

# Soilcrete의 특성 및 적용에 관한 연구

## A Study on the Properties and Application of Soilcrete

천 병 식<sup>\*</sup> ○하 상 옥<sup>\*\*</sup> 노 갑 수<sup>\*\*\*</sup> 김 진 춘<sup>\*\*\*\*</sup> 김 태 진<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Chun Byung-Sik Ha, Sang-Wook Noh, Kab-Soo Kim, Jin-Choon Kim, Tae-Jin

---

### ABSTRACT

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.

---

### 1. 서 론

근년에 국내 자동차 보급증대 및 생활환경의 확대로 교통량이 급속도로 증가하고 있으며 이를 계기로 하여 생활주변 곳곳에서 이용이 편리한 도로의 확충 및 포장의 날로 증가하고 있는 실정이다.

한편 기존의 아스팔트 또는 콘크리트포장의 경우 토양 및 도시경관이 사막화되는 문제점들을 내포하고 있으므로 이로 인하여 환경보전과 경관향상을 전제로 하는 도시 및 지역개발은 지극히 당연하게 받아들여지고 있다. Soilcrete포장이란 이러한 포장들이 유발하는 제반적인 문제점을 보완하고 현지의 흙을 이용함으로써 공사비절감 및 자연경관과의 조화를 도모한 경도로 포장이라 할 수 있으며 아울러 자연상태의 흙에 시멘트계 고화제를 첨가하여 일반포장용 콘크리트에 준하는 중·저강도로부터 구조물용도의 고강도까지 발현가능한 특수콘크리트이다.

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 FGC 고화제를 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 Soilcrete을 제조하여 산책용 경도로 포장에 직접 사용하여 실현장에서의 적용성을 검토하였다.

---

\*한양대학교 토목공학과 교수

\*\*쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 연구원

\*\*\*쌍용중앙연구소 시멘트연구실 실장

\*\*\*\*쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 선임연구원

\*\*\*\*\*쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 주임연구원

## 2. 실험 개요

### 2.1. 사용재료

일반모르터의 잔골재를 마사토와 황토로 대체하고 경화제로서 FGC고화제를 사용하였으며 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 <sup>2</sup> /g인 FGC고화제를 연구용 분쇄기와 혼합기에서 제조하여 사용하였다.																	
	화학성분	SiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		CaO		MgO		Na <sub>2</sub> O		K <sub>2</sub> O		SO <sub>3</sub>	Ig.loss	
		22.7		9.3		1.6		50.4		4.1		0.6		0.5		9.2	1.5	
입도 ( $\mu$ 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	
배합토	수원근교에서 채취한 마사토와 황토를 배합토로 사용하였다.																	
	화학 성분	항목	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	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 <sub>60</sub> (mm)	D <sub>30</sub> (mm)	D <sub>10</sub> (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 설포산염이며, 비중 1.150±0.01인 유동화제를 사용하였다.																	

### 2.2. 실험 방법

#### (1) 모르터 제조

FGC고화제, 배합토 및 혼합수를 모르터 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 압축강도측정

황토를 배합토로 사용한 Soilcrete의 유동성을 측정하기 위하여 슬럼프콘(밀 지름:9cm, 높이:7cm)에 제조된 모르터를 채우고 다짐을 한 뒤 슬럼프콘을 들어올려 윗면에서의 낙하높이를 측정하였고 50×50×50mm의 시편체를 제작하여 재령 3, 7, 28일의 압축강도를 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 및 분석방법

#### (1) 중심합성계획법(Central Composite Design)

중심점과 축점을 2<sup>k</sup>(k=2 또는 k=3)요인실험에 추가시킨 실험계획법으로서, k=2인 경우 표 2와 그림 1에 측정기준 및 모식도를 나타내었다.

