

# 메타카올린 사용에 따른 콘크리트의 강도 및 염화물 저항성

## A Study on Strength and Chloride Resistance of Concrete Using the Metakaolin

김명유\* 양은익\* 양주경\*\* 박해균\*\*\* 전상은\*\*\* 이명섭\*\*\*

Kim, Myung Yu Yang, Eun Ik Yang, Joo Kyoung Park, Hae Guun Chun, Sang Eun Lee, Myeong Sub

### ABSTRACT

The requirement for durability of concrete is increasing recently as a high-rise concrete structure is built. For this reason, the concern about high performance concrete is being high. Recently, metakaoline to be profitable in economical aspect as well as to have strength and durability of level similar to silica fume is evaluated highly as new admixture.

In this study, the workability, the strength, the chloride resistance and the air-void structure more than 50 $\mu$ m are evaluated by comparing both metakaolin and silica fume. According to the results, when the metakaoline is compared with silica fume in properties of fresh concrete, it seems to the similar level of properties. Metakaoline concrete showed the highest value in the strength property. And, it is showed that replacement of the metakaoline more than 10% is superior than both silica fume and OPC in long and short-term chloride resistance. In conclusion, replacement of the metakaoline more than 10% is the most excellent performance in terms of strength and chloride resistance

### 요 약

최근 고층 구조물이 많이 건설되면서 콘크리트의 내구성 향상에 대한 요구가 증가하고 있다. 이에 따라 고성능 콘크리트에 대한 관심이 높아지고 있다. 최근, 실리카 흡과 같은 수준의 강도나 내구성을 확보하면서 경제적 측면에서 좀 더 유리한 메타카올린이 새로운 혼화제로 가치를 높게 평가되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 메타카올린과 실리카 흡의 시공성, 강도 및 염화물 저항성, 50 $\mu$ m 이상의 거대 공극 구조를 비교 평가하였다. 연구결과에 따르면, 메타카올린은 실리카 흡과 동일한 수준의 시공특성을 보인다. 강도 특성의 경우 메타카올린의 대체가 가장 높은 강도를 보였다. 장·단기 염화물 저항성에서도 메타카올린의 대체가 뛰어난 성능을 보였다. 결과적으로 메타카올린 10%의 대체는 강도 및 염화물 저항성 측면에서 가장 우수한 성능을 보인다.

\*정회원, 강릉대학교 토목공학과

\*\*정회원, 청운대학교 토목공학과

\*\*\*정회원, 삼성건설 토목사업본부

## 1. 서 론

콘크리트 구조물의 역학적 특성 및 내구성을 높이기 위한 연구가 구조물의 고층화 및 장대화에 따라 그 필요성이 대두되면서부터 활발해지고 있다. 고성능 콘크리트의 확보를 위하여 다양한 광물질 혼화재 및 산업 폐기물들의 시멘트 대체를 통한 국내외 연구가 활발하게 진행되어왔다. 최근, 다른 혼화재와 비슷한 강도 및 높은 내구성을 발휘하는 재료로써 메타카올린이 주목받고 있다. 따라서, 본 연구에서는 메타카올린의 혼입에 따른 시공성의 변화를 실리카 흙과 비교 연구하였으며, 압축 및 휨강도 특성, 염화물 저항성, 공극구조를 3개월 동안 검토하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 실험 변수 및 배합

본 연구에서는 표 1과 같은 실험 변수를 가지고 실리카 흙과 메타카올린에 대한 압축강도, 휨강도 및 염화물 저항성과 공극 구조를 알아보고자 하였다. 각 혼화재의 대체율은 시멘트 중량당 5,10,15%이다. 표 2는 본 연구에서 사용된 배합표이다.

표 1 실험 변수

변수 정의	재료변수	실험변수	항목	대체율
Normal	기준콘크리트	시공성	Slump, 공기량	시멘트 중량 5,10,15%
SF	실리카 흙	역학적 특성	압축강도, 휨강도	
MK	메타카올린	염화물 저항성	침투 깊이	
MS	메타카올린+실리카 흙	공극 구조	기포 분석	

표 2 배합표

	Gmax (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )				
						W	C	S	G	B
Normal	25	18	5	40	45	175	437.5	721	905	0
MK5							415.63			21.87
MK10							393.75			43.75
MK15							371.88			65.62
SF5							415.63			21.87
SF10							393.75			43.75
MS5							393.75			21.87
										21.87

### 2.2 실험 방법

#### 2.2.1 염화물 저항성 실험방법

본 연구에서는 내구성을 검토하기 위한 한가지 방법으로 염화물 저항성을 알아보았다. 염화물 저항성은 전기적 촉진 시험법인 RCPT와 NT Build 443에 따른 3% 염화나트륨 용액에 침지하여 실험하였다.



