

지역별 황토의 화학적 특성 및 강도발현에 관한 연구

A Study on the Chemical Properties and Strength Development of Regional Hwangto

황 혜 주*
Hwang, Hey-Zoo

김 정 규**
Kim, Jeong-Gyu

양 준 혁***
Yang, Jun-Hyuk

Abstract

In this research, Conducting an engineering properties experiment, this study examined basic properties of regional Hwangto. The results of experiments are as followings.

1) This study confirmed that a result of examining lime order for Hwangto and comparison of stimulants, this study confirmed that 28 day's strength promotion is found in case of calcium hydroxide(Ca(OH)₂) and calcium chloride(CaCl₂) stimulant. Finally, it is known the fact that lime highly improves the weak strength of Hwangto.

2) As XRD analysis for proving the strength manifestation principle of Hwangto by regions, CSH figure and CASH figure appeared in each regional Hwangto in all the strength areas. This result could be appeared through hydraulicity from reaction of alkali stimulant and water, and pozzolan reaction(CSH figure) and Strätlingite reaction(CASH figure) by silica (SiO₂) ingredient and calcium hydroxide (Ca(OH)₂) among ingredients of clay, and alumina(Al₂O₃).

3) In result of strength analysis, It is knowned that the Gyeongsangdo Hwangto is stronger than the Jeollado Hwangto in reactivity

Keywords : Resional Hwangto, Alkali Stimulation, Lime, Clay

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

선진국을 비롯한 다른 여러 나라들은 환경오염의 심각성을 고려한 환경 친화형 건축물이나 건축재료에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 우리나라 또한 인구증가와 환경보호의식 결여로 인한 오염의 심각성을 인식하고 환경 친화적인 재료에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 그 중 양적인 삶보다는 질적으로 건강하고 쾌적한 삶을 추구하기 위해 황토를 이용한 건축재료 개발에 관한 연구는 많이 진행되고 있다. 그러나 황토는 건조수축으로 인한 균열과 약한 강도발현 등 많은 결함으로 인해 건축재료로 이용이 일부분에 국한되고 있다. 기존에는 이런 결함을 극복하기 위해 짚이나 여물 등 천연 섬유질재료의 전통적인 방법을 사용하여 조금이나마 줄일 수 있었으나, 현재에는 화학제품이나 유기수지를 사용하여 친환경적인 의미를 많이 퇴색시키고 있다.

이에, 본 연구에서는 황토를 친환경적인 건축적 재료로 이용하기 위해 지역별로 대표적인 황토를 채취하여, 황토의 화학적 특성과 건축용도로 이용할 수 있는 자극제를 찾아 강도발현을 할 수 있는 기초적인 자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구의 방법 및 범위

지역별 황토의 공학적 특성에 관한 실험적 연구로서 강원도 영월, 경상도 산청, 충청도 부여, 전라도 무안 지역의 황토를 선정하여 실험에 임하였다.

우리나라에 풍부하게 매장되어 있는 황토의 특성을 알아보기 위해 본 실험에서는 각 지역별 황토를 채취(採取)하여 지역별 황토 및 생석회(CaO), 소석회(Ca(OH)₂)와 알칼리자극제를 비율별로 첨가하여 각 재료들간의 적정 첨가량을 고찰하고자 한다. 또한, 각 지역별 황토분체의 X선 회절분석(XRD), X선 형광분석(XRF), SEM 촬영, 비중, 조립을 등 기초물성 및 화학적분석을 분석하고, 생석회(CaO), 소석회(Ca(OH)₂)와 알칼리자극제를 비율별 첨가하여 X선 회절분석과 SEM 촬영분석을 통한 각 지역별 황토의 특성비교와 강도발현에 관한 분석을 하였다.

* 목포대학교 건축공학과 조교수

** 목포대학교 건축학과 조교수

*** 목포대학교 건축공학과 석사과정

2. 이론적고찰

2.1 황토의 정의

황토는 국어대사전의 경우에는 ①빛깔이 누르고 거무스름한 흙(Yellow Soil), ②대륙의 내지에서 풍화로 인해 부스러진 암석의 세진이 바람에 날려와서 지표층을 두껍게 덮고 있는 누르고 거무스름한 흙, 중국의 북쪽, 특히 황하 유역과 유럽, 북미등에 분포하고 있고, 황토(loess)는 바람에 의해 운반된, 주로 실트 크기의 입자로 구성된 연황색-황갈색 퇴적물로서, 균질하고 비층상이며 기공이 많으며 쉽게 부스러지는 성질을 가지며 약한 점착력이 있으며 석고질이 포함된 경우가 많다고 정의하고 있다. 그러나 우리나라에 분포하는 토양을 조사한 학자들은 풍성기원의 퇴적물에서 나타나는 광물조성이나 특성이 거의 없다고 한다. 또한, 우리나라의 황토는 가까운 산이나 밭에서 쉽게 보수 있는 황색 내지 적갈색의 풍화토이므로, 암석의 풍화 결과 형성된 것이라는 사실을 알 수 있다. 그러므로 우리나라에서 흔히 사용되는 황토는 지질학 용어 사전의 풍성 기원의 퇴적물인 'loess'는 아니고, 기반암의 풍화에 의해 형성된 황색-적갈색의 토양이기 때문에 'Hwangto'라는 용어를 사용한다. 그러므로 황토는 기반암의 풍화결과 형성된 것이므로 기반암의 종류와 풍화정도, 기후 조건 등에 따라 매우 다양하게 나타날 것이라는 것을 쉽게 추측할 수 있다. 암석은 풍화에 의해 잘게 부스러지고, 원광물이 점토광물을 비롯한 2차광물로 변해가면서 토양을 형성하게 되는데, 물질의 첨가 과정, 물질의 전이와 이동 과정 및 물질의 제거 과정을 거치면서 성숙하게 된다. 황토는 주로 점토광물을 비롯한 풍화산물이 직접되는 심토층에 표토층 일부가 포함된 것으로 간주할 수 있다. 우리나라 황토는 전국적으로 고르게 분포하지만 고지대 및 급경사지, 하천 등에는 잘 나타나지 않는 경향을 보인다.

