

시멘트 소성공정에서의 에너지 절약 방법

Alvaro Chacon* 이정혁
 <Martin Engineering> <세일교역>

시멘트 산업의 에너지 절약 경향

전 세계 시멘트 산업은 줄곧 모든 종류의 에너지 절약방법을 찾아왔었다. 그러나 지난 12년 동안 연료비용의 급등으로 인하여 시멘트 제조사들에 연료비용을 공장가동비용 중 가장 중요한 관심사로 간주하도록 바꿔놓았다.

시멘트 제조 소성 공정상 우선 순위가 1990년대에 화석연료 비축, 환경 문제와 에너지 비용 등에서 대체연료로 바뀌었다. 문제는 저가, 저운임 및 고 열량의 연료를 찾는 것 이었으며, 페트코크가 타이어, 플라스틱, 폐기물, 폐유 등에 추가하여 그 대열에 합류했다.

여러 다른 나라들의 시멘트산업에서 대체 연료를 바꿈으로 그전 시행되었던 어떤 긍정적인 성과보다도 더 긍정적인 결과가 나왔으나 그들 모두 저가의 고 열량 파워를 추가함으로 에너지 소비를 줄이는 방안을 찾고 있다.

시멘트 업계에서 미분탄, 페트 코크 와 대체 연료들을 사용하여 여러 가지 효과가 보고되었다. 이런 결과가 보고될 때까지의 과정은 쉽지 않았고 많은 시간이 걸렸다. 효과를 볼 때까지는 주요 시멘트 제조업체 및 공장 설계자들과 설비공급자들이 기존 전통적인 드라이공정의 재설계, 변경, 개조 및 개량에 동참이 요구되었다. 지난 수년 동안 시멘트 업계가 더 나은 대체 연료를 찾을 동안에 미국의 마틴사는 시멘트업계와 공장설계자 및 설비 공급

자들과 밀접하게 프리히터와 쿨러의 수정작업에 광범위하게 참여하여 지난 10년 동안 연료 및 킬른의 변경 시에 멕시코 CEMEX사의 22개 가동중인 킬른 중 21대에 장애물을 줄이면서 열에너지의 절약을 위해 마틴엔지니어링의 빅 블라스터 기술 및 마틴엔지니어링의 노하우에 따라 평균 43개의 대형 블라스터를 설치 운영한 결과는 매우 성공적이었다. 오늘날 CEMEX는 프리히터와 쿨러에 100개 이상의 대형 에어블라스터를 장착한 킬른을 가동하고 있다.

페트코크와 대체 연료 이용

페트코크는 석유산업에서 원유정제 중에 얻어지는 폐기물이다. 이는 고 열량, 적은 회분, 적은 휘발성이나 높은 황화물을 함유하고 있으며, 시멘트 산업에서 클링커 생산을 위한 소성 연료에 가장 많이 사용하는 연료가 되었다. 산지에 따라 몇몇 지역에서는 6.25 정도의 황화물을 함유하고 있으며, 클링커 킬로그램 당 8,150 킬로칼로리 그리고 연료소비량 평균 750 Kcal/Kg(4단 최신 디자인)의 열에너지를 제공한다.

인도네시아에 공급된 탄의 경우 황화물 함유 평균 0.85와 클링커 킬로그램 당 6,350 킬로 칼로리의 열 에너지가 공급되고 있다. 시멘트 업계는 페트코크 사용으로 프리히터/쿨러 디자인뿐만 아니라 기존 킬른 내부 화학 공정 파라미터를 바꿔야만 한다.

이러한 열역학 공정의 새로운 연료의 반응 때문에, 황의 증발을 피하기 위한 적정 연소 위치의 온도를, 세력이 좋은 화염을, 입구 산소 공기의 감소를 줄이기 위한 충분한 산소를 제공하는 것을 그리고 킬른 입구 라이징 덕트 및 싸이클론에 쌓이는 것을 피하기 위한 증발계수를 지키기 위하여 각 공장의 생산 팀에 의해서 페트코크는 매우 밀접하게 모니터 되었다.

