

# 乾式 로타리 키른의 廢熱利用

Dr. P. Weber

<Polysius Corp.>

李 裕 仁

<雙龍洋灰品質管理室長>

乾式 로타리 키른의 廢熱利用에 관해서 다음 分類題目에 따라 檢討해 보기로 하겠다.

- 各種 乾式 로타리 키른의 廢熱量
- 乾燥機, 複合型乾燥機 및 粉碎裝置에서의 廢熱利用可能性
- 시멘트工場에 使用되는 全消費熱에 대한 廢熱의 영향

## I. 各種 乾式 로타리 키른의 廢熱量

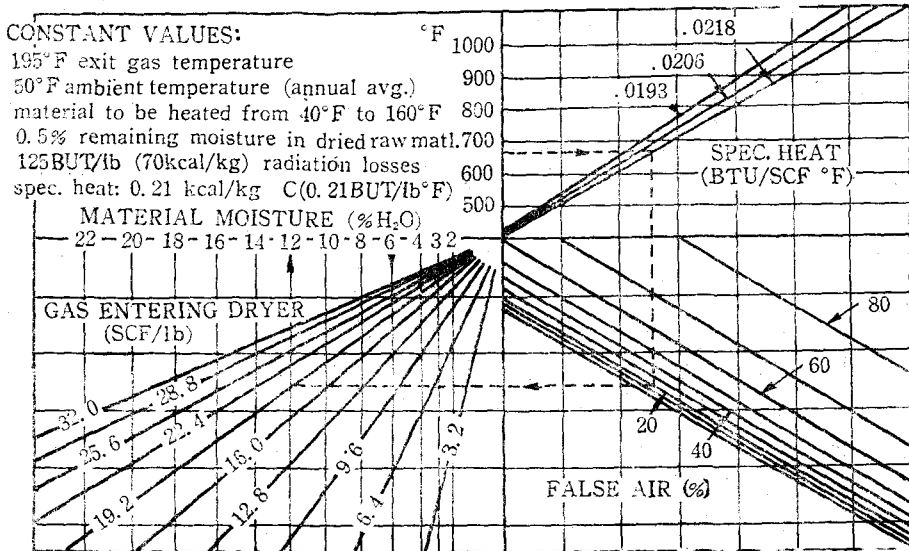
레폴 키른에서는 쿨러의 排氣만이 原料乾燥에 使用可能하나 豫熱機가 設置된 키른과 長型乾式 키른에서는 쿨러 排氣와 廢가스 모두 使用이 可

能하다.

쿨러에서 排氣되는 廢熱利用에 있어서는 低溫의 많은 가스量보다는 高溫의 가스 少量을 乾燥에 利用하는 것이 技術的인 面에서 보다 經濟的이다. 이러한 理由는 低溫의 全體 排氣 가스를 引出해서 利用하는 것보다 쿨러 中間에서 各種溫度에서의 排氣量을 表示하였다.

즉 쿨러 中間에서 引出된 排氣가 到達可能한 溫度와 8, 16, 그리고 24 SCF/lb-clinker 時의 열 함량을 表示하였다.

豫熱機가 設置된 乾式 키른에서 利用可能한 가스量은 排가스 流量이 24 SCF/lb-clinker 일 때 292 BTU/lb-clinker 가 된다.



<그림-1> Diagram for drying with waste heat(not including heat of grinding)

<表-1>

Available waste heat from dry-process rotary kilns

kiln system	origin of waste heat	gas volume SCF/lb of clinker		gas temperature °F		gas enthalpy in BTU/lb of clinker referred to 68°F
		from	to	from	to	
Lepol kiln heat consumption 1370 BTU/lb	exhaust air from cooler	8		707		99
			16		482	128
			24		392	151
kiln with suspension preheater heat consumption 1370 BTU/lb	exit gas exhaust air from cooler	24		626		292
			8		707	99
			32		φ 666	391
long dry-process kiln fed with dry raw meal heat consumption 1370 BTU/lb	exit gas exhaust air from cooler	27		716		391
			6.4		707	81
			34		φ 712	472

클러에서 引出되는 排氣는 레폴 키른의 클러에서 引出되는 排氣의 高溫 空氣를 引出하여 건조에 利用하는 것이 많은 경우 利益이 되기 때문이다.

<表-1> 上部는 레폴 키른 열함량과 同一하며 溫度分布도 비슷한 排氣를 引出해 낼 수 있다.

<表-1>의 中間과 밑 部分에는 排氣로서 가장 有用하게 利用할 수 있는 것 주로 8 SCF/lb-clinker 와 온도 707°F 의 것을 表示하였다. 豫熱機가 設置된 키른의 경우 클러 中間에서 引出해 낼 수 있는 가스의 量은 660°F 의 32 SCF/lb-clinker 로서 열함량은 391 BTU/lb-clinker 이다.

키른 内部에 熱交換機가 設置되어 있으며 乾原料를 投入하는 乾式 로타리 키른의 경우 排氣의 排열은 排氣量 27 SCF/lb-clinker 時 391 BTU/lb-clinker 이다.

부연하면 클러에서 排出되는 空氣도 있으나 長型乾式 키른은 더 많은 2次 空氣를 必要로 하기 때문에 豫熱機가 設置되어 있는 乾式 로타리 키른의 클러에서 배출하는 空氣量보다는 排氣量이 적다. 클러 排氣의 열함량은 豫熱機가 設置된 乾式의 경우 同一 溫度라면 약 80 BTU/lb-clinker 이다. 키른 内部에 열교환기가 設置되어 있고 乾原料를 投入하는 長型乾式 키른의 경우 使用 가능한 廢熱量은 溫度가 712°F 로서 472 BTU/lb-clinker 이다.

