

클링커 입도별 특성

정 현 일
〈아세아시멘트 제철공장〉

1. 서 론

미세한 분말상태의 균일한 조합원료를 kiln 에 투입시켜도 소성공정을 통하여 크고 작은 구를 형성하여 반제품인 클링커가 생산된다. 이 클링커는 ① 원료의 화학적·물리적·광물학적 특징 ② 소성분위기 및 냉각과정 ③ 사용된 연료의 특성 ④ kiln 의 type 등에 따라 광물학적 및 물리적 성질이 서로 다른 클링커가 생산될 것으로 생각된다. 이런 경우에는 클링커의 특성이 입도에 따라 다르게 될 것이므로, 입도별 특성을 파악함으로써 시멘트의 품질 및 생산성을 관리하는데 큰 도움이 될 것으로 생각된다.

오늘날의 시멘트공업은 대부분이 continuous system 을 갖춘 대량 생산업체로서 많은양의 클링커를 생산하여 치장에 이적하게 된다. 이때 그 외형 및 입도의 크기에 따라서 서로 분리되는 현상이 있으며 이 분리된 클링커는 각각 cement mill 에 투입되는 경우가 있다. 그러므로 우리는 이것을 효과적으로 잘 관리하여야 할 것이다.

2. 공정 소개

- 1) 2호 kiln 은 1982년 lepol type 을 prepol A.S type 으로 자체 기술진에 의해 개조한 것이며 preheater 는 5단의 cyclone 으로 구성되어 있다. cooler 는 under grate fuller type 으로 1일 생산능력은 2,000 톤임.
- 2) 3호 kiln 은 1976년 프랑스의 polysius 회사에 의해 건설된 prepol A.T type 이며 4단의 cyclone 으로 구성되어 있다. cooler 는 planetary type 이며 1일 생산능력은 3,700 톤임.
- 3) 현재 kiln 공급원료는 Raw mill 1, 2 호기에서 생산하여 동일 원료를 kiln 2, 3 호에 공급하고 있다.

3. 시료 채취 및 제조 방법

- 1) K-2, K-3에서 생산된 클링커를 kiln 별로 매시간당 3 kg씩 random 하게 sampling 하여 1일 24회 모은시료 70 kg을 준비했다.
- 2) 시험은 84년 2월과 3월 2개월동안 각각 2회 반복시험을 실시했다.
- 3) 입도분포 측정시료는 70 kg을 완전혼합후 4분법하고 축분하여 5 kg을 제조하였다.
- 4) 용중시험용 시료는 70 kg을 KSF 2502 (골재의 체가름 시험방법)시험방법에 의해 5%이하, 5~16%, 16%이상의 3단계로 체가름한 시료를 각각 jaw crusher 로 10% sieve 잔사가 3%정도되게 조쇄한 것을 5 kg씩 나누어 제조하였다.

4. 시험 방법

- 1) 입도별 분포시험은 KSF 2502 시험방법에 의해 5%이하, 5~16%, 16% 이상으로 구분하여 그 분포를 측정했다.
- 2) 입도별 용중시험은 2 l 용량의 can 을 이용하여 각 입도별 용중을 시험했다.
- 3) 분쇄성시험은 분쇄성시료 5 kg을 pot mill (r. p. m. 40, ϕ 500 mm, 강구충진 : 70 ϕ , 60 ϕ , 50 ϕ , 40 ϕ , 30 ϕ , 각각 20 kg)에서 10분 간격으로 100 g을 채취하여 44 μ 잔사가 6% 이하로 될 때까지 계속 분쇄를 하였다.
- 4) 압축강도 시험은 압축강도 시험용 시료 5 kg과 화학석고 200 g을 pot mill 에 넣고 blaine 3050 \pm 50이 되도록 분쇄하여 KSL 5105 방법에 의해 실시했다.
- 5) 화학시험은 분쇄된 클링커를 500 g sampling 하여 KSL 5120 방법에 의해 분석하였다.

5. 시험 결과

(1) 화학 분석 결과

<표-1>은 분석결과 data를 나타낸 것이고 <그림-1>은 그중에서 경향성이 있는 성분을 그래프로 나타낸 것이다. 클링커를 입도별로 분석한 화학성분의 특성은 입도가 커짐에 따라서 SiO₂ 및 CaO는 증가하고 Al₂O₃, Fe₂O₃ 및 MgO가 하락됨으로써 SM 및 LSF가 점점 상승하는 경향을 나타내고 있다. 그러므로 클링커 광

< 표 - 1 >

화학 분석 결과 데이터

1) K-2

입도 \ 성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig-loss	sum	Free CaO	Insol-resid
5 %이하	21.76	6.99	3.84	63.63	2.23	0.74	0.24	99.43	0.88	0.31
5-16 %	22.16	5.96	3.74	64.11	2.06	0.79	0.36	99.18	0.76	0.16
16 %이상	22.18	5.96	3.65	64.22	2.13	0.68	0.46	99.28	0.93	0.25

