海外技術　시멘트 生産·應用에 관한 海外技術情報

에너지 節約을 위한 쿨러의 設計

李　禹　珩(譯)
〈亞細亞시멘트(株) 堤川工場 代理〉

개　　요

본문은 로타리 쿨러와 플래니터리 쿨러에 의한 크링카 소성공정의 열소비 절감 가능성에 대하여 기술한 것이다. 칼사이너(하소로) 또는 키른에서의 연료 연소용 고온 공기(2차 공기)로 필요한 냉공기의 가열을 위하여 크링카 현열(290～360 kcal/kg)의 회수는 필수적이다.

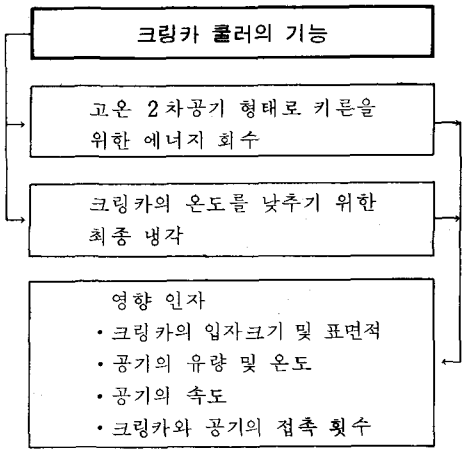
이와 마찬가지로 다음 공정에서의 조작 및 저장과 관련해서 크링카의 최종 냉각도 중요하다. 열의 회수와 크링카의 냉각에 미치는 영향은 쿨러의 경사도, 회전속도, 크링카의 입자 크기는 물론 튜브 원주를 따라 부착되어 있는 리프터(scoops, blades)의 모양, 갯수 및 배열 등에 좌우된다. 스쿠프의 기능은 매우 중요하다. 쿨러에 들어온 모든 크링카는 스쿠프에 의해 들어올려지고 냉각공간으로 고르게 흩어져야 한다. 이러한 방법으로 공기와 크링카의 접촉이 조장되고 열교환도 향상된다. 다양한 종류의 리프터를 사용하여 모델 실험을 실시하였다. 실험 목적은 쿨러 및 스쿠프 회전 중 분산 분포의 자유낙하 측정에 의한 분산작용 확인과 냉각공간 중 분산 크링카 밀도 최대화를 위한(육안관찰) 스쿠프의 수량과 모양의 최적화였다. 가장 좋은 결과로는 Open Arched Scoop 이었다. 또한 스쿠프의 끝부분을 개조하여 분산 커튼작용을 더욱 개선할 수 있었다.

1. 서　　론

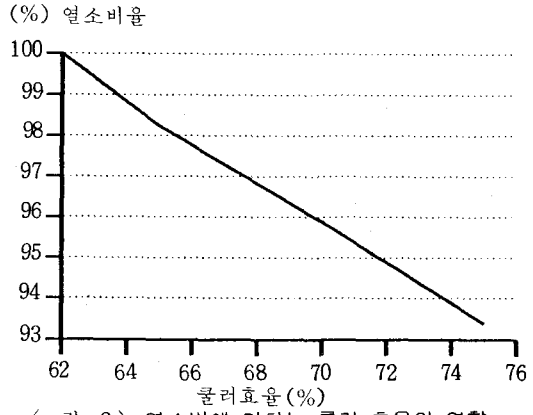
크링카 소성 공정에서 냉각을 위해 사용되는 쿨러의 종류는 그레이트 쿨러, 로타리 쿨러 및 플래니터리 쿨러이다. 이들 쿨러들은 모두 수행하는 기능이 유사하며 개괄적인 내용은 〈그림-1〉에 나타내었다.

크링카와 냉각공기 사이의 열교환 효율에 영향을 주는 인자들은 다음과 같다.

