

반응유도재를 첨가한 비활성황토의 반응성에 관한 연구

A Study on the Reactivity of Non-activated Hwangtoh added Reaction Induction Material

조 혁 환* 고 성 석**

Cho, Hyeok-Hwan Go, Seong-Seok

Abstract

Since artificial building materials and environmental contamination are getting worse recently, people has been interested in eco-friendly construction. In addition, the problems like Sick Building Syndrome are issued these days. In order to solve these problems, the reuse of building materials and the development of environment-friendly materials are urgently in demand. In this sense, Hwangtoh is in the limelight as the environment-friendly material, and broad studies on it have been in progress. However the reactivity of Hwangtoh is low, and without activation process it is very hard to use it as a building material. This study examined the usability of Hwangtoh as an environmental building material by experimenting the reactivity of inactivated Hwangtoh with Reaction Induction Material.

키 워 드 : 반응유도재, 비활성황토, 반응성, 친환경 재료

Keywords : Reaction Induction Material, Non-activated Hwnagtoh, Reactivity, environment-friendly material

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현대에 이르러 친환경 건축물에 대한 관심은 주변환경에서부터 실내환경에 이르기까지 다각도로 논의되고 있는 실정이다. 특히, 웰빙(Well-Being)의 등장으로 인해 친환경 건축에 대한 관심이 고조되고 있으며 새집증후군(Sick Building Syndrome)과 같은 문제가 이슈가 되고 있다.

이러한 추세에 맞추어 건축자재 또한 친환경적이고 건강적인 기능을 갖춘 제품들이 끊임없이 개발되고 있다. 그 대표적인 재료가 황토이며 활성화된 황토를 이용한 콘크리트 및 기타 제품에 관한 다양한 제품들이 개발되어 있는 실정이다. 하지만 생황토(이하 비활성황토)의 경우 물에 대한 저항성이나 황토 자체 강도의 저하로 인해 건축자재로서 사용과 개발은 한계가 있는 상황이다.

이에 본 연구에서는 비활성황토에 반응유도재를 첨가하여 비활성황토의 반응성과 결합성, 친환경 기능성의 발현 정도를 비교, 분석하여 친환경 건축자재로서 비활성황토의 활용 가능성을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 황토의 유익한 기능을 유지하기 위해 활성화황토가

아닌 비활성황토를 사용하여 실험을 진행하였다.

활성황토의 경우 혼화재로서의 활용가능성에 관한 실험 및 분석이 이루어져 콘크리트와 보드류 등 기타 제품에 사용되고 있으나, 결합력 등에서는 우수하지만 기능적인 부분에서는 많은 친환경적 성능의 손실을 갖는 것이 사실이다.

이 때문에 비활성황토에 반응유도재를 첨가하여 반응성을 높이고 친환경 기능성의 발현에 관한 연구를 진행하고자 한다. 이를 위해 황토의 기본적인 사항을 살펴보고 이를 토대로 친환경 산업 부산물이며 반응 유도제인 고로슬래그 미분말과 플라이애시, 수산화칼슘 등을 첨가한 비활성황토의 반응성에 대한 특성을 살펴보고자 한다.

이를 위한 연구의 진행 방법은 다음과 같다.

첫째, 비활성황토에 대한 이론적 고찰을 통해 황토의 정의, 특성 및 활용범위를 파악하고, 문헌조사를 통해 현행 비활성황토의 문제점에 대한 연구의 개선방향을 설정하도록 한다.

둘째, 설정된 연구의 방향을 바탕으로 비활성황토의 문제점과 이를 개선할 수 있는 반응유도제에 대한 종류 및 특성 등을 파악하고, 비활성황토와 반응유도제의 포졸란 반응(pozzolanic reaction) 및 화학반응식을 분석하여 적용하도록 한다.