2.2 황토의 분포지역

오늘날 황토는 온대지역과 사막주변부에 나타나는 반건조지역에 가장 넓게 분포하며, 중국 북부, 동북부, 중앙아시아, 러시아 남부, 중부유럽, 북아프리카, 북아메리카, 아르헨티나, 뉴질랜드 등에 널리 분포하고 지구 표면의 약 10%를 덮고 있다. 일반적으로 황토는 비옥한 토양으로 덮여 있어 농업에 적합하기 때문에 항상 인구 집중에 영향을 미쳐왔다. 중국과 같이 인구가 밀집된 황토지역의 농업인들은 가파른 경사지역에 움막과 유사한 거주지를 파고 살았다. 푸에블로 인디언과 같은 반건조 지역의 거주자들은 황토로 만든 벽돌을 이용해 집이나 요새와 같은 건물을 지었다.

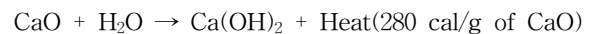
우리나라 황토는 전국에 걸쳐 골고루 분포되어 있으나, 주로 남부 해안지방과 서부해안지방 산지에 많이 퇴적되어 있다. 경주 토함산 황토와 경남 고성, 김해, 산청지방과 전남 무안, 고흥, 화순지방(전남지방에는 적색이 많은 진황토임) 충남 부여, 논산, 익산지방 그리고 강원도 홍천지방의 황토가 품질이 우수한 것으로 알려져 있다.

2.3 황토의 건축적 이용방법

기존에 우리나라에서 건축적으로 황토를 이용하는 방법은 목재, 볏짚, 석회류나 천연폴등을 이용하여 벽체, 천정 및 바닥 등에 사용하여 집을 짓고 살았다. 또한, 심벽을 이용하여 나무나 다른 소재를 이용한 구조 틀에 짚이나 다른 섬유질을 섞은 황토를 바르거나 일정한 형태의 틀을 만들어 황토를 다져넣어 만드는 담틀을 이용한 주거를 엮을 수 있었다. 이는 생태학적 건축의 사고, 원리, 기술, 형태적 특성이 주거건축에 적용되어 질 때, 지속가능하고, 자연-건축-인간이 가까이 접근하는 건강한 주거문화가 창출되며, 생태회복을 이끌어내게 되어 인간의 요구에 만족하게 된다.

2.4 석회의 특성

생석회는 주로 연약한 퇴적 점토를 개량하기 위해 많이 쓰이고 있으며 생석회를 이용한 토질 안정처리는 양이온 교환(Cation exchange), 면모화(flocculation), 응집(aggregation)반응, 탄산화반응(carbonation), 포졸란 반응(pozzolan)에 의해서 이루어지는 것으로 알려져 있다.(Nagaraj, 1964; Narasimha Rao and Rajasekaran, 1993) 일반적으로 생석회를 점토와 혼합했을 때 주로 많은 양의 열이 발생한다. 이와 같은 원인은 흙의 간극수와 생석회의 수화반응에서 기인한 것이다.



이온교환(Cation Exchange)과 면모화(Flocculation)에서 점토와 생석회가 혼합될 때, 세립점토입자의 표면에 흡착되어 있는 Na^+ 와 다른 양이온들은 생석회의 Ca^{++} 이온과 교환이 발생한다. 이와 같은 교환은 점토입자의 구조적 성분에 영향을 미친다.

아래와 같은 반응을 통해서 규산칼슘수화물, 알루미늄산 칼슘수화물, 알루미늄산 칼슘 등 새로운 포졸란 반응생성물을 형성한다. 포틀랜드시멘트와의 큰 차이는 시멘트의 경우 무수(無水)의 수화반응으로부터 형성되나 석회의 포졸란 반응은 지반내 간극수가 존재하지 않는다면 포졸란 반응은 중지된다. Broms(1984)는 흙의 간극수의 알루미늄염이나 규산염의 용해성과 pH에 따라 포졸란 반응이 변화 될 수 있다고 주장했으며 또한, 흙의 온도가 증가됨에 따라 포졸란 반응속도 또한 증가 된다고 보고하고 있다.

