Calcium silicate cement-based paste의 탄산화 양생 조건에 따른 역학적 특성 및 미세구조 평가

Evaluation of Mechanical Properties and Microstructure of Calcium Silicate Cement-Based Paste according to Carbonation Curing Conditions

최창근[1] · 류동우[2*]
Choi, Chang-Keun[1] · Ryu, Dong-Woo[2*]

Abstract : This study evaluated the mechanical properties and microstructure of calcium silicate cement based paste according to carbonation curing conditions. As a result, both compressive strength and carbonation depth increased with the carbonation curing period.

키워드 : 탄소중립, 칼슘 실리케이트 시멘트, 탄산화 양생, 탈석회화, 이산화탄소 포집 활용
Keywords : carbon neutrality, calcium silicate cement, carbonation curing, decalcification, carbon capture utilization

1. 서 론

1.1 연구의 목적

시멘트 산업은 전 세계 CO_2 배출량의 약 7%를 차지하는 것으로 알려져 있으며, 시멘트 1t 생산 시 약 0.8t의 CO_2가 발생하게 되어 기후변화의 원인으로 꼽히고 있다. 이에 시멘트 산업에서는 CO_2 배출량을 저감시키고자 가장 핵심적인 기술 중 하나로 이산화탄소 포집 및 활용 기술(CCU, Carbon Capture Utilization)을 제시하였고, 최근에는 포틀랜드 시멘트(PC, Portland Cement)를 대체할 시멘트로 CSC(Calcium Silicate Cement)를 개발하고 있다. CSC는 기존 소성온도인 1450°C가 아닌 1250°C에서 소성이 이루어져 석회석 탈탄산 및 유연탄 연소로부터 발생하는 CO_2를 저감시킬 수 있다[1]. 또한 소성과정 중 CS(Wollastonite)와 C_3S_2(Rankinite)가 생성되며 이는 비수경성으로 수화반응이 아닌 CO_2와 반응하는 탄산화반응을 통해 탄산칼슘과 실리카겔을 형성하며 강도발현이 이루어진다[1]. 이로 인해 CSC를 현장타설 철근콘크리트 건축물에 적용하는데 어려움이 있으며 CO_2 양생실이 갖추어진 프리캐스트 콘크리트 혹은 시멘트/콘크리트 2차 제품에 적용하기 위한 연구 위주로 진행되고 있다.

본 연구에서는 CSC 혼입 콘크리트 2차제품 제조 및 공정 기술 필요성이 요구됨에 따라 탈형 가능 수준의 강도 발현과 최적 양생조건 및 배합 도출을 위한 CSC 혼입 페이스트의 탄산화 양생 조건에 따른 역학적 특성(압축강도) 및 미세구조를 평가하였다.

2. 실험계획 및 결과

2.1 실험계획

CSC 혼입 페이스트 실험체 사용재료로는 보통포틀랜드 시멘트(OPC, Ordinary Portland Cement)와 칼슘 실리케이트 시멘트(CSC, Calcium Silicate Cement)를 사용하였다. W/B = 0.36이며, OPC 대비 CSC를 0, 50, 100%를 치환하여 $50 \times 50 \times 50mm^3$ 크기의 실험체를 제작하였다. 타설 직후 전 양생으로써 500°C·h 조건으로 증기양생을 실시하였으며, 이후 20 ± 1°C, RH 60 ± 5%, CO_2 20 ± 0.5%의 조건으로 탄산화 양생을 실시하였다. 시험항목으로는 0, 4, 8, 12, 24, 48, 72, 168시간 탄산화 양생 후 압축강도를 측정하였고, 미세시료 커터기를 통해 타설면과 밑면을 수직으로 절반 컷팅 후 페놀프탈레인 1% 용액을 분무하여 탄산화 깊이를 평가하였다. 또한 미세시료 커터기를 통해 샘플을 채취후 75㎛ 이하로 분쇄하여 CSC0, 50, 100 배합의 표층부를 대상으로 XRD 분석을 실시하였으며, CSC100 배합의 표층부를 대상으로 TG-DTG 분석을 추가적으로 실시하였다.

1) 대진대학교, 학사과정
2) 대진대학교, 교수, 교신저자(dwryu@daejin.ac.kr)

