

## 매립석탄재 활용 CLSM의 관 뒤채움재 적용성 평가

# Assessment of Controlled Low Strength Material using Pond Ash for Pipe Backfill Materials

김영욱<sup>1\*</sup> · 임영철<sup>2</sup> · 연두봉<sup>3</sup>

Young-Wook Kim<sup>1\*</sup> · Young-Cheol Lim<sup>2</sup> · Doo-Bong Yeon<sup>3</sup>

(Received January 9, 2023 / Revised January 26, 2023 / Accepted January 27, 2023)

In this study, as part of the practical development of technology for CLSM using pond ash, the characteristics such as flowability, bleeding rate, and strength of the CLSM according to physical properties such as particle size distribution and particulate content of the pond ash were reviewed. As a result of analyzing the properties of the collected pond ash, it was found that the characteristics of density and particle size distribution were different. As a result of evaluating the characteristics of the CLSM for three types of pond ash, it was found that the blending conditions to satisfy the quality stipulated in ACI 229R were different, and mainly affected the particle size distribution characteristics and particulate content of the pond ash. In case of coarse-grained pond ash (PA-3), mixing conditions that satisfy the performance requirements stipulated in ACI 229R were not derived. But it is considered that further review is necessary according to particle size adjustment.

**키워드** : 매립석탄재, 유동성 채움재, 관 뒤채움, 유동성, 블리딩

**Keywords** : Pond ash, Controlled low strength material, Pipe backfill, Flowability, Bleeding

## 1. 서론

국내 석탄재 발생 현황은 2018년 기준 약 940만 톤 수준으로 이중 플라이애시는 795만톤, 바텀애시는 144만톤을 차지하고 있다. 석탄재 발생량 중 약 89 %인 831만톤은 재활용되고 있으나, 나머지 약 109만톤은 매립되고 있으며, 매립석탄재의 주요 활용 용도는 간척사업 및 도로 노반재 등 기층재로 사용되고 있다.

하지만 이러한 단순 매립 방법에 의한 재활용은 대량 재활용이 가능하지만 국한된 재활용 분야이며, 대규모 활용에 따른 환경문제 발생 우려로 인해 사용에 제약사항이 따르고 있어 새로운 분야의 재활용 기술 개발이 필요한 실정이다.

유동성 채움재는 별도의 다짐공정이 필요로 하지 않기 때문에 협소한 공간에서 용이하게 적용 가능하며, 균질한 다짐도 및 충전성을 확보할 수 있어 하수관 및 구조물용 뒤채움재, 공동충진재로

사용하고자 많은 연구가 수행되고 있다(Kim et al. 2020; Kim et al. 2019; Lee et al. 2018).

유동성 채움재를 사용하는 가장 큰 목적은 굴착폭 감소와 별도의 다짐공정이 요구되지 않기 때문에 공사비 및 인건비 감소, 균질한 다짐성 및 충전성 확보에 의의를 두고 있다.

또한, 콘크리트와 달리 고성능의 품질을 요구하지 않기에 단순 매립 및 폐기물로 처리되던 매립석탄재의 재활용이 용이한 건설재료이다.

유동성 채움재에 관한 연구는 미국, 일본 등으로 활발하게 이루어져왔으며, 기술 선진국의 경우 노후된 하수관의 비중이 높아 하수관의 결함으로 인한 토사유출 및 지반침하 사례가 빈번히 발생함에 따라 유동성 재료를 활용한 지하 매설물의 채움재에 관한 연구 및 현장 적용 실적이 증가하는 추세이고, 각종 표준 및 시방서에서 유동성 채움재에 대한 품질기준 및 가이드라인을 제시하고

\* Corresponding author E-mail: [alwayswork@kcl.re.kr](mailto:alwayswork@kcl.re.kr)

<sup>1</sup>한국건설생활환경시험연구원 대전·충남센터 책임연구원 (Daejeon & Chungnam Center, Korea Conformity Laboratories, Daejeon, 34113, Korea)

<sup>2</sup>세종이엔씨 기업부설 연구소 소장 (R&D Center, Sejong E&C, Daejeon, 34185, Korea)

<sup>3</sup>세종이엔씨 기업부설 연구소 과장 (R&D Center, Sejong E&C, Daejeon, 34185, Korea)

있다(Green and Schmitz 2004; Le and Nguyen 2016; Kiyomasa et al. 2013). 국내의 경우 최근 현장발생 굴착토 및 굴패각, 플라이 애시 등 폐자원을 활용한 연구가 진행된 사례가 있으나 실용화 사례는 미미한 수준이다.

