

EP dust와 Spray tower dust가 클링커 소성 및 시멘트 물성에 미치는 영향에 관한 연구

홍진배* · 정현일

(아세아시멘트(주) 기술연구소)

I. 서론

시멘트 산업에서의 대표적인 환경오염 물질로는 분진, 소음, 유독성 Gas가 있다. 분진은 배출분진, 비산분진, 부유분진, 강하분진 등으로 나눌 수 있고, 분진제거를 위해 집진기술개발에 초점이 모아지고 있다

시멘트 공장의 경우, 굴뚝으로 나오는 분진을 제거하기 위해 전기집진기(EP: Electrostatic Precipitator)나 Bag Filter를 설치하고 있는데,¹⁾ 이들 설비의 효율을 향상시키기 위해 전(前)과정에 Spray Tower 등의 Precollector를 설치하고 있다. 비록 집진된 분진의 양이 많지는 않지만, 갈수록 환경규제가 심해지므로 집진되는 분진의 양은 증가할 것이고, 분진의 재사용량 또한 증가할 것이다. 따라서 조합원료와 성분이 다른 분진의 사용은 시멘트 산업에서 점차 관심이 높아질 것으로 생각된다. 전기집진기나 Spray Tower에서 집진된 분진은 조합원료에 비해 CaO와 휘발성분(SO₃, K₂O, Na₂O)의 함량이 많고 분말도가 미세하여, Kiln 내에서 공정 Trouble 및 소성성은 물론 제품의 품질에도 많은 영향을 줄 것으로 생각되나, 대부분 이에 대한 중요성을 인식하지 못하고 있으

며, 발표된 자료 또한 매우 부족한 상태이다. 본 연구에서는, 이러한 문제점을 인식하여 공장내에서 품질 관리에 필요한 EP Dust와 Spray Tower Dust의 사용에 의한 클링커 소성 및 시멘트 물성에 미치는 영향에 관한 연구를 하였다.

II. 실험방법

1. 출발원료

본 연구에 사용된 Raw Mix, EP Dust 및 Spray Tower Dust는 당사 공정생산분으로서, 화학성분은 <표 1>에, 입도분포는 <표 2>와 <그림 1>, TG-DTA 및 XRD 분석 결과는 <그림 2>와 <그림 3>에 각각 나타내었다.

2. 시료제조

2-1. 조합원료 제조

출발원료를 <표 3>과 같은 배합비로 조합원료를 제조하였다.

출발원료 화학성분

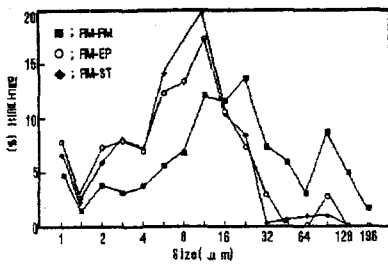
<표 1>

성분 출발원료	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	LSF	SM	IM
Raw Mix	34.68	14.25	3.53	2.18	42.57	1.48	0.25	0.88	93.60	2.50	1.62
EP Dust	36.89	11.22	4.08	2.05	42.72	1.62	0.32	1.02	113.73	1.83	1.99
Spray Tower Dust	34.62	11.88	4.48	1.56	43.64	1.53	0.97	1.24	110.30	1.97	2.87

