



중국의 특수 시멘트와 이의 제조·기술(2)

전 종 협 <中國三河 特殊建築材料廠>

(5) 快硬高强 鋁酸鹽水泥 (Rapid hardening & high strength aluminate Cement)

快硬高强 鋁酸鹽水泥는 종래 高鋁水泥의 후기 강도 결함을 보완하여 빨리 경화하고 조기강도가 높으며 또한 후기강도가 계속 증대하는 시멘트로 핵시설물공사와 특수군사시설공사에 사용할 목적으로 개발되었다.

快硬高强 鋁酸鹽水泥의 주요 특성은 아래와 같다.

- 1) 정상응결에서 신속경화
- 2) 조기강도발현 양호
- 3) 후기강도발현 양호
- 4) 치밀성, 항침성 양호

(가) 제조기술

① 클링커

Aluminate계 클링카의 수화속도는 $C_{12}A_7 > CA > CA_2 > CA_6$ 순이며 $C_{12}A_7$ 은 응결이 빠른 반면 CA_6 는 응결이 늦고 강도도 낮다. CA_2 는 14일 양생이후 비교적 높은 강도를 발현하지만 초기강도는 낮고, CA 는 초기강도 발현이 높다.

快硬高强 鋁酸鹽水泥 제조기술의 주안점은 조강성과 고강성을 부여하는 CA 와 CA_2 함량에 주안점을 두었다.

② 최적량의 무수석고 첨가와 무수석고의 선택

이 시멘트의 조강성, 고강성, 미팽창성을 부여하기 위하여는 용해속도가 낮은 석고의 선택이 필요

하다. 이는 석고의 용해속도가 빠르면 조기에 팽창이 커져서 조기강도에 영향을 주기 때문이다.

그러므로 이 시멘트에 첨가하는 석고는 용해도가 낮은 무수석고(천연무수 석고)를 사용해야 한다. (주: 필자는 태국산 천연무수석고, 중국산 천연무수석고(경석고) 그리고 한국산 불산부산무수석고를 비교 사용한 바가 있는 바 중국산 천연무수석고(경석고)를 제외한 무수석고는 용해도가 매우 커서 사용에 적합치가 않았음) 최적량의 무수석고를 첨가하면 재령별로 강도가 증진된다. 그러나 이를 초과할 때는 6시간이후의 강도가 저하되고 후기 양생에서 선팽창율이 증가된다.

③ 분쇄

비표면적을 높게하면 강도는 증가되나 후기팽창이 감소된다. 반면에 비표면적이 낮으면(대개 $3,500\text{cm}^2/\text{g}$ 이하) 후기팽창이 커진다. 그러므로 강도와 팽창성능을 고려하여 시멘트의 비표면적은 $4,000\text{cm}^2/\text{g}$ 이상이 적합하다.

(나) 수화

快硬高强 鋁酸鹽水泥 클링카의 주요광물은 CA 와 CA_2 이고 이시멘트의 주요수화광물은 $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ 와 $Al_2O_3(aq.)$ 이다.

클링카의 조성광물, 석고의 형태, 수화생성물, 특히 에트린자이트의 생성속도와 이의 양이 수화의 결정요인이 된다. 용해속도가 작은 무수석고와 신속한 경화성의 CA 광물의 수화반응은 빠른 응결을



차 례

1. 개요

2. 중국의 특수시멘트와 이의 제조기술

가. 快硬高强 水泥 (Rapid hardening & high early strength Cements)

- (1) 快硬硅酸鹽 水泥(Rapid hardening portland Cement)
- (2) 明礬石高强 水泥(Alunite high early strength Cement)
- (3) 快凝快硬硅酸 鹽 水泥(Rapid hardening & high early strength Cement)
- (4) 快凝快硬弗鋁酸 水泥(Rapid hardening & high early strength calcium fluoroaluminate Cement)
- (5) 快硬高强鋁酸 水泥(Rapid hardening & high early strength aluminate Cement)
- (6) 阿里特硫酸 鹽水泥(Alite-calcium aluminosulphonate Cement)
- (7) 超高强 水泥(DSP Cement, Densified systems containing homogeneously arranged ultrafine particles)
- (8) 快硬硫硅酸鹽 水泥(Rapid hardening & high early strength calcium fluoroaluminate Cement)
- (9) 初速硬高强 水泥(Super high early strength Cement)

나. 膨脹制와 膨脹 水泥 (Expansive agent & Expansive Cements)

- (10) 膨脹制 (Expansive agent)
- (11) 硅酸鹽膨脹 水泥(Expansive Portland Cement)
- (12) 明礬石膨脹 水泥(Alunite Expansive Cement)

다. 自應力 水泥 (Self stressing Cements)

- (13) 自應力硅酸鹽 水泥(Self stressing portland Cement)
- (14) 明礬石自應力 水泥(Self stressing alunite Cement)

라. 水工 水泥 (Cements for irrigation works)

- (15) 中熱硅酸鹽 水泥(Moderate heat portland Cement)
- (16) 低熱微膨脹 水泥(Low heat & slight expansive Cement)

마. 油井 水泥 (Oil well Cement)

- (17) 油井 水泥 45℃/75℃ (Oil well Cement 45℃/75℃)
- (18) 油井 水泥 120℃ (Oil well Cement 120℃)

억제함과 동시에 수화초기의 에트린자이트 생성량을 조절함으로써 조기강도를 발현시키고 조기팽창을 억제한다. 이러한 수화반응은 후기로 이어져서 후기강도를 증진시키고 후기팽창을 도모한다.

