

Soilcrete의 포장재로서의 적용성에 관한 연구

A Study on Application of Soilcrete as Pavement Materials

천병식¹⁾, Byung-Sik Chun, 김진춘²⁾, Jin-Choon Kim, 최현석³⁾, Hyun-Seok Choi, 하상욱⁴⁾, Sang-Wook Ha

¹⁾ 한양대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, HanYang Univ.

²⁾ 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 선임연구원, Senior Researcher in Concrete Research Team,
Ssang Yong Research Center

³⁾ 한양대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, HanYang Univ.

⁴⁾ 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 연구원, Researcher in Concrete Research Team,
Ssang Yong Research Center

SYNOPSIS : Nowadays, as the traffic volume is higher, the more pavement are expanded and constructed. In Korea, the most of the pavement system were covered with an asphaltic concrete or portland cement concrete, so it need the new system of pavement to protect the natural environments. The objectives of this study are to investigate properties and applications of soilcrete using FGC soil stabilizer and then to evaluate the benefits to be gained by soilcrete pavement, when a pavement system of existing are replaced by soilcrete. for example, environmental advantages, cost savings, ultimately.

Key words : FGC soil stabilizer, soilcrete pavement

1. 서 론

국내 자동차의 보급이 날로 증대되고 이로인한 생활환경의 확대로 교통량이 급속도로 증가하고 있는 실정이므로 이러한 시대적요구를 만족시키기 위하여 생활주변 곳곳에서 이용이 편리한 도로의 확충 및 포장에 시급하다.

한편 기존의 국내 도로의 대부분을 차지하고 있는 아스팔트 또는 콘크리트포장의 경우는 재료들의 외관 뿐만아니라 흙의 성질을 변화시켜 도시경관이 사막화되는 문제점들을 내포하고 있으므로 이로 인하여 환경보전과 경관향상을 전제로 하는 도시 및 지역개발은 지극히 당연하게 받아들여지고 있다.

이러한 시점에서 재료적인 전환을 통한 새로운개념의 포장재로서 soilcrete포장을 들 수가 있다. soilcrete포장이란 앞서 언급했던 포장들이 유발하는 제반적인 문제점을 보완하고 현지의 흙을 이용함으로써 공사비절감 및 자연경관과의 조화를 도모한 정도로 포장이라 할 수 있으며 아울러 자연상태의 흙에 시멘트계 고화재를 첨가하여 일반포장용 콘크리트에 준하는 중·저강도로부터 구조물용도의 고강도까지 발현가능한 포장시스템이다.(PCA, 1992)

본 연구에서는 국내 토질 및 여러 가지 시공방법 등을 감안하여 최적의 성능을 발휘할 수 있는 soilcrete을 생산하기 위한 연구의 일환으로서 soilcrete의 경화제로 보통포틀랜드 시멘트 대신에 FGC고화재를 사용하였고 특히 현장성을 고려하여 두 종류의 시료토를 선정하였으며 현장 시공의 다양성을 감안하여 상호실험을 수행하므로써 소요 작업성 및 내구성을 충족시킬 수 있는 최적의 배합비를 통계적 분석을 통하여 도출하였고 이를 토대로 soilcrete를 제조하여 도로포장에 직접 적용하기 위한 기초자료로 삼고자 검토하였다.(ASTM, 1995)

2. 실험 개요

2.1. 사용재료

도로포장이 이루어질 국내 내륙지역의 대부분은 토질이 마사토 또는 황토가 주류를 이루고 있으므로 본 연구에서는 마사토와 황토를 경화처리 대상재료로 선정하였으며, 경화제는 시멘트, 석고, 포졸란재료가 최적비율로 조합된 FGC고화제를 사용하였다.

황토를 배합토로 사용한 경우에는 고화제와의 혼합을 용이하게 하기 위하여 주문진 표준사와 유동화제를 단계별로 사용하였다. 표 1에 각 재료들의 화학 및 물리적 특성을 정리하여 나타내었다.