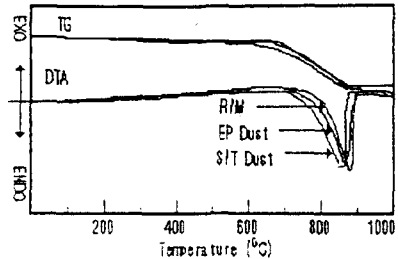
출발원료 입도분포

〈표 2〉

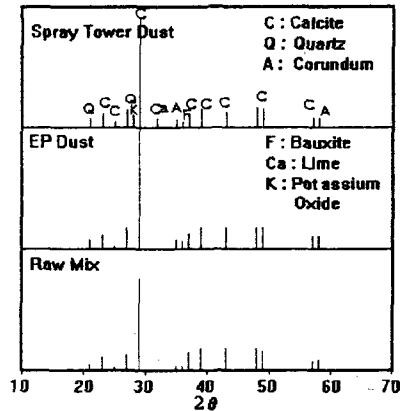
원료 크기	Raw Mix		EP Dust		Spray Tower Dust	
1 μ m	4.7	4.7	7.8	7.8	6.6	6.6
1.5 μ m	1.4	6.1	2.6	10.5	2.2	8.9
2 μ m	3.8	10.0	7.3	17.8	5.9	14.8
3 μ m	4.1	14.2	7.9	25.8	8.1	23.0
4 μ m	3.7	17.9	6.9	32.8	7.4	30.2
6 μ m	5.6	23.6	12.3	45.1	14.1	44.4
8 μ m	6.8	30.5	13.4	58.5	13.3	57.8
12 μ m	12.1	42.7	17.3	75.9	20.4	78.3
16 μ m	11.6	54.3	10.6	86.6	10.4	88.8
24 μ m	13.7	68.1	7.3	94.0	8.4	97.2
32 μ m	7.3	75.5	2.9	96.9	0.3	97.6
48 μ m	5.9	81.4	0.1	97.1	0.4	98.1
64 μ m	3.0	84.5	0.1	97.2	0.9	99.0
96 μ m	8.9	93.4	2.7	100.0	0.9	100.0
Median Size	14.5		6.7		6.8	
~3 μ m(%)	14.2		25.8		23.0	
3~32 μ m(%)	65.5		79.1		82.2	
30 μ mR(%)	26.4		3.8		2.5	
44 μ mR(%)	20.1		3.0		2.0	
88 μ mR(%)	8.8		0.4		0.3	



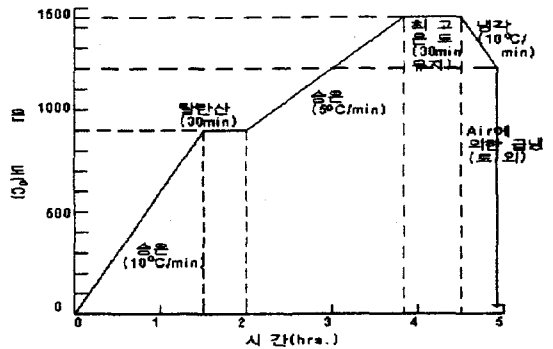
〈그림 1〉 출발원료 입도분포 곡선



〈그림 2〉 출발원료 TG-DTA 분석 결과



〈그림 3〉 출발원료 X선 회절도



〈그림 4〉 클링커 제조시 소성 Cycle

제조 조합원료 배합비

〈표 3〉

출발원료 조합원료	Raw Mix	EP Dust	Spray Tower Dust
RM-RM	100%	-	-
RM-EP	-	100%	-
RM-ST	-	-	100%

2-2. 클링커 제조

각 조합원료를 고온전기로(일본, MOTOYA- MA 사, MODEL : SBH-2025)를 사용하여 최고온도 1450°C에서 30분간 소성하여 클링커를 제조하였으며, 그 소성 Cycle은 〈그림 4〉와 같다

2-3. 시멘트 제조

본 연구에서의 제조 시멘트는 시멘트중 SO_3 함량이 $2.3 \pm 0.1\%$ 인 시멘트를 제조하기 위하여 클링커와 이수석고 ($\text{SO}_3:42.0\%$)를 진동 Mill에서 Blaine $3200 \pm 100 \text{ cm}^2/\text{g}$ 으로 혼합·분쇄하였다.

3. 소성성 예측 시험

각 조합원료에 대한 소성성을 예측하기 위하여 조합원료를 30분간 Acetic Acid(20%)에서 산처리한 후, $44\mu\text{m}$ Wet Sieving(수압:1 l/min, 처리시간:3분)한 잔분과, $125\mu\text{m}$ Wet Sieving(수압:1 l/min, 처리시간:1분)만을 행한 잔분을 채취하여 광학현미경으로 Quartz와 Calcite의 함량을 정량하고, 아래와 같이 KIRSTEN THEISEN식²⁾에 의하여 $\text{F-CaO}_{1450^\circ\text{C}}$ 함량을 추정하여 소성성을 예측하였고, 그 결과는 1450°C 에서 30분동안 소성한 클링커와 비교하였다.

$$\text{F-CaO}_{1450^\circ\text{C}} = 0.343(\text{LSF}:93) + 2.74(\text{SM}:2.3) + 0.10\text{C}_{125} + 0.83\text{Q}_{44} + 0.39\text{AK}$$

Where LSF : Limestone Saturation Factor

SM : Silica Modulus

C_{125} : Content of Coarse Calcite

Q_{44} : Content of Coarse Quartz

AK : $100 - (\text{C}_{125} + \text{Q}_{44})$

4. 클링커 광물 관찰

제조한 클링커는 XRD(독일, SIMENS사, Model:D500)에 의해 클링커 광물을 정성분석하였고, 광학현미경의 반사광법($\times 320$)에 의해 클링커 광물의 형태 및 Size, 분포상태 등을 관찰하였다.

