

밀 排氣裝置가 시멘트品質에 미치는 영향

徐 壽 龍 (譯)

〈東洋시멘트(株) 生産管理課長〉

요 약

시멘트의 분쇄 및 저장기간 동안 시멘트 품질에 영향을 미치는 두가지 형태의 반응이 일어난다. 이 두가지 반응은 석고탈수와 크링카광물의 prehydration 이다. 시멘트 성질 즉 응결반응, 강도, 저장 안정성은 이 두가지 반응의 영향을 받는다.

크링카광물의 prehydration 뿐만 아니라 석고탈수 그리고 앞서 언급한 시멘트 성질들은 밀과 separator 용 배기장치를 포함한 시멘트 분쇄 장치의 설계와 운전방법에 따라 좌우된다. 불만족스러운 혹은 자주 변하는 시멘트 품질 특성과 같은 여러가지 문제점은 결과적으로 부적절하게 설계된 밀 배기장치에 의해서 야기된다고 할 수 있다. 그러나 시멘트의 분쇄 및 저장동안에 시멘트 품질에 영향을 미치는 반응에 관한 지식을 기초로 하여 최적의 시멘트 품질을 보증할 수 있는 배기장치를 설계할 수 있다. 최적의 설계는 보통 현지조건 예를 들면 밀 feed의 온도와 수분함량, 시멘트 제품의 요구온도, 시멘트 silo에 있어서 저장기간에 따라 달라진다.

1. 서 론

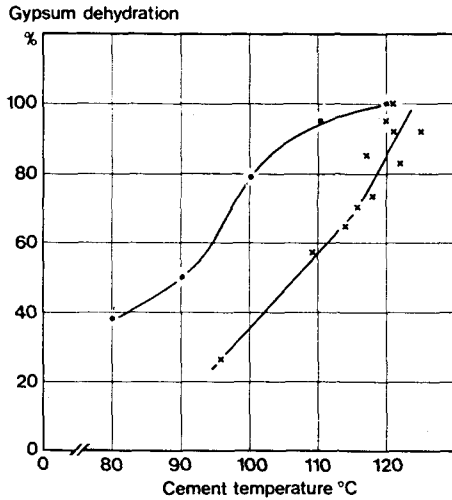
대부분의 시멘트공장은 시멘트제품의 분말도를 매시간 혹은 매교대 최소한 일회씩 분석하

여 품질관리를 한다. 분말도 분석은 비표면적 혹은 입자분포곡선(PSD-curve)으로 할 수 있다. 이러한 분말도 시험으로 보다 더 일정한 분말도의 시멘트를 생산하는 것이 가능하다. 그 결과 비교적 일정한 시멘트 강도를 기대할 수 있다. 그러나 이 경우에도 반드시 그렇지만은 않다. 시멘트 품질변화는 일정한 분말도에도 불구하고 일어날 수 있다. 그 이유는 대체로 크링카품질의 변화 때문이다. 그러나 시멘트 품질변화는 자주 간주할 수 있는 또 다른 이유에 의해서 야기될 수 있다. 밀 배기장치(mill venting arrangement)는 적당하게 설계되지 않을 수도 혹은 잘 운전되지 않을 수도 있다. 그러므로 배기장치를 포함한 분쇄시설은 적절한 운전방법과 최적의 운전변수들의 중요한 결정조건들을 고려하여 잘 설계되어야 한다는 것은 매우 중요하다.

이러한 조건은 예를 들면 밀 feed의 온도와 예상수분함량, 시멘트의 type 과 성분, 시멘트 제품의 요구온도 및 시멘트 silo에서의 저장기간이다. 응결반응, 강도 및 저장안정성의 시멘트 성질은 밀 배기에 의해 영향을 받는다.

2. 시멘트 분쇄 및 저장동안 시멘트 품질에 영향을 미치는 반응

상기한 시멘트 성질에 영향을 미치는 두가지의 화학반응은 시멘트의 분쇄 및 저장기간에 일어날 수 있다. 즉 석고탈수와 크링카광물의 pr-

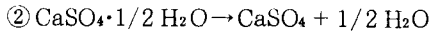
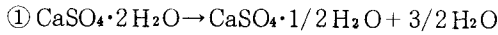


〈그림-1〉 Gypsum dehydration vs. mill discharge temperature for two different mills

dehydration이다. 이 두가지 반응은 밀과 separator의 배기에 의해 영향을 받을 수 있다.

