

메타카올린을 사용한 콘크리트의 유동특성 및 강도특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Flowing and Strength Properties of Concrete using Meta kaolin

이병수*

이상수**

송하영***

김을용***

Lee Byung-Soo

Lee Sang-Soo

Song Ha-Young

Kim Eul-Yong

ABSTRACT

In this study, the experiment was carried out to investigate and analyze the strength properties and flowability of concrete using meta kaolin. The main experimental variables were water/binder ratio 40.0%, water content 170kg/m³ and mineral admixtures such as slag powder, silica fume and meta kaolin.

According to the test results, the principle conclusions are summarized as follows.

- 1) The flowing property of concrete that uses meta kaolin appears to be the same to that of the silica fume concrete, but the slump flow that evaluates the compaction ability of concrete shows the most favorable performance.
- 2) The air content of the concrete that uses meta kaolin can be effectively controlled for the target performance in compliance with the use of AE agent.
- 3) When it comes to the strength of concrete that uses meta kaolin, the most favorable development of strength occurs when the replacement rate is 10%, in case of the silica fume, and the slag powder. In addition, as the replacement rate increases, so becomes the development of concrete strength favorable.

1. 서론

최근, 건설산업이 발전함에 따라 건설구조물의 주종을 이루고 있는 콘크리트도 고품질 및 고성능화가 필요하게 되었다. 콘크리트의 품질 및 성능을 개선시키기 위한 방안에는 여러 가지가 있겠지만 그 중에서도 콘크리트의 결합재로서 각종 혼화재료를 사용하면 콘크리트의 성능개선 및 환경오염 방지도 우수하기 때문에 매우 다양하게 활용되고 있는 실정이다.^{1),2)}

한편, 고강도 콘크리트 제조시 주로 사용되고 있는 실리카 흙은 장기 고강도 및 화학적 내구성 등이 우수한 특성을 갖고 있으나 국내 생산량이 없어 전량 수입에 의존해야 하고 슬럼프 손실, 블리딩에 의한 소성수축 등 사용에 있어 여러 문제점을 내포하고 있다. 이러한 실리카 흙의 대용으로서 콘크리트의 내구성을 개선하고 경제적인 효과를 기대할 수 있는 메타카올린의 연구가 필요한 실정이다.^{3),4)}

따라서, 본 연구에서는 메타카올린을 사용한 콘크리트를 개발하기 위하여 각종 혼화재 종류 및 치환율별 배합조건에 따른 유동특성 및 강도특성을 비롯한 제공학적 특성을 검토함으로써 향후 메타카올린을 사용한 콘크리트의 실용화를 위한 기초자료로서 제시하는데 그 목적을 두었다.

*정회원, 한밭대학교 건축공학과 대학원

**정회원, 한밭대학교 건축공학과 전임강사, 공박

***정회원, 한밭대학교 건축공학과 교수, 공박

2. 실험 개요

2.1 실험 계획

각종 배합조건별 메타카올린을 사용한 콘크리트의 특성을 검토하기 위해 실험계획을 표 1 과 같이 설정하였다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내 영월산 H사에서 제조된 KS L 5201규정의 보통 포틀랜드시멘트(I종)을 사용하였으며, 혼화제에 있어서 메타카올린은 국내 A사에서 제조된 것을, 실리카 흙은 노르웨이산 을, 슬래그미분말은 국내 D사에서 제조된 것을 사용하였다. 또한, 골재의 경우는 잔골재는 금강산의 세척사를 사용하였으며, 굵은골재는 대전산의 부순자갈을 사용하였다. 고성능감수제의 경우 국내 D사의 폴리카르본산계 고성능감수제를 사용하였다. 그 물리적 성질은 표 2와 같다.

