

시멘트 냉각에 따른 強度特性과 貯藏安定성에 관하여

허 금 정

<雙龍洋灰生産管理部>

粉砕時 시멘트 냉각은 現代 시멘트 製造에 반드시 수반되는 필수 요건으로 되어 있다. 냉각시키는 목적은 시멘트의 위응결을 최소한으로 줄이는 한편 분쇄 매체와 mill lining의 coating을 防止하여 粉砕能率을 向上시키는 데 있다.

지금까지 알려진 가장 効果的인 冷却方法은 몇년 전 F.L. Smidth社에 의해 고안된 장치로서 mill 内部에 water injection하는 방법이다. 이 냉각 장치는 지극히 간단하며 最適粉砕條件 유지와 均一品質의 cement를 生産키 위한 大型 cement mill에 適合하다.

F.L. Smidth社에서는 近年에 内部 水冷却裝置를 약 900個 以上 mill에 設置한 바 있다. 内部 水冷却 영향이 強度와 시멘트 저장 안정에 미치는 効果는 다음과 같다.

1. 시멘트 冷却의 必要性

cement mill에서 소모되는 energy는 주로 熱로 轉換되며 冷却裝置가 없는 cement mill에서는 石膏가 탈수될 정도로 溫度가 上昇되어 setting time과 強度에 劣影響을 미친다. 그래서 mill 냉각이 반드시 必要하며 F.L. Smidth社에서는 内部 water injection 방식을 권장하고 있다. 이 system에 의한 냉각 效果는 물론 운전상에도 많은 利點을 주고 注入水는 粉砕助劑 역할을 한다.

냉각 크링카를 사용하여 mill에서 분쇄한 시멘트 비표면적은 高溫下에서 生産된 시멘트보다 더 적다. 高溫이 되어 water injection을 하여 적정 온도가 되었을 때 生産되는 cement의 비표면적은 약 $100 \text{ cm}^2/\text{g}$ 以上 증가한다. 냉각수는

粉砕助劑로서 作用할 뿐 아니라 coating 形成을 감소시키는 效果도 있다. water injection 장치는 미세한 분무장치가 필요 없으며 고압 pump도 필요 없고 complex nozzle만 필요하므로 수리 보수비도 最小으로 줄일 수 있다. 水冷却 장치에는 적당한 크기의 filter가 있어야 하며 冷却 空氣量은 상대적으로 적게 요구된다.

최적 運轉을 위해 상대적으로 filter에 高露點이 요구되지만 응축을 방지하기 위해 필요 이상으로 높일 것은 없으며 보통 $60\sim 70^\circ\text{C}$ 범위가 적당하다. 冷却方式은 注入水 方向을 원료와 같은 方向이나 그 반대 方向으로 spray하는 방법이 있는데 이는 溫度條件에 따라 自動調節 된다.

cement 冷却方式에 관계 없이 분쇄된 시멘트는 저장중에 약간 냉각되나 品質低下가 되지 않도록 $60\sim 70^\circ\text{C}$ 를 초과해서는 안된다.

2. 外部冷却

보통 냉각을 mill 동체에 water spray 하는 것이다. 이 方法은 작은 직경의 mill은 生産量에 비해 상대적으로 큰 표면적을 갖고 있으므로 냉각 效果가 있으나 오늘날 같이 大型 mill에는 적당치 못하다. 그래서 大型 밀에는 분쇄 매체나 clinker에 직접 냉각하는 방법이 필요하다.

3. 内部空氣冷却

理論적으로 볼 때 강한 通風 장치로 냉각이 가능하며 공기량도 쉽게 계산할 수 있다. 예를 들면 100°C 크링카를 mill에 투입하여 生産되는 cement 온도를 115°C 로 할 경우 4,500kw 공기 냉각 cement mill에는 $2,400\text{m}^3/\text{min}$ 의 냉각 공

기가 필요하며 집진기 fan 에 소모되는 전력은 3kwh/ton cement 이다.

4. 内部水冷却

clinker 自體 온도와 粉碎中에 發生하는 熱로 인하여 mill 의 온도가 상승되며 석고가 탈수되는 등 品質低下를 초래한다고 前述한바 있다. 그래서 mill 内部에 water spray가 필요하며 水量은 전적으로 온도에 의해 결정된다. 4,500kw cement mill 의 경우 水量 계산에 의해 냉각에 요구되는 공기량이 결정된다. clinker온도 100°C, cement 출구 온도가 115°C인 경우 注入水量은 약 4.3t/h(30kg/t of cement, 500m³/mm, 露點 65°C) 정도 필요하다.

5. 시멘트 밀의 온도 조건

밀에 공급되는 크링카 온도에 의해 여러 가지 냉각 방식이 적용될 수 있다.

