

# 초고강도콘크리트의 강도에 영향을 미치는 요인에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Factors of Strength of Ultra High-Strength Concrete

손 영 준\*    최 맹 기\*    김 광 기\*\*    박 회 곤\*\*    양 동 일\*\*    정 상 진\*\*\*  
Son, Young Jun    Choi, Maeng Ki    Kim, Kwang Ki    Park, Hee Gon    Yang, Dong Il    Jung, Sang Jin

### ABSTRACT

The aim of this study is to develop experimentally ultra high-strength concrete with compressive strength over 100MPa with current materials by important factors to influence the compressive strength of concrete. There are so many factors which influence the manufacturing of ultra high-strength concrete. But the experimental factors selected in this study are the sand aggregate ratio, the silica fume replacement ratio, the type of aggregate, the type of superplasticizer, the fiber mixing ratio. The results of this experimental study show that it is possible to applicate in the field.

### 1. 서론

최근 건축구조물이 초고층화, 대형화, 다양화 되어감에 따라 합리적이며 경제적인 구조시스템이 요구되고 있어 보다 효용이 높은 건설재료를 필요로 하게 되었다. 즉 구조물의 자중경감이나 부재단면 축소에 따른 유효공간의 확보와 경제적인 구조물을 축조하기 위한 방안의 일환으로 가장 보편적인 건설재료인 콘크리트의 고품질화가 적극적으로 추진되고 있다. 특히 고강도콘크리트에 대한 높은 관심은 조기강도의 증대, 콘크리트부재의 단면감소, 블리딩의 감소, 공기단축과 수밀성 및 기밀성을 통한 내구성 향상 등의 공학적 특성의 개선과 경제적 절감효과라는 측면에서 그에 관한 연구와 개발이 활발히 이루어지고 있다. 또한 국내의 경우 일반 초고층 건축물에서는 철골·철근콘크리트조가 많이 사용되고 있는 추세이나 최근 주상복합건축물에 고강도콘크리트를 사용한 철근콘크리트조의 시공사례가 점차 증가하고 있으며 초고층화 추세에 따라 초고강도콘크리트의 사용이 증대될 것으로 예상된다.

따라서, 본 연구에서는 물결합재비 24%이하에서 플라이애쉬 및 실리카흄 치환율, 잔골재율, 굵은골재종류, 혼화제종류, 폴리프로필렌섬유 혼입률에 따른 유동특성 및 강도발현 성상을 검토함으로써 향후 초고강도콘크리트의 실용화를 위한 기초적 자료로 제시하는데 그 목적이 있다.

\* 정희원, 단국대학교 대학원 석사과정

\*\* 정희원, 단국대학교 대학원 박사과정

\*\*\* 정희원, 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수

## 2. 실험

### 2.1 실험계획

본 연구는 6가지 시리즈로 선정하여 실험을 실시하였다. 시리즈 I에서는 플라이애쉬 치환율에 따른 강도발현성을 검토하였다. 시리즈 II에서는 잔골재율 40%에서 실리카흙 치환율에 따른 강도특성을 검토하였다. 시리즈 III에서는 잔골재율 45%에서 실리카흙 치환율에 따른 강도 특성을 검토하였다. 시리즈 IV에서는 굵은 골재 종류별 강도특성을 비교하였다. 시리즈 V에서는 각 제조사별 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 유동특성 및 강도 특성을 비교 검토하였다. 시리즈 VI에서는 폴리프로필렌섬유의 혼입률에 따른 유동특성 및 강도특성을 검토하였다.

### 2.2 사용재료 및 배합

본 실험에서 사용된 시멘트는 S사의 1종 보통포틀랜드시멘트이다. 혼화제로 플라이애쉬는 보령산으로 KS L 5405 규정에 적합한 것을 사용하였으며 실리카흙은 캐나다산을 사용하였다. 잔골재는 인천산 세척사를 사용하였고 굵은 골재는 경기 이천산 쇄석, 강원 원주산 쇄석 및 강원 원주 자연산 골재를 사용하였다. 폴리프로필렌섬유는 국내 S사의 섬유를 사용하였고, 고성능AE감수제는 폴리카본산계로 국내 1종과 국외 2종을 사용하였다. 각 사용재료의 물리적 성질은 표 1과 같으며 각 시리즈별 배합은 표 2와 같다.

