

로타리 키른 버너의 最近 技術動向

徐 壽 龍 (譯)

〈東洋시멘트(株) 生産管理部 次長〉

1. 서 론

로타리 키른 버너는 키른 연료소비량, 키른 운전, 크링카의 품질 그리고 질소산화물의 생성에 매우 중요한 영향을 끼친다. 그러므로 정교한 버너 기술이 더욱 더 중요하다. 70년대와 80년대를 통해 많은 구형의 습식·건식 키른들이 현대식 프리히터와 precalciner 설비로 대체 되었다. 뿐만 아니라 일반적인 直接燃焼 시스템이 보다 정교한 燃焼 시스템으로 대체되었다.

燃焼 시스템이 보다 발전됨에 따라 1차 공기량이 더욱 더 낮아져 키른 연료 경제성이 향상 되었다. 보다 정교한 버너를 도입하고 석탄건조시 나오는 증기는 키른 속으로 유입되지 않는다는 사실을 적용함으로써 부수적인 개선 효과를 얻을 수 있었다. 새로운 버너는 운전 조정을 위해서 작업자에게 일반적인 One-channel 버너가 제공하는 것보다 더 많은 특징을 주었다. 새로운 버너 기술이 도입됨에 따라 일반적인 火焰 모양도 변하고 있다. Straight 버너 파이프는 길고 火焰이 발산되지 않는 반면에 새로운 버너는 짧고 火焰이 발산된다. 새로운 석탄 火焰은 연료로서 Oil을 사용했을 때 나타나는 火焰과 같이 짧고 Bushy하고 亂流가 많은 형태를 보인다. 짧고 발산하는 火焰은 연료와 연소 공기와의 빠른 혼합을 확실하게 하여 보다 효과적인 火焰을 내게 한다.

새로운 제3세대 버너가 86년경 시장에 소개되었

다. 이 버너는 약간 길고 최소한의 火焰 변동이 있다. 버너 출구 속도가 높은 비 발산 火焰은 이러한 유형의 火焰이 1차 공기량이 적을 때 높은 온도를 낼 수 있다는 사실을 보여주고 있으며 게다가 보다 많은 발전으로 질소산화물 형성 감소의 가능성을 보여주었다.

서로 다른 火焰 개념으로서 다음과 같은 3개 세대의 버너로 구별할 수 있다.

① One-channel 버너(가늘고 긴 火焰)

② Multi-channel 버너(짧고, 발산하고, 많은 亂流를 가진 火焰)

③ Multi-channel 버너(최소한의 亂流로서 비 발산하는 火焰)

어떠한 세대의 버너이든간에 이상적인 버너는 다음과 같은 요구 조건을 만족시킨다.

① 열의 경제성을 최적화시킨다. ② 크링카 요구 품질을 만족시킨다. ③ 작동시키기 편하다. ④ 낮은 양의 질소산화물을 생성한다.

2. 최적의 열 경제성

로타리 키른의 소성대에서의 火焰과 원료사이의 열 전달은 주로 복사에 의해 이루어진다. 복사열 전달은 火焰 온도의 4번째 힘에 의해 증가한다. 대류에 의한 열 전달은 뜨거운 연소 가스와 내화연료가 kiln feed와 직접 접촉될 때에만 가능하다. 시험 결과치와 매일매일의 운전 결과를 통해 가장 높

은 火焰 온도는 짧고 치밀한 火焰일 때라는 것을 알았다.

Haupt¹⁾에 의하면 석탄 입자가 건조되고 승온된 후 점화가 일어나는데 고온에서 일산화탄소, 메탄 그리고 다른 가연성 성분이 유출된다. 이러한 가스들은 1/100초 이하의 극도로 짧은 시간내에 연소한다. 그 짧은 시간이 지난 후에 남아 있는 코크스는 연소 시간의 대부분을 소비하면서 탄다. 全燃燒過程은 주위 조건 특히 온도와 유효산소뿐만 아니라 휘발성 물질의 종류, 입자 크기와 표면에 따라 크게 변한다. 짧고 높은 온도를 내는 火焰은 빠른 혼합과 점화, 연료·산소와의 화학반응에 의해서만 이루어질 수 있다. 연소율은 위에서 말한 단계중 가장 늦은 단계에 좌우된다. 또한 점화와 화학반응이 아주 빠른 반면에 혼합은 느리다. 연료/2차 공기 혼합은 Jet 흡입으로서 일어난다. Thring/Newby²⁾에 의하면 질량의 흡입은 두가지의 주요 매개변수에 의해 영향을 받는다. 이 두변수는 1차 공기와 2차 공기 속도비 그리고 1차 공기량과 2차 공기량과의 비이다.

