

고유동포틀랜드시멘트를 이용한 고성능콘크리트의 기초적 특성에 관한 연구

A Fundamental Study on the Properties of High Performance Concrete using High Flowable Portland Cement

홍성윤* 김병권** 박춘근*** 조동원****

ABSTRACT

The fundamental properties of High Performance Concrete(HPC) were studied using high flowable portland cement which was developed at the Ssangyong Cement Ind. Co.,Ltd. The results obtained are as follows.

- (1) The slump of HPC using high flowable portland cement maintains for 120 min.
- (2) Ultra high strength greater than 800kg/cm^2 can be designed without using silica fume and other additives.
- (3) The value of drying shrinkage and adiabatic temperature rise of HPC are less than those of concrete made with OPC.

1. 서 론

최근 콘크리트구조물이 고층화, 대형화됨에 따라 콘크리트도 타설시 다짐이 필요없고 타설후 건조수축, 수화열발생에 의한 균열저항성이 있으며 강도발현 및 내구성이 우수한 고기능성이 요구되고 있다. 현재 이러한 고성능콘크리트의 실용화를 위한 연구가 활발하게 진행⁽¹⁻³⁾되고 있으나 대부분 혼합계 시멘트를 이용하고 있어 현장비용에는 현실적으로 여러가지 문제점이 제기되고 있는 상황이다. 본 논문에서는 시멘트의 고성능화를 위해 사용되는 실리카폼, 슬레그미분말, 플라이애쉬 등의 첨가물을 혼합하지 않고도 고유동, 고강도, 저발열특성이 동시에 발현되도록 제조된 포틀랜드시멘트를 제조하고 이를 이용한 콘크리트의 경과시간에 따른 유동성손실, 압축강도 발현특성, 건조수축 및 단열온도상승 특성

등을 고찰하였다.

2. 고유동포틀랜드시멘트의 특성

본 연구에 사용된 고유동포틀랜드시멘트는 시멘트의 고성능 확보를 위해 구성광물량을 조절하여 제조되었으며 실리카폼, 슬레그미분말, 플라이애쉬 등의 혼합제를 첨가하지 않고도 고유동, 고강도, 저발열특성이 동시에 발현되는 장점을 지니고 있다. 고유동포틀랜드시멘트는 사용분야에 따라 Type A, B로 구분되며 일반적으로 사용되는 보통포틀랜드시멘트와 비교한 결과는 다음과 같다.

2.1 시멘트 구성화합물

표 1 시멘트 종류별 구성화합물

구분	광물조성(%)			
	CaS	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Type A	37	45	3	9
Type B	27	58	3	9
보통	50	21	10	10

표 1에 나타난 바와 같이 고유동포틀랜드시멘

* 쌍용중앙연구소 연구원
 ** 쌍용중앙연구소 주임연구원
 *** 쌍용중앙연구소, 선임연구원, 공박
 **** 정희원, 쌍용중앙연구소 사원연구실장

표 2 시멘트 종류별 물리특성

구분	분말도 (cm ² /g)	flow (%)	응 결		압축강도(kg/cm ²)				수화열(cal/g)	
			초강(min)	종강(h:m)	3 일	7 일	28 일	91 일	7 일	28 일
Type A	1000	118	265	7:50	190	266	470	678	61.3	73.1
Type B	3450	114	285	8:15	129	175	410	634	49.0	70.2
보 통	3210	98.5	260	7:30	217	289	396	437	81.0	96.8

트는 OPC와 다른 구성광물비로 되어 있으며 이러한 구성광물비의 특성은 고유동, 고강도, 저발열특을 발현하는 주요 요인으로 작용한다. 시멘트 단일성분계로 고성능특성을 발현한다는 것은 혼합계시멘트에 비해서 콘크리트 배합설계가 단순하고 품질관리가 용이하여 고품질의 콘크리트 제도가 현실적으로 가능하다는 장점이 있다.

2.2 시멘트 물리성능

표 2의 결과에서 응결은 OPC대비 동등수준이며 유동성은 월등히 우수하다. 압축강도는 초기재령에서는 떨어지지만 28일 이후의 장기재령에서는 OPC를 상회하며 재령91일에서는 200kg/cm² 이상 높은 강도특성을 보이고 있다. 수화열은 7일재령에서 OPC대비 60~70%, 28일재령에서 80%수준의 저발열특성을 보인다. 따라서 고유동포틀랜드시멘트를 주재료로 콘크리트를 제조할 경우 경제적이고도 시공성이 뛰어난 고성능콘크리트의 제조가 가능하며 특히 Type A는 초고층 RC구조물 등의 고유동, 고강도특성 구조물에, Type B저발열 배스콘크리트 구조물에 적용시 큰 효과가 기대된다.

