

# 설계기준강도 100MPa급 초고강도 콘크리트의 기초물성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study for Basic Property of Ultra High-strength Concrete in a 100MPa class of Specified Concrete Strength

공 민 호\*  
Gong, Min-Ho

양 동 일\*  
Yang, Dong-Il

정 상 진\*\*  
Jung, Sang-Jin

### Abstract

In these days, as building structures are getting taller, larger, and more diversified, structural systems with more economy and more efficiency are being required and so are more efficient building materials. this study conducted a basic experiment to conclude an adequate selection of materials and to calculate an optimal mixing proportion of those materials to produce High-strength concrete in a 100MPa of specified concrete strength. And also we conducted an experiment to find out basic properties of this concrete such as slump-flow, strength.

키워드 : 슬럼프플로우, 압축강도, 초고강도콘크리트

Keywords : slump-flow, strength, ultra high-strength concrete

## 1. 서 론

최근 건축구조물이 초고층화, 대형화, 다양화 되어감에 따라 합리적이며 경제적인 구조시스템이 요구되고 있어 보다 효율이 높은 건설재료를 필요로 하게 되었다. 이에 따라 구조물의 자중경감이나 부재단면 축소에 따른 유효공간의 확보와 경제적인 구조물을 축조하기 위한 방안의 일환으로 콘크리트의 고강도화가 적극적으로 추진되고 있다. 이런 고강도콘크리트에 대한 높은 관심은 조기강도의 증대, 콘크리트부재의 단면감소, 블리딩의 감소, 수밀성 및 기밀성을 통한 내구성 향상 등의 공학적 특성의 개선과 경제적 절감효과라는 측면에서 그에 관한 연구와 개발이 활발히 이루어지고 있다.

선진국의 경우 100MPa급의 콘크리트를 적용한 건축물도 소개되고 있으며 1980년대부터 철근 콘크리트 건축물의 경량화·고층화 기술에 대한 종합 연구개발 프로젝트가 진행되고 있다. 국내에서도 고층화 기술에 대한 많은 연구가 진행되고 있는 실정이다. 최근에는 초고층 건축물에서의 고강도콘크리트 사용량은 점차 증가하고 있어 100MPa이상의 초고강도 영역에서도 실용화가 진전될 것으로 예측된다. 또한 고강도콘크리트에 대한 개발과 연구가 활발히 진행 중이다. 국내의 경우 보통포틀랜드시멘트와 고로슬래그시멘트에 혼화재료를 사용하여 강도 경향을 파악한 논문이 있으며<sup>1)</sup> 130MPa급 초고강도콘크리트의 강도특성과 현장적용에 관한 연구가 보고되어 있다.<sup>2) 3)</sup> 또한 프리믹싱을 실시한 결합재를 사용한 150MPa급의 제조방법이 발표되

고 있다. 하지만 초고강도콘크리트의 기초적인 특성 및 강도에 미치는 영향에 관한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구는 보통포틀랜드시멘트를 사용하여 설계기준강도 100MPa급의 초고강도콘크리트의 배합도출을 위해 기초실험을 물결합재비(W/B) 20%이하의 범위까지 실시하였다. 기초물성 실험을 통하여 재료 및 배합의 적정성을 검토하여 초고강도콘크리트의 현장적용을 위한 기초적인 자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

## 2. 실 험

### 2.1 실험일반

본 실험은 100MPa급 초고강도콘크리트에 대한 단위수량, 혼화재료, 골재의 종류에 따른 강도특성, 유동특성에 대한 실험을 실시하였다. 또한 폴리프로필렌섬유 첨가율에 따른 초고강도콘크리트의 유동특성, 압축강도, 쪼갬인장강도 등의 기초 실험을 실시하였다.

설계기준강도 100MPa급의 초고강도콘크리트 제조를 위해 초고강도콘크리트 강도에 영향을 미치는 배합 및 재료에 대하여 기초 실험을 실시하였다.

### 2.2 사용재료

#### 2.2.1 시멘트

시멘트는 비표면적이 3,200cm<sup>2</sup>/g인 국내 S사 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물리적 성질은 표 1와 같다.

\* 정회원, 단국대 대학원 박사수료

\*\* 정회원, 단국대 건축대학 건축공학과 교수

표 1. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	안정성	응결시간(hour)		압축강도(MPa)		
			초 결	종 결	3일	7일	28일
3.15	3,200	양 호	4	6	19.8	27.2	38.9

2.2.2 골재

잔골재는 인천산 세척사로 최대크기를 5mm 이하로 입도조정 하였다. 굵은 골재는 경기도 이천산 채석, 강원도 원주산 채석, 강원도 원주산 강자갈을 사용하였다. 물리적 성질은 표 2과 같다.

