

# 가공된 순환자원을 시멘트 혼화재로 활용한 흙 시멘트 공시체의 강도 특성에 관한 연구

최우석\*, 하은룡, 김은섭, 정승환

## A Study on Strength Properties of Soil Cement Specimen using Processed Recycle Resources as Cement Admixtures

Woo-Seok Choi\*, Eun-Ryong Ha, Eun-Sup Kim, Seung-Hwan Jung

**Abstract** In this study, an influence of mixing ratio among firing oyster shell, non-firing oyster shell, magnetic separated converter steel slag and fly ash used as admixtures on strength properties of soil cement was evaluated by correlation analysis among compressive strength, deformation modulus and mixing ratio of admixtures. As a result, the strength of the specimens containing non-firing oyster shells was found to be larger than that of firing oyster shells, and it was confirmed that firing oyster shells could negatively affect the strength of soil cement specimens unlike previous studies. In addition, there was a positive correlation between the ratio of magnetic separated converter slag and strength properties, so it is confirmed that it can be used as an admixture.

**Key words** Soil cement, Oyster shell, Firing burning, Converter slag, Magnetic separation, Correlation analysis

**초 록** 본 연구에서는 소성 굴폐각, 비소성 굴폐각, 자력선별된 전로 제강슬래그와 Fly ash를 혼화재로 활용하였을 때 각 재료가 흙 시멘트 강도에 미치는 영향을 일축압축강도, 탄성계수와 배합비 간의 상관관계 분석을 통하여 평가하였다. 연구 결과 비소성 굴폐각을 배합한 공시체 강도가 소성 굴폐각을 배합한 공시체 강도보다 크게 나타났으며, 이에 따라 기존 연구와 달리 소성 굴폐각이 흙 시멘트 공시체 강도에 부정적인 영향을 끼칠 수 있음이 확인되었다. 또한 자력 선별된 전로 제강슬래그 비율과 강도 특성사이에 양의 상관관계가 존재하여 이를 혼화재로 활용할 수 있는 가능성이 확인되었다.

**핵심어** 흙 시멘트, 굴폐각, 소성, 전로 제강 슬래그, 자력 선별, 상관분석

### 1. 서 론

흙 시멘트는 흙에 시멘트를 증량기준 5~15% 섞어 안정처리 하는 개념으로 연약지반 개량, 구조물 기초, 기초지반 보강, 가시설 벽체, 제방 보강, 히빙 및 보일링 저감대책, 그라우트 몰탈, 개착터널공법 적용 시 복토

등의 재료로써 활용된다(Shin et al., 2005; 한국연구재단, 2014; Choi et al., 2016). 최근 지반공학 분야에서 흙 시멘트의 활용성이 증가함에 따라 흙 시멘트에 사용되는 시멘트 수량을 대체하고 성능을 증진시키는 시멘트 혼화재로써 고로슬래그, Fly ash, 굴폐각 등의 순환자원을 활용하는 연구가 진행되어 왔다(Yoon and Kim, 2006; Cokca et al., 2009; Ko, 2009; Park, 2009; Wang et al., 2013; Arribas et al., 2015; Choi et al., 2017).

이러한 시멘트 혼화재로써 순환자원의 역할은 잠재수 경성이나 포졸란(Pozzolan) 반응을 활용하여 장기적인 강도 증진 효과를 피하는 것 외에도 콘크리트에서 골재의 역할과 같이 건조수축저감 및 보강재로서의 역할을 수행한다. 그러나 기존 연구에서 혼화재 효과를 확인하는 방법은 혼화재가 배합된 흙 시멘트 공시체의 강도를

**Received:** Oct. 10, 2017

**Revised:** Oct. 20, 2017

**Accepted:** Oct. 20, 2017

**\*Corresponding Author:** Woo Seok Choi

Tel) +82317760682, Fax) +82317760688

E-Mail) vdnehfv@snu.ac.kr

BizCenter 1002, 124, Sagimakgol-ro, Jungwon-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 462-721, Korea

**Table 1.** Chemical composition of materials (unit : %)

Material	XRF analysis (%)										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	etc.
OS	4.24	1.17	0.71	90.40	0.27	0.50	1.70	0.40	0.27	0.15	0.17
CS	19.27	4.43	31.18	32.03	0.12	4.79	0.54	3.25	2.57	0.85	0.97
FA	57.73	20.15	8.41	6.14	1.23	1.71	1.07	0.10	0.35	1.63	1.48



(a) Roaster Kiln



(b) Oyster shell after firing

**Fig. 1.** Firing burning

측정한 후 그 원인을 잠재수경성 및 포졸란 반응의 화학식으로 제시하고, SEM촬영에 의해 반응물의 미세구조를 확인하는 방식이기 때문에 강도 증진에 있어서 각 재료가 끼치는 영향을 알기 어렵다는 한계가 존재한다. 이러한 연유로 아직까지 시멘트 혼화재로써 순환자원의 활용은 관련 연구 및 사례가 누적된 고로슬래그나 Fly ash로 국한되어 있고 그 외의 재료들의 활용은 부진한 실정이다. 따라서 시멘트 혼화재로 쓰이는 다양한 종류의 순환자원을 혼합하여 비율에 따라 발생하는 강도 차이를 확인하고 이를 분석함으로써 활동도가 부진하였던 순환자원들의 활용성을 제시하는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 혼화재로써 특성이 연구된바 있는 굴패각과 전로 제강슬래그, Fly ash를 흙 시멘트에 쓰이는 시멘트를 대체하는 혼화재로써 활용하고, 굴패각과 전로 제강슬래그의 배합비에 따른 강도 특성을 확인하였다. 상세하게는 자력선별 된 전로 제강슬래그와 소성 굴패각, 비소성 굴패각을 시멘트, Fly ash와 혼합하여 각각의 배합비에 따른 일축압축강도 실험을 실시하고, 강도 및 탄성계수와 배합비의 상관관계 분석을 통해 각 재료가 공시체의 강도 특성에 미치는 영향을 분석하여 굴패각, 전로 제강슬래그의 시멘트 혼화재로써 활용성을 제시하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 순환자원의 화학적 특성

본 연구에서 혼화재로써 활용한 굴패각(OS), 전로 제

강슬래그(CS), Fly ash(FA)에 대한 화학특성을 확인하기 위하여 XRF 실험을 실시하였다(Table 1). 굴패각(OS)은 경상남도 통영에 위치한 비료 업체로부터 구입한 것으로 Ca 성분을 90% 이상 함유하는 것으로 나타났다. 전로 제강슬래그(CS)는 광양 제철소 재활용 업체로부터 구입하였으며, Si, Fe, Ca 가 주를 이루는 것으로 나타났다. Fly ash(FA)는 보령 화력발전소에서 발생한 Fly ash로 Si, Al을 주 성분으로 함과 동시에 CaO 함유량이 적은 것으로 나타나 F급 Fly ash로 판단된다.