3. 실험개요

3.1 사용재료

3.1.1 시멘트

시멘트는 고유동포틀랜드시멘트(Type A,B)와 비교용으로 보통포틀랜드시멘트(OPC)를 사용하였으며 각 특성은 2질의 표1.2와 같다.

3.1.2 골재

본 실험에 사용된 골재의 특성은 표3과 같다.

표 3 골재의 물리특성

구분	최대입자 (mm)	비중	흡수율 (%)	단위중량 (kg/m ³)	실적율 (%)	주입율 (F.M)
잔골재	5	2.57	1.20	1590	61	2.5
유골재	20	2.75	1.25	1612	59	6.6

3.1.3 혼화제

본 실험에 사용한 혼화제는 (日)花王社의 고성능AE감수제인 Mighty 2000WHZ을 사용하였다.

3.2 콘크리트 배합

배합강도 $f_{ck} = 700 \sim 900 \text{ kg/cm}^2$, Slump 15cm, Slump flow 60~65cm, 공기량 2~0.5%를 목표로 치당량의 고성능AE감수제를 사용하였으며 표 4의 배합을 계획하였다.

3.3 재료혼합방법

본 실험에서는 현장 품질관리 측면에서 관리가 가능한 재료투입순서와 혼합시간을 고려 다음과 같은 혼합방법을 결정하였다.

잔골재+시멘트(20sec) → W+½AE감수제(60sec) → 유골재+½AE감수제(90sec) → 고성능콘크리트

표 4 콘크리트 배합

배합 No.	시멘트 종류	W/C (%)	S/a (%)	단위재료량 (kg/m ³)				혼화제 (×C %)
				W	C	S	G	
1	Type A	35	45.0	160	457	783	1024	1.0
		30	42.5	160	533	714	1033	1.3
		25	40.0	160	640	637	1023	1.5
2	Type B	35	45.0	160	457	783	1024	1.0
		30	42.5	160	533	714	1033	1.3
		25	40.0	160	640	637	1023	1.5
3	보통	35	45.0	160	457	781	1021	1.3
		30	42.5	160	533	711	1029	1.8
		25	40.0	160	640	634	1018	2.3

3.4 실험항목

표4의 배합설계에 대하여 응결, Slump, Slump flow, 및 경시변화 특성 등의 굳지 않은 콘크리트 성질과 압축강도, 건조수축 및 탄일온도 상승을 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

4.1.1 응결

표 5에서 고유농포틀랜드시멘트는 응결을 지연시키는 원인이 되는 슬래그 및 플라이애쉬의 첨가가 없으므로 종래의 혼합계 콘크리트에 비해 응결정상이 현저히 개선되고 보통포틀랜드시멘트와 유사한 응결시간을 갖는다.

4.1.2 유동특성 고찰

그림 1 및 표 5의 결과로부터 동일배합 조건에서 고유농포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트의 유동특성은 OPC를 사용한 콘크리트보다 월등히 우수함을 알 수 있으며 Type B의 경우는 120분 경과후에도 유동손실이 매우 적은 상태를 유지하였다. 또한 타설된 콘크리트는 굵은알갱이 중심부에서 가장자리까지 고르게 분포하여 재료분리가 전혀 발생하지 않았다. 고유농포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트가 이와 같은 유동특성을 발휘하는 이유는 고유

농포틀랜드시멘트가 유기혼화제의 분산특성을 극대화시키는 특성이 있기 때문이다. 콘크리트에 사용되는 유기혼화제는 시멘트 입자표면에 흡착하여 혼화제 분자가 시멘트입자의 접근을 방해하므로서 유동성을 개선시키는 역할을 한다. 그러나 이러한 효과는 시멘트입자에 유기혼화제가 균일하게 흡착될때 유지되지만 시멘트 구성광물종류에 따라 그 흡착정도가 매우 다르기 때문에 OPC에서 균일한 분산효과를 기대하기가 어렵다.

그럼 2⁹⁾에 유기혼화제가 시멘트광물에 흡착되는 정도를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 대부분의 유기혼화제는 수분이내에 C₃A 및 C₄AF에 흡착되어 C₃S 및 C₂S에 흡착되는 혼화제량이 매우 적음을 알 수 있다. 즉 유기혼화제의 균일한 흡착이 불가능하게 되어 지속적인 유동성 발휘가 어렵다.