그림 1 RCPT 실험 전경



그림 2 염화물 침투 모습



그림 3 휨 강도 실험 전경

#### 2.2.2 압축 강도, 휨 강도 특성

압축강도는 KS F 2405 에 따라 측정되었고, 휨 강도는 ASTM C 293에 따라 측정되었다.

### 2.2.3 공극 구조 분석 실험방법

공극 구조 분석을 위한 공시체는  $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 원형 공시체를 사용하였으며, 분석을 위해 5cm의 길이로 절단하여 사용하였다. 분석에 있어 오차를 줄이기 위하여 연마를 실시하고, HF-MA C01 장비를 이용하여,  $50\mu\text{m}$  이상 내부 공극의 재령 및 혼화제 대체에 따른 변화를 관찰하였다.

## 3. 실험 결과 및 분석

### 3.1 메타카올린 대체에 따른 시공 특성

그림 4와 5는 각각 혼화제 대체에 따른 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프와 공기량을 나타낸다. 이 결과는 기준 콘크리트(OPC)에 대하여 결정된 목표 슬럼프( $18 \pm 2\text{cm}$ )와 공기량( $5 \pm 1\%$ )을 만족하는 감수제와 AE제 양을 결정하고, 동일한 혼화제량에 대한 시공성의 상대적인 변화를 관찰한 결과이다. 결과에 따르면, 혼화제 대체량이 많을수록 슬럼프치는 OPC에 비해 크게 감소하였으며, 공기량도 비슷한 경향을 보였다. 한편, 메타카올린은 실리카 흙과 동일한 수준의 시공특성을 보였다. 하지만 메타카올린과 실리카 흙을 각 5%씩 혼합하여 대체한 경우, 다른 10% 대체한 경우보다 시공성이 좋음을 보였다.

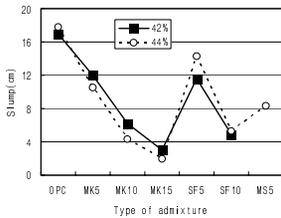


그림 4 슬럼프 측정치 변화

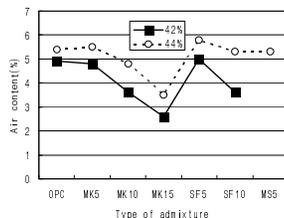


그림 5 공기량 측정치 변화

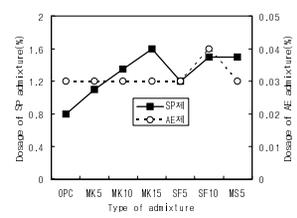


그림 6 혼화제 혼입량

### 3.2 메타카올린 대체에 따른 강도 특성 비교

그림 7과 8은 메타카올린 대체에 따른 콘크리트의 재령에 따른 압축 강도와 휨강도의 발현 특성 결과이다. 7일 까지의 초기 재령 압축강도 결과를 살펴보면, 메타카올린 대체가 실리카 흙과 비슷한 수준으로 초기 강도 발현이 빠르게 나타났다. 그러나, 특히, 메타카올린 10% 이상의 대체가 압축 강도 면에서 적절한 강도 발현 특성을 보였다. 재령이 증가함에 따라 메타카올린의 압축 강도가 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 휨 강도 결과를 살펴보면, 메타카올린을 대체한 경우 실리카 흙이나 기준콘크리트에 비해 초기 강도 발현이 빠르게 나타났다.

강도 특성을 종합해 볼 때, 메타카올린의 경우 초기 압축 및 휨 강도 발현 뿐만 아니라, 장기 강도 발현도 우수하여 높은 강도를 보였으며, 10% 대체가 가장 적절한 것으로 판단된다.

