

고강도 시멘트(증기양생용)의 개발과 적용

업 태 선

〈쌍용중앙연구소 콘크리트연구실〉

1. 서 언

국토개발사업(서해안개발, 신도시계획, 고속화사업 등)의 본격 추진으로 각종 공사에 사용되는 콘크리트제품은 고강도·고내구성을 요구하고 있다.

이런 건설시장의 needs에 따라 이미 관련 콘크리트제품의 품질규격은 고강도화를 위해 개정(파일, 흙관 등)이 추진되 바 있으나 현 생산업체는 설비의 신규투자 또는 개선 등이 요구되어 아직 관련 고강도제품을 생산하지 못하고 있는 실정이다.

또한 각종 건설계획의 추진과정에서 전자재의 품귀현상의 가중은 콘크리트제품 생산업체의 생산성 향상이 절대 요구되고 있다.

이에 따라 당사에서는 콘크리트제품의 고강도 및 생산성을 향상시킬 수 있는 증기양생 전용 고강도시멘트를 개발하여 생산채비를 갖추었고 향후 본 개발시멘트의 적극적인 활용을 위해 그의 특징과 적용성을 소개코자 한다.

2. 고강도콘크리트의 필요성

각종 건설현장에서 고강도콘크리트 사용 경우의 잇점은 <표-1, 2, 3>과 같으며, 이와 같은 장점에 따라 콘크리트제품의 고강도화가 요구되고 있다.

3. 고강도시멘트의 개발과 특징

앞서 기술한 것과 같이 콘크리트제품의 고강

고강도화에 따른 장대화·고층화

<표-1>

항목 강도 (kg/cm ²)	보의 높이		보높이/Span		층 량 (%)
	(m)	감소율 (%)	비 율	감소율 (%)	
400	3.1	-	1:16	-	100
800	2.1	32	1:24	50	57
1,200	1.7	45	1:30	88	45

고강도화에 따른 기초시공비 절감

<표-2>

항목 제품	설계강도 (kg/cm ²)	항타 깊이	항타수	상태	파일 수	시 공 비
고강도파일	800	27m	7,000회	양호	24	약 23% ↓
일반 파일	500	20m	3,200회	파괴	31	

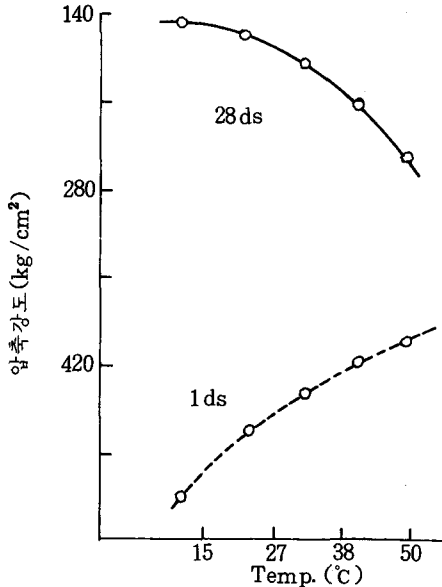
고강도화에 따른 안정성 증대

<표-3>

항 목	강 도	열차속도증가에 따른 요구 콘크리트 강도					
		55	65	70	90	140	210~260
속도(km/h)		55	65	70	90	140	210~260
허용응력(kg/cm ²)		40	65	70	140	155	200~270
설계기준강도(kg/cm ²)		120	200	210	450		600~800
비 고		재 래 선			고속 전철		

도화와 생산성 향상은 국토개발사업에 절대 필요하지만 보통 포틀랜드시멘트는 <그림-1>과 같이 상압증기양생을 할 경우에 시멘트 입자주위에 젤상물질이나 결정의 석출에 의해 반투막을 형성하고 이 막이 빠르게 난투과성으로 되어 장기강도가 저하되는 원인이 되고 있다.

