

# Modulus 변동에 따른 Clinker의 물성 및 Cement의 특성시험 비교결과

윤 현 보  
<한일시멘트(주) 단양공장>

## 1. 서 론

시멘트 공업에 사용되는 원료는 공장마다 석회석 광산의 여건과 원료 계수에 따라 여러 종류의 원재료를 사용한다. 공업적인 생산조건하에서 요입 원료는 다성분계 무기물과 유황, 알카리 등 미량성분으로 구성되어 있기 때문에 크링카 소성반응과 시멘트 특성에 미치는 영향을 정확히 추정키는 어렵다.

본 실험에서는 시멘트 품질 특성에 영향을 미치는 여러 요인 중 많은 영향을 미치는 것으로 알려진 계수(LSF, SM, IM)와 시멘트 제품 특성과의 관계를 구체적으로 알고자 한다.

공업용 원료로 제조한 원료의 계수 변동에 따른 크링카 광물의 함량과 소성성을 규명하고 원료 계수별로 제조한 시멘트 제품의 압축강도, 현미경 관찰, 분말도, 응결시간, TG-DTA 분석,

색도, 수화열 등 전반적인 물리성능에 영향을 주는 요인을 분석 정립함으로써 시멘트 제품의 다중화, 원가절감, 품질 향상 등에 기여코자 한다.

## 2. 실 험

크링카의 소성성과 시멘트 물리성능에 영향을 미치는 요인을 알아보기 위해 시멘트 원료계수 LSF는 84, 87, 90, 93, 96, 98, SM은 2.1, 2.3, 2.5, 2.9로, IM은 0.5, 0.9, 1.3, 1.7, 2.1로 변화시켜서 실험실에서 소성·분쇄 제조한 시멘트의 수화열, 응결, 색도, 강도 등 물리특성을 비교 시험하였다. (기준 : LSF = 90, SM = 2.5, IM = 1.3) 또한 시멘트 분말도(Blaine ; cm<sup>2</sup>/g)변화와 응결조절제인 석고 첨가비에 따른 물리성능도 비교 검토하였다.

### 2-1 사용 원료

당 공장에서 사용 중인 석회석 4종류 및 점

### 원재료의 화학성분

<표-1>

(단위 : %)

원재료 \ 항목	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig-loss
석회석 A	8.5	1.31	0.71	47.67	1.61	-	0.53	0.61	39.46
석회석 B	13.88	1.11	0.65	45.14	1.21	-	0.10	0.54	37.47
석회석 C	11.19	1.21	0.68	46.41	1.41	-	0.32	0.58	38.47
석회석 D	9.85	1.22	0.78	46.27	1.75	-	-	-	38.65
점 토	64.84	17.58	7.68	0.39	1.29	-	0.12	2.47	5.29
철 광 석	7.58	8.96	56.40	16.88	4.07	-	0.82	0.63	8.27
Coal shale	60.92	29.04	6.56	0.50	1.37	-	0.1	2.63	-
석 고	~ 5.35 ~			31.97	-	40.83	0.03	-	20.72

혼분 배합 및 화학성분

<표-2>

symbol	원 료 modulus			배 합 비				사 용 석회석	조합원료의 화학성분 (%)				
	LSF	SM	IM	석회석	점 토	철광석	경 석		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
L 84	84			85.65	12.20	2.00	0.15	A	15.39	3.30	2.52	40.97	1.79
L 87	87			86.40	11.26	1.97	0.37	A	14.79	2.96	2.64	41.61	1.73
L 90	90			87.10	10.38	1.93	0.59	A	14.60	2.98	2.54	41.67	1.69
L 93	93	2.5	1.3	87.77	9.54	1.90	0.79	A	14.39	2.82	2.62	42.03	1.67
L 94	94			88.40	8.74	1.88	0.98	A	13.97	2.94	2.32	42.34	1.71
L 96	96			90.37	3.92	1.78	3.94	D	13.90	2.79	2.55	41.86	1.85
L 98	98			90.79	3.30	1.78	4.13	D	13.68	2.89	2.51	42.06	1.92
S 21		2.1		86.55	5.55	2.80	5.10	A	14.38	3.58	2.88	41.58	1.71
S 23		2.3		86.84	8.14	2.34	2.68	A	14.64	3.38	2.60	41.64	1.71
S 25	90	2.5	1.3	87.10	10.38	1.93	0.59	A	14.60	2.98	2.54	41.67	1.69
S 27		2.7		89.29	6.09	2.02	2.60	C	14.67	2.86	2.40	42.20	1.61
S 29		2.9		90.51	4.59	1.94	2.95	C	14.68	2.78	2.20	42.48	1.61
I 05			0.5	91.52	2.88	5.60	-	B	13.96	1.71	4.00	42.76	1.61
I 09			0.9	89.41	5.65	3.51	1.43	A	14.53	2.64	3.06	42.14	1.65
I 13	90	2.5	1.3	87.1	10.38	1.93	0.59	A	14.60	2.98	2.54	41.67	1.69
I 17			1.7	87.55	7.16	1.30	3.99	A	14.64	3.58	2.04	41.92	1.67
I 21			2.1	87.89	4.78	0.83	6.50	A	14.55	3.64	1.88	41.81	1.69
RM	91.9	2.36	1.00					A	14.15	3.00	3.00	41.44	2.14
EP dust	97.3	1.67	1.22					A	12.42	4.09	3.36	40.66	2.12

토, 철광석, Coal Shale을 채취하여 110~115 °C에서 dry oven에 건조시켜 disk mill을 이용하여 100 mesh체를 전통하도록 분쇄하였다 <표-1>. 이중 Coal Shale은 900~950°C 전기로에서 충분히 회화시킨 후 ash 상태로 사용하였고, 석고는 40~45°C dry oven에서 항량이 될 때까지 건조시킨 후 사용하였다.

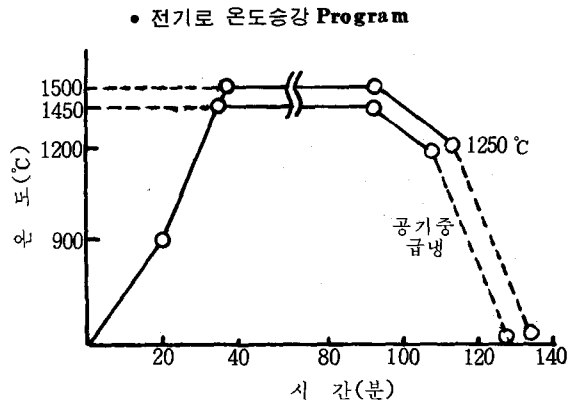
2-2 원료 조합 및 배합

각 modulus 별 조합 및 배합비를 계산하여 1,000g이 되도록 배합한 원료는 혼합기를 이용하여 균일하게 혼합하였다 <표-2>.