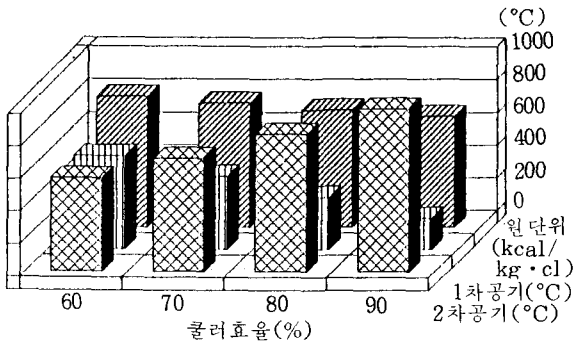
① 크링카의 입자 크기와 표면적
② 냉각공기의 유량, 온도 및 습도
③ 크링카와 공기의 접촉 횟수



〈그림－1〉 크링카 쿨러에 적용되는 공정기술상의 필요조건



〈그림-2〉 열소비에 미치는 쿨러 효율의 영향



〈그림-3〉 크링카 소성 설비의 공정 데이타에 쿨러 효율이 미치는 영향

쿨러 효율(고온 크링카에 함유된 열에 대한 2차 공기와 3차 공기에 함유된 열의 비율)은 〈그림-2〉에 나타낸 것과 같이 키른 공정의 열소비에 결정적인 영향을 준다.

〈그림-3〉에 쿨러 효율에 의해 영향을 받는 크링카 소성공정의 공정데이타를 3차원의 막대도표로 나타냈다. 쿨러의 열효율이 증가할수록 열소비는 감소하고 열을 회수하는 구간 끝에서의 크링카 온도는 하락되며 2차 공기와 3차 공기의 온도는 상승된다.

이러한 관련사항들은 전체 공정 중에서 크링카 쿨러의 중요성을 강조하고 있으며 또한 쿨러의 열효율이 쿨러의 디자인 및 공정 설계에 의해 개선됨으로써 열소비 절감 가능성을 나타내고 있다.

본문의 개요는 로타리 쿨러와 플래니터리 쿨러의 개조 결과에 따른 에너지 절감에 관한 내용이다.

2. 로타리 쿨러와 플래니터리 쿨러의 최적화 방법

고온 크링카와 냉각공기 사이의 열 교환은 서로 반대되는 방향의 흐름속에서 이루어진다. 단지 Scoop와 Lifter가 부착된 부위에서만이 서로 반대되는 흐름과 수직으로 교차하는 흐름이 중복되면서 열교환이 이루어진다. 크링카 쿨러의 공정설계면에서 보면 다음의 두 부위로 나눌 수 있다.

① 열 회수 부위

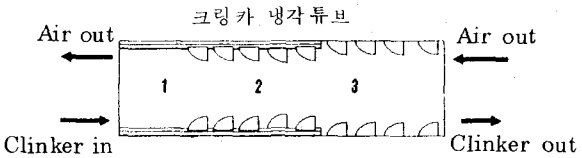
이 부위에서의 냉각공기는 소성공정에서 필요한 연소용 공기를 가열하기 위하여 가능한 한 많은 양의 열을 크링카로부터 추출하여야 한다. 즉 이 부위는 열이 외부로 방출되는 것을 방지하기 위하여 최대한 보온되어야 한다.

② 크링카 냉각 부위

열 회수 부위를 지나서 남아있는 크링카의 현열은 배출 크링카의 온도를 낮추기 위하여 공기와의 열교환 및 쿨러벽의 열 복사에 의해 감소되어야 한다. 배출 크링카의 온도는 쿨러 내부나 냉각튜브 외부에 물을 뿌려줌으로써 더 낮출 수 있다.

서로 반대되는 방향 흐름 원리로 인하여 위의 두 부위는 깊은 관련이 있고 또한 서로 영향을 준다. 따라서 쿨러의 디자인과 공정설계를 적절하게 함으로써 열의 회수율을 상승시키고 동시에 크링카 냉각을 충분히 할 수 있도록 하여야 한다.

〈그림-4〉는 로타리 쿨러와 플래니터리 쿨러의 기본적인 형태를 도식적으로 보여준다. 냉각튜브의 입구부위는 내화물로 라이닝 되어 있고 중간부위는 내화물로 라이닝 된 곳에 리프



① 라이닝 ② 라이닝+Lifter와 Scoop
③ Lifter+Scoop

〈그림-4〉 로타리 쿨러와 플래니터리 쿨러의 라이닝

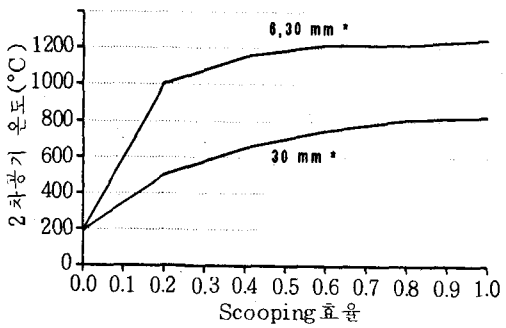
터와 스쿠프가 부착되어 있으며 출구부위는 단지 리프터와 스쿠프만 부착되어 있다.