이에 따라 당사에서는 상압증기양생을 할 경우에도 강도저하현상이 없고 오히려 증기양생에



〈그림-1〉 양생온도와 강도발현 특성(보통시멘트)

당사 개발 고강도시멘트의 특징

〈표-4〉

항 목	강 도	재령 강도 (kg/cm ²)				실험 조건
		1 일	3 일	7 일	28 일	
표준 양생	고강도	142	239	291	471	W/C; 48.5 %
	보 통	77	196	293	370	
증기 양생	고강도	439	441	507	616	· flow : 110±5% · 혼화제 : 1.0 %
	보 통	239	259	293	330	

서 고강도가 발휘되는 증기양생 전용 고강도시멘트 개발의 필요성을 인식하여 〈표-4〉와 같은 특징을 갖는 증기양생전용 고강도시멘트를 개발하였다.

4. 고강도시멘트의 현장 적용

국내의 경우 고온고압 양생설비 및 제조기술 낙후로 그동안 제조하지 못하였던 고강도콘크리트제품(파일, 홑관, 침목 등)을 본 연구에서 개발한 고강도시멘트로 현장적용 실험을 추진하여 적용가능성을 검토하였다.

4.1 고강도파일

고강도 PC 파일은 업체에서는 Autoclave 설비를 도입하지 않으면 생산이 불가능 것으로 인식되어 왔고 이에 따라 일부 업체는 Autoclave 양생설비의 도입추진을 검토 중에 있다.

본 절은 고강도시멘트를 이용하여 800kg/cm² 이상의 고강도 PC 파일의 생산가능성을 조사한 것이다.

1) 적용배합 검토

800 kg/cm² 이상의 고강도를 낼 수 있는 콘크리트 배합조건을 검토한 결과는 〈표-5〉와 같고 본 결과 고강도시멘트를 560kg/m³ 정도 사용하면 800kg/cm² 이상이 달성되고 있다.

고강도 PC 파일의 배합검토

〈표-5〉

배 합 조 건				성형성*	증기 양 생 도 (kg/cm ²)				증기 양 생 조 건
시 멘 트 (kg/cm ²)	유 동화제 (%)	W/C (%)	S/A (%)		14hr	1 일	7 일	28 일	
560	0.5	29	40	△	661	693	823	838	전 치 : 3 hr 양 생 시 간 : 8 hr 양 생 온 도 : 65 °C
		31		○	653	739	816	861	
		33		○	602	675	759	849	
	1.0	27	40	×	645	708	803	861	
		29		○	705	719	880	942	
		31		○	638	881	853	872	
	1.5	25		○	743	742	870	911	
		27	40	○	742	727	873	911	
		29		○	688	713	832	841	

* ○ : 양호, △ : 보통, × : 불량.

2) 제품생산

업체의 생산조건에 따라 고강도 PC파일을 직접 생산한 결과는 <표-6,7>과 같으며 고강도 시멘트를 사용하여 800kg/cm² 이상의 고강도 파일제조가 가능했다. 다만 본 제품의 적용에서는 일반파일의 생산공정시간에 비해 몰드성형 시간을 약 10~15분 정도 단축할 필요가 있었다.

현장 적용 배합

<표-6>

항목 공장	배 합 조 건					Slump
	시멘트 (kg/m ³)	W/C (%)	S/A (%)	유동화제 (%)	지연제 (%)	
A	560	25.6	40	1.0	-	1cm이하
B	570	26.3	33	1.5	0.07	5cm이하

생산된 고강도 PC 파일의 물성

<표-7>

항목 공장	공 시 체 압 축 강 도 (kg/cm ²)					제 품 강 도 (%)		비 고
	탈 형	1 일	7 일	14 일	28 일	균 열	파 괴	
A	585	684	834	866	-	20.3 ↑	15.1 ↑	동결기 (2월)
B	-	615	688	823	-	-	-	하절기 (5월말)

* 참조 : 사용골재 ; 야적된 현장골재 사용(최대골재 치수 25mm).

