

건축적 적용을 위한 황토모르터의 물성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Properties of Hwangtoh Mortar for the Application of Construction Material

이 현 철* 이 건** 고 성 석***
Lee, Hyun-Chul Lee, Gun Go, Seong-Seok

Abstract

The Hwangtoh is one of the traditional construction material used in wall, plastering material, and ondol (Korean underfloor heating system) with stone and wood. It is an important greenness material and it has much advantages such as: high storage of heat, auto-purification, antibiotic ability, and emission of far infrared rays. But, it is not developed and not used in modern construction because of its low strength and properties of dry shrinkage crack. According to the recent researches and studies, it is evaluated for natural pozzolanic material like flyash or pozzolan. It's possibility on construction material is high because it's chemical and mineralogical proportion is like as Metakaolin and Kaolinite.

In this point of view, this study aims to analyze the physical properties on Hwangtoh mortar through an experiment with various activation condition of Hwangtoh, which is natural pozzolanic material, for the purpose of increase the using possibility in construction material.

키 워 드 : 활성화황토, 황토모르터, 물리적특성

Keywords : Activated hwangtoh, Hwanhto mortar, Physical properties

1. 서 론

현재 구미·일본 등 선진국에서는 친환경적 측면에서 시멘트의 사용량을 줄이는 방안이 제기되고 있으며, 자원의 순환적 재활용과 환경 친화적인 재료의 개발 등을 통해 시멘트의 환경 부하를 저감하기 위한 대체자원의 개발연구가 진행되고 있다.

황토는 돌, 나무와 함께 온돌바닥 및 벽체, 미장재료로 활용되어 온 대표적인 전통 건축재료 중의 하나로서, 높은 축열성, 자정력, 탈취 및 항균성능, 인체에 유익한 원적외선 방사 등의 장점을 가진 대표적인 친환경 재료이다. 또한 우리나라는 세계적으로 유명한 고령토의 산지이며 질적으로 우수한 황토가 풍부하게 매장되어 있어 국내 수급이 용이하고 그 활용 및 개발 조건이 유리한 원료이다. 하지만 현재 그 활용방안이 다각적인 측면에서 연구되고 있으나, 큰 수축에 의한 균열, 낮은 강도특성의 결점으로 인해 현대적 건축 재료로의 자원화 개발이 되지 못한 실정이다.

우리나라에서 산출되는 황토는 Kaolinite족의 Halloysite계에 속하는 광물로서, 주요성분이 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 등으로 일반적인 콘크리트 혼화재와 그 성분이 유사하여 천연포졸란 성질을

갖고 있으며, 고온으로 소성시켰을 경우 활성화된 유기질의 SiO₂와 Al₂O₃에 의해 시멘트 수화물인 수산화칼슘(Ca(OH)₂)과 포졸란 반응을 일으켜 CSH gel 및 CASH gel을 생성하며, 매우 높은 포졸란 반응을 일으키므로 콘크리트 및 모르터 혼화재 즉 시멘트의 대체재로서의 적용 가능성이 높게 평가받고 있다. 즉, 황토의 균열성 및 저장도 등에 대한 취약점의 보완을 위하여 시멘트 대체재로서 그 활용성이 평가·검증된다면, 현대적 건축재료로 그 활용이 가속화 될 것으로 기대되며, 시멘트 생산 부하저감, 환경문제 및 에너지 절약차원에서 충분한 활용 가치가 있을 것으로 판단된다.

이와 같은 관점에서 본 연구에서는 환경문제의 개선 및 친환경성의 증진을 위한 시멘트 대체재로서의 황토의 건축적 활용가능성을 높이기 위하여, 천연 포졸란 재료인 황토의 다양한 활성화 조건에 따른 황토모르터의 물성에 관하여 알아보고자 한다.

2. 실험계획 및 실험방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 배합은 위의 표 1에 나타난 바와 같이 모르터 적용을 위한 황토활성화 및 배합인자 조건으로서 황

