

Tube mill의 분쇄성에 미치는 크링카의 특성 고찰

김상철*·이형두·전 귀 백 일 환

<동양중앙연구소 공정연구실>

<동양시멘트 북평공장>

1. 서 론

분쇄에 있어서 생산성은 분쇄기의 특성 뿐만 아니라 피분쇄물의 분쇄성(grindability)에도 크게 좌우된다. 시멘트 분쇄공정에서도 크링카의 분쇄성에 따라 생산량이 크게 변하며 분쇄성 편차가 큰 크링카가 투입되는 경우에는 공정의 불안정을 초래할 수가 있다.

크링카의 분쇄성은 소성원료의 배합비, 소성시의 조건, 쿨러의 냉각조건, 크링카의 광물학적 조성에 의해 복합적으로 결정된다. 분쇄성에 영향을 미치는 것으로 free lime, aluminat, ferrite, alite, belite 및 결정크기 등 화학조성적 요인이 알려져 있다.

분쇄 조업시에 생산량, 운전조건 등을 최적으로 관리하여 공정의 안정을 기하고 생산을 증대시킬 수 있도록 크링카의 분쇄성을 미리 예측하는 것이 중요하다. 분쇄성 시험으로는 Bond, Zeisel, Hardgrove 등의 방법을 많이 사용하지만 시험장치, 시험조건 및 시료준비 등이 까다롭고 시험시간이 길어 조업에 직접 적용하기가 어렵다.

본 연구에서는 크링카의 분쇄성과 화학조성적 요인 및 impact value, porosity, 대표입경 등의 물리적 특성을 고찰하고 이들 특성들에 대한 간단한 시험으로 분쇄성을 예측하여 조업에 적용할 수 있는가를 검토하였다.

2. 실험

시멘트 밀의 최적조업을 위하여 크링카 분쇄

성에 미치는 주요인과 그 영향의 정도를 실제 조업에서 파악하는 것이 필요하다. 당사에서는 90년도에 사용한 29종의 수입 크링카의 품질과 분쇄성을 관찰하였다. 수입 크링카는 품질편차가 크기 때문에 공정의 안정 및 시멘트의 균질한 품질을 유지하기 위해 당사에서 생산한 크링카에 30%를 혼합하여, No.1 C/M(tube mill: $5.1\text{ m}^p \times 14.47\text{ m}^t$, 6,200 Kw)에서 분쇄하였다. 크링카별로 생산량을 체크하였고 시멘트 입도와 몰탈 강도시험을 실시하였다.

실험실적인 시험으로 투입 크링카의 대표입경 측정, 화학성분 분석, 반사현미경 관찰, porosity 측정, impact test 등을 하였다. Porosity는 Micromeritics사의 porosimeter(Autopore II 9220)를 이용하여 수은 압입법으로 측정하였고 impact test는 BS-812 PART 3의 방법으로 실험하였다.

수입크링카는 산지가 다르고 품질변동의 범위가 넓기 때문에 실제 조업에 미치는 분쇄요인

Table 1. Analysis of imported clinker
[1990.7.1-1990.12.30]

		Data range	
Chemical composition	Free lime	max: 4.9%	min: 0.3%
	C ₃ S	max: 64%	min: 52%
	C ₂ S	max: 23%	min: 13%
	C ₃ A	max: 11.3%	min: 6.3%
	C ₄ AF	max: 8.8%	min: 14.5%
Physical property	Porosity	max: 23%	min: 8%
	Impact value	max: 41%	min: 14%
	Clinker size	max: 20mm	min: 11mm

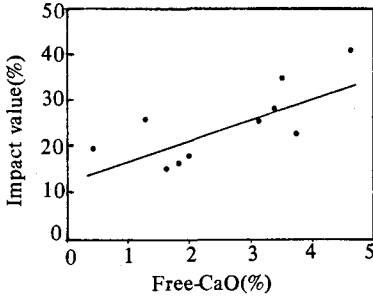


Fig. 1. Relations between impact value and free-CaO content.