표 1. 사용재료의 화학 및 물리적 특성

사용재료	화학 및 물리적 특성																	
FGC 고화제	비중 3.02, 비표면적 6,980cm ² /g인 FGC고화제를 연구용 분쇄기와 혼합기에서 제조하여 사용하였다.																	
	화학성분	SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		CaO		MgO		Na ₂ O		K ₂ O		SO ₃	Ig.loss	
		22.7		9.3		1.6		50.4		4.1		0.6		0.5		9.2	1.5	
입도 (μ m)	체크기	1	2	3	4	6	8	10	12	16	20	24	30	40	60	80	100	평균입경
	잔류량	11	18	26	33	44	51	56	60	67	73	77	83	89	95	97	100	7.7
배합토	수원근교에서 채취한 마사토와 황토를 배합토로 사용하였다.																	
	화학 성분	항목	SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		CaO		MgO		Na ₂ O		K ₂ O		SO ₃	Ig.loss
		마사토	66.6		18.1		2.5		0.4		0.4		0.3		4.8		-	5.5
		황토	61.1		18.9		6.5		0.1		0.8		0.2		3.6		-	8.1
	물리 특성	항목	No.4(%)		No.200(%)		D ₆₀ (mm)		D ₃₀ (mm)		D ₁₀ (mm)		Cu		Cc		비중	통일분류
마사토		94.4		3.6		1.8		0.8		0.2		9.0		1.6		2.62	SW	
	황토	94.9		2.9		0.8		0.2		0.09		9.0		0.6		2.43	SP-SM	
유동화제	주성분이 리그닌 설펜산염이며, 비중 1.150±0.01인 유동화제를 사용하였다.																	

2.2. 실험 방법

(1) soilcrete 제조

FGC고화제, 배합토 및 혼합수를 모르타 믹서기에 투입하여 각각 30초간 저속 및 고속으로 혼합하고 90초간 방치시킨 뒤 다시 고속으로 60초간 혼합하였으며 황토의 경우는 KS표준다짐, 마사토의 경우에는 타격다짐을 하여 제조한 시편을 습기함에서 소정의 재령에 따라 양생하였다.

(2) 플로우 및 일축압축강도측정

황토를 배합토로 사용한 soilcrete의 유동성을 측정하기 위하여 슬럼프콘(밑 지름:9cm, 높이:7cm)에 제조된 soilcrete를 채우고 다짐을 한 뒤 슬럼프콘을 들어올려 윗면에서의 낙하높이를 측정하였고 50×50×50mm의 시험체를 제작하여 재령 3, 7, 28일의 일축압축강도를 측정하였다.

(3) 전자현미경 측정

초기 수화반응에서 생성되는 수화물의 성상을 관찰하기 위하여 재령 3일에서 시편의 조직을 채취하여 전자현미경의 배율을 10,000배로 하여 측정하였다.

2.3. 실험 계획

일반적으로 실험인자가 2개이상되고 실험수준이 3수준이상 세부화 되는 경우 실험의 경우의 수가 많아지기 때문에 동시에 실험할 수가 없게된다. 따라서 시간적인 경시변화에 의한 실험여러가 커지게 된다. 이와같은 시간적 경시변화 에러를 줄이고 일시에 시험을 할 수 있는 계획으로 통계적인 계획이 공학에서 많이 적용되고 있다.

본 실험에서는 일부실시험의 대표적인 실험계획법인 중심합성계획법을 적용하였으며, 실험결과는 2차 다항 중회귀에 의한 반응표면분석을 실시하여 도해적인 방법으로 결과를 도출하였다. 한편, 2인자(K=2),

5수준인 중심합성계획법(Central Composite Design)의 실험모델과 배합계획은 각각 그림1 및 표 2와 같다.