열의 회수와 크링카의 냉각효과를 좌우하는 것은 다음 사항들이다.

① 냉각튜브의 경사도
② 냉각튜브의 회전속도
③ 크링카 입자크기
④ 냉각튜브 내부에 부착되어 있는 리프터(scoop 등)의 모양, 수량 및 배열

리프터의 효과는 매우 중요하다. 쿨러에 들어오는 모든 크링카는 스쿠프에 의해 들어 올려지고 냉각튜브 내부에 고르게 뿌려진다. 이러한 방법으로 크링카와 공기의 접촉이 증가되고 따라서 열교환이 향상된다. Steinbach에 의한 모델 계산 결과를 〈그림-5〉에 나타내었다. 특히 로타리 쿨러 또는 플래니터리 쿨러 중에서 크링카 분산이 2차 공기의 가열에 미치는 영향을 크링카 입도별로 계산하였다.

Scooping 효율 즉 분산척도는 냉각튜브의 바닥에 위치하는 크링카 중 스쿠프에 의해 얼마 정도가 들어 올려지는가를 나타낸다. Scooping 효율이 1이 될 때가 최적의 조건이다. 즉 전체 크링카가 들어 올려지고 뿌려진다. 따라서 Scooping 효율이 1보다 작을 경우는 크링카 중의 일정 양이 항상 냉각튜브 밑바닥에 남아 있게 되므로 효과적인 열교환이 이루어지지 않게 된다. 이러한 예에서 크링카의 입자 크기가 열교환에 미치는 영향 또한 명백하다. 즉 크링카의 입자 크기가 커질수록 열교환이 나빠지게 되므로 가는 입자의 경우보다 높은 Scooping 효율이 필요하다.



〈그림-5〉 **Scooping 효율과 크링카 입도분포가 2차공기 온도에 미치는 영향**

3. 쿨러의 열효율 향상 방안

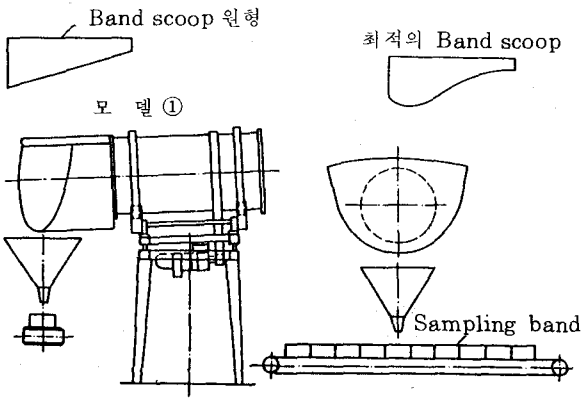
1981년 O & K사가 인수한 Bühler - Miag 시멘트 플랜트 설계 회사가 수립한 know-how, 즉 모델 실험을 통한 개발 연구가 쿨러 최적화의 관점에서 수행되었다. 몇가지 개선방안을 아래에 소개하고자 한다. 로타리 쿨러는 O & K 사에서 특허출원한 것이다.

1) 여러가지 종류의 리프터로 실시된 효율 및 크링카의 분산을 측정하기 위한 모델 실험

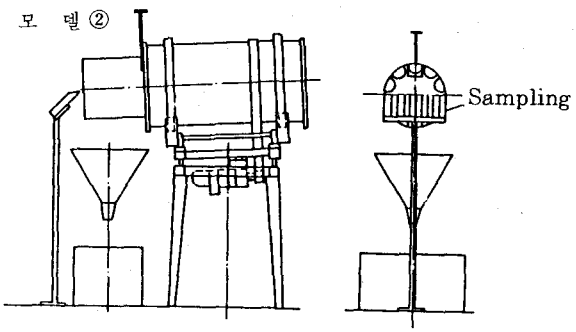
실험은 두 가지 방법으로 실시되었다.