2.3 실험 방법

콘크리트의 배합시험은 팬형의 강제식 믹서를 사용하였으며, 재료 투입은 재료의 균질성을

위하여 선모르타르방법을 사용하였다. 비빔시간은 건비빔 30초, 선모르타르 비빔 60초, 콘크리트 비빔 150초로서 총 240초(4분)로 하였다. 고성능감수제의 사용량은 목표 슬럼프값 20±2.5cm를 확보하기 위한 최소의 양을 사용하였다. 콘크리트에 대한 슬럼프플로우시험은 JASS 5T-503 및 JSCE-F 503, 슬럼프시험은 KS F 2402, 공기량시험은 KS F 2421의 시험방법에 따라서 실시하였고 압축강도 및 초음파속도시험은 KS F 2405 및 ASTM C 597, 반발도시험은 슈미트해머에 의해 실시하였다.

2.4 콘크리트의 배합

메타카올린을 사용한 콘크리트의 유동성 및 강도특성을 비롯한 각종 공학적 특성을 알아보기 위해 선정된 콘크리트의 배합표는 표 3과 같다. 배합조건은 물-결합재비 40.0% 및 단위수량 170kg/m³를 대상으로 각종 혼화제의 종류 및 혼화제 치환율에 대한 콘크리트의 성능을 평가하도록 하였다.

표 1 실험계획

항 목	조 건	
물-결합재비 (W/B:%)	40.0	
혼화제 종류	메타카올린, 실리카 흙, 슬래그 미분말	
혼화제 치환율(%)	0, 10, 20, 30	
시험 항목	굳지않은 콘크리트	슬럼프플로우, 슬럼프, 공기량, 콘크리트 온도
	굳은 콘크리트	압축강도(7, 28, 56일), 전세공용적(28일),

표 2 사용재료

사용재료	산지 및 물성	
시멘트	보통 포틀랜드시멘트(H사), 분말도 3,267cm ² /g, 강열감량 0.99	
혼화재료	메타카올린	국내 A사, 분말도 10,000cm ² /g, 강열감량 1.95
	실리카 흙	노르웨이산(E사), 분말도 220,000cm ² /g, 강열감량 1.30
	슬래그미분말	국내 D사, 분말도 4,355cm ² /g, 강열감량 0.83
골재	잔골재	국내 G산(강모래), 표건비중 2.50, 흡수율 1.26%, 조립율 2.57
	굵은골재	국내 D산(부순돌), 표건비중 2.69, 흡수율 0.89%, 조립율 6.97
고성능감수제	국내 D사(고축합형 폴리카르본산계), 감수율 19%, pH 7.0	

표 3 콘크리트의 배합표

물-결합재비 (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m ³)	혼화제 치환율 (%)	혼화제 종류	단위중량(kg/m ³)									
					시멘트	메타카올린	실리카흙	슬래그미분말	잔골재	굵은골재	고성능감수제			
40.0	43.0	170	0	플레인	425	-	-	-	718	1008	3.40			
				10	메타카올린	382	43	-	-	715	1003	5.10		
					실리카 흙	382	-	43	-	713	1000	6.80		
			20	슬래그미분말	382	-	-	43	717	1006	9.35			
				메타카올린	340	85	-	-	711	998	5.10			
				실리카 흙	340	-	85	-	707	992	7.23			
			30	슬래그미분말	340	-	-	85	716	1004	11.26			
				메타카올린	297	128	-	-	707	992	2.98			
				실리카 흙	297	-	128	-	702	985	2.55			
							슬래그미분말	297	-	-	128	715	1003	2.13

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 성상

메타카올린을 사용한 콘크리트의 유동특성을 알아보기 위하여 각 혼화제 치환율별로 실리카 흙 및 슬래그 미분말을 사용한 콘크리트와 비교 검토·분석하였다.

슬럼프 및 슬럼프플로우 시험결과를 그림 1 및 그림 2에 나타난 바와 같이, 목표 슬럼프값을 만족하기 위한 각 배합조건별 고성능감수제의 사용량은 다소 차이를 나타내고 있었다. 메타카올린 및 실리카 흙을 사용한 콘크리트의 경우는 플레인 콘크리트보다 혼화제 치환율이 증가함에 따라 고성능감수제의 사용량이 증대되는 경향을 보이고 있으나 슬래그 미분말을 사용한 콘크리트는 역으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 화학조성비, 초기 화학반응 및 분말도에 따른 영향이 크게 작용한 것으로 판단된다. 또한, 콘크리트의 충전성 측면을 고려한 슬럼프플로우는 메타카올린을 사용한 콘크리트가 가장 양호한 결과를 보이고 있었다.