4.2 흡관

신도시계획 추진에 따라 철근 콘크리트관의 제품 규격강도는 관련기관에 의해 요구강도가 약 30~50% 상향 개정될 예정인 바(92.1월) 생산업체는 요구품질제품을 생산키 위해서는 공

적용된 양생조건

<표-8>

항목 조건	증 기 양 생					비 고
	전양생	승 온 시 간	증기 양생	증기양 생 시간	냉각 시간	
양생 조건	1 hr	2:30hr	65℃	3 hr	1 hr	7:30hr

선정된 배합조건

<표-9>

항목 구분	시멘트종류	배 합 조 건			Slump (%)	강 도 (kg/cm ²)		
		시멘트 (kg/m ³)	W/C (%)	S/A (%)		탈 형	7 일	28 일
1	고 강 도 시 멘 트	520	44.2	45	5.5	268	483	613
2		420	48.5	47	5.0	224	429	534
3	1 종 시 멘 트	420	54.3	52	7.3	101	252	318

정개선과 신규설비투자가 요구되나 고강도 시멘트로 상기 규격제품의 제조 가능성을 검토했다.

1) 배합

현업의 1일 2-3교대 생산공정을 고려하여 현 생산제품의 요구강도보다 2배 정도 발휘될 수 있는 배합조건을 검토하였다.<<표-8,9>참조

2) 제품생산

고강도흡관(KSF 4408)의 가능성을 생산업체의 협조를 얻어 조사하였으며 본 실험결과<<표-10, 11> 참조) KSF 개정규격 만족과 아울러 기존 제품에서의 철근량의 감소가 기대되었다.

현장제조 실험조건

<표-10>

조건	내용	
생 산 조 건	성형	<ul style="list-style-type: none"> · 제품 : 원심력성형(생산공장의 조건채택 : φ 600 mm 제품) · 공시체 : 진동다짐(φ 10×20 cm)
	양생	전양생(2hr)~증기양생온도(70~80℃)-양생시간(5hr)
생 산 실 험	<ul style="list-style-type: none"> · 1 차 : KSF 4403 품질(철근배근 : 75 mm pitch) · 2 차 : KSF 4408 품질(철근배근 : 75 mm pitch) 	

흙관 규격제품 적용

<표-11>

적용 규격	항 목 구 분	배 합 조 건				철 배 근 의 Pitch (mm)	공 시 체 강 도 (kg/cm ²)		제 품 의 균 열 강 도 (kg/m)		규 격 대 비
		시 멘 트 (kg/m ³)	W/C (%)	S/A (%)	Slump (cm)		7 일	14 일	7 일	14 일	
KSF 4408	목 표 품 질	-	-	-	-	-	-	-	3,000		-
	*고강도시멘트	520	44.2	45	4	30	504	602	2,880	3,440	약 115 %
	1 종 시 멘 트	520	44.2	45	5	30	330	443	2,360	2,320	약 78 %
KSF 4403	목 표 품 질	-	-	-	-	-	-	-	2,000		-
	*고 강 도 시 멘 트	520	46.2	45	7	75	330	480	2,120	2,329	116 %
	1 종 시 멘 트	520	53.4	45	13	75	293	405	1,920	2,120	106 %
	1 종 시 멘 트	520	46.2	45	7	75	204	310	1,600	1,880	94 %

<표-12> 철도 침목의 제조실험계획

인자	수준	실 험 수 준	비 고
배합	시멘트	410kg/m ³ , 450kg/m ³ , 490kg/m ³	-
	W/C	33 %, 36 %, 39 %	
양생 방법		조건 (I), 조건 (II)	KSF 4207
성형 방법		진동봉 다집	

4.3 철도침목 및 기타

고속전철사업 및 도시고속화 추진으로 침목과 교량은 안정성 증대를 위해 품질의 균질성이 요구되고 이의 확보를 위한 고강도화가 필요로 하고 있다.

본 절은 고강도시멘트를 이용하여 고속화사업에 사용되는 콘크리트제품의 고강도화와 생산성 향상을 꾀하기 위해 추진되었다.

