

CCUS기반 그린시멘트 성능 및 단열복합패널 열적 성능 분석

Analyzing Green Cement Mechanical and Thermal Performance for the Development of CCUS-Based Insulated Composite Panels

○김 종 현* 송 준 민* 김 철**
Kim, Jong-Hyun Song, Jun-Min Kim, Chul

Abstract

The cement industry accounts for 7-8% of global CO₂ emissions, making it crucial to reduce this problem in construction sites. This study evaluated the use of CCUS-based green cement for the development of high performance insulation composite panels. Green cement combinations with varying calcium carbonate (CaCO₃) rates showed the improvement of thermal performances in green cement while maintaining sufficient strength and thermal conductance. The high performance insulation composite panels using green cement demonstrated higher thermal performances, with lower heat flow, heat flux, and U-factor, than conventional cement panels in Therm simulations. This study provides a reference data on green building materials and CO₂ reductions.

키워드 : CCUS, 단열복합패널, 그린 시멘트, CaCO₃

Keywords : CCUS, Insulation composite panel, Green cement, CaCO₃

1. 서론

시멘트 산업은 전 세계 CO₂ 배출의 7~8% 차지하는 산업으로, CO₂의 과도한 배출 문제를 해결하기 위해 CO₂ 활용 기술인 CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage)기술이 사회적 이슈가 되고 있다. CCUS기술은 산업시설에서 발생하는 CO₂를 포집하여 저장 및 활용하여 부가가치가 있는 자원으로 전환하는 기술이다. 본 연구에서는 CCUS기술 적용을 위해 시멘트 산업 부산물로 발생하는 CO₂를 광물화한 시멘트를 그린 시멘트로 정의하였으며, 이를 활용하여 그린 시멘트의 기계적 성능 및 그린 시멘트를 이용한 제안된 단열복합패널의 열적 성능을 분석하였다. 본 연구의 성과는 시멘트 산업의 CO₂배출을 저감시키고, 친환경 건축자재 개발을 위한 기초 자료로 활용할 것으로 기대된다.

2. 연구방법 및 결과

2.1 CCUS기반 그린 시멘트 성능 평가 방법 및 결과

시멘트 산업분야에서 CCUS를 적용하는 방식은 크게 시

멘트 내부에 CO₂ 저장, 탄소 흡수 건축 자재 설계, 건물 외피에 탄소 포집 코팅 패널 적용, 실내 공기 정화 시스템과 연계한 CO₂ 네 가지로 요약할 수 있다. 본 연구에서는 대기 중의 CO₂를 탄산화 과정을 거쳐 만들어진 분말형 형태인 CaCO₃을 시멘트와 혼합시켜 건축물 내 탄소를 저장하는 방식을 적용하였다.

표1과 같이 광물탄산화 시켜 만들어진 탄산칼슘을 치환물과 물결합재비를 변수를 두어 시멘트 페이스트를 만들어 실험을 진행하였으며, 모든 혼합비에서 Binder의 총량은 동일하게 유지하여 진행하였다. 실험은 시멘트 페이스트 기계적 성능(압축강도)과 열전도율을 측정하였다.

표1. CaCO₃ 배합표

케이스	변수	W/B	Binder(%)		
			Cement	CaCO ₃	Total
CaCO ₃ _XX%_wb0.3 CaCO ₃ _XX%_wb0.4 CaCO ₃ _XX%_wb0.5	0.3		100	0	100
			5	5	
	0.4		10	10	
			15	15	
	0.5		20	20	
			30	30	
			40	40	
			50	50	

그림1은 치환물에 따른 압축강도 그래프이다. 그림1에서 압축강도 시험결과 W/B 0.3에서 압축강도가 제일 높게 나온 것을 확인할 수 있다. 치환율이 증가할수록 압축강도는 전반적으로 감소하는 경향을 확인할 수 있다. 0%에서 5%까지는 압축강도의 변화가 미미했으나, 10% 이상부터는

* 국립부경대학교 건축공학과, 학사과정

** 국립부경대학교 건축공학과 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Pukyong National Univ.chulkim@pknu.ac.kr)

본 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00409497).

급격한 강도 저하가 나타났다. 특히 50% 치환 시 강도는 32.282Mpa 로, 초기 대비 약 39% 감소하였다. 그림2는 열전도율 시험결과이며, 치환률이 높아질수록 열전도율 값은 감소하는 것을 확인할 수 있다. 치환률이 증가함에 따라 열전도율은 전반적으로 감소하는 경향을 보였다. 0%에서 1.2509 W/m.k였던 열전도율은 50% 치환 시 1.0412 W/m.k로 약 17% 감소하였다.

