

# 고강도콘크리트의 강도특성에 미치는 혼화제 종류의 영향에 관한 연구

## A Study on the Influence of Cementitious Material Type on the Compressive Strength of Ultra-High Strength Concrete

최세진\*                      강원석\*\*                      박창수\*\*\*                      이성연\*\*\*\*                      이상수\*\*\*\*\*  
Choi, Se-Jin                      Kang, Won-Seok                      Park, Chang-Soo                      Lee, Seong-Yeon                      Lee, Sang-Soo

### ABSTRACT

Generally, the strength of concrete depends on factors of materials, mix proportions, compaction, manufacturing methods and curing and so on.

This is an experimental study to compare and analyze the influence of cementitious material type on the compressive strength of ultra high strength concrete. For this purpose, the mix proportions of concrete according to the type of cementitious materials(Fly ash, blast furnace slag, silica fume) and W/B(31.5, 27.5%) was selected. And then air content, slump-flow, O-lot, compressive strength test were performed.

### 1. 서론

최근 콘크리트구조물의 대형화, 고층화, 장대화 등에 따라 콘크리트에 요구되는 성능도 고강도, 고유동, 고내구성 등 점차 고품질화, 고성능화되어지고 있다. 특히 과거에는 압축강도가 21, 24MPa의 보통콘크리트가 대부분을 차지한 반면 최근에는 27, 30MPa은 물론이고 40MPa이상의 고강도콘크리트 수요가 점차 증가하고 있어 콘크리트관련 학계, 연구소, 업체 등을 중심으로 이에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다.

본 연구는 고강도콘크리트의 유동성 및 강도특성에 미치는 각종 영향요인에 관한 실험적 연구의 일련의 연구로서 본보에서는 물결합재비 및 혼화제의 영향을 검토하기 위하여 물결합재비 31.5%와 27.5%의 수준에서 플라이애쉬, 고로슬래그미분말, 실리카폼 등의 혼화제 종류와 대체율을 조절하여 제조한 고강도콘크리트에 대하여 슬럼프-플로우, O-로트 및 압축강도 특성 등을 비교·검토함으로써 고강도콘크리트의 제조시 참고자료를 제시하고자 하였다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1 실험계획 및 배합

\* 정회원, (주)삼표 기술연구소 책임연구원, 공학박사

\*\* 정회원, (주)삼표 R/C본부 생산기획팀장

\*\*\* 정회원, (주)삼표 R/C본부 이사

\*\*\*\* 정회원, (주)삼표 R/C본부장, 공학박사

\*\*\*\*\* 정회원, 한밭대 건축공학과 교수, 공학박사

표 1. 실험계획 및 배합

구분	W/B (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위결합재량 (kg/m <sup>3</sup> )	FA <sup>2)</sup> (%)	BFS <sup>2)</sup> (%)	SF <sup>2)</sup> (%)	S/a (%)	SP제 <sup>2)</sup> (%)	측정항목
(3)F0B30S10 <sup>1)</sup>	31.5	165	524	0	30	10	46	소정의 첨가량	· 공기량 (%) · 슬럼프 (cm) · 슬럼프 플로우 (cm) · 슬럼프플로우 50cm 도달시간 (sec.) · O-lot 유하시간 (sec.) · 압축강도 (MPa) - 재령 3, 7, 28일
(3)F10B30S0				10	30	0			
(3)F5B30S5				5	30	5			
(3)F10B30S10				10	30	10			
(2)F0B40S10	27.5	165	600	0	40	10	45		
(2)F10B40S0				10	40	0			
(2)F5B40S5				5	40	5			
(2)F10B40S10				10	40	10			

주) 1) W/B 31.5-FA 0%-BFS 30%-SF 10%

2) FA : 플라이애쉬 / BFS : 고로슬래그미분말 / SF : 실리카폼 / SP제 : 고성능감수제

표 1은 본 연구의 실험계획 및 배합을 나타낸 것으로서 물결합재비 수준을 31.5 및 27.5%의 2수준으로 선정하였으며 수차례의 예비시험을 거쳐 물결합재비 31.5 및 27.5%에서 각각 고강도콘크리트에서의 점성을 고려하여 고로슬래그미분말 대체율을 30% 및 40%로 고정하였다. 그리고 플라이애쉬 및 실리카폼의 대체율을 5%, 10%로 변화시켜 배합을 선정하였다.