따라서 본 연구에서는 매립석탄재를 활용한 유동성 채움재의 실용화 기술개발의 일환으로서 국내 화력발전소 한국동서발전 매립지에서 채취된 석탄재를 활용한 유동성 채움재의 관 뒤채움재 적용을 위해 배합요인별 유동성, 재료분리저항성 및 재령별 강도 등의 공학적 특성을 검토하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구에서는 매립석탄재를 활용한 유동성 채움재의 물리적 특성 평가를 위해 Table 1에 나타난 바와 같이 채취별 매립석탄재의 물리적 특성을 분석하고자 하였으며, 분석된 매립석탄재를 대상으로 배합요인별에 따른 특성 평가를 실시하였다.

Table 1. Test plan

Test step	Test factors	Test method
1 Series	Collected PA (3 point)	KS F 2324
2 Series	W/B, Unit binder, (PA+B)/W	ASTM D 6103 ASTM D 4832 KS F 2433

PA=Pond Ash, B=Binder, W=Water

Table 2. Properties of pond ash

ID	D10	D20	D30	PI	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Passing ratio (No.200)
PA-1	0.012	0.055	0.259	NP	1.99	36.5
PA-2	0.013	0.040	0.177	NP	2.04	52.3
PA-3	0.118	0.294	1.143	NP	2.03	7.8

PI=Plasticity index, NP=Non-plastic

### 2.2 사용재료

#### 2.2.1 매립석탄재

유동성 채움재의 주 사용재료인 매립석탄재의 특성 분석을 위해서 Fig.1에 나타난 것과 같이 KS F 2324에 준하여 입도 및 밀도, 미립분 함량, 소성지수 등을 평가를 실시하였다. 매립석탄재의 대

표성 확보를 위해 대상 매립지에서 3포인트 채취를 실시하였으며, 매립석탄재의 분석 결과는 Table 2 및 Fig. 2에 나타난 것과 같이 채취별 시료의 입도 분포 및 밀도는 상이한 특성을 나타내는 것으로 확인되었다.

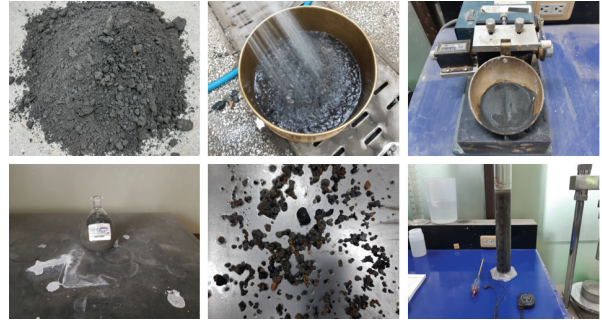


Fig. 1. Pond ash characteristics test

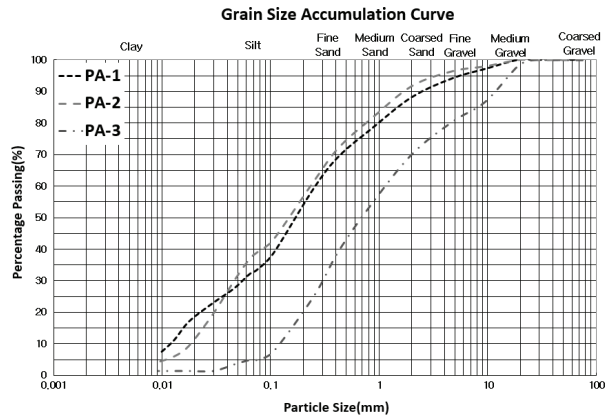


Fig. 2. Pond ash particle distribution

#### 2.2.2 결합재

매립석탄재를 활용한 유동성 채움재의 공학적 특성을 검토하기 위해 사용된 결합재는 국내 A사에서 생산된 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물리·화학적 특성은 Table 3에 나타난 것과 같다.

