

Hot Disc : 혁신적인 대량 폐기물 연소 시스템

Brian P. Keefe · Robert E. Shenk*

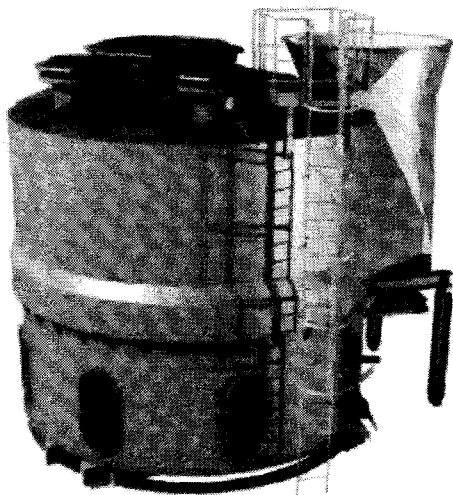
<F.L.Smith>

1. 서 론

예열 킬른 시스템에서 폐연료는 통 타이어와 같은 덩어리로 투입되어 25% 정도 기존 연료를 대체하고 있으나 전체 연료의 40% 정도가 회전 킬른에서 사용되는 대부분의 소성 시스템에서 총 폐연료 대체율은 대략 10% 정도에 그치고 있다.

이 논문에서는 예열기에서 부유 연소가 될수 없는 대형 폐연료들을 연소시킬 수 있는 혁신적인 기술을 소개 하고자 한다.

이설비는 Hot Disc라 불리우는 커다란 회전로에 의하여 폐연료의 체류 시간과 온도를 조절하는 아주 간단한 연소 설비로서 Calciner 연료의 60% 이상을 폐연료로 대체할수 있도록 해준다.



<그림 1> 시멘트 킬른의 Riser Duct나 Calciner에 바로 부착 설치된 Disc

2. 서 문

Calciner에 투입되는 고체 폐연료 연소시 일반적인 문제는 예열기에서 완전연소가 되지 않는 점에 있다.

실제로 킬른 입구에 덩어리로 투입된 폐기물은 코팅이나 Cyclone 막힘 현상을 자주 일으키게 되는데 이는(1) 연소된 원료가 폐연료의 연소시 발생하는 열을 흡수하지 못하는 점과 (2) 완전연소에 필요한 산소가 부족한 점 때문이다.

따라서 이 경우에는 부분적인 환원 환경과 함께 킬른내 높은 온도로 유황성분이 기화하는 결과도 가져오게 된다.

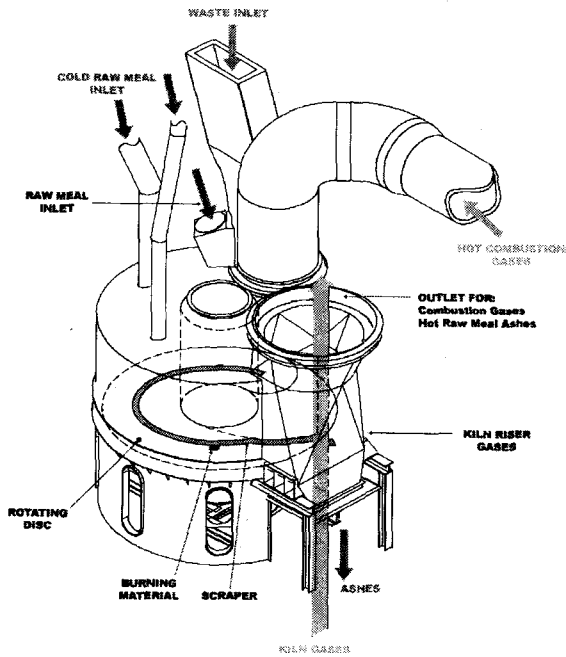
큰 폐연료를 투입하는 배경에는 폐기물을 균일한 열량을 내도록 조각내거나 분쇄하는 비용이 적지 않은 이유가 있으나 이 새로운 발명은 큰 덩어리의 폐기물을 연소시켜 Calciner 연료의 60% 이상 대체시키는 것을 가능케 해 준다.

<그림 2> 에서와 같이 이 Disc 반응로는 여러가지 폐연료 (타이어, 나무, 종이 스투지, 플라스틱 등)를 회전 Disc 위에 투입하는 연소방이라 할 수 있다.