셋째, 효율적인 비활성황토와 반응유도제 반응을 위한 적정 조건을 분석하여 물성 영향 인자 분류 및 실험 인자와 수준을 결정하여 배합비를 도출하도록 한다. 도출된 배합비를 바탕으로 실험을 실시하여 반응유도제의 종류별, 배합조건별, 양생조건별 반응상태를 시험하고 분석하도록 한다.

* 전남대학교 일반대학원 건축공학과 석사과정

** 전남대학교 건축학부 교수, 공학박사

넷째, 반응유도제를 활용한 비활성화토의 기초물성 실험 및 평가를 통해 비활성화토의 가능성을 검증한다.

다섯째, 본 연구에서 제시된 방법에 대한 결과와 검증을 정리하여 결론을 도출한다.

2. 비활성화토 및 반응유도제의 이론적 고찰

2.1 비활성화토의 정의 및 화학적 조성

우리나라의 비활성화토는 대부분 백악기 말엽을 전후하여 화강암, 섬록암, 석영반암, 규장반암과 명반석 같은 것이 풍화되어 주류를 이루고 있으며, 비활성화토 입자의 크기는 주로 0.02~0.05mm(중량비의 50%)이며, 비활성화토의 광물학적 구분에서 볼 때, 점토광물에 속하며 할로사이트(Halloy-site) 계통이고 미세구조상으로 볼 때, 개기공구조로 입자간의 조직사이에 다공질의 미세 공극을 함유하고 있다. 화학조성은 SiO₂ 35~45%, Al₂O₃ 20~35%, Fe₂O₃ 5~15% 범위로 여타의 포졸란 재료와 유사한 성분을 가지고 있다. 화학적 조성을 보면 실리카 30~50%, 알루미나 20~40%, 철분 3~15%, 산화마그네슘 2%, 나트륨 2%, 칼륨 1.5% 정도이다. 다음 표 1은 비활성화토의 화학적 성분을 나타낸 표이다.

표 1. 비활성화토의 화학적 성분

성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO
조성 (wt%)	40~50	20~30	5~6	2	2	1.5	8

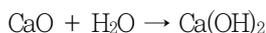
2.2 비활성화토의 활성반응 메커니즘

천연 상태에서의 비활성화토는 포졸란 반응이 활발하지 않고, 비활성화토를 소성하여 활성화시킨 경우 포졸란 반응이 활발한 것으로 보고되고 있으며, 특히 550~950℃ 정도에서 가열한 후 냉각시킨 경우 포졸란 반응을 일으키는 것으로 보고되고 있다.

1) 수축균열 메커니즘

① 화학적 프리스트레스 작용

비활성화토가 물과 반응하게 되면, 각 입자간의 응집현상으로 약 6%의 체적감소 현상이 일어난다. 이것이 균열의 주된 원인으로 여기에 석회를 혼입하면, 생석회가 소화반응을 일으키면서 체적이 팽창되며, 균열을 억제한다.



② 에트링가이트 반응

비활성화토 속의 성분과 혼화재료인 석고가 반응하여 팽창성의 에트링가이트를 생성시킴으로서 수축균열이 제어된다.



2) 강도발현 메커니즘(포졸란 반응)

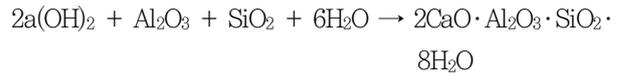
① Afwillite 반응(C-S-H상)

비활성화토의 실리카 성분이 수산화칼슘과 결합하여 안정된 포졸란 생성물인 Afwillite가 생성된다.



② Stratlingite 반응(C-A-S-H상)

비활성화토 속의 실리카, 알루미나 성분이 석회와 반응하여 Stratlingite를 생성한다.