Table 3. Properties of binder

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Chemical compositions (%)				
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>
3.14	3400	21.1	6.7	2.9	61.7	0.84

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 배합

매립석탄재의 물성에 따른 유동성 채움재의 특성을 평가하기 위한 배합은 Table 4에 나타낸 것과 같이 단위결합재량, W/B 및 (PA+B)/W의 조건을 변화시켜 최적배합비를 도출하고자 하였으며, 시료별 W/B(%)는 유동성 및 블리딩에 대해 유효한 성능이 확보되는 조건을 토대로 실시하였다. 배합 방법으로는 매립석탄재+배합수의 구성으로 1분 30초간 교반하여 매립석탄재의 뭉친 입자를 최소화 하고, 결합재를 혼입한 후 1분 30초간 교반을 실시하여 유동성 채움재의 균질성을 확보하고자 하였으며, Fig.3은 배합 요인별에 따른 유동성 채움재의 유동성, 재료분리저항성 및 양생전경, 재령별 압축강도 특성 평가 전경을 나타낸 것이다.

### 2.3.2 유동성

본 연구에서는 현재 유동성 채움재의 유동성 평가방법으로 가장 널리 사용되고 있는 ASTM D 6103 「Standard Test Method for

Flow Consistency of Controlled Low Strength Material(CLSM)」에 준하여 평가를 수행하였다.

### 2.3.3 재료분리 저항성

유동성 채움재는 고유동성의 확보를 위한 혼합수량의 증가로 사용재료간의 밀도차이에 따라 블리딩수(bleeding water) 및 재료분리가 발생할 수 있으므로 본 연구에서는 유동성 채움재에 대한 블리딩 특성을 검토하고자 하였으며, 평가방법으로는 KS F 2433 「주입 모르타르의 블리딩률 및 팽창률 시험 방법」에 준하여 평가를 수행하였다.

### 2.3.4 일축압축강도

유동성 채움재의 일축압축강도 측정은 ASTM D 4832 「Standard Test Method for Preparation and Testing of Controlled Low Strength Material(CLSM) Test Cylinders」에 준하여 실시하였다. 시험편은 높이와 지름의 비율이 2:1의 실린더 형태인 몰드를 사용하여 높이 100 mm, 지름 50 mm의 공시체를 제작하여 재령에 따른 일축압축강도를 평가하고자 하였으며, 측정장비로는 Zwick/Roell사의 50 kN(분해능 0,01 kN)의 만능재료시험기를 사용하였다.

Table 4. Mix proportion

PA	W/B (%)	(PA+B)/W	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )		
			Binder	Water	PA
PA-1	600	1.39	100	600	733
	575	1.53	100	575	782
	550	1.69	100	550	832
	540	1.76	100	540	852
	535	1.80	100	535	862
	520	1.87	100	525	882
	491	1.77	110	540	846
	450	1.78	120	540	839
	415	1.78	130	540	833
	600	1.76	90	540	858
PA-2	675	1.75	80	540	865
	771	1.74	70	540	871
	500	2.13	100	500	964
	475	2.35	100	475	1016
	600	2.29	80	480	1019
	585	2.40	80	468	1043
	575	2.48	80	460	1060
PA-3	550	2.68	80	440	1101
	750	2.56	60	450	1094
	450	2.56	100	450	1052
	425	2.83	100	425	1103
	300	2.60	150	450	1020
	285	2.84	150	428	1065
	275	3.02	150	413	1096



Fig. 3. CLSM characteristics test

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 유동성

현재 유동성 채움재의 유동성에 대한 품질 기준은 미국, 일본의 각종 표준 및 시방에 규정되어 있으며 본 연구에서는 ACI Committee Report 229에서 제시하고 있는 200 mm 이상을 목표로 설정하였다.

