

# 실리카흙 대체재로 활용 가능한 메타카올린의 치환율에 따른 고강도 콘크리트의 품질특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Quality Properties of High Strength Concrete by the Replacement ratio Meta-kaolin Usable as Substitutes of Silica-fume

이 승 민\*    이 지 환\*    이 증 석\*    김 재 환\*\*    이 상 수\*\*\*    송 하 영\*\*\*  
Lee, Seung Min    Lee, Ji Hwan    Lee, Jong Suk    Kim, Jae Hwan    Lee, Sang Soo    Song, Ha Young

### ABSTRACT

As the high-rise building increase due to the gravitation of population to big cities recently, it requires high quality and high performance of Concrete. As a result, people are keenly interested in Meta-kaolin as new admixture favorable from an economic perspective, which has strength and endurance with admixture at the same level like Silicafume. Accordingly, as to Meta-kaolin, this study was to set by three levels like domestic one, foreign one, and Silicafume, the water-binding material ratio 25%, and four level substitute like 0, 10, 20, and 30(%) in order to compare and analyze the quality characteristics of high-strength concrete according to the substitute of Meta-kaolin applicable with replacement of Silicafume. As a result of performing experiment, as to the higher the additive amount of Superplasticizing agents in order to secure target liquidity was, the more the substitute in each admixture increased. This study had a tendency that the Silicafume increased the additive amount of Superplasticizing agents with high fineness compared with Meta-kaolin. In addition, the higher the substitute in each admixture was, the more its strength increased. On the strength property, the higher the substitute in each admixture was, the more its strength increased. This study has found out that the Meta-kaolin has shown the better strength than the one of Silicafume. On the other hand, the relationship between the Compressive strength and Elastic coefficient has shown the similar formula suggested from ACI363.

### 요약

최근, 도시 집중화로 인한 초고층 건축물이 증대됨에 따라 콘크리트의 고품질 및 고성능화가 요구되어 혼화제로 실리카흙과 같은 수준의 강도와 내구성 확보하며, 경제적인 측면에서 유리한 메타카올린이 새로운 혼화제로 관심이 높아지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 실리카흙 대체재로 활용 가능한 메타카올린의 치환율에 따른 고강도 콘크리트의 품질특성을 비교·분석하기 위하여 메타카올린은 국내산, 국외산 및 실리카흙의 3수준과 물-결합재비는 25%, 치환율은 0, 10, 20, 30(%)의 4수준으로 설정하였다. 실험을 실시한 결과, 목표 유동성 확보하기 위한 고성능감수제의 첨가량은 각 혼화제의 치환율이 높아질수록 증가하였으며, 메타카올린이 실리카흙의 높은 분말도로 인해 고성능감수제의 첨가량은 감소하는 경향을 나타내었다.

강도특성에서는 각 혼화제의 치환율이 높아질수록 강도가 증가하였으며, 메타카올린이 실리카흙에 비해 우수한 강도를 나타내었다. 한편, 압축강도와 탄성계수의 관계는 ACI363에서 제시한 식과 유사하게 나타났다.

\*경희원, 한밭대학교 공과대학 건축공학과 석사과정

\*\*경희원, (주) AMS 엔지니어링 기술이사, 공학박사

\*\*\*경희원, 한밭대학교 공과대학 건축공학과 교수, 공학박사

## 1. 서론

현재 고강도 콘크리트의 혼화재료로 주로 사용하고 있는 실리카흙은 장기강도 및 화학적 내구성 등 우수한 장점을 가지고 있으나, 국내 생산량이 없어 전량 수입을 의존해야하고, 슬럼프 손실 및 블리딩에 의한 수축, 경제성등 혼화재료로 사용함에 있어 문제점을 내포하고 있다. 이러한 실리카흙의 대체재료로 콘크리트의 내구성 및 경제성을 위한 새로운 혼화재료의 개발이 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 강도 및 내구성 개선에 우수한 혼화재료인 메타카올린을 사용한 고강도 콘크리트를 개발하기 위한 것으로 메타카올린과 실리카흙의 치환율에 관한 실험을 통하여 배합설계에 필요한 기초 자료를 제시하고자 한다.