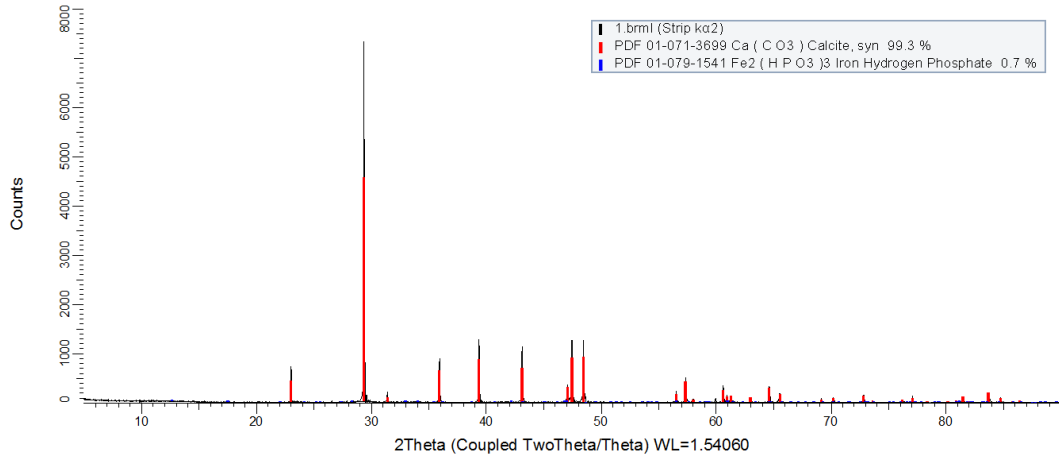
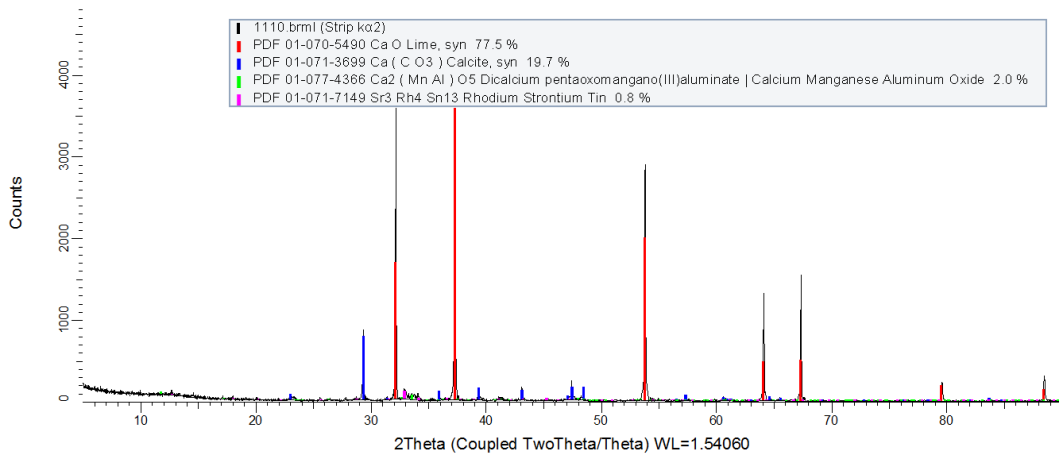
XRF 실험에 의해 확인된 순환재료의 화학성분은 일반적인 굴패각, 전로 제강슬래그 F급 Fly ash의 화학성분 범위와 유사하며(Yoon and Kim, 2006; Choi et al., 2013; Kim, 2015), 각 재료를 대표할 수 있는 특성을 보이기 때문에 실험에 적용하기에 적절한 재료로 판단된다.

### 2.2 굴패각 가공 조건

굴패각 가공은 일반적으로 세척, 분쇄, 소성으로 이루어지며 세척 및 분쇄는 구입 당시 완료된 제품을 구입하는 것으로 하였고 본 연구에서는 기존 연구결과(Yoon and Kim, 2006; Lee et al., 2009)를 활용하여 소성만을 실시하였다(Fig. 1). 가공조건은 Table 2와 같으며, 소성 여부를 판단하기 위하여 소성 전후의 굴패각에 대해 XRD 실험을 실시하였다. XRD 실험결과(Fig. 2, Fig. 3) 소성 전 굴패각의 Ca는 99%의 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)형태로 존재하였으며, 소성 후 굴패각의 Ca

**Table 2.** Conditions of firing burning

Paticle size	Equipment	Firing temperature	Firing Time
<75 $\mu\text{m}$	Roaster Kiln	900°C	4 hour

**Fig. 2.** XRD result of oyster shell before firing**Fig. 3.** XRD result of oyster shell after firing

는 약 78% 석회(CaO), 20%의 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ ) 형태로 변환되는 것으로 나타났다. 소성 골패각의 CaO는  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 와 에트링자이트(Ettringite) 반응 및 포졸란 반응하여 고품물질을 생성하게 되며 이에 따라 공시체의 강도를 증가 시키는 역할을 한다(Yoon and Kim, 2006, Kim, 2007). 본 연구에서는 골패각을 소성 전의 비소성 골패각과 소성 후의 소성 골패각으로 구분하여 골패각을 혼화재로써 역할이 미립의 재료가 첨가됨에 따라 비표면적을 늘림으로서 강도를 증진시키는

보강재 역할을 하는 것인지 아니면 골패각 내 CaO에 의해 수화반응을 도와주는 것인지를 확인해보고자 한다.

