친환경 황토마감재를 개발하고자 한다. 이를 위해 황토와 혼합되는 혼화제를 천연재료로 선정, 각 재료의 배합비율에 따른 수축을 변화를 토대로 최적으로 혼합율을 선정하게 된다. 이는 기존에 상품화되고 있는 황토마감재가 균열 및 강도의 문제점을 극복하기 위해 백시멘트나 아크릴수지 등을 혼합하고 있는데 대해, 이를 개선하기 위한 목적으로 연구되었다.

1.2 연구의 방법 및 내용

1) 문헌분석을 통한 혼화제 선정 및 기능 검토

황토제품과 관련된 국내외 연구동향 및 기술들을 분석함으로써, 황토의 첨가재 및 첨가물에 따른 기능 및 효과 등을 알아보았다. 이를 통해 황토 자체가 갖는 기능은 유지하면서 균열이나 수축 등 내장재로 사용 시 발생하는 문제점 들을 극복할 수 있는 방안을 모색한다.

2) 친환경 혼화제 선정

황토의 고유 성질을 그대로 유지하면서 습도조절, 단열, 공기정화, 향균작용, 방충, 탈취, 발열 등의 효과를 내도록 천연재료의 혼화제를 선정한다. 특히 황토를 내장재로 사

* 세명대학교 건축공학과 교수

용할 경우 나타나는 단점으로 물에 약하고, 크랙발생, 흙의 묻어남을 방지할 수 있도록 혼화제를 선정하게 된다. 즉, 혼화제의 결정 및 성능 보안을 위해 혼화제의 비율산정, 자연재료 첨가에 의한 강도 및 효과 분석 등 내장재로서 요구되는 특성을 분석한다.

3) 실험연구에 의한 황토마감재의 수축율 분석

혼화제 선정 및 각각의 배합비율에 따라 황토 마감재의 수축율을 분석한다. 다양한 혼화제를 섞은 황토몰탈을 시험 제작 후 일정기간 시일이 지나 수축변화 정도를 측정한다. 측정결과를 통해 혼화제의 종류와 배합비율에 따라 발생하는 수축율을 분석, 최적의 황토마감재가 되도록 결정한다.

2. 이론적 고찰

2.1 자연재료와 인공재료의 특성 선행연구

1) 실내습도, 흡습기능

Minke(1994)의 연구에 의하면 점토질황토, 점토질 황토 몰탈, 목재, 석회시멘트, 석고 등 5종류의 마감재료를 15mm 두께로 시공하였을 경우 시간경과에 따른 실내습도의 변화는 다음과 같다. 상온 21℃에서 2일 경과 시 점토질 황토로 마감한 경우에 실내습도가 가장 높게 나타났으며, 석고 마감 시 m²당 50g 이하로 상대적으로 낮게 나타남을 알 수 있다(그림 1). 또한 일반적으로 많이 사용되는 콘크리트나 석고모래벽돌, 경량벽돌, 기포콘크리트 등은 황토마감에 비해 실내습도가 상당히 낮음을 알 수 있다(그림 2).

