

초고강도 콘크리트의 기초물성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study for Basic Property
of Ultra High-strength Concrete김 지 만*
Kim, Ji-Man공 민 호**
Gong, Min-Ho양 동 일**
Yang, Dong-Il정 상 진***
Jung, Sang-Jin

Abstract

Recently, more highly effective construction materials are needed for the reasonable and economical structure system is required as the construction structures become more multi storied, large-sized and diversified. That is to say, the highly qualified concrete, the most universal construction material is positively promoted as a part of plan to establish the effective space according to the dead load of structures and diminish of segment profile and to build up the economic structures. In particular, it is tendency of that the study for high strength concrete increases and construction example of reinforced concrete (RC) using the high strength concrete partially increases. However, the high strength concrete has the problems such high brittleness and low ductility. Specially, for the high strength concrete, it has different strength from normal concrete as the internal temperature goes up steadily due to high heat of hydration by the quantities of highly level of cement, so the concrete which is mixed with various miscible materials is used. 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. 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 가장 보편적인 건설재료인 콘크리트의 고품질화가 적극적으로 추진되고 있다. 고강도콘크리트에 관한 관심이 증대되면서 연구가 활발히 진행되고 있으며 부분적으로 고강도콘크리트를 사용한 철근콘크리트조의 시공사례가 점차 증가하고 있는 추세이다.

고강도 콘크리트의 경우 높은 취성과 낮은 연성 등이 문제가 되고 있으며 다량의 분체량에 의한 수화열 상승으로 내부온도가 증가하여 보통콘크리트와는 다른 강도발현을 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서는 초고강도 콘크리트에 혼화재료를 사용함으로써 장기적 물성에 어떠한 경향을 보이는지에 대하여 실험하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

본 실험에서 사용한 시멘트는 비표면적이 3,200cm²/g인 국내 S사 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 인천산 해사, 굵은 골재는 최대치수 13mm의 강원도 원주산 쇄석을 사용하였다. 혼화제는 유동성 확보를 위해 고성능감수제를 사용하였다. 플라이애시는 KS L 5405 규정에 적합한 보령산을 사용하였으며 실리카폼은 노르웨이산을 사용하였다.

사용 재료들의 품질은 표 1과 같다.

표 1. 사용재료 품질

시멘트(C)	보통포틀랜드시멘트, 밀도 : 3.15
잔골재(S)	밀도 : 2.60, 흡수율 : 1.0% 조립률 : 2.84
굵은골재(G)	밀도 : 2.71, 흡수율 : 0.7% 실적률 : 61%
실리카폼(SF)	밀도 : 2.11, SiO ₂ : 94%
무수석고(GS)	밀도 : 2.93, SiO ₂ : 0.76%
플라이애시(FA)	보령산, 밀도 : 2.20, 강열감량 : 4%
혼화제(SP)	고성능감수제(폴리카본산계) 밀도 : 1.07

* 정희원, 단국대 대학원 석사과정

** 정희원, 단국대 대학원 박사과정

*** 정희원, 단국대 건축대학 건축공학과 교수

2.2 실험배합

본 연구의 배합 계획은 4종류의 시리즈로 실시하였다.

시리즈 I 은 물결합재비, 단위수량에 따른 실리카폼 치환율 변화이며, 시리즈 II 는 단위수량(155kg/m³)과 물결합재비(16.7%)를 고정하고 실리카폼의 치환율을 10%,15%로 치환하였다. 시리즈 III 은 시리즈 II 의 조건에서 무수석고를 추가한 삼성분계로 구성하였다. 시리즈 IV 는 시리즈 II 의 조건에서 플라이애시를 추가한 삼성분계로 구성하였다. 시리즈 III, 시리즈 IV 의 무수석고와 플라이애시의 치환율은 10%, 20%로 하였다.

각 시리즈에 따른 배합은 표 2와 같다.

