

## 석탄 가스화 용융 슬래그의 전처리 공정 시스템 적용에 따른 입자 및 물리적 특성 개선 및 통계적 검증

# Improvement Particle and Physical Characteristics Applying of The Pretreatment Process System of Coal Gasification Slag and It's Verification Based on Statistical Approach

김종<sup>1</sup> · 한민철<sup>2</sup> · 한준희<sup>3\*</sup>

Jong Kim<sup>1</sup> · Min-Cheol Han<sup>2</sup> · Jun-Hui Han<sup>3\*</sup>

(Received September 5, 2022 / Revised September 21, 2022 / Accepted September 22, 2022)

The objective of this study is to investigate whether CGS generated in IGCC satisfies the fine aggregate quality items specified in KS F 2527(Concrete Aggregate) through the pretreatment process system and the quality improvement the system. The statistical significance of the pretreatment process was analyzed through Repeated Measurements ANOVA as measured values according to individually pretreatment process system. As a result of the analysis, In the case of CGS fine aggregate quality before and after the pretreatment process system, the density increased 5.2 %, the absorption rate decreased by 1.86 %, the 0.08 mm passing ratio decreased by 2.25 %, and Fineness Modulus and Particle-size Distribution were also found to be adjustable. It was found that the pretreatment process system was significant in improving the quality of CGS.

**키워드** : 석탄 가스화 용융 슬래그, 전처리 공정 시스템, 잔골재, 반복측정 분산분석

**Keywords** : Coal gasification slag, Pretreatment processes, Fine aggregate, Repeated measures ANOVA

## 1. 서론

환경 및 산림 보전을 위한 천연자원채취 금지 및 자원고갈로 인하여, 국내 건설공사에서 사용되는 골재의 절대량 부족 현상이 지속되고 있다(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport 2019). 현재, 관련 업계와 전문가들은 산업공정에서 발생하는 슬래그 등의 산업부산물을 순환자원으로 활용하는 방안을 제시하고 있다(Cho et al, 2018).

이에 청정화력발전기술인 석탄 가스화 복합발전 시스템(Integrated Gasification Combined Cycle 이하, IGCC)에서 배출되는 부산물인 석탄 가스화 용융 슬래그(Coal Gasification Slag, 이하 CGS)를 건설 분야의 재료로 활용하기 위한 연구를 진행한 바 있다. 특히, 콘크리트용 잔골재로서의 기존 연구에 따르면 Park

et al.(2019)에 의해 CGS는 유리질 및 구형 입자 등의 영향으로 유동성 증가 및 Han et al.(2021)에 의해 수화열을 저감 시키는 기능성 골재로 보고된 바 있다.

그러나, Park et al.(2019) 및 Choi and Han(2020)의 연구에서 CGS는 원료(석탄)의 특성에 따라 물리·화학적 특성에 편차가 발생하는 것으로 보고된다. 또한, CGS를 단일골재로 사용 시 내구성 이 저하하는 경향이 있으며, 콘크리트 잔골재로 혼합사용 시 미립 분에 함유된 미연소 탄분 및 다공질 입자의 다량 함유로 인하여 공기량은 감소하는 경향으로 보고된 바 있다.

따라서, CGS의 전처리 공정 시스템 구축과 그에 따른 골재로서의 품질개선은 CGS의 효율적인 순환자원 활용 및 골재의 절대량 부족 현상을 해소하기 위하여 마련되어야 하는 필수적인 시스템 이다.

\* Corresponding author E-mail: gksehxf@naver.com

<sup>1</sup>청주대학교 건축공학과 조교수 (Department of Architectural Engineering, Cheong–ju University, Professor, Cheongju, 28503, Korea)

<sup>2</sup>청주대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Cheong–ju University, Professor, Cheongju, 28503, Korea)

<sup>3</sup>청주대학교 건축공학과 박사과정 (Department of Architectural Engineering, Cheong–ju University, Doctor's Course, Cheongju, 28503, Korea)

그러므로 본 연구에서는 IGCC에서 발생하는 CGS를 전처리 공정 시스템을 통해 KS F 2527(콘크리트용 골재)에서 규정하고 있는 잔골재 품질 항목에 대한 적합 여부와 시스템의 품질개선 성능을 분석하고자 한다.

## 2. 석탄 가스화 용융 슬래그와 전처리 공정 시스템

### 2.1 석탄 가스화 복합발전 시스템

석탄 가스화 복합발전 시스템(IGCC)은 Fig. 1과 같이 연료와 탈황제주입설비, 가스화 설비(Gasifier), 산소공급설비(Air separation), 정제설비(Clean up), 복합발전설비(가스터빈, 증기터빈, Reactor), 폐열회수 시스템 등으로 구성되어 있다.

