

마사토, 황토를 골재로 이용한 시멘트계 고화재의 물리적 특성 평가

Evaluation on the Physical Characteristics of Cement-Type Solidification using Weathered Granite & Yellow Soil as an Aggregate

김 특 준^{*} 김 인 섭^{*} 이 종 규^{**} 추 용 식^{**} 김 병 익^{***} 김 남 호^{****}
Kim, Teuk Jun Kim, In Seob Lee, Jong Gyu Chu, Yong Sik Kim, Byung Ik Kim, Nam Ho

ABSTRACT

This study explored physical properties of a hardened cement and a concrete specimen using a high performance cement type solidification consisting of a weathered granite soil and a yellow soil mainly. Also the development of high performance cement type solidification was purposed for an intensity improvement and a long-term durability. As the experimental results, a mortar used by the weathered granite soil shows positive result, however using the yellow soil as a mortar shows less positive result at the compressive strength. Also the dynamic modulus of elasticity measurement result, the concrete specimens used by the weathered granite and the yellow soil reached above 90%, so it seems to have the durability of freezing and thawing.

1. 서론

최근 환경과 관련되어 건축 부산물에 의한 폐재료 재활용문제가 대두되고 있다. 그 중 건설잔토의 대부분은 매립되고 있어 환경문제가 되고 있으며 아직 재활용에 의한 부가 가치는 적은 상황이다. 건설잔토 중 마사토는 흔하게 접할 수 있는 흙으로, 이를 주성분으로 하는 고기능성 고화재를 사용하여 건설현장에서 직접 고화시킴으로써, 강도의 확보, 사토로 인한 환경문제해결, 치환토 부족문제해결, 중소규모공사에서의 경제성확보 등을 할 수 있는 장점이 있다^{1~5)}. 그로 인해 그 활용가치는 점점 커질 것이라고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 가장 쉽게 구입할 수 있는 마사토를 주성분으로 하는 건설잔토를 고기능성 시멘트계 고화재를 사용하여 안정·고화시키는 기술을 개발하고, 고화재의 물성을 명확히 함으로써 대량으로 배출되는 건설잔토의 유효이용범위를 확대하는 것을 선결과제로 하였다.

모래등의 세골재를 일체 사용하지 않고, 어떤 전처리 공정을 거치지 않고 현장에서 발생하는 그대로의 흙만을 주원료로 하며, 결합재로서 고성능 고화재와 혼합하여 고화체를 성형하였을때의 각종물성과

* 정회원, 요업기술원 세라믹·건재부 연구원

** 정회원, 요업기술원 세라믹·건재부 선임연구원

*** 정회원, 요업기술원 기획관리실 실장

*****(주) 지오시스

장기내구성을 검토하여 최적의 고화재, 최적의 배합비를 선정하여 하천생태환경제품(생태블럭)과 흙포장 등 환경친화형 고화제품의 생산기술을 개발하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험

2.1 실험계획

배합조건에 따른 개량효과의 특성을 규명하기 위해 시멘트계 분말고화재(S, SC, C)와 액상고화재(L1, L2) 그리고 마사토와 황토를 혼합하여 모르타르 및 콘크리트 공시체의 특성(압축·휨·인장강도, pH, 흡수율, 길이변화율, flow경시변화, 원적외선방사율, 열전도성등)에 대한 실험을 하여 고화재를 이용한 혼합처리방법에 대한 개발과 특성을 제시하고자 한다. 모르타르 경시체와 콘크리트공시체의 성분을 알아보기 위해서는 XRD를 사용하여 분석하였다.

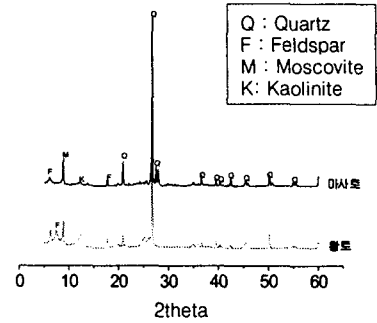


Fig. 1 마사토와 황토의 XRD 분석

2.2 사용재료

2.2.1 마사토, 황토 : 경마사토와 황토는 경기도 광주군에서 채취한 것으로 마사토의 함수비는 5%, 황토의 함수비는 9%인 것으로 함량은 틀리나 거의 같은 성분(quartz(SiO_2), feldspar($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), muscovite(흑운모: $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), kaolinite(점토광물: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$))이었으며, 건조기에서 24시간 건조하여 사용하였다.

2.2.2 고화재(Geo-Ton)

슬래그, 슬래그 시멘트, 석고, 그리고 CSA계를 일정 비율로 혼합하여 S, SC, C로 나누어 실험하였다. SL는 Slag Powder첨가, SCL는 Slag Cement첨가, CL는 CSA계첨가, CL2는 S와 함께 L1 대신 L2를 사용한 혼합이다.

