

# 지반 및 도로 공동부의 긴급복구용 CLSM 재료로 매립 석탄저회 활용 가능성

## Possibility of Using Landfill Coal Ash as CLSM Material for Emergency Restoration of Ground and Road Joint Parts

김진만<sup>1</sup> · 신상철<sup>2\*</sup> · 민경남<sup>3</sup> · 김하석<sup>4</sup>

Jin-Man Kim<sup>1</sup> · Sang-Chul Shin<sup>2\*</sup> · Kyoung-Nam Min<sup>3</sup> · Ha-Seog Kim<sup>4</sup>

(Received January 17, 2023 / Revised February 6, 2023 / Accepted February 6, 2023)

This study aims to develop CLSM fill material for emergency restoration using landfill coal ash. As a result of examining physical properties such as particle size distribution and fines content of landfill coal ash, bottom ash, fly ash, and general soil were mixed, and SP was found to have a density of 2.03 and a residual particle pass rate of 7.8 %. CLSM materials that secure fluidity in unit quantities without using chemical admixtures such as glidants and water reducing agents have a high risk of material separation due to bleeding. As a result of this experiment, it was found that the bleeding ratio did not satisfy the standard in the case of the specimen with a large amount of fly ash and a lot of addition of mixing water. As a result of the compressive strength test, the strength development of 0.5 MPa or more for 4 hours was found to be satisfactory for the specimens using hemihydrate gypsum with a unit binder amount of 200 or more, and the remaining gypsum showed poor strength development. Although it is judged that landfill coal ash can be used as a CLSM material, it is necessary to identify and apply the physical and chemical characteristics of coal ash buried in the ash treatment plant of each power generation company.

**키워드 :** 석탄저회, 긴급복구, CLSM, 대량활용, 재활용

**Keywords :** Bottom ash, Emergency recovery, CLSM, Mass utilization, Recycling

### 1. 서론

석탄저회란 발전소에서 석탄이 연소된 후 남은 재를 말하며 그 중에서 석탄회(Fly Ash)는 석탄이 연소된 후 연기와 함께 연돌로 나가는 과정에서 집진기에 포집되는 재를 의미하며, 비산재의 생산량은 75~90 %를 점유한다. 석탄저회(Bottom Ash)는 보일러의 저부에 있는 Clinker Hopper로 떨어지는 재를 말하며 보일러 저부로 떨어져 호퍼 내에 집적된 후 분쇄기에 의해 분쇄되며, 저회의 생성량은 전체 석탄회의 약 10~25 % 점유한다.

2020년 기준 국내 화력발전소에서 약 709만 톤의 석탄회가 발생되며 발생량 중 약 743만 톤이 재활용되어 많은 양이 활용되는 것으로 보이나 70년대부터 발전소 인근 회처리장에 지속적으로

매립되어 있는 석탄저회는 활용되지 못하고 포화상태로 존재하여 이에 대한 대책마련이 시급한 실정이다. 석탄저회의 활용 용도로는 주로 레미콘 혼화재 및 시멘트 원료, 성토재 등으로 활용되고 있다. 매립재는 바닷물을 활용한 저회 습식 처리를 하여 매립재에 염분을 함유하게 되어 성토재로만 활용되고 있어서 매립재 활용처의 다양화를 위한 연구개발이 필요하다.

최근 4년간 국내사용 전력의 약 50 % 이상은 화력발전에 의존하고 있어 화력발전 부산물이 지속적으로 발생할 것으로 예상되며 현재 회처리장의 만지시기가 임박하고 있으며, 추가적인 회처리장의 확보가 환경문제 등으로 인하여 곤란한 실정하기에 안정적인 석탄화력 발전의 운영을 위해서는 발전 부산물의 유효 활용방안을 위한 기술개발이 시급하다.

\* Corresponding author E-mail: [hiykhj@kongju.ac.kr](mailto:hiykhj@kongju.ac.kr)

<sup>1</sup>공주대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Cunghnam, 31080, Korea)

<sup>2</sup>공주대학교 친환경콘크리트연구소 연구교수 (Eco Friendly Concrete Research Center, Kongju National University, Cunghnam, 31080, Korea)

<sup>3</sup>세종이엔씨 기술연구소 대표이사 (Institute of Technology, Sejong E&C Ltd, 23 (4th floor), Yuseong-gu, Daejeon, 34185, Korea)

<sup>4</sup>(주)도담이엔씨 기술연구소 대표이사 (Institute of Technology, Dodam E&C Ltd, Chungnam, 31080, Korea)

Copyright © 2023 by Korean Recycled Construction Resources Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

최근 도심지 지반침하 발생에 따른 사회적 문제가 대두되고 있으며, 대부분의 도심지 지반침하하는 노후 하수관거의 누수 또는 인근 토목공사 시 지하수 유출에 따른 지하공동 발생이 원인으로 지목되고 있다.