2.3 반응유도제의 일반적 특성

2.3.1 슬래그 미분말

고로슬래그 미분말은 용광로에서 선철과 동시에 생성되는 용융슬래그를 물로 급냉시켜 얻은 입상의 수쇄슬래그를 건조하여 미분쇄한 것으로서 고로슬래그 미분말은 잠재수경성이 있으며 그 자체는 경화하는 성질이 미약하지만 알칼리에 의해서 경화한다. 포틀랜드시멘트와 혼합한 경우 수산화칼슘과 황산염의 작용에 의해서 경화가 촉진되어 포틀랜드시멘트만을 단독으로 사용했을 경우에는 얻을 수 없는 수화열 저감, 장기강도 및 수밀성 향상, 화학저항성의 향상 등 우수한 콘크리트 특성이 얻어진다.

2.3.2 플라이애시

플라이애시(fly ash)는 석탄을 미분말 형태의 연료로 사용하는 발전소에서 이를 연소할 때, 굴뚝을 통해 대기 중으로 확산되는 재의 미립자를 집진장치로 포집한 것이다. 플라이애시는 천연적으로 발생하는 포졸란이나 시멘트와 유사한 성질을 가지고 있으며, 이러한 특성으로 인해 콘크리트용 재료로 사용한다. 포졸란은 자체적으로 수경성이 거의 없지만, 상온에서 석회와 물이 결합하여 생성된 수산화칼슘과 화학적으로 반응하여 시멘트가 생성하는 것과 동일한 화합물을 형성한다. 주요 화학성분으로 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO 및 SO₃를 포함하고 있으며 플라이애시 입자의 형상, 분말도, 입경분포 및 비중은 균지 않은 콘크리트의 물성 및 경화한 콘크리트의 강도발현에 영향을 준다.

3. 반응유도제를 첨가한 비활성화토의 반응성 실험

3.1 실험계획 및 방법

본 연구의 전체적인 실험계획은 비활성화토의 반응성을 살펴보기 위해 전남 산지의 황토를 선별하여 성분 분석을 실시하고 기존의 연구 자료와 인체의 유익성에서 자원의 재활용으로 범위를 확장하고 있는 반응유도제를 분석하여 산업부산물의 일종인 슬래그

미분말과 플라이애시를 선정하였으며 부족한 반응성을 채우기 위한 수산화칼슘의 3가지를 결정하였다. 이 3가지의 반응유도재를 중심으로 비활성황토와 각각 반응유도재와 2가지의 이상의 반응유도재로 재결합될 경우 등으로 배합조건을 나누어 배합을 실시하고 표준공시체(5×5×5mm)를 제작, 각 배합별로 반응성을 보기 위한 미시구조 분석인 SEM분석을 실시하고 압축강도흡수율 등의 반응성과 결합성을 확인할 수 있는 실험을 통하여 비활성황토와 반응유도재의 상관관계를 규명하고자 하였다. 또한 각각 배합별로 원적외선 방사율과 음이온, 탈취 등의 친환경 기능성 시험을 실시하여 친환경 기능성의 발현과 유지 여부를 함께 보고자 하였다.

본 연구의 실험인자 및 수준은 표 2와 같다.

표 2. 실험인자 및 수준

반응유도재의 종류		실험재료의 수준		
		비활성황토 (%)	반응유도재 첨가율(%)	W/C (%)
실험 인자	-	100	-	35
	슬래그미분말	100	10/20/30	35
	플라이애시	100	10/20/30	35
	수산화칼슘	100	3/6/9	35
	슬래그미분말 수산화칼슘	100	10/20/30 3/6/9	35
	플라이애시 수산화칼슘	100	10/20/30 3/6/9	35

비활성 황토의 배합은 KS L 5105 “수경성 시멘트의 모르타르의 압축강도 시험방법”에 규정하는 혼합기를 사용하여 모르타르의 혼합 방법을 따라서 시험하였다.

본 실험의 배합은 총 7개 시리즈로 분류하였으며, 각 시리즈별로 반응유도재의 종류와 수준을 달리하여 반응성과 결합성의 영향 인자와 친환경 기능성의 발현과 유지 정도를 파악하고자 하였다. 시리즈별 배합의 특성은 다음과 같다.

