

칼슘설포알루미네이트 시멘트를 이용한 무수축 고강도콘크리트의 기초적 특성연구

Fundamental Study of Nonshrinkage High Strength Concrete using Calcium Sulphoaluminate Cement

김 병 권* 홍 상 윤* 박 준 근** 조 동 원***

ABSTRACT

In this study, the fundamental properties of nonshrinkage high strength concrete using calcium sulphoaluminate cement (CSA cement) which was developed at the Ssangyong Cement Ind. Co., Ltd. were considered by some experiments. The concrete using CSA cement show a good workability and higher strength development in early age. And, the resultant compressive strength was also higher than OPC. The drying shrinkage of CSA concrete was much less than that of concrete made with OPC and expansive agent. In addition, the value of drying shrinkage was not dependent on the agitating time and the curing condition, compared to that of OPC.

1. 서론

건축, 토목 기술의 발달에 따라 콘크리트에 요구되는 제반성능은 다양화, 고도화되고 있다. 콘크리트에 발생하는 수축균열을 방지하기 위해서 많은 연구가 행하여졌지만 근본적인 해결방법은 시멘트 페이스트 자체의 수축성을 개선하는 것이다. 현재는 시멘트에 팽창성 혼화제를 혼합하여 사용하는 방법이 가장 널리 이용되고 있으며 이용 목적은 첫째 콘크리트의 수축균열방지, 둘째 콘크리트 부재에 대한 chemical prestressing 의 두가지로 크게 구분된다. 그러나 팽창성 혼화제의 사용에는 시공조건, 양생조건 등 그 특성에 영향을 미치는 인자가 다양하여 실용상의 문제점으로 남아있다. 최근 몇몇 국가에서는 칼슘설포알루미네이트($3CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot C_4A_3S$) 광물을 주요광물로 하는 새로운 개념의 시멘

트(CSA계시멘트)가 개발되어 실용화에 이르고 있으며 이러한 CSA계 시멘트는 조강성, 고강도성, 무수축성 등 우수한 특성을 가진 것으로 알려지고 있다

본 보고에서는 이러한 칼슘설포알루미네이트(CSA) 계 시멘트를 이용한 무수축, 고강도 콘크리트의 제조 가능성을 살펴보고자 굳지 않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 몇가지 기초적인 특성을 고찰하였다.

2. 실험개요

본 실험은 CSA 시멘트를 사용한 콘크리트의 기초적 물리성능을 파악하기 위한 것으로 비교를 위하여 보통 포틀랜드 시멘트에 시판 K형 팽창제를 혼합사용한 콘크리트에 대하여도 동일한 실험을 적용하였다.

* 쌍용중앙연구소 주임연구원

** 쌍용중앙연구소 선임연구원, 공박

***정희원, 쌍용중앙연구소 자원연구실장

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 혼화제

본 실험에서는 당사의 Pilot kiln 에서 조성한 CSA 클링키에 II형 무수석고를 첨가하여 제조된 2종의 CSA계 시멘트를 사용하였으며 비교를 위하여 보통 포트랜드를 사용하였다. 이에 관한 화학조성 및 물리적 특성은 표 1, 2와 같다. 또한 보통 포트랜드에 혼합 사용한 K형 팽창재의 특성은 표 3과 같다.

표 1 사용시멘트의 광물조성

구분	C ₃ S	C ₂ S	C ₄ A	C ₄ AF	C ₃ A ₃ S	CaSO ₄
CSAI	-	20	-	15	44	18
CSAII	-	10	-	5	65	17
OPC	56	16	9	10	-	3.6

표 2 사용시멘트의 물리적 성질

구분	비중	분말도 (cm ² /g)	응결		안정도 (%)	Flow	압축강도 (kg/cm ²)			
			초경(min)	종경(hr)			1일	3일	7일	28일
CSA I	2.95	3620	80	2:10	0.15	109	276	373	402	421
CSA II	2.80	3600	130	3:20	0.18	118	349	446	454	498
O P C	3.15	3240	210	6:40	0.08	107	98	193	296	392

표 3 K형 팽창재의 화학조성 및 물리적 성질

화 학 조 성 (%)							물 리 적 성 질		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss	비 중	분말도(cm ² /g)	
4.0	10.0	1.2	52.5	0.6	28.3	1.0	2.99	2280	

2.1.2 골재

본 실험에 사용된 잔골재 및 굵은 골재의 물리적 특성은 표 4와 같다.