페트코크나 대체연료 사용에 따라 나타나는 원료 적층과 가동 중단

대체 연료 그 중 대부분이 페트코크를 사용함으로 인해 시멘트산업에서 에너지 비용이 저감된 점은 명확하나, 시멘트 공장의 생산 담당자들에게는 많은 골칫거리이다. 프리히터/프리칼사이너/쿨러에서 원료의 흐름이 멈추고, 원료의 흐름을 막는 블로킹, 또는 적층 문제가 주요한 골칫거리로 대두되기 시작했다.

이런 원료 적층 현상인 빌드업은 거의 대체로 코너부분 등 온도가 낮은 지점의 벽 표면에 겹겹이 제품이 누적되어 원료에 전달할 열을 흡수하여 킬른의 에너지 비용을 증가시키고 생산능력을 저하 시킨다.

블로킹은 프리히터 구간이 천천히 지속적으로 제품이 쌓여 축적되므로 효율이 감소되며 큰 덩어리 들이 싸이클론 지붕에서 출구 바닥 쪽, 피

딩 실드, 덕트 파이프들에 떨어지고 또한 쿨러에서도 형성된다.

Stoppages 와 또는 블로킹은 기본적으로 온도 변화를 동반한 고 황화물 함유 등 요인들의 조합에 의해 발생된다.

S, Cl, Na, K 은 매우 끈적거리는 물질로 휘발성 물질의 압착은 차가운 지점들에서의 온도 변화 또는 속도의 감소 또는 증가와 조합되어 빌드업을 만들고 이후에 최종적으로 기대치 않은 가동중단을 일으킨다. 만일 프리히터의 모양을 사이즈 변경에 의해(스모크 챔버, 싸이클론, 피딩 덕트, 라이징 덕트, 등등) 바꾼다면 원료의 흐름 속도가 변경된다.

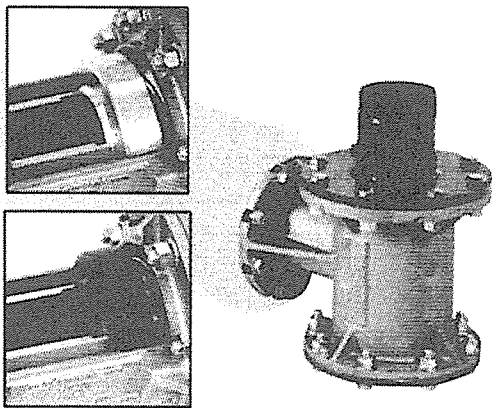
따라서 모든 요소들의 조합이 여러 가지 빌드업(여러 다른 요인들 가운데 밀내의 다른 부원료 사용도 영향을 끼칠 것이다)의 원인들 중의 하나일 것이다.

황화물과 낮은 온도 구역은 쉽게 빌드업 형성물을 만든다. 빌드업과 또는 블로키지 문제들은 수년 동안 제조 공정중의 일부로 간주되어 왔고, 이것은 다음 다섯 가지 사항들에 부정적인 영향의 원인이 되어 숨어 있는 비용이기도 하다.

- 크링커 품질에 영향
- 크링커 생산성에 영향
- 연와수명의 감소
- 열에너지 소비의 증가
- 그리고 이것은 보수 청소하는 공정 중의 안전상 위험이 된다.

프리히터 벽이나 싸이클론, 피딩파이프, 피딩 실드, 쿨러, 퇴적 챔버, 스모크 챔버 등에 빌드업을 깨거나 방지하기 위해 2~4명의 직원이 하루에 두세 번씩 청소하는 것은 보통이다.

견고한 빌드업 물질을 깨기 위해 대부분 담당(청소)팀에서는 공기나 물총을 사용합니다. 온도, 압력, 알카리, 황, 탄소, 산소 등이 계속 바뀌기 때문에 킬른 내부의 열 공정이 일정하지 않다.



여기에 프리히터가 블록킹 될 때, 또는 중간이나 나중에 막힐 경우 열 밸런스가 급격히 바뀌었다. 내화물은 고압수/에어제트 분사와 잭 해머로 때리는 관계로 자주 열 충격을 받게 된다.

