

# 시멘트 Kiln 의 進步

崔康淳(譯)  
(雙龍洋灰(株) 中央研究所)

譯者註：本稿는 昨年 11月 28日 日本 北九州市 小倉 南市民센터에서 開催된 “시멘트用 耐火物 심포지움의” 發表 테마中 小野田시멘트(株) 常務取締役인 工学博士 竹本國博의 報告 內容을 完譯한 것이다.

## 1. 시멘트産業의 現狀

시멘트는 建築, 土木工事 等に 없어서는 안 될 基礎資材로서 重要한 役割을 하고 있으며, 시멘트産業에 關한 OECD의 年次報告書를 보아도 一般的으로 GNP와 良好한 相関關係를 나타내고 있다. 日本에 있어서도 이 關係는 거의 一致하여, 시멘트의 需要는 第2次 世界大戰後 急激한 經濟發展에 따른 GNP의 伸張과 함께 차차 늘어나서 1955年 前後에는 13.0%, 1965年代(1965年~73年)는 年平均 11.5%로서 經濟成長率이 各各 約 9% 및 10%를 上廻하는 1) 伸張率을 나타내어 오늘 속크前 1973년에는 7,800萬톤에 달하므로써 生産量에 있어서는 소련에 이어 世界 第2位이다. 그 後 不況에도 불구하고, 上下水道, 道路, 住宅 等の 公共投資 增加

에 依해 克服되어, 1978年度는 國內 및 輸出을 包含하여 8,500萬톤 前後의 需要가 予想 되고 있다.

한편으로는 經濟의 安定 成長 移行과 國民 1人당 消費量의 伸張率 鈍化, 備蓄量의 增大 等の 制約條件이 있지만 今後 需要의 伸張率도 GNP 伸張率과 같은 程度로 늘어날것이 予想된다. <表-1>에 産業 構造 審議會에서 確定된 “産業 構造의 長期 비준”中에 나타난 推測 結果를 整理하였다.

1975年代(1975~1985年)의 內需 增加率은 年平均 6.2%이고 1985年의 國內 出荷量은 約 11,500萬톤, 輸出은 700萬톤, 合計 12,200萬톤에 이를 것으로 予想되며, 稼働率도 適正 稼働率인 80%가 될 것으로 予測된다. 2)

(表 - 1) Prospects, trends in cement demand and supply<sup>2)</sup>

	Unit	Estimation					Note					
		1973		1975		1976		1977	1985			
			% increase over last year		% increase over last year	% increase over last year		% increase over last year		average increase (1985 / 1975)		
Demand	bome market	77	11.5	64	6.2	65	1.6	72	11.2	115	6.2	( ) export as clinker
	export	0.7	38.4	4	67.2	6	27.2	7	25.5	7	0	
Supply	production	78	12.5	68	5.6	70	2.8	78	12.5	122	6.3	
	inport	0.4	-	0	-	0	-	0	-	0	-	
	production	95	110	111	5.1	114	3.3	115	0.9	145	2.7	
	capacity											
Rate of utilisation	%	82.2		59.7		59.8		66.4		80.0		

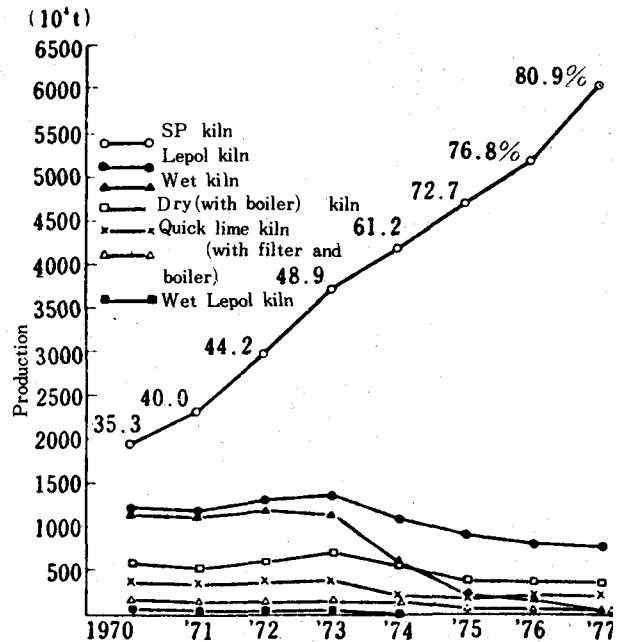
앞에서 말한 바와 같이 1950年代의 堅實한 需要 增加에 힘입어서 시멘트 製造技術의 全般的인 技術革新이 進行되어, 現時點에서 日本의 시멘트 製造技術은 世界 最高 水準에 있다고 評價되기에 이르렀다. 특히 燒成方式의 進歩는 눈부시어, 完全히 世界를 리드하고 있는 狀況이며, 外國으로 技術 輸出도 行하여지고 있다.

## 2. 燒成方式의 進歩

第2次 世界大戰 後 시멘트 燒成方式의 進歩는 두가지 커다란 흐름을 나타내고 있다. 그 하나는 로터리 키른 排가스가 갖는 余熱을 어떻게 効率的으로 利用하는가를 目的으로 하고, 다른 하나는 프로세스의 單純化와 運轉의 簡便化 또는 勞動生産性의 向上에 重點을 둔 것이다. 前者는 乾式 보일러 付 키른에서 더블 패스方式의 레폴 키른, 後者는 濕式 롱키른의 發展으로 代表된다. 이들 方式은 1963年頃까지 世界 技術의 主流를 이루었다. 日本에 있어서는 여러 生石灰 燒成法도 並行 實施되어 왔으나 이 後부터는 粉末 原料를 浮遊狀態에서 키른 排가스와 熱交換을 行하여 使用 熱量의 低減을 圖謀하는 Suspension Preheater 付 키른(SP 키른) 이 採用되기 始作했다. 이 方式은 使用 熱量이 濕式法의 約 1/2로 充分하며, 設備는 單純하여 建設費도 싸고, 運轉도 容易하기 때문에 急激하게 各國으로 普及되기 始作하였다. 특히 日本에 있어서는 1970年代初부터 日産 5,000톤이 넘는 大規模 키른도 建設되기에 이르렀다.

SP方式에 의한 키른의 大型化는 Scale Merit를 包含한 工場 近代化와 勞動生産性의 向上에 크게 寄与한 反面에 몇가지 問題를 惹起했다. 이들 問題를 解決하기 위해 1972年頃 開發된 것이 프리히터 部分에 補助 燃燒裝置를 付設한 New Suspension Preheater (NSP)이다. 이 方式에 의해 더욱 大型化가 可能하게 되어 日産 10,000톤의 키른도 出現하고 同時에 省에너지, 低公害型의 燒成方式으로서 燒成技術의 主流를 占하게 되었다. 原料의 附着水分이 대단히 많아 乾燥面에서 問題點이 많다는가, 原料中の 塩素 含有量이 매우 높다든가 또는 生産規模가 극히 낮다든가 하는 制約條件을 除外

하고, 最近 建設되는 키른은 世界的으로 보아 모두 NSP方式이라고 해도 過言이 아닐 것이다.



〈그림-1〉 Trend of cement production.

日本에 있어서 製造 方式別 生産量의 推移를 〈그림-1〉3에 나타내었다. 1977年度에 SP 및 NSP法으로 生産된 크링카의 量은 全生産量의 約 81%를 차지하고 있다. 今後 公害問題의 対処 必要性, 省에너지의 進展에 따른 燒成 프로세스의 效率化 등으로 더욱 이 比率은 커질 것이다. 1980年度는 87%, 1985年度에는 90%에 달할 것으로 予測되고 있다.

