

# 탄산화 양생 조건에 따른 시멘트 페이스트의 기초적 특성 평가

## Evaluation of Fundamental Properties of Cement Paste according to Carbonation Curing Conditions

심상락<sup>1</sup> · 류동우<sup>2\*</sup>

Sim, Sang-Rak<sup>1</sup> · Ryu, Dong-Woo<sup>2\*</sup>

**Abstract** : In this study, as a fundamental research to establish the mechanism of carbonate precipitation, we compared and evaluated the mechanical properties of cement paste under different carbonation conditions. The research results showed that as the CO<sub>2</sub> concentration increased, the compressive strength also increased.

**키워드** : 탄소중립, 탄산화 양생, 역학적 특성

**Keywords** : carbon neutrality, carbonation curing, mechanical properties

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 목적

최근 2050 탄소중립 실현을 위해 전 세계의 탄소배출량의 약 8%를 차지하고 있는 시멘트 산업에서도 시멘트 기반 재료의 탄산화 반응을 활용한 탄산화 양생 기술에 대한 연구개발이 활발하게 이루어지고 있다. 일반적으로 콘크리트의 탄산화는 콘크리트 피복의 알칼리성을 저하시켜 내구성을 저하시키는 것으로 알려졌으나, 최근에는 Ca(OH)<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>가 반응하여 형성된 CaCO<sub>3</sub>가 콘크리트 내 공극을 충전하여 역학적 성질 및 내구성의 증진을 기대할 수 있다고 보고하고 있다 [1]. 그러나 콘크리트는 Ca(OH)<sub>2</sub>만 탄산화 반응이 이루어지는 것이 아니며 가장 주된 구성조직인 C-S-H 겔도 탄산화 반응이 이루어지며 역학적 성질이 크게 저하한다고 알려져 있다. 이에 본 연구에서는 탄산화 양생 메커니즘 확립을 위한 기초적 연구로서 시멘트 페이스트를 대상으로 탄산화 양생 조건에 따른 역학적 특성을 비교·평가하였다.

### 2. 실험방법

본 연구에서는 시멘트 수화물의 탄산화 양생에 따른 역학적 특성을 분석하기 위하여 W/C=0.5의 시멘트 페이스트를 제작하였다. 시멘트는 국내 S사의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 전 양생으로써 재령 28일 수중양생(20°C) 이후, 재령 56일까지 항온항습양생(20±1°C, 60±5%RH)을 실시하였다. 탄산화 양생은 20±1°C, 60±5%RH의 항온항습 조건에서 CO<sub>2</sub> 농도 5, 20%로 나누어 진행하였으며, 양생기간은 4시간부터 최대 4주까지 실시하였다. 탄산화 양생 종료 후 압축강도 측정을 실시하였으며, 실험체의 표층부 시료를 대상으로 XRD 분석을 실시하였다.

표 1. 실험인자 및 수준

실험인자		수준
배합사항	사용재료	보통 포틀랜드 시멘트 1종
	물결합재비(%)	50
CO <sub>2</sub> 농도		5, 20%
탄산화 양생 기간		4hr, 8hr, 12hr, 24hr, 2day, 3day, 4day, 1week, 2week, 3week, 4week
측정항목		압축강도
정량분석		XRD 분석

1) 대전대학교, 박사과정

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

### 3. 실험결과

탄산화 양생 전·후 시멘트 페이스트의 압축강도 측정결과를 그림 1에 나타내었으며, XRD 분석결과를 그림 2에 나타내었다. 압축강도 측정결과와 탄산화 양생을 실시할 경우 탄산화양생 12시간까지는 강도가 증가하며 CO<sub>2</sub> 농도 5% 조건보다 CO<sub>2</sub> 농도 20%에서 증가폭이 큰 것으로 확인되었다. 그러나 CO<sub>2</sub> 농도 5% 조건에서는 탄산화 양생 7일, CO<sub>2</sub> 농도 20% 조건에서는 탄산화 양생 2일에서 압축강도가 저하한 후 다시 강도가 증진되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 일부 시험체에서는 탄산화 양생을 실시함에 따라 시험체 표면에 미세 균열이 발생한 것을 확인할 수 있었다. 따라서 압축강도의 저하가 미세균열의 발생에 의한 것인지 C-S-H 겔의 탈석회화(decalcification)에 의한 것인지 정밀분석이 필요할 것으로 판단된다. 이후 탄산화 양생을 장기간 실시하였을 때에는 CO<sub>2</sub> 농도 20% 조건에서 압축강도가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

