

저열 포틀랜드 시멘트를 사용한 초고강도 콘크리트의 특성에 관한 연구

An Experimental Study For Basic Property of Ultra High Strength Concrete using Belite Cement.

민 홍 준* 김 지 만* 공 민 호** 양 동 일** 이 한 석*** 정 상 진****
 Mim, Hong Jun Kim, Ji Man Gong, Min Hoi Yang, Dong Il Lee, Han Souk Jung, Sang Jin

ABSTRACT

Recently ultra high strength concrete is actively being developed and studied, and this trend is explained with the following effects. Technological effects expected from the application of ultra high strength concrete include the reduction of section, the decrease of structure mass and the improvement of workability. Belite cement has properties like low heat of hydration, excellent long term strength, and durability without admixture. so, Belite cement is suitable for mass structure which is needed high strength, high fluidity and heat property. The objective of this study is to examine the suitability of mixture ratio through experiment of basic physical properties and provide materials for the field application of ultra high strength concrete.

1. 서론

최근 구조물이 대형화, 고층화, 고강도화가 되고 있다. 따라서 부재의 단면이 커지고, 단위 시멘트량의 증가에 따라 온도응력에 의한 균열이 중요한 문제로 대두되고 있다. 저열 포틀랜드시멘트는 Alite(C_3S) 및 Belite(C_2S)구성 비율의 최적화와 간극질의 저감에 의해 수화에 의한 발열량을 최소화하며, 주요 구성광물인 Belite(C_2S)의 수화가 장기 재령까지 지속적으로 진행되므로 장기강도의 증진이 기대된다. 이로 인해 경화체의 조직이 치밀해져 건조수축이 적은 저발열 특성을 지닌 결합재이다. 따라서 본 연구는 기초물성실험으로 저열 포틀랜드 시멘트를 사용하여 초고강도 콘크리트의 유동성 및 강도 발현을 검토하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

사용 재료들의 품질은 표 1과 같다.

표 1 사용재료 품질

시멘트 (C)	보통포틀랜드시멘트 밀도 : 3.15	실리카폼 (SF)	노르웨이산 (Undensified) 밀도 : 2.11, SiO_2 : 94%
시멘트 (LC)	저열포틀랜드시멘트 밀도 : 3.22		

* 정회원, 단국대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 단국대학교 대학원 박사과정

*** 정회원, 흥국산업주식회사 품질팀장

**** 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수

잔골재 (S)	인천산 해사, 밀도 : 2.60 흡수율 : 1.0%, 조립률 : 2.84	플라이애시 (FA)	보령산, 밀도 : 2.20 SiO ₂ : 45.4%
굵은골재 (G)	강원도 원주산 쇄석 밀도 : 2.65 흡수율 : 0.7%, 실적률 : 61%	고르슬래그 (BS4000)	밀도 : 2.90 강열감량 : 0.3% 분말도 : 4362cm ² /g
		혼화제 (SP)	고성능감수제 (폴리카본산계) 밀도 : 1.07

2.2 실험배합

본 연구에서의 배합은 시리즈를 5종류로 구분하여 계획하였다. 모든 배합은 저열 콘크리트의 경우 C₃S(알라이트)의 성분이 적어 초기강도의 증진을 보완하기 위하여 실리카폼을 첨가하여 초기강도를 보완하였다. 시리즈 I, II는 물결합재비, 단위수량의 변화이며, 시리즈III는 단위수량 155kg/m³, 물결합재비 16.7%에 실리카폼 10, 15%치환이며, 시리즈VI는 실리카폼 10, 15, %치환에 따른 압축강도 및 유동성을 평가하였다. 시리즈IV는 3성분계로 실리카폼 10, 15%치환에 분말도 4000의 고르슬래그를 10%, 15%, 20%치환하였고, 시리즈 V는 3성분계로 플라이애시 10, 20% 를 치환을 하였다. 시리즈별 배합은 표 2와 같다.