지반침하 복구공사는 침하된 지반을 채우는 것에서부터 시작되며 이때 사용되는 재료는 공사의 긴급성 및 현장 여건에 따라 일반 토사부터 콘크리트까지 사용되고 있다. 그러나, 일반 토사를 사용하는 경우 층별 적층 및 다짐 공정이 수반되어 복구 시 공동의 면적이 상부로 노출되어야 가능하며, 콘크리트 사용 시 채움을 위한 유동성 확보를 위해 물-결합재비를 높여 사용하여 재료분리, 블리딩 등의 문제가 발생 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 CLSM 재료 개발이 이루어지고 있다. CLSM(Controlled Low Strength Material)은 강도 제어형 복합재료를 의미하며 유동성을 높여 채움재로서 활용되는 재료로 아직 국내에서는 상용화 실적이 미미하지만, 저강도 재료의 특성상 CLSM은 산업부산물의 사용을 극대화할 수 있는 활용방안으로 분류되며 국내외에서 다양한 연구가 진행되어 왔다. 따라서 본 연구에서는 매립 석탄저회를 유동성 채움재(CLSM)용 소재로 대량 활용하고, 특히 도로 및 도심지 침하 발생시 구난 및 구조 등과 같은 대응 활동이 가능할 수 있는 긴급복구용 CLSM에 대한 기초연구를 통해 매립재의 안정적인 활용방안을 도출하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 재료특성

### 2.1 실험계획

본 연구에서는 Table 1과 같이 석탄 매립재인 석탄저회를 긴급 복구용 CLSM 재료로서 활용 가능성을 검증하기 위하여 수립한 실험계획이다. 일반적으로 관 뒤채움용 CLSM은 4시간 0.1 MPa 이상, 28일 1.4 MPa 이하 강도발현, Flow 200 mm 이상, 블리딩 3% 이하의 물리적 성질을 갖도록 규정하고 있으며 긴급 복구용 채움재에 관한 규정은 없는 실정이다. 따라서 본 실험에서는 긴급복구용 CLSM 용도를 만족할 수 있도록 배합을 설계하였다. 높은 유동성과 4시간 이내 0.5 MPa 이상 강도발현을 위하여 속경성 재료로서 칼슘알루미늄네이트(C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>) 계열인 CAC를 이용하였다. CAC는 철강공정에서 발생하는 환원슬래그를 재활용하여 만든 급결특성을 갖는 재료로서 본 연구의 선행실험에서 CAC 단독으로 결합재로 사용한 경우 강도 발현이 저조하며 단위 결합재량이 증가함에 따라 강도 저하가 두드러지는 결과를 나타냈다.

따라서 본 실험에서는 높은 유동성과 4시간 이내 0.5 MPa 이상

강도발현을 위하여 속경성 재료로서 칼슘알루미늄네이트(C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>) 계열인 CAC와 석고를 결합재로 이용하여 단위 결합재량 변화에 따른 그 특성을 검토하였다. 실험인자로는 단위 결합재량, 석고 종류, 석탄저회 활용율로 선정하였다. 단위결합재량은 100, 120~300 kg 까지 11수준을 검토하였으며 석고종류로는 탈황무수석고와 이수석고, 반수석고 3종류를 사용하였다. 석고 사용량은 전체 결합재 대비 중량비로 25 %를 대체하였다. 양생방법은 기건양생으로 설정하였다. Table 2는 석탄저회를 긴급복구용 CLSM 재료로서 활용 가능성 검토 실험의 실험배합을 나타낸다.

Table 1. Experiment plan

Factors	Levels	Test items
Unit binder content	11 (100, 120, 140, ... 280, 300)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flow</li> <li>• Compressive strength</li> <li>• Bleeding ratio</li> </ul>
Types of gypsum	3	

## 2.2 재료 특성

### 2.2.1 바인더 특성

본 실험에 사용한 사용재료의 특성과 종류는 아래 설명하였으며 바인더로 사용한 주 재료의 물리·화학적 특성은 Table 3에 나타내었다.

제강환원슬래그는 다른 슬래그들과 다르게 수분과 접촉하였을 때 반응하여 자체 분화되는 특성을 가지고 다른 제강슬래그와 같이 골재로 활용하기 어려운 반응성 재료이다. 주성분은 CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 SiO<sub>2</sub>, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등으로 이들 성분은 반응성물질인 Mayenite(C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>), Larnite(β-C<sub>2</sub>S)와 Calcio-olivine(γ-C<sub>2</sub>S) 등으로 급격한 수화반응과 팽창성을 가지고 있어 CA계 특수시멘트로서 활용된다. 본 실험에서는 제강환원슬래그의 급결성을 이용하여 빠른 결형성을 목적으로 사용하였다.

