

시멘트사일로의 코팅 形成 測定

李大桓(譯)

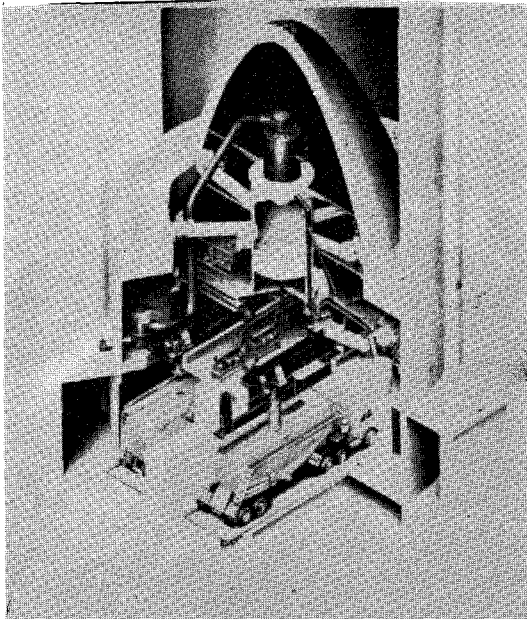
〈코리어헤럴드外信部長〉

I. 序 言

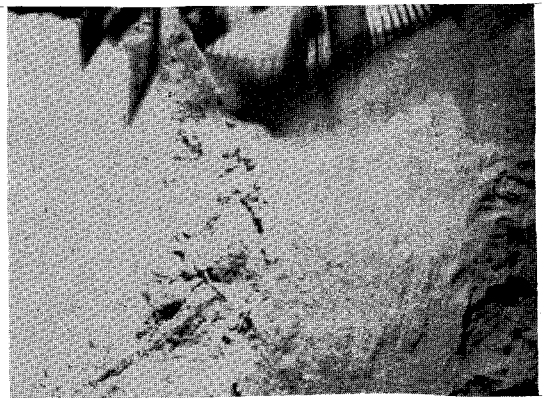
시멘트·사일로(silo)의 被覆(coating) 形成과 연관된 문제들은 시멘트와 관계있는 일을 하는 사람이면 누구에게나 잘 알려져 있다. 不規則的이고 때로는 바위같이 단단한 두께 1m까지 의 部分的으로 水硬性 시멘트의 層이 사일로 內壁에 쌓일 수 있다. 이렇게 생긴 코팅에서 큰 덩어리가 不規則的으로 떨어지는 것을 막을수 는 없으며 이것이 出口를 막아 荷役作業에 상당한 地障을 초래한다. 비록 거르는(screening)장치

에 고장이 생기지 않는다 해도 시멘트質이 손상 될 수 있다. 出口에서 코팅덩어리를 除去하고 一定한 간격으로 사일로를 청소하는때는 상당한 노력과 경비 및 綜合的인 安全豫防조치가 필요 하다.

輸送시설의 現代化에 따라 사용되는 저장사일로의 규모도 커지고 있어 이러한 문제가 심각해 지고 있다. Lagerdorf/Alsen - Breitenburg 工場에서는 1978년 直徑 16m, 높이 60m로 거의 1만톤 容量의 사일로 3개를 설치했다. 사일로속에는 높이 10m, 직경 13m의 円錐가 설치되어 있기때문에 시멘트는 1.5m의 環狀部門에서 6개의 同一간격의 氣飽채널을 통해 뽑아낸다. 이같이 끝부분에서 뽑아내는 방식은 中央部에서 뽑아내는 재래식 사일로에 비해 진보한 것이긴 하지만 코팅의 形成을 막을 수는 없었다. <그림-2>는 PZ 35F 시멘트에 사용되는 사일로의 시멘트·코팅을 보여주고 있다.