2-3 소성조건과 크림카 합성

실험용 전기로를 사용하여 혼합원료를 950°C에서 2시간 동안 Calcination 한 후 1.5 kg/cm<sup>2</sup>

의 압력으로 직경 35 mm, 높이 7 mm 정도의 tablet를 만들어 F-CaO가 2.5를 넘지 않도록 별도 예비소성시험 한 후 1450°C 및 1500°C에서 1시간 소성하였다. 20°C/min의 속도로 1250



혼분 Modulus와 크링카 F-CaO와의 비교

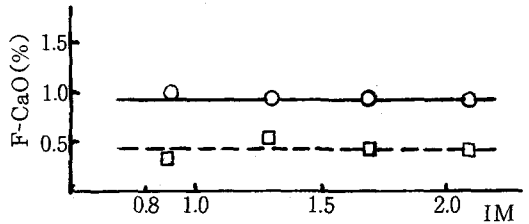
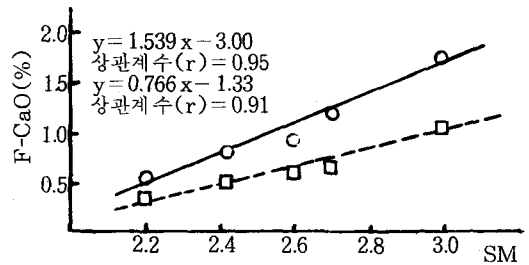
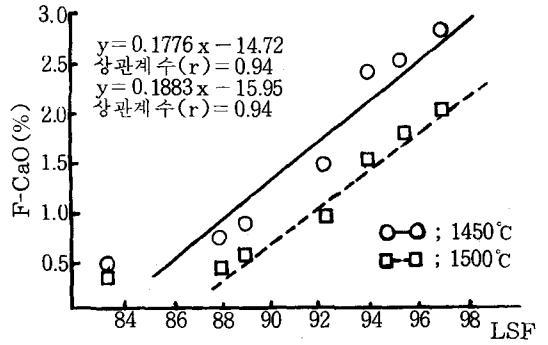
<표-3>

		F-CaO (%)	
		1,450 °C	1,500 °C
LSF (SM = 2.6) (IM = 1)	83.4	0.45	0.30
	88.0	0.75	0.45
	89.1	0.87	0.60
	92.2	1.50	0.87
	93.9	1.59	1.45
	95.5	2.52	1.80
SM (LSF = 90) (IM = 1.3)	97.1	2.82	2.10
	2.25	0.57	0.45
	2.43	0.78	0.56
	2.65	0.87	0.60
	2.77	1.23	0.69
IM (LSF = 90) (SM = 2.6)	2.98	1.74	1.08
	0.88	1.02	0.42
	1.34	0.87	0.60
	1.70	0.93	0.45
	2.13	0.90	0.42

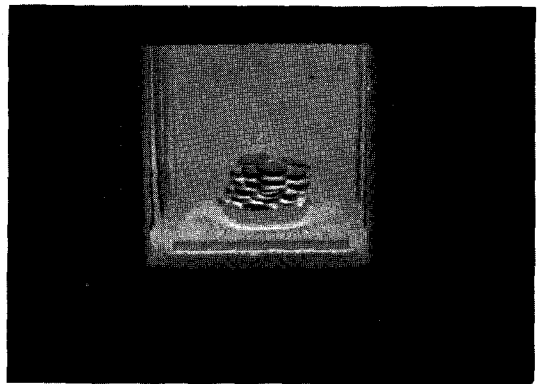
°C까지 냉각시킨 후 로에서 꺼내어 공냉시켰으며 burnability를 측정 한 분석 결과는 <표-3>과 같다<그림-1, 2>.

2-4 시멘트 제조 및 특성 시험

크링카에 석고 4%를 첨가하여 비표면적이  $3,350 \pm 100 \text{ cm}^2/\text{g}$ 이 되도록 disk mill을 이용하여 210g씩 약 5분간 분쇄하였다. setting time은 KSL 5103에 명시되어 있는 길모아 침 방법으로 측정하였으며 시험편(Cement paste)은 물/시멘트 비율을 공업용 시멘트는 26%, 실험실 시멘트는 23%로 일정하게 하여 측정하였다. 압축강도는 KSL 5105에 의하여 반죽 혼합하고 25mm의 작은 Cube mold를 이용, 시험편을 만들어 3, 7, 28일 강도를 2회씩 측정하였다. 시험용 작은 mold 사용시 KS 방법으로 측정 한 강도보다 약 20% 높았다. 또한, 시멘트의 분말도(Blaine  $2,500 \sim 4,500 \text{ cm}^2/\text{g}$ )와 물리성능의 관계, 특히 압축강도에 미치는 영향을



