초고강도 콘크리트 개발에 위한 기초적 연구

A Basic Study on Developement of Ultra high-strength concrete

손 영 준* 김 한 식* 양 동 일** 한 다 희** 이 영 도*** 정 상 진****
Son, Young-Jun Kim, Han-sik Yang, Dong-Il Han, Da-Hee Lee, Young-Do 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.

키워드 : 초고강도콘크리트
Keywords : ultra high-strength concrete

1. 서 론

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 단위수량, 플라이애쉬 및 실리카퓸 치환율, 잔골재율, 굵은골재종류, 혼화제종류, 폴리프로필렌섬유 혼입률에 따른 유동특성 및 강도발현 성상을 검토함으로써 향후 초고강도콘크리트의 실용화를 위한 기초적 자료로 제시하는데 그 목적이 있다.

* 정회원, 단국대 대학원 석사과정
** 정회원, 단국대 대학원 박사과정
*** 정회원, 경동대 건축공학과 교수
**** 정회원, 단국대 건축공학과 교수

2. 실 험

2.1 실험계획

본 연구는 5가지 시리즈로 선정하여 실험을 실시하였다. 시리즈Ⅰ에서는 단위수량 변화 및 플라이애쉬 치환율에 따른 유동특성 및 강도특성을 검토하였다. 시리즈Ⅱ에서는 잔골재율 변화 및 실리카퓸 치환율에 따른 유동특성 및 강도특성을 검토하였다. 시리즈Ⅲ에서는 굵은 골재 종류에 따른 유동특성 및 강도특성을 검토하였다. 시리즈Ⅳ에서는 각 제조사별 고성능AE감수제에 따른 유동특성 및 강도특성을 검토하였다. 시리즈Ⅴ에서는 폴리프로필렌섬유의 첨가율에 따른 유동특성 및 강도특성을 검토하였다.

표 1. 실험계획

	실험 계획 및 수준	측정항목
SⅠ	단위수량(170, 165, 160), 플라이애쉬 치환율(0, 5, 10, 15)	1. 유동특성 - 공기량 - 슬럼프플로우 2. 강도특성 - 압축강도 - 쪼갬인장강도 (SⅤ)
SⅡ	잔골재율(40, 45), 실리카퓸 치환율(10, 15, 20)	
SⅢ	굵은 골재 종류 (경기 쇄석, 강원 쇄석, 강원 자연골재)	
SⅣ	혼화제 종류 (국내 D사, 국외 A사, 국외 B사)	
SⅤ	폴리프로필렌섬유 첨가율 (0, 0.5, 1.0, 1.5)	

2.2 사용재료 및 배합

본 실험에서 사용된 시멘트는 S사의 1종 보통포틀랜드시멘트이다. 혼화재로 플라이애쉬는 보령산으로 KS L 5405 규정에 적합한 것을 사용하였으며 실리카퓸은 캐나다산을 사용하

였다. 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 2와 같으며 각 시리즈별 배합은 표 3과 같다.

표 2. 사용재료

사용재료	물리적 성질
시멘트 (C)	1종 보통 포틀랜드시멘트, 비중 3.15
실리카퓸 (SF)	캐나다산, 비중 2.14
플라이애쉬 (FA)	보령산, 비중 2.20
굵은골재 (G)	G1: 경기 이천 쇄석(13㎜), 비중 2.70 G2: 강원 원주 쇄석(13㎜), 비중 2.62 G3 강원 원주 자연(25㎜), 비중 2.62
잔골재 (S)	인천산 세척사, 비중 2.60, 조립률 2.40
PP섬유 (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 3. 콘크리트 배합

구 분		W/B (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/㎥)							
				W	C	SF	FA	S	G	SP (%)	PP (%)
SI	W170FA00	24	50	170	567	142	-	741	743	2.3	-
	W170FA05			170	531	142	35	736	738	2.3	-
	W170FA10			170	496	142	71	730	733	2.2	-
	W170FA15			170	460	142	106	725	728	2.1	-
	W165FA00			165	550	138	-	756	759	2.5	-
	W165FA05			165	516	138	34	751	754	2.4	-
	W165FA10			165	481	138	69	746	749	2.4	-
	W165FA15			165	447	138	103	741	744	2.2	-
	W160FA00			160	533	133	-	772	775	2.7	-
	W160FA05			160	500	133	33	767	770	2.6	-
	W160FA10			160	467	133	67	762	765	2.4	-
	W160FA15			160	433	133	100	757	760	2.3	-
SII	Sa40SF10		40	160	600	67	-	625	945	2.5	-
	Sa40SF15			160	567	100	-	622	940	2.5	-
	Sa40SF20			160	533	133	-	618	934	2.5	-
	Sa45SF10		45	160	600	67	-	704	867	2.5	-
	Sa45SF15			160	567	100	-	699	861	2.5	-
	Sa45SF20			160	533	133	-	695	856	2.5	-
SIII	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	-
SIV	KD			155	659	116	-	589	918	2.5	-
	JA			155	659	116	-	589	918	3.3	-
	JB			155	659	116	-	589	918	2.2	-
SV	PP00	18		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

