

칼슘실리케이트 시멘트(CSC) 혼입 모르타르의 탄산화 양생 조건에 따른 강도발현 특성에 관한 기초적 연구

A Basic Study on the Strength Development Characteristics of Calcium Silicate Cement (CSC) Mixed Mortar according to Carbonation Curing Conditions

김영진¹ · 류동우^{2*}

Kim, Young-Jin¹ · Ryu, Dong-Woo^{2*}

Abstract : In this study, the strength development characteristics of calcium silicate cement mixed mortar according to carbonation hardening conditions were evaluated. As a result of measuring the compressive strength, the strength increased according to the carbonation hardening time, and the strength increase rate was higher for the specimen with a CO₂ concentration of 20%.

키워드 : 이산화탄소, 칼슘 실리케이트 시멘트(CSC), 랭킨나이트, 규회석, 탄산화 양생

Keywords : CO₂, calcium silicate cement(CSC), rankinite, wollastonite, carbonation curing

1. 서론

1.1 연구의 목적

시멘트 산업은 국내 산업부문 CO₂ 배출량이 두 번째로 높은 산업으로 CO₂ 배출량의 약 7%를 차지한다. 시멘트 생산과정 중 높은 소성온도(약 1450°C)와 석회석(CaCO₃) 열분해 과정이 CO₂ 배출의 주 원인이다. 따라서 시멘트 산업의 탄소배출을 줄이기 위한 다양한 방법이 제시되고 있으며 주요 연구는 소성 시 대체 연료 사용, 비탄산염 원료 활용 또는 시멘트 대체 결합재 개발이다. 최근 시멘트 대체 결합재로 Wollastonite와 Rankinite 광물상이 주를 이루는 Calcium Silicate Cement(CSC)가 개발되고 있다. CSC는 소성온도 약 1200°C에서 생산되어 OPC 생산에 필요한 온도보다 약 250°C 낮아 CO₂ 배출량이 절감된다[1]. CSC의 경화메커니즘은 OPC와 다르게 비수경성으로 CO₂와 반응하며 주요생성물은 탄산칼슘과 실리카겔을 형성하는 것이 특징이다.

본 논문에서는 CSC를 활용하여 콘크리트 2차제품을 제조하기 위한 기초적 연구로 탄산화 양생 조건에 따른 CSC 혼입 모르타르의 강도발현 특성 평가를 목적으로 한다.

2. 실험계획 및 결과

2.1 실험계획

CSC 혼입 모르타르 실험체의 결합재는 고로슬래그시멘트와 CSC를 사용하였으며 CSC 혼입률은 고로슬래그시멘트 대비 0, 25, 50, 75, 100% 치환하여 혼합하였다. W/B=0.36으로 하였으며 결합재와 잔골재는 1:1의 비율로 50×50×50mm 실험체를 제작하였다. CSC 혼입 시 낮은 초기 강도 발현으로 조기 탈형을 위해 증기양생을 500°C·h 조건으로 실시하였으며, 이후 대기압 하에서 각각 강도 발현 특성을 CO₂ 농도 20, 99%의 조건으로 4, 8, 12, 24시간 동안 탄산화 양생을 진행하였다. 탄산화 양생 조건에 따른 강도발현 특성을 확인하기 위해 압축강도를 평가하였으며, 주요 광물상의 정량분석을 위해 표면 시편을 채취하여 XRD 분석을 실시하였다.

2.2 실험결과

CSC 혼입 모르타르 실험체의 탄산화 양생 이후 압축강도 측정결과는 그림 1과 같다. 탄산화 양생에 따른 강도발현 특성은 대부분의 실험체에서 양생시간이 증가할수록 압축강도가 증진되었으나, CO₂ 농도 20% CSC 0, 25, 50% 혼입 시험편의 경우 양생시간 12시간에서 강도가 감소된 것을 확인할 수 있었다. 이는 고로슬래그시멘트의 Ca(OH)₂이 완전히 탄산화된 이후에 C-S-H 겔의 탄산화가 진행되어 겔과괴에 의한 압축강도 저하로 판단된다. 또한 CO₂ 농도 20% 실험체의 압축강도 증가율이 CO₂ 농도 99% 실험체보다 높은

1) 대전대학교, 석사과정

2) 대전대학교, 교수, 교신저자(dwryu@daejin.ac.kr)

것으로 나타났다. 탄산화 과정은 표층부에서 시작하여 내부로 침투하는 확산반응으로 고농도의 탄산화 양생 시 실험체 표면부의 급격한 탄산화 반응으로 인해 탄산칼슘층이 형성되어 표층부 공극이 밀실해져 CO₂ 확산 속도가 저해되어 나타난 결과로 판단된다[2]. 그림 2의 XRD 분석결과 CO₂ 농도 20% 실험체 대비 CO₂ 99% 농도의 실험체 표면 시편에서 탄산칼슘 광물상인 calcite와 aragonite 피크가 더 높은 것으로 확인되었다.