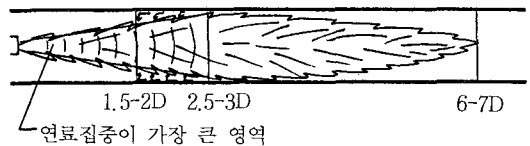
Burner tip은 Injecion nozzle의 역할을 하며 1차 공기와 2차 공기의 상대 속도는 Jet의 경계선에서 마찰이 일어나게 한다. 1차 공기와 2차 공기간의 마찰은 2차 공기가 火焰속으로 流入된다는 사실을 뜻한다. Jet는 흡입공기로 인해 Jet 속도가 Jet 주위의 속도와 같아질 때까지 팽창한다. Jet stream은 2차 공기를 火焰속으로 유입시킬 뿐 아니라 火焰가스를 키른을 따라 계속해서 흡입시킨다. 이와 같이 일어나는 가스 재순환은 보다 빠른 혼합과 연소효율 향상을 위하여 필요하며 또한 Staging(일단 분리된 후 다음 점화까지의 일련의 작업) 연소라고 불린다. 그 비율이 클수록 모든 2차 공기가 火焰속으로 흡입되는 지점과 버너 팁 사이의 거리는 짧아진다.

Multi-channel 버너가 70년대 말 개발되었을 때 가장 중요한 것은 1차 공기량이 적을 때 연료와 2차 공기의 빠른 혼합이었다. 이것은 높은 1차 공기 속도, 渦流 작용 그리고 발산하는 석탄/1차 공기 출구방향에 의해 달성되었다. 석탄입자는 원칙적으로 뜨겁고 산소가 풍부한 2차 공기 흐름속으로 흡입된다. 火焰의 가장자리뿐만 아니라 중앙에서 火焰 가스의 재순환은 빠른 점화를 확실케 한다.

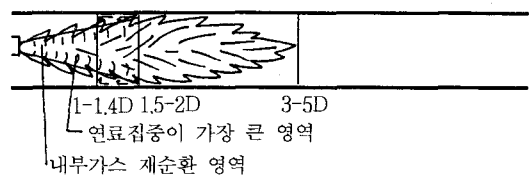
JR Tucker & Assoc.社가 80년대 중반에 TURBOFLAME 버너를 개발했을 때 새로운 연소 이론이 전개 되었다. 그 이론은 다음과 같다.

즉 연소 속도는 연소입자 표면의 아주 얇은 경계층에 걸친 산소가스의 확산에 의해 제한되며 역시 연소되는 입자와 아직 연소가 시작되지 않은 연료입자 사이에서의 복사열의 밀도에 의해 제한된다는 것이다. 가스의 확산 속도는 연료입자와 주위의 가스 흐름 사이의 속도차를 증가시킴으로써 증가될 수 있다. 그리고 주어진 온도차에서의 복사열의 흐름은 입자간의 평균거리를 줄임으로써 증가된다. 강제대류 혼합은 渦流와 발산작용에 의해 이루어지는데 실제적으로 연료 농도와 속도차를 감소시킨다. 이러한 사실로부터 火焰 온도 피크와 입자 연소속도가 감소된다는 결론에 이를 수도 있다. 그러므로 최소한의 변동으로 최대속도를 가진 노즐로부터 eject된 Hollow 실린더 형태의 농축된 연료의 流線은 火焰 표면적, 산소의 가스확산 그리고 복사열 밀도를 최대화시킨다. 그 후에 Pillard와 Polysius社는 수정된 형태의 새로운 원리를 추구했다. 그 세가지 다른 형태의 火焰이 <그림-1>에 나타나 있

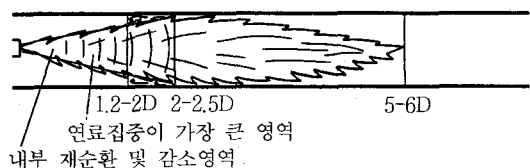
Axial화염, 단일경로 버너



발산화염, 다수경로 버너

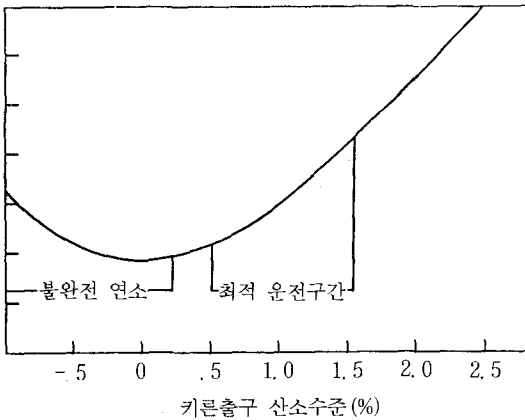


비 발산화염, 비 발산하며 속도가 높은 버너



<그림-1> 화염의 3가지 형태

출구가스 열 손실



〈그림-2〉 키른 출구 산소의 열 손실에 대한 영향

다.