(다) 물리성능

快硬高强鋁酸鹽水泥은 강도(28일 압축강도 기준)에 따라 등급을 구분하며 중국의 국가공업표준은 아래의 <표-16>와 같으며, 건조수축율과 수중팽창율은 아래의 <표-17>과 같다.

(6) 阿里特硫鋁酸鹽水泥
(Alite-Calcium aluminosulphate Cement)

<표-16> 快硬高强鋁酸鹽水泥의 물리성능 표준

시멘트 등급	응결시간(분)		압축강도(MPa)		곡강도(MPa)	
	초 결	종 결	1d	28d	1d	28d
625	30~60	< 90	35.0	62.5	5.5	7.8
725	"	"	40.0	72.5	6.0	8.6
825	"	"	45.0	82.5	6.5	9.4
925	"	"	47.0	92.5	7.0	10.2

<표-17> 快硬高强鋁酸鹽水泥의 팽창과 수축율

양 생 조 건	수 축 · 팽 창 율 (%)				
	1d	3d	7d	28d	180d
수 중 양 생	0.060	0.042	0.042	0.019	0.042
기 건 양 생	-0.162	-0.181	-0.186	-0.203	-0.192

<표-18> 사용원료의 화학성분

(단위: wt.%)

원 료	l8 · Loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	F	TiO ₂
석 회 석	42.48	0.18	0.20	0.18	55.11				
점 토	6.98	50.08	20.06	8.61	0.42	1.33			
경석고(무수석고)	4.70	1.38	0.28	0.24	39.12	1.88	51.94		
보 크 사 이 트	14.22	5.74	67.38	2.64		1.21			3.08
형 석	1.10	12.56	0.96	0.32	42.55			32.85	

이시멘트는 1986년 소련의 V.B.Khlousov ("The study on Alite-Calcium aluminosulphate cement and its physical properties", The 8th International Cement Symposium, 1986)에 의하여 발표된 바가 있다. 이와 같은 시기인 1985년 중국에서도 1.6/1.35×30.5m의 pilot rotary kiln으로 C₃S-C₄A₃S를 공존케 한다는 것은 더욱 어려운 제조기술을 요구하였다.

(가) 클링카의 제조

C₄A₃S와 C₃S는 생성온도가 서로 다르다. 통상 동일 클링카중 이 두광물이 공존할 수는 없다. 일반적으로 C₃S의 생성온도는 1,300℃이상의 고온에서 이루어진다. 그러나 C₄A₃S는 1,000~1,200℃에서 생성되고 1,300℃가 넘으면 분해가 개시되기 때문에 C₃S와 C₄A₃S는 동일 클링카내에 공존할 수가 없다. (* 주: 필자는 이곳 중국에서 6년여 동안 C₄A₃S를 OPC에 활용하여 OPC의 기존 성능을 초월한 초속경시멘트를 제조하기 위해, 이에 적합한 C₄A₃S(쾌경유여산염수니용 C₄A₃S와는 상이)를 개발하여 이러한 시멘트 생산에 적용하고 있다. 이런 연유로 C₄A₃S광물에는 경험을 가지고 있으나 C₃S-C₄A₃S조성 광물을 이용한 시멘트 제조에는 경험을 가지고 있지 않다. 그래서 이하의 C₃S-



C4A3S \bar{S} 시멘트에 관하여는 阿里特硫酸鹽水泥를 개발한 이들 연구팀의 개발연구과정과 내용을 간략히 추려서 옮겨 적도록 한다.(개발연구기간 : 1985~1987)

① C3S-C4A3S \bar{S} 의 공존조건에 대한 연구

사용원료는 석회석, 점토, 보크사이트, 경석고(무수석고), 형석이다. 사용원료의 화학성분은 아래의 <표-18>과 같다.

상기의 원료를 분리분쇄하여 (비표면적 3,200 ±200cm²/g)아래의 표와 같이 조합원료의 성분을

변경하고 1,250℃, 1,300℃에서 소성한 후 소성된 클링카를 XRD결과에 의하여 검증하였다. 여기에서 Group A는 助熔劑를 첨가하지 않은 것이고 (<표-19>,<표-20>), Group B는 조용제를 첨가한 클링카이다.<표-21>,<표-22>

이에 적용된 소성로는 1.6/1.35 ϕ×30.5m의 회전로이며 미분탄 소성을 하였다. 미분탄의 회분은 13.5%이고 이의 성분은 SiO₂ 48.52%, Al₂O₃ 15.27%, CaO 7.58%, SO₃ 1.98%였다.

CaO-SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃-SO₃계에서 Al₂O₃혹은 SO₃성분 함량을 높이면 C4A3S \bar{S} 특징봉(peak)이

<표-19> Group A클링카(1,250℃×30)의 XRD분석 결과

KH	석고첨가량 A/203 (%) 특징 peak	5				8			
		C3S	C2S	C4A3S \bar{S}	C \bar{S}	C3S	C2S	C4A3S \bar{S}	C \bar{S}
0.83	4.3	×	✓	2.2	0.5	×	✓	3.9	2.1
	5.3	×	✓	2.0	×	×	✓	5.1	2.1
	6.6	×	✓	6.0	×	×	✓	6.8	2.2
0.90	4.3	×	✓	2.4	0.5	×	✓	4.1	2.7
	5.3	×	✓	4.0	×	×	✓	5.3	2.4
	6.6	×	✓	7.0	×	×	✓	11.3	4.0
0.95	4.3	×	✓	2.7	×	×	✓	3.9	2.9
	5.3	×	✓	4.9	×	×	✓	7.9	3.7
	6.6	×	✓	7.0	×	×	✓	11.4	3.9

