

# 新시멘트 燒成技術

承 永 煥 (譯)

〈星信洋灰(株) 丹陽工場 生産管理課長〉

## 要 約

日本 神戸製鋼(Kobe Steel)社は 최근에 日本 시멘트(Nihon Cement)社와 공동으로 Two-Stage Calcining System을 개발하는데 성공하였다. 시멘트 원료의 煨燒를 율등히 촉진시키기 위해 가스와 원료의 흐름을 따라 2 Set의 Calciner로 구성된 새로운 시스템의 개발을 위한 일련의 實證의 테스트가 60t/d의 파일럿 플랜트에서 이루어졌다. 종래 시스템에서는 投入原料의 약 85%가 煨燒되는데 비해 滯留時間의 延長과 燃燒空氣 중의 낮은 CO<sub>2</sub> 分壓으로 같은 온도에서도 95% 이상의 높은 煨燒率에 쉽게 도달할 수 있게 된 것이다.

## 1. 序 論

여러가지로 多樣化된 현대의 NSP工程에서 커 큰 투입원료의 煨燒率은 燃燒裝置의 運轉條件뿐만 아니라 원료의 특성에도 좌우된다.

Short Kiln에 적용하거나 커 큰 排가스의 by-pass 熱損失을 最小化하고자 할 때 또는 流動層 커 큰에 적용코자 할 때에는 원료의 종류에 관계없이 커 큰 투입원료의 煨燒率이 높고 안정된 상태를 얻는 것이 바람직하다.

研究는 주로 NSP 內에서 石灰質 成分의 煨燒促進을 위한 方向으로 수행된 바 본 시스템

의 概念은 70년대 말경에 고안된 것으로서 이것은 주로 낮은 CO<sub>2</sub> 分壓의 상태에서 煨燒를 촉진시키는 방법이다. Calciner에서의 煨燒反應에 대한 模擬實驗이 가능한 컴퓨터 프로그램을 가동하여 Two Stage Calcining의 理論的인 성능에 대해 스테디한 후 이를 確認하기 위한 實證의 테스트가 日本시멘트(株) 西多摩(Nishitama)工場の 60t/d級 파일럿 플랜트를 활용하여 1988년에 성공적으로 이루어졌다. 본 報告書에는 同 研究開發作業 결과와 工程의 概要를 기술하였다.

## 2. 煨燒率 促進을 위한 基本要素

시멘트 원료의 煨燒는 일반적으로 1,000℃ 이하에서 進行되고 이 온도 범위에서의 煨燒率은 주로 化學反應速度에 지배된다.

煨燒率  $\epsilon$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$\epsilon = 1 - (1 - kt)^3$$

$$k = \frac{K''(T)}{d} \left( \frac{1}{PCO_2} - \frac{1}{PGL(T)} \right)$$

여기서,  $t$  : 滯留時間

$d$  : 粒子크기

$K''$  : 化學反應速度常數

$PCO_2$  : 大氣中的 CO<sub>2</sub> 分壓

$PGL$  : 平衡狀態의 CO<sub>2</sub> 分壓

따라서 다음과 같은 基本要素들이 NSP 내의 煨燒促進에 효과적이다.

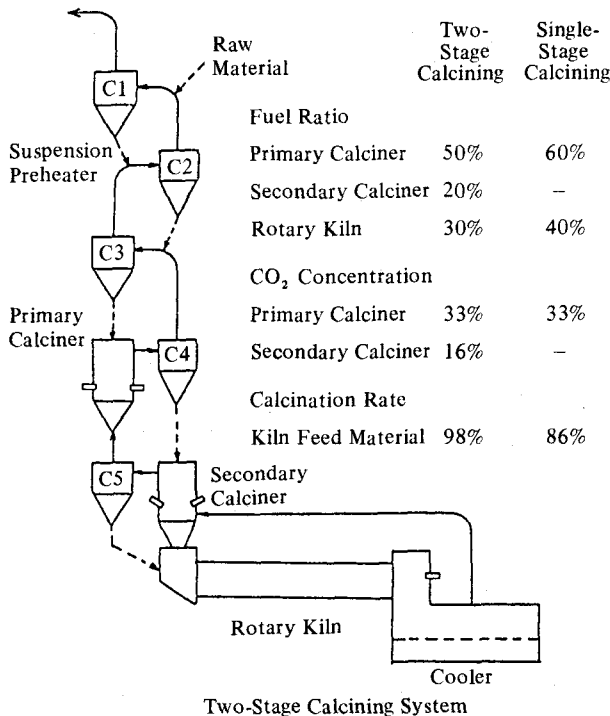
- (a) 加熱溫度的 上昇
- (b) 粒子크기의 縮少
- (c) 滯留時間의 延長
- (d) CO<sub>2</sub>分壓의 下向調整