3차 공기는 연소방으로 보내지며 폐연료는 Triple-Gate Feeder에 의해 공급되어 회전 Disc 위에서 뜨거운 3차 공기와 만나며 연소된다.

가스 흐름이 느린 연소방은 3차 공기의 압력 손실을 단지 10~15mmWG 정도 보충해 주는데 이러한 느린 가스 흐름은 폐연료가 Disc 위로 날아 다니는 것을 최소화해 준다.

연소방의 출구는 Calciner 입구에 위치한 킬른 Riser Duct로 연결된다.



<그림 2> 시멘트 생산공정의 여분 공간을 활용한 연결 구조

연화물로 내장된 바퀴모양 연소방의 내부는 벽에 의하여 연료투입 부분과 남은 재의 배출 부분으로 나뉜다.

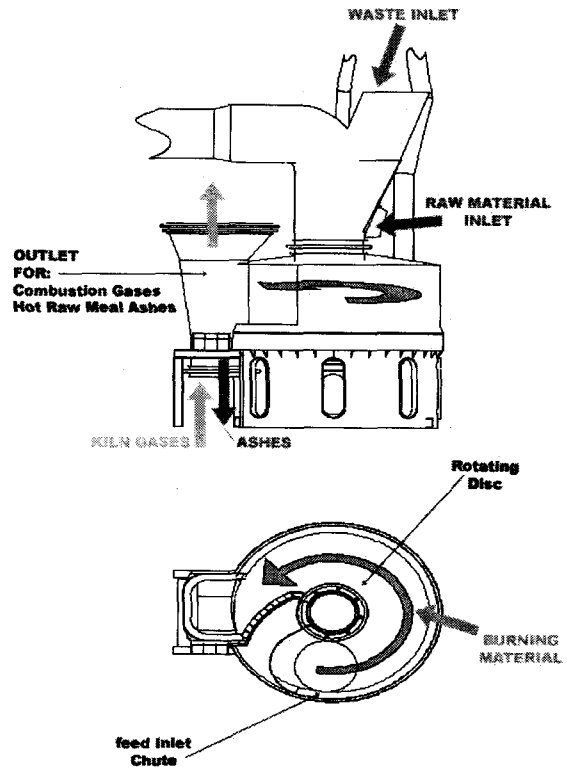
폐연료가 원판위에서 대략 3/4 바퀴정도 회전된 후 남은 재가 벽과 부딪히게 되며 벽에 부착된 긁는 도구가 재를, 킬른 Riser Duct에서 Calciner 입구로 올라가는, 킬른 배기가스 속으로 밀어 낸다.

이러한 방법으로, 타이어의 철망을 포함한 재는 별도의 운반 설비나 외부 폐기 설비 없이 킬른가스로 보내진다.

연소방의 온도는 예열실 하부 2단으로부터 회전 Disc로 보내지는 원료의 흡열반응에 의하여 조절된다.

동시에 연료의 체류시간은 <그림 3> 에서와 같이 Disc의 회전속도를 조절하여 조작하게 된다.

Disc의 속도가 시간당 1회전에서 4회전 정도로 조절가능하므로 가장 연소가 어려운 폐연료도 완전한 연소가 가능하게 되고 불완전 연소된 잔여물에 의하여 킬른 내부에서 발생하는 환원 환경의 가능성도 피할 수 있다.