주 : -검출, ×-미검출, 수자: peak(cm)

<표-20> Group A클링카(1,300℃×30')의 XRD분석 결과

KH	석고첨가량 A/203 (%) 특징 peak	5				8				10			
		C3S	C2S	C4A3S \bar{S}	C \bar{S}	C3S	C2S	C4A3S \bar{S}	C \bar{S}	C3S	C2S	C4A3S \bar{S}	C \bar{S}
0.83	4.3	6.0	✓	×	×	原	✓	0.9	1.6	×	✓	1.3	3.0
	5.3	4.2	✓	×	×	×	✓	1.7	1.5	×	✓	3.2	2.7
	6.6	2.5	✓	×	×	×	✓	4.2	0.8	×	✓	6.0	2.2
0.90	4.3	1.2	✓	×	×	微	✓	1.5	1.4	×	✓	1.5	2.8
	5.3	5.9	✓	×	×	×	✓	3.0	1.4	×	✓	2.9	2.6
	6.6	2.6	✓	×	×	×	✓	5.8	1.0	×	✓	6.0	2.5
0.95	4.3	1.1	✓	×	×	×	✓	4.4	1.4	×	✓	1.9	2.4
	5.3	5.5	✓	×	×	×	✓	3.4	1.4	×	✓	4.0	3.0
	6.6	1.4	✓	×	×	×	✓	5.5	1.0	×	✓	6.6	2.7

〈표-21〉 Group B 클링카(조용제 첨가 1,250℃×30′)의 XRD분석 결과

KH	석고첨가량 A/2O ₃ (%)	5			
		C ₃ S	C ₂ S	C ₄ A ₃ S̄	C ₃ S̄
0.83	4.3	3.6	✓	2.1	×
	5.3	3.1	✓	3.1	×
	6.6	3.5	✓	4.4	×
0.90	4.3	4.3	✓	2.0	×
	5.3	3.2	✓	3.3	×
	6.6	3.3	✓	5.5	×
0.95	4.3	2.9	✓	1.8	×
	5.3	3.5	✓	4.1	×
	6.6	5.5	✓	4.1	×

높아졌고 1,250℃소성온도에서는 C₃S는 검출되지 않았다. 그러나 C₄A₃S̄의 생성만은 분명하였다.

1,300℃, 석고 5%첨가에서는 SO₃함량의 미달로 C₄A₃S̄가 분해소실되었다. (단 C₃S는 존재) 반면에 8%, 10%의 석고와 SO₃함량이 충분할 때는 C₃S가 생성되지 않았다. 상기의 Group A시료, 즉 조용제(Flux)가 첨가되지 않았을 경우는 C₃S와 C₄A₃S̄의 공존생성이 이루어지지 않았다.

조용제 미량첨가, 1,250℃소성시료에서는

C₃S와 C₄A₃S̄가 공존함을 나타내었다. 특히 A l₂O₃ 함량 6.6%에서 최고 peak였다.

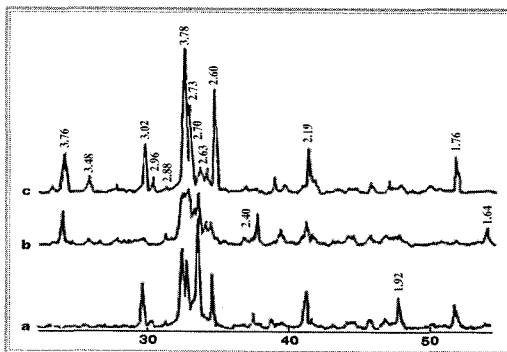
〈표-22〉 Group B 클링카(조용제 첨가 1,300℃×30′)의 XRD분석 결과

KH	석고첨가량 A/2O ₃ (%)	5				8			
		C ₃ S	C ₂ S	C ₄ A ₃ S̄	C ₃ S̄	C ₃ S	C ₂ S	C ₄ A ₃ S̄	C ₃ S̄
0.83	4.3	5.0	3.1	×	×	4.5	2.9	原	2.1
	5.3	5.4	6.5	×	×	9.1	3.4	3.5	2.5
	6.6	5.9	10.2	2.4	×	5.2	2.7	5.6	1.9
0.90	4.3	6.2	5.4	×	×	3.3	2.9	1.3	3.4
	5.3	6.8	8.0	×	×	3.4	3.5	3.6	3.5
	6.6	6.3	7.7	2.7	×	2.0	小	6.0	1.3
0.95	4.3	6.7	5.5	×	×	6.9	2.3	1.9	4.0
	5.3	7.0	7.9	×	×	4.9	2.6	3.5	2.2
	6.6	5.2	8.4	3.1	×	1.8	小	5.9	1.7

1,300℃ 소성, 5%의 석고 첨가량에서는 A l₂O₃ 함량 6.6%에서만 C₄A₃S̄의 존재가 검출되었다.

앞의 〈표-20〉에서와 같이 조용제를 첨가하지 않은 시료에서는 C₄A₃S̄의 존재가 검출되지 않았다. 이는 조용제가 C₄A₃S̄생성에 유리한 안정제 역할을 한다는 것을 알 수 있다.

