

# 메타카올린의 강도특성에 대한 연구

## A Study on the Strength Feature of Metakaolin

문 수 동<sup>\*</sup> 이 상 호<sup>\*\*</sup> 문 한 영<sup>\*\*\*</sup> 염 준 환<sup>\*\*\*\*</sup>  
Su-Dong Moon Sang-Ho Lee Han-Young Moon Jun-Hwan Yum

### ABSTRACT

Metakaolin is a cementitious material for producing high-strength concrete. This material is now used as substitute for silica-fume.

In this paper, we studied the properties of fresh concrete such as slump-flow, air content, and the feature of strength of hardened concrete according to the substitute ratio of metakaolin, silica-fume. In the fresh concrete test, the time depend loss of slump-flow & air content is good to 10~15% substitute ratio of metakaolin. And, in the strength test, 10~15% substitute ratio of metakaolin is good for producing high-strength concrete also. But, allowing for economical efficiency, we concluded that 10% is a adequate substitute ratio for producing high performance concrete.

### 1. 서 론

최근 초고층 주상복합건물의 시공이 활발하게 진행되고 있고, 이에 따라 고강도 콘크리트(700kgf/cm<sup>2</sup>이상)의 수요가 증대되고 있다. 700kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 고강도 콘크리트를 생산하기 위해서는 시멘트 단독으로는 수화열에 의한 온도균열 발생가능성이 커지게 되고, 높은 점성으로 작업성이 원활하지 않으므로 시공시 거푸집내의 콘크리트 충전에 어려움이 있다. 이를 보완하기 위하여 사용되는 혼화재료로서는 고로슬래그, 플라이애쉬나 실리카 폼과 같은 재료가 있으나, 고로슬래그와 플라이애쉬는 초기 재령에서의 강도발현이 늦어 공기지연 및 거푸집 활용 효율을 낮춤으로써 현장에서의 사용이 기피되고 있는 실정이고, 실리카 폼의 경우는 가격이 비싼 단점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 시멘트 대체재료로서 보다 저렴한 메타카올린을 사용하여, 시공성을 향상시키고, 조기강도를 확보하고, 700kgf/cm<sup>2</sup>를 목표강도로 하여 적정 치환율을 찾아내고, 소요의 강도발현과 고 내구성을 가진 콘크리트의 제조에 있어서의 적용가능성을 확인하는데 그 목적이 있다.

\* 정희원. 대림산업(주) 용인기술연구소 과장

\*\*\* 정희원. 한양대 토목공학과 교수

\*\* 정희원. 대림산업(주) 용인기술연구소 대리

\*\*\*\* 정희원. 한양대 토목공학과 석사과정

## 2. 시험방법

### 2-1 사용재료

시멘트는 PNS계열 고성능AE감수제와 상용성이 우수한 S사 1종시멘트(비중 3.15)를 사용하였으며, 잔골재는 인천해사를 사용하였고, 굵은골재는 서울근교의 D업체의 최대치수 20mm 쇠석골재를 사용하였다. 플라이애쉬는 하동산 플라이애쉬를 사용하였고, 비중은 2.20이다. 시멘트 대체재로서의 metakaolin(MK)은 비중이 2.63이고, silica-fume(SF)은 비중이 2.20으로 물성은 아래의 표 1과 같다.

표 1. 메타카올린 및 실리카 폼의 물성치

Composition ( % )							Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	구 분
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O		
56	37	2.4	0.2	2.4	0.3	0.9	120,000	MK
94.0	0.3	0.8	-	0.3	0.4	1.0	200,000	S F

### 2-2 시험계획

배합사항으로, W/B는 25.0%, s/a는 37.0%로 고정하고, 목표강도는 700kgf/cm<sup>2</sup>, 목표 slump-flow는 50.0±5.0cm, 목표공기량은 3.0±1.0%를 만족하도록 배합설계를 실시하였고, 경화콘크리트의 압축강도, 인장강도, 휨강도시험을 실시하였다. 시험계획의 내용은 표 2와 같다.