加熱 없이 廢熱만을 利用하여 原料를 乾燥할 경

우 키른에 投入되는 原料의 最高 許容 水分量을 생각해 보는 것도 흥미 있는 일이다. 乾燥機의 熱收支 計算으로 여기에 대한 解答을 얻을 수 있다.

$$K + R(H_2O) = Q_H - Q_{EX} - Q_{FA}$$

$K$  = 수증기 증발과 복사에 의한 손실량

$R(H_2O)$  = 원료의 가열량과 잔유 수분의 가열량

$Q_H$  = 高溫 가스의 熱含量

$Q_{EX}$  = 排가스의 熱損失量

$Q_{FA}$  = 냉공기의 加熱量(流入하는 空氣)

公式에 個個의 熱量으로 代入하면

$$K + R(H_2O) = V_{WA} \{ C_{P1}(Q_H - 50) - C_{PA}(Q_{EX} - 50) - \frac{F_A}{100 - F_A} \cdot C_P(Q_{EX} - 50) \}$$

$V_{WA}$  = 乾燥機 前의 가스量

$C_{P1}, C_{P2}, C_{PA}$  = 高溫 가스, 排가스, 空氣의 比熱

$Q_H, Q_{EX}$  = 高溫 가스의 溫度 및 排가스의 溫度

$F_A$  = 냉공기(流入 공기)의 %, 건조기 工程 다음의 排氣量으로 가정

다음과 같이 가정하면

$$C_{A1} = C_{P2}$$

$$C_{PA} = 0.0193 \text{ BTU/SCF}^\circ\text{F}$$

$$Q_{EX} = 195^\circ\text{F}$$

年中 外氣의 平均溫度가 50°F 라면

$$K + R(H_2O) = V_{WA} \{ C_P(Q_H - 194) - \frac{F_A}{100 - F_A} \cdot 0.0193 \times 144 \}$$

이 공식은 <그림-1>에서 프롯하여 도표로 얻어졌으며 거기서 다음 값가 定數로 取해졌다.

물의 蒸發(195°F로 過熱) : 1,134 BTU/lb-증발된 수분

복사에 의한 熱損失 : 126 BTU/lb-증발된 수분

原料(raw meal)를 40°F에서 160°F로 加熱時  $C_p=0.21$  BTU/lb°F

原料(raw meal)中 殘有水分 = 0.5%

高溫 가스나 또는 廢熱(排가스)의 溫度와 量을 알 수만 있다면 原料로부터 증발한 最高水分의 값을 <그림-1>로부터 決定할 수 있다.

다이아그램(diagram)의 利用 方法은 <그림-1>에 表示한 例로서 說明이 可能하다.

豫熱機가 設置된 키른을 생각해 보면 660°F의 사용 可能한 가스의 量(排가스+쿨러 排氣)은 31.2 SCF/lb-clinker 이며 건조기로 스며들어가는 냉공기는 여기에 20%이다.

2次 加熱 없이 原料의 殘有水分이 0.5%가 되려면 原料의 最高水分은 얼마여야겠는가?

原料와 크링카의 比는 1.6이며 廢가스는 完全使用된다고 假定하면 가스의 量 31.2 SCF/lb-clinker는 19.5 SCF/lb-raw meal에 해당된다.

<그림-1> 다이아그램에서 高溫 가스 溫度 660°F의 縱座標에서 水平으로 線을 그리면 高溫 가스의  $C_A=0.0218$  BTU/SCF°F 線과 交叉한다. 여기서 수직으로 냉공기(false air) 20% 線까지 그려 내리고 거기서부터 좌측으로 水平線을 그려 가면 19.5 SCF/lb-raw meal에 해당하는 線에 交叉한다. 그 다음 여기서 수직으로 올라 가면 水平線上에 12%를 나타내는 點과 交叉한다. 바로 이 값이 乾燥機가 乾燥할 수 있는 最高의 水分量을 表示해 준다.

만약 粉碎工程에서 追加로 熱을 發生시킬 수 있다고 하면 原料에 따라 粉碎効率は 달라지겠지만 건조할 原料의 水分은 추가 加熱 없이 다 시 말해서 12.5~13% 또는 그 以上の 水分을 함유한 原料를 0.5~1.0%까지 乾燥할 수 있다.

原料가 6%의 水分을 함유하고 있을 때 乾燥에 必要한 가스의 量은 前記 例에서와 같이 廢열의 溫度만으로 추정하면 原料의 약 10.4 SCF/lb

임을 알 수 있다.

이 값은 圖表의 水平軸上 原料 水分 6%에서 부터 수직선으로 내리면 얻을 수 있다.

레플 키른의 경우 쿨러 廢열은 水分含量 2.5%의 모든 原料를 追加 加熱 없이 乾燥시킬 수 있으며 또한 粉碎工程에 加熱施設이 必要없다. 또한 분쇄열까지를 考慮한다면 追加 加熱없이 水分 3.5% 함유 原料까지도 건조시킬 수 있다고 생각된다.

長型乾式 키른의 排가스와 쿨러 排가스로 水分 15%를 함유한 原料를 乾燥시킬 수 있으며 粉碎熱까지 考慮한다면 15.5%까지 水分을 함유한 原料를 乾燥시킬 수 있다.

乾式長型 키른이나 豫熱機가 設置된 키른의 경우 쿨러의 排氣가 아니라 키른의 排가스만으로 原料水分 12.5~8.5%의 原料를 乾燥시킬 수 있다.

水分 含量이 높아질수록 追加로 熱供給이 必要해진다. 以上の 數値는 키른과 原料 밀이 同一期間 移動한다는 假定 아래서 키른의 廢열을 全量 使用한다는 것을 前提로 한 것이다.

乾燥機로 流入하는 찬공기의 影響에 關係해서는 <그림-1>에서 明確히 說明해 주고 있다. 例를 들면 冷風流入量이 20%에서 60%로 되면 排出 가스와 排氣로 水分 12%를 건조할 수 있던 것을 7~8%밖에 건조할 수 없다.

排出 가스와 排氣의 溫度가 낮으면 상대적으로 가스의 量은 많아진다. 이러한 理由 때문에 廢熱의 經濟的 利用 특히 습하고 점성 있는 原料를 사용해야만 할 때 엔지니어링(engineering)의 어려움이 커진다.

점성 있는 原料는 쉽게 微粉碎되지 않으며 또한 건조 시설에 投入될 때 덩어리 상태로 投入된다. 덩어리일수록 高溫의 가스로 乾燥하기보다 低溫의 排가스로 乾燥하기란 더욱 어렵다.