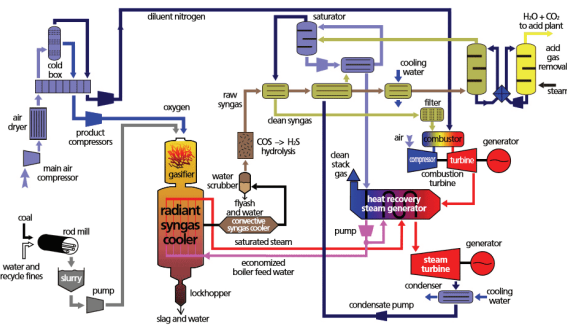


Fig. 1. Flowchart of integrated gasification combined cycle

IGCC의 전력생산 과정은 연료와 탈황제주입 설비로 연료인 석탄을 탈황제인 석회석이나 백운석과 함께 가스화 설비로 주입된다. 주입된 연료는 가스화기 내부에 산소 공급 설비를 통한 순수한 산소와 고온·고압으로 부분 연소 반응을 일으켜 합성가스로 전환되며, 정제설비에서 산성 가스 제거 및 황화수를 통한 청정 합성가스로 증기터빈 및 가스터빈을 발전시켜 전력을 생산한다(Korea Electric Association 2014).

IGCC의 정제설비는 집진장치, 세정장치, 산성가스제거 장치 및 황화수 장치 등을 통하여 분진 입자를 포집 제거하며, 기존 석탄 화력과 비교하여 공해 물질을 황산화물(SO<sub>x</sub>) 90 % 이상, 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 75 % 이상, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 25 % 이상 줄일 수 있는 차세대 청정석탄 화력발전기술이다(Kim 2019).

### 2.2 석탄 가스화 용융 슬래그의 특성

Fig. 2는 IGCC 가스화 설비 내부의 슬래그 거동을 나타낸 것이다. 슬래그의 거동은 가스화기에서 석탄, 백운석, 석회석 등의 연료가 연소 된 후 남은 회분이 용융점 이상의 온도(약 1500 °C)에서 용융 슬래그 형태로 가스화기 내부 표면을 따라 흘러내려 가스화기 바닥의 냉각수조(Water chamber)에서 급랭되고, 락호퍼(Lock hopper)를 통해 배출된다(Gu 2011).

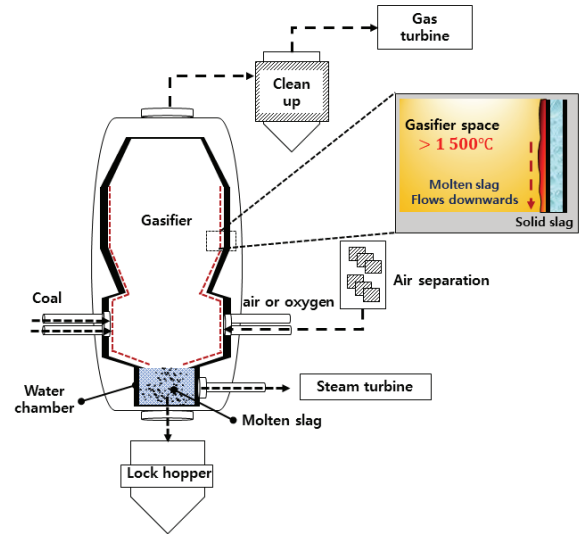


Fig. 2. The behavior of molten slag in the gasifier

이와 같이 배출된 CGS의 특성은 일반적으로 색도는 검고, 입도는 세립분말에서 조립상까지의 형태이며, 결정질은 거의 형성되지 않고, 비정질상의 모래와 유사하다(Sin 2019).

Lee et al.(2020)에 의해 CGS의 입자형태는 매끄럽고 구형으로 일부 다공성 입자를 포함하고 있다. 화학조성은 기본적으로 Si, Ca, Al 상이 98.4 % 이상을 차지하며 그 이외 Fe와 소량의 Mg, Ti, K 및 Na를 포함하고 있는 것으로 보고 된다.

### 2.3 전처리 공정 시스템의 구성 및 생산과정

CGS 전처리 공정 시스템은 CGS의 품질개선을 위하여 기존 순환 골재 생산설비(Choi et al. 2017; Kim et al. 2004; Kim et al. 2018; Na and Park 2010; Jo 2012; Lee 2019; Lee et al. 2009)의 연구를 토대로 하여 다음 Fig. 3과 같이 구축하였다.

