

# 송석 석회석에서의 경석량 감소가 클링커 소성 및 품질에 미치는 영향

안 광 용

&lt;성신양회 단양공장&gt;

## 1. 서 론

당사의 석회석 품질은 SiO<sub>2</sub>에 비해 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 현저히 낮게 분포되어 있어 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>질 부원료를 절대적으로 필요로 하며 이에 따른 부원료로 경석 및 Fly Ash, 납석등의 사용이 증가하고 있는 추세이다. 그러나 이들 부원료중 Fly Ash는 화력발전소에서 유연탄의 Ash로 화력발전소에서 1차적인 품질의 균일함을 약속 받을 수 있고, 납석은 산지가 단일화 되어 있어 이 또한 어느 정도의 품질이 보장된다 할 수 있다. 하지만 경석은 산지에 따라 그 품위들이 크게 다르고 국내 무연탄의 폐탄이라 할 수 있어 한 곳의 산지로부터 반입된다 하여도 그 품질의 일정함을 보장받기가 힘든 것이 사실이다. 이러한 사유로 당사와 같이 석회석에 경석을 혼합하여 석회석을 조성하는데는 석회석 조성시 그 품위에 커다란 영향을 가져 오는 것 또한 사실이다. 더구나 현재 자사의 송석 석회석에서의 경석 비율을 5%로 혼합 투입하고 있으니 경석은 석회석 다음으로 많이 사용하는 원료라 할 수 있다. 그러나 당사 석회석의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 낮고 알루미늄질 원료의 수급이 어려워 장기간 경석을 줄여 볼 엄두를 내지

못하였다. 따라서 본인은 석회석에서 경석의 혼입량을 5%에서 4%로 낮추어 원료조정을 하고 클링커의 품질 및 소성성이 어떻게 변화되는지를 알아 보았다.

## 2. 실 험

### 2.1 실험설비

석회석 #2 Pile을 경석량을 5%로 조성하여 #1 Kiln Line에 먼저 실험한 후 동일 석회석 Pile에 경석량을 4% 혼입 조성하여 #1 Kiln Line에 실험하여 그 차이를 알아 보았다.

### 2.2 실험기간

- 1) 경석 5% 사용 : 2003년6월 19일 ~ 7월 7일
- 2) 경석 4% 사용 : 2003년7월 8일 ~ 7월 30일

### 2.3 실험항목

아래 <표 1>과 같이 시험항목을 정하여 그 결과를 비교하기로 하였다

<표 1> 실험항목

석 회 석	조합 원료	크 링 커	생산 공정
송석 구성비율 전량 품위 석영율	원료조정 계수 부원료 투입율 전분석	전분석 F/L, 용중, 색상 현미경 분석 압축강도, 응결	생산량 열원단위 유연탄 소비량 기타 공정관리 항목

&lt;표 2&gt; 원료배합비

경석비율	전 량		분취 SiO <sub>2</sub>	원료 계수			부원료 투입율 (%)			
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		LSF	SM	IM	납석	마사	F/A	제강S
5 %	12.0	2.2	9.3	93.5	2.48	1.60	2.2	-	4.5	1.6
4 %	11.9	2.1	9.6				1.2	-	5.5	1.7
차이(5% 기준)	-0.1	-0.1	+0.3	-	-	-	-1.0	-	+1.0	+0.1

## 2.4 원료배합비 (이론)

<표 2>와 같이 원료 조정계수와 부원료의 종류 등 모든 조건을 동일하게 하였다.

석회석에서 전량이라 함은 1차 크라샤를 거친 석회석에 경석을 혼입한 Premixing 석회석을 말하는 것이고 분취는 경석이 혼입되기 전의 석회석을 말한다.

실험하고자 하는 석회석 배합비에서 분취의 SiO<sub>2</sub>는 0.3을 높여 경석을 줄일 때 오는 SiO<sub>2</sub>의 부족을 보완하고 전량에서의 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 각각 0.1씩 낮추어 석회석이나 납석으로 조정할 수 있는 여유를 주기로 하였다.

## 3 실험결과

### 3.1 석회석 구성비율

<표 3>과 같이 경석 4% 투입시 SiO<sub>2</sub> 기준 5%미만과 10~15%사이의 석회석이 증가되었으며 SiO<sub>2</sub>기준 중간품위인 5~10%와 저품위인 15%이상의 석회석량은 감소한 것으로 나타났다.