표 2. 잔골재 및 굵은 골재의 물리적 성질

구 분	생산지	최대치수 (mm)	표건 밀도	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m <sup>3</sup> )	조립율 (%)
잔골재	인천산 세척사	5	2.60	0.98	1,590	2.70
	경기 채석	13	2.70	0.95	1,527	7.12
굵은골재	강원 채석	13	2.62	0.96	1,523	7.14
	강원 자연	20	2.62	0.95	1,520	7.24

2.2.3 혼화제

혼화제는 유동성 확보를 위해 강도에 따라 국내 D사 및 국외 A, B사의 폴리카본산계 고성능감수제를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 3. 고성능감수제의 물리적 성질

구분	유형	색상	주성분	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	전알카리량 (%)
KD	액상	연황색	폴리카본산계	1.12±0.05	-
JA	액상	암갈색	폴리카본산계	1.04±0.05	0.8
JB	액상	진한 암갈색	폴리카본산계	1.06±0.05	0.2

2.2.4 플라이애쉬

플라이애쉬는 보령산으로 KS L 5405 규정에 적합한 것이며, 실리카폼은 노르웨이산으로, 각각의 물리·화학적 성질은 표 4와 표 5에 나타났다.

표 4. 플라이애쉬의 물리·화학적 성질

단위수량비 (%)	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	압축강도비 (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	강열감량 (%)	습분 (%)
100	2.20	3,818	93	45.4	3.9	0.2

표 5. 실리카폼의 물리·화학적 성질

단위수량비 (%)	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	SiO <sub>2</sub> (%)	강열감량 (%)	습분 (%)
100	2.14	220,000	94	1.0	0.2

2.3 배합

2.3.1 기초실험

기초실험은 5가지 시리즈를 선정하여 실험을 계획하였다. 시리즈 I에서는 단위수량 및 플라이애쉬 치환율에 따른 강도발현성을 비교하였으며 시리즈 II에서는 실리카폼 및 잔골재율의 변화에 따른 강도특성을 검토하였다.

시리즈 III에서는 굵은 골재 종류에 따른 강도특성을 비교 하였다.

시리즈 IV에서는 각 제조사별 고성능AE감수제를 사용한 콘크리트의 유동특성 및 강도특성을 비교 검토하였다.

시리즈 V에서는 폴리프로필렌섬유의 첨가율에 따른 유동특성 및 강도특성을 비교 검토하고자 하였다.

기초 실험에서의 각 시리즈별 배합은 표 6과 같다.

표 6. 기초실험에서의 시리즈별 배합

시리즈	구 분	W/B (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )							
				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	45	160	600	67	-	625	945	2.5	-
	Sa40SF15			160	567	100	-	622	940	2.5	-
	Sa40SF20			160	533	133	-	618	934	2.5	-
	Sa45SF10			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	20	40	155	659	116	-	589	918	2.5	-
	JA			155	659	116	-	589	918	2.3	-
	JB			155	659	116	-	589	918	2.2	-
SV	PP00	18	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

W/B : 물결합재비      S/a : 잔골재율      W : 단위수량  
C : 단위시멘트량      SF : 실리카폼      FA : 플라이애쉬  
S : 잔골재      G : 굵은골재      SP : 고성능AE감수제  
PP : 폴리프로필렌섬유

2.4 실험방법

2.4.1 혼합방법

콘크리트의 혼합은 KS F 8009에 규정된 강제식 혼합믹서(용량 100ℓ)를 사용하여 다음과 같이 혼합하였다. 초고강도콘크리트에 대한 혼합은 미분말인 실리카폼의 원활한 분산을 위하여 보통콘크리트의 혼합시간보다 1.5배 정도 길게 하였다.

배합순서는 시멘트와 혼화재료(플라이애쉬, 실리카폼)를 투입하여 1분간 건비빔한 후, 잔골재를 투입하여 1분간 비빔을 실시하였다. 그리고 물과 고성능감수제를 혼합하여 투입 후 1분간을 실시하였다. 고성능감수제의 혼입 및 반응을 위해 1분간 비빔을 정지하였다. 최종적으로 굵은 골재를 투입 후 1분간 비빔으로써 혼합을 완료하였다. 폴리프로필렌섬유는 물과 고성능 감수제를 투입한 후 혼합하였다.

**2.4.2 유동특성**

굳지 않은 콘크리트의 유동특성을 평가하기 위하여 공기량, 슬럼프, 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. 경시변화는 공기량 및 슬럼프 플로우에 대하여 120분 동안 30분 간격으로 측정하였다.

**2.4.3 강도특성**

압축강도는 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)의 시험방법에 따라 측정하였다. 압축강도는 콘크리트공시체 연마기를 이용하여 공시체를 연마한 후, 300tf 용량의 U.T.M(만능 시험기)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 채워 넣고 다짐봉을 이용한 다짐을 실시하여 제작하였다. 양생은 20±3℃의 수조에서 표준수중양생을 하였다.

**3. 실험결과 및 고찰**

**3.1 기초실험**

기초실험에서 각 시리즈별 유동특성 및 강도특성은 다음과 같다.