### 2.3 전로 제강슬래그 가공 조건

전로 제강슬래그(CS)의 가공은 자력선별 후 75  $\mu\text{m}$  이하로 파분쇄하는 조건으로 실시하였다. 제강슬래그의 자력선별에 관한 연구(Kim, 2015, Choi et al., 2017)에 의하면 1500 Gauss에서 제강슬래그를 자력선별하여 분류한 Fe가 많은 제강슬래그는 중금속 오염 토양 안정화



(a) Magnetic separator (1500 Gauss)



(b) Classifiers for converter slag

Fig. 4. Magnetic separation

Table 3. Chemical composition of converter slag after magnetic separation (unit : %)

Material	XRF analysis(%)										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	etc.
SCS	19.59	5.25	27.70	33.95	0.14	5.41	0.53	3.15	2.48	0.80	0.98

Table 4. Physical properties of soil

Content	Gs	Passing sieve 4.75 mm (%)	Passing sieve 75 μm (%)	LL (%)	PL (%)	USCS	Wfield (%)
A	2.69	99.985	51.0	30.3	18.7	CL	49.4

제로씨의 활용도가 높아지고 자석에 붙지 않은 제강슬래그는 Ca 함유량이 증가하는 것으로 나타난바 있으며, 본 연구에서는 자력에 의해 붙지 않고 남은 제강슬래그를 활용하고자 한다.

자력선별에 의해 제강슬래그를 Fe가 많은 재료와 Fe가 적은 재료로 분리 후 Fe가 적은 재료를 파분쇄하여 이에 대한 XRF 실험을 실시하였다(Fig. 4, Table 3). XRF 실험결과 선별된 전로 제강슬래그(SCS)는 선별전보다 Ca 및 Si, Al 성분 함의 총 함량이 각각 1.92%, 1.14% 증가하고 Fe 함량이 3.48% 감소하는 것으로 나타났다. 자력선별에 의해 증가된 Ca 및 Si, Al 성분은 일반적으로 시멘트 혼화제로 쓰이는 고로슬래그의 주성분이기도 하며, 잠재 수경성에 의해 장기강도를 증진시키는 성분이다. 따라서 선별된 전로 제강슬래그는 선별하기 전의 전로 제강슬래그보다 효과적인 것으로 판단된다.

2.4 대상 시료 및 실험 방법

2.4.1 대상 시료

흙 시멘트 공시체의 대상 시료는 전라남도 여수 여차만 갯벌에서 채취하였으며, 대상 시료의 물리적 특성은 Table 4와 같다. 75 μm이하의 흙이 50% 이상이고, 액성한계 및 소성한계 실험결과로 확인된 특성으로 보았을 때 압축성이 낮은 점토로 분류되나 나머지는 대부분

모래 입도의 흙으로 확인되었다.

2.4.2 배합비

흙 시멘트 공시체의 배합비는 전체 안정화제 중량비 중 시멘트 비율 50%, 60%, 70%를 기준으로 하였을 때 나머지 부분을 순환자원으로 대체하는 것으로 보고 각 순환자원의 비율을 달리하는 조건으로 결정하였다(Table 5). 상세하게는 굴패각 및 Fly ash 비율은 기존 연구(Kim, 2007)에서 이미 1:0.8 비율이 적정한 것으로 나타나 이를 인용하였으며, 전로 제강슬래그 중량과 굴패각 및 Fly ash 중량합의 비율을 4가지 Case로 하여 총 12가지 Case의 배합비를 결정하였다. 이중 굴패각은 소성 굴패각, 비소성 굴패각 모두 적용하게 되므로 총 24가지 Case에 대한 배합비를 선정하여 강도 실험을 실시하였다.

2.4.3 실험 조건

실험은 흙 시멘트 공시체의 제작과 압축강도 실험방법에 관한 기준인 KSF 2328(흙 시멘트의 압축 강도 시험 방법) 및 KSF 2329(시험실에서 흙 시멘트의 압축 및 휨 강도 시험용 공시체를 제작하고 양생하는 방법)에 따라 실시하였으며 실험 조건 및 실험 전경은 Table 6, Fig. 5과 같다.

**Table 5.** Mix proportion of soil cement specimen

Content	Mix proportion (g)								
	Cement (C)	SCS	OS*	FA	Accelerator*	Water	W/S ***	Soil	No.
C50	90.0	5.0	47.2	37.8	1	180.0	1	1,200	1
		20.0	38.9	31.1					2
		35.0	30.6	24.4					3
		50.0	22.2	17.8					4
C60	108.0	4.0	37.8	30.2	1	180.0	1	1,200	5
		16.0	31.1	24.9					6
		28.0	24.4	19.6					7
		40.0	17.8	14.2					8
C70	126.0	3.0	28.3	22.7	1	180.0	1	1,200	9
		12.0	23.3	18.7					10
		21.0	18.3	14.7					11
		30.0	13.3	10.7					12

\* OS : 2case of firing oyster shell and non-firing oyster shell

\*\*Accelerator : KOH

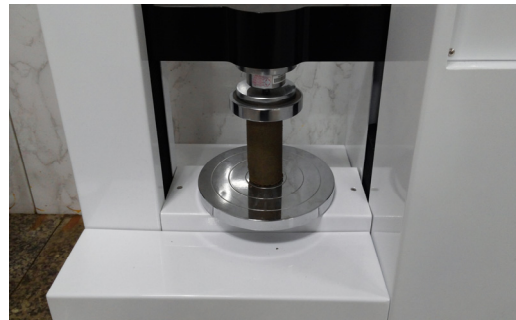
\*\*\*W/S : Water - Stabilizer ratio

**Table 6.** Preparation method for specimen and curing

Content			
Compacting Method	Test standard		KSF 2328, KSF 2329
	Energy of compacting		5.63 kg·cm <sup>3</sup> (Method A)
	Number of compaction layer		6
	Number of compacting for each layer		9
Curing condition	Wet curing	Temperature (°C)	23°C (±2)
		Relative humidity (%)	95%
Curing time			7days, 28days, 60days, 90days



(a) Curing of specimens



(b) Compressive strength test

**Fig. 5.** Curing and compressive strength test

2.5 상관분석

2.5.1 이론적 배경

상관분석(Correlation analysis)은 연속형인 두 변수 간의 선형적 관계를 검증하는 통계기법이다. 상관분석 결과로부터 얻어지는 상관계수(Correlation analysis)는 변수가 특정 분포를 따를 것이라 가정하에서 분석하는 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)와 변수가 특정 분포를 따를 것이라는 가정이 없는 상태에서 분석하는 스피어만 상관계수(Spearman's correlation coefficient)로 구분된다. 본 연구에서의 변수인 재료의 비율과 강도특성은 선형 관계를 보일 것으로 예측되므로 상관분석에 있어서 피어슨 상관계수를 활용하였다 (Chung et al., 2008; Lee et al., 2016).