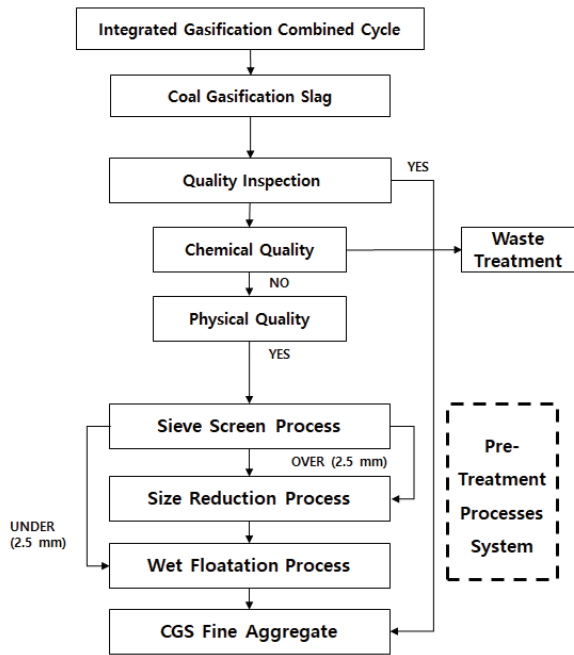


Fig. 3. Flowchart of CGS pretreatment processes system

전처리 공정 시스템의 구성은 CGS의 잔골재 품질 중 문제가 되는 핵심 품질 항목으로 굵은 입도 분포를 개선하기 위한 체가름 공정(Screen process) 및 분쇄공정(Size reduction process)과 높은 흡수율, 부유물질 및 미립분을 제거하기 위한 수력선별 공정(Wet flotation process)으로 구성하였다(Na and Park 2010).

먼저, 선별 및 분급 작업으로 체가름 공정은 입자크기 2.5 mm 이상의 CGS를 선별하는 공정이다. 체가름 장치는 격자망의 진동 체가름기(Vibration Scree)를 사용하는 것이 바람직하며, 체가름 공정 후 잔류한 CGS는 분쇄공정으로 투입하여 분쇄 작업을 실시한다(Jo 2012).

분쇄 공정은 기존 CGS의 굵은 입도 분포를 개선하기 위한 공정이다. 따라서, 분쇄장치는 생산물의 입도가 작은 압축력 방식의 롤크러셔(Roll Crushe) 혹은 충격식 방식의 임팩트 크러셔(Impact Crushe)를 적용하는 것이 바람직하다(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport 2019).

다음으로 수력선별 공정은 분쇄공정 및 체가름 공정의 선행공정을 거친 CGS의 부유물질 및 미립분을 제거하기 위한 공정이다. 즉, 비중차 원리를 활용한 부유선별을 통해 유수 분리 장치 및 세정수 저장 수조에 CGS를 투입하여, CGS는 가라앉히고 부유물질이 함유된 세척수를 배출하는 방식의 습식 부유선별을 적용하였다(Lee 2009).

전처리 시스템을 통한 CGS 잔골재 생산과정은 IGCC에서 발생된 CGS의 KS F 2527의 품질 평가로 콘크리트 잔골재 물리·화학적 항목을 검사한다. 즉, CGS 전처리 공정 시스템의 적용 범위는 CGS가 KS 물리적 품질 항목 범위를 벗어나는 경우로 한하며, 화학적 품질 항목에서 규정 범위를 벗어나는 경우는 기존의 폐기 처리 방식으로 처분한다.

이는 CGS의 화학적 성분은 IGCC의 원료에서 비롯된 것으로 전처리 공정을 통하여 품질개량이 불가피하며, 화학처리설비 추가에 따른 비용 증대로 경제성이 감소할 것으로 판단되기 때문이다.

### 3. 실험계획 및 방법

#### 3.1 실험계획

Table 1은 본 연구의 전처리 공정 시스템의 각 공정에서 생산된 CGS의 콘크리트 잔골재로서의 품질특성을 평가하기 위한 실험계획을 나타낸 것이다.

CGS 시료는 1주일 단위 총 40개 시료를 샘플링 하였으며, 각 공정 순서에 매회 실험사항을 측정하였다. 실험사항으로는 기존의 연구(Park et al. 2019)를 통해 콘크리트용 골재로 CGS 사용 시 문제가 되는 핵심 품질 항목을 기준으로 물리적 특성인 밀도, 흡수율, 0.08 mm체 통과량, 조립률 및 입도분포를 측정하는 것으로 계획하였다.