**3.1.1 유동특성**

시리즈 I에서는 단위수량이 감소할수록 슬럼프플로우도 감소하였다. 동일단위수량에서 플라이애시의 치환율이 높을수록 슬럼프플로우는 증가하였다. 유동성은 단위수량과 플라이애시 치환율이 높을수록 증가하였으며 단위수량의 증가가 플라이애시 치환율보다 높은 유동성을 나타내었다. 공기량은 3.5% 전후를 나타내고 있으며 플라이애시 혼입율에 따른 공기량 저하가 보이지만 크지 않은 것으로 나타났다.

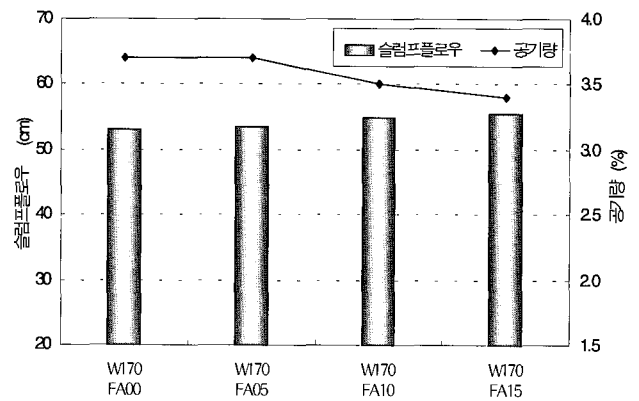
시리즈 II에서는 잔골재율이 낮은 배합이 슬럼프플로우가 증가하였다. 실리카폼의 치환율이 증가할수록 슬럼프플로우 및 공기량이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 실리카폼의 마이크로필러 효과인 미분말의 증가에 의한 것으로 판단된다.

시리즈 III에서는 굵은 골재의 종류에 따른 유동성은 자연산 골재가 높은 것으로 나타났다. 하지만 슬럼프플로우의 차이가 크지 않아 영향력은 적은 것으로 판단된다.

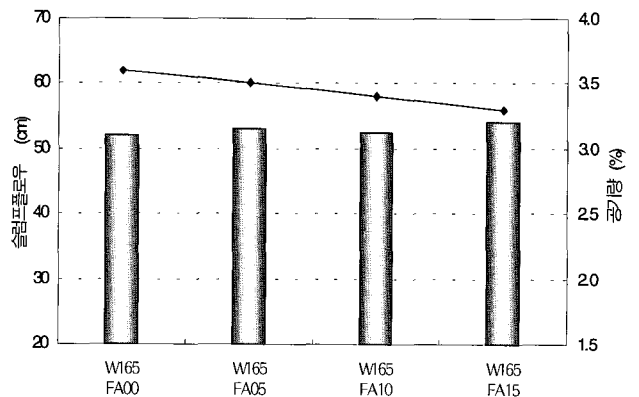
시리즈 IV에서는 혼화제의 종류에 따른 유동성 평가를 실시하였다. 유사량을 사용하여 고성능감수제를 사용하여 실험한 결과 국외 B사(JB)의 혼화제가 낮은 공기량과 높은 유동성을 나타내었다.

시리즈 V에서는 폴리프로필렌 섬유를 첨가한 배합의 경우 첨가율이 증가할수록 슬럼프플로우는 현저하게 감소하였으며 공기량은 증가하는 경향을 나타내었다.

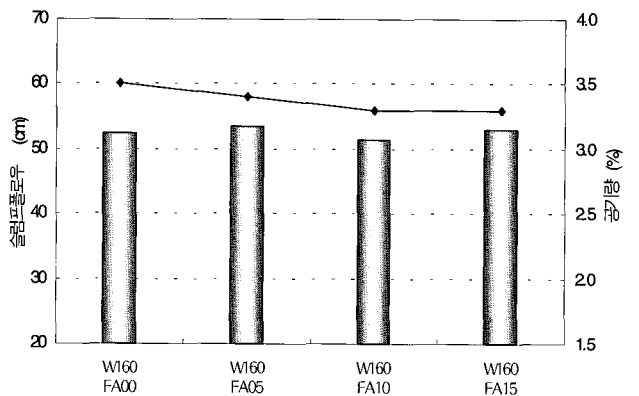
각 시리즈별 유동특성 결과는 그림 2와 같다.