표 2 시리즈별 배합

시리즈	구분	B/W	W/B (%)	S/a (%)	Air (%)	단위 재료량 (kg/m ³)						SP (%)			
						W	Binder				S		G		
							C	SF	BS	FA					
I	LC	W155SF10	7	14.3	39.5	0.3	155	976	108			506	774	2.8	
		W155SF10	6	16.7	39.5			835	93			559	855	2.0	
		W155SF10	5	20	39.5			698	78			611	935	1.6	
II	OPC	W150SF10	6	16.7	39.7	0.3	150	808	90			580	880	3.4	
		W155SF10			37.6			155	835	93			538	880	3.3
		W160SF10			34.8			160	862	96			481	900	2.7
	LC	W150SF10	6	16.7	39.5	0.3	150	808	90			575	879	2.0	
		W155SF10			39.5			155	835	93			559	855	2.0
		W160SF10			39.5			160	862	96			544	832	1.9
III	OPC	W155SF10	6	16.7	37.6	0.3	155	835	93			538	880	3.3	
		W155SF15			37.2			789	139			522	880	2.8	
	LC	W155SF10	6	16.7	34.6	0.3	155	835	93			559	855	2.0	
		W155SF15			34.6			789	139			552	843	2.7	
IV	LC	SF10 BS10	6	14.3	34.6	0.3	155	867	108	108		440	832	3.0	
		SF10 BS15			34.6			813	108	162		438	829	3.0	
		SF10 BS20			34.6			759	108	217		436	836	2.9	
V	LC	SF10 FA10	6	14.3	34.6	0.3	155	867	108		108	429	812	2.75	
		SF10 FA15			34.6			813	108		162	422	798	2.5	
		SF10 FA20			34.6			759	108		217	415	785	1.8	

* SF : 실리카폼, BS : 고르슬래그, FA : 플라이애시

2.3 실험방법

(1) 유동특성

굳지 않은 콘크리트의 유동특성을 평가하기 위하여 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.

(2) 강도특성

압축강도는 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)의 시험방법에 따라 측정하였다. 압축강도는 콘크리트공시체 연마기를 이용하여 공시체를 연마한 후, 300tf 용량의 U.T.M(만능시험기)을 이용하여 측정하였으며, 3개 공시체의 평균을 시험결과로 채택하였다.

압축강도 공시체는 $\varnothing 10 \times 20$ cm의 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 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 수조에서 표준양생을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 유동특성 결과

시리즈 I의 경우 물결합재비(W/B)가 낮아질수록 고성능감수제의 사용량은 증가하는 것으로 나타나고 있으며, 시리즈 II에서는 보통 포틀랜드 시멘트의 경우 단위수량의 증가에 따라 혼화제의 사용량은 줄어드나 저열 시멘트의 경우 단위수량의 증가에 따른 고성능감수제의 사용량은 미미한 것으로 나타났다. 이는 저열시멘트의 특성상 수화에 필요한 물의 양이 적기 때문인 것으로 판단된다. 시리즈 II에 대한 혼화제의 첨가량과 플로의 값은 그림 1과 같다..

시리즈 III의 경우 동일 단위수량에서는 실리카 폼 치환율의 증가에 따라 고성능감수제의 사용량은 보통 포틀랜드시멘트에서는 줄어드는 경향을 나타내고 있으나 저열 포틀랜드시멘트에서는 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 실리카 폼의 치환율의 증가에 따른 비표면적의 증가로 판단된다.

시리즈 VI의 경우 고로슬래그 미분말의 증가함에 따라 고성능감수제의 사용량은 미미한 것으로 나타났다.

시리즈 V의 경우 플라이애시의 치환율이 증가함에 따라 고성능감수제의 사용량은 감소하였는데 이는 플라이애시의 치환율이 많을수록 불베어링 작용을 하여 작업성을 개선시켰기 때문으로 사료된다.

3.2 강도특성 결과

각 시리즈별 압축강도 특성 결과는 그림 3과 같다.

시리즈 I에서는 물결합재비가 낮을수록 강도는 높게 나왔다. .

시리즈 II에서는 보통포틀랜드시멘트와 저열시멘트의 경우 단위수량이 낮을수록 초기강도는 낮으나 장기강도에서는 단위수량에 따른 강도차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 낮은 물결합재비에 따른 영향으로 판단된다.

시리즈 III에서는 실리카 폼의 치환율에 따른 강도차이를 나타내었는데 실리카 폼의 치환율의 증가에 따른 강도차이는 미미한 것으로 나타났다. 따라서 적정 치환율은 10%라고 판단이 되었다.

시리즈 IV에서는 시리즈 I의 결과에 따라 물결합재비를 14.3%로 하여 시험한 삼성분계 배합으로 혼화제로 실리카 폼과 고로슬래그를 사용하였는데 고로슬래그의 치환율이 낮을 수록 높은 강도가 나왔다. 이는 고강도 콘크리트에서 적정 치환율보다 높을 경우 분체량의 증가에 따라 강도의 저하가 나타난 것으로 판단이 되었다..

시리즈 V에서는 플라이 애시의 치환율에 따른 강도차이를 나타낸 것으로 초기강도는 플라이애시의 치환율이 적을 수록 높게 나타났고, 장기강도에서는 플라이 애시 치환율이 높을수록 강도 발현증진이 늦게 나타났다.