입도 \ 성분	LSF	SM	IM	HM	C ₂ S	C ₃ A	C ₃ S	C ₄ AF	CaSO ₄	비고
5 %이하	88.06	2.01	1.82	1.94	33.02	12.03	39.03	13.01	1.33	
5-16 %	88.88	2.28	1.59	1.99	29.77	9.47	44.86	12.71	1.07	
16 %이상	89.14	2.31	1.63	2.01	29.27	9.63	45.60	11.67	1.34	

2) K-3

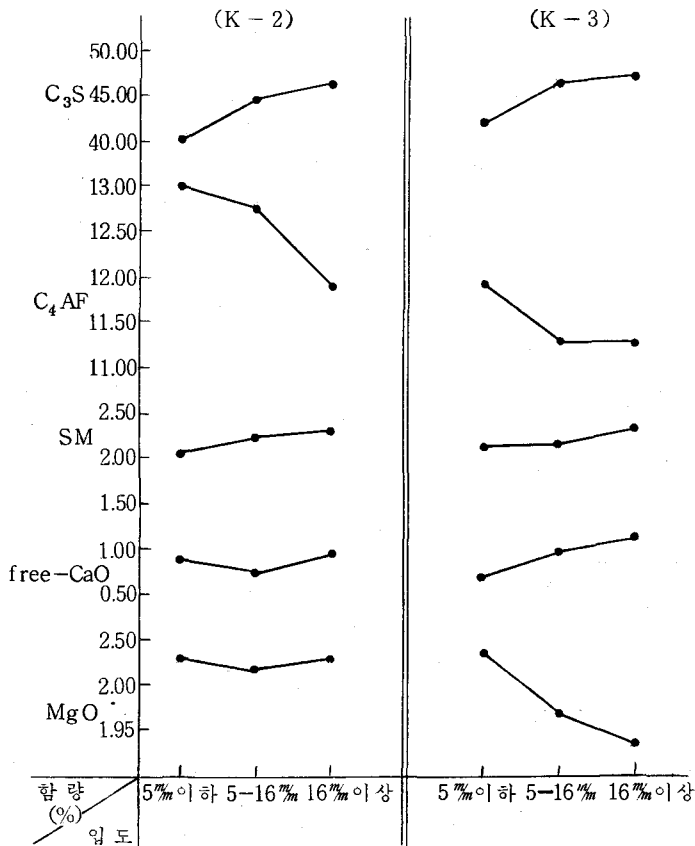
입도 \ 성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig-loss	sum	Free CaO	Insol-resid
5 %이하	21.78	6.68	3.88	63.96	2.26	0.60	0.28	99.44	0.50	0.12
5-16 %	21.84	6.38	3.66	64.49	1.95	0.67	0.43	99.42	0.94	0.40
16 %이상	22.20	5.72	3.68	64.48	1.93	0.77	0.55	99.33	1.17	0.15

입도 \ 성분	LSF	SM	IM	HM	C ₂ S	C ₃ A	C ₃ S	C ₄ AF	CaSO ₄	비고
5 %이하	89.01	2.06	1.72	1.96	30.36	11.14	42.64	11.80	1.02	
5-16 %	90.10	2.18	1.74	2.01	27.64	10.72	46.47	11.13	1.14	
16 %이상	89.68	2.36	1.55	2.02	27.66	8.94	47.82	11.19	1.31	

물 중 Alite 상은 증가하고 Felite 상이 점점 감소되므로 액상의 변화를 가져올 것이며, 큰 입도쪽이 성분상 난소성으로 예측되므로 Free-CaO도 점점 증가하고 있다. Felite의 고용성분은 MgO와 특히 잘 용해하므로 많아지는 것이 주목되며 이 때문에 Free-CaO도 점점 증가하는 것으로 생각된다.

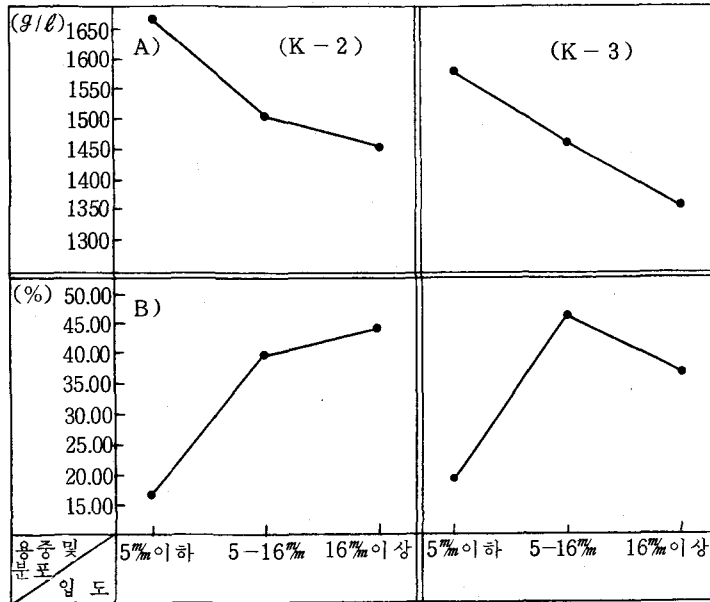
(2) 입도별 분포 및 용중시험

< 그림 - 2 >는 입도별 분포 및 용중시험 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 클링커의