표 4 골재의 물리적 성질

종류	비중	최대크기 (mm)	흡수율 (%)	단위중량 (kg/m ³)	실지율 (%)	주입율 (F.M)
잔골재	2.58	5	1.20	1590	61	2.5
굵은골재	2.75	20	1.25	1612	59	6.6

2.1.3 혼화제

본 실험에서는 日本 花王社의 고성능감수제 (Mighty-150) 와 국내 T사의 AE제를 사용하였으며 물리적 특성은 표 5와 같다.

표 5 혼화제의 물리적 성질

구분	주 성분	외 관	비중	pH
고성능	나프탈린술폰산	연갈색	1.19	8-10
감수제	포르빌린고축합물임		-1.21	
AE 제	음이온계계면활성제	연갈색	1.03	7+1

2.2 콘크리트배합

콘크리트의 배합은 단위시멘트량 350 kg/m³ 에 대하여 S/a 는 38.4% 로 고정하였고 slump 18±1 cm 를 목표로 수차의 시험비법을 통해 결정하였으며 결정된 배합조건은 표 6과 같다.

3. 실험방법

3.1 콘크리트 혼입

콘크리트의 혼입은 50 리터의 강제식 믹서를 이용하여 KS 규정에 의거, 표준적인 방법으로 실시하였다.

3.2 응결시간

콘크리트의 응결시간은 KS F 2436 의 프루터 관입시험법에 의해 측정하였다.

3.3 슬럼프 및 슬럼프 경시변화

콘크리트 혼입후 KS F 2402 에 의해 슬

표 6 콘크리트 배합

배합 No.	시멘트종류	W/C (%)	S/a (%)	단위재료량 (kg/m ³)					혼화제(C x %)	
				W	C	S	G	*E	보상농감수제	AE제
1	CSA I	51.4	38.4	180	350	678	1088		1.0	
2	CSA II	50.0		175	350	683	1096		1.0	
3	OPC+K형팽창재	53.8		188	320	679	1090	30	1.0	0.015
4	OPC	53.4		187	350	680	1092		1.0	0.015

* E : K형 팽창재

럼프를 측정하고 믹싱 시간경과에 따른 슬럼프 경시변화를 알아보기 위해 드럼믹서에서 교반하면서 30분 간격으로 120분 경과후까지 슬럼프를 측정하였다.

3.4 압축강도

콘크리트에 대한 압축강도는 Ø 10 x 20 cm원주공시체를 제작한 후 표준양생하여 KS F 2405 에 의거하여 측정하였다.

3.5 건조수축

혼합저후 및 120분간 슬럼프 경시변화를 측정 한 콘크리트 시편에 대하여 10 x 10 x 40 cm의 길이변화 공시체를 제작한 후 1일간 습공 양생, 탈형하여 길이를 측정하였으며 6일간 수중양생후 상대습도 50% 이상의 기건에서 양생하면서 4주까지의 길이변화를 측정하였다.

또한 양생방법에 따른 차이를 보기 위해 탈형 후 수중양생을 거치지 않고 기건에서 양생한 시편에대하여도 길이변화를 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 굳지않은 콘크리트 특성

4.1.1 응 결

그림 1에 콘크리트 응결특성을 나타내었다.

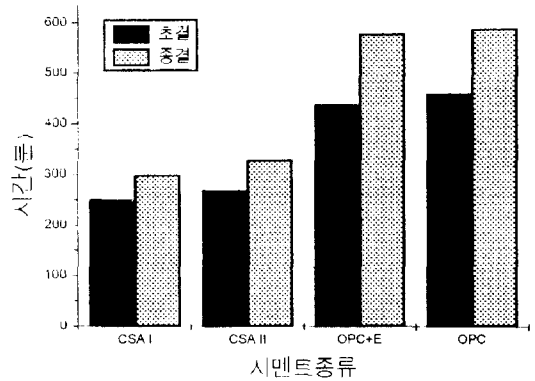


그림 1. 콘크리트 응결특성

CSA계 시멘트를 사용한 콘크리트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트보다 응결이 빠르고 초결과 종결시간의 차이가 적은 특성을 보인다. 이러한 특성으로부터 CSA계 시멘트가 초기에 빠른 속도로 경화됨을 알 수 있다.

4.1.2 유동특성

표 6에서 CSA계 시멘트를 사용한 경우 보통 포틀랜드 시멘트보다 동일한 slump 를 얻기 위해 필요한 단위수량이 적음을 볼수 있다. 콘크리트의 유동특성을 알아보기 위해 슬럼프의 경시변화를 측정 한 결과를 그림 2에 나타내었다.