측정항목으로서는 굳지않은 콘크리트의 경우 공기량, 슬럼프, 슬럼프 플로우, 슬럼프 플로우 50cm 도달시간 및 O-lot 유하시간을 측정하였으며 경화콘크리트에서는 재령 3, 7, 28일에서 압축강도를 측정하였다.

## 2.2 사용재료 및 비빔방법

본 실험에 사용된 각 재료의 물리적 성질은 표 2에 나타낸 바와 같이 시멘트는 국내 A사의 1종 보통 포틀랜드시멘트, 잔골재의 경우 조립율 2.80의 세척 사를, 굵은골재는 조립율 6.60의 최대치수 19mm 부순자갈을 사용하였다. 또한 사용한 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말 및 실리카폼의 비중은 각각 2.2, 2.9 및 2.1로서 이 때 분말도는 각각 3,750, 4,600 및 200,000cm<sup>2</sup>/g인 제품을 사용하였다.

콘크리트의 비빔은 100ℓ의 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 건비빔과 모르타르비빔을 행한 후, 굵은골재를 투입하는 비빔방식을 실시하였으며 총 비빔시간은 약 3분이 소요되었다.

표 2. 사용재료

시멘트	1종 보통포틀랜드시멘트 비중 : 3.15, 분말도 : 3,581cm <sup>2</sup> /g	
잔골재	세척사	최대치수 : 5mm
	비중 : 2.60	조립율 : 2.80
굵은골재	부순자갈	최대치수 : 20mm
	비중 : 2.67	조립율 : 6.60
플라이애쉬	강열감량 : 3.5% 비중 : 2.2 분말도 : 3,750cm <sup>2</sup> /g	
고로슬래그 미분말	비중 : 2.9 분말도 : 4,600cm <sup>2</sup> /g	
실리카폼	비중 : 2.1 분말도 : 200,000cm <sup>2</sup> /g	
SP제	폴리카arbon산계, 액상, 비중 : 1.20	

## 3. 시험결과 및 고찰

표 3은 물결합재비 및 혼화재 종류에 따른 고강도콘크리트의 각종 시험결과를 나타낸 것이다.

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성 검토 및 분석

그림 1은 슬럼프 플로우와 슬럼프의 변화를 나타낸 것으로서 본실험 및 예비실험에서 얻어진 슬럼프 및 슬럼프 플로우 측정결과를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 동일한 슬럼프에서도

표 3. 콘크리트 시험결과

구분	W/B (%)	FA (%)	BFS (%)	SF (%)	SP제 첨가율 (%)	Air (%)	Slump (cm)	Slump Flow (cm)	SF50cm 도달시간 (sec.)	O-lot 유하시간 (sec.)	압축강도 (MPa)		
											3일	7일	28일
(3)F0B30S10	31.5	0	30	10	0.95	2.0	24.0	55×53	8.6	34.0	31.7	53.2	67.9
(3)F10B30S0		10	30	0	0.60	0.6	25.0	60×59	6.5	44.2	34.7	58.1	75.1
(3)F5B30S5		5	30	5	0.75	0.9	25.0	65×64	4.6	33.1	33.2	60.6	71.2
(3)F10B30S10		10	30	10	1.00	1.3	25.0	61×61	7.0	37.3	27.4	51.8	75.8
(2)F0B40S10	27.5	0	40	10	1.40	2.4	25.0	59×60	6.7	21.0	28.4	59.2	90.2
(2)F10B40S0		10	40	0	1.00	1.2	24.5	53×54	8.8	31.0	31.7	60.8	88.1
(2)F5B40S5		5	40	5	1.15	1.0	25.0	51×56	7.2	34.0	30.7	58.9	92.7
(2)F10B40S10		10	40	10	1.30	1.9	25.0	53×54	12.7	33.0	24.2	55.1	86.0