煨燒促進을 위한 위의 要素들 가운데 원료의 온도를 상승시키기 위한 가능성은 프리히터에서의 원료중의 低融點 成分에 의한 粘着性으로 인해 사이클론이 막히는 문제가 발생되기 때문에 한계가 있다. 또한 원료의 粉末度를 더 높이는 공정은 원료분쇄에 필요한 電力消費를 증가시키며 사이클론에서의 集塵效率을 低下시키기 때문에 非實用的이다.

따라서 남은 實際要素는 滯留時間의 延長과 CO<sub>2</sub>分壓의 下向調整이다.

### 3. Two-Stage Calcining System의 概要

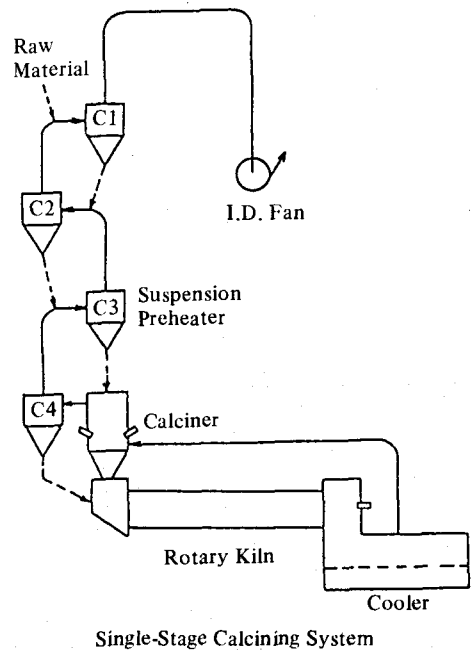
〈그림-1〉은 Two-Stage Calcining System



과 종래의 Single-Stage Calcining NSP를 비교한 것이다. Two-Stage 시스템에는 2 sets(1, 2次) Calciner를 가스와 원료의 흐름을 따라 連續配置하였고 燃料供給裝置는 각 Calciner마다 설치하였다. 약 70~80%의 煨燒가 1次 Calciner에서 이루어질 수 있도록 설계하였고 이 煨燒率을 달성하기 위해 NSP에서 所要되는 전체 연료의 약 70%가 1次 Calciner에 공급된다.

따라서 原料와 燃料로부터 分離된 CO<sub>2</sub>의 대부분은 1次 Calciner에서 발생되어 2次 Calciner를 통과하지 않고 SP 區間으로 직접 배출된다. 한편 크링카 쿨라에서 오는 燃燒空氣 전체는 2次 Calciner에 流入되므로 2次 Calciner의 CO<sub>2</sub>分壓은 효과적으로 감소된다.

결과적으로 1, 2次 Calciner를 통과하는 組合原料의 滯留時間이 약 2배가 될 뿐 아니라 2次 Calciner에서의 CO<sub>2</sub>分壓이 종래 시스템보다 약 절반으로 감소하기 때문에 키 큰 투입 원료의 온도상승 없이도 煨燒는 거의 100%까지 증가시킬 수 있는 것이다.



〈그림-1〉 Two-Stage Calcining System 과 종래의 Single-Stage Calcining System의 비교

〈그림-1〉에서 보는 바와 같이 킨에서의 燃料比는 종래의 시스템이 약 40% 인데 비해 Two-Stage 시스템에서는 킨 투입원료의 煨燒增加에 따라 약 30%로 감소되며 이로써 킨 排가스량은 실질적으로 킨 燃料比에 비해 하여 현저히 감소시킬 수 있다.

그러므로 다음과 같은 利點이 킨 排가스의 bypass가 요구되는 工程에서 얻어질 수 있다.

