

광물질 혼화재 종류에 따른 초고강도 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Engineering Properties of Ultra-High Strength Concrete according to Types of Mineral Admixtures

정현웅* 강 훈** 이상수*** 송하영*** 김을용***

Joung Hyun-Woong Kang Hoon 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 ultra-high strength concrete according to types of mineral admixtures. The main experimental variables were water/binder ratio 25.0, 27.5 and 30.0%, water content 155, 160, 165, and 170kg/m³ and mineral admixtures such as fly ash, silica fume and meta kaolin.

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

- 1) In case of using admixtures, superplasticizer amount need more than plain concrete.
- 2) According to kinds of admixtures, the viscosity of concrete show much difference.
- 3) The compressive strength of concrete that use admixtures becomes low in early-age strength, but appeared by higher than plain concrete in long-term strength.
- 4) Meta kaolin is excellent in side but has viscosity enlargement efficiency a little. But, problem estimates that is not to make design strength 600 and 700kgf/cm² if use mixing condition with water-binder ratio properly.

1. 서론

최근 도심지에서는 토지의 고도이용 및 건축물의 용적을 증대, 조망권의 확보, 내구년한의 증대 등을 위해 초고층의 주상복합구조물 건설이 활발히 추진되고 있다. 이러한 구조물들의 초고층화를 위해서는 고강도 콘크리트의 사용이 필수불가결한 요건으로 여겨져 왔지만 아직 국내에서는 시공경험 부족, 품질 및 시공관리에 대한 불확실성 등으로 고강도 콘크리트의 사용을 회피하고 있는 실정이다. 지금까지 국내에 적용되고 있는 고강도 콘크리트는 400~500kgf/cm² 정도로서 선진국의 적용한 실적과 비교하면 강도범위가 미미한 수준에 불과하다. 그러나 앞으로는 구조물의 초고층화 추세에 따라 600~800kgf/cm²인 초고강도 콘크리트의 사용이 증대될 것으로 예상된다.^{1),2)}

따라서, 본 연구에서는 초고강도 콘크리트의 개발을 위한 목표강도를 향후 건설현장 적용을 고려하여 설계기준강도 600~800kgf/cm²으로 설정하고 각 혼화재 종류별 배합조건에 따른 유동특성 및 강도발현 성상을 중심으로 콘크리트의 공학적 특성을 검토함으로써 향후 초고강도 콘크리트의 실용화를 위한 기초자료로서 제시하는데 그 목적을 두었다.

*정회원, 한밭대학교 건축공학과 대학원

**정회원, 하이믹스산업(주), 상무이사

***정회원, 한밭대학교 건축공학과 교수, 공박

2. 실험개요

2.1 실험계획

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

본 실험에서는 초고강도 콘크리트의 자기충전성, 유동성 및 강도측면을 고려하여 굵은골재 최대치수 20mm를 선정하여 실시하였고, 물-결합재비는 25.0, 27.5, 30.0(%)의 3수준, 단위수량은 155, 160, 165, 170(kg/m³)의 4수준, 혼화재의 종류는 플라이애쉬, 실리카 흙, 메타카올린 등을 선정하여 검토하기로 하였으며, 혼화재의 치환율은 유동성 및 강도를 고려하여 10, 15(%)로 검토하였다. 한편, 초고강도 콘크리트의 요구성능을 표 2와 같이 설정하였다.

표 1 실험계획

항 목		조 건
물-결합재비(W/B:%)		25.0, 27.5, 30.0
단위수량(kg/m ³)		155, 160, 165, 170
혼화재 종류 및 치환율		FA10, SF10, MK15
시험 항목	굳지않은 콘크리트	슬럼프플로우, 유하시간, 공기량, 콘크리트 온도
	굳은 콘크리트	압축강도(1, 3, 7, 28, 56일)

표 2 초고강도 콘크리트의 요구성능

항 목	목 표 치	비 고	
설계기준강도(kgf/cm ²)	600, 800		
배합강도(kgf/cm ²)	720, 960	합중계수 1.2 고려	
유동성	슬럼프플로우 (cm)	65±10	자기충전성 고려
공기량(%)		3.0±1.5	강도 고려
유하시간(sec)		20±10	점성 고려

2.2 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 국내 영월산 H사에서 제조된 KS L 5201규정의 보통 포틀랜드시멘트(I종)을 사용하였으며, 혼화재에 있어서 플라이애쉬는 보령산 F급을 사용하였으며, 실리카 흙은 체코슬로바키아산을, 메타카올린은 국내 A사에서 제조된 것을 사용하였다.