여러 外國의 例를 보면, 西獨에서는 SP方式에 의한 生産은 크링카의 75%以上을 占하고 있다. 美國에 있어서는 從來 알카리 問題 때문에 SP法의 普及은 늦어졌지만 알카리 바이패스法의 開發에 의해 SP法의 採用이 始作되었다. 타이탄 시멘트 需要에의 対応과 旧式設備의 公害問題 더우기 省에너지에의 対処를 包含한 近代化 進展을 目標로 하여, 美國 各地에서 大容량의 NSP키른이 相当數 建設되고 있기 때문에, 今後 SP 및 NSP法의 比重은 增加 一路일 것이다. 소련에서는 SP 및 NSP는 아직 매우 적어 初期 段階이지만 日本으로 부터의 技術導

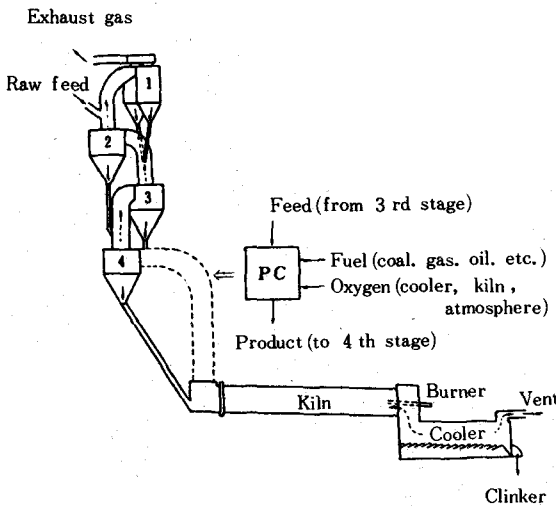
이에 의한 日産 33,000톤의 NSP키른(RSP)이 建設中이어서 今後 急激하게 NSP가 增加하여 갈 것으로 생각된다.

### 3. NSP方式

NSP는 SP의 改良型으로서 日本에서 처음 開發되었으나, 그 性能이 優秀하기 때문에 海外의 有力한 시멘트 機械 메이커들도 다투어 独自の 方式을 開發했다.

#### 3-1 NSP란

NSP法의 概念圖를 <그림-2>에 表示했다.



<그림-2> Precaliner (PC) concept

<그림-2>에 나타난 바와같이 NSP는 프리히터 部分에 Precaliner (假燒爐)를 設置하여, 從來 로터리 키른에서 全量 燃燒하던 燃料를 로터리 키른과 假燒爐로 分割하여 燃燒하는 것을 特徵으로 하고 있다. 假燒爐에서 燃燒 燒料量은 소위 燒出量 倍增型 NSP에서는 全使用量의 約 40~60%, 微増型에서는 30~50%程度이다. 따라서 키른에 投入되는 時点에서의 原料 分解度는 從來 SP의 경우 約 30%에 비해서 NSP에서는 約 85~90%로 上昇하는데, 이 키른 投入 原料의 高分解度가 NSP法의 여러가지 優秀한 特性을 나타내는 베이스다. 假燒爐에서 使用되는 燃燒用 空氣는, 한 方式을 除外하고, 키른

과 並行하여 別途 設置된 닥트를 통해 보내지는 쿨라의 高溫空氣를 使用하고 있다.

#### 3-2 NSP方式의 種類

現在 實用化되고 있는 또는 實用化가 予想되는 方式을 <그림-3>~<그림-10>에 나타내었다.

#### 3-3 NSP 運轉実績 例

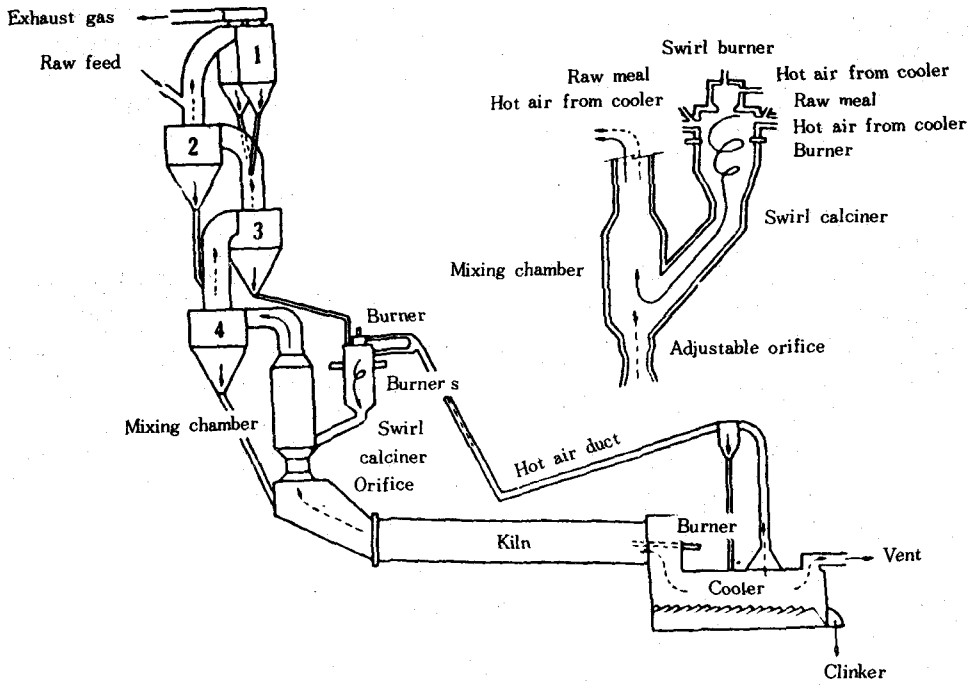
NSP키른의 運轉実績 例로서 RSP키른의 代表的 操業 데이터를 <그림-11>에, 關連한 設備 概要를 <表-2>에 나타내었다.

<表-2> Major equipment of ofunato RSP

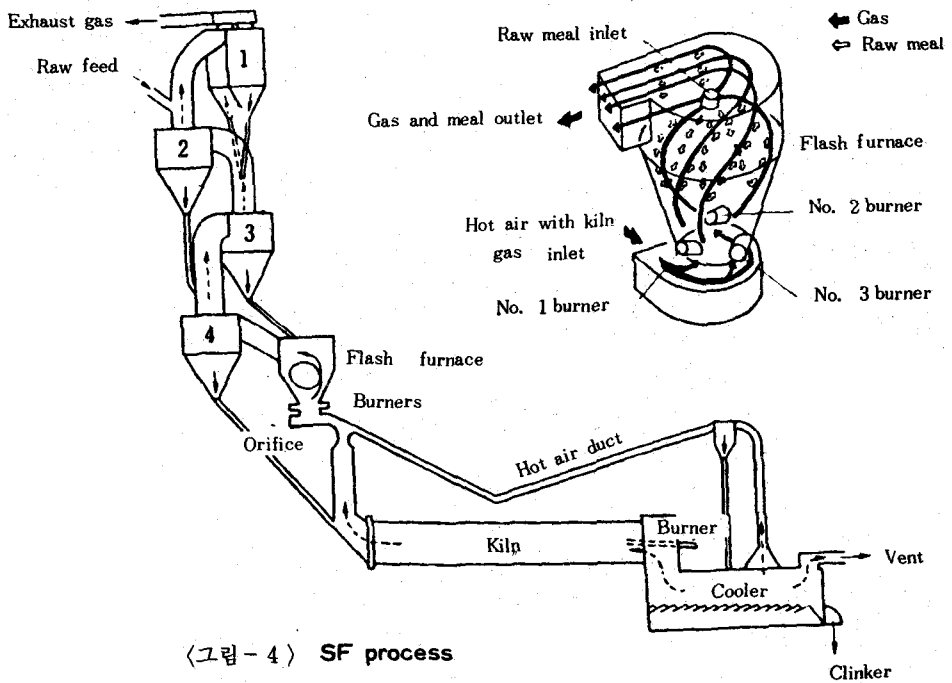
Kiln diameter	φ (3750, 3850, 3530, 3450) × 7600L (mm)
Effective kiln shell volume	785m <sup>3</sup>
Production capacity	rated 2700t/d, actual 3050t/d
Cooler	AQC 4260W × 1843L (mm)
Cyclone in the preheater	1 st stage 4200 φ × 2 (top cyclone) 2 nd 7040 φ × 1 3 rd 5270 φ × 2 (mm) 4 th 7720 φ × 1

<그림-11>에서 보는 바와같이 쿨라로 부터 假燒爐로 送入되는 高溫空氣는 約700℃로, 이것이 假燒爐에서 燃燒에 利用된다. 한편 쿨라에서 키른으로 들어가는 2次 空氣溫度는 約 1,050℃로서 從來型 SP보다는 約 200℃ 上昇한다. 이것은 쿨라內 크링카의 冷却曲線에 의한 推測과 잘 一致한다. 高溫 2次空氣의 키른內 導入은 키른內에 있어서 燃燒와 熱傳達에는 有利하지만, 키른 노즈, 키른 下端 煉瓦의 損傷을 크게 할 可能性이 있기 때문에 使用 耐火物의 品質과 施工法에 充分한 考慮가 必要하다.