시간에 따른 강도증가는 일반적으로 정규 압밀된 실트질 점토에 대해서 가장 큰 것으로 나타나 있다. 카올린이나 몬모릴로나이트 점토는 강도 증진면에서 매우 효과적이지만 일라이트의 경우는 높은 강도를 얻기 위해서는 플라 이 에쉬의 첨가가 필요하다고 보고했다.(Hilt and Davidson, 1960)

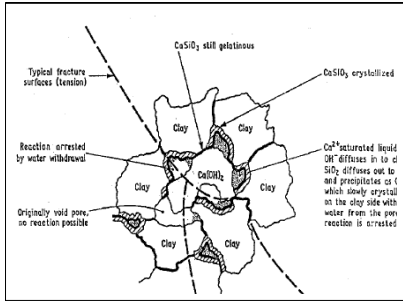


그림 1. Mechanism of Lime Stabilization of Clay Soils(Ingles,1973)

2.5 생태학적 관점에서 황토의 이용

황토는 친환경 재료로써 원료의 채취, 생산, 제조, 폐기에 이르기까지 Life-Cycle상의 환경부하를 최소화하고, 자원과 에너지 사용의 저감(Reduce), 재사용(Reuse), 재활용(Recycle)의 친환경 조건에 맞춰져야한다. 황토는 과거의 약하고 후줄근한 재료에서 미래의 새로운 재료로 재인식되고 있는 실정이다. 현재에는 황토만으로도 현대적 집을 지을 수 있다는 것을 보여주고는 있지만 황토의 본질적 한계로 인하여 그 건축범위가 제한적이다. 그러나 유럽과 미국 등 여러 나라들의 친환경건축물은 아주 다양하고 예술성 높은 건축을 구현하고자 황토의 여러 단점을 보완한 재료기술개발에 박차를 가하고 있다.

3. 실험

3.1 실험계획

지역별 황토에 대한 기초 분석과 석회계열 및 자극제 선정 실험이다. 각각의 흙에 대한 비중, 조립률 및 XRD/XRF, SEM을 이용하여 각 지역의 특성을 분석하고, 강도발현에 대한 실험으로 석회계열인 생석회(CaO)와 소석회(Ca(OH)₂)를 자극제와 함께 분말황토에 첨가하여 모르타 압축강도 및 해교성 실험결과를 통해 황토를 이용한 석회계열 및 자극제의 강도발현방법을 알아보려고 한다.

3.2 실험재료

1) 황 토

전국을 사등분하여 지역별로 강원도 영월, 경상도 산청, 충청도 부여, 전라도 무안 지역의 황토를 채취하여 각 지역별 황토에 대한 기초분석을 하였다. 그 중 강도실험의 경우, 전라도의 무안흙과 D사에서 생산되는 산청산 비소성 황토분말(비표면적은 약 3,300cm²/g)을 사용하였다.

2) 첨가제

황토를 고결화시키는 실험에 사용된 첨가제 재료는 석회종류로는 생석회와 소석회, 석고종류에는 무수석고와 반수석고, 알칼리 자극제로는 무수염화칼슘, 이수염화칼슘, 무수황산나트륨, 십수황산나트륨, 염화나트륨을 사용하였다.

3) 잔골재

무안지역의 바다모래를 세척 후 2.5mm체에 걸러 사용하였으며 물리적 특성은 표 1과 같다.

표 1. 모래의 물리적 특성

물 성	최대입경 (mm)	비중	조립률	흡수율 (%)	실적율 (%)	단위용적증량 (kg/ℓ)
수 치	2.5	2.6	2.8	1.96	57.7	1.5

3.3 실험인자 및 수준

본 실험은 석회계열 및 자극제 선정 실험에 대한 실험으로 황토에 석회계열인 생석회와 소석회를 첨가한 후, 자극제를 첨가하여 황토에 대한 적정의 석회계열 및 자극제를 선정하는데 있다. 실험의 인자 및 수준은 다음 표 2와 같다.

표 2. 석회계열 및 자극제 선정 실험의 인자 및 수준

구 분	실험인자	실험수준	실험수	기타
첨가제	황토종류	- 무안황토 - 산청황토	2	-
	석회계열	- 생석회; CaO - 소석회; Ca(OH) ₂	2	-
	자 극 제	- CaSO ₄ - CaSO ₄ · 1/2H ₂ O - CaCl ₂ - CaCl ₂ · 2H ₂ O - Na ₂ SO ₄ - Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	6	-

3.4 배합

본 배합은 황토에 대한 석회계열 및 자극제 선정에 관한 실험으로 무안황토와 산청산 분말황토를 이용하였다. 분말황토와 석회계열 및 자극제의 각각의 첨가량은 80 : 18 : 2의 비율이며 잔골재를 황토와 1: 1로 정하였다. 각 재료의 조건을 만족하기 위해 W/B는 52%로 고정하였다. 실험의 배합표는 표 3과 같다.

표 3. 석회계열(A:생석회, B:소석회) 및 자극제 배합표

시 편 명	H	CaO	Ca(OH) ₂	첨 가 제							W/B (%)	
				CaSO ₄ O ₄	CaSO ₄ · 1/2H ₂ O	CaCl ₂ l ₂	CaCl ₂ · 2H ₂ O	Na ₂ S O ₄	Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	S		
PM	100										80	52
A-1	80	18		2							80	52
A-2	80	18			2						80	52
A-3	80	18				2					80	52
A-4	80	18					2				80	52
A-5	80	18						2			80	52
A-6	80	18							2		80	52
B-1	80		18	2							80	52
B-2	80		18		2						80	52
B-3	80		18			2					80	52
B-4	80		18				2				80	52
B-5	80		18					2			80	52
B-6	80		18						2		80	52

3.5 실험방법

1) 비중

KS F 2308(흙의 비중 시험 방법)에 의거하여 실험하였다.

2) 조립률

지역별 황토를 약 100℃의 온도에 24시간 건조시킨 후, 500g을 개량하고 각 표준망체에 수비로 체가름하여 조립율을 분석하였다.

