

산업부산물을 이용한 유동화토의 압축강도 특성에 대한 실험적 연구

이원홍¹, 정연득¹, 문홍득^{1*}, 이승열¹, 이현기²
¹경상국립대학교 건설시스템공학과, ²브리콘랩(주)

An experimental study of compressive strength characteristic for CLSM using Industrial By-product

Won-Hong Lee¹, Youn-Dug Jung¹, Hong-Duk Moon^{1*}, Seuong-Yeol Lee¹, Hyeon-Gi Lee²

¹Department of Civil and Infrastructure Engineering, Gyeongsang National University

²Bricon Lab Inc

요약 본 연구에서는 산업부산물들 중 화력발전소에서 발생하는 바텀애시와 제철소 탈황공정에서 발생하는 분진을 유동화토(CLSM, Contrlled Low-Strength Materials)의 재료로 사용하여 재활용의 범위를 확대하고자 한다. 특히 제철소 탈황분진에 대해서는 국내 연구가 거의 이루어지지 않았으며, 해외의 경우에는 알카리성 활성화제로 사용한 연구가 있는 실정이다. 본 연구의 유동화토는 5시간 개방강도를 0.4 MPa로 발현되도록 하였고, 28일 압축강도를 1.3 MPa이 되도록 설계하였다. 시공 후 차량의 통행이 가능한 강도가 발현되도록 개방강도를 설정하였으며, 28일 압축강도는 관로 보수공사에서 유동화토를 파쇄하기 쉬운 강도가 되도록 설계하였다. 이러한 규정은 국내에 제시되어 있지 않아서 미국과 일본규정을 참조하였다. 이와 같은 배합비를 설계하기 위해서 실내실험과 현장실험을 실시하였다. 현장실험은 연장이 약 31 m 되는 관로 공사 되메우기 공정에 적용하였으며, 현장에서 유동화토 공시체를 만들어 5시간 압축강도와 28일 압축강도를 측정하였고, 현장 유동화토의 실시간 압축강도를 측정하기 위하여 탄성과 측정기를 유동화토에 매립하여 무선으로 데이터를 수집하여 분석하였다. 그 결과 5시간 개방강도는 0.418 MPa, 28일 압축강도는 1.351 MPa로 측정되어 적정 배합비를 만족하는 것으로 판단된다.

Abstract Bottom ash generated from thermal power plants and dust generated from the desulfurization process of steelworks are industrial by-products and used as materials for controlled low-strength material (CLSM) to expand the scope of recycling. Few domestic studies have been conducted on steelwork desulfurization dust, but overseas studies have used it as an alkaline activator. CLSM was designed in this study to have an open strength of 0.4 MPa for 5 hours and a compressive strength of 1.3 MPa for 28 days. After construction, the opening strength was set so that a vehicle could pass over it, and the 28-day compressive strength was designed to be easy to crush the CLSM in pipeline repair work. Since regulations were not presented in Korea, reference was made to US and Japanese regulations. In order to design the mixing ratio, an indoor experiment and a field experiment were conducted. The field experiment was done with a backfilling process of pipeline construction with a length of about 31 m, and a CLSM specimen was made on the site. The compressive strength was measured for 5 hours, and the compressive strength was measured for 28 days. To measure the compressive strength of the field CLSM in real time, a seismic wave-measuring device was embedded in fluidized soil, and data were collected and analyzed wirelessly. As a result, the opening strength over 5 hours was measured as 0.418 MPa, and the compressive strength over 28 days was measured as 1.351 MPa. This indicates that the mixing ratio was appropriate.

Keywords : CLSM, Bottom Ash, Desulfurized Dust, Elastic Wave, Open Strength

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2021-KA162290).