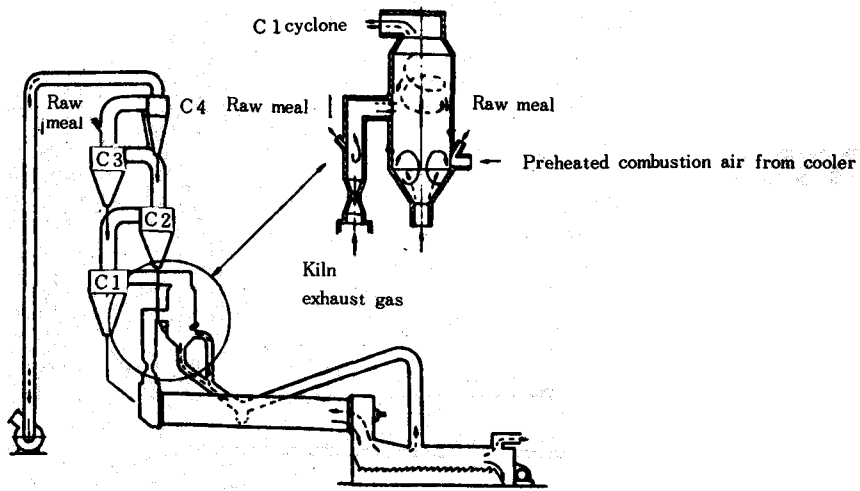
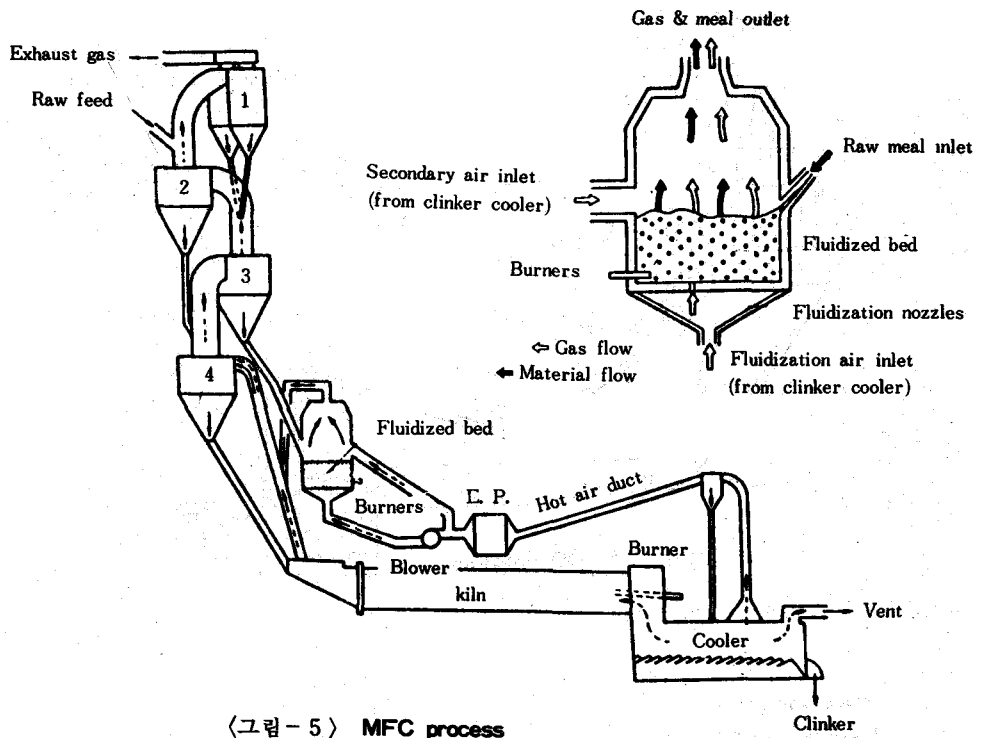
NSP키른에서는 假燒爐內에서 原料의 脫炭酸 大部分이 일어나기 때문에 로터리 키른의 運轉이 從來에 비해서 安定하다고 말할 수 있다. 小野田시멘트의 運轉 經驗으로도 RSP 키른은 從來의 모든 方式 즉 濕式키른, 레풀키른,

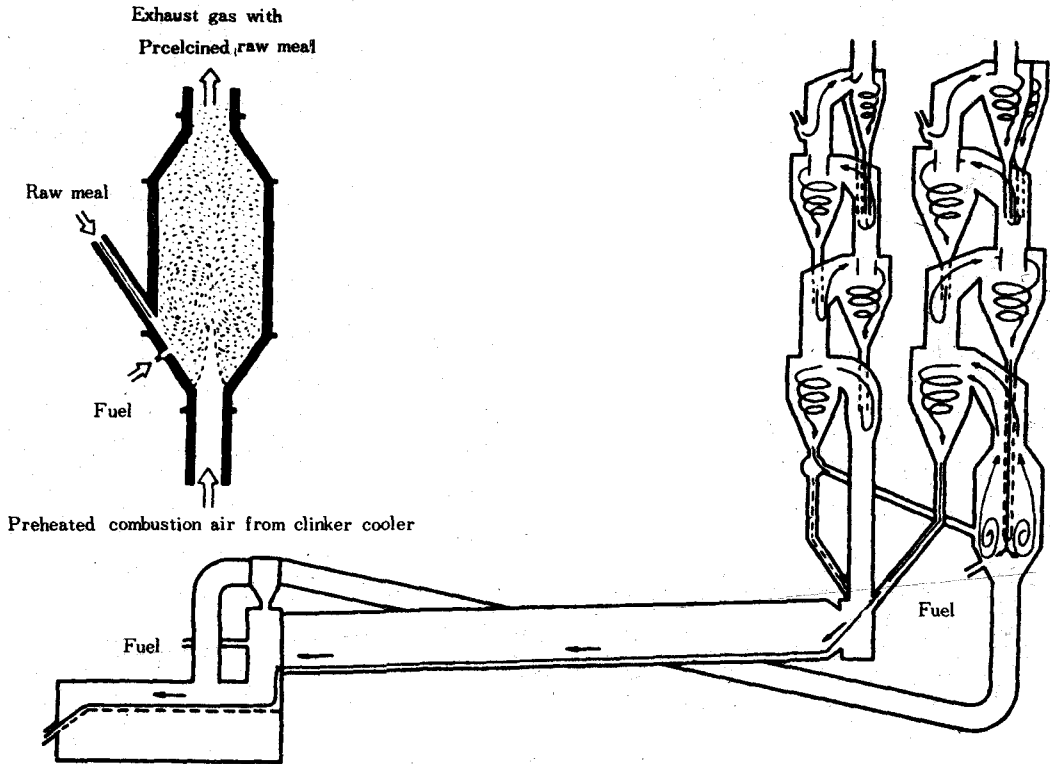
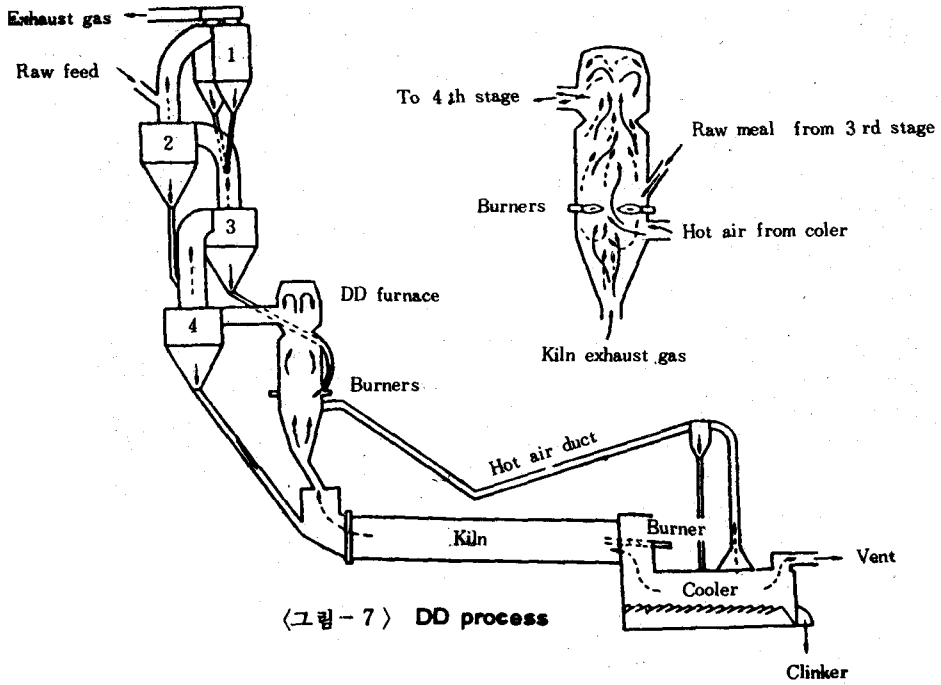