본 실험에 사용한 석고는 탈황무수석고, 이수석고, 반수석고 3종류를 이용하였다. 탈황무수석고는 국내 S정유사 탈황공정에서 발생하는 것을 이용하였으며, 이수석고와 반수석고는 천연 석고를 이용하였다.

제강환원슬래그 미분말은 배합수와 접촉하였을 때 수십 초 내에 경화하며, 속경성 재료는 물과 혼합되었을 때 급격하게 수초 내에 결화되면서 수화반응은 오히려 지연되기 때문에 충분한 유동성을 부여하기 위한 본 연구에서는 충분한 지연제의 사용이 필수적이며, 본 연구에서는 구연산계 지연제를 사용하였다.

Table 2. Experiment mix

ID	Weight (kg)					
	W/B	W/S	W	CAC	CaSO <sub>4</sub>	Bottom ash
A-1	200 %	12 %	1.00	0.38	0.13	7.52
A-2	200 %	16 %	1.20	0.45	0.15	7.05
A-3	200 %	19 %	1.40	0.53	0.18	6.58
A-4	200 %	23 %	1.60	0.60	0.20	6.12
A-5	200 %	27 %	1.80	0.68	0.23	5.65
A-6	200 %	32 %	2.00	0.75	0.25	5.18
A-7	200 %	38 %	2.20	0.83	0.28	4.72
A-8	200 %	44 %	2.40	0.90	0.30	4.25
A-9	200 %	51 %	2.60	0.98	0.33	3.78
A-10	200 %	59 %	2.80	1.05	0.35	3.31
A-11	200 %	69 %	3.00	1.13	0.38	2.85
D-1	200 %	12 %	1.00	0.38	0.13	7.52
D-2	200 %	16 %	1.20	0.45	0.15	7.05
D-3	200 %	19 %	1.40	0.53	0.18	6.58
D-4	200 %	23 %	1.60	0.60	0.20	6.12
D-5	200 %	27 %	1.80	0.68	0.23	5.65
D-6	200 %	32 %	2.00	0.75	0.25	5.18
D-7	200 %	38 %	2.20	0.83	0.28	4.72
D-8	200 %	44 %	2.40	0.90	0.30	4.25
D-9	200 %	51 %	2.60	0.98	0.33	3.78
D-10	200 %	59 %	2.80	1.05	0.35	3.31
D-11	200 %	69 %	3.00	1.13	0.38	2.85
H-1	200 %	12 %	1.00	0.38	0.13	7.52
H-2	200 %	16 %	1.21	0.45	0.15	7.04
H-3	200 %	19 %	1.40	0.53	0.18	6.58
H-4	200 %	23 %	1.60	0.60	0.20	6.12
H-5	200 %	28 %	1.81	0.68	0.23	5.64
H-6	200 %	32 %	2.01	0.75	0.25	5.17
H-7	200 %	38 %	2.20	0.83	0.28	4.72
H-8	200 %	44 %	2.40	0.90	0.30	4.25
H-9	200 %	51 %	2.60	0.98	0.33	3.78
H-10	200 %	59 %	2.80	1.05	0.35	3.32
H-11	200 %	69 %	3.00	1.13	0.38	2.85

A : Anhydrate gypsum, D : Dihydrate gypsum  
H : Hemihydrate Hemihydrate

### 2.2.2 석탄저회 특성

본 실험에 사용된 석탄저회는 D사 당진화력발전소 회처리장에 매립되어 있는 석탄저회를 이용하였다. 상기 회처리장에 매립되어 있는 석탄저회는 발전 후 발생하는 저회와 비회 그리고 비산을 방지하기 위한 흙이 혼재되어 있는 상태로 CLSM 채움재 재료로

Table 3. Properties of binder materials

Binder	Density (g/mm <sup>3</sup> )	Blain (cm <sup>2</sup> /g)	Chemical properties (oxide content) (%)				
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	
CAC	2.97	6,300	12.0	31.31	45.98	1.73	
Gypsum	Anhydrate	2.83	3,372	0.35	-	40.36	59.29
	Dihydrate	2.70	2,611	0.17	0.46	40.43	58.85
	Hemihydrate	2.32	3,485	0.11	-	40.03	59.76

활용하기 위하여 그 특성을 파악하여 배합시 반영하여야 하여 아래와 같은 특성조사를 실시하였다.