<例 1>

냉각 clinker 를 mill 에 공급할 경우에도 50°C 크링카일 경우 3실 mill 入口에서는 약 100°C로 상승한다. 냉각 장치가 없다면 cement 의 온도가 밀 출구에서 약 160°C 정도 된다. 1실, 2실 통과시에는 냉각이 필요 없으나 3실에서는 온도를 강하시켜야 한다. 냉각 방법은 diaphragm 이나 出口에서 水冷却함으로써 115°C 정도 강하시킬 수 있다.

<例 2>

投入 크링카의 온도가 높을 경우 즉 80°C 이상인 경우에는 보통 1실에서도 水冷却할 필요가 있다. 예를 들면 투입 크링카 온도가 95°C인 경우 water spray 를 시멘트 出口方向으로 하면 1실 diaphragm 의 온도는 약 105°C 정도 유지 가능하다. 밀 출구 온도를 약 115°C로 유지하려면 3실에 water injection 장치를 밀 入口方向으로 設置하여야 한다. 3실의 온도가 115°C 이상 올라 갈 경우 적당한 크기의 atomizer를 택하여 되도록 멀리 분사되도록 해야 한다.

6. 석고 상태 변화

mill 에 첨가하는 raw gypsum 은 온도 상승에 의해 多少의 탈수가 일어난다. 反應速度는 온도에 좌우되지만 mill 内部 습도는 化學反應에 중요한 역할을 한다. 石膏가 계속 熱을 받으면

半水石膏가 되고 결국 多少의 半水石膏도 存在하지만 대부분 용융성 無水石膏로 變한다. cement 에 물을 가하여 혼합하면 시멘트 중 石膏는 용해되고 C₃A 와 같이 침전된 ettringite (3CaO, Al₂O₃, 3CaSO₄, 3H₂O)가 形成된다. 이것은 시멘트 水和反應을 지연시킨다. 원칙적으로 이 지연 효과는 석고의 종류 즉 raw gypsum (pure dihydrate, CaSO₄, 2H₂O, 수분 20% 포함), burnt gypsum(半水石膏 CaSO₄, $\frac{1}{2}$ H₂O, 수분 5% 포함), 용융성 無水石膏(CaSO₄)의 상태에 따라 다르다. cement와 탈수된 석고의 혼합물에 물을 가하면 위응결이 일어나고 이것은 cement와 탈수된 석고량에 의해 좌우된다. 다음은 분쇄 중 石膏轉移 가능성에 관하여 언급한다.

1. 분쇄 온도가 110°C 이하에서 석고는 약간의 탈수가 일어날 뿐이며 少量의 半水石膏가 되고 無水石膏는 없다.

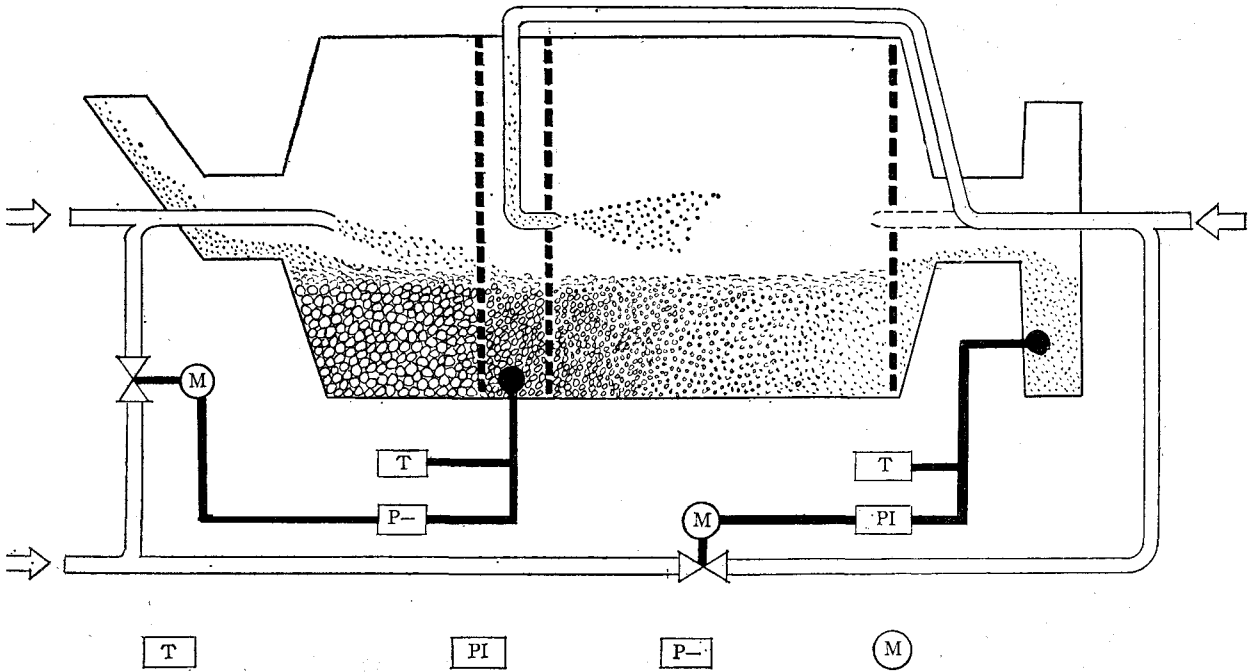
2. 분쇄 온도가 110~130°C 범위에서는 mill 内部가 습기로 飽和되어 있을 경우 용융성 無水石膏가 될 위험성이 약간 있다. 이런 cement는 70~80% 半水石膏와 30~20% 無水石膏의 혼합물이 된다. 그러나 이런 경우 위응결의 原因은 되지 않는다.