표 2. 각 시리즈별 배합

시리즈	구분	W/B (%)	S/a (%)	단위 재료량 (kg/m ³)						SP (%)					
				W	Binder				S		G				
					C	SF	GS	FA							
I	W150 SF10	20.0	44.6	150	675	75	-	-	708	880	3.00				
		16.7	39.7		808	90	-	-	580		3.40				
		14.3	33.8		944	105	-	-	449		4.20				
	W150 SF15	20.0	44.1		638	113	-	-	693		3.00				
		16.7	32.7		763	135	-	-	562		3.50				
		14.3	30.4		892	157	-	-	428		4.20				
	W155 SF15	20.0	42.8		155	659	116	-	-		658	900	2.10		
		16.7	37.2			789	139	-	-		522		2.70		
		14.3	30.4			921	163	-	-		384		3.50		
	W160 SF10	20.0	40.7			160	720	80	-		-		618	900	2.50
		16.7	34.8				862	96	-		-		481		3.00
		14.3	27.5				1006	112	-		-		342		3.70
II	SF10	16.7	155	37.6			835	93	-	-	538		880		3.50
	SF15			37.2			789	139	-	-	522				2.70
III	SF10 GS10	16.7	155	37.6			742	93	93	-	530		880		2.75
	SF10 GS20			37.3			649	93	186	-	523				2.50
	SF15 GS10			34.9			696	139	93	-	511				3.00
	SF15 GS20			36.5			603	139	186	-	505				3.00
IV	SF10 FA10	16.7	155	37.6	742		93	-	93	530	880	2.75			
	SF10 FA20			37.3	649		93	-	186	523		2.75			
	SF15 FA10			34.9	696		139	-	93	511		3.10			
	SF15 FA20			36.5	603	139	-	186	505	3.00					

2.3 실험방법

2.3.1 유동특성

굳지 않은 콘크리트의 유동특성을 평가하기 위하여 슬럼프 플로우 및 공기량에 대한 시험을 실시하였다. 공기량 시험은 KS F 2421(굳지 않은 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 하였다. 목표 슬럼프플로우는 65±5cm로 하였으며 공기량은 1.5±0.5%로 하였다.[그림 1], [그림 2]

2.3.2 강도특성

압축강도는 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)의 시험방법에 따라 측정하였다. 압축강도는 콘크리트공시체 연마

기를 이용하여 공시체를 연마한 후, 300tf 용량의 U.T.M(만능시험기)을 이용하여 측정하였으며, 3개 공시체의 평균을 시험 결과로 채택하였다.

압축강도 공시체는 Ø10×20cm의 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. 이들 공시체의 양생은 20±3℃의 수조에서 표준양생을 하였다 [그림 3], [그림 4].

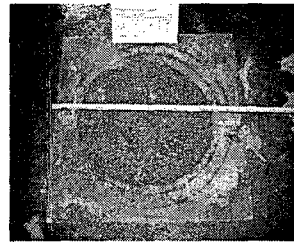


그림 1. 플로우 측정

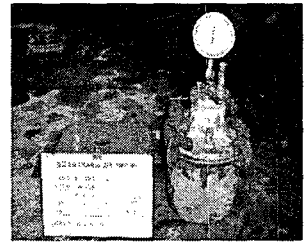


그림 2. 공기량 측정



그림 3. U.T.M. 시험기기



그림 4. 압축강도 측정

3. 실험결과 및 고찰

3.1 유동특성결과

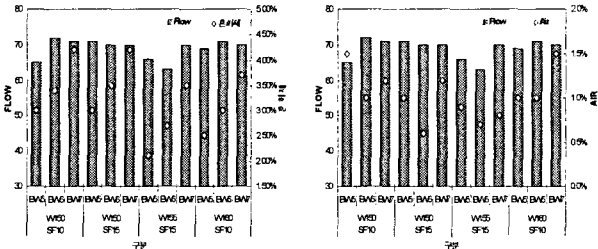
시리즈 I 의 경우 단위수량이 증가함에 따라 목표 플로우 값을 얻는 데에는 고성능감수제의 사용량이 줄어드는 경향을 나타내었으며 실리카폼의 치환율 증가에 따른 고성능감수제의 사용량은 미미한 차이를 나타내고 있다. 동일 조건에 배합에서 물결합재비가 낮을수록 고성능감수제의 사용량이 줄어드는 것을 알 수 있었다. 배합별 공기량은 1.5±0.5를 모두 만족하였다.

