

# 순환자원을 활용한 지반고화용 무기결합재의 강도 특성

## Strength Characteristics of Solidified Soil with Binder made of Industrial By-products

안 양 진\*                      형 원 길\*\*                      문 경 주\*\*\*                      윤 성 진\*\*\*\*  
 An, Yang-Jin                      Hyung, Won-Gil                      Mun, Kyoung-Ju                      Yoon, Seong-Jin

### Abstract

This study is about the assessment of utilization possibility as a material for cementation of ground which is necessary for the reinforcement of soft ground by making environment-friendly inorganic composite utilizing inorganic recycled resources, and it was verified that it showed higher uniaxial compressive strength than the existing cementitious ground solidifier when it was applied as a combination material for soft ground such as dredge reclaimed land, and since an inorganic composite utilizing recycled resources such as high calcium fly ash and blast furnace slag etc. does never use cement, it is considered that it would be safe in the issue of a hexavalent chromium that was recognized as a problem of a cementitious solidifier.

키 워 드 : 순환자원, 지반고화, 준설토, DCM공법  
 Keywords : Industrial By-products, Solidification Soil, Dredged Soil, Deep Cement Method

### 1. 서 론

일반적으로 지반 고화용 결합재로 사용되는 보통 포틀랜드 시멘트는 토질의 영향을 많이 받으며, 특히 니분이 많은 토질의 경우 시멘트 응결지연현상이 나타나는 경우가 있으며, 강도확보를 위한 다량 혼합으로 건조수축 발생 및 시멘트의 성능을 개선하기 위해 성분조정으로 경제성이 감소하는 문제점을 가지고 있다<sup>1)</sup>.

이에 지반 고화용 결합재로 주로 사용되고 있는 기존 결합재를 대체하기 위해 환경적으로 안정성이 입증된 무기계 순환자원을 활용한 지반 고화용 결합재 개발에 관한 연구를 실시하였으며, 본 논문은 준설토 매립 연약 지반 보강 공법 중 심층혼합처리공법인 DCM공법(Deep Cement Method)의 적용 타당성을 평가 하고자 결합재 배합 종류를 달리하여 준설토 고화 실험을 실시하여 물성을 평가하였다.

### 2. 사용 재료 및 배합

본 실험에서는 고로슬래그(이하 BFS)를 기반으로 하여 자극제로 태양광 폴리실리콘 제조 공정 부산물인 Sodium Aluminium

Sulfate(이하, SAS라 함)과 고칼슘 플라이애시(이하 FBCA), 기타 분말형 알칼리 물질(이하 A-Activator) 등 순환자원을 분쇄 분급하여 사용하였다. 사용재료의 물리·화학적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 사용재료의 물리·화학적 성질

Item	Oxide composition(%)						Density (g/cm <sup>3</sup> )	pH
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>		
FBCA	17.4	8.4	56.6	4.9	5.9	5.7	2.25	12.1
A-Activator	1.15	0.8	68.9	1.5	1.8	25.6		12.3
SAS	15.2	15.9	5.9	1.0	0.7	20.1	2.04	1.94

본 실험에 사용한 결합재의 배합은 표 2와 같다. 결합재에 DCM공법에서 적용하고 있는 배합조건을 기준으로 준설토 투기장 현장에서 채취한 준설토(비중 2.72)를 적용하여 고화토의 일축압축강도 시험을 실시하였다.

표 2. 실험 배합

	OPC	BFS	FBCA	Activator		W/B	결합재 혼입량
				A-Activator	SAS		
1	100	-	-	-	-	80%	180kg/m <sup>3</sup>
2	-	55	25	20			
3	-	55	25	10	10		
4	-	55	25		20		
5	-	50	30	20			

\* (주)씨엠디기술단 기술연구소, 공학석사  
 \*\* 영남대학교 건축학부, 조교수, 공학박사  
 \*\*\* (주)씨엠디기술단 대표이사, 공학박사  
 \*\*\*\* (주)씨엠디기술단 기술연구소, 공학박사, 교신저자 (jiniyoon9@gmail.com)

### 3. 실험 결과 분석 및 고찰

#### 3.1 고화토의 압축강도

고화토의 종류를 달리하여 제작한 고화토에 대한 재령별 일축압축강도 측정결과, 그림 1과 같이 재령 28일의 압축강도는 개발 결합재의 대부분이 OPC의 4.0MPa보다 높게 측정되었으며, SAS를 단독으로 20% 혼입한 결합재의 강도가 OPC와 유사하게 발현됨을 확인하였다. 고로슬래그 및 석탄재 등의 비결정질 물질은 시멘트와 달리 자체적으로 물과 수화되지 않지만, 수산화물 또는 황산염과 같은 자극제의 첨가에 의해 비결정질 입자의 불규칙적 3차원 쇄상결합이 절단되면서 망상구조체 내부에 함유된  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  등의 수식이온들이 용출되어 시멘트와 같은 경화특성을 갖고 있다. 이러한 자극제의 활성화 유도를 통해 비정질 물질의 활성화를 촉진하여 강도를 발현하는데, 이때 다량의 CaO 성분을 가진 고칼슘 플라이애시가 발열현상을 유도하여 준설토의 함수량을 저감시킬 뿐만 아니라 체적을 팽창시켜 점성이 높은 준설토의 개량제 역할을 수행할 수 있게 한다<sup>2)</sup>.