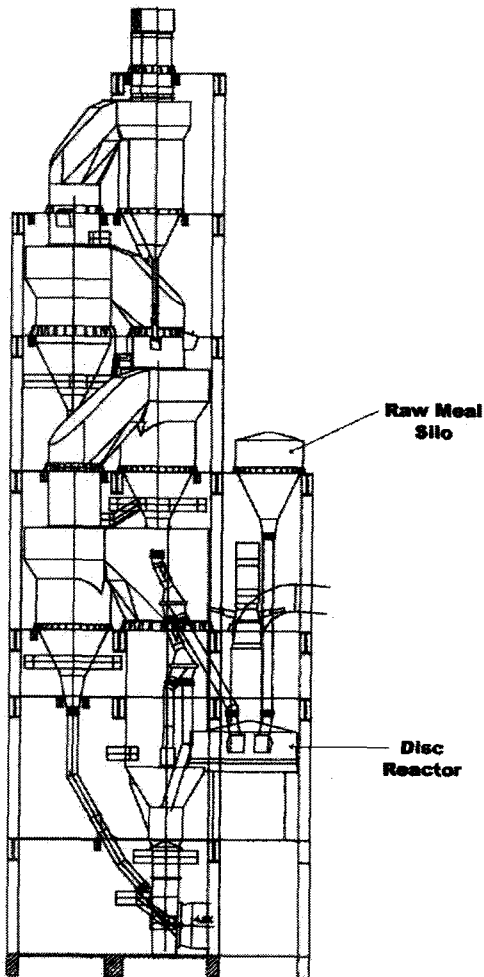
<그림 3> Disc의 속도조절에 의한 폐연료 체류시간 조정

모든 소성시스템에서와 같이 전체적인 온도조절은 Calciner 배기 가스의 온도를 일정하게 유지하는 전통적 방법에 따르게 되어, 일반 연료가 Calciner에 주입되어 열입력의 부족분을 보충해 주게 된다.

반응기의 공정을 관찰하기 위한 제어요소는 아래와 같다.

- 3 차 공기 온도
- 반응기 온도
- Calciner 출구 온도
- 폐연료 투입속도
- 예열기 하부 2단으로부터의 원료 분리 투입량
- Disc 속도
- 예열기와 킬른 출구 O2 와 CO 농도

반응기의 제어는 일반적으로 중앙통제시스템에서 하게 된다.



<그림 4> 긴급상황에서 차가운 원료가 연소를 중지시키기 위해 투입되는 설비

<그림 4>에서와 같이, 전원공급이 끊어지거나 킬른이 갑자기 서는 것과 같은 긴급 상황에는 예열기에 별도로 설치된 원료 사이로에서 차가운 원료가 대량으로 반응기로 보내져 연소를 완전히 중단시키게 되어 별도의 화염시스템 없이도 CO의 발생을 막아준다.

이러한 새로운 기술은 다음의 장점을 가지고 있다.

- 가스화 설비와 연소 설비의 통합
- 잔여 재의 별도 처리 시설이 필요 없음
- 예열기 원료에 의한 손쉬운 온도 조절

- Disc의 회전 속도 조절에 의한 폐연료 체류 시간 조정
- 간단한 조작
- 연소 온도 조절을 위한 물 분사 시스템이 필요없음
- 비상 정지시 CO 발생을 방지하기 위한 화염 시스템이 필요없음
- 높은 기존 연료 대체 효과

3. 첫 상용운전 사례

<그림 5> 에서와 같이 첫 상용운전은 FLS와 Heidelberg Technical Center 그리고 Norcem A.S. 3자간의 공동 노력으로 2001년 노르웨이의 KjØ psvik 에서 이루어졌다.

시험운전시에 이 회전 반응기는 아래의 폐기물을 성공적으로 처리하였다.

- 조각 타이어
- 8분할 타이어
- 200mm 조각의 전화선
- Fuller의 표백 흙
- 종이 스러지
- 기름탱크 청소시 나온 석고성분 포함 기름 스러지



<그림 5> 북극권에 위치한 노르웨이 KjØ psvik 공장



<그림 6> 노르웨이 협만에서 실리기 전의 1/4조각 타이어들

- 자동차 계기판
- 헐거운 또는 딱찬 폐연료

이러한 여러 시험 운전의 성공적인 결과를 토대로 하여 FLS는 상용 운전 준비를 2001년까지 완료하게 되었다.

Norcem은 1992년 설치된 5단 예열기와 일산 1600톤 In-Line Calciner 킬른에서 대체연료의 사용을 늘려 운영비를 줄이는 것을 목표로 하였고 폐연료로는 승용차나 트럭용 타이어를 사용하였다.

<그림 6> 에서와 같이, 노르웨이 피요르드 협만에서의 운송 효율상 통 타이어는 공장에 도착하기 전에 1/4로 조각을 내어 왔고 이는 다시

250~340mm 크기로 만들어 타이어의 운반이나 투입 설비의 설계 기준으로 삼았다.

그러나 연료를 Disc에 공급하는 Triple Gate는 통 타이어도 처리할 수 있도록 설계되었다.

4. 공정 설명

<그림 7a, 7b>에서와 같이 Norcem의 Kjøpsvik 공장의 연소방은 6미터 직경과 2.5미터 높이로 전체 무게는 연와를 포함하여 약 150톤 정도이다.