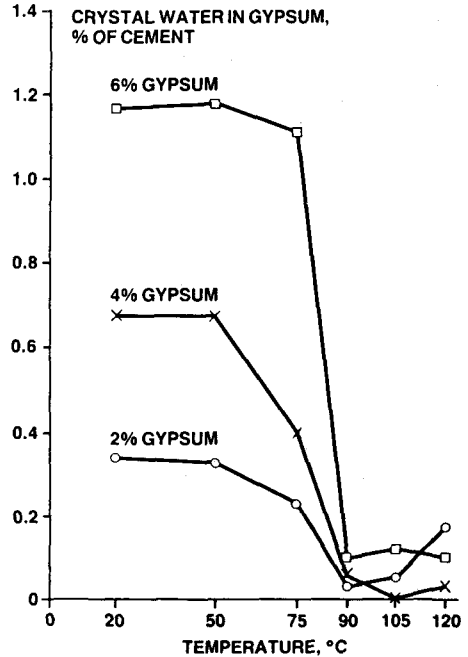
1) 석고탈수 (dewatering)

석고는 가열에 의해 2 단계로 탈수가 된다.



시멘트 제조에 있어서 석고 dehydration과 시멘트 분쇄동안 밀 안에서 일어난다. 그러나 석고는 분쇄동안의 dehydration 정도와 저장온도에 따라서 silo 안에서 탈수될 수 있다. 밀에서의 dehydration 정도는 밀 출구온도에 따라 함수적으로 증가한다. 2개의 다른 형태의 시멘트 밀에서의 석고 dehydration와 밀 출구 온도와의 관계가 〈그림-1〉에 그려져 있다.

그러나 석고의 dehydration은 밀내 온도분포, 석고의 밀 체류시간 및 밀내 air humidity와 같은 다른 조건에 의해서도 영향을 받는다. 분쇄동안 dehydration은 적당한 운전변수 조절에 의해서 일정범위내에서 조절될 수 있다. 상기에서 언급한 바와 같이 석고탈수(dewatering)는 silo 내에서 상당기간동안·시멘트온도가 거의 변화하지 않는 상태로 유지되면서 일어날 수 있다. 이러한 예는 〈그림-2〉에 나타나 있다. 석고 2



〈그림-2〉 Gypsum dehydration during storage vs. storage temperature, for cements which have been stored for a periods of one week

%, 4%, 6%의 sample이 일주일간 각각 다른 온도에서 저장되었다.

〈그림-2〉를 보면 90°C의 온도에서 저장된 시멘트의 석고는 거의 완전하게 dehydration된 반면에, 75°C 이하에서 저장된 시멘트의 dehydration은 매우 낮다. 물은 밀 내부 냉각용으로 분사된 물, 석고 dehydration으로부터의 물, wet 첨가제의 water로 공급된다. 시멘트의 prehydration은 다음과 같은 경우 일어날 수 있다. 즉 ① 시멘트 밀 내에서의 부적절한 내부 water cooling의 결과 ② wet 첨가제가 매우 낮은 온도로 밀 1실에 공급될 때 ③ 너무 뜨거운 시멘트를 silo에 저장할 때.

3. 석고 dehydration과 크링카 광물의 prehydration이 시멘트 품질에 미치는 영향

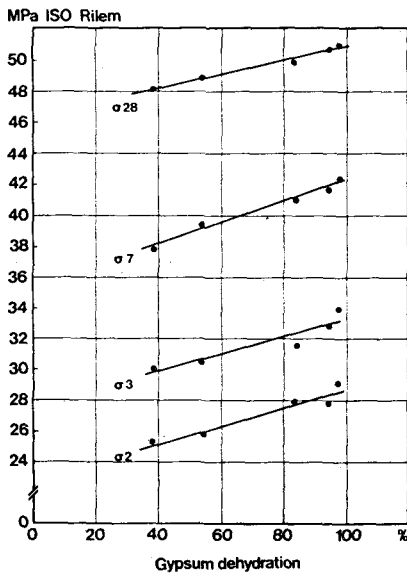
1) 응결반응

너무 많은 석고가 시멘트내에서 dehydrated, reactive form 즉 hemihydrate나 수용성 anhydrate의 형태로 존재하면 calcium-sulphate-dehydrate의 precipitation에 의해서 조기응결(early setting)이 야기될 수 있다. 이것은 위응결(false set)로 불려진다. 위응결은 석고탈수의 감소 즉 밀 내부온도 저하로서 제거될 수 있다.