## 2. 실험개요

### 2.1 실험계획 및 배합

본 실험에서 실리카흙을 대체재료로 메타카올린을 사용한 고강도 콘크리트의 품질특성을 검토하기 위해 실험계획 및 배합은 표 1과 같이 설정하였다. 즉, 메타카올린과 실리카흙의 치환율에 따른 영향을 분석하기 위하여 메타카올린은 국내산 및 국외산과 실리카흙의 3수준과 물-결합재비는 25%로 설정하였으며, 치환율은 0, 10, 20, 30(%)의 4수준으로 설정하였다.

표 1 실험계획 및 배합

혼화재 종류	물-결합재비 (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	치환율 (%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )						평가항목		
					시멘트	잔골재	굵은 골재	메타 카올린 (국내산)	메타 카올린 (국외산)	실리카 흙	고성능 감수제 (%)	굳지않은 성상	굳은성상
메타 카올린 (국내산)	25	40	165	0	660	650.5	983.3	-	-	-	1.2	· 슬럼프플로우 · 공기량 · O-lot 유하시간	· 압축강도 · 탄성계수
				10	594	642.7	975.2	66	-	-	1.5		
				20	528	637.4	967.1	132	-	-	1.9		
				30	462	632.0	959.0	198	-	-	2.4		
메타 카올린 (국외산)				0	660	650.5	983.3	-	-	-	1.2		
				10	594	643.7	976.7	-	66	-	1.6		
				20	528	639.4	970.2	-	132	-	2.1		
				30	462	635.1	963.7	-	198	-	2.7		
실리카흙				0	660	650.5	983.3	-	-	-	1.2		
				10	594	637.1	966.8	-	-	66	2.1		
				20	528	626.3	950.3	-	-	132	2.6		
				30	462	615.4	933.8	-	-	198	3.7		

### 2.2 실험방법 및 평가항목

메타카올린 및 실리카흙을 사용한 고강도 콘크리트의 실험방법은 그림 1과 같이 스크류 믹서에 잔골재(세척사), 시멘트, 메타카올린 또는 실리카흙을 넣어 30초간 건비빔을 실시하였다. 또한 배합수와 혼화제를 첨가하여 모르타르 비빔을 60초간 교반하였으며, 이어 굵은골재를 넣어 150초간 교반하였다. 평가항목으로는 사진 1과 같이 굳지않은 상태에서 슬럼프플로우 시험(KS F 2594), 공기량(KS F 2421), O-lot 유하시간((일본토목학회 콘크리트기술시리즈(No. 15)), 굳은 성상에서의 압축강도(KS F 2405), 탄성계수(KS F 2438)등을 실시하였다.



(a) 슬럼프플로우



(b) 공기량



(c) O-lot 유하시간



(d) 압축강도

그림 1 각종 시험 장면

## 2.3 실험방법 및 평가항목

본 연구에서 사용한 재료의 물리적 성질은 표2와 같다.

표 2 사용재료의 물리적 성질

사용재료	사용재료의 물리적 성질
시멘트	1종 보통 포틀랜드 시멘트, 비중 3.15, 분말도 3,400cm <sup>2</sup> /g
메타카올린(국내산)	비중 2.53, 분말도 10,000cm <sup>2</sup> /g
메타카올린(국외산)	비중 2.5, 분말도 120,000cm <sup>2</sup> /g
실리카흄	비중 2.2, 분말도 220,000cm <sup>2</sup> /g
잔골재	세척사, 최대치수 5mm, 비중 2.61, 조립율 2.29
굵은골재	부순자갈, 최대치수 20mm 비중 2.64, 조립율 6.51
고성능감수제	폴리카르본산계, 액상, 비중 1.052

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 성상

메타카올린을 사용한 콘크리트의 유동특성을 알아보기 위하여 각 혼화제 치환율별로 실리카흄을 사용한 콘크리트와 비교·분석 하였다.