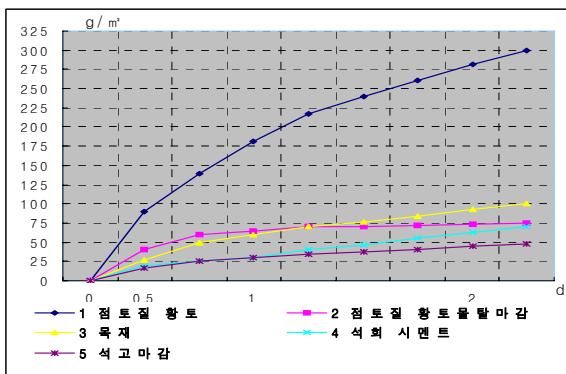


그림 1. 자연재료 마감 시 실내습도 변화

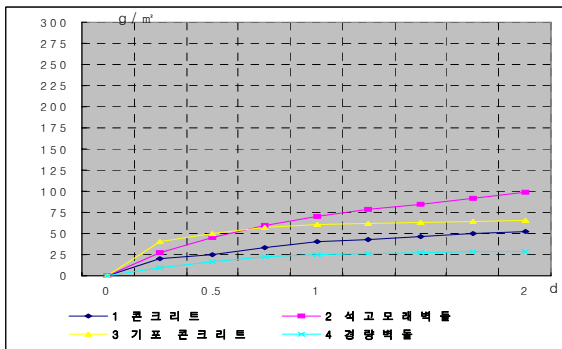


그림 2. 인공재료 마감 시 실내습도 변화

2) 마감도료에 의한 실내습도 변화

Minke(1994)의 연구에 의하면 1.5cm두께의 황토몰탈로 마감한 상태에서 다양한 재료를 이용해 도료한 후 실내습도의 변화를 살펴본 결과는 다음과 같다(그림 3). 그래프에서 보는바와 같이 점토질황토와 황토도료를 사용한 경우 흡습기능이 가장 좋으며, 아마인유나 유액 등의 도료를 사용한 경우 흡습기능이 가장 낮게 나타나는 것으로 밝혀졌다. 이것으로 봐서 황토나 석회, 크박, 천연색소 등은 황토의 흡습기능을 대부분 유지하나 유액, 화학성분의 도료는 이를 떨어뜨림을 알 수 있다.

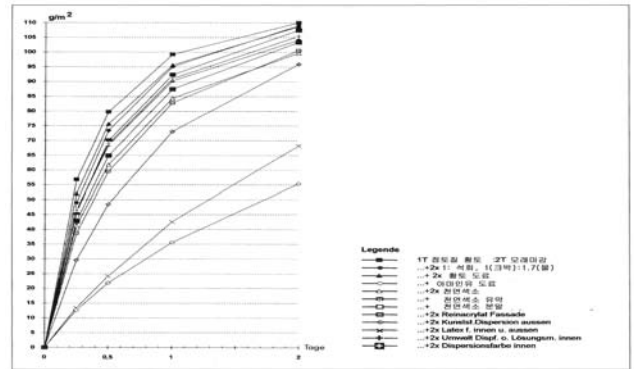


그림 3. 마감도료에 의한 실내습도의 변화

3) 황토 주택과 콘크리트 주택의 실내외 온도변화

Fathy(1986)의 연구에 의하면 하루 온도변화가 그림4.과 같은 지역에서 황토만으로 시공한 주택은 정오의 외기온도가 25℃ 이상 올라가도 내부의 온도는 20℃내외로 일정한 것을 알 수 있다. 반면 콘크리트 주택의 실내온도는 외부의 온도보다 훨씬 높게 나타나 약35℃이상에 다다른 것을 알 수 있다. 이와 같이 황토는 외부의 온도변화에 영향을 덜 받음으로 인해 단열 및 보온효과가 있는 것을 증명할 수 있게 된다.

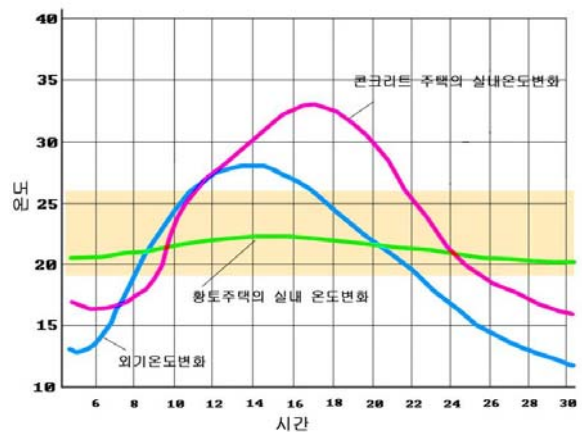


그림 4. 황토주택과 콘크리트 주택의 실내외 온도 변화

2.2 혼화제에 따른 황토 특성 선행연구

1) 섬유질 첨가에 따른 황토몰탈의 건조중량

Minke(2005)의 연구에 의하면 황토에 섬유질을 첨가할

경우 황토의 건조중량을 감소시킴을 알 수 있다. 이때 상대적으로 황토의 함량을 줄일 수 있으며 균열발생을 적게 한다. 황토에 첨가할 수 있는 자연섬유 물질로서 동물이나 사람의 머리털, 코코넛, 대나무 섬유, 사이잘¹⁾섬유, 소나무, 낙엽송 등을 사용할 수 있다. 이러한 섬유소들은 상대적으로 황토 함량을 줄일 수 있으며, 건조중량을 줄이고, 시공 시 균열발생을 방지한다.

