

## G7 : 내화물 및 시멘트 세라믹스

### G7-1 | 철강용 내화물 재질개발 및 축로시공을 위한 Engineering 기술

\*변윤기<sup>1</sup>

<sup>1</sup>포스코 기술연구원

철강산업은 대형 종합 Plant Engineering 산업이라 말할 수 있다. 이는 철강을 생산하기 위해서 수행되는 각 단위공정에 이용되는 대형설비들이 구축되고 이를 설치하고 운용하기 위해서는 금속공학 뿐만 아니라, 토건/기계/환경/에너지등 다양한분야의 공학기술의 결정체이기 때문이다. 또한 철강산업에 사용되는 내화물기술도 다양한 공학분야와 서로 융합하여야만 성취할수 있는 기술이다. 이에 본 강연은 철강산업에 사용되는 내화물의 Engineering 기술에 대하여 경험적인 방법론을 통하여 내화물 설계-생산-축로시공-설비준공 및 운용기술 및 유지관리기술에 대한 전반적인 기술에 대하여 논하고자 한다.

### G7-2 | 다원계 액상 산화물의 확산 모델 및 소프트웨어

\*이인범<sup>1</sup>, 권선용<sup>2</sup>, 정인호<sup>1</sup>

<sup>1</sup>서울대학교, <sup>2</sup>Oak Ridge National Laboratory

In steelmaking process, the corrosion of refractory materials shortens the life of refractory, resulting in a long-term shutdown due to frequent refractory replacements. Thermodynamic assessments to such phenomena have been studied allowing deeper understanding of the corrosion process. In order to kinetically understand such phenomena for the industrial purpose, however, a model calculating the dissolution behavior of refractory in slags is highly necessary. We are currently developing software to calculate multicomponent ionic diffusion in oxide melts and dissolution rate of oxide particles in slags. In addition, interdiffusion coefficient database for molten oxide melts is under construction based on classical diffusion couple experiments.

### G7-3 | 고온 수소 노출에 의한 물라이트-안달루사이트 기반 상용 내화벽돌의 물리적 성질 변화

우종원<sup>1</sup>, 김성현<sup>1</sup>, 김종원<sup>1</sup>, 홍상민<sup>1</sup>, 김은희<sup>1</sup>, 박래형<sup>2</sup>, 최상배<sup>2</sup>, 송현오<sup>2</sup>, 양기덕<sup>2</sup>, \*전상재<sup>1</sup>

<sup>1</sup>창원대학교, <sup>2</sup>조선내화(주)

철강산업에서 탄소 중립 달성을 위해 대두된 수소환원제철을 실현하려면 철광석의 원활한 환원을 보장하는 환원 공정설계가 이뤄져야 함은 물론, 공정의 안정성을 위해 수소분위기에서 안정한 내화벽돌이 필요하다. 수소환원 제철용 내화벽돌은 높은 온도와 수소분위기에서도 안정성을 유지하여 제철 공정에 악영향을 미치지 않도록 물리적/화학적으로 안정해야 한다. 뛰어난 성능의 새로운 내화벽돌을 개발하기보다 그동안 사용되어 오던 내화벽돌의 고온 수소에 대한 안정성을 평가하여 적용성을 먼저 검토하는 것이 경제적인 접근일 것이다. 본 연구에서는, 기존에 널리 사용되

던 물라이트-안달루사이트 기반 상용 내화벽돌의 고온 수소 안정성을 평가하였다. 실제 공정 조건을 고려하여 1100°C, 100% H<sub>2</sub> 분위기에서 72h 동안 열처리한 후 내화벽돌의 무게, 상, 색상 및 강도 변화를 관찰하고 미세구조 분석과 열역학 계산을 병행하여 내화벽돌의 물성 변화와 그 원인을 함께 고찰하였다. 그 결과, 고온수소 노출 이후 무게가 감소하고 색상이 어둡게 변하며, 강도가 저하하는 현상을 관찰했다. 무게 및 색상 변화에는 내화벽돌에 포함되어 있던 불순물, 특히 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 수소환원이 주요한 영향을 미쳤고, SiO<sub>2</sub>의 휘발손실을 강도 저하의 원인으로 보았다. SiO<sub>2</sub>는 수소 분위기에서 낮은 산소분압에 의한 간접 환원보다 수소의 작용으로 산소를 잃는 직접환원이 주요할 것으로 계산되었다. 본 결과는 특정 내화벽돌의 고온수소 저항성 평가 자료로서, 수소환원제철 적용성 측면에서 다른 내화벽돌의 평가 방법론을 제공하며 나아가서는 새로운 내화벽돌 조성 설계에 반영할 수 있는 기초자료를 제공한다.

