

시멘트 밀에서 입도와 생산량의 상관관계

Relationship between Fineness and Throughput in the Cement Mill

김기범* · 이정범 · 이형두 · 전 귀

〈동양중앙연구소, 동양시멘트(주)〉

1. 서 론

시멘트 산업에서 분쇄공정은 이론의 뒷받침이 없어도 비교적 쉽게 목적을 달성할 수 있기 때문에 오랫동안 미개척 분야로 남아 있었다. 1950년대 이후 장치가 대형화됨에 따라서 분쇄효율의 극대화가 절실히 필요하게 되었으며, 에너지 가격이 급상승함으로써 동력원단위의 절감이 시급한 과제로 등장하였다.

시멘트 제조시 분쇄공정은 일반 요업 공정에서와 같이 원료의 비표면적을 크게하여 반응속도를 증가시키고, 이 때 여러가지 원료가 균일하게 혼합되므로 매우 중요하다. 또한 분쇄공정에 사용되는 전력은 전체 사용전력의 50~70%를 차지하며 전체 제조원가의 20~30%나 되어 그 비중이 크므로 분쇄전력을 적게하고 적정한 분말도와 입도분포를 가지도록 하는 것이 과제이다. 특히 시멘트 분말도의 경우 강도발현에 좋은 3~30 μm 의 적정입경을 많게 하고 지나친 과분쇄나 조분쇄를 방지함으로써 전력비 절감은 물론 미분이나 조분이 갖는 품질에 대한 악영향을 방지할 수 있다.

이에 대하여 Schneider[1]와 Kohan[2]은 시멘트 입도와 동력원단위 사이에 지수함수적인 비례관계가 있다는 것을 발표하였고, Tsivilis[3]와 Viswanathan[4]은 시멘트 입도와 품질 그리고 생산량간의 관계를 이론 및 경험식으로 소개한 바 있다.

본 연구에서는 시멘트 분쇄조업 및 품질관리에 많이 이용되고 있는 이들의 연구결과를 토대로 하여

동양시멘트(주) 1, 4, 7호 시멘트 밀의 조업자료를 검토하였고, 이로부터 당사에서 유용하게 사용할 수 있는 새로운 상관관계식을 도출하였다. 본 연구의 결과로 시멘트 입도와 생산량(동력원단위)의 관계 및 Blaine 값, 잔사율(44 μm , 88 μm) 그리고 입도분포간의 상관관계가 명확해짐으로써 시멘트 분말도와 Blaine 값을 조절하여 전력원단위의 절감이 가능하게 되었다.

2. 시멘트 입도의 특성

시멘트의 비표면적은 시멘트의 경제적인 분쇄와 질을 판단할 수 있는 중요한 기준이다. 대부분 시멘트의 비표면적은 Blaine 값이 2500~4500 cm^2/g 사이에 있다.

비표면적이 작은 시멘트일수록 초기(28일) 강도는 낮으나, 비표면적이 1900 cm^2/g 이상의 시멘트일 경우 90일에 가서는 강도가 서로 비슷한 값을 나타내는 것으로 나타났다. 그러므로 시멘트 분말도는 수화의 초기단계(28일까지)에서 매우 중요한 역할을 한다.

시멘트 입도는 분급기의 특성 및 형태에 따라 크게 다르다. 분급기를 사용하는 주목적은 밀에서 배출되는 분쇄물에 포함되어 있는 정분을 분리하는 것이며, 분급을 보다 완전하게 그리고 효과적으로 행함으로써 분쇄공정의 능력을 향상시키고, 바람직하지 못한 과잉분쇄를 방지할 수 있다. 또 다른 기능은 밀에 투입되는 피분쇄물을 성상의 변동에 따른 외란에 대하여 가능한 빨리 공정을 안정시켜 제품의 품질, 즉 분말도의 편차를 줄이는 것이다.

