

SF式 시멘트 燒成法의 開發

(Development of New Cement Sintering "SF" Process)

金 泰 男 譯

<星信化學企劃部企劃課長代理>

ABSTRACT

- ◆..... IHI has succeeded in developing a new cement sintering process, named "SF" process,.....◆
- ◆.....with the cooperation of Chichibu Cement Co., Ltd. According to this process, in which a.....◆
- ◆.....specially designed furnace with burner called "Flash Furnace" is installed between the.....◆
- ◆.....conventional suspension preheater and kiln, it is possible to increase the kiln production.....◆
- ◆.....capacity by 2~2.5 times without enlarging the kiln and also possible to construct a cement.....◆
- ◆.....plant of 8,000~10,000t/d capacity. Through a sintering test using the experimental.....◆
- ◆.....equipment at Chichibu No. 1 Works of Chichibu Cement Co., Ltd.◆
- ◆..... We succeeded in sintering cement clinker of more than 2,000 t/d, which is more than.....◆
- ◆.....double the capacity of an SP-type kiln of the same size, and confirmed the ability of the.....◆
- ◆....."SF" process. Now we are proceeding with the design of a super—large cement plant of 7,200.....◆
- ◆.....t/d capacity at Kumagaya Works of Chichibu Cement Co., Ltd.◆

I. 緒 言

10년 전 最新式 시멘트 製造樣式으로써 Suspension Preheater 付 Rotary Kiln 方式(以下 SP 付 Kiln 方式으로 略한다)에 의한 設備가 西獨 各社와 日本의 시멘트 製造會社間에 技術提携에 의하여 日本 國內에 設置된 이래 同方式은 시멘트 產業界의 目標인 生産性 向上에 適合하였으므로 많은 改良이 거듭되어 널리 보급되었고 이미 이 분야는 完成에 가까운 技術 수준에 도달하였다.

이 사실은 바꾸어 말해서 이미 이 方式으로는 이 이상의 발전은 말할 수 없다는 것이고 그 주요 燒成裝置인 Rotary Kiln 은 低傳熱 效率의 熱

交換器라는 非經濟性을 피할 수 없는데 더하여 그의 특징이었던 大形化 適用面에서도 Rotary Kiln 이 가지는 制約 때문에 대체로 한계에 달하게 되었다.

즉 Suspension Preheater 付 Rotary Kiln 에 있어서 排gas 餘熱의 效率的인 利用을 하는 豫熱器의 범위를 넘을 수 없고 全燃燒熱 負荷는 변함없이 Rotary Kiln 이 負擔하지 않으면 안되기 때문에 同方式에 의한 大容量化에는 生産能力에 대체로 比例하여 Rotary Kiln 이 大形化되지 않으면 안되게 되어 있다. 길이가 긴 橫形 耐火構造 回轉體인 Rotary Kiln 의 大形化에 대하여서는 製作, 設置, 運轉, 維持의 면에서 技術的으로도 經濟的으로도 한계가 있다.

그럼에도 불구하고 한편 시멘트 産業界의 生産性 向上에 대한 開發 目的이 계속되는 한 이 SP 付 Kiln 方式을 대신하여 더욱 高効率, 大能力을 가진 새로운 시멘트 燒成方法이 바람직스럽게 될 것은 당연한 추세이다.

이러한 現狀下에서 IHI 社는 독자적으로 새로운 技術인 氣流燒成方式의 開發을 이미 오래 전에 착수하였다. 약 10년간에 걸쳐 研究 開發을 한 결과 이번에는 氣流燒成爐付 Rotary Kiln 方式(以下 SF式 Kiln 方式으로 略함)의 개발 최종 단계에 이르러 시멘트 燒成裝置의 實用 第1號機(2,000t/d 秩父 Cement 株式會社 秩父第1工場에 設置)의 試驗 操業을 秩父시멘트株式會社와의 共同體制로 行하였다.

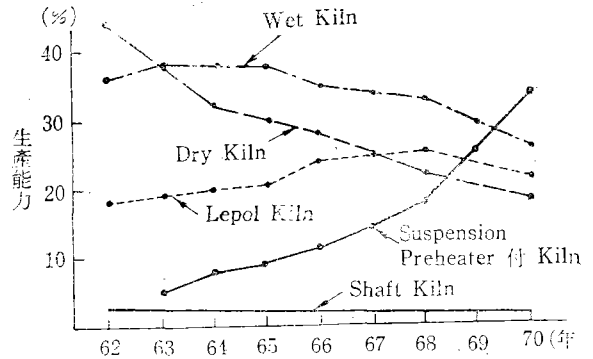
Rotary Kiln 축소화, 즉 Kiln比 燒成能力이 SP 付 Kiln 方式의 그것의 2배 이상이라는 획기적인 성과를 얻게 되었다.

여기서 本方式의 개발을 중심으로 이의 개요를 설명하고자 한다.

II. 開發

1963년 IHI 社는 IHI-Humboldt 式 Suspension Preheater 付 Rotary Kiln 을 日本에서는 처음 實用化했지만 그것과 별개로 IHI 社는 化學工業關係의 新技術 개발 테마중에서 시멘트 製造方法의 新技術 개발에 착안하여 생산성이 낮은 Rotary Kiln 으로부터 高効率인 小形裝置로 全面 交替한다는 長期目標을 갖고 氣流形 燒成爐를 상정하여 모델 테스트를 포함해서 검토한 결과 原料粒子徑과 Gas 流速의 관계 및 融着現象 등을 감안하고 시멘트 크링카 燒成用과는 별개로 高効率인 假燒專用爐의 필요로 氣流爐(Flash furnace)를 고찰하였다. 그 應用策으로서 SF式 Kiln 방식을 고려한 氣流爐는 粉體를 浮遊·分散한 氣流中에서 연료의 연소와 粉體의 吸熱現象과를 동시 순간적으로 이루어지도록 한 장치로서 이는 직접 연소식 固-氣 熱交換器의 일종이다.

