

# 메타카올린을 혼합한 모르타르의 강도특성

## Strength Properties of Mortar Containg Metakaolin

문대중\*      주재억\*\*      조정현\*\*\*      강현진\*\*\*\*      최연왕\*\*\*\*\*

Moon, Dae Joong    Ju, Jae Eok    Jo, Jeong Hyun    Kang, Hyun Jin    Choi, Yun Wang

---

### ABSTRACT

Main components of metakaolin(MK) were  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . and specific surface was 2.2 times larger than that of ordinary portland cement(OPC). MK indicated the fine particle and fiber texture.

Flow value of mortar with MK was decreased linearly each 13% as the replacement ratio of MK was increased each 5%. Compressive strength of mortar with MK was increased more than that of mortar with OPC by 3days. Compressive strength of mortar with 10% MK was about 83MPa at 28 days. When MK was replaced with 10% of cement volume, flexural strength and modulus of elasticity of mortar was indicated the maximum value at 28 days.

---

### 1. 서론

메타카올린은 카올린을 소성급냉처리하여 만든 재료로서 알칼리 상태에 반응하는 잠재수경성을 가짐과 동시에  $\text{SiO}_2$ 와  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 이 주성분으로 되어 있어 포졸란 반응을 하게 된다. 또한, 메타카올린은 비표면적이 크므로 시멘트와의 포졸란 활성반응에 의해 초기 및 장기강도 발현은 물론 내구성을 증진시키는 효과가 있다. 따라서 메타카올린을 고강도콘크리트에 활용하면 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대되므로 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>1,2)</sup> 또한, 보수모르타르의 강도를 증진시키기 위하여 실리카흄과 더불어 메타카올린과 같은 포졸란 활성반응이 큰 미립분말을 활용하고 있다.

본 연구에서는 메타카올린을 모르타르용 혼화재료로 활용하기 위한 일환으로 메타카올린의 품질특성을 고찰하였다. 또한 메타카올린을 혼합한 고유동모르타르의 유동특성 및 강도특성에 대하여 실험을 통하여 고찰하였다.

### 2. 실험개요

---

\* 정회원, (주) 넥트 기술이사

\*\* 정회원, (주) 칠성건설 대표이사

\*\*\* 정회원, 한일콘 (주) 대표이사

\*\*\*\* 정회원, 세명대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\*\*\* 정회원, 세명대학교 토목공학과 부교수

## 2.1 사용재료 및 배합

### 2.1.1 사용재료

시멘트는 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC라 약함)를 사용하였고, 혼화제는 메타카올린(이하 MK라 약함)을 사용하였으며, OPC 및 MK의 물리, 화학적 성분은 표 1과 같다. 혼화제는 나프탈린계 고성능감수제를 사용하였다.

표 1 시멘트 및 메타카올린의 화학성분 및 물리적 성질

Items Types	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	L.O.I	Surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
OPC	21.60	6.00	3.10	61.40	3.40	2.50	0.03	3,539	3.15
MK	46.50	31.80	7.64	6.64	0.70	0.65	1.38	10,000	2.18

### 2.1.2 배합

모르타르의 배합은 결합재와 잔골재의 용적비율을 1:1.40으로 하였으며, 물-결합재 용적비를 1.30으로 하였다. 메타카올린이 혼합비율은 시멘트 용적에 대하여 5, 10 및 15%를 혼합하였다. 고성능감수제를 시멘트 용적에 3.0% 사용하였다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 플로우 시험

모르타르의 플로우는 모르타르를 몰드에 채운후 다짐 및 타격을 하지 않고 몰드를 그대로 들어 올린 후 흐름값을 3회 측정하여 평균값을 얻었다.

### 2.2.2 강도 및 탄성계수 시험

모르타르의 압축강도는 5×5×5cm의 큐빅 공시체를 제작한 후 KS F 2405에 준하여 1, 3, 7, 28일 압축강도를 측정하였다. 휨강도는 4×4×16cm 각주형 공시체를 제작하여 재령 28일에서 측정하였으며, 탄성계수는 Ø10×20 원주형 공시체를 제작한 후, 재령 28일에서 측정하였다. 강도용 공시체는 소요재령까지 20±3℃의 수중에서 양생하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