*Corresponding Author : Hong-Duk Moon(Gyeongsang National Univ.)

email: hdmoon@gnu.ac.kr

Received October 20, 2022

Revised December 5, 2022

Accepted January 6, 2023

Published January 31, 2023

1. 서론

석탄회는 발생장소에 따라 플라이애시(Fly ash, 비회, 날림재), 신더애시(Cinder ash), 바텀애시(Bottom ash, 저회, 바닥재)로 구분되고 있으며, 이 중 바텀애시는 연소실 하부에서 발생하는 석탄회로 클링커애시(Clinker ash)라고도 하고 총석탄회 발생량 중 약 10-15%를 차지하고 있다. 그러나 발생량에 비해 이를 처리하기 위한 매립지나 처리시설 확보가 어려워 석탄회 매립으로 인한 환경영향 우려가 증가하고 있으며, 환경영향 최소화라는 측면에서 석탄회 재활용 및 유효이용이 향후 장기적으로 해결해야 할 문제로 인식되고 있다[1]. 국내 석탄회는 연간 약 800만 톤(플라이애시, 바텀애시 총량) 이상이 배출되고 있으며, 현재까지 매립된 석탄회는 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 석탄회 발생량과 더불어 석탄회 재활용은 플라이애시 기준으로 2010년 이후에는 500만 톤 이상 재활용되고 실질적으로는 발생량 대비 약 70 %의 석탄회를 재활용하고 있으며, 재활용되는 석탄회를 제외한 물량은 발전소마다 각 회처리장에 매립하여 처리하고 있다[2]. 따라서 2007년 산업자원부 기술표준원에서는 바텀애시를 모래나 자갈 대용으로 사용하여 자원 낭비를 최소화하고 화력발전소의 매립문제를 원천적으로 해소할 수 있도록 KS F 4570에 품질기준을 제정 고시하였고, 바텀애시를 적용하여 경계블록, 호안블록과 도로용 골재(노반재, 보조기층재 등)로 사용하도록 하고 있다.

탈황분진은 제철소의 제련과정중 탈황과정에서 발생된다. 제철탈황분진은 연간 4만톤 이상이 발생되고 있으나 중금속 등의 유해성분으로 인하여 지정폐기물로 분류되어 절반이상이 재활용되지 못하고 매립되고 있으며, 매립비용만 수억원에 달하고 있다. 또한, 주변 매립지의 용량이 제한되어 있어 재활용기술의 개발이 시급한 실정이다[3].

본 연구에서는 이러한 산업부산물과 현장토를 사용하여 지반 공동 현상, 다짐이 어려운 관로 공사 되메우기, 지반침하 억제 등에 사용할 수 있는 유동화를 개발하고자 하였다.

국내에서는 유동화토에 대한 설계기준이 미흡한 실정이나 국외에서는 압축강도에 대하여 ACI committee 229(1994)에서는 재굴착을 고려한 유동화토의 일축압축강도를 2.1 MPa 이하, TBR(2008)에서는 0.35 MPa~1.0 MPa, 일본에서는 차도하부 매설관의 되메움용 유동화토에 개방강도 0.14 MPa 이상, 28일 이후 0.6 MPa 이하로 제한하고 있다. 또한, 지반 공동의 충전 시 0.1

MPa~0.3 MPa 이상을 제시하고 있다. 플로우의 경우 ASTM D 6103에서는 고유동의 플로우 값은 200 mm 이상을 기준으로 제시하고 있으며, 일본에서는 지반 공동의 충전 시 200 mm 이상의 고유동성을 제안하고 있다[4].

따라서, 개발하고자 하는 유동화토는 5시간 개방강도 0.4 MPa, 플로우 200 mm 이상, 추후 관로의 보수 보강을 위한 28일 압축강도를 1.3 MPa이 되도록 각 재료에 대해 배합 후 실내실험을 반복 실시하여 배합비를 결정하였다. 결정된 배합설계를 사용하여 실험용 현장관로공사에 적용하고, 현장에서 채취한 공시체에 대해 압축강도, 플로우 등의 실험을 실시한 후 그 결과를 분석하여 현장적용에 대한 타당성을 도출하고자 하였다.