1,300℃에서 소성된 시료는 C₃A의 존재가 검출되었다. 그러나 A l₂O₃ 6.6%, 석고 8%의 시료에서는 적게 나타났고 이는 KH(석회포화율)가 커질수록 극소량



- a: +CaF₂조용제
- b: +8%석고
- c: +CaF₂조용제 +8%석고

C₃S(3.02, 2.96, 1.76 Å°)
 C₂S(2.88, 2.73Å°)
 C₄A₃S̄(3.76, 2.65, 2.17Å°)
 CaSO₄(3.50Å°)

〈그림-6〉 1,300℃×30′ 소성 클링카의 XRD Pattern



으로 나타나 CaF_2 조
용제의 첨가는 C_3S -
 $C_4A_3\bar{S}$ 조성광물의 공
존에 필수적이라는 것
을 확인하였다. <그림-
6>은 KH 0.90, Al_2O_3
6.6%의 조합원료를
각각 다른 석고와 형석
을 첨가 1,300℃에서
소성한 XRD pattern
이다. 이상에서 C_3S 와
 $C_4A_3\bar{S}$ 가 동시에 공존
할 수 있는 원료의 배
합비와 조용제 그리고 이의 소성온도를 확인하였
다.

이 소성온도 범위에서의 Free CaO의 량을 <표-
23>와 같다.

조용제 첨가시에 F-CaO함량이 대폭감소한다는
사실과 최적 소성온도는 1,250℃~1,350℃범위라
는 결론을 얻었다.<<표-24>>

(나) 시멘트에 첨가하는 석고의 최적량

클링카에 첨가하는 석고의 량은 시멘트의 조강
성과 팽창성능에 따라 결정하며 첨가량은 아래 산
식에 의한다.

$$\text{석고첨가량}(\%) = 0.13M \times 1.99(A - 0.64F) / SO_3$$

A: 클링카 중의 $Al_2O_3\%$

<표-23> 소성온도와 F-CaO의 함량

조합원료 KH	조합원료 $Al_2O_3(\%)$	외 첨 물		온도 $^{\circ}C \times 30'$					
		석고	Flux (CaF_2)	1150	1200	1250	1300	1350	1400
0.83	4.3	0	0	38.25	26.56	13.95	5.90	1.24	
		8	0	18.19	15.04	14.15	9.96	9.04	
		8	0.5	15.30	8.02	3.90	0.94	0.07	
0.83	5.3	0	0	34.94	22.56	10.73	2.71	1.02	0.59
		8	0	19.39	13.94	9.22	7.09	6.83	0.74
		8	0.5	15.88	10.84	3.40	0.07	0.04	0.59
0.83	6.6	0	0	35.14	27.26	11.64	3.61	0.81	
		8	0	24.94	14.60	8.93	8.41	8.1	
		8	0.5	17.61	11.13	2.76	0.51	0.35	

F: 클링카 중의 $Fe_2O_3\%$

SO_3 : 석고의 $SO_3\%$

M: 시멘트에 첨가할 SO_3 량과 $C_4A_3\bar{S}$ 의 Mole비

(가) 물리성능

① 응결과 강도

응결시간은 석고첨가량에 큰 영향이 없으나 강
도는 초기 강도와 후기강도 모두 시멘트중 SO_3 함
량, 6.5~9.0%에서 증진되었다. <<표-25>>

② 미팽창성

시멘트의 팽창율은 시멘트중 석고량(M) 1.0~
2.0일 때는 큰차가 없으나 이를 초과하면 매우 증
가되었다. <<표-26>>

<표-24> 阿利特硫铝酸盐水泥용 조합원료, 클링카의 화학성분과 이의 광물조성

구 분	화 학 성 분 (wt. %)								석회포화율		광 물 조 성 (wt. %)					
	Ig. loss	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	F	SO_3	F-CaO	KH	K	C_3S	C_2S	$C_4A_3\bar{S}$	C_4AF	C_3A+CS
조합 원료	32.74	12.42	4.79	1.65	42.29	0.85	0.29	3.26		0.89	1.02					
클링커		19.25	8.26	2.97	62.09	1.20	0.40	4.0	0.73	0.82	1.00	20~50	20~30	8~13	<11	소량

〈표-25〉 阿利特硫 酸鹽水泥의 물리성능

	시멘트중 총 SO ₃	석고 첨가량	시멘트 비표면적	안정성	(%)	응결시간 (hh:mm)		압축강도/곡강도(MPa)				
						초	종	1d	3d	7d	28d	1y
85-1-0	5.10	0	312	합격	23.75	0:52	1:02	4.0/20.7	5.7/29.6	6.5/37.9	7.6/46.6	
85-1-0.5	5.92	0.5		합격	23.75	0:54	1:08	5.2/22.1	6.0/32.2	7.7/42.1	8.2/53.1	
85-1-1.0	6.70	1.0		합격	23.50	0:55	1:07	5.8/26.7	6.5/38.3	7.1/48.2	8.2/59.0	
85-1-1.5	7.47	1.5		합격	23.50	0:55	1:12	6.1/30.5	6.4/43.4	6.9/54.5	8.2/66.0	
85-1-2.5	8.92	2.5	302	합격	23.75			5.9/29.3	7.4/50.3	8.4/62.0	9.3/70.9	
85-1-3.5	10.30	3.5		합격	24.75	0:57	1:22		4.5/31.6	4.5/42.2	6.8/74.6	10.7/92.0

〈표-26〉 阿利特硫 酸鹽水泥의 팽창율

	시멘트중 석고량(M)	실험 조건	시멘트물탈의 팽창율					
			1d	3d	7d	14d	28d	3m
85-1-1.0	1.0	습함 24h후 탈형	0.025	0.035	0.053	0.060	0.090	0.132
85-1-1.5	1.5	습함 24h후 탈형	0.023	0.028	0.043	0.061	0.091	0.158
85-1-2.5	2.5	습함 24h후 탈형	0.29	0.451	0.561	0.617	0.680	0.808

이외에 이수석고와 무수석고의 성능비교, 내마모성, 내부식성, 탄성, 고로수재의 첨가, Fly-ash의 첨가 등에 관한 실험성적은 지면상 생략기로 한다.