2.3 실험방법

유동특성으로 공기량, 슬럼프플로우에 대한 시험을 각각 실시하였다. 공기량 시험은 KS F 2421(굳지않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기 함유량 시험방법)에 의한 방법으로 측정하였다. 슬럼프 시험은 KS F 2402(포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프시험방법)에 의하여 실시하였으며, 슬럼프플로우는 슬럼프 시험 후 내려앉은 콘크리트의 최대 지름과 직교하는 두 지점의 지름을 측정하여 그 두 값의 평균으로 구하였다.

강도특성으로 압축강도는 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)의 시험방법에 따라 측정하였다. 압축강도는 300tf 용량의 U.T.M(만능시험기)을 이용하여 측정하였으며, 3개 공시체의 평균값을 시험결과로 채택하였다. 압축강도 공시체는 Ø10cm×20cm의 원형몰드를 사용하였다. 시험체의 제작은 KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법)에 따른 방법에 의해 각각의 공시체를 2단으로 채워넣고 다짐봉을 이용한 다짐을 실시하여 제작하였다. 이들 공시체의 양생은 20±3℃의 수조에서 표준수중양생을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

각 시리즈별 유동특성 및 강도특성 결과를 표 4에 나타냈다.

표 4. 콘크리트의 유동특성 및 강도특성 결과

	구 분	슬럼프 및 슬럼프플로우 (cm)	공기량 (%)	압축강도(MPa)			쪼갬 인장 (MPa)
				3일	7일	28일	
SI	W170FA00	52/54	3.7	45.3	59.2	77.9	-
	W170FA05	53/54	3.7	45.1	56.4	80.3	-
	W170FA10	54/56	3.4	41.0	55.0	76.4	-
	W170FA15	55/56	3.5	40.1	55.2	74.2	-
	W165FA00	51/53	3.6	47.4	61.7	80.8	-
	W165FA05	52/54	3.4	45.7	58.6	79.9	-
	W165FA10	52/53	3.5	44.6	56.8	78.1	-
	W165FA15	53/55	3.3	42.1	55.2	75.5	-
	W160FA00	52/53	3.4	46.2	62.7	82.7	-
	W160FA05	53/54	3.5	45.7	63.5	80.3	-
	W160FA10	51/52	3.3	44.4	62.3	77.6	-
	W160FA15	52/54	3.3	40.6	57.4	76.4	-
SII	Sa40SF10	55/56	3.1	46.2	62.9	66.7	-
	Sa40SF15	53/54	3.4	47.9	65.5	75.4	-
	Sa40SF20	52/53	3.0	49.5	66.5	78.7	-
	Sa45SF10	53/54	3.5	42.3	59.7	67.0	-
	Sa45SF15	51/52	3.2	47.2	63.6	75.3	-
	Sa45SF20	50/51	2.9	52.9	70.9	75.3	-
SIII	G1	53/55	2.2	63.1	72.9	93.4	-
	G2	54/56	2.4	56.4	73.8	91.0	-
	G3	54/57	2.3	50.7	68.6	85.7	-
SIV	KD	45/47	2.4	63.1	72.9	93.4	-
	JA	16(Slump)	3.5	51.5	63.0	85.6	-
	JB	60/65	2.1	65.1	74.3	94.3	-
SV	PP00	45/46	2.4	57.0	68.0	88.4	3.7
	PP05	20(Slump)	3.4	49.6	57.4	84.3	4.8
	PP10	13(Slump)	3.6	50.1	65.7	86.5	5.4
	PP15	8(Slump)	4	45.9	57.9	81.2	5.5

3.1 유동특성평가

각 시리즈별 슬럼프 및 슬럼프플로우, 공기량 측정 결과를 그림 1에 나타냈다.