표 2. 실험배합별 측정기준

실험 No	1	2	3	4	5
측점	2° 요인점	2° 요인점	2° 요인점	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)

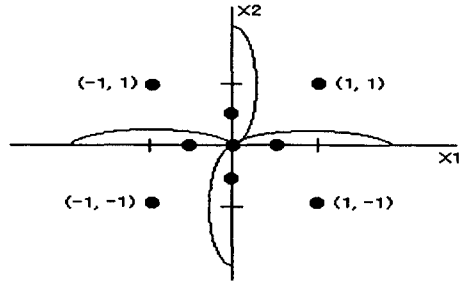


그림 1. K=2인 경우의 중심합성계획

(2) 반응표면분석(Response Surface Analysis)

여러 개의 설명변수가 복합적으로 작용을 함으로써 어떤 반응변수에 영향을 주고 있을 때, 이러한 반응의 변화가 이루는 반응표면에 대한 통계적인 분석방법

2.4 실험 배합 및 결과

마사토를 배합토로 한 경우에는 함수비와 고화재량을 배합인자로 하여 함수비를 10~30%, 단위 고화재의 양을 200~600kg/m<sup>3</sup>으로 각각 5단계 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/m<sup>3</sup>으로 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		압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )		
	X <sub>1</sub>	%	X <sub>2</sub>	kg/m <sup>3</sup>	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)	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )		
	X <sub>1</sub>	비	X <sub>2</sub>	C×%	X <sub>3</sub>	kg/m <sup>3</sup>		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 FGC고화재의 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.

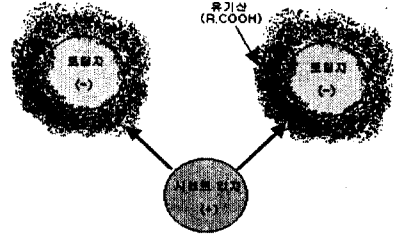


그림 2. Soilcrete와 토립자간 반응

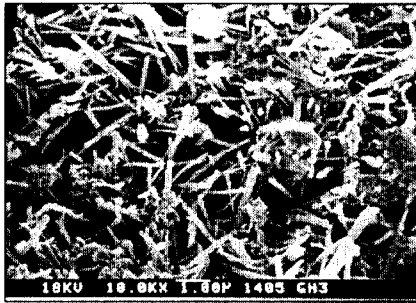


그림 3. FGC고화재를 사용한 Soilcrete

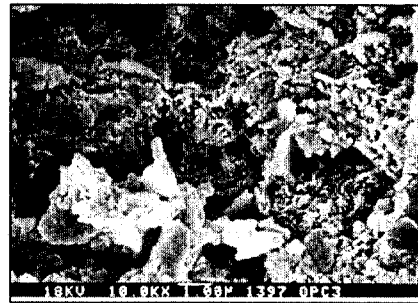


그림 4. 보통시멘트를 사용한 Soilcrete

#### 3.2 마사토를 이용한 Soilcrete 제조

마사토를 배합토로 하여 제조한 Soilcrete의 적용성을 검토하기 위하여 중심합성계획법에 의해 배합을 정하고 재령 7, 28일의 압축강도 결과를 반응표면분석도로 나타낸 것이 그림 5와 6이다.