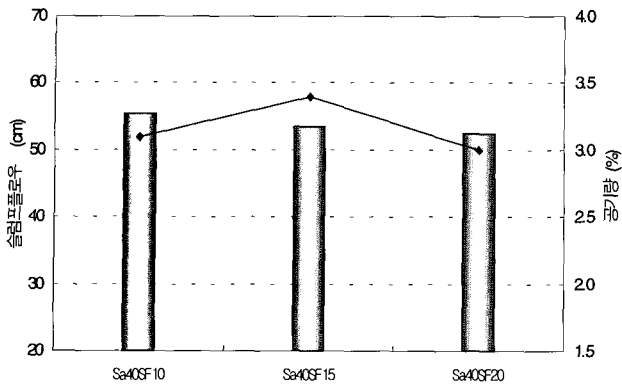
a. SI 단위수량 170의 유동특성



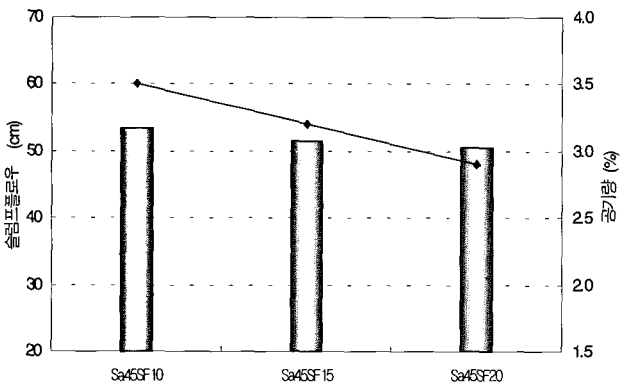
b. SI 단위수량 165의 유동특성



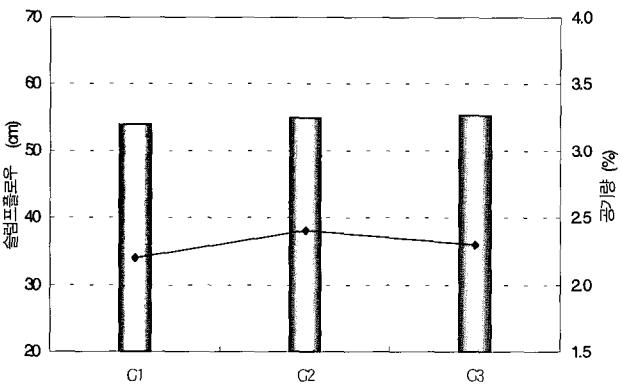
c. SI 단위수량 160의 유동특성



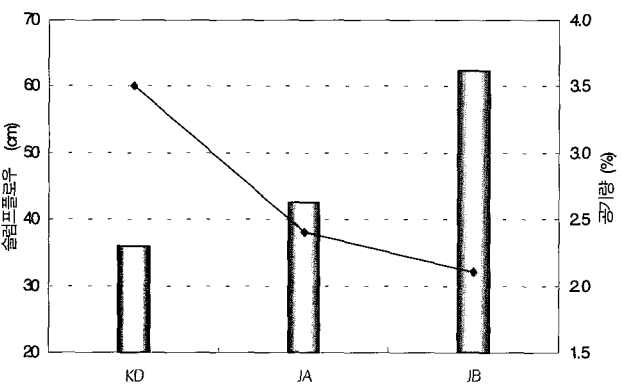
d. SII 잔골재율 40%에 따른 유동특성



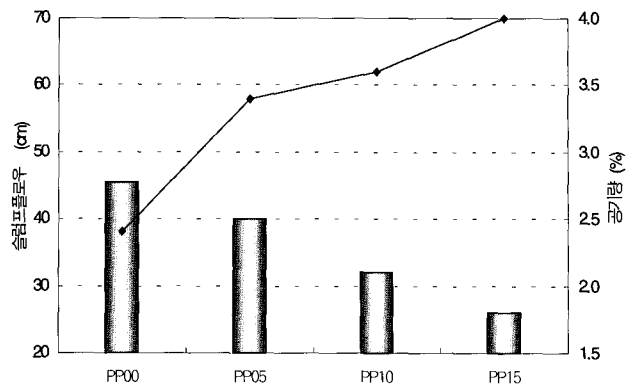
e. SII 잔골재율 45%에 따른 유동특성



f. SIII 굵은 골재 종류에 따른 유동특성



g. SIV 혼화제에 따른 유동특성



h. SV 폴리프로필렌섬유 혼입에 따른 유동특성

그림 1. 시리즈별 유동특성 측정결과

### 3.1.2 강도특성

시리즈 I에서는 단위수량이 낮을수록 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다. 단위수량별 플라이애시 치환에 따른 강도경향은 초기에서 재령 28일까지 유사한 강도와 강도증진을 나타내고 있다. 플라이애시 치환율의 증가에 따라 강도는 저하하는 것으로 나타났다.

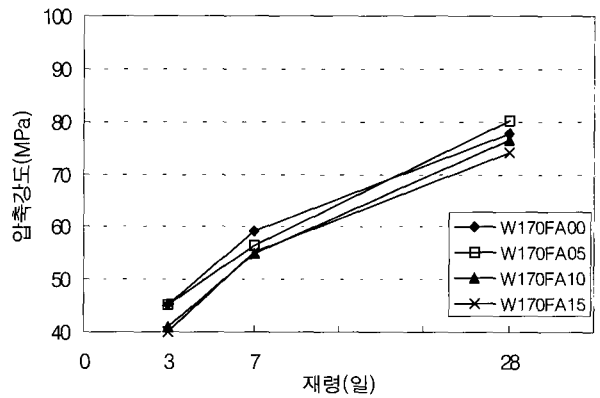
시리즈 II에서는 잔골재율에 따른 강도의 차이는 크지 않았다. 실리카폼의 치환율 증가에 따른 강도는 증가하였으나 강도의 차이가 크지는 않았다. 실리카폼의 치환율에 따른 강도증진의 효과는 크지 않은 것으로 나타났다.