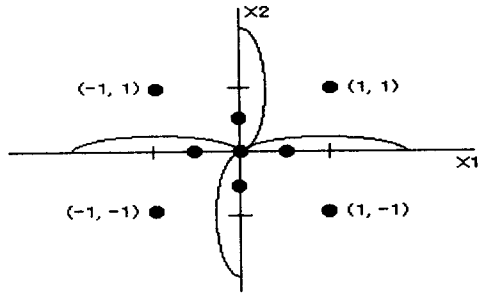


그림 1. K=2인 경우의 중심합성계획

표 2. 실험배합별 측정기준

실험 No	1	2	3	4	5
측점	2 ² 요인점	2 ² 요인점	2 ² 요인점	2 ² 요인점	중심점
좌표값	(-1, -1)	(-1, 1)	(1, -1)	(1, 1)	(0, 0)
실험 No	6	7	8	9	10
측점	중심점	측점	측점	측점	측점
좌표값	(0, 0)	(-0.5, 0)	(0.5, 0)	(0, -0.5)	(0, 0.5)

2.4 실험 배합 및 결과

마사토를 배합토로 한 경우에는 함수비와 고화재량을 배합인자로 하여 함수비를 10~30%, 단위 고화재의 양을 200~600kg/m³으로 각각 5단계로 변화시켜 총 10배합을 정하였고 황토의 경우는 잔골재 혼합량, 유동화재 첨가량 및 고화재 첨가량을 배합인자로 하여 각각을 0.5~1.5(비), 0.5~1.5(C×%) 및 200~400kg/m³으로 역시 5단계로 변화시켜 총 16배합을 정하였으며 이 배합들에 따른 실험결과를 정리한 것이 표 3과 4이다.

표 3. 마사토 적용시의 배합 및 결과

실험 No.	함수율		고화재량		일축압축강도 (kg/cm ²)		
	X ₁	%	X ₂	kg/m ³	3일	7일	28일
1	-1	10	-1	200	17	28	41
2	-1	10	1	600	29	39	93
3	1	30	-1	200	43	56	76
4	1	30	1	600	206	227	236
5	0	20	0	400	156	193	240
6	0	20	0	400	159	186	249
7	-0.5	15	0	400	81	113	145
8	0.5	25	0	400	151	185	217
9	0	20	-0.5	300	125	162	198
10	0	20	0.5	500	190	242	290
Ref.	0	20	0	400	91	134	197

표 4. 황토 적용시의 배합 및 결과

실험 No.	잔골재		유동화재		고화재		슬럼프 (cm)	일축압축강도 (kg/cm ²)		
	X ₁	비	X ₂	C×%	X ₃	kg/m ³		3일	7일	28일
1	-1	0.5	-1	0.5	-1	200	2.0	31	54	80
2	-1	0.5	-1	0.5	1	400	1.2	68	126	188
3	-1	0.5	1	1.5	-1	200	3.7	28	57	78
4	-1	0.5	1	1.5	1	400	1.5	66	151	215
5	1	1.5	-1	0.5	-1	200	4.4	23	51	82
6	1	1.5	-1	0.5	1	400	3.3	71	154	213
7	1	1.5	1	1.5	-1	200	4.8	19	44	85
8	1	1.5	1	1.5	1	400	3.8	66	158	197
9	0	1	0	1.0	0	300	3.5	30	71	109
10	0	1	0	1.0	0	300	4.5	32	81	117
11	-0.5	0.75	0	1.0	0	300	2.5	47	100	138
12	0.5	1.25	0	1.0	0	300	3.5	41	111	142
13	0	1	-0.5	0.75	0	300	2.0	41	97	135
14	0	1	0.5	1.25	0	300	1.7	44	99	146
15	0	1	0	1.0	-0.5	250	2.1	33	71	95
16	0	1	0	1.0	0.5	350	1.8	43	123	159

3. 실험 결과에 대한 고찰

3.1 Soilcrete의 재령에 따른 수화조직

Soilcrete의 초기 수화반응에 따른 조직형성을 조사하기 위하여 재령 3일에서의 FGC고화재 및 보통시멘트를 사용한 경우의 전자현미경 사진을 10,000배로 확대하여 아래의 그림 3과 4에 나타내었다. 일반적으로 그림 2와 같이 토립자의 경우 입자표면에 다량의 유기물을 함유하고 있으므로 시멘트입자와 쉽게 결합되지 않으나 수화반응이 진행되면서 토립자간의 정전기적 인력에 의해 상호 결합이 되며 아울러 FGC고