- ① 시리즈Ⅰ은 아무것도 첨가하지 않은 비활성황토만을 사용하여 배합하였다.
- ② 시리즈Ⅱ는 비활성황토와 고로슬래그 미분말 첨가율을 10, 20, 30%로 사용하여 배합하여 비활성황토와 고로슬래그미분말의 반응성을 파악하고자 하였다.
- ③ 시리즈Ⅲ은 비활성황토와 플라이애시의 첨가율을 10, 20, 30%로 달리하여 비활성황토와 플라이애시와의 반응성과 물성을 파악하고자 하였다.
- ④ 시리즈Ⅳ은 비활성황토와 수산화칼슘의 첨가율을 3, 6, 9%로 달리하여 비활성황토와 수산화칼슘과의 반응성과 물성을 파악하고자 하였다.
- ⑤ 시리즈Ⅴ는 비활성황토에 고로슬래그 미분말 10, 20, 30%를 첨가하고 또 하나의 반응유도재인 수산화칼슘을 3, 6,

9% 첨가하여 물성과 반응성을 파악하고자 하였다.

- ⑥ 시리즈Ⅵ는 비활성황토에 플라이애시를 10, 20, 30% 첨가하고 수산화칼슘을 3, 6, 9% 첨가하여 반응의 정도와 물성을 파악하고자 하였다.
- ⑦ 시리즈Ⅶ는 양생방법을 항온항습 양생과 수중양생으로 구분하여 실시하여 물에 대한 영향과 저항성 등을 파악하고자 하였다.

본 연구의 비활성황토와 반응유도재와의 배합 및 실험계획은 표 3과 같다.

표 3. 배합 및 실험계획

시리즈	반응유도재	비활성 황토 (g)	고로슬래그미분말 (g)	플라이애시 (g)	수산화칼슘 (g)	물 (W) (g)	
I	plain	-	2000	0	0	700	
	LS10	고로슬래그 미분말 (10,20,30%)	2000	200	0	0	770
LS20	2000		400	0	0	840	
LS30	2000		600	0	0	910	
III	LF10	플라이애시 (10,20,30%)	2000	0	200	0	770
	LF20		2000	0	400	0	840
	LF30		2000	0	600	0	910
IV	LC03	수산화칼슘 (3,6,9%)	2000	0	0	60	721
	LC06		2000	0	0	120	742
	LC09		2000	0	0	180	763
V	LS10C03	고로슬래그 미분말 (10,20,30%) + 수산화칼슘 (3,6,9%)	2000	200	0	60	791
	LS10C06		2000	200	0	120	812
	LS10C09		2000	200	0	180	833
	LS20C03		2000	400	0	60	861
	LS20C06		2000	400	0	120	882
	LS20C09		2000	400	0	180	903
	LS30C03		2000	600	0	60	931
	LS30C06		2000	600	0	120	952
	LS30C09		2000	600	0	180	973
VI	LF10C03	플라이애시 (10,20,30%) + 수산화칼슘 (3,6,9%)	2000	0	200	60	791
	LF10C06		2000	0	200	120	812
	LF10C09		2000	0	200	180	833
	LF20C03		2000	0	400	60	861
	LF20C06		2000	0	400	120	882
	LF20C09		2000	0	400	180	903
	LF30C03		2000	0	600	60	931
	LF30C06		2000	0	600	120	952
	LF30C09		2000	0	600	180	973

4. 비활성황토와 반응유도제에 따른 황토공시체의 물리적 특성 분석

4.1 각 배합별 압축강도 및 흡수율 분석

본 연구에서는 반응을 촉진시키는 반응유도제를 사용한 비활성 황토의 반응성을 알아보기 위하여 7일과 14일, 28일로 나누어서 압축강도와 흡수율을 실험하였다.