표 1 사용재료

사용재료	물리적 성질
시멘트(C)	1종 보통 포틀랜드시멘트, 비중 3.15
실리카흙(SF)	캐나다산, 비중 2.14
플라이애쉬(FA)	보령산, 비중 2.20
굵은골재(G)	G1: 경기 이천 쇄석(13mm), 비중 2.70 G2: 강원 원주 쇄석(13mm), 비중 2.62 G3 강원 원주 자연(25mm), 비중 2.62
잔골재(S)	인천산 세척사, 비중 2.60, 조립률 2.40
폴리프로필렌섬유(PP)	국내 S사, 비중 0.91
혼화제(SP)	KD: 국내 D사, 연황색, 액상, 비중 1.04 JA: 국외 A사, 암갈색, 액상, 비중 1.01 JB: 국외 B사, 진한 암갈색, 액상, 비중 1.07

표 2 콘크리트 배합표

시리즈	구 분	W/B (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )								
				W	C	SF	FA	S	G	SP(%)	PP(%)	
SI	FA00	24	50	160	533	133	-	772	775	2.7	-	
	FA05			160	500	133	33	767	770	2.6	-	
	FA10			160	467	133	67	762	765	2.4	-	
	FA15			160	433	133	100	757	760	2.3	-	
SII	SF10		40	160	600	67	-	625	945	2.5	-	
	SF15			160	567	100	-	622	940	2.5	-	
	SF20			160	533	133	-	618	934	2.5	-	
SIII	SF10		45	160	600	67	-	704	867	2.5	-	
	SF15			160	567	100	-	699	861	2.5	-	
	SF20			160	533	133	-	695	856	2.5	-	
SIV	G1		20	40	155	659	116	-	589	918	2.7	-
	G2				155	659	116	-	589	891	2.7	-
	G3	155			659	116	-	589	891	2.7	-	
SV	KD	155			659	116	-	589	918	2.5	-	
	JA	155			659	116	-	589	918	3.3	-	
	JB	155			659	116	-	589	918	2.2	-	
SVI	PP00	18		40	155	646	129	86	550	828	2.5	-
	PP05				155	646	129	86	550	828	2.5	0.5
	PP10				155	646	129	86	550	828	2.5	1.0
	PP15				155	646	129	86	550	828	2.5	1.5

### 3. 실험결과 및 고찰

각 시리즈별 콘크리트의 슬럼프플로우, 공기량, 압축강도의 기본물성을 표 3에 나타내었다.

표 3 콘크리트의 기본 물성 실험 결과

시리즈	구 분	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	압축강도(MPa)			시리즈	구 분	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	압축강도(MPa)		
				3일	7일	28일					3일	7일	28일
S I	FA00	52/53	3.3	46.2	62.7	82.7	SIV	G1	53/55	2.2	63.1	72.9	93.4
	FA05	53/54	3.3	45.7	63.5	80.3		G2	54/56	2.4	56.4	73.8	91.0
	FA10	51/52	3.5	44.4	62.3	77.6		G3	54/57	2.3	50.7	68.6	85.7
	FA15	52/54	3.4	40.6	57.4	76.4	SV	KD	45/47	2.4	63.1	72.9	93.4
S II	SF10	55/56	3.1	46.2	62.9	66.7		JA	16(Slump)	3.5	51.5	63.0	85.6
	SF15	53/54	3.4	47.9	65.5	75.4		JB	60/65	2.1	65.1	74.3	94.3
	SF20	52/53	3.0	49.5	66.5	78.7	SVI	PP00	45/46	2.4	57.0	68.0	88.4
S III	SF10	53/54	3.5	42.3	59.7	67.0		PP05	20(Slump)	3.4	49.6	57.4	84.3
	SF15	51/52	3.2	47.2	63.6	75.3		PP10	13(Slump)	3.6	50.1	65.7	86.5
	SF20	50/51	2.9	52.9	70.9	75.3		PP15	8(Slump)	4	45.9	57.9	81.2

#### 3.1 플라이애쉬 치환율에 따른 강도발현성(S I)

물결합재비 24%에서 단위수량 160kg/m<sup>3</sup>, 잔골재율 50%, 실리카흄 치환율 20%인 경우 플라이애쉬치환율의 증가에 따라 초기재령에서의 강도는 낮았으나, 그 후 강도발현의 증진으로 28일에는 거의 유사한 값을 나타내었다. (그림 1)

#### 3.2 잔골재율 변화와 실리카흄 치환율에 따른 강도특성(S II, S III)

잔골재율이 40%에서 45%로 증가하면 동일한 실리카흄 치환율인 경우 슬럼프플로우가 1~3cm가량 감소하였으나 강도는 유사하게 나타났다. 실리카흄의 치환율이 증가할수록 슬럼프플로우는 감소하였으며, 압축강도는 증가하였으나 15%와 20% 치환한 배합의 강도는 유사하게 나타났다. (그림 2, 3)