시리즈 III에서는 강원도 원주산 자연골재는 3일, 7일 강도 측정 결과 골재와 시멘트페이스트의 부착면에서 파괴되었고 28일에서는 골재자체가 파괴되어 가장 낮은 강도 값을 나타내었다. 강원도 원주산 쇄석과 경기도 이천산 쇄석은 비슷한 강도 특성을 나타냈으며 쇄석이 자연산골재에 비해 7%정도 강도 증진의 효과를 나타내었다. 경기도 이천산 쇄석이 가장 높은 강도 값을 나타내었다.

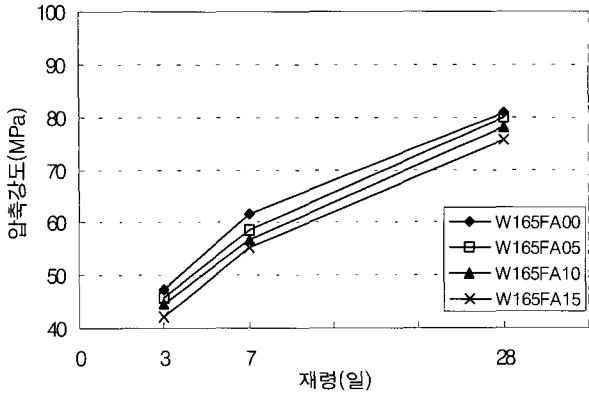
시리즈 IV에서는 국내산에 비해 국외의 A사와 B사의 고성능감수제를 사용한 배합에서 높은 강도 값을 나타냈으며 강도발현성도 우수하였다.

시리즈 V에서는 1.0% 폴리프로필렌섬유의 첨가한 배합에서 인장강도 및 압축강도에서 양호한 값을 나타내었다.

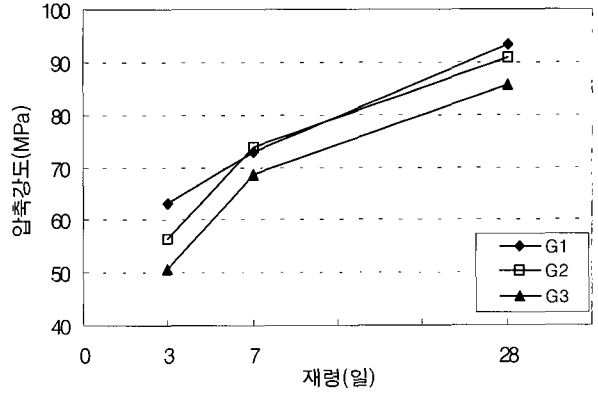
각 시리즈별 강도특성 결과는 그림 3과 같다.



