

고황산염시멘트를 이용한 고강도콘크리트의 수화 및 역학적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Hydration and Mechanical Properties of High Strength Concrete with High Calcium Sulfate Cement

박 승 범* 임 창 덕**
Park, Seung bum Im, Chang Duck

요 약

프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝 [KS F 4306] 제조에 관한 실험적 연구로써 고황산염시멘트를 이용한 800kg/cm²이상의 고강도콘크리트 제조시 수화 특성검토와 콘크리트 조직내의 기공율과 압축강도간의 상관식을 도출하여 고강도 발현기구를 구명하였으며 콘크리트 압축 및 휨강도간의 상관식 유도과 내구성 측면에서의 내동해성, 건조수축, 화학저항성등을 보통 포틀랜드 시멘트와 비교 고찰한 결과, 고황산염시멘트의 내구성이 우수함을 확인하였다.

Abstract

This report is the experimental study for manufacturing the pretensioned spun high strength concrete piles [KS F 4306] using calcium sulfate cement for steam curing.

While the over 800kg/cm² compressive strength of concrete was developed, the developing mechanism of high strength concrete was proved by using the relationship between porosity of concrete and compressive strength.

And the relative equation between compressive strength and flexural strength was derived, the durability of high strength concrete using high calcium sulfate cement such as anti-freezing and thawing, drying-shrinkage and resistance to chemical attack were superior to those of concrete using ordinary portland cement.

Keywords: high strength concrete, high calcium sulfate cement for steam curing, pretensioned spun high strength concrete piles, compressive strength, freezing and thawing, chemical resistance, drying-shrinkage.

* 정희원, 충남대학교 공과대학 토목공학과 교수
** 정희원, 충남대학교 대학원 박사과정

● 본 논문에 대한 토의를 1993년 9월 30일까지 학회로 보내 주시면 1993년 12월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

토목·건축분야에 건설재료로 광범위하게 사용되고 있는 콘크리트는 그동안 꾸준한 품질 개선과 제조기술의 발전으로 고강도콘크리트 생산이 가능하여 국내 건축물에서도 최근 분당 초고층 아파트 하부에 500kg/cm²의 고강도콘크리트를 시험 적용하였으며⁽¹⁾ 토목구조물에서는 올림픽대교 및 한강 강북 강변도로의 세그먼트등에 450kg/cm² 내외의 고강도콘크리트가 이용되고 있다.^(2, 3) 그러나 토목용 콘크리트 제품인 고강도파일에서는 800kg/cm² 이상의 고강도콘크리트를 요구하고 있으므로 외국의 경우에는 고온고압 포화증기양생 [이하 오토클레이브 양생이라 한다]또는 시멘트 품질을 개선시킨 첨가재를 이용하여^(4, 5, 6) 실용화되고 있으나 국내 기술 수준으로는 콘크리트 압축강도가 500kg/cm² 이상인 파일제도가 불가한 실정이며⁽⁷⁾, 최근 일부 업체가 오토클레이브 양생 설비를 도입하여 고강도파일 제품을 시도하고 있지만 막대한 설비투자와 엄격한 품질관리가 요구되어 중소기업형이 대부분인 국내 파일 제조 업체로서는 기업의 큰 부담으로 생각되어진다.

따라서 본 연구는 오토클레이브 양생설비 없이 기존의 증기양생 설비만으로 압축강도가 800kg/cm² 이상의 고강도콘크리트를 제조할 수 있는 특수 시멘트로서 최근 국내 S사에서 시판되고 있는 고헬산염시멘트를 이용하여 고강도콘크리트 제조 시 시멘트 수화특성 및 콘크리트 조직내의 기공율과 압축강도간의 상관식을 도출하여 고강도 발현 기구를 구명하였고, 압축 및 휨강도 상관식 유도 와 내구성 측면에서의 내동해성, 건조수축, 화학저항성등을 보통 포틀랜드시멘트와 비교 고찰하여 고헬산염시멘트를 이용한 고강도콘크리트의 수화 및 역학적특성을 실험적으로 검토하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

Table 1 Chemical composition of high calcium sulfate cement

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Ig.loss	Sum
20.3	5.4	2.4	60.9	2.9	0.12	0.75	6.0	1.2	99.97

Table 2 Physical properties of high calcium sulfate cement mortar at steam curing

Blaine (cm ² /g)	Specific gravity	Soundness	Setting		* Comp. Strength (kg/cm ²)			
			Ini.	Fin.	1d	3ds	7ds	28ds
4.000	3.12	0.06	300	7:45	439	441	507	616

* Steam curing condition 65°C, 5hr

국내 S사가 개발한 고헬산염시멘트를 이용하였고 이들 화학적 물리적 특성은 표 1, 2와 같다.

한편 고헬산염시멘트의 역학적특성을 비교 검토하기 위하여 이용한 보통 포틀랜드시멘트의 화학적·물리적 특성은 표 3, 4와 같다.

Table 3 Chemical composition of ordinary portland cement

Chemical composition(%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Ig.loss	Sum
19.1	5.9	3.2	62.0	3.0	0.14	0.85	4.5	1.3	99.99

Table 4 Physical properties of ordinary portland cement

Specific gravity	Blaine (cm ² /g)	88μ ion residue	Soundness	Setting time		Comp. Strength (kg/cm ²)		
				Ini.	Fin.	3ds	7ds	28ds
3.14	3350	0.2	0.05	250	7:10	125	284	362

2.1.2 고성능 감수제

고성능 감수제는 나프탈렌설포산염 고축합물계인 Mighty-150을 사용하였으며 이들 물리적 특성은 표 5와 같다.