#### 3.3 굵은 골재 종류에 따른 강도특성(S IV)

굵은 골재의 종류에 따른 강도특성에서 강원 원주 자연산 골재는 3일, 7일 강도에서 골재와 시멘트페이스트의 부착면에서 파단되었고 28일 강도에서는 골재자체가 파괴되어 가장 낮은 강도 값을 나타내었다. 강원 원주산 쇄석과 경기 이천산 쇄석은 비슷한 강도 특성을 나타냈으며 경기 이천산 쇄석이 가장 높은 강도값을 나타내었다. (그림 4)

#### 3.4 혼화제 종류에 따른 강도특성(S V)

혼화제는 국외B사의 폴리카본산계 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트가 가장 유동특성이 양호했으며 강도발현성도 우수하였다. (그림 5)

#### 3.5 폴리프로필렌섬유의 혼입률에 따른 유동특성 및 강도특성(S VI)

폴리프로필렌섬유의 혼입률의 증가에 따라 현저하게 슬럼프값이 감소하였으며, 공기량은 증가하는 경향을 나타냈다. 압축강도는 혼입률의 증가에 따라 감소하였으나 1.0%치환한 배합이 양호한 강도값을 나타내었다. (그림 6)

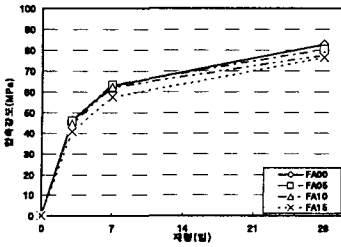


그림 1 시리즈 S I

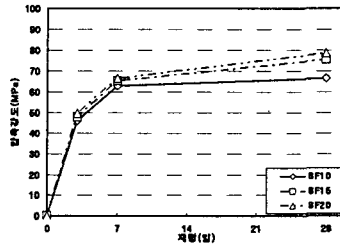


그림 2 시리즈 S II

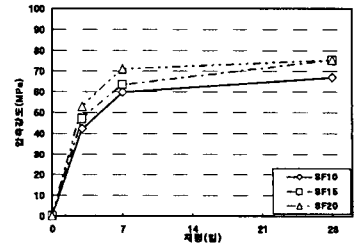


그림 3 시리즈 S III

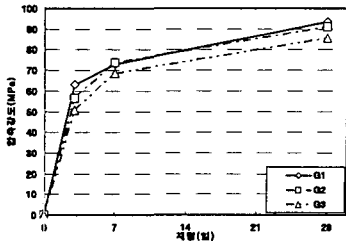


그림 4 시리즈 S IV

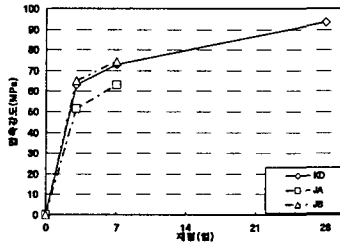


그림 5 시리즈 S V

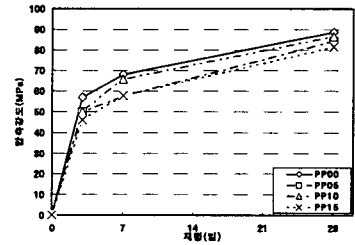


그림 6 시리즈 S VI

#### 4. 결론

본 연구에서는 초고강도콘크리트의 혼화제의 치환율과 잔골재율, 굵은 골재의 종류, 고성능AE감수제의 종류, 폴리프로필렌섬유 혼입률에 따른 유동특성 및 강도특성을 실험하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 플라이애쉬 치환율의 증가에 따라 3일, 7일 강도는 낮았으나 28일 강도는 유사하였다.
- 2) 실리카흙의 치환율이 증가할수록 슬럼프플로우는 감소하고 압축강도는 증가하였다. 잔골재율이 높아질수록 슬럼프플로우값은 다소 낮게 나왔으나 압축강도는 유사하였다.
- 3) 굵은 골재의 종류에 따른 압축강도는 강원 자연산 골재가 가장 낮게 나왔으며 경기 이천산 쇠석이 가장 높게 나왔다.
- 4) 폴리카본산계 고성능AE감수제는 국외B사의 혼화제를 사용한 콘크리트의 유동특성 및 강도특성이 가장 양호하게 나타났다.
- 5) 폴리프로필렌섬유의 혼입률의 증가에 따라 슬럼프플로우는 감소하였고 압축강도는 감소하는 경향을 나타냈다.

#### 참고문헌

1. 정상진 외, '건축재료학', 보성각, 1999
2. 한국콘크리트학회, '최신콘크리트공학', 1992
3. 日本建築學會, 高強度コンクリートの技術の現状, 1991