

2024년 춘계학술발표대회 : 일반부문

# 시멘트 대체재로써 석회석 미분말 치환 시 고온에 노출된 콘크리트의 역학적 특성과 미세구조 분석

- 석회석 미분말의 혼입량과 분말도에 따른 성능 분석 -

## Analysis of mechanical properties and microstructure of concrete exposed to high temperature when limestone powder is substituted as cement substitute

- Analyzing the performance of limestone powder as a function of substitution rate and fineness -

○최윤성\* 김규용\*\* 유하민\*\*\* 이예찬\*\*\* 박준영\* 남정수\*\*  
Choi, Youn Sung Kim, Gyu-Yong Eu, Ha Min Lee, Yae Chan Park, Jun Young Nam, Jeong-su

### Abstract

In this study, (LSP) limestone powder was substituted in cement at 10%, 15%, and 20% by wt.% and tested at fineness of 3000, 4000, and 5000. The mechanical properties were analyzed for different curing periods to determine the initial hydration rate, and the residual mechanical properties were analyzed after heating to temperatures of 100, 300, 500, 700, and 900 °C. The microstructure of LSP after exposure to elevated temperatures was also analyzed to support the strength results. The results showed that 10% replacement of LSP improved the mechanical properties and residual mechanical properties of the concrete. However, at elevated temperatures above 700°C, a decrease in mechanical properties was observed compared to OPC concrete.

키워드 : 석회석 미분말, 시멘트 대체재료, 역학적 성능, 내화성능, 미세구조

Keywords : Limestone powder, Cement substitute, Mechanical properties, Fire resistance, Microstructure

### 1. 서론

최근 탄소 중립 2050선언 이후 건설 분야에서 시멘트 대체재에 관한 연구가 지속적으로 주목받고 있다. 그중 석회석 미분말은 핵 형성이나, 초기 수화반응 촉진 등 콘크리트에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타나고 있어, 시멘트의 대체재로써 활용하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

하지만 현재로서는 석회석 미분말을 혼합한 콘크리트의 고온 노출 후의 잔존 역학적 특성에 관한 연구와 적절한 분말도와 치환율을 산정하는 기존 연구의 DB가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 석회석 미분말의 분말도와 치환율에 따른 콘크리트의 역학적 특성과 고온 노출 후 잔존 역학적 특성에 대해 평가하고, 미세구조를 분석하였다.\*

### 2. 실험계획

본 연구에서는 분말도 3000, 4000, 5000cm<sup>2</sup>/g의 석회석 미분말을 시멘트 대체재로 설정하여 시험체를 제작하였다.

\* 충남대 건축공학과 석사과정

\*\* 충남대 건축공학과 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering,  
ChungNam National University, gyuyongkim@cnu.ac.kr)

\*\*\* 충남대 건축공학과 박사과정

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00220921).

석회석 미분말을 혼합한 콘크리트의 재령 1, 7, 28일에서 압축강도를 측정하였다. 28일 양생 후, 각 시험체는 저속 가열로에 넣어 다양한 온도조건(100, 300, 500, 700, 900°C)에서 1°C/min의 속도로 가열되었다.

가열 후, 시험체의 잔류 압축강도를 분석하여 석회석 미분말 혼입 콘크리트가 고온에 노출되었을 때, 분말도와 치환율의 변화에 따른 콘크리트의 잔류 역학적 특성을 분석하였다.

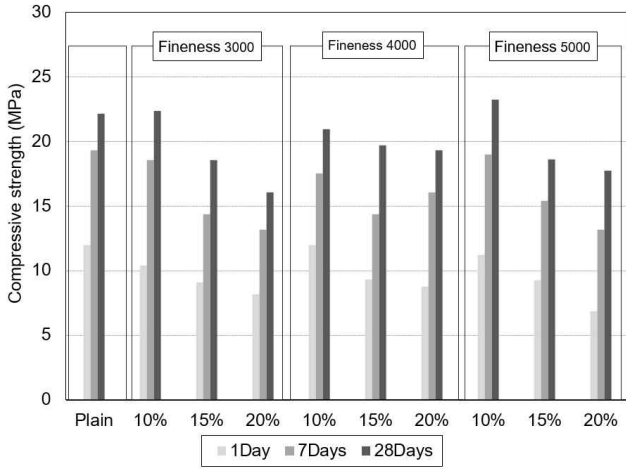
석회석 미분말이 고온에 노출되었을 때의 미세구조 및 성질을 평가하기 위해 SEM(Scanning Electron Microscope), XRD(X-ray Diffraction) 분석을 진행하였다. SEM 분석으로는 미세 결정구조를, XRD 분석을 통해 석회석 미분말이 고온에 노출되었을 때의 화학 구조 변화를 분석하였다.

표 1. 배합표 및 평가 항목

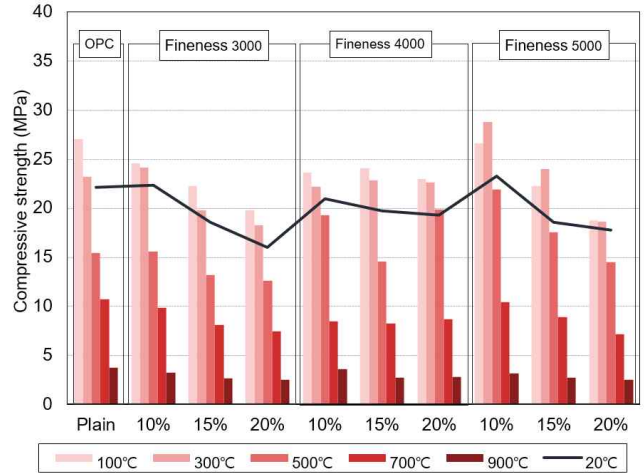
Specimen ID	Mix proportion(kg/m <sup>3</sup> )						Evaluated items	
	Water(L)	Binder(kg)				Aggregate(kg)		
		OPC***	LP*3000	LP4000	LP5000	S		G
Plain	8.06	18	-	-	-	40.97	46.02	• Compressive strength • Residual compressive strength after heating
L*10_3000		14.58	1.62			36.75	41.28	
L10_3000		13.77		1.62				
L10_3000		12.96			1.62			
L15_3000		14.58	2.43					
L15_4000	7.25	13.77		2.43		36.69	41.21	
L15_5000		12.96			2.43			
L20_3000		14.58	3.24					
L20_4000		13.77		3.24		36.63	41.15	
L20_5000		12.96			3.24			