(7) 超高強水泥 (DSP Cement, Densified systems containing homogeneously arranged ultrafine particles)

시멘트는 용도가 많고 쓰기 편하며 값이 저렴한 제1의 건재이다.

그러나 結構材로서 철근이나 각종 섬유로 보강을 한다해도 한계가 있다. 이는 특히 곡강도가 요구에 미치지 못하기 때문이다. 이를 극복하기 위하여 1980년대초 덴마크의 Aalborg Cement Co.을 선두로 DSP Cement(Densified systems containing homogeneously arranged ultrafine particles)가 개발되기 시작하였다.

이어 중국에서도 이의 연구개발에 착수하여

DSP시멘트와 함께 MDF시멘트(Micro defect free Cement)도 개발을 완성하였다.

(가) DSP시멘트의 성분

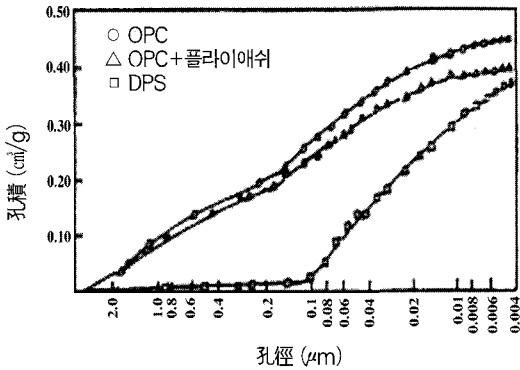
DSP시멘트의 주요성분은 보통시멘트와 규회(silica fume)와 고유동화제이다. 전형적인 배합비는 보통시멘트 75%+ 25%규회암이다.

규회는 silica 또는 silicon ferro함금제조시의 부산물로서 SiO₂함량 95%이상의 무정형상태로 나타나고 화산회와 같은 활성도가 있다.

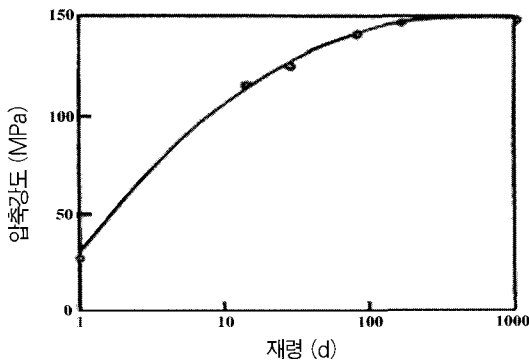
이외에 규회는 입도가 높는데 평균 입경이 0.1μ 정도이다.

규회의 첨가효과는 시멘트 입자간의 孔隙충진으로 극히 치밀한 구조체를 갖게 한다는 것과 시멘트 수화물 Ca(OH)₂와 반응하여 C-S-H계 생성으로 강도를 증진시킨다.

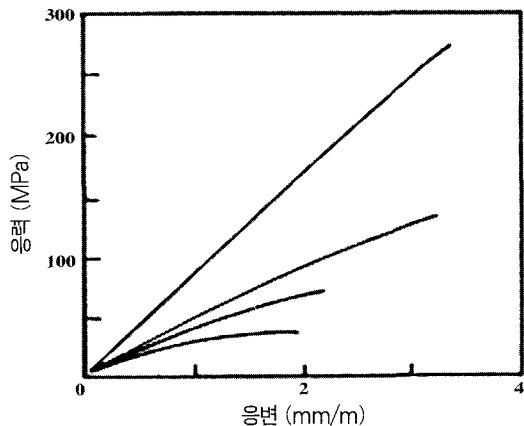
고유동화제는 일종의 유기고분자 표면활성제로서 분산작용과 감수효과를 증진시킨다.



〈그림-7〉 DSP시멘트 몰탈의 체공분포곡선



〈그림-8〉 DSP시멘트 콘크리트의 압축강도



〈그림-9〉 DSP시멘트콘크리트의 응력-응변

(나) DSP시멘트 경화체의 조성과 結構

DSP시멘트의 가수량은 극히 적어서 시멘트의 충분한 수화가 곤란하다. 경화체 중 중요한 것은 미수화 시멘트와 충분히 반응을 하지 않는 규회 및 일정량의 시멘트 수화생성물 C-S-H와 Ca(OH)₂ 결정체를 볼 수 없다. C-S-H계의 CaO/SiO₂ Mole비는 보통시멘트의 C-S-H 보다 낮다.

DSP시멘트 경화체의 결구는 매우균일, 치밀, 기포가 없고 모세공이 매우 미세하다. 〈그림-7〉은 보통시멘트, fly-ash시멘트와 DSP시멘트몰탈의 체공분포곡선이다. DSP시멘트는 가장 치밀하고 기본적으로 0.1μ이상의 구멍은 존재하지 않는다.