#### 3.2 고화토의 pH경시변화

고화토의 양생에 따른 pH 경시 변화를 그림에 나타냈다. 실험결과 OPC를 사용한 고화토의 pH는 재령 28일에도 12이상을 나타내고 있는데 반해, 개발 결합재를 사용한 고화토의 경우 BFS 및 FBCA에 존재하는 CaO 영향으로 혼합초기에는 강알칼리를 나타내었으나, 재령 14일에는 약 11.5정도로 알칼리도가 낮아지기 시작하여 28일에는 10.5내외를 나타내고 있다. 고화체가 강알칼리 상태를 유지하거나 pH가 증가될 경우 중금속 용출의 가능성을 배제할 수 없다. 그러나 순환자원을 이용한 본 결합재는 반응기내에서 강알칼리 상태의 고화물의 양생이 진행되면서  $Ca(OH)_2$ 의 소비 및 강산성 물질인 SAS의 영향으로 pH를 저감시켜 지하수 오염에 대한 환경적인 문제를 유발하지 않을 것으로 판단된다.

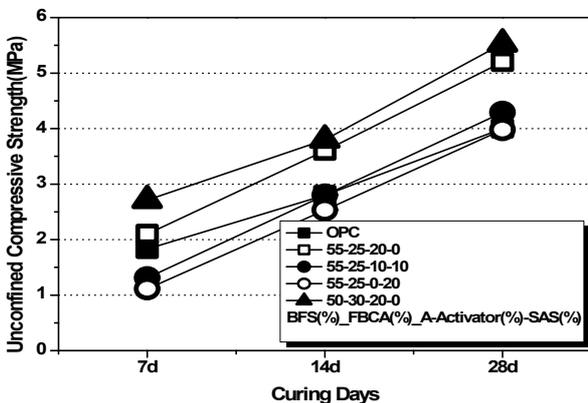


그림 1. 고화토의 재령별 일축압축강도

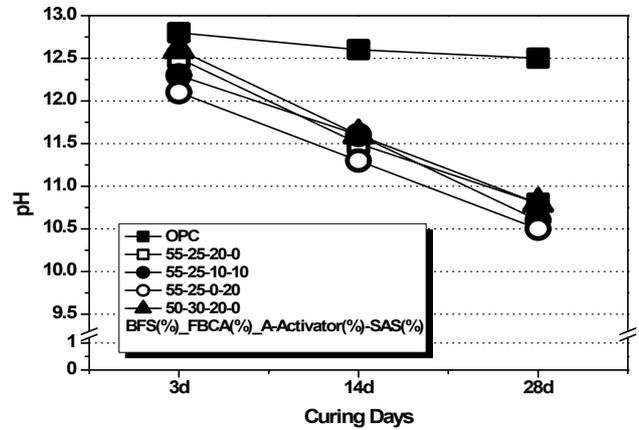


그림 2. 고화토의 재령별 pH

### 4. 결론

순환자원을 활용한 무기결합재의 준설토 고화실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 순환자원을 활용한 무기결합재를 준설토 매립지역과 같은 연약지반의 결합재로 적용시 기존의 시멘트계 지반고화재보다 높은 일축압축강도 발현이 가능하였다. 이는 개발 결합재를 통하여 준설토의 표면 개질이 일어나 입자들이 구조화를 이루어 CaO와  $SiO_2$  성분 에 의해 칼슘실리케이트 반응이 유도되어 고화반응이 일어나 압축강도를 증진시키는 것으로 사료된다.
- 순환자원을 활용한 무기결합재는 OPC 보다 낮은 pH의 약알칼리 상태로 지하수 오염 및 주변토양의 알칼리화에 대한 환경적인 문제를 유발하지 않을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 2011년도 국토해양부의 재원으로 한국건설교통기술평가원(KICTEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (과제번호: 11TRPI-C057504-01)

### 참고 문헌

- 김흥기, 초연약 해성점성토의 표층 고화처리를 위한 제지회 활용에 관한 연구, 전북대학교 박사학위 논문, 2006
- 문경주, 산업폐기물을 이용한 비소성 시멘트 및 콘크리트의 특성, 전북대학교 박사학위 논문, 2004