피어슨 상관계수 계산은 두 변수 간의 공분산(Covariance) 분석에서 시작한다. 공분산이란 두 개 변수의 개별 관측 값들의 평균으로부터 얼마나 산포되어 있는 가를 나타내는 것으로 공분산의 값이 양의 값(+)이면 한 변수의 값이 증가할 때 다른 변수의 값도 증가함을 의미하며, 다음과 같이 계산된다(Lee et al., 2016).

$$S_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (1)$$

피어슨 상관계수(R)는 표준화된 공분산 값으로 공분산을 각 변량의 표준편차로 나누어 표준화한 값이다. 공분산과 마찬가지로 R의 값이 양의 값(+)이면 두 변수가 같은 방향으로 변화하고 있음을 의미하며 다음과 같이 계산된다(Lee et al., 2016).

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} S_{yy}}} \quad (2)$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n} \quad (3)$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} \quad (4)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n} \quad (5)$$

R값은 -1 ≤ R ≤ +1의 범위를 가지며, R=1인 경우 반지름과 원둘레의 관계처럼 완전한 양의 상관관계를 의미하고 R=-1인 경우 사용한 연필의 길이와 남은 연필의 길이의 관계와 같이 완전한 음의 상관관계를 의미한

다. R=0이면 두 변수 간의 아무런 선형의 관계가 없이 완전히 독립적임을 의미한다(Chung et al., 2008).

2.5.2 SPSS

상관분석에 활용한 프로그램은 SPSS(Statistical Package for the Social Sciences)로서 1969년 미국 시카고 대학에서 데이터 관리 및 통계분석을 목적으로 개발된 통계 분석 소프트웨어이다. 본 연구에서는 SPSS를 활용하여 강도 및 탄성계수와 재료 배합비간의 피어슨 상관계수를 산정하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 일축압축강도

Fig. 6, Fig. 7에 일축압축 강도 실험결과를 도시하였다. 모든 Case에서 양생일수에 따라 강도가 증가하였으며, 특히 28일 이후에 강도증가가 미미한 것으로 알려져 있는 시멘트계 안정화제와 달리 60일, 90일 이상 장기적인 강도증진이 있는 것으로 확인되었다. 또한 소성 굴폐각과 비소성 굴폐각을 비교하였을 때, 소성 굴폐각이 공시체의 장기 강도를 증진시키는 효과가 있는 것으로 나타난 기존 연구와는 다르게 소성 굴폐각을 혼합한 Case의 강도보다 비소성 굴폐각을 혼합한 Case가 강도가 더 높은 것으로 나타났다.

소성 굴폐각이 비소성 굴폐각에 비해 효과를 나타내지 못한 원인은 크게 2가지로 추측할 수 있다. 첫 번째로 본 연구에서는 기존 연구와 다르게 전로 제강슬래그를 공시체에 혼합하였으므로 제강 슬래그가 굴폐각 내 CaO의 반응에 악영향을 끼친 것으로 가정해볼 수 있다. 그러나 본 연구에서 활용한 전로 제강슬래그는 굴폐각 내 CaO와 수화 반응 및 포졸란 반응을 할 수 있는 Si, Al, Fe가 약 53% 포함되어 있고, 전로 제강슬래그가 전체 안정화제의 3%미만 혼합된 NO. 1, 5, 9에서도 소성 굴폐각의 효과가 비소성 굴폐각에 비해 더 적은 것으로 나타난 것으로 보았을 때 첫 번째 가정을 원인으로 추측 하는 것은 무리가 있을 것으로 판단된다. 두 번째 원인으로서는 XRD 실험 결과로 나타난 소성 굴폐각에서 CaO 성분이 78%로 측정된 것은 실험시 사용한 시료에서만 특징지어 나타난 결과이며, 충분히 소성되지 않은 시료가 공시체 제작에 쓰였을 가능성이 있을 수 있다. 이와 관련하여 Lee(2004)에 따르면 굴폐각 소성시 결정들이 응집되어 굴폐각의 비표면적이 작아지게 된다고 하였다. 이를 근거로 판단하였을 때 본 연구에서 소성 굴폐각을 혼합한 공시체는 소성에 의해 발생하는 CaO 성분이 부족함과 동시에 오히려 재료의 비표면적

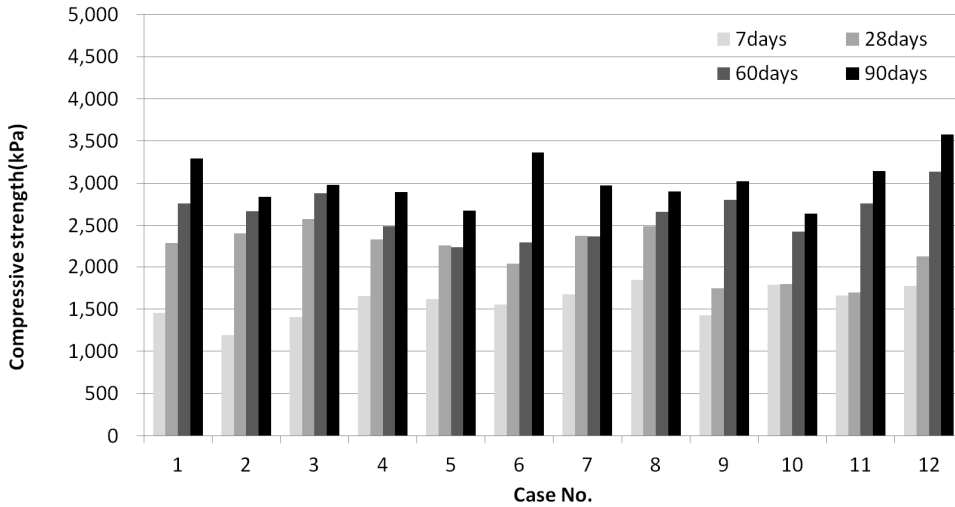


Fig. 6. Compressive strength of cases mixed converter slag, fly ash and firing oyster shell