4.1.1 압축강도 시험

비활성황토를 사용한 공시체에서 압축강도는 가장 큰 물리적 특성을 구분 짓는 인자로서 입방체로 제작된 공시체를 고로슬래그 미분말과 플라이애시의 특성상 몇 일이 지나도 탈형이 어려울 정도의 양생을 보여줌으로써 대기양생을 통한 객관적인 조건의 유지가 어려웠다. 때문에 항온 항습(22±2℃, 80%)의 조건에서 양생한 후 7일 강도와 14일, 28일 강도를 측정하였다. 또한 함께 흡수율을 함께 실험하여 반응성과 결합성, 물에 대한 저항성을 살펴보고자 하였다.

1) 비활성황토와 반응유도제를 하나만 첨가하였을 경우 압축강도 특성

비활성황토만을 사용하여 제작한 공시체의 압축강도는 1.8~2.8 MPa의 강도를 보였으며 각 배합별 비활성 황토대비 강도 증감율은 비활성황토+고로슬래그미분말의 강도증감율: 64~71%, 비활성황토+플라이애시: 73~86%, 비활성황토와 수산화칼슘: 36~64%로 매우 낮은 결과를 보였다. 위의 결과에서 보듯이 비활성 황토에 한가지의 반응유도제를 첨가할 경우는 비활성황토 대비 30~40% 낮은 강도 특성을 보였으며 고로슬래그 미분말과 플라이애시의 재료특성을 압축강도에서도 보이고 있다.

그림 1, 2, 3은 비활성황토와 반응유도제의 종류와 배합에 따른 압축강도 특성을 보여 주고 있다.

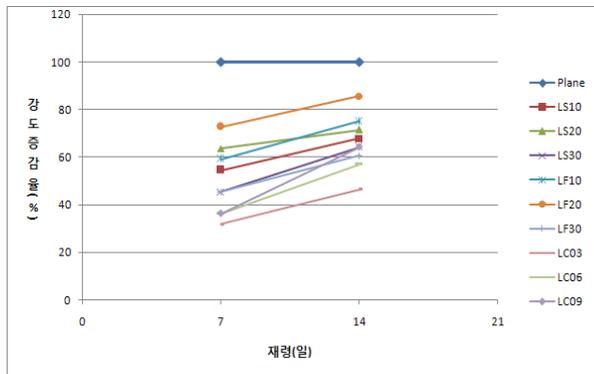


그림 1. 비활성황토+반응유도제(슬래그미분말, 플라이애시, 수산화칼슘)에 따른 압축강도 증감율(%)

2) 비활성황토에 2가지의 반응유도제를 첨가하였을 경우의 강도 특성

고로슬래그미분말 30%와 수산화칼슘 6%를 첨가한 경우가 가장 높은 강도 특성을 보이고 있으며 비활성황토 대비 7일 강도증감율(%)은 180~205 %의 높은 값을 보여 주고 있으나 14일의 강도증감율은 10~20%로 강도의 증감은 크지 않았다.

비활성황토+플라이애시(10, 20, 30%)+수산화칼슘(3, 6, 9%)의 경우는 활성황토 대비 강도증진율(%)은 50~80 %의 낮은 값을 보여 주고 있다. 이는 플라이애시의 강도발현 특성에 기인하는 조기 강도의 저하로 볼수 있을 것이다.