〈그림-3〉 RSP process

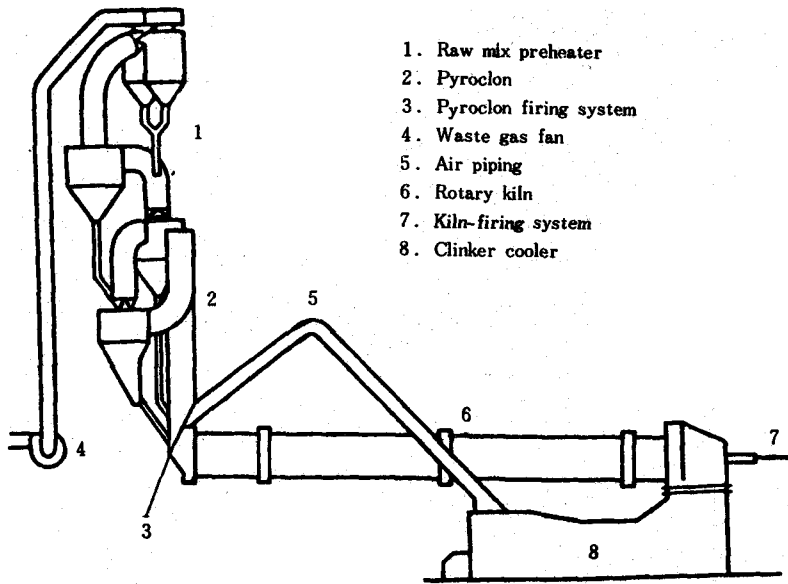


〈그림-4〉 SF process



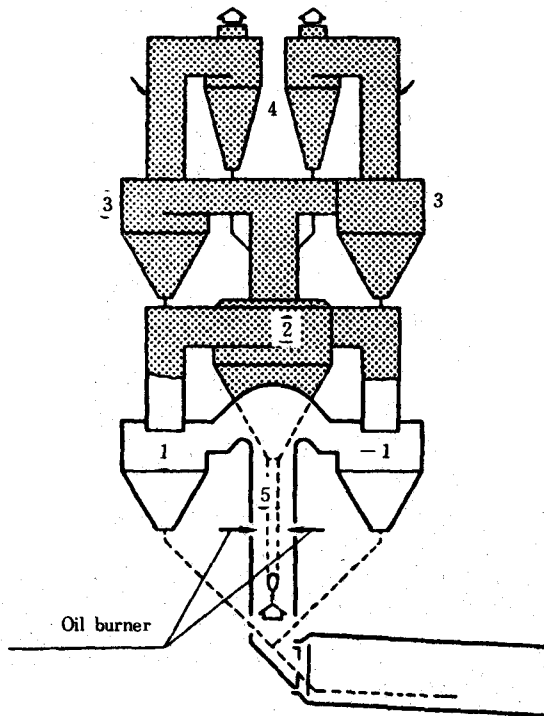


〈그림-8〉 FLS process

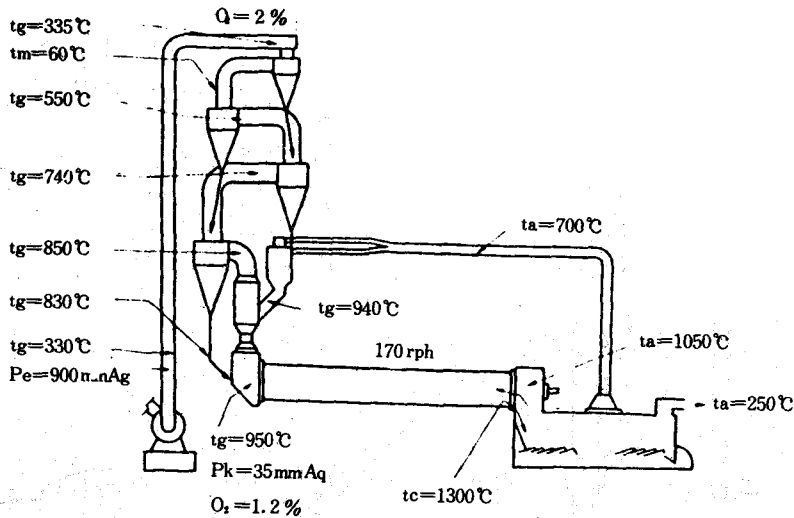


1. Raw mix preheater
2. Pyroclon
3. Pyroclon firing system
4. Waste gas fan
5. Air piping
6. Rotary kiln
7. Kiln-firing system
8. Clinker cooler

〈그림-9〉 Humboldt pyroclon (R) system.



〈그림-10〉 Polysius Precalcining process



(그림-11) Typical operating data of Ofunato's RSP.

SP 키른 등에 비해서 가장 運転이 容易하고, 닥트 등에 다스트 附着 トラブル도 없다. 그러므로 附着 다스트 掃除要員도 従來型 SP의 約 1/4로 可能하다.

(表-3) Over all energy balance of the RSP process \*

Item	Input (kcal/kg · clinker)
Fuel burned in Kiln	310.9
Raw meal	13.8
Fuel burned in preheater	446.8
Clinker formation	100.0
<b>Total</b>	<b>871.5</b>
Item	Output (kcal/kg. Clinker)
Preheater off gas (Including dust)	159.4
Calcination in preheater	458.4
Dehydration of kaolinite	6.8
Evapolation of water	4.9
Radiation and convection in preheater	25.0
Calcination in Kiln	61.4
Radiation and convection in Kiln	33.8
Clinker out of cooler (including dust)	14.1
Waste gas (including dust)	96.7
Radiation and convection	11.0
<b>Total</b>	<b>871.5</b>

\* Ambient temperature basis

### 3-4 NSP키른의 比燒成能力

(表-3)에 RSP 프로세스의 熱精算을 나타내었다. 시멘트 原料 燒成에 있어서 原料 中の 石灰石 分解에 가장 많은 熱量이 든다. 그러므로 仮燒炉에서 全体 燃料의 55~60%를 燃燒하여 키른 投入 原料 分解度를 85~95%까지 增加시키면 키른 内에서 必要한 熱量은 나머지 10~15% 石灰石을 分解시킬 熱量과, 原料를 크링카 組成 鈹物의 反應 生成溫度까지 昇溫 하는데 必要한 熱量, 여기에 熱損失과 熱傳達效率을 考慮하면 된다. 더우기 크링카 鈹物 生成反應은 約 100 kcal/kg · Cl<sub>i</sub>의 發熱反應이다.