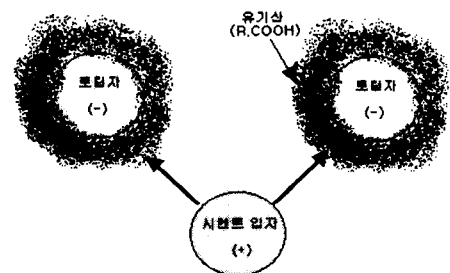


그림 2. soilcrete와 토립자간 반응

화재의 경우 초기수화반응이 활발히 이루어져 다량의 에트린자이트를 생성함으로써 토립자와 시멘트입자간의 공극을 밀실하게 채워주는 역할을 한다. 아래의 그림에서도 FGC고화재를 사용한 경우, 보통시멘트의 경우보다 많은 양의 침상구조(에트린자이트)를 발견할 수 있었다.

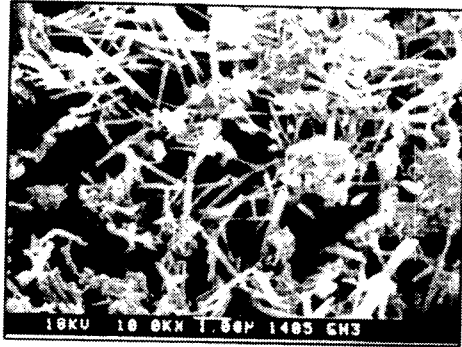


그림 3. FGC고화재를 사용한 soilcrete

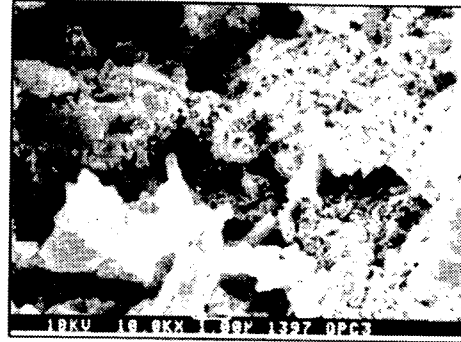


그림 4. 보통시멘트를 사용한 soilcrete

3.2 마사토를 이용한 soilcrete 제조

도로표층 처리용으로서의 Soilcrete제조에 FGC고화재를 적용하기 위하여 마사토를 배합토로 하여 10 배합을 정하였고 FGC고화재 대신에 시멘트를 사용하여 측정결과들을 비교하였다.