주] 1) W/B 31.5-FA 0%-BFS 30%-SF 10%

2) FA : 플라이애쉬 / BFS : 고로슬래그미분말 / SF : 실리카폼 / SP제 : 고성능감수제

슬럼프 플로우의 값은 많은 차이를 보이고 있어, 고강도콘크리트와 같이 분체량이 많고 유동성이 높은 콘크리트의 유동특성을 평가할 때 슬럼프값 만으로는 한계가 있음을 알 수 있으며, 따라서 슬럼프 플로우 시험 등을 함께 병행하여 고강도콘크리트의 유동특성을 평가하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

그림 2는 물결합재비 및 혼화재종류에 따른 슬럼프 플로우 및 SP제 첨가율의 변화를 나타낸 것으로서 물결합재비 31.5%의 경우 SP제 첨가율은 0.6~1.0%가 첨가되었으며, 물결합재비 27.5%의 경우에는 1.0~1.4%가 첨가되어 결합재량이 많을수록 유사한 작업성을 얻기 위한 고성능감수제 첨가율은 점성의 증가로 인해 상대적으로 많은 양이 투입됨을 알 수 있다. 또한, 각 물결합재비 수준에서 실리카폼을 사용한 경우보다 플라이애쉬를 사용한 경우가 SP제 첨가율이 상대적으로 적은 것을 알 수 있으며, 슬럼프 플로우값은 54~65cm 수준으로서 혼화재종류 및 물결합재비에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

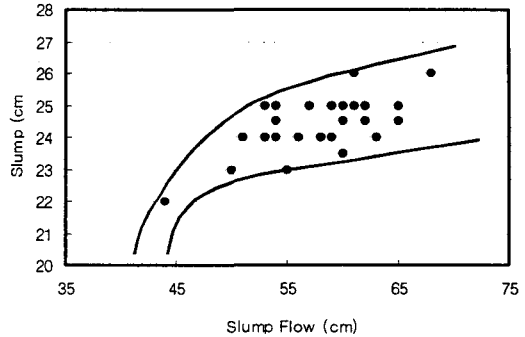


그림 1 슬럼프 플로우와 슬럼프의 변화

또한 슬럼프 플로우 50cm 도달시간 및 O-lot 통과시간의 변화를 나타낸 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 슬럼프 플로우 50cm 도달시간의 경우 물결합재비 31.5%의 경우보다 물결합재비 27.5%의 경우가 결합재량의 증가로 점성이 증가함으로서 슬럼프 플로우 50cm 도달시간이 상대적으로 길게 나타났다. 그러나, O-lot 통과시간의 경우는 이와는 반대로 물결합재비 27.5%의 경우가 31.5%의 경우보다 대체적으로 통과시간이 빠르게 나타났는데, 이는 결합재량이 많아짐으로서 상대적으로 골재량이 감소하고 이로 인해 골재간의 상호간섭이 줄어들어 충전성이 양호해진 것으로 판단된다.