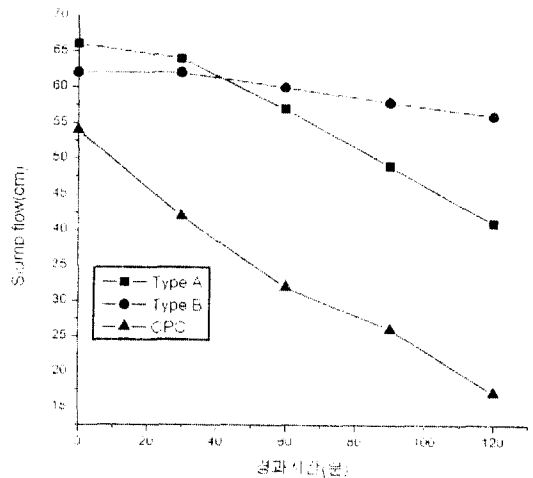


그림 1 Slump flow 경시변화 특성

표 5 굵지 않은 콘크리트 특성치

배합 No	Slump (cm)	Slump flow(cm)	Air량 (%)	응결(h:m)		Slump loss (cm)					
				초 결	종 결	배출	30분	60분	90분	120분	
1	26.3	65	2.1								
2	26.5	67	1.9	7:35	9:15	26.4	26.3	25.7	23.3	20.6	
3	26.2	63	2.0								
4	25.4	58	2.2								
5	26.0	62	1.8	8:05	10:12	26.2	26.0	25.9	25.8	24.7	
6	25.6	60	1.9								
7	24.1	53	2.3								
8	24.7	58	2.0	7:10	9:10	24.0	21.8	14.3	13.2	10.1	
9	24.0	52	1.9								

한 현상을 방지하려면 시멘트의 구성광물중 C₃A 및 C₄AF의 함량을 최소화하는 것이 필요하다

본 실험에 사용한 고유동포틀랜드시멘트는 상기와 같은 기술적인 사상에 입각하여 C₃A와 C₄AF의 양이 OPC의 1/2 수준이 되도록 제조하였으며 우수한 콘크리트 유동특성을 발휘하는 주요요인으로 작용하였다.

OPC를 상회하는 강도수준을 나타내었다. 그리고 이러한 강도발현 격차는 재령경과에 따라 더욱 커짐을 알 수 있다. 특히 W/C=25% 조건에서는 F₂₈=800kg/cm²의 초고강도콘크리트 제조가 가능하였다. 이와 같은 결과는 고유동포틀랜드시멘트의 구성광물중 장기강도 특성이 우수하고 경화체 조직을 보다 치밀하게 하는 C₂S 함량이 OPC보다 많기 때문이다.

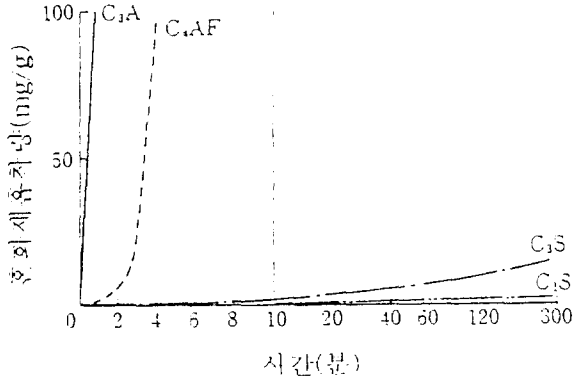


그림 2 시멘트구성광물의 혼화제 흡착⁽²⁾

표 6 배합조건변 압축강도 측정치

배합 No	압축강도(kg/cm ²)				
	3 일	7 일	28 일	56 일	91 일
1	303	396	565	625	691
2	372	516	762	841	899
3	332	696	901	1060	1090
4	202	324	520	618	683
5	309	427	684	784	841
6	449	563	876	913	936
7	357	406	512	566	594
8	426	527	614	702	738
9	587	706	797	847	874

4.2 경화된 콘크리트의 압축강도 특성

4.2.1 압축강도

표 6에 콘크리트의 압축강도 특성을 나타내었다. Type A의 경우 재령 3일에서는 OPC대비 다소 저조하지만 재령 7일에서 동등수준, 28일 이후에서는 월등히 높은 강도발현특성을 나타내었다. Type B의 경우 초기재령(3.7일)은 OPC대비 낮은 수준이나 28일 이후에는

4.2.2 건조수축

표 7의 결과 시멘트종류별 콘크리트 건조수축량은 OPC>Type A>Type B의 순서로 고유동포틀랜드시멘트 사용시 콘크리트의 내구성 측면에서 유리함을 알 수 있다.