골재의 경우는 잔골재는 인천산의 세척사를 사용하였으며, 굵은골재는 광주산의 부순자갈을 사용하였다. 또한 고성능감수제의 경우 국내 D사의 폴리카르본산계 고성능감수제를 사용하였다.

2.3 실험방법

초고강도 콘크리트의 실내배합시험은 팬형의 강제식 믹서를 사용하였으며, 재료투입은 단위결합재량이 많은 초고강도 콘크리트이기 때문에 재료의 균질성을 위하여 선모르타르방법을 사용하였다. 비빔시간은 건비빔 30초, 선모르타르 비빔 60초, 콘크리트 비빔 150초로서 총 240초(4분)로 하였다. 고성능감수제의 사용량은 목표 슬럼프플로우를 확보하기 위한 최소의 양을 사용하였다. 굳지않은 콘크리트에 대한 슬럼프플로우시험은 JASS 5T-503 및 JSCE-F 503, 공기량 시험은 KS F 2421, ○형 유하시험은 일본토목학회 콘크리트 기술시리즈 No. 15의 시험방법에 따라서 실시하였다.

2.4 콘크리트의 배합

초고강도 콘크리트의 유동성 및 점성을 비롯한 각종 공학적 특성을 알아보기 위해 선정된 플레인 콘크리트의 배합표는 표 4와 같다. 본 실험의 배합조건은 물-결합재비 25.0, 27.5, 30.0(%)를 선정하였

표 3 사용재료

사용재료	산 지 및 물 성	
시멘트	보통 포틀랜드시멘트(H사), 분말도 3,267cm ² /g, 강열감량 0.99	
혼화재	메타카올린	국내 A사, 분말도 10,000cm ² /g, 강열감량 1.95
	실리카 흙	노르웨이산(E사), 분말도 220,000cm ² /g, 강열감량 1.30
	플라이애쉬	국내 H사, 분말도 3,639cm ² /g, 강열감량 3.40
골재	잔골재	국내 I산(제염사), 표건비중 2.58, 흡수율 0.20%, 조립율 2.83
	굵은골재	국내 G산(부순돌), 표건비중 2.61, 흡수율 0.81%, 조립율 7.05
고성능감수제	국내 D사(고축합형 폴리카르본산계), 감수율 19%, pH 7.0	

표 4 초고강도 콘크리트의 배합표(플레인 콘크리트)

물-결합재비 (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m ³)	단위중량(kg/m ³)					굵은골재
			시멘트	플라이애쉬	실리카흙	메타카올린	잔골재	
25.0	42.0	155	620	-	-	-	692	966
		160	640	-	-	-	679	949
		165	660	-	-	-	667	932
27.5	44.0	155	564	-	-	-	745	959
		160	582	-	-	-	733	943
		165	600	-	-	-	720	927
30.0	44.0	160	533	-	-	-	750	966
		165	550	-	-	-	738	951
		170	567	-	-	-	727	936

고 단위수량은 155, 160, 165, 170(kg/m³)를 대상으로 평가하도록 하였으며 혼화재의 치환율은 플라이 애쉬, 실리카 흙의 경우에는 10%, 메타카올린의 경우에는 15%를 치환하였다. 잔골재율은 단위결합재 량이 많은 초고강도 콘크리트라 할지라도 골재의 조건에 따라 적정하다고 평가되는 42.0~44.0%를 선정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 성상

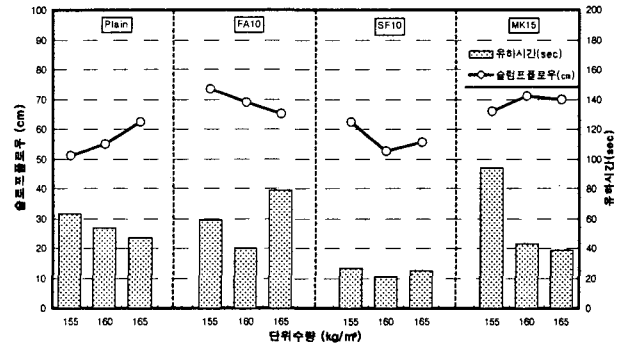
초고강도 콘크리트의 유동성을 알아보기 위한 슬럼프플로우의 시험결과는 일반적으로 혼화재를 사용한 경우가 플레인 콘크리트보다 고성능감수제의 사용량이 증대되는 경향을 보이고 있다. 특히, 메타카올린을 사용한 경우에는 전반적으로 높은 고성능감수제량을 나타내고 있어, 화학조성, 치환율 및 분말도에 따른 영향이 크게 작용한 것으로 판단된다.