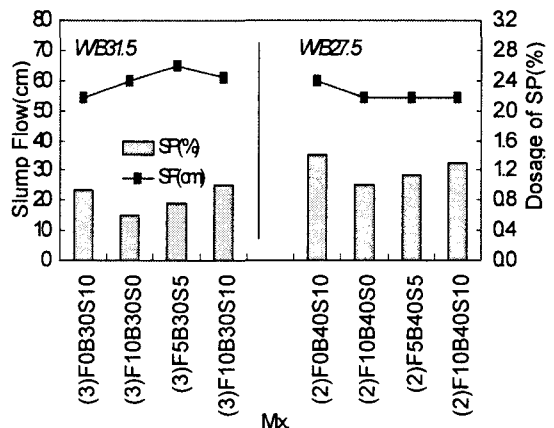


그림 2 슬럼프 플로우 및 SP제 첨가율의 변화

### 3.2 경화콘크리트의 특성 검토 및 분석

그림 4는 물결합재비 및 혼화재종류에 따른 고

강도콘크리트의 재령별 압축강도의 변화를 나타낸 것으로서 물결합재비 31.5%의 경우 재령 28일의 압축강도가 67.9~75.8MPa, 물결합재비 27.5%의 경우 88.1~92.7MPa로서 물결합재비가 낮을수록 압축강도가 높게 발현하고 있으며, 특히 재령 3일 및 7일의 경우 물결합재비에 따른 유의할 만한 차이는 보이고 있지 않으나 재령 7일에서 재령 28일까지의 발현율이 물결합재비 27.5%에서 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있는데, 이는 물결합재비 31.5%의 경우 고로슬래그미분말 치환율을 30%로 하고 물결합재비 27.5%의 경우는 40%로 함으로서 초기에는 강도발현율이 낮으나 재령이 경과함에 따라 강도발현율이 상대적으로 높게 나온 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구는 고강도콘크리트의 유동특성 및 강도특성에 미치는 각종 영향요인에 관한 일련의 실험적 연구의 일부로서 본보에서는 물결합재비 및 혼화제 종류의 영향을 검토하였으며, 검토결과 물결합재비 31.5 및 27.5%의 수준에서 혼화제 치환량을 적절히 조합함으로써 양호한 유동성과 압축강도가 약 68 ~ 93 MPa인 수준의 높은 강도를 발현하는 (초)고강도콘크리트를 제조할 수 있었다.

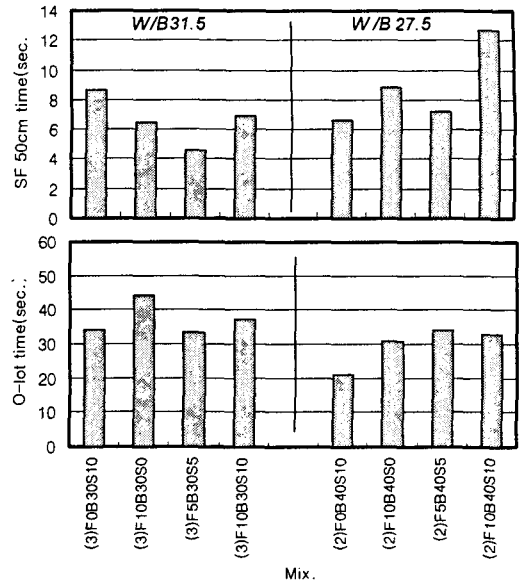
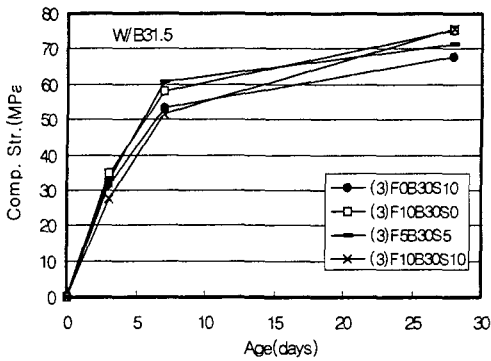
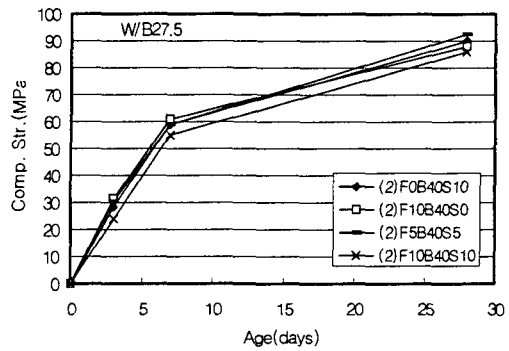


그림 3 슬럼프 플로우 50cm 도달시간 및 O-lot 통과시간의 변화



(a) W/B 31.5



(b) W/B 27.5

그림 4 재령에 따른 압축강도의 변화

#### 참고문헌

1. P. Kumar Mehta, Concrete Structure, Properties, and Materials, Prentice Hall, pp. 17-41.
2. Choi Se-Jin, Kim Moo-Han et al ; An Experimental Study on Manufacturing Ultra-High Strength Concrete of 3116kgf/cm<sup>2</sup> Compressive Strength, Proceeding of Joint Symposium on Arch. Materials between Korea and Japan, pp.125~132, 1997.8
3. Malhotra, V.M. and G.G. ; Silica Fume Concrete Properties, Application and Limitations, Concrete International, Vol.5, May 1983, pp.40~46