2. 배합비에 따른 유동성과 압축강도실험

2.1 사용재료

2.1.1 탈황분진

본 연구에 사용된 탈황분진은 00제철에서 배출된 것으로 성분분석 결과 Na₂O가 44.8 %, SO₃가 41.6 %로 대부분의 비율을 구성하고 있는 것으로 나타났으며, 단위중량은 24.7 KN/m³이다. Table 1은 탈황분진의 성분분석 결과를 나타낸 것이다. 또한 탈황분진은 알칼리성 황산화제로 분류하여 국외에서 연구되고 있다[5].

Table 1. Chemical and Physical Composition of Desulfurized Dust

compo.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO
quantity (%)	0.26	0.12	0.22	0.02	0.22	0.04
compo.	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Li ₂ O	SO ₃	loss on ignition
quantity (%)	44.8	0.17	0.02	0.77	41.6	11.7

2.1.2 바텀애시

본 연구에 사용된 바텀애시는 00화력발전소에서 배출된 것으로 입도 종류에 따라 다양하게 보관되어 있었으나 입도가 클 경우 압축강도 저하가 발생하므로 미립 상태의 것을 시료로 채택하였고, 미분말 바텀애시와 야적장소는 Fig. 1에 나타내었다. 바텀애시의 입도분석을 위해서 LA-950 Laser Scattering Particle Distribution

Analyzer를 이용하였으며, 측정의 대기 조건은 온도 23 °C, 습도 31 %이었다. Fig. 2의 좌측 축은 해당 입도의 양을 퍼센트로 나타내며 아래 축은 입도를 마이크로미터로 나타내고, 우측 축은 측정된 누적 바텀애시의 양을 퍼센트로 나타내었다. Fig. 2에서 나타난 것과 같이 바텀애시의 입경 분포는 0.100 μm ~262.376 μm 으로 분석되었다. 두 번의 꼭지점을 가진 그래프 중 좌측 첫 번째 꼭지점은 직경 0.296 μm 이며 양은 1.647 %이고, 두 번째 꼭지점은 직경 11.565 μm 이며 양은 6.934 %로 분석되었다. 배출되는 매립회 속에는 바텀애시 다량과 플라이 애시와 토양 미립분들이 포함되어 있다.

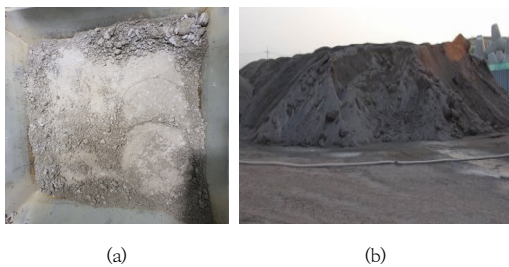


Fig. 1. Bottom Ash used in the Experiment
(a) Bottom ash powder (b) Bottom ash site loading

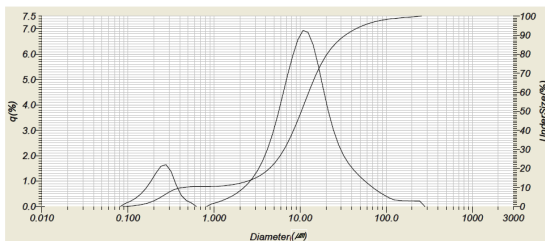


Fig. 2. Bottom ash Particle Size Analysis

바텀애시의 성분을 분석하기 위해서 KS L 1614(2016) 규정에 따라 실시하였으며, 사용된 분석기법은 유도 결합 플라즈마 발광 분석법(ICP-OES)을 이용하였고 사용된 장비로는 Optima 8300을 사용하였다. 분석결과는 Table 2와 같으며, 단위중량은 21.3 KN/m³이다.

Table 2. Chemical and Physical Composition of Bottom Ash

compo.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO
quantity(%)	60.5	24.0	4.59	1.16	1.71	0.90	0.97	0.79	0.21	0.06
compo.	V ₂ O ₅	SrO	ZrO ₂	BaO	Li ₂ O	Cr ₂ O ₃	CeO ₂	SO ₃	LOI	Sum
quantity(%)	0.04	0.09	0.07	0.11	0.02	0.01	0.02	0.27	4.41	99.93

2.1.3 현장토 및 시멘트

본 연구에서 사용된 현장토의 물리적 특성은 Table 3에 나타내었다. 현장토는 자갈 29.36 %, 모래41.83 %, #200체 통과율은 28.81 %로 통일분류법상 실트질모래(SM)로 분류된다.