시리즈 II 의 경우 동일 단위수량에서는 실리카폼 치환율의 증가에 따라 고성능감수제의 사용량이 줄어드는 경향을 나타내고 있으며 배합 모두 공기량 목표치를 만족하나 실리카폼 치환이 증가 할수록 공기량도 낮아졌다.

시리즈 III 의 경우 실리카폼의 무수석고를 치환하였는데 시리즈 II 와 반대로 실리카폼의 치환율이 증가함에 따라 고성능감수제의 사용량이 증가하는 경향을 나타내었으며, 실리카폼 치환을 동일하게 하고 무수석고의 치환율을 변화하였을시 고성능감수제의 사용량의 차이는 미미한 것으로 나타났다.

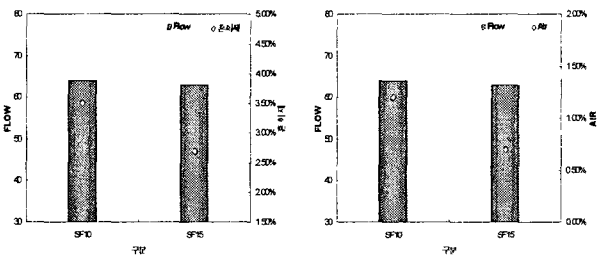
시리즈 IV 의 경우 실리카폼의 플라이애시를 치환하였는데 시리즈 II 와 반대로 실리카폼의 치환율이 증가함에 따라 고성능감수제의 사용량이 증가하는 경향을 나타내었으며, 실리카폼 치환을 동일하게 하고 플라이애시의 치환율을 변화하였을 시

고성능감수제의 사용량의 차이는 미미한 것으로 나타났다. 각 시리즈별 유동특성결과 값은 그림 5와 같다.



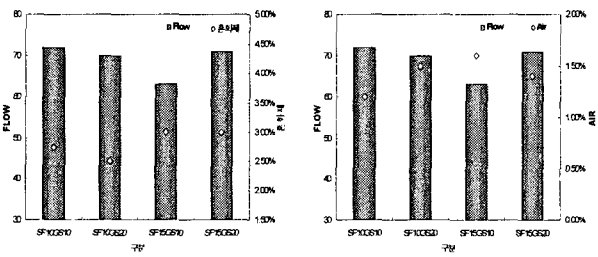
시리즈 I - 플로우 및 혼화제

시리즈 I - 플로우 및 공기량



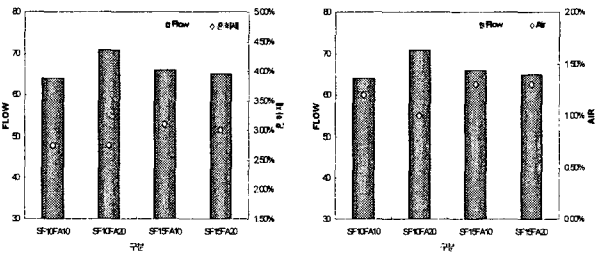
시리즈 II - 플로우 및 혼화제

시리즈 II - 플로우 및 공기량



시리즈 III - 플로우 및 혼화제

시리즈 III - 플로우 및 공기량



시리즈 IV - 플로우 및 혼화제

시리즈 IV - 플로우 및 공기량

그림 5. 유동특성 결과

3.2 강도특성결과

시리즈 I에서는 물결합재비, 단위수량 및 실리카폼의 치환율의 차이에 따른 강도 차이는 크지 않았으나 단위수량 155kg/m³, 물결합재비(B/W6)에서 가장 높은 강도를 나타내었다.