내부 청소를 위하여, 직원들은 열기시스템에 그 밸런스를 해칠 정도로 오랜 시간 프리히터 내에 공기가 들어가게 검사 창을 열어야만 한다. 일상적으로 발생하는 이 문제해결의 다른 방법으로는 프리히터 블라스트 공정들 동안에 내부 벽면에 부착된 임시방출장치를 이용해 이산화탄소를 방출시키는 것인데 이는 매우 강한 충격파를 남긴다. 불행히도 방출장치의 설치는 임시적인 것이며 방출은 이미 빌드업된 물질의 교정행위이므로 그것을 피하고자 하는 예방책이 아니므로 그것은 빌드업이나 블록키지가 문제를 일으킬 때마다 다시 설치해야 한다.

내화물 표면 모양(평평함)과 화학성분(산화지르코늄과 탄화규소 ZrO_2 and SiC)으로 빌드업을 줄이는 방안이 개발되었으며 특히 산화지르코늄이 더 높은 응집력이 보인다.

에어케논, 빌드업과 블록키지를 피하기 위한 최선의 방안

에어케논은 빌드업을 줄이기 위한 전형적인 방법으로 개발 되었다. 적소에 잘 운용하면 공정상에 빌드업이나 블록키지에 대하여 자동방지시스템 역할을 제공하게 된다. 에어케논은 그것을 적절히 사용함으로써 프리히터나 쿨러에 빌드업을 방지하기 위한 중요한 장비이다.

프리히터/ 프리켈사이너와 쿨러 측 여기저기 설치되어있는 것을 볼 수 있는 것은 매우 흔한 일이고, 또한 공정상에 어떤 도움도 되지 못하면서 단지 폭발만 하고 있는, 문제들을 풀 수 있는 여러 공정과 조화롭고 완벽하게 작동하지 않는 것들도 흔히 볼 수 있는 일이다.

에어케논은 시스템과 반드시 조화롭게 작동되어야 하며 빌드업과 블록키지 문제 방지작업을 위해 항상 반드시 신뢰할 수 있어야 한다.

그러기 위해 우리는 연료 성향과 성질, 황 함량, 알카리 함량, 입구, 산소, 생산능력, 기존 프리히터의 설계용량, 가동 조건들 및 추후 킬른 디자인 수정 계획 등을 알아야 할 필요가 있다.

세계 최초로 상용화되고 성능과 효율이 입증된 "빅 브라스터" 에어 케논을 제대로 사용하기 위해서는 모든 기초 정보가 정확하여야 하며, 그리고 다음 직무 항목들에 대해 고려해야 한다.

최적의 에어 케논 성능을 위한 고려 항목

- 적정 수량의 에어케논(프리히터와 쿨러 전체를 커버하는)
- 적합한 용량의 에어케논(확실하게 충분한 힘을 제공하는)
- 적소에 설치하는 에어케논 노즐(필요한 구역/벽에 폭발시키기 위하여)
- 에어케논의 정확한 기계적 성능(200,000 blast warranty)
- 적합한 노즐 타입 (90 degrees, straight, pipe)
- 적합한 폭발 타이밍 (분진과 견고한 물질을 피하기 위해 적시에 폭발하기 위한)
- 적합한 공기압(요구되는 대로 힘과 폭발 회수를 제공키 위해)
- 적합한 공기의 품질(수분이나 고체의 부유물이 없는)
- 주변기기들의 주기적인 보수 프로그램 (solenoid, check, ball, safety, quick escape valves, FRL, Compressor, etc.)

에어 케논의 성능

에어 케논 설치를 위한 용량과 수량이 결정되면 효과적인 성능을 위하여 고온용 노즐 설치가 다음으로 중요한 단계이다.

고온 노즐

팬 제트 노즐의 설치하는 하나의 빌드업 Layer를 생성시키기 위하여 벽면에서 25 mm 떨어진 위치에 되어야 하며 이로서 형성되는 추가적 25mm 두께의 빌드업은 내화물을 보호한다.

에어케논의 매 폭발 시 내화물은 빌드업 위에 형성된 빌드업이 내화물 위에 빌드업 된 것보다 청소가 쉽도록 라이너를 가지게 된다.