3) XRF/ XRD 측정

지역별 황토내의 광물 및 화학성분 확인을 위해 X-선 형광분석기(XRF) 및 X-선 회절분석기(XRD)를 이용하여 실험을 실시하였으며, 생성광물의 확인을 위해 X-선 회절 분석기 (Philips Pw3710, Holland)를 이용하여 실시하였으며, 회절조건은 40Kv, 30A, Step size 0.04, Time per Step 0.5초로 행하였다. 이때 측정된 황토는 시편내의 수분을 완전히 제거 후 볼밀로 분쇄한 분말을 사용하였다.

4) SEM 측정

시편의 결정입자들을 확인하기 위해 주사전자현미경(SEM; Scanning Electron Microscopy)을 사용하였으며, 사용된 재료는 시편을 분쇄하여 편형으로 분쇄된 시편 조각을 사용하였다.

5) 압축강도 측정

KS L 5105(수경성 시멘트 모르타의 압축강도)의거 50×50×50mm의 입방형 몰드에 실험 24시간 후 탈형하여 각 3일, 7일, 28일간 기건양생하여 압축강도를 측정하였다.

6) 물풀림 측정

50×50×50mm의 입방형 몰드를 성형 후 탈형하여 실험시편을 수돗물에 30일간 넣어 물풀림을 조사하였다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 각 지역별 황토의 분석

1) 비중

지역별 황토에 대한 비중을 측정한 결과, 표 4와 같이 각 지역별로 비중의 차이가 나타났다. 충청도 황토가 네 지역 중 가장 비중이 큰 2.61이라는 것을 알 수 있었고, 경상도 황토는 비중이 가장 낮은 2.32라는 것을 알 수 있었다. 위 측정값으로 보아 황토의 비중은 대략 2.5정도 되는 것을 알 수 있었다.

표 4. 지역별 황토 비중

구 분	강원도	경상도	충청도	전라도
비 중	2.56	2.32	2.61	2.46

2) 조립률

표 5와 그림 2에서 보는바와 같이 각 지역별 황토를 입도 분석한 결과, 60~70%가량은 0.074mm이하의 입자를 나타내었다. 각 지역별로 모래 비율보다는 Silt와 Clay비

율이 더 높다는 것을 알 수 있었다. 추후 Silt와 Clay비율에 의한 건축재료의 이용에 관한 세밀한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

표 5. 각 지역별 황토 입도분포표

(단위 : %)

구 분	체 치수(mm)								
	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.074	0.074 이하
강원도	0	5.56	4.48	3.63	2.87	2.52	2.99	12.55	65.4
경상도	0	2.86	2.89	2.82	2.68	2.64	3.76	15.35	67
충청도	0	0.63	0.81	3.42	7.60	5.96	5.04	14.04	62.5
전라도	0	0.91	6.97	9.93	4.99	2.37	2.02	12.4	60.41

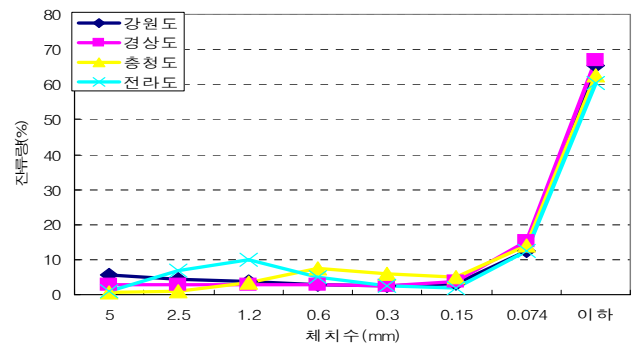


그림 2. 각 지역별 황토 입도분포도

3) 지역별 황토의 XRF/ XRD

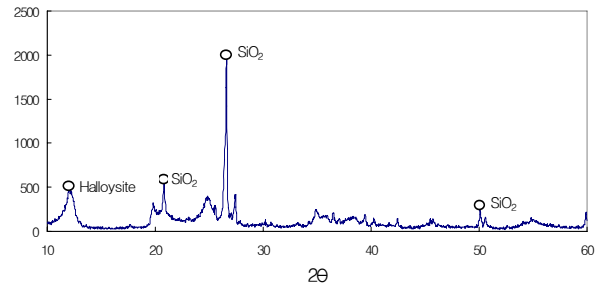
다음의 표 6과 그림 3은 각각 지역별 황토의 XRF 및 XRD 분석표이다.

강원도 황토의 경우 다른 지역에 비해 Al₂O₃가 적은 반면에 CaO함량이 많은 것으로 보아 석회석 계열의 황토라는 것을 알 수 있었다. 경상도 황토의 경우 Fe₂O₃비율이 가장 높아 색상이 적갈색에 가깝다는 것을 알 수 있었으며, Al₂O₃비율이 가장 높다는 것을 알 수 있었다. 그러나 충청도 황토의 경우 SiO₂ 비율이 가장 높았고 전라도 황토의 경우 Fe₂O₃의 비율이 비교적 높은 것으로 보아 수산화철광물을 많이 포함하여 색상이 황갈색에 가깝다는 것을 알 수 있었다. 또한, 황토는 공통적으로 SiO₂ 과 Al₂O₃를 주성분으로 가지고 있어서 포졸란 반응을 할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

표 6. 지역별 황토 XRF분석표

지 역	강원도	경상도	충청도	전라도
SiO ₂	43.26	42.19	55.49	51.03
Al ₂ O ₃	13.23	34.5	22.3	27.47
Fe ₂ O ₃	5.86	8.49	5.45	7.25
CaO	8.41	0.74	1.27	0.81
MgO	6.5	1.38	0.7	0.71
K ₂ O	2.15	0.38	2.39	2.5
Na ₂ O	0.16	0.04	0.16	0.31
TiO ₂	1.27	0.98	1.46	1.37
P ₂ O ₅	0.08	0.04	0.18	0.07
LOI	18.16	10	10	7.74
SUM	99.08	99.06	99.52	99.09