1965년부터 약 1년간 氣流爐를 포함한 시멘트 燒成試驗裝置(2t/d)에 의한 實驗을 거듭한 결과 氣流爐는 시멘트 원료 假燒用은 물론 일반 粉體



<그림-1> Percentage of capacity indifferent type kilns in Japan

의 高溫處理裝置로서 널리 실용화할 수 있다고 내다 볼 수가 있게 되었다.

한편 요즈음 住友化學工業株式會社에서 Alumina 燒成設備의 SP 式 Plant 를 受注하였다.

그 위에 다시 더욱 진보된 새로운 방식의 採用을 검토하게 되어 상기 試驗裝置를 이용하여 同社와 공동 연구에 의한 確認 實驗을 한 결과 500t/d SF 式 Alumina 燒成 Plant 의 實用化를 바라볼 수 있게 되었다.

1968년 이의 設置를 완료하여 약 1년에 걸친 시험 결과 實用化에 성공할 수 있었다.

이 성공으로 다시 800t/d Plant 注文을 받아 1970년부터 순조롭게 稼動하고 있다. 현재 氣流爐를 사용한 Alumina 燒成 Plant 는 7基의 실적을 갖고 있으며 安定機種이 되었다는 사실을 부기하는 바다. 시멘트 燒成 Plant 의 分野에 있어서도 또한 1969년부터 약 1년에 걸쳐서 SF 式 Kiln 方式의 Pilot Plant (20t/d)를 IHI 社 橫濱技術研究所에 設置하여 시멘트 크링카 製造實驗을 거듭한 결과 실용화할 수 있다는 자신을 갖게 되었다.

이에 따라 Alumina 燒成 Plant 의 실적과 시멘트 파이로트 플랜트의 실험 결과 또한 新技術을 대망하는 시멘트 産業界 기운의 고조를 배경으로 시멘트業界와 接觸하던 중 1971년 實用規模 第1號 설비에 의하여 그 실용화 시험을 실시하게 되었다.

秩父시멘트株式會社 秩父第1工場內에 既設되어 있는 Lepol Kiln(약 900t/d)의 豫熱器를 제거하

고 氣流爐와 Suspension Preheater(2,000t/d 상당)를 새로이 付設(이른바 SF Kiln)하고 1971년 11월 이의 시운전을 개시하였다.

주로 시멘트 燒成 Process에 적합한 Balance 운전전에 의한 기술을 쌓아 가면서 1972년 7월 현재 다음과 같은 성적을 거두었으며 이의 實用性이 實證되었다.

Rotary Kiln 比 燒成能力 : 從來方法의 2배 이상

燃料消費量 : 從來方法 이하

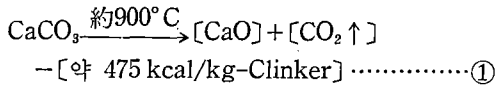
크링카 品質 : 從來方法과 동등

運轉方法 : 從來方法 보다 容易할 뿐 아니라 Kiln Start와 Shut down을 보다 신속하게 할 수 있다.

III. 特 徵

시멘트 燒成 Process는 약 900°C에서 石灰質原料가 분해하여 假燒反應(吸熱)과 약 1,200~1,450°C에서 반응하는 시멘트 化合物의 生性反應(發熱·部分溶解)으로 대별하여 생각하는 것이 합리적이다.

假燒反應은 다음과 같다.



이의 吸熱量은 시멘트 理論燒成熱 약 430kcal/kg-Clinker에 대등한 것이다. 종래의 濕式 Kiln과 豫熱器가 없는 乾式 Kiln에서도 이 吸熱反應이 Rotary Kiln內에서 이루어졌으며 SP付 Kiln

에서도 Preheater에서의 原料의 假燒率은 약 40% 정도가 한계이다. 즉 從來方法의 Rotary Kiln 길이의 大部分은 假燒反應熱의 傳達에 사용되기 때문에 Rotary Kiln의 結점으로 熱效率이 낮아지게 되어 Kiln 길이가 커져야 되는 主原因이 된다.

따라서 傳熱 效率이 대단히 높은 氣流가 假燒反應을 할 수 있다면 Rotary Kiln은 Clinker 生成만을 行하게 되므로 그 길이를 대폭 축소할 수가 있다. 또한 연료를 필요에 따라 精確한 위치에 精確한 量으로 分割하여 供給하는 것이 합리적이며 훌륭한 利點을 낳게 된다. 燒成 Process는 <그림-3>과 같다.

SF式 시멘트 燒成法의 利點은 다음과 같다.

