

건설폐기물을 활용한 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조에 관한 연구

Manufacturing of Calcium Silicate Cement Using Construction Waste

이향선¹ · 손배근² · 송훈^{3*}

Lee, Hyang-Sun¹ · Son, Bae-Geun² · Song, Hun^{3*}

Abstract : In the domestic industrial sector, greenhouse gases emitted from the cement industry account for about 10%, with most of them generated during the cement clinker calcination process. During the calcination process, 57% of carbon dioxide is emitted from the decarbonation reaction of limestone, 30% from fuel consumption, and 13% from electricity usage. In response to these issues, the cement industry is making efforts to reduce carbon dioxide emissions by developing technologies for raw material substitution and conversion, improving process efficiency by utilizing low-carbon alternative heat sources, developing CO₂ capture and utilization technologies, and recycling waste materials. In addition, due to the limitations in purchasing and storing industrial byproducts generated from industrial facilities, many studies are underway regarding the recycling of construction waste. Therefore, this study analyzes the manufacture of calcium silicate cement (CSC), which can store carbon dioxide as carbonate minerals in industrial facilities, and aims to contribute to the development of environmentally friendly regenerated cement using construction waste.

키워드 : 산업부산물, 칼슘실리케이트시멘트, 클링커

Keywords : construction waste, calcium silicate cement, clinker

1. 서론

국내 산업부문 중 시멘트 산업에서 발생하는 온실가스는 약 10%를 차지하며, 대부분은 시멘트 클링커 소성 과정에서 발생한다. 시멘트 클링커 소성 과정 중 주원료인 석회석의 탈탄산 반응에서 57%, 연료 소비에 의해 30%, 전력 사용으로 13%의 이산화탄소가 배출되고 있다. 이러한 문제점으로 시멘트 산업에서는 이산화탄소 배출량을 감축하기 위해 원료 대체 및 전환 기술, 저탄소 신열원 활용 공정 효율 향상 기술, 공정 발생 CO₂ 포집 및 재자원화 기술들을 개발하고자 노력하고 있다. 또한, 건설재료 산업에서도 적지 않은 양의 온실가스가 배출되고 있으며, 이와 관련하여 건설폐기물의 재활용화에 대한 많은 연구들이 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 산업 시설에서 배출되는 이산화탄소를 탄산화 광물로 저장할 수 있는 이산화탄소 반응경화 시멘트(Calcium silicate cement) 개발 및 건설 폐기물을 이용하여 친환경적 재생시멘트 개발에 기여하고자 연구를 진행하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 건설폐기물로 폐콘크리트 미분말과 폐유리, 폐타일을 사용하였으며, 건설폐기물 외 CaO 함량을 조절하기 위한 조절물질로 석회석을 사용하였다. 건설폐기물을 활용한 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조를 위해 CaO-SiO₂ 상평형도를 참고하여 SiO₂/(CaO+SiO₂) 몰비 0.33~0.50 범위에서 클링커를 제조하였으며, 배합은 표 1과 같다[1]. 배합에 따라 혼합한 원료는 혼합수 첨가 및 반죽하여 25g의 성형구를 제작하였으며, 이후 불필요한 혼합수를 제거하기 위해 100°C 건조기에서 24시간 건조 및 전기로에서 1,250°C로 소성하였다. 소성이 완료된 클링커는 미분쇄하여 광물 분석을 위해 XRD 분석을 진행하였다.

표 1. 이산화탄소 반응경화 시멘트 원료 배합

Mole SiO ₂ /(CaO+SiO ₂)	Raw material formulation(%)				Firing temperature
	Limestone	Waste concrete	Waste glass	Waste tile	
0.33	60.0	29.0	6.0	5.0	1,250°C
0.37	55.0	32.0	8.0	5.0	
0.41	45.0	47.5	3.0	4.5	

1) 한국세라믹기술원, 탄소중립소재센터, 학생연구원
2) 한국세라믹기술원, 탄소중립소재센터, 기술원
3) 한국세라믹기술원, 탄소중립소재센터, 수석연구원, 교신저자(songhun@kicet.re.kr)

3. 실험 결과 및 결론

건설폐기물인 폐콘크리트 미분말과 폐유리, 페타일을 활용한 이산화탄소 반응경화 시멘트 클링커 제조 및 1,250°C 소성 결과 $\text{SiO}_2/(\text{CaO}+\text{SiO}_2)$ 몰비 0.33~0.41 클링커의 경우 클링커 형태를 유지하였으며, $\text{SiO}_2/(\text{CaO}+\text{SiO}_2)$ 몰비 0.46의 클링커의 경우 그림 1과 같이 용융되어 0.50의 클링커 제작 및 소성은 진행하지 않았다. 이에 소성이 완료된 $\text{SiO}_2/(\text{CaO}+\text{SiO}_2)$ 몰비 0.33, 0.37, 0.41 클링커는 주요 광물 분석을 위해 XRD를 측정하였으며, 분석 결과 기존 OPC의 주요 광물인 Alite와 Belite, 이산화탄소 반응경화 시멘트의 주요 광물인 Wollastonite와 Rankinite, 외 $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ 가 생성됨을 확인할 수 있었다. 이는 사전 연구로 시약을 사용하여 이산화탄소 반응경화 시멘트 클링커를 제조한 실험 결과 주요 광물 Wollastonite와 Rankinite의 XRD 피크 강도와 다른 결과를 나타내고 있다[2].