연료와 2차 공기의 완전한 혼합은 각각 보다 낮은 過剩 산소 수준에서 높은 火焰 온도에 도달하는데 중요할 뿐만 아니라 완전연소 상태에서 키른 시스템을 가동시키는 데도 중요하다. 최적의 키른 출구 가스 산소 수준은 출구 가스의 부피와 온도를 줄임으로써 연료의 경제성을 향상시킬 수 있다. 최적의 산소 수준보다 낮은 수준에서의 火焰 길이는 길어지고 연소는 불충분하게 된다. 그 결과는 가연성 물질이 키른 출구에서 잔존되고 火焰 온도는 낮고, 키른 출구 가스 온도가 높게 된다. 〈그림-2〉에 전형적인 건식 프리히터 키른 시스템에 있어서 키른 출구 산소의 열손실에 대한 영향이 나타나 있다. 곡선의 최소점은 버너 시스템에서의 연료와 2차 공기와의 혼합 효율의 거의 완전한 함수이다. 키른 운전 상태가 곡선의 최소점에 근접할수록 키른 출구 가스의 열손실은 낮아진다.

3. 크링카 품질

과거의 관찰에 의하면 담황색의 크링카 중앙부로부터 자주 표현되는 환원 소성 분위기는 발산하는 火焰을 가진 키른에서 자주 나타났다. 그 이유는 확실히 발산하는 火焰이 키른 공간의 대부분을 채우고 심지어 키른 feed와 접촉하기 때문이다. 거꾸로 비 발산하는 火焰은 키른 단면적 전체를 채우지 않

며 또한 같은 분량의 연소가스를 순환시키지 않는다. 환원 소성 분위기는 잘못 설치된 버너에 의해서 자주 야기된다. 일반적으로 버너는 수평이 되어야 하고 키른 축과 평행이 되어서는 안된다. 火焰 자체는 온도가 높기 때문에 어떠한 경우에도 위로 상승한다. 크링카 광물학에 대한 평가 기술이 Ono에 의해 도입된 후 작은 광물을 생산하고자 할 때 짧은 火焰이 요구된다는 사실을 알게 되었다. 이러한 요구는 Art type 버너들의 모든 상태에 따라 수행된다. 짧은 火焰을 생성시킴으로써 나타나는 알칼리 감소, 크링카 계수, 강도 발현, 분쇄성에 관해서 크링카/시멘트 성질을 감소시킨다는 보고서들은 다른 공정변화에 더 관련되어 있다는 의견이다. 우리는 조직에서 이러한 경험들을 아직까지 해 보지 못했다. 새로운 버너 기술과 間接燃燒系(Indirect firing system)에 의하여 연료량 제어가 탁월하여 온도 제어가 향상되었으며 그 결과 free lime 제어가 허용치내의 증가된 수준에서 향상되었다.

4. Nox 생성 감소

화석 연료의 연소 과정에서 형성되는 질소산화물에 대한 관심이 계속 커져왔기 때문에 질소산화물의 생성 메카니즘에 대해서 간단히 설명하고자 한다. 환경에 대한 관심 때문에 시멘트 산업의 로타리 키른에서의 질소산화물의 생성과 활동 메카니즘에 대한 연구가 본격화되었다. 또한 질소산화물의 배출이 낮은 새로운 버너 기술의 개발에 상당한 노력이 기울여져 왔다. 현재까지의 지식으로는 연소과정에서의 질소산화물 발생원으로는 대체로 서로 다른 3개가 있다. 이 발생원들은 질소 발생원의 종류와 반응의 위치에 있어서 서로 다르다.

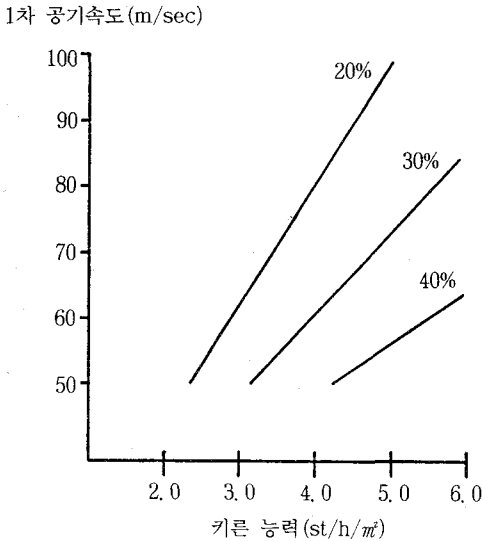
이 세가지 발생원은 ① 연료에서 질소와 화학 결합한 질소산화물의 생성 ② 대기중의 질소와 산소로부터의 질소산화물(NOx) ③ 연소공기의 질소와 산소 분자로부터의 열에 의한 질소산화물이다. 첫번째의 두 발생원은 어쩔 수 없지만 세번째의 가장 큰 발생원은 최적의 연소 공정에 영향을 끼칠 수 있다. Zeldovich 이론에 의하면 온도, 산소 수준 및 체류 시간을 증가시키면 NOx의 생성은 많아진다. 이러한 변수들은 火焰의 유형에 따라 상당히 영향을 받

는다.

5. 미분탄

단일경로 버너(Single channel burner)는 현재 사용되고 있으며 향후에도 直接燃焼系가 채용되는 한 널리 사용될 것이다. 실제적으로 이 버너는 여러해 동안 시멘트 산업에서 잘 운용되는 버너이다. 15~45%의 높은 1차 공기량은 높은 Jet 운동량을 확실하게 하여 바람직한 혼합 상태를 유도한다. 높은 1차 공기량 외에 단점이 있다면 버너의 turn-down ratio가 제한되어 있으며 시운전기간 동안에 火焰의 안정성이 좋지 않다는 점이다.