한편, 메타카올린을 사용한 콘크리트의 공기량 시험결과는 그림 3에 나타난 바와 같이, 목표 성능을 만족하기 위한 AE제의 사용량이 메타카올린을 사용한 콘크리트가 혼화제 치환율이 증가함에 따라 상대적으로 높게 나타내고 있다.

3.2 굳은 콘크리트의 강도특성

메타카올린을 사용한 콘크리트의 강도발현 성상을 그림 4에 나타내고 있는 것처럼, 각 재령별로 플레인 콘크리트보다 높은 강도를 발현하는 것으로 나타났으며, 재령 및 치환율이 증가함에 따라 강도발현율은 크게 증대하는 경향을 보이고 있다. 이는 구성재료중 알루미나 및 실리카 성분에 의한 장기재령에서의 포졸란 반응에 의한 영향으로 판단된다. 한편, 실리카 흙 및 슬래그 미분말을 사용한 콘크리트는 치환율 10%의 경우가 가장 양호한 강도발현성상을 보이고 있으며, 치환율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있다. 따라서, 메타카올린을 사용한 콘크리트는 다른 혼화제를 사용한 콘크리트에 비해 강도발현성상에서 매우 양호하다는 것을 알 수 있다.

3.3 굳은 콘크리트의 수밀특성

메타카올린을 사용한 콘크리트의 수밀특성을 알아보기 위하여 전세공용적의 변화를 그림 5에 나타내고 있다. 그림에서 보듯이, 재령 7일에 비해서 재령 28일에서 전세공용적이 감소하고 있어 양생기간이 증가함에 따라 공극분포의 변화가 크게 작용함을 보여주고 있다. 한편, 혼화제 종류에 따른 전세공