사용된 시멘트(1종 포틀랜드 시멘트)의 물리적 특성값은 Table 4에 나타내었다. 배합비에 따라 각각 플로우와 압축강도를 측정하였으며, Fig. 3은 플로우와 압축강도를 측정하는 모습을 나타내었고, 측정결과를 정리하여 Table 6에 정리하였다.

Table 3. Physical properties of soil

gravel (%)	29.36
sand (%)	41.83
#200 Passing(%)	28.81
Specific gravity	2.636
Plastic index (%)	N.P
USCS	SM

Table 4. Physical properties of ordinary portland cement

Density (g/cm ³)	fineness (cm ² /g)	Setting time		Stability (%)	Compressive strength (MPa)		
		Initial (min)	final (hr)		3 (day)	7 (day)	28 (day)
3.15	2,800	60	10	0.8	12.5	22.5	42.5

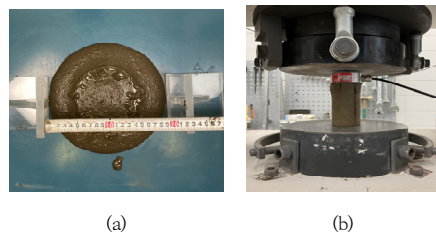


Fig. 3. Flow and Compressive Strength Test of CLSM
(a) Flow Test (b) Compressive strength test

2.2 플로우와 압축강도 실험

본 연구에서는 5시간 개방강도를 약 0.4 MPa, 플로우는 200 mm이상, 28일 압축강도는 1.3 MPa 정도로 발현될 수 있도록 계획하고 시험배합을 하였다. 플로우 실험은 ASTM D6103, 압축강도 실험은 ASTM D4832에 의해 실시하였다. 기존 탈황분진에 대한 국내의 자료가 부족하여 수습여 종류의 배합을 실시하여 실험하였고, 그 중에서 계획한 플로우와 강도가 비슷하게 발현된 공시체의 실험 결과만 정리하여 나타내었다.

시험배합을 위한 공시체는 Table 5에 나타난 것과 같이 6종류로 하였다. 공시체에 배합되는 바텀애쉬와 탈황분진 그리고 물의 비를 각각 0.5로 고정하고 시멘트의 양은 바텀애쉬 양과 탈황분진 양의 합에 대한 비율로 나타내었다. 그리고 공시체 번호 No. 1, 2, 3은 현장토의 중량비를 0.6으로 하고, 시멘트 양은 각각 4%, 6%, 8%로 배합하였다. 또한 공시체 번호 No. 4, 5, 6은 현장토 현장토의 중량비를 0.5로 하고, 시멘트 양은 각각 4%, 6%, 8%로 배합하였다. 공시체 제원은 ASTM D4832에 의하여 길이 대 직경의 비율이 2:1인 $\phi 50 \times 100$ 을 사용하였으며 5시간 기중 양생을 실시하였다.

플로우와 압축강도를 측정된 결과 시멘트 양이 6%일 때 플로우가 가장 크게 발생하였고, 시멘트 양이 8%일 때 압축강도가 가장 크게 나타났다. 계획된 플로우와 압축강도에 근접한 배합은 공시체 번호 No. 5가 적절한 것으로 판단하였다.

Table 5. Mix Proportion of CLSM(weight ratio)

Case	Binder		water	soil	cement (%)
	Bottom Ash	Desulfurized Dust			
No.1	0.5	0.5	0.5	0.6	4
No.2					6
No.3					8
No.4	0.5	0.5	0.5	0.5	4
No.5					6
No.6					8

Table 6. Flow and Compressive Strength

Case	flow (mm)	Compressive strength (MPa)
No.1	170	N/A
No.2	184	0.445
No.3	125	0.776
No.4	183	N/A
No.5	207	0.418
No.6	145	0.626

2.3 초결과 종결 실험

본 연구에서 주요 결합재인 바텀애쉬와 탈황분진의 플로우와 압축강도에 영향을 주고, 5시간 개방강도의 가능성을 파악하기 위해 공시체 번호 No. 5의 초결과 종결 실험을 실시하였다.