### 3.2 석회석 Pile 조성 Data

아래 <표 4>는 실험기간 동안의 Pile 평균 Data이다. 난소성성 물질인 석영의 함유량이 4.3% 감소하였으며 특이한 것은 석회석 Pile Data에서 SiO<sub>2</sub>가 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>보다 많이 낮아 졌다는 것이다. 두 항목을 단순 계산해 보면(품위별 상위 Data로 계산하였을 때) 분명히 SiO<sub>2</sub>가 경석

&lt;표 3&gt; 송석 석회석 구성비율표

경석비	지구별 구성비				석회석 SiO <sub>2</sub> 품위별 구성비			
	A지구	B지구	C지구	H/L	0~5	5~10	10~15	15~18
5 %	15.1	10.3	53.9	20.8	25.2	39.5	31.7	3.6
4 %	12.7	14.3	51.7	21.3	32.3	30.5	35.4	1.8
차이(5% 기준)	-2.4	+4.0	-2.2	+0.5	+7.1	-9.0	+3.7	-1.8

&lt;표 4&gt; 석회석 Pile 조성 결과표

경석비율	SiO <sub>2</sub>	편차	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub> 중의 석영율
5 %	12.42	0.90	2.43	0.78	44.51	2.00	80.15
4 %	11.96	0.71	2.31	0.78	44.90	2.01	75.77
차이 (5% 기준)	-0.46	-0.19	-0.12	-	+0.39	+0.01	-4.38

<표 5> Rawmix 원료조정 결과표

경석 비율	전 량		원료 계수				부원료 투입율 (%)			
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LSF	편차	SM	IM	납석	마사	F/A	제강S
5 %	12.42	2.43	93.6	1.30	2.48	1.64	1.9	0.5	4.6	1.5
4 %	11.96	2.31	93.5	0.94	2.48	1.64	1.5	2.1	3.7	1.6
차이(5% 기준)	-0.46	-0.12	-0.01	-0.36	-	-	-0.4	+1.6	-0.9	+0.1

5% 에서 9.97%, 4%에서 10.30%로 나왔다는 것이다.

이것은 두가지 원인으로 추측하였다. 첫번째는 앞에서의 구성비율에서 언급했듯이 SiO<sub>2</sub> 5%미만 석회석의 증가와 15%이상 저품위 석회석의 감소에 의한 것으로 고품위 석회석의 품질이 상대적으로 뛰었었을 경우이며 두번째는 경석의 품위가 변화 되었을 수도 있다는 것이다. 두번째의 경우라면 많은 것을 시사한다. 자원부에서 송석품위를 일정하게 송석하더라도 경석의 품위에 따라 Premixing Pile의 Data가 변화된다는 것을 의미한다.

또한 조성된 Pile의 SiO<sub>2</sub> 편차 평균(1개의 Pile를 조성시 평균 15회 분석에 대한 편차 평균) 이 감소하였다. 이것은 경석량을 줄였을 때 석회석 품위 조정이 더 안정적이었다는 것을 의미한다

### 3.3 원료조정 Data

<표 5>와 같이 경석 4% 투입시 F/A와 납석의 투입량이 줄고, 마사는 증가하였다.

이러한 이유는 석회석 전량의 SiO<sub>2</sub>가 큰 폭(0.46)으로 감소한 반면, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 소폭(0.12)감소하였기 때문이며, 전량의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 소폭 감소한 이유는 중간 품위(5~10%)의 송석량이 줄고 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 높은 SiO<sub>2</sub> 10~15%의 석회석량이 늘었기 때문으로 사료된다.

또한 Rawmix의 LSF 일간 편차가 0.36감소되었다. 이것은 석회석 Pile의 편차 감소가 큰 역할을 한 것으로 사료된다

### 3.4 Clinker 화학분석 결과

<표 6>과 같이 경석 4% 투입시 LSF가 0.9 감

<표 6> Clinker 화학분석 결과

경석비율	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>	K <sub>2</sub> O	LSF	SM	IM
5 %	22.02	5.67	3.45	64.70	2.75	0.47	0.92	91.2	2.42	1.65
4 %	22.14	5.77	3.32	64.42	2.73	0.51	1.01	90.3	2.44	1.75

<표 7> Clinker 물리시험 Data

경석비율	Free-CaO	용중	Blaine	Sieve	초결	종결	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )		
							3일	7일	28일
경석 5%	1.02	1465	3404	5.7	229	6:37	236	328	413
경석 4%	1.04	1460	3398	6.0	266	7:06	236	327	407
차이(5%기준)	+0.02	-5	-6	+0.3	+37	+29	0	-1	-6