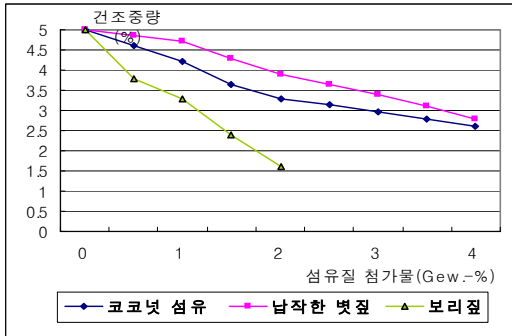


그림 5. 섬유질 첨가에 따른 실트질 황토 몰탈의 건조중량

2) 시멘트, 석회를 첨가했을 경우 압축강도의 변화
시멘트와 석회를 첨가했을 경우 황토의 종류에 따라서 압축강도가 다르게 나타난다(Minke,1994). 점토질, 실트질, 사질황토 중에서 실트질 황토가 시멘트나 석회를 첨가함에 따라 압축강도나 휨강도가 가장 크게 나타남을 알 수 있다. 또한 시멘트 첨가 시 황토의 압축강도가 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

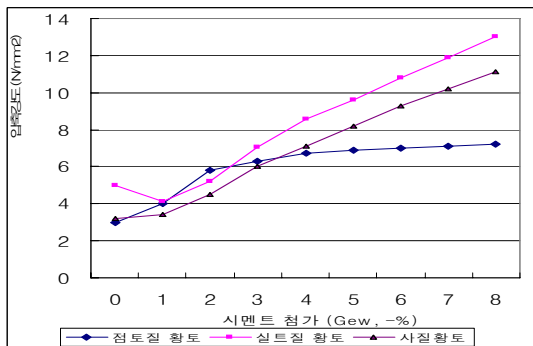


그림 6. 시멘트 첨가에 따른 황토의 압축강도변화

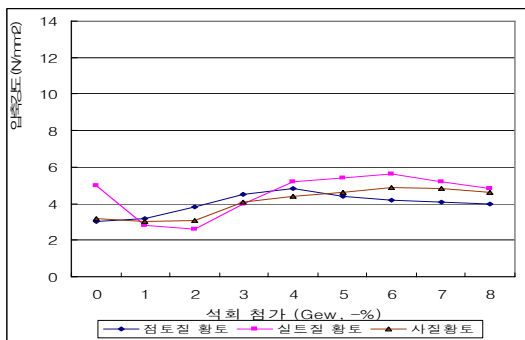


그림 7. 석회 첨가에 따른 황토의 압축강도 변화

1) 사이잘 앞에서 채취하는 섬유로서 주로 굵은 노끈용으로 사용된다.

3. 연구결과

3.1 실험재료 및 방법

1) 실험재료

가. 황토

황토는 원적외선 복사 특성이 양호하고, 약알칼리성을 띠며, 습도가 높을 때 수분을 흡수하고, 건조 시 습기를 발산하는 자동습도조절 능력을 가지고 있다. 황토 미립자 속에 작은 기공으로 인해 공기를 순환시키며, 온도 조절력을 갖으며, 개보수가 용이한 특성을 갖는다.

나. 모래/규사

지질학에서 입자의 지름이 2~1/16mm인 돌 부스러기. 2mm이상을 자갈, 1/16mm 이하를 실트라 한다. 실트와 함께 토양을 조성하는데, 점토와는 달리 양분을 보유·공급하지 않는다. 반면에 기계적으로 식물을 받치고, 틈이 있으므로 공기나 물이 잘 통과한다. 풍화에 대한 저항성이 강한 운모·각섬석·휘석·자철석·화산유리·유공층 껍데기 등이 포함되어 있다.