(다) DSP의 성능

① 높은 강도

DSP시멘트콘크리트의 압축강도는 〈그림-8〉과 같다.

② 우수한 탄성

DSP시멘트 콘크리트의 應力(stress)-應變(stress strain)곡선은 〈그림-9〉에, 이의 압축강도와 탄성계수(elasticity coefficient)는 〈표-27〉에 표시하였다.

〈표-27〉 DSP시멘트콘크리트의 강도와 탄성계수 (elasticity coefficient)

사 용 골 재	압축강도(MPa)	탄성계수(MPa)
16mm 화 강 압	124.6	68,000
10mm 하소보크사이트	217.5	109,000

③ 강도와 밀도비

DSP시멘트의 압축강도는 강재의 50%수준에 지나지 않지만 강재의 밀도는 DSP의 3배이므로 DSP의 강도/밀도비는 강재보다 높다. 그러므로 DSP를 사용할 경우 전에 상상치 못한 건축물의

실현이 가능해졌다. 아래의 <표-28>는 여러 재료의 밀도비이다.

<표-28> 각종 재료의 강도 / 밀도비

재 료	압축강도 (MPa)	밀 도 (kg/m ³)	강도/밀도비 (m ³ /sec)
보통콘크리트	40	2,400	16.70
고강콘크리트	60	2,500	24.00
보 통 DSP	150	2,600	57.70
고 강 DSP	270	2,800	94.74
강 재	400	7,850	51.00

- ④우수한 항동성 (抗凍性)
- ⑤전기 절연체적인 저항성

(8) 快硬硫鋁酸鹽水泥(Rapid hardening Calcium aluminosulphonate cement)

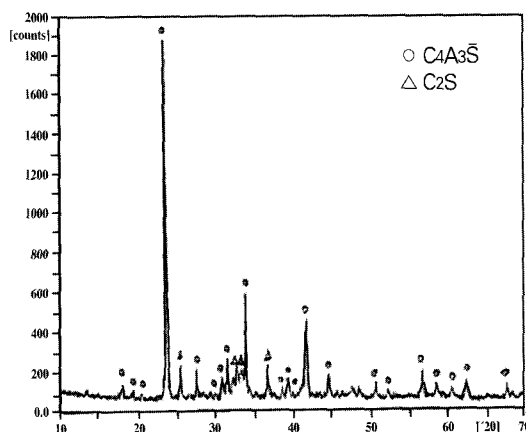
1987년 국가표준을 제정되고 중국의 남극지인 장성기지에 사용된 이 시멘트는 조강성, 속경성, 항동성, 항침수성과 황산염에 대한 저항성을 부여 함으로써 동절기 공사, 앵카 고정, 지질고정, 긴급 공사, 방수공사 등에 널리 사용되고 있다. 이시멘트의 광물조성은 주성분인 C₄A₃S̄와 소량의 C₂S 그리고 클링카에 첨가하는 석고이다.

(가) 제조기술

사용원료는 석회석, 보크사이트, 석고이고 C₄A₃S̄광물이 많은 클링커를 생산할 수 있는 배합비를 선택해야 한다. <표-29>는 일반적인 快硬硫鋁酸鹽水泥525용 C₄A₃S̄클링커의 화학성분이고 <그림-10>은 이의 XRD이다. 이 C₄A₃S̄클링커에 10~14%의 석고를 첨가하여 비표면 4,000~4,200cm²/g로 분쇄하면 快硬硫鋁酸鹽水泥로 된다.

<표-29> 快硬硫鋁酸鹽水泥(525)용 C₄A₃S̄클링커의 화학성분

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Free CaO
8.30	1.48	1.44	32.72	42.81	2.24	10.73	0.20



<그림-10> 快硬硫鋁酸鹽水泥(525)용 C₄A₃S̄클링커의 XRD

(나) 특성

快硬硫鋁酸鹽水泥의 주요 광물성분은 C₄A₃S̄와 C₂S, 그리고 석고이며 국가표준은 <표-30>과 같다.

- ① 높은 초기강도(12HV 압축강도 300kg/cm² 이상)
- ② 건조에 의한 수축이 적고 미팽창성이다 (28일 자유팽창율 0.05%)
- ③ 동기공사에 유리
- ④ 항침수성이 우수
- ⑤ 황산염에 대한 침식저항성이 우수하여 항만공사에 효과적이다

(9) 超速硬高强度水泥 (Super high early strength cement)

이 시멘트는 현재 중국발명특허(95104019.7,



〈표-30〉 快硬硫酸鹽水泥의 물리성능

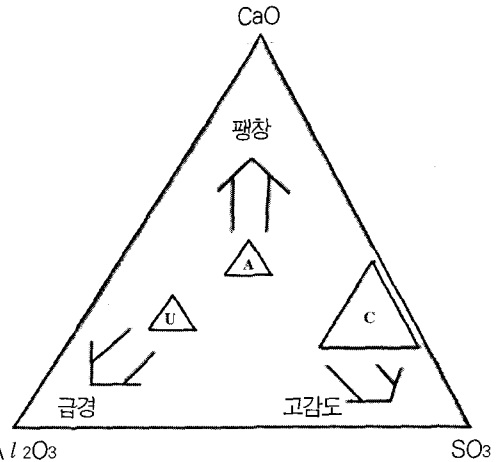
등급	비표면적	응결시간		유동치 (mm)	압축강도 (MPa)			곡강도 (MPa)		
		초결	종결		12h	1d	3d	12h	1d	3d
425	>3,800	>0:25	<3:00	121~130	29.4	34.4	41.7	5.9	6.4	6.9
525	>3,800	>0:25	<3:00	121~130	36.8	44.1	51.5	6.4	6.9	7.4
625	>3,800	>0:25	<3:00	121~130	39.2	51.5	61.3	6.9	7.4	7.8

이용개여류산염제조속경수니)로 특허공고에 있다. 이는 필자와 중국의 관련업체가 공동개발한 최근의 신제품이다.