Table 5 Physical properties of high range water reducing agent

Name	Appearance	Spec. gravity	PH	ASTM C494 Solid base
Mighty-150	dark brown	1.2	7~9	45%

2.1.3 골재

25mm 쇄석 골재와 규강산 천연 잔골재를 사용

Table 6 Physical properties of aggregates

	Max Size	Spec. gravity	F.M	Absorption (%)	Losangels abrasion
Crushed coarse Agg.	25	2.64	7.20	2.40	15.02
Natural fine Agg.	5	2.61	2.70	1.60	-

하였으며 이들 물리적 특성은 표 6과 같다.

2.2 실험방법

2.2.1 시멘트 수화특성

고강도 발현기구를 구명하기 위하여 고허산염 시멘트와 보통시멘트의 물시멘트비 40%인 페이스트로 각각 표준양생과 증기양생 시킨 조건에서 각 재령기간에 따른 X-선 회절분석기로 수화물을 분석하였고 동시에 시차열 분석기로 각 온도 변화에 따른 수화생성물을 비교 검토하였다.

이때 시멘트 페이스트중에 함유된 기공율을 재령기간별로 수온압입법에 의한 총기공량을 측정하여 기공량과 압축강도간의 상관성을 도출하였다.

한편 증기양생 방법은 그림 1과 같이 전치양생 3시간 후 승온속도 20℃/hr로 하여 최고온도

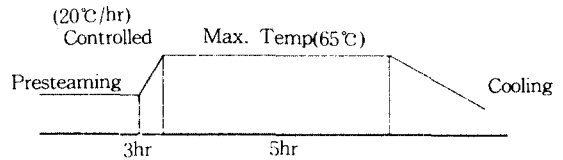


Fig. 1 Steam curing process

65℃로 5시간 유지시킨 후 자연냉각시켜 상온과 평형이 되는 시점에서 각 재령 기간동안 수증양생을 실시하였다.

Table 7 Mix proportion of high strength concrete used by high calcium sulfate cement for compressive and flexural strength

Unit Cement Content (kg/m ³)	W/C (%)	Unit weight (kg/m ³)				
		Cement	Water	Sand	Gravel	High range Water reducer
450	30	450	135	753	1142	1.5% (6.75kg)
	30	450	135	753	1142	2.5% (11.75kg)
	36	450	162	725	1099	1.5% (6.75kg)
	36	450	162	725	1099	2.5% (11.25kg)
550	30	550	165	688	1044	1.5% (8.25kg)
	30	550	165	688	1044	2.5% (13.75kg)
	36	550	198	654	992	1.5% (8.25kg)
	36	550	198	654	992	2.5% (13.75kg)
650	30	650	195	623	946	1.5% (9.75kg)
	30	650	195	623	946	2.5% (16.25kg)
	36	650	234	583	884	1.5% (9.75kg)
	36	650	234	583	884	2.5% (16.75kg)

Table 8 Mix proportion of high strength concrete for durability

Cement	Kind of Concrete	Test No	W/C	Unit weight (kg/m ³)					AE (C×%)
				Cement	Water	Sand	Gravel	High range water reducer(C×%)	
High calcium sulfate cement	Non-AE concrete	H-33-Non	33	500	165	704	1069	0.96	-
		H-30-Non	30	500	150	720	1093	2.13	-
		H-27-Non	27	500	135	736	2226	4.58	-
	AE concrete	H-33-Non	33	500	165	657	998	0.78	0.04
		H-30-Non	30	500	150	676	1021	1.96	0.04
		H-27-Non	27	500	135	689	1045	4.21	0.08
Ordinary portland cement	NON concrete	O-33-Non	33	500	165	706	1071	0.75	-
		O-30-Non	30	500	150	722	1095	1.39	-
		O-27-Non	27	500	135	737	1119	4.29	-
	AE concrete	O-33-Non	33	500	165	659	999	0.64	0.03
		O-30-Non	30	500	150	675	1024	1.26	0.03
		O-27-Non	27	500	135	691	1047	3.90	0.07

-S/A 40%, Slump 8±1cm,

Air content 4.5±0.5%

ex) H -33 -Non

0 -30 -AE

(High calcium)-(W/C %)-(Non AE concrete)

(Ordinary)-(W/C %)-(AE concrete)

2.2.2 고강도콘크리트의 역학적 특성

고황산염시멘트의 압축 및 휨강도 특성과 상관식을 도출하기 위하여 단위시멘트량과 물시멘트비 변화 및 고성능감수제 변화에 따른 콘크리트 배합설계는 표 7과 같다.

또한 내동해성 및 건조수축 특성을 검토하기 위하여 표 8과 같은 콘크리트 배합으로 고황산염시멘트와 보통시멘트를 각각 KSF 2456, KSF2424에 의거한 공시체 제작 및 측정 방법으로 실시하였다.