보통 포틀랜드 시멘트 및 K형 팽창재를 사용한 경우 콘크리트의 유동성은 30분 경과후부터 급격히 저하되나 CSA계 시멘트를 사용한 콘크리트는 60분-90분 경과후까지도 유동성의 손실이 크지 않고 90분 이후부터 Slump 치가 크게 감소하였다. 이것은 CSA

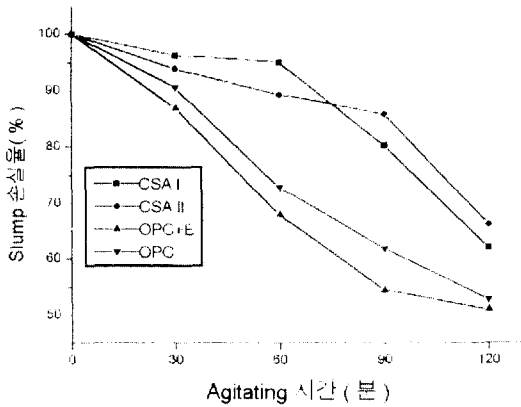


그림 2. 콘크리트 slump 경사변화

개 시멘트가 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 유동성 손실에 큰 영향을 미치는 C_3A 및 C_4AF 의 실내 함량이 낮기 때문으로 생각되며 따라서 유동화제 사용에 따른 효과가 양호한 결과를 얻을 수 있다. 또한 CSA계 시멘트에서도 C_4AF 함량이 낮은 CSA II의 경우가 유동성의 손실이 적었다. 한편 K형 팽창제를 사용한 경우 Plain (배합 ④) 콘크리트보다 30분 이후에 유동성 손실이 크며 이는 팽창제 첨가에 따라 조기에 ettringite의 생성이 증가되기 때문으로 여겨진다.

4.2 경화된 콘크리트의 특성

4.2.1 압축강도

표 7에 콘크리트의 압축강도를 나타내었다.

표 7 콘크리트 압축강도 측정치

No.	압축강도 (kg/cm^2)			
	1 일	3 일	7 일	28 일
1	303	401	430	585
2	344	406	462	518
3	87	211	293	419
4	83	203	301	437

CSA계 시멘트의 경우 재령 1일에서 300 kg/cm^2 이상의 높은 압축강도를 발휘하고 있으며 재령 7일까지의 압축강도는 C_4A_3S 함량이 높은 CSA II가 높으나 재령 28일에서의 압축강도는 C_2S 함량이 높은 CSA I이 높은

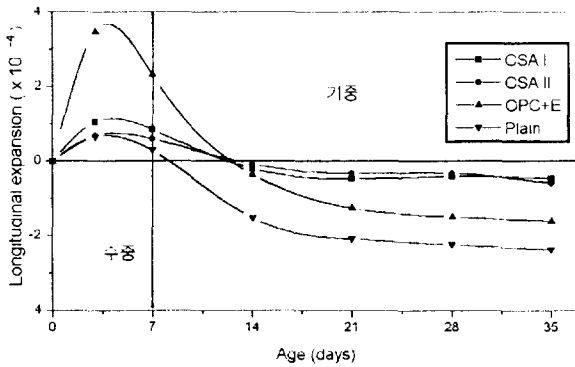
강도수준을 나타내었다. 즉 CSA계 시멘트는 주요 구성광물인 C_4A_3S 의 수화반응이 매우 빨라 초기에도 높은 강도를 발휘하며 재령 후기에서는 C_2S 의 수화반응에 의해 지속적인 강도발현이 가능함을 의미한다. 또한 보통 포틀랜드 시멘트와 비교해 볼때 동일한 단위 시멘트량을 사용하더라도 월등히 높은 압축강도를 발휘하고 있다.