① Scoop 모델, 〈그림-6〉
② 냉각튜브 모델, 〈그림-7〉

실험목적은 스쿠프(모델①)가 회전하는 동안



〈그림-6〉 **쿨러 내부의 부착물 실험을 위한 모델**

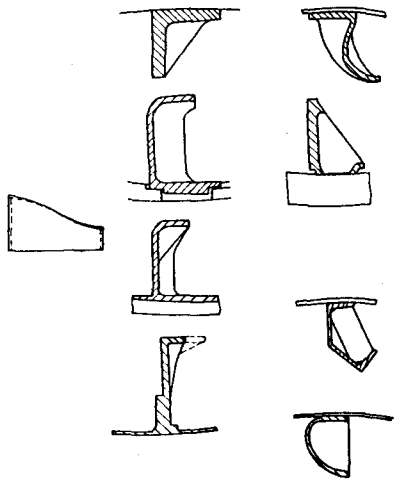


〈그림-7〉 **냉각튜브 내에서의 분산 키른 작용 정도를 측정하기 위한 모델**

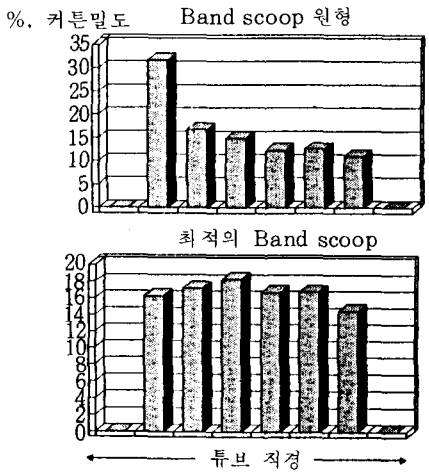
육안 관찰에 의해 분산효과를 파악하고 또한 냉각 공간(모델②)에 낙하되는 크링카가 커튼 작용을 하게 되는 최대의 밀도를 구하는데 가장 적합한 스쿠프의 수량 및 배열을 파악하기 위함이었다. 〈그림-8〉에 나타낸 리프터가 실험되었으며 이것들은 실제 공정에서도 사용되고 있다. Open Arched Scoop가 가장 양호한 결과를 나타냈다. Arched Scoop의 끝부분(〈그림-6〉)을 개조하여 분산 커튼작용이 개선되었다.

〈그림-9〉는 본래 형태의 것과 개조된 Arched Scoop에 대한 냉각튜브 내부에서의 커튼 밀도 분포 상태를 나타낸다.

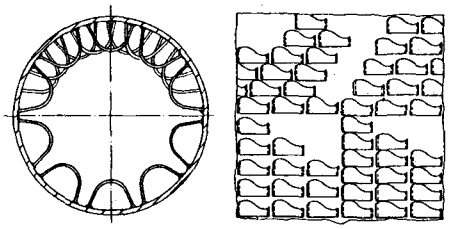
〈그림-10〉은 개조된 Arched Scoop와 냉각



〈그림-8〉 실험에 사용된 리프팅 부속



〈그림-9〉 **Open Arched Scoop**에서 얻어진 커튼 밀도



〈그림-10〉 냉각튜브 내부에서 최적화된 **Arched Scoop** 배열

튜브 내에서의 배열을 보여 준다.

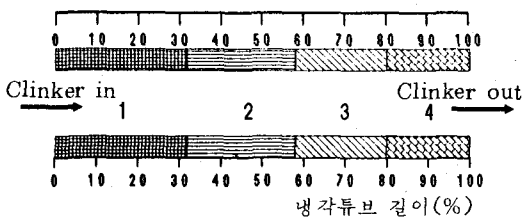
4. 실제 공정에서의 실험

〈그림-11〉은 로타리 쿨러에서 가장 적합하게 라이닝 된 상태를 보여주고 있으며 냉각튜브 전체 길이 중 80%가 알루미나 연와로 라이닝 되었다. 결과적으로 쿨러 표면으로부터의 열손실이 적어졌고 열의 회수를 위한 조건이 양호해졌다.

원료가 흐르는 방향에서 보면 로타리 쿨러는 다음과 같이 라이닝 된다(〈그림-11〉참조).

여러가지 실험을 실시한 결과 Open scoop 형태가 가장 높은 scooping 효율과 가장 고른 크링카의 분산을 보여 주었다. 이 방법으로 키른 공정에서의 열소비를 낮추는데 충분한 고온의 2차 공기가 얻어졌다. 냉각튜브 내에서 스쿠프의 배열은 크링카와 냉각공기 사이에서 열교환이 효율적으로 이루어지도록 즉 크링카의 분산이 고르게 이루어지도록 디자인되어야 한다.