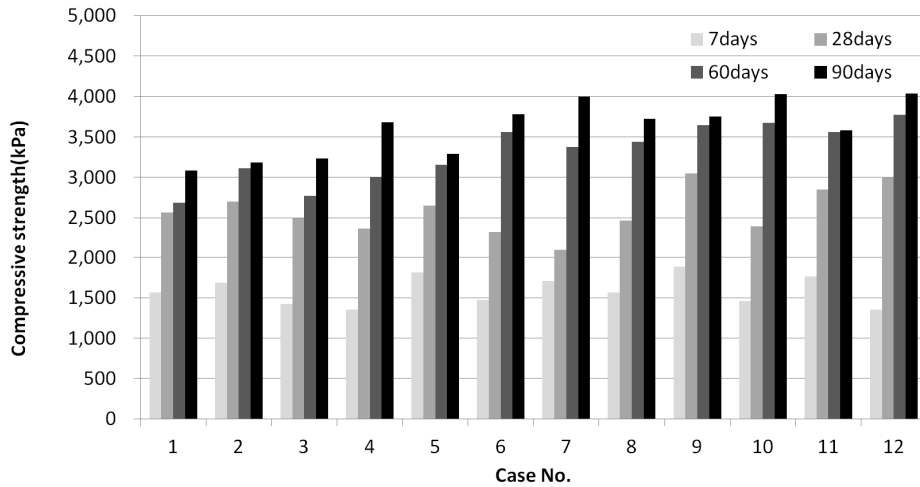


Fig. 7. Compressive strength of cases mixed converter slag, fly ash and non-firing oyster shell

만 감소된 굴패각이 혼합되었고, 이로 인해 상대적으로 비표면적이 더 큰 비소성 굴패각을 혼합한 공시체보다 강도가 더 작게 나타난 것으로 보인다.

### 3.2 탄성 계수

일축압축시험에서 탄성계수를 계산하여 Fig. 8, Fig. 9에 도시하였다. 탄성계수 또한 일축압축강도와 마찬가지로 소성 굴패각보다 비소성 굴패각이 더 높게 나타남이 확인되었다.

Case 별 일축압축강도 및 탄성계수 결과를 종합하였을 때, 비소성 굴패각을 혼합한 공시체의 NO. 4, 6, 7,

10, 11, 12 Case가 강도특성이 다른 Case에 비해 상대적으로 강도 및 탄성계수가 높게 나왔으며, 언급된 Case는 모두 전로 제강슬래그가 굴패각에 비해 많이 혼합된 Case로 확인되었다. 따라서 본 연구에서 실시한 실험에서의 시멘트 혼화재로서 성능은 전로 제강슬래그가 더 우수한 것으로 판단되며, NO. 4 Case의 경우 전체 안정화제 중량대비 전로 제강슬래그 혼합률이 27.7%이므로 자력선별한 전로 제강슬래그를 전체 안정화제 중량대비 27.7% 이상으로 혼합 시에도 효과가 있을 가능성이 있을 것으로 판단된다.

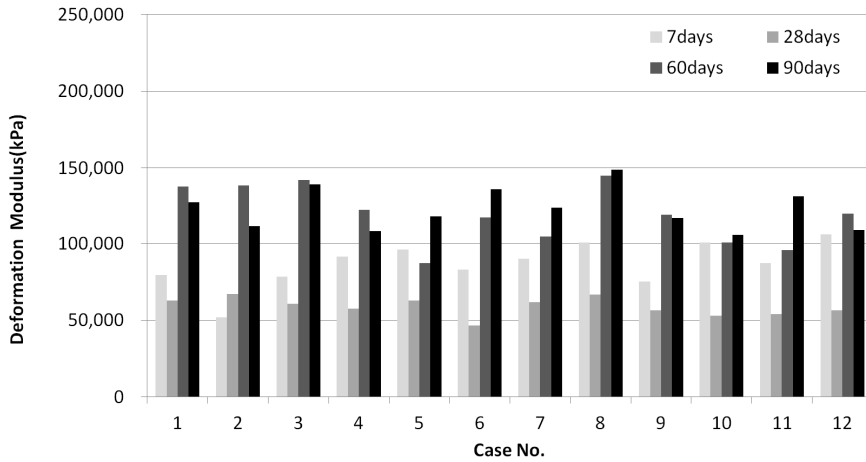


Fig. 8. Deformation modulus of cases mixed converter slag, fly ash and firing oyster shell

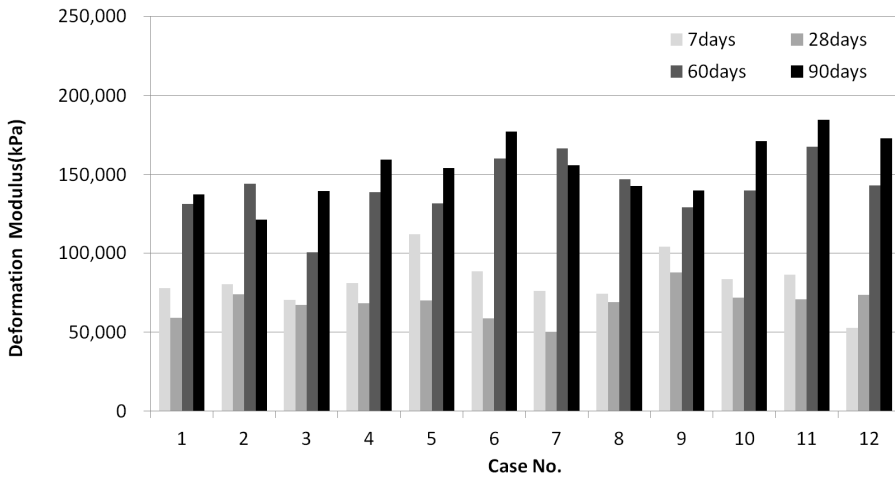


Fig. 9. Deformation modulus of cases mixed converter slag, fly ash and non-firing oyster shell

### 3.3 상관분석

각 재료별 비율에 따른 강도 특성에 대한 영향을 정량적으로 검토하기 위해 SPSS 프로그램을 활용한 상관분석을 실시하여 상관계수 결과 값을 도시하였다(Fig. 10~Fig. 13). 소성 굴폐각을 혼합한 공시체의 강도와 탄성계수는 전반적으로 전로 제강슬래그와 양의 상관관계를 갖고, 굴폐각 및 Fly ash와 음의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 비소성 굴폐각을 혼합한 공시체의 강도와 탄성계수는 7일, 28일, 60일에서 전로 제강슬래그와는 음의 상관관계가 나타났으나 점점 상관관계 값이 높아지면서 90일이 되자 양의 상관관계로 바뀌었으며, 굴폐각 및 Fly ash는 시간이 지날수록 음의 상관성이 더

높아지는 경향으로 나타났다.