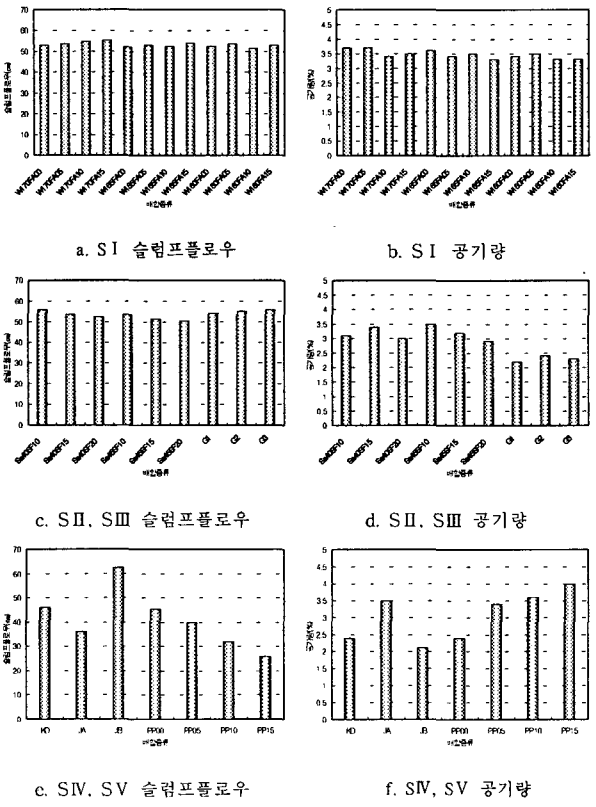
시리즈Ⅰ에서는 단위수량이 170에서 160으로 감소할수록 슬럼프플로우는 감소하는 경향을 보였다. 단위수량과는 상관없이 배합별로 플라이애쉬의 치환율이 높은 배합일수록 슬럼프플로우가 증가하였으며 공기량은 감소하는 경향을 나타냈다.

시리즈Ⅱ에서는 잔골재율이 낮은 배합이 슬럼프플로우가 증가하는 기존 연구결과와 유사한 경향을 나타냈다. 실리카퓸의 치환율이 증가할수록 슬럼프플로우는 감소하는 경향을 나타내었는데 이는 미분말의 증가로 인한 결과로 사료된다.

시리즈Ⅲ에서는 굵은 골재의 종류에 따른 슬럼프플로우의 영향은 적은 것으로 나타났다.

시리즈Ⅳ에서는 혼화제의 종류에 따라 큰 차이를 나타냈으며 국외 B사(JB) 혼화제를 사용한 경우 가장 양호한 슬럼프플로우를 나타내었다.

시리즈Ⅴ에서는 폴리프로필렌 섬유의 첨가율이 증가할수록 슬럼프플로우는 현저히 감소하였고, 공기량은 증가하는 경향을 나타냈다.