2) 강도 특성

석고 dehydration이 시멘트 강도에 미치는 영향은 크링카의 화학조성과 석고 함량에 따라서 변한다. 그러나 대부분 시멘트 경우 석고 dehydration은 시멘트 강도에 좋은 영향을 미친다. 시멘트 강도와 석고 dehydration의 함수관계 예가 산업규모의 시멘트 분쇄시설에서의 data로서 <그림-3>에 나타나 있다.

크링카광물의 drehydration은 크링카광물의 반응성을 저하시켜 시멘트의 강도 발현특성을

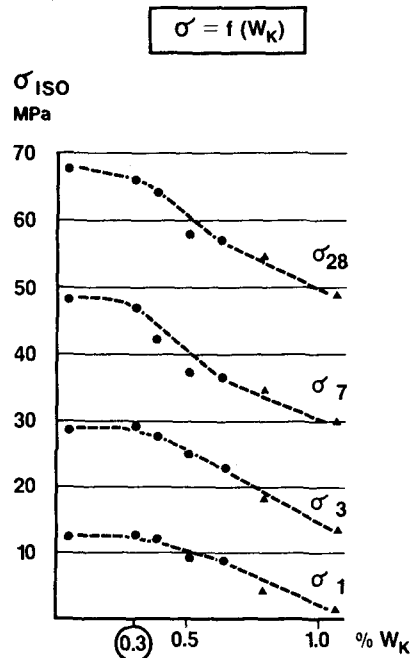


<그림-3> Typical example of compressive strength as a function of gypsum dehydration

저해시킬 수 있다. prehydration degree를 강도에 미치는 영향과 관련하여 측정하는데 적합한 parameter는 소위 "corrected loss-on-ignition, (W_k)"이다. 이 수치는 간단히 말해서 sample을 450°C로 가열하여 잃는 water에서 gypsum이 잃은 water를 뺀 수치이다. 경험에 의하면, W_k 가 일정한 범위 0.3%를 초과할 때 강도가 상당히 저하되는 것 같다(<그림-4>).

3) 저장 안정성

Silo에서의 석고 dehydration은 상기에서 언급한 바와 같이 위응결을 야기시킬 수 있고 더욱더 크링카광물의 prehydration에 의해서 강도가 저하될 수 있다. 더욱이 석고 dehydration에 의해서 생성된 water는 시멘트 lump를 생성시켜 silo에서의 시멘트 인출을 방해한다.



<그림-4> Compressive strength according to the ISO-standard (σ ISO) after 1, 3, 7 and 28 days in relation to the prehydration of the cement in terms of "corrected loss-on-ignition, (W_k)"

4. 시멘트 분쇄 밀의 Layout와 운전

상기를 종합하면 시멘트 분쇄 밀은 시멘트 품질 측면에서 다음과 같이 운전되어야 한다.

① 석고의 dehydration은 분쇄동안에 위응결이 일어나지 않을 정도에서 최대로 이루어져야 한다.

② 크링카광물의 prehydration을 최소로 줄여야 한다(W_k 약 0.3% 이하); 이 사항을 보증하기 위한 유익한 guide line은 아래와 같다.

- 밀 partition에서의 온도가 100~105°C 이하이면 1실에 물을 살수하지 말아야 하며 wet 첨가제를 공급하지 말 것.

- 밀 출구온도가 약 110°C 이하이면 최종실(last compartment)에 물을 살수하지 말아야 한다.

- 밀 출구에서의 Dew point를 약 70°C 이하로 유지하기 위하여 밀을 배기시켜야 한다.