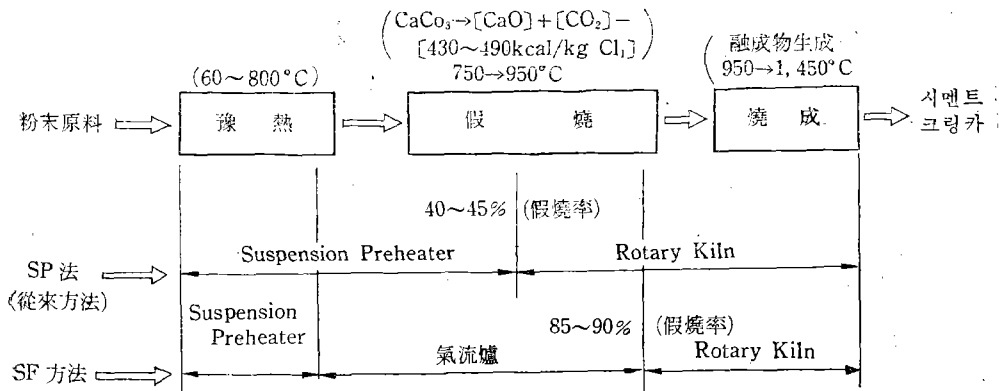
1. 既設 Kiln에 SF設備을 附加한 것으로 燒成 Plant의 生産성을 대폭 향상시킬 수 있다. 예를 들면 SP付 Kiln과 Lepol Kiln의 경우는 2배 이상, 濕式 Kiln에서는 약 4배의 능력 초과가 가능하다.

2. Plant 超大型化에 대하여 Rotary Kiln에 의한 제약이 없어져 10,000t/d級의 것도 建設할 수 있게 된다.

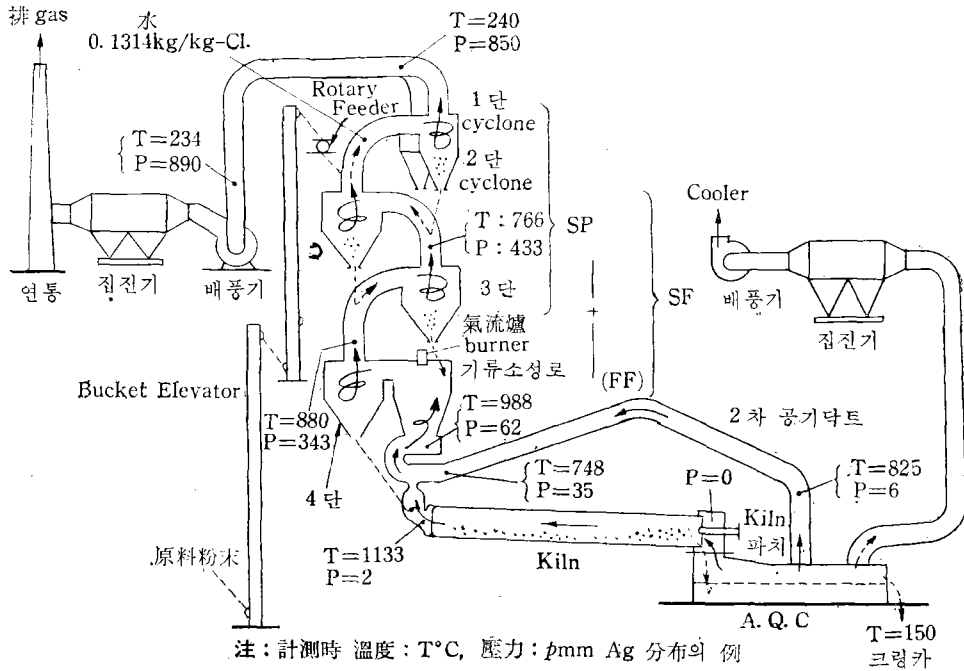
3. Rotary Kiln의 축소화와 熱負荷 輕減에 의하여 Kiln 耐火煉瓦의 수명이 대단히 길어져 耐火煉瓦 보수비를 대폭 절감할 수 있다.

4. Rotary Kiln 축소화에 의하여 부지 면적과 Kiln 動力費를 절감할 수 있다.

5. 燃燒溫度가 약 900°C에서 억제되어 氣流爐에서 全燃料의 약 60%를 소비할 수 있게 됨에 따라 高溫燃燒에 기인되는 대기 汚染物質의 발



<그림-2> Cement clinker burning process



<그림-3> Flow sheet of rotary kiln with SP and flash furnace

생이 극도로 적어진다.

IV. 設 備

本燒成法の Flow Sheet 는 <그림-3>과 같으며 本設備의 주요 設計는 <表-1>과 같다.

1. 設計上의 要點

1) 氣流爐의 構造

氣流爐는 그 作動原理로부터 熱效率이 대단히 좋고 경제적이므로 이것을 시멘트 燒成工程에 응용하는 데 있어서 고려하지 않으면 안될 사실은 시멘트 특유의 알카리 障害, 즉 爐壁에의 Coating 附着 및 뒤 따르는 Cyclone의 積粉 등에 의한 操業障害에 대한 對策에 있다. 이에 관해서는 특수한 配慮를 베풀므로써 해결할 수 있었다.

또한 原料의 投入 위치와 投入 방법 및 바나의 配置 등에 대해서는 소형 플라스틱 모델에 의한 常溫基礎實驗을 行하여 그 결과를 設計에 반영시켰다.

實機運轉에 있어서 Flow Pattern 은 모델과 흡

사하였고 常溫實驗結果의 해석이 유효하게 활용되는 사실을 알 수 있었다. 더욱 下部 渦卷室에는 도입된 Gas의 旋回力을 높이기 위해서 특수한 配慮를 함으로써 爐內의 亂流效果를 높여 熱交換 效率을 상승시킬 수 있었다.