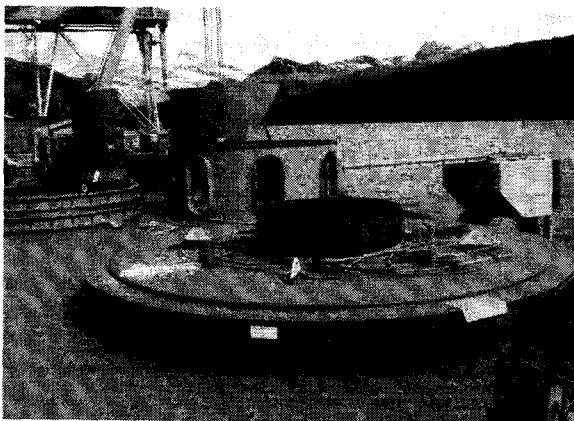
Norcem은 킬른을 가동하면서 예열탑 내에서 Hot Disc를 설치한 이후, 예열기와 3차 공기덕트에 최종적으로 연결만 하면 되었다.

장치의 무게 때문에 기존의 콘크리트와 철 구조물 보강이 예열탑의 몇 개층에서 이루어 졌고 공간 확보를 위하여 모든 계단을 탑의 다른쪽으로 옮겼다. 추가적으로 긴급 냉각을 위한 차가운 원료 공급 설비가 설치되었다.

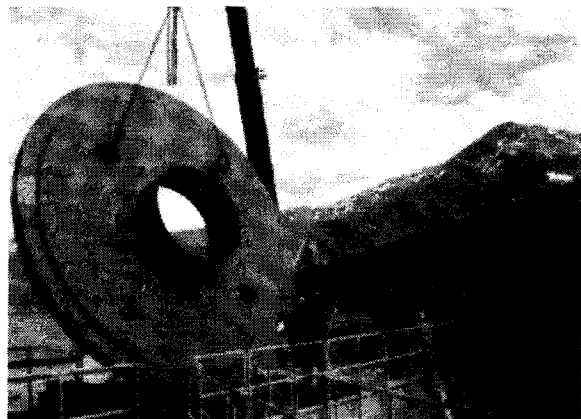
킬른 중단 3주후2001년 10월에 Disc는 기존 예열기와 연결되었다.

킬른의 재가동시 타이어 공급 설비가 준비가 안되어 3차공기 덕트만 연결하고 모든 기계 작동에 이상이 없음을 확인하며 저속으로 Disc를 운전하였다.

타이어 공급 설비의 완공전 수개월 동안 킬른 시스템은 Disc에 폐연료를 투입하지 않고 정상 가동을 하였다. 2002년 1월, 타이어 투입 설비



<그림 7a> Tysfjord의 배위에 있는 조립되지 않은 Disc



<그림 7b> 설치와 조립준비가 된 Disc



<그림 8> 노르웨이에 설치된 Disc 반응로 (6미터 직경×2.5미터 높이)

가 완성되어 조각 타이어를 연소시키며 시험가동이 시작되었다.

<그림 8>은 예열탑내의 조립된 설비를 보여 준다.

5. 운전 경험

시험 운전중 킬른 운전의 최적화를 위한 전체 킬른 시스템에 대한 분석이 있었고 그 결과 많은 양의 필요없는 공기가 유입되어 공기흐름의 통제를 어렵게 하고 있는 것이 확인되었다.

킬른 시스템의 보완후 Disc의 적절한 운전 변수와 한계점을 확인하기 위한 작업을 하였다.

Norcem의 중요한 목표는 Disc의 작동 중에도 장기간 전체 킬른이 운전의 안정성을 확보하도록 하는데 있었다.

초기에 Housing과 Disc간의 Seal에서 문제점을 발견하여 다른 설계로 바꾸었으며 새로운 Seal은 지난 6달동안 매우 효과적이어서 Disc 반응로는 연속적인 안정 운전이 가능했다.

장기간을 통하여 Disc는 2 TPH (Calcliner 연료의 40% 대체)의 폐연료를 처리하였으며 이때 예열된 원료는 Disc로 투입되어 1050℃ 정도의 온도를 유지함과 함께 Disc 회전속도의 조절로 15분정도의 체류시간을 주었다.