(a) Bypass 시스템에서의 熱損失은 bypass 가스가 감소하기 때문에 줄어든다. 〈그림-2〉는 Single-Stage 및 Two-Stage 시스템 각각을 적용했을 때 실제 規模의 設備에서 킨 排가스의 bypass比와 기대되는 熱消費量 사이의 관계를 나타낸다. Bypass가 없을 때의 熱消費量은 두 시스템에서 거의 같게 나타난다 해도 킨 排가스가 100% bypass될 때의 熱消費量은 종래의 Single-Stage 시스템보다 약 90 kcal/kg-cl이나 더 낮다.

(b) 또한 bypass 가스가 감소됨으로 인해 bypass 가스와 함께 放出되는 dust 量의 減少

效果가 있다. 이는 Raw mill로부터 요구되는 原料量의 감소는 물론 dust 발생으로 야기되는 公害問題를 줄일 수 있음을 의미한다.

(c) Bypass 가스처리 시스템의 設備投資費用이 절감된다.

위의 利點 외에도 킨에서의 熱負荷(혹은 가스흐름速度)가 감소되므로 한편으로 다음과 같은 利點을 낼 수 있다.

(d) 直徑에 비해 길이가 짧은 Short Kiln에는 原料의 종류에 관계없이 사용할 수 있다.

(e) Calciner에 공급하는 低級燃料의 사용량을 효과적으로 증가시킬 수 있다.

(f) 煉瓦 消耗가 감소되기 때문에 킨 補修가 보다 쉬워진다.

(g) 流動層 킨에는 종래의 로타리 킨보다 有效하게 적용할 수 있다.

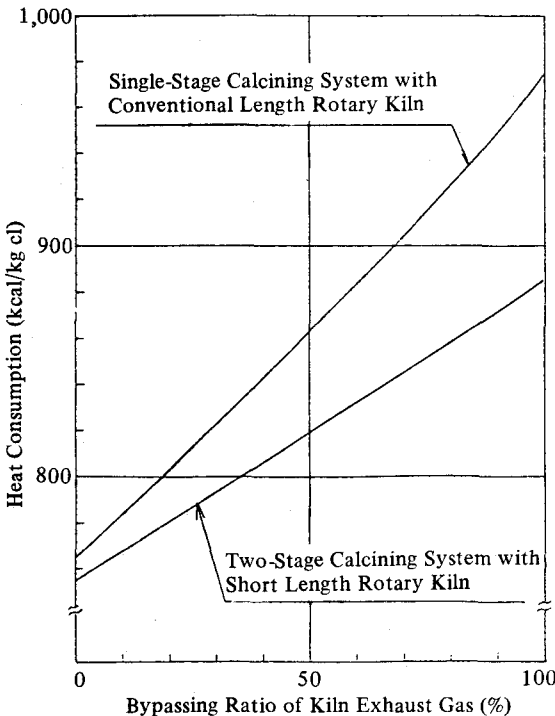
#### 4. 파일럿 플랜트 試驗

파일럿 플랜트는 60t/d-cl의 生産能力을 가진 것으로서 그 工程 및 主要設備의 諸元을 〈그림-3〉과 〈表-1〉에 나타냈다. 試驗設備는 從來類型의 既存 4段 NSP를 Two-Stage 시스템으로 개조한 것으로서 그 주요 특징은 다음과 같다.