또한 화학저항성은 상기 배합중 미경화된 Non-AE콘크리트를 5mm체로 체가름한 몰탈 부분을 추출하여 5cm 입방체의 공시체로 제작하여 양생방법별로 [7일간 수중양생, 증기양생 후 7일간 수중양생] 양생시킨 후 35% 황산나트륨 용액에서 내화학성을 측정하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 고황산염시멘트의 수화특성

고황산염시멘트의 수화기동을 고찰하기 위하여 물시멘트비가 40%인 시멘트 페이스트를 양생은

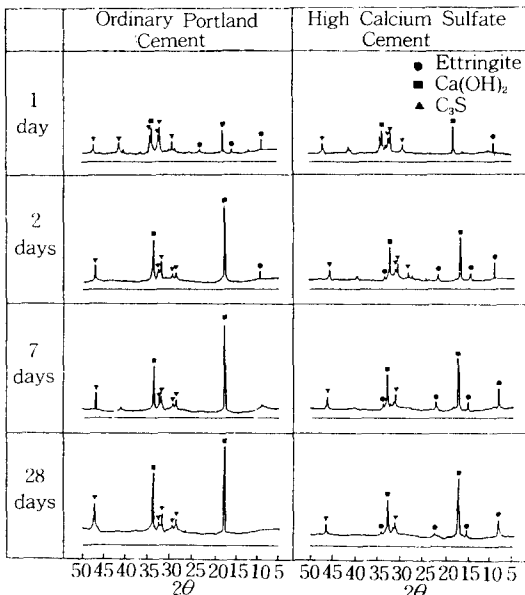


Fig. 2 X-ray diffraction patterns of each cement paste in standard curing condition

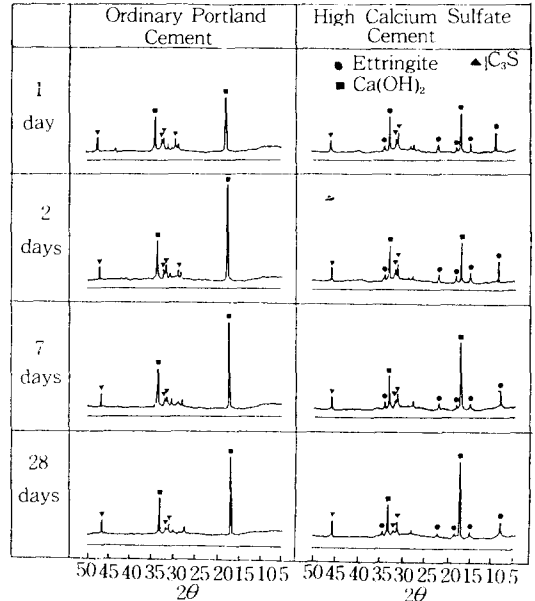


Fig. 3 X-ray diffraction patterns of each cement paste in steam curing condition [65°C, 5hr]

도와 재령기간에 따른 수화물을 X-선 회절분석기로 측정하였다. 이들 결과는 그림 2, 3과 같고 회절각도 [2θ]가 약 9°에서 에트링자이트 피크가 나타났다. 표준양생인 그림 2의 경우 고황산염시멘트가 보통시멘트에 비해 초기 재령에서 에트링자이트 수화물이 많이 발생되었고 특히 65°C로 증기양생한 그림 3의 경우에는 보통시멘트에서 에트링자이트 피크가 거의 나타나지 않고 CSH 수화물과 Ca[OH]₂ 수화물로 존재하는데 비해 고황산염시멘트는 28일 경과후에도 에트링자이트 피크가 존재하고 있다.

또한 이들 시료를 시차열 분석한 결과는 그림 4, 5와 같다. 이때 각 온도별 피크의 수화물은 115~125°C에서는 CSH 수화물 중에 함유한 수분에 의한 흡열 반응이고 135~140°C 부근에서는 작게 나타나고 있지만 에트링자이트 수화물에 의한 것이며 485~500°C 부근에서의 큰 흡열반응은 Ca[OH]₂의 분해에 의한 것이고 700°C 부근은 탄산칼슘의 탈탄산에 의한 탄산가스 방출에 의한 것이다.

먼저 그림 4의 표준양생 조건을 보면 시멘트 종류에 따라 약간의 차이는 있으나 보통시멘트의 경

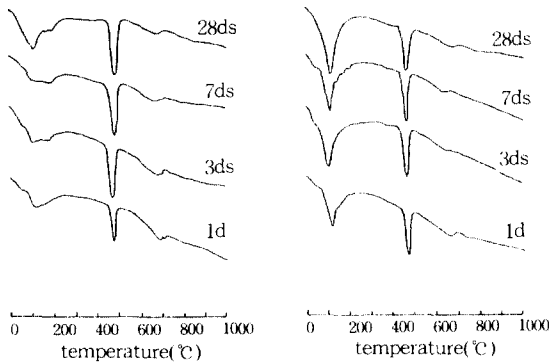


Fig. 4 DTA curves for paste at each ages in standard curing condition [W/ C 0.4]

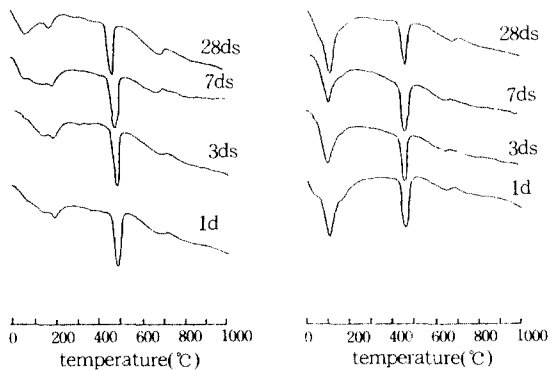


Fig. 5 DTA curves for paste at each ages in steam curing [65°C, 5hr, W/ C 0.4]

우 에트린자이트 생성이 재령 3일에서 보이기 시작하였고 고황산염시멘트의 경우 재령 1일에서 생성되어 고황산염시멘트가 에트린자이트 수화물이 초기에 빨리 생성됨을 알 수 있으며 125°C 부근에서의 CSH 겔 생성량도 고황산염시멘트가 많아 결국 시멘트 수화가 촉진된 것으로 판단된다.