Table 1. Experimental plan

Factors			Levels	
CGS samples			40	• Collecting every week
Experiment	Physical properties	Non pretreatment	5	• Density • Absorption rate • Passing ratio through a 0.08 mm sieve • Fineness modulus • Grain-size
		Size reduction		
		Sieve screen		
		Wet flotation		

#### 3.2 실험방법

각 전처리 공정별 개질 원리를 적용하여 전처리 공정별 CGS 시료의 콘크리트용 잔골재 특성을 분석 및 평가하였다. 잔골재 품질 평가 방법은 KS F 2527 규정 및 법정 시험방법에 따라 실시하였다.

각 공정별 개질 원리 적용으로 체가름 작업은 HJ-2152 로타 체가름 시험기 이용 하였으며, 분쇄 작업은 3.5 HP, 1,500~

20,000 RPM의 가변속도 제어가 가능한 W사의 MX1200TX 고출력 가변속도 믹서기를 사용하였다.

수력 선별공정은 선행 작업 후의 CGS 시료를 사용하였다. CGS 시료가 세정수에 완전히 침지된 후 0.08 mm 체가름망을 설치하여, 부유수를 제거한 CGS 시료로 콘크리트 잔골재 품질 시험을 진행하였다.

### 3.3 통계분석방법

전처리 공정 시스템의 유의성을 확인하고자 반복측정 분산분석(Repeated Measures ANOVA)을 실시하였다. 측정된 자료의 처리는 JAMOVI Ver 2.3.0에서 수행하였다.

반복측정 분산분석은 동일 모집단에 대하여 3가지 이상의 독립변수에 측정된 종속변수의 결과를 분석하거나 혹은 하나 이상의 집단이 동일한 독립변수에 대하여 시간에 따른 종속변수의 변화량에 대하여 반복측정을 수행한 자료에서 사용되는 통계 분석 기법이다(Gueorguieva and Krystal 2004).

전처리 공정의 각 공정을 독립변수 3수준으로 공정에 따른 콘크

리트 잔골재의 물리적 특성 변화량에 대하여 반복측정 분산분석을 진행하였다.

반복측정 분산분석의 구형성(Sphericity) 검증 후 F-value를 도출하였다. 단, Mauchly의 단위행렬 검정의  $P < 0.05$ 인 경우는 Greenhouse-geisser 방법으로 수정된 개체-내 효과 검정을 통해 F-value를 제시하였다.

사후검증으로 다중 비교를 실시하였는데, 다중비교에 대한 조정방법으로는 Bonferroni의 방법을 이용하였다.

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 전처리 공정 시스템을 통한 CGS 잔골재의 물리적 특성

#### 4.1.1 밀도

전처리 공정별 CGS의 밀도 차이를 확인하기 위하여 전처리 전(Ⅰ)과 체가름 공정(Ⅱ), 분쇄 공정(Ⅲ) 및 수력선별공정(Ⅳ) 이후 각각의 전처리 공정별 밀도를 측정하여, 반복측정 분산분석을 실

Table 2. Improvement physical properties by applying the pretreatment process and results of RM ANOVA

Physical properties	Pretreatment process	Korean standard (KS F 2527)	N	M ± SE*	Min	Max	95 % Confidence interval		F-value	p-value	Bonferroni
							Lower	Upper			
Density	I	More than 2.5 g/cm <sup>3</sup>	40	2.50 ± 0.006	2.43	2.60	2.49	2.52	102****	<.001	I, II < III < IV
	II			2.50 ± 0.006	2.43	2.60	2.49	2.52			
	III			2.54 ± 0.005	2.44	2.60	2.53	2.55			
	IV			2.63 ± 0.004	2.58	2.63	2.62	2.63			
Absorption rate	I	Less than 3.0 %	40	3.63 ± 0.106	2.45	5.00	3.42	3.85	98.9****	<.001	IV < I, II < III
	II			3.46 ± 0.137	1.55	5.00	3.18	3.74			
	III			4.07 ± 0.087	3.09	5.08	3.89	4.25			
	IV			1.77 ± 0.053	1.23	2.51	1.66	1.88			
Passing ratio of 0.08 mm sieve	I	Less than 5.0 %	40	3.75 ± 0.123	2.27	5.11	3.50	4.00	239****	<.001	III > I, II > IV
	II			3.74 ± 0.124	2.27	5.11	3.49	3.99			
	III			5.13 ± 0.104	3.31	6.29	4.92	5.34			
	IV			1.23 ± 0.049	0.72	1.97	1.09	1.31			
Fineness modulus	I	Grading curve of KS F 2527	40	3.53 ± 0.020	3.28	3.77	3.48	3.57	284****	<.001	I > II, IV > III
	II			3.08 ± 0.010	2.95	3.28	3.06	3.10			
	III			2.95 ± 0.020	2.76	3.26	2.91	2.99			
	IV			3.14 ± 0.014	2.93	3.36	3.11	3.17			