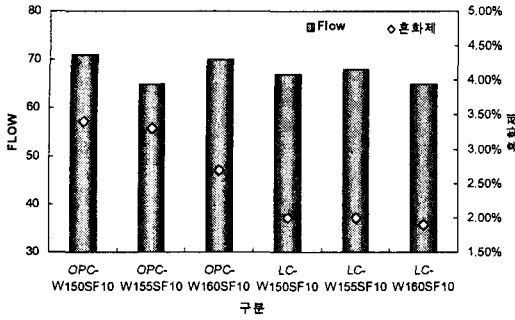


그림 1 시리즈 II - 플로우 및 혼화제량

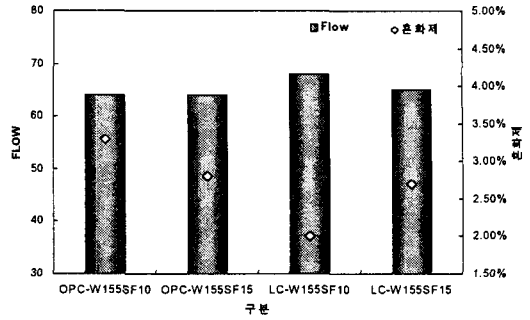
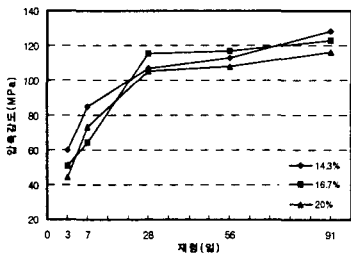
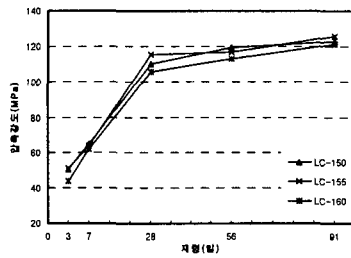


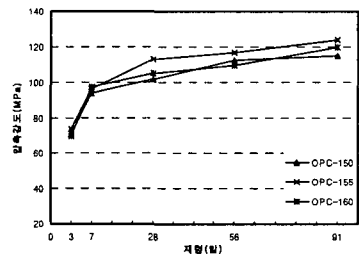
그림 2 시리즈 III - 플로우 및 혼화제량



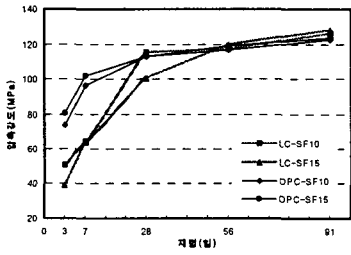
a. 시리즈 I 압축강도



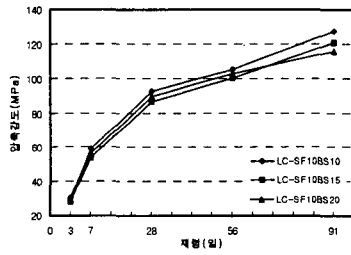
b. 시리즈 II 압축강도



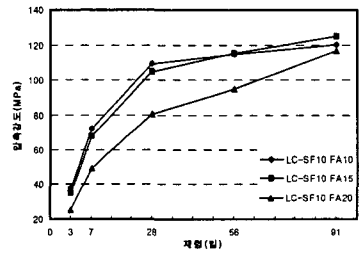
c. 시리즈 II 압축강도



d. 시리즈 III 압축강도



e. 시리즈 IV 압축강도



f. 시리즈 V 압축강도

그림 3. 시리즈별 압축강도 특성.

4. 결론

본 연구로부터 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 저열포틀랜드시멘트의 경우 물결합재비에 따른 강도증진은 나타나지만, 단위수량에 따른 강도증진은 크지 않는 것으로 나타났다.
- (2) 저열시멘트의 경우 일반포틀랜드시멘트에 비해 혼화제 사용량의 감소와 높은 강도값을 가질수 있는 것으로 나타났다.
- (3) 실리카폼의 치환량 증가에 따른 강도증진은 크지 않았다. 따라서, 경제적 측면에서 실리카폼 10% 치환이 효율적이고 삼성분계시 실리카폼과 함께 고로슬래그미분말을 쓰는 것이 강도 증진에 유리한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 흥국산업주식회사의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 정상진 외, 130MPa급 초고강도 콘크리트의 현장시험 타설 사례, 초고층 건축물 시공·관리 기술 세미나 자료집, pp. 16~44, 2006.
2. 한국콘크리트학회, '최신콘크리트공학', 1992