표 2 시험계획

구 분	경 화 전			경 화 후
	Slump-flow(cm)	공기량(%)	Final test time(min)	f <sub>91</sub> 압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )
품질기준	50.0 ± 5.0	3.0 ± 1.0	60	700
시험내용	Slump-flow 경시변화, 공기량 경시변화			압축, 인장, 휨강도

### 2-3 콘크리트 배합비

시험에 적용된 배합비는 표 3과 같다. 표 3에서 전체 binder에 FA20%가 공통으로 치환되어 있다.

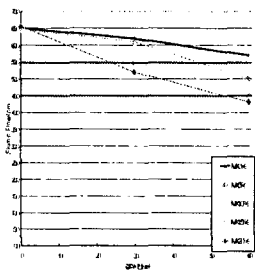
표 3 콘크리트 배합비

W/B (%)	s/a (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )							치환율(%)
		C	FA	MK	SF	W	S	G	
25.0	37.0	563	141	0	0	176	532	915	0
		528	141	35	0	176	529	909	MK 5
		493	141	70	0	176	525	903	MK 10
		458	141	106	0	176	522	897	MK 15
		422	141	141	0	176	518	891	MK 20
		528	141	0	35	176	530	911	SF 5
		493	141	0	70	176	528	908	SF 10
		458	141	0	106	176	526	904	SF 15
		422	141	0	141	176	524	900	SF 20

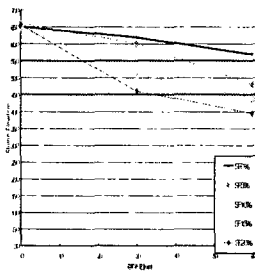
### 3. 시험결과 및 고찰

#### 3-1 굳지않은 콘크리트

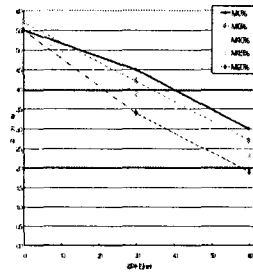
굳지않은 콘크리트에 대한 slump-flow와 공기량 경시변화시험 결과는 그림 1, 그림 2와 같다.



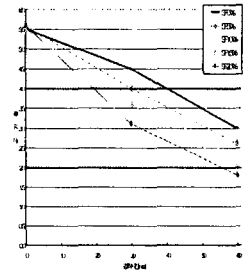
( MK )



( SF )



( MK )



( SF )

그림 1 Slump-flow 경시변화

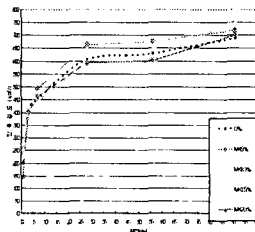
그림 2 공기량 경시변화

믹싱후 60분동안의 slump-flow 및 공기량 경시변화 시험결과, MK의 경우 치환율 15%까지는 목표범위를 만족시키고 있으나, 20%가 치환될 경우 점성이 높아져 60분 경과후에 목표범위를 벗어났고, SF의 경우는 loss가 많이 발생하여 치환율 15%이상에서 목표범위를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 SF가 MK에 비해 blaine값이 약 2배 가량으로, 상대적으로 점성이 크고 공극충진 효과가 큰 것이 원인으로 분석된다.

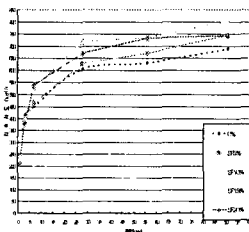
#### 3-2 경화된 콘크리트

##### 3-2-1 압축강도시험

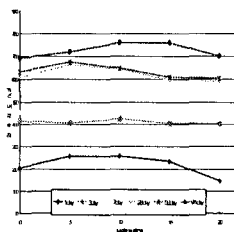
MK 및 SF에 대한 콘크리트 압축강도 시험결과는 그림 3과 같다.