2) 氣流爐의 2次空氣 導入方法

氣流爐 燃燒用 2次空氣는 Cooler로부터 抽氣되어 氣流爐에 流入되나 일반적인 방법은 도중에 昇壓用 送風機를 설치해서 風量과 風壓의 조정이 용이한 반면 送風機 本體의 耐熱性 때문에 Cooler 抽氣溫度에 制約(上限: 350~400°C)을 받게 되어 熱回收 效率이 떨어진다.

이는 裝置 전체의 연소비가 상승할 뿐만 아니라 운전과 保守上에도 問題點이 많다.

그러므로 本設備에서는 昇壓用 送風機는 사용하지 않고 다음과 같은 방법을 취했다. 그래서 Kiln系의 壓損과 2次空氣 Duct의 壓損을 調整(風量調整)하기 위하여 Kiln入口 Chamber(Kiln Gas 出口部)의 上部에 Orifice 狀의 固定絞를 설치하고 2次空氣 Duct에 調整 Damper를 설치하여 이의 조정에 의한 兩系의 壓力 Balance를 취

<表-1> 2,000t/d SF式 시멘트 燒成設備의
주요 設計

項目	區分	設 計	備 考
能 力(計測最大) (t/d)		2,000	
Rotary Kiln (m)	직경 길이	3.9 51.37	既設 Lepol Kiln 流用
氣 流 爐	(t/d)	2,000상당	新 設
예 열 기	(t/d)	2,000상당	新 設
예 열 기 (m)	가로	13.5	
	세로	9.0	
	높이	50.7	
Cooler (m)	폭 길이	2.6	既設 Cooler 流用
		14.7	

하도록 하였다.

이 경우 2次空氣 溫度를 충분히 높일 수가 있기 때문에 연료 소비량이 높지 않고 또한 裝置 내부는 모두 負壓이 유지되기 때문에 熱 Gas 가 외부로 산출할 위험도 없다. 따라서 運轉과 保守面에서 매우 유리한 방법이라고 할 수 있다.

2. 製作·設置工事

本設備는 건설 개시부터 설치 완료까지 6개월 반으로 종래에 없는 短工期로 완성할 수가 있었다. 이 사실은 SF式 燒成法 개발과 함께 그 意義가 크다. 本工程에 대한 큰 특색은 생산 설계의 일환으로서 區劃工法이 채용되었으며(구체적으로는 생산 설계도의 철저, 칼라 콘트롤의 實施, 現品管理表의 有効 활용 등) 이들이 工期 短縮化에 대단한 역할을 한 것은 사실이다.

實工事に 채용된 것은 本設備가 최초였기 때문에 철저히 하지 못한 점이 있었으나 本設備 이후에의 工事에는 충분히 활용되어 대단한 성과를 올리고 있음을 付記한다.

V. 運轉結果와 考察

1. 運轉結果

上述한 바와 같이 運轉目標值 2,000t/d가 達成되었다. SF式 Kiln 방식에 의한 燒成工程·性能

이 확인됨과 함께 그 실용화를 내다 볼 수 있었다. 주요한 運轉結果는 以下에 記述한다.

1) 熱精算結果

1972년 7월 6일에 실시한 性能試驗時의 熱鑑定 결과는 <表-2>와 같고 이때 各部의 溫度와 壓力은 <그림-3>에 나타나 있다.

2) Kiln 燒成能力

本設備에 의하여 달성된 최대 燒出量은 2,075 t/d로 이때 Kiln 比燒成量은 Shell 內容積에 대하여 $141 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{h}$ (煉瓦內容積에 대하여 $172 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{h}$)이 된다. 이것을 從來型의 각 Kiln 과 비교하면 <表-3>과 같다. 이 결과로부터 SF法은 從來 SP法에 의한 동일 크기의 Kiln 에 비교하여 2배 이상의 능력을 올릴 수 있었다는 사실이 확인되었다.

3) Kiln 과 氣流爐의 熱負荷率

<그림-4>는 크링카 燒出量(t/d)에 대한 Kiln 과 氣流爐의 熱負荷率을 비교한 것이다. 이의 특징은 燒出量을 증가시킬 경우 氣流爐의 熱負荷는 증대하지만 Kiln 에 있어서의 그것은 일정하게 할 수가 있다. 이것은 燒出量의 증가에 따른 Kiln 放散熱率(kcal/kg-Clinker) 감소, Cooler 回收 2次空氣 熱量의 증대와 氣流爐의 擴散亂流效果의 증대에 따른 Kiln 送込原料 解離率의 향상 등이 Kiln 內 所要熱量 증가분을 보충하고 兩者가 相殺되어 Kiln 燃料量이 거의 일정하게 되는 것으로 보인다.

4) Kiln Coating

Kiln Coating의 길이는 Kiln 全長의 약 40%로써 SP式 Kiln 방식에 대한 평균 길이(약 38%)보다 약간 길다. 이는 脫炭酸이 진보된 것으로 比燒成能力이 큰 Kiln의 경향과 합치하고 있다.

形式別 Kiln Coating의 길이(코팅길이/전길이 $\times 100$)는 다음과 같다.