<그림-1> 소성크링카의 F-CaO와 계수와의 관계



<그림-2> 전기로에서 크링카 제조

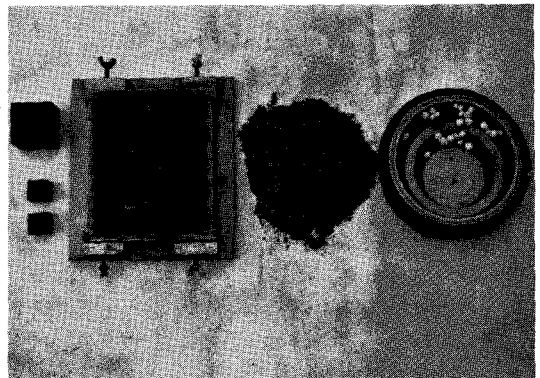
소성시험 시멘트의 물리성능

<표-4>

구분		물리성능	분말도			응결			압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
			Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	+88 $\mu$ (%)	+44 $\mu$ (%)	초결 (시:분)	종결 (시:분)	W/C (%)	3일	7일	28일
LSF (SM = 2.5) (IM = 1.3)	L-84	3,280	3.6	19.3	6:30	8:15	23	152	208	448	
	L-87	3,470	2.8	16.8	6:05	7:40	23	208	276	512	
	L-90	3,370	3.8	18.2	6:30	8:10	23	216	288	524	
	L-93	3,390	4.3	18.8	-	-	23	252	312	494	
	L-94	3,310	4.6	19.3	5:20	7:10	23	276	360	528	
	L-96	3,310	8.2	24.4	4:00	5:50	23	268	364	535	
	L-98	3,340	8.8	27.0	3:30	5:10	23	290	396	548	
SM (LSF = 90) (IM = 1.3)	S-21	3,330	5.1	20.9	6:20	7:30	23	228	296	500	
	S-23	3,420	4.7	19.3	6:15	7:25	23	248	312	548	
	S-27	3,450	3.4	17.2	6:15	7:25	23	268	336	568	
	S-29	3,310	6.5	20.4	6:10	8:00	23	-	-	-	
IM (LSF = 90) (SM = 2.5)	I-09	3,210	5.1	19.7	6:10	8:00	23	236	328	432	
	I-11	3,250	5.2	19.7	5:45	7:05	23	238	320	424	
	I-17	3,340	5.4	20.6	6:10	7:20	23	196	320	480	
	I-21	3,340	5.4	20.9	5:25	6:55	23	212	315	460	
	I-05	3,250	5.1	20.3	6:15	8:00	23	236	308	492	
EP dust		3,020	11.8	25.7	5:05	6:30	23	212	300	348	
LSF = 75 (SM = 2.5)(IM = 1.3)		3,220	6.67	22.72	6:40	8:30	23	46	96	320	

검토하기 위해 실험실 disk mill 과 공업용 mill 에서 각각 입도별로 분쇄 제조하였다 <그림-3>.

시멘트의 SO<sub>3</sub>와 시멘트의 물리 성능과의 관계를 알아보기 위해 크링카를 Pilot ball mill 에서 Blaine 2,930 cm<sup>2</sup>/g으로 분쇄하여 시멘트의 SO<sub>3</sub>가 1.6, 2.6, 2.8, 3.8% 가 되도록 석고를 첨가하여 mixer에서 30분간 혼합, 시멘트를 제조하였다. KSL 5103, 5105, 5106, 5109 시험방법에 의하여 시멘트의 물리성능을 시험하였다 <표-4, 5>.



<그림-3> 크링카 분쇄 및 압축강도 시험체 제조

3. 실험 결과

3-1 Burnability test (F - CaO 비교)

혼분의 LSF, SM이 높아질수록 F-CaO가 현저하게 증가하는 경향을 나타냈으며, 이들의 상

관계수는 0.9 이상으로 밀접한 상관성이 있으나 IM과 F-CaO의 관계는 소성시험에서 상관관계가 없음이 나타났다.

## 소성시험 시멘트의 화학성분 및 광물 조성

〈표-5〉

symbol		화 학 성 분 (%)					Modulus			광 물 조 성				이 론 소성열량* (Kcal/Kg-cl)
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	F-CaO	LSF	SM	IM	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	
LSF	L-84	23.66	4.98	3.98	61.41	0.63	80.48	2.64	1.25	25.7	48.4	6.5	12.1	383
	L-87	22.53	4.73	3.83	62.45	1.05	86.03	2.64	1.23	40.7	33.9	6.1	11.6	396
	L-90	22.10	4.71	3.78	62.56	1.29	87.77	2.60	1.25	44.7	29.6	6.1	11.5	399
	L-93	21.62	4.62	3.72	63.13	2.19	90.54	2.59	1.24	51.3	23.3	5.9	11.3	406
	L-94	21.04	4.28	3.72	63.93	2.19	94.50	2.63	1.15	61.3	14.2	5.1	11.3	414
	L-96	20.63	4.93	3.32	64.07	2.31	95.50	2.50	1.48	60.3	13.4	7.5	10.1	421
	L-98	20.37	4.86	3.32	64.35	2.76	97.10	2.49	1.46	64.4	9.9	7.3	10.1	425
SM	S-21	21.40	5.60	4.20	62.53	0.93	88.40	2.18	1.33	43.0	28.9	7.7	12.8	403
	S-23	21.65	4.77	4.25	62.33	1.08	88.60	2.40	1.12	46.2	27.2	5.4	12.9	400
	S-27	21.83	4.28	3.65	63.23	1.08	90.50	2.75	1.17	52.6	22.9	5.2	11.1	404
	S-29	21.90	4.42	3.30	64.60	1.50	92.30	2.84	1.34	57.2	19.7	6.1	10.1	410
IM	I-09	21.43	4.29	4.45	63.65	1.65	91.80	2.45	0.96	56.0	19.2	3.8	13.5	405
	I-11	22.00	4.60	4.25	63.12	1.35	88.70	2.49	1.08	47.7	27.1	5.0	12.9	405
	I-17	22.10	5.48	3.10	63.54	1.29	88.50	2.58	1.77	44.4	29.9	9.3	9.4	411
	I-21	20.94	5.80	2.70	63.20	1.29	92.20	2.46	2.15	50.3	22.2	10.8	8.2	415
	I-05	20.84	2.85	5.88	64.69	2.37	96.90	2.39	0.48	72.4	5.2	2.4	17.9	408
EP dust	18.56	6.41	5.01	62.53	2.01	97.20	1.63	1.28	57.2	10.1	8.5	15.2	424	
LSF-75	24.11	5.46	4.21	58.74	0.40	74.9	2.52	1.33	7.9	63.2	7.5	12.5	357	

주) \*: 이론 소성 열량(Kcal/kg-cl) ;  $Q = 4.11 Al_2O_3 + 6.48 MgO + 7.467 CaO - 5.11 SiO_2 - 0.59 Fe_2O_3$

TG-DTA 분석 결과(〈그림-2〉)에서 LSF, SM이 상승할수록 흡열 Peak 면적이 커지고 액상 출현 Peak와 C<sub>3</sub>S 생성 Peak도 점차 높아지고 소성 열량이 높아지는 것을 볼 때 LSF, SM이 높은 원료는 소성이 좋지 않는 것을 알 수 있다(〈그림-4, 5〉).

전기로 소성시험 중 특히 alkali 함량이 높고 SM이 낮은 EP dust시료는 용융 상태의 크링카로 소성되었으며, 이는 실제 소성 공정에 EP dust 원료가 순간적으로 많이 투입되면 Kiln inlet 및 하단 Cyclone chute의 clogging 원인이 된다.

