

석탄 가스화 용융 슬래그를 콘크리트용 잔골재로 활용하기 위한 재료 특성 분석

Analysis of The Properties of Materials for Utilizing Fine Aggregates for Concrete for Coal Gasification Slag

김 수 호* 임 군 수** 한 준 희*** 현 승 용*** 김 중**** 한 민 철*****
Kim, Su-Hoo Lim, Gun-Su Han, Jun-Hui Hyun, Seung-Yong Kim, Jung Han, Min-Cheol

Abstract

This study compared the characteristics of the newly established JISA 5011-5 coal gasification slag fine aggregate with the characteristics of CGS generated in Korean IGCC through microscopic analysis. As a result of the study, similar results to K_CGS and J_CGS were found

키워드 : 석탄 가스화 용융 슬래그, 잔골재, SEM, XRD, XRF
Keywords : coal gasification slag, fine aggregate, scanning electron microscope, x-ray diffraction, x-ray fluorescence

1. 서 론

한국은 2018년부터 기존의 석탄 화력발전의 사용과 관련된 여러 문제들을 해결하고, 환경적 측면에서 적합하면서도 경쟁력 있는 새로운 석탄 이용 기술인 석탄 가스화 복합발전(Inte-grated Gasification Combined Cycle: 이하 IGCC)을 도입하였다.³⁾ 그러나 국내 IGCC에서는 부산물인 석탄 가스화 용융 슬래그(Coal Gasification Slag, 이하 CGS)가 연간 약 8~10만 톤 가량 발생하여 부가가치 있는 활용처가 필요한 실정이다.¹⁾

이에 대한 방안으로 국내에서 발생하고 있는 골재 부족 문제를 해결하고자 CGS를 골재화 연구가 진행된 바 있지만,²⁾ 현재 건설 분야의 콘크리트용 골재로의 사용은 불가한 상태이다.

하지만, 일본의 경우는 후쿠시마현 IGCC에서 연간 10~20만 톤 발생되는 CGS를 2020년 10월 JIS A 5011-5에 새롭게 제정하여 콘크리트용 슬래그 골재로 고로 슬래그 골재, 페로니켈 슬래그 골재, 구리 슬래그 골재 및 전기로 산화 슬래그 골재에 이어 5번째 슬래그 골재로 제정되었다.³⁾ 따라서, 본 연구에서는 국내와 일본의 CGS의 특성을 비교하고 콘크리트용 잔골재로 사용하기 위한 원재료의 미시적 분석 및 화학 조성에 대하여 분석하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 먼저, CGS는 국내 T화력발전소에 건설된 IGCC에서 발생하는 부산물을 주 1회 간격으로 12주에 걸쳐 총 12개 시료를 샘플링 하였는데, 원료탄 변화에 따른 영향으로 입자형상 및 품질 차이가 예상되기 때문이다.

또한, 측정사항으로는 CGS에 대하여 KS F 2527(콘크리트용 골재)에서 규정하고 있는 천연 잔골재와 용융슬래그 잔골재의 품질항목을 기준으로 입자구조 관찰을 위한 SEM, XRD, XRF를 실시하는 것으로 계획하였다.

표 1. 실험계획

실험요인	실험항목	실험수준	
	시료	1	CGS ¹⁾
샘플링 횟수	12	1~12회 ²⁾	
측정사항	경화 콘크리트	3	SEM XRD XRF

1) 석탄가스화 용융슬래그 (Coal gasification slag, 이하 CGS)

2) 매주 1회 간격으로 샘플링

* 청주대학교 건축공학과, 석사과정, 교신저자(soohoo3369@naver.com)
** 청주대학교 건축공학과, 석사과정
*** 청주대학교 건축공학과, 박사과정
**** 청주대학교 건축공학과, 공학박사, 조교수
***** 청주대학교 건축공학과, 공학박사, 교수

3. 실험결과 및 분석

본 연구를 위해 채취한 CGS 샘플의 SEM 사진결과는 그림 1과 같다. 시료는 크게 4가지 형태의 결정들로 관찰되었으며, 일본의 CGS와 유사하였다. 형상은 (a) 유리질, (b) 구형, (c) 침상형, (d) 다공질의 입자로 관찰되었다. 유리질 형상의 발생원인은 석탄 가스화 용융 슬래그의 제조과정 중 냉각과정에서 급격한 응결이 발생하게 되어 알갱이 모양의 유리질 결정이 생성되어 발생한 것으로 판단된다. 침상형의 경우는 용융된 슬래그가 냉각수와 접촉하여 응결하는 과정에서 아직 응결되지 못한 용융상태의 슬래그가 하부의 채집망을 통과하며 뾰족한 침상형태의 결정으로 발생된다. 또한, 구형형상은 석탄이 고온 및 고압의 조건에서 회분이 용융되어 급격한 냉각에 의한 표면장력이 발생하여 구형의 입자로 생성되어 발생하게 된다.⁴⁾