결합재(바텀애쉬 : 탈황분진) : 물의 비율을 1(0.5 : 0.5) : 0.5로 배합하여 KS L ISO 9597의 방법에 따라 응결시간을 측정하였으며, Fig. 4는 초결과 종결 실험 결과를 나타낸 것이다. 실험 결과 초결 시간 80분, 종결 시간 140분으로 측정되었다.

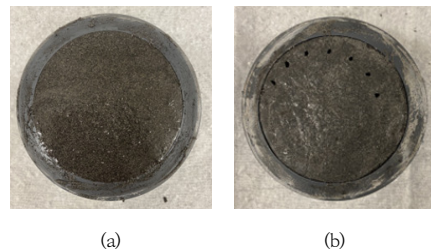


Fig. 4. Initial and Final setting time test
(a) Initial setting (b) Final setting

3. 유동화토의 현장 적용 실험

현장 적용 실험은 Fig. 5와 같이 경남 사천시 용현면에 자연수로 형태가 형성된 곳에 콘크리트 관로와 집수정으로 시공하고, 시멘트는 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

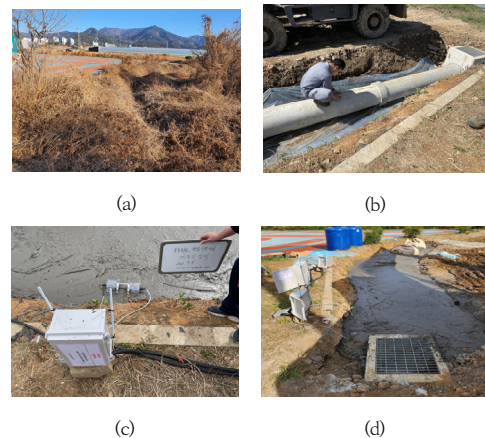


Fig. 5. Field Test
(a) Before field test (b) Pipeline installation
(c) Installation of elastic wave meter (d) CLSM casting

현장 타설에 대한 배합비는 Table 5의 공시체 번호 No. 5에 따라 하였고, 5시간 개방강도와 28일 압축강도를 측정하기 위해 현장에서 공시체 21개를 제작하였으며, 응결시간, 블리딩, 플로우를 측정한 결과를 Table 7에 나타내었다. 응결시간은 초결 70분, 종결 130분으로 측정되었고 블리딩은 발생하지 않았다. 그리고 플로우 207 mm, 5시간 개방강도는 0.418 MPa, 재령 28일 압축강도는 1.351 MPa로 측정되어 설계강도를 만족하였다.

Table 7. Field Specimen Test

Test		Test result
Setting time	KS L ISO 9597	Initial Setting 73 min
		Final Setting 130 min
Bleeding	KS F 2433	0 %
Flow	ASTM D 6103	207 mm
Compressive strength	ASTM D 4832	5 hour 0.418 MPa
		28 day 1.351 MPa

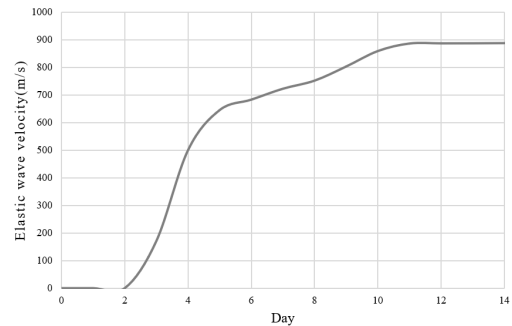
또한, 현장 압축강도 측정을 위해 2기의 탄성파 측정기를 유동화토 내에 매립하여 탄성파의 전달속도를 1시간 간격으로 실시간 전송하도록 하였다. 전송된 전달속도는 Eq. (1)에 의해 압축강도로 환산하였다[6].