&lt;표 8&gt; Clinker 현미경분석 결과표

경석비율	크 기 ( $\mu\text{m}$ )			함 량 (%)				결정화도
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	기공	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	기공	간극질	
5 %	51	24	113	65.1	17.0	12.7	4.9	미
4 %	49	23	113	64.9	16.7	13.2	4.9	우
차이(5%기준)	-2	-1	0	-0.1	-0.4	+0.5	0.0	한단계

소하고 IM은 0.1 증가하였다. 또한 경석 4% 투입시 K2O가 증가하였다. K2O가 증가한 원인은 마사의 투입량 증가에 기인한 것으로 판단된다.

### 3.5 Clinker 물리시험 Data

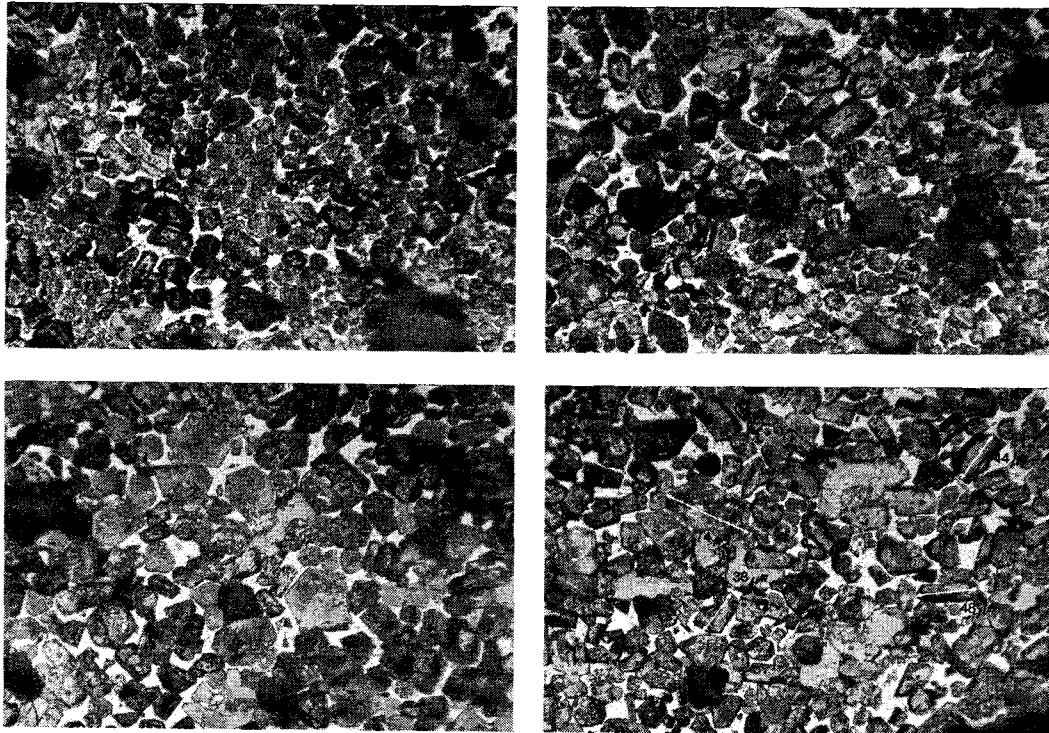
<표 7>의 C/K Data 분석결과 경석 4% 투입시 경석 5% 투입시보다 응결이 30분정도 늦게 나타났다.

