

SS17 : 시멘트산업의 탄소중립 (시멘트부회 50주년 기념 심포지엄)

SS17-1 | 클링커 함량을 15% 이상 소성점으로 대체하는 혼합시멘트 제조기술 개발

구상선¹, *서형남¹

¹한라시멘트

시멘트산업은 연간 4,300 만톤의 온실가스를 배출하는 온실가스 배출량 3위의 다배출 업종으로 국가 2050 탄소중립 실현을 위하여 온실가스 감축이 필요한 주요 업종이며, 시멘트 산업에서의 온실가스 감축을 위하여 비탄산염 원료를 사용한 석회석 대체, 순환자원 연료 사용 및 시멘트 혼합재 사용을 통한 클링커 함량 감소 등의 연구가 탄소중립산업핵심기술개발을 통하여 진행되고 있는 상황이다. 이중 시멘트 혼합재 사용의 경우, 현재 시멘트의 혼합재로 주로 사용되어지고 있는 고로슬래그는 철강 산업에서의 온실가스 감축 로드맵에 따라 추후 그 발생량의 감소가 예상되어지고, 화력발전소에서 발생하는 석탄회 또한 화력발전소 폐쇄에 따라 발생량이 지속적으로 감소할 것으로 예상됨에 따라 23년부터 탄소중립산업핵심기술개발 사업을 통하여 혼합재 사용 증대를 위한 고성능 클링커 제조기술 개발, 석회석 미분말 활용 저탄소 혼합시멘트 제조기술 개발, 무기계 미활용 자원을 활용한 혼합재 및 혼합시멘트 제조기술 개발, 클링커 함량을 15% 이상 소성점으로 대체하는 혼합시멘트 제조기술개발에 대한 연구가 수행되어질 예정이다. 본 발표에서는 탄소중립산업핵심기술개발사업으로 진행될 클링커 함량을 15% 이상 소성점으로 대체하는 혼합시멘트 제조기술개발 연구에 대한 연구 목표 및 세부 연구개발 계획 등을 소개하고자 한다.

SS17-2 | 시멘트 연료용 폐합성수지 품질 평가를 위한 동결분쇄 전처리에 대한 검토

최재원¹, 권상진¹, *원필성¹

¹아세아시멘트(주)

포틀랜드 시멘트 제조공정에서는 CO₂ 배출 저감 및 자원순환형 사회 구축 트렌드에 맞춰 폐합성수지 등 가연성 폐기물로 유연탄을 대체하는 대체연료 기술을 꾸준히 개발해오고 있다. 한편, 폐합성수지와 같은 대체연료의 사용량을 증대시키기 위해서는 대체연료의 연료로서의 품질, 즉, 수분, 발열량, 염소 등 화학성분 등을 정확하게 측정할 수 있어야 한다. 하지만, 현재 시료채취 및 균질화 기술의 부족으로 분석결과의 신뢰도가 높지 않은 문제가 있다. 본 고에서는 폐합성수지를 동결분쇄 기법으로 전처리해 분석결과의 신뢰도를 높이는 방법에 대해 검토하였다.

SS17-3 | 고칼슘 페콘크리트 미분말의 회수를 위한 박리마쇄 및 정밀분급 기술의 적용

신상철¹, *김진만¹, 김건우¹, 강인규¹

¹공주대학교

페콘크리트 발생량은 매년 꾸준히 증가하고 있으며 2021년 기준 약 5,400만톤이 배출되어 전체 건설폐기물의 약 65%를 차지하고 있다. 페콘크리트의 골재는 순환골재로 재탄생하여 활용되어

왔지만, 페콘크리트의 다른 부산물인 페콘크리트 미분말에 대한 재활용은 주로 도로 노반재 등 부가가치가 낮은 용도로만 이루어지고 있는 실정이다. 페콘크리트 미분말은 제조 공정에서 이미 고온 이력을 가지는 탈탄산염이기 때문에 클링커 원료로 재활용하면 탄소 배출량을 저감시킬 수 있다. 일반적으로 발생하는 페콘크리트 미분말의 CaO 함량은 약 10~20% 수준인데, 이를 클링커 원료로 재활용하기 위해서는 CaO 함량을 증대시켜야 한다. 페콘크리트 미분말의 화학조성은 파쇄 공정에서 석분이 어느 정도 포함되는지에 의해 결정되기 때문에 페콘크리트 미분말의 고부가가치 재활용을 위해서는 미분말 속에 포함되어 있는 골재의 미분을 보다 효과적으로 분리시키는 것이 중요한 과제이다. 이러한 배경에서 본 연구에서는 박리마쇄를 통해 골재에 부착되어 있는 시멘트 페이스트를 효과적으로 벗겨낸 후, 정밀분급 기술을 적용하여 고칼슘 페콘크리트 미분말의 회수 가능성을 평가하였다.