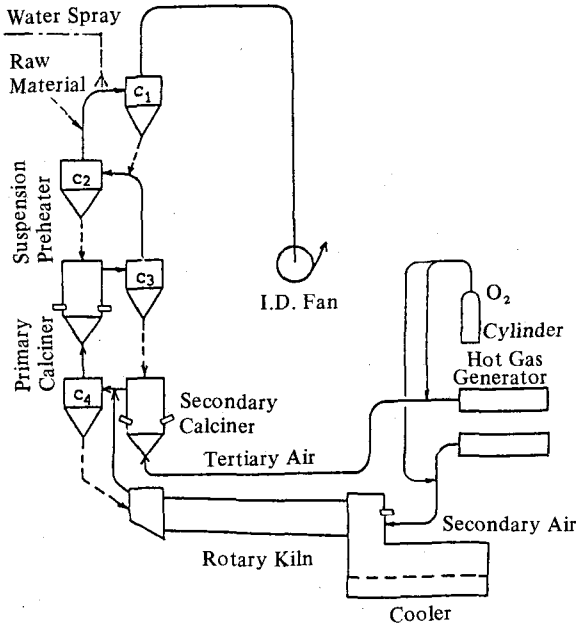
##### 主要 設備 諸元

〈表-1〉

設 備	諸 元 (mm)
(1) SP	
• 子 조	6800 (W) · 5450 (L) · 22500 (H)
• Calciner	1次: 1460 (D) · 5500 (H) 2次: 1660 (D) · 5475 (H)
• Cyclone	C 1 : 900 (D) 2400 (H) C 2 : 1560 (D) 2560 (H) C 3 : 1660 (D) 2740 (H) C 4 : 1660 (D) 2740 (H)
(2) 킨	1300 (D) · 20000 (L) 0.4 ~ 4rpm, 4%
(3) 쿨 라	Horizontal grate type 1688 (W) · 6280 (L)



〈그림-2〉 킨 排가스의 bypass比와 熱消費量과의 관계



〈그림-3〉 Two-Stage Calcining System 을 갖춘 파일럿 플랜트의 工程圖

(a) Two-Stage 시스템으로 개조할 때 Cyclone stage가 한 개 더 追加되었어야 이상적이긴 하나 改造作業을 單純化하기 위해 4段 熱交換機의 位置는 그대로 두었다. 따라서 撒水(Water spray) 시스템은 SP 排가스의 온도를 낮추기 위해 Top stage에 설치하게 되었다.

(b) 원래의 Calciner는 直列型이지만 2次 Calciner는 키른 排가스의 일부가 bypass 될 수 있도록 分離型으로 설치하였다.

(c) 試驗設備의 규모가 작아서 클라가 실제 설비에서와 같은 高溫의 燃燒空氣를 회수할 수 없기 때문에 키른과 Calciner 각각에의 공급을 위한 Hot gas 發生機를 설치하였다. Hot gas 내의 酸素含量은 Hot gas 發生機로부터의 燃燒가스에 液化酸素를 첨가하여 21%(空氣와 같은 比率) 정도로 조절하였다.

(d) 본 시험의 主目的은 새로운 Calcining 시스템의 性能을 확인하는데 있으므로 既存 로타리 키른의 길이는 개조하지 않았다.

比較目的을 위한 實證的 테스트는 1,2次 Calciner에 燃料가 공급되는 Two-Stage 시스템에서 뿐만 아니라 2次 Calciner에만 燃料가 공

〈表-2〉

(kcal/kg-cl)

Position	Two - Stage		Single - Stage	
	열량	%	열량	%
입				
• Oil의 연소열				
- 1 차 Calciner	684.0	34.3	772.3	41.6
- 2 차 Calciner	344.0	17.3	-	-
- 키른	501.0	25.1	590.6	31.8
열				
• 원료의 현열	5.2	0.3	5.2	0.3
• 2 차공기의 현열	183.0	9.2	191.6	10.3
• 3 차공기의 현열	275.3	13.8	296.3	16.0
계	1,992.5	100	1,856.0	100
출				
• 크링카 이론소성열	424.0	21.3	424.0	22.8
• 프리히터 배가스 및 더스트의 현열	675.8	33.9	573.8	30.9
• 클라 배가스 및 더스트의 현열	207.7	10.4	211.0	11.4
• 크링카의 보유열	22.2	1.1	22.5	1.2
• 살수 증발열	146.9	7.4	83.2	4.5
열				
• 열손실 및 평형	515.9	25.9	541.5	29.2
계	1,992.5	100	1,856.0	100