* 전남대학교 대학원, 석사과정 건축과학기술연구소
** 전남대학교 대학원, 석사과정 건축과학기술연구소
*** 전남대학교 건축학부, 교수

표 1. 실험계획 및 방법

실험요인 및 수준										측정 항목		
시리즈	No. (A,B,C=황 토입경)	W/C (%)	중량배합(g)			황토(g)				실험목적	경화전 모르터	경화후 모르터
			시멘트 C	물 W	잔골재 (표준사) S	분말도 (입경) μm	온도 (℃)	소성 시간 (H)	대체율 %(g)			
I	I-50	50	1800	900	4410	-	-	-	0	황토를 첨가하 지 않은 표준모 르터 특성		
	I-60	60	1800	1080	4410							
	I-70	70	1800	1260	4410							
II	생활토	60	1836	1296	5292	13	상온	1	324	황토활성온도 에 따른 모르터 특성	-건조수축변화 (3,7,14,28일)	-슬럼프플로우 -위커빌리티 -SEM분석 (28일)
	B-600						600					
	B-650						650					
	B-700						700					
	B-750						750					
	B-800						800					
	B-850						850					
	B-900						900					
	B-950						950					
	B-1000						1000					
	B-1050						1050					
B-1100	1100											
III	A-1H	60	918	648	264	43	1	800	162	황토분말도별 소성시간에 따 른 모르터 특성		
	A-2H						2					
	A-3H						3					
	B-1H					1						
	B-2H					2						
	B-3H					3						
	C-1H					1						
	C-2H					2						
	C-3H					3						

토분말도에 따른 소성온도, 소성시간별 모르터의 경화 전, 경화 후 물리적특성에 대해 비교분석을 실시함으로써, 활성황토의 모르터 적용 시 이에 따른 물성영향인자에 대한 상관관계 분석을 통해 최적 모르터 적용 황토의 건축적 활용방안을 살펴보고자 하였다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용된 재료의 물리적 성질은 표 2에 나타난 바와 같이 시멘트는 비중 3.15의 1종 보통 포틀랜드시멘트, 잔골재는 KS L 5100에서 규정하고 있는 콘크리트 및 모르터 품질시험용 비중 2.6의 강원도 주문진산 표준사를 사용하였다.

표 2. 사용재료의 물리적 성질

사용재료	물리적성질
시멘트	보통포틀랜드 시멘트 (비중: 3.15, 분말도: 3466cm ² /g)
잔골재	강원도 주문진산 표준사(비중: 2.6)

표 3. 황토의 화학조성

화합성분	비율	화합성분	비율
SiO ₂	42.5%	CaO	0.57
Al ₂ O ₃	36.6%	K ₂ O	0.41
Fe ₂ O ₃	4.05%	TiO ₂	0.23
MgO	0.69	Na ₂ O	0.18

본 실험에서 사용된 황토는 전남 고창군에서 생산된 것으로, 황토의 활성화를 통한 시멘트 대체재 및 혼화재로서의 모르터 적용시 황토의 적정 평균입경을 조사하기 위하여, 43μm (1,400mesh), 13μm(1,000mesh), 8μm(325mesh) 총 3수준을 사용하여 각 평균입경에 따른 모르터 특성을 파악하고자 하였다. 황토의 화학조성은 다음 표 3과 같다.

황토의 활성화를 위한 황토소성은 황토의 열반응 분석을 토대로 하여, 아전가열 AJ-SKT4 전기로를 사용하여 소성하였고, 실험조건으로는 승온속도 5℃/min, 노안 존치시간=1, 2, 3hour, 냉각방식=대기 중 급랭 방식을 채택하였다.

2.3 실험방법

모르터 배합은 KS L 5105 “수경성 시멘트 모르터의 압축강도 시험방법”에 준하여 실시하였으며, 모르터의 건조재료 배합은 시멘트와 잔골재를 1:2.45 무게비로 혼합한 후, KS L 5109 “수경성 모르터의 기계적 혼합방법”에 준하여 모르터용 전동혼합기를 사용, 1분간 건비빔 한 후 물을 넣은 후 다시 1분간 비빔 하였다. 본 실험의 공시체 다짐 및 제작은 KS L 5105에서 규정하고 있는 압축강도용 모르터 몰드 3연식 5cm × 5cm × 5cm 입방체를 합판으로 제작·사용하였다. 또한 건조수축변화를 파악하기 위한 길이변화 공시체는 철제 3연식 2.5cm × 2.5cm × 28.5cm 몰드를 사용하여 제작하였다. 배합직후 슬럼프플로우시험을 실시하였으며, 20℃수중양생을 한 후 3,7,28일 재별별 압축강도와 건조수축변화를 측정하였다. 또한 시멘트수화물의 미시적 구조를 관찰하기 위하여 주사전자현미경(SEM) 분석을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 활성온도별 모르타특성

그림 1은 동일 물시멘트비(W/C) 60% 수준에서 평균입경 13 μm 황토의 활성온도에 따른 모르타의 슬럼프플로우를 나타낸 것이다. 활성온도별 슬럼프플로우 값은 상온상태에서 950℃ 까지 19~22cm 정도로 오차범위 20cm±2의 비슷한 수준을 나타내었으나, 1,000℃ 이상에서는 17cm 이하로 현저하게 저하되는 결과를 보였다. 이는 1,000℃ 이상 온도에서 황토가 평균입경 13 μm 미분말 상태에서 딱딱한 고상반응을 나타낸 바, 이에 기인하여 배합시 모르타의 유동성이 떨어져 슬럼프플로우 값이 저하한 것으로 판단된다.