대부분의 乾燥 시스템(system)은 制限된 量의 高溫 가스와 排氣만을 利用하기 때문에 키른 排가스의 溫度 그대로 供給되는 量은 얼마 되지 않으며 또한 얼마 안되는 量만이 건조에 사용된다. 이런 경우 廢열의 一部 損失이 생기게 된다. 乾燥機에서 더 많은 水分이 蒸發되어야 한다면

追加로 加熱하여 排가스의 溫度를 높여 주어야 한다. 水分 함량이 높은 原料를 處理하기 위해서는 사용 가능한 모든 폐열을 사용할 수 있도록 하고 低溫에서 問題 없이 乾燥效果를 내게 할 수 있는 乾燥機를 設置하는 것이 바람직하다.

## II. 乾燥機, 複合型乾燥機 및 粉碎裝 置에서의 廢熱利用 可能性

本文中에서는 一般의인 乾燥裝置만을 考慮하기로 하겠다. 前記 乾燥機는 乾燥機, 複合型乾燥機 및 粉碎裝置로 細分할 수 있겠다.

### 1. 乾燥機

시멘트 産業에 使用되는 一般의인 乾燥機型은 로타리 건조기, 急速 건조기 및 임팩트 건조기 (impact dryer)이다.

大型 로타리 건조기는 원하는 比率대로 가스를 흡입할 수 있다. 原料 성질 중 粘度和 粒度가 적절할 경우 排가스의 溫度가 낮더라도 가스가 많기만 하면 原料의 水分이 얼마든간에 로타리 乾燥機로 乾燥할 수 있다.

잘 알려진 해지맥 급속 건조기 (Hazmag rapid dryer)는 固定된 짧은 케이스로 되어 있으며 건조될 原料는 한두번 回轉하면서 브레이드가 달린 軸에 의해 熱風 속으로 投入된다.

32 ft<sup>3</sup>/lb-原料 가스 流量까지는 同건조기를 通過할 수 있다. 水分含量이 높은 原料의 경우 약

1,110°F의 높은 入口 溫度가 필요하며 또한 이러한 溫度에 도달시키기 위해서는 건조기에 供給되는 排氣와 排出 가스를 加熱해 주어야 한다.

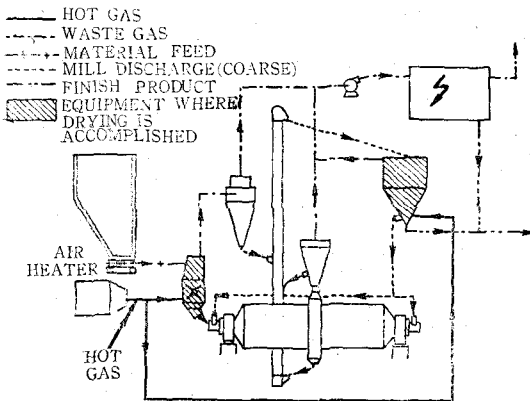
해지맥 임팩트 건조기는 건조와 분쇄를 同時에 할 수 있는 1個 내지 2個의 스펀들 분쇄기로 되어 있다. 原料를 粉碎해 주면 表面積이 커지기 때문에 原料가 乾燥機內에 단시간 머물러 있어도 乾燥效果가 좋다. 임팩트 건조기는 약 660°F의 가스를 供給해서 水分함량 6%의 原料를 處理할 수 있으며 水分 함량이 높을 경우는 追加 加熱이 필요하다.

모든 型의 건조기의 경우 結성이고 진창인 原料를 使用할 때는 어려운 問題가 꼭 발생한다.

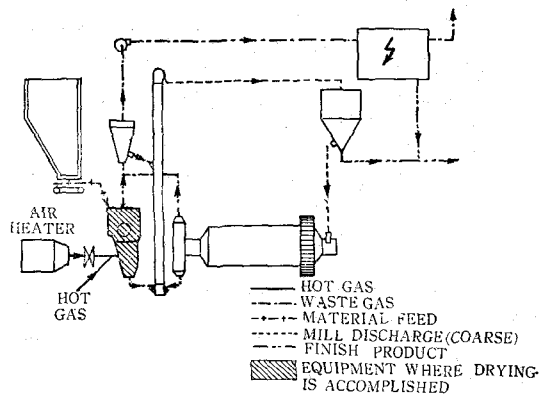
가스 溫度가 낮으면 原料는 끈끈한대로 남아 있으며 때로는 高溫의 가스를 流入시키지 않는 限 상당히 높은 水分을 함유한 채로 남아 있어 非經濟的인 運轉을 하게 된다.

이러한 경우 마지막으로 건조되어 나오는 原料가 다음 工程의 장치나 中間 저장고, 複合型 乾燥機 및 분쇄 工程에 즉각 영향을 주게 되므로 豫備乾燥用으로 건조기를 設置하는 것이 바람직하다.

原料의 粒子·크기나 水分 함량에 따라 다르기는 하나 前記한 건조기로 排가스 溫度를 195~285°F까지 올릴 수 있다. 로타리 건조기의 경우 타입과 內部 형태가 排가스의 溫度를 上昇시키는데 중요한 역할을 한다.



<그림-2> 2-Closed circuit mill with bucket elevator. Drying effected in a hammermill and in the separator



<그림-3> 3-Closed-circuit mill with bucket elevator; drying effected in impact dryer

## 2. 複合型乾機와 粉碎裝置

複合型 건조기와 粉碎裝置(單式 건조기와 粗碎機)는 한 機械만으로 原料粉碎가 가능하기 때문에 獨立된 乾燥機보다 有利하다. 따라서 中間貯藏庫와 2次 조작이 필요없다. 다시 말해서 原料가 건조와 동시에 粉碎되기 때문에 乾燥效果가 크다.

밀 內에서도 건조될 뿐 아니라 밀 粉碎室 앞에 設置된 乾燥室, 세퍼레이터(separator), 밀 앞에 設置된 헨머 밀 또는 임팩트 크라셔 內에서도 乾燥가 이루어진다.

이러한 여러 가지 乾燥方法은 獨自의으로나 다른 건조 工程과 共同으로 이용할 수 있으며 가장 많이 利用되는 方法에 대해서는 廢가스 利用과 연관지어서 說明하였다.