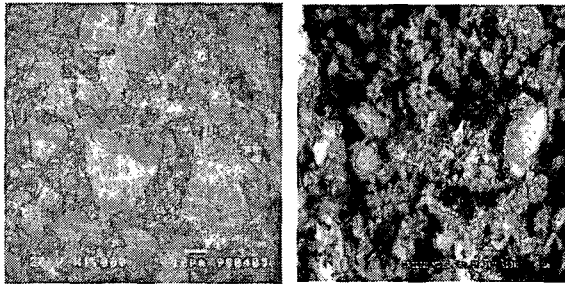
### 3.1 메타카올린의 품질 특성

메타카올린의 화학성분은 표 1과 같이 시멘트에 비하여 CaO가 적고 (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)가 주성분으로 약 78.3%를 차지하고 있다. 이와 같은 성분은 시멘트 수화생성물인 수산화칼슘과 반응하여 칼슘실리케이트 및 칼슘알루미네이트 수화물을 생성시킨다. 또한, 메타카올린의 분말도는 약 10,000cm<sup>2</sup>/g로 시멘트에

비하여 약 2.2배 큰 값이므로 시멘트 입자 사이를 채워주는 마이크로 필러 효과가 있다.

그림 1은 시멘트와 메타카울린의 입자형태를 알아보기 SEM 사진을 촬영한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 시멘트 입자를 1,000배 확대하여 촬영한 경우 각이 진 입자로 구성되어 있다. 반면, 메타카울린은 섬유상의 미립의 입자들이 뭉쳐 있는 형태를 하고 있다.

그림 2는 시멘트와 메타카울린의 입도분포를 나타낸 그림이다. 시멘트의 입자는 약 20 $\mu$ m에서 가장 많이 분포되어 있으며, 메타카울린은 주로 0.5 $\mu$ m~3 $\mu$ m 범위에서 분포되어 있어 시멘트에 비하여 작은 입자들로 구성되어 있음을 알 수 있다.



(a) 시멘트 ( $\times 1,000$ ) (b) 메타카울린 ( $\times 10,000$ )

그림 1 시멘트 및 메타카울린 SEM사진

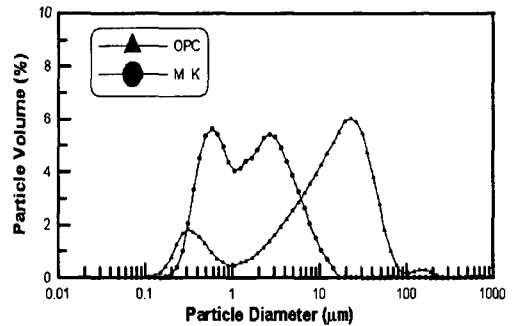


그림 2 OPC, MK의 입도분포 곡선

### 3.2 메타카울린 혼합 굳지않은 모르타르 플로우

메타카울린을 시멘트 용적에 0, 5, 10, 15%로 변화시켜 제조한 모르타르의 플로우 값을 측정하여 정리한 것이 그림 3이다. 이 그림에서 모르타르의 플로우 값은 메타카울린의 혼합률이 증가함에 비례적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 즉, 메타카울린의 혼합률이 5% 증가함에 따라 약 13mm씩 감소하였다. 이와 같이 메타카울린을 혼합함으로써 플로우 값이 감소하는 이유는 메타카울린의 비표면적이 크기 때문으로 판단된다.

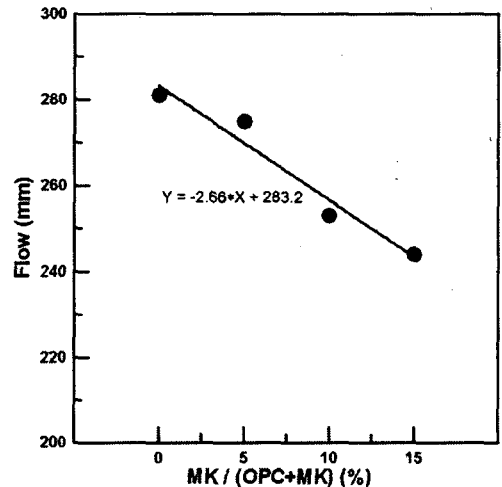


그림 3 모르타르의 플로우

### 3.3 메타카울린 혼합 경화한 모르타르 강도특성

그림 4는 모르타르의 압축강도 결과를 정리한 그림이다. 재령 1일의 압축강도는 메타카울린을 혼합함으로써 시멘트량이 감소하고 메타카울린의 활성반응이 진행되지 않았기 때문에 시멘트만을 사용한 모르타르보다 작게 나타났다. 그러나 재령 3일 이후의 압축강도는 메타카울린의 잠재수경성과 포졸란 반응에 의해 강도발현이 크게 증가됨을 알 수 있다. 메타카울린을 10% 혼합한 재령 28일의 압축강도는 약 83MPa로서 시멘트만을 사용한 모르타르에 비하여 약 39%정도 증진되었다.