〈그림-1〉 貯藏 사일로에서의 시멘트 引出



〈그림-2〉 사일로內의 시멘트 코팅

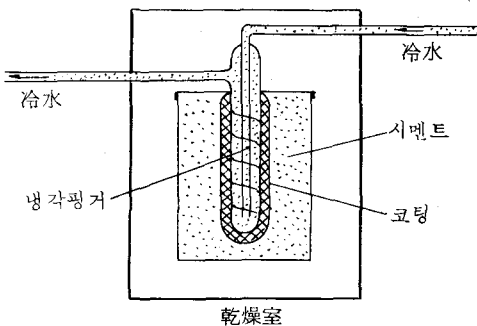
중전에는 두꺼운 코팅이 생기는 경우 外部에서 습기가 스며드는 구멍이 있지않나 하고 사일로벽을 검사했다. 대체로 성공하는 일은 거의 없었으며 더우기 습기를 막기 위한 예방조치로도 시멘트가 사일로벽에 붙어 굳어지는 것을 막을 수 없었다. 현재로서는 코팅形成의 메카니즘이 잘 알려져 있으며 Sprung 이 이에 관해 보고를 한 일이다. 이 보고에 의하면 코팅形成의 참원인은 사일로속에서도 계속되는 石膏의 脫水인 것이다. 사일로내의 꽤 높은 온도로 인해 水和된 황산칼슘에서 떨어져 나온 水分의 結晶體가 뜨거운 시멘트를 뚫고 찬 外部의 벽까지 擴散되어 收縮되고 시멘트와 反應하는 것이다.

Lägerdorf 工場에서는 이곳에서 생산되는 9種의 시멘트質을 손상하지 않고 저장사일로의 코팅形成을 막기위해 石膏(gypsum)를 部分的으로 天然無水石膏(anhydrite 硬石膏)로 代替하는 문제가 고려되었다. 이를 위해서는 일련의 실험실 및 작업실험을 해야만 했다.

II. 測定法

시멘트의 코팅形成性向을 數值的으로 알아낼 수 있는 간단한 방법이 시험결과 완성되었으며 이 방법은 어떠한 실험실에서든 사용될 수 있다. 이 방법을 사용하면 여러가지의 要因, 즉 예컨대 硬石膏/石膏비율, SO₃ 含有度, 온도, 시간 등의 效果를 알아내어 量的인 결정이 가능하다.

測定法 - 시험용 시멘트를 작은 閉鎖된 모형사일로에 일정한 시간동안 상당히 높은 온도속에서 저장한다. 이 미니사일로에서는 실제의 條件과는 반대로 冷點이 사일로벽이 아니며 사일로

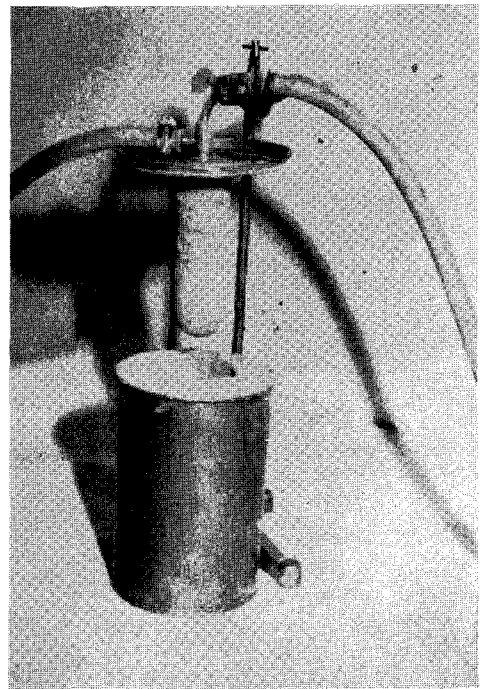


〈그림-3〉 사일로 모형

한가운데에 찬물을 通過시켜 냉각장치(finger)를 만든다(〈그림-3〉).

저장실에 일정한 무게의 시멘트를 넣는다(예컨대 4 kg). 냉각핀거를 와이어(wire)로 나선형으로 감쌓아 핀거를 들어냈을 때도 코팅이 그대로 남도록 한다. 꼭 맞는 뚜껑을 냉각핀거에 부착한다. 모형사일로는 항상 정확하게 일정한 온도로 加熱된 건조실에 둔다. 원칙적으로 저장실의 크기, 온도 및 시험시간은 임의로 결정할 수 있다. 24시간의 시험시간 및 섭씨 125°C의 온도가 표준방식이다. 몇개의 저장실을 함께 연결하면 일련의 실험을 24시간내에 수행할 수 있다.