## 3. 불 밀(에어 스웍트 밀)

에어 스웍트 밀에서의 폐열 이용 條件은 粉碎된 原料가 氣와 동시에 生産되어 나오며 연속적으로 많은 量의 氣가 밀을 통해 나오기 때문에 有利하다. 原料를 移動시키기 위해서는 氣의 流速比가 原料 1lb當 32~48 SCF가 所要된다. 이 量은 너무나 많은 氣스들이기 때문에 이 氣스들의 全部 또는 一部가 폐열로 利用될 때를 除外하고는 再循環시켜 사용해야 한다.

豫熱機가 設置된 큰 장치로부터 얻은 660°F의 排가스로서 原料中 6~8%의 水分을 除去할 수 있으며 原料中 水分含量이 높을 경우 乾燥室은 밀의 粉碎室 前面부에 設置해야 한다. 이 乾燥室에는 原料引上板이 設置되어 있을 뿐 粉碎媒體는 충전되어 있지 않다.

에어 스웍트 밀은 폐열 利用에 아주 適合한 밀이다.

原料中 水分含量 如何에 좌우되겠지만 바켓 엘리베이터, 폐순환식 밀보다 原料 톤당 電力消耗量은 多少 높다.

自動 밀이란 많은 量의 空氣를 必要로 하는 에어 스웍트 밀 같은 것이라고 생각할 수 있으며 이 밀은 사이즈가 12인치, 水分含量 17%의 粘性있는 原料를 660°F의 廢가스를 利用 건조 시

킬 수 있다. 시멘트 製造用 原料의 粉碎用으로 微粉碎 밀과 接續해서 1次原料 粉碎 밀이 使用된다.

## 4. 閉回路 밀(Close Circuit Mills)

이러한 種類의 밀은 밀이 흡인하는 空氣量이 적기 때문에 때로는 原料乾燥를 위해서 特別措置가 要望된다.

에어 세퍼레이터 밀은 乾燥室이 있든 없든 關係없이 가장 단순한 바켓 엘리베이터 순환 폐회로 밀이다.

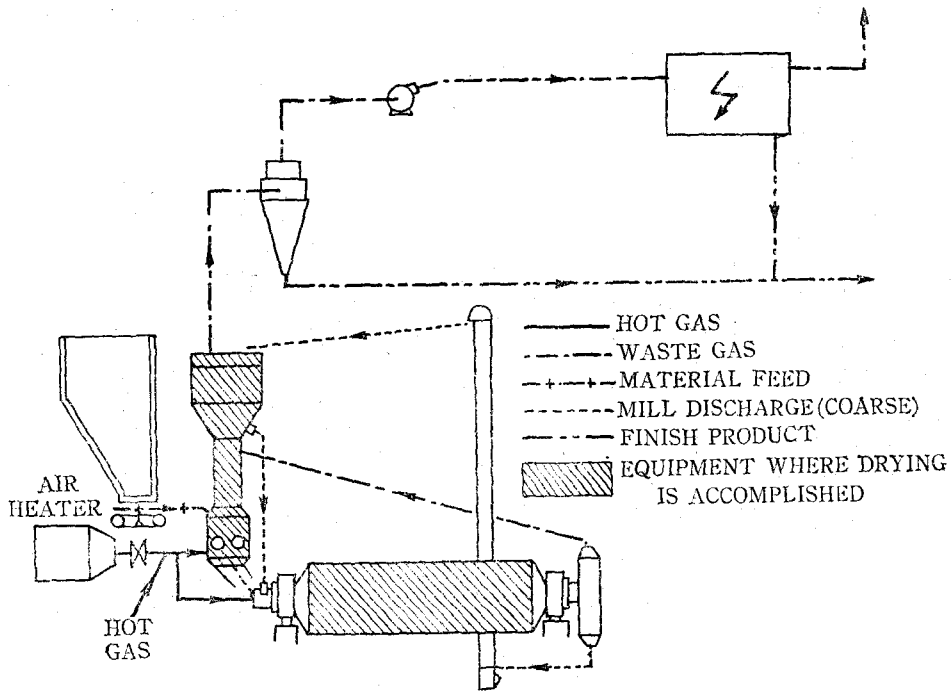
건조실이 設置되어 있거나 外部에서 熱이 供給된다면 밀은 7~8%의 水分含量 原料를 處理할 수 있다. 그러나 乾式에서 排氣가 660°F 밖에 되지 않는다면 原料의 水分含量은 3~4%를 넘지 못한다. 乾燥室이 없을 경우와 熱이 外部로부터 供給되지 않을 경우 水分含量의 上限値는 2%가 된다.

工程 끝에 에어 세퍼레이터가 設置되어 있을 경우 밀 内部에서 原料가 乾燥되지 못하면 에어 세퍼레이터로 건조할 方法을 강구해야 한다. 밀에서 原料가 乾燥되지 않고 습한 條件 때문에 粉碎되지 않는다면 原料를 에어 세퍼레이터를 통해서 밀에 投入할 必要가 있다. 이런 경우 原料를 약 3/8인치 粒子로 事前 粗碎해 줄 必要가 있다.

에어 세퍼레이터에서는 原料가 短時間밖에 머무를 수 없기 때문에 세퍼레이터 內에서 뜨거운 氣가 原料에 전도되기란 쉽지 않다. 이와 같은 理由 때문에 氣의 排出溫度는 285°F가 된다. 1.110~1.290°F의 뜨거운 氣를 이용하면 6~7%의 水分을 含有한 原料를 건조시킬 수 있다. 660°F의 排가스로서는 水分含量 약 2%까지의 原料를 세퍼레이터 內에서 건조시킬 수 있다.

乾燥에 세퍼레이터를 利用하는 利點은 必要한 장비를 절약할 수 있다는 點이다. 必要條件은 큰 집진 장치거나 작은 집진 장치든간에 건조에 사용되는 高溫가스와 排가스를 여기에 연결시켜 주는 일이다.

또 다른 方法으로는 原料를 事前 粗碎하여 건



<그림-4> Closed-circuit mill with bucket elevator, drying effected in shaft, impact crusher and separator

조시켜 세퍼레이터에 투입시켜 더 건조시켜 주는 것이다(<그림-2>).