\* Estimated marginal means ± Standard error, \*\* p < .05, \*\*\* p < .01, \*\*\*\* p < .001

I. Non pretreatment process

II. Size reduction process

III. Sieve screen process

IV. Wet flotation process

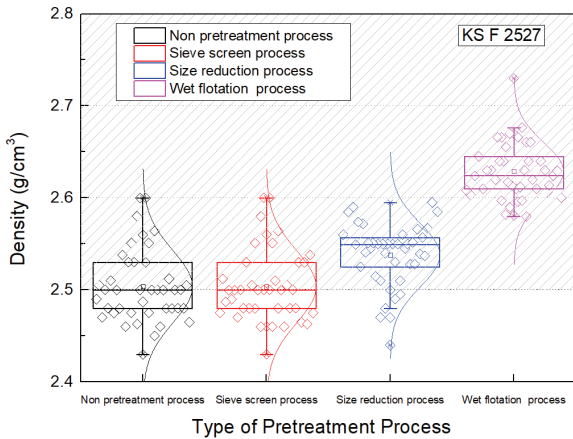


Fig. 4. Box chart of CGS density according to pretreatment process type

시하였다.

분석결과는 Table 2 및 Fig. 4와 같이 제시하였으며, 분석결과 CGS의 밀도는 전처리 공정에 따라 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다( $F(3,120)=102, p<.001$ ).

구체적으로 수력선별공정( $2.63 \pm 0.004$ )의 밀도가 가장 높았으며, 이후 분쇄공정( $2.54 \pm 0.005$ )의 밀도, 체가름 공정( $2.50 \pm 0.006$ ) 및 전처리 전( $2.50 \pm 0.006$ ) 순으로 나타났다.

체가름 공정 및 전처리 전의 경우는 공정별 밀도 차이가 없이 유지되는 것으로 나타났으며, 분쇄공정 및 수력선별공정의 경우는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다.

이는 CGS에 분포하고 있는 입자 크기별 밀도 차이에서 비롯한 것으로 수력선별 시 CGS에 함유된 다소 밀도가 작은 미립자의 제거에 기인한 것으로 판단된다.

#### 4.1.2 흡수율

전처리 공정별 흡수율의 차이를 알아보기 위해 위와 동일한 요령으로 전처리 공정별 흡수율을 측정하여, 반복측정 분산분석을 실시하였다.

분석결과는 Table 2 및 Fig. 5와 같이 제시하였으며, 분석결과 CGS의 흡수율은 전처리 공정에 따라 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다( $F(2,07, 82,86)=98.9, p<.001$ ).

구체적으로 수력선별공정( $1.77 \pm 0.053$ )의 흡수율이 가장 낮았으며, 이후 전처리 전( $3.63 \pm 0.106$ )과 체가름 공정( $3.46 \pm 0.137$ )의 흡수율은 유지되었으며, 분쇄공정( $4.07 \pm 0.087$ )의 흡수율이 가장 높은 순서로 나타났다.

이는 미립분의 함유량 차이에 기인한 것으로 분쇄공정 시 미립

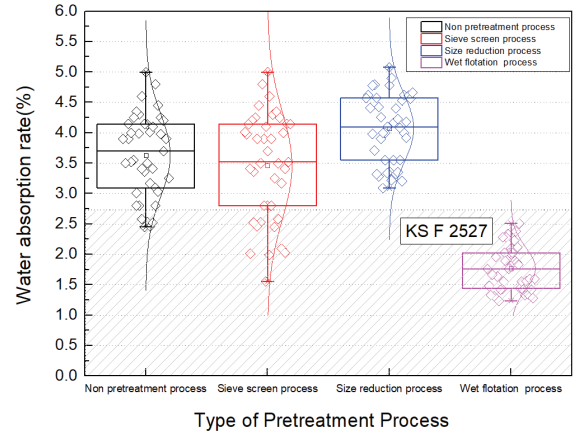


Fig. 5. Box chart of CGS Water absorption rate according to pretreatment process type

분이 증가하고, 수력선별공정 시 미립분이 감소함에 따른 경향으로 판단된다.