SS17-4 | 비탄산염 원료의 CO₂ 배출량 정량 측정방법에 대한 고찰

우지원¹, 최재원¹, *유병노¹

¹아세아시멘트(주)

포틀랜드 시멘트의 주 원료인 석회석(CaCO₃)을 고온으로 가열할 경우 탈탄산 분해 반응에 의해 CO₂를 배출한다. 석회석을 원료로 사용함에 따른 CO₂ 배출을 저감하기 위한 기술중 하나로 칼슘을 함유한 산업부산물로 석회석을 대체하는 비탄산염 원료 기술이 제안되어 있다. 한편, 비탄산염 원료로 활용할 수 있는 산업부산물 중 동 슬래그, 고로슬래그 등 중량이 증가하는 시료의 경우, 기존 CO₂ 배출량 평가 방법인 강열감량(LOI)이나 열중량분석(TG), 적외선 분광법(IR)에 의해 CO₂ 배출량을 정확히 측정하지 못하는 한계를 나타내었다. 반면, DTG를 이용한 분석은 상당히 정확하게 CO₂ 배출량을 예측하는 것으로 평가되었다.

SS17-5 | 무기계 미활용 순환자원의 포틀랜드 시멘트 혼합재 활용성 검토

강인규¹, 김진우¹, 신상철¹, *김진만¹

¹공주대학교

국내 시멘트 산업이 2050 탄소중립에 동참함에 따라 업계 내에서는 시멘트 생산 시 발생하는 이산화탄소 배출을 감축하기 위한 다양한 추진 전략을 제시하였다. 특히, 시멘트 생산에 있어 가장 중추적인 역할을 하는 클링커를 대상으로 생산량 및 사용량을 저감시킬 수 있는 방향에 초점을 두었으며, 세부적으로 포틀랜드 시멘트의 혼합재 함량을 현행 10%에서 2030년까지 15%로 증가시켜 클링커 계수를 낮추는 것을 목표로 설정하였다. 시멘트 혼합재의 사용량을 증가시켜 클링커의 사용량을 줄이는 방법은 시멘트 산업 내 이산화탄소 배출을 가장 손쉽게 저감시킬 수 있는 방법 중 하나이며, 이를 위해 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 무기계 미활용 순환자원을 시멘트 대체 재료(Supplementary Cementitious Materials, SCMs)로 활용하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 국내에서는 클링커를 대체하기 위해 석회석, 고로슬래그, 플라이애시, 포졸란계 재료를 활용할 수 있도록 표준

으로 규정하고 있지만, 재료 자체의 가용성 및 반응성 측면에서 이를 효율적으로 활용하기에는 한계가 존재하는 실정이다. 이러한 배경에서 본 연구에서는 각 산업에서 발생하는 무기계 미활용 순환자원을 시멘트 대체 재료로 활용하여 15%의 혼합재 함량을 가진 포틀랜드 시멘트의 기초적 특성을 분석하였다.

SS17-6 | in-situ 이산화탄소 배합을 이용한 Wollastonite 혼합 시멘트의 광물탄산화 능력

배준일¹, *문주혁¹

¹서울대학교

시멘트 생산으로 인한 이산화탄소 배출량은 대략 26억t으로 이는 전세계 이산화탄소 배출량의 7%에 해당한다. 따라서 2050 탄소 중립 달성을 위해서는 CCUS에 효과적인 이산화탄소 반응경화 시멘트의 개발이 필요하다. 규회석은 이산화 탄소와 반응하는 광물로서 강도 발현과 동시에 광물 탄산화가 가능하다. In-situ 이산화탄소 배합이란 콘크리트 배합 시 이산화탄소를 주입하여 광물 탄산화를 일으키는 기술로서 규모가 큰 레미콘 배합 등에 적용가능하여 최근 활발히 연구가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 보통 포틀랜드 시멘트의 일부분을 랩스케일에서 합성된 wollastonite로 대체한 시멘트 페이스트에 in-situ 이산화탄소 배합을 적용하였다. 이후 양생일자에 따라 압축강도 발현 및 XRD, TGA를 이용한 미세구조 분석을 수행하여 CCUS와 동시에 건설재료로서의 적용가능성을 검토하였다.