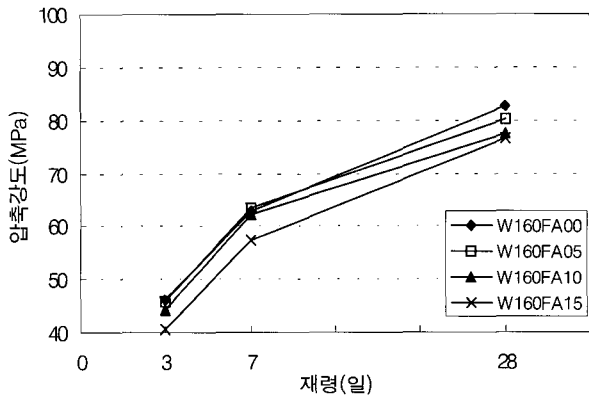
a. S1 단위수량 170의 압축강도 결과



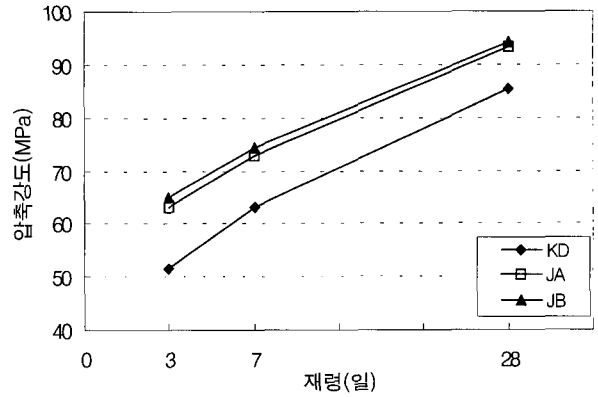
b. SI 단위수량 165의 압축강도 결과



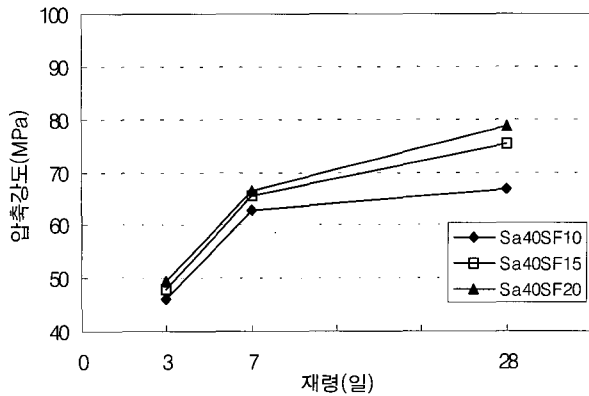
f. SIII 굵은 골재 종류에 따른 압축강도 결과



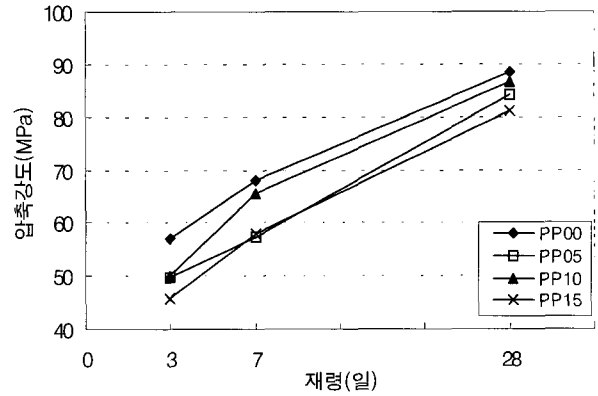
c. SI 단위수량 160의 압축강도 결과



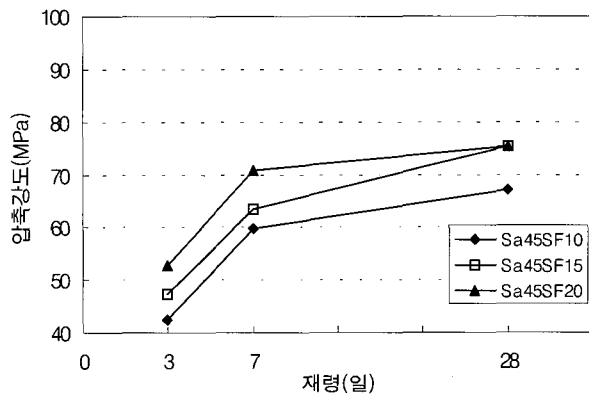
g. SIV 혼화제에 따른 압축강도 결과



d. SII 잔골재율 40%의 압축강도 결과



h. SV 폴리프로필렌섬유 혼입에 따른 압축강도 결과  
그림 2 시리즈별 강도특성 측정결과



e. SII 잔골재율 45%의 압축강도 결과

### 3.2 초강도 특성 실험

#### 3.2.1 사용재료

표 7. 초고강도콘크리트 사용재료

시멘트	보통포틀랜드시멘트 밀도 : 3.15g/cm <sup>3</sup> 분말도 : 3,200cm <sup>2</sup> /g		
잔골재	인천산 세척사	흡수율 : 0.98%	조립율 : 2.7
굵은골재	경기도 세석	흡수율 : 0.95%	조립율 : 7.1
실리카폼	노르웨이산 밀도 : 2.1g/cm <sup>3</sup> 분말도 : 22m <sup>2</sup> /g SiO <sub>2</sub> : 94%		
고성능 감수제	고성능감수제(폴리카본산계) 밀도 : 1.06±0.05 색상 : 진압갈색		

초고강도배합에 사용한 재료는 기초실험을 통하여 평가된 결과를 참조하여 적용하였다. 사용재료는 표 7과 같다.

### 3.2.2 배합

기초실험을 통하여 선정된 재료 및 배합을 기초로 물결합재비(B/W) 5.0, 6.0, 7.0으로 하여 초고강도콘크리트의 유동성과 압축강도 특성을 검토하였다. 목표공기량과 슬럼프플로우를 만족시키기 위해 잔골재율과 고성능감수제를 조절하였으며 배합 계획은 표 6과 같다.