Specific volumetric production of clinker (SVP) with different burning process (Japan Cement Association data) Oct. 1977~Mar. 1978

(表-4)

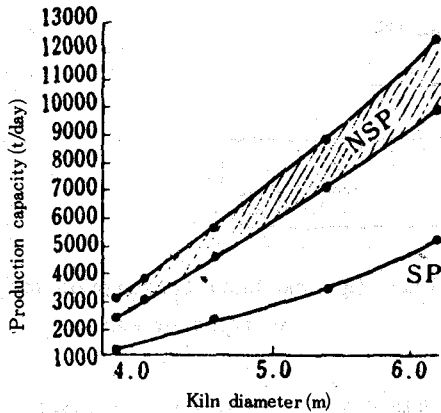
Type	*1 SVP	Type	*1 SVP
DB	36.0	RSP	152.9
L	60.2	N SF	123.4
W	21.5	S MFC	90.4 * 2
SP	65.3	P KSV	93.4 * 2
NCB	171.0	FLS	128.9

\* 1 : Unit; kg clinker/h·m<sup>3</sup> of kiln shell

\* 2 : Max. figure of thoes process are; MFC 126.6, KSV 114.5



以上 記述한 바와같이, 키른에서 크링카 單位 量당 必要 投入熱量의 減少는, 바꾸어 말하면, 키른의 單位內容積當 燒出量 增加를 意味한다. 이것이 NSP法과 從來方式과의 키른 燒出量이 다른 이유이다. 시멘트協會에서 綜合한 操業 月報(1977年度)에 따른 樣式別 키른 內容積當 燒出量 對比를 <表-4>에 나타내었다. 소위 倍增型 NSP는 SP의 2~2.5倍 比燒成 能力을 갖고 있다.



<그림-12> Kiln diameter and production capacity.

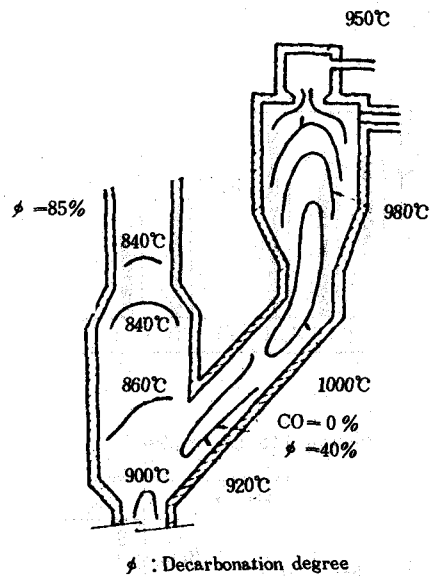
参考로 SP키른과 倍增型 키른의 Dimension과 燒成 能力과의 關係를 <그림-12>에 나타내었다. 이와같이 NSP는 SP 또는 다른 방식에 비해서 同一 燒成量에 対応하는 키른 直径이 적어도 좋고, Arching-action에 起因하는 耐火 벽돌 損耗 減少, 輻射散熱量의 低減에 따른 使用熱量의 低下, 設備 投資額의 減少 등이 可能하다.

### 3-5 NOx發生量의 減少

燒成裝置의 NOx發生에 대해서는 耐火物 業界와 같이 시멘트 燒成設備에 있어서도 宿命的인 어려움을 內包하고 있다. 이것은 크링카 燒成工程에서는 原料를 크링카 化合物의 生成溫度인 1,450°C以上 溫度로 一定時間 保持할 必要가 있고, 火炎溫度는 2,000°C에 달하기 때문이다. NOx 發生機構로 생각해도 NOx 低減은 대단히 困難하고, 低NOx 바나의 採用, 1次 空氣量의 減少, 燃燒用 過剩空氣의 減少 등에 의

해서 어느 程度의 減少는 可能하지만 充分한 解決은 되지 않는다.

NSP는 이 問題를 單순에 解決했다. 約55~60%의 燃料가 假燒爐에서 燃燒되지만, 여기에서는 分散된 原料立子和 燃燒가스 사이에 熱交換이 일어나서, 熱量의 大部分이 石灰石의 分解에 消費되기 때문에 가스溫度가 950~1,000°C로 急速히 떨어져 NOx發生量은 매우 적다. 단적으로 말하면 從來方式에 비해 키른 燃料가 半以下로 되기 때문에 NOx發生量도 半以下로 된다. 参考로 RSP方式에서의 爐內 溫度分布를 <그림-13>에 表示하였다.<sup>4)</sup>  $N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2 NO$ 의 反應에서 NO平衡濃度 1, 100°C 以下에서

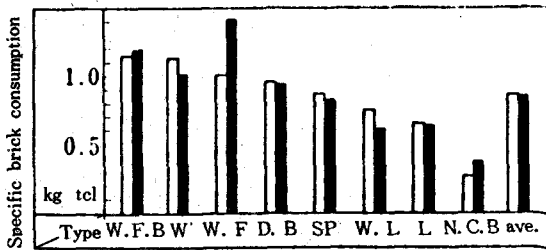
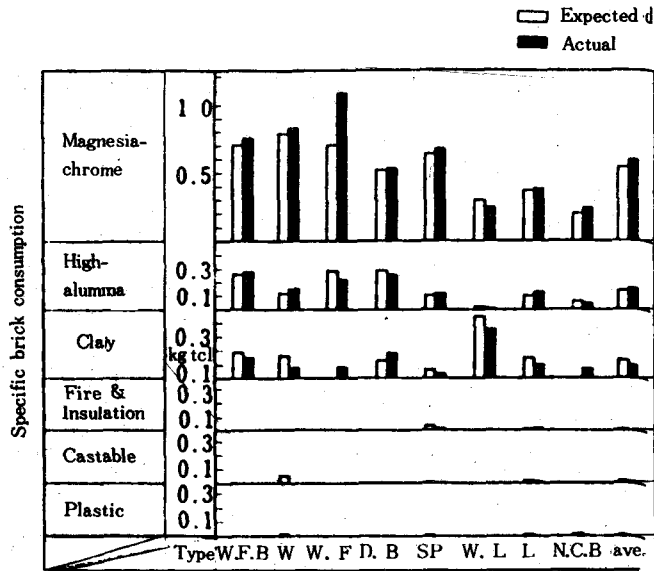


<그림-13> Typical temperature distribution in the Swirl Calciner and the Mixing Chamber f RSP process

는 O<sub>2</sub>가 설사 相当量 過剩으로 存在해도 NO發生量은 極히 적은 것이 분명하다.

### 3-6 耐火物 벽돌의 서비스라이프

지난 1972년에 시멘트協會 燃料委員會가 綜合한 5) “로터리 키른用 耐火物에 關한 調査”는 약간의 데이터는 오래 되었으나 興味있는 많은 데이터가 記載되어 있다. <그림-14> 및 <表-5>



(그림-14) Specific brick consumption for different types of kiln

의 標準原單位는 키른의 標準的 使用狀況下에서의 期待值로서 表示한 것이다. 마그크롬 벽돌의 耐用時間 平均値는 5,100時間으로 되어 있다. 樣式別에서는 NCB가 가장 原單位가 낮고, 濕式키른은 一般的으로 높다. 不定型, 耐火斷熱벽돌 등의 使用은 極히 적은 것으로 나타나 있다. (表-6)에는 SP 및 NSP키른의 位置別 벽돌 耐用時間을 키른 直徑別로 表示했다. (表-6)에서 키른直徑이 3.45~4.6m인 것은 燒成帶 벽돌의 壽命이 4.6m以上の 直徑에서 보다도 確實히 긴 事實,  $\phi$  5m以上の 키른에서는 NSP와 SP키른 어느 쪽이나 耐用時間에 差異는 없지만,  $\phi$  4.6m以下 NSP의 耐用時間은 確實히 긴 事實을 나타내고 있는 事實, 全体的으로 보아 NSP쪽의 벽돌 耐用時間이 길게 되어 있는 事實 등이 明確하다.