$$UCS(kPa) = 8.32E-10 \cdot V_s^{4.20} \quad (1)$$

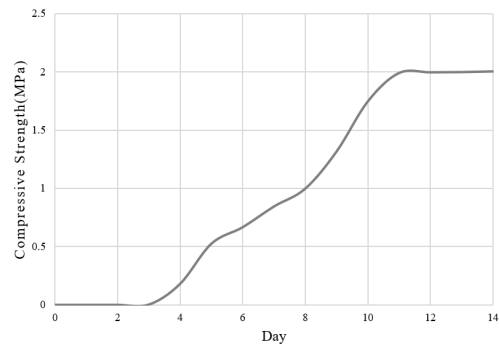
탄성파 측정기의 제원은 아래의 Table 8에 나타내었다. 1시간 간격으로 측정한 탄성파의 전달속도를 1일 단위로 평균하여 그 값을 Fig. 6 (a)에 나타내었으며, Eq. (1)에 의해 압축강도로 환산하여 Fig. 6 (b)에 나타내었다. 탄성파의 전달속도 측정결과, 타설 후 재령 3일간은 데이터가 수집되지 않았는데 이는 아직 탄성파 측정기가 유동화토를 매질로 탄성파 전달을 할 수 없어 속도 데이터가 0으로 전송되었고, 재령 3일 이후부터는 유동화토를 매질로 하여 탄성파를 전달하여 속도 데이터가 전송되었다. 재령 11일부터 재령 14일까지는 탄성파속도는 885.84 m/s~887.25 m/s로 측정되었고 이 속도를 압축강도로 환산하면 1.99 MPa~2.00 MPa로 산정되어 이 기간 동안의 압축강도 증가량이 거의 발생하지 않았다. 따라서 이강도를 유동화토의 최종 압축강도로 판단하였다. 탄성파 측정기를 이용한 압축강도 측정은 압축 파괴강도보다 높게 측정되며[7] 탄성파 측정기를 이용한 개방강도의 측정은 다소 어려우며 장기강도의 측정은 가능할 것으로 판단된다.

Table 8. Elastic Wave Meter

Bandwidth	20 to 500 kHz
Technology	Ultrasonic pulse velocity
Measuring Resolution	0.1us
Pulse Voltage	±125 to ±500 V (UPV)
Receiver Gain	1x, 10x, 100x, AUTO, Pundit Lab+ up to 1000x
Nominal Transducer Frequency	24 - 500 kHz
Pulse Shape	Square Wave



(a)



(b)

Fig. 6. Measured elastic wave velocity and analyzed compressive strength.

(a) Elastic wave velocity (b) Compressive strength

4. 결론

산업 부산물인 바텀애시와 탈황분진을 사용하여 유동화토 재료로 사용하기 위한 실험을 실시한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 응결시험을 통해 탈황분진의 알카리성 혼화제로써의 역할이 바텀애시의 포졸란 반응을 활성화시켜 유동화토 내 응결조건에 영향을 주는 것으로 확인

하였다.

- 2) 실내실험에서 공시체 번호 No. 5의 배합비로 배합된 현장의 유동화토에 대한 5시간 개방강도와 28일 압축강도 그리고 플로우를 측정된 결과 개방강도 0.4 MPa, 28일 압축강도 1.3 MPa, 플로우 200 mm이상을 만족하여 배합비의 적절성을 도출할 수 있었다.
- 3) 본 연구에서의 유동화토 재료 중 바텀애시와 제철분진은 일정한 성분비를 가지고 있으나 통일분류법상 실트질모래(SM)로 분류되어 현장토는 지역에 따라 성상이 다르므로 적용 현장의 현장토 분석에 따라 배합비가 달라질 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) 본 연구에서 개발된 유동화토는 현장실험결과 5시간 개방강도 0.418 MPa, 28일 압축강도 1.351 MPa, 플로우 207 mm로 측정되어 목표를 만족하였으며, 일본의 매설관 되메움 차도하부의 교통개방 직후 0.14 MPa 이상, 28일 이후 0.6 MPa 이하의 강도를 기준으로 할 때 5시간 후 차량의 통행이 가능할 것으로 추정되므로, 긴급공사 현장이나 도심 내 관로공사의 되메우기 공사에 적용할 수 있을 것으로 분석되었다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2021-KA162290).