3. 분쇄 온도가 130°C 以上 上昇하면 석고가 無水石膏로 急變한다(특히 습기가 mill 内部에 飽和되어 있는 경우).

이 때 시멘트는 주로 半水石膏와 용융성 無水石膏의 혼합으로 존재하며 위응결 위험성이 높지만 cement 의 종류에 따라 차이가 있다. 어떤 clinker 도 cement 를 제조하였을 경우 위응결 경향이 전혀 없으며 130°C 이상에서만 위응결이 생긴다. clinker 成分을 분석하여 cement type 에 적합하도록 석고 함량을 조절하여야 한다. 이 때 석고의 종류에 따라 同一 비율로 탈수되지 않는다는 것을 明心해야 한다.

7. clinker mineral 의 水和

cement mill 内部 water spray 를 하지 않더라도 石膏의 結晶水로서 多量의 수분이 mill 에 공급된다. 수분의 一部分은 증발되고 一部分은 水和가 되므로 크링카 광물도 多少 水和가 불가피하다. 水和度는 ignition loss(w) 로 나타내며



<그림> F.L. Smidth 社의 内部 냉각 system

측정 방법은 F.L. Smidth 社에서 D.T.A(Differential Themogravimetric Analysis) 방법으로 개발하여 높은 精度의 값을 나타낸다. 키른에서 clinker 가 생산될 때에는 ignition loss가 거의 zero 에 가까우나 저장한 후에는 급격히 증가한다. 또한 공기 냉각 밑에서 분쇄할 때 석고 탈수에 의하여 水和가 일어나며 시멘트 ig. loss는 0.15~0.25% 사이가 되고 内部水冷却 mill에서는 0.20~0.35% 정도이다. water injection은 自動的으로 110°C 以下가 되면 stop되며 露點도 70°C로 自動 조절된다. Blaine은 강도와 밀접한 正의 관계가 있으며 조강 시멘트는 Blaine을 높여 제조할 수 있다는 것은 잘 알려진 사실이다. 反面 ig. loss는 Blaine과 반대 효과를 나타낸다. 그러므로 注入水는 분쇄 조절 역할을 하므로 同一 전력 소모량으로 보다 높은 Blaine을 얻을 수 있으므로 ig. loss 증가로 인한 강도 저하를 防止할 수 있다. ig. loss의 값은 現場 밑에서 sampling한 값이어야 한다. 왜냐하면 시험실에서 조절한 sample은 수분 조건이 여러 가지로 변하므로 대량 생산되는 밀의 lot를 대표할 수 없다는 것은 경험상으로 알 수 있다.

8. 냉각 후의 시멘트

분쇄중에 적당하게 냉각하면 二水石膏와 半水石膏 형태의 용융성 석고를 포함한 시멘트가 되고 110~120°C 정도의 시멘트가 생산된다. 그러나 70~90°C 이상의 시멘트를 사이로에 직접 넣어서는 안된다.

9. 시멘트 저장 안정성

시멘트 저장 안정성을 유지하기 위해서는 석고가 더 이상 탈수되지 않을 정도로 저온의 시멘트를 저장해야 한다. 위에서 언급한 바와 같이 二水石膏, 半水石膏의 비는 제조 공장에 따라 다르다. 二水石膏가 많으면 많을수록 사이로에서 더 많은 수분이 유리된다. 이런 경우 品質 저하의 위험성이 증가하고 syngenite(K_2SO_4 , $CaSO_4$, H_2O) 형태가 되거나 水和 concrete 덩어리가 형성되는 原因이 된다. cement의 이런 결함을 제거하기 위해 cement mill과 silo 사이에 separate cooler를 설치하여 60~70°C로 냉각시켜야 한다. 저장 전에 충분히 냉각시키면 품질에 안정성을 유지할 수 있으며 ig. loss의 변화도 거의 없다