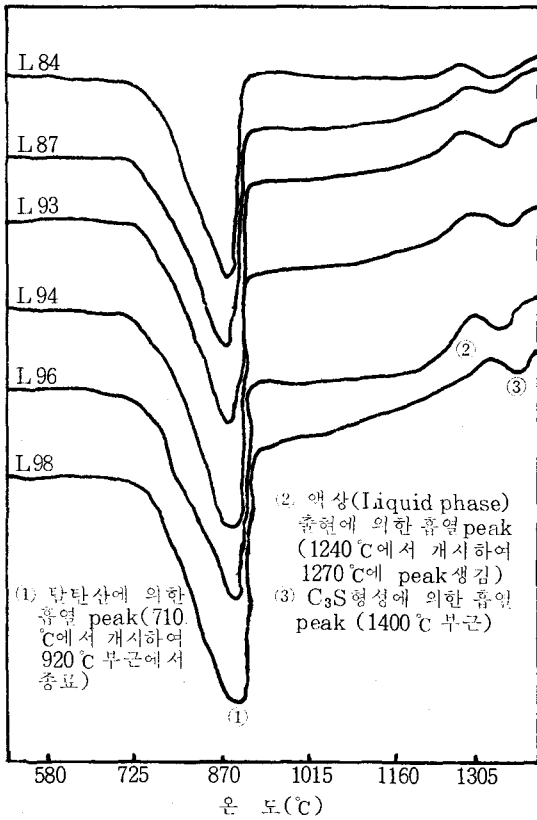
### 3-2 시멘트의 색상

시멘트의 색상은 일반적으로, 백·황·록·흑

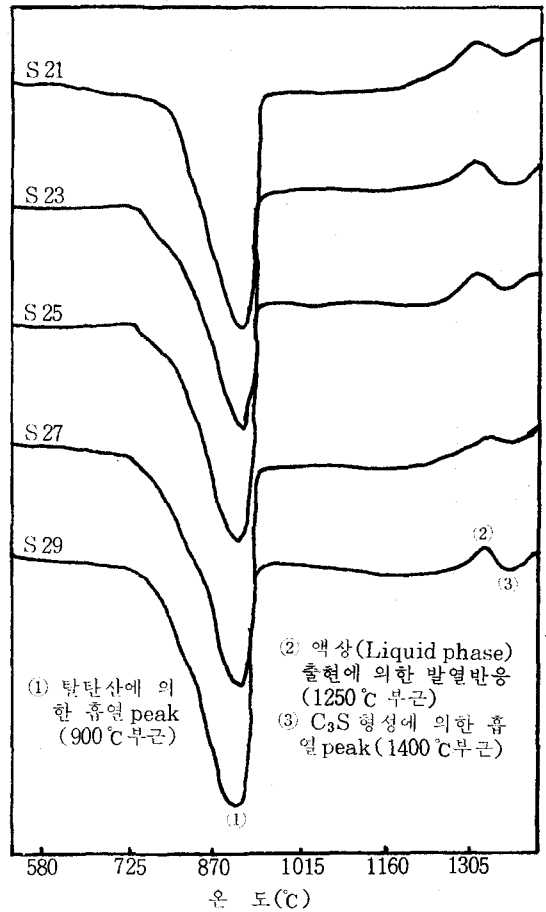
색을 나타내며 동서양을 불문하고 짙은 흑색이 소비자에게 강한 인상을 준다. 고온에서 장시간 소성하면 명도는 증가되며, O<sub>2</sub>가 부족한 환원 염으로 소성되었을 때 심한 갈색을 나타내고 급냉하면 황색을 나타낸다고 알려져 있다. 시멘트 색상에 영향을 미치는 요인 중 소성시간, 온도, 크링카 냉각조건은 동일한 조건에서 실시하였다.

〈그림-4〉에서와 같이 시멘트 계수(Modulus) IM, SM과 LSF가 낮은 시료 일수록 짙은 색도를 나타내며 특히 IM과 색상은 밀접한 관계가 있어서 IM이 1.0이하인 시료가 가장 어두운 회색으로 강한 인상을 주었다. 실제로 IM과 LSF가 낮은 공업용 시멘트 2, 4, 5종도 짙은 회색을 띠고 있다.

짙은 황색을 나타내는 EP시료 시멘트는 SM



〈그림-4〉 LSF별 TG-DTA 분석 결과



〈그림-5〉 SM별 DTA 분석 결과

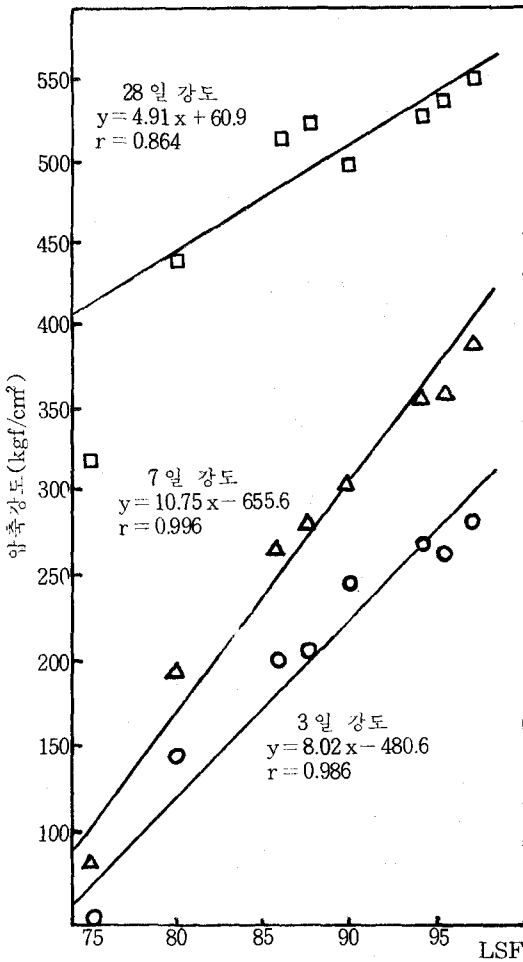
이 1.63으로 낮고 SiO<sub>2</sub>에 비해 R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>량이 많아 크링카가 액상 소결에 의해 형성되므로 소결체의 외부는 용액 상태로 Coating되고 내부는 황분에 대한 환원 분위기로 충분히 반응하지 못한 상태이어서 심한 갈색을 나타내고 있다. 순수한 상태의 C<sub>4</sub>AF는 황색을 나타내지만 MgO가 C<sub>4</sub>AF의 결정격자 속에 혼입되면 Fe<sup>3+</sup>의 전자자극에 극성을 줌으로써 흑색이 나타난다.

실험적으로 제조한 시멘트는 공업용 원료를 사용한 바 MgO함량이 1.7~2.9%로 MgO에 따른 색도 변화는 없었다. 이는 Ferrite상에 MgO가 15% 고용되어 색을 띠지만 그 이상 증가하여도 색도에 영향을 주지 않는다는 이론과 일치한다. 한편 분말도가 높아질수록 회색에서 밝

은 색으로 변하는 것을 알 수 있다.