### G7-4 | Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>가 2차 전지 양극재 소성용 내화물의 미세구조 및 상 변화에 미치는 영향

김민규<sup>1</sup>, 이정원<sup>1</sup>, 황경미<sup>1</sup>, 하송아<sup>1</sup>, 김동백<sup>2</sup>, \*이순일<sup>1</sup>

<sup>1</sup>창원대학교, <sup>2</sup>원진월드와이드

최근 전기차 시장의 성장에 따라 차량용 2차 전지가 시장을 주도하며 많은 관심을 받고 있다. 전기차에 적용되는 2차 전지의 경우 고출력, 고밀도, 긴 수명주기, 온도 민감성, 환경 친화성 등 여러 가지 특성이 요구된다. 특히, 고출력 및 고밀도화는 기존 NCM계에서 Li 함량을 증가시키는 방향으로 NCA 및 NCM811의 형태로 전환되고 있는 한편, 반응성이 높은 Li 함량이 늘어남에 따라 양극재 소성용 Box Sagger의 직접적인 수명저하가 문제로 지적되고 있다. 따라서 본 연구에서는 Li와 Box Sagger용 내화물(Cordierite, Spinel, Petalite)과의 반응성을 규명하고자 Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 분말을 이용하여 800 - 1100 °C에서 2시간 동안 열처리를 수행하였다. SEM 및 XRD 분석을 통해 반응 표면의 미세구조 변화와 열처리 온도에 따른 상 변화를 확인하였으며, 또한 TGA-DSC 열분석을 통해 각 내화물 재료와 Li의 반응 온도를 분석함으로써 Li에 대한 내침식성 향상 전략을 모색하고자 하였다.

### G7-5 | 제강공정 적용을 위한 다공성 부정형 칼슘헥사알루미늄이트 내화물 제조 방법

배현모<sup>1</sup>, 류성수<sup>2</sup>, \*윤당현<sup>1</sup>

<sup>1</sup>영남대학교, <sup>2</sup>한국세라믹기술원

Steelmaking needs to handle molten steel, which demands dry refractory that can be used for a long time at high temperatures, especially for degasser snorkel, ladle, and tundish parts. For these applications, a refractory insulator should possess excellent thermo-mechanical stability along with light weight. In addition, it should have high corrosion-resistance without reacting with the evolved gas, molten metal, and slag. Therefore, the synthesis of macro-porous calcium-hexaluminate (CaO·6Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CA<sub>6</sub>) aggregates composed of CA<sub>6</sub> platelets was

examined using various Ca- and Al-precursors. The effects of annealing temperature, time, atmosphere, and  $AlF_3$  as a mineralizer on the formation of plate-shaped  $Ca_6$  were studied. The Ca:Al ratio was adjusted for full conversion to  $Ca_6$ , which is the most stable phase among the CaO- $Al_2O_3$  intermediate compounds. The conditions for the synthesis of plate-shaped  $Ca_6$  aggregates with adequate strength were uncompromising, requiring heat treatment at  $\geq 1500$  °C for 15 h, which was also significantly affected by the type and size of the precursors.  $Ca_6$  aggregate synthesized directly using coarse  $Al_2O_3$  and CaO with 10 wt. % CaO· $Al_2O_3$  cement as a binder phase revealed the optimal macro-porous microstructure for castable refractory applications, showing porosity and compressive strength of 65% and 2.9 MPa, respectively.

### G7-6 | 고온에서의 희토류 합금과 반응방지 세라믹 소재의 반응층 분석

문승욱<sup>1,2</sup>, 안정수<sup>2</sup>, 김기현<sup>2</sup>, 송훈<sup>2</sup>, 박상규<sup>2</sup>, \*원병목<sup>1</sup>

<sup>1</sup>성균관대학교, <sup>2</sup>한국원자력연구원

현재 SFR(소듐고속냉각로)에 사용될 가장 유력한 연료 후보 물질은 금속 핵연료로, 휘발을 방지하기 위해 금속 핵연료 물질을 불활성 분위기에서 순차적으로 용융시킨 후 사출주조 공법으로 금속연료를 주조하는 개량주조법을 통해 제조한다. 반응성이 높은 희토류(RE) 원소를 함유한 U-Zr 합금계 핵연료는  $Y_2O_3$ 가 코팅된 도가니 및 금형과 높은 반응성을 가지며 금속 핵연료의 표면에 상당한 두께의 표면 반응층을 형성한다. 본 연구에서는  $Y_2O_3$  보다 고온 반응이 뛰어난 소재군에 대해 sessile drop test를 진행하였다. Bulk ceramic plate위에 RE alloy(Nd, Ce, Ln, Pr)를 배치한 후 sessile drop test를 진행했습니다. 추후 inter-phase layer 분석을 통해 RE elements에 대한 코팅층 특성을 평가했습니다. Bulk ceramic plate와 RE alloy 사이의 반응층의 특성을 조사하기 위해 RE 함량 및 위치에 따라 반응 조성물 및 상 특성을 SEM, EDS, XRD를 사용하여 조사했습니다. 그 결과,  $Y_2O_3$  보다 뛰어난 반응방지 성능과 고온 안정성을 가지는 후보 소재를 도출 하였다.