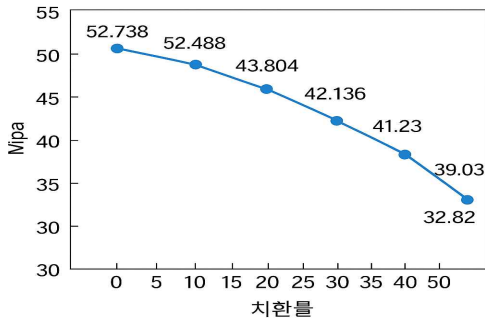


그림1. 그린 시멘트 압축강도

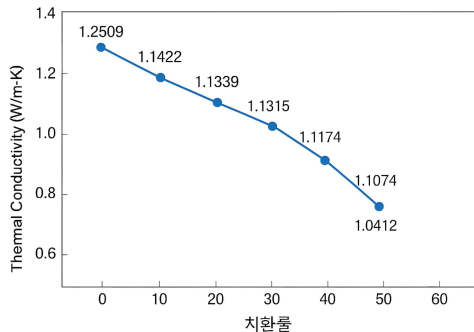


그림2. 그린 시멘트 열전도율

2.2 그린 시멘트 기반 단열복합패널 개발 가능성 검토

단열복합패널은 2가지 이상의 건축 재료로 구성된 다층 패널로, 기존 패널보다 열 성능이 향상된 자재이다. 그림3은 제안된 단열복합패널 도면 예시이다. 본 연구에서는 내부에 단열재, 외부에 시멘트 페이스트, 내부 마감으로 석고보드를 포함한 단열복합패널을 사용하였다. 2.1에서의 결과로 최선의 치환률을 10%로 생각하여 이를 토대로 단열복합패널 열적 성능을 분석하였다. 그림3처럼 단열복합패널을 구성한 후 열성능을 검증하기 위해 제안된 단열복합패널 디자인을 Therm 시뮬레이션에서 분석을 수행하였다. 시뮬레이션을 돌리기 위해 기존 시멘트는 1.6W/m.k, 그린 시멘트는 1.1422W/m.k, 단열재 0.043W/m.k, 석고보드는 0.18W/m.k로 설정하여 Heat Flow, Heat Flux, U-factor 값을 변수로 하여 시뮬레이션을 진행하였다.

표2는 시뮬레이션 결과 값으로 그린 시멘트 단열복합패널이 기존 시멘트 단열복합패널보다 Heat Flow, Heat Flux, U-factor 측면에서 낮게 나온 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 단열복합패널에서 탄소 포집을 위한 그린 시멘트 적용 시 열적 성능이 우수한 것을 확인할 수 있다.

표2. Therm 프로그램 시뮬레이션 결과

변수 케이스	Heat Flow (W)	Heat Flux (W/m ²)	U-factor (W/m ² K)
기존 시멘트단열복합패널	14.97	6.80	0.227
그린 시멘트단열복합패널	13.97	6.35	0.211

3. 결론

본 연구에서는 CCUS기술로 제조된 CO₂ 광물화 부산물인 CaCO₃를 활용한 그린 시멘트의 성능을 실험적으로 분석하고 이를 활용한 단열복합패널 개발 시 디자인에 따른 열적 특성을 평가하였다. CCUS로 제조된 그린 시멘트는 치환률이 높아질수록 압축강도와 열전도율이 감소한 것을 확인할 수 있으며, W/B 0.3일 때 압축 강도와 열전도율이 높게 나온 것을 확인할 수 있다. CaCO₃ 치환률10%에서 열전도율값으로 Therm프로그램 시뮬레이션 결과 기존 패널보다 Heat Flow, Heat Flux, U-factor 값이 낮게 나타나, 그린 시멘트를 활용한 단열복합패널이 우수한 열적 성능을 가짐을 확인하였다.

참고문헌

- 김이경, 김종현 and 김철. (2025). 온실가스 저감을 위한 CO₂를 활용한 고성능 시멘트 복합 단열패널 개발에 관한 연구 - 선행연구 분석을 중심으로 -. KIEAE Journal, 25(1), 65-74.
- 이향선 and 송훈. (2023). 칼슘 실리케이트 시멘트의 CO₂ 양생에 따른 탄산화 광물상 및 압축강도 분석. 대한건축학회논문집, 39(10), 271-279.