한편, 슬럼프플로우와 유하시간과의 관계를 그림 1에 나타낸 바와 같이, 목표 슬럼프플로우값이 유사할 지라도 콘크리트의 구성재료 즉, 혼화재의 종류에 따라 유하시간(점성)은 커다란 차이를 보인다는 것을 알 수 있다. 특히, 실리카 흙을 사용한 경우가 낮은 점성을 확보하고 있는 경향을 보이고 있다.

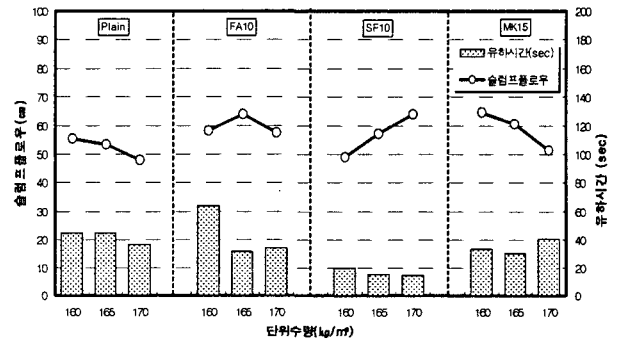
메타카올린만을 사용한 경우 및 단위수량 155kg/m³의 경우에는 상대적으로 점성이 높아 초고강도 콘크리트의 컨시스턴시 측면에서 다소 문제점으로 나타나고 있다. 따라서, 단위수량, 혼화재의 종류 및 치환율에 따라 유동성 및 점성과 같은 굳지않은 성상에 커다란 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 종합적으로, 본 실험결과에서는 전반적으로 물-결합재비 관계없이 단위수량 165kg/m³에서 양호한 유하시간(점성)이 확보되는 것으로 나타났으며, 슬럼프플로우(유동성)은 고성능감수제의 사용량에 따라 목표치를 얻을 수 있었다. 따라서, 초고강도 콘크리트의 컨시스턴시는 유동성측면보다는 점성측면에서 만족하는 배합조건을 선정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3.2 굳은 콘크리트의 성상

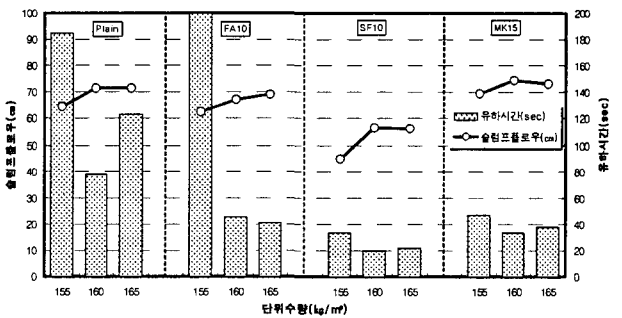
초고강도 콘크리트의 강도발현 성상을 그림 2에 나타내고 있는 것처럼, 혼화재를 사용한 경우가 초기강도에서는 낮은 강도발현을 보이고 있지만 장기강도에서는 플레인 콘크리트보다 높은 강도를 발현하는 것으로 나타났다. 이는 혼화재를 사용함에 따른 장기재령에서의 포졸란 반응에 의한 영향으로 판단된다. 따라서, 초고강도 콘크리트의 강도 관리재령은 기존의 28일 강도로 평가하기보다는 56일 및 91일에 평가하는 것이 구조물에 적용되는 초고강도 콘크리트의 성능 및 경제성차원에서 바람직할 것으로 여겨진다.



(a) 물-결합재비 25.0%



(b) 물-결합재비 27.5%



(c) 물-결합재비 30.0%

그림 1 굳지않은 콘크리트의 유하시간 특성

또한 물-결합재비별 초고강도 콘크리트의 강도발현 성상은 W/B 25.0%의 경우, 780~930kgf/cm²이고, W/B 27.5%의 경우, 750~920kgf/cm²이고, W/B 30.0%의 경우, 690~870kgf/cm²를 보이고 있다. 이와 같이 각 배합조건별로 강도발현 성상을 보면, 물-결합재비가 높을수록 각 배합조건별로 강도차이가 큰 것이 특징으로 나타나고 있다. 또한 혼화재 종류에 따른 강도발현 성상은 실리카 흙 및 메타카올린을 사용한 콘크리트의 경우만 압축강도 900kgf/cm² 이상을 확보하고 있어 초고강도 콘크리트 영역의 혼화재로서 활용성이 클 것으로 예상된다.