SF式 Kiln: 40%

SP式 Kiln: 38%

Lepol式 Kiln: 22%

<表-2>

Heat Balance

入 熱				出 熱			
項 目	kcal/kg-Cl'	%	項 目	kcal/kg-Cl'	%		
燃 料 燃 燒 熱	775.5	98.0	clinker 燒 成 用 熱	420.0	54.5		
燃 料 顯 熱	2.9	0.4	Clinker 顯 熱	332.8	—		
原 料 顯 熱	乾原料 顯熱	12.6	1.6	Clinker 에 의한 熱損失	24.0	3.1	
	原料中水分顯熱	—	—	Cooler 排 Gas 의 熱損失	97.2	12.6	
1 次 空 氣 의 顯 熱	—	—	原料附着水分의 증발열	—	—		
			Kiln 排Gas 의 熱損失	原料附着水分의 증발열	2.2	0.3	
				原料탄산 Gas 의 顯熱	24.1	3.1	
				燃燒 Gas 의 顯熱	56.1	7.3	
				증발수의 엔탈피	76.4	9.9	
			排氣 Dust 의 熱損失	3.2	0.4		
			放射熱損失	Kiln	23.4	3.0	
				SF	16.2	2.1	
				2次 空 氣 Duct	15.2	2.0	
				Cooler	4.7	0.6	
			기 타 (Tower 냉각수)	8.3	1.1		
合 計	771.0	100.0	合 計	771.0	100.0		

참고 1) 측정일: 72년 7월 6일 大氣溫度 기준
 2) Clinker 生産量: 83.7 t/h
 3) 2次 空氣 回收熱: 198.6 kcal/kg-Clinker

<表-3> 體種當 生産量

區分	項目	記 號	Volume 當生産高 (kg/m ³ ·h)	比 率 (%)
SF 式 Kiln	SF	SF	141.0	222
Suspension Preheater 付 Kiln	SP	SP	63.4	100
Lepol Kiln	L	L	62.7	99
Dry Kiln(보일러付)	DB	DB	39.0	62
Wet Kiln(보일러付)	W	W	22.8	36
改良燒成法 Kiln(보일러付)	NCB	NCB	168.8	266
Shaft Kiln(보일러付)	S	S	126.0	199

참고: 比率은 SP Kiln 을 100%로 基準

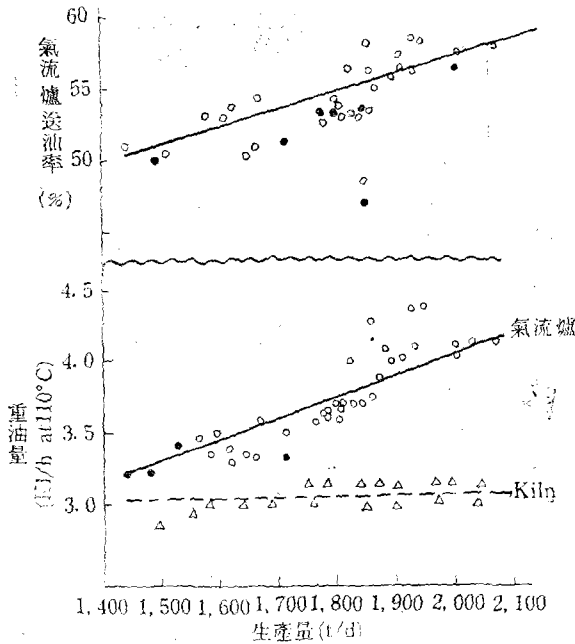
乾式 Kiln(보일러付): 19%
 濕式 Kiln(보일러付): 10%
 NCB Kiln(보일러付): 21%

2. 考 察

1) Kiln 傳熱量과 燒成能力比

Kiln 比燒成量은 上述한 바와 같이 SF 式 Kiln 은 SP 式 Kiln 의 2.2배가 된다.

이것을 Kiln 의 熱收支로부터 구한 傳熱量(Kiln 內 原料에 주어야 할 熱量)으로 비교하면 전자의 184 kcal/kg-Clinker 에 대하여 후자의 그것은 일반적으로 397 kcal/kg-Clinker 로서 그 比는 1 : 2.15가 되어 전자에 의한 燒成의 경우 Kiln 內에서 原料에 주지 않으면 안되는 熱量은 후자의 그것의 $\frac{1}{2.15}$ 이 되므로 이 量만큼 Kiln 을 小形化할 수가 있게 된다. 逆으로 동일 크기의 Kiln 의 경우 燒成能力은 2.15배로 높일 수가 있다.



<그림-4> 生産量과 重油量 關係

2) Kiln 煉瓦 壽命

Kiln 煉瓦의 耐用時間에 주로 영향을 미치는 것은 그 斷面積에 따른 熱負荷(kcal/m²-h)로써 그밖에 煉瓦의 Arch力, 周速의 증대에 의한 摩耗 증가 등이 생각된다. 이들은 모두가 Kiln이 大徑化 될수록 조건이 나빠지고 따라서 煉瓦의 수명도 그것에 따라 감소된다. <그림-5>는 Kiln 徑과 燒成帶煉瓦의 耐用時間과의 관계를 圖示한 것이다. 同 그림에서 보는 바와 같이 Kiln 徑이 커지면 煉瓦의 수명은 대폭 감소하고 있어 이 사실이 Kiln의 大徑化에 대한 큰 장애로 되어 이를 극복하기 위해서는 煉瓦의 材質, 施工法面에서 검토를 계속해 왔다.

SF 式 시멘트 燒成法에 의하면 동일 생산량의 경우 Kiln size는 從來型 Kiln 보다 소형화됨으로써 煉瓦 수명을 대폭 연장할 수 있게 되었다.

