

2025년 추계학술발표대회 : 일반부문

석고와 고로슬래그 혼입에 따른 석회석 혼합시멘트 내 수화특성 및 영향분석

Hydration Characteristics and Influence Analysis in Limestone Blended Cement with Gypsum and Ground Granulated Blast Furnace Slag Addition

○김 연 우* 정 성 훈** 최 재 원*** 조 성 은**** 서 형 원***** 배 성 철*****
Kim, Yeon-Woo Jeong, Seong-Hoon Choi, Jae-Won Cho, Seong-Eun Suh, Heong-Won Bae, Sung-Chul

키워드 : 석회석 혼합시멘트, 석고, 고로슬래그, 에트링가이트, 카보알루미네이트

Keywords : Limestone blended cement, Gypsum, Ground granulated blast-furnace slag, Ettringite, Carboaluminate

석회석 혼합시멘트(Portland limestone cement, PLC)는 석회석을 고온에서 소성하지 않고, 미분말 형태로 분쇄하여 혼합한 저탄소 시멘트로 알려져 있다. 석회석의 주성분인 탄산칼슘이 클링커 내 알루미늄이네이트와 반응하여 카보알루미네이트를 생성하면서 에트링가이트의 안정성을 향상시키는 장점이 있다. 최근에는 PLC와의 반응성이 우수한 SCM을 활용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존에 석회석의 핵형성 효과(nucleation effect)와 충전효과(filler effect)를 통해 초기강도 보완하지만, 희석효과(dilution effect)로 인해 장기 강도가 저하될 수 있는 한계가 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위해 알루미나-실리케이트 계열의 SCM인 고로슬래그(Ground granulated blast furnace slag, GGBFS)가 활용되고 있으며 C-A-S-H 생성, 미세구조 형성 및 공극을 효율적으로 충전하여 강도발현에 긍정적인 영향을 미친다. 하지만 석회석 및 GGBFS의 혼입으로 인해 시멘트 시스템의 수화반응 및 수화생성물의 조성이 복잡적으로 변화함에 따라 수화반응 측면에서 결합체의 구성요소인 석고조절에 대한 보다 깊은 이해가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 고로슬래그-석회석 혼합시멘트 내 석고함량에 따른 수화반응 및 영향분석을 수행하였다.

본 연구에서 사용된 클링커, 석회석 및 GGBFS는 국내 S사에서 분쇄 및 공급받았으며, 석고($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Sigma Aldrich, US)는 시약을 사용하였다. 그림 1과 같이 100 μm 이하로 입도를 조정하였으며, 물-결합재 비 0.4로 혼합하여 5 X 5 X 10mm³ 크기로 시편을 제작하였다.

* 한양대학교 건축공학과 석사과정

** 한양대학교 건축공학과 석박통합과정

*** 아세아 시멘트(주) 기술연구소 책임연구원

**** 한양대학교 건축공학부 박사 후 연구원

***** 부산대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

***** 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering,
Hanyang University, sbae@hanyang.ac.kr)

이 연구는 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. 과제번호:RS-2024-00420787)

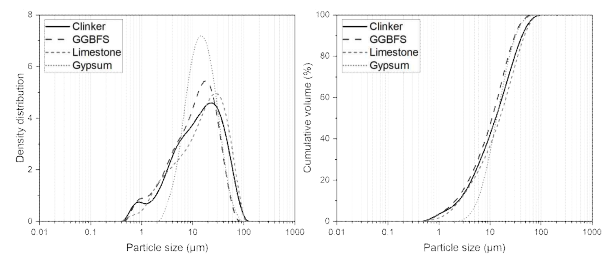


그림 1. 원재료 입도분포 그래프

본 연구에서는 그림 2와 같이 석고함량에 따른 수화생성물의 조성 상을 분석하기 위해 X-회절(X-ray diffraction, XRD)를 수행하였다. 분석결과, 수화초기에 용해된 석고가 클링커 및 GGBFS 내 알루미나 반응으로 인해 에트링가이트의 회절피크가 확인되었으며, 석고함량이 증가할수록 피크강도가 증가하는 것이 관찰되었다. 재령 일이 지남에 따라 석회석의 주성분인 탄산칼슘이 반응하여 모노카보알루미네이트 및 헤미카보알루미네이트가 생성되었으며, 고로슬래그의 혼입에 따라 모노카보알루미네이트 및 헤미카보알루미네이트 피크강도가 증가하는 것이 관찰되었다. 이를 통해 석고함량에 따라 수화반응 및 생성물의 차이를 통해 물리적인 특성에 직접적인 영향을 미친 것으로 분석된다.

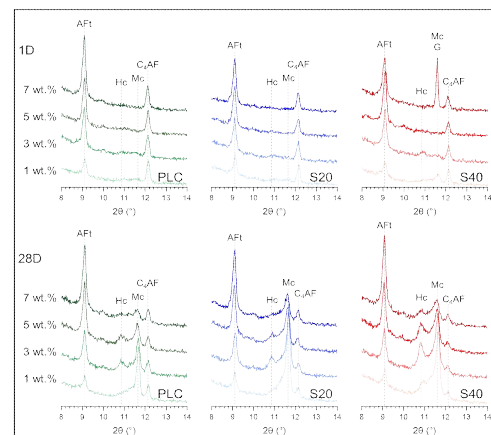


그림 2. 1일차, 28일차 석고함량 별 XRD 결과