벽돌의 品質 改善에 따라 耐久時間을 延張할 수는 있으나, 設備의 大型化에 따른 欠점을 살리기 위해서는 長期 連續運轉이 要求되고, 需要 構造의으로도 6個月~1年 連續運轉을 可能케 하지 않으면 안된다. 따라서 現在의 耐久時間으로는 不充分하다는 것을 (表-6)의 數值 판

(表-5) Service life of bricks

Type	Service life	Mg-Cr		High Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
		Service life	Ratio	Service life	Ratio
W. L	2 Kilns	8912	175		
D. B	14	5706	112	8762	97
W	18	5394	106	11027	122
L	21	5352	105	9773	108
N. C. B	4	4006	92	5387	60
SP	18	4452	88	7969	88
W. F. B	6	4090	80	6053	67
W. F	1	3857	76		
Average	84	5088	100	9040	100

에 시멘트 製造樣式에 따른 耐火物 品種別 実績, 耐用時間과 原單位가 나타나 있다. (그림-14)

(表-6) Service life of bricks at the different position in kiln length (hrs) 6)

Kiln	Li (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
SP Kiln	D=3.45 4.60m (21Kilns)	3340	4660	4190	5800	6070	6620	6930	7440	8010	11200	13800	16300	21200	22100	23400	33900
	D=5.05 5.40m (16Kilns)	3690	4460	4520	4890	5120	4550	4260	4270	4400	5720	6940	11700	15700	18000	19400	20200
	D=5.50 6.20m (6 Kilns)	3200	4610	3980	5090	4590	4890	4620	4410	4280	4410	6550	14000	17300	20300	20600	19000
	Average (43Kilns)	3460	4580	4280	5360	5510	5610	5620	5840	6150	8140	10200	14100	18300	20100	21300	21600
NSP (7 Kilns)		5330	6690	7550	7410	8010	7510	7510	7060	7280	8870	13700	18800	22200	27000	27800	24900

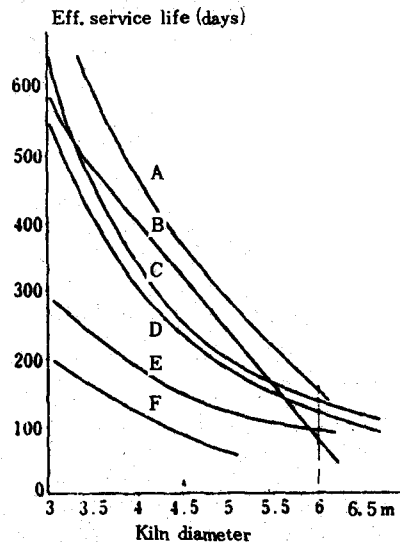
보아도 확실하다. 大型化에 따른 耐火物 耐久時間 減少에 대해서는 나중에 이야기 하겠지만, NSP의 採用에 의해 耐火벽돌 原單位는 大幅 改善되었다. 發表에 따르면 原單位는 0.15~0.30kg/kg·cli 程度라고 말하고 있으므로 SP 키른의 約 1/3로 低減했다. 이것은 주로 키른이 小徑化된것과 키른에 들어가는 原料의 分解도가 높기 때문에 키른 内에서 머무는 時間이 적어져 코팅이 安定되기 때문이기도 하지만, 55~60% 燃料를 燃燒시키는 假燒炉 耐火벽돌의 壽命이 긴 것과 內容積當 燒出量 增加에 의해 벽돌 單位量當 크링카 生産量이 크게 되는 것도 寄与하고 있다. RSP의 実績으로는 스웰 휘베이스의 耐火物을 火入 以來 4年 以上 交替하지 않고 있으므로 假燒炉에서의 耐火物 原單位는 無視할 수 있을 程度이다.

#### 4. 耐火物 서어비스 라이프 延長上의 問題點

燒成技術 進歩에 따른 大型化, 低公害化 및 總 에너지의 節減 등이 達成되었지만, 耐火物과의 関連事項에서 몇가지 特記할 만한 技術的 問題點이 생기고 있다.

4-1 大型化와 耐火物의 서어비스 라이프 앞서 이야기한 바와같이 SP法의 採用에 의해

大型化는 技術的으로도 容易하고, 심한 企業間 競争에 견디기 위하여 近代化된 大單位 工場에서의 集中生産에 의한 製造코스트 引下를 目標로 하여 大型 키른이 統統 採用되게 되었다. 그러나 (그림-15)에 나타나 있는 바와같이 耐



- A : Didier (Kunnecke Naefe)
- B : Japanese presumption
- C : Refratechnik, (Hotz)
- D : Ishikawajima H. I.
- E : FLS by the use of special brick
- F : Russische Statistik

(그림-15) Service life of basic lining

火物の 서어비스 라이프는 大型化에 逆比例해서 짧아지고 生産運輸上 問題를 일으키게 되었다.

〈그림-15〉는 SP키른에 對한 것이지만, NSP에서도 틀림없이 같은 傾向이 나타날 것이다. 大型化에 따른 耐火벽돌 壽命의 低下는 키른 쉘의 變形에 의한 內張 벽돌의 機械的 스프링의 增大, 曲率半徑의 低下에 의한 벽돌 및 코팅의 機械的 不安定化, 燒成帶 單位面積當 熱負荷의 增加 등이 생각될 수 있다. NSP法 採用에 의해 어느 程度 問題點은 解決되었지만 本質的으로 大型 키른 設計上의 問題도 아울러 解決해야 한다.

### 4-2 키른 쉘의 變形과 機械的 스프링

#### 4-2-1 쉘에 걸리는 応力

H. Mettler 8)은 스틱프나링에 對해서 檢討한 報告 中에서 몇가지 假定에 근거하여 쉘에 걸리는 応力을 계산하였다. 즉

軸方向 応力

$$\sigma_{xM} = \frac{G_B + G_E}{2l} \cdot \frac{1}{2\pi t} \left( \frac{x^2}{2a^2} - \frac{1}{\nu} \frac{l^2}{a^2} \right) \cos\phi \dots\dots\dots ①$$

· 円周方向 応力

$$\sigma_{\phi M} = - \frac{G_B + G_E}{2l} \cdot \frac{1}{2\pi t} \cdot \cos\phi \dots\dots\dots ②$$

①, ②式에서  $x=1$ ,  $\phi=0$  일 때 最大 応力이 된다.

여기에서

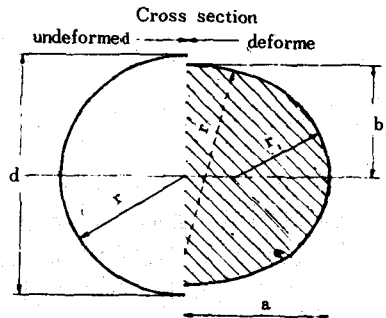
- $G_B$  : 타이어間(길이  $2l$ ) 쉘 自重
- $G_E$  : 內張 耐火벽돌 自重
- $a$  : 키른 平均半徑
- $\pi$  : 쉘의 두께
- $\phi$  : 垂直軸과 이루는 角
- $x$  :  $x=1$  일 때가 타이어 支點位置
- $\nu$  : Poisson比
- $E$  : 키른 쉘의 彈性係數
- $\alpha$  : 熱膨脹係數

위 式에서 알 수 있듯이 쉘에 걸리는 応力은 키른의 지름이 크면 클수록 커지고, 쉘 두께에는 反比例한다. 応力의 最大는 타이어 支點位置이다.