5. 분쇄성 시험

제조된 클링커의 분쇄성을 알아보기 위하여 클링커를 Jaw Crusher에서 5mm Size로 분쇄한 후, 50g을 진동 Mill(HERZOG, Model:HSM100)에서 25초동안 분쇄하여, Air Jet Sieve(독일, ALPINE사, Model:200-LS)에 의한 30, $44\mu\text{m}$ 잔사 함량을 측

정하고, KS L 5106 “공기투과 장치에 의한 포틀랜드 시멘트 분말도 시험방법”에 의한 Blaine을 측정하였다. 또한 입도분포 측정기(프랑스, CILAS사, Model:715C)를 이용하여 입도분포를 측정하였다.

6. 물리성능 시험

6-1. 분말도 및 입도분포 측정

제조한 클링커를 이수석고와 혼합분쇄하여 Blaine $3200 \pm 100 \text{ cm}^2/\text{g}$ 으로 시멘트를 제조하고, 분말도 및 입도분포를 측정하였다

6-2. 응결시간 측정

제조된 각 시멘트는, KS L 5102 “수경성 시멘트의 표준주도 시험방법”에 의한 주도와, KS L 5103 “길모어 침에 의한 시멘트의 응결시간 시험방법”에 의한 응결시간을 측정하였다.

6-3. 압축강도 측정

제조된 각 시멘트는, KS L 5109 “수경성 시멘트 반죽 및 모르타르의 기계적 혼합방법”에 의해 시멘트 모르타르를 혼합하고, Flow 시험을 행한 후, KS L 5106 “수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법”에 의한 각 재령별(1, 3, 7, 28일) 압축강도를 측정하였다.

6-4. 수화열 측정

제조된 각 시멘트의 수화열은 Calolimeter(프랑스, SETARAM사, Model:C-80D)에 의한 24시간 동안의 수화열을 측정하였다.

6-5. 수화물 분석

1) 열분석기에 의한 분석

수화된 각 시멘트 Paste에 대한 수화물을 열분석기(프랑스, SETARAM사, Model:TG/DTA 92-18)에 의하여 생성수화물에 대한 열적 특성을 연구하였다.

제조 조합원료 소성성 예측시험 결과

〈표 4〉

조합원료	항 목		잔분 중량 (%)	정 량 결 과			추정 F-CaO(%)
	Sieve 종류			Quartz	Calcite	기타	
RM - RM	+ 44 μ m	함량(%) Size(μ m)	2.3168	30.5 23~233	34.7 60~203	34.8 38~300	1.21
	+ 125 μ m	함량(%) Size(μ m)	1.8532	13.9 263~503	73.5 285~638	12.6 225~345	
RM - EP	+ 44 μ m	함량(%) Size(μ m)	0.4035	23.2 68~215	42.5 90~203	34.3 90~353	6.22
	+ 125 μ m	함량(%) Size(μ m)	0.1565	12.5 30~315	73.4 195~450	14.1 203~390	
RM - ST	+ 44 μ m	함량(%) Size(μ m)	0.1603	26.9 75~188	37.4 60~270	35.7 60~225	5.45
	+ 125 μ m	함량(%) Size(μ m)	0.0863	12.2 150~375	62.5 165~450	25.3 225~585	

2) SEM에 의한 분석

각 시멘트 Paste를 수중에서 28일 동안 수화시킨 후 Acetone에 30분 동안 침지시켜 수화를 정지시키고, SEM(일본, JEOL사, MODEL:JSM-6400)을 사용하여 배율 1500배로 각 생성수화물을 분석하였다.

3) XRD에 의한 분석

각 시멘트 Paste를 수중에서 1, 3, 7, 28일 동안 양생후 수화생성물을 XRD(독일, SIEMENS사, Model :D5000)에 의하여 분석 확인하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 소성성 예측 결과

각 조합원료에 대한 소성성을 예측하였고, 그 결과

는 〈표 4〉와 같다. 소성성 예측결과, Quartz와 Calcite의 Size는 Raw Mix, EP Dust, Spray Tower Dust 순으로 작게 나타났으며, 정량결과에서는 Quartz의 경우 Raw Mix가 가장 많았고, 분쇄성이 좋은 Calcite 경우는 가장 적게 나타났다. 또한 EP Dust나 Spray Tower Dust의 경우는 Raw Mix 대비 LSF가 높아 KRISTEN THEISEN식에 의해 계산시 추정 F-CaO가 아주 높게 추정되었다. 그러나 〈표 5〉에 나타낸 시험실적으로 소성한 클링커의 소성성 시험결과는 소성성 예측시험에서와 같은 경향이지만, EP Dust를 사용하여 제조한 클링커의 경우는 17.8%로 아주 높았다. EP Dust와 Spray Tower Dust를 사용하여 제조한 클링커의 소성성 저하는 제조한 조합원료의 CaO 함량이 많은 반면, SiO₂, Fe₂O₃ 함량이 적어 클링커 광물 형성량이 적고, 미반응 CaO가 다량 잔존하기 때문으로 생각된다.³⁾⁻¹¹⁾