상관계수 값은 대부분 시멘트, 전로 제강슬래그, 굴폐각 및 Fly ash 순서로 큰 것으로 분석되었다. 상관계수는 절대값이 클수록 영향을 끼치는 정도가 크고, 그 값이 양수이면 강도 및 탄성계수를 증진시키는 역할을 한다고 볼 수 있다. 따라서 전로 제강슬래그와 굴폐각을 비교해보았을 때 상관계수 값이 양수임과 동시에 굴폐각보다 상관계수의 절대값 또한 큰 전로 제강슬래그가 혼화재로써 역할을 더 수행한 것으로 판단된다.

실험결과 및 상관분석결과를 모두 놓고 판단하였을 때, 전로 제강슬래그를 혼화재로 활용시 앞서 언급한대로 전체 안정화제 중량대비 27.7%이상 활용이 가능할



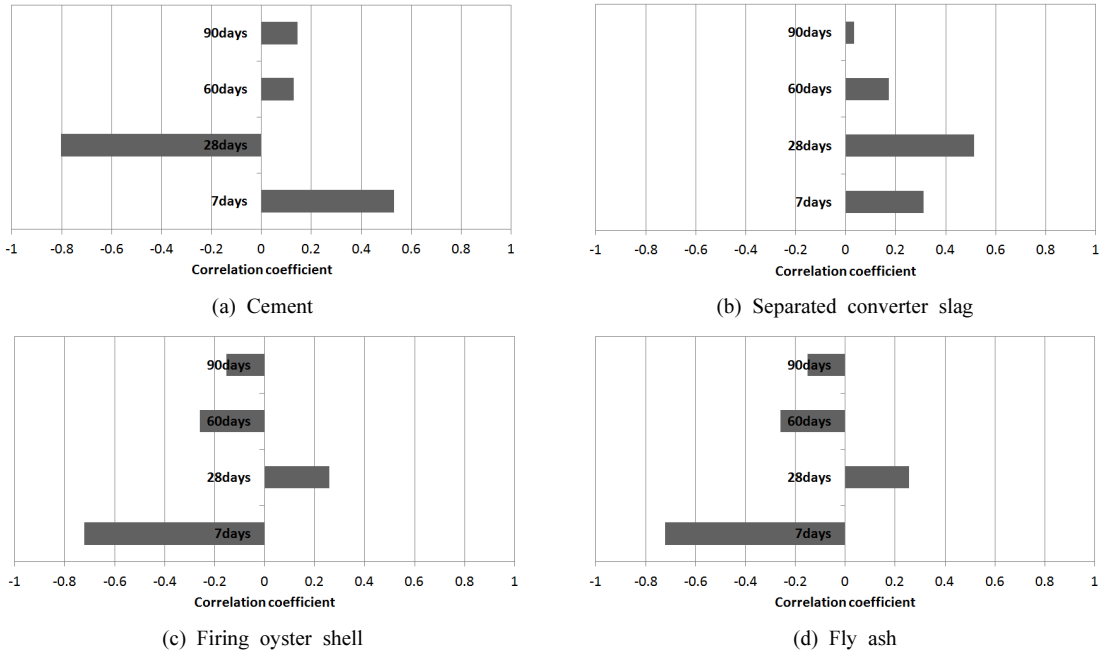


Fig. 10. Correlation coefficient between mixing ratio of each material and compressive strength in case of specimens mixed firing oyster shell