시험시간이 지나면 뚜껑과 냉각핀거를 제거하고 냉각핀거에 붙은 코팅을 떼어내어 0.6mm의 체에 걸러 무게를 단다. 시멘트속에 정상적으로 함유되어 있는 水分이외에 코팅속에 들어 있는 水分의 量이 시멘트의 코팅生成성향을 측정하는 기준으로 사용된다. 이는 사용된 시멘트와 코팅의 ig. loss 무게로 계산해 낸다. 시멘트의 종류와 시험조건에 따라 코팅의 量이 달라지며 強度



〈그림-4〉 코팅이 되어 있는 모형 사일로에서 떼어낸 冷却 핀거

도 다르다. 량은 무게로 따져 사용된 시멘트의 0에서 8%까지에 이른다. 그러나 이것만으로는 충분한 평가가 불가능하며 化學적으로 결합된 水分의 량과 코팅의 硬度도 중요하다.

例 : 석고로 만든 실험실 시멘트, 2,830 cm²/g의 特定表面積 (Blaine), 3.15 %의 SO₃ 및 點火時 1.76 %의 ig. loss

사용된 시멘트의 무게	4.0 kg
시험시간	24 시간
온도	125 °C
코팅무게	222 g, 사용된 시멘트의 5.6%에 해당
코팅의 ig. loss	8.21 %
코팅에 결합된 水分의 량	

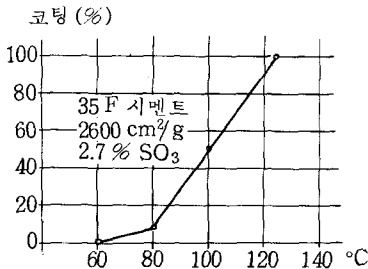
$$222 - 222 \cdot \frac{100 - 8.21}{100 - 1.76} = 14.6 \text{ g}$$

시험의 反復결과 再現性이 시험목적에 완전히 적합한 것으로 나타났다.

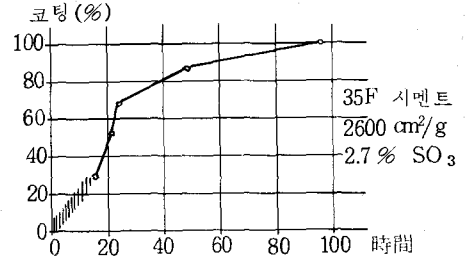
Ⅲ. 測定結果

<그림-5>는 저장온도가 시멘트의 코팅形成에 미치는 효과를 나타낸다. 표면적 2,600cm²/g과 2.7% SO₃의 석고로 만든 35 F 포틀랜드 시멘트가 24 시간동안 60, 80 및 120 °C의 건조실 온도에서 저장되었다.

코팅形成率은 세로좌표에 가장 두꺼운 코팅의 퍼센테이지가 나타나 있고 가로좌표에는 섭씨온도가 표시되어 있다. 예상대로 온도의 효과가 명확하게 드러나 있다. 코팅形成은 60 °C에서 가장 작고 125 °C에서 가장 크다. 次後의 시험은 모두 코팅形成에 有利한 125 °C에서 시행되었다.