- 밀에서 석고의 dehydration이 낮으면 저장 silo 전 지점의 시멘트의 온도를 약 75°C 이하로 냉각시켜야 한다.

이러한 rule을 적용할 수 있는 정도는 분쇄 밀의 Layout과 특히 배기장치에 따라 자주 달라진다. 아래에서 여러가지 배기장치에 대하여 논의될 것이다. 여러가지 운전조건과 요구사항을 얼마나 고려하였는지에 대하여 강조될 것이며 두가지 대안에 대한 장단점이 요약될 것이다.

● 장치 1 <그림-5>

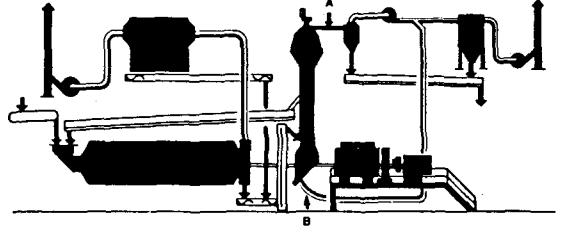
이 Layout는 South America의 어느 공장에 설치되었다. 이 배기장치는 아래 조건과 요구사항이 고려되어 매우 신축성이 있다.

① 냉각수의 양이 최소화되도록 냉각수 공급을 줄임

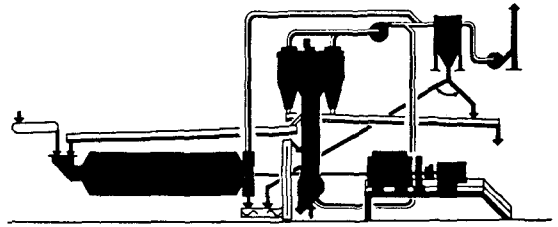
② 시멘트 제품의 온도를 80°C 이하로 유지한다.

③ 밀 feed의 wet 첨가제량을 조정한다.

이 장치의 장점은 separator 조분의 온도를 조정할 수 있는 가능성이다. 이 조분 온도는 valve A와 B를 조정하여 80°C 이하에서 약 105°C의 범위내에서 조정될 수 있다. 시멘트 제품 온도는 냉각용 water를 사용하지 않고도 항상



<그림-5> Plant lay-out for cooling of final product by fresh air through A and varying cooling of separator reject, dependent on the moisture content in the mill feed, by fresh air through B



<그림-6> Plant lay-out with maximum adjustment range for temperature of fines and separator reject.

요구된 온도 80°C에서 유지될 수 있다.

요약하면 밀 배기장치의 운전조건은 아래와 같다.

① 밀 feed에 wet 첨가제가 포함될 때 밀 1실에서 크링카광물의 prehydration의 위험요소를 감소시키기 위하여 separator 조분의 온도를 높인다.

② 밀 feed에 wet 첨가제가 없을 때는 separator 조분의 온도를 낮춘다. 다소 낮은 온도의 separator 조분은 밀내 온도를 낮추는데 기여하여 밀 내부 냉각수량을 감소시킬 수 있다.

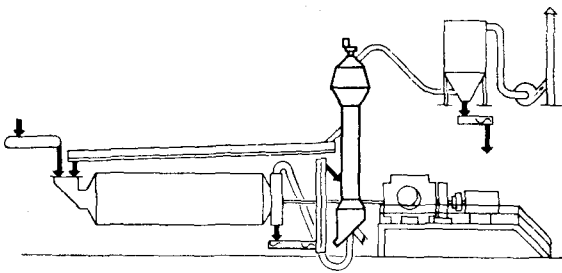
● 장치 2

냉각수 공급에 제한이 없는 공장에서는 시멘트 품질면에서 최적의 운전조건을 확립할 수 있는 보다 더 좋은 가능성을 수립할 수가 있다. 필요하면 별도의 cooler에서 시멘트 제품을 냉각

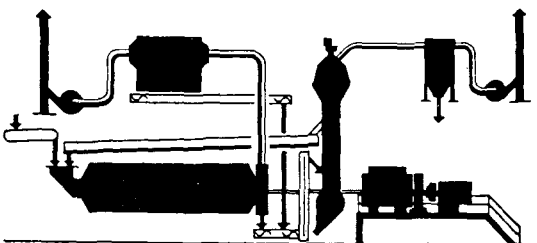
할 수 있다. 그 결과 <그림-6>에 나타난 바와 같이 장치 1의 valve A를 제거할 수 있다.