### 3-3 압축강도

LSF가 높은 시료는 초기강도 발현에 기여하는 Alite 광물이 많아져 시멘트의 3일, 7일 강도가 현저하게 증가했으나, 후기강도를 발현하는 belite가 적어져 28일 강도는 초기강도에 비해 증가폭이 적은 반면 LSF가 낮은 시료는 belite를 다량 함유하여 초기강도에 비해 후기강도가 높다. LSF와 강도와의 관계는 상관계수(r)가 0.9 이상으로 밀접한 정상 관계가 있

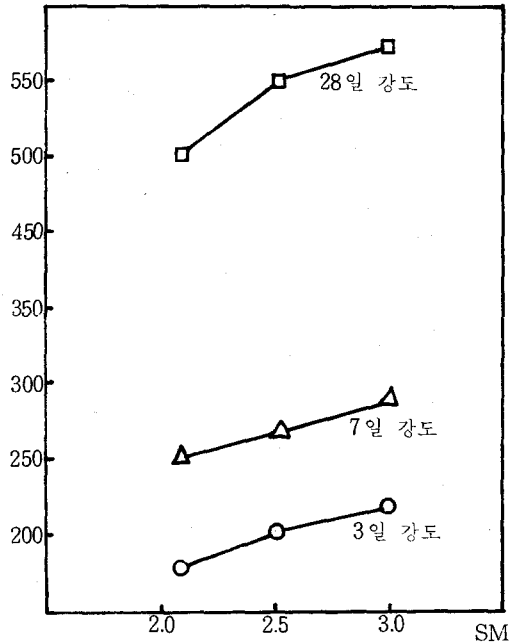


〈그림-6〉 압축강도에 따른 LSF의 영향

음을 알 수 있다〈그림-6〉.

SM이 증가하면 alite가 증가하거나 belite함량이 적어져서 이론상으로 초기강도가 증가하고 후기강도가 낮아지는 것으로 알려졌으나, 본 실험에서는 SM 증가에 따라 초기에 비해 후기 강도의 증가폭이 더 컸다. IM은 압축강도에 미치는 영향이 거의 없어서 일반적인 이론과 일치하고 있다〈그림 6-1〉.

한편, 실험실적 시멘트와 공업용 시멘트 제품의 분말도에 따른 압축강도 변화를 보면 분말도가 증가하면 이에 따라 강도가 상승하나 비



〈그림 6-1〉 압축강도에 따른 SM의 영향

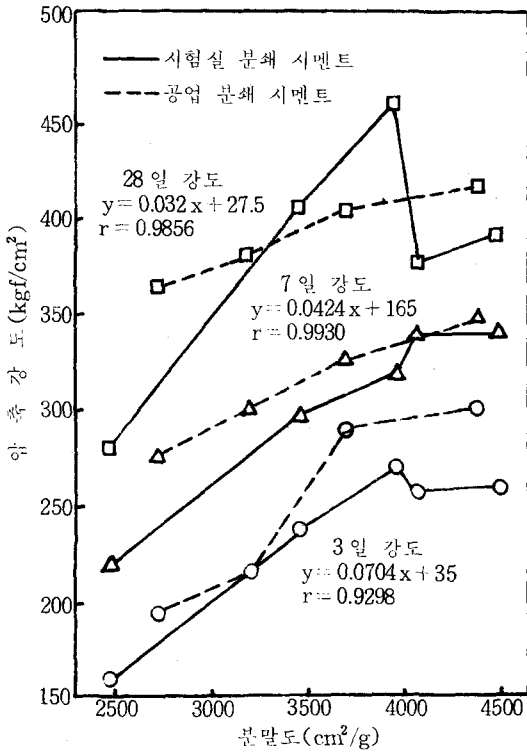
표면적이 4,000 cm<sup>2</sup>/g 이상에서 공업용 시멘트의 강도 상승폭이 완만해지고 시험시멘트는 오히려 강도가 저하하는 경향이 있었다〈그림-7〉. 이 원인은 장시간 분쇄에 대한 크링카 광물의 결정구조 붕괴·응집현상의 발생에 의한 것으로 생각된다.

분말도와 압축강도의 관계는 상관계수가 0.9 이상으로 밀접한 정상관계가 있으며 Blaine 100 cm<sup>2</sup>/g 증가에 강도가 6 kgf/cm<sup>2</sup> 증가하였다. 시멘트에 SO<sub>3</sub>가 3.5%까지 증가함에 따라 특히 초기강도가 증가하였다〈그림-8〉〈표-6〉.

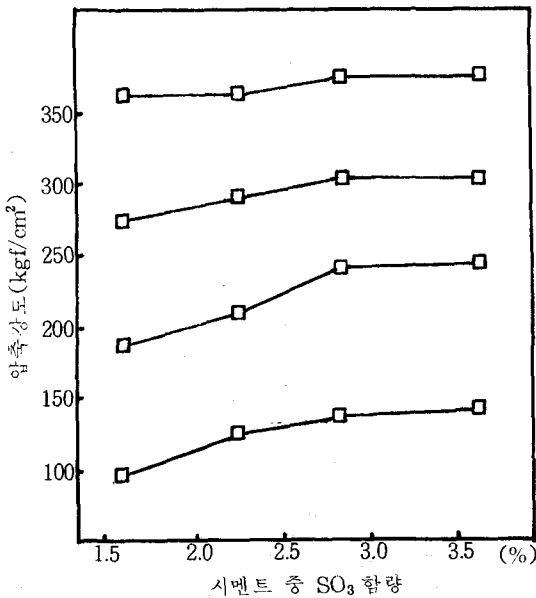
### 3-4 응결시간

C<sub>3</sub>S 광물 함량이 많은 조강시멘트에 가까운 시료(L 94, L 96, L 98)와 C<sub>3</sub>A 함량이 많은 시료(EP, I 21)의 수화반응이 빨리 진행되어 응결이 대체로 빨랐으며, C<sub>3</sub>A가 적고 C<sub>2</sub>S 광물이 많은 시료는 응결시간이 늦음을 알 수 있다.