그 외에도 단일경로 버너는 운전중에 火焰 형태를 변화시킬 수 없다. 단지 1차 공기량과 1차 공기/석탄 버너의 출구 속도만이 작은 범위에서 조정될 수 있다. 밀 시스템에 있어서의 운전장에는 곧바로 키 큰 공정에 영향을 미친다. 대부분이 直接燃焼系에서 버너 출구 속도는 그 시스템 1차 공기량에 관계 없이 대략 40에서 60m/s에서 운전된다. 우리는 <그림-3>에서 볼 수 있듯이 1차 공기 속도와 키 큰 단위 생산량의 관계에 대해서 매우 좋은 경험을 하였다.



<그림-3> 1차 공기 %와 키 큰능력에 따른 최적 1차 공기 속도

6. Two-channel 버너

단일경로 버너가 좀더 개발되어 2경로 버너(Two-channel burner)가 나왔는데 이는 半直接燃焼系와 直接燃焼系에 사용되며 다수경로 버너(Multi-channel burner) 전단계 버너이다. 자체에 보조 air fan이 설치되어 있는 渦流 air channel로 인하여 버너 火焰이 조정될 수 있게 되었다.

7. Multi-channel burners

약 10년전 대부분의 유럽 시멘트 생산업자들이 오일이나 가스 대신에 석탄을 연료로 다시 사용하게 되었을 때 혁신적인 신 버너 기술이 도입되었다. 동시에 直接燃焼系가 間接燃焼系로 대체되었다. 즉 Oillard사가 처음으로 三管 버너를 개발하였고 뒤이어 바로 FL Smidth사와 KHD사가 자체 고유 모델로 개발하였다. 뒤이어 두개의 서로 다른 미분 연료를 공급할 수 있는 4경로와 5경로 버너가 나왔다. 5경로 버너는 심지어 석탄, 키 큰, 가스를 동시에 연소시킬 수 있다. 三管 버너가 비록 間接燃焼系용으로 개발되었지만 어떤 형태의 燃焼系용으로도 설계되어 半間接燃焼系뿐 아니라 半直接燃焼系에도 적합하게 할 수 있다. 이 두가지 버너는 수백기 설치되어 그들의 적응성과 신뢰성이 입증되었다. 새로운 버너의 주요 장점은 一管 또는 二管 버너와 비교하여 상당히 낮은 1차 공기량에서 보다 짧고 보다 발산하는 火焰을 만드는 것이다. 게다가 그 버너는 운전중에 火焰 형태를 폭넓게 조절할 수 있는 탁월한 장점을 갖고 있다.

버너 중앙부의 Jacket 파이프에 보조 연료인 기름 또는 가스용 노즐이 설치되어 있다. 내부관으로 渦流가 통과하는데 이 渦流는 1차 공기 미분탄에 회전력과 분산력을 준다. 그 다음의 외부관은 석탄용 관인데 이 관은 직선방향 혹은 분산 방향으로 주어질 수 있다.

最外流管은 軸 방향의 관인데 渦流 혹은 분산 작용은 없다. KHD사의 PYROJET 버너는 약간 다르다. 外流는 원통 모양의 둥근 노즐 대신에 단일 Jet로부터 吐出된다. 이것은 Jet의 표면과 1차, 2차 공기 사이의 마찰을 증가시키기 위해 이루어진다.

火焰 모양은 버너 뒷부분에 있는 댐퍼를 사용하여 渦流와 外流의 量과 비율을 다양하게 변화시킴으로써 이루어진다. 이 세 회사 모두 다 버너 管 자체에서의 유속을 낮게 설계하여 그 시스템의 압력 손실이 낮아져 버너 출구에서의 유속이 높아졌다. 渦流와 外流용 노즐은 유속이 낮은 1차 공기량을 의미하는 70~130m/s가 되도록 설계한다. 버너 출구에서의 유속을 높게 하기 위하여 1차 공기 fan은 약 50"WG의 정압을 전달하여야 한다. PYROJET 버너는 버너 출구에서의 渦流 속도를 140~160m/s까지 그리고 Jet air 속도가 350~450m/s가 되도록 설계한다. PYROJET 버너의 노즐 출구 속도가 극히 높기 때문에 渦流 fan의 압력이 약 60"WG, Jet air Blower의 압력이 약 14 PSI가 되도록 요구된다. 모든 버너에는 약 20~22m/s의 가능한 한 가장 낮은 유속을 낼 수 있도록 설계된 석탄 노즐이 있다. 이 낮은 유속은 三管 버너의 주요 특성중의 하나이다. 이러한 낮은 유속으로 버너 노즐의 마모율은 매우 낮으며 또한 火焰 모양이 효율적으로 형성된다.