본 연구에서는 건설폐기물을 활용한 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조에 관한 연구를 진행하였다. 연구결과, 폐콘크리트 미분말과 폐유리, 페타일을 활용하여 제조한 이산화탄소 반응경화 시멘트는 Wollastonite와 Rankinite 외 Alite와 Belite, $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ 가 생성되었음을 알 수 있었으며, $\text{SiO}_2/(\text{CaO}+\text{SiO}_2)$ 몰비 0.46의 경우 1,250°C 소성 시 클링커가 용융됨을 알 수 있었다. 이는 건설폐기물과 같은 원료를 활용 시 이산화탄소 반응경화 시멘트 주요 광물인 Wollastonite와 Rankinite 합성에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

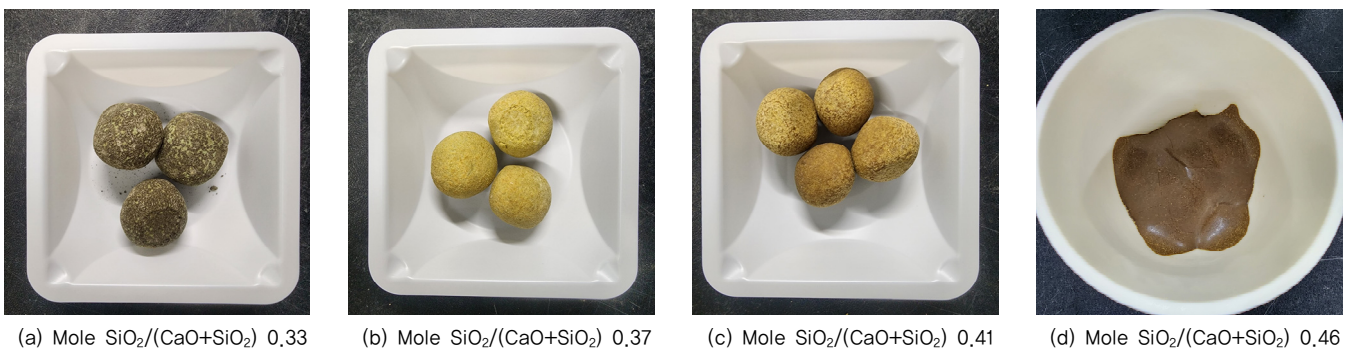


그림 1. 건설폐기물을 활용한 이산화탄소 반응경화 시멘트 클링커 사진

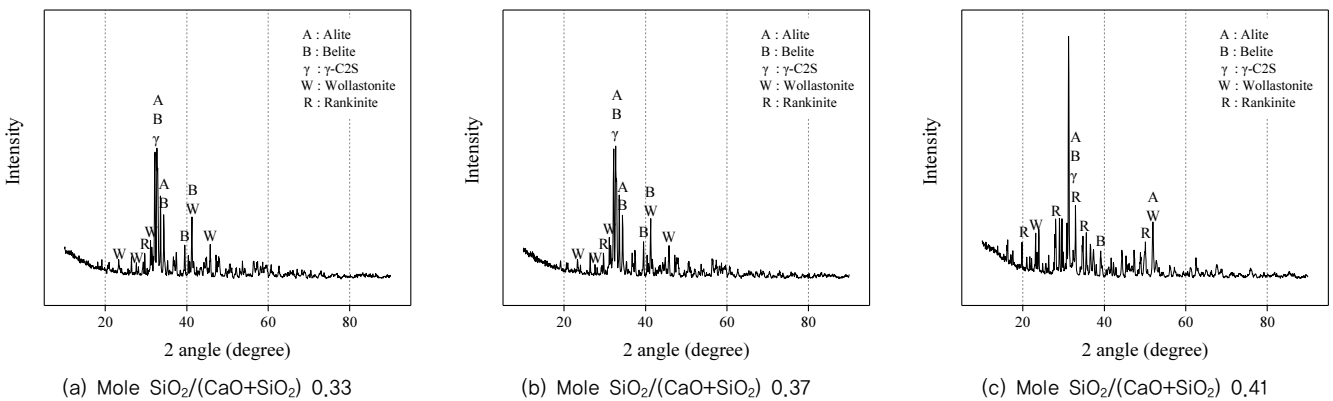


그림 2. 건설폐기물을 활용한 이산화탄소 반응경화 시멘트 XRD 분석 결과

감사의 글

본 논문은 2023년 산업자원통상부의 연구비지원(RS-2022-00155521)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Rietveld, H.M. A profile refinement method for nuclear and magnetic structure. *Journal of Applied Crystallography*. 1969. pp. 65-71.
2. 이향선. 원료 배합에 따른 칼슘 실리케이트 시멘트 클링커의 성분 및 상 분석. *한국건축시공학회 논문집*. 2022. pp. 251-258.