슬럼프플로우의 시험결과는 그림 2와 같이 각 배합조건별 목표 유동성인 65±5cm를 확보하기 위한 고성능감수제의 첨가량은 국내산은 1.5~2.4%, 국외산은 1.6~2.7%, 실리카흄은 2.1~3.7%로 혼화제 종류에 상관없이 치환율이 높아질수록 증가하는 경향을 나타내었으며, 국내산 및 국외산의 메타카올린이 실리카흄에 비해 고성능감수제의 첨가량은 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 화학조성비, 초기 화학반응 및 분말도에 따른 영향이 크게 작용한 것으로 판단된다.

한편, O-lot 유하시간 및 공기량 시험결과는 그림 3에 나타낸 바와 같다. O-lot 유하시간의 경우 국내산 메타카올린은 치환율이 높아질수록 점성이 높게 나오는 경향을 나타내었으며, 국외산 메타카올린과 실리카흄은 치환율이 높아질수록 점성이 낮아지는 경향을 나타내어 혼화제의 조합조건에 따라 점성의 차이를 보인다는 것을 알 수 있다. 공기량의 변화를 알아본 결과, 국내산은 1.2~2.8, 국외산은 0.9~2.8 실리카흄은 1.2~2.8%로 각 혼화제의 치환율이 높아질수록 공기량이 감소하는 경향을 나타내었으며, 각 혼화제의 공기량은 유사한 경향을 나타내었다.

### 3.2 굳은 콘크리트의 성상

메타카올린 및 실리카흄을 사용한 콘크리트의 강도발현 성상을 그림 4에 나타내고 있는 것처럼, 각 재령별로 플레인 콘크리트보다 높은 강도를 발현하는 것으로 나타났으며, 재령 및 치환율이 증가할수록 강도 발현율은 크게 증대하는 것으로 나타나고 있었다. 이는 메타카올린의 구성재료 중 알루미늄나

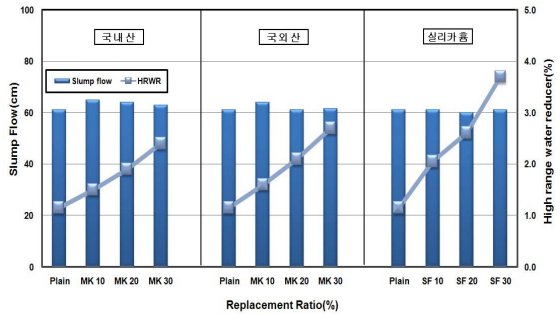


그림 2 슬럼프플로우 및 고성능감수제 첨가량의 변화

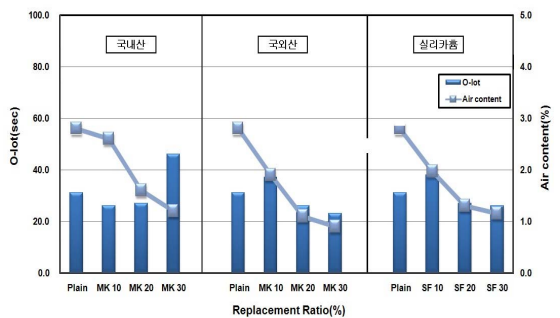


그림 3 O-lot 및 공기량의 변화

및 실리카 성분에 의한 장기재령에서의 시멘트 수화물과의 포졸란 반응에 기인한 결과로 판단된다.

한편, 실리카흙을 사용한 콘크리트의 강도발현 성상은 플레인 콘크리트에 비해 높은 강도발현을 나타내었지만, 실리카흙의 높은 분말도에도 불구하고 국내산과 국외산의 메타카올린에 비해 강도발현 성상은 낮은 경향을 나타내고 있었다.