< 그림 1 > 화학 성분 그래프

입도분포는 K-2 및 K-3가 서로 상이한 현상을 보여주고 있다. K-2 클링커는 입도가 큰 16%이상의 분포가 45%정도로 가장 많고 K-3는 중간입도인 5-16% 분포가 45% 정도로 가장 많다. 그러나 5%이하의 작은입도는 K-2,3 공히 18% 정도로 낮은 분포를 나타내고 있다. 이것은 kiln의 type이 서로 다르기 때문에 소성 분위기에서 가장 큰 영향을 미친 것으로 생각되며 또한 냉각 system이 서로 다르기 때문에 같은 원료를 사용했다하더라도 입도의 분포 양상이 다른 것으로 생각된다. 클링커의 진비중은 입도에 따라서 차이를 발견할 수 없었고 본시험에서 용중은 큰 의미가 없으나 보편적인 것같이 입도가 작은클링커가 높았으며, kiln의 type 별 비교에서는 K-2 클링커가 K-3 클링커 보다 비교적 높은 양상을 나타내고 있다. 색상면에서는 작은 쪽으로 갈수록 짙은 회색을 띄고 있으며 kiln type 별로 비교할 때 동일한 입도상에서는 K-3 클링커를 분쇄한 것이 K-2 클링커를 분쇄한 것보다 짙은 회색을 띄고 있다.

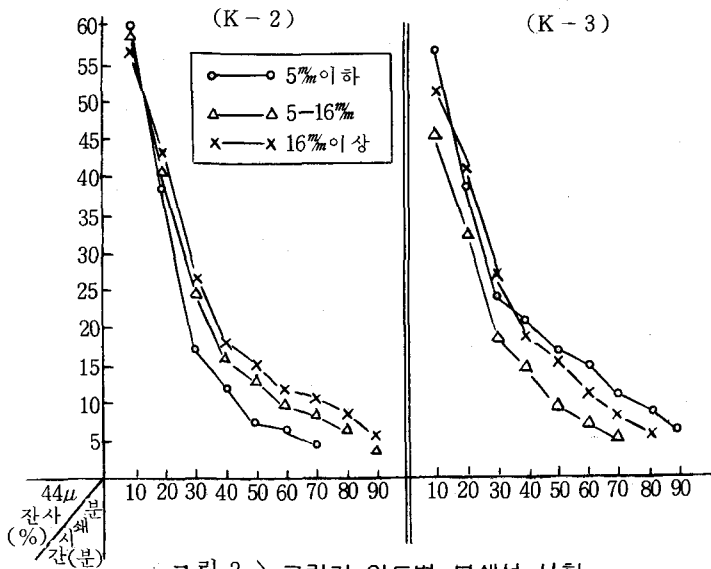


< 그림 2 > 입도별 분포 및 용중시험 결과 그래프

A) 용 중 시험
B) 분 포 시험

(3) 분쇄성 시험

< 그림 - 3 > 은 클링커 입도별 분쇄성을 비교하기 위해 분쇄시간에 대한 44 μ 잔사



< 그림 3 > 클링커 입도별 분쇄성 시험

의 변화를 나타낸 것이다. 분쇄성과 용중과의 관계는 학자들간에 의견이 구구하나 본 시험에 의하면 K-2 및 K-3가 같은 양상이 아니라는 것에 주목이 된다. K-2의 경우에는 입자가 작을수록 분쇄성이 좋고 K-3의 경우에는 중간입도인 5-16%의 클링커가 분쇄성이 좋은 것으로 나타났다. 그러나 클링커의 입도분포는 K-2의 경우에는 5%이하가 가장 낮은 18%정도를 나타내고 있으며 K-3는 5~16%가 가장 높은 45% 정도를 나타내고 있으므로 K-2와 K-3의 전체적인 분쇄성에는 K-3가 월등히 좋은 것으로 나타났다. 그러므로 클링커의 치장에서 입도크기에 따라서 서로 분리될 경우 K-2 클링커는 특히 주의를 하여야한다.