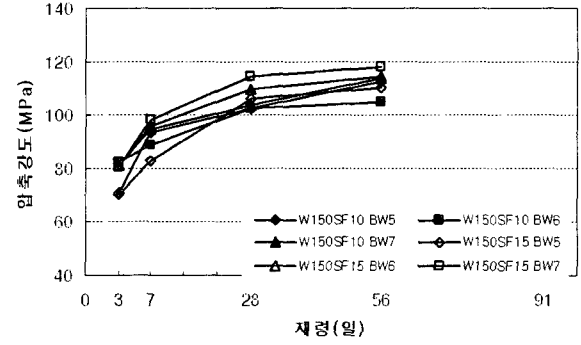
시리즈 II에서는 동일한 단위수량에서 실리카폼의 치환율 증가에 따라 조기강도는 차이를 보였지만 장기강도로 갈수록 강도차이는 거의 미미한 것으로 나타났다.

시리즈 III에서는 삼성분계 혼화제로 실리카폼과 무수석고를 사용하였는데 조기강도는 차이를 보였지만 장기강도로 갈수록 치환율에 상관없이 유사한 강도를 나타내었으며, 이성분계의

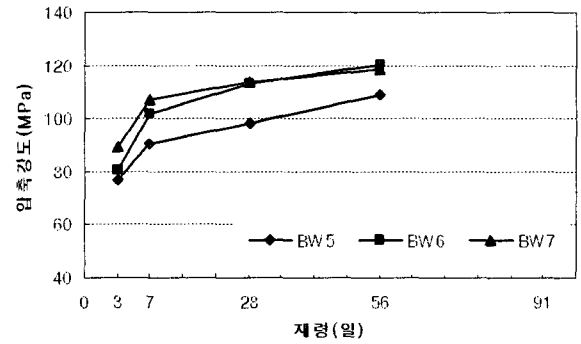
배합보다 낮은 강도를 나타내었다.

시리즈 IV에서는 삼성분계 혼화제로 실리카폼과 플라이애시를 사용하였는데 무수석고를 치환한 시리즈 III보다 높은 강도를 나타내었다.

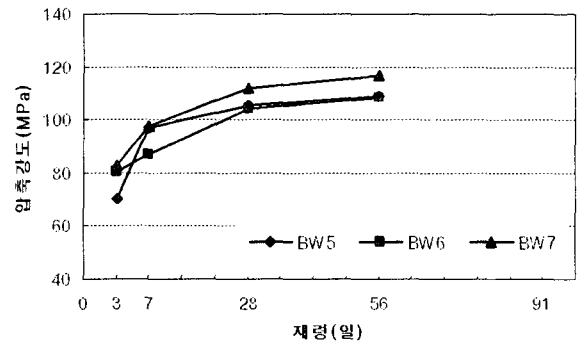
각 시리즈별 압축강도결과 값은 그림 6과 같다.