또한 그림 5의 증기양생 조건에서는 보통시멘트의 경우 X-선 회절분석결과와 동일하게 에트린자이트 수화물이 보이지 않고 있으나 고황산염시멘트는 초기 재령부터 나타나고 있다. 이와 같이 고황산염시멘트는 수화초기에 에트린자이트 수화물이 다량 생성되었고 CSH 겔 생성량도 많아 수화가 촉진된 것으로 판단된다.

3.2 공극특성

침상결정인 에트린자이트 수화물이 많이 생성

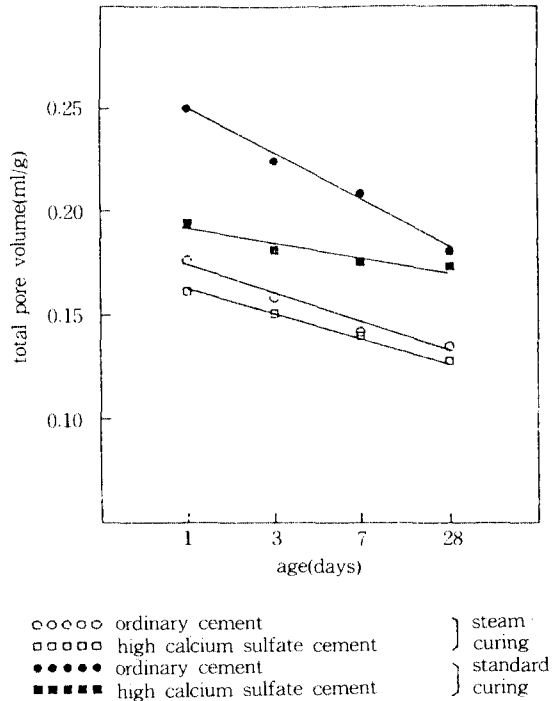


Fig. 6 Relationship between total pore volume and age

되므로써⁽⁸⁾ 시멘트 내부조직이 치밀하게 되며 강도 발현에도⁽⁹⁾ 영향을 미칠 것으로 판단되어 시멘트 페이스트내에 함유된 총기공량을 양생방법별, 재령별로 측정하였으며 이들 조건에서 고유동화제 1%와 표준사 1:2.45비와 물시멘트비 40%로 첨가한 몰탈 압축강도를 측정하였다. 이들 결과는 표 9와 같고 그림 6과 같이 재령이 증가함에 따라 총 기공량은 점차 감소되어 조직이 치밀하여지고 있으며 시멘트 종류별로 볼때 표준양생의 경우 재령 1일에서 보통시멘트가 0.2501ml/g, 고황산염시멘트는 0.1936ml/g으로 고황산염시멘트가 약 23%의 공극 감소현상을 나타내었으며 특히 증기양생으로 할 경우 온도영향에 의한 수화 촉진효과로 내부조직이 치밀하여 표준양생의 경우보다 총기공량이 30% 이상 현저히 감소되었다.

한편 총기공량과 몰탈 압축강도간의 경향은 그림 7과 같이 총기공량이 감소함에 따라 압축강도가 증가되어 고황산염 시멘트를 증기양생할 경우 표준양생으로 한 경우보다 재령 28일에서 약 21%

Table 9 Test results of total pore volume and comp. strength at each ages

condition		cement	1d	3ds	7ds	28ds
Standard curing (23°C)	Ordinary	Pore Volume (ml/g)	0.2501	0.2236	0.2081	0.1842
		Comp. Strength (kg/cm ²)	215	298	425	496
	High calcium sulfate	Pore volume	0.1936	0.1806	0.1789	0.1750
		Comp. Strength	256	326	445	509
Steam Curing (65°C)	Ordinary	Pore volume	0.1760	0.1581	0.1417	0.1309
		Comp. Strength	274	315	368	437
	High calcium sulfate	Pore volume	0.1610	0.1503	0.1386	0.1278
		Comp. Strength	458	482	536	648

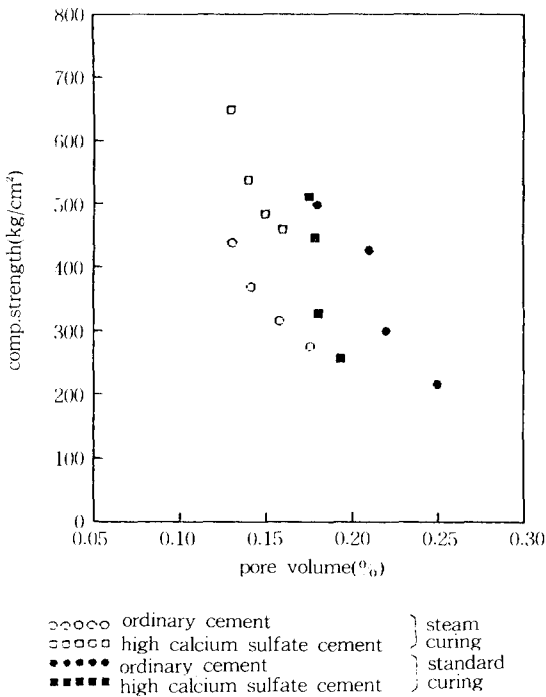


Fig. 7 Relationship between total pore volume and comp. strength

Table 10 Equation of high strength concrete relationship between comp. strength and pore volume