### 4-2-2 쉘의 變形

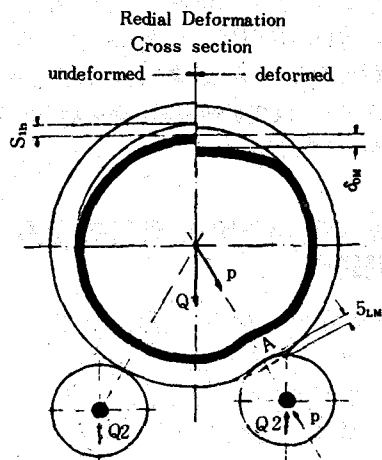
로터리 키른은 普通 3~4個의 타이어와 이것을 떠받치고 있는 몰라에 의해 回轉하고 있기 때문에, 키른 쉘은 위에서 말한 剪斷力을 받아 軸方向으로 휘고, 半徑方向으로는 타원형으로 變形하고 있다. 이러한 變形은 키른과 같은 圓筒에서는 피할 수 없는 現象이며, 半徑方向 變形의 크기는 타이어 位置에서 最大가 된다. 一般的으로 變形의 程度를 타원의 長徑(a)과 短徑(b)과의 差로 表示하며 이것을 오발리티( $\omega$ ; ovality)라 부른다. 즉  $\omega = 2(a-b)$  오발리티의 값을 測定하는 것으로서 쉘 테스트가 있으며,

$$\omega = \left( \frac{4}{3} \right) d^2 \cdot \delta \text{로 표시된다.}$$



Definition by ROSENBLAD:  
 $\omega = 2a - 2b = 2[a - b]$

〈그림-16〉 Definition of ovalation



〈그림-17〉 Diagram of forces and deformations to which the loose tyre is subjected.

여기에서  $d$ 는 키른 쉘 外径(m)  $\delta$ 는 쉘 테스트 바늘이 가르키는 숫자이고 變位量/쉘 테스트 배率로 表示된다. <그림-17>에 代表的인 쉘 變形 例를 나타내었다. 實際로는 支點 反力에 左右되기 때문에 變形 形態는 경우에 따라 다르다. 타이어가 롤라에 똑바로 支技되어 있는 경우에는 左右對稱을 이루지만 만일 한쪽 타이어가 강하게 接觸하고 있을 때에는 그 部分이 치우친 모양을 나타낸다. 이러한 現象은 平常時 運轉에서 흔히 觀察된다. 특히 쉘의 剛度(rigidity)가 크면 타이어가 한쪽 롤라에만 接觸하는

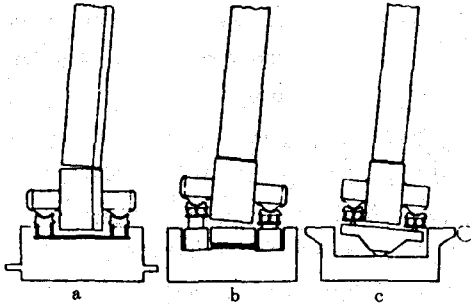


그림-18) Traditional rigid kiln (a) supports with unilateral edge pressure compared with two self-adjusting supports (b) or (c) by which the pressure on the support is evenly distributed cross the entire width of the ring.

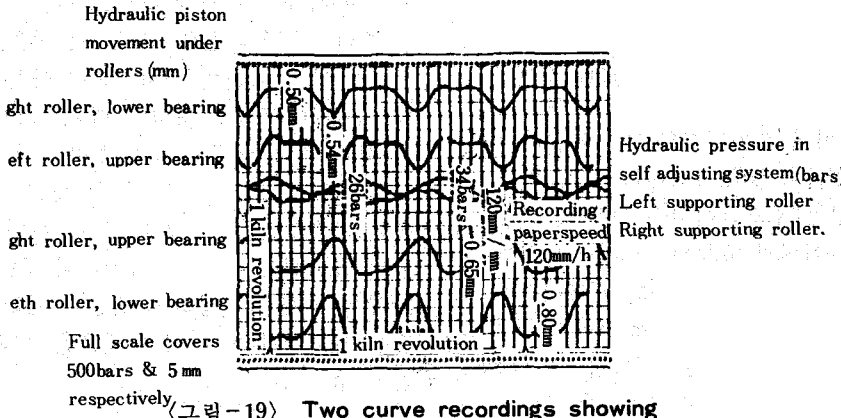
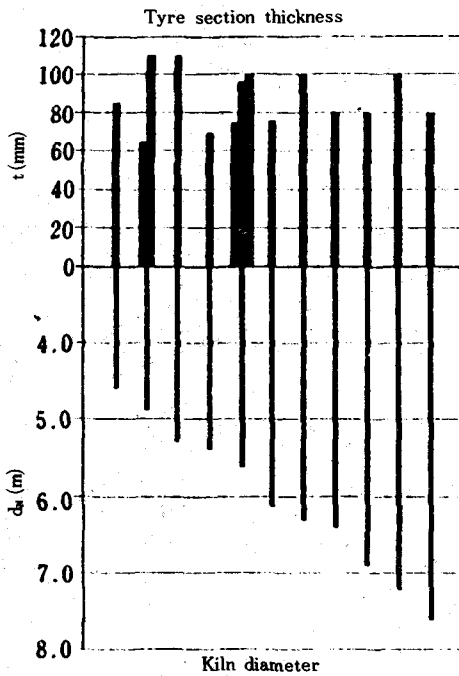


그림-19) Two curve recordings showing some of the measured results. Lower curve-normal operation. Upper curve-kiln stopped.

現象이 일어나기 쉬워 內張벽들의 壽命, 타이어나 롤라에 나쁜 影響을 준다. 最近 實用化되고 있는 Self-adjusting hydraulic supports는 2개의 롤라를 支持하고 있는 베어링을 平面 위에 固定하는 것이 아니고 4개의 베어링이 항상 同一 壓力을 받도록 自動的으로 베어링을 油壓에 의해 上下조정시키는 방식이어서 타이어 支點部 쉘의 變形을 効果的으로 막을 수 있다. 그 一例를 <그림-18> 및 <그림-19>에 表示하였다. 다음으로 키른 크기와 쉘의 두께에 대해서 <그림-20>에 나타내었다. 各支點 中間部の 쉘 두께차이는 그다지 크지 않은데 비해, 各支點部에 있어서 쉘 두께차이는 대단히 크다.

各支點部에서 쉘 두께의 차이에 대해서는 機械 메이커의 設計理念 차이 예를 들면 쉘 두께를 그다지 크게 하지 않고 그 힘에 대해서는 타이어 쪽에서 카바하는 방법과 쉘 두께를 크게 해서 支點部에서의 힘을 작게 하는 방법에 기인하기 때문일 것이다. 參考로 유럽의 타이어 部分 쉘 두께를 <그림-20>에 나타내었다. 大部分 80~100mm인 것이 많다.



〈그림-20〉 Kiln diameter and tyre section thicknesses of shell.