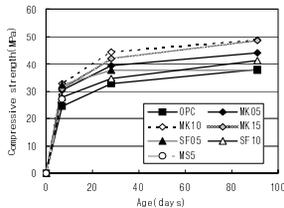


그림 7 압축 강도 실험 결과

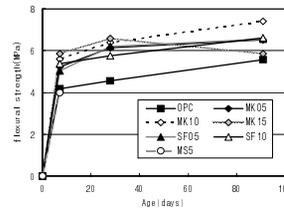


그림 8 휨 강도 실험 결과

### 3.3 염화물 저항성 비교

그림 9은 RCPT 법으로 실험한 데이터 그래프이다. 초기 재령의 경우 침투깊이는 메타카올린 대체

에 따라 큰 차이가 없으나, 재령 28일 이후부터 침투 깊이의 차이가 현저하게 남을 알 수 있다. 또한 실리카 흙 보다는 메타카올린의 대체가 염화물 저항성이 높은 것으로 RCPT 시험을 통해 밝혀졌다. 그림 10은 14일 양생 후 3% NaCl 수용액에 3개월간 침지 후 측정된 결과 자료이다. SF와 MK를 5% 대체의 경우는 염화물저항성이 기준 콘크리트와 비슷하지만, 10% 이상의 메타카올린을 대체한 경우 침투 깊이가 매우 낮게 나타났다. 장·단기 염화물 저항성 결과로 미루어 볼 때, 메타카올린의 10% 대체가 일정 수준의 염화물 저항성을 확보할 수 있다.

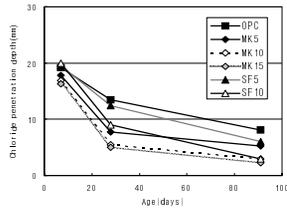


그림 9 염화물 단기 침투 깊이

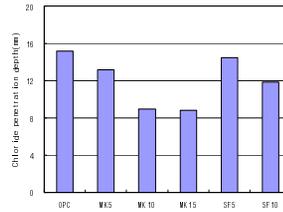


그림 10 염화물 장기 침투 깊이

### 3.4 공극 구조 분석

7일의 공극 구조를 보면 모두 비슷한 구조를 보이지만, 28일 이후를 보면 작은 공극들의 비율이 늘어나고 큰 공극들이 줄어든 것을 확인할 수 있다. 이는 28일 이후 수화 반응에 의해 많은 공극들을 채워 생긴 현상이다. 작은 크기의 공극 개수가 7일 재령보다 28일 재령에서 증가함을 볼 수 있는데 그 이유는 수화가 진행됨에 따라 큰 공극들이 작아지기 때문이라 판단된다.

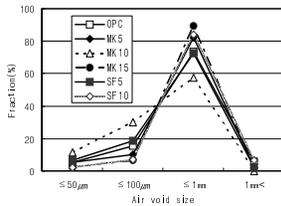


그림 11 재령 7일 공극 구조

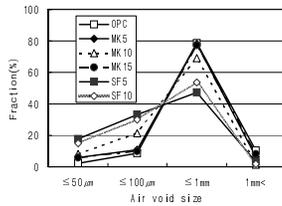


그림 12 재령 28일 공극 구조

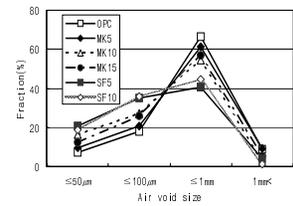


그림 13 재령 91일 공극 구조

## 4. 결론

본 연구의 결과를 정리해 볼 때, 메타카올린은 실리카 흙과 동일한 수준의 시공특성을 보였다. 압축강도 및 휨강도의 경우 초기 재령에서의 강도 발현은 메타카올린이 실리카흙과 유사한 수준을 보이지만, 장기 강도에서는 메타카올린의 강도가 크게 향상하는 것으로 나타났다. 염화물 저항성의 측면에서도 실리카 흙 보다는 메타카올린이 장·단기 실험 모두 우수한 저항성을 보였다. 종합해 볼때, 메타카올린 10% 대체가 강도 및 염화물 저항성에서 가장 우수한 효과를 보인다.

### 참고문헌

1. 안태호, 김용태, 강범구, 김병기, “혼화제 종류에 따른 메타카올린 콘크리트의 특성”, 2002년, 한국콘크리트학회 봄 학술대회논문집, 539~544