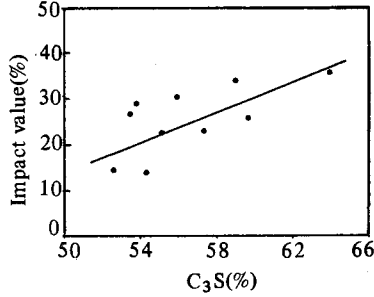


Fig. 2. Relations between impact value and C₃S content.

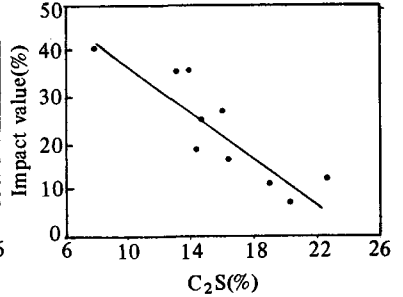


Fig. 3. Relations between impact value and C₂S content.

의 영향을 용이하게 파악할 수 있었다. Table 1에 나타낸 수입크링카의 데이터 범위를 보면 국내의 크링카는 대략 free lime 1.5% 이하로 관리되어 변동이 거의 없는 점에 비추어 수입크링카는 0.3%~4.9%의 범위에 분포하였고 다른 값들도 넓게 분포함을 알 수 있었다.

3. 실험 결과 및 고찰

공정실험은 매회 슬래그 첨가량, 분쇄조제(D EG) 첨가량, 시멘트 입도 등이 다르게 실시되었다. 크링카의 분쇄성에만 의존하는 생산량의 변화를 파악하기 위하여 당연구소는 No.1 시멘트 밑에서 조업최적화 실험을 실시하였고, 얻어진 관계식으로부터 슬래그 첨가량, 조제 첨가량, 시멘트 입도 등에 따른 생산량을 보정하였다.

3.1 크링카의 물리적 특성에 미치는 화학조성의 영향

크링카의 물리적인 특성, 즉 강도는 크링카의

impact value 및 porosity로부터 파악될 수 있다. Impact value는 충격력을 받았을 때 파쇄된 시료의 비율이고 porosity는 시료 중 공극(pore)의 비율이다. 실험에서 얻어진 크링카의 화학조성은 물리적 특성의 다양한 경향성을 제시하였다. Bogue식을 이용하여 화학조성의 실험 data로부터 계산된 크링카의 주요 4성분(C₃S, C₂S, C₃A, C₄AF)은 크링카의 물리적 특성을 고찰하기 위하여 사용되었다.

Impact value는 크링카의 주요 4성분에 큰 영향을 받았고 더불어서 미량성분인 F-CaO, 알칼리, MgO에도 약간의 관계가 있었다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 특히 F-CaO는 다른 미량성분들에 비하여 impact value에 주요 변수로 작용하였다. Fig. 2, 3처럼 impact value는 C₃S에 따라 증가하고 C₂S에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 크링카의 impact value와 유사한 물리적 특성인 porosity는 미량성분에 큰 영향을 받지 않았지만 C₃S, C₂S, C₃A의 함량에 크게 의존함을 알 수 있었다. Fig. 4, 5, 6에

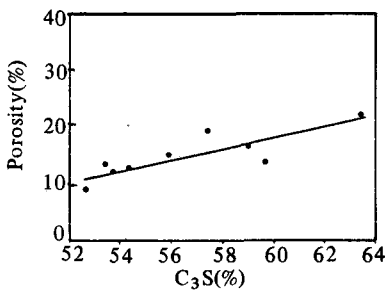


Fig. 4. Relations between porosity and C₃S content.

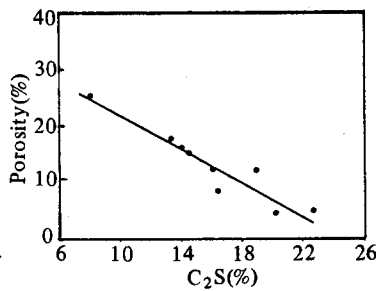


Fig. 5. Relations between porosity and C₂S content.

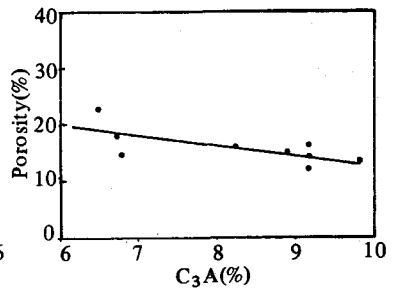


Fig. 6. Relations between porosity and C₃A content.