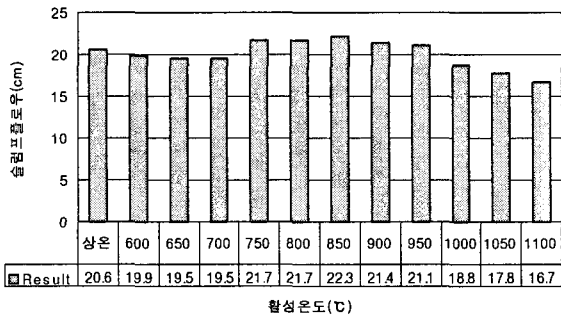


그림 1. 활성온도별 슬럼프플로우 특성

그림 2는 활성온도별 모르타의 건조수축변화 특성을 나타낸 것으로, 3, 7, 14, 28일 건조수축변화를 측정한 후, 1차, 2차, 3차 건조수축정도를 그 누적 값으로 나타낸 것이다.

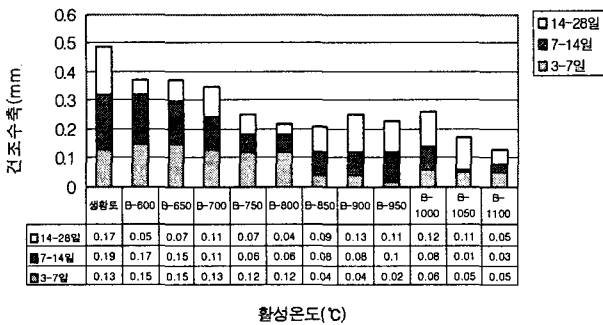


그림 2. 활성온도별 건조수축변화 특성

소성온도에 따른 활성온도별 건조수축변화 특성은 상온상태의 생 황토에서 가장 크게 나타났으며, 800℃ 에서 가장 작게 나타났다. 또한 건조수축률은 소성온도가 증가할수록(600℃~850℃) 점차적으로 감소한 후, 900℃ 이상에서는 다시 증가하는 현상을 보였다. 이는 600℃ 이상에서 활성화 온도가 증가할수록 포졸란반응이 점차적으로 높게 나타나 800℃~850℃ 에서 가장 높게 나타난 후, 900℃ 이상 온도에서 황토의 포졸란 반응현상이 다소 감소하는데 기인한 것으로 판단된다.

그림 3은 활성온도별 황토를 15% 치환시킨 모르타의 압축강도 특성을 나타낸 것으로, 황토를 첨가하지 않은 표준모르타(W/C 60%)의 28일 강도 20.4(N/mm²)를 기준으로 하였을 때,

상온상태의 황토를 첨가한 모르타는 17.55(N/mm²)로 14%정도 감소하였으나, 600℃~700℃ 온도에서는 비슷한 수준을 보였고, 800℃~850℃에서 24(N/mm²)로 18%가 증가하며 가장 높게 나타났다. 그러나 1050℃ 이상에서는 19(N/mm²)로 감소하였다. 즉, 활성온도 800℃~850℃에서 가장 포졸란반응이 높게 나타나는 것으로 판단되며, 1050℃ 이상온도에서는 황토의 고상반응에 따라 포졸란반응이 저하되는 것으로 사료된다.

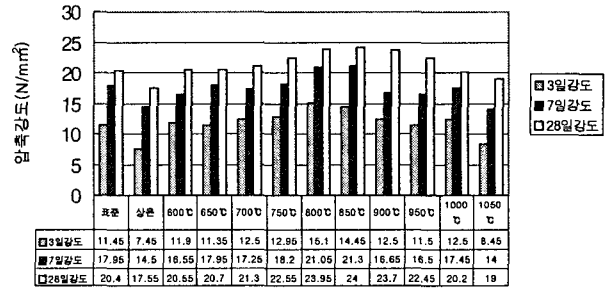


그림 3. 활성온도별 압축강도 특성

그림 4는 활성온도에 따른 모르타의 SEM(주사전자현미경) 배율 5,000배로 시멘트수화물의 미세적 결합성상을 관찰한 사진으로, 800℃온도에서 활성화시킨 황토 모르타가 일반 상온상태의 황토모르타 보다 C-S-H 구조가 확실히 들어나는 것으로 나타났으며, 1100℃로 소성시킨 황토모르타에서는 C-S-H 구조가 나타났으나 공극이 다소 많은 것으로 나타났다. 즉, SEM 분석을 통한 시멘트수화물 결합성상에 있어서는 800℃로 활성화시킨 황토모르타가 가장 두드러지게 나타났다.