제조 클링커 화학성분

〈표 5〉

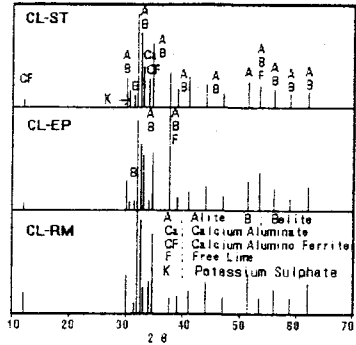
클링커	성분	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	F-CaO	SO ₃ Alkali ²⁾	Modulus		
												LSF	SM	IM
CL-RM		0.11	21.94	5.79	3.35	65.69	2.31	0.27	0.43	1.88	0.58	92.99	2.40	1.73
CL-EP		0.12	16.66	6.04	2.23	71.56	2.17	0.37	0.74	17.80	0.50	129.11	2.01	2.71
CL-ST		0.13	18.46	7.27	2.43	66.71	2.39	1.23	1.27	4.72	1.04	106.47	1.90	2.99

제조 클링커 분쇄성 시험 결과

<표 6>

시멘트	항 목 Blaine (cm ² /g)	잔 사 (%)	
		44 μ m	30 μ m
CL - RM	3615	19.13	24.47
CL - EP	4240	12.06	18.63
CL - ST	4382	15.37	20.67

클링커 크기	CL - RM		CL - EP		CL - ST	
	1 μ m	7.7	7.7	10.2	10.2	7.2
1.5 μ m	1.4	9.1	1.9	12.1	1.2	8.4
2 μ m	4.3	13.5	5.4	17.6	3.8	12.3
3 μ m	5.3	18.8	5.3	22.9	4.8	17.1
4 μ m	6.0	24.9	6.5	29.5	6.2	23.4
6 μ m	7.0	31.9	6.6	36.1	7.1	30.5
8 μ m	8.6	40.6	9.1	45.3	9.5	40.0
12 μ m	8.6	49.3	8.6	54.0	10.3	50.4
16 μ m	10.1	59.4	10.4	64.4	12.2	62.7
24 μ m	9.8	69.2	8.1	72.5	9.9	72.6
32 μ m	11.0	80.3	9.7	82.2	10.7	83.4
48 μ m	7.4	87.7	7.0	89.3	5.9	89.3
64 μ m	6.0	93.8	5.9	95.2	6.2	95.6
96 μ m	6.1	100.0	4.7	100.0	4.3	100.0
Median Size	12.3		10.1		11.8	
-3 μ m(%)	18.8		22.9		17.1	
3~32 μ m(%)	66.8		64.6		71.1	
30 μ mR(%)	22.5		20.2		19.3	
44 μ mR(%)	14.2		12.5		12.2	
88 μ mR(%)	1.6		1.2		1.1	



<그림 5> 제조 클링커의 X선 회절도

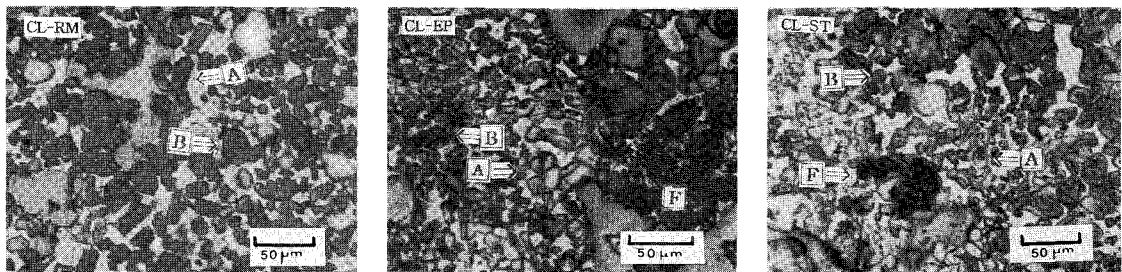
2. 클링커 광물 분석

제조한 클링커 광물에 대한 XRD 분석결과는 <그림 5>와 같다. 모든 클링커에서는 미량성분을 고용 한 $2\theta = 51.7^\circ$ 부근의 Alite Peak와 $2\theta = 31.9^\circ$ 부근의 Belite(β 형) Peak, $2\theta = 33.2^\circ$ 부근의 Calcium Aluminate Peak, $2\theta = 33.9^\circ$ 부근의 Calcium Alumino Ferrite Peak가 나타났다. 그러나 EP Dust를 사용하여 제조된 클링커의 경우 F-CaO의 Peak가 크게 나타나 소성성이 저하되었음을 확인할 수 있었다.