실제적인 경험에 의하면 VR3-K와 SWIRLAX 버너의 경우 약 8~12%의 총 1차 공기로 운전이 가능하다. 外流부분에 4~6%, 渦流부분에 약 3~4%의 1차 공기가 필요하다. PYROJET 버너는 6~9%의 1차 공기로 운전된다. 渦流는 약 2.5~4%, Jet 流는 1.6~2% 정도에 달한다. 경험에 의하면 운반 공기의 양은 약 2~3% 되어야 한다. 최소한 0.2m³/kg의 석탄을 高 밀도로 운반하려면 높은 압력의 송풍기 혹은 콤프레서가 필요하다. 운반 속도는 펄스가 없고 마모율이 작은 운전이 될 수 있도록 22m/s 이하에서 운전되어서도 안된다. 어떤 공장들은 1차 공기용으로 渦流用 fan 뿐만 아니라 外流用 fan을 각각 1대씩 설치한다. 이 배치는 渦流와 外流를 각각 따로따로 조절할 수 있는 이점이 있다.

당 공장의 VR3-K와 SWIRLAX 버너 운전 경험은 대체로 아주 좋았으며 PYROJET 버너는 아직 운전 경험이 없다. 火焰의 모양을 폭넓은 범위로 조정 가능하므로 각 버너를 키 큰 시스템의 특별한 요구조건에 맞춰 조절할 수 있게 되었다. 화염의 길이와 직경은 각각 별개로 변화시킬 수 있다.

이와 같은 결과는 키 큰 운전의 최적화뿐만 아니

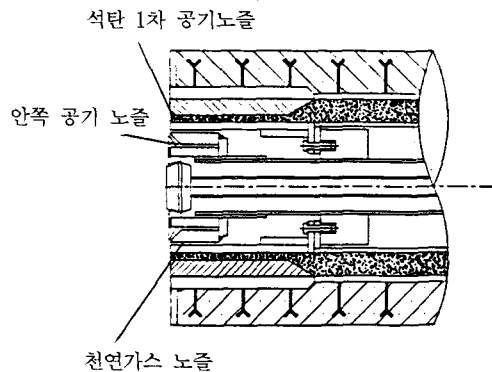
라 코팅형성, 키 큰 셀 온도제어 그리고 크링카 품질에 지대한 영향을 주는데 아주 유용하였음이 입증되었다. 약 4:1의 turn-down 비율은 확실히 始 運轉 동안에는 매우 도움이 된다. 1차 공기량은 천천히 올릴 수 있으므로 키 큰 예열의 초기 단계에 火焰이 매우 안정되어 있다.

버너 전체의 마모율은 아주 양호하다. 보통 三管 버너들은 질소산화물의 생성을 감소시키는데 보다 유리하다. 그러나 몇몇의 실험 결과들은 반대로 나타난다. 어떤 저자들은 긴 火焰보다 짧은 火焰이 질소산화물의 생성을 감소시킨다고 발표한 바 있다.

이러한 논쟁의 이유는 길고 짧은 火焰의 개념이 질소산화물 생성의 결정적인 요인을 충분히 묘사하고 있지 않기 때문이다. 보다 낮은 질소산화물의 배출이 PYROJET 버너가 도입된 광범위한 실험에서 입증된 것으로 보도 되었다. KHD社는 보다 제어하기 쉬운 燒成帶 온도와 Jet는 火焰 주위에 낮은 온도의 veil을 친다는 사실로서 보다 낮은 질소산화물의 생성을 입증하고 있다. 게다가 높은 Jet 속도는 석탄 입자들이 火焰 밖으로 나가는 것을 허용하지 않을지도 모른다. 30%까지의 질소산화물 감소가 보고 되었다.

8. Tucker & Assoc, TURBOFLAME Burner

80년대 중반 전혀 다른 새로운 방향의 버너 설계



〈그림-4〉 TURBOFLAME 버너 노즐 배치도

가 미국 시멘트 산업에 도입 되었다. JR TUCKER & ASSOC. 회사는 TURBOFLAME 버너를 개발했다. 이 버너는 제3세대의 첫번째 버너로 묘사될 수 있다. 새로운 연소 이론을 적용함으로써 크링카 품질, 에너지 효율, 총괄적인 시스템 운전에 관한 지대한 개선점들이 발표되었다.

모든 석탄은 버너 후면에 접선 방향으로 들어가기 전에 모든 1차 공기와 혼합된다. 100% 용량의 천연가스도 버너 후면에서 공급된다. 예비보조공기 fan이 가스 연소시 냉각목적으로 중앙관과 메인 석탄 운반라인에 연결되어 있다. 버너의 노즐 단면이 <그림-4>에 나타나 있으며 기본적으로 두개의 등근 노즐로 구성되어 있다. 바깥쪽 노즐은 1차 공기와 석탄의 혼합물을 분출하며 안쪽 노즐은 천연가스를 분출한다. 이 두 노즐은 직선적이고 渦流나 발산 작용은 없다. 중앙의 공기 노즐은 낮은 압력의 보조 공기 fan으로부터 깨끗한 공기를 공급 받는다. 이 안쪽 공기 노즐은 火焰 형태의 큰 변화가 요구될 때만 이용된다. 예를 들면 코팅 형성이 너무 지나쳐서 떼어내려고 할 때이다.