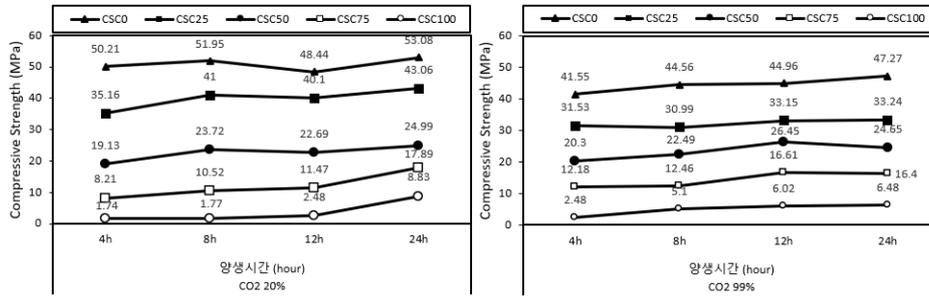


그림 1. CSC 혼입 모르타르 탄산화 양생 실험체 압축강도 측정결과

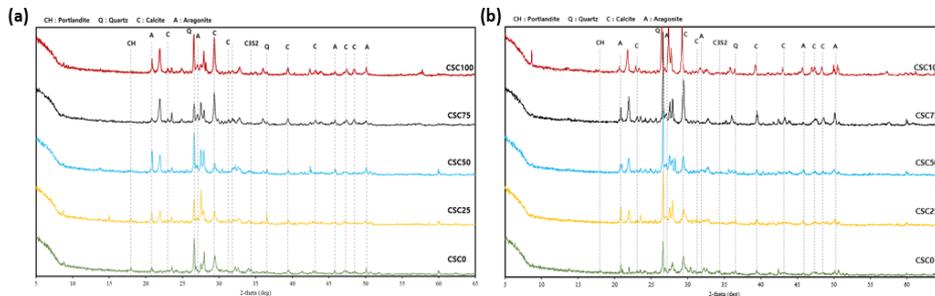


그림 2. 탄산화 양생 24h 실험체 표면 XRD 결과 [(a) CO₂ 농도 20% (b) CO₂ 농도 99%]

3. 결론

본 연구에서는 CSC 혼입 모르타르의 탄산화 양생 조건에 따른 강도발현 특성을 비교 분석하였으며 결과는 다음과 같다.

- 탄산화 양생시간에 따른 압축강도 측정 결과 양생시간이 증가할수록 강도 증진을 보였으나 CO₂ 농도 20% 양생 중 CSC 혼입률이 적은 CSC 0, 25, 50% 실험체에서 반응시간 12시간에 강도저하가 나타난 것을 확인할 수 있었다. 이는 고로슬래그시멘트의 수화생성물이 탄산화가 과도하게 진행되어 C-S-H 겔 파괴에 의해 강도가 저하된 것으로 판단되며 추후 추가적인 정량분석을 통해 규명할 필요가 있다.
- CO₂ 농도에 따른 압축강도 분석 결과 CO₂ 농도 20% 양생에서 더 높은 강도증가율을 보였다. 이는 99%의 고농도 탄산화 양생 시 실험체 표면에서 급격한 탄산화 반응으로 표층부에 밀실한 CaCO₃층이 형성되어 CO₂의 침투가 저하되는 것으로 판단된다. 이를 뒷받침할 근거로 CO₂ 농도 20, 99% 실험체 표층부 XRD 결과 CO₂ 99% 농도 실험체에서 탄산칼슘 생성물이 더 많이 형성된 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 2023년 산업통상자원부 국가연구개발사업(과제번호: RS-2023-00155521)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- Warda Ashraf 외 2인. Phase evolution and strength development during carbonation of low-lime calcium silicate cement(CSC). Construction and Building Materials. 2019. pp. 473-482.
- Hongzhi Cui 외 4인. Experimental study on effects of CO₂ concentrations on concrete carbonation and diffusion mechanisms. Construction and Building Materials. 2015. pp. 522-527.