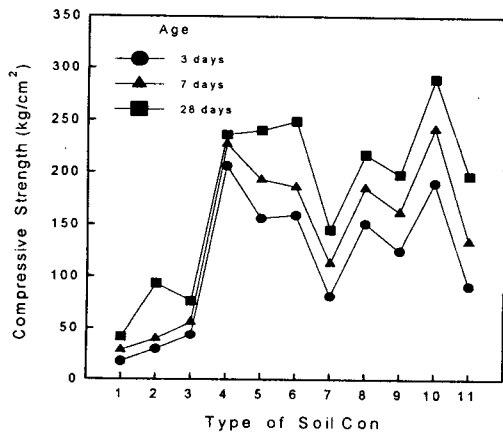


그림 5. 배합별 재령에 따른 일축압축강도

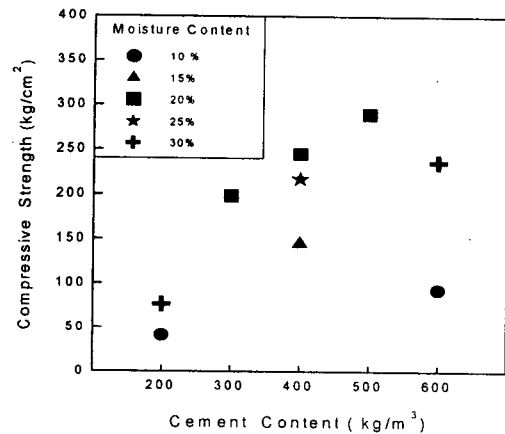


그림 6. 배합인자에 따른 일축압축강도

각 배합에 있어서의 재령 28일까지의 일축압축강도를 비교 정리한 것이 그림 5로서 배합에 따라 강도발현의 차이가 다소 상이하게 나타났으나 재령의 증가에 따라서는 배합에 상관없이 비례 증가함을 알 수 있었으며 아울러 1, 2, 3 및 7번 배합을 제외하면 대부분이 보통 시멘트를 사용한 경우보다 높은 강도발현을 나타냄을 알 수 있었다. 한편 강도가 상대적으로 적은 이들 배합들은 단위 고화재의 양이 낮고 함수비에 의해서도 영향을 받는 것으로 고찰되므로 재령 28일의 일축압축강도를 단위 고화재의 양과 함수비와의 관계로 나타낸 것이 그림 6으로서 강도발현은 동일 함수비의 범위에서 고화재의 양에 비례 증가하며 아울러 강도발현에 적정 함수비가 존재함을 알 수 있었다. 한편 재령 7, 28일의 일축압축강도 결과를 반응표면분석도로 나타낸 것이 그림 7과 8이다. 재령에 상관없이 배합범위 중 함수율은 약 20%, 그리고 단위고화재량은 사용량이 증가할수록 일축압축강도는 비례 증가함을 알 수 있었다. 재령 7일의 경우 함수율이 20~25%에서 단위고화재량이 400kg/m³이상이면 일축압축강도가 약 180kg/cm²이상임을 알 수 있었고 단위고화재량이 550kg/m³이상일 경우에는 250~300kg/cm²의 높은 일축압축강도를 보였다. 그리고 재령 28일의 경우에서도 강도발현의 범위가 재령 7일에서의 결과보다 약 50kg/cm²정도 비례 증가하는 것 이외에는 동일한 반응표면 분석을 나타내었으며 한편 함수비가 15~27%범위내에서는 고화재의 양에 상관없이 재령 7일과 28일에서 각각 120, 160kg/cm²이상의 강도발현을 보여 다짐만 충분히 이

루어진다면 도로포장용으로서의 소요 강도발현에 큰 어려움은 없으리라 예상된다.

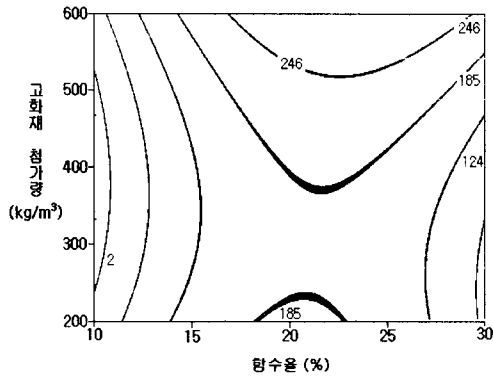


그림 7. 재령 7일의 일축압축강도

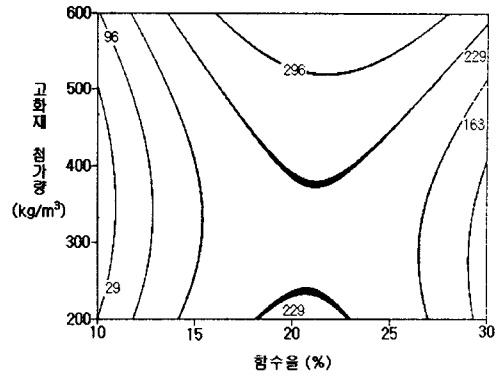


그림 8. 재령 28일의 일축압축강도

3.3 황토를 이용한 soilcrete 제조

배합토로서 황토를 적용한 경우, 굳지않은 상태의 슬럼프를 측정하여 정리한 것이 그림 9로서 슬럼프의 값이 3cm 이상인 경우를 고찰해 볼 때 유동화제의 첨가에 따른 유동성증가는 찾아보기가 힘들었으나 잔골재의 혼합율이 증가함에 따라 슬럼프값도 크게 증가함을 알 수 있었다. 그 원인으로서는 전반적으로 고화재량이 적기 때문에 유동화제의 입자 분산작용이 충분히 이루어지지 못했으며 잔골재가 황토입자사이로 혼입되면서 황토의 점성을 낮췄기 때문이라 사료된다.