지역별 황토의 XRD성분분석 결과, SiO₂와 Halloysite 및 Kaolinite, Dolomite 성분을 확인할 수 있었으며 그림 3 a)의 강원도 지역 황토에서는 Dolomite 성분으로 보아 석회암층으로 확인할 수 있었고, 알칼리 골재반응을 일으킬 수 있는 황토로 판단된다. 경상도지역의 황토에서는 그림 2의 b)에서 보는 바와 같이 완만한 피크점들을 이루고 메타카올린(Meta-Kaolin)의 원료인 Kaolinite과 Halloysite 성분을 확인할 수 있어 향후 이러한 성분을 이용하여 비결정질의 유리질로서 잠재 수경성의 특징을 가지는 새로운 건축재료의 개발 가능성을 확인할 수 있었다. 충청도와 전라도 황토의 경우, 국내에서 산출되는 카올린의 대부분인 Halloysite를 확인할 수 있었다. 또한, 강원도를 제외한 세 지역에서는 Halloysite를 많이 발견할 수 있는 것으로 보아 우리나라에 분포되어 있는 황토는 카올린계의 Halloysite가 많이 분포되어 있음을 알 수 있었다. 특히, 산청황토의 경우 Kaolinite과 Halloysite의 두가지 성분을 모두 확인할 수 있어서 다른 지역의 황토성분과 다른 경상도 황토에 대한 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

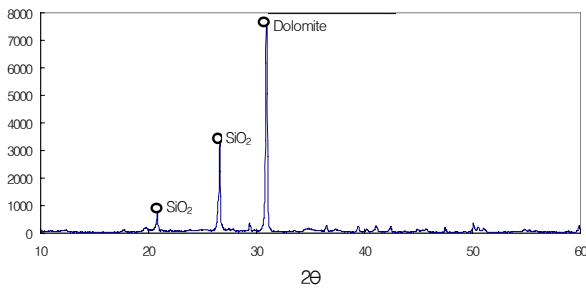


d) 전라도

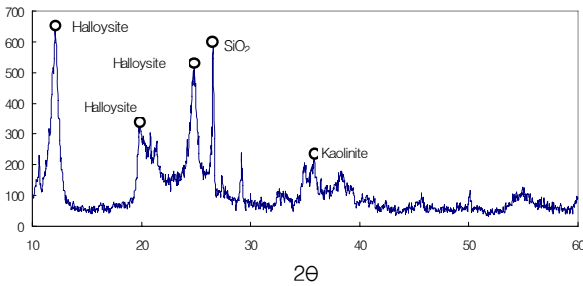
그림 3. 지역별황토 XRD분석결과

4) 지역별 황토의 SEM 사진

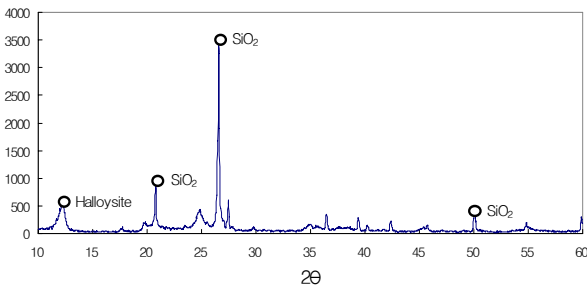
사진1에서 보는바와 같이 각 지역별황토의 SEM사진을 통해 황토의 입자간 공극률 50~55%를 차지하는 다공질의 개기공 구조로 지역별 황토구조의 차이가 뚜렷하게 구별되지 않았고, 일부분에서 불규칙한 판상형의 입자모양을 확인할 수 있었다.



a) 강원도



b) 경상도



c) 충청도

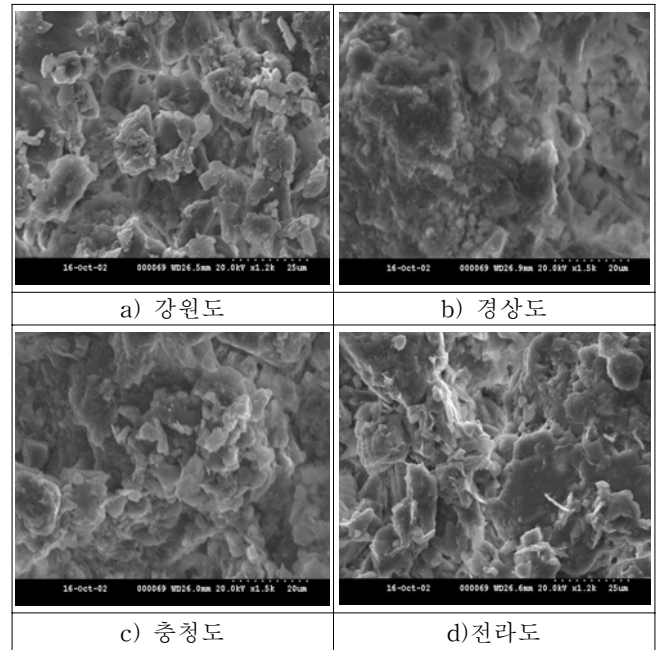


사진 1. 지역별 황토의 SEM 사진

4.2 압축강도 및 해교성

(1) 압축강도시험

실험결과, 표 7,8과 그림 4에서 보는 바와 같이 순수 황토만을 이용한 배합에서는 강도발현이 전혀되지 않았다. 반면에 석회계열과 자극제를 배합한 결과, 전체적으로 초기강도는 두 종류의 석회계열 모두 뚜렷한 차이가 나타나지 않았고, 28일 장기강도에서는 석회계열과 자극제의 종류에 따른 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한, 산청황토의 강도가 전라도 무안황토에 비해 장기강도가 더 발현하여 앞으로 건축재료에 이용할 황토로는 산청황토 지역이 더 좋다는 것을 알 수 있었다.