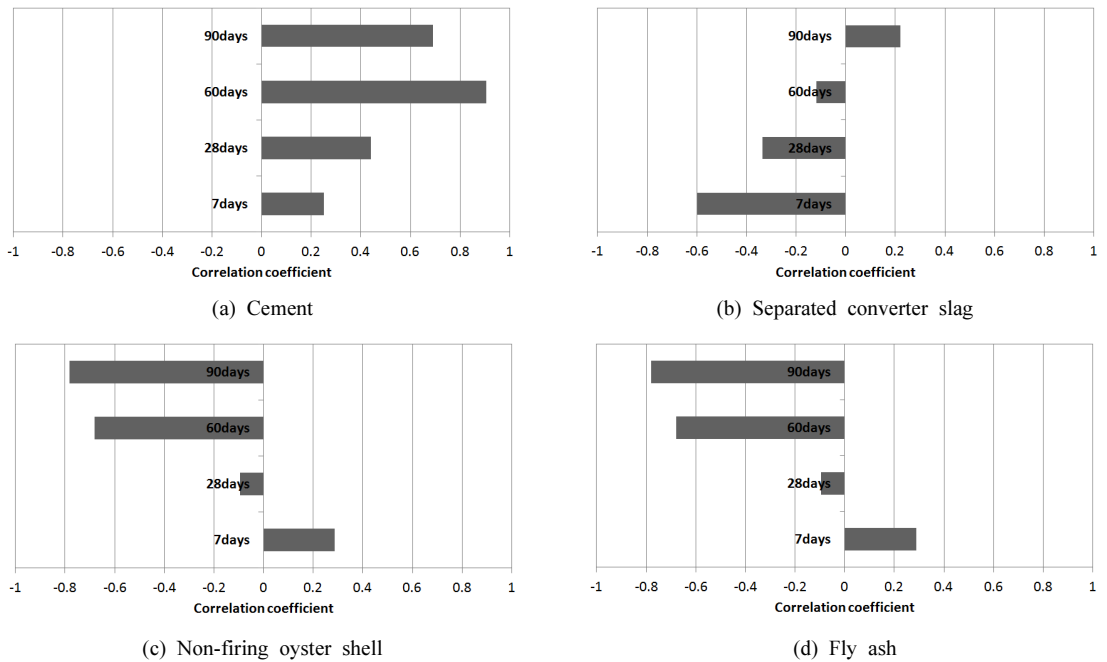
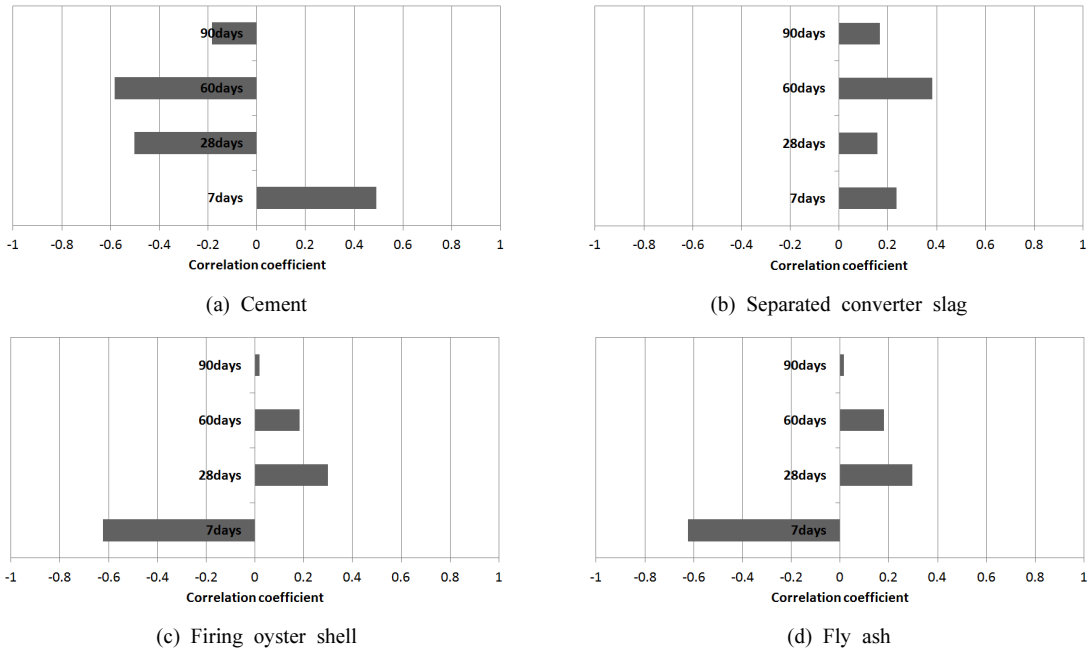
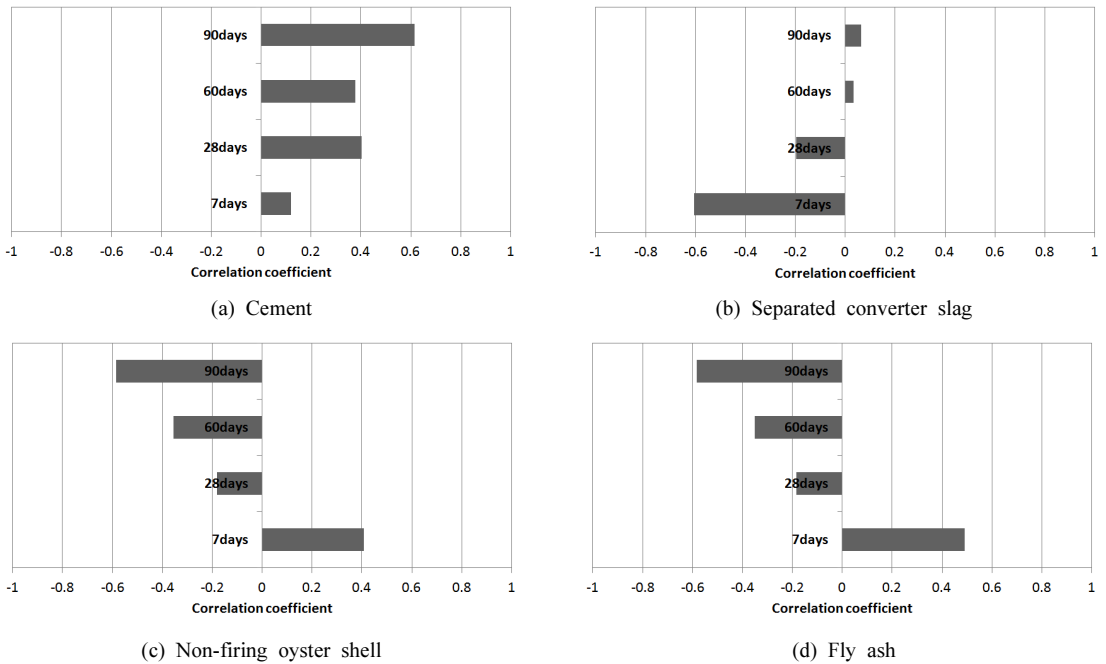


Fig. 11. Correlation coefficient between mixing ratio of each material and compressive strength in case of specimens mixed non-firing oyster shell



**Fig. 12.** Correlation coefficient between mixing ratio of each material and deformation modulus in case of specimens mixed firing oyster shell



**Fig. 13.** Correlation coefficient between mixing ratio of each material and deformation modulus in case of specimens mixed non-firing oyster shell