		Cement	Equation	Coefficient of correlation
Steam curing	Ordinary		$Y = -3488.18X + 877.57$	$r = -0.975$
	High Calcium Sulfate		$Y = -5696.21X + 1355.1$	$r = -0.960$
Standard curing	Ordinary		$Y = -4470.13X + 1326.28$	$r = -0.981$
	High Calcium Sulfate		$Y = -12646.60X + 2686.0$	$r = -0.893$

Where, Y : Comp. Strength(kg/cm²)
X : Pore Volume(ml/g)

의 공극 감소와 압축강도 증진이 약 27% 향상되었다.

또한 이들 결과로부터 상관식은 표 10과 같다.

3.3 고탄산염시멘트의 고강도콘크리트 특성

3.3.1 압축강도 및 휨강도

고탄산염시멘트를 이용하여 증기양생조건에서의 단위시멘트량과 물 시멘트비 변화 및 고성능감수제 첨가량 변화에 따른 압축강도 및 휨강도 측정 결과는 표 11과 같이 단위시멘트량 450kg /

Table 11 Relationship between comp. strength and flexural strength at each ages

Unit cement content (kg/m ³)	W/C (%)	Admixture (C×wt %)	Slump (cm)	Comp. strength (kg/cm ²)		flexural strength (kg/cm ²)	
				7ds	28ds	7ds	28ds
450	30	1.5	0	766	836	81	95
	30	2.5	5.0	787	861	86	99
	36	1.5	7.0	701	770	73	91
	36	2.5	21.0	695	787	77	89
550	30	1.5	5.0	816	904	92	98
	30	2.5	12.5	737	862	91	96
	36	1.5	8.2	686	789	78	91
650	36	2.5	21.4	705	734	82	86
	30	1.5	9.0	784	886	80	93
	30	2.5	20.0	749	803	77	88
	36	1.5	22.0	651	755	71	83
	36	2.5	26.0	635	762	62	81

- Steam cured at 65°C, 5hr and then standard water cured until each ages

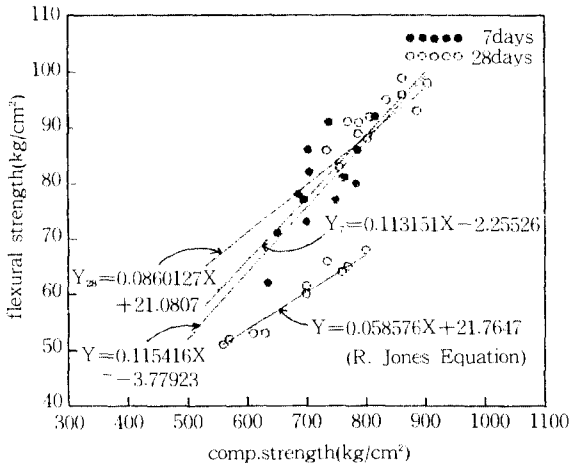


Fig.8 Test result of relative dynamic elastic modulus at steam curing condition

m³에서 650kg/m³까지 변화시킨 재령 28일의 콘크리트 압축강도는 평균 810kg/cm²내외이고 최고 904kg/cm²까지 얻었으며 휨강도는 91kg/cm²내외의 고강도콘크리트를 얻었다.

압축강도의 휨강도간의 관계식은 그림 8과 같이 7일의 경우 식 (1)과 28일의 경우 식 (2)를 도출하였다.

$$Y_7 = 0.113151X - 2.22526 \quad (1)$$

$$Y_{28} = 0.0860127X - 21.0807 \quad (2)$$

여기서 Y=휨강도[kg/cm²]

X=압축강도[kg/cm²]

한편 재령 7일의 식 (1)과 재령 28일의 식 (2)를 통합하면 식 (3)과 같이 제시할 수 있다.

$$Y = 0.115416X - 3.77923 \quad (3)$$

이들 결과는 보통시멘트를 이용하여 고강도콘크리트로 제조한 R.Jones의 연구결과인⁽¹⁰⁾ Y = 0.056576X + 21.7647 식 보다 휨강도 값이 높게 나타났으며 식의 기울기는 거의 유사한 결과를 얻었다.

3.3.2 동결융해에 미치는 영향

콘크리트의 동결융해에 영향을 미치는 인자는 공기량 이외에 물시멘트비나 압축강도에는 관계가 있는 것으로 알려져 있으므로^(8, 9, 10) 시멘트종류, 물시멘트비 변화에 따른 AE 콘크리트 및 Non-AE 콘크리트를 표 8과 같이 배합하고 증기양생하여 14일간 수중양생후 각 사이클 변화에 따른 상대 동탄성계수와 내구성지수를 측정하여 표 12의 결과를 얻었다.