석회계열의 경우 생석회(CaO)는 소석회(Ca(OH)₂)에 비해 전반적으로 자극제의 종류별 장기강도발현이 재령 초기인 3일 강도에는 다소 높거나 비슷하게 나타났으나, 28일의 경우 전반적으로 낮아지는 경향을 알 수 있다. 그리고 자극제 종류별로 CaCl₂를 첨가한 배합이 두 지역 모두 높은 강도발현을 나타내었다. 반면, 소석회의 경우, 염화칼슘을 첨가한 배합이 초기강도에는 높은 발현을 하지 못하였으나 장기강도인 재령28일의 경우 150kgf/cm²으로 가장 높은 강도를 나타냈다. 이에 황토의 강도발현에 적합한 석회계열의 재료는 생석회보다 소석회가 장기강도 발현 시 안정된 석회계열이라 사료되며, 소석회중에서 가장 높은 장기강도발현의 자극제로는 그림3에서와 같이 CaCl₂가 가장 적합한 것으로 나타났다.

그 원인은 수화반응에 의해서 생성된 소석회는 간극수의 전해질 농도와 pH의 증가에 따라 분해가 발생하므로 반응을 하기 위해서 간극수가 존재하였다. 또한, 높은 pH의 간극수는 황토입자에서 SiO₂나 Al₂O₃의 분해를 발생시킨다. 그래서 이와 같은 과정은 이온 교환 및 면모화 반응, 포졸란 반응을 발생시키는 원인이 된다고 볼 수 있다. 그리고 소석회는 황토의 점토광물이나 수화된 규산염이나 알루미늄산염과 반응하여 고결화가 진행된다. 다시 말하면, 간극수에 녹아 분해되어 있는 Ca⁺⁺이온과 점토입자로부터의 분해된 SiO₂나 Al₂O₃가 반응하여 입자사이에 새로운 겔을 형성하여 황토입자 덩어리를 묶고 덮어씌운다. 이것은 재령시간이 경과함에 따라 황토와 석회의 반응결정체를 형성하게 된 것이라고 사료된다.

(2) 응집응결시험(해교성)

실험결과를 볼 때 황토만 사용한 배합은 단순히 응집작용에 의해 물에 쉽게 풀린 반면, 석회계열과 자극제를 첨가한 실험배합 모두 30일 동안 물에 풀리지 않음을 확인할 수 있었다. 이는 황토의 실리카 성분이 석회의 수산화칼슘과 결합하여 화학적 응결을 일으켜 포졸란 반응을 하여 불용성의 결합물이 되었음을 알 수 있었다.

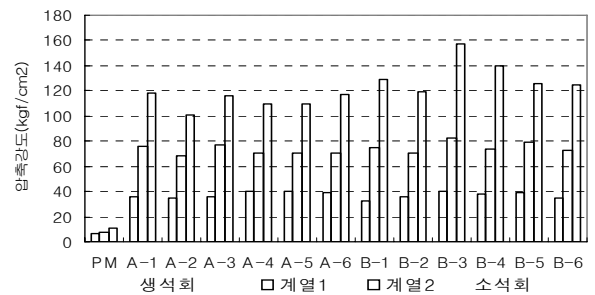
표 7. 전라도 흙과 석회계열 및 자극제의 압축강도 및 해교성

시편명	재령별 압축강도(kgf/cm ²)			해교성
	3일	7일	28일	
P M	7	8	11	有
A-1	36	76	118	無
A-2	35	68	101	無
A-3	36	77	116	無
A-4	40	71	110	無
A-5	40	70	109	無
A-6	39	70	117	無
B-1	32	75	129	無
B-2	36	70	119	無
B-3	40	82	157	無
B-4	38	74	140	無
B-5	39	79	126	無
B-6	35	73	125	無

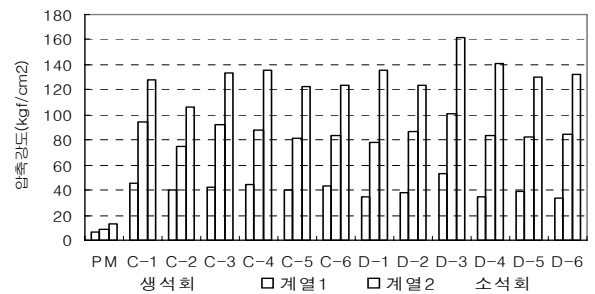
표 8. 전라도 흙과 석회계열 및 자극제의 압축강도 및 해교성

시편명	재령별 압축강도(kgf/cm ²)			해교성
	3일	7일	28일	
P M	6	9	13	有
C-1	46	94	128	無
C-2	40	75	106	無
C-3	42	92	133	無
C-4	45	88	135	無
C-5	40	81	122	無
C-6	43	83	124	無
D-1	35	78	136	無
D-2	38	87	124	無
D-3	53	101	162	無
D-4	35	84	141	無
D-5	39	82	130	無
D-6	34	85	132	無