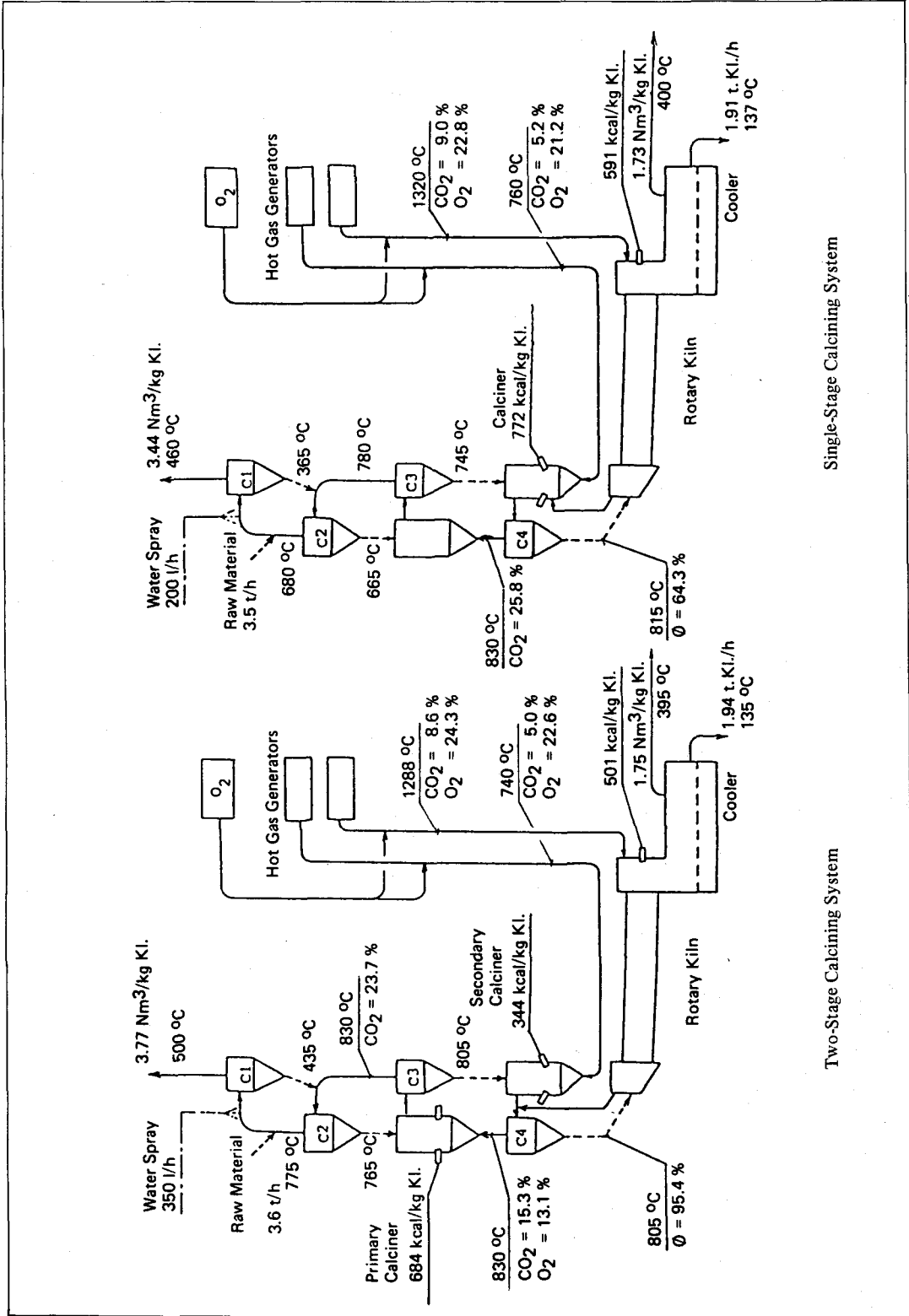
급되는 Single-Stage 시스템에서도 수행되었다. 필요한 데이터로서 이른바 煨燒率, 키른 투입원료의 온도, 4段 사이클론 출구에서의 CO<sub>2</sub>分壓 등이 측정·기록되었다.

## 5. 試驗 結果

### 1) 運轉狀態 및 데이터

계속적이고 安定된 運轉이 Two-Stage 시스템에 대한 근본적인 문제점 없이 이루어졌다. 로타리 키른은 키른 투입원료의 煨燒率이 증가된 상태로 투입될 때에도 키른 排가스의 온도가 上昇되지 않고 운전될 수 있었다.

〈그림-4〉는 Two-Stage 및 Single-Stage 시스템에 대한 典型的인 운전데이터를 나타내



Single-Stage Calcining System

Two-Stage Calcining System

며 두 시스템의 熱精算은 <表-2>와 같다.