1. 耐用時間比의 例

1) 2,000t/d의 경우

$$\frac{SF}{SP} = \frac{(3.7m\phi)}{(4.6m\phi)} = \frac{11,700}{7,500} = 1.56\text{배 (以上)}$$

2) 2,400 t/d의 경우

$$\frac{SF}{SP} = \frac{(4.6m\phi)}{(5.8m\phi)} = \frac{7,500}{2,800} = 2.68\text{배 (以上)}$$

<그림-5>에서 예를 들면 4,000 t/d 생산량

의 경우 Kiln 徑은 SP 付 Kiln 에서는 5.8m인 데 비해 SF 式 Kiln 에서는 4.6m가 된다. 이때 煉瓦의 耐用時間은 대략 2,800~7,500 時間으로서 SF 方法에서는 SP 方法보다도 Kiln 煉瓦의 耐用時間이 약 3배 연장될 수 있고, 더욱 이의 연장의 比率는 大能力化됨에 따라서 크게 되며 여기에서도 大形化에 의한 長點을 만들어 내게 된다.

한편 <그림-5>는 濕式 Kiln 에 대한 Data를 基本으로 한 것이다.

Kiln의 斷面熱負荷는 <그림-6>에 표시한 것처럼 濕式 Kiln 보다도 SP 付 Kiln 편이 작아지고 SF 方法, SP 方法에 대한 각 Kiln 煉瓦의 壽命은 <그림-5>보다 약간 길다고 생각된다.

本試驗設備에 대한 Kiln 稼動時間은 1972년 10월달 현재 약 6,800시간 정도이기 때문에 결론을 얻기에는 이르지 못했으나 지금까지 燒成帶 煉瓦의 교환이 없었으므로 今後의 운전 결과가 기다려 진다.

3) 運轉特性

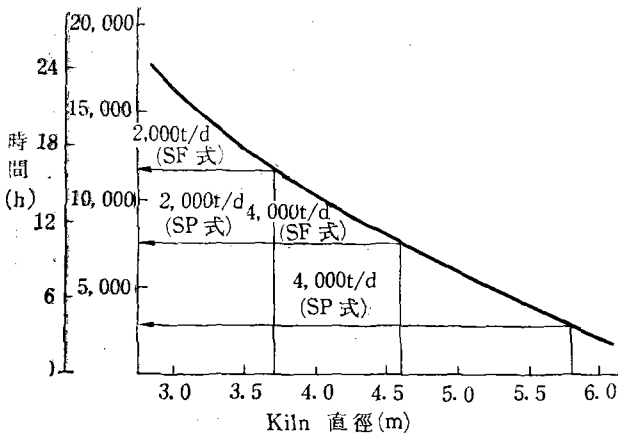
SP 付 Kiln 方法에서는 Rotary Kiln 에 全燃燒 熱負荷를 걸고 있는데 대하여 SF 式 燒成法에서는 그의 60%를 氣流爐에 分擔시키게 되므로 그 運轉 特性 또한 자연 달라진다. 이의 특징은 裝置의 起動에서부터 원료 투입 개시까지 昇溫時間이 짧아지고 원료 공급 증량률을 크게 할 수가 있어 Full 能力에 달하는 시간을 단축할 수 있다.

運轉은 從來方法과 동일 方法으로 용이하게 할 수 있다.

SF 式 시멘트 燒成法의 특징을 以下에 요약한다.

① 原料投入까지의 昇溫時間 단축

Kiln이 小形化되므로 Kiln 本體의 熱保有量이 작아져 原料燒成에 필요한 온도에 도달하는 데까지의 시간을 단축할 수가 있게 되며 이 昇溫中 Kiln에서의 高溫 Gas는 Kiln 後部に 와서 氣流爐用 2次空氣(起動時は 대체로 常溫)와 합류하여 冷却됨으로써 Kiln IDF의 溫度的 制約(약 400°C 前後)은 없어져 종래의 SP 方法보다 운전상의 특별한 고려도 不必要하다.



<그림-5> Kiln 煉瓦의 耐用時間

② 原料 投入後 정상 가동까지의 시간 단축

<그림-4>에서 보는 바와 같이 燒出量과는 관계 없이 Kiln 燃燒量은 대개 일정하다. 그러므로 능력이 낮은 時點에서 Kiln 에 대체로 全負荷가 걸리기 때문에 原料의 投入量이 적을 때는 Kiln 에 熱의 여유가 있고 SF 部에서의 原料 解離率이 충분하지 않아도 이 분량은 Kiln 에서 흡수할 수 있다는 것이 큰 이유라 생각된다.

③ 運轉 容易

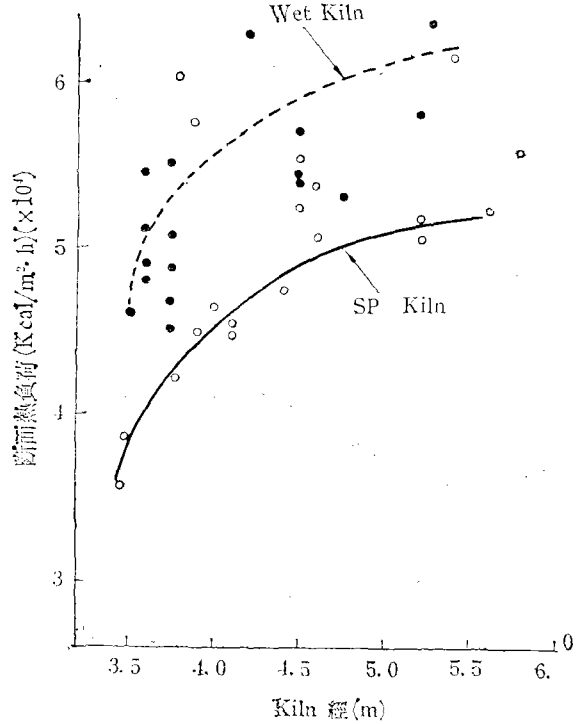
Kiln 과 氣流爐와의 分散燃燒이기 때문에 SP 方法에 비해 着火와 停止時의 操作은 약간 많지만 그 외의 운전은 SP 方法의 경우와 마찬가지로 용이하다.