먼저 PA-1을 대상으로 단위시멘트량 100 kg/m<sup>3</sup>의 조건에서

Table 5. CLSM test results

PA	W/B (%)	(PA+B)/W	Test results			
			Flow (mm)	Bleeding (%)	UCS (7day)	UCS (28day)
PA-1	600	1.39	388.5	5.13	0.32	0.85
	575	1.53	320.5	3.34	0.41	0.94
	550	1.69	262.0	2.16	0.69	1.27
	540	1.76	210.0	1.34	0.61	1.28
	535	1.80	210.5	1.33	0.82	1.45
	520	1.87	202.5	1.28	0.92	1.64
	491	1.77	254.5	2.09	0.63	1.70
	450	1.78	261.0	2.40	0.69	1.92
	415	1.78	266.5	2.07	0.80	2.17
	600	1.76	246.0	2.19	0.54	1.27
	675	1.75	240.0	1.85	0.48	0.88
	771	1.74	232.0	1.93	0.42	0.72
	PA-2	500	2.13	277.5	2.43	1.14
475		2.35	228.0	1.23	1.46	4.50
600		2.29	273.0	1.93	0.95	1.76
585		2.40	212.0	1.03	1.13	1.94
575		2.48	210.0	0.95	1.26	2.02
550		2.68	196.0	1.23	1.38	2.25
750		2.56	221.5	1.19	0.83	1.31
PA-3	450	2.56	297.0	5.84	0.32	0.91
	425	2.83	273.0	4.63	0.34	0.86
	300	2.60	287.5	4.75	0.91	2.18
	285	2.84	250.0	3.00	1.01	2.48
	275	3.02	183.0	2.42	1.29	3.38

W/B 변화에 따른 유동 특성은 Fig. 4에 나타난 것과 같이 W/B 값이 증가함에 따라 유동성은 최소 202.5 mm에서 최대 388.5 mm로 증가하는 경향을 나타내었다.

PA-1을 대상으로 단위 수량 540 kg/m<sup>3</sup>에 대해 단위결합재량 변화에 따른 유동성을 검토하기 위해 실험 및 분석한 결과 Fig. 5에 나타난 것과 같이 단위결합재량이 감소함에 따라 유동성은 감소하는 것으로 나타났으나, 단위결합재 70 ~ 130 kg/m<sup>3</sup>의 조건 모두 ACI 229에서 규정하는 최소 유동성 200 mm 이상을 모두 충족시키는 것으로 나타났다.

단위결합재량이 감소함에 (PA+B)/W의 값은 1.78 ~ 1.74의 범위를 나타내었으며, (PA+B)/W의 값이 낮아짐에 따라 유동성을 발현하는 W/B의 값이 증가하는 이유는 단위결합재량이 감소함에 따라 상대적으로 다공질 특성의 매립석탄재 사용률 증가에 기인한 것으로 판단된다.

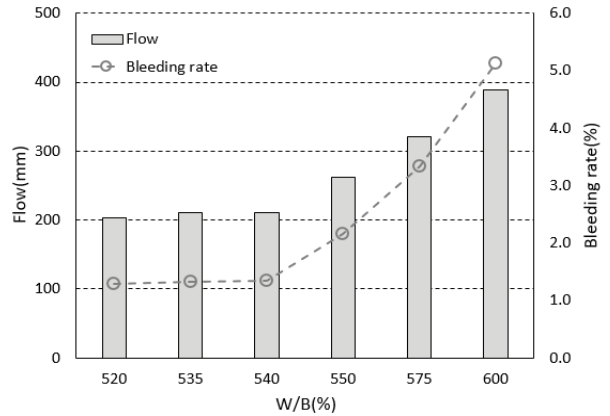


Fig. 4. PA-1 flow & bleeding (unit binder 100 kg/m<sup>3</sup>)

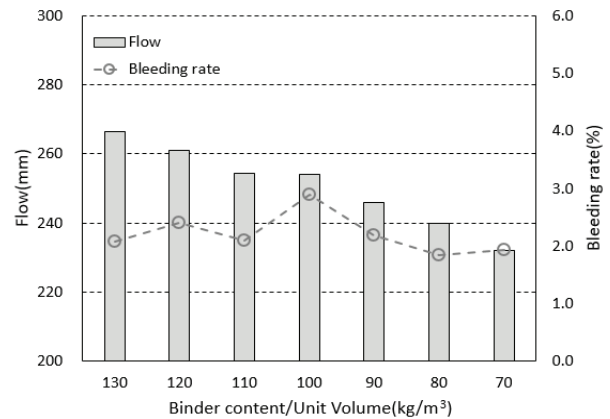


Fig. 5. PA-1 flow & bleeding (unit water 540 kg/m<sup>3</sup>)

PA-2를 대상으로는 단위결합재량 100 kg/m<sup>3</sup>을 기준으로 60 kg/m<sup>3</sup>까지 저감시켜 유동성을 검토하고자 하였으며, PA-2 대상 단위결합재량 및 W/B에 따른 유동 특성은 Fig. 6에 나타난 것과 같이 동일한 단위결합재량의 조건에서 W/B 값이 증가함에 따라 유동성은 증가하는 경향을 나타내었다.