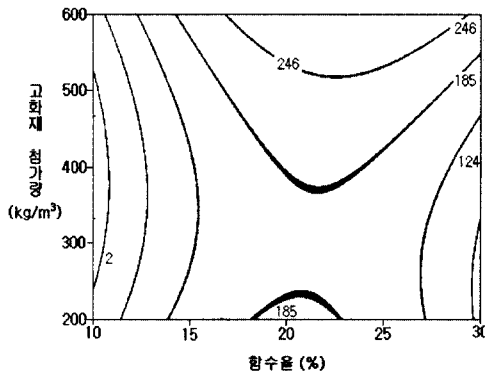


그림 5. 재령 7일의 압축강도

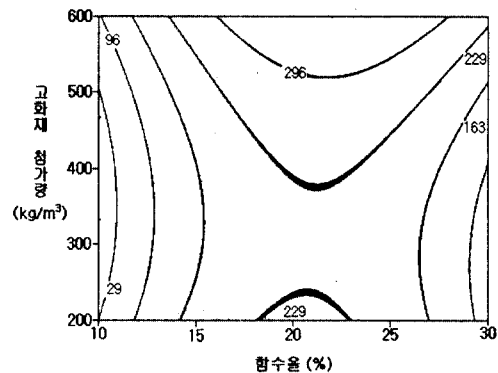


그림 6. 재령 28일의 압축강도

재령에 상관없이 배합범위 중 함수율은 약 20%, 그리고 단위고화재량은 사용량이 증가할수록 압축강도는 비례 증가함을 알 수 있었다. 재령 7일의 경우 함수율이 20~25%에서 단위고화재량이 400kg/m<sup>3</sup>이상이면 압축강도가 약 180kg/cm<sup>2</sup>이상임을 알 수 있었고 단위고화재량이 550kg/m<sup>3</sup>이상일 경우에는 250~300kg/cm<sup>2</sup>의 높은 압축강도를 보였다. 그리고 재령 28일의 경우에서도 강도발현의 범위가 재령 7일에서의 결과보다 약 50kg/cm<sup>2</sup>정도 비례 증가하는 것 이외에는 동일한 반응표면 분석을 나타내었으며 한편 함수비가 15~27%범위내에서는 고화재의 양에 상관없이 재령 7일과 28일에서 각각 120, 160kg/cm<sup>2</sup>이상의 강도발현을 보여 다짐만 충분히 이루어진다면 도로포장용으로서의 소요 강도발현에 큰 어려움은 없으리라 예상된다.

### 3.3 황토를 이용한 Soilcrete 제조

타설을 목적으로 Soilcrete의 배합토를 황토로 선정할 경우의 유동성을 나타낸 것이 그림 7로서 모르타용 슬럼프콘으로 슬럼프값을 측정한 결과이다. 이 그림에서 유동화재의 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 6cm 이상의 높은 슬럼프값을 나타내었다.

재령 7, 28일에서의 압축강도를 잔골재의 혼합 및 고화재의 첨가량을 변수로 하여 나타낸 것이 그림 8과 9이다.

그림에서 압축강도는 잔골재의 혼합량에 따른 영향보다는 고화재의 첨가량에 민감하게 반응하고 있음을 알 수 있으며 예로서 재령 7일에서 고화재의 첨가량이 300kg/m<sup>3</sup>인 경우는 90~105kg/cm<sup>2</sup>, 400kg/m<sup>3</sup>인 경우에는 125~145kg/cm<sup>2</sup>정도의 압축강도 범위를 나타냄으로써 고화재의 양이 증가함에 따라 압축강도도 비례증가함을 알 수 있었다. 재령 28일에서의 압축강도는 재령 7일에 비하여 각각 40kg/cm<sup>2</sup>이상 증가한 것으로서 재령 28일에서도 고화재량별로 균일하게 증가하고 있음을 알 수 있었다.