이러한 방법의 건조는 原料의 지체 시간이 짧기 때문에 효과가 적다. 이와는 別途로 장치를 通過하는 가스의 流量은 약  $16 \text{ ft}^3/\text{lb}$ -原料로 制限되어 있다.

實驗에 나타난 結果로는 高溫의 뜨거운 가스와 外部로부터 供給된 뜨거운 熱로서 약 10%의 水分을 含有한 原料를 乾燥시킬 수 있다. 여기서  $660^\circ\text{F}$ 의 배기를 利用하여 除去할 수 있는 原料의 水分은 약 4%이다.

乾燥 장치로서 햄머 밀과 세퍼레이터 대신 밀을 加熱시키지 않는 衝擊 건조기를 使用할 수 있다. 이 경우 폐열의 移動條件은 <그림-3>의 햄머 밀과 세퍼레이터의 건조와 흡사하다.

高溫의 가스와 外部로부터 供給되는 熱로서 最高水分含量 10%까지의 原料를 乾燥시킬 수 있으며 排가스  $660^\circ\text{F}$ 까지를 이용한다면 水分含量 5%까지의 原料를 乾燥시킬 수 있다. 앞에서 說明한 바와 같이 바켓 엘리베이터 폐회로 밀의 건

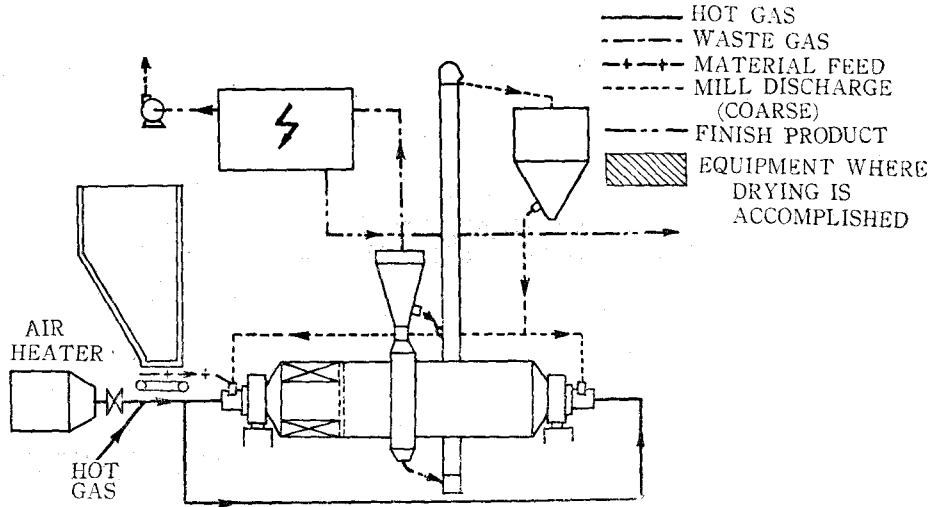
조 능력은 乾燥工程을 改善하든가 畚斗(Funnel)이 구비된 衝擊 크라셔나, 에어 세퍼레이터를 追加 設置해 줌으로써 乾燥效果를 向上시킬 수 있다(<그림-4>).

結果적으로 原料의 지체 시간은 늘어 나며 乾燥效果가 改善되어 入口 가스 溫度가  $660^\circ\text{F}$ 일 경우 12%의 水分을 含有한 原料를 處理할 수 있다.

<그림-5>에서 表示한 바와 같은 中央排出式으로 된 에어 세퍼레이터 밀은 밀 자체에서 原料中 상당량의 水分을 추출시킬 수 있다.

粉碎될 原料는 1次로 밀의 乾燥室에서 건조되며 밀의 1室을 通過한 原料는 바켓 엘리베이터로 運搬되어 재순환 에어 세퍼레이터로 供給된다. 세퍼레이터에서 分離된 사이즈가 큰 原料는 대부분 밀의 微粉碎室로 供給되며 단지 極少量만이 밀의 건조실로 되돌아 간다.

응축 防止를 위해서 밀의 微粉碎室에는 뜨거운 가스가 供給되어 原料의 殘有水分을 除去한다.



<그림-5> "Double rotator" mill, drying effected in drying chamber and in mill

廢가스를 使用할 수 있도록 設計된 더블 로테이터 밀(double roator mill)은 22.4 ft<sup>3</sup>/lb-원료까지의 廢가스를 使用할 수 있다. 排가스의 溫度가 660°F일 경우 追加加熱 없이 水分 7%를 含有한 原料를 乾燥시킬 수 있다. 1,470°F의 高溫 가스를 이용할 경우 더블 로테이터 밀은 水分含量 16%의 原料를 乾燥시킬 수 있다. 本 工程前에 햄머 밀을 設置하거나 햄머 밀에 건조 施設을 하면 더 많은 廢熱을 利用할 수 있다.

水分이 많은 原料이거나 軟은 原料를 使用하려면 건조실에서 事前 건조시켜 주며 가열시킨 햄머 밀에서는 原料를 粉碎시켜 준 다음 마지막으로 밀의 미분쇄실로 投入시킨다.

高溫 가스의 量이 얼마나 要求되든지간에 밀을 통해 나갈 수 있기 때문에 追加로 熱을 供給해 줌으로써 얼마의 水分을 含有하고 있는 原料든지 乾燥시킬 수 있다. 原料中 水分含量이 많은 原料일수록 건조실을 밀과 分離하는 것이 有利하다.

### 5. 垂直 롤러 밀(roller mill)

이 밀은 많은 量의 가스를 處理할 수 있기 때문에 排가스 使用에 매우 適合하다. 에어 스웨프트 밀과 比較하면 밀을 通過할 수 있는 排가스는 32 ft<sup>3</sup>/lb-원료로 制限되어 있기 때문에 排가스의 溫度가 660°F일 경우 水分 함량 14%의

原料밖에 處理하지 못한다.

高溫의 가스를 充分히만 使用한다면 이 밀은 原料의 水分에 關係없이 原料乾燥用으로 使用할 수 있다.