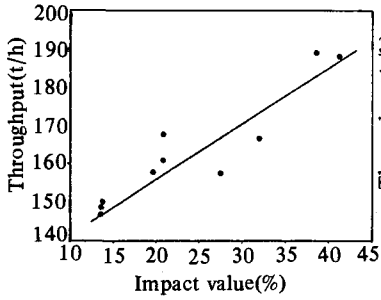


Fig. 8. Relations between impact value and throughput.

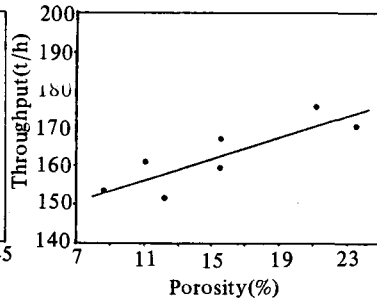


Fig. 9. Relations between porosity and throughput.

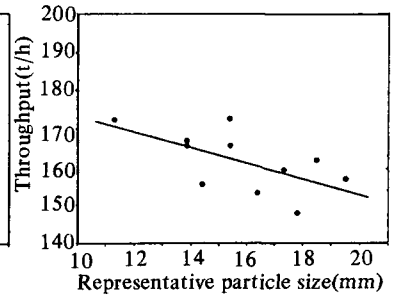


Fig. 10. Relations between representative particle size and throughput.

나타난 것처럼 porosity는 C_3S 에 따라 증가하였고 C_2S , C_3A 에 따라 감소하나 C_3A 의 영향은 작았다.

따라서 화학적 요인 중 free-CaO, C_3S , C_2S 는 소성 및 냉각조건과 함께 크링카의 물리적 특성인 porosity나 impact value를 결정짓는 주요 인자임을 알 수 있다. 또한 간극질(C_4AF , C_3A) 및 미량성분(알칼리, MgO) 등도 고려해야 될 인자로서 이들은 free-CaO, C_3S , C_2S 등 주요인자와 복합적으로 영향을 미치는 것으로 예측된다.

크링카의 대표입경과 화학적인 요인과는 큰 관계가 없었다. 크링카의 대표입경은 화학적인 요인보다는 소성시의 조건, 쿨러의 냉각조건, 소성 후에 거치는 crusher의 특성 등에 의존하는

것으로 고찰되었다.

크링카의 porosity와 impact value와의 관계를 Fig. 7에 나타내었다. Porosity가 8%에서 23%까지 변할 때 impact value가 14%에서 41%까지 증가하였다. 크링카의 강도에 대한 특성을 나타내는 porosity와 impact value 사이에는 거의 직선적인 비례관계가 나타났다.

3.2 생산량에 미치는 물리적 특성의 영향

크링카의 impact value, porosity, 대표입경은 30% 혼합분쇄 하였음에도 불구하고 tube mill의 생산량에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. Fig. 8, 9에 보인 것처럼 impact value나 porosity가 증가하면 생산량은 약 25%까지 직선적으로 증가하였고 Fig. 10에서 대표입

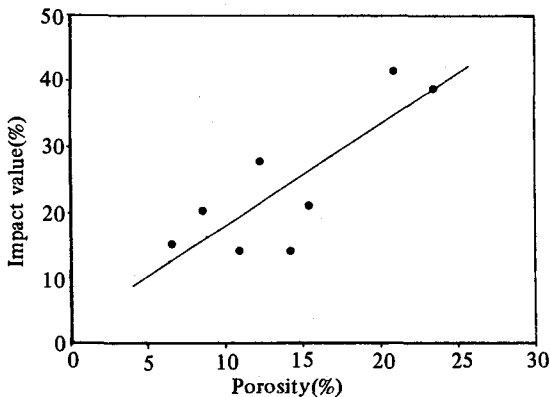


Fig. 7. Relations between impact value and porosity.