다. 석회

용도는 극히 다양하며, 석회비료·산성토양 개량제, 수분 포집제로서의 기능을 한다. 강한 알칼리성 물질이며 피부 접촉을 상하게 하므로 흡입하면 위험하다.

라. 석고

수산화 칼슘의 황산염CaSo4·2H2O. 탄산칼슘이 주성분으로 석회암이 황산의 영향으로 변한 것이다. 일반적으로 석고는 소석고(Plaster of Paris)를 의미한다. 석고를 약 190℃에서 가열하여 75% 정도의 수분을 제거한 소석고가 만들어진다. 여기에 물(최소 18%)을 혼합하면 다시 입자의 결정이 결합하여 단단한 수산화칼슘의 황산염 상태로 돌아가 경화된다. 석고는 제작이 용이하며, 흡수성이 좋으며, 건조가 빠르고 비교적 가격이 적게들며, 동일한 형을 많이 생산할 수 있는 이점이 있다.

마. 황마

황마 섬유는 인도, 방글라데시, 파키스탄, 미얀마 등 열대 지방에서 재배되는 갈대류의 일년생 초본에서 채취한 인피섬유이다. 섬유세포의 내공이 불규칙하게 배열되어 있어서 흡수성, 보온성, 부식성, 햇볕에 그을음방지, 수분의 증산방지, 한해방지 효과가 있다.

2) 실험방법 및 과정

본 연구는 황토 미장재의 수축을 변화에 대한 적정 배합을 도출하기 위한 연구로서 황토+모래/규사와 천연혼화재의 적정 비율을 도출하기위한 실험을 하였다.

① 비율산정 조건

황토+규사/모래의 2:1 배합과 석회, 석고, 황마, 세사 등을 각각 배합하는 실험적 비율로 하였다.

가. 황토와 규사/모래의 비율을 각각 2:1 비율로 배합

나. 황토와 규사/모래의 일정 비율에 각 실험에 대한 세사 100g첨가에 따른 배합

다. 황토+규사/모래+세사의 일정 비율에 석회 첨가에 따른 배합

라. 황토+규사/모래+세사+석회의 일정 비율에 석고 첨가에 따른 배합

② 건조시간

실험 후 각 배합물을 일정한 크기로 미장한 뒤 일주일 이 지난 후 미장 상태를 디지털 카메라로 촬영하고 일주일 마다 수축 정도를 측정하는 것을 기준으로 한다.

③ 측정방법

각각의 배합을 100*50*1.5cm 미장하여 일주일 경과 후 실험체를 전체 비율에 따라 치수를 측정하여 처음의 상태를 디지털 카메라로 촬영한뒤 일주일 경과 후의 상태를 측정하여 균열과 수축의 비율을 구한다.

④ 실험과정

황토의 채취로부터 황토 마감재 실험체를 제작, 첨가물의 배합과 종류에 따라 성능의 변화 및 수축율, 크랙등의 변화를 분석하였다.



그림 12. 황토마감재 실험 과정

3.2 수축율 측정결과

황토의 입도 분포는 황토 미장에 있어서 균열에 많은 상관관계를 갖는 것으로 사료되므로 각각의 혼화재의 성질에 맞춰 배합을 함으로써 각각의 황토 마감재의 균열 정도를 파악하였다.

1) 모래/규사 2:1 첨가에 따른 배합실험
황토와 규사/모래 비율을 2:1로 배합하여 100*50*1.5cm

의 실험체를 제작하였다. 7일 경과 후 1.5%수축에서 2~3%으로의 수축과 균열 발생이 증가하여 미장재로서는 시공성이 저하되는 것으로 나타났다. 그리고 규사 2:1의 비율로 한 실험은 처음에 0.5cm 가량의 균열이 발생하여 전체 4~5%의 수축율을 보였지만 시간이 흐름에 따라 균열 1cm, 수축율이 6~6.5%로 증가되는 것으로 나타났다

표 1. 실험분석 결과(황토:모래)