※ A : 생석회, B : 소석회
 1 : CaSO₄, 2 : CaSO₄ · 1/2H₂O, 3 : CaCl₂
 4 : CaCl₂ · 2H₂O, 5 : Na₂SO₄, 6 : Na₂SO₄ · 10H₂O



a) 전라도



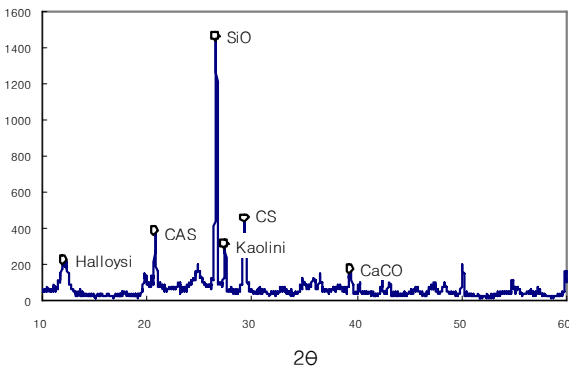
b) 경상도

그림 4. 재령별 압축강도

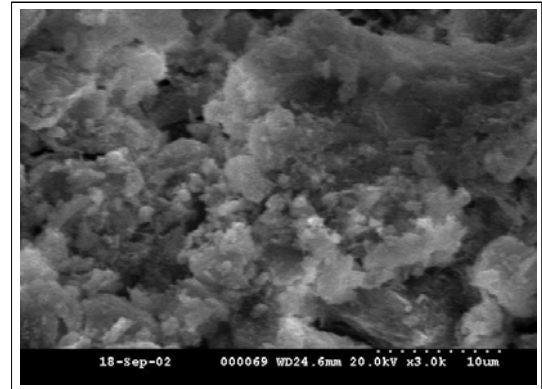
4.3 지역별 황토시편의 XRD

그림5에서 보는 바와 같이 비결정질의 유리질로서 잠재수경성의 특징을 확인할 수 있었으며 그림에서 보는 것처럼 CSH상 및 CASH상이 나타났다. 이는, 황토내의 실리카(SiO₂)와 알루미늄(Al₂O₃)성분이 Ca(OH)₂와 반응하여 포졸란 반응(CSH상) 및 Strätlingite반응(CASH상)이 나타나는 것을 알 수 있었고, 이때의 화학반응식은 다음과 같다.

- 포졸란 반응(Pozzolan reaction) - (CSH gel 생성)
 $3(\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{SiO}_2 = 3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
- Strätlingite 반응 - (CASH gel 생성)
 $2(\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

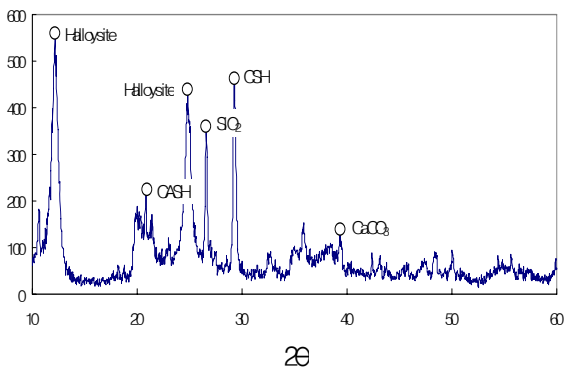


a) 전라도



b)경상도

사진 2. 시편의 SEM 측정



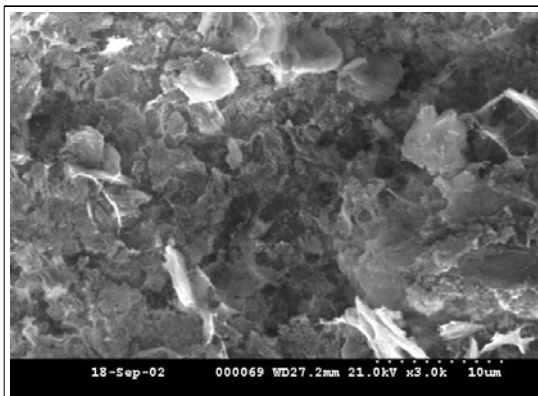
b) 경상도

그림 5. XRD 측정

4.4 황토시편의 SEM 분석결과

황토 시편을 3000배의 배율로 확인한 결과 다음과 같은 결과를 확인할 수 있었다.

사진 2에서 보는바와 같이 황토와 석회와 서로 반응하기 전인 원황토의 SEM에서의 많은 공극이 조금씩 줄어들고 서로간의 치밀한 구조로 되어 시간이 지남에 따라 강도가 증진하는 과정을 확인할 수 있었고, 그 원인은 황토와 석회가 수화반응에 의해 포졸란 반응물인 CSH gel과 CASH gel의 생성에 의한 것이라 사료되어진다.