<그림 6>에 나타난 반사광법에 의한 광학현미경 분석 결과, EP Dust나 Spray Tower Dust로 제조한 클링커의 경우 Alite 및 Belite 결정 Size가 작고 생성량도 적었으며, F-CaO 균정이 관찰되었다

3. 분쇄성

<표 6>, <그림 7>은 제조한 클링커의 분쇄성 시험 결과로, EP Dust나 Spray Tower Dust로 제조된



CL-RM

CL-EP

CL-ST

<그림 6> 광학 현미경에 의한 클링커 광물 사진

A:Alite

B:Belite

F:Lime

제조 시멘트 화학성분

〈표 7〉

클링커 성분	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	F-CaO	Modulus		
											LSF	SM	IM
CE - RM	1.35	21.12	5.61	3.25	63.51	2.26	2.34	0.41	0.15	1.66	91.16	2.38	1.73
CE - EP	1.21	16.04	5.86	2.16	69.55	2.12	2.29	0.62	0.15	14.01	127.65	2.00	2.71
CE - ST	0.74	17.93	7.07	2.37	65.78	2.36	2.35	1.25	0.15	3.67	106.74	1.90	2.98

클링커의 경우 Raw Mix에 비하여, 30, 44 μ m 잔사량이 낮고, Blaine이 높으며, 입도분포 측정결과 평균

제조 시멘트의 입도분포

〈표 8〉

항 목 시멘트	Blaine (cm ² /g)	잔 사 (%)	
		44 μ m	30 μ m
CE - RM	3217	24.35	33.70
CE - EP	3183	28.22	34.78
CE - ST	3230	30.32	36.89

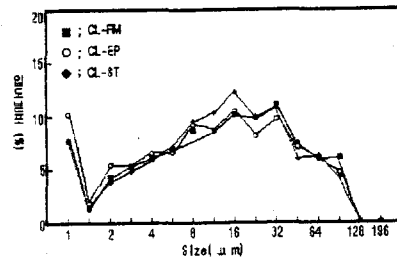
클링커 크기	CE - RM		CE - EP		CE - ST	
	1 μ m	5.2	5.2	5.2	5.2	5.3
1.5 μ m	1.2	6.5	1.2	6.4	1.0	6.3
2 μ m	3.7	10.2	3.1	9.5	2.6	8.9
3 μ m	4.0	14.2	3.7	13.3	3.7	12.6
4 μ m	4.2	18.5	3.8	17.1	3.5	16.1
6 μ m	5.4	23.9	5.2	22.4	5.2	21.3
8 μ m	6.6	30.5	6.0	28.4	5.8	27.1
12 μ m	8.2	38.8	7.9	36.4	8.1	35.2
16 μ m	9.2	48.0	8.6	45.0	8.4	43.6
24 μ m	9.9	58.0	9.6	54.7	9.7	53.3
32 μ m	10.7	68.7	7.4	62.1	7.1	60.4
48 μ m	9.9	78.7	7.4	69.6	7.2	67.6
64 μ m	7.3	86.0	5.7	75.4	5.9	73.5
96 μ m	13.9	100.0	16.6	92.0	17.3	90.8
Median Size	17.5		20.1		21.7	
-3 μ m(%)	14.2		13.3		12.6	
3~32 μ m(%)	58.5		52.6		51.5	
30 μ mR(%)	34.0		39.8		41.4	
44 μ mR(%)	23.8		32.3		34.2	
88 μ mR(%)	3.5		12.2		13.5	

입자 Size가 작고, EP Dust에 의해 제조한 클링커 경우는 Raw Mix와 Spray Tower Dust에 의한 것보다 3 μ m 이하의 미분말 함량이 많았다. 분쇄성 시험에서는 EP Dust나 Spray Tower Dust를 사용하여 제조된 클링커의 경우는 분쇄성이 양호하게 나타났는데, 이는 Alite, Belite 양과 Size가 작기 때문으로 생각된다.