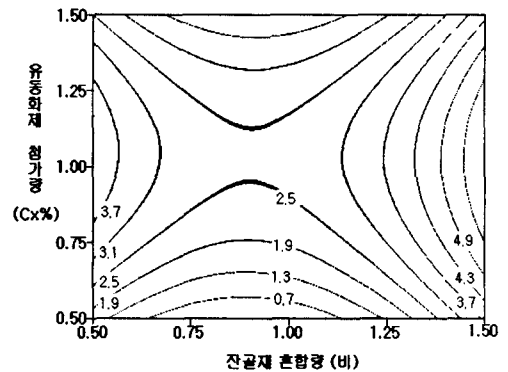


그림 7. 모르타의 슬럼프값

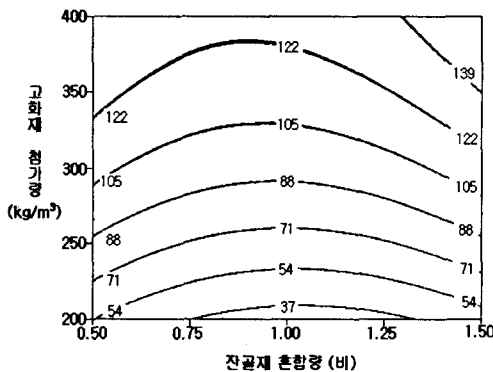


그림 8. 재령 7일의 압축강도

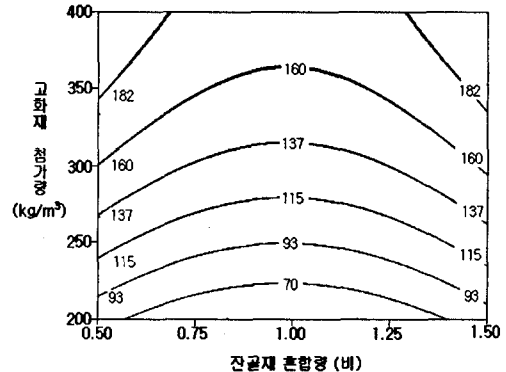


그림 9. 재령 28일의 압축강도

#### 4. 현장 적용

- 1) 공 사 명 : 수원천 자연하천 조성공사의 산책로 포장
- 2) 설계변경 : 콘크리트포장을 자연친화적인 Soilcrete으로 설계변경
- 3) 공사목적 : 수원천을 맑은 물이 흐르고 옛 정취가 깃든 자연형 하천으로 되살려 깨끗하고 아름다운 도시경관을 조성하고 자연생태계가 살아 숨쉬는 도시하천 환경을 복원함으로써 시민들에게 쾌적한 주변휴식공간을 제공할 목적으로 자연환경과 어울리는 산책로를 조성코저 한다.
- 4) 소요장비 : 롤러, 콤팩트, 덤프트럭, 백호, 및 Soilcrete 혼합설비(mixer)
- 5) 현장 Soilcrete 압축강도 : 현장에서 9개의 시편을 제작하여 3, 7, 28일의 압축강도를 측정한 결과 각 재령별 평균강도는 3일재령에서  $52\text{kg/cm}^2$ , 7일재령에서  $103\text{kg/cm}^2$ , 28일재령에서  $187\text{kg/cm}^2$ 의 압축강도를 발휘하였다. 설계강도  $180\text{kg/cm}^2$ 를 상회하였으며 고화재 첨가량에 따라 고강도 설계도 가능할 것으로 추정된다.

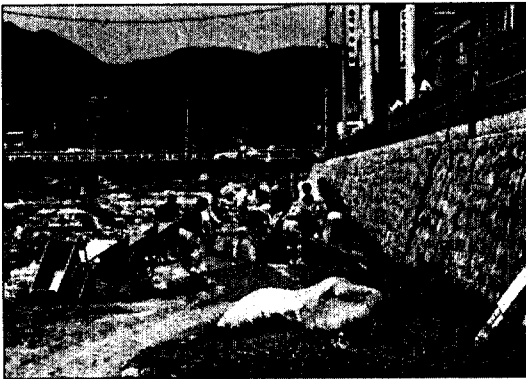


사진 1 .Soilcrete 운반 및 포설

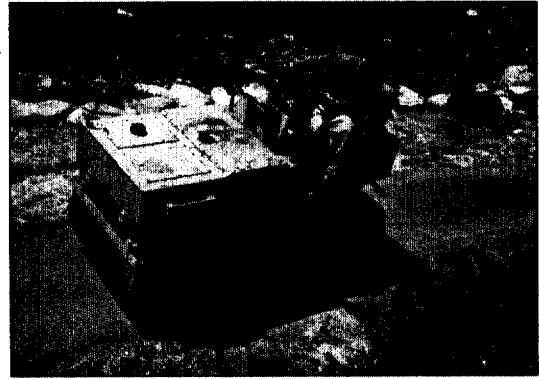


사진 2 .중전압 다짐 (2ton roller)

#### 5. 결 론

1. FGC고화재를 마사토에 혼합 사용한 경우, 재령별 압축강도는 단위고화재의 양에 비례 증가하였으며 아울러 함수비 약 20%에서 가장 큰 값을 보여 다짐에 따른 영향도 크다는 것을 알 수 있었다.
2. FGC고화재를 황토에 혼합 사용한 경우, 굳지않은 상태의 유동성은 유동화재의 영향보다는 잔골재의 혼합에 크게 좌우되었으며 단위고화재량과 압축강도사이에는 직선적인 증가형태를 보였다.
3. FGC고화재 사용 Soilcrete을 실현장에 적용한 결과, 설계강도를 상회하였으며 배합 및 시공방법의 조정에 의해 고강도 설계도 가능할 것으로 추정된다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업 자원부 에너지자원 기술개발 지원센터의 사업비지원에 의하여 쌍용중앙연구소와 한양대학교 건설연구소 주관으로 수행되었으며, 이에 감사드리는 바입니다.