<그림-5> 溫度函數로서의 코팅 形成 (試驗時間 : 24 時間)

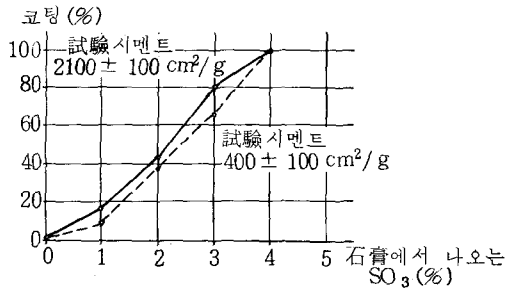


<그림-6> 時間函數로서의 코팅 形成 (溫度 : 125 °C)

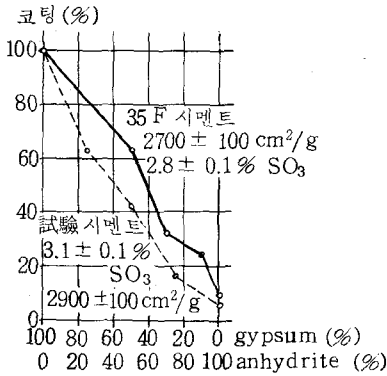
<그림-6>은 시간의 효과를 나타낸다. 주어진 시험조건하에서 약 3일후에 최대점에 달했으며 그 후에는 이미 생긴 코팅의 結晶 效果로 더 증대되지 않는다. 표시된 부분은 15시간내에 코팅形成이 시작되는 것을 표시한 것이다. 그러나 이 부분에서도 코팅이 아직 軟하고 水分이 부분적으로만 결합되어 있기 때문에 코팅의 量을 결정하기란 어렵다. 5시간이 지난후까지도 냉각평저 주변의 부분은 완전히 젖어 있다. 이 水分이 125 °C의 건조로 대부분 증발하게 되며 따라서 아직 시멘트와 反應하지 않는다는 것을 알 수 있다.

<그림-7>은 코팅形成이 石膏의 量에 의해 어떻게 영향을 받는가를 보여준다. SO₃의 함유량이 많으면 코팅形成率도 증대하는데 이는 水和된 황산칼슘에서 증발될 수 있는 水分이 더 많아지기 때문이다.

이같은 시험결과에서 코팅形成을 막기 위한 조치를 유추해 낼 수 있으나 이러한 조치를 실행에 옮기는데는 작업상의 문제가 따른다. 시멘트 냉각장치에 의해서나 또는 대량의 물을 注入 하므로써 공장에서 나온 시멘트의 온도를 내리는데는 한도가 있으며 보통 質을 손상시킨다. 역시 質때문에 SO₃의 함유도도 일정한 制限值 이하로는 떨어뜨릴 수가 없다. 또 뜨거운 시멘트의 사일로 저장시간도 판매량에 따르는 것으로 임의로 정하기란 거의 불가능하다. 이로 미루어 볼 때 코팅形成을 막는 유일한 실제적인 조치란 앞서 언급한 대로 황산염을 발생시키는 石膏를 천연硬石膏와 전부 또는 일부 대체하는 것이다. 실험실시멘트 및 工場시멘트를 막론하고



〈그림-7〉 SO₃ 含有量函数로서의 코팅 形成 (試驗時間: 24 時間, 溫度: 125°C)



〈그림-8〉 gypsum/anhydrite 比率函数로서의 코팅 形成 (試驗時間: 24 時間, 溫度: 125°C)

실험실 시험결과는 코팅形成率과 石膏對 硬石膏 비율간에 平行관계가 있음을 보여 주었다 (〈그림-8〉).

硬石膏만으로 만든 시멘트는 전적으로 石膏로 만든 시멘트에 비해 각기 5%와 9% 밖에 코팅이 생기지 않았다. 硬石膏로도 여전히 코팅이 形成된다는 사실은 천연硬石膏에 항상 몇 %의 2水化合物이 섞여있다는 것으로 설명될 수 있다. 시멘트對比 5%까지의 SO₃가 첨가된 硬石膏시멘트로 계속 일련의 실험을 실시했다. 이 경우 2水化合物의 실험에 비해 모든 실험에서 코팅량이 무시할 수 있을 정도로 미미했다. 粉末도가 시멘트의 코팅形成성향에 미치는 효과는 실험실 시멘트의 경우, 石膏의 脫水量 및 정도가 모든 경우 同一한 限, 3,000 cm²/gm ~ 6,000 cm²/gm의 比表面積에서는 알아낼 수 없었다. 그러나 工場시멘트에 있어서는 미세하게 분쇄된 것일수록 코팅이 덜 생긴다. 일반적으로 미세한 것일수록 높은 온도로 공장에서 나오며 따라서 石膏의 脫水

가 더 진전되기 때문이다.