#### 4-2-3 타이어의 變形과 셸과의 크리어런스

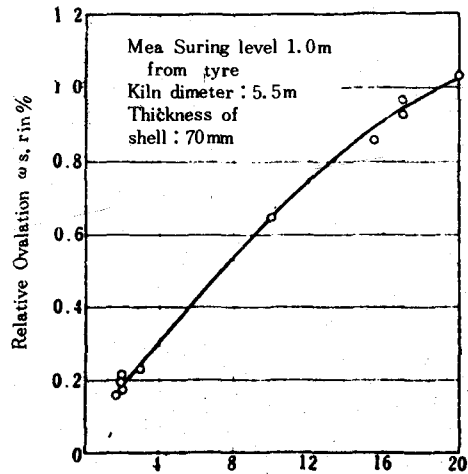
키른 셸은 타이어에 의해 支持되고 있기 때문에 셸의 變形은 당연히 타이어 變形에 影響을 준다. Nies에 의하면 타이어의 오벌리티는

$$W_{R,r} = \frac{0.0832 \cdot QR^3}{EI}$$

Q : 垂直方向荷重  
 R : 타이어의 平均半徑  
 E : 彈性係數  
 I : 斷面의 貫性 모멘트

로 表示된다. 타이어 오벌리티와 셸 오벌리티와의 사이에는 密接한 關係가 있다. 現在 가장 많이 使用되고 있는 루즈타이어의 경우, 키른 셸의 變形에는 타이어와 셸間의 크리어런스가 대단히 큰 影響을 준다. 예를 들면 直徑 5.5m의 키른에 대해 타이어로부터 1m 떨어진 곳에서 W. Bonn 등이 測定한 結果를 〈그림-21〉에 나타내었다. 實驗 結果 얻어진 셸과 타이어의 오벌리티 關係는

$$W_{S,r} = W_{R,r} + (0.10 \sim 0.30) \frac{S}{d} \text{ 단, } S < 20\text{mm}$$



〈그림-21〉 Ovality as a function of tyre clearance for a kiln of 5.5m diameter

가 近似式으로 提案되고 있다. 여기에서  $W_{S,r}$ 은 셸의 相對 오벌리티,  $W_{R,r}$ 은 Nies式에 의한 타이어의 相對 오벌리티, S는 타이어 오벌리티의 最大值, d는 키른徑을 表示한다. 오벌리티 값은 同一 키른 同一位置에서도 相當히 變化하는 것을 W. Bonn들에 의해서도 報告되고 있다. 一般的으로 許容되는 오벌리티値는 0.4% 또는 그 以下로도 말할 수 있으나 기존 키른에서 큰 값을 나타낼 때는 스틱프닝을 붙여서 셸의 剛性을 높이는 것도 考慮된다.

#### 4-2-4 셸의 變形과 耐火벽들의 損傷

키른 셸의 變形은 耐火物 라이닝에 機械的 壓力을 주어 라이닝의 서어비스 라이프에 큰 影響을 준다. 大徑 키른에 있어서는 벽面의 曲率半徑이 작기 때문에 아치액손이 약하고, 더구나 벽面表面의 코팅도 붙었다 떨어지기를 반복하기 쉬워 특히 影響을 받기 쉽다. SP키른 또는 NSP 키른은 從來 키른보다 回轉도 빨라서 반복된 應力을 심하게 받게 된다. 따라서 大徑 키른의 設計에는 키른 및 타이어의 設計, 製作, 設置를 適切하게 행하고 安定된 運轉과 保守를 하는 것이 內張벽들 壽命 延長을 위해 絶對 必要한 事項이다.

#### 4-3 新種 耐火벽들의 開發

마크도 다이렉트 본드 벽들은 대단히 優秀한 特性을 나타내어, 시멘트 燒成技術의 進歩

에 이룩한 側面的 寄与는 크다. 그렇지만 現在의 最高級 벽돌인 高温燒成 마그크롬 다이렉트 본드 벽돌을 使用해도 역시 燒成帶 및 코팅着脫帶 內張 벽돌의 서어비스라이프는 長期連續 運轉面에서 不充分하다. 따라서 벽돌의 使用者 立場에서는 多少 價格이 비싸더라도 品質이 좋고 全体 經費를 低減할 수 있는 新種 벽돌의 開發을 期待하고 있다. 이런 意味에서 스피넬 벽돌은 크게 期待할 수 있는 것으로 생각되고 있

다. 스피넬 製造方式은 從來의 電融法 대신에, 最近 燒成法에 의한 것이 開發되고 있다. 小野田시멘트에서 製造한 燒成 스피넬을 主原料로 한 벽돌 MSB-1, MSB-2의 代表的 特性을 <表-7>에, 시멘트 키른에 施工한 結果의 例를 <表-8>에 나타내었다. 스피넬 벽돌은 耐스폴링性, 耐食性이 優秀하고, 또한 酸化鐵에 起因한 組織의 劣化가 없기 때문에 從來의 마그크롬 다이렉트 본드 벽돌에 비해서 約 1.5~2 倍의 壽命을 期待可能케 되었다. 더구나 크롬을 使用하지 않는 無公害型인 것을 생각하면, 今後 發展이 期待된다.

<表-7> Properties of bricks

Property	Brick	MSB-1	MSB-2
	Refracricriness		40<
Apparent porosity (%)		15.0	15.4
Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )		2.98	2.93
Comp. strength (kg/cm <sup>2</sup> )		450	400
Bend. strength at 1400°C (kg/cm <sup>2</sup> )		71	46
Refractoriness under load T <sub>1</sub> (°C) (load 2 kg/cm <sup>2</sup> )		>1700	>1700
Rebeat shrinkage (%) 1550°C - 2 hr		+0.1	+0.1
Thermal expansion (%) at 1000°C		1.1	1.1
Spalling test 1000C - 15min water quench cycle		10<	10<
Chemical composition (%)	SiO <sub>2</sub>	0.3	0.3
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0.06
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.6	23.1
	CaO	0.5	0.5
	Mgo	81.5	76.0

4-4 벽돌 製造時的 品質管理와 出荷檢査

大型 키른에서는 1回 內張에 필요한 벽돌 枚數도 대단히 많다. 따라서 欠陥 벽돌이 包含될 可能性도 많다. 實際로 檢受할 때 問題를 일으키는 일도 때때로 있다. 예를 들면 카다룩에 의한 壓縮強度 500kg/cm<sup>2</sup> 벽돌의 耐壓 強度가 350~700kg/cm<sup>2</sup> 範圍에 있거나 또는 乾燥균열에 起因하는 것으로 생각되는 內部균열이 發見되는 일도 있다. 또 벽돌의 寸法精度도 重要한 因子이며, 實際의 運轉에서는 部分的인 벽돌의 損傷이 均열停止를 惹起하여 莫大한 損失을 주는 일도 있기 때문에 製造時的 品質管理에는 特別 留意하고, 여러가지의 製造工程上 條件變更을 했을 때는 엄밀한 체크를 必要로 한다. 또한 科學的인 欠陥檢査裝置, 品質체크裝置의 開發과 使用을 하므로써 使用者들이 언제든지 安心하고 使用할 수 있도록 態勢을 確立하는 것이 必要하다.

4-5 不定形 耐火物

시멘트 키른에서 不定形 耐火物은 주로 프리 히터部分에 使用되는데, 溫度는 比較的 낮지만 摩耗에 의한 損傷이 심각한 問題이다. 그러나 立子가 比較的 큰 耐火骨材를 使用한 소위 耐火 콘크리트에 의해 크게 改善되었다. 現時点에서 不定形 耐火物의 問題點은 글자 그대로 不定形 이어서, 燒成帶 및 着脫帶의 定形 耐火物 改良이 進行되는데 따라서 이部分의 캐스터블 또는 다밍材 部分이 操業上 애로사항이 되고 있다. 이 글자 그대로의 不定形 部分은 매우 높은 溫

<表-8> Rate of brick wearing (mm/d)

Kiln Type	Kiln size (φ × l)	Zone (m)	Spinel brick				Magnesia chrome brick
			MSB-1	MSB-2	A	B	
SP	5.8×102	Transition 36.8-41.6	0.26	-	0.39	-	0.50
W	3.4×69.2	Sintering 5.9-8.7	0.12	0.11	0.14	0.34	0.45

\* High alumina brick

도의 크링카와 2次空氣 流入에 의해 溫度 變化가 심한 部分이어서, 受熱面은 어느 程度 燒結이 進行하는데 반해서 背面에서는 不充分한 狀態이다. 今後 新材料의 開發이 要望된다.

## 5. 맺는말

시멘트 燒成 프로세스의 進歩를 概說함과 동시에 耐火벽들의 壽命에 関한 事項에 대해서도 언급했다. 시멘트 키른의 効率的인 運轉을 행하는 데는 優秀한 品質과 높은 信賴性 있는 耐火物의 使用과 함께 適切한 施工은 絶對的으로 必要하여 今後 시멘트業界와 耐火物 業界의 密接한 協力下에 技術進歩가 도모되기를 要望한다.



---

◎ 빛내서 즐긴명절 지난뒤에 근심온다

---