

칼슘설포알루미네이트 시멘트의 탄산화 양생과 열 안정성에 관한 검토

Review on Carbonation Curing and Thermal Stability of Calcium Sulfoaluminate Cement

오현유¹ · 쿠날 크뤼쉬나 다스² · 장정국^{3*}

Wu, Xuanru¹ · Kunal Krishna, Das² · Jang, Jeong Gook^{3*}

Abstract : In recent decades, climate change has become an issue of global importance. The calcium sulfoaluminate (CSA) cement emits lower CO₂ than the Portland cements while manufacturing. However, ettringite, which is a main hydration product of CSA cement, starts dehydrating at a temperature above 100°C, hence it may limit the CSA cement for high temperature application. Recently, an early carbonation curing of cement-based material has been extensively studied in terms of carbon neutralization. The carbonation curing of CSA cement has a potential to transform the AFt and AFm phases into calcium carbonate, and the transformation of unstable hydrates to stable hydrates can increase the resistance to elevated temperature. This review study summarizes and discusses the carbonation curing effect of CSA cement and the thermal stability of CSA cement exposed to elevated temperatures.

키워드 : 칼슘설포알루미네이트 시멘트, 탄산화, 양생, 열 안정성, 내열성.

Keywords : calcium sulfoaluminate cement, carbonation, curing, thermal stability, thermal resistance

1. 서론

시멘트 산업은 온실 가스의 주요발생원 중 하나로서 배출량은 인류가 산업활동을 통해 배출하는 CO₂ 배출량의 5-8%에 달한다[1]. 이러한 대량의 이산화탄소 배출을 지구온난화를 가속할 뿐만아니라 탄소중립을 위한 사회적 비용의 증가를 야기하고 있다. 칼슘설포알루미네이트(CSA) 시멘트의 경우 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)보다 탄소발자국이 낮은 대표적인 시멘트로, OPC의 대체제로 활용될 수 있어 점점 더 많은 관심을 받고 있다[2]. CSA 시멘트를 제조하는 과정에서 배출되는 CO₂ 양은 OPC에 비해 50-85% 적은 것으로 알려져 있다[3]. CSA 시멘트를 기반으로 한 콘크리트는 동결융해저항성, 초기 강도, 고강도, 내투수성 및 내식성이 우수하지만 팽창성으로 인해 과도한 균열이 발생하기 쉽다. CSA 시멘트 콘크리트의 주요 수화생성물 중 하나인 에트링가이트는 약 100°C 이상의 온도에서 탈수되기 시작한다. 따라서 매스 콘크리트 등 대규모 콘크리트 타설 시 수화열이 콘크리트 매트릭스 내부에 과도하게 발생하여 80°C 이상으로 상승하는 경우 콘크리트 내구성에 악영향을 미칠 수 있다. 그럼에도 불구하고 지속 가능한 고성능 시멘트 기반 바인더로서 CSA 시멘트의 역학적 성능 및 내구성에 대한 연구가 광범위하게 진행되고 있다. 본 연구에서는 탄산화 양생한 CSA 시멘트 콘크리트의 열적 성능을 평가함으로써 CSA 시멘트의 열 안정성 향상 가능성에 대해 검토 및 논의하였다.

2. 탄산화 양생

탄산화 양생은 콘크리트 양생 과정에 이산화탄소를 활용하여 탄소 배출 감소와 부가가치 창출 등의 경제적 이점을 제공하는 안전하고 친환경적인 기술이다. 포틀랜드 시멘트 콘크리트를 일반 양생 했을 경우 주요 수화생성물로 규산칼슘 수화물(C-S-H), 포틀랜드아이트(CH), 에트링가이트(AFt), 모노설포아이트(AFm) 등이 생성된다. 그러나 탄산화 양생한 경우 탄산화 과정에서 CO₂가 콘크리트 매트릭스 내부로 유입되면 기존 수화 생성물이 용해 및 해리되어 주요 생성물로 CaCO₃가 나타난다. 일반적으로 CH의 탄산화가 먼저 일어나고, 이어서 C-S-H, AFt 및 AFm이 탄산화 되는 것으로 알려져 있다[4].

3. 칼슘설포알루미네이트 시멘트의 탄산화양생

CSA 시멘트의 탄산화 양생 거동에 관한 연구는 많지 않다. 최근 발표된 연구에 따르면 양생 방법에 따른 CSA 시멘트 모르타르의 열분석 결과 AFt, AFm, Al(OH)₃ 및 CaCO₃가 각각 약 50~120°C, 190°C, 300°C, 750°C에서 분해된 것으로 나타났다[5]. 수중 양생 시

1) 인천대학교, 도시건축학부, 석사과정
2) 인천대학교, 도시건축학부, 박사후연구원
3) 인천대학교, 부교수, 교신저자(jangjg@inu.ac.kr)

탄산화 양생에 비해 AFt 및 AFm의 생성량이 많으며, 탄산화 양생 시 수중 양생에 비해 CaCO_3 의 생성량이 상당히 많았다[5]. 또한, 수중 양생한 콘크리트의 AFt 및 AFm의 발달이 더 민감한 것으로 나타났다[5]. 이러한 결과로부터 CSA 시멘트를 탄산화 양생함으로써 CO_2 를 광물상으로 고정화할 수 있을 뿐만 아니라 수화물 상의 개질을 도모할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

CSA 시멘트를 탄산화 양생하면 AFt, AFm 등의 불안정한 수화물을 CaCO_3 라는 안정한 수화물로 전환시킬 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 또한 탄산화 양생한 시멘트 콘크리트를 구성하는 CaCO_3 은 약 750°C 에서 분해되므로 온도 상승에 대한 저항성을 개선할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. 2021R1C1C1013864). 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Z Chen, J Fang, F Ming, Y Liu. Early Age Hydration Characteristics of Calcium Sulphoaluminate Cement Mortar Cured at a Temperature Range from -10 to 20°C , Adv. Mater. Sci. Eng. 2021. p. 4494056.
2. Tambara, L, Cheriaf M, Rocha JC, Palomo A, Jimenez AMF. Effect of alkalis content on calcium sulfoaluminate (CSA) cement hydration. Cem. Concr. Res. 2019. 128. p. 105953.
3. Y Zhang, Q Zhao, Z Gao, J Chang. Microstructure Control of AH3Gel Formed in Various Calcium Sulfoaluminate Cements as a Function of pH, ACS Sustain. Chem. Eng. 2021. pp. 11534-11547.
4. JG Jang, GM Kim, HJ Kim, HK Lee. Review on recent advances in CO_2 utilization and sequestration technologies in cement-based materials, Constr. Build. Mater. 2016. pp. 762-773.
5. R Sharma, H Kim N, Kon J, Park J. Gook, Microstructural characteristics and CO_2 uptake of calcium sulfoaluminate cement by carbonation curing at different water-to-cement ratios. Cem. Concr. Res. 2023. p. 107012.