이들 결과로부터 그림 9와 같이 Non-AE 콘크리트에서는 보통시멘트의 경우 180회 전후에서 상대 동탄성계수가 60% 이하로 급격히 저하하는데 비해 고탄산염시멘트의 경우는 270회 전후에서 내구성이 저하되어 보통시멘트 보다는 내구성이 우수하게 나타났으며 물시멘트비가 낮을수록 내구성이 양호한 양상을 보이고 있는데 이는 에트린자이트 수화물 형성으로 판단된다. 그러나 본실험에서

Table 12 Test results of relative dynamic elastic modulus of high strength concrete at steam curing condition (65°C, 5hr)

Test NO	Cycle number											Durability Factor(%)
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	
H-33--NON	100	100.5	96.7	96.7	95.9	94.6	95.7	86.4	68.5	62.1	58.2	56
H-30--NON	100	99.6	99.4	99.6	99.2	98.1	98.5	89.8	76.1	65.3	61.4	61
H-27--NON	100	99.4	99.2	99.3	99.5	98.2	97.6	92.3	79.5	71.9	66.8	67
H-33--AE	100	99.8	99.2	99.6	98.9	99.3	99.7	98.9	97.3	97.2	98.1	98
H-30--AE	100	99.7	99.9	100.1	98.5	99.1	99.4	98.6	97.2	97.8	98.4	98
H-27--AE	100	99.5	101.3	100.5	99.8	99.7	100.3	99.9	98.9	98.6	99.3	99
O-33--NON	100	95.3	94.0	94.8	91.3	69.6	61.6	36.7	--	--	--	38
O-30--NON	100	97.2	96.9	94.1	92.5	76.9	68.5	45.7	--	--	--	40
O-27--NON	100	99.2	99.4	95.4	94.2	82.5	76.3	63.6	52.5	--	--	44
O-33--AE	100	99.6	99.7	99.5	99.5	99.7	99.1	98.3	98.2	98.2	98.4	98
O-30--AE	100	99.8	99.9	99.7	99.5	99.7	99.3	98.6	98.5	98.3	98.3	98
O-27--AE	100	101.3	100.5	99.6	99.9	100.6	99.7	99.4	98.9	99.1	98.5	99

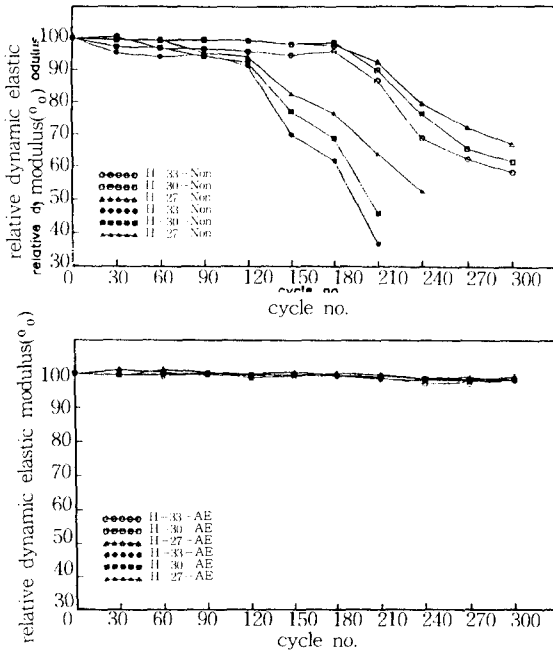


Fig. 9 Test result of relative dynamic elastic modulus at steam curing condition

물시멘트비를 33, 30, 27%로 각각 하였지만, 물시멘트 26%이상일 경우 내구성이 저하되어 AE 콘크리트로 제조되어야 한다는 鎌田英治^(11, 12) 등의 결과와 일치되어 물시멘트비 26% 이하로 할 경우 내구성 향상이 기대된다.

한편 그림 9에서 AE콘크리트로 제조할 경우에는 본 실험조건의 물시멘트비에 관계없이 동결융해를 300회 실시하여도 내구성이 양호하게 나타났는데 이는 공기포가 동결팽창압을 완충 시킨 때문인 것으로^(13, 14, 15) 판단된다.

따라서 보통콘크리트보다 고허산염시멘트의 내구성이 약간 우수하지만 내구성을 고려하여야 할 고허산염콘크리트에서는 필히 AE 콘크리트로 제조

되어야 할 것으로 생각된다.

3.3.3 건조수축에 미치는 영향

고황산염시멘트를 이용한 고허도콘크리트의 건조수축 시험결과는 표 13과 같이 Non-AE 콘크리트를 대상으로 하여 표준양생과 증기양생조건을 비교 검토하였고, 이를 그림 10과 그림 11로 나타내었다.

여기서 그림 10과 같이 표준양생시 건조수축은 재령 90일에서 보통시멘트의 경우 평균 3.47×10^{-4} 이며 고허산염시멘트는 평균 3.21×10^{-4} 수준으로 건조수축이 약 7%의 감소효과가 나타났다.