a. SⅠ 슬럼프플로우 b. SⅠ 공기량

c. SⅡ, SⅢ 슬럼프플로우 d. SⅡ, SⅢ 공기량

e. SⅣ, SⅤ 슬럼프플로우 f. SⅣ, SⅤ 공기량

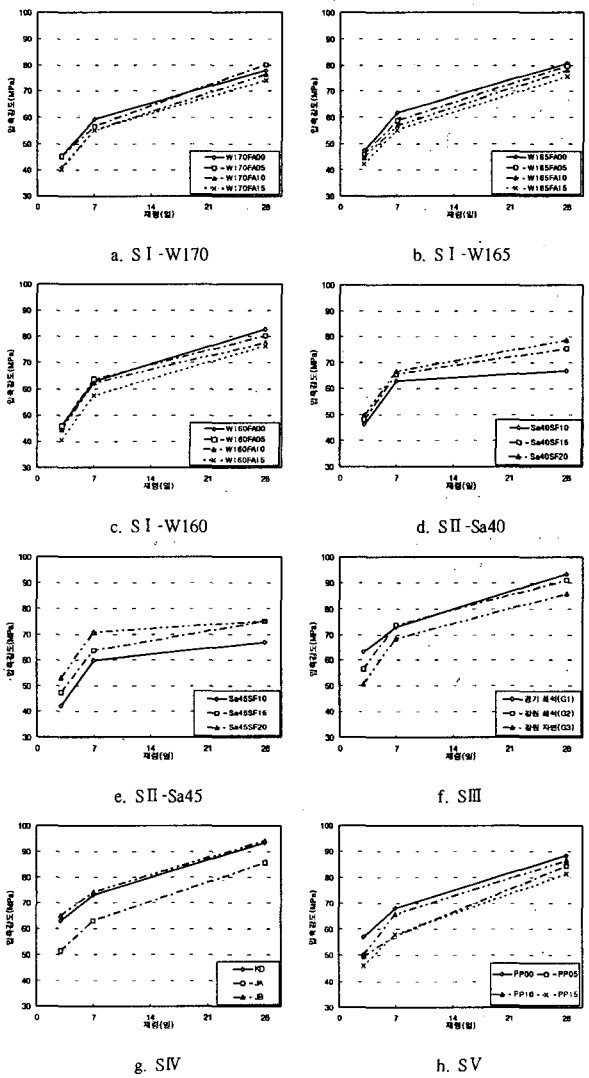
그림 1. 기리즈별 유동특성 결과

3.2 강도특성평가

각 시리즈별 압축강도의 측정결과를 그림 3에 나타내었다.

시리즈Ⅰ에서는 단위수량이 170에서 160으로 작아질수록 압축강도는 증가하였다. 각 단위수량별 배합에서 플라이애쉬 치환율이 0%에서 15%로 증가함에 따라 초기재령에서의 강도는 낮았으나, 그 후 강도발현의 증진으로 28일에는 거의 유사한 값을 나타내었다.

시리즈Ⅱ에서는 잔골재율이 40%에서 45%로 증가하면 동일한 실리카퓸 치환율인 경우 강도는 유사하게 나타났다. 실리카퓸의 치환율이 10%에서 20%로 증가할수록 압축강도는 증가하였으나 15%와 20% 치환한 배합의 강도는 유사하게 나타났다.



a. SⅠ-W170 b. SⅠ-W165

c. SⅠ-W160 d. SⅡ-Sa40

e. SⅡ-Sa45 f. SⅢ

g. SⅣ h. SⅤ

그림 2. 시리즈별 강도특성 결과

시리즈Ⅲ에서는 강원도 원주산 자연골재는 3일, 7일 강도 측정 결과 골재와 시멘트페이스트의 부착면에서 파단되었고 28일에서는 골재자체가 파괴되어 가장 낮은 강도 값을 나타내었다. 강원도 원주산 쇄석과 경기도 이천산 쇄석은 비슷한 강도특성을 나타냈으며 경기도 이천산 쇄석이 가장 높은 강도 값을 나타내었다. 시리즈Ⅳ에서는 국외 B사의 고성능AE감수제를 사용한 배합에서 가장 높은 강도 값을 나타냈으며 강도발현성도 우수하였다. 시리즈Ⅴ에서는 폴리프로필렌섬유의 첨가율이 0%에서 1.5%로 증가함에 따라 압축강도는 감소하였으나 1.0% 혼입한 배합이 양호한 값을 나타냈다. 쪼갬인장강도는 첨가율에 증가에 따라 증가하는 경향을 나타냈다.

4. 결 론

초고강도콘크리트 개발에 관한 기초 물성실험으로 유동특성 및 강도특성에 대한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 동일한 물결합재비(W/B)인 경우에 단위수량이 감소할수록 강도는 증가되었다. 플라이애쉬 치환율이 15%까지 증가함에 따라 초기강도는 낮았으나 28일 강도는 유사하였다.

2) 실리카퓸의 치환율이 증가할수록 슬럼프플로우는 감소하고 압축강도는 증가하였다. 잔골재율이 높아질수록 슬럼프값은 다소 낮게 나왔으나 압축강도는 유사하였다.

3) 굵은 골재의 종류에 따른 압축강도는 강원도 원주산 자연골재가 가장 낮게 나왔으며 경기도 이천산 쇄석이 가장 높게 나왔다.

4) 폴리카본산계 고성능AE감수제는 국외B사의 혼화제를 사용한 콘크리트의 유동특성 및 강도특성이 가장 양호하게 나타났다.

5) 폴리프로필렌섬유의 첨가율의 증가에 따라 슬럼프플로우는 감소하였으며 압축강도는 감소하였고 쪼갬인장강도는 증가하는 경향을 나타냈다.

향후 각 시리즈별 선정된 재료 및 배합을 이용하여 100MPa의 초고강도콘크리트 제조 및 특성 실험을 계획중이다.

참 고 문 헌

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