유동성 채움재의 유동성은 대상 시료의 미립분 함량 및 입도 분포 특성에 영향을 받으며(Lee et al, 2018), 조립질 입도분포의 경우 유동성은 확보되지 않으면서 재료분리 현상이 발생할 우려가 있다. 따라서, 입도분포가 상대적으로 조립질로 구성된 PA-3 매립석탄재의 경우 0.075 mm체 통과량이 7.8 % 수준으로 매립석탄재 내 미립분 함량이 다른 시료에 비해 상당히 낮은 것으로 나타나 배합체 내 미립분 함량을 증가시키고자 단위결합재량을 100 ~ 150 kg/m<sup>3</sup>의 수준으로 배합 검토를 실시하였으며, 실험결과는 Fig. 7에 나타난 것과 같다.

PA-3을 대상으로 배합 요인별에 따른 유동성을 평가한 결과

동일한 단위결합재 조건에서 W/B에 따른 유동 특성은 PA-1 및 PA-2와 동일한 경향으로 W/B 값이 증가함에 따라 유동성은 증가하는 경향을 나타내었으며, 200 mm 이상의 유동성을 확보하는 W/B는 단위결합재량이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 이와같은 결과는 앞서 PA-1을 대상으로 단위결합재량 변화에 대해 평가한 결과와 동일한 경향으로 판단된다.

### 3.2 재료분리 저항성

미국 ACI 229에서는 유동성 채움재에 대한 재료분리 저항성에 대해서 별도로 품질관리 지침을 제안하고 있지는 않지만, 일본 동경도 건설국의 「토목재료사양서」 및 「하수도 미보급 해소기술 이용가이드(안)\_유동화처리토의 관로 시공 이용편」에서는 유동성 채움재의 적용 용도별에 따라 블리딩률에 대한 규정을 제시하고 있으며, 용도에 따라 1~3 % 미만의 품질 규정을 적용하고 있다.

PA-1을 대상으로 W/B에 따른 재료분리 저항성을 평가하고자 KS F 2433에 준하여 블리딩률을 측정한 결과 Fig. 4에 나타난 것과 같이 유동성이 증가함에 따라 블리딩률은 증가하는 것으로 확인되었으며, 단위결합재량 100 kg/m<sup>3</sup>의 수준에서는 W/B 520 ~ 550 %의 범위에서 3.0 % 미만의 블리딩률을 확보하는 것으로 나타났다.

PA-2 및 PA-3을 대상으로 W/B 변화에 따른 재료분리 저항성은 PA-1 매립석탄재와 동일한 경향으로 유동성이 증가함에 따라 블리딩률은 증가하였으며, PA-2 의 경우 적용된 모든 배합에서 블리딩률 3.0 % 이하를 나타내었으나, PA-3의 경우 유동성 200 mm 이상을 충족시키는 배합에서는 재료분리 저항성을 확보할 수 없는 것으로 나타났다. 이와같은 결과는 PA-3의 0.075 mm체 통과율이 7.8 %로 낮은 미립분 함량과 입도분포 곡선에 나타난 것과 같이 조립질의 입도 분포에 기인한 것으로 판단된다.

### 3.3 압축강도

유동성 채움재 기술을 상용화하고 있는 미국의 경우 ACI 229R 에서 0.3 MPa 이상으로 규정하고 있으며, 본 연구에서는 재령 7일 에서 0.3 MPa 이상 확보를 목표로 배합설계를 실시하였다. 또한, 유동성 채움재의 관 뒤채움용으로 적용할 때 추후 재굴착이 필요할 경우를 대비해 최종 강도에 대한 상한치를 규정하고 있으며, ACI 229R에서는 19 mm 이하의 골재가 함유된 유동성 채움재의 경우 1.4 MPa 이하, 플라이애시 등의 미립분으로 이루어진 유동성 채움재의 경우 2.1 MPa 까지 재굴착성을 확보하는 것으로 명시하고 있어, 본 연구에서는 매립석탄재 중 바텀애시 성상의 특성을 고려하여 1.4 MPa 이하로 재령 28일 강도를 설정하고 평가를 실시하였다.