## 4.2 전처리 공정 시스템을 통한 CGS 잔골재의 입자특성

### 4.2.1 0.08 mm체 통과량

전처리 공정별 0.08 mm체 통과량의 차이를 알아보기 위해 위와 동일한 요령으로 전처리 공정별 0.08 mm체 통과량을 측정하여, 반복측정 분산분석을 실시하였다.

분석결과는 Table 2 및 Fig. 6과 같이 제시하였으며, CGS의 0.08 mm체 통과량은 전처리 공정에 따라 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다( $F(3,120)=239, p<.001$ ).

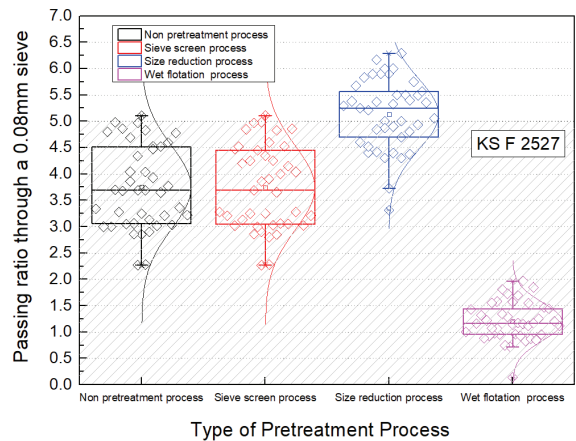


Fig. 6. Box chart of CGS Passing ratio through a 0.08 mm sieve according to pretreatment process type

구체적으로 수력선별공정( $1.23 \pm 0.049$ )의 0.08 mm체 통과량이 가장 낮았으며, 이후 전처리 전( $3.75 \pm 0.123$ )과 체가름 공정( $3.74 \pm 0.124$ )의 0.08 mm체 통과량은 유지되었으며, 분쇄공정( $5.13 \pm 0.104$ )의 0.08 mm체 통과량이 가장 높은 순서로 나타났다.

이는 흡수율과 동일한 미립분의 함유량 차이에 기인한 것으로 분쇄공정 시 미립분이 증가와 수력선별공정의 부유물 제거에 따른 미립분 감소로 판단된다.

#### 4.2.2 조립률 및 입도 분포

전처리 공정별 조립률 및 입도 분포의 차이를 알아보기 위하여 위와 동일한 요령으로 CGS의 전처리 공정별 조립률 및 입도분포를 측정하여, 반복측정 분산분석을 실시하였다. 분석결과는 Table 2, 및 Fig. 7과 같이 제시하였다.

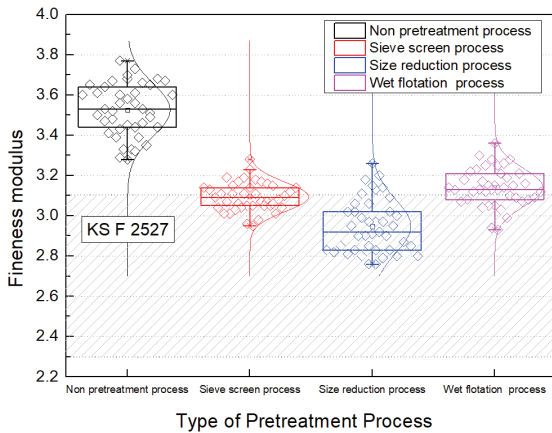


Fig. 7. Box chart of CGS fineness modulus according to pretreatment process type

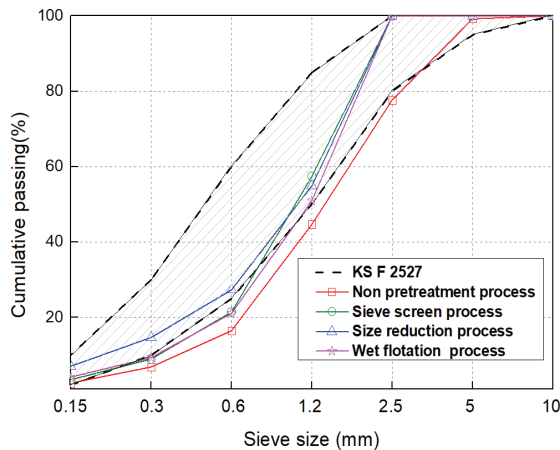


Fig. 8. Average value of CGS grading curve by pretreatment process type

분석결과 CGS의 조립률 및 입도 분포는 전처리 공정에 따라 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다( $F(2,42, 96.69)=284, p < .001$ ). 구체적으로 전처리 전( $3.53 \pm 0.020$ )의 조립률이 가장 높았으며, 이후 체가름 공정( $3.08 \pm 0.010$ ) 및 수력선별공정( $3.14 \pm 0.014$ ) 다음으로 분쇄공정( $2.95 \pm 0.020$ ) 순으로 나타났다.