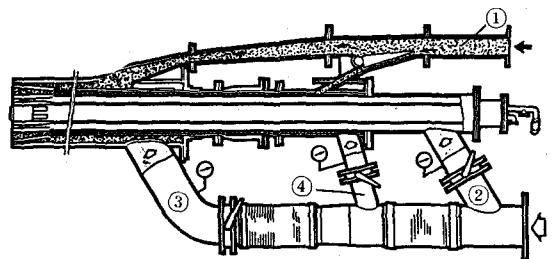
Lehigh 포트랜드 시멘트社는 87년 Precalciner 킷 중 하나를 直接燃燒系에서 間接燃燒系로 대체시켰다. 그 주요 목적은 1차 공기량을 약 28%에서 10%로 낮추어 연소 상태를 향상시키는 것이었다. Tucker社의 새로운 TORBOFLAME 버너가 2관 PILLARD 버너를 대체시켰다. 우리는 운전 개시 즉시 몇 가지 조작상의 문제를 경험했다. 모든 공기는 낮은 압력의 보조 fan에 의해 공급된다. 연료를 가스에서 석탄으로 전환할 때 (그 반대도 마찬가지임) 3개의 모든 밸브는 정밀하게 조정되어야 하는데 이 때 많은 문제점이 발생된다. 좋은 가스 火焰을 형성하기 위해 主 石炭 blower를 가동시켜야 한다. 만일 석탄 운반 라인의 메인 밸브가 적절하게 조절되지 않으면 火焰이 형성되지 않는 경우가 빈번하게 일어난다. 공기 밸브가 높은 압력의 석탄 운반 라인에 설치되어 있기 때문에 밀폐시키기가 어려워 석탄이 보조 공기 라인에 침투하게 되어 보조공기 fan을 일정하게 작동시킬 필요가 있다.

석탄과 코크스의 혼합물을 연소시키기 때문에 버너 출구 속도가 약 100m/s로 매우 높아 버너 팁에서의 마모가 매우 높아진다. 내마모 재질이나 팁의 경화 처리로도 상황이 개선되지는 않았다. 중앙의

분산 공기를 사용하여 火焰 형태를 변화시키는 방안도 충분하지 않았다. 그리고 火焰이 너무 혼란되어 키른을 정상적으로 운전할 수 없었다. 또한 석탄재가 노즐을 막아 버리기 때문에 중앙 공기를 활용할 수가 없었다. 또 하나의 단점은 버너의 투입 방향이 전형적인 작은 각도의 축 방향 대신에 접선 방향이다. 현재의 설계로 인하여 석탄 노즐 全面에 걸친 일정한 석탄분포에 관한 문제점이 야기되었다. 석탄이 가끔 노즐의 일부분에 집중되는 것 같다.

밀도 있는 비 발산 火焰을 생산하기 위한 전반적인 시도가 잘 해결되었다. 그 버너는 뜨겁고 약간 긴 火焰을 형성하여 일정하고 안정된 코팅을 형성하게 되었다. 알칼리 감소는 불변된 by-pass 量에서 일정하거나 약간 향상 되었다. 크링카의 분쇄성 뿐만 아니라 크링카, 시멘트 품질의 향상은 다른 저자들이 발표한 것처럼 실현되지 않았다. 현미경 연구결과 개조 전후의 크링카 광물 조성에 어떠한 변화도 없었다. 이러한 프로그램 전체는 키른 운전의 전반적인 효율을 향상시켰다. 키른 능력이 약 5% 증가한 반면 연료 소비는 약 5% 감소했다. 버너 그 자체가 얼마나 많은 신뢰를 받을 만한 가치가 있는가에 대해서는 대답할 수 없다. 개조 전후에 신뢰할 만한 질소산화물 측정은 시행되지 않았다.

대체적으로 우리는 석탄을 가능한 한 장애가 없이 속이 빈 실린더를 통해 분출시키려는 시도가 잘 해결 되었다고 믿고 있다. 火焰이 실제적으로 1차 공기 조절에 의해 변경될 수 없다는 사실은 중요한 결점이다. 게다가 매우 높은 마모율을 해결하여 버



- ① 석탄운반라인
- ② Stabilising air channel
- ③ Ring air channel
- ④ Diffuser air channel

<그림-5> POLFLAME 버너 일반 배치도

너 팀 수명을 적어도 2년으로 연장시키는 것이 필요하다. 이러한 문제는 보다 최신식의 버너 팀 설계로 해결될 수 있을지도 모른다.

9. Polysius社 POLFLAME Burner

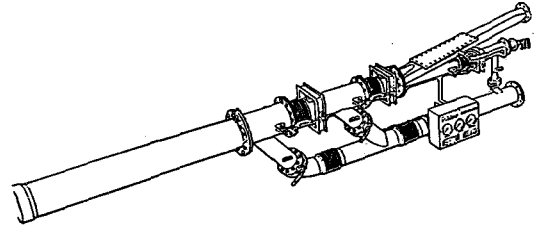
아주 흥미있는 새로운 개념이 Polysius로부터 도입되었다.