이러한 조건들은 타이어를 성공적으로 연소시켜 CO의 배출을 줄이고 킬른 입구의 환원 환경도 감소 시켰다.

이후 시험 운전중에 Disc는 3 TPH (Calcliner 연료의 60% 대체)의 타이어를 처리하는 것도 가능했는데 유황 성분 증가와 알루미나 조절 목표치, 채석 원료의 변동 등으로 지속적으로 운전하지는 못했다.

원료의 알루미나 성분 증가를 위하여 원료 첨가제가 연구되고 있어 향후 타이어 공급 증가에 수반되는 더욱 많은 철 성분 투입도 가능하리라고 보여진다.



<그림 9a> 연료가 설치된 Disc 반응로 내부



<그림 9b> 통 타이어를 연소중인 Disc 반응로

배출 가스에 대한 분석도 이루어져, Calciner 연료의 40%를 대체한 경우에도 100% 석탄을 땀 경우에 비하여 예열기에서 CO나 SO₂ 가 크게 증가하지 않는 것을 볼 수 있었고 NOx의 경우에는 타이어가 석탄에 비하여 질소성분이 적은 이유로 약 15% 정도의 감소효과도 있었고 Disc에서의 높은 연소 온도가 Fuel NOx의 형성을 최소화해주는 결과도 있었다.

Norcem의 킬른은 큰 용량의 알칼리와 유황 분리시스템이 있는데, 연료가 유황성분이 적은 석탄에서 유황 성분이 많은 타이어로 바뀔 때 따라 킬른 시스템에의 전체 유황 투입은 증가되었다.

그러나 이 때 높은 유황 성분 투입시에도 분리 시스템에 나오는 SO₂ 배기 가스는 조금만 증가하는 것으로 확인되었다.

자동차와 트럭 타이어도 성공적으로 시험되어 <그림 9a, 9b>에서 Disc 반응로의 설치시 모습과 통 타이어를 2 TPH 씩 투입했을 때의 안정적인 운전 모습을 볼 수 있다.

큰 덩어리의 폐연료는 체류시간이 더 길었으며 이는 Disc의 속도를 조절함으로써 완전연소를 시킬 수 있었다.

2003년 여름 동안 통 타이어에 관한 추가적인 시험이 이루어질 예정이며 Norcem은 다른 폐연료의 사용도 검토하고 있다.

차가운 원료 공급에 의한 비상 냉각시스템은 아직 필요한 경우가 없었으나 FLS는 그에 관한 시험도 하여 올바르게 작동됨을 확인하였다.

5. 요약과 결론

저렴한 비용으로 조각내기 어려운 많은 종류의 고체 폐연료를 큰 덩어리로 연소시키는 것은 종종 문제를 일으켜 때때로 연소시 부분적인 고온 현상이나 환원 환경 그리고 킬른 입구에서의 막힘 현상이 발생하기도 하였다.

그러나 이번 새로운 발명은 큰 덩어리의 고체 폐기물로 Calciner 연료의 60% 이상을 대체하는 것을 가능하게 하였다.

기본적으로 회전하는 Disc는 Calciner와 한 시스템이 되면서도 체류시간과 온도에서 독립된 연소방을 만들어 준다.

이 Disc 반응로는 현재 1년이상 노르웨이의 Kjølpsvik 공장에서 상용 운전 중으로 Disc와 킬른 운전은 전체 Calciner 연료의 40% 정도를 대체하는 수준에 맞추어져 있으며 단기간의 시험 운전에서는 60%의 대체도 가능하였고 원료의 화학 성분 조정이후에는 더 많은 연료 대체가 가능할 것으로 예상된다.

현재까지 이 시스템은 용량과 운전 변수에 관하여 초기 설계치를 초과하였으며, 타이어 연소로 NOx와 CO₂ 배출을 감소시켜 환경에도 좋은 영향을 주고 있다.

향후 실험운전에서 이 Disc에서는 다른 종류의 폐기물 덩어리의 연소나 여러 종류 폐기물들의 동시 연소등도 이루어질 예정이다.

Norcem과 FLS는 Hot Disc가 Kjølpsvik 공장뿐만 아니라 시멘트 업계 전체에서 대체 연료의 사용을 늘리고 CO₂의 배출을 줄이며 적지않은 운전 비용을 감소시켜주는 획기적인 역할을 할 것으로 확신하고 있다.