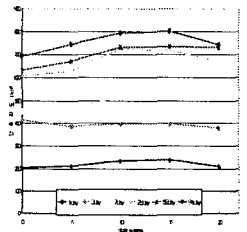
(MK/재령)



(SF/재령)



(MK/치환율)



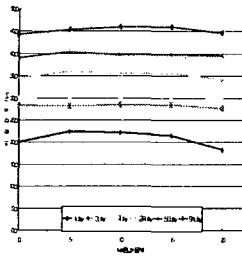
(SF/치환율)

그림 3 압축강도 시험결과

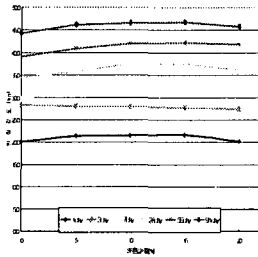
재령 91일 압축강도시험결과 두 결합재 모두 15% 치환까지는 강도증진효과가 있으나 20%에서는 다소 강도발현이 떨어지는 것으로 나타났다. 그리고, SF가 MK에 비해 2~5%정도의 강도증진 효과를 보이는데, 이는 SF가 포졸란반응이 우수한 SiO<sub>2</sub>성분이 많고, blaine이 높기 때문이라 판단된다.

### 3-2-2 인장강도, 휨강도시험

MK 및 SF에 대한 콘크리트 인장강도, 휨강도시험결과는 그림 4, 그림 5와 같다.

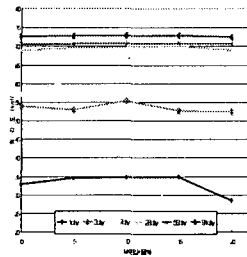


(MK/치환율)

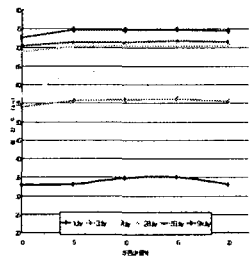


(SF/치환율)

그림 4 인장강도 시험결과



(MK/치환율)



(SF/치환율)

그림 5 휨강도 시험결과

인장강도 시험결과, 두 결합재 모두 15%치환까지는 강도증진의 효과가 있으나 20%에서는 다소 강도발현이 떨어지는 것으로 나타났다. 그리고, SF가 MK에 비해 2~5%정도의 강도증진효과를 보이고 있다. 휨강도 시험결과, 20% 치환시에도 강도감소를 거의 보이지 않았다. 하지만, 시공단가를 고려하여 10% 치환시 가장 효율이 뛰어난을 확인할 수 있었다.

## 4. 결론

- (1) 굳지않은 콘크리트의 slump-flow, 공기량 시험결과, MK 및 SF 두 결합재 모두 10~15%가 적정치환율로 나타났다.
- (2) 압축강도 시험결과, 20% 치환시 두 결합재 모두 강도감소를 보여 적정치환율은 10~15%로 나타났다고, 경제성을 감안하면 10% 치환이 적절한 것으로 나타났다.
- (3) 인장강도 시험결과, 20% 치환시 두 결합재 모두 강도감소를 보여 적정치환율은 10~15%로 나타났다고, 휨강도는 치환율 20% 까지 강도감소를 보이지 않으나 경제성을 감안하면 10%치환이 적절한 것으로 나타났다.
- (4) 2~5%의 압축강도 감소현상을 보이지만, SF 대신 MK로 충분히 대체 가능함을 확인하였다.

## 참고문헌

1. KCI, "고능성유동화제를 이용한 고강도콘크리트의 제조와 특성 및 활용", KCI국제워크숍(1993).
2. 정민철, "Metakaolin 및 silica-fume을 이용한 고성능 고강도 시멘트 모르타르의 특성에 관한 연구", Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 33. 519~523(1996).
3. Joseph Cabrera and Moises Frias Rojas, "Mechanism of hydration of the metakaolin-lime-water system", Cement and Concrete Research 31, 177~182(2001).