(4) 압축강도 시험

<표-2>

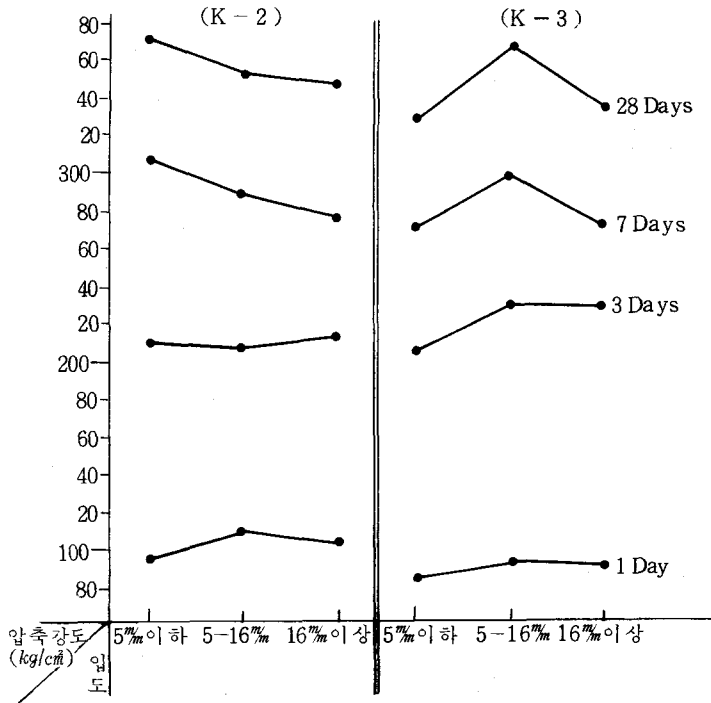
물리 성능 \ 입 도	K-2			K-3		
	5% 이하	5-16%	16% 이상	5% 이하	5-16%	16% 이상
blaine	3050	3006	3076	3045	3093	3027
+44 μ (%)	14.2	17.0	17.8	19.4	15.0	18.6
1 일 강 도	98	107	105	91	98	97
3 일 강 도	209	208	212	208	228	229
7 일 강 도	303	285	276	269	298	272
28 일 강 도	368	353	344	324	364	334

<표-2>는 클링커 입도별 물리성능 결과를 나타낸 것이며 <그림-4>는 압축강도를 그래프화한 것으로서 K-2 클링커의 경우 1, 3일 강도는 입도별에 따라서 큰 변화는 없으나 7, 28일 강도에서는 입도가 작은 5%이하의 클링커가 높게 나타났다. K-3의 경우 1일 강도에서는 큰 변화가 없으나 3일 강도에서는 5% 이하보다 그 이상이 강도가 높게 나타났으며 7, 28일 강도에서는 중간입도인 5-16%의 클링커가 높게 나타났다.

이는 K-2, K-3 공히 세가지 클링커 입도중에서 분쇄성이 가장 양호한 입도(K-2 : 5% 이하, K-3 : 5-16%)가 강도에서도 가장 높게 나타났으며 7, 28일 압축강도가 높은 이유는 화학성분으로 이론적인 C₃S 광물의 함량이 적지만 물리성능에서 같은 blaine 값을 가졌다하더라도 44 μ 잔사의 분포가 낮아 입자가 미세하기 때문인 것으로 생각된다.

6. 결 론

1) 당 공장 kiln 별 클링커 분포는 K-2의 경우에는 16% 이상의 입도가 많고 K



〈그림 - 4〉 클링커 입도별 압축강도 비교 그래프

- 3의 경우에는 5 - 16 %의 입도가 많이 분포되어 있다.
- 2) 클링커의 입도가 작을수록 용중은 현저히 증가한다.
- 3) 입도가 작을수록 색상은 짙어진다.
- 4) 화학분석의 결과 입도가 커짐에 따라서 SiO_2 및 CaO 는 증가하는 경향이고 Al_2O_3 , Fe_2O_3 및 MgO 는 하락되는 경향을 나타낸다.
- 5) 분쇄성 시험결과 K-2의 경우에는 입도가 작을수록 분쇄성이 좋고 K-3의 경우에는 중간입도인 5 - 16 %가 분쇄성이 좋다. 그러므로 K-2의 경우에는 치장에서 입도가 분리될 경우 작은 입도와 큰 입도를 적절히 혼합하여 투입해야만 생산성이 균일할 것이다.
- 6) 압축강도의 경우에서도 분쇄성이 좋은 입도가 7, 28일 강도에서 높게 나타나므로 치장에서 적절한 입도별 혼합이 필요하다.
- 7) cement mill에 투입되는 클링커의 입도를 보다 균일하고 작게 하기 위하여는 kiln cooler의 grizzly bar와 hammer crusher관리가 보다 더 유기적으로 관리되어야하고 이를 위하여 운전중에도 hammer의 crusher liner를 조정할 수 있는 type으로 개선되어야 할 것이다.