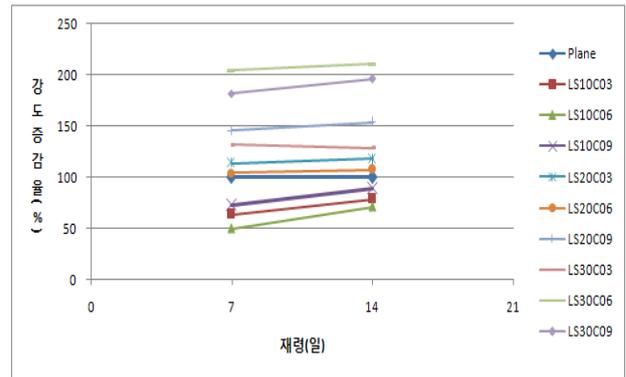


그림 2. 비활성황토+고로슬래그미분말+수산화칼슘의 압축강도 증감율

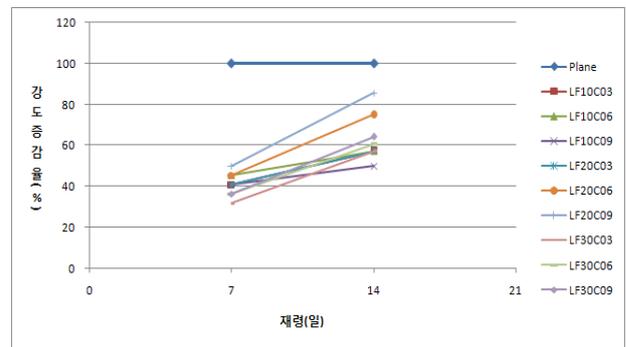


그림 3. 비활성황토+플라이애시+수산화칼슘의 압축강도 증감율

4.1.2 흡수율 시험

1) 비활성황토에 한가지의 반응유도제를 첨가한 경우
 하나의 반응유도제(고로슬래그미분말과 플라이애시, 수산화칼슘)를 첨가한 경우는 수산화칼슘을 6.9% 첨가한 경우를 제외하고는 모든 배합에서 물에 풀리는 현상을 보였다. 흡수율 또한 19~22% 정도로 매우 높았다. 그림 4는 비활성황토에 한가지 반응유도제를 첨가한 경우의 흡수율의 값을 보여 주고 있다.

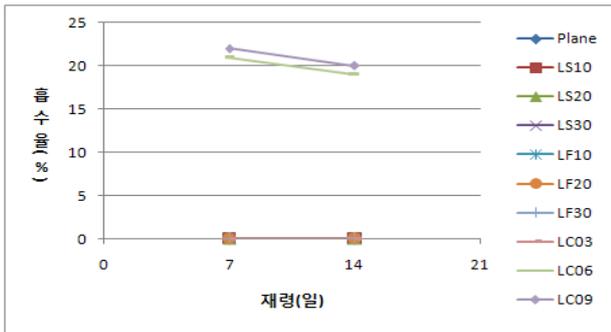


그림 4. 비활성황토에 한가지 반응유도재를 첨가한 경우 흡수율(%)

(2) 2가지의 반응유도재를 첨가한 경우에는 물에 풀림현상은 보이지 않았다. 하지만 각 배합별로 흡수율 차이는 크게 나타났으며 본 실험은 가장 높은 강도를 보이는 비활성황토와 고로슬래그 미분말 20~30%와 수산화칼슘 6~9%를 첨가하였을 경우 가장 낮은 값을 보여 주고 있으며 10% 미만에 근접하는 결과도 보이고 있다. 그림 5는 비활성황토에 두가지의 반응유도재를 첨가한 경우 흡수율의 값을 보여 주고 있다.

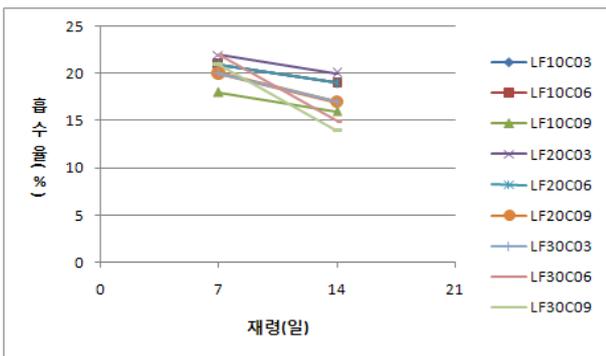
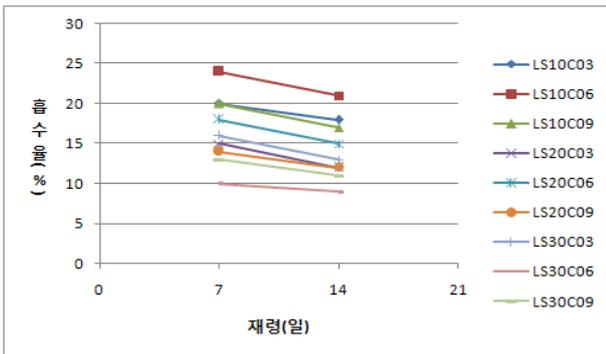