XRD 분석결과와 탄산화 양생 재령이 증가함에 따라 Ca(OH)<sub>2</sub>의 피크가 감소하였으며, CO<sub>2</sub> 농도 20% 조건에서 피크가 더욱 크게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 탄산화 반응 생성물로는 Calcite가 주를 이루고 있으며 일부 Vaterite의 피크를 확인할 수 있었다. 다만, C-S-H 겔의 경우 비정질로써 XRD 분석으로는 명확하게 확인하기는 힘들어 추후 FT-IR 등의 분석을 통해 검증이 필요할 것으로 판단된다 [2].

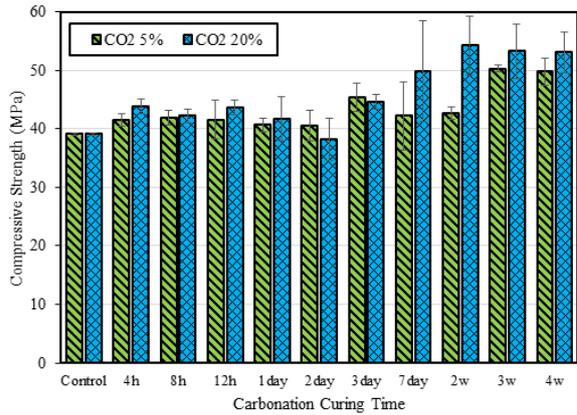


그림 1. 압축강도 측정결과

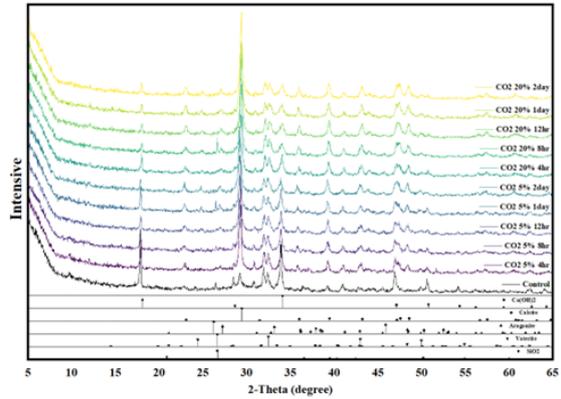


그림 2. XRD 분석결과

### 4. 결론

본 연구에서는 탄산화 양생 메커니즘 확립을 위한 기초적 연구로써 보통 포틀랜드 시멘트로만 제작한 시멘트 페이스트를 대상으로 탄산화 양생 조건에 따른 역학적 특성을 평가하였다. 연구결과는 다음과 같다.

- 탄산화 양생 기간이 증가함에 따라 전체적으로 압축강도가 증가하는 경향을 확인하였다. 다만 CO<sub>2</sub> 농도 5% 조건에서는 탄산화 양생 7일, CO<sub>2</sub> 농도 20% 조건에서는 탄산화 양생 2일에서 압축강도가 감소하는 경향이 나타났으며, 이후 탄산화 양생을 지속적으로 실시한 결과 압축강도가 증가하는 경향이 나타났으며, CO<sub>2</sub> 농도 20% 조건에서 더욱 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다.
- XRD 분석결과와 탄산화 양생 기간이 증가함에 따라 Ca(OH)<sub>2</sub> 피크가 감소하며 Calcite 피크가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, CO<sub>2</sub> 농도 20% 조건에서 더욱 현격하게 피크가 변화하는 것을 확인하였다.
- C-S-H 겔의 경우 비정질 물질로서 단순 XRD 분석으로는 명확한 확인이 어려우며 추후 FT-IR 등의 분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

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

### 참고문헌

- Zhang H. 외 5인, Elucidating the effect of accelerated carbonation on porosity and mechanical properties of hydrated portland cement paste using X-ray tomography and advanced micromechanical testing. *Micromachines*. 2020. p. 471-484.
- 강현욱 외 3인, X-선 회절 분석법을 이용한 비결정질 GGBFS의 정량적 수화반응분석. *한국콘크리트학회*. 2020. p. 241-249.