C/K의 F/L 및 용중, 3일, 7일 압축강도는 경석 투입량에 상관없이 유사한 수준을 보였

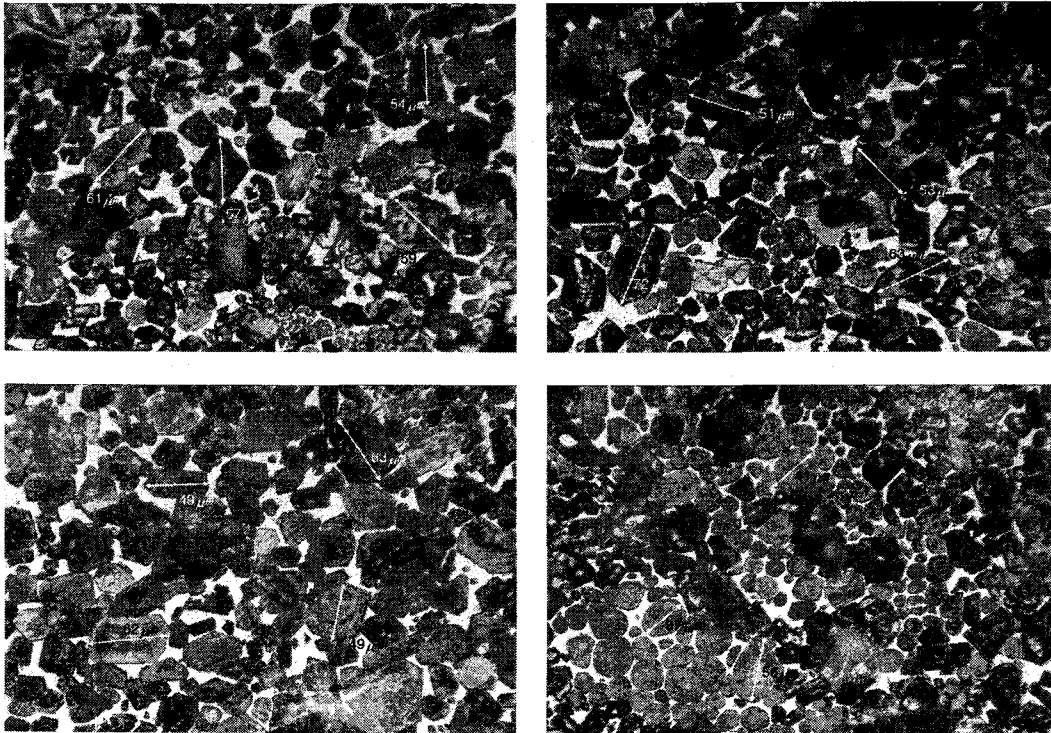
으나 28일 강도는 경석 4% 투입시 6 kgf/cm<sup>2</sup> 하락한 것으로 나타났다. 이것은 마사 사용량 증가에 따른 K2O 상승에 기인한 것으로 판단된다.

### 3.6 현미경 분석결과

<표 8>에 현미경 분석결과 결정화도를 수, 우, 미, 양, 가로 나누어 판단하였는데 경석 4% 투입시 "우"급으로 한단계 상승하였고 결정의 크기나 함량은 경석 투입량에 상관없이 비슷하게 나타났다.



<그림 1> 경석 5% 투입한 Clinker (0.5% NH<sub>4</sub>Cl etch, ×200)



<그림 2> 경석 4% 투입한 Clinker (0.5% NH<sub>4</sub>Cl etch, ×200)

<그림 1, 2>의 사진은 경석 투입량별로 대표적인 사진들을 각각 4장씩 선별하여 게재하였다.

### 3.7 생산성 비교 (톤/일)

<표 9>와 같이 경석 4% 투입시 5% 투입시에 비해 클링커의 생산량이 5톤 늘고 Coal 사용량은 6톤이 감소하였으며 이는 경석량 감소에 따른 생산성 향상으로 판단된다.

## 4. 결 론

경석 4% 투입시 경석 5% 투입시에 비해

- 1) 석회석 Pile내 SiO<sub>2</sub>의 하락 폭이 크게 나타나며, 원료조정시 석회석 SiO<sub>2</sub>가 낮아 마사의 투입량은 증가하고 납석 및 F/A 투입량은 감소하였으며 LSF 일간 편차가 감소하였다.
- 2) Clinker에서 비슷한 물리성능을 보였으나 28일 압축강도는 6kgf/cm<sup>2</sup> 하락하였는데 이는 마사 투입량 증가로 인해 Clinker에서 K<sub>2</sub>O가 증가했기 때문으로 사료된다.
- 3) 현미경 분석결과 결정의 크기나 함량은 비슷한 수준으로 나타났으나 결정화도는 향상되었다.
- 4) 소성성 향상에 따른 생산량 증가가 있었다.

<표 9> 생산성 비교 결과표

경석비율	생산량	Coal 투입량
5 %	4056	381
4 %	4061	375
차이(5% 기준)	+5	-6

이상의 결과를 종합해 보면 경석은 점토 대체 원료로 높은 호환성을 갖고 있으며 자체 열량으로 인해 열원단위 절감 효과도 기대할 수 있으나 일정량 이상 사용시 1단 Cyclone의 온도 상승 및 석영을 상승에 따른 분쇄성, 소성성 저하를 가져올 수 있다