4.3 단열온도상승 특성

동일배합 조건에서 고유동포틀랜드시멘트와

표 7 콘크리트 건조수축 특성

배합 No	건조수축(-1×10^{-4})				
	1 W	1 M	2 M	3 M	6 M
2)	0.86	2.63	3.43	3.68	1.99
5)	0.82	2.57	3.21	3.41	4.67
8)	0.93	2.91	3.98	4.36	5.68

OPC를 사용한 고성능콘크리트의 단열온도상승량 측정결과를 표 8 및 그림 3에 나타내었다. 고유동포틀랜드시멘트는 수화열이 작은 C₃S광물이 주요화합물을 이루므로 콘크리트의 단열온도상승량도 OPC에 비해 제령 1~3일에 15~20℃ 정도, 제령 10일에 9~13℃ 정도 낮은 값을 보이고 있다.

특히 초기제령에서의 온도상승량이 작기 때문에 단위시멘트량이 500~600kg/m³인 콘크리트배합에서도 온도균열에 대한 염려 없이 콘크리트 타설이 가능하다는 큰 장점이 있다.

표 8 콘크리트 단열온도 상승량(ΔT℃)

시멘트종류	1 일	2 일	3 일	7 일	10 일
Type A	45.3	51.2	55.7	61.7	62.5
Type B	31.5	43.2	48.2	56.3	58.2
보통	60.5	65.7	67.7	69.2	71.8

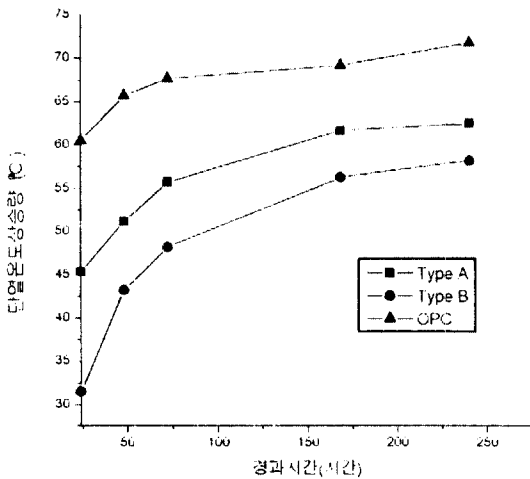


그림 3. 콘크리트 단열온도상승(ΔT℃)

5. 결 론

이상의 연구결과로부터 고유동포틀랜드시멘트

를 이용한 고성능콘크리트는 OPC를 이용한 콘크리트에 비해서 유동성, 강도발현성, 발열 특성 등이 우수하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 고유동포틀랜드시멘트를 사용한 고성능콘크리트의 경시변화 특성은 Type A는 90분 경과시 20%, Type B는 120분 경과시 10% 정도의 슬럼프 손실율이 있었으며 OPC를 사용한 경우는 60분 경과후에 50% 이상의 슬럼프 손실결과를 보였다. 따라서 고유동포틀랜드시멘트를 이용한 고성능콘크리트는 상거리운반에 의한 콘크리트 나실시 시공성 및 품질관리 측면에서 매우 유리하다.

(2) 실리카폼, 슬래그미분말 같은 高價의 혼합재를 사용하지 않고도 단위시멘트량이 530kg/m³, W/C=30%의 조건에서 설계기준강도 700kg/cm² 수준, 단위시멘트량 640kg/m³, W/C=25% 조건에서 설계기준강도 800kg/cm²의 초고강도 콘크리트 제조가 가능하였다.

(3) 콘크리트 건조수축량은 제령 6개월에서 OPC를 이용한 콘크리트 대비 7~20% 정도 낮은 수준을 나타내어 내구성에 유리하였다.

(4) 콘크리트 단열온도 상승량은 OPC대비 제령 1~3일에서 15~20℃, 제령 10일에서 9~13℃ 낮은 수준을 나타내어 수화열에 의한 온도균열 위험이 현저히 개선되는 결과를 나타내었다.

6. 참고문헌

(1) 名和豊春, 深谷泰文 외 2人 : 高 ビーライト系セメントおを用いた「高流動, 高強度コンクリート」に関する研究, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 15, No. 1, 1993, 6

(2) 田中光男, 名和豊春 외 2人 : 高 ビーライト系ポルトランドセメント, 콘크리트工學, Vol.31, No. 9, 1993, 9