최선의 폭발 빈도 타이밍

“빅 블라스터” 에어케논 시스템은 항상 자동청소를 제공하고 재 폭발 시작 사이클 중 시간을 지키기 위하여 프리히터의 바닥에서 폭발기로 폭발한다.

폭발 사이클 중 최선의 대기시간은 연료와 킬른의 사용에 대단히 많이 좌우 된다.

폭발 타이밍은 프리히터 내부에 불필요한 먼지만 일으키는 미리 폭발하는 것을 반드시 피해야 한다.

한편으로는 견고한 빌드업의 원인이 되는 오랜 시간 후에 폭발하는 것을 피하기 위한 예방조치가 있어야 한다. 가장 최선의 시간은 먼지를 발생시키는 대신 빌드업 물질이 깨뜨리기에 그리 부드럽지 않은 큰 덩어리 조각들로 된 때이다.

멕시코의 CEMEX 사에서는 평균 매 20분마다 순서대로 폭발한다. 다시 말하면, 여러 다른 팩터 가운데 생산 능력과 연료 성향에 따라 다르다.

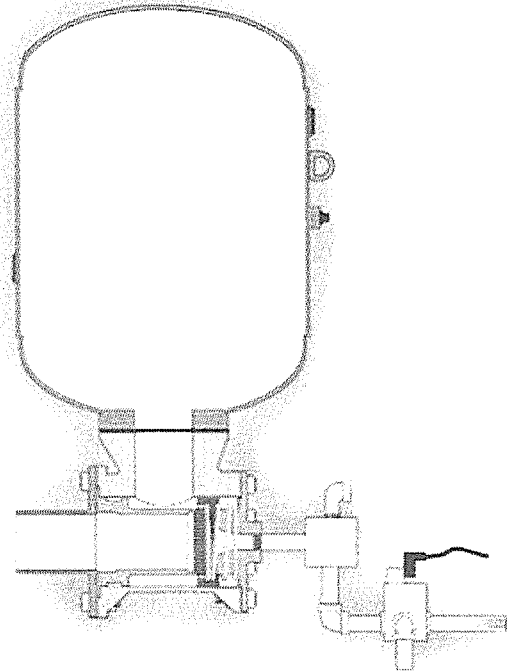
폭발 주기는 외벽 온도 변화에 따라 필요한 장소에만 에어 케논이 폭발하도록 전기신호를 보낸다.

에어케논, 프리히터의 열에너지 절약을 위한 간단한 방법

멕시코의 CEMEX사는 모든 여러 다른 팩터를 조합하여 열에너지 절약을 제공하고 투자비 회수를 숫자로 보여주는 좋은 성공 예입니다.

오늘 귀하와 함께 그 성공 케이스를 나누고 싶습니다.

1996년부터 CEMEX가 Coal, Pet-Coke 및 대체 연료의 변경을 결정한 이후 약 2,900 개의 BIG BLASTER XHV Air Cannons 을 멕시코 내에 있는 모든 CEMEX 시멘트 공장의 킬른들과 멕시코 외 다른 나라의 다른 사업장에서도 실제적으로 가동 중에 있습니다.



이 과정에서 “빅 블라스터” 에어케논을 CEMEX사의 프리히터 타워들에 사용함으로써 킬로그램의 시멘트당 클링커의 킬로칼로리 소비량을 줄이기 위한, 달리 말하면 열에너지 절약이 가능하도록 CEMEX의 공정 파트너가 되어 얻은 결과를 예로 듭니다.

에너지 절약을 위한 BIG BLASTER Air Cannons의 다섯 가지 중요 요소

1) 클링커 품질

여러 다른 부서와 최상의 원료품질 관리를 위한 여러 다른 공정들이 관련되어 있으나 명백한 과제는 클링커 품질을 유지하는 것입니다.

불행히도 종종 원료의 블록키지, 빌드업에 의해 유효공간을 감소시키거나 가동중지를 일으키는 압력, 유속, 온도 및 간섭 시간 변화 등으로 인해 열 공정상의 열 불균형이 클링커 품질의 등락을 초래한다.