먼저 PA-1을 대상으로 단위결합재량 100 kg/m<sup>3</sup>의 수준에서

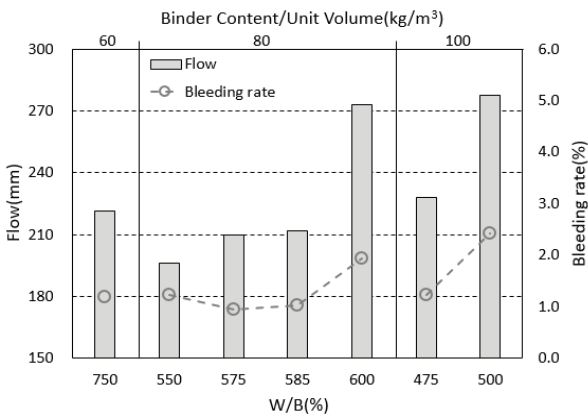


Fig. 6. PA-2 flow & bleeding

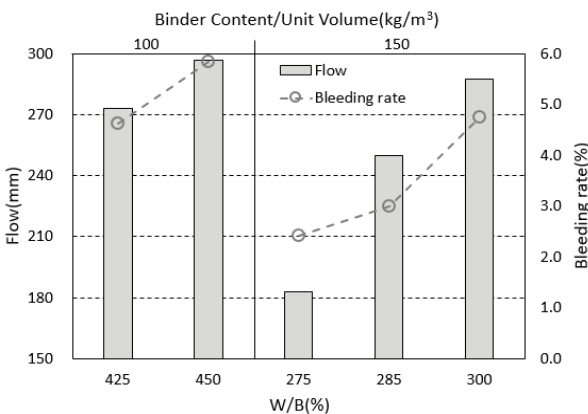


Fig. 7. PA-3 flow & bleeding

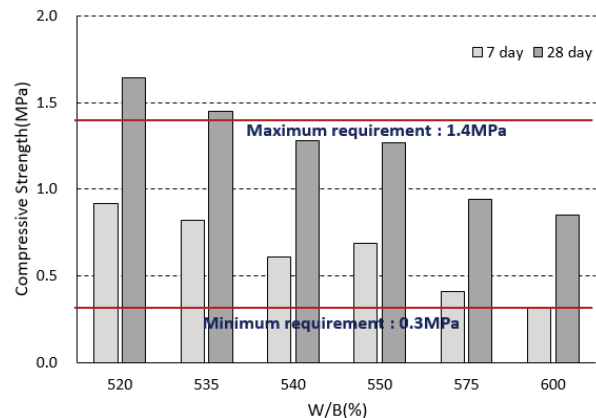


Fig. 8. PA-1 compressive strength (unit binder 100 kg/m<sup>3</sup>)

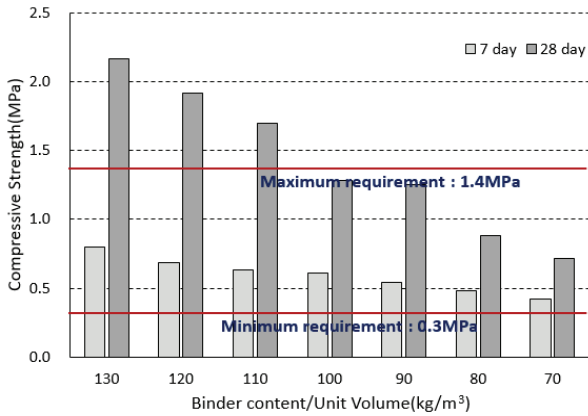


Fig. 9. PA-1 compressive strength (unit water 540 kg/m³)

W/B 변화에 따른 재령별 압축강도 특성은 Fig.8에 나타난 것과 같이 W/B 값이 증가함에 따라 강도발현성은 감소하는 것으로 나타났으며, W/B 540 ~ 600 %의 조건에서 최소 요구강도 및 재굴착 강도를 확보하는 것으로 확인되었다.

단위 배합수량을 540 kg/m³의 조건에 대해 단위결합재량 변화에 따른 강도특성은 단위결합재량이 감소함에 따라 재령별 강도 발현성은 감소하는 것으로 나타났으며, 재굴착성 확보를 위한 최대 단위 결합재량은 100 kg/m³의 수준인 것으로 도출되었다.