Separator 조분의 온도는 separator를 통과하는 fresh air와 순환 air의 비율을 조정함으로써 70°C에서 약 120°C의 범위에서 조절될 수 있고 밀 feed의 온도와 수분함량에 따라 조정되어야 한다. 이러한 배기장치를 설치함으로써 최적의 석고 dehydration 즉 위응결이 없는 최대의 dehydration를 얻을 수 있는 가능성이 더욱더 높아지며 또한 크링카광물의 prehydration의 위험요소를 최소화할 수 있는 가능성이 높아진다. 그리고 이 배기장치는 지적인 바와 같이 wet 첨가제를 가끔씩 사용하고 크링카 온도가 큰 폭으로 순간적으로 변화하는 경우에 특히 적합하다.

<그림-5>와 <그림-6>의 장치 1과 2에서 나타난 바와 같이 밀은 bag filter로 직접 배기되



<그림-7> Plant lay-out with mill venting through the separator



<그림-8> Plant lay-out with separate dedusting of separator and mill and max. air cooling in the separator

며 또 다른 대안으로서 밀은 separator를 통과하여 bag filter로 배기될 수 있다. 이 system은 시멘트공장에서 흔히 볼 수 있기 때문에 이 두가지 밀 배기장치의 특성을 비교해 보는 것은 매우 흥미로울 것이다.

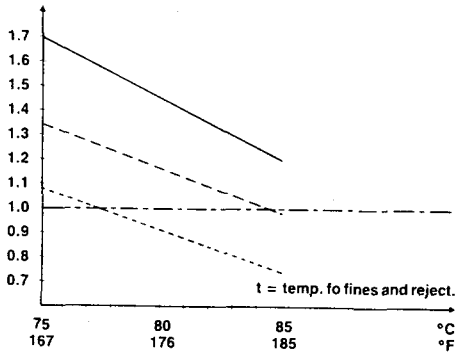
배기장치가 separator 조분과 시멘트 제품의 온도를 최대로 냉각시키기 위하여 설치될 때 이러한 비교가 특히 흥미롭다. 이 두개의 밀 배기장치에 대한 2개의 flow diagram이 <그림-7> (separator를 통한 밀배기)과 <그림-8> (별개 filter에로의 직접 밀배기)에 나타나 있다.

이 두 system을 비교하는데 있어서 몇가지 운전과 설계변수의 비교수치를 분쇄장치의 전형적인 특성에 근거하여 제시하였다. <그림-9>를 보면 시멘트 제품과 separator 조분의 온도가 75°C로 운전되는 별개의 배기장치의 밀과 separator 통과 배기 밀의 운전 data 즉 배기장치의 energy 소비량, separator 통과 air량, 집진 air량이 시멘트 온도의 함수로서 나타나 있다. 시멘트 온도가 75°C로 운전되고 있는 separator 통과 배기 밀의 경우에 있어서, 배기 fan의 power 소비량은 별개의 배기 밀의 두개 fan의 power 총사용량보다 약 70% 더 많다. separator 통과 배기 밀은 같은 시멘트 온도(75°C) 조건 하에서 별개의 배기 밀보다 약 30% 많은 air가 통과하는 큰 separator를 필요로 하게 된다. 이 두 장치에서의 총배기 air량은 거의 같다. 밀이 이러한 방법으로 배기될 때 separator를 통과하는 air량이 많은 이유는 밀 배기 air는 cooling에 기여하지 않기 때문이다.

반면에 밀 출구 시멘트 뿐만 아니라 밀 배기 air도 냉각되어야 하며 결과적으로 fresh air량을 증가시킨다. 이 fresh air는 damper를 통과하여 separator에 유입되는데 이때 밀에서의 압력손실에 상당하는 압력손실이 초래된다. 이 압력손실과 separator를 통과하는 많은 air량이 separator 통과 밀 배기장치의 fan 동력소비량을 증가시키는 원인이다.