2.2.3 첨가재

AE 감수재로 L1은 국내 C사에서 제조되는 폴리 카르본산계를 사용, L2는 일본에서 생산되는 폴리카르본산계를 사용하였다.

Table 1 마사토와 황토의 화학성분 분석

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O ₃	SO ₃	Ig.loss
마사토	68.3	16.1	0.44	0.99	3.92	4.45	1.52	0.16	3.53
황토	59.9	18.9	0.06	1.48	7.99	2.49	0.26	0.02	8.08

Table 2 Geo-Tone의 성분분석

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O ₃	SO ₃	Ig.loss
S*	23.2	8.50	51.7	2.67	1.81	0.78	0.61	9.66	0.44
SC**	25.9	9.60	53.1	2.97	2.07	0.79	0.72	3.76	0.15
C***	5.75	37.6	41.7	1.55	1.92	0.15	0.16	9.38	0.10

*S : Slag Powder, **SC : Slag Cement, ***C : CSA계

2.3 실험방법

모든 실험 및 제작은 KS규격에 의해 실행하였으며, 시편은 팽창재를 혼합한 분말 고화재(S, SC, C)와 마사토 및 황토, 모래 등을 혼합하고 액상 고화재(L1, L2)를 분말고화재량의 8% 혼입시켜서 사용하였고 고화재 사용량을 두 경우로 다르게 사용하여 제작하였다. 모르타르는 시편은 flow 180±10mm, 콘크리트 시편은 slump 10±1cm로 하여 만들었다.

Table 3 Geo-tone 모르타르 공시체 배합표

종류	단위량(kg/m ³)				증류수	혼화재(L1)	Flow
	사용량	마사토	황토	모래			
R	760			1862	368		180
G	760		1862		795		190
L	760	1862			565		182
SL1-25	250	1237			630	20	180
SL1-45	450	1047			449	36	175
SL1-45Y	450		1047		815	36	179
SCL25	250	1237			520	20	175
SCL45	450	1047			443	36	174
CL25	250	1237			495	20	177
CL45	450	1047			421	36	181
SL2-25	250	1237			540	(L2)20	180.5
SL2-45	450	1047			366	(L2)36	189

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축강도, 휨강도

재령이 경과함에 따라 강도는 증진되었고 분말고화재 사용량이 많을수록, 또 고화재종류에 따라 CSA계 팽창재 > 슬래그시멘트 > 슬래그 순으로 압축강도 및 휨강도 값이 크게 나타났다. 액상고화재 L1을 첨가한 경우 L2를 사용한 경우보다 강도발현에 영향을 주는 것으로 판단된다.

Table 4 Geo-Ton 콘크리트공시체 배합표

고화재	사용량	마사토	황토	모래	굵은골재	혼화재(L1)	slump
S	SL1-Y	450		1047		36	9
	SL1-GF	250	619		619	20	9.5
	SL1-GFC	250	619		619	20	9.5
	SL1-YFC	250		619	619	20	10
SC	SCL-G	450	1047			36	11
C	CL-G	450	1047			36	9
S	SL2-G	450	1047			(L2)36	11

3.2 flow 경시변화

마사토와 황토의 유동특성과 감수제에 의한 영향성을 규명하기 위해 Flow치의 경시변화를 Fig. 4에 나타내었다. flow 시험은 1분간 혼합, 1분 30초간 정치, 다시 1분간 재혼합하는 방법을 사용하였다. 이렇게 혼합되어진 모르타르를 Flow 시험기 20회 실시하여 중심을 지나는 대각선 4방향의 평균직경으로 그 결과를 표시하였다. 교반직후부터 2시간 동안 30분간격으로 측정전 3분 30초간 재교반을 시켜준 다음 경시변화를 측정하였다. 황토를 사용한 SL1-45Y가 작업성이 좋은 것으로 나왔다. SL1-45Y의 경우는 120분에서 66.58%로 유동성이 좋은 편이다. 그리고 마사토를 사용한 경우는 90분정도에 70%이상을 유지하고 있었다.

Y : Yellow Soil, G : Granite Soils(마사토)

F : Fine aggregate(잔골재), C : Coarse aggregate(굵은골재)