아래 Fig. 1은 조사위치도에 표시한 바와 같이 각 조사지점을 답사한 후 지층의 구성 상태, 지반의 공학적 성질 등 전반적인 자료를 획득할 수 있도록 총 6개소의 시추조사를 NX규격의 시추공을 실시한 지점을 나타낸다.

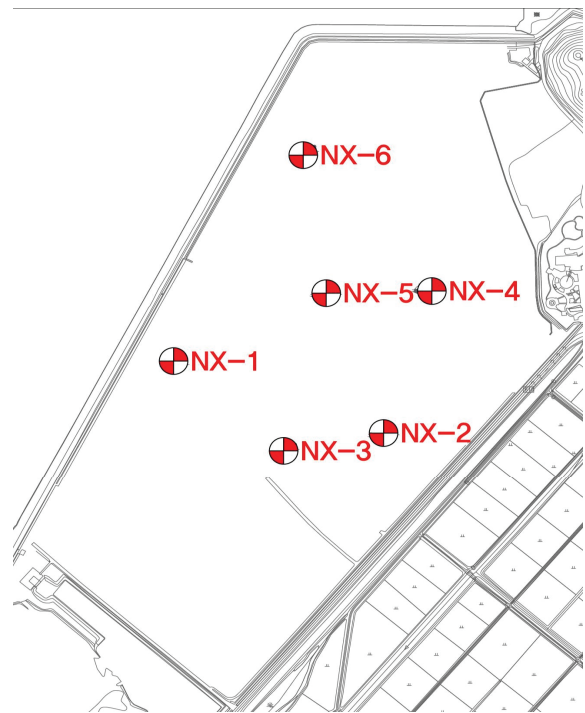


Fig. 1. Drilling location map of ash pond

시추조사 결과 석탄저회 매립현황은 토사복토층 0.8~1.2 m를 제외하고 약 5.5~9 m 두께의 석탄저회층으로 이루어져 있으며 이 석탄저회층에 대한 표준관입시험(SPT) 결과 N치가 2~5 정도로서 매우 느슨에서 느슨한 수준인 것으로 나타났다. 또한 현장 들밀도 시험과 실내 다짐 시험 결과, 매립장의 석탄저회 다짐 정도

는 최적 함수비 다짐도의 53~65 % 수준으로 이를 토대로 하여 태양광 발전 부지를 포함한 면적에 시추 조사 시 적용한 양단면 평균법 및 최초 시추 깊이인 9 m를 적용한 매립석탄층 3차원 두께의 추정체적을 합산하면 회처리장 석탄저회 매립량은 약 12,343,000 m<sup>3</sup>로 파악되었다.

시추조사를 통하여 채취한 석탄저회의 유동성 채움재 배합기술 개발을 위해 입도, 0.075 mm(No.200)체 통과율, 밀도, 액성한계 및 소성한계, 공학적 분류를 실시하였다.

매립 석탄저회의 입도 시험방법은 KS F 2302에 준하여 매립 석탄저회를 4분법을 이용하여 균등하게 0.5 kg을 채취한 후 2 mm 체를 이용하여 체가름을 실시하였다. 2 mm 잔류분에 대하여 9.5 mm, 4.75 mm, 2 mm에 대한 체분석을 실시하고 2 mm 통과분에 대해서는 비중계 분석을 실시하여 입도를 분석하였다. 0.075 mm 체 통과율은 KS F 2309에 준하여 건조된 시료 최소 500 g을 채취하고 1.2 mm, 0.075 mm 체를 사용하여 씻기 시험을 수행한 후 질량을 측정하여 산출하였다. 또한 밀도 시험은 KS F 2308에 준하여 시료를 비중병에 투입한 후 증류수 주입 및 가열을 실시하여 석탄저회 입자사이의 기포를 제거하고 실온 냉각 후 질량을 측정하여 산출하였으며, 액성 및 소성한계 시험은 KS F 2303에 준하여 시험을 실시하였다.

액성한계는 425 μm체를 통과한 시료 약 200 g을 채취하여 시험 장치에 거치한 후 낙하를 반복시키고 흙 바닥부 시료의 길이가 약 13 mm 맞닿을 때까지 시험을 실시한 후 시료의 함수비를 측정하였다. 동일 과정을 총 4회 반복하여 직선 보간법에 의해 매립석탄저회의 액성한계를 산출하였다. 소성한계 시험은 시료 약 30 g을 채취하여 불투명한 유리판에 손바닥으로 굴리면서 지름 약 3 mm에서 끊어질 때 그 조각난 부분의 매립석탄저회를 모아 함수비를 측정하여 산출하였다. 또한 산출된 액성한계와 소성한계를 이용하여 아래의 식에 의해 소성지수를 산출하였다. 본 연구에서 평가대상 매립 석탄저회의 공학적 성질을 판단하기 위한 척도의 일환으로서 KS F 2324에 준하여 공학적 분류를 실시하였다.