SS17-7 | 페콘크리트 미분말을 활용한 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조 배합설계

이향선^{1,2}, *송훈²

¹한국해양대학교, ²한국세라믹기술원

국내 산업 부문에서 시멘트 산업에서 발생하는 온실가스는 약 10%를 차지하며, 대부분은 시멘트 클링커 소성 공정에서 발생한다. 시멘트 클링커 소성 과정 중에서 시멘트의 주원료인 석회석의 탈탄산 반응에서 57%, 연료 소비에 의해 30%, 전력 사용으로 인해 13%의 이산화탄소가 배출되고 있다. 이러한 문제점으로 시멘트 산업에서는 이산화탄소 배출량을 감축하기 위해 원료 대체 및 전환 기술, 저탄소 신열원 활용 공정효율 향상 기술, 공정 발생 CO₂ 포집 및 재자원화 기술들을 개발하고자 노력하고 있다. 공정 발생 CO₂ 포집 및 재자원화 기술은 화력발전소나 제철소, 시멘트 공장 등에서 발생하는 대규모의 배가스에서 CO₂ 만을 분리 및 포집하는 기술로, 지중저장 및 해양저장, 광물 탄산화로 나눌 수 있다. 그 중 탄산염 광물화는 포집한 CO₂를 광물화하여 천연자원과 같은 유용한 자원으로 전환하는 방법이다. 본 연구에서는 페콘크리트 미분말을 활용하여 광물탄산화 기반 기술 적용을 위한 이산화탄소와 반응하여 경화하는 시멘트 제조 배합설계에 대해 분석하고자 한다.

SS17-8 | 저석회 칼슘 실리케이트 시멘트와 보통 포틀랜드 시멘트의 혼합 비율에 따른 탄산화 양생 시멘트 경화체의 미세구조, 기계적 물성 및 CO₂ 고정화 성능에 관한 연구

조성민¹, *배성철¹

¹한양대학교

칼슘 실리케이트 시멘트 (low-lime calcium silicate cement, CSC)는 C₃S₂ (Ca₃Si₂O₇, rankinite), CS (CaSiO₃, wollastonite) 및 C₂S (CaSi₂O₅, belite)를 주요 구성 광물 상으로 하며, 탄산화 반응에 의해 강도를 발현하는 이산화탄소 반응경화형 시멘트이다. CSC는 C₃S (Ca₃SiO₅, alite) 와 C₂S를 주요 구성 광물 상으로 갖는 포틀랜드 시멘트 (ordinary portland cement, OPC) 대비 합성 시 낮은 소성 온도 및 적은 양의 탄산염 석회질 원료를 필요로 하기 때문에 제조 공정에서의 CO₂ 저감과 탄산화 양생을 통한 광물 탄산화에 의한 CO₂ 포집을 통해 총 CO₂ 배출량 감소에 매우 크게 기여할 수 있는 재료이다. 그러나 동시에 CSC의 주요 반응 물질 상인 C₃S₂, CS는 수경성 칼슘 실리케이트인 C₃S와 C₂S에 비해 낮은 양의 Ca 함량과 반응성을 나타내어 높은 압축강도 및 CO₂ 고정화 성능을 발현하기 어려운 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 높은 Ca함량과 반응성을 나타내는 OPC와 CSC를 혼합 사용해 탄산화 양생한 시멘트 경화체의 압축강도 및 CO₂ 고정화 성능을 측정하고 이에 대한 원인을 규명하였다. 정량 X선 회절 분석, 시차-열중량분석, 주사전자현미경, 수온압입 기공분석, X선 단층영상분석 등의 미세구조 분석법을 활용해 탄산화 양생된 CSC-OPC 경화체의 미세구조를 정성, 정량적으로 해석하고 CO₂ 고정화 성능 및 기계적 물성을 평가하여 CSC와 OPC의 혼합 비율에 따른 탄산화 양생 시멘트 경화체의 초기 반응, 미세구조 상 형성, 공극 분포 및 강도 발현 메커니즘을 분석하였다.