한편 재령 28일까지의 일축압축강도를 나타낸 것이 그림 10인 데 배합별로 비교해 볼 때 배합간 강도의 편차가 크게 나타남을 알 수 있으나 이것은 배합인자 중 단위 고화재의 함량에 비례 증감함을 알 수 있으므로 앞선 마사토의 경우와도 잘 일치되는 결과라 할 수 있겠다.

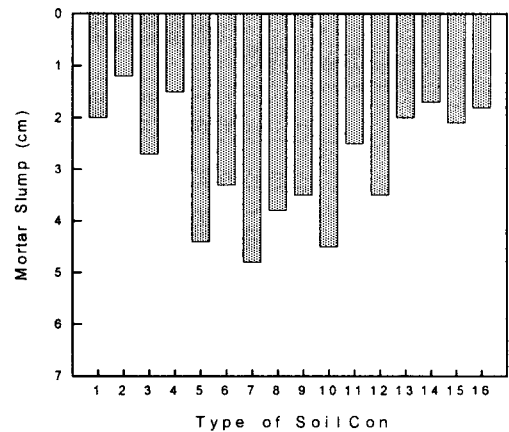


그림 9. 배합별 모르터 슬럼프값

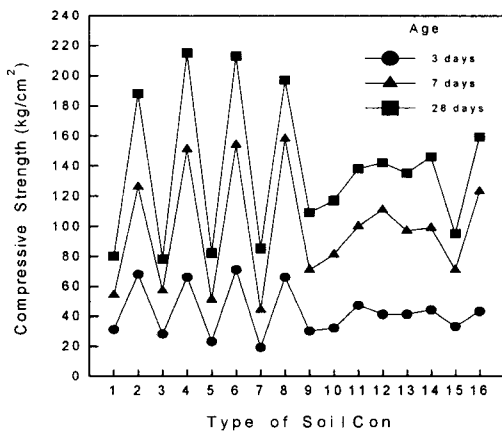


그림 10. 배합별 재령에 따른 일축압축강도

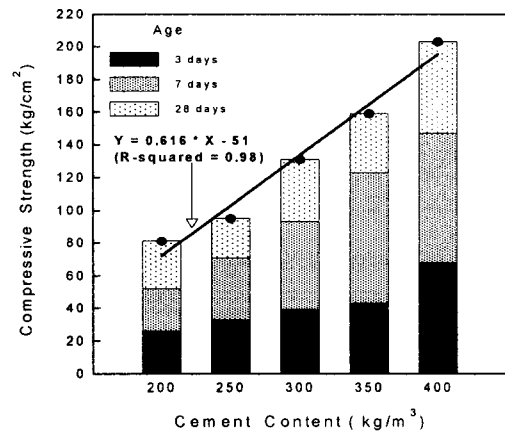


그림 11. 단위 고화재량별 일축압축강도

그래서 이번에는 재령에 따른 단위 고화재량과 일축압축강도와와의 관계를 그림 11에 나타내었으며 이 그림에서 각 재령에 상관없이 단위 고화재의 양의 증가에 따라 거의 직선적으로 일축압축강도가 비례 증가함을 알 수 있었고 재령 28일에서는 이들 사이에서(일축압축강도=0.616×단위 고화재량-51)이라는 좋은 상관관계를 보였으며 단위 고화재의 함량이 400kg/m³인 경우에는 200kg/cm²이상의 높은 일축압축강도를 보여 다짐이 아닌 포설의 형태로도 충분히 현장 적용이 가능함을 알 수 있었다.