Alkali를 많이 함유한 EP dust 시료의 응결



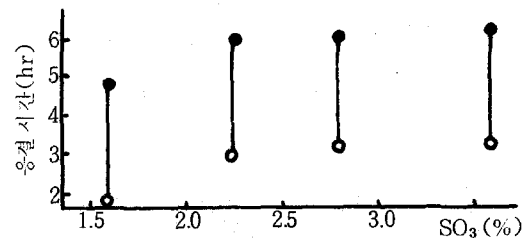
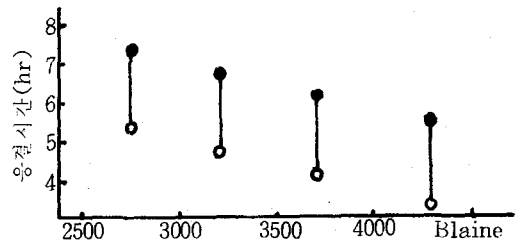
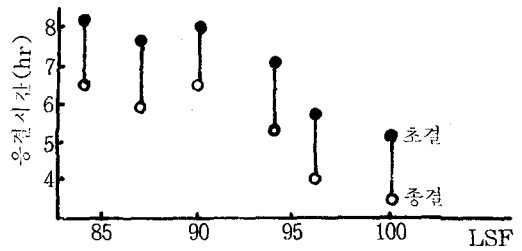
<그림-7> 분말도에 따른 압축강도



<그림-8> SO<sub>3</sub> 함량과 압축강도의 관계

이 빠른 것은 alkali 에 의해 용해된 ettringite의 각 결정반응을 가속화시켜 더 빨리 굳게 되었다. 분말도가 증가할수록 수화반응이 활발하여 응결이 빠르고 응결 지연제인 석고를 많이 첨가할수록 응결시간이 지연되는 것을 알 수 있다<그림-9>.

Conduction calorimeter로 수화열을 측정 한 결과는 <그림-10>처럼 SM이 높고 IM이 낮을수록 초기 수화하는 C<sub>3</sub>A가 높아져 수화열이 증가했으며 Blaine (cm<sup>2</sup>/g)은 높을수록 입자간에 반응이 활발하여 초기수화열이 높게 나타났다.



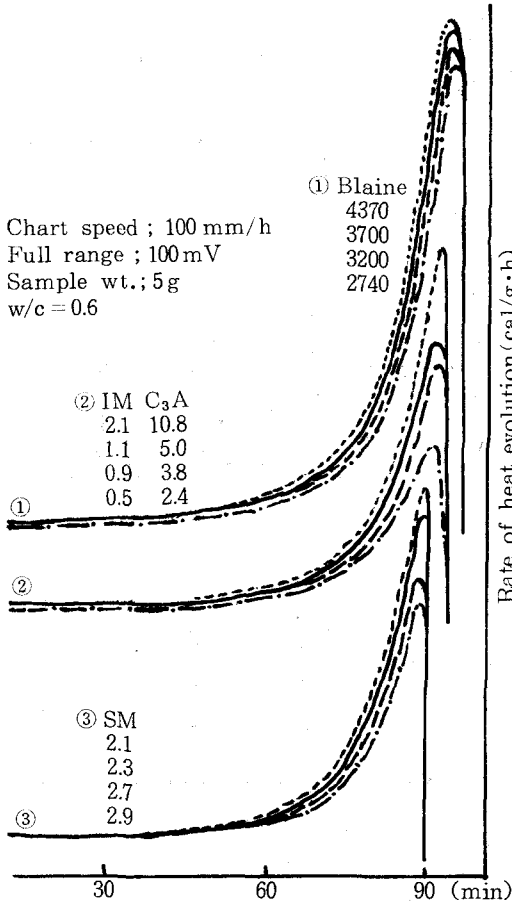
<그림-9> 응결시간과 시멘트의 LSF, 분말도 및 SO<sub>3</sub> 함량과의 관계



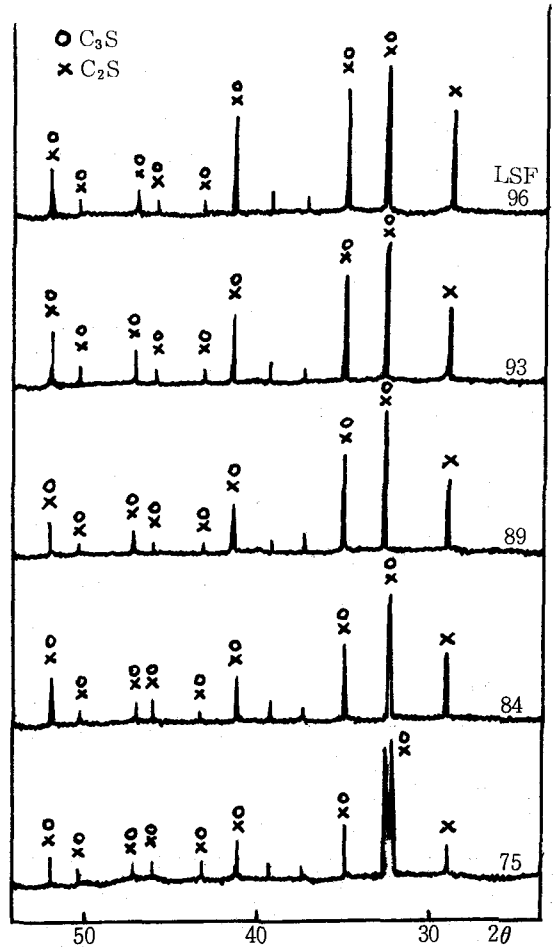
분말도별 물리성능

<표-6>

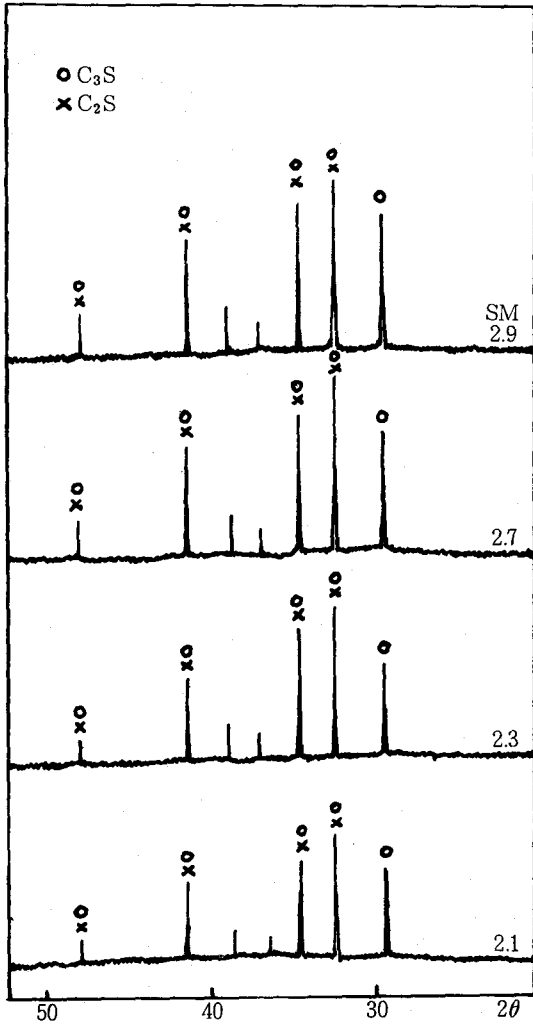
시료명	분말도			압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )			비고	
	Blaine(cm <sup>2</sup> /g)	+88 $\mu$ (%)	+44 $\mu$ (%)	3일	7일	28일		
시험실란분쇄	D 1	2,480	20.3	29.4	160	219	280	disk mill에서 2분 분쇄
	D 2	3,440	3.9	14.6	236	296	404	disk mill에서 5분 분쇄
	D 3	3,940	1.2	8.6	269	319	452	disk mill에서 8분 분쇄
	D 4	4,060	0.8	8.1	257	329	376	disk mill에서 11분 분쇄
	D 5	4,490	0.5	5.8	259	329	392	disk mill에서 15분 분쇄
라비밀장원쇄	M 1	2,740	1.1	12.6	195	278	364	40T/h mill에서 분쇄
	M 2	3,200	0.8	6.9	214	302	382	40T/h mill에서 분쇄
	M 3	3,700	0.2	5.1	292	326	404	40T/h mill에서 분쇄
	M 4	4,390	0.2	4.1	300	348	418	40T/h mill에서 분쇄