BIG BLASTER XHV Air Cannons은 프리히터 내의 흐름을 방해하지 않고 공간을 깨끗하게 유지하면서 자동 열 발란스를 제공한다. 가스의 방향과 열이 반대로 흐르는 것은 내부공정에서

각각 고유 특성을 서로 적절하게 공유하여 흐름을 적합하게 할 것이다.

과열된 빌드업 물질은 적절한 클링커 반응 생성에 필요한 화학적 특성을 잃어버리기 때문에 빌드업을 줄이면 원료의 품질을 좋게 합니다.

효율적이고 지속적으로 싸이클론 내부를 청소하면 효율 감소 없이 압력이 떨어지는 것을 줄일 수 있다.

2) 클링커 량

프리히터(스모크 챔버, 싸이클론, 피딩 덕트, 라이저 덕트, 등등)에서 작동되는 BIG BLASTER XHV Air Cannons 시스템은 빌드업, 블록킹, 가동중단을 줄이고 생산성 향상을 유발하는 열 밸런스를 제공한다.

에어케논은 생산능력을 증가시키지는 않으나 프리히터를 블록키지나 고장발생이 없이 정상적인 생산계획에 따라 가동하게 해 그 만큼 생산을 늘리게 되는 것이다.

좋은 예로 적은 중단, 적은 빌드업/블록키지를 통해 1%의 생산 증가를 가정한다면

년간 100만톤 생산공장에서 1% 증가 = 10,000t.
1톤의 시멘트당 US\$15.00 이윤을 가정하면
년간 이윤이 US\$150,000.00가 늘어난다.

3) 내화물 수명

라이저 덕트나 feeding shield에 전통적인 내화물이나 때로는 콘크리트에 골재를 첨가한 내화물이 사용 된다. 내화물은 프리히터 내의 에너지를 보호하고 수명은 열 절연 과 매우 깊은 연관이 있다.

또한 온도 차와 화학 반응이 일어나는 프리히터의 설치위치와 사용방법에 따라 다르다.

내화물 두께의 수명은 빌드업 지점이나 청소 구역과 직접 관련이 있다. 프리히터 내부 벽의 내화물의 재래식 청소 방법 물과 공기 충으로 인한 열 충격이 빠른 마모의 원인이다.

마틴 엔지니어링은 기본적으로 에어제트가 항상 같은 방향과 각도에 있는 것을 확실히 하게

하기 위하여 전략적인 위치와 수명유지를 위해 내화 콘크리트로 항상 보호되는 장소에 에어케논 노즐을 설치한다. 이는 노즐을 벽면으로부터 25mm 떨어지도록 설치하여 추가적으로 보호가 될 수 있도록 하는 이유이다.

에어케논은 발생된 고가의 열의 유발을 피하기 위해 프리히터의 벽 내부의 고립된 열을 보호함으로 빌드업 방지뿐 아니라 에너지를 절약한다. 내화물과 콘크리트 두께수명을 12개월로 유지하여 열에너지 절약을 발생 시킨다.

4) 열 에너지 절약

1996년에, Cemex Hermosillo 는 멕시코 시멘트 제조자 그룹에서 프리히터에 완벽한 종합 에어케논 방식을 적용하기로 결정한 첫 번째 시멘트 공장이다.

이 공장은 33개의 BIG BLASTER Air Cannons 을 그때 당시 소형이었던 (1,000 clinker t/day) 프리히터에 설치했다.

BIG BLASTER Air Cannons 설치 가동 후, 15개월 동안 가동중단 없이 그리고 투자비가 5.4 개월 만에 회수 되어 국가 시멘트상을 수상했다. 연간 절약액이 \$246,375.00 USD이었으며 에어케논 가격은 \$124,503 USD 이었다.

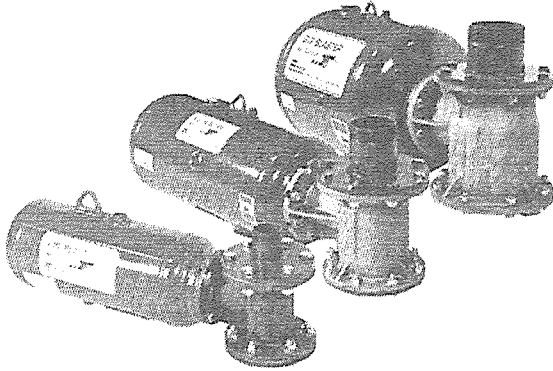
5) 타워의 안전

시멘트 업계는 작업장에서 무사고를 실현하기 위해 많은 노력을 기울인다.