PA-2를 대상으로 단위결합재량 및 W/B에 따른 강도특성을 검토한 결과 앞서 분석한 결과와 같이 W/B 값이 증가함에 따라 강도 발현성은 감소하였으며, W/B 550 ~ 600 %의 범위에서는 단위결합재량 80 kg/m³의 조건으로 PA-1 대비 높은 강도를 발현하는 것으로 나타났다. 또한, ACI 229R에서 규정하는 최소 강도 및 재굴착강도를 확보하는 조건은 단위결합재 60 kg/m³의 조건에서 W/B 750 %인 것으로 확인되었다. 이와같은 결과는 PA-2의 입도 및

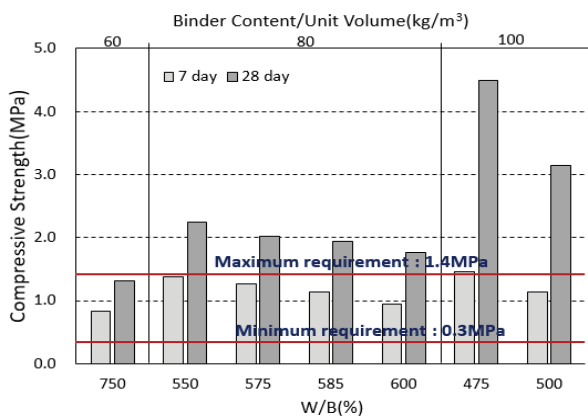


Fig. 10. PA-2 compressive strength

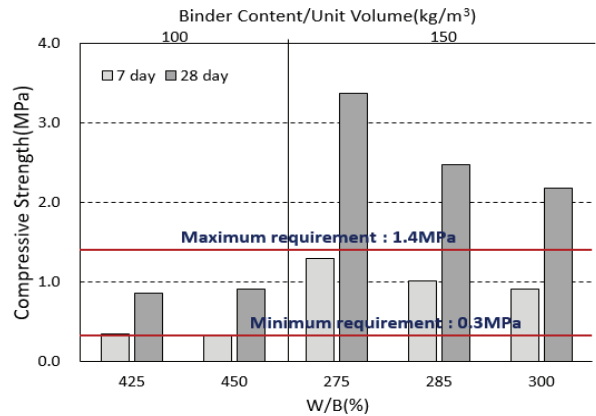


Fig. 11. PA-3 compressive strength

성분 특성에 기인한 것으로 판단된다.

PA-3을 활용한 유동성 채움재의 경우 단위결합재 100 kg/m³ 및 W/B 425~450 %의 조건에서 최소요구강도 및 재굴착성을 동시에 확보하는 것으로 나타났으나, 앞서 분석한 유동성 및 재료분리 저항성을 동시에 충족시키는 배합은 도출되지 않았다. 이와같은 결과는 매립석탄재의 조립질 입도 분포 특성 및 낮은 0.075 mm체 통과량의 특성에 기인한 것으로 판단된다.

따라서 PA-3의 경우 입도 전처리를 위한 분쇄 및 파쇄의 공정 도입에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

매립석탄재의 물성에 따른 배합요인별 유동성 채움재의 유동성, 재료분리저항성, 재령별 강도 발현성의 공학적 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 국내 화력발전소 매립지에서 채취된 매립석탄재의 물리적 특성을 KS F 2324에 따라 분석한 결과 채취 시료별 입도 및 밀도는 상이한 특성을 나타내는 것으로 확인되었다.
2. 채취된 매립석탄재를 대상으로 단위결합재량 및 W/B에 따른 유동특성 및 재료분리 저항성을 평가한 결과 W/B 증가에 따라 유동성 및 블리딩률은 증가하여 재료분리 저항성이 감소하는 것으로 나타났으며, 매립석탄재의 물리적 특성에 따라 유동성 및 재료분리저항성을 확보하는 단위결합재량 및 W/B는 상이한 것으로 나타났다.
3. 단위결합재량 및 W/B에 따라 강도특성을 분석한 결과 PA-1의 경우 단위결합재량 100 kg/m³ 및 W/B 540 ~ 550 %의 조건,



PA-2의 경우 단위결합재량 60 kg/m<sup>3</sup> 및 W/B 750 %의 조건에서 ACI 229R에서 규정하는 최소요구강도 및 재굴착성, 유동성 및 재료분리저항성을 확보하는 것으로 도출되었다.