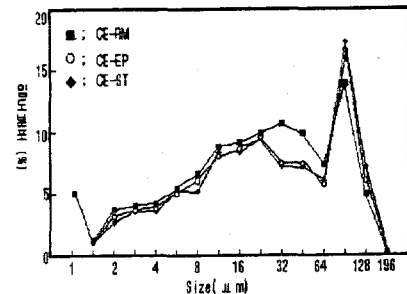
4. 물리성능

4-1. 분말도 및 입도분포

제조한 시멘트의 화학성분은 〈표 7〉과 같고, 분말도 및 입도분포 측정 결과는, 〈표 8〉, 〈그림 8〉에 각각 나타내었다. 제조한 시멘트의 분말도 및 입도분포 측



〈그림 7〉 제조 클링커 입도분포 곡선



〈그림 8〉 제조 시멘트 입도분포 곡선

제조 시멘트 물리성능

〈표 9〉

클링커 성분	주도	응결(분)		수화열(cal/g)			
		초결	종결	3hrs	6hrs	12hrs	24hrs
CE - RM	22.4	230	365	3.93	3.93	16.29	33.68
CE - EP	26.4	200	320	9.99	18.29	42.23	66.46
CE - ST	26.8	90	170	7.93	12.91	30.31	45.73

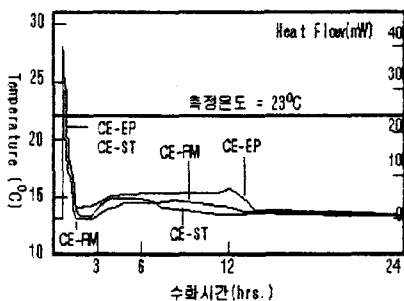
정 결과는 EP Dust나 Spray Tower Dust를 사용하여 제조한 시멘트의 경우 30 μ m, 44 μ m 잔사량이 많고, Median Size가 크게 나타나 분쇄성 시험에서와는 상반되지만, 이는 시멘트의 분말도를 일정하게 해주기 위하여 EP Dust나 Spray Tower Dust의 분쇄시간을 짧게 해주었기 때문으로 생각된다.

4-2. 주도 및 응결

제조한 시멘트의 주도 및 응결시간 측정결과는 〈표 9〉와 같다. EP Dust나 Spray Tower Dust를 사용하여 제조한 시멘트의 경우, 주도가 높고, 응결시간이 빠르며, 특히 Spray Tower Dust에 의한 경우는 아주 빠르게 나타났다. 이는, EP Dust나 Spray Tower Dust를 사용하여 제조한 시멘트의 경우 F-CaO 및 Alkali 함량 증가²⁾와 C₃A 함량의 증가³⁾ 때문인 것으로 생각된다.

4-3. 수화열

제조한 각 시멘트의 수화열 측정결과는 〈표 9〉, 〈그림 9〉에 나타내었다. EP Dust나 Spray Tower Dust로 제조한 시멘트의 경우 24시간 수화열이 높게 나타났는데, 이는 클링커 소성시 형성된 Alkali Sulphate가 클링커 광물에 고용되는 양이 적고,



〈그림9〉 제조 시멘트의 수화열 측정 결과

제조 시멘트 압축강도 측정결과

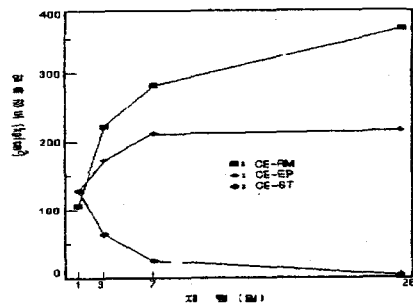
〈표 10〉

시멘트 강도	W/C (%)	Flow	압축강도 (kg/cm ²)			
			1일	3일	7일	28일
CE - RM	48.5	57.7	106	222	282	364
CE - EP	48.5	43.6	117	64	25	0
CE - ST	48.5	41.8	118	173	212	216

K₂SO₄ 및 Free-Alkali 상태로 잔존하여 초기수화를 촉진시키고, 또한 발열량이 큰 F-CaO의 함량이 많았기 때문으로 생각된다.¹³⁾

4-4. 압축강도

제조된 각 시멘트의 압축강도 시험결과는 〈표 10〉, 〈그림 10〉과 같다. EP Dust나 Spray Tower Dust를 사용한 경우 압축강도는 재령 1일에서는 Raw Mix 대비 높게 나타났지만, 재령 3일 이후에는 아주 낮은 압축강도를 나타내었고, 특히 EP Dust에 의한 경우는, 재령 3일 이후에서 오히려 압축강도 발현이 저하되어 재령 28일에서는 압축강도가 "0"으로 나타났다. 이러한 Spray Tower Dust나 EP Dust의 압축강도 하락은 Alkali와 F-CaO 함량이 높아 경화체가 수화시 체적증가에 의한 경화체의 파괴 때문으로 생각된다.