a) 전라도

5. 결론

지역별 황토의 화학적 특성 및 강도발현에 관한 실험에서 확인한 결과, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 각 지역별 황토의 비중은 충청도 황토의 경우, 네 지역 중 가장 비중이 크고, 경상도 황토의 경우 비중이 가장 낮다는 것을 알 수 있었고 황토의 비중이 대략 2.5정도 되는 것을 알 수 있었다. 또한 입도분석결과 경상도 지역의 황토가 Silt와 Clay가 가장 많은 것을 알 수 있었다.
- 2) 지역별 황토의 XRF/XRD를 분석한 결과 경상도지역의 황토에서는 주로 메타카올린(Meta-Kaolin)의 원료라 할 수 있는 카올리나이트(Kaolinite)와 할로이사이트(Halloysite)성분을 확인할 수 있어서 향후 이러한 특성을 이용하여 비결정질의 유리질로서 잠재 수경성의 특징을 가지는 새로운 건축재료의 개발 가능성을 확인할 수 있었다.
- 3) 황토에 대한 석회계열의 적정재료는 생석회(CaO)보다는 소석회(Ca(OH)₂)가 자극제인 CaCl₂와 함께 첨가되었을 시 28일의 장기강도발현이 잘 되었음을 확인할 수 있었다.
- 4) 황토의 강도발현원리 규명을 위한 XRD분석결과 같은 지역의 시편과 XRD분석결과 피크점들이 완만하여 비결정질의 유리질로 잠재수경성을 확인할 수 있으며, 경상도 황토의 경우 XRD기초자료 분석결과 비결정질의 유리질로서 잠재수경성을 나타낸바, 차후 다른 혼화제의 첨가량에 따라 고강도발현의 가능성을 가지고 있었다.
- 5) 실험시편에 대한 해교성 실험결과 황토만을 사용한 배합의 경우 단순히 응집작용만을 하여 물에 쉽게 풀린 반면, 석회계열과 자극제를 첨가한 배합 모두 해교성이 없는 것을 확인할 수 있었다. 이는 물에 대한 저

항성 및 포졸란 반응에 의해 황토를 건축재료로 사용할 수 있는 가능성을 확인하였고, 경상도 황토의 강도가 전라도 황토에 비해 장기강도가 높아 앞으로 건축재료에 이용할 경우 경상도 지역 황토가 석회계열 및 자극제와의 반응성이 더 좋다는 것을 알 수 있었다.

6) SEM측정결과 각각의 배합에서는 원황토의 많은 공극이 조금씩 줄어들고 서로간의 치밀한 구조로 되어 강도를 증진하는 과정을 확인할 수 있었고, 그 원인은 포졸란 반응에 의한 것이라 사료된다.

7) 추후, 위의 실험결과를 토대로 혼화제 첨가율에 따른 고강도배합의 심도있는 검토와 연구가 필요하다고 하겠다.

참고문헌

1. 문희수, “점토광물학”, 민음사, 1996. 3.
2. 이용수, 정문경, “플라이애쉬계 지방개량제로 처리된 점토의 결정구조 및 투수특성연구”, 한국건설기술연구원, 건기연 97-092 연구보고서, pp4~20.
3. Kim, M .H . ,Hwang, H . Z . and Choi, H . Y . , “A study on the properties of Hwangto self-leveling material”, 3rd International simposium Interchanges in Asia. Feb. 2000., pp 1024-1033.
4. Kim, M .H . ,Hwang, H . Z . and Choi, H . Y . , “The activating method and effect of Kaolin as a cement admixture”, 3rd International Simposium in Asia. Feb. 2000., [1034-1043]
5. 李鍾根. 無機材料原料工學. 半島出版社. P40~48. 1990
6. 김장수 외, “HYDRATION REACTION AND HARDENING OF CALCINED CLAYS AND RELATED MINERALS”, Cement and Concrete Research, Vol.13, 1983.
7. 최희용 외, “황토반응의 메카니즘에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(구조계) : v.17, n.2 (1997-10)
8. 정환목 외, “황토의 일반적 특성에 관한 고찰”, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(구조계) : v.17, n.2 (1997-10)
9. 최희용 외, “황토를 이용한 셀프-레벨링재 개발을 위한 기초적 연구”, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집(구조계) : v.21 n.1 (2001-04)
10. 김문한, “마사토벽돌의 개발 및 그 시공의 타당성에 관한 연구(I) : “경화제 사용을 중심으로 고찰한 기초연구”, 건축(대한건축학회지) : v.24, n.94 (1980-05)
11. 윤정훈, “非燒成 方式에 의한 흙의 資源化 開發에 關한 實驗的 研究”, 충남대학교 산업대학원 석사학위논문 : 2001.02.
12. 김문한 외, “점토벽돌에 대한 물탈의 부착강도에 관한 연구”, 건축(대한건축학회지) : v.23, n.87 (1979-03)
13. 최희용, “活性黃土의 建設資源化에 關한 研究”충남대학교 대학원 박사학위논문, 2002.2., pp.6~29.
14. 한경희 외, 생태학적 관점에 의한 환경친화적 건축재료에 관한 연구, 한국실내디자인학회 논문집 : NO.41(2003-12)
15. 이계성, 생석회를 이용한 표층안정처리공법의 현장 적용성에 관한 연구, 중앙대 대학원 2000
16. 김자경, “자연과 함께하는 건축”, Spacetime, 2004.01
17. 황혜주, “흙건축의 동향과 전망”, 대한건축학회지, 2003.05
18. N.J.COLEMAN, “The solid state chemistry of metakaolin-blinded ordinary Portland cement”, JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 35, 2000, JUN, pp.2701~2710.
19. Michael A. Caldaron, Karen A. Gruber, and Ronal G. Burg, “high-reactivity metakaolin a new greeneration mineral admixture”,Concrete International Nov. pp.37~40., 1994.
20. James K.mitchell. Fundamentals of Soil Behavior

“ 이 논문은 2005년도 교육인적자원부 지방연구중심대학 육성사업의 지원에 의하여 연구되었음”

“This work was supported by Regional Research Centers Program of the Korean Ministry of Education & Human Resources Development, 2005”