황토 : 모래 (2 : 1)			
실험일	7일 경과 후	14일 경과 후	21일 경과 후
-	- 0.5cm 가량의 균열이 발생 - 전체 1.5% 수축	- 곳곳의 균열 정도가 많아짐 - 전체 2%수축 - 균열두께 2cm로 증가	- 균열이 일정하게 변화 됨 - 수축율, 균열의 변화 안보임

표 2. 실험분석 결과(황토:규사)

황토 : 규사 (2 : 1)			
실험일	7일 경과 후	14일 경과 후	21일 경과 후
-	- 0.5cm 가량의 균열이 발생 - 전체 4~5% 수축	- 1cm 균열이 세로방향으로 증가 - 전체 6% 수축	- 균열 발생은 감소되었으나 수축율 6.5%로 증가

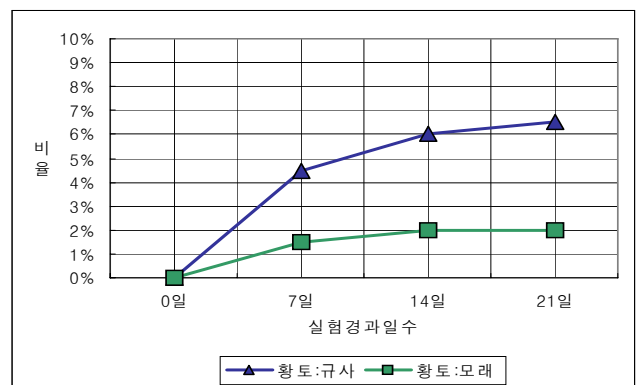


그림 9. 수축율 변화량 분석

2) 규사/모래의 각 비율에 세사 첨가량에 따른 실험결과
황토와 규사/모래의 비율을 2:1로하고 천연재료인 세사

100g을 각각 첨가하여 인장력을 늘리고자 하였다. 두가지 실험에서 곰팡이가 나타나는 공통적인 성질을 나타냈다. 모래의 실험에서 7일 경과 후 1~2mm의 잔크랙이 많이 발생하고 2.5%정도 수축하였지만 시간이 지날수록 크랙의 변화 보다는 수축의 변화율이 높았다.

규사의 실험에서도 처음 7일 경과 후에는 1~1.5cm 가량의 수축이 일어나고 전체적으로 2.5~3%의 수축율을 보였다. 14일, 21일 경과 후에 수축율이 4~5%정도까지 수축율이 변화되었고, 크랙도 점차 시간이 지나면서 증가하는 것으로 나타났다.

표 3. 실험분석 결과(황토:모래:세사)













황토 : 모래 : 세사(100g)			
실험일	7일 경과 후	14일 경과 후	21일 경과 후
			
			
-	- 곰팡이 발생 - 1~2mm 크랙 발생 - 전체 2.5% 수축	- 세사의 영향으로 인장력이 증가 - 전체 5% 수축	- 7일전과 수축율의 변화 없음 - 잔크랙이 많이 생김

표 4. 실험분석 결과(황토:규사:세사)

황토 : 규사 : 세사(100g)			
실험일	7일 경과 후	14일 경과 후	21일 경과 후
			
			
-	- 1~1.5cm 가량 수축됨 - 전체 2.5~3% 수축	- 잔크랙이 많이 생김 - 전체 2.5~3% 수축	- 크랙이 더 많아짐 - 전체 4~5% 수축

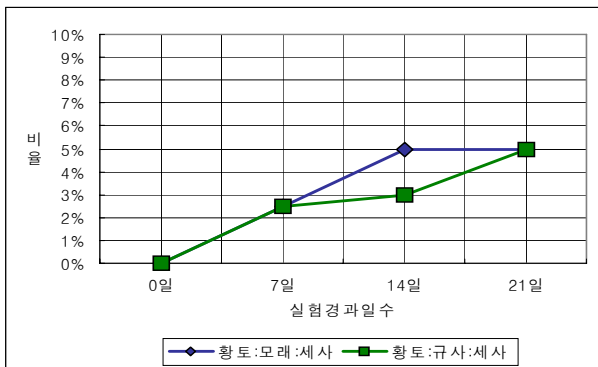


그림 10. 수축율 변화량 분석

3) 석회·세사 첨가에 따른 실험 결과

앞의 실험과는 달리 인장력 증가와 바인더 역할을 할 수 있는 석회와 세사 100g을 같이 첨가하여 실험결과를 알아보았다. 본 실험은 석회가 바인더 역할을 함과 동시에 세사에 의해 인장력이 증가하면서 처음 7일 경과 후 1%의 수축율을 보일뿐 더 이상의 크랙이나 수축율의 변화를 보이지 않게 나타났다.