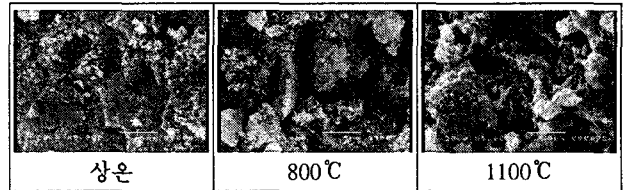


그림 4. 활성온도별 SEM 결합성상

3.2 활성시간별 모르타특성

그림 5는 황토분말도별 활성시간에 따른 모르타의 슬럼프플로우 특성을 나타낸 것이다,

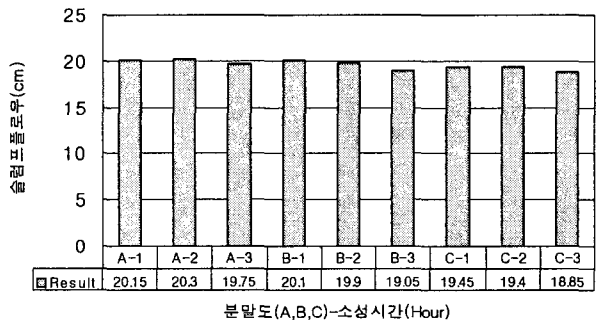


그림 5. 활성시간별 슬럼프플로우 특성

평균입경을 3가지 수준으로 달리한 황토를 800℃에서 각각

존치시간 1, 2, 3시간 조건으로 소성시킨 후 대기 중 급랭시켜 시멘트 대체율 15%로 배합한 것이다. 시험 결과 측정된 데이터 값은 20±1cm 범위 내에서 비슷한 값을 나타냈다. 즉 황토의 활성화시간에 따른 모르타르 특성은 슬럼프플로우 특성에 미치는 영향이 극히 적음을 알 수 있다.

그림 6은 각 황토분말도 3수준별 활성화시간에 따른 건조수축변화 특성을 나타낸 것으로, 활성화시간 1, 2시간에서는 건조수축변화율이 비슷하거나 조금 증가한 값을 보였으나, 활성화시간 3시간에서는 건조수축변화율이 2배 가까이 증가한 것으로 나타났다. 즉, 활성화시간에 따른 건조수축변화는 1시간이 가장 적합하게 나타났으며, 3시간에서는 건조수축이 많이 일어나 시공성에 다소 불리한 것으로 사료된다.

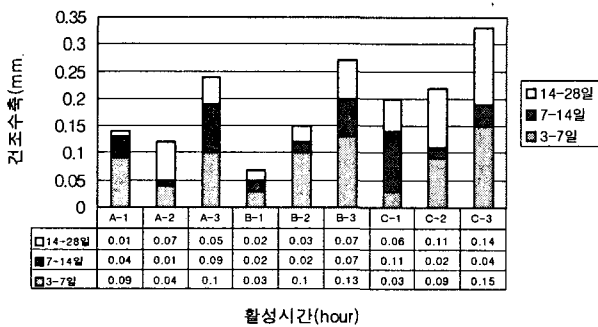


그림 6. 활성화시간별 건조수축변화 특성

그림 7은 활성화시간별 압축강도특성을 나타낸 것으로, 활성화시간 1시간 조건일 때 압축강도는 가장 높게 나타났으며, 또한 이때 사용된 황토의 분말도 A(43 μ m), B(13 μ m), C(8 μ m) 중 B(13 μ m)에서 가장 높게 나타났다. 그러나 활성화시간이 증가할수록 압축강도는 점차적으로 감소하였고 3시간일 때 가장 낮게 나타났다. 즉, 황토분말도 13 μ m수준에서 활성화시간 1시간으로 활성화시킨 모르타르가 압축강도에서 가장 유리한 것으로 나타났다.