<표-13> 양 생 조 건

항목 구분	증 기 양 생 조 건					총양생 시 간
	전양생	승온 시간	증기양 생온도	양생 시간	냉각 시간	
조건(I)	2	2	65℃	5	2	11 hr
조건(II)	3	3	65℃	6	3	15 hr

4.3.1 침목

1) 실험조건

침목의 내구성향상을 위해 고강도시멘트의 적용배합, 양생조건을 선정키 위해 <표-12,13>과

배합조건별 강도 특성

<표-14>

실 험 조 건						Slump (cm)	조 건 I (kg/cm ²)				조 건 II (kg/cm ²)				
시멘트 (kg/m ³)	W/C (%)	S/A (%)	Slump (cm)	고유동화제 (%)			탈형	1 일	7 일	28 일	탈형	1 일	7 일	28 일	
목 표 품 질						-	380	-			550	380	-		
410	33	37	3~5	2.6	3.8	371	421	529	564	386	450	552	618		
	36			1.7	3.9	305	386	484	530	386	418	528	583		
	39			1.3	4.1	298	356	445	524	379	387	455	554		
450	33	37	3~5	1.8	3.2	415	443	572	634	425	493	552	603		
	36			1.3	3.1	373	411	535	611	372	483	545	577		
	39			0.8	3.1	315	380	495	583	362	435	473	578		
490	33	37	3~5	1.4	3.5	421	459	561	615	417	524	551	632		
	36			1.0	3.3	392	426	544	618	425	428	553	580		
	39			0.5	4.0	347	390	501	592	361	411	498	576		

* 양생조건(I): 1일 2교대, 양생조건(II): 1일 1교대.

같이 실험계획을 수립하여 추진하였다.

2) 실험결과

고강도시멘트를 이용하여 침목을 제조할 경우

<표-14,15>와 같이

- 생산성 증대 (1일 2교대)
- 자금 및 부지회전 증가(출하 7일)
- 보판·운송비 절감(시멘트 10% 절감)
- 고속화에 따른 안전성 증대

등의 효과가 기대된다.

3) 현장제품 생산

검토된 배합을 관련기관과 생산공장의 협조를 얻어 직접 제품생산을 추진하였다.

적용한 배합은 당사 추천배합과 현장 배합 2종류로 추진하였으며 본 실험결과와 기대효과보다도 양호한 결과를 얻었다.(<표-16,17>, <그림 2> 참조)

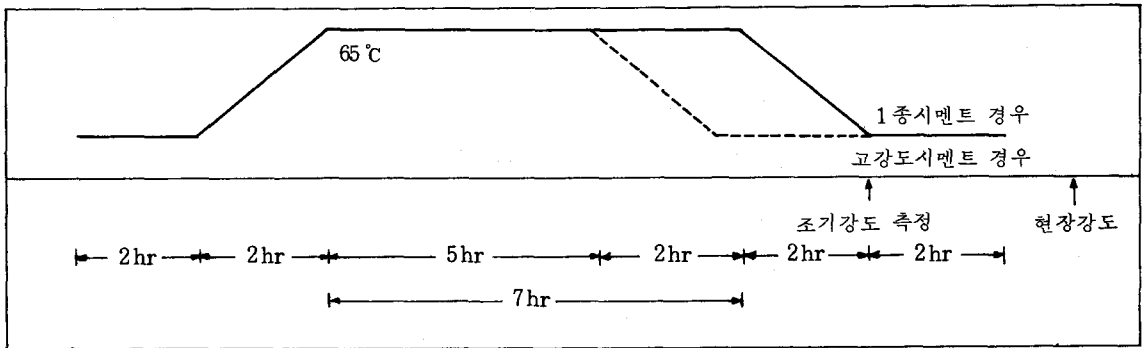
시멘트 특성 비교

<표-15>

항목	배 합 조 건				Slump (cm)
	시멘트 (kg/m ³)	W/C (%)	S/A (%)	유동화제 (kg/m ³)	
고강도	460	35	37	6.1	3.5
1 종	510	30	37	6.1	4.5