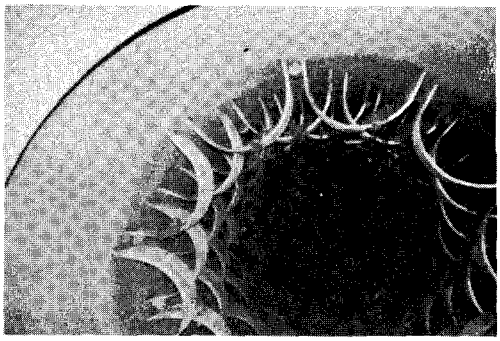
〈그림-12〉는 로타리 쿨러에서 Open scoop의 분산형태를 보여준다. 이 방법으로 설치된



① High-Alumina 연와
② High-Alumina 연와+open cast iron scoop
③ High-Alumina 연와+steel plate scoop
④ Steel plate scoop

〈그림-11〉 **O & K**에서 라이닝한 로타리 쿨러

냉각튜브 길이(%)	라 이 닝
32	Alumina 연와
24	Alumina 연와+open cast steel scoop
24	Alumina 연와+open steel plate scoop
20	Open steel plate scoop, no lining



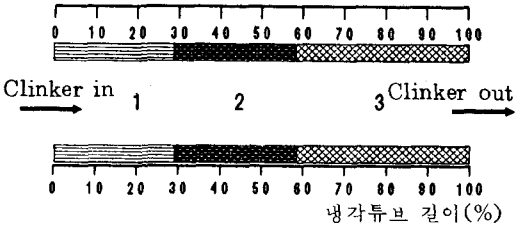
〈그림-12〉 **Open Arched Scoop**의 분산 형태

쿨러는 현재 만족하게 가동되고 있다. 수명이 길고 투자비용이 적은 O & K Scoop는 크링카 냉각과 결부된 운전비용이 절감되며 또한 양호한 운전결과를 나타낸다. 키른에 속해 있는 여러 설비들의 운전상태에 따라 쿨러의 열효율을 75 % 이상 얻을 수 있다.

1) 플래니터리 쿨러

원료가 흐르는 방향에서 보면 플래니터리 쿨러에 사용된 라이닝은 다음과 같다(그림-13 참조).

냉각튜브 길이(%)	라 이 닝
28	Al_2O_3가 42 %인 hard fireclay special brick
28	Al_2O_3가 46 %인 monolithic lining + open steel plate scoop (내열강)
44	Open steel plate scoop (내열강)



① Hard fireclay special brick
② Rammed monolithic lining + open steel plate scoop
③ Open steel plate scoop

〈그림-13〉 **O & K**에서 라이닝한 플래니터리 쿨러

이 방법으로 라이닝된 플래니터리 쿨러의 효율은 65～70 % 정도이다.

〈참 고 문 헌〉

1) Herchenbach, H.: Verfahren der Zementklinkerkühlung und Auswahlkriterien für die gebräuchlichsten Kühlsysteme. Zement-Kalk-Gips 31 (1978) H. 1, S. 42-51.
2) Sylla, H.-M., und Steinbach, V.: Einfluß der Klinkerkühlung auf die Zementeigenschaften. Zement-Kalk-Gips 41 (1988) H. 1, S. 13-20.
3) Münk, R.: Planetenkühler für große Drehrohröfen. Zement-Kalk-Gips 28 (1975) H. 11, S. 447-454.
4) Kühle, W.: Der Rohrkühler, ein optimaler Klinkerkühler. Zement-Kalk-Gips 27 (1974) H. 9, S. 423-329.
5) Kwech, L. : Betriebserfahrungen mit einem Rohrkühler und erste Betriebsergebnisse mit einem g-Kühler für je 2,000 t/d. Zement-Kalk-Gips 27 (1974) H. 9, S. 405-414.
6) Billhardt, H. -W.: Erfahrungen mit einem Rohrkühler an einer 2,500-t/d-Kurzdrehofenanlage mit Vorcalcination. Zement-Kalk-Gips 39 (1986) H. 3, S. 122-124.
7) Steinbach, V.: Ein mathematisches Modell eines Rohrkühlers. Zement-Kalk-Gips 40 (1987) H. 9, S. 458-462. ♣

〈資料 : ZEMENT-KALK-GIPS JAN. 1989〉