표 8. 콘크리트 배합

구분	W/B (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )					SP (C×%)
			W	C	SF	S	G	
BW5	20	40	155	659	116	589	887	1.8
								2.2
								2.6
								2.2
BW6	16.7	38	155	789	139	509	834	2.6
								3.0
								3.2
BW7	14.3	33	155	921	163	398	811	3.6
								4.0

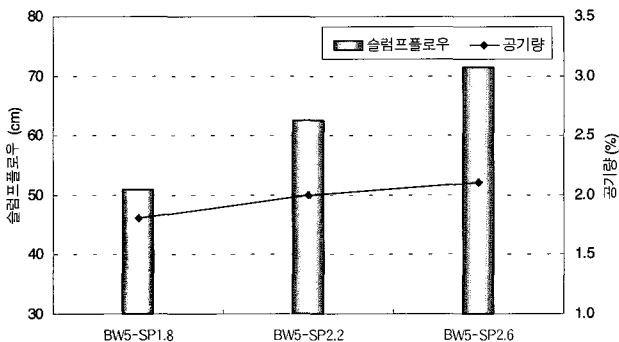
### 3.2.3 유동특성

배합별 유동특성은 고성능감수제의 첨가율이 높을수록 슬럼프플로우 값이 증가하는 경향을 나타냈다. 결합재물비(B/W)가 커질수록 동일 슬럼프값을 얻기 위하여 고성능감수제의 첨가율은 높아지는 경향이 나타났다. 그러나 적정량 이상의 혼화제를 사용할 경우 재료분리 현상이 나타났다. 배합별 유동특성 결과는 그림 4와 같다.

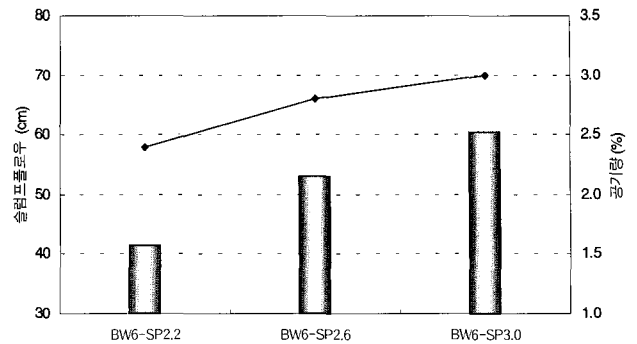
### 3.2.4 강도특성

각 결합재물비(B/W) 중에서 유동특성을 만족하는 압축강도와 인장강도의 결과는 표 12, 그림 5와 같다.

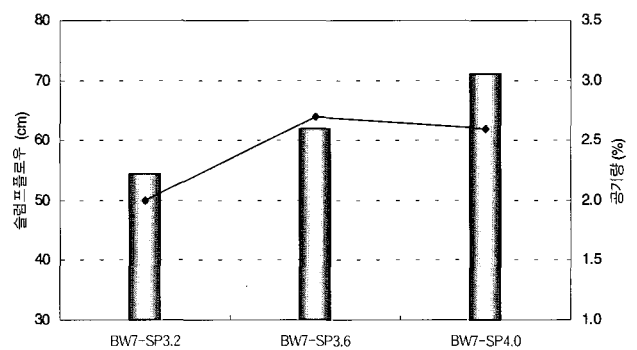
강도특성은 재령 3일에 60MPa를 초과하였으며 결합재물비의 차이에 따른 강도차이는 크지 않았다. 재령 7일에서도 유사한 경향을 나타내고 있다. 재령 28일 결합재물비 5를 기준으로 물결합재비 6에서는 16%의 강도증진을 나타내었으며 물결합재비 7에서는 22%의 강도가 증가하였다. 초고강도에서의 강도특성은 결합재물비 증가에 따른 강도증진은 크지 않은 것으로 나타났다.



a. BW5의 유동 특성



b. BW6의 유동 특성



c. BW7의 유동 특성

그림 3. 배합별 유동특성 측정결과

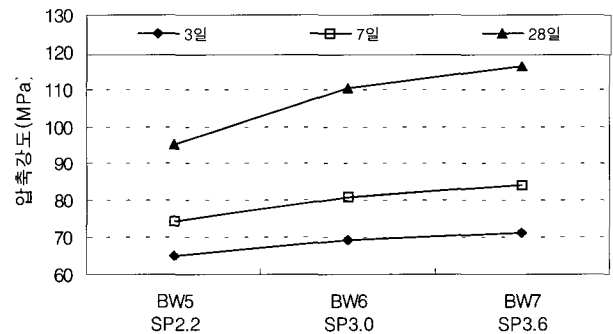


그림 4. 결합재물비에 따른 압축강도 측정결과

### 3.2.5 경시변화 특성

슬럼프플로우, 공기량 실험에 대한 경시변화 평가는 유동특성 평가에서 선정된 각 결합재물비(B/W)별 1개의 배합에 대해서 120분 동안 30분 간격으로 총 4회 실시하였다. 측정결과를 표 13, 표 14와 그림 6, 그림 7에 나타냈다.

슬럼프플로우 경시변화 측정결과는 시간의 경과에 따라 슬럼프플로우는 감소하였으며 결합재물비(B/W)가 증가하면 슬럼프플로우 감소율이 더 증가하였다.

공기량 경시변화 측정결과 혼합직후 30분까지 공기량이 증가하다 그 후 감소하였다.