〈그림10〉 제조 시멘트의 압축강도 측정결과

제조 시멘트 수화물의 TG-DTA 분석결과

〈표 11〉

시멘트	강도	TG(%)	Heat Flow($\mu\text{W/g}$)	
			1차 Peak	2차 Peak
CE - RM		-0.76	-40.79	-4.38
CE - EP		-5.34	-11.40	-65.34
CE - ST		-7.33	-44.43	-34.83

5. 수화물 분석

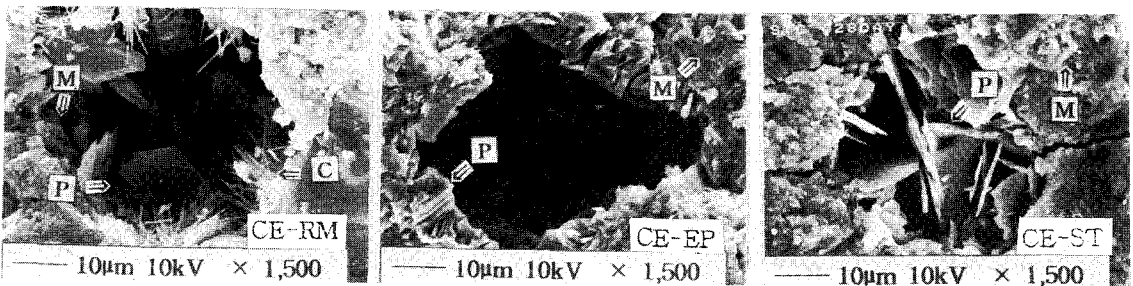
5-1. TG-DTA 분석

제조 시멘트 1일 수화물의 TG-DTA 분석결과는 〈표 11〉, 〈그림 11〉과 같다. 측정결과 전 수화물이 100~350°C 부근에서 Ettringite의 분해에 의한 발열 Peak가 나타났고 450~550°C 부근에서 Portlandite의 분해에 의한 발열 Peak가 나타났으며, 특히 EP Dust나 Spray Tower Dust로 제조한 시멘트의 경우 Portlandite의 발열 Peak가 크게 나타났다. 이는 EP Dust나 Spray tower Dust로 제조한 시멘트의 경우 F-CaO 함량이 높아 Portlandite를 많이 생성했기 때문으로 생각된다.

5-2. SEM 분석

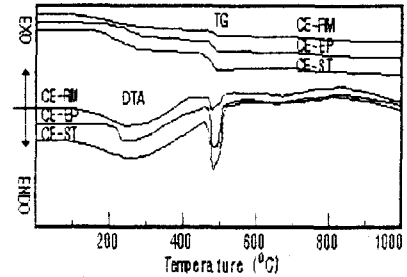
제조된 시멘트 Paste에 대한 재령 28일 수화물의 SEM 분석결과는 〈그림 12〉와 같다. EP Dust나 Spray Tower Dust로 제조된 경우는 재령 28일에서 Portlandite와 Monosulphate 수화물이 다량 관찰되었으며, Raw Mix 경우는 Portlandite와 Monosulphate 외에도 장섬유상의 C-S-H가 다량 관찰되었다.