Fig. 8은 총 40개의 CGS 시료를 각각 공정별로 입도 분포를 측정하여 그 평균을 나타낸 것이다. 먼저, 전처리 전의 경우는 굵은 입자가 다량 함유된 것으로 나타났으며, 체가름 공정 및 수력선별 공정 이후는 입자 크기가 1.2~0.6 mm의 분포가 큰 것으로 나타났다.

분쇄공정 이후는 입자 형태가 개선되며, 표준입도 분포 범위를 만족하지만, 입자 크기가 0.15~0.075 mm 이하의 미립자분이 다량 함유된 것으로 나타났다.

### 5. 결론

본 연구는 IGCC에서 발생하는 CGS를 전처리 공정 시스템을 통해 KS F 2527(콘크리트용 골재)에서 규정하고 있는 잔골재 품질 항목에 대한 적합 여부와 전처리 시스템의 품질개선 성능을 확인하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. CGS의 물리적 성질로 밀도는 KS F 2527 품질기준에 따라  $2.5 \text{ g/cm}^3$  이상으로 규정되어 있다. 전처리 전  $2.50 \pm 0.006 \text{ g/cm}^3$ 으로 다소 낮은 밀도로 나타내지만, 전처리 공정을 적용 시  $2.63 \pm 0.004 \text{ g/cm}^3$ 로 품질이 개선되는 것으로 나타났다 ( $F(3,120)=103, p < .001$ ).
2. CGS의 물리적 성질로 흡수율은 KS F 2527 품질기준에 따라 3.0 % 이하로 규정되어 있다. 전처리 전  $3.63 \pm 0.106 \%$ 으로 규정치를 벗어나지만, 전처리 공정을 적용 시  $1.77 \pm 0.053 \%$ 로 1.86 % 감소하여 품질이 개선되는 것으로 나타났다( $F(2.07, 82.86)=98.9, p < .001$ ).
3. CGS의 유해물질 함유량인 0.08 mm체 통과량은 KS F 2527 품질기준에 따라 5 % 이하로 규정되어 있다. 전처리 전  $3.75 \pm 0.123 \%$ 으로 다소 높은 수치를 나타내지만, 전처리 공정을 적용 시  $1.23 \pm 0.049 \%$ 로 기존의 0.08 mm체 통과량보다 2.25 % 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다( $F(3,120)=239, p < .001$ ).
4. CGS의 조립률 및 입도분포는 전처리 전  $3.53 \pm 0.020$ 으로 굵은 입자 크기의 입자분포가 많은 것으로 나타났으나, 전처리 공정( $3.14 \pm 0.014$ )을 적용 시 입도 보정이 가능한 것으로 나타났다( $F(2,42, 96.69)=284, p < .001$ ).

이상을 종합하면 본 연구에서 제안한 CGS 전처리 공정 시스템은 CGS의 불순물을 제거하고 입도를 개선시켜 물리적 성질 및 입자특성이 향상됨을 확인할 수 있으며, 골재로서 활용하기 위한 CGS의 품질을 KS F 2527에서 규정하고 품질기준 범위 이내로 개선할 수 있는 것으로 나타났다.

## Conflicts of interest

None.

## 감사의 글

본 논문은 2021년 한국연구재단 (과제번호: 2021R1F1A1060194)의 일환으로 수행된 연구를 밝히며 이에 감사를 드립니다.