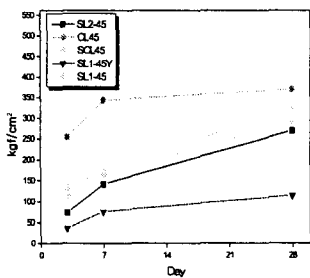


Fig.2 재령에 따른 압축강도

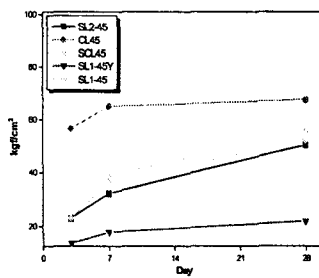


Fig.3 재령에 따른 휨강도

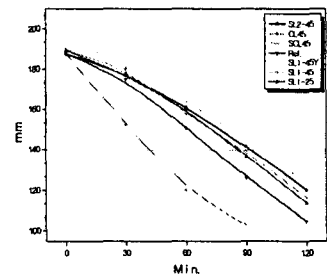


Fig.4 모르타르의 Flow 변화

3.2 동결융해

배합조성에 따른 장기 내구성을 파악하기 위해 동결융해 시험을 행하였으며 90cycle 까지의 결과를 동결융해 지수로 나타내고 있다. 각자 차이는 있지만 90cycle 까지는 전 조성에서 96%~94%정도로 동결융해 저항성이 높게 나타나고 있다.

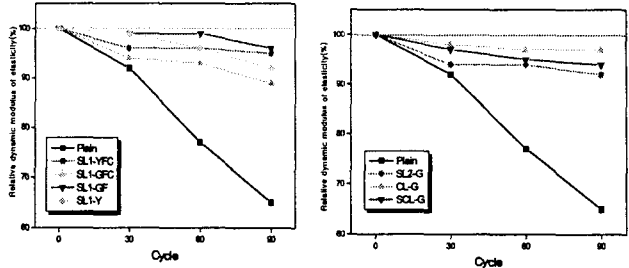


Fig. 5 Geo-Tone(Mortar)의 길이변화 시험

3.3 길이변화

CSA계가 혼합된 분말고화재(CL)와 슬레그시멘트가 혼합된(SC)는 Ref.와 비슷한 길이변화를 나타내고 있으며 슬래그와 석고를 혼합한 SL1 및 SL2의 시편에서는 수증양생한 7일까지 급격한 팽창을 하였다가 습윤양생을 한 이후부터는 급격한 수축을 하고 있다. 이는 무수석고가 수화반응을 하면서 ettringite 가 생성되어 급격한 팽창을 하면서 공극의 증가로 물의 침입이 커지면서 팽창을 하고 있지만 7일 이후부터는 습윤양생을 하면서 수분유출 및 증발이 커지면서 급격한 수축을 한 것으로 판단 되어 진다^{6, 7)}.

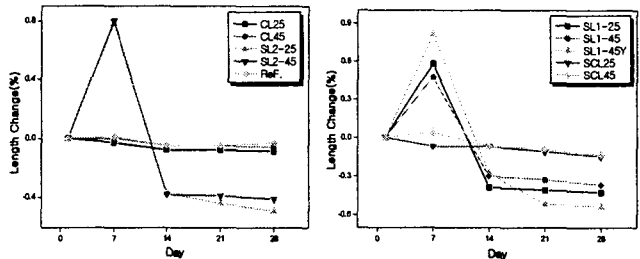


Fig. 6 Geo-Tone(Concrete) 동결융해의 동탄성계수

3.4 흡수율

분말고화재의 함량의 증가에 따라 흡수율이 감소하게 되나 마사토를 골재로 사용하였을 경우 전체적으로 약 11~15%의 흡수율을 나타내었다.

3.5 방사율, 열전도도

열전도도: 이 실험으로 황토의 뛰어난 단열효과를 알수 있었으며 마사토와 고화재의 혼합이 시멘트와 모래의 혼합보다 단열성능이 좋다는 것을 알수 있다. 이는 동결융해실험의 결과와 어느 정도 보완 되는 점이라 여겨진다⁸⁾. 또한 방사율의 경우 모래를 골재로 사용한 것보다 마사토나 황토로 골재를 사용시에 크게 나타나고 있었다.

Table 5 방사율 및 열전도도

구분	방사율	방사에너지 (W/m ² ·μm)	열전도도(W/m·K)
시멘트:모래 = 1:2.5	90.2	412	1.5632
고화재:마사토 = 1:2.5	91.5	424	1.4236
고화재:황토 = 1:2.5	91.6	426	0.8945

Table 6 흡수율

구분	흡수율(%)
고화재 : 마사토 1 : 5	15.23
고화재 : 마사토 1 : 2.5	12.45
고화재 : 황토 1 : 2.5	24.56

3.6 XRD

재령 28일 시편을 수화 정지 후 측정한 XRD 그림이다. Series II 와 마찬가지로 마사토와 황토의 주 광물인 quartz, feldspar, muscovite, kaolinite가 나타났고 화생성물로는 C-S-H, Ca(OH)₂, ettringite의 물이 있었다. kaolinite와 ettringite, muscovite와 Ca(OH)₂가 겹치는 peak등이 관찰되었다. CL의 경우 다른 시편들에 비해 Ca(OH)₂ intensity가 높게 나타나면서 강도 발현에 영향을 미쳤을 것이라고 판단된다.

