

# 석회석 미분말 혼입량과 분말도가 콘크리트의 고온 역학적 특성에 미치는 영향

## Effect of limestone powder replacement ratio and fineness on high temperature mechanical properties of concrete

최윤성<sup>1</sup> · 김규용<sup>2\*</sup> · 유하민<sup>3</sup> · 이예찬<sup>3</sup> · 서동균<sup>4</sup> · 남정수<sup>2</sup>

Choi, Youn sung<sup>1</sup> · Kim, Gyu Yong<sup>2\*</sup> · Eu, Ha Min<sup>3</sup> · Lee, Yae Chan<sup>3</sup> · Suh, Dong Kyun<sup>4</sup> · Nam, Jeong Soo<sup>2</sup>

**Abstract :** In this study, limestone powder used to replace cement at a weight ratio of 10%, 15%, and 20% was tested at 3000, 4000, and 5000 levels of fineness. The mechanical properties of the concrete were investigated before and after exposure to high temperatures (100, 300, and 500°C), and the effects of limestone powder fineness and replacement ratio on the mechanical properties of the concrete were analyzed.

**키워드 :** 석회석 미분말, 콘크리트, 역학적특성, 고온

**Keywords :** limestone powder, concrete, mechanical properties, high temperature

### 1. 서론

최근 글로벌 기후 변화 문제와 탄소 배출에 대한 우려로 인해, 시멘트 산업의 탄소 발자국을 줄이기 위한 노력이 전 세계적으로 증가하고 있다. 이러한 맥락에서, 석회석 미분말을 시멘트의 대체재로 사용하는 연구가 주목받고 있다. 이러한 대체재의 현장 적용 및 구조 부재에 대한 평가를 수행할 때, 재료의 역학적 성능뿐만 아니라 내화성능에 대한 평가가 필요하다. 하지만, 현재로서는 석회석 미분말을 혼합한 콘크리트의 내화성능 및 고온 노출 후의 잔존 역학적 특성에 관한 연구가 부족한 상황이다. 또한, 석회석 미분말의 분말도와 치환율이 달라짐에 따라 콘크리트의 역학적 성능에 미치는 영향이 달라질 것으로 예상된다. 따라서, 본 연구는 석회석 미분말의 분말도와 치환율에 따른 콘크리트의 역학적 특성 및 고온 노출 후의 잔존 역학적 특성을 평가하였다.

### 2. 실험계획

본 연구에서는 콘크리트 시료의 물/시멘트비를 45%로 고정 한 후 시멘트 치환재로써 석회석 미분말을 혼입하여 사용하였다. 사용한 석회석 미분말의 분말도 별 사진을 그림 1에 나타내었다. 석회석 미분말의 치환율은 시멘트의 10, 15, 20 wt. %로 설정되었다. 석회석 미분말의 분말도는 3000, 4000, 5000인 것을 사용하였다. 표 1에 석회석 미분말을 혼입한

석회석 미분말을 혼합한 콘크리트의 재령 1, 7, 28일에서 압축강도를 측정하였다. 28일 양생 후, 각 시험체는 그림 2에 나타나져 있는 저속 가열로에 넣어 다양한 온도 조건 (100, 300, 500°C)에서 1°C/min의 속도로 가열되었다. 가열 후, 시험체의 잔류 압축강도를 측정하여 석회석 미분말이 고온에 노출되었을 때, 분말도와 치환율의 변화에 따른 콘크리트의 잔류 역학적 특성 및 내화 특성을 분석하였다.

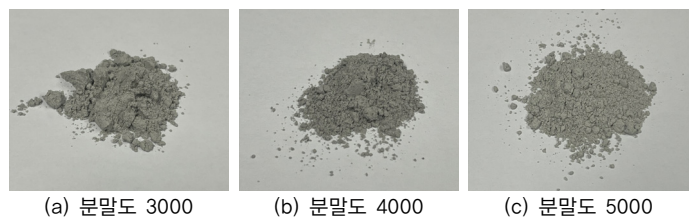


그림 1. 석회석 미분말

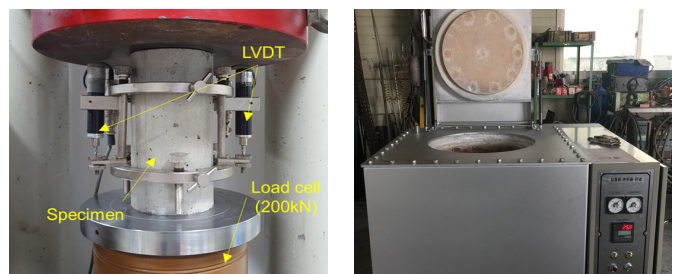


그림 2. 시험장비

1) 충남대학교 건축공학과, 학 석연계과정  
2) 충남대학교 건축공학과, 교수·공학박사 교신저자(gyuyongkim@cnu.ac.kr)  
3) 충남대학교 건축공학과, 박사과정  
3) 연구원, 아세아시멘트 탄소중립연구실

