

시멘트 Silo 적분 생성 억제 및 안전화 대책

이병곤 · 양승혁*

충북대학교 안전공학과 · *한국산업안전공단

1. 서론

본 연구는 시멘트 저장 silo 내부의 적분(Coating) 청소(제거) 작업시 지속적으로 발생하는 적분 붕괴로 인한 산업사고 예방에 목적이 있다,

연구에서 제시된 개선방안의 골자는 시멘트 인출을 위해서 silo 내부로 공기를 송급하는 Aeration system에 냉동식 미압 air dryer를 적용하여 송급 공기를 제습함으로써 적분생성을 억제하는 것이다.

본 연구에서 고안한 냉동식 미압 dryer는 노점 온도 이상의 함습(수분함유) 공기를 상대습도 10% 미만으로 건조 가능한 것으로서 현장 적용시 효과 검증을 위하여 시멘트 Silo Aeration System 축소모델을 제작하여 실험을 실시하였다.

실험 결과 냉동식 미압(저압) dryer를 부착하여 Aeration system을 개선 할 경우 송급공기 함유 수분에 의한 적분 생성은 무시할 수 있는 것으로 예측되었으며,

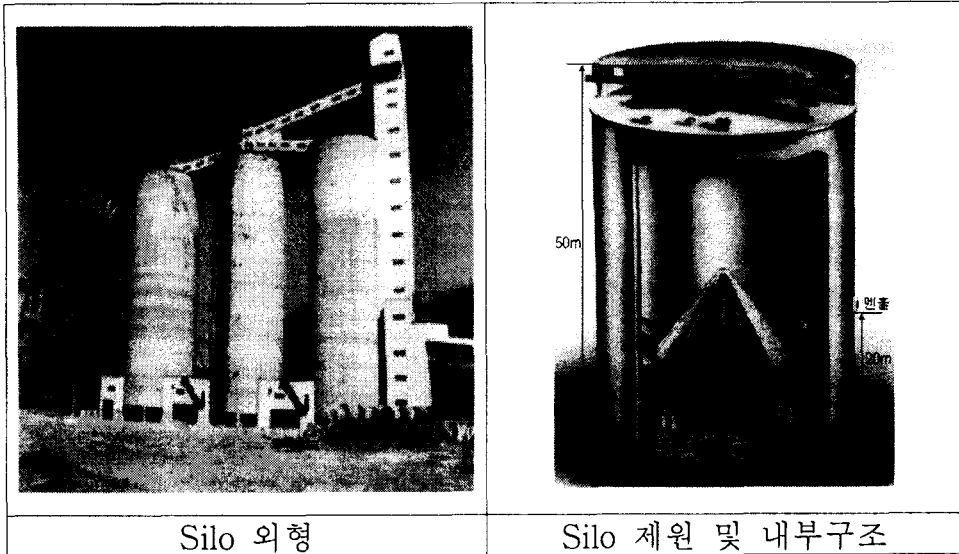
이에 따라 Silo내부 청소작업 주기가 현재보다 2~3년 이상 연장 될 수 있을 것이며 더불어 청소경비절감 및 시멘트 품질 개선효과를 기대 할 수 있다.

2. 시멘트 Silo 적분제거 작업 위험성 분석

시멘트 Silo는 시멘트를 출하하기 전 일시적으로 저장하는 대형 시멘트 저장 설비로서 대부분 콘크리트 구조물로 제작 되어있다.

시멘트 Silo 내.외부의 조건 등의 원인에 기인한 Silo 내부 적분 및 덩어리 생성은 시멘트 인출 저해, 시멘트 저장량 감소, 시멘트 품질 저하를 가져온다.

그러므로 적분 제거작업시 소요되는 인력 및 경비, 산업재해발생 위험을 무릅쓰고 적분 제거작업을 2~3년 주기로 실시하게 된다.



국·내 외 시멘트 Silo 청소방법 분석결과 외국의 경우 압축공기 분출설비 또는 공압기계화장비등을 사용한 기계화 작업이 인력작업과 병행하여 이루어지고 있는 것으로 파악되었으나,

국내 시멘트제조사의 경우 압축공기 분출설비등의 자동 적분제거장치가 부착된 시멘트 Silo가 거의 없으며 또한 보유 Silo 대부분이 20년 이상 노후된 관계로 이러한 압축공기분출설비를 설치할 경우 구조물 안전성에 문제가 있어 설치가 사실상 곤란한 상태이며, 공압기계화장비 역시 고가의 장비로서 국내의 영세한 청소작업 대행업체에서 고가의 장비구입이 현실적으로 어려운 실정이다

따라서 대부분의 Silo 청소작업 대행업체에서는 Silo 내부로 인력을 직접 투입하여 전적으로 수작업에 의존하는 방법으로 청소작업을 수행하고 있는 것으로 분석되었다

그러나 시멘트 Silo내부는 시멘트 분진과 어두운 조도, 시멘트 Mill의 분쇄 공정시 발생한 마찰열이 일부 전달되어 약 60~80℃ 고온의 열악한 작업환경으로 이루어져 작업자가 30분이상 연속작업을 수행하기 어려운 조건이며, Silo 벽체의 적분붕괴시 매몰 및 붕괴로 인한 사망재해위험이 도사리고 있는 실정 이다.