a. W150 SF10 / SF15 압축강도

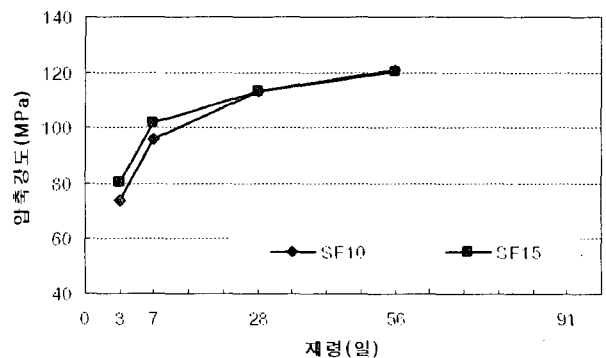


b. W155 SF15 압축강도



c. W160 SF10 압축 강도

시리즈 I 압축강도



시리즈 II 압축강도

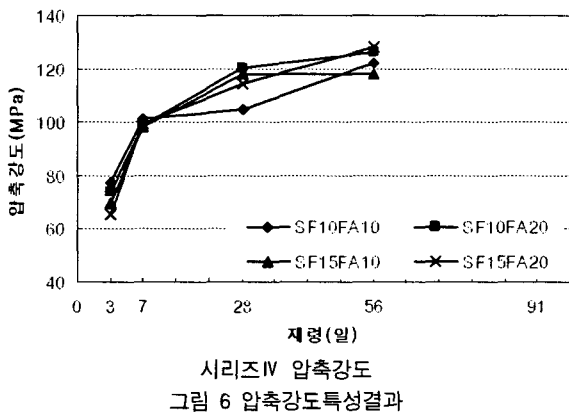
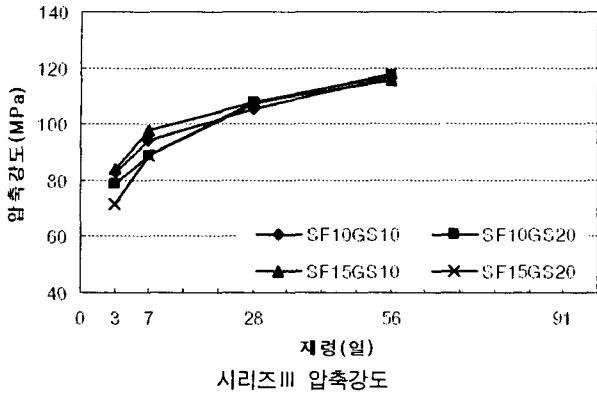


그림 6 압축강도특성결과

씩 치환한 배합이 가장 알맞다는 것을 도출할 수 있었다.

참고문헌

1. 김무한의 4인, 초고강도콘크리트의 개발과 그 적용에 관한연구, 대한건축학회 논문집 14권 1호, 1998
2. 신성우의 2인, 초고강도콘크리트의 강도발현에 미치는 배합요인에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 12권 5호, 1996
3. 정상진 외, '건축재료학', 보성각, 1999
4. 한국콘크리트학회, 고강도콘크리트 실용화 연구, KCI Report No.91-01, 1991
5. 한국콘크리트학회, 콘크리트공사표준시방서해설, 2000
6. 한국콘크리트학회, '최신콘크리트공학', 1992
7. 日本建築學會, 高強度コンクリートの技術の現状, 1991

4. 결론

본 연구에서는 단위수량 및 물결합재비, 혼화재 치환율에 영향에 관한 실험적 연구 결과, 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 단위수량을 높이면 고성능감수제의 사용량을 줄일 수 있었으나 강도의 증진은 크지 않는 것으로 나타났다.
- 2) 물결합재비의 따른 강도증진은 16.7%가 한계인 것을 알 수 있었다. 유동특성과 강도특성을 고려할 때 본 연구에서는 단위수량 155kg/m³, 물결합재비는 6.0이 가장 적합하다는 것을 알 수 있었다.
- 3) 실리카폼의 치환율 증가에 따른 강도증진은 조기강도에 서만 나타났을 뿐 장기강도에서는 크지 않았다. 따라서, 경제적 측면을 고려할 때 실리카폼 10%치환이 효율적이라는 것을 알 수 있었다.
- 4) 초고강도콘크리트의 삼성분계 배합시 실리카폼 10% 치환과 함께 무수석고를 치환하는 것 보다는 플라이 애시를 치환하는 것이 큰 압축강도를 얻었다.
- 5) 초고강도콘크리트의 기초물성실험 결과로써 단위수량 155kg/m³, 물결합재비(B/W6)에 실리카폼, 플라이애시를 각각 10%