Schneider와 Eickholt[1]는 제품분말도와 전력 원단위와의 관계를 식 (1)과 같이 나타내었다 (Polysius 사 채택 적용).

$$n_{sp1} = n_{sp0} \times \exp\left(\frac{B_1 - B_0}{1000} \times 0.49\right) \quad (1)$$

where n_{sp1} , n_{sp0} : specific power consumption (kwh/ton)
 B_1 , B_0 : Blaine (cm^2/g)

또한 kohan[2] 등은 Blaine과 분급기 유입량 또는 생산량과의 관계를 다음 식 (2)와 같이 나타내었다 (Slegten 사 채택 적용).

$$tph_1 \times \left(\frac{B_1}{B_0}\right)^{1.3} = tph_0 \quad (2)$$

where tph_1 , tph_0 : feed rate (ton/hr)
 B_1 , B_0 : Blaine (cm^2/g)

3. 실험

실험은 당사의 1, 4, 7호 3개의 시멘트 밀을 대상으로 하였다. 1, 7호 시멘트 밀의 생산량은 약 150~170 ton/hr이며 집진장치로 전기집진기를 사용하고 있고, 4호 시멘트 밀의 생산량은 약 100~110 ton/hr이며 집진장치로 여과포집진기를 사용하고 있다. 분급기는 시멘트 밀 모두 cyclone air separator가 설치되어 있다.

분쇄 조업은 피분쇄물의 특성과 주요장치인 분쇄기, 분급기(separator), 집진기의 성능에 크게 의존한다. 분쇄기는 강구의 투입량과 배열에 의해, 분급기는 순환량, 분급효율과 제품의 입도에 의해 조업특성이 결정된다. 그외에도 제어시스템이 외란에 대응하는 수렴성과 안정성, 부원료와 분쇄조제의 사용을 고려해야 분쇄기의 조업특성을 정확히 파악할 수 있다.

특히 분쇄 조업시에 생산량의 증대와 전력원단위의 절감 및 최적의 품질을 생산하기 위해서는 분급기의 효율향상 및 최적의 순환량으로 공정의 안정을 기하여야 한다.

그러므로 1, 4, 7호 시멘트 밀을 대상으로 공정 실험을 실시하여 조업특성을 파악하고 시멘트 입도와 Blaine 값과의 상관관계를 기존에 널리 알려진

Polysius 및 Slegten 식과 비교하여 당사의 시멘트에 적합한 관계식을 도출하여 시멘트 품질과 생산성과의 관계를 살펴보았다.

공정실험에서 주요 관측대상은 시멘트의 잔사량(44, 88 μm R)과 공기투과법에 의한 Blaine 값 및 시멘트 생산량과의 관계 등이었다. 입도분석은 Cilas의 Granulometre 715, 44, 88 μm 체가름은 Alpine의 air zet sieve, Blaine tester는 ELE 제품을 사용하여 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4-1 입도와 비표면적과의 관계

분체의 물리적 특성은 주로 형상과 입도에 의해 좌우되며 시멘트 품질을 제어하는 척도는 두가지가 있다. 시멘트는 최소의 품질수준을 유지하기 위한 규격에 적합하고 균질성(homogeneous) 및 균일성(uniform)이 있어야 한다. 특히 시멘트의 품질을 나타내는 분말도는 입도분포 및 비표면적으로 결정된다.

시멘트는 물과 반응하여 경화함으로써 강도를 발현하게 된다. 따라서 시멘트의 화학적인 조성외에도 시멘트 입자의 비표면적이 수화속도를 지배한다고 하는 것은 직관적으로도 알 수 있는 사실이다. 즉 강도발현은 수화경화체가 어느 정도 치밀한 구조를 갖느냐에도 큰 영향을 받으므로 시멘트 입도분포는 매우 중요하다. 보통 포틀랜드 시멘트의 입도는 Blaine 3200 cm^2/g , 88 μm 잔사량은 2%이하, 44

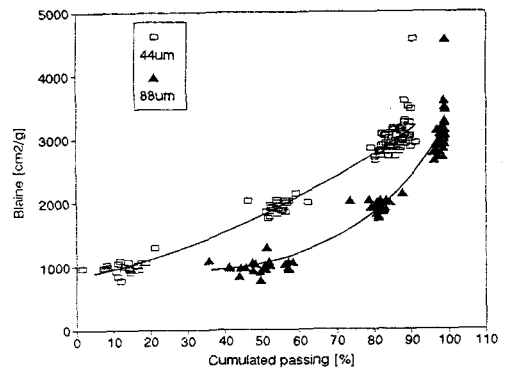


Fig. 1. Relation between fineness and blaine.

μm 잔사량은 6~18%이다.