이 超速硬高強水泥은 $C_4A_3\bar{S}$ -OPC- $CaSO_4$ 계의 시멘트로서 종래의 超速硬시멘트에 비하여 성능과 적용성이 우수하고, 더욱이 제조비면에서 매우 경제적이다. 이는 보통시멘트를 50%정도 섞어 사용할 수 있기 때문이다. 이 超速硬高強水泥은 1989년 ultimax cement corp.이 개발, 상용화한 ultra cement와 유사성이 있으나 주체인 $C_4A_3\bar{S}$ 클링카의 제조방법과 이의 성상이 크게 다르다.

ultra cement에서의 조합원료 소성온도가 1,000~1,200℃로, 1,200℃를 초과할 수 없는 소성온도임에 반하여, 이 超速硬高強水泥의 $C_4A_3\bar{S}$ 클링카의 소성온도는 SO_3 의 손실없이 분해를 극복한 1,300~1,350℃로서 OPC- $CaSO_4$ - $C_4A_3\bar{S}$ 계 超速硬高強水泥의 최적인 $C_4A_3\bar{S}$ 클링카를 제조하는 방법을 택했다. 이 超速硬高強水泥의 개발은 $CaO-A/2O_3-SO_3$ 계의 화학조성과 성상과의 관계(그림-11)에서 출발하였다.

이 超速硬高強水泥의 특성은 3시간 강도가 보통시멘트 7일 강도에 도달하고, 1일 강도는 보통시멘트 28일 강도에 도달한다. 이 외에 건조 수축에 의한 균열억제, 황산염에 대한 저항성, 알칼리에 대한 저항성 등이 우수하여 철근 부식을 억제하고 해수사용이나 알칼리 함량이 많은 골재의 사용과 동절기 공사에 유리하다.



〈그림-11〉 $CaO-A/2O_3-SO_3$ 계의 화학조성과 성상의 관계

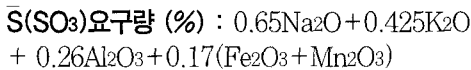
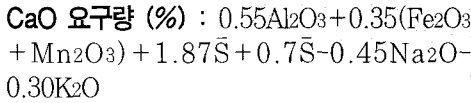
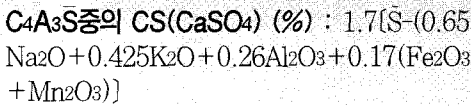
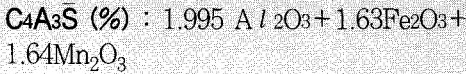
이 超速硬高強水泥의 가장 큰 장점은 이시멘트의 조성이 $C_4A_3\bar{S}$ 클링커, 보통시멘트 그리고 무수 석고로 되어있어 종전의 超速硬系시멘트에 비교할 수 없을 정도로 제조비가 저렴하여 금후 이의 수요는 특수시멘트 중 단연 제일의 수요를 점하게 될 것으로 보인다.

(가) $C_4A_3\bar{S}$ 클링카의 제조

사용원료는 석회석, 보크사이트와 석고로서 이의 원료조합은 $A/F(C/2.8S+1.18A+0.65F) = 0.60$ 이상, $S/A+F=0.25\sim0.35$ 의 범위에서 조정을 한다.

이렇게 조정된 조합원료를 1,300~1,350℃에

서 소성한 클링카는 $C_4A_3\bar{S}$ 와 소량의 C_2S 를 함유하게 된다. 아래의 산식은 조합원료의 배합설계에 적용이 된다.



(나) 超速硬高强水泥의 제조

① $C_4A_3\bar{S}$

상기에 의해 제조된 $C_4A_3\bar{S}$ 클링카

② OPC

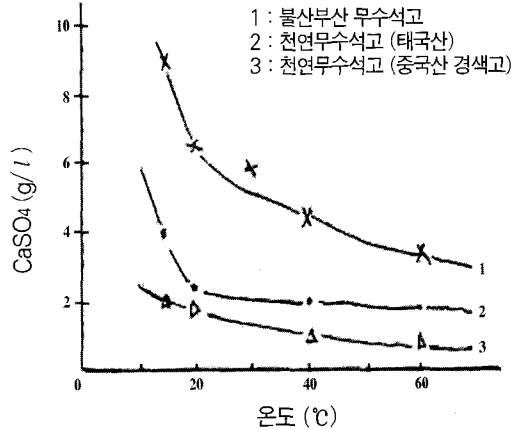
보통시멘트 또는 보통시멘트 클링카

③ 무수석고

이에 사용되는 무수석고는 천연무수석고, 불산무수석고, 기타무수석고 중 선택하여 사용할 수 있다. 그러나 동일한 무수석고라 할지라도 양생후기의 미팽창을 유도하기 위하여는 용해속도가 느린 무수석고를 사용하는 것이 유리하며 <그림-12>는 각종 무수석고의 용해도이다.