모래 배합실험의 경우도 마찬가지로 석회와 세사 100g을 넣어 봄으로써 수축율과 크랙의 정도를 확인해 보았다. 7일 경과 후 4%의 전체적인 수축과 약간의 작은 크랙만 볼 수 있었다. 시간이 지남에 따라 변화가 없는 것을 확인 할 수 있었다.

표 5. 실험분석 결과(황토:규사:석회:세사)













황토 : 규사 : 석회 : 세사(100g)			
실험일	7일 경과 후	14일 경과 후	21일 경과 후
			
			
-	- 석회가 바인더 역할을 하여 균열 방지 - 전체 수축 1%	- 수축의 변화 거의 없음	- 수축의 변화 거의 없음

표 6. 실험분석 결과(황토:모래:석회:세사)

황토 : 모래 : 석회 : 세사(100g)			
실험일	7일 경과 후	14일 경과 후	21일 경과 후
			
			
-	- 약간의 균열이 생김 - 전체 4%수축	- 수축과 균열의 변화 안 보임	- 수축과 균열의 변화 안 보임

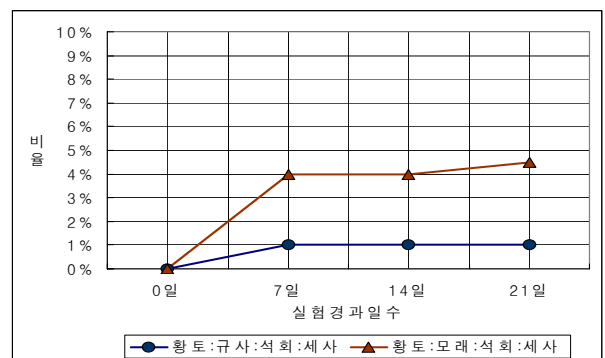


그림 11. 수축율 변화량 분석

4) 석회+세사(황마포)+석고 첨가에 따른 실험 결과
 앞에 실험에 이어 석회와 석고, 세사 100g을 같이 첨가해봄으로써 수축율의 변화와 크랙의 정도를 확인하는 실험을 하였다. 석회와 세사만 첨가한 경우와는 다르게 크랙발생은 없었지만 7일 뒤 수축율이 4.5%로 진행되고, 시간이 지날수록 좌우 7cm정도 줄어들면서 전체 수축율의 변화가 7%까지 변화되었다. 그 뒤로 더 이상의 크랙이나 수축율의 변화는 나타나지 않았다.

자연 혼화제를 앞 실험과 같이 배합하지만 세사와 같은 인장력의 역할을 하는 황마포를 대신 넣어 인장력에 반응하는 정도를 실험하였다. 세사 100g을 첨가한 것과는 달리 황마포를 첨가했을 때 7일 뒤 가로 2.5cm, 세로 1.5cm 전체 1.5%의 수축율을 보였으며, 크랙의 발생은 나타나지 않는 것으로 보였다. 그리고 시간이 지나면서 크랙과 수축율의 변화는 더 이상 나타나지 않았다.

표 7. 실험분석 결과(황토:모래:석회:석고:황마)








황토 : 모래 : 석회 : 석고 : 황마				
실험일	7일 경과 후	14일 경과 후	21일 경과 후	
				
	-가로 2.5cm 세로 1.5cm 전체 1.5% 수축 - 크랙발생없음	- 7일전 결과 와 동일	- 별다른 이상 을 안보임	

표 8. 실험분석 결과(황토:규사:석회:석고:세사)