시멘트 입도의 관리를 위하여 시멘트 분말도와 Blaine 값과의 관계를 도출하였다. 당사 시멘트 밀에서 분쇄한 44, 88 μm 분말도와 Blaine 값과의 관계는 그림 1과 같으며 Blaine 3500cm²/g 구간 이하에서는 잘 일치하고 있다. Fig. 1의 결과를 이용하여 44, 88 μm 잔사량과 Blaine간의 상관성을 검토하면 식 (3), (4)를 얻을 수 있다. 그러므로 식 (3), (4)를 이용하여 분말도와 Blaine 값을 용이하게 관리할 수 있다.

$$\text{Blaine (cm}^2\text{/g)} = 2700 \times \left(\frac{100-44 \mu\text{mR}(\%)}{100} \right) + 870 \quad (3)$$

$$\text{Blaine (cm}^2\text{/g)} = 2300 \times \left(\frac{100-88 \mu\text{mR}(\%)}{100} \right) + 870 \quad (4)$$

Rosin-Rammler 식 (5)의 대표입경 (X₀) 과 균일계수(N)는 Fig. 2로부터 Blaine 값과 선형적인 관계가 있음을 알 수 있다. 이는 Anselm이 제안한 식의 형태와 일치하여 식 (6)과 같은 상관식을 얻었고, 이 결과로 대표입경 및 균일계수로부터 Blaine 값을 예측할 수 있다.

$$\text{Residue}(\%) = 100\exp[-(x/x_0)^N] \quad (5)$$

$$\text{Blaine (cm}^2\text{/g)} = 5.91 \times 10^4 \times \left(\frac{1}{X_0 \cdot N} \right) + 650 \quad (6)$$

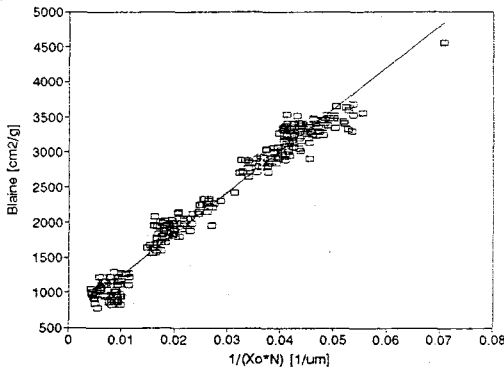


Fig. 2. Relation between coefficients of rosin-rammler equation and blaine.

Fig. 3은 식 (7)을 이용하여 입도분포와 Blaine 값과의 관계를 나타낸 것으로 선형적인 비례관계가 있음을 알 수 있다. 이 결과로 식 (8)과 같은 상관식을 얻을 수 있다. 식 (7)에서 형상계수(φ)는 입자의 구형도를 나타내는 상수이다. 당사 시멘트의 경우 공기투과법에 의한 비표면적과 입도분포로부터 평균 형상계수값으로 1.425를 얻을 수 있었으며, 입자의 비표면적이 작을수록 형상계수의 산포가 증가함을 관찰하였다.

$$S = \frac{6}{\phi \rho} \sum \frac{F_i}{X_i} \quad (7)$$

$$S = 1.4 \times \sum \frac{F_i}{X_i} + 220 \quad (8)$$

where S : specific surface area (cm²/g)

X_i : particle size (cm)

F_i : fractional weight of particle size X_i

φ : sphericity

ρ : specific weight of particle (g/cm³)

Blaine 값, 분말도(44 μm, 88 μm) 그리고 입도분포간의 상관관계가 명확해짐으로써 시멘트 입도를 용이하게 조절할 수 있다. 따라서 Blaine 또는 입도분포(X₀N, 계산된 비표면적), 특정입경의 분말도(44, 88 μm)로 제품의 품질 및 시멘트 밀의 생산성 평가가 가능하다.

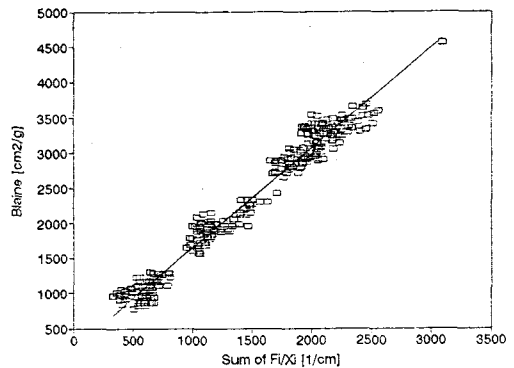


Fig. 3. Relation between particle size distribution and blaine.

4-2 입도와 생산량과의 관계

일반적인 장치산업에서의 목표는 원가를 절감할

수 있는 범위에서 최대의 생산량을 거두는 것이다. 시멘트 분쇄공정에서도 역시 생산량을 최대로 얻고자 노력하고 있으며 이를 위해서는 시멘트 품질의 최적화와 생산량과의 관계를 도출함으로써 원가의 절감 및 생산량의 증가가 가능하다.