References

- [1] J. H. Maeng, T. W. Kim, D. H. Seo, Minimizing Environmental Accordance with the Thermal Power Plant Ash Management(I), Research Trend Report, Korea Environment Institute, Korea.
- [2] J. H. Maeng, T. W. Kim, D. H. Seo, Minimizing Environmental Accordance with the Thermal Power Plant Ash Management(II), Research Trend Report, Korea Environment Institute, Korea.
- [3] G. J. Park et al., Stabilization and recycling of desulfurized dust using mechanochemical nano pulverization technology, Technical Report, Suncheon National University, Korea, p.13.
- [4] G. H. Park, T. Y. Kim, Y. S. Lee, B. J. Lee, "Engineering Characteristics of CLSM Using Bottom Ash and Eco-friendly Soil Binder". *Journal of the*

Korean Geoenvironmental Society, Vol.20, No.5, pp.23-29, May 2019.

DOI: <https://doi.org/10.14481/jkges.2019.20.5.23>

- [5] E. Adesanya, K. Ohenoja, A. Di Maria, P. Kinnunen, & M. Illikainen, "Alternative alkali-activator from steel-making waste for one-part alkali-activated slag". *Journal of Cleaner Production*, Vol.274, pp.1-12, Nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123020>
- [6] S. S. Park, S. H. Hwang, "Relationship between Unconfined Compressive Strength and Shear Wave Velocity of Cemented Sands", *Journal of the Korean geotechnical society*, Vol.30, No.1, pp.65-74, Jan. 2014. DOI: <https://doi.org/10.7843/kgs.2014.30.1.65>
- [7] W. H. Lee, S. G. Choi, S. Y. Lee, J. H. Ahn, B. J. Kang, "An Experimental Study on the Compressive Strength of Reinforcing Bars in Concrete Specimens and Compressive Strength Measurement Methods", *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol.25 No.6 pp.33-40, Dec. 2021. DOI: <https://doi.org/10.11112/jksmi.2021.25.6.33>

이 원 홍(Won-Hong Lee)

[정회원]



- 1987년 2월 : 건국대학교 대학원 농공학과 (농학석사)
- 1995년 2월 : 건국대학교 대학원 농공학과 (농학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 경상국립대학교 건설시스템공학과 교수

<관심분야>

복합적층구조, 콘크리트

정 언 득(Youn-Dug Jung)

[정회원]



- 2013년 2월 : 경남과학기술대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 경상국립대학교 건설시스템공학과 박사과정

<관심분야>

토목/건축

문 흥 득(Hong-Duk Moon)

[정회원]



- 1988년 2월 : 경희대학교 토목공학과 (토질및기초)
- 1997년 8월 : 경희대학교 토목공학과 (토질및기초)
- 1988년 3월 ~ 1998년 3월 : 한국건설기술연구원 선임연구원
- 1998년 3월 ~ 현재 : 경상국립대학교 건설시스템공학과 교수

<관심분야>
토목/건축

이 승 열(Seung-Yeol Lee)

[정회원]



- 1999년 2월 : 경상국립대학교 토목공학과대학원 (공학석사)
- 2009년 2월 : 경상국립대학교 토목공학과대학원 (공학박사)
- 2007년 8월 ~ 2019년 2월 : 경남과학기술대학교 토목공학과 겸임 교수
- 2021년 2월 ~ 현재 : KHEN Corp. 기업부설연구소 소장

<관심분야>
구조역학, 구조물 유지 관리

이 현 기(Hyeon-Gi Lee)

[정회원]



- 2016년 2월 : 한양대학교 공학대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2016년 5월 ~ 2017년 8월 : 경상국립대학교 박사후연구원
- 2017년 10월 ~ 현재 : 브리콘랩 대표이사

<관심분야>
토목/건축