4. PA-3은 조립질의 입도 특성에 기인하여 유동성, 재료분리저항성 및 강도특성을 동시에 충족시키는 배합비는 도출되지 않았으며, 별도의 입도 전처리 공정을 도입하여 입도를 세립화한 후 유동성 채움재에 대한 적용성 평가 검토가 필요할 것으로 판단된다.
5. 이상으로 매립석탄재의 물리적 특성에 따른 유동성 채움재의 공학적 특성을 평가한 결과 입도 및 밀도에 따라 유동성 및 재료분리저항성, 강도 요구조건을 충족시키는 배합 조건은 서로 상이한 것으로 확인되었으며, 매립석탄재의 입도 및 미립분 함량 등의 물리적 특성을 토대로 유동성 채움재의 배합 및 특성을 평가한다면 발생원 및 발생시기별 특성이 상이한 매립석탄재의 유동성 채움재 활용성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국동서발전(주)의 재원으로 협동연구개발사업(매립석탄재 기반 긴급복구용 반응성 Self-Leveling 채움재 사업화 기술개발)의 지원을 받아 연구되었습니다.

## References

ACI 229R (2005). Controlled Low-Strength Materials, ACI Committee 229, USA.  
 ASTM D 4832 (2002). Standard Test Method for Preparation and Testing of Controlled Low Strength Material(CLSM) Test Cylinders, American Society for Testing Materials, USA.

ASTM D 6103 (2004). Standard Test Method for Flow Consistency of Controlled Low Strength Material(CLSM), American Society for Testing Materials, USA.  
 Green, B.H., Schmitz, D.W. (2004). Soil-based controlled low strength materials, Journal of Environmental & Engineering Geoscience, **10(2)**, 169-174.  
 Kim, Y.W., Lee, B.C., Jung, S.H. (2019). Field applicability assessment of controlled low strength material for sewer pipe using excavated soil, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **7(4)**, 349-357.  
 Kim, Y.W., Lee, B.C., Jung, S.H. (2020). Engineering characteristics assessment of rapid set controlled low strength material for sewer pipe using excavated soil, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **8(4)**, 450-457.  
 Kiyomasa, D., Hiroyuki, S., Youichi, K., Tsuneo, H. (2013). Technical Guide for Using the Construction Site Soil, 4th Ed., Japan.  
 KS F 2324 (2016). Standard Method of Classification of Soils for Engineering Purposes, Korea Standard Association [in Korean].  
 KS F 2433 (2018). Standard Test Method for Bleeding and Expansion Ratios of Grouting Mortar, Korea Standard Association [in Korean].  
 Le, D.H., Nguyenb, 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.  
 Sewerage Unspread Elimination Technology Usage Guide (2009), Japan.  
 Quality Standard for Liquidated Land Treated by the Construction Bureau of Tokyo (2009), Japan.

### 매립석탄재 활용 CLSM의 관 뒤채움재 적용성 평가

본 연구에서는 매립석탄재를 활용한 유동성 채움재 실용화 기술개발의 일환으로서 매립석탄재의 입도 분포 및 미립분 함량 등의 물성에 따른 유동성 채움재의 유동성 및 재료분리 저항성, 강도발현성 등의 특성을 검토하고자 하였으며, 채취된 매립석탄재의 물성 분석 결과 밀도 및 입도 분포의 특성은 상이한 것으로 나타났다. 3종의 매립석탄재를 대상으로 유동성 채움재 배합 및 특성을 평가한 결과 ACI 229R에서 규정하는 품질을 충족시키기 위한 배합조건은 상이한 것으로 나타났다. 배합요인별에 따라 유동성 채움재의 특성을 평가한 결과 매립석탄재의 입도분포 특성 및 미립분 함량에 주로 영향을 받는 것으로 확인되었으며, 조립질의 매립석탄재(PA-3)의 경우 ACI 229R에서 규정하는 요구성능을 충족시키는 배합 조건은 도출되지 않았으나, 입도 전처리를 통한 미분 함량 증가 및 세립질의 입도분포 구성을 통한 유동성 채움재의 배합성 평가에 대해 검토할 필요가 있을 것으로 사료된다.