그림 5. 비활성황토에 두가지 반응유도재를 첨가한 경우 흡수율(%)

4.1.3 SEM 분석

본 실험에서는 7일, 28일 압축강도를 측정하고 난 후 시료중 대표적인 것을 선별하여 SEM 분석을 실시하여 배합별 반응성과 결합성의 정도를 살펴보고자 하였다.

1) 7일 압축강도 후 SEM 분석 사진

그림 6은 7일 양생 후에 미시결정구조를 확인하기 위한 SEM분석을 실시하여 2000배로 확대한 사진이다.

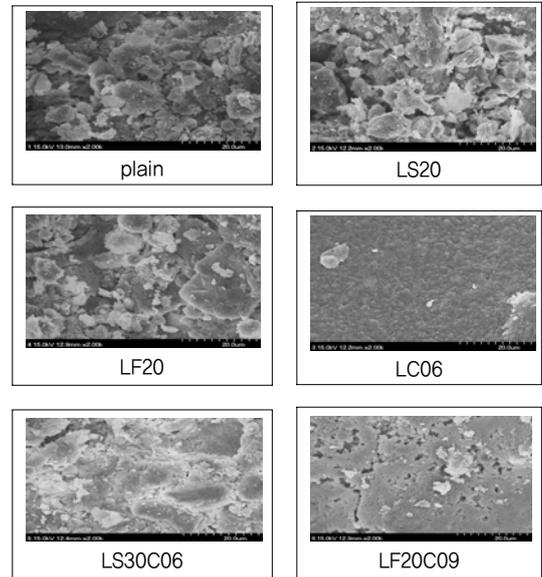


그림 6. 7일 양생 후 SEM 분석 사진

7일 양생 후 미시결정구조를 확인하기 위해 SEM분석을 실시한 결과 하나의 반응유도재를 첨가한 경우는 비활성황토와 크게 차이를 보이지 않았으나 두 가지 이상의 반응유도재를 첨가한 경우는 비활성황토와 비교하였을 경우 반응성이나 입자성이 월등히 좋은 것임을 사진으로 확인할 수 있었다. 이는 두 가지 이상의 반응유도재를 첨가하였을 경우에 비활성황토와 한가지의 반응 유도재를 첨가하였을 경우에 반응성과 결합성이 뛰어난을 보여 주고 있다.

4.1.4 친환경 기능성 시험

1) 음이온 측정

음이온 측정은 각 배합별로 실시를 하였으며 실험한 결과는 표 4와 같다.

표 4. 각 배합별 음이온 개수

배합명	Blank ^{주)}	plain	LC20	LF20	LC06	LS10 C06	LS20 C06
음이온개수 (Ion/cc)	84	107	91	90	92	72	106
plain 대비 음이온량(%)	-	100	85	84	85	67	99
배합명	LS30 C06	LF10 C06	LF20 C06	LF30C 06			
음이온개수 (Ion/cc)	109	74	100	106			
plain 대비 음이온량(%)	101	69	93	99			

주) Blank : 공기중의 음이온

음이온 측정 결과는 2가지의 반응유도제를 첨가한 경우가 100~106% 정도 음이온 개수가 높았으며 이는 반응유도제를 첨가 하더라도 친환경 기능성은 유지 발현되는 것으로 보인다.

5. 결 론

본 연구에서는 활성황토가 아닌 비활성황토를 이용하여 포졸란 반응을 유도할 수 있는 반응유도제를 첨가하여 이에 따른 반응성과 친환경 기능성이 유지정도를 중점에 두어 실험을 실시하였으며 이를 기초로 비활성황토의 반응성을 이용한 친환경 기능성 건축자재의 개발에 도움이 되고자 하였다.