입도와 생산량과의 관계는 동일조건하에서 입도가 향상되면 품질은 좋아지지만 생산량은 감소하여 생산원가가 증가한다. 이는 분급기의 종류, 분급효율 및 순환량과 매우 밀접한 관계에 있으나 공정상의 특징을 고찰하여 Blaine와 생산량과의 관계를 도출함으로써 최적의 품질과 생산량을 확보할 수 있다.

Fig. 4는 당사 4호 시멘트 밀에서 Blaine 값의 변화율에 따른 생산량 증감율을 나타낸 것이다. 4호 시멘트 밀은 Blaine 5% 증가시 생산량은 약 3%

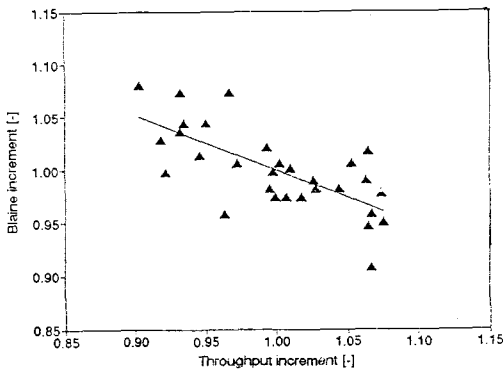


Fig. 4. Relation between throughput increment and blaine increment of No. 4 cement mill.

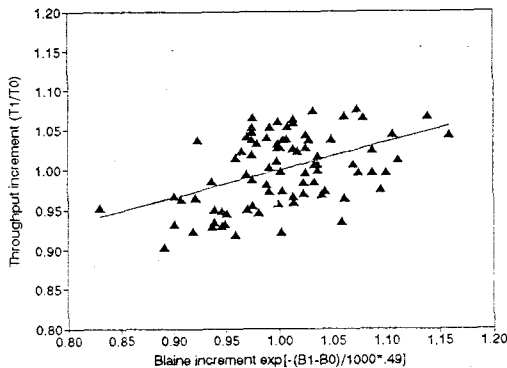


Fig. 5. Relation between blaine increment and throughput increment by polysius formula.

감소함을 알 수 있다. 이와같이 Blaine 값에 따른 생산량이 크게 변화함으로써 인해서 생산량과 입도의 관리가 매우 중요하다.

5. 결 론

Blaine 값, 분말도(44 μm , 88 μm) 그리고 입도분포(X_0N , 계산된 비표면적) 간의 상관관계가 명확해짐으로써 시멘트 입도를 용이하게 조절할 수 있게 되었다. 특히 44, 88 μm 잔사량과 Blaine 값과의 상관관계는 Blaine 값이 3500 cm^2/g 이하에서 매우 잘 일치하였으며, 이로써 시멘트의 품질을 결정하는 입도의 관리가 용이해졌다.

Blaine 값의 변화율에 따른 생산량의 증감을 관계는 입도의 변화에 따른 시멘트 생산량의 추정이 가능하게 되었다. 예를들어 당사 시멘트 밀에서 Blaine 값이 5% 변화시 3%의 생산량의 변화가 나타남으로 인해 입도와 생산량을 적절히 유지한 상태에서 안정된 분쇄조업이 가능하게 되었다. 따라서 시멘트 분쇄공정에서 전력원단위의 절감 및 고품위 시멘트의 생산시 품질에 따른 생산량의 변화가 예측 가능하여 경제적인 분쇄조업이 가능하다.

<참 고 문 헌>

1. Schneider, L. T., Eickholt, H. and Blasczyk, G., "The Influence of Separators on Grinding Systems-Operating Results", Zement-Kalk-Gips, 36(12), 676~684(1983).
2. Kohan, W. J., "Maximizing Ball Mill Production with O-Sepa Separators", Zement-Kalk-Gips, 43(2), 91~95(1990).
3. Tsivilis, S., "A Software Program for the Cement Grinding Process", World Cement, 22(8), 2~6(1991).
4. Viswanathan, K. and Narang, K. C., "Further Advances in the Particle Size Analysis Package-SIZEANAL", World Cement, 22(10), 38~44.(1991).
5. 김상철, 이형두, 전귀, 백일환, "Tube Mill의 분쇄성에 미치는 크링카의 특성 고찰", 제 19 회 시멘트심포지엄, 66~69(1991).