이러한 열악한 작업환경에도 불구하고 적분제거작업이 대부분 영세한 협력업체 하도급에 의해 이루어지는 관계로 안전장구 및 안전의식 미흡, 작업인원 노령화에 따른 안전사고 위험 요인이 높은 작업으로 조사되었다.

실제로 1994~2001년간 국내 시멘트 제조사의 적분제거작업시 사망재해 현황을 집계해 보면 총 9건으로서 매년 1명 이상이 산업재해로 인해 목숨을 잃고 있는 것으로 분석되었으며 재해발생형태도 적분붕괴로 인한 매몰·질식사고가 대부분으로 이에 대한 동종재해예방 대책이 시급한 실정이다.

3. 적분생성원인

1) 수분유입에 의한 적분생성

시멘트 Silo 내부에 저장된 시멘트를 출하하기 위해서는 Silo 하부 기계실에 설치된 Rotary blower를 사용하여 대기중의 공기를 약 0.6kgf/cm²으로 압축하여 Silo 하부에 방사형으로 설치된 Air-Box로 송급한다.

그러나 이러한 시멘트 인출용 Aeration System은 대기중의 수분을 함유한 공기를 여과없이 Rotary blower에서 흡입하여 Silo 내부로 토출하는 구조로서 상대습도가 높은 대기중에서 이러한 Aeration System이 장시간 연속적으로 운전될 경우 시멘트 조성중 수화활성도가 높은 C₃A, alkail sulphate, calcium sulfate 등이 수화반응을 일으켜 가수화물 즉 적분을 생성하게 된다.

2) 온도차에 의한 적분 생성

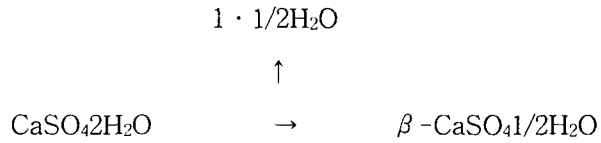
시멘트 Silo 내부는 약 60~80℃ 의 온도조건을 갖게된다.

고온 다습한 내부의 공기가 Silo 외벽의 노점 온도 이하의 차가운 부분과 접촉하여 결로를 형성하게 되고 이때 시멘트 조성중 수화활성도가 높은 성분이 수화반응을 일으켜 적분을 형성한다.

3) 이수석고 탈수반응

시멘트 응결속도 조절용으로 첨가하는 이수석고는 약 80℃~150℃ 사이의 온도조건에서 탈수반응이 시작되어 종결된다. 이러한 이수석고가 Silo 내부의 고온조건에서 무수석고로 변화하는 과정중 발생하는 수분과 시멘트 조성중 수화활성도가 높은 성분이 수화 반응을 일으켜 적분을 형성하게 된다.