채취시료에 대한 물성 분석 결과 Table 4와 같이 밀도 2.03 g/cm<sup>3</sup> 및 0.075 mm체 통과율 7.8 %의 수준으로 나타났으며, 액·소성한계 시험에서는 시험불가(Non-Plastic)로 판정되었다. 평가결과를 토대로 공학적 분류를 실시한 결과 입도분포 불량한 모래(SP)군으로 분류되었다. 당진화력발전소 매립지의 채취별 시료에 대한 특성 분석 및 공학적 분류 결과 채취별에 따른 밀도는 동등한 수준으로 나타났으나, 0.075 mm체 통과율 및 입도분포, 공학적 분류의 결과는 서로 상이한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 석탄재의 발생 시기, 매립 시 사용되는 복토, 채취 심도 등의 영향

이 작용한 것으로 판단된다.

Table 4. Properties of bottom ash

Density (g/cm <sup>3</sup> )	0.075 mm (%)	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	Plasticity index (PI)	USCS
2.03	7.8	NP	NP	NP	SP

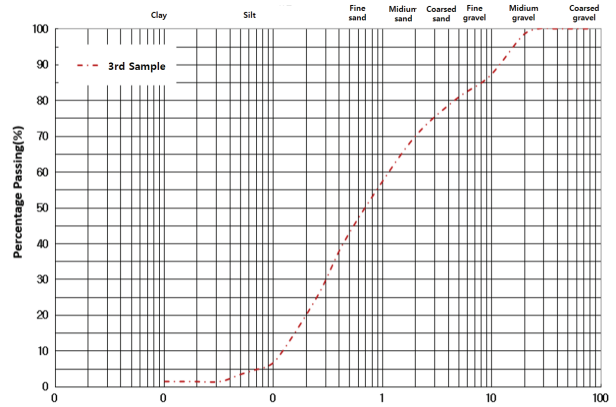


Fig. 2. Bottom ash particle size distribution curve

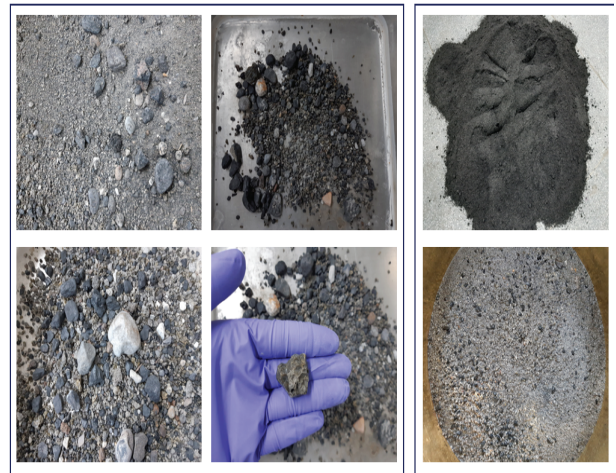


Fig. 3. Collected bottom ash photograph

### 3. 실험 결과

#### 3.1 Flow 시험 결과

매립 석탄저회를 긴급복구용 CLSM 재료 활용 가능성을 검토하고자 수립한 배합실험의 Flow 실험결과는 Fig. 4와 같다. 단위수량

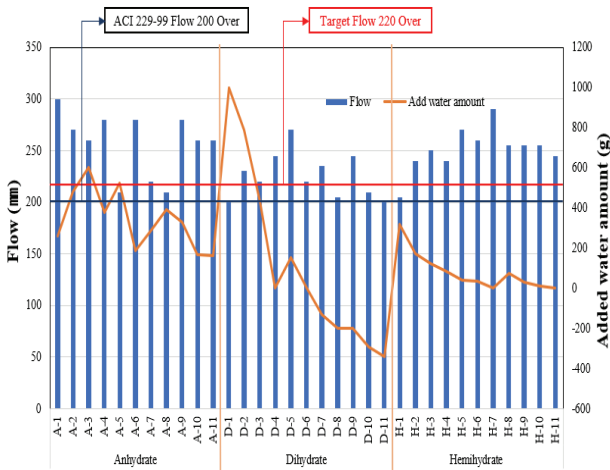


Fig. 4. The flow result according to the gypsum kind and bottom ash used amount

을 고정하여 W/B를 200 % 고정하여 시험한 결과 매립석탄저회 사용량이 많아질수록 Flow는 급격히 저하하는 결과가 나타났으며 본 실험에서 계획한 Flow 220 mm를 충족하지 않는 결과를 나타냈다. 따라서 상당히 높은 단위수량을 나타내지만 배합수를 추가할 경우 목표 플로우를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 결합재로 석고계 물질이 투입됨에 따라 석고 사용량이 증가할수록 Flow 저하 현상이 두드러지게 나타났다. 이는 석고 사용량이 증가할수록 배합 초기 요구되는 단위수량이 커지는 결과에 기인된 것으로 판단된다. 