본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) 비활성황토에 두가지의 반응유도제를 첨가한 경우가 초기강도증감률이 한가지의 반응유도제를 첨가한 경우보다 120-150% 까지의 높은 강도 증진률을 보였다. 이는 한가지의 반응유도제로써는 비활성황토의 반응성이 미약하며 두가지 이상의 반응유도제가 적정배합으로 첨가되었을 경우 반응성이 월등히 높아지는 것으로 판단된다.
- 2) 흡수율의 경우 두가지의 반응유도제를 첨가한 경우는 물에 풀리는 현상을 보이지 않고 흡수율 또한 시멘트 벽돌이나 블록의 KS기준값인 10%에 근접하는 값을 보여 주었으나, 한가지의 반응유도제를 첨가한 경우는 양생기간과 상관없이 물에 풀리는 현상을 보였다. 이는 두가지 이상의 반응유도제를 첨가한 경우만이 반응성이나 결합성이 높아지며 물에 대한 저항성도 높아져 성능발현에 큰 효과를 주는 것으로 판단된다.
- 3) 7일 양생 후 미시구조 분석 결과 두가지 이상의 반응유도제를 첨가한 경우는 훨씬 긴밀한 구조를 보이며 반응성과 결합성이 큰 것으로 나타났으나, 한가지 반응유도제를 첨가한 경우는 반응성과 결합성이 부족하며 눈에 띄는 공극을 보여줌으로써 반응성에서 큰 차이를 보이는 것으로 나타나 두가지 이상의 반응유도제의 복합사용이 반응 및 결합성에 보다 유리할 것으로 판단된다.
- 4) 친환경 기능성 시험인 음이온 시험의 경우 2가지 이상의 반응유도제를 첨가한 경우가 plain 대비 100-106% 정도의 높은 음이온 수치를 보였으며 이는 반응유도제가 친환경 기능성의 발현에 부정적 영향을 주지 않으며 더 증진시키는 것으로 판단된다.

감 사 의 글

“이 논문은 2009년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임(지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단).”

“이 논문은 2009년 전남대학교 건축과학기술연구소 및 바이오하우징연구소의 지원을 받아 수행된 연구임.”

참 고 문 헌

1. (주) 에스에스산업, <http://www.ssindustry.co.kr>
2. 강홍기, 양근혁, 정현수 외 1인 황토와 고로슬래그를 첨가한 철근콘크리트 보의 휨거동, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제16권 제2호, 2004, 11
3. 강홍기, 양근혁, 정현수 외 2인 황토와 슬래그를 첨가한 콘크리트의 강도 및 응력-변형률 관계, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제16권 제1호, 2004, 5
4. 강홍기, 혼화재료로서 활성황토와 고로슬래그가 콘크리트의 특성에 미치는 영향, 중앙대학교 석사학위 논문
5. 건국대학교, 콘크리트 보강재로서 셀룰로오스섬유 제조방법 개발 및 적용성에 관한 연구, 2000, 6
6. 과학기술처, 고강도, 유동화 및 섬유 콘크리트의 개발과 역학적 특성에 관한 연구(III), 1990, pp.227
7. 김병준, 기능성 황토 내장재 개발에 관한 연구, 부산대학교 석사학위 논문, 2004
8. 김지훈, 해양 부산물 첨가에 따른 황토의 공학적 특성, 목포해양대학교 석사학위 논문
9. 김현수, 건축재료로의 이용을 위한 산지별 황토의 특성에 관한 연구, 전북대학교 석사학위논문, 2006
10. 양준혁, 황토결합재를 이용한 콘크리트의 적정배합 도출에 관한 실험적 연구, 목포대학교 석사학위논문
11. 윤창훈, 비활성 방식에 의한 흙의 자원화 개발에 관한 실험적 연구, 충남대학교 석사학위 논문