<그림-4>에서 보는 바와 같이 原料의 負荷變動과는 관계 없이 Kiln 에서의 燃燒量은 전술한 바와 같이 대개 일정하게 되어 작은 熱負荷조정은 氣流爐에서 하는 것이 좋다. 氣流爐는 Kiln 보다도 熱傳達 効率が 좋아 應答速度가 빠르므로 熱負荷調整은 상당히 용이하다.

또한 Cooler 로부터 抽氣에 의한 氣流爐 2次空氣溫度의 변화가 氣流爐 燃燒性에 미치는 영향은 거의 없고 2次空氣溫度가 변하여도 氣流爐 出口의 Gas 溫度 변동은 극히 작다.

VI. 氣流爐와 이의 運轉特性

粉體를 浮遊·分散시켜 氣流中에서 燃料의 燃燒와 粉體의 吸熱反應을 同時 순간적으로 행하



<그림-6> Heat load per kiln sectional area

게 된다. 그래서 浮遊狀態의 濃厚한 原料粉末에 직접 燃料의 燃燒熱을 부가하여 假燒反應을 하게 하는 것은 熱効率面에서뿐만 아니라 耐火材所要量 절감 등의 유리한 점이 있다. SF式 燒成法의 중추인 氣流爐는 實機運轉에 따라 그 長點을 완전히 발휘하여 예상보다 우수한 성능이 확인되었다.

1) 構造

氣流爐의 구조와 내부의 흐름을 <그림-7>에 표시하였다.

氣流爐 本體는 상부 反應室과 下部 渦卷室로 되어 있으며 Kiln 排Gas 와 燃燒用 2次空氣(Cooler 로부터 抽氣)가 합류된 Gas 는 하부 渦卷室에서 旋回流化시켜 咀에 따라 反應室로 상승한다. 原料와 燃料(1次空氣 포함)는 爐上部로부터 下方으로 향하여 공급된다. 이에 의하여 爐內에서는 맹렬한 混合 擴散亂流層이 형성되어 原料의 燃燒와 동시에 原料假燒反應(吸熱)이 일어난다. 反應이 끝난 原料는 燃燒 Gas 에 浮遊하여 상부 排出口로 통하여 다른 Cyclone 에 간다. 이와 같이 氣流爐에 의한 反應은 氣流中에서 이루어지

기 때문에 低溫霧圍氣인데도 불구하고 熱效率이 좋고 복사 傳熱이 지배적인 Kiln 과 비교하여도 (특히 Kiln 後半部는 Gas 溫도와 内部 煉瓦溫度가 낮기 때문에 效率이 나쁘다) 그 容積이 약 1/4 정도로 끝나 극히 경제적이다.

2. 燃燒特性

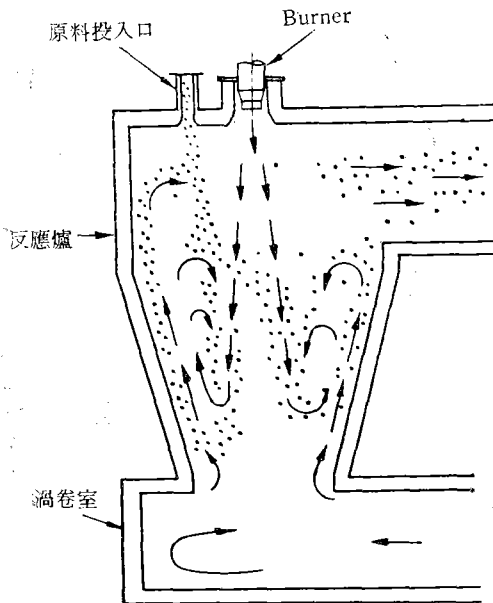
酸素濃도가 낮은 亂流氣流中에 原料粉末의 吸熱反應과 동시에 燃料의 燃燒를 시키는 것이기 때문에 당연히 그 燃燒 特性은 일반 燃燒爐의 경우와 다르게 된다.

燃料油滴은 爐內 強制 亂流中에 浮遊하면서 燃燒하기 때문에 爐內 전체가 燃燒域이 되며 일반 버너에서 볼 수 있는 火炎은 특별히 형성되지는 않는다.

따라서 爐內 溫度는 균일하며 비교적 低溫이다 (<그림-8 參照>).

이같은 特性을 갖는 이유는 다음과 같다.

- ① 低過剩 空氣 燃燒
- ② 爐內 溫度가 낮다 (780~920°C)
- ③ ①과 ②에 의하여 燃料油滴의 燃燒速度가 느릴 뿐만 아니라 爐內는 強制亂流를 형성할 수



<그림-7> Sectional arrangement and flow pattern of flash furnace

가 있게 된다. 油滴은 爐內를 浮遊하면서 燃燒한다. 따라서 爐內 溫度分布는 거의 균일하게 된다.