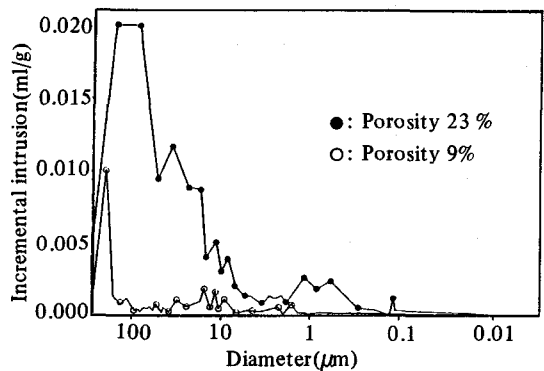
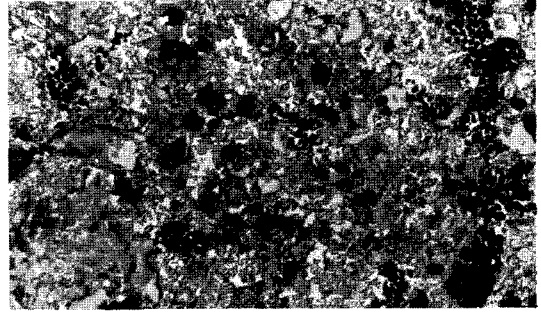


Fig. 11. Pore size distributions of low and high porosity clinker.



(low grindability)



(high grindability)

Fig. 12. Photographs of microstructure

경이 커질수록 생산량은 약 10%까지 감소하는 경향을 나타내었다. 이와 같이 impact value와 대표입경 또는 porosity와 대표입경의 관계로 분쇄성을 예측할 수가 있게 되었다. 따라서 크링카의 분쇄성 시험 데이터 없이도 이들 물리적 특성 data에 의해 tube mill의 조업관리가 가능하다고 판단된다.

Fig. 11에 porosity가 9%인 크링카와 23%인 크링카의 기공 분포를 나타내었다. Porosity가 높은 크링카는 50~200 μm까지의 기공이 다량 분포하여 분쇄성이 높게 나타났다. Fig. 12는 분쇄성이 우수한 크링카와 분쇄성이 나쁜 크링카를 반사현미경 관찰한 것이다. Fig. 12에서 아래 사진은 공극(pore) 및 free-CaO가 많이 존재하므로 분쇄성이 좋음을 보여준다.

4. 결 론

Porosity, impact value, 대표입경 등의 물리적 특성과 화학성분이 분쇄성에 미치는 영향이 나타나서 tube mill에서 특정한 품질의 크링카를 분쇄할 때 시멘트 생산수준을 비교적 간단하게 예측할 수 있게 되었다.

Porosity가 5%에서 30%까지 변하는 동안 생산량은 25%까지 상승하였고 impact value에서도 마찬가지로 15%에서 40%까지 변할 때 유사한 결과가 나타났다. 또한 크링카의 화학분석에서도 비슷한 경향을 보였으나 화학성분

의 영향은 대부분 크링카의 물리적 특성인 porosity와 impact value에 반영되어 있는 것으로 판단된다. 크링카의 대표입경은 소성상태 및 소성 후에 거치는 crusher의 특성에 좌우되며 10 mm에서 20 mm로 커지면 생산량이 10% 감소되었다.

튜브 밀은 분쇄성이 나쁘거나 크기가 큰 크링카가 투입되면 쉽게 공정이 불안정해진다. 따라서 크링카의 특성을 측정하여 미리 조업상태를 예측하고 조업조건 변경, 투입호퍼 재고관리, 혼합분쇄, pregrinding 시스템 도입과 같은 방법을 적용하여 밀의 불안정을 막음은 물론 조업최적화를 이룩할 수 있다.

<참 고 문 헌>

1. L. Svarovsky, "Powder testing guide", Elsevier Applied Science, 99 (1987).
2. G. C. Lowrison, "Crushing and grinding", Butterworths, 49 (1974).
3. P. G. Middleton et al., "Particle attrition", Trans Tech Publications, 15 (1987).
4. "Cement 技術總論", 産業圖書 株式會社, 351 (1987)
5. 박성현, "현대실험계획법", 대영사, 627 (1989).
6. "最新粉體の材料設計", テクノシステム, 9 (1988).
7. Walter H. Duda, "Cement data book", Bauverlag GmbH, 191 (1985).
8. C. L. Prasher, "Crushing and grinding", John Wiley & Sons, 178 (1987).