그림에서 보는 바와 같이 탈황무수석고를 사용한 시험체군의 경우 추가수량이 160~600 g 정도 증가하여야 목표 Flow를 만족하였으며 각각 시험체의 유동성이 목표 Flow는 만족하지만 플로우 값의 차이가 확연히 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 이수석고를 사용한 시험체의 경우 매립 석탄저회 사용량이 높을 경우 목표 Flow를 만족하기 위하여 추가되는 단위수량이 높아지지만 매립 석탄저회 사용량이 낮아질수록 고정 배합수 보다 낮은 수량으로 목표 Flow를 만족하는 결과를 나타냈다. 이는 이수석고 사용량과 고려해보면 매립 석탄저회 사용량이 낮아지고 단위결합재 중 이수석고 사용량이 높아질 경우 요구되는 단위수량이 상당히 낮아지는 결과로 판단된다.

반수석고를 사용한 시험체의 경우 위 무수 및 이수석고를 사용한 경우와 유사한 결과를 보였지만 실제 타 석고 대비 첨가되는 수량의 양은 상당히 낮은 결과를 나타냈다.

33개 전 시험체 모두 220 mm 이상의 흐름값을 보였으며 평균 240 ± 5 mm 정도의 플로우 값을 나타내었으며 일정량의 단위수량 첨가시 유동성 변화가 큰 것으로 나타났다.

### 3.2 Bleeding 시험 결과

매립 석탄저회를 긴급복구용 CLSM 재료 활용 가능성을 검토하고자 수립한 배합실험의 Bleeding 실험결과는 Fig. 5와 같다. 본 실험은 4시간 0.5 MPa 강도발현을 구현하기 위하여 CAC 속경성 결합재와 탈황무수석고, 이수석고, 반수석고를 사용하였으며 유동화제 및 감수제와 같은 화학 혼화제를 사용하지 않고 유동성을 확보하기 위하여 W/B는 200 % 수준으로 단위수량이 상당히 높게 설정되어 있어 재료분리 위험성이 내포되어 있다. 따라서 전 실험체에 대한 Bleeding 실험결과 석탄저회 사용량이 많고 배합수 추가가 많은 시험체의 경우 Bleeding ratio가 ACI 229 R-99에서 요구하는 3 % 이상을 넘어서는 결과를 나타냈으며 석탄저회 사용량이 작고 배합수 추가가 낮은 시험체의 경우 기준을 만족하는 것으로 나타났다. CAC 속경성 결합재와 함께 사용된 석고 종류에 따른 Bleeding ratio 변화는 반수석고를 사용한 시험체가 더 낮은 Bleeding ratio 결과를 나타내긴 하였지만 석고종류에 따른 Bleeding ratio 변화는 크게 나타나지 않았다.

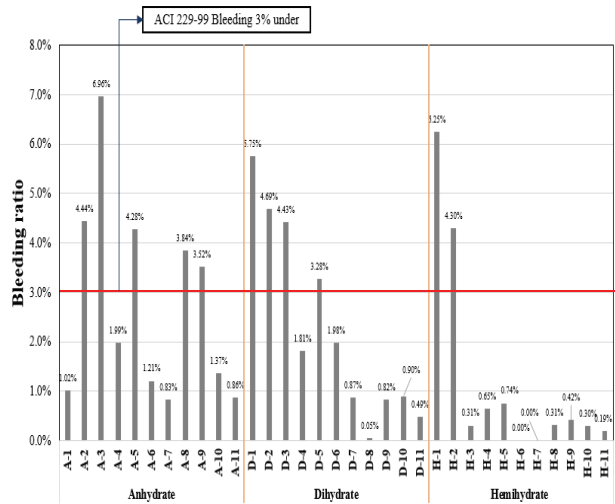


Fig. 5. The bleeding ratio result according to the gypsum kind and bottom ash used amount

### 3.3 압축강도 시험 결과

매립 석탄저회를 긴급복구용 CLSM 재료 활용 가능성을 검토하고자 수립한 배합실험의 압축강도 실험결과는 Fig. 6과 같다. 압축강도 실험결과 목표로 하는 4시간 0.5 MPa 이상 강도발현은 탈황무수석고, 이수석고, 반수석고를 결합재로 사용할 경우 반수석고를 사용한 시험체의 경우 4시간 강도발현이 가장 높은 것으로 나타났다. 특히 탈황무수석고를 사용한 경우 4시간 강도발현이 가장