이상의 사실로부터 油滴의 爐內 滯留時間을 그 燃燒時間內로 조절하면 2次燃燒(爐外燃燒)도 발생하지 않는 良好한 燃燒狀態를 얻을 수 있게 된다.

實機運轉에서 氣流爐는 失火의 위험도 없으며 비상시에도 안전한 燃燒狀態를 유지한다. 이러한 燃燒狀態는 또한 시멘트 原料中 알칼리 蒸發 방지, 爐壁耐火材 보호와 有害 Gas 발생 등의 利點을 수반한다. 이는 시멘트 燒成 process 에 대하여 이상적인 燃燒 特性을 주는 것이라 할 수 있다.

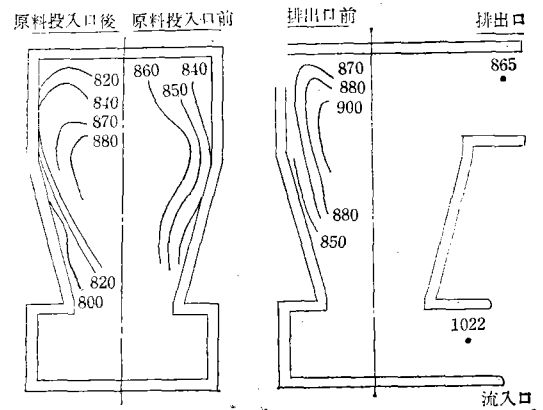
3. 傳熱機構

이상과 같은 燃燒 特性을 갖고 있는 氣流爐에 의한 原料粉末에의 傳熱機構는 燃燒 Gas 로 強制 對流에 의한 傳熱이 지배적이고 輝炎과 Gas (CO₂ 와 H₂O Gas) 로부터의 복사 傳熱은 근소하다.

이의 계산 결과에 의하면 氣流爐에서 연소하는 燃料發熱量 420 kcal/kg-Clinker 에 대하여 輝炎과 Gas 로부터의 복사 傳熱량은 그의 약 10% (40 kcal/kg-Clinker) 에 불과하다.

4. 壓力損失

渦流理論에서 壓損式은 다음과 같다.



<그림-8> 實測溫度分布(單位: °C)

$$\Delta p = K \cdot \frac{r}{g} \cdot \frac{bh}{r_1^2} \cdot \frac{r_2 - r_1}{r_2} \cdot u^2 \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

Δp : 氣流爐 壓力損失(mmAq)

K : 壓損係數

r : Gas 比重量(kg/m³)

g : 9.8(m/sec²)

$b \cdot h$: 渦卷室 入口 斷面積(m²)

r_1 : 圓錐 最小半徑(m)

r_2 : 圓錐 最大半徑(m)

u : 渦卷室 入口 Gas 速度(m/sec)

壓損係數(K)는 渦卷室의 形狀, Coating 附着 狀況, 그 외에 의한 변화가 있지만 本設備에 따른 運轉 Data 에 의하면 $K=8\sim 12$ 이었다.

氣流爐에 의한 熱交換效率과 壓損은 Cyclone 의 捕集效率——壓損間의 관계와 같다. 兩者는 相反된 條件下에 있다.

VII. 結 論

많은 결점을 가지면서도 시멘트 燒成裝置의 主體였던 Rotary Kiln 의 役割을 高效率인 氣流爐에 대신시켜 Rotary Kiln 의 非經濟性을 최소한으로 억제함과 동시에 그 한계점을 탈피하는 획기적인 새로운 시멘트 燒成技術이 확립되었다고는 하나 이것은 완전한 기술은 아니고 이로부터 實績을 쌓으면서 많은 개량이 거듭되어야 한다.

이는 新技術의 모두가 그런거와 같다. 本技術의 진정한 완성을 위해 금후에도 노력을 계속할 작정이다.

秩父시멘트株式會社에서 7,200 t/d SF 式 시멘트 燒成設備를 비롯해서 住友시멘트株式會社, 千代田시멘트株式會社 등에서 注文을 받아 目下 銳意 제작중이다(이미 가동중).

부기하여 韓國에서도 이의 도입 계획이 확정 되었으며 國內 기존 SP Lepol 등의 시설에서도 Calcination degree 向上이 초래하는 결과는 이미 설명한 바와 같이 會社 損益에 막대한 영향을 미치고 있음을 이번 기회에 다시 한번 더 고려하여 이의 개선에 적극적인 노력이 있기를 바란다.

參 考 文 獻

- 1) 小野口土郎: 「시멘트 機械의 動向」, 産業機械 第259號, 昭和 47년 4월 P.2
- 2) 福田良治: 「시멘트 工業의 新動向」, 化學工業 第23卷 第2號, 昭和 47년 2월 P.58
- 3) 日本시멘트協會編 調査內報, 昭和 46년 會計年度
- 4) 日本시멘트協會編 「Rotary Kiln用 耐火物에 관한 調査」, 燃料專門委員會報告
- 5) 錦木未男: 「시멘트工業의 大型化와 그 問題點」, 化學工業 第31卷 第10號, 昭和 42년 10월 P.950

IHI 社의 技術開發本部 技術研究所 化學機器部와 化學工機事業部 窯業플랜트設計部에서 共同으로 作成한 論文을 번역한 것임.

높이 자品質, 낮추자原價

— 産業合理化運動本部 —