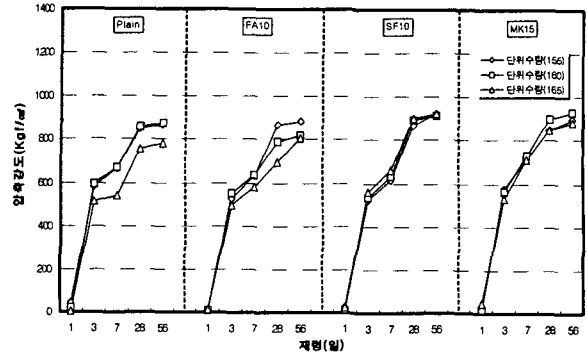
4. 결론

본 연구는 광물질혼화재 종류별 초고강도 콘크리트의 특성에 미치는 영향을 구명하고자 계획한 일련의 실험으로서 비교·분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

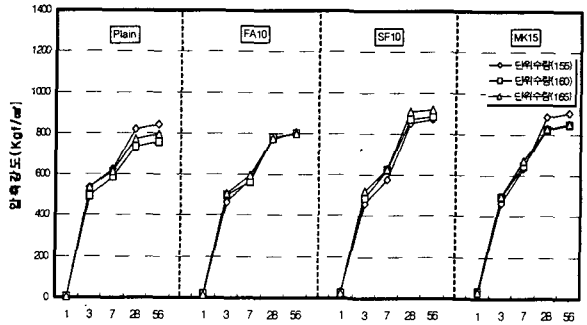
- (1) 초고강도 콘크리트의 유동성을 알아보기 위한 슬럼프플로우의 시험결과, 혼화재를 사용한 경우가 플레인 콘크리트보다 고성능감수제의 사용량이 증대되는 경향을 보이고 있으며, 특히, 메타카올린을 사용한 경우는 전반적으로 높은 고성능감수제량을 나타내고 있다.
- (2) 목표 슬럼프플로우에 따른 유하시간은 혼화재의 종류에 따라 콘크리트의 점성이 커다란 차이를 보이고 있다. 특히 실리카 흙을 사용한 경우가 낮은 점성을 보이고 있어 초고강도 콘크리트의 위커빌리티 확보에 유리한 것으로 판단된다.
- (3) 강도발현 성상을 살펴보면, 혼화재를 사용한 경우가 초기강도에서는 낮은 강도발현을 보이고 있지만 장기강도에서는 플레인 콘크리트보다 높은 강도를 발현하는 것으로 나타났다.
- (4) 실리카 흙의 대체재로서 검토된 메타카올린은 강도측면에서는 우수하나 다소 점성증대 효과를 가지고 있어 물-결합재비 등 배합조건을 적절히 사용한다면 설계기준강도 600 및 700kgf/cm²를 제조하는 데 문제는 없을 것으로 판단된다.

참고 문헌

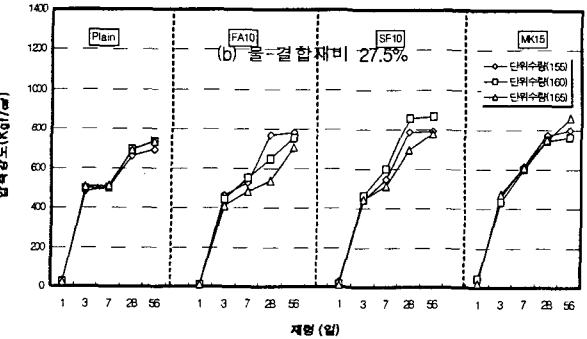
- 1) 송하영외 3인, “초고강도 콘크리트의 특성에 미치는 시멘트 종류 및 혼화재 종류의 영향에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 추계학술발표 논문집 제24권2호(통권 제48집), 2004.10, pp.375~378
- 2) 이상수외 3인, “초고층아파트 시공을 위한 고강도 콘크리트의 배합설계 및 품질관리”, 대한건축학회 추계학술발표 논문집 제20권2호, 2000. 10, pp.467~470



(a) 물-결합재비 25.0%



(b) 물-결합재비 27.5%



(c) 물-결합재비 30.0%

그림 2 굵은 콘크리트의 압축강도 특성