것으로 보이며, 장기 양생시 강도특성과 양의 상관관계를 보이므로 단독으로 활용하는 것 또한 고려할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 전로 제강슬래그의 상관계수의 값이 소성 굴폐각을 혼합한 경우와 비소성 굴폐각을 혼합한 경우에서 양상이 다르게 나타났기 때문에, 전로 제강슬래그 이외에도 수화반응 및 포졸란 반응을 도와 주거나 보강재 역할을 할 수 있는 다른 혼화제의 혼합한 효과에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 굴폐각과 전로 제강슬래그, Fly ash를 활용하고, 각각의 배합비에 따른 강도 특성과 각 재료가 공시체의 강도 특성에 미치는 영향을 분석하여 시멘트 혼화재로서 활용성을 제시하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 소성 굴폐각을 혼합한 공시체보다 소성하지 않은 굴폐각을 혼합한 공시체의 강도 및 탄성계수가 더 높게 나타났다. 이는 기존 연구결과와 상반되는 결과로, 굴폐각 소성에 의해 CaO가 충분히 만들어지지 못한 채로 비표면적만 증대시킨 것이 원인으로 판단된다.
2. 본 연구에서 실시한 실험은 기존 연구와 굴폐각 원료, 소성조건, 입도 등이 완벽하게 동일하지 않다. 또한 굴폐각을 소성시 혼화재로 활용 가능하다는 기존 연구결과가 있기 때문에 소성 굴폐각이 혼화재로서 역할을 할 수 없다는 결론보다 소성 굴폐각의 경우 소성하지 않은 굴폐각에 비하여 혼화재로서 활용도가 떨어지거나 오히려 강도를 감소시킬 가능성이 존재한다는 결론을 내리는 것이 합리적일 것으로 판단된다. 따라서 소성 굴폐각을 시멘트 혼화재로서 재활용함에 있어서는 배합에 따른 강도 실험이 꼭 선행되어야 할 것으로 판단된다.
3. 상관분석 결과 공시체 강도와 양의 상관관계를 갖는 재료는 시멘트, 전로 제강슬래그이며, 굴폐각, Fly ash는 강도와 음의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 자력 선별된 전로 제강슬래그가 잠재수경성에 의하여 강도를 증진시킨 것인지 미분말로써 보강재 역할을 한 것인지 정량적으로 확인할 수 없지만 시멘트 혼화재로서 연구가 미미하였던 전로 제강슬래그의 역할을 확인하였다는데 연구의 의의가 있으며, 전로 제강슬래그를 고로 슬래그처럼 단독으로 활용하거나 다른 혼화제와 다양한 배합비로 혼합하여 활용하는 것에 대한 연구가 지속적으로 필요할 것으로 사료된다.

#### 사 사

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 국토교통기술촉진연구사업 지원 ‘순환자원 혼합 친환경 고효율 안정화제를 활용한 Raft형태의 대심도 연약지반용 안정화 처리기술개발’ 과제의 일환으로 수행되었음 (과제번호 15CTAP-C098126-01).

#### References

1. Arribas, I., A. Santamaria, E. Ruiz, V. Ortega-Lopez and J.M. Manso, 2015, Electric, arc furnace slag and its use in hydraulic concrete, *Construction and Building Materials*, Vol. 90, 68-79.
2. Choi, W.S., B.C. Kang, D.C. Shin, S.L. Kim and E.S. Kim, 2016, Experimental study on grouting materials of grout column method for reinforcement technology in groundwater-saturated mined cavity, *Tunnel & Underground Space*, Vol. 19, No. 6, 534-544.
3. Choi, W.S., E.S. Kim and E.R. Ha, 2017, A Study on the possibility of utilizing the converter slag as the cement admixture, *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil and Environmental Engineering*, Vol. 4, No. 4.
4. Choi, W.S., Y.H. Son, J.S. Park, S.K. Noh and T.H. Bong, 2013, Analysis of strength characteristic for bottom ash mixtures as mixing ratio and curing Methods, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 55, No. 3, 129-140.
5. Chung, Y.H., J.H. Jo, J.B. Ryu and K.S. Kim, 2008, EXCEL 통계자료분석, 한국사회조사연구소.
6. Cokca, E., V. Yazici and V. Ozaydin, 2009, Stabilization of expansive clays using granulated blast furnace slag (GBFS) and GBFS-cement, *Journal of Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 27, No. 4, 489-499.
7. Kim, G.W., 2015, Magnetic separation for quality control and improvement of stabilization effect of steel-making slag, *Mater thesis*, Gyeongsang National University.
8. Kim, H.S., 2007, The study on application of discarded oyster shell powder as an architectural material, *Mater thesis*, Dong-A University.
9. Ko, J.W., 2009, The strength Characteristic of soil cement mixed with oyster shell, *Mater thesis*, Dongshin University.
10. Lee, H.S., 2004, A study on calcination characteristic of corbicula japonica and ostrea virginia, *Korean Journal of Environmental Health*, Vol. 30, No. 5, 427-431.
11. Lee, H.S., D.W. Park and D.S. Woo, 2009, A Study on physicochemical and calcination processed characteristic of oyster shell, *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation* Vol. 10, No. 12, 3971-3976.
12. Lee, J.G., I.Y. Heo, C.K. Kang, H.S. Ryu and B.S. Chang, 2016, Study on performance-based evaluation method for rock slopes : deduction of weight and

- validation - based on the AHP method and correlation analysis -, Tunnel & Underground Space, Vol. 26, No. 5, 431-440.
13. Park, S.S., 2009, The study on the characteristic of the compressive strength of Alkali-activated blast furnace slag cement, Master thesis, Sunchon National University.
  14. Shin, I.J., J.H. Kang, Y.H. Suh, 2005, A Case study of soil-cement fill for tunneling, Tunnel & Underground Space, Vol. 15, No. 5, 359-368.
  15. Wang, H.Y., W.T. Kuo, C.C. Lin and P.Y. Chen, 2013, Study of the material properties of fly ash added to oyster cement mortar, Construction and Building Materials, Vol. 41, 532-537.
  16. Yoon, G.J. and B.T. Kim, 2006, Stabilizing capability of oyster shell binder for soft ground treatment, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 22, No. 11, 143-149.
  17. 한국연구재단, 2014, A study on numerical modeling for soil-cement cementation based on granular mechanics and application technology.

---

### 최우석



2011년 서울대학교 농업생명과학대학  
지역시스템공학 학사  
2013년 서울대학교 농업생명과학대학  
지역시스템공학 석사

Tel: 010-4352-1020  
E-mail: vdnefv@snu.ac.kr  
현재 ㈜산하이엔씨 기술연구소 연구원

### 김은섭



1998년 아주대학교 토목공학과 토목공학  
전공 공학석사

(이력)  
토질 및 기초 기술사

Tel: 010-6421-4105  
E-mail: eskim92@nate.com  
현재 ㈜산하이엔씨 기술연구소 이사

---

### 하은룡



1983년 서울대학교 토목공학과 학사

(이력)  
토질 및 기초 기술사

Tel: 010-3734-2146  
E-mail: eyha@sanhaenc.com  
현재 ㈜산하이엔씨 대표이사

### 정승환



2015년 아주대학교 건설교통공학과 토목  
공학전공 공학석사

Tel: 010-9026-9620  
E-mail: jsh9620@hanmail.net  
현재 ㈜산하이엔씨 기술연구소 대리

---