한편 그림 11과 같이 증기양생으로 실시한 경우

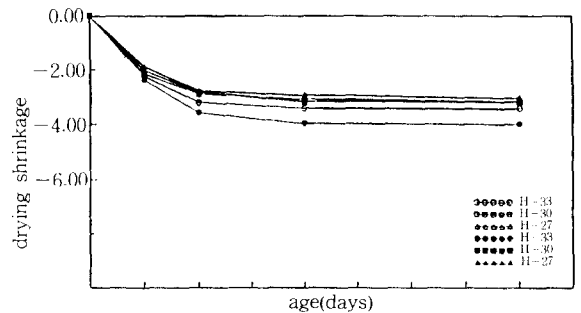


Fig. 10 Drying shrinkage of high strength concrete at each W/ C ratio in standard curing condition

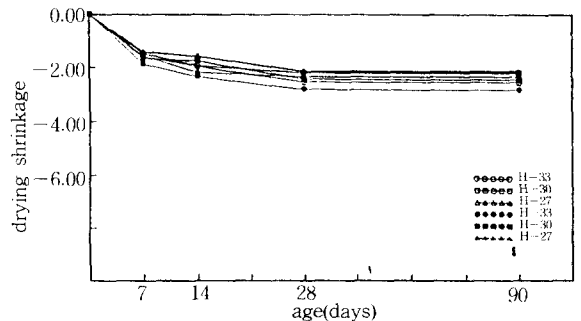


Fig. 11 Drying shrinkage of high strength concrete at each W/ C ratio in steam curing

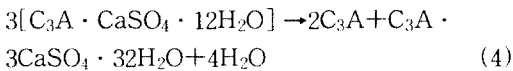
Table 13 Drying shrinkage of high strength concrete at each W/ C ratio and curing condition

Cement	Test NO	Ages W/C(%)	Standard curing condition				Steam curing (65°C, 5hr)			
			7ds	14ds	28ds	90ds	7ds	14ds	28ds	90ds
high calcium sulfate	H-33	33	-2.25	-3.21	-3.42	-3.43	-1.58	-1.96	-2.54	-2.55
	H-30	30	-2.14	-2.91	-3.06	-3.17	-1.47	-1.93	-2.19	-2.21
	H-27	27	-1.89	-2.78	-2.93	-3.04	-1.42	-1.58	-2.13	-2.14
ordinary portland cement	O-33	33	-2.39	-3.59	-3.98	-4.01	-1.87	-2.35	-2.81	-2.84
	O-30	30	-2.18	-2.84	-3.19	-3.21	-1.65	-2.34	-2.43	-2.46
	O-27	27	-2.03	-2.81	-3.15	-3.19	-1.57	-2.34	-2.34	-2.35

재령 90일의 보통시멘트에서 평균 2.55×10^{-4} 고황산염시멘트는 약 2.30×10^{-4} 으로 약 10% 건조수축 감소효과가 나타났다. 특히 증기양생으로 한 경우 표준양생시보다 건조수축 값이 약 28% 감소되어 증기양생시 건조수축에 의한 균열방지의 개선효과가 크게 있음을 나타냈는데 이는 축진양생에 의한 초기 강도 발현으로 인한 수화물 골격형성으로 건조수축이 감소된 것으로 판단된다. 한편 물시멘트비가 낮을수록 건조수축 값이 감소되었는데 이는 단위 수량감소에 의한 건조수축 감소로 판단된다.

3.3.4 화학저항성에 미치는 영향

시멘트 수화물중의 칼슘 모노설페이트는 해수나 토양중에 함유된 황산 이온에 의해 식 (4)와 같이 에트린자이트로 다시 역반응이 일어나 팽창압에 의한 콘크리트 조직이 파괴되는 원인이 된다.



따라서 이러한 화학저항성을 검토하기 위하여 표 8의 미경화된 Non-AE 콘크리트를 5mm체로 체가름한 물탈을 추출하여 5cm입방체로 각 3개씩 제작하여 양생방법별로 7일간 양생시킨 후 35% 황산나트륨 용액에 각 재령별로 무게손실 중량 [%]을 측정하여 결과를 표 14 그림 12에 나타내었다.

재령 90일의 표준양생시 고황산염시멘트는

Table 14 Test result of weight loss at 35% sodium sulfate solution

Test NO	W/C [%]	Standard curing condition				Steam curing condition[65°C, 5hr]			
		7ds	14ds	28ds	90ds	7ds	14ds	28ds	90ds
H-33	33	0.83	1.95	3.28	6.15	0.21	0.25	0.95	2.17
H-30	30	0.72	1.28	3.15	6.13	0.19	0.24	0.93	2.15
H-27	27	0.69	1.85	3.13	6.11	0.19	0.24	0.89	2.29
O-33	33	1.81	3.03	4.93	9.46	0.34	0.93	1.94	3.95
O-30	30	1.68	2.94	4.84	9.21	0.31	0.92	1.89	3.87
O-27	27	1.42	2.90	4.76	9.07	0.31	0.91	1.76	3.54

ex) H-33

High calcium sulfate cement - W/C 33%

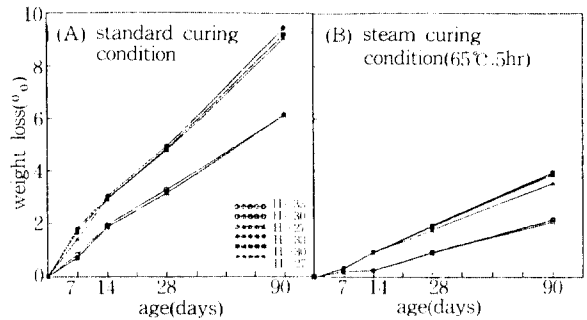


Fig. 12 Relationship between weight loss and kinds of cement at 35% sodium sulfate solution

6.13%의 손실중량을 보이고 있으나 보통시멘트의 경우에는 9.25%의 값을 나타내 약 34% 화학저항성 개선효과가 나타났으며 증기양생을 실시한 경우에는 표준양생시보다 손실중량이 50%정도 대폭 감소되어 화학저항성의 개선효과가 표준양생에서의 시멘트 종류에 의한 개선효과보다 더 크게 나타났다. 이러한 원인은 증기양생으로 실시한 경우 고황산염시멘트는 에트린자이트 수화물로 내부조직을 치밀하게 하여 가용성염류의 침투가 어렵고 이로 인해 화학저항성을 개선시킨 것으로 판단된다.