그림 5는 재령 28일에서의 모르타르의 휨강도를 측정하여 정리한 그림이다. 메타카울린을 혼합함으로써 휨강도가 약간 증가하였으며, 메타카울린을 10% 혼합한 모르타르의 경우 약 12.5MPa로 가장 큰

값을 나타내었다.

표 2는 재령 28일의 모르타르의 탄성계수를 측정하여 정리한 표이다. 시멘트만을 사용한 모르타르의 탄성계수는  $2.37 \times 10^4 \text{MPd}$ 에 비하여 메타카올린을 혼합함으로써 탄성계수도 약간 증가하였다. 메타카올린을 혼합한 모르타르의 탄성계수도 그림 5의 휨강도와 유사한 경향으로 메타카올린을 10% 혼합한 경우 최대값을 나타내었다.

표 2 모르타르의 탄성계수

Types	E( $\times 10^5$ )
MK- 0%	2.37
MK- 5%	2.38
MK-10%	2.60
MK-15%	2.56

#### 4. 결론

- (1) 메타카올린은 주성분이  $\text{SiO}_2$  및  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 였으며, 분말도는 약  $10,000 \text{cm}^2/\text{g}$ 으로 시멘트보다 약 9배 큰 섬유상의 미립자이다.
- (2) 메타카올린의 혼합률이 5%씩 증가함에 따라 모르타르의 플로우 값은 약 13%씩 비례적으로 감소하였다.
- (3) 메타카올린의 혼합함으로써 재령 3일 이후의 압축강도가 시멘트만을 사용한 모르타르보다 증가하였으며, 메타카올린을 10% 혼합한 모르타르의 재령 28일 압축강도는 약 83MPa를 발현하였다.
- (4) 메타카올린을 10% 혼합함으로써 재령 28일의 모르타르 휨강도 및 탄성계수는 최대값을 나타내었다.

이상의 결과로서 메타카올린을 보수모르타르의 혼화재료로 활용할 수 있을 것으로 기된다.

#### 참고문헌

1. S Wild, J.M. Khatib and A.Jones, Relative Strength, Pozzolanic Activity and Cement Hydration in Superplasticised metakaolin Concrete, Cement and Concrete Research, Vol.26, No.10, 1996, pp.1537-1544
2. F. Curcio, B.A. DeAngelis, and S. Pagliolico, Metakaoline as a Pozzolanic Microfiller for High-Performance Mortars, Cement and Concrete Research, Vol.28, No.6, 1998, pp.803-809

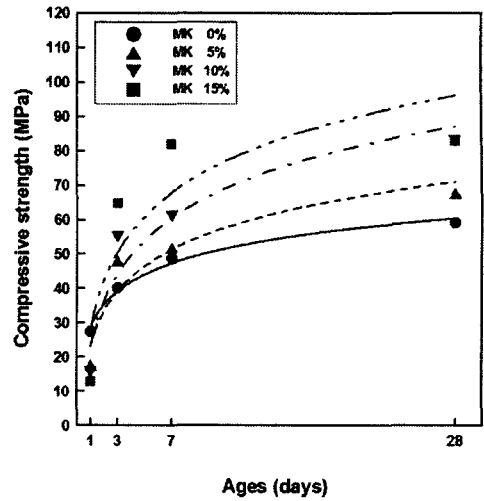


그림 4 모르타르의 압축강도

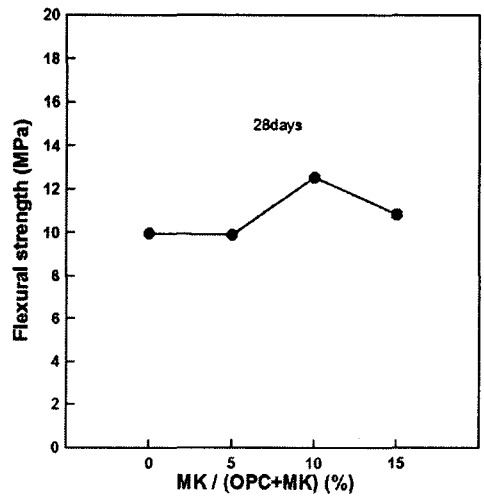


그림 5 모르타르의 휨강도