낮았으며 단위결합재량이 260 이상일 경우 목표 강도를 발현하는 것으로 나타났다. 이수석고를 사용한 경우 단위결합재량이 240부터 4시간 0.5 MPa 이상 목표 강도 값을 만족하였으며 반수석고의 경우 단위결합재량이 200부터 만족하는 결과를 나타냈다. 본 실험에 사용한 결합재는 환원슬래그(CAC)에 탈황무수석고, 이수석고, 반수석고를 결합재로 사용한 것으로 환원슬래그(CAC) 단독 사용보다는 강도발현 및 조기응결을 가져오지만 반수석고를 사용하는 것이 강도발현에 가장 효과적인 결과를 나타냈다.

전 시험체에서 양생일수가 증가함에 따라 강도가 증진하였으며 단위 시멘트량이 증가함에 따라 강도는 증가하는 경향이 나타났으며 석탄저회 사용량이 증가할수록 강도는 감소하는 결과를 나타냈다.

강도 시험결과 경제성을 고려할 경우 가격이 가장 싼 탈황무수석고 또는 합성하여 제조한 석고를 이용하는 것이 타당하지만 CLSM 재료로 석탄저회 대량 활용 측면에서 안정된 배합 및 기술개발을 위하여 반수석고를 사용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

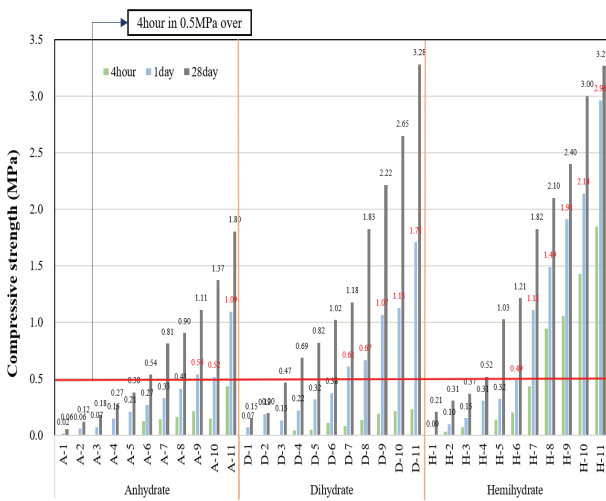


Fig. 6. The compressive strength result according to the gypsum kind and bottom ash used amount

#### 4. 결론

본 연구에서는 국내 화력발전소에서 대량 발생하여 매립되어 있는 매립 석탄저회의 대량 활용방안으로 긴급 복구용 CLSM 재료로 활용 가능성을 확인하기 위한 것으로 석탄저회 사용량 및 결합재 종류에 따라 시험한 결과 다음과 같은 결론에 도달할 수 있었다.

1. 국내 D사 당진화력발전소 매립 pond에 적치된 석탄저회는 저회와 비회, 일반 흙이 섞여 있는 상태로 밀도 2.03, 잔입자 통

- 과율 7.8 %인 입도분포 불량한 모래(SP)군인 것으로 나타났다.
2. 매립 석탄저회를 긴급복구용 CLSM 재료로 활용하기 위하여 단위결합재량과 석고종류에 따른 Flow 시험결과 단위결합재량이 낮은 경우 석탄저회 사용량이 많아 짐에 따라 단위수량 저감효과에 따른 Flow 저감율이 큰 것으로 나타났으며 반수석고를 사용한 시험체가 목표 Flow를 충족하기 위한 첨가수량이 가장 낮은 결과를 도출하였다.
3. 유동화제 및 감수제와 같은 화학 혼화제를 사용하지 않고 단위수량으로 유동성을 확보하는 CLSM 재료는 Bleeding에 의한 재료분리 위험성이 크며 본 실험결과 석탄저회 사용량이 많고 배합수 추가가 많은 실험체의 경우 Bleeding ratio이 기준을 만족하지 않는 것으로 나타났으며 반수석고를 사용한 시험체가 타 석고를 사용한 시험체와 비교시 더 낮은 Bleeding ratio 결과를 나타냈다.
4. 압축강도 시험결과 4시간 0.5 MPa 이상 강도발현은 탈황무수석고, 이수석고, 반수석고를 결합재로 사용할 경우 반수석고를 사용한 시험체의 경우 4시간 강도발현이 가장 높은 것으로 나타났으며 단위결합재량 200 이상이 사용되어야 목표 시간내 강도발현이 가능하였으며 CAC와 반응하여 에트리ಂಗ라이트 생성에 반수석고가 가장 유리한 결과로 판단된다.
5. 상기 시험결과 긴급복구용 CLSM 재료로 활용하기 위하여 원재료인 매립 석탄저회 사용이 가능한 것으로 판단되나 발전사별 회처리장에 매립되어 있는 석탄저회의 물리, 화학적 특성을 파악하여 적용하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

#### Conflict of interest

None.