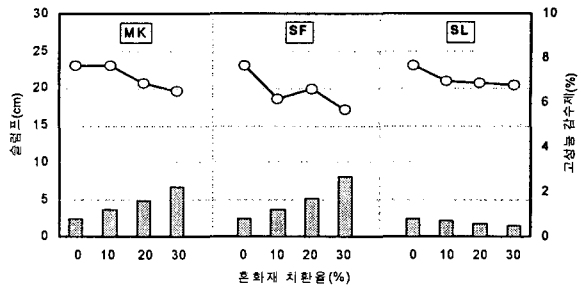


그림 1 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 특성

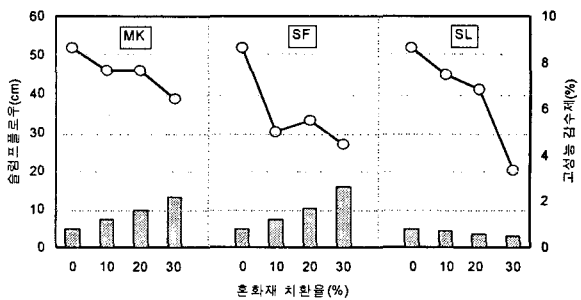


그림 2 굳지않은 콘크리트의 슬럼프플로우 특성

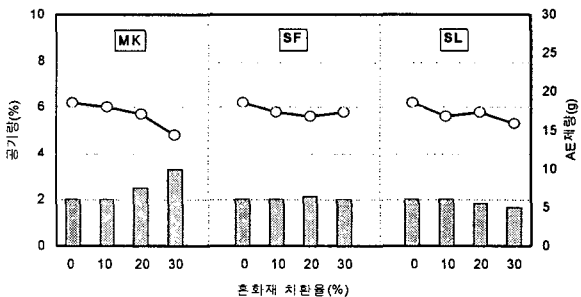


그림 3 굳지않은 콘크리트의 공기량 특성

용적은 메타카올린을 제외하고는 혼화재 치환율의 증가에 따라 감소되는 경향을 보이고 있으나 메타카올린의 경우, 전세 공용적의 변화는 크지 않으나 이온침투성에 영향을 미치는 50~100nm의 공극분포가 크게 감소하여 콘크리트의 수밀성이 우수할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 메타카올린을 사용한 콘크리트의 유동특성 및 강도특성을 비롯한 제공학적 특성을 구명하고자 계획한 일련의 실험으로서, 각종 혼화재의 종류와 치환율의 변화를 비교·분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 메타카올린을 사용한 콘크리트의 유동특성은 실리카 흙을 사용한 콘크리트와 유사한 경향을 보이고 있으나 콘크리트의 충전성을 평가한 슬럼프 플로우에서는 가장 양호한 성능을 나타내고 있다. 한편, 목표 슬럼프를 확보하기 위한 고성능감수제의 사용량은 슬래그 미분말에 비하여 메타카올린 및 실리카 흙을 사용한 콘크리트의 경우가 크게 증가하는 경향을 보이고 있었다.
- (2) 메타카올린을 사용한 콘크리트의 공기량은 AE제의 사용에 따라 목표 성능을 만족시킬 수 있었으며, 특히 메타카올린의 치환율이 증대됨에 따라 AE제량이 증가하는 경향을 보이고 있었다.
- (3) 메타카올린을 사용한 콘크리트의 강도특성은 실리카 흙 및 슬래그 미분말의 경우, 치환율 10%에서 가장 양호한 강도발현성상을 보이고 있는 것에 비해서 치환율이 증가함에 따라 강도발현성상은 양호한 것으로 나타났다.
- (4) 메타카올린을 사용한 콘크리트의 수밀특성은 전세공용적의 분포의 경우, 뚜렷한 감소경향을 보이고 있지 않았지만 이온침투성에 영향을 미치는 50~100nm의 공극분포에서 크게 감소하는 경향을 보이고 있어 콘크리트의 수밀성능이 우수할 것으로 판단된다.

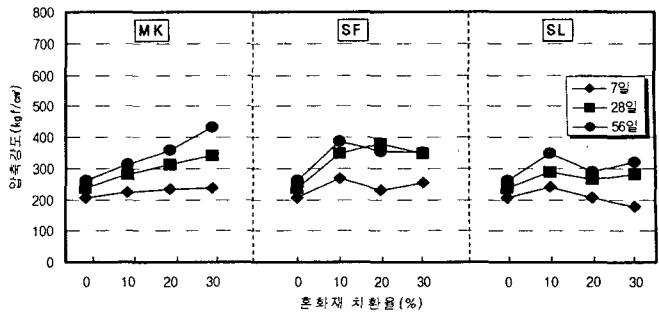


그림 4 콘크리트의 압축강도 특성

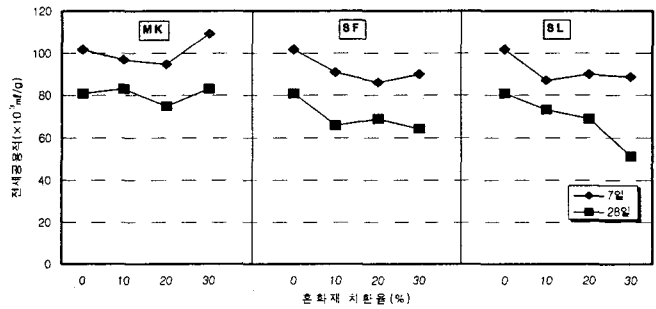


그림 5 콘크리트의 수밀특성

참고 문헌

- 1) 김진만, 김동석, 이상수, "메타카올린을 사용한 콘크리트의 강도특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회 봄 학술발표 논문집 제15권1호, 2003. 5, pp.47~52.
- 2) 이상수의 3인, "전기축진시험을 이용한 혼화재 혼입 콘크리트의 염화물 확산성능 비교 연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표 논문집 제15권2호, 2003.11, pp.58~61
- 3) Hee-Yong Choi, Hey-Zoo Hwang, Moo-Han Kim and Moon-Han Kim, "Activating Temperature of Kaolin As a Cement Admixture," KCI Concrete Journal, Vol.13, No.1, 2001, pp.3~9.
- 4) Bentur, A., and Goldman, A., "Curing effects, strength and physical properties of high strength Silica Fume Concrete", Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 1, No. 1, Feb. 1989, pp. 45~58.