## References

- Cho, B.S., Ahn, J.C., Park, S.K., Yi, J.W., Lee, H.H., Yo, J.H., Kim, W.J. (2018). Development status of fine aggregate for concrete using steel slag, *Korean Recycled Construction Resources Institute*, **13(4)**, 22–32.
- Choi, I.K., Han, M.C. (2020). Analysis of fundamental properties and durability of concrete using coal gasification slag as a combined aggregate, *Korea Institute of Building Construction*, **20(4)**, 331–338.
- Choi, W.Y., Lee, S.H., Kim, S.H. (2017). A comparative study on the quality of recycled aggregate for concrete by crushing method, *Korean Recycled Construction Resources Institute*, **5(2)**, 121–129.
- Gueorguieva, R., Krystal, J.H. (2004). Move over anova: progress in analyzing repeated-measures data and its reflection in papers published in the archives of general psychiatry *Archives of General Psychiatry*, **61(3)**, 310–317.
- Gu, J.H. (2011). Melting Characteristics and Generation of Slag in Coal Gasification Plant, Master's Thesis, Daejeon University, Korea [in Korean].
- Han, M.C., Kim, J., Choi, I.K., Han, J.H. (2021). Reduction of hydration heat of mass concrete using coal gasification slag as mixed fine aggregates, *Korea Institute of Building Construction*, **21(6)**, 551–562.
- Jo, W.I. (2012). Study on the Quality Improvement through Recycled Concrete Coarse Aggregate Production Process from Construction and Demolition Waste, Master's Thesis, Konkuk University, Korea [in Korean].
- Korea Electric Association (2014). Integrated Gasification Combined Cycle(IGCC). *Electrical World*, **452**, 29–34.
- Kim, B.Y., Lee, S.H., Seo, C.H. (2004). An experimental study on the neutralization resistance and drying shrinkage of concrete using recycled fine aggregate by the dry-production with cyclone, *Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea*, **24(1)**, 271–274.
- Kim, C.K. (2019). A study on the power generation compared to the capacity of power generation facilities by energy sources in summer season, *Korean Institute of Gas*, **23(1)**, 36–40.
- Kim, J.H., Sung, J.H., Kim, C.G., Lee, S.H., Kim, H.S. (2018). An experimental study on the improvement of quality of mixed aggregate using recycled aggregate, *Korean Recycled Construction Resources Institute*, **6(4)**, 229–235.
- Lee, B.Y., Lee, S.J., Kim, B.K., Choi, H.G. (2020). Advanced characterization of IGCC slag by automated SEM-EDS analysis, *Waste Management*, **116**, 140–146.
- Lee, J.H. (2009). An Experimental Study on the Durability Properties of Recycled Fine Aggregate Produced from the Manufacturing System by Wet Gravity Separation, Master's Thesis, Hanbat National University, Korea [in Korean].
- Lee, S.H. (2019). A study on the improvement of the quality of recycled fine aggregate by impact and multistage wind processing method of rotor hammer, *Journal of Korea Society of Waste Management*, **36(6)**, 560–566 [in Korean].
- Lee, S.H., Song, H.Y., Kim, J.S., Kim, J.H., Lee, J.S. (2009). An experimental study on the quality variation by the number of production of recycled sand and mechanics properties of mortar using sand flux apparatus, *Korean Recycled Construction Resources Institute*, **4(1)**, 81–88 [in Korean].
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (2019). Aggregate Supply and Demand Plan [in Korean].
- Na, C.S., Park J.H. (2010). Production facilities and manufacturing technology of recycled aggregate, *Korean Recycled Construction Resources Institute*, **5(2)**, 15–20 [in Korean].
- Park, K.T., Han, M.C., Hyun, S.Y. (2019). Properties of lean mixed mortar with various replacement ratio of coal gasification slag, *Korea Institute of Building Construction*, **19(5)**, 391–399.
- Park, K.T., Han, M.C., Hyun, S.Y. (2019). Analysis the use of concrete fine aggregates of coal gasification slag, *Korean Recycled Construction Resources Institute*, **7(2)**, 101–108.
- Sin, D.G. (2019). A Study on the Possibility of Coal Gasification Slag



as a Concrete admixture, Master's Thesis, Korea National University of Transportation, Korea [in Korean].

### 석탄 가스화 용융 슬래그의 전처리 공정 시스템 적용에 따른 입자 및 물리적 특성 개선 및 통계적 검증

본 연구에서는 IGCC에서 발생하는 CGS를 각각의 전처리 공정마다 콘크리트 잔골재 품질 평가를 수행하였다. 전처리 공정 시스템은 순환 잔골재 생산설비를 기반으로 구축되었다. 각각의 전처리 공정 시스템에 따른 측정값을 반복측정 분산분석을 통해 전처리 공정의 통계적 유의성을 분석하였다. 분석결과 전처리 공정 시스템 전·후의 CGS 잔골재 품질의 경우 밀도는 5.2 % 상승, 흡수율은 1.86 % 감소, 0.08 mm체 통과량은 2.25 % 감소, 조립률 및 입도분포 또한 입도 조정이 가능한 것으로 나타났다. 결국, 전처리 공정 시스템은 CGS의 불순물을 제거하고 입도를 개선시켜 물리적 성질 및 입자특성이 향상됨을 확인할 수 있으며, 잔골재로서의 활용하기 위한 CGS의 품질을 KS F 2527에서 규정하고 품질기준 범위 이내로 개선할 수 있는 것으로 나타났다.