Polysius社의 새로운 POLFLAME 버너는 석탄이 버너를 떠나기 전에 모든 1차 공기와 혼합되는 버너의 범주에 속한다. 여기서 석탄 운반 공기는火焰의 모양 형성을 위해 유용하며 전체적인 1차 공기 요구량을 줄일 수 있다. 이 버너의 일반적인 디자인이 <그림-5>에 나타나 있다.

주요 석탄 운반라인을 통해 공급되는 모든 석탄은 정상가동 동안에 2개 管으로 분배되어 1차 공기 fan의 여분의 1차 공기와 혼합된다.

석탄 全量의 70~90%가 메인 링 노즐로 분배되고 10~30%가 양쪽의 분산 노즐로 분배된다. 양쪽 管으로 들어가는 석탄과 공기의 양은 수동 밸브에 의해 조절될 수 있다. 양쪽 管으로 들어가는 공기량 배분을 변화시킴으로써 출구 속도는 영향을 받게 되어火焰의 모양이 변한다. 渦流는 시운전 동안에 중앙 노즐을 통해 공급되어 초기 단계의火焰을 안정시킨다. 바깥쪽의 Ring jet는 전혀 渦流 작용이 없다.

석탄/공기 출구 속도는 약 60~90m/s이며 약 45"WG의 1차 압력을 필요로 한다. Ring 노즐은 2차 공기의流入을 많게 하기 위하여 직경이 커 연료/공기 표면적을 증가시키고 Jet 흐름의 두께를 감소시킨다. 빈 원통형의 직선형 Jet는 그 중앙에서 음의 압력을 나타낸다. 이러한 음의 압력 때문에 Jet가 짧은 거리를 지나서 쇠약해져 활동면적을 감소시킨다고 Polysius社는 추정한다. 분산 노즐로 분배되는 작은 양의 석탄은 이러한 Jet의 쇠약을 방지시킨다. 분산 노즐은 공기/석탄 속도를 감소시킬 목적으로 설계된다. 점점 팽창하는 fume은 메인 Jet의 와해를 피하게 할 뿐만 아니라 열에 의한 질소산화물의 양을 낮추기 위한 선결조건인 내부 환원 분위기를火焰에 제공한다. 연소과정은 공기와 석탄만의 혼합물에 의해서 더 이상 영향을 받지 않을 뿐만 아니라火焰의 중앙에서의 외부 반응에 의해서



<그림-6> ROTAFLAM 버너의 일반 배치도

도 영향을 받지 않는다.

빈 원통형의 Jet가 渦流作用이 없기 때문에火焰 내부에 있는 석탄입자의 체류시간과 밀도가 증가함으로써 산소가 많은 분위기에서 연소되는 석탄의 양을 작게 한다.

대부분의 POLFLAME 버너들은 약 8% 1차 공기량으로 운전되어 매우 높은 효율적인 연소 조건들을 갖추게 된다. 경험상 마모 문제는 대체로 좋았다. 이러한 만족할 만한 마모율은 버너 노즐 단면의 기계 역학적 설계, 耐마모鋼의 사용, 비교적 낮은 버너 출구 속도 때문이라고 생각한다. 초기에 50%까지의 질소산화물 감소를 이룬 아주 좋은 결과로 Polysius는 그 설계 개념에 열광했다. 그럼에도 불구하고 최근 장치에서 약간의 질소산화물의 감소 결과 때문에 Polysius社는 개발을 중지하고 그 계획도 중단시켰다.

10. Pillard ROTAFLAM Burner

질소산화물 배출의 감소에 대한 환경적인 관심 때문에 Pillard는 새로운 버너를 개발하게 되었다. 이 보고서를 쓰고 있을 때 새로운 버너가 시장에 막 소개되었고 두 개의 시멘트 공장에서 집중적으로 시험되고 있었다. 이 버너의 주요 목적은 키른에서의 열에 의한 질소산화물의 생성을 감소시키는 것이었다. 두번째 목적은 필요한 1차 공기의 사용을 보다 감소시키는 것이었다. 그러므로 그 새로운 디자인의 목표는 다음과 같다.

① 가능한 낮은 1차 공기량으로火焰 안정성의 최대화 ②火焰 온도 분포의 균일화 ③火焰 중심에서의 낮은 산소농도 ④火焰 효과의 상승 ⑤火焰 중앙에서의 연료농도 상승
전체적인 버너 디자인이 <그림-6>에 나타나 있다.

이 새로운 버너는 외형을 보면 마치 잘 알려진 三管버너와 흡사하다. 이 버너의 목적은 이전의 버너에서도 잘 적용 되어온 구성요소와 개념을 계속적으로 사용한다는 것이었다. 火焰의 모양은 바로 텅 끝에서의 각 구성요소의 공기량과 비율을 변화시킴으로써 이루어진다.