- 이수석고 탈수반응

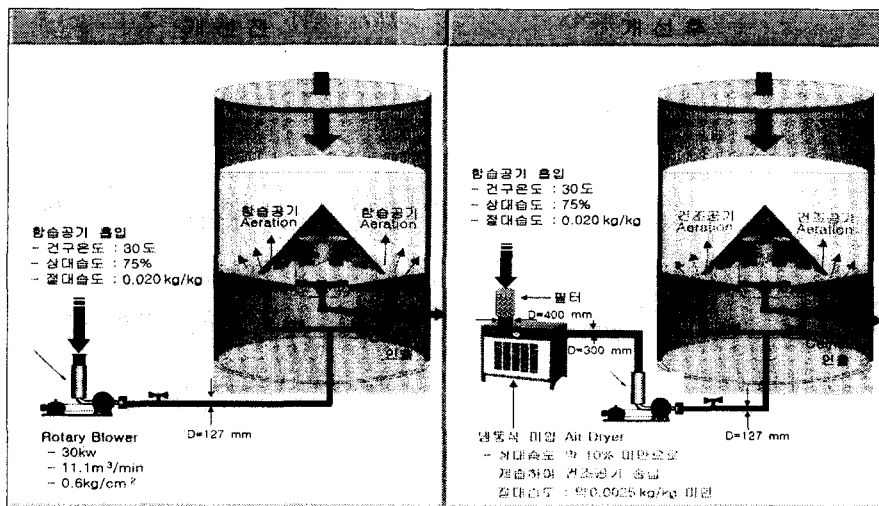


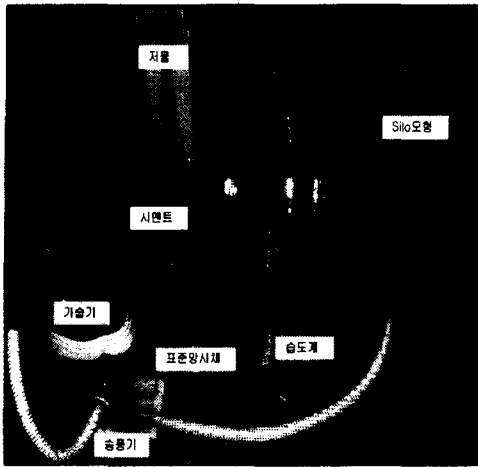
4. 적분생성 억제대책 및 모형 실험

이수석고 탈수 반응억제 방안은 기 연구가 활발히 진행중이며, 온도차에 의한 적분 생성 원인 또한 일만톤 규모의 대형 구조물의 온도차를 완벽히 제거하는데 현실적인 문제점이 있어 고찰에서 제외하였고 국내 시멘트 인출설비에서 공통으로 채택하고 있는 Aeration - System에 초점을 맞추어 대책을 수립하였다.

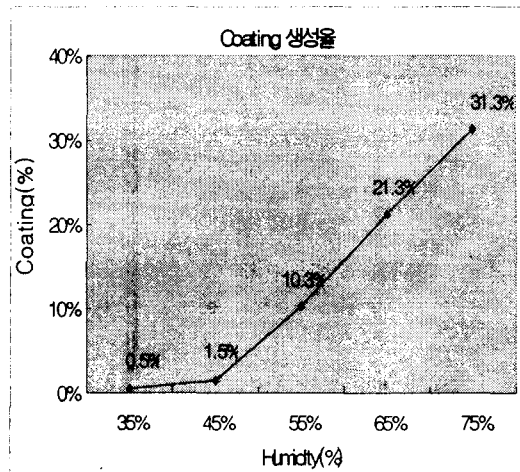
대책으로는 아래와 같이 dryer노점 온도(4℃)이상의 대기중 함습 공기를 상대습도 10% 미만 까지 제습 가능한 냉동식 미압 air-dryer를 Aeration - System 적용하여 송급 공기중의 함유 수분을 제거하는 방안으로서,

축소모형을 제작하여 습도조건에 따른 모형 내부의 적분 생성량을 측정하는 방식으로 간접적인 효과 검증을 시도하였다.





Composition of experimental apparatus



Coating growth ratio

5. 결 론

Aeration System 개선방안으로 기본 설계한 미압 Air Dryer를 실험조건 중 가장 습도가 낮은 18.5℃, 상대습도35%, 절대습도 0.004kg/kg 조건에 설치하여 상대습도 10% 미만으로 제습한다고 가정하면 절대습도 0.001kg/kg 까지 함유 수분 제거가 예측가능하다.

따라서 실험조건중 가장 건조한 상대습도35%, 절대습도 0.004kg/kg의 조건에서 Silo 모형내에서 거의 적분이 생성 되지 않은점을 감안하여 보면 개선안으로 제시한 성능의 미압 Air Dryer를 실제 시멘트 제조공정에 적용한다면 송급 공기 함유 수분에 의한 적분 생성 문제는 거의 무시하여도 좋을것으로 판단된다.

국내 시멘트 제조공장에 본 연구에서 검토된 Aeration System 개선방안을 적용 할 경우 실험결과와 같은 적분 생성량 감소에 의해 현재 2~3년 주기로 실시하는 적분 제거 작업이 최소한 5~6년 주기로 연장될 수 있을 것으로 예상되며, 이에 따른 소요경비 절감은 물론 청소작업시 다발하는 적분 붕괴로 인한 산업재해를 예방는데 상당한 효과가 있을 것으로 기대된다.

또한 이러한 경비절감 및 산업재해예방효과와 더불어 시멘트가 공기중의 수분에 의해 풍화되는 현상을 억제하여 시멘트 저장기간 연장 및 콘크리트 강도증가 등 품질개선 효과를 더불어 기대할 수 있을 것이다.