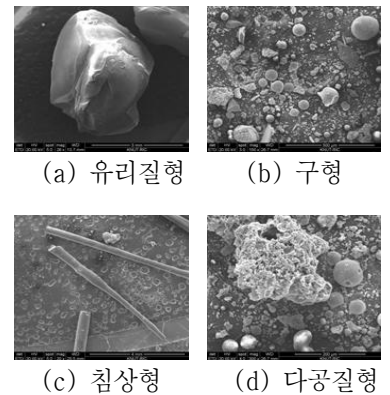


그림 1. CGS의 SEM 사진

CGS의 XRD 분석 결과는 그림 2와 같이 나타났는데, CGS는 약 10°~40°에서 비정질 회절강도를 나타내는 것이 특징이며, 이 반치폭이 넓은 비정질 회절강도의 중심은 25°~30° 부근에 위치한다.⁵⁾ 이러한 비정질 회절강도는 대칭 혹은 비대칭의 형태로 나타나지만, 비정질 회절강도 중심의 2Theta 값과 회절강도의 대칭-비대칭 형태는 IGCC 슬래그에 존재하는 비정질상의 종류와 함량 차이에 따라 다를 수 있다. 이를 통해 국내 IGCC의 부산물인 CGS(K_CGS)는 비정질 상으로 이루어진 것을 확인할 수 있었다.

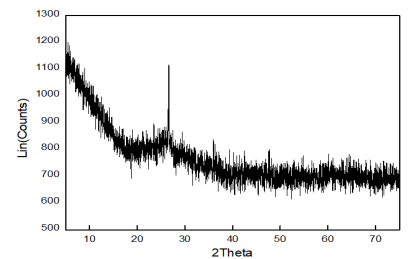


그림 2. CGS의 XRD 분석

CGS의 XRF분석 결과는 표 2와 같으며, 주성분은 SiO₂, Al₂O₃, CaO로 확인되었다. SiO₂는 46.5 wt%, Al₂O₃는 22.9 wt%였으며, CaO의 함량은 18.1 wt%로 나타났다. 이는 일본에서 발생하는 IGCC 슬래그(J_CGS)의 성분으로 CaO는 11.0~29.6 wt%, SiO₂가 25.3~64.9 wt%, Al₂O₃가 11.0~29.6 wt%인 것과 비교하면 일본 CGS의 범위에 한국 CGS값이 포함되는 것으로 나타났다.⁶⁾

4. 결 론

본 연구는 새롭게 제정된 JIS A 5011-5의 석탄 가스화 슬래그 잔골재의 특징과 한국형 IGCC에서 발생하는 CGS의 특성을 미시적 분석을 통하여 재료의 형상, 결정구조 및 화학성분을 비교하였다. 연구결과 K_CGS의 형상, 결정구조 및 화학성분이 J_CGS의 특성과 유사한 결과가 나타났다. 따라서, 한국형 IGCC의 슬래그의 이용 및 보급에 따른 천연골재의 채굴 억제 등 지구 규모의 환경부하 저감 등에 공헌할 것으로 기대된다.

표 2. CGS의 화학성분과 국내·외 규정치

주요 화학 성분	한국		일본	
	범위	규정 (%)	범위	규정 (%)
SiO ₂	40.5 - 46.5	-	25.3 - 64.9	
Al ₂ O ₃	20.8 - 23.4	-	11.0 - 29.6	
CaO	18.1 - 25.8	45.0이하	2.4 - 23.1	40.0 이하
FeO	6.2 - 8.5	-	4.2 - 19.3	25.0 이하
MgO	1.8 - 2.4	-	0.6 - 12.2	20.0 이하
SO ₃	0.3 - 0.5	0.5이하	0.0 - 0.1	0.5 이하
Fe	-	1.0이하	-	-

참 고 문 헌

1. Ku JH. Melting Characteristics and Generation of Slag in Coal Gasification Plant [M.E. Thesis]. [Daejeon (Korea)]: Daejeon University; 2019. 63 p.
2. Park KT, Han MC, Hyun SY. Analysis the Use of Concrete Fine Aggregates of Coal Gasification Slag. Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute. 2019Jun;7(2):101-108.
3. 松浦忠孝・小林保之・古屋憲二:石炭가스화슬래그細骨材に含まれる炭素分とコンクリートの空気連行性,土木学会第 75 回年次学術講演会,V-26, 20
4. 長瀧重義, 阿部道彦, 松浦忠孝. JIS A 5011-5(콘크리트용슬래그骨材-第5部:石炭가스화슬래그骨材)의制定概要, 콘크리트테크ノ, 2021Feb;40(2):40-44.
5. A Acosta , M Aineto , I Iglesias , M Romero , JM Rincón. Physico-Chemical Characterization of Slag Waste Coming From IGCC Thermal Power Plant. Materials Letters, 2001 Sep;50(4):246-250.
6. Nagataki S. Slag aggregate for concrete - Part 5: Coal gasification slag aggregate. Japan Concrete Institute 2021Jun;59(6):496-501