### III. 시멘트 工場에 使用되는 全消費 熱에 대한 廢熱의 영향

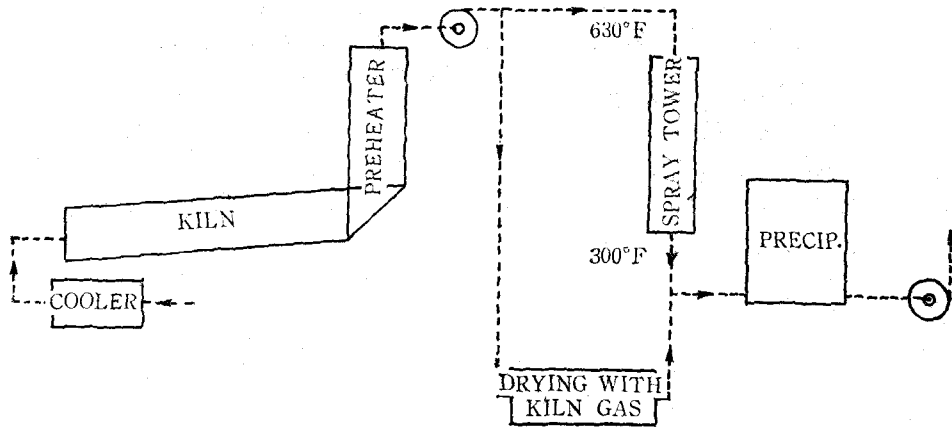
最近 키른과 건조 工程의 併合運營關係를 잘 못 생각하고 있다. 廢熱利用 보일러로 키른을 運轉하는 경우 例外 없이 相互 有害 效果가 發生할 우려가 있다.

서로 獨立된 機械는 設計나 運轉이 보다 간단하다. 有用한 폐열은 機械의 有害 效果 발생이 없는 範圍에서 可能한 限 폐열의 利用方法을 강구해야 할 것이다.

廢熱을 利用한다는 것은 어느 程度 經濟的으로 有利하지만 어떤 경우든지간에 廢熱을 끄는데 巨額의 資本支出이나 其他 必要한 追加運轉費를 計算해 보아야 한다. 廢熱을 利用하는 것과 外部의 熱源으로부터 供給되는 熱로 건조하는 것과의 所要比熱의 差는 중요한 問題이다.

#### 1. 豫熱機(preheater) 廢가스 利用時의 더스트 除去

알고 있는 바와 같이 300~510°F 사이의 乾式 키른의 排가스를 集진하는 電氣 集진기의 經



<그림-6> Raw meal preheater kiln with electrostatic precipitator, evaporation cooler and exit gas utilization

우 바로 이 溫度에서 더스트의 電氣 저항이 第一 높기 때문에 效率은 낮다.

最近에는 排氣 가스를 폐열로 이용하지 않고 물 증발 냉각기로 300°C 까지 냉각시키면 이때 이슬점(<그림-6>)이 상승하기 때문에 염가의 소형 집진기로 더스트와 가스를 分離시킬 수 있다.

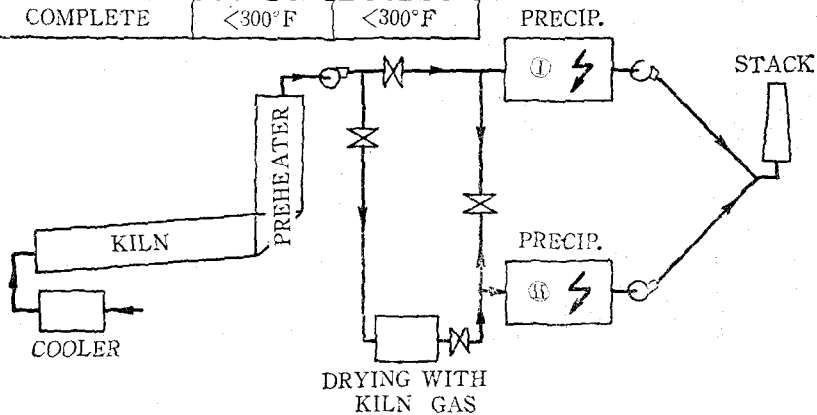
가스를 스프레이 타워로 보내지 않고도 2개의 병렬(<그림-7>) 전기 집진기로 나누어 보냄으로써 排가스 一部分을 使用, 전기 집진기의 임계 온도를 피할 수 있다.

이때 다음과 같은 현상이 일어날 可能性이 있다.

① 廢가스를 利用하지 않을 때 630°F의 廢가스가 兩集塵機로 들어 간다.

② 廢가스의 一部分이 건조에 使用되면 그때 집진기 I로 630°F의 큰 廢가스가 들어 가게 되며 집진기 II에는 廢가스 사용 도정에 따라 건조 공정으로부터 210°~300°F 사이의 排氣가 들어간다. 이러한 方法으로 2개의 집진기는 똑같이 좋은 運轉條件을 유지시킬 수 있다.

KILN GAS UTILIZATION		PRECIPITATOR TEMPERATURE	
		I	II
1	NONE	630°F	630°F
2	PARTIAL	630°F	<300°F
3	COMPLETE	<300°F	<300°F



<그림-7> Raw meal preheater kiln with two electrostatic precipitators in parallel



2. 各種의 高溫分布에서 乾燥工程, 複合型 乾燥 및 粉碎工程의 熱消耗量

一般的으로 폐열은 乾燥工程으로 들어 가는 375°F의 入口 氣스를 出口에서 약 195°F (90°C)가 되도록 낮추는 데에만 사용되기 때문에 氣스의 熱含量中 50%밖에 利用할 수 없다.

反面 氣스 溫度가 660°F (350°C) 또는 2,730°F (1,500°C)라면 氣스중의 熱은 상대적으로 75% 내지 95%만 使用이 可能하다.

氣스의 溫度가 750°F (400°C) 以下로 떨어지면 熱使用 可能性은 급격히 떨어진다. 熱含量 다이아그램에서 熱量을 절적어 나가면 그려진 曲線 모양에 差異가 생기지 않는다. <그림-9>는 1kg의 原料를 乾燥하는데 필요한 熱量을 나타냈으며 <그림-10>은 1kg의 물을 蒸發시키는데 필요한 所要熱量을 氣스 溫度와 原料水分 含量의 函數로 表示한 것이다.