### G7-7 | 열적 특성이 향상된 $Al_2O_3$ -SiC-C Castable개발

유달산<sup>1</sup>, \*정병욱<sup>1</sup>, 김태완<sup>1</sup>, 허재녕<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국내화(주)

고로 주상 설비인 경주통(Tilting runner)은 용선 런너(Iron runner)를 통해 흐르는 용선을 혼선차(Topedo ladle car)에 분배하기 위해 만들어진 설비이다. 경주통에 적용되는 캐스타블은 주로  $Al_2O_3$ -SiC-C 재질로 구성되어 있으며 주요 손상으로는 사용중 용선 수감 낙차 충격에 의한 크랙 및 박리 발생, 용선 수선/대기 반복에 의한 열적 스프링으로 나타나 열간 보수를 진행하고 있다. 따라서 조업 사용 안정성을 확보하기 위해서는 무보수 사용이 요구되고 있으며 이를 위해서는 내스플링성 및

열간강도가 향상된 고품위 제품 개발이 필요하다. 본 연구에서는  $Al_2O_3$ -SiC-C 캐스타블의 내스플링성과 열간강도 향상을 목적으로 Andalusite 및 비산화물계 원재료를 적용하여 열적 특성을 비교 평가하였다. 그 결과 Andalusite 미분 원재료 첨가 시 내스플링성을 향상하는 결과를 얻을 수 있었고, 비산화물계 원재료 적용을 통하여 1,200°C조건에서 우수한 열간 강도 값을 얻을 수 있었다. 시험 결과를 바탕으로 국내 H사 대형 고로에 실로 적용한 결과 무보수 사용 결과를 얻을 수 있었다.

### G7-9 | 국외의 대체원료 활용현황 및비탄산염 원료의 석회석 대체 탄소배출 저감효과

이세진<sup>1</sup>, \*안태호<sup>1</sup>, 김의철<sup>1</sup>, 윤성일<sup>1</sup>, 김지연<sup>1</sup>, 최재호<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국시멘트신소재연구조합

오늘날 온난화로 인한 기후변화로 전세계적으로 탄소중립에 노력하고 있다. 시멘트산업은 탄소 다배출산업이며, 국내에서 가장 많이 유통되는 보통 포틀랜드 시멘트 경우 시멘트 모체인 클링커를 제조하기 위해서는 조합원료 배합에서 투입되는 석회석 비율이 약 90% 내외이다. 석회석( $CaCO_3$ )이 다른 조합원료와 함께 시멘트 킬른에서 고온에서 탈탄산화를 걸쳐 응결 및 경화할 수 있는 시멘트광물을 형성하며, 이 공정에서 배출되는 온실가스를 공정배출이라하며, 시멘트 제조시 발생하는 온실가스 중 60% 이상을 차지한다. 국내에서 탄소중립의 한 방안으로써 탄소의 추가발생이 없이 시멘트 클링커 제조시 석회석을 일부 대체하여 탄소중립의 기여하고자 연구되고 있다. 이에 국내 및 국외의 시멘트제조용으로 사용되는 대체원료 사용 현황을 파악하였다. 국내의 경우 비탄산염 원료로 석회석을 대체할 수 있는 재료(원료) 파악과 함께 각 원료의 탄소배출 감축량을 산정해 보았다.

### G7-10 | CO<sub>2</sub> Curable Alkali-activated Cementitious Geopolymer using Powder Bedding 3D Printing

KIM Tae-Hyung<sup>1,2</sup>, LEE Myeung-Jin<sup>2,3</sup>, JUNG Bora<sup>2</sup>, KIM Su-Jin<sup>2,3</sup>, YOO Miyeon<sup>2</sup>, \*LEE Heesoo<sup>1</sup>, \*KIM Hong-Dae<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusan National University, <sup>2</sup>Korea Institute of Industrial Technology, <sup>3</sup>Ulsan National Institute of Science and Technology

Carbon dioxide capture, utilization and storage (CCUS) technology is essential to achieving carbon neutrality. CCS technology contributes to carbon neutrality, but the limitation of not perfectly storing CO<sub>2</sub> is clear. CCU technologies such as mineral carbonation have high potential as the ultimate alternative to achieving carbon neutrality. Achieving net zero emissions is particularly important in the cement industry, which generates up to 0.95 tonnes of CO<sub>2</sub> per tonne of cement produced. Therefore, various efforts are being made to reduce CO<sub>2</sub> of cement concrete. Calcium silicate cement (OPC) can capture CO<sub>2</sub> semi-permanently in the cement matrix by controlling temperature, humidity and CO<sub>2</sub> concentration. Geopolymer concrete refers to a system in which vitreous

materials rich in Al and Si are activated by an alkali activator, and has eco-friendly characteristics as it does not require Portland Cement as a binder. However, the CO<sub>2</sub> capture mechanism of geopolymer concrete is still unclear. In this study, cementitious geopolymer samples were prepared using a Powder Bed Binder Jetting 3D printer and the process parameters, material properties and mechanisms for CO<sub>2</sub> carbonation were investigated. In addition, a reactive system for fixing CO<sub>2</sub> in a cementitious geopolymer system was proposed and the relationship between cement hydrates and carbonate phases was analyzed. Samples from powder bed binder jetting are expected to capture more CO<sub>2</sub> due to their higher porosity than traditional cement concrete.