5-3. XRD 분석



〈그림 12〉 SEM에 의한 제조 시멘트 Paste의 수화물(재령 28일) 관찰 사진

C : C-S-H gel, P : Portlandite, M : Monosulphate



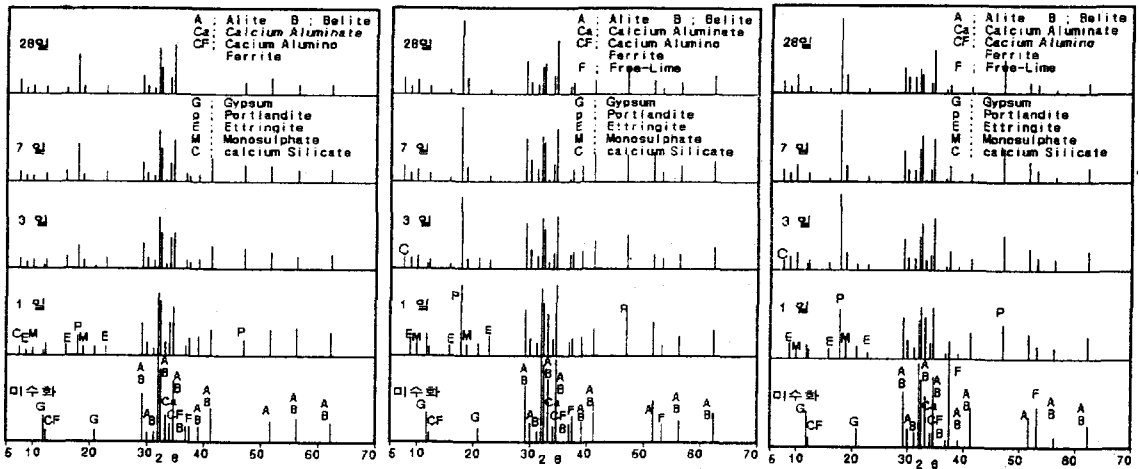
〈그림 11〉 제조 시멘트 수화물의 TG-DTA 분석 결과

제조한 각 시멘트 Paste의 1, 3, 7, 28일 재령에서의 수화물 XRD 분석 결과는 〈그림 13〉과 같다. 각 시멘트 Paste의 XRD에 의한 분석 결과, 전 시료 공히 재령 3일까지 이수석고 Peak가 잔존하였고, 재령 1일부터 Ettringite 및 Monosulphate 수화물이 나타났으며, 또한 Portlandite 경우는 Raw Mix보다 EP Dust나 Spray Tower Dust에 의한 경우가 Peak Intensity가 크게 나타났으며, C-S-H 수화물의 경우는 재령 3일 이후 나타나기 시작했다.

IV. 결론

시멘트 제조에 있어 EP Dust와 Spray Tower Dust의 재사용이 클링커 소성 및 시멘트 물성에 미치는 영향에 대한 시험을 하고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) EP Dust와 Spray Tower Dust는 Raw Mix에 비해 휘발성분(SO_3 , Alkali)의 함량이 많고, 입자의 크기도 미세한 것으로 나타났다.
- 2) 제조된 각 조합원료의 소성성 시험결과, EP



〈그림 13〉 CE-RM Paste 수화물의 X선 회절도

Dust와 Spray Tower Dust로 제조했을 때 소성성이 저하되었으며, Alite 및 Belite 결정 Size가 작고 생성량도 적은 것으로 나타났다.

3) 클링커의 분쇄성 시험결과, EP Dust와 Spray Tower Dust로 제조한 클링커는 분쇄성이 양호한 것으로 나타났다.

4) EP Dust와 Spray Tower Dust로 제조한 시멘트의 경우, 주도가 높고, 응결시간이 빠르며, 재령 3, 7, 28일에서의 압축강도가 낮게 나타났다. 특히, EP Dust로 제조한 시멘트의 경우, 재령이 증가할수록 압축강도가 하락하여 압축강도가 "0"이 되었다.

5) 이상의 결과로부터 EP Dust와 Spray Tower Dust를 사용한 클링커 제조시, 클링커 및 시멘트의 물성이 상당히 저하되어 시멘트 제조가 불가능할 정도이므로, 시멘트 제조 공정에서의 이같은 분진에 대한 재사용은 Raw Mix와 이들의 소량 첨가에 의한 검토가 있어야 할 것으로 생각된다.

〈참 고 문 헌〉

- 1) 오희갑, "시멘트 공업에서의 환경보존 대책", 요업 재료의 과학과 기술, Vol.9, No.5, pp460 (1994)
- 2) Kirsten Theisen, "The Influence of Raw Mix Burnability on Cement Clinker", WORLD CEMENT, pp.17-23 (1992)
- 3) R.Kondo, S.H.Choi, "Mechanisms and Kinetics of Portland Cement Clinker

Formation for a Example of the Solid State Reaction in the Presence of Liquid Phase", 5th I.C.C.C., Vol.1, pp163 (1968)

- 4) G.R.Gouda, World Cem.Technol, 10(9), pp337 (1979)
- 5) A.Guttman and F.Gille, Zem.Kalk Gips, 18 pp500,537, (1929)
- 6) E. Spohn, E. Woermann and D.Knofel, 5th ISCC, Tokyo I, pp172 (1968)
- 7) C.Schmitt-Henco, 6th ICC, Moscow 1, pp110 (1976)
- 8) A.Ghosh and P.Barnes, World Cem.Technol. 11(9), pp441 (1980)
- 9) D.Knofel, Zem. Kalk Gips, 32, pp35 (1979)
- 10) C.Goes and F.KeilTonindustric-Zeitung und Keramische Rundshen, 6.pp125 (1960)
- 11) P.Weber, Zem Kalk Gips, 17, pp335 (1964)
- 12) S.N.Ghosh, Advanced in Cement Technology, pp.74-77 (1983)
- 13) G.Verbeck and R.Helmuth, Proc.5th Int'l.Symp. Chemistry of Cement, Tokyo, Vol. III, p.1 (1968)
- 14) 윤재환, 포틀랜드 시멘트 및 콘크리트, pp219-220 (1989)
- 15) Bogue, R.H. and Lerch, W., "Hydration of Portland Cement Compounds", Ind. Engng. Chem., 26, No.8, pp837-847 (1934)