한편 이러한 결과들을 반응표면분석으로도 검토하였으며 우선 그림 12는 유동성을 슬럼프값으로 나타

낸 것으로서 이 그림에서 유동화제의 첨가에 따른 유동성의 변화는 1%를 기준으로 하여 상반된 결과를 나타내었으나 전체적인 경향성은 찾아보기가 힘들었고 잔골재율의 혼합량에 따른 슬럼프값은 그 결과가 확연하여 혼합비가 0.75~1.00일 경우에서 6cm이상의 높은 슬럼프값을 나타내었다. 그리고 이번에는 재령 7, 28일에서의 일축압축강도를 잔골재의 혼합 및 고화재의 첨가량을 변수로 하여 나타낸 것이 그림 13과 14로서 일축압축강도는 잔골재의 혼합량에 따른 영향보다는 고화재의 첨가량에 민감하게 반응하고 있음을 알 수 있으며 예로서 재령 7일에서 고화재의 첨가량이 300kg/m^3 인 경우는 $90\sim 105\text{kg/cm}^2$, 400kg/m^3 인 경우에는 $125\sim 145\text{kg/cm}^2$ 정도의 일축압축강도 범위를 나타냄으로써 고화재의 양이 증가함에 따라 일축압축강도도 비례증가함을 알 수 있었다. 재령 28일에서의 일축압축강도는 재령 7일에 비하여 각각 40kg/cm^2 이상 증가한 것으로서 재령 28일에서도 고화재량별로 균일하게 증가하고 있음을 알 수 있었다.

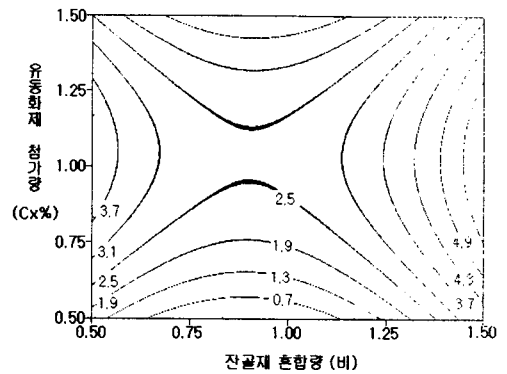


그림 12. 모르터의 슬럼프값

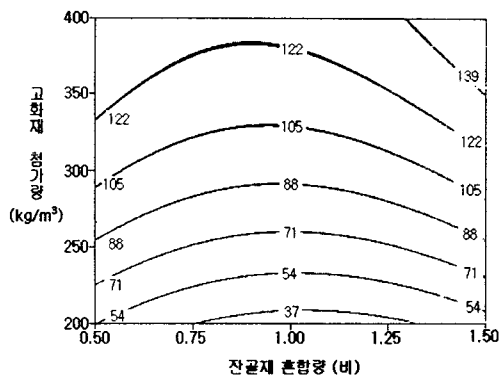


그림 13. 재령 7일의 일축압축강도

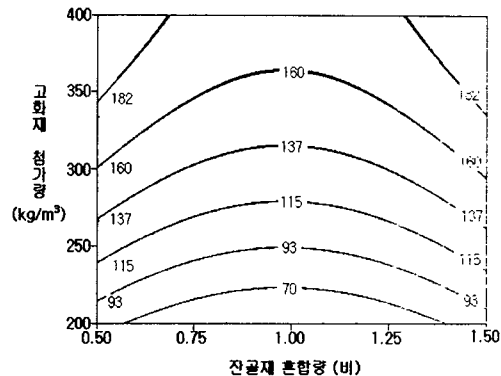


그림 14. 재령 28일의 일축압축강도

4. 결 론

- (1) FGC고화재 사용한 soilcrete의 초기수화반응에 따른 조직형성을 전자현미경을 통하여 보통시멘트와 비교해 본 결과, FGC고화재의 경우에서 수화반응이 활발하였음을 알 수 있었다.
- (2) FGC고화재를 마사토에 혼합 사용한 경우, 재령별 일축압축강도는 단위고화재의 양에 비례 증가하였으며 아울러 함수비 약 20%에서 가장 큰 값을 보여 다짐에 따른 영향도 크다는 것을 알 수 있었다.
- (3) FGC고화재를 황토에 혼합 사용한 경우, 굳지않은 상태의 유동성은 유동화제의 영향보다는 잔골재의 혼합에 크게 좌우되었으며 단위고화재량과 일축압축강도사이에는 직선적인 증가형태를 보였다.

참고 문헌

1. PCA(1992), "Soil Cement Laboratory Handbook"
2. ASTM PS23(1995), "Provisional Standard Guide for Use of Coal Combustion Fly Ash in Structural Fills"

감사의 글

본 연구는 산업자원부 에너지자원기술개발지원센터의 사업비지원에 의하여 쌍용중앙연구소와 한양대학교 건설연구소 주관으로 수행되었으며, 이에 감사드리는 바입니다.