황토 : 규사 : 석회 : 석고 : 세사(100g)				
실험일	7일 경과 후	14일 경과 후	21일 경과 후	
				
-	- 크랙이 전혀 발생하지않음 - 전체 4.5% 수축	- 좌우 7cm수축 - 전체 7%수축	- 더 이상의 크 랙 발생 없음	

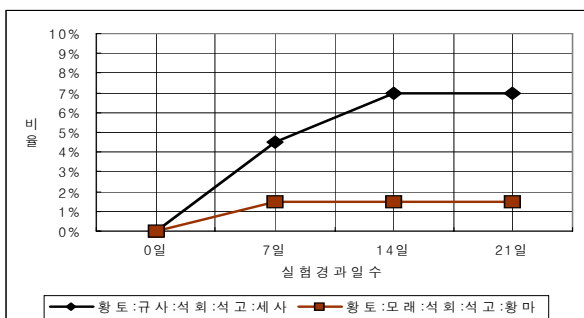


그림 12. 실험체의 수축율 변화량 분석1

3.3 균열

위 표에서 보면, 자연 혼화제인 석회, 석고, 세사, 황마포 등을 첨가하여 배합함에 따라 균열이 적어지는 것으로 나타났으며, 특히 혼화제를 모두 첨가한 경우 균열발생이 적게 나타나는 것으로 나타났다.

이는 황토의 점착력과 황토내의 공극을 모래/규사가 막아주고, 석회가 바인더 역할을 하여 균열을 억제 하였다. 그리고 세사의 첨가로 인한 황토의 인장력을 억제함으로써 균열이 적게 발생된 것으로 사료된다.

3.4 실험결과 요약

실험 결과 모래 배합의 경우 세사와 석회·세사를 첨가했을 때 수축율은 높아졌지만, 석고를 첨가했을 때는 수축율이 줄어드는 것으로 나타났다.

또, 규사 배합의 경우는 자연 혼화제의 첨가물이 늘어날수록 수축율이 떨어지는 것으로 나타났으나, 규사, 세사, 석회, 석고를 첨가한 경우는 오히려 수축율이 처음보다 더 늘어난 것으로 나타났다.

균열의 경우는 석회가 바인더 역할을 하여 균열을 억제 하였으며, 세사·황마의 첨가로 인한 황토의 인장력이 향상되었다. 따라서 혼화제와 세사 등의 양이 늘어나면서 전체적으로 균열이 적게 나타난 것으로 사료된다.

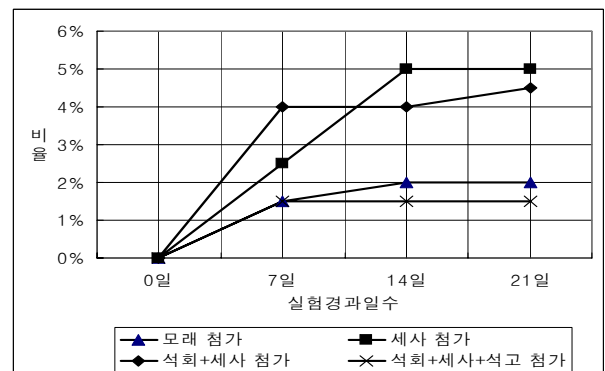
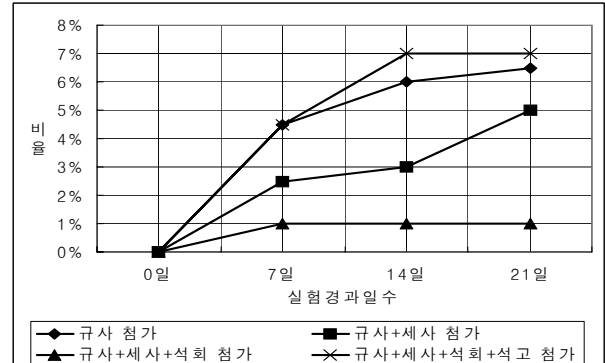


그림 13. 실험체의 수축율 변화량 분석2

4. 결론

본 실험에서는 전통 미장 방식에서 발생하는 균열 및 수축 현상을 줄이기 위한 황토 미장재의 성능 개선을 위한 적정 배합 산출 및 자연 혼화재에 따른 균열 및 수축율의 비교분석 실험을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

모래의 경우 세사와 석회&세사를 첨가했을 때 수축율은 높아졌지만, 석고를 더 첨가했을 때는 수축율이 줄어드는 것으로 나타났으며, 규사의 경우에는 자연혼화재의 첨가물이 늘어날수록 수축율이 떨어지는 것으로 나타났으나, 규사, 세사, 석회, 석고를 첨가한 경우는 오히려 수축율이 처음보다 더 늘어난 것으로 나타났다.