超速硬高强水泥의 제조에 있어 시멘트중 $C_4A_3\bar{S}$ 의 함량은 $20 \pm 10\%$ 범위이다. 그러므로 $C_4A_3\bar{S}$ 클링카의 첨가량은 $33 \pm 16\%$ 범위가 된다.

超速硬高强水泥의 분쇄는 혼합분쇄방법과 분리분쇄방법을 채택할 수 있다. 분리분쇄방법은 OPC

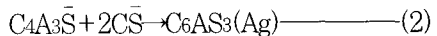
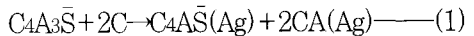


<그림-12> 무수석고의 용해도

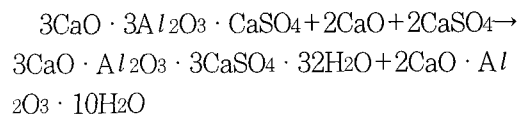
를 그대로 혼합한다는 점에서 이점이 될 수 있다. 혼합분쇄, 분리분쇄와 재료의 배합비 그리고 기존 他超速硬水泥와의 물리성능대비는 <표-31>과 같다. 超速硬高强水泥의 응결조건은 지연제로서 citric acid, 급결제로서는 calcium aluminate계를 사용한다.

(다) 수화특성

$C_4A_3\bar{S}$, $C\bar{S}$ 와 CaO 존재하에서의 수화반응을 에트린자이트($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)와 Calcium monoaluminate($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 10H_2O$)의 수화물을 생성한다.



(1) + (2),



이들 에트린자이트, CA와 OPC중의 C_3S 가 시멘트의 초기강도 발현에 기여를 하고, $C_4A_3\bar{S}$ 중의 C_2S 와 OPC중의 C_2S 는 후기강도에 기여한다.



〈표-31〉 超速硬高强水泥의 배합비, 비표면적과 물리성능

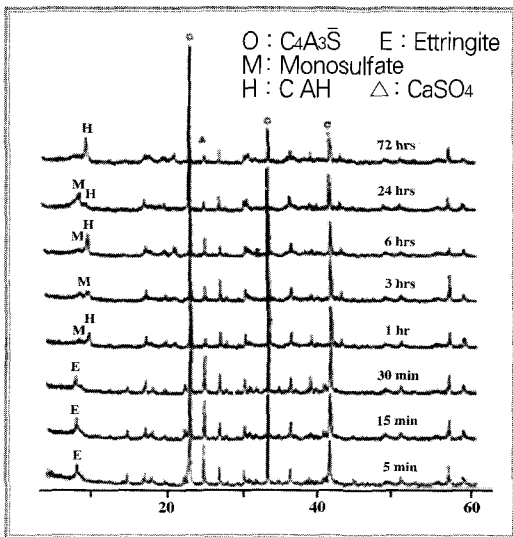
구 분	배합비 (wt %)					응결시간		압축강도 (MPa)									
	CAS	OPC	OPC 클링커	무수 석고	고유동 화제	초결	종결	2h	3h	4h	1d	3d	7d	28d			
M-1 (분리분쇄)	배합비(%)	45	33		22	0.5	:12	:20									
	비표면적 (cm ² /g)	5,400	3,200		4,600				37.4	45.6	68.3	76.9	857	90.0	94.6		
M-2 (분리분쇄)	배합비(%)	30		50	20	1.0	:20	:35				49.7	54.3	58.2	62.8		
	비표면적 (cm ² /g)	4,600								34.9							
ULTRA CEMENT (C4A3S계, 미U사)							:15	:20				53.9	55.8	58.9	62.0		
JET CEMENT (C11A7·CaF2계, 일 O사)							:05	:10				25.8		35.4	46.9	61.5	77.0

CaO-A/2O₃-SO₃계에서 CaO는 팽창성을, A/2O₃는 급경성을 그리고 SO₃는 강도발현 경향을 나타낸다.

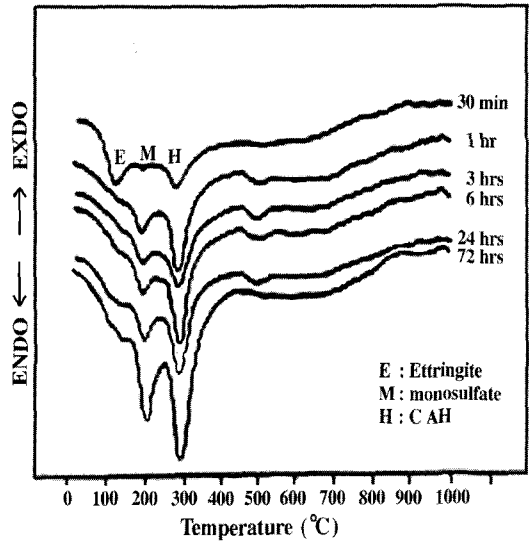
이 超速硬高强水泥의 수화반응은 1시간 이내에 에트링자이트 수화물이 생성되고 이어서 CA수화물생성이 진행된다. 이는 수화발열 실험에서도 같

은 경향을 확인할 수 있다. 〈그림-12〉는 양생기간 별 시멘트 페이스트의 XRD pattern이고, 〈그림-13〉는 양생기간별 시멘트 페이스트의 DTA곡선이 다.

이 超速硬高强水泥의 특성은 급경성, 고강도, 미팽창성에 있다. ▲



〈그림-13〉 超速硬高强水泥 페이스트의 XRD pattern



〈그림-14〉 超速硬高强水泥 페이스트의 DTA곡선