메타카올린을 활용한 고강도콘크리트의 28일, 56일 압축강도와 탄성계수의 관계는 그림 5와 그림 6과 같이 ACI363(미국 콘크리트학회)에서 지정한 탄성계수식과 유사한 경향을 나타내었으며, 각 혼화재의 치환율이 증가할수록 탄성계수와 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다.

#### 4. 결론

본 연구는 실리카흙 대체재로 활용 가능한 메타카올린의 치환율에 따른 고강도 콘크리트의 품질특성에 관한 실험적 연구의 결과는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 메타카올린과 실리카흙의 치환율이 증가할수록 목표 유동성을 확보하기 위한 고성능감수제의 첨가량은 증가하는 경향을 나타내었으며, 메타카올린이 실리카흙에 비해 고성능감수제의 첨가량은 감소하는 경향을 나타내었다.

2) O-lot 유하시간은 혼화재의 조합조건에 따라 점성의 차이를 보였으며, 공기량의 변화는 각 혼화재의 치환율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다.

3) 재령 및 각 혼화재의 치환율이 증가할수록 강도발현 성상은 크게 증대하였으나, 메타카올린이 실리카흙에 비해 강도발현이 우수한 것으로 나타내었다.

4) 탄성계수와 압축강도와의 관계는 ACI363(미국 콘크리트학회)에서 지정한 탄성계수식과 유사하였으며, 각 혼화재의 치환율이 증가할수록 탄성계수와 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다.

#### 참고 문헌

1. 김을용외 3명 ; “메타카올린을 사용한 콘크리트의 유동특성 및 강도특성에 관한 실험적 연구” 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol. 17, 2005, pp.425~428
2. 이상수 ; “메타카올린을 사용한 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집, V.22, 2006. 05, pp.137~144

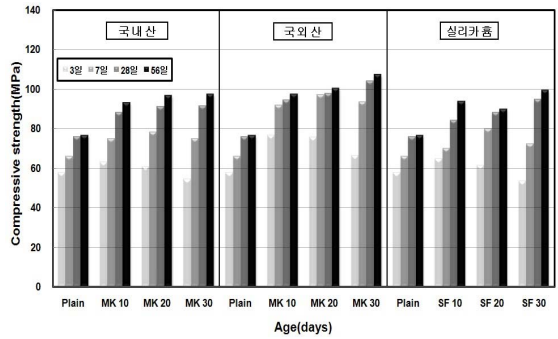


그림 4 압축강도의 변화

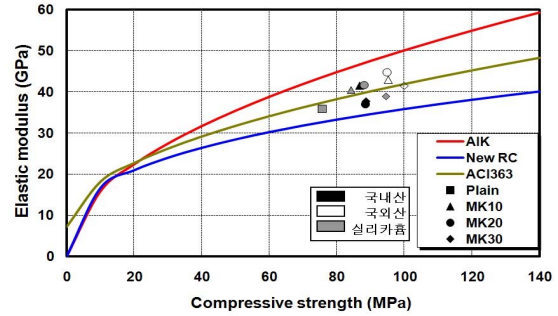


그림 5 탄성계수와 압축강도와의 관계 - 28일

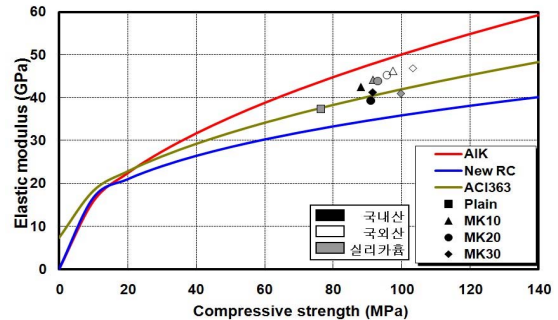


그림 6 탄성계수와 압축강도와의 관계 - 56일