슬럼프플로우 및 공기량 경시변화 실험에서 초고강도콘크리트의 높은 결합재량으로 인한 점성의 증가로 현장 적용에 있어서 세심한 주의가 요구된다.

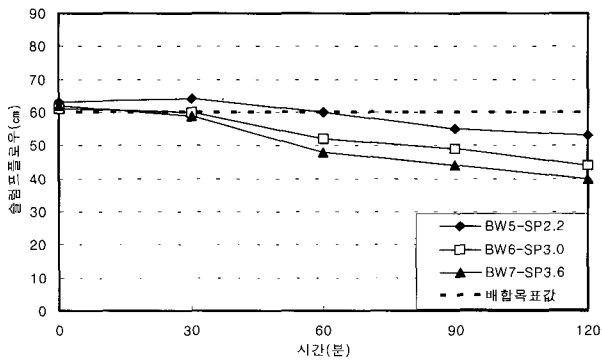


그림 5. 슬럼프플로우 경시변화 측정결과

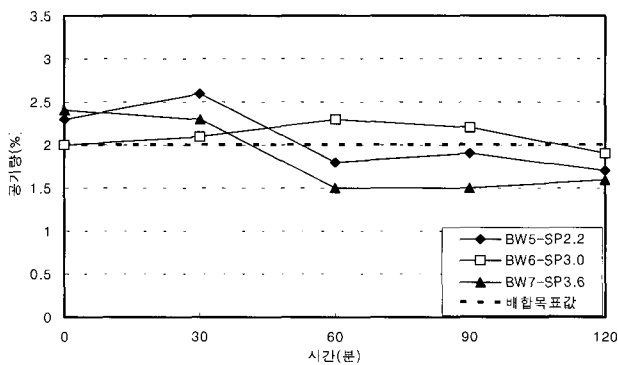


그림 6. 공기량 경시변화 시험결과

#### 4. 결 론

본 연구는 설계기준강도 100MPa급의 초고강도 콘크리트를 제조하기 위하여 기초 실험을 진행하여 초고강도 콘크리트 제조용 재료 선정 및 적정 배합을 도출하고 초고강도 콘크리트의 유동특성, 강도특성, 경시변화, 수화열특성 실험 등의 기초 물성 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 초고강도 콘크리트 제조를 위한 기초 실험에서 각 재료 및 배합 등의 실험인자에 따라 유동특성 및 강도특성의 차이가 발생하므로 재료 선정 및 배합 결정에 있어 세심한 주의가 요구된다.
- 2) 현장 적용성을 고려하여 목표 슬럼프플로우 60cm 이상, 공기량 2%를 만족하는 범위에서 혼화재료를 조절하였으며, 단위수량 155kg/m<sup>3</sup>, 실리카폼 15% 치환한 배합을 도출하였다.
- 3) 결합재물비(B/W)가 5.0에서 7.0으로 증가할수록 조깅인장강도와 압축강도는 증가하였다. 결합재물비(B/W) 7.0에서 최고 압축강도는 116MPa를 나타냈으며 결합재물비(B/W)의 증가에 따른 강도증진율은 감소했다.
- 4) 결합재물비(B/W)에 따른 경시변화 실험에서는 시간의 경과에 따라 슬럼프플로우 및 공기량은 감소하는 경향을 나

타냈으며, 결합재물비(B/W)의 증가에 따라 점성이 증가하여 슬럼프플로우 감소율은 증가했다.

이상의 실험결과로부터 100MPa급 초고강도 콘크리트의 기초 물성에 대하여 확인할 수 있었다. 초고강도 콘크리트는 재료 선정에 있어서 기초 물성의 차이가 발생하기 때문에 세심한 주의가 요구되며, 높은 결합재량으로 인하여 혼화재료 선정 및 적정 혼화재료량 조절이 중요하며 반드시 시험배합이 필요하다고 판단된다. 향후 초고강도 콘크리트의 현장 적용을 위해 장기강도 발현성 검토, 건조수축실험, 내화성능평가실험 및 내구성 실험 등이 진행되어야 할 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. 정상진 외, '건축재료학', 보성각, 1999
2. 정상진 외, 130MPa급 초고강도 콘크리트의 현장시험 타설사례, 초고층 건축물 시공·관리 기술 세미나 자료집, pp. 16~44, 2006.
3. 정상진 외, 초고강도 콘크리트의 기초물성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 봄 학술발표, pp. 37~40, 2006.
4. 한국콘크리트학회, '최신콘크리트공학', 1992
5. 김무한 외 4인, 초고강도콘크리트의 개발과 그 적용에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 14권 1호, 1998
6. 신성우외 2인, 초고강도콘크리트의 강도발현에 미치는 배합요인에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 12권 5호, 1996
7. 한국콘크리트학회, 콘크리트공사표준시방서해설, 2000
8. 日本建築學會, 高強度コンクリートの技術の現状, 1991
9. 한국콘크리트학회, 고강도콘크리트 실용화 연구,KCI Report No.91-01, 1991