原料를 乾燥시키는데 필요한 熱量은 高溫·乾燥 氣스일수록 減少된다.

바로 이것이 低溫의 氣스를 利用하면 乾式 로타리 基른의 排氣의 溫度를 낮추어 주며 原料를 乾燥하는데 低溫의 排氣를 利用하는 것보다 追加로 熱을 供給하여 使用하는 것이 經濟的 이라는 것을 잘 설명해 주는 좋은 例다.

3. 各種 基른에서 原料燒成과 건조에 所要 되는 全熱量

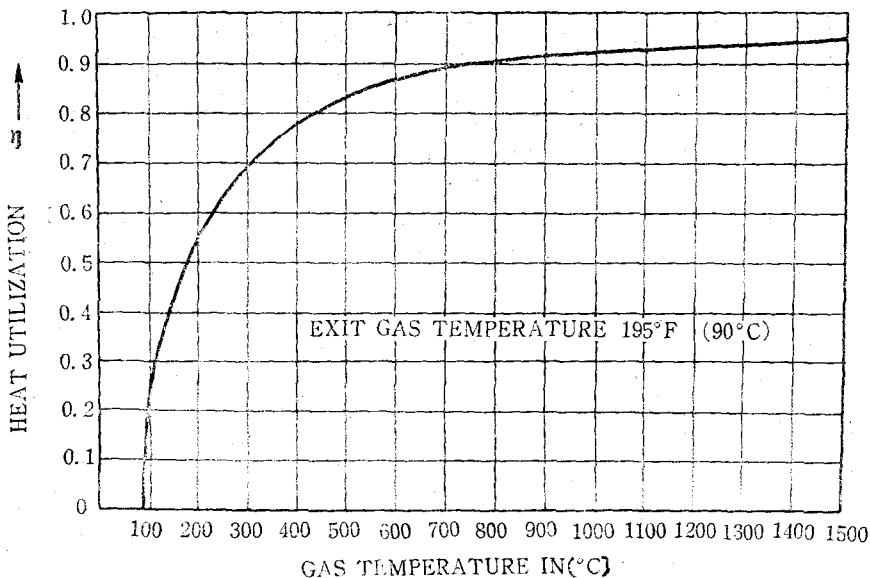
<그림-11>은 各種 水分含量의 原料 및 各種 基른의 廢熱利用을 包含한 全體 熱消耗量을 kcal/kg-clinker로 표시하였다. 이 熱量表示 다이아그램에는 電力 消耗量 整備 및 다모와 파열에 의해 上昇되는 費用과 석탄을 건조시키는데 必要한 費用은 計算되어 있지 않아 運轉條件에 따라 熱消耗量은 상당이 變化된다.

습식 基른에서의 熱消耗量은 原料中의 水分含量에 좌우되는 것이 아니라 原料 슬러리(slurry)의 水分含量에 左右된다.

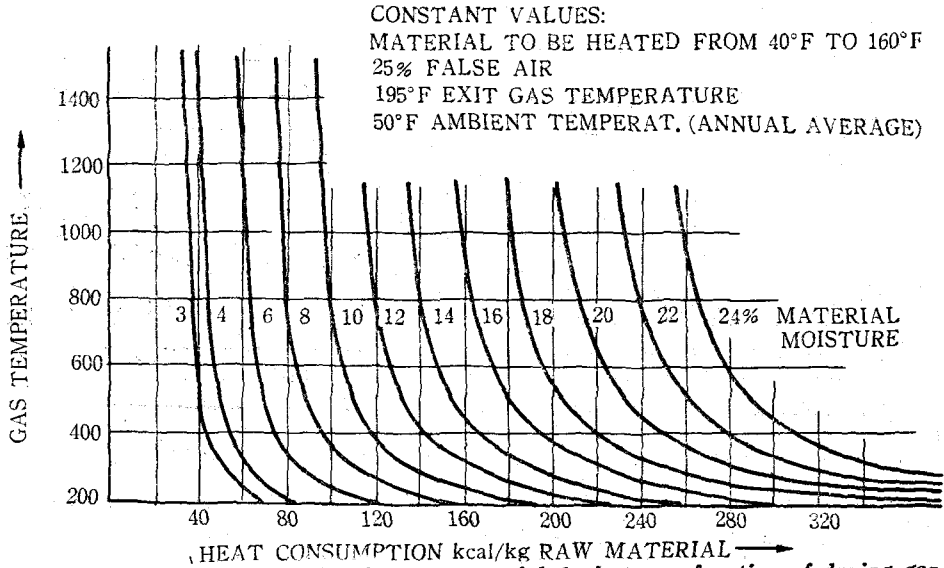
基른 內部에 체인이 設置된 新型 습식 基른은 原料 슬러리의 水分含量에 따라 2,120~2,390 BTU/lb-clinker로 熱消耗量을 줄일 수 있다.

乾原料를 投入하는 乾式 로타리 基른의 경우 다이아그램은 乾燥工程에서 184°F의 排氣 氣스와 20%의 냉풍이 스며들어 간다고 가정하고 基른 排氣 氣스와 쿨러의 排氣 氣스 全部를 폐열로 利用한다는 假定下에 그린 것이다.