1) 황토와 모래 및 규사의 적정 배합을 도출하는 실험결과는 수축율의 경우 규사의 첨가량이 증가함에 따라 수축율은 줄어드는 것으로 나타났으며, 균열 또한 규사의 비율이 많은 것이 균열의 정도가 적은 것으로 나타났다. 미장재의 시공성은 자연 혼화재의 배합이 없는 경우 시공성이 떨어지는 것을 알 수 있었다.

2) 기본 배합에 균열 및 수축율 제어를 위한 적정량의 세사 등 첨가한 실험 결과는 황토와 규사의 배합비율을 2:1로 한 결과 두가지 실험 모두 비슷한 균열과 수축율을 나타내었다. 균열 및 수축율이 황토의 첨가량이 많고 적음에 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나 처음 실험과 비교해보면 자연 혼화재의 첨가 유무가 균열 및 수축율 변화에 좀더 많은 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

3) 또 자연 혼화재인 석회와 세사의 배합을 같이 첨가시켜 실험한 경우는 두가지 방법으로 진행하였다. 규사와 같은 성질을 가지는 모래를 첨가해 본 실험 결과는 규사와 석회 및 세사를 첨가한 실험은 석회의 바인더 역할로 인해 균열 발생을 억제 시킨 것으로 나타났으며, 수축량도 거의 발생하지 않았음을 알 수 있었다. 또 모래와 석회, 세사를 첨가시킨 실험도 수축량이 규사를 첨가했을 때보다 3%가량 높았으나 그와 비슷하게 더 이상의 수축과 균열의 발생이 나타나지 않았음을 알 수 있었다.

4) 석회, 석고, 세사 등 모든 자연 혼화재를 첨가한 실험 결과는 균열의 발생은 보이지 않았으나 수축율의 변화가 나타났으며 점차 시간이 지남에 따라 수축의 진행이 어느 순간까지는 나타났으나 더 이상의 수축율이 진행하지 않는 것으로 나타났다. 그리고 세사를 대신해 황마포의 자연 혼화재를 첨가한 실험결과는 마찬가지로 균열의 발생은 없었으나 수축율이 1.5% 가량 발생하다 더 이상의 수축이 진행되지 않는 것으로 나타났다.

이상의 결과들로부터 전통 미장의 성능을 개선하기 위한 황토와 자연 혼화재의 적정 배합을 추출을 위한 기초 자료를 마련하였다. 앞으로 황토 미장재의 다양한 표면처리를 위한 기술력 및 시공성을 향상시킬 수 있는 자연 혼화재의 첨가 방안의 모색이 필요할 것으로 보이며 추후

심도 있는 연구가 계속 진행되어야 될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김자경, “자연과 함께하는 건축”, spacetime
2. 리신호 외, “황토 마감재의 배합비에 따른 압축강도 특성과 사용성 평가”, 농촌계획지, 2005
3. 이건호 외, “다양한 기후조건에 대응하는 이중외피시스템 개발에 관한 실험적 연구”, 한국생태환경건축학회 논문집, 2005
4. 이태구 외, “재활용 소재를 활용한 숯보드용 표면처리재 개발에 관한 연구”, 한국생태환경 건축학회 논문집, 2004
5. 황혜주, “황토재료가 동식물의 성장에 미치는 영향에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집, 2003
6. 황혜주 외, “황토미장재 성능개선을 위한 실험적 연구”, 한국생태환경건축학회 논문집, 2005
7. 생태건축재료로서의 황토내장재 개발 보고서, 중기청, 2006
8. G. Minke & F.Mahlke, BUILDING WITH STRAW, BIRKHAUSER, 2005