이러한 사실은 공기의 운동에너지 전체가 예전에 공기량을 조정하기 위하여 사용되어 왔던 버터플라이 밸브에서 소비되기보다는 오히려 텅에서 사용된다는 것을 의미한다. 안쪽 파이프의 축성 운동을 통하여 渦流 노즐 opening은 안쪽 파이프의 直流 운동으로 보다 높이기 위하여 크기에 있어 변경될 수 있다. 그럼에도 불구하고 새로운 요구를 만족시키기 위하여 본래의 三管 버너에 폭넓은 개조가 이루어 졌다.

① 기름 또는 가스 노즐을 지지하고 있는 중앙의 Jacket pipe는 아주 작은 양의 공기를 사용하는 새로운 종류의 火焰 안정장치(Stabilizer)에 둘러 싸여 있다. 이 火焰 안정장치는 보조연료 및 통상연료에 있어서의 火焰을 안정시킨다.

② 渦流管은 석탄/공기 또는 가스관의 바깥쪽에 위치하고 있다. 출구 공기 속도는 150~170m/s로 설계되어 있다. 渦流 노즐은 분산작용이 전혀없다.

③ 바깥쪽의 파이프는 'bowl' 효과를 얻기 위해 버너 텅 자체보다 약간 멀리 들어간다.

현재 보일러용 버너로 쓰이고 있는 火焰 안정장치는 총 연소공기 요구량의 0.5%만을 사용하며 개선전 내부 재순환을 유도한다. 공기를 최소한으로 공급하면 火焰의 중앙에서 산소의 이용도가 감소한다. 특히 키른이 냉각된 상태에서 火焰의 안정성이 향상되어 초기 단계에서 석탄으로의 전환이 가능하다. 발산작용이 없는 火焰의 안정화와 매우 안정된 석탄/1차 공기 흐름은 火焰 중앙부에서의 연료 밀도를 확실히 높여 준다. 게다가 火焰 안정장치는 석탄재가 버너 중앙부를 막지 못하도록 석탄재를 제거한다. 渦流 구성 요소가 석탄 노즐 주위를 둘러싸고 있기 때문에 석탄 粗粒子가 火焰 중심부의 바깥으로 쉽게 튀어 나가지 않는다는 사실이 입증된다.

渦流는 火焰을 안정시키기보다는 단지 혼합기능을 강화시키기 위한 수단으로 사용되기 때문에 1차 공기량 전체는 석탄 운반 공기를 더해서 5%까지 낮게 감소시킬 수 있다. 두 공장에서의 실제적인 운

ROTAFLAM 버너 운전결과

〈表-1〉

| 버너 형태 | 3-channel | ROTAFLAM |
|---------|----------------------------|--|
| 1차 공기량 | 12.5% | 6.9% |
| 크링카생산능력 | 2,995 t/d | 3,100 t/d |
| NOx 방출 | 1.1 kg/t-cl ⁽¹⁾ | 1.05 kg/t-cl ⁽²⁾ 0.90 kg/t-cl ⁽³⁾ |

註 : 1) 석탄 70%, 천연가스 30%.

2) 석탄 100%.

3) 석탄 91%, 폐연료 9%(2차 연소)

전 경험 실적은 양호한 것으로 보고 되었다. 실제 버너 운전 결과는 〈表-1〉과 같다. 表에서 볼 수 있듯이 1차 공기량 전체는 12.5%로부터 6.9%까지 감소되었다.

그 공장은 종전에는 三管의 PILLARD 버너를 사용했다. 또한 그 공장은 버너 텅에서의 양호한 석탄 점화와 안정된 高 밀도 火焰을 발표하고 있다. 火焰 길이 전체는 증가했지만 燒成帶 온도와 코팅 분포를 일정하게 하였다. 질소산화물의 배출에 관한 효과에 대해서는 키른이 새로운 버너로 설치되었을 뿐 아니라 다른 부문에서도 개조되었기 때문에 그 결과가 의문스럽다. 그럼에도 불구하고 질소산화물은 운전방법에 따라 5~18% 감소되었다. 그 공장은 두번째 설치에서 질소산화물 배출을 1.9lbs/톤까지 상당히 감소시킬 수 있게 되어 유럽의 대부분 국가에서의 배출 허용치 2.5lbs/톤 크링카 이하로 잘 유지하게 되었다.

11. 결 론

시멘트 산업은 우리가 잘 알듯이 보다 정교한 연소와 버너 기술을 사용하는 방법을 계속해서 추구하고 있다. 최근의 버너들은 1차 공기량을 감소시켜 보다 낮은 NOx 배출을 요구하는 환경규제에 대처하고 있다. 버너 설계와 성능을 보다 개선하기 위한 추가적인 실험과 개발이 필요하다.

이 보고서는 90년 5월 22~24일 미국 FLORIDA에서 개최된 제32회 IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers) 회의에서 처음으로 소개된 것이다. ▲

〈資料 : Cement Review Sep. 1990〉