결론적으로 말하자면 이 두 장치에 있어서 똑같은 size의 separator가(즉 separator를 통과하는 air량이 같음) 설치된다면 separator 통과 밀 배기장치에 있어서 시멘트 제품과 separator

(A) Separator 통과 밀 배기 air
 (B) 별개 filter 에로의 직접 밀 배기
 <비교 운전조건>
 Separator 조분과 시멘트제품의 온도 : 75°C
 순환 factor : 2.5 (C.L = 150%)
 밀 출구온도 : 115°C
 밀 통과 air 량 : 0.25 kg-air/kg-cement
 압력차 - 밀 : 200 mmWg
 - Separator : 300 mmWg
 - Bag filter : 100 mmWg
 system A (시멘트 온도 = t) / system
 B (시멘트 온도 = 75°C)
 배기 fan의 energy 소비량
 Separator를 통과하는 air 량
 배기 총 air volume



<그림-9> Comparison of arrangements for dedusting of mill vent air

조분의 온도는 bag filter 에로의 직접 밀 배기 장치에서의 온도보다 5~10°C 높게 운전될 것이다.

이 두 장치를 밀 배기 air 집진과 separator 정분 및 조분의 냉각 측면에서 상이에서 비교한 바와 같이 별개의 filter 에로의 직접 밀 배기장치는 아래와 같은 장점을 지니고 있다는 것을 알 수 있다.

fan 동력소비량 저하와 보다 작은 size의 separator, 더욱이 filter 에로의 직접 밀 배기장치는 밀과 separator 각각에서의 공정(processes)을 보다 더 정확하게 제어할 수 있다. 말하자면 밀에 공급되는 크링카의 온도가 크게 변화하면

결과적으로 밀 배기 air의 Dew point 온도와 양이 변화한다. separator 통과 밀 배기장치에 있어서 이러한 변화는 separator, B/F 및 fan이 이와 같이 매우 높은 크링카온도에 대처할 수 있는 크기로 제작되지 않는 한 시멘트 품질을 저해할 것이다. 그러나 이러한 극한적인 운전조건에 맞는 size로 설계된 장치는 매우 비싸며 정상적인 운전조건하에서는 운전효율이 저하된다.

크링카온도가 설계온도보다 크게 높아지면 높은 Dew point(prehydration의 위험) 혹은 separator를 통과하는 많은 air 량(최소한 일시적이지만 낮은 시멘트 fineness) 혹은 separator 통과하는 적은 fresh air 량(높은 시멘트온도)을 야기시키게 된다. 별개 filter 에로의 직접 밀 배기장치에 있어서 밀 자체만의 집진 및 배기용 filter와 fan은 separator 배기용 filter나 fan보다 훨씬 작다. 그래서 투자비와 운전비용에 큰 영향을 미치지 않는 범위에서, 밀 feed 특성의 큰 변화를 고려하여 밀 자체용 배기장치를 설계할 수 있다. Dew point는 일정한 수준에서 유지되고 separator는 fresh air로만 운전되며 밀 출구 시멘트는 설정된 온도에서 혹은 그 이하에서 유지된다. 그래서 separator와 배기장치를 극한 운전조건에 대비하여 설계하지 않고도 분말도를 일정하게 유지할 수 있고 시멘트온도를 일정수준 이하로 유지할 수 있다.

5. 결 론

대부분의 시멘트 공장은 다행히도 시멘트 품질면에 있어 별로 심각한 문제점이 없이 운전되고 있으나 시멘트 품질이 불만족스럽거나 자주 변하는 문제점에 직면하고 있는 공장도 있다. 본 보고서에서는 이런 문제점들이 부적절하게 설계된 배기장치에 의해서 어떻게 왜 야기될 수 있는가 설명하고 있다. 그 외에도 분쇄 및 저장 동안에 시멘트 품질에 영향을 미치는 process에 관한 지식에 근거하여 최적의 시멘트 품질을 보증할 수 있는 배기장치를 어떻게 설계할 수 있는지를 예를 들어 설명하고 있다. ♣

<資料 : ZKG Oct, 1988>