#### 감사의 글

본 연구는 한국동서발전(주) 매립석탄재 기반 긴급복구용 반응성 Self-Leveling 채움재 사업화 기술개발과 2022년도 중소벤처기업부의 기술개발사업(S3226444) 지원하에 수행한 연구로 관계 기관에 감사의 말씀을 올립니다.

#### References

Cho, D.H. (2007). Reuse of Surplus Soil by Rapid-Setting Properties of Liquefied Stabilized Soil, Ph.D Thesis, Chungang

- University [in Korean].
- Green, B.H., Schmitz, D.W. (2004). Soil-based controlled low strength materials, *Journal of Environmental & Engineering Geoscience*, **10(2)**, 169-174.
- Kim, H.S. (2011). A Study on the Quality Improvement of Recycled Fine Aggregate using Neutralization and Low Speed Wet Abraser, Ph.D Thesis, Kongju National University [in Korean].
- Kim, H.S., Kim, B., Kim, K.S., Kim, J.M. (2017). Quality improvement of recycled aggregates using the acid treatment method and the strength characteristics of the resulting mortar, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, **19**, 968-976.
- Kim, H.S., Park, S.K., Kim, H.Y. (2016). The optimum production method for quality improvement of recycled aggregates using sulfuric acid and the abrasion method, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **13(8)**, 769.
- Kiyomasa, D., Hiroyuki, S., Youichi, K., Tsuneo, H. (2013). Technical Guide for Using the Construction Site Soil, 4th Ed., Japan.
- Kwon, C.W., Lim, N.G. (2013). Fundamental properties of low strength concrete mixture with blast furnace slag and sewage sludge, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, **17(3)**, 136-144.
- Le, D.H., Nguyen, K.H. (2016). An assessment of eco-friendly controlled low-strength material, *Procedia Engineering*, **142**, 260-267.
- Lee, J., Kim, Y.W., Lee, B.C., Jung, S.H. (2018). Engineering properties of controlled low strength material for sewer pipe by standard soil classification, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **6(3)**, 182-189 [in Korean].
- Lee, J.S., Noh, S.K., Suh, J.I., Shin, H.C. (2020). A study on the possibility of using cement raw material through chemical composition analysis of pond ash, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, **24(6)**, 180-188.
- Lee, Y.H., Han, D.H., Lee, S.M., Eom, H.K., Kim, S.S. (2019). A study on the Cation Extraction and Separation in cement industrial by-products for applications to the carbonation process, *Applied Chemistry for Engineering*, **30(1)**, 34-38.
- Park, J.H., Lee, K.H., Jo, J.Y., Song, C.S. (2003). Deformation behavior underground pipe with clsm, *Journal of the Korean Society of Pavement Engineers*, **5(2)**, 25-35 [in Korean].
- Quality Standard for Liquidated Land Treated by the Construction Bureau of Tokyo (2009). Japan.
- Tam, V.W., Tam, C.M., Le, K.N. (2007). Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches, *Resources, Conservation and Recycling*, **50(1)**, 82-101.

### 지반 및 도로 공동부의 긴급복구용 CLSM 재료로 매립 석탄저회 활용 가능성

본 연구에서는 매립 석탄저회를 활용한 긴급복구용 CLSM 채움재의 실용화 기술개발의 일환으로서 매립 석탄저회의 입도 분포 및 미립분 함량 등의 물성을 파악한 결과 저회와 비회, 일반 흙이 섞여 있는 상태로 밀도 2.03, 잔입자 통과율 7.8 %인 입도분포 불량한 모래(SP)군인 것으로 나타났다.

유동화제 및 감수제와 같은 화학 혼화제를 사용하지 않고 단위수량으로 유동성을 확보하는 CLSM 재료는 Bleeding에 의한 재료분리 위험성이 크며 본 실험결과 석탄저회 사용량이 많고 배합수 추가가 많은 실험체의 경우 Bleeding ratio이 기준을 만족하지 않는 것으로 나타났다. 압축강도 시험결과 4시간 0.5 MPa 이상 강도발현은 반수석고를 단위결합재량 200 이상으로 사용한 실험체의 경우 만족하는 것으로 나타났으며 나머지 석고는 강도발현이 저조한 결과를 나타냈다.

매립 석탄저회를 CLSM 재료로 사용이 가능한 것으로 판단되나 발전사별 회처리장에 매립되어 있는 석탄저회의 물리, 화학적 특성을 파악하여 적용하는 것이 필요하다.