4. 결 론

(1) 고황산염시멘트의 수화특성은 재령 1일의 초기 재령에서 침상결정인 에트린자이트 수화물이 보통시멘트보다 다량 생성되므로써 수화물에 의한 내부공극을 치밀하게 하였으며 고강도 발현 기구는 에트린자이트 생성시 32배의 자유수와 결합함으로써 시멘트내의 물시멘트비 감소효과와 내부공극의 치밀화로 압축강도가 향상된 것으로 판단된다.

(2) 시멘트페이스트내의 총기공량은 재령이 증가함에 따라 점차 감소되어 내부 조직이 치밀하게 되며 에트린자이트 수화물로 초기 재령에서 총기공량이 현저히 감소되었다. 총기공량과 물탈 압축강도는 상관성이 매우 크며 고황산염시멘트를 증기양생할 경우 표준양생으로 실시한 경우보다 재령 28일에서 약 21%의 공극 감소효과로 27%의 압축강도가 향상되었다.

(3) 고강도콘크리트의 역학적 특성중 압축강도는 최고 904kg/cm², 휨강도 91kg/cm²의 고강도콘크리트를 고헬산염시멘트를 이용하여 얻었으며 압축 및 휨강도 상관식을 재령 7일과 28일에서 각각 도출하였다. 또한 동결융해에 의한 내구성은 보통시멘트의 경우보다 양호하게 나타났으나 내구성을 고려하여야 할 고강도콘크리트는 필히 AE 콘크리트로 제조되어야 할 것으로 판단된다.

(4) 양생방법에 따라 건조수축이 크게 좌우되어 증기양생할 경우 표준양생시보다 재령 90일의 건조수축이 약 28% 감소되었다. 이는 시멘트 수화촉진으로 인한 감소효과로 판단되며 따라서 증기양생 방법은 건조수축의 개선효과가 크다. 또한 시멘트종류별로 보면 고헬산염시멘트는 보통시멘트보다 약 10%의 건조수축 감소효과가 나타났는데 이는 초기재령에서 수화물 축진으로 건조수축 감소된 것으로 판단된다.

(5) 35% 황산나트륨 용액에서 침적 기간별, 무게 손실증량 [%]에 의한 화학저항성을 측정된 결과 고헬산염시멘트가 보통시멘트에 비해 화학저항성이 양호하게 나타났으며 특히 증기양생할 경우 표준양생시보다 약 50% 화학저항성 개선효과가 나타났는데 이는 에트린자이트 수화물에 의한 공극감소와 32배의 자유수와 결합하여 물시멘트비 감소로 인한 내부공극이 치밀하여 가용성 염류의 침투가 불가하여 화학저항성이 우수하게 나타난 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 申成雨, "고강도 콘크리트", 콘크리트학회지 제2권 1호, 1991, 3, pp.18~22.
2. 김태훈, "올림픽 대교에 사용한 고강도 콘크리트의 시공 관리", 콘크리트학회지, Vol 4, No.1, 1992, 3, pp.48~57.
3. 변윤주 외, "프리캐스트 프리스트레스트 콘크리

- 트 박스저더 교량의 설계와 시공", 콘크리트 학회지, Vol 4, No.3, 1992, 9, pp.34~42.
4. 高橋和雄, "高強度コンクリート用混和材料の利用に関する研究", セメントコンクリート, No.466, 1985. pp.7~15.
5. 重倉祐光, "高強度コンクリート用混和材料に関する研究", 第4回コンクリート工學年次講演論文集, 1982, pp.109~112.
6. 河井徹, "1000kg/cm²コンクリートの實用化への挑戦", セメントコンクリート, No.508, 1989, pp.31~32.
7. 朴乘範, 任昌惠, "高黃酸鹽 시멘트를 이용한 高強度 콘크리트의 壓縮強度 特性에 관한 實驗的 研究", 콘크리트학회 논문집, 제4권 3호, 1992, 9, pp.135~145.
8. 三宅信雄, "無機系混和材を用いた高強度コンクリートの力學的性狀", 콘크리트工學, Vol.18, No.4, 1980, pp.23~29.
9. 寺村悟, "高強度化のための混和材の開発", セメントコンクリート, No.546, 1992, 8, pp34~40.
10. R. Jones, "Relationship between flexural strength of concrete beams and compressive strength", Magazine of Concrete Research, Vol.9, No.26, 1957, pp.89~94
11. G.J. Verbeck, "Pore structure", ASTM, SP. tech., No.169, 1956, pp.136~142.
12. 鎌田英治, "セメント硬化體の微細構造とコンクリートの凍結", 콘크리트工學, Vol.19 No. 11, 1981, pp.36~42.
13. A.M.Neville, "Properties of concrete", Pitman publishing, Bath, 1977, pp.22~263.
14. 田村康夫, "蒸氣養生した高強度コンクリートの組織構造と耐久性について", セ技年報 36, 1972, pp.251.
15. 大森淑孝, "蒸氣養生コンクリートの耐久性におはす諸要因の影響", セ技年報 40, 1986, pp.431~434.

(접수일자 : 1993. i. 6)