\* L, LP : Limestone powder

\*\* OPC : Ordinary portland cement



(a) 양생 기간별 역학적 특성



(b) 고온에 노출된 후 잔류 역학적 특성

그림 1. 석회석 미분말 콘크리트의 역학적 특성

### 3. 실험결과

#### 3.1 역학적 특성, 잔류 역학적 특성

그림 1-(a)에서 볼 수 있듯이, 양생 기간별 역학적 특성은 석회석 분말도에 관계없이 10% 치환한 경우 역학적 특성이 OPC와 유사하거나 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 석회석 미분말의 필러 효과로 인해 시멘트 매트릭스의 내부 구조를 채우며 더 조밀한 구조 형성에 기여하여 강도 증가가 나타난 것으로 보여진다.

그림 1-(b)에 고온에 노출된 후 잔존 역학적 성능을 나타내었다. 100°C 및 300°C의 온도로 가열한 경우, 모든 시험체가 가열되지 않은 시험체에 비해 강도가 증가한 것을 확인할 수 있다. 반면, 500°C 가열한 경우 모든 시험체가 현저한 강도 감소가 나타났다.

700°C 이상의 온도에서는 Plain 시험체가 가장 높은 강도로 측정되었는데, 석회석 미분말의 충전 효과로 인해 밀실해진 공극 구조에서 고온으로 발생된 내부 수분의 팽창으로 인한 내부 매트릭스 구조 파괴, 수화 생성물의 손상 등의 원인으로 사료된다.

#### 3.2 미세구조 분석

XRD 분석 결과 분말도와 관계없이 700°C 이하의 온도에서 일정하게 관찰되던 Peak 값이 900°C 온도에서 변형되어 나타난 것을 확인함. 900°C의 온도에서 CaCO<sub>3</sub>에 탈탄산화 반응이 일어나 열 중량이 감소하며 CaO가 관찰된 것으로 확인된다. CaCO<sub>3</sub> 이외에 SiO<sub>2</sub> 또한 다량 관찰되었는데 석회석 미분말에 불순물이 첨가되어 관찰된 것으로 판단된다. 고품질의 석회석 미분말의 XRD 분석이 필요하다고 보여진다.

SEM 분석 결과 가열 온도가 상승할수록 분말 표면에 더욱 미세한 입자들의 뭉침 현상이 더욱 많이 나타났다. 500°C 가열 후 미세구조에서 보여지는 뭉침 현상이 석회석 미분말 혼입 콘크리트의 가열 후 잔류 역학적 성능 저감에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 추후 연구를 통해 해당 현상에 대한 메커니즘을 규명할 필요가 있다고 사료된다.

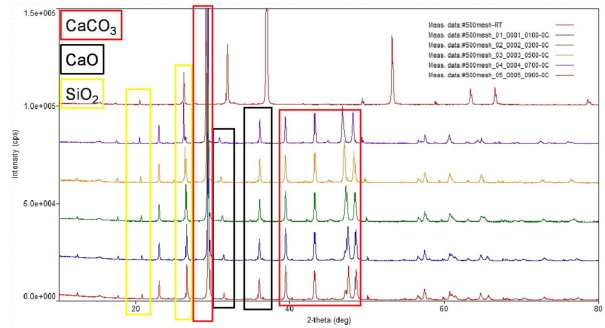


그림 2. XRD 분석결과

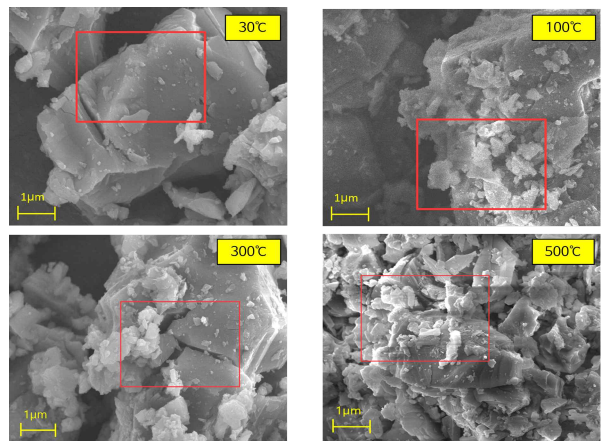


그림 3. SEM 분석결과

### 4. 결론

석회석 미분말을 10% 치환한 경우 콘크리트의 성능을 유의미하게 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 하지만 과도한 혼입이나, 700°C 이상의 고온에서는 OPC에 비해 잔류 역학적 성능이 감소하는 것으로 나타났다. 미세구조 분석결과 석회석 미분말을 900°C의 고온에 노출시킬 경우 CaCO<sub>3</sub>가 CaO로 분해되며 탈탄산화 반응이 일어나며, 고온에 노출된 석회석 미분말이 뭉치거나 서로 엉켜 붙는 현상이 나타났다. 이러한 현상이 콘크리트의 잔류역학적 특성에 미치는 영향에 관한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.