파일럿 플랜트에서 Two-Stage 시스템의 熱消費量이 Single-Stage 시스템보다 더 높은 것은 前者는 단지 2段豫熱區間만 가진 반면 後者는 3段豫熱區間을 가졌기 때문이다. 이는 Two-Stage 시스템에서 SP 排가스의 溫度低減을 위해 大量의 撒水를 요하고 또한 大量의 撒水에도 불구하고 온도가 높다는 것을 의미한다.

## 2) 煨燒率

煨燒率은 <그림-5>에서와 같이 媒介變數로서 CO<sub>2</sub> 分壓을 취하여 投入原料의 溫度에 대해 플로팅하였다. 원료온도가 840℃로 일정할 때 Single-Stage 시스템에서의 煨燒率은 약 80%인 반면 같은 온도의 Two-Stage 시스템에서는 95% 이상의 높은 煨燒率에 쉽게 도달하며 만일 CO<sub>2</sub> 分壓이 실제 플랜트에서 추정되는 16% 정도이면 煨燒率은 98%까지 도달할 수 있다.

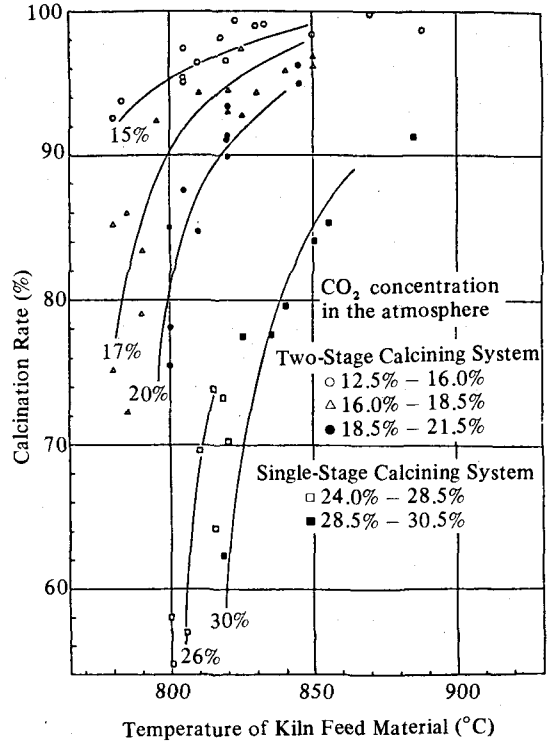
煨燒에 있어서 CO<sub>2</sub> 分壓의 영향에 관한 실제 試驗結果는 模擬프로그램으로부터 계산된 결과와 잘 부합하였다.

## 3) Calciner의 溫度 및 가스組成

Two-Stage 시스템의 1次 Calciner와 Single-Stage 시스템의 Calciner에 대한 溫度 및 가스組成 斷面을 <그림-6>에 나타내었다. 最高·最低 溫度가 보는 바와 같이 기록되어 있고 그에 서로 접촉한 가스와 원료의 溫度值가 표시되어 있다. 가스온도는 오리피스 효과로 인해 Complete burning zone(오리피스 중간 上部)에서는 낮게 나타나고 있다.

Two-Stage 시스템에서의 1次 Calciner의 燃燒性은 Single-Stage 시스템의 Calciner 보다 양호하다. 즉 2次 Calciner로부터의 排가스가 1次 Calciner의 燃燒空氣로 이용되고 Two-Stage 시스템에서 1次 Calciner에 투입된 원료로부터의 熱負荷가 오히려 Single-Stage 시스템의 Calciner보다 높다고 해도 燃燒性이 양호한 게 사실인 것이다.

양호한 燃燒는 Two-Stage 시스템의 2次 Calciner에서 높은 酸素含量의 상태일 때 이루어질 수 있다.



<그림-5> 키른 投入原料의 溫度에 대한 煨燒率

## 4) 프리히터에서의 크링카 鑛物 生成

프리히터에서의 크링카鑛物 生成은 부분적인 過熱에 의한 것으로서 이로부터 사이클론이 막히는 경우가 있다. 또한 Two-Stage 시스템이 앞의 2節에서言及한 바와 같이 키른 排가스에 대한 bypass 시스템에 적용될 때 로타리 키른에서의 熱消費量 節減效果를 감소시킨다.