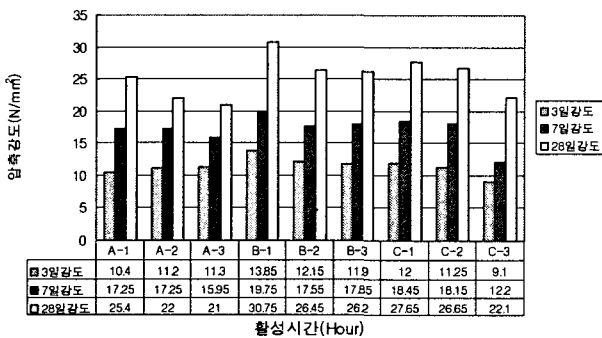


그림 7. 활성화시간별 압축강도 특성

그림 8은 분말도 13 μ m 황토를 사용하여 각각 활성화시간 1, 2, 3시간으로 활성화시킨 모르타르의 SEM 분석을 통한 시멘트수화물의 결합성상을 미시적으로 보여주는 것으로, 소성시간 1시간일 때 시멘트수화물 C-S-H구조가 가장 확실하게 나타났으며, 활성화시간이 증가할수록 C-S-H 구조는 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 황토의 활성화시간이 1시간일 때 포졸란반응에 따른 C-S-H 시멘트수화물 구조가 가장 양호하게 나타나 모르타르 강

도에 가장 유리하게 작용한 것으로 판단된다.

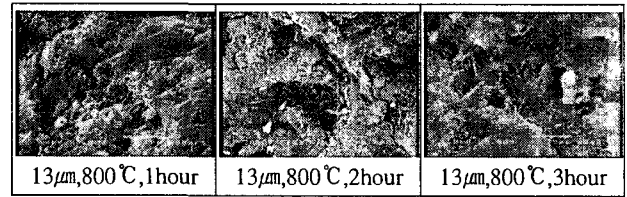


그림 8. 활성화시간별 SEM 결합성상

4. 결 론

활성황토를 활용한 모르타르의 물리적특성에 관한 본 연구의 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) SEM 분석을 통한 모르타르의 시멘트수화물 미시적 구조 분석결과, 800 $^{\circ}$ C 온도에서 활성화시킨 활성황토 모르타르에서 포졸란반응이 높게 나타남에 따라 치밀한 C-S-H 구조를 보였고, 건조수축률은 최소치를 나타냈다. 또한 압축강도는 활성온도 800~850 $^{\circ}$ C에서 표준모르타르에 비해 18%가 증가하며 가장 높게 나타났다. 이에 모르타르에 활용하기 위한 황토의 최적 활성화온도 범위는 800~850 $^{\circ}$ C가 적당할 것으로 판단된다. 단, 1,050 $^{\circ}$ C 이상의 온도에서는 황토가 고상반응을 나타내나, 슬럼프플로우 값이 현저하게 저하되고, 내부 공극이 다소 많이 발생함에 따라 압축강도의 저하를 가져와 1,050 $^{\circ}$ C 이상 온도는 부적합할 것으로 사료된다.
- 2) 황토분말도 3수준별 황토의 활성화시간에 따른 모르타르의 물리적특성에 있어서는, 황토분말도 13 μ m, 활성화시간 1시간 조건일 때, 가장 치밀한 C-S-H구조를 보이며 건조수축변화율과 압축강도 측면에서 가장 양호하게 나타났으나, 활성화시간이 증가할수록 압축강도가 점차적으로 감소한 바, 적정 황토분말도는 13 μ m의 범위, 적정 활성화시간은 1시간 조건일 때 모르타르의 성능 면에서 가장 유리할 것으로 사료된다.

감 사 의 글

이 논문은 교육인적자원부 지방연구중심대학육성사업(바이오하우징연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. 건축재료, 대한건축학회편, 기문당, 1997
2. 건축재료학, 정상진 외, 보성각, 1999
3. 정환목, 최희용, 황혜주, 홍명희, 김문한, "황토의 일반적 특성에 관한 고찰", 대한건축학회 학술발표대회논문집 17-2, 1997
4. 최성우, 최희용, 황혜주, 김문한, 김무한, "혼화제로서 황토를 사용한 콘크리트의 기초물성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 학술발표대회논문집 20-2, 2000
5. 황혜주, "고령토의 활성화 방법 및 활성 고령토를 혼입한 모르타르와 콘크리트에 대한 연구", 서울대학교 대학원 박사학위논문, 1997
6. 최희용, "활성황토의 건설자원화에 관한 연구", 충남대학교 대학원 박사학위논문, 2002