Lägerdorf의 사일로에서는 분쇄기로 빵아져 그만큼 流動性이 좋은 때 부드러운 시멘트로 통상적인 화학성분을 가진 것은 코팅形成성향을 거의 보이지 않았다. 실험실 시험에 의하면 이는 분쇄기의 덕택이 아니다. 아마 공장에서의 예비적인 심한 脫水, 그 자체가 결정적인 이유인 듯하다.

시멘트에 건조제를 첨가하면 石膏의 脫水는 放出되는 水分이 사일로의 차가운 곳에서 收縮되기 전에 제거된다. 石膏에 3%의 SO₃가 발생하는 比表面積 2,900 cm²/gm의 시멘트에 1%의 粉末산화칼슘을 첨가하면 코팅形成率은 그렇지 않는 경우의 약 60%로 줄어든다. 2% 분말산화칼슘으로는 전연 응고되지 않는다. 시멘트에 첨가되는 산화칼슘은 아직 水和되지 않은 크링카粒자에 매몰되어 있는 遊離石灰보다 훨씬 더 잘 水分을 흡수한다. 코팅形成을 억제하기 위해 遊離石灰를 사용하는 경우 훨씬 더 높은 함유도가 필요할 것이다. 그러나 이는 質의 문제 때문에 불가능하다.

石膏를 사용하는 경우 코팅形成率은 石膏가 공장에 있는 동안 半水石膏나 溶解性 硬石膏가 되도록 脫水하면 줄어든다. 石膏에서 3%의 SO₃가 발생하는 시멘트를 110°C에서 얇게 깔아 12시간동안 저장해보니 코팅이 생기지 않았다. 그러나 이러한 해결책은 실제로는 용이하게 사용할 수 없다. 많은 경우 石膏의 완전脫水는 응결성에 피해를 주기 때문이다.

통제된 실험실 시멘트를 사용하여 얻어진 결과는 생산라인에서 나오는 대량의 시멘트의 경우에도 확인되었다. 각 要因의 효과가 〈表-1〉에 요약되어 있다.

코팅은 2水化合物의 사용, 높은 SO₃ 함유도,

〈表-1〉 附帶要因의 코팅 効果

코팅 形成	弱 → 強
사일로溫度	低 高
사일로內的 貯藏時間	短 長
SO ₃ 含量	低 高
石膏水分含有度	強 弱
黃酸含有物	硬石膏 石膏

낮은 石膏의 예비脫水, 높은 사일로 온도 및 긴 저장시간에 의해 촉진된다. 코팅形成은 낮은 SO₃ 함유도, mill 내에서의 石膏의 광범한 脫水, 낮은 저장온도, 짧은 사일로저장시간 및 실제적이고 효과적인 방법으로 硬石膏에 의한 2水石膏의 부분적인 代替로 줄이거나 또는 심지어 제거할 수 있다. 이 경우 시멘트質에 대한 영향을 케이스별로 주의깊게 체크하여야 한다.

코팅의 특성에 관한 예비조사뿐만 아니라 여러가지 생산라인에서 시험 생산된 시멘트의 質에 대한 시험이 완성된 후 Lägerdorf 공장은 1979

년 7월 전체 시멘트생산을 石膏에서 80% 硬石膏 + 20% 石膏의 混合으로 바꾸었다.

質의 면에서는 아무런 문제도 나타나지 않았다. 코팅조건이 실험실 시험결과가 예측하는 만큼 상당히 好轉되었는지를 판정적으로 판단하기란 아직 불가능하다. 轉換이 시즌중반에 이루어져 石膏에 의한 코팅을 사일로에서 제거할 수 없었기 때문이다. 그러나 9개월동안 묵은 코팅이 두꺼워지지 않았고 큰 덩어리가 벽에서 떨어져 나간 자리에 새로 코팅이 생기지 않았다는 점은 확실하다.