4.2.2 건조수축

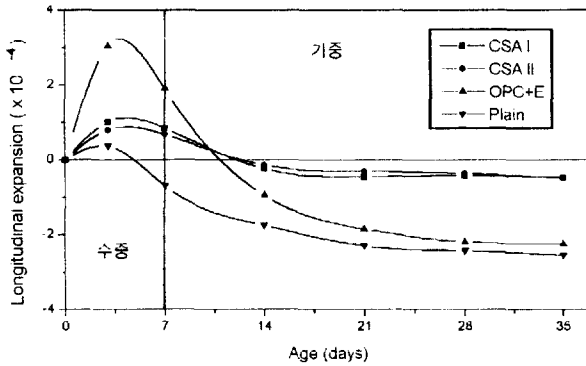
콘크리트의 건조수축 특성을 측정된 결과는 그림 3과 같으며 CSA계 시멘트는 전세령에 걸쳐 매우 적은 길이변화를 나타내고 있다. 보통 포틀랜드 시멘트에 K형 팽창제를 사용한 경우에 120분간 agitating한 후의 콘크리트의 길이변화 측정값과 수축량이 증가된 반면 CSA 시멘트의 경우에는 크게 영향을 받지 않았다. 즉 보통 포틀랜드 시멘트에 팽창제를 혼합하여 무수축콘크리트를 달성하고자 할 때는 수송 및 타설시간에 영향을 받지만 CSA계 시멘트를 사용할 경우 이러한 문제가 야기되지 않는다. 또한 양생조건에 따른 영향을 보기 위해 탈형직후부터 기간양생하여 길이변화를 측정된 결과 보통 포틀랜드 시멘트 및 K형 팽창제를 사용한 콘크리트는 7일간 수중 양생을 기친 경우에 비해 재령초기부터 건조수축량이 증가한 반면 CSA계 시멘트는 큰 변화를 보이지 않았다. 보통 포틀랜드 시멘트의 경우 기간양생에 따른 경화초기에서의 소성수축에 의한 영향이 큰 반면 CSA계 시멘트의 경우 경화속도가 상대적으로 빠르므로 이러한 영향을 크게 받지 않게 되는 것으로 여겨진다.

5. 결 론

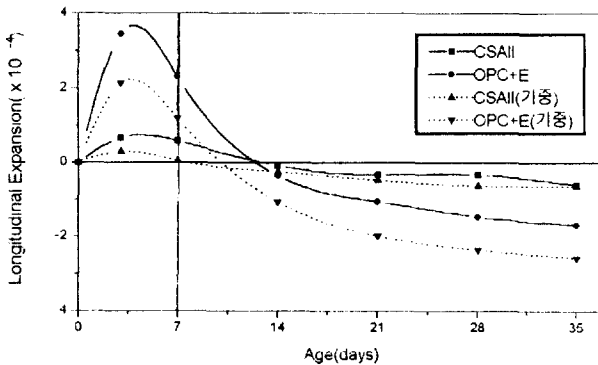
이상의 실험결과로 부터 CSA계 시멘트를 이용한 콘크리트는 보통 포틀랜드 시멘트를 이용한 콘크리트보다 조강성, 고강도성 및 무수축성 등 우수한 특성을 나타내었으며 그 결과는 다음과 같다.



a) 혼합직후 성형한 콘크리트의 길이변화 특성 (표준양생)



b) 120분 agitate 한 콘크리트의 길이변화 특성 (표준양생)



c) 표준양생 및 기건양생 콘크리트의 길이 변화 특성

그림 3. 콘크리트의 길이변화 특성

1) CSA 계 시멘트를 사용한 콘크리트는 보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트보다 빠른 응결시간을 나타내며 초경과 종결의 차이가 적으나 유동성 및 유동성 경시변화를 검토한 결과 보통 포틀랜드시멘트에 비해 초기의 유동성 손실이 작아 충분한 작업성 및 작업시간을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 단위 시멘트량 350 kg/m^3 의 CSA계 시멘트를 사용하여 재령 1일에 300 kg/cm^2 이상의 초조강성을 발현하였으며 재령 28일에서도 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 월등히 높은 고강도를 실현하였다. 또한 CSA계 시멘트중에서 C_2S 함량이 많은 CSA I은 후기강도 발현이, $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ 함량이 많은 CSA II는 조기강도 발현이 상대적으로 우수하였다.

3) 보통 포틀랜드 시멘트에 팽창재를 혼합 사용한 콘크리트와는 달리 CSA 계 시멘트를 사용한 콘크리트는 전 재령에 걸쳐 길이변화가 매우 적으며 agitating 시간 및 양생조건에 큰 영향을 받지 않고 무수축에 가까운 특성을 보였다.

6. 참고문헌

1. Deng Jun-An, Ge Wen-Min and Su Mu-Zhen, "Sulphoaluminate cement series", 7th ICCI, 1980. Vo. IV, pp. 381-386
2. 三宅信雄, 太田健二, "CSA系 膨張コンクリートの性状と主な用途例", 콘크리트 라이브러리-第 39號, 1974, pp. 101-107
3. 磯貝 純, 中村與一 外 2名, "CSA系 膨張材 혼和による 콘크리트의 乾燥收縮 ひびわれ 防止效果", セ技年報 No. 42, 1978, pp. 180-182