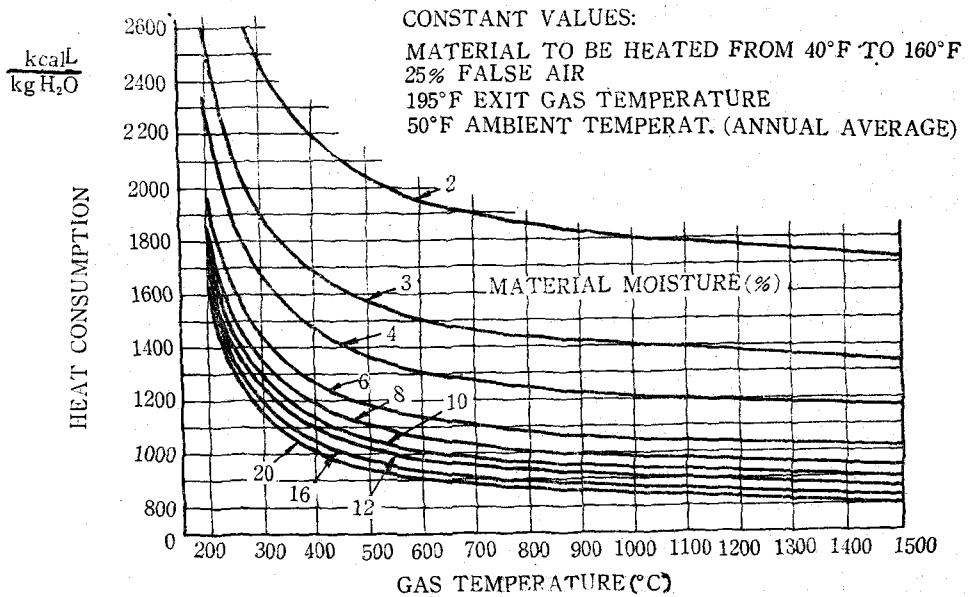
原料 水分 3.5%까지는 레폴(Lepol) 基른의 全體 熱消費量과 예열기가 設置된 基른의 全體 熱消費量은 같으며 大型 基른의 경우 약 1,570 BTU/lb-clinker이다.



<그림-8> Drying, hot gas utilization factor



<그림-9> Heat consumption for raw material drying as a function of drying gas temperature and material moisture content in kcal/kg of raw meal



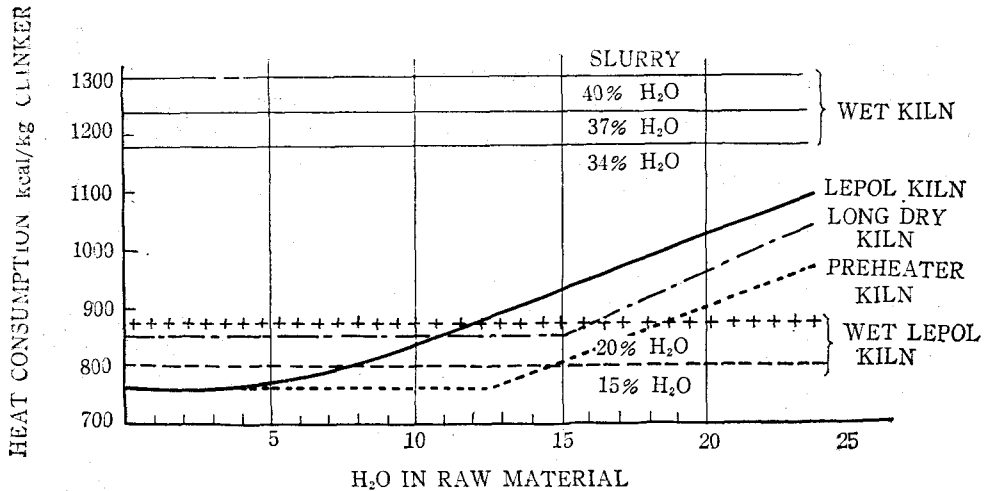
<그림-10> Heat consumption for raw material drying as a function of drying gas temperature and material moisture content in kcal/kg of water evaporated

레폴 키른에서 原料中 水分含量이 3.5% 以上일 경우와 예열기가 設置된 (SP kiln) 키른에서 原料中 水分이 12.5% 일 경우 追加 加熱이 必要하다.

키른 内部에 特別장치가 되어 있는 長型 乾式 키른의 경우 乾原料로 약 1,570 BTU/lb의 熱消耗量으로 運轉이 可能하며 原料中 11.5%의 水

분을 含有한 原料를 乾燥시키는데 充分한 廢熱을 供給할 수 있다.

熱經濟面에 있어서 乾原料를 投入하는 長型 로 타리 키른은 原料 水分含量 11.5%까지는 레폴 키른보다 不利하다. 즉 水分含量 15.5% 以上일 때는 有利하며 經濟적인 面에서는 레폴 키른과 예열기가 設置된 키른 (SP kiln)의 中間이다.



<그림-11> Attainable overall heat consumption for the burning and drying of the raw material for the various kiln systems

#### IV. 要 約

全體 乾式 키른에서 生産되는 폐열은 原料, 슬래그 또는 석탄 乾燥에 使用할 수 있다. 廢熱로 蒸發된 原料의 水分을 즉시 알아 내는 다이어그램이 만들어졌다.

排가스와 排氣의 溫度가 相對적으로 낮을 때 가스와 空氣量은 커진다.

水分이 많은 原料 때문에 때때로 프로세스 엔지니어링에 어려움이 加重된다. 廢熱利用 乾燥裝置는 可能하면 使用 가능한 폐열을 全量 利用할 수 있는 장치로 選擇하여야 한다.

各種 건조기 및 복합형 건조기 그리고 粉碎工程에서 廢熱利用 可能性에 관하여 說明하였다. 乾燥는 粉碎室 自體에서, 세퍼레이터에서 또는 햄머 밀이나 임팩트 粉碎機內에서 이루어진다.

原料를 乾燥하기 위하여 上記 施設을 獨立使用하거나 또는 組合하여 使用할 수 있다. 原料

밀과 키른을 同時에 稼動하는 工場의 全熱消耗量을 說明하였다.

最近의 경험에 의하면 키른에 나쁜 영향을 주지 않고 乾燥, 복합 건조 및 粉碎工程에 廢가스 使用이 可能해졌다.

一部 廢가스를 利用하는 경우 건조 排가스의 진기 집진의 어려움을 해결해 주기 위해 타워에서 물을 뿌려주는 方法 또는 집진기를 2個로 分離하는 方法 등으로 克服할 수 있었다.

原料의 水分含量과 關聯된 건조와 燒成에 所要되는 全體熱消耗量은 <그림-11>에 各工程別로 分類 表示하였다(PIT & Quarry, July 1974).

#### [Table of Conversion Factors]

$$^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 9/5) + 32$$

$$\text{kcal/kg} = 1.8 \text{ BTU/16}$$

$$\text{Nm}^3 = 35.31 \text{ ft}^3$$

$$\text{kcal/Nm}^3^{\circ}\text{C} = 0.0624 \text{ BTU/SCF}^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Nm}^3/\text{kg} = 16.02 \text{ SCF/16}$$