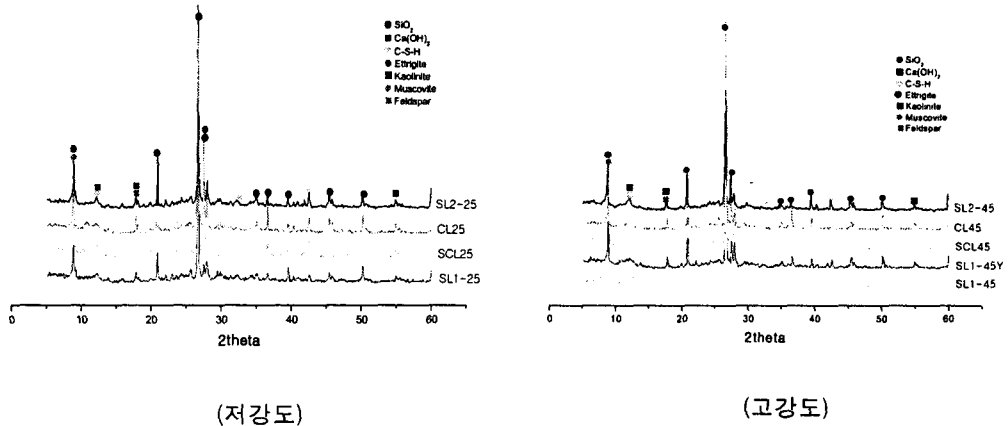


Fig. 7 Geo-Tone의 XRD Peak

4. 결론

1. 잔골재를 모래, 마사토, 황토로서 사용했을때 모래>마사토>황토의 순으로 강도가 나왔으며 이는 W/C비가 커지면서 조직의 공극에 따른 강도 저하이다. 전반적으로 황토 보다 마사토가 열전도도제외하곤 특성이 좋게 나타났다.
2. Geo-Tone의 XRD 성분 분석결과, 마사토와 황토의 주 광물인 quartz, feldspar, muscovite, kaolinite가 나타났고 수화생성물로는 C-S-H, Ca(OH)₂가 겹치는 peak등이 관찰되었다.
3. Geo-Tone의 SEM 관찰에서 고화재량이 많은 시편은 보통 포틀랜드시편과 큰 차이가 없었고 또한 ettringite의 생성을 확인 할 수 있었다

그러나 분말고화재량이 작은 모르타르의 SEM 사진에서는 조직이 치밀하지 않고 기공들이 많음을 확인 할 수 있었다.

4. 압축강도와 휨강도에서 재령이 경과함에 따라 강도는 증진되었고 분말고화재 사용량이 많을수록 압축과 휨강도가 크게 나타났다. CSA계 팽창재를 사용한 CL45가 거의 모든면에서 가장 좋은 결과를 나타내고 있으나 고강도에서 상대적인 강도가 감소하고 있었다.

팽창 성분인 ettringite의 생성으로 팽창을 더욱 크게 하여 팽창재 혼입 증가에 따라 강도 저하 요인으로 작용하기 때문이다.

5. 마사토를 첨가한 공시체의 동결융해 지수는 90cycle 까지 90%정도로 동결융해 저항성이 높게 나타났으며 흡수율은 조성에 따라 11~15% 정도로 나타났다. 일반 시멘트 모르타르보다 마사토를 골재로 사용한 시료에서 원격외선 방사율이 높게 나타났으며, 열전도율은 낮아 단열 성능이 우수하였다.

참고문헌

1. D.T.Bergado et al, "Soft Ground Improvement in Lowland and other environments," ASCE press, 1996, pp1~9, pp234~304.
2. 下田正雄, "石灰安定處理工法," 鹿島出版會, 1983, pp 12~38.
3. 대한주택공사, "고화안정처리에 의한 지반개량 공법 연구," 1989.
4. 농어촌진흥공사, "농촌도로와 연약지반처리를 위한 토양고화재 시험시공 보고서," 1987.
5. 공길용, "시멘트계 고화재를 이용한 농로의 보조기층 안정처리 공법 연구," 박사학위논문, 1997.
6. 한천구, 반호영, 전병채, 신연구 " 팽창재 혼입량 변화에 따른 콘크리트 성질에 관한 연구," 대한건축학회 논문집, v.14, n.1 p.377~382 1998.
7. 한천구, 반호영, 전병채, 홍상희 "CSA계 팽창재 및 무기질 혼화재를 이용한 고성능 콘크리트의 특성에 관한 연구," 콘크리트학회 논문집 Vol. 11 No. 1 p. 141~147, 1999.
8. A. Rosett, C Chiohio and A. E. Paoliui, "Expansive Properties of the Mixture C4ASH-2Cs part I, A Hypothesis on Expansion Mechanism," Cement and Concrete Research 13, pp. 577~585, 1982.