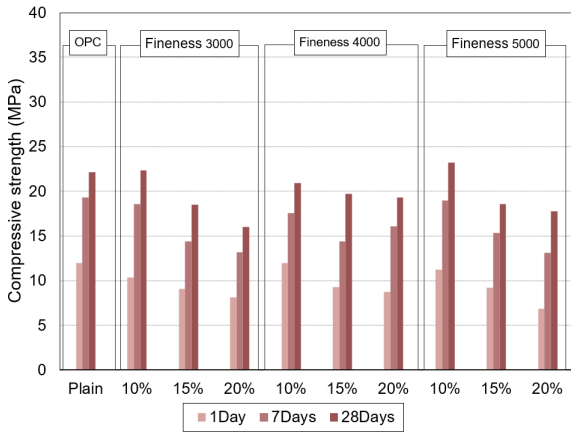
표 1. 배합표 및 평가항목

Specimen ID	Mix proportion(kg/m3)**						Evaluated items	
	Water(L)	Binder(kg)				Fine aggregate(kg)		
		OPC***	LP*3000	LP4000	LP5000	S	G	
Plain	8,06	18	-	-	-	40,97	46,02	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compressive strength</li> <li>Residual compressive strength after heating</li> </ul>
L*10_3000	7,25	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	-	-	36,69	41,21	
L15_4000		13,77	-	2,43	-			
L15_5000		12,96	-	-	2,43			
L20_3000		14,58	3,24	-	-	36,63	41,15	
L20_4000		13,77	-	3,24	-			
L20_5000		12,96	-	-	3,24			

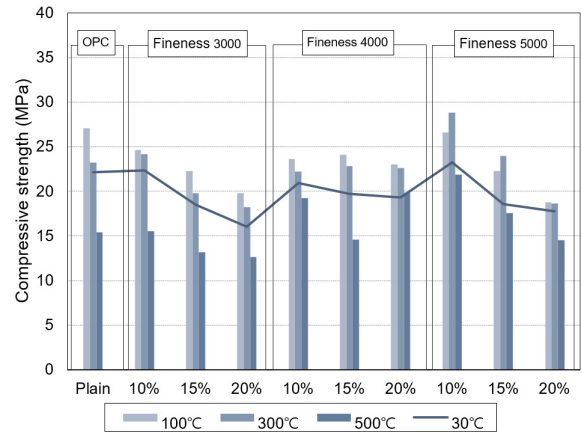
\* L, LP : Limestone powder

\*\* ( ) : mix proportion of ASR according to ASTM C 1260

\*\*\* OPC : Ordinary portland cement



(a) 역학적 특성



(b) 고온에 노출된 후 잔류역학적 특성

그림 3. 석회석 미분말 콘크리트의 역학적 특성

### 3. 실험 결과 분석 및 고찰

그림 3(a)에서 볼 수 있듯이, 석회석 미분말을 분말도에 관계없이 10%만 치환한 경우 역학적 성능이 OPC와 유사하거나 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 미세한 석회석 미분말의 입자가 콘크리트 내부 공간을 채워 시멘트 매트릭스의 더 조밀한 구조 형성에 기여하며, 시멘트 입자의 핵 형성을 촉진하여 발생된 것으로 예상된다.

그림 3(b)에 가열 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. 특히 분말도 5000의 경우 500°C 가열 후 잔존 역학적 성능 저하율이 OPC에 비해 현저하게 낮은 것을 확인할 수 있다. 이는 석회석 미분말의 분말도가 클 경우, 콘크리트의 강도 발현에 도움을 주는 화합물의 반응이 촉진되거나, 내부 구조를 충전시켜주는 효과가 나타난 것으로 사료된다.

반면, 500°C 가열한 경우 모든 시험체가 현저한 강도 감소가 나타났다. 이는 500°C 이상의 고온에서 시멘트 수화 생성물이 파괴되고, 온도 응력에 의한 시멘트 매트릭스의 강도 저하 현상 때문으로 판단된다.

### 4. 결론

석회석 미분말의 적절한 치환은 콘크리트의 역학적 특성과 가열 후 잔존 역학적 특성을 유의미하게 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 하지만, 석회석 미분말을 과도하게 혼입하거나, 500°C 이상의 고온에서는 잔류 역학적 특성이 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 현상의 원인을 규명하고 개선하기 위해 추가적인 연구가 필요하다.

### 감사의 글

이 논문은 2023년 아세아 시멘트의 재원으로 아세아 시멘트 산학협력연구과제의 지원을 받아 수행되었습니다. (과제번호 No. 2023-0301-01)

이 연구는 2023년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. (과제번호: 20018330)