<그림-7>은 프리히터에서 生成된 크링카 鑛物量을 측정할 때 이로부터 CaCO<sub>3</sub>로서의 CaO, free-CaO, 結合 CaO의 構成比率를 키른 投入原料의 煨燒率에 대해 플로팅한 것이다.

結合 CaO의 比  $\alpha$ 는 다음 식으로부터 계산된 것이다.

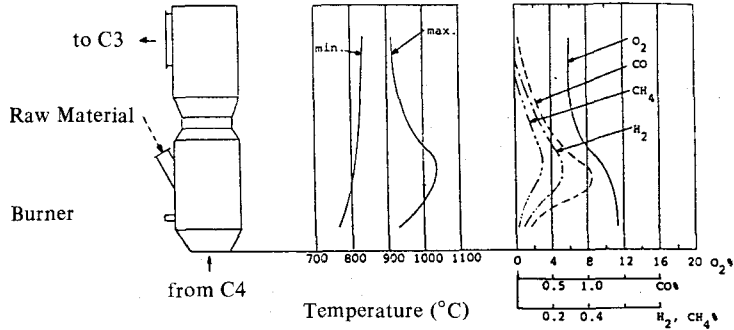
$$\alpha = \frac{\varphi \times T. \text{CaO} - F. \text{CaO}}{T. \text{CaO}}$$

여기서,  $\varphi$ : 煨燒率

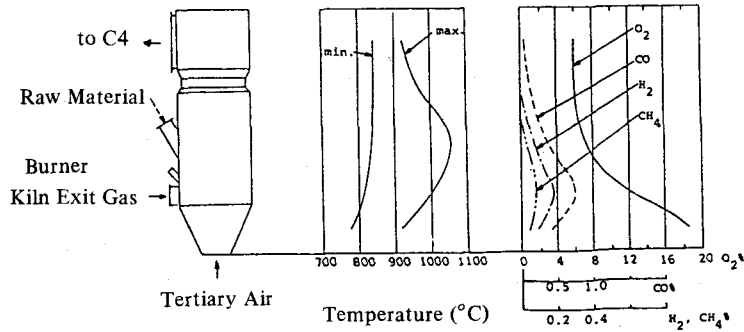
F. CaO: free CaO

T. CaO: total CaO

Primary Calciner by Two-Stage Calcining System

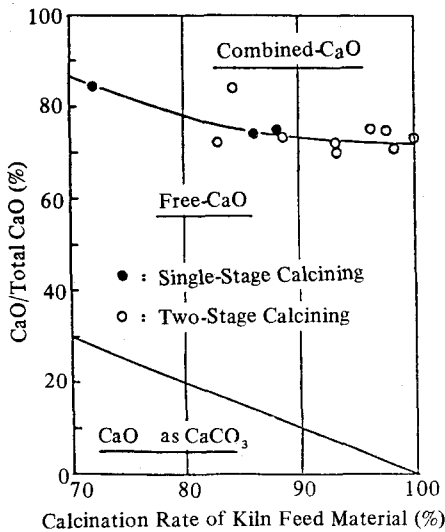


Calciner by Single-Stage Calcining System



〈그림-6〉 Calciner의 온도 및 가스組成 斷面

煨燒率이 높을수록 프리히터에서의 크링카 鑛物 生成量은 다소 많아지는 경향이 있다.



〈그림-7〉 키른 投入原料의 煨燒率과 크링카 鑛物 量과의 關係

6. 結 論

Two-Stage Calcining System의 開發을 위한 一連의 實證的 테스트가 60 t/d 파일릿 플랜트에서 이루어졌다. 키른 投入原料의 온도가 종래의 Single-Stage 시스템에서의 온도와 비슷한 상태에서 Two-Stage 시스템을 採擇함으로써 기대했던 대로 높은 煨燒率을 確實히 얻을 수 있었다.

〈參 考 文 獻〉

- 1) Jap. Pat. No. 1222133, 19. Febr. 1976. Kobe Steel Ltd. (Erf. T. Fujisawa, M. Nitta).
- 2) Müller, A, Dahm, B., und Stark, J.: Beitrag zur Kinetik der Calciumcarbonatzersetzung. Zement-Kalk-Gips 32 (1979) H. 2, S. 78-82.

〈資料: ZKG Vol. 42 No. 10, 1989〉