항목	길 이 변 화 (×10 ⁻⁴)				
	수중 1주	기전 1주	2 주	4 주	8 주
고강도	+1.63	-0.40	-0.68	-1.63	-2.39
1 종	+0.45	-2.23	-3.22	-3.94	-4.48

항목	진동주파수		상대동탄성계수 (%)	pH	기공량 (cc/g)	Creep 계 수
	0 회	19 회				
고강도	2,052	1,246	37.0	12.5	0.0335	2.0
1 종	1,964	974	24.5	12.3	0.0525	2.4



<그림-2> 현장 제품생산의 양생조건

현장 제품생산의 적응배합

<표-16>

항목	배 합 조 건	재 료 조 건 (kg/m ³)									Slump (cm)	공기량 (%)
		종 류	시멘트 (kg/m ³)	W/C (%)	S/A (%)	유 동 화 제 (%)	시멘트	물	모래	자갈		
당사 추천	고강도 시멘트	460	34	39	1.4	460	156	817	1,103	6.44	6.7	1
현장 배합	고강도 시멘트	564	28	42	1.0	564	158	730	1,001	5.64	2.5	1
	1 종 시멘트	564	28	42	1.0	564	158	730	1,001	5.64	4.0	1

4.3.2 교량

교량용 부재는 보수공란, 중하중차량의 증가, 고속화추진 등으로 고강도와 내구성이 절대 요구되며 일본 경우는 주로 600kg/cm² 이상의 제품이 사용되고 있다.

본 절은 현장 타설 증기양생제품(특히 빔, 보)

의 내구성 향상을 위해 600kg/cm² 이상의 제품(공기연행 4%) 제조가능성을 고강도시멘트를 이용하여 검토한 것이다.

1) 실험조건

본 실험에 사용된 배합 및 양생조건은 <표-18,19>와 같다.

현장제품 적용

<표-17>

구분	항 목	압 축 강 도 (kg/cm ²)					PC 침목 제품실험 (%)			
		11 hr	16 hr	7 일	14 일	23 일	7 일		28 일	
							직하부	중상부	직하부	중상부
당 사 추 천 배 합		461	624	747	740	811	120	112	120	121
현장 배합	고강도시멘트	-	537	730	763	838	107	103	107	101
	1종시멘트	-	401	532	530	634	100	100	100	100

배 합 조 건

<표-18>

구분	항 목	배 합 조 건 (kg/m ³)					Slump (cm)	공 기 량 (%)
		시멘트	물	모 래	자 갈	고유동화제		
고강도시멘트		460	153	664	1,031	5.52	4.5	4.0

양생 · 성형조건

<표-19>

구분	조 건	세 부 내 용
양 생		천양생(2hr) - 승온시간(2hr) - 65°C (5hr) - 냉각(2hr)
성 형		진동봉 사용

600kg/cm² 이상의 PC빔, 보용 적용 배합 물성 <표-20>

회수	항목	압 축 강 도 (kg/cm ²)					
		11 hr	14 hr	1 일	7 일	14 일	28 일
1 회		398	-	405	573	626	632
2 회		470	-	513	571	-	634

2) 실험결과

단위시멘트량 460kg/m³ 사용으로 14일 재령에서 600kg/cm² 이상의 강도가 발현되며 11hr~1일 재령에서 인장된 PC강선을 해체하여 prestress 도입이 가능하다(<표-20> 참조).

5. 결 언

국내 건설시장은 대형 공사의 확대에 따라 고강도 콘크리트 제품생산과 아울러 생산성 향상

이 요구되고 있다.

이런 업계의 요구와 여건을 고려하여 당사에서는 고강도화와 생산성 향상을 추진할 수 있는 증기양생전용 고강도시멘트를 개발하였고 본 시멘트를 이용하여 각종 고강도 콘크리트제품(파일, 휴판, 침목 등)에 적용실험을 추진한 결과 그 적용성이 매우 뛰어났다.

본 개발 고강도시멘트는 본격 생산출하가 추진 중에 있으며 향후 국내 콘크리트제품의 고강도화와 생산성 향상을 위한 용도로 이용이 기대된다.