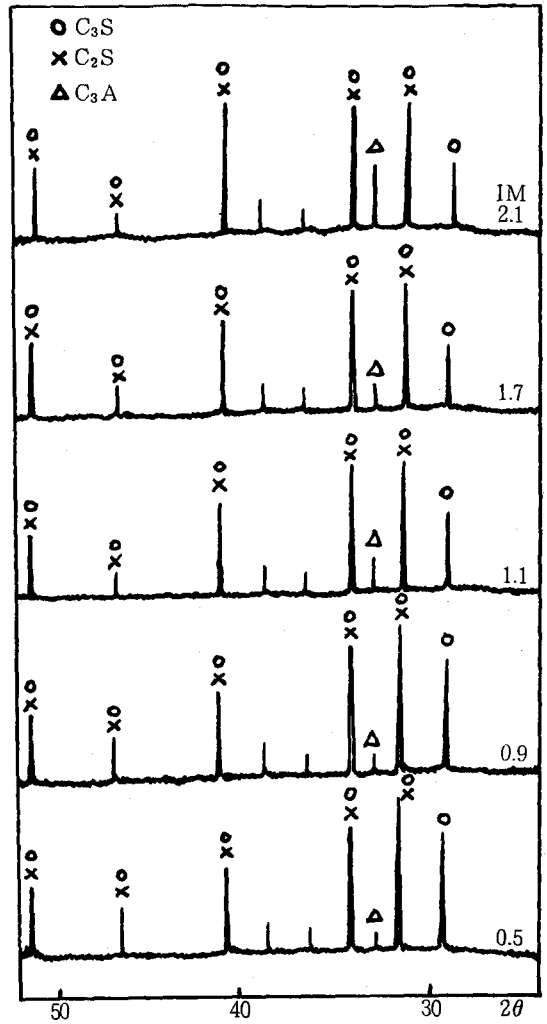
<그림-10> 미량 수화열 측정



<그림-11> 소성 크링카의 분석(LSF별)



〈그림-12〉 SM 별 XRD 측정 결과



〈그림-13〉 IM 별 XRD 측정 결과

### 3-5 XRD 측정

정성 분석을 위해서 사용된 X-ray diffractometer는 Philips 사 제품 PW 1710 으로 측정 조건은 chart speed ; 15 mm/min, scanning range ;  $2\theta = 10 \sim 60^\circ$ , full scale ; 2000 CPS 로 하였다.

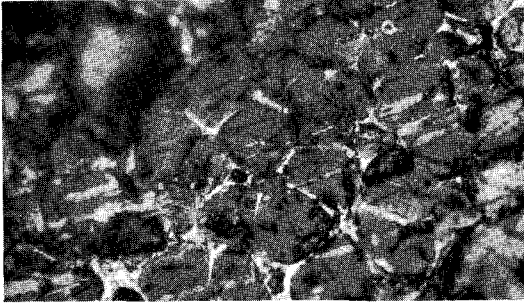
〈그림-11, 12〉는 LSF와 SM 증가에 따라 시험 시멘트는  $2\theta = 29.5^\circ$  부근에서 peak intensity (Alite peak)가 증가하여  $C_3S$  생성이 점차 증가하는 것을 알 수 있다. 〈그림-13〉은 IM

증가에 따라  $C_3A$  생성량이 증가하여  $2\theta = 33.4^\circ$  근처에  $C_3A$  peak가 점차 증가하였다.

Bogue식이나 현미경 분석에 의한 광물 함량과 XRD의 분석 경향이 일치하는 것을 알 수 있었다.

### 3-6 반사 현미경 측정

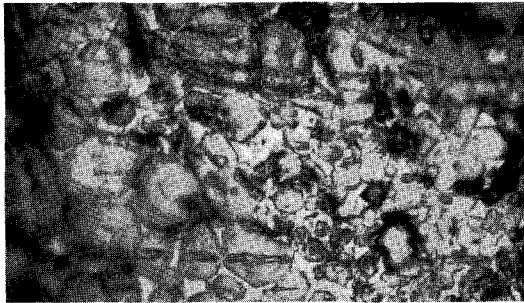
크링카의 반사 현미경(〈그림-14, 15〉)에서 LSF, SM이 낮은 시료는 둥근형의 belite 광물이 많았으며 LSF와 SM이 점차 증가함에 따라