그러나 1990년대 중반부터 새로운 대체연료들이 공정의 일부가 되면서 동시에 프리히터 청소나 검사 동안 발생하는 사고의 빈도수를 더욱 많이 촉발 시켰다.

BIG BLASTER XHV Air Cannons에 의한 자동 청소는 작업자들의 프리히터나 쿨러의 청소/검사 등 판에 박힌 작업 일과 중에 고온의 원료에 다치는 위험을 줄여준다.

한편으로, 200,000회 폭발(모든 에어 케논의 동작부품은 약 9년) 보증은 공장의 직원들이 타워 청소하는 대신 다른 작업활동을 할 수 있게 한다.



CEMEX Mexico Hermosillo 공장은 "빅 블라스터" 에어캐논의 사용으로 투자비를 회수 하였다.

설치 전 장비 가동 조건

- 매일 블록키지 청소를 위한 청소 횟수 : 120 minutes for shift
- 스크랩 청소인원for shift : 2 명
- 청소 시간 합계 : 6 hours / day
- 내화물 평균 수명 : 8 months
- 청소를 위한 생산능력 감소율 : 4%
- 클링커 일 생산 : 3,000 t/d
- 생산 손실 : 40 t/d

33개의 BIG BLASTER AIR CANNONS 설치 후

- 일별 빌드업 교정 횟수 : 3 회/day
- 빌드업 청소를 위해 필요한 교정시간 : 각각 20분
- 스크랩 청소인원for shift : 1명
- 청소 시간 합계 : 1시간/일
- 내화물 평균 수명 : 12 months
- 내화물의 수명연장으로 인한 연간 절약 : \$12,000.00
- 클링커 일 생산 : 3,040 t/d

시간당 생산 증가를 5 t/h으로 간주하여
 $(5 \text{ ton/hrs}) \times (24) \times (100) / 1.6 =$
 $\$750.00 \times (9555) \times (365) \times (0.9) = \$246,375.00 \text{ USD}$

결 과

- 공정의 최상의 안정으로 인한 연료 소비량 감소 3Kcal/Kg.Ck 에 따른 절약 = $1000,000 \text{ Kcal/day} * 1\text{Kg fuel} / 9,500\text{Kcal} * 1 \text{lt. Fuel} / 0.98\text{Kg fuel} * (0.600)(365)(0.9) / \text{lt fuel} = \$6,347.54 \text{ US/year}$
- 청소 인건비 절약 : $(\$ 4.5 / \text{d})(365) = \$1,642.5.$
- 총 사용 비용 $(\$200.00 \text{ monthly}) (12) = \$2,400.00$
- 호스 비용 : $(\$500.00 \text{ monthly}) (12) = \$6,000.00$
- 생산 톤수 증가 : = 40 t/d

이윤 합계

- 호스 비용 \$6,000.00 a year
- 총 사용 비용 \$2,400.00 a year
- 인건비 \$1,642.50 a year
- 내화물 \$12,000.00 a year
- 생산 증가 \$246,375.00 a year
- 연료 소비 감소 \$6,347.40 a year
- 연간 총 절약액 = \$274,764.90

(주) : 모든 비용은 미화 US dollars 임

절약 합계 = \$274,764.90
 장비 비용 = \$124,749.00
 회수 기간 = 5.4 months

결 론

시멘트 소성 공정에 적절한 수량과 용량, 위치 및 폭발 횟수를 고려한 에어캐논 설치는 프리히터, 킬른 및 쿨러의 화학 반응 공정을 유지하는데 도움이 될 뿐만 아니라 빌드업, 블록 키지, 고장중단 없이 에너지를 절약 (about 3 K/Cal /Kg clinker)하고, 생산성을 증대(about 1.8% average)시키며, 클링커의 품질향상을 가져오며 안전한 작업환경을 만들고, 셀 외부 열전도를 피하기 위한 내화물의 수명 향상을 가져옵니다.