2.2 실험결과

CSC 혼입 페이스트 실험체의 압축강도 측정결과 그림 1과 같이 CSC0, 50, 100 배합 모두 재령이 증가함에 따라 압축강도가 증가하는 경향을 보였으나, CSC0 배합의 8시간과 CSC50 배합의 12시간에서 강도 감소 구간이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이는 OPC 기반 수화생성물인 C-S-H의 탈석회화로 인해 C-S-H 사슬이 끊겨 골격이 붕괴됨으로써 강도가 감소된 것으로 판단된다. 탄산화 깊이 측정결과 CSC 혼입률이 증가함에 따라 비례하게 증가하는 경향을 보였다. 또한 특정 구간에서 급격하게 탄산화 깊이가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 증기 양생으로 인해 실험체 공극 내 수분의 포화상태로 탄산화 양생 초기에 CO_2 확산 속도가 저하 되었으나, 이후 수분의 증발과 함께 CO_2 확산 속도 증가로 인해 깊이가 증가된 것으로 판단된다. XRD 측정결과 그림 2와 같이 재령이 증가함에 따라 CSC0, 50, 100 배합의 표층부 모두 Calcite 피크가 증가하고 Portlandite 피크가 감소하는 경향을 보였다. CSC50, 100 배합 표층부의 경우 CSC 구성 광물인 Cristobalite, Rankinite, Wollastonite, Pseudowollastonite을 확인할 수 있었다. TG-DTG 측정결과 재령이 증가함에 따라 400 ~ 550°C인 $Ca(OH)_2$의 중량감소율이 감소하고 600 ~ 800°C인 $CaCO_3$의 중량감소율이 증가하는 경향을 보였다.

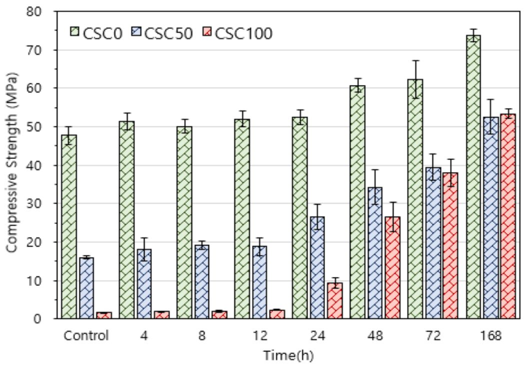

그림 1. 압축강도 측정결과

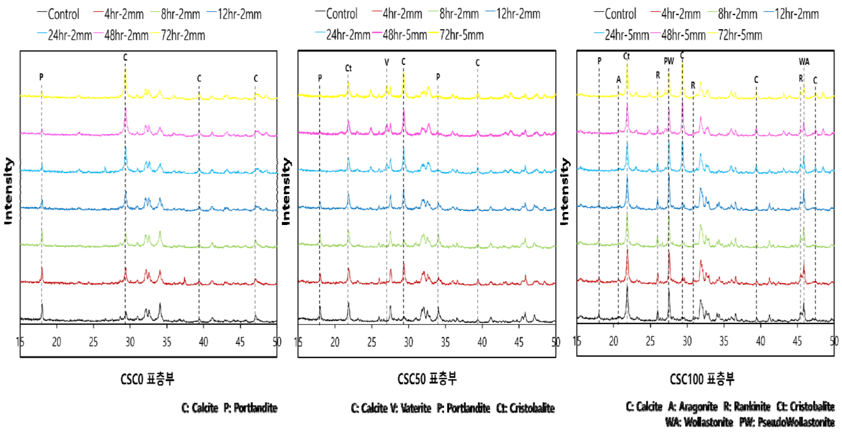

그림 2. XRD 측정결과

3. 결 론

본 연구에서는 CSC(Calcium silicate cement)를 혼입한 콘크리트 2차 제품 개발을 목표로 탈형 가능 수준의 강도 발현과 최적의 양생조건 및 배합 도출을 위한 탄산화 양생 조건에 따른 역학적 특성(압축강도) 및 미세구조를 평가하였다.

1) 압축강도 측정결과 탄산화 양생 시 압축강도는 증가하는 경향을 보였으나 CSC0 배합 8시간과 CSC50 배합 12시간에서 강도가 감소하였는데, 이는 OPC 기반 수화생성물인 C-S-H의 탈석회화로 인해 C-S-H 사슬이 끊겨 골격이 붕괴됨으로써 강도가 감소된 것으로 판단되며, 추후 연구를 통해 사실관계를 확인할 예정이다.

2) 탄산화 깊이 측정결과 CSC 혼입율이 증가함에 따라 비례하여 증가하는 경향을 보였다. 또한 CSC100 배합 12시간 이후부터 급격히 탄산화 깊이가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 증기양생으로 인해 실험체 공극 내 수분의 포화상태로 탄산화 양생 초기에 CO_2 확산 속도가 저하 되었으나, 이후 수분의 증발과 함께 CO_2 확산 속도 증가로 인해 깊이가 증가된 것으로 판단되며, 추후 연구에서 건조 조건을 달리하여 탄산화 양생을 실시하고자 한다.

3) CSC100 배합의 경우 48시간 이후부터 실험체 전체의 탄산화로 페놀프탈레인 용액에 의한 탄산화 깊이 측정이 불가하였으나 탄산화 양생 168시간까지 강도가 지속적으로 증가하였다. 이에 추후 연구에서 탄산화 양생을 장기간 실시하여 CSC의 종국강도 확인 및 미세구조의 변화를 추가적으로 평가하고자 한다.

감사의 글

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

참고문헌

1. Warda Ashraf 외 2인. Microscopic features of non-hydraulic calcium silicate cement paste and mortar. Cement and Concrete Research. 2017. p. 361-372.