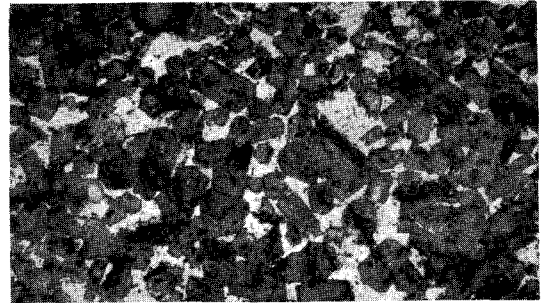
LSF 84



LSF 90

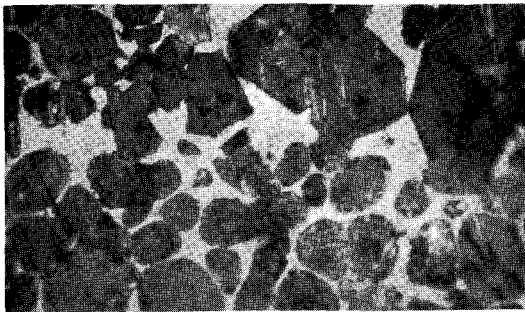


LSF 87

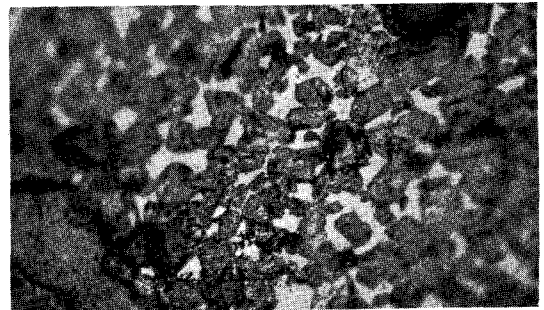


LSF 94

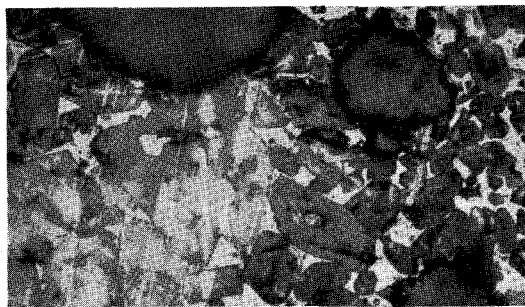
〈그림-14〉 LSF 변화에 의한 크링카 광물의 반사현미경 관찰 결과



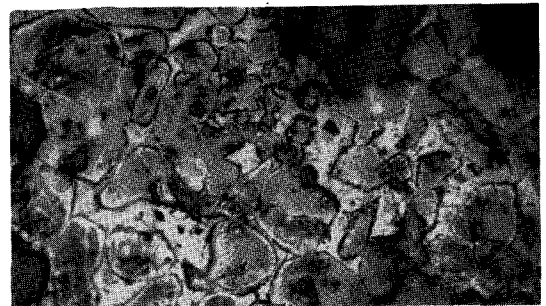
SM 2.1



SM 2.7



SM 2.3



SM 2.9

〈그림-15〉 SM 변화에 의한 크링카 광물의 반사현미경 관찰 결과

alite 함량이 많아졌으며 Bogue 식으로 계산한  $C_3S$ 와  $C_2S$  함량과 같은 경향으로 나타났다.

#### 4. 결 론

공업용 시멘트 원료인 석회석, 점토, 철광석 및 경석을 사용하여 배합한 혼분원료의 modulus를 변화시키면서 전기로에서 소성한 Clinker의 생성반응과 제조된 Cement의 제반 물리특성과 광물조성을 분석 시험하였으며 또한 시멘트 분말도에 따른 압축강도와 물리 성능을 검토한 결과는 다음과 같다.

##### 4-1 소성성

LSF와 SM이 높아짐에 따라 F-CaO가 증가했으며, IM의 변화는 F-CaO에 큰 영향을 주지 않았다.

##### 4-2 색 도

시멘트 계수가 낮을수록 색상은 짙은 회색쪽으로 나타났으며 특히, IM이 색상에 가장 큰 영향을 주어 IM이 낮은 시료일수록  $C_3A$ 가 감소하고,  $Fe_2O_3$ 가 증가하여 짙은 회색을 띠었다.

##### 4-3 응결시간

초기수화하는  $C_3S$ 와  $C_3A$  광물을 많이 함유한 시료의 응결시간이 빨랐으며,  $C_2S$ 가 많고  $C_3A$ 가 적은 시료의 응결은 대체로 늦었다. Blaine이 높을수록 입자간에 수화반응이 활발해져 응결시간이 빨랐으며, 응결 지연제인 석고첨가량이 증대될수록 응결시간이 지연되었다.

##### 4-4 크링카 광물 분석(XRD 및 반사현미경 관찰)

습식으로 분석하여 Bogue 식에 의해 계산된 결과와 XRD 분석치와 현미경 관찰에 의한 광물( $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ ,  $C_4AF$ ) 함량과 일치하고 있음을 알 수 있다.

##### 4-5 압축강도

○ 시멘트 계수 LSF, SM, IM 중 LSF가 강

도 변화에 가장 큰 요인으로 작용했으며, IM은 강도에 거의 영향을 주지 않았다. 즉 광물 alite와 belite 함량에 의해 시멘트의 강도발현이 지배된다는 것이 측정되었다. LSF가 높아짐에 따라 3일, 7일, 28일 강도는 각각 8, 10, 5  $kg/cm^2$  상승하였고, SM 0.1 높아짐에 따라 강도가 6  $kg/cm^2$  상승하였다.

○ 분말도가 증가함에 따라 초기, 후기 강도가 정상관관계로 증가하며 초기 강도에 비표면적이 더 많이 기여하는 것을 알 수 있다. 실험실 mill에서 장시간 분쇄한 시멘트의 비표면적이 4,000  $cm^2/g$  이상에서는 결정 구조가 붕괴되어 특히, 후기 강도가 하락하였으며 Blaine 100  $cm^2/g$  증가에 강도가 6  $kg/cm^2$  증가하였다.

○ 석고 투입비를 시멘트의  $SO_3$ 로 3.5%까지 증가시킬 경우 초기, 후기 강도는 정비례하여 증가하며 특히 초기 강도 상승폭이 큼을 알 수 있다.

##### 4-6 수화열

이론적으로 수화열이 가장 높은  $C_3A$ 를 많이 함유한 시멘트와 분말도가 고운 시멘트일수록 초기 수화열이 높게 나타났다.

#### <참 고 문 헌>

1. RNDr. st. chromy, CSC. "relation between the chemical and the mineralogical composition of portland cement clinkers, and the prediction of cement strengths", Zement-Kalk-Gips, pp. 458-463 (8/1983).
2. Prof. Dr. rer, nat, F. W. Locher, Dr. rer. nat. w. Richartz, Dr.-Ing. s. Sprund and Dr.-Ing. W. Rechenberg. "Setting of Cement" Zement-Kalk-Gips pp. 224-231 (4/1983).
3. Locher, F. W., "Influence of burning conditions on clinker characteristics," World cement Technology, 67-73, March 1980.
4. "시멘트 색상관리를 위한 실제 특성"; 세멘트技術年報, 33, 47~50 (1979).
5. Keiichi Murakami, Japan